

エネルギー・環境・経済

ポストコロナの
エネルギー変革



The Institute of
Energy Economics, Japan

IEEJ Outlook 2021

担当者

碓井 良平
伊藤 葉子
岩田 竹広
遠藤 聖也
大槻 貴司
岡林 秀明
川上 恭章
 關 思超
木村 謙仁
久谷 一朗
小林 良和
 小山 堅
佐川 篤男
柴田 智文
柴田 善朗
 末広 茂
田上 貴彦
 永富 悠
野口 正義
 橋本 裕
松尾 雄司
村上 朋子
森川 哲男
森本 壯一
 柳澤 明
山下 ゆかり
横田 恵美理

目次

エグゼクティブ・サマリー	1
第I部 世界・アジアのエネルギー需給展望	7
1. 主要前提	9
2. エネルギー需要	19
3. エネルギー供給	45
4. 技術進展シナリオ	77
5. エネルギー関連投資	103
第II部 エネルギー情勢の変容と変革	115
6. ポストコロナ・世界変容シナリオ	117
7. 炭素循環経済/4Rシナリオ	137
8. 気候変動への実践的アプローチ	149
付表	161
スライド	219

図目次

図1-1 地域区分	9
図1-2 技術導入の想定例[技術進展シナリオ]	10
図1-3 世界のGDP	12
図1-4 主要国・地域の経済成長率	13
図1-5 主要国・地域の人口	14
図2-1 世界の一次エネルギー消費と対GDPエネルギー消費原単位[レファレンスシナリオ]	19
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]	20
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]	20
図2-4 一次エネルギー消費増減[レファレンスシナリオ、2018年～2050年]	22
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]	22
図2-6 主要国・地域の供給側電化率[レファレンスシナリオ]	22
図2-7 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]	23
図2-8 主要国・地域の石油消費[レファレンスシナリオ]	24
図2-9 世界の石油消費[レファレンスシナリオ]	24
図2-10 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]	25
図2-11 主要国・地域の天然ガス消費[レファレンスシナリオ]	26
図2-12 世界の天然ガス消費[レファレンスシナリオ]	26
図2-13 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]	27
図2-14 主要国・地域の石炭消費[レファレンスシナリオ]	27
図2-15 世界の石炭消費[レファレンスシナリオ]	27
図2-16 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]	28
図2-17 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]	28
図2-18 アジアの一次エネルギー消費[レファレンスシナリオ]	29
図2-19 ASEANの一次エネルギー消費[レファレンスシナリオ]	29
図2-20 アジアの一次エネルギー消費[レファレンスシナリオ]	30
図2-21 アジアの石油消費[レファレンスシナリオ]	31
図2-22 アジアの天然ガス消費[レファレンスシナリオ]	31
図2-23 GDPと最終エネルギー消費[レファレンスシナリオ]	33

図2-24 主要国・地域の最終エネルギー消費増分[レファレンスシナリオ、2018年～2050年].....	34
図2-25 中国、インド、ASEANの最終エネルギー消費[レファレンスシナリオ].....	34
図2-26 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].....	35
図2-27 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].....	37
図2-28 電力最終消費[レファレンスシナリオ].....	38
図2-29 CO ₂ 排出の前年比変化率と主要国・地域別寄与度.....	40
図2-30 エネルギー起源CO ₂ 排出の変化[レファレンスシナリオ].....	42
図2-31 CO ₂ 排出等の年変化率[レファレンスシナリオ、2018年～2050年].....	42
図3-1 足元の原油生産量.....	46
図3-2 主要地域間の原油貿易[2019年].....	49
図3-3 主要地域間の原油貿易[レファレンスシナリオ、2030年].....	49
図3-4 主要地域間の原油貿易[レファレンスシナリオ、2050年].....	50
図3-5 世界の天然ガス、LNG供給.....	51
図3-6 米国シェール革命と世界のLNG市場の変遷.....	53
図3-7 主要地域間の天然ガス貿易[2019年].....	55
図3-8 主要地域間の天然ガス貿易[レファレンスシナリオ、2030年].....	56
図3-9 主要地域間の天然ガス貿易[レファレンスシナリオ、2050年].....	56
図3-10 世界の石炭生産.....	58
図3-11 世界の石炭生産[レファレンスシナリオ].....	59
図3-12 世界の石炭貿易(輸入量) [レファレンスシナリオ].....	61
図3-13 主要国・地域間の石炭貿易[2019年].....	61
図3-14 主要国・地域間の石炭貿易[レファレンスシナリオ、2030年].....	62
図3-15 主要国・地域間の石炭貿易[レファレンスシナリオ、2050年].....	62
図3-16 世界の石炭火力新設容量.....	63
図3-17 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].....	64
図3-18 主要国・地域の発電電力量[レファレンスシナリオ].....	65
図3-19 世界の発電構成[レファレンスシナリオ].....	66
図3-20 先進国、新興・途上国の電源構成[レファレンスシナリオ].....	67
図3-21 中国、インド、ASEANの電源構成[レファレンスシナリオ].....	68
図3-22 原子力発電設備容量と基数.....	69
図3-23 原子力発電設備容量[レファレンスシナリオ].....	70
図3-24 アジアの原子力発電設備容量[レファレンスシナリオ].....	71
図3-25 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].....	72

図3-26 風力発電設備容量[レファレンスシナリオ].....	73
図3-27 太陽光発電設備容量[レファレンスシナリオ].....	73
図3-28 バイオ燃料消費[レファレンスシナリオ].....	75
図4-1 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].....	78
図4-2 風力発電設備容量[技術進展シナリオ].....	81
図4-3 太陽光発電設備容量[技術進展シナリオ].....	81
図4-4 原子力発電設備容量[技術進展シナリオ].....	83
図4-5 アジアの原子力発電設備容量[技術進展シナリオ].....	84
図4-6 世界の一次エネルギー消費と地域別省エネルギー(レファレンスシナリ オ比).....	85
図4-7 世界の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].....	86
図4-8 一次エネルギー消費量のGDP原単位[技術進展シナリオ].....	87
図4-9 世界の1人あたりエネルギー消費量[技術進展シナリオ].....	88
図4-10 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].....	88
図4-11 世界の道路部門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].....	89
図4-12 世界の最終エネルギー消費構成[2050年].....	89
図4-13 世界の発電量[技術進展シナリオ].....	90
図4-14 アジアの発電量[技術進展シナリオ].....	90
図4-15 主要地域間の原油貿易[技術進展シナリオ、2030年].....	92
図4-16 主要地域間の原油貿易[技術進展シナリオ、2050年].....	93
図4-17 主要地域間の天然ガス貿易[技術進展シナリオ、2030年].....	95
図4-18 主要地域間の天然ガス貿易[技術進展シナリオ、2050年].....	95
図4-19 世界の石炭生産[技術進展シナリオ].....	97
図4-20 主要国・地域間の石炭貿易[技術進展シナリオ、2030年].....	97
図4-21 主要国・地域間の石炭貿易[技術進展シナリオ、2050年].....	98
図4-22 世界のエネルギー起源CO ₂ 排出.....	100
図4-23 エネルギー起源CO ₂ 排出の変化[技術進展シナリオ].....	101
図4-24 CO ₂ 排出の削減率と寄与(レファレンスシナリオ比) [技術進展シナリオ、 2050年].....	101
図5-1 世界のエネルギー関連投資額[レファレンスシナリオ、2019年～2050年].....	104

図5-2 エネルギー関連投資額[レファレンスシナリオ].....	105
図5-3 世界の化石燃料投資額[レファレンスシナリオ].....	106
図5-4 世界の天然ガス関連投資額[レファレンスシナリオ、2019年～2050年].....	107
図5-5 主要地域の発電設備投資額[レファレンスシナリオ].....	108
図5-6 送配電設備投資額[レファレンスシナリオ].....	109
図5-7 省エネルギー投資額[レファレンスシナリオ].....	109
図5-8 世界のエネルギー関連投資額[2019年～2050年].....	111
図5-9 発電設備投資額[技術進展シナリオ].....	112
図5-10 世界の火力発電量および排出原単位[技術進展シナリオ].....	113
図5-11 世界の省エネルギー追加投資と累積省エネルギー量(レファレンスシナ リオ比) [技術進展シナリオ、2019年～2050年].....	114
図6-1 世界の経済成長率.....	117
図6-2 都市封鎖による世界の一次エネルギー消費への影響.....	118
図6-3 世界の石油、天然ガス消費.....	119
図6-4 世界のGDPおよび各エネルギー消費の前年比[2020年].....	120
図6-5 原油価格[2020年].....	121
図6-6 世界の経済規模[ポストコロナ・世界変容シナリオ].....	124
図6-7 経済成長率の変化(レファレンスシナリオ比) [ポストコロナ・世界変容シ ナリオ、2018年～2050年].....	125
図6-8 世界の一次エネルギー消費[ポストコロナ・世界変容シナリオ].....	126
図6-9 世界の石油消費[ポストコロナ・世界変容シナリオ].....	128
図6-10 世界の電力化率[ポストコロナ・世界変容シナリオ].....	129
図6-11 世界の一次エネルギー消費構成[ポストコロナ・世界変容シナリオ].....	131
図6-12 世界の一次エネルギー消費増減[2018年～2050年].....	132
図6-13 主要国・地域の一次エネルギー消費構成[2050年].....	132
図6-14 自給率と一次エネルギー消費構成のHHI [2050年].....	133
図6-15 世界の発電構成[ポストコロナ・世界変容シナリオ].....	134
図6-16 世界の発電量変化(レファレンスシナリオ比) [ポストコロナ・世界変容 シナリオ、2050年].....	134
図6-17 世界のエネルギー起源CO ₂ 排出量[ポストコロナ・世界変容シナリオ].....	135
図7-1 世界のCO ₂ 排出.....	142
図7-2 世界の一次エネルギー消費[2050年].....	143
図7-3 世界のCO ₂ 排出削減量(技術別、技術進展シナリオ比) [炭素循環経済/4R シナリオ、2050年].....	144

図7-4 世界のCO ₂ 排出削減量(4R別、技術進展シナリオ比) [炭素循環経済/4Rシナリオ、2050年]	144
図7-5 世界の発電量[2050年].....	144
図7-6 世界の発電構成[2050年].....	144
図7-7 世界の水素需要[炭素循環経済/4Rシナリオ].....	145
図7-8 世界の水素供給[炭素循環経済/4Rシナリオ].....	145
図7-9 世界の天然ガス消費[2050年].....	146
図7-10 主要産ガス地域の天然ガス生産[2050年].....	146
図8-1 費用便益分析による超長期パス	150
図8-2 ティッピング・エレメントの例	151
図8-3 海氷崖不安定性の概念図	153
図8-4 ティッピング・エレメントの考慮によるGHG排出量の変化.....	154
図8-5 ティッピング・エレメントの考慮によるエネルギー起源CO ₂ 排出量の変化[2050年].....	154
図8-6 ティッピング・エレメントの考慮による総合コストの変化	155
図8-7 割引率の想定例	157
図8-8 割引率の想定によるGHG排出量の変化.....	158
図8-9 技術進歩加速によるCO ₂ 排出量の変化[最小費用パス、2050年].....	159

表目次

表1-1 国際エネルギー価格	16
表2-1 COVID-19拡大による世界のCO ₂ 排出の減少[2020年].....	41
表3-1 原油生産[レファレンスシナリオ].....	47
表3-2 一般炭生産[レファレンスシナリオ].....	60
表3-3 原料炭生産[レファレンスシナリオ].....	60
表4-1 技術の想定例[技術進展シナリオ].....	77
表4-2 世界のエネルギー指標	79
表4-3 原油生産[技術進展シナリオ].....	91
表4-4 天然ガス生産[技術進展シナリオ].....	94
表4-5 一般炭生産[技術進展シナリオ].....	99
表4-6 原料炭生産[技術進展シナリオ].....	99
表7-1 炭素循環経済における主な「4R技術」	139
表7-2 技術導入想定[炭素循環経済/4Rシナリオ].....	141

エグゼクティブ・サマリー

世界のエネルギー需給展望(レファレンスシナリオ)

増加トレンドに戻る世界のエネルギー消費

- 世界の一次エネルギー消費は、短期的には新型コロナウイルス感染症(COVID-19)の影響により減少する。しかし、ワクチン・治療薬が開発され、感染の世界的流行が終息すれば、経済・社会は常態に向かい、エネルギー需要も再び増加に向かう。その時、エネルギー・環境政策等の今日までの変遷を反映し、今後も趨勢的に推移してゆくとする「レファレンスシナリオ」では、2050年のエネルギー消費は現在に比べ1.3倍に増加する。
- 世界のエネルギー消費増大を牽引するのは、新興・途上国である。2018年に60%であった新興・途上国の世界シェアは、2050年には70%まで拡大する。世界のエネルギー消費がCOVID-19影響から大きく回復する要因は新興・途上国にある。
- 膨大な世界のエネルギー消費を充足するために、化石燃料が大きな役割を果たし続ける。今後最も増加するエネルギー源は天然ガスで、発電部門での消費を中心に年率1.4%で成長し、2050年の消費量は2018年の1.4倍になる。
- 再生可能エネルギー(固形バイオマス除く)・原子力は、2050年までの一次エネルギー消費増分の26%を占める。しかし、非化石燃料だけで世界のエネルギー消費を賄うことは非常に難しい。化石燃料と非化石エネルギーの併用が現実的である。

原油供給の中心は再び中東産油国に

- 現下の石油需要低迷は一時的なものにとどまり、レファレンスシナリオでは、需要増加に対応して石油輸出国機構(OPEC)、非OPECともに原油生産を増加させる。2030年頃までは、生産コスト低減等に伴って米国でシェールオイルの生産が増加し、世界の原油供給増を牽引する。
- 長期的には、中東OPEC加盟国が、その潤沢な原油埋蔵量や安価な生産コストを背景に、2050年までの世界の石油需要の増加量である日量20百万bbl(Mb/d)のうち約半数を充足する。同じOPECの中では、世界有数の埋蔵量を持ちながら近年は生産量の減少が著しいベネズエラが、どの程度生産量を回復・増加させるかが注目に値する。

液化天然ガス(LNG)

レファレンスシナリオでは、米国では、稼働中設備に建設中・最終投資決定済みのプロジェクトを加えれば、容量は年間100 Mt分を超える。2020年代中盤以降もLNG供給力を拡大する。

カタールと並ぶ世界最大級のLNG供給力を持つオーストラリアは、今後の上流ガス資源開発には既存のLNG生産設備への補完的ガス供給を軸とする案件もあり、2030年以降の増産は緩やかになる。

石炭生産は2040年頃まで高い水準を維持

COVID-19対応支援策においても低炭素化の加速を指針とする欧州連合(EU)、石炭需要が拡大しない北米では、石炭生産の減少が続く。他方、アジアを中心とした新興・途上国では底堅い需要があり、レファレンスシナリオでは、2040年頃までは高い生産水準が維持される。世界の石炭生産量は、2030年まで増加してほぼ横ばいで推移した後、次第に減少に転じる。

一般炭生産量は主に発電用需要の増加に伴い拡大するが、2040年頃をピークに減少に転じる。主に鉄鋼生産の原料として用いられる原料炭は減少に向かう。

発電電力量はアジア地域で急速に拡大。天然ガス火力が最大の電源に

世界の発電量は、レファレンスシナリオでは、年率1.7%で増加し2050年には現在の1.7倍となる45,201 TWhに増大する。中でも急速な経済成長を続けるアジアの発電量は、年率2.0%で増加し2050年には世界の過半となる22,749 TWhに達する。

現在、最大の電源である石炭は、シェアは低下するもののアジアを中心に基幹電源であり続ける。高効率化が進み、再生可能発電の出力変動の調整役も担う天然ガスが、2050年にシェア30%で最大の電源となる。先進国では、脱炭素化の流れはCOVID-19後も変わらないため、再生可能エネルギー(水力を含む)が最大の電源となる。

原子力発電所は、日本や韓国、米国や西欧の一部の国では従来想定されていた計画どおりの新設は困難となっている。一方、中国をはじめとして今後さらに利用を推進してゆく国が複数存在するほか、中東諸国など新たに導入する国も現れる。そのため、世界の設備容量は2050年にかけて少しずつ増加してゆく。

2050年までGDP比2%規模の投資が必要

欧州委員会の最大750億ユーロの復興基金などに代表される、環境投資を通じてコロナ危機からの経済回復を期する「グリーンリカバリー」への動きが広がりつつある。

一方で、新興・途上国における著しいエネルギー消費の増大に対応するために、レファレンスシナリオでは、資源開発、燃料輸送、発電、送配電等の設備へ2050年までに世界で77兆4,000億ドル(2010年実質)の投資が必須となる。燃料供給に関する投資は全体のおよそ4割に相当し、過度の化石燃料ダイベストメントはエネルギーの安定供給を脅かすことにつながりかねない。

技術進展シナリオ

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・環境政策等が強力に実施されると想定した「技術進展シナリオ」では、2050年のエネルギー消費は、化石燃料を中心にレファレンスシナリオから15%減少する。エネルギー消費が増大しかつ節減ポテンシャルが大きい新興・途上国の役割が大きい。

省エネルギーや燃料代替の進展等により石油需要は2030年頃にピークを迎えその後は減少推移する。2050年の石油供給量は2017年のそれに匹敵する水準まで減少する。供給国間での競争が強まる中、相対的にコスト競争力の高い中東OPECが2050年までの期間中に最も生産量を増加させる。

2050年の天然ガス生産量は、レファレンスシナリオと比べて27%低い水準となる。しかしながら、技術進展により温室効果ガス(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。

再生可能エネルギー等の低炭素技術の進展により石炭火力発電のシェアが低下、さらに発電、製鉄等、石炭利用の各分野で石炭利用の熱効率が高まる。石炭生産量は、2018年の7,804 Mtから2050年の4,413 Mtまで減少する。一般炭が大きく落ち込むことで、原料炭が石炭生産全体に占める割合が相対的に上昇する。

再生可能エネルギー(水力を含む)の一次エネルギー消費に占めるシェアは、2018年の14%から2050年にはレファレンスシナリオを9%ポイント上回る25%に上昇する。発電においては、水力を除いても、太陽光・風力等、バイオマス等の再生可能エネルギーが合わせると最大の電源となる。

野心的な低炭素目標を掲げる先進国のみならず、新興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。世界の原子力発電設備容量は2018年の414 GWから2050年にはレファレンスシナリオでの約1.5倍に相当する725 GWに拡大する。

技術進展シナリオを達成するためには、レファレンスシナリオから6兆7,000億ドルの追加的な投資を行う必要があり、累計投資額は82兆ドルに達する。2050年の発電量がレファレンスシナリオに比べて3,900 TWh減少する一方で、発電・送配電設備投資額は2050年までの累計で16%多い38兆1,000億ドルにのぼる。

ポストコロナ・世界変容

世界経済はコロナ禍の下、「世界大恐慌」以降で最悪の状況にある。人々の行動や社会・経済活動のあり方が変容したため、エネルギー需要は劇的に減少した。供給過剰によるエネルギー価格の低下は、エネルギー産業・企業の経営に大打撃をもたらし、産油国情勢の不安定化を招く可能性も指摘されている。

COVID-19パンデミックによって引き起こされ、顕在化した政治・経済・社会のあり方の変化がそのまま維持・強化されてゆく「ポストコロナ・世界変容シナリオ」では、コスト効率最適化追求の自由貿易体制やグローバルサプライチェーン体制からの乖離が世界の経済成長率を0.3%ポイント低下させると想定する。なお、低炭素化・脱炭素化への取り組みは、各国・地域の実情に合わせて進められてゆき、いわばまだら模様の状況になる。

世界の一次エネルギー消費の伸びも鈍化し、2050年に石油換算17.7十億t(Gtoe)と、レファレンスシナリオ比で4%減となる。中国は7%減と減少幅が大きく、インドはレファレンスシナリオと同じ、逆にASEANは2%増となり、これら地域が相対的に今後のエネルギー需要の増加やシェアの面で重要性を高める。

デジタル化が経済・社会や生活様式等の変容において重要な役割を果たし、石油需要ピークの前倒しと電力化進展が顕在化する。石油需要は2040年頃をピークとして減少に向かい、2050年の需要水準はレファレンスシナリオ比14 Mb/d低くなる。最終エネルギー消費に占める電力の割合は、2050年にはレファレンスシナリオ比2%ポイント高い28%にまで拡大する。

エネルギー安全保障強化のための自給率向上・供給源多様化への取り組みが行われると同時に、技術覇権を重視して先進的・革新的なエネルギー開発・導入への努力も進められる。再生可能エネルギーと原子力がレファレンスシナリオ比で拡大するが、化石燃料がエネルギーの大宗であることは変わらない。

炭素循環経済/4R

野心的な温室効果ガスの排出削減を進めてゆくうえでは、省エネルギーや再生可能エネルギー技術のみならず、化石燃料の利用形態をさらに脱炭素化する技術の開発も欠かせない。化石燃料の利用によって排出される二酸化炭素(CO₂)についても最終的な排出削減を実現する「炭素循環型経済」(Circular Carbon Economy: CCE)の重要性が提唱されている。

炭素循環経済における4R——削減(Reduce)、再利用(Reuse)、再循環(Recycle)、除去(Remove)——技術の中には商業化あるいは商業化に近いものもある。2050年時点でいくつかの代表的な技術が最大限導入されると、CO₂排出量は「技術進展シナリオ」の25.2 Gtから20%減少し、2150年の気温上昇を2°C以下に抑える条件下で総合費用最小化¹をもたらす「2°C最小費用パス」の17 Gtに接近する。

一次エネルギー消費量は、技術進展シナリオからほぼ変わらない。化石燃料の脱炭素化により、化石燃料を利用しつつGHG排出の大幅な削減が可能である。発電・運輸部門でのブルー水素への置換で、石油や石炭のシェアが減る。大きな役割を果たすブルー水素需要の多くは、エネルギー需要が大きく拡大する新興・途上国で発生する。4R技術の中では、二酸化炭素回収・貯留(CCS)を活用したReduce、Recycle技術による削減量が多くを占めている。

ブルー水素の80%が天然ガスを原料としたものであり、天然ガス消費の増加をもたらす。しかし、その増加規模はレファレンスシナリオの水準には達せず、ブルー水素の利用拡大を進めてゆく十分な資源が存在する。

気候変動への実践的アプローチ

気候変動への実践的なアプローチとして、2150年までに気温上昇が2°Cまで回帰する条件の下で、GHG排出を抑制するための「緩和」費用、生じる被害を抑制するための「適応」費用、抑制できなかった場合の「被害」の3種のコストを最小化する排出削減パス「2°C最小費用パス」を求める考えがある。2°C最小費用パスにおける総合コストは、2050年までに世界のGHG排出量を半減以下とするパスより著しく低くなる。

¹ モデル計算においては効用最大化のアプローチを用いている。

こうした費用便益分析に大きな影響を与え得る要素のうち、南極氷床の崩壊を取り入れることにより最小費用パスは大きく変化する。しかしながら、そのパスであつても、2°C最小費用パスよりも低いGHG排出水準となるには至らない。

