

IEEJ Outlook 2025

エネルギー・環境・経済

エネルギー転換を巡る不確実性に
どう向き合うか



IEEJ Outlook 2025



**The Institute of
Energy Economics, Japan**

岩田 竹広
江藤 諒
遠藤 聖也
大西 健一
小笠原 潤一
鬮 思超
木村 謙仁
久谷 一朗
小林 良和
小山 堅
坂本 敏幸
佐川 篤男
柴田 善朗
高橋 禎明
土井 菜保子
永富 悠
中野 優人
二宮 康司
萩田 達哉
橋本 裕
廣瀬 梨乃
松本 知子
村上 朋子
森川 哲男
森本 壮一
森本 大樹
柳澤 明
山下 ゆかり
山本 和輝

要旨	1
第I部 エネルギー需給展望	9
1. 見通しの枠組み	11
2. エネルギー需要	23
3. エネルギー供給	49
4. 技術進展シナリオ	87
5. 二酸化炭素排出	135
6. エネルギー関連投資	149
第II部 エネルギー転換を巡る不確実性にどう向き合うか	157
7. LNG・天然ガスの役割発揮に向けて	159
8. エネルギー安全保障のリスクシナリオ	167
付表	193
スライド	293

図1-1 地域区分.....	11
図1-2 導入技術の想定例[技術進展シナリオ]	12
図1-3 世界の経済成長率.....	15
図1-4 主要国・地域の経済成長率.....	15
図1-5 世界の合計特殊出生率、出生率、死亡率.....	16
図1-6 人口.....	16
図1-7 Brent原油価格	18
図2-1 世界の一次エネルギー消費、実質GDP、対GDPエネルギー消費原単位[レ ファレンスシナリオ]	24
図2-2 主要国・地域の一次エネルギー消費[レファレンスシナリオ]	25
図2-3 世界の一次エネルギー消費[レファレンスシナリオ]	26
図2-4 一次エネルギー消費増減[2022年～2050年、レファレンスシナリオ].....	27
図2-5 主要国・地域の化石燃料依存度[レファレンスシナリオ]	27
図2-6 世界の一次エネルギー消費増減寄与[レファレンスシナリオ]	28
図2-7 主要国・地域の供給側電化率[レファレンスシナリオ].....	28
図2-8 世界の石油消費と一次エネルギー消費に占めるシェア[レファレンスシナリ オ].....	29
図2-9 主要国・地域の石油消費[レファレンスシナリオ].....	29
図2-10 世界の石油消費[レファレンスシナリオ].....	29
図2-11 世界の天然ガス消費と一次エネルギー消費に占めるシェア[レファレンス シナリオ].....	31
図2-12 主要国・地域の天然ガス消費[レファレンスシナリオ].....	32
図2-13 世界の天然ガス消費[レファレンスシナリオ].....	32
図2-14 世界の石炭消費と一次エネルギー消費に占めるシェア[レファレンスシナ リオ].....	33
図2-15 主要国・地域の石炭消費[レファレンスシナリオ].....	33
図2-16 世界の石炭消費[レファレンスシナリオ].....	33
図2-17 世界の発電用非化石エネルギー消費[レファレンスシナリオ]	35
図2-18 世界の熱用非化石エネルギー消費[レファレンスシナリオ].....	35
図2-19 アジアの一次エネルギー消費[レファレンスシナリオ].....	36
図2-20 ASEANの一次エネルギー消費[レファレンスシナリオ]	36
図2-21 アジアの一次エネルギー消費[レファレンスシナリオ].....	37
図2-22 アジアの石油消費[レファレンスシナリオ]	38
図2-23 アジアの天然ガス消費[レファレンスシナリオ]	39

図2-24 実質GDPと最終エネルギー消費[レファレンスシナリオ].....	41
図2-25 世界の最終エネルギー消費と主要国・地域の増加寄与[レファレンスシナ リオ、2022年～2050年].....	43
図2-26 中国、インド、MENA、ASEANの最終エネルギー消費[レファレンスシナ リオ].....	43
図2-27 先進国、新興・途上国の最終エネルギー消費[レファレンスシナリオ]	45
図2-28 自動車保有台数[レファレンスシナリオ].....	45
図2-29 世界の最終エネルギー消費(エネルギー源別) [レファレンスシナリオ].....	47
図3-1 主要地域間の原油貿易[2023年]	51
図3-2 主要地域間の原油貿易[レファレンスシナリオ、2050年].....	51
図3-3 主要地域間の天然ガス貿易[2023年]	57
図3-4 主要地域間の天然ガス貿易[レファレンスシナリオ、2050年].....	58
図3-5 世界の石炭生産	59
図3-6 世界の石炭生産[レファレンスシナリオ].....	64
図3-7 世界の石炭貿易(輸入量) [レファレンスシナリオ].....	67
図3-8 主要国・地域間の石炭貿易[2023年]	68
図3-9 主要国・地域間の石炭貿易[レファレンスシナリオ、2050年].....	68
図3-10 輸送用バイオ燃料消費[レファレンスシナリオ]	69
図3-11 石炭火力発電量変化[2022年～2023年]	71
図3-12 世界の発電電力量と電力最終消費[レファレンスシナリオ].....	72
図3-13 主要国・地域の発電電力量[レファレンスシナリオ]	73
図3-14 世界の発電構成[レファレンスシナリオ].....	73
図3-15 先進国、新興・途上国の電源構成[レファレンスシナリオ].....	75
図3-16 中国、インド、ASEANの電源構成[レファレンスシナリオ]	76
図3-17 世界の原子力発電設備容量と基数	77
図3-18 原子力発電設備容量[レファレンスシナリオ].....	80
図3-19 アジアの原子力発電設備容量[レファレンスシナリオ].....	82
図3-20 世界の再生可能エネルギー(水力を除く)発電量[レファレンスシナリオ]	84
図3-21 風力発電設備容量[レファレンスシナリオ]	84
図3-22 太陽光発電設備容量[レファレンスシナリオ].....	84
図4-1 世界の技術による省エネルギー(レファレンスシナリオ比) [技術進展シナリ オ、2050年].....	89
図4-2 乗用車の台当たりのGHG排出量(LCAベース)	93
図4-3 BEVの台当たりのバッテリー製造におけるGHG排出量[現状].....	94

図4-4 乗用車1台当たり鉱物使用量.....	95
図4-5 乗用車1台当たり使用費用	96
図4-6 風力発電設備容量[技術進展シナリオ]	100
図4-7 太陽光発電設備容量[技術進展シナリオ].....	100
図4-8 原子力発電設備容量[技術進展シナリオ].....	102
図4-9 アジアの原子力発電設備容量[技術進展シナリオ].....	104
図4-10 クリーン水素の需給[技術進展シナリオ].....	106
図4-11 CCS実施量[技術進展シナリオ、2050年].....	109
図4-12 世界の一次エネルギー消費と省エネルギー(レファレンスシナリオ比) [技術進展シナリオ].....	110
図4-13 一次エネルギー消費の変化(レファレンスシナリオ比) [技術進展シナリオ].....	111
図4-14 一次エネルギー消費量のGDP原単位[技術進展シナリオ].....	112
図4-15 世界のエネルギー原単位改善率.....	113
図4-16 一次エネルギーのGDP原単位改善率と一次エネルギー消費の関係[2022年]	114
図4-17 一次エネルギーのGDP原単位	115
図4-18 部門別省エネルギー量.....	116
図4-19 フロー効率とストック効率の比較(エアコンの例).....	117
図4-20 世界の最終消費の変化(レファレンスシナリオ比) [技術進展シナリオ、2050年].....	119
図4-21 世界の最終エネルギー消費構成[2050年]	119
図4-22 最終エネルギー消費節減量とGDP当たり最終エネルギー消費の変化(レファレンスシナリオ比) [技術進展シナリオ、2050年].....	120
図4-23 米国におけるデータセンターの消費電力量の見通し[2023年~2030年]	122
図4-24 データセンター等の電力需要増加にともない発生する問題、その対策のイメージ.....	123
図4-25 世界の発電量[技術進展シナリオ]	126
図4-26 アジアの発電量[技術進展シナリオ].....	127
図4-27 世界の石炭生産[技術進展シナリオ].....	132
図4-28 輸送用バイオ燃料消費[技術進展シナリオ]	134
図5-1 世界のCO ₂ 排出量の推移.....	138
図5-2 CO ₂ 排出削減量の内訳.....	139
図5-3 GDP当たりCO ₂ 排出量等の推移	141
図5-4 1.5°C目標と整合的なCO ₂ 排出パス.....	144

図5-5 主要先進国のNDCに向けた進捗およびエネルギー起源CO ₂ 排出削減要因分解.....	145
図6-1 世界のエネルギー関連投資.....	150
図6-2 エネルギー関連投資[レファレンスシナリオ、2023年～2050年累積].....	151
図6-3 発電分野の投資[レファレンスシナリオ].....	152
図6-4 発電分野の投資[技術進展シナリオ].....	152
図6-5 石油分野の投資.....	153
図6-6 天然ガス分野の投資.....	154
図6-7 世界の省エネルギーの投資.....	154
図7-1 LNG生産部門の投資必要容量試算.....	161
図7-2 LNG生産設備停止にともなう供給喪失量推計.....	165
図8-1 世界の化石燃料需給[レファレンスシナリオ、2022年～2050年累計].....	167
図8-2 主要な石油・天然ガス投資額[レファレンスシナリオ、2022年～2050年累計].....	168
図8-3 追加投資がない場合の世界の石油・天然ガス生産量とレファレンスシナリオでの需要.....	169
図8-4 石油・天然ガス価格50%上昇がアジアの主要輸入国・地域に及ぼす影響.....	170
図8-5 日本のエネルギー供給に影響を及ぼしうる主な地政学的リスク.....	171
図8-6 日本の原油輸入における中東依存度の推移.....	172
図8-7 イランを中心とする「抵抗の枢軸」とイスラエル.....	173
図8-8 日本の一般炭、LNGの輸入源[2023年].....	174
図8-9 日本の電力需給[技術進展シナリオ].....	177
図8-10 米国の電力需給[技術進展シナリオ].....	177
図8-11 電気自動車用蓄電池サプライチェーンの国別シェア.....	181
図8-12 代表的な資源の輸出額[2021年].....	182
図8-13 技術によって異なる供給国の集中度.....	183
図8-14 世界の重大サイバー攻撃事象数.....	185
表1-1 国際エネルギー価格想定.....	20
表3-1 原油生産[レファレンスシナリオ].....	50
表3-2 LNGの役割変遷.....	54
表3-3 天然ガス生産[レファレンスシナリオ].....	57
表3-4 一般炭生産[レファレンスシナリオ].....	66

表3-5 原料炭生産[レファレンスシナリオ].....	66
表3-6 主要国・地域における再生可能エネルギー導入目標.....	83
表4-1 技術の想定例[技術進展シナリオ].....	87
表4-2 世界のエネルギー指標.....	90
表4-3 Box分析のケース.....	92
表4-4 先進的CCS事業選択案件.....	108
表4-5 一次エネルギーのGDP原単位と改善率.....	115
表4-6 原油生産[技術進展シナリオ].....	128
表4-7 天然ガス生産[技術進展シナリオ].....	129
表4-8 LNG生産におけるクリーン化の課題.....	130
表4-9 LNG市場安定化への長期的課題.....	131
表4-10 一般炭生産[技術進展シナリオ].....	133
表4-11 原料炭生産[技術進展シナリオ].....	133
表7-1 LNG (天然ガス)の役割の変遷・進化.....	160
表7-2 LNG生産プロジェクトの開発動向の推移.....	162
表7-3 主要LNG生産国の現状と課題.....	163
表8-1 電力安定供給に係るリスクとその課題・対策.....	180
付表1 地域区分.....	195
付表2 国際エネルギー価格.....	199
付表3 人口.....	200
付表4 GDP.....	202
付表5 1人当たりGDP.....	204
付表6 一次エネルギー消費.....	206
付表7 一次エネルギー消費、石炭.....	208
付表8 一次エネルギー消費、石油.....	210
付表9 一次エネルギー消費、天然ガス.....	212
付表10 一次エネルギー消費、原子力.....	214
付表11 一次エネルギー消費、水力.....	216
付表12 一次エネルギー消費、太陽・風力等.....	218
付表13 一次エネルギー消費、バイオマス・廃棄物.....	220
付表14 最終エネルギー消費.....	222
付表15 最終エネルギー消費、産業.....	224

付表16 最終エネルギー消費、運輸	226
付表17 最終エネルギー消費、民生・農業他	228
付表18 最終エネルギー消費、電力	230
付表19 発電電力量	232
付表20 1人当たり一次エネルギー消費	234
付表21 GDP当たり一次エネルギー消費	236
付表22 エネルギー起源二酸化炭素排出	238
付表23 世界	240
付表24 アジア	242
付表25 中国	244
付表26 インド	246
付表27 日本	248
付表28 韓国	250
付表29 台湾	252
付表30 ASEAN	254
付表31 インドネシア	256
付表32 マレーシア	258
付表33 ミャンマー	260
付表34 フィリピン	262
付表35 タイ	264
付表36 ベトナム	266
付表37 北米	268
付表38 米国	270
付表39 中南米	272
付表40 欧州先進国	274
付表41 他欧州/ユーラシア	276
付表42 欧州連合	278
付表43 アフリカ	280
付表44 中東	282
付表45 オセアニア	284
付表46 先進国	286
付表47 主要7か国(G7)	288
付表48 新興・途上国	290

Box 4-1 自動車のライフサイクル分析: 国や地域に応じたパワートレインの選択を	90
Box 4-2 足元の省エネルギー動向と今後の課題: 注目すべき「ストック効率」の重 要性	112
Box 4-3 データセンター等の電力需要増加にともない発生する問題に対する解決 策.....	121
Box 5-1 1.5°C目標の達成可能性とNDCに向けた進捗状況	142

要旨

エネルギー需給展望

一次エネルギー需要: インドやASEANが増加の中心に

■ 本アウトックでは、2050年の世界のエネルギー需給見通しを2つのシナリオ¹で定量的に評価した。過去の趨勢的な変化が継続する「レファレンスシナリオ」では、2050年の世界の一次エネルギー需要は2022年から14%増加する。他方、エネルギー安定供給や気候変動対策のためにエネルギー・環境技術の最大限の導入を前提とする「技術進展シナリオ」では、世界の一次エネルギー需要は2030年までにピークを迎え、2050年には2022年比で6%減少する。

■ いずれのシナリオでも先進国および中国の一次エネルギー需要は減少傾向にあり、代わってインドや東南アジア諸国連合(ASEAN)をはじめとする他の新興・途上国が需要増加の中心になる。

CO₂削減手段とその課題: ①省エネルギー、②再生可能エネルギー、③CCUSが特に寄与

■ レファレンスシナリオでは、世界のエネルギー起源二酸化炭素(CO₂)排出量は2050年に32.7十億t (Gt)と2022年からほぼ横ばいとなる。エネルギー需要の増加を、CO₂排出原単位の低下が相殺するためである。他方、技術進展シナリオの排出量は12.9 Gt (2022年比62%減)となる。この大幅削減にはあらゆる技術の総動員が必要だが、とりわけ①省エネルギー、②再生可能エネルギー(特に太陽光、風力)、③二酸化炭素回収・有効利用・貯留(CCUS)が大きく寄与する。

■ ①省エネルギーの深掘りによって、レファレンスと技術進展シナリオの間で6.2 Gt-CO₂に相当する削減効果が見込まれる。特に新興・途上国での改善余地が大きく、すでに効率改善で先行する先進国における技術の新興・途上国への適用が鍵となる。とりわけ、中国やインド、ASEANにおいては今後産業部門でのエネルギー消費量が大きく拡大する見込みであり、この分野における設備、エネルギー利用の効率をどう改善するかが肝要となる。

¹ 本アウトックにおけるシナリオは、技術や政策動向を前提条件として試算した「フォアキャスト型」の将来見通しであり、将来の着地点(例: 2050年ネットゼロ)を定めてそこに至る道筋を描く「バックキャスト型」とは対照を為すものである。

■ なお、エネルギー効率改善への取り組みと効果発現には時間差が存在することに留意すべきである。新規製品、設備の(フロー)効率が改善しても、需要家が使用する保有設備全体の(ストック)効率に反映されるには10年以上を要する。2050年までに技術進展シナリオのような大幅な省エネを目指すのであれば、今からすぐに効率改善に取り組まなければならない。

■ ②再生可能エネルギーの拡大は著しく、とりわけ技術進展シナリオでは再生可能(水力除く)による発電量が世界の総発電量の60%近くを占める。ただし、この大幅導入の場合、多くの地域では変動性再生可能エネルギーの導入量が年平均負荷の2倍かそれ以上となる。変動吸収には既存の揚水や火力に加え、大規模な蓄電設備の増設、送電網の拡張やデマンドレスポンスなどの需給調整手段が必要になる可能性がある。

■ なお、2050年の総発電量はレファレンスシナリオで2022年から1.6倍、技術進展シナリオでは2.0倍になる。いずれのシナリオでも、電力需要の急速な増加に対する発送電能力の拡張が必要になる。

■ ③CCUSは、2050年には産業や発電を中心に合計5.1 Gt-CO₂の導入が見込まれる。発電における削減ポテンシャルが大きく、また製鉄やセメントなど電化による排出削減の余地が限定的な産業部門においても、水素などと並んで今後の主要な脱炭素化手段となる。

化石燃料需要は不確実: シナリオ間で大きな幅

■ 化石燃料需要には2つのシナリオで大きな差異があり、その将来には大きな不確実性が示唆される。レファレンスシナリオにおける2050年の石油・ガス需要はいずれも2022年を上回るが、技術進展シナリオにおける同年の需要は石油で40%、ガスは7%程度2022年を下回る。その不確実性をもたらす主要因として、石油は道路部門(電気自動車へのシフトに加え、ハイブリッド車の導入や内燃機関車の効率改善)、ガスは発電と産業におけるエネルギー選択があげられる。不確実性があるとはいえ、相当の将来期間にわたって化石燃料が世界で利用され続けること、既存の生産能力は自然減退を続けることなどを考えれば、化石燃料安定供給には必要十分な投資を実施し続けることが欠かせない。エネルギー転換に向けた取り組みを進める中でも、化石燃料安定供給は重要課題であり続ける。

LNG・天然ガスの役割発揮に向けて

今後もLNGは重要な役割を果たす——LNG需要は増加する見通し

- エネルギートランジションに向けて、エネルギー安全保障と脱炭素化の両立にとって現実的なソリューションとして、液化天然ガス(LNG)・天然ガスは重要な役割を果たすことが期待される。LNGの歴史を振り返ると、これまでも各時代の要請に応じ、役割を拡大、発揮してきた。今後も現実的で信頼できるエネルギー源として、LNGはエネルギー転換の中で重要な役割を担うことになろう。
- IEEJ Outlook 2025では、レファレンスシナリオでは世界のLNG需要は現状から74%増加する見通しである。脱炭素化・エネルギー安全保障強化のため、最大限の技術導入を見込む技術進展シナリオでも、世界のLNG需要は2040年頃までは拡大し、その後低下するものの2050年の需要は現状並みとなる。需要拡大の中心の1つは、東南アジア新興市場であり、特に発電部門が中心となる。これらのシナリオで想定している省エネルギー改善が実現しない場合にはガス・LNG需要がさらに上触れする可能性もある。
- ウクライナ危機によってエネルギー安定供給の重要性が高まり、エネルギー転換の中でもエネルギーコストの抑制が重視される中、LNGの重要性、特に長期的なLNGの役割への期待が高まっている。そのためにはLNG市場の安定がますます重要となる。直近のエネルギー危機に対応する柔軟性をLNGが提供した。近年の需給関係・価格の不安定化は、長期的視点での市場安定化対策の重要性を示している。

LNG・天然ガス安定供給に継続的な投資が必要

- LNG生産部門には、2050年までの期間に、1,000万t/年～2,000万t/年分の継続的追加が必要となる。これには、需要増加対応、既存ガス田・設備減耗分補完のため、新規プロジェクト・既存プロジェクトへの代替ガス供給・既存LNG設備の改修対応分が含まれる。
- 過去3年間の最終投資決定(FID)状況はこれを上回る。しかし既建設決定分の実現にも不確実性があり、実現しない・遅延の可能性にも留意すべきである。

LNG市場安定化への長期的課題

- トランジションの不確実性に対応する現実的なソリューションとして、LNGの役割への期待は高いが、期待を果たすためLNG市場および関連プレイヤー側の取り組みが必要である。企業レベルでは、メタン・温室効果ガス(GHG)排出対策強化・目標設定および的確・タイムリーな情報公開がカギとなる。また、LNG供給チェーン全体でのク

リーン化、脱炭素化も重要となる。さらに投融資対象としてLNGの優位性をアピールする必要がある。

■ 北米、オーストラリアなど、LNG生産拡大・維持に向け、規制面の安定・推進を消費国側からも働きかけること、開発への参加と開発への支援が重要になる。

■ 東南アジア新興市場をも含め、中長期的な需要アグリゲーションおよび市場開発支援がグローバルLNG市場の規模拡大、生産開発の支援につながる。

LNG生産プロジェクトの開発課題

■ 2010年代以降のLNG供給の急拡大は、その焦点地域をカタール、オーストラリア、米国と推移してきた。その中で開発コストは上昇傾向にあるが、浮体LNG生産、小・中規模液化、モジュラー方式などコスト削減努力もなされてきた。

■ 北米西海岸LNG輸出開始は、輸送隘路の回避、輸送ルートの短縮化・多様化などの面で、海上輸送面でゲームチェンジャーとなる。

■ 米国輸出キャパシティは今後数年間堅調に拡大するが、長期開発が「一時停止」および規制の不透明状況により不確実化している。2024年、米国のFIDが停止状態にある。進行中案件に法廷リスク、完成リスクも顕在化している。LNG輸入国側から開発への積極参加、期待表明が重要である。

■ 過去数年間の堅調なFIDには、買主の長期コミットメントがカギとなった。こうしたコミットメントに、ポートフォリオプレイヤーによるものが重要性を増しており、日本LNG買主のコミットメントは比重低下している。

■ 中期的に堅調な生産キャパシティ増加が期待されるが、建設遅延傾向が常態化している。増加する供給はアジア市場などで吸収されるとも考えられ、「供給過剰」は現実化しない可能性がある。

■ 主要LNG輸出地域では、資源ポテンシャルとともに、課題も抱えている。オーストラリアは既存ガス田および周辺地域の開発による安定生産維持が課題となる。カタールは超大型拡張計画がクリーン化対策も織り込みつつ進行中で、追加マーケティングが注目点となる。東アフリカは資源ポテンシャル大きいですが、本格的拡張は足踏み状態にある。

LNG輸送ボトルネック、生産設備トラブルが市場バランスに影響

■ 重要航路にボトルネックが発生し、需給ひっ迫時には大きな障がい要因となる可能性が高い。長期的なLNG輸送戦略構築が必要となる。

LNG生産設備の計画外停止が増加し、需給バランスひっ迫時には状況を深刻化する可能性が高い。これにも長期的視点での対処が必要となる。

エネルギー安全保障のリスクシナリオ

必要な量のエネルギーを妥当な価格で確保することは社会や経済に不可欠である。しかし、エネルギーの安定供給はさまざまな要因によって脅かされることを歴史が証明している。エネルギーの安定供給、あるいはエネルギー安全保障には、さまざまなリスクが影響を及ぼすが、リスクの所在やその影響を正しく理解し、必要な対策を講じることが重要である。以下では、今日の国際エネルギー情勢を踏まえ、特に重要度が高いと考えられる5つのリスクを特定し、検討を行う。

化石燃料過少投資のリスク

IEEJ Outlook 2025のレファレンスシナリオでは、2050年時点でも化石燃料は世界のエネルギー需要の73%を賄う。需要地域ではアジアの重要性が高まるが、供給地域では中東、北米(石油、天然ガス)、アジア(石炭)のシェアが高い。これらの供給地域を中心として、安定的な投資が化石燃料の安定供給にとって死活的に重要である。長期にわたるエネルギー転換の過程において、需要に見合う供給を確保するための投資が進まなければ化石燃料需給はひっ迫する。

「あるべき姿」として描かれたGHG排出ネットゼロの世界では、化石燃料需要が現状から急減するため、新規の化石燃料投資が不要であるとの分析が示される場合が見られる。「あるべき姿」と現実との関係の不整合から化石燃料投資が不十分になるリスクが顕在化している。追加投資をしなければ2050年の石油・天然ガス生産量は自然減退によって現状の約10分の1にまで激減する。現実の世界における化石燃料需要とは大きなギャップが生じる。

過少投資の影響で石油・天然ガス需給がひっ迫すると価格が上昇する可能性が高い。石油・天然ガス輸入価格が仮に50%上昇すると、アジアの主要輸入国・地域の国内総生産(GDP)に占める石油・天然ガス純輸入額のシェアは1%~3%ポイント上昇する。特にインドやASEANといった途上国での影響がより懸念される。

深刻化・多様化する地政学リスク

地政学的リスクは、引き続きエネルギー安全保障における大きな懸念材料であり続ける。原油輸入の中東依存度が高まる中(日本の2023年実績95%)、ガザ情勢の深刻化やイ

ラン・イスラエル間の対立の深化等によって、日本にとっての中東地域の地政学的リスクはさらに深刻なものとなっている。

■ 資源輸出国・地域の政情不安定化リスクに加えて、近年は先進国の政策変更もリスク要因になっている。日本の石炭やLNGの輸入は先進国への依存が高い(石炭81%、LNG 50%: 2023年)が、米国やオーストラリアでは国内の気候変動問題への関心を反映して、国内資源の開発や輸出の将来に不確実性を高めるような政策が導入されており、中長期的な市場安定にとっても課題となることが懸念される。

電力供給不安定化のリスク

■ デジタル化と電力化の進展で、社会の電力依存度が飛躍的に高まっている。特に電気自動車の普及やデータセンターの拡大により、電力需要が増加している。脱炭素化の取り組み強化自体が電力化を促進する。

■ カーボンニュートラルへの移行で、再生可能エネルギー電源の導入が進んでいる。太陽光や風力などの自然変動性再生可能エネルギー電源は、天候や季節で発電出力が変動する特性を有する。これらの変動型電源のシェアが高まる中で電力安定供給の確保を図る必要がある。

■ 電力安定供給を維持してゆくために考慮しておくべきリスクとしては、電力供給面では、化石燃料の供給減少リスク、化石燃料の価格変動リスク、地政学的リスク、再生可能エネルギー電源の出力変動リスク等が考えられる。また電力需要面では、電力需要の増加リスク、電力需要施設の偏在化リスク等が考えられる。これらのリスクに対しては、化石燃料調達や、原子力などベースロード電源の確保、供給力の確保、電力システムの最適化という方向で対応を進める必要がある。また、安定供給のためのベストミックスの追求も不可欠である。

重要鉱物供給のリスク

■ 脱炭素技術の製造能力やクリーンエネルギー投資のための原材料として不可欠な重要鉱物の中には市場集中度が高いものがあり、エネルギー転換を進めるうえでの新たなリスクとして認識されるようになっている。

■ 重要鉱物の市場は化石燃料市場に比べて規模が小さく未成熟であることから、市場支配力の行使、需給のインバランス、それらにともなう価格の乱高下などが起こりやすい。クリーン技術の将来需要には高い不確実性が存在することや、新たな資源開発には10年程度かそれ以上の期間を要することが、供給源多角化に向けた投資を難しくしている。

これらの戦略物資の安定供給確保を巡る国際競争が激化している点や、資源ナショナリズムの高揚などにも留意する必要がある。

■ 供給国の集中度が高い脱炭素技術だけでなく、リスクの所在や程度の異なるさまざまな技術を組み合わせることによって、リスクの軽減が可能である。それら技術の開発と市場創出を進めなければならない。

エネルギー転換に伴うサイバー攻撃リスクの増大

■ 2010年半ば以降、世界では重大なサイバー攻撃事象の数が大きく増えている。エネルギー転換に伴う電力化やデジタル化、ネットワーク接続の進展がサイバー攻撃の潜在的なリスク要因としての重大性を高める結果となっている。

■ サイバー攻撃には多様なパターンが存在し、その実施主体や目的、攻撃対象もさまざまである。今後の国際エネルギー情勢を見るうえでは、基盤インフラストラクチャーであるエネルギーに対するサイバー攻撃はエネルギー安全保障における重要課題となる。地政学リスクとの関わりも見逃せず、エネルギー供給への脅威という形での武器化の可能性にも留意する必要がある。攻撃のパターンに関しては、過去のエネルギー資産に対するサイバー攻撃の事例から、①マルウェアを介した遠隔操作やシステム機能不全、②ランサムウェアによる身代金の確保、③大量アクセスによるシステムダウン、といったパターンを抽出できる。

第I部

エネルギー需給展望

1. 見通しの枠組み

1.1 モデルの概要およびシナリオ設定

世界のエネルギー需給を2050年までにわたり定量的に評価するため、計量経済的手法を中核とした定量分析モデルを用いてエネルギー需給見通しを作成した。モデルのベースとなるのは国際エネルギー機関(IEA)のエネルギーバランス表であるが、その他にも各種経済指標や人口、自動車保有台数、素材生産量等、エネルギーに関連するデータを収集し、モデル化を行った。本年はカンボジアとラオスをその他アジアから分離して世界全体を図1-1に示す44地域²と国際バンカーに分割し、それぞれを対象として詳細な需給モデルを構築したうえで分析した。

図1-1 | 地域区分



出所: [地図] www.craftmap.box-i.net

試算にあたっては、以下の2つの中核的なシナリオを想定した。

レファレンスシナリオ

本研究における中核的なシナリオである。このシナリオでは過去のすう勢および現在までのエネルギー・環境に係る政策・技術等に従って将来の見通しが作成される。ここでは今後、過去の延長上に見込まれる政策等の効果を織り込む——すなわち、政策・技術等の現状固定

² 詳細な定義は付表1を参照

を意味するものではない。一方で、すう勢を逸脱した急進的な省エネルギー・低炭素化政策は打ち出されないものと想定している。

技術進展シナリオ

このシナリオでは、世界のすべての国において、エネルギー安定供給の確保、気候変動対策、大気汚染対策などの強化に資するエネルギー・環境政策等が強力的に実施され、それが最大限奏功することを想定している。具体的には、図1-2に示すエネルギー需要側・供給側の先進的技術が世界各国で現実社会での適用機会・受容性を踏まえて最大限に導入されると想定している。

図1-2 | 導入技術の想定例[技術進展シナリオ]

環境規制や国家目標の導入・強化

国家戦略・目標設定、省エネルギー基準、燃費基準、低炭素燃料基準、省エネルギー・環境ラベリング制度、再生可能エネルギー導入基準、固定価格買取制度、補助金・助成制度、環境税、排出量取引等

技術開発強化や国際的な技術協力の推進

研究開発投資の拡大、国際的な省エネ技術協力(鉄鋼、セメント分野等)や省エネルギー基準制度の構築支援等

【需要サイドの技術】

■産業部門

最高効率水準の産業プロセス技術(鉄鋼、セメント、紙パルプ等)が世界的に普及、水素還元製鉄技術の導入

■運輸部門

クリーンエネルギー自動車(低燃費車、ハイブリッド車、プラグインハイブリッド車、電気自動車、水素燃料電池車)の普及拡大

■民生部門

省エネルギー家電(冷蔵庫、テレビ等)、高効率給湯器(ヒートポンプ等)、高効率空調機器、高効率照明の普及拡大、断熱強化

【供給サイドの技術】

■再生可能エネルギー

風力発電、太陽光発電、太陽熱発電、バイオマス発電、海洋発電、バイオ燃料の普及拡大

■原子力導入促進

原子力発電建設加速、設備利用率向上

■高効率火力発電技術

SC、USC、A-USC、石炭IGCC、天然ガスMACC IIの普及拡大

■水素由来の技術

水素・アンモニアを燃料とした火力発電、水素を利用した合成メタン・合成燃料

■次世代送配電技術

低損失型の変電設備、電圧調整装置

■二酸化炭素貯留・利活用技術(CCS・CCUS)

注: SCは超臨界圧火力発電、USCは超々臨界圧火力発電、A-USCは先進超々臨界圧火力発電、IGCCは石炭ガス化複合発電、MACCは1,600°C級コンバインドサイクル発電

1.2 主要前提

エネルギー需給構造は、上記のエネルギー利用技術、エネルギー・環境政策のみならず、人口や経済成長等の社会・経済要因、エネルギー価格等にも大きく左右されうる。このうち、経済成長、人口については、レファレンスシナリオ、技術進展シナリオ共通の想定を置いている。

経済情勢

最近の情勢

2023年は、2022年に生じた世界的なインフレーション(インフレ)の加速等を要因としたスタグフレーションや景気後退が懸念されたものの、底堅い成長が見られた。想定より速いペースでのインフレの落ち着きや、労働参加率の上昇などによる供給の拡大、個人消費や政府支出の増加による需要の下支えなどが主な要因となった。ただし、2023年の経済回復には国・地域ごとに差が見られた。先進国では、米国の成長が際立つ一方で、ヨーロッパの成長は先進国平均を下回った。新興・途上国では、インドが成長著しい一方、中国は新興・途上国平均なみの成長となった。

米国は、新型コロナウイルス感染症(COVID-19)拡大にともなう行動制限などにより増加した余剰貯蓄の取り崩しなどを背景とした堅調な個人消費と、インフレ抑制法(IRA)などの積極的な産業政策による設備投資に支えられ、急速な金融引き締めが講じられた中、底堅い成長を示した。連邦準備制度理事会は、インフレ対策として、2022年3月にゼロ金利政策を解除して金融引き締めへ転じ、政策金利を5.25%から5.5%の幅まで引き上げた。この2001年以来23年ぶりとなる高い金利水準は、2023年中継続することとなった。これにより物価高の抑制が進み、2024年9月には0.5%の大幅引き下げが発表された。米国が景気失速を避けながら金融引き締めから脱却できるかどうかは、世界経済の先行きを大きく左右する。11月に控える大統領選挙の結果に影響を受けることも考えられるため、見通しは依然不透明な状態が続く。

ヨーロッパは、インフレの高進が収まりつつあるものの、消費者マインドの悪化や貯蓄意欲の高まりなどによる購買力の低下や、金融引き締めなどが下押し要因となり、経済は弱い状況が続いた。とりわけ、ユーロ圏最大の経済規模を持ち、エネルギー供給をロシアに依存していたドイツ経済が不振だった。欧州中央銀行や英国の中央銀行であるイングランド銀行が2023年に行った複数回の利上げにより高インフレは収まりつつあり、2024年には利下げに転じた。先行きについては弱さが見込まれるものの、インフレ率の低下や堅調な労働市場が後押しとなり、消費が徐々に回復して経済活動は緩やかに加速すると予想されている。一

方、ロシアのウクライナ侵攻長期化や異常気象などによる不確実性は大きく、経済の低迷は続くという見方もされている。

中国は、ゼロコロナ政策が終了したことで、消費を中心に景気持ち直しの動きを見せたものの、2020年に不動産バブルを警戒して導入された規制を契機とする不動産市場の停滞が継続的な下押しをもたらし、景気回復は足踏み状態となった。こうした状況を踏まえ、政府は景気対策のための国債追加発行や、内需拡大のための消費・投資の好循環を形成に向けた経済政策方針の発表を実施している。一方、中国の人口はすでに減少局面に入っており、国際連合は、2050年には生産年齢人口比率が現在の60%程度から50%程度まで低下すると見込んでいる。前述した不動産市場の停滞は今後も継続する可能性があり、こうしたことから経済の減速傾向は当面続くものと見込まれる。

インドは、好調な内需に支えられる形で、2022年に引き続き高い経済成長を維持した。サービス業の付加価値比率上昇が著しい一方、製造業の付加価値比率は伸び悩みを見せているが、生産活動自体は旺盛であった。今後も輸出の回復と堅調な内需により、高い経済成長を維持するものと見込まれる。

将来の想定

経済成長率については、各国政府の経済開発計画や各国シンクタンク等の見通しも参考にしながら、以下のとおりの想定を置く：

2024年は、世界全体では2023年のプラス成長が継続し、2.7%成長となる。2024年以降の経済成長率は、2%台後半から2%台前半へと、2050年に向けて徐々に低下してゆく(図1-3)。ロシアによるウクライナ侵攻の長期化は、局地的・短期的な影響はあるものの、世界経済に対しては甚大な影響は及ぼさず、中長期的には多くの国で経済は成長してゆく。ただし、そのためには生産性の向上、技術イノベーション、適切な財政・金融・分配政策、国際協調行動、安全保障の確保などが欠かせない。

先進国は成長が実績期間よりも若干弱まり、年率1.7%で成長が続く。新興・途上国は同3.8%の成長が続く。特にインドでは、1990年以降の実績の年率5.7%を上回る、世界で最も高い同6.0%で成長する。中国は、減速傾向が続くものの同3.6%の成長となり、世界全体の成長をけん引する。アフリカと東南アジア諸国連合(ASEAN)はどちらも同4.4%の成長となり、新興・途上国全体の成長率を上回って推移する。

これらから、見通し期間における世界の経済成長率を年率2.7%とする(図1-4)。

図1-3 | 世界の経済成長率

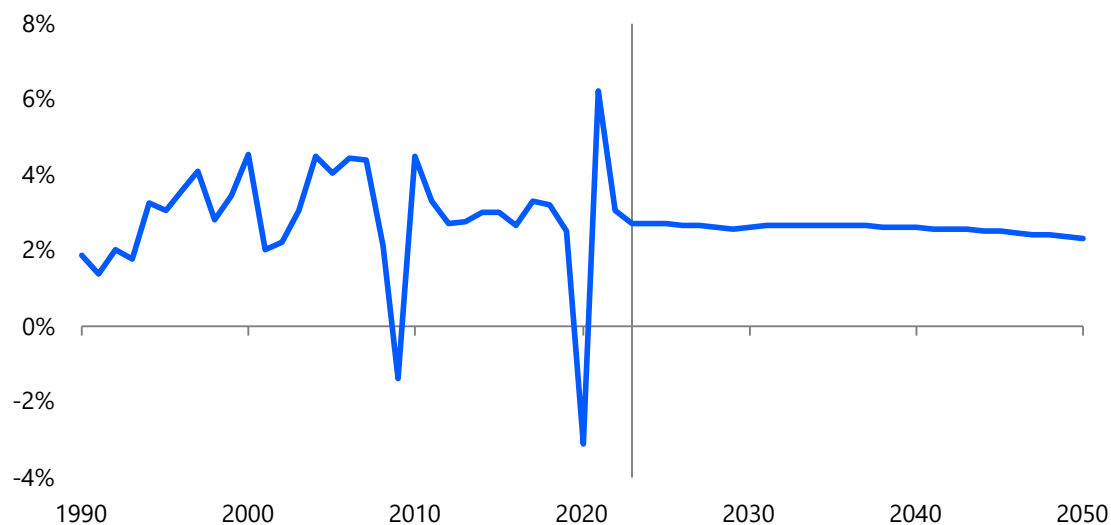
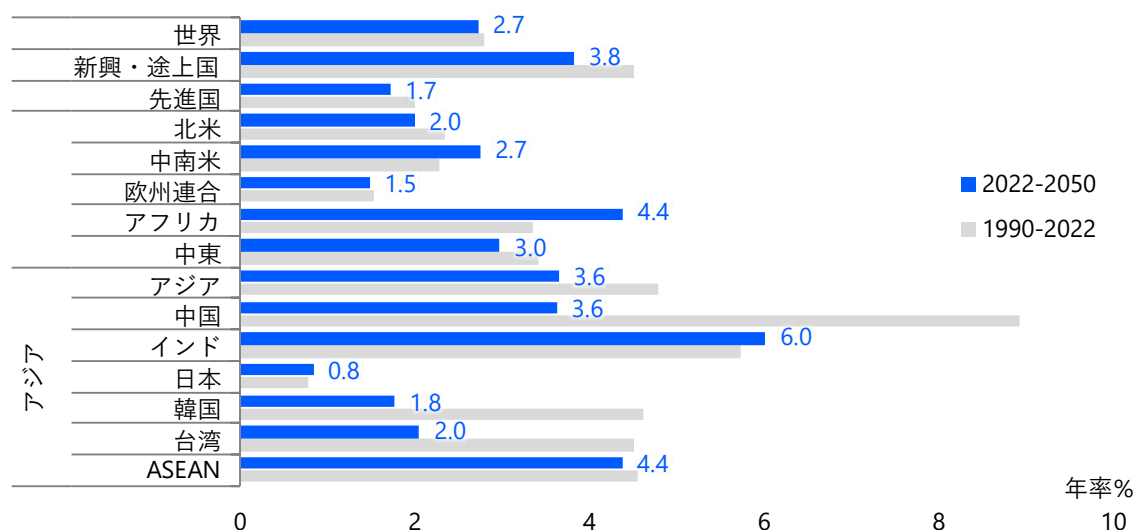


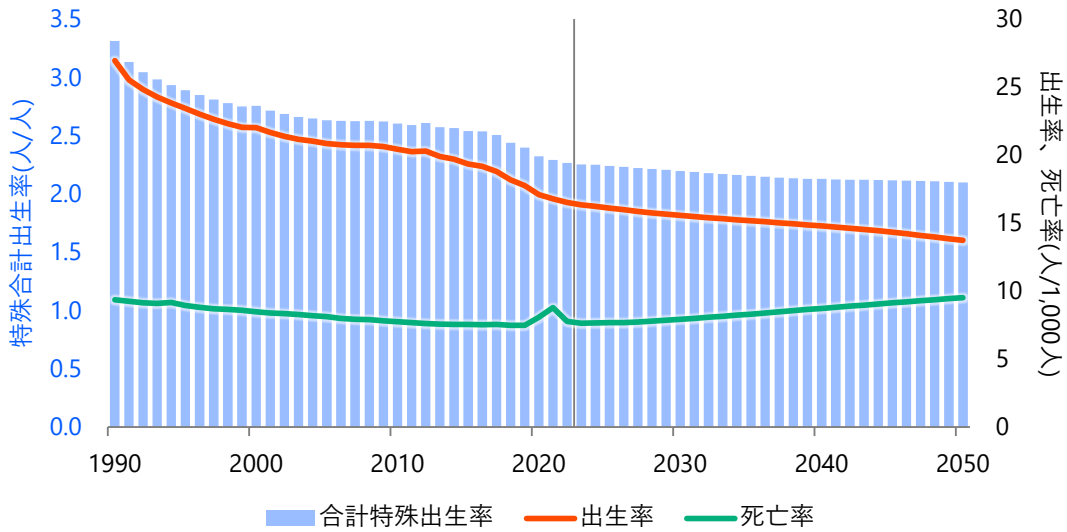
図1-4 | 主要国・地域の経済成長率



人口

人口の想定においては、国際連合の“World Population Prospects”等を参照した。多くの先進国では、1人の女性が一生で産む子供の平均数である合計特殊出生率が2を大きく割り込んでいる。新興・途上国でも、所得水準の上昇や女性の社会進出にともなって出生率は低下傾向にある。一方、医療技術の発展と食料事情・衛生状態の改善によりこれまで低下傾向にあった死亡率は、COVID-19拡大時の一時的な急上昇は収まったものの、2022年以降は中長期的に上昇してゆくと見込まれている。

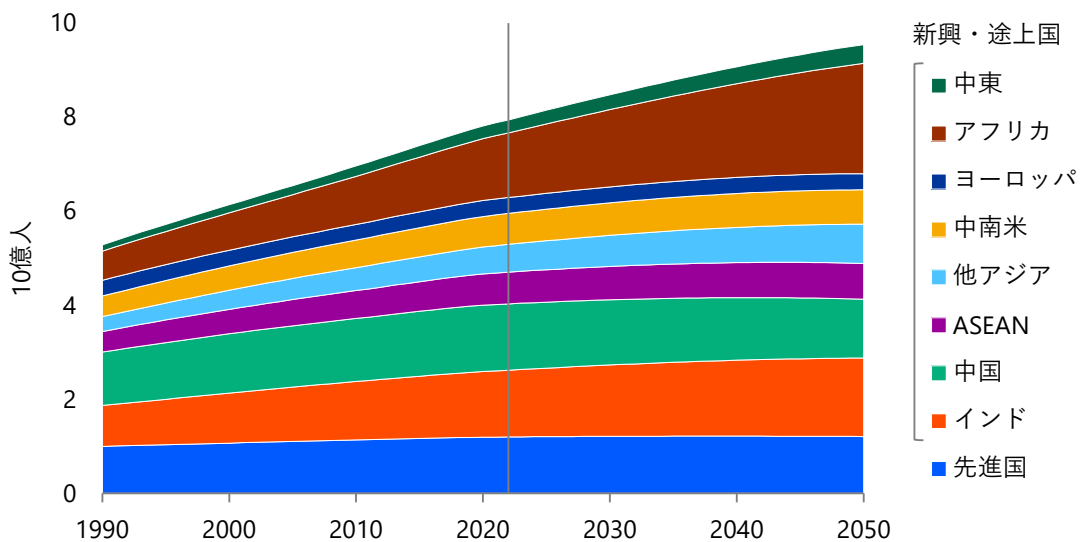
図1-5 | 世界の合計特殊出生率、出生率、死亡率



出所: 国際連合「World Population Prospects 2024」

このように世界的な少子高齢化が進むことで、人口増は続くものの、そのペースは鈍化してゆく。世界の人口は今後も年平均0.7%の増加基調で推移する。その結果、1990年に53億人、2022年に79億人であった世界の人口は、2050年には95億人に達する(図1-6)。

図1-6 | 人口



先進国のうち北米は、特に米国において国外からの人口流入が多くまた出生率も相対的に高いことから、人口は比較的堅調に増加し、2050年には4億1,700万人となる。しかし、そのテンポは緩やかなものにとどまり、世界に占める割合は微減となる。欧州連合(EU)の人口は、ウクライナ侵攻による移民影響もあって2020年代前半にピークを迎えるも、その後減少

に転じて2050年には4億2,600万人となる。アジアでは、日本は2011年より減少に転じており、2050年には2022年時点から2割減少して1億500万人となる。韓国も2021年から減少に転じており、2023年は微増したが2050年には4,500万人となる。

他方、新興・途上国では、アフリカやインドなどがけん引することで人口が引き続き大きく増加する。アフリカは、出生率は徐々に低下するものの死亡率も減少するため、2050年には現在の約7割増となる23億4,400万人となる。中東は、政府が人口を増やすために資金面で優遇策を採っていること、域外からの流入が増加することなどから5割増加し、2050年には3億9,800万人となる。アジアでは、2023年に中国を抜いて世界最多の人口を擁するようになったインドが高い増加率を維持して、2050年には世界最大の16億7,000万人に達する。中国は、2021年にピークを打ってすでに減少が始まっており、2050年に向けて12億4,900万人まで減少する。ASEANは、2050年までに1割増加して、7億6,800万人に達する。

国際エネルギー価格

最近の情勢

原油価格は、ウクライナ侵攻勃発後の2022年3月にBrent価格で\$130/bbl近くにまで高騰したものの、以降供給途絶懸念が低下し、需要減少懸念が高まったことで年末には\$80/bbl前後にまで低下した。2023年は、年初\$80/bbl前半から始まり、いくつかの価格下落・上昇を経て、9月末には\$100/bblに迫る水準となった。米国や欧州を中心にインフレが進行し、物価高の抑制を目的とした中央銀行等による金融引き締めがあった中、サウジアラビアやロシアをはじめとしたOPEC³プラス産油国による追加減産や、中国等による堅調な需要回復などが影響した。以降は低下トレンドで推移し、10月にはイスラエル・ハマス間の軍事衝突があったものの、価格への影響は小幅なものにとどまった。加えて、11月末に実施されたOPECプラス閣僚級会合で、OPECプラス全体としての公式な原油生産目標引き下げが見送られ、一部産油国による自主的な追加減産の実施にとどまったことから、12月末の原油価格は\$80/bblを割り込むまで下落した。2024年は、OPECプラスによる減産継続、イスラエルによる在シリア・イラン大使館空爆などの中東情勢の緊迫化、中国・米国など主要な需要地域での景気動向影響を受けて価格は上下しているものの、Brent価格はおおむね\$70/bbl～\$90/bblというレンジで推移している(図1-7)。

³ 石油輸出国機構

図1-7 | Brent原油価格



出所: インターコンチネンタル取引所

天然ガス価格に関しては、スポット液化天然ガス(LNG)・スポットガス価格が、2022年12月後半より下降傾向となり、アジアLNG市場の中で原油連動長期契約LNG価格の優位性が相対的に薄れているが、こうした状況も短期間で変動する可能性がある。2022年平均のアジアのスポットLNG価格\$35/MBtu⁴、ヨーロッパのスポット天然ガス価格(Title Transfer Facility [TTF]、翌月渡し) \$43/MBtuから、2023年平均はいずれも\$13/MBtu~\$14/MBtu前後、2024年上半期平均は\$9/MBtu~\$10/MBtu前後となった。なお2022年にはTTFがアジアスポットLNG価格に対して継続的にプレミアムで取り引きされたことが、グローバル市場におけるLNGのヨーロッパ向けシフトにつながった。

これらスポットLNG、スポット天然ガス価格(ヨーロッパ)は、2020年の低迷後、2021年後半以降、高騰し、変動激化が加速した。この中で、2021年8月から2023年4月は継続的にスポットLNG・天然ガス価格が熱量ベースで原油価格を上回った。その後、おおむね天然ガス価格は原油価格に比して低い状況に回帰しているものの、2021年前半以前の低水準を上回っている。

2023年4月以降は、ヨーロッパ天然ガス危機感の緩和、直近のLNG供給堅調見通しにより、先行き見通しにも緩和傾向(価格低下の見通し)が観察される。しかし、ヨーロッパ向けのロシア産パイプラインガス供給の一段の減少およびその先行き、中国のLNG引き取り回復状況、予想外のLNG生産トラブルがあれば、需給バランスが急速に反転する可能性はある。例として、2024年7月、米国でのハリケーン影響による一部LNG生産の停止により、アジア

⁴ 英国熱量単位(British Thermal Unit)

のスポットLNG、ヨーロッパのスポット天然ガス価格ともに北半球夏季としては相対的に高水準を維持した。

日本平均LNG輸入価格は、2022年6月までの日本平均原油価格の上昇にともなって、2022年9月に過去最高の\$22.71/MBtuを記録した。その後、原油価格の2022年7月以降の下降傾向も一因として、2024年6月には\$11.46/MBtuに下落している。

一般炭価格は、COVID-19からの経済回復による需要の急増に加え、ウクライナ侵攻によりEUや日本等がロシア炭から他ソースへ切り替える動きが強まった影響や、産炭国における悪天候等の生産制約が生じたことで、2022年には一時\$400/tを超える水準まで価格が急騰し、過去最高値を大幅に更新した。その後、中国やインド等、非制裁国へのロシア炭の供給、主要産炭国の天候回復、エネルギー・鉄鋼需要の低迷等から値下がりに転じた。2024年には一時\$100/tを下回ったが、その後回復し6月時点では\$130/t台で推移している。2022年の高騰時と比較すると大幅に低下したものの、COVID-19前と比較すると依然として高水準のままとなっている。加えて、脱石炭の潮流下で石炭投資が行われなくなりつつあることで供給力の柔軟性が低下しており、石炭市場においては構造的な不安定さが顕在化しつつある。

レファレンスシナリオ

レファレンスシナリオでの石油需要は、引き続きアジアがけん引するが、需要増加の中心は中国からインドやASEANに移行する。供給側では、2030年ごろまでは非OPECの増産が続くものの、それ以降はOPECへの依存度が高まる。2050年まで需要は増加し続け、需給を均衡させる原油価格は中長期的に上昇する。実質価格(2023年価格)は、2030年に\$85/bbl、2050年には\$95/bblと想定する(表1-1)。想定インフレ率3%/年程度の下での名目価格は、2030年に\$105/bbl、2050年には\$225/bblとなる。

天然ガス価格のうち日本の価格に関して、本価格想定においては、日本の輸入価格のうち、原油価格影響を受ける部分の原油に対する係数は、原油消費量の減少傾向を織り込んで下げる。今後、米国本土のLNG輸出が増加、定常化することにより、調達先の多様化や仕向地制限条項の撤廃・緩和に向かうことが期待され、原油価格とは次第にかい離してゆくことを織り込んでいる。さらに日本の価格水準が新興市場も含めたアジア市場の価格水準とも相互に影響を及ぼすことを考慮している。これにより原油価格影響を受ける比率を2030年時点で70%、その後2050年時点で50%に漸減するものと設定する。また日本の輸入価格のうち、天然ガス価格連動部分は、比率を30%から50%に漸増するものとしたうえで、米国ヘンリーハブ価格に一定の割り増し係数を乗じたうえで、一定のマージンを加える。

表1-1 | 国際エネルギー価格想定

実質価格			レファレンス			技術進展		
			2023	2030	2040	2050	2030	2040
原油	\$2023/bbl	82	85	90	95	80	75	70
天然ガス								
日本	\$2023/MBtu	13.7	9.3	8.8	8.5	9.0	8.1	7.6
ヨーロッパ(オランダ)	\$2023/MBtu	13.1	9.8	9.7	9.5	9.7	9.2	8.8
米国	\$2023/MBtu	2.5	3.0	4.0	4.0	3.4	4.1	4.0
一般炭	\$2023/t	243	105	110	110	100	95	90

名目価格			レファレンス			技術進展		
			2023	2030	2040	2050	2030	2040
原油	\$/bbl	82	105	153	225	98	125	160
天然ガス								
日本	\$/MBtu	13.7	11.5	14.8	20.1	11.0	13.4	17.3
ヨーロッパ(オランダ)	\$/MBtu	13.1	12.0	16.4	22.4	12.0	15.2	20.0
米国	\$/MBtu	2.5	3.7	6.8	9.5	4.2	6.8	9.1
一般炭	\$/t	243	130	186	260	123	158	206

注: インフレ率を年率3%程度として算出。

米国ヘンリーハブは、米国エネルギー情報局(EIA)による長期見通しAnnual Energy Outlook 2023年版⁵のレファレンスシナリオを参考にしつつ設定している。米国は、豊富な供給力を背景に今後も他地域と比較して廉価で推移する。足元の開発状況も踏まえ、2030年に向けては下落する。その後は、開発・生産コストの相対的上昇と域外輸出も含めた需要の増加により、2040年に向けて上昇、以降は横ばいとなる。ヨーロッパの価格のうち、原油価格影響を受ける部分の係数は、原油消費量の減少傾向に一致して下げる。従来ヨーロッパの天然ガス市場で安定価格を支えていたロシア産パイプラインガスからのフェーズアウトを反映して、高めとなる。

今後の新規LNGプロジェクト、既存LNGプロジェクトに順次、二酸化炭素回収・貯留(CCS)、電化が組み込まれてゆく想定だが、これによる投資コスト増加、これによる価格上乘せ・プレミアムは、本価格想定には織り込まない。すでに、クリーン性で差別化したLNGへのプレミアムのポテンシャル議論も浮上する一方で、温室効果ガス(GHG)対策追加コストを価格に織り込まないことを明言している生産者、プレミアム化を懸念する消費者も存在する。

石炭価格(オーストラリアニューカッスル港出し一般炭本船渡し[FOB]価格)は、2022年には主要国によるロシア産石炭の禁輸措置などにより記録的な高値を付けたものの、世界的

⁵ 同書は2024年発行予定なし。

な供給不安はすでに足元で緩みつつあり、価格も落ち着きを見せている。以降は、世界的なカーボンニュートラルの動きもあって需要が減少する中でも、新規投資が行われなくなることと需給が段々とタイト化し、実質価格は2050年には\$110/tとなる。インドやASEAN等のアジア諸国において発電用需要が増加する一方で、供給サイドでは環境規制の強化、脱炭素潮流により石炭の生産能力拡大は、特に先進国において今後ほとんど行われなくなると見込まれる。これにより、季節要因や需給バランスの崩れによる短期的な変動のリスクが高まることが懸念される。

技術進展シナリオ

技術進展シナリオにおいては、省エネルギーや原子力、再生可能エネルギー、水素などへのエネルギー転換がより急速に進められることから、化石燃料需要は2030年ごろから減少する。需要が低迷する結果、化石燃料の価格は全般としてレファレンスシナリオと比較して廉価となる。エネルギー需要構造の円滑な転換とそれに対応した供給体制が構築されない場合は、価格の乱高下リスクが顕在化することもありうる。

世界の天然ガス需要は、2030年代にピークを迎え、その後漸減することとなる。日本向け価格のうち、原油価格影響を受ける部分の係数は、原油消費量の減少傾向に一致して下げる。また原油消費量の技術進展シナリオでのいっそうの減少傾向に一致してこの原油価格影響を受ける比率をレファレンスシナリオよりも低く、2030年50%、2050年40%に設定する。日本のうち、天然ガス価格連動部分は2030年50%、2050年60%とし、米国ヘンリーハブ価格に一定の割り増し係数を乗じたうえ、一定のマージンを加える。米国ヘンリーハブは、引き続き豊富な供給力を前提としつつ、EIAのAnnual Energy Outlook 2023年版も参照している。ヨーロッパのうち、原油価格影響を受ける部分の係数は、原油消費量の減少傾向に一致して下げる。また原油消費量の技術進展シナリオでのいっそうの減少傾向に一致してこの原油価格影響を受ける比率を引き下げる。

2. エネルギー需要

2.1 一次エネルギー消費

気候変動対策やエネルギー安全保障の観点からエネルギー消費のGDP原単位改善が進むものの、その量は増え続ける

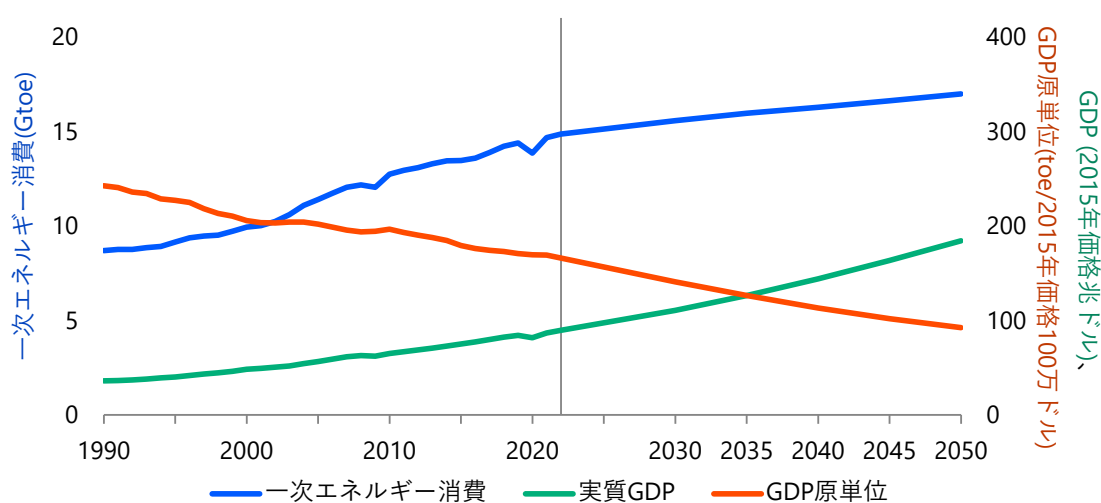
気候変動に関する政府間パネル(IPCC)の第6次評価報告書の第I作業部会報告書では「人間の影響が大气、海洋および陸域を温暖化させてきたことには疑う余地がない」と記されており、これらの対策として、150以上の国が二酸化炭素(CO₂)排出量ネットゼロを目指すカーボンニュートラル政策を2050年など期限付きで発表している。しかし、2023年12月にアラブ首長国連邦のドバイで開催された国連気候変動枠組条約第28回締約国会議(COP28)では世界全体の温室効果ガス(GHG)削減の進捗状況を評価する「グローバル・ストックテイク」が初めて実施され、パリ協定の目標達成にあたり、「世界の気温上昇を1.5°Cに抑える」という目標まで隔たりがあること、1.5°C目標に向けて行動と支援が必要であることが強調された。1.5°C目標を達成するために、2025年までにGHG排出をピークアウトさせ、2030年までに43%、2035年までに60%を排出削減する必要性が認識された。

さらに、2022年2月のロシアのウクライナ侵攻にともない、化石燃料供給や価格の不安定さが露呈し、エネルギー安全保障が脅かされる事態となった。2022年をピークとした化石燃料輸入価格の高騰は収まったものの、依然としてロシアや反イスラエル/反米勢力による騒乱等、中東における地政学的な不安定さが続いている。主要7か国(G7)や20か国・地域(G20)ではエネルギー安定供給や価格の安定化の必要性を明記している。各国がエネルギー転換の多様な道筋を確認しながら、クリーン技術を活用してさらなる省エネルギーや脱化石燃料への方向性を示しながら、それが自国の経済成長につながる政策を強化している。その中で、生成人工知能(AI)などによるデジタルトランスフォーメーション(DX)の進展にともなう電力需要増加の可能性などエネルギー需要を巡る不確実性は高まっている。

経済、気候変動、エネルギー安全保障対策の観点から世界各国では効率化および省エネルギーが進むことにより、2022年から2050年の世界の国内総生産(GDP)当たり一次エネルギー消費原単位は1990年から2022年よりも速く低下する(図2-1)。しかし、COP28では2030年までにエネルギー効率の改善率を2030年までに年間平均2%から4%に倍増することを約束したが、2022年から2030年まで2.0%、2035年まで2.1%と加速するも、2050年までも2.1%にとどまる。世界のGDPはそれを上回るスピードで成長するため、世界の一次エネルギー消費は増え続ける。1990年から2022年まで年率1.7%であった一次エネルギー消費の伸びは、省エネルギーの進展により2022年から2035年にかけて同0.5%、その後2050年にかけて同

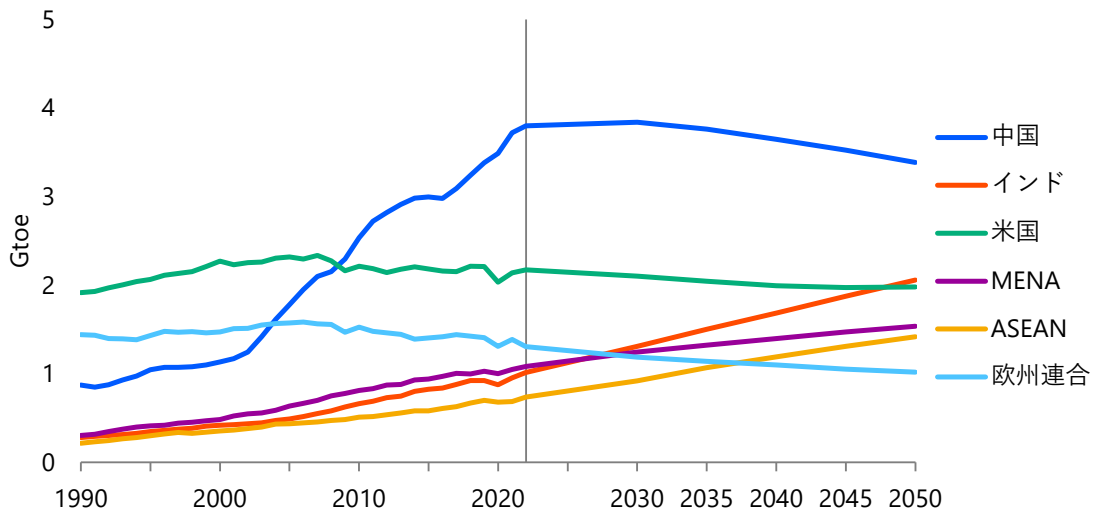
0.4%に鈍化するが、2050年の世界のエネルギー消費は2022年から2035年まで7%増加、石油換算15,956百万t (Mtoe)、2050年まで14%増加、16,984 Mtoeとなる。原子力や再生可能エネルギーなどの非化石燃料の供給増で新たな需要をすべて賄うことは困難である。世界全体での化石燃料の消費削減のためにはCOP28の目標を見据えて各国が効率をさらに高める必要がある。

図2-1 | 世界の一次エネルギー消費、実質GDP、対GDPエネルギー消費原単位[レファレンスシナリオ]



地域別では2000年以降、世界の一次エネルギー消費増加をけん引していた中国が、経済成長の鈍化に加え省エネルギーが進むことによって、2030年代前半をピークに減少に転じる。一方、インド、中東・北アフリカ(MENA)、東南アジア諸国連合(ASEAN)は増加の一途をたどる。この3か国・地域の2022年から2035年までの消費増分は世界の97%、2050年までは103%を占め、世界の一次エネルギー消費増大をけん引し、シェアは2022年の19%から2035年には24%、2050年には30%まで拡大する(図2-2)。したがって、先進国や中国のエネルギー消費の減少を加速させることに加え、インド、MENA、ASEANのエネルギー消費を抑制してゆくことの可否が世界全体のエネルギー消費の動向、ひいては気候変動対策やエネルギー安全保障対策の成否を左右する。

図2-2 | 主要国・地域の一次エネルギー消費[レファレンスシナリオ]



インド、MENA、ASEANの一次エネルギー消費は、2022年から2050年にかけてそれぞれ年率2.6%、1.3%、2.4%で増加し、世界シェアは12%、9%、8%となる。これはGDPが2050年まで年率5.8%、3.1%、4.2%の高成長を続けるためである。世界全体のエネルギー消費抑制の観点からは、インド、MENA、ASEANの経済成長とエネルギー消費の固い結び付きをほどこいてゆくことが、今後の世界的課題となる。

もっとも、エネルギー多消費国・地域である米国、欧州連合(EU)、日本などの先進国や中国においても気候変動対策やエネルギー安全保障対策の観点からエネルギー消費削減を継続することも不可欠である。米国ではインフレ削減法、EUではネットゼロ産業法や炭素国境調整メカニズム(CBAM)の導入、中国では2030年までのカーボンピークアウトに向けた行動方針等省エネルギーに資する気候変動政策が実施されている。しかし、日米欧、中国の世界シェアは、GDPで2035年は40%、21%、2050年は35%、23%を占めることもあり、一次エネルギー消費で2035年は22%、24%、2050年は20%、20%と引き続き大きなシェアを占める。つまり、この日米欧や中国がその消費や投資を通じて世界経済を安定的に成長させる役割を果たしつつ、気候変動やエネルギー安全保障対策で自らのエネルギー消費低減を加速することが世界全体のエネルギー消費抑制には引き続き重要である。

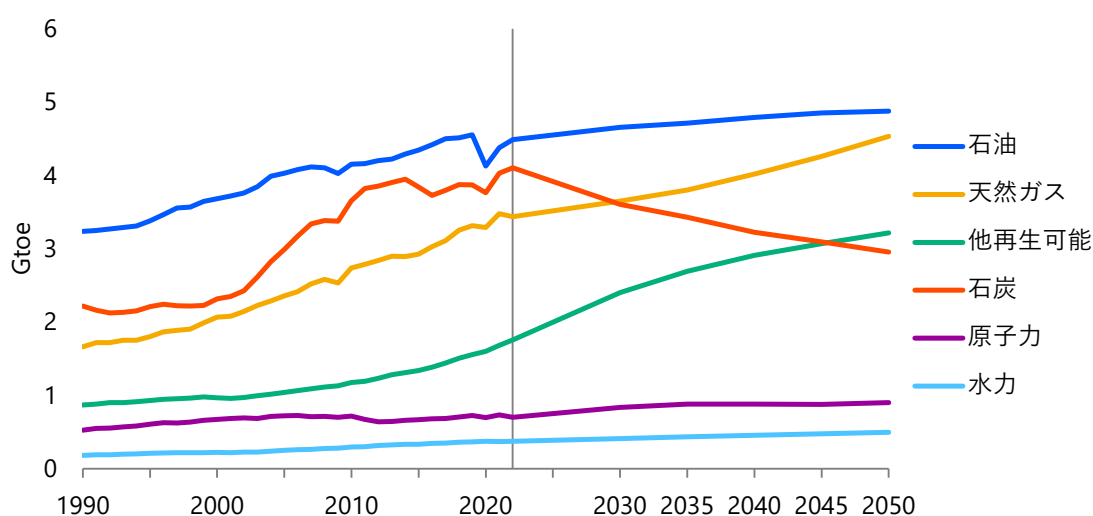
世界のエネルギー消費のさらなる抑制を図るためには、各国の政策に委ねるのみならず、先進国と新興・途上国の間および新興・途上国同士の間における国際協力の強化も期待される。日米欧等の先進国はこれらの新興・途上国に対し、パリ協定6条の活用や化石燃料供給の不安定さを中心としたエネルギー安全保障の懸念の共有等により、エネルギー消費を抑えつつ経済成長を実現できるような高効率技術の移転や支援などを行う必要があるだろう。

気候変動やエネルギー安全保障の高まりの中でも、天然ガスを中心に化石燃料消費は伸び続ける

世界的にカーボンニュートラルを目指す動きが出てきたことに加えてロシアのウクライナ侵攻を契機に、ヨーロッパを中心に化石燃料の安定供給への懸念が高まっている。さらに、気候変動対策ではCOP28で世界全体での再生可能エネルギー設備容量を2030年までに3倍、世界全体の原子力発電容量を2050年までに2020年比で3倍にすると野心的な目標が掲げられた。

しかし、原子力は現状の計画だと一次エネルギーベースで2050年に2020年比1.3倍にとどまる。再生可能エネルギーは2010年代の拡大を2020年代も維持するものの、2022年から2030年では1.3倍にとどまる。2030年以降は土地・系統制約から伸びが鈍化し、2035年には1.5倍、2050年には1.7倍となる(図2-3)。また、水素やアンモニアはコストに見合う需要が生まれず、導入は進まない。

図2-3 | 世界の一次エネルギー消費[レファレンスシナリオ]



化石燃料消費は、2020年には新型コロナウイルス感染症(COVID-19)の影響で景気悪化や外出自粛等もあり大きく減少した。しかし、COVID-19からの回復以降は増加傾向に戻り、2022年には過去最大となった。2030年までは石炭の減少が石油、天然ガスの増加を上回り化石燃料全体では減少するものの、以降は増加に転じて2050年は2022年比3%増となる。天然ガスは化石燃料の中で最も低炭素であることから、気候変動対策の観点から導入が進むことで最も増加する。2050年の消費量は発電部門での消費を中心に年率1.0%で増加して2022年の1.3倍になる。次に大きく増加するのは石油で、運輸部門(自動車、航空、船舶など)を中心に年率0.3%で拡大する。石炭は、G7で排出削減対策のない石炭火力発電を2035年ま

でに段階的に廃止することなど気候変動問題や中国を中心とした大気汚染等を背景とした利用抑制の動きがあり2050年まで年率1.2%で減少する。2040年代後半には水力を除く再生可能エネルギーを下回ることになる。

非化石エネルギーの利用が拡大するものの、それ以上に需要全体が増えることから、30年後においても非化石エネルギーだけでエネルギー消費を賄うことは非常に難しい。2050年までのタイムラインにおいては、世界、とりわけ消費が拡大する新興・途上国では、化石燃料と非化石エネルギーの併用が現実的である(図2-4)。

図2-4 | 一次エネルギー消費増減[2022年～2050年、レファレンスシナリオ]

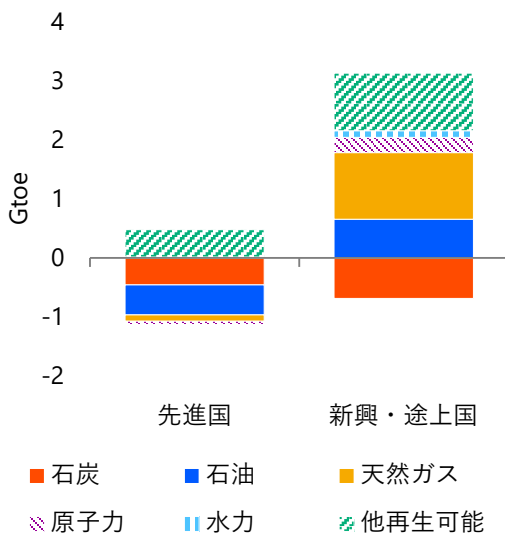
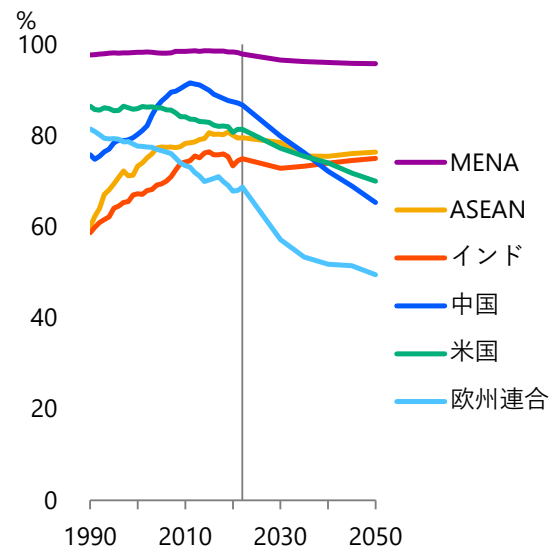


図2-5 | 主要国・地域の化石燃料依存度[レファレンスシナリオ]

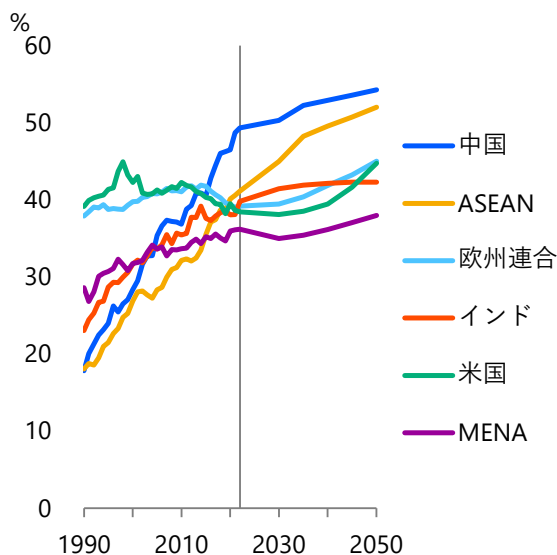
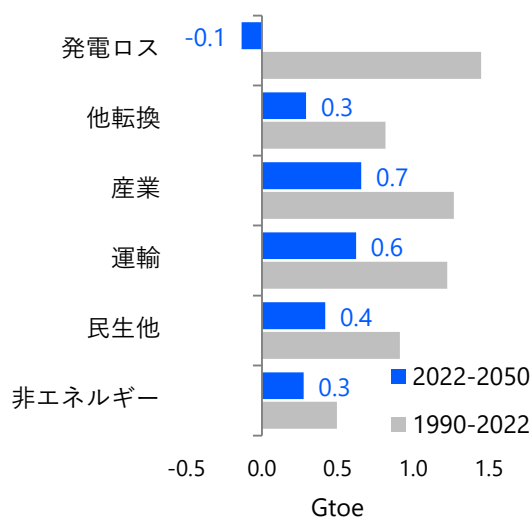


2050年の化石燃料依存度は73%と2022年の81%に比べて低下するものの、中国を除いた新興・途上国においては高止まりする(図2-5)。米国、EU、日本では、2022年の81%、69%、87%から、2050年に70%、49%、68%へと低下する。しかし、インド、MENA、ASEANでは、エネルギー消費総量が増加し、増加分の多くを化石燃料で賄うことから、それぞれ75%、96%、76%となり、依然として化石燃料に大きく依存する。

どの部門においても、消費削減・脱炭素化は容易ではない

用途別では、新興・途上国を中心に産業部門において最も増加し、続いて運輸部門が増加する(図2-6)。産業部門は新興・途上国での重化学工業などエネルギー多消費の第二次産業の強化が大きい。運輸部門は、新興・途上国での所得向上にともなう自動車利用の増加が燃費改善や次世代自動車へのシフトなどの減少寄与を大きく上回る。さらに、人の移動や貿易の増加から航空、船舶による消費量も大きく伸長する。

図2-6 | 世界の一次エネルギー消費増減寄与 [レファレンスシナリオ]
図2-7 | 主要国・地域の供給側電化率[レファレンスシナリオ]



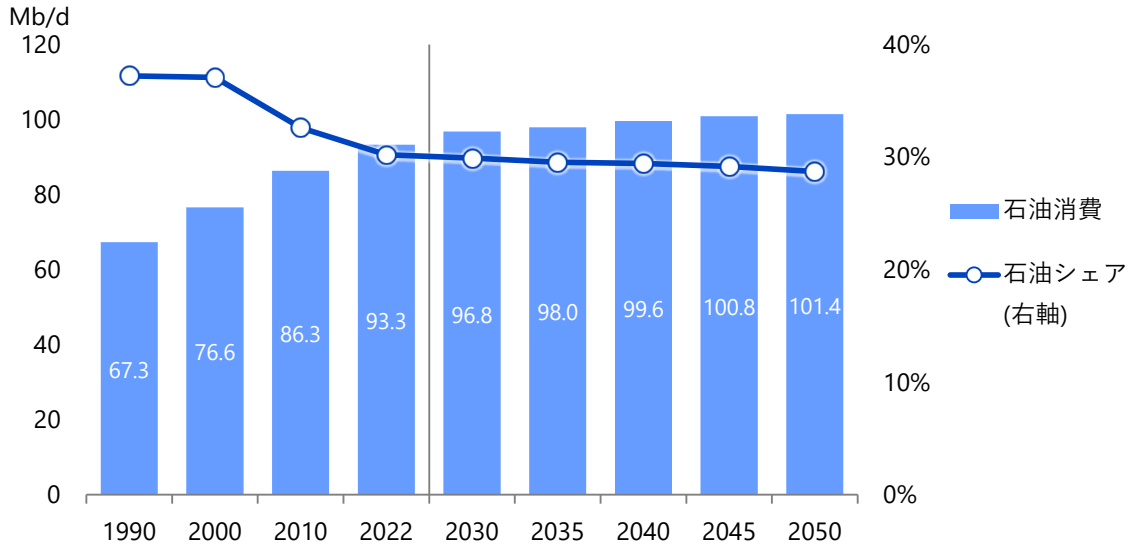
民生部門のエネルギー消費量増分も無視できない。特にインド、MENA、ASEANでは、世界のコールセンター機能を含む第三次産業のさらなる発展や、家庭でのエネルギーアクセス向上が影響する。したがって、これらの国・地域では、人々の生活水準が向上することで民生部門の需要も伸びる。このため、経済を成長させつつエネルギー消費を減少に転じさせることが非常に難しい。さらには生成AIによる電力需要押し上げを指摘する声もある。

発電部門のエネルギー消費(ロス)は、化石電源の発電効率改善や発電効率が100% (ロスがない)と仮定されている非化石電源への転換により、これまでとは傾向を異にして減少するが、電化率の上昇がその減少幅を抑制する(図2-7)。新興・途上国の電化が進むだけでなく、先進国においても経済のデジタル化を背景に電力需要は増加する。非化石エネルギーの拡大は期待されるが、増加する電力を非化石エネルギーですべて賄うことも容易ではない。発電部門での増加は、所得水準の向上や未電化地域における電力インフラストラクチャーの整備などを背景に、利便性の高い電力がより多く使われるためである。

石油消費の増加は抑制も一次エネルギーシェアは横ばい

石油消費は2022年に日量93.3百万bbl (Mb/d)であった消費量は緩やかに増加を続け、2050年は101.4 Mb/dに到達する(図2-8)。石油が一次エネルギー消費に占めるシェアは、2022年はCOVID-19からの回復で30%に上昇した。ただし、シェアは微減が続き、2050年には29%となる。それでもレファレンスシナリオでは、2050年の世界において、石油は最も多く利用されるエネルギー源であり続ける。

図2-8 | 世界の石油消費と一次エネルギー消費に占めるシェア[レファレンスシナリオ]



ただし、先進国の石油消費はすでにピークを過ぎている(図2-9)。2005年のピークから2022年までは年率1.2%で減少してきたが、2022年から2050年までも年率1.2%の減少が続く。この先進国の石油消費減少の主な要因は自動車燃料の減少であり、従来型自動車の燃費改善とハイブリッド車を含めた電動化の寄与が大きい。一方、インド、MENA、ASEANの石油消費は2022年から2050年にかけて年率1.6%と堅調に増加する。これらの国々における石油消費増加の主な要因は運輸部門、非エネルギー消費部門、民生部門によるものである。

図2-9 | 主要国・地域の石油消費[レファレンスシナリオ]

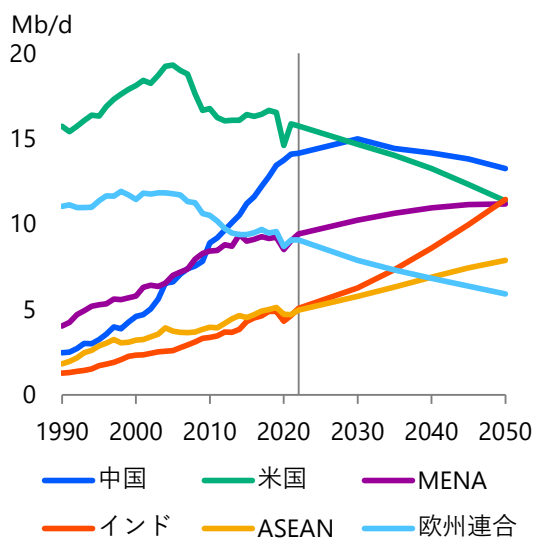
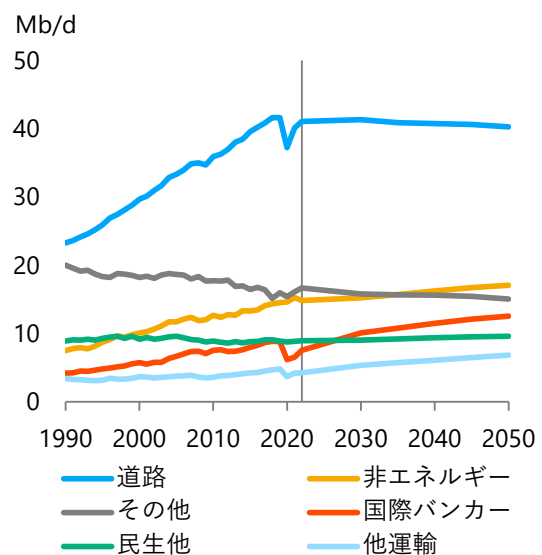


図2-10 | 世界の石油消費[レファレンスシナリオ]



用途別に見ると、シェアが最も大きい道路部門では2030年までは自動車保有台数増加にともない増加する。しかし、2030年以降は燃費の向上や電動車の普及による減少寄与が自動車保有台数の増大による増加寄与を上回ることから、2030年にピークを打ち減少傾向に転じる(図2-10)。一方、国際的な物流、人の移動が増加することで国際バンカーや航空、船舶など他運輸は増加を続ける。

インド、MENA、ASEANの運輸部門では、2022年から2050年にかけて、自動車用が8.3 Mb/dから14.0 Mb/dへと特に増加する。インド、MENA、ASEANでは、所得水準の向上と道路・橋りょう等の運輸インフラ改善により、自動車保有台数が現在の3.5倍に増加する影響が大きい。自動車用石油消費を抑制するには、電気自動車(EV)へのシフトが考えられるが、特に新興・途上国にとって、EVのイニシャルコストは2050年においても高額であり、強力な気候変動対策などがない限り一部の高所得者層にしか購買されない。

インド、MENA、ASEANの非エネルギー消費部門では、石油化学を中心に2022年から2050年に2.4 Mb/d増加し、世界の非エネルギー消費部門消費増分の108%を占める。需要サイドではプラスチックなどの石油化学製品への需要は世界的に根強く、供給サイドでは産業多様化の必要性から石油供給国の石油化学産業育成への期待は大きい。したがって、需給両面がマッチして非エネルギー消費部門による石油消費をけん引する。この消費抑制にはプラスチック利用に対する世界的な規制強化などが必要になる。

インド、MENA、ASEANの民生部門では、給湯・ちゅう房用途を中心に2022年から2050年に1.2 Mb/d増加し、世界の民生部門消費増分の181%を占める。この3か国・地域では、所得上昇にともない、石炭や固形バイオマスから、健康への影響という意味において比較的クリーンな石油製品へとエネルギー転換が進む。また、南アフリカを除くサブサハラの家々も同じ期間に0.4 Mb/d増となり無視できない。これらの国々では、一足飛びに電力や都市ガスによって給湯・ちゅう房エネルギーサービスを充足することは、イニシャルコスト・オペレーションコストの双方ともに高くつくため、液化石油ガス(LPG)が利用される。

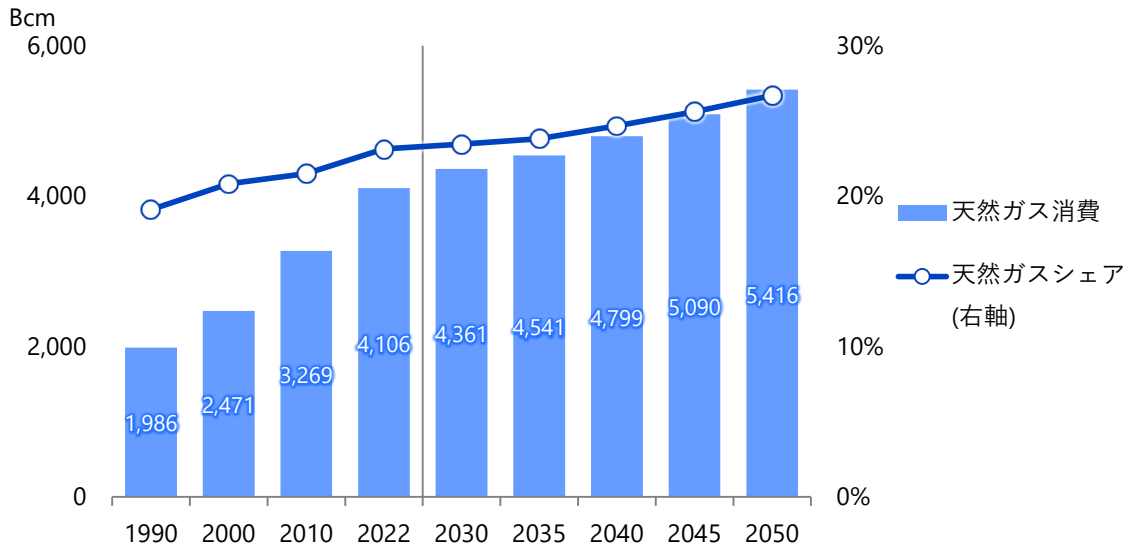
なお、中国の石油消費は2030年ごろに15.0 Mb/dでピークを迎え、2050年には13.2 Mb/dに減少する。これは特に自動車の燃費改善とEV普及、保有台数の飽和による運輸部門の消費抑制、電化・都市ガス化が進む民生部門での消費減少が寄与するためである。世界の石油消費をドラスティックに削減するためには、中国の石油消費削減ペースの加速も必要となる。

インド、ASEAN、MENAで伸び続ける発電用天然ガス需要

天然ガス消費量は2050年にかけてはすべてのエネルギー源の中で最大の増加を示す。2022年に4,106十億 m^3 (Bcm)であった消費量は、年率1.0%で増加し2050年には5,416 Bcmに到達する(図2-11)。天然ガス消費の一次エネルギー消費に占めるシェアは、2022年の23%から

2050年には27%まで上昇し、石油に次ぐ第二の主要なエネルギー源となる。EUがロシア依存度を下げて液化天然ガス(LNG)を中心に他地域からの輸入を増やす中で、この伸び続ける天然ガス需要をどのように抑制するのかということも世界の抱える課題の1つである。

図2-11 | 世界の天然ガス消費と一次エネルギー消費に占めるシェア[レファレンスシナリオ]



世界の天然ガス消費は2022年から2050年の間に1,310 Bcm増加し、この増分の67%がインド、MENA、ASEANに由来する(図2-12)。インド、MENA、ASEANの消費量は、2050年にそれぞれ253 Bcm、1,092 Bcm、470 Bcmに到達する。中東では、コスト競争力が高い石油を輸出して外貨を獲得すべく国内では天然ガス活用が進められ、インド、ASEANでは増加する電力需要を満たすため発電部門を中心に増加する。また、中国でも発電部門を主として2050年までに123 Bcm増加する。一方で、EUでは、エネルギー安全保障上に加え気候変動対策の観点から天然ガス離れが進み、2050年までに159 Bcm減少する。

用途別に見ると、民生他部門は省エネルギーや電化が進むことで天然ガス消費は減少傾向となる(図2-13)。中国を含む新興・途上国における天然ガス消費の増加は、主に発電部門と産業部門に起因する。発電部門において、2030年までは再生可能エネルギー等の増加が大きくほぼ横ばい推移するが、2030年以降は他電源の導入が電力需要の伸びに追いつかず、天然ガス需要が再び増加する。新興・途上国においては、2022年から2050年までに年率2.5%で増加し、世界の発電部門消費量増分の99%を占める。天然ガスは化石燃料の中でCO₂排出量が低いことに加え、再生可能エネルギーより大規模発電が容易で統合コストが低いためである。

図2-12 | 主要国・地域の天然ガス消費[レファレンスシナリオ]

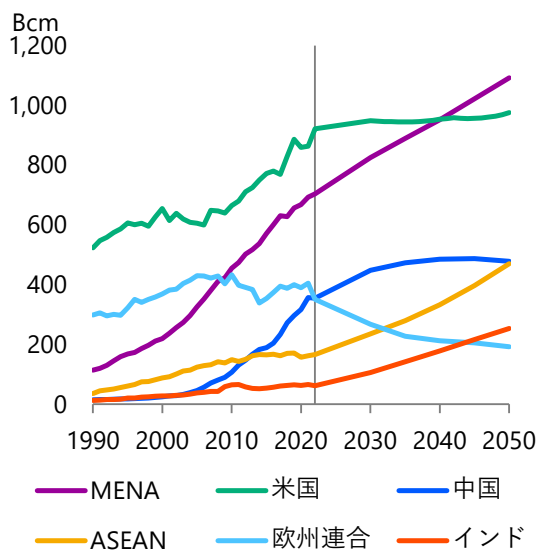
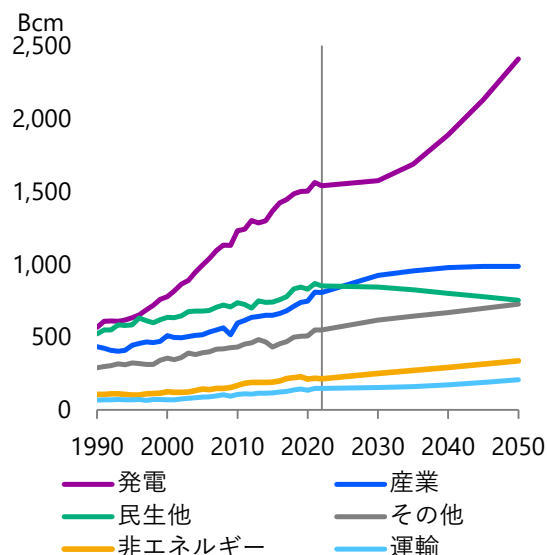


図2-13 | 世界の天然ガス消費[レファレンスシナリオ]



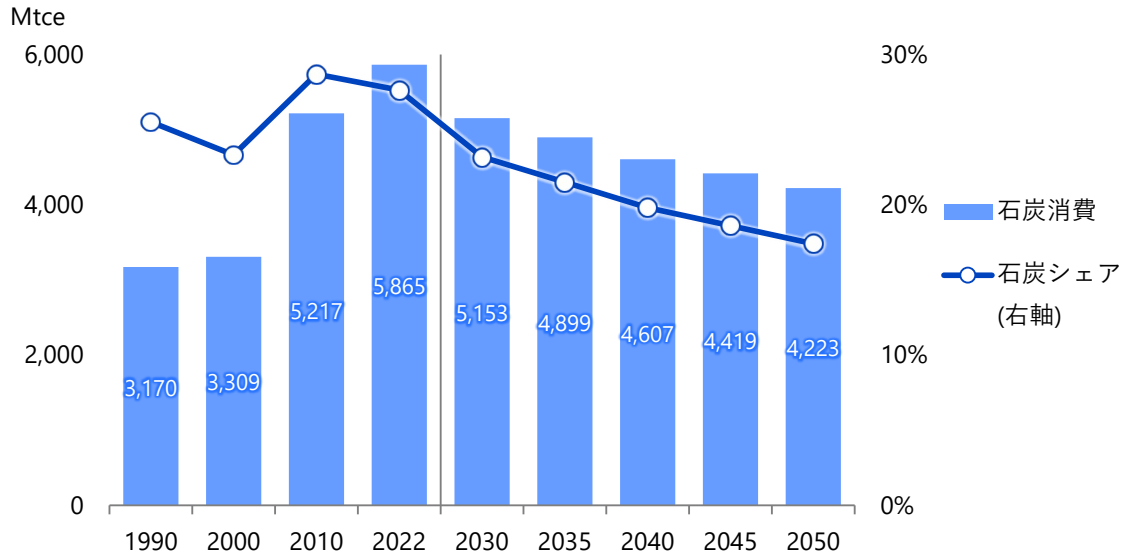
産業部門では、先進国の消費量が減少する中、新興・途上国の消費が年率1.3%、世界の消費増分の114%に相当する増加を示す。利便性や環境面への配慮から、石油・石炭から天然ガスへのエネルギー移行が進む。民生他部門での消費増分のほとんどは中国におけるもので、健康被害や大気汚染の原因となっている石炭や薪などの固形燃料から都市ガスへの燃料転換が急速に進む。他の国・地域での電化や省エネルギーの影響で減少傾向となる。

このように、天然ガス消費はインド、MENA、ASEAN、中国がけん引するため、その抑制には、天然ガス火力発電システムのコンバインドサイクル化の徹底など、新興・途上国における高効率設備・機器の導入・普及が不可欠である。

石炭消費は環境対策の影響で2020年代がピーク

石炭は2022年に石炭換算5,865百万t (Mtce)であった消費量は、環境対策の影響により年率1.2%で減少する(図2-14)。石炭消費の一次エネルギー消費に占めるシェアは、2022年の28%から2050年には17%まで下落し、石油に次ぐ第二のエネルギーの座を天然ガスに譲り、2040年代後半には水力以外の再生可能エネルギーをも下回る。

図2-14 | 世界の石炭消費と一次エネルギー消費に占めるシェア[レファレンスシナリオ]



2022年には世界の石炭消費の56%を中国、16%をインド・ASEAN、13%を日米欧が占めているが、2050年には中国は40%、日米欧は5%にシェアを落とし、インド・ASEANが37%までシェアを伸ばす(図2-15)。

図2-15 | 主要国・地域の石炭消費[レファレンスシナリオ]

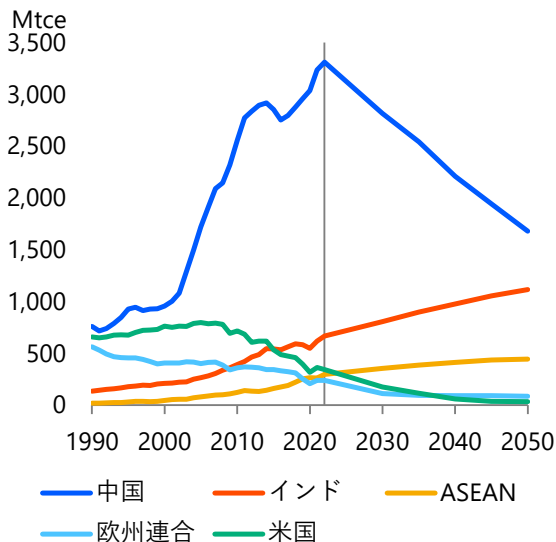
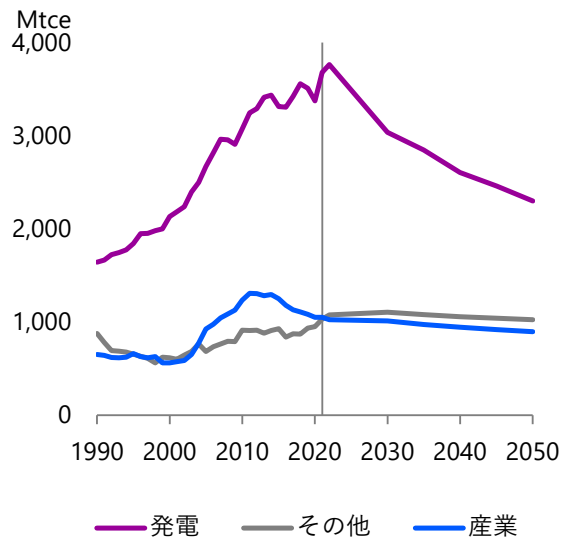


図2-16 | 世界の石炭消費[レファレンスシナリオ]



中国では、産業用の石炭消費は2012年をピークに減少しており、発電用の石炭消費も2020年代前半をピークに気候変動や大気汚染対策によって減少し始めることから、2050年に49%減と激減する。また、日米欧は発電用・産業用ともに右肩下がり2050年に72%減となる。他方、インドとASEANでは2050年に発電用がそれぞれ1.4倍、1.5倍、産業用が2.1倍、1.5倍

になる。なお、MENAは産油国、産ガス国が多いことから石炭消費は限定的である。気候変動問題への対処から、世界的に石炭消費に対する風当たりがいつそう強まっている。G7環境相会合で排出削減対策のない石炭火力発電を35年までに段階的に廃止することが合意された。ヨーロッパでは、石炭火力発電所への経済的負担やCO₂・水銀等排出規制の強化など、発電部門と産業部門の両方で石炭利用への規制が強化されている。一方、インド、ASEANなどのアジア新興・途上国では、エネルギー自給の観点から石炭が廉価な国内エネルギー資源と捉えられており、必ずしも厳しい利用制限が進められているばかりではない。先進国では金融機関を巻き込んで石炭に対するダイベストメントが進められているが、中国やインドの金融機関は必ずしも同調していない。石炭消費抑制の観点からは、日米欧が消費抑制をさらに推し進めるとともに、中国、インド、ASEANの発電・産業両部門において、石炭から天然ガスや水素アンモニアへのシフトを推進することが重要となる。

太陽光・風力は大きく増加も一次エネルギー消費シェアは限定的

多くの国がカーボンニュートラルを目指し、非化石エネルギーの利用拡大への期待が高まっており、COP28では2030年までに再生可能エネルギーの発電容量を世界全体で3倍にすることや2050年までに2020年比で世界全体の原子力発電容量を3倍にすることが合意された。ただし、一次エネルギー全体に占める割合は、2022年の19%から2050年に27%へと増加するととどまる。非化石エネルギーのうち、原子力、水力を中心とする発電用は、2022年の1,666 Mtoeから2050年に3,600 Mtoeへと2.1倍に増加する(図2-17)。太陽光・風力他の伸びが最も大きく、2050年には2022年に比べ5.1倍に拡大する。原子力および水力は、原子力政策の見直しや環境社会配慮により伸びは小さく、発電用非化石エネルギーに占める割合は2022年の41%から2050年には25%に低下する。

他方、熱利用では、今後も新興・途上国の農村部で利用される薪・畜ふんなどの伝統的な固形バイオマスが中心である。2022年の941 Mtoeから減少し、2050年には708 Mtoeとなる(図2-18)。熱利用が減少に転じるのは、大半を占める農村部の伝統的バイオマス利用が、所得・生活水準の向上にともなって近代的エネルギーに転換してゆくためである。自動車・民生用の液体バイオ燃料やバイオガスは2050年にかけて1.8倍になるものの、熱用非化石エネルギー消費の22%を占めるに過ぎない。

図2-17 | 世界の発電用非化石エネルギー消費[レファレンスシナリオ]

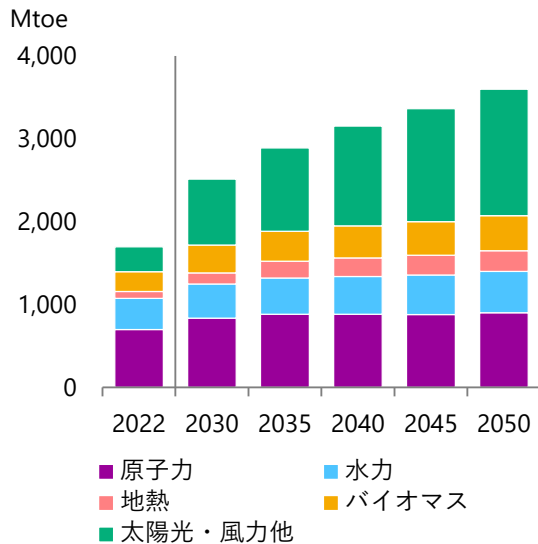
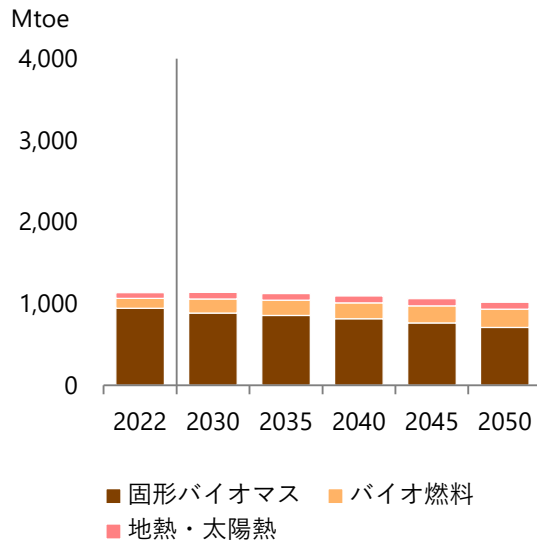


図2-18 | 世界の熱用非化石エネルギー消費[レファレンスシナリオ]



非化石エネルギー消費は2050年にかけての増加率は飛躍的である。しかし、一次エネルギー消費全体も大きく伸びているため、一次エネルギー消費に占める割合の伸びは大きくはない。コスト下落ともなう太陽光、風力等の新エネルギーの普及拡大が期待されており、2050年までの世界の一次エネルギー消費増分の84%を占める。

アジアのエネルギー消費増の中心は中国からインド・ASEANへ

アジアの世界経済シェアは実質ベースで2022年に34%であったが2050年には44%に拡大し、世界のエネルギー消費増加分のうち、アジアの増分が66%を占める(図2-19)。特に、中国、インド、ASEANが世界のマクロ経済をけん引することになるが、これらの国・地域の間にはエネルギー消費量については共通点と相違点がある。中国では2020年代にエネルギー消費がピークアウトする一方、インド、ASEANは増大が続く(図2-20)。この背景には各国・地域の経済成長および人口成長のスピードの変化がある。

図2-19 | アジアの一次エネルギー消費[レファレンスシナリオ]

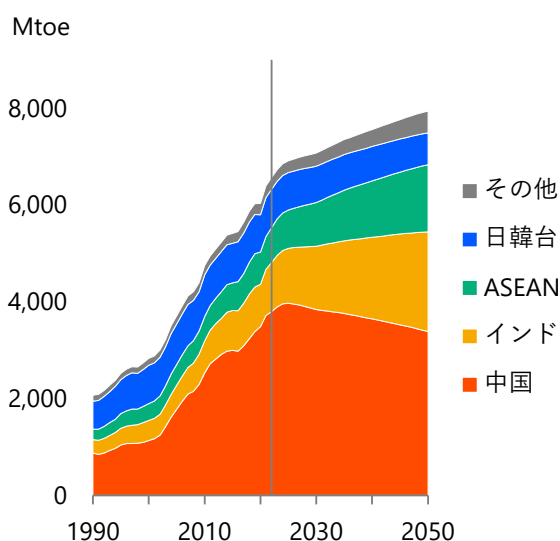
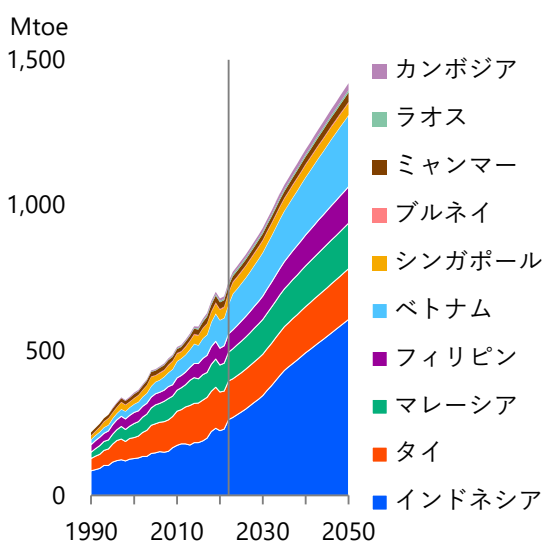


図2-20 | ASEANの一次エネルギー消費[レファレンスシナリオ]



中国経済の規模は1990年に1兆ドルに過ぎなかったが、2022年には15.9倍の16兆3,000億ドルに拡大し、2050年には2022年比2.6倍の42兆9,000億ドルに至る。人口は1990年の11億4,000万人から2021年にはピークとなる14億1,000万人まで増えたが、その後減少し、2050年には12億5,000万人と1999年を下回る。中国は2021年～2025年の第14次五か年計画でグリーン経済への転換を成長の手段と位置づけており、産業を中心に省エネルギーが進むことで2020年代前半には先進国と同様に経済を成長させつつエネルギー消費が減少し始める。エネルギー消費は1990年から2022年まで年率4.7%の急激な伸びを示したが、2022年から2050年は転じて年率0.4%で減少する。2050年には1人当たり実質GDPが3万4,000ドルを超える中でエネルギー消費は2022年を下回り、カーボンニュートラルを意識した成熟社会への移行を開始する。1990年に42%であったアジアでのエネルギー消費シェアは2022年には58%に上昇したが、2050年には42%に低下する。

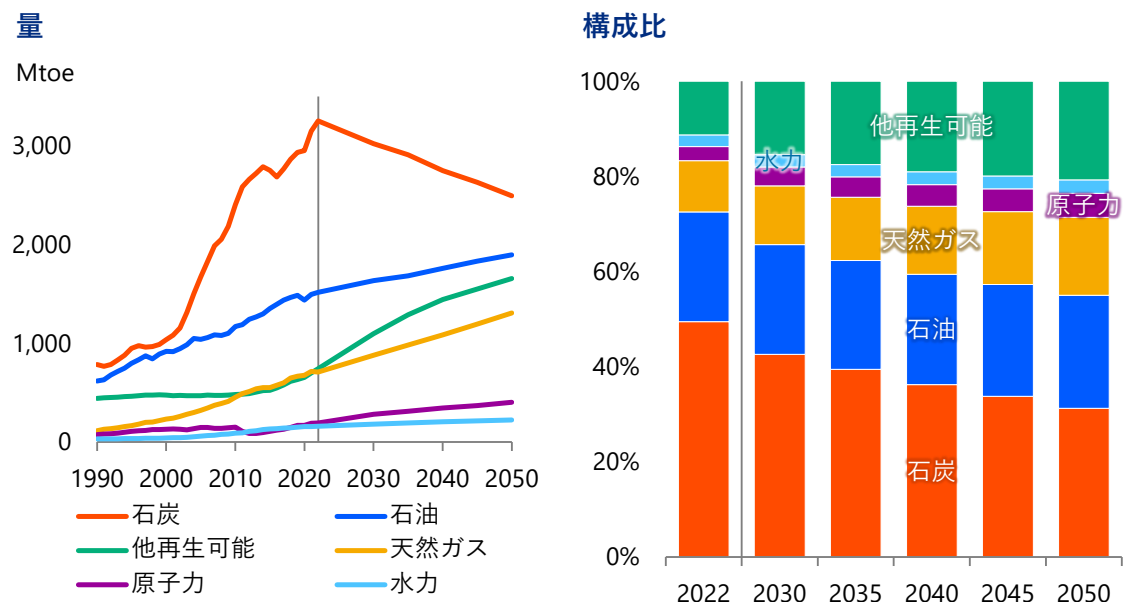
インド経済は1990年の5,000億ドルから2022年には6.4倍の3兆ドル、2050年には2022年比4.8倍の14兆4,000億ドルに拡大する。人口は1990年の8億7,000万人から2022年に14億2,000万人に至り、中国を追い抜いた。2050年には16億7,000万人まで増加する。人口増に加え、1990年には500ドル足らずに過ぎなかった1人当たり実質GDPが2050年には8,600ドルに迫り、所得・生活水準が向上する。インドは2070年カーボンニュートラルの実現を目指しているが、エネルギー消費は2022年から2050年は年率2.6%増と増加し続けることから、インドにおいて気候変動対策やエネルギー安全保障対策がより重要となる。インドのアジアにお

けるエネルギー消費シェアは1990年の14%、2022年の15%から、2050年には26%まで急拡大する。

ASEANの経済規模は1990年の7,000億ドル、2022年の3兆2,000億ドルから、2050年には10兆1,000億ドルに拡大する。ASEAN全体の人口は、1990年の4億4,000万人から2050年には7億7,000万人に増加する。この結果、1990年に1,700ドルであった1人当たり実質GDPは、2022年には4,800ドル、2050年には1万3,200ドルに到達、1人当たりの所得・生活水準が向上する。ASEANのエネルギー消費は2022年から2050年は年率2.4%増と右肩上がり続き、2022年から2050年の増分の半分はインドネシアが占めることになる。インドネシアは2060年カーボンニュートラルを達成することを表明している中でエネルギー消費の増加が続くことから、気候変動対策やエネルギー安全保障対策がより重要となる。ASEANのアジアにおけるエネルギー消費シェアは1990年には10%、2022年には11%であったが、2050年には17%にまで拡大する。

インド、ASEANのエネルギー消費が拡大し続ける2050年においても、アジアのエネルギー消費は主に化石燃料で賄われ、2022年には83%、2050年には71%を化石燃料に依存する(図2-21)。特に運輸部門を中心に石油、発電用を中心に天然ガス消費が増加し続ける。アジアの化石燃料消費をどのように低減してゆくかということが、世界のエネルギー安定供給やカーボンニュートラル実現および世界の気候変動対策の観点から非常に重要となる。

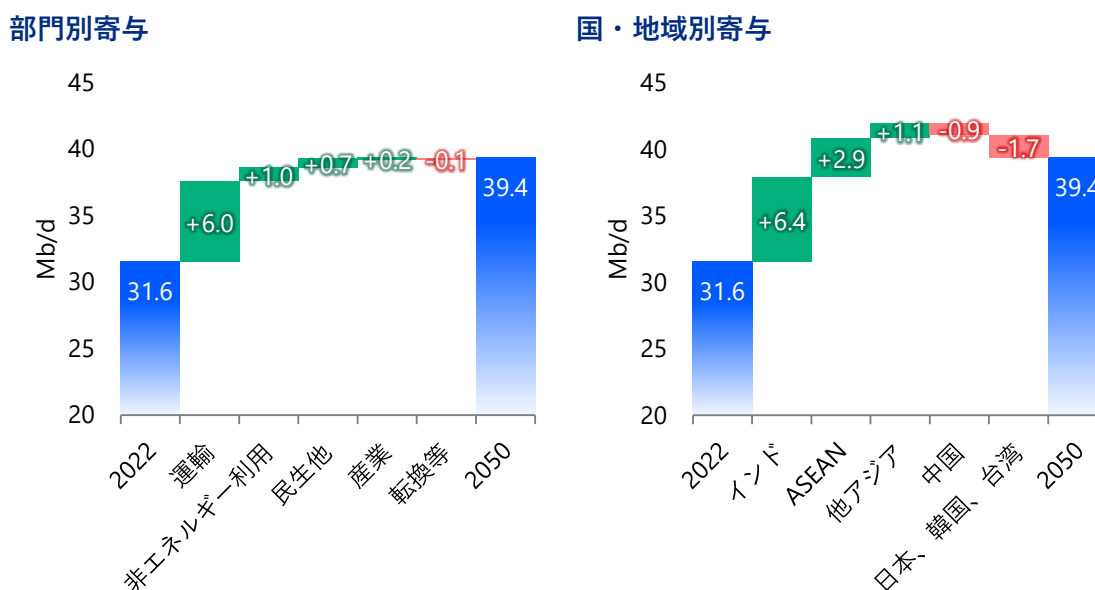
図2-21 | アジアの一次エネルギー消費[レファレンスシナリオ]



1990年から2022年に年率2.8%増加したアジアの石油消費は、2050年にかけて同0.8%増となり、増加が減速する。2050年までの増加分のうち、部門別では運輸部門が77%、非エネルギー

消費部門が13%、民生他部門が9%を、地域別ではインドが81%、ASEANが37%を占める(図2-22)。インド、ASEANの合計が100%を超えるのは、日本や韓国、中国で消費が減少するためである。消費抑制のためには、特にインド、ASEANの運輸部門において電動化を含む燃費改善が重要となる。アジアの石油消費増分は世界の増分の97%を占めているため、これらの国々の石油消費動向が世界全体に影響を与える。

図2-22 | アジアの石油消費[レファレンスシナリオ]



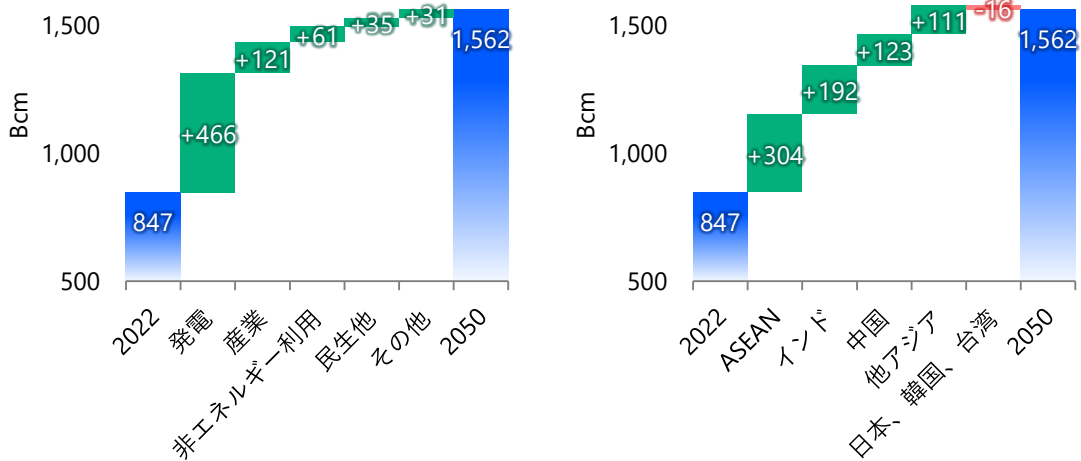
安定供給確保と環境問題への対応の両面から、石油を他エネルギーで代替してゆくことおよび石油を徹底して効率的に消費してゆくことが、アジア各国の政策上不可欠となる。

1990年から2022年に年率5.8%で増大したアジアの天然ガス消費は、2022年から2050年にかけて同2.2%と増加は減速する。2050年までの増加分のうち、部門別では発電部門が65%、産業部門が17%、非エネルギー消費部門が9%を、地域別ではASEANが43%、インドが27%、中国が17%を占める(図2-23)。消費抑制の観点からは、特に中国、インド、ASEANにおいて、発電部門の高効率化や送配電ロス率低下、水素混焼、民生部門で断熱性向上などの省エネルギーを推し進めることが不可欠である。また、アジアの天然ガス消費増分は世界の増分の55%を占めるため、この3か国・地域の消費抑制が世界全体の天然ガス消費抑制に直結する。

図2-23 | アジアの天然ガス消費[レファレンスシナリオ]

部門別寄与

国・地域別寄与



天然ガスはCO₂排出量が石油・石炭より少ないが、燃焼時にCO₂を排出する化石燃料であることに変わりはない。新興・途上国のエンジニアに運用管理・保守点検技術を習得させ、天然ガス火力発電所にはコンバインドサイクル発電システム利用の必須化や水素を混焼するなど、高効率な利活用を進めることが重要である。

このアジアの天然ガス供給不足分を埋めるのはLNG輸入である。アジアのLNG消費量は2023年の257 Mtから2035年には1.5倍の392 Mt、2050年には2.2倍の569 Mtに拡大する。LNGを早くから利用、大量に輸入していたのは日本や韓国であったが、2021年、2023年に中国が日本を抜き世界最大の輸入国となった。2023年における日本、韓国、台湾のシェアが51%、中国、インド、ASEAN、南アジアのシェアが49%であったが、2050年には前者は23%、後者は77%と大きな差がつく。LNGの安定供給の確保という意味においても、インド、ASEAN、中国の果たす役割がいっそう大きくなる。

石油、天然ガスとは異なり、アジアの石炭消費は中国での石炭火力発電の減少にともない、2020年代をピークに減少に転じる。1990年から2022年は年率4.5%で急成長したが、2022年から2050年は年率0.9%で減少する。気候変動や大気汚染への配慮から、世界的に石炭火力発電所への批判が高まっていることもあり、アジアでも再生可能エネルギーの導入が進み発電用で減少する。しかし、インドやインドネシア等でエネルギー需要増を石炭火力発電の拡大によって賄うこともあり、アジアでは石炭は2050年においても31%のシェアを占め、アジア最大のエネルギー源であり続ける。アジア各国は、非効率な石炭火力発電所の新規建設・増設を回避し、先進国を巻き込んだ二酸化炭素回収・有効利用・貯留(CCUS)導入やアンモ

ニア混焼も含めて環境負荷の低減に努めつつ、アジアに豊富に賦存する石炭資源の有効活用を進めてゆく必要がある。

アジアの非化石エネルギーは、石油・天然ガス消費ほどの規模ではないが、年率2.6%で急速に伸びてゆく。2022年から2050年までの消費増分の96%が伝統的バイオマスを除く再生可能エネルギーで、次いで原子力が18%、これに対し伝統的バイオマスは-13%となる。伝統的バイオマスを除く再生可能エネルギーの増分では、中国が52%、ASEANは16%、インドが25%を占める。原子力の増分では、中国が61%、インドが23%を占める。2050年の世界の非化石エネルギー消費に占めるアジアの世界シェアは49%と、2022年より11ポイント上昇する。

2060年カーボンニュートラル実現を目指すことを2020年9月に宣言した中国は、2050年に向けて、CO₂排出原単位が大きな石油・石炭消費を抑制し、環境負荷がより小さな天然ガス・非化石エネルギー消費にかじを切った。さらに、再生可能エネルギー、蓄電池、EVを中核とする産業政策を展開し、生産ベースでは脱炭素技術の世界シェアを拡大している。しかし、中国の化石燃料消費の規模を考慮すれば、省エネルギーおよび脱炭素化をさらに強化すべきであろう。また、2050年に向けて、アジアのエネルギー消費増分の大半を占めるインドは2070年まで、ASEANにおいてもインドネシアを中心として多くの加盟国がカーボンニュートラルを表明した。インドではメーク・イン・インディアのスローガンのもと、太陽光発電の国産化やEVの導入を促進している。ASEANでもインドネシアは中期国家開発計画を掲げ、省エネルギーの促進やグリーン産業の開発に取り組んでいる。日本、韓国、中国等による技術的・金融的な支援の継続・改善も含め、アジア全体で省エネルギー・脱炭素化の加速に向けて取り組む必要があるだろう。中国、インド、ASEANにおけるこれらの取り組みは、アジアのみならず世界全体の気候変動対策ひいてはLNG安定確保などエネルギー安定供給にも貢献する。

2.2 最終エネルギー消費

2050年の世界の最終エネルギー消費は2022年の1.2倍に増加

レファレンスシナリオにおいて、2050年の世界の最終エネルギー消費は、2022年の10,076 Mtoeの1.2倍となる12,043 Mtoeに達する。この増加を年率に均すと0.6%に相当する。2022年から2050年までの世界の最終エネルギー消費の変化を概括すると、2つの特徴が挙げられる。

1つ目は、2050年までの世界の最終エネルギー消費は特にインドやASEAN、MENAが中心となって増加してゆく点である。そのため、これらの地域で最終エネルギー消費に大きな影

響を与えるような事態が起きると、世界全体の最終エネルギー消費のすう勢にも影響が及ぶ可能性がある。したがって、これらの地域の最終エネルギー消費変動要因には特に注意が必要である。なお、変動要因の例としては、経済成長、エネルギー関連政策の内容と強度、エネルギー利用機器に関する技術開発とその普及度合いなどがある。

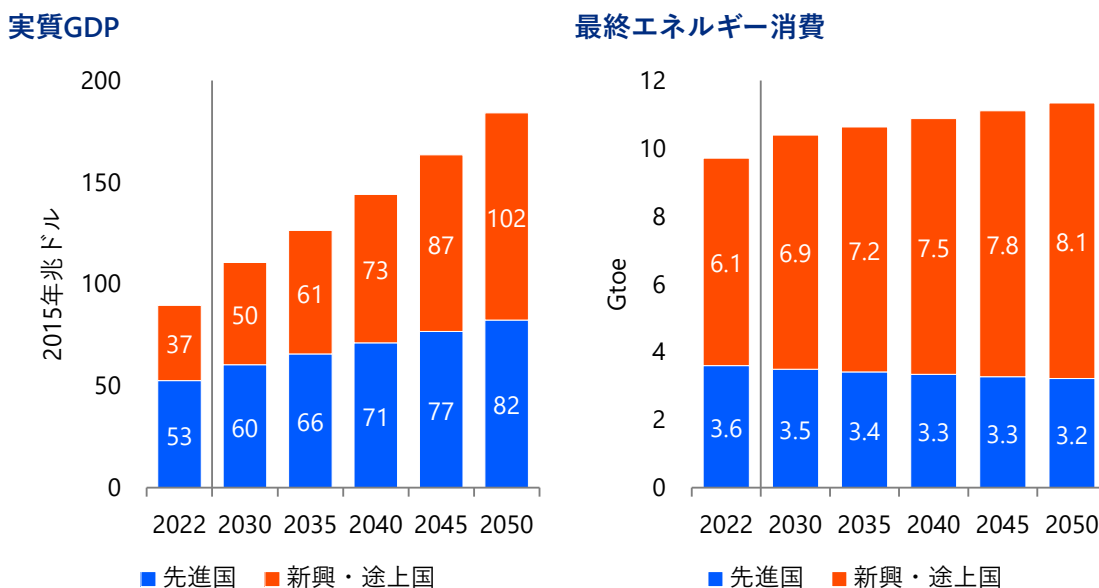
2つ目は、2050年時点でもすべての主要なエネルギー源に対する最終エネルギー消費が一定程度存在する点である。石炭の最終エネルギー消費は2020年代後半から、再生可能エネルギーの最終エネルギー消費は2030年代から減少トレンドをたどるが、2050年に至っても0にはならない。気候変動問題は世界の重要な課題であるが、その対策として政策誘導や投資の対象が特定のエネルギー源に極端に偏ると、中長期的にエネルギー需給のバランスを欠くおそれがある。そのため、需要変化のトレンドや気候変動への影響を踏まえつつも、各エネルギー源が需要に応じて安定的に供給されるような市場を構築することが肝要である。

以下では、経済別、地域別、部門別、エネルギー源別という4つの切り口から、2022年からレファレンスシナリオにおける2050年までの最終エネルギー消費の変化を見る。

経済別: 新興・途上国が世界の消費増をけん引

2022年から2050年までの最終エネルギー消費の変化を経済別に見た場合、新興・途上国における消費増が世界の消費増をけん引する(図2-24)。先進国では同期間に最終エネルギー消費が減少するものの、新興・途上国の消費の堅調な増加が先進国の減少を相殺、上回る。このため、世界の最終エネルギー消費は2050年にかけて増加傾向をたどる。

図2-24 | 実質GDPと最終エネルギー消費[レファレンスシナリオ]



新興・途上国では、人口増加と経済成長を背景として、2050年の最終エネルギー消費が2022年の1.3倍となる8,123 Mtoeまで増加する(年率1.0%)。新興・途上国経済は、中長期的には成長軌道をたどる。ただし、エネルギー利用効率の改善や経済のサービス化が徐々に進むことなどが影響して、2020年から2050年までの新興・途上国の最終エネルギー消費の増加は、実質GDPの伸び(年率3.7%)よりも緩やかなものにとどまる。

一方、先進国では、2050年の最終エネルギー消費が2022年より1割少ない3,216 Mtoeとなる。先進国でも、2022年から2050年にかけて実質GDPは成長する(年率1.6%)。しかし、実質GDPの増加トレンドとは対照的に、同期間の先進国の最終エネルギー消費は年率-0.4%のペースで減少する。先進国では、省エネルギーや経済のサービス化の進展により、2000年代後半以降は経済が成長する中でも最終エネルギー消費は減少傾向をたどるようになった。結果として、先進国における最終エネルギー消費のGDP弾性値⁶は、1990年～2022年に0.25あったのに対して、2022年～2050年は-0.25となる⁷。

省エネルギーは、脱炭素化に向けた重要な方策の1つに数えられる。今後も、先進国と新興・途上国の双方において、最終エネルギー消費部門における省エネルギーの進展に向けた取り組みが求められる。

地域別: インドやASEAN、MENAが今後の成長ドライバーに

2022年から2050年までの最終エネルギー消費の変化を地域別に見た場合、インドやASEAN、MENAが世界の最終エネルギー消費の伸びを強力にけん引する(図2-25、図2-26)。同期間における世界全体の最終エネルギー消費増分のうち、インドとASEAN、MENAの増分合計が7割超と圧倒的なシェアを占める。

なお、インドやASEANの力強い成長の結果として、世界の最終エネルギー消費に占めるアジアの消費の比率は2022年の41%から2050年には45%まで伸長する。今後の世界にとって、アジアはいっそう枢要なエネルギー消費センターとなる。

⁶ 最終エネルギー消費のGDP弾性値=最終エネルギー消費変化率÷実質GDP変化率

⁷ とはいえ、高成長がより少ないエネルギー消費に帰結するというわけではない。

図2-25 | 世界の最終エネルギー消費と主要
国・地域の増加寄与[レファレンスシナ
リオ、2022年～2050年]

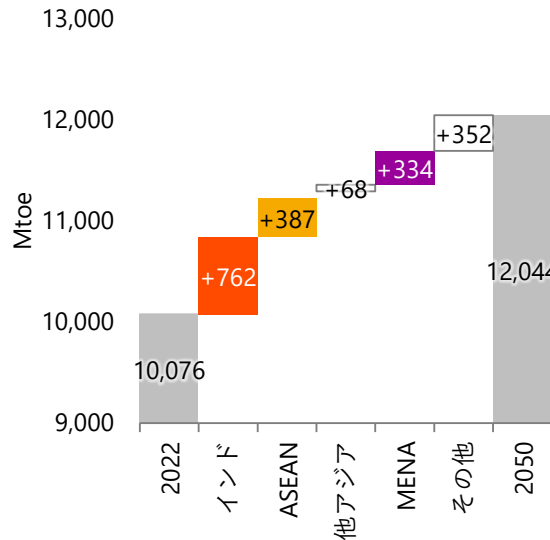
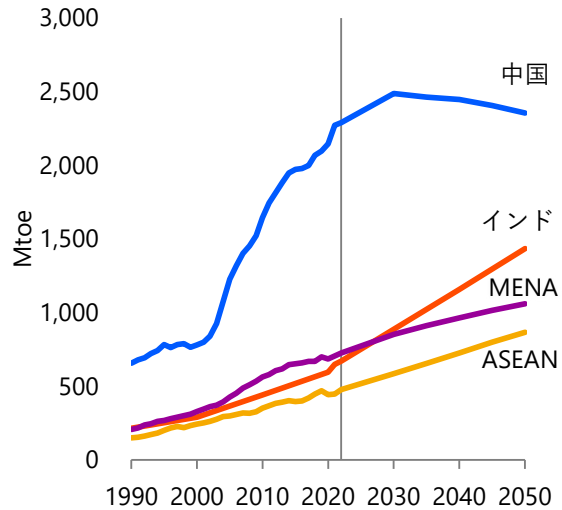


図2-26 | 中国、インド、MENA、ASEANの
最終エネルギー消費[レファレンスシナリオ]



2022年に中国を追い抜き世界一となったインドの人口は、2050年時点では16億人を超えて17億人に迫る規模になる。また、GDPは、都市化の進展などを背景として、2022年から2050年までの間に年率5.7%で成長するとともに、1人当たりGDPも4.1倍になる。こうした人口増加と経済成長を背景として、2050年の最終エネルギー消費は、2022年(672 Mtoe)の2.1倍となる1,434 Mtoeまで増加する(年率2.7%)。インド一国の最終エネルギー消費の増分は、アジア全体の増分の6割を占めるほどのインパクトがある。その存在感の大きさはアジア内に限ったことではなく、インドの最終エネルギー消費が世界の最終エネルギー消費に占めるシェアは、2022年の6.7%から2050年には11.9%まで拡大する。今後の世界のエネルギー需給を考えるうえで、インドはますます重要な存在になってゆく。

ASEANの最終エネルギー消費は、インドネシアやベトナムの消費増を中心に、2022年の478 Mtoeから2050年には866 Mtoeまで増加する(年率2.1%)。ASEANの最終エネルギー消費の増分387 Mtoeのうち、インドネシアの増分は154 Mtoe、ベトナムの増分は101 Mtoeとそれぞれ大きな部分を占める。これら2国でも、人口増加と経済成長が最終エネルギー消費の増加を支える。両国の人口は、2022年時点でインドネシアが2億7,500万人(ASEAN内1位)、ベトナムが9,800万人(同3位)の規模があり、将来的にも増加してゆく。また、1人当たりGDPは、2022年から2050年までの間にインドネシアで3.1倍、ベトナムで3.9倍の成長を遂げる。このような成長により、インドネシアの最終エネルギー消費は2030年代後半には日本を上回る。

中国の最終エネルギー消費は、2022年では2,290 Mtoeだったものが2050年には2,355 Mtoeとなり、同期間にわたって世界最大の最終エネルギー消費国の座を占め続けるものの、2030年代以降は減少トレンドに転じる。この変化は、インドやASEANに見られる右肩上がりの増加トレンドとは明らかに異なる。最終エネルギー消費のピークアウトの主な原因となる部門は産業部門で、なかでもエネルギー多消費産業の代表である製鉄業とセメント製造業における消費減が大きい。過剰生産能力の解消に向け始まった取り組みの影響が徐々に顕在化し、セメント生産量は2010年代中ごろを境にピークアウトした。これに続く格好で、粗鋼生産量も2020年をピークに、減少トレンドで推移してゆく。

MENAの最終エネルギー消費は、イラン、北アフリカ地域、サウジアラビアを中心に、2022年の727 Mtoeから2050年には1,060 Mtoeまで年率1.4%で増加する。増分は、イランが87 Mtoe、北アフリカが82 Mtoe、サウジアラビアが80 Mtoeとなり、これら3つの国・地域の合計がMENA全体の増分334 Mtoeの大宗を占める。これら3つの国・地域ではインドやASEANを超える、年率1.2%の人口増加と同時に、2022年から2050年にかけて1人当たりGDPがイランで1.7倍、北アフリカ地域で2.1倍、サウジアラビアで1.4倍にそれぞれ増大するためである。

部門別: 新興・途上国が各部門の消費増をけん引

2022年から2050年までの世界の最終エネルギー消費の変化を部門別に見た場合、新興・途上国における消費増にけん引されて、すべての部門で最終エネルギー消費が増加する。先進国では、非エネルギー消費部門以外の各部門で、最終エネルギー消費が減少トレンドとなる(図2-27)。

運輸部門では、主に新興・途上国の道路部門における消費増にけん引され、最終エネルギー消費が2022年の2,802 Mtoeから2050年には3,423 Mtoeまで年率0.7%で増加する。運輸部門の消費増分は621 Mtoeで、最終エネルギー消費全体の増分の28%を占める。新興・途上国では、経済成長を背景として、同期間にわたって内燃自動車やハイブリッド自動車、電動自動車の保有台数が大きく伸びる(図2-28)。このため、新興・途上国の運輸部門の最終エネルギー消費は年率1.4%のペースで成長する。先進国では、政策誘導などの影響で電動自動車が普及して電力消費が増える一方、燃費の改善や内燃自動車台数の減少などにより道路部門の石油消費が大幅に減少する。結果として、先進国の運輸部門の最終エネルギー消費は年率1.1%で減少する。

図2-27 | 先進国、新興・途上国の最終エネルギー消費[レファレンスシナリオ]

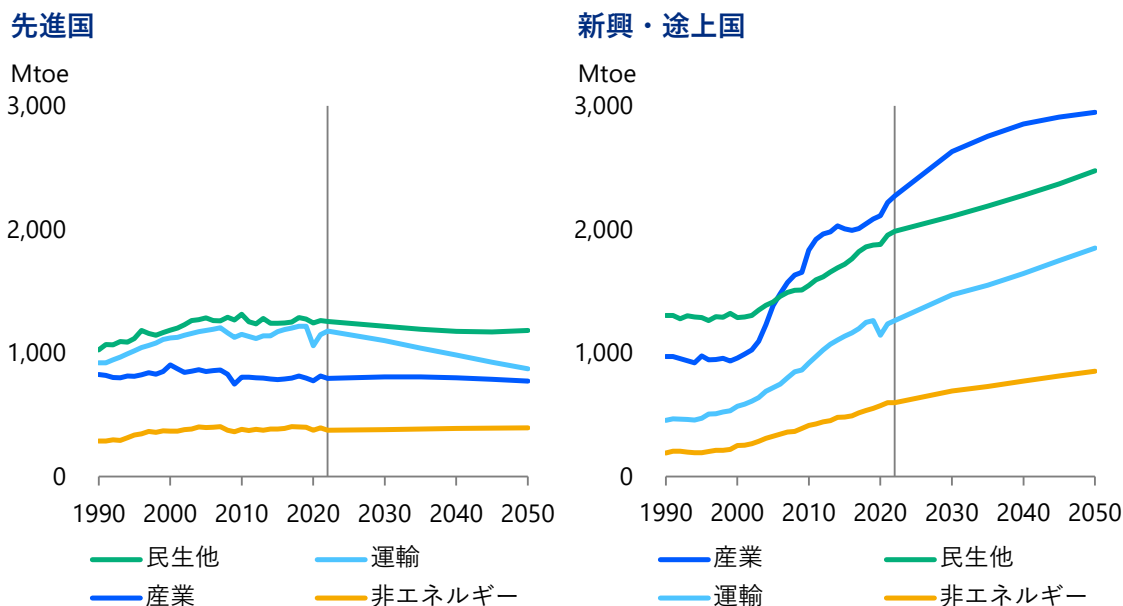
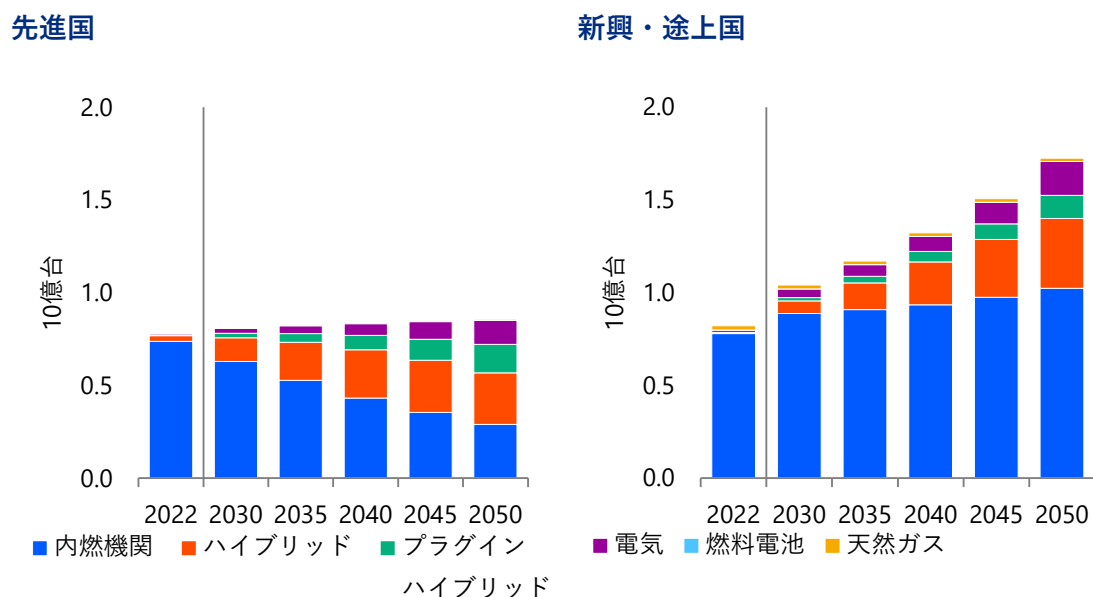


図2-28 | 自動車保有台数[レファレンスシナリオ]



産業部門では、新興・途上国の製造業の隆盛にともなう電力や天然ガスなどの消費増を主な要因として、最終エネルギー消費が2022年の3,064 Mtoeから2050年には3,720 Mtoeまで年率0.7%で増加する。産業部門の消費増分は655 Mtoeで、最終エネルギー消費全体の増分の31%を占める。ただし一般に、製造業をはじめとする産業部門では、事業のエネルギー消費を節減して製品のコスト競争力を高めようとするインセンティブが強く働く。そのため、

2022年から2050年までの世界の第二次産業のGDP成長率(年率2.3%)に比べて、世界の産業部門の最終エネルギー消費は緩やかなペースで増加する。

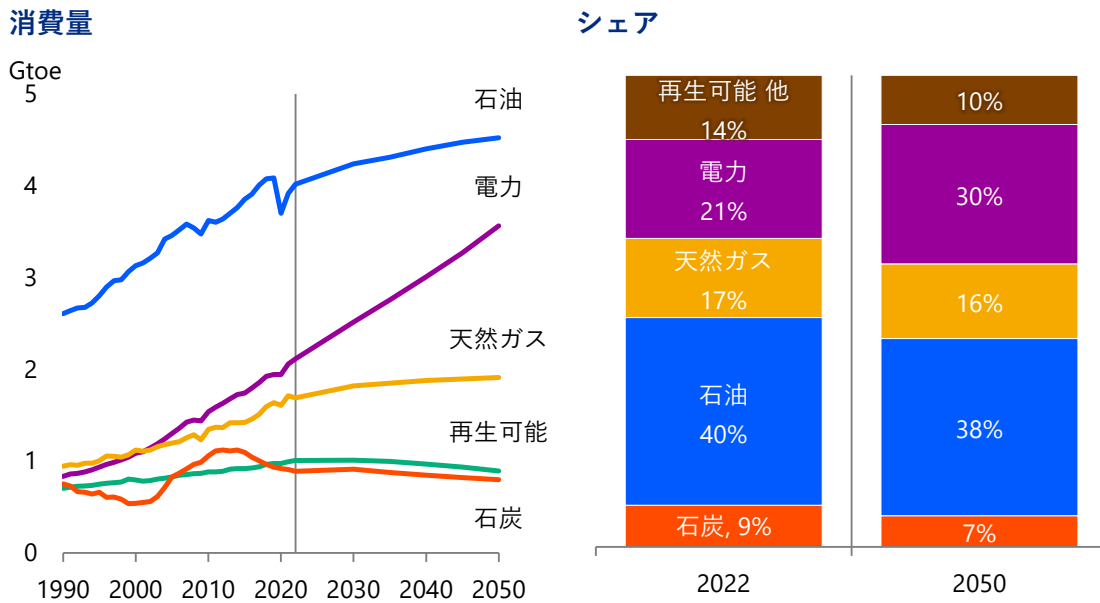
民生他部門では、新興・途上国の業務部門と家庭部門における電力や都市ガス、石油製品などの消費増を主な要因として、最終エネルギー消費が2022年の3,238 Mtoeから2050年には3,655 Mtoeまで年率0.4%で増加する。ただし先進国では電力を消費する機器への代替が進むため、業務部門と家庭部門の都市ガスや石油製品の消費は世界全体で減少傾向となる。民生他部門の消費増分は417 Mtoeで、最終エネルギー消費全体の増分の21%を占める。新興・途上国では、生活水準の向上とともに、近代エネルギーやその利用機器へのアクセスが徐々に広がる。特に、薪炭材や畜ふんといった伝統的バイオマスが利用されてきたアフリカやアジアでは、民生他部門消費に占める伝統的バイオマス消費の比率が、アフリカでは2022年の73%から2050年には35%まで、アジアではすでに19%まで減っているがさらに5%まで、それぞれ低下する。

非エネルギー消費部門では、新興・途上国における石油と天然ガスの消費増を主な要因として、最終エネルギー消費が2022年の972 Mtoeから2050年には1,246 Mtoeまで年率0.9%で増加する。非エネルギー消費部門の消費増分は274 Mtoeで、最終エネルギー消費全体の増分の14%を占める。新興・途上国では、生活水準の向上とともに、プラスチックなど石油化学製品の利用量が増大してゆく。先進国では、2022年から2050年にかけて消費量がわずかながら増加する。特に北米では、シェールガスの域内生産量が増えて原料が安価で手に入るようになったことを背景として、石油化学産業における非エネルギー消費が増える。なお、プラスチックは利便性が高い一方で、昨今ではその大量消費にともなう資源・廃棄物制約や海洋プラスチックごみ、気候変動への影響などが国際的な課題になっている。これらの課題への対策の一環として、化石燃料ではなくバイオマスを原料としたバイオマスプラスチックの導入が徐々に進む。

エネルギー源別: すべてのエネルギー源の需要が残る

2022年から2050年までの世界の最終エネルギー消費の変化を主要なエネルギー源別に見た場合、シェアが増加トレンドをたどるものと減少トレンドをたどるものに大別される(図2-29)。すなわち、電力シェアのみ増加となる一方、石油と石炭、天然ガス、バイオマスの直接利用が大宗を占める再生可能エネルギーは減少する。ただし、2050年でも天然ガスはもちろんのこと、石炭と再生可能エネルギーへの需要も存在する。化石燃料(石炭、石油、天然ガス)は、世界の最終エネルギー消費に占める比率が2022年の65%から2050年には60%に低下するものの、引き続き過半を占める有力なエネルギー源である。

図2-29 | 世界の最終エネルギー消費(エネルギー源別) [レファレンスシナリオ]



石油の最終消費は、部門別の切り口でも触れた新興・途上国の道路部門など運輸部門における消費増を中心に、2022年の4,014 Mtoeから2050年には4,520 Mtoeまで年率0.4%で増加する。モータリゼーションが進むインドやASEAN含むアジア全体の道路部門における消費増は382 Mtoeとなっており、先進国の石油消費減少幅(-444 Mtoe)を相殺してしまうほどの増加となる。運輸部門に次ぐ消費の増加を見せるのは、非エネルギー消費部門である。同部門では、アジアの消費増に加えて、中東が域内の豊富な資源を活かして消費を増加させる。

電力の最終消費は、民生他部門と産業部門における消費増を主な要因として、2022年の2,113 Mtoeから2050年には3,561 Mtoeまで年率1.9%で増加する。電力は、先進国でも消費が増える唯一の主要なエネルギー源である。中国やインド、ASEANを筆頭としたアジアの消費増が世界全体の消費増をけん引するとともに、北米やヨーロッパでも電力消費が増える。一般に、所得が増大するにつれて、利便性の高いエネルギー源である電力が好んで使われるようになる。また、デジタル化などが進展することにより、電力を利用するマシンやデバイスの数も増えてゆく。世界の最終エネルギー消費に占める電力の比率は、2022年の21%から2050年には30%まで上昇する。経済社会のさまざまなシステムの電力依存度が高まるにつれて、供給障害が生じたときの損害がより大きくなりうる。電源の脱炭素化は重要な論点であるが、エネルギーセキュリティの観点からは、それに加えて安定的な電力供給体制を確保することも重要である。

天然ガスの最終消費は、新興・途上国の産業部門と非エネルギー消費部門における消費増を中心として、2022年の1,690 Mtoeから2050年には1,910 Mtoeまで年率0.4%で増加する。産

業部門では、製造業が隆盛するインドやASEAN、MENAにおいて、非素材系産業を中心に消費が増加する。非エネルギー消費部門では、化学製品の内需が高まるインド、ASEANや天然ガスを活用した石油化学産業の拡大を目指す中東が中心となり、世界の消費増をけん引する。

石炭の最終消費は、中国の産業部門と民生他部門における消費減を主な要因として、2022年の890 Mtoeから2050年には799 Mtoeまで年率0.4%で減少する。地域別の切り口でも触れたとおり、中国では石炭消費量が多い製鉄業とセメント製造業の生産量が中長期的に減少する。これにともない、2050年には中国の産業部門の石炭消費は、2022年の半分以上となる。また、中国は2030年にCO₂排出量のピークアウト、2060年にカーボンニュートラルを目指す「3060目標」を宣言し、これに基づいて2025年から石炭消費を減少させる計画があるため、同国の産業部門では電力、民生他部門では天然ガスや電力への利用エネルギー転換が進む。

再生可能エネルギーの最終消費は、アジアやアフリカの新興・途上国におけるエネルギー転換の進展などにより、2022年の1,008 Mtoeから2050年には892 Mtoeまで年率0.4%で減少する。最終消費部門における再生可能エネルギーの例としては、自動車・航空機用のバイオ燃料が注目を集めている。しかし、2022年の再生可能エネルギー最終消費の構成比率では、新興・途上国における薪炭材や畜ふんといった伝統的バイオマス消費が67%と最も大きく、次いで欧米諸国の暖房用などの薪炭材消費が14%、バイオ燃料消費が12%、その他が7%である。部門別の切り口でも触れたとおり、アジアやアフリカの新興・途上国などで近代エネルギーの利用が伝統的バイオマスの利用を徐々に代替してゆく。その影響で、2030年代から世界の再生可能エネルギー最終消費は徐々に減少する。

3. エネルギー供給

3.1 原油

近年の原油供給

西側のロシア産石油制裁、フーシ派による石油タンカー攻撃、イスラエルとイランの対立等、原油供給リスクが顕在化しているにもかかわらず、足元の原油供給は比較的安定していると言える。2022年10月に減産強化に転じたOPEC⁸プラスは、2025年までOPECプラス全体による日量3.66百万バレル(Mb/d) (2022年10月合意の2 Mb/dおよび2023年4月合意の1.66 Mb/d)、足元ではOPECプラス全体での2 Mb/d、サウジアラビアやロシア等有志国による2.2 Mb/dの自主減産を実施している。2023年にはパンデミック前の需要を回復したものの、米国等非OPECプラス産油国の増産もあり、OPECプラスは協調減産によって辛うじて市況を維持している。ロシアの産油量は、西側諸国の禁輸、価格キャップ、ウクライナによる石油インフラストラクチャーへの攻撃にもかかわらず、10 Mb/dを維持している。ロシアの生産量が底堅い背景には、インドや中国といった国々が積極的にロシア産石油を輸入していることがある。一方、世界最大の産油国である米国の生産量は2024年第2四半期に20 Mb/dを超えるなど堅調である。

中東産油国が低生産コストを活かして原油供給をリード

レファレンスシナリオでの世界の石油需要は、インドや東南アジア諸国連合(ASEAN)、アフリカ等の新興・途上国を中心に、経済成長を背景に2050年まで増加を続ける。

2030年までは、世界の石油需要は年率0.5%で増加し、これに呼応してOPEC、非OPECともに、原油生産を増加させる。中東湾岸諸国を中心とするOPEC加盟国はこの期間中の世界の原油供給増をけん引する。ヨーロッパ・ユーラシアは、西側諸国の禁輸や制裁も影響しロシアの上流投資不足が深刻化することで減少し続ける。一方、米国を中心とする北米の生産量は2030年ごろにピークに達する。また、中南米の生産量は若干増加するがアフリカの生産量は横ばい、アジア・オセアニアの生産量は減少し続ける。2030年からは、北米の生産量は緩やかに減少するものの、2050年時点でも米国は世界最大の産油国であり続ける。中南米での増産は維持されるが、ヨーロッパ・ユーラシア、アジアといった非OPEC地域は減少し、OPEC、特に圧倒的なコスト競争力を持つ中東OPEC加盟国の存在感がますます高まる。その結果、世界の石油供給に占めるOPEC原油のシェアは2022年の36%から2050年には42%に高まる。

⁸ 石油輸出国機構

表3-1 | 原油生産[レファレンスシナリオ]

	2022	2030	2040	2050	2022-2050	
					変化量	変化率/年
原油生産計	95.4	99.0	101.9	103.5	8.1	0.3%
OPEC	35.0	37.8	41.5	44.6	9.6	0.9%
中東	28.3	31.0	34.3	36.8	8.5	0.9%
その他	6.8	6.7	7.2	7.9	1.1	0.5%
非OPEC	60.3	61.2	60.3	58.9	-1.5	-0.1%
北米	22.4	25.9	25.6	24.7	2.3	0.3%
中南米	8.2	8.4	9.6	9.8	1.6	0.6%
欧州・ユーラシア	17.7	15.1	14.1	13.2	-4.4	-1.0%
中東	2.9	3.7	3.8	4.6	1.7	1.6%
アフリカ	1.6	1.4	1.4	1.5	-0.1	-0.2%
アジア・オセアニア	7.6	6.7	5.7	5.1	-2.5	-1.4%
プロセスゲイン	2.3	2.4	2.6	2.8	0.5	0.7%
石油供給計	97.7	101.4	104.5	106.3	8.6	0.3%

注: 原油には天然ガス液(NGL)を含む

アジアで高まる中東への原油依存

2023年の世界の原油貿易量は44 Mb/dであった。最大の輸出地域である中東の輸出量は18 Mb/dで輸出量の42%を占め、北米が8 Mb/d、ロシアを中心とする他欧州・ユーラシアおよび北米が7 Mb/dで続いている。中東の輸出量の7割はアジア向けである。他欧州・ユーラシアは、西側諸国の禁輸を避けロシアが中国やインド向け輸出を増やしたことが影響し、8割がアジア向けとなった。北米は、域内(米国・カナダ間)での貿易が5割を占め、欧州とアジア向けが2割ずつである。輸入地域ではアジアの輸入量が29 Mb/dと圧倒的に大きく、なかでも世界最大の輸入国である中国の輸入量は11 Mb/dに達する。欧州先進国の輸入量も10 Mb/dと大きい。アジア向け最大の供給地域は中東で、アジア全体での中東依存度は6割である。ウクライナ戦争以降、ロシア産原油からの脱却を進めている欧州先進国向けではアフリカが最大の輸出地域となった。北米や中東も欧州向け増やしており、欧州先進国での他欧州/ユーラシア依存度はウクライナ侵攻前の4割(欧州連合[EU]のロシア依存度は3割)から、2023年には24% (同4%)まで低下した。

図3-1 | 主要地域間の原油貿易[2023年]

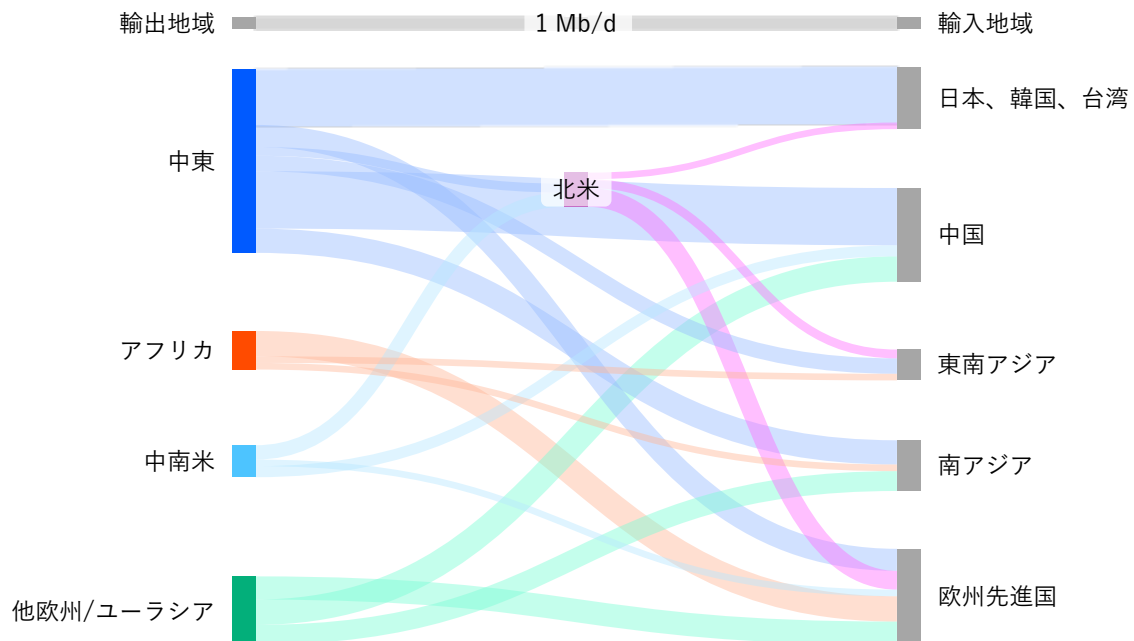
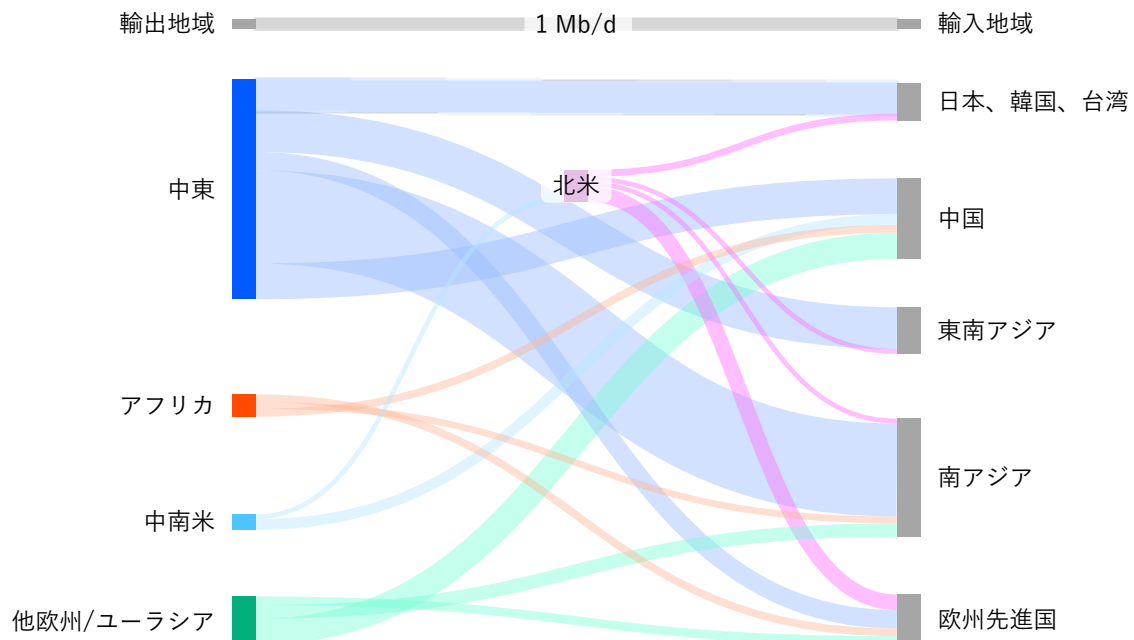


図3-2 | 主要地域間の原油貿易[レファレンスシナリオ、2050年]



世界の原油貿易量は、非産油国での石油需要の増加を背景に増加する。需要が減少する経済協力開発機構(OECD)諸国では輸入量も低下し続けるが、非OECD諸国の輸入量がそれを上回る勢いで増加する。輸入量増加の中心は中国からインドやASEANへ移行し、アジアの輸入依存度は上昇し続ける。ロシアを中心とする欧州・ユーラシアや米州からアジアへの流入量は増加するものの、中東がアジア向けの最大供給地域であり続ける。

3.2 天然ガス

液化天然ガス市場は大拡張期を控え緩やかな取引量増加が続く

2024年上半期、世界の液化天然ガス(LNG)市場では、LNG海上輸送貿易量が前年同期に続き200 Mtを超えた。前年同期比で微増に留まったが、半年間として再び過去最高となった。数量面で大西洋から太平洋地域へのシフトが顕著であり、アジア太平洋地域(中東を除く)のシェアが前年同期の62%から68%に増加した。

欧州連合・英国は48 Mtを輸入したが、前年同期の59 Mtを大きく下回った。日本は32 Mtを輸入し、前年同期比微減となった。中国は38 Mtを輸入し前年同期(33 Mt)を上回ったものの、2021年同期は40 Mtである過去最高には至らなかった。ただし、パイプラインガス・LNG合計輸入量では65 Mtと、前年同期比14.3%増で史上最高となった。なお、中国は2024年上半期に123.6 Bcm、前年同期比6.0%増の天然ガスを生産した。消費量では、前年同期比10.1%増の213.75 Bcmとこれもまた史上最高となった。東南アジアのLNG輸入量は、前年同期比21%増の12 Mtとなった。

LNG輸出サイドでは、上位は2022年～2023年同期同様、米国、オーストラリア、カタールが40 Mt程度のLNG輸出量で、このうち米国が微増を記録した。4番手のロシアは前年同期の顕著な減少から、増加に転じた。モザンビーク、ナイジェリア、マレーシア、インドネシアも小幅ながら増加した。

2022年は、EU側のロシア産化石燃料忌避、ロシア側からのエネルギー供給削減揺さぶりの両方の要因で、ロシア産パイプラインガスのEU向け供給は、2021年12月のLNG換算8 Mt強から、2022年12月以降は月間同2 Mt未満に減少し、少なくとも2024年6月時点まで継続している。他方でロシア産LNGのEU向け供給は、2022年、2023年はいずれも小幅ながら増加した。しかし、2025年以降には、残されたロシア産パイプラインガス供給に加え、ロシア産LNG供給動向にも不透明要因があることに留意すべきである。