第I部

世界・アジアのエネルギー需給展望

1. 主要前提

1.1 モデルの概要およびシナリオ設定

2050年までの将来にわたる世界のエネルギー需給を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。世界全体を図1-1に示す42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分析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趨勢および現在までのエネルギー・環境にかかる政策・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

² 詳細な定義は付表1 (p.163)を参照

現状固定を意味するものではない。一方で、趨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ことを想定し、推計している。

図1-2 | 技術導入の想定例[技術進展シナリオ]

<p>環境規制や国家目標の導入、強化 国家的戦略・目標設定、省エネ基準、燃費基準、低炭素燃料基準、省エネ・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</p>	<p>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)や省エネ基準制度の構築支援等</p>
<p>【需要サイドの技術】</p> <p>■ 産業部門 最高効率水準(ベストプラクティス)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</p> <p>■ 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、燃料電池車)の普及拡大</p> <p>■ 民生部門 省エネ家電(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</p>	<p>【供給サイドの技術】</p> <p>■ 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</p> <p>■ 原子力導入促進 原子力発電建設加速、設備利用率向上</p> <p>■ 高効率火力発電技術 SC、USC、A-USC、石炭IGCC、天然ガスMACCの普及拡大</p> <p>■ 次世代送配電技術 低損失型の変電設備、電圧調整装置</p> <p>■ 二酸化炭素貯留技術</p>

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

1.2 主要な前提

エネルギー需給構造は、人口や経済成長等の社会・経済要因、エネルギー価格、エネルギー利用技術、エネルギー・環境政策等に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している。

経済情勢

最近の動向

2020年の年初から新型コロナウイルス感染症(COVID-19)のパンデミックが発生し、有効なワクチンや特效薬が開発・普及するまでは全世界で終息が見通せない状況にある。そのような中で、政治主導の地域間の対立も顕在化しており、世界経済は常に下押し圧力が働く状況に陥っている。

世界最大の経済を抱える米国は、COVID-19の累計感染者数も世界一で経済活動の足かせとなっている。失業率が一時10%を超えるなど、雇用・所得環境の悪化が著しい。貿易競争による米中相互の関税引き上げに加えて、米中の「新冷戦」あるいはイデオロギー闘争がもはや後戻りできないとも言われる状況にまで激化している。これらコロナ禍・反グローバリズムの影響に加えて、シェール革命以降は産油・産ガス国の側面も併せ持つため、石油・天然ガス価格と需要の低下も経済を押し下げる方向にも働き、苦境をいっそう深めている。

米国に次ぐヨーロッパ経済は、ドイツや東欧等を中心に経済成長が続いて来た。しかし、英国の欧州連合(EU)離脱、各国でのポピュリズム政党の台頭など、移民・難民対策や財政・金融政策等を巡って「親EU」対「反EU」の政治的分断が顕在化し、EU圏内の経営資源の円滑な移動を前提とした「自由で開かれた経済システム」は機能不全を起こしつつあった。そうした中、2020年7月、EUの行政府である欧州委員会は、コロナ禍の経済を立て直す7,500億ユーロ規模の「復興基金」を創設し、史上初の共同債を発行することとした。各国政府に補助金や融資を提供し共同で債務を負うことで、EUの連帯強化が再び意識される潮流が生じている。

世界第3の経済規模を持つ中国は、足元ではCOVID-19は落ち着きを見せている。一方で、人権、香港の高度な自治(一国二制度)、情報セキュリティなどを巡って西側先進国と対立し、経済の先行きに不透明感が増している。特に米中間では、相互の関税高止まりが解消しないばかりか、米国での通信アプリ(TikTok、WeChat等)の利用禁止や相互の総領事館の閉鎖命令など、その対立は深刻なものとなっている。また、これらの政治的なリスクを避けるために、製造工場の撤退や投資の他国への振替などの動きも見られる。

世界経済の減速を受けた石油需要の急減に対応すべく石油輸出国機構(OPEC)プラスは2020年5月から大幅な協調減産を実施した。その結果、ロシアや中東、中南米などの産油国・資源国は、重要な輸出財の価格・数量双方が低下する危機に見舞われた。

将来の想定

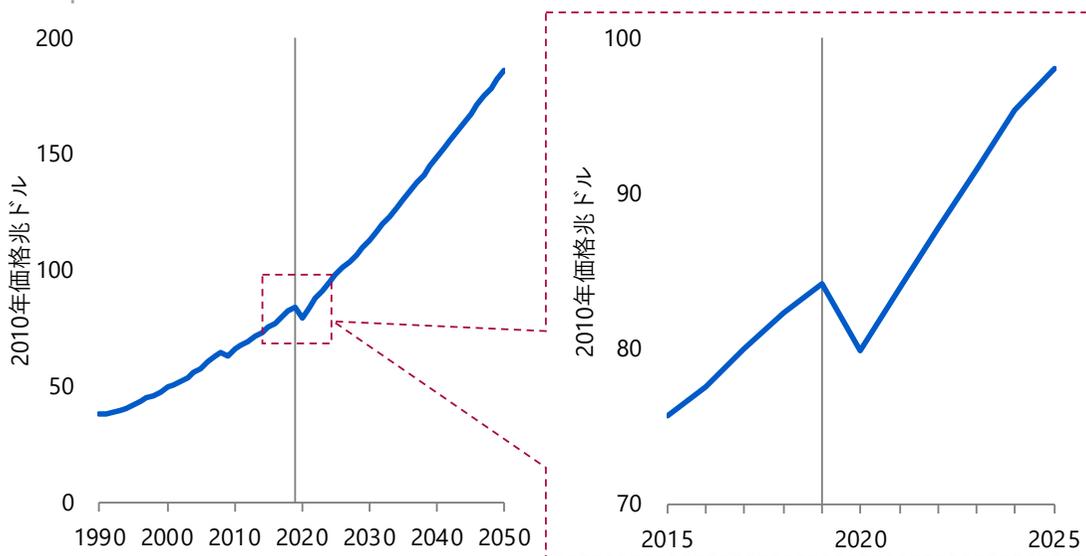
世界経済は、短期的にはCOVID-19の影響から2020年に一旦マイナス成長となり、2021年からは感染の終息からプラス成長に復帰し、経済成長率は戻ると想定する。しかし、COVID-19で失われた成長を早期のうちに完全に取り戻すのは困難である。所得の低下、社会様式の変容による需要の下押し圧力に加え、供給側では低調な設備投資により生産能力が伸び悩むことも影響する。また、サプライチェーンの内製化志向による国際貿易の減少も国内総生産(GDP)を縮小させる。

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、世界の経済成長率について以下のとおりの想定を置く：

2020年内でCOVID-19は収束する。各国において、2021年以降の大規模な感染の再拡大や、それに伴う2020年3月～4月期のような厳しい都市封鎖(ロックダウン)はない。結果、2020年は年率5.1%のマイナス成長となるが、2021年は反転し年率5.2%のプラス成長に復帰する。

2022年～2024年はCOVID-19危機からの回復分も含めて4%台のプラス成長となるが、2025年以降の経済成長率は2%台後半から前半へと漸減してゆく。

図1-3 | 世界のGDP



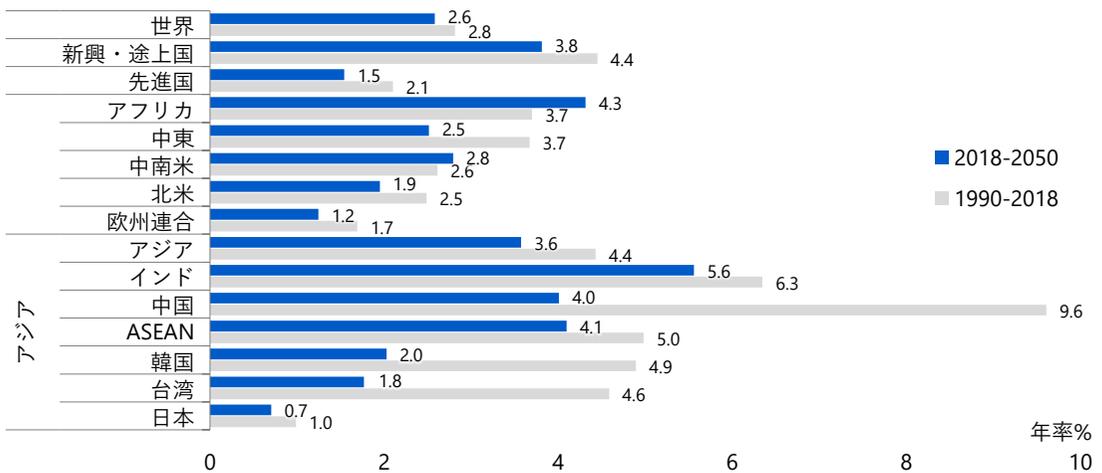
世界経済へのCOVID-19の影響は短期的なものであり、中長期的には多くの国で経済は成長してゆく。ただし、そのためには生産性の向上、技術イノベーション、適切な財政・金融政策の実行や国際協調行動などが欠かせない。

先進国はこれまでとほぼ同水準での成長が続く。アジア、アフリカなどの新興・途上国は世界経済の牽引役であり続ける。特にインドでは、足元では構造改革などの政策の浸透に時間がかかりマイナスの作用が出ているが、長期的には政策が浸透して内需拡大、外資導入が進み、見通し期間において世界で最も高い年率5.6%で成長する。中国は、減速傾向が続くものの年率4.0%の成長となる。アフリカは年率4.3%と地域別では最も成長が加速し、2050年の経済規模は現在の約5倍に拡大する。

このように、新興・途上国は今後も世界経済の成長センターであることが期待される。しかし、国によっては、賃金水準の上昇や国民の権利意識の芽生え等により、従来のような豊富な余剰労働力と低コストを武器とした経済成長は転換を迫られることになる。

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2.6%となる(図1-4)。なお、「ポストコロナ・世界変容シナリオ」(第6章)では、社会等の変化により経済成長率が下振れすると想定としている。

図1-4 | 主要国・地域の経済成長率

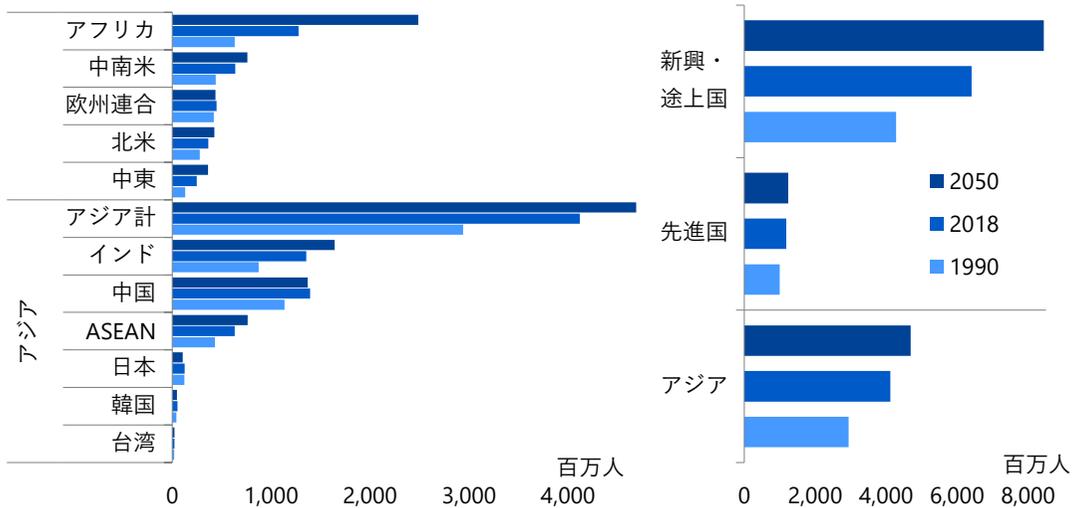


人口

人口の想定においては、国際連合の“World Population Prospects”等を参照した。多くの先進国においては、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を割り込んでいる。足元ではCOVID-19の感染拡大やそれに伴う世界経済の低迷によるマイナス影響もあり、人口減少圧力が増大する。新興・途上国においても所得水準の上昇や女性の社会進出に伴って出生率は低下傾向にあるも。しかし、医療技術の発展と食料事情・衛生状態の改善により死亡率も低下しており、人口増が続く。世界の人口は今後も年平均

0.8%程度の増加基調で推移する。その結果、1990年に53億人、2018年に76億人であった世界の人口は、2050年には97億人に達する(図1-5)。

図1-5 | 主要国・地域の人口



先進国のうち、北米、特に米国において、国外からの人口流入が多く、また出生率も高いことから、人口が比較的堅調に増加する。しかし、そのテンポは緩やかなものとどまり、世界に占める割合は微減する。ヨーロッパでは、ドイツ、イタリアで減少する一方、フランス、英国のように緩やかに増加してゆく国もある。EU全体の人口は2040年まで非常に緩やかに増加し、その後減少に転じる。アジアでは、日本は2011年より既に減少に転じており、2050年には現在から約2割減少し、1億500万人となる。韓国も2020年代半ばをピークに減少に転じる。

他方、新興・途上国では、アフリカやインドなどが牽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、出生率は徐々に下落するものの死亡率も減少するため、2050年には現在の倍近い24億9,000万人となる。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、約1.5倍に増加する。欧州/ユーラシアでは、2030年頃まで微増するが、その後はロシア、旧東欧の人口減が効き2050年には現状と同水準に戻る。アジアでは、インドは高い増加率を維持し、まもなく中国を抜き、2050年には世界最大の約16億人に達する。現在、最大の人口を擁する中国は、2030年頃には14億3,000万人でピークを打ち、その後2050年に向けて6,000万人減少する。中国は65歳以上の人口が1億人を超える唯一の国であり、ますます高齢化が進む。東南アジア諸国連合(ASEAN)は、2050年までに1億3,000万人増加して7億6,000万人に達する。

国際エネルギー価格

COVID-19パンデミックは歴史的な原油価格暴落をもたらした。COVID-19が世界的な感染拡大を示し始めた2020年3月、OPECプラスは減産強化に合意できず、未曾有の規模での需要消失が明らかになるにつれ、原油価格下落に歯止めがかからなくなった。OPECプラスは4月12日に減産強化に合意したが、特に米国における貯蔵能力不足が深刻化したことで、4月20日にはウエスト・テキサス・インターミディエート(WTI)価格が史上初のマイナス圏(-\$37.63/bbl)に陥った。5月に入って経済活動再開や減産強化によって供給過剰が緩和するとの期待から原油価格は回復し始め、2020年8月からOPECプラスは協調減産の緩和に舵を切っている。だが、COVID-19の新規感染者数は増加し続けており、感染拡大が一旦収束した地域でも再拡大の可能性が高まっている。また、米中対立は、通商のみならず、知的財産権侵害、情報セキュリティ、南シナ海、香港国家安全維持法、ウイグル族らに対する人権侵害等、広範囲にわたっている。2020年の世界経済は2009年以来のマイナス成長となるが、COVID-19や米中対立を巡る状況が悪化する可能性は排除できず、石油等の国際エネルギー価格にも下方圧力がかかりやすい状況となっている。

レファレンスシナリオ

レファレンスシナリオにおいて、脱炭素社会実現に向けた社会的な圧力は高まるものの、石油需要は世界経済な成長に伴って増加を続ける。供給側では、米国等の非OPECの原油生産も増加傾向にあるとはいえ、依然として供給の多くを地政学リスクを抱えるOPECやロシアに依存することには変わりはない。長期的には、生産地域が中小規模、極地、大水深油田等へシフトすることによる生産コストの上昇も見込まれる。したがって、原油価格は短期的には高いボラティリティを伴いつつ、中長期的にはじりじりと上昇してゆくものと見込む。実質原油価格(2019年価格)は、2030年に\$87/bbl、2050年には\$107/bblと想定する(表1-1)。想定インフレ率2%/年程度の下での名目価格は、2030年に\$108/bbl、2050年には\$198/bblに達する。

表1-1 | 国際エネルギー価格

実質価格			レファレンス			技術進展			
			2019	2030	2040	2050	2030	2040	2050
原油	\$2019/bbl	64	87	102	107	71	66	56	
天然ガス									
日本	\$2019/MBtu	9.9	8.2	8.2	8.0	7.7	7.0	5.8	
ヨーロッパ(英国)	\$2019/MBtu	4.8	7.8	7.9	7.9	7.4	6.7	5.6	
米国	\$2019/MBtu	2.5	3.4	3.9	3.9	3.0	3.6	3.6	
一般炭	\$2019/t	109	100	104	107	83	80	74	
名目価格									
			2019	2030	2040	2050	2030	2040	2050
原油	\$/bbl	64	108	155	198	89	100	104	
天然ガス									
日本	\$/MBtu	9.9	10.2	12.4	14.8	9.5	10.6	10.6	
ヨーロッパ(英国)	\$/MBtu	4.8	9.6	11.9	14.5	9.2	10.2	10.4	
米国	\$/MBtu	2.5	4.2	5.9	7.2	3.8	5.4	6.6	
一般炭	\$/t	109	124	158	198	103	121	138	

注: インフレ率を年率2%程度として算出。

天然ガスは、米国では引き続き豊富な供給力を背景に今後も他地域と比較して低水準で推移する。しかしながら、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、2020年の記録的低水準からは上昇する。日本の実質輸入価格は、2019年の\$9.9/MBtuから2020年にさらに低下するが、その後2040年ころまで横ばいで推移する。なお、米国本土の液化天然ガス(LNG)輸出開始により、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、原油価格の水準とは次第に乖離してゆくことを織り込んでいる。特に2019年～2020年には、アジア向けの長期契約LNG価格とスポットLNG価格の乖離が拡大しており、米国以外の供給源も含めて契約条件を見直す動きが出始めている。今後、LNG海上輸送の最適化も進められるが、コスト低減には限界があることから、欧州との価格差は残る。

石炭価格(豪州ニューカッスル港出し一般炭FOB³価格)は、2018年半ばに近年のピークに達した後、供給過剰局面を迎え下落に転じ、2019年後半以降は概ね\$60/t台で推移していた。

³ 本船渡し(Free on board)

COVID-19の世界的感染拡大による需要の減少により価格の低下はさらに鮮明化し、一時は\$50/tを下回り近年(2016年初頭)の底値に迫る水準となった。生産量の需要に合わせた見直しと、一大消費国である中国でCOVID-19による景況悪化に歯止めがかかり、需要が回復しつつあることから、石炭価格は今後徐々に上昇に転じる。その他のアジア諸国においても発電用需要の増加が見込まれる一方で、供給サイドでは環境規制の強化により石炭の生産能力の拡大が困難さを増す。需給は徐々にタイト化し、中長期的には季節要因や短期的な需給バランスの崩れによる変動を経ながら、緩やかに上昇する。単位発電量あたりの価格は、原油、天然ガスに比して低廉であるが、天然ガス価格の世界的な低下傾向の中で、また、欧州のように炭素価格を導入している国や地域等では、石炭の経済的優位性が低下する。

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などへのエネルギー転換が進められることから、化石燃料需要が減少する。結果、原油価格、天然ガス価格の上昇はレファレンスシナリオと比較して抑制される。天然ガスについては、全体の需要増加が抑制され、地域間の裁定もいっそう進むことから、地域間の価格差が縮小することとなる。一般炭価格は、製造部門の省エネルギーや、発電部門における高効率化設備への転換等、石炭利用の各分野の技術進展による熱効率の改善が進み、特に中長期的にアジアの需要が大きく減少することから下落する。

2. エネルギー需要

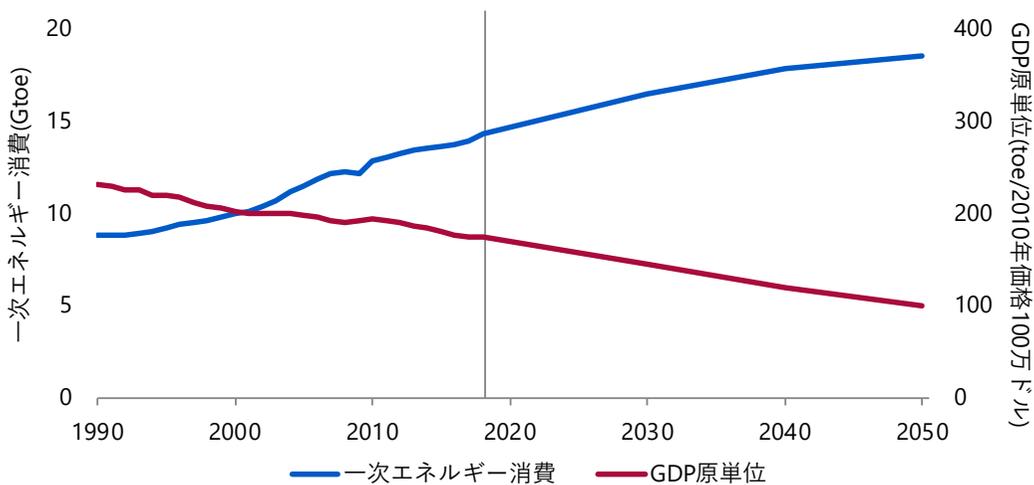
2.1 一次エネルギー消費

世界のエネルギー消費抑制の鍵を握る国・地域は？

新型コロナウイルス感染症(COVID-19)は世界中に広がり、感染者数・死者数は増加し続けている。各国は国境封鎖・都市封鎖などにより拡大抑制を図ったが、これらの施策は旅客・貨物の移動や企業の生産活動を滞らせ、運輸部門や産業部門を中心に世界各国のエネルギー消費を減少させた。しかしながら、ワクチン・治療薬が開発されれば、各国の経済活動は力強さを取り戻し、世界の経済およびエネルギー消費も再拡大することになる。

レファレンスシナリオにおける世界の一次エネルギー消費は、短期的にはCOVID-19の影響を免れず、2020年は減少する(Box 6-1, p.118)。しかし、長期的には現在に比べ1.3倍に増加する(図2-1)。1990年から2018年まで年率1.8%であった増加率は2050年にかけて同0.8%に低減するが、これは各国が効率性を高めて原単位を減少させる効果である。

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



とりわけ世界の一次エネルギー消費増大を牽引するのは新興・途上国である(図2-2)。2018年に60.0%であった新興・途上国の世界シェアは、2050年には70.5%まで拡大する。世界のエネルギー消費がCOVID-19影響から大きく回復する要因は、新興・途上国にある。したがって、新興・途上国がどのようなエネルギー源を利用するか、そして新興・途上国の

エネルギー消費をどのように抑制してゆくか、ということが世界全体のエネルギー消費の動向を大きく左右する。

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]

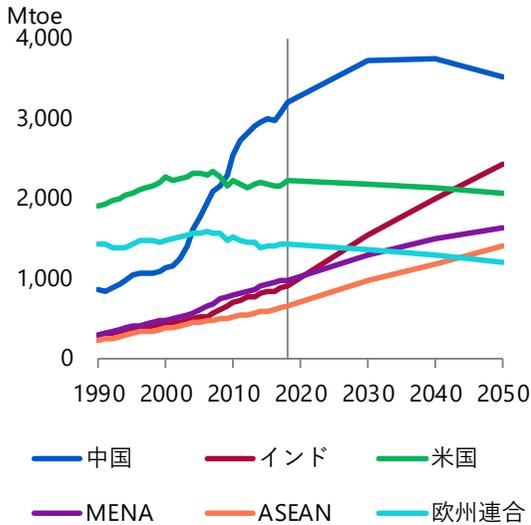
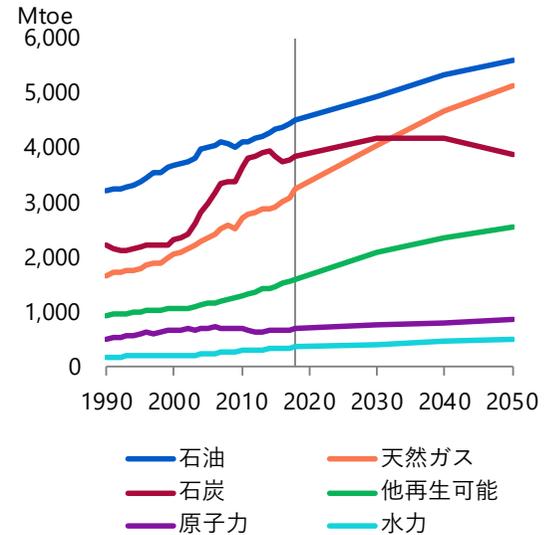


図2-3 | 世界の一次エネルギー消費[レファレンスシナリオ]



この新興・途上国のエネルギー消費のうち、特に大きなシェアを占めるのが、中国、インド、東南アジア諸国連合(ASEAN)のアジア新興・途上国である。新興・途上国全体に占めるアジア新興・途上国のシェアは2018年に36.0%であったが、2050年には42.4%まで拡大する。COVID-19から回復する世界経済とエネルギー消費の拡大とをデカップリングする鍵は、アジア新興・途上国のエネルギー政策やエネルギービジネスによるところが大きい。

ただし、アジア新興・途上国の一次エネルギー消費の主導者は、中国からインド、ASEANへと移行する。2040年代後半に減少に転じる中国の一次エネルギー消費は、2018年から2050年にかけてでは1.1倍増にとどまる。一方、インドとASEAN諸国は、同じ期間にそれぞれ2.6倍と2.1倍に大きく増加する。これは、中国経済が2018年から2050年まで年率4.0%の伸びに減速しつつサービス化が進展する一方、インドとASEANの国内総生産(GDP)は2050年までそれぞれ年率5.6%、4.1%で高成長を維持するためである。中国のエネルギー消費抑制を継続してゆくことも重要であるが、インドとASEANの経済成長とエネルギー消費抑制を両立することも今後、特に大きな世界的課題となる。

また、アジア新興・途上国に次いでエネルギー消費を伸ばすのは、中東・北アフリカ(MENA)である。1990年から2018年にかけて3.3倍となり、2018年から2050年にかけても1.7

倍となる。その規模は、2030年代前半には欧州連合(EU)、2040年代半ばには米国を抜き、2050年には世界の8.9%にあたる1,642 Mtoeに至る。これは、中国、インドには及ばないものの、ASEANを上回る規模である。中国、インド、ASEANだけでなく、MENAのエネルギー消費抑制も大きな課題となる。

他方、EUや米国、日本など先進国のエネルギー消費は減少し続ける。この背景には、この先進3地域・国の合計GDPが2050年まで年率1.5%と緩やかな拡大にとどまる一方で、GDP原単位の減少に示される省エネルギーの影響が大きいことがある。この3地域・国の世界シェアは、1990年には43.3%であったが、2018年には28.6%となり、2050年には19.4%に低下する。アジア新興・途上国やMENA等の消費拡大が、先進国のシェア低下に拍車をかける。もっとも、これら先進3地域・国がエネルギー消費抑制を考えなくてよいということにはならない。欧米日の国々がこれまで消費してきた枯渇性資源や排出してきた温室効果ガスの量を考えれば、さらなるエネルギー消費抑制への責務があるといえよう。

世界のエネルギー消費を支えるのは化石燃料か、非化石エネルギーか？

世界のエネルギー消費を充足するために、石油、天然ガス、石炭の化石燃料が大きな役割を果たし続ける。今後最も増加するエネルギー源は天然ガスで、2050年の消費量は2018年の1.4倍になり、発電部門での消費を中心に年率1.4%で成長する(図2-4)。次いで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0.7%で拡大する。石炭は、大気汚染や気候変動問題等を背景とした利用抑制の動きがあり、2030年代半ばをピークに減少に転じる。2050年の化石燃料シェアは78.8%で、2018年の81.2%に比べて減少するものの、世界が化石燃料なしにそのエネルギー需要に見合う供給を行うことは容易ではない(図2-5)。

原子力や再生可能エネルギーなどの非化石エネルギーは、その規模・シェアを拡大し続ける。原子力・水力・その他再生可能エネルギー(固形バイオマス除く)は、2018年から2050年の増加量の29%を占める。2018年には1990年と同じ18.8%であったシェアは、2050年には21.2%に到達する。しかし、非化石燃料だけで世界の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、化石燃料と非化石エネルギーの併用が現実的である。

一方、用途別では、運輸部門と発電部門が最も増加する。運輸部門は、所得向上に伴う自動車利用の増加が大半を占めるが、航空、船舶による消費量も大きく伸長する。発電部門は、所得水準の向上や未電化地域における電力インフラ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ようになることによる。供給側から見た電化率は、特にアジアで上昇する(図2-6)。世界の運輸部門と発電部門のエネルギー消費増大は、アジアを中心と

した新興・途上国の運輸・発電インフラ整備を前提としている。運輸・発電部門に続くのは、産業・民生部門である。

図2-4 | 一次エネルギー消費増減[レファレンスシナリオ、2018年～2050年]

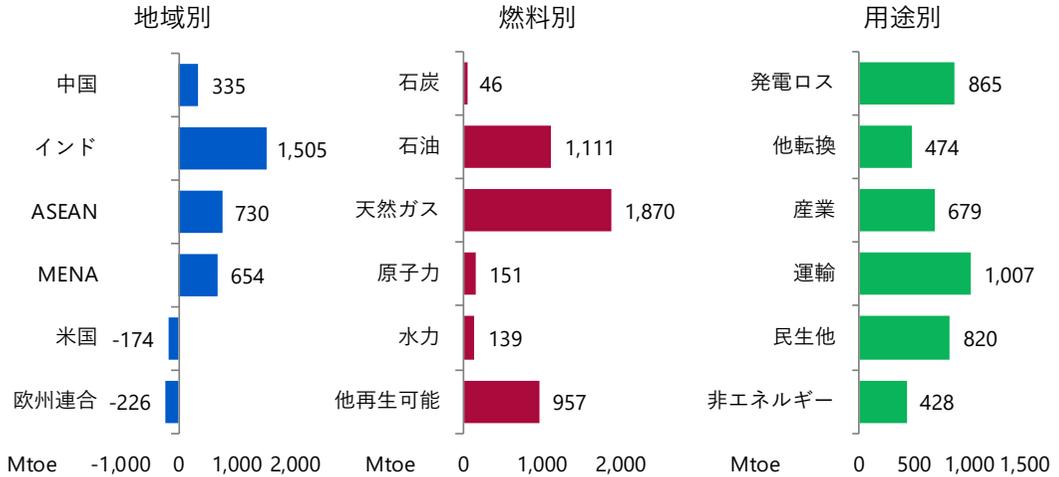


図2-5 | 主要国・地域の化石燃料依存度[レファレンスシナリオ]

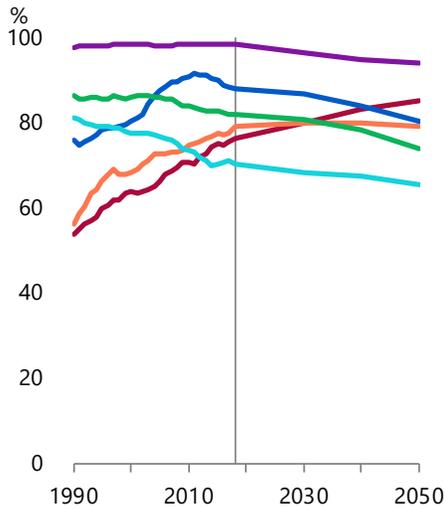
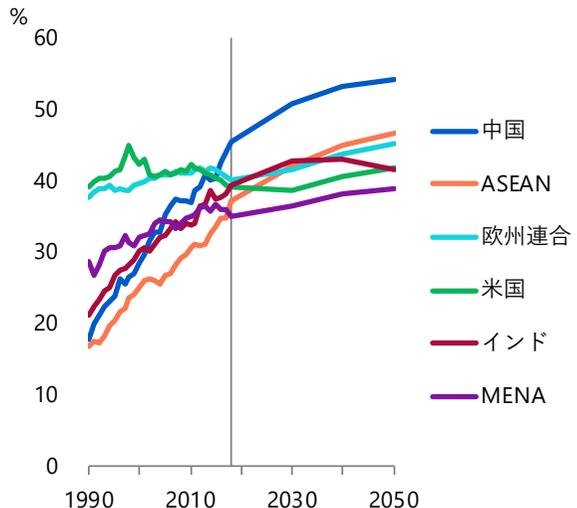


図2-6 | 主要国・地域の供給側電化率[レファレンスシナリオ]

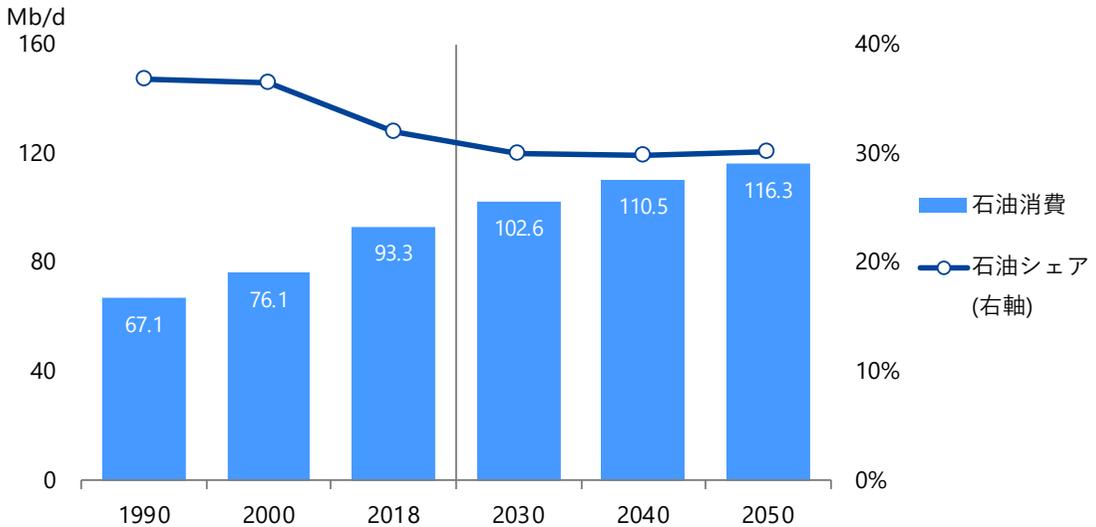


石油は最も多く消費されるエネルギー源であり続ける

石油は、COVID-19影響により2020年に消費が減少するものの、2050年にかけてはその消費量は堅調に増加する。2018年に日量93.3百万bbl (Mb/d)であった消費量は、2020年代後半に100 Mb/dを超え、2050年には116.3 Mb/dに到達する(図2-7)。石油消費がピークを迎え

るという議論もあるが、レファレンスシナリオでは、石油消費は一次エネルギー消費に占めるシェアこそ若干落とすものの、右肩上がりに上昇を続ける。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2-7 | 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既にピークを迎えている(図2-8)。2004年のピークから2018年までは年率1.0%で減少してきたが、2018年から2050年までも年率0.9%のマイナスで9.2 Mb/d減少する。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。

他方、新興・途上国の石油消費は堅調に増加する(図2-9)。2020年はCOVID-19影響で前年比1.6%と減少するものの、2018年から2050年にかけて年率1.5%で27.3 Mb/d増加する。この新興・途上国の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。

新興・途上国の運輸部門では、2018年から2050年にかけて、自動車用が20.6 Mb/dから35.3 Mb/dに増加する。所得水準の向上と道路・橋梁等の運輸インフラ改善により、自動車保有台数が2.7倍に増加する影響が大きい。

新興・途上国の非エネルギー消費部門では、石油化学を中心に4.1 Mb/d増加する。需要サイドではプラスチックなどの石油化学製品への世界需要は根強く、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。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牽引する。この消費抑制には世界的なプラスチック利用に対する規制強化などが必要になるだろう。

図2-8 | 主要国・地域の石油消費[レファレンスシナリオ]

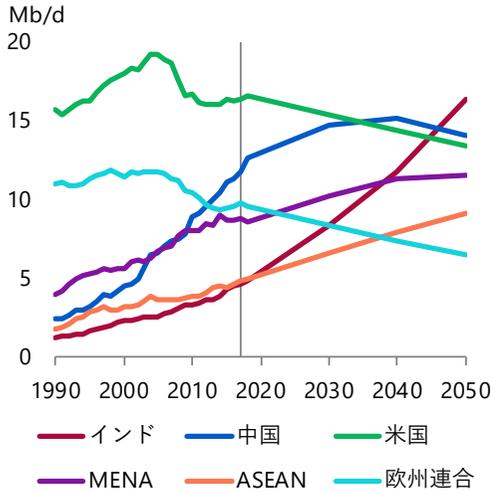
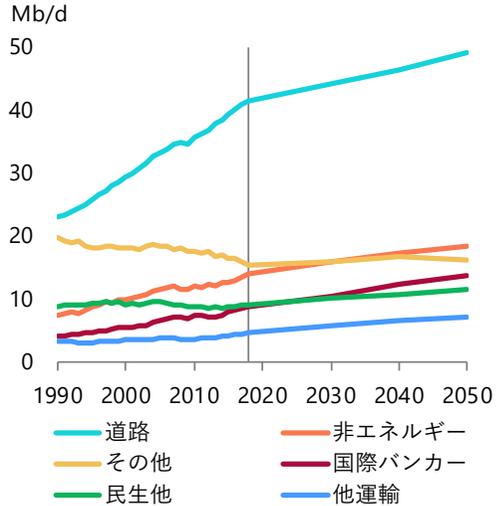


図2-9 | 世界の石油消費[レファレンスシナリオ]

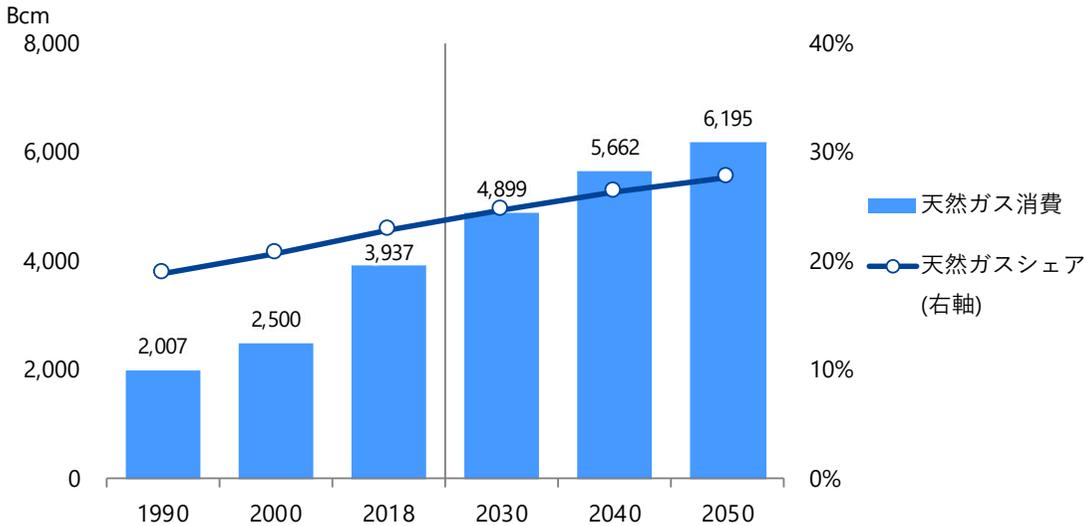


新興・途上国の民生部門では、給湯・厨房用途を中心に3.6 Mb/d増加する。所得改善に伴い、石炭や固形バイオマスから、健康への影響という意味において比較的クリーンな石油製品へとエネルギー転換が進む。サブサハラ、南アジア、東南アジアなどの国々において一足飛びに電力や都市ガスによって給湯・厨房エネルギーを供給することは、イニシャルコスト・オペレーションコストの双方とも高くつくため、民生部門の石油消費増は避けがたい。

天然ガスは今後消費量が最も増えるエネルギー源となる

天然ガスも、石油と同様にCOVID-19影響により2020年に消費が減少するものの、2050年にかけてはその消費量はすべてのエネルギー源の中で最大の増加を示す。2018年に3,937十億m³ (Bcm)であった消費量は、年率1.4%で増加し2050年には6,193 Bcmに到達する(図2-10)。天然ガス消費の一次エネルギー消費に占めるシェアは、2018年の22.8%から2050年には27.8%まで上昇し、石油に次ぐ第2の主要なエネルギー源となる。

図2-10 | 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]



天然ガス消費は2018年から2050年の間に2,258 Bcm増加するが、この増分の92.0%が新興・途上国に由来し、3.3%が先進国に由来する(図2-11)。新興・途上国のうち、特に目覚ましい増加が生じるのが、MENA、中国およびインドである。中東では、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るため、MENAの天然ガス需要は511 Bcm増加する。中国、インドはこの先30年間に発電部門を中心としてそれぞれ419 Bcm、275 Bcm増加する。先進国のうち、日本は2050年までに現在より28 Bcm減少し、EUはほぼ横ばいで推移する。米国は、シェールガス増産による消費増があり、先進国では例外的に2040年頃まで77 Bcm拡大する。基本的には天然ガス消費も新興・途上国が牽引するため、天然ガス消費抑制の観点からは新興・途上国における天然ガスの効率的利用が課題となる。

新興・途上国における天然ガス消費の増加要因は、発電部門、産業部門、民生他部門である(図2-12)。新興・途上国の天然ガス消費量増加分の半分以上は発電部門に由来する。石油は発電コストが高く、石炭は環境影響が大きく、再生可能エネルギーは大規模発電が難しく統合コストも高いためである。次いで天然ガス消費が増加する分野は産業部門である。利便性や環境面への配慮から、石油・石炭からのエネルギー移行が進む。民生他部門での増分はほとんどが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。天然ガス消費抑制には、これら消費部門における高効率設備・機器の導入・普及が不可欠である。

図2-11 | 主要国・地域の天然ガス消費[レファレンスシナリオ]

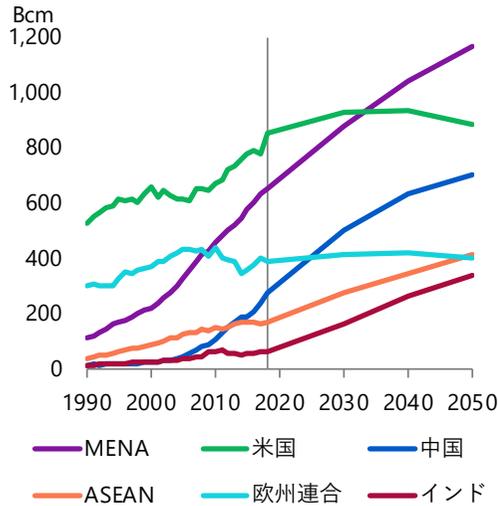
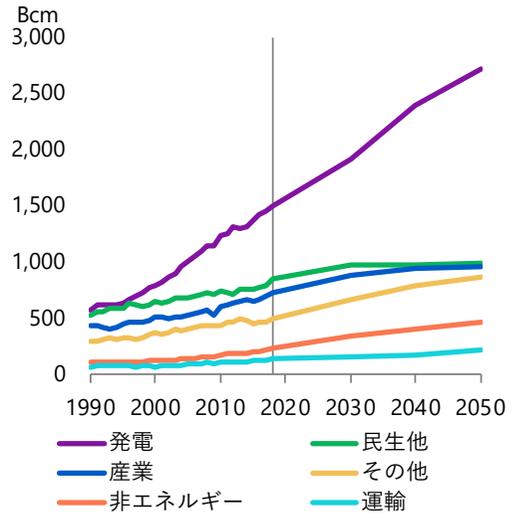


図2-12 | 世界の天然ガス消費[レファレンスシナリオ]



石炭の消費は2035年頃に減少に転じる

石炭もCOVID-19影響により2020年に消費が減少、その後消費量は回復するものの、石油・天然ガスとはやや異なり2030年代半ばをピークに減少に転じる(図2-13)。短期的には2018に石炭換算5,483百万t(Mtce)であった消費量は2020年の減少を経た後、年率9.5%で増加する。しかし、2035年頃に6,000 Mtce強でピークを迎え、その後年率7.6%で減少に転じる。石炭消費の一次エネルギー消費に占めるシェアは、2018年の26.9%から2050年には20.9%まで下落し、石油に次ぐ第2のエネルギーの座を天然ガスに譲る。

現在、世界の石炭消費の51.6%を中国、17.0%を欧米日、10.8%をインドが占めているが、中国と欧米日はシェアを落とし、インドとASEANがシェアを伸ばす(図2-14)。中国の石炭消費は2020年代半ばをピークに減少に転じる。発電用石炭消費は2020年代半ばに向けて増加するものの、鉄鋼およびセメント生産がまもなくピークを迎え、産業用石炭消費が2050年までに約4割減と激減するためである(図2-15)。また、欧米日は産業用・発電用ともに右肩下がり、2050年に48%減となる。他方、インドとASEANは2050年に産業用がそれぞれ2.6倍、1.9倍になり、発電用が2.2倍、2.3倍になる。石炭消費抑制の観点からは、中国および欧米日の消費抑制をさらに推し進める一方、インドとASEANの石炭政策への対応が重要となる。

図2-13 | 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]