また、今後のアジア、ヨーロッパのスポットガス価格動向次第で、米国産LNGのアジア向け、ヨーロッパ向け比率は変動する。米LNG輸出中のEU+英国比率が2021年の3割程度から、2022年～2023年は6割強に大幅増加、2024年上半期は5割強となっている。一方、アジ

ア向け比率は2021年の半分弱から2022年～2023年は4分の1程度に低下、2024年上半期は3割程度となった。

2022年は、LNG市場では、米国でのLNG設備1件での火災事故後の停止・再稼働見通しの延期が、供給量減少・見通し不透明の大きな要因となった。2023年後半には、オーストラリアの大型LNG生産設備における労働争議が、実際の供給中断にはつながらなかったものの、不安感をもたらした。2024年前半は、主要LNG海上輸送経路における制限が、迂回・輸送の長距離化をもたらしている。今後も大型LNG生産設備のトラブルや輸送水路の障害があれば、市場バランスが大きく変動する可能性がある。2024年後半から2026年初にかけては、カナダ、メキシコ、米国、モーリタニア・セネガルでの新規プロジェクトの安定的な稼働開始・タイミングも大きな要因となる。

2023年に世界最大のLNG輸出国となった米国では、2024年1月末、政権がLNG輸出許可手続きを一時停止し、経済・環境影響をスタディすることを発表した。当局は「数か月間で完了・手続き再開」表明したが、異議・反対は継続中である。7月初旬にこの輸出許可手続き一時停止差し止めの命令を発出したが、その後も8月初旬時点で新たな許可は発行されていない。また7月下旬には、連邦議会エネルギー・天然資源委員会が、許可承認改革法案を採択した。今後同法案が成立すれば、LNGライセンス承認手続きに90日間の期限を設定し、迅速処理を義務付け、将来のLNG許可手続きを停止する措置を認めないものとしている。今回のLNG輸出許可手続き一時停止は、一部のLNGプロジェクトに遅延と不確実性をもたらすとともに、米国の長期的、安定的なLNG供給者としての信頼性に疑問符を付けることとなった。

近年の最大成長の天然ガス・LNG市場である中国は、2022年は天然ガス消費量が統計史上初めて減少(前年比-1.7%)、LNG輸入量は前年比2割近い減少となった。ただ、2023年には天然ガス消費は増加に転じ、2024年上半期はLNG輸入量、パイプラインガス輸入量、自国天然ガス消費量・生産量とも顕著に増加した。

もう1つの大型急成長天然ガス市場としてのインドでは、天然ガス消費が2022年の前年比5%減少から、2023年には15.5%増に回復した。国有企業による天然ガス生産減少の一方で、民間企業による生産が2022年は16%、2023年も20%増加した。

東南アジア、南アジア(インド除く)では、近年のグローバル市場における価格・需給変動の影響はさまざまとなっている。東南アジアでは、LNG輸入量は2022年に前年比28%、2023年に25%増加したことにより、2023年は20.20 Mtとなった。2024年上半期は前年同期比21.2%増の12.12 Mtを輸入した。東南アジアにはLNG輸出国とLNG輸入国が存在し、影響にはばらつきが見られる。2023年以降、フィリピン、ベトナムがLNG輸入国に加わり、今

後も輸入の増加が見込まれる。一方、バングラデシュ、パキスタンは、2022年には天然ガス火力発電用のLNG輸入が大幅減少、両国合計で前年比18%、2.55 Mt減となった。2023年は8.8%増の12.39 Mt、2024年上半期は前年同期比7.7%増の6.68 Mtを輸入した。

LNG市場安定化に向けて: 供給面、需要面、価格面

石油危機以降の50年間で、天然ガス・LNGは化石燃料の中で、最もクリーンかつ基幹エネルギー源として成長した。世界、日本とも、天然ガスが一次エネルギーの4分の1のシェア占める。これにより、天然ガス・LNGのエネルギーセキュリティ全体への影響度は大きくなり、特にLNGが天然ガス供給の大きな部分を占めるアジアにおいて、LNG自体の安定供給確保の重要性が、格段に高まった。海上貿易されるLNGは、2011年以降の12年間で60%以上拡大した。輸入国・地域には、2022年～2023年だけでも、ドイツ、フィリピン、香港、ベトナムが新たに加わった。

表3-2 | LNGの役割変遷

主な時代と事象	LNGの役割発揮振り
20世紀後半 石油危機 大気汚染	代替エネルギー源、クリーンエネルギー源(日本、韓国) パイプラインガスに対する代替ガス供給源(欧州) 一次エネルギー中でシェア拡大し、石油危機影響緩和にも貢献
2010年代 原子力発電危機対応 エネルギー需要増	ベース電源不足時に迅速対応可能な柔軟性を実証 緊急時に柔軟性際立つ
2021年～2022年 パンデミック後エネルギー需要反騰 戦争・天然ガス不足	欧州でウクライナ侵攻以前よりロシア産パイプラインガス供給減少分をLNG輸入増加が相殺 危機・パイプライン爆破によるロシア産パイプラインガス輸入減少分を、米国産を中心とするLNG輸入増加で充足
将来に向けて	新・クリーンエネルギー源との組み合わせ・トランジション LNG自身のクリーン化次第で持続的利用

天然ガスが世界で基幹エネルギー化したことにより、LNGは世界のエネルギー供給安定のカギを握っている。供給面では、長期的には米国、オーストラリア、カナダ、アフリカ等、非ロシア供給源からの安定供給実現が重要課題である。

引き続き、今後の投資決定可能性が高いプロジェクトに関しては、当面、米国が多数を占める。米国でのLNGプロジェクトは、原料ガスとなる上流側のガス田が伝統的なLNGプロ

プロジェクトと異なり、必ずしも垂直統合型に特定されていない。さらに、LNGの引き取りに際しても、必ずしも最終消費先が固定されない緩やかなコミットメントでのプロジェクト構築・投資決定がなされてきた。一方で、2021年以降、最終消費先特定度が高い長期契約も盛り返しており、ボリュームの拡大とともにプロジェクト構造の多様化も進みつつある。

こうした米国産LNGのグローバル市場への登場が、LNG市場全体の構造変化をもたらしている。2019年は、米国産LNGの日本向け供給が本格化したことにより、従来のアジア向けLNG供給主体からの取引契約で主流であった原油連動価格が高水準であるときに優位性を実証した。一方で、2020年は、世界的天然ガス価格低迷・短期需要低迷時に、供給量の変動分を吸収する柔軟性を発揮した。さらに2021年には再び世界的な天然ガス価格上昇局面で、柔軟性・価格優位性を発揮し、各地への有力供給源として確立した。2022年には、ヨーロッパ向けの最大の追加天然ガス供給源となった。2023年には、世界最大のLNG輸出国となった。

このことが、他供給源含めて、契約条件交渉に影響を与えている。他方、オーストラリアは2019年までに現在の生産容量拡大局面が最終段階を迎え、そのLNG生産量は、2020年、2021年には2006年以降の世界最大のLNG輸出国だったカタールを上回った。また、ロシアは近年、北極圏プロジェクトでのLNG生産が増加し、ヨーロッパ天然ガス市場でシェアを拡大した。

LNG物流のヨーロッパシフトと世界天然ガス価格高水準継続

LNG大型プロジェクトでは、従来、投資決定からLNG輸出開始まで4年～5年と長期間を要することが特色だった。建設期間を短縮するため、一部設備の標準化・モジュラー化によりエンジニアリング期間・組み立て建設期間を短縮する取り組みとその成果も実現されつつある。さらに、年間1.4 Mt規模の液化設備を従来よりも大幅に短い1年～2年間で実現することを表明するプロジェクト企業も台頭している。

今後のLNGを中心として、世界の天然ガス供給が増加する地域として、東西アフリカのフロンティア地域がある。これらの地域では、洋上、また時には中小規模の天然ガス資源も存在することから、浮体式LNG生産方式も開発の現実的な選択肢となった。すでに西アフリカのカメルーンで浮体式LNG生産プロジェクトが稼働開始している。さらに、2017年に東アフリカのモザンビーク沖、2018年に西アフリカのセネガル・モーリタニア沖、2022年にコンゴ共和国沖の天然ガス資源を活用する浮体式LNG生産プロジェクトがそれぞれ投資決定を行った。これらのプロジェクトではいずれも、国際市場でのLNGマーケティング力を持つ大手LNGプレイヤーが生産されるLNG全量の引き取りをコミットすることにより、プロジェクト推進の裏付けとしている。

モザンビークではこの浮体式LNG生産プロジェクトに加え、陸上サイトでのLNG生産プロジェクトも複数計画されている。このうち1件は2019年6月に投資決定済みである。2021年～2024年時点では、現地の治安情勢の悪化により、建設作業が中断している。しかしながら、長期的には資源規模の大きさおよびインドをはじめとした南アジアに近く、海運上のチョークポイントもなく、アジア市場はもとより、スエズ運河経由あるいは喜望峰回りでヨーロッパ市場ともにアクセスできる戦略的な立地から、長期的に大きなLNG供給源として成長する。これらを背景に、天然ガス生産が順調に増加することが期待される。

なお、短期的には、引き続きロシア産パイプラインガス供給の減少への対処、LNG生産諸国での安定生産確保、新規LNG生産プロジェクトの円滑な立ち上がりが必要である。これらによるLNG生産の短期的安定化が、LNGに対する信頼度を高め、長期的な投資にもつながってゆく。

需要面では、長期的には脱炭素の取り組み内容の影響による需要見通しの変動、需要センターの新興・途上国へのシフト、需要側の契約柔軟化指向への対応などが重要度を増している。短期的には、原子力・再生可能エネルギー等の影響による天然ガス需要の不確実性、ヨーロッパにおける天然ガス需要削減・減少の変動幅、中国、インドやアジアの新興市場における天然ガス需要回復動向が市場のバランスを左右する。

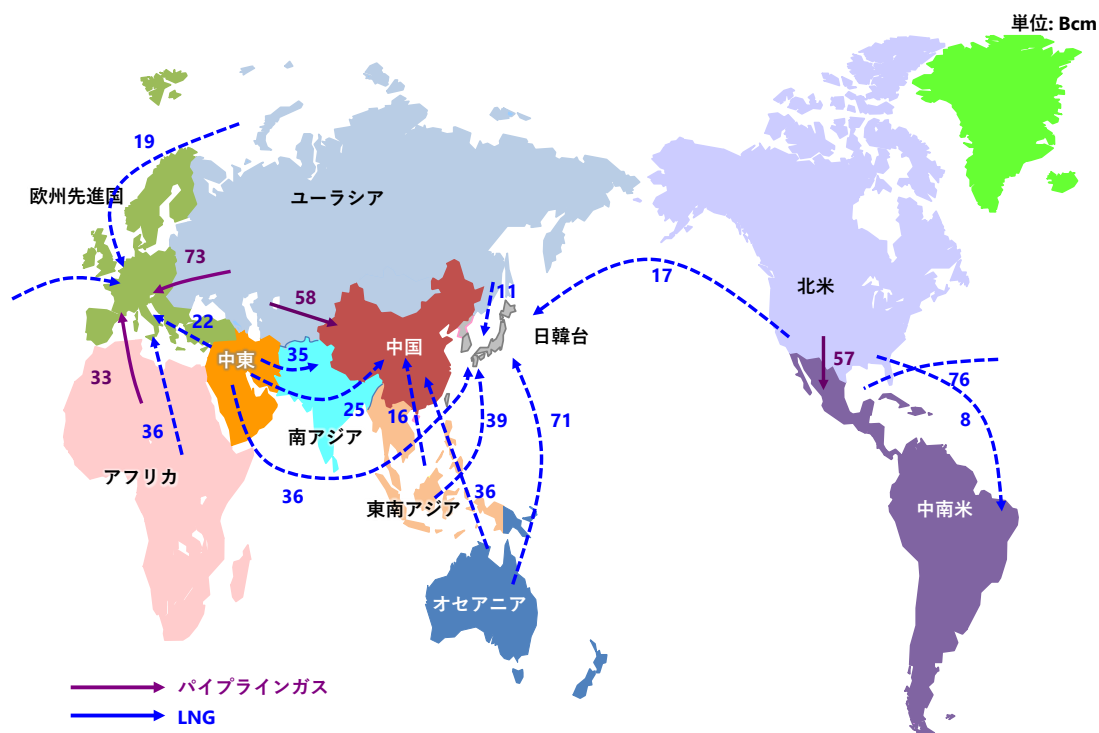
価格面では、長期的には契約価格方式の多様化と最適化、市場の安定成長と投資を支えるバランスの中での価格設定が必要となる。短期的には、ボラティリティ増大への対応が引き続き業界を悩ましている。

この点で、LNG市場安定化につながる政策面、投資確保面の課題への対処が重要である。具体的には、政府・国際レベルでの、トランジションに適合するLNGの基準の明確化、温室効果ガス(GHG)排出量測定・報告・認証(MRV)基準の明確化やクリーン対策装備基準の明確化により、投資対象・融資先としてのLNGプロジェクト優位性を確立することが、LNG市場の安定的な成長と、特に急速に成長する新興市場に向けた供給源安定確保につながる。特にこの点では、2023年、2024年の主要7か国(G7)、2023年のLNG産消会議でLNG市場安定に向けた政府・国際エネルギー機関(IEA)の役割強化が議論されたことが前進である。

表3-3 | 天然ガス生産[レファレンスシナリオ]

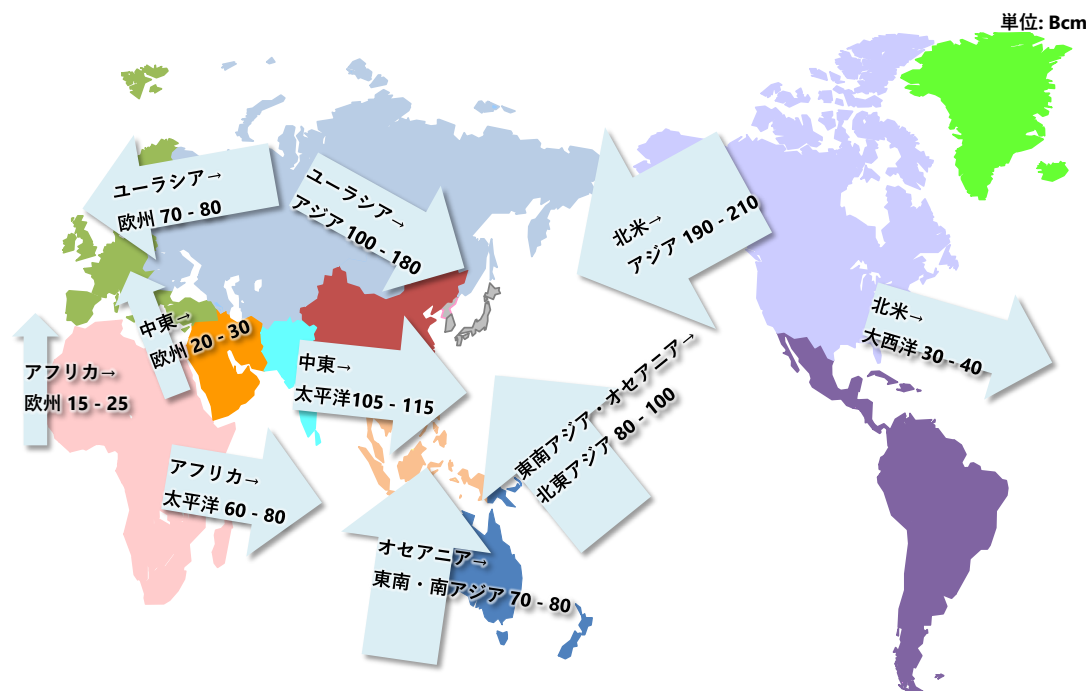
	2022	2030	2040	2050	(Bcm)	
					変化量	変化率
世界	4,210	4,364	4,797	5,407	1,197	0.9%
北米、メキシコ	1,272	1,337	1,426	1,497	225	0.6%
中南米(メキシコを除く)	161	174	225	313	153	2.4%
ヨーロッパ	214	143	130	100	-113	-2.7%
ユーラシア	914	848	864	909	-5	0.0%
ロシア	689	618	610	609	-80	-0.4%
中東	709	777	860	1,013	304	1.3%
アフリカ	254	279	386	548	294	2.8%
アジア	521	642	722	823	302	1.6%
中国	220	240	248	251	31	0.5%
インド	34	45	71	100	66	4.0%
ASEAN	196	220	249	269	73	1.1%
オセアニア	166	165	185	204	38	0.7%

図3-3 | 主要地域間の天然ガス貿易[2023年]



注: 主な地域間貿易を記載

図3-4 | 主要地域間の天然ガス貿易[レファレンスシナリオ、2050年]



注: 主な地域間貿易を記載しており、全貿易量を包含するものではない。ユーラシア、アフリカ、中東からの供給にはLNGに加えパイプラインによるものも含む。

3.3 石炭

世界での需要および供給の地域的分断が進んでいる

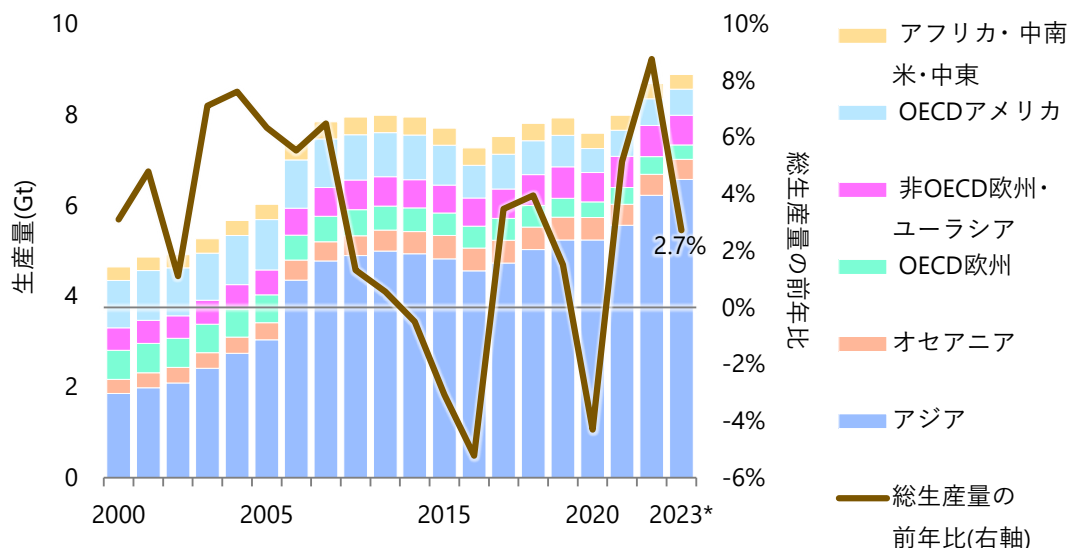
2023年、前年から続く新型コロナウイルス感染症(COVID-19)からの経済回復にともない中国とインドでの大幅な石炭需要増加にけん引され、世界の石炭需要量は史上最高を記録した。また、これら自国需要が伸びた中国、インドでの大幅な生産増に加え、アジア新興・途上国での需要の高まりを受けたインドネシアでの生産も大きく増加し、世界の石炭生産量も史上最高を記録した。

この状況を数字で確認すると2023年の世界の石炭消費量は、8,688 Mt (前年比+2.4%、+200 Mt)を記録した。特に中国とインドが消費量増を加速させている。中国は4,876 Mt (同+6.0%、+276 Mt)、インドも1,272 Mt (同+10.4%、+120 Mt)と増加した。一方で米国は417 Mt (同-10.7%、-50 Mt)、EUは358 Mt (同-22.8%、-106 Mt)と大きく消費を減らしている。特にヨーロッパでは、ロシアによるウクライナ侵攻の影響による石炭発電への一時的な回帰で需要が回復していたが、これへの対応が終わると同時に、脱炭素に向けた行動である石炭火力発電所の計画的な廃止の動きが再開された。これにより電力向け石炭需要が大

大きく減少したと見られる。しかしながら、世界全体では中国、インドをはじめとした需要増加がこれらの需要減少を上回ったことから、需要量は前年に比べ増加した。

また、世界の2023年の石炭生産量も、需要の増加にともない8,954 Mt (同+2.7%、+237 Mt)と増加した(図3-5)。

図3-5 | 世界の石炭生産



注: 2023年は暫定値

出所: IEA "World Energy Statistics and Balances 2024"

生産地域別に見ると、増減のばらつきが顕著となっている。アジアでは旺盛な石炭需要を支えるべく、中国が4,610 Mt (同+3.4%、+153 Mt)、インドが1,050 Mt (同+11.6%、109 Mt)、インドネシアが775 Mt (同+12.6%、+87 Mt)と大きく増産した結果、アジア全体では6,831 Mt (同+5.7%、+370 Mt)となった。その他地域では、OECDアメリカは625 Mt (同-4.6%、-30 Mt)、OECDヨーロッパは316 Mt (同-18.9%、-74 Mt)、非OECDヨーロッパ・ユーラシアは658 Mt (同-4.1%、-28 Mt)、アフリカ・中南米・中東計では322 Mt (同-3.8%、-13 Mt)であり、アジア以外の地域ではいずれも減少した。この合計減少幅をアジアの増加幅が大きく上回った結果、世界全体で前年比プラスを記録したことになる。

2023年の生産動向を主要輸出国に見ると、オーストラリアでは、年初に発生したラニーニャ現象による天候不順により生産が減少、またCOVID-19からの生産回復において労働力確保が遅れていることなども加わり、439 Mt (同-4.1%、-19 Mt)であった。インドネシアでは大幅な増産となっているが、アジアでの石炭需要増加により同国は積極的な増産を進めていることが大きな背景で、775 Mt (同+12.6%、+87 Mt)と初めて700 Mtを突破した。ヨーロッパを主な市場とするコロンビアでは、政情不安、労働者の抗議活動による混乱や天候不順の

影響も加わり、49 Mt (同-23.7%、-15 Mt)と大幅に減少した。インドを中心にASEAN等も主な市場とする南アフリカは、COVID-19感染拡大、鉄道事故、国内需要の減少等により生産量が2020年以降減少していたが、ようやくその傾向に歯止めがかかり232 Mt (同+0.7%、+2 Mt)と前年なみであった。一方、ロシアではウクライナ侵攻による西側各国の禁輸措置やシベリア鉄道のボトルネックなどがあったものの、生産量は若干減少の425 Mt (同-1.1%、-5 Mt)であった。

2023年の石炭貿易は、ウクライナ侵攻によるロシアからの石炭輸出に課せられた制裁の影響を前年同様に受けている。この結果、ロシアからの石炭供給から代替確保に迫られた西側各国と制裁には加わっていない中国やインドなどでのロシア炭輸入継続といった、コールフローが継続している。このような貿易を妨げる要因が存在することから、価格についても2022年のような高騰局面からは下落しているものの、引き続き一般炭を主体に下げ渋りしている。中国とインドは石炭市況が高止まりしている状況から、国内の生産を大幅に引き上げる政策で増加する国内需要への対応を強化。この結果、国内生産は大きく増加した。しかしながら、需給ギャップを埋める目的で輸入も維持しており、輸入量も増加している。両国とも石炭需要が大きいため国内需要に占める輸入炭の占める役割(シェア)は小さいが、世界の石炭貿易に占める量は大きいため、今後とも両国の石炭需給には注意が必要である。このような環境の中、中国の輸入量は474 Mt (同+55.7%、+122 Mt)と大きく増加した。前年は、オーストラリアからの輸入禁止や前述の国内炭優先政策から輸入量は大きく減少していた。2023年は、西側諸国の制裁でロシア炭が市場でだぶついたことなどから中国は積極的に輸入したこと、さらにオーストラリア炭の輸入を2023年に再開したことなどもあり大幅な増加となった。またインドも旺盛な石炭需要により国内炭の大増産を行ったにもかかわらず、中国同様にロシア炭の積極的な調達を行うなど輸入量は246 Mt (同+9.5%、+21 Mt)であった。このような貿易環境から、国際貿易量(一般炭と原料炭の合計輸入量)は、1,486 Mt (同+8.9%、+120 Mt)、内訳は一般炭1,156 Mt (同+7.9%、+84 M)、原料炭322 Mt (同+11.2%、+36 Mt)といずれも前年比増となっている。

ウクライナ侵攻継続環境での需給バランス

2024年の石炭需要は、前年に引き続きアジア地域での発電部門を主体とした旺盛な需要増と米国、EUおよび日本での需要減退の構図となると予測される。上期のアジア各国の状況を俯瞰すると、

中国: 電力需要は堅調に伸びているが、水力発電の回復と再生可能エネルギー発電の拡大から、石炭火力発電の伸長が鈍化すると見られている。また、景気減速から鉄鋼やセメント製造での需要は弱含んでいるが、石炭ガス化用途は増加している。

インド：電力部門および非電力部門のいずれも増加を示している。特に前年同様に水力発電が低調なことから、石炭火力発電での消費増が全体をけん引している。

インドネシア：好調な輸出に加え、国内の発電とニッケルを主体とした精錬産業での消費が伸長している。

ベトナム、その他：電力需要が旺盛な中で、水力発電が低調なため輸入炭による火力発電で対応しており、石炭需要が大きく伸びている。

このようにアジア新興・途上国では、前年同様に石炭需要が伸長している。

また、石炭需要が減少している米国とEUでは、電力需要の低迷と再生可能エネルギーの拡大が組み合わさり、電力部門での減少が顕著になっている。また米国の場合、安価な天然ガスも石炭需要減につながっている。また、日本、韓国でもLNG価格の前年からの下落などの影響から石炭火力発電が稼働減となっており、2023年から引き続き減少となっている。このようなバランスから、2024年の需要量は前年とほぼ横ばいになると予測している。

一方、世界の石炭生産量は、インド、インドネシアで生産が引き続き増加する一方、中国は産炭地である山西省での操業保全強化から前年比で微減と予測する。さらに米国とEUでも引き続き減少が続くと見ている。これら以外の国々の状況では、オーストラリアは2022年～2023年にラニーニャ現象による深刻な気象被害を受け生産減少に見舞われた。足元では、このような気象災害による影響は発生していないが、主要輸出先である日本での需要減や国内での労働力不足などもあり生産量は落ち込んだ2023年レベルに留まると予測されている。ロシアの石炭生産量は、西側各国の輸入禁止措置の影響を前年同様に受けているが、大きな減少にはならないと見られている。しかしながら、ウクライナとの戦争状況また中国、インドといった制裁に参加しない国々の輸入対応の変化によって、生産が影響を受ける可能性も否定できない。

石炭貿易においては、大輸入国である中国とインドの動向が大きな影響を及ぼす。中国は国内石炭産業保の目的から輸入量を年間300 Mt程度に制限してきていたが、2023年は国内需要増対応から制限を緩和したため、輸入炭量が474 Mtと前年から大幅な増加を記録した。輸入ソースとしては、インドネシアやロシアに加え、政治的摩擦から輸入停止をしていたオーストラリアからの輸入を2023年1月に再開するなど調達が多様化をしている。また、モンゴルからの原料炭輸入も大きく増加している。2024年に入り、政府の環境および操業安全強化により産炭地の山西省での減産もあり上期の輸入量は前年比で増加している。しかしながら、石炭火力発電の操業低下もあり下期は大きく伸びないと予測されている。インドは、前年同様に水力発電が渇水で低調なことから、石炭火力発電の稼働が高い状況が続いており、2024年も輸入量は高い水準で推移すると見られている。地産地消による石炭火力発電

増強を掲げるインドではあるが、輸入ソースの分散化・多様化についても取り組んでいる。例えば、ロシア炭についてイラン経由での輸入やモンゴル炭を試験的に輸入するなど石炭調達の安定性や持続性についても取り組んでいるようである。さらにベトナムは、2024年上半期に水力発電の不調から、石炭火力発電量を大きく増やしたことから輸入量が増加した。今後の水力次第ではあるが、現状は落ち着きを取り戻してきている。このようなアジア新興・途上国での輸入需要増加と対照的に、EU、日本、韓国、台湾では石炭需要減少から輸入の減少は2024年も続くと思われる。

供給側の状況としては、アジア各国の旺盛な輸入需要に対しては、世界最大の石炭輸出国であるインドネシアが増産によって対応すると見られている。インドネシア政府は、2024年の石炭生産割当量を922 Mtと前年比で約30%引き上げた。これにより生産者にとっては、需要が伸びている国内向供給規則に対応しかつ輸出向け増産も可能という、生産増のインセンティブが働く形となっている。2024年1月～4月に前年同期比ですでに8.0%を超える増産になっている。オーストラリアでは、COVID-19および悪天候影響からの回復途上にあるが、主要な輸出国である日本、韓国、台湾の需要減の影響もあり、足元の輸出量は低調で2024年は2023年と横ばいの水準と予測される。

このようにアジア新興・途上国での輸入増の一方で、EUと日本、韓国、台湾での輸入減により、2024年の石炭貿易量は前年比で横ばいと予測される。しかしながら、前述のとおり中国、インドの石炭需給バランスが崩れた場合、大きな影響が発生することには引き続き留意することが重要である。

石炭市況

2022年2月に発生したロシアのウクライナ侵攻によるエネルギー危機の影響を受け、石炭価格は急騰し、オーストラリア一般炭/ニューキャッスル積FOB⁹価格(6,000 NAR¹⁰)は\$400/tを超える歴史的価格を記録。このような高値の状況が、2023年第1四半期まで続いていた。ただ、北半球が暖冬となったこともあり、石炭およびLNG・天然ガスの需給の緩和が進み、第2四半期には一般炭価格が\$150/tを切るレベルまで急落した。その後、夏場の需要期に一時的に市況が上昇したものの、秋口以降は\$150/t以下となり、2024年上期も同じようなレベルで推移している。

またオーストラリア一般炭は、インドネシア炭ほかに比べ高カロリーの品位でありその代替が限定されるため、2022年のように供給バランスが著しくタイト化すると価格は一気に高騰しやすい。通常のマーケット環境では原料炭価格が一般炭価格よりも高い。しかしなが

⁹ 本船渡し

¹⁰ 真発熱量(Net as received) 6,000 kcal/kg

ら、ウクライナ侵攻後の需給環境では、この格差が逆転しオーストラリア一般炭価格が原料炭価格を上回る状況が2022年7月から2023年1月まで続いた。2023年に入り中国の禁輸措置の解消から原料炭価格の上昇と一般炭市場の需給緩和から、足元では通常の原料炭高に戻っている。

なおインドネシア炭FOB価格(4,200 NAR)については、2022年のウクライナ侵攻影響で上昇が見られたものの、ヨーロッパが天然ガス代替とする石炭スペックにはかなわないことからオーストラリア炭のような急騰とはならず、2023年第2四半期以降は\$100/tを下回る水準で安定している。ただし、この水準でも歴史的には高価格帯であり、インドネシアの増産・輸出意欲につながっていると言える。

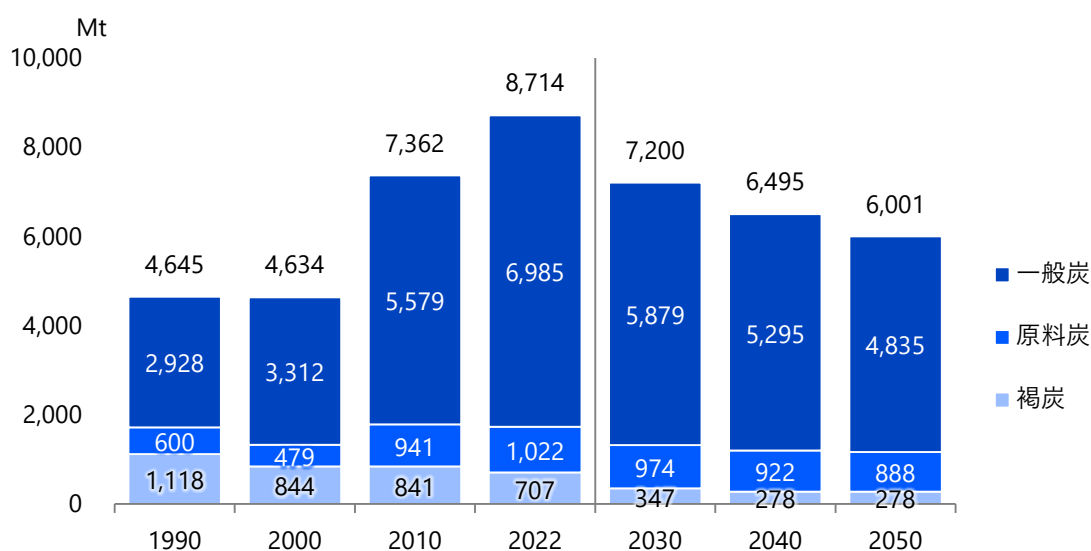
需要に見合った供給体制の維持

欧米をはじめ先進国では脱炭素が一段と加速し、新興・途上国においてもカーボンニュートラルの表明がなされ、化石燃料の中でもとりわけ石炭の消費・生産を厳しく抑制する方向性は多くの国で共通認識となっている。すでに欧米での石炭消費は減少の一途をたどっている。一方、中国、インドおよびアジア新興国においては、COVID-19感染影響からの経済活動回復にともない、エネルギー需要の増加が続いている。また、ロシアのウクライナ侵攻による天然ガス不足から石炭への需要シフトが一時的に発生したが、2023年にはこれも収まっている。足元では、これまでの脱炭素の流れから資源メジャーの石炭上流部門から撤退や縮小あるいは再編の動きが継続している。この動きの中で需要が堅調に伸びているアジアの財閥やコングロマリットの資金援助を受けた企業が、売却される石炭資産の買手に名乗りを上げていることには注目したい。

各国のエネルギー事情および足元の石炭需要の現状を踏まえると、世界レベルでの脱石炭の実現は、現実的には長期的な取り組みと捉えざるをえない。2023年の石炭消費量は前年比で増加し史上最大を記録した。ただし、世界的な需要増をけん引したのは中国、インドであり、また、対ロシア経済制裁の手段としてのロシア炭輸入禁止策は、石炭貿易フローの変化をもたらし、短・中期的に石炭供給国の生産に影響を与える可能性がある。世界の石炭需要を再確認すると、短中期では経済成長にともない中国、インド、ASEANをはじめとするアジアやアフリカ等で、長期的には中国を除くインド、ASEAN等のアジアとアフリカ等で需要は拡大する。特に新規鉱山開発や既存操業の維持・更新に対する従来型の石炭上流投融資は、脱炭素の動きの中で大幅に縮小や制限されているため、今後の供給力について影響が懸念されている。前述のアジア企業の石炭事業への参画は、この点からも注目に値すると見ている。

世界の石炭生産は、需要に対応して2020年代半ばごろまで増加し、その後減少に転じ、以降は減少傾向が続く。生産量は、2022年の8,714 Mtから2030年には7,200 Mt、2050年には6,001 Mtにまで減少する(図3-6)。炭種別に見ると、一般炭生産は発電用需要の減少にとともに2020年代半ばにはピークを迎え、その後減少に転じる。生産量もこれに合わせ2022年の6,985 Mtから2030年には5,879 Mt、2050年には4,835 Mtまで減少する。この中で、足元から2030年ごろまでに中国での石炭から再生可能エネルギーへの電源シフトが急速に進む。この結果、石炭需要は2030年ごろまで急速に減少し、それ以降は2050年に向けては緩やかな減少となる。また、主に鉄鋼生産の原料として用いられる原料炭の生産量は、2023年の1,022 Mtから、2050年には888 Mtと緩やかに減少する。地産地消型のエネルギー資源である褐炭は、現存する褐炭火力発電の廃止にとともに、生産量は2022年の707 Mtから漸減し、2050年には278 Mtに減少する。

図3-6 | 世界の石炭生産[レファレンスシナリオ]



将来に向けて石炭供給国は、自国の需要を満たしたうえで国際石炭市場すなわち輸出需要に対応して生産を行う。一方、中国やインドなどの石炭多消費かつ生産国は、国内需要を満たすべく国内生産を拡大し、不足分を他供給国から輸入する。日本のような石炭資源が少なく、生産が経済的でない諸国は、輸入に依存する。

主要石炭生産国・地域の状況を見ると、欧米先進国やポーランドをはじめEU加盟国である東欧の産炭国では、新規炭鉱開発だけでなく、既存炭鉱の維持・拡張や輸送インフラの整備等もさらに実施が困難となる。オーストラリアでは、国内の石炭消費および輸出の是非は、世論を二分する重要な関心事となっている。連邦政府は従来の温室効果ガス対策の厳格化を2022年の政権交代後に打ち出し、石炭鉱山を含む化石燃料の将来的な生産に大きな影響を

与えつつある。また産炭州政府も、気候変動対応政策をにらみ、石炭輸出以外の外貨獲得手段を模索する動きを強めている。さらに石炭の主要な輸出先であるインド、ASEANにおいて石炭需要が今後も増加する中で、現在、競合関係にあるインドネシアからの石炭輸出量が同国の政策から先細りすると想定される。オーストラリアからの供給量(特に一般炭)拡大が期待される場所であるが、足元の政策や投資環境からは難しいことが想定される。オーストラリアにおける炭鉱の合併・買収(M&A)状況には引き続き注視が必要と考える。

これまでに主にヨーロッパへの供給源となっていたコロンビアでは、先進国企業が撤退し、さらに政情不安定となっており、中長期的な生産量の大幅な増加は見込みにくい。国内供給、インド、ASEANを主市場とする南アフリカでも、同様に先進国企業の撤退など石炭産業の変革が進んでいる。同国では生産の中心である既存炭田の埋蔵量が枯渇に近づき、新規炭田への移行が必要となる。一般炭の主要輸出国であるインドネシアは、これまで主として需要伸長が著しい輸出マーケットに歩調を合わせて生産を拡大させている。一方で政府は、石炭資源保護の観点から生産量を抑制し、供給先を国内優先とする方針を大前提としている。しかしながら前述のとおり、毎年発表される政府の石炭生産枠は大幅な増産を可能とした数量となっており、足元では国内向けにも輸出向けにも大きな支障は出ていない。足元で国内需要も拡大しており、今後の政府の動向には引き続き注意が必要である。

一方、中国およびインドは、国内資源の活用に重点を置き、これまでに石炭火力発電の建設を急速に進めてきた。今後、中国の需要は2020年代半ばをピークに減少、一方、インドの需要は2050年に向けて増加する。両国は、国内炭を供給の主体としながら、国内需給調整弁として輸入炭をこれまでどおり活用するため、国際市場で引き続き重要な役割を果たす。

表3-4 | 一般炭生産[レファレンスシナリオ]

	2022	2030	2040	2050	2022-2050	
					変化量	変化率/年
世界	6,985	5,879	5,295	4,835	-2,150	-1.3%
北米	456	239	91	61	-395	-6.9%
米国	391	230	85	56	-335	-6.7%
中南米	67	57	51	49	-18	-1.1%
コロンビア	59	49	43	41	-18	-1.3%
OECDヨーロッパ	45	16	11	9	-36	-5.5%
非OECDヨーロッパ・中央アジア	376	322	303	299	-77	-0.8%
ロシア	254	201	182	175	-79	-1.3%
中東	0	0	0	0	0	-0.1%
アフリカ	248	229	241	268	19	0.3%
南アフリカ	245	206	209	221	-24	-0.4%
アジア	5,531	4,796	4,403	3,975	-1,556	-1.2%
中国	3,903	3,047	2,406	1,850	-2,053	-2.6%
インド	840	977	1,204	1,317	477	1.6%
インドネシア	682	656	668	674	-8	0.0%
オセアニア	261	221	195	174	-87	-1.4%
オーストラリア	260	220	194	173	-87	-1.4%

表3-5 | 原料炭生産[レファレンスシナリオ]

	2022	2030	2040	2050	2022-2050	
					変化量	変化率/年
世界	1,022	974	922	888	-134	-0.5%
北米	77	66	67	68	-9	-0.5%
米国	53	48	48	48	-4	-0.3%
中南米	10	12	13	14	4	1.2%
コロンビア	9	11	12	14	5	1.6%
OECDヨーロッパ	14	14	15	16	1	0.3%
非OECDヨーロッパ・中央アジア	109	115	115	115	6	0.2%
ロシア	105	107	107	108	3	0.1%
中東	2	2	2	2	0	0.2%
アフリカ	8	18	24	31	23	5.1%
モザンビーク	5	14	20	27	22	6.6%
アジア	641	567	485	416	-224	-1.5%
中国	554	463	351	253	-301	-2.8%
インド	57	71	99	128	72	3.0%
モンゴル	24	24	23	22	-2	-0.3%
オセアニア	161	181	201	225	64	1.2%
オーストラリア	160	180	200	224	64	1.2%

石炭貿易量は、2022年の1,366 Mtから2040年には1,234 Mtへと減少するが、その後はほぼ横ばいで推移し、2050年の貿易量は1,231 Mtとなる。炭種別で見ると、一般炭の貿易量は脱炭素化の動きの中で中国の輸入量が2020年代をピークに減少に転じるため、2022年の1,072 Mtから、2050年には841 Mtに大きく減少する。一方、原料炭は、EU、日本に加え中国での鉄鋼需要の減退もあり需要が漸減してゆくが、インドを中心とした新興・途上国での鉄鋼需要増がこれらの減少量を上回ることから、貿易量は2022年の286 Mtから2050年には385 Mtに増加する。

また主要輸出国別で見ると、オーストラリアは、引き続き現状レベルの供給量を維持するが、一般炭が減少し原料炭が増加といった数量バランスが需要の変化に合わせて進む。インドネシアは、自国の需要増加から生産量は維持しながら輸出量を絞ってゆく傾向を今後示す。中国の需要減少もあり当面市場への影響は大きくないが、2030年代以降、国内と輸出の供給バランスによってはアジア市場へ影響することもあり得る。ロシアは、EUや日本のロシア炭禁輸政策から短中期では減少し、その後もその減少した水準で横ばい推移する。またコロンビアも2020年代半ば以降、その供給量を徐々に減らしてゆく。

図3-7 | 世界の石炭貿易(輸入量) [レファレンスシナリオ]

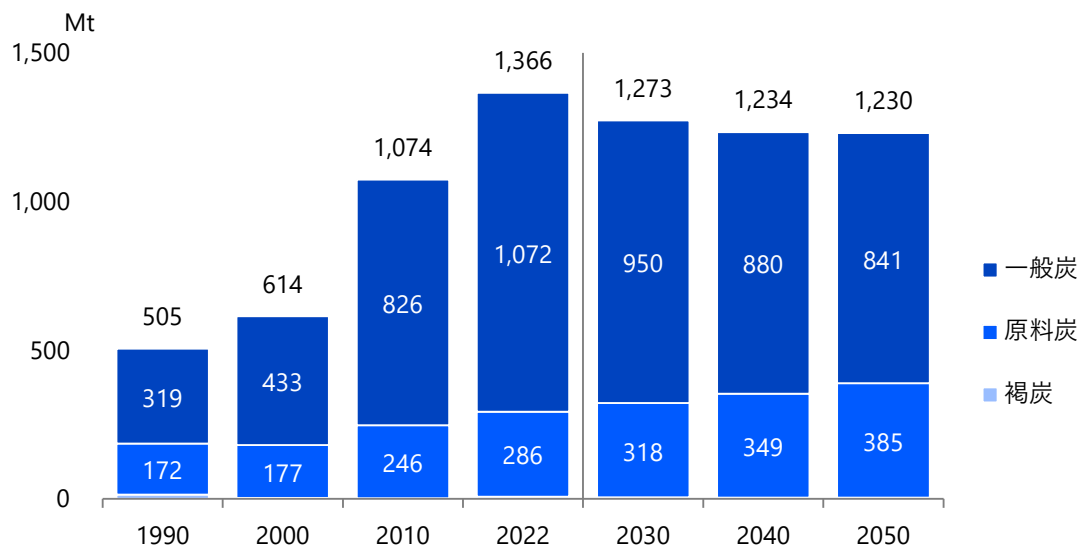
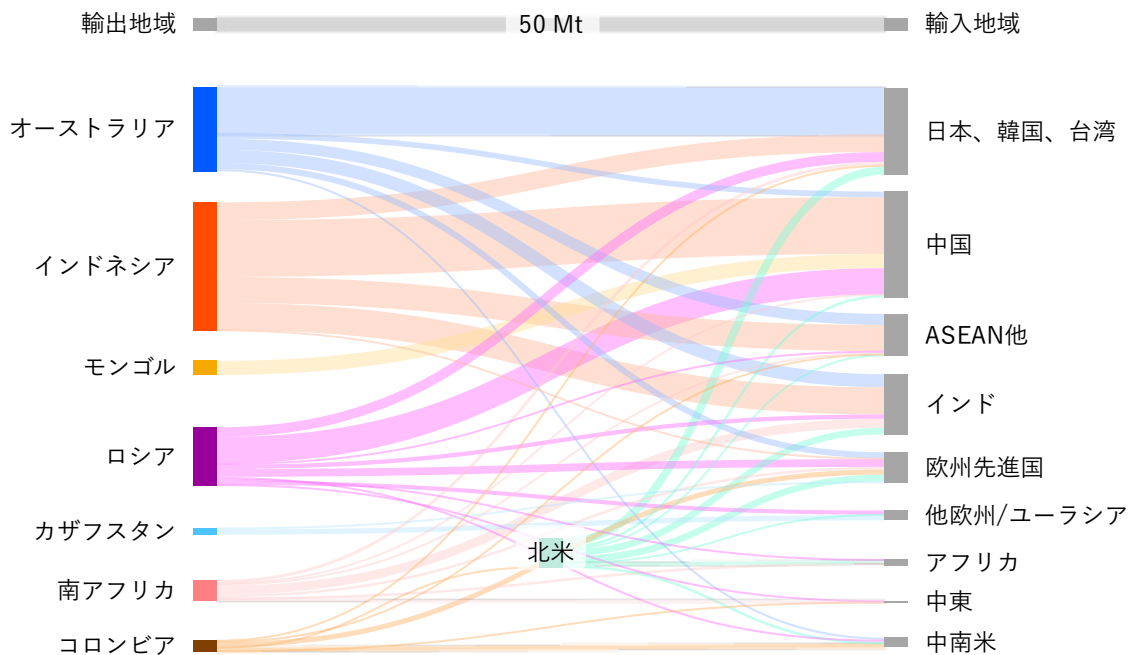


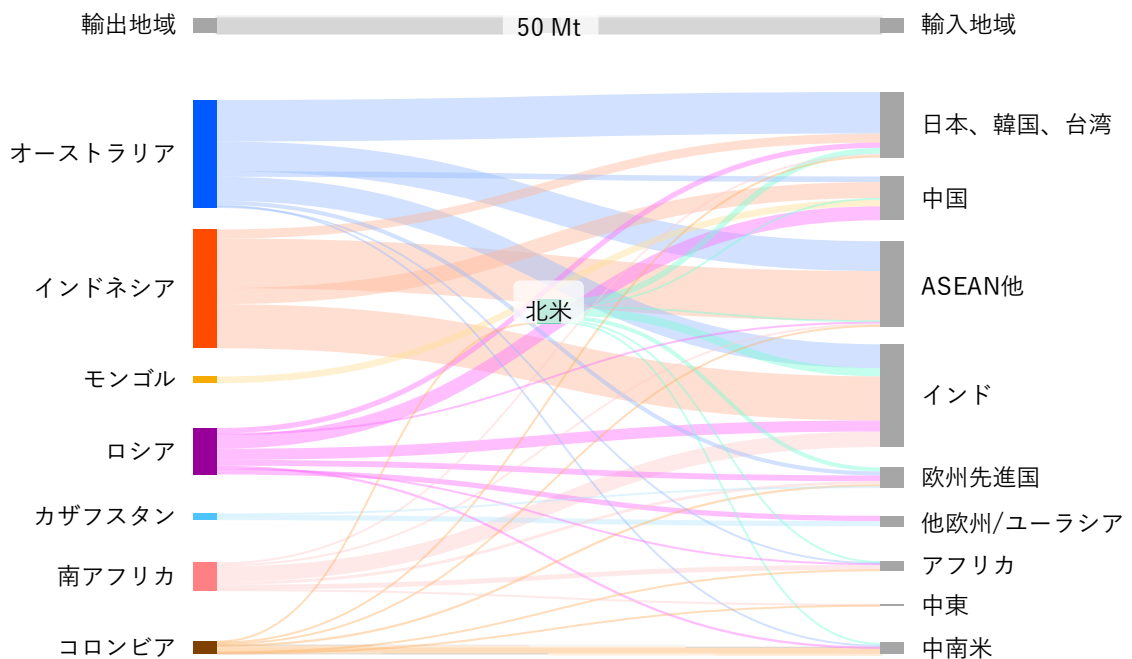
図3-8 | 主要国・地域間の石炭貿易[2023年]



注: 一般炭と原料炭の合計値。原則2 Mt以上を記載。南アフリカはモザンビークを含む。

出所: IEA “Coal Information 2024”、TEXレポート等を基に推定

図3-9 | 主要国・地域間の石炭貿易[レファレンスシナリオ、2050年]



注: 一般炭と原料炭の合計値。2 Mt以上を記載。南アフリカはモザンビークを含む。

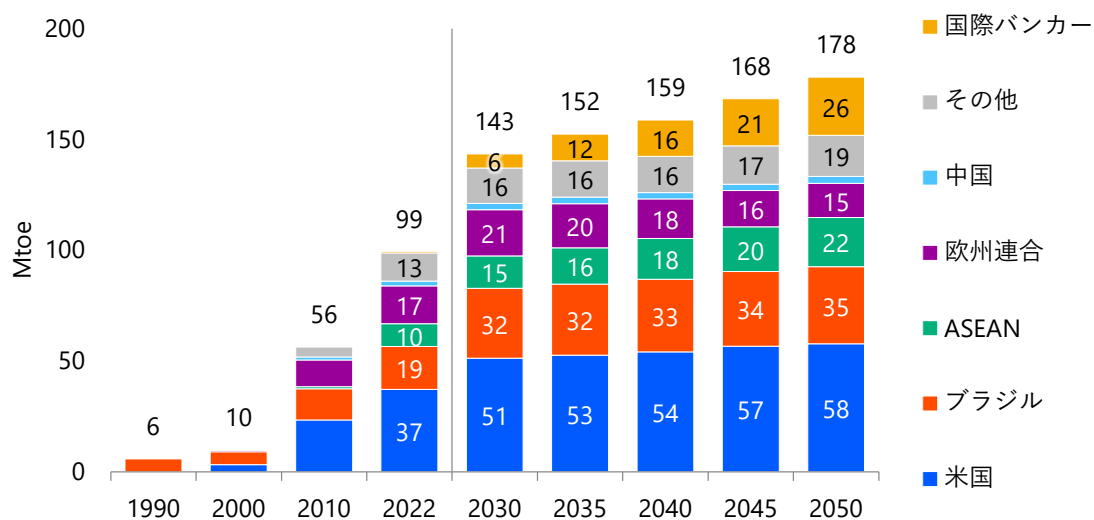
3.4 輸送用バイオ燃料

気候変動対策、エネルギー安全保障、農業振興の一環として、バイオエタノールとバイオディーゼルに代表される液体バイオ燃料の普及が進んでいる。足元では、自動車用バイオ燃料の利用は米国、ブラジル、東南アジア、EUに偏っている。

1990年代からバイオ燃料の消費量は大幅に増加したものの、2010年以降、バイオ燃料に対する投資の低迷が続いている。それでも、2050年には自動車用バイオ燃料の消費量は現状より拡大する(図3-10)。第1世代のバイオ燃料の環境影響や食料との競合に対する懸念が強まっているため、セルロース系バイオ燃料や藻類由来のバイオ燃料等、次世代バイオ燃料の開発とコスト削減に対する取り組みが強化される。アジアではASEANを中心にバイオ燃料の需要が大きく伸びるが、米国やブラジルほどの規模には至らない。

また、自動車用以外では、現在は利用実績が少ないが、国際航空や海運におけるバイオ燃料利用が拡大する。EUは2023年に航空燃料のクリーン化法案「ReFuelEU Aviation」を採択し、域内の空港にジェット燃料を供給する事業者を対象に、供給燃料全体のうち持続可能な航空燃料(Sustainable Aviation Fuel: SAF)の割合を一定以上とする規制を実施する予定である。将来は再生可能エネルギー水素由来のSAFも期待されるものの、現段階ではバイオ燃料由来のSAFが価格競争力を持っている¹¹。

図3-10 | 輸送用バイオ燃料消費[レファレンスシナリオ]



¹¹ World Economic Forum (WEF), “Clean Skies for Tomorrow: Sustainable Aviation Fuels as a Pathway to Net-Zero Aviation” (Nov 2020), <https://jp.weforum.org/publications/clean-skies-for-tomorrow-sustainable-aviation-fuels-as-a-pathway-to-net-zero-aviation/>

3.5 発電

近年の動向

電力需要の増加が継続

世界の経済成長、新型コロナウイルス禍からの回復やデータセンターによる追加的な電力需要増加を背景に、世界の発電量は直近の10年間(2013年～2023年)で年率2.5%のペースで増加した。2023年の増加量もまた、直近10年の平均値と同程度の前年比2.5%増であった¹²。各需要部門における電化の進展やデジタル技術によるコンピューティング需要の増加は、引き続き電力需要の押し上げに寄与しうる要因となりうる。

他方で、後者のデジタル技術はグリッド管理や個々の発電設備、需要側設備の運用をより効率化することが期待され、エネルギー効率の改善やコスト低減に寄与する可能性がある。

二極化する石炭火力発電

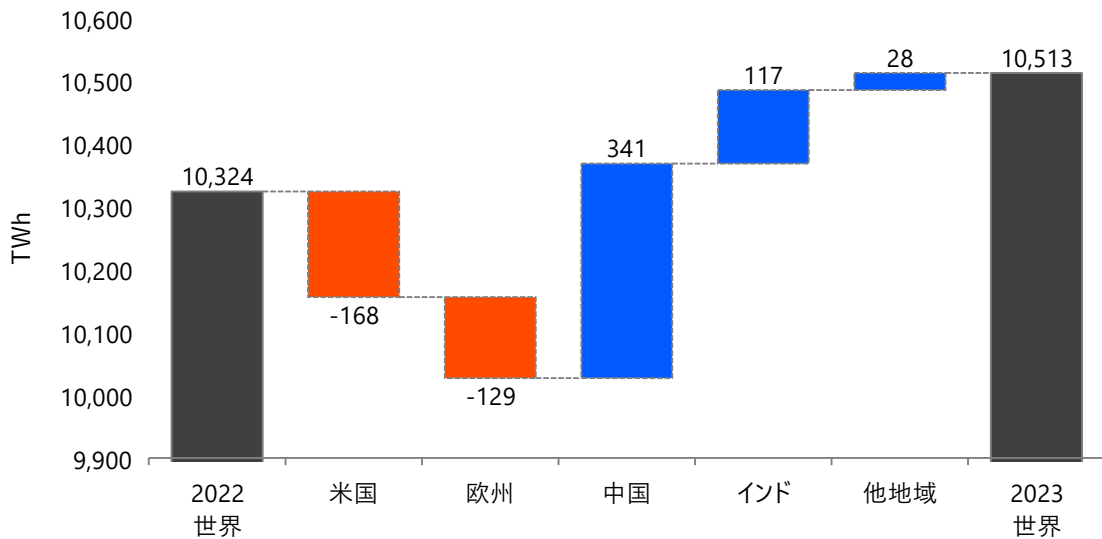
2023年における世界全体の石炭火力発電量は、前年比1.8%増の10,513 TWhであった。この石炭火力発電を巡る動向は、先進国と新興・途上国で対照的なものとなった。

OECD諸国では脱石炭火力発電に向けた取り組みが着々と進み、石炭火力発電量は同-13.9%と著しく減少した。この減少の背景には、ウクライナ危機により2022年に深刻化した天然ガス供給不足が緩和されたこともあるが、大量に導入された再生可能エネルギーの影響もまた小さくなく、今後も脱石炭に向けた動きが進んでゆくと見られる。

他方で新興国における石炭火力発電量は、同6.1%と大幅に増加した。そのうちの3分の2は中国、6分の1がインドにおけるものである。このような新興国における電力需要の底堅い増加は、化石燃料火力発電の利用拡大の必要性を示している。また、先進国においてもデータセンターにおける電力需要の上振れ可能性を鑑みると、既設の化石燃料火力発電設備の早期廃止に待ったがかかる可能性も無視できない。アンモニア・水素混焼などを織り交ぜつつ、電力需要増加に対応する余力を残すことが肝要である。

¹² Energy Institute, Statistical Review of World Energy (2024)

図3-11 | 石炭火力発電量と変化への寄与



出所: Energy Institute, Statistical Review of World Energy (2024)

こうした趨勢の差異は、首脳国会合における合意にも端的に表れている。2024年4月にイタリアで開かれたG7環境相会合では、2035年までにCO₂削減対策が講じられていない石炭火力発電を段階的に廃止することなどが合意され、共同声明にもその目標が織り込まれた。他方で、新興・途上国を含んだ20か国・地域(G20)は、2023年7月に開かれたエネルギー相会合では、脱炭素社会の実現を目指すことが合意されつつも、具体的な化石燃料低減の段取りや、再生可能エネルギーの導入量を巡る目標の合意には至らなかった。先進国が進める脱炭素・脱石炭の動きに新興・途上国は必ずしも追随するものではなく、各国の経済情勢やエネルギー事情を踏まえた「多様な道筋」の必要性が示された。

太陽光は特に中国で著しい増加、風力はインフレを受けて減速

再生可能エネルギー、その中でも太陽光・風力による発電量の増加が著しい。2023年の太陽光発電量は前年比24.2%増、風力は同10.3%増となり、太陽光と風力で発電量の13.2%を占めるようになった。太陽光については、特に近年中国での発電量の増加が著しく、世界全体の増分の半分を占める。また、第14次五か年計画(2021年～2025年)のもとで太陽光発電設備の生産能力を集中的に拡大させ、国内のエネルギー供給のみならず設備の海外輸出も著しく伸長している。他方、風力は増加が続きつつも、その増加率は太陽光のそれほど著しくはなく、また過去2年間(それぞれ前年比+17%、+13%)から減速した。長期化するインフレーションを受け、資材価格の高騰が導入拡大のブレーキとなった。

この数年、米国のインフレ抑制法の承認、EUのREPowerEU計画、日本ではエネルギー基本計画やグリーントランスフォーメーション(GX)実現に向けた基本方針・分野別投資戦略な

ど、過去に比べ野心的な再生可能エネルギーの導入目標と実施策が相次いで設定されている。今後もこの分野における投資は先進国や中国を中心に強化されると見られる。

見通し

発電電力量: アジア、アフリカで急速に拡大、先進国でも増え続ける

世界で継続する経済成長、電力へのエネルギー転換といった従来の要因に加え、デジタル技術の隆盛を背景に電力消費は2050年まで年率1.8%で拡大を続ける。これにより、世界の発電量は2050年に2022年の1.8倍となる47,906 TWhに増大する(図3-12)。その増分18,813 TWhのうち80%が新興・途上国に由来する一方、エネルギー需要全体が低減する先進国でも発電量は年率1.1%で増加を続ける。発電、送電設備に対する新規投資は世界全域で重要な課題となる。急速な経済成長を続けるアジアの発電量は、2022年の14,310 TWhから年率2.0%で増加し、2050年には世界のおよそ半分となる25,744 TWhに達する。アジアの中で、これまで需要増加をけん引した中国の増加ペースは鈍化するが、それでも2050年時点で世界最大の発電大国の座を維持する(図3-13)。加えて、経済成長著しいインド、ASEANは2050年までに発電量がそれぞれ3.0倍、2.6倍となり、欧州連合を大きく上回るあるいは匹敵する規模まで増加する。アジア以外では、アフリカの電化が大きく進展し、2050年までに発電量が2022年比3倍以上の2,797 TWhと著しく拡大する。

図3-12 | 世界の発電電力量と電力最終消費[レファレンスシナリオ]

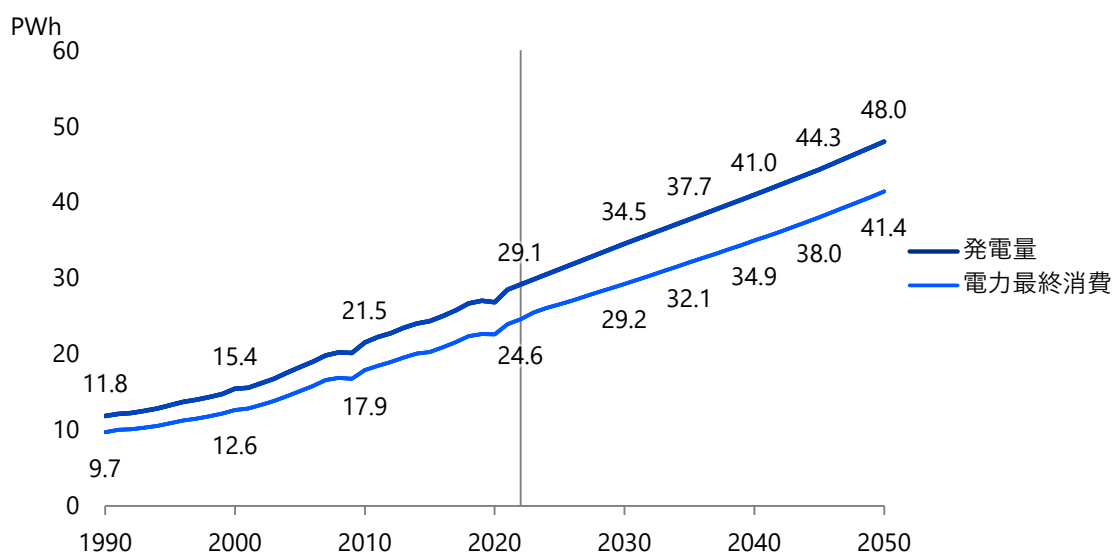
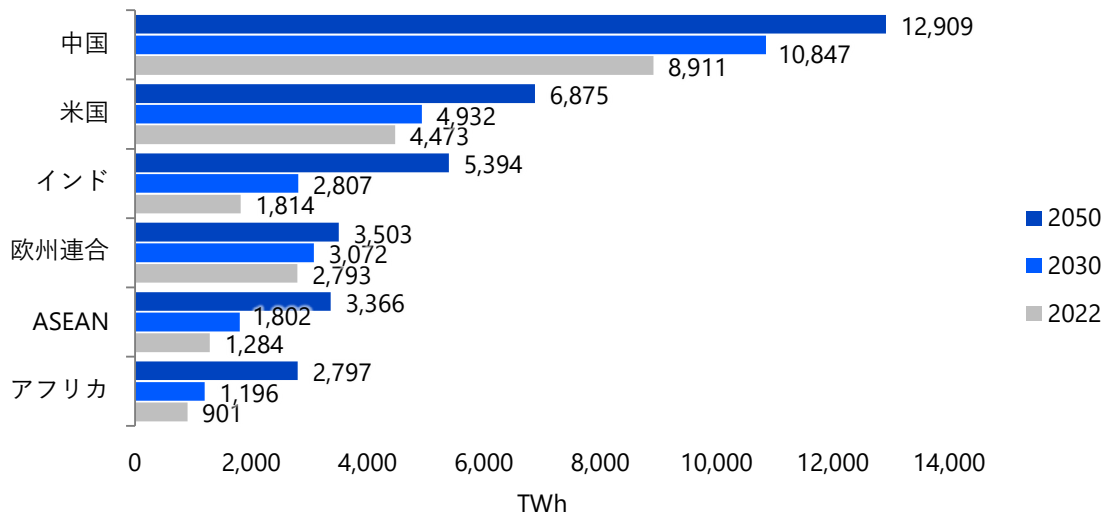


図3-13 | 主要国・地域の発電電力量[レファレンスシナリオ]

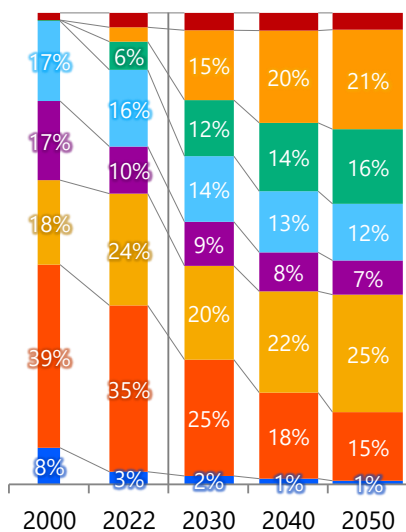


発電構成: 天然ガス火力が最大の電源に

世界の発電構成において、2022年時点で最も大きなシェアを占めているのは石炭であるが、2050年には天然ガスが最大の電源となる(図3-14)。天然ガスは、2022年のウクライナ危機以来、需給バランスが崩れて価格が著しく高騰していたが、今後は供給能力の拡大などから平準化が見込まれ、2050年にかけてシェアを再び高める。先進国、新興・途上国を問わず、低廉かつ安定的な天然ガスの供給が中長期的に重要な課題であり続ける。

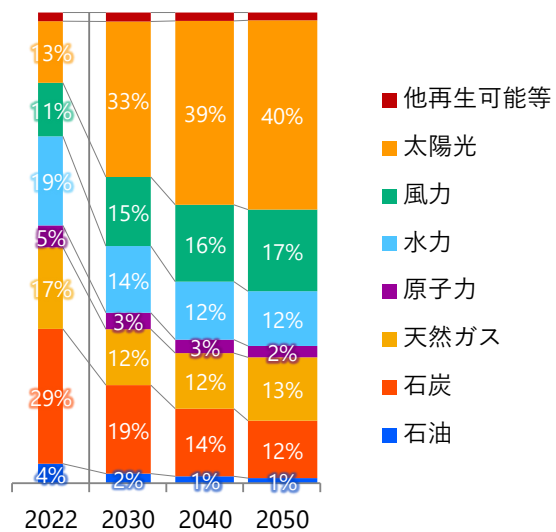
図3-14 | 世界の発電構成[レファレンスシナリオ]

発電電力量



注: 棒の幅は総発電電力量に比例

発電設備容量



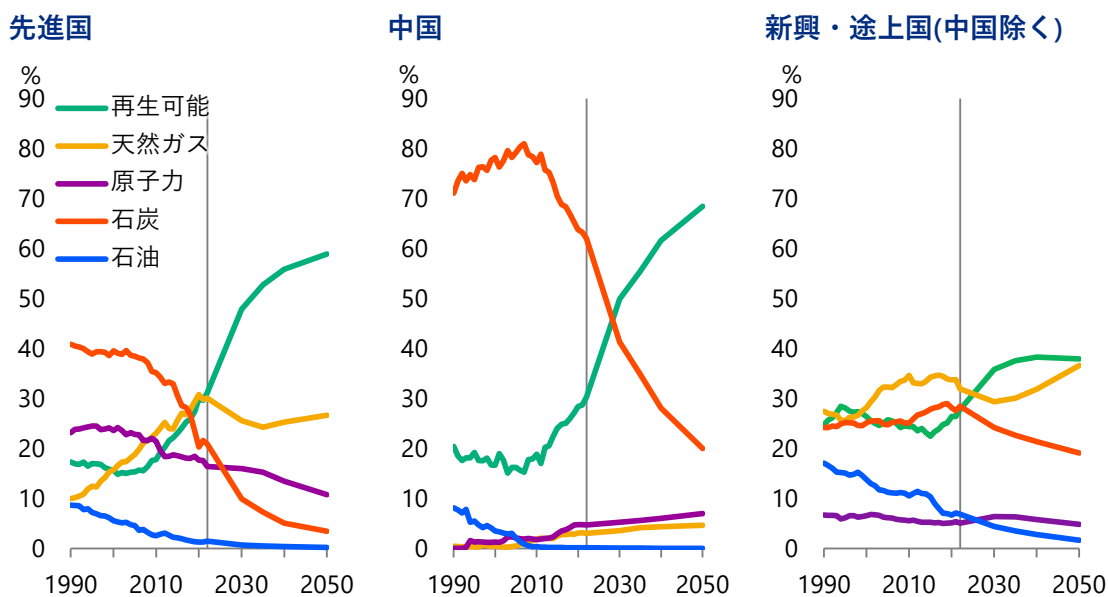
注: 棒の幅は総発電設備容量に比例

石炭は、イタリア、カナダ、英国、フランス、ドイツなどの先進国が石炭火力発電の段階的な廃止方針を、それ以外の先進国でも低効率石炭火力発電の廃止などを表明しており、それらは概して目標に近い年度で達成が見込まれる。加えて、近年は新興・途上国においても気候変動緩和策や大気汚染対策として、石炭火力発電の新規増設に年限を設ける、天然ガスや太陽光・風力等の他電源への転換を志向する動きが見られる。こうした世界的な潮流を受けそのシェアは足元より低下するが、新興・途上国を中心に低廉かつ安定的な電源としての利用が継続し、2050年時点で足元の3分の2程度の発電量が残存する。その一部は新規増設されるものであり、設置後25年～40年と言われる運転期間を通じて発生するCO₂排出量を極力低減すべく、新興・途上国に対する技術協力やバイオマス、長期的にはアンモニア混焼等のオプションを備えることが気候変動対策と当面の安価な電力供給を両立するカギとなる。

風力・太陽光・地熱等による発電量は、政策的な後押しとコスト低減を追い風に、2050年まで年率5%で急速に拡大し、そのシェアは合わせて41%にのぼる。とりわけ、先進国では2030年ごろには天然ガスを追い抜き最大の電源となる。再生可能エネルギーの導入を近年協力を推進している中国でも、昨今の急速な導入が継続することで、2035年までに石炭を追い抜きやはり最大の電源となる。先進国の発電量全体に占めるシェアは、2030年には48%、2050年には59%に達し、このうち出力変動性の太陽光・風力は2050年には発電量の45%を占める。昨今顕在化している課題である出力変動への対策、発電適地と電力需要地を結ぶ系統拡充は、再生可能エネルギーが主力の電源として存在感を増すことでより重大な挑戦となる。原子力は、エネルギーセキュリティの確保、気候変動対策の観点から、アジアを中心に新規着工が進んで発電量は足元から25%程度増加する。しかし、2050年までの電力需要の増加率を上回るほどは拡大せず、発電構成に占めるシェアは7%に縮小する。

新興・途上国(中国除く)においても再生可能エネルギーは風力を中心に増加傾向が続き、2030年ごろには石炭、天然ガスと入れ替わり最大の電源になる。ただしそのシェアは30%台後半にとどまることは先進国との大きな違いである。増加する電力需要を賄うため、石炭は比率を低下させつつも、2050年段階で発電量の22%程度を、天然ガスは短期的にはシェアを落とすものの長期的には拡大を続け再生可能エネルギーに肉薄する第二の電源となる。このような化石燃料の安定供給確保およびCO₂排出削減に向けた効率改善や長期的な混焼・二酸化炭素回収・貯留(CCS)オプションは重要な意味を持ち続ける。変動性再生可能エネルギーの導入拡大は新興・途上国の旺盛な電力需要増加への対応とCO₂排出削減とを同時に満たす有望な電源である一方で、急速な経済成長を背景に電力需要が伸び続ける環境下において不可欠なディスパッチ可能な火力、水力等電源は一定量の確保が求められ、設備容量の維持、拡張が欠かせない。

図3-15 | 先進国、新興・途上国の電源構成[レファレンスシナリオ]

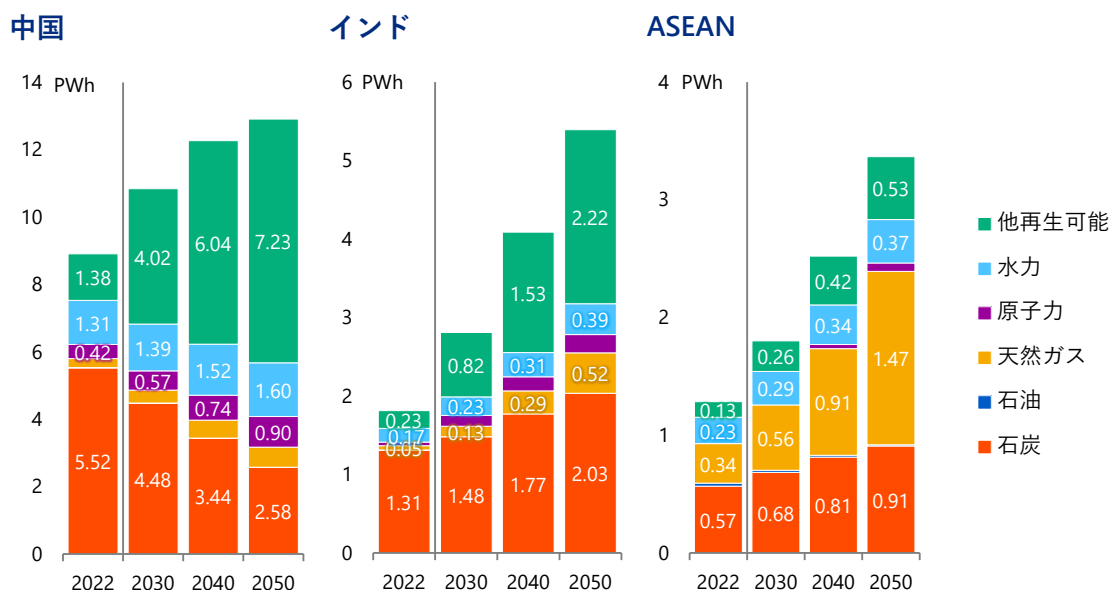


アジア新興地域における石炭と再生可能エネルギーの見通しは三者三様

アジアでは石炭火力発電が2022年時点で57%と最大のシェアを占めているが、今後は天然ガス、再生可能エネルギーへのシフトが進み、2050年にはその値は24%となる。ただし、このような電源トランジションの様相は国、地域によって大きく異なる(図3-16)。近年著しい再生可能エネルギーの設備拡張を行う中国では、2050年までに太陽光・風力等による発電量が2022年の5倍以上になり、発電の主軸となる。ただし中国では2023年時点でも石炭火力発電の新設が行われており、そのシェアは減りつつも一定規模の利用が保たれる。

インドでも再生可能エネルギーの拡張が太陽光・風力ともに進み、2050年においては石炭を追い抜き最大の電源となる。ただし、中国と異なるのは今後も石炭による発電量が増加を続ける点であり、旺盛な電力需要増加を賄うために原子力、水力、天然ガスを含めた可能なオプションを総動員して2022年の3倍近い需要拡大に応えることがこの国における重要課題となる。

図3-16 | 中国、インド、ASEANの電源構成[レファレンスシナリオ]



ASEANでは前述の2か国と異なり、再生可能エネルギーの伸長の傍ら、かつて第一の電源であった天然ガスの利用が大きく拡大して再び最大の電源となる。ただし、その情勢は国によって大きく異なり、タイのような官民ともに脱石炭火力発電の動きが根強い国では石炭から天然ガスや再生可能エネルギーへのシフトが進む一方、インドネシア、フィリピンのように、急速な電力需要の増加を背景に石炭が電源の主軸となり続ける地域、ラオスやベトナムのように豊富な水力を含む再生可能エネルギーポテンシャルを活用して電源の低炭素化を推し進める国など多種多様である。いずれにしろ、電力が著しく増え続けるこの地域で低廉な供給を実現することは容易な課題ではなく、地域ごとの需給特性に即した多様な道筋の探索が求められている。

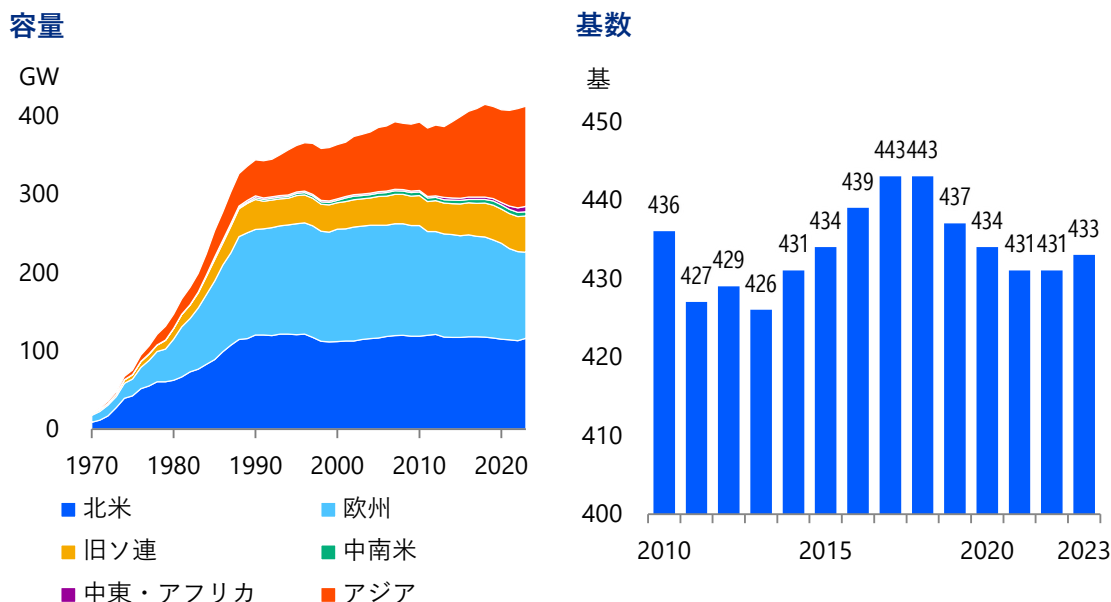
原子力

近年の動向: 強調される原子力の役割、導入のカギは顧客側の動向

世界の原子力発電の設備容量は、長期的に見ると増加傾向にある。2019年から2021年にかけては3年連続で減少が続いたが、2022年および2023年は増加となった(図3-17)。1970年代から1980年代にかけては、日本や欧米諸国が多く原子力発電所を建設してきたため累計設備容量が急増したのに対し、その後は新設の勢いが減速している。しかし、近年では多くの国が野心的な温室効果ガス排出削減目標を掲げる中、低炭素電源である原子力の役割が指摘される場面が増えつつある。さらに、2021年以降の世界的なエネルギー価格高騰や2022年に始まったロシアによるウクライナ侵攻の後には、エネルギー安全保障の側面からも廉価な脱化石燃料の重要性が高まっており、その手段の1つとして原子力の役割が指摘される機

会もいっそう増加した。こうした背景もあり、近年では原子炉を新規に建設する動きと、既設原子炉の長期運転を目指す動きの双方が見られる。

図3-17 | 世界の原子力発電設備容量と基数



経年化対策と安全性の確保が大前提となるものの、既設原子炉の長期運転は経済効率性が高い低炭素電源オプションと位置づけられ、特に建設から長期間が経過した原子炉を多数保有する欧米諸国で取り組みが盛んに進められている。米国ではすでに多くの炉が当初の運転期間である40年間を超えて、20年間(合計60年間)の運転認可を原子力規制委員会(NRC)から得ている。さらに、一部の炉は2回目の運転期間延長を承認され、合計80年間の運転を認められている。加えて、近年では一度閉鎖を決定した炉の再稼働を目指す動きも見られる。ベルギーは2025年までに脱原子力を完了する予定であったが、ドール4号機とティアンジュ3号機の2基について、政府は2022年に運転期間を10年間延長することを発表し、2023年12月には両機の所有者であるエンジー社との最終合意に至った。スウェーデンでも、2024年6月にフォスマルクおよびリングハルス原子力発電所の所有者が、両発電所の運転期間を60年から80年に延長することを決定した旨が発表された。これにより、同国では2060年代まで低炭素電力の供給が可能になったとしている。

日本においても2023年5月に成立した、いわゆる「GX脱炭素電源法」によって、福島第一原子力発電所事故以降の長期停止期間を所定の運転期間から差し引き、運転期間を延長することが可能となった。ただし、この仕組みからは独立して、運転開始から30年目以降は10年以内ごとに原子力規制委員会による経年化対策の審査を受け、運転継続の承認を得ることも必要となる。2024年6月には関西電力大飯発電所3、4号機が後者の制度に基づく認可を取

得した。今後は運転開始からの年数と実際の稼働年数について、プラントごとにさまざまなケースが出てくることが想定されるため、安全性を今まで以上にきめ細かく確認することが重要になる。

このように各国で既設炉の長期運転に向けた動きが進められているほか、一部の国では新設を巡る動きも見られる。特に盛んなのは中国であり、2024年5月には防城港4号機が営業運転を開始した。さらなる拡大に向けた動きも進んでおり、2024年2月から7月にかけて、およそ5基が着工している。さらに、2024年8月には国務院5か所11基の建設計画を承認していることもあり、中国における原子力利用拡大は今後も継続してゆくであろう。米国でもジョージア州で建設が進められてきたボーグル3、4号機が2023年8月と2024年4月にそれぞれ営業運転を開始した。両機は2013年に着工したものの、当初想定されていた建設期間や費用を大幅に超過する結果となった。2023年4月に営業運転を開始したフィンランドのオルキロト3号機、2024年5月に規制当局より試運転の許可が発行されたフランスのフラマンビル3号機も同様に当初の予定から遅延している。長らく新設が停滞していた欧米諸国で新設炉の運転開始が相次いでいることには大きな意味があると評価できる一方で、今後は同様の遅延を繰り返さないよう、これらの建設計画から得られた教訓を十分に活かすことが求められる。他方で、尹錫悦政権下で原子力利用の方針を明確化した韓国では、2024年4月に新ハヌル2号機が営業運転を開始したほか、9月には前政権下でプロセスが停止されていた同3、4号機に建設許可が発給された。韓国は輸出計画も順調に進めており、2024年9月にはアラブ首長国連邦で建設を進めてきたバラカ4号機が営業運転を開始している。これにより、バラカでは計画されていた全基が営業運転状態に入ったことになる。そして2024年7月、チェコで行われていた新設計画を巡る入札の結果、韓国水力原子力発電会社がフランスのEDFに競り勝ち、優先交渉権を獲得した。

世界の原子力輸出市場を見ると、ロシアが依然として優勢を維持していることも認識しておくべきであろう。2022年2月のロシアによるウクライナ侵攻を受け、フィンランドはロシア企業との新規建設契約を打ち切ったが、中国、トルコ、イラン、インド、バングラデシュといった国々ではロシア製原子炉の建設が続行されているほか、2022年7月にはエジプトにて同国初となるエルダバ原子力発電所の建設を開始した。同発電所は原子炉4基構成となっており、2024年1月には4号機が着工している。また、隣国ベラルーシでもロシア製原子炉の建設を行っており、2021年6月には同国初の、2023年11月には2基目の原子炉が営業運転を開始した。このように着実に建設実績を積み上げているロシア企業は、大幅な遅延を生じさせてはいないほか、発電所建設のみならず燃料供給や使用済み燃料の引き取りまで含めた総合的なサービスを提供している。主な輸入側である新興・途上国は可能な限り早期に安定的な大規模電源を欲しているうえ、原子力利用の知見が蓄積されていないため、このようなロシ

ア側の提案はニーズに合致しているものと考えられる。西側諸国の原子力産業が世界市場でのシェア奪還を目指すのであれば、こうしたロシア側の戦略を十二分に意識する必要がある。

従来型の大型軽水炉のみならず、小型モジュール炉(SMR)や第4世代炉といった新型炉を巡る状況についても、引き続き注視が必要である。米国では共和党、民主党のいずれの政権も積極的な支援策を打ち出しており、多数の民間企業が新型炉開発に乗り出している。しかしながら、ニュースケール社が開発する軽水炉型SMRをアイダホ国立研究所敷地内に建設する計画は、2023年11月に中止が発表された。これは建設費見通しの増加などによって、電力の販売先であるユタ州の共同電力事業体(UAMPS)との契約維持が困難となったことが原因とされている。ただし、SMRについては本件以外にも米国、英国やカナダのオンタリオ州などで進行中の案件があるほか、韓国、ブルガリア、ルーマニア、エストニアなど複数の国が導入に向けた動きを進めている。また、新たな第4世代炉を巡る動きとして、2024年6月にはテラパワー社がワイオミング州にて実証用ナトリウム冷却高速炉「Natrium」の建設作業を、7月にはカイロス・パワー社がテネシー州にてフッ化塩冷却高温炉の「ヘルメス」の建設作業をそれぞれ開始した。特に前者は閉鎖予定の石炭火力発電所付近に建設することにより、既存送電インフラの有効活用や、立地地域の雇用維持といったメリットが期待されている。

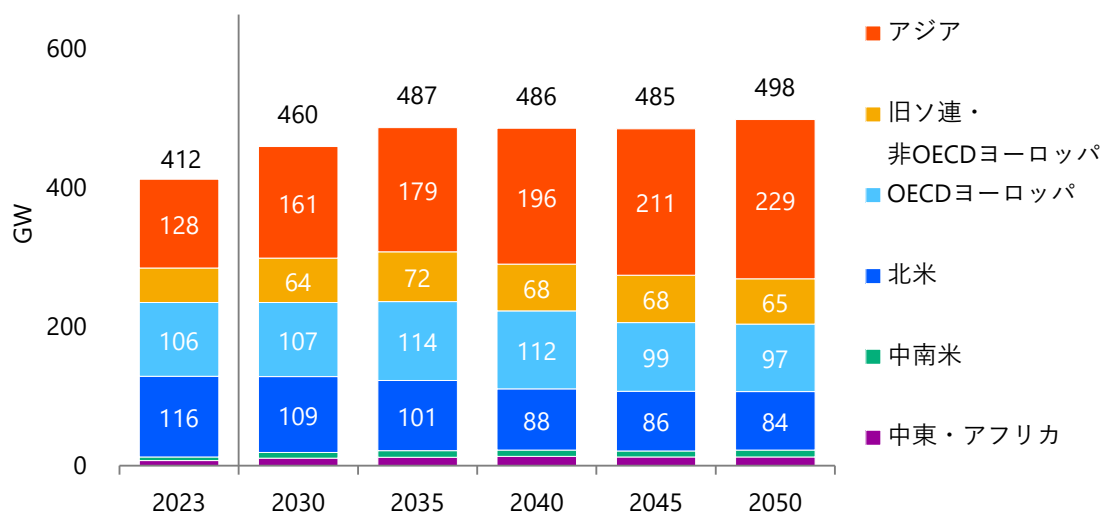
以上のように、原子力を巡っては、その役割に焦点が当てられるとともに、少なからぬ国で利用拡大に向けた取り組みが進められている。ただし、多くの場合において、最終的な導入の成否は国の動きのみならず、費用などの面で顧客が許容可能な条件をクリアできるか否かにかかっている。ニュースケール社とUAMPSのSMR計画中止はそのことを如実に示しているといえよう。世界中で進行しつつあるさまざまな計画に対し、顧客側がどのような反応を示すのが今後いっそう注目される。

将来見通し: 特にアジアで増加、欧米でも重要な低炭素安定電源として活用継続

福島第一原子力発電所事故を契機とした世論の変化や、長期間新設が行われてこなかったことによるノウハウの消失などにより、日本や欧米諸国では従来想定されていた計画どおりに原子力発電所を新設することが困難となっている。1970年代から1980年代ごろにかけて建設された既設炉の閉鎖も進むため、将来的には利用規模が縮小する国も少なくない。ただし、そういった国々においても、市場競争力を有する一部の炉は重要な低炭素ベースロード電源であり、かつエネルギー安全保障にも寄与することから、一定程度の原子力利用が維持される。また、中国をはじめとして、今後さらに原子力利用を推進してゆく国が複数存在す

るほか、現在原子力を利用していないが今後新たに導入する国も現れる。そのため、世界の発電設備容量は2050年にかけて少しずつ増加してゆき、498 GWに達する(図3-18)。

図3-18 | 原子力発電設備容量[レファレンスシナリオ]



米国は2023年時点で93基の発電用原子炉を有する世界最大の原子力大国であるが、電力市場が自由化された州では天然ガス火力発電や再生可能エネルギー発電との競争にさらされ、経済的な観点から早期閉鎖を決定する既設炉も出てきている。そのため、設備容量は2050年にかけて低減してゆく。ただし、米国として原子力を重要なエネルギー源と位置づける基本方針自体に変更はない。トランプ政権はエネルギー安定供給の観点から原子力を重視し、バイデン政権はそれに加えて気候変動対策の手段として原子力を重視する姿勢を示した。民主党、共和党の両者が原子力の重要性を認めていることから、原子力事業に対する政策変更リスクは比較的低いといえる。こうした情勢を背景に、市場状況と投資環境次第ではあるが運転期間の延長や一定程度の新設計画が今後も続いてゆく。

ヨーロッパ最大の原子力推進国であるフランスでは、2025年までに原子力比率を50% (2015年時点では75%程度)とすることを目標としたエネルギー転換法が2015年7月に成立した。しかし、温室効果ガス排出削減目標との兼ね合いなどから、この目標の達成は困難とされたため、後に年限が2035年に修正された。さらに、2023年6月に公布された法によって、この目標自体が取り下げられることとなった。また、フランスは2022年2月に最低6基(最大でさらに8基)の新設を宣言しており、その建設サイトとして既設炉が立地するパンリー、グラブリーヌ、ビュジェの3か所を選定している。こうした経緯を踏まえると、フランスでは当面の間、経年化した一部の炉が閉鎖されるものの、新規建設が並行することによって、現在の水準を維持ないしは微減の範囲で推移する。2035年以降は経年化による既設炉の廃炉ペー

スが加速し、全体としては減少傾向が続くが、既設炉の長期運転に向けた環境整備も行われているため、事業者としては再生可能エネルギーとのバランスを考慮したうえで、採算上可能な限り設備容量を確保してゆくことになる。

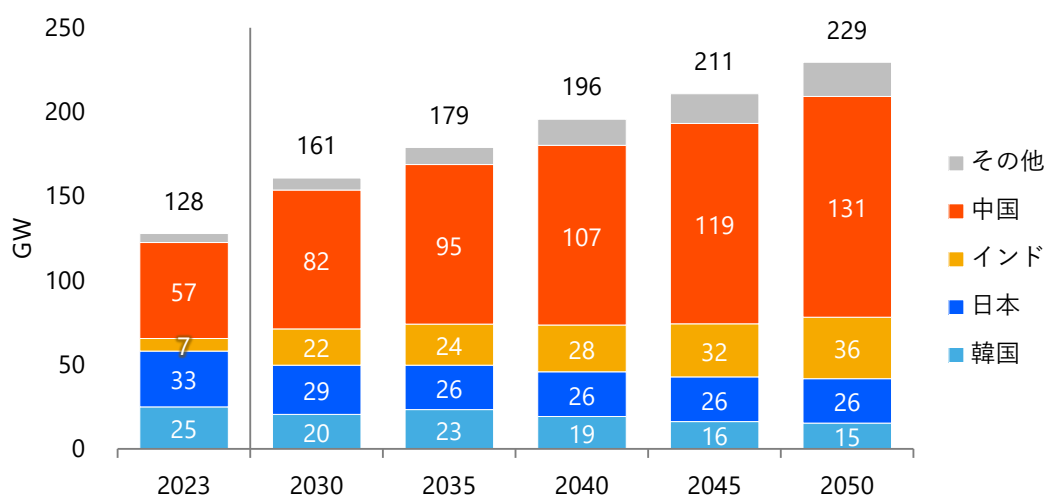
英国では、政府として原子力を維持する方針を示しているものの、経年化した既設炉の廃炉が相次ぐことから、2020年代後半までは合計発電設備容量が低減してゆく。他方で、エネルギー安全保障戦略に基づく新設計画が予定されているほか、政府は投資回収の確実性が高いとされる規制資産ベース(RAB)モデルの導入など、事業環境の改善に向けた施策を進めている。こうした姿勢が継続することで、一時的に落ち込んだ設備容量は2035年ごろに現在の水準近くまで回復し、その後も増加を続ける。

福島第一原子力発電所事故を受けて脱原子力政策の方向性を明確にしているスイスでは、政府の原子炉閉鎖計画に従い、原子力発電は2035年までに0となる。ベルギーも2025年までにすべての原子炉を閉鎖する予定であったが、昨今の情勢を踏まえて少なくとも2基の運転期間を10年間延長することを決定したため、脱原子力の完了は若干遅れる。ドイツは2023年4月に最後の3基を閉鎖し、脱原子力を完了した。今後再び原子力を利用することは、少なくとも現状において想定されない。他のOECDヨーロッパ諸国では、新規建設に向けて動いている国も見られるものの、市場で採算が取れない炉の廃止も進むため、全体として設備容量は2050年にかけて低減してゆく。

ロシアは国内外における原子力の積極的な利用を掲げており、国内の設備容量は2035年にかけて41 GW程度まで拡大する。その過程では2030年ごろに、現在世界第4位の日本の設備容量を抜くこととなる。また、前述のとおりロシアは他国への原子力輸出にも積極的であるため、世界の原子力市場における存在感は、これらの数値以上となりえる。ロシアは既存の大型軽水炉の利活用を進めているのみならず、世界初となる浮体式原子力発電所を導入したほか、2021年6月には鉛冷却高速炉の実証炉を着工している。このように幅広い技術を保有しておくことは、原子力産業の基盤強化として重要である。

中国、インドを中心とするアジアの存在感は原子力分野でもいっそう高まってゆく。経済成長の著しいアジアの新興・途上国にとって、原子力は低炭素であるのみならず、大規模な安定電源であることが導入の重要な動機となる。中国は、2035年には設備容量が95 GWとなり、このころには米国を抜いて世界第1位の原子力大国となる。また、アジアの合計設備容量は2040年ごろにはOECDヨーロッパと北米の設備容量の合計を上回り、2050年には229 GWに達する。その7割以上を中国とインドが占めることとなる(図3-19)。

図3-19 | アジアの原子力発電設備容量[レファレンスシナリオ]



再生可能エネルギー発電

再生可能エネルギー発電設備容量の増加が近年一段と顕著になっている。2015年から2019年は世界の再生可能エネルギー発電容量の増加は200 GW/年弱程度であったが、2020年には250 GW、2022年には300 GWをそれぞれ超えて、2023年には450 GWを超える水準まで急拡大した。この再生可能エネルギー発電容量の増加の勢いは今後も維持され、2030年ごろまでは500 GW/年程度の増加が続くと見られる。特に、発電コストが大きく低下している太陽光発電の増加が著しく、再生可能エネルギー発電容量増加の約7割を太陽光発電が占める傾向は今後も継続する。さらに太陽光発電と風力発電を合わせた自然変動電源は再生可能エネルギー発電容量増加の9割以上とほとんどを占めるため、電力系統への影響は確実に高まる。2021年以降の資源価格高騰にもなって、太陽光パネルや風力タービン等、再生可能エネルギー発電設備の設置コストが上昇して太陽光や風力発電コストも初めての増加局面を迎えた。しかし、一時の高騰ではないものの火力発電コストも相対的に上昇傾向のため、結果として再生可能エネルギー発電の相対的な経済的優位性は維持されている。太陽光や風力発電コストの低下傾向は長期的には継続し、火力発電に対する経済的な優位性は今後も維持されることが考えられる。こうした経済的な優位性に加えて、長期的なカーボンニュートラルにコミットした国・地域が増加し、それぞれにおいて再生可能エネルギーの導入拡大目標やそのための諸政策が強化されていることから、再生可能エネルギー発電容量の増加が今後もいっそう進んでゆくことは確実である(表3-6)。ヨーロッパにおいては、2022年初頭に勃発したウクライナ危機を契機にロシア産天然ガスから脱却が強力に推し進められており、これによって再生可能エネルギー導入に一段と拍車がかかった。さらに大きな影響を持つのが2022年以降、顕著となった中国における太陽光発電と風力発電の導入の加速度的増加で

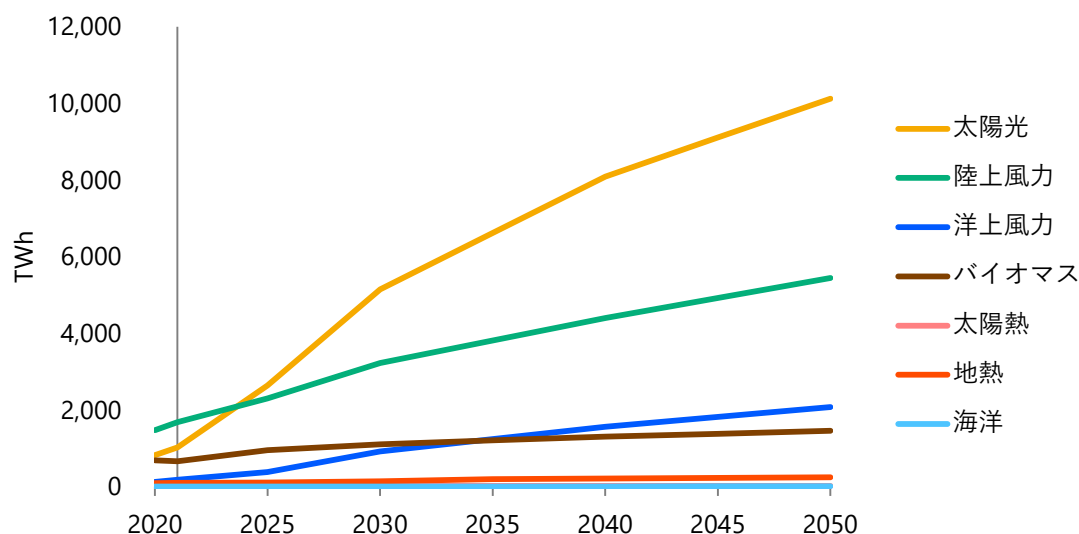
ある。中国の太陽光発電と風力発電の急速な増加は、2050年に向けた世界の再生可能エネルギー導入量の長期的な進展にも大きな影響を及ぼす。

表3-6 | 主要国・地域における再生可能エネルギー導入目標

国・地域	主な目標
米国	2035年までに全電力セクターの脱炭素化(再生可能エネルギー、原子力、水素、CCS等) Biden政権の脱炭素化目標, 2021年4月(The White House)
EU	2030年までにエネルギー最終消費に占める再生可能エネルギーの割合を42.5%に(努力目標として45%) Renewable Directive見直し(2023年9月欧州議会で採択) (European Parliament)
日本	2030年までに全発電量における再生可能エネルギーの割合を36%~38%に 第6次エネルギー基本計画, 2021年10月閣議決定(経済産業省)
中国	2030年まで一次エネルギー消費に占める非化石燃料の割合を25%に(うち風力と太陽光発電の設備容量を1,200 GWに) 2030年までにカーボンピークアウトを達成するためのアクションプラン, 2021年10月公表(国務院)
インド	2030年までに電力消費の50%を再生可能エネルギーで供給(非化石発電設備を500 GWに) モディ首相がCOP26で宣言, 2021年11月(Ministry of External Affairs)
ASEAN	2025年までに一次エネルギー供給の23%、発電設備容量の35%を再生可能エネルギーに ASEAN Plan of Action and Energy Cooperation Phase II, 2020年11月発表(38th ASEAN Senior Officials of Meeting on Energyで採択)

図3-20は、2050年までの再生可能エネルギー発電量の推移である。太陽光発電は、2022年に1,295 TWhであったものが、2050年には10,110 TWhと約8倍増加する。風力発電(陸上と洋上)も2022年の2,120 TWhが2050年には7,595 TWhへと3.6倍と増加する。太陽光発電と風力発電が増加した結果、世界の総発電量における自然変動電源のシェアは2022年で11.7%であったものが、2050年には36.9%へ上昇し、電力システムにおける存在感を一段と増す。

図3-20 | 世界の再生可能エネルギー(水力を除く)発電量[レファレンスシナリオ]



現在、陸上と洋上を合計した風力発電設備容量の累積値の8割を占める中国、ヨーロッパ、米国、インドが今後も市場をリードする(図3-21)。なかでも中国のシェアは今後も拡大を続ける。2050年には50%を超える水準まで拡大し、中国への一極集中が後述する太陽光発電以上に顕著になる。ヨーロッパ、北米等における立地制約と系統制約が厳しくなり増加が鈍化傾向なのに対して、中国での拡大余地が比較的多く残っていることを示唆している。

図3-21 | 風力発電設備容量[レファレンスシナリオ]

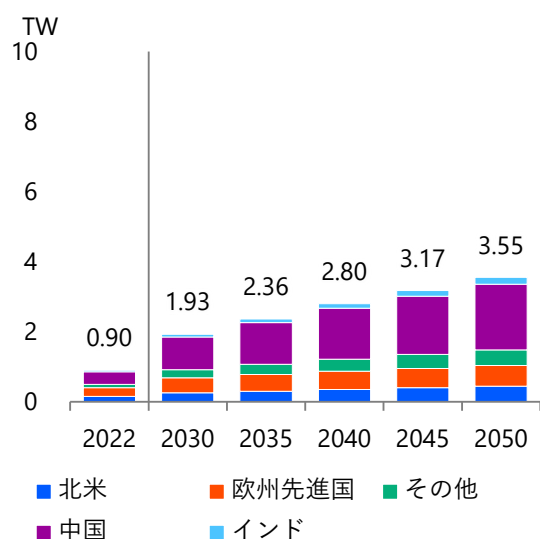
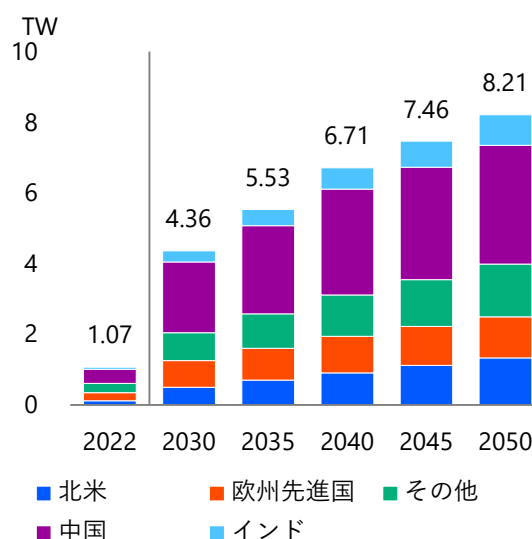


図3-22 | 太陽光発電設備容量[レファレンスシナリオ]



陸上風力発電については、開発適地の減少等の立地制約や系統制約が比較的早期に生じるため、太陽光発電や洋上風力発電と比較するとその増加率は2050年に向けて比較的緩慢と

なる。2050年の陸上風力発電の設備容量は2,900 GWと、2022年の840 GWから3.5倍程度の拡大にとどまる。しかし、2050年の発電設備容量の累積値では洋上風力の4.5倍の規模であり、その存在感の大きさは維持される。

対照的に、洋上風力は規模では陸上風力には劣るものの、きわめて高い増加率が想定される。過去を振り返ると、2010年から2023年にかけて、世界における洋上風力発電の設備導入量は3 GWから73 GWに大きく拡大した。ヨーロッパは洋上風力発電の最も成熟した市場として、発電設備のサプライチェーンが整備されている。しかし、中国が2020年以降、大規模なプロジェクト開発を加速させており、2023年末にはヨーロッパの累積発電容量が32 GWだったのに対して中国が37 GWと逆転した。これによって中国は名実ともに洋上風力の世界2大市場の一角をヨーロッパとともに形成するに至った。2050年に向けては中国のいっそうの拡大が想定されている。米国は現時点ではほぼ0の実績であるが、バイデン政権は洋上風力発電容量を2030年までに30 GWに拡大する方針を表明するなど洋上風力発電の積極的な事業誘致が進められてきた。しかし、世界的な資材価格の高騰や金利上昇による事業費増加のため、2023年以降に開発延期あるいは中止など計画変更の動きが広がっている。長期的には米国が有望な洋上風力市場であることに変わりはないが、短中期的には不透明感が出てきている。中国以外のアジアでは、台湾、韓国、ベトナムにおいて洋上風力市場が形成される見込みである。日本では、2019年の再エネ海域利用法が施行されてから同法の下での洋上風力プロジェクトのための促進区域の指定が進められている。政府もプロジェクト開発だけでなく、国内サプライチェーンの拡充や国内産業の育成に積極的に支援する姿勢を明確にしている。こうした政策的なバックアップも相まって、世界の洋上風力発電設備容量は2023年の73 GWから2050年には650 GWへと9倍程度拡大する。ただし、立地制約や系統制約の影響を受けて、2030年以降は次第に導入速度が鈍化する傾向が出てくる。

太陽光発電は、大幅な発電コスト低減にともなって、これまで拡大が続いてきた中国、ヨーロッパ、米国、日本だけでなく、世界中に普及が広がっている(図3-22)。2022年に一国で世界の発電設備容量累積値の37%を占める中国の高いシェアは今後も維持され、2050年にも40%程度のシェアを占める。しかしながら、風力発電と比較して、米国、ヨーロッパ、インド等のシェアも相対的に高く、中国への集中度はやや低い。風力発電の適地が風況によって地理的に限定されるのに対して、一定程度の日照さえあればどこでも発電できる太陽光発電の普遍性が示唆されている。

2022年の世界の加重平均での大規模太陽光発電の均等化発電原価(LCOE)は\$49/MWh (≈ ¥7/kWh)と推定されており、多くの国において最も低コストの発電源となりつつある。特に、チリやアラブ首長国連邦、サウジアラビアなど日照条件に恵まれた国での大規模太陽光発電の入札では、2021年に\$10/MWh (≈ ¥1.4/kWh)台といった非常に低価格での売電価格

が記録されている。また、住宅や商業施設の屋根等に設置する分散型太陽光発電システムの発電コストも、電力価格の高騰も相まって多くの国や地域において競合できる水準(グリッドパリティ)になってきている。こうした状況から、太陽光発電の競争力は今後もいっそう高まるものと予想される。世界の太陽光発電設備容量は、2022年の1,067 GWから2050年には8,210 GWへと約8倍に拡大する。ただし、2030年以降においては系統制約や自然変動電源シェア拡大による電力系統安定性への影響が次第に顕在化してくる。このため、2020年～2030年の10年間で3,630 GWに達すると推定される世界の太陽光発電設備容量の正味増分は、2030年～2040年の10年間は2,350 GW、2040年～2050年は1,500 GWと次第に鈍化してゆく。この鈍化傾向を乗り越えて2050年に向けた再生可能エネルギー発電容量の高い増加率を維持するためには、自然変動電源の統合、系統制約への適切な対応、技術革新による立地制約の克服が決定的に重要となる。後述する技術進展シナリオでは、立地制約に対する諸政策、自然変動電源の統合技術、系統整備等が進展することで、これらの課題が完全ではないものの一定程度緩和された状況を想定している。

4. 技術進展シナリオ

4.1 主要対策

「技術進展シナリオ」では、社会での適用機会および受容性を踏まえた最大限の二酸化炭素(CO₂)排出削減対策およびエネルギー安全保障対策の強化を見込む。各国がエネルギー安定供給のいっそうの確保や気候変動対策の強化に資する先鋭的な省エネルギー・低炭素化政策等を強力に実行し、先進的技術の開発・導入が世界大で加速する。環境規制や国家・自主目標の導入、技術開発強化や国際的な協力の推進を背景に、需要サイドでは省エネルギー機器、供給サイドでは再生可能エネルギー、原子力、水素、二酸化炭素回収・貯留(CCS)の普及拡大などが強力に図られる(表4-1)。なお、この見通しは、技術の導入などを前提条件として試算したフォアキャスト型の将来見通しであり、将来の「着地点」を定めてそこに至る道筋を描くバックキャスト型の分析と対照をなすものである。

表4-1 | 技術の想定例[技術進展シナリオ]

2022年 → 2050年 (レファレンス2050年)

	先進国	新興・途上国
火力発電	初期投資ファイナンススキーム整備	
	2030年以降新設CCS導入(帯水層を除く貯留ポテンシャルがある国)	
[天然ガスストック効率]	50.3% → 63.6% (56.8%)	38.3% → 55.3% (47.9%)
[石炭ストック効率]	37.4% → 41.1% ¹³ (44.7%)	33.3% → 40.4% (36.7%)
[IGCC新設導入比率]	0% → 60% (20%)	
原子力発電	適切な卸電力市場価格の維持	初期投資の融資枠組み整備
[設備容量]	264 GW → 331 (223) GW	123 GW → 483 (275) GW
再生可能発電	システムコスト低減	システムコスト低減
	系統安定化技術のコスト低減	低コスト融資
	系統システム効率的運用	電力システムの高度化
[風力設備容量]	407 GW → 1,751 (1,113) GW	543 GW → 3,335 (2,390) GW
[太陽光設備容量]	460 GW → 3,665 (2,793) GW	617 GW → 6,877 (5,290) GW

¹³ 先進国の技術進展シナリオでは、今後導入される大部分の石炭火力発電がCCSをともなうことにより、CCS用のエネルギー消費の増加が影響して、効率がレファレンスシナリオよりも低下する

2022年 → 2050年 (レファレンス2050年)

	先進国	新興・途上国
自動車用バイオ燃料	次世代バイオ燃料の開発 フレックス燃料車(FFV)の普及拡大	バイオ燃料のコスト低減 農業政策としての位置づけ
[消費量]	60 Mtoe → 108 (79) Mtoe	39 Mtoe → 104 (72) Mtoe
産業	2050年に利用可能な最良の技術(BAT)が100%普及	
運輸	低燃費自動車のコスト低下 ゼロエミッション車(ZEV)の航続距離が2倍に	
[乗用車新車燃費]	19.0 km/L → 48.4 (33.2) km/L	16.8 km/L → 45.2 (25.2) km/L
[乗用ZEV販売比率]	7.3% → 93.9% (48.3%)	12.6% → 86.0% (30.4%)
民生	ストックベースでの家電・機器効率および断熱効率の 改善スピードが約1.7倍に(2050年でレファレンス比約26%改善) 暖房・給湯・ちゅう房用途における電化、クリーンクッキング化	

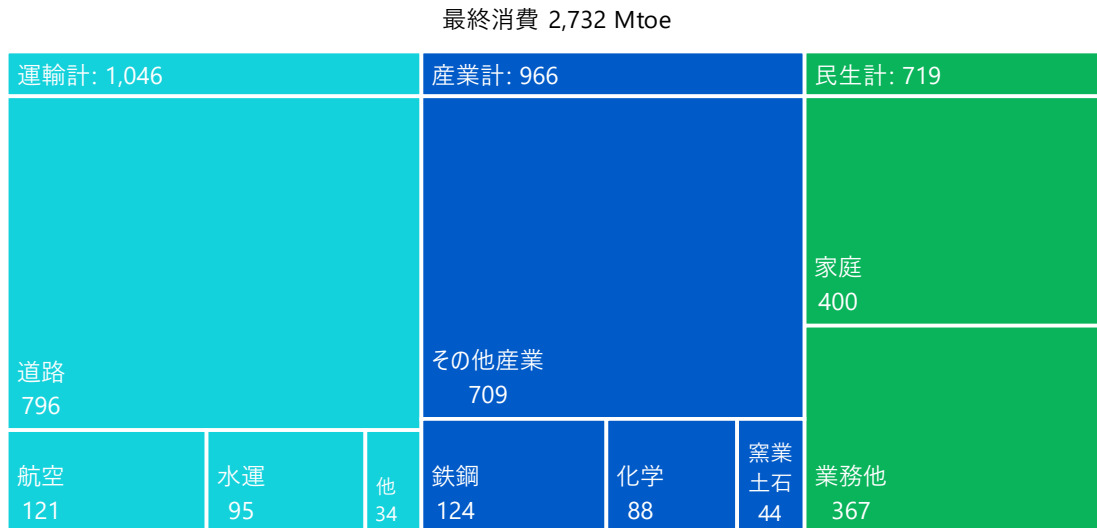
注: IGCCは石炭ガス化複合発電

省エネルギー

技術進展シナリオでの最終エネルギー消費は、レファレンスシナリオと比較して、2030年には石油換算486百万t (Mtoe)、4%、2050年には2,732 Mtoe、23%節減される。2050年の最終エネルギー消費の節減量は、2022年の最終エネルギー消費の27%に相当する。節減量の内訳は、運輸部門が1,046 Mtoe、産業部門が966 Mtoe、民生部門が719 Mtoeである(図4-1)。

運輸部門では道路部門が796 Mtoe、民生部門では家庭部門が400 Mtoeと過半を占める。自動車や家庭の消費機器等において、省エネルギーの余地が大きいためである。また、すべての部門において新興・途上国による節減量が過半を占めており、特に産業部門ではその占有率が8割を超えている。新興・途上国での省エネルギーの実現の可否が、世界の省エネルギー進展の鍵を握っている。

図4-1 | 世界の技術による省エネルギー(レファレンスシナリオ比) [技術進展シナリオ、2050年]



現状で利用可能な高効率技術の適用を鉄鋼やセメント、化学、紙・パルプ等のエネルギー多消費型産業を中心にいっそう拡大することにより、各産業の原単位は2030年時点でレファレンスシナリオより数%程度改善を示す(表4-2)。さらに高効率技術の拡大が加速することで2050年時点では約20%改善する。これにより、新興・途上国の産業部門の消費はレファレンスシナリオから772 Mtoe節減され、素材系産業の生産量の割合が高いアジアでの節減は世界の約8割を占める。高効率技術の導入が新興・途上国の効率を改善する効果は非常に大きい。省エネルギー技術の開発と新興・途上国を含めた積極的な展開が期待される。

運輸部門では、燃費改善や車種構成の変化がいっそう進展する。車種構成においては、ハイブリッド自動車に加え、電気自動車(EV)、プラグインハイブリッド自動車(PHEV)や燃料電池自動車などの導入・普及が拡大する。これらゼロエミッション自動車(ZEV)の新車販売シェアは、レファレンスシナリオと比較して、2030年で32ポイント、2050年には48ポイント上昇する。世界平均の新車燃費は、車種構成変化や燃費改善により、2050年時点ではレファレンスシナリオから15.2 km/L改善して48.4 km/L (2.1 L/100 km)になる。先進国ではZEVが車種構成に占める割合がより早期に上昇することから、運輸部門が省エネルギー量が最も多い部門となる。国際バンカーにおいては、技術革新、運用改善などによる省エネルギーが進展する。同時に、燃料転換の余地が大きく、外航海運では天然ガスが2030年にシェア7.5%、2050年には44%を占める。また、国際航空ではバイオ燃料が2030年にシェア6.9%、2050年には28%を占める。

表4-2 | 世界のエネルギー指標

	2022	レファレンス		技術進展		
		2030	2050	2030	2050	
原単位(2022=100)						
産業	鉄鋼原単位	100	101.5	96.3	95.7	74.5
	窯業土石原単位	100	93.0	77.6	89.6	68.6
	化学原単位	100	97.1	75.7	91.3	61.8
	紙パルプ原単位	100	94.9	84.8	90.9	66.2
	その他産業原単位	100	99.8	75.4	93.9	51.7
運輸	乗用車の新車燃費(km/L)	19.0	21.9	33.2	29.4	48.4
	ZEV新車販売シェア	5.5%	12%	45%	45%	93%
	外航海運の天然ガスシェア	0.2%	4.6%	23%	7.5%	44%
	国際航空のバイオ燃料シェア	0.0%	1.8%	5.9%	6.9%	28%
総合効率(2022=100)						
民生	家庭	100	89.0	70.7	85.1	57.2
	業務	100	86.5	55.2	84.4	42.2
	電化率					
	家庭	28%	33%	48%	35%	57%
業務	55%	59%	71%	60%	78%	

注: 原単位は生産量当たり、総合効率はエネルギーサービス量当たりのエネルギー消費量

民生部門は、経済的な観点等から省エネルギー意識の高い産業部門とは異なり、エネルギー消費節減のインセンティブが働きにくい。そのため、エネルギー消費の削減余地が大きく、世界の家庭の総合エネルギー効率は、レファレンスシナリオと比較して、2030年で4%、2050年で19%改善する。また、業務の総合効率は、2030年では2%、2050年では24%改善する。寒冷地域における暖房・給湯機器の効率改善に加え、新興・途上国における断熱性能の向上等がエネルギー節減に大きく貢献する。国による違いはあるものの、給湯や暖房には都市ガス、液化石油ガス(LPG)、灯油などが用いられることも多いため、両用途に関しては燃料が大きく削減される。農村部における電化地域の拡大や近代的調理器具の普及により、エネルギー効率が悪い薪や畜ふんなどの伝統的バイオマスが最も削減される。電力も、冷房・動力・照明等、広い範囲における省エネルギー効果が使用機器の電化による増加寄与を上回り、消費が大きく減少する。

Box 4-1 | 自動車のライフサイクル分析: 国や地域に応じたパワートレインの選択を

世界におけるバッテリー電気自動車(Battery Electric Vehicle: BEV)の販売は、2024年10月の時点で、そのスピードがこれまでの急拡大と比較し減速する傾向が見受けられる。例えば欧州では、最大のEV市場であるドイツが当初予算の違憲判決を受けた歳出削減への対応としてEV補助金を2023年12月に停止、フランスも中国生産のEVを補助金の対象外としていることなどから、2024年1月～8月の欧州連合(EU)のBEV登録台数は

前年同期比で43.9%減であった。米国は「Early Adopter」と呼ばれる新しい財・サービスを初期段階で採用する消費者の購入が一巡したとの見方があり、2024年の販売見通しは前年比20%増と、2023年に記録した約40%増と比較してペースダウンが見込まれる。世界最大のEV市場である中国において2024年のBEV/PHEV販売台数は前年比25%増の見通しで、依然として拡大するものの、2022年の82%増、2023年の35%増からは減速しており、消費者の節約志向が背景要因として指摘されている。

このような中、自動車由来の温室効果ガス(GHG)排出削減に向け、液体燃料のカーボンニュートラル化の議論も進んでいる。液体燃料にバイオ燃料や水素を原料とした合成燃料(e-fuel)等カーボンニュートラル燃料の混合率を高めてゆくことで、低炭素化は実現可能である。ブラジルはバイオエタノール混合率27% (E27)を義務化しており、E100も利用可能となっている。インドネシアではバイオディーゼル混合率40% (B40)とE10の導入義務化を2025年に予定しており、タイやインドではE10以上の目標を掲げている。さらに、2023年にはインド主導でグローバル・バイオ燃料・アライアンスが発足しており、バイオ燃料の供給確保とバイオ燃料が適正な価格で、持続的に生産されることに重点が置かれている。また、2024年5月には日本とブラジルの首脳間で、持続可能燃料と高効率モビリティ機器の組み合わせとして需給両側面で脱炭素化をグローバルに推進するべく、The Initiative for Sustainable Fuels and Mobility (ISFM)の立ち上げに合意している。e-fuelはプロジェクトが南米や北欧、米国などで進んでいる。

BEVは走行時にGHG排出をしないものの、より幅広い視点で温暖化対策としての可能性と課題を読み解く必要がある。すなわち、自動車のGHG排出の推計においては、「Well to Wheel」(WtW)として自動車に使用されるエネルギーの供給(Well to Tank)から消費(Tank to Wheel)に加え、自動車の製造と廃棄を含んだライフサイクルアセスメント(LCA)を行う必要がある。また、国や地域によってカーボンニュートラル(CN)燃料の供給可能性や電源構成、エネルギーインフラストラクチャーや社会情勢は大きく異なることから、国、地域ごとのLCA分析が求められる。

乗用車のパワートレイン別LCA分析

本BOX分析では、レファレンスシナリオと技術進展シナリオを組み合わせるCN燃料促進ケースを作成し、CN燃料促進ケースと技術進展シナリオにおける、欧州先進国、東南アジア諸国連合(ASEAN)、インド、ブラジルでの乗用車1台当たりのWell to Tank、Tank to Wheel、製造時、廃棄時のGHG排出量を推計した。

表4-3 | Box分析のケース

	カーボンニュートラル燃料比率 (バイオ燃料+合成燃料)	電源構成等転換、燃料価格、燃費 等
CN燃料促進ケース	技術進展シナリオと同等	レファレンスシナリオと同等
技術進展シナリオ	技術進展シナリオ	技術進展シナリオ

注: ブラジルについてはカーボンニュートラル燃料比率をE100と想定。

実際、LCAベースのGHG排出量を見ると、各国・地域や年ごとにハイブリッド自動車(HEV)、PHEVとBEVの関係は異なる。欧州先進国は現状ではPHEVのGHG排出が最も小さく、BEVがこれとほぼ同等である。2050年時点ではCN燃料促進ケース、技術進展シナリオともにこの関係は変わらない。

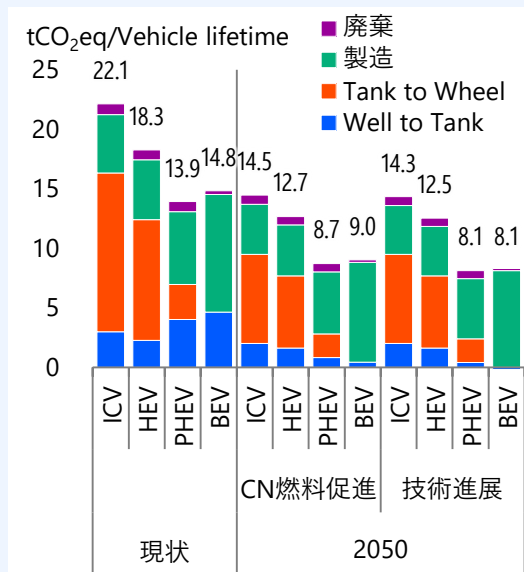
一方、電源構成の脱炭素化が相対的に遅れているASEANでは現状においてHEVとPHEVのGHG排出量は同等でBEVより小さく、インドではHEVが最も小さい。CN燃料促進ケースでは、2050年時点でも、ASEAN、インドとも、HEV、PHEVとカーボンニュートラル燃料の組み合わせが、LCAベースのGHG排出量においてBEVより低いこととなる。電源の低炭素化も進む技術進展シナリオにおいては、2050年時点でPHEVとBEVのLCAベースのGHG排出量がほぼ同等となる。

このように国・地域によって、電源構成の脱炭素化には大きな差異があるため、欧州先進国のように低炭素電源の構成比が高い国・地域では、カーボンニュートラル燃料とPHEVの組み合わせ、およびBEVにおいてLCAベースのGHG排出量が小さくなり、カーボンニュートラル達成への切り札の1つとなる。一方、電源の脱炭素化が相対的に遅れるASEANやインドでは、カーボンニュートラル燃料とPHEVの組み合わせが有力な選択肢になる。

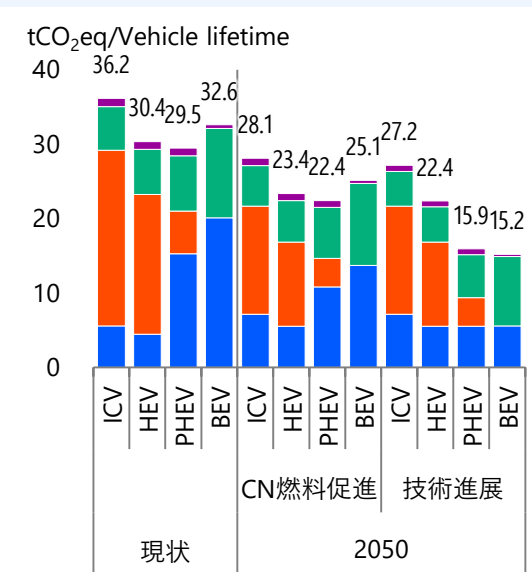
ブラジルでは、すでにE100で走行できる車両が多く、E100では現状でもHEV、PHEVのLCAベースのGHG排出量がBEVよりも小さくなっている。さらに、電源の脱炭素化が完全に進むと想定される2050年でも、HEV、PHEVともBEVと同等レベルのLCAベースのGHG排出量となると見込まれることから、バイオ燃料の供給ポテンシャルが大きいブラジルではカーボンニュートラル燃料とHEV、PHEVの組み合わせ、BEVがカーボンニュートラルに向けた対策として有力になる。

図4-2 | 乗用車の台当たりのGHG排出量(LCAベース)

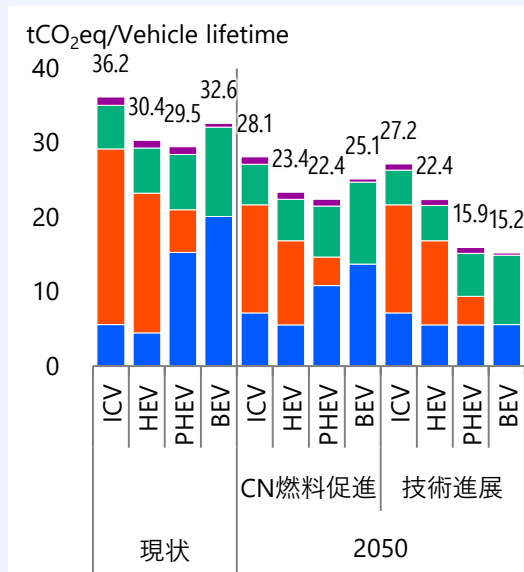
欧州先進国



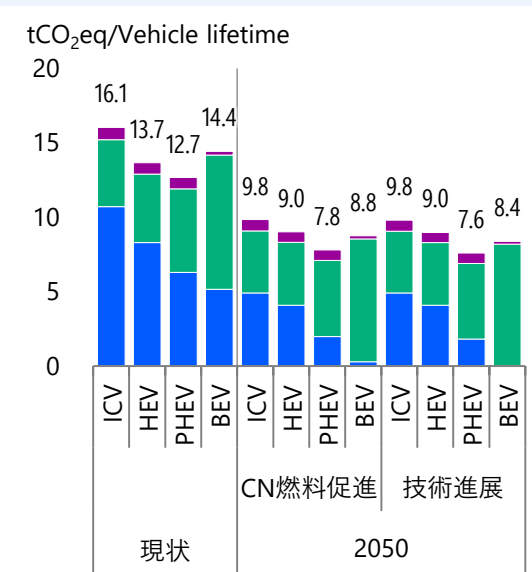
ASEAN



インド



ブラジル

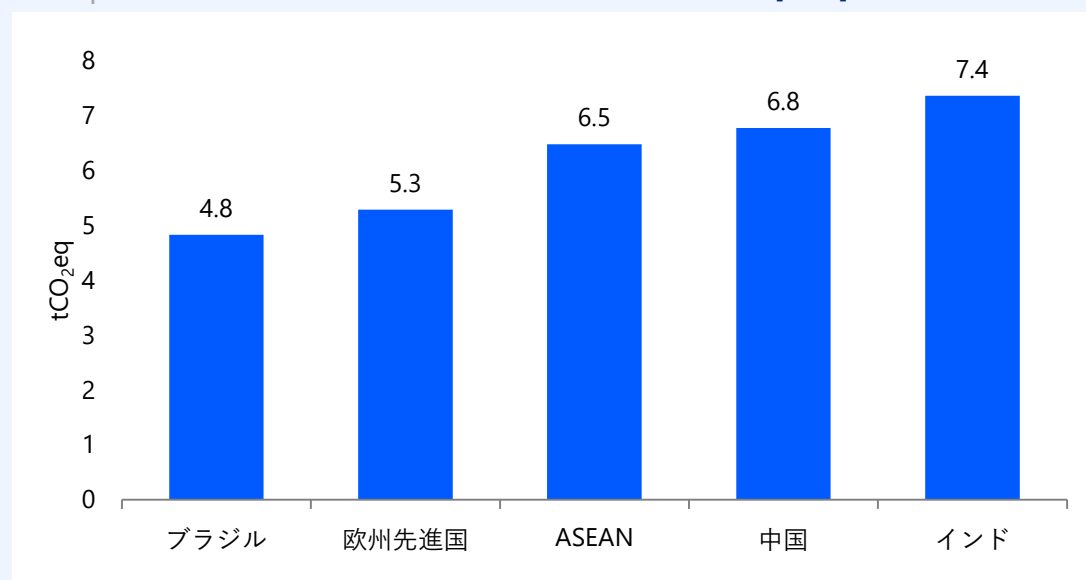


注: Well to Tankは燃料輸送時のCO₂排出は除く。乗用車の製造、廃棄は、Argonne National LaboratoryのThe Greenhouse gases, Regulated Emissions, and Energy Use in Technologies (GREET) Model 2021 versionを使用し、すべて国内または域内で行われるものと想定した。e-fuel原料のCO₂の回収効果(負の排出)は下流・利用者側(自動車使用者)に帰属するものとの前提で計算を行ったためe-fuel製造時の排出量(Well to Tank)は0。

ただし、製造時の排出量が他の部品に比して大きいバッテリーが他国で生産され輸入される場合は、LCAベースのGHG排出量が増加することにも留意が必要である。特に、ブラジルは、電源の脱炭素化がすでに進んでおり、バッテリーにおいて本分析の前提と

なっているブラジル国内での生産ではなく、電力の排出係数が相対的に大きい中国から輸入する場合は、現状においてバッテリーに係る排出量が1.4倍に増える。

図4-3 | BEVの台当たりのバッテリー製造におけるGHG排出量[現状]

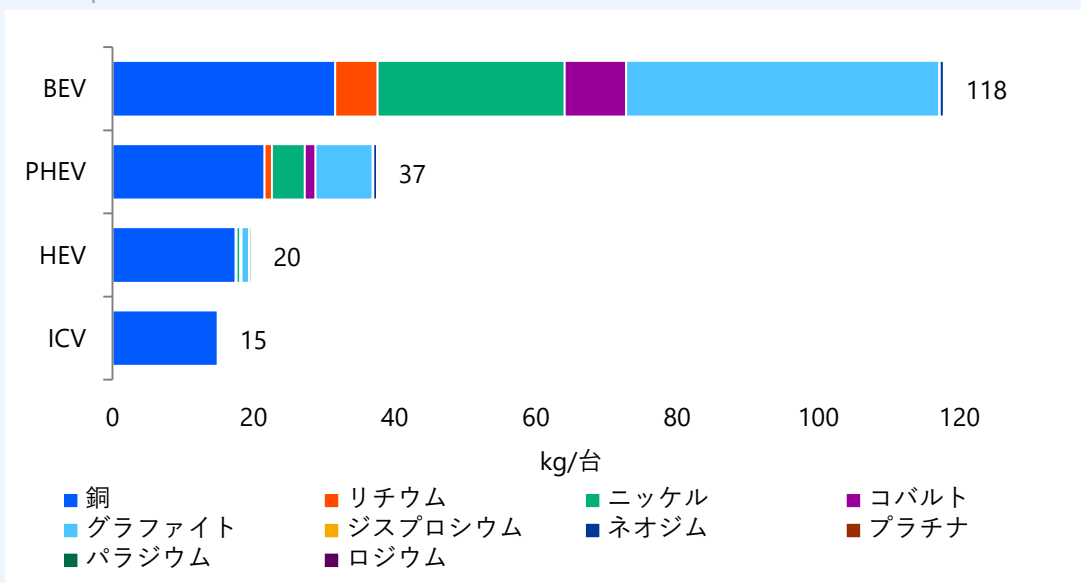


注: 図4-2の製造と対応

乗用車のパワートレイン別重要鉱物使用量

HEVやPHEVをバイオ燃料やe-fuel等のカーボンニュートラル燃料と組み合わせることの利点として、潜在的にBEVと比べて重要鉱物(クリティカルミネラル)の使用量が少なくなる優位性がある。BEVは大容量の駆動用バッテリーを搭載しており、バッテリーの原材料として、ニッケルやグラファイトなどのクリティカルミネラルを使用している。BEVにおけるクリティカルミネラルの使用量はHEVの約6倍、PHEVの約3倍であり群を抜いている(詳しくはIEEJ Outlook 2024を参照)。近年、1充電当たりの走行距離を稼ぐために搭載バッテリーの大容量化が進んでおり、このままBEVが大量に普及した場合、鉱物資源の需給バランスに支障をきたす可能性もあり、BEVの車体費用が高まるリスクもある。

図4-4 | 乗用車1台当たり鉱物使用量



出所: エネルギー・金属鉱物資源機構¹⁴

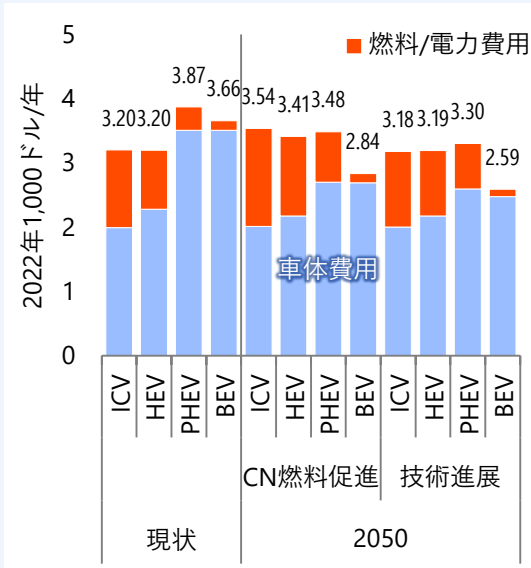
乗用車のパワートレイン別使用費用分析

PHEV、BEVは車体費用が内燃機関自動車(ICV)やHEVよりも高価であることが現在の課題として指摘できる。そこで、バッテリー価格の将来推計を考慮した車体費用、燃料・電力の価格を2050年まで想定し、乗用車におけるパワートレイン別の使用費用を比較した。

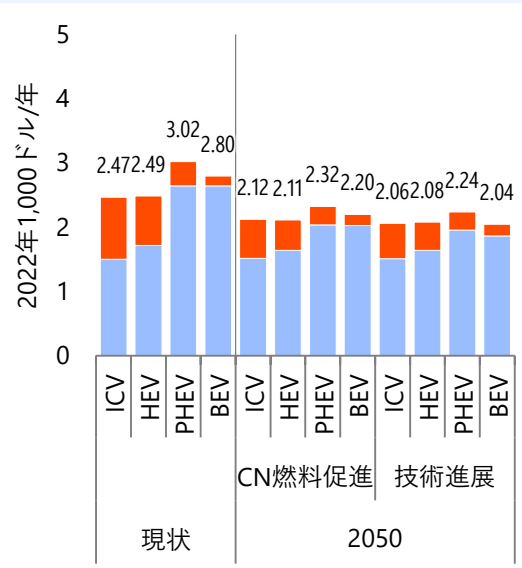
¹⁴ エネルギー・金属鉱物資源機構(2022)『令和4年度カーボンニュートラル実現に向けた鉱物資源需給調査報告書』

図4-5 | 乗用車1台当たり使用費用

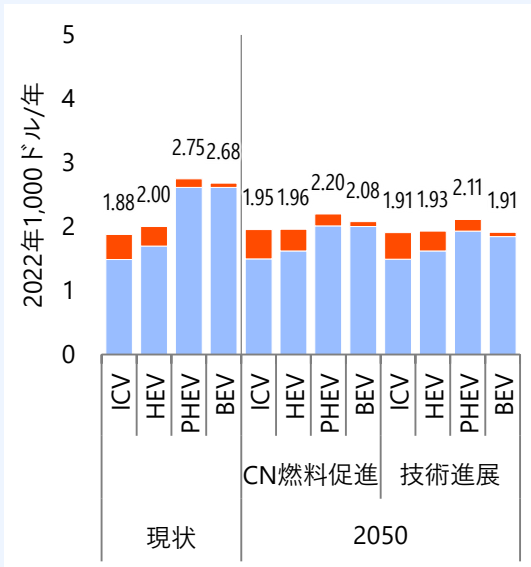
欧州先進国



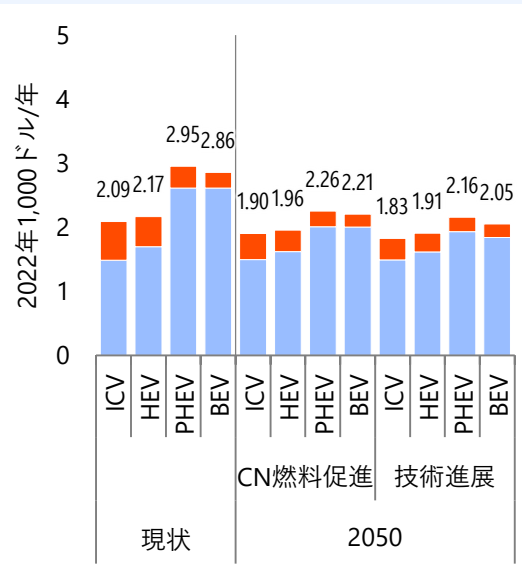
ASEAN



インド



ブラジル



注: 車体費用は使用年数で除した値。石油、電力価格について、税制、補助金等は変化しないと想定。バイオ燃料は2023年の石油との比率で一定と想定し、ブラジルは既存の補助金が続くと想定。合成燃料は2050年の日本の海外で製造するケースの価格¥300/Lと想定し、日本の石油との比率で他国も適用。

欧州先進国は現状ではICV、HEVがPHEV、BEVよりも使用費用が安価である。これが、2050年ではBEVの車体費用が低下することに加え、石油価格が電力価格に比して高くなる(電力価格がガソリンと比較して低い)ことから、BEVが最も安価となる。ASEANやインド、ブラジル等非経済協力開発機構(OECD)諸国も現状では同様に、ICV、HEV

がPHEV、BEVよりも安価である。2050年でPHEVやBEVの車体費用が低下する場合であっても、ASEANやインドは石油価格が欧州先進国と比較して低いことから、CN燃料促進ケースではパワートレイン別の使用費用でHEVはBEVのそれを下回り、技術進展シナリオでは同等となることも想定される。ブラジルはバイオ燃料価格が低いことから、技術進展シナリオでもそれを下回る。すなわち、車体費用に加えて、石油価格やカーボンニュートラル燃料価格、電力価格が消費者のパワートレイン選択に大きく影響を与えることとなる¹⁵。

インプリケーション

世界の気温上昇を1.5°C上昇に抑制するためには、全体的(holistic)で、柔軟性(flexible)のあるアプローチが求められる。その際、自動車のカーボンニュートラル化に向けては、資源の賦存や国の発展段階と消費者の購買力、自動車利用に関わる燃料・電力価格、そして電源の脱炭素化などさまざまな地域性を考慮する必要がある。

LCA分析の結果が示すように、パワートレインの使用時のみならず、エネルギーの生産や乗用車の製造・廃棄に関わるGHG排出も考慮する場合、地域性によってその評価が大きく異なる。欧州先進国のように低炭素電源の構成比が高い場合、BEVに並んで、カーボンニュートラル燃料とPHEVの組み合わせのGHG排出量が小さくなる。一方、電源の脱炭素化が相対的に遅れるASEANやインドではカーボンニュートラル燃料とPHEVの組み合わせが、バイオ燃料の豊富なブラジルではカーボンニュートラル燃料とHEV、PHEVの組み合わせが、それぞれ自動車のカーボンニュートラル化に向けた有力な選択肢となる。

加えて、LCA分析の結果が示すとおり、すでに電力部門の脱炭素化が進展するブラジルにおいて、電力の排出係数がより高い国で製造されたバッテリーを輸入した場合、バッテリーに関連する排出量はブラジル国内での製造と比較して、最大で40%増加する可能性がある。すなわち、LCAとして、使用段階、廃棄段階の排出量評価に加えて、国内お

¹⁵ BEVは走行距離と使用年数に応じて、バッテリー交換の必要がある。また、これは寒冷地において顕著となる。さらに、BEVの普及割合が増えた場合、どのようにパワートレイン間で公正な形で税を負担し、道路整備費用等をまかなうかといった検討が求められる。加えて、消費者の使用費用以外に、発電設備容量・送配電システムの形成等、社会的な負担も考慮する必要がある。バッテリー価格について本分析では、世界共通としているが、リン酸鉄リチウム電池で生産国において価格が大きく異なること(中国製よりも米国の場合は10%程度高く、欧州の場合は20%高額)との試算がある。このようにBEVの車両価格に大きく影響するバッテリー価格についても、生産国によって異なることや、将来の技術進展等も踏まえた本分析以外での検討項目がある点には留意が必要である。

よび第三国でのバッテリー製造を考慮したうえでのパワートレイン別のGHG排出の評価が求められる。

重要鉱物の供給は、現在中国など特定国による寡占状況となっており、カーボンニュートラル燃料とHEV、PHEVとの組み合わせは、重要鉱物への依存が大きくなるBEVに比して安全保障上のメリットが大きいことも重要なインプリケーションの一つであろう。

自動車のカーボンニュートラル化に向け、その手段が「Affordable: 手頃な価格」で実施可能か、については消費者負担の観点から特に新興・途上国において重要である。例えば、ASEANやインド、ブラジルの分析で提示したとおり、バイオ燃料等のカーボンニュートラル燃料の利用を踏まえたHEVの利用が、2050年においても「Affordable」な選択肢となりうる可能性がある。今後も、重要鉱物資源の需給バランスや技術開発のバッテリー価格への影響を踏まえた車体費用の見通しに加えて、将来にわたっての石油価格やカーボンニュートラル燃料価格、電力価格の相対関係に影響する制度(税制や助成措置等)の綿密な検討が求められる。

再生可能エネルギー

技術進展シナリオでは、自然変動電源である風力発電や太陽光発電の市場導入がさらに加速する。世界の総発電量に占める自然変動電源のシェアは2022年の11.7%から2050年には53.1%まで上昇する。

この水準まで自然変動電源のシェアが高まると、一部の国やエリアでは電力システム運用上の課題が顕在化する可能性が高い。例えば、風力・太陽光電力の時間変動性に起因する課題として、急激な発電出力変動(周波数変動)や余剰電力、年に1回～2回程度発生するとされる「曇天無風期間」などがある。また、空間偏在性に起因する課題として送電容量不足がある。さらには、その他の課題として非同期電源¹⁶の増加にともなう系統慣性低下や立地周辺の自然環境・生態系・経済活動への影響(大規模太陽光発電設置のための森林開発や陸上風力発電機による鳥類への影響、洋上風力発電が漁業に及ぼす影響の深刻化等)もある。

これらの課題を踏まえて、自然変動電源を電力システムに統合するための技術的・制度的・政策的な対策が必要となる。ここで提示する技術進展シナリオにおいては、自然変動電源の統合技術の実用化進展や、その社会実装への政策的支援、事業者・投資家・消費者の環境意

¹⁶ 同期電源とは、自らが回転エネルギーを持つことで、タービンが回転し続ける力である慣性力や発電機同士が同速度で回ろうとする力である同期化力を有し、電力系統の安定化に資する機能がある電源。火力発電、水力発電、原子力発電など。これに対し、非同期電源(インバータ電源)とは、そうした機能がない電源。太陽光発電、風力発電など。

識の高まりおよび電力インフラストラクチャー敷設への社会的受容性の向上等が想定される。自然変動電源の拡大を支える技術として、発電予測技術や出力抑制、エネルギー貯蔵(主に揚水式水力や蓄電池)、バックアップ電源の出力調整、EVを活用した需給調整技術、系統増強と地域間の電力融通、そしてこれらの技術を情報通信技術で結んで最適制御を行うスマートグリッド等が大きな役割を果たす。また、技術の普及のみならず、環境との調和や地域との合意形成を促す政策や法制度も持続的な再生可能エネルギー導入を後押しする。

風力発電(陸上風力と洋上風力の両者を含む)の導入は、すべての地域においてレファレンスシナリオ比で加速し、世界の設備容量は2030年に2,260 GW、2050年には5,160 GWに達する(図4-6)。陸上風力発電は、送電インフラの増強やエネルギー貯蔵技術のコスト低減によって空間的・時間的な偏在性が緩和され、中国やインドにて顕著に拡大する。洋上風力発電は、これまでの主役であったヨーロッパに加え、中国、台湾、日本、米国でも導入が進む。なかでも中国での増加が顕著となる。継続的な技術開発とコスト削減努力に加え、政策的支援——経済的支援の充実化や海洋利用に係る各国内の制度構築、漁業関係者をはじめとする既存の海域利用者の理解促進に基づく開発調整の円滑化等——がこれらの地域での洋上風力利用を促進させる。陸上・洋上風力発電設備導入量の合計値では中国が世界トップの座を維持し、主要な風力発電市場であり続ける。中国は、2030年に世界の設備容量の45%を、2050年には50%を占める。技術進展による立地制約や系統制約の克服は、ヨーロッパ、米国、インド等での風力発電のいっそうの拡大に寄与するが、同時に、中国においても同様な拡大をもたらす。結果として、2050年における中国の存在感の大きさはレファレンスシナリオと比して大きな差はない。

太陽光発電も世界的に導入が加速し、世界の設備容量は2030年には5,020 GW、2050年には10,690 GWに達する(図4-7)。技術進展によって系統制約、自然変動電源の系統安定性への影響、そして立地制約が一定程度克服された結果として、2050年のレファレンスシナリオとの比較で、風力が1.5倍、太陽光が1.3倍の増加規模となる。現在の太陽光発電の主要市場は中国、ヨーロッパ、米国等であるが、太陽光パネルや蓄電池のコスト低下にけん引され、これらの地域に加えてインドの存在感がいっそう増す。さらに中東やアフリカ、中南米といった日射量に恵まれたサンベルト地域の伸びも大きくなる。レファレンスシナリオと技術進展シナリオを比較してみると、後者がヨーロッパで1.3倍に拡大しているのに対して、インドでは1.5倍、中国・北米・ヨーロッパ以外のその他(≈中東、アフリカ、中南米等)でも1.4倍と大差はなく、現在主要市場ではない国々やエリアにおいても技術進展によっていっそう有望な太陽光発電市場となる可能性が示唆されている。

図4-6 | 風力発電設備容量[技術進展シナリオ]

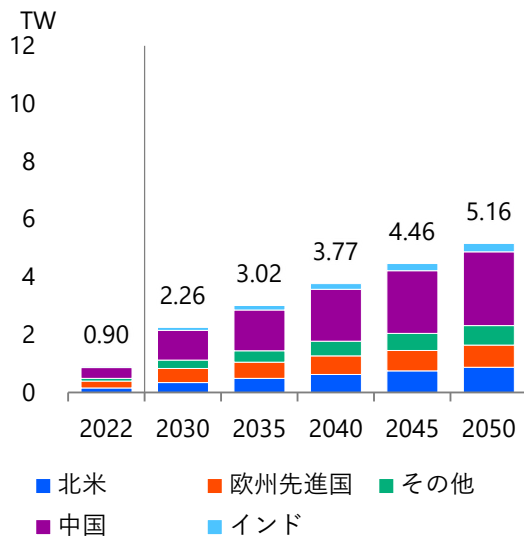
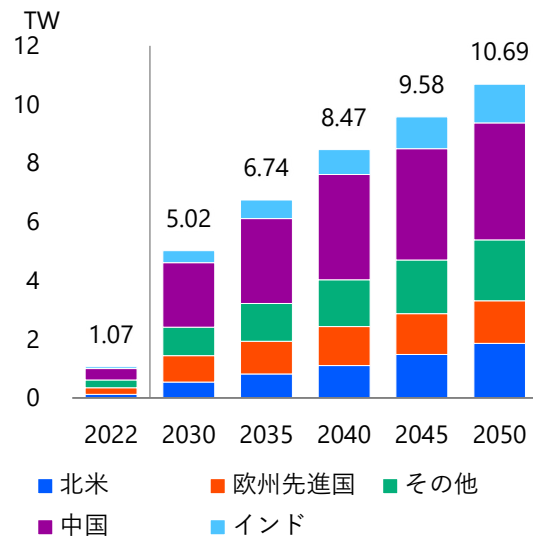


図4-7 | 太陽光発電設備容量[技術進展シナリオ]



近年、カーボンニュートラル社会への取り組みが世界的に高まっているが、今世紀半ばごろまでの実現には自然変動電源の導入を技術進展シナリオ以上に加速させる必要がある。電力需給の様相が様変わりする可能性があり、それを見越した技術選択が重要である。例えば、エネルギー貯蔵の観点ではリチウムイオン電池やナトリウム・硫黄(NAS)電池のような数時間の貯蔵容量を持つ技術の活用に加え、自然変動電源の発電出力の週・月・季節変動に対応するため長期間の貯蔵に適した技術が必要となる可能性がある。そのような貯蔵技術にはレドックスフロー電池や水素がある。レドックスフロー電池は出力と貯蔵容量を独立して設計できる特長があり、電解液を増やすことで大規模かつ長期間の貯蔵にも対応できる。水素についても水電気分解と水素貯蔵、水素発電の設備容量を独立して選択できる。エネルギー貯蔵技術は電力系統の周波数調整等のアンシラリーサービス提供機能としても期待されており、欧米では蓄電池はすでにアンシラリーサービス市場に参入している。また、水電解もアンシラリーサービスへ活用するための制度設計を目指した実証がヨーロッパを中心に行われている。エネルギー貯蔵はそれぞれの技術の特性——技術的特徴や経済性、安全性、さらには素材となる鉱物資源(リチウム、ニッケル、コバルト、バナジウム、プラチナ等)の調達元といった経済安全保障の観点等——を総合的に踏まえ、最適な組み合わせ追求してゆく必要がある。

原子力

原子力は気候変動対策や大気汚染対策、そしてエネルギー安全保障といった多くの政策目標に対して有用性を発揮できる。そのため、技術進展シナリオではレファレンスシナリオ以上

に導入が進むこととなる。従来の大型軽水炉については、ノウハウの蓄積や建設技術の効率化などによって導入に係る障壁が低減される。他方で、近年、特に開発が進められている小型モジュール炉(SMR)や第4世代炉といった新型炉もまた、実用化に向けて強力な政策措置が実施される。これらの新型炉は数十年の開発期間を重ねても商用規模では実用化していないが、米国やカナダなどでは近年、具体的なユーザー候補が現れ導入を検討しているほか、世界中で多数の国が関心を表明している。そのため、現在計画中あるいは進行中の実証炉建設が世界中の潜在ユーザーからの関心に十分応える結果を残せるか否かが、将来的な新型炉導入のポイントとなる。

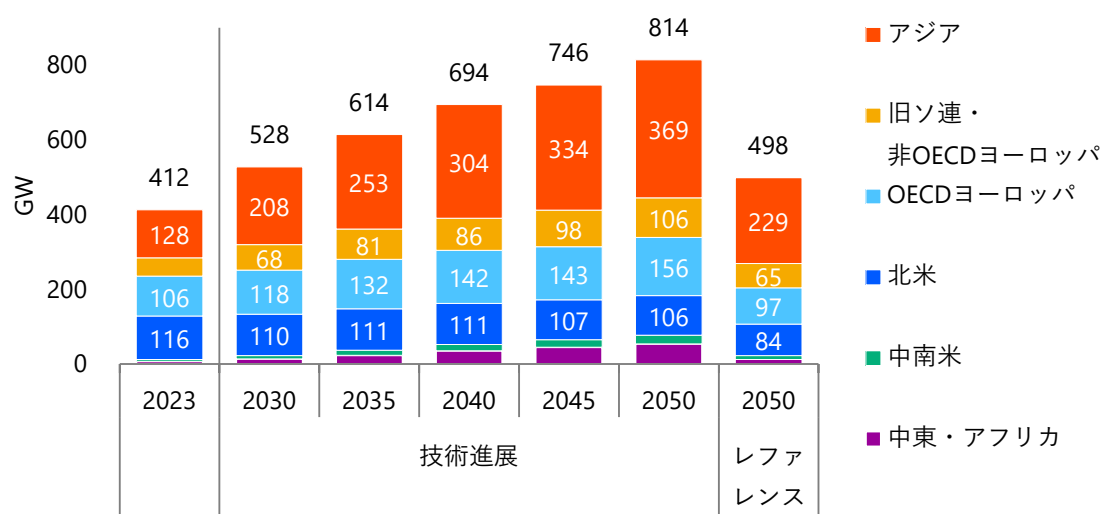
社会全体の大幅な低炭素化を目指すうえで、電力部門以外での取り組みも重要となる。前述の新型炉をはじめ、原子力技術は発電用途にとどまらず、地域熱供給、産業用熱供給、水素製造、海水淡水化など多様な用途に活用されることが期待されている。ただし、現状の原子力はベースロード電源として運用することが前提とされており、今後も多くのエネルギー需要が電力化されてゆくことが予測される以上、それは2050年においても変わらない。第一義的な役割である電力供給を全うしたうえで、余剰となった電力や熱の有効活用を検討してゆくことになるであろう。

早期から原子力を積極的に推進してきた米国やフランスは、既設炉の大部分が一度に経年化を迎えることもあって、設備容量が現在の水準から低下する。ただし、気候変動対策やエネルギー安全保障の観点から原子力利用促進策が一段と強力に発揮される技術進展シナリオでは、レファレンスシナリオより多くの新設計画が実現し、下げ幅が縮まる。英国についてはレファレンスシナリオでも2050年までの間に足元の量以上の発電設備容量が導入されるが、技術進展シナリオではそれをさらに上回る規模の新規建設が行われる。福島第一原子力発電所事故を受けて脱原子力政策の方向性を明確にした国においても、低炭素化や自国の産業競争力の維持という観点から、原子炉の閉鎖計画の先送りや廃炉した設備をリプレイスで補うという方針が採用される。

野心的な低炭素目標を掲げる先進国のみならず、新興・途上国でも電力需要の急速な拡大に対応しつつ、低炭素化を進めるため原子力が導入される。原子力導入の基本的な動機は大規模な安定電源によるエネルギー需要への対応であるが、島しょ部などの遠隔地を抱える新興・途上国では小規模系統に対応した小型炉の導入も見込まれる。

こうした想定の下、技術進展シナリオでは、世界の原子力発電設備容量は2023年の412 GWから2050年には814 GWに拡大する(図4-8)。これは、レファレンスシナリオでの設備容量498 GWの1.6倍に相当する。

図4-8 | 原子力発電設備容量[技術進展シナリオ]



北米では2025年以降に設備容量が微減するものの、必要な既設炉の維持や新設が行われることで、2050年時点で106 GW程度の水準を維持する。米国では民主党・共和党いずれの政権でも原子力を重視する姿勢を示しており、連邦政府や一部の州政府で新設や既設炉の維持を支援する政策が実施されている。技術進展シナリオでは、そういった政策動向が最大限奏功することを想定するため、レファレンスシナリオ以上の設備容量が維持される。また、米国とカナダはともにSMRや第四世代炉の開発を積極的に推進していることから、2030年代以降はそれらの実用化も見込まれる。ただし、SMRは1基当たりの設備容量が小さいため、国の合計設備容量の中におけるインパクトは限定的となる。

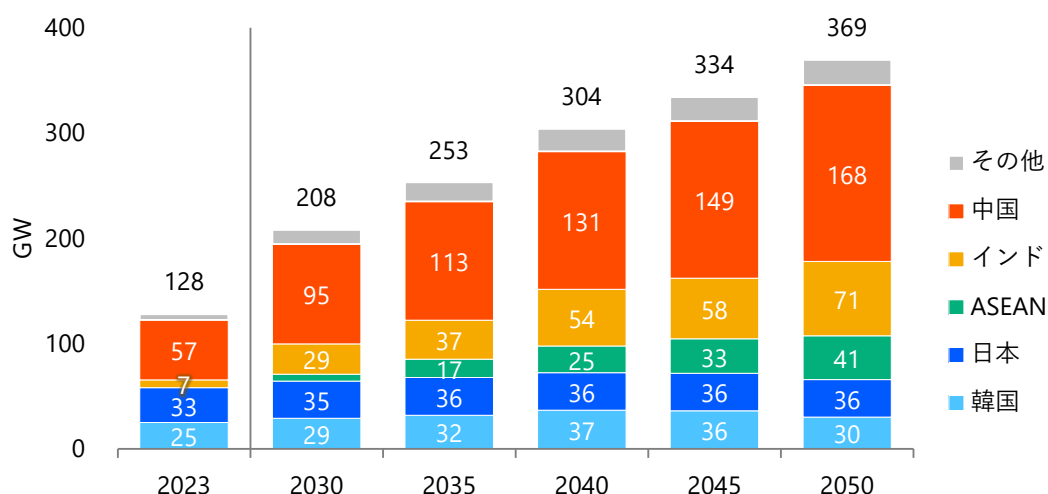
野心的な温室効果ガス排出削減目標を掲げる欧州先進国では、経年化した既設炉が廃炉される一方で、新設やリプレースも政策的に推進される。そのため、設備容量は2023年の106 GWから2050年には156 GWまで拡大する。ヨーロッパ最大の原子力利用国であるフランスでは、2050年にかけて設備容量が徐々に減少してゆくが、新設計画も増えるため、レファレンスシナリオと比して緩やかな減少となる。英国では最先端技術の大型軽水炉の建設がいっそう促進され、2050年にはエネルギー安全保障戦略によって定められた最大目標値である累計24 GW（既設を含む）が実現される。欧米諸国では新設計画のノウハウ消失や建設開始後の設計変更などにより、現在建設中の大型軽水炉(第三世代+)の工期に大幅な遅延が生じている。次以降の新設計画において、こうした問題点が修正されることにより新設のリスクが軽減され、事業者にとっての投資環境が改善されることが、この拡大の主要なドライバーとなる。

ロシアでは新規建設計画が加速し、設備容量は2023年の30 GWから増加を続け、2050年には53 GWへと拡大する。加えて、ロシアについては新興・途上国の経済成長およびエネルギー需要の増大を背景に、国外への輸出が積極的に進められる。すでに多くの新興・途上国との間で、原子力を含む多くの産業分野での基盤整備や人材育成などを含めた包括的な協力関係の構築を進めているため、これが将来の原子力輸出の盤石な布石となる可能性は高い。

新興市場とされる中東、アフリカ、中南米では、2030年ごろより新設炉が順次運転開始を迎え、以降設備容量は着実に拡大する。特に中東では、化石燃料依存の経済から脱却することが政策上の優先事項となるため、すでに建設を進めているアラブ首長国連邦や、建設計画を表明したサウジアラビアを中心に新設が相次ぎ、中東全体で2030年に11 GW、2050年に29 GWに達する。

アジアはレファレンスシナリオでも2050年時点で最大の導入地域となっているが、これは技術進展シナリオでも同様である。アジア全体での設備容量は2035年ごろに欧州先進国と北米の合計を上回り、2050年には369 GWに達する(図4-9)。その内訳もレファレンスシナリオ同様、中国とインドがけん引役となるが、それらに加えて東南アジア諸国でも、増加する電力需要に対して安定的で経済合理性のある低炭素電源への需要が高まり、現在は計画段階にとどまっている国々での原子力導入が進展する。これらの国々には島しょ地域を抱える国も多く、そういった地域の電力安定供給も課題としているため、SMRや洋上浮体式原子炉の導入も進む。こうした動機があることから、ASEAN合計の導入量は2023年時点でこそ0であるが、2030年ごろから営業運転が順次開始され、2050年には発電設備容量が41 GWに達する。これは、同時点の日本の設備容量(36 GW)を上回る値である。

図4-9 | アジアの原子力発電設備容量[技術進展シナリオ]



水素

クリーン水素およびクリーン水素を原料とした低炭素燃料(アンモニア、合成メタン、合成燃料[e-fuel]等)は、電化が難しい用途における脱炭素化策や、主に調整電源としての火力発電の代替策として注目されている。

米国は、2022年8月に成立したインフレ抑制法(IRA法)によって、クリーン水素製造に10年間の税控除を打ち出した。また、超党派インフラ法に基づく総額70億ドルの支援スキームにおいては、7か所の地域クリーン水素ハブ(Regional Clean Hydrogen Hubs, H2Hubs)を選定し、水素利用も含めたクリーン水素ネットワークの構築を目指す。EUは、ウクライナ危機以降、脱ロシアの一環として、再生可能エネルギー由来水素(グリーン水素)の利活用を促進する取り組みを加速している。2022年3月に発表したREPowerEUでは、2030年までに再生可能エネルギー由来水素を域内製造で10 Mt/年、輸入で10 Mt/年供給するとの目標が設定された。また、再生可能エネルギー由来水素のEU域内市場流通の確立とEUへの輸入再生可能エネルギー水素に対する支援を目的に創設された欧州水素銀行(European Hydrogen Bank, EHB)は、2024年4月に、EU域内の再生可能エネルギー由来水素の製造に関する7件の補助案件を採択し、€0.37/kg-H₂~€0.48/kg-H₂水準の補助金が提供される。ドイツは2024年7月に、国際水素・水素由来燃料調達メカニズム「H2Global」の初の入札結果¹⁷を公表した。

¹⁷ 落札案件はエジプトで製造したグリーンアンモニアで、契約価格は€1,000/tである。

アジア地域では、中国は、2022年3月に「水素エネルギー産業中長期発展計画」を発表し、2025年までに再生可能エネルギー由来水素の製造量を100 kt/年～200 kt/年、燃料電池自動車の保有台数を5万台にする目標を掲げている。また、風力や太陽光の資源が豊富で安価に調達できる地域で大規模な再生可能エネルギー由来水素製造プロジェクトが相次いで導入されている。中国政府は、2024年7月に公表した石炭火力発電の脱炭素化アクションプランでは、石炭火力発電の脱炭素化措置の1つとしてグリーンアンモニアの混焼を明記した¹⁸。韓国は、世界初の水素発電入札制度を開設し、水素・アンモニア発電の利用拡大を図っている。日本は、2023年6月に6年ぶりに水素基本戦略を見直し、2030年に最大3 Mt/年、2040年に12 Mt/年、2050年に20 Mt/年のクリーン水素・低炭素燃料の導入目標を掲げている。2024年5月に「水素社会推進法」¹⁹が成立し、クリーン水素・アンモニアを対象とした価格差支援と拠点整備支援が実施されることになり、今後の水素・アンモニアの利用拡大が期待される。

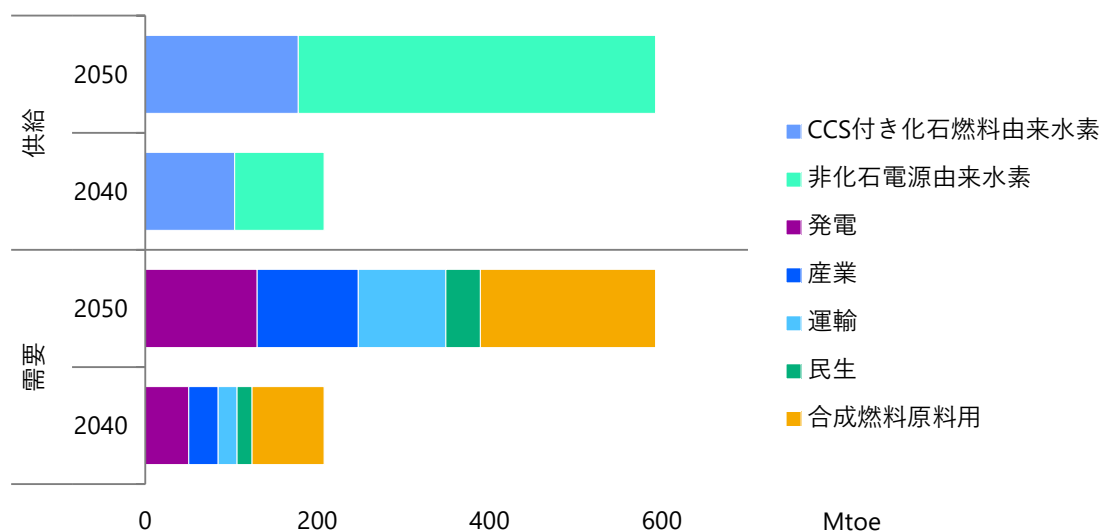
技術進展シナリオでは、クリーン水素の主な利用先は、発電、低炭素燃料の合成、産業部門、運輸部門である(図4-10)。現状で運輸部門における主な水素利用先は燃料電池自動車であるが、バスやトラックなど年間走行距離が長く電化が難しい重量自動車が必要な用途である。加えて、船舶や飛行機の脱炭素化には水素や水素由来のアンモニア、合成メタノール(e-methanol)、合成灯油(e-kerosene)等が重要なオプションになる。産業部門、特に高温熱需要に対しても水素や水素由来の低炭素燃料の利用が見込まれる。また、高炉水素還元や水素直接還元など水素を活用した製鉄技術は現状ではまだ実証段階であるものの、将来は鉄鋼部門の重要な脱炭素化策として導入が拡大する。民生部門の水素利用は水素導管・配管など配送インフラの整備が比較的容易な地域に対して限定的に導入される。

水素製造については、価格競争力があるため、短期的にはCCS付の化石燃料由来水素(ブルー水素)が進むが、将来には再生可能エネルギー発電と水電解装置のコスト低減が予想される。また、フランスや、米国などは原子力を用いた水素製造にも取り組んでいる。2050年時点では、クリーン水素供給の7割程度が再生可能エネルギーなど非化石電源由来の水素となる(図4-10)。中東、北米など従来のエネルギー生産地域に加え、中南米、オーストラリア、アフリカなど再生可能エネルギー資源が豊富な国・地域も有望なクリーン水素の製造・供給源となる。ヨーロッパ、北米、東アジア、インドなどがクリーン水素や低炭素燃料の主要な需要先となる。

¹⁸ グリーンアンモニア混焼以外の脱炭素化措置は、バイオマス混焼、CCSである。

¹⁹ 「脱炭素成長型経済構造への円滑な移行のための低炭素水素等の供給及び利用の促進に関する法律案」

図4-10 | クリーン水素の需給[技術進展シナリオ]



水素輸送を目的に水素を水素キャリアに変換するためには大規模な設備投資と追加的なエネルギー投入が必須となり、コスト増につながる。したがって、水素キャリアへの変換・輸送を最小限に留める必要があり、水素の製造と需要は地理的に近いことが望ましい。しかし、ヨーロッパ、日本、韓国など見込まれる水素需要が大きいものの安価なクリーン水素の供給ポテンシャルが限定的と思われる地域・国にとっては、海外からの水素の長距離輸送も必要となる。クリーン水素の経済的な国際サプライチェーンの構築に向けては、液化水素、メチルシクロヘキサン(MCH)、アンモニア、合成メタン、合成燃料等の水素キャリア合成の大幅なコストダウンが求められる。また、サプライチェーン全体のCO₂排出量の抑制も重要な課題であり、クリーン水素・低炭素燃料のカーボンフットプリント認証スキームの構築が必要となる。

二酸化炭素回収・貯留

CCSは、多様な排出源からCO₂を回収して地下の地層に安定的に貯留する技術を指す。すでに米国やカナダ、ノルウェー、オーストラリアなどでは広く商業化されている技術であり、今後の脱炭素化に大きく寄与する技術として近年、高い関心を集めつつある。CCSは単に化石燃料を利用した際に発生するCO₂を回収するだけでなく、大気中からCO₂を直接回収して地下に貯留する直接大気回収・貯留技術(DACCS)や、バイオマス利用によって生じたCO₂を回収して地下に貯留するバイオエネルギー炭素回収貯留(BECCS)といったいわゆる炭素除去技術にとっても不可欠な要素技術であり、その意味では、今後人類が、長期的に大気中のCO₂の濃度を安定的に維持してゆくためには、なくてはならない技術であるといえる。

今世紀半ばでのネットゼロの実現に向けて、特に先進国を中心に、CCSの導入に向けた支援制度の整備が進んでいる。CCSの実施は、企業にとっては純粋に追加コストとなるため、何らかのインセンティブを与えないと、その導入は進まない。このため、例えば米国では、これまでCCSを実施した企業に対しては、回収・貯留したCO₂ 1 t当たり20ドルの税額控除が与えられてきたが、2022年に成立したインフレ抑制法では、この税額控除額を一気に\$85/tにまで引き上げることで、CCSの導入を促す政策が導入されている。また、カナダやオーストラリアなどにおいては、CCSを実施する事業者に対しては、初期投資に対する補助金の供与と併せて、CCSによって回収・貯留されたCO₂に対しては、それぞれの国における排出権取引のクレジットを供与するなどの制度が整えられている。英国では、まだ商業化されたCCS案件はないものの、すでに国内4か所にCCSを集中的に実施するハブの候補地が特定されており、その実現に向けて、実際のCCS実施コストとCCSを実施することで得られる排出権取引のクレジットとの差額を政府が補填する制度が設けられている。

こうした世界の動きに対して、日本でもCCSの商業化に向けた動きが着々と進んでいる。2024年5月には、CCSを実施するうえでの法的な権利や義務を定めたCCS事業法が制定された。また同年6月には、経済産業省とエネルギー・金属鉱物資源機構(JOGMEC)が、CO₂の分離・回収から輸送、貯留までのバリューチェーン全体を一体的に支援する「先進的CCS事業」として国内外9か所での回収・貯留計画を選定し、重点的な財政支援を行う方針を明らかにしている(表4-4)。特に国内の案件については、貯留先や回収源、輸送手段などの点で多様な性格を有する案件が支援の対象として選ばれている。日本政府は、2050年時点でのCCS実施目標を1.2億t/年~2.4億t/年と定めており、その実現に向けて今回選ばれた先進的CCS事業についても2030年までに実際の貯留を開始することを求めている。

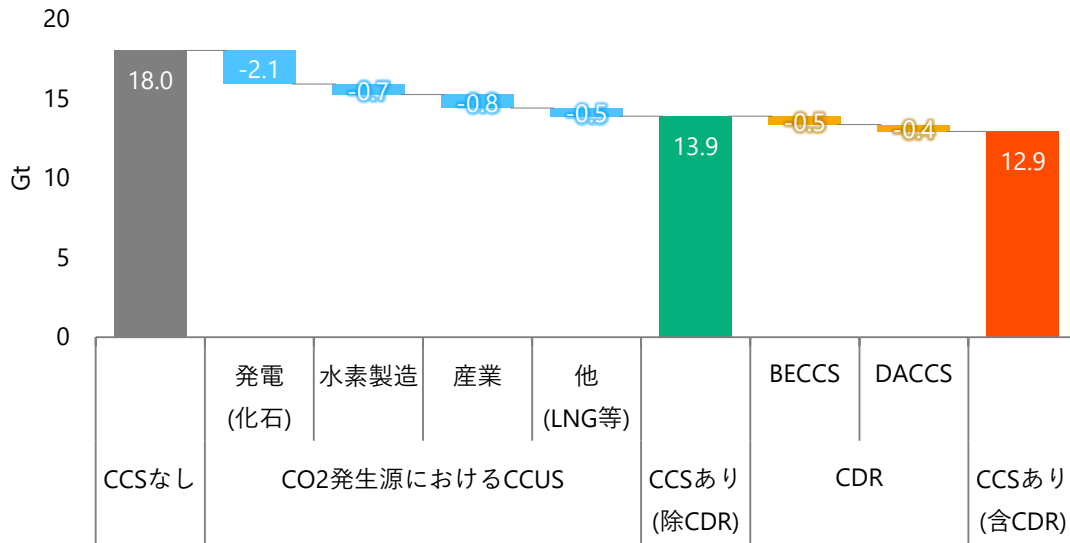
技術進展シナリオにおいては、CCSの導入を見込んでいる。CCSの実施を想定する部門としては、大きく発電部門と産業部門とに分けられる。発電部門に関しては、先進国においては新設の石炭・液化天然ガス(LNG)火力に対し、アンモニアや水素混焼を見込んでいない火力発電所にはすべてCCSの適用を想定しており、新興国・途上国においても、中国やインド、東南アジア、中東などCCSを実施できる貯留場所や実施できる企業が存在している地域においても火力発電所へのCCSの適用が進むと想定した。また、産業部門においては、同じく先進国や一部の新興・途上国においては、製鉄部門、セメント部門、化学部門にCCSの適用が進むと想定した。さらに、化石燃料の生産部門においても、LNG生産部門では新設のLNGプロジェクトには原則すべてのプラントにLNG製造時に発生するCO₂の回収・貯留設備が敷設されると想定した。

表4-4 | 先進的CCS事業選択案件

貯留先	貯留量	回収源	輸送手段
苫小牧地域 (帯水層)	約150万/年～200万t/ 年	苫小牧地域製油所、 火力発電所	パイプライン
日本海側東北地方 (海域帯水層)	約150万/年～190万t/ 年	製鉄所、セメント工 場、地場排出事業者	船舶およびパイプ ライン
東新潟地域 (既存油ガス田)	約140万t/年	化学工場、製紙工 場、発電所	パイプライン
首都圏 (海域帯水層)	約140万t/年	製鉄所他	パイプライン
九州西部 (海域帯水層)	約170万t/年	製油所、火力発電所	船舶およびパイプ ライン
マレーシア マレー半島沖北部 (減退油ガス田)	約300万t/年	鉄鋼、化学、石油精 製他	船舶およびパイプ ライン
マレーシアサラワク 沖 (海域枯渇油ガス田)	約190万/年～290万t/ 年	製鉄、発電所、化学 工場他	船舶およびパイプ ライン
マレーシア マレー半島沖南部 (海域減退油ガス田、 帯水層)	約500万t/年	発電・化学・セメン ト・石油精製他	船舶およびパイプ ライン
大洋州 (海域減退油ガス田、 帯水層)	約200万t/年	製鉄所他	船舶およびパイプ ライン

出所: 経済産業省

図4-11 | CCS実施量[技術進展シナリオ、2050年]



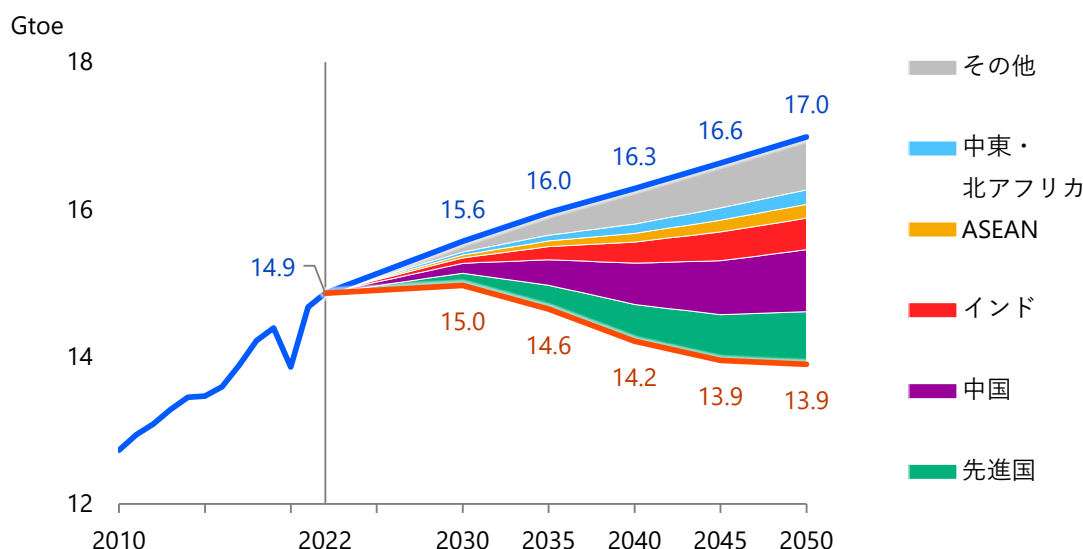
4.2 エネルギー需給

技術進展シナリオでも2050年世界カーボンニュートラル実現には程遠く、省エネルギー・気候変動対策のさらなる推進にはあらゆる手段の総動員が必要

技術進展シナリオでは省エネルギー・気候変動対策の強力な展開を想定する。一次エネルギー消費はデータセンターにおける電力需要の増加等もあり2030年までは増加するものの、2030年以降は省エネルギーがさらに進むことで減少に転じる。2035年における一次エネルギー消費はレファレンスシナリオ比-1,311 Mtoe (-8.2%)となり、2022年比では-215 Mtoe (-1.4%)となる(図4-12)。2040以降はCCS等の増加にともない減少ペースは鈍化するものの、2050年まで減少が続いてレファレンスシナリオ比の一次エネルギー消費削減量は3,091 Mtoe (20.8%)となる。2050年までの累積節減量は省エネルギー等が進み、43.5 Gtoeとなる。技術進展シナリオを実現するためには、エネルギー消費節減および非化石エネルギー導入のポテンシャルが大きい新興・途上国、特にインド、中東・北アフリカ(MENA)、ASEANの役割が大きい。

技術進展シナリオで世界が到達可能な省エネルギー量のうち、新興・途上国は2050年において72%を占める。特にインド、MENA、ASEANは合わせて26%を占める。これらの国々の省エネルギーと脱炭素化をいち早く進めることが、世界のエネルギー安定供給、気候変動対策のカギとなる。

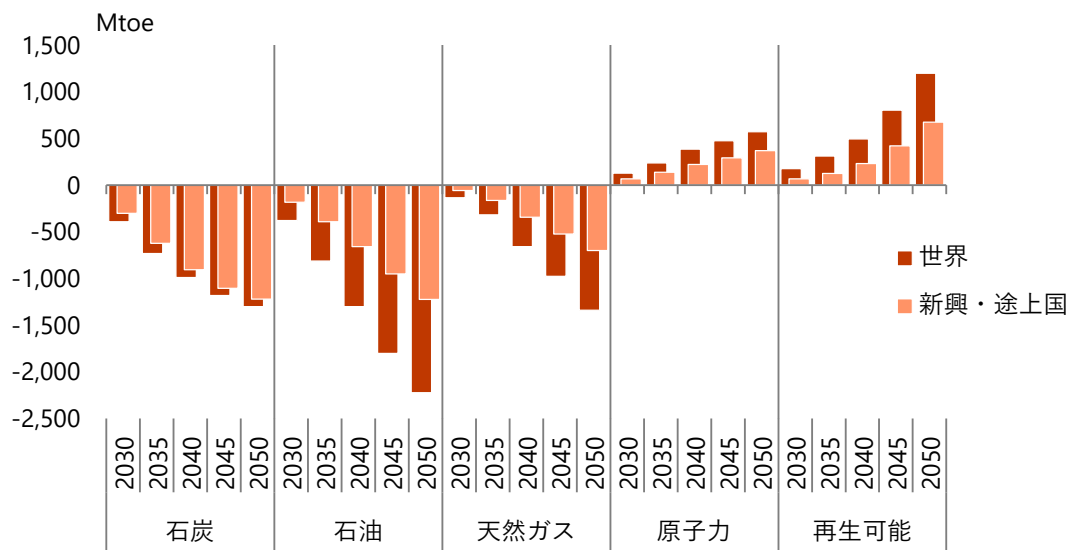
図4-12 | 世界の一次エネルギー消費と省エネルギー(レファレンスシナリオ比) [技術進展シナリオ]



エネルギー源別では、化石燃料は燃料転換も進むこともあり、2050年はレファレンスシナリオ比4.9 Gtoe (39%)の節減、累積節減量は63.2 Gtoeとなる(図4-13)。石炭は新興・途上国で発電用の燃料転換が進み、新興・途上国が2035年、2050年において節減量の9割を占める。石油は自動車の電動化が進むことで、2035年には0.8 Gtoe、2050年には2.2 Gtoeと最も節減量が多いエネルギーとなる。天然ガスは2035年には0.3 Gtoe、2050年には1.3 Gtoeの節減にとどまる。もっとも、2050年の天然ガスの節減が少ないのは水素製造原料用が増えている影響もある。非化石エネルギーは2035年で0.5 Gtoe、2050年で1.8 Gtoe増加し、原子力と再生可能エネルギーは2050年でそれぞれレファレンスシナリオ比63%、32%の大幅増となる。言い換えれば、非化石エネルギーが大きく伸長する技術進展シナリオにおいても、世界は化石燃料なしには、経済、社会、生活を維持し改善し続けることはできない。

技術進展シナリオの実現自体も容易ではない。2050年における石炭節減量では、新興・途上国が94%、インド、MENA、ASEANが合わせて33%の寄与率となる。また、原子力、再生可能エネルギーの増加量に対しても、新興・途上国の寄与率はそれぞれ65%、56%、インド、MENA、ASEANの寄与率はともに27%を占める。つまり、技術進展シナリオは30年弱という短期間でこれらの実現を経済発展中の新興・途上国に要求している。技術進展シナリオの実現プロセスにおいては、従来の先進国の歩みとは異なる加速度的なエネルギー政策の実行が新興・途上国には求められている。

図4-13 | 一次エネルギー消費の変化(レファレンスシナリオ比) [技術進展シナリオ]

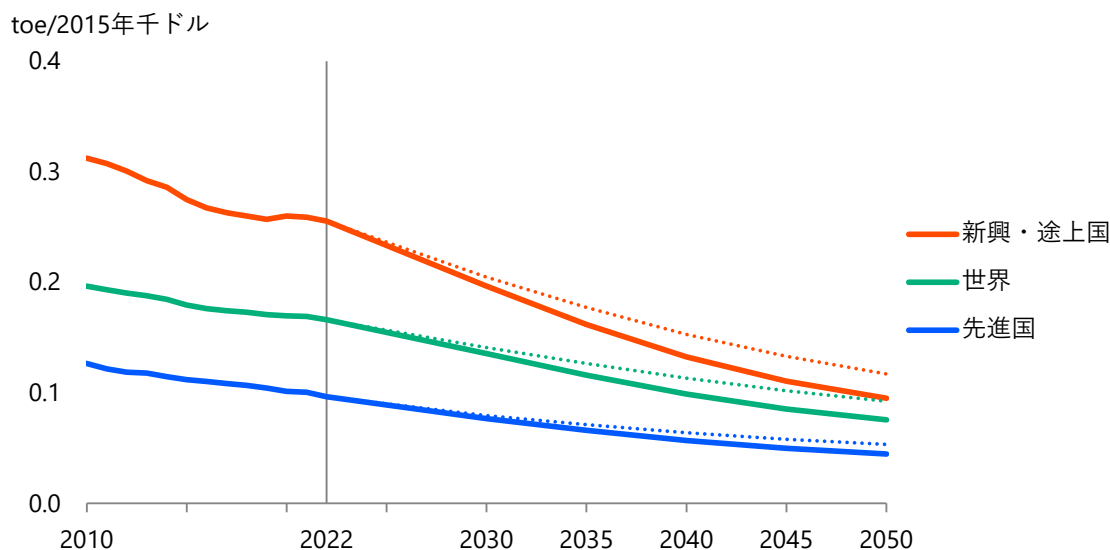


世界が1.5°C目標を達成するには、2030年までに年平均で4%を上回るエネルギー効率の改善率が必要であるとされている。しかし、技術進展シナリオにおける2022年から2030年にかけての世界の国内総生産(GDP)原単位の減少は、先進国は年平均で2.8%、新興・途上国は3.2%であり、十分ではない(図4-14)。その後、2050年には先進国の原単位は2022年比56%減、新興・途上国の原単位は足元における効率改善余地が大きいため63%減と大きく減少する。もし、技術進展シナリオにおける2050年の世界のエネルギー消費を原子力、再生可能エネルギーおよびブルー水素²⁰製造用の化石燃料の計6.7 Gtoeのみで賄うことでカーボンニュートラルを達成しようとした場合、世界のGDP原単位を2022年比で78%減少させる必要がある。これは、技術進展シナリオにおける新興・途上国や中国の原単位減少ペースをはるかに上回るペースであり、2050年に世界全体でカーボンニュートラルを実現することは、やはり相当チャレンジングであると言わざるをえない。

技術進展シナリオを実現し、さらにCO₂排出量の削減を推し進めるためには、先進国も新興・途上国もハイペースで省エネルギーを進め、またエネルギー源の脱炭素化も進めなければならない。このため、先進国における省エネルギー技術の開発と新興・途上国への技術移転、国際的な資金調達力や意識不足などの省エネルギーバリア解消などは必須条件となる。また、一国内においても、日々の生活に追われている低所得者層が省エネルギー機器を導入するためのインセンティブの設定や、都市部と農村部に対してそれぞれふさわしい省エネルギーや脱炭素化のアプローチも必要となる。さらに、長期的な視点から、国・地域の省エネルギー意識を高める教育を強化してゆくことも重要である。

²⁰ 化石燃料を分解しその際に排出するCO₂を回収して製造される水素

図4-14 | 一次エネルギー消費量のGDP原単位[技術進展シナリオ]



注: 点線はレファレンスシナリオ

これらのCO₂排出量削減手段を実現するための具体的政策の立案・実行には、各国政府による補助金・税金・規制などの公共政策とそれを用いた民間企業の活用および先進国と新興・途上国間の二国間協力の枠組み、アジアであればASEAN+3、アジア太平洋経済協力(APEC)、アジア・ゼロエミッション共同体(AZEC)等の多国間協調フレームワーク、国際通貨基金(IMF)や世界銀行等の国際金融機関の活用など、あらゆる政策手段の総動員が必要となる。

Box 4-2 | 足元の省エネルギー動向と今後の課題: 注目すべき「ストック効率」の重要性

エネルギー効率改善ペースの倍増とは何を意味するのか?

COP28では、エネルギー効率改善ペースを現状から2030年まで倍増させる世界的取り組み強化への合意がなされた。各国で消費者への負担を考慮しつつ国内での省エネルギー対策強化および先進国から途上国への支援の具体的な検討・政策形成が行われている。

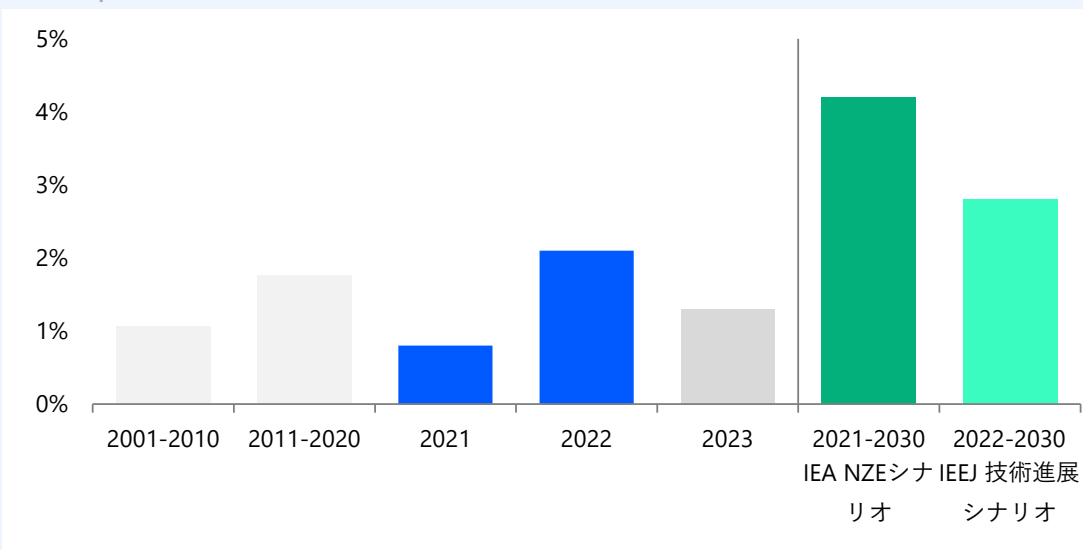
2030年までのエネルギー効率改善ペースの倍増²¹目標は、2050年までに世界のCO₂排出をネットゼロにするためバックキャストとして国際エネルギー機関(IEA)が策定したネット・ゼロ・ロードマップの分析結果を踏まえている。同分析は、現在から2030年ま

²¹ COP28での合意における「エネルギー効率改善」とは、定義が明確にはなされていないが、Box 4-2において、これは一次エネルギーのGDP当たり原単位を示すものとする。

でに世界全体で、年間のGDP²²当たり一次エネルギー原単位の改善率を2022年の2%から倍増して2030年まで毎年4%で改善することを意味する。

2022年は、図4-15が示すとおり、エネルギー原単位の改善が過去よりも大きく進展し前年比2%の改善率を呈した年であった。同年は世界的なエネルギー価格の高騰による産業部門での生産調整や各国での節電・節ガスに関わる行動変容の進展が見られ、そして暖冬による欧州での暖房需要が従来よりも低減した。2010年～2020年の同年平均改善率は1.5%、そして、2021年は同0.8%、2023年にはこれが1.3%にペースダウンしていることから、2022年の改善ペースが高かったことが分かる。

図4-15 | 世界のエネルギー原単位改善率



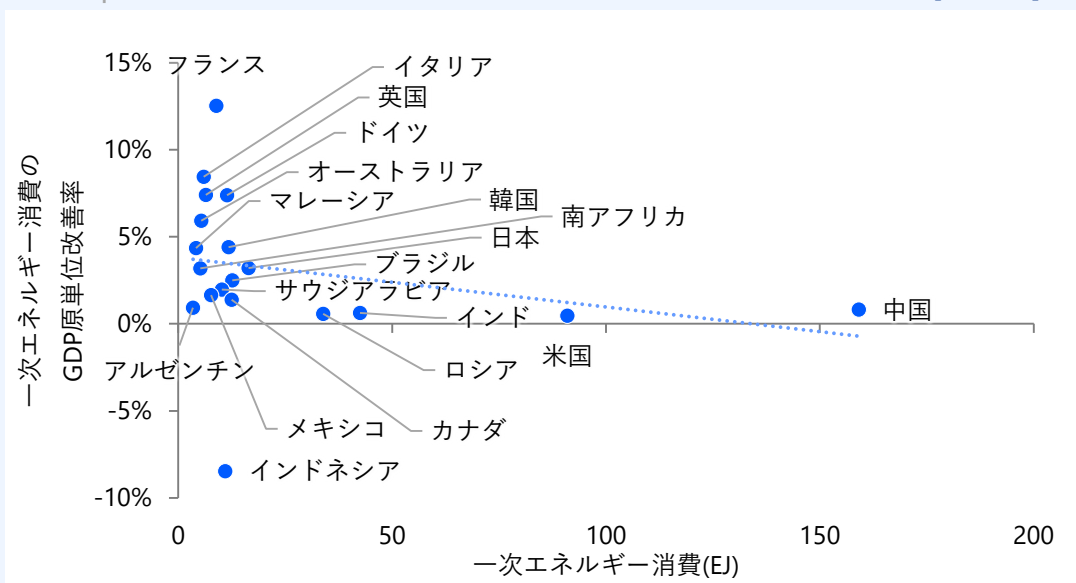
出所: IEA (2024). Energy Balances., IEEJ,およびIEA (2023). Net Zero Roadmap.

図4-16が示すとおり、G20加盟国において、2022年のエネルギー原単位改善率は国により大きく異なる状況を示していた。ドイツや英国では7%改善、イタリアでは同8%、そしてフランス²³は、13%の改善であった。

²² IEAは購買力平価ベースのGDPを活用しているが、IEEJは為替レートベースのGDPを用いて分析を行っている。

²³ フランスの2桁改善については、同年に国内での原子力稼働が停止したことにより、電力を輸入に依存したため、発電部門へのエネルギー投入量の節減が寄与している。

図4-16 | 一次エネルギーのGDP原単位改善率と一次エネルギー消費の関係[2022年]



出所: IEA (2024). Energy Balances. より作成

エネルギー消費が相対的に大きい中国、米国、インド、ロシアでは、2022年のエネルギー原単位の前年比改善率は0.5%から0.8%の間であった。欧州等での高い改善率と比較して、エネルギー消費が大きい国での改善率鈍化があり、結果として世界平均で2%という改善ペースとなった。2022年における中国のエネルギー原単位の改善率が0.8%と同国の2020年～2021年の原単位改善率が3.2%であったのと比較して鈍化したのは、中国経済の成長率が3%に減速した一方で、石油化学産業の拡大により、フィードストックとしての石油需要が拡大したことが主な要因として挙げられる。ASEANは2015年以降原単位の向上がほとんど見られず、2022年は2%悪化している。これは生活水準の向上にともない、自動車やエアコンディショナーなどの家電機器の普及台数拡大が影響しているものと考えられる。

このように2022年は、欧州における原単位向上が特に目覚ましく2%向上を達成したが、今後の世界のエネルギー需要をけん引するインド、ASEANはもとより、その他の主要国は先進国・途上国とも原単位向上は鈍化傾向であり、4%達成の目標が過去の趨勢から見ると容易ではないことが分かる。

将来見通し

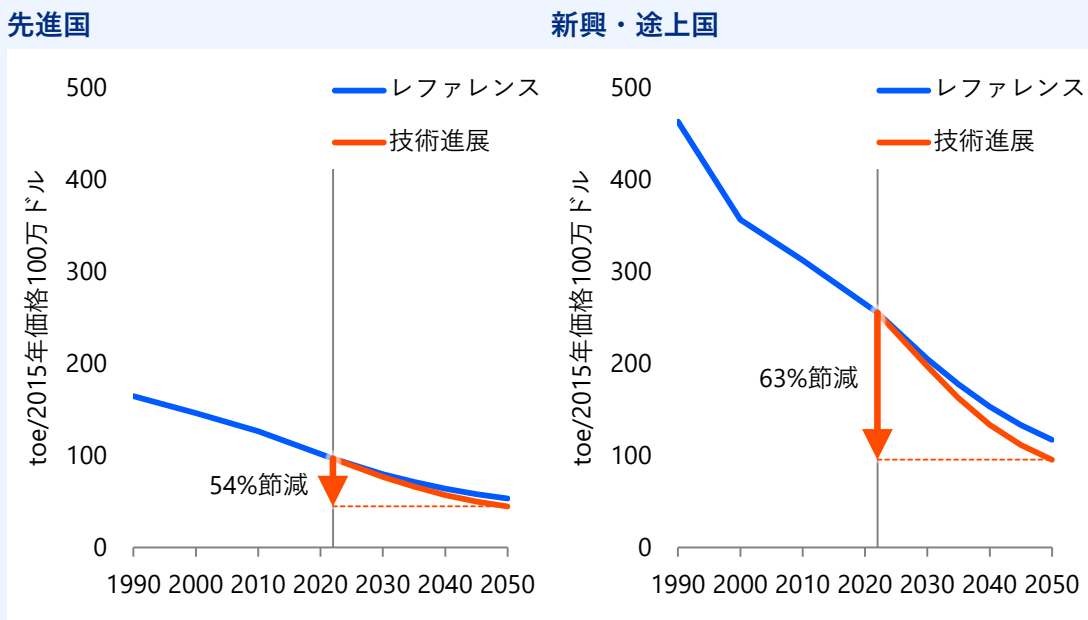
将来に目を転じると、高効率技術の導入拡大をもたらす技術進展シナリオにおいて、先進国では2030年まで一次エネルギーのGDP原単位は年率2.8%で改善、新興・途上国では同3.2%で改善する(表4-5)。先進国および新興・途上国のいずれにおいても2030年～2040年での原単位改善ペースが最も速く、各3.0%、3.8%で、その後、2040年～2050年

にかけて、同改善ペースはそれぞれ2.6%、3.3%になる。エネルギー原単位の水準では、2022年と比較して、2050年には先進国で54%節減、そして新興・途上国では63%節減の水準に達する(図4-17)。世界全体で見ると、2022年から2030年の間は2.5%であり、技術の最大限の導入を見込む技術進展シナリオでも4%目標には及ばないことが分かる。

表4-5 | 一次エネルギーのGDP原単位と改善率

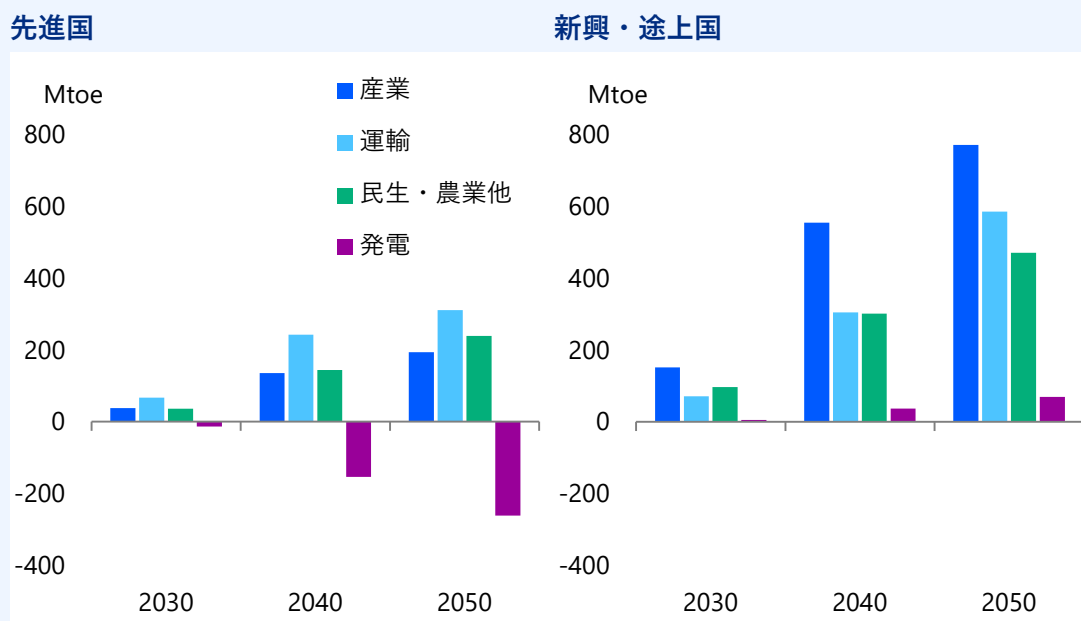
	2022	レファレンス					技術進展						
		2030	2040	2050	2022/2030	2022/2050	2022/2030	2022/2050	2022/2050				
先進国	96	79	64	53	-2.4%	-2.0%	-2.1%	77	57	45	-2.8%	-2.6%	-2.7%
新興国・途上国	255	205	153	117	-2.7%	-2.8%	-2.7%	197	133	95	-3.2%	-3.6%	-3.5%

図4-17 | 一次エネルギーのGDP原単位



レファレンスシナリオと技術進展シナリオの差分を省エネルギー量として定義すると、図4-18のように先進国および新興・途上国において、部門別・時間軸によって省エネルギー量の規模感が異なる。先進国では乗用車でBEVが内燃機関自動車と比較し、コストメリットが出ると推計される2035年以降に普及が進展し、運輸部門の省エネルギーに寄与する。対照的に、先進国において、需要側での化石燃料から電力へのシフトにより電力向けの投入エネルギーは技術進展シナリオにおいてレファレンスシナリオよりも増エネルギーとなる。新興・途上国において、産業部門は、中国でのサービス産業化や新規導入設備の高効率化により省エネルギーが大きく進展する。新興・途上国における運輸部門の省エネルギーは、先進国よりも電動化が5年～10年程度遅れ、2040年以降に進展する。

図4-18 | 部門別省エネルギー量



注: レファレンスシナリオと技術進展シナリオの差分として、正值を省エネルギー、負値は増エネルギーを表す。

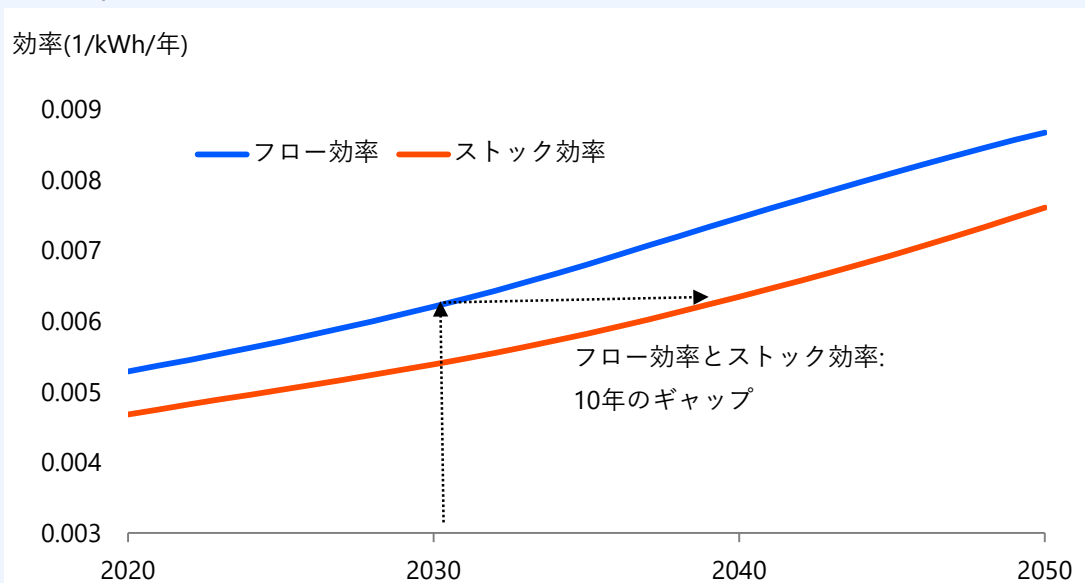
技術進展シナリオの結果が提示するように、現在から2030年という予測期間の早い段階で、毎年エネルギー原単位の改善率を4%に向上させることは、技術導入や運用改善等において「非連続的」な対応がない限り達成は容易ではない。エネルギー効率改善ペースを加速するには、機器や技術の利用と導入に関わるさまざまな要因を考慮する必要がある。具体的には、高効率技術のコスト低減のタイミング、需要部門での電化と発電部門における再生可能エネルギー導入拡大²⁴、そして将来的に世界経済のけん引役を担う途上国の産業構造のサービス化等、さまざまな要素の進展スピードとその規模感が影響するが、エネルギー効率改善のペースを決める要因として特に重要なのは「機器や技術の入替は、連続的にのみ進み時間を要する」ことである。

図4-18が示すとおり、量の観点からは、2030年までのシナリオ間の差分である省エネルギー量は相対的に小さく、2040年代以降にシナリオ間でのギャップとしての省エネルギー量が拡大する。そして、スピードの観点からは、2030年～2040年の間に先進国および新興・途上国のいずれにおいてもエネルギー効率改善ペースが高まり、その後そのスピードはやや緩やかになる(表4-5)。

²⁴ 太陽光や風力のkWh当たり一次エネルギーへの換算係数は、3.6 MJである一方、火力発電の同換算係数は、国により異なる効率水準を反映して8 MJ～9 MJ程度となる。一次エネルギー原単位の改善において、電源構成における再生可能エネルギー割合を増やすことが有利に働く。

これは、「機器や技術の置き換え」に時間を要することを意味する。家庭の機器や乗用車等の置き換えには10年～20年、建築物や産業の大型設備の置き換えはメンテナンスを繰り返しながらより長く、30年～50年以上使用が継続される。エアコンを例にとると、平均耐用年数を15年と想定した場合、基準の向上により新規販売に適用される効率水準を最良水準に引き上げたとしても、それが一国の平均ストックの効率として浸透するには、約10年の時間を要する(図4-19)。すなわち、「今日」の基準強化等の政策効果が実を結ぶのは、「10年後」の世界においてであり、高効率技術導入の加速化に向けた対策を今すぐに行う必要があることを示唆する。

図4-19 | フロー効率とストック効率の比較(エアコンの例)



注: ここでの効率は、エアコンによる冷房時の電力消費の逆数を示しており、値が大きほど効率が低いことを示す。フロー効率とは、販売時の効率であり、ストック効率とは15年の耐用年数を考慮したうえで、一国におけるエアコンストック全体の効率を示す。

インプリケーション

機器・技術の耐用年数の長さを踏まえ、将来にその省エネルギー効果が実を結ぶためにも、高効率技術の導入促進対策・政策を速めることが肝要である。一度選択された機器や技術は10年以上の長きにわたり使用され続ける「ロック・イン効果」も併せて考慮し、省エネルギー制度の中でもとりわけ基準の策定とともに向上が優先して取りうるべき対策である。

機器や技術の効率向上から得られる省エネルギー量は、小さい効果の積み重ねである。他方で、過去の延長線上にない「非連続的」な省エネルギー効果を実現するには、技術のパッケージ化およびシステムとしてのアプローチが求められる。例えば、高効率技術

の集合体であるネットゼロエネルギービル(ZEB)の導入促進に向け、規制的アプローチとともにインセンティブの付与などを行う必要がある。

新興・途上国において、省エネルギーポテンシャルは大きい。そして、先進国と比較して、相対的に安価な省エネルギーオプションが残されている。しかしながら、基準や制度、インセンティブと情報提供が未整備であることや、高効率技術の導入に関わる初期費用の高さが課題となり、そのポテンシャルが実現されない場合が往々にしてある。基準の形成は、照明や建築基準、エアコン規制、自動車の燃費規制、モーターの基準、エネルギー管理に関わる規制等、これらをすべて投入する必要がある。しかしながら、人材やノウハウが不足しているために新興・途上国においてこれらのすべては整備されていない場合がある。

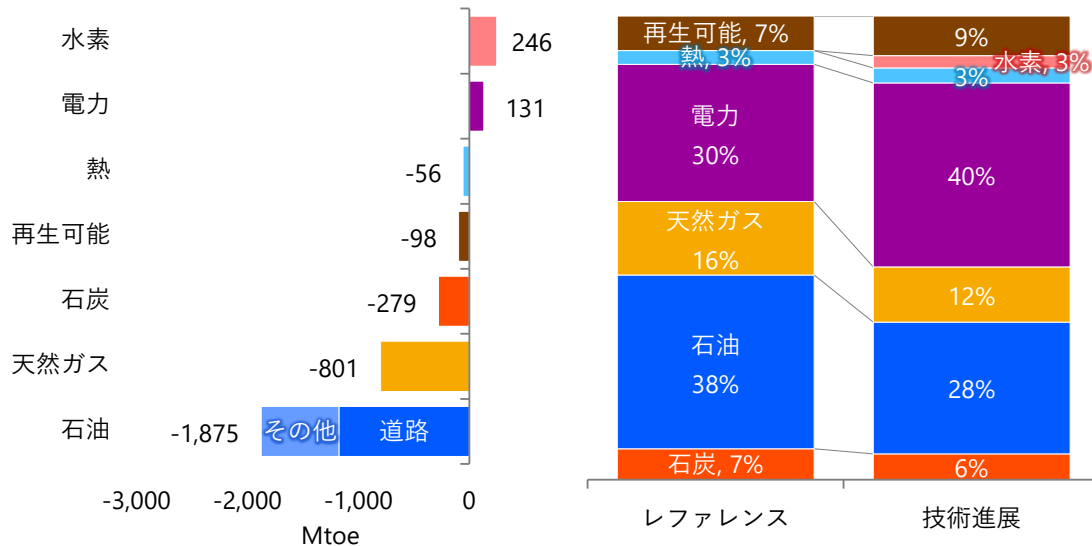
課題の解消に向けて、先進国からの制度形成支援、ノウハウ移転および省エネルギープロジェクトの実施が不可欠である。省エネルギープロジェクトは再生可能エネルギー等、他のカーボンニュートラルプロジェクトと比較して、事業規模が小さいことを受けて、採算性の観点から投資家から優先的には選択されない場合がある。こうした経緯を考慮し、複数の省エネルギープロジェクトのパッケージ化することも求められる。

自動車の燃費改善と電動化の進展が最終エネルギー消費節減のカギ

技術進展シナリオにおける最終エネルギー消費節減量(2050年)のエネルギー源別内訳では、石油が7割程度を占める(図4-20)。この主な要因は、先にも触れたとおり、自動車の燃費改善や車種構成の変化の進展にともなう道路部門の石油消費の減少である。なお、電動自動車のさらなる普及拡大のためには、各種の政策誘導に加えて、充電設備の拡充やバッテリー生産能力の拡大、製造コストの低減などをいっそう加速させる必要がある。

石油の節減量がエネルギー全体の節減量に占める規模を鑑みると、燃費改善と車種構成の変化を着実に実現することは、最終エネルギー消費を技術進展シナリオのパスに近づけるための重要な要素の1つと言える。

図4-20 | 世界の最終消費の変化(レファレンスシナリオ比) [技術進展シナリオ、2050年]
 図4-21 | 世界の最終エネルギー消費構成 [2050年]

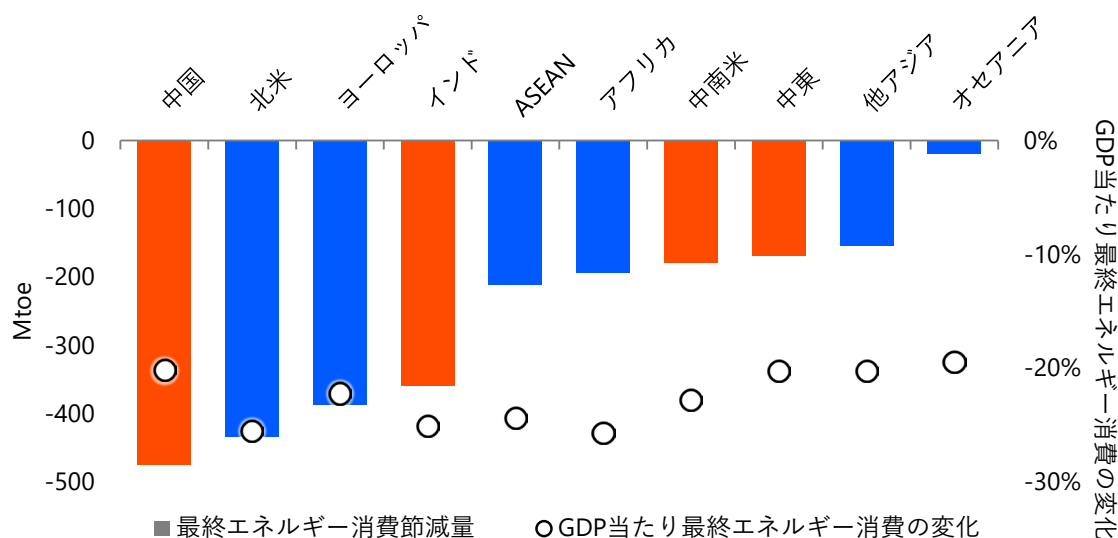


技術進展シナリオにおける最終エネルギー消費は、省エネルギーの進展により、石油、天然ガス、石炭といういずれの化石燃料もレファレンスシナリオ比で節減される。一方、高効率かつ低炭素な電力による省エネルギーとCO₂排出抑制を狙った電化が促進されることで、電力は増加する。2050年における電力シェアは、レファレンスシナリオ比10ポイント増となる(図4-21)。電化が難しい用途での低炭素化手段として期待される水素は、レファレンスシナリオではほとんど導入されないが、技術進展シナリオへの移行で最も増加するエネルギー源となる。再生可能エネルギーは、薪炭材や畜ふんといった伝統的バイオマスがクリーンエネルギーに代替されることで、量としては減少するが、減少率は化石燃料ほどではないことからシェアはレファレンスシナリオ比で2ポイント増となる。レファレンスシナリオからのこうした増減はありこそすれ、技術進展シナリオでもすべての主要なエネルギー源に対する需要が存在する。そのため、技術進展シナリオにおいてもレファレンスシナリオと同様に、各種エネルギー源を安定的に供給することが重要である。

中国やインド、米国、ヨーロッパなどにおける省エネルギーの着実な進展が重要

主要国・地域の2050年の最終エネルギー消費節減量では、中国とインドを中心としたアジアが最も大きく、北米、ヨーロッパ、アフリカがそれに続く(図4-22)。技術進展シナリオの最終エネルギー消費パスを実現するには、特に中国やインド、米国やヨーロッパといった節減量が大きい国・地域で省エネルギーを着実に進展させることが重要になる。

図4-22 | 最終エネルギー消費節減量とGDP当たり最終エネルギー消費の変化(レファレンスシナリオ比) [技術進展シナリオ、2050年]



2050年におけるアジアの最終エネルギー消費節減量は1,202 Mtoeであり、世界全体の節減量の44%という大きなシェアを占める。なかでも中国とインドの存在感は大きく、中国の節減量は476 Mtoe、インドは360 Mtoeと、合わせて世界全体の節減量の約3割にも相当する。両国における省エネルギーの進展度合いは、当事国のみならず、世界の気候変動や他地域のエネルギー安全保障にも影響を及ぼしうる。これら2国では、道路部門の石油消費や産業部門の石炭消費、天然ガス消費などが大きく節減され、技術進展シナリオで想定する各種技術の効果が広範に現れている。先進国からの高効率技術移転も含めたさまざまな方策を通じて、両国の省エネルギーを着実に進展させることが重要になる。

ヨーロッパの最終エネルギー消費節減は388 Mtoeとなり、世界全体の節減量の14%を占める。民生部門が節減量の35%を占めていることが特徴であり、OECD諸国を中心に、より効率化された家庭用あるいは業務用機器の導入が進められ、天然ガス消費が大きく削減される。北米の最終エネルギー消費節減量は434 Mtoeと、世界全体の節減量の16%を占める。このうち、6割程度が主に道路部門における石油消費の節減である。北米では移動・輸送手段として自動車が多用されることから、米国・カナダ2か国による道路部門石油需要はアジアに次ぐ規模である。それゆえ、自動車の燃費改善や車種構成の変化の影響を強く受けて、道路部門の石油消費が大幅に節減される。

部門別の節減量が特徴的な地域としては、アフリカがある。アフリカの最終エネルギー消費節減量169 Mtoeのうち、3分の1程度が家庭部門における再生可能エネルギー消費の節減によってもたらされており、GDP当たり最終エネルギー消費が26%低下と、他の国・地域を上

回るエネルギー消費減を示すことにつながっている。背景として、利用エネルギーの近代化と高効率消費機器の利用がいつそう進むことが挙げられる。家庭部門における節減を着実に実現するうえでは、より広範な利用者が入手できる価格帯の高効率消費機器の普及や、近代的エネルギーの供給体制整備が大切な要素となる。

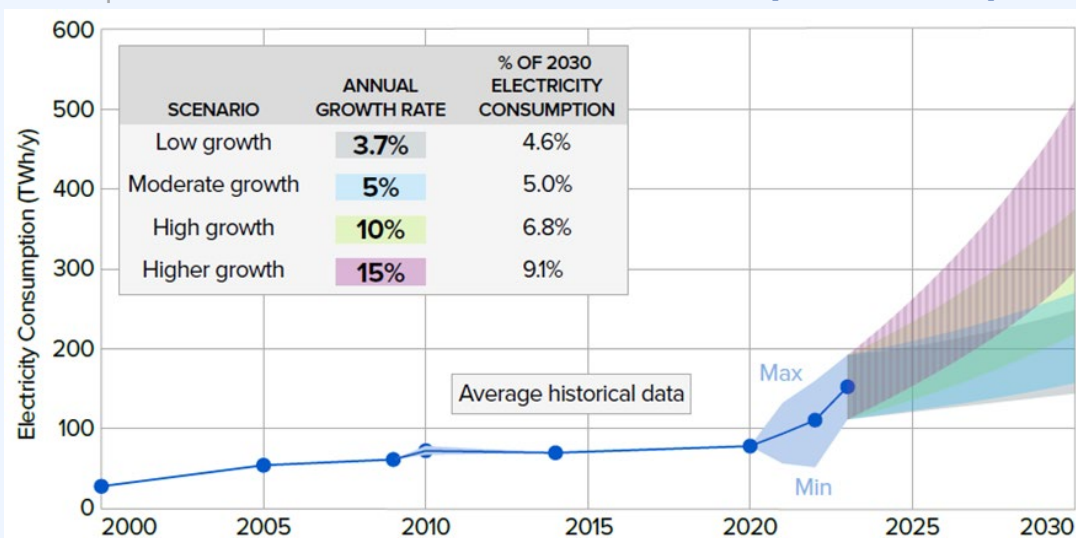
Box 4-3 | データセンター等の電力需要増加にともない発生する問題に対する解決策

米国におけるデータセンターの電力需要は、生成人工知能[AI]（コンテンツを自動生成するAI）の普及にともない今後大きく増加すると見込まれている。特に、2022年11月にOpenAIのChatGPTがリリースされたことで、AI技術の利用が急速に拡大しており、これが電力消費に大きな影響を与えるとされる。例えば、Google検索1回当たりの消費電力量は0.3 Whであるのに対し、ChatGPTへの問い合わせ1回当たりの消費電力量は2.9 Whと約10倍にも達する。このように、AIを活用したサービスの普及により、データセンターの電力需要が今後増加し続けることは確実であるものの、増加の程度については不確実性が残る。

米国電力中央研究所(EPRI)は2024年5月に発表した報告書で、2030年時点のデータセンターの電力消費シェアを4つの成長シナリオで試算している。低成長シナリオではデータセンターの年間消費電力量の増加率を3.7%、中成長シナリオでは5.0%、高成長シナリオでは10%、そしてより高成長シナリオでは15%と仮定しており、それぞれのシナリオに基づく消費電力量のシェアは、低成長で4.6%、中成長で5.0%、高成長で6.8%、より高成長では9.1%まで増加するとの結果が得られている。さらに、McKinsey & Companyの2023年1月の報告書では、米国のデータセンターにおける年間消費電力量の増加率が2030年まで約10%に達すると予測している。このように、AI技術の進展はデータセンターの電力需要を加速させ、将来的に米国全体のエネルギー消費において重要な位置を占めることが予測されている。

米国におけるデータセンターの需要は特定の地域に集中しており、この偏在が各州の消費電力量に大きな影響を与えている。特にデータセンターが消費電力量に占める割合は州ごとに大きく異なる。EPRIの試算によれば、2030年時点での米国全体のデータセンター消費電力量の約80%が、バージニア州、テキサス州、カリフォルニア州等の特定の15州に集中しているとされている。特にバージニア州のデータセンター消費電力量は突出しており、2023年時点では339億kWhに達している。これは次に大きいテキサス州の218億kWhや、3位のカリフォルニア州の93億kWhを大幅に上回っている。さらに、2030年にはバージニア州のデータセンターの消費電力量が同州全体の消費電力量の31%を占めると予測されており、テキサス州は6%程度に達すると見込まれている。

図4-23 | 米国におけるデータセンターの消費電力量の見通し[2023年～2030年]



出所: Electric Power Research Institute [EPRI]. (2024). Powering Intelligence: Analyzing Artificial Intelligence and Data Center Energy Consumption. Retrieved September 2, 2024, from <https://restservice.epri.com/publicdownload/000000003002028905/0/Product>

バージニア州北部、特に「データセンターアレー」と呼ばれる地域にデータセンターが集中している理由には、いくつかの歴史的・地理的要因が存在する。まず、1990年代初頭に世界初のネットワーク接続地点である「MAE-East」(Metropolitan Area Exchange, East)が設置されたことが挙げられる。このポイントを通じて世界中のインターネットトラフィックが流れるようになり、データセンターの集積が進んだ。

また、大手インターネットサービスプロバイダのAOLが1990年代にバージニア州に拠点を設置した際に、光ファイバーケーブルや電力インフラの整備が進んだことも大きな要因である。さらに、2009年にバージニア州でデータセンター向けの税制優遇措置が導入されたことや、電力料金が米国平均よりも低いこともデータセンターの集積を促進したとされる。このように、バージニア州をはじめとする一部の州にデータセンターが集中することは、今後も米国のエネルギー消費に大きな影響を与える要因として注目されている。

データセンターの導入にともなう電力需要の増加に関する問題は、今後のエネルギー政策や電力インフラの計画においてきわめて重要である。特に、電力需要の増加に対応するために考慮しなければならない主な課題として、供給力の確保、火力燃料調達/ベースロード電源の確保、そして電力システムの最適化が挙げられる。

図4-24 | データセンター等の電力需要増加にともない発生する問題、その対策のイメージ



まず、「供給力の確保」については、データセンターなどの電力需要が今後どれほどのスピードで増加するか不透明である中で、対応できる供給力を短期的に確保することが課題となっている。一般的に、発電設備の建設期間はデータセンターの建設期間よりも長期となる。したがって、データセンターの需要増加が急速に進行した場合、供給力が中長期的に不足するリスクが高まると懸念されている。日本においては、容量市場制度や長期脱炭素電源オークション制度によって、一定期間先の供給力を確保する仕組みが整えられているが、これらの制度とデータセンターの需要増加のタイミングが必ずしも一致しない場合、供給力の確保に支障が出る可能性がある。それでも、容量市場制度には対象期間の1年前に追加オークションを実施することができるという仕組みがあり、必要に応じて短期的に供給力を追加で確保することも可能である。しかし、短期で確保できる供給力は限定的であるため、供給力の不足を根本的に解決するには至らない可能性もある。

このため、需要の増加に対して迅速に対応できるよう、供給力を確保する制度が必要である。具体的には、容量市場や容量追加オークションの導入が考えられるが、これだけでは不十分であるため、電源の新設を促進する制度(日本における長期脱炭素電源オークション、米国テキサス州における長期低金利ローンプログラム等)や、休止中の電源を予備として維持する制度(日本の予備電源制度)が求められる。また、需要施設がバックアップ発電設備を所有し、需要反応リソースとして活用することも重要であり、その

ためのベストプラクティスを広く共有することも一案である。さらに、発電事業者と長期電力購入契約(PPA)を締結している場合には、系統接続を優先的に許可する仕組みも考えられる。

次に、「火力燃料調達/ベースロード電源の確保」も重要な課題である。データセンターは、安定した電力を常時消費するベース負荷であるため、太陽光発電や風力発電などの再生可能エネルギー発電が急速に増加している現在、これらの間欠性を補う形で天然ガス火力発電が必要となる場合がある。天然ガス火力発電に依存する場合、燃料である天然ガスの安定的な調達が求められるが、燃料供給に問題が生じた場合、電力供給に深刻な影響を及ぼす可能性がある。特に、国際的な燃料市場の変動や供給チェーンの問題が発生すれば、燃料価格の高騰や供給不足が電力供給のリスクを増大させる。さらに、世界的な脱炭素化の進展にともない、天然ガスの需給がひっ迫するリスクも無視できない。

このため、これらのリスクを軽減するために、PPAに燃料調達に関する長期的な内容を盛り込むことが重要である。また、クリーンなベース電源である地熱発電などの開発や、小型モジュール炉(SMR)などの新しい原子力発電技術の導入を検討することが求められる。

最後に、「電力系統の最適化」の課題も存在する。データセンターが局所的に集中して建設される場合、その地域における送配電容量が不足し、系統増強が必要となる。送電系統の増強には多額の費用がかかり、またそのための時間も長期間を要するため、データセンターの計画と整合性を取ることが難しい場合がある。例えば、米国バージニア州では、データセンターの接続が急増したため、電力供給の制約が生じ、新規の接続が一時停止された事例がある。このような事態を避けるためには、送電網の拡充とともに、地域ごとの電力需要を事前に精密に予測し、適切な時期に系統の増強を行う必要がある。また、送電系統の増強にかかる費用は、その地域の需要家に集中して負担が発生する可能性があり、これは電気料金の上昇や、地域住民への経済的な影響を引き起こすおそれがある。

このため、需要施設を電源に近い場所に立地させることや、送電可能量が十分にある地域を選ぶ(ウェルカムゾーン)ことが重要である。送配電事業者との調整を進めることで、電気料金を抑制し、無駄な系統増強を避けることが求められる。対策としては、送電事業者が送電可能量に関するデータを公開し、需要施設に対する適切な立地を促進することが有効である。また、送電可能量が不足している地域への接続については、系統増強コストを負担するような需要施設が優先接続を行う仕組みも検討されるべきである。

さらには、電源から直接電力供給を受ける「共立地負荷」(Co-located Load)を促進することも、系統増強を抑制する手段の1つとして考慮されることも重要である。ただし、電力系統等への影響等の精査、系統運用コストの負担に係る整理を行っておくことが前提である。日本でもダイナミック・ライン・レーティング(気象条件に応じて送電容量を動的に最適化)の活用が進められており、これも送電容量拡大に寄与する対策として注目すべきである。

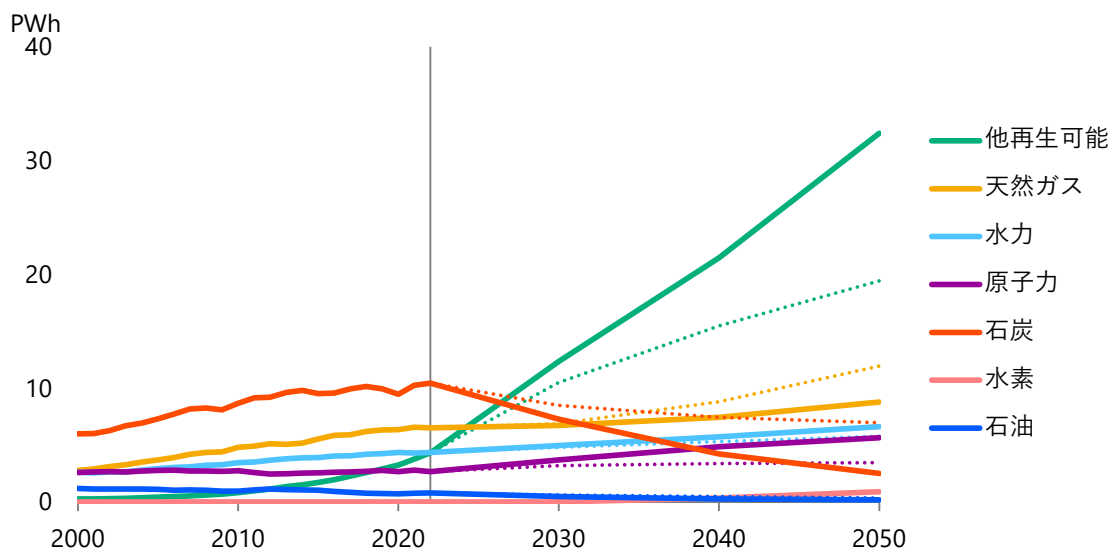
なお、上記は供給側や系統側での対策を中心に言及しているが、データセンター等の需要施設側でも省エネルギーを促進させてゆく等の対応を行うことは論を待たない。

電源構成

2050年の発電量は57,517 TWhに達し、これは2022年の約2倍に相当する。この需要水準はレファレンスシナリオに比べ9,134 TWh大きいものであり、増加要因は電化の進展により最終需要における電力の割合がレファレンスシナリオの30%から10ポイント上昇したこと、さらに水素製造のための追加的な需要が増えることである。気候変動対策が進む世界においては省エネルギーの取り組みが進む一方で、電化や水素製造による電力需要の増加の影響がより大きく、必要な発電量はよりいっそう高まる。世界の気候変動対策がどのように進展するかには不確実性がともなうが、いずれのシナリオにおいても2050年の発電電力量は足元の1.6倍～2倍程度大きいものになり、相応の供給力を確保することは今後のエネルギー供給において必須の課題といえよう。

電源構成は現在のものから大きく様変わりする。石炭については先進国を中心に、脱石炭の取り組みが急速に進むことで石炭火力発電量は現在から大幅に減少、2050年には足元のおよそ4分の1となる(図4-25)。これとは対照的に、太陽光・風力等、バイオマスに代表される再生可能エネルギーが最大の電源となる。総発電量の53%が変動性再生可能エネルギーとなり、その出力変動への対応は各地域における重要な課題となる。その一環として、石炭、天然ガス火力を代替するディスパッチ電源として、CCSの貯留ポテンシャルが存在する地域ではCCS付き火力発電が、そうでない地域では水素火力が2040年ごろから本格的に導入される。また、系統用、需要家用ともに蓄電池が急速に普及し、需給バランスの調整に寄与する。

図4-25 | 世界の発電量[技術進展シナリオ]

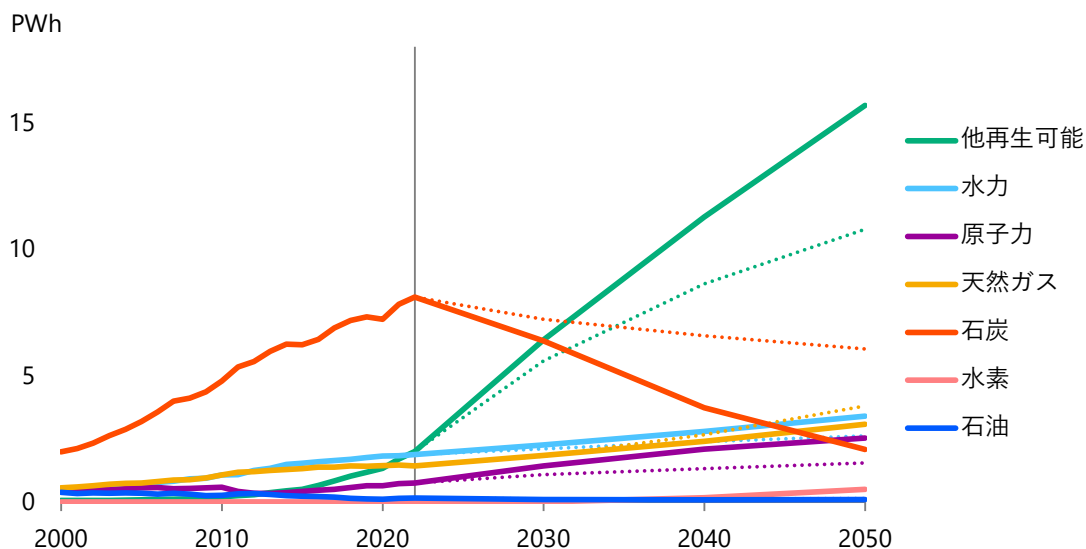


注: 点線はレファレンスシナリオ

アジアにおいても、現在最大の電源である石炭の発電量が同様に減少し、2030年ごろに最大の電源の座を再生可能エネルギー(水力除く)に譲る(図4-26)。ただし、この減少は日本、韓国に代表される先進国におけるものであり、新興・途上国では一定数の新規建設が進む。言うまでもなくその高効率化、大気汚染への対策が重要な事項であり、将来的にはCCS導入や水素、アンモニア、バイオマスの混焼によるCO₂排出の抑制に備えることが望ましい。昨今導入ペースが加速している再生可能エネルギーは、2030年以降さらに増加が加速し、特に中国、インドで集中的に導入される。他方、これらの地域では経済成長が持続することから、再生可能エネルギー大量導入と両立した電力の安価、安定した供給が重要な課題となる。変動性再生可能エネルギーのみならず、水力、地熱のような他の再生可能エネルギー、原子力、そして排出対策を行った火力などあらゆる発電オプションを検討することが、旺盛な需要増加を満たすために求められる。

天然ガス火力の発電量は2040年ごろまで堅調に増加し、再生可能エネルギーの出力変動に対して有望な調整手段となる。また、それらに加え、2050年代にかけては水素発電が本格的に導入され、天然ガス同様に需給バランスの調整を支える。

図4-26 | アジアの発電量[技術進展シナリオ]



注: 点線はレファレンスシナリオ

原油生産

技術進展シナリオでは、自動車の電動化の急速な進展をはじめとする最終エネルギー消費部門での燃料代替や省エネルギーのいっそうの進展等により、石油需要の伸びは抑制される。石油需要は2030年までにピークアウトし、2050年には日量56百万bbl (Mb/d)とレファレンスシナリオと比べて46%少ない。このような需要減少により、生産量はすべての地域で減少する。ただし、コスト競争力が高い中東石油輸出国機構(OPEC)諸国の生産量は2050年時点でも25.3 Mb/dを維持する。その結果、OPECの市場シェアはレファレンスシナリオよりも若干上昇し、2050年時点で44%となる。

表4-6 | 原油生産[技術進展シナリオ]

	2022	2030	2040	2050	2022-2050	
					変化量	変化率/年
原油生産計	95.4	90.8	74.0	56.1	-39.3	-1.9%
OPEC	35.0	34.0	30.1	25.3	-9.8	-1.2%
中東	28.3	27.5	25.0	21.4	-6.9	-1.0%
その他	6.8	6.5	5.2	3.9	-2.9	-2.0%
非OPEC	60.3	56.8	43.8	30.8	-29.5	-2.4%
北米	22.4	23.9	18.1	13.3	-9.1	-1.8%
中南米	8.2	7.8	7.4	5.5	-2.6	-1.4%
欧州・ユーラシア	17.7	14.5	10.5	6.4	-11.3	-3.6%
中東	2.9	3.1	3.0	2.7	-0.2	-0.3%
アフリカ	1.6	1.3	1.1	0.8	-0.8	-2.4%
アジア・オセアニア	7.6	6.2	3.8	2.1	-5.5	-4.5%
プロセスゲイン	2.3	2.4	2.1	1.7	-0.6	-1.1%
石油供給計	97.7	93.2	76.0	57.8	-39.9	-1.9%

注: 原油には天然ガス液(NGL)を含む

天然ガス供給

省エネルギー技術をはじめとするエネルギー利用技術の進展により天然ガスの消費量が抑制されるため、天然ガス生産量はレファレンスシナリオと比べて2040年で16%、2050年には29%低い水準となる。しかしながら、技術進展によりGHG排出に関してよりよく管理することによって、よりグリーンな天然ガス生産容量のシェア拡大へとつながる可能性もある。

レファレンス・技術進展の両シナリオ間で大きく異なるのは、生産規模の大きな北米の生産量であり、2050年の生産量はレファレンスシナリオを3割～4割下回る低い水準となる。ロシアを含む非OECDヨーロッパの生産量もレファレンスシナリオを2割下回る水準となる。中東では、カタール、イランが、技術進展シナリオにおいても生産量の増加は大きいものの、2050年の同地域の生産量は、レファレンスシナリオを1割～2割下回る水準となる。

技術進展シナリオにおいて生産量の増減を左右するのは、天然ガス生産、輸送面での二酸化炭素・メタンの排出監視・削減技術およびこれをサポートする政策・規制(排出監視、排出抑制の規制)の進展度合いである。

表4-7 | 天然ガス生産[技術進展シナリオ]

	2022	2030	2040	2050	(Bcm)	
					2022-2050 変化量	2022-2050 変化率
世界	4,210	4,205	4,040	3,857	-353	-0.3%
北米、メキシコ	1,272	1,278	1,195	943	-329	-1.1%
中南米(メキシコを除く)	161	160	144	140	-21	-0.5%
ヨーロッパ	214	96	71	63	-151	-4.3%
ユーラシア	914	795	725	724	-190	-0.8%
ロシア	689	545	474	465	-224	-1.4%
中東	709	736	743	855	146	0.7%
アフリカ	254	316	405	411	157	1.7%
アジア	521	634	571	536	15	0.1%
中国	220	230	160	87	-133	-3.3%
インド	34	54	42	23	-11	-1.4%
ASEAN	196	215	245	272	76	1.2%
オセアニア	166	190	185	185	19	0.4%

純輸入地域とみなされる地域では、2050年の輸入量がレファレンスシナリオ比でおおむね3割～8割減少する。純輸出地域では、ロシアを含む非OECDヨーロッパは微減、中東では2050年の域内貿易分を除く純輸出量がレファレンスシナリオ比でおおむね6割減少する。北米においては、生産量がレファレンスシナリオ比で減少するものの、需要量の減少がこれを上回る。国際価格の低下を受けつつも、2050年の純輸出量は、レファレンスシナリオ並みとなる。

技術進展シナリオにおいて貿易量の増減を左右するのは、天然ガスおよびLNG貿易を合理化・最適化する企業間の協力・努力、さらにはこれを促進する当事国間の協力・サポートする政策・規制(海上輸送時の燃費効率・排出等の監視、規制)の進展度合いである。特にLNG輸送に関しては、当事者間の連携により仕向先変更、交換等を行うこと(オプティマイゼーション)により、同等のフットプリントでもより大量の輸送を行うことが可能となる。

LNG市場安定化につながる政策面・投資確保面の課題とクリーン化対策

2023年4月、主要7か国(G7)エネルギー・気候変動担当大臣会合、5月のサミットにおいて、天然ガス・LNG重要性が認知された。2024年のG7大臣・サミット会合でもこの原則は継続されている。「排出抑制対策されている」すなわちトランジションに認められるLNGの基準確立が重要となる。この文脈で、メタン・GHG排出測定・実測強化と国際基準化の重要性、排出削減対策における国際協力の重要性が、前記のG7大臣会合・LNG産消会議でも強調された。

表4-8 | LNG生産におけるクリーン化の課題

	クリーン電力による電化	CCS
概要	LNG生産プロセスの電化	原料ガス中およびプロセス中のCO ₂ 回収
優位性	操業信頼性向上と維持費低下 GHG管理向上およびプロセスにおける天然ガス消費量削減	周辺工業設備と共同することで経済性向上
課題	好適なクリーン電力確保 バックアップ電力確保 近隣工業設備との負荷変動調整	CCS適地の確保 既存LNG設備の場合、統合にコスト・時間を要する プロセス中のCO ₂ 回収は、原料ガスよりも難度が高い

2022年3月以降、国際LNG市場で長期契約での引き取りコミットメント増加により、米国、中東を中心にLNG投資・建設活動が活発化している。これらの計画中のLNGプロジェクトにおいては、GHG排出削減のためCCS、また再生可能エネルギーを活用した電動ドライバーの採用織り込みが増加している。技術進展シナリオにおいては、こうした対策織り込みが、新規LNGプロジェクト、既存LNG生産設備とも増加することが見込まれる。このような対策織り込みにより、LNGプロジェクトの経済的優位性、環境面での優越性がアピールされることにより、LNGプロジェクト開発の資金ニーズに対応する多様な金融手段が発展することが期待される。

技術進展シナリオにおいても、途上国市場も含めた買主側の柔軟性・契約期間短期化要求、信用度が相対的に低い買主のすそ野拡大を踏まえて、これら市場のトランジションにも対応するためのクリーンなLNGを確保すべく、共同調達を含む国内外買主間の連携の構築が有効となる。このことは、長期契約を含めた日本のLNG必要量安定確保にも貢献する。

これらを支えることとなるのは、各国政府がLNGのトランジション期およびそれ以降にもわたるLNG・天然ガスの重要な役割を明示し、これに対応するためのクリーンなLNG・天然ガスの定義を明確化してゆく政策や、その具体的施策となる。

表4-9 | LNG市場安定化への長期的課題

米国、カナダ、オーストラリア、東アフリカ等での新規LNGプロジェクトの実現 既存LNG生産設備の維持・拡張(適切な気候変動対策織り込み)
トランジションおよびそれ以降についてのLNG役割の明確化 LNG買主は柔軟性要求(長・短期取引組み合わせ)ある中で、 安定需要を確保して長期コミットメントを確保する策が必要
長期的契約価格方式変化: 原油連動主流から、天然ガスハブ価格方式連動拡大、複合要素拡大など、価格決定方式多様化
トランジションおよびそれ以降に対応するLNGプロジェクト基準明確化 液化におけるCC(U)S/電化の標準化
契約短期化傾向も踏まえた資金調達方法の開発(短期化要求と長期コミットメントニーズのギャップ対応) 信用度が低い買主すそ野拡大への対応(買主間提携)

石炭供給

カーボンニュートラルの実現に向け、代替燃料への転換、石炭利用効率の向上が強化され、発電、製鉄、その他産業部門等、さまざまな分野で石炭利用を最小化する取り組みが進展する。再生可能エネルギーや原子力の拡大により、電源構成における石炭の割合が多くので国で低下する。ただし予備力の確保や慣性力の維持等、電力システムの安定確保の観点や、再生可能エネルギーの導入が困難な国・地域では経済性の観点からも、一定程度の石炭火力発電が維持される。

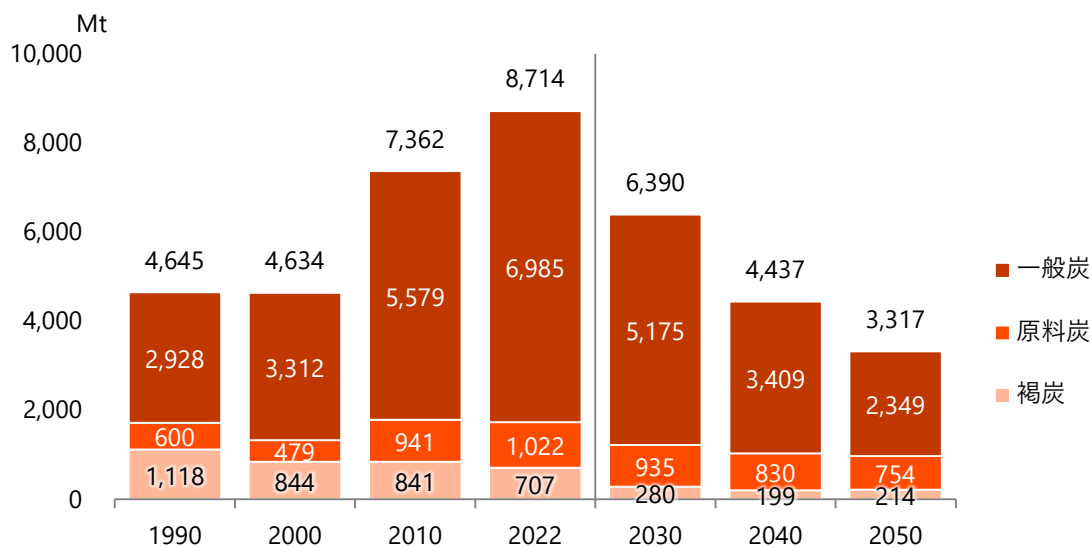
先進国では、非効率な石炭火力発電設備の休廃止が進められ、また、限定的ながらリプレースが行われる場合には石炭ガス化複合発電(IGCC)やアンモニア混焼、水素混焼等、熱効率の高さや混焼技術等により、石炭消費を極力抑える技術が採用される。また、CCS装置の設置なども商業ベースの検討も取り組まれており、個々の発電所や産業施設における石炭の消費効率が向上し、CO₂排出原単位が低下する。

新興・途上国でも、老朽化した低効率設備のリプレースや新規大型発電所建設の際には、低炭素・脱炭素が国際社会から強く求められる。また、技術進展によるコスト低下により、他の燃料・電源が有力な選択肢となることで、石炭需要は減少する。

こうした動きにともない石炭生産量は、2022年の8,714 Mtから2050年の3,317 Mtまで減少する(図4-27)。炭種別に見ると、一般炭生産量は2022年の6,985 Mtから2050年には2,349 Mtに、原料炭生産量は2022年の1,022 Mtから2050年には754 Mtに、褐炭生産量は2022年の

707 Mtから2050年には214 Mtに減少する。レファレンスシナリオと比較すると、2050年において石炭全体で2,684 Mt減少する。炭種別内訳では一般炭は2,486 Mt、原料炭は134 Mt、褐炭は64 Mtの減少となる。

図4-27 | 世界の石炭生産[技術進展シナリオ]



石炭生産は需要減少もありほとんどの国が生産量を減らす。特に一般炭では国内需要減からの影響から、2050年の生産量は2022年対比で、米国が352 Mt減少し39 Mt、中国も3,235 Mt減少し668 Mtと大幅に減少する。さらに、2050年のインドも一般炭は43 Mt減少し、797 Mtに減少するものの、原料炭は国内の鉄鋼需要増加により104 Mtと47 Mtの増加となる。また、輸出が主体のオーストラリアでは、一般炭は116 Mtと144 Mtの大幅減少が見込まれるが、原料炭は197 Mtと37 Mtの増と炭種によりバラツキが生じる。

表4-10 | 一般炭生産[技術進展シナリオ]

	2022	2030	2040	2050	2022-2050	
					変化量	変化率/年
世界	6,985	5,175	3,409	2,349	-4,636	-3.8%
北米	456	161	48	43	-413	-8.1%
米国	391	153	43	39	-352	-7.9%
中南米	67	44	26	20	-47	-4.2%
コロンビア	59	37	21	15	-43	-4.7%
OECDヨーロッパ	45	11	8	7	-38	-6.6%
非OECDヨーロッパ・中央アジア	376	274	193	159	-218	-3.0%
ロシア	254	168	109	86	-168	-3.8%
中東	0	0	0	0	0	-0.2%
アフリカ	248	195	149	123	-125	-2.5%
南アフリカ	245	176	128	98	-147	-3.2%
アジア	5,531	4,291	2,836	1,881	-3,651	-3.8%
中国	3,903	2,778	1,530	668	-3,235	-6.1%
インド	840	848	794	797	-43	-0.2%
インドネシア	682	565	421	322	-360	-2.6%
オセアニア	261	199	148	116	-145	-2.8%
オーストラリア	260	198	148	116	-144	-2.8%

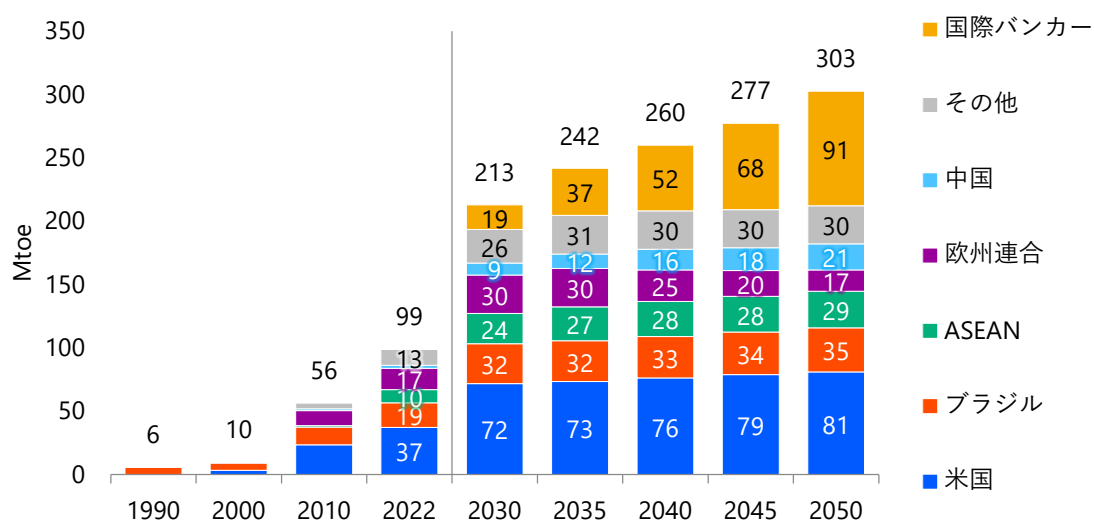
表4-11 | 原料炭生産[技術進展シナリオ]

	2022	2030	2040	2050	2022-2050	
					変化量	変化率/年
世界	1,022	935	830	754	-268	-1.1%
北米	77	64	62	61	-17	-0.9%
米国	53	46	44	43	-10	-0.8%
中南米	10	12	12	13	3	0.9%
コロンビア	9	11	12	13	4	1.4%
OECDヨーロッパ	14	14	15	15	1	0.2%
非OECDヨーロッパ・中央アジア	109	107	94	86	-23	-0.8%
ロシア	105	100	88	80	-25	-1.0%
中東	2	2	2	2	0	-0.1%
アフリカ	8	15	18	21	14	3.7%
モザンビーク	5	11	14	17	13	4.9%
アジア	641	547	441	358	-283	-2.1%
中国	554	451	330	228	-326	-3.1%
インド	57	66	83	104	47	2.2%
モンゴル	24	24	22	19	-5	-0.8%
オセアニア	161	175	185	198	37	0.7%
オーストラリア	160	174	184	197	37	0.7%

輸送用バイオ燃料

技術進展シナリオにおいて、道路部門の電化が進むものの、次世代バイオ燃料の生産拡大や、バイオ燃料高混合率でも対応可能なフレックス燃料車(FFV)の普及によって、バイオ燃料の需要はレファレンスシナリオより拡大する(図4-27)。2050年、道路部門エネルギー総需要に占めるバイオ燃料のシェアは12%前後になる。航空部門では、バイオ由来の持続可能航空燃料(SAF)の利用が大幅に増加し、2050年に世界航空燃料に占める割合は25%に達する。

図4-28 | 輸送用バイオ燃料消費[技術進展シナリオ]



5. 二酸化炭素排出

5.1 足元の動向: 先進型炭素除去クレジットの取引が加速

IEEJ Outlook 2015では、技術進展シナリオにおいて、新たにネガティブエミッション技術(NETs)の導入を反映した。よってここでは、足元の動向として、直接大気回収(DAC)+二酸化炭素回収・貯留(CCS) (DACCS)やバイオエネルギー+CCS (BECCS)といった炭素除去(CDR)に由来するボランタリークレジットの最新動向について取り上げたい²⁵。

CDRクレジット市場に係る情報提供を行っているCDR.fyiによると^{26, 27}、DACCS、BECCSおよびバイオ炭など(植林・森林管理などの従来型CDRを除く)、先進型CDRクレジットの2023年の購入量は452万tに達し、2022年の62万tから7.3倍の増加を記録した。2024年も、第2四半期までの購入量が533万tとなり、すでに2023年を上回った。さらに直近では、2024年7月9日、1PointFiveがMicrosoftとのDACクレジットのオフテイク契約締結を発表した²⁸。取引量は6年間で50万tと、DACクレジットとしては過去最大の規模である。CDR.fyiによれば、先進型CDRのクレジット価格は加重平均で\$488/t、DACに至っては\$715/t(いずれも2023年値)と、ボランタリークレジット全体の平均価格(\$10/t未満²⁹)に対しきわめて高価であるにもかかわらず、クレジットが実際に発行される前に購入契約がなされており、高い関心が示されている。

市場を取り巻く環境にも進展が見られる。2024年6月27日、世界最大のボランタリークレジット発行機関であるVerraがCCSに関する新しい方法論を発表した³⁰。本方法論は、CCSによる二酸化炭素(CO₂)削減量算定方法の国際的な確立を目的としたCCSプラス・イニシア

²⁵ ここでは二酸化炭素に着目するため、ネガティブエミッション技術(NETs)とCDRは同義。これらについては、IEEJ Outlook 2024「7. 重要性高まるネガティブエミッション技術」において詳細に取り上げたので併せて参考にされたい。

²⁶ CDR.fyi, “Trending on Track? - CDR.fyi 2023 Year in Review”, February 7, 2024.

<https://www.cdr.fyi/blog/2023-year-in-review>.

²⁷ CDR.fyi, “2024 Q2 Durable CDR Market Update - Microsoft: Market-Maker”, July 31, 2024.

<https://www.cdr.fyi/blog/2024-q2-durable-cdr-market-update-microsoft-market-maker>.

²⁸ 1PointFive, “1PointFive Announces Agreement to Sell 500,000 Metric Tons of Direct Air Capture Carbon Removal Credits to Microsoft”, July 9, 2024. <https://www.1pointfive.com/news/1pointfive-and-microsoft-announce-agreement-for-direct-air-capture-cdr-credits>.

²⁹ World Bank (2024), “State and Trends of Carbon Pricing 2024”. <http://hdl.handle.net/10986/41544>.

³⁰ Verra, “Verra Releases New Carbon Capture and Storage Methodology”, June 27, 2024.

<https://verra.org/verra-releases-new-carbon-capture-and-storage-methodology/>.

タイプと共同で開発されたものである。本方法論は、回収・輸送・貯留のモジュールごとに複数の方法論を包含しており、各モジュールの方法論を組み合わせることで、DACCSやBECCSによるCO₂除去も表現できる³¹。また、2024年4月10日、欧州議会が「永続的炭素除去、カーボンファーミングおよび製品での炭素貯蔵についての欧州連合(EU)認証枠組みを設立する規則」を採択した^{32, 33}。EUが定める品質基準を満たし、第三者検証機関に承認された認証スキームは、EU認証済みの除去クレジットを発行できるようになる。これらはいずれも自主的枠組みの中での取り組みではあるが、CDRに係る国際的なルール形成にも影響を及ぼしうる。

一方、ネットゼロに向けて長期的に必要なCDRは10億tオーダーとされる。今後も先進型CDR産業が成長するため、CO₂除去に対するインセンティブが持続することがカギとなるが、これまでのところ、ボランタリークレジットに基づく支援源は局所的である。先進型CDRクレジットは、2030年カーボンネガティブを目指し年間500万tを超えるCDRクレジット調達(従来型含む)³⁴を掲げるMicrosoftに代表される巨大テック企業や、国際航空の炭素オフセット・削減制度(CORSIA)が2027年から義務化される航空会社など一部の企業に支えられている。また、プロジェクトの実施場所も北米と欧州に集中している³⁵。企業の自主的な気候目標に関する主要規範である科学に基づく目標設定イニシアチブ(SBTi)の企業ネットゼロ基準³⁶では、削減目標達成時の残余排出量(基準年排出量の10%未満)を中和するために除去クレジットを用いることを認めているが、削減目標を達成する過程でのクレジット利用は認めていないため、先進型CDR産業への短中期的な投資インセンティブが働きにくい。現在、SBTiは、スコープ3の排出削減に限定してクレジットの利用を認めるか否かを検討しており、草案の発表は2024年末となる見通しである³⁷。

³¹ 各モジュールの方法論は本稿執筆時点で開発中。

³² European Commission, “Carbon Removals and Carbon Farming”. https://climate.ec.europa.eu/eu-action/carbon-removals-and-carbon-farming_en#eu-carbon-removals-and-carbon-farming-certification-crcf-regulation. 2024年8月16日閲覧。

³³ EU理事会による正式採択は本稿執筆時点で未完了。

³⁴ Microsoft, “Carbon dioxide removal”. <https://www.microsoft.com/en-us/corporate-responsibility/sustainability/carbon-removal-program>. 2024年8月16日閲覧。

³⁵ Smith et al. (2024). “The State of Carbon Dioxide Removal 2024 - 2nd Edition”. <https://socdr-portal.apps.ece.iiasa.ac.at/>.

³⁶ SBTi (2024). “SBTi CORPORATE NET-ZERO STANDARD Version 1.2 March 2024”. <https://sciencebasedtargets.org/resources/files/Net-Zero-Standard.pdf>.

³⁷ SBTi, “SBTi releases technical publications in an early step in the Corporate Net-Zero Standard

先進型CDRクレジットの供給は新興企業が中心であり、企業数も拡大傾向にある一方、DACプロジェクトを開発するGlobal ThermostatのZero Carbon Systemsによる買収³⁸や、海洋炭素除去プロジェクトを開発していたRunning Tideの閉鎖³⁹など、すでに淘汰も始まっている。先進型CDRがイノベーションの「死の谷」を乗り越え、高額な除去コストが下がり、さらなる拡大に繋げてゆけるような環境構築が望まれる。今後は政府による助成および規制への反映(カーボンプライシング制度など)が重要になるであろうが、初期市場構築において、引き続き民間支援が果たすべき役割も大きいと言える。

5.2 排出量の見通し

図5-1に示すように、レファレンスシナリオにおける世界のCO₂排出量⁴⁰は、2025年までにピークを打つ。ただし、ピークを打った後は、2030年ごろまで緩やかに減少した後、2050年まではほぼ横ばいで推移する。一方、技術進展シナリオでは大幅に排出削減が進み、2030年に2019年比12%減、2035年に26%減、2050年に61%減となる。しかしながら、国連気候変動枠組条約第28回締約国会議(COP28)のグローバル・ストックテイクで示された1.5°Cと統合的な2035年の温室効果ガス排出削減率(2019年比60%減)や2050年カーボンニュートラルには大きく届かない。

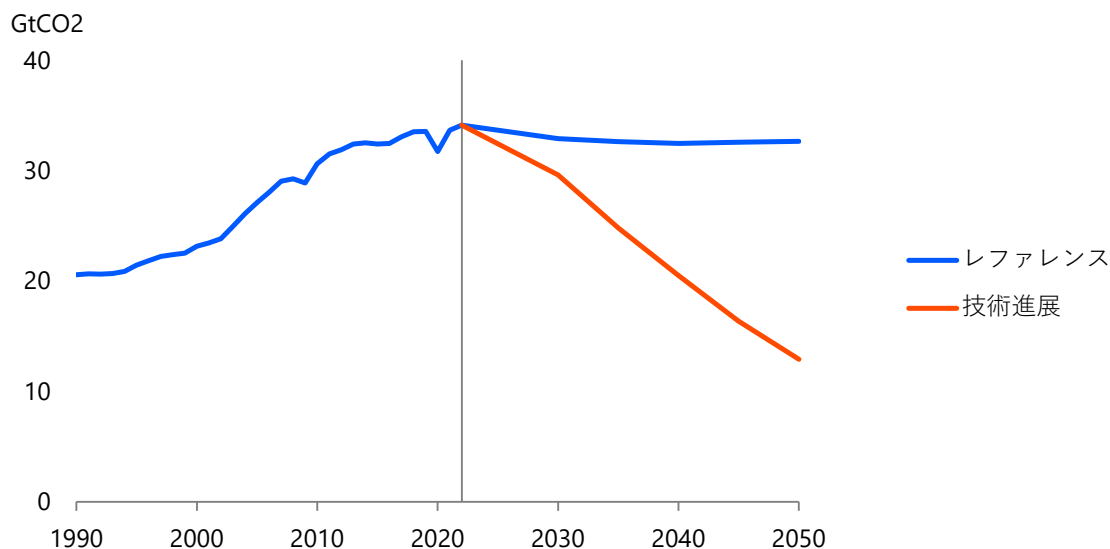
review”, July 30, 2024. <https://sciencebasedtargets.org/news/sbti-releases-technical-publications-in-an-early-step-in-the-corporate-net-zero-standard-review>.

³⁸ Global Thermostat, “Zero Carbon Systems acquires Global Thermostat and its best-in-class technology to capture carbon dioxide from the air”, May 22, 2024.

<https://www.globalthermostat.com/news-and-updates/zero-carbon-systems-acquires-global-thermostat-and-its-best-in-class-technology-to-capture-carbon-dioxide-from-the-air>.

³⁹ Portland Press Herald, “Portland startup that became global leader in capturing carbon shuts down, lays off all staff”, June 15, 2024. <https://www.pressherald.com/2024/06/15/portland-startup-that-became-global-leader-in-capturing-carbon-shuts-down-lays-off-all-staff/>.

⁴⁰ エネルギー起源CO₂排出量からDACCSによる除去量を差し引いた値。以下本章を通じ同様。

図5-1 | 世界のCO₂排出量の推移

国・地域別の排出シェアは大きく変化してゆく(図5-2上)。足元2022年では、中国と米国を合わせるとCO₂排出量の45%を占めている。レファレンスシナリオでは、2030年以降、総量はほぼ変わらないが、中国・米国のシェアは2035年に38%、2050年に29%と徐々に低下する。レファレンスシナリオと技術進展シナリオの差分を見ると、2030年以降、中国と米国を合わせた削減シェアは4割～5割に達する。結果として、技術進展シナリオでは排出シェアの変化はより大きくなり、2050年には中国・米国のシェアは14%に縮小する一方、インド・東南アジア諸国連合(ASEAN)を合わせたシェアは27%に拡大する。

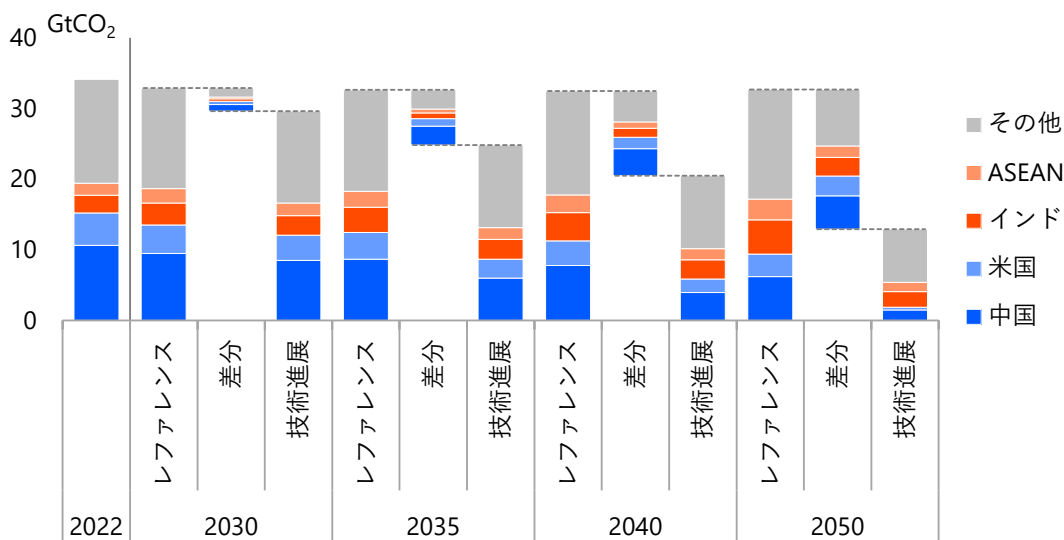
一方、部門別に見ると(図5-2下)、レファレンスシナリオでは発電部門の排出シェアが2022年の42%から2030年には36%に減少するが、それ以降はほとんど変化がない。一方、技術進展シナリオでは発電部門の低炭素化が大きく進むため(2030年以降の削減シェアは4割～5割)、発電部門の排出シェアは継続的に減少し、2050年には25%となる。相対的にシェアが拡大するのは運輸部門である。

まとめると、技術進展シナリオでは、国・地域別には中国、米国、部門別には発電部門の排出削減(レファレンスシナリオ比)がカギとなっている。なお、技術進展シナリオにおいて新たに考慮したネガティブエミッション技術[NETs](DACCSおよびBECCS)については、2050年の回収・貯留量が1 Gt弱(964 Mt)、レファレンスシナリオからの排出削減量20 Gtに対する比率は4.9%と重要な役割を果たしている⁴¹。

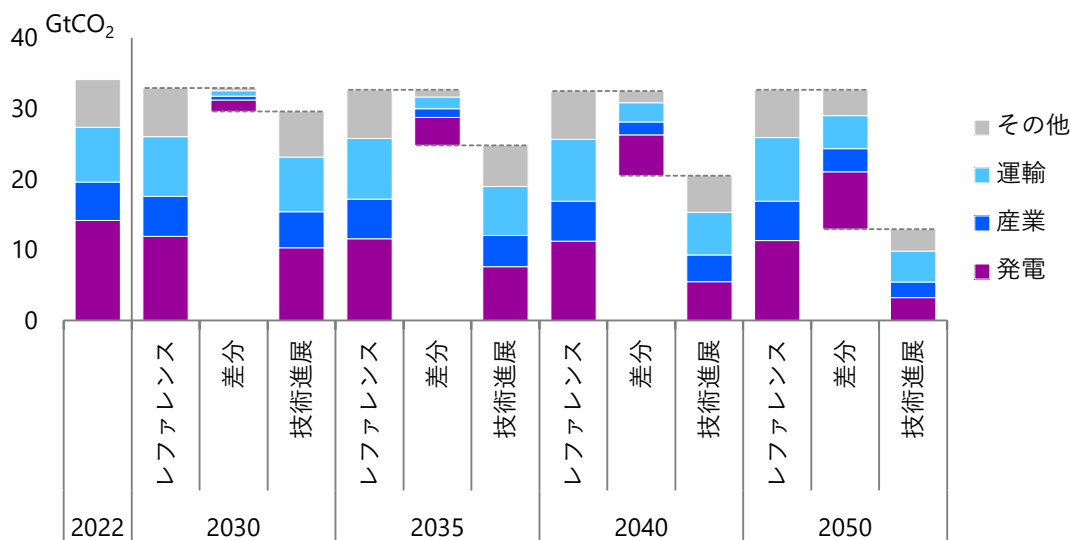
⁴¹ CCSに関する想定の詳細は「4.1 主要対策」の「二酸化炭素回収・貯留」を参照されたい。

図5-2 | CO₂排出削減量の内訳

国・地域別



部門別



注: 部門別の図において、BECCSおよびDACCSによる除去量はそれぞれ発電およびその他から控除

経済成長を享受しつつCO₂排出量を削減するには、国内総生産(GDP)当たりCO₂排出量の削減率がGDP成長率を上回る必要がある(デカップリング)。GDP当たりCO₂排出量の削減は、GDP当たり一次エネルギー供給量の削減と一次エネルギー供給量当たりCO₂排出量の削減

に分解できる。図5-3に中国、インド、ASEANについて1990年以降の各原単位の推移を示した⁴²。

中国は、1990年から2000年にかけてGDP当たり一次エネルギー供給量の大幅な削減(10年でおおむね半減)がGDP当たりCO₂排出量の削減に寄与したが、2016年以降はほとんど改善が見られない。レファレンスシナリオでは長期トレンドに沿った改善を見込むが、技術進展シナリオにおける追加的削減は小幅にとどまる。レファレンスシナリオと技術進展シナリオで削減度合いが大きく異なるのは一次エネルギー供給量当たりCO₂排出量であり、2022年から2050年にかけての削減率はレファレンスシナリオで35%減に対し、技術進展シナリオでは79%減と倍以上となる。

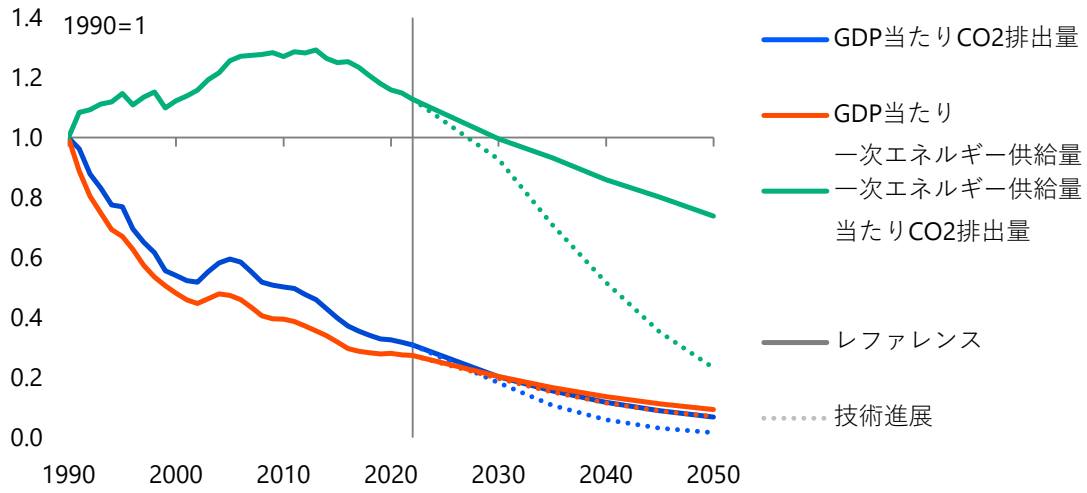
インドは、1990年以降、GDP当たり一次エネルギー供給量は改善トレンドにある一方、一次エネルギー供給量当たりCO₂排出量は増加ののち停滞しており、まだ中国のように減少トレンドに転じていない。さらに、2020年以降について言えば、GDP当たり一次エネルギー供給量はほぼ横ばい、一次エネルギー供給量当たりCO₂排出量は増加しており、結果的にGDP当たりCO₂排出量も増加した。レファレンスシナリオでは一次エネルギー供給量当たりCO₂排出量はほぼ横ばいとなるため、GDP当たりCO₂排出量の削減はもっぱらGDP当たり一次エネルギー供給量の減少に依拠している。

ASEANについても、インドと同様の傾向が指摘できる。ASEANの場合、GDP当たり一次エネルギー供給量の停滞期間がインドより長く、一次エネルギー供給量当たりCO₂排出量は2022年に1990年以降の最高値を記録しており、排出削減に向けたハードルはさらに高い。

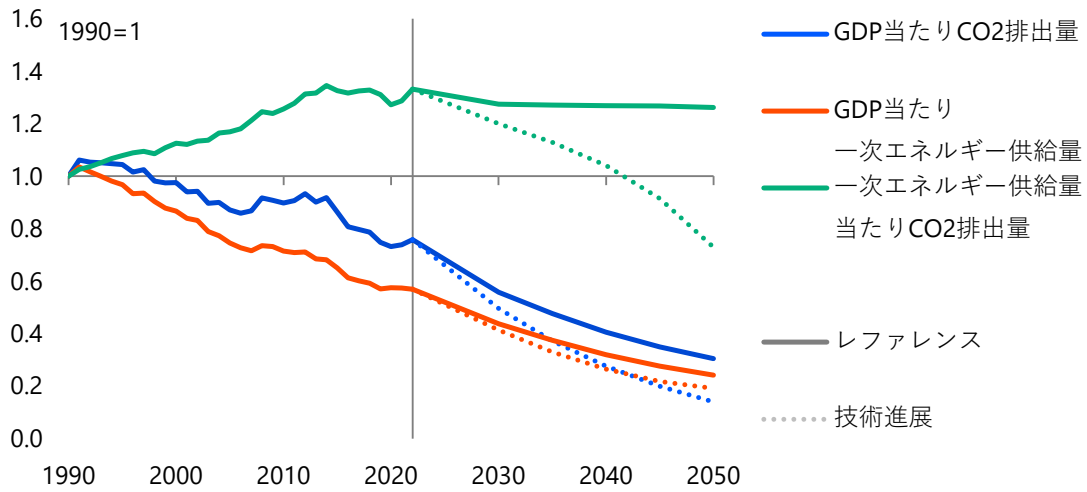
⁴² GDP当たり一次エネルギー供給量に関してはBox 4-2も参照されたい。Box 4-2でも指摘しているように、この指標はいわゆる省エネルギーだけでなく、産業構造の変化や生活水準の向上による家電機器保有台数の増加といった要因も反映されている点に留意する必要がある。

図5-3 | GDP当たりCO₂排出量等の推移

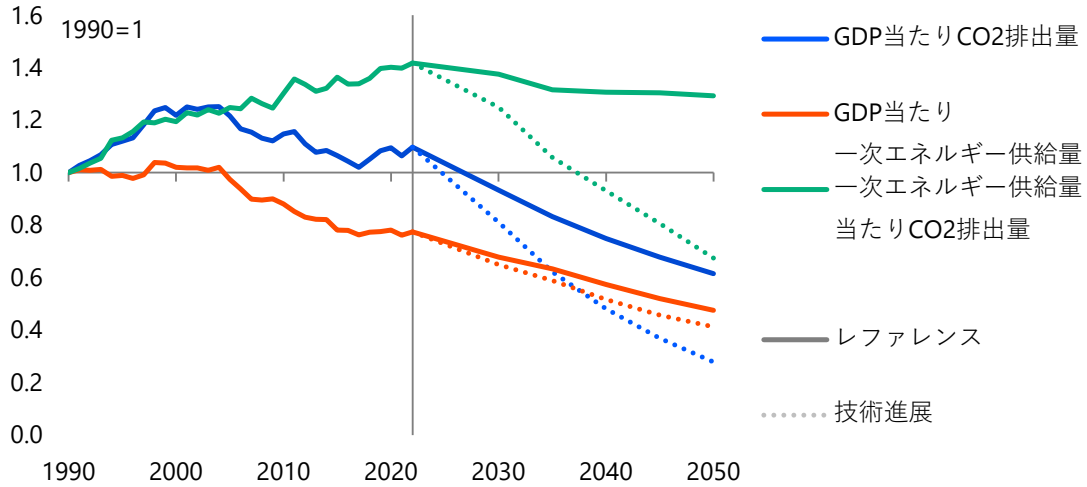
中国



インド



ASEAN



まとめると、GDP当たり一次エネルギー供給量は、レファレンスシナリオではおおむね長期トレンドに沿った改善を見込んでいるが、近年にフォーカスすると、中国、インド、ASEANでは改善が停滞しており、レファレンスシナリオでの改善は何もせずとも実現されると考えるのは楽観的であろう。また、一次エネルギー供給量当たりCO₂排出量は中国ではピークアウトした一方、インド、ASEANでは減少トレンドに入っていない。これらの実績は石炭など化石燃料の経済性を反映していると考えられ、新興・途上国において一次エネルギー供給量当たりCO₂排出量を削減することの難しさが改めて認識される。レファレンスシナリオと技術進展シナリオの見通しが大きく異なるのもこの部分である。新興・途上国において、短中期的にはGDP当たり一次エネルギー供給量を減少トレンドへと向け直し、中長期的には一次エネルギー供給量当たりCO₂排出量の大幅改善を組み合わせたものが、技術進展シナリオの見通しとなっている。

Box 5-1 | 1.5°C目標の達成可能性とNDCに向けた進捗状況

世界は1.5°Cの気温上昇に到達しつつある。欧州連合のコペルニクス気候変動サービスの観測によれば、地球の平均気温は2023年7月から2024年6月まで、12か月連続で産業革命以前より1.5°C以上の上昇を記録した⁴³。2023年の高温はエルニーニョ現象も寄与しており、一時的な超過がパリ協定における長期的な1.5°C目標の非達成を意味するわけではないものの、1.5°Cへの安定化が厳しくなりつつあることは明白である。

さらに、IEEJ Outlook 2024でも指摘したように、1.5°C目標が厳しくなりつつあることは、残余カーボンバジェットの減少からも読み取ることができる。カーボンバジェットとは、気温上昇を一定の確率で一定以下に抑えるための人為的な累積正味CO₂排出量の最大値であり、そこから過去すでに排出された量を差し引いたものを残余カーボンバジェットと呼ぶ。気候変動に関する政府間パネル(IPCC)第6次評価報告書(AR6)第1作業部会(WG1)報告書では、50%の確率で気温上昇を1.5°Cに抑えるための、2020年以降の残余カーボンバジェットを500 GtCO₂と評価した。一方、最新の研究によれば、1.5°Cに向けた2024年以降の残余カーボンバジェットの推計値は、200 GtCO₂ (Indicators of Global Climate Change [IGCC] 2023)⁴⁴あるいは275 GtCO₂ (Global Carbon Budget

⁴³ Copernicus Climate Change Service, “June 2024 marks 12th month of global temperatures at 1.5°C above pre-industrial levels”, July 10, 2024. <https://climate.copernicus.eu/june-2024-marks-12th-month-global-temperatures-15degc-above-pre-industrial-levels>.

⁴⁴ Forster et al., “Indicators of Global Climate Change 2023: annual update of key indicators of the state of the climate system and human influence”, ESSD, 16, 2625–2658, 2024. <https://essd.copernicus.org/articles/16/2625/2024/>.

[GCB] 2023)⁴⁵などとなっており、IPCC AR6時点から半分程度にまで減少している。IPCC AR6時点の評価との差は、2020～2023年の3年間で排出された約164 GtCO₂ (2023年分は推定値)に加え、非CO₂による正味の温室効果の上方修正(エアロゾル排出実績の更新にともなう簡易気候モデルのアップデート⁴⁶)などが寄与している。

残余カーボンバジェット⁴⁷の推計には大きな不確実性をともなうものの⁴⁷、200 GtCO₂という数字は、2023年のCO₂排出量の約5年分に過ぎない。図5-4に示すように、仮に2024年以降線形に排出量を削減する場合、ネットゼロに到達すべき年限は2034年、年間削減率は9.4%となる。新型コロナウイルス感染症(COVID-19)に見舞われた2020年におけるエネルギー起源CO₂の削減率でも5.7%であった。図5-4には、IPCC AR6第3作業部会(WG3)報告書に掲載された1.5°Cと整合的なCO₂排出シナリオ群も示している。ただし、残余カーボンバジェット500 GtCO₂と対応するのは、オーバーシュートなしまたは限られたオーバーシュートをともなうシナリオ群(C1)⁴⁸であり、図5-4には、高いオーバーシュートをともなうシナリオ群(C2)⁴⁹も併せて描いている。C2はC1と比べ、短中期的な排出削減ペースは緩やかである一方、長期的な大幅削減に向けてCCSやCDRの役割が大きいという特徴がある。残余カーボンバジェットの減少を考えれば、次期評価サイクル(AR7)において、IPCCはC1に相当するシナリオを提示することは困難となるかもしれない。その場合、1.5°Cへの残された道は、C2に相当するシナリオとなる。なお、先のCOP28では、パリ協定の目標達成に向けて世界全体の進捗状況を評価するグローバル・ストックテイクが初めて実施された。採択された決定文書では、1.5°C目標を達成するために、GHG排出量を2019年比で2030年までに43%、2035年までに60%削減し、CO₂排出量を2050年までにネットゼロとする必要性が認識されたが、これらの削減目標はIPCC AR6時点のC1の評価に基づいているため、現状では、仮にこれらの排出削減を達成したとしても、オーバーシュートなしまたは限られたオーバーシュートをともなう1.5°Cの実現は困難と考えられる。

⁴⁵ Friedlingstein et al., “Global Carbon Budget 2023”, ESSD, 15, 5301–5369, 2023.

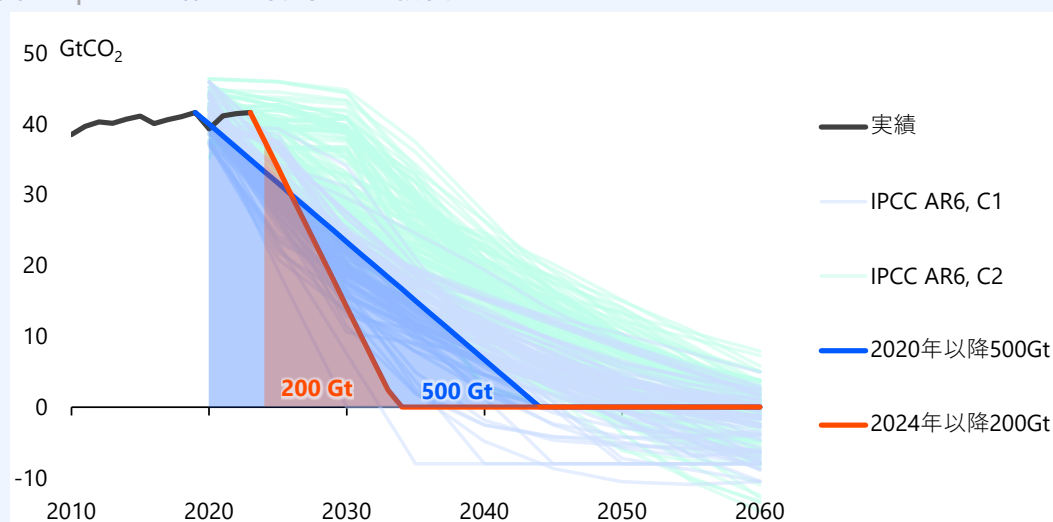
<https://essd.copernicus.org/articles/15/5301/2023/>.

⁴⁶ Lamboll et al., “Assessing the size and uncertainty of remaining carbon budgets”, Nature Climate Change, 13, 1360–1367, 2023. <https://www.nature.com/articles/s41558-023-01848-5>.

⁴⁷ IPCC AR6では非CO₂排出シナリオに関する不確実性だけで±220 GtCO₂と評価

⁴⁸ 限られたオーバーシュートは、1.5°Cを最大約0.1°C、最大数十年間超過

⁴⁹ 高いオーバーシュートは、1.5°Cを0.1°C～0.3°C、最大数十年間超過

図5-4 | 1.5°C目標と統合的なCO₂排出パス

注: 「実績」はGlobal Carbon Budget 2023⁵⁰より入手。セメント生産プロセス、フレアリング、土地利用、土地利用変化および林業部門の排出を含む。「IPCC AR6, C1」は「C1: オーバーシュートなしまたは限られたオーバーシュートで温暖化を1.5°C (>50%)に制限」に該当する97シナリオ、「IPCC AR6 C2」は「C2: 高いオーバーシュートの後に1.5°C (>50%)へ回帰」に該当する131シナリオ⁵¹。

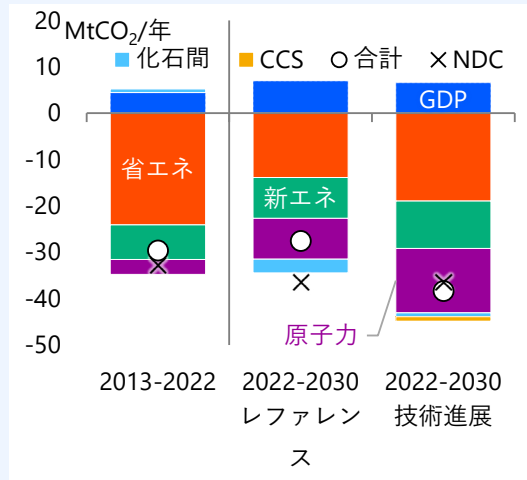
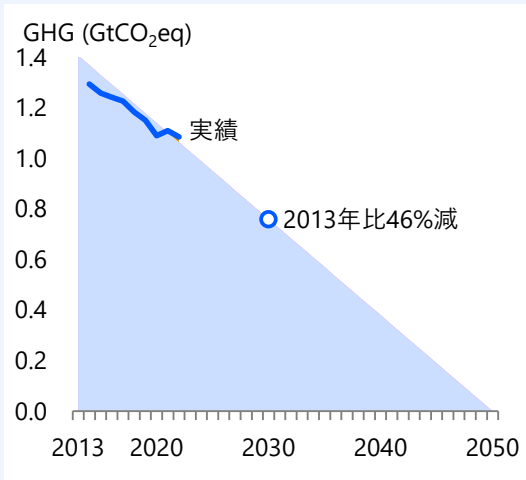
各国の2030年目標(国が決定する貢献: NDC)に向けたこれまでの進捗状況も、必ずしも順調とは言えない。GHG排出量の絶対値目標を採用する先進国を見ると、日本は目標達成パスとほぼ統合的な排出実績となっている一方、米国および欧州連合は目標達成パスと比べ上振れしている(図5-5左)。エネルギー起源CO₂を対象とした要因分解(図5-5右の第1項目)を見ると、日本、米国、欧州連合いずれも、基準年以降の排出削減に最も貢献したのは省エネルギー(経済構造の変化要因を含む)である。また、日本は米国および欧州連合と比べて基準年以降の経済成長が低かったこと(基準年から2022年にかけてのGDPの年平均成長率は、米国1.7%、欧州連合1.6%に対し、日本は0.4%)が排出削減に大きく貢献していることにも留意する必要がある。

⁵⁰ Global Carbon Budget, “GCB 2023”. <https://globalcarbonbudget.org/carbonbudget2023/>.

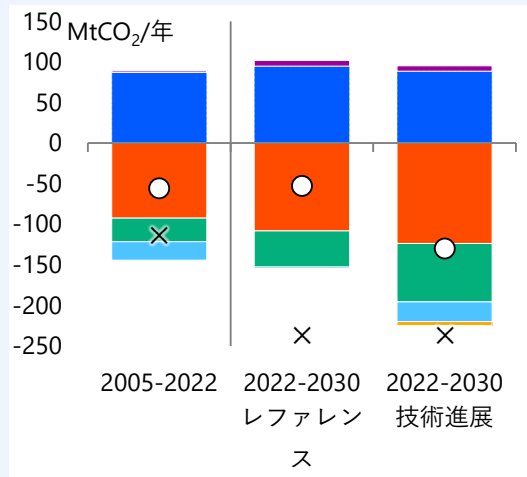
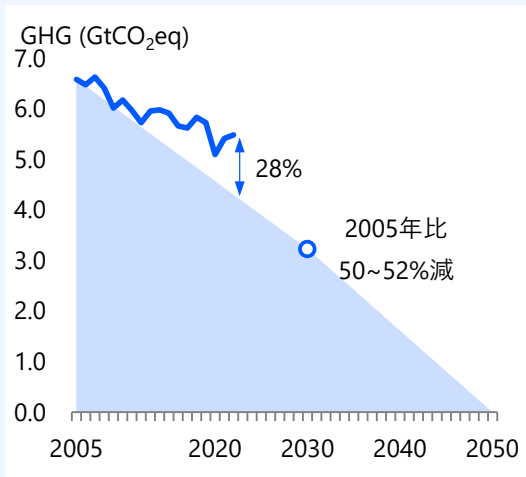
⁵¹ Byers et al., “AR6 Scenarios Database hosted by IIASA”, International Institute for Applied Systems Analysis, 2022. <https://data.ene.iiasa.ac.at/ar6/#/login?redirect=%2Fworkspaces>.

図5-5 | 主要先進国のNDCに向けた進捗およびエネルギー起源CO₂排出削減要因分解

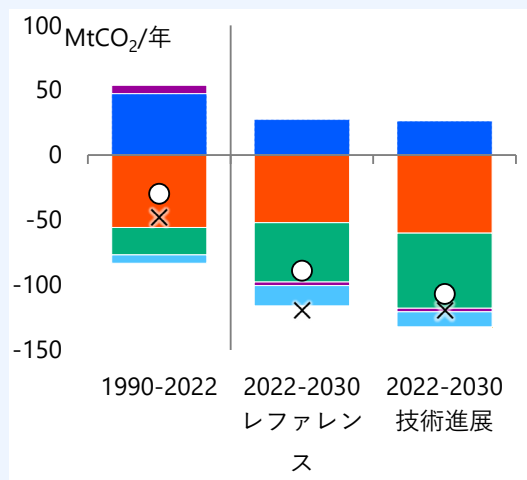
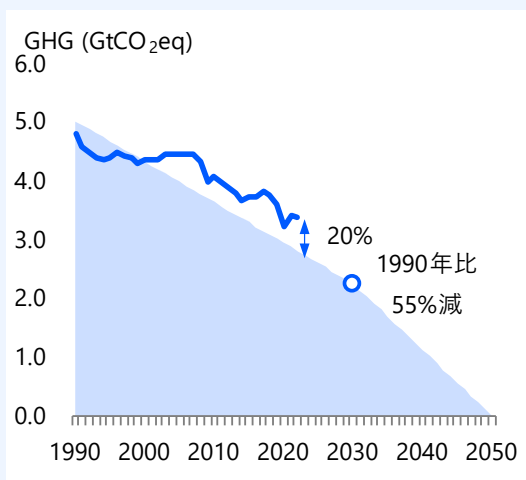
日本



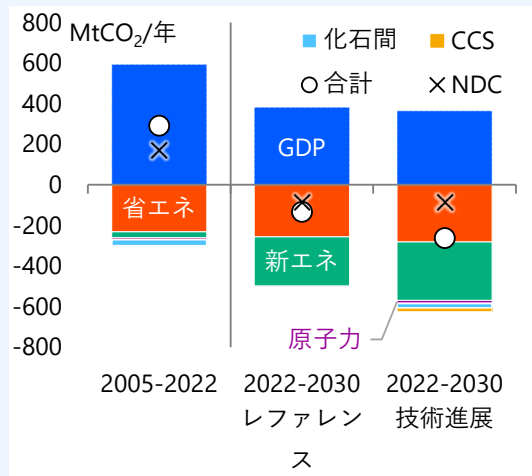
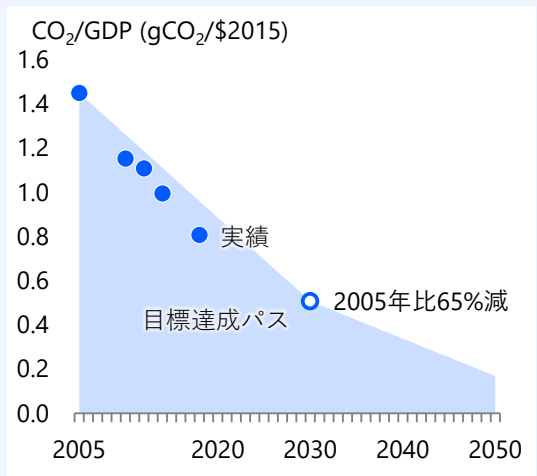
米国



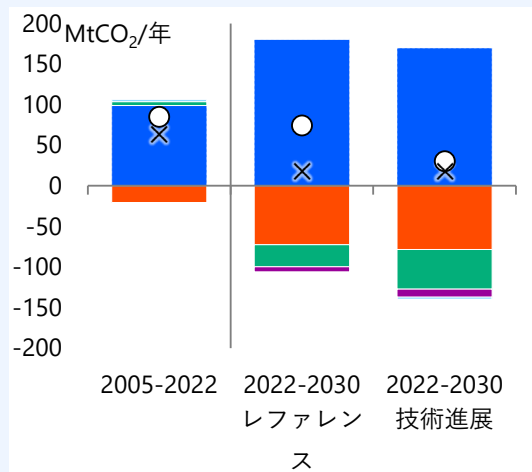
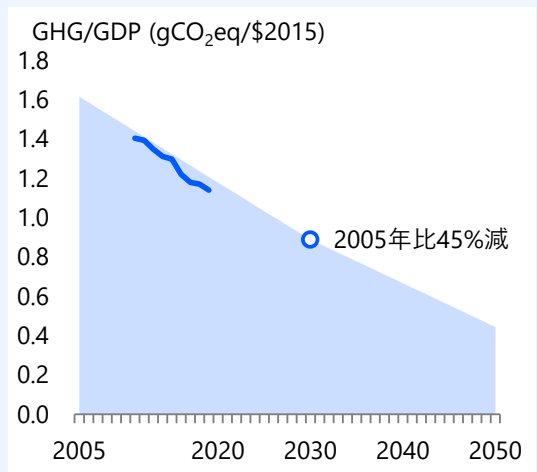
欧州連合



中国



インド



注: 左図は国家インベントリ(排出量)および世界銀行(GDP)に基づき作成。排出量の最新年は、中国は2018年、インドは2019年、それ以外は2022年。日本および欧州連合における目標のベースとなる基準年排出量はNDCに従いLULUCFを含まない。米国のNDCは2005年比51%減の位置にプロット。中国およびインドの排出量は、NDCに記載がないものの、ここではLULUCFを含まないと整理。右図の凡例のうち、「新エネ」は再生可能エネルギー、水素および合成燃料など、「化石間」は化石燃料間の代替をそれぞれ示す。また、「省エネ」は経済構造の変化要因を含む。要因分解は、IEA(実績)および本アウトLOOK(将来)に基づくエネルギー起源CO₂を対象とし、NDCは、日本を除き、GHGまたはCO₂の削減率をそのままエネルギー起源CO₂の削減率に読み替えた。また、中国およびインドは排出量の対GDP原単位目標であるが、本アウトLOOKのGDP想定に基づき絶対値に換算した。

CO₂またはGHG排出量の対GDP原単位目標を採用する中国およびインドについては、いずれも実績の推移は目標達成の経路内にある。ただし、図5-5左の排出量は国家インベントリに基づいており、最新年は中国が2018年、インドが2019年とやや古い。直近では、中国・インドともに、一次エネルギーやエネルギー起源CO₂の対GDP原単位の改

善は鈍化傾向にある⁵²。また、排出量の絶対値は基準年以降で大きく増加しており、エネルギー起源CO₂について見ると、中国は経済成長にともなう排出増の半分程度を省エネルギーや新エネルギー(再生可能エネルギー、水素および合成燃料など)で相殺したが、インドは省エネルギーを含む排出削減要因の貢献は限定的であった。

2030年目標の達成も明暗が分かれる可能性がある(図5-5右の第2第3項目)。本アウトLOOKのシナリオと比較すると、中国はレファレンスシナリオでも目標達成となる一方、米国は技術進展シナリオでも目標に届かない。ただし、留意すべき点としては、そもそも各国の目標の「野心度」のレベルに差異が存在しうる、ということである。NDCの目標設定の「野心度」が低ければ目標到達が容易になる。こうした点で各国の目標達成状況を評価する必要もある。

日本、欧州連合、インドは、レファレンスシナリオでは目標に届かないが、技術進展シナリオでは目標達成または目標に近接する。いずれの国・地域でも、今後は新エネルギーの役割が大きくなる一方、省エネルギーも過去と同等以上の貢献を果たさなければ2030年目標の達成は危うくなる。さらに、日本は原子力の貢献がなければ目標は達成できないだろう。

政府自らによる見通しにおいても、中長期目標の達成には現行政策では不十分と評価される。欧州連合が加盟国による最新のGHG排出予測を取りまとめたところ⁵³、現行政策では2030年目標(1990年比55%減)に15%ポイント不足し、追加政策を考慮した場合でも5%ポイント不足すると評価している。また、これらの予測は2050年ネットゼロに大きく届いていない。欧州連合全体での課題として、建物および運輸部門では依然として大幅な削減が必要であること、農業部門では排出削減ペースが停滞していること、土地利用、土地利用変化および林業(LULUCF)部門では目標に逆行し吸収量が減少していることを指摘している。2024年2月6日、欧州委員会は2040年にGHG排出量1990年比90%減を勧告したが、まずは2030年目標の達成に向けた政策パッケージFit For 55を確実に履行できるかが焦点となる。米国政府も国連提出文書⁵⁴の中で、インフレ抑制法お

⁵² 中国は第14次五か年計画の原単位目標(GDP当たりのエネルギー消費量およびCO₂排出量をそれぞれ2025年に2020年比で13.5%および18.0%削減)の達成軌道に乗っていない(国家统计局によると、CO₂原単位目標の2023年末の削減実績は2020年比約4.6%減)。また、インドは2021年、2022年とGDP当たりエネルギー起源CO₂排出量は前年比でむしろ増加した。

⁵³ European Commission (2023), “Progress Report 2023 Climate Action”, https://climate.ec.europa.eu/document/download/60a04592-cf1f-4e31-865b-2b5b51b9d09f_en.

⁵⁴ United States of America (2023), “2023 Voluntary Supplement to the U.S. Fifth Biennial Report”,

よびインフラ投資・雇用法よるGHG排出量の見通しを発表している。分析結果によると、両法律を含む現行政策の下では、2030年におけるGHG排出削減率は2005年比で33%~41%減となり、現行政策のインパクトは大きい一方、NDC (GHG排出量2005年比50%~52%減)達成に向けては、連邦政府、州政府および民間セクターなどによる追加政策も必須であることが明らかとなっている。

ここまで見たように、最新の科学的知見に基づけば、オーバーシュートなしまたは限られたオーバーシュートをともなう1.5°C目標の達成はほぼ不可能になりつつあることが示唆される。また、主要国ではNDCに向けた進捗は見られるものの、特に先進国では追加的な政策を打たない限りNDCの達成は難しいと見られる。このような中、2035年以降のNDCについても、図5-5左で示すような単純に2050年ネットゼロと線形につないだ目標では、早晚行き詰ってしまうことが懸念される。削減目標をより野心的にすることは問題の解決にはならない。気候変動への適応を加速させることと併せ、緩和については、中期的には各国が取りうる対策により着実な排出削減を実現しつつ、CDRを含む、技術革新に向けた投資を十分に行うことで、今世紀後半にかけて排出削減を加速させるような、上に凸の排出パスを念頭に置く必要があるのではないかと。

https://unfccc.int/sites/default/files/resource/23-11-21%20BR_Supplemental_FINAL_clean%20OCEII_2_UST%20edits_clean.pdf

6. エネルギー関連投資

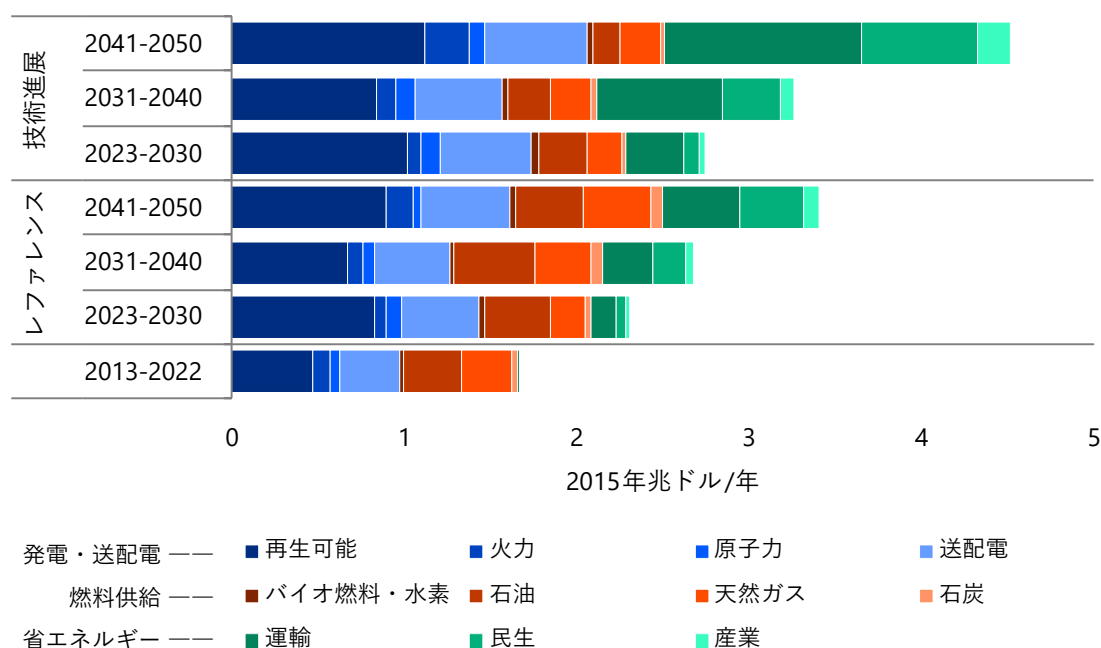
6.1 近年のトレンドと今後の見通し

エネルギー関連の投資は、石油生産、天然ガス生産や再生可能エネルギーに関わるものが多くを占めている。直近10年間(2013年～2022年、以下同じ)においては、再生可能エネルギーや送配電設備などの電力インフラストラクチャー、石油や天然ガスの生産に関わる設備に対する投資が主に行われてきた。2020年代(2023年～2030年、以下同じ)以降は、カーボンニュートラルに向けた動きが加速することで、再生可能エネルギー設備の資本費が大幅に低下し、再生可能エネルギーへの投資が進む。また、化石燃料依存からの脱却に向けて、省エネルギー設備への投資も進んでゆく。その一方、新興・途上国での需要増などに支えられて化石燃料投資も継続し、技術進展シナリオにおいても2050年まで投資は続く。

レファレンスシナリオでの投資額⁵⁵は、直近10年間の年平均で1兆7,000億ドル(2015年実質価格、以下同じ)から、2040年代の年平均では3兆4,000億ドルへと約2.0倍に増加する(図6-1)。技術進展シナリオでは、化石燃料に対する投資はレファレンスシナリオと比較して減少する。一方で、再生可能エネルギーや省エネルギー設備などへのさらなる投資が求められ、2040年代に必要な年平均投資額は、直近10年間の年平均より2兆9,000億ドル多い4兆5,000億ドルとなる。こうしたことにより、2050年までに世界全体で必要となるエネルギー投資の累積額は、99兆7,000億ドルに達する。

⁵⁵ ここでの投資額は各年におけるエネルギー技術の新規導入量と資本費によって推計したものであり、過去の投資額は計算による推定値である。

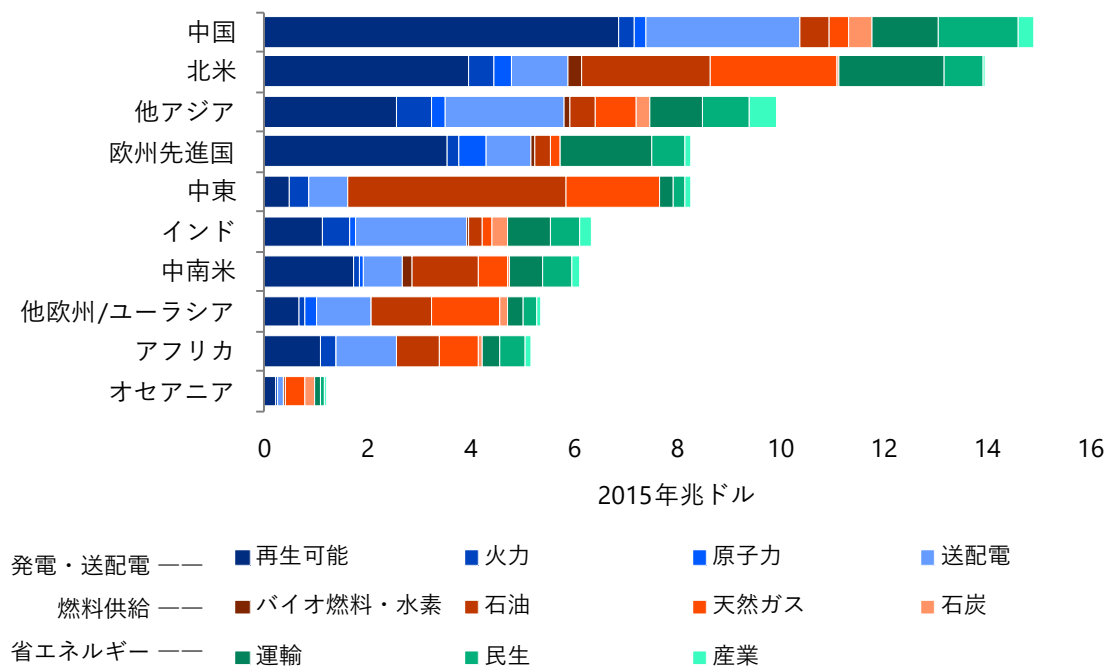
図6-1 | 世界のエネルギー関連投資



注: 2013年～2022年は実績推計値

エネルギー関連の投資額は地域による特色がある(図6-2)。例えば、化石燃料依存からの脱却に向けた動きが進んでいる欧州先進国においては、再生可能エネルギーや省エネルギーに対する投資額が7割以上を占めている。他方で、同じ先進国でも化石燃料の供給地域であるオセアニアでは、石油や天然ガス生産への投資が占める割合が全体の半分程度あり、再生可能エネルギーに対する投資は2割弱にとどまる。同じく化石燃料供給地域である中東では、石油や天然ガス生産への投資が7割強と突出しており、再生可能エネルギーや省エネルギー投資は1割程度である。また北米では、再生可能エネルギーの投資が3割弱ある一方、シェールオイル・ガスの開発など化石燃料の生産に対する投資は3割以上を占めている。中国では、2030年までの二酸化炭素(CO₂)排出のピークアウト、2060年までのカーボンニュートラルを目指す国家戦略「3060目標」のために、再生可能エネルギー設備への投資が加速し、全体の半分程度を占める。加えて送配電に対する投資額も大きく、これらにより中国の累積投資額は、国・地域別で最大となる。成長著しいインドは、省エネルギーへの投資が3割弱、再生可能エネルギーへの投資が2割弱となる中、電力需要増大に対応する送配電網の新設のため、送配電への投資が最大シェアとなる。

図6-2 | エネルギー関連投資[レファレンスシナリオ、2023年～2050年累積]



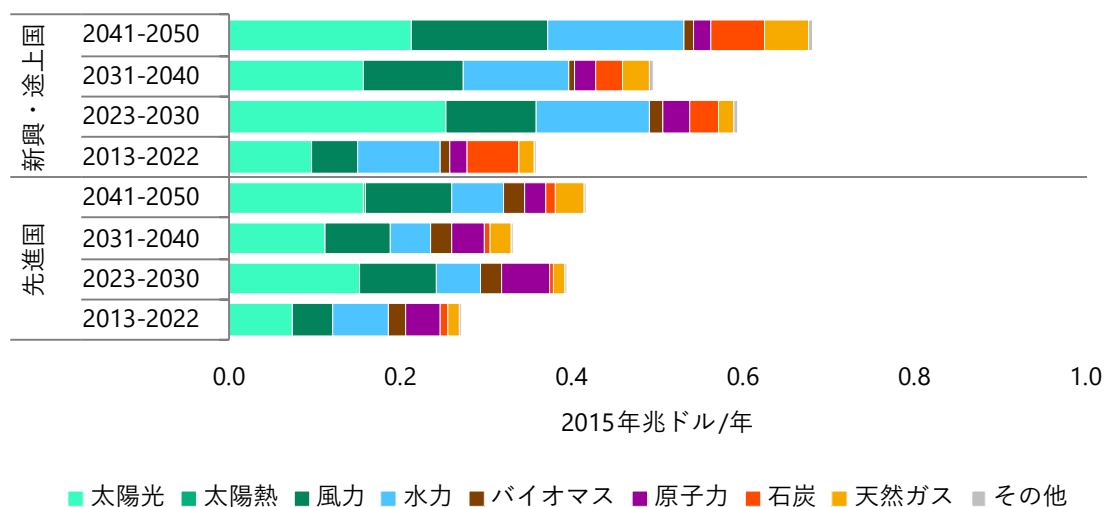
6.2 電力投資

新興・途上国を中心に再生可能エネルギーへの投資は増大

発電分野に関わる投資のうち、投資額が最も大きい分野は再生可能エネルギーである(図6-3、図6-4)。直近10年間は、固定価格買取制度やネットメタリングなどによって多くの地域で再生可能エネルギーへの投資が盛んに行われた。2020年代以降は、レファレンスシナリオ、技術進展シナリオともに、新興・途上国における投資額の増大が顕著となる。

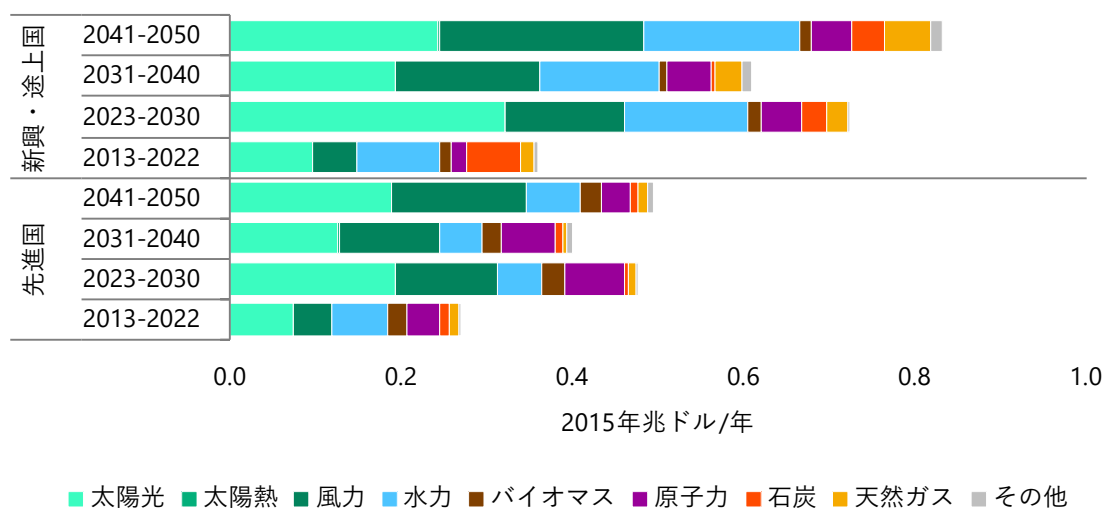
レファレンスシナリオでは、先進国、新興・途上国ともに2020年代以降の年平均投資額は、直近10年間よりも増加する。2020年代は、各国が「国が決定する貢献」(NDC)達成に向け、太陽光や風力など再生可能エネルギーを中心に投資拡大が続く。結果、年平均投資額は直近10年間に比べて、先進国では約1.5倍、新興・途上国では約1.7倍と大きく増加する。2030年代は、太陽光パネルの低価格化や風車の大型化など、資本費の低下により先進国・途上国ともに年平均の投資額は低下するが、2040年代に入ると設備能力の増強が進み、再び増加に転じる。先進国は、太陽光や風力、原子力への投資が主となる。また化石燃料電源のうち、天然ガス火力への年平均投資は、2040年代まで拡大が続く。新興・途上国では、太陽光や風力に加え、水力への投資が続く。加えて、化石燃料電源のうち石炭火力への投資が特徴的であり、2040年代の年平均投資額では天然ガス火力への投資を上回って推移する。

図6-3 | 発電分野の投資[レファレンスシナリオ]



注: 2013年～2022年は実績推計値

図6-4 | 発電分野の投資[技術進展シナリオ]



注: 2013年～2022年は実績推計値

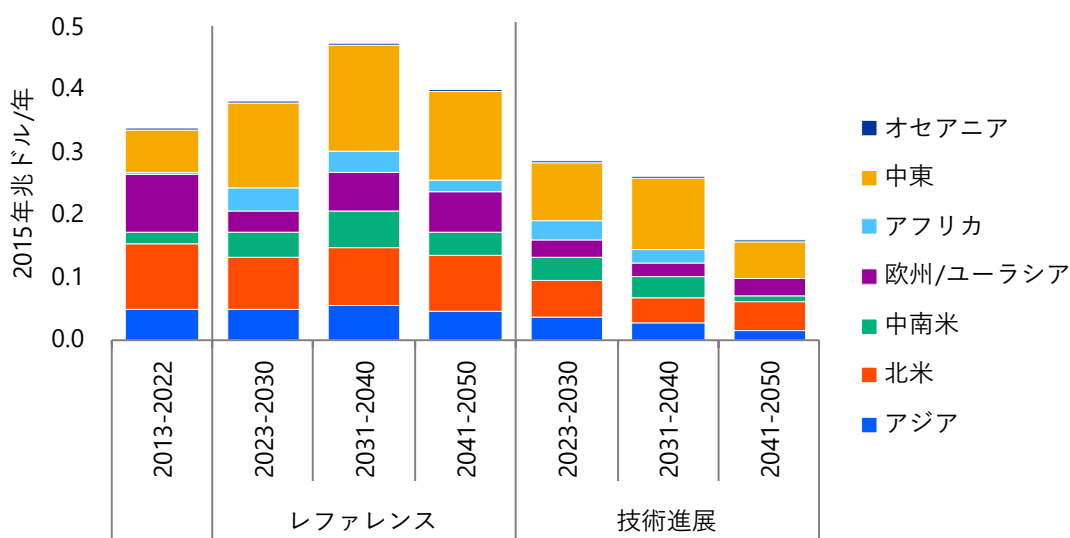
技術進展シナリオでは、レファレンスシナリオと比較し、太陽光や風力などの導入が特に増加する。加えて、先進国では原子力、新興・途上国では原子力と天然ガスの増加が特徴的である。これらへの投資額増加が、技術進展シナリオの年平均投資額全体の増加をけん引する。

6.3 石油投資、天然ガス投資

カーボンニュートラルや、化石燃料供給におけるロシアなどの特定地域への依存脱却の動きがあるものの、特に新興・途上国において需要が増加する石油、天然ガスに対する投資は、必ずしも減少しない。

石油への年平均投資は、レファレンスシナリオでは需要拡大を受けて中東や北米を中心に増加し、2030年代には直近10年間の1.4倍程度となる。2040年代には減少に転ずるものの、新興・途上国を中心とした根強い需要により、その年平均投資額は、直近10年間よりも多くなる(図6-5)。一方、技術進展シナリオでは輸送用燃料の省エネルギーの進展や、バイオ燃料などへのエネルギー代替が加速することで、2020年代以降の年平均投資額は直近10年間を下回り、減少傾向で推移してゆく。結果、2040年代は、直近10年間の半分以上にまで減少する。

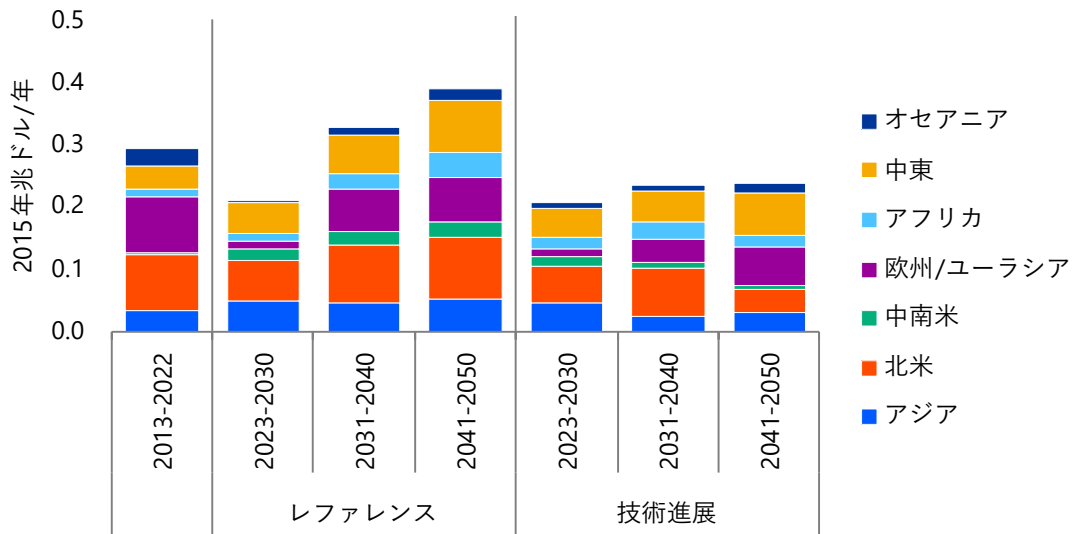
図6-5 | 石油分野の投資



注: 2013年～2022年は実績推計値

天然ガスへの年平均投資は、レファレンスシナリオでは、需要増加を踏まえて北米や中東、ロシアなど欧州/ユーラシアを中心に拡大傾向が継続し、2040年代には直近10年間の約1.3倍に増大する(図6-6)。一方、再生可能エネルギーや原子力発電がさらに増大する技術進展シナリオでは、2020年代以降は直近10年間の年平均投資額を下回って推移する。しかし、いったん減少した後も、新興・途上国での需要増を背景に2040年代まで緩やかな増加傾向が続き、北米や中東、欧州/ユーラシアへの投資がその増加をけん引する。

図6-6 | 天然ガス分野の投資

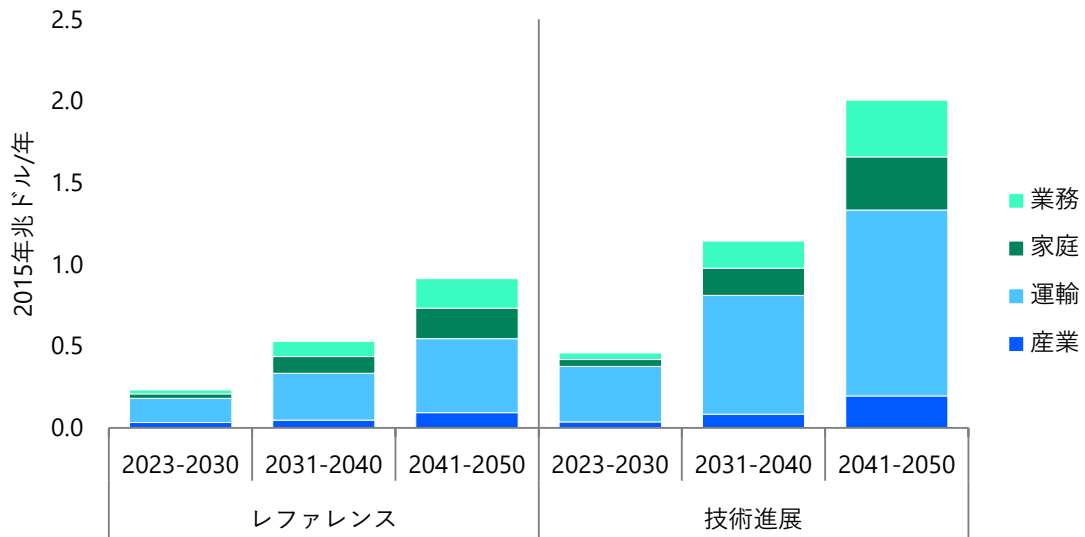


注: 2013年～2022年は実績推計値

6.4 省エネルギー投資

需要側でエネルギー効率が高い⁵⁶設備を導入するための省エネルギーへの年平均投資では、運輸部門が半分超、次いで民生部門が3割程度と大きな割合を占める(図6-7)。

図6-7 | 世界の省エネルギーの投資



運輸部門では、レファレンスシナリオにおいては、ガソリン車やディーゼル車などの従来型内燃機関車から電気自動車などのゼロエミッション自動車への転換にともない、年平均投

⁵⁶ 2022年のエネルギー効率をベースラインとする。

資額が増大する。技術進展シナリオでは、電気自動車のさらなる普及拡大や、水素を利用する燃料電池自動車の導入など電動化が加速するため、年平均投資額も増加する。

民生部門では、業務部門への投資額が家庭部門を上回る。また、特に技術進展シナリオにおいて、新規・新設の家電・機器効率および断熱効率の改善スピードが加速することや、暖房・給湯・ちゅう房用途における電化、クリーンクッキング化が進展することで、年平均投資額が増大する。

第II部

エネルギー転換を巡る不確実性に どう向き合うか

7. LNG・天然ガスの役割発揮に向けて

液化天然ガス(LNG)・天然ガスは、化石燃料の中で、エネルギートランジションにおいて一定の役割を果たし続けることが期待されている。本章ではその役割発揮に向けて、課題と対応策についてまとめる。