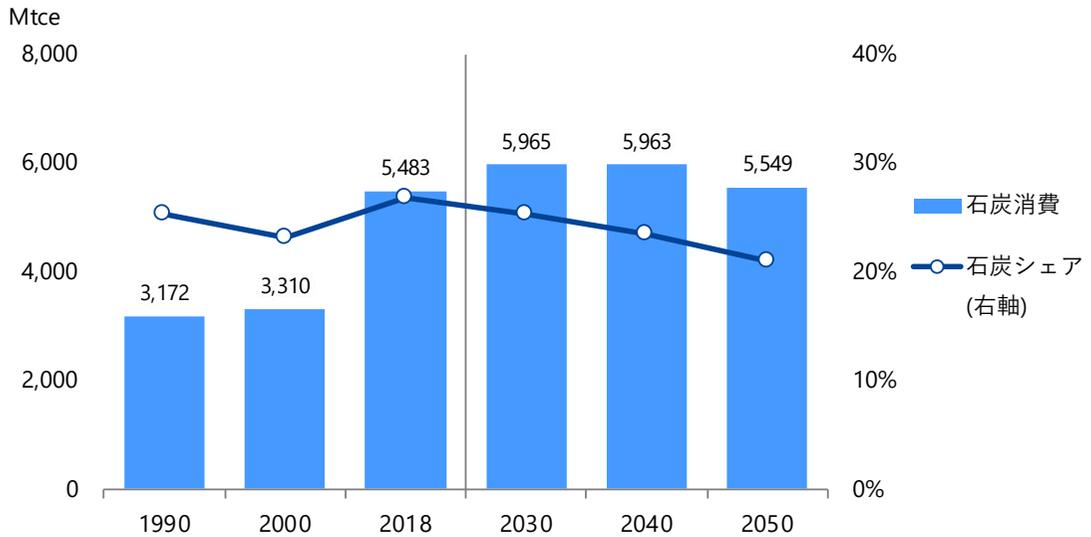


図2-14 | 主要国・地域の石炭消費[レファレンスシナリオ]

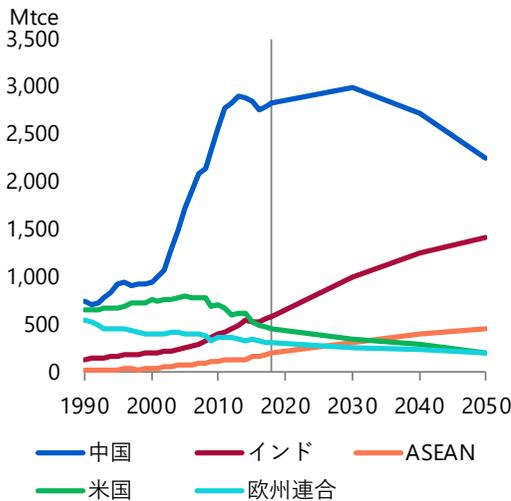
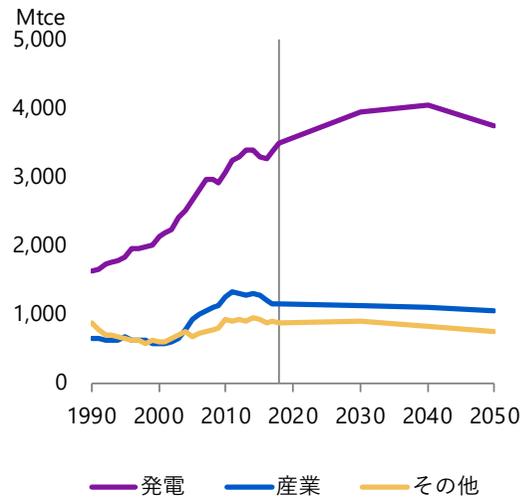


図2-15 | 世界の石炭消費[レファレンスシナリオ]



気候変動問題への対処必要性から、特に先進国では欧州を中心に世界全体の石炭消費に対する風当たりが強い。欧州では、石炭火力発電所への経済的負担や二酸化炭素・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、中国、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わけではない。石炭への依存が低い欧州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を進めようとしているが、中国やインドの金融機関は必ずしも同調していない。アジア新興・途上国の石炭消費抑制には、発電と産業の両部門において、高効率機器の導入・普及が不可欠である。

非化石エネルギーによる発電は拡大し続ける

COVID-19影響からの経済回復において、非化石エネルギー拡大への期待が高まっている。しかし、非化石エネルギーの一次エネルギー全体に占める割合は、2018年の18.8%から2050年には21.2%とわずかな拡大にとどまる。現在、非化石エネルギーの72.5%が発電用で、原子力、水力が大半を占める(図2-16)。一方、熱利用の大半は、主に新興・途上国の農村部で利用される薪・畜糞などの伝統的な固形バイオマスである(図2-17)。

図2-16 | 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]

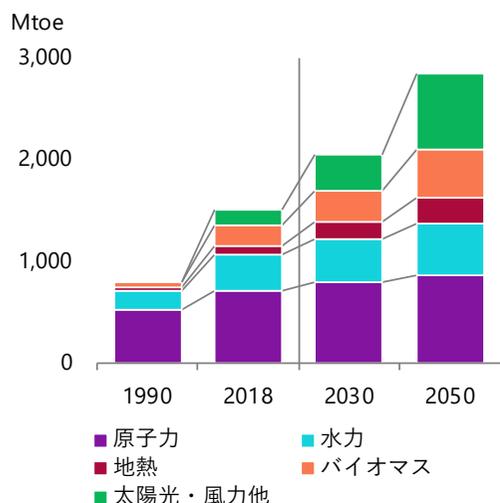
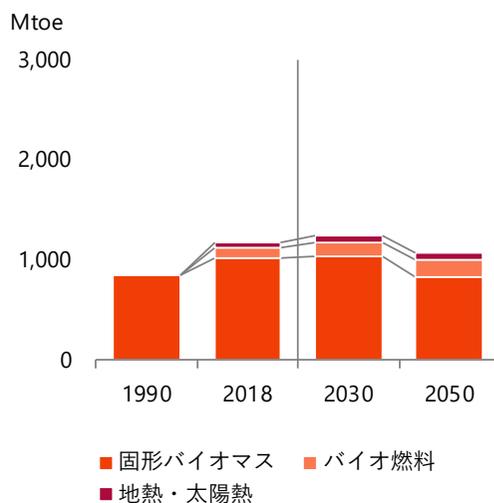


図2-17 | 世界の熱用非化石エネルギー消費[レファレンスシナリオ]



将来の非化石エネルギーの純増分はすべて発電用で、熱利用はほとんど増えず2030年頃に減少に転じる。発電用のうち、太陽光・風力他の伸びが最も大きく、1990年には1 Mtoeに過ぎなかったが、2018年には260倍に至っており、2050年には2018年に比べ4.6倍に拡大する。原子力・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2018年の71.0%から2050年には47.8%に低下する。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・生活水準の向上に伴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1.6倍になるものの、熱用非化石エネルギー消費の16.0%を占めるに過ぎない。

アジアでは石油・天然ガス消費が伸び続ける

アジア経済はCOVID-19により2020年に前年比1.6%減となるが、長期的には2018年から2050年にかけて年率3.6%で急速に成長する。とりわけ、中国、インド、ASEANのGDPは、同期間にそれぞれ3.5倍、5.6倍、3.6倍に成長する。結果として、これら3か国・地域のアジアGDPシェアは、2018年の64.4%から2050年には81.6%に拡大する。

この経済成長に伴い、アジアにおける2018年から2050年にかけてのエネルギー消費増加分のうち、中国、インド、ASEANの増分が計97.1%を占める(図2-18)。この結果、アジアのエネルギー消費における中国、インド、ASEANを合わせたシェアは、2018年の81.9%から2050年に86.6%となる。アジアにおいて、日本、韓国などの先進国・地域のシェアが低下し、中国、インド、ASEANが及ぼす影響力が増加する。

図2-18 | アジアの一次エネルギー消費[レファレンスシナリオ]

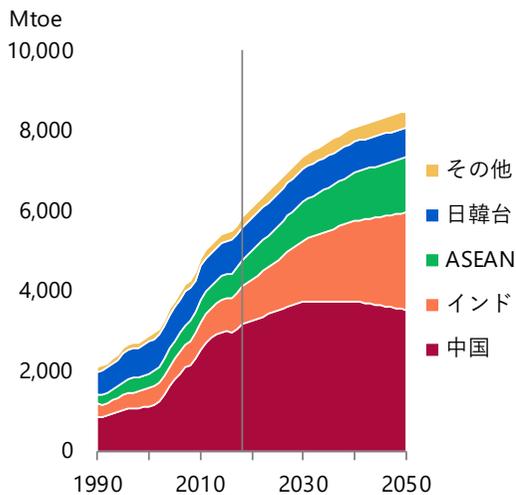
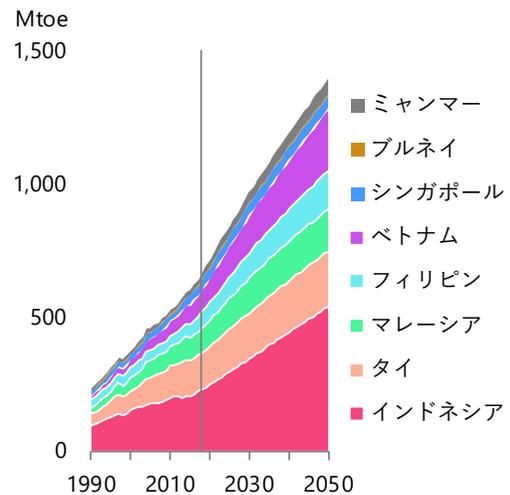


図2-19 | ASEANの一次エネルギー消費[レファレンスシナリオ]



もっとも、中国、インド、ASEANのエネルギー消費の動向は同様ではない(図2-18、図2-19)。中国は1990年から2018年まで年率4.7%の急激な伸びを示したが、2018年から2040年は年率0.7%に減速し、2040年代半ばには減少に転じる。1990年から2018年までの年率4.0%の伸びを示したインドは、2018年から2050年までも年率3.1%で増加する。ASEANも伸び、1990年から2018年までは年率3.8%であったが、2018年から2050年は年率2.3%で拡大する。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。

中国経済は1990年に8,000億ドルであったが、2018年には10兆8,000億ドルに拡大し、2050年には38兆ドルに至る。この間、人口は1990年の11億4,000万人から2018年の13億9,000万

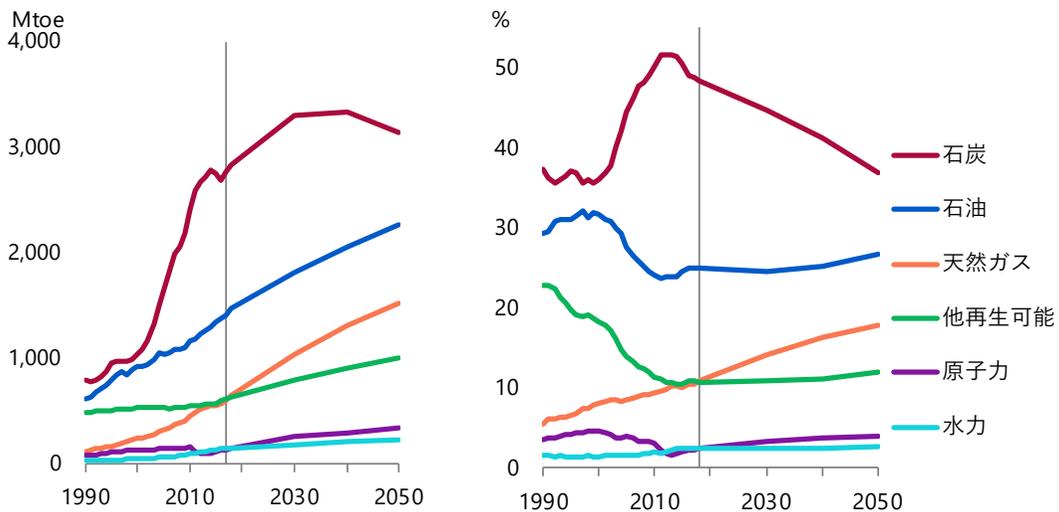
人に増えたが、その後2030年頃をピークに減少し、2050年には13億7,000万人と現在を下回る。経済は拡大するものの、人口減少に転じることがエネルギー消費抑制にある程度寄与する。

インド経済は1990年の5,000億ドルから2018年には5.6倍、2050年には2018年比5.6倍に拡大する。人口は1990年の8億7,000万人から2018年に13億5,000万人に至り、2023年頃には中国を追い抜いて2050年には16億4,000万人になる。人口増に加え、2050年の1人あたりGDPが10,000ドルに迫るなどの所得・生活水準向上により、エネルギー消費は増加を続ける。

ASEANのアジアエネルギー消費シェアは1990年に11.0%であったが、2018年には11.5%になり、2050年には16.5%に至る。1人あたりGDPは、1990年に1,700ドルであったが、2018年には4,500ドル、2050年には13,700ドルに到達する。1人あたりの所得・生活水準向上に加え、2050年にはASEAN全体で7億6,000万人となる人口増の要因が重なり、ASEANのエネルギー消費は右肩上がりになる。

現在も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る(図2-20)。2018年には84.3%、2050年には81.4%を化石燃料に依存する。特に石油・天然ガス消費は増加し続ける。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、世界の気候変動対策の観点から非常に重要となる。

図2-20 | アジアの一次エネルギー消費[レファレンスシナリオ]



アジアの石油消費の増加スピードは、1990年から2018年は年率3.1%、2018年から2050年は年率1.4%となり、今後やや減速する。2018年から2050年の増加分のうち、運輸部門が63.2%、非エネルギー消費部門が17.2%、民生他部門が11.3%を占める。同じ増加分のうち、

地域別では、インドが68.8%、ASEANが25.2%、中国が8.5%を占める。アジアの石油消費増分は世界の増分の73%を占める一方、アジアの石油自給率は2018年の23.9%から2050年には13.4%に下落する。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に転換してゆくこと、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。

図2-21 | アジアの石油消費[レファレンスシナリオ]

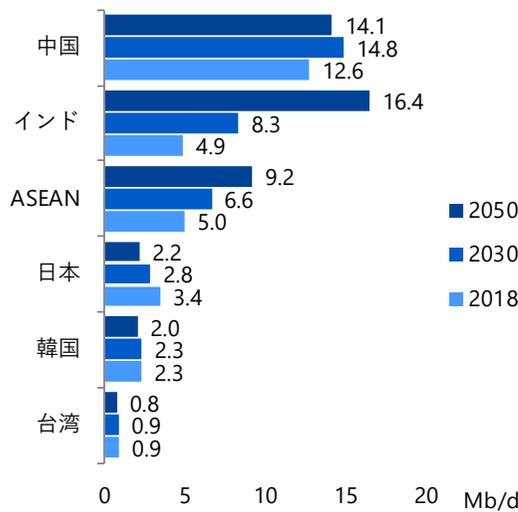
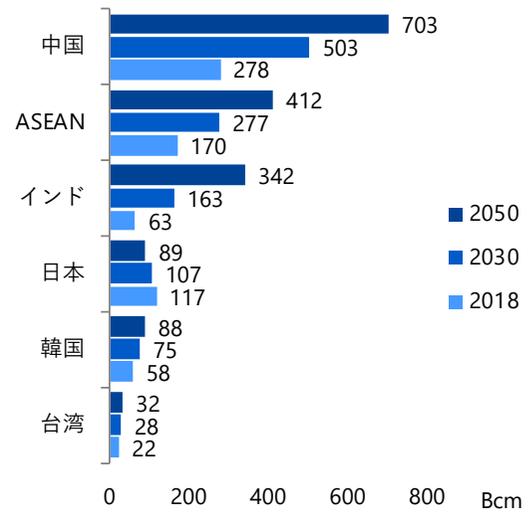


図2-22 | アジアの天然ガス消費[レファレンスシナリオ]



アジアの天然ガス消費は石油以上に成長し続ける。1990年から2018年は年率6.3%、2018年から2050年は年率2.7%で拡大する。2018年から2050年の増加分のうち、発電部門が48.9%、民生他部門が16.0%、非エネルギー消費部門が10.7%を占める。同じ増加分のうち、地域別では、中国が40.4%、インドが26.5%、ASEANが23.0%を占める。アジアの天然ガス消費増分は世界の増分の46.6%を占める一方、アジアの天然ガス自給率は生産量の減少等を背景に2018年の61.1%から2050年には56.5%に低下する。天然ガスは石油・石炭より環境に優しいと言われるが、発電部門におけるコンバインドサイクル発電の必須化など、高効率な利活用を進めることが重要である。

液化天然ガス(LNG)がアジアの天然ガス消費増大を支える。アジアのLNG消費量は2018年の238 Mtから2050年の436 Mtに拡大する。2019年には、日本、韓国、台湾のシェアが60.0%、中国、インド、ASEANのシェアが36.8%であったが、2050年には、前者は32.0%、後者は56.1%と逆転する。LNG消費という意味においても、アジアの牽引役はアジア新興・途上国である。

他方、アジアの石炭消費は2030年代半ばをピークに減少に転じる。1990年から2018年は年率4.7%で急成長したが、2018年から2040年は年率0.8%に減速した後、2050年に向けて年率0.6%の減少となる。発電用は大きく増加するが、用途別では、産業用、民生用で減少する。それでもなお、石炭はアジア最大のエネルギー源であり続ける。気候変動や大気汚染への配慮を欠いた石炭火力発電所の新規建設・増設を回避しつつ、経済的かつエネルギー安全保障的観点から、アジアに豊富に賦存する石炭資源の有効活用をアジア各国政府は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・天然ガス消費ほどではないが、急速に伸びてゆく。2050年の世界の非化石エネルギー消費に占めるシェアは57.3%と、現在より8.4%ポイント上昇する。増分の77.3%が伝統的バイオマスを除く再生可能エネルギーで、次いで同29.9%が原子力、伝統的バイオマスは同7.1%の減少となる。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46.0%、ASEANは25.7%を占める。原子力の増分では、中国が57.1%、インドが29.7%を占める。世界・アジアの非化石エネルギーを牽引するのも、中国、インド、ASEANである。アジア新興・途上国において非化石エネルギーの普及を加速することは、世界の気候変動対策推進の観点から特に重要となる。

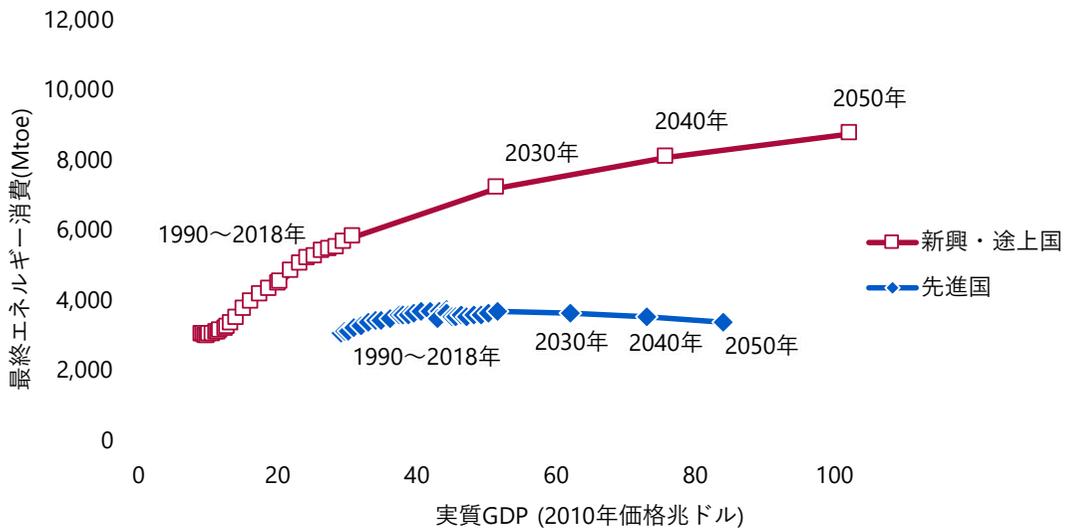
2.2 最終エネルギー消費

新興・途上国が世界の需要を引き続き牽引

世界の最終エネルギー消費は、過去、経済成長率に比べて低い伸び率で増加してきた(図2-23)。1990年から2018年までを見てみると、実質GDPの伸び率が年率2.8%であったのに対して、最終エネルギー消費の伸び率は年率1.7%であった⁴。この傾向は近年さらに強くなり、2010年以降では、平均経済成長率2.8%に対して、最終エネルギー消費の増加は年率1.5%にとどまっている。特に、先進国においては、経済規模は拡大するものの、経済のサービス化や省エネルギーの進展などにより、2007年を境に最終エネルギー消費の増加傾向が頭打ちとなっていた。一方、新興・途上国では、1990年から2018年にかけて、年率4.4%の高い経済成長率やエネルギー多消費型産業の生産量の増大、人口増を主な要因として、最終エネルギー消費は年率2.4%で増加してきた。

⁴ 世界計は国際バンカーを含む。

図2-23 | GDPと最終エネルギー消費[レファレンスシナリオ]



将来に目を向けると、先進国では、実質GDPは増加する一方で省エネルギーの進展などにより最終エネルギー消費は減少するという逆向きの変化が進む。最終エネルギー消費は2018年から2050年にかけて年率0.3%で減少し、3,382 Mtoeとなる。新興・途上国でも省エネルギーは進展し、GDP弾性値⁵は0.53 (1990年～2018年)から0.34 (2018年～2050年)に低下する。しかし、経済・人口の成長を背景として、2050年の最終エネルギー消費は現在の1.5倍となる8,736 Mtoeへと増加する。この新興・途上国需要の増加に牽引され、世界全体の最終エネルギー消費は2050年にかけて年率0.8%増、2050年時点で2018年の1.3倍まで増加する。

アジアの新興・途上国では消費増大の傾向に差

2018年から2050年までの世界の最終エネルギー消費増分2,935 Mtoeの実に60%に相当する1,747 Mtoeがアジアからもたらされる(図2-24)。とりわけ新興・途上国における産業の発展、モータリゼーション、都市化の進展、生活水準の向上などの影響を受けて、アジアの最終エネルギー消費は2018年の3,847 Mtoeから年率1.2%で増加し、2050年には5,593 Mtoeに達する。ただし、アジアの新興・途上国の中でも、国・地域によって最終エネルギー消費増加の傾向に差がある点には注意を要する(図2-25)。

⁵ 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

図2-24 | 主要国・地域の最終エネルギー消費増分[レファレンスシナリオ、2018年～2050年]

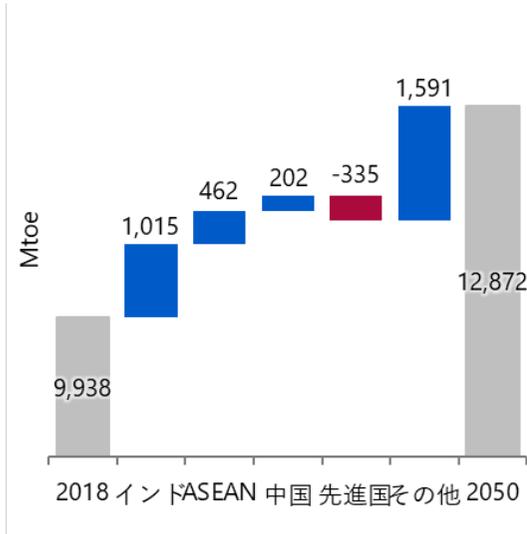
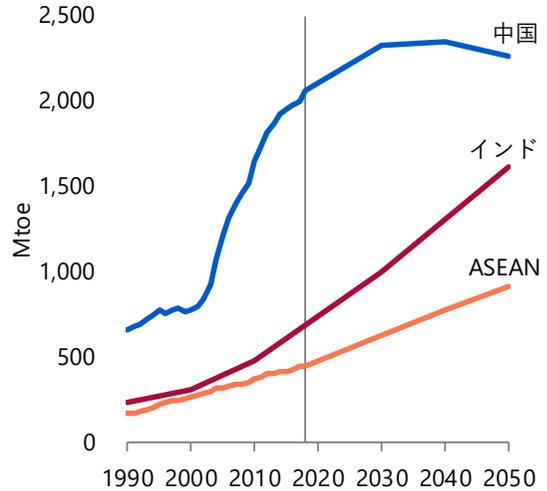