7.1 LNG・天然ガス安定供給に必要な新規投資

将来のLNG役割明確化が必要——LNG役割は時代に応じて進化

エネルギートランジションに向けて、不確実性を解消する現実的なソリューションとして、LNG・天然ガスは重要な役割を果たすことが期待される。LNGは各時代の要請に応じ、役割を拡大、発揮してきた。今後も基幹エネルギー源として、トランジションにおいても、エネルギーセキュリティに貢献する。新興市場の経済成長・成熟市場の安定供給を支え、新エネルギー源との組み合わせにおいても世界のエネルギートランジションに貢献する。LNG・天然ガス自身のクリーン化が前提条件となる。

レファレンスシナリオおよび技術進展シナリオいずれにおいても、東南アジア新興市場を中心に、堅調なLNG・天然ガス需要が見通される。これらのシナリオで想定している省エネルギー改善が実現しない場合には天然ガス・LNG需要がさらに上触れする可能性もある。

東南アジアでは、1970年代以降、LNG輸出プロジェクト開発と並行して、域内天然ガス消費も増加してきた。伝統的ガス生産国(インドネシア、マレーシア、タイ)で今後も天然ガス利用が継続・拡大する。

2011年以降、7か国でLNG輸入を実現、域内での各国間の相互LNG物流に加え、域外からのLNG輸入も増加しつつある。今後、東南アジアの天然ガス消費量中のLNG比重は、現状の全体の6分の1から、2050年までには3分の1程度へと高まる見通しとなる。特に沿岸地域・島嶼地域にLNG利用インフラストラクチャー拡大のポテンシャルが大きい。

特に東南アジア市場において、天然ガスは産業部門の排出削減、電力の需給調整で役割を果たす。転換期の排出削減に経済合理的な燃料となりうる。天然ガス市場安定とそのための供給能力拡大はエネルギー転換コスト低減に貢献する。

近年のLNG市場の動向が、長期的なLNGの役割および市場安定・セキュリティ確保の重要性を示唆している。エネルギー危機に対応する柔軟性をLNGが提供するとともに、需給関係・価格の不安定化が長期的視点での市場安定化対策の重要性を示している。

表7-1 | LNG (天然ガス)の役割の変遷・進化

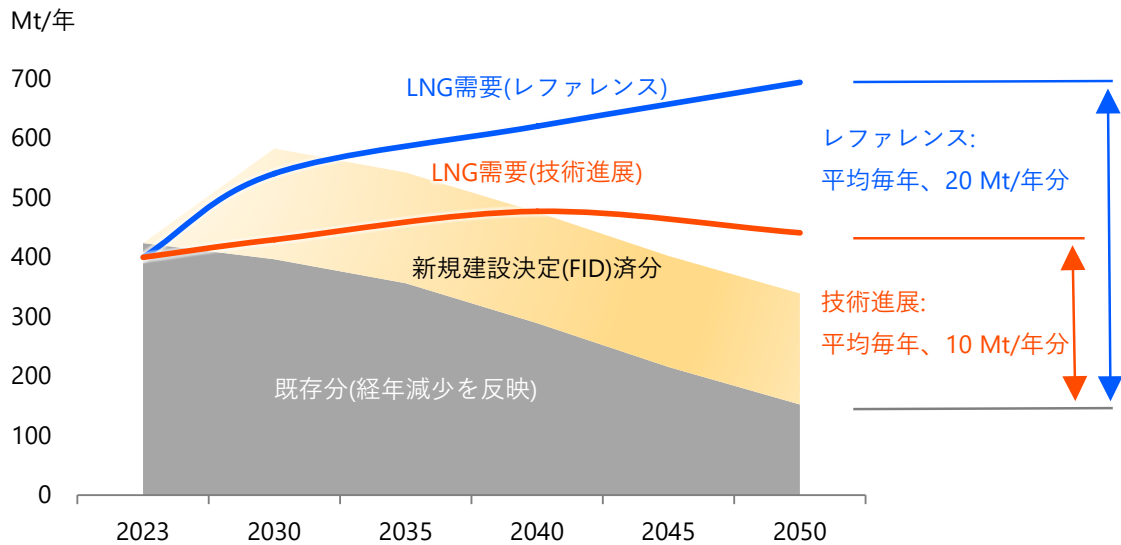
時代と対応事象	LNGの役割発揮振りおよび期待
20世紀後半 石油危機 大気汚染	代替エネルギー源、クリーンエネルギー源として拡大(日本、韓国) パイプラインガスに対する代替ガス供給源(欧州) 一次エネルギー中でシェア拡大し、石油危機影響緩和にも貢献
2010年代 原子力発電停止分補完 エネルギー需要増	ベース電源不足時に迅速対応可能な柔軟性を実証 バリューチェーン各要素での参加企業のすそ野が広がったことにより、液化・海上輸送・気化はロジ上の負担でなくなり、緊急時に柔軟性際立つ
2021-2022年 パンデミック後エネルギー需要増 ロシア戦争・ガス不足	欧州でウクライナ侵攻以前よりロシア産パイプラインガス供給減少分をLNG輸入増加が相殺 ウクライナ侵攻・ドイツ向けパイプライン爆破によるロシア産パイプラインガス輸入減少分を、米国産を中心とするLNG輸入増加で充足
将来に向けて トランジションを巡る 不確実性対応に現実解	エネルギーセキュリティの中核としての供給源 新興市場の経済成長・成熟市場の安定供給を支える 新エネルギー源との組み合わせ・トランジション貢献 LNG自身のクリーン化次第で持続的利用が期待される

7.2 LNG・天然ガス安定供給に継続的な投資が必要

LNG生産部門には、2050年までの期間に、1,000万t/年～2,000万t/年分の継続的追加が必要となる。見通し上のLNG需要量と、経年により減少する既存生産容量の差により試算した数字である。これには、①新規プロジェクト投資、②代替供給(バックフィル)ガス田投資、③原料ガス田生産減少分補完、④既存LNG液化等の設備若返り改修が含まれる。

過去3年間の新規建設決定(最終投資決定[FID])状況はこれを上回る。しかし既建設決定分の実現にも不確実性があり、実現しない・遅延などの可能性にも留意すべきである。すなわち、ロシア新規プロジェクトの不確実化、アフリカで政情不安による建設停止状態の継続、米国で設計・調達・建設(EPC)コストアップによるプロジェクトオーナー・コントラクター間の交渉不調による遅延、米国で環境訴訟を契機とする建設許可差し止め判決などが顕在化している遅延要因である。

図7-1 | LNG生産部門の投資必要容量試算



7.3 LNG生産プロジェクトの開発課題

コスト上昇と技術革新・開発モデル進化が並行

LNG生産プロジェクト開発の課題への対応が長期的利用のカギとなる。

2010年代以降のLNG供給の急拡大は、その焦点地域をカタール、オーストラリア、米国と推移してきた。その中でLNG生産プロジェクト開発コストは上昇傾向にある。一方で浮体LNG生産、小・中規模液化設備、モジュラー方式によるコスト削減努力もなされてきた。

カナダ、メキシコの北米西海岸LNG輸出開始および東アフリカのLNG開発進展は、供給源多様化の観点、またLNG海上輸送面では、アジア市場への輸送距離・経路のボトルネック解消の観点でもゲームチェンジャーとなることが期待される。

米国輸出キャパシティは今後数年間堅調に拡大するが、長期開発が「ポーズ」および規制の不透明状況により不確実化している。2024年以降、米国のFIDが停止状態となっている。さらに進行中案件に法廷リスク、完成リスクも顕在化している。

過去数年間の堅調なFIDには、買主の長期コミットメントがカギとなってきた。こうしたコミットメントは、ポートフォリオプレイヤーによるものが比重拡大しており、日本のLNG買主(都市ガス・電力など)のコミットメントは比重低下している。

表7-2 | LNG生産プロジェクトの開発動向の推移

	各時期の特徴	コストダウンや開発促進取り組み
2010-2014	北東アジアLNG需要急増、豪LNG開発ブーム、建設活動集中にともなう高コスト化	オーストラリアの高コスト傾向が、他地域でのLNG開発を覚醒
2015-2020	LNG生産設備開発の中心地が米国へ LNG原料向けの上流部門、液化部門ともコスト増加は抑制 米国产LNGの原料ガスコストは、絶対的に安価ではないが、長期的安定性を期待	米国LNG輸入設備利用低迷後、LNG輸出設備の開発に転用 米国ガス生産・原料ガス輸送部門が分離 他地域含め、浮体液化(F LNG)方式がオプションとして台頭
2021-	パンデミックによるロジスティックス障害にともない、建設遅延、コスト上昇 戦争影響の制約でコスト上昇 ホスト国政情不安定による建設遅延 コスト上昇の吸収困難な事例も発生 米国で輸出許可、建設許可手続き面での不確実性高まる	小・中規模液化設備技術革新 LNG生産プロジェクトすそ野・全体規模拡大にともなう、モジュラー方式(同一設計の繰り返し適用) ロシア産ガスからのフェーズアウトにより、他地域でのLNG生産プロジェクト開発促進
	鋼材・コンクリート等素材コスト上昇 資金調達コスト上昇 CCS・電化(再生可能エネルギー)コスト	2020年代後半のLNG市場機会を競い合う生産プロジェクト各社は、コストダウンに取り組む

中期的には堅調な生産キャパシティ増加が期待されるものの、建設遅延傾向が常態化している。2030年前後にLNG供給力に余剰が生じるとの見方もあるが、余剰予想に刺激され追加需要が喚起される。この供給側・需要側双方の要因により、「供給過剰」はイリュージョンとなる。

主要LNG輸出地域では、資源ポテンシャルとともに、課題も抱えている。オーストラリアのLNG輸出開発は成熟し、今後ブラウンフィールド開発による安定生産維持が課題となる。カタールでは超大型拡張計画がクリーン対策織り込み進行中で、追加マーケティングが注目点となる。東アフリカは資源ポテンシャル大きいのが、本格的拡張は足踏み状態にある。ロシアは既存供給が堅調だが、不安要因を抱え、新規開発はいっそう不確実化している。

表7-3 | 主要LNG生産国の現状と課題

	現状・LNG開発の特徴	今後の留意点、課題
オーストラリア	<p>資源輸出大国、ガスは生産の4分の3をLNG輸出</p> <p>世界3大LNG輸出国の一角</p> <p>1989年西オーストラリアよりLNG輸出開始、2014年より東部からもLNG輸出開始</p> <p>LNG輸出はほぼ全量アジア向け輸出</p> <p>Scarborough/Barossaと、準ブラウンフィールド案件開発進行中</p>	<p>2024年発表「長期的ガス戦略」、2050年のGHG排出ネットゼロに向けたエネルギー移行においてオーストラリアの天然ガスが重要な役割を果たすと謳う</p> <p>2015年セーフガード・メカニズム制定、2023年改定、2030年までに排出量を43%削減する国の目標達成のため年4.9%ずつベースラインを下げる等の規制</p> <p>LNGプロジェクト推進はCCUS等のGHG対策を組み込んだ計画が求められてゆく</p>
カタール	<p>世界最大North Fieldガス田に基づき、年間8,000万tのLNGを輸出</p> <p>国有QatarEnergy主導でLNGプロジェクト開発、国際企業に3割程度まで参入させる</p> <p>巨大拡張計画NFE, NFS, NFWより、年間6,400万t分の開発、マーケティング推進</p> <p>QatarEnergyはLNGマーケティング面、LNG生産拠点・上流資源開発でも海外積極進出</p>	<p>進行中拡張プロジェクトの販売方針に注目</p> <p>NFE案件では、中国向けに加え、欧州パートナー企業向けのLNG引き取りに関しても、2050年を越える期間での引き取りコミットメントを確保</p> <p>LNG生産設備動力における再生可能エネルギー活用、大型CCS計画を織り込むことにより、持続的な環境適合性を備えた開発</p>
モザンビーク	<p>Rovuma盆地の生産ポテンシャルは巨大</p> <p>第4鉱区は、FLNGプロジェクトが2022年より稼働開始、陸上プロジェクトもFEED段階</p> <p>第1鉱区は陸上LNG生産プロジェクトに関して、2019年FIDを行ったが、2021年4月より建設工事中断</p>	<p>第1鉱区陸上プロジェクトは2024年末までに工事再開を目指すとしており、治安回復による安定したプロジェクト開発が課題</p>

	現状・LNG開発の特徴	今後の留意点、課題
		中東地域同様、地理的にはアジア・欧州双方にLNGを販売できる距離にある戦略的な位置づけ、特に日本をはじめとするアジア向けには輸送上のボトルネックもない
タンザニア	海洋ガス田のポテンシャルが大きい 2023年、国際企業3社がLNGプロジェクト開発に向け、同国政府と枠組み協定	開発コスト削減とマーケティングが課題
ロシア	サハリン、北極圏からのLNG出荷は継続しているが、中断の不安を抱える 建設中の案件および新規案件の先行きは不透明化、マーケティングの成功は期待されず Sakhalin 2は、日本企業出資・LNG購入継続 Arctic LNG 2は制裁下ながらLNG出荷を試み	既存プロジェクトからのLNG輸出中断時の備えが常に必要 新規開発には、戦争の終結・紛争解決が前提条件

7.4 LNG輸送ボトルネック、生産設備トラブルが市場バランスに影響

LNG輸送、生産に長期的な影響をもたらす課題が顕在化

LNG市場拡大により、円滑な海上輸送・安定生産確保が長期的課題として、いっそう重要性を増している。

重要航路にボトルネックが発生し、需給ひっ迫時には大きな障碍要因となる可能性が高い。長期的なLNG輸送戦略構築が必要となる。

LNG供給源多様化にともない、輸送経路・距離も供給源・消費地によりさまざまとなっている。2016年パナマ運河拡張完成以降、LNG輸送船舶の通航が可能となり、米国産LNGのアジア向け輸送の利便性が向上した。シェール革命にともない、天然ガスだけでなく増産され

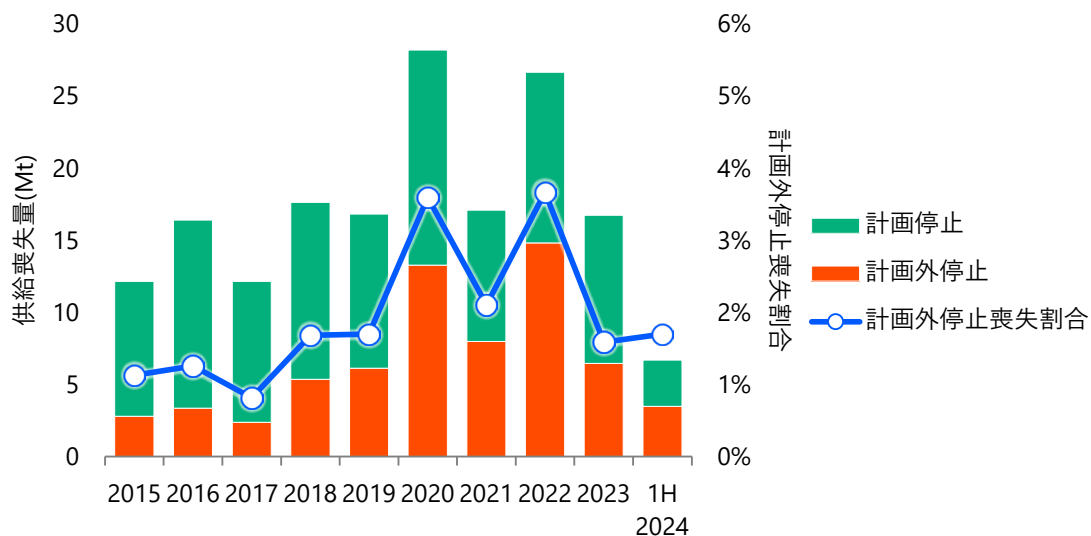
た液化石油ガス(LPG)のアジア向け輸送の増加にもつながっている。輸送量の増加の一方で、待機長時間・あるいは迂回が発生している。これに対応して通航・予約の合理化は進んでいるが、渇水による水位低下、これによる大型船舶通航可能隻数制限も発生している。2024年は米国産LNGの北東アジア向け輸送では、喜望峰周りが常態化している。

さらに中東情勢により紅海・スエズ航路も事実上遮断したことにより、中東産LNGの欧州向け輸送も喜望峰周りが常態化している。LNG輸送に対する制約が高まっている。

他方で、北米西海岸・東アフリカLNG輸出の本格化は、LNG輸送合理化・最適化にとってもゲームチェンジャーとなる。

LNG生産設備の計画外停止が増加し、需給バランスひっ迫時には状況を深刻化する可能性が高い。例として、2022年、米国で大型LNG輸出設備1件につき、火災事故で長期間の停止、他生産諸国でも比較的長期間の計画外停止があった。特に市場バランスが厳しい時期に当たったことから、スポットLNG、ガス価格をさらに押し上げる要因となった。2023年は、市場バランスが比較的安定化したところに、計画外停止による喪失量も前年比で減少した。

図7-2 | LNG生産設備停止にともなう供給喪失量推計



出所: 設備停止日数と該当設備生産容量により推計

7.5 LNG市場安定化への長期的課題

LNG役割明示、国際連携の重要性

エネルギートランジションの不確実性に対応する現実的なソリューションとして、LNGの役割明確化と同時に、その目的に適合するLNGの基準の明確化が必要である。企業レベルでは、メタン・GHG排出対策強化・目標設定および的確・タイムリーな情報公開がカギと

なる。さらに投融資対象としてLNGの経済的優位性、環境面の優越性をアピールする必要がある。G7(主要7か国)など国際舞台で天然ガス・LNGの重要性が認知されたが、エネルギー転換において認められる「Abatedな」LNGの基準確立が重要となる。メタン・GHGの排出測定・実測強化と国際基準化の重要性、排出削減対策における国際協力の重要性が認知されつつある。

企業レベルでは、メタン・GHG排出対策強化・目標設定および的確・タイムリーな情報公開がカギとなる。

さらに投融資対象としてLNGの経済的優位性、環境面の優越性をアピールする必要がある。

米国、オーストラリア、カナダ、メキシコなど、LNG生産拡大・維持に向け、規制面の安定・推進を消費国側からも働きかけること、開発への参加と開発への支援が重要になる。

東南アジア新興市場を巻き込む中長期的な需要アグリゲーションおよび市場開発支援がグローバルLNG市場の規模拡大、生産開発の支援につながる。

8. エネルギー安全保障のリスクシナリオ

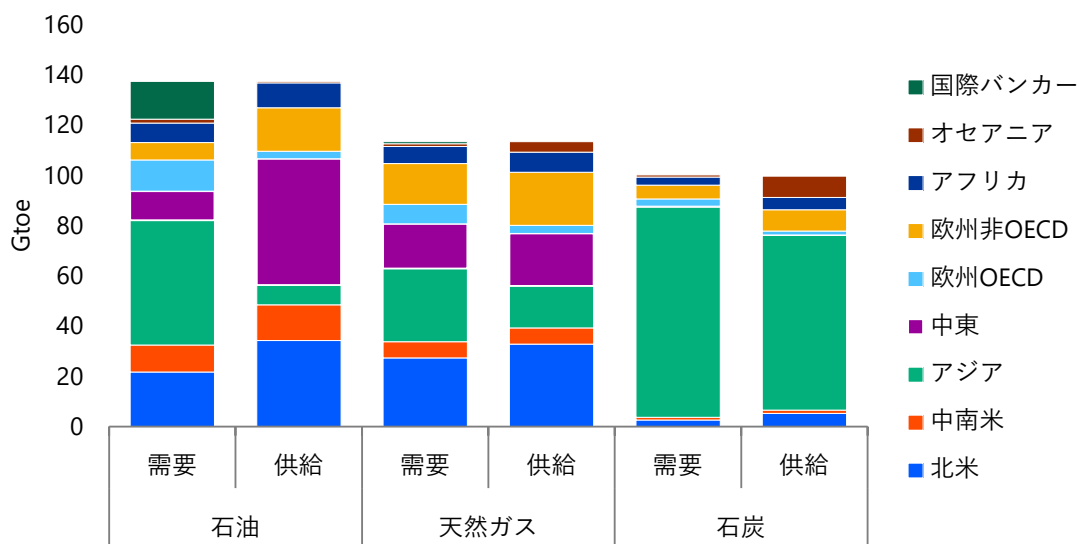
言うまでもなく、必要な量のエネルギーを妥当な価格で確保することは社会や経済に不可欠である。しかし、エネルギーの安定供給はさまざまな要因によって脅かされることは歴史が証明している。そのため我々は、リスクの所在やそれが顕在化した場合の影響を正しく理解し、必要な対策を講じなければならない。ここでは重要度が高いと考えられる5つのリスクを取り上げ、それらの理解を試みる。

8.1 化石燃料過少投資のリスク

化石燃料投資の重要性

2022年時点において化石燃料は世界の一次エネルギー消費の81%を占めている。化石燃料のうち石炭の需要はすでにピークに達した可能性があり、レファレンスシナリオの場合、2050年にかけて1.2%/年のペースで減少する。一方、石油および天然ガスの需要は、同じくレファレンスシナリオの場合、2050年まで増加し続ける。その結果、2050年時点でも化石燃料のシェアは73%（石油および天然ガスでは55%）と非常に大きい。地域別に見ると、需要はいずれの化石燃料でもアジアがけん引し、供給では石油・天然ガスは中東や北米、石炭はアジアの存在感が大きい。

図8-1 | 世界の化石燃料需給[レファレンスシナリオ、2022年～2050年累計]

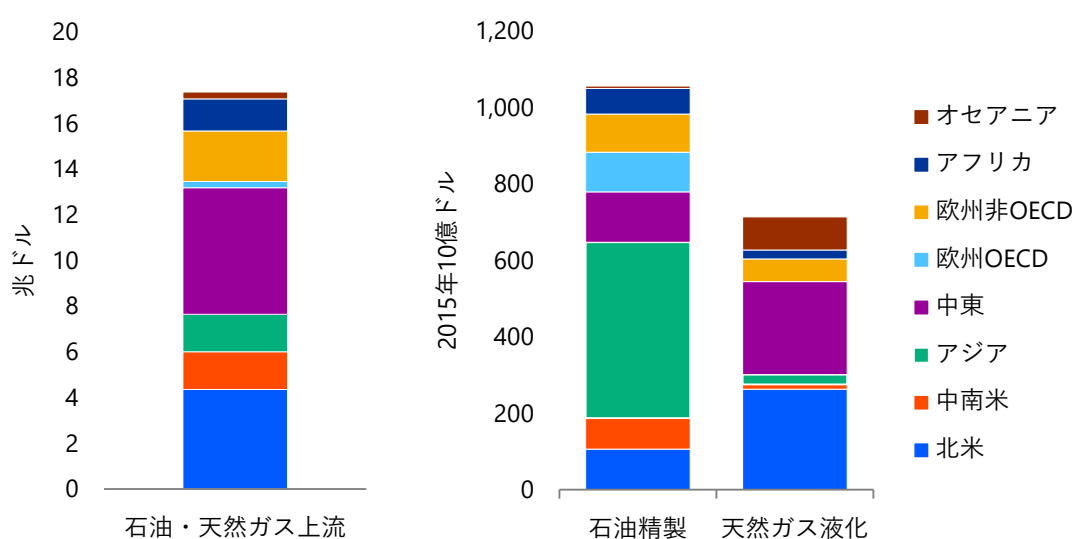


過少投資のリスク

化石燃料の安定供給のためには上流から下流に至るバリューチェーン全体で安定的な投資が必要であることは言うまでもない。レファレンスシナリオの需要を賄うためには、化石燃

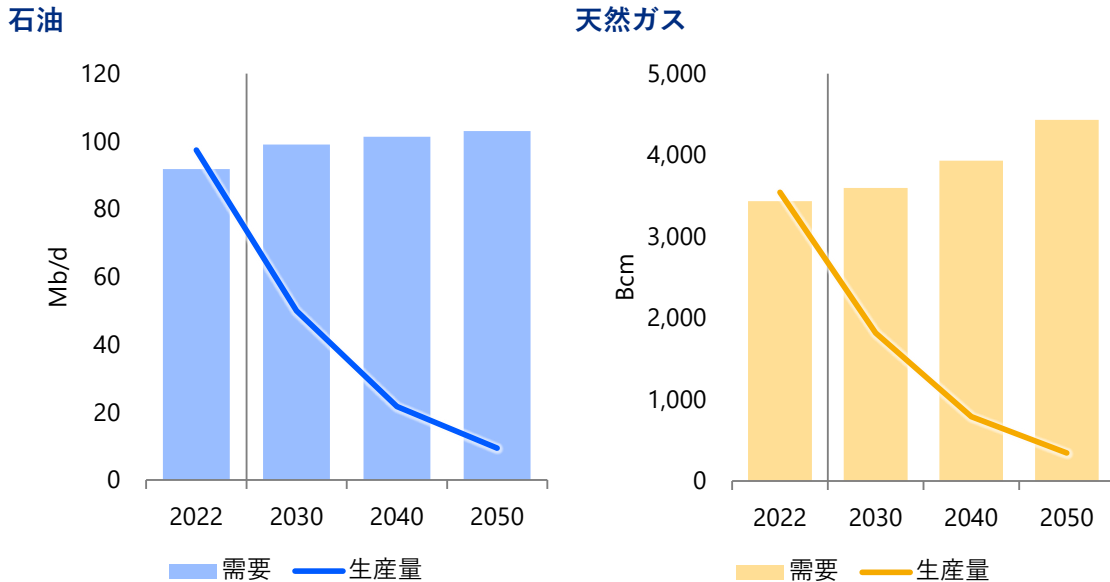
料部門で約22兆ドル(2015年実質価格)の投資が必要となる。特に、2050年まで需要が増加し続ける可能性がある石油と天然ガス、なかでも両燃料の必要投資額の8割～9割を占める上流(探鉱・開発・生産)部門、とりわけ中東や北米といった主要供給地域での安定的な投資が死活的に重要となる。また、特に先進国において精製設備の縮小が見られ、途上国においては製油所プロジェクト投資の遅延も見られる状況では、石油精製部門での投資確保は多くの国にとっての課題である。さらに、今後も堅調な需要が見込まれる液化天然ガス(LNG)に関しては、増産ポテンシャルが大きい中東や北米での天然ガス液化設備への安定的な投資がきわめて重要である。

図8-2 | 主要な石油・天然ガス投資額[レファレンスシナリオ、2022年～2050年累計]



しかし、気候変動対策への社会的な要請が高まる中、化石燃料プロジェクト投資への逆風が強まっている。気候変動対策の一環としての省エネルギーは化石燃料需要抑制効果があるものの、ダイベストメントや規制強化等で投資が進まなければ化石燃料需給がひっ迫する可能性が高い。石油・天然ガス生産量の減衰率を仮に8%とすると、上流部門での追加投資がない場合、2050年時点での生産量は2022年の約10分の1にまで減少し、きわめて大きな需給ギャップが生じることになる。

図8-3 | 追加投資がない場合の世界の石油・天然ガス生産量とレファレンスシナリオでの需要

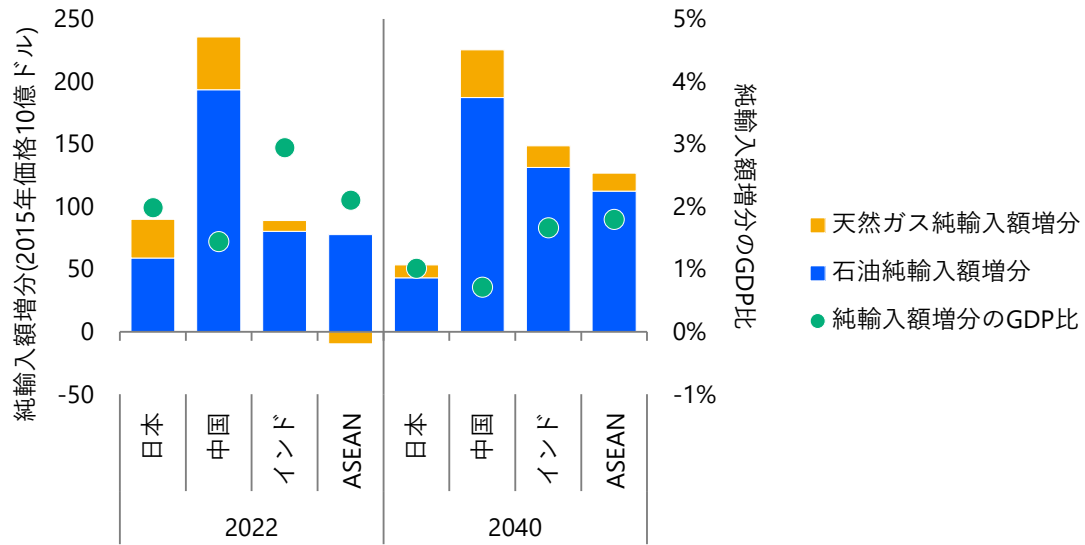


マクロ経済への影響

図8-3は思考実験としてレファレンスシナリオでの需要と追加投資がない場合の生産量想定を比較したものであり、このような極端な需給ギャップが実際に生じることは考えられない。しかし、過少投資の影響で石油・天然ガス需給がひっ迫すると価格は上昇する可能性が高い。2021年平均のBrent価格は前年比で7割上昇したが、パンデミック収束による需要回復だけではなくパンデミック期における上流投資不足も価格上昇をもたらしたとされている。

一般的には資源価格の上昇は、輸入国での物価上昇や企業収益圧迫を通じて輸入国のマクロ経済へ悪影響を及ぼす。2022年および2040年の石油・天然ガス輸入価格が、実績あるいは想定値より50%上昇した場合、アジアの主要輸入国・地域での国内総生産(GDP)に占める輸入額のシェアがどのように変化するかを見ると、当該シェアは1%~3%ポイント上昇する。純輸入量が減少する日本やGDPが大幅に拡大する中国では相対的にシェアが低いですが、純輸入量増加が著しいインドや東南アジア諸国連合(ASEAN)ではシェアが相対的に高く、経済への影響がより懸念される。

図8-4 | 石油・天然ガス価格50%上昇がアジアの主要輸入国・地域に及ぼす影響



注: 2040年はレファレンスシナリオ

8.2 地政学リスクの顕在化

近年の国際エネルギー市場においては、ロシア・ウクライナ戦争や中東におけるガザ情勢の悪化など、既存の石油天然ガス供給に甚大な影響を及ぼしうる地政学的な事象が深刻化している(図8-5)。その一方で、新たな形の地政学的リスクとして、石油・天然ガスを生産・輸出する先進国において、国内の化石燃料の開発・輸出を制限する政策がとられるという事態も見られる。本項では、そうした深刻度と多様性がともに深まりつつある地政学的リスクについてまとめる。

図8-5 | 日本のエネルギー供給に影響を及ぼしうる主な地政学的リスク



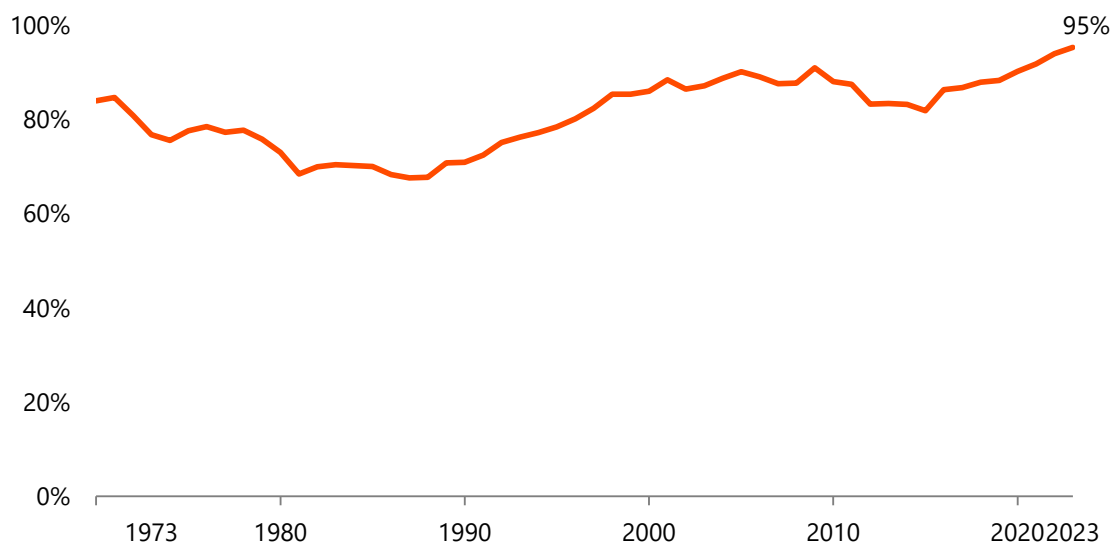
深刻さを増す中東地域における地政学的リスク

中東地域における地政学的リスクは、日本にとっては古くて新しい問題である。1970年代の石油危機以降、中東からのエネルギーへの依存度低減は長らく日本のエネルギー安全保障政策の主要課題の1つであった。その中東依存度であるが、原油の依存度は2023年には95%に達しており(図8-6)、過去に類を見ないほど高くなっている。特に2022年度以降は、ロシアによる本格的なウクライナ侵攻が始まったことを受けて、他の主要7か国(G7)諸国とともにロシア産原油の輸入を停止し、その代替原油を中東から輸入したため依存度の水準がさらに高くなった。このことは、中東地域における政治情勢が日本の石油供給に及ぼす影響度がこれまでになく高まっていることを示唆している。

もともと地政学的リスクが高いとみなされてきた中東地域であるが、その地政学的リスクはこの1年の間にさらに高まった。2023年10月、パレスチナ ガザ地区に拠点を置くイスラム系武装組織ハマスがイスラエルに対する大規模な奇襲攻撃を行ったことに対し、イスラエルがハマスに対し宣戦布告を行い、ガザ地区への侵攻を開始した。今回の武力対立によって失われた人命は、2024年8月時点で4万人に上るとの推定もある⁵⁷。西側諸国や周辺諸国による和平に向けた仲介の動きも出てきてはいるものの、これまでのところ大きな進展は見られず、同地区を巡る情勢は依然として混迷している。

⁵⁷ Julia Frankel. (2024). "With Gaza's death toll over 40,000, here's the conflict by numbers," *AP News*. <https://apnews.com/article/israel-hamas-gaza-war-palestinians-statistics-40000-7ebec13101f6d08fe10cedbf5e172dde>. (2024年9月20日アクセス)

図8-6 | 日本の原油輸入における中東依存度の推移



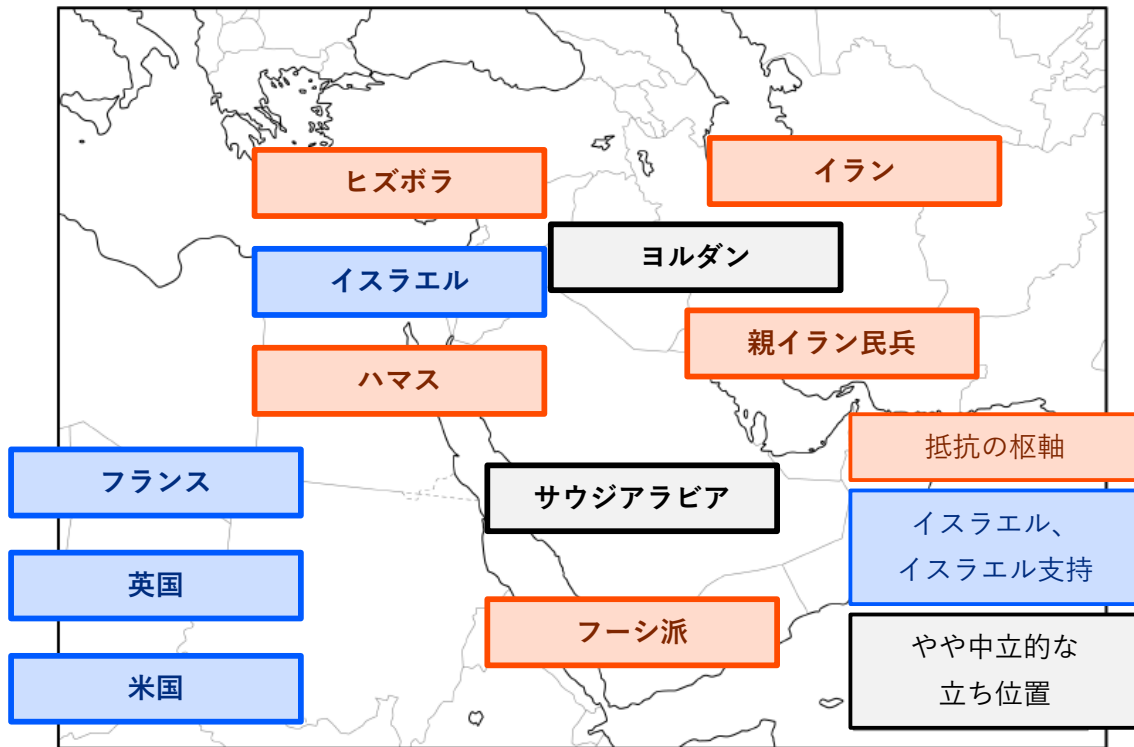
出所: 日本エネルギー経済研究所 EDMC Databank

なお、こうしたパレスチナ情勢が深刻さを増す中で、国際エネルギー価格への影響はこれまでのところ軽微である。国際指標価格であるBrent原油価格は、2023年10月時点で\$90/bbl台を推移していたが、その後ガザ情勢が悪化した同月以降はむしろ下落し始め、同年末には\$70/bbl台にまで低下した。その後、本稿執筆時点に至るまで、国際原油市場において中東情勢を原因とする大きな価格上昇は見られていない。少なくとも現時点では、パレスチナ情勢の深刻化と国際原油市場との間にはギャップが存在しているといえる。

今後懸念されるべきは、今の中東情勢の悪化が、直接的に同地域からの原油やLNGの輸出に対し物理的な影響を及ぼすことで、現在見られるギャップが解消されるシナリオである。中東地域においては、多様な対立構造が存在し、国際原油市場やLNG市場における物理的な供給そのものに影響を及ぼすシナリオはいくつかのパターンが考えられる。その中でも、現時点である程度の蓋然性がありかつそのインパクトが大きいシナリオとして、イランとイスラエルとの間で本格的な武力衝突が起きる、というものが考えられる。実際に、イランとイスラエルはこれまでの政治的に激しく対立してきたが、2024年7月に、イランに滞在中のハマスの最高幹部ハニーヤ氏がイスラエルによるものとされる攻撃によって暗殺されたことで、両国の関係はさらに悪化した。イランはイスラエルに対し何らかの報復を行うことを明言しており、両者の対立はこれまでになく深まっている。特にこの対立は、単純なイランとイスラエルとの2国間の対立だけではなく、「抵抗の枢軸」と呼ばれるイランと密接な関係を有する各武装組織や、イスラエルを支援する欧米も巻き込んだ大規模な地域紛争へと拡大してゆく危険性がある(図8-7)。仮にそうしたシナリオが現実化した場合、イラン自身によ

る原油の輸出量は2023年時点で1.3 Mb/d程度であり⁵⁸、世界の原油貿易量全体(68 Mb/d)に占める割合は必ずしも大きくないものの⁵⁹、現在の中東地域における地政学的対立構造が本格的にペルシャ湾岸諸国にも波及することで、国際原油市場の参加者に大きな心理的インパクトをもたらし、原油価格の高騰に結び付く可能性がある。

図8-7 | イランを中心とする「抵抗の枢軸」とイスラエル



出所: 坂梨祥(2024)「イランによる対イスラエル攻撃の背景と影響」中東研究センター緊急情勢分析報告会資料を元に作成

実際には、中東地域はこれまでもその地政学的リスクの高さが指摘されながら、エネルギー供給自体は安定的に行われてきた。しかし過去がそうであったからと言って今後も中東地域からのエネルギー供給が安定的である保証はない。脱炭素化に関する関心が高まる一方で、日本の化石燃料への依存度やその中東依存度は依然として高水準にある。中東地域における今後の動向については引き続き高い関心度をもって見てゆく必要がある。

⁵⁸ Nikkei Asia. (2024, January 31). "Iran's oil exports reach 5-year high, with China as top buyer." <https://asia.nikkei.com/Business/Markets/Commodities/Iran-s-oil-exports-reach-5-year-high-with-China-as-top-buyer>. (2024年9月20日アクセス)

⁵⁹ Energy Institute. (2024). Statistical Review of World Energy. <https://www.energyinst.org/statistical-review>. (2024年9月20日アクセス)

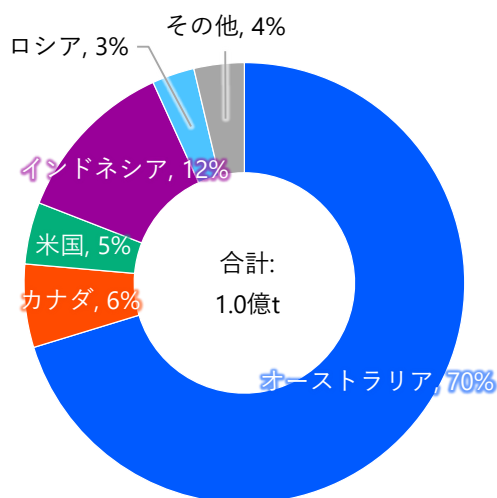
先進国の政策変更リスク

エネルギー安全保障における地政学的リスクを「政治的な要因によって実際のエネルギー供給やその価格水準に大きな影響を及ぼすリスク」と定義すれば、そのリスク事象は必ずしも新興国や途上国だけではなく、先進国においても発生しうる。ただ先進国で発生する地政学的リスクは、新興国や途上国で発生するような武力衝突によるものではなく、政府の政策変更、特に過度に脱炭素化策を進めることによるエネルギー資源の生産や輸出への影響という形で表出される可能性がある。

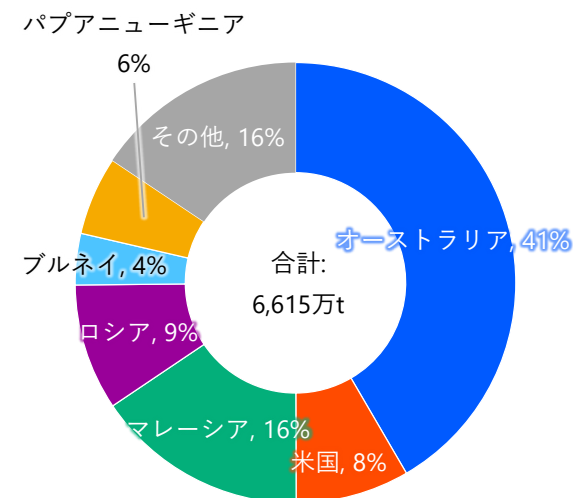
日本がエネルギー資源を輸入している相手は新興国や途上国が中心であると思われるが、例えば石炭は2023年の実績で70%がオーストラリア、6%がカナダ、5%が米国からの輸入である。LNGは、同じく2023年の実績で、42%がオーストラリア、8%が米国となっており、先進国は日本のエネルギー供給源としても非常に重要な位置を占めている(図8-8)。これらの先進国においては、これまで国内の資源開発や輸出に関する政策に大きな方針転換が起きることは少なかった。しかし最近では、国内における気候変動対策やエネルギー安全保障対策への関心が高まることで、国内の資源開発に対しても厳しい目が向けられ、その生産活動やひいては輸出の将来に不確実性を高めかねない政策がとられる事態が実際に起きている。

図8-8 | 日本の一般炭、LNGの輸入源[2023年]

石炭(一般炭)



LNG



出所: 日本エネルギー経済研究所 EDMC Databank

例えば、米国のバイデン政権は、2024年1月、非自由貿易協定(FTA)締結国向けの新規LNG輸出認可申請の審査と承認を一時停止することを発表した⁶⁰。この決定は、バイデン政権が世界的な気候危機への対応策の一環として実施したものであり、バイデン大統領が来るべき11月における大統領選挙に向けて気候変動問題を重視する姿勢を明確にするために導入したと見られている⁶¹。バイデン政権は、今回の一時停止は日本や欧州など米国の同盟国に対するLNG供給に影響を及ぼすことはないとしている⁶²。しかし、今後日本や欧州において、仮に現在計画されているような脱炭素化が進まなかった場合には、その代替エネルギー源として想定以上のLNG需要が追加的に発生する可能性は非常に高い。すでに世界最大のLNG輸出国になった米国における新規輸出許可審査の一時停止は、将来のLNG市場の安定化にとっての課題となることが懸念される。

オーストラリアにおいても、2022年10月、連邦政府は、国内の天然ガス需給を安定的に保つための制度である国内長期ガスセキュリティメカニズム(Australian Domestic Gas Security Mechanism: ADGSM)の改正を行った⁶³。この制度は2017年に導入されたもので、あらかじめ国内のガス需給がひっ迫することが予想されるときには、顧客によってコミットされていないガス輸出をオーストラリア政府が制限できるようにしたものである。今回の改正では、政府が需給ひっ迫の可能性をモニタリングする頻度が年1回から四半期に1回へと上げられた。過去、この制度において実際にガスの輸出制限が実行に移されたことはないものの、オーストラリアは日本にとって最大のLNG調達源であり、今後その政策の運用状況については十分な情報収集が必要である。またオーストラリア政府は、2023年7月に、セーフガード・メカニズムと呼ばれる温室効果ガス排出削減制度の改正を行った。この改正では、2050年のネットゼロ実現を目的として、ベースラインと呼ばれる排出上限値を引き下げた。

⁶⁰ The White House. (2024). "Statement from President Joe Biden on Decision to Pause Pending Approvals of Liquefied Natural Gas Exports." <https://www.whitehouse.gov/briefing-room/statements-releases/2024/01/26/statement-from-president-joe-biden-on-decision-to-pause-pending-approvals-of-liquefied-natural-gas-exports/> (2024年9月20日アクセス)

⁶¹ その後、バイデン大統領は2024年7月、同年11月大統領選挙には出馬しないことを発表し、民主党からの大統領候補は現副大統領のカマラ・ハリス氏となった。

⁶² The White House. (2024). "FACT SHEET: Biden-Harris Administration Announces Temporary Pause on Pending Approvals of Liquefied Natural Gas Exports" <https://www.whitehouse.gov/briefing-room/statements-releases/2024/01/26/fact-sheet-biden-harris-administration-announces-temporary-pause-on-pending-approvals-of-liquefied-natural-gas-exports/> (2024年9月20日アクセス)

⁶³ The Hon Madeleine King MP Minister for Resources and Minister for Northern Australia. (2022). "Improving energy security, reliability and affordability" <https://www.minister.industry.gov.au/ministers/king/media-releases/improving-energy-security-reliability-and-affordability> (2024年9月25日アクセス)

その中ではLNG液化施設や石炭生産施設を含む指定大規模排出源は、温室効果ガス(GHG)排出量を同月から毎年4.9%ずつ削減することを義務付けられている。また新規のLNG液化施設に対しては、操業開始時点からネットゼロ排出での生産活動を行うことが要求されている⁶⁴。この新たな制度も、資源生産事業者にとって追加的な負担となり、日本にとっては調達コストの上昇につながる可能性がある。

また、現時点ではまだ商業的なプロジェクトは存在していないものの、米国やオーストラリアなどでは、低炭素水素やアンモニアを製造し日本に輸入する計画が、多くの日本企業によって検討されている。仮に厳格な気候変動対策の観点から天然ガスを原料とするいわゆるブルー水素のプロジェクトを制限するような政策が導入された場合、日本の低炭素水素を活用した脱炭素化にも影響が及ぶ可能性がある。さらに、今後、日本で発生した二酸化炭素(CO₂)を回収してこれらの国々に輸送して地下に貯留する二酸化炭素回収・貯留(CCS)プロジェクトが実現した場合でも、プロジェクトの途中でそうした海外からのCO₂の受け入れに対する政策方針が変わることがあれば、日本のCCS事業にとっても大きな支障が生じる可能性がある。

すでに米国やオーストラリアにおいて見られている上記のような政策変更は、いずれもそれぞれの国において、政策的な必要性に迫られて実施されたものではある。しかし、LNGなどのエネルギー生産プロジェクトや水素・CCSなどの脱炭素化プロジェクトは巨額の資本支出が必要であり、プロジェクトの実施に対する長期的なコミットメントが必要となるため、政府の政策がその時々政権によって変更される可能性は、最終的な投資決定に対しても悪影響を及ぼす。今後先進国において、気候変動政策は、数ある政策アジェンダの中でも主要な政治的争点の1つとして位置づけられる可能性が高く、その時々政権によって国内のエネルギー・気候変動政策が大きく変更されるシナリオも十分考えられる。今後は、そうした先進国における政策変更も、資源調達における不確定要因の1つとして認識しておくべきである。

8.3 電力供給不安定化のリスク

電力安定供給の意義

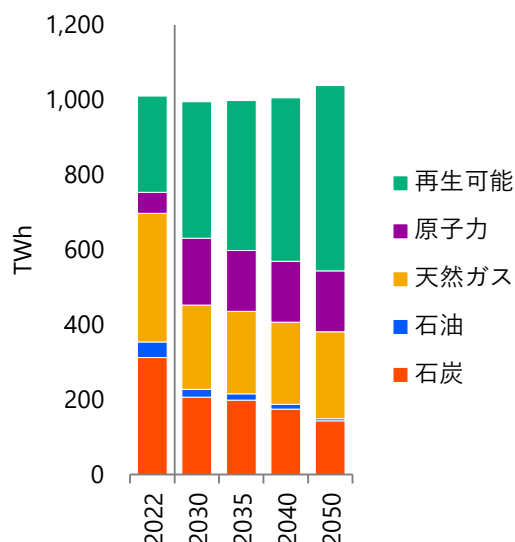
電力安定供給は、現代の生活と企業活動において欠かせない要素となっている。特に、デジタル化と需要の電力化(以下、電化と呼ぶ)が急速に進む現在、社会全体の電力依存度は飛躍

⁶⁴ Australian Government Department of Climate Change, Energy, the Environment and Water. (2024). "Safeguard Mechanism." <https://www.dcceew.gov.au/sites/default/files/documents/safeguard-mechanism-reforms-factsheet-2023.pdf> (2024年9月26日アクセス)

的に高まっている。電気自動車の普及、データセンターの拡大など、電化が進む中で、安定した電力供給が確保されなければ、通信や交通、製造業など多岐にわたる分野で大きな混乱を招く。

図8-9 | 日本の電力需給[技術進展シナリオ]

発電電力量



業務部門電力消費

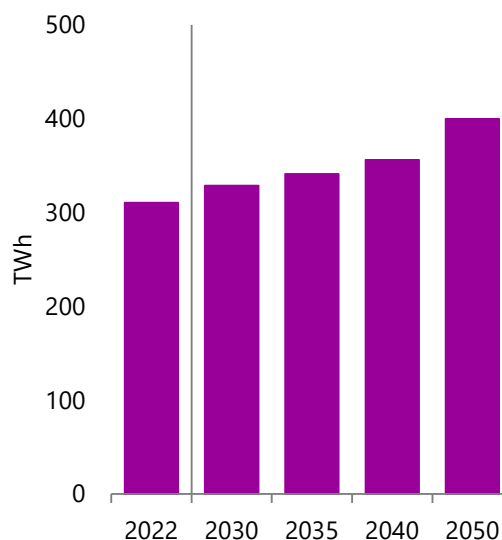
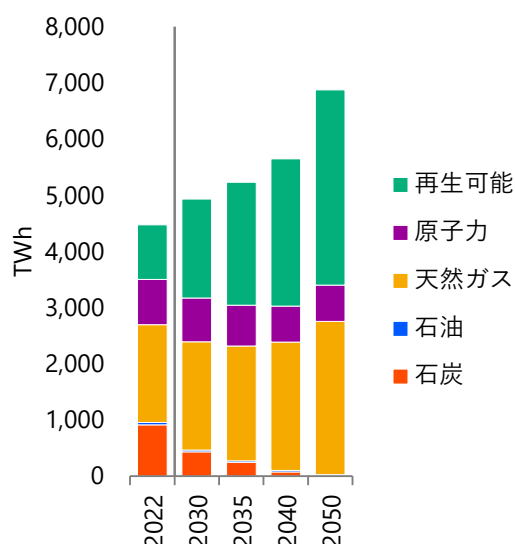
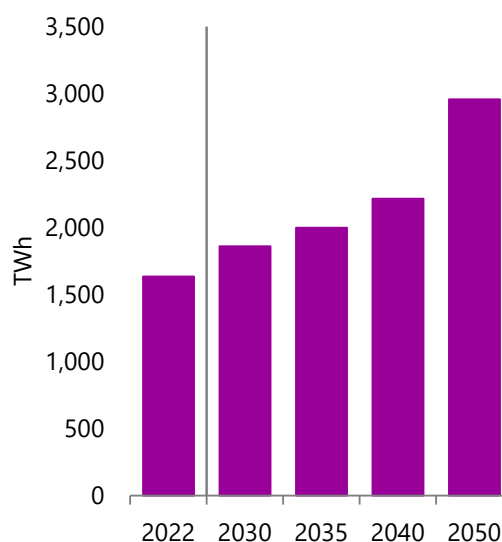


図8-10 | 米国の電力需給[技術進展シナリオ]

発電電力量



業務部門電力消費



さらに、カーボンニュートラルへの移行に向け、再生可能エネルギー電源の導入が進んでいるが、太陽光や風力など自然変動型の再生可能エネルギー電源は、天候や季節によって発電

出力が変動する特性を持つ。このため、再生可能エネルギー電源の拡大にともない、火力電源や原子力電源、蓄電池など、安定供給を支える調整力のある電源の重要性がますます増している。電力供給の信頼性を高めるためには、電源の多様性を確保し、短期的にも長期的にも需要と供給のバランスを取ってゆくことが求められる。

電力安定供給に係るリスク

電力安定供給を維持するうえで、さまざまなリスクが存在する。これらのリスクの中には、予測が難しい「ブラックスワン」的な事象も含まれる。例えば、「宇宙天候リスク」「未曾有の自然災害リスク」「電磁パルス障害リスク」などが挙げられる。宇宙天候リスクとは、強力な太陽フレアや磁気嵐が発生した場合、地球の磁場が乱れ、電力系統に深刻な影響を及ぼすリスクである。また、未曾有の自然災害リスクとは、想定外の大規模な自然災害が発生し、複数の電源や送配電系統等が同時に被災するようリスクである。さらに、電磁パルス障害リスクとは、核爆発や電磁パルス攻撃の際に広範囲で電子機器や電力インフラストラクチャーが機能不全に陥るようリスクである。このようなブラックスワン的な事象については、今回は考慮に加えない。ここでは、ある程度予見可能であり、かつ影響が大きいリスクに焦点を当てたい。

まず、「電力供給」に係るリスクとしては、主に、「化石燃料の供給減少リスク」「化石燃料の価格変動リスク」「地政学的リスク」「再生可能エネルギー電源の出力変動リスク」等が考えられる。化石燃料は発電の主要なエネルギー源であるが、供給国における生産減少や国際的な需要増加により、供給がひっ迫し、価格が急騰するリスクが存在する。また、日本のような化石燃料輸入国は、エネルギー資源の大部分を海外に依存しているため、供給国の政治的・政策的不安定や紛争、輸送ルートの遮断が直接的に電力供給に影響を与える可能性が高い。さらに、太陽光や風力発電は天候や季節に依存しており、これにより発電量が不安定になるリスクがある。この変動は需要と無関係に発生するため、電力供給全体に影響を及ぼす可能性がある。

次に、「電力需要」に係るリスクとしては、主に「電力需要の増加リスク」「電力需要施設の偏在化リスク」等が考えられる。社会の電化が進む中、電気自動車の普及やデータセンターの増設などにより、電力需要は増加する可能性が高い。この増加が供給力を上回ると、需給バランスが崩れ、電力不足が発生するリスクがある。特に、都市部や産業集積地域での急激な需要増加は、電力インフラに大きな負担をもたらす。また、特定の地域や特定の時期に需要が集中することで、電力需要施設が偏在化する可能性がある。例えば、夏季や冬季にはエアコンディショナーや暖房機器の使用が集中し、一部地域での需要ピークが極端に高まるこ

とがある。このような偏在化により、特定の地域や時期における電力供給がひっ迫し、全体の電力需給に影響を与えるリスクがある。

電力安定供給に係るリスクへの対応

電力供給に係るリスクに対しては、火力燃料調達やベースロード電源の確保が重要である。短期的には天然ガス火力発電への依存が高まる可能性があり、燃料の安定的な調達が求められる。しかし、我が国は資源が限られていることから天然ガスの輸入依存度が高く、地政学的リスクや供給国の政治状況、輸送インフラの状況による燃料価格の変動や供給途絶のリスクが存在する。このため、需要施設が発電事業者と火力発電を対象とした長期電力購入契約(PPA)を締結する際には、長期的な燃料調達に関する内容をPPAに盛り込むことも一案である。また、燃料調達のリスクを緩和し、カーボンニュートラルを達成する観点から、長期的にはベースロード電源である水力や地熱、バイオマスといったベースロード利用が可能な再生可能エネルギー電源の開発を促進し、最近話題となっている小型モジュール炉(SMR)などの原子力発電の導入も検討することが重要である。加えて、再生可能エネルギー電源の出力変動リスクに対しては、蓄電池や揚水発電などのエネルギー貯蔵技術を導入し、出力変動を平準化する対策が必要である。

電力需要の増加リスクに対しては、電力需要の急増に対応するための供給力の確保が重要である。容量市場は一定の効果が期待されるが、これだけでは十分とは言えない。日本で導入されている長期脱炭素電源オークションのような電源の新設を促進する制度を導入し、また非常時に追加的な供給力を確保する観点から、休止中の電源を予備電源として維持する制度を設けることが必要である。さらに、緊急時や需給ひっ迫時に備え、需要施設がバックアップ電源を所有し、需要反応(DR)リソースとして自主的に活用するためのベストプラクティスを共有し、広く活用を促進することが重要である。また、需要施設が系統接続を行う際に、発電事業者との間で長期電力購入契約(PPA)を締結している場合、優先的に系統接続を許可する措置を検討し、安定した電力供給を確保する体制を構築することも考えられる。

電力需要施設の偏在化リスクに対しては、電力系統の最適化が必要である。需要施設を電源に近接した場所に立地する、または十分な送電容量が存在する場所に立地できるように、送配電事業者と需要施設が調整を進めることが重要である。例えば、送電事業者が送電容量等のデータを適宜公開し、需要施設の設置を推奨するウェルカムゾーンを明示することで、需要の偏在化を防ぐことができる。他方、送電容量が不足している地点への接続においては、系統増強コストを負担するような需要施設が優先的に接続を行う仕組みも考えられる。さらに、系統増強を避けるため、電源から直接電力供給を受ける共立地負荷(Co-located Load)

の促進や、送電容量拡大に向けたダイナミック・ライン・レーティング(気象条件等に応じて送電線容量を動的に最適化)の活用も重要である。

このように、現代社会において、電力安定供給は不可欠であり、デジタル化や電化の進展にともない、その重要性はますます高まっている。電気自動車やデータセンターの拡大により電力需要が増加する一方、再生可能エネルギー電源の導入も進んでいるが、自然変動型の再生可能エネルギー電源は発電出力が不安定である。そのため、火力発電や原子力、蓄電池など安定した電力供給を支える調整力のある電源が必要となる。電力供給のリスクとして、化石燃料の供給減少や輸入依存、再生可能エネルギー電源の出力変動が挙げられ、これに対処するためには、燃料調達の安定確保や地熱・原子力電源の導入が重要である。また、電力需要の急増や偏在化リスクに対応するため、電源の新設や予備電源の活用、系統最適化が求められる。これにより、需給バランスを保ちながら電力安定供給を維持することが可能となる。

表8-1 | 電力安定供給に係るリスクとその課題・対策

リスク	課題	対策
化石燃料の供給減少リスク 化石燃料の価格変動リスク 地政学的リスク	火力燃料調達やベースロード 電源の確保等	発電事業者と需要家との間の PPA締結時の長期燃料調達の 付記
再生可能エネルギー電源の出 力変動リスク		需要施設による原子力や地熱 等の安定電源の調達
電力需要の増加リスク	供給力の確保	電源新設の支援制度の導入 需要施設側でのバックアップ 発電設備の保有
電力需要施設の偏在化リスク	電力系統の最適化	需要施設の電源近接立地 需要施設へのウェルカムゾー ンの公表 送電線のダイナミック・ライ ン・レーティング

8.4 重要鉱物供給のリスク

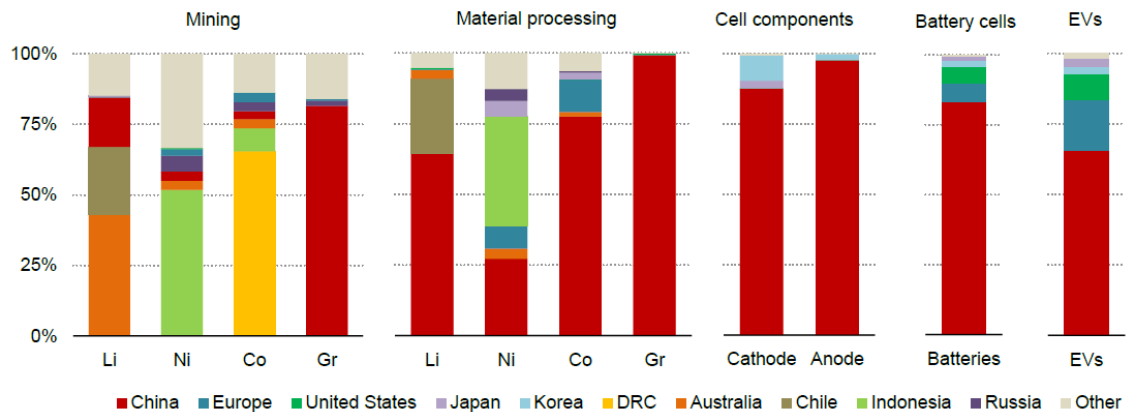
クリーンエネルギーのリスク

脱炭素の基本戦略は、徹底的な省エネルギーを前提として、需要をなるべく電気に置き換え(電力化)、そのうえで再生可能エネルギーや原子力など脱炭素エネルギーで電力を供給する

ことである。こうした変化は同時に、日本の自給率向上をもたらす。石油危機以降、エネルギー安全保障は日本のエネルギー政策の根幹を成してきた。化石燃料の輸入依存低減は積年の悲願であり、脱炭素はエネルギー安全保障の強化という観点でも絶好の機会といえる。

一方で、近年は新たな安全保障問題が頻繁に議論されるようになってきている。クリーン技術とそれを製造するために必要な鉱物資源(重要鉱物)の地政学リスクである。一例として、図8-11電気自動車用蓄電池のサプライチェーンの国別シェアを示す。リチウムイオン電池の製造には、リチウムの他に正極材としてコバルトやニッケル、負極材としてグラファイトが用いられることが多い。鉱物生産国(Mining)の状況を見ると、オーストラリアやインドネシア、コンゴ民主共和国(DRC)、中国のシェアがおよそ半分かそれ以上あることが分かる。ちなみに原油生産では、世界最大の原油生産国米国でも約20%、それに次ぐサウジアラビアやロシアは約10%でしかない。これと比較すると、蓄電池に必要な鉱物資源の生産国が大きく偏っていることが良く分かるだろう。生産国の集中度がさらに高いのが鉱物の精製や半製品を製造する段階(Material processing)である。特にリチウム、コバルト、グラファイトでは中国のシェアがさらに大きくなっている。精製した鉱物を使って製造する正極(Cathode)や負極(Anode)、蓄電池のセル(Battery cells)ではさらに集中が進み、世界の製造能力の90%前後が中国にある。

図8-11 | 電気自動車用蓄電池サプライチェーンの国別シェア



注: Li = lithium, Ni = nickel, Co = cobalt, Gr = graphite, DRC = Democratic Republic of the Congo

出所: IEA (2024) "Global Critical Minerals Outlook 2024"

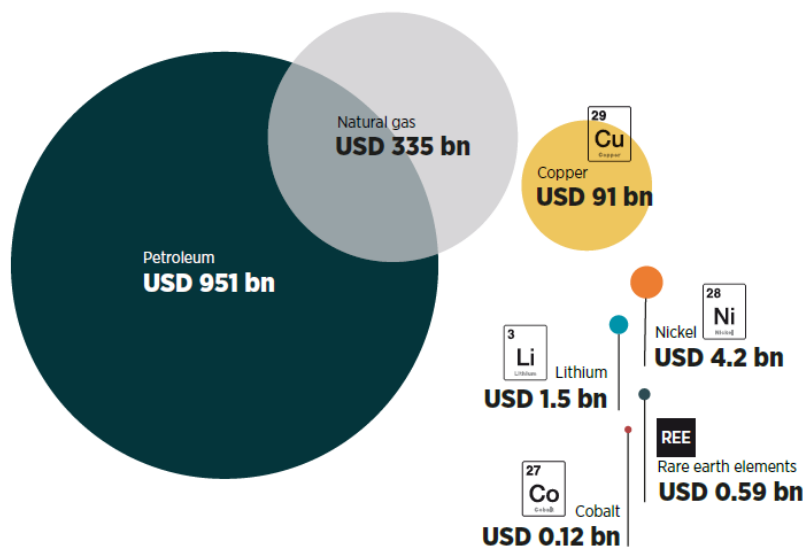
蓄電池のみならず、太陽光発電や風力発電に関連する製造能力も、巨大な国内市場と高い価格競争力を背景として中国がそれぞれおよそ80%と60%を持つ(IEA, 2023)。すなわち、太陽光発電、風力発電、蓄電池、電気自動車に頼った脱炭素化は、特定の国への依存の高まりを意味するのである。輸入相手国の集中がリスクとなることは歴史が証明している。例えば重要鉱物を巡っては、日本は中国との間で苦い経験がある。2011年に尖閣諸島を巡る騒動を契機に、中国は日本向けのレアアース輸出を停止したのである。当時日本はレアアース供給の

およそ80%を中国に頼っていたため、これを必要とする産業では大きな混乱が起きた。また近年は、鉱物資源の重要性を認識した資源国は国家による資源の管理を強化する傾向にある。そして、ひとたび紛争が起これば資源を持つ国はそれを武器として利用する可能性のあることは、石油危機のみならずロシア-ウクライナ戦争からも明らかである。現在のところは幸いにも供給支障に至るような事態は生じていないものの、その危険性があること、そして発生した場合は大きな影響が生じる得ることは認識しておかなければならない。

重要鉱物安定供給の課題

こうしたリスクの存在を前に、日本を含む諸国では重要鉱物サプライチェーンの多角化を目指している。鉱物の生産や精製、部品製造の拠点を自国で、それが困難な場合には既存の供給国とは異なる国で構築しようとするものである。しかしサプライチェーンの多角化は容易でない。困難の背景にある第一の要因として、市場の未熟さを挙げることができる。重要鉱物の市場規模はエネルギーのそれと比較して非常に小さい(図8-12)。取引への参加者や取引量が少ないことから取引の機会そのものが少ないことに加え、需給の不一致やそれにとまなう価格の変動が起りやすい環境にある。

図8-12 | 代表的な資源の輸出額[2021年]



Source: (UN COMTRADE database).

Note: Numbers represent trade in raw, unprocessed fuels and ores only.

出所: IRENA (2023) "Geopolitics of energy transition, Critical Minerals"

第二に、先進諸国の開発意欲が急速かつ同時に高まったことで、資源の奪い合いが起りやすい状態になっている。このことが、需給や価格の不安定さを増す要因となる。

第三に、特に精製過程におけるエネルギー多消費と高い環境負荷である。精製では熱や酸による鉱石の熔融や分解、電解による抽出を行うことで必要な鉱物を取り出すが、この過程で

大量のエネルギーを消費する。また、有害物質を含む残渣が発生するため、その処理を誤ると容易に環境破壊や健康被害を起こす。エネルギー多消費であることと高度な環境対策を要することが、特に先進国で鉱物精製を行ううえで大きな経済的障壁となる。

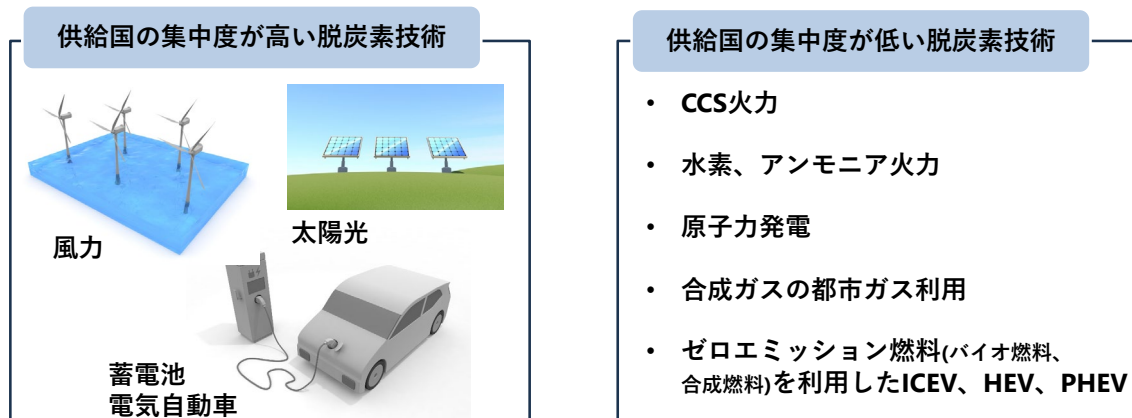
第四に、クリーン技術の将来見通しの不確実性と資源開発の長いリードタイムである。例えば蓄電池の正極材では、ここ5年程度でも材料が大きく変化しており、コバルトやニッケルを使わないものも普及しつつある。さまざまな技術開発が進行中であり、例えば10年程度の時間軸であっても重要鉱物の定義そのものを変えかねない。これに対して鉱物資源の開発には10年か場合によってはそれ以上の長いリードタイムを要し、このことが民間企業による投資決定を難しくしている。

こうした課題を乗り越えて安定供給を実現するには、長期にわたる政策の一貫性と、需要と供給が歩調を合わせて開発を進めることが必要である。長期的な戦略のもとで、売主と買主が双方にコミットしあうことで投資リスクを軽減するのである。

リスクを踏まえた技術のミックス

技術のミックスによっても、クリーン技術のリスクを緩和することができる。太陽光や風力、蓄電池、電気自動車は特定の国への依存が高い一方、ボイラーやガスタービン、内燃機関、原子力技術は供給国が相対的に分散しており、むしろ日本企業が高い国際競争力を持っている例も多い。ボイラーやガスタービン、内燃機関は、水素やアンモニア、各種合成燃料・ガス、バイオマスを燃料にすることで脱炭素利用が可能である。また、火力発電や産業用の大型燃焼設備であれば二酸化炭素回収(CCS)を備えることでクリーンに利用することができる。このように、クリーン技術には供給国の集中度が小さいものもあり、これを適切に組み合わせることによって、エネルギーシステム全体として技術供給国寡占のリスクを緩和することができる(図8-13)。

図8-13 | 技術によって異なる供給国の集中度



注: ICEV = internal combustion engine vehicle, HEV = hybrid vehicle, PHEV = plug-in hybrid vehicle

8.5 エネルギー転換にともなうサイバー攻撃リスクの増大

エネルギー供給関連施設に対するサイバー攻撃も新たなエネルギー安全保障上のリスクの1つとなっている。エネルギー関連施設に対するサイバー攻撃はこれまでも行われており、実際のエネルギー供給が途絶した事象も起きている。今後エネルギー転換にともなう電化やデジタル化が進んでゆくことによって、エネルギー供給におけるサイバー攻撃の潜在的なリスク要因としての重大性が高まってゆくことが予想される。さらに、サイバー攻撃と地政学リスクとの関りも見逃せず、エネルギー供給への脅威という形での武器化の可能性にも留意する必要がある。本項では、そうしたエネルギー転換とサイバー攻撃との関係や、今後の想定されるサイバー攻撃のパターンについて述べる。

サイバー攻撃とは

サイバー攻撃とは、一般に外部からのアクセスによってデジタル上の情報や情報システムの秘匿性および利用可能性が損なわれる事象を指し、サイバーセキュリティとは、情報ネットワークやインフラの利用可能性や情報の秘匿性を担保することで、サイバー攻撃を回避したり防御したりする能力を指す⁶⁵。サイバー攻撃は、その実施主体や目的、攻撃対象の範囲が即座には分からないという特徴を持つ。仮に自身の資産がサイバー攻撃の対象になっていることが判明したとしても、攻撃を受ける側からすると、誰が何の目的をもって攻撃を行っているのかが分からないケースが多い。また自社のネットワークへの侵入があったとしても、それがいつ起きたのかも分からず、知らないうちに攻撃の対象が拡大していたというケースも存在する。特に、サイバー攻撃は、いつどのような形で何に対して攻撃を受けるのかを事前に知ることは非常に難しく、サイバー攻撃を完全に防御することはほぼ不可能であるといわれる所以である。

サイバー攻撃には、大きく分けて、ランサムウェアなどを介して、攻撃対象から個人情報などのデータを入手したり、攻撃対象のシステムの稼働を停止させたりすることで、相手から「身代金」を取得することを目的としたものと、攻撃対象の経済活動そのものに損害を及ぼしたり経済活動を停止させたりすることを目的としたものとに分けられる。前者は、主に企業を対象に行われるものであり、日本でも最近は大手メディア企業がその被害にあったことが大きな話題となった。エネルギー安全保障という観点では、そうした「身代金」型の攻撃というよりは、むしろ後者の攻撃対象の経済活動を阻害することを目的として行われる攻撃の方がより重要のように見えるかもしれない。しかし後述するとおり、ランサムウェア攻

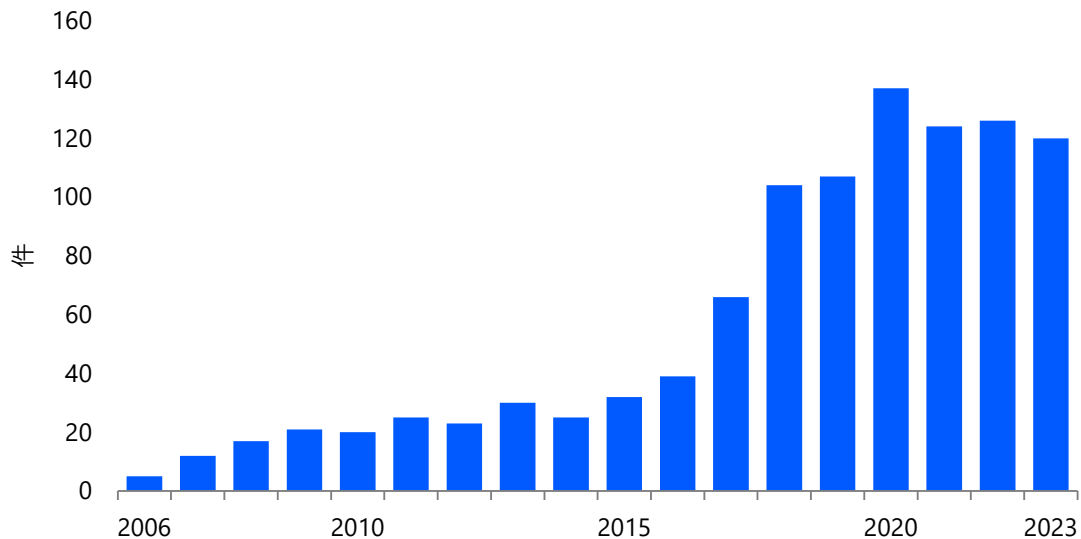
⁶⁵ International Energy Agency. (2021). *Enhancing Cyber Resilience in Electricity Systems*. p. 8.

撃を受けたことに対し予防措置的にエネルギー供給インフラの稼働を停止する可能性もあるため、双方のタイプの攻撃ともエネルギー安全保障上の脅威になりうる。

エネルギー供給施設に対するサイバー攻撃

エネルギー関連資産に対するサイバー攻撃のリスク自体は、すでに述べたとおり、必ずしも新しいリスクではない。しかし2010年代の後半以降、重大なサイバー攻撃の事象が大きく増加し(図8-14)、事例も多く報告されるようになってきている。例えば、2022年4月には、ドイツの風力発電事業者数社がサイバー攻撃を受け、発電施設に対する遠隔操作機能を喪失するという事態が発生している。2022年8月には、イタリアのエネルギー企業(GSE)がサイバー攻撃を受け、社内システムへのアクセスがブロックされ、同社ホームページへのアクセスが1週間停止された。また2024年3月には、インドの政府とエネルギー企業がインド空軍からのメールを模したマルウェアによる攻撃を受けている。エネルギー供給施設への攻撃は、もし成功すればそのもたらす影響が大きいため、サイバー攻撃をしかける側としては、非常に「効率的」であり「価値の高い」攻撃対象とみなされている。

図8-14 | 世界の重大サイバー攻撃事象数



注: 重大なサイバー攻撃事象とは、政府、防衛、ハイテク部門を対象としているか被害額が100万ドルを超える攻撃を指す。

出所: International Energy Agency. (2021). "Cyber Resilience." Center for Strategic and International Studies. (2024). "Significant Cyber Incidents." を元に作成

エネルギー供給施設を対象としたサイバー攻撃の中でもよく知られている最近の事例が、2021年に発生した米国のパイプライン会社であるColonial Pipeline社に対するサイバー攻撃である。同社は、米国のメキシコ湾岸から北東部まで石油製品を輸送するパイプラインを操業しており、その輸送能力は250万バレル/日と非常に大きく、米国東海岸の石油製品需要

の45%に相当する規模を有している。サイバー攻撃は2021年5月7日に、同社のネットワークに侵入した「Darkside」と呼ばれるランサムウェアによって100 GB近いデータが暗号化されたことを受け、同社は被害の特定とさらなる被害の拡大を予防するために自発的にパイプラインの稼働をすべて停止した⁶⁶。この攻撃によって、石油製品の販売ルートを絶たれたメキシコ湾岸の製油所も一部稼働停止を余儀なくされた。その後、パイプラインは5月12日から15日にかけて順次復旧されたものの、局所的には燃料不足に陥るガソリンスタンドが多く出た地域もあり、首都ワシントンDCでは、7割のガソリンスタンドが一時燃料不足に陥った⁶⁷（なお末端の製品価格への影響は、主要製品であるガソリン需要がさほど大きくないシーズンであったこと、比較的早期にパイプラインの操業が再開されたこともあり、限られたものであった⁶⁸）。

もう1つの有名な事例が、2015年に行われたウクライナの電力網に対するサイバー攻撃である。2015年12月23日、ウクライナ西部における配電事業者3社がほぼ同時間帯に大量アクセスによる攻撃を受け、変電所の操業が停止に追い込まれた。これによって、ウクライナ国内22万5,000人に対する電力供給が最大6時間にわたって喪失した。年末の寒冷期におけるサイバー攻撃であったこと、またクリスマス休暇の直前に攻撃が行われたこともあり、ウクライナ市民の生活に非常に大きな影響を及ぼした。なお、ウクライナにおいては、この攻撃だけではなく、2014年のロシアによるクリミア併合以来、ロシアによるものとされるさまざまな種類のサイバー攻撃が断続的になされており、その状況は今日まで続いている⁶⁹。2017年6月には、NotPetyaと呼ばれるマルウェアによってチェルブイリ原子力発電所が攻撃を受け、同発電所や公的機関などのコンピューター13,000基のファイルが破壊され、復旧ができ

⁶⁶ 実際の攻撃を受けたのは同社の支払請求システムでありパイプラインの操業システムではなかったが、同社は攻撃対象を特定するために予防的にパイプラインの稼働を停止した。

⁶⁷ Kevin Schaul, Tim Meko and Dylan Moriarty. (2021). "Map of dry gas stations impacted by cyberattack," *The Washington Post*. https://www.washingtonpost.com/business/interactive/2021/map-gas-shortages/?itid=lb_colonial-pipeline-hack-what-you-need-to-know_8. (2024年9月21日アクセス)

⁶⁸ 米国東海岸地域(PADD-I)における域内ガソリン価格の平均値は2021年3月3日から同17日にかけて、1ガロン当たり2.86ドルから\$3.02/galへ\$0.16/gal (約6%)の上昇にとどまった。The United States Energy Information Administration. (2024). "Weekly Retail Gasoline and Diesel Prices." https://www.eia.gov/dnav/pet/pet_pri_gnd_dcus_r10_w.htm (2024年9月21日アクセス)

⁶⁹ Stéphane Duguin and Pavlina Pavlova. (2023). "The role of cyber in the Russian war against Ukraine: Its impact and the consequences for the future of armed conflict." European Parliament's Subcommittee on Security and Defence (SEDE). [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2023/702594/EXPO_BRI\(2023\)702594_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2023/702594/EXPO_BRI(2023)702594_EN.pdf) (2024年9月26日アクセス)

ない状態となった⁷⁰。また、2022年2月24日のロシアによるウクライナ侵攻が始まる1時間前には、ウクライナにおける衛星通信網に対するサイバー攻撃が行われており、軍事的なオペレーションを手助けする目的で、実際の軍事作戦と連動したサイバー攻撃も行われるようになってきている⁷¹。エネルギー転換にともなうサイバー攻撃リスクの増大

こうしたサイバー攻撃を受けるリスクは、エネルギー転換の進展とともにエネルギーの供給・貯蔵・利用の各部門においてさらに高まってゆく⁷²。まず、エネルギーの供給部門においては、エネルギー転換が進むとともに、これまでのような独占的なエネルギー供給事業者が集中的にエネルギー供給を行う体制から、より多様な事業者がエネルギー供給事業に参入する体制へと移行してゆくことが予想される。その結果、サイバー攻撃を受けるおそれのある事業者の数が増えてゆくこととなり、エネルギー供給事業をサイバー攻撃から防御することがより難しくなる。

また、エネルギー供給部門において、施設の操業管理を行うシステムの情報技術 (Information Technologies: IT) 化が進むこともサイバー攻撃のリスクを高めることになる。今後導入される再生可能エネルギーなどの発電施設においては、監視制御・データ収集 (Surveillance Control and Data Aggregation: SCADA) システムと呼ばれるシステムが導入され、インターネットによるネットワークを介して大量のデータを集約し、全体の操業を管理するシステムが採用されてゆく可能性が高い。これは、こうしたシステムを活用することで、例えば変動性の高い再生可能エネルギーによる電力供給を安定的に行うために、天気予報の情報や需要サイドの情報も踏まえながら発電所の操業を最適化してゆくことが可能となるためである。このような従来の操業管理系の技術 (Operational Technologies: OT) が IT

⁷⁰ European Parliamentary Research Services. (2022). “Briefing: Russia’s war on Ukraine: Timeline of cyber-attacks.”

[https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2022/733549/EPRS_BRI\(2022\)733549_EN.pdf#:~:text=Ukraine%20has%20been%20a%20permanent%20target%20of%20Russian%20cyber-attacks%20since](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2022/733549/EPRS_BRI(2022)733549_EN.pdf#:~:text=Ukraine%20has%20been%20a%20permanent%20target%20of%20Russian%20cyber-attacks%20since) (2024年9月21日アクセス)

⁷¹ Council of the European Union. (2022). “Russian cyber operations against Ukraine: Declaration by the High Representative on behalf of the European Union.”

<https://www.consilium.europa.eu/en/press/press-releases/2022/05/10/russian-cyber-operations-against-ukraine-declaration-by-the-high-representative-on-behalf-of-the-european-union/#:~:text=The%20EU%20issued%20a%20declaration%20strongly%20condemning%20the%20malicious%20cyber> (2024年9月21日アクセス)

⁷² 本項目の記載は次のレポートを参照した。Sneha Dawda, Chamin Herath and Jamie MacColl. (2022). *Securing a Net-Zero Future: Cyber Risks to the Energy Transition*. <https://static.rusi.org/305-EI-Cyber-Risks.pdf> (2024年9月21日アクセス)

と融合することで、運転の効率化や最適化をさらに進めることができるようになる。しかしその一方で、こうしたシステムは、そのシステムの特長上、数多くのパーソナルコンピューター(PC)や計器などとのネットワーク接続に基づいて運用されるため、サイバー攻撃に対する脆弱性を高めるという側面を持つ。特に今後は、SCADAシステムの下で、運転の自動化技術の導入も進むと見られていることから、仮に何らかのサイバー攻撃を受けた場合、操業面での影響に対する制御がより難しくなっていくおそれがある。またこのようなシステムの運用においては、大量のデータが収集されることになるが、そのデータをオンライン上のクラウドサービスを用いて管理することになれば、そのクラウドへのネットワーク接続もサイバー攻撃の対象となる可能性がある。

エネルギーの貯蔵部門においても、電化と再生可能エネルギーの導入が進むにつれて蓄電池の利用が増えていくことが予想されるが、このこともサイバー攻撃のリスクを高める要因となる。エネルギー供給部門におけるSCADAシステムと同様、今後、蓄電池の充電や放電のオペレーションをリモートで管理するシステム(Battery Management System: BMS)の導入が進むことが予想される。そうした管理システムに対して外部からの侵入を許すことになれば、悪意を持って充放電を操ることができるようになり、安定的な電力供給への支障が生じるおそれが出てくる。

さらに、エネルギー利用部門においても同様のリスクが指摘できる。輸送部門においては、今後バッテリー電気自動車(EV)が普及していくことが確実視されているが、その普及はそのままサイバー攻撃の攻撃ポイントを増やす要因になりかねない。今後、路上を走るEVの多くはネットワークで相互に接続され、多様なサービスを車の中で受けられるようになることが期待されている。そうしたサービスは、人々の移動のあり方を大きく変え、利用者の効用を高める一方で、外部とのインターネット接続の下で実現するサービスでもあり、サイバー攻撃のリスクは増大する。また、ひとたびEV内のシステムへ侵入されると、EVを家庭の電力供給システムに接続して利用している場合には、家庭内のシステムにもそのサイバー攻撃の影響が及ぶ懸念もある。

エネルギーの利用部門においては、スマート住居や建物のモノのインターネット(IoT)化も同様に、サイバー攻撃のポイントを増やす結果となる。今後はエネルギーの効率的な利用を追求するために、住居内の電力使用や温度管理などの多様なデータの収集とエネルギー利用機器の制御を行うシステムが導入された建物が増えていくと見られているが、そうした建物におけるエネルギー管理も、上述のさまざまなシステムと同様に、ネットワークへの接続を前提としたものになると考えられるため、新たなサイバー攻撃の対象となる可能性がある。さらに、家庭部門や業務部門においては、すでに多くの国において普及が進んでいるス

スマートメーターについても、外部との通信機能を有していることから、サイバー攻撃の対象となる可能性がある⁷³。

想定されるサイバー攻撃のパターン

サイバー攻撃のパターンは多様であり、特定のシナリオを想定することは必ずしも容易ではない。しかし、過去発生したサイバー攻撃の事例を見ると、その攻撃の経路や手法、形態などについては、いくつかの代表的なパターンがあることが分かる。ここでは想定されるサイバー攻撃シナリオとして、そうした代表的なパターンを紹介する

パターン① マルウェアを介した遠隔操作

まずマルウェアを介した外部からの遠隔操作が挙げられる。マルウェア(malware)とは、malicious software (悪意を持ったソフトウェア)の略称であり、コンピューターやネットワークに損害を与えることを目的として作られたソフトウェアを指す。この攻撃パターンでは、まず攻撃者が何らかの方法において攻撃対象に対する外部からのアクセスを確立する。一般的に用いられるそうしたアクセスの確立方法は、攻撃対象の従業員などに対し関係者を装ったフィッシングメールを送付し、そのメールを受信した関係者がメールに添付されている特定のファイルを開けることで、攻撃対象のコンピューターを介してネットワークに入りこむというものである。その他には、攻撃対象内に侵入した関係者が、ユニバーサル・シリアル・バス(USB)メモリなどを介して攻撃対象のネットワークにウィルスを持ち込む、というパターンもある。さらには、攻撃対象に納入される機器の中にあらかじめ誤作動を起こすような装置やウィルスを埋め込んでおき、特定の時間が経過した後に時限的に作動させる、という方法もある。そうした方法を用いてアクセス経路を確保した後で、外部からの遠隔操作を行うことで、発電所の施設における計器の誤作動を誘引させたり、攻撃対象の資産の操業を停止させたり、といった攻撃を行う。具体的な事例としては、すでに述べた2015年にウクライナの発電事業者が受けた攻撃や、2022年にドイツの風力発電事業者が受けた攻撃などが挙げられる。なお、こうした攻撃は多様な主体によって行われるが、その目的から、国家主体が関与するサイバー攻撃主体によって行われることが多いとの見方もある。

パターン② マルウェアによるシステム機能不全

もう1つの攻撃パターンとしては、同じくマルウェアによって攻撃対象のシステムの機能不全を引き起こすというものが考えられる。これは、マルウェアを対象内部のシステムに送り込むところまでは遠隔操作のパターンと一緒にあるが、その後は単純にそのマルウェアを介

⁷³ マルク・エルスベルグ(猪股和夫、竹之内悦子 訳)『ブラックアウト』(2012年、角川書店)は、あくまでフィクションではあるが、電力供給ネットワークにおける上流(発電)と下流(メーター)への同時攻撃が行われた場合に起こりうる甚大な被害を描いた小説である。

して相手のシステムの機能を停止させるというものである。このパターンによる攻撃の具体的な事例としては、2022年のイタリアエネルギー庁への攻撃などがある。この事例では社内システムへのアクセスが不可能となり、同庁のホームページが1週間にわたりアクセスができないという事態に陥った。具体的な攻撃主体としては、多様な主体が考えられるが、パターン①と同様、国家主体が関与する組織によって行われることが多いとする見方もある。

パターン③ ランサムウェアによるデータ暗号化

三つ目の攻撃パターンとしては、いわゆるランサム(身代金)型といわれるものであり、攻撃側が対象側のシステム内に侵入し、そのシステム内のデータを暗号化させることで、攻撃対象に対し暗号解除と引き換えに身代金を要求するというものである。金銭を要求するのが主な目的であるため、必ずしもエネルギー関連施設の操業そのものに直接的に影響を及ぼすことを意図していない場合があるが、攻撃を受けた側がデータの漏洩を防ぐためにそのシステムの運用を自発的に停止したりする場合には、結果的にその攻撃を受けた事業者によるエネルギー供給に支障が生じることとなる。具体的な事例としては、上述の2020年に実施された米国の石油製品パイプライン会社であるColonial Pipeline社への攻撃がこのパターンに該当する。こうした攻撃を行う主体としては、営利目的の民間のサイバー攻撃集団であることが多い。

パターン④ DDoSによるシステムダウン

最後に、上記の3つのパターンは、攻撃対象内部のシステムへの侵入を行うことが前提となっているが、それ以外にもサイバー攻撃を仕掛けることは可能である。その1つが、攻撃対象に対し同時に大量にアクセスすることで、事業者のシステムの機能不全を狙うものである。これは、事業者に対する大量のアクセスを行うことでのシステムの稼働を停止に追い込むパターンもある。このような攻撃は、分散型サービス拒否攻撃(Distributed Denial of Service Attack: DDoS攻撃)と呼ばれ、2022年にリトアニアのエネルギー企業に対してこの攻撃が実施された事例がある。この攻撃は多様な主体によって行われるが、パターン①と②のように国家主体が関与して行われることもあると見られている。

これら4つの攻撃パターンはあくまでこれまで実際にエネルギー供給関連資産に対して行われたものであり、今後新たな攻撃パターンが生まれる可能性もある。また、ウクライナなどにおける状況を鑑みると、今後はサイバー攻撃と地政学的リスクとの関わりも見逃せず、サイバー攻撃が国家間の対立における一種の武器として用いられるケースも増えてくるおそれがある。この先、エネルギー関連資産に対するサイバー攻撃が増加してゆくことはほぼ確実と考えられるため、海外の事例も含めてその最新情勢をフォローしてゆく必要がある。

サイバー攻撃への対応策

多様なパターンが存在し、その目的や攻撃の対象範囲が即座には分からないサイバー攻撃に対し、完全な防御体制を敷くことは難しい。しかし、仮に攻撃を受けた場合には、その攻撃によるダメージを可能な限り抑制し、できるだけ早期の復旧を図るためにも、下記に述べるような対応策をとる必要がある⁷⁴。

サイバー攻撃への対応は、政府と企業が各々で対応すべきことを進めつつ、相互に連携を取り合いながら進めてゆかなければならない。まず、政府がとるべき対応策としては、制度面の整備が挙げられる。政府省庁、公的機関、民間企業など各主体が果たすべき責任の範囲を明確化し、対応が遅れている主体に対しては、その対応を促すような政策や制度を整える必要がある。また、各関係者が組織の枠を超えて、情報交換を始めとする協力を行えるような枠組みや「場」を提供するのも政府が果たすべき役割の1つであろう。さらに、リスク管理という観点では、自らの情報システムにおけるリスク特定とその管理を行うことはもちろんのこと、民間企業に対し、自社のサプライチェーンにおける脆弱性がどこにあるのか、具体的なサイバー攻撃のリスクとしてはどのようなものが考えられるのかといったリスクの洗い出しを行うことを促し、そうした洗い出しによって特定されたリスクに対し、恒常的にモニタリングを行うことを働きかけるのも政府の重要な役割である。その他には、国家情報部門(インテリジェンス部門)とも連携し、サイバー攻撃に関する情報収集やその対策を進めてゆくことも政府でなければできない対応策である。さらには、何らかのサイバー攻撃を受けることをあらかじめ想定し、公的サービスの提供への影響を最小化するための復旧計画やその手順を整理し、定期的な訓練を行っておくことも必要である。

一方、企業による対応策については、まず自社の事業やサプライチェーンにおけるリスクの洗い出しとその重要性の評価、自社の保有する資産の中でサイバー攻撃を受けうる資産の特定と仮に攻撃を受けた場合の影響度の評価を随時行っておく必要がある。また、いったん特定されたリスクや資産に対しては、その影響を最小化するためのリスク管理の手順や、実際に攻撃を受けた際の対応策に対する優先順位付けを始めとする対応手段について整理しておく必要がある。さらに、リスクの洗い出しの中で特定されたリスクや高い脆弱性を有する資産に対しては、恒常的にモニタリングを続ける必要があり、また実際に攻撃を受けた際に

⁷⁴ 本項目における記載は以下の資料を参照した。Ecofys. (2018). *Study on the Evaluation of Risks of Cyber-Incidents and on Costs of Preventing Cyber-Incidents in the Energy Sector*; IEA. (2021). *Enhancing Cyber Resilience in Electricity Systems*; World Energy Council (2022). *Cyber Challenges to the Energy Transition*; 経済産業省・独立行政法人情報処理推進機構(IPA) (2022)『サイバーセキュリティ体制構築・人材確保の手引き 第2版』

早期の復旧が可能となるような復旧計画の作成やそれに基づいた定期的な訓練を行っておくことも重要である。

この他、官民の連携の下で進めるべき対応策もある。まず挙げられるのが、サイバーセキュリティに関する認知度の向上である。上述のとおり、これまでエネルギー関連資産に対して行われたサイバー攻撃は、攻撃対象における関係者に対するマルウェアの送付によって引き起こされるケースが多い。マルウェアの送付形態についても、例えば政府組織に対する攻撃であれば、ほかの組織からのメールを模したものとなっているなど、年々巧妙になってきている。特に社会に対し重要な役割を果たすエネルギー供給に関連する組織においてはサイバーセキュリティに対する認知度や危機感を常に高めておく必要がある。また、サイバー攻撃を効果的に予防するために重要なのが情報の共有である。サイバー攻撃については、実際に受けた事業者が情報を開示しないケースもあると見られ、その情報の共有は必ずしも十分に行われているとはいえない。そうした情報には、第三者に共有できない内容が含まれていることがあるのがその理由であるが、可能な限り、サイバー攻撃に関する情報を官民で共有しておくことでその備えを強化することができる。サイバー攻撃に対する強靱性(レジリエンス)確保のための手法の開発も、官民が力を合わせることでさらに効果的にできるようになるし、各組織のサイバーセキュリティ担当者の能力開発も、それぞれが独自に行うよりは、官民が連携して実施することでより有効な対応策が可能となる。その中では、上述した情報の共有とも関連するが、過去の攻撃事例を広く共有し、その攻撃への対処から得られた教訓に基づいた学習や対応策の検討も、官民が力を合わせて実施すべき対応策の1つだろう。

付表

EDMCエネルギーデータバンクでは会員のみさまに
さらに豊富なデータをご提供しています。

付表1 | 地域区分

アジア	中国	
	香港	
	インド	
	日本	
	韓国	
	台湾	
	東南アジア諸国連合 (ASEAN)	ブルネイ
		カンボジア
		インドネシア
		ラオス
		マレーシア
		ミャンマー
		フィリピン
		シンガポール
	タイ	
	ベトナム	
その他アジア	バングラデシュ, 朝鮮民主主義人民共和国, モンゴル, ネパール, パキスタン, スリランカ, IEA統計におけるその他非OECDアジア	
北米	カナダ	
	米国	
中南米	ブラジル	
	チリ	
	メキシコ	

	その他中南米	アルゼンチン, ボリビア, コロンビア, コスタリカ, キューバ, キュラソー島, ドミニカ共和国, エクアドル, エルサルバドル, グアテマラ, ガイアナ, ハイチ, ホンジュラス, ジャマイカ, ニカラグア, パナマ, パラグアイ, ペルー, トリニダード・トバゴ, ウルグアイ, ベネズエラ, IEA統計におけるその他非OECDアメリカ
ヨーロッパ	欧州先進国	フランス
		ドイツ
		イタリア
		英国
	他欧州先進国	オーストリア, ベルギー, チェコ, デンマーク, エストニア, フィンランド, ギリシャ, ハンガリー, アイスランド, アイルランド, ラトビア, リトアニア, ルクセンブルク, オランダ, ノルウェー, ポーランド, ポルトガル, スロバキア, スロベニア, スペイン, スウェーデン, スイス, トルコ
	他欧州/ユーラシア	ロシア
	他旧ソビエト連邦	アルメニア, アゼルバイジャン, ベラルーシ, ジョージア, カザフスタン, キルギスタン, モルドバ, タジキスタン, トルクメニスタン, ウクライナ, ウズベキスタン

	他欧州新興・途上国	アルバニア, ポスニア・ヘルツェゴビナ, ブルガリア, クロアチア, キプロス, ジブラルタル, コソボ, マルタ, モンテネグロ, 北マケドニア, ルーマニア, セルビア
アフリカ	南アフリカ共和国	
	北アフリカ	アルジェリア, エジプト, リビア, モロッコ, チュニジア
	その他アフリカ	アンゴラ, ベニン, ボツワナ, カメルーン, コンゴ共和国, コンゴ民主共和国, コートジボアール, 赤道ギニア, エリトリア, エスワティニ, エチオピア, ガボン, ガーナ, ケニア, マダガスカル, モーリシャス, モザンビーク, ナミビア, ニジェール, ナイジェリア, ルワンダ, セネガル, 南スーダン, スーダン, トーゴ, タンザニア, ウガンダ, ザンビア, ジンバブエ, IEA統計におけるその他アフリカ
中東	イラン	
	イラク	
	クウェート	
	オマーン	
	カタール	
	サウジアラビア	
	アラブ首長国連邦	
	その他中東	バーレーン, イスラエル, ヨルダン, レバノン, シリア, イエメン
オセアニア	オーストラリア	
	ニュージーランド	
国際バンカー		

欧州連合 (EU)	オーストリア, ベルギー, ブルガリア, クロアチア, キプロス, チェコ, デンマーク, エストニア, フィンランド, フランス, ドイツ, グリシャ, ハンガリー, アイルランド, イタリア, ラトビア, リトアニア, ルクセンブルク, マルタ, オランダ, ポーランド, ポルトガル, ルーマニア, スロバキア, スロベニア, スペイン, スウェーデン
先進国	欧州先進国, 香港, 日本, 韓国, 北米, オセアニア, シンガポール, 台湾
新興・途上国	アフリカ, ブルネイ, カンボジア, 中国, インド, インドネシア, ラオス, 中南米, マレーシア, 中東, ミャンマー, 他欧州/ユーラシア, その他アジア, フィリピン, タイ, ベトナム
主要7か国 (G7)	カナダ, フランス, ドイツ, イタリア, 日本, 英国, 米国
石油輸出国機構 (OPEC)	アルジェリア, コンゴ共和国, 赤道ギニア, ガボン, イラク, イラン, クウェート, リビア, ナイジェリア, サウジアラビア, アラブ首長国連邦, ベネズエラ

(注)原統計・分析の都合上、他旧ソビエト連邦は1989年以前のエストニア、ラトビア、リトアニアのエネルギーデータを含む。先進国、新興・途上国には地域を含む。

付表2 | 国際エネルギー価格

実質価格			レファレンス			技術進展		
			2030	2040	2050	2030	2040	2050
原油	\$2023/bbl	82	85	90	95	80	75	70
天然ガス								
日本	\$2023/MBtu	13.7	9.3	8.8	8.5	9.0	8.1	7.6
ヨーロッパ(オランダ)	\$2023/MBtu	13.1	9.8	9.7	9.5	9.7	9.2	8.8
米国	\$2023/MBtu	2.5	3.0	4.0	4.0	3.4	4.1	4.0
一般炭	\$2023/t	243	105	110	110	100	95	90

名目価格			レファレンス			技術進展		
			2030	2040	2050	2030	2040	2050
原油	\$/bbl	82	105	153	225	98	125	160
天然ガス								
日本	\$/MBtu	13.7	11.5	14.8	20.1	11.0	13.4	17.3
ヨーロッパ(オランダ)	\$/MBtu	13.1	12.0	16.4	22.4	12.0	15.2	20.0
米国	\$/MBtu	2.5	3.7	6.8	9.5	4.2	6.8	9.1
一般炭	\$/t	243	130	186	260	123	158	206

付表3 | 人口

	(100万人)								
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050
世界	5,286	6,135	6,960	7,940	8,476	8,784	9,069	9,324	9,541
アジア	2,955	3,454	3,874	4,308	4,479	4,567	4,634	4,677	4,694
中国	1,135	1,263	1,338	1,412	1,385	1,361	1,331	1,294	1,249
インド	870	1,060	1,241	1,417	1,516	1,570	1,613	1,646	1,670
日本	123	127	128	125	120	116	112	109	105
韓国	43	47	50	52	51	50	49	47	45
台湾	20	22	23	23	22	22	21	20	19
ASEAN	440	524	599	679	716	735	751	762	768
インドネシア	182	214	244	276	292	301	308	314	317
マレーシア	18	23	29	34	37	39	41	42	43
ミャンマー	40	46	49	54	57	58	59	59	59
フィリピン	62	78	95	116	123	128	131	134	136
シンガポール	3.0	4.0	5.1	5.6	6.0	6.1	6.2	6.1	6.1
タイ	55	63	68	72	71	71	69	68	66
ベトナム	67	79	87	98	103	105	107	108	108
北米	277	313	343	372	389	398	405	412	417
米国	250	282	309	333	347	355	361	367	372
中南米	438	518	586	657	690	707	720	729	734
ブラジル	151	176	196	215	221	223	224	224	223
欧州先進国	505	528	557	583	585	584	582	578	572
他欧州/ユーラシア	337	335	332	338	339	340	340	341	342
ロシア	148	147	143	144	141	139	137	136	135
アフリカ	620	794	1,021	1,377	1,643	1,816	1,993	2,170	2,344
中東	133	171	220	274	316	338	359	379	398
オセアニア	20	23	26	31	33	35	36	37	38
国際バンカー	-	-	-	-	-	-	-	-	-
先進国	998	1,070	1,140	1,199	1,214	1,217	1,218	1,215	1,209
G7	652	699	740	775	787	792	795	796	796
新興・途上国	4,288	5,065	5,820	6,741	7,262	7,567	7,851	8,108	8,331
新興・途上アジア	2,759	3,247	3,661	4,095	4,272	4,366	4,438	4,489	4,513
非アジア	2,331	2,681	3,086	3,632	3,997	4,218	4,435	4,646	4,847
欧州連合	420	429	442	447	445	442	438	433	426

(出所)国際連合 "World Population Prospects 2024"、世界銀行 "World Development Indicators"

(注)レファレンスシナリオ、技術進展シナリオで共通である

年平均変化率(%)				
1990/ 2022	2022/ 2030	2030/ 2040	2040/ 2050	2022/ 2050
1.3	0.8	0.7	0.5	0.7
1.2	0.5	0.3	0.1	0.3
0.7	-0.2	-0.4	-0.6	-0.4
1.5	0.8	0.6	0.3	0.6
0.0	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6
0.6	-0.1	-0.4	-0.8	-0.5
0.4	-0.5	-0.6	-0.9	-0.7
1.4	0.7	0.5	0.2	0.4
1.3	0.7	0.5	0.3	0.5
2.1	1.1	0.9	0.7	0.9
0.9	0.6	0.3	0.1	0.3
2.0	0.8	0.7	0.4	0.6
1.9	0.8	0.3	-0.2	0.3
0.8	-0.1	-0.2	-0.5	-0.3
1.2	0.6	0.4	0.1	0.4
0.9	0.5	0.4	0.3	0.4
0.9	0.5	0.4	0.3	0.4
1.3	0.6	0.4	0.2	0.4
1.1	0.3	0.1	-0.1	0.1
0.4	0.1	-0.1	-0.2	-0.1
0.0	0.1	0.0	0.1	0.1
-0.1	-0.3	-0.3	-0.2	-0.2
2.5	2.2	1.9	1.6	1.9
2.3	1.8	1.3	1.0	1.3
1.3	0.9	0.7	0.6	0.7
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
0.6	0.2	0.0	-0.1	0.0
0.5	0.2	0.1	0.0	0.1
1.4	0.9	0.8	0.6	0.8
1.2	0.5	0.4	0.2	0.3
1.4	1.2	1.0	0.9	1.0
0.2	-0.1	-0.2	-0.3	-0.2

付表4 | GDP

	(2015年価格10億ドル)								
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050
世界	35,896	48,285	64,834	89,488	110,594	126,311	143,985	163,414	184,098
アジア	6,705	10,415	17,921	30,825	41,436	49,564	59,046	69,748	81,326
中国	1,027	2,770	7,554	16,325	22,246	26,574	31,544	37,066	42,922
インド	475	817	1,567	3,022	5,067	6,791	8,941	11,512	14,440
日本	3,510	3,987	4,219	4,530	4,846	5,048	5,254	5,458	5,659
韓国	402	799	1,261	1,741	2,049	2,248	2,439	2,616	2,769
台湾	161	307	463	676	812	900	990	1,076	1,157
ASEAN	736	1,178	1,971	3,230	4,609	5,736	7,055	8,536	10,127
インドネシア	270	395	658	1,122	1,663	2,117	2,666	3,312	4,045
マレーシア	75	148	233	387	533	635	749	874	1,007
ミャンマー	7.1	14	44	66	79	99	125	156	194
フィリピン	107	143	229	408	657	851	1,066	1,282	1,471
シンガポール	71	141	248	380	453	502	546	583	615
タイ	144	221	347	450	562	666	785	916	1,055
ベトナム	45	94	177	359	580	763	990	1,256	1,551
北米	10,626	14,918	17,783	22,688	26,897	29,641	32,542	35,547	38,605
米国	9,811	13,754	16,383	20,927	24,890	27,442	30,149	32,957	35,815
中南米	2,638	3,596	4,888	5,619	6,805	7,859	9,018	10,255	11,545
ブラジル	917	1,186	1,703	1,901	2,268	2,648	3,077	3,542	4,033
欧州先進国	11,640	14,619	16,890	20,529	22,972	24,734	26,523	28,324	30,060
他欧州/ユーラシア	1,789	1,230	2,045	2,571	3,193	3,534	3,909	4,325	4,771
ロシア	1,161	780	1,251	1,472	1,707	1,842	1,989	2,153	2,327
アフリカ	925	1,216	2,010	2,762	3,731	4,680	5,838	7,220	8,832
中東	916	1,385	2,076	2,844	3,617	4,139	4,718	5,357	6,057
オセアニア	656	907	1,220	1,650	1,943	2,160	2,391	2,639	2,901
国際バンカー	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
先進国	27,187	35,856	42,352	52,512	60,366	65,672	71,165	76,755	82,292
G7	21,466	27,920	31,963	38,661	44,147	47,999	52,051	56,218	60,402
新興・途上国	8,709	12,429	22,482	36,976	50,228	60,639	72,820	86,659	101,806
新興・途上アジア	2,441	5,002	11,463	23,180	32,882	40,427	49,337	59,502	70,601
非アジア	29,191	37,870	46,913	58,663	69,158	76,746	84,939	93,667	102,771
欧州連合	9,067	11,227	12,852	15,226	17,029	18,314	19,624	20,940	22,204

(出所)世界銀行 "World Development Indicators"他

見通しは日本エネルギー経済研究所

(注)レファレンスシナリオ、技術進展シナリオで共通である

年平均変化率(%)				
1990/ 2022	2022/ 2030	2030/ 2040	2040/ 2050	2022/ 2050
2.9	2.7	2.7	2.5	2.6
4.9	3.8	3.6	3.3	3.5
9.0	3.9	3.6	3.1	3.5
6.0	6.7	5.8	4.9	5.7
0.8	0.8	0.8	0.7	0.8
4.7	2.1	1.8	1.3	1.7
4.6	2.3	2.0	1.6	1.9
4.7	4.5	4.3	3.7	4.2
4.5	5.0	4.8	4.3	4.7
5.3	4.1	3.5	3.0	3.5
7.2	2.1	4.7	4.5	3.9
4.3	6.1	5.0	3.3	4.7
5.4	2.2	1.9	1.2	1.7
3.6	2.8	3.4	3.0	3.1
6.7	6.2	5.5	4.6	5.4
2.4	2.1	1.9	1.7	1.9
2.4	2.2	1.9	1.7	1.9
2.4	2.4	2.9	2.5	2.6
2.3	2.2	3.1	2.7	2.7
1.8	1.4	1.4	1.3	1.4
1.1	2.7	2.0	2.0	2.2
0.7	1.9	1.5	1.6	1.6
3.5	3.8	4.6	4.2	4.2
3.6	3.1	2.7	2.5	2.7
2.9	2.1	2.1	2.0	2.0
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
2.1	1.8	1.7	1.5	1.6
1.9	1.7	1.7	1.5	1.6
4.6	3.9	3.8	3.4	3.7
7.3	4.5	4.1	3.6	4.1
2.2	2.1	2.1	1.9	2.0
1.6	1.4	1.4	1.2	1.4

付表5 | 1人当たりGDP

	(2015年価格1,000ドル/人)								
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050
世界	6.8	7.9	9.3	11	13	14	16	18	19
アジア	2.3	3.0	4.6	7.2	9.3	11	13	15	17
中国	0.9	2.2	5.6	12	16	20	24	29	34
インド	0.5	0.8	1.3	2.1	3.3	4.3	5.5	7.0	8.6
日本	28	31	33	36	40	44	47	50	54
韓国	9.4	17	25	34	40	45	50	56	62
台湾	7.9	14	20	29	36	41	47	53	60
ASEAN	1.7	2.2	3.3	4.8	6.4	7.8	9.4	11	13
インドネシア	1.5	1.8	2.7	4.1	5.7	7.0	8.7	11	13
マレーシア	4.3	6.5	8.1	11	14	16	18	21	23
ミャンマー	0.2	0.3	0.9	1.2	1.4	1.7	2.1	2.6	3.3
フィリピン	1.7	1.8	2.4	3.5	5.3	6.7	8.1	9.5	11
シンガポール	23	35	49	67	75	82	88	95	101
タイ	2.6	3.5	5.1	6.3	7.9	9.5	11	13	16
ベトナム	0.7	1.2	2.0	3.7	5.6	7.3	9.3	12	14
北米	38	48	52	61	69	75	80	86	92
米国	39	49	53	63	72	77	83	90	96
中南米	6.0	6.9	8.3	8.6	9.9	11	13	14	16
ブラジル	6.1	6.7	8.7	8.8	10	12	14	16	18
欧州先進国	23	28	30	35	39	42	46	49	53
他欧州/ユーラシア	5.3	3.7	6.2	7.6	9.4	10	11	13	14
ロシア	7.8	5.3	8.8	10	12	13	15	16	17
アフリカ	1.5	1.5	2.0	2.0	2.3	2.6	2.9	3.3	3.8
中東	6.9	8.1	9.4	10	11	12	13	14	15
オセアニア	32	40	46	53	58	62	67	72	76
国際バンカー	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
先進国	27	33	37	44	50	54	58	63	68
G7	33	40	43	50	56	61	66	71	76
新興・途上国	2.0	2.5	3.9	5.5	6.9	8.0	9.3	11	12
新興・途上アジア	0.9	1.5	3.1	5.7	7.7	9.3	11	13	16
非アジア	13	14	15	16	17	18	19	20	21
欧州連合	22	26	29	34	38	41	45	48	52

(出所)世界銀行 "World Development Indicators"他より算出
見通しは日本エネルギー経済研究所

(注)レファレンスシナリオ、技術進展シナリオで共通である

年平均変化率(%)				
1990/ 2022	2022/ 2030	2030/ 2040	2040/ 2050	2022/ 2050
1.6	1.8	2.0	2.0	1.9
3.7	3.3	3.3	3.1	3.2
8.3	4.2	4.0	3.8	4.0
4.4	5.8	5.2	4.5	5.1
0.8	1.4	1.5	1.4	1.4
4.1	2.2	2.2	2.1	2.2
4.1	2.8	2.6	2.5	2.6
3.3	3.9	3.9	3.4	3.7
3.2	4.3	4.3	4.0	4.2
3.1	2.9	2.5	2.3	2.6
6.2	1.5	4.4	4.4	3.6
2.2	5.3	4.3	2.9	4.1
3.4	1.4	1.6	1.4	1.5
2.8	2.9	3.6	3.5	3.4
5.4	5.6	5.1	4.4	5.0
1.5	1.6	1.5	1.4	1.5
1.5	1.7	1.5	1.4	1.5
1.1	1.8	2.4	2.3	2.2
1.2	1.9	2.9	2.8	2.6
1.3	1.4	1.5	1.4	1.4
1.1	2.7	2.0	1.9	2.2
0.8	2.2	1.8	1.7	1.9
0.9	1.6	2.6	2.5	2.3
1.3	1.2	1.4	1.5	1.4
1.6	1.2	1.4	1.3	1.3
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
1.5	1.6	1.6	1.5	1.6
1.3	1.5	1.6	1.5	1.5
3.2	2.9	3.0	2.8	2.9
6.0	3.9	3.7	3.5	3.7
0.8	0.9	1.0	1.0	1.0
1.4	1.5	1.6	1.5	1.5

付表6 | 一次エネルギー消費

	レファレンスシナリオ (石油換算100万t [Mtoe])								
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050
世界	8,699	9,936	12,732	14,860	15,565	15,956	16,281	16,628	16,984
アジア	2,071	2,837	4,758	6,582	7,096	7,374	7,586	7,793	7,978
中国	874	1,133	2,536	3,800	3,842	3,762	3,648	3,527	3,387
インド	280	418	661	1,015	1,309	1,501	1,685	1,875	2,058
日本	437	516	500	392	367	352	339	327	317
韓国	90	186	244	280	274	272	263	252	242
台湾	51	90	117	117	111	110	107	104	101
ASEAN	217	354	511	736	921	1,069	1,192	1,308	1,419
インドネシア	85	127	172	261	344	431	491	548	606
マレーシア	21	48	72	99	120	130	140	149	156
ミャンマー	11	13	14	21	21	22	25	28	32
フィリピン	27	39	42	63	80	94	107	117	126
シンガポール	12	19	24	37	40	40	41	41	41
タイ	42	73	118	133	142	151	160	168	175
ベトナム	18	29	59	102	151	175	199	224	247
北米	2,126	2,525	2,476	2,470	2,399	2,346	2,297	2,275	2,281
米国	1,914	2,273	2,216	2,173	2,101	2,046	1,995	1,974	1,980
中南米	467	611	790	845	908	955	997	1,037	1,076
ブラジル	141	188	268	301	320	342	364	384	404
欧州先進国	1,644	1,759	1,834	1,608	1,440	1,385	1,341	1,291	1,249
他欧州/ユーラシア	1,514	988	1,112	1,189	1,195	1,189	1,182	1,177	1,173
ロシア	879	619	693	808	774	764	756	744	733
アフリカ	352	435	608	796	885	956	1,025	1,101	1,183
中東	223	380	648	860	990	1,049	1,101	1,153	1,199
オセアニア	99	125	145	146	150	147	145	143	142
国際バンカー	203	275	362	363	502	553	606	657	704
先進国	4,467	5,233	5,354	5,062	4,792	4,663	4,542	4,442	4,381
G7	3,490	4,024	3,945	3,640	3,455	3,350	3,254	3,184	3,154
新興・途上国	4,029	4,427	7,016	9,434	10,271	10,740	11,133	11,529	11,900
新興・途上アジア	1,473	2,013	3,859	5,744	6,293	6,590	6,827	7,060	7,269
非アジア	6,425	6,823	7,612	7,915	7,968	8,028	8,089	8,178	8,303
欧州連合	1,441	1,471	1,528	1,307	1,189	1,140	1,098	1,054	1,018

(出所) IEA "World Energy Balances"

見直しは日本エネルギー経済研究所

レファレンスシナリオ 年平均変化率(%)					技術進展シナリオ (Mtoe)									年平均変化率(%)			
1990/ 2022	2022/ 2030	2030/ 2040	2040/ 2050	2022/ 2050	(Mtoe)					年平均変化率(%)							
					2030	2035	2040	2045	2050	2022/ 2030	2030/ 2040	2040/ 2050	2022/ 2050				
1.7	0.6	0.5	0.4	0.5	14,967	14,645	14,209	13,948	13,894	0.1	-0.5	-0.2	-0.2				
3.7	0.9	0.7	0.5	0.7	6,827	6,719	6,531	6,397	6,383	0.5	-0.4	-0.2	-0.1				
4.7	0.1	-0.5	-0.7	-0.4	3,708	3,417	3,088	2,794	2,547	-0.3	-1.8	-1.9	-1.4				
4.1	3.2	2.6	2.0	2.6	1,236	1,322	1,398	1,483	1,631	2.5	1.2	1.5	1.7				
-0.3	-0.8	-0.8	-0.7	-0.8	361	338	313	298	286	-1.0	-1.4	-0.9	-1.1				
3.6	-0.3	-0.4	-0.8	-0.5	273	264	254	241	225	-0.3	-0.7	-1.2	-0.8				
2.7	-0.6	-0.3	-0.6	-0.5	108	103	97	91	86	-1.0	-1.1	-1.2	-1.1				
3.9	2.8	2.6	1.8	2.4	881	993	1,074	1,150	1,230	2.3	2.0	1.4	1.8				
3.6	3.5	3.6	2.1	3.1	335	412	466	515	566	3.2	3.4	2.0	2.8				
4.9	2.4	1.6	1.1	1.6	114	119	123	125	128	1.7	0.8	0.4	0.9				
2.2	-0.5	1.9	2.6	1.4	18	18	19	21	24	-2.1	0.6	2.2	0.4				
2.7	3.1	2.9	1.7	2.5	77	90	98	104	109	2.5	2.5	1.0	2.0				
3.7	0.7	0.4	0.1	0.4	39	40	40	39	38	0.7	0.1	-0.5	0.0				
3.6	0.8	1.1	0.9	1.0	140	144	146	149	154	0.6	0.4	0.5	0.5				
5.6	5.0	2.8	2.2	3.2	137	149	159	172	187	3.8	1.5	1.6	2.2				
0.5	-0.4	-0.4	-0.1	-0.3	2,298	2,138	1,976	1,846	1,738	-0.9	-1.5	-1.3	-1.2				
0.4	-0.4	-0.5	-0.1	-0.3	2,009	1,863	1,716	1,602	1,506	-1.0	-1.6	-1.3	-1.3				
1.9	0.9	0.9	0.8	0.9	869	882	881	889	909	0.4	0.1	0.3	0.3				
2.4	0.8	1.3	1.0	1.1	309	316	319	323	329	0.3	0.3	0.3	0.3				
-0.1	-1.4	-0.7	-0.7	-0.9	1,389	1,307	1,224	1,169	1,149	-1.8	-1.3	-0.6	-1.2				
-0.8	0.1	-0.1	-0.1	-0.1	1,174	1,128	1,076	1,046	1,021	-0.2	-0.9	-0.5	-0.5				
-0.3	-0.5	-0.2	-0.3	-0.3	760	721	683	657	635	-0.8	-1.1	-0.7	-0.9				
2.6	1.3	1.5	1.4	1.4	824	840	861	899	948	0.4	0.4	1.0	0.6				
4.3	1.8	1.1	0.9	1.2	960	990	1,003	1,026	1,053	1.4	0.4	0.5	0.7				
1.2	0.3	-0.3	-0.2	-0.1	146	138	131	133	136	0.0	-1.1	0.4	-0.3				
1.8	4.1	1.9	1.5	2.4	479	503	526	544	556	3.5	0.9	0.6	1.5				
0.4	-0.7	-0.5	-0.4	-0.5	4,625	4,339	4,042	3,822	3,663	-1.1	-1.3	-1.0	-1.1				
0.1	-0.7	-0.6	-0.3	-0.5	3,320	3,078	2,842	2,661	2,537	-1.1	-1.5	-1.1	-1.3				
2.7	1.1	0.8	0.7	0.8	9,863	9,803	9,642	9,582	9,675	0.6	-0.2	0.0	0.1				
4.3	1.1	0.8	0.6	0.8	6,035	5,964	5,820	5,723	5,743	0.6	-0.4	-0.1	0.0				
0.7	0.1	0.2	0.3	0.2	7,660	7,423	7,152	7,007	6,954	-0.4	-0.7	-0.3	-0.5				
-0.3	-1.2	-0.8	-0.8	-0.9	1,157	1,085	1,011	955	931	-1.5	-1.3	-0.8	-1.2				

付表7 | 一次エネルギー消費、石炭

	レファレンスシナリオ (石油換算100万t [Mtoe])								
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050
世界	2,219	2,316	3,652	4,106	3,607	3,430	3,225	3,093	2,956
アジア	785	1,036	2,406	3,253	3,020	2,910	2,748	2,629	2,493
中国	531	668	1,790	2,317	1,972	1,779	1,547	1,360	1,176
インド	93	146	274	466	563	629	684	737	781
日本	77	97	115	109	82	78	71	66	61
韓国	22	39	68	68	66	60	56	51	45
台湾	11	30	42	41	38	36	34	32	29
ASEAN	12	31	85	207	248	269	289	304	311
インドネシア	3.5	12	32	95	113	124	136	145	150
マレーシア	1.4	2.3	15	24	24	23	21	19	15
ミャンマー	0.1	0.3	0.4	0.3	2.1	3.0	4.0	5.5	7.2
フィリピン	1.3	4.6	7.0	19	21	24	26	26	25
シンガポール	0.0	-	0.0	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3
タイ	3.8	7.7	16	18	17	17	17	16	16
ベトナム	2.2	4.4	15	46	63	70	77	83	87
北米	484	565	525	247	124	81	42	25	24
米国	460	533	501	239	123	80	40	24	23
中南米	21	28	40	38	38	37	36	34	33
ブラジル	9.7	13	14	14	12	12	13	13	14
欧州先進国	450	331	301	204	92	76	74	75	70
他欧州/ユーラシア	365	209	211	213	195	186	184	180	179
ロシア	191	120	106	133	117	112	109	106	106
アフリカ	74	90	109	105	100	105	111	122	130
中東	3.0	8.1	9.8	7.2	8.4	7.7	7.0	6.5	6.8
オセアニア	36	49	52	38	29	26	24	22	20
国際バンカー	-	-	-	-	-	-	-	-	-
先進国	1,087	1,115	1,109	711	435	361	302	271	250
G7	787	811	776	431	235	185	137	117	108
新興・途上国	1,133	1,201	2,543	3,395	3,172	3,069	2,923	2,822	2,706
新興・途上アジア	669	866	2,174	3,031	2,830	2,733	2,585	2,479	2,357
非アジア	1,434	1,280	1,246	853	587	520	477	464	463
欧州連合	393	285	252	167	77	66	63	64	59

(出所) IEA "World Energy Balances"

見直しは日本エネルギー経済研究所

レファレンスシナリオ					技術進展シナリオ									
年平均変化率(%)					(Mtoe)					年平均変化率(%)				
1990/ 2022	2022/ 2030	2030/ 2040	2040/ 2050	2022/ 2050	2030	2035	2040	2045	2050	2022/ 2030	2030/ 2040	2040/ 2050	2022/ 2050	
1.9	-1.6	-1.1	-0.9	-1.2	3,216	2,699	2,236	1,911	1,657	-3.0	-3.6	-3.0	-3.2	
4.5	-0.9	-0.9	-1.0	-0.9	2,728	2,312	1,886	1,583	1,348	-2.2	-3.6	-3.3	-3.1	
4.7	-2.0	-2.4	-2.7	-2.4	1,819	1,446	1,069	787	544	-3.0	-5.2	-6.5	-5.0	
5.2	2.4	2.0	1.3	1.9	494	492	478	479	513	0.8	-0.3	0.7	0.3	
1.1	-3.4	-1.4	-1.5	-2.0	70	59	49	42	36	-5.4	-3.5	-3.1	-3.9	
3.6	-0.4	-1.6	-2.3	-1.5	57	46	34	26	20	-2.3	-4.9	-5.4	-4.3	
4.0	-0.7	-1.1	-1.5	-1.1	33	27	22	17	14	-2.5	-4.1	-4.3	-3.7	
9.2	2.3	1.5	0.7	1.5	213	198	186	175	157	0.3	-1.3	-1.7	-1.0	
10.8	2.2	1.8	1.0	1.7	101	99	97	90	77	0.8	-0.5	-2.3	-0.8	
9.3	0.4	-1.3	-3.5	-1.6	23	21	18	14	10	-0.5	-2.2	-5.6	-2.9	
5.2	25.8	6.5	6.0	11.5	1.8	2.4	3.0	3.9	4.8	22.8	5.3	5.0	9.9	
8.9	1.4	1.9	-0.2	1.0	17	17	17	17	15	-1.1	-0.2	-1.2	-0.8	
9.7	0.3	-0.8	-1.9	-0.9	0.4	0.4	0.3	0.3	0.2	-0.6	-2.1	-4.8	-2.6	
4.9	-0.4	0.0	-0.7	-0.4	16	14	13	12	11	-1.3	-1.9	-1.2	-1.5	
9.9	4.0	2.1	1.2	2.3	47	39	33	32	32	0.4	-3.5	-0.4	-1.3	
-2.1	-8.2	-10.4	-5.4	-8.0	82	24	21	20	19	-12.8	-12.6	-1.2	-8.8	
-2.0	-8.0	-10.5	-5.5	-8.0	81	23	20	19	18	-12.7	-12.8	-1.1	-8.8	
1.8	-0.2	-0.5	-0.8	-0.5	31	28	25	24	24	-2.7	-2.1	-0.2	-1.6	
1.2	-2.2	0.9	0.7	-0.1	11	10	10	10	11	-3.4	-0.3	0.3	-1.0	
-2.4	-9.5	-2.2	-0.5	-3.8	73	68	65	63	62	-12.0	-1.2	-0.4	-4.1	
-1.7	-1.1	-0.6	-0.3	-0.6	179	154	137	126	118	-2.2	-2.6	-1.5	-2.1	
-1.1	-1.7	-0.7	-0.3	-0.8	109	96	84	77	71	-2.5	-2.6	-1.7	-2.2	
1.1	-0.6	1.0	1.6	0.8	87	78	71	67	61	-2.3	-1.9	-1.6	-1.9	
2.8	1.8	-1.8	-0.3	-0.2	7.1	5.9	5.0	5.2	5.3	-0.2	-3.5	0.6	-1.1	
0.2	-3.3	-2.2	-1.4	-2.2	28	27	25	24	19	-3.7	-1.3	-2.7	-2.5	
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
-1.3	-5.9	-3.6	-1.9	-3.7	346	254	217	193	170	-8.6	-4.5	-2.4	-5.0	
-1.9	-7.3	-5.2	-2.3	-4.8	177	106	93	84	77	-10.6	-6.3	-1.8	-6.0	
3.5	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	2,870	2,445	2,018	1,718	1,487	-2.1	-3.5	-3.0	-2.9	
4.8	-0.9	-0.9	-0.9	-0.9	2,566	2,179	1,781	1,496	1,279	-2.1	-3.6	-3.3	-3.0	
-1.6	-4.6	-2.1	-0.3	-2.2	487	386	349	328	308	-6.8	-3.3	-1.2	-3.6	
-2.6	-9.2	-2.1	-0.7	-3.7	63	56	53	51	51	-11.5	-1.7	-0.4	-4.2	

付表8 | 一次エネルギー消費、石油

	レファレンスシナリオ (石油換算100万t [Mtoe])								
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050
世界	3,237	3,683	4,152	4,488	4,655	4,712	4,791	4,850	4,878
アジア	618	918	1,170	1,518	1,635	1,684	1,758	1,832	1,894
中国	119	221	428	680	721	694	681	664	637
インド	61	112	162	243	301	353	413	480	550
日本	249	253	201	151	132	123	115	108	100
韓国	50	99	95	102	98	94	90	85	80
台湾	28	42	48	40	37	36	35	33	31
ASEAN	88	154	191	239	278	304	332	358	379
インドネシア	33	58	67	73	83	92	101	109	116
マレーシア	11	19	25	25	30	31	31	31	31
ミャンマー	0.7	2.0	1.3	5.9	3.9	4.7	5.6	6.7	7.7
フィリピン	9.7	16	14	20	29	36	42	48	52
シンガポール	11	17	17	27	28	28	29	29	29
タイ	18	32	45	55	55	57	60	62	63
ベトナム	2.7	7.8	18	27	41	46	53	60	66
北米	833	958	901	856	795	760	719	669	618
米国	757	871	807	758	706	674	638	593	546
中南米	241	313	365	352	355	367	377	385	389
ブラジル	59	88	105	111	106	113	120	127	132
欧州先進国	617	654	605	529	460	427	399	373	347
他欧州/ユーラシア	459	199	217	252	247	243	239	235	230
ロシア	264	126	139	166	157	154	152	149	146
アフリカ	85	100	161	211	234	254	280	307	333
中東	146	225	323	359	388	402	412	417	417
オセアニア	35	40	48	50	56	54	52	50	47
国際バンカー	203	275	362	362	484	519	554	582	604
先進国	1,827	2,070	1,918	1,756	1,608	1,525	1,441	1,348	1,253
G7	1,447	1,578	1,413	1,263	1,140	1,076	1,011	939	865
新興・途上国	1,208	1,337	1,872	2,369	2,563	2,668	2,797	2,921	3,022
新興・途上アジア	277	500	805	1,196	1,339	1,401	1,487	1,576	1,653
非アジア	2,416	2,489	2,620	2,608	2,536	2,509	2,480	2,436	2,380
欧州連合	531	550	506	437	379	352	329	306	284

(出所) IEA "World Energy Balances"

見直しは日本エネルギー経済研究所

レファレンスシナリオ 年平均変化率(%)					技術進展シナリオ (Mtoe)									
1990/ 2022	2022/ 2030	2030/ 2040	2040/ 2050	2022/ 2050						年平均変化率(%)				
					2030	2035	2040	2045	2050	2022/ 2030	2030/ 2040	2040/ 2050	2022/ 2050	
1.0	0.5	0.3	0.2	0.3	4,277	3,901	3,490	3,048	2,654	-0.6	-2.0	-2.7	-1.9	
2.8	0.9	0.7	0.8	0.8	1,509	1,421	1,326	1,218	1,108	-0.1	-1.3	-1.8	-1.1	
5.6	0.7	-0.6	-0.7	-0.2	671	592	512	440	375	-0.2	-2.7	-3.1	-2.1	
4.4	2.7	3.2	2.9	3.0	274	292	306	309	304	1.5	1.1	0.0	0.8	
-1.6	-1.7	-1.3	-1.4	-1.5	122	103	86	71	60	-2.6	-3.4	-3.6	-3.3	
2.3	-0.6	-0.8	-1.1	-0.9	94	84	75	65	57	-1.1	-2.2	-2.7	-2.1	
1.1	-1.1	-0.6	-1.1	-0.9	35	32	29	25	22	-1.6	-2.0	-2.5	-2.0	
3.2	1.9	1.8	1.3	1.7	249	248	245	233	215	0.5	-0.2	-1.3	-0.4	
2.5	1.6	1.9	1.4	1.7	70	70	67	62	54	-0.6	-0.4	-2.2	-1.1	
2.5	2.3	0.3	-0.1	0.7	27	25	21	17	13	0.8	-2.2	-4.6	-2.2	
6.8	-5.3	3.9	3.2	0.9	3.6	4.0	4.3	4.5	4.6	-6.2	1.8	0.6	-0.9	
2.3	5.0	3.7	2.2	3.5	27	31	33	33	31	4.0	1.9	-0.7	1.6	
2.7	0.4	0.3	0.1	0.3	25	21	21	20	20	-1.0	-1.6	-0.3	-1.0	
3.5	0.0	0.8	0.6	0.5	51	49	48	45	42	-0.9	-0.7	-1.3	-1.0	
7.5	5.1	2.7	2.2	3.2	38	41	43	43	42	4.3	1.1	-0.2	1.5	
0.1	-0.9	-1.0	-1.5	-1.2	722	600	460	322	220	-2.1	-4.4	-7.1	-4.7	
0.0	-0.9	-1.0	-1.5	-1.2	642	533	408	282	189	-2.1	-4.4	-7.4	-4.8	
1.2	0.1	0.6	0.3	0.4	332	316	290	260	230	-0.7	-1.4	-2.3	-1.5	
2.0	-0.6	1.3	0.9	0.6	99	96	92	87	82	-1.5	-0.7	-1.2	-1.1	
-0.5	-1.7	-1.4	-1.4	-1.5	403	317	247	181	131	-3.3	-4.8	-6.2	-4.9	
-1.9	-0.2	-0.3	-0.4	-0.3	236	214	187	160	135	-0.8	-2.3	-3.2	-2.2	
-1.4	-0.7	-0.4	-0.4	-0.5	150	137	121	104	90	-1.2	-2.2	-2.9	-2.2	
2.9	1.3	1.8	1.7	1.6	223	230	236	233	228	0.7	0.6	-0.4	0.3	
2.8	1.0	0.6	0.1	0.5	357	338	312	280	258	-0.1	-1.4	-1.9	-1.2	
1.1	1.6	-0.7	-1.1	-0.2	52	44	36	27	21	0.6	-3.8	-5.3	-3.1	
1.8	3.7	1.3	0.9	1.8	443	421	397	367	324	2.5	-1.1	-2.0	-0.4	
-0.1	-1.1	-1.1	-1.4	-1.2	1,454	1,204	955	712	531	-2.3	-4.1	-5.7	-4.2	
-0.4	-1.3	-1.2	-1.6	-1.3	1,024	839	646	462	326	-2.6	-4.5	-6.6	-4.7	
2.1	1.0	0.9	0.8	0.9	2,380	2,276	2,138	1,968	1,799	0.1	-1.1	-1.7	-1.0	
4.7	1.4	1.1	1.1	1.2	1,232	1,178	1,114	1,036	948	0.4	-1.0	-1.6	-0.8	
0.2	-0.3	-0.2	-0.4	-0.3	2,325	2,059	1,768	1,463	1,222	-1.4	-2.7	-3.6	-2.7	
-0.6	-1.8	-1.4	-1.4	-1.5	332	262	205	151	110	-3.4	-4.7	-6.0	-4.8	

付表9 | 一次エネルギー消費、天然ガス

	レファレンスシナリオ (石油換算100万t [Mtoe])								
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050
世界	1,662	2,068	2,736	3,437	3,650	3,801	4,017	4,261	4,533
アジア	116	234	454	709	880	982	1,085	1,196	1,307
中国	13	21	89	297	375	396	406	408	400
インド	11	23	54	52	89	119	149	181	212
日本	44	66	86	83	61	58	55	54	53
韓国	2.7	18	38	53	59	61	65	68	69
台湾	1.6	6.2	15	27	28	28	28	28	28
ASEAN	30	74	125	139	197	234	279	332	394
インドネシア	16	27	39	33	56	73	98	128	164
マレーシア	6.8	25	31	47	60	68	77	88	100
ミャンマー	0.8	1.2	1.3	3.4	4.6	6.1	7.6	9.7	12
フィリピン	-	0.0	3.1	2.6	5.4	7.6	11	15	19
シンガポール	-	1.1	6.5	9.5	10	11	11	11	11
タイ	5.0	17	33	33	40	42	43	43	42
ベトナム	0.0	1.1	8.1	7.6	18	23	28	35	43
北米	493	622	635	894	928	931	949	958	981
米国	438	548	556	771	794	790	798	800	816
中南米	71	118	178	201	197	213	231	252	271
ブラジル	3.4	8.4	24	28	21	24	27	30	34
欧州先進国	267	396	473	390	292	247	227	219	206
他欧州/ユーラシア	596	481	566	583	560	548	550	546	547
ロシア	367	319	384	423	393	381	377	371	369
アフリカ	30	47	89	142	180	214	255	308	375
中東	72	145	311	480	565	607	646	689	733
オセアニア	19	24	32	38	37	38	38	38	39
国際バンカー	-	-	-	0.3	11	22	36	54	74
先進国	827	1,136	1,287	1,498	1,419	1,377	1,377	1,380	1,390
G7	704	941	992	1,193	1,154	1,125	1,124	1,128	1,142
新興・途上国	835	933	1,449	1,939	2,220	2,402	2,603	2,827	3,069
新興・途上アジア	67	141	306	533	718	820	923	1,032	1,143
非アジア	1,547	1,834	2,283	2,727	2,759	2,798	2,895	3,011	3,152
欧州連合	250	309	363	294	224	191	178	172	161

(出所) IEA "World Energy Balances"

見直しは日本エネルギー経済研究所

レファレンスシナリオ 年平均変化率(%)					技術進展シナリオ (Mtoe)									年平均変化率(%)			
1990/ 2022	2022/ 2030	2030/ 2040	2040/ 2050	2022/ 2050													
					2030	2035	2040	2045	2050	2022/ 2030	2030/ 2040	2040/ 2050	2022/ 2050				
2.3	0.8	1.0	1.2	1.0	3,514	3,484	3,357	3,285	3,194	0.3	-0.5	-0.5	-0.3				
5.8	2.7	2.1	1.9	2.2	842	866	850	829	832	2.2	0.1	-0.2	0.6				
10.3	2.9	0.8	-0.1	1.1	363	338	279	195	107	2.5	-2.6	-9.2	-3.6				
5.1	7.0	5.3	3.6	5.2	90	110	121	133	158	7.2	3.0	2.7	4.1				
2.0	-3.8	-0.9	-0.5	-1.6	55	48	41	34	24	-4.9	-3.0	-5.3	-4.4				
9.8	1.3	0.9	0.7	0.9	53	52	47	44	44	0.0	-1.3	-0.5	-0.7				
9.3	0.6	0.0	-0.2	0.1	26	24	21	17	13	-0.3	-2.2	-4.4	-2.4				
4.9	4.4	3.5	3.5	3.8	188	216	251	294	350	3.8	2.9	3.4	3.4				
2.3	6.7	5.8	5.3	5.9	54	71	95	127	167	6.4	5.8	5.7	5.9				
6.2	3.1	2.6	2.5	2.7	55	63	69	74	80	2.1	2.3	1.5	1.9				
4.8	3.8	5.1	4.6	4.6	4.4	5.7	6.9	8.9	11	3.2	4.7	4.6	4.2				
n.a.	9.3	7.4	5.5	7.3	4.3	5.6	8.1	12	17	6.2	6.6	7.9	7.0				
n.a.	0.9	0.5	-0.1	0.4	9.9	9.6	8.9	7.3	5.7	0.5	-1.1	-4.4	-1.8				
6.1	2.4	0.6	-0.1	0.9	42	42	41	43	45	2.8	-0.1	0.8	1.0				
28.2	11.3	4.7	4.2	6.3	15	16	17	18	20	9.1	1.1	1.8	3.6				
1.9	0.5	0.2	0.3	0.3	892	836	730	642	519	0.0	-2.0	-3.4	-1.9				
1.8	0.4	0.0	0.2	0.2	762	710	610	533	423	-0.2	-2.2	-3.6	-2.1				
3.3	-0.2	1.6	1.6	1.1	179	183	189	201	214	-1.4	0.5	1.2	0.2				
6.8	-3.8	2.6	2.5	0.7	19	18	17	16	15	-4.7	-1.0	-1.5	-2.3				
1.2	-3.6	-2.5	-1.0	-2.3	257	200	154	114	75	-5.1	-5.0	-7.0	-5.7				
-0.1	-0.5	-0.2	-0.1	-0.2	553	520	490	472	460	-0.6	-1.2	-0.6	-0.8				
0.4	-0.9	-0.4	-0.2	-0.5	389	363	335	321	312	-1.1	-1.5	-0.7	-1.1				
5.0	3.0	3.6	3.9	3.5	177	209	237	269	303	2.8	3.0	2.5	2.7				
6.1	2.0	1.3	1.3	1.5	560	599	615	640	650	1.9	1.0	0.6	1.1				
2.2	-0.1	0.2	0.4	0.2	38	36	34	32	29	0.2	-1.3	-1.4	-0.9				
n.a.	54.3	13.0	7.3	21.3	17	36	60	85	111	63.2	13.5	6.5	23.1				
1.9	-0.7	-0.3	0.1	-0.3	1,336	1,210	1,039	895	713	-1.4	-2.5	-3.7	-2.6				
1.7	-0.4	-0.3	0.2	-0.2	1,101	996	853	737	580	-1.0	-2.5	-3.8	-2.5				
2.7	1.7	1.6	1.7	1.7	2,162	2,238	2,259	2,305	2,369	1.4	0.4	0.5	0.7				
6.7	3.8	2.5	2.2	2.8	693	728	728	723	742	3.3	0.5	0.2	1.2				
1.8	0.1	0.5	0.9	0.5	2,656	2,582	2,448	2,370	2,250	-0.3	-0.8	-0.8	-0.7				
0.5	-3.4	-2.3	-1.0	-2.1	201	159	122	92	60	-4.7	-4.9	-6.9	-5.5				

付表10 | 一次エネルギー消費、原子力

	レファレンスシナリオ (石油換算100万t [Mtoe])								
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050
世界	526	675	719	700	837	884	882	879	902
アジア	77	132	152	194	280	313	344	370	403
中国	-	4.4	19	109	148	170	192	213	235
インド	1.6	4.4	6.8	12	36	41	46	53	61
日本	53	84	75	15	47	42	42	42	42
韓国	14	28	39	46	37	42	35	29	28
台湾	8.6	10	11	6.2	-	-	-	-	-
ASEAN	-	-	-	-	-	4.0	9.7	14	18
インドネシア	-	-	-	-	-	-	-	-	-
マレーシア	-	-	-	-	-	1.8	3.7	3.7	3.7
ミャンマー	-	-	-	-	-	-	-	-	-
フィリピン	-	-	-	-	-	-	-	-	-
シンガポール	-	-	-	-	-	-	-	-	-
タイ	-	-	-	-	-	-	1.8	3.7	6.2
ベトナム	-	-	-	-	-	2.2	4.2	6.4	8.6
北米	179	227	242	232	225	208	182	178	175
米国	159	208	219	209	204	188	168	167	167
中南米	3.2	5.3	7.2	8.7	14	17	17	16	18
ブラジル	0.6	1.6	3.8	3.8	6.9	6.9	6.9	5.6	5.6
欧州先進国	210	247	239	170	184	196	194	172	169
他欧州/ユーラシア	55	61	76	85	114	127	121	121	115
ロシア	31	34	45	59	70	77	77	72	63
アフリカ	2.2	3.4	3.2	2.6	5.6	7.8	10.0	8.8	8.8
中東	-	-	-	7.5	13	13	13	13	13
オセアニア	-	-	-	-	-	-	-	-	-
国際バンカー	-	-	-	-	-	-	-	-	-
先進国	463	596	606	469	493	489	453	422	413
G7	370	485	482	345	386	371	342	313	308
新興・途上国	62	79	113	231	344	395	428	457	488
新興・途上アジア	1.7	9.3	27	128	197	229	267	298	333
非アジア	449	544	567	506	556	570	538	509	499
欧州連合	190	224	223	159	178	187	177	151	148

(出所) IEA "World Energy Balances"

見直しは日本エネルギー経済研究所

レファレンスシナリオ 年平均変化率(%)					技術進展シナリオ (Mtoe)									年平均変化率(%)			
1990/ 2022	2022/ 2030	2030/ 2040	2040/ 2050	2022/ 2050						2022/ 2030/ 2040/ 2022/ 2050							
					2030	2035	2040	2045	2050	2030	2040	2050	2050				
0.9	2.3	0.5	0.2	0.9	966	1,121	1,267	1,356	1,474	4.1	2.7	1.5	2.7				
2.9	4.7	2.1	1.6	2.6	372	452	543	596	658	8.4	3.9	1.9	4.4				
n.a.	3.9	2.6	2.0	2.8	170	202	236	268	300	5.7	3.3	2.5	3.7				
6.5	14.8	2.5	2.7	6.0	48	62	90	96	118	19.1	6.4	2.7	8.5				
-3.9	15.6	-0.9	0.0	3.9	64	66	65	65	65	20.4	0.1	0.0	5.5				
3.8	-2.7	-0.6	-2.3	-1.8	53	58	67	65	55	1.7	2.4	-2.0	0.6				
-1.0	-100	n.a.	n.a.	-100	4.3	6.8	6.8	6.8	6.8	-4.5	4.7	0.0	0.3				
n.a.	n.a.	n.a.	6.6	n.a.	12	32	46	60	76	n.a.	14.8	5.0	n.a.				
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	3.7	7.3	7.3	7.3	7.3	n.a.	7.2	0.0	n.a.				
n.a.	n.a.	n.a.	0.0	n.a.	1.8	2.1	3.8	6.3	8.9	n.a.	7.5	8.9	n.a.				
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.				
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	2.2	4.4	6.6	6.6	8.8	n.a.	11.6	2.9	n.a.				
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.				
n.a.	n.a.	n.a.	13.0	n.a.	-	1.8	3.9	6.4	9.0	n.a.	n.a.	8.8	n.a.				
n.a.	n.a.	n.a.	7.4	n.a.	4.0	16	25	33	42	n.a.	19.9	5.4	n.a.				
0.8	-0.4	-2.1	-0.4	-1.0	228	228	229	219	217	-0.2	0.0	-0.5	-0.2				
0.9	-0.3	-1.9	0.0	-0.8	206	204	205	196	194	-0.2	0.0	-0.6	-0.3				
3.1	6.6	1.6	0.7	2.7	16	24	31	37	43	8.1	6.6	3.5	5.9				
6.0	7.7	0.0	-2.1	1.4	6.9	11	15	18	22	7.7	7.8	4.3	6.5				
-0.6	1.0	0.5	-1.4	0.0	205	230	247	250	273	2.3	1.9	1.0	1.7				
1.4	3.8	0.6	-0.5	1.1	121	144	154	174	188	4.6	2.4	2.0	2.9				
2.0	2.2	1.0	-2.0	0.2	70	77	87	96	99	2.2	2.3	1.3	1.9				
0.5	10.2	6.0	-1.3	4.5	5.6	14	22	32	45	10.2	14.7	7.4	10.8				
n.a.	7.6	0.0	0.0	2.1	19	28	41	49	51	12.3	8.0	2.3	7.1				
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.				
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.				
0.0	0.6	-0.8	-0.9	-0.5	554	588	614	606	616	2.1	1.0	0.0	1.0				
-0.2	1.4	-1.2	-1.0	-0.4	407	419	426	404	417	2.1	0.5	-0.2	0.7				
4.2	5.1	2.2	1.3	2.7	412	532	652	750	858	7.5	4.7	2.8	4.8				
14.5	5.6	3.1	2.2	3.5	250	322	405	459	531	8.8	4.9	2.8	5.2				
0.4	1.2	-0.3	-0.7	0.0	595	668	723	760	816	2.0	2.0	1.2	1.7				
-0.6	1.4	-0.1	-1.7	-0.2	200	224	230	223	237	2.9	1.5	0.3	1.4				

付表11 | 一次エネルギー消費、水力

	レファレンスシナリオ (石油換算100万t [Mtoe])								
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050
世界	184	225	297	374	413	436	457	477	497
アジア	32	41	92	162	181	194	205	215	224
中国	11	19	61	113	119	125	130	134	137
インド	6.2	6.4	11	15	20	23	27	30	34
日本	7.6	7.2	7.2	6.6	7.4	7.7	7.9	8.0	8.1
韓国	0.5	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
台湾	0.5	0.4	0.3	0.5	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
ASEAN	2.3	4.4	6.8	19	25	27	29	30	32
インドネシア	0.5	0.9	1.5	2.3	3.1	3.4	3.8	4.1	4.4
マレーシア	0.3	0.6	0.6	2.7	2.9	3.2	3.4	3.5	3.6
ミャンマー	0.1	0.2	0.5	0.8	1.2	1.3	1.5	1.7	1.8
フィリピン	0.5	0.7	0.7	0.9	1.3	1.4	1.5	1.7	1.9
シンガポール	-	-	-	-	-	-	-	-	-
タイ	0.4	0.5	0.5	0.6	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7
ベトナム	0.5	1.3	2.4	8.2	11	12	12	13	13
北米	49	53	53	56	63	63	64	65	65
米国	23	22	23	22	27	27	27	28	28
中南米	34	51	64	67	75	78	81	84	87
ブラジル	18	26	35	37	39	41	44	46	49
欧州先進国	39	47	48	43	43	44	45	45	46
他欧州/ユーラシア	22	23	26	27	28	29	30	31	32
ロシア	14	14	14	17	18	19	20	20	21
アフリカ	4.8	6.4	9.4	14	17	20	25	30	36
中東	1.0	0.7	1.5	1.4	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8
オセアニア	3.2	3.5	3.3	3.7	4.1	4.1	4.1	4.2	4.2
国際バンカー	-	-	-	-	-	-	-	-	-
先進国	100	111	112	110	119	120	122	123	124
G7	66	72	72	71	79	80	81	81	82
新興・途上国	85	114	185	264	295	315	335	354	373
新興・途上アジア	23	33	84	154	172	185	196	206	215
非アジア	153	184	205	212	232	242	251	262	273
欧州連合	24	30	32	24	24	24	25	25	25

(出所) IEA "World Energy Balances"

見直しは日本エネルギー経済研究所

レファレンスシナリオ 年平均変化率(%)					技術進展シナリオ (Mtoe)									
1990/ 2022	2022/ 2030	2030/ 2040	2040/ 2050	2022/ 2050						年平均変化率(%)				
					2030	2035	2040	2045	2050	2022/ 2030	2030/ 2040	2040/ 2050	2022/ 2050	
2.2	1.3	1.0	0.8	1.0	428	460	494	530	569	1.7	1.4	1.4	1.5	
5.2	1.4	1.3	0.9	1.2	194	217	240	265	292	2.3	2.1	2.0	2.1	
7.6	0.7	0.9	0.5	0.7	127	137	148	158	169	1.5	1.5	1.4	1.5	
2.8	3.8	2.9	2.3	3.0	24	31	39	48	59	6.0	5.0	4.3	5.0	
-0.4	1.4	0.6	0.2	0.7	7.5	7.9	8.1	8.3	8.5	1.5	0.8	0.5	0.9	
-1.8	1.9	0.0	0.0	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	1.9	0.0	0.0	0.5	
-0.4	5.5	0.1	0.1	1.6	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	5.5	0.1	0.1	1.6	
6.8	3.1	1.6	1.0	1.8	26	30	33	36	38	4.0	2.2	1.5	2.5	
5.0	3.6	1.9	1.6	2.3	3.3	3.7	4.1	4.5	4.9	4.3	2.3	1.9	2.7	
6.6	1.2	1.4	0.5	1.0	3.2	3.6	3.8	4.0	4.1	2.3	1.8	0.6	1.5	
6.5	5.3	2.4	1.9	3.1	1.3	1.6	1.8	2.1	2.3	6.9	3.3	2.5	4.0	
1.6	5.3	1.6	2.2	2.9	1.3	1.5	1.6	1.8	2.1	5.6	2.0	2.6	3.2	
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
1.0	10.5	1.6	0.9	3.8	1.4	1.6	1.7	1.8	1.9	11.4	2.0	1.0	4.2	
9.4	3.5	1.3	0.7	1.7	12	14	15	16	17	4.8	2.2	1.5	2.7	
0.4	1.4	0.2	0.1	0.5	63	64	65	66	66	1.5	0.3	0.2	0.6	
-0.2	2.5	0.2	0.1	0.8	27	27	27	28	28	2.5	0.2	0.1	0.8	
2.2	1.4	0.8	0.7	0.9	75	79	82	86	90	1.4	0.9	0.9	1.0	
2.3	0.8	1.1	1.1	1.0	39	42	45	48	52	0.9	1.3	1.4	1.2	
0.3	0.2	0.3	0.3	0.2	43	44	45	45	46	0.2	0.3	0.3	0.2	
0.6	0.4	0.9	0.5	0.6	28	29	30	31	32	0.4	0.9	0.5	0.6	
0.5	0.4	1.2	0.6	0.8	18	19	20	20	21	0.4	1.2	0.6	0.8	
3.4	2.5	3.8	3.9	3.5	17	20	25	30	36	2.5	3.8	3.9	3.5	
1.1	6.8	0.8	0.7	2.4	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	6.7	0.8	0.7	2.4	
0.4	1.3	0.2	0.2	0.5	4.1	4.1	4.1	4.2	4.2	1.3	0.2	0.2	0.5	
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
0.3	0.9	0.3	0.2	0.4	119	121	123	125	126	1.0	0.3	0.2	0.5	
0.3	1.2	0.2	0.1	0.5	79	81	82	83	83	1.3	0.3	0.2	0.6	
3.6	1.4	1.3	1.1	1.2	308	338	371	405	443	2.0	1.9	1.8	1.9	
6.1	1.4	1.3	0.9	1.2	186	208	231	256	283	2.3	2.2	2.0	2.2	
1.0	1.1	0.8	0.8	0.9	233	243	254	265	277	1.2	0.8	0.9	1.0	
-0.1	0.1	0.3	0.3	0.2	24	24	25	25	25	0.1	0.3	0.3	0.2	

付表12 | 一次エネルギー消費、太陽・風力等

	レファレンスシナリオ (石油換算100万t [Mtoe])								
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050
世界	2.5	8.2	48	339	841	1,050	1,250	1,413	1,574
アジア	1.3	2.1	16	166	460	585	709	797	886
中国	0.0	1.0	12	130	348	432	516	566	616
インド	0.0	0.2	2.0	18	67	98	127	155	184
日本	1.2	0.9	1.1	8.9	16	18	20	22	23
韓国	0.0	0.0	0.2	3.2	5.4	6.6	7.8	9.2	11
台湾	0.0	0.1	0.2	1.3	5.7	6.8	7.9	9.2	10
ASEAN	-	0.0	0.0	4.7	14	18	23	27	31
インドネシア	-	-	0.0	0.2	1.8	3.0	4.3	5.6	6.9
マレーシア	-	-	-	0.2	0.4	0.6	0.9	1.1	1.4
ミャンマー	-	-	-	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.2
フィリピン	-	-	0.0	0.2	2.0	2.5	2.9	3.4	3.8
シンガポール	-	-	0.0	0.1	0.2	0.3	0.3	0.3	0.4
タイ	-	-	0.0	0.7	1.8	2.6	3.5	4.3	5.2
ベトナム	-	-	0.0	3.2	7.4	9.0	11	12	13
北米	0.3	2.1	11	61	126	163	200	237	273
米国	0.3	2.1	11	57	119	155	191	227	263
中南米	0.0	0.2	0.9	21	44	55	66	76	85
ブラジル	0.0	0.1	0.5	11	24	31	36	42	47
欧州先進国	0.4	2.9	18	73	162	184	199	216	231
他欧州/ユーラシア	-	0.0	0.2	3.5	7.8	9.5	11	12	14
ロシア	-	0.0	0.0	0.7	1.1	1.4	1.7	2.1	2.4
アフリカ	0.0	0.0	0.3	4.3	17	23	29	35	41
中東	0.4	0.7	1.3	3.2	12	16	19	22	25
オセアニア	0.1	0.1	0.9	6.3	11	14	16	18	20
国際バンカー	-	-	-	-	-	-	-	-	-
先進国	2.1	6.1	31	154	327	393	451	511	569
G7	1.6	4.1	20	104	223	274	322	371	421
新興・途上国	0.5	2.1	17	185	514	657	799	902	1,005
新興・途上アジア	0.0	1.2	14	153	433	553	673	757	841
非アジア	1.3	6.0	33	172	381	465	541	616	688
欧州連合	0.3	2.5	16	58	130	147	161	173	183

(出所) IEA "World Energy Balances"