図2-25 | 中国、インド、ASEANの最終エネルギー消費[レファレンスシナリオ]



急速な経済成長を遂げた中国の最終エネルギー消費は、2018年には一国で世界全体の21%に相当する2,058 Mtoeに至った。しかし、同国経済は、高度成長期から新常态と呼ばれる中高速成長期へと移りつつあり、加えて人口が2030年代序盤にピークアウトする。2050年まで最終エネルギー消費の絶対量は引き続き高い水準にあるが、今後はこれらの変化を受けて増加率が低下し、2030年代終盤頃からマイナスに転じる。これに対して、まもなく中国を抜いて世界最大の人口を抱えるようになるインドでは、将来的にも最終エネルギー消費は高速で増加し、2050年には現在の2.7倍となる1,621 Mtoeに達する。絶対量では中国に及ばないものの、現在からの増分に注目するとインド一国でアジア全体の増分の58%を占めており、その拡大規模は凄まじい。また、ASEANも将来的に高い増加率を維持し、2050年には現在の2倍となる917 Mtoeに至る。

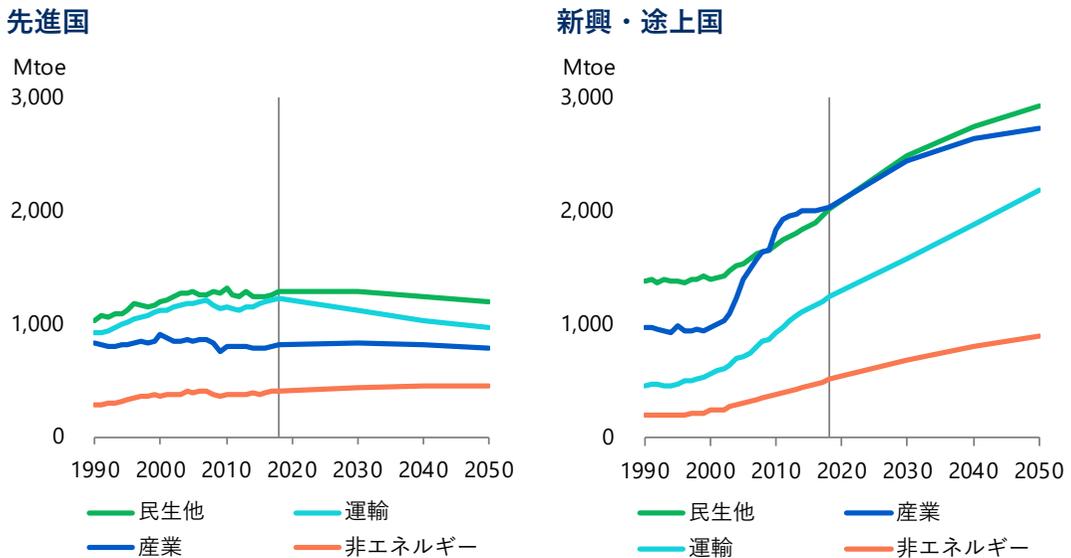
先進国の最終エネルギー消費は足許から減少傾向に転じ、2050年には現在と比べて約9%少ない水準になる。先進国の最終エネルギー消費が世界全体に占める比率は現在の37%から2050年には26%まで落ち込み、アジアを中心とした新興・途上国への消費センターの移行がますます顕著になる。

生活水準の向上や近代化が消費増の鍵

2018年から2050年までの世界の最終エネルギー消費の増分2,935 Mtoeを部門別に見ると、運輸部門が1,007 Mtoeと、全体の約3分の1を占める。次いで、民生他部門が820 Mtoe、産

業部門が679 Mtoe、非エネルギー消費部門が428 Mtoeと続く。一方、同期間の増加率は、非エネルギー消費部門が年率1.2%、運輸部門が0.9%、そして産業部門、民生部門がそれぞれ0.7%である。先進国の最終エネルギー消費は、民生他部門、産業部門で概ね横ばいで推移するが、運輸部門では電動自動車の導入拡大を含む自動車燃費の改善などにより減少する(図2-26)。一方、新興・途上国では、生活水準の向上や経済の発展を背景に、民生他部門、産業部門、運輸部門いずれの消費も急速に増加する。

図2-26 | 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]



民生他部門では、2050年まで年率0.7%、特に新興・途上国では生活水準の向上を背景に年率1.2%で増加する。同部門の特徴として、薪や畜糞など伝統的バイオマスの利用が部門全体の消費の21%、新興・途上国では32% (2018年)を占めることが挙げられる。伝統的バイオマスは、調理・暖房などの用途に利用されることが多く、燃焼時の煤煙による健康被害などが大きな課題になっている。しかし今後は、生活水準の改善とともに、伝統的バイオマスから近代的エネルギーへと移行してゆく。その結果、2050年時点で部門全体の消費に占める伝統的バイオマスの割合は12%、新興・途上国では15%まで低下する。一方で、同部門の近代的エネルギー消費は2018年～2050年で年率1.1%、新興・途上国では1.9%で増加する。

運輸部門のエネルギー消費では、道路における消費が同部門全体の74% (2018年)を占めている。そのため、自動車保有台数や燃費改善の動向が運輸部門全体の消費量推移の鍵を握る。世界の自動車保有台数は、2018年の14億6,400万台から2050年には28億2,400万台まで

ほぼ倍増する。同時に、ハイブリッド車・電気自動車などの電動自動車が普及し、2050年には電動自動車が保有構成に占める比率が57%に達する。電動自動車の普及によって自動車のエネルギー効率が大幅に改善するため、自動車保有台数が倍増する中でも運輸部門の消費は1.3倍増にとどまる。

先進国では自動車の普及率が既に高いため、今後の保有台数の伸びは小さい。一方で燃費改善の効果が大きく、運輸部門の消費は年率0.7%で減少する。新興・途上国でも燃費は改善するものの、自動車保有台数の急増(2.7倍増)に伴う消費増がそれを大きく上回り、結果として運輸部門の消費は年率1.8%で増加する。特に、アジアの新興・途上国におけるモータリゼーションは目覚ましく、2018年から2050年にかけての世界の自動車保有台数の増分のうち、約64%が同地域からもたらされる。

世界の製造業GDPは、主に新興・途上国に牽引されながら、2018年から2050年にかけて年率2.5%で成長する。一方で、同期間の産業部門の最終エネルギー消費は年率0.7%の増加にとどまる。これら2つの増加率が乖離する要因としては、省エネルギー技術が発達することだけでなく、経済発展に伴って産業構造の重心がエネルギー多消費型産業から付加価値が相対的に高いエネルギー寡消費型産業へと移行してゆくことも挙げられる。例えば、中国では、産業構造の変遷に伴い、エネルギー多消費型産業の典型であるセメントの生産量が2014年に既にピークアウトしており、また鉄鋼の生産量も早晩ピークアウトする。そのため、同国では、現在から2050年まで製造業GDPが年率2.9%で成長する一方で、産業部門の消費は年率0.7%で減少する。この結果、同国の産業部門消費が世界全体に占める比率は、2018年の35%から2050年には23%まで低下する。なお、世界シェアが大きく伸びるのはインドとASEANであり、2050年時点でそれぞれ16%(9ポイント増)、9%(4ポイント増)になる。

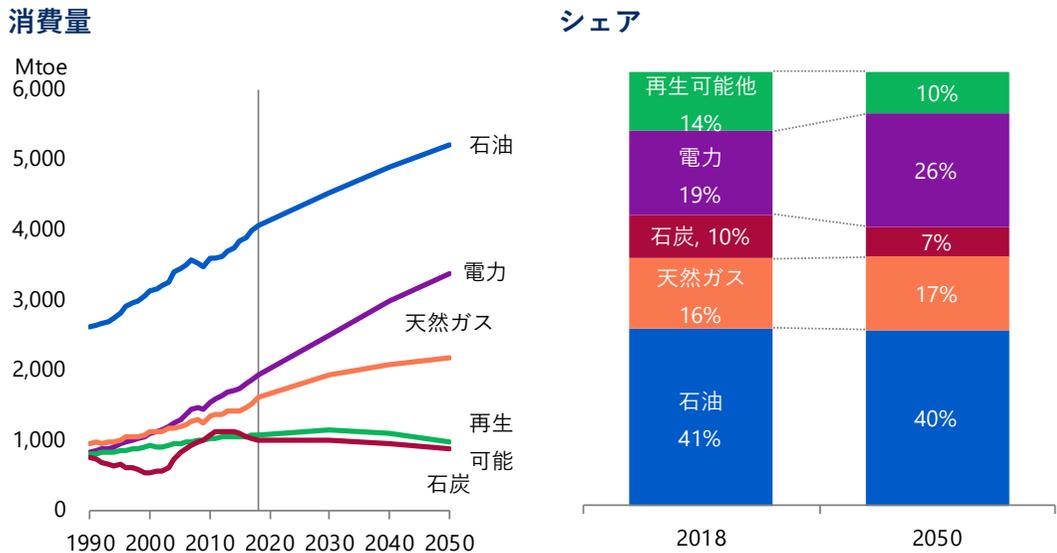
非エネルギー消費の約8割が石油化学製品の原料用途であり、残りは潤滑油などとして利用される。プラスチックなどの石油化学製品への需要は高く、石油化学産業は今後も大きな成長が見込まれる。特に、需要・生産ともに新興・途上国の伸びは大きく、世界の非エネルギー消費増分の約9割が同地域からもたらされる。一方で、環境対策などの観点からバイオマス由来のプラスチックの導入拡大が検討されており、石油化学原料としてのバイオマスの利用が徐々に高まる。

各エネルギー源の安定的な供給が肝要

世界の最終エネルギー消費をエネルギー源別に見ると、ひとつの特徴として、電力消費の増分が大きいことが挙げられる。電力の最終消費は2050年まで年率1.8%で増大し、その増分は最終エネルギー消費全体の半分を占める(図2-27)。電力は、先進国、新興・途上国

のいずれにおいても主要エネルギー源の中で最も高い増加率を示しており、特に先進国では現在から2050年にかけての変化率が唯一プラスになるエネルギー源である。世界のエネルギー源別最終消費でもうひとつ特徴的なのは、石炭と再生可能エネルギーが頭打ちになる一方で、石油と天然ガスが新興・途上国の需要に牽引されるかたちで現在から2050年までそれぞれ年率0.8%、0.9%で増加し続ける点である。現在、化石燃料が占める比率は67%であるが、石油と天然ガスの消費増を受けて2050年でも64%と引き続き6割超を占める。

図2-27 | 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]



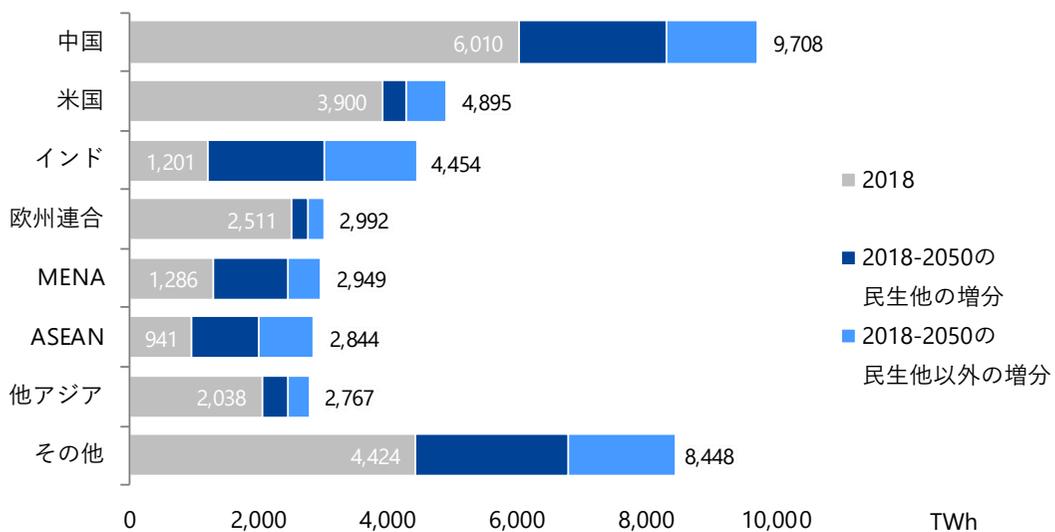
石油最終消費の部門別比率(2018年)は、65%が運輸部門(うち、道路部門49%、航空部門8%、海運部門7%)、17%が非エネルギー消費部門、11%が民生他部門である。この中で、今後、石油消費が最も増加するのが運輸部門で、次いで非エネルギー消費部門である。とりわけ、アジアにおける自動車用燃料需要は大きく増加し、この増分は先進国の石油消費減少分の大半を相殺するほどである。前述のとおり、インド、ASEANなどアジア新興・途上国で自動車保有台数が急増することがこの主因である。また、非エネルギー消費部門においても、その増分の約6割がアジアからもたらされる。アジアは2050年までの世界の石油最終消費増分の約7割を占め、世界シェアも2018年の32%から2050年には40%へ拡大する。

天然ガス最終消費の部門別比率(2018年)は、44%が民生他部門(うち、家庭部門30%、業務部門13%)、37%が産業部門、12%が非エネルギー消費部門である。一方、今後の増分では、最大なのが産業部門で、次いで非エネルギー消費部門、そして民生他部門である。産業部

門、非エネルギー消費部門の増分のうち、それぞれ56%、49%が中国やインドなどを中心としたアジアからもたらされるが、次いで中東がそれぞれ19%、16%を占めているのが特徴である。中国の民生他部門における需要増は、それだけで世界の天然ガス最終消費増分の21%を占める。同国の民生他部門の中でも、特に家庭部門における増加が顕著である。その一因として、室内汚染・大気汚染問題等を緩和するために、石炭や薪などのバイオマス燃料から都市ガスへの燃料転換が急速に進んでいることがある。インドでは、大気汚染の緩和や低炭素化に向けて、鉄鋼業など産業部門をはじめとした各消費部門で天然ガス利用の拡大を促す政策を展開している。中東は、原油輸出への依存度が小さい国家財政を目指し、安価な石油随伴ガスを利用した化学工業の発展に取り組んでいる。

電力の最終消費は先進国、新興・途上国のいずれにおいても主要エネルギー源の中で最大の増加率を示しており、世界の電化率(消費側)⁶は2018年の19%から2050年に26%まで上昇する。一般的に、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利用されるようになる。加えてデジタル化が各国の経済・社会に広く浸透し、電力を必要とするマシンやデバイスの数が増えてゆくことも増加要因となる。社会の基幹システムの運営に支障が生じた際の影響の大きさという観点から、電力のエネルギー的・価格的な安定供給はとりわけ重要になる。電力消費量の増加を特に強力に牽引する地域は、中国、インド、ASEANなどのアジアである(図2-28)。これらアジアを中心に、世界の電力消費増分の実に88%が新興・途上国で発生する。

図2-28 | 電力最終消費[レファレンスシナリオ]



⁶ 最終エネルギー消費に占める電力消費量の比率。

部門別には、民生他部門が58%と大きく寄与し、民生他部門の増加量の54%が家庭部門で生じる。とりわけ、新興・途上国の家庭用電力消費が増加する。その主な要因としては、電力インフラの整備とともに、都市部の高中所得層を中心に電化製品の利用が徐々に広がることが挙げられる。一方、先進国では家庭用電力消費はほとんど増えない。これは、先進国では家電製品が既に普及しており今後の増分が限定的であるうえに、機器効率や断熱効率が改善してこの増分を相殺するためである。

世界の石炭最終消費は、2010年代前半を境に既に減少傾向に転じている。主要な消費国における経済構造の変化に加え、昨今では環境保護の観点から石炭利用に対する風当たりが強く、他のエネルギー源への転換も検討されている。高効率化技術などの導入とあわせて、今後、世界の石炭最終消費は年率0.4%で減少する。石炭の大消費国である中国では、石炭多消費産業であるセメントの生産量が2014年にピークを迎え、また鉄鋼の生産量が近くピークを迎える。2010年代前半以降、同国の産業用石炭消費は減少傾向をたどり、2050年時点では2018年比で約半分まで落ち込む。インド、ASEANなどでは消費が増加するものの、上述の中国における消費減少が大きく響く。

最終消費される再生可能エネルギーの内訳(2018年)は、約72%が主に新興・途上国で使用される薪や畜糞などの伝統的バイオマス、13%が欧米諸国の暖炉などで使われる暖房用の薪、10%が自動車用などのバイオ燃料、そして残りの数%が太陽熱や地熱の利用である。前述のとおり新興・途上国で近代エネルギーへのアクセスが改善してゆくため、世界の伝統的バイオマス消費は2020年代後半を境に減少に転じる。

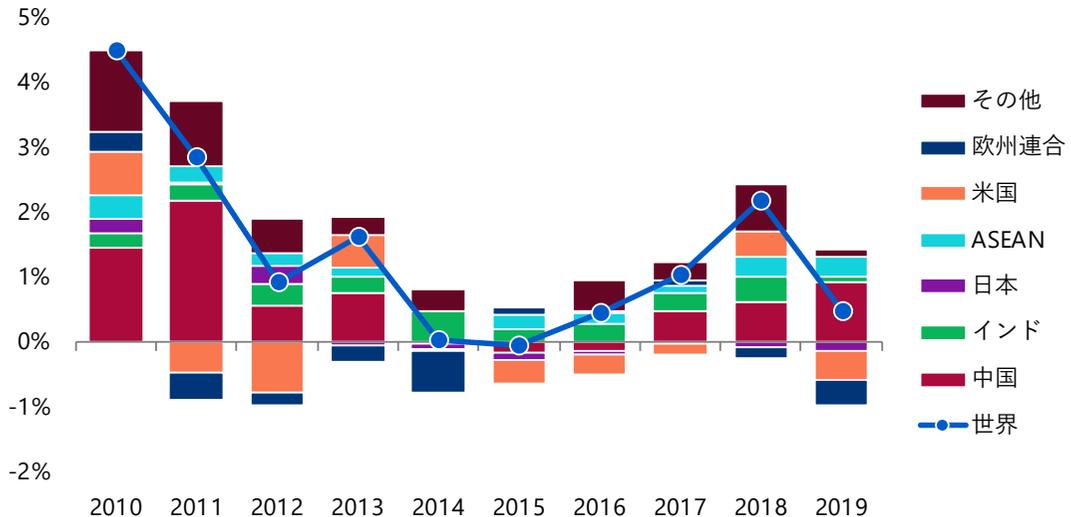
気候変動対策は地球規模の重要な課題であり、その一環として各国の官民が脱炭素化に向けた施策を検討・実行中である。ただし、最終エネルギー消費でも、2050年において完全な脱炭素化には至らず、化石燃料も重要なエネルギー源であり続ける。昨今では「クリーンエネルギー社会への移行」というテーマが注目を浴びており、低炭素技術の開発・導入など各種の環境対策は無論重要である。しかし一方で、無理がなくバランスの取れた移行プロセスを実現するためには、各エネルギーの安定供給に向けた取り組みが欠かせない。開発・生産から輸送・貯蔵、そして最終消費に至るまでの包括的なチェーンにおいて技術の開発・導入を進めるとともに、法や金融などの整備に下支えされた、多様かつ強靱なエネルギー市場を構築することが肝要である。

2.3 二酸化炭素排出量

2019年の世界のCO₂排出は前年比0.47%増にとどまる、中国の寄与度は増加

2019年の世界の二酸化炭素(CO₂)排出をBP統計⁷で見ると、その伸びは停滞し、前年比増加率は2018年の2.19%から0.47%に低下した(図2-29)。世界のGDPの前年比増加率は、2018年の3.1%から2019年は2.5%に減少している⁸。

図2-29 | CO₂排出の前年比変化率と主要国・地域別寄与度



出所: bp “Statistical Review of World Energy June 2020”から作成

中国の寄与度が+0.94%で前年に比べ拡大する一方、米国の寄与が前年のプラスからマイナスに転じ-0.45%となった。インドの増加への寄与度は、前年に比べて縮小し0.08%にとどまった。また、EUの寄与度は-0.40%であった。これらの背景には、中国では石炭消費量が2.3%増加したこと、米国では天然ガス消費量の増加率が小さくなるとともに、石炭消費量が14.4%減少したこと、インドでは石炭消費量の増加率が0.3%にとどまったことがある。EUでは石炭消費量が17.8%減少している。

2020年については、新型コロナウイルス感染症(COVID-19)拡大の影響を受けた予測が発表されている(表2-1)。2020年の世界のCO₂排出は、4%~8%の減少が予測されている。

⁷ bp “Statistical Review of World Energy June 2020”

⁸ World Bank, World Development Indicators.

表2-1 | COVID-19拡大による世界のCO₂排出の減少[2020年]

	2020年の排出
IEA (2020) ⁹	-8%
Le Queré et al (2020) ¹⁰	感染拡大の前の状況に6月半ばまでに戻る場合: -4% (-2~-7%) 何らかの制限が世界大で2020年末まで残る場合: -7% (-3~-13%)

インド、ASEAN、アフリカのCO₂排出が大きく増加、中国は2020年代半ばに減少に転じる

世界のエネルギー起源CO₂排出は、2018年の33.3 Gtから2030年には37.2 Gtに増加し、2050年目前に40.0 Gtでピークを迎える。

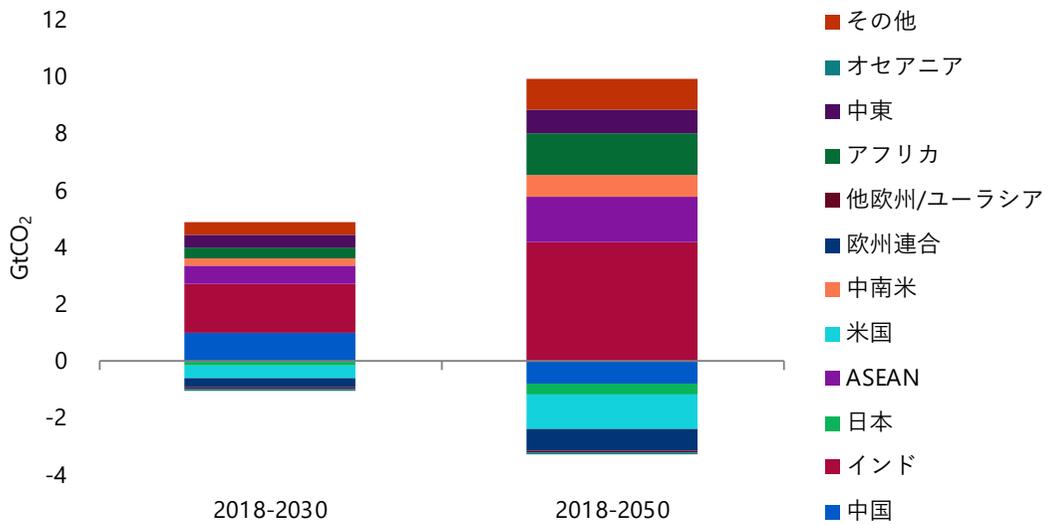
2018年～2050年の世界の増加量6.7 Gtに対して、インドが4.2 Gt、ASEANが1.6 Gt、アフリカが1.5 Gtを占める(図2-30)。これらの国・地域について、その増加の要因を検討すると、インドとASEANは1人あたりGDPがそれぞれ5倍弱、3倍に増加することが大きな要因となっている。アフリカは、1人あたりGDPが2倍になることと同時に、人口も2倍になることの影響が大きい。また、これら3つの国・地域とも、一次エネルギー消費あたりCO₂排出が増加しており、木質燃料など従来型の再生可能エネルギーが近代的なエネルギーに転換することを示している。

中国は、2020年代半ばに増加から減少に転じる。1人あたりGDPの伸びが2018年～2050年で4倍弱と大きいのが、GDPあたり一次エネルギー消費を大きく削減することにより相殺し、CO₂排出を減少させる。

⁹ IEA (2020) Global Energy Review 2020.

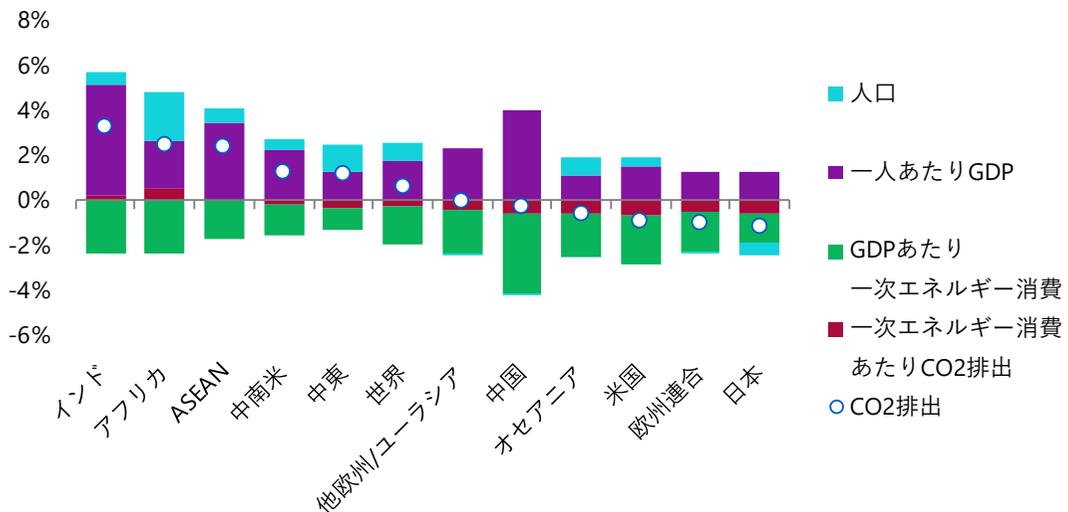
¹⁰ Le Queré et al (2020) Temporary reduction in daily global CO₂ emissions during the COVID-19 forced confinement, Nature Climate Change 10.

図2-30 | エネルギー起源CO₂排出の変化[レファレンスシナリオ]



減少量大きい国・地域は、米国1.2 Gt、中国0.8 Gt、欧州連合0.8 Gtである。一方、CO₂排出の減少率が高い日本、欧州連合、米国については、一次エネルギー消費あたりCO₂排出(低炭素化)よりも、GDPあたり一次エネルギー消費の減少(省エネルギー)が主な要因となっている。日本では人口の減少も影響を及ぼしている(図2-31)。

図2-31 | CO₂排出等の年変化率[レファレンスシナリオ、2018年～2050年]



インド、ASEAN、アフリカのCO₂排出の増加を抑えてゆくことが重要である。木質燃料など従来型の再生可能エネルギーが近代的なエネルギーに転換することは、クリーンなエネルギーへのアクセス改善という観点からは望ましいことである。しかし、高炭素型の

エネルギーシステムに移行することなく、低炭素型のままエネルギーアクセスが確保できるよう、これらの国・地域への支援を進めてゆくことが必要である。

3. エネルギー供給

3.1 原油

OPECプラスが大減産を実施も、供給過剰感は拭えず

近年は米国の原油生産増加が目覚ましく、2019年の前年比増加量は日量1.24百万バレル(Mb/d)と、2018年の1.64 Mb/dをやや下回りはしたものの、非常に大きかった。2019年の世界の石油需要の対前年増加量は0.7 Mb/dにとどまっており、米国一国の増産だけでこれを上回ったことになる。

このような状況で、石油輸出国機構(OPEC)加盟国とロシア等の非加盟国で構成するOPECプラスは、需給バランスの確保および原油価格水準の維持を目的として、原油の協調減産を2017年1月から実施してきた。2019年1月から2020年3月までの期間には、2018年10月比1.2 Mb/d減の協調減産を実施した。これが奏功して、経済協力開発機構(OECD)加盟国の石油商業在庫は漸減し、2020年2月には過去5年平均を下回った。原油価格も2016年～2017年頃の安値圏を脱した2018年から比較的安定的に推移し、ブレント原油の2019年平均価格は約\$65/bblであった。

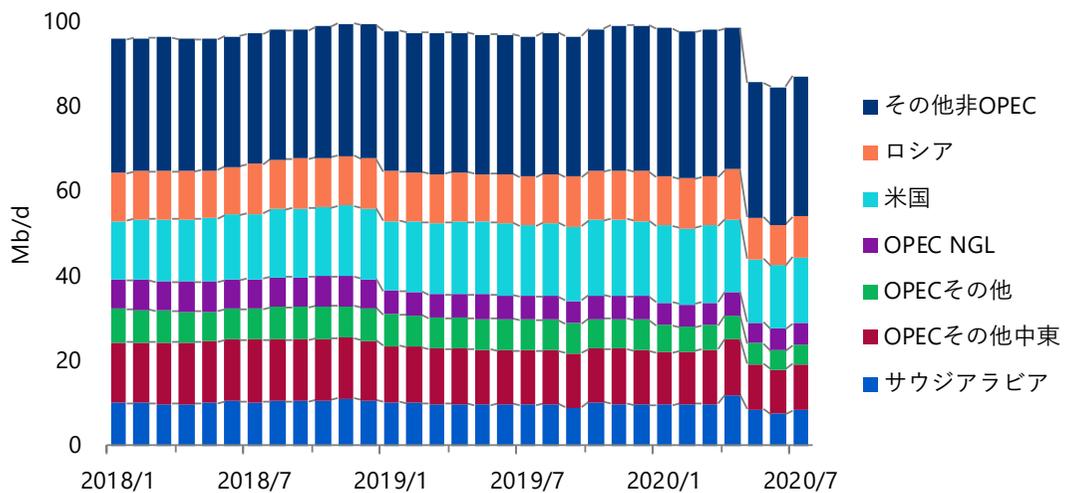
しかし、新型コロナウイルス感染症(COVID-19)拡大による石油需要の激減は、原油供給構造や油価を一変させる契機となった。2020年3月には、都市封鎖の影響等により需要減少が生じていたにもかかわらず、OPECプラスは減産交渉で決裂しサウジアラビア等が増産に転じたことから、原油価格は急落した。4月の需要減少量は、世界の石油需要の約2割に相当する20 Mb/d超に及んだ。これを受けOPECプラスは4月に9.7 Mb/dの大規模な減産実施で合意したが、それでも市場の供給過剰感を拭うには不十分で、原油価格はさらに低下することとなった。ウエスト・テキサス・インターメディアート(WTI)原油先物価格が4月20日に史上初めてマイナス価格(-\$37.63/bbl)をつけたことは記憶に新しい。ブレント原油の4月～5月の平均価格は\$30/bblを下回り、約16年ぶりの低水準となった。

油価低迷は、近年の石油増産の中心地である米国にも影を落とした。米国の著しい原油増産の大部分は、シェールオイル(タイトオイル)によるものである。この非在来型石油は、技術進展によるコスト減を実現しているとはいえ、その生産コストは依然として相対的に高い。そのため、シェールオイル生産事業者の中には油価低迷により操業継続が困難となる者も現れ、米国の原油生産量は2020年3月を境に減少に転じた。関連指標である石油リグ採掘稼働数は、2020年第2四半期には前年同期比で500基減少し、油価下落で生産量が減少した2016年における最低水準のさらに半分のレベルにまで激減した。米国はOPECプ

ラス協調減産に参加しなかったが、油価低迷により結果的に2 Mb/d程度、減産に寄与することとなった。

その後、予断は許されないものの、経済活動の再開に伴い、石油需要は徐々に回復に向かいつつある。OPECプラスは9.7 Mb/dの協調減産を当初の予定より1か月延長し7月末まで行うなど、供給過剰感の解消に努めた。しかし、石油需要が早期にCOVID-19拡大前の水準を回復する見込みは薄く、2021年の需要も2019年の水準を上回らない。4月～5月に膨れ上がった石油在庫が再び過去5年平均水準を下回るまでには相応の時間を要し、これら少なくとも短期的には油価上昇を妨げる足かせとなる。

図3-1 | 足元の原油生産量



注: OPECは各月時点における加盟国に基づく数値。非OPECの国・地域は天然ガス液(NGL)を含む。その他非OPECにはプロセスゲインを含む。

出所: IEA「Monthly Oil Market Report」をもとに作成

原油供給の中心は再び中東産油国に

レファレンスシナリオにおいては、COVID-19拡大による石油需要低迷は一時的なものにとどまる。長期的には、世界の石油需要は、経済成長や1人あたり所得の増加、石油の持つ可搬性や貯蔵性のメリット等を背景に2050年まで増加を続ける。

増加する需要に対応して、OPEC、非OPECはともに原油生産を増加させる。2030年頃までの中期的なタイムスパンでは、原油価格の緩やかな上昇や生産コストの低減等に伴って、米国でのシェールオイルの生産量が増加し、世界の原油供給増を牽引する。中南米の産油国も非OPEC原油増産において重要な役割を果たす。外資参入の増加を背景に開発が進んでいるブラジル・プレソルトや、大規模油田が発見され2019年末に最初のオフショア

プロジェクトが生産開始(56 kb/d)されたガイアナ等がこれに該当する。ガイアナにおける原油生産の損益分岐点は\$20/bbl~\$30/bblと評価されており、米シェールオイルよりも採算性が高いと見られている。他方、非OPECのうち欧州・ユーラシアやアジアでの生産量は漸減してゆく。

これまでに引き続き、中期的に石油供給増加の中心的な役割を担う米国の原油生産であるが、埋蔵量の減少等から2030年以降は伸び悩む。これに対して、長期的には、中東OPEC加盟国が、その潤沢な原油埋蔵量や安価な生産コストを背景に、現在から2050年までの約20 Mb/dという非常に大きな石油需要の増加を充足することになる。豊富な生産余力と埋蔵量を持つサウジアラビアやイラクが主要なプレイヤーとなる。なお、同じOPECの中では、世界有数の埋蔵量を持つベネズエラがどの程度生産量を増加させることができるかという点が注目に値する。同国の石油生産量は、長年にわたる投資不足や米国による制裁の影響で、過去10年の間に最大で約90%も減少している。今後、同国政権の社会主義路線の方針がどのように変化するか、石油産業における外資参入がどの程度認められるかといった点が、この国の石油生産量の行方を左右する。

表3-1 | 原油生産[レファレンスシナリオ]

	2018	2030	2040	2050	2018-2050	
					変化量	変化率
原油生産計	95.3	102.6	110.5	116.3	21.0	0.6%
OPEC	37.0	40.3	46.9	51.7	14.6	1.0%
中東	28.7	31.1	35.8	38.9	10.2	1.0%
その他	8.4	9.2	11.1	12.8	4.4	1.3%
非OPEC	58.2	62.3	63.6	64.6	6.4	0.3%
北米	20.9	23.7	23.5	21.9	1.0	0.1%
中南米	7.1	9.1	11.2	13.3	6.3	2.0%
欧州・ユーラシア	18.1	17.3	16.5	16.5	-1.5	-0.3%
中東	3.2	3.5	3.8	4.2	1.0	0.8%
アフリカ	1.4	1.5	1.6	1.7	0.3	0.6%
アジア・オセアニア	7.6	7.2	7.0	7.0	-0.7	-0.3%
プロセスゲイン	2.3	2.7	3.1	3.5	1.2	1.3%
石油供給計	97.6	105.3	113.6	119.8	22.2	0.6%

注: 原油にはNGLを含む

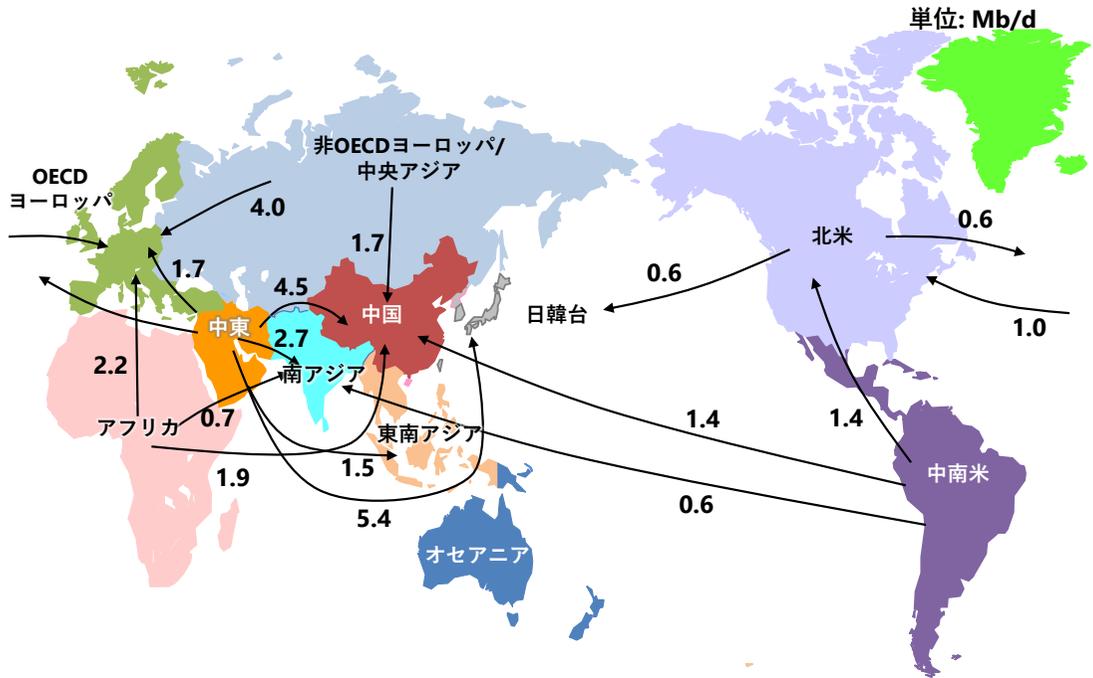
アジアで高まる中東への原油依存

2019年の世界の主要地域間の原油貿易量は約43 Mb/dであった。最大の輸出元は中東であり、その輸出量は主要地域間貿易量の40%を占める。アジアによる輸入量は総貿易量の56%を占めており、中東から輸出される原油の82%が同地域に向かっている。また、北米からアジアへの原油貿易も増加しており、2019年の日本・韓国・台湾を合わせた輸入量は、初めて0.5 Mb/dを超えた。その他の主要な輸入地域はOECDヨーロッパおよび北米であり、OECDヨーロッパには非OECDヨーロッパ/中央アジアやアフリカから、北米には中南米や中東から、それぞれ多くの原油が供給されている。ただし、北米、特に米国では、原油生産量の力強い増加を背景に輸入量は減少傾向にあり、2019年の原油輸入量は前年比で1 Mb/d減少した。

将来、世界の原油貿易総量は概ね横ばいで推移する。OECD諸国では需要の減少に伴い輸入量は減少するが、主にアジア新興国での需要増加による輸入量の増加がこれを相殺する。2030年には、産油量増加を背景に北米からの原油輸出量が増加し、アジアでの中東依存度の高まりを抑制する効果をもたらす。一方、2050年にかけては、世界の石油供給における中東産油国の存在感が高まり、アジアでは原油の対中東依存度が再び高まることになる。アフリカでの石油需要の増加によって同地域からの原油輸出量があまり増加しないこともこの一因として挙げられる。2050年には、インドの原油輸入量が中国を抜いて世界最大となる。

将来の原油貿易フローは、各国・地域における石油精製がどのように進展するかによっても影響を受ける。近年は、将来の石油需要減少リスクへの対策として、産油国の国営石油会社が需要国における石油精製プロジェクトに参画するケースが多く見られている。多くの場合、参画する国営石油会社が自国産原油をこれらの製油所に供給するため、当該原油フローは硬直的になる。また、地域間での精製競争力の違いも、多かれ少なかれ原油の貿易フローに影響を及ぼす。少なくとも短期的には、需要の伸びを上回る精製能力の増強が見込まれており、例えば競争力に乏しい製油所を持つ原油輸入国・地域では、製油所の稼働率が低下し、原油輸入量が減少する可能性がある。対照的に、高い精製競争力を有する国や地域においては、内需を上回る規模の原油を処理し、石油製品の輸出量を増やすことが考えられ、原油貿易フローを変化させる一因となり得る。

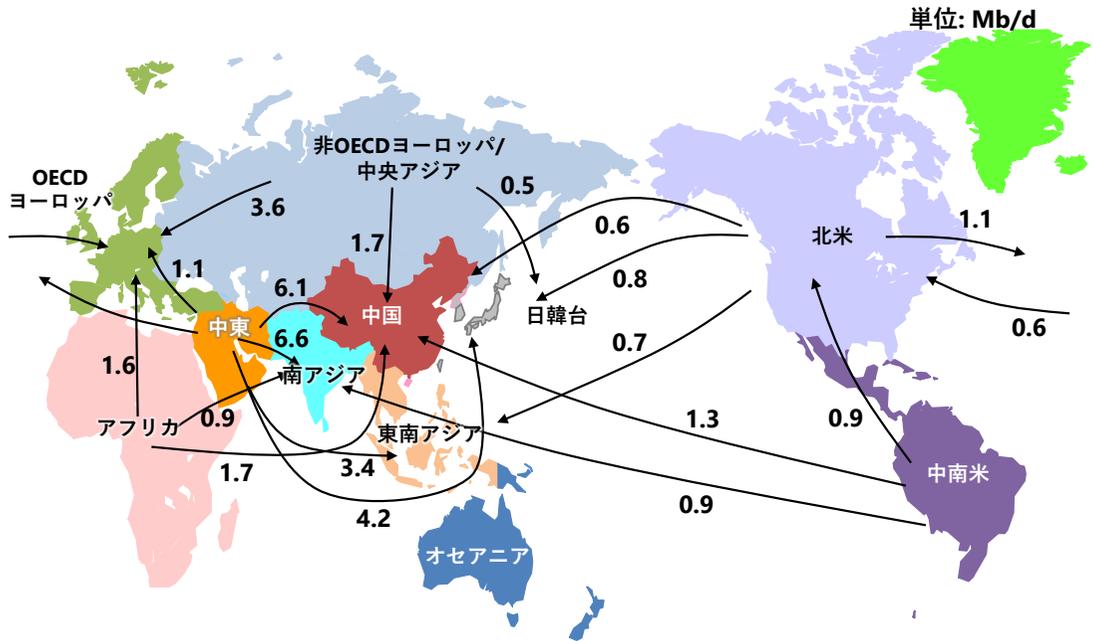
図3-2 | 主要地域間の原油貿易[2019年]



注: 0.5 Mb/d以上のフローを記載

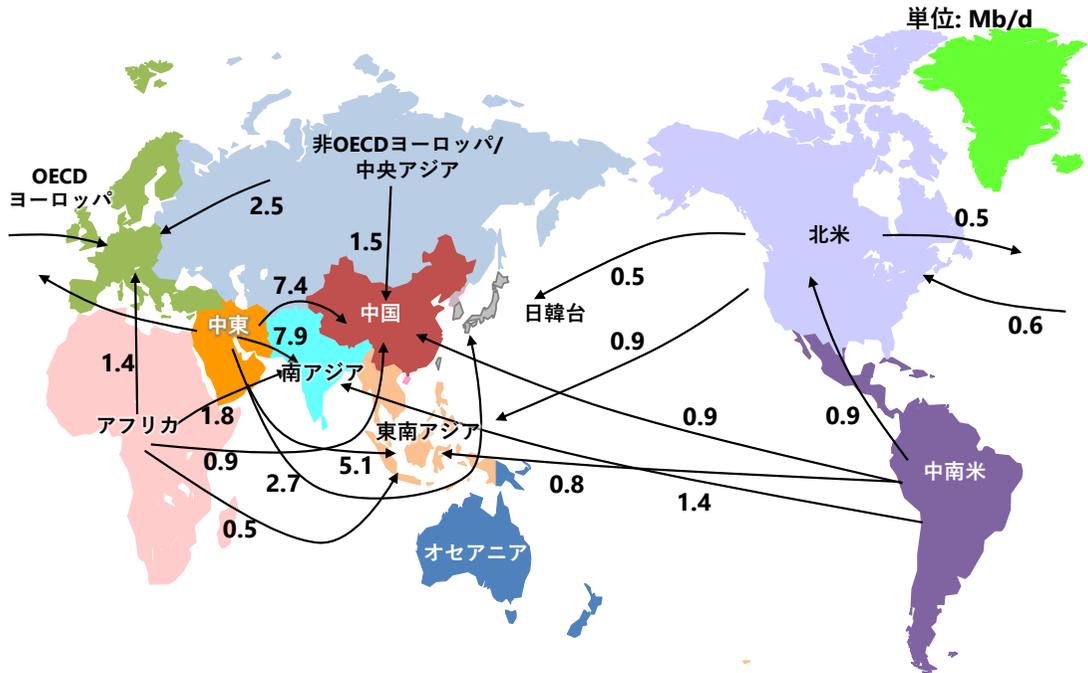
出所: BP「BP Statistical Review of World Energy」(2020年版)、各国貿易統計をもとに作成

図3-3 | 主要地域間の原油貿易[レファレンスシナリオ、2030年]



注: 0.5 Mb/d以上のフローを記載

図3-4 | 主要地域間の原油貿易[レファレンスシナリオ、2050年]