見直しは日本エネルギー経済研究所

レファレンスシナリオ 年平均変化率(%)					技術進展シナリオ (Mtoe)									年平均変化率(%)			
1990/ 2022	2022/ 2030	2030/ 2040	2040/ 2050	2022/ 2050						2022/ 2030/ 2040/ 2022/ 2050							
					2030	2035	2040	2045	2050	2030	2040	2050	2050				
16.5	12.0	4.0	2.3	5.6	991	1,361	1,748	2,186	2,668	14.4	5.8	4.3	7.7				
16.4	13.6	4.4	2.2	6.2	528	726	925	1,105	1,289	15.5	5.8	3.4	7.6				
29.5	13.2	4.0	1.8	5.7	382	510	635	722	812	14.5	5.2	2.5	6.8				
26.1	18.3	6.6	3.8	8.8	88	135	183	242	297	22.3	7.6	5.0	10.6				
6.4	7.6	2.3	1.6	3.5	18	21	25	29	33	9.1	3.3	3.0	4.8				
19.7	6.8	3.8	3.2	4.4	6.6	9.1	12	15	20	9.5	6.0	5.2	6.7				
14.0	20.1	3.3	2.7	7.7	6.9	9.0	11	13	16	22.9	4.8	3.9	9.3				
n.a.	14.3	5.3	3.2	7.0	21	33	48	67	92	20.2	8.7	6.8	11.2				
n.a.	31.2	9.0	4.9	13.3	4.2	8.7	14	21	31	45.9	12.7	8.2	19.6				
n.a.	9.8	8.4	4.4	7.4	0.6	1.7	3.3	6.2	10	15.3	18.7	12.0	15.3				
n.a.	16.1	9.6	5.0	9.8	0.1	0.5	1.0	1.9	3.2	33.0	21.9	12.7	21.5				
n.a.	30.3	3.7	2.7	10.3	3.5	4.7	6.1	7.7	9.4	39.3	5.8	4.4	13.9				
n.a.	13.5	3.3	1.4	5.4	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5	16.5	4.5	1.5	6.6				
n.a.	12.1	7.1	4.0	7.3	2.2	3.9	6.1	9.0	12	15.4	10.6	7.4	10.8				
n.a.	10.9	3.7	2.0	5.1	9.6	13	16	20	25	14.7	5.4	4.2	7.5				
17.8	9.5	4.7	3.2	5.5	155	232	309	407	510	12.4	7.1	5.2	7.9				
17.6	9.6	4.8	3.2	5.6	147	219	291	381	475	12.5	7.1	5.0	7.8				
22.3	9.6	4.1	2.5	5.0	56	77	105	143	196	12.8	6.5	6.4	8.3				
22.5	10.9	4.2	2.5	5.4	31	39	46	53	63	14.5	3.9	3.2	6.6				
18.1	10.5	2.1	1.5	4.2	182	215	245	286	326	12.2	3.0	2.9	5.5				
n.a.	10.6	3.6	2.0	5.0	12	16	20	25	31	16.5	5.5	4.5	8.2				
n.a.	5.6	4.9	3.4	4.5	4.0	4.7	5.4	6.1	6.8	24.4	3.0	2.3	8.5				
32.7	18.7	5.7	3.4	8.4	28	44	65	94	130	26.2	9.0	7.2	13.0				
6.6	18.1	4.6	2.5	7.5	17	30	47	74	107	23.3	10.5	8.5	13.3				
13.0	7.6	3.5	2.3	4.2	13	21	31	52	78	9.6	9.0	9.7	9.4				
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.				
14.4	9.9	3.3	2.4	4.8	383	507	632	803	983	12.1	5.2	4.5	6.9				
13.9	9.9	3.7	2.7	5.1	265	366	461	591	722	12.3	5.7	4.6	7.1				
20.3	13.6	4.5	2.3	6.2	609	854	1,115	1,384	1,684	16.0	6.2	4.2	8.2				
29.1	13.9	4.5	2.3	6.3	496	686	878	1,047	1,220	15.9	5.9	3.3	7.7				
16.6	10.4	3.6	2.4	5.1	464	635	822	1,082	1,379	13.2	5.9	5.3	7.7				
17.8	10.5	2.1	1.3	4.2	146	171	197	231	263	12.1	3.0	3.0	5.5				

付表13 | 一次エネルギー消費、バイオマス・廃棄物

	レファレンスシナリオ (石油換算100万t [Mtoe])								
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050
世界	833	906	1,065	1,301	1,394	1,404	1,398	1,379	1,354
アジア	433	451	436	510	533	552	566	577	587
中国	200	198	133	128	129	136	145	150	155
インド	108	126	151	210	233	239	239	239	237
日本	4.2	5.0	11	17	18	20	21	22	22
韓国	0.7	1.4	3.5	6.6	8.2	8.5	8.8	9.1	9.3
台湾	0.0	0.9	1.8	1.7	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
ASEAN	78	72	79	89	91	96	101	106	111
インドネシア	30	21	17	28	28	30	32	34	36
マレーシア	1.2	1.2	0.8	1.2	2.5	2.5	2.6	2.7	2.7
ミャンマー	9.0	9.2	10	11	9.6	8.5	7.5	6.8	6.2
フィリピン	10	7.6	8.7	11	10	10	9.8	9.5	9.3
シンガポール	0.1	0.2	0.6	0.7	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
タイ	15	15	23	23	24	27	30	33	36
ベトナム	12	14	15	9.4	11	12	13	14	15
北米	73	86	101	115	127	128	129	131	132
米国	62	73	89	103	115	115	116	119	120
中南米	93	90	128	151	177	177	177	177	178
ブラジル	48	47	82	95	111	114	117	120	123
欧州先進国	56	72	137	176	193	188	183	176	171
他欧州/ユーラシア	17	15	19	29	32	31	31	30	29
ロシア	12	6.9	6.9	10	11	12	12	13	13
アフリカ	156	186	235	313	318	309	289	258	222
中東	0.5	0.4	1.0	1.2	1.6	1.6	1.7	1.7	1.8
オセアニア	4.8	6.1	6.1	5.9	6.1	6.2	6.2	6.3	6.3
国際バンカー	-	-	-	0.6	6.5	12	16	21	26
先進国	139	172	261	323	356	354	350	347	344
G7	95	114	174	213	234	233	231	230	229
新興・途上国	694	734	803	978	1,032	1,039	1,031	1,010	984
新興・途上アジア	428	443	419	484	504	520	534	543	552
非アジア	400	455	628	790	855	841	815	780	741
欧州連合	47	65	129	159	173	168	162	156	150

(出所) IEA "World Energy Balances"

見直しは日本エネルギー経済研究所

レファレンスシナリオ 年平均変化率(%)					技術進展シナリオ (Mtoe)									年平均変化率(%)			
1990/ 2022	2022/ 2030	2030/ 2040	2040/ 2050	2022/ 2050						2022/ 2030/ 2040/ 2022/ 2050							
					2030	2035	2040	2045	2050	2030	2040	2050	2050				
1.4	0.9	0.0	-0.3	0.1	1,407	1,358	1,318	1,300	1,315	1.0	-0.6	0.0	0.0				
0.5	0.5	0.6	0.4	0.5	544	541	543	551	574	0.8	0.0	0.6	0.4				
-1.4	0.1	1.2	0.6	0.7	147	159	177	192	208	1.8	1.8	1.6	1.7				
2.1	1.3	0.3	-0.1	0.4	218	202	185	175	174	0.4	-1.6	-0.6	-0.7				
4.4	1.0	1.2	0.9	1.0	21	24	28	29	34	2.5	3.0	2.0	2.5				
7.1	2.8	0.7	0.5	1.2	9.1	9.8	11	12	14	4.1	1.9	2.3	2.7				
11.7	0.5	0.2	0.1	0.3	1.8	2.1	2.4	2.8	3.3	1.0	2.6	3.2	2.4				
0.4	0.2	1.1	1.0	0.8	101	104	106	109	113	1.6	0.4	0.7	0.9				
-0.1	0.1	1.3	1.1	0.9	39	42	44	46	49	4.2	1.1	1.1	2.0				
0.0	9.1	0.6	0.5	2.9	3.8	4.1	4.4	4.9	5.5	15.0	1.7	2.2	5.5				
0.6	-1.7	-2.4	-1.9	-2.0	7.7	5.2	4.0	3.2	2.5	-4.4	-6.4	-4.4	-5.1				
0.2	-1.2	-0.3	-0.5	-0.6	10	9.7	9.3	8.9	8.5	-1.3	-0.7	-0.9	-1.0				
7.4	6.0	0.1	0.2	1.8	1.3	1.4	1.5	1.7	1.9	8.2	1.4	2.6	3.7				
1.4	0.7	2.1	1.8	1.6	25	28	29	30	31	1.2	1.4	0.7	1.1				
-0.9	1.5	2.2	1.5	1.7	9.9	10	10	11	11	0.6	0.3	1.0	0.7				
1.4	1.2	0.1	0.2	0.5	148	149	152	155	158	3.2	0.3	0.4	1.1				
1.6	1.3	0.2	0.3	0.5	133	135	138	141	145	3.3	0.4	0.5	1.2				
1.5	2.0	0.0	0.1	0.6	172	165	156	149	144	1.7	-0.9	-0.8	-0.2				
2.2	2.0	0.5	0.5	0.9	107	104	100	96	93	1.5	-0.7	-0.6	0.0				
3.7	1.2	-0.6	-0.6	-0.1	210	202	190	178	170	2.2	-1.0	-1.1	-0.1				
1.7	1.4	-0.5	-0.5	0.0	32	31	30	29	29	1.4	-0.8	-0.1	0.1				
-0.5	1.2	0.7	0.9	0.9	12	13	13	15	16	2.0	1.0	1.9	1.6				
2.2	0.2	-1.0	-2.6	-1.2	274	225	187	162	140	-1.6	-3.7	-2.8	-2.8				
3.0	3.7	0.7	0.9	1.6	1.6	1.7	1.9	2.3	2.9	4.0	2.0	4.1	3.3				
0.6	0.3	0.2	0.1	0.2	6.0	5.9	5.8	5.7	5.7	0.1	-0.4	-0.2	-0.2				
n.a.	34.7	9.7	4.9	14.5	19	37	52	68	91	54.5	10.3	5.7	19.6				
2.7	1.2	-0.2	-0.2	0.2	397	395	391	385	387	2.6	-0.2	-0.1	0.6				
2.6	1.2	-0.1	-0.1	0.3	267	265	267	267	272	2.9	0.0	0.2	0.9				
1.1	0.7	0.0	-0.5	0.0	991	926	876	847	838	0.2	-1.2	-0.4	-0.5				
0.4	0.5	0.6	0.3	0.5	511	504	500	504	521	0.7	-0.2	0.4	0.3				
2.2	1.0	-0.5	-1.0	-0.2	844	779	723	681	651	0.8	-1.5	-1.0	-0.7				
3.9	1.1	-0.7	-0.7	-0.2	188	180	168	157	149	2.1	-1.1	-1.2	-0.2				

付表14 | 最終エネルギー消費

	レファレンスシナリオ (石油換算100万t [Mtoe])								
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050
世界	6,178	6,918	8,719	10,076	10,898	11,192	11,490	11,769	12,044
アジア	1,511	1,946	3,132	4,138	4,660	4,855	5,058	5,244	5,420
中国	658	781	1,645	2,290	2,487	2,464	2,447	2,405	2,355
インド	215	291	440	672	887	1,024	1,157	1,295	1,434
日本	289	334	312	259	239	230	220	212	204
韓国	65	127	161	181	182	179	176	171	165
台湾	32	54	74	73	74	74	73	72	71
ASEAN	149	244	352	478	585	655	727	799	866
インドネシア	57	91	117	162	197	226	256	287	317
マレーシア	13	29	42	59	72	78	84	90	94
ミャンマー	9.4	11	13	19	16	16	17	18	19
フィリピン	19	23	25	36	48	57	66	75	81
シンガポール	5.0	8.3	15	18	20	21	22	22	22
タイ	29	51	84	98	106	113	119	126	131
ベトナム	16	25	48	73	109	125	142	158	173
北米	1,452	1,728	1,699	1,776	1,763	1,741	1,722	1,706	1,701
米国	1,294	1,546	1,513	1,579	1,567	1,548	1,532	1,520	1,518
中南米	344	442	570	608	665	698	730	759	785
ブラジル	112	154	212	244	265	283	301	318	333
欧州先進国	1,142	1,234	1,289	1,190	1,115	1,068	1,025	986	951
他欧州/ユーラシア	1,057	647	709	780	804	801	797	795	795
ロシア	625	418	447	531	530	523	516	510	506
アフリカ	246	305	418	544	604	646	684	718	754
中東	157	259	450	585	687	732	770	804	836
オセアニア	66	82	90	92	98	99	99	99	98
国際バンカー	203	275	362	363	502	553	606	657	704
先進国	3,057	3,576	3,647	3,597	3,498	3,418	3,342	3,273	3,217
G7	2,377	2,735	2,674	2,613	2,524	2,463	2,408	2,360	2,325
新興・途上国	2,918	3,067	4,710	6,116	6,898	7,221	7,541	7,838	8,123
新興・途上アジア	1,114	1,413	2,563	3,600	4,138	4,344	4,561	4,762	4,953
非アジア	4,464	4,697	5,225	5,575	5,736	5,784	5,825	5,867	5,920
欧州連合	995	1,026	1,071	966	904	866	830	797	768

(出所) IEA "World Energy Balances"

見直しは日本エネルギー経済研究所

レファレンスシナリオ 年平均変化率(%)					技術進展シナリオ (Mtoe)									年平均変化率(%)			
1990/ 2022	2022/ 2030	2030/ 2040	2040/ 2050	2022/ 2050						2022/ 2030/ 2040/ 2050							
					2030	2035	2040	2045	2050	2030	2040	2050	2050				
1.5	1.0	0.5	0.5	0.6	10,412	10,082	9,722	9,438	9,312	0.4	-0.7	-0.4	-0.3				
3.2	1.5	0.8	0.7	1.0	4,445	4,367	4,283	4,213	4,219	0.9	-0.4	-0.2	0.1				
4.0	1.0	-0.2	-0.4	0.1	2,383	2,240	2,105	1,974	1,880	0.5	-1.2	-1.1	-0.7				
3.6	3.5	2.7	2.2	2.7	831	887	934	988	1,074	2.7	1.2	1.4	1.7				
-0.3	-1.0	-0.8	-0.8	-0.8	229	208	187	173	162	-1.5	-2.0	-1.4	-1.6				
3.2	0.0	-0.3	-0.6	-0.3	177	168	158	148	139	-0.3	-1.1	-1.2	-0.9				
2.6	0.1	-0.1	-0.4	-0.1	72	68	65	61	59	-0.3	-1.0	-1.0	-0.8				
3.7	2.5	2.2	1.8	2.1	560	592	617	637	654	2.0	1.0	0.6	1.1				
3.3	2.5	2.6	2.2	2.4	190	205	218	228	238	2.0	1.4	0.9	1.4				
4.8	2.5	1.5	1.2	1.7	70	71	71	69	68	2.0	0.1	-0.3	0.5				
2.2	-2.3	0.6	1.3	0.0	14	13	12	13	13	-3.9	-1.1	0.5	-1.3				
2.0	3.8	3.2	2.1	3.0	46	52	57	60	62	3.2	2.1	0.8	2.0				
4.1	1.2	0.6	0.1	0.6	20	20	19	19	19	0.9	-0.2	-0.3	0.1				
3.9	1.0	1.2	0.9	1.0	103	105	106	106	106	0.6	0.2	0.0	0.3				
4.9	5.2	2.7	2.0	3.2	103	111	118	124	131	4.4	1.4	1.1	2.1				
0.6	-0.1	-0.2	-0.1	-0.2	1,695	1,572	1,439	1,334	1,267	-0.6	-1.6	-1.3	-1.2				
0.6	-0.1	-0.2	-0.1	-0.1	1,508	1,399	1,280	1,188	1,130	-0.6	-1.6	-1.2	-1.2				
1.8	1.1	0.9	0.7	0.9	640	637	626	613	606	0.6	-0.2	-0.3	0.0				
2.5	1.1	1.3	1.0	1.1	255	257	257	257	258	0.6	0.1	0.0	0.2				
0.1	-0.8	-0.8	-0.7	-0.8	1,063	958	863	791	741	-1.4	-2.1	-1.5	-1.7				
-0.9	0.4	-0.1	0.0	0.1	775	734	690	649	617	-0.1	-1.2	-1.1	-0.8				
-0.5	0.0	-0.3	-0.2	-0.2	511	480	448	420	399	-0.5	-1.3	-1.2	-1.0				
2.5	1.3	1.2	1.0	1.2	555	544	541	547	561	0.3	-0.3	0.4	0.1				
4.2	2.0	1.2	0.8	1.3	666	677	673	667	666	1.6	0.1	-0.1	0.5				
1.0	0.8	0.1	-0.1	0.2	94	89	83	80	79	0.3	-1.3	-0.4	-0.5				
1.8	4.1	1.9	1.5	2.4	479	503	526	544	556	3.5	0.9	0.6	1.5				
0.5	-0.3	-0.5	-0.4	-0.4	3,355	3,089	2,818	2,610	2,470	-0.9	-1.7	-1.3	-1.3				
0.3	-0.4	-0.5	-0.3	-0.4	2,417	2,214	2,010	1,856	1,756	-1.0	-1.8	-1.3	-1.4				
2.3	1.5	0.9	0.7	1.0	6,577	6,489	6,378	6,284	6,286	0.9	-0.3	-0.1	0.1				
3.7	1.8	1.0	0.8	1.1	3,942	3,897	3,849	3,808	3,836	1.1	-0.2	0.0	0.2				
0.7	0.4	0.2	0.2	0.2	5,488	5,212	4,913	4,681	4,537	-0.2	-1.1	-0.8	-0.7				
-0.1	-0.8	-0.9	-0.8	-0.8	863	778	699	637	591	-1.4	-2.1	-1.7	-1.7				

付表15 | 最終エネルギー消費、産業

	レファレンスシナリオ (石油換算100万t [Mtoe])								
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050
世界	1,796	1,863	2,637	3,064	3,435	3,559	3,649	3,695	3,720
アジア	508	648	1,399	1,778	2,029	2,102	2,155	2,172	2,174
中国	234	297	917	1,129	1,163	1,108	1,050	968	886
インド	59	85	157	272	420	501	563	616	657
日本	107	102	91	75	69	66	63	61	58
韓国	20	38	48	48	50	50	50	49	47
台湾	13	21	25	25	27	28	28	28	28
ASEAN	41	75	122	177	232	266	299	330	357
インドネシア	17	30	49	68	88	103	119	134	148
マレーシア	5.5	12	15	19	26	29	33	36	39
ミャンマー	0.4	1.2	1.3	1.6	2.1	2.4	2.8	3.1	3.4
フィリピン	4.1	4.6	5.9	7.1	9.9	12	14	15	16
シンガポール	0.6	2.2	5.1	7.0	7.9	8.1	8.1	8.0	7.8
タイ	8.7	17	26	32	36	40	43	46	48
ベトナム	4.5	7.9	17	38	56	64	71	78	84
北米	331	386	312	327	340	345	346	345	343
米国	284	332	270	281	291	295	297	296	294
中南米	114	143	180	178	201	217	232	245	256
ブラジル	40	57	80	83	90	99	107	114	121
欧州先進国	330	324	296	284	283	279	272	265	257
他欧州/ユーラシア	391	205	205	208	236	242	245	249	252
ロシア	209	128	126	151	160	161	161	160	161
アフリカ	53	58	84	91	108	122	137	151	165
中東	47	71	134	172	210	223	232	238	242
オセアニア	23	28	26	26	28	30	30	31	31
国際バンカー	-	-	-	-	-	-	-	-	-
先進国	826	903	804	793	805	805	798	786	772
G7	602	645	544	529	526	525	520	512	503
新興・途上国	970	959	1,833	2,271	2,630	2,754	2,852	2,909	2,948
新興・途上アジア	365	483	1,230	1,622	1,875	1,950	2,006	2,027	2,033
非アジア	1,288	1,215	1,238	1,287	1,406	1,457	1,494	1,523	1,546
欧州連合	313	273	247	228	229	226	222	216	210

(出所) IEA "World Energy Balances"

見直しは日本エネルギー経済研究所

レファレンスシナリオ 年平均変化率(%)					技術進展シナリオ (Mtoe)									年平均変化率(%)			
1990/ 2022	2022/ 2030	2030/ 2040	2040/ 2050	2022/ 2050	(Mtoe)					年平均変化率(%)							
					2030	2035	2040	2045	2050	2022/ 2030	2030/ 2040	2040/ 2050	2022/ 2050				
1.7	1.4	0.6	0.2	0.7	3,245	3,118	2,958	2,808	2,754	0.7	-0.9	-0.7	-0.4				
4.0	1.7	0.6	0.1	0.7	1,906	1,821	1,726	1,638	1,618	0.9	-1.0	-0.6	-0.3				
5.0	0.4	-1.0	-1.7	-0.9	1,095	969	854	741	660	-0.4	-2.5	-2.5	-1.9				
4.9	5.6	3.0	1.5	3.2	387	412	422	437	482	4.5	0.9	1.3	2.1				
-1.1	-1.2	-0.8	-0.9	-0.9	65	59	53	49	46	-1.8	-1.9	-1.5	-1.7				
2.7	0.7	-0.1	-0.5	0.0	48	45	42	39	36	0.1	-1.3	-1.5	-1.0				
2.1	0.9	0.3	-0.1	0.3	26	25	23	22	21	0.3	-1.0	-1.1	-0.7				
4.6	3.4	2.6	1.8	2.5	221	236	246	252	261	2.8	1.1	0.6	1.4				
4.4	3.2	3.1	2.2	2.8	86	95	102	107	113	2.8	1.7	1.0	1.8				
4.0	3.5	2.5	1.8	2.5	24	25	25	25	24	2.9	0.3	-0.4	0.8				
4.5	3.3	2.9	2.1	2.7	1.9	2.0	2.2	2.3	2.5	2.0	1.6	1.4	1.6				
1.7	4.3	3.3	1.6	3.0	9.6	11	12	12	12	3.9	1.9	0.5	1.9				
8.0	1.4	0.4	-0.5	0.3	7.5	7.3	6.9	6.4	6.0	0.8	-0.9	-1.3	-0.5				
4.1	1.8	1.7	1.1	1.5	35	36	36	36	36	1.3	0.4	0.0	0.5				
6.9	4.8	2.5	1.6	2.8	52	54	56	57	61	3.9	0.7	0.9	1.7				
0.0	0.5	0.2	-0.1	0.2	324	305	281	260	246	-0.1	-1.4	-1.3	-1.0				
0.0	0.5	0.2	-0.1	0.2	278	261	240	222	210	-0.1	-1.4	-1.4	-1.0				
1.4	1.5	1.5	1.0	1.3	192	195	194	192	192	0.9	0.1	-0.1	0.3				
2.3	1.1	1.7	1.3	1.4	86	88	88	88	89	0.5	0.3	0.1	0.3				
-0.5	0.0	-0.4	-0.6	-0.4	270	251	230	213	201	-0.6	-1.6	-1.4	-1.2				
-2.0	1.6	0.4	0.3	0.7	225	216	204	193	186	1.0	-1.0	-0.9	-0.4				
-1.0	0.7	0.1	0.0	0.2	152	143	131	121	115	0.1	-1.4	-1.3	-1.0				
1.7	2.1	2.4	1.9	2.1	102	108	112	115	121	1.4	0.9	0.7	1.0				
4.1	2.6	1.0	0.4	1.2	200	196	186	174	168	1.9	-0.7	-1.0	-0.1				
0.5	0.9	0.6	0.2	0.6	27	26	24	23	22	0.3	-1.1	-1.0	-0.7				
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.				
-0.1	0.2	-0.1	-0.3	-0.1	767	719	662	612	578	-0.4	-1.5	-1.3	-1.1				
-0.4	-0.1	-0.1	-0.3	-0.2	501	467	427	394	370	-0.7	-1.6	-1.4	-1.3				
2.7	1.8	0.8	0.3	0.9	2,478	2,399	2,296	2,196	2,176	1.1	-0.8	-0.5	-0.2				
4.8	1.8	0.7	0.1	0.8	1,759	1,684	1,601	1,522	1,509	1.0	-0.9	-0.6	-0.3				
0.0	1.1	0.6	0.3	0.7	1,340	1,297	1,231	1,169	1,135	0.5	-0.8	-0.8	-0.4				
-1.0	0.0	-0.3	-0.5	-0.3	218	203	186	172	162	-0.6	-1.6	-1.4	-1.2				

付表16 | 最終エネルギー消費、運輸

	レファレンスシナリオ (石油換算100万t [Mtoe])								
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050
世界	1,578	1,966	2,431	2,802	3,072	3,140	3,231	3,330	3,424
アジア	189	323	493	722	871	911	967	1,032	1,098
中国	30	83	195	318	410	407	408	407	401
インド	21	32	65	113	151	180	216	262	316
日本	72	89	79	64	60	56	52	48	45
韓国	15	26	30	37	34	32	29	27	24
台湾	7.3	12	13	13	12	11	10	9.2	8.2
ASEAN	33	62	88	140	162	178	197	215	232
インドネシア	11	21	30	56	64	70	77	84	90
マレーシア	4.9	11	15	19	22	22	22	22	22
ミャンマー	0.4	1.2	0.8	4.3	2.3	2.9	3.6	4.5	5.4
フィリピン	4.5	8.3	8.0	12	18	23	27	31	34
シンガポール	1.4	1.8	2.4	2.2	2.5	2.4	2.3	2.2	2.0
タイ	9.2	15	19	28	28	29	30	31	32
ベトナム	1.4	3.5	10	15	19	23	27	31	35
北米	531	640	655	678	644	615	587	557	526
米国	488	588	596	619	588	563	537	510	482
中南米	104	140	197	225	245	254	264	272	280
ブラジル	33	47	70	90	97	102	107	113	118
欧州先進国	269	318	335	345	307	283	263	245	229
他欧州/ユーラシア	170	110	145	155	149	145	142	140	137
ロシア	116	74	96	103	97	95	94	93	92
アフリカ	38	54	87	129	146	162	180	198	217
中東	51	75	121	150	171	178	186	192	198
オセアニア	24	30	35	35	38	37	36	35	34
国際バンカー	203	275	362	363	502	553	606	657	704
先進国	921	1,121	1,150	1,176	1,099	1,038	982	926	870
G7	768	915	909	912	848	803	761	717	674
新興・途上国	455	569	918	1,263	1,471	1,549	1,643	1,747	1,849
新興・途上アジア	92	189	366	604	761	809	872	944	1,018
非アジア	1,186	1,368	1,576	1,717	1,699	1,675	1,658	1,640	1,621
欧州連合	220	262	279	280	247	228	211	196	183

(出所) IEA "World Energy Balances"

見直しは日本エネルギー経済研究所

レファレンスシナリオ 年平均変化率(%)					技術進展シナリオ (Mtoe)									年平均変化率(%)			
1990/ 2022	2022/ 2030	2030/ 2040	2040/ 2050	2022/ 2050						2022/ 2030/ 2040/ 2022/ 2050							
					2030	2035	2040	2045	2050	2030	2040	2050	2050				
1.8	1.2	0.5	0.6	0.7	2,910	2,761	2,601	2,463	2,377	0.5	-1.1	-0.9	-0.6				
4.3	2.4	1.1	1.3	1.5	820	794	763	735	717	1.6	-0.7	-0.6	0.0				
7.6	3.2	-0.1	-0.2	0.8	389	357	324	297	280	2.5	-1.8	-1.5	-0.5				
5.4	3.7	3.6	3.9	3.7	141	155	167	178	187	2.8	1.8	1.1	1.8				
-0.4	-0.9	-1.4	-1.5	-1.3	55	46	37	31	27	-2.0	-3.8	-3.0	-3.0				
2.9	-0.9	-1.4	-1.9	-1.4	32	28	23	19	16	-1.5	-3.4	-3.3	-2.8				
1.8	-1.5	-1.3	-2.1	-1.7	11	9.0	7.2	5.7	4.9	-2.5	-4.0	-3.8	-3.5				
4.7	1.8	1.9	1.7	1.8	153	156	158	155	150	1.1	0.3	-0.5	0.2				
5.3	1.7	1.8	1.6	1.7	60	61	60	59	57	0.8	0.0	-0.5	0.1				
4.3	1.8	0.1	-0.2	0.5	21	19	18	16	14	1.2	-1.6	-2.3	-1.1				
7.4	-7.7	4.8	3.9	0.8	2.2	2.6	3.0	3.4	3.7	-8.3	3.3	2.2	-0.5				
3.2	5.0	4.0	2.4	3.7	17	20	23	24	24	4.3	2.7	0.4	2.3				
1.6	1.2	-0.8	-1.2	-0.4	2.3	2.0	1.7	1.5	1.3	0.3	-3.0	-2.3	-1.8				
3.5	0.3	0.5	0.5	0.5	27	26	24	23	21	-0.3	-1.0	-1.5	-1.0				
7.7	3.3	3.4	2.9	3.2	18	20	21	22	21	2.3	1.8	0.2	1.4				
0.8	-0.6	-0.9	-1.1	-0.9	611	531	448	379	338	-1.3	-3.0	-2.8	-2.5				
0.7	-0.6	-0.9	-1.1	-0.9	559	488	412	349	310	-1.3	-3.0	-2.8	-2.4				
2.5	1.0	0.7	0.6	0.8	234	227	217	207	199	0.5	-0.7	-0.9	-0.4				
3.2	0.9	1.0	1.0	1.0	92	91	89	89	89	0.3	-0.3	-0.1	-0.1				
0.8	-1.5	-1.5	-1.4	-1.5	281	231	190	161	146	-2.5	-3.8	-2.6	-3.0				
-0.3	-0.5	-0.5	-0.3	-0.4	142	129	114	102	91	-1.1	-2.2	-2.2	-1.9				
-0.4	-0.7	-0.4	-0.2	-0.4	92	83	74	67	61	-1.4	-2.1	-2.0	-1.9				
3.9	1.6	2.1	1.9	1.9	142	151	158	162	167	1.2	1.1	0.6	0.9				
3.4	1.6	0.9	0.6	1.0	165	163	156	148	141	1.2	-0.5	-1.1	-0.2				
1.2	0.9	-0.5	-0.6	-0.1	36	33	29	25	23	0.3	-2.3	-2.1	-1.5				
1.8	4.1	1.9	1.5	2.4	479	503	526	544	556	3.5	0.9	0.6	1.5				
0.8	-0.9	-1.1	-1.2	-1.1	1,031	880	738	624	558	-1.6	-3.3	-2.7	-2.6				
0.5	-0.9	-1.1	-1.2	-1.1	793	676	566	477	427	-1.7	-3.3	-2.8	-2.7				
3.2	1.9	1.1	1.2	1.4	1,400	1,377	1,338	1,295	1,263	1.3	-0.5	-0.6	0.0				
6.0	2.9	1.4	1.6	1.9	718	708	693	677	666	2.2	-0.4	-0.4	0.3				
1.2	-0.1	-0.2	-0.2	-0.2	1,611	1,464	1,313	1,184	1,105	-0.8	-2.0	-1.7	-1.6				
0.8	-1.5	-1.6	-1.4	-1.5	228	187	153	128	114	-2.6	-3.9	-2.9	-3.2				

付表17 | 最終エネルギー消費、民生・農業他

	レファレンスシナリオ (石油換算100万t [Mtoe])								
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050
世界	2,327	2,471	2,857	3,238	3,321	3,379	3,449	3,539	3,655
アジア	699	789	944	1,187	1,243	1,302	1,374	1,456	1,545
中国	351	339	414	599	642	677	715	756	797
インド	122	147	184	238	250	265	286	312	342
日本	78	108	108	92	86	83	80	78	77
韓国	24	38	44	45	44	43	42	41	40
台湾	6.9	11	12	13	13	13	13	13	12
ASEAN	64	86	102	109	121	133	146	161	176
インドネシア	22	30	27	31	36	42	48	55	63
マレーシア	2.1	4.3	8.2	9.9	12	13	14	15	16
ミャンマー	8.5	9.1	10	13	11	10	9.9	9.8	9.8
フィリピン	10.0	9.9	11	15	18	20	22	25	27
シンガポール	1.1	1.7	2.3	2.9	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5
タイ	11	14	20	16	16	17	17	18	18
ベトナム	10	13	18	17	20	23	27	30	34
北米	456	528	572	599	602	599	602	615	640
米国	403	473	511	531	534	533	537	550	574
中南米	100	122	148	170	182	186	190	195	200
ブラジル	29	36	44	55	62	66	69	71	74
欧州先進国	442	477	545	472	438	419	403	390	379
他欧州/ユーラシア	431	285	279	320	316	309	302	297	294
ロシア	260	179	157	191	183	175	168	162	157
アフリカ	144	178	228	300	324	332	334	333	333
中東	40	74	119	165	191	205	216	226	236
オセアニア	15	19	23	25	26	26	27	27	28
国際バンカー	-	-	-	-	-	-	-	-	-
先進国	1,024	1,185	1,311	1,253	1,215	1,191	1,174	1,170	1,182
G7	783	904	972	932	910	893	882	884	900
新興・途上国	1,302	1,286	1,546	1,984	2,106	2,189	2,275	2,369	2,473
新興・途上アジア	587	628	773	1,029	1,093	1,157	1,232	1,318	1,410
非アジア	1,628	1,683	1,913	2,051	2,078	2,077	2,075	2,083	2,109
欧州連合	374	391	447	380	352	336	321	310	301

(出所) IEA "World Energy Balances"

見直しは日本エネルギー経済研究所

レファレンスシナリオ 年平均変化率(%)					技術進展シナリオ (Mtoe)									年平均変化率(%)			
1990/ 2022	2022/ 2030	2030/ 2040	2040/ 2050	2022/ 2050													
					2030	2035	2040	2045	2050	2022/ 2030	2030/ 2040	2040/ 2050	2022/ 2050				
1.0	0.3	0.4	0.6	0.4	3,187	3,091	3,004	2,963	2,936	-0.2	-0.6	-0.2	-0.3				
1.7	0.6	1.0	1.2	0.9	1,202	1,214	1,232	1,257	1,282	0.2	0.2	0.4	0.3				
1.7	0.9	1.1	1.1	1.0	628	642	654	663	669	0.6	0.4	0.2	0.4				
2.1	0.6	1.4	1.8	1.3	238	242	253	268	287	0.0	0.6	1.3	0.7				
0.5	-0.9	-0.7	-0.4	-0.7	83	78	71	67	64	-1.2	-1.6	-1.0	-1.3				
2.0	-0.3	-0.4	-0.7	-0.5	43	41	38	36	33	-0.6	-1.1	-1.5	-1.1				
2.0	-0.1	-0.2	-0.2	-0.2	13	12	11	11	10	-0.4	-1.0	-1.1	-0.9				
1.7	1.3	1.9	1.9	1.7	116	122	129	136	143	0.7	1.1	1.1	1.0				
1.2	2.0	2.9	2.7	2.6	36	40	44	48	53	1.7	2.1	1.8	1.9				
4.9	2.1	1.8	1.5	1.8	11	12	12	13	13	1.7	0.9	0.4	0.9				
1.3	-1.7	-1.1	-0.1	-0.9	9.4	7.6	6.8	6.5	6.2	-3.7	-3.2	-0.8	-2.5				
1.3	2.3	2.1	1.8	2.1	17	19	20	21	22	1.8	1.3	0.9	1.3				
3.0	0.7	0.6	0.5	0.6	3.0	3.0	2.9	2.8	2.7	0.3	-0.3	-0.7	-0.3				
1.3	0.1	0.5	0.5	0.4	16	16	16	15	15	-0.3	-0.2	-0.3	-0.3				
1.6	2.5	2.9	2.4	2.6	20	22	24	26	29	2.1	2.1	1.7	2.0				
0.9	0.1	0.0	0.6	0.2	583	554	523	505	491	-0.3	-1.1	-0.6	-0.7				
0.9	0.1	0.1	0.7	0.3	517	493	466	453	443	-0.3	-1.0	-0.5	-0.7				
1.7	0.9	0.4	0.5	0.6	177	174	171	168	165	0.5	-0.3	-0.4	-0.1				
2.0	1.4	1.0	0.7	1.0	60	61	61	61	60	1.0	0.2	-0.2	0.3				
0.2	-0.9	-0.8	-0.6	-0.8	425	390	356	331	308	-1.3	-1.8	-1.4	-1.5				
-0.9	-0.2	-0.4	-0.3	-0.3	305	286	265	246	229	-0.6	-1.4	-1.5	-1.2				
-1.0	-0.6	-0.8	-0.7	-0.7	177	163	149	137	126	-1.0	-1.7	-1.7	-1.5				
2.3	0.9	0.3	0.0	0.4	284	255	238	233	234	-0.7	-1.8	-0.2	-0.9				
4.5	1.9	1.2	0.9	1.3	186	192	195	197	198	1.5	0.4	0.2	0.7				
1.6	0.5	0.3	0.3	0.4	25	24	24	26	28	0.2	-0.6	1.8	0.5				
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.				
0.6	-0.4	-0.3	0.1	-0.2	1,178	1,106	1,030	982	941	-0.8	-1.3	-0.9	-1.0				
0.5	-0.3	-0.3	0.2	-0.1	883	829	772	738	711	-0.7	-1.3	-0.8	-1.0				
1.3	0.7	0.8	0.8	0.8	2,008	1,985	1,974	1,981	1,995	0.2	-0.2	0.1	0.0				
1.8	0.8	1.2	1.4	1.1	1,056	1,077	1,105	1,137	1,170	0.3	0.5	0.6	0.5				
0.7	0.2	0.0	0.2	0.1	1,985	1,876	1,771	1,706	1,653	-0.4	-1.1	-0.7	-0.8				
0.0	-1.0	-0.9	-0.7	-0.8	341	312	285	262	242	-1.3	-1.8	-1.6	-1.6				

付表18 | 最終エネルギー消費、電力

	レファレンスシナリオ (TWh)								
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050
世界	9,699	12,637	17,881	24,572	29,233	32,057	34,949	38,008	41,413
アジア	1,823	3,249	6,677	12,146	15,231	16,984	18,558	20,028	21,562
中国	454	1,036	3,450	7,551	9,233	9,998	10,527	10,856	11,175
インド	212	368	718	1,398	2,184	2,725	3,277	3,867	4,482
日本	765	973	1,035	907	893	897	904	916	935
韓国	94	263	449	542	592	615	631	642	650
台湾	77	160	218	260	281	290	299	307	314
ASEAN	130	321	606	1,154	1,613	1,926	2,269	2,642	3,039
インドネシア	28	79	147	355	504	625	769	936	1,127
マレーシア	20	61	111	164	219	255	292	331	371
ミャンマー	1.7	3.3	6.3	21	26	32	39	47	56
フィリピン	21	37	55	91	142	176	212	248	283
シンガポール	13	27	42	55	62	65	67	69	70
タイ	38	88	149	197	236	261	286	312	338
ベトナム	6.2	22	87	241	383	461	543	629	716
北米	3,051	3,930	4,265	4,542	5,004	5,306	5,717	6,249	6,911
米国	2,633	3,499	3,788	4,005	4,414	4,684	5,058	5,549	6,167
中南米	516	796	1,126	1,396	1,689	1,887	2,085	2,286	2,493
ブラジル	211	321	438	551	664	753	839	923	1,008
欧州先進国	2,248	2,717	3,106	3,061	3,136	3,177	3,255	3,365	3,493
他欧州/ユーラシア	1,448	1,001	1,193	1,323	1,530	1,640	1,761	1,891	2,031
ロシア	826	608	727	823	885	937	994	1,054	1,119
アフリカ	256	361	544	728	965	1,189	1,484	1,865	2,344
中東	199	376	718	1,118	1,385	1,561	1,755	1,970	2,200
オセアニア	158	207	252	259	294	313	333	354	377
国際バンカー	-	-	-	-	-	-	-	-	-
先進国	6,429	8,313	9,410	9,670	10,305	10,706	11,246	11,940	12,787
G7	5,062	6,373	6,904	6,902	7,352	7,673	8,122	8,712	9,449
新興・途上国	3,270	4,324	8,471	14,902	18,928	21,351	23,703	26,068	28,626
新興・途上アジア	851	1,789	4,890	10,338	13,359	15,075	16,618	18,056	19,557
非アジア	7,876	9,388	11,204	12,427	14,002	15,073	16,390	17,980	19,850
欧州連合	1,887	2,198	2,510	2,410	2,470	2,508	2,574	2,663	2,768

(出所) IEA "World Energy Balances"

見直しは日本エネルギー経済研究所

レファレンスシナリオ 年平均変化率(%)					技術進展シナリオ (TWh)									年平均変化率(%)			
1990/ 2022	2022/ 2030	2030/ 2040	2040/ 2050	2022/ 2050						2022/ 2030/ 2040/ 2022/ 2050							
					2030	2035	2040	2045	2050	2030	2040	2050	2050				
2.9	2.2	1.8	1.7	1.9	29,955	32,993	36,100	39,396	42,934	2.5	1.9	1.7	2.0				
6.1	2.9	2.0	1.5	2.1	15,585	17,222	18,798	20,307	22,195	3.2	1.9	1.7	2.2				
9.2	2.5	1.3	0.6	1.4	9,379	9,946	10,382	10,564	10,766	2.7	1.0	0.4	1.3				
6.1	5.7	4.1	3.2	4.2	2,332	2,945	3,604	4,390	5,474	6.6	4.4	4.3	5.0				
0.5	-0.2	0.1	0.3	0.1	904	910	910	928	936	0.0	0.1	0.3	0.1				
5.6	1.1	0.6	0.3	0.7	591	612	624	627	623	1.1	0.5	0.0	0.5				
3.9	0.9	0.6	0.5	0.7	283	291	295	296	295	1.0	0.4	0.0	0.4				
7.1	4.3	3.5	3.0	3.5	1,644	1,951	2,271	2,611	2,991	4.5	3.3	2.8	3.5				
8.2	4.5	4.3	3.9	4.2	531	668	819	982	1,159	5.2	4.4	3.5	4.3				
6.8	3.7	2.9	2.4	3.0	222	253	280	307	337	3.9	2.4	1.8	2.6				
8.2	2.3	4.2	3.7	3.5	28	35	43	51	60	3.3	4.4	3.4	3.8				
4.7	5.7	4.1	2.9	4.1	143	178	215	256	301	5.8	4.1	3.4	4.3				
4.6	1.5	0.9	0.4	0.9	62	64	65	63	62	1.5	0.4	-0.5	0.4				
5.3	2.2	1.9	1.7	1.9	240	268	295	324	357	2.5	2.1	1.9	2.1				
12.1	6.0	3.6	2.8	4.0	377	437	498	564	645	5.7	2.8	2.6	3.6				
1.3	1.2	1.3	1.9	1.5	5,061	5,434	5,867	6,387	6,765	1.4	1.5	1.4	1.4				
1.3	1.2	1.4	2.0	1.6	4,463	4,795	5,186	5,673	6,027	1.4	1.5	1.5	1.5				
3.2	2.4	2.1	1.8	2.1	1,721	1,950	2,188	2,432	2,675	2.6	2.4	2.0	2.3				
3.0	2.4	2.4	1.9	2.2	683	777	866	952	1,045	2.7	2.4	1.9	2.3				
1.0	0.3	0.4	0.7	0.5	3,260	3,414	3,566	3,754	3,873	0.8	0.9	0.8	0.8				
-0.3	1.8	1.4	1.4	1.5	1,595	1,752	1,916	2,079	2,250	2.4	1.9	1.6	1.9				
0.0	0.9	1.2	1.2	1.1	933	1,015	1,095	1,171	1,251	1.6	1.6	1.3	1.5				
3.3	3.6	4.4	4.7	4.3	1,005	1,260	1,552	1,891	2,296	4.1	4.4	4.0	4.2				
5.5	2.7	2.4	2.3	2.4	1,431	1,643	1,872	2,144	2,425	3.1	2.7	2.6	2.8				
1.6	1.6	1.3	1.3	1.3	298	319	342	401	455	1.7	1.4	2.9	2.0				
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.				
1.3	0.8	0.9	1.3	1.0	10,501	11,085	11,707	12,494	13,043	1.0	1.1	1.1	1.1				
1.0	0.8	1.0	1.5	1.1	7,498	7,954	8,450	9,087	9,530	1.0	1.2	1.2	1.2				
4.9	3.0	2.3	1.9	2.4	19,454	21,908	24,393	26,903	29,891	3.4	2.3	2.1	2.5				
8.1	3.3	2.2	1.6	2.3	13,702	15,303	16,865	18,356	20,245	3.6	2.1	1.8	2.4				
1.4	1.5	1.6	1.9	1.7	14,370	15,772	17,303	19,089	20,738	1.8	1.9	1.8	1.8				
0.8	0.3	0.4	0.7	0.5	2,563	2,681	2,797	2,918	2,989	0.8	0.9	0.7	0.8				

付表19 | 発電電力量

	レファレンスシナリオ (TWh)								
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050
世界	11,849	15,425	21,515	29,143	34,528	37,744	40,956	44,290	47,956
アジア	2,243	3,969	7,967	14,310	17,929	19,939	21,694	23,283	24,913
中国	621	1,356	4,197	8,911	10,847	11,702	12,271	12,599	12,909
インド	289	561	972	1,814	2,807	3,458	4,089	4,739	5,394
日本	862	1,055	1,164	1,010	995	998	1,005	1,018	1,038
韓国	109	288	472	610	667	692	709	721	728
台湾	90	181	244	285	307	317	326	335	342
ASEAN	154	374	685	1,284	1,802	2,146	2,522	2,931	3,366
インドネシア	33	93	170	377	542	678	838	1,024	1,236
マレーシア	23	69	125	187	249	289	330	373	418
ミャンマー	2.5	5.1	8.6	21	37	48	61	79	99
フィリピン	26	45	68	112	170	208	248	285	320
シンガポール	16	32	46	57	65	68	70	72	73
タイ	44	96	159	186	230	253	275	294	312
ベトナム	8.7	27	95	276	429	513	601	692	782
北米	3,685	4,632	4,957	5,124	5,639	5,975	6,430	7,019	7,752
米国	3,203	4,026	4,354	4,473	4,932	5,232	5,647	6,191	6,875
中南米	623	1,009	1,406	1,716	2,052	2,280	2,503	2,722	2,941
ブラジル	223	349	516	677	828	932	1,028	1,119	1,208
欧州先進国	2,695	3,236	3,623	3,543	3,782	3,859	3,976	4,155	4,353
他欧州/ユーラシア	1,856	1,415	1,689	1,816	1,860	1,938	2,021	2,072	2,133
ロシア	1,082	876	1,036	1,149	1,084	1,131	1,179	1,191	1,206
アフリカ	315	442	687	901	1,196	1,464	1,811	2,251	2,797
中東	244	472	888	1,418	1,714	1,910	2,124	2,366	2,622
オセアニア	187	249	298	316	356	377	399	422	445
国際バンカー	-	-	-	-	-	-	-	-	-
先進国	7,673	9,704	10,842	10,981	11,844	12,320	12,946	13,770	14,760
G7	6,041	7,437	7,989	7,782	8,515	8,890	9,405	10,098	10,966
新興・途上国	4,177	5,722	10,672	18,162	22,684	25,423	28,009	30,521	33,197
新興・途上アジア	1,138	2,383	6,003	12,312	15,861	17,830	19,552	21,109	22,704
非アジア	9,606	11,456	13,547	14,833	16,599	17,805	19,262	21,007	23,044
欧州連合	2,256	2,630	2,955	2,793	3,072	3,154	3,299	3,380	3,503

(出所) IEA "World Energy Balances"

見直しは日本エネルギー経済研究所

(注)揚水発電量を含まない

レファレンスシナリオ 年平均変化率(%)					技術進展シナリオ (TWh)									年平均変化率(%)			
1990/ 2022	2022/ 2030	2030/ 2040	2040/ 2050	2022/ 2050						2022/ 2030/ 2040/ 2022/ 2050							
					2030	2035	2040	2045	2050	2030	2040	2050	2050				
2.9	2.1	1.7	1.6	1.8	35,544	39,903	44,369	50,289	57,091	2.5	2.2	2.6	2.4				
6.0	2.9	1.9	1.4	2.0	18,411	20,584	22,527	24,662	27,350	3.2	2.0	2.0	2.3				
8.7	2.5	1.2	0.5	1.3	11,056	11,887	12,421	12,703	13,082	2.7	1.2	0.5	1.4				
5.9	5.6	3.8	2.8	4.0	2,996	3,725	4,459	5,444	6,742	6.5	4.1	4.2	4.8				
0.5	-0.2	0.1	0.3	0.1	1,009	1,029	1,043	1,088	1,120	0.0	0.3	0.7	0.4				
5.5	1.1	0.6	0.3	0.6	668	708	734	764	794	1.1	0.9	0.8	0.9				
3.7	0.9	0.6	0.5	0.7	309	324	332	344	359	1.0	0.7	0.8	0.8				
6.8	4.3	3.4	2.9	3.5	1,846	2,242	2,685	3,236	3,893	4.6	3.8	3.8	4.0				
7.9	4.6	4.5	4.0	4.3	576	748	951	1,199	1,491	5.4	5.1	4.6	5.0				
6.8	3.6	2.8	2.4	2.9	255	302	353	414	490	3.9	3.3	3.4	3.5				
6.9	7.2	5.2	5.0	5.7	39	56	74	103	138	8.1	6.5	6.5	7.0				
4.6	5.4	3.9	2.6	3.8	172	216	264	322	386	5.6	4.4	3.9	4.5				
4.1	1.5	0.9	0.4	0.9	65	69	70	63	53	1.6	0.8	-2.7	-0.3				
4.6	2.7	1.8	1.3	1.9	237	269	307	362	429	3.1	2.6	3.4	3.0				
11.4	5.7	3.4	2.7	3.8	425	496	572	665	783	5.5	3.0	3.2	3.8				
1.0	1.2	1.3	1.9	1.5	5,723	6,273	6,876	7,735	8,464	1.4	1.9	2.1	1.8				
1.0	1.2	1.4	2.0	1.5	5,004	5,479	6,000	6,732	7,328	1.4	1.8	2.0	1.8				
3.2	2.3	2.0	1.6	1.9	2,110	2,496	2,974	3,637	4,490	2.6	3.5	4.2	3.5				
3.5	2.5	2.2	1.6	2.1	914	1,045	1,183	1,323	1,501	3.8	2.6	2.4	2.9				
0.9	0.8	0.5	0.9	0.7	3,966	4,352	4,765	5,345	5,903	1.4	1.9	2.2	1.8				
-0.1	0.3	0.8	0.5	0.6	1,925	1,994	2,061	2,234	2,419	0.7	0.7	1.6	1.0				
0.2	-0.7	0.8	0.2	0.2	1,140	1,164	1,174	1,233	1,295	-0.1	0.3	1.0	0.4				
3.3	3.6	4.2	4.4	4.1	1,259	1,646	2,122	2,775	3,597	4.3	5.4	5.4	5.1				
5.6	2.4	2.2	2.1	2.2	1,782	2,109	2,490	3,095	3,764	2.9	3.4	4.2	3.5				
1.6	1.5	1.1	1.1	1.2	368	448	556	806	1,103	1.9	4.2	7.1	4.6				
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.				
1.1	1.0	0.9	1.3	1.1	12,142	13,235	14,405	16,172	17,820	1.3	1.7	2.2	1.7				
0.8	1.1	1.0	1.5	1.2	8,738	9,491	10,279	11,527	12,608	1.5	1.6	2.1	1.7				
4.7	2.8	2.1	1.7	2.2	23,402	26,668	29,964	34,116	39,271	3.2	2.5	2.7	2.8				
7.7	3.2	2.1	1.5	2.2	16,326	18,423	20,319	22,376	25,000	3.6	2.2	2.1	2.6				
1.4	1.4	1.5	1.8	1.6	17,133	19,319	21,842	25,626	29,741	1.8	2.5	3.1	2.5				
0.7	1.2	0.7	0.6	0.8	3,304	3,673	4,031	4,254	4,480	2.1	2.0	1.1	1.7				

付表20 | 1人当たり一次エネルギー消費

	レファレンスシナリオ (石油換算t [toe]/人)								
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050
世界	1.6	1.6	1.8	1.9	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
アジア	0.7	0.8	1.2	1.5	1.6	1.6	1.6	1.7	1.7
中国	0.8	0.9	1.9	2.7	2.8	2.8	2.7	2.7	2.7
インド	0.3	0.4	0.5	0.7	0.9	1.0	1.0	1.1	1.2
日本	3.5	4.1	3.9	3.1	3.1	3.0	3.0	3.0	3.0
韓国	2.1	4.0	4.9	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4
台湾	2.5	4.0	5.1	5.0	4.9	5.0	5.1	5.1	5.2
ASEAN	0.5	0.7	0.9	1.1	1.3	1.5	1.6	1.7	1.8
インドネシア	0.5	0.6	0.7	0.9	1.2	1.4	1.6	1.7	1.9
マレーシア	1.2	2.1	2.5	2.9	3.2	3.3	3.5	3.5	3.6
ミャンマー	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5
フィリピン	0.4	0.5	0.4	0.5	0.7	0.7	0.8	0.9	0.9
シンガポール	3.8	4.6	4.8	6.6	6.6	6.6	6.6	6.7	6.8
タイ	0.8	1.2	1.7	1.9	2.0	2.1	2.3	2.5	2.6
ベトナム	0.3	0.4	0.7	1.0	1.5	1.7	1.9	2.1	2.3
北米	7.7	8.1	7.2	6.6	6.2	5.9	5.7	5.5	5.5
米国	7.7	8.1	7.2	6.5	6.1	5.8	5.5	5.4	5.3
中南米	1.1	1.2	1.3	1.3	1.3	1.4	1.4	1.4	1.5
ブラジル	0.9	1.1	1.4	1.4	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8
欧州先進国	3.3	3.3	3.3	2.8	2.5	2.4	2.3	2.2	2.2
他欧州/ユーラシア	4.5	3.0	3.4	3.5	3.5	3.5	3.5	3.4	3.4
ロシア	5.9	4.2	4.9	5.6	5.5	5.5	5.5	5.5	5.4
アフリカ	0.6	0.5	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
中東	1.7	2.2	2.9	3.1	3.1	3.1	3.1	3.0	3.0
オセアニア	4.9	5.5	5.5	4.7	4.5	4.3	4.1	3.9	3.7
国際バンカー	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
先進国	4.5	4.9	4.7	4.2	3.9	3.8	3.7	3.7	3.6
G7	5.4	5.8	5.3	4.7	4.4	4.2	4.1	4.0	4.0
新興・途上国	0.9	0.9	1.2	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
新興・途上アジア	0.5	0.6	1.1	1.4	1.5	1.5	1.5	1.6	1.6
非アジア	2.8	2.5	2.5	2.2	2.0	1.9	1.8	1.8	1.7
欧州連合	3.4	3.4	3.5	2.9	2.7	2.6	2.5	2.4	2.4

(出所)世界銀行 "World Development Indicators"、IEA "World Energy Balances"より算出
見直しは日本エネルギー経済研究所

レファレンスシナリオ 年平均変化率(%)					技術進展シナリオ (toe/人)									
1990/ 2022	2022/ 2030	2030/ 2040	2040/ 2050	2022/ 2050						年平均変化率(%)				
					2030	2035	2040	2045	2050	2022/ 2030	2030/ 2040	2040/ 2050	2022/ 2050	
0.4	-0.2	-0.2	-0.1	-0.2	1.8	1.7	1.6	1.5	1.5	-0.7	-1.2	-0.7	-0.9	
2.5	0.5	0.3	0.4	0.4	1.5	1.5	1.4	1.4	1.4	0.0	-0.8	-0.4	-0.4	
4.0	0.4	-0.1	-0.1	0.0	2.7	2.5	2.3	2.2	2.0	-0.1	-1.4	-1.3	-1.0	
2.5	2.4	1.9	1.7	2.0	0.8	0.8	0.9	0.9	1.0	1.6	0.6	1.2	1.1	
-0.4	-0.3	-0.2	0.0	-0.1	3.0	2.9	2.8	2.7	2.7	-0.5	-0.8	-0.3	-0.5	
3.0	-0.1	0.0	0.0	0.0	5.4	5.3	5.2	5.1	5.0	-0.1	-0.3	-0.4	-0.3	
2.2	-0.2	0.3	0.3	0.1	4.8	4.7	4.6	4.5	4.4	-0.5	-0.5	-0.3	-0.4	
2.5	2.2	2.1	1.5	1.9	1.2	1.4	1.4	1.5	1.6	1.6	1.5	1.1	1.4	
2.2	2.8	3.1	1.8	2.5	1.1	1.4	1.5	1.6	1.8	2.4	2.8	1.7	2.3	
2.8	1.2	0.7	0.4	0.7	3.1	3.1	3.0	3.0	2.9	0.6	-0.1	-0.3	0.0	
1.3	-1.1	1.6	2.5	1.1	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	-2.7	0.2	2.1	0.0	
0.7	2.3	2.2	1.3	1.9	0.6	0.7	0.7	0.8	0.8	1.7	1.8	0.7	1.4	
1.8	-0.1	0.1	0.3	0.1	6.5	6.5	6.4	6.3	6.2	-0.2	-0.2	-0.3	-0.2	
2.8	0.9	1.4	1.4	1.3	2.0	2.0	2.1	2.2	2.3	0.7	0.6	1.0	0.8	
4.3	4.4	2.4	2.0	2.8	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	3.2	1.1	1.5	1.8	
-0.4	-0.9	-0.8	-0.4	-0.7	5.9	5.4	4.9	4.5	4.2	-1.4	-1.9	-1.6	-1.7	
-0.5	-0.9	-0.9	-0.4	-0.7	5.8	5.3	4.8	4.4	4.1	-1.5	-2.0	-1.6	-1.7	
0.6	0.3	0.5	0.6	0.5	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2	-0.3	-0.3	0.1	-0.1	
1.3	0.4	1.2	1.1	0.9	1.4	1.4	1.4	1.4	1.5	0.0	0.2	0.4	0.2	
-0.5	-1.4	-0.7	-0.5	-0.8	2.4	2.2	2.1	2.0	2.0	-1.9	-1.2	-0.5	-1.1	
-0.8	0.0	-0.1	-0.1	-0.1	3.5	3.3	3.2	3.1	3.0	-0.2	-0.9	-0.6	-0.6	
-0.2	-0.2	0.0	-0.2	-0.1	5.4	5.2	5.0	4.8	4.7	-0.4	-0.8	-0.6	-0.6	
0.1	-0.9	-0.5	-0.2	-0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	-1.8	-1.5	-0.7	-1.3	
2.0	0.0	-0.2	-0.2	-0.1	3.0	2.9	2.8	2.7	2.6	-0.4	-0.8	-0.6	-0.6	
-0.1	-0.6	-1.0	-0.8	-0.8	4.4	4.0	3.7	3.6	3.6	-0.9	-1.8	-0.2	-1.0	
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
-0.2	-0.8	-0.6	-0.3	-0.5	3.8	3.6	3.3	3.1	3.0	-1.3	-1.4	-0.9	-1.2	
-0.4	-0.8	-0.7	-0.3	-0.6	4.2	3.9	3.6	3.3	3.2	-1.3	-1.6	-1.1	-1.4	
1.3	0.1	0.0	0.1	0.1	1.4	1.3	1.2	1.2	1.2	-0.4	-1.0	-0.6	-0.7	
3.1	0.6	0.4	0.5	0.5	1.4	1.4	1.3	1.3	1.3	0.1	-0.7	-0.3	-0.3	
-0.7	-1.1	-0.9	-0.6	-0.9	1.9	1.8	1.6	1.5	1.4	-1.6	-1.7	-1.2	-1.5	
-0.5	-1.1	-0.6	-0.5	-0.7	2.6	2.5	2.3	2.2	2.2	-1.4	-1.2	-0.6	-1.0	

付表21 | GDP当たり一次エネルギー消費

	レファレンスシナリオ (石油換算t [toe]/2015年価格100万ドル)								
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050
世界	242	206	196	166	141	126	113	102	92
アジア	309	272	265	214	171	149	128	112	98
中国	850	409	336	233	173	142	116	95	79
インド	590	511	422	336	258	221	189	163	143
日本	124	129	118	87	76	70	65	60	56
韓国	223	233	193	161	134	121	108	96	87
台湾	315	292	254	173	137	122	109	97	87
ASEAN	295	300	260	228	200	186	169	153	140
インドネシア	313	320	262	232	207	203	184	166	150
マレーシア	284	326	312	257	225	205	187	170	155
ミャンマー	1,499	903	310	324	262	227	199	181	165
フィリピン	249	272	182	154	122	110	100	91	85
シンガポール	163	133	98	98	87	81	75	71	67
タイ	294	328	340	296	253	226	203	183	166
ベトナム	397	307	330	284	260	229	201	178	159
北米	200	169	139	109	89	79	71	64	59
米国	195	165	135	104	84	75	66	60	55
中南米	177	170	162	150	133	122	111	101	93
ブラジル	153	159	157	158	141	129	118	109	100
欧州先進国	141	120	109	78	63	56	51	46	42
他欧州/ユーラシア	846	803	544	463	374	337	302	272	246
ロシア	757	794	554	549	453	415	380	346	315
アフリカ	380	358	302	288	237	204	176	153	134
中東	243	274	312	302	274	254	233	215	198
オセアニア	151	138	119	89	77	68	61	54	49
国際バンカー	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
先進国	164	146	126	96	79	71	64	58	53
G7	163	144	123	94	78	70	63	57	52
新興・途上国	463	356	312	255	204	177	153	133	117
新興・途上アジア	604	402	337	248	191	163	138	119	103
非アジア	220	180	162	135	115	105	95	87	81
欧州連合	159	131	119	86	70	62	56	50	46

(出所)世界銀行 "World Development Indicators"、IEA "World Energy Balances"より算出
見通しは日本エネルギー経済研究所

レファレンスシナリオ 年平均変化率(%)					技術進展シナリオ (toe/2015年価格100万ドル)								
1990/ 2022	2022/ 2030	2030/ 2040	2040/ 2050	2022/ 2050						年平均変化率(%)			
					2030	2035	2040	2045	2050	2022/ 2030	2030/ 2040	2040/ 2050	2022/ 2050
-1.2	-2.0	-2.2	-2.0	-2.1	135	116	99	85	75	-2.5	-3.1	-2.6	-2.8
-1.1	-2.7	-2.8	-2.7	-2.7	165	136	111	92	78	-3.2	-3.9	-3.4	-3.5
-4.0	-3.7	-3.9	-3.8	-3.8	167	129	98	75	59	-4.1	-5.2	-4.9	-4.8
-1.7	-3.2	-3.1	-2.8	-3.0	244	195	156	129	113	-3.9	-4.3	-3.2	-3.8
-1.1	-1.7	-1.6	-1.4	-1.5	75	67	60	55	51	-1.9	-2.2	-1.6	-1.9
-1.0	-2.3	-2.1	-2.1	-2.2	133	118	104	92	81	-2.3	-2.5	-2.4	-2.4
-1.9	-2.9	-2.3	-2.2	-2.4	133	115	98	84	74	-3.2	-3.1	-2.7	-3.0
-0.8	-1.6	-1.7	-1.9	-1.7	191	173	152	135	121	-2.2	-2.3	-2.2	-2.2
-0.9	-1.4	-1.2	-2.0	-1.6	201	195	175	156	140	-1.8	-1.4	-2.2	-1.8
-0.3	-1.7	-1.8	-1.9	-1.8	214	187	164	143	127	-2.3	-2.6	-2.5	-2.5
-4.7	-2.6	-2.7	-1.8	-2.4	230	183	154	137	122	-4.2	-4.0	-2.2	-3.4
-1.5	-2.9	-2.0	-1.5	-2.1	117	106	92	81	74	-3.4	-2.3	-2.2	-2.6
-1.6	-1.5	-1.5	-1.1	-1.4	87	80	73	66	61	-1.5	-1.8	-1.7	-1.7
0.0	-1.9	-2.2	-2.0	-2.0	250	215	186	163	146	-2.1	-2.9	-2.4	-2.5
-1.0	-1.1	-2.5	-2.3	-2.1	236	195	161	137	120	-2.3	-3.8	-2.9	-3.0
-1.9	-2.5	-2.3	-1.8	-2.2	85	72	61	52	45	-3.0	-3.4	-2.9	-3.1
-2.0	-2.6	-2.4	-1.8	-2.2	81	68	57	49	42	-3.1	-3.4	-3.0	-3.2
-0.5	-1.5	-1.9	-1.7	-1.7	128	112	98	87	79	-2.0	-2.6	-2.1	-2.3
0.1	-1.4	-1.7	-1.7	-1.6	136	119	104	91	82	-1.8	-2.7	-2.4	-2.3
-1.8	-2.7	-2.1	-1.9	-2.2	60	53	46	41	38	-3.2	-2.7	-1.9	-2.5
-1.9	-2.6	-2.1	-2.1	-2.2	368	319	275	242	214	-2.8	-2.9	-2.5	-2.7
-1.0	-2.4	-1.7	-1.9	-2.0	445	392	343	305	273	-2.6	-2.6	-2.3	-2.5
-0.9	-2.4	-3.0	-2.7	-2.7	221	180	148	124	107	-3.3	-4.0	-3.1	-3.5
0.7	-1.2	-1.6	-1.6	-1.5	266	239	213	192	174	-1.6	-2.2	-2.0	-2.0
-1.7	-1.8	-2.3	-2.1	-2.1	75	64	55	50	47	-2.0	-3.1	-1.5	-2.3
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
-1.7	-2.4	-2.2	-1.8	-2.1	77	66	57	50	45	-2.8	-2.9	-2.4	-2.7
-1.7	-2.3	-2.2	-1.8	-2.1	75	64	55	47	42	-2.8	-3.2	-2.6	-2.8
-1.8	-2.7	-2.9	-2.6	-2.7	196	162	132	111	95	-3.2	-3.9	-3.3	-3.5
-2.7	-3.2	-3.2	-2.9	-3.1	184	148	118	96	81	-3.7	-4.3	-3.6	-3.9
-1.5	-2.0	-1.9	-1.6	-1.8	111	97	84	75	68	-2.4	-2.7	-2.2	-2.4
-1.9	-2.5	-2.2	-2.0	-2.2	68	59	52	46	42	-2.9	-2.7	-2.0	-2.5

付表22 | エネルギー起源二酸化炭素排出

	レファレンスシナリオ (100万t)								
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050
世界	20,583	23,158	30,612	34,116	32,912	32,635	32,463	32,583	32,662
アジア	4,659	6,742	12,883	17,077	16,717	16,616	16,388	16,345	16,210
中国	2,162	3,151	7,975	10,613	9,469	8,687	7,767	6,996	6,188
インド	521	875	1,546	2,517	3,106	3,553	3,981	4,423	4,836
日本	1,046	1,151	1,131	974	768	721	664	616	576
韓国	214	407	558	549	539	505	488	463	428
台湾	116	220	260	264	247	237	224	209	194
ASEAN	350	682	1,074	1,683	2,042	2,269	2,510	2,751	2,958
インドネシア	130	255	396	652	801	907	1,034	1,162	1,281
マレーシア	53	112	188	241	281	292	302	312	316
ミャンマー	4.0	9.6	8.1	26	30	39	50	64	79
フィリピン	35	65	75	138	179	214	245	270	288
シンガポール	26	40	48	47	49	50	50	49	49
タイ	81	151	222	250	257	262	264	263	258
ベトナム	17	42	123	287	389	443	497	552	600
北米	5,151	6,098	5,715	5,131	4,540	4,261	4,018	3,819	3,714
米国	4,760	5,621	5,217	4,608	4,043	3,761	3,510	3,313	3,206
中南米	861	1,192	1,522	1,472	1,465	1,526	1,586	1,644	1,689
ブラジル	199	305	381	414	370	397	425	452	476
欧州先進国	3,964	3,927	3,834	3,153	2,279	2,016	1,879	1,789	1,662
他欧州/ユーラシア	3,872	2,328	2,490	2,510	2,369	2,295	2,274	2,235	2,216
ロシア	2,144	1,400	1,462	1,623	1,465	1,412	1,383	1,350	1,332
アフリカ	571	689	1,017	1,262	1,391	1,543	1,728	1,962	2,214
中東	588	967	1,605	1,997	2,247	2,356	2,442	2,526	2,593
オセアニア	285	356	416	383	370	352	335	321	309
国際バンカー	632	858	1,130	1,131	1,535	1,670	1,812	1,941	2,056
先進国	10,835	12,238	12,003	10,532	8,817	8,165	7,680	7,286	6,946
G7	8,423	9,386	8,825	7,619	6,391	5,933	5,547	5,263	5,039
新興・途上国	9,117	10,062	17,480	22,453	22,560	22,800	22,971	23,356	23,660
新興・途上アジア	3,224	4,886	10,846	15,212	15,088	15,080	14,940	14,989	14,948
非アジア	15,292	15,558	16,599	15,908	14,659	14,349	14,263	14,297	14,396
欧州連合	3,462	3,263	3,133	2,517	1,915	1,712	1,602	1,532	1,422

(出所) IEA "World Energy Balances"他より算出
見直しは日本エネルギー経済研究所

レファレンスシナリオ 年平均変化率(%)					技術進展シナリオ (100万t) 年平均変化率(%)								
1990/ 2022	2022/ 2030	2030/ 2040	2040/ 2050	2022/ 2050	(100万t)					年平均変化率(%)			
					2030	2035	2040	2045	2050	2022/ 2030	2030/ 2040	2040/ 2050	2022/ 2050
1.6	-0.4	-0.1	0.1	-0.2	29,605	24,805	20,487	16,358	12,924	-1.8	-3.6	-4.5	-3.4
4.1	-0.3	-0.2	-0.1	-0.2	14,897	12,042	9,577	7,497	5,841	-1.7	-4.3	-4.8	-3.8
5.1	-1.4	-2.0	-2.2	-1.9	8,518	6,001	3,953	2,434	1,465	-2.7	-7.4	-9.5	-6.8
5.0	2.7	2.5	2.0	2.4	2,761	2,780	2,708	2,525	2,216	1.2	-0.2	-2.0	-0.5
-0.2	-2.9	-1.4	-1.4	-1.9	667	518	372	212	71	-4.6	-5.7	-15.3	-8.9
3.0	-0.2	-1.0	-1.3	-0.9	468	358	253	165	99	-2.0	-6.0	-9.0	-5.9
2.6	-0.9	-1.0	-1.5	-1.1	217	175	134	89	52	-2.4	-4.7	-9.0	-5.6
5.0	2.4	2.1	1.7	2.0	1,776	1,695	1,612	1,494	1,336	0.7	-1.0	-1.9	-0.8
5.2	2.6	2.6	2.2	2.4	710	720	714	684	619	1.1	0.1	-1.4	-0.2
4.8	1.9	0.7	0.4	1.0	250	234	211	180	151	0.5	-1.7	-3.3	-1.6
6.0	1.8	5.2	4.7	4.1	27	34	40	49	58	0.5	4.0	3.7	2.9
4.3	3.4	3.2	1.6	2.7	152	155	154	149	133	1.3	0.1	-1.5	-0.1
1.8	0.6	0.2	-0.3	0.1	39	23	16	7.2	0.9	-2.1	-8.9	-24.7	-13.1
3.6	0.3	0.3	-0.2	0.1	240	216	192	162	132	-0.5	-2.2	-3.7	-2.3
9.3	3.9	2.5	1.9	2.7	309	265	237	211	188	0.9	-2.6	-2.3	-1.5
0.0	-1.5	-1.2	-0.8	-1.1	4,029	3,061	2,214	1,290	551	-3.0	-5.8	-13.0	-7.7
-0.1	-1.6	-1.4	-0.9	-1.3	3,570	2,673	1,902	1,063	397	-3.1	-6.1	-14.5	-8.4
1.7	-0.1	0.8	0.6	0.5	1,324	1,234	1,106	968	827	-1.3	-1.8	-2.9	-2.0
2.3	-1.4	1.4	1.1	0.5	340	323	298	262	227	-2.4	-1.3	-2.7	-2.1
-0.7	-4.0	-1.9	-1.2	-2.3	1,950	1,527	1,139	678	285	-5.8	-5.2	-12.9	-8.2
-1.3	-0.7	-0.4	-0.3	-0.4	2,243	1,961	1,711	1,507	1,332	-1.4	-2.7	-2.5	-2.2
-0.9	-1.3	-0.6	-0.4	-0.7	1,395	1,209	1,026	888	773	-1.9	-3.0	-2.8	-2.6
2.5	1.2	2.2	2.5	2.0	1,291	1,312	1,324	1,326	1,324	0.3	0.3	0.0	0.2
3.9	1.5	0.8	0.6	0.9	2,106	2,003	1,841	1,640	1,464	0.7	-1.3	-2.3	-1.1
0.9	-0.5	-1.0	-0.8	-0.8	345	268	198	110	29	-1.3	-5.4	-17.4	-8.8
1.8	3.9	1.7	1.3	2.2	1,420	1,398	1,376	1,343	1,271	2.9	-0.3	-0.8	0.4
-0.1	-2.2	-1.4	-1.0	-1.5	7,740	5,948	4,341	2,561	1,097	-3.8	-5.6	-12.8	-7.8
-0.3	-2.2	-1.4	-1.0	-1.5	5,642	4,284	3,078	1,750	655	-3.7	-5.9	-14.3	-8.4
2.9	0.1	0.2	0.3	0.2	20,445	17,458	14,770	12,454	10,556	-1.2	-3.2	-3.3	-2.7
5.0	-0.1	-0.1	0.0	-0.1	13,481	10,949	8,787	7,013	5,609	-1.5	-4.2	-4.4	-3.5
0.1	-1.0	-0.3	0.1	-0.4	13,288	11,365	9,534	7,518	5,812	-2.2	-3.3	-4.8	-3.5
-1.0	-3.4	-1.8	-1.2	-2.0	1,664	1,318	974	588	251	-5.0	-5.2	-12.7	-7.9

付表23 | 世界

一次エネルギー消費	レファレンスシナリオ (石油換算100万t [Mtoe])									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
合計 ¹⁾	8,699	9,936	12,732	14,860	15,565	15,956	16,281	16,628	16,984	
石炭	2,219	2,316	3,652	4,106	3,607	3,430	3,225	3,093	2,956	
石油	3,237	3,683	4,152	4,488	4,655	4,712	4,791	4,850	4,878	
天然ガス	1,662	2,068	2,736	3,437	3,650	3,801	4,017	4,261	4,533	
原子力	526	675	719	700	837	884	882	879	902	
水力	184	225	297	374	413	436	457	477	497	
地熱	34	52	62	116	166	240	261	276	290	
太陽・風力等	2.5	8.2	48	339	841	1,050	1,250	1,413	1,574	
バイオマス・廃棄物	833	906	1,065	1,301	1,394	1,404	1,398	1,379	1,354	
水素	-	-	-	-	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	
最終エネルギー消費	レファレンスシナリオ (Mtoe)									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
合計	6,178	6,918	8,719	10,076	10,898	11,192	11,490	11,769	12,044	
石炭	751	540	1,058	890	913	877	848	822	799	
石油	2,607	3,127	3,620	4,014	4,236	4,309	4,401	4,474	4,520	
天然ガス	945	1,121	1,346	1,690	1,818	1,850	1,877	1,895	1,910	
電力	834	1,087	1,538	2,113	2,514	2,757	3,006	3,269	3,561	
熱	336	248	275	360	405	401	391	376	360	
水素	-	-	-	-	0.6	0.8	0.9	0.9	0.9	
再生可能・廃棄物	705	796	882	1,008	1,011	997	967	933	891	
産業	1,796	1,863	2,637	3,064	3,435	3,559	3,649	3,695	3,720	
運輸	1,578	1,966	2,431	2,802	3,072	3,140	3,231	3,330	3,424	
民生・農業他	2,327	2,471	2,857	3,238	3,321	3,379	3,449	3,539	3,655	
非エネルギー消費	477	618	794	972	1,070	1,114	1,160	1,205	1,246	
発電量	レファレンスシナリオ (TWh)									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
合計	11,849	15,425	21,515	29,143	34,528	37,744	40,956	44,290	47,956	
石炭	4,436	5,993	8,675	10,450	8,511	8,071	7,456	7,189	6,963	
石油	1,322	1,187	968	801	607	546	488	433	364	
天然ガス	1,743	2,765	4,820	6,522	6,883	7,596	8,815	10,275	11,960	
原子力	2,013	2,591	2,756	2,685	3,212	3,391	3,384	3,374	3,461	
水力	2,143	2,619	3,455	4,350	4,809	5,068	5,312	5,548	5,781	
地熱	36	52	68	97	136	197	215	229	242	
太陽光	0.1	0.8	32	1,295	5,110	6,586	8,026	9,076	10,109	
風力	3.9	31	342	2,120	4,115	5,048	5,924	6,760	7,595	
太陽熱・海洋	1.2	1.1	2.2	15	20	20	21	23	25	
バイオマス・廃棄物	130	163	363	760	1,076	1,170	1,264	1,336	1,408	
水素	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
その他	20	22	34	49	49	49	49	49	49	
二酸化炭素[CO ₂]	レファレンスシナリオ (二酸化炭素換算100万t [MtCO ₂])									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
エネルギー起源CO ₂ 排出 ²⁾	20,583	23,158	30,612	34,116	32,912	32,635	32,463	32,583	32,662	
二酸化炭素除去[CDR]による排出回避量	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
エネルギー・経済指標他	レファレンスシナリオ									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
国内総生産[GDP] (2015年価格10億ドル)	35,896	48,285	64,834	89,488	110,594	126,311	143,985	163,414	184,098	
人口(100万人)	5,286	6,135	6,960	7,940	8,476	8,784	9,069	9,324	9,541	
一人当たりGDP (2015年価格1,000ドル/人)	6.8	7.9	9.3	11	13	14	16	18	19	
一人当たり一次エネルギー消費(toe/人)	1.6	1.6	1.8	1.9	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	
GDP当たり一次エネルギー消費 ³⁾	242	206	196	166	141	126	113	102	92	
GDP当たりエネルギー起源CO ₂ 排出量 ^{2),4)}	573	480	472	381	298	258	225	199	177	
一次エネルギー消費当たりCO ₂ 排出 ²⁾ (t/toe)	2.4	2.3	2.4	2.3	2.1	2.0	2.0	2.0	1.9	

*1 電力、熱の輸出入を掲載していないため、合計と内訳は必ずしも一致しない。

*2 二酸化炭素除去[CDR]による削減後の量

レファレンスシナリオ					技術進展シナリオ												
年平均変化率(%)				構成比(%)				(Mtoe)					年平均変化率(%)			構成比(%)	
1990/2022	2022/2030	2030/2050	2022/2050	1990	2022	2030	2050	2030	2035	2040	2045	2050	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2050
1.7	0.6	0.4	0.5	100	100	100	100	14,967	14,645	14,209	13,948	13,894	0.1	-0.4	-0.2	100	100
1.9	-1.6	-1.0	-1.2	26	28	23	17	3,216	2,699	2,236	1,911	1,657	-3.0	-3.3	-3.2	21	12
1.0	0.5	0.2	0.3	37	30	30	29	4,277	3,901	3,490	3,048	2,654	-0.6	-2.4	-1.9	29	19
2.3	0.8	1.1	1.0	19	23	23	27	3,514	3,484	3,357	3,285	3,194	0.3	-0.5	-0.3	23	23
0.9	2.3	0.4	0.9	6.0	4.7	5.4	5.3	966	1,121	1,267	1,356	1,474	4.1	2.1	2.7	6.5	11
2.2	1.3	0.9	1.0	2.1	2.5	2.7	2.9	428	460	494	530	569	1.7	1.4	1.5	2.9	4.1
3.9	4.6	2.8	3.3	0.4	0.8	1.1	1.7	167	262	300	333	364	4.7	4.0	4.2	1.1	2.6
16.5	12.0	3.2	5.6	0.0	2.3	5.4	9.3	991	1,361	1,748	2,186	2,668	14.4	5.1	7.7	6.6	19
1.4	0.9	-0.1	0.1	9.6	8.8	9.0	8.0	1,407	1,358	1,318	1,300	1,315	1.0	-0.3	0.0	9.4	9.5
n.a.	n.a.	0.8	n.a.	-	-	0.0	0.0	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	-	-

レファレンスシナリオ					技術進展シナリオ												
年平均変化率(%)				構成比(%)				(Mtoe)					年平均変化率(%)			構成比(%)	
1990/2022	2022/2030	2030/2050	2022/2050	1990	2022	2030	2050	2030	2035	2040	2045	2050	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2050
1.5	1.0	0.5	0.6	100	100	100	100	10,412	10,082	9,722	9,438	9,312	0.4	-0.6	-0.3	100	100
0.5	0.3	-0.7	-0.4	12	8.8	8.4	6.6	829	718	629	566	521	-0.9	-2.3	-1.9	8.0	5.6
1.4	0.7	0.3	0.4	42	40	39	38	3,932	3,645	3,312	2,972	2,645	-0.3	-2.0	-1.5	38	28
1.8	0.9	0.2	0.4	15	17	17	16	1,705	1,574	1,419	1,256	1,109	0.1	-2.1	-1.5	16	12
2.9	2.2	1.8	1.9	14	21	23	30	2,576	2,837	3,105	3,388	3,692	2.5	1.8	2.0	25	40
0.2	1.5	-0.6	0.0	5.4	3.6	3.7	3.0	377	361	339	321	304	0.6	-1.1	-0.6	3.6	3.3
n.a.	n.a.	1.8	n.a.	-	-	0.0	0.0	0.8	31	74	132	247	n.a.	33.1	n.a.	0.0	2.7
1.1	0.0	-0.6	-0.4	11	10	9.3	7.4	992	914	844	804	793	-0.2	-1.1	-0.9	9.5	8.5
1.7	1.4	0.4	0.7	29	30	32	31	3,245	3,118	2,958	2,808	2,754	0.7	-0.8	-0.4	31	30
1.8	1.2	0.5	0.7	26	28	28	28	2,910	2,761	2,601	2,463	2,377	0.5	-1.0	-0.6	28	26
1.0	0.3	0.5	0.4	38	32	30	30	3,187	3,091	3,004	2,963	2,936	-0.2	-0.4	-0.3	31	32
2.2	1.2	0.8	0.9	7.7	9.6	9.8	10	1,070	1,113	1,159	1,204	1,245	1.2	0.8	0.9	10	13

レファレンスシナリオ					技術進展シナリオ												
年平均変化率(%)				構成比(%)				(TWh)					年平均変化率(%)			構成比(%)	
1990/2022	2022/2030	2030/2050	2022/2050	1990	2022	2030	2050	2030	2035	2040	2045	2050	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2050
2.9	2.1	1.7	1.8	100	100	100	100	35,544	39,903	44,369	50,289	57,091	2.5	2.4	2.4	100	100
2.7	-2.5	-1.0	-1.4	37	36	25	15	7,297	5,683	4,223	3,243	2,524	-4.4	-5.2	-4.9	21	4.4
-1.6	-3.4	-2.5	-2.8	11	2.7	1.8	0.8	485	364	271	208	190	-6.1	-4.6	-5.0	1.4	0.3
4.2	0.7	2.8	2.2	15	22	20	25	6,740	7,211	7,450	8,169	8,797	0.4	1.3	1.1	19	15
0.9	2.3	0.4	0.9	17	9.2	9.3	7.2	3,709	4,302	4,861	5,204	5,657	4.1	2.1	2.7	10	9.9
2.2	1.3	0.9	1.0	18	15	14	12	4,974	5,347	5,741	6,162	6,619	1.7	1.4	1.5	14	12
3.1	4.3	2.9	3.3	0.3	0.3	0.4	0.5	137	221	250	275	299	4.3	4.0	4.1	0.4	0.5
34.9	18.7	3.5	7.6	0.0	4.4	15	21	6,017	8,451	11,021	13,693	16,636	21.2	5.2	9.5	17	29
21.8	8.6	3.1	4.7	0.0	7.3	12	16	4,931	6,762	8,678	11,069	13,695	11.1	5.2	6.9	14	24
8.1	3.7	1.2	1.9	0.0	0.1	0.1	0.1	21	25	30	39	51	4.5	4.5	4.5	0.1	0.1
5.7	4.4	1.4	2.2	1.1	2.6	3.1	2.9	1,187	1,314	1,444	1,548	1,668	5.7	1.7	2.8	3.3	2.9
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	-	-	176	352	630	907	n.a.	n.a.	n.a.	-	1.6
2.8	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	0.1	0.1	49	49	49	49	49	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1

レファレンスシナリオ				技術進展シナリオ				
年平均変化率(%)				(MtCO ₂)				
1990/2022	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2035	2040	2045	2050
1.6	-0.4	0.0	-0.2	29,605	24,805	20,487	16,358	12,924
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	159	509	925
				n.a.	n.a.	n.a.		

レファレンスシナリオ				技術進展シナリオ				
年平均変化率(%)				年平均変化率(%)				
1990/2022	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2035	2040	2045	2050
2.9	2.7	2.6	2.6	110,594	126,311	143,985	163,414	184,098
1.3	0.8	0.6	0.7	8,476	8,784	9,069	9,324	9,541
1.6	1.8	2.0	1.9	13	14	16	18	19
0.4	-0.2	-0.2	-0.2	1.8	1.7	1.6	1.5	1.5
-1.2	-2.0	-2.1	-2.1	135	116	99	85	75
-1.3	-3.0	-2.6	-2.7	268	196	142	100	70
-0.1	-1.0	-0.5	-0.6	2.0	1.7	1.4	1.2	0.9
				-1.8	-3.7	-3.2		

*3 toe/2015年価格100万ドル。*4 t/2015年価格100万ドル

付表24 | アジア

一次エネルギー消費	レファレンスシナリオ (石油換算100万t [Mtoe])									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
合計 ¹⁾	2,071	2,837	4,758	6,582	7,096	7,374	7,586	7,793	7,978	
石炭	785	1,036	2,406	3,253	3,020	2,910	2,748	2,629	2,493	
石油	618	918	1,170	1,518	1,635	1,684	1,758	1,832	1,894	
天然ガス	116	234	454	709	880	982	1,085	1,196	1,307	
原子力	77	132	152	194	280	313	344	370	403	
水力	32	41	92	162	181	194	205	215	224	
地熱	8.2	23	31	67	103	153	167	175	182	
太陽・風力等	1.3	2.1	16	166	460	585	709	797	886	
バイオマス・廃棄物	433	451	436	510	533	552	566	577	587	
水素	-	-	-	-	0.5	0.6	0.7	0.7	0.6	

最終エネルギー消費	レファレンスシナリオ (Mtoe)									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
合計	1,511	1,946	3,132	4,138	4,660	4,855	5,058	5,244	5,420	
石炭	423	372	897	752	772	741	718	698	680	
石油	464	741	990	1,336	1,467	1,515	1,586	1,657	1,718	
天然ガス	46	90	201	396	485	513	542	561	576	
電力	157	279	574	1,045	1,310	1,461	1,596	1,722	1,854	
熱	14	30	69	181	226	226	220	211	201	
水素	-	-	-	-	0.6	0.8	0.9	0.9	0.9	
再生可能・廃棄物	407	433	401	429	399	398	396	394	391	
産業	508	648	1,399	1,778	2,029	2,102	2,155	2,172	2,174	
運輸	189	323	493	722	871	911	967	1,032	1,098	
民生・農業他	699	789	944	1,187	1,243	1,302	1,374	1,456	1,545	
非エネルギー消費	115	186	296	452	517	539	562	584	602	

発電量	レファレンスシナリオ (TWh)									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
合計	2,243	3,969	7,967	14,310	17,929	19,939	21,694	23,283	24,913	
石炭	875	1,982	4,781	8,108	7,230	7,023	6,576	6,331	6,054	
石油	433	381	260	155	117	120	122	126	128	
天然ガス	237	566	1,071	1,423	1,816	2,213	2,655	3,199	3,798	
原子力	294	505	582	746	1,076	1,203	1,321	1,420	1,546	
水力	368	478	1,072	1,882	2,105	2,257	2,389	2,505	2,609	
地熱	8.4	20	22	31	50	81	89	93	98	
太陽光	0.1	0.4	5.2	707	2,985	3,849	4,713	5,229	5,745	
風力	0.0	2.4	70	881	1,988	2,568	3,137	3,636	4,139	
太陽熱・海洋	0.0	0.0	0.0	2.5	5.4	6.1	6.8	8.5	10	
バイオマス・廃棄物	9.0	15	82	355	535	600	665	716	767	
水素	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
その他	20	20	21	20	20	20	20	20	20	

二酸化炭素[CO ₂]	レファレンスシナリオ (二酸化炭素換算100万t [MtCO ₂])									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
エネルギー起源CO ₂ 排出 ²⁾	4,659	6,742	12,883	17,077	16,717	16,616	16,388	16,345	16,210	
二酸化炭素除去[CDR]による排出回避量	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

エネルギー・経済指標他	レファレンスシナリオ									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
国内総生産[GDP] (2015年価格10億ドル)	6,705	10,415	17,921	30,825	41,436	49,564	59,046	69,748	81,326	
人口(100万人)	2,955	3,454	3,874	4,308	4,479	4,567	4,634	4,677	4,694	
一人当たりGDP (2015年価格1,000ドル/人)	2.3	3.0	4.6	7.2	9.3	11	13	15	17	
一人当たり一次エネルギー消費(toe/人)	0.7	0.8	1.2	1.5	1.6	1.6	1.6	1.7	1.7	
GDP当たり一次エネルギー消費 ³⁾	309	272	265	214	171	149	128	112	98	
GDP当たりエネルギー起源CO ₂ 排出量 ^{2),4)}	695	647	719	554	403	335	278	234	199	
一次エネルギー消費当たりCO ₂ 排出 ²⁾ (t/toe)	2.3	2.4	2.7	2.6	2.4	2.3	2.2	2.1	2.0	

*1 電力、熱の輸出入を掲載していないため、合計と内訳は必ずしも一致しない。

*2 二酸化炭素除去[CDR]による削減後の量

レファレンスシナリオ									技術進展シナリオ									
年平均変化率(%)				構成比(%)					(Mtoe)					年平均変化率(%)			構成比(%)	
1990/2022	2022/2030	2030/2050	2022/2050	1990	2022	2030	2050	2030	2035	2040	2045	2050	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2050	
3.7	0.9	0.6	0.7	100	100	100	100	6,827	6,719	6,531	6,397	6,383	0.5	-0.3	-0.1	100	100	
4.5	-0.9	-1.0	-0.9	38	49	43	31	2,728	2,312	1,886	1,583	1,348	-2.2	-3.5	-3.1	40	21	
2.8	0.9	0.7	0.8	30	23	23	24	1,509	1,421	1,326	1,218	1,108	-0.1	-1.5	-1.1	22	17	
5.8	2.7	2.0	2.2	5.6	11	12	16	842	866	850	829	832	2.2	-0.1	0.6	12	13	
2.9	4.7	1.8	2.6	3.7	3.0	4.0	5.0	372	452	543	596	658	8.4	2.9	4.4	5.4	10	
5.2	1.4	1.1	1.2	1.5	2.5	2.6	2.8	194	217	240	265	292	2.3	2.1	2.1	2.8	4.6	
6.8	5.5	2.9	3.6	0.4	1.0	1.5	2.3	105	168	197	222	245	5.6	4.4	4.7	1.5	3.8	
16.4	13.6	3.3	6.2	0.1	2.5	6.5	11	528	726	925	1,105	1,289	15.5	4.6	7.6	7.7	20	
0.5	0.5	0.5	0.5	21	7.8	7.5	7.4	544	541	543	551	574	0.8	0.3	0.4	8.0	9.0	
n.a.	n.a.	1.4	n.a.	-	-	0.0	0.0	4.9	15	19	28	35	n.a.	10.4	n.a.	0.1	0.6	

レファレンスシナリオ									技術進展シナリオ									
年平均変化率(%)				構成比(%)					(Mtoe)					年平均変化率(%)			構成比(%)	
1990/2022	2022/2030	2030/2050	2022/2050	1990	2022	2030	2050	2030	2035	2040	2045	2050	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2050	
3.2	1.5	0.8	1.0	100	100	100	100	4,445	4,367	4,283	4,213	4,219	0.9	-0.3	0.1	100	100	
1.8	0.3	-0.6	-0.4	28	18	17	13	705	614	539	488	452	-0.8	-2.2	-1.8	16	11	
3.4	1.2	0.8	0.9	31	32	31	32	1,360	1,290	1,209	1,118	1,023	0.2	-1.4	-1.0	31	24	
6.9	2.6	0.9	1.4	3.1	9.6	10	11	447	420	385	341	304	1.5	-1.9	-0.9	10	7.2	
6.1	2.9	1.8	2.1	10	25	28	34	1,340	1,481	1,617	1,746	1,909	3.2	1.8	2.2	30	45	
8.3	2.8	-0.6	0.4	0.9	4.4	4.9	3.7	203	194	180	169	157	1.5	-1.3	-0.5	4.6	3.7	
n.a.	n.a.	1.9	n.a.	-	-	0.0	0.0	0.6	6.0	14	25	49	n.a.	24.5	n.a.	0.0	1.2	
0.2	-0.9	-0.1	-0.3	27	10	8.6	7.2	388	362	339	326	325	-1.2	-0.9	-1.0	8.7	7.7	
4.0	1.7	0.3	0.7	34	43	44	40	1,906	1,821	1,726	1,638	1,618	0.9	-0.8	-0.3	43	38	
4.3	2.4	1.2	1.5	13	17	19	20	820	794	763	735	717	1.6	-0.7	0.0	18	17	
1.7	0.6	1.1	0.9	46	29	27	29	1,202	1,214	1,232	1,257	1,282	0.2	0.3	0.3	27	30	
4.4	1.7	0.8	1.0	7.6	11	11	11	517	538	561	583	601	1.7	0.8	1.0	12	14	

レファレンスシナリオ									技術進展シナリオ									
年平均変化率(%)				構成比(%)					(TWh)					年平均変化率(%)			構成比(%)	
1990/2022	2022/2030	2030/2050	2022/2050	1990	2022	2030	2050	2030	2035	2040	2045	2050	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2050	
6.0	2.9	1.7	2.0	100	100	100	100	18,411	20,584	22,527	24,662	27,350	3.2	2.0	2.3	100	100	
7.2	-1.4	-0.9	-1.0	39	57	40	24	6,370	5,120	3,726	2,753	2,075	-3.0	-5.5	-4.8	35	7.6	
-3.2	-3.4	0.4	-0.7	19	1.1	0.7	0.5	97	93	90	93	96	-5.6	-0.1	-1.7	0.5	0.3	
5.8	3.1	3.8	3.6	11	9.9	10	15	1,842	2,198	2,401	2,676	3,072	3.3	2.6	2.8	10	11	
2.9	4.7	1.8	2.6	13	5.2	6.0	6.2	1,426	1,736	2,086	2,286	2,524	8.4	2.9	4.4	7.7	9.2	
5.2	1.4	1.1	1.2	16	13	12	10	2,261	2,519	2,792	3,084	3,398	2.3	2.1	2.1	12	12	
4.1	6.4	3.4	4.2	0.4	0.2	0.3	0.4	51	93	111	126	140	6.5	5.2	5.6	0.3	0.5	
33.4	19.7	3.3	7.8	0.0	4.9	17	23	3,475	4,839	6,227	7,303	8,422	22.0	4.5	9.2	19	31	
37.4	10.7	3.7	5.7	0.0	6.2	11	17	2,259	3,185	4,119	5,117	6,135	12.5	5.1	7.2	12	22	
20.2	10.0	3.2	5.1	0.0	0.0	0.0	0.0	6.1	7.3	8.5	11	14	11.7	4.4	6.4	0.0	0.1	
12.2	5.3	1.8	2.8	0.4	2.5	3.0	3.1	602	691	783	862	956	6.8	2.3	3.6	3.3	3.5	
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	-	-	82	164	331	498	n.a.	n.a.	n.a.	-	1.8	
0.1	0.0	0.0	0.0	0.9	0.1	0.1	0.1	20	20	20	20	20	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	

レファレンスシナリオ				技術進展シナリオ									
年平均変化率(%)				(MtCO ₂)					年平均変化率(%)			構成比(%)	
1990/2022	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2035	2040	2045	2050	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2050
4.1	-0.3	-0.2	-0.2	14,897	12,042	9,577	7,497	5,841	-1.7	-4.6	-3.8		
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	81	190	322	n.a.	n.a.	n.a.		

レファレンスシナリオ				技術進展シナリオ									
年平均変化率(%)				2022/2030/2022/2050					2022/2030/2022/2050			2022/2030/2022/2050	
1990/2022	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2035	2040	2045	2050	2030	2050	2050	2030	2050
4.9	3.8	3.4	3.5	41,436	49,564	59,046	69,748	81,326	3.8	3.4	3.5		
1.2	0.5	0.2	0.3	4,479	4,567	4,634	4,677	4,694	0.5	0.2	0.3		
3.7	3.3	3.2	3.2	9.3	11	13	15	17	3.3	3.2	3.2		
2.5	0.5	0.4	0.4	1.5	1.5	1.4	1.4	1.4	0.0	-0.6	-0.4		
-1.1	-2.7	-2.7	-2.7	165	136	111	92	78	-3.2	-3.6	-3.5		
-0.7	-3.9	-3.5	-3.6	360	243	162	107	72	-5.3	-7.7	-7.0		
0.4	-1.2	-0.7	-0.9	2.2	1.8	1.5	1.2	0.9	-2.1	-4.3	-3.7		

*3 toe/2015年価格100万ドル。*4 t/2015年価格100万ドル

付表25 | 中国

一次エネルギー消費	レファレンスシナリオ (石油換算100万t [Mtoe])									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
合計 ¹⁾	874	1,133	2,536	3,800	3,842	3,762	3,648	3,527	3,387	
石炭	531	668	1,790	2,317	1,972	1,779	1,547	1,360	1,176	
石油	119	221	428	680	721	694	681	664	637	
天然ガス	13	21	89	297	375	396	406	408	400	
原子力	-	4.4	19	109	148	170	192	213	235	
水力	11	19	61	113	119	125	130	134	137	
地熱	-	1.7	3.6	26	30	31	32	33	33	
太陽・風力等	0.0	1.0	12	130	348	432	516	566	616	
バイオマス・廃棄物	200	198	133	128	129	136	145	150	155	
水素	-	-	-	-	-0.0	-0.0	-	-	-	
最終エネルギー消費	レファレンスシナリオ (Mtoe)									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
合計	658	781	1,645	2,290	2,487	2,464	2,447	2,405	2,355	
石炭	311	274	712	525	484	422	374	335	301	
石油	85	180	369	607	644	622	612	598	575	
天然ガス	8.9	12	73	223	269	267	267	259	248	
電力	39	89	297	649	794	860	905	934	961	
熱	13	26	62	171	216	216	210	201	191	
水素	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
再生可能・廃棄物	200	199	132	114	80	78	78	78	79	
産業	234	297	917	1,129	1,163	1,108	1,050	968	886	
運輸	30	83	195	318	410	407	408	407	401	
民生・農業他	351	339	414	599	642	677	715	756	797	
非エネルギー消費	43	62	120	244	272	273	274	274	272	
発電量	レファレンスシナリオ (TWh)									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
合計	621	1,356	4,197	8,911	10,847	11,702	12,271	12,599	12,909	
石炭	441	1,060	3,240	5,524	4,477	4,069	3,441	3,003	2,578	
石油	50	47	15	8.7	5.9	4.7	3.4	2.4	1.6	
天然ガス	2.8	5.8	78	267	387	486	532	576	597	
原子力	-	17	74	418	568	651	737	818	902	
水力	127	222	711	1,313	1,386	1,459	1,517	1,562	1,595	
地熱	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	
太陽光	0.0	0.0	0.7	427	2,022	2,524	3,026	3,211	3,395	
風力	0.0	0.6	45	763	1,682	2,151	2,620	3,010	3,401	
太陽熱・海洋	0.0	0.0	0.0	2.1	1.9	1.9	1.9	1.9	2.0	
バイオマス・廃棄物	-	2.4	34	189	319	355	392	414	437	
水素	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
その他	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
二酸化炭素[CO ₂]	レファレンスシナリオ (二酸化炭素換算100万t [MtCO ₂])									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
エネルギー起源CO ₂ 排出 ²⁾	2,162	3,151	7,975	10,613	9,469	8,687	7,767	6,996	6,188	
二酸化炭素除去[CDR]による排出回避量	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
エネルギー・経済指標他	レファレンスシナリオ									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
国内総生産[GDP] (2015年価格10億ドル)	1,027	2,770	7,554	16,325	22,246	26,574	31,544	37,066	42,922	
人口(100万人)	1,135	1,263	1,338	1,412	1,385	1,361	1,331	1,294	1,249	
一人当たりGDP (2015年価格1,000ドル/人)	0.9	2.2	5.6	12	16	20	24	29	34	
一人当たり一次エネルギー消費(toe/人)	0.8	0.9	1.9	2.7	2.8	2.8	2.7	2.7	2.7	
GDP当たり一次エネルギー消費 ³⁾	850	409	336	233	173	142	116	95	79	
GDP当たりエネルギー起源CO ₂ 排出量 ^{2),4)}	2,105	1,138	1,056	650	426	327	246	189	144	
一次エネルギー消費当たりCO ₂ 排出 ²⁾ (t/toe)	2.5	2.8	3.1	2.8	2.5	2.3	2.1	2.0	1.8	

*1 電力、熱の輸出入を掲載していないため、合計と内訳は必ずしも一致しない。

*2 二酸化炭素除去[CDR]による削減後の量

レファレンスシナリオ										技術進展シナリオ														
年平均変化率(%)					構成比(%)					(Mtoe)					年平均変化率(%)					構成比(%)				
1990/2022	2022/2030	2030/2050	2022/2050		1990	2022	2030	2050		2030	2035	2040	2045	2050	2022/2030	2030/2050	2022/2050		2030	2050				
4.7	0.1	-0.6	-0.4	100	100	100	100			3,708	3,417	3,088	2,794	2,547	-0.3	-1.9	-1.4	100	100					
4.7	-2.0	-2.6	-2.4	61	61	51	35			1,819	1,446	1,069	787	544	-3.0	-5.9	-5.0	49	21					
5.6	0.7	-0.6	-0.2	14	18	19	19			671	592	512	440	375	-0.2	-2.9	-2.1	18	15					
10.3	2.9	0.3	1.1	1.5	7.8	9.8	12			363	338	279	195	107	2.5	-5.9	-3.6	9.8	4.2					
n.a.	3.9	2.3	2.8	-	2.9	3.8	6.9			170	202	236	268	300	5.7	2.9	3.7	4.6	12					
7.6	0.7	0.7	0.7	1.2	3.0	3.1	4.0			127	137	148	158	169	1.5	1.5	1.5	3.4	6.6					
n.a.	1.7	0.4	0.8	-	0.7	0.8	1.0			31	34	33	33	32	2.0	0.2	0.7	0.8	1.3					
29.5	13.2	2.9	5.7	0.0	3.4	9.1	18			382	510	635	722	812	14.5	3.8	6.8	10	32					
-1.4	0.1	0.9	0.7	23	3.4	3.4	4.6			147	159	177	192	208	1.8	1.7	1.7	4.0	8.1					
n.a.	n.a.	-100	n.a.	-	-	-0.0	-			0.0	0.3	0.7	1.3	2.1	n.a.	20.9	n.a.	0.0	0.1					

レファレンスシナリオ										技術進展シナリオ														
年平均変化率(%)					構成比(%)					(Mtoe)					年平均変化率(%)					構成比(%)				
1990/2022	2022/2030	2030/2050	2022/2050		1990	2022	2030	2050		2030	2035	2040	2045	2050	2022/2030	2030/2050	2022/2050		2030	2050				
4.0	1.0	-0.3	0.1	100	100	100	100			2,383	2,240	2,105	1,974	1,880	0.5	-1.2	-0.7	100	100					
1.6	-1.0	-2.3	-2.0	47	23	19	13			447	362	298	256	225	-2.0	-3.4	-3.0	19	12					
6.4	0.7	-0.6	-0.2	13	27	26	24			601	532	464	402	346	-0.1	-2.7	-2.0	25	18					
10.6	2.4	-0.4	0.4	1.3	9.7	11	11			246	213	177	135	101	1.2	-4.3	-2.8	10	5.4					
9.2	2.5	1.0	1.4	5.9	28	32	41			807	855	893	909	926	2.7	0.7	1.3	34	49					
8.3	3.0	-0.6	0.4	2.0	7.5	8.7	8.1			193	184	169	158	145	1.5	-1.4	-0.6	8.1	7.7					
n.a.	n.a.	1.1	n.a.	-	-	0.0	0.0			0.0	3.5	8.4	15	32	n.a.	41.9	n.a.	0.0	1.7					
-1.7	-4.4	-0.1	-1.3	3.0	5.0	3.2	3.3			88	90	95	100	104	-3.2	0.8	-0.3	3.7	5.5					
5.0	0.4	-1.4	-0.9	36	49	47	38			1,095	969	854	741	660	-0.4	-2.5	-1.9	46	35					
7.6	3.2	-0.1	0.8	4.6	14	16	17			389	357	324	297	280	2.5	-1.6	-0.5	16	15					
1.7	0.9	1.1	1.0	53	26	26	34			628	642	654	663	669	0.6	0.3	0.4	26	36					
5.6	1.4	0.0	0.4	6.5	11	11	12			272	272	273	273	271	1.4	0.0	0.4	11	14					

レファレンスシナリオ										技術進展シナリオ														
年平均変化率(%)					構成比(%)					(TWh)					年平均変化率(%)					構成比(%)				
1990/2022	2022/2030	2030/2050	2022/2050		1990	2022	2030	2050		2030	2035	2040	2045	2050	2022/2030	2030/2050	2022/2050		2030	2050				
8.7	2.5	0.9	1.3	100	100	100	100			11,056	11,887	12,421	12,703	13,082	2.7	0.8	1.4	100	100					
8.2	-2.6	-2.7	-2.7	71	62	41	20			4,039	2,989	1,803	898	90	-3.8	-17.3	-13.7	37	0.7					
-5.3	-4.7	-6.3	-5.9	8.1	0.1	0.1	0.0			5.4	3.5	1.8	0.7	0.1	-5.7	-20.1	-16.2	0.0	0.0					
15.3	4.8	2.2	2.9	0.4	3.0	3.6	4.6			450	515	431	264	36	6.8	-11.8	-6.9	4.1	0.3					
n.a.	3.9	2.3	2.8	-	4.7	5.2	7.0			651	777	905	1,027	1,153	5.7	2.9	3.7	5.9	8.8					
7.6	0.7	0.7	0.7	20	15	13	12			1,474	1,594	1,716	1,841	1,968	1.5	1.5	1.5	13	15					
3.9	-5.4	0.0	-1.6	0.0	0.0	0.0	0.0			0.1	2.5	2.6	2.6	2.7	-5.4	16.5	9.8	0.0	0.0					
46.7	21.4	2.6	7.7	0.0	4.8	19	26			2,228	2,972	3,708	3,989	4,292	22.9	3.3	8.6	20	33					
49.4	10.4	3.6	5.5	0.0	8.6	16	26			1,851	2,593	3,328	4,055	4,814	11.7	4.9	6.8	17	37					
19.5	-1.1	0.1	-0.2	0.0	0.0	0.0	0.0			1.9	2.0	2.0	2.1	2.2	-0.9	0.6	0.2	0.0	0.0					
n.a.	6.8	1.6	3.0	-	2.1	2.9	3.4			356	398	440	482	523	8.3	1.9	3.7	3.2	4.0					
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	-			-	42	84	142	200	n.a.	n.a.	n.a.	-	1.5					
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	-			-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	-	-					

レファレンスシナリオ					技術進展シナリオ				
年平均変化率(%)					(MtCO ₂)				
1990/2022	2022/2030	2030/2050	2022/2050		2030	2035	2040	2045	2050
5.1	-1.4	-2.1	-1.9		8,518	6,001	3,953	2,434	1,465
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.		-	-	51	109	175

レファレンスシナリオ					技術進展シナリオ				
年平均変化率(%)					年平均変化率(%)				
1990/2022	2022/2030	2030/2050	2022/2050		2030	2035	2040	2045	2050
9.0	3.9	3.3	3.5		22,246	26,574	31,544	37,066	42,922
0.7	-0.2	-0.5	-0.4		1,385	1,361	1,331	1,294	1,249
8.3	4.2	3.9	4.0		16	20	24	29	34
4.0	0.4	-0.1	0.0		2.7	2.5	2.3	2.2	2.0
-4.0	-3.7	-3.8	-3.8		167	129	98	75	59
-3.6	-5.2	-5.3	-5.2		383	226	125	66	34
0.4	-1.5	-1.5	-1.5		2.3	1.8	1.3	0.9	0.6

*3 toe/2015年価格100万ドル。*4 t/2015年価格100万ドル

付表26 | インド

一次エネルギー消費	レファレンスシナリオ (石油換算100万t [Mtoe])									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
合計 ¹⁾	280	418	661	1,015	1,309	1,501	1,685	1,875	2,058	
石炭	93	146	274	466	563	629	684	737	781	
石油	61	112	162	243	301	353	413	480	550	
天然ガス	11	23	54	52	89	119	149	181	212	
原子力	1.6	4.4	6.8	12	36	41	46	53	61	
水力	6.2	6.4	11	15	20	23	27	30	34	
地熱	-	-	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	
太陽・風力等	0.0	0.2	2.0	18	67	98	127	155	184	
バイオマス・廃棄物	108	126	151	210	233	239	239	239	237	
水素	-	-	-	-	-0.0	-0.0	-	-	-	
最終エネルギー消費	レファレンスシナリオ (Mtoe)									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
合計	215	291	440	672	887	1,024	1,157	1,295	1,434	
石炭	38	33	83	112	158	180	197	212	225	
石油	50	94	138	211	279	329	387	450	517	
天然ガス	6.1	12	19	42	65	82	98	112	125	
電力	18	32	62	120	188	234	282	333	385	
熱	-	-	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	
水素	-	-	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	
再生可能・廃棄物	102	119	138	186	197	199	194	189	182	
産業	59	85	157	272	420	501	563	616	657	
運輸	21	32	65	113	151	180	216	262	316	
民生・農業他	122	147	184	238	250	265	286	312	342	
非エネルギー消費	13	27	34	48	66	78	92	105	119	
発電量	レファレンスシナリオ (TWh)									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
合計	289	561	972	1,814	2,807	3,458	4,089	4,739	5,394	
石炭	189	387	658	1,307	1,479	1,639	1,771	1,913	2,034	
石油	13	25	19	4.7	2.6	0.8	-	-	-	
天然ガス	10.0	56	107	55	133	207	294	398	516	
原子力	6.1	17	26	46	138	156	178	202	233	
水力	72	74	125	174	234	272	312	352	393	
地熱	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
太陽光	-	0.0	0.1	105	615	899	1,183	1,440	1,697	
風力	0.0	1.7	20	81	138	205	262	333	408	
太陽熱・海洋	-	-	-	-	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	
バイオマス・廃棄物	-	0.2	17	43	67	78	89	101	113	
水素	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
その他	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
二酸化炭素[CO ₂]	レファレンスシナリオ (二酸化炭素換算100万t [MtCO ₂])									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
エネルギー起源CO ₂ 排出 ²⁾	521	875	1,546	2,517	3,106	3,553	3,981	4,423	4,836	
二酸化炭素除去[CDR]による排出回避量	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
エネルギー・経済指標他	レファレンスシナリオ									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
国内総生産[GDP] (2015年価格10億ドル)	475	817	1,567	3,022	5,067	6,791	8,941	11,512	14,440	
人口(100万人)	870	1,060	1,241	1,417	1,516	1,570	1,613	1,646	1,670	
一人当たりGDP (2015年価格1,000ドル/人)	0.5	0.8	1.3	2.1	3.3	4.3	5.5	7.0	8.6	
一人当たり一次エネルギー消費(toe/人)	0.3	0.4	0.5	0.7	0.9	1.0	1.0	1.1	1.2	
GDP当たり一次エネルギー消費 ³⁾	590	511	422	336	258	221	189	163	143	
GDP当たりエネルギー起源CO ₂ 排出量 ^{2),4)}	1,098	1,071	986	833	613	523	445	384	335	
一次エネルギー消費当たりCO ₂ 排出 ²⁾ (t/toe)	1.9	2.1	2.3	2.5	2.4	2.4	2.4	2.4	2.3	

*1 電力、熱の輸出入を掲載していないため、合計と内訳は必ずしも一致しない。

*2 二酸化炭素除去[CDR]による削減後の量

レファレンスシナリオ									技術進展シナリオ									
年平均変化率(%)				構成比(%)					(Mtoe)					年平均変化率(%)			構成比(%)	
1990/2022	2022/2030	2030/2050	2022/2050	1990	2022	2030	2050		2030	2035	2040	2045	2050	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2050
4.1	3.2	2.3	2.6	100	100	100	100		1,236	1,322	1,398	1,483	1,631	2.5	1.4	1.7	100	100
5.2	2.4	1.6	1.9	33	46	43	38		494	492	478	479	513	0.8	0.2	0.3	40	31
4.4	2.7	3.1	3.0	22	24	23	27		274	292	306	309	304	1.5	0.5	0.8	22	19
5.1	7.0	4.4	5.2	3.8	5.1	6.8	10		90	110	121	133	158	7.2	2.8	4.1	7.3	9.7
6.5	14.8	2.6	6.0	0.6	1.2	2.8	2.9		48	62	90	96	118	19.1	4.6	8.5	3.9	7.2
2.8	3.8	2.6	3.0	2.2	1.5	1.5	1.6		24	31	39	48	59	6.0	4.7	5.0	1.9	3.6
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	0.0		-	-	-	0.0	0.0	n.a.	n.a.	n.a.	-	0.0
26.3	18.3	5.2	8.8	0.0	1.7	5.1	9.0		88	135	183	242	297	22.3	6.3	10.6	7.1	18
2.1	1.3	0.1	0.4	39	21	18	11		218	202	185	175	174	0.4	-1.1	-0.7	18	11
n.a.	n.a.	-100	n.a.	-	-	-0.0	-		-0.1	-0.9	-2.2	-0.2	6.6	n.a.	n.a.	n.a.	-0.0	0.4

レファレンスシナリオ									技術進展シナリオ									
年平均変化率(%)				構成比(%)					(Mtoe)					年平均変化率(%)			構成比(%)	
1990/2022	2022/2030	2030/2050	2022/2050	1990	2022	2030	2050		2030	2035	2040	2045	2050	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2050
3.6	3.5	2.4	2.7	100	100	100	100		831	887	934	988	1,074	2.7	1.3	1.7	100	100
3.4	4.3	1.8	2.5	18	17	18	16		138	136	131	126	123	2.6	-0.6	0.3	17	11
4.6	3.5	3.1	3.2	23	31	31	36		254	272	286	290	286	2.3	0.6	1.1	31	27
6.2	5.8	3.3	4.0	2.8	6.2	7.4	8.8		60	67	71	73	74	4.7	1.1	2.1	7.3	6.9
6.1	5.7	3.7	4.2	8.5	18	21	27		201	253	310	378	471	6.6	4.4	5.0	24	44
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	0.0		-	-	-	0.0	0.0	n.a.	n.a.	n.a.	-	0.0
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	0.0		-	0.8	2.2	4.3	7.5	n.a.	n.a.	n.a.	-	0.7
1.9	0.7	-0.4	-0.1	48	28	22	13		179	158	135	119	113	-0.5	-2.3	-1.8	22	10
4.9	5.6	2.3	3.2	27	41	47	46		387	412	422	437	482	4.5	1.1	2.1	47	45
5.4	3.7	3.8	3.7	9.6	17	17	22		141	155	167	178	187	2.8	1.4	1.8	17	17
2.1	0.6	1.6	1.3	57	35	28	24		238	242	253	268	287	0.0	0.9	0.7	29	27
4.1	4.0	3.0	3.2	6.2	7.2	7.5	8.3		66	78	92	105	119	4.0	3.0	3.2	8.0	11

レファレンスシナリオ									技術進展シナリオ									
年平均変化率(%)				構成比(%)					(TWh)					年平均変化率(%)			構成比(%)	
1990/2022	2022/2030	2030/2050	2022/2050	1990	2022	2030	2050		2030	2035	2040	2045	2050	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2050
5.9	5.6	3.3	4.0	100	100	100	100		2,996	3,725	4,459	5,444	6,742	6.5	4.1	4.8	100	100
6.2	1.6	1.6	1.6	65	72	53	38		1,296	1,247	1,157	1,166	1,381	-0.1	0.3	0.2	43	20
-3.0	-7.2	-100	-100	4.3	0.3	0.1	-		2.4	0.7	-	-	-	-8.3	-100	-100	0.1	-
5.5	11.7	7.0	8.3	3.4	3.0	4.7	9.6		172	270	326	410	583	15.4	6.3	8.8	5.8	8.7
6.5	14.8	2.6	6.0	2.1	2.5	4.9	4.3		186	237	346	370	453	19.1	4.6	8.5	6.2	6.7
2.8	3.8	2.6	3.0	25	9.6	8.3	7.3		277	357	451	561	689	6.0	4.7	5.0	9.2	10
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	-		-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	-	-
n.a.	24.8	5.2	10.5	-	5.8	22	31		804	1,246	1,693	2,220	2,720	29.0	6.3	12.3	27	40
27.7	7.0	5.5	6.0	0.0	4.4	4.9	7.6		184	278	382	544	674	10.8	6.7	7.9	6.1	10.0
n.a.	n.a.	0.0	n.a.	-	-	0.0	0.0		0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	n.a.	0.5	n.a.	0.0	0.0
n.a.	5.9	2.6	3.5	-	2.3	2.4	2.1		75	89	104	120	136	7.3	3.0	4.2	2.5	2.0
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	-		-	-	-	53	106	n.a.	n.a.	n.a.	-	1.6
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	-		-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	-	-

レファレンスシナリオ				技術進展シナリオ				
年平均変化率(%)				(MtCO ₂)				
1990/2022	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2035	2040	2045	2050
5.0	2.7	2.2	2.4	2,761	2,780	2,708	2,525	2,216
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	-	-

レファレンスシナリオ				技術進展シナリオ				
年平均変化率(%)				年平均変化率(%)				
1990/2022	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2035	2040	2045	2050
6.0	6.7	5.4	5.7	5,067	6,791	8,941	11,512	14,440
1.5	0.8	0.5	0.6	1,516	1,570	1,613	1,646	1,670
4.4	5.8	4.9	5.1	3.3	4.3	5.5	7.0	8.6
2.5	2.4	1.8	2.0	0.8	0.8	0.9	0.9	1.0
-1.7	-3.2	-2.9	-3.0	244	195	156	129	113
-0.9	-3.8	-3.0	-3.2	545	409	303	219	153
0.9	-0.5	-0.1	-0.2	2.2	2.1	1.9	1.7	1.4

*3 toe/2015年価格100万ドル。*4 t/2015年価格100万ドル

付表27 | 日本

一次エネルギー消費	レファレンスシナリオ (石油換算100万t [Mtoe])									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
合計 ¹⁾	437	516	500	392	367	352	339	327	317	
石炭	77	97	115	109	82	78	71	66	61	
石油	249	253	201	151	132	123	115	108	100	
天然ガス	44	66	86	83	61	58	55	54	53	
原子力	53	84	75	15	47	42	42	42	42	
水力	7.6	7.2	7.2	6.6	7.4	7.7	7.9	8.0	8.1	
地熱	1.6	3.1	2.4	2.7	3.4	4.8	5.5	5.9	6.3	
太陽・風力等	1.2	0.9	1.1	8.9	16	18	20	22	23	
バイオマス・廃棄物	4.2	5.0	11	17	18	20	21	22	22	
水素	-	-	-	-	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	

最終エネルギー消費	レファレンスシナリオ (Mtoe)									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
合計	289	334	312	259	239	230	220	212	204	
石炭	27	21	23	18	16	15	13	12	12	
石油	179	204	165	128	115	107	100	93	87	
天然ガス	14	21	29	28	25	24	22	21	19	
電力	66	84	89	78	77	77	78	79	80	
熱	0.2	0.5	0.6	0.7	0.6	0.5	0.5	0.4	0.3	
水素	-	-	-	-	0.4	0.5	0.6	0.6	0.6	
再生可能・廃棄物	3.8	4.1	6.1	6.7	6.1	5.9	5.7	5.4	5.2	
産業	107	102	91	75	69	66	63	61	58	
運輸	72	89	79	64	60	56	52	48	45	
民生・農業他	78	108	108	92	86	83	80	78	77	
非エネルギー消費	32	35	35	27	25	25	25	25	25	

発電量	レファレンスシナリオ (TWh)									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
合計	862	1,055	1,164	1,010	995	998	1,005	1,018	1,038	
石炭	125	228	317	312	206	198	175	157	143	
石油	250	133	91	41	21	17	12	8.9	5.7	
天然ガス	168	255	332	343	225	220	220	224	232	
原子力	202	322	288	56	179	162	163	162	162	
水力	88	84	84	77	87	90	92	93	94	
地熱	1.7	3.3	2.6	3.0	3.8	5.4	6.2	6.7	7.2	
太陽光	0.1	0.4	3.5	93	147	160	172	185	197	
風力	-	0.1	4.0	9.3	38	49	60	67	74	
太陽熱・海洋	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
バイオマス・廃棄物	8.1	9.2	21	59	72	81	90	98	106	
水素	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
その他	20	20	21	16	16	16	16	16	16	

二酸化炭素[CO ₂]	レファレンスシナリオ (二酸化炭素換算100万t [MtCO ₂])									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
エネルギー起源CO ₂ 排出 ²⁾	1,046	1,151	1,131	974	768	721	664	616	576	
二酸化炭素除去[CDR]による排出回避量	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

エネルギー・経済指標他	レファレンスシナリオ									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
国内総生産[GDP] (2015年価格10億ドル)	3,510	3,987	4,219	4,530	4,846	5,048	5,254	5,458	5,659	
人口(100万人)	123	127	128	125	120	116	112	109	105	
一人当たりGDP (2015年価格1,000ドル/人)	28	31	33	36	40	44	47	50	54	
一人当たり一次エネルギー消費(toe/人)	3.5	4.1	3.9	3.1	3.1	3.0	3.0	3.0	3.0	
GDP当たり一次エネルギー消費 ³⁾	124	129	118	87	76	70	65	60	56	
GDP当たりエネルギー起源CO ₂ 排出量 ^{2),4)}	298	289	268	215	158	143	126	113	102	
一次エネルギー消費当たりCO ₂ 排出 ²⁾ (t/toe)	2.4	2.2	2.3	2.5	2.1	2.0	2.0	1.9	1.8	

*1 電力、熱の輸出入を掲載していないため、合計と内訳は必ずしも一致しない。

*2 二酸化炭素除去[CDR]による削減後の量

レファレンスシナリオ									技術進展シナリオ											
年平均変化率(%)				構成比(%)					(Mtoe)					年平均変化率(%)					構成比(%)	
1990/2022	2022/2030	2030/2050	2022/2050	1990	2022	2030	2050	2030	2035	2040	2045	2050	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2050			
-0.3	-0.8	-0.7	-0.8	100	100	100	100	361	338	313	298	286	-1.0	-1.2	-1.1	100	100			
1.1	-3.4	-1.5	-2.0	18	28	22	19	70	59	49	42	36	-5.4	-3.3	-3.9	19	12			
-1.6	-1.7	-1.4	-1.5	57	38	36	32	122	103	86	71	60	-2.6	-3.5	-3.3	34	21			
2.0	-3.8	-0.7	-1.6	10	21	17	17	55	48	41	34	24	-4.9	-4.2	-4.4	15	8.3			
-3.9	15.6	-0.5	3.9	12	3.7	13	13	64	66	65	65	65	20.4	0.0	5.5	18	23			
-0.4	1.4	0.4	0.7	1.7	1.7	2.0	2.5	7.5	7.9	8.1	8.3	8.5	1.5	0.6	0.9	2.1	3.0			
1.7	2.8	3.2	3.1	0.4	0.7	0.9	2.0	3.4	5.2	6.0	6.4	6.8	2.8	3.6	3.4	0.9	2.4			
6.4	7.6	1.9	3.5	0.3	2.3	4.4	7.4	18	21	25	29	33	9.1	3.1	4.8	4.9	12			
4.4	1.0	1.0	1.0	1.0	4.3	5.0	7.1	21	24	28	29	34	2.5	2.5	2.5	5.7	12			
n.a.	n.a.	1.4	n.a.	-	-	0.1	0.2	0.8	3.6	6.0	13	20	n.a.	17.2	n.a.	0.2	7.0			

レファレンスシナリオ									技術進展シナリオ											
年平均変化率(%)				構成比(%)					(Mtoe)					年平均変化率(%)					構成比(%)	
1990/2022	2022/2030	2030/2050	2022/2050	1990	2022	2030	2050	2030	2035	2040	2045	2050	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2050			
-0.3	-1.0	-0.8	-0.8	100	100	100	100	229	208	187	173	162	-1.5	-1.7	-1.6	100	100			
-1.3	-1.7	-1.5	-1.5	9.4	6.9	6.5	5.7	14	11	9.5	8.2	7.3	-3.2	-3.1	-3.1	6.0	4.5			
-1.0	-1.3	-1.4	-1.4	62	49	48	42	106	90	74	62	52	-2.3	-3.5	-3.1	47	32			
2.3	-1.3	-1.2	-1.3	4.7	11	10	9.5	24	21	17	14	11	-2.0	-3.9	-3.3	10	6.6			
0.5	-0.2	0.2	0.1	23	30	32	39	78	78	78	80	80	0.0	0.2	0.1	34	50			
3.8	-2.0	-2.4	-2.3	0.1	0.3	0.2	0.2	0.5	0.5	0.4	0.4	0.3	-2.3	-2.2	-2.3	0.2	0.2			
n.a.	n.a.	2.0	n.a.	-	-	0.2	0.3	0.5	1.2	2.0	3.1	5.4	n.a.	12.5	n.a.	0.2	3.4			
1.8	-1.2	-0.7	-0.9	1.3	2.6	2.5	2.6	6.0	5.8	5.7	5.7	6.0	-1.3	0.0	-0.4	2.6	3.7			
-1.1	-1.2	-0.8	-0.9	37	29	29	28	65	59	53	49	46	-1.8	-1.7	-1.7	28	28			
-0.4	-0.9	-1.5	-1.3	25	25	25	22	55	46	37	31	27	-2.0	-3.4	-3.0	24	17			
0.5	-0.9	-0.5	-0.7	27	36	36	38	83	78	71	67	64	-1.2	-1.3	-1.3	36	40			
-0.6	-0.7	-0.1	-0.3	11	10	11	12	25	25	25	25	25	-0.7	-0.1	-0.3	11	15			

レファレンスシナリオ									技術進展シナリオ											
年平均変化率(%)				構成比(%)					(TWh)					年平均変化率(%)					構成比(%)	
1990/2022	2022/2030	2030/2050	2022/2050	1990	2022	2030	2050	2030	2035	2040	2045	2050	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2050			
0.5	-0.2	0.2	0.1	100	100	100	100	1,009	1,029	1,043	1,088	1,120	0.0	0.5	0.4	100	100			
2.9	-5.0	-1.8	-2.7	14	31	21	14	155	118	81	55	26	-8.4	-8.5	-8.5	15	2.3			
-5.5	-8.1	-6.3	-6.8	29	4.1	2.1	0.5	15	12	7.3	4.4	1.8	-11.6	-10.1	-10.5	1.5	0.2			
2.3	-5.2	0.2	-1.4	19	34	23	22	201	183	164	150	106	-6.5	-3.2	-4.1	20	9.4			
-3.9	15.6	-0.5	3.9	23	5.6	18	16	247	252	250	249	249	20.4	0.0	5.5	25	22			
-0.4	1.4	0.4	0.7	10	7.6	8.7	9.0	87	91	95	97	99	1.5	0.6	0.9	8.6	8.8			
1.7	3.0	3.3	3.2	0.2	0.3	0.4	0.7	3.8	6.0	6.9	7.4	7.9	3.0	3.7	3.5	0.4	0.7			
25.4	5.9	1.5	2.7	0.0	9.2	15	19	161	181	204	232	261	7.2	2.4	3.8	16	23			
n.a.	19.4	3.3	7.7	-	0.9	3.9	7.2	45	62	81	100	121	21.7	5.1	9.6	4.4	11			
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	-	-			
6.4	2.5	2.0	2.1	0.9	5.8	7.2	10	78	98	122	132	158	3.5	3.6	3.6	7.7	14			
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	-	-	8.7	17	45	73	n.a.	n.a.	n.a.	-	6.5			
-0.6	0.0	0.0	0.0	2.3	1.6	1.6	1.6	16	16	16	16	16	0.0	0.0	0.0	1.6	1.4			

レファレンスシナリオ				技術進展シナリオ											
年平均変化率(%)				(MtCO ₂)					年平均変化率(%)					構成比(%)	
1990/2022	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2035	2040	2045	2050	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2050		
-0.2	-2.9	-1.4	-1.9	667	518	372	212	71	-4.6	-10.6	-8.9				
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	20	59	113	n.a.	n.a.	n.a.				

レファレンスシナリオ				技術進展シナリオ											
年平均変化率(%)				2022/2030/2022/2050					2022/2030/2022/2050					2022/2030/2022/2050	
2022	2030	2050	2050	2030	2035	2040	2045	2050	2030	2035	2040	2045	2050	2030	2050
0.8	0.8	0.8	0.8	4,846	5,048	5,254	5,458	5,659	0.8	0.8	0.8				
0.0	-0.6	-0.6	-0.6	120	116	112	109	105	-0.6	-0.6	-0.6				
0.8	1.4	1.4	1.4	40	44	47	50	54	1.4	1.4	1.4				
-0.4	-0.3	-0.1	-0.1	3.0	2.9	2.8	2.7	2.7	-0.5	-0.5	-0.5				
-1.1	-1.7	-1.5	-1.5	75	67	60	55	51	-1.9	-1.9	-1.9				
-1.0	-3.7	-2.2	-2.6	138	103	71	39	12	-5.4	-11.3	-9.7				
0.1	-2.1	-0.7	-1.1	1.8	1.5	1.2	0.7	0.2	-3.6	-9.6	-7.9				

*3 toe/2015年価格100万ドル。*4 t/2015年価格100万ドル

付表28 | 韓国

一次エネルギー消費	レファレンスシナリオ (石油換算100万t [Mtoe])									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
合計 ¹⁾	90	186	244	280	274	272	263	252	242	
石炭	22	39	68	68	66	60	56	51	45	
石油	50	99	95	102	98	94	90	85	80	
天然ガス	2.7	18	38	53	59	61	65	68	69	
原子力	14	28	39	46	37	42	35	29	28	
水力	0.5	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	
地熱	-	-	0.0	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	
太陽・風力等	0.0	0.0	0.2	3.2	5.4	6.6	7.8	9.2	11	
バイオマス・廃棄物	0.7	1.4	3.5	6.6	8.2	8.5	8.8	9.1	9.3	
水素	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	

最終エネルギー消費	レファレンスシナリオ (Mtoe)									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
合計	65	127	161	181	182	179	176	171	165	
石炭	12	8.3	13	8.8	8.5	8.1	7.5	6.9	6.4	
石油	44	80	82	93	90	87	83	79	75	
天然ガス	0.9	11	21	23	23	22	22	21	20	
電力	8.1	23	39	47	51	53	54	55	56	
熱	-	3.3	4.3	5.7	5.5	5.3	5.1	4.8	4.5	
水素	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
再生可能・廃棄物	0.7	1.3	2.7	3.9	4.0	4.1	4.1	4.1	4.1	
産業	20	38	48	48	50	50	50	49	47	
運輸	15	26	30	37	34	32	29	27	24	
民生・農業他	24	38	44	45	44	43	42	41	40	
非エネルギー消費	6.7	25	38	52	53	54	54	54	54	

発電量	レファレンスシナリオ (TWh)									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
合計	109	288	472	610	667	692	709	721	728	
石炭	21	110	220	207	203	179	169	152	127	
石油	19	35	19	6.8	4.8	2.9	1.2	-	-	
天然ガス	9.7	30	78	170	230	246	286	320	341	
原子力	53	109	149	176	142	161	134	113	106	
水力	6.4	4.0	3.7	3.5	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	
地熱	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
太陽光	0.0	0.0	0.8	29	43	52	62	72	83	
風力	-	0.0	0.8	3.4	16	20	24	28	33	
太陽熱・海洋	-	-	-	0.4	3.1	3.8	4.6	6.2	7.8	
バイオマス・廃棄物	-	0.1	1.1	10	17	19	21	22	23	
水素	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
その他	-	-	0.3	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	

二酸化炭素[CO ₂]	レファレンスシナリオ (二酸化炭素換算100万t [MtCO ₂])									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
エネルギー起源CO ₂ 排出 ²⁾	214	407	558	549	539	505	488	463	428	
二酸化炭素除去[CDR]による排出回避量	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

エネルギー・経済指標他	レファレンスシナリオ									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
国内総生産[GDP] (2015年価格10億ドル)	402	799	1,261	1,741	2,049	2,248	2,439	2,616	2,769	
人口(100万人)	43	47	50	52	51	50	49	47	45	
一人当たりGDP (2015年価格1,000ドル/人)	9.4	17	25	34	40	45	50	56	62	
一人当たり一次エネルギー消費(toe/人)	2.1	4.0	4.9	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4	
GDP当たり一次エネルギー消費 ³⁾	223	233	193	161	134	121	108	96	87	
GDP当たりエネルギー起源CO ₂ 排出量 ^{2),4)}	533	509	442	316	263	224	200	177	155	
一次エネルギー消費当たりCO ₂ 排出 ²⁾ (t/toe)	2.4	2.2	2.3	2.0	2.0	1.9	1.9	1.8	1.8	

*1 電力、熱の輸出入を掲載していないため、合計と内訳は必ずしも一致しない。

*2 二酸化炭素除去[CDR]による削減後の量

レファレンスシナリオ									技術進展シナリオ											
年平均変化率(%)				構成比(%)					(Mtoe)					年平均変化率(%)					構成比(%)	
1990/2022	2022/2030	2030/2050	2022/2050	1990	2022	2030	2050	2030	2035	2040	2045	2050	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2050			
3.6	-0.3	-0.6	-0.5	100	100	100	100	273	264	254	241	225	-0.3	-1.0	-0.8	100	100			
3.6	-0.4	-1.9	-1.5	25	24	24	18	57	46	34	26	20	-2.3	-5.1	-4.3	21	8.8			
2.3	-0.6	-1.0	-0.9	56	36	36	33	94	84	75	65	57	-1.1	-2.5	-2.1	34	25			
9.8	1.3	0.8	0.9	3.0	19	22	29	53	52	47	44	44	0.0	-0.9	-0.7	20	20			
3.8	-2.7	-1.5	-1.8	15	16	13	11	53	58	67	65	55	1.7	0.2	0.6	19	24			
-1.8	2.0	0.0	0.6	0.6	0.1	0.1	0.1	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	2.0	0.0	0.6	0.1	0.2			
n.a.	3.7	0.0	1.0	-	0.1	0.1	0.2	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	4.3	0.3	1.4	0.1	0.2			
19.7	6.8	3.5	4.4	0.0	1.1	2.0	4.4	6.6	9.1	12	15	20	9.5	5.6	6.7	2.4	8.7			
7.1	2.8	0.6	1.2	0.8	2.4	3.0	3.8	9.1	9.8	11	12	14	4.1	2.1	2.7	3.3	6.1			
n.a.	n.a.	-1.2	n.a.	-	-	0.0	0.0	0.8	4.6	8.0	12	15	n.a.	16.1	n.a.	0.3	6.8			

レファレンスシナリオ									技術進展シナリオ											
年平均変化率(%)				構成比(%)					(Mtoe)					年平均変化率(%)					構成比(%)	
1990/2022	2022/2030	2030/2050	2022/2050	1990	2022	2030	2050	2030	2035	2040	2045	2050	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2050			
3.2	0.0	-0.5	-0.3	100	100	100	100	177	168	158	148	139	-0.3	-1.2	-0.9	100	100			
-0.9	-0.3	-1.4	-1.1	18	4.8	4.7	3.9	7.6	6.3	5.1	4.2	3.5	-1.8	-3.8	-3.2	4.3	2.5			
2.4	-0.4	-0.9	-0.8	67	51	50	45	87	80	72	65	58	-0.8	-2.0	-1.7	49	42			
10.7	-0.2	-0.7	-0.6	1.4	13	12	12	21	18	15	12	8.9	-1.1	-4.2	-3.3	12	6.4			
5.6	1.1	0.5	0.7	12	26	28	34	51	53	54	54	54	1.1	0.3	0.5	29	38			
n.a.	-0.5	-1.0	-0.8	-	3.2	3.0	2.7	5.4	5.2	4.9	4.6	4.4	-0.8	-1.0	-1.0	3.0	3.1			
n.a.	n.a.	-0.4	n.a.	-	-	0.0	0.0	0.1	0.5	1.0	1.8	3.4	n.a.	21.5	n.a.	0.0	2.4			
5.3	0.5	0.1	0.2	1.1	2.1	2.2	2.5	4.4	4.7	5.3	6.2	7.3	1.4	2.6	2.3	2.5	5.3			
2.7	0.7	-0.3	0.0	31	26	28	29	48	45	42	39	36	0.1	-1.4	-1.0	27	26			
2.9	-0.9	-1.6	-1.4	22	20	19	15	32	28	23	19	16	-1.5	-3.4	-2.8	18	12			
2.0	-0.3	-0.5	-0.5	36	25	24	24	43	41	38	36	33	-0.6	-1.3	-1.1	24	24			
6.6	0.4	0.0	0.1	10	29	29	33	53	54	54	54	54	0.4	0.0	0.1	30	39			

レファレンスシナリオ									技術進展シナリオ											
年平均変化率(%)				構成比(%)					(TWh)					年平均変化率(%)					構成比(%)	
1990/2022	2022/2030	2030/2050	2022/2050	1990	2022	2030	2050	2030	2035	2040	2045	2050	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2050			
5.5	1.1	0.4	0.6	100	100	100	100	668	708	734	764	794	1.1	0.9	0.9	100	100			
7.4	-0.2	-2.3	-1.7	20	34	31	17	161	121	74	43	17	-3.1	-10.8	-8.6	24	2.1			
-3.1	-4.2	-100	-100	17	1.1	0.7	-	4.0	2.2	0.7	-	-	-6.4	-100	-100	0.6	-			
9.4	3.8	2.0	2.5	8.9	28	34	47	199	214	205	216	249	2.0	1.1	1.4	30	31			
3.8	-2.7	-1.5	-1.8	48	29	21	15	202	221	256	251	210	1.7	0.2	0.6	30	26			
-1.8	1.9	0.0	0.6	5.8	0.6	0.6	0.6	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	1.9	0.0	0.6	0.6	0.5			
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	-	-			
37.9	5.1	3.3	3.8	0.0	4.7	6.4	11	50	67	87	112	140	7.0	5.3	5.8	7.4	18			
n.a.	21.3	3.8	8.5	-	0.6	2.4	4.5	23	33	43	57	75	26.8	6.2	11.7	3.4	9.5			
n.a.	28.3	4.7	11.0	-	0.1	0.5	1.1	3.7	4.8	5.9	8.3	11	31.1	5.5	12.3	0.6	1.4			
n.a.	6.7	1.5	3.0	-	1.7	2.6	3.2	18	21	23	25	28	7.6	2.1	3.6	2.7	3.5			
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	-	-	16	32	45	57	n.a.	n.a.	n.a.	-	7.2			
n.a.	0.0	0.0	0.0	-	0.6	0.6	0.5	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	0.0	0.0	0.0	0.6	0.5			

レファレンスシナリオ				技術進展シナリオ											
年平均変化率(%)				(MtCO ₂)					年平均変化率(%)					構成比(%)	
1990/2022	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2035	2040	2045	2050	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2050		
3.0	-0.2	-1.1	-0.9	468	358	253	165	99	-2.0	-7.5	-5.9				
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	4.3	9.3	15	n.a.	n.a.	n.a.				

レファレンスシナリオ				技術進展シナリオ											
年平均変化率(%)				2022/2030/2022/2050					2022/2030/2022/2050					2022/2030/2022/2050	
2022	2030	2050	2050	2030	2035	2040	2045	2050	2030	2050	2050	2030	2050		
4.7	2.1	1.5	1.7	2,049	2,248	2,439	2,616	2,769	2.1	1.5	1.7				
0.6	-0.1	-0.6	-0.5	51	50	49	47	45	-0.1	-0.6	-0.5				
4.1	2.2	2.2	2.2	40	45	50	56	62	2.2	2.2	2.2				
3.0	-0.1	0.0	0.0	5.4	5.3	5.2	5.1	5.0	-0.1	-0.3	-0.3				
-1.0	-2.3	-2.1	-2.2	133	118	104	92	81	-2.3	-2.4	-2.4				
-1.6	-2.3	-2.6	-2.5	229	159	104	63	36	-3.9	-8.9	-7.5				
-0.6	0.0	-0.5	-0.4	1.7	1.4	1.0	0.7	0.4	-1.7	-6.6	-5.2				

*3 toe/2015年価格100万ドル。*4 t/2015年価格100万ドル

付表29 | 台湾

一次エネルギー消費	レファレンスシナリオ (石油換算100万t [Mtoe])									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
合計 ¹⁾	51	90	117	117	111	110	107	104	101	
石炭	11	30	42	41	38	36	34	32	29	
石油	28	42	48	40	37	36	35	33	31	
天然ガス	1.6	6.2	15	27	28	28	28	28	28	
原子力	8.6	10	11	6.2	-	-	-	-	-	
水力	0.5	0.4	0.3	0.5	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	
地熱	0.0	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
太陽・風力等	0.0	0.1	0.2	1.3	5.7	6.8	7.9	9.2	10	
バイオマス・廃棄物	0.1	0.9	1.8	1.7	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	
水素	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

最終エネルギー消費	レファレンスシナリオ (Mtoe)									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
合計	32	54	74	73	74	74	73	72	71	
石炭	3.5	5.4	6.5	4.9	5.0	4.9	4.6	4.3	4.0	
石油	21	32	44	38	37	36	35	33	32	
天然ガス	1.0	1.8	2.4	5.3	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4	
電力	6.6	14	19	22	24	25	26	26	27	
熱	-	0.0	1.6	1.8	1.9	2.0	2.0	1.9	1.9	
水素	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
再生可能・廃棄物	0.0	0.4	0.7	0.6	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8	
産業	13	21	25	25	27	28	28	28	28	
運輸	7.3	12	13	13	12	11	10	9.2	8.2	
民生・農業他	6.9	11	12	13	13	13	13	13	12	
非エネルギー消費	4.9	9.4	23	22	22	22	23	23	23	

発電量	レファレンスシナリオ (TWh)									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
合計	90	181	244	285	307	317	326	335	342	
石炭	27	87	122	121	107	100	93	85	77	
石油	22	31	11	4.4	3.2	2.6	1.9	1.2	0.6	
天然ガス	1.2	18	60	112	118	123	128	130	132	
原子力	33	39	42	24	-	-	-	-	-	
水力	6.2	4.6	3.9	5.5	8.4	8.5	8.5	8.6	8.6	
地熱	0.0	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
太陽光	-	-	0.0	11	23	26	30	35	40	
風力	-	0.0	1.0	3.5	42	52	62	71	80	
太陽熱・海洋	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
バイオマス・廃棄物	0.2	1.8	3.4	3.8	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	
水素	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
その他	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

二酸化炭素[CO ₂]	レファレンスシナリオ (二酸化炭素換算100万t [MtCO ₂])									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
エネルギー起源CO ₂ 排出 ²⁾	116	220	260	264	247	237	224	209	194	
二酸化炭素除去[CDR]による排出回避量	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

エネルギー・経済指標他	レファレンスシナリオ									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
国内総生産[GDP] (2015年価格10億ドル)	161	307	463	676	812	900	990	1,076	1,157	
人口(100万人)	20	22	23	23	22	22	21	20	19	
一人当たりGDP (2015年価格1,000ドル/人)	7.9	14	20	29	36	41	47	53	60	
一人当たり一次エネルギー消費(toe/人)	2.5	4.0	5.1	5.0	4.9	5.0	5.1	5.1	5.2	
GDP当たり一次エネルギー消費 ³⁾	315	292	254	173	137	122	109	97	87	
GDP当たりエネルギー起源CO ₂ 排出量 ^{2),4)}	721	716	562	391	304	263	226	194	167	
一次エネルギー消費当たりCO ₂ 排出 ²⁾ (t/toe)	2.3	2.5	2.2	2.3	2.2	2.2	2.1	2.0	1.9	

*1 電力、熱の輸出入を掲載していないため、合計と内訳は必ずしも一致しない。

*2 二酸化炭素除去[CDR]による削減後の量

レファレンスシナリオ									技術進展シナリオ											
年平均変化率(%)				構成比(%)					(Mtoe)					年平均変化率(%)					構成比(%)	
1990/2022/2022	2022/2030	2030/2050	2022/2050	1990	2022	2030	2050	2030	2035	2040	2045	2050	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2050			
2.7	-0.6	-0.5	-0.5	100	100	100	100	108	103	97	91	86	-1.0	-1.1	-1.1	100	100			
4.0	-0.7	-1.3	-1.1	23	35	34	29	33	27	22	17	14	-2.5	-4.2	-3.7	31	16			
1.1	-1.1	-0.8	-0.9	56	34	33	31	35	32	29	25	22	-1.6	-2.2	-2.0	33	26			
9.3	0.6	-0.1	0.1	3.1	23	25	27	26	24	21	17	13	-0.3	-3.3	-2.4	24	16			
-1.0	-100	n.a.	-100	17	5.3	-	-	4.3	6.8	6.8	6.8	6.8	-4.5	2.3	0.3	4.0	7.9			
-0.4	5.5	0.1	1.6	1.1	0.4	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	5.5	0.1	1.6	0.7	0.9			
6.4	-11.9	0.0	-3.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-11.9	0.0	-3.5	0.0	0.0			
14.0	20.1	3.0	7.7	0.0	1.1	5.2	10	6.9	9.0	11	13	16	22.9	4.3	9.3	6.3	19			
11.7	0.6	0.2	0.3	0.1	1.5	1.6	1.8	1.8	2.1	2.4	2.8	3.3	1.0	2.9	2.4	1.7	3.8			
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	-	0.1	2.1	4.2	6.9	9.3	n.a.	25.1	n.a.	0.1	11			

レファレンスシナリオ									技術進展シナリオ											
年平均変化率(%)				構成比(%)					(Mtoe)					年平均変化率(%)					構成比(%)	
1990/2022/2022	2022/2030	2030/2050	2022/2050	1990	2022	2030	2050	2030	2035	2040	2045	2050	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2050			
2.6	0.1	-0.2	-0.1	100	100	100	100	72	68	65	61	59	-0.3	-1.0	-0.8	100	100			
1.1	0.2	-1.2	-0.8	11	6.8	6.8	5.6	4.5	3.9	3.3	2.8	2.5	-1.0	-3.0	-2.4	6.4	4.2			
1.9	-0.5	-0.8	-0.7	65	52	50	45	35	33	30	27	24	-0.9	-1.9	-1.6	50	42			
5.4	0.4	0.0	0.1	3.1	7.2	7.4	7.7	4.6	3.9	3.1	2.4	1.7	-1.7	-4.9	-4.0	6.5	2.9			
3.9	0.9	0.6	0.7	21	31	33	38	24	25	25	25	25	1.0	0.2	0.4	34	43			
n.a.	0.6	0.0	0.2	-	2.5	2.6	2.7	1.9	1.8	1.7	1.7	1.6	0.2	-0.6	-0.4	2.6	2.8			
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	-	-	0.1	0.2	0.4	0.9	n.a.	n.a.	n.a.	-	1.6			
11.0	2.5	0.8	1.3	0.1	0.8	0.9	1.1	0.8	1.0	1.3	1.7	2.1	3.9	5.3	4.9	1.1	3.7			
2.1	0.9	0.1	0.3	40	35	37	39	26	25	23	22	21	0.3	-1.1	-0.7	36	36			
1.8	-1.5	-1.7	-1.7	23	18	16	12	11	9.0	7.2	5.7	4.9	-2.5	-3.9	-3.5	15	8.3			
2.0	-0.1	-0.2	-0.2	22	18	17	18	13	12	11	11	10	-0.4	-1.0	-0.9	18	17			
4.8	0.3	0.1	0.1	15	30	30	32	22	22	23	23	23	0.3	0.1	0.1	31	38			

レファレンスシナリオ									技術進展シナリオ											
年平均変化率(%)				構成比(%)					(TWh)					年平均変化率(%)					構成比(%)	
1990/2022/2022	2022/2030	2030/2050	2022/2050	1990	2022	2030	2050	2030	2035	2040	2045	2050	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2050			
3.7	0.9	0.6	0.7	100	100	100	100	309	324	332	344	359	1.0	0.7	0.8	100	100			
4.7	-1.5	-1.6	-1.6	30	43	35	23	87	61	41	24	12	-4.1	-9.5	-8.0	28	3.3			
-4.9	-3.9	-8.3	-7.1	25	1.6	1.1	0.2	2.9	1.9	1.2	0.6	0.2	-5.4	-12.3	-10.4	0.9	0.1			
15.2	0.7	0.6	0.6	1.3	39	39	39	113	106	99	86	67	0.1	-2.6	-1.8	36	19			
-1.0	-100	n.a.	-100	36	8.3	-	-	16	26	26	26	26	-4.5	2.3	0.3	5.3	7.2			
-0.4	5.5	0.1	1.6	6.8	1.9	2.8	2.5	8.4	8.5	8.5	8.6	8.6	5.5	0.1	1.6	2.7	2.4			
6.9	-12.0	0.0	-3.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-12.0	0.0	-3.6	0.0	0.0			
n.a.	10.2	2.8	4.8	-	3.7	7.5	12	29	36	42	51	62	13.1	3.9	6.5	9.3	17			
n.a.	36.4	3.3	11.8	-	1.2	14	23	50	68	84	103	123	39.3	4.6	13.5	16	34			
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	-	-			
9.5	-0.3	0.0	0.0	0.2	1.3	1.2	1.1	3.7	3.8	4.0	4.1	4.2	-0.3	0.6	0.4	1.2	1.2			
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	-	-	13	25	41	56	n.a.	n.a.	n.a.	-	16			
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	-	-			

レファレンスシナリオ				技術進展シナリオ											
年平均変化率(%)				(MtCO ₂)					年平均変化率(%)					構成比(%)	
1990/2022/2022	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2035	2040	2045	2050	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2050		
2.6	-0.9	-1.2	-1.1	217	175	134	89	52	-2.4	-6.9	-5.6				
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	0.7	1.3	2.0	n.a.	n.a.	n.a.				

レファレンスシナリオ				技術進展シナリオ											
年平均変化率(%)				年平均変化率(%)					年平均変化率(%)					構成比(%)	
1990/2022/2022	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2035	2040	2045	2050	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2050		
4.6	2.3	1.8	1.9	812	900	990	1,076	1,157	2.3	1.8	1.9				
0.4	-0.5	-0.7	-0.7	22	22	21	20	19	-0.5	-0.7	-0.7				
4.1	2.8	2.6	2.6	36	41	47	53	60	2.8	2.6	2.6				
2.2	-0.2	0.3	0.1	4.8	4.7	4.6	4.5	4.4	-0.5	-0.4	-0.4				
-1.9	-2.9	-2.2	-2.4	133	115	98	84	74	-3.2	-2.9	-3.0				
-1.9	-3.1	-2.9	-3.0	268	195	136	82	45	-4.6	-8.5	-7.4				
0.0	-0.2	-0.7	-0.6	2.0	1.7	1.4	1.0	0.6	-1.5	-5.8	-4.6				

*3 toe/2015年価格100万ドル。*4 t/2015年価格100万ドル

付表30 | ASEAN

一次エネルギー消費	レファレンスシナリオ (石油換算100万t [Mtoe])									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
合計 ¹⁾	217	354	511	736	921	1,069	1,192	1,308	1,419	
石炭	12	31	85	208	248	269	289	304	311	
石油	88	154	191	239	278	304	332	358	379	
天然ガス	30	74	125	139	197	234	279	332	394	
原子力	-	-	-	-	-	4.0	9.7	14	18	
水力	2.3	4.4	6.8	19	25	27	29	30	32	
地熱	6.6	18	25	38	69	117	129	136	142	
太陽・風力等	-	-	0.0	4.7	14	18	23	27	31	
バイオマス・廃棄物	78	72	79	89	91	96	101	106	111	
水素	-	-	-	-	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	

最終エネルギー消費	レファレンスシナリオ (Mtoe)									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
合計	149	244	352	478	585	655	727	799	866	
石炭	5.4	14	40	61	75	82	88	92	94	
石油	67	124	165	213	249	274	301	326	347	
天然ガス	7.5	17	29	45	61	69	77	85	92	
電力	11	28	52	99	139	166	195	227	261	
熱	-	-	-	-	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	
水素	-	-	-	-	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	
再生可能・廃棄物	58	62	66	61	61	63	66	69	71	
産業	41	75	122	177	232	266	299	330	357	
運輸	33	62	88	140	162	178	197	215	232	
民生・農業他	64	86	102	109	121	133	146	161	176	
非エネルギー消費	11	21	40	52	70	77	85	93	100	

発電量	レファレンスシナリオ (TWh)									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
合計	154	374	685	1,284	1,802	2,146	2,522	2,931	3,366	
石炭	28	79	185	568	684	746	813	874	909	
石油	66	72	60	24	17	16	16	13	8.9	
天然ガス	26	154	336	336	556	707	906	1,163	1,474	
原子力	-	-	-	-	-	15	37	53	71	
水力	27	51	80	225	286	313	335	354	370	
地熱	6.6	16	19	27	46	75	83	86	90	
太陽光	-	0.0	0.0	40	106	147	189	227	265	
風力	-	-	0.1	14	52	64	76	87	99	
太陽熱・海洋	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
バイオマス・廃棄物	0.6	1.0	5.8	50	54	61	68	74	80	
水素	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
その他	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

二酸化炭素[CO ₂]	レファレンスシナリオ (二酸化炭素換算100万t [MtCO ₂])									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
エネルギー起源CO ₂ 排出 ²⁾	350	682	1,074	1,683	2,042	2,269	2,510	2,751	2,958	
二酸化炭素除去[CDR]による排出回避量	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

エネルギー・経済指標他	レファレンスシナリオ									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
国内総生産[GDP] (2015年価格10億ドル)	736	1,178	1,971	3,230	4,609	5,736	7,055	8,536	10,127	
人口(100万人)	440	524	599	679	716	735	751	762	768	
一人当たりGDP (2015年価格1,000ドル/人)	1.7	2.2	3.3	4.8	6.4	7.8	9.4	11	13	
一人当たり一次エネルギー消費(toe/人)	0.5	0.7	0.9	1.1	1.3	1.5	1.6	1.7	1.8	
GDP当たり一次エネルギー消費 ³⁾	295	300	260	228	200	186	169	153	140	
GDP当たりエネルギー起源CO ₂ 排出量 ^{2),4)}	475	579	545	521	443	396	356	322	292	
一次エネルギー消費当たりCO ₂ 排出 ²⁾ (t/toe)	1.6	1.9	2.1	2.3	2.2	2.1	2.1	2.1	2.1	

*1 電力、熱の輸出入を掲載していないため、合計と内訳は必ずしも一致しない。

*2 二酸化炭素除去[CDR]による削減後の量

レファレンスシナリオ									技術進展シナリオ											
年平均変化率(%)				構成比(%)					(Mtoe)					年平均変化率(%)					構成比(%)	
1990/2022	2022/2030	2030/2050	2022/2050	1990	2022	2030	2050	2030	2035	2040	2045	2050	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2050			
3.9	2.8	2.2	2.4	100	100	100	100	881	993	1,074	1,150	1,230	2.3	1.7	1.8	100	100			
9.2	2.3	1.1	1.5	5.7	28	27	22	213	198	186	175	157	0.3	-1.5	-1.0	24	13			
3.2	1.9	1.6	1.7	40	32	30	27	249	248	245	233	215	0.5	-0.7	-0.4	28	17			
4.9	4.4	3.5	3.8	14	19	21	28	188	216	251	294	350	3.8	3.2	3.4	21	28			
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	1.3	12	32	46	60	76	n.a.	9.8	n.a.	1.3	6.2			
6.8	3.1	1.3	1.8	1.1	2.6	2.7	2.2	26	30	33	36	38	4.0	1.9	2.5	3.0	3.1			
5.6	7.9	3.7	4.8	3.1	5.1	7.5	10.0	69	127	157	181	205	7.9	5.6	6.2	7.8	17			
n.a.	14.3	4.2	7.0	-	0.6	1.5	2.2	21	33	48	67	92	20.2	7.7	11.2	2.3	7.5			
0.4	0.2	1.0	0.8	36	12	9.9	7.8	101	104	106	109	113	1.6	0.6	0.9	11	9.2			
n.a.	n.a.	0.1	n.a.	-	-	0.0	0.0	2.8	5.1	1.9	-5.9	-17	n.a.	n.a.	n.a.	0.3	-1.4			

レファレンスシナリオ									技術進展シナリオ											
年平均変化率(%)				構成比(%)					(Mtoe)					年平均変化率(%)					構成比(%)	
1990/2022	2022/2030	2030/2050	2022/2050	1990	2022	2030	2050	2030	2035	2040	2045	2050	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2050			
3.7	2.5	2.0	2.1	100	100	100	100	560	592	617	637	654	2.0	0.8	1.1	100	100			
7.8	2.6	1.1	1.6	3.6	13	13	11	69	69	67	65	63	1.6	-0.4	0.1	12	9.7			
3.7	2.0	1.7	1.8	45	44	43	40	226	229	228	219	203	0.7	-0.5	-0.2	40	31			
5.7	3.9	2.1	2.6	5.1	9.3	10	11	57	61	62	63	63	3.1	0.5	1.3	10	9.7			
7.1	4.3	3.2	3.5	7.5	21	24	30	141	168	195	225	257	4.5	3.0	3.5	25	39			
n.a.	n.a.	9.3	n.a.	-	-	0.0	0.0	0.1	0.1	0.2	0.3	0.3	n.a.	7.9	n.a.	0.0	0.0			
n.a.	n.a.	2.2	n.a.	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.3	n.a.	20.3	n.a.	0.0	0.0			
0.1	0.0	0.8	0.6	39	13	10	8.3	66	66	65	65	67	1.0	0.1	0.3	12	10			
4.6	3.4	2.2	2.5	28	37	40	41	221	236	246	252	261	2.8	0.8	1.4	40	40			
4.7	1.8	1.8	1.8	22	29	28	27	153	156	158	155	150	1.1	-0.1	0.2	27	23			
1.7	1.3	1.9	1.7	43	23	21	20	116	122	129	136	143	0.7	1.1	1.0	21	22			
4.9	3.9	1.8	2.4	7.4	11	12	12	70	77	85	93	100	3.9	1.8	2.4	12	15			

レファレンスシナリオ									技術進展シナリオ											
年平均変化率(%)				構成比(%)					(TWh)					年平均変化率(%)					構成比(%)	
1990/2022	2022/2030	2030/2050	2022/2050	1990	2022	2030	2050	2030	2035	2040	2045	2050	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2050			
6.8	4.3	3.2	3.5	100	100	100	100	1,846	2,242	2,685	3,236	3,893	4.6	3.8	4.0	100	100			
9.9	2.4	1.4	1.7	18	44	38	27	577	524	493	461	403	0.2	-1.8	-1.2	31	10			
-3.0	-4.8	-3.0	-3.5	43	1.9	0.9	0.3	15	13	12	8.7	5.2	-6.0	-5.1	-5.4	0.8	0.1			
8.3	6.5	5.0	5.4	17	26	31	44	549	690	878	1,126	1,450	6.3	5.0	5.4	30	37			
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	2.1	45	122	178	230	290	n.a.	9.8	n.a.	2.4	7.5			
6.8	3.1	1.3	1.8	18	18	16	11	308	348	384	416	445	4.0	1.9	2.5	17	11			
4.5	6.9	3.4	4.4	4.3	2.1	2.6	2.7	46	83	100	115	129	6.9	5.3	5.7	2.5	3.3			
n.a.	13.0	4.7	7.0	-	3.1	5.9	7.9	161	273	408	593	821	19.1	8.5	11.4	8.7	21			
n.a.	18.5	3.2	7.4	-	1.1	2.9	2.9	77	107	141	186	239	24.3	5.8	10.8	4.2	6.2			
n.a.	n.a.	0.0	n.a.	-	-	0.0	0.0	0.1	0.2	0.3	0.6	0.9	n.a.	11.9	n.a.	0.0	0.0			
14.8	1.1	2.0	1.7	0.4	3.9	3.0	2.4	68	77	86	95	103	4.1	2.1	2.6	3.7	2.6			
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	-	-	2.6	5.2	5.2	5.2	n.a.	n.a.	n.a.	-	0.1			
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	-	-			

レファレンスシナリオ				技術進展シナリオ											
年平均変化率(%)				(MtCO ₂)					年平均変化率(%)					構成比(%)	
1990/2022	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2035	2040	2045	2050	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2050		
5.0	2.4	1.9	2.0	1,776	1,695	1,612	1,494	1,336	0.7	-1.4	-0.8				
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	5.0	11	17	n.a.	n.a.	n.a.				

レファレンスシナリオ				技術進展シナリオ										
年平均変化率(%)				2022/2030/2022/2050					2022/2030/2022/2050					
2030	2035	2040	2045	2050	2030	2035	2040	2045	2050	2030	2035	2040	2045	2050
4.7	4.5	4.0	4.2	4,609	5,736	7,055	8,536	10,127	4.5	4.0	4.2			
1.4	0.7	0.3	0.4	716	735	751	762	768	0.7	0.3	0.4			
3.3	3.9	3.7	3.7	6.4	7.8	9.4	11	13	3.9	3.7	3.7			
2.5	2.1	1.8	1.9	1.2	1.4	1.4	1.5	1.6	1.6	1.3	1.4			
-0.8	-1.6	-1.8	-1.7	191	173	152	135	121	-2.2	-2.2	-2.2			
0.3	-2.0	-2.1	-2.0	385	295	229	175	132	-3.7	-5.2	-4.8			
1.1	-0.4	-0.3	-0.3	2.0	1.7	1.5	1.3	1.1	-1.6	-3.0	-2.6			

*3 toe/2015年価格100万ドル。*4 t/2015年価格100万ドル

付表31 | インドネシア

一次エネルギー消費	レファレンスシナリオ (石油換算100万t [Mtoe])									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
合計 ¹⁾	85	127	172	261	344	431	491	548	606	
石炭	3.5	12	32	95	113	124	136	145	150	
石油	33	58	67	73	83	92	101	109	116	
天然ガス	16	27	39	33	56	73	98	128	164	
原子力	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
水力	0.5	0.9	1.5	2.3	3.1	3.4	3.8	4.1	4.4	
地熱	1.9	8.4	16	29	59	105	117	122	128	
太陽・風力等	-	-	-	0.2	1.8	3.0	4.3	5.6	6.9	
バイオマス・廃棄物	30	21	17	28	28	30	32	34	36	
水素	-	-	-	-	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	
最終エネルギー消費	レファレンスシナリオ (Mtoe)									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
合計	57	91	117	162	197	226	256	287	317	
石炭	1.5	4.6	17	29	37	41	45	49	51	
石油	27	48	55	70	79	88	96	105	112	
天然ガス	6.0	12	16	15	19	23	27	30	34	
電力	2.4	6.8	13	31	43	54	66	81	97	
熱	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
水素	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0	
再生可能・廃棄物	20	20	16	19	19	20	21	22	24	
産業	17	30	49	68	88	103	119	134	148	
運輸	11	21	30	56	64	70	77	84	90	
民生・農業他	22	30	27	31	36	42	48	55	63	
非エネルギー消費	7.4	9.8	10	6.5	8.5	9.9	12	13	15	
発電量	レファレンスシナリオ (TWh)									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
合計	33	93	170	377	542	678	838	1,024	1,236	
石炭	9.8	34	68	249	290	315	352	385	405	
石油	15	18	34	8.3	8.1	7.3	5.9	3.4	-	
天然ガス	0.7	26	40	51	128	193	290	422	592	
原子力	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
水力	5.7	10	17	27	36	40	44	47	51	
地熱	1.1	4.9	9.4	17	34	61	68	71	75	
太陽光	-	-	0.0	0.4	16	29	41	54	66	
風力	-	-	0.0	0.4	3.5	5.3	7.1	9.8	13	
太陽熱・海洋	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
バイオマス・廃棄物	-	0.0	0.1	24	25	28	30	32	34	
水素	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
その他	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
二酸化炭素[CO ₂]	レファレンスシナリオ (二酸化炭素換算100万t [MtCO ₂])									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
エネルギー起源CO ₂ 排出 ²⁾	130	255	396	652	801	907	1,034	1,162	1,281	
二酸化炭素除去[CDR]による排出回避量	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
エネルギー・経済指標他	レファレンスシナリオ									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
国内総生産[GDP] (2015年価格10億ドル)	270	395	658	1,122	1,663	2,117	2,666	3,312	4,045	
人口(100万人)	182	214	244	276	292	301	308	314	317	
一人当たりGDP (2015年価格1,000ドル/人)	1.5	1.8	2.7	4.1	5.7	7.0	8.7	11	13	
一人当たり一次エネルギー消費(toe/人)	0.5	0.6	0.7	0.9	1.2	1.4	1.6	1.7	1.9	
GDP当たり一次エネルギー消費 ³⁾	313	320	262	232	207	203	184	166	150	
GDP当たりエネルギー起源CO ₂ 排出量 ^{2),4)}	480	645	602	581	482	428	388	351	317	
一次エネルギー消費当たりCO ₂ 排出 ²⁾ (t/toe)	1.5	2.0	2.3	2.5	2.3	2.1	2.1	2.1	2.1	

*1 電力、熱の輸出入を掲載していないため、合計と内訳は必ずしも一致しない。

*2 二酸化炭素除去[CDR]による削減後の量

レファレンスシナリオ									技術進展シナリオ									
年平均変化率(%)				構成比(%)					(Mtoe)					年平均変化率(%)			構成比(%)	
1990/2022	2022/2030	2030/2050	2022/2050	1990	2022	2030	2050		2030	2035	2040	2045	2050	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2050
3.6	3.5	2.9	3.1	100	100	100	100		335	412	466	515	566	3.2	2.7	2.8	100	100
10.8	2.2	1.4	1.7	4.2	36	33	25		101	99	97	90	77	0.8	-1.4	-0.8	30	14
2.5	1.6	1.7	1.7	39	28	24	19		70	70	67	62	54	-0.6	-1.3	-1.1	21	9.5
2.3	6.7	5.6	5.9	19	13	16	27		54	71	95	127	167	6.4	5.8	5.9	16	29
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	-		3.7	7.3	7.3	7.3	7.3	n.a.	3.5	n.a.	1.1	1.3
5.0	3.6	1.7	2.3	0.6	0.9	0.9	0.7		3.3	3.7	4.1	4.5	4.9	4.3	2.1	2.7	1.0	0.9
8.8	9.3	4.0	5.5	2.3	11	17	21		59	111	140	164	187	9.3	6.0	6.9	17	33
n.a.	31.1	6.9	13.3	-	0.1	0.5	1.1		4.2	8.7	14	21	31	45.9	10.4	19.6	1.3	5.4
-0.1	0.1	1.2	0.9	35	11	8.3	6.0		39	42	44	46	49	4.2	1.1	2.0	12	8.6
n.a.	n.a.	3.8	n.a.	-	-	-0.0	-0.0		-0.1	-1.0	-2.5	-5.6	-10	n.a.	26.4	n.a.	-0.0	-1.8

レファレンスシナリオ									技術進展シナリオ									
年平均変化率(%)				構成比(%)					(Mtoe)					年平均変化率(%)			構成比(%)	
1990/2022	2022/2030	2030/2050	2022/2050	1990	2022	2030	2050		2030	2035	2040	2045	2050	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2050
3.3	2.5	2.4	2.4	100	100	100	100		190	205	218	228	238	2.0	1.1	1.4	100	100
9.7	3.0	1.6	2.0	2.6	18	19	16		34	34	34	33	32	2.0	-0.3	0.4	18	13
3.0	1.7	1.7	1.7	48	43	40	35		67	67	65	61	55	-0.4	-1.0	-0.9	36	23
2.8	3.4	2.8	3.0	11	9.0	9.7	11		18	20	22	22	23	2.7	1.2	1.6	9.6	9.7
8.2	4.5	4.1	4.2	4.3	19	22	31		46	57	70	84	100	5.2	4.0	4.3	24	42
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	-		-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	-	-
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	0.0		-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	-	-
-0.2	-0.1	1.2	0.8	35	12	9.5	7.5		25	26	26	27	28	3.5	0.7	1.5	13	12
4.4	3.2	2.7	2.8	31	42	45	47		86	95	102	107	113	2.8	1.4	1.8	45	47
5.3	1.7	1.7	1.7	19	35	33	28		60	61	60	59	57	0.8	-0.2	0.1	32	24
1.2	2.0	2.8	2.6	38	19	18	20		36	40	44	48	53	1.7	2.0	1.9	19	22
-0.4	3.3	3.0	3.1	13	4.0	4.3	4.8		8.5	9.9	12	13	15	3.3	3.0	3.1	4.5	6.4

レファレンスシナリオ									技術進展シナリオ									
年平均変化率(%)				構成比(%)					(TWh)					年平均変化率(%)			構成比(%)	
1990/2022	2022/2030	2030/2050	2022/2050	1990	2022	2030	2050		2030	2035	2040	2045	2050	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2050
7.9	4.6	4.2	4.3	100	100	100	100		576	748	951	1,199	1,491	5.4	4.9	5.0	100	100
10.6	2.0	1.7	1.8	30	66	54	33		258	246	242	220	173	0.5	-2.0	-1.3	45	12
-1.9	-0.3	-100	-100	47	2.2	1.5	-		7.7	6.6	5.2	2.9	-	-1.0	-100	-100	1.3	-
14.2	12.1	7.9	9.1	2.2	14	24	48		138	218	338	500	712	13.1	8.5	9.8	24	48
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	-		14	28	28	28	28	n.a.	3.5	n.a.	2.4	1.9
5.0	3.6	1.7	2.3	17	7.2	6.7	4.1		38	43	48	53	57	4.3	2.1	2.7	6.6	3.8
8.8	9.3	4.0	5.5	3.4	4.4	6.3	6.0		34	65	81	95	109	9.3	6.0	6.9	5.9	7.3
n.a.	56.5	7.4	19.6	-	0.1	3.0	5.4		37	79	129	196	278	73.6	10.7	25.9	6.4	19
n.a.	32.8	6.7	13.6	-	0.1	0.6	1.0		11	21	32	52	77	53.7	10.2	21.2	1.9	5.1
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	-		-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	-	-
n.a.	0.8	1.5	1.3	-	6.3	4.7	2.7		38	43	48	52	57	6.0	2.1	3.2	6.5	3.8
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	-		-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	-	-
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	-		-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	-	-

レファレンスシナリオ				技術進展シナリオ									
年平均変化率(%)				(MtCO ₂)					年平均変化率(%)				
1990/2022	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2035	2040	2045	2050	2022/2030	2030/2050	2022/2050		
5.2	2.6	2.4	2.4	710	720	714	684	619	1.1	-0.7	-0.2		
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	4.9	10	17	n.a.	n.a.	n.a.		

レファレンスシナリオ				技術進展シナリオ									
年平均変化率(%)				2022/2030/2022/2050					2022/2030/2022/2050				
2022/2030	2030/2050	2022/2050		2030	2035	2040	2045	2050	2030	2050	2050		
4.5	5.0	4.5	4.7	1,663	2,117	2,666	3,312	4,045	5.0	4.5	4.7		
1.3	0.7	0.4	0.5	292	301	308	314	317	0.7	0.4	0.5		
3.2	4.3	4.1	4.2	5.7	7.0	8.7	11	13	4.3	4.1	4.2		
2.2	2.8	2.5	2.5	1.1	1.4	1.5	1.6	1.8	2.4	2.2	2.3		
-0.9	-1.4	-1.6	-1.6	201	195	175	156	140	-1.8	-1.8	-1.8		
0.6	-2.3	-2.1	-2.1	427	340	268	207	153	-3.8	-5.0	-4.6		
1.5	-0.9	-0.5	-0.6	2.1	1.7	1.5	1.3	1.1	-2.0	-3.3	-2.9		

*3 toe/2015年価格100万ドル。*4 t/2015年価格100万ドル

付表32 | マレーシア

一次エネルギー消費	レファレンスシナリオ (石油換算100万t [Mtoe])									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
合計 ¹⁾	21	48	72	99	120	130	140	149	156	
石炭	1.4	2.3	15	24	24	23	21	19	15	
石油	11	19	25	25	30	31	31	31	31	
天然ガス	6.8	25	31	47	60	68	77	88	100	
原子力	-	-	-	-	-	1.8	3.7	3.7	3.7	
水力	0.3	0.6	0.6	2.7	2.9	3.2	3.4	3.5	3.6	
地熱	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
太陽・風力等	-	-	-	0.2	0.4	0.6	0.9	1.1	1.4	
バイオマス・廃棄物	1.2	1.3	0.8	1.2	2.5	2.5	2.6	2.7	2.7	
水素	-	-	-	-	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	
最終エネルギー消費	レファレンスシナリオ (Mtoe)									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
合計	13	29	42	59	72	78	84	90	94	
石炭	0.5	1.0	1.8	0.8	0.9	0.9	0.9	0.9	0.8	
石油	9.3	18	24	25	28	28	29	29	29	
天然ガス	1.1	3.9	6.3	18	23	25	27	29	31	
電力	1.7	5.3	9.5	14	19	22	25	28	32	
熱	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
水素	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
再生可能・廃棄物	0.7	0.7	0.2	0.8	2.1	2.1	2.2	2.2	2.3	
産業	5.5	12	15	19	26	29	33	36	39	
運輸	4.9	11	15	19	22	22	22	22	22	
民生・農業他	2.1	4.3	8.2	9.9	12	13	14	15	16	
非エネルギー消費	0.8	2.3	3.7	11	13	14	15	16	17	
発電量	レファレンスシナリオ (TWh)									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
合計	23	69	125	187	249	289	330	373	418	
石炭	2.9	7.7	43	88	96	92	85	76	62	
石油	11	3.6	3.7	1.0	1.0	0.8	0.6	0.3	-	
天然ガス	5.5	51	71	64	112	143	179	227	283	
原子力	-	-	-	-	-	7.0	14	14	14	
水力	4.0	7.0	6.5	31	34	37	39	41	41	
地熱	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
太陽光	-	-	-	2.2	4.6	7.5	10	13	16	
風力	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
太陽熱・海洋	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
バイオマス・廃棄物	-	-	1.0	1.2	1.2	1.3	1.5	1.6	1.6	
水素	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
その他	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
二酸化炭素[CO ₂]	レファレンスシナリオ (二酸化炭素換算100万t [MtCO ₂])									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
エネルギー起源CO ₂ 排出 ²⁾	53	112	188	241	281	292	302	312	316	
二酸化炭素除去[CDR]による排出回避量	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
エネルギー・経済指標他	レファレンスシナリオ									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
国内総生産[GDP] (2015年価格10億ドル)	75	148	233	387	533	635	749	874	1,007	
人口(100万人)	18	23	29	34	37	39	41	42	43	
一人当たりGDP (2015年価格1,000ドル/人)	4.3	6.5	8.1	11	14	16	18	21	23	
一人当たり一次エネルギー消費(toe/人)	1.2	2.1	2.5	2.9	3.2	3.3	3.5	3.5	3.6	
GDP当たり一次エネルギー消費 ³⁾	284	326	312	257	225	205	187	170	155	
GDP当たりエネルギー起源CO ₂ 排出量 ^{2),4)}	710	753	807	623	527	461	404	357	314	
一次エネルギー消費当たりCO ₂ 排出 ²⁾ (t/toe)	2.5	2.3	2.6	2.4	2.3	2.2	2.2	2.1	2.0	

*1 電力、熱の輸出入を掲載していないため、合計と内訳は必ずしも一致しない。

*2 二酸化炭素除去[CDR]による削減後の量

レファレンスシナリオ									技術進展シナリオ									
年平均変化率(%)				構成比(%)					(Mtoe)					年平均変化率(%)			構成比(%)	
1990/2022	2022/2030	2030/2050	2022/2050	1990	2022	2030	2050		2030	2035	2040	2045	2050	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2050
4.9	2.4	1.3	1.6	100	100	100	100		114	119	123	125	128	1.7	0.6	0.9	100	100
9.3	0.4	-2.4	-1.6	6.4	24	20	9.6		23	21	18	14	10	-0.5	-3.9	-2.9	20	8.0
2.5	2.3	0.1	0.7	54	25	25	20		27	25	21	17	13	0.8	-3.4	-2.2	24	10
6.2	3.1	2.6	2.7	32	47	50	64		55	63	69	74	80	2.1	1.9	1.9	49	63
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	2.3		1.8	2.1	3.8	6.3	8.9	n.a.	8.2	n.a.	1.6	7.0
6.6	1.2	0.9	1.0	1.6	2.7	2.5	2.3		3.2	3.6	3.8	4.0	4.1	2.3	1.2	1.5	2.8	3.2
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	-		-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	-	-
n.a.	9.8	6.4	7.3	-	0.2	0.3	0.9		0.6	1.7	3.3	6.2	10	15.2	15.3	15.3	0.5	7.9
0.0	9.1	0.5	2.9	5.8	1.2	2.1	1.8		3.8	4.1	4.4	4.9	5.5	15.0	1.9	5.5	3.3	4.3
n.a.	n.a.	4.5	n.a.	-	-	-0.0	-0.0		-0.0	-0.5	-1.3	-3.0	-5.6	n.a.	34.9	n.a.	-0.0	-4.4

レファレンスシナリオ									技術進展シナリオ									
年平均変化率(%)				構成比(%)					(Mtoe)					年平均変化率(%)			構成比(%)	
1990/2022	2022/2030	2030/2050	2022/2050	1990	2022	2030	2050		2030	2035	2040	2045	2050	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2050
4.8	2.5	1.3	1.7	100	100	100	100		70	71	71	69	68	2.0	-0.1	0.5	100	100
1.3	1.6	-0.2	0.3	3.8	1.3	1.2	0.9		0.8	0.7	0.6	0.6	0.5	0.4	-2.2	-1.5	1.2	0.8
3.2	1.1	0.1	0.4	70	43	39	30		25	23	20	17	14	-0.3	-2.9	-2.2	36	20
9.2	2.7	1.6	1.9	8.2	31	31	33		21	22	22	21	20	2.0	-0.2	0.4	31	30
6.8	3.7	2.7	3.0	13	24	26	34		19	22	24	26	29	3.9	2.1	2.6	27	42
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	-		-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	-	-
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	-		-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	-	-
0.3	12.2	0.4	3.6	5.6	1.4	2.9	2.4		3.4	3.6	3.8	4.2	4.7	19.2	1.7	6.4	4.8	6.9
4.0	3.5	2.2	2.5	41	33	36	42		24	25	25	25	24	2.9	0.0	0.8	35	36
4.3	1.8	0.0	0.5	36	32	30	23		21	19	18	16	14	1.2	-1.9	-1.1	30	21
4.9	2.1	1.7	1.8	16	17	16	17		11	12	12	13	13	1.7	0.7	0.9	16	19
8.4	2.0	1.4	1.5	6.3	19	18	18		13	14	15	16	17	2.0	1.4	1.5	19	25

レファレンスシナリオ									技術進展シナリオ									
年平均変化率(%)				構成比(%)					(TWh)					年平均変化率(%)			構成比(%)	
1990/2022	2022/2030	2030/2050	2022/2050	1990	2022	2030	2050		2030	2035	2040	2045	2050	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2050
6.8	3.6	2.6	2.9	100	100	100	100		255	302	353	414	490	3.9	3.3	3.5	100	100
11.2	1.2	-2.2	-1.2	13	47	39	15		89	81	72	57	41	0.2	-3.8	-2.6	35	8.4
-7.1	-0.3	-100	-100	46	0.5	0.4	-		0.9	0.8	0.6	0.3	-	-0.9	-100	-100	0.4	-
8.0	7.2	4.8	5.4	24	34	45	68		112	149	181	211	247	7.2	4.0	4.9	44	50
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	3.4		7.0	8.2	15	24	34	n.a.	8.2	n.a.	2.8	7.0
6.6	1.2	0.9	1.0	17	17	14	9.9		37	42	45	46	47	2.3	1.2	1.5	15	9.6
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	-		-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	-	-
n.a.	9.8	6.4	7.4	-	1.2	1.9	3.8		6.8	19	38	72	118	15.3	15.3	15.3	2.7	24
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	-		-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	-	-
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	-		-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	-	-
n.a.	0.0	1.5	1.1	-	0.7	0.5	0.4		1.2	1.6	2.0	2.4	2.8	0.0	4.2	3.0	0.5	0.6
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	-		-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	-	-
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	-		-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	-	-

レファレンスシナリオ				技術進展シナリオ									
年平均変化率(%)				(MtCO ₂)					年平均変化率(%)			構成比(%)	
1990/2022	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2035	2040	2045	2050	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2050
4.8	1.9	0.6	1.0	250	234	211	180	151	0.5	-2.5	-1.6		
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	0.1	0.3	0.5	n.a.	n.a.	n.a.		

レファレンスシナリオ				技術進展シナリオ									
年平均変化率(%)				2022/2030/2022/2050					2022/2030/2022/2050			2022/2030/2022/2050	
2022/2030	2030/2050	2022/2050		2030	2035	2040	2045	2050	2030	2050	2022/2050	2030	2050
5.3	4.1	3.2	3.5	533	635	749	874	1,007	4.1	3.2	3.5		
2.1	1.1	0.8	0.9	37	39	41	42	43	1.1	0.8	0.9		
3.1	2.9	2.4	2.6	14	16	18	21	23	2.9	2.4	2.6		
2.8	1.2	0.6	0.7	3.1	3.1	3.0	3.0	2.9	0.6	-0.2	0.0		
-0.3	-1.7	-1.8	-1.8	214	187	164	143	127	-2.3	-2.6	-2.5		
-0.4	-2.1	-2.6	-2.4	470	368	282	206	150	-3.5	-5.5	-5.0		
-0.1	-0.4	-0.7	-0.7	2.2	2.0	1.7	1.4	1.2	-1.2	-3.0	-2.5		

*3 toe/2015年価格100万ドル。*4 t/2015年価格100万ドル

付表33 | ミャンマー

一次エネルギー消費	レファレンスシナリオ (石油換算100万t [Mtoe])									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
合計 ¹⁾	11	13	14	21	21	22	25	28	32	
石炭	0.1	0.3	0.4	0.3	2.1	3.0	4.0	5.5	7.2	
石油	0.7	2.0	1.3	5.9	3.9	4.7	5.6	6.7	7.7	
天然ガス	0.8	1.2	1.3	3.4	4.6	6.1	7.6	9.7	12	
原子力	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
水力	0.1	0.2	0.5	0.8	1.2	1.3	1.5	1.7	1.8	
地熱	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	
太陽・風力等	-	-	-	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.2	
バイオマス・廃棄物	9.0	9.2	10	11	9.6	8.5	7.5	6.8	6.2	
水素	-	-	-	-	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	
最終エネルギー消費	レファレンスシナリオ (Mtoe)									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
合計	9.4	11	13	19	16	16	17	18	19	
石炭	0.1	0.3	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	
石油	0.6	1.5	1.0	5.6	3.5	4.3	5.2	6.2	7.2	
天然ガス	0.2	0.3	0.6	0.4	0.3	0.3	0.4	0.4	0.5	
電力	0.1	0.3	0.5	1.8	2.2	2.7	3.3	4.0	4.8	
熱	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	
水素	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	
再生可能・廃棄物	8.4	9.0	10	11	9.4	8.3	7.4	6.7	6.1	
産業	0.4	1.2	1.3	1.6	2.1	2.4	2.8	3.1	3.4	
運輸	0.4	1.2	0.8	4.3	2.3	2.9	3.6	4.5	5.4	
民生・農業他	8.5	9.1	10	13	11	10	9.9	9.8	9.8	
非エネルギー消費	0.1	0.1	0.1	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	
発電量	レファレンスシナリオ (TWh)									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
合計	2.5	5.1	8.6	21	37	48	61	79	99	
石炭	0.0	-	0.6	0.1	5.2	7.9	11	16	22	
石油	0.3	0.7	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.4	0.5	
天然ガス	1.0	2.5	1.8	11	17	24	31	42	54	
原子力	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
水力	1.2	1.9	6.2	9.1	14	16	17	19	21	
地熱	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
太陽光	-	-	-	0.2	0.4	0.7	1.0	1.2	1.5	
風力	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
太陽熱・海洋	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
バイオマス・廃棄物	-	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
水素	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
その他	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
二酸化炭素[CO ₂]	レファレンスシナリオ (二酸化炭素換算100万t [MtCO ₂])									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
エネルギー起源CO ₂ 排出 ²⁾	4.0	9.6	8.1	26	30	39	50	64	79	
二酸化炭素除去[CDR]による排出回避量	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
エネルギー・経済指標他	レファレンスシナリオ									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
国内総生産[GDP] (2015年価格10億ドル)	7.1	14	44	66	79	99	125	156	194	
人口(100万人)	40	46	49	54	57	58	59	59	59	
一人当たりGDP (2015年価格1,000ドル/人)	0.2	0.3	0.9	1.2	1.4	1.7	2.1	2.6	3.3	
一人当たり一次エネルギー消費(toe/人)	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	
GDP当たり一次エネルギー消費 ³⁾	1,499	903	310	324	262	227	199	181	165	
GDP当たりエネルギー起源CO ₂ 排出量 ^{2),4)}	567	673	184	391	380	398	399	410	408	
一次エネルギー消費当たりCO ₂ 排出 ²⁾ (t/toe)	0.4	0.7	0.6	1.2	1.5	1.8	2.0	2.3	2.5	

*1 電力、熱の輸出入を掲載していないため、合計と内訳は必ずしも一致しない。

*2 二酸化炭素除去[CDR]による削減後の量

レファレンスシナリオ									技術進展シナリオ									
年平均変化率(%)				構成比(%)					(Mtoe)					年平均変化率(%)			構成比(%)	
1990/2022	2022/2030	2030/2050	2022/2050	1990	2022	2030	2050		2030	2035	2040	2045	2050	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2050
2.2	-0.5	2.2	1.4	100	100	100	100		18	18	19	21	24	-2.1	1.4	0.4	100	100
5.2	25.8	6.2	11.5	0.6	1.6	10	23		1.8	2.4	3.0	3.9	4.8	22.8	5.1	9.9	9.8	20
6.8	-5.3	3.5	0.9	6.8	28	19	24		3.6	4.0	4.3	4.5	4.6	-6.2	1.2	-0.9	20	19
4.8	3.8	4.9	4.6	7.1	16	22	37		4.4	5.7	6.9	8.9	11	3.2	4.7	4.2	24	46
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	-		-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	-	-
6.5	5.3	2.2	3.1	1.0	3.6	5.7	5.7		1.3	1.6	1.8	2.1	2.3	6.9	2.9	4.0	7.3	9.9
n.a.	n.a.	10.3	n.a.	-	-	0.0	0.2		0.1	0.1	0.2	0.2	0.3	n.a.	7.9	n.a.	0.3	1.1
n.a.	15.7	7.3	9.7	-	0.1	0.2	0.6		0.1	0.5	1.0	1.9	3.2	32.6	17.2	21.4	0.7	14
0.6	-1.7	-2.2	-2.0	84	51	47	19		7.7	5.2	4.0	3.2	2.5	-4.4	-5.4	-5.1	42	11
n.a.	n.a.	5.6	n.a.	-	-	-0.0	-0.0		-0.0	-0.2	-0.5	-1.2	-2.1	n.a.	25.2	n.a.	-0.1	-8.7

レファレンスシナリオ									技術進展シナリオ									
年平均変化率(%)				構成比(%)					(Mtoe)					年平均変化率(%)			構成比(%)	
1990/2022	2022/2030	2030/2050	2022/2050	1990	2022	2030	2050		2030	2035	2040	2045	2050	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2050
2.2	-2.3	1.0	0.0	100	100	100	100		14	13	12	13	13	-3.9	-0.3	-1.3	100	100
5.2	0.0	1.3	0.9	0.5	1.4	1.6	1.8		0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	-1.0	-0.2	-0.4	1.7	1.8
7.3	-5.8	3.7	0.9	6.2	30	22	38		3.2	3.6	3.9	4.0	4.1	-6.8	1.3	-1.1	23	32
1.6	-2.5	2.1	0.8	2.4	2.0	1.9	2.4		0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	-3.5	0.3	-0.8	2.0	2.3
8.2	2.3	4.0	3.5	1.6	9.7	14	25		2.4	3.0	3.7	4.4	5.2	3.3	3.9	3.8	17	40
n.a.	n.a.	10.3	n.a.	-	-	0.1	0.3		0.1	0.1	0.2	0.2	0.3	n.a.	7.9	n.a.	0.4	2.0
n.a.	n.a.	11.1	n.a.	-	-	0.0	0.3		-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	-	-
0.8	-1.7	-2.2	-2.0	89	57	60	32		7.6	5.2	4.1	3.4	2.8	-4.3	-4.8	-4.7	55	22
4.5	3.3	2.5	2.7	4.2	8.5	13	18		1.9	2.0	2.2	2.3	2.5	2.0	1.5	1.6	14	19
7.4	-7.7	4.4	0.8	4.7	23	14	28		2.2	2.6	3.0	3.4	3.7	-8.3	2.7	-0.5	16	29
1.3	-1.7	-0.6	-0.9	90	67	71	52		9.4	7.6	6.8	6.5	6.2	-3.7	-2.0	-2.5	69	48
3.5	0.1	2.1	1.6	1.0	1.5	1.8	2.3		0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.1	2.1	1.6	2.1	3.4

レファレンスシナリオ									技術進展シナリオ									
年平均変化率(%)				構成比(%)					(TWh)					年平均変化率(%)			構成比(%)	
1990/2022	2022/2030	2030/2050	2022/2050	1990	2022	2030	2050		2030	2035	2040	2045	2050	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2050
6.9	7.2	5.1	5.7	100	100	100	100		39	56	74	103	138	8.1	6.5	7.0	100	100
3.2	62.5	7.5	21.0	1.6	0.5	14	23		5.0	7.2	9.4	13	17	61.4	6.2	19.7	13	12
-2.8	9.2	4.1	5.6	11	0.5	0.6	0.5		0.2	0.3	0.4	0.4	0.5	9.5	4.0	5.5	0.6	0.4
8.0	5.0	5.9	5.7	39	55	46	54		18	25	33	46	59	5.5	6.2	6.0	45	43
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	-		-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	-	-
6.5	5.3	2.2	3.1	48	43	37	21		15	18	21	24	27	6.9	2.9	4.0	39	20
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	-		-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	-	-
n.a.	13.4	6.4	8.3	-	0.8	1.2	1.5		0.9	4.3	9.3	20	34	24.3	19.9	21.2	2.3	25
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	-		-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	-	-
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	-		-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	-	-
n.a.	0.0	0.0	0.0	-	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	-		-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	-	-
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	-		-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	-	-

レファレンスシナリオ				技術進展シナリオ				
年平均変化率(%)				(MtCO ₂)				
1990/2022	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2035	2040	2045	2050
6.0	1.8	5.0	4.1	27	34	40	49	58
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	-	-

レファレンスシナリオ				技術進展シナリオ				
年平均変化率(%)				年平均変化率(%)				
1990/2022	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2035	2040	2045	2050
7.2	2.1	4.6	3.9	79	99	125	156	194
0.9	0.6	0.2	0.3	57	58	59	59	59
6.2	1.5	4.4	3.6	1.4	1.7	2.1	2.6	3.3
1.3	-1.1	2.0	1.1	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4
-4.7	-2.6	-2.3	-2.4	230	183	154	137	122
-1.2	-0.4	0.4	0.2	344	341	320	312	297
3.7	2.3	2.7	2.6	1.5	1.9	2.1	2.3	2.4

*3 toe/2015年価格100万ドル。*4 t/2015年価格100万ドル

付表34 | フィリピン

一次エネルギー消費	レファレンスシナリオ (石油換算100万t [Mtoe])									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
合計 ¹⁾	27	39	42	63	80	94	107	117	126	
石炭	1.3	4.6	7.0	19	21	24	26	26	25	
石油	9.7	16	14	20	29	36	42	48	52	
天然ガス	-	0.0	3.1	2.6	5.4	7.6	11	15	19	
原子力	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
水力	0.5	0.7	0.7	0.9	1.3	1.4	1.5	1.7	1.9	
地熱	4.7	10	8.5	9.0	10	12	13	13	13	
太陽・風力等	-	-	0.0	0.2	2.0	2.5	2.9	3.4	3.8	
バイオマス・廃棄物	10	7.6	8.7	11	10	10	9.8	9.6	9.3	
水素	-	-	-	-	-0.0	-0.0	-	-	-	
最終エネルギー消費	レファレンスシナリオ (Mtoe)									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
合計	19	23	25	36	48	57	66	75	81	
石炭	0.7	0.8	1.9	1.9	2.4	2.6	2.7	2.8	2.7	
石油	8.1	13	11	18	27	33	39	45	49	
天然ガス	-	-	0.1	-	0.0	0.1	0.1	0.1	0.2	
電力	1.8	3.1	4.8	7.9	12	15	18	21	24	
熱	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
水素	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
再生可能・廃棄物	8.4	6.4	6.9	7.7	6.5	6.3	6.0	5.7	5.4	
産業	4.1	4.6	5.9	7.1	9.9	12	14	15	16	
運輸	4.5	8.3	8.0	12	18	23	27	31	34	
民生・農業他	10.0	9.9	11	15	18	20	22	25	27	
非エネルギー消費	0.4	0.4	0.2	1.3	1.9	2.4	3.0	3.7	4.3	
発電量	レファレンスシナリオ (TWh)									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
合計	26	45	68	112	170	208	248	285	320	
石炭	1.9	17	23	66	75	89	97	100	98	
石油	12	9.2	7.1	2.5	4.3	4.6	4.7	4.5	3.9	
天然ガス	-	0.0	20	18	37	53	76	103	133	
原子力	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
水力	6.1	7.8	7.8	10	15	16	18	20	22	
地熱	5.5	12	9.9	10	12	14	15	15	15	
太陽光	-	-	0.0	1.8	14	17	21	24	28	
風力	-	-	0.1	1.0	9.5	12	14	15	17	
太陽熱・海洋	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
バイオマス・廃棄物	0.4	-	0.0	1.3	1.9	2.2	2.6	2.7	2.9	
水素	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
その他	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
二酸化炭素[CO ₂]	レファレンスシナリオ (二酸化炭素換算100万t [MtCO ₂])									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
エネルギー起源CO ₂ 排出 ²⁾	35	65	75	138	179	214	245	271	288	
二酸化炭素除去[CDR]による排出回避量	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
エネルギー・経済指標他	レファレンスシナリオ									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
国内総生産[GDP] (2015年価格10億ドル)	107	143	229	408	657	851	1,066	1,282	1,471	
人口(100万人)	62	78	95	116	123	128	131	134	136	
一人当たりGDP (2015年価格1,000ドル/人)	1.7	1.8	2.4	3.5	5.3	6.7	8.1	9.5	11	
一人当たり一次エネルギー消費(toe/人)	0.4	0.5	0.4	0.5	0.7	0.7	0.8	0.9	0.9	
GDP当たり一次エネルギー消費 ³⁾	249	272	182	154	122	110	100	91	85	
GDP当たりエネルギー起源CO ₂ 排出量 ^{2),4)}	329	452	327	337	272	251	230	211	196	
一次エネルギー消費当たりCO ₂ 排出 ²⁾ (t/toe)	1.3	1.7	1.8	2.2	2.2	2.3	2.3	2.3	2.3	

*1 電力、熱の輸出入を掲載していないため、合計と内訳は必ずしも一致しない。

*2 二酸化炭素除去[CDR]による削減後の量

レファレンスシナリオ					技術進展シナリオ												
年平均変化率(%)				構成比(%)				(Mtoe)					年平均変化率(%)			構成比(%)	
1990/2022/2022	2022/2030	2030/2050	2022/2050	1990	2022	2030	2050	2030	2035	2040	2045	2050	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2050
2.7	3.1	2.3	2.5	100	100	100	100	77	90	98	104	109	2.5	1.8	2.0	100	100
8.9	1.4	0.8	1.0	4.7	30	27	20	17	17	17	17	15	-1.1	-0.7	-0.8	23	14
2.3	5.0	2.9	3.5	36	32	36	42	27	31	33	33	31	4.0	0.6	1.6	35	28
n.a.	9.3	6.5	7.3	-	4.2	6.7	15	4.3	5.6	8.1	12	17	6.2	7.3	7.0	5.6	16
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	-	2.2	4.4	6.6	6.6	8.8	n.a.	7.2	n.a.	2.9	8.1
1.6	5.3	1.9	2.9	2.0	1.4	1.6	1.5	1.3	1.5	1.6	1.8	2.1	5.6	2.3	3.2	1.8	1.9
2.0	1.9	1.2	1.4	18	14	13	11	10	16	16	17	17	1.9	2.6	2.4	14	16
n.a.	30.4	3.2	10.3	-	0.4	2.5	3.1	3.5	4.7	6.1	7.7	9.4	39.3	5.1	13.9	4.5	8.7
0.2	-1.2	-0.4	-0.6	39	18	13	7.4	10	9.7	9.3	8.9	8.5	-1.3	-0.8	-1.0	13	7.8
n.a.	n.a.	-100	n.a.	-	-	-0.0	-	0.0	-0.1	-0.3	-0.7	-1.4	n.a.	n.a.	n.a.	0.0	-1.3

レファレンスシナリオ					技術進展シナリオ												
年平均変化率(%)				構成比(%)				(Mtoe)					年平均変化率(%)			構成比(%)	
1990/2022/2022	2022/2030	2030/2050	2022/2050	1990	2022	2030	2050	2030	2035	2040	2045	2050	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2050
2.0	3.8	2.7	3.0	100	100	100	100	46	52	57	60	62	3.2	1.5	2.0	100	100
3.3	2.6	0.6	1.1	3.7	5.4	5.0	3.3	2.2	2.3	2.2	2.1	2.0	1.8	-0.6	0.1	4.8	3.2
2.6	5.0	3.0	3.6	43	51	56	60	25	29	31	31	29	4.1	0.7	1.7	55	48
n.a.	n.a.	9.5	n.a.	-	-	0.1	0.2	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	n.a.	6.4	n.a.	0.1	0.1
4.7	5.7	3.5	4.1	9.6	22	25	30	12	15	19	22	26	5.8	3.8	4.3	27	42
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	-	-
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	-	-
-0.3	-2.1	-1.0	-1.3	44	22	14	6.6	6.4	5.9	5.4	4.9	4.5	-2.4	-1.7	-1.9	14	7.3
1.7	4.3	2.5	3.0	22	20	21	20	9.6	11	12	12	12	3.9	1.2	1.9	21	20
3.2	5.0	3.2	3.7	24	35	38	42	17	20	23	24	24	4.3	1.6	2.3	38	38
1.3	2.3	2.0	2.1	52	42	38	33	17	19	20	21	22	1.8	1.1	1.3	38	35
3.7	5.2	4.1	4.4	2.1	3.6	4.0	5.3	1.9	2.4	3.0	3.7	4.3	5.2	4.1	4.4	4.2	7.0

レファレンスシナリオ					技術進展シナリオ												
年平均変化率(%)				構成比(%)				(TWh)					年平均変化率(%)			構成比(%)	
1990/2022/2022	2022/2030	2030/2050	2022/2050	1990	2022	2030	2050	2030	2035	2040	2045	2050	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2050
4.6	5.4	3.2	3.8	100	100	100	100	172	216	264	322	386	5.6	4.1	4.5	100	100
11.7	1.5	1.3	1.4	7.3	60	44	31	60	61	63	65	58	-1.3	-0.1	-0.5	35	15
-4.9	6.8	-0.4	1.6	47	2.3	2.5	1.2	3.4	3.3	3.3	3.4	3.1	3.8	-0.5	0.7	2.0	0.8
n.a.	9.6	6.6	7.4	-	16	22	41	30	41	61	96	134	6.8	7.7	7.5	18	35
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	-	8.4	17	25	25	34	n.a.	7.2	n.a.	4.9	8.7
1.6	5.3	1.9	2.9	23	9.0	9.0	7.0	16	17	19	21	24	5.6	2.3	3.2	9.1	6.3
2.0	1.9	1.2	1.4	21	9.3	7.2	4.8	12	19	19	20	20	1.9	2.6	2.4	7.1	5.2
n.a.	29.3	3.3	10.2	-	1.6	8.4	8.6	25	36	48	61	76	38.8	5.7	14.2	15	20
n.a.	32.0	3.0	10.6	-	0.9	5.6	5.4	15	19	23	28	34	40.1	4.0	13.3	8.9	8.7
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	-	-
3.6	4.8	2.1	2.9	1.6	1.2	1.1	0.9	2.1	2.5	2.9	3.0	3.1	5.7	2.1	3.1	1.2	0.8
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	-	-
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	-	-

レファレンスシナリオ					技術進展シナリオ										
年平均変化率(%)				構成比(%)				(MtCO ₂)							
1990/2022/2022	2022/2030	2030/2050	2022/2050	1990	2022	2030	2050	2030	2035	2040	2045	2050	2022/2030	2030/2050	2022/2050
4.3	3.4	2.4	2.7	-	-	-	-	152	155	154	149	133	1.3	-0.7	-0.1
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.

レファレンスシナリオ					技術進展シナリオ												
年平均変化率(%)				構成比(%)				(MtCO ₂)					年平均変化率(%)			構成比(%)	
1990/2022/2022	2022/2030	2030/2050	2022/2050	1990	2022	2030	2050	2030	2035	2040	2045	2050	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2050
4.3	6.1	4.1	4.7	-	-	-	-	657	851	1,066	1,282	1,471	6.1	4.1	4.7	-	-
2.0	0.8	0.5	0.6	-	-	-	-	123	128	131	134	136	0.8	0.5	0.6	-	-
2.2	5.3	3.6	4.1	-	-	-	-	5.3	6.7	8.1	9.5	11	5.3	3.6	4.1	-	-
0.7	2.3	1.8	1.9	-	-	-	-	0.6	0.7	0.7	0.8	0.8	1.7	1.2	1.4	-	-
-1.5	-2.9	-1.8	-2.1	-	-	-	-	117	106	92	81	74	-3.4	-2.3	-2.6	-	-
0.1	-2.6	-1.6	-1.9	-	-	-	-	231	182	144	116	90	-4.6	-4.6	-4.6	-	-
1.6	0.2	0.1	0.2	-	-	-	-	2.0	1.7	1.6	1.4	1.2	-1.2	-2.4	-2.1	-	-

*3 toe/2015年価格100万ドル。*4 t/2015年価格100万ドル

付表35 | タイ

一次エネルギー消費	レファレンスシナリオ (石油換算100万t [Mtoe])									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
合計 ¹⁾	42	73	118	133	142	151	160	168	175	
石炭	3.8	7.7	16	18	17	17	17	16	16	
石油	18	32	45	55	55	57	60	62	63	
天然ガス	5.0	17	33	33	40	42	43	43	42	
原子力	-	-	-	-	-	-	1.8	3.7	6.2	
水力	0.4	0.5	0.5	0.6	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	
地熱	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
太陽・風力等	-	-	0.0	0.7	1.8	2.6	3.5	4.3	5.2	
バイオマス・廃棄物	15	15	23	23	24	27	30	33	36	
水素	-	-	-	-	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	

最終エネルギー消費	レファレンスシナリオ (Mtoe)									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
合計	29	51	84	98	106	113	119	126	131	
石炭	1.3	3.6	9.2	8.5	8.6	8.7	8.6	8.5	8.2	
石油	15	29	43	54	56	58	61	63	64	
天然ガス	0.1	1.1	4.6	7.3	8.2	8.9	9.6	10	11	
電力	3.3	7.6	13	17	20	22	25	27	29	
熱	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
水素	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
再生可能・廃棄物	9.3	9.4	14	11	13	14	16	17	19	
産業	8.7	17	26	32	36	40	43	46	48	
運輸	9.2	15	19	28	28	29	30	31	32	
民生・農業他	11	14	20	16	16	17	17	18	18	
非エネルギー消費	0.4	5.8	18	23	25	27	29	31	33	

発電量	レファレンスシナリオ (TWh)									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
合計	44	96	159	186	230	253	275	294	312	
石炭	11	18	30	37	36	37	38	37	36	
石油	10	10.0	1.1	11	-	-	-	-	-	
天然ガス	18	62	120	105	140	146	147	145	141	
原子力	-	-	-	-	-	-	7.0	14	24	
水力	5.0	6.0	5.6	6.8	15	17	18	19	19	
地熱	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
太陽光	-	-	0.0	5.1	15	25	34	43	52	
風力	-	-	-	3.0	5.1	5.7	6.3	6.9	7.4	
太陽熱・海洋	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
バイオマス・廃棄物	-	0.5	3.4	19	19	22	25	29	32	
水素	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
その他	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

二酸化炭素[CO ₂]	レファレンスシナリオ (二酸化炭素換算100万t [MtCO ₂])									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
エネルギー起源CO ₂ 排出 ²⁾	81	151	222	250	257	262	264	263	258	
二酸化炭素除去[CDR]による排出回避量	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

エネルギー・経済指標他	レファレンスシナリオ									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
国内総生産[GDP] (2015年価格10億ドル)	144	221	347	450	562	666	785	916	1,055	
人口(100万人)	55	63	68	72	71	71	69	68	66	
一人当たりGDP (2015年価格1,000ドル/人)	2.6	3.5	5.1	6.3	7.9	9.5	11	13	16	
一人当たり一次エネルギー消費(toe/人)	0.8	1.2	1.7	1.9	2.0	2.1	2.3	2.5	2.6	
GDP当たり一次エネルギー消費 ³⁾	294	328	340	296	253	226	203	183	166	
GDP当たりエネルギー起源CO ₂ 排出量 ^{2),4)}	560	680	640	555	457	394	336	287	244	
一次エネルギー消費当たりCO ₂ 排出 ²⁾ (t/toe)	1.9	2.1	1.9	1.9	1.8	1.7	1.7	1.6	1.5	

*1 電力、熱の輸出入を掲載していないため、合計と内訳は必ずしも一致しない。

*2 二酸化炭素除去[CDR]による削減後の量

レファレンスシナリオ									技術進展シナリオ											
年平均変化率(%)				構成比(%)					(Mtoe)					年平均変化率(%)					構成比(%)	
1990/2022	2022/2030	2030/2050	2022/2050	1990	2022	2030	2050		2030	2035	2040	2045	2050	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2050		
3.6	0.8	1.0	1.0	100	100	100	100		140	144	146	149	154	0.6	0.5	0.5	100	100		
4.9	-0.4	-0.4	-0.4	9.0	13	12	9.0		16	14	13	12	11	-1.3	-1.6	-1.5	11	7.5		
3.5	0.0	0.7	0.5	43	41	39	36		51	49	48	45	42	-0.9	-1.0	-1.0	37	27		
6.1	2.4	0.2	0.9	12	25	28	24		42	42	41	43	45	2.8	0.4	1.0	30	29		
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	3.5		-	1.8	3.9	6.4	9.0	n.a.	n.a.	n.a.	-	5.8		
1.0	10.5	1.2	3.8	1.0	0.4	0.9	0.9		1.4	1.6	1.7	1.8	1.9	11.4	1.5	4.2	1.0	1.2		
0.0	0.0	3.5	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.5	2.5	0.0	0.0		
n.a.	12.1	5.5	7.3	-	0.5	1.2	2.9		2.2	3.9	6.1	9.0	12	15.4	9.0	10.8	1.6	8.1		
1.4	0.7	1.9	1.6	35	17	17	20		25	28	29	30	31	1.2	1.1	1.1	18	20		
n.a.	n.a.	3.5	n.a.	-	-	-0.0	-0.0		0.0	-0.1	-0.4	-1.3	-2.7	n.a.	n.a.	n.a.	0.0	-1.7		

レファレンスシナリオ									技術進展シナリオ											
年平均変化率(%)				構成比(%)					(Mtoe)					年平均変化率(%)					構成比(%)	
1990/2022	2022/2030	2030/2050	2022/2050	1990	2022	2030	2050		2030	2035	2040	2045	2050	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2050		
3.9	1.0	1.1	1.0	100	100	100	100		103	105	106	106	106	0.6	0.1	0.3	100	100		
6.0	0.1	-0.2	-0.1	4.6	8.6	8.0	6.3		8.1	7.6	7.1	6.7	6.6	-0.7	-1.0	-0.9	7.8	6.2		
4.0	0.5	0.7	0.6	52	55	53	49		53	51	50	47	44	-0.3	-0.8	-0.7	51	42		
13.2	1.4	1.4	1.4	0.5	7.5	7.7	8.3		7.8	7.9	8.0	8.1	8.1	0.7	0.2	0.4	7.6	7.7		
5.3	2.2	1.8	1.9	11	17	19	22		21	23	25	28	31	2.5	2.0	2.1	20	29		
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	-		-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	-	-		
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	-		-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	-	-		
0.7	1.7	1.8	1.8	32	12	12	14		14	16	15	16	16	2.3	0.7	1.2	13	15		
4.1	1.8	1.4	1.5	30	32	34	37		35	36	36	36	36	1.3	0.2	0.5	34	34		
3.5	0.3	0.5	0.5	32	28	27	24		27	26	24	23	21	-0.3	-1.3	-1.0	26	20		
1.3	0.1	0.5	0.4	37	17	15	14		16	16	16	15	15	-0.3	-0.2	-0.3	15	14		
13.2	1.3	1.5	1.4	1.5	23	24	26		25	27	29	31	33	1.3	1.5	1.4	24	32		

レファレンスシナリオ									技術進展シナリオ											
年平均変化率(%)				構成比(%)					(TWh)					年平均変化率(%)					構成比(%)	
1990/2022	2022/2030	2030/2050	2022/2050	1990	2022	2030	2050		2030	2035	2040	2045	2050	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2050		
4.6	2.7	1.5	1.9	100	100	100	100		237	269	307	362	429	3.1	3.0	3.0	100	100		
3.8	-0.2	0.0	-0.1	25	20	16	12		32	29	25	24	23	-1.5	-1.6	-1.6	14	5.4		
0.0	-100	n.a.	-100	23	5.7	-	-		-	-	-	-	-	-100	n.a.	-100	-	-		
5.7	3.7	0.1	1.1	40	56	61	45		143	147	152	162	177	4.0	1.1	1.9	60	41		
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	7.6		-	7.0	15	25	34	n.a.	n.a.	n.a.	-	8.0		
1.0	10.5	1.2	3.8	11	3.7	6.5	6.2		16	18	20	21	22	11.4	1.5	4.2	6.8	5.1		
0.0	0.0	3.5	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.5	2.5	0.0	0.0		
n.a.	14.7	6.4	8.7	-	2.7	6.6	17		20	38	60	90	127	18.6	9.7	12.2	8.4	29		
n.a.	6.7	1.9	3.2	-	1.6	2.2	2.4		5.5	7.2	9.3	12	15	7.8	5.2	6.0	2.3	3.6		
n.a.	n.a.	0.0	n.a.	-	-	0.0	0.0		0.1	0.2	0.3	0.6	0.9	n.a.	11.9	n.a.	0.0	0.2		
n.a.	-0.1	2.6	1.9	-	10	8.3	10		20	23	25	28	30	0.4	2.1	1.6	8.4	7.0		
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	-		-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	-	-		
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	-		-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	-	-		

レファレンスシナリオ				技術進展シナリオ											
年平均変化率(%)				(MtCO ₂)					年平均変化率(%)					構成比(%)	
1990/2022	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2035	2040	2045	2050	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2050		
3.6	0.3	0.0	0.1	240	216	192	162	132	-0.5	-2.9	-2.3	-	-		
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	-	-		

レファレンスシナリオ				技術進展シナリオ									
年平均変化率(%)				2022/2030/2022/2050					2022/2030/2022/2050				
1990/2022	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2035	2040	2045	2050	2030	2035	2040	2045	2050
3.6	2.8	3.2	3.1	562	666	785	916	1,055	2.8	3.2	3.1	2.8	3.2
0.8	-0.1	-0.4	-0.3	71	71	69	68	66	-0.1	-0.4	-0.3	-0.1	-0.4
2.8	2.9	3.6	3.4	7.9	9.5	11	13	16	2.9	3.6	3.4	2.9	3.6
2.8	0.9	1.4	1.3	2.0	2.0	2.1	2.2	2.3	0.7	0.8	0.8	0.7	0.8
0.0	-1.9	-2.1	-2.0	250	215	186	163	146	-2.1	-2.7	-2.5	-2.1	-2.7
0.0	-2.4	-3.1	-2.9	426	324	244	177	125	-3.3	-5.9	-5.2	-3.3	-5.9
0.0	-0.5	-1.0	-0.9	1.7	1.5	1.3	1.1	0.9	-1.2	-3.4	-2.8	-1.2	-3.4

*3 toe/2015年価格100万ドル。*4 t/2015年価格100万ドル

付表36 | ベトナム

一次エネルギー消費	レファレンスシナリオ (石油換算100万t [Mtoe])									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
合計 ¹⁾	18	29	59	102	151	175	199	224	247	
石炭	2.2	4.4	15	46	63	70	77	83	87	
石油	2.7	7.8	18	27	41	46	53	60	66	
天然ガス	0.0	1.1	8.1	7.6	18	23	28	35	43	
原子力	-	-	-	-	-	2.2	4.2	6.4	8.6	
水力	0.5	1.3	2.4	8.2	11	12	12	13	13	
地熱	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
太陽・風力等	-	-	0.0	3.2	7.4	9.0	11	12	13	
バイオマス・廃棄物	12	14	15	9.4	11	12	13	14	15	
水素	-	-	-	-	-0.0	-0.0	-	-0.0	-0.0	
最終エネルギー消費	レファレンスシナリオ (Mtoe)									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
合計	16	25	48	73	109	125	142	158	173	
石炭	1.3	3.2	9.8	20	25	27	29	30	30	
石油	2.3	6.5	17	23	35	41	47	53	58	
天然ガス	-	0.0	0.5	2.1	7.8	9.1	10	12	13	
電力	0.5	1.9	7.5	21	33	40	47	54	62	
熱	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
水素	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
再生可能・廃棄物	12	13	14	7.1	7.5	8.5	9.4	10	11	
産業	4.5	7.9	17	38	56	64	71	78	84	
運輸	1.4	3.5	10	15	19	23	27	31	35	
民生・農業他	10	13	18	17	20	23	27	30	34	
非エネルギー消費	0.0	0.1	2.3	3.0	14	15	17	19	20	
発電量	レファレンスシナリオ (TWh)									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
合計	8.7	27	95	276	429	513	601	692	782	
石炭	2.0	3.1	20	111	154	176	198	220	238	
石油	1.3	4.5	3.4	0.2	0.0	-	-	-	-	
天然ガス	0.0	4.4	44	29	60	84	116	155	201	
原子力	-	-	-	-	-	8.4	16	25	33	
水力	5.4	15	28	96	126	136	144	150	154	
地熱	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
太陽光	-	-	-	28	51	63	74	81	88	
風力	-	-	0.1	9.1	34	42	49	55	61	
太陽熱・海洋	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
バイオマス・廃棄物	-	-	0.1	2.3	3.7	4.3	4.9	5.6	6.2	
水素	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
その他	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
二酸化炭素[CO ₂]	レファレンスシナリオ (二酸化炭素換算100万t [MtCO ₂])									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
エネルギー起源CO ₂ 排出 ²⁾	17	42	123	287	389	443	497	552	600	
二酸化炭素除去[CDR]による排出回避量	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
エネルギー・経済指標他	レファレンスシナリオ									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
国内総生産[GDP] (2015年価格10億ドル)	45	94	177	359	580	763	990	1,256	1,551	
人口(100万人)	67	79	87	98	103	105	107	108	108	
一人当たりGDP (2015年価格1,000ドル/人)	0.7	1.2	2.0	3.7	5.6	7.3	9.3	12	14	
一人当たり一次エネルギー消費(toe/人)	0.3	0.4	0.7	1.0	1.5	1.7	1.9	2.1	2.3	
GDP当たり一次エネルギー消費 ³⁾	397	307	330	284	260	229	201	178	159	
GDP当たりエネルギー起源CO ₂ 排出量 ^{2),4)}	368	448	693	799	672	580	502	439	386	
一次エネルギー消費当たりCO ₂ 排出 ²⁾ (t/toe)	0.9	1.5	2.1	2.8	2.6	2.5	2.5	2.5	2.4	

*1 電力、熱の輸出入を掲載していないため、合計と内訳は必ずしも一致しない。

*2 二酸化炭素除去[CDR]による削減後の量

レファレンスシナリオ									技術進展シナリオ									
年平均変化率(%)				構成比(%)					(Mtoe)					年平均変化率(%)			構成比(%)	
1990/2022	2022/2030	2030/2050	2022/2050	1990	2022	2030	2050		2030	2035	2040	2045	2050	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2050
5.6	5.0	2.5	3.2	100	100	100	100		137	149	159	172	187	3.8	1.6	2.2	100	100
9.9	4.0	1.6	2.3	12	45	42	35		47	39	33	32	32	0.4	-2.0	-1.3	35	17
7.5	5.1	2.4	3.2	15	27	27	27		38	41	43	43	42	4.3	0.4	1.5	28	22
27.8	11.3	4.4	6.3	0.0	7.5	12	17		15	16	17	18	20	9.1	1.4	3.6	11	11
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	3.5		4.0	16	25	33	42	n.a.	12.4	n.a.	2.9	22
9.4	3.5	1.0	1.7	2.6	8.1	7.2	5.4		12	14	15	16	17	4.8	1.9	2.7	8.7	9.3
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	-		-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	-	-
n.a.	10.9	2.8	5.1	-	3.2	4.9	5.2		9.6	13	16	20	25	14.7	4.8	7.5	7.0	13
-0.9	1.5	1.8	1.7	70	9.2	7.0	6.2		9.9	10	10	11	11	0.6	0.7	0.7	7.2	6.1
n.a.	n.a.	-3.4	n.a.	-	-	-0.0	-0.0		-0.0	-0.3	-0.9	-2.0	-3.7	n.a.	29.8	n.a.	-0.0	-2.0

レファレンスシナリオ									技術進展シナリオ									
年平均変化率(%)				構成比(%)					(Mtoe)					年平均変化率(%)			構成比(%)	
1990/2022	2022/2030	2030/2050	2022/2050	1990	2022	2030	2050		2030	2035	2040	2045	2050	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2050
4.9	5.2	2.4	3.2	100	100	100	100		103	111	118	124	131	4.4	1.2	2.1	100	100
8.8	3.1	0.9	1.5	8.3	27	23	17		23	23	22	22	21	2.0	-0.4	0.3	22	16
7.5	5.4	2.5	3.3	15	32	33	34		33	36	37	38	37	4.6	0.5	1.7	32	28
n.a.	18.0	2.4	6.6	-	2.9	7.2	7.2		7.5	8.3	9.0	9.5	10.0	17.4	1.4	5.8	7.3	7.6
12.1	6.0	3.2	4.0	3.3	29	30	35		32	38	43	49	56	5.7	2.7	3.6	32	42
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	-		-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	-	-
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	-		-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	-	-
-1.6	0.7	1.9	1.6	74	9.7	6.9	6.3		6.6	6.5	6.5	6.6	7.2	-0.8	0.4	0.0	6.4	5.5
6.9	4.8	2.0	2.8	28	53	51	48		52	54	56	57	61	3.9	0.8	1.7	51	46
7.7	3.3	3.2	3.2	8.7	20	17	20		18	20	21	22	21	2.3	1.0	1.4	17	16
1.6	2.5	2.6	2.6	63	23	19	20		20	22	24	26	29	2.1	1.9	2.0	19	22
15.7	20.7	2.0	7.0	0.2	4.1	12	12		14	15	17	19	20	20.7	2.0	7.0	13	15

レファレンスシナリオ									技術進展シナリオ									
年平均変化率(%)				構成比(%)					(TWh)					年平均変化率(%)			構成比(%)	
1990/2022	2022/2030	2030/2050	2022/2050	1990	2022	2030	2050		2030	2035	2040	2045	2050	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2050
11.4	5.7	3.0	3.8	100	100	100	100		425	496	572	665	783	5.5	3.1	3.8	100	100
13.4	4.1	2.2	2.8	23	40	36	30		108	76	58	54	58	-0.4	-3.0	-2.3	25	7.5
-6.0	-28.7	-100	-100	15	0.1	0.0	-		0.0	-	-	-	-	-32.2	-100	-100	0.0	-
30.4	9.3	6.2	7.1	0.1	11	14	26		46	47	51	56	71	5.8	2.2	3.2	11	9.1
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	4.2		15	62	95	127	160	n.a.	12.4	n.a.	3.6	20
9.4	3.5	1.0	1.7	62	35	29	20		139	157	174	189	202	4.8	1.9	2.7	33	26
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	-		-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	-	-
n.a.	7.7	2.8	4.1	-	10	12	11		67	88	112	140	172	11.3	4.8	6.6	16	22
n.a.	18.1	2.9	7.1	-	3.3	8.0	7.9		45	60	77	94	114	22.2	4.7	9.4	11	15
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	-		-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	-	-
n.a.	6.1	2.6	3.6	-	0.8	0.9	0.8		4.1	4.7	5.2	5.7	6.2	7.5	2.1	3.6	1.0	0.8
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	-		-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	-	-
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	-		-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	-	-

レファレンスシナリオ				技術進展シナリオ				
年平均変化率(%)				(MtCO ₂)				
1990/2022	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2035	2040	2045	2050
9.3	3.9	2.2	2.7	309	265	237	211	188
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	-	-

レファレンスシナリオ				技術進展シナリオ				
年平均変化率(%)				年平均変化率(%)				
1990/2022	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2035	2040	2045	2050
6.7	6.2	5.0	5.4	580	763	990	1,256	1,551
1.2	0.6	0.3	0.4	103	105	107	108	108
5.4	5.6	4.8	5.0	5.6	7.3	9.3	12	14
4.3	4.4	2.2	2.8	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7
-1.0	-1.1	-2.4	-2.1	236	195	161	137	120
2.5	-2.1	-2.7	-2.6	532	348	240	168	121
3.5	-1.0	-0.3	-0.5	2.3	1.8	1.5	1.2	1.0

*3 toe/2015年価格100万ドル。*4 t/2015年価格100万ドル

付表37 | 北米

一次エネルギー消費	レファレンスシナリオ (石油換算100万t [Mtoe])									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
合計 ¹⁾	2,126	2,525	2,476	2,470	2,399	2,346	2,297	2,275	2,281	
石炭	484	565	525	247	124	81	42	25	24	
石油	833	958	901	856	795	760	719	669	618	
天然ガス	493	622	635	894	928	931	949	958	981	
原子力	179	227	242	232	225	208	182	178	175	
水力	49	53	53	56	63	63	64	65	65	
地熱	14	13	8.4	9.5	11	12	13	13	14	
太陽・風力等	0.3	2.1	11	61	126	163	200	237	273	
バイオマス・廃棄物	73	86	101	115	127	128	129	131	132	
水素	-	-	-	-	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.0	
最終エネルギー消費	レファレンスシナリオ (Mtoe)									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
合計	1,452	1,728	1,699	1,776	1,763	1,741	1,722	1,706	1,701	
石炭	59	36	30	15	16	15	14	13	12	
石油	749	870	851	829	773	742	706	662	616	
天然ガス	346	413	364	438	431	417	400	384	369	
電力	262	338	367	391	430	456	492	537	594	
熱	2.8	6.1	7.1	6.0	5.9	5.9	5.7	5.5	5.4	
水素	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
再生可能・廃棄物	33	64	80	98	106	105	104	104	103	
産業	331	386	312	327	340	345	346	345	343	
運輸	531	640	655	678	644	615	587	557	526	
民生・農業他	456	528	572	599	602	599	602	615	640	
非エネルギー消費	134	173	160	172	178	182	186	189	192	
発電量	レファレンスシナリオ (TWh)									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
合計	3,685	4,632	4,957	5,124	5,639	5,975	6,430	7,019	7,752	
石炭	1,782	2,247	2,074	940	431	245	75	4.1	4.3	
石油	147	133	56	48	36	32	29	26	22	
天然ガス	391	668	1,070	1,823	2,036	2,177	2,463	2,698	3,007	
原子力	685	871	930	891	864	800	698	684	672	
水力	570	612	614	654	729	738	745	751	755	
地熱	16	15	18	19	21	25	27	28	29	
太陽光	0.0	0.2	3.3	190	688	972	1,256	1,548	1,840	
風力	3.1	5.9	104	476	735	877	1,019	1,153	1,287	
太陽熱・海洋	0.7	0.6	0.9	3.3	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	
バイオマス・廃棄物	91	80	82	76	91	101	111	119	128	
水素	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
その他	-	-	6.8	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9	
二酸化炭素[CO ₂]	レファレンスシナリオ (二酸化炭素換算100万t [MtCO ₂])									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
エネルギー起源CO ₂ 排出 ²⁾	5,151	6,098	5,715	5,131	4,540	4,261	4,018	3,819	3,714	
二酸化炭素除去[CDR]による排出回避量	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
エネルギー・経済指標他	レファレンスシナリオ									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
国内総生産[GDP] (2015年価格10億ドル)	10,626	14,918	17,783	22,688	26,897	29,641	32,542	35,547	38,605	
人口(100万人)	277	313	343	372	389	398	405	412	417	
一人当たりGDP (2015年価格1,000ドル/人)	38	48	52	61	69	75	80	86	92	
一人当たり一次エネルギー消費(toe/人)	7.7	8.1	7.2	6.6	6.2	5.9	5.7	5.5	5.5	
GDP当たり一次エネルギー消費 ³⁾	200	169	139	109	89	79	71	64	59	
GDP当たりエネルギー起源CO ₂ 排出量 ^{2),4)}	485	409	321	226	169	144	123	107	96	
一次エネルギー消費当たりCO ₂ 排出 ²⁾ (t/toe)	2.4	2.4	2.3	2.1	1.9	1.8	1.8	1.7	1.6	

*1 電力、熱の輸出入を掲載していないため、合計と内訳は必ずしも一致しない。

*2 二酸化炭素除去[CDR]による削減後の量

レファレンスシナリオ									技術進展シナリオ											
年平均変化率(%)				構成比(%)					(Mtoe)					年平均変化率(%)					構成比(%)	
1990/2022	2022/2030	2030/2050	2022/2050	1990	2022	2030	2050	2030	2035	2040	2045	2050	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2050			
0.5	-0.4	-0.3	-0.3	100	100	100	100	2,298	2,138	1,976	1,846	1,738	-0.9	-1.4	-1.2	100	100			
-2.1	-8.2	-7.9	-8.0	23	10.0	5.2	1.1	82	24	21	20	19	-12.8	-7.1	-8.8	3.6	1.1			
0.1	-0.9	-1.3	-1.2	39	35	33	27	722	600	460	322	220	-2.1	-5.8	-4.7	31	13			
1.9	0.5	0.3	0.3	23	36	39	43	892	836	730	642	519	0.0	-2.7	-1.9	39	30			
0.8	-0.4	-1.2	-1.0	8.4	9.4	9.4	7.7	228	228	229	219	217	-0.2	-0.2	-0.2	9.9	12			
0.4	1.4	0.2	0.5	2.3	2.3	2.6	2.8	63	64	65	66	66	1.5	0.2	0.6	2.8	3.8			
-1.2	1.3	1.4	1.4	0.7	0.4	0.4	0.6	11	13	14	14	15	1.3	1.8	1.7	0.5	0.9			
17.8	9.5	3.9	5.5	0.0	2.5	5.3	12	155	232	309	407	510	12.4	6.1	7.9	6.8	29			
1.4	1.2	0.2	0.5	3.5	4.7	5.3	5.8	148	149	152	155	158	3.2	0.3	1.1	6.4	9.1			
n.a.	n.a.	-9.0	n.a.	-	-	-0.0	-0.0	-2.5	-7.0	-3.5	1.5	13	n.a.	n.a.	n.a.	-0.1	0.8			

レファレンスシナリオ									技術進展シナリオ											
年平均変化率(%)				構成比(%)					(Mtoe)					年平均変化率(%)					構成比(%)	
1990/2022	2022/2030	2030/2050	2022/2050	1990	2022	2030	2050	2030	2035	2040	2045	2050	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2050			
0.6	-0.1	-0.2	-0.2	100	100	100	100	1,695	1,572	1,439	1,334	1,267	-0.6	-1.4	-1.2	100	100			
-4.1	0.3	-1.2	-0.7	4.1	0.9	0.9	0.7	13	11	9.0	8.0	7.3	-1.9	-2.9	-2.6	0.8	0.6			
0.3	-0.9	-1.1	-1.1	52	47	44	36	710	606	486	376	291	-1.9	-4.4	-3.7	42	23			
0.7	-0.2	-0.8	-0.6	24	25	24	22	405	352	292	233	179	-1.0	-4.0	-3.2	24	14			
1.3	1.2	1.6	1.5	18	22	24	35	435	467	505	549	582	1.4	1.5	1.4	26	46			
2.4	-0.3	-0.5	-0.4	0.2	0.3	0.3	0.3	5.6	5.4	5.3	5.2	5.1	-1.0	-0.4	-0.6	0.3	0.4			
n.a.	n.a.	-1.2	n.a.	-	-	0.0	0.0	0.1	7.6	19	38	77	n.a.	41.4	n.a.	0.0	6.1			
3.5	1.0	-0.2	0.2	2.3	5.5	6.0	6.1	126	124	123	124	126	3.2	0.0	0.9	7.4	10.0			
0.0	0.5	0.0	0.2	23	18	19	20	324	305	281	260	246	-0.1	-1.4	-1.0	19	19			
0.8	-0.6	-1.0	-0.9	37	38	37	31	611	531	448	379	338	-1.3	-2.9	-2.5	36	27			
0.9	0.1	0.3	0.2	31	34	34	38	583	554	523	505	491	-0.3	-0.9	-0.7	34	39			
0.8	0.4	0.4	0.4	9.2	9.7	10	11	178	182	186	189	192	0.4	0.4	0.4	10	15			

レファレンスシナリオ									技術進展シナリオ											
年平均変化率(%)				構成比(%)					(TWh)					年平均変化率(%)					構成比(%)	
1990/2022	2022/2030	2030/2050	2022/2050	1990	2022	2030	2050	2030	2035	2040	2045	2050	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2050			
1.0	1.2	1.6	1.5	100	100	100	100	5,723	6,273	6,876	7,735	8,464	1.4	2.0	1.8	100	100			
-2.0	-9.3	-20.6	-17.5	48	18	7.6	0.1	258	11	9.3	9.7	8.8	-14.9	-15.5	-15.4	4.5	0.1			
-3.4	-3.5	-2.3	-2.7	4.0	0.9	0.6	0.3	32	23	19	13	5.3	-4.9	-8.6	-7.6	0.6	0.1			
4.9	1.4	2.0	1.8	11	36	36	39	1,939	1,764	1,385	1,115	627	0.8	-5.5	-3.7	34	7.4			
0.8	-0.4	-1.2	-1.0	19	17	15	8.7	874	875	877	841	833	-0.2	-0.2	-0.2	15	9.8			
0.4	1.4	0.2	0.5	15	13	13	9.7	735	747	756	764	769	1.5	0.2	0.6	13	9.1			
0.6	1.4	1.4	1.4	0.4	0.4	0.4	0.4	21	27	29	30	31	1.4	1.9	1.8	0.4	0.4			
41.3	17.5	5.0	8.5	0.0	3.7	12	24	747	1,172	1,601	2,229	2,888	18.7	7.0	10.2	13	34			
17.1	5.6	2.8	3.6	0.1	9.3	13	17	1,014	1,473	1,937	2,449	2,992	9.9	5.6	6.8	18	35			
5.0	-1.0	0.0	-0.3	0.0	0.1	0.1	0.0	3.0	3.1	3.1	3.2	3.3	-0.9	0.5	0.1	0.1	0.0			
-0.6	2.4	1.7	1.9	2.5	1.5	1.6	1.7	95	111	128	138	147	2.8	2.2	2.4	1.7	1.7			
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	-	-	63	125	140	154	n.a.	n.a.	n.a.	-	1.8			
n.a.	0.0	0.0	0.0	-	0.1	0.1	0.1	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1			

レファレンスシナリオ				技術進展シナリオ											
年平均変化率(%)				(MtCO ₂)					年平均変化率(%)					構成比(%)	
1990/2022	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2035	2040	2045	2050	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2050		
0.0	-1.5	-1.0	-1.1	4,029	3,061	2,214	1,290	551	-3.0	-9.5	-7.7				
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	25	131	262	n.a.	n.a.	n.a.				

レファレンスシナリオ				技術進展シナリオ											
年平均変化率(%)				2022/2030/2022/2050					2022/2030/2022/2050					2022/2030/2022/2050	
2022	2030	2050	2050	2030	2035	2040	2045	2050	2030	2050	2050	2030	2050		
2.4	2.1	1.8	1.9	26,897	29,641	32,542	35,547	38,605	2.1	1.8	1.9				
0.9	0.5	0.4	0.4	389	398	405	412	417	0.5	0.4	0.4				
1.5	1.6	1.5	1.5	69	75	80	86	92	1.6	1.5	1.5				
-0.4	-0.9	-0.6	-0.7	5.9	5.4	4.9	4.5	4.2	-1.4	-1.7	-1.7				
-1.9	-2.5	-2.0	-2.2	85	72	61	52	45	-3.0	-3.2	-3.1				
-2.4	-3.6	-2.8	-3.0	150	103	68	36	14	-5.0	-11.1	-9.4				
-0.5	-1.2	-0.7	-0.9	1.8	1.4	1.1	0.7	0.3	-2.1	-8.2	-6.5				

*3 toe/2015年価格100万ドル。*4 t/2015年価格100万ドル

付表38 | 米国

一次エネルギー消費	レファレンスシナリオ (石油換算100万t [Mtoe])									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
合計 ¹⁾	1,914	2,273	2,216	2,173	2,101	2,046	1,995	1,974	1,980	
石炭	460	533	501	239	123	80	40	24	23	
石油	757	871	807	758	706	674	638	593	546	
天然ガス	438	548	556	771	794	790	798	800	816	
原子力	159	208	219	209	204	188	168	167	167	
水力	23	22	23	22	27	27	27	28	28	
地熱	14	13	8.4	9.5	11	12	13	13	14	
太陽・風力等	0.3	2.1	11	57	119	155	191	227	263	
バイオマス・廃棄物	62	73	89	103	115	115	116	119	120	
水素	-	-	-	-	-0.1	-0.1	-0.1	-0.0	-0.0	

最終エネルギー消費	レファレンスシナリオ (Mtoe)									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
合計	1,294	1,546	1,513	1,579	1,567	1,548	1,532	1,520	1,518	
石炭	56	33	27	13	14	13	13	12	11	
石油	683	793	762	742	692	664	631	591	550	
天然ガス	303	360	322	386	380	368	353	340	327	
電力	226	301	326	344	380	403	435	477	530	
熱	2.2	5.3	6.6	5.5	5.3	5.3	5.2	5.0	4.9	
水素	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
再生可能・廃棄物	23	54	70	88	96	95	94	95	94	
産業	284	332	270	281	291	295	297	296	294	
運輸	488	588	596	619	588	563	537	510	482	
民生・農業他	403	473	511	531	534	533	537	550	574	
非エネルギー消費	119	153	135	148	153	157	161	164	167	

発電量	レファレンスシナリオ (TWh)									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
合計	3,203	4,026	4,354	4,473	4,932	5,232	5,647	6,191	6,875	
石炭	1,700	2,129	1,994	913	430	245	74	3.3	3.3	
石油	131	118	48	43	32	28	25	23	21	
天然ガス	382	634	1,018	1,740	1,926	2,044	2,284	2,475	2,732	
原子力	612	798	839	804	782	723	644	642	642	
水力	273	253	262	257	312	315	318	321	323	
地熱	16	15	18	19	21	25	27	28	29	
太陽光	0.0	0.2	3.1	184	672	953	1,233	1,522	1,812	
風力	3.1	5.7	95	439	668	802	937	1,065	1,192	
太陽熱・海洋	0.7	0.5	0.9	3.3	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	
バイオマス・廃棄物	86	72	73	66	81	90	98	106	114	
水素	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
その他	-	-	3.7	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	

二酸化炭素[CO ₂]	レファレンスシナリオ (二酸化炭素換算100万t [MtCO ₂])									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
エネルギー起源CO ₂ 排出 ²⁾	4,760	5,621	5,217	4,608	4,043	3,761	3,510	3,313	3,206	
二酸化炭素除去[CDR]による排出回避量	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

エネルギー・経済指標他	レファレンスシナリオ									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
国内総生産[GDP] (2015年価格10億ドル)	9,811	13,754	16,383	20,927	24,890	27,442	30,149	32,957	35,815	
人口(100万人)	250	282	309	333	347	355	361	367	372	
一人当たりGDP (2015年価格1,000ドル/人)	39	49	53	63	72	77	83	90	96	
一人当たり一次エネルギー消費(toe/人)	7.7	8.1	7.2	6.5	6.1	5.8	5.5	5.4	5.3	
GDP当たり一次エネルギー消費 ³⁾	195	165	135	104	84	75	66	60	55	
GDP当たりエネルギー起源CO ₂ 排出量 ^{2),4)}	485	409	318	220	162	137	116	101	90	
一次エネルギー消費当たりCO ₂ 排出 ²⁾ (t/toe)	2.5	2.5	2.4	2.1	1.9	1.8	1.8	1.7	1.6	

*1 電力、熱の輸出入を掲載していないため、合計と内訳は必ずしも一致しない。

*2 二酸化炭素除去[CDR]による削減後の量

レファレンスシナリオ									技術進展シナリオ											
年平均変化率(%)				構成比(%)					(Mtoe)					年平均変化率(%)					構成比(%)	
1990/2022	2022/2030	2030/2050	2022/2050	1990	2022	2030	2050	2030	2035	2040	2045	2050	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2050			
0.4	-0.4	-0.3	-0.3	100	100	100	100	2,009	1,863	1,716	1,602	1,506	-1.0	-1.4	-1.3	100	100			
-2.0	-8.0	-8.1	-8.0	24	11	5.8	1.2	81	23	20	19	18	-12.7	-7.2	-8.8	4.0	1.2			
0.0	-0.9	-1.3	-1.2	40	35	34	28	642	533	408	282	189	-2.1	-5.9	-4.8	32	13			
1.8	0.4	0.1	0.2	23	35	38	41	762	710	611	533	423	-0.2	-2.9	-2.1	38	28			
0.9	-0.3	-1.0	-0.8	8.3	9.6	9.7	8.5	206	204	205	196	194	-0.2	-0.3	-0.3	10	13			
-0.2	2.5	0.2	0.8	1.2	1.0	1.3	1.4	27	27	27	28	28	2.5	0.2	0.8	1.3	1.8			
-1.2	1.3	1.4	1.4	0.7	0.4	0.5	0.7	11	13	14	14	15	1.3	1.8	1.7	0.5	1.0			
17.6	9.6	4.0	5.6	0.0	2.6	5.7	13	147	219	291	381	475	12.5	6.0	7.8	7.3	32			
1.6	1.3	0.2	0.5	3.3	4.7	5.5	6.0	133	135	138	141	145	3.3	0.4	1.2	6.6	9.6			
n.a.	n.a.	-13.3	n.a.	-	-	-0.0	-0.0	-2.0	-5.4	-1.7	4.1	16	n.a.	n.a.	n.a.	-0.1	1.1			

レファレンスシナリオ									技術進展シナリオ											
年平均変化率(%)				構成比(%)					(Mtoe)					年平均変化率(%)					構成比(%)	
1990/2022	2022/2030	2030/2050	2022/2050	1990	2022	2030	2050	2030	2035	2040	2045	2050	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2050			
0.6	-0.1	-0.2	-0.1	100	100	100	100	1,508	1,399	1,280	1,188	1,130	-0.6	-1.4	-1.2	100	100			
-4.4	0.4	-1.1	-0.6	4.3	0.8	0.9	0.7	11	9.4	8.0	7.1	6.5	-1.8	-2.8	-2.5	0.8	0.6			
0.3	-0.9	-1.1	-1.1	53	47	44	36	636	543	434	333	255	-1.9	-4.5	-3.7	42	23			
0.8	-0.2	-0.7	-0.6	23	24	24	22	357	311	258	207	159	-1.0	-3.9	-3.1	24	14			
1.3	1.2	1.7	1.6	18	22	24	35	384	412	446	488	518	1.4	1.5	1.5	25	46			
3.0	-0.3	-0.5	-0.4	0.2	0.3	0.3	0.3	5.0	4.9	4.8	4.6	4.6	-1.0	-0.4	-0.6	0.3	0.4			
n.a.	n.a.	-1.0	n.a.	-	-	0.0	0.0	0.1	6.7	17	35	70	n.a.	41.1	n.a.	0.0	6.2			
4.3	1.1	-0.1	0.3	1.8	5.5	6.1	6.2	114	112	112	113	116	3.4	0.1	1.0	7.6	10			
0.0	0.5	0.1	0.2	22	18	19	19	278	261	240	222	210	-0.1	-1.4	-1.0	18	19			
0.7	-0.6	-1.0	-0.9	38	39	38	32	559	488	412	349	310	-1.3	-2.9	-2.4	37	27			
0.9	0.1	0.4	0.3	31	34	34	38	517	493	466	453	443	-0.3	-0.8	-0.7	34	39			
0.7	0.5	0.4	0.4	9.2	9.4	9.8	11	153	157	161	164	167	0.5	0.4	0.4	10	15			

レファレンスシナリオ									技術進展シナリオ											
年平均変化率(%)				構成比(%)					(TWh)					年平均変化率(%)					構成比(%)	
1990/2022	2022/2030	2030/2050	2022/2050	1990	2022	2030	2050	2030	2035	2040	2045	2050	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2050			
1.0	1.2	1.7	1.5	100	100	100	100	5,004	5,479	6,000	6,732	7,328	1.4	1.9	1.8	100	100			
-1.9	-9.0	-21.6	-18.2	53	20	8.7	0.0	256	9.4	7.1	7.2	6.8	-14.7	-16.6	-16.1	5.1	0.1			
-3.4	-3.4	-2.1	-2.5	4.1	1.0	0.7	0.3	28	20	16	11	4.5	-4.9	-8.8	-7.7	0.6	0.1			
4.9	1.3	1.8	1.6	12	39	39	40	1,842	1,657	1,261	964	459	0.7	-6.7	-4.6	37	6.3			
0.9	-0.3	-1.0	-0.8	19	18	16	9.3	790	785	787	751	743	-0.2	-0.3	-0.3	16	10			
-0.2	2.5	0.2	0.8	8.5	5.7	6.3	4.7	312	315	318	321	323	2.5	0.2	0.8	6.2	4.4			
0.6	1.4	1.5	1.4	0.5	0.4	0.4	0.4	21	27	29	30	31	1.4	1.9	1.8	0.4	0.4			
41.1	17.6	5.1	8.5	0.0	4.1	14	26	730	1,145	1,563	2,171	2,807	18.8	7.0	10.2	15	38			
16.8	5.4	2.9	3.6	0.1	9.8	14	17	935	1,356	1,779	2,215	2,668	9.9	5.4	6.7	19	36			
5.1	-1.1	0.0	-0.3	0.0	0.1	0.1	0.0	3.0	3.1	3.1	3.2	3.3	-1.1	0.5	0.0	0.1	0.0			
-0.8	2.5	1.7	1.9	2.7	1.5	1.6	1.7	82	97	113	122	131	2.6	2.4	2.4	1.6	1.8			
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	-	-	60	119	133	147	n.a.	n.a.	n.a.	-	2.0			
n.a.	0.0	0.0	0.0	-	0.1	0.1	0.1	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1			

レファレンスシナリオ				技術進展シナリオ				
年平均変化率(%)				(MtCO ₂)				
1990/2022	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2035	2040	2045	2050
-0.1	-1.6	-1.2	-1.3	3,570	2,673	1,902	1,063	397
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	22	126	254
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.

レファレンスシナリオ				技術進展シナリオ				
年平均変化率(%)				年平均変化率(%)				
1990/2022	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2035	2040	2045	2050
2.4	2.2	1.8	1.9	24,890	27,442	30,149	32,957	35,815
0.9	0.5	0.3	0.4	347	355	361	367	372
1.5	1.7	1.5	1.5	72	77	83	90	96
-0.5	-0.9	-0.6	-0.7	5.8	5.3	4.8	4.4	4.1
-2.0	-2.6	-2.1	-2.2	81	68	57	49	42
-2.4	-3.7	-2.9	-3.2	143	97	63	32	11
-0.5	-1.2	-0.9	-1.0	1.8	1.4	1.1	0.7	0.3

*3 toe/2015年価格100万ドル。*4 t/2015年価格100万ドル

付表39 | 中南米

一次エネルギー消費	レファレンスシナリオ (石油換算100万t [Mtoe])									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
合計 ¹⁾	467	611	790	845	908	955	997	1,037	1,076	
石炭	21	28	40	38	38	37	36	34	33	
石油	241	313	365	352	355	367	377	385	389	
天然ガス	71	118	178	201	197	213	231	252	271	
原子力	3.2	5.3	7.2	8.7	14	17	17	16	18	
水力	34	51	64	67	75	78	81	84	87	
地熱	5.1	6.5	6.4	6.5	8.2	12	13	14	15	
太陽・風力等	0.0	0.2	0.9	21	44	55	66	76	85	
バイオマス・廃棄物	93	90	128	151	177	177	177	177	178	
水素	-	-	-	-	-0.0	-0.1	-0.1	-0.1	-0.2	

最終エネルギー消費	レファレンスシナリオ (Mtoe)									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
合計	344	442	570	608	665	698	730	759	785	
石炭	8.3	11	15	13	14	14	14	13	13	
石油	178	235	284	292	304	318	330	339	344	
天然ガス	38	54	74	70	76	79	83	86	90	
電力	44	68	97	120	145	162	179	197	214	
熱	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0	
水素	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
再生可能・廃棄物	75	74	99	112	126	125	124	123	123	
産業	114	143	180	178	201	217	232	245	256	
運輸	104	140	197	225	245	254	264	272	280	
民生・農業他	100	122	148	170	182	186	190	195	200	
非エネルギー消費	26	38	45	34	38	41	44	47	50	

発電量	レファレンスシナリオ (TWh)									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
合計	623	1,009	1,406	1,716	2,052	2,280	2,503	2,722	2,941	
石炭	24	44	75	77	75	71	68	61	53	
石油	130	197	188	111	70	60	45	33	29	
天然ガス	54	134	317	397	353	414	493	582	661	
原子力	12	20	28	33	56	65	65	60	70	
水力	391	591	739	780	871	906	941	975	1,010	
地熱	5.9	8.0	9.9	9.6	12	16	18	20	21	
太陽光	0.0	0.0	0.1	76	262	323	380	431	477	
風力	0.0	0.3	4.7	138	228	297	361	423	480	
太陽熱・海洋	-	-	-	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	
バイオマス・廃棄物	7.4	13	44	79	109	113	117	120	124	
水素	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
その他	-	0.4	0.5	15	15	15	15	15	15	

二酸化炭素[CO ₂]	レファレンスシナリオ (二酸化炭素換算100万t [MtCO ₂])									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
エネルギー起源CO ₂ 排出 ²⁾	861	1,192	1,522	1,472	1,465	1,526	1,586	1,644	1,689	
二酸化炭素除去[CDR]による排出回避量	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

エネルギー・経済指標他	レファレンスシナリオ									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
国内総生産[GDP] (2015年価格10億ドル)	2,638	3,596	4,888	5,619	6,805	7,859	9,018	10,255	11,545	
人口(100万人)	438	518	586	657	690	707	720	729	734	
一人当たりGDP (2015年価格1,000ドル/人)	6.0	6.9	8.3	8.6	9.9	11	13	14	16	
一人当たり一次エネルギー消費(toe/人)	1.1	1.2	1.3	1.3	1.3	1.4	1.4	1.4	1.5	
GDP当たり一次エネルギー消費 ³⁾	177	170	162	150	133	122	111	101	93	
GDP当たりエネルギー起源CO ₂ 排出量 ^{2),4)}	326	332	311	262	215	194	176	160	146	
一次エネルギー消費当たりCO ₂ 排出 ²⁾ (t/toe)	1.8	2.0	1.9	1.7	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	

*1 電力、熱の輸出入を掲載していないため、合計と内訳は必ずしも一致しない。

*2 二酸化炭素除去[CDR]による削減後の量

レファレンスシナリオ										技術進展シナリオ														
年平均変化率(%)					構成比(%)					(Mtoe)					年平均変化率(%)					構成比(%)				
1990/2022/2022/	2022/2030/2030/	2030/2050/2050/	2050/2050/2050/	2050/2050/2050/	1990	2022	2030	2050	2050	2030	2035	2040	2045	2050	2022/2030/2030/	2030/2050/2050/	2050/2050/2050/	2050/2050/2050/	2050/2050/2050/	2030	2050			
1.9	0.9	0.9	0.9	0.9	100	100	100	100	100	869	882	881	889	909	0.4	0.2	0.3	0.3	0.3	100	100			
1.8	-0.2	-0.7	-0.5	-0.5	4.6	4.5	4.1	3.1	3.1	31	28	25	24	24	-2.7	-1.2	-1.6	-1.6	-1.6	3.5	2.7			
1.2	0.1	0.5	0.4	0.4	51	42	39	36	36	332	316	290	260	230	-0.7	-1.8	-1.5	-1.5	-1.5	38	25			
3.3	-0.2	1.6	1.1	1.1	15	24	22	25	25	179	183	189	201	214	-1.4	0.9	0.2	0.2	0.2	21	23			
3.1	6.6	1.1	2.7	2.7	0.7	1.0	1.6	1.7	1.7	16	24	31	37	43	8.1	5.0	5.9	5.9	5.9	1.9	4.8			
2.2	1.4	0.7	0.9	0.9	7.2	7.9	8.2	8.1	8.1	75	79	82	86	90	1.4	0.9	1.0	1.0	1.0	8.6	9.9			
0.8	2.9	3.2	3.1	3.1	1.1	0.8	0.9	1.4	1.4	8.2	13	15	16	17	2.9	3.6	3.4	3.4	3.4	0.9	1.8			
22.3	9.6	3.3	5.0	5.0	0.0	2.5	4.9	7.9	7.9	56	77	105	143	196	12.8	6.5	8.3	8.3	8.3	6.4	22			
1.5	2.0	0.0	0.6	0.6	20	18	19	17	17	172	165	156	149	144	1.7	-0.9	-0.2	-0.2	-0.2	20	16			
n.a.	n.a.	9.7	n.a.	n.a.	-	-	-0.0	-0.0	-0.0	0.0	-3.8	-11	-26	-48	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0.0	-5.3			

レファレンスシナリオ										技術進展シナリオ														
年平均変化率(%)					構成比(%)					(Mtoe)					年平均変化率(%)					構成比(%)				
1990/2022/2022/	2022/2030/2030/	2030/2050/2050/	2050/2050/2050/	2050/2050/2050/	1990	2022	2030	2050	2050	2030	2035	2040	2045	2050	2022/2030/2030/	2030/2050/2050/	2050/2050/2050/	2050/2050/2050/	2050/2050/2050/	2030	2050			
1.8	1.1	0.8	0.9	0.9	100	100	100	100	100	640	637	626	613	606	0.6	-0.3	0.0	0.0	0.0	100	100			
1.4	0.5	-0.1	0.1	0.1	2.4	2.1	2.0	1.7	1.7	12	10	9.2	8.3	7.7	-1.4	-2.0	-1.8	-1.8	-1.8	1.8	1.3			
1.6	0.5	0.6	0.6	0.6	52	48	46	44	44	287	275	255	231	205	-0.2	-1.7	-1.3	-1.3	-1.3	45	34			
1.9	1.0	0.8	0.9	0.9	11	12	11	11	11	72	69	64	59	54	0.2	-1.4	-0.9	-0.9	-0.9	11	8.9			
3.2	2.4	2.0	2.1	2.1	13	20	22	27	27	148	168	188	209	230	2.6	2.2	2.3	2.3	2.3	23	38			
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	0.0	0.0	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-			
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	-	-	0.0	1.0	2.8	6.2	15	n.a.	39.2	n.a.	n.a.	n.a.	0.0	2.5			
1.3	1.5	-0.1	0.3	0.3	22	18	19	16	16	122	115	106	99	94	1.1	-1.3	-0.6	-0.6	-0.6	19	15			
1.4	1.5	1.2	1.3	1.3	33	29	30	33	33	192	195	194	192	192	0.9	0.0	0.3	0.3	0.3	30	32			
2.5	1.0	0.7	0.8	0.8	30	37	37	36	36	234	227	217	207	199	0.5	-0.8	-0.4	-0.4	-0.4	37	33			
1.7	0.9	0.5	0.6	0.6	29	28	27	25	25	177	174	171	168	165	0.5	-0.3	-0.1	-0.1	-0.1	28	27			
0.9	1.1	1.4	1.3	1.3	7.6	5.7	5.7	6.3	6.3	38	41	44	47	50	1.1	1.4	1.3	1.3	1.3	5.9	8.2			

レファレンスシナリオ										技術進展シナリオ														
年平均変化率(%)					構成比(%)					(TWh)					年平均変化率(%)					構成比(%)				
1990/2022/2022/	2022/2030/2030/	2030/2050/2050/	2050/2050/2050/	2050/2050/2050/	1990	2022	2030	2050	2050	2030	2035	2040	2045	2050	2022/2030/2030/	2030/2050/2050/	2050/2050/2050/	2050/2050/2050/	2050/2050/2050/	2030	2050			
3.2	2.3	1.8	1.9	1.9	100	100	100	100	100	2,110	2,496	2,974	3,637	4,490	2.6	3.8	3.5	3.5	3.5	100	100			
3.7	-0.3	-1.7	-1.3	-1.3	3.8	4.5	3.6	1.8	1.8	56	51	40	39	43	-3.9	-1.3	-2.1	-2.1	-2.1	2.6	1.0			
-0.5	-5.5	-4.3	-4.7	-4.7	21	6.4	3.4	1.0	1.0	56	52	34	32	29	-8.1	-3.3	-4.7	-4.7	-4.7	2.7	0.6			
6.5	-1.5	3.2	1.8	1.8	8.6	23	17	22	22	295	365	473	622	781	-3.6	5.0	2.4	2.4	2.4	14	17			
3.1	6.6	1.1	2.7	2.7	2.0	1.9	2.7	2.4	2.4	62	94	118	142	167	8.1	5.0	5.9	5.9	5.9	2.9	3.7			
2.2	1.4	0.7	0.9	0.9	63	45	42	34	34	874	914	954	998	1,044	1.4	0.9	1.0	1.0	1.0	41	23			
1.5	3.3	2.8	2.9	2.9	1.0	0.6	0.6	0.7	0.7	12	19	21	22	23	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	0.6	0.5			
42.1	16.8	3.0	6.8	6.8	0.0	4.4	13	16	16	327	448	595	792	1,062	20.1	6.1	9.9	9.9	9.9	16	24			
44.8	6.5	3.8	4.5	4.5	0.0	8.0	11	16	16	298	421	596	840	1,185	10.1	7.2	8.0	8.0	8.0	14	26			
n.a.	-8.3	0.0	-2.4	-2.4	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	0.2	0.3	0.4	-7.8	5.2	1.3	1.3	1.3	0.0	0.0			
7.6	4.2	0.6	1.6	1.6	1.2	4.6	5.3	4.2	4.2	113	119	124	130	135	4.7	0.9	1.9	1.9	1.9	5.4	3.0			
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	-	-	-	0.4	0.7	3.4	6.0	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	0.1			
n.a.	0.0	0.0	0.0	0.0	-	0.9	0.7	0.5	0.5	15	15	15	15	15	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.3			

レファレンスシナリオ					技術進展シナリオ							
年平均変化率(%)					(MtCO ₂)							
1990/2022/2022/	2022/2030/2030/	2030/2050/2050/	2050/2050/2050/	2050/2050/2050/	2030	2035	2040	2045	2050	2022/2030/2030/	2030/2050/2050/	2050/2050/2050/
1.7	-0.1	0.7	0.5	0.5	1,324	1,234	1,106	968	827	-1.3	-2.3	-2.0
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	3.6	7.3	11	n.a.	n.a.	n.a.

レファレンスシナリオ					技術進展シナリオ							
年平均変化率(%)					年平均変化率(%)							
1990/2022/2022/	2022/2030/2030/	2030/2050/2050/	2050/2050/2050/	2050/2050/2050/	2030	2035	2040	2045	2050	2022/2030/2030/	2030/2050/2050/	2050/2050/2050/
2.4	2.4	2.7	2.6	2.6	6,805	7,859	9,018	10,255	11,545	2.4	2.7	2.6
1.3	0.6	0.3	0.4	0.4	690	707	720	729	734	0.6	0.3	0.4
1.1	1.8	2.4	2.2	2.2	9.9	11	13	14	16	1.8	2.4	2.2
0.6	0.3	0.5	0.5	0.5	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2	-0.3	-0.1	-0.1
-0.5	-1.5	-1.8	-1.7	-1.7	128	112	98	87	79	-2.0	-2.4	-2.3
-0.7	-2.4	-1.9	-2.1	-2.1	195	157	123	94	72	-3.6	-4.9	-4.5
-0.2	-1.0	-0.1	-0.4	-0.4	1.5	1.4	1.3	1.1	0.9	-1.7	-2.6	-2.3

*3 toe/2015年価格100万ドル。*4 t/2015年価格100万ドル

付表40 | 欧州先進国

一次エネルギー消費	レファレンスシナリオ (石油換算100万t [Mtoe])									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
合計 ¹⁾	1,644	1,759	1,834	1,608	1,440	1,385	1,341	1,291	1,249	
石炭	450	331	301	204	92	76	74	75	70	
石油	617	654	605	529	460	427	399	373	347	
天然ガス	267	396	473	390	292	247	227	219	206	
原子力	210	247	239	170	184	196	194	172	169	
水力	39	47	48	43	43	44	45	45	46	
地熱	4.9	7.1	11	22	25	35	36	36	36	
太陽・風力等	0.4	2.9	18	73	162	184	199	216	231	
バイオマス・廃棄物	56	72	137	176	193	188	183	176	171	
水素	-	-	-	-	-	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	
最終エネルギー消費	レファレンスシナリオ (Mtoe)									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
合計	1,142	1,234	1,289	1,190	1,115	1,068	1,025	986	951	
石炭	123	61	54	37	35	31	28	25	23	
石油	528	573	538	485	429	399	373	347	322	
天然ガス	205	269	285	255	236	226	215	203	192	
電力	193	234	267	263	270	273	280	289	300	
熱	45	42	53	44	42	41	39	37	35	
水素	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
再生可能・廃棄物	48	56	92	106	104	98	90	84	79	
産業	330	324	296	284	283	279	272	265	257	
運輸	269	318	335	345	307	283	263	245	229	
民生・農業他	442	477	545	472	438	419	403	390	379	
非エネルギー消費	101	114	113	89	87	87	87	86	86	
発電量	レファレンスシナリオ (TWh)									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
合計	2,695	3,236	3,623	3,543	3,782	3,859	3,976	4,155	4,353	
石炭	1,030	968	873	568	105	64	38	54	70	
石油	209	180	81	53	9.6	3.3	2.1	3.6	2.3	
天然ガス	176	514	857	726	286	79	33	71	71	
原子力	804	948	916	654	707	753	745	659	647	
水力	450	547	559	498	506	513	520	527	534	
地熱	3.6	6.2	11	23	26	40	41	41	42	
太陽光	0.0	0.1	23	235	828	976	1,092	1,183	1,262	
風力	0.8	22	153	541	985	1,088	1,148	1,252	1,354	
太陽熱・海洋	0.5	0.5	1.2	5.1	6.1	6.2	6.1	6.3	6.4	
バイオマス・廃棄物	21	48	146	235	318	331	344	351	358	
水素	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
その他	0.3	1.5	4.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	
二酸化炭素[CO ₂]	レファレンスシナリオ (二酸化炭素換算100万t [MtCO ₂])									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
エネルギー起源CO ₂ 排出 ²⁾	3,964	3,927	3,834	3,153	2,279	2,016	1,879	1,789	1,662	
二酸化炭素除去[CDR]による排出回避量	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
エネルギー・経済指標他	レファレンスシナリオ									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
国内総生産[GDP] (2015年価格10億ドル)	11,640	14,619	16,890	20,529	22,972	24,734	26,523	28,324	30,060	
人口(100万人)	505	528	557	583	585	584	582	578	572	
一人当たりGDP (2015年価格1,000ドル/人)	23	28	30	35	39	42	46	49	53	
一人当たり一次エネルギー消費(toe/人)	3.3	3.3	3.3	2.8	2.5	2.4	2.3	2.2	2.2	
GDP当たり一次エネルギー消費 ³⁾	141	120	109	78	63	56	51	46	42	
GDP当たりエネルギー起源CO ₂ 排出量 ^{2),4)}	341	269	227	154	99	82	71	63	55	
一次エネルギー消費当たりCO ₂ 排出 ²⁾ (t/toe)	2.4	2.2	2.1	2.0	1.6	1.5	1.4	1.4	1.3	

*1 電力、熱の輸出入を掲載していないため、合計と内訳は必ずしも一致しない。

*2 二酸化炭素除去[CDR]による削減後の量

レファレンスシナリオ									技術進展シナリオ											
年平均変化率(%)				構成比(%)					(Mtoe)					年平均変化率(%)					構成比(%)	
1990/2022	2022/2030	2030/2050	2022/2050	1990	2022	2030	2050		2030	2035	2040	2045	2050	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2050		
-0.1	-1.4	-0.7	-0.9	100	100	100	100		1,389	1,307	1,224	1,169	1,149	-1.8	-0.9	-1.2	100	100		
-2.4	-9.5	-1.4	-3.8	27	13	6.4	5.6		73	68	65	63	62	-12.0	-0.8	-4.1	5.3	5.4		
-0.5	-1.7	-1.4	-1.5	38	33	32	28		403	317	247	181	131	-3.3	-5.5	-4.9	29	11		
1.2	-3.6	-1.7	-2.3	16	24	20	16		257	200	154	114	75	-5.1	-6.0	-5.7	18	6.5		
-0.6	1.0	-0.4	0.0	13	11	13	13		205	230	247	250	273	2.3	1.4	1.7	15	24		
0.3	0.2	0.3	0.2	2.4	2.7	3.0	3.7		43	44	45	45	46	0.2	0.3	0.2	3.1	4.0		
4.9	1.4	1.9	1.8	0.3	1.4	1.7	2.9		25	37	38	38	38	1.4	2.2	1.9	1.8	3.3		
18.1	10.5	1.8	4.2	0.0	4.5	11	19		182	215	245	286	326	12.2	2.9	5.5	13	28		
3.7	1.2	-0.6	-0.1	3.4	11	13	14		210	202	190	178	170	2.2	-1.1	-0.1	15	15		
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	-0.0		2.8	13	22	44	61	n.a.	16.8	n.a.	0.2	5.3		

レファレンスシナリオ									技術進展シナリオ											
年平均変化率(%)				構成比(%)					(Mtoe)					年平均変化率(%)					構成比(%)	
1990/2022	2022/2030	2030/2050	2022/2050	1990	2022	2030	2050		2030	2035	2040	2045	2050	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2050		
0.1	-0.8	-0.8	-0.8	100	100	100	100		1,063	958	863	791	741	-1.4	-1.8	-1.7	100	100		
-3.7	-0.9	-2.1	-1.8	11	3.1	3.1	2.4		29	22	18	14	12	-3.1	-4.3	-3.9	2.7	1.6		
-0.3	-1.5	-1.4	-1.4	46	41	38	34		379	306	246	199	163	-3.0	-4.1	-3.8	36	22		
0.7	-0.9	-1.0	-1.0	18	21	21	20		221	187	151	115	82	-1.8	-4.9	-4.0	21	11		
1.0	0.3	0.5	0.5	17	22	24	32		280	294	307	323	333	0.8	0.9	0.8	26	45		
0.0	-0.6	-0.8	-0.8	3.9	3.7	3.8	3.7		42	41	39	38	37	-0.8	-0.6	-0.6	3.9	5.0		
n.a.	n.a.	0.0	n.a.	-	-	0.0	0.0		0.1	5.0	12	22	44	n.a.	36.6	n.a.	0.0	5.9		
2.5	-0.3	-1.4	-1.1	4.2	8.9	9.3	8.3		112	104	90	79	70	0.6	-2.3	-1.5	11	9.5		
-0.5	0.0	-0.5	-0.4	29	24	25	27		270	251	230	213	201	-0.6	-1.5	-1.2	25	27		
0.8	-1.5	-1.5	-1.5	24	29	28	24		281	231	190	161	146	-2.5	-3.2	-3.0	26	20		
0.2	-0.9	-0.7	-0.8	39	40	39	40		425	390	356	331	308	-1.3	-1.6	-1.5	40	42		
-0.4	-0.3	-0.1	-0.1	8.9	7.5	7.8	9.0		87	87	87	86	86	-0.3	-0.1	-0.1	8.2	12		

レファレンスシナリオ									技術進展シナリオ											
年平均変化率(%)				構成比(%)					(TWh)					年平均変化率(%)					構成比(%)	
1990/2022	2022/2030	2030/2050	2022/2050	1990	2022	2030	2050		2030	2035	2040	2045	2050	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2050		
0.9	0.8	0.7	0.7	100	100	100	100		3,966	4,352	4,765	5,345	5,903	1.4	2.0	1.8	100	100		
-1.8	-19.0	-2.0	-7.2	38	16	2.8	1.6		37	31	46	68	60	-28.9	2.5	-7.7	0.9	1.0		
-4.2	-19.2	-6.9	-10.6	7.8	1.5	0.3	0.1		8.0	3.4	1.4	2.3	-	-21.0	-100	-100	0.2	-		
4.5	-11.0	-6.7	-8.0	6.5	20	7.6	1.6		187	72	26	38	-	-15.6	-100	-100	4.7	-		
-0.6	1.0	-0.4	0.0	30	18	19	15		786	884	949	959	1,046	2.3	1.4	1.7	20	18		
0.3	0.2	0.3	0.2	17	14	13	12		506	513	520	527	534	0.2	0.3	0.2	13	9.0		
6.0	1.5	2.3	2.1	0.1	0.7	0.7	1.0		26	43	44	44	44	1.5	2.6	2.3	0.7	0.7		
35.0	17.1	2.1	6.2	0.0	6.6	22	29		975	1,171	1,365	1,533	1,691	19.5	2.8	7.3	25	29		
22.7	7.8	1.6	3.3	0.0	15	26	31		1,077	1,254	1,411	1,716	2,014	9.0	3.2	4.8	27	34		
7.5	2.3	0.2	0.8	0.0	0.1	0.2	0.1		6.0	6.2	7.0	9.1	12	2.1	3.4	3.0	0.2	0.2		
7.9	3.9	0.6	1.5	0.8	6.6	8.4	8.2		351	364	377	386	394	5.2	0.6	1.9	8.9	6.7		
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	-		-	5.1	10	56	101	n.a.	n.a.	n.a.	-	1.7		
9.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	0.2		6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	0.0	0.0	0.0	0.2	0.1		

レファレンスシナリオ				技術進展シナリオ				
年平均変化率(%)				(MtCO ₂)				
1990/2022	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2035	2040	2045	2050
-0.7	-4.0	-1.6	-2.3	1,950	1,527	1,139	678	285
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	47	141	240
				n.a.	n.a.	n.a.		

レファレンスシナリオ				技術進展シナリオ				
年平均変化率(%)				年平均変化率(%)				
1990/2022	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2035	2040	2045	2050
1.8	1.4	1.4	1.4	22,972	24,734	26,523	28,324	30,060
0.4	0.1	-0.1	-0.1	585	584	582	578	572
1.3	1.4	1.5	1.4	39	42	46	49	53
-0.5	-1.4	-0.6	-0.8	2.4	2.2	2.1	2.0	2.0
-1.8	-2.7	-2.0	-2.2	60	53	46	41	38
-2.5	-5.3	-2.9	-3.6	85	62	43	24	9.5
-0.6	-2.6	-0.9	-1.4	1.4	1.2	0.9	0.6	0.2
				1.4	1.4	1.4		
				0.1	-0.1	-0.1		
				1.4	1.5	1.4		
				-1.9	-0.8	-1.1		
				-3.2	-2.3	-2.5		
				-7.1	-10.4	-9.5		
				-4.1	-8.3	-7.1		

*3 toe/2015年価格100万ドル。*4 t/2015年価格100万ドル

付表41 | 他欧州/ユーラシア

一次エネルギー消費	レファレンスシナリオ (石油換算100万t [Mtoe])									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
合計 ¹⁾	1,514	988	1,112	1,189	1,195	1,189	1,182	1,177	1,173	
石炭	365	209	211	213	195	186	184	180	179	
石油	459	199	217	252	247	243	239	235	230	
天然ガス	596	481	566	583	560	548	550	546	547	
原子力	55	61	76	85	114	127	121	121	115	
水力	22	23	26	27	28	29	30	31	32	
地熱	0.0	0.1	0.6	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	
太陽・風力等	-	0.0	0.2	3.5	7.8	9.5	11	12	14	
バイオマス・廃棄物	17	15	19	29	32	31	31	30	29	
水素	-	-	-	-	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	
最終エネルギー消費	レファレンスシナリオ (Mtoe)									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
合計	1,057	647	709	780	804	801	797	795	795	
石炭	113	36	39	47	51	49	47	45	43	
石油	275	144	174	216	217	214	211	207	203	
天然ガス	258	200	233	254	251	246	243	240	237	
電力	125	86	103	114	132	141	151	163	175	
熱	274	170	147	129	131	129	125	122	119	
水素	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
再生可能・廃棄物	13	11	14	20	22	21	20	19	18	
産業	391	205	205	208	236	242	245	249	252	
運輸	170	110	145	155	149	145	142	140	137	
民生・農業他	431	285	279	320	316	309	302	297	294	
非エネルギー消費	65	47	80	97	103	105	107	109	111	
発電量	レファレンスシナリオ (TWh)									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
合計	1,856	1,415	1,689	1,816	1,860	1,938	2,021	2,072	2,133	
石炭	429	338	396	370	311	302	319	321	335	
石油	252	69	22	20	15	13	13	11	11	
天然ガス	707	504	671	739	671	670	727	751	798	
原子力	209	234	289	323	436	489	465	465	442	
水力	259	267	306	316	325	342	355	365	373	
地熱	0.0	0.1	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	
太陽光	-	-	0.0	16	48	59	70	76	82	
風力	-	0.0	1.2	23	40	49	57	65	73	
太陽熱・海洋	-	-	-	-	0.0	0.0	0.1	0.1	0.2	
バイオマス・廃棄物	0.0	2.6	3.3	9.6	13	14	16	17	18	
水素	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
その他	-	-	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	
二酸化炭素[CO ₂]	レファレンスシナリオ (二酸化炭素換算100万t [MtCO ₂])									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
エネルギー起源CO ₂ 排出 ²⁾	3,872	2,328	2,490	2,510	2,369	2,295	2,274	2,235	2,216	
二酸化炭素除去[CDR]による排出回避量	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
エネルギー・経済指標他	レファレンスシナリオ									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
国内総生産[GDP] (2015年価格10億ドル)	1,789	1,230	2,045	2,571	3,193	3,534	3,909	4,325	4,771	
人口(100万人)	337	335	332	338	339	340	340	341	342	
一人当たりGDP (2015年価格1,000ドル/人)	5.3	3.7	6.2	7.6	9.4	10	11	13	14	
一人当たり一次エネルギー消費(toe/人)	4.5	3.0	3.4	3.5	3.5	3.5	3.5	3.4	3.4	
GDP当たり一次エネルギー消費 ³⁾	846	803	544	463	374	337	302	272	246	
GDP当たりエネルギー起源CO ₂ 排出量 ^{2),4)}	2,164	1,893	1,217	976	742	650	582	517	464	
一次エネルギー消費当たりCO ₂ 排出 ²⁾ (t/toe)	2.6	2.4	2.2	2.1	2.0	1.9	1.9	1.9	1.9	

*1 電力、熱の輸出入を掲載していないため、合計と内訳は必ずしも一致しない。

*2 二酸化炭素除去[CDR]による削減後の量

レファレンスシナリオ									技術進展シナリオ									
年平均変化率(%)				構成比(%)					(Mtoe)					年平均変化率(%)			構成比(%)	
1990/2022	2022/2030	2030/2050	2022/2050	1990	2022	2030	2050	2030	2035	2040	2045	2050	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2050	
-0.8	0.1	-0.1	-0.1	100	100	100	100	1,174	1,128	1,076	1,046	1,021	-0.2	-0.7	-0.5	100	100	
-1.7	-1.1	-0.4	-0.6	24	18	16	15	179	154	137	126	118	-2.2	-2.1	-2.1	15	12	
-1.9	-0.2	-0.4	-0.3	30	21	21	20	236	214	187	160	135	-0.8	-2.7	-2.2	20	13	
-0.1	-0.5	-0.1	-0.2	39	49	47	47	553	520	490	472	460	-0.6	-0.9	-0.8	47	45	
1.4	3.8	0.1	1.1	3.6	7.1	9.5	9.8	121	144	154	174	188	4.6	2.2	2.9	10	18	
0.6	0.4	0.7	0.6	1.5	2.3	2.3	2.7	28	29	30	31	32	0.4	0.7	0.6	2.4	3.1	
7.4	1.4	0.5	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	1.2	0.4	0.6	0.0	0.0	
n.a.	10.6	2.8	5.0	-	0.3	0.7	1.2	12	16	20	25	31	16.5	5.0	8.2	1.0	3.1	
1.7	1.4	-0.5	0.0	1.1	2.4	2.7	2.5	32	31	30	29	29	1.4	-0.4	0.1	2.7	2.9	
n.a.	n.a.	6.3	n.a.	-	-	-0.0	-0.0	0.1	-0.6	-1.7	-3.4	-6.0	n.a.	n.a.	n.a.	0.0	-0.6	

レファレンスシナリオ									技術進展シナリオ									
年平均変化率(%)				構成比(%)					(Mtoe)					年平均変化率(%)			構成比(%)	
1990/2022	2022/2030	2030/2050	2022/2050	1990	2022	2030	2050	2030	2035	2040	2045	2050	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2050	
-0.9	0.4	-0.1	0.1	100	100	100	100	775	734	690	649	617	-0.1	-1.1	-0.8	100	100	
-2.7	1.0	-0.8	-0.3	11	6.0	6.3	5.4	45	39	33	28	24	-0.4	-3.2	-2.4	5.9	3.8	
-0.7	0.1	-0.3	-0.2	26	28	27	26	208	191	169	146	126	-0.5	-2.5	-1.9	2.7	2.0	
-0.1	-0.1	-0.3	-0.2	24	33	31	30	236	213	190	170	151	-0.9	-2.2	-1.8	3.0	2.4	
-0.3	1.8	1.4	1.5	12	15	16	22	137	151	165	179	194	2.4	1.7	1.9	1.8	3.1	
-2.3	0.2	-0.5	-0.3	26	17	16	15	127	121	115	109	105	-0.2	-1.0	-0.7	1.6	1.7	
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	
1.4	1.4	-1.2	-0.4	1.2	2.6	2.8	2.2	21	20	18	17	17	0.9	-1.1	-0.5	2.8	2.8	
-2.0	1.6	0.3	0.7	37	27	29	32	225	216	204	193	186	1.0	-1.0	-0.4	2.9	3.0	
-0.3	-0.5	-0.4	-0.4	16	20	19	17	142	129	114	102	91	-1.1	-2.2	-1.9	1.8	1.5	
-0.9	-0.2	-0.4	-0.3	41	41	39	37	305	286	265	246	229	-0.6	-1.4	-1.2	3.9	3.7	
1.2	0.7	0.4	0.5	6.2	12	13	14	103	105	107	109	111	0.7	0.4	0.5	1.3	1.8	

レファレンスシナリオ									技術進展シナリオ									
年平均変化率(%)				構成比(%)					(TWh)					年平均変化率(%)			構成比(%)	
1990/2022	2022/2030	2030/2050	2022/2050	1990	2022	2030	2050	2030	2035	2040	2045	2050	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2050	
-0.1	0.3	0.7	0.6	100	100	100	100	1,925	1,994	2,061	2,234	2,419	0.7	1.1	1.0	100	100	
-0.5	-2.2	0.4	-0.4	23	20	17	16	268	204	168	152	139	-4.0	-3.2	-3.4	1.4	5.8	
-7.6	-3.6	-1.7	-2.2	14	1.1	0.8	0.5	14	10	8.7	8.0	7.6	-4.5	-3.0	-3.4	0.7	0.3	
0.1	-1.2	0.9	0.3	38	41	36	37	701	689	689	729	796	-0.7	0.6	0.3	3.6	3.3	
1.4	3.8	0.1	1.1	11	18	23	21	466	551	590	667	720	4.7	2.2	2.9	2.4	3.0	
0.6	0.4	0.7	0.6	14	17	17	18	325	342	355	365	373	0.4	0.7	0.6	1.7	1.5	
9.6	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	
n.a.	15.2	2.7	6.1	-	0.9	2.6	3.9	63	87	114	145	182	19.0	5.5	9.2	3.3	7.5	
n.a.	7.1	3.0	4.2	-	1.3	2.2	3.4	73	94	118	146	179	15.4	4.6	7.6	3.8	7.4	
n.a.	n.a.	12.6	n.a.	-	-	0.0	0.0	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9	n.a.	13.4	n.a.	0.0	0.0	
18.0	3.5	1.8	2.3	0.0	0.5	0.7	0.8	14	16	18	19	21	5.3	1.9	2.8	0.8	0.9	
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	
n.a.	0.0	0.0	0.0	-	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	

レファレンスシナリオ				技術進展シナリオ									
年平均変化率(%)				(MtCO ₂)					年平均変化率(%)			構成比(%)	
1990/2022	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2035	2040	2045	2050	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2050
-1.3	-0.7	-0.3	-0.4	2,243	1,961	1,711	1,507	1,332	-1.4	-2.6	-2.2	-	-
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	2.0	4.3	6.9	n.a.	n.a.	n.a.	-	-

レファレンスシナリオ				技術進展シナリオ									
年平均変化率(%)				2022/2030/2022/2050					年平均変化率(%)			構成比(%)	
1990/2022	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2035	2040	2045	2050	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2050
1.1	2.7	2.0	2.2	3,193	3,534	3,909	4,325	4,771	2.7	2.0	2.2	-	-
0.0	0.1	0.0	0.1	339	340	340	341	342	0.1	0.0	0.1	-	-
1.1	2.7	2.0	2.2	9.4	10	11	13	14	2.7	2.0	2.2	-	-
-0.8	0.0	-0.1	-0.1	3.5	3.3	3.2	3.1	3.0	-0.2	-0.7	-0.6	-	-
-1.9	-2.6	-2.1	-2.2	368	319	275	242	214	-2.8	-2.7	-2.7	-	-
-2.5	-3.4	-2.3	-2.6	702	555	438	348	279	-4.0	-4.5	-4.4	-	-
-0.6	-0.8	-0.2	-0.4	1.9	1.7	1.6	1.4	1.3	-1.2	-1.9	-1.7	-	-

*3 toe/2015年価格100万ドル。*4 t/2015年価格100万ドル

付表42 | 欧州連合

一次エネルギー消費	レファレンスシナリオ (石油換算100万t [Mtoe])									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
合計 ¹⁾	1,441	1,471	1,528	1,307	1,189	1,140	1,098	1,054	1,018	
石炭	393	285	252	167	77	66	63	64	59	
石油	531	550	506	437	379	352	329	306	284	
天然ガス	250	309	363	294	224	191	178	172	161	
原子力	190	224	223	159	178	187	177	151	148	
水力	24	30	32	24	24	24	25	25	25	
地熱	3.2	4.6	5.5	6.7	7.5	7.9	7.9	7.9	7.9	
太陽・風力等	0.3	2.5	16	58	130	147	161	173	183	
バイオマス・廃棄物	47	65	129	159	173	168	162	156	150	
水素	-	-	-	-	-	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	
最終エネルギー消費	レファレンスシナリオ (Mtoe)									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
合計	995	1,026	1,071	966	904	866	830	797	768	
石炭	109	46	37	25	23	21	18	17	15	
石油	445	479	448	398	351	326	305	283	263	
天然ガス	185	220	231	195	182	174	166	157	148	
電力	162	189	216	207	212	216	221	229	238	
熱	55	43	52	42	40	39	37	35	33	
水素	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
再生可能・廃棄物	39	50	87	99	96	90	83	76	71	
産業	313	273	247	228	229	226	222	216	210	
運輸	220	262	279	280	247	228	211	196	183	
民生・農業他	374	391	447	380	352	336	321	310	301	
非エネルギー消費	88	100	98	78	76	76	76	75	74	
発電量	レファレンスシナリオ (TWh)									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
合計	2,256	2,630	2,955	2,793	3,072	3,154	3,299	3,380	3,503	
石炭	844	846	755	482	106	69	49	60	64	
石油	189	173	82	56	-	-	-	-	-	
天然ガス	188	331	589	541	221	69	43	79	78	
原子力	729	860	854	609	683	718	679	581	569	
水力	284	350	372	276	279	283	286	290	294	
地熱	3.2	4.8	5.6	6.4	8.8	13	14	14	14	
太陽光	0.0	0.1	22	206	704	833	961	1,018	1,074	
風力	0.8	21	140	421	805	893	982	1,049	1,115	
太陽熱・海洋	0.5	0.5	1.2	5.0	6.1	6.1	6.2	6.3	6.4	
バイオマス・廃棄物	19	42	129	186	255	265	274	279	284	
水素	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
その他	0.2	1.4	4.4	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	
二酸化炭素[CO ₂]	レファレンスシナリオ (二酸化炭素換算100万t [MtCO ₂])									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
エネルギー起源CO ₂ 排出 ²⁾	3,462	3,263	3,133	2,517	1,915	1,712	1,602	1,532	1,422	
二酸化炭素除去[CDR]による排出回避量	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
エネルギー・経済指標他	レファレンスシナリオ									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
国内総生産[GDP] (2015年価格10億ドル)	9,067	11,227	12,852	15,226	17,029	18,314	19,624	20,940	22,204	
人口(100万人)	420	429	442	447	445	442	438	433	426	
一人当たりGDP (2015年価格1,000ドル/人)	22	26	29	34	38	41	45	48	52	
一人当たり一次エネルギー消費(toe/人)	3.4	3.4	3.5	2.9	2.7	2.6	2.5	2.4	2.4	
GDP当たり一次エネルギー消費 ³⁾	159	131	119	86	70	62	56	50	46	
GDP当たりエネルギー起源CO ₂ 排出量 ^{2),4)}	382	291	244	165	112	93	82	73	64	
一次エネルギー消費当たりCO ₂ 排出 ²⁾ (t/toe)	2.4	2.2	2.1	1.9	1.6	1.5	1.5	1.5	1.4	

*1 電力、熱の輸出入を掲載していないため、合計と内訳は必ずしも一致しない。

*2 二酸化炭素除去[CDR]による削減後の量

レファレンスシナリオ					技術進展シナリオ												
年平均変化率(%)				構成比(%)				(Mtoe)					年平均変化率(%)			構成比(%)	
1990/2022	2022/2030	2030/2050	2022/2050	1990	2022	2030	2050	2030	2035	2040	2045	2050	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2050
-0.3	-1.2	-0.8	-0.9	100	100	100	100	1,157	1,085	1,011	955	931	-1.5	-1.1	-1.2	100	100
-2.6	-9.2	-1.4	-3.7	27	13	6.5	5.7	63	56	53	51	51	-11.5	-1.1	-4.2	5.4	5.4
-0.6	-1.8	-1.4	-1.5	37	33	32	28	332	262	205	151	110	-3.4	-5.4	-4.8	29	12
0.5	-3.4	-1.6	-2.1	17	23	19	16	201	159	122	92	60	-4.7	-5.9	-5.5	17	6.4
-0.6	1.4	-0.9	-0.2	13	12	15	15	200	224	230	223	237	2.9	0.9	1.4	17	25
-0.1	0.1	0.3	0.2	1.7	1.8	2.0	2.5	24	24	25	25	25	0.1	0.3	0.2	2.1	2.7
2.4	1.4	0.2	0.6	0.2	0.5	0.6	0.8	7.5	8.1	8.2	8.2	8.3	1.4	0.5	0.7	0.7	0.9
17.8	10.5	1.7	4.2	0.0	4.5	11	18	146	171	197	231	263	12.1	3.0	5.5	13	28
3.9	1.1	-0.7	-0.2	3.3	12	15	15	188	180	168	157	149	2.1	-1.2	-0.2	16	16
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	-0.0	2.0	9.3	15	29	39	n.a.	16.1	n.a.	0.2	4.2

レファレンスシナリオ					技術進展シナリオ												
年平均変化率(%)				構成比(%)				(Mtoe)					年平均変化率(%)			構成比(%)	
1990/2022	2022/2030	2030/2050	2022/2050	1990	2022	2030	2050	2030	2035	2040	2045	2050	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2050
-0.1	-0.8	-0.8	-0.8	100	100	100	100	863	778	699	637	591	-1.4	-1.9	-1.7	100	100
-4.5	-0.9	-2.1	-1.7	11	2.6	2.6	2.0	19	15	12	9.8	8.3	-3.0	-4.2	-3.8	2.2	1.4
-0.3	-1.6	-1.4	-1.5	45	41	39	34	311	252	203	164	134	-3.0	-4.1	-3.8	36	23
0.2	-0.9	-1.0	-1.0	19	20	20	19	170	145	117	90	64	-1.7	-4.8	-3.9	20	11
0.8	0.3	0.6	0.5	16	21	23	31	220	231	241	251	257	0.8	0.8	0.8	26	43
-0.8	-0.7	-0.9	-0.8	5.5	4.3	4.4	4.3	39	38	37	36	35	-0.8	-0.6	-0.7	4.6	5.9
n.a.	n.a.	-2.0	n.a.	-	-	0.0	0.0	0.1	3.7	9.0	17	32	n.a.	36.3	n.a.	0.0	5.4
2.9	-0.4	-1.5	-1.2	4.0	10	11	9.3	103	94	81	70	61	0.4	-2.6	-1.7	12	10
-1.0	0.0	-0.4	-0.3	31	24	25	27	218	203	186	172	162	-0.6	-1.5	-1.2	25	27
0.8	-1.5	-1.5	-1.5	22	29	27	24	228	187	153	128	114	-2.6	-3.4	-3.2	26	19
0.0	-1.0	-0.8	-0.8	38	39	39	39	341	312	285	262	242	-1.3	-1.7	-1.6	40	41
-0.4	-0.3	-0.1	-0.2	8.9	8.1	8.4	9.7	76	76	75	75	74	-0.3	-0.2	-0.2	8.8	12

レファレンスシナリオ					技術進展シナリオ												
年平均変化率(%)				構成比(%)				(TWh)					年平均変化率(%)			構成比(%)	
1990/2022	2022/2030	2030/2050	2022/2050	1990	2022	2030	2050	2030	2035	2040	2045	2050	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2050
0.7	1.2	0.7	0.8	100	100	100	100	3,304	3,673	4,031	4,254	4,480	2.1	1.5	1.7	100	100
-1.7	-17.3	-2.5	-7.0	37	17	3.4	1.8	48	30	39	60	52	-25.0	0.3	-7.7	1.5	1.2
-3.7	-100	n.a.	-100	8.4	2.0	-	-	-	-	-	-	-	-100	n.a.	-100	-	-
3.4	-10.6	-5.1	-6.7	8.3	19	7.2	2.2	160	76	28	40	1.1	-14.1	-21.9	-19.7	4.8	0.0
-0.6	1.4	-0.9	-0.2	32	22	22	16	766	860	885	855	910	2.9	0.9	1.4	23	20
-0.1	0.1	0.3	0.2	13	9.9	9.1	8.4	279	283	286	290	294	0.1	0.3	0.2	8.4	6.6
2.2	4.0	2.3	2.8	0.1	0.2	0.3	0.4	8.8	14	15	15	15	4.0	2.6	3.0	0.3	0.3
34.7	16.6	2.1	6.1	0.0	7.4	23	31	849	1,044	1,239	1,300	1,361	19.4	2.4	7.0	26	30
21.8	8.4	1.6	3.5	0.0	15	26	32	895	1,054	1,213	1,333	1,454	9.9	2.5	4.5	27	32
7.5	2.3	0.2	0.8	0.0	0.2	0.2	0.2	6.2	6.4	6.5	6.7	6.9	2.6	0.5	1.1	0.2	0.2
7.4	4.0	0.5	1.5	0.8	6.7	8.3	8.1	287	297	306	312	318	5.6	0.5	1.9	8.7	7.1
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	-	-	4.7	9.3	37	64	n.a.	n.a.	n.a.	-	1.4
10.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	0.1	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1

レファレンスシナリオ				技術進展シナリオ							
年平均変化率(%)				(MtCO ₂)							
1990/2022	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2035	2040	2045	2050	2022/2030	2030/2050	2022/2050
-1.0	-3.4	-1.5	-2.0	1,664	1,318	974	588	251	-5.0	-9.0	-7.9
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	65	159	259	n.a.	n.a.	n.a.

レファレンスシナリオ				技術進展シナリオ							
年平均変化率(%)				年平均変化率(%)							
1990/2022	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2035	2040	2045	2050	2022/2030	2030/2050	2022/2050
1.6	1.4	1.3	1.4	17,029	18,314	19,624	20,940	22,204	1.4	1.3	1.4
0.2	-0.1	-0.2	-0.2	445	442	438	433	426	-0.1	-0.2	-0.2
1.4	1.5	1.6	1.5	38	41	45	48	52	1.5	1.6	1.5
-0.5	-1.1	-0.6	-0.7	2.6	2.5	2.3	2.2	2.2	-1.4	-0.9	-1.0
-1.9	-2.5	-2.1	-2.2	68	59	52	46	42	-2.9	-2.4	-2.5
-2.6	-4.7	-2.8	-3.3	98	72	50	28	11	-6.4	-10.2	-9.1
-0.7	-2.2	-0.7	-1.1	1.4	1.2	1.0	0.6	0.3	-3.6	-8.0	-6.8

*3 toe/2015年価格100万ドル。*4 t/2015年価格100万ドル

付表43 | アフリカ

一次エネルギー消費	レファレンスシナリオ (石油換算100万t [Mtoe])									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
合計 ¹⁾	352	435	608	796	885	956	1,025	1,101	1,183	
石炭	74	90	109	105	100	105	111	122	130	
石油	85	100	161	211	234	254	280	307	333	
天然ガス	30	47	89	142	180	214	255	308	375	
原子力	2.2	3.4	3.2	2.6	5.6	7.8	10.0	8.8	8.8	
水力	4.8	6.4	9.4	14	17	20	25	30	36	
地熱	0.3	0.4	0.9	4.7	14	22	27	32	37	
太陽・風力等	0.0	0.0	0.3	4.3	17	23	29	35	41	
バイオマス・廃棄物	156	186	235	313	318	309	289	258	222	
水素	-	-	-	-	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	
最終エネルギー消費	レファレンスシナリオ (Mtoe)									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
合計	246	305	418	544	604	646	684	718	754	
石炭	20	19	18	20	20	21	22	22	23	
石油	70	89	136	182	207	232	257	283	307	
天然ガス	8.6	14	28	43	54	60	67	73	79	
電力	22	31	47	63	83	102	128	160	202	
熱	-	-	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	
水素	-	-	-	-	-	-	-	0.0	0.0	
再生可能・廃棄物	125	152	190	236	240	231	211	180	144	
産業	53	58	84	91	108	122	137	151	165	
運輸	38	54	87	129	146	162	180	198	217	
民生・農業他	144	178	228	300	324	332	334	333	333	
非エネルギー消費	11	15	19	24	27	30	33	36	40	
発電量	レファレンスシナリオ (TWh)									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
合計	315	442	687	901	1,196	1,464	1,811	2,251	2,797	
石炭	164	208	259	236	225	241	264	306	341	
石油	40	37	65	65	50	33	26	22	17	
天然ガス	45	107	235	377	494	633	829	1,101	1,468	
原子力	8.4	13	12	9.8	21	30	38	34	34	
水力	56	75	110	161	197	236	285	345	419	
地熱	0.3	0.4	1.1	5.5	16	25	31	37	44	
太陽光	-	0.0	0.3	15	120	176	232	285	337	
風力	-	0.2	2.4	25	64	80	97	112	128	
太陽熱・海洋	-	-	-	2.3	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	
バイオマス・廃棄物	0.5	1.5	2.4	2.5	4.0	4.4	4.9	5.3	5.8	
水素	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
その他	-	0.1	0.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	
二酸化炭素[CO ₂]	レファレンスシナリオ (二酸化炭素換算100万t [MtCO ₂])									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
エネルギー起源CO ₂ 排出 ²⁾	571	689	1,017	1,262	1,391	1,543	1,728	1,962	2,214	
二酸化炭素除去[CDR]による排出回避量	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
エネルギー・経済指標他	レファレンスシナリオ									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
国内総生産[GDP] (2015年価格10億ドル)	925	1,216	2,010	2,762	3,731	4,680	5,838	7,220	8,832	
人口(100万人)	620	794	1,021	1,377	1,643	1,816	1,993	2,170	2,344	
一人当たりGDP (2015年価格1,000ドル/人)	1.5	1.5	2.0	2.0	2.3	2.6	2.9	3.3	3.8	
一人当たり一次エネルギー消費(toe/人)	0.6	0.5	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	
GDP当たり一次エネルギー消費 ³⁾	380	358	302	288	237	204	176	153	134	
GDP当たりエネルギー起源CO ₂ 排出量 ^{2),4)}	617	566	506	457	373	330	296	272	251	
一次エネルギー消費当たりCO ₂ 排出 ²⁾ (t/toe)	1.6	1.6	1.7	1.6	1.6	1.6	1.7	1.8	1.9	

*1 電力、熱の輸出入を掲載していないため、合計と内訳は必ずしも一致しない。

*2 二酸化炭素除去[CDR]による削減後の量

レファレンスシナリオ									技術進展シナリオ											
年平均変化率(%)				構成比(%)					(Mtoe)					年平均変化率(%)					構成比(%)	
1990/2022	2022/2030	2030/2050	2022/2050	1990	2022	2030	2050	2030	2035	2040	2045	2050	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2050			
2.6	1.3	1.5	1.4	100	100	100	100	824	840	861	899	948	0.4	0.7	0.6	100	100			
1.1	-0.6	1.3	0.8	21	13	11	11	87	78	71	67	61	-2.3	-1.8	-1.9	11	6.4			
2.9	1.3	1.8	1.6	24	26	26	28	223	230	236	233	228	0.7	0.1	0.3	27	24			
5.0	3.0	3.8	3.5	8.4	18	20	32	177	209	237	269	303	2.8	2.7	2.7	21	32			
0.5	10.2	2.3	4.5	0.6	0.3	0.6	0.7	5.6	14	22	32	45	10.2	11.0	10.8	0.7	4.7			
3.4	2.5	3.8	3.5	1.4	1.7	1.9	3.0	17	20	25	30	36	2.5	3.8	3.5	2.1	3.8			
9.2	14.5	5.0	7.7	0.1	0.6	1.6	3.2	14	26	31	37	44	14.5	5.8	8.2	1.7	4.6			
29.9	18.7	4.6	8.4	0.0	0.5	1.9	3.5	28	44	65	94	130	26.2	8.1	13.0	3.3	14			
2.2	0.2	-1.8	-1.2	44	39	36	19	274	225	187	162	140	-1.6	-3.3	-2.8	33	15			
n.a.	n.a.	4.1	n.a.	-	-	-0.0	-0.0	-1.0	-6.2	-12	-24	-37	n.a.	20.0	n.a.	-0.1	-3.9			

レファレンスシナリオ									技術進展シナリオ											
年平均変化率(%)				構成比(%)					(Mtoe)					年平均変化率(%)					構成比(%)	
1990/2022	2022/2030	2030/2050	2022/2050	1990	2022	2030	2050	2030	2035	2040	2045	2050	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2050			
2.5	1.3	1.1	1.2	100	100	100	100	555	544	541	547	561	0.3	0.0	0.1	100	100			
0.0	0.1	0.6	0.4	8.1	3.7	3.3	3.0	19	18	17	16	15	-0.9	-1.0	-1.0	3.3	2.7			
3.0	1.6	2.0	1.9	29	34	34	41	202	217	225	227	225	1.3	0.5	0.7	36	40			
5.2	2.8	1.9	2.2	3.5	8.0	8.9	10	51	54	55	56	56	2.2	0.4	0.9	9.3	9.9			
3.3	3.6	4.5	4.3	9.0	12	14	27	86	108	133	163	197	4.1	4.2	4.2	16	35			
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	0.0	-	0.0	0.0	0.0	0.0	n.a.	n.a.	n.a.	-	0.0			
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	0.0	0.0	0.3	1.0	2.1	5.9	n.a.	46.1	n.a.	0.0	1.1			
2.0	0.2	-2.5	-1.7	51	43	40	19	196	147	109	84	62	-2.2	-5.6	-4.7	35	11			
1.7	2.1	2.2	2.1	22	17	18	22	102	108	112	115	121	1.4	0.8	1.0	18	22			
3.9	1.6	2.0	1.9	16	24	24	29	142	151	158	162	167	1.2	0.8	0.9	26	30			
2.3	0.9	0.1	0.4	58	55	54	44	284	255	238	233	234	-0.7	-1.0	-0.9	51	42			
2.5	1.6	1.9	1.8	4.4	4.4	4.5	5.2	27	30	33	36	40	1.6	1.9	1.8	4.9	7.1			

レファレンスシナリオ									技術進展シナリオ											
年平均変化率(%)				構成比(%)					(TWh)					年平均変化率(%)					構成比(%)	
1990/2022	2022/2030	2030/2050	2022/2050	1990	2022	2030	2050	2030	2035	2040	2045	2050	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2050			
3.3	3.6	4.3	4.1	100	100	100	100	1,259	1,646	2,122	2,775	3,597	4.3	5.4	5.1	100	100			
1.1	-0.6	2.1	1.3	52	26	19	12	189	165	148	139	126	-2.8	-2.0	-2.2	15	3.5			
1.5	-3.3	-5.4	-4.8	13	7.2	4.2	0.6	36	17	10	2.7	2.5	-7.1	-12.4	-10.9	2.9	0.1			
6.9	3.5	5.6	5.0	14	42	41	52	483	633	806	1,042	1,323	3.2	5.2	4.6	38	37			
0.5	10.2	2.3	4.5	2.7	1.1	1.8	1.2	21	55	84	121	171	10.2	11.0	10.8	1.7	4.8			
3.4	2.5	3.8	3.5	18	18	16	15	197	236	285	345	419	2.5	3.8	3.5	16	12			
9.2	14.5	5.0	7.7	0.1	0.6	1.4	1.6	16	30	36	43	51	14.5	5.8	8.2	1.3	1.4			
n.a.	29.7	5.3	11.8	-	1.7	10	12	192	328	495	717	1,000	37.6	8.6	16.2	15	28			
n.a.	12.8	3.5	6.1	-	2.7	5.4	4.6	115	173	246	351	491	21.4	7.5	11.3	9.2	14			
n.a.	1.3	0.0	0.4	-	0.3	0.2	0.1	2.6	3.0	3.5	4.5	5.7	1.7	3.9	3.3	0.2	0.2			
5.3	6.0	1.9	3.1	0.2	0.3	0.3	0.2	4.3	5.0	5.7	6.4	7.0	7.1	2.4	3.7	0.3	0.2			
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	-	-			
n.a.	0.0	0.0	0.0	-	0.2	0.1	0.1	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0			

レファレンスシナリオ				技術進展シナリオ				
年平均変化率(%)				(MtCO ₂)				
1990/2022	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2035	2040	2045	2050
2.5	1.2	2.4	2.0	1,291	1,312	1,324	1,326	1,324
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	-	-

レファレンスシナリオ				技術進展シナリオ				
年平均変化率(%)				年平均変化率(%)				
1990/2022	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2035	2040	2045	2050
3.5	3.8	4.4	4.2	3,731	4,680	5,838	7,220	8,832
2.5	2.2	1.8	1.9	1,643	1,816	1,993	2,170	2,344
0.9	1.6	2.6	2.3	2.3	2.6	2.9	3.3	3.8
0.1	-0.9	-0.3	-0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4
-0.9	-2.4	-2.8	-2.7	221	180	148	124	107
-0.9	-2.5	-2.0	-2.1	346	280	227	184	150
-0.1	-0.1	0.9	0.6	1.6	1.6	1.5	1.5	1.4

*3 toe/2015年価格100万ドル。*4 t/2015年価格100万ドル

付表44 | 中東

一次エネルギー消費	レファレンスシナリオ (石油換算100万t [Mtoe])									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
合計 ¹⁾	223	380	648	860	990	1,049	1,101	1,153	1,199	
石炭	3.0	8.1	9.8	7.2	8.4	7.7	7.0	6.5	6.8	
石油	146	225	323	359	388	402	412	417	417	
天然ガス	72	145	311	480	565	607	646	689	733	
原子力	-	-	-	7.5	13	13	13	13	13	
水力	1.0	0.7	1.5	1.4	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	
地熱	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0	
太陽・風力等	0.4	0.7	1.3	3.2	12	16	19	22	25	
バイオマス・廃棄物	0.5	0.4	1.0	1.2	1.6	1.6	1.7	1.7	1.8	
水素	-	-	-	-	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	
最終エネルギー消費	レファレンスシナリオ (Mtoe)									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
合計	157	259	450	585	687	732	770	804	836	
石炭	0.2	0.5	1.2	2.5	2.7	2.6	2.5	2.3	2.2	
石油	108	160	238	264	304	323	338	352	363	
天然ガス	31	65	147	220	259	270	276	279	279	
電力	17	32	62	96	119	134	151	169	189	
熱	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0	
水素	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
再生可能・廃棄物	0.7	1.0	2.2	1.7	1.8	1.8	1.9	1.9	2.0	
産業	47	71	134	172	210	223	232	238	242	
運輸	51	75	121	150	171	178	186	192	198	
民生・農業他	40	74	119	165	191	205	216	226	236	
非エネルギー消費	20	39	75	98	115	125	136	148	160	
発電量	レファレンスシナリオ (TWh)									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
合計	244	472	888	1,418	1,714	1,910	2,124	2,366	2,622	
石炭	11	30	35	18	22	19	16	15	17	
石油	108	189	290	345	305	282	250	208	153	
天然ガス	114	246	545	982	1,175	1,356	1,562	1,816	2,092	
原子力	-	-	-	29	51	51	52	51	51	
水力	12	8.0	18	17	28	29	31	32	33	
地熱	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
太陽光	-	-	0.1	22	119	155	191	217	243	
風力	0.0	0.0	0.2	4.5	9.4	13	18	23	28	
太陽熱・海洋	-	-	-	1.1	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	
バイオマス・廃棄物	-	0.0	0.1	0.0	1.4	1.5	1.7	1.8	2.0	
水素	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
その他	-	-	0.0	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	
二酸化炭素[CO ₂]	レファレンスシナリオ (二酸化炭素換算100万t [MtCO ₂])									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
エネルギー起源CO ₂ 排出 ²⁾	588	967	1,605	1,997	2,247	2,356	2,442	2,526	2,593	
二酸化炭素除去[CDR]による排出回避量	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
エネルギー・経済指標他	レファレンスシナリオ									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
国内総生産[GDP] (2015年価格10億ドル)	916	1,385	2,076	2,844	3,617	4,139	4,718	5,357	6,057	
人口(100万人)	133	171	220	274	316	338	359	379	398	
一人当たりGDP (2015年価格1,000ドル/人)	6.9	8.1	9.4	10	11	12	13	14	15	
一人当たり一次エネルギー消費(toe/人)	1.7	2.2	2.9	3.1	3.1	3.1	3.1	3.0	3.0	
GDP当たり一次エネルギー消費 ³⁾	243	274	312	302	274	254	233	215	198	
GDP当たりエネルギー起源CO ₂ 排出量 ^{2),4)}	642	698	773	702	621	569	518	471	428	
一次エネルギー消費当たりCO ₂ 排出 ²⁾ (t/toe)	2.6	2.5	2.5	2.3	2.3	2.2	2.2	2.2	2.2	

*1 電力、熱の輸出入を掲載していないため、合計と内訳は必ずしも一致しない。

*2 二酸化炭素除去[CDR]による削減後の量

付表45 | オセアニア

一次エネルギー消費	レファレンスシナリオ (石油換算100万t [Mtoe])									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
合計 ¹⁾	99	125	145	146	150	147	145	143	142	
石炭	36	49	52	38	29	26	24	22	20	
石油	35	40	48	50	56	54	52	50	47	
天然ガス	19	24	32	38	37	38	38	38	39	
原子力	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
水力	3.2	3.5	3.3	3.7	4.1	4.1	4.1	4.2	4.2	
地熱	1.5	2.0	3.3	4.9	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	
太陽・風力等	0.1	0.1	0.9	6.3	11	14	16	18	20	
バイオマス・廃棄物	4.8	6.1	6.1	5.9	6.1	6.2	6.2	6.3	6.3	
水素	-	-	-	-	-0.0	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	
最終エネルギー消費	レファレンスシナリオ (Mtoe)									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
合計	66	82	90	92	98	99	99	99	98	
石炭	5.2	4.7	3.1	3.2	3.3	3.3	3.1	3.0	2.9	
石油	33	40	45	47	49	48	47	45	43	
天然ガス	10	14	14	15	15	15	15	15	15	
電力	14	18	22	22	25	27	29	30	32	
熱	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
水素	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
再生可能・廃棄物	3.8	5.2	5.3	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	
産業	23	28	26	26	28	30	30	31	31	
運輸	24	30	35	35	38	37	36	35	34	
民生・農業他	15	19	23	25	26	26	27	27	28	
非エネルギー消費	4.6	6.1	5.9	5.9	5.9	5.9	6.0	6.0	5.9	
発電量	レファレンスシナリオ (TWh)									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
合計	187	249	298	316	356	377	399	422	445	
石炭	122	176	182	135	114	106	100	96	88	
石油	3.6	1.8	6.1	4.7	3.6	3.1	2.7	2.4	2.1	
天然ガス	20	26	54	54	52	54	54	56	65	
原子力	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
水力	37	41	38	43	47	48	48	48	49	
地熱	2.1	2.9	5.9	8.5	8.7	8.7	8.7	8.7	8.7	
太陽光	-	0.0	0.4	35	60	76	92	107	122	
風力	-	0.2	6.7	32	65	77	88	97	106	
太陽熱・海洋	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
バイオマス・廃棄物	1.6	2.0	3.5	3.9	4.6	4.9	5.1	5.2	5.4	
水素	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
その他	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
二酸化炭素[CO ₂]	レファレンスシナリオ (二酸化炭素換算100万t [MtCO ₂])									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
エネルギー起源CO ₂ 排出 ²⁾	285	356	416	383	370	352	335	321	309	
二酸化炭素除去[CDR]による排出回避量	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
エネルギー・経済指標他	レファレンスシナリオ									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
国内総生産[GDP] (2015年価格10億ドル)	656	907	1,220	1,650	1,943	2,160	2,391	2,639	2,901	
人口(100万人)	20	23	26	31	33	35	36	37	38	
一人当たりGDP (2015年価格1,000ドル/人)	32	40	46	53	58	62	67	72	76	
一人当たり一次エネルギー消費(toe/人)	4.9	5.5	5.5	4.7	4.5	4.3	4.1	3.9	3.7	
GDP当たり一次エネルギー消費 ³⁾	151	138	119	89	77	68	61	54	49	
GDP当たりエネルギー起源CO ₂ 排出量 ^{2),4)}	434	393	341	232	190	163	140	122	106	
一次エネルギー消費当たりCO ₂ 排出 ²⁾ (t/toe)	2.9	2.8	2.9	2.6	2.5	2.4	2.3	2.2	2.2	

*1 電力、熱の輸出入を掲載していないため、合計と内訳は必ずしも一致しない。

*2 二酸化炭素除去[CDR]による削減後の量

レファレンスシナリオ									技術進展シナリオ											
年平均変化率(%)				構成比(%)					(Mtoe)					年平均変化率(%)					構成比(%)	
1990/2022	2022/2030	2030/2050	2022/2050	1990	2022	2030	2050		2030	2035	2040	2045	2050	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2050		
1.2	0.3	-0.3	-0.1	100	100	100	100		146	138	131	133	136	0.0	-0.4	-0.3	100	100		
0.2	-3.3	-1.8	-2.2	36	26	20	14		28	27	25	24	19	-3.7	-2.0	-2.5	19	14		
1.1	1.6	-0.9	-0.2	35	34	38	33		52	44	36	27	21	0.6	-4.5	-3.1	36	15		
2.2	-0.1	0.3	0.2	19	26	25	28		38	36	34	32	29	0.2	-1.3	-0.9	26	22		
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	-		-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	-	-		
0.4	1.3	0.2	0.5	3.2	2.5	2.7	3.0		4.1	4.1	4.1	4.2	4.2	1.3	0.2	0.5	2.8	3.1		
3.8	0.4	0.0	0.1	1.5	3.3	3.4	3.5		5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	0.4	0.0	0.1	3.4	3.7		
13.0	7.6	2.9	4.2	0.1	4.3	7.6	14		13	21	31	52	78	9.6	9.3	9.4	9.0	57		
0.6	0.3	0.2	0.2	4.9	4.1	4.1	4.4		6.0	5.9	5.8	5.7	5.7	0.1	-0.3	-0.2	4.1	4.2		
n.a.	n.a.	5.2	n.a.	-	-	-0.0	-0.1		-1.0	-5.2	-9.0	-17	-25	n.a.	17.4	n.a.	-0.7	-18		

レファレンスシナリオ									技術進展シナリオ											
年平均変化率(%)				構成比(%)					(Mtoe)					年平均変化率(%)					構成比(%)	
1990/2022	2022/2030	2030/2050	2022/2050	1990	2022	2030	2050		2030	2035	2040	2045	2050	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2050		
1.0	0.8	0.0	0.2	100	100	100	100		94	89	83	80	79	0.3	-0.9	-0.5	100	100		
-1.5	0.4	-0.7	-0.4	7.9	3.5	3.4	2.9		3.0	2.4	2.0	1.6	1.4	-0.9	-3.6	-2.8	3.2	1.8		
1.1	0.6	-0.7	-0.3	50	51	50	43		46	41	35	28	23	-0.2	-3.4	-2.5	49	29		
1.0	0.4	0.0	0.1	16	16	15	15		14	13	11	9.2	7.3	-0.4	-3.2	-2.4	15	9.3		
1.6	1.6	1.3	1.3	21	24	26	33		26	27	29	34	39	1.7	2.1	2.0	27	49		
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	-		-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	-	-		
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	-		0.0	0.3	0.8	1.6	3.6	n.a.	45.4	n.a.	0.0	4.5		
0.9	0.0	0.0	0.0	5.8	5.5	5.2	5.2		5.1	4.9	4.7	4.5	4.5	-0.1	-0.6	-0.4	5.4	5.7		
0.5	0.9	0.4	0.6	34	29	29	31		27	26	24	23	22	0.3	-1.0	-0.7	29	28		
1.2	0.9	-0.5	-0.1	36	38	39	34		36	33	29	25	23	0.3	-2.2	-1.5	38	29		
1.6	0.5	0.3	0.4	22	27	26	28		25	24	24	26	28	0.2	0.6	0.5	27	36		
0.8	0.1	0.0	0.0	6.9	6.4	6.0	6.0		5.9	5.9	6.0	6.0	5.9	0.1	0.0	0.0	6.3	7.5		

レファレンスシナリオ									技術進展シナリオ											
年平均変化率(%)				構成比(%)					(TWh)					年平均変化率(%)					構成比(%)	
1990/2022	2022/2030	2030/2050	2022/2050	1990	2022	2030	2050		2030	2035	2040	2045	2050	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2050		
1.6	1.5	1.1	1.2	100	100	100	100		368	448	556	806	1,103	1.9	5.6	4.6	100	100		
0.3	-2.1	-1.3	-1.5	65	43	32	20		103	88	76	69	60	-3.4	-2.7	-2.9	28	5.4		
0.9	-3.3	-2.7	-2.9	1.9	1.5	1.0	0.5		3.4	2.7	-	-	-	-3.9	-100	-100	0.9	-		
3.1	-0.4	1.1	0.6	11	17	15	14		55	58	59	69	71	0.3	1.3	1.0	15	6.4		
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	-		-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	-	-		
0.4	1.3	0.2	0.5	20	13	13	11		47	48	48	49	49	1.3	0.2	0.5	13	4.4		
4.4	0.3	0.0	0.1	1.1	2.7	2.5	2.0		8.7	8.7	8.7	8.7	8.7	0.3	0.0	0.1	2.4	0.8		
n.a.	7.1	3.6	4.6	-	11	17	27		70	111	166	275	406	9.0	9.2	9.2	19	37		
n.a.	9.4	2.4	4.4	-	10	18	24		77	124	187	322	492	11.6	9.7	10.3	21	45		
n.a.	4.3	0.0	1.2	-	0.0	0.0	0.0		0.1	0.1	0.2	0.3	0.5	34.3	11.9	17.9	0.0	0.0		
2.9	2.1	0.7	1.1	0.9	1.2	1.3	1.2		4.6	4.9	5.2	5.5	5.7	2.1	1.0	1.3	1.3	0.5		
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	-		-	2.7	5.3	7.7	10	n.a.	n.a.	n.a.	-	0.9		
-1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		

レファレンスシナリオ				技術進展シナリオ											
年平均変化率(%)				(MtCO ₂)					年平均変化率(%)					構成比(%)	
1990/2022	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2035	2040	2045	2050	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2050		
0.9	-0.5	-0.9	-0.8	345	268	198	110	29	-1.3	-11.6	-8.8				
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	0.4	20	51	n.a.	n.a.	n.a.				