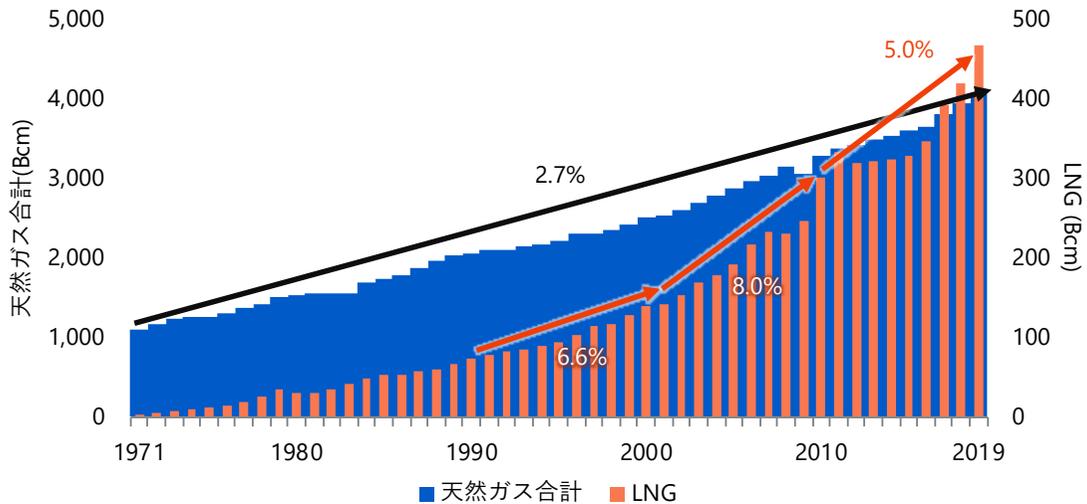
注: 0.5 Mb/d以上のフローを記載

3.2 天然ガス

豊富な供給がLNG市場拡大を加速

天然ガス供給は、過去半世紀の間、世界的に見て、エネルギー全般よりも急速に拡大してきた。さらにこの内、海上輸送による国際貿易を通して供給される液化天然ガス(LNG)は、天然ガス供給全体よりもさらに急速に拡大してきた。特に2019年は、LNG供給の大幅拡大が継続、2桁台の成長率を記録、絶対量としては過去最大だった2010年を上回る、41百万t(Mt)程度の増加となった。これを牽引したのは、米国・豪州・ロシアでのLNG生産設備の急速な立ち上がりであった。なお2020年は、引き続き米国で生産容量の拡大が続いている一方、世界のLNG需要が一時的な低迷し、稼働率が低下する。しかしながら、中長期的には、豊富な天然ガス資源と旺盛な開発意欲が市場拡大を後押ししてきており、一時的な失速があっても中長期的には今後も拡大を続けるポテンシャルは大きい。

図3-5 | 世界の天然ガス、LNG供給



注: 右軸LNGのスケールは左軸の10分の1

将来のLNG供給拡大に向けては、2019年には、LNG生産プロジェクトへの投資決定において、対象となった液化設備容量が世界全体で年間71 Mt分と、過去最大となった。これは、2019年の世界のLNG貿易量350 Mtに対して約2割に相当する。この内、米国が3件、約30 Mtを占め、今後のLNG生産拡大における同国の役割の大きさを示している。同国では、連邦政府、連邦規制機関による、新規LNGプロジェクト建設許可手続き、輸出許可手続きが近年合理化され、2019年には許可手続きが急ピッチで進展した。さらに、米国でのLNGプロジェクトについては、原料ガスとなる上流側のガス田が伝統的なLNG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の引き取りに関しても、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いる。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つつある。

特に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時に優位性を実証した。この結果、他供給源含めて、契約条件交渉に影響を与え始めている。他方、豪州は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生産は2006年以降の世界最大のLNG輸出国カタルに迫っている。また、ロシアは北極圏プロジェクトでのLNG生産が増加し、ヨーロッパガス市場でシェアを拡大している。

これらの生産動向を受けて、消費市場側にも構造変化がもたらされている。北東アジアがLNGの主力消費市場であることには変わりはないが、その世界市場におけるシェアが

2018年の62%から55% (2019年暦年および2020年第1四半期)に低下している。世界最大のLNG輸入国である日本のシェアは、2018年の25%から2019年には20%に低下した。同じ北東アジア市場圏に属する中国では、ペースが鈍化しているものの引き続きLNG市場の拡大が続いており、月により中国のLNG輸入量が日本を上回る状況も生まれている。

さらに、米国産LNG輸出増加を受け、2018年第4四半期以降、ヨーロッパのLNG輸入が急拡大しており、同経済圏全体としてみれば2019年のLNG輸入量は日本、中国を上回った。このLNG輸入増加に大きな役割を果たしているのが、同経済圏の地下ガス貯蔵設備である。2020年時点でLNG換算70 Mt分程度の貯蔵容量を持つが、その稼働率はLNG輸入の増加を反映して2019年10月末で97%、2020年3月末で54%と高水準で推移している。世界LNG市場におけるヨーロッパ市場の位置付けの重要性が増していることと並行して、ヨーロッパスポットガス価格、特にオランダTitle Transfer Facility (TTF)の世界市場に対する影響力が拡大している。

世界的なスポットガス価格の低迷にアジアのスポットLNG価格も巻き込まれ、原油連動の長期契約価格との格差が過去最大水準へと拡大している。この事が、LNG契約条件柔軟化、多様な売買取引推進の要請を高めている。今後のLNG売買取引において、原油連動における傾き低下傾向、他指標導入、仕向地制限なしなど、LNG市場の流動性向上を求める動きにつながっている。

売買取引の条件面、特に価格面での改善が、東南アジア、南アジアなどの新興市場での新規LNG輸入プロジェクトの動きを加速させる。また、海上輸送におけるLNGバンカリングへのイニシアチブ増加、LNG燃料船舶の拡大にもつながってゆく。

各地のガス資源がLNG開発へ

米国では、引き続き、見通し期間を通じて、シェールガスを中心とする天然ガス生産の増加が期待されている。2030年頃まで、年率2%程度で生産が増加し、その後は安定化する。その販路拡大・貿易バランス改善の意味でも、LNG輸出が果たす役割が重要となる。シェールガス生産は前世紀より少量ながら継続していたが、特に2005年前後の同国内天然ガス価格上昇により開発意欲が刺激され、2008年以降、水圧破碎・水平掘削等の技術進展・普及により経済性が向上し、大幅に生産が増加した。2020年時点で、シェール構造からのガス生産は、米国の天然ガス生産量全体の7割を占めている。

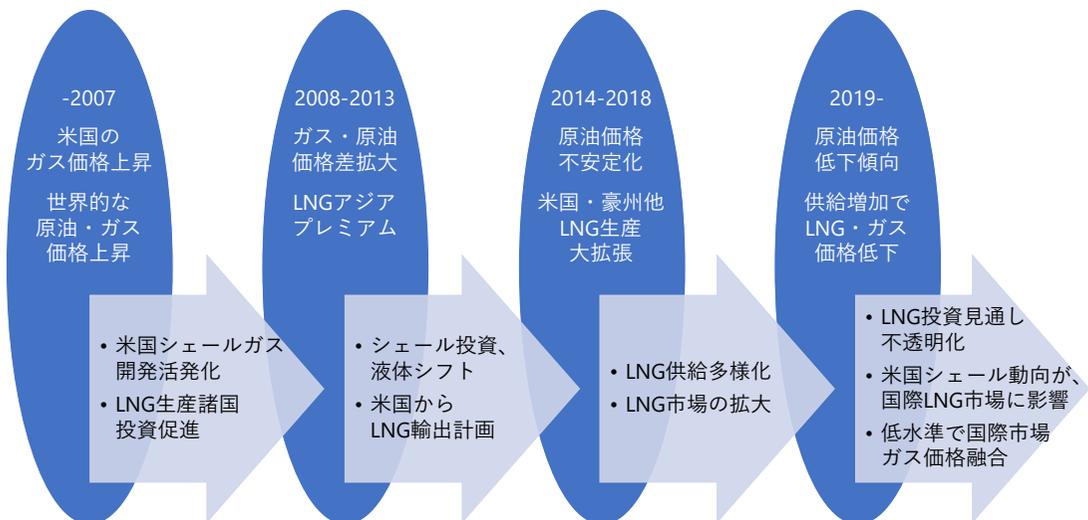
2008年以降の天然ガス生産増加により、同国の天然ガス価格は低位安定するようになった。天然ガス・原油価格の相対的価格差の拡大と並行して、開発技術も液体生産側に適用・改善され、天然ガス液(NGL)・原油生産が増加することにより、これに随伴する天然ガス生産がいっそう増加することにつながった。一方、国際市場においては米国天然ガ

ス・原油価格の相対的価格差が、米国天然ガス・原油連動アジアLNG価格の価格差に反映され、米国でのLNG輸出プロジェクト開発構想が次々に持ち上がることとなった。

米国産LNGの国際LNG市場における競争力は、競合する他のLNG供給源との相対的な価格動向、特にアジアの伝統的LNG供給が連動する原油価格の動向に影響を受けることとなる。また、米メキシコ湾を含む東部に立地するLNG生産プロジェクトの場合、アジア市場にはパナマ運河を経由してのアクセスが主体となる。このことから、状況次第でLNGカーゴをスワップするなどの、供給源・供給ルート最適化の必要を生むことから、さまざまなプレイヤー間の提携を促進することとなる。そのような事情を睨んで、日本をはじめアジアのLNG買主のみならず、グローバルLNG市場での機会を窺うLNG関連企業が、具体的な供給先市場を特定せずに米国産LNGプロジェクトからの購入契約あるいはキャパシティ契約を確保する事例が増加した。この事が、LNG市場全体の流動化、構造変化につながってきた。

米国では、稼働中のLNG生産設備年間55 Mt分以上(2019年末現在)に加え、建設中・最終投資決定(FID)済みのプロジェクトを合計すれば、その容量は年間100 Mt分を超える。これに加え、投資決定待ち・規制機関承認待ちのプロジェクトで年間170 Mt分を上回る計画が存在している。これらすべてが実現するわけではないが、2020年代中盤以降も米国がLNG供給力を拡大する。

図3-6 | 米国シェール革命と世界のLNG市場の変遷



米国からのLNG輸出は、価格決定方式が従来のアジアLNG市場の主流である原油価格連動方式ではなく、米国天然ガス市場価格に基づき設定され、かつその参照する天然ガス市

場価格の絶対的水準が低いという特徴がある。アジアの他エネルギーの価格水準に左右されるものの、競争力ある価格をアジア市場に提供すること、かつ従来硬直であったアジアのLNG価格決定方式に変化をもたらすと期待されること、多くの場合、仕向地自由の契約となっていることから、世界市場のLNG取引のあり方自体に大きな変化をもたらす。加えて、このような米国産LNGの持つ柔軟性により、新興市場の開拓も促進することが期待される。

同じ北米では、米国のシェール革命以前、ガス生産量の半分近くを米国向けにパイプラインで輸出していたカナダは、シェール革命により実質的に販路としての米国を失ったことから、今後の生産拡大にはLNG輸出市場に大きく期待している。太平洋側、大西洋側ともに複数のLNG輸出プロジェクトが計画されており、太平洋側の大型プロジェクト1件が既にFID済である。これらにより、特に2030年以降生産が増加する。

豪州では、1989年、西豪州での大型LNG生産プロジェクトにより、日本向けのLNG輸出を開始し、2段階の拡張が行われた。本プロジェクトでは、LNG生産プロジェクトと並行して国内市場向けガス供給システムの拡大も実施され、その後の開発のモデルケースとなった。また2006年には北部準州、2012年には西豪州2件目のプロジェクトからのLNG輸出を開始した。また2010年代は、日本、中国等アジアのLNG需要増加に対応して、西豪州での追加案件複数に加え、東部クィーンズランド州でLNG生産プロジェクトが立ち上がった。これらのプロジェクトの立ち上がりは2019年に完了しており、同国のLNG生産容量は、年間80 Mtを超え、2020年時点でカタールと並ぶ世界最大級のLNG供給力を持つこととなった。プロジェクト毎に推進主体が異なる(日本企業がオペレーターとなっているプロジェクトもある)ことで供給条件が異なり、かつその多くが日本をはじめアジアの買主企業のマイノリティー出資を受け入れていることから、エクイティー引き取りなどによりある程度の柔軟性を織り込んだ供給が期待されている。さらに今後の上流ガス資源開発には既存のLNG生産設備への補完的ガス供給を軸とする案件もあり、安定操業を確立したLNG設備が持続的な上流ガス生産のプラットフォームを提供することとなる。これらにより、生産が順調に増加するが、2030年以降、増加は緩やかになる。

ロシアでは、2009年太平洋岸サハリン、2017年末より北極圏のプロジェクトからLNG輸出を行っている。後者により、太平洋地域のLNG消費国に加え、従来ロシアからパイプラインガスを供給してきたヨーロッパ市場にも、日常的にロシア産LNGを供給することとなっている。このロシア北極圏では、2件目の大型LNG輸出プロジェクトが既に投資決定を行い、建設が進行している。比較的近距離のヨーロッパ市場への供給に加え、北極圏でも運航できる砕氷級のLNG輸送船から、通常のLNG輸送船へLNGを積み替える基地を

整備し、輸送の最適化を図るなど、こちらもLNG供給に新たな構造変化をもたらすこととなる。

この他に、今後のLNGを中心として、世界の天然ガス供給を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ている。既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・モーリタニア沖の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ている。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件計画されている。この内、既に1件は2019年6月に投資決定済みである。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。

図3-7 | 主要地域間の天然ガス貿易[2019年]

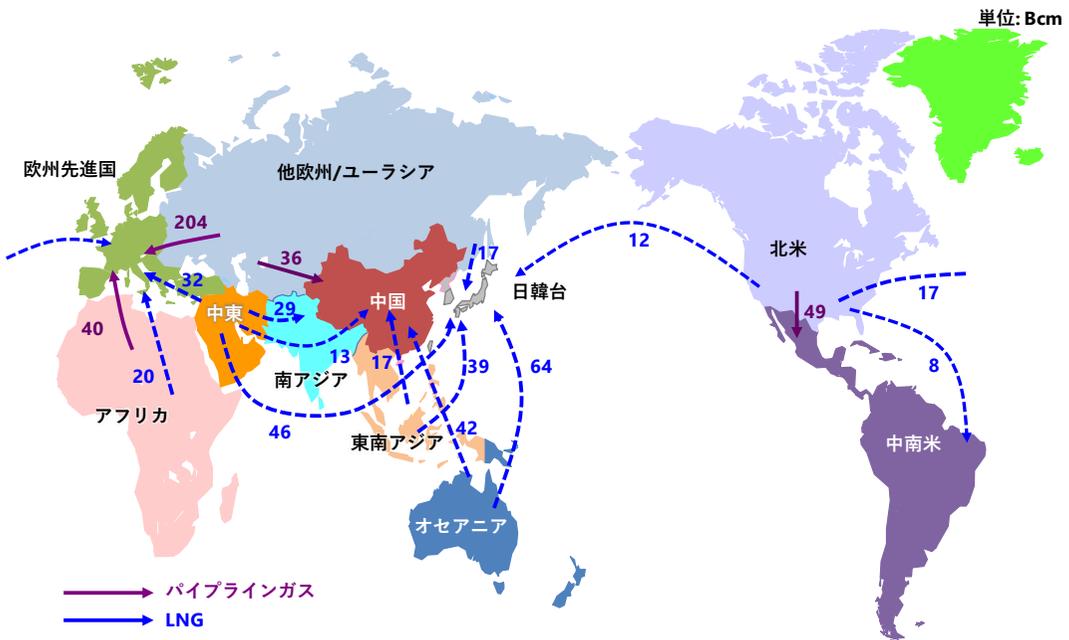
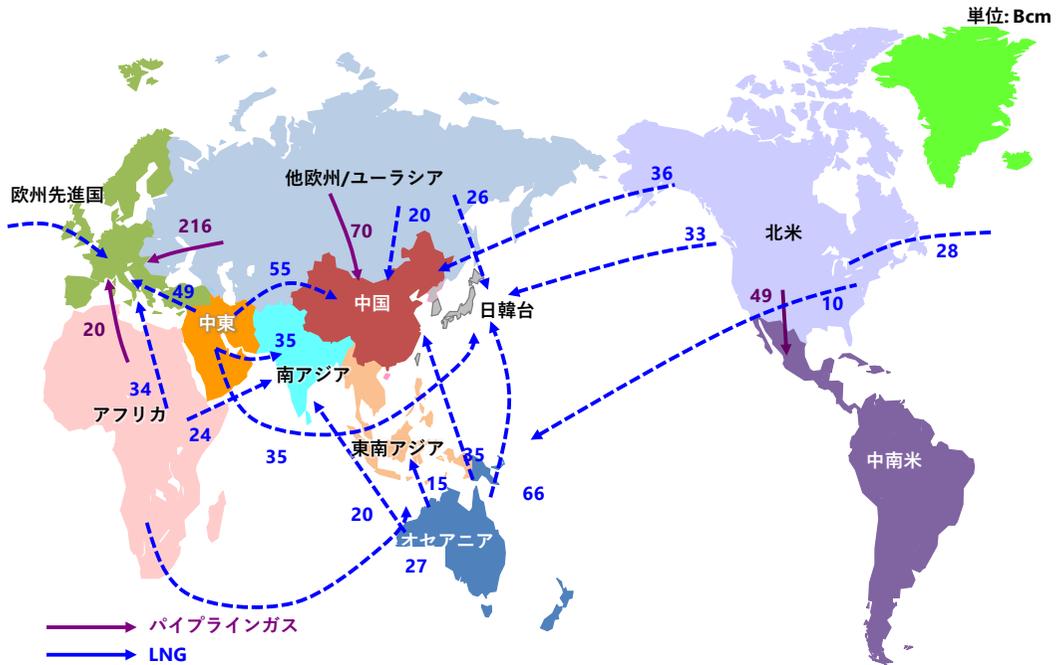
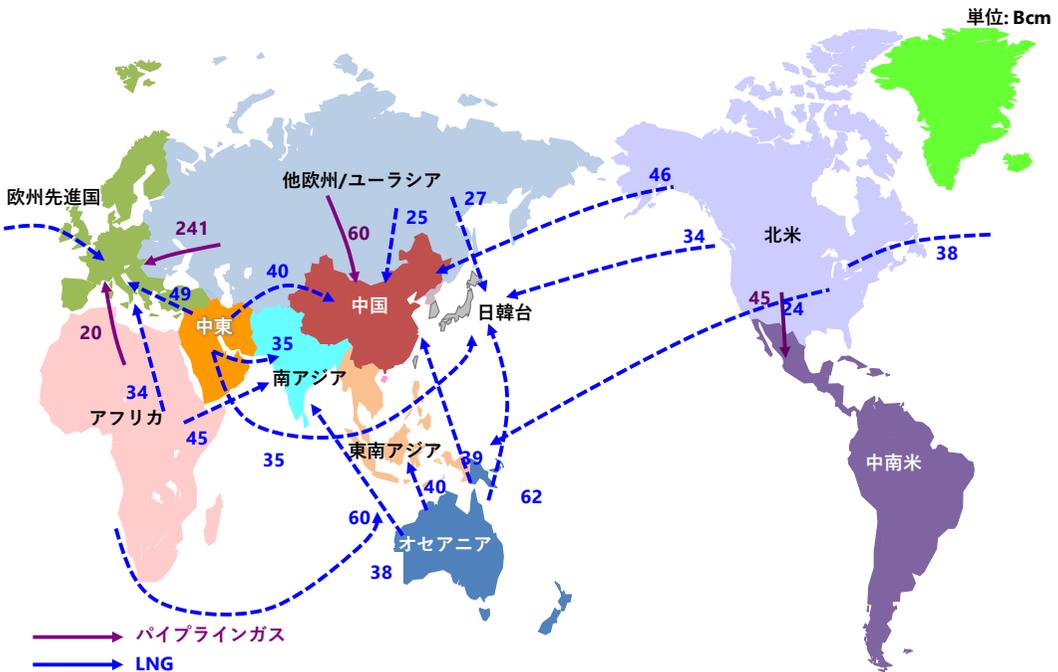


図3-8 | 主要地域間の天然ガス貿易[レファレンスシナリオ、2030年]



注: 主な地域間貿易を記載。一部、パイプラインガスがLNGに代替される可能性がある。

図3-9 | 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。一部、パイプラインガスがLNGに代替される可能性がある。

3.3 石炭

偏在化が進む石炭供給: 欧米で急減、アジア太平洋地域では高水準で推移。ただしCOVID-19の影響による暗雲も

石炭は、天然ガス価格の低下や再生可能エネルギーの導入拡大によるコストダウン等により、従来の経済的優位性に変化が生じつつある。並行して、気候変動対策の強化を求める国際的世論の高まりや、これを背景とした石炭火力発電の休廃止の動き、投資家・金融機関が石炭生産や石炭火力発電に関する投融資を引き上げるダイベストメント等が続いている。

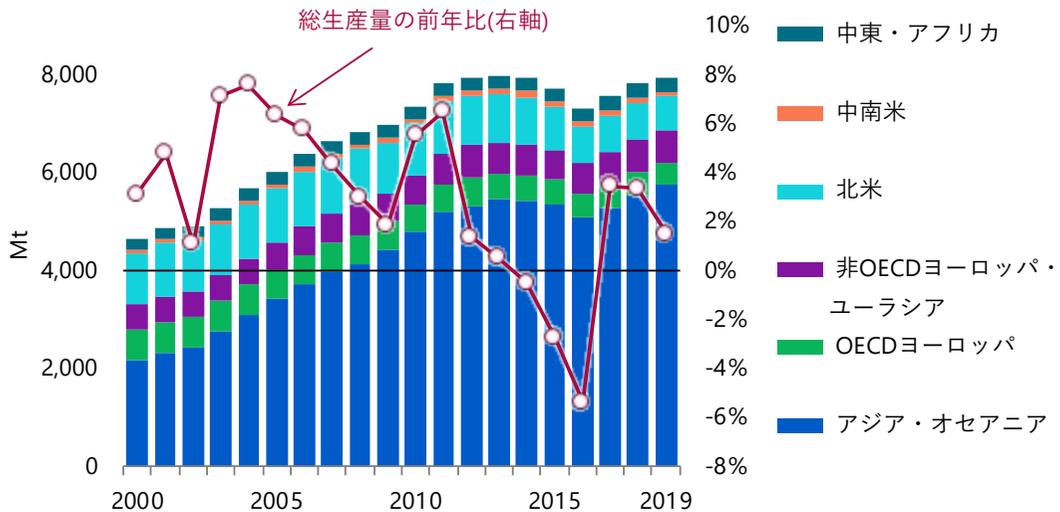
そうした中で世界の石炭需要の伸びは鈍化しているものの、アジアを中心とした新興経済諸国におけるエネルギー需要の増加を背景に、世界の石炭生産量は2009年の6,968 Mtから2019年には7,921 Mtに増加し、過去10年間で石炭の生産レベルは約950 Mt拡大した。世界の石炭生産のピークは2013年の7,976 Mtと見られており、2016年には7,299 Mtまで減少したが、その後は需要の回復とともに3年連続して生産量が増加した。