レファレンスシナリオ				技術進展シナリオ									
年平均変化率(%)				2022/2030/2022/2050					2022/2030/2022/2050				
1990/2022	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2035	2040	2045	2050	2030	2035	2040	2045	2050
2.9	2.1	2.0	2.0	1,943	2,160	2,391	2,639	2,901	2.1	2.0	2.0		
1.3	0.9	0.7	0.7	33	35	36	37	38	0.9	0.7	0.7		
1.6	1.2	1.4	1.3	58	62	67	72	76	1.2	1.4	1.3		
-0.1	-0.6	-0.9	-0.8	4.4	4.0	3.7	3.6	3.6	-0.9	-1.0	-1.0		
-1.7	-1.8	-2.2	-2.1	75	64	55	50	47	-2.0	-2.3	-2.3		
-1.9	-2.5	-2.9	-2.7	178	124	83	42	10	-3.3	-13.4	-10.6		
-0.3	-0.7	-0.6	-0.7	2.4	1.9	1.5	0.8	0.2	-1.3	-11.3	-8.5		

*3 toe/2015年価格100万ドル。*4 t/2015年価格100万ドル

付表46 | 先進国

一次エネルギー消費	レファレンスシナリオ (石油換算100万t [Mtoe])									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
合計 ¹⁾	4,467	5,233	5,354	5,062	4,792	4,663	4,542	4,442	4,381	
石炭	1,087	1,115	1,109	711	435	361	302	271	250	
石油	1,827	2,070	1,918	1,756	1,608	1,525	1,441	1,348	1,253	
天然ガス	827	1,136	1,287	1,498	1,419	1,377	1,377	1,380	1,390	
原子力	463	596	606	469	493	489	453	422	413	
水力	100	111	112	110	119	120	122	123	124	
地熱	22	25	25	40	44	58	60	61	62	
太陽・風力等	2.1	6.1	31	154	327	393	451	511	569	
バイオマス・廃棄物	139	172	261	323	356	354	350	347	344	
水素	-	-	-	-	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	

最終エネルギー消費	レファレンスシナリオ (Mtoe)									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
合計	3,057	3,576	3,647	3,597	3,498	3,418	3,342	3,273	3,217	
石炭	230	136	130	87	83	77	71	65	60	
石油	1,559	1,810	1,739	1,634	1,509	1,435	1,359	1,275	1,190	
天然ガス	578	732	717	765	738	712	682	652	622	
電力	553	715	809	832	886	921	967	1,027	1,100	
熱	48	52	66	58	56	55	53	50	48	
水素	-	-	-	-	0.5	0.6	0.7	0.7	0.7	
再生可能・廃棄物	89	131	186	220	226	218	210	204	197	
産業	826	903	804	793	805	805	798	786	772	
運輸	921	1,121	1,150	1,176	1,099	1,038	982	926	870	
民生・農業他	1,024	1,185	1,311	1,253	1,215	1,191	1,174	1,170	1,182	
非エネルギー消費	286	366	381	374	379	384	389	392	393	

発電量	レファレンスシナリオ (TWh)									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
合計	7,673	9,704	10,842	10,981	11,844	12,320	12,946	13,770	14,760	
石炭	3,136	3,835	3,813	2,296	1,176	900	656	553	512	
石油	667	539	274	159	80	62	51	43	35	
天然ガス	766	1,528	2,501	3,304	3,028	2,985	3,269	3,587	3,935	
原子力	1,776	2,288	2,324	1,800	1,891	1,876	1,740	1,618	1,587	
水力	1,158	1,293	1,302	1,281	1,381	1,400	1,417	1,432	1,444	
地熱	23	27	37	54	60	80	83	85	86	
太陽光	0.1	0.7	31	593	1,792	2,266	2,708	3,134	3,548	
風力	3.8	29	269	1,065	1,882	2,163	2,400	2,668	2,935	
太陽熱・海洋	1.2	1.1	2.1	8.7	12	13	14	15	17	
バイオマス・廃棄物	121	142	257	389	510	543	577	603	629	
水素	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
その他	20	22	33	31	31	31	31	31	31	

二酸化炭素[CO ₂]	レファレンスシナリオ (二酸化炭素換算100万t [MtCO ₂])									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
エネルギー起源CO ₂ 排出 ²⁾	10,835	12,238	12,003	10,532	8,817	8,165	7,680	7,286	6,946	
二酸化炭素除去[CDR]による排出回避量	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

エネルギー・経済指標他	レファレンスシナリオ									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
国内総生産[GDP] (2015年価格10億ドル)	27,187	35,856	42,352	52,512	60,366	65,672	71,165	76,755	82,292	
人口(100万人)	998	1,070	1,140	1,199	1,214	1,217	1,218	1,215	1,209	
一人当たりGDP (2015年価格1,000ドル/人)	27	33	37	44	50	54	58	63	68	
一人当たり一次エネルギー消費(toe/人)	4.5	4.9	4.7	4.2	3.9	3.8	3.7	3.7	3.6	
GDP当たり一次エネルギー消費 ³⁾	164	146	126	96	79	71	64	58	53	
GDP当たりエネルギー起源CO ₂ 排出量 ^{2),4)}	399	341	283	201	146	124	108	95	84	
一次エネルギー消費当たりCO ₂ 排出 ²⁾ (t/toe)	2.4	2.3	2.2	2.1	1.8	1.8	1.7	1.6	1.6	

*1 電力、熱の輸出入を掲載していないため、合計と内訳は必ずしも一致しない。

*2 二酸化炭素除去[CDR]による削減後の量

レファレンスシナリオ									技術進展シナリオ									
年平均変化率(%)				構成比(%)					(Mtoe)					年平均変化率(%)			構成比(%)	
1990/2022	2022/2030	2030/2050	2022/2050	1990	2022	2030	2050		2030	2035	2040	2045	2050	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2050
0.4	-0.7	-0.4	-0.5	100	100	100	100		4,625	4,339	4,042	3,822	3,663	-1.1	-1.2	-1.1	100	100
-1.3	-5.9	-2.7	-3.7	24	14	9.1	5.7		346	254	217	193	170	-8.6	-3.5	-5.0	7.5	4.6
-0.1	-1.1	-1.2	-1.2	41	35	34	29		1,454	1,204	955	712	531	-2.3	-4.9	-4.2	31	15
1.9	-0.7	-0.1	-0.3	19	30	30	32		1,336	1,210	1,039	895	713	-1.4	-3.1	-2.6	29	19
0.0	0.6	-0.9	-0.5	10	9.3	10	9.4		554	588	614	606	616	2.1	0.5	1.0	12	17
0.3	0.9	0.2	0.4	2.2	2.2	2.5	2.8		119	121	123	125	126	1.0	0.3	0.5	2.6	3.4
1.9	1.4	1.7	1.6	0.5	0.8	0.9	1.4		44	61	64	65	66	1.4	2.0	1.8	1.0	1.8
14.4	9.9	2.8	4.8	0.0	3.0	6.8	13		383	507	632	803	983	12.1	4.8	6.9	8.3	27
2.7	1.2	-0.2	0.2	3.1	6.4	7.4	7.9		397	395	391	385	387	2.6	-0.1	0.6	8.6	11
n.a.	n.a.	1.9	n.a.	-	-	0.0	0.0		4.3	19	35	69	103	n.a.	17.2	n.a.	0.1	2.8

レファレンスシナリオ									技術進展シナリオ									
年平均変化率(%)				構成比(%)					(Mtoe)					年平均変化率(%)			構成比(%)	
1990/2022	2022/2030	2030/2050	2022/2050	1990	2022	2030	2050		2030	2035	2040	2045	2050	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2050
0.5	-0.3	-0.4	-0.4	100	100	100	100		3,355	3,089	2,818	2,610	2,470	-0.9	-1.5	-1.3	100	100
-3.0	-0.6	-1.6	-1.3	7.5	2.4	2.4	1.9		71	57	47	39	34	-2.5	-3.6	-3.3	2.1	1.4
0.1	-1.0	-1.2	-1.1	51	45	43	37		1,380	1,170	956	770	624	-2.1	-3.9	-3.4	41	25
0.9	-0.5	-0.8	-0.7	19	21	21	19		691	596	491	387	289	-1.3	-4.3	-3.4	21	12
1.3	0.8	1.1	1.0	18	23	25	34		903	953	1,007	1,074	1,122	1.0	1.1	1.1	27	45
0.6	-0.6	-0.8	-0.7	1.6	1.6	1.6	1.5		55	54	52	50	49	-0.8	-0.6	-0.6	1.6	2.0
n.a.	n.a.	1.7	n.a.	-	-	0.0	0.0		0.7	15	35	68	134	n.a.	29.6	n.a.	0.0	5.4
2.9	0.3	-0.7	-0.4	2.9	6.1	6.5	6.1		254	244	230	221	217	1.8	-0.8	0.0	7.6	8.8
-0.1	0.2	-0.2	-0.1	27	22	23	24		767	719	662	612	578	-0.4	-1.4	-1.1	23	23
0.8	-0.9	-1.2	-1.1	30	33	31	27		1,031	880	738	624	558	-1.6	-3.0	-2.6	31	23
0.6	-0.4	-0.1	-0.2	34	35	35	37		1,178	1,106	1,030	982	941	-0.8	-1.1	-1.0	35	38
0.8	0.2	0.2	0.2	9.4	10	11	12		379	384	389	392	393	0.2	0.2	0.2	11	16

レファレンスシナリオ									技術進展シナリオ									
年平均変化率(%)				構成比(%)					(TWh)					年平均変化率(%)			構成比(%)	
1990/2022	2022/2030	2030/2050	2022/2050	1990	2022	2030	2050		2030	2035	2040	2045	2050	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2050
1.1	1.0	1.1	1.1	100	100	100	100		12,142	13,235	14,405	16,172	17,820	1.3	1.9	1.7	100	100
-1.0	-8.0	-4.1	-5.2	41	21	9.9	3.5		809	436	330	270	184	-12.2	-7.1	-8.6	6.7	1.0
-4.4	-8.3	-4.1	-5.3	8.7	1.5	0.7	0.2		67	46	31	21	8.3	-10.2	-9.9	-10.0	0.6	0.0
4.7	-1.1	1.3	0.6	10.0	30	26	27		2,775	2,478	2,019	1,746	1,180	-2.2	-4.2	-3.6	23	6.6
0.0	0.6	-0.9	-0.5	23	16	16	11		2,126	2,258	2,358	2,326	2,364	2.1	0.5	1.0	18	13
0.3	0.9	0.2	0.4	15	12	12	9.8		1,387	1,411	1,431	1,448	1,464	1.0	0.3	0.5	11	8.2
2.6	1.4	1.8	1.7	0.3	0.5	0.5	0.6		60	85	88	90	92	1.4	2.1	1.9	0.5	0.5
31.8	14.8	3.5	6.6	0.0	5.4	15	24		2,035	2,743	3,471	4,438	5,456	16.7	5.1	8.3	17	31
19.2	7.4	2.2	3.7	0.1	9.7	16	20		2,285	3,014	3,745	4,747	5,818	10.0	4.8	6.3	19	33
6.4	4.3	1.7	2.4	0.0	0.1	0.1	0.1		13	14	16	21	26	4.8	3.7	4.0	0.1	0.1
3.7	3.4	1.1	1.7	1.6	3.5	4.3	4.3		554	607	663	694	741	4.5	1.5	2.3	4.6	4.2
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	-		-	110	221	339	457	n.a.	n.a.	n.a.	-	2.6
1.4	0.0	0.0	0.0	0.3	0.3	0.3	0.2		31	31	31	31	31	0.0	0.0	0.0	0.3	0.2

レファレンスシナリオ				技術進展シナリオ							
年平均変化率(%)				(MtCO ₂)							
1990/2022	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2035	2040	2045	2050	2022/2030	2030/2050	2022/2050
-0.1	-2.2	-1.2	-1.5	7,740	5,948	4,341	2,561	1,097	-3.8	-9.3	-7.8
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	98	363	683	n.a.	n.a.	n.a.

レファレンスシナリオ				技術進展シナリオ							
年平均変化率(%)				年平均変化率(%)							
1990/2022	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2035	2040	2045	2050	2022/2030	2030/2050	2022/2050
2.1	1.8	1.6	1.6	60,366	65,672	71,165	76,755	82,292	1.8	1.6	1.6
0.6	0.2	0.0	0.0	1,214	1,217	1,218	1,215	1,209	0.2	0.0	0.0
1.5	1.6	1.6	1.6	50	54	58	63	68	1.6	1.6	1.6
-0.2	-0.8	-0.4	-0.5	3.8	3.6	3.3	3.1	3.0	-1.3	-1.1	-1.2
-1.7	-2.4	-2.0	-2.1	77	66	57	50	45	-2.8	-2.7	-2.7
-2.1	-3.9	-2.7	-3.0	128	91	61	33	13	-5.4	-10.7	-9.2
-0.5	-1.5	-0.7	-1.0	1.7	1.4	1.1	0.7	0.3	-2.7	-8.2	-6.7

*3 toe/2015年価格100万ドル。*4 t/2015年価格100万ドル

付表47 | 主要7か国(G7)

一次エネルギー消費	レファレンスシナリオ (石油換算100万t [Mtoe])									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
合計 ¹⁾	3,490	4,024	3,945	3,640	3,455	3,350	3,254	3,184	3,154	
石炭	787	811	776	431	235	185	137	117	108	
石油	1,447	1,578	1,413	1,263	1,140	1,076	1,011	939	865	
天然ガス	704	941	992	1,193	1,154	1,125	1,124	1,128	1,142	
原子力	370	485	482	345	386	371	342	313	308	
水力	66	72	72	71	79	80	81	81	82	
地熱	19	21	16	18	21	24	25	26	27	
太陽・風力等	1.6	4.1	20	104	223	274	322	371	421	
バイオマス・廃棄物	95	114	174	213	234	233	231	230	229	
水素	-	-	-	-	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5	
最終エネルギー消費	レファレンスシナリオ (Mtoe)									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
合計	2,377	2,735	2,674	2,613	2,524	2,463	2,408	2,360	2,325	
石炭	146	76	68	44	41	39	36	33	31	
石油	1,237	1,393	1,292	1,193	1,086	1,030	972	906	840	
天然ガス	495	613	568	611	588	564	538	512	488	
電力	435	548	594	594	632	660	699	749	813	
熱	13	19	26	22	22	21	20	19	18	
水素	-	-	-	-	0.4	0.6	0.6	0.6	0.6	
再生可能・廃棄物	51	85	126	149	155	149	143	140	135	
産業	602	645	544	529	526	525	520	512	503	
運輸	768	915	909	912	848	803	761	717	674	
民生・農業他	783	904	972	932	910	893	882	884	900	
非エネルギー消費	224	270	248	240	240	243	245	247	248	
発電量	レファレンスシナリオ (TWh)									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
合計	6,041	7,437	7,989	7,782	8,515	8,890	9,405	10,098	10,966	
石炭	2,506	2,963	2,844	1,478	673	463	268	194	168	
石油	553	373	189	115	67	52	43	38	30	
天然ガス	647	1,236	1,845	2,565	2,458	2,477	2,715	2,993	3,310	
原子力	1,419	1,862	1,849	1,324	1,483	1,422	1,311	1,202	1,181	
水力	765	832	834	829	914	927	937	945	950	
地熱	21	23	26	28	32	38	40	41	43	
太陽光	0.1	0.6	21	403	1,225	1,605	1,969	2,324	2,677	
風力	3.1	17	176	749	1,298	1,516	1,706	1,923	2,148	
太陽熱・海洋	1.2	1.1	1.4	3.8	3.9	4.0	4.0	4.1	4.1	
バイオマス・廃棄物	106	110	174	262	337	363	389	410	431	
水素	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
その他	20	21	31	24	24	24	24	24	24	
二酸化炭素[CO ₂]	レファレンスシナリオ (二酸化炭素換算100万t [MtCO ₂])									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
エネルギー起源CO ₂ 排出 ²⁾	8,423	9,386	8,825	7,619	6,391	5,933	5,547	5,263	5,039	
二酸化炭素除去[CDR]による排出回避量	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
エネルギー・経済指標他	レファレンスシナリオ									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
国内総生産[GDP] (2015年価格10億ドル)	21,466	27,920	31,963	38,661	44,147	47,999	52,051	56,218	60,402	
人口(100万人)	652	699	740	775	787	792	795	796	796	
一人当たりGDP (2015年価格1,000ドル/人)	33	40	43	50	56	61	66	71	76	
一人当たり一次エネルギー消費(toe/人)	5.4	5.8	5.3	4.7	4.4	4.2	4.1	4.0	4.0	
GDP当たり一次エネルギー消費 ³⁾	163	144	123	94	78	70	63	57	52	
GDP当たりエネルギー起源CO ₂ 排出量 ^{2),4)}	392	336	276	197	145	124	107	94	83	
一次エネルギー消費当たりCO ₂ 排出 ²⁾ (t/toe)	2.4	2.3	2.2	2.1	1.9	1.8	1.7	1.7	1.6	

*1 電力、熱の輸出入を掲載していないため、合計と内訳は必ずしも一致しない。

*2 二酸化炭素除去[CDR]による削減後の量

レファレンスシナリオ										技術進展シナリオ														
年平均変化率(%)					構成比(%)					(Mtoe)					年平均変化率(%)					構成比(%)				
1990/2022	2022/2030	2030/2050	2022/2050	1990	2022	2030	2050	2030	2035	2040	2045	2050	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2050							
0.1	-0.7	-0.5	-0.5	100	100	100	100	3,320	3,078	2,842	2,661	2,537	-1.1	-1.3	-1.3	100	100							
-1.9	-7.3	-3.8	-4.8	23	12	6.8	3.4	177	106	93	84	77	-10.6	-4.1	-6.0	5.3	3.0							
-0.4	-1.3	-1.4	-1.3	41	35	33	27	1,024	839	646	462	326	-2.6	-5.6	-4.7	31	13							
1.7	-0.4	-0.1	-0.2	20	33	33	36	1,101	996	853	737	580	-1.0	-3.2	-2.5	33	23							
-0.2	1.4	-1.1	-0.4	11	9.5	11	9.8	407	419	426	404	417	2.1	0.1	0.7	12	16							
0.3	1.2	0.2	0.5	1.9	2.0	2.3	2.6	79	81	82	83	83	1.3	0.3	0.6	2.4	3.3							
-0.1	1.6	1.3	1.4	0.5	0.5	0.6	0.8	21	25	27	28	29	1.6	1.7	1.7	0.6	1.1							
13.9	9.9	3.2	5.1	0.0	2.9	6.5	13	265	366	461	591	722	12.3	5.1	7.1	8.0	28							
2.6	1.2	-0.1	0.3	2.7	5.8	6.8	7.3	267	265	267	267	272	2.9	0.1	0.9	8.0	11							
n.a.	n.a.	2.6	n.a.	-	-	0.0	0.0	-1.1	0.7	9.8	31	57	n.a.	n.a.	n.a.	-0.0	2.2							

レファレンスシナリオ										技術進展シナリオ														
年平均変化率(%)					構成比(%)					(Mtoe)					年平均変化率(%)					構成比(%)				
1990/2022	2022/2030	2030/2050	2022/2050	1990	2022	2030	2050	2030	2035	2040	2045	2050	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2050							
0.3	-0.4	-0.4	-0.4	100	100	100	100	2,417	2,214	2,010	1,856	1,756	-1.0	-1.6	-1.4	100	100							
-3.7	-0.9	-1.5	-1.3	6.1	1.7	1.6	1.3	35	29	24	21	19	-2.6	-3.2	-3.0	1.5	1.1							
-0.1	-1.2	-1.3	-1.2	52	46	43	36	986	826	659	514	404	-2.4	-4.4	-3.8	41	23							
0.7	-0.5	-0.9	-0.8	21	23	23	21	552	475	390	308	231	-1.3	-4.3	-3.4	23	13							
1.0	0.8	1.3	1.1	18	23	25	35	645	684	727	781	820	1.0	1.2	1.2	27	47							
1.8	-0.3	-0.8	-0.7	0.5	0.8	0.9	0.8	21	21	21	21	21	-0.5	-0.1	-0.2	0.9	1.2							
n.a.	n.a.	1.9	n.a.	-	-	0.0	0.0	0.6	11	27	53	103	n.a.	29.1	n.a.	0.0	5.9							
3.4	0.5	-0.7	-0.4	2.1	5.7	6.1	5.8	177	168	162	159	159	2.1	-0.5	0.2	7.3	9.0							
-0.4	-0.1	-0.2	-0.2	25	20	21	22	501	467	427	394	370	-0.7	-1.5	-1.3	21	21							
0.5	-0.9	-1.1	-1.1	32	35	34	29	793	676	566	477	427	-1.7	-3.1	-2.7	33	24							
0.5	-0.3	-0.1	-0.1	33	36	36	39	883	829	772	738	711	-0.7	-1.1	-1.0	37	40							
0.2	0.0	0.2	0.1	9.4	9.2	9.5	11	240	243	245	247	248	0.0	0.2	0.1	9.9	14							

レファレンスシナリオ										技術進展シナリオ														
年平均変化率(%)					構成比(%)					(TWh)					年平均変化率(%)					構成比(%)				
1990/2022	2022/2030	2030/2050	2022/2050	1990	2022	2030	2050	2030	2035	2040	2045	2050	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2050							
0.8	1.1	1.3	1.2	100	100	100	100	8,738	9,491	10,279	11,527	12,608	1.5	1.9	1.7	100	100							
-1.6	-9.4	-6.7	-7.5	41	19	7.9	1.5	430	138	112	107	68	-14.3	-8.8	-10.4	4.9	0.5							
-4.8	-6.6	-3.9	-4.7	9.2	1.5	0.8	0.3	55	38	28	19	7.1	-8.8	-9.8	-9.5	0.6	0.1							
4.4	-0.5	1.5	0.9	11	33	29	30	2,327	2,018	1,575	1,303	733	-1.2	-5.6	-4.4	27	5.8							
-0.2	1.4	-1.1	-0.4	23	17	17	11	1,562	1,607	1,636	1,550	1,602	2.1	0.1	0.7	18	13							
0.3	1.2	0.2	0.5	13	11	11	8.7	921	938	951	961	970	1.3	0.3	0.6	11	7.7							
0.9	1.6	1.4	1.5	0.3	0.4	0.4	0.4	32	40	43	44	46	1.6	1.8	1.8	0.4	0.4							
30.8	14.9	4.0	7.0	0.0	5.2	14	24	1,359	1,934	2,486	3,264	4,058	16.4	5.6	8.6	16	32							
18.6	7.1	2.5	3.8	0.1	9.6	15	20	1,650	2,256	2,806	3,533	4,262	10.4	4.9	6.4	19	34							
3.7	0.4	0.3	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	4.0	4.3	4.5	4.7	4.9	0.9	1.0	1.0	0.0	0.0							
2.9	3.2	1.2	1.8	1.8	3.4	4.0	3.9	374	418	465	490	532	4.5	1.8	2.6	4.3	4.2							
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	-	-	75	150	226	302	n.a.	n.a.	n.a.	-	2.4							
0.6	0.0	0.0	0.0	0.3	0.3	0.3	0.2	24	24	24	24	24	0.0	0.0	0.0	0.3	0.2							

レファレンスシナリオ					技術進展シナリオ						
年平均変化率(%)					(MtCO ₂)						
1990/2022	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2035	2040	2045	2050	2022/2030	2030/2050	2022/2050
-0.3	-2.2	-1.2	-1.5	5,642	4,284	3,078	1,750	655	-3.7	-10.2	-8.4
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	77	297	560	n.a.	n.a.	n.a.

レファレンスシナリオ					技術進展シナリオ						
年平均変化率(%)					年平均変化率(%)						
1990/2022	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2035	2040	2045	2050	2022/2030	2030/2050	2022/2050
1.9	1.7	1.6	1.6	44,147	47,999	52,051	56,218	60,402	1.7	1.6	1.6
0.5	0.2	0.1	0.1	787	792	795	796	796	0.2	0.1	0.1
1.3	1.5	1.5	1.5	56	61	66	71	76	1.5	1.5	1.5
-0.4	-0.8	-0.5	-0.6	4.2	3.9	3.6	3.3	3.2	-1.3	-1.4	-1.4
-1.7	-2.3	-2.0	-2.1	75	64	55	47	42	-2.8	-2.9	-2.8
-2.1	-3.8	-2.7	-3.0	128	89	59	31	11	-5.3	-11.6	-9.8
-0.4	-1.5	-0.7	-1.0	1.7	1.4	1.1	0.7	0.3	-2.6	-9.0	-7.2

*3 toe/2015年価格100万ドル。*4 t/2015年価格100万ドル

付表48 | 新興・途上国

一次エネルギー消費	レファレンスシナリオ (石油換算100万t [Mtoe])									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
合計 ¹⁾	4,029	4,427	7,016	9,434	10,271	10,740	11,133	11,529	11,900	
石炭	1,133	1,201	2,543	3,395	3,172	3,069	2,923	2,822	2,706	
石油	1,208	1,337	1,872	2,369	2,563	2,668	2,797	2,921	3,022	
天然ガス	835	933	1,449	1,939	2,220	2,402	2,603	2,827	3,069	
原子力	62	79	113	231	344	395	428	457	488	
水力	85	114	185	264	295	315	335	354	373	
地熱	12	27	36	76	122	182	201	215	228	
太陽・風力等	0.5	2.1	17	185	514	657	799	902	1,005	
バイオマス・廃棄物	694	734	803	978	1,032	1,039	1,031	1,010	984	
水素	-	-	-	-	-0.2	-0.2	-0.2	-0.3	-0.3	

最終エネルギー消費	レファレンスシナリオ (Mtoe)									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
合計	2,918	3,067	4,710	6,116	6,898	7,221	7,541	7,838	8,123	
石炭	521	404	928	803	830	800	777	757	739	
石油	844	1,041	1,519	2,018	2,243	2,355	2,488	2,616	2,727	
天然ガス	367	388	629	925	1,069	1,116	1,158	1,190	1,214	
電力	281	372	728	1,282	1,628	1,836	2,038	2,242	2,462	
熱	288	196	209	302	349	347	338	326	313	
水素	-	-	-	-	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	
再生可能・廃棄物	616	665	696	787	778	767	741	708	668	
産業	970	959	1,833	2,271	2,630	2,754	2,852	2,909	2,948	
運輸	455	569	918	1,263	1,471	1,549	1,643	1,747	1,849	
民生・農業他	1,302	1,286	1,546	1,984	2,106	2,189	2,275	2,369	2,473	
非エネルギー消費	191	252	413	598	691	730	771	813	853	

発電量	レファレンスシナリオ (TWh)									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
合計	4,177	5,722	10,672	18,162	22,684	25,423	28,009	30,521	33,197	
石炭	1,301	2,158	4,862	8,155	7,335	7,171	6,800	6,636	6,451	
石油	656	648	694	641	527	484	437	389	329	
天然ガス	977	1,237	2,319	3,218	3,855	4,611	5,546	6,688	8,025	
原子力	236	303	432	885	1,321	1,515	1,644	1,756	1,874	
水力	985	1,326	2,154	3,069	3,428	3,668	3,895	4,116	4,337	
地熱	13	25	31	43	76	118	133	144	156	
太陽光	0.0	0.1	1.4	702	3,318	4,320	5,317	5,941	6,560	
風力	0.0	2.8	73	1,055	2,233	2,885	3,524	4,092	4,660	
太陽熱・海洋	0.0	0.0	0.0	5.8	7.4	7.4	7.4	7.5	7.6	
バイオマス・廃棄物	8.5	21	105	371	566	627	687	733	780	
水素	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
その他	-	0.5	1.1	17	17	17	17	17	17	

二酸化炭素[CO ₂]	レファレンスシナリオ (二酸化炭素換算100万t [MtCO ₂])									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
エネルギー起源CO ₂ 排出 ²⁾	9,117	10,062	17,480	22,453	22,560	22,800	22,971	23,356	23,660	
二酸化炭素除去[CDR]による排出回避量	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

エネルギー・経済指標他	レファレンスシナリオ									
	1990	2000	2010	2022	2030	2035	2040	2045	2050	
国内総生産[GDP] (2015年価格10億ドル)	8,709	12,429	22,482	36,976	50,228	60,639	72,820	86,659	101,806	
人口(100万人)	4,288	5,065	5,820	6,741	7,262	7,567	7,851	8,108	8,331	
一人当たりGDP (2015年価格1,000ドル/人)	2.0	2.5	3.9	5.5	6.9	8.0	9.3	11	12	
一人当たり一次エネルギー消費(toe/人)	0.9	0.9	1.2	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	
GDP当たり一次エネルギー消費 ³⁾	463	356	312	255	204	177	153	133	117	
GDP当たりエネルギー起源CO ₂ 排出量 ^{2),4)}	1,047	810	777	607	449	376	315	270	232	
一次エネルギー消費当たりCO ₂ 排出 ²⁾ (t/toe)	2.3	2.3	2.5	2.4	2.2	2.1	2.1	2.0	2.0	

*1 電力、熱の輸出入を掲載していないため、合計と内訳は必ずしも一致しない。

*2 二酸化炭素除去[CDR]による削減後の量

レファレンスシナリオ									技術進展シナリオ									
年平均変化率(%)				構成比(%)					(Mtoe)					年平均変化率(%)			構成比(%)	
1990/2022	2022/2030	2030/2050	2022/2050	1990	2022	2030	2050		2030	2035	2040	2045	2050	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2050
2.7	1.1	0.7	0.8	100	100	100	100		9,863	9,803	9,642	9,582	9,675	0.6	-0.1	0.1	100	100
3.5	-0.8	-0.8	-0.8	28	36	31	23		2,870	2,445	2,018	1,718	1,487	-2.1	-3.2	-2.9	29	15
2.1	1.0	0.8	0.9	30	25	25	25		2,380	2,276	2,138	1,968	1,799	0.1	-1.4	-1.0	24	19
2.7	1.7	1.6	1.7	21	21	22	26		2,162	2,238	2,259	2,305	2,369	1.4	0.5	0.7	22	24
4.2	5.1	1.8	2.7	1.5	2.4	3.4	4.1		412	532	652	750	858	7.5	3.7	4.8	4.2	8.9
3.6	1.4	1.2	1.2	2.1	2.8	2.9	3.1		308	338	371	405	443	2.0	1.8	1.9	3.1	4.6
5.9	6.1	3.2	4.0	0.3	0.8	1.2	1.9		123	201	237	268	298	6.2	4.5	5.0	1.2	3.1
20.3	13.6	3.4	6.2	0.0	2.0	5.0	8.4		609	854	1,115	1,384	1,684	16.0	5.2	8.2	6.2	17
1.1	0.7	-0.2	0.0	17	10	10	8.3		991	926	876	847	838	0.2	-0.8	-0.5	10	8.7
n.a.	n.a.	2.5	n.a.	-	-	-0.0	-0.0		-4.3	-28	-53	-93	-133	n.a.	18.8	n.a.	-0.0	-1.4

レファレンスシナリオ									技術進展シナリオ									
年平均変化率(%)				構成比(%)					(Mtoe)					年平均変化率(%)			構成比(%)	
1990/2022	2022/2030	2030/2050	2022/2050	1990	2022	2030	2050		2030	2035	2040	2045	2050	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2050
2.3	1.5	0.8	1.0	100	100	100	100		6,577	6,489	6,378	6,284	6,286	0.9	-0.2	0.1	100	100
1.4	0.4	-0.6	-0.3	18	13	12	9.1		757	661	582	526	487	-0.7	-2.2	-1.8	12	7.7
2.8	1.3	1.0	1.1	29	33	33	34		2,109	2,054	1,960	1,836	1,697	0.6	-1.1	-0.6	32	27
2.9	1.8	0.6	1.0	13	15	16	15		997	942	868	783	709	0.9	-1.7	-0.9	15	11
4.9	3.0	2.1	2.4	9.6	21	24	30		1,673	1,884	2,098	2,314	2,571	3.4	2.2	2.5	25	41
0.1	1.9	-0.6	0.1	9.9	4.9	5.1	3.9		322	307	288	271	255	0.8	-1.2	-0.6	4.9	4.1
n.a.	n.a.	2.1	n.a.	-	-	0.0	0.0		0.1	7.8	20	40	82	n.a.	43.3	n.a.	0.0	1.3
0.8	-0.1	-0.8	-0.6	21	13	11	8.2		719	633	562	514	485	-1.1	-1.9	-1.7	11	7.7
2.7	1.8	0.6	0.9	33	37	38	36		2,478	2,399	2,296	2,196	2,176	1.1	-0.6	-0.2	38	35
3.2	1.9	1.1	1.4	16	21	21	23		1,400	1,377	1,338	1,295	1,263	1.3	-0.5	0.0	21	20
1.3	0.7	0.8	0.8	45	32	31	30		2,008	1,985	1,974	1,981	1,995	0.2	0.0	0.0	31	32
3.6	1.8	1.1	1.3	6.5	9.8	10	10		691	729	771	812	852	1.8	1.1	1.3	11	14

レファレンスシナリオ									技術進展シナリオ									
年平均変化率(%)				構成比(%)					(TWh)					年平均変化率(%)			構成比(%)	
1990/2022	2022/2030	2030/2050	2022/2050	1990	2022	2030	2050		2030	2035	2040	2045	2050	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2050
4.7	2.8	1.9	2.2	100	100	100	100		23,402	26,668	29,964	34,116	39,271	3.2	2.6	2.8	100	100
5.9	-1.3	-0.6	-0.8	31	45	32	19		6,488	5,247	3,893	2,973	2,340	-2.8	-5.0	-4.4	28	6.0
-0.1	-2.4	-2.3	-2.4	16	3.5	2.3	1.0		417	318	240	187	181	-5.2	-4.1	-4.4	1.8	0.5
3.8	2.3	3.7	3.3	23	18	17	24		3,965	4,732	5,431	6,423	7,618	2.6	3.3	3.1	17	19
4.2	5.1	1.8	2.7	5.7	4.9	5.8	5.6		1,583	2,044	2,504	2,878	3,293	7.5	3.7	4.8	6.8	8.4
3.6	1.4	1.2	1.2	24	17	15	13		3,586	3,936	4,310	4,714	5,155	2.0	1.8	1.9	15	13
3.8	7.2	3.7	4.7	0.3	0.2	0.3	0.5		76	136	162	184	207	7.3	5.1	5.8	0.3	0.5
47.2	21.4	3.5	8.3	0.0	3.9	15	20		3,982	5,708	7,550	9,256	11,180	24.2	5.3	10.4	17	28
37.9	9.8	3.7	5.4	0.0	5.8	9.8	14		2,645	3,748	4,933	6,322	7,877	12.2	5.6	7.4	11	20
23.4	2.9	0.1	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0		8.0	11	13	18	24	4.1	5.7	5.2	0.0	0.1
12.5	5.4	1.6	2.7	0.2	2.0	2.5	2.3		633	707	781	854	927	6.9	1.9	3.3	2.7	2.4
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	-		-	66	131	291	450	n.a.	n.a.	n.a.	-	1.1
n.a.	0.0	0.0	0.0	-	0.1	0.1	0.1		17	17	17	17	17	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0

レファレンスシナリオ				技術進展シナリオ				
年平均変化率(%)				(MtCO ₂)				
1990/2022	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2035	2040	2045	2050
2.9	0.1	0.2	0.2	20,445	17,458	14,770	12,454	10,556
n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	62	146	242
				n.a.	n.a.	n.a.		

レファレンスシナリオ				技術進展シナリオ				
年平均変化率(%)				年平均変化率(%)				
1990/2022	2022/2030	2030/2050	2022/2050	2030	2035	2040	2045	2050
4.6	3.9	3.6	3.7	50,228	60,639	72,820	86,659	101,806
1.4	0.9	0.7	0.8	7,262	7,567	7,851	8,108	8,331
3.2	2.9	2.9	2.9	6.9	8.0	9.3	11	12
1.3	0.1	0.0	0.1	1.4	1.3	1.2	1.2	1.2
-1.8	-2.7	-2.8	-2.7	196	162	132	111	95
-1.7	-3.7	-3.2	-3.4	407	288	203	144	104
0.2	-1.0	-0.5	-0.6	2.1	1.8	1.5	1.3	1.1
				-1.7	-3.2	-2.7		

*3 toe/2015年価格100万ドル。*4 t/2015年価格100万ドル

スライド

第448回 定例研究報告会

IEEJ Outlook 2025

エネルギー・環境・経済

エネルギー転換を巡る不確実性にどう向き合うか

2024年10月18日, 東京

日本エネルギー経済研究所

IEEJ Outlook 2025

—エネルギー転換を巡る不確実性にどう向き合うか—

2050年までの世界エネルギー需給見通し

一般財団法人 日本エネルギー経済研究所

計量分析ユニット 主任研究員
遠藤 聖也

本報告のポイント

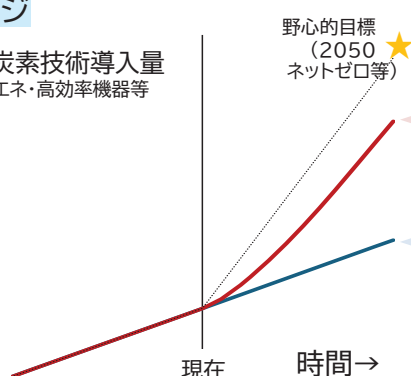
- ✓ 2050年まで、世界のエネルギー需給見通しを定量的に評価。
2つのシナリオを設けた。(レファレンス:趨勢維持 & 技術進展:最大限の気候変動対策)
- ✓ CO₂削減には、各部門の課題に応じてあらゆる技術を総動員する必要がある。
中でも①省エネと②再エネ(特に太陽光、風力)、長期的には③CCUSは特に大幅な寄与。
それぞれの導入見通しと、効果発現に向けた課題を整理。
- ✓ 化石燃料需要には大きな不確実性がある。安定供給の確保は、今後数十年にわたり欠かせない取り組み。

エネルギー需給シナリオの設定

- 2050年まで、世界全体のエネルギー需給見通しを作成。
 - ・ 最新のエネルギーや社会経済データを集積してモデル分析を実施。世界44地域+国際バンカーのエネルギー別需要、CO₂排出量などを推計。
- 2つのシナリオを設け、異なる技術や政策の進展度合いを想定。
 - ・ いずれも「●●であればどうなるか？」を推計するフォアキャスト型シナリオ。バックキャスト型シナリオ(目標達成のために「どうすべきか？」を逆算)とは違い、削減目標などは必ずしも達成されるとは限らない。

技術導入イメージ

↑低炭素技術導入量
*再エネ・高効率機器等



【技術進展シナリオ】

エネルギー安定供給の確保や気候変動対策の強化に向けた政策等が強力に実施され、
(適用機会や受容性を踏まえ)最大限に導入。

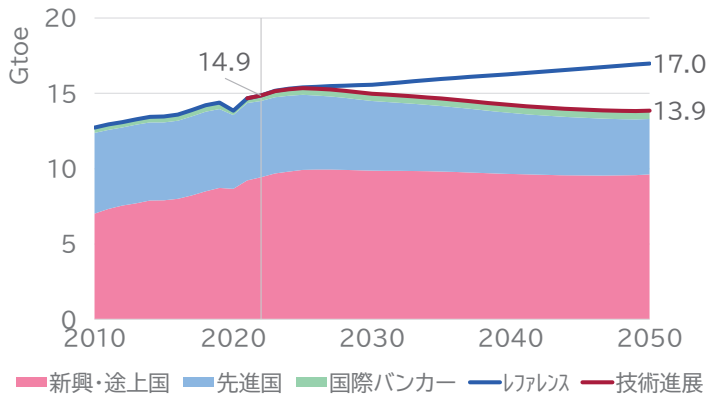
【レファレンスシナリオ】

現在までのエネルギー・環境政策等を背景とし、これまでの**趨勢的な変化**が継続。
※政策・技術等の現状固定を意味するものではない。

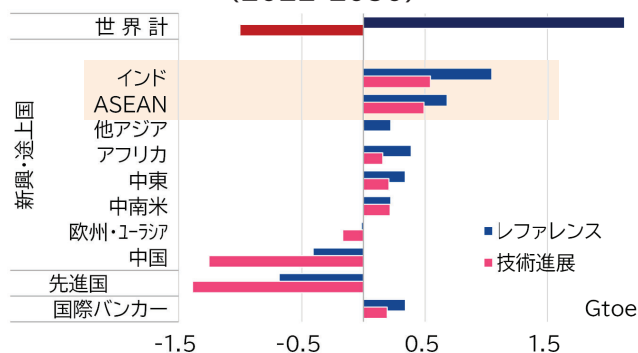
一次エネルギー需要:インド・ASEANが需要増加の中心に

- **レファレンス**: 2050年の一次エネルギー需要は、2022年から14%増加。
 - ・ 他方、実質GDPは現在の約2倍に成長。エネルギー効率の改善や産業構造の転換が需要増を抑制。
- **技術進展**: エネルギー効率の改善が加速し、一次需要は2030年までにピークを迎える。
- 需要増加の中心はインド・ASEAN。両シナリオで世界の需要を押し上げる。
 - ・ 地球規模の排出削減にはこの2地域、さらに他の新興・途上国を巻き込むことが欠かせない。

一次エネルギー需要の見通し(世界計)

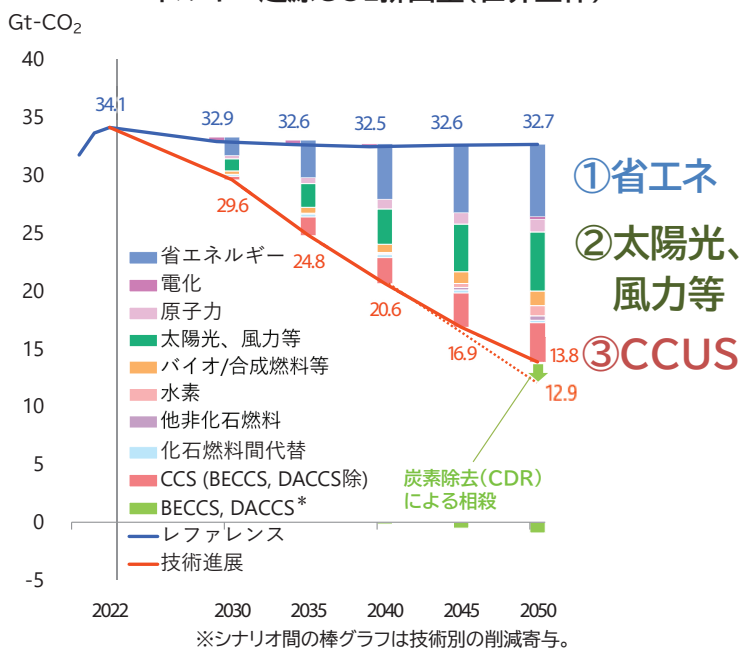


地域別内訳:一次エネルギー需要の増減 (2022-2050)



CO₂削減:短期的には省エネと再エネ、長期的にはCCUSも寄与

エネルギー起源CO₂排出量(世界全体)



● レファレンス

- エネルギー需要の増加が続く一方、再エネ拡大、各需要部門の天然ガス利用・電化が排出を抑制。

● 技術進展

- 主に①省エネ、②太陽光、風力等、③CCUSがCO₂排出削減に大きく寄与。

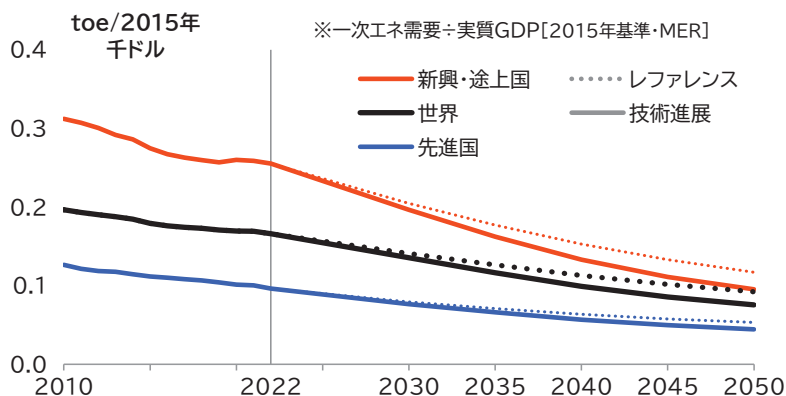
- 前者2つは2030年から大幅に貢献、CCUSは2040年以降に導入拡大。
 - 炭素除去(BECCS, DACCS)により、残余排出の一部を相殺。

- 「2050年ネットゼロ」との間にはなお排出量の隔たり。特に新興・途上国、非発電部門の排出削減が難題として残る。

*本来エネルギー起源CO₂には該当しないが、参考として相殺効果を掲載。

①省エネルギー：2030年以降・特に新興途上国で大きく加速

一次エネルギー需要原単位



一次エネルギー需要原単位の年平均改善率(世界全体)

		2010-2022	2022-2030	2030-2040	2040-2050
一次需要/GDP	レファレンス	-1.4%	-2.0%	-2.2%	-2.0%
	技術進展	(実績)	-2.5%	-3.1%	-2.7%
(参考) 最終需要/GDP	レファレンス	-1.5%	-1.7%	-2.1%	-2.0%
	技術進展	(実績)	-2.2%	-3.3%	-2.8%

レファレンス

- 一次エネルギー需要原単位は、過去実績を超えるペース(2.0%/年以上)で改善が進む。

- 需要側では直近数年の進展(ハイブリッド車など)が原単位改善を押し進める。

※ 需要側の効率改善に加え、再エネ導入や産業構造転換(製造業からサービス業のシフト)も一次需要ベースの原単位改善の要因。

技術進展

- 2050年には、現在(2022年)から原単位が半減。特に2030~2040年の省エネが大きく加速。

- 政策強化から機器導入、効率改善にはタイムラグがある。2030年までの改善率はそれ以降と比べ限定的。

- 新興・途上国で特に大幅な改善。(2022年比-63%)

- 比較的安価な削減が可能。ただし法制度や基準の整備、先進国からの技術移転が前提。

①省エネルギー：地域・経済水準により異なる重点

世界規模では、運輸・産業・民生他のいずれの部門にも大幅な節減ポテンシャルが存在。特に効果の大きい部門は地域によって異なる。

- 先進国では幅広い分野で省エネ。

中でも運輸の節減がやや大きい。次世代車(電気自動車・ハイブリッド車等)の燃費が従来車に比べ大きく優ることから、導入進展による省エネ効果が大きい。

- 新興国(特に中国・インド・ASEAN)は産業を中心に節減。

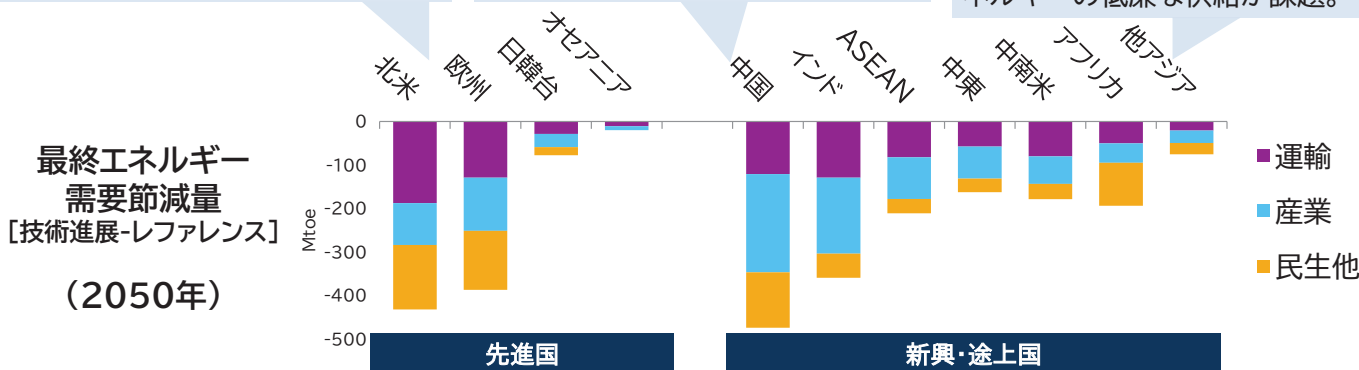
産業生産が既に大きい中国、今後拡大が見込まれるインドやASEANは特に産業の効率改善が有効。

例)鉄鋼生産における次世代型コークス炉・副生ガス活用等、セメント生産における廃熱利用、焼成温度低減等。

- 途上国(アフリカ・他アジアの一部)は民生他で大幅な節減。

主に家庭で従来型バイオマス(薪など)からLPGや都市ガス、長期的には電力等へ燃料転換。

機器普及に向けた資金や近代的エネルギーの低廉な供給が課題。



①省エネルギー：効率改善は遅れて発現する

● 省エネ施策の実行から、効果の発現にはタイムラグがある。

- 技術進展の政策強化による原単位の改善は、特に2030年以降に色濃く表れる。

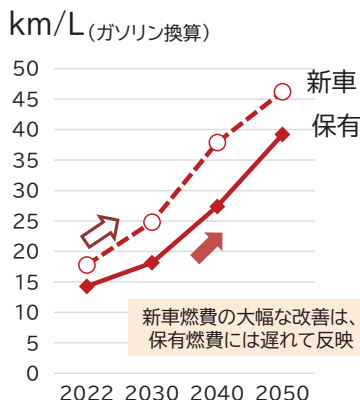
● フロー効率(新規設備)の改善はストック効率(保有設備)には遅れて反映される。

- 特に、設備の使用年数が長い産業部門ではこの傾向が強い。
- 2050年までに大幅な省エネを目指すのであれば、早期の取り組みが必要となる。

一次エネルギー需要原単位の年平均改善率(世界全体)

		2010-2022	2022-2030	2030-2040	2040-2050
一次需要/GDP [2015年基準・MER]	レファレンス	-1.4%	-2.0%	-2.2%	-2.0%
	技術進展	(実績)	-2.5%	-3.1%	-2.7%

乗用車平均燃費
(技術進展シナリオ・世界平均)

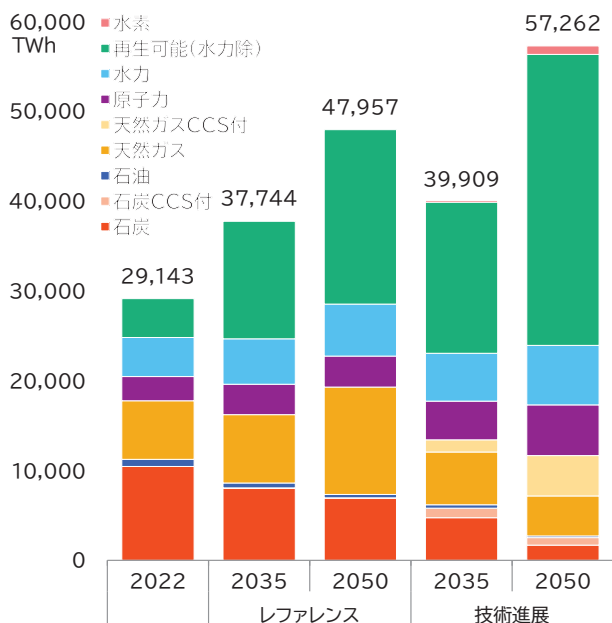


消費設備・発電設備の平均的な使用年数(一例)

部門	設備	使用年数(年)
産業	高炉	10~25
	ボイラー	20~40
民生他	冷暖房	10~20
	住宅	30~
運輸	乗用車	10~15
	航空機	20~30
発電	火力発電	25~40
	太陽光発電	15~30

②再エネ：技術進展で全体の約6割。発電量全体が大きく増加

発電電力量(世界全体)



● レファレンスで2022年の1.6倍、技術進展で2.0倍の発電量が必要(2050年)。

- いずれの場合でも電力需要の大幅な増加は避けられない。
- 特に新興途上国において大きく増加。発電設備、送電網の拡張が急務。

● 技術進展では「再生可能(水力除)」が大きく増加し電源の6割近くを占める。

- この大部分は太陽光・風力。この規模の導入は、抜本的な出力変動への対策が前提。

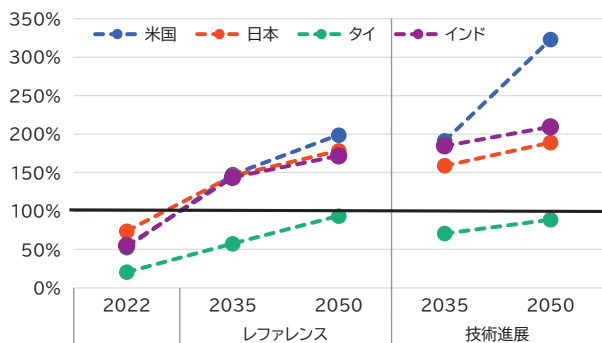
● 原子力は特に新興・途上国で利用拡大。この実現には、技術協力、法整備、人材育成を要する。

②再エネ:大量導入によって、大幅な電力需給ギャップが発生

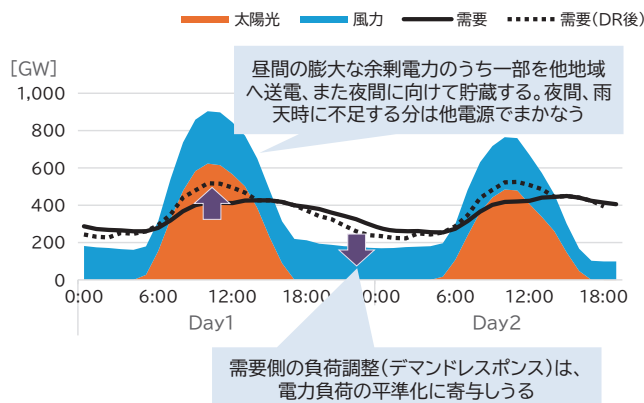
● **技術進展**のような大幅な変動再エネ(太陽光、風力)の導入が進んだ場合、多くの地域では変動再エネ導入量が年平均負荷の**2倍かそれ以上**となり、時間によって出力の大幅な超過や不足が生じる。

- 地域によっては既存の揚水や火力に加え、大規模な蓄電設備の増設、送電網の拡張、デマンドレスポンスの活用やCO₂排出対策を施した火力などの需給調整手段が必要になる可能性がある。

変動再エネ導入量の
年平均の発電負荷[GW]に対する比率

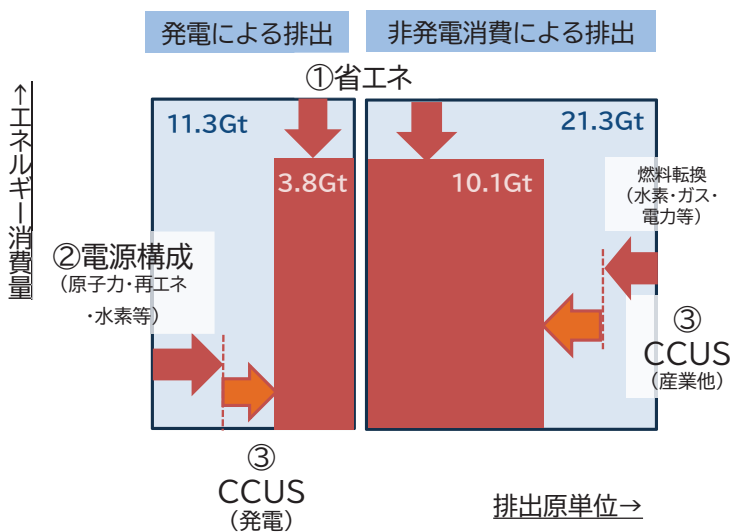


太陽光、風力の出力と電力需要のギャップ(対策イメージ)
[技術進展・インド・2050年(8月)]



③CCUS:削減難易度の高い非発電消費からの排出を抑制

CO₂排出量削減のイメージ



CO ₂ 排出量 (2050年)	レファレンス	32.7Gt
	技術進展	13.8Gt*

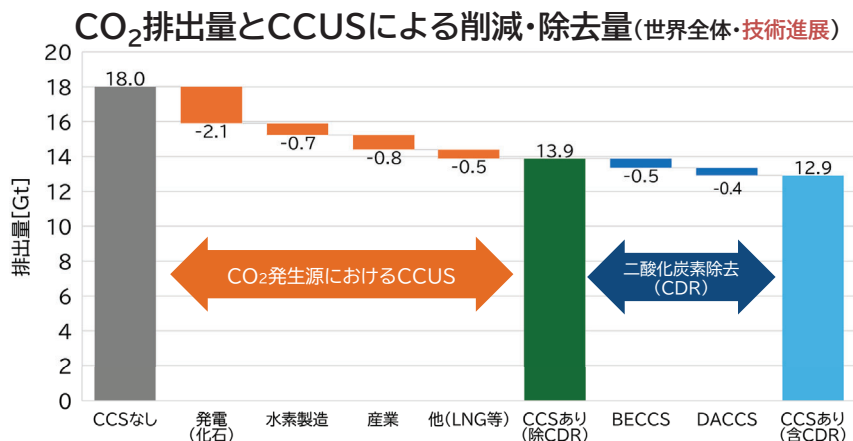
*CDRIによる相殺効果を除いた排出量。相殺後は12.9Gt。

- エネルギー消費量(縦軸)は、発電・非発電消費ともに①省エネで節減する余地がある。
- 排出原単位(横軸)について、発電では②電源構成の変更で大幅に抑制可能だが、非発電消費で軽減する難易度は高い。
- ③CCUSは発電のみならず、非発電消費からの排出の削減に効力を発揮。

※排出削減の概略を模式的に示したものであり、矢印や四角形の幅は各シナリオにおける数値とは厳密には一致しない。

③CCUS:産業・発電で大きな導入可能性[技術進展シナリオ]

- **技術進展**において、CCUSは2050年時点で合計5.1Gt-CO₂の導入が見込まれる。
 - ・ CO₂発生源におけるCCUSについては、発電部門の削減ポテンシャルが大きい。
 - ・ 産業部門の中で、製鉄やセメントなど電化による排出削減の余地が限定的な分野において、今後の主要な脱炭素化手段となる。
 - ・ 炭素除去(本アウトLOOKではBECCS,DACCS*)はそれらに比べ高コストが見込まれるが、CCUSを組み込まない分野(民生他・運輸等)の残余排出に対する相殺効果が期待される。



追加的削減、除去オプション

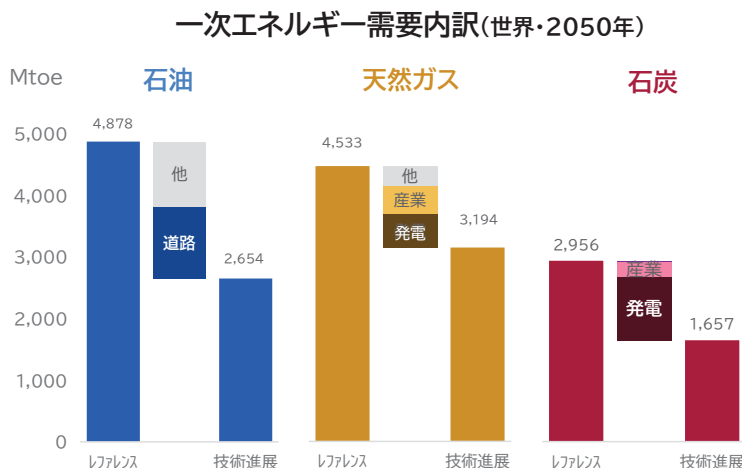
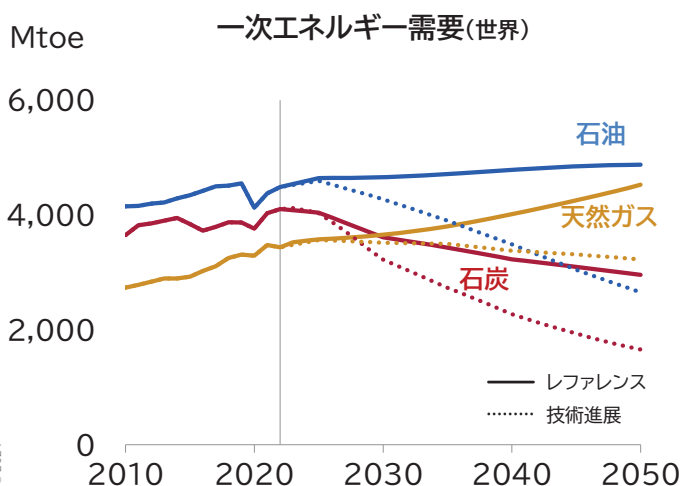
- ・ 各種CCUSの深掘り
- ・ 自然ベースの炭素除去
例)森林・農地等の土地利用
ブルーカーボン等

*BECCS:バイオマスエネルギーとCCSの併用。DACCS:大気中CO₂の直接回収。いずれも大気中CO₂を直接減少させるネガティブエミッション技術に該当。

化石燃料需要は不確実:シナリオ間で大きな幅

- **レファレンス**、**技術進展**の間に世界の化石燃料需要は大きな差が生じる。エネルギー転換に向けた取り組みを進めつつも、化石燃料安定供給への備えが必要。

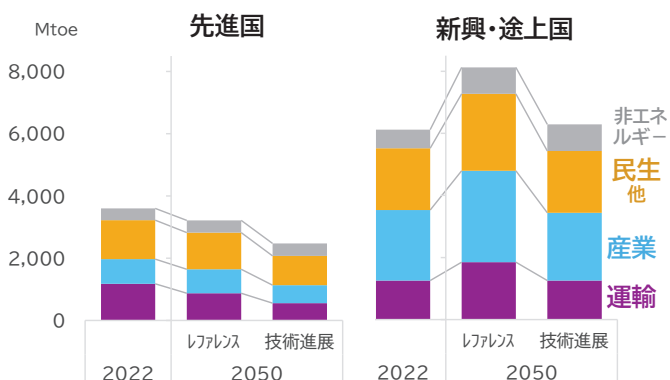
- ・ 石油は最も需要差が大きい燃料であり、その過半が道路に起因。電気自動車シフトに加え、ハイブリッド車の導入や内燃機関車の効率改善に不確実性。
- ・ 天然ガスと石炭需要の差は、いずれも発電と産業が主要因。



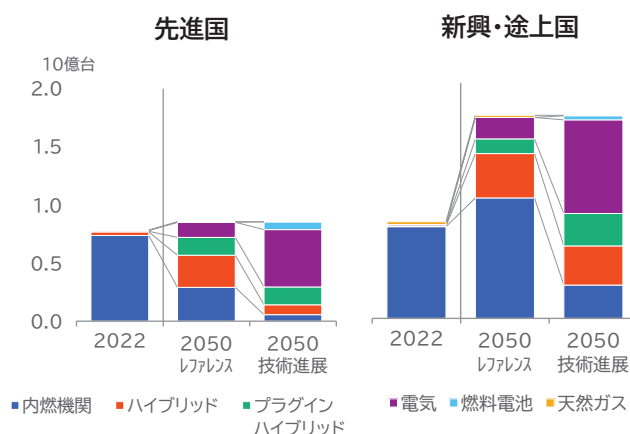
最終需要：運輸(中でも道路)の趨勢は大きく分かれる

- [レファレンス]運輸部門の需要は先進国で減少する一方、新興・途上国では大きく伸びる。
 - 新興・途上国では所得増加による乗用車の普及が大きく進み、2050年の自動車保有台数は2022年の倍以上となる。この燃費改善とパワートレイン選択によって、石油の最終需要は大きく異なる。
- [技術進展]新興・途上国の需要は足元横ばい。運輸、中でも道路で効率改善が進む。
 - 電気自動車が大規模導入される一方、内燃機関車やハイブリッド車も特に新興・途上国では一定数存在。電源構成や航続距離、乗車頻度等に応じた車種選択が重要。

最終エネルギー需要(部門別)



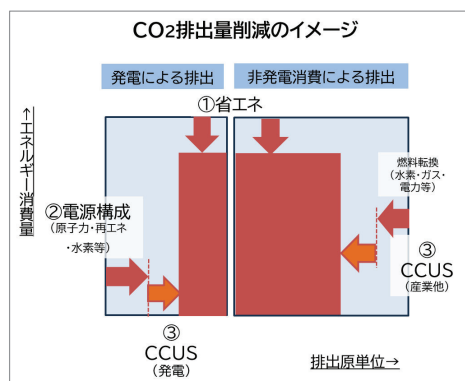
自動車保有台数(パワートレイン別)



IEE © 2024

まとめ

- ✓ CO₂削減には、主に①省エネと②再エネ、長期的には③CCUSが特に大幅な寄与。**[技術進展シナリオ]**
 - 省エネの深掘りにより6.2Gt-CO₂に相当する削減効果が見込まれる。効果発現にはタイムラグがあり早期取組みが必須。
 - 再エネ(水力除く)は**技術進展**で総発電量の60%程度を占め、変動再エネ導入量が年平均負荷の2倍以上となる。
 - CCUSは発電や産業など大規模排出源からの排出を削減する有望な手段。**技術進展**で5.1Gt-CO₂/年の回収。(炭素除去含む)
- ✓ **一次需要、発電量の動向**[両シナリオ共通]
 - **インド、ASEANでは一次エネルギー需要が著しく増加。**国際的な気候変動対策は、これらの地域を巻き込んで進めることが不可欠。
 - 発電量(世界全体・2050年)は2022年の1.6倍(レファレンス)、2.0倍(技術進展)でいずれも大きく増加する。
- ✓ **化石燃料需要には大きな不確実性。**
 - エネルギー需給に関する現状の趨勢が継続した場合、ガスや石油の需要は2050年まで増え続ける可能性。
 - 石油需要は道路、ガスや石炭は産業、発電におけるエネルギー転換が不確実性の主要因。
 - 燃料の安定供給確保は、2050年まで重要な取り組み。必要十分な投資の継続が欠かせない。



IEE © 2024

IEEJ Outlook 2025 エネルギー安全保障のリスクシナリオ

一般財団法人日本エネルギー経済研究所

資源・燃料・エネルギー安全保障ユニット
久谷 一郎

1. 化石燃料過少投資のリスク
2. 深刻化・多様化する地政学リスク
3. 電力供給不安定化のリスク
4. 重要鉱物供給のリスク
5. エネルギー転換に伴うサイバー攻撃リスクの増大

資料作成

資源・燃料・エネルギー安全保障ユニット 研究主幹 森川哲男（1）
研究戦略ユニット 研究主幹 小林良和（2）（5）
電力ユニット 研究主幹 大西健一（3）

本報告のポイント

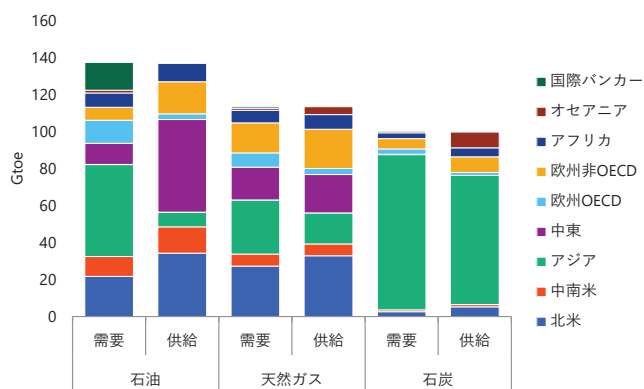
- 化石燃料過少投資のリスク
 - ✓ IEEJアウトルックのレファレンスシナリオでは、2050年時点でも化石燃料は世界のエネルギー需要の73%を賄う。追加投資がなければ2050年の石油・天然ガス生産量は現状の約10分の1にまで激減する。現実の世界における化石燃料需要とは大きなギャップが生じる。
- 深刻化・多様化する地政学リスク
 - ✓ 日本の原油輸入の中東依存度が高まるなか、日本にとっての中東地域の地政学的リスクはさらに深刻なものとなっている。近年は先進国の政策変更もリスク要因になっている。
- 電力供給不安定化のリスク
 - ✓ 電力供給には需給両面で様々なリスクがある。安定供給に向けては、火力燃料調達や原子力などベースロード電源の確保等、供給力の確保、電力システムの最適化という方向で対応を進める必要がある。また、安定供給のためのベストミックスの追求も不可欠。
- 重要鉱物供給のリスク
 - ✓ 脱炭素技術の製造能力やクリーンエネルギー投資のための原材料として不可欠な重要鉱物のなかには市場集中度の高いものがあり、エネルギー転換を進めるうえでの新たなリスクとなっている。リスクの所在や程度の異なる様々な技術を組み合わせることによって、リスクの軽減が可能。
- エネルギー転換に伴うサイバー攻撃リスクの増大
 - ✓ 世界では重大なサイバー攻撃事象の数が大きく増えている。基盤インフラであるエネルギーに対するサイバー攻撃はエネルギー安全保障における重要課題となる。

化石燃料過少投資のリスク

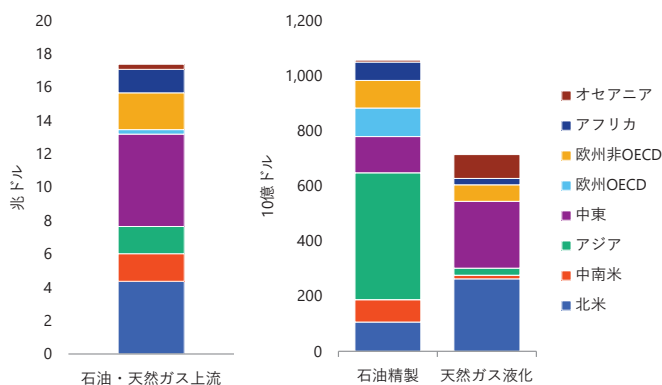
化石燃料過少投資：需給と投資額

- レファレンスシナリオにおいて、2050年時点でも化石燃料は世界のエネルギー需要の73%を賄う。
- 需要地域ではアジア、供給地域では中東・北米（石油・天然ガス）、アジア（石炭）のシェアが高い。
- これらの地域を中心として、安定的な投資が化石燃料の安定供給にとって死活的に重要。
- 省エネの深堀等による化石燃料需要抑制効果はあるが、気候変動対策の余波等で投資が進まなければ化石燃料需給は逼迫する可能性が高い。

化石燃料需給



主要な化石燃料投資額



いずれも2022-2050年累計・レファレンスシナリオ
Source: IEEJ

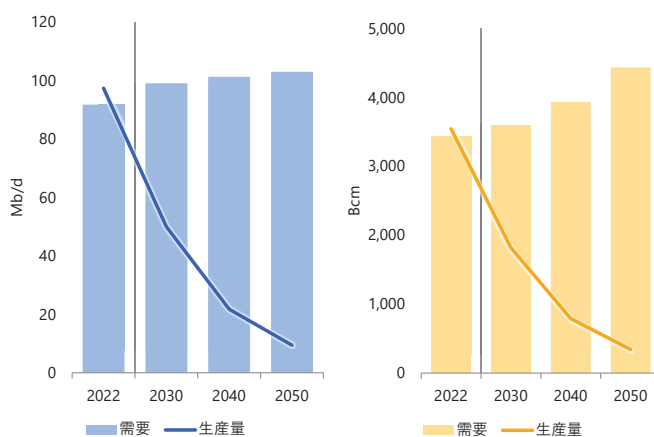
化石燃料過少投資：高まるプロジェクト投資へのハードル

- 現在のところ過少投資は深刻ではないが、気候変動懸念・脱炭素政策が影響し投資が進まないリスクが顕在化。
- 追加投資をしなければ、2050年の石油・天然ガス生産量は約1/10に。

化石燃料プロジェクトへの逆風

石油	天然ガス	石炭
金融機関・年金基金等による化石燃料開発・石炭火力プロジェクト投資制限		
IOCによる上流資産売却 (2015-2023年で2,900億ドル)		石炭メジャー 一般炭資産売却
欧州：2030年までに 精製能力が100-150 万b/d減少する可能性	環境負荷が高い LNGプロジェクト開発 の頓挫 (例：尼Natuna)	OECD諸国での実質的 な新規石炭火力禁止

追加投資がない場合の石油・天然ガス生産量と
レファレンスシナリオでの需要見通し



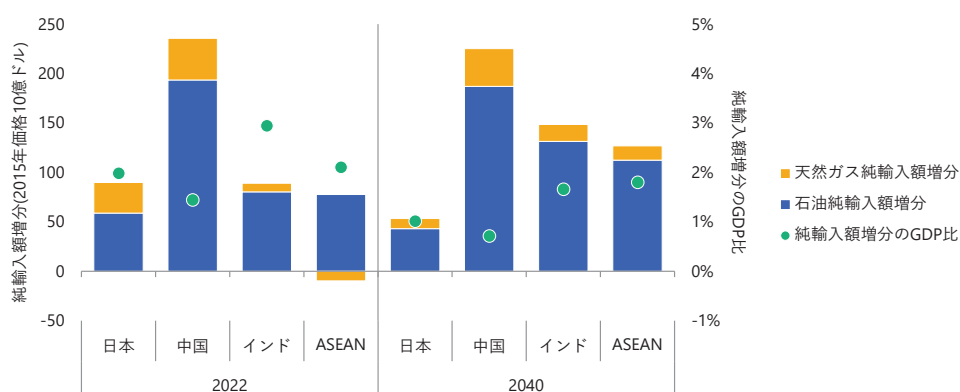
Source: IEEJ, IEA, Bloomberg

Source: IEEJ

化石燃料過少投資：価格高騰による経済への影響

- 需給逼迫は価格上昇につながる。2021年平均のBrent価格は前年比で7割上昇したが、パンデミック収束による需要回復だけではなくパンデミック期における上流投資不足も価格上昇をもたらしたとされている。
- 価格50%上昇の場合、アジア輸入国のGDPに占める石油・天然ガス輸入額のシェアは1~3%ポイント上昇。インドやASEANでの上昇が相対的に大きく、経済への影響がより懸念される。

原油および天然ガス価格上昇が輸入額に与える影響



過少投資による需給逼迫で、石油・天然ガス輸入価格が実績（2022年）あるいは想定（2040年）より50%上昇すると想定
Source: IEEJ

深刻化・多様化する地政学リスク

多様化するエネルギー安全保障上の地政学的リスク

- 地政学的リスクは、引き続きエネルギー安全保障における大きな懸念材料であり続ける。
- 資源輸出国・地域の政情不安定化リスクに加えて、近年は先進国の政策変更もリスク要因に。

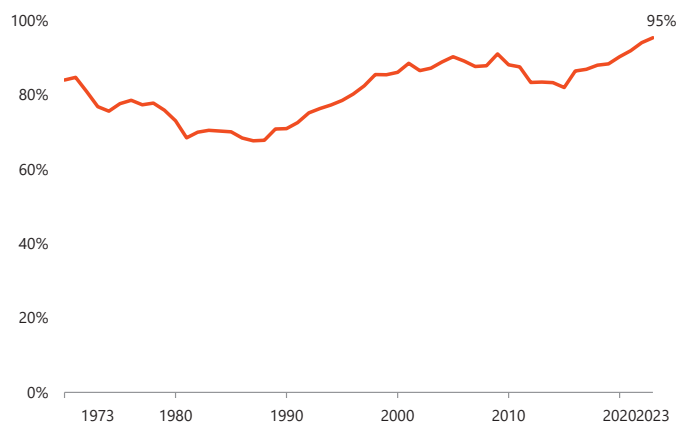
日本のエネルギー供給をめぐる主な地政学的リスク要因



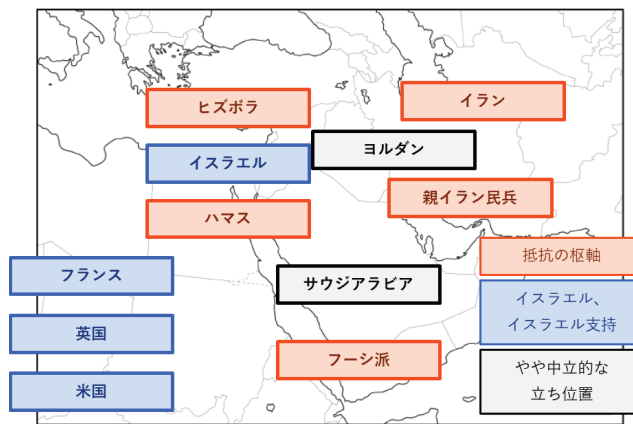
深刻さを増す中東地域における地政学的リスク

- 原油輸入の中東依存度が高まるなか、ガザ情勢の深刻化やイラン・イスラエル間の対立の深化等によって、日本にとっての中東地域の地政学的リスクはさらに深刻なものとなっている。
- 特にイラン・イスラエル関係の悪化は、パレスチナ情勢とペルシャ湾岸におけるエネルギー供給を連動させる要因となりうるため、その動向がもたらす影響は非常に大きい。

日本の原油輸入における中東依存度



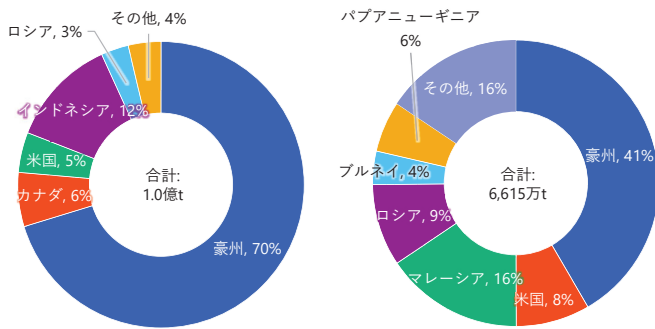
イスラエルとイランを中心とする「抵抗の枢軸」



先進国の政策変更リスク

- 石炭やLNGの輸入は先進国への依存度が高い（石炭で81%、LNGで50%：2023年）。
- 米国や豪州では、国内の気候変動問題への関心を反映して、国内資源の開発や輸出に制限を加えるような政策が導入されており、市場安定化にとっての課題となる懸念がある。

日本の石炭（左）・LNG（右）の輸入源（2023年）



最近の米国・豪州によるLNG輸出に影響を及ぼす可能性のある政策

米国	<ul style="list-style-type: none"> 2024年1月、米国バイデン政権が、世界的な気候危機への対応策の一環として、非FTA締結国向けの新規LNGプロジェクトに対する輸出認可申請の審査と承認を一時停止することを発表。
豪州	<ul style="list-style-type: none"> 2022年10月、国内ガス需給ひっ迫時にガス輸出を制限する豪州国内長期ガスセキュリティメカニズム (ADGSM) を改正。モニタリング頻度を増加。 2023年7月、LNG液化施設や石炭生産施設を含む指定大規模排出源からのGHG排出量を同月から毎年4.9%ずつ削減することを義務付け。新規LNG施設は稼働開始時からネットゼロ排出とするよう要求。

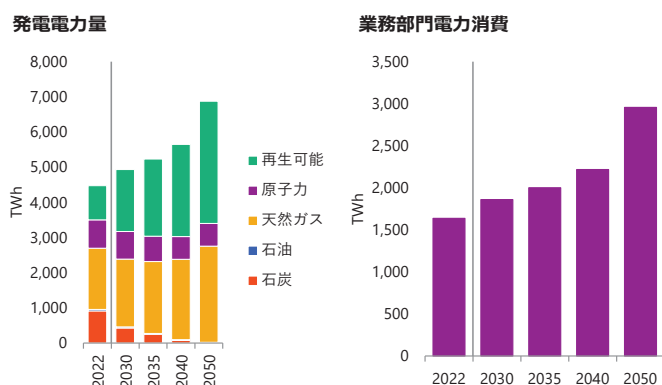
Source : 日本貿易月表

電力供給不安定化のリスク

電力需要の増加や自然変動再エネの導入拡大

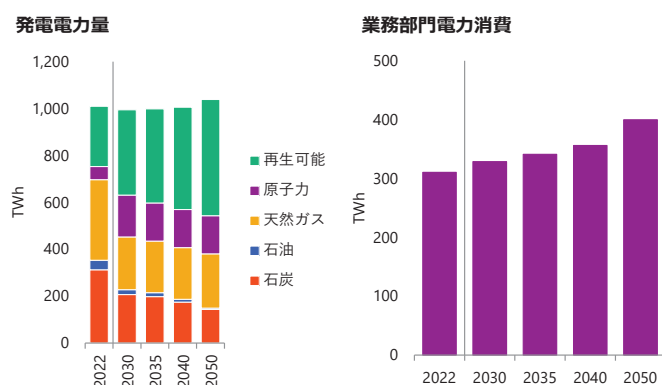
- デジタル化と電力化の進展で、社会の電力依存度が飛躍的に高まっている。特に電気自動車の普及やデータセンターの拡大により、電力需要が増加している。
- カーボンニュートラルへの移行で、再エネ電源の導入が進んでいる。太陽光や風力などの自然変動再エネ電源は、天候や季節で発電出力が変動する特性がある。

米国の電力需給（技術進展シナリオ）



Source : IEEJ

日本の電力需給（技術進展シナリオ）



Source : IEEJ

電力安定供給に係るリスクとその課題・対策

- 電力安定供給を維持していくために考慮しておくべきリスクとしては、電力供給面では、化石燃料の供給減少リスク、化石燃料の価格変動リスク、地政学リスク、再エネ電源の出力変動リスク等が考えられる。電力需要面では、電力需要の増加リスク、電力需要施設の偏在化リスク等が考えられる。
- これらのリスクに対しては、化石燃料調達やベースロード電源の確保、供給力の確保、電力システムの最適化という方向で対応が可能である。

電力安定供給に係るリスクとその課題・対策

リスク	課題	対策
<ul style="list-style-type: none"> ● 化石燃料の供給減少リスク ● 化石燃料の価格変動リスク ● 地政学的リスク ● 再エネ電源の出力変動リスク 	<ul style="list-style-type: none"> ● 化石燃料調達 ● ベースロード電源の確保 	<ul style="list-style-type: none"> ● 発電事業者と需要家とのPPA締結時の長期燃料調達の付記 ● 需要施設による原子力や地熱等の安定電源の調達
<ul style="list-style-type: none"> ● 電力需要の増加リスク 	<ul style="list-style-type: none"> ● 供給力の確保 	<ul style="list-style-type: none"> ● 電源新設の支援制度の導入 ● 需要施設側でのバックアップ発電設備の保有
<ul style="list-style-type: none"> ● 電力需要施設の偏在リスク 	<ul style="list-style-type: none"> ● 電力システムの最適化 	<ul style="list-style-type: none"> ● 需要施設の電源近接立地 ● 需要施設へのウェルカムゾーンの公表 ● 送電線のダイナミック・ライン・レーティングの導入

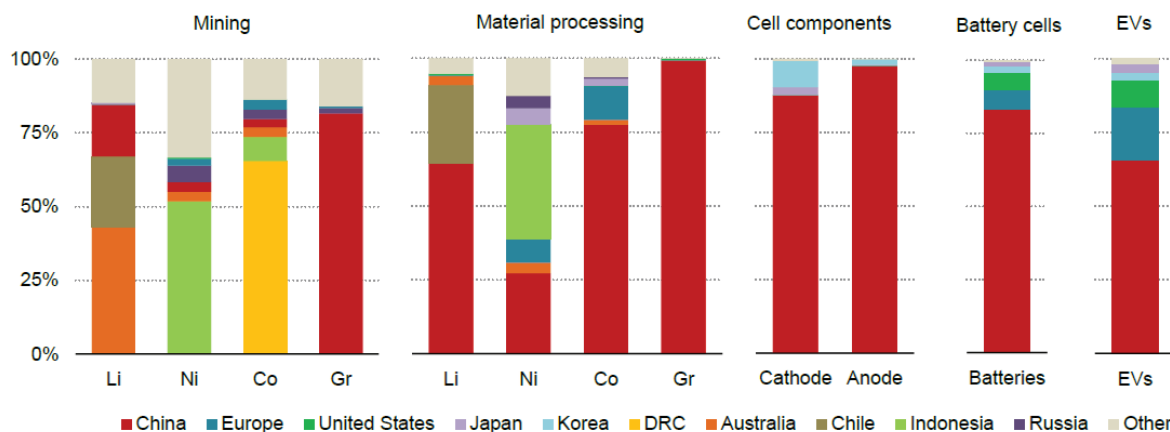
Source : IEEJ

重要鉱物供給のリスク

クリーン投資のリスク

- 脱炭素技術の製造能力やクリーンエネルギー投資の原材料として不可欠な重要鉱物の供給には市場集中度の高いものがあり、エネルギー転換を進めるうえでの新たなリスクとして認識されるようになっている。
- 脱炭素対策の進展によって脱炭素技術や重要鉱物の需要が今後増していくと考えられ、従って供給支障が起こった場合の影響（供給不足のリスク、価格高騰のリスク）も大きくなる。

電気自動車用蓄電池サプライチェーンの国別シェア

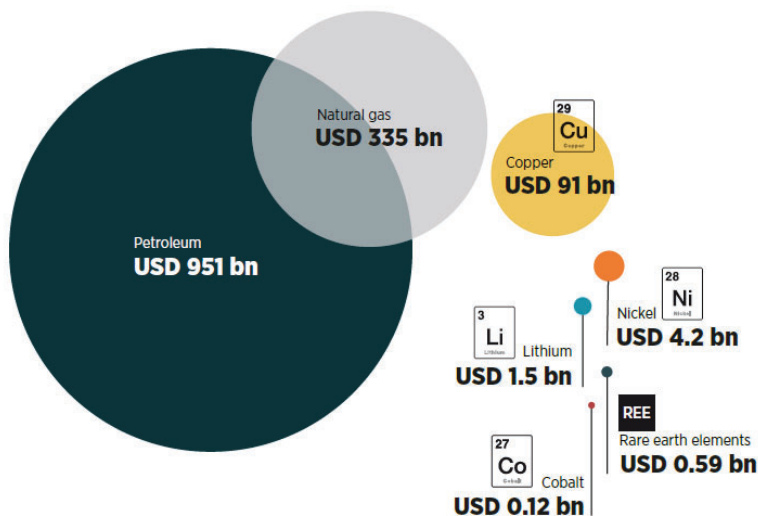


Li = lithium, Ni = nickel, Co = cobalt, Gr = graphite
Source: IEA (2024) "Global Critical Minerals Outlook 2024"

重要鉱物安定供給の課題

- 重要鉱物の市場は小さく未成熟なため、市場支配力の行使や需給の不均衡、それらに伴う価格の乱高下が起こり易い。
- 製錬はエネルギー多消費かつ高環境負荷であることから、先進国が競争力を維持するのは容易でない。
- 戦略物資である重要鉱物の安定供給確保を巡る国際競争が激化していることや、資源ナショナリズムの高揚にも留意する必要。
- 技術革新の可能性から、クリーン技術の将来需要には高い不確実性。
- 新たな資源開発には長いリードタイムを要することが、供給源多角化に向けた投資を難しくしている。
- こうした課題を乗り越えて安定供給を実現するためには、1) 政策の一貫性と、2) 需給が歩調を合わせた開発、が必要。

代表的な資源の輸出額（2021年）



Source: (UN COMTRADE database).

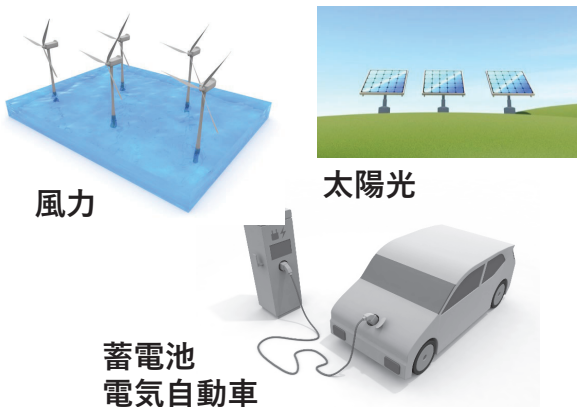
Note: Numbers represent trade in raw, unprocessed fuels and ores only.

Source: IRENA (2023) "Geopolitics of energy transition, Critical Minerals"

リスクを踏まえた技術のミックス

- 供給国の集中度が高い脱炭素技術だけでなく、リスクの所在や程度の異なる様々な技術を組み合わせることによって、リスクの軽減が可能。
- それら技術の開発と市場創出が必要。

供給国の集中度が高い脱炭素技術



供給国の集中度が低い脱炭素技術

- CCS火力
- 水素、アンモニア火力
- 原子力発電
- 合成メタンの都市ガス利用
- カーボンニュートラル燃料(バイオ燃料、合成燃料)を利用したICEV、HEV、PHEV

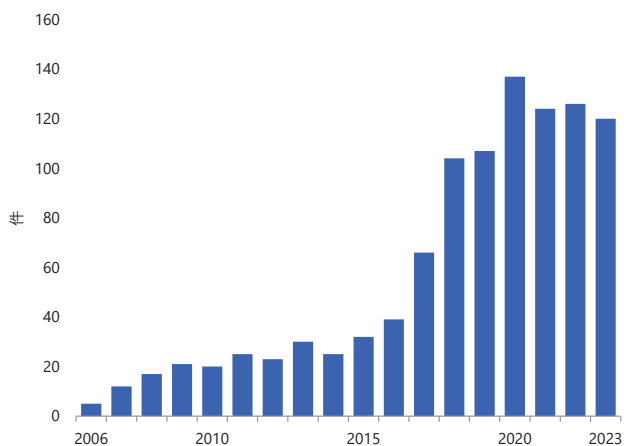
ICEV = internal combustion engine vehicle, HEV = hybrid vehicle, PHEV = plug-in hybrid vehicle
Source: IEEJ

エネルギー転換に伴うサイバー攻撃リスクの増大

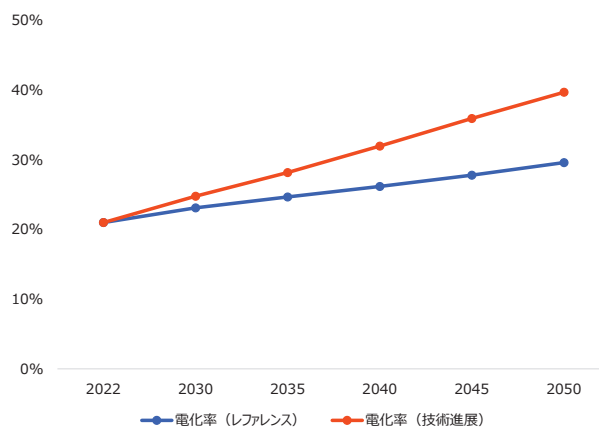
高まるエネルギー供給に対するサイバーリスク

- 2010年半ば以降、重大なサイバー攻撃事象の数が大きく増加。
- エネルギー転換に伴う電力化やデジタル化、ネットワーク接続の進展が、サイバー攻撃の機会を創出する結果となっており、今後もその傾向が続くことが予想される。

世界の重大サイバー攻撃事象数の推移



世界の最終エネルギー需要の電力化率の見通し



*政府、防衛、ハイテク部門を対象としているか被害額が100万ドルを超える攻撃
Source : IEA (2020)、CSIS (2024) を基にIEEJ作成

Source : IEEJ

エネルギー転換に伴うサイバー脆弱性の増大

- エネルギー転換の進展に伴い、エネルギー供給・貯蔵・利用の各部門においてサイバー攻撃への脆弱性が高まり、潜在的なリスク要因としての重大性が高まる。

エネルギー転換に伴うサイバー脆弱性の増大

エネルギー供給部門	エネルギー貯蔵部門	エネルギー利用部門
<ul style="list-style-type: none"> ● 操業管理システムの高度化 <ul style="list-style-type: none"> - エネルギー関連設備における操業管理システム (OT) が情報システム (IT) と統合されインターネットに接続 - クラウドサービスの利用増加や操業管理機能の自動化により攻撃時の影響が増大 ● 分散型電源の普及に伴う事業者の増加とその多様化 <ul style="list-style-type: none"> - 電力サプライチェーン全体における攻撃ポイントの増加と防御体制構築の難化 	<ul style="list-style-type: none"> ● 蓄電池への依存度の増大 <ul style="list-style-type: none"> - インターネットに接続された蓄電池の管理システム (BMS) の採用により、サイバー攻撃による蓄電池の運用 (蓄電・放電) に影響が生じる可能性 	<ul style="list-style-type: none"> ● EVの増加 <ul style="list-style-type: none"> - EVは多様なサービス提供のため相互にインターネットに接続 - 充電ポイントを介して住居のエネルギー利用機器を制御するシステムに侵入される可能性 ● スマート住居と建物のIoT化 <ul style="list-style-type: none"> - 住居内の電力使用や温度管理などのデータ収集とエネルギー利用機器を制御するシステムの導入によりサイバー攻撃の攻撃ポイントとなる可能性

BMS = battery management system, IoT = internet of things
 Source : Dawda, Herath, and Maccall (2022) を基にIEEJ作成

サイバー攻撃のシナリオ

- サイバー攻撃には多様なパターンが存在し、その実施主体や目的、攻撃対象も様々。
- ウクライナの情勢などを鑑みると、地政学リスクとの関わりも見逃せず、エネルギー供給への脅威という形でのサイバー攻撃の武器化の可能性にも留意。

エネルギー資産に対するサイバー攻撃のパターン

攻撃のパターン	攻撃の手法	具体的事例
マルウェアによる遠隔操作やシステム機能不全	マルウェア (悪意のあるソフトウェア) を攻撃対象の社内ネットワークに送り込むことで、外部から 攻撃対象のエネルギー供給施設を遠隔操作 し、実際のエネルギー供給に影響を及ぼしたり、 攻撃対象のPCやネットワークの機能不全 を引き起こす。国家主体による攻撃のパターンあり。	2022年のドイツ風力発電企業、2022年のイタリアエネルギー庁への攻撃、2015年のウクライナ電力網への攻撃など
ランサムウェアによる身代金の確保	マルウェアを攻撃対象の社内ネットワークに送り込むまでは上記と一緒。その後、攻撃対象の 内部データを暗号化 し、攻撃対象によるシステム運用に影響を及ぼす (右記米国のケースは攻撃対象の企業が予防的にパイプラインの操業を1週間停止)。民間主体による攻撃であることが多い。	2021年の米国石油製品パイプライン会社への攻撃など
大量アクセスによるシステムダウン	攻撃対象に対し大量のアクセスを集中的に行うことで対象の システムをダウン させることでエネルギー供給に影響を及ぼす。	2022年のリトアニアのエネルギー企業に対する攻撃など

Source : IEEJ

サイバー攻撃への対応策

- 多様なパターンが存在するサイバー攻撃に対し、100%の防御を行うことは難しいが、下記の対応策をとることで、攻撃によるダメージを抑え、早期の復旧を図ることができる。

主なサイバー攻撃への対応策

対応策の種類	政府による対応	政府・企業双方による対応	企業による対応
制度面での整備	<ul style="list-style-type: none"> 各主体の責任明確化と対応を促すための政策整備 関係者間の協力枠組整備 	<ul style="list-style-type: none"> サイバーセキュリティに関する認知の向上 	-
リスクの特定	<ul style="list-style-type: none"> 事業者に対するサプライチェーン上のサイバー脆弱性の特定とリスク分析の恣意 	<ul style="list-style-type: none"> 官民間での情報共有 	<ul style="list-style-type: none"> リスクの洗い出しと評価 攻撃対象資産の特定とリスク水準に応じた区分
リスクの管理と最小化	<ul style="list-style-type: none"> リスク管理手順の整備 攻撃時の対応策における優先順位付け 	<ul style="list-style-type: none"> 強靱性確保のための手法の開発とその共有 担当者の能力開発 	<ul style="list-style-type: none"> リスク管理手順の整備 攻撃時の対応策における優先順位付け
リスクのモニタリング	<ul style="list-style-type: none"> リスク監視手順の整備 国家情報部門と連携 	-	<ul style="list-style-type: none"> 特定されたリスクや脆弱性に対する恒常的な監視
攻撃時の復旧	<ul style="list-style-type: none"> 復旧計画・手順の作成と定期的な訓練 	<ul style="list-style-type: none"> 過去の攻撃事例の共有とその教訓による学習・準備 	<ul style="list-style-type: none"> 復旧計画・手順の作成と定期的な訓練

Source : Ecofys (2018); IEA (2021), World Energy Council (2022); 経済産業省・IPA (2022)を基にIEEJ作成

IEEJ Outlook 2025

LNG・天然ガスの役割発揮に向けて

2024年10月18日

一般財団法人日本エネルギー経済研究所

資源・燃料・エネルギー安全保障ユニット
上級スペシャリスト 橋本 裕

本報告のポイント

✓ 今後もLNGは重要な役割を果たす - LNG需要は増加する見通し

- トランジションへの不確実性の中、エネルギー安全保障と脱炭素化の両立にとって現実的ソリューションとしてLNG・天然ガスは重要な役割を果たすことが期待される
- 東南アジアを中心に、LNG需要は堅調に増加する見通し（レファレンスシナリオでは世界のLNG需要は現状から74%増加する）

✓ LNG・天然ガス安定供給に継続的な投資が必要

- LNG生産部門に毎年1000万トン - 2000万トン/年分の継続的な追加投資が必要
- 過去3年間のFID状況はこれを上回る。しかし既建設決定分の実現にも不確実性

✓ LNG市場安定化への長期的課題

- 役割期待を果たすためLNG市場および関連プレイヤー側の取り組みが必要
- LNG生産拡大維持には、消費国側からも働きかけ、開発参加・支援が重要
- 新興市場含めた需要アグリゲーション、市場開発支援が市場拡大・生産開発を支援

[長期的インプリケーションを持つLNG市場の個別課題]

✓ LNG生産プロジェクトの開発課題

- LNG生産プロジェクト開発コストは上昇。浮体LNG生産、小・中規模液化設備の進展
- 北米西海岸LNG輸出開始は、LNG海上輸送面でゲームチェンジャー
- 米国輸出キャパシティは堅調に拡大するが、長期開発が「ポーズ」により不確実化

✓ LNG輸送ボトルネック、生産設備トラブルが市場バランスに影響

- LNG輸送長距離化に加え、運河・航路のボトルネック発生、長期的なLNG輸送戦略構築が必要
- LNG生産設備の計画外停止が増加し、需給バランス逼迫時には状況を深刻化する可能性

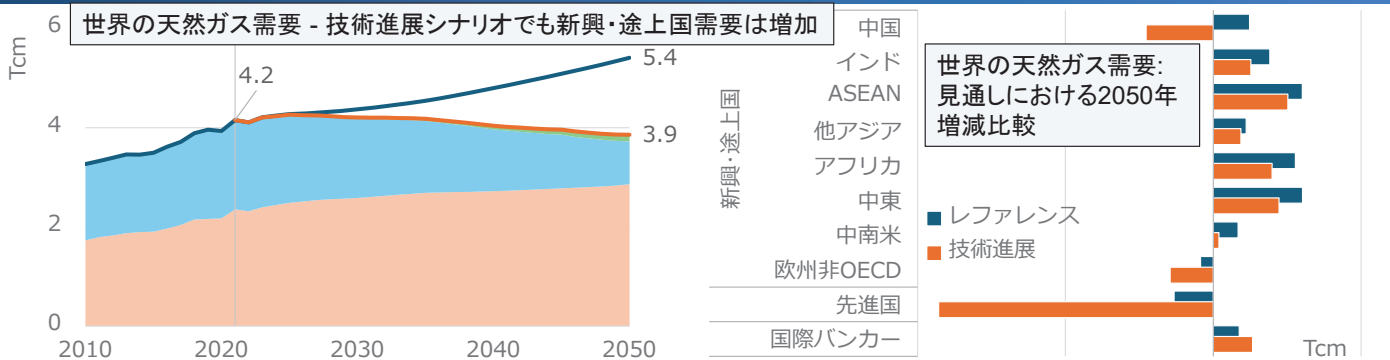
トランジションめぐる不確実性対応に、LNGの役割が重要

- LNGは過去60年間の成長の中で、その時々々の位置付に応じエネルギーセキュリティ向上に役割発揮
- 役割拡大に伴い、LNG供給強靱性向上が課題だが、リザーブ・バックアップ手段・方策は多面的
- セキュリティ向上のため供給源多様化・国際パートナーシップの取り組みは進展

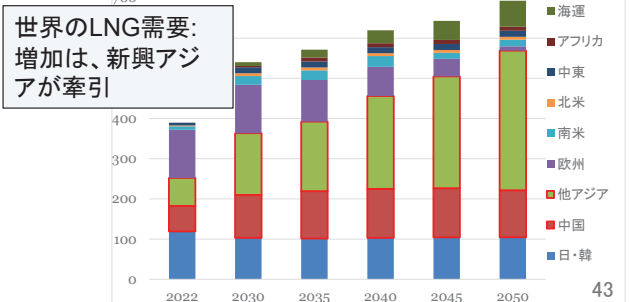
時代と対応事象	LNGの役割発揮振りおよび期待
20世紀後半 ✓ 石油危機 ✓ 大気汚染	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 代替エネルギー源、クリーンエネルギー源として拡大（日本、韓国） ✓ パイプラインガスに対する代替ガス供給源（欧州） ✓ 一次エネルギー中でシェア拡大し、石油危機影響緩和にも貢献
2010年代 ✓ 原発停止分補完対応 ✓ エネルギー需要増	<ul style="list-style-type: none"> ✓ ベース電源不足時に迅速対応可能な柔軟性を実証 ✓ LNGバリューチェーン各段階で参加企業が多様化したことで、液化・海上輸送・気化はロジ上の負担でなくなり、緊急時に柔軟性が際立つこととなった
2021-2022年 ✓ パンデミック後エネルギー需要増 ✓ ロシア戦争・ガス不足	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 欧州でウクライナ侵攻以前よりロシア産パイプラインガス供給減少分をLNG輸入増加が相殺 ✓ ウクライナ侵攻・ドイツ向けパイプライン爆破によるロシア産パイプラインガス輸入減少分を、米国産を中心とするLNG輸入増加で充足
将来に向けて ✓ トランジションの不確実性に現実的ソリューション	<ul style="list-style-type: none"> ✓ エネルギートランジションに向けて、エネルギー安全保障と脱炭素化の両立にとって現実的なソリューション <ul style="list-style-type: none"> ➢ 新興市場の経済成長・成熟市場の安定供給を支える ➢ 新エネルギー源との組み合わせ・トランジション貢献 ➢ LNG自身のクリーン化を条件として、長期利用の可能性

IEEJ © 2024

天然ガス需要は堅調、LNG需要はアジア比重が増加



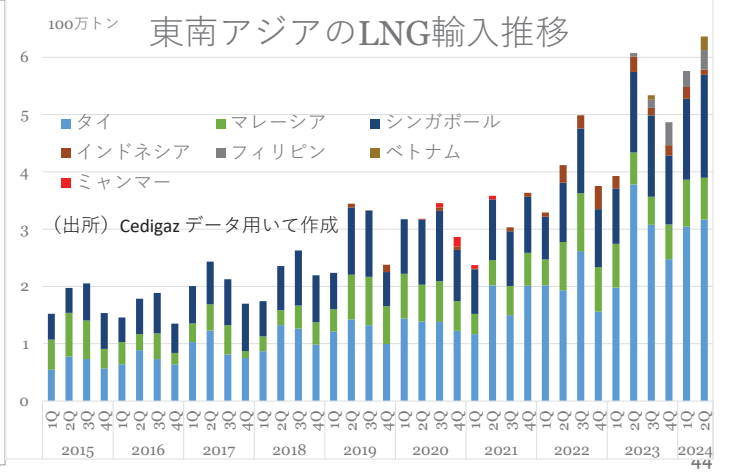
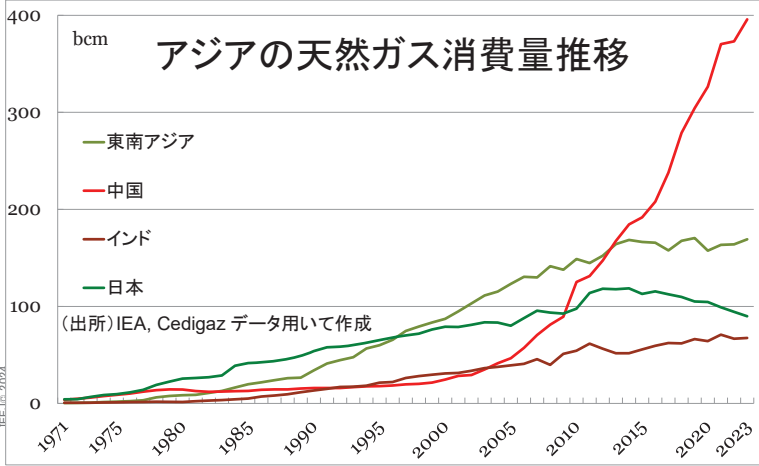
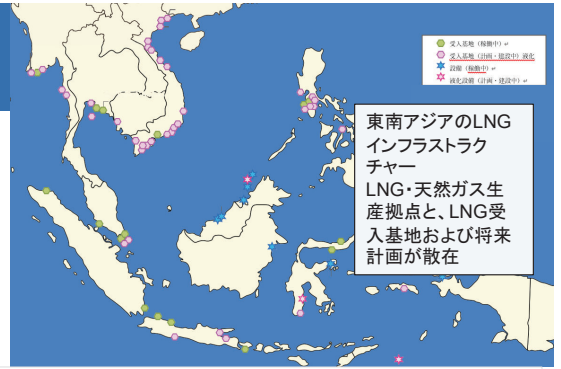
- ✓ 天然ガス需要は、レファレンス・技術進展シナリオとも堅調
 - レファレンスシナリオで世界のLNG需要は現状から74%増加する見通し
 - 技術進展シナリオでも、世界のLNG需要は2040年頃までは拡大し、その後低下するものの2050年の需要は現状並み
 - 省エネルギー改善の実現度合いにより、LNG・天然ガス需要が上振れする可能性
- ✓ 需要拡大の中心の一つは、東南アジア新興市場、特に発電部門
 - 天然ガスは産業の排出削減、電力の需給調整で役割を果たす。転換期の排出削減に経済合理的な燃料となりうる。天然ガス市場安定とそのため供給能力拡大はエネルギー転換コスト低減に貢献する
- ✓ 需給バランス・価格の不安定化は、長期的視点での市場安定化対策の重要性を示している



IEEJ © 2024

東南アジアにはLNG利用増加のポテンシャル大

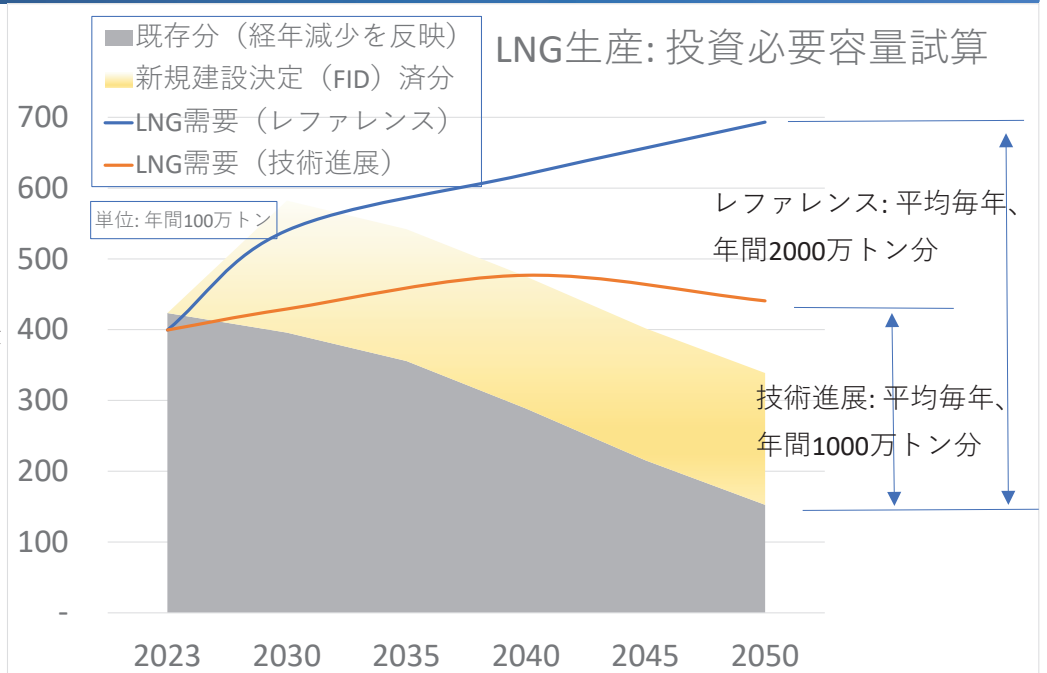
- ✓ 東南アジアでは、1970年代以降、LNG輸出プロジェクト開発と並行して、域内天然ガス消費も増加
- ✓ 伝統的ガス生産国で今後も利用が継続・拡大する
- ✓ 2011年以降、7ヶ国でLNG輸入を実現、域内での物流に加え、域外からのLNG輸入も増加
- ✓ 東南アジアの天然ガス消費量中のLNG比重は、現状の全体の6分の1から、3分の1程度へと高まる見通し
- ✓ 沿岸地域・島嶼地域にLNG利用インフラストラクチャー拡大のポテンシャル



LNG需要純増分、既存LNG生産設備・原料ガス田老朽化代替で投資必要

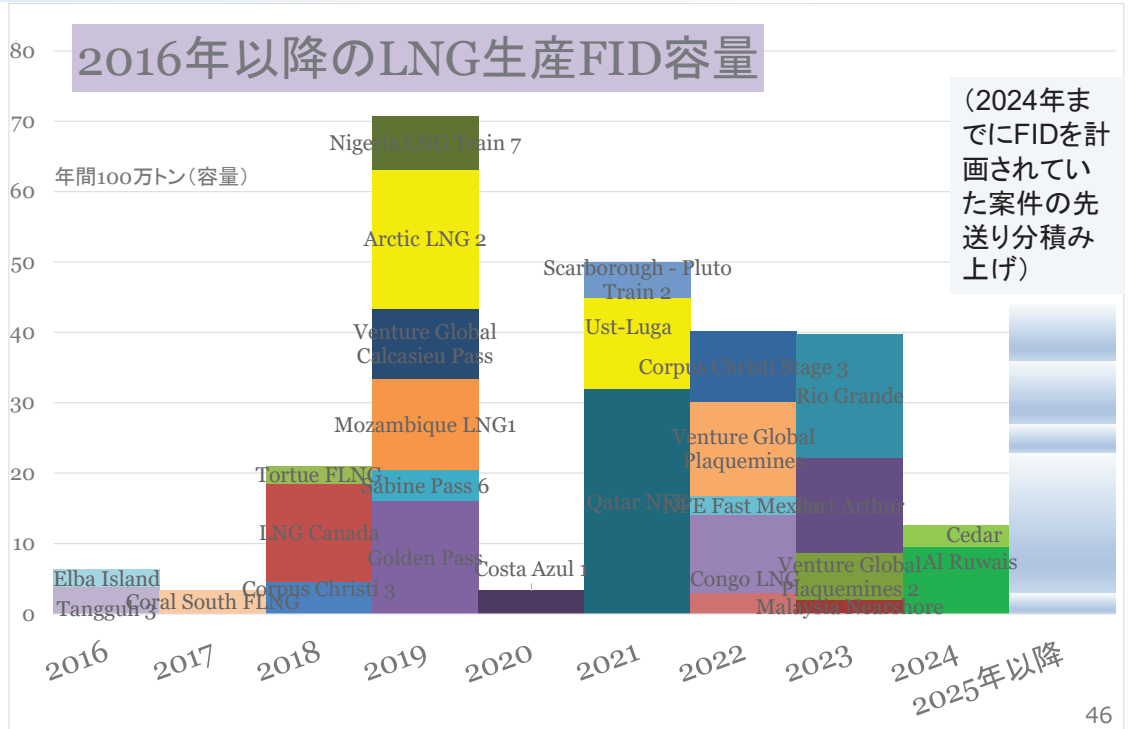
2050年まで、毎年1000～2000万トン/年分のLNG生産部門投資が必要

- ✓ 見通し上のLNG需要量と、経年により減少する既存生産容量の差。需要増加対応、既存ガス田・設備減耗分補完のための投資は、以下を含む
1. 新規プロジェクト投資
 2. 代替供給（バックフィル）ガス田投資（1-2中、黄色部分は既建設決定分）
 3. 原料ガス田生産減少分補完
 4. 既存LNG液化等の設備若返り改修
- ✓ 既建設決定分（黄色部分）の実現にも、遅延可能性
 - ✓ 2030年前後にLNG供給力に余剰が生じるとの見方もあるが、余剰という予想に刺激され、追加需要が喚起される可能性もある



2021-2023年に多数のFID、同時にそれ以降のFIDと建設進展に不確実性

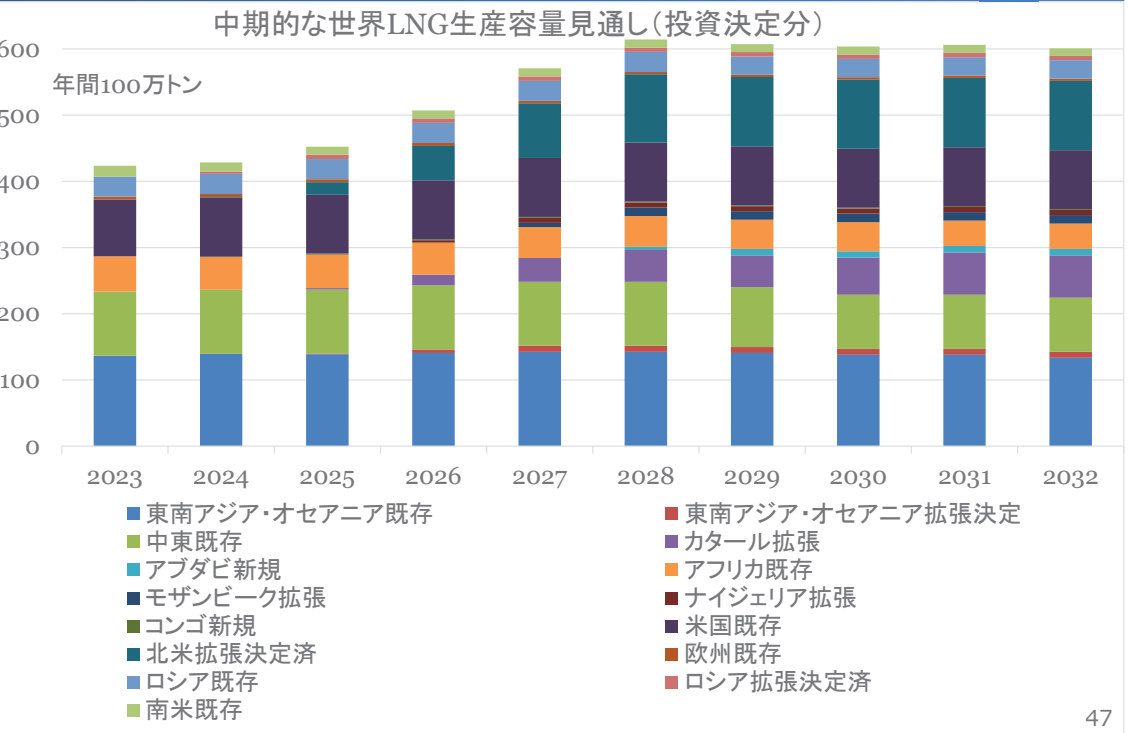
- ✓ 2022年ウクライナ危機、米国を中心にLNG開発活動活発化
- ✓ 2021 - 2023年時点でのFID状況は、前記の必要なキャパシティを満たす規模だが、同様のペースが持続されることが課題
- ✓ 米輸出許可一時停止などの環境政策不確実性により、2024年FIDに足踏み
- ✓ FID済案件にも建設進捗に難題が顕在化
- ✓ 実現しない・遅延の可能性にも留意すべき



IEE/JC 2024

中期的LNG生産キャパシティ追加に不確実性

- ✓ 現在建設中のLNG生産プロジェクトが予定通り稼働すれば、2030年前後で需要量を上回る見通しとなる
- ✓ しかし建設中の生産プロジェクトに不確実性散見
 - ✓ ロシア新規プロジェクトの不確実化
 - ✓ アフリカで政情不安による建設停止状態の継続
 - ✓ 米国でEPCコストアップによるプロジェクトオーナー・コントラクター間の交渉不調による遅延
 - ✓ 米国で環境訴訟を契機とする建設許可差し止め判決
- ✓ 他方、余剰分を見越した需要喚起により、価格感応性高い市場による引き取り増加
- ✓ 2030年頃といわれる「供給過剰」は現実化しない可能性



IEE/JC 2024

LNGが現実的なソリューションとして機能するための課題

1. エネルギートランジション、セキュリティにおけるLNGの役割は重要
 - i. LNGの役割期待を果たすためLNG市場・関連プレイヤー側の安定供給・LNGクリーン化の取り組みが必要
 - ii. その目的に適合するLNGの基準の明確化が必要
 - iii. 企業レベルでは、メタン・GHG排出対策強化・目標設定および的確・タイムリーな情報公開がカギ。LNG供給チェーン全体でのクリーン化が重要
 - iv. 投融資対象としてLNGの優位性をアピールする必要
2. LNG生産拡大・維持には、消費国側からも働きかけ、開発参加・支援が重要
 - i. LNG生産国での制度・規制面の安定・開発推進を消費国側から働きかける
 - ii. 開発への参加と開発への支援が重要
3. 新興市場含め需要アグリゲーション、市場開発支援が市場拡大・生産開発を支援
 - i. 東南アジア新興市場を巻き込む中長期的な需要アグリゲーション
 - ii. 市場開発支援がグローバルLNG市場の規模拡大、生産開発の支援につながる

IEEJ © 2024

48

主要生産地域のLNG生産プロジェクト開発動向の推移

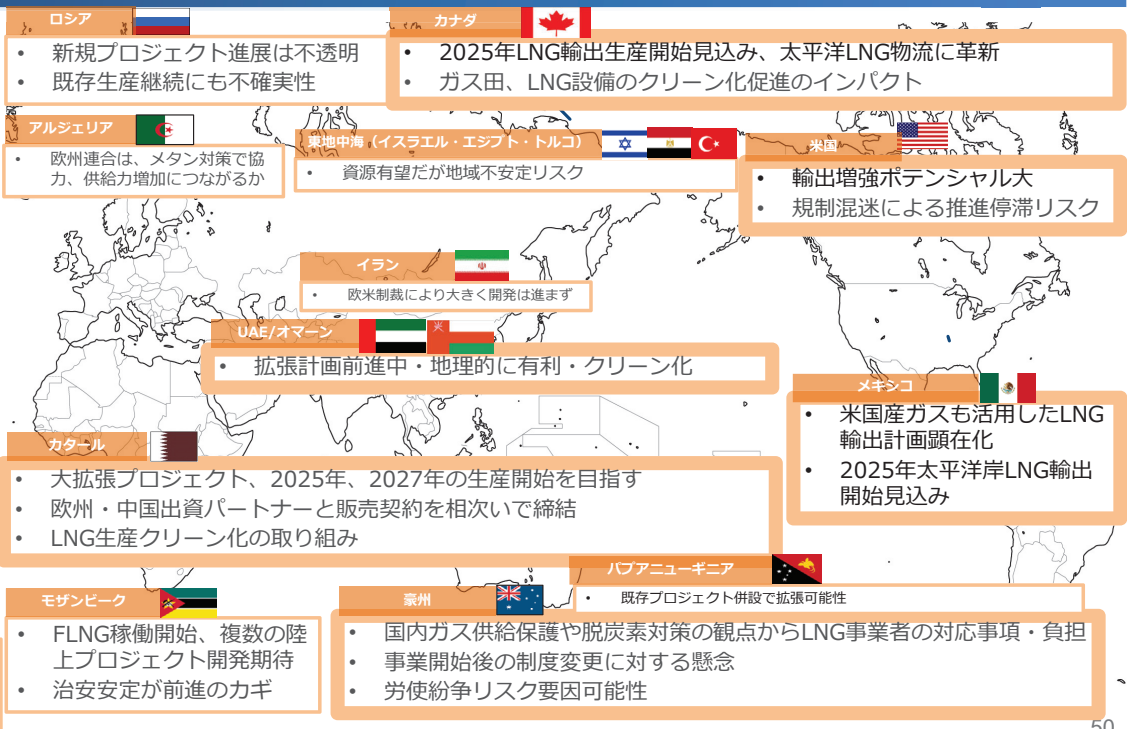
	各時期の特徴	コストダウンや開発促進取り組み
2010-2014	<ul style="list-style-type: none"> • 北東アジアLNG需要急増、豪LNG開発ブーム、建設活動集中に伴う高コスト化 	<ul style="list-style-type: none"> • 豪州の高コスト傾向が、他地域でのLNG開発を覚醒
2015-2020	<ul style="list-style-type: none"> • LNG生産設備開発の中心地が米国へ • LNG原料向けの上流部門、液化部門ともコスト増加は抑制 • 米国産LNGの原料ガスコストは、絶対的に安価ではないが、長期的安定性を期待 	<ul style="list-style-type: none"> • 米国LNG輸入設備利用低迷後、LNG輸出設備の開発に転用 • 米国ガス生産・原料ガス輸送部門が分離 • 他地域含め、浮体液化（FLNG）方式がオプションとして台頭
2021-	<ul style="list-style-type: none"> • パンデミックによるロジスティクス障害に伴い、建設遅延、コスト上昇 • 戦争影響の制約でコスト上昇 • ホスト国政情不安定による建設遅延 • コスト上昇の吸収困難な事例も発生 • 米国で輸出許可、建設許可手続き面での不確実性高まる 	<ul style="list-style-type: none"> • 小・中規模液化設備技術革新 • LNG生産プロジェクト裾野・全体規模拡大に伴う、モジュラー方式（同一設計の繰り返し適用） • ロシア産ガスからのフェーズアウトにより、他地域でのLNG生産プロジェクト開発促進
	<ul style="list-style-type: none"> • 鋼材・コンクリート等の素材コスト上昇 • 資金調達コスト上昇 • CCS・電化（再生可能エネルギー）コスト 	<ul style="list-style-type: none"> • LNG生産プロジェクト各社は、コストダウンおよびLNGクリーン化に取り組む

IEEJ © 2024

IEEJ
© 2024

世界各地のLNG生産には、有望な将来性ととも課題

- ✓ 中期的拡大を米国が牽引する一方、非FTA向けLNG輸出許可の一時停止、建設許可取り消し案件で規制不透明性拡大
- ✓ カナダなど新規LNG供給源に期待（物量増加に加え、輸送隘路の回避、輸送経路短縮化・多様化）
- ✓ カタールのLNGマーケティングが進展しており、出資パートナー外への販売を中心に次のステップが注目される
- ✓ 豪LNGの安定供給維持策・リスク軽減が急務



IEEJ © 2024

米国LNG輸出許可「一時停止」に加え、建設許可手続きも法廷取り消し発生

- 2024年1月末、米政府はLNG輸出許可手続きを一時停止し、経済・環境影響をスタディ
- 一部のLNG生産設備に遅延と不確実性、米国の長期的、安定的な供給者としての信頼性に疑問符
- 7月2日、米連邦地方裁「一時停止」差し止め判決、8月31日、メキシコ案件に非FTA承認
- 8月6日、米連邦地方裁、FERC建設許可済LNGプロジェクト2件の許可無効判断
- 9月13日、FERCが前記2件の環境審査再実施日程示す（一方でプロジェクト側は上訴検討中）
- LNG輸出許可手続き、LNG生産設備建設許可手続きともに不透明化、その不透明感払拭・制度安定化が課題

許可「一時停止」における論点	それぞれの留意事項
「一時停止」直接のインパクト	2022-23年合意の売買取引年間1.5億トン中3000万トン
「年間3.5億トン生産に輸出許可済み」	許可分の半分近くは、未FIDのため実現は不透明
商談の進展と規制手続き進展にズレ	規制当局は商談に直接関与せず、すべきでもないが、今後の検討材料となる
米当局は「許可延長手続きに影響せず」と明言	許可済み案件の延長手続きが円滑に進むか要注目
厳密な審査手続き再開タイミングは依然不明	11月選挙後、と推定されるが、具体的には不明瞭
パブリックコメント期間	LNG買主、開発参加企業は、コメントの準備に着手すべき
他LNGプロジェクトが、米「一時停止」により有利に	米国内、米国外の一部LNGプロジェクトに追い風
DOEスタディの可能性ある帰結	LNG輸出の上限、期限（調整余地ある上限・期限） 許可期間延長手続きの厳格化（調整余地ある厳格化）

米シェール革命が国際LNG市場にインパクト - 長期的LNG供給力として期待

- 米国のシェール革命は、国際LNG市場と相互作用しながら段階的に進展
- 直近で米国は世界最大のLNG輸出国となり、欧州の脱ロシアにも貢献
- 米国の今後の追加LNG生産プロジェクト開発が新興市場を含めたLNG市場発展を支えることを期待 - 不透明化解消が課題

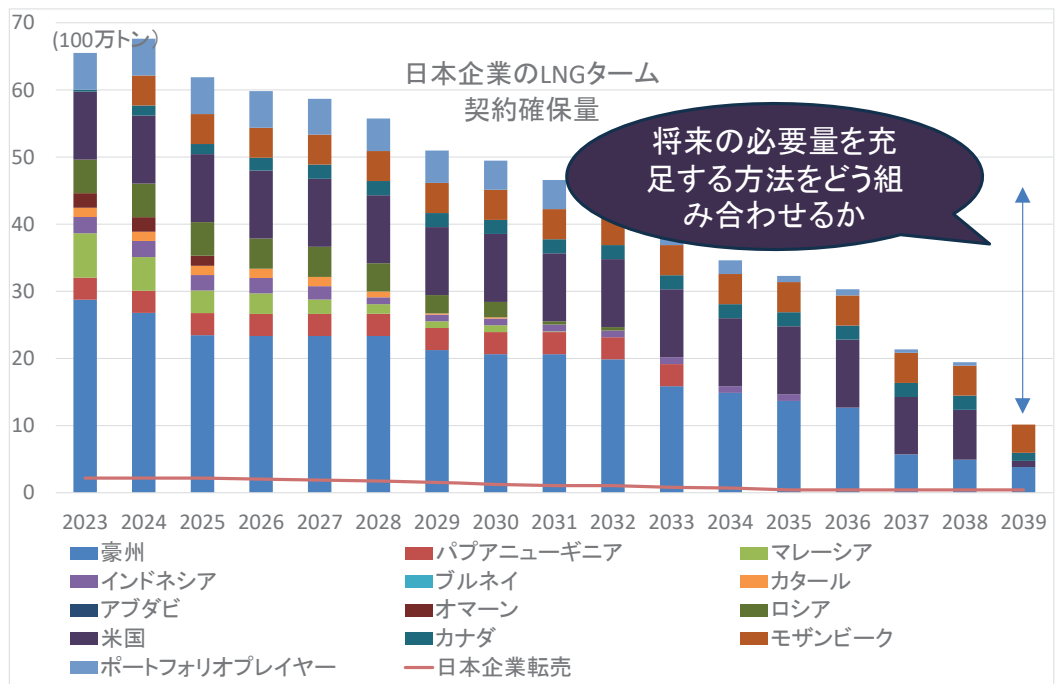
	米国内天然ガス市場	国際LNG市場	米国と国際市場の相互関係
～2007	米国内天然ガス価格上昇、米国内開発促進	世界的な天然ガス・原油価格上昇	LNG生産諸国、米国向け販売めざし投資
2008～	シェール革命は天然ガスから開始 天然ガス・原油価格差の拡大	カタール、ロシアLNG輸出増	LNG価格アジアプレミアム顕著 (特に日本の原発危機以降)
2014～	LNG輸出プロジェクト進展、輸出開始と拡大 原油生産増加とともに、随伴ガス増加加速	豪州中心にLNG輸出プロジェクト大 拡張進展	米国産LNG登場、国際LNG取引柔軟化
2019	LNG輸出設備への投資決定、世界年間7000万ト ン中、米国分が年間3000万トン分	供給増加によるLNG・ガス価格低下	米国内・国際市場価格差が、米国での追加投資決 定を促進
2020	北半球夏季にLNG輸出キャンセル多発	世界LNG・天然ガス価格史上最低 水準、市場間の天然ガス価格融合	世界天然ガス価格低迷、北半球夏季に米国産 LNGキャンセル多発
2021	世界LNG供給増加分を米国産が独占	2021年下半年以降、価格上昇・高 価格常態化(LNG生産設備支障も 価格上昇に影響)	国際LNG・天然ガス価格高水準も、先行き不透明 感によりLNG投資決定が足踏み
2022～	2023年、米がLNG輸出世界筆頭 LNG生産プロジェクト開発加速の中で、 輸出許可ポーズ・建設許可の法廷による 停止によって、先行き不透明 世界市場影響も受け、米国でもほんの 一時、天然ガス価格上昇	ロシア産パイプライン天然 ガス供給の激減 欧州LNG輸入急増・米国産 LNGが増分を充足 天然ガス価格変動が激化	ロシア以外の世界各地でLNG生産開 発加速 長期的にも米国は安定的・巨大な国際 LNG市場への供給力である期待、 LNG輸入国側からの働きかけが重要

IEEJ © 2024

52

日本企業のLNG調達対応 - 調達提携、ポートフォリオプレイヤー依存の拡大

- ✓ 現時点でターム契約確保量は、2025年頃までの年間6000万トン強から、2030年時点で5000万トンまで低下
- ✓ レファレンスシナリオでは、LNG需要は2050年で4500万トン程度
- ✓ 長期的な将来の調達に関して
 - 個社(特に電力会社)での単独大規模・長期ターム契約は困難に
 - 取り扱い減少は交渉力相対的低下につながる
 - 短中期・スポット調達比率拡大
- ↓
- ✓ 官民協力や政策的支援が重要
 - 内外ポートフォリオプレイヤー活用
 - 大手買主・商社などの準ポートフォリオプレイヤー化
 - 海外企業との共同購入・融通
 - 国内主要企業間共同購入検討

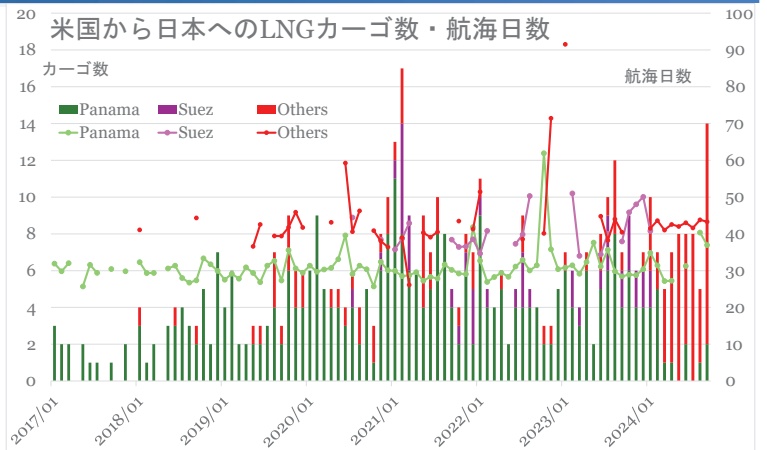


IEEJ © 2024

53

LNG輸送量増加・供給源多様化の一方で、輸送重要航路にボトルネックも発生

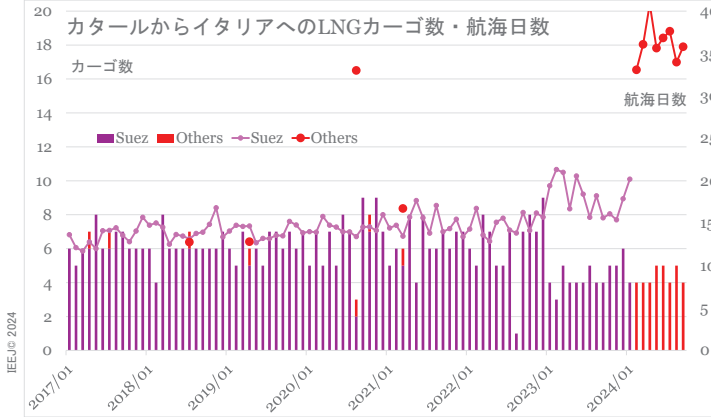
- ✓重要航路にボトルネックが発生し、需給逼迫時には大きな障碍要因となる可能性
- ✓2016年パナマ運河拡張完成以降、大型LNG輸送船舶の通航が可能となった
- ✓通航キャパシティの上限に加え、渇水による通航制限、2024年は喜望峰周りが常態化
- ✓中東情勢により紅海・スエズ航路も事実上遮断
- ✓長期的なLNG輸送戦略構築が必要



	Panama	Suez	Others	Total
2016				
2017	30			30
2018	30		43	31
2019	30		41	33
2020	31	41	43	33
2021	30	39	39	32
2022	32	40	50	34
2023	31	44	49	35
2024	32	41	42	39

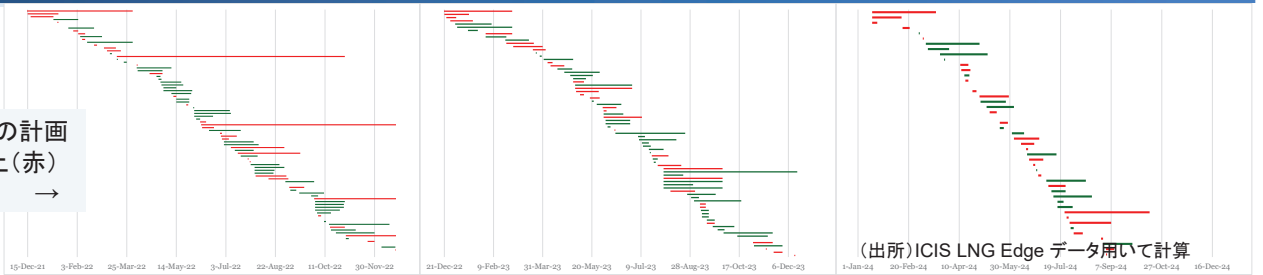
米国から日本へのLNGカーゴ平均航海日数 →

(出所) ICIS LNG Edge データ用いて計算



LNG生産設備の計画外停止、需給バランス逼迫時には状況を深刻化する可能性

世界のLNG生産設備の計画停止(緑)、計画外停止(赤) (2022 - 2024年) →

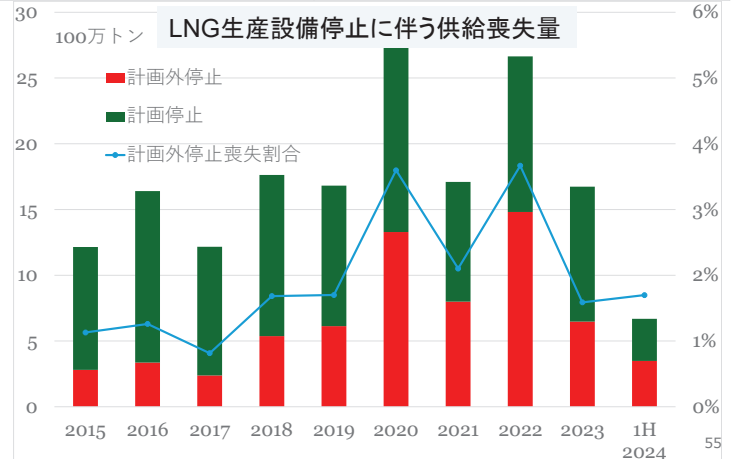


(出所) ICIS LNG Edge データ用いて計算

- ✓2022年、米国で大型LNG輸出設備1件につき、火災事故で長期間の停止、他生産諸国でも比較的長期間の計画外停止があった
- ✓特に市場バランスが厳しい時期に当たったことから、スポットLNG、ガス価格をさらに押し上げる要因となった
- ✓2023年、市場バランスが比較的安定化したところに、計画外停止による喪失量も前年比で減少した

スポットLNG・ガス価格の営業日毎の変動値、年平均

推移	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
TTF	0.12	0.13	0.09	0.07	0.13	0.07	0.09	
北東アジア向けスポット	0.09	0.12	0.12	0.11	0.15	0.11	0.12	
2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	
	0.08	0.13	0.13	0.09	0.85	2.42	0.61	0.26
	0.10	0.16	0.11	0.19	1.01	2.37	0.52	0.25



付属資料

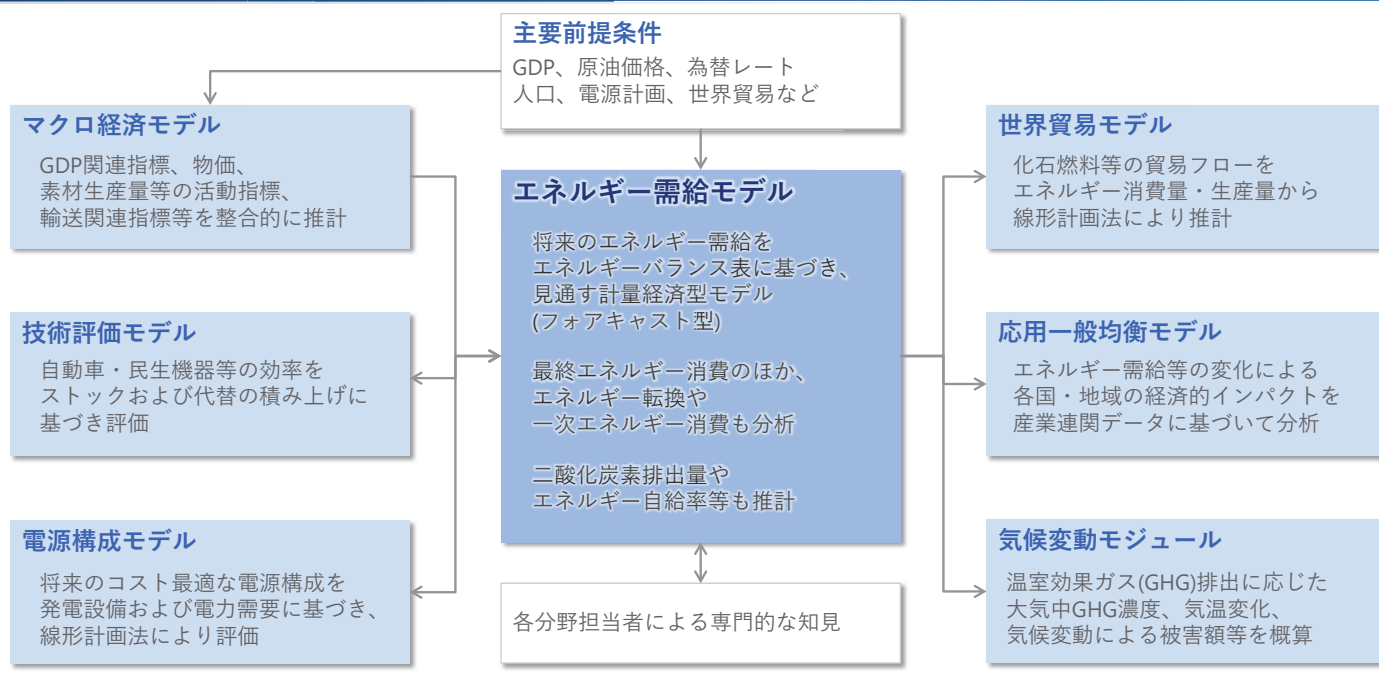
地域区分

- 世界を44か国・地域および国際バンカーに区分
- アジアは17か国・地域、中東は8か国・地域に区分し、特に詳細な分析を可能に



www.craftmap.box-i.net

IEEJ Outlookモデルの構造

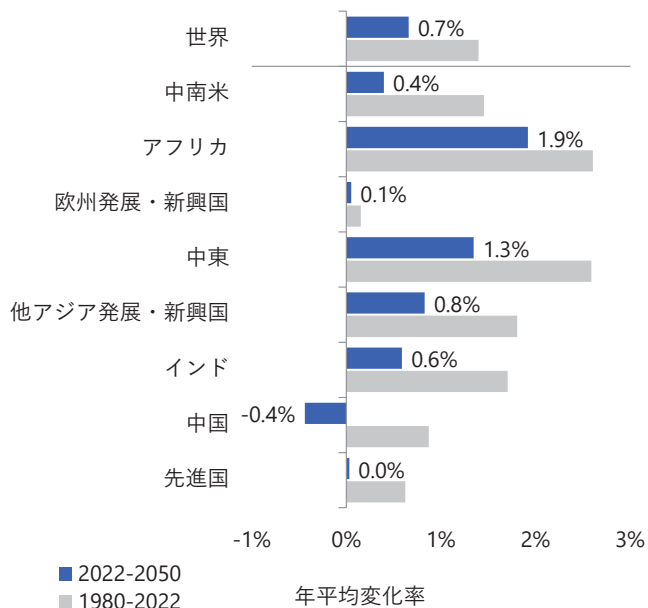


IEEJ Outlookの基本シナリオ

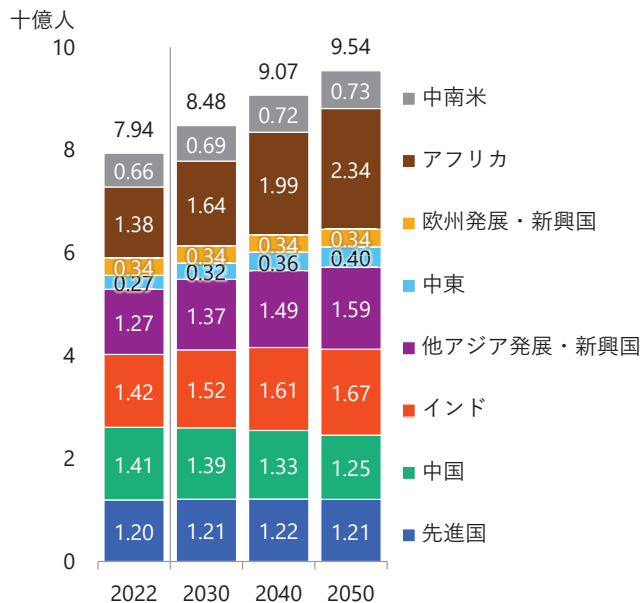
	レファレンスシナリオ	技術進展シナリオ
	現在までのエネルギー・環境政策等を背景とし、これまでの趨勢的な変化が継続するシナリオ。急進的な省エネルギー・低炭素化政策は打ち出されない	各国がエネルギー安定供給の確保や気候変動対策の強化のため、強力なエネルギー・環境政策を打ち出し、それが最大限奏功するシナリオ
社会経済構造	人口増加率は低下するものの、新興・途上国を中心に安定した経済成長 経済構造の変化は連続的、産業のサービス化が進展 所得水準の向上により、家電、自動車等のエネルギー消費機器が大きく普及	
国際エネルギー価格	原油: 需要増に伴い、生産費用が上昇 ガス: ヨーロッパ、米国、アジア市場の価格差が縮小 石炭: 脱炭素による需要減により低下	省エネルギーの進展や 脱炭素による需要減により低下
エネルギー・環境政策	過去の動向と同様に低炭素化政策を漸進的に強化 ・規制措置(省エネルギー基準、排出規制等) ・経済的誘導措置(補助金、税金等)	国内政策強化とともに国際連携を推進 ・エネルギー安定供給の確保 ・気候変動問題への対処 ・低開発農村地域のエネルギー近代化
エネルギー・環境技術	現行技術について ・過去の趨勢と同程度の効率進展 ・過去の趨勢と同程度の価格低下 ・規制・誘導による低炭素技術の普及	現行技術及び商業化の見込みが高い技術について ・技術進展により価格低下が加速 ・規制・誘導強化により普及が加速

人口

年平均変化率

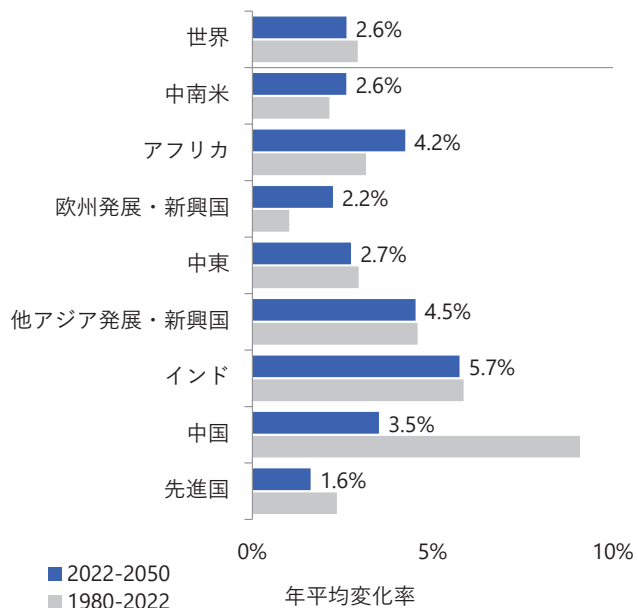


地域構成

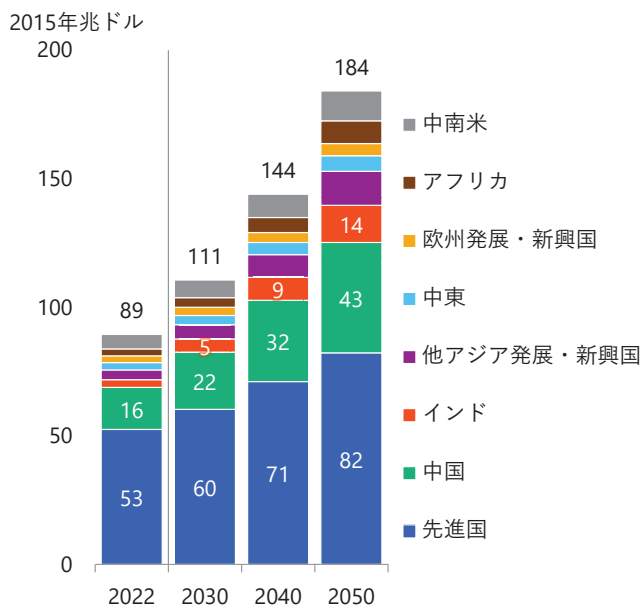


実質GDP

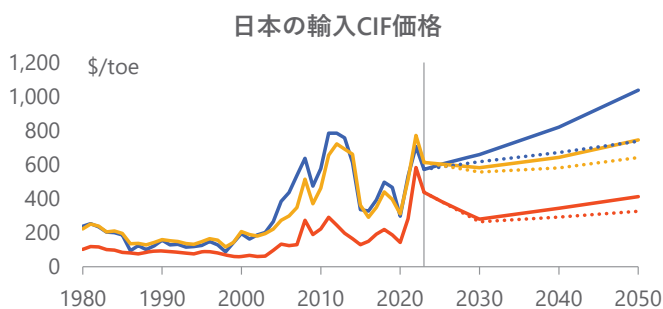
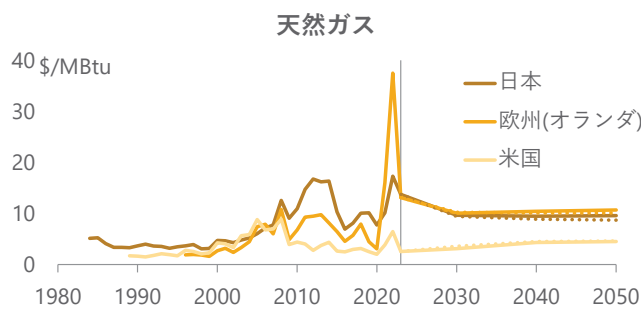
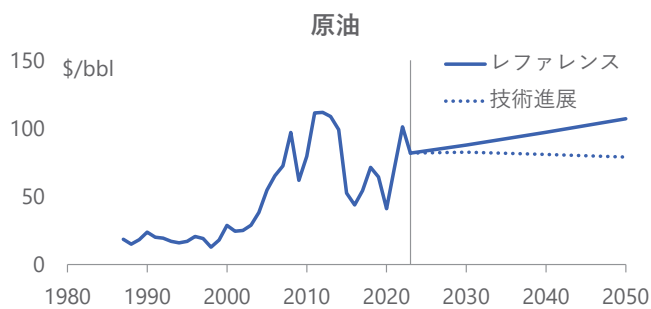
年平均変化率



地域構成



国際化石燃料価格



注: 実績値は名目価格、見通しは2023年価格。実線: 技術進展、点線: レファレンス

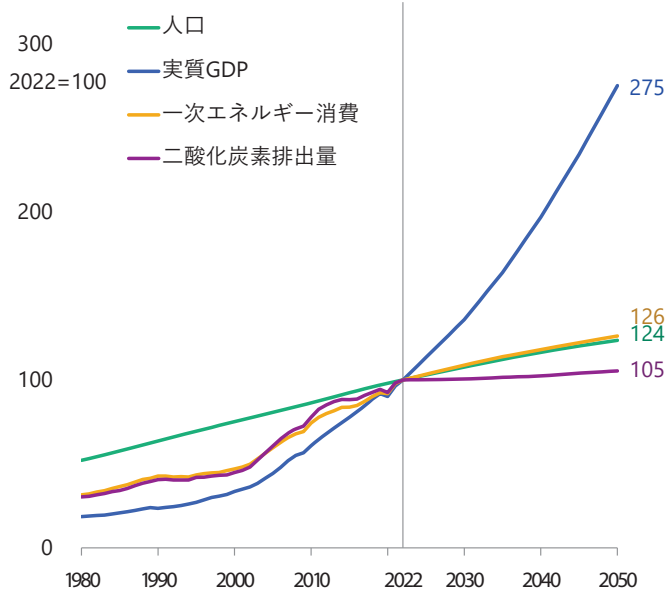
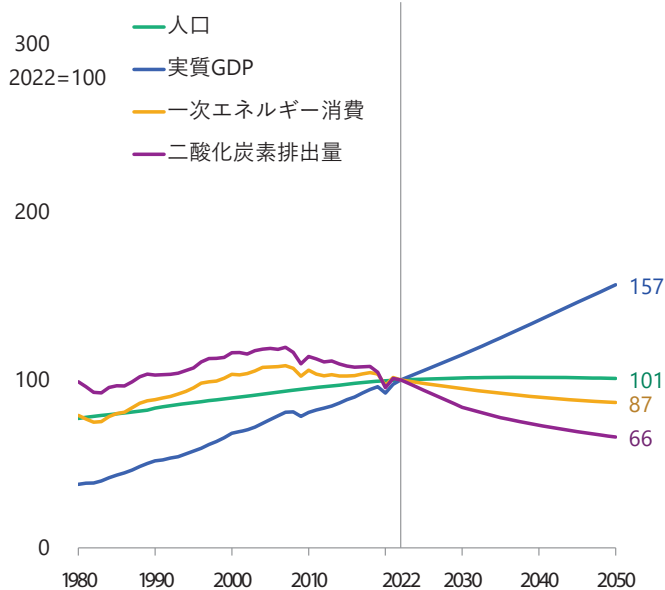
エネルギー・環境技術の前提

		2022	2050		技術進展シナリオにおける前提
			レファレンス	技術進展	
エネルギー効率の改善	産業部門 鉄鋼業の原単位 (ktoe/kt)	0.270	0.260	0.201	2050年までにBest available technologyが100%普及
	窯業土石業の原単位	0.095	0.074	0.065	
	運輸部門 電動乗用車販売比率	17%	60%	96%	電動自動車のコスト低下。燃料インフラを含む普及促進策の強化 ※電動自動車: ハイブリッド車、プラグインハイブリッド車、電気自動車、燃料電池車
	乗用車新車燃費 (km/L)	17.8	27.2	46.2	
	民生部門 家庭の総合効率 (Y2021=100)	100	141	175	ストックベースでの家電・機器効率及び断熱効率の改善スピードが約1.7倍に 暖房・給湯・厨房用途における電化。クリーンクッキング化(途上国)
	業務の総合効率	100	131	172	
発電部門 火力発電効率(発電端)	37%	45%	48%	高効率火力発電導入のための初期投資ファイナンススキーム整備	
低炭素エネルギーの導入	運輸用バイオ燃料消費量 (Mtoe)	99	178	303	次世代バイオ燃料の開発・コスト低下。農業政策としての位置づけ(途上国)
	原子力発電設備容量 (GW)	387	498	814	適切な卸電力市場価格の維持。初期投資の融資枠組み整備(途上国)
	風力発電設備容量 (GW)	962	3,548	5,156	発電コストのさらなる低下
	太陽光発電設備容量 (GW)	1,107	8,214	10,693	系統安定化技術のコスト低減、系統システムの効率的運用
	CCS付設火力発電設備容量 (GW)	0	0	1,137	2030年以降の新設火力はCCS付設(帯水層を除く貯留ポテンシャルがある国)
	ゼロエミッション発電比率 (CCS含む)	39%	60%	87%	国際連系を含む系統システムの効率的運用

人口、GDP、エネルギー消費、二酸化炭素排出量

先進国

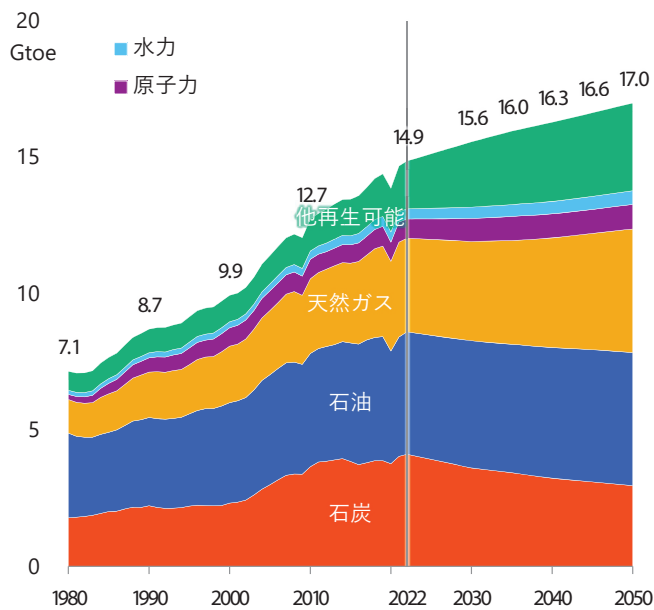
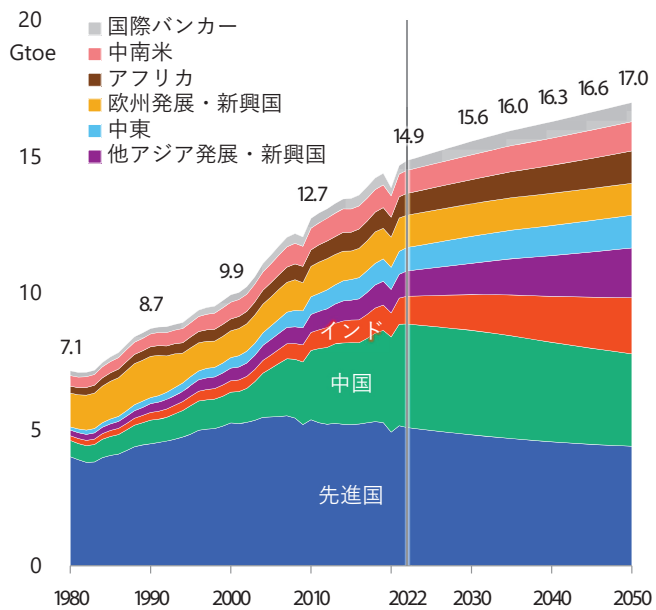
新興・途上国



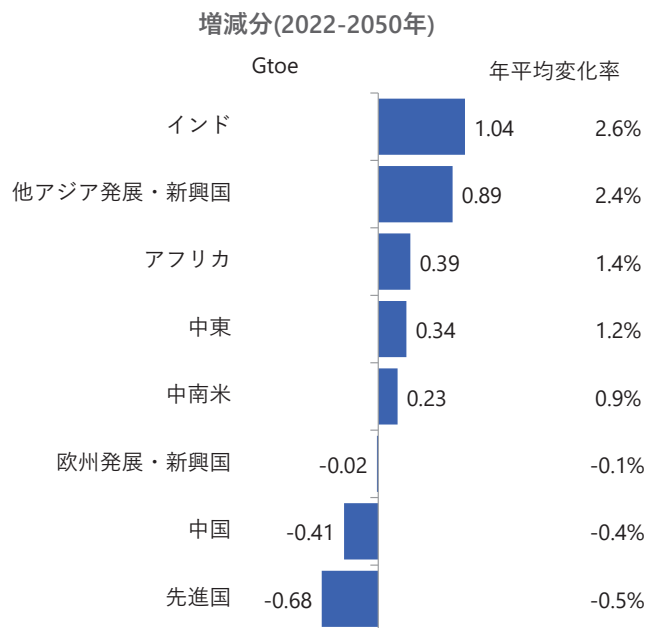
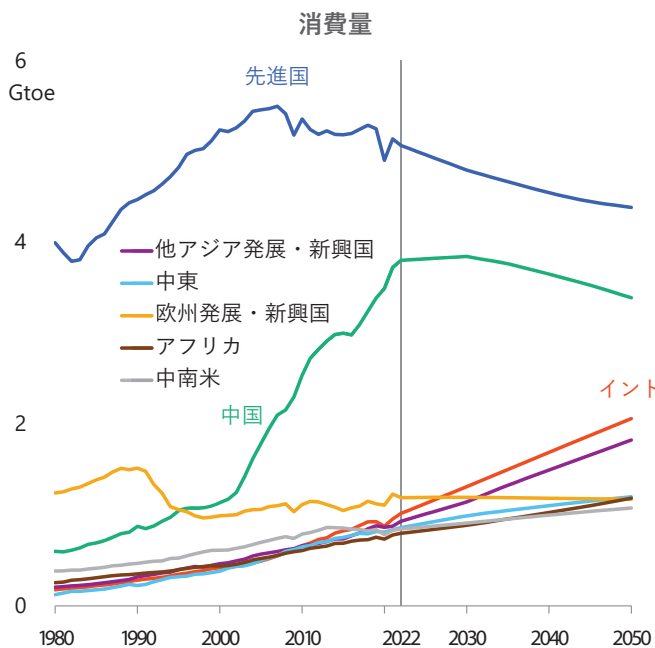
一次エネルギー消費

地域別

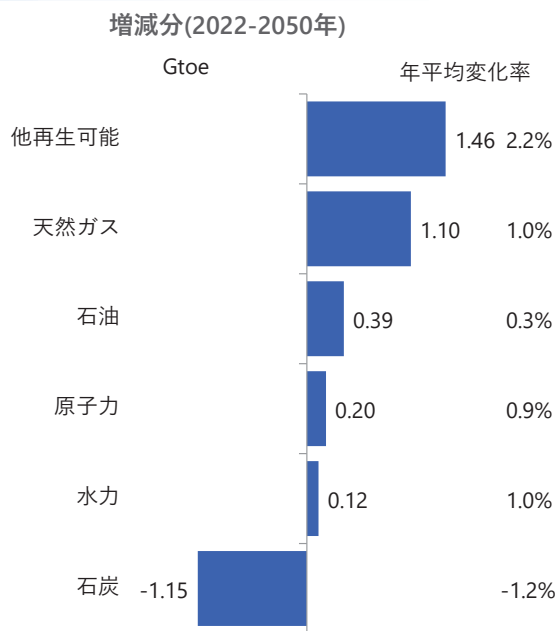
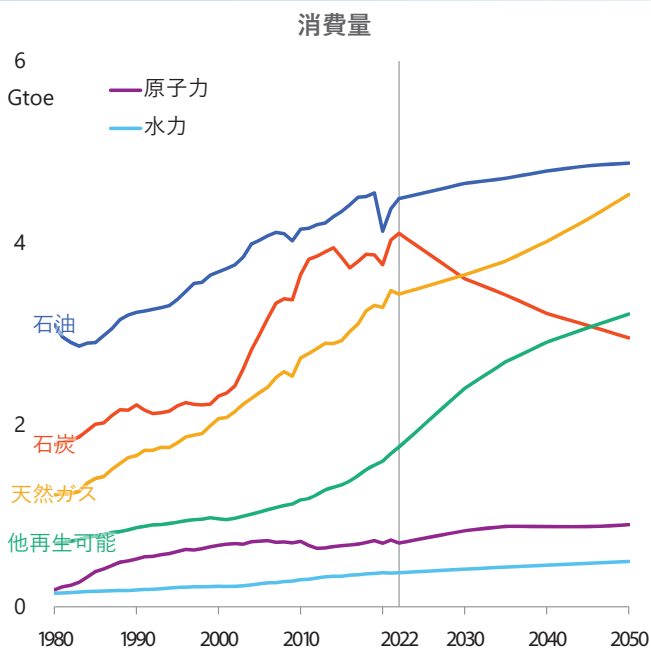
エネルギー源別



一次エネルギー消費(地域別)

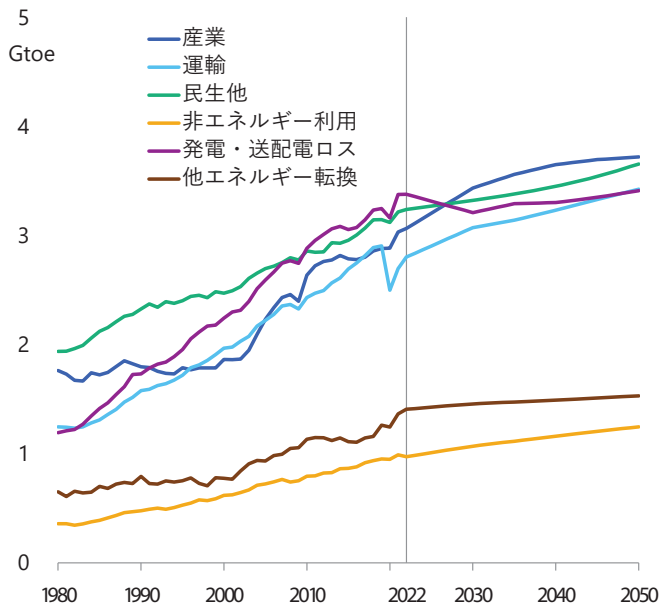


一次エネルギー消費(エネルギー源別)

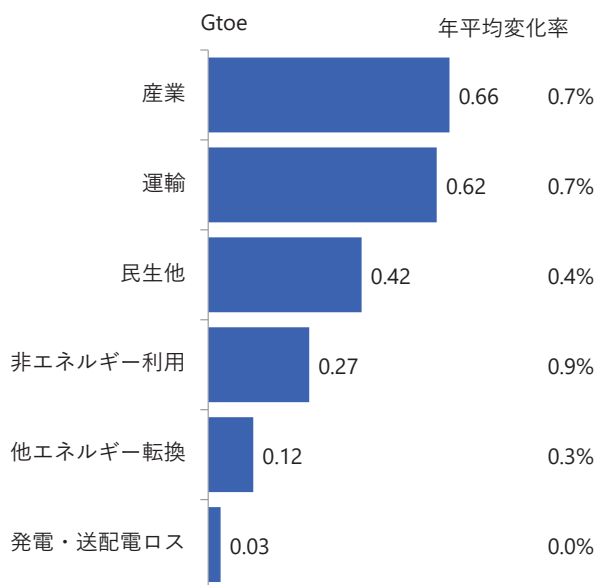


一次エネルギー消費(部門別)

消費量

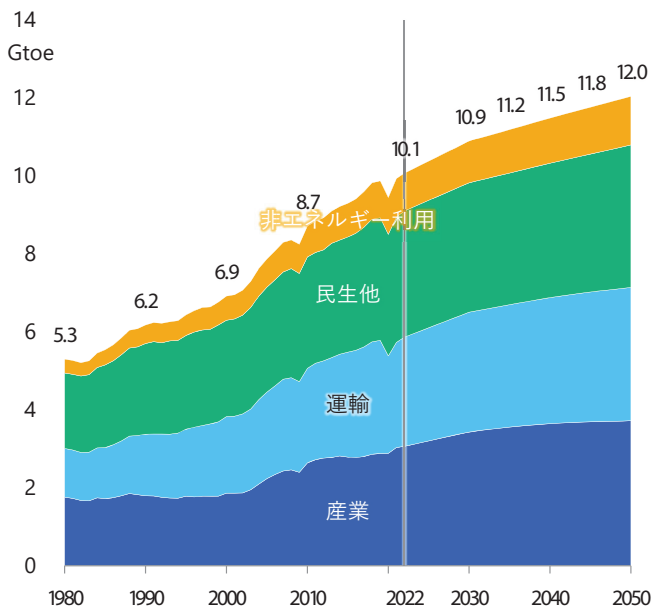


増減分(2022-2050年)

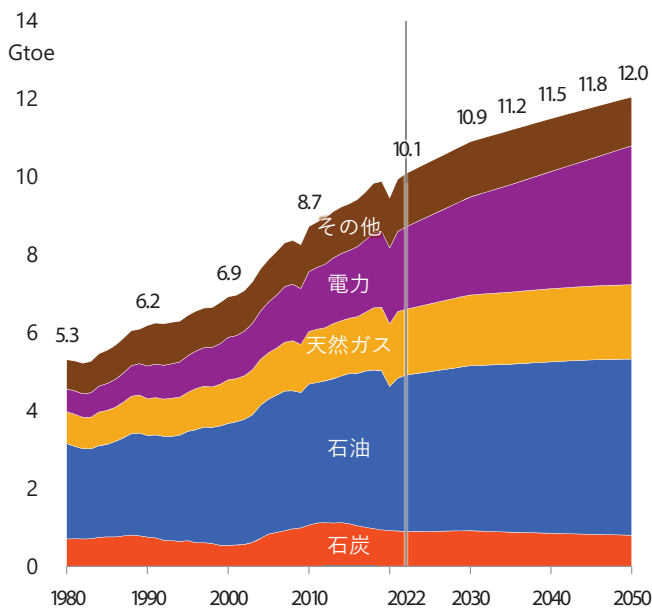


最終エネルギー消費

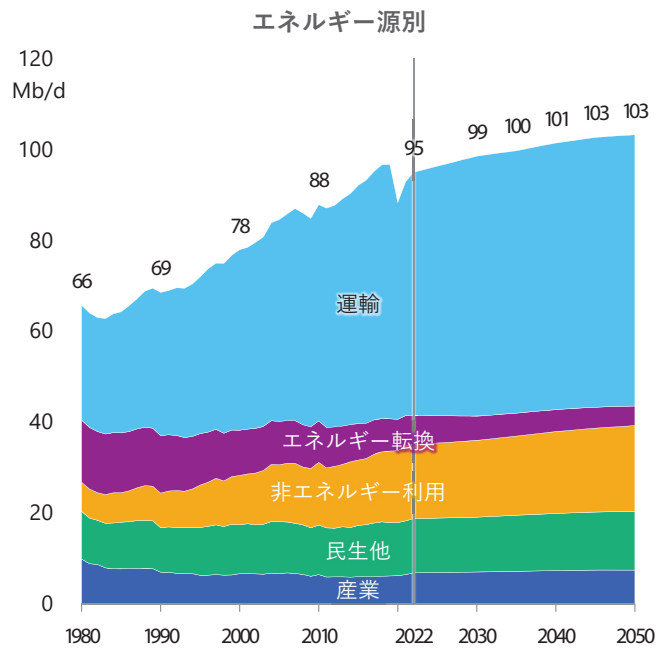
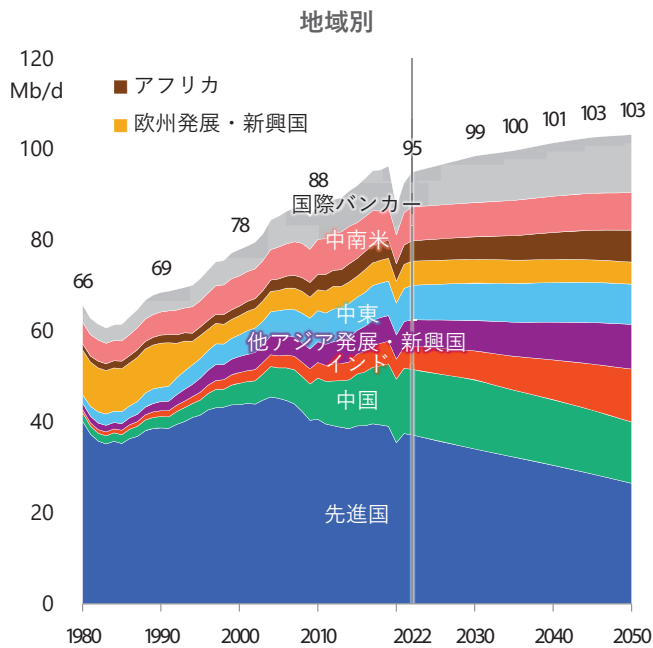
部門別



エネルギー源別

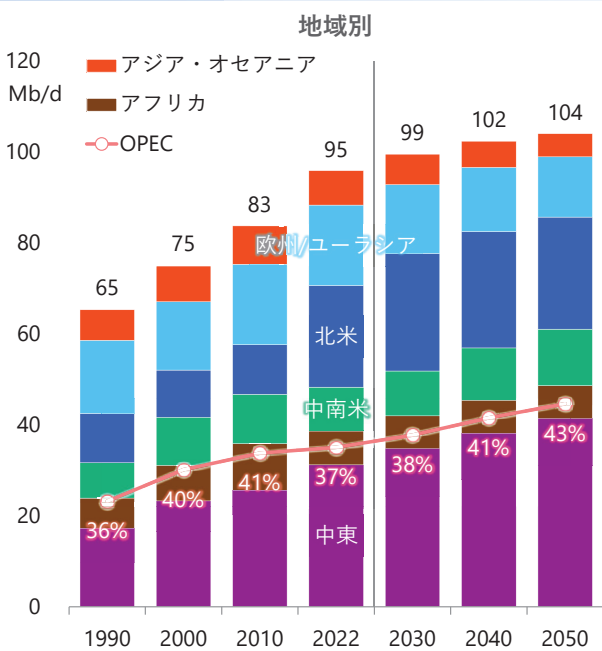


石油消費

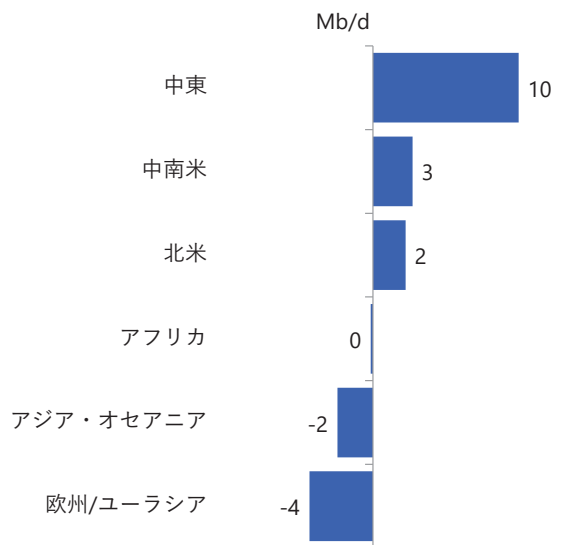


IEEJ © 2024

原油生産

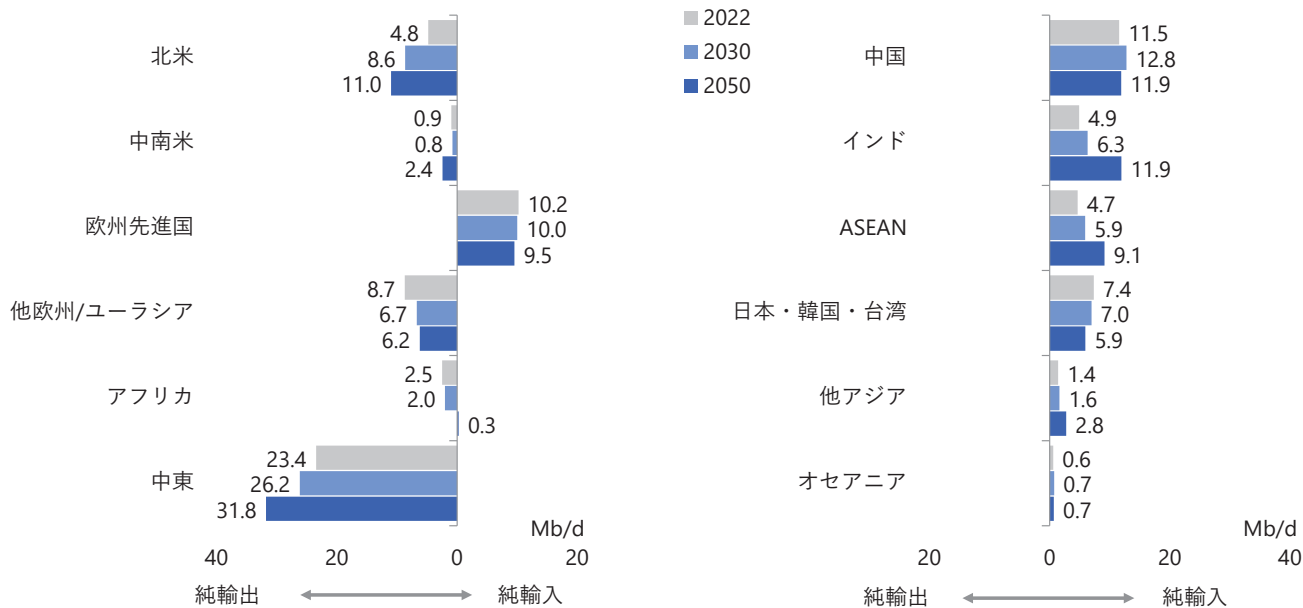


増減分(2022-2050年)

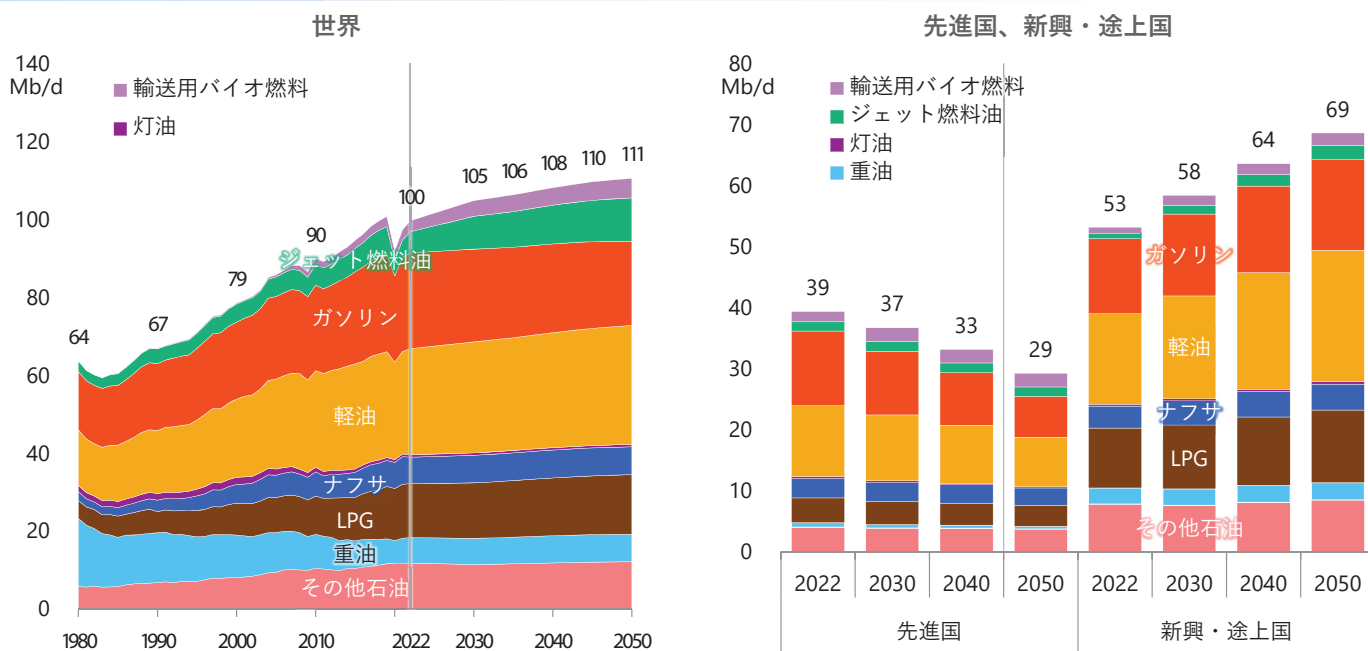


IEEJ © 2024

石油純輸出入

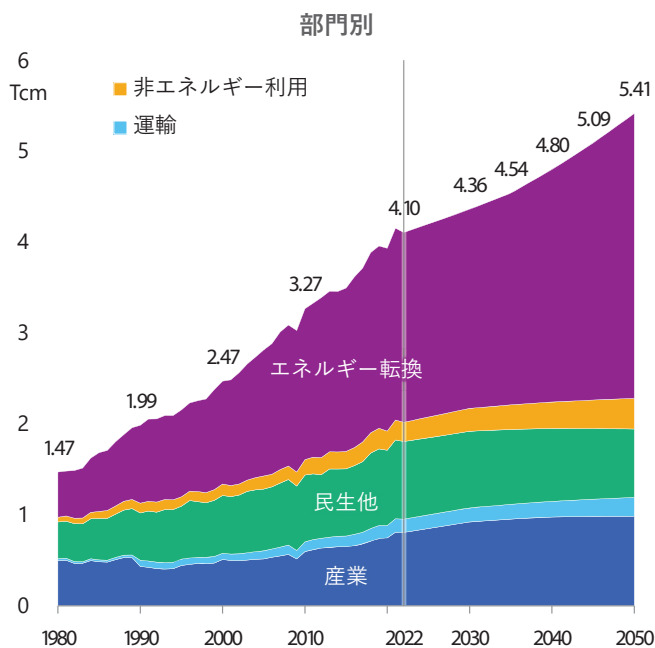
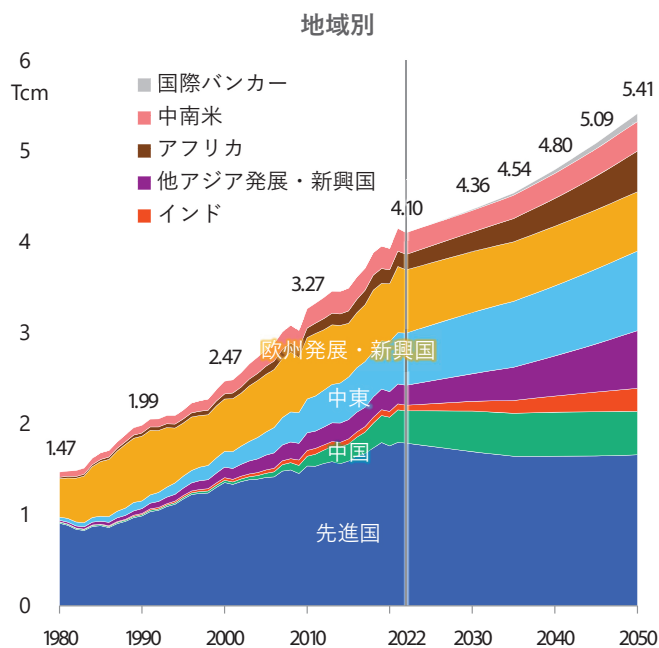


液体燃料需要

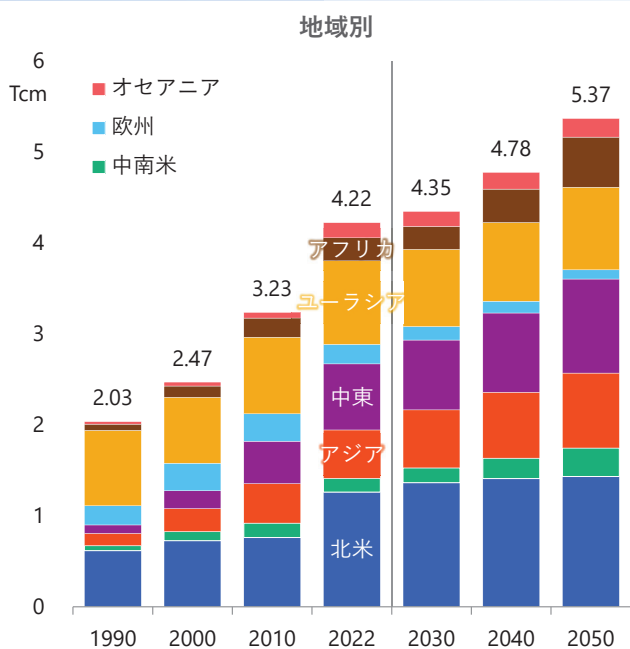


注: その他石油は、原油(直接消費分)、アスファルト、製油所ガス、ガス液化油[GTL]などを含む

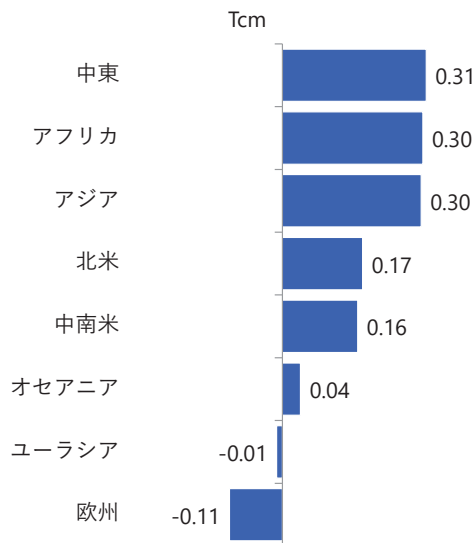
天然ガス消費



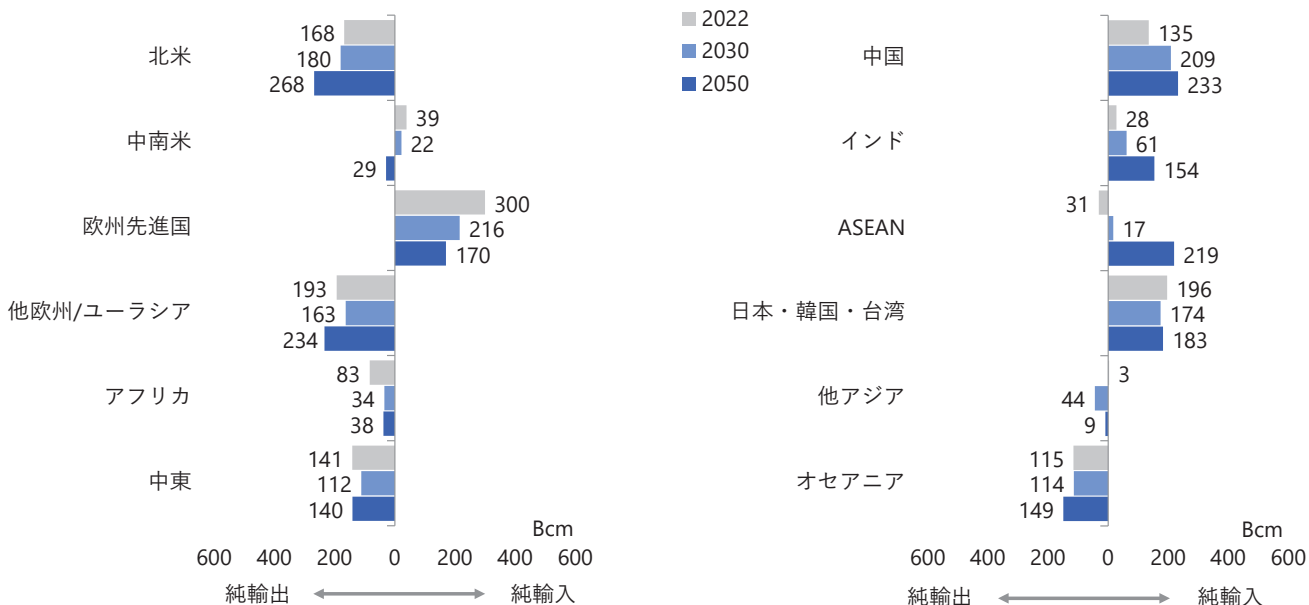
天然ガス生産



増減分(2022-2050)

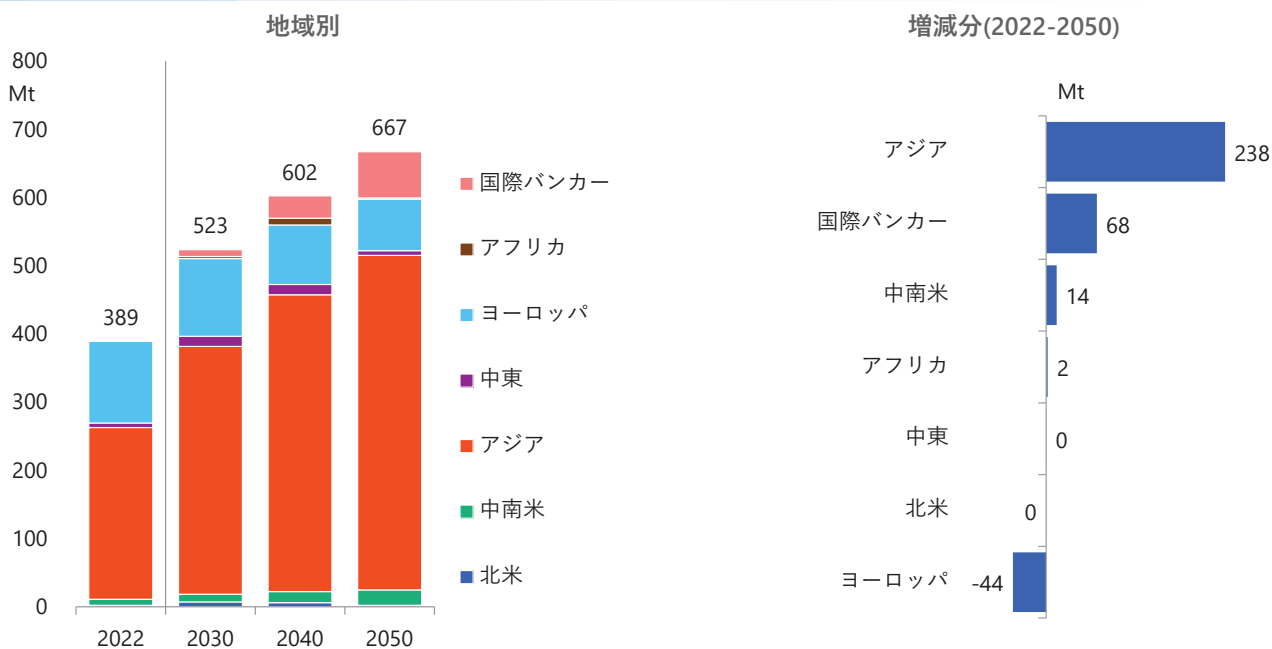


天然ガス純輸出入量



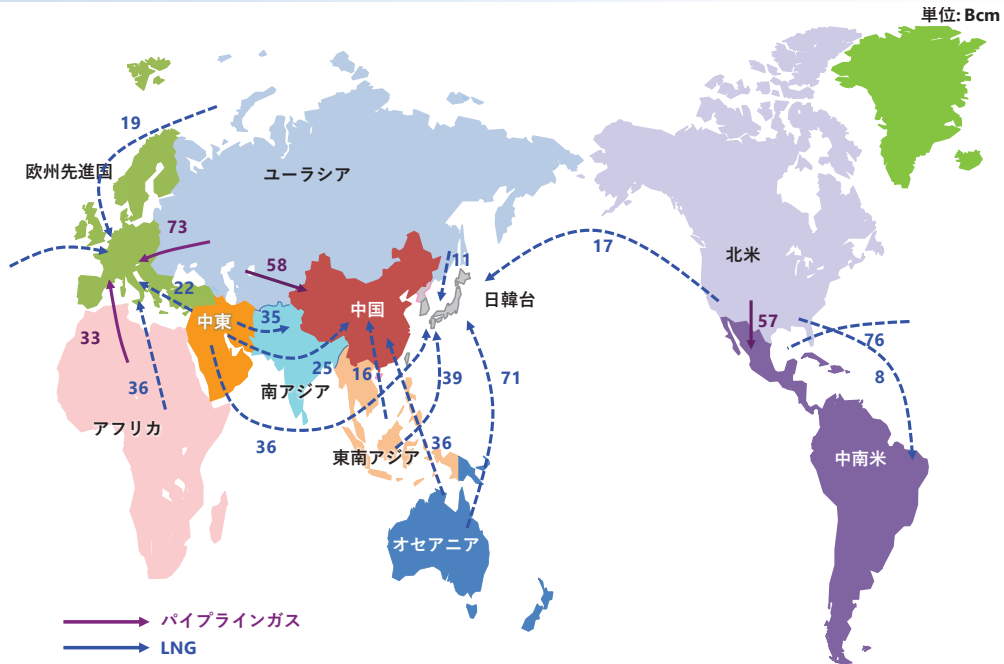
IEEJ © 2024

LNG需要量



IEEJ © 2024

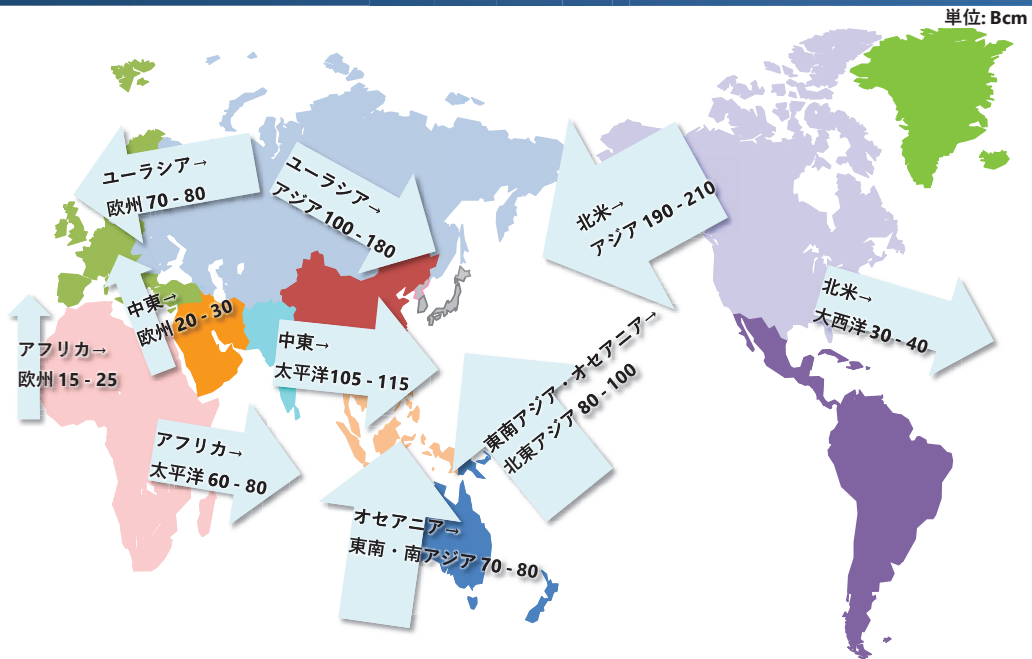
主要な天然ガス貿易フロー(2023年)



注: 主な地域間貿易を記載しており、全貿易量を包含するものではない。

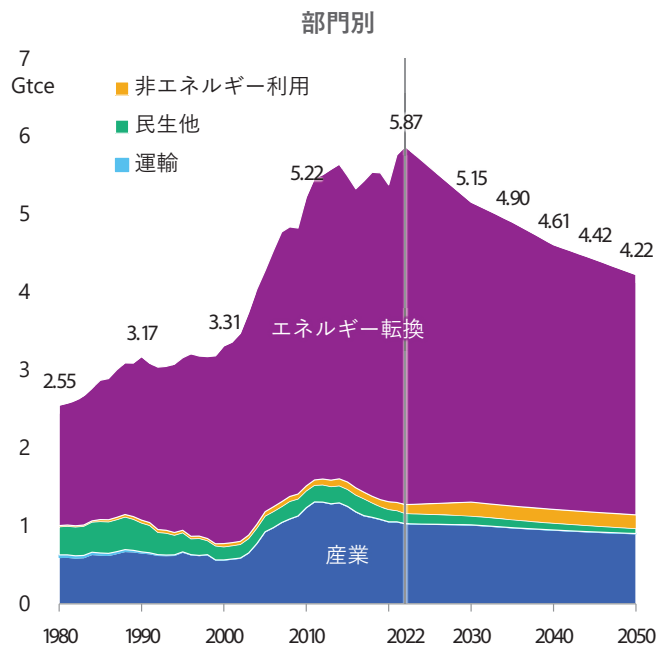
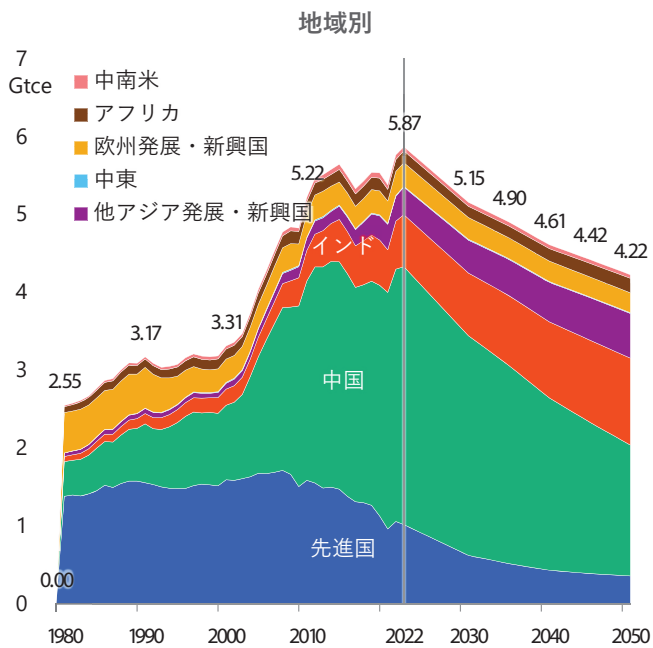
レファレンスシナリオ

主要な天然ガス貿易フロー(2050年)



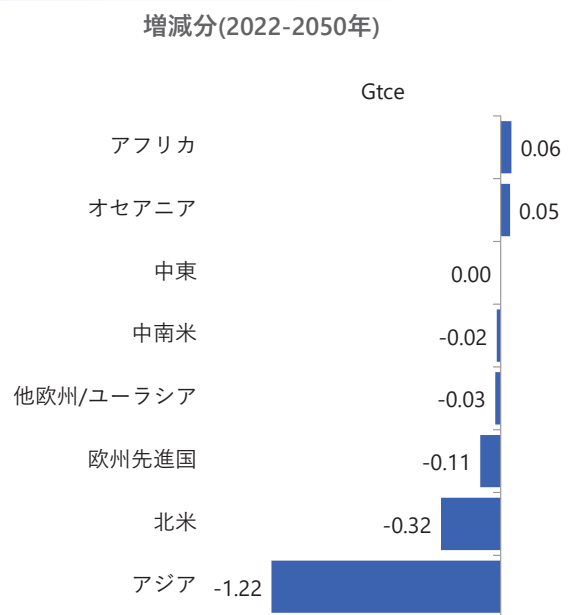
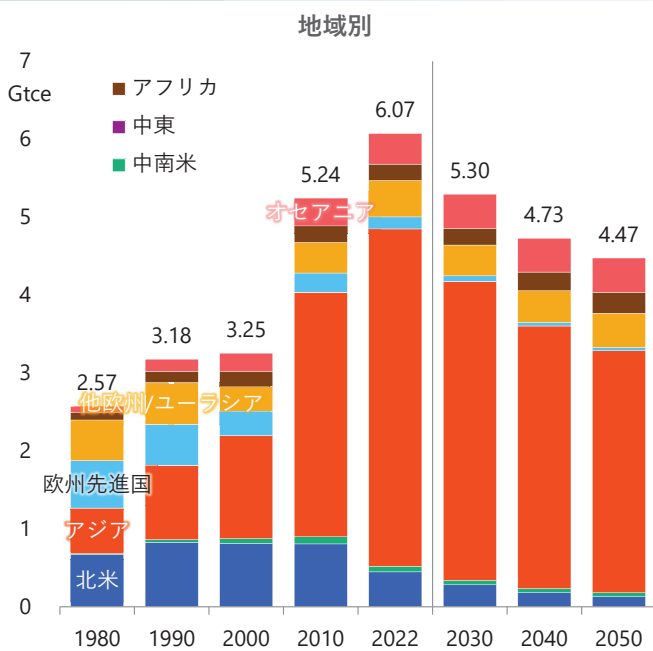
注: 主な地域間貿易を記載しており、全貿易量を包含するものではない。

石炭消費



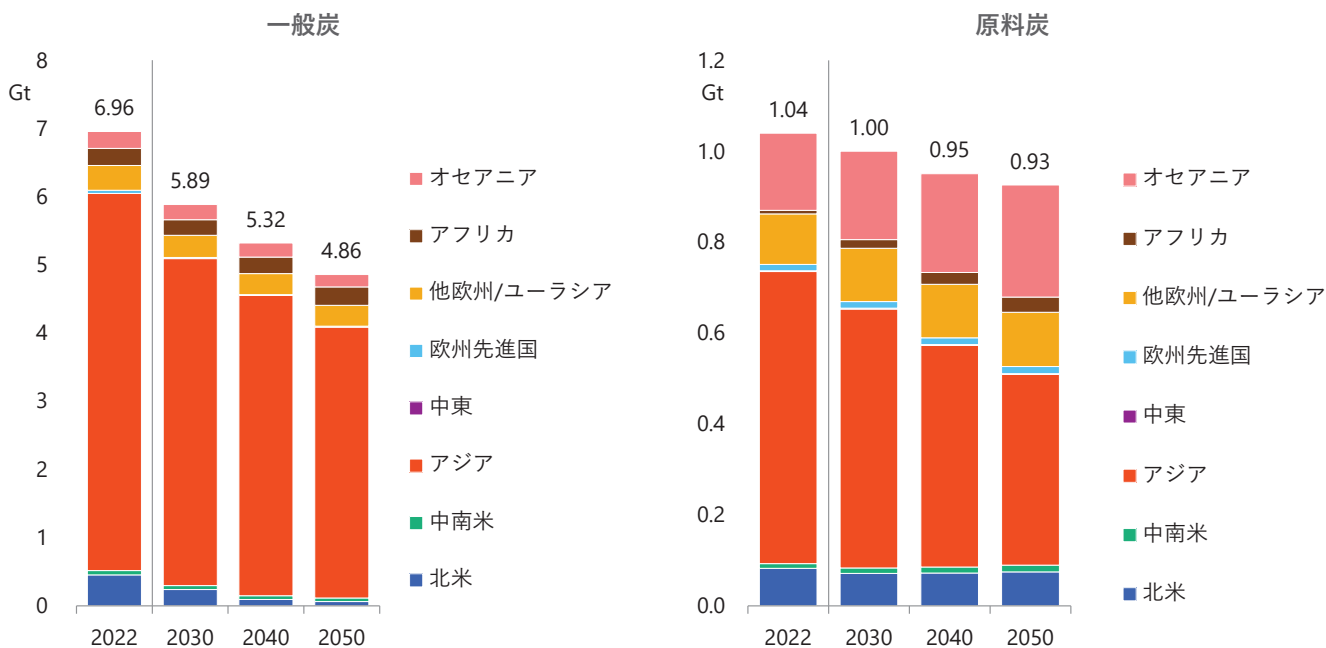
IEEJ © 2024

石炭生産



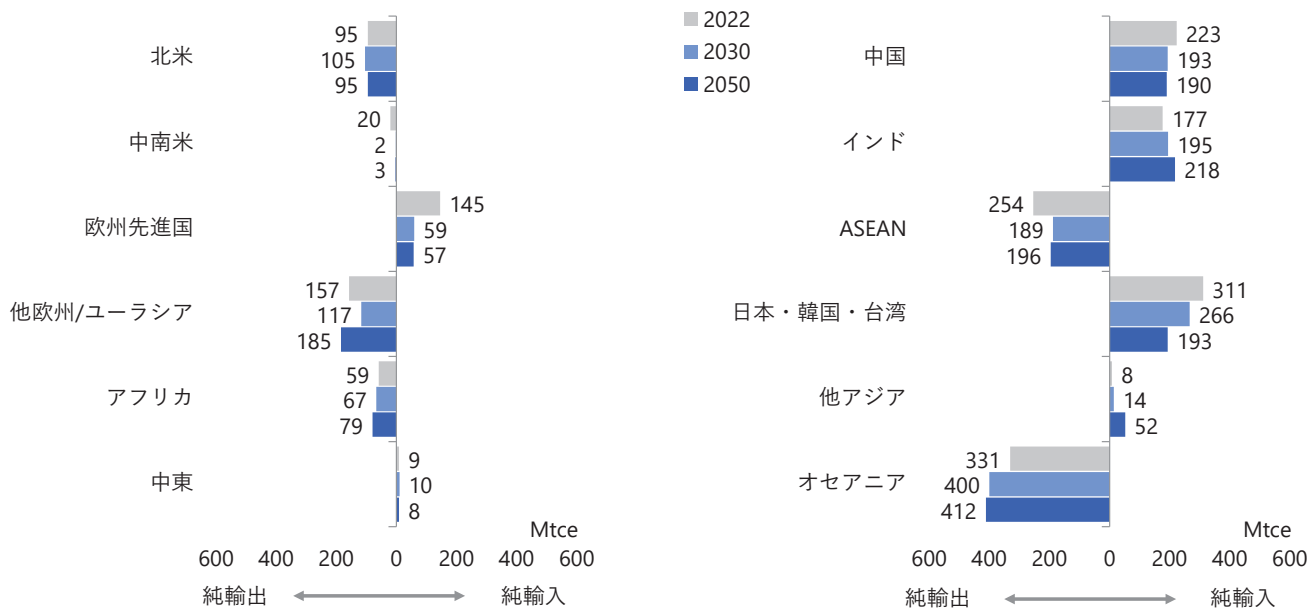
IEEJ © 2024

石炭生産(一般炭・原料炭)



IEEJ © 2024

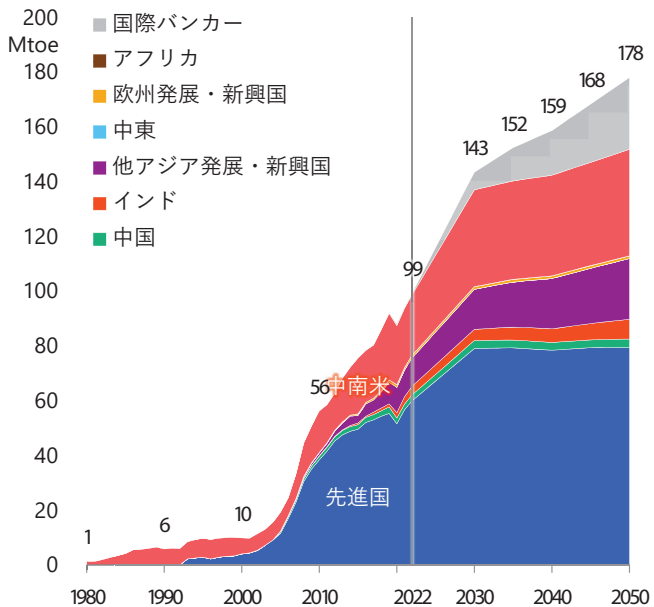
石炭純輸出入量



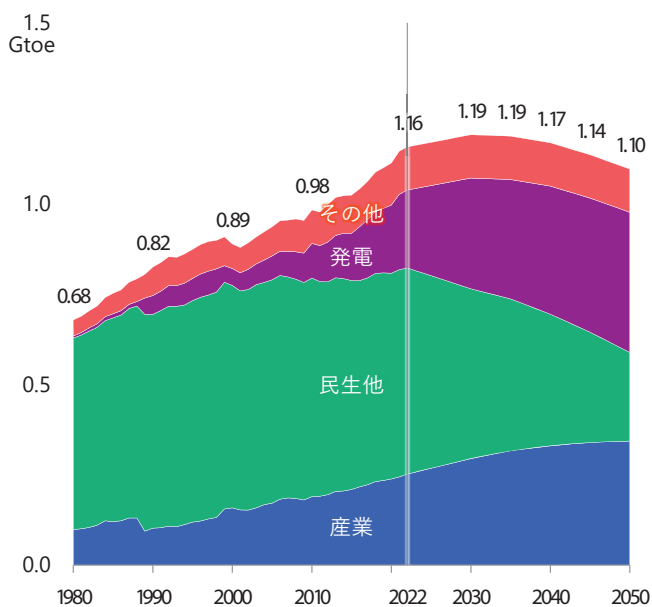
IEEJ © 2024

バイオエネルギー消費

輸送用バイオ燃料



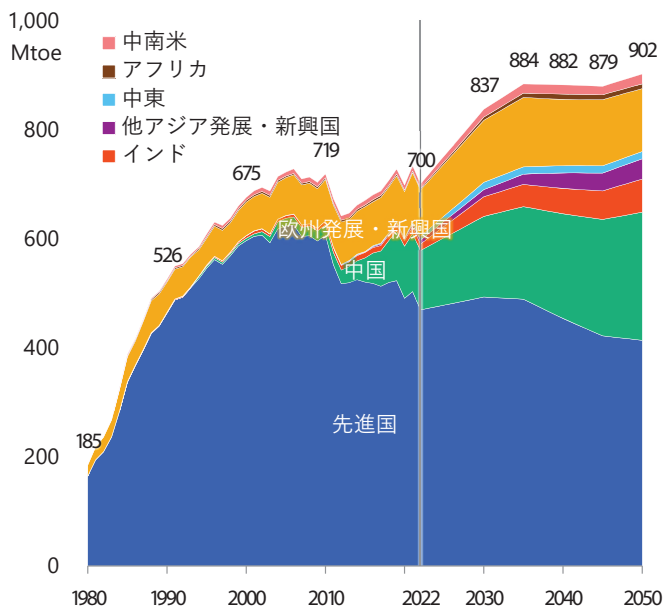
固形バイオマス



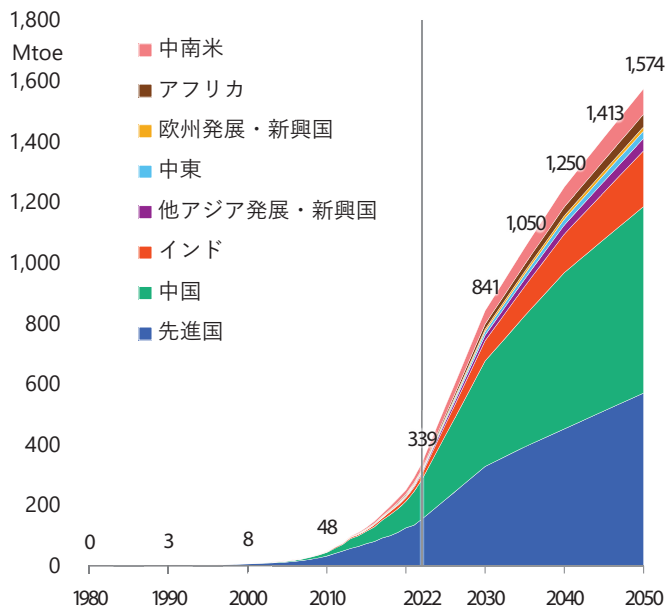
IEEJ © 2024

原子力、太陽・風力等消費

原子力

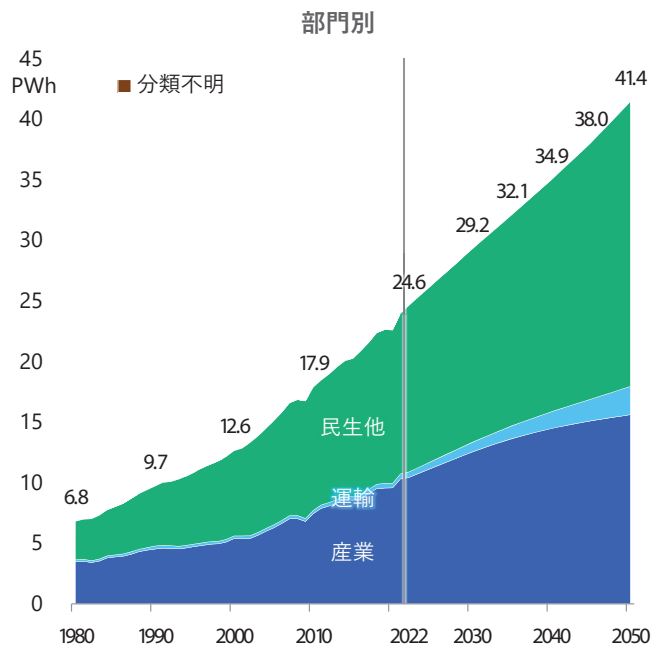
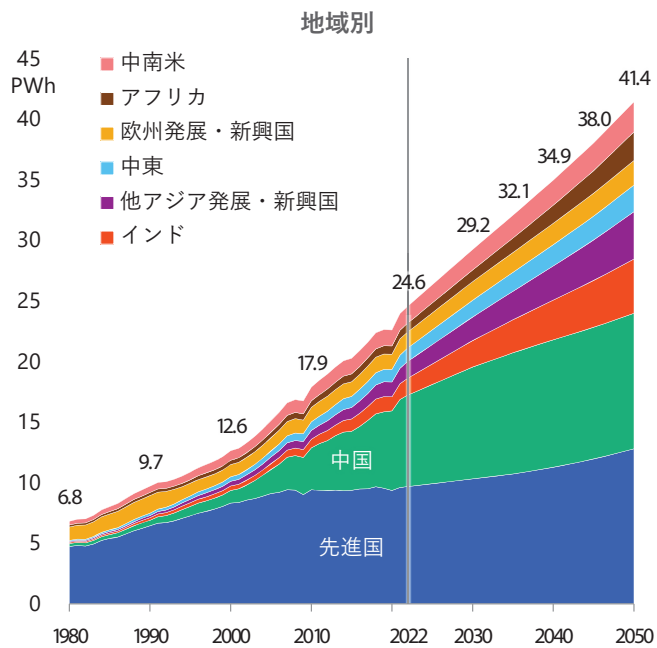


太陽・風力等

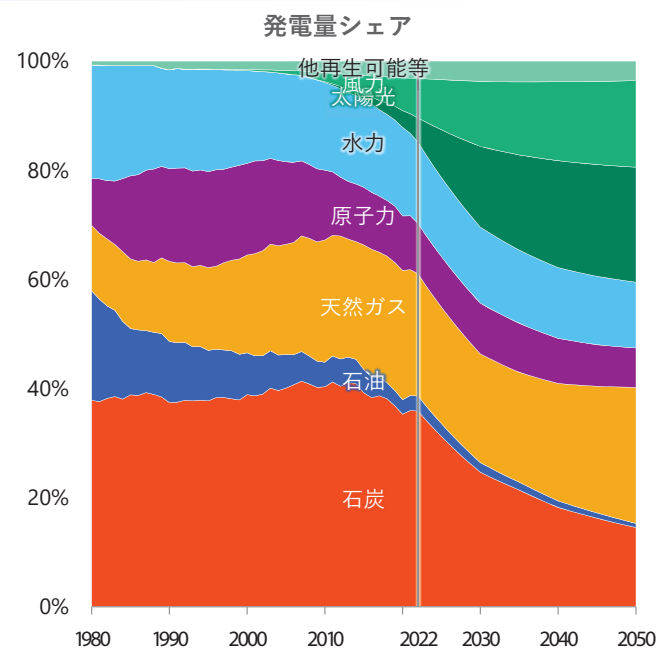
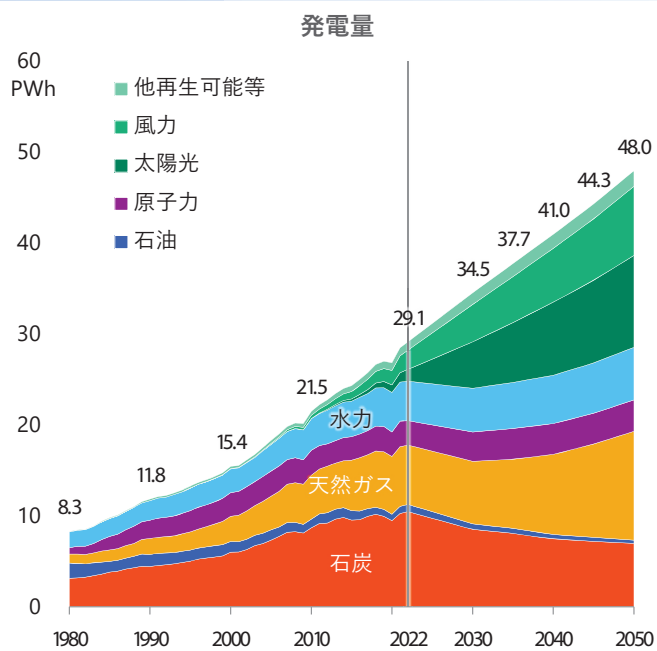


IEEJ © 2024

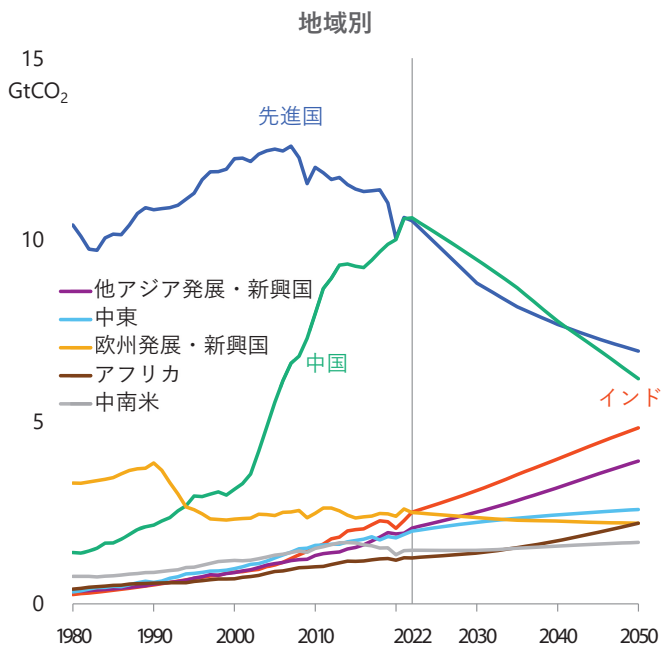
電力最終消費



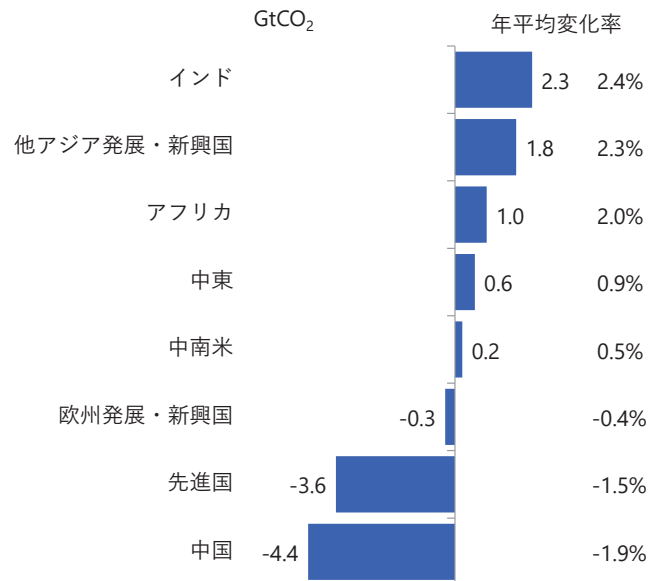
発電構成



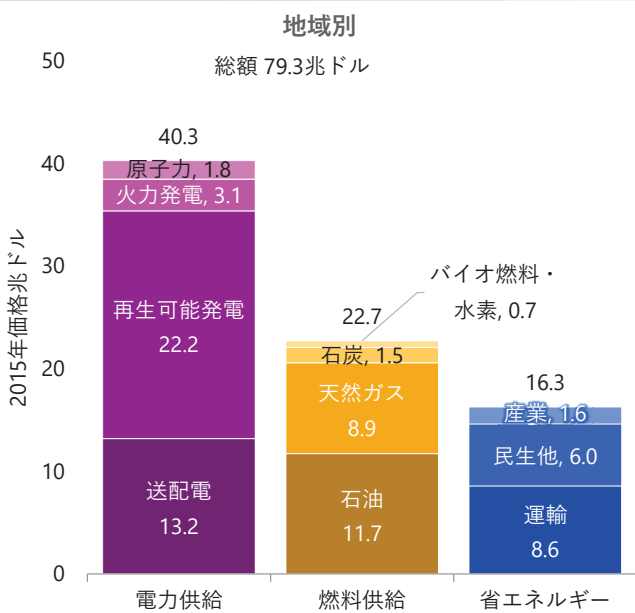
エネルギー起源二酸化炭素排出量



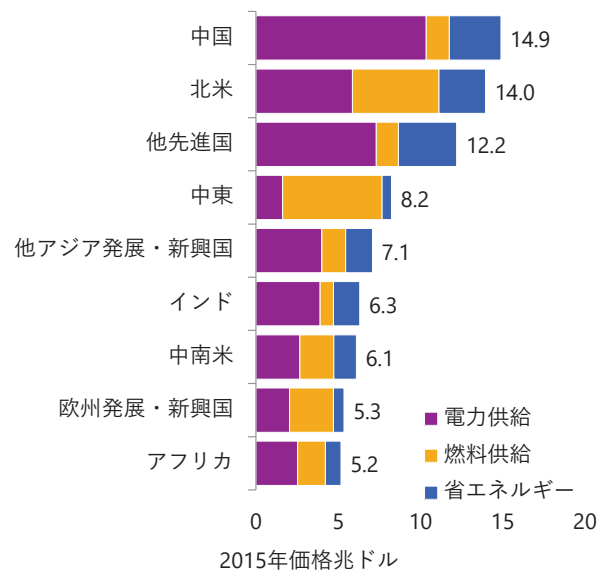
増減分(2022-2050年)



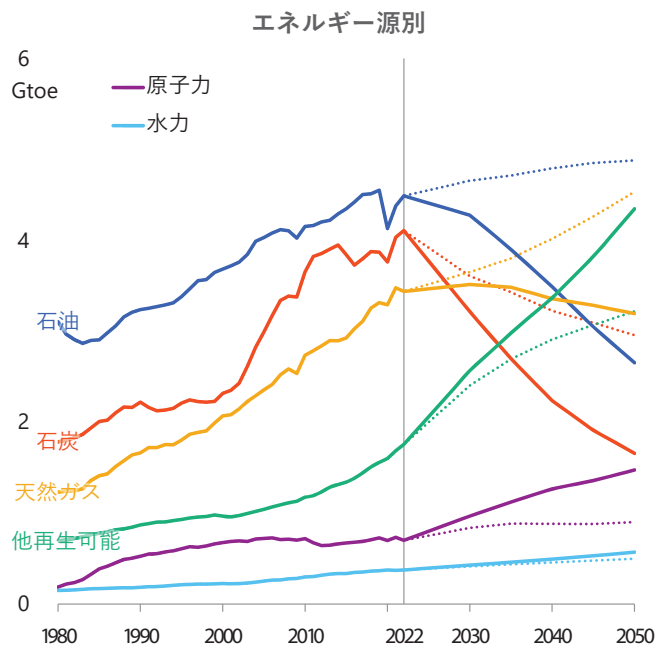
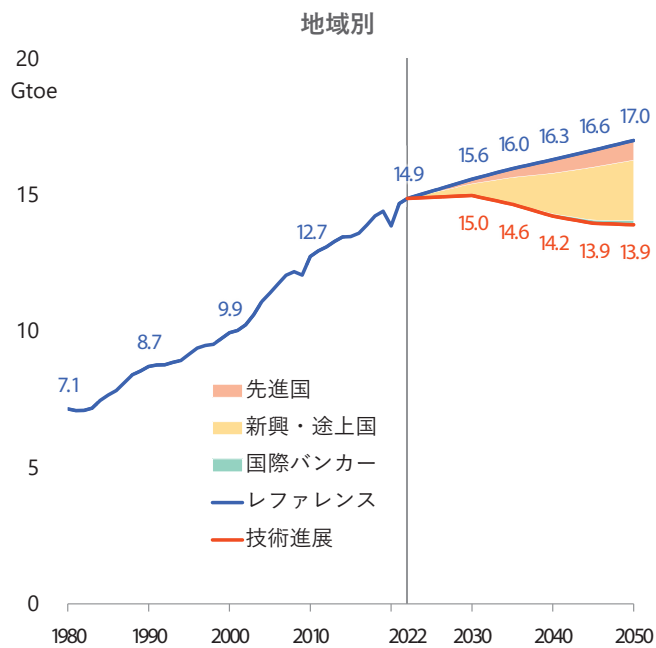
エネルギー関連投資額(2023年~2050年 累積投資額)



部門別

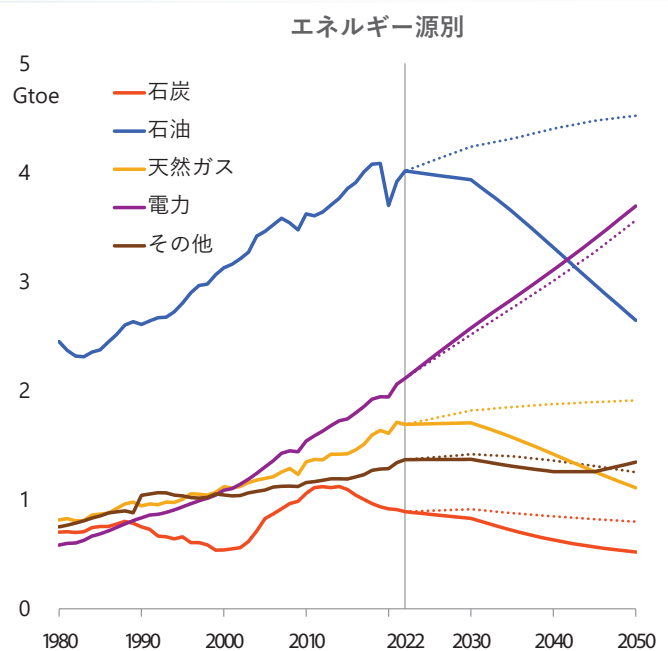
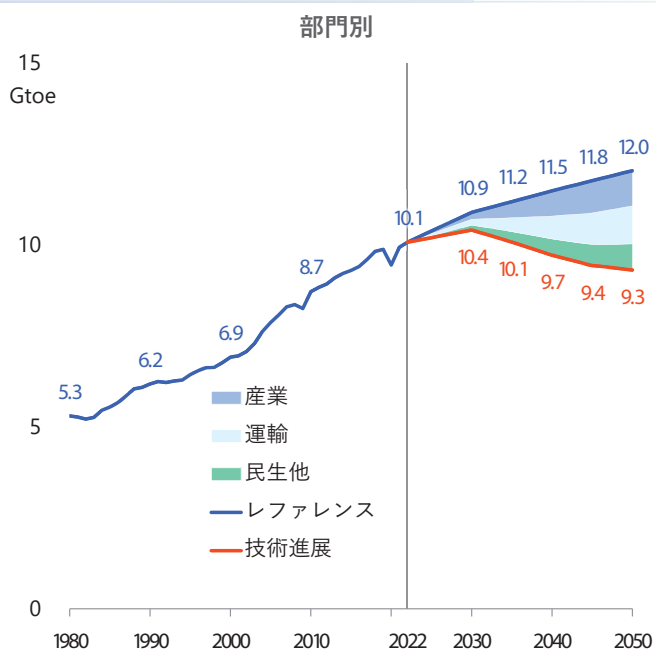


一次エネルギー消費



(注)実線: 技術進展、点線: レファレンス

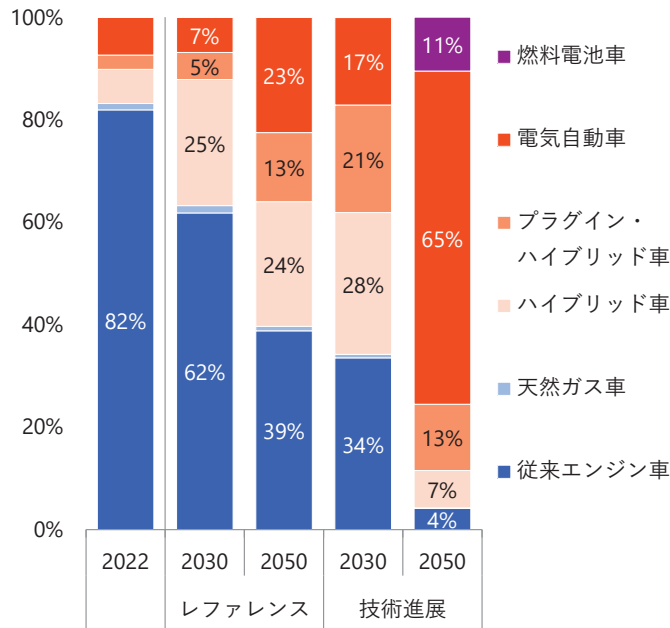
最終エネルギー消費



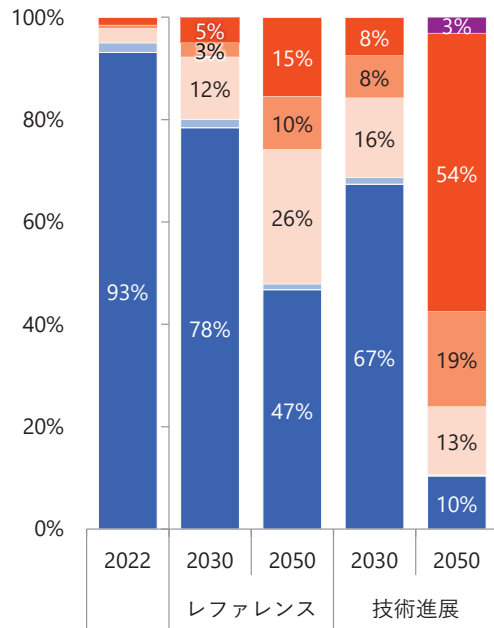
(注)実線: 技術進展、点線: レファレンス

自動車駆動タイプ構成(乗用車)

新車販売台数構成

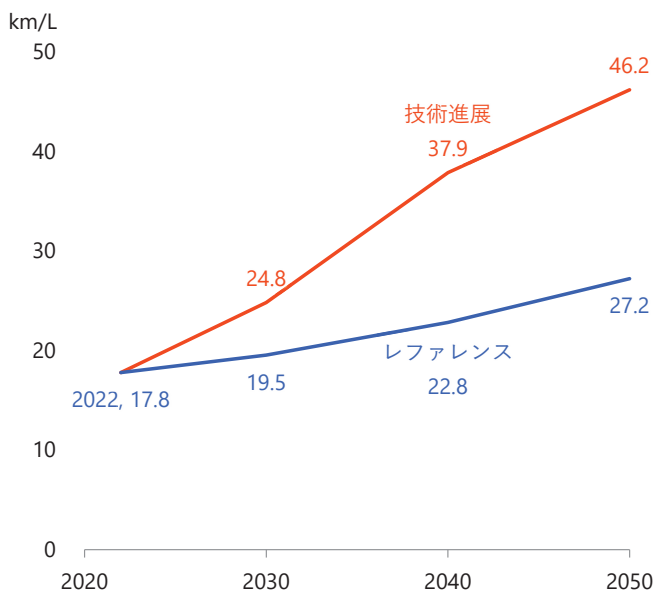


保有台数構成

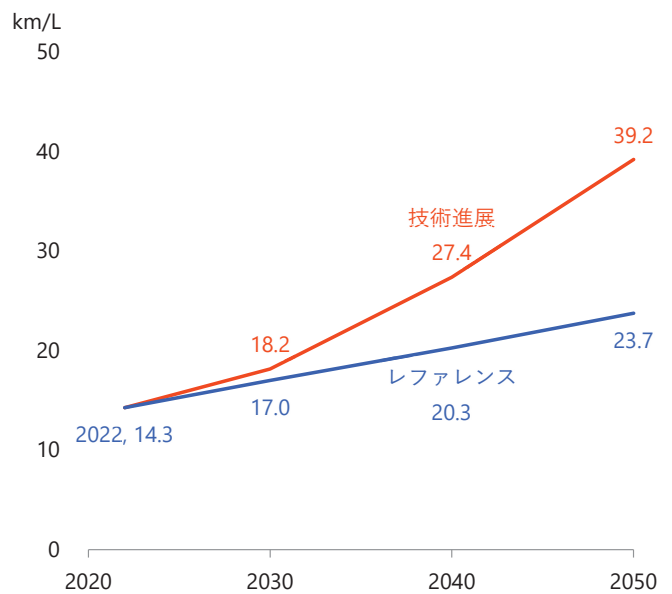


自動車燃費(乗用車)

新車燃費



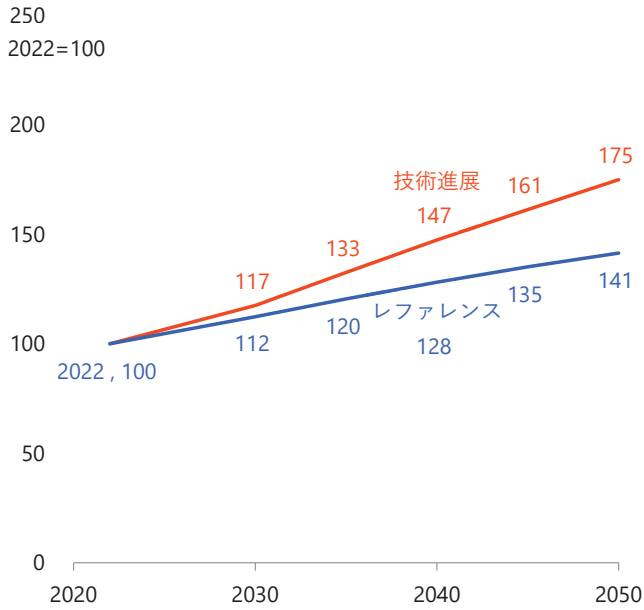
保有燃費



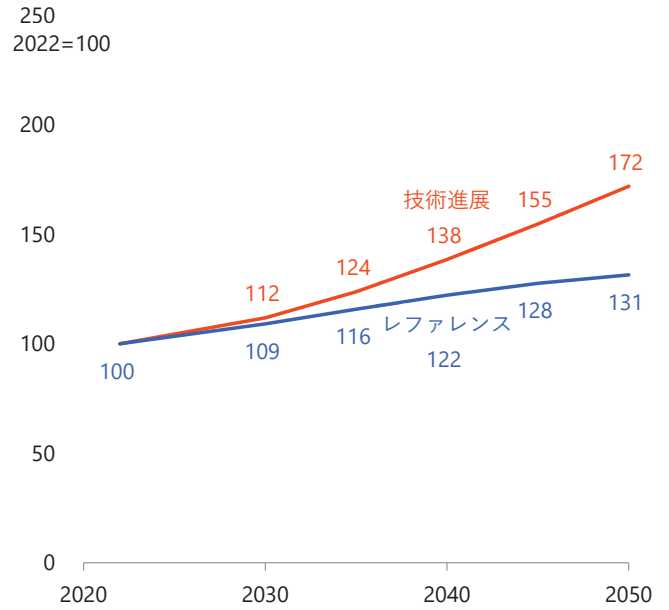
注: ガソリン換算

民生部門総合効率

家庭部門

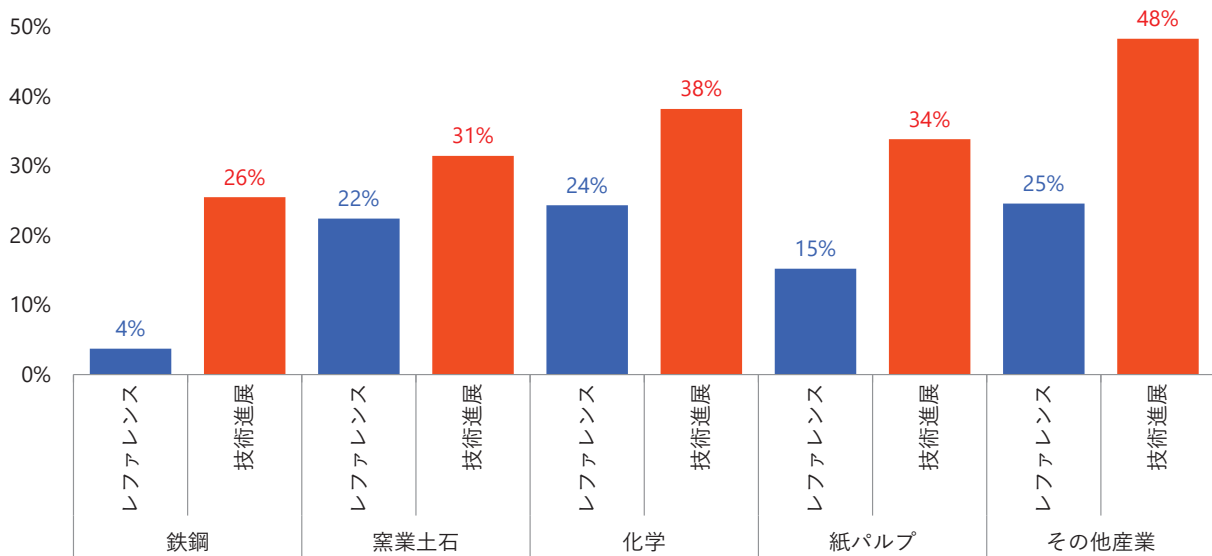


業務部門



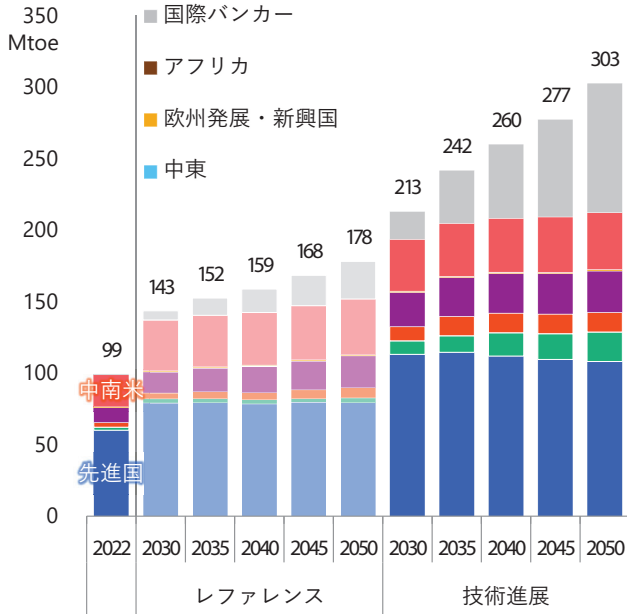
産業部門原単位改善率(2050年)

2022年比改善率

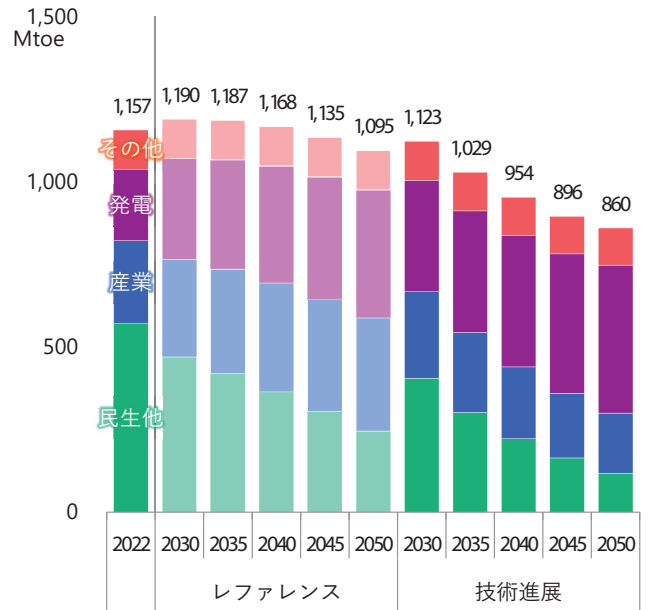


バイオエネルギー消費

輸送用バイオ燃料

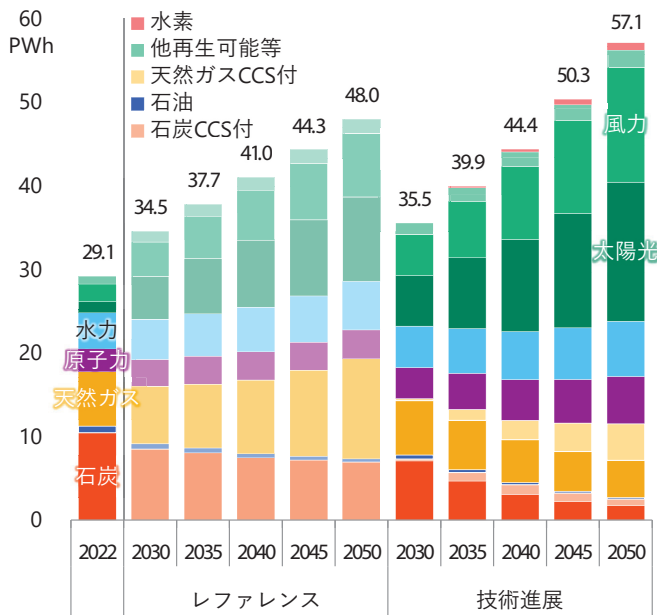


固形バイオマス

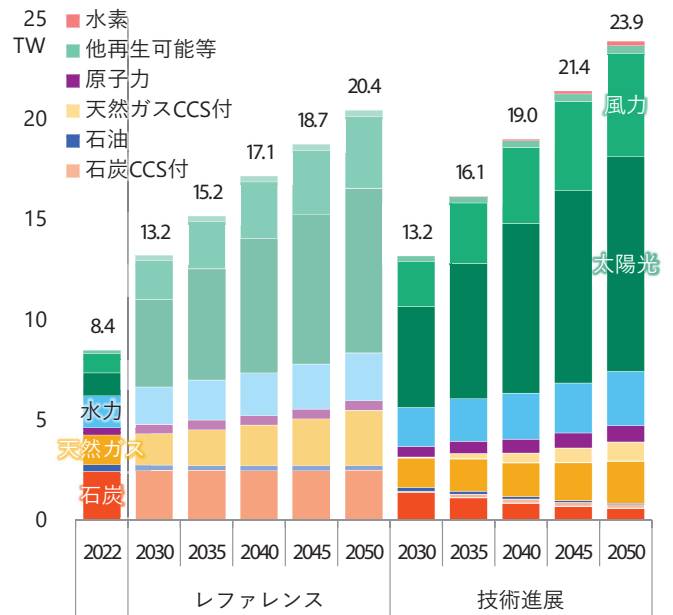


発電構成

発電量

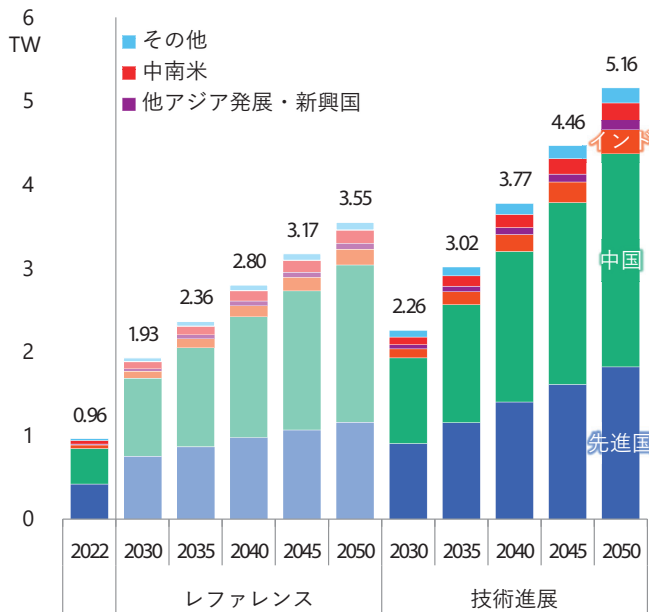


発電設備容量

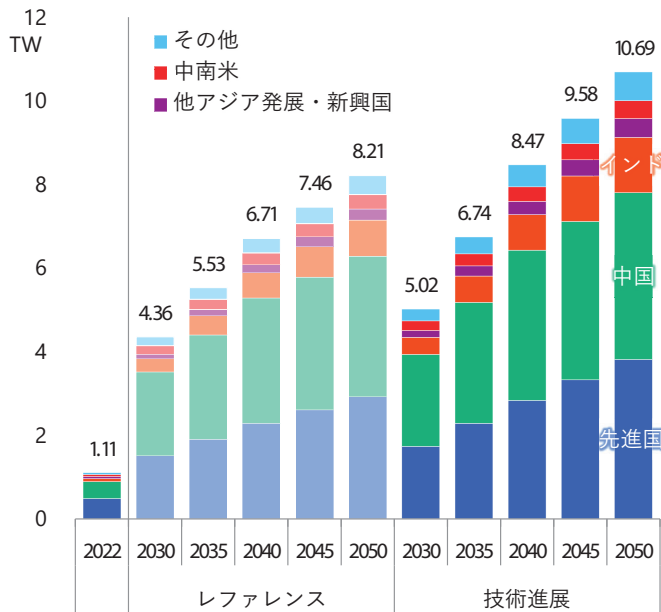


風力・太陽光発電設備容量

風力発電



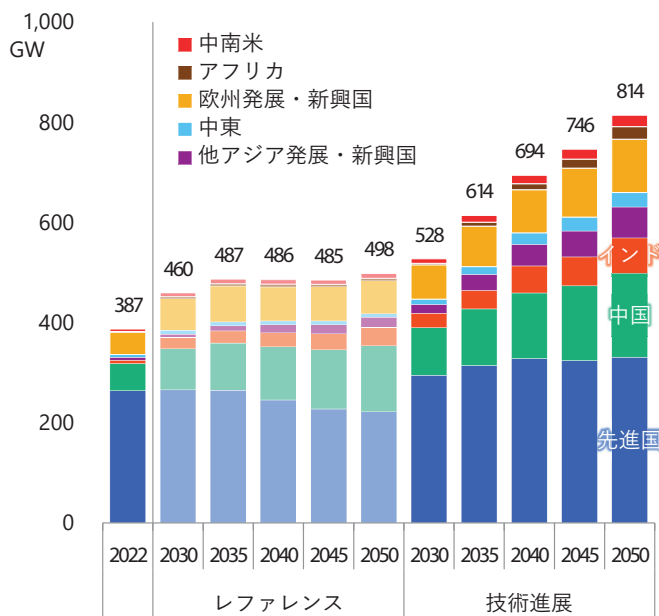
太陽光発電



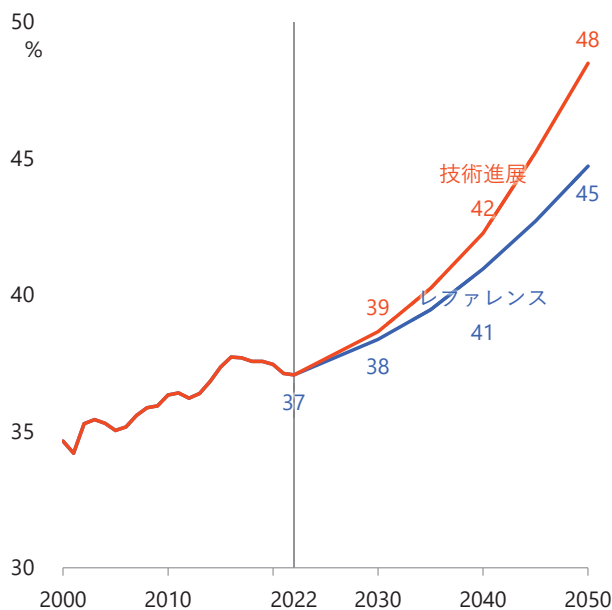
IEEJ © 2024

原子力発電設備容量・火力発電効率

原子力発電



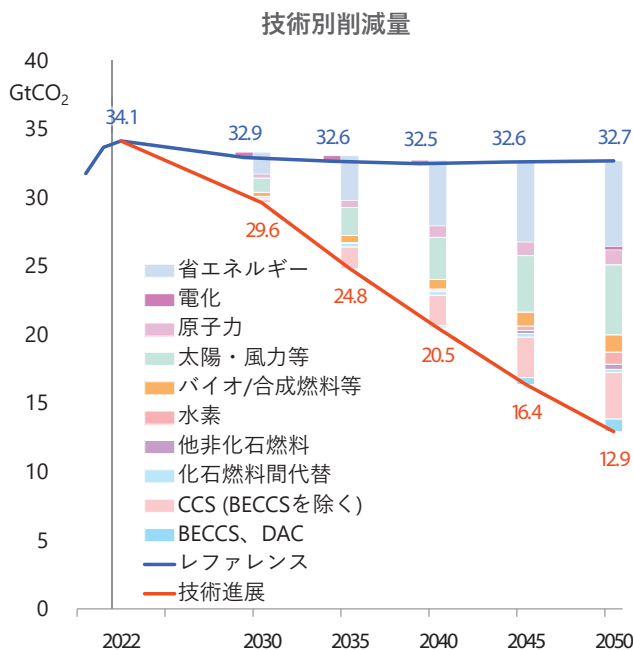
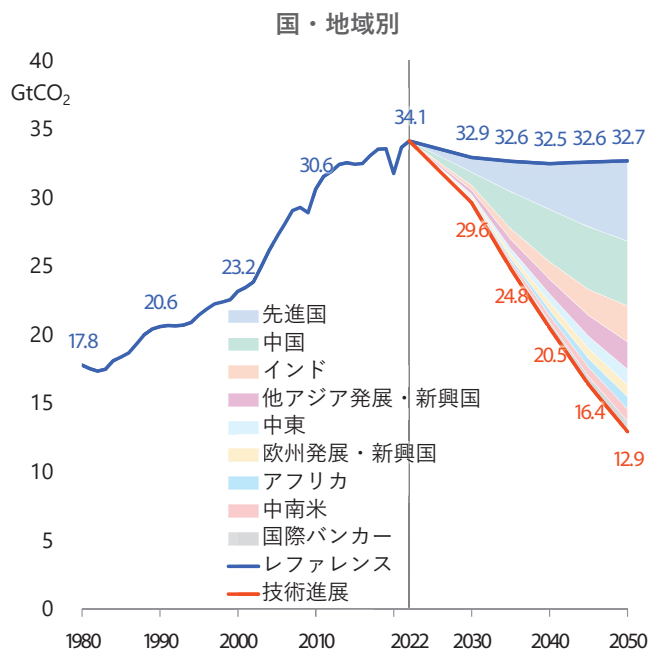
火力発電効率(発電端)



注: バイオマス・廃棄物を除く

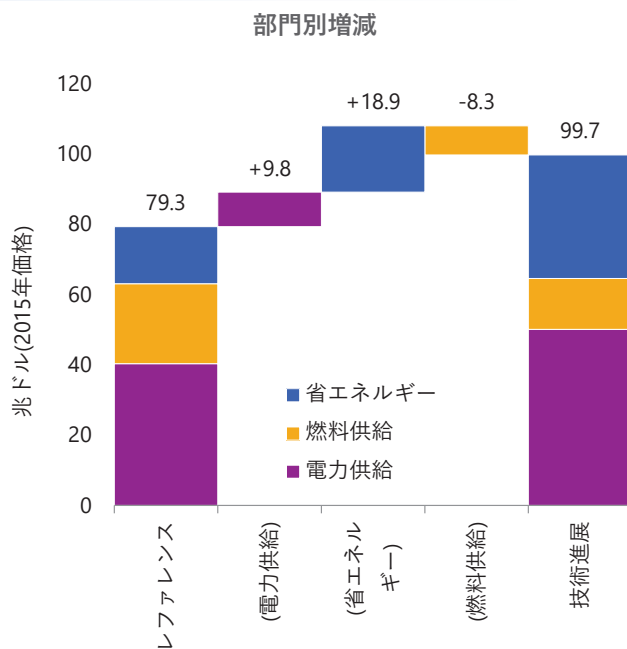
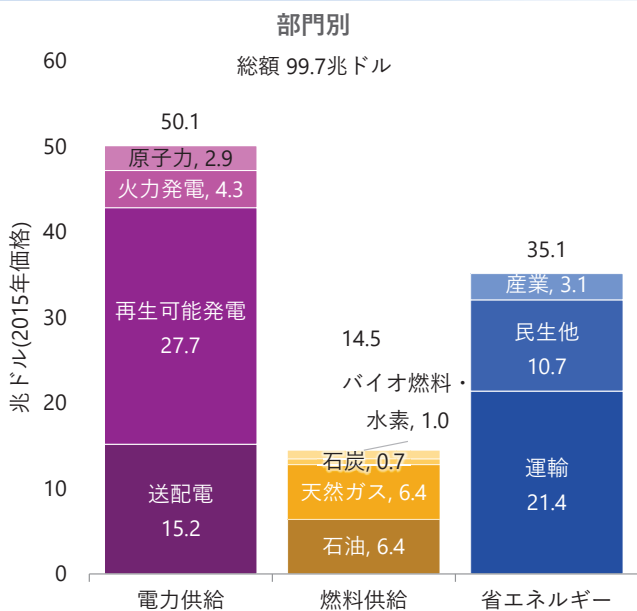
IEEJ © 2024

エネルギー起源二酸化炭素排出量



IEEJ © 2024

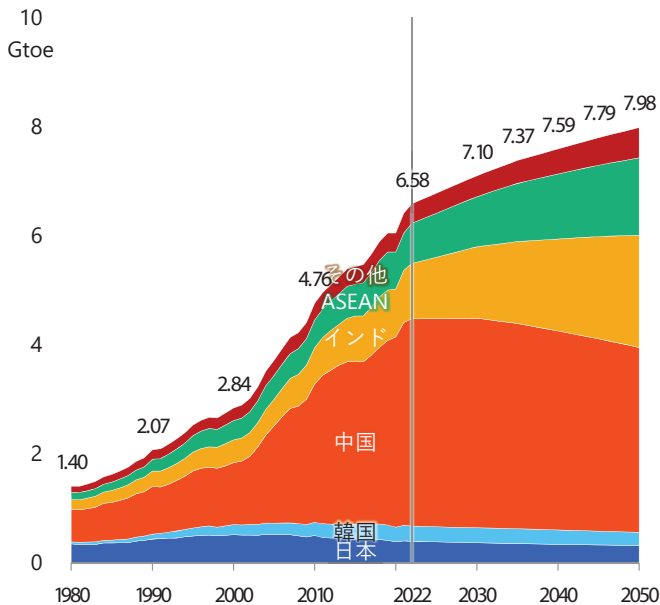
エネルギー関連投資額(2023年~2050年 累積投資額)



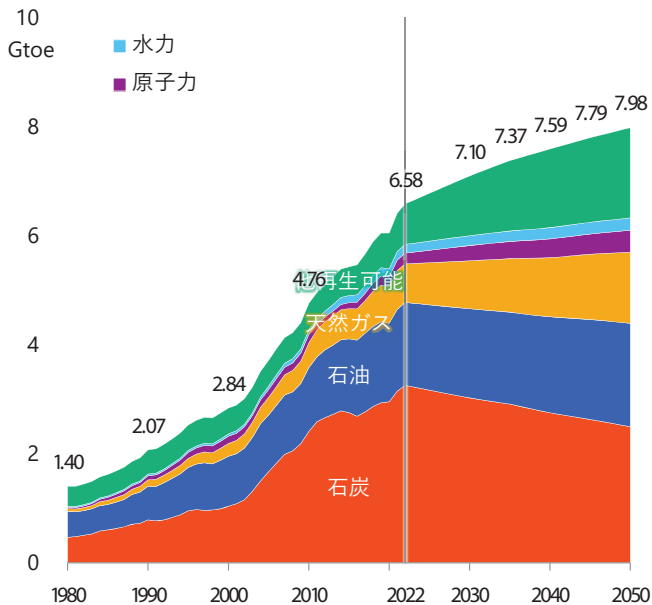
IEEJ © 2024

一次エネルギー消費

地域別

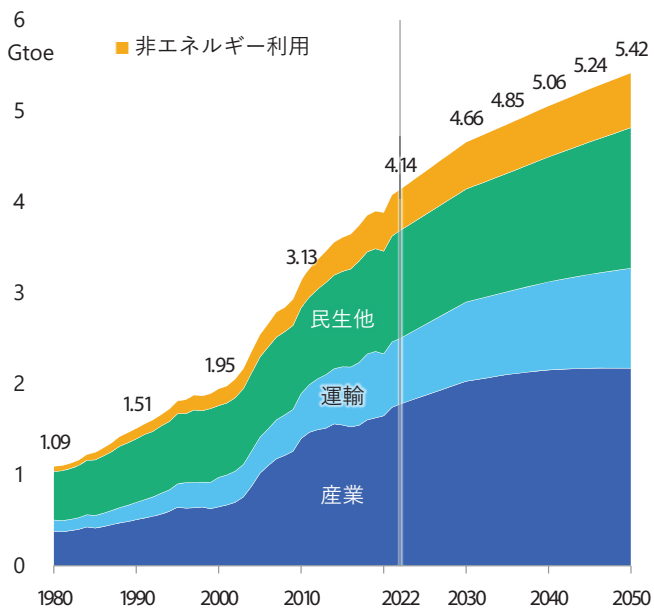


エネルギー源別

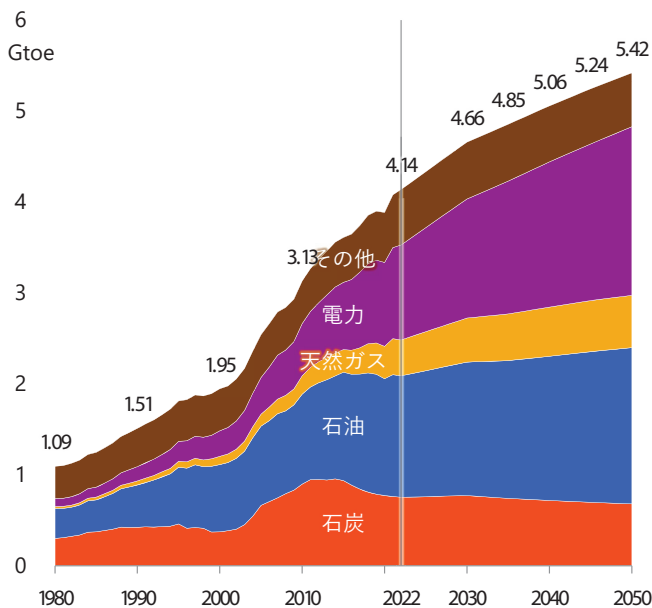


最終エネルギー消費

部門別

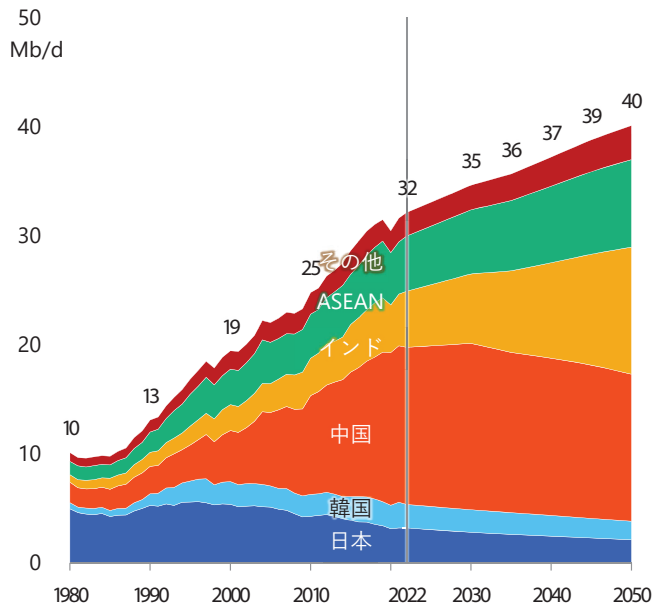


エネルギー源別

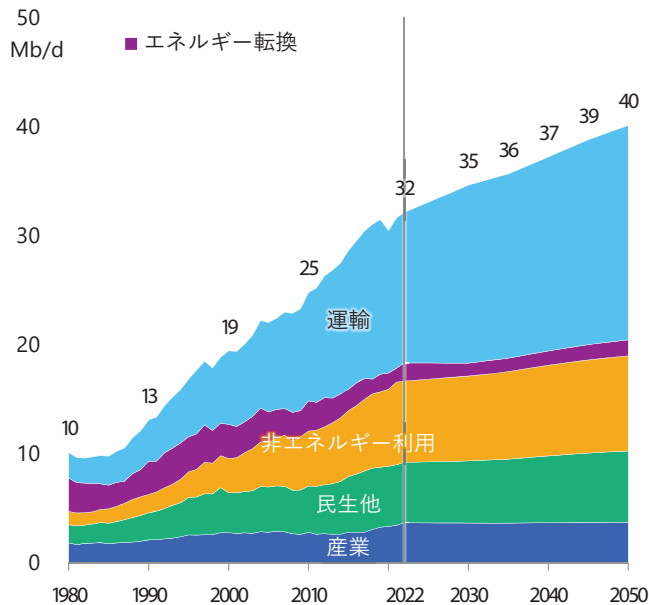


石油消費

地域別

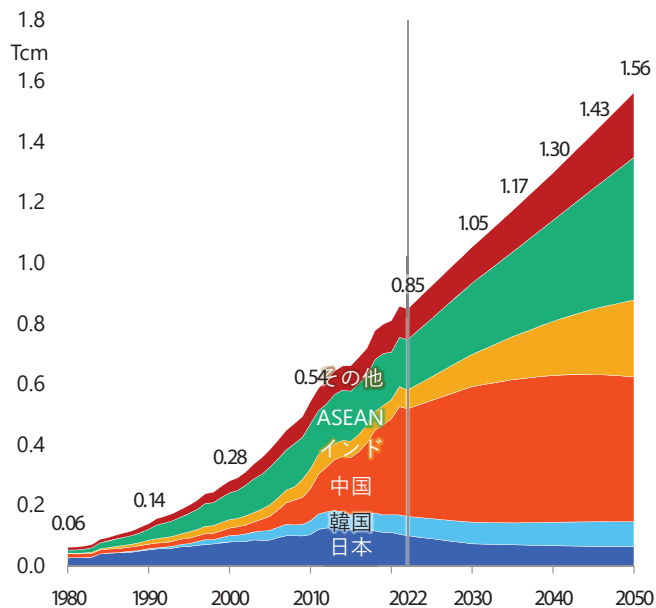


部門別

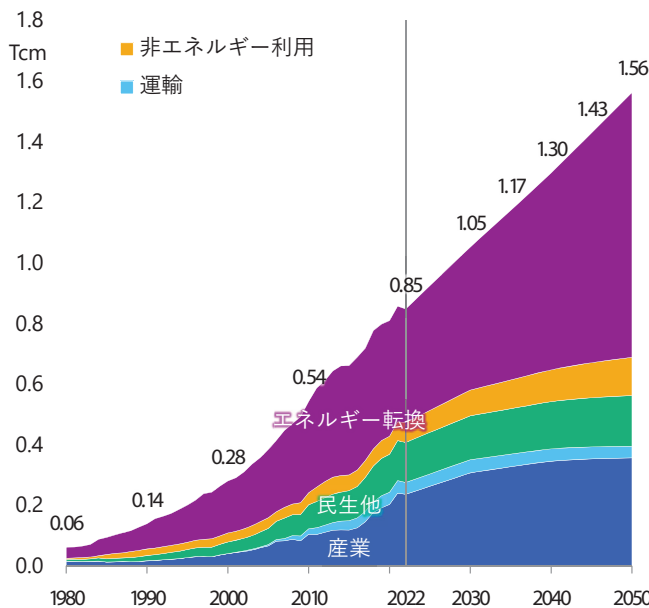


天然ガス消費

地域別

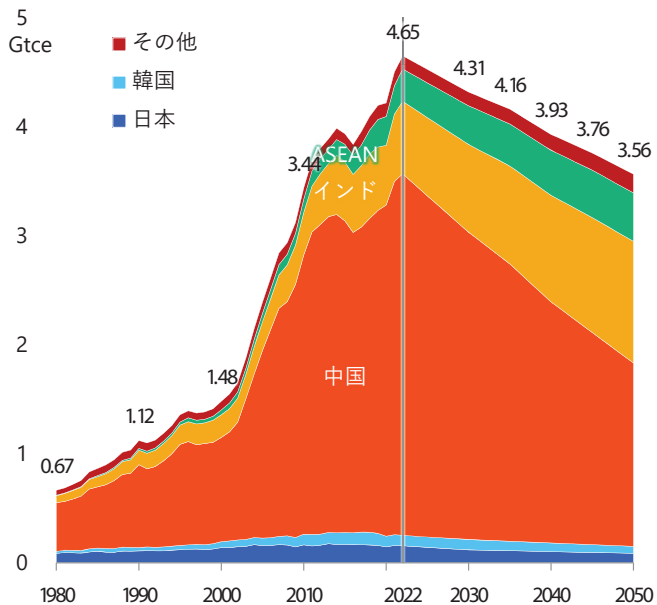


部門別

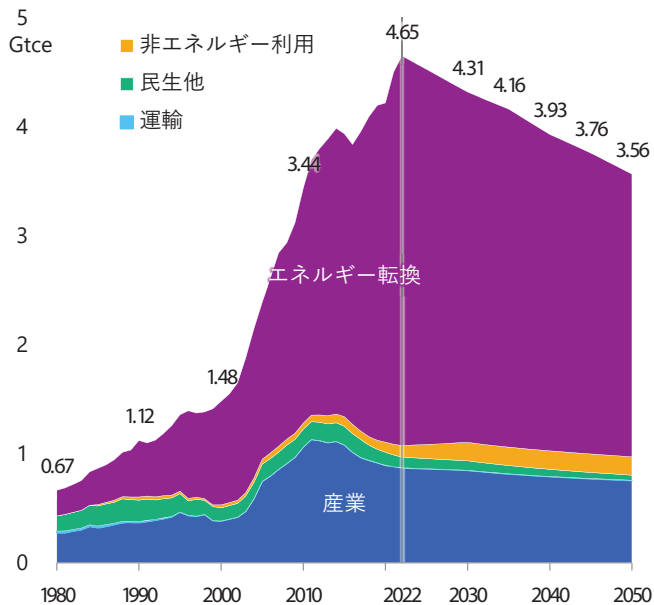


石炭消費

地域別

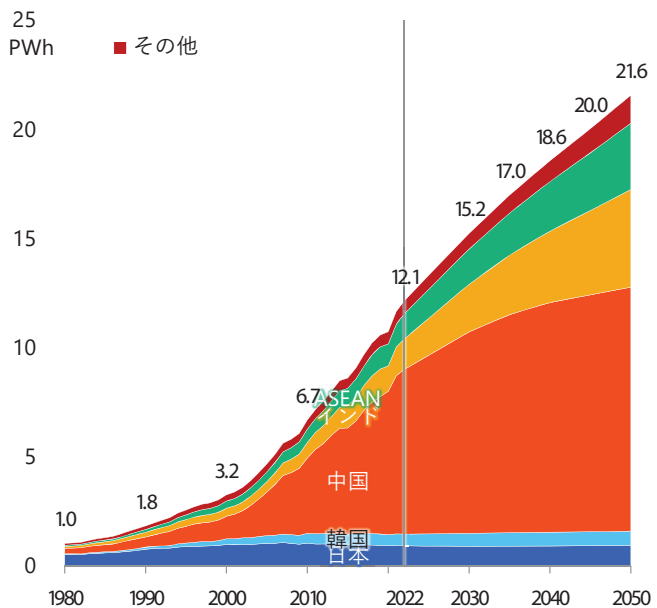


部門別

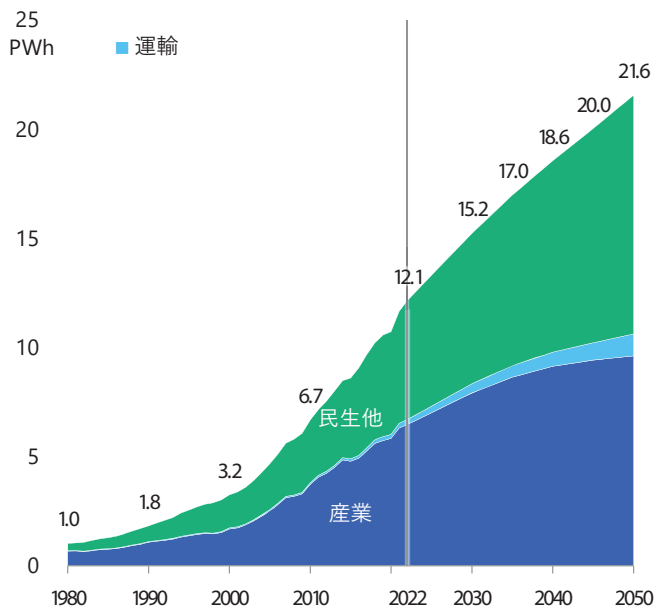


電力最終消費

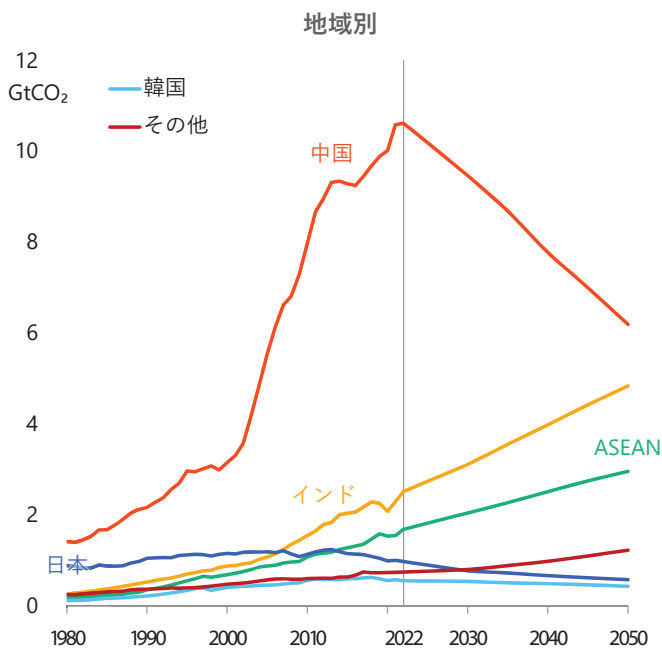
地域別



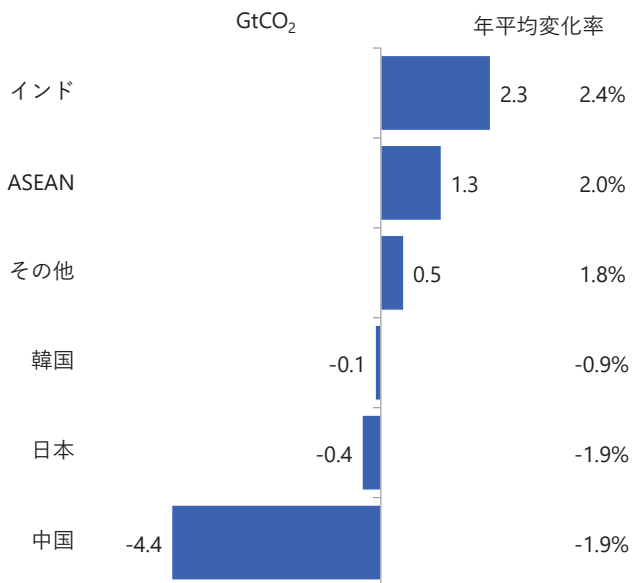
部門別



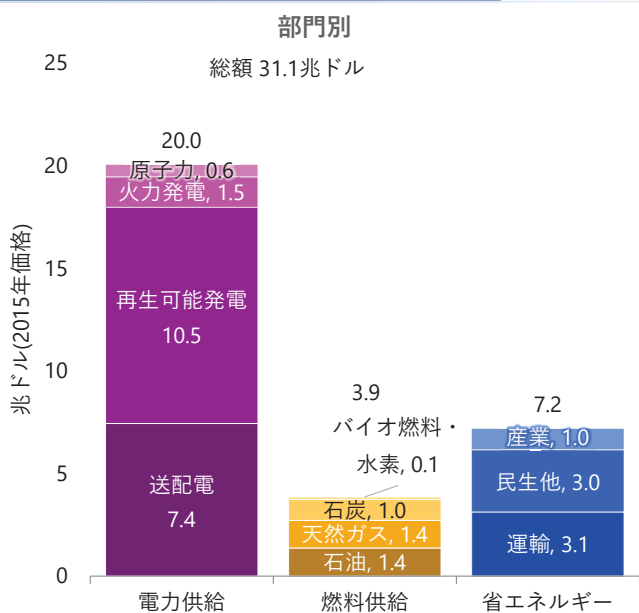
エネルギー起源二酸化炭素排出量



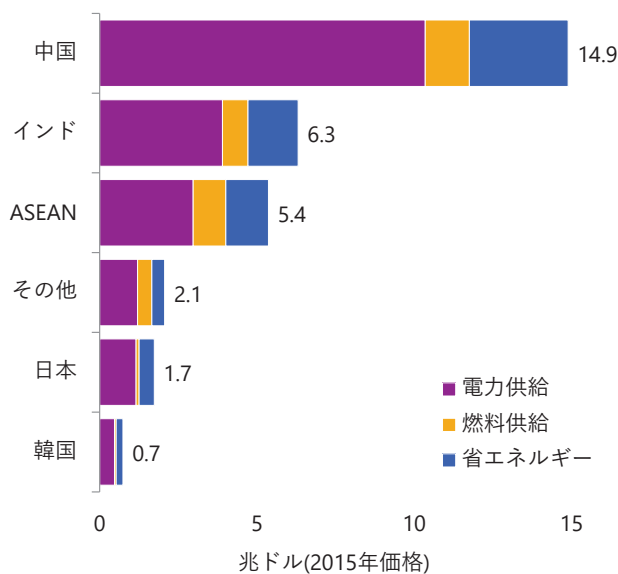
増減分(2022-2050年)



エネルギー関連投資額(2023年~2050年 累積投資額)

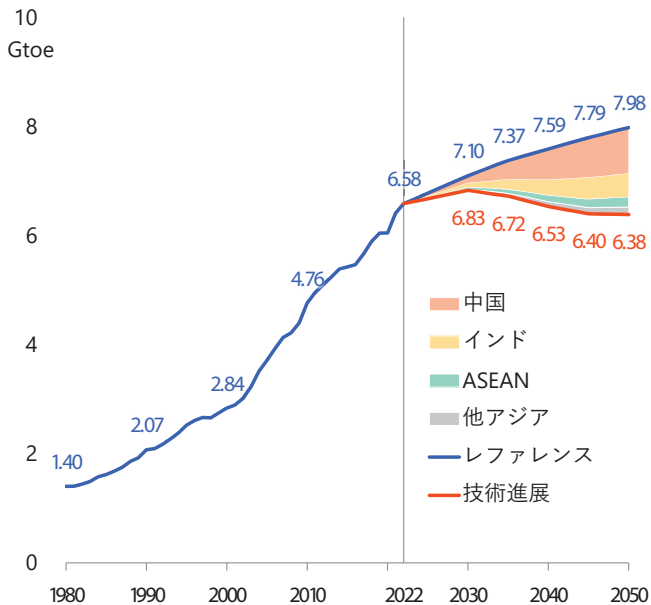


地域別

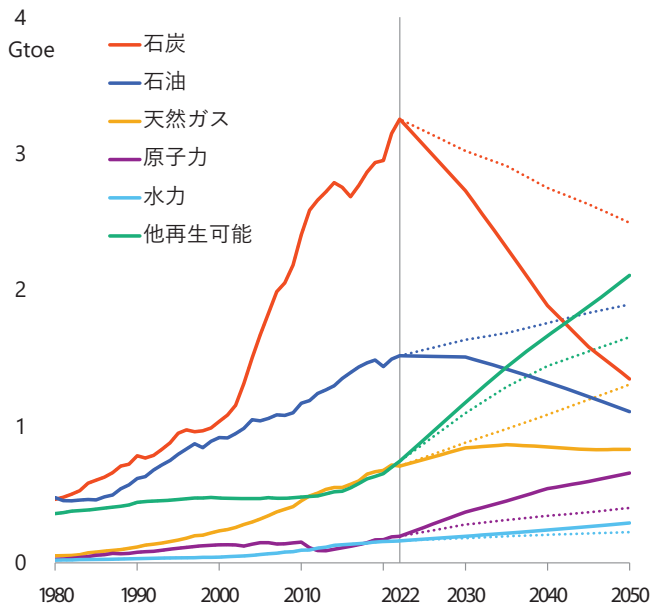


一次エネルギー消費

国・地域別



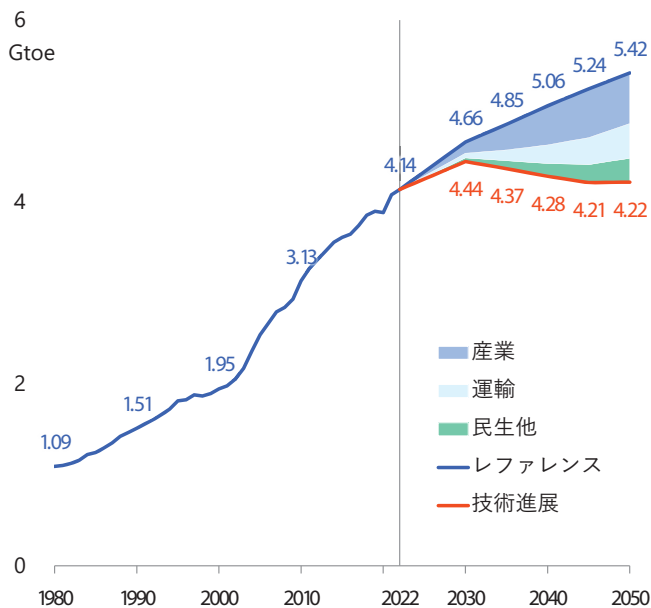
エネルギー源別



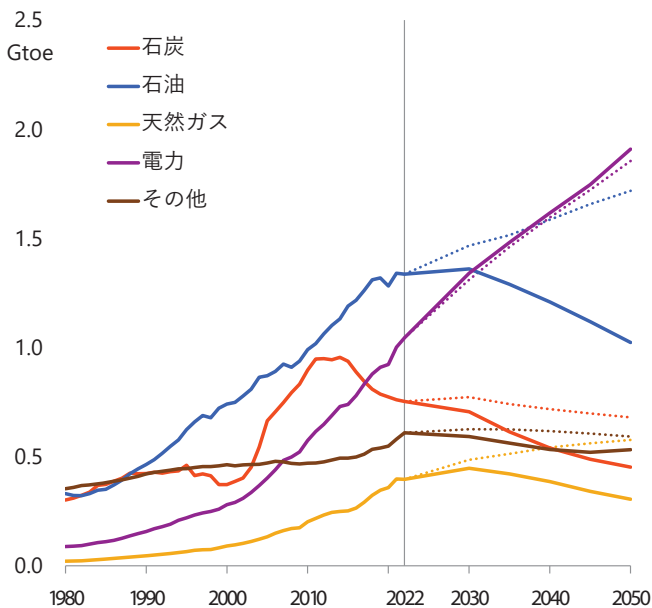
(注)実線: 技術進展、点線: レファレンス

最終エネルギー消費

部門別



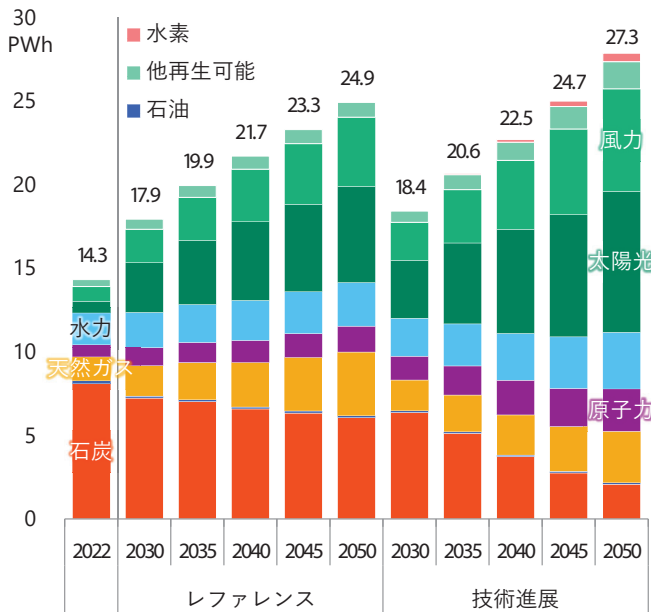
エネルギー源別



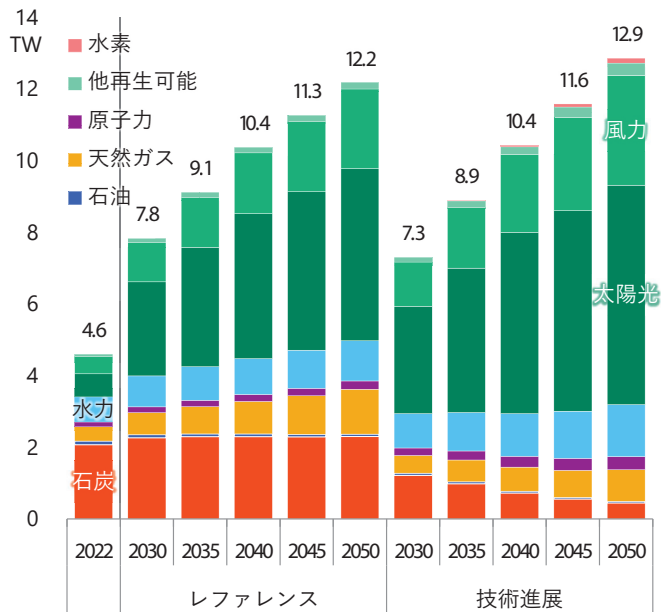
(注)実線: 技術進展、点線: レファレンス

発電構成

発電量

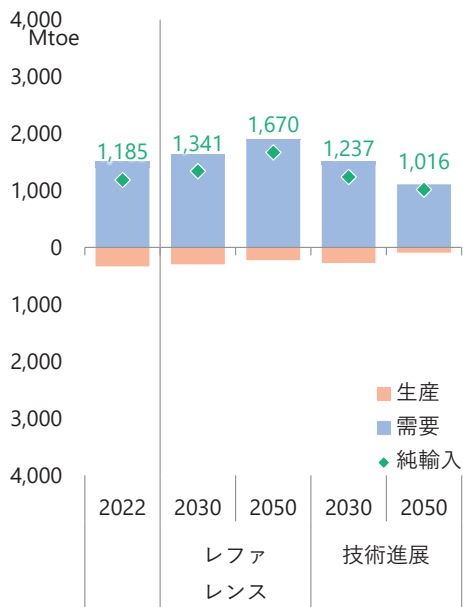


発電設備容量

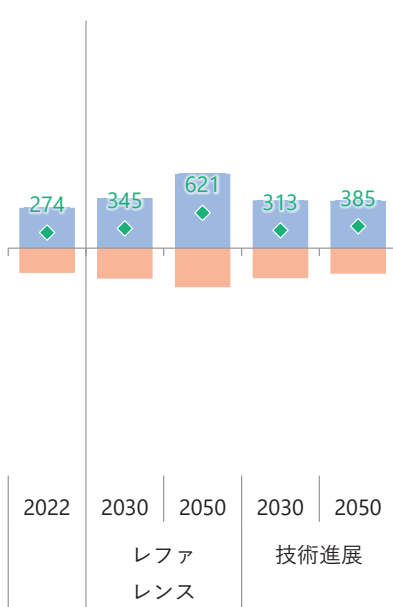


化石燃料需給バランス

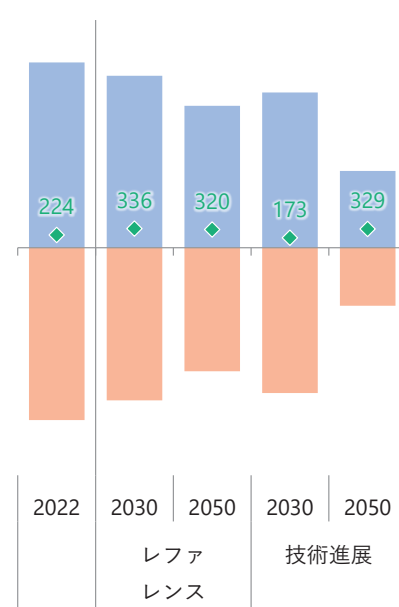
石油



天然ガス

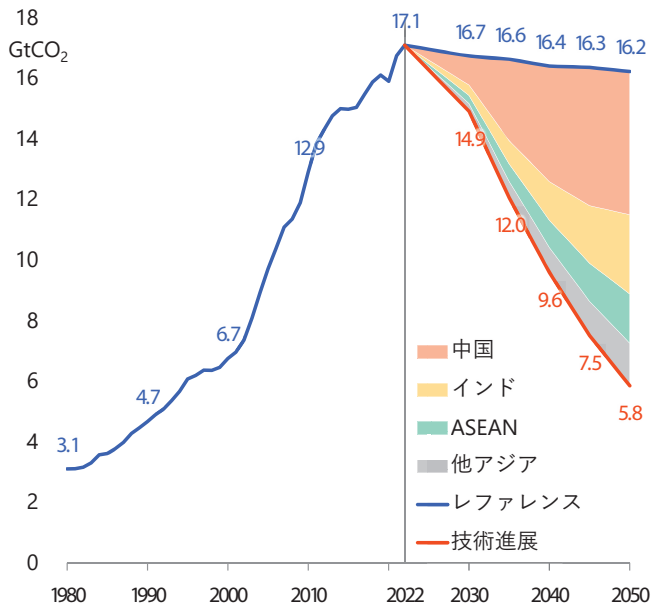


石炭

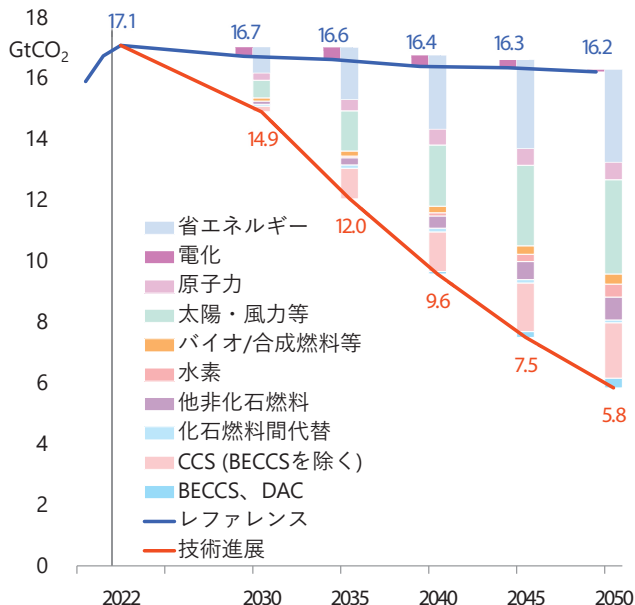


エネルギー起源二酸化炭素排出量

国・地域別



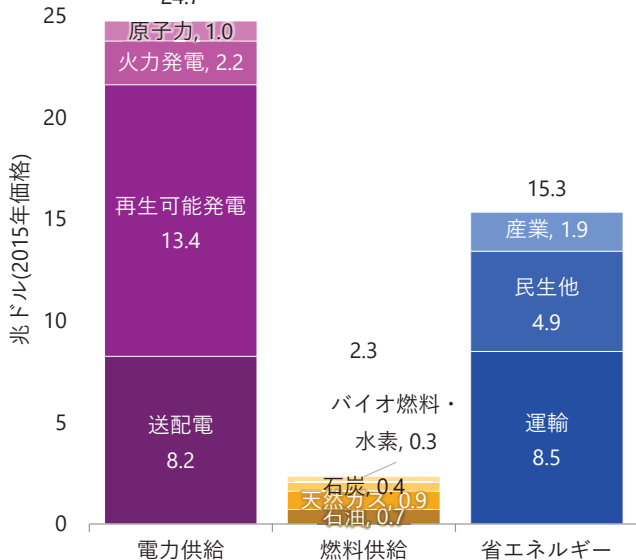
技術別削減量



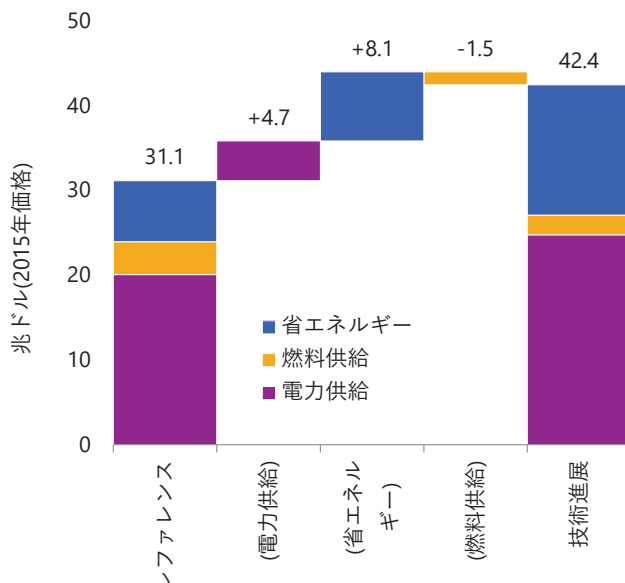
エネルギー関連投資額(2023年~2050年 累積投資額)

部門別

総額 42.4兆ドル



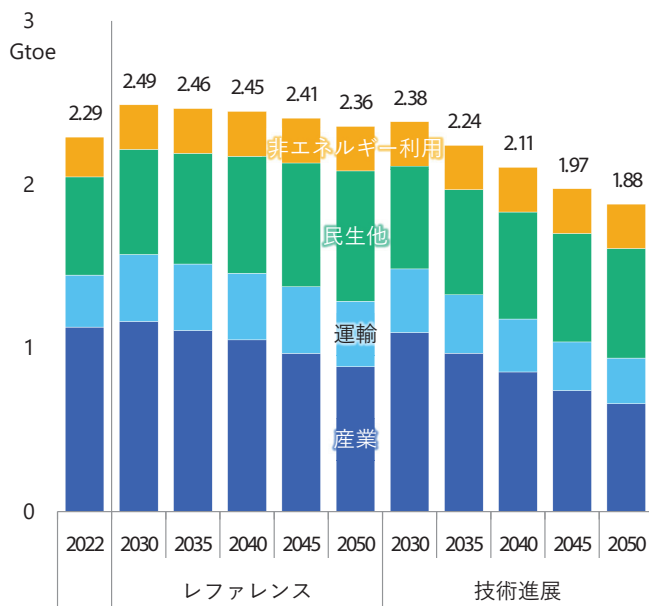
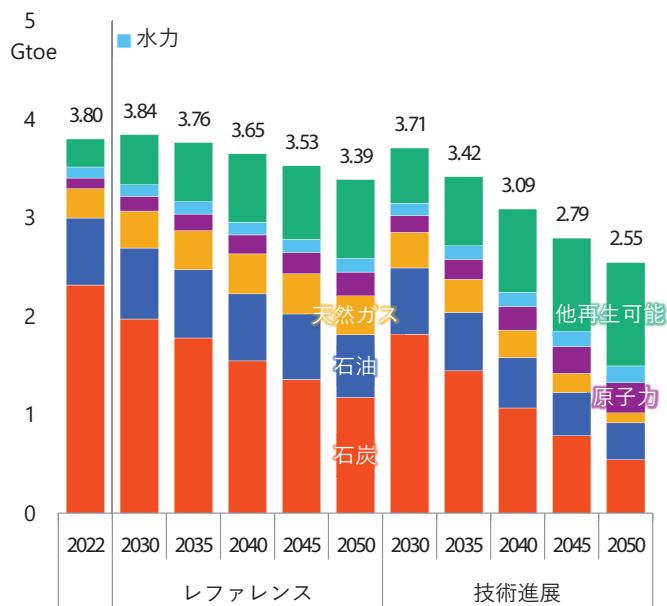
部門別増減



中国 エネルギー消費

一次エネルギー消費

最終エネルギー消費

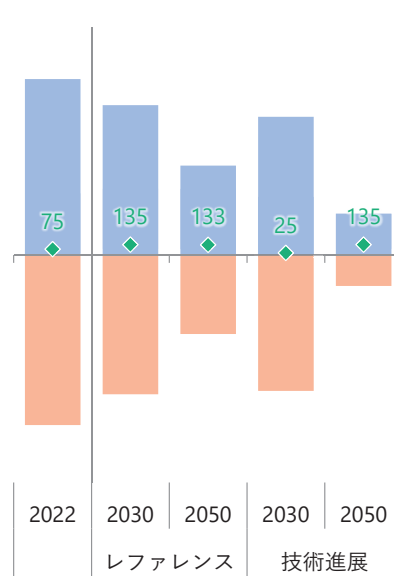
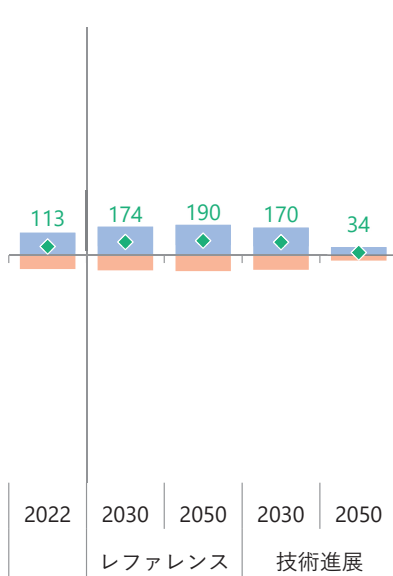
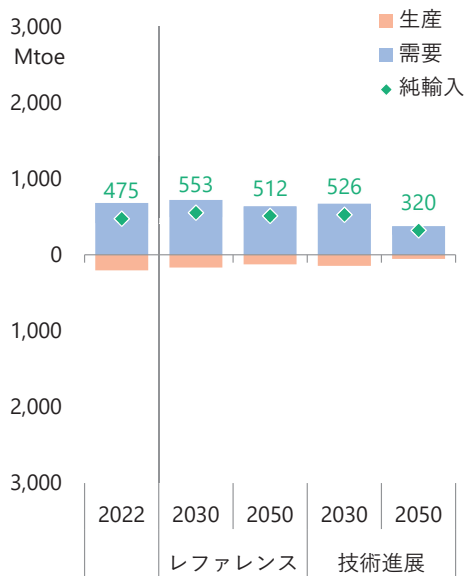


中国 化石燃料需給バランス

石油

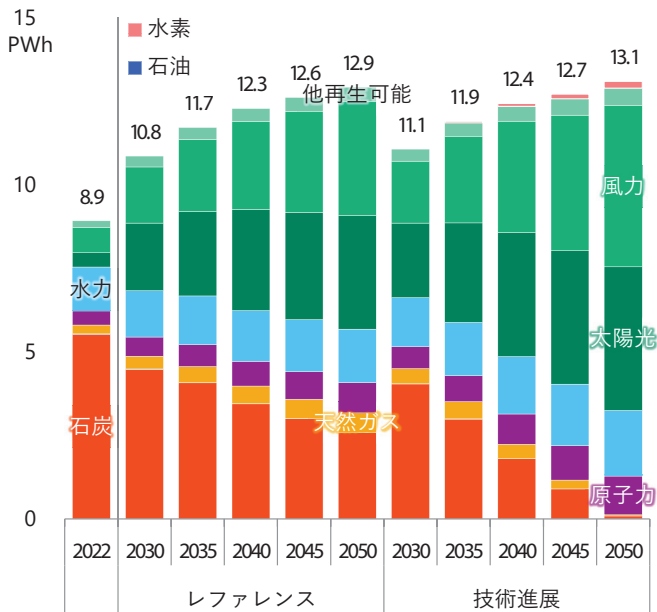
天然ガス

石炭

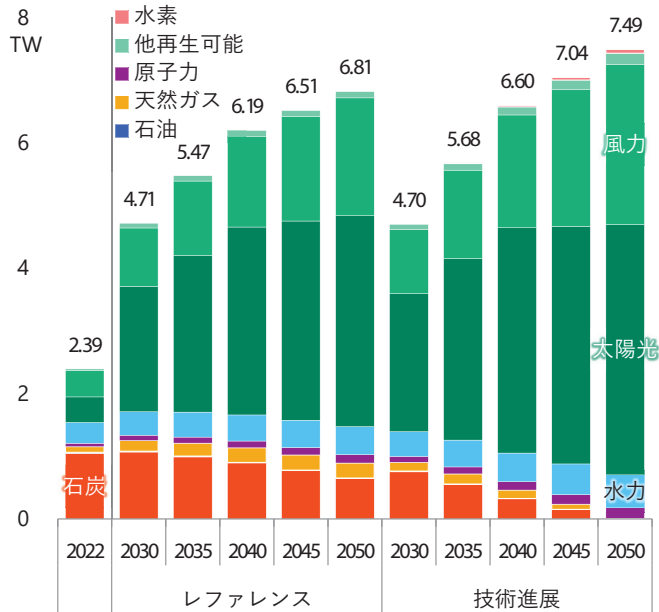


中国 発電構成

発電量



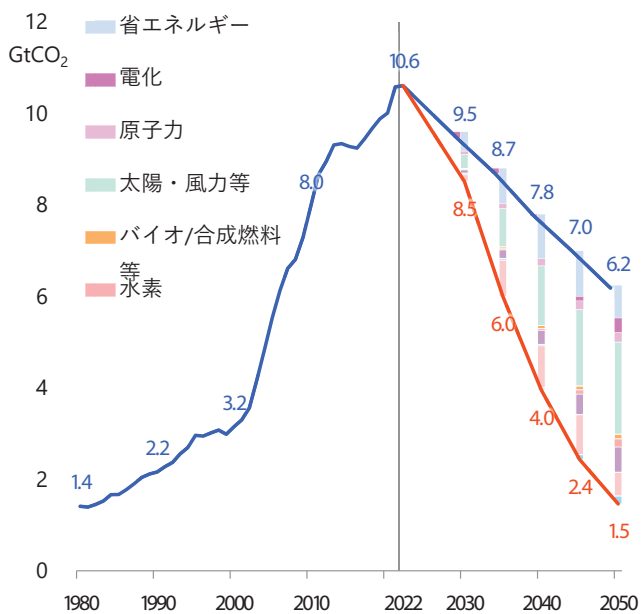
発電設備容量



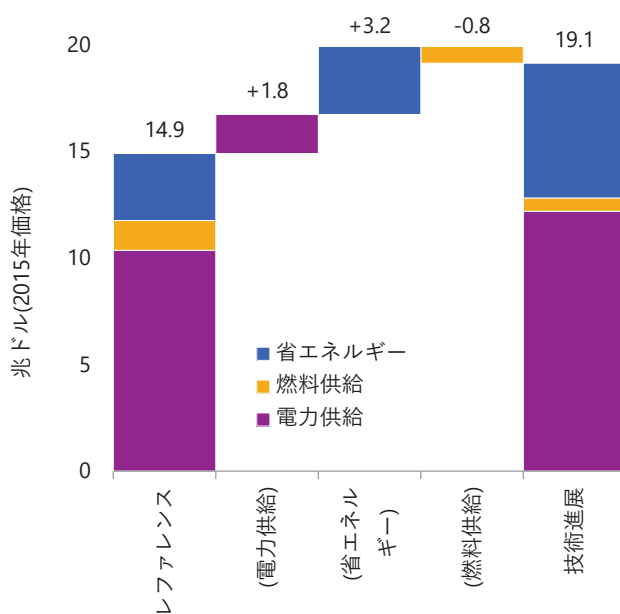
IEEJ © 2024

中国 エネルギー起源二酸化炭素排出量・エネルギー関連投資

エネルギー起源二酸化炭素排出量



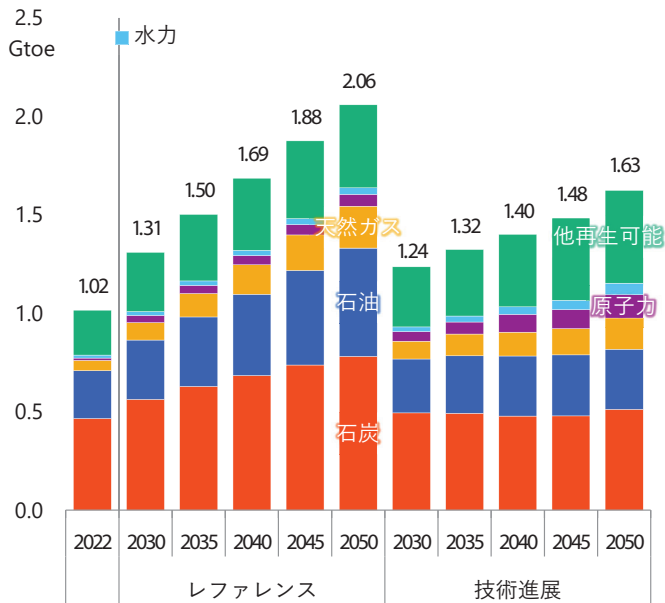
エネルギー関連投資(2023年~2050年累積額)



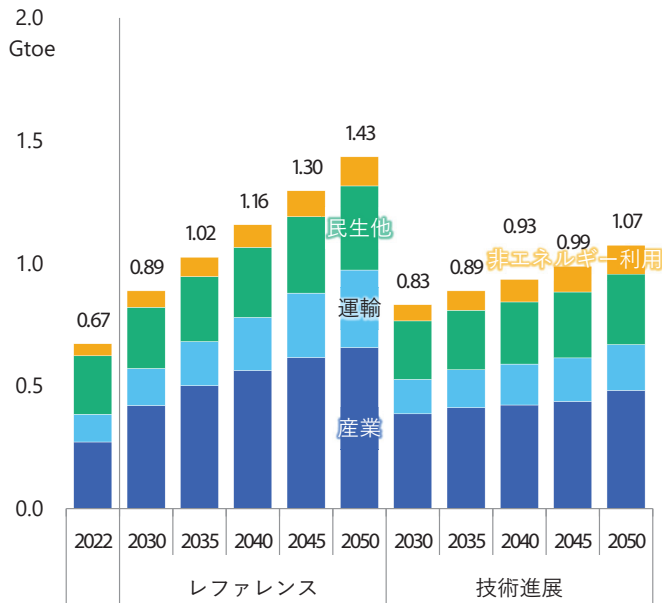
IEEJ © 2024

インド
エネルギー消費

一次エネルギー消費



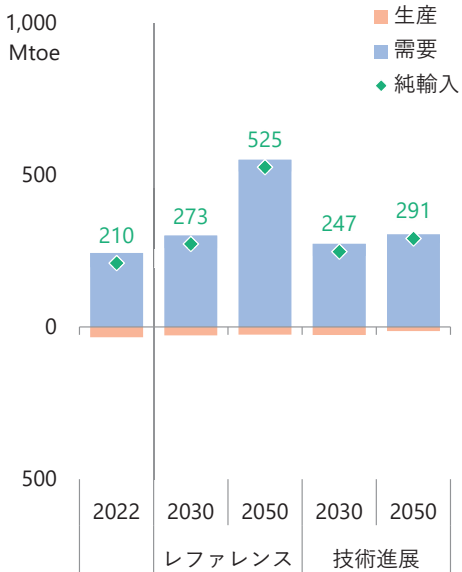
最終エネルギー消費



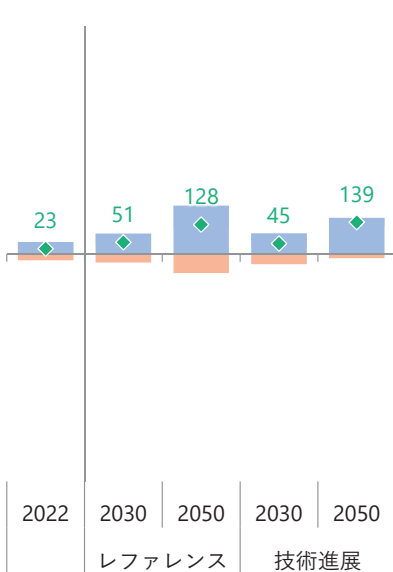
IEEJ © 2024

インド
化石燃料需給バランス

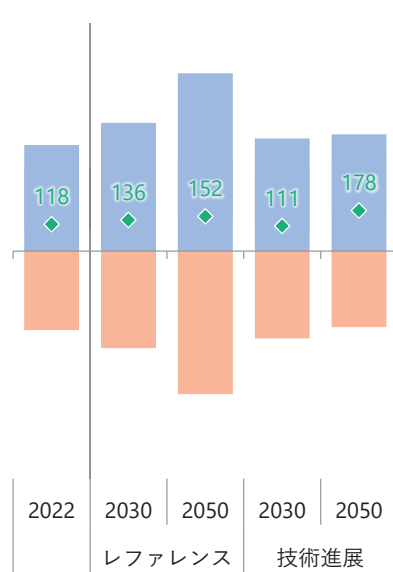
石油



天然ガス



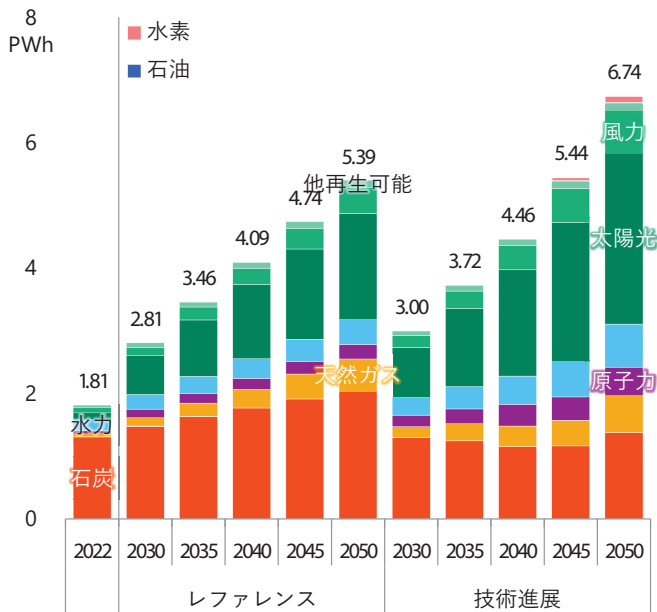
石炭



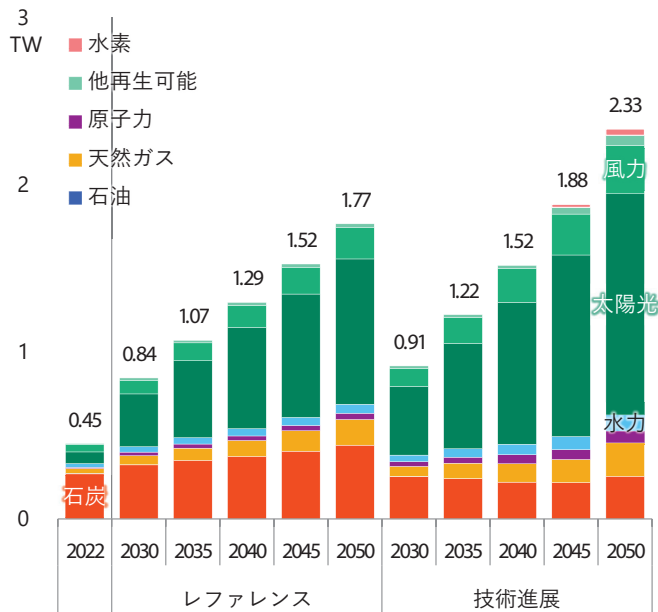
IEEJ © 2024

インド 発電構成

発電量



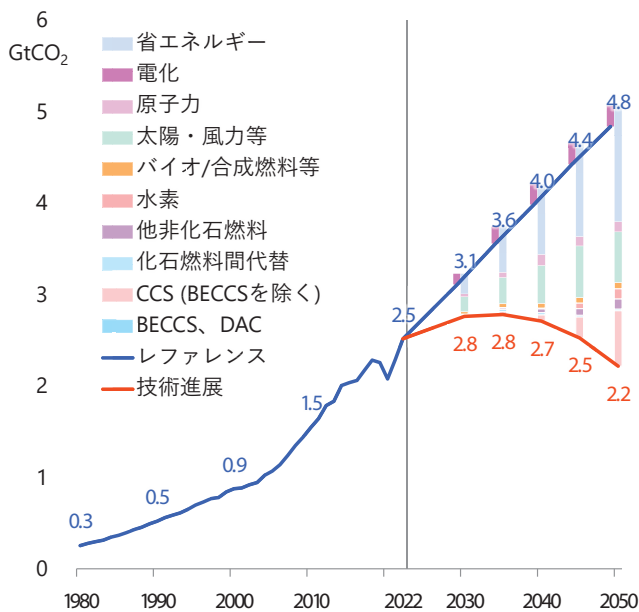
発電設備容量



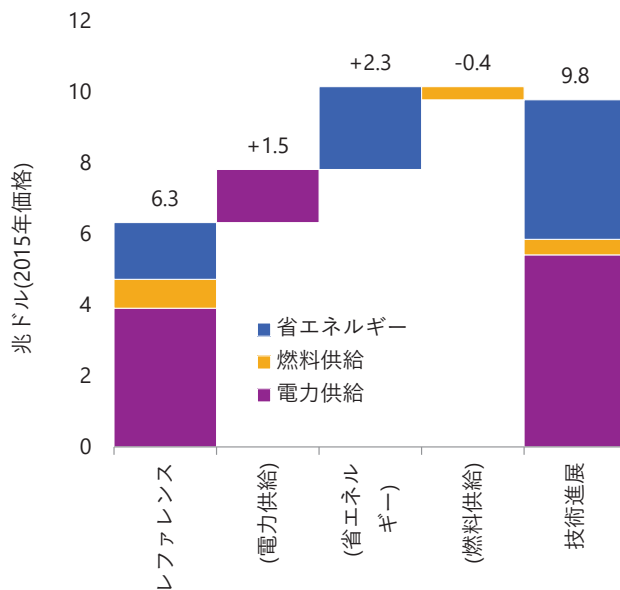
IEEJ © 2024

インド エネルギー起源二酸化炭素排出量・エネルギー関連投資

エネルギー起源二酸化炭素排出量



エネルギー関連投資(2023年~2050年累積額)

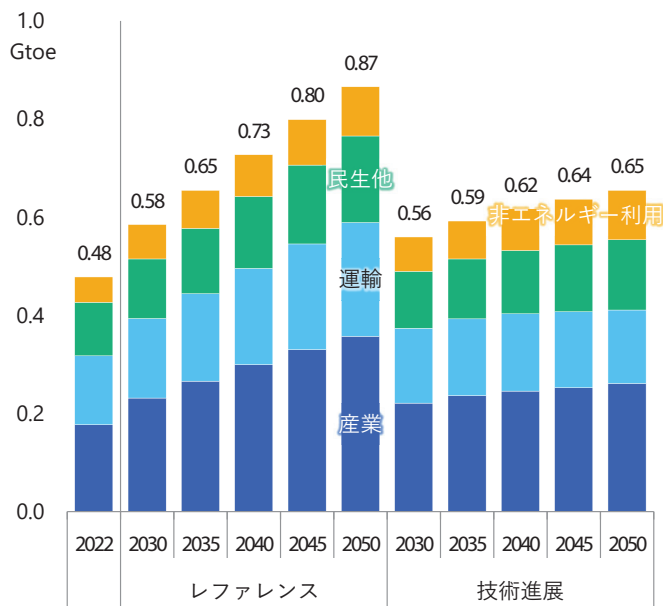
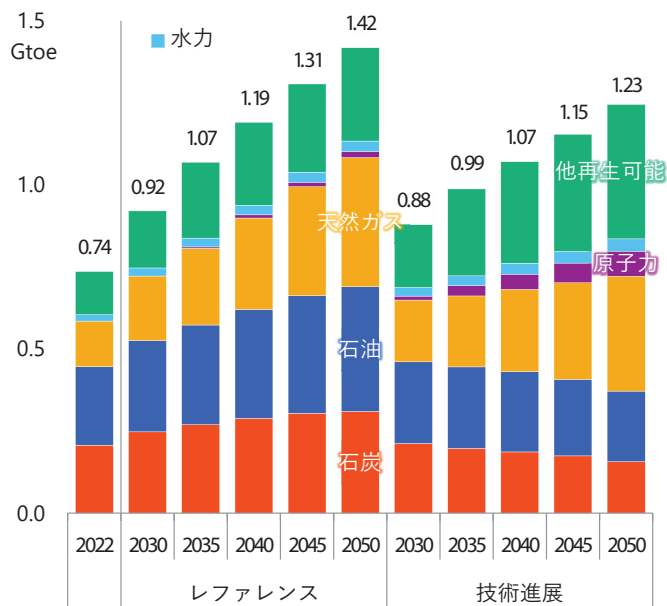


IEEJ © 2024

エネルギー消費

一次エネルギー消費

最終エネルギー消費

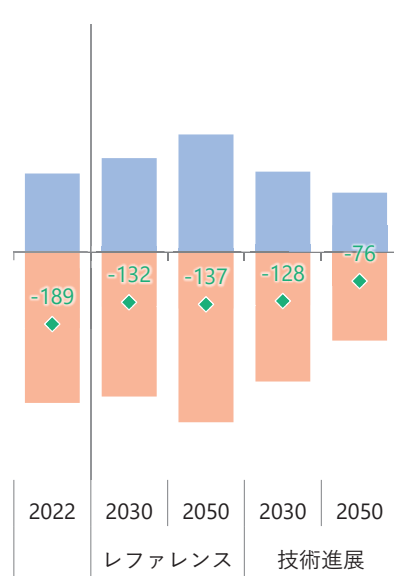
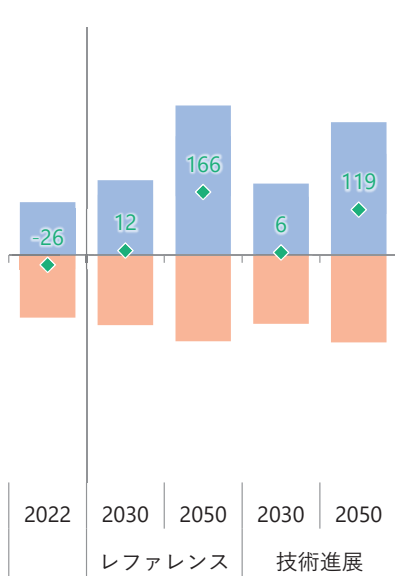
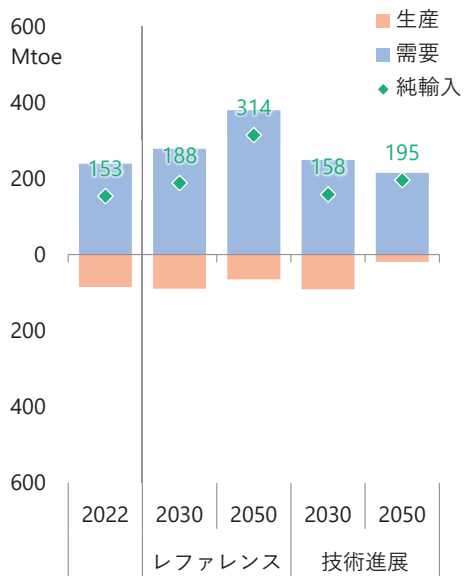


化石燃料需給バランス

石油

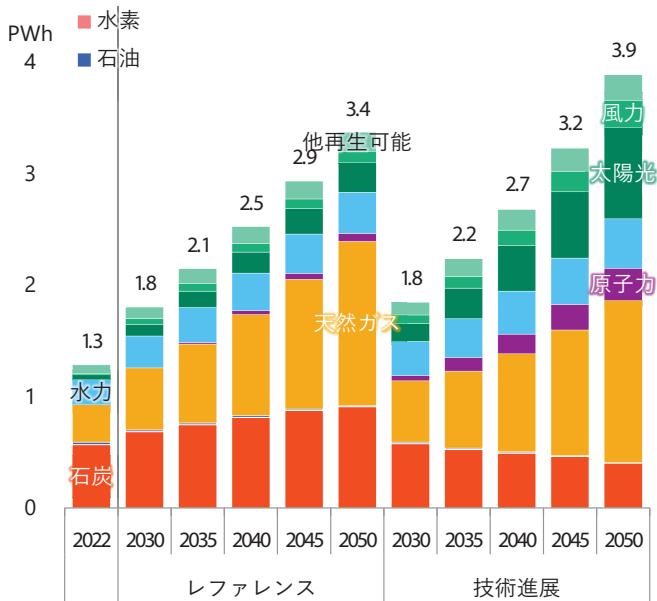
天然ガス

石炭

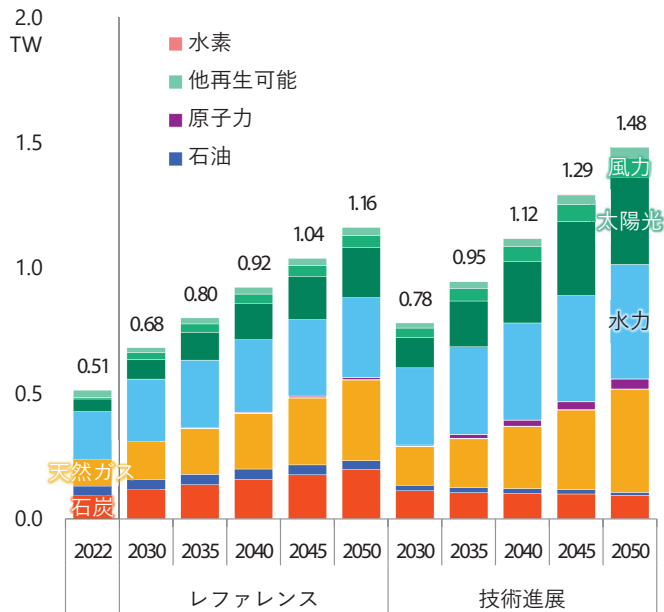


発電構成

発電量

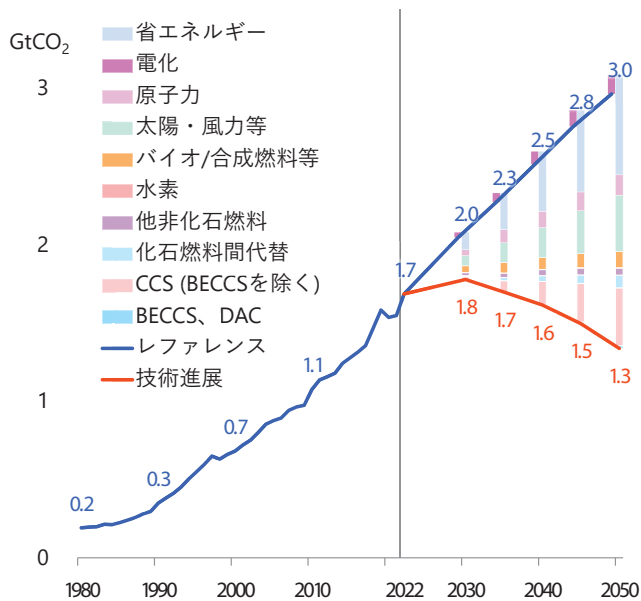


発電設備容量

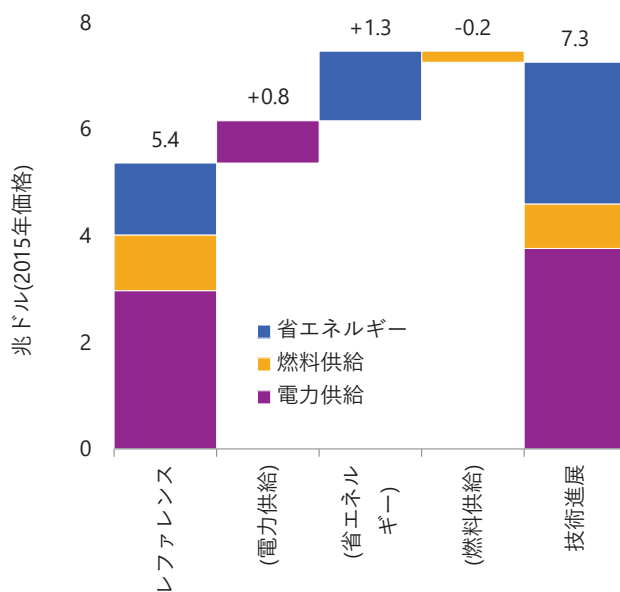


エネルギー起源二酸化炭素排出量・エネルギー関連投資

エネルギー起源二酸化炭素排出量



エネルギー関連投資(2023年~2050年累積額)



IEEJ Outlook 2025

2024年10月

日本エネルギー経済研究所

IEEJ © 2024