石炭生産はアジア太平洋地域に集中しつつあり、世界全体に占める割合は73%にのぼる。同地域における2019年の生産量は5,763 Mtと過去最大となった。特に、世界の石炭生産量の5割近くを占めている中国において、2019年の生産量が前年比4.1%増となったことが世界の石炭生産量の増加に寄与しているほか、インドネシア(同12.4%)やベトナム(同7.8%)等でも増加が目立った。

他方、OECD米州の2019年の石炭生産量は711.1 Mtと過去最低(1980年以降)を記録し、特に米国で生産の減少が一段と進んだ(前年比-6.7%)。脱石炭を推し進めているヨーロッパの石炭生産はさらに急激に減少しており、2019年は、ドイツで前年比-22.3%、ポーランドで-8.2%、チェコで-6.5%等となり、OECDヨーロッパ全体では前年比-12.2%と大幅に低下した。

2020年に入って以降顕在化したCOVID-19の世界的な感染拡大は、石炭の生産にも影響を及ぼしている。感染拡大が深刻化し石炭需要の減少が広く見込まれる中、一般炭価格は近年の底値に迫る水準に下落している。需要の減退が長期化することへの懸念、さらに一部の生産国では、炭鉱労働者間のウイルス感染拡大により、炭鉱生産が一時中断する事態も生じており、大手生産事業者においても生産計画を下方修正する動きが出ている。

図3-10 | 世界の石炭生産



注: 2019年は暫定値。

出所: IEA "World Energy Statistics and Balances 2020"

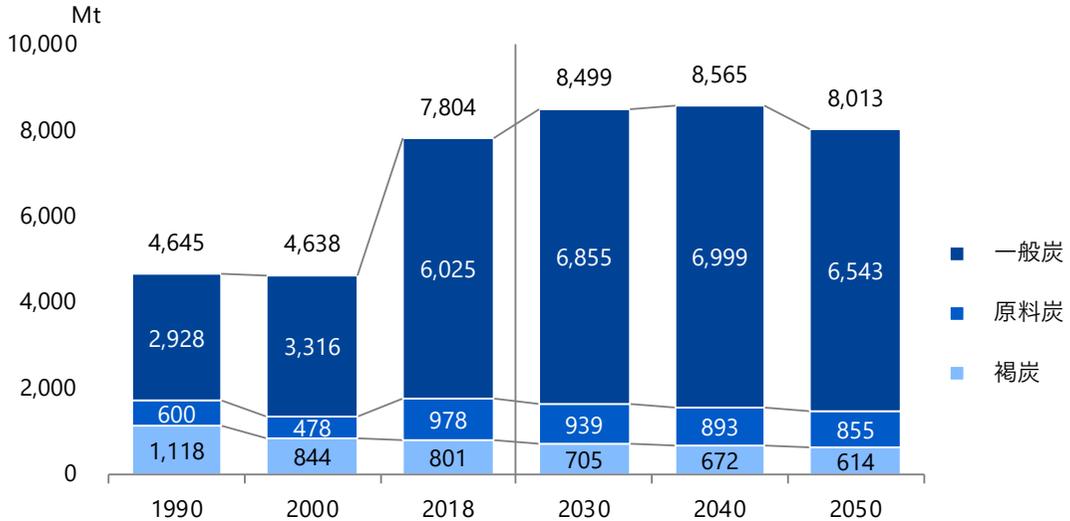
石炭生産は新興国を中心に2040年頃まで高い水準を維持

将来にわたり安定的な石炭供給を確保するためには、既存炭鉱の生産拡大や新規の炭鉱開発が必要だが、オーストラリアを含め欧米先進国では、石炭の生産・利用に関する規制の強化が今後も続く。特に一般炭は、気候変動対策の強化を求める国際的な世論を背景に、石炭生産等に関する政府許認可の取得や資金調達が困難となる。欧州連合(EU)は、COVID-19感染拡大による景況悪化を受け大々的な経済支援策に合意したが、そうした支援策の実施においても低炭素化の加速を指針とする等、脱石炭の動きはさらに強まる。また北米地域においても石炭需要の拡大が見込めないこと等から、欧米諸国における石炭生産は減少が続く。

他方、アジアを中心とした新興経済国では石炭に対する底堅い需要がある。中国では、COVID-19感染拡大に対する景気刺激策の一環として石炭火力発電所の新設を進める動きもあり、国内炭の利用を主とした石炭供給の維持が見込まれる。また、インドでは石炭の生産拡大に向けた取り組みが続いており、インドネシアでも国内消費が大きく拡大してきた。これらの石炭の大規模生産・消費国のいずれもが、基本的には国産エネルギーとしての石炭資源の活用を重視しており、2040年頃までは高い生産水準が維持される。これらの国々を中心に石炭の輸入も見込まれるものの、炭鉱開発に関するファイナンスや公的支援を手控える動きが世界的に強まっていることから、炭鉱開発・石炭生産は既存の生産・輸出国に偏在する傾向が強まる。

そうした中で世界の石炭生産量は、2018年の7,804 Mtから2030年には8,499 Mtまで増加する(図3-11)。その増加は次第に穏やかになり、2040年頃まではほぼ横ばいで推移し、その後、次第に減少に転じる。

図3-11 | 世界の石炭生産[レファレンスシナリオ]



炭種別に見ると、一般炭生産量は主に発電用需要の増加に伴い2018年の6,025 Mtから2040年には6,999 Mtに増加するが、2040年頃をピークに減少に転じる。一方で、主に鉄鋼生産の原料として用いられる原料炭は、2018年の978 Mtから2030年には939 Mtと減少に向かう。地産地消型のエネルギー資源である褐炭は、主な生産・消費国であるドイツ、ポーランド、タイ等でいずれも需要が減少する。褐炭生産量は2018年の801 Mtから漸減し、現存する褐炭火力の廃止に伴い2050年には614 Mtとなる。

石炭の主要輸出国で見ると、アジアを中心とした市場の拡大に対応するためにオーストラリア、ロシア、アフリカ等の生産は増加し、貿易量は2040年まで増加する。ロシアでは、ヨーロッパ市場が失われる中で、アジア向け輸出に力を入れている。輸送インフラの整備拡大に伴い、石炭生産量は2018年の339 Mtから2050年には372 Mtに増加し、輸出が拡大する。

表3-2 | 一般炭生産[レファレンスシナリオ]

	2018	2030	2040	2050	(Mt)	
					変化量	変化率
世界	6,025	6,855	6,999	6,543	518	0.3%
北米	582	455	391	292	-289	-2.1%
米国	562	450	388	289	-273	-2.1%
中南米	92	97	101	97	5	0.2%
コロンビア	79	84	87	83	4	0.2%
OECDヨーロッパ	63	50	44	37	-26	-1.7%
非OECDヨーロッパ・中央アジア	369	372	413	426	57	0.5%
ロシア	247	260	284	290	43	0.5%
中東	0	0	0	0	0	0.0%
アフリカ	265	293	320	323	59	0.6%
南アフリカ	252	273	292	291	39	0.5%
アジア	4,394	5,288	5,399	5,038	644	0.4%
中国	3,065	3,343	3,101	2,604	-462	-0.5%
インド	694	1,184	1,490	1,625	931	2.7%
インドネシア	543	646	687	684	141	0.7%
オセアニア	262	300	330	330	68	0.7%
オーストラリア	260	299	328	328	69	0.7%

表3-3 | 原料炭生産[レファレンスシナリオ]

	2018	2030	2040	2050	(Mt)	
					変化量	変化率
世界	978	939	893	855	-123	-0.4%
北米	104	90	86	80	-24	-0.8%
米国	72	64	61	57	-15	-0.7%
中南米	10	10	10	11	0	0.1%
コロンビア	6	5	6	6	0	0.2%
OECDヨーロッパ	16	15	15	14	-2	-0.4%
非OECDヨーロッパ・中央アジア	101	98	95	91	-10	-0.3%
ロシア	92	89	87	82	-9	-0.3%
中東	1	2	2	2	0	0.1%
アフリカ	11	24	30	36	25	3.7%
モザンビーク	7	19	25	31	24	4.8%
アジア	553	516	446	399	-154	-1.0%
中国	484	416	323	247	-237	-2.1%
インド	37	66	92	119	81	3.7%
モンゴル	27	27	22	23	-4	-0.4%
オセアニア	181	184	210	222	42	0.7%
オーストラリア	179	183	209	221	42	0.7%

図3-12 | 世界の石炭貿易(輸入量) [レファレンスシナリオ]

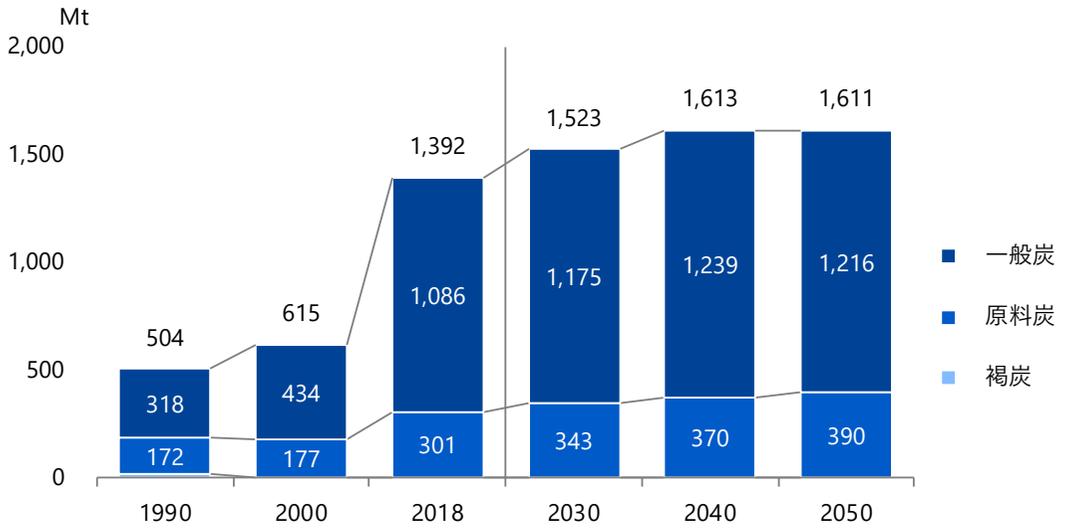
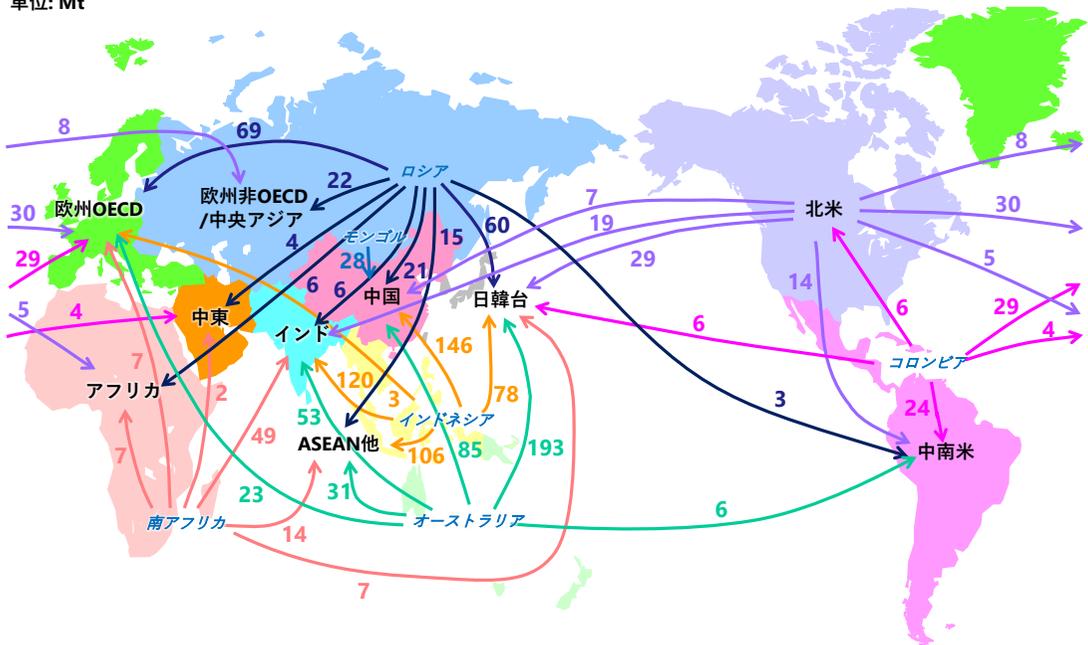


図3-13 | 主要国・地域間の石炭貿易[2019年]

単位: Mt



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。

出所: IEA “Coal Information 2020”、TEXレポート等をもとに推定をもとに作成

3.4 発電

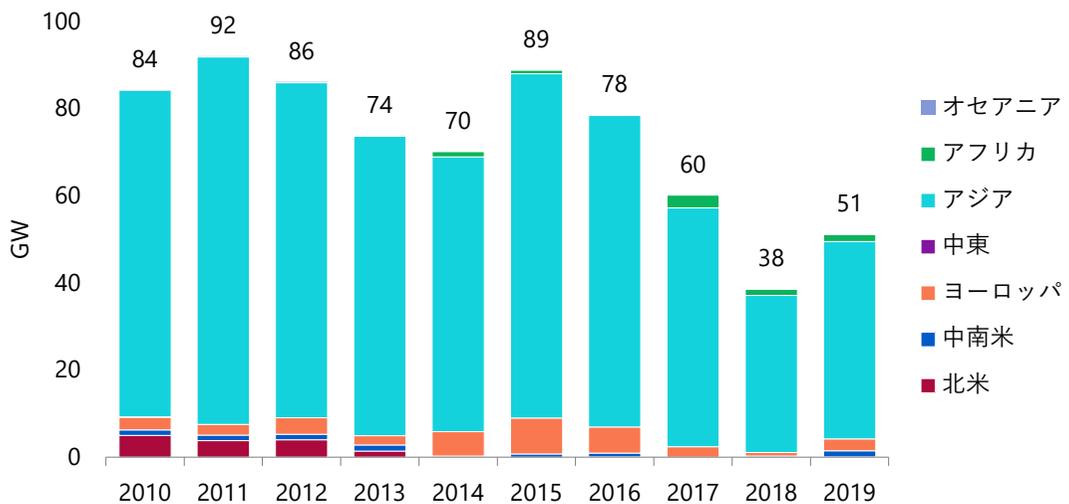
近年の動向

石炭火力への投資減退は続く

近年、政府や金融機関、環境非政府組織(NGO)等が、石炭火力発電の開発停止、時には既存石炭火力発電の早期閉鎖を目指すもしくは要求する動きが広まっている。とりわけヨーロッパにおいてこの動きは強く、ドイツ政府は以前より検討が進められていた、すべての石炭火力を2038年までに廃止する法案を可決した。また、イタリア、カナダ、英国、フランス政府も同様に、石炭火力発電の段階的な廃止方針を表明し、その手続きが進められている。金融機関では2013年に世界銀行が石炭火力新設への融資制限方針を表明したことを皮切りに、公的・民間金融機関それぞれによる石炭火力への投資差し控えの動きが散見されるようになった。近年の動きとして、2019年に欧州投資銀行が化石燃料関連への投資を2021年までに停止する方針を決定した。この対象は石炭のみならず、石油、天然ガスも同様に含まれている。

このような動きを受け、世界の石炭火力新設は2016年前後を境に従来の半分から3分の2程度に急減している(図3-16)。もちろん、この背景には最大の石炭消費国である中国の経済成長減速や、北米でのシェールガス開発等の要因もあるが、先述した政府、金融機関の動きも少なからず影響している。

図3-16 | 世界の石炭火力新設容量



出所: Platt's

COVID-19による電力需要の減少

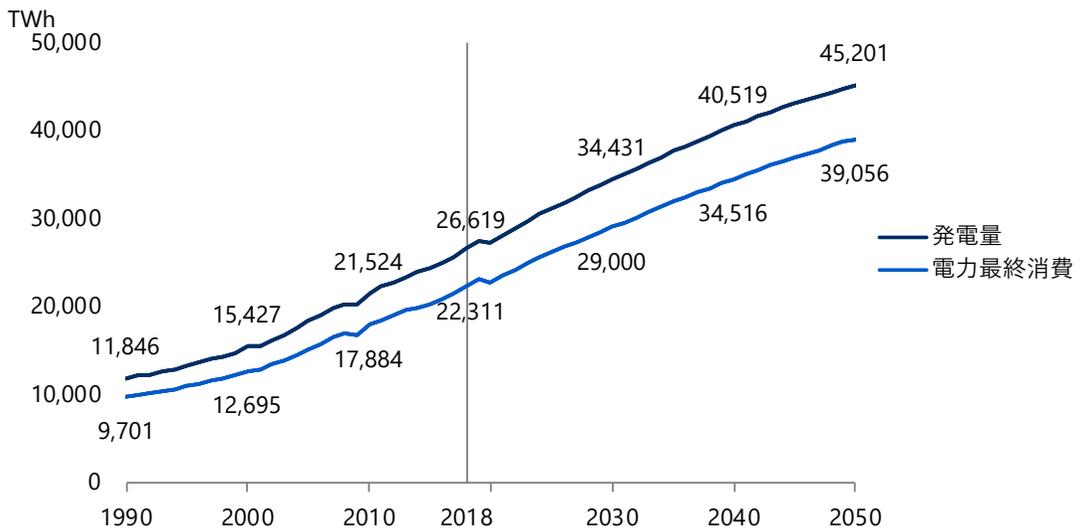
2020年3月～6月頃、世界各国で深刻化したCOVID-19とそれに伴う都市封鎖により、欧米および日本では例年に比べ5%～20%程度の電力需要減少が発生した。また、都市封鎖の緩和後も複数の地域において電力需要が例年並みの水準に戻らず減少傾向にある¹¹。このような電力需要の減少は卸電力価格の下落を招き、発電事業者の収益性低下につながる。とりわけ、限界費用の高い火力発電への影響は甚大で、設備利用率が著しく下落している。

見通し

発電電力量: アジア地域で急速な拡大

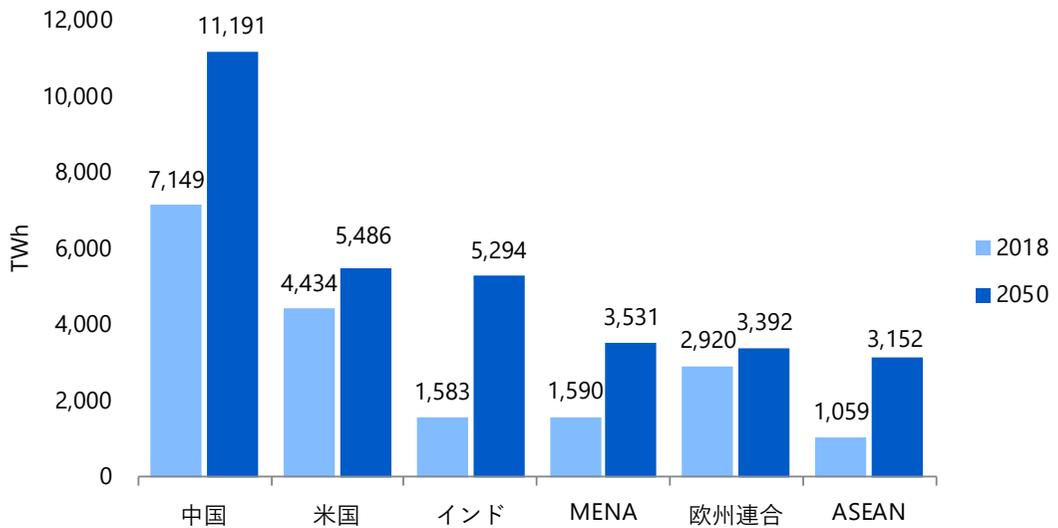
長期的には、世界経済はCOVID-19の影響から徐々に回復し、電力消費は再び拡大傾向に戻る。世界の発電量は年率1.7%で増加し、2050年には現在の1.7倍となる45,201 TWhに増大する(図3-17)。その増分18,582 TWhは、世界最大の中国の現発電量の2.6倍に相当し、その89%は新興・途上国に由来する。中でも急速な経済成長を続けるアジアの発電量は、2018年の12,069 TWhから年率2.0%で増加し、2050年には世界の過半となる22,749 TWhに達する(図3-18)。

図3-17 | 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]



¹¹ 小笠原ら, 新型コロナ対策による電力需要と卸価格への影響, 日本エネルギー経済研究所(2020)

図3-18 | 主要国・地域の発電電力量[レファレンスシナリオ]

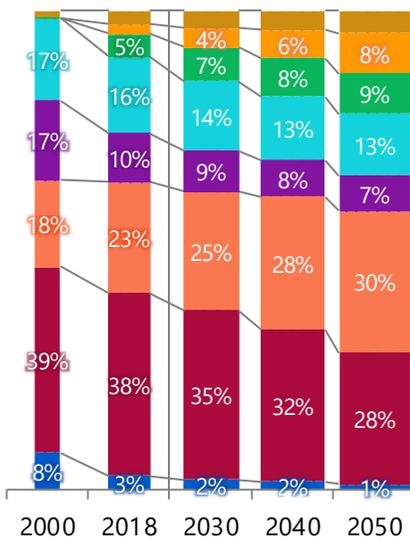


発電構成: 天然ガス火力が最大の電源に

2018年の世界の発電構成において、最も大きなシェアを占めるのは石炭であり、次いで天然ガス、水力、原子力となっている(図3-19)。これが2050年には天然ガス、石炭、水力、太陽光、風力、原子力という順序になる。天然ガスは、発電量に占めるシェアを2018年の23%から2050年には30%に拡大し最大の電源となる。複合発電(CCGT)が普及することで高効率化が進む。変動性再生可能エネルギーの出力変動を調整する役割も加わる。石炭のシェアは低下するものの、アジア地域を中心に基幹電源の役割を引き続き担う。石油火力のシェアは、先進諸国、さらには石油資源の豊富な中東を含め減少基調で推移する。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む。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。風力・太陽光等による発電量は、政策的な後押しとコスト低減を追い風に年率5.7%と急速に拡大し、そのシェアは2050年において2割程度になる。

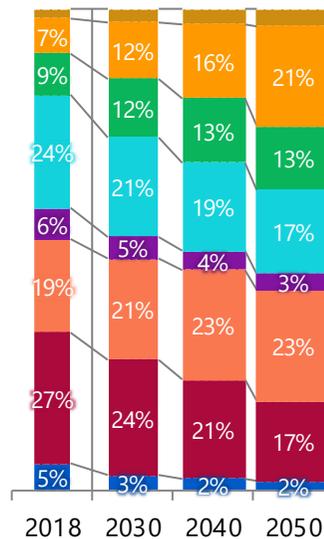
図3-19 | 世界の発電構成[レファレンスシナリオ]

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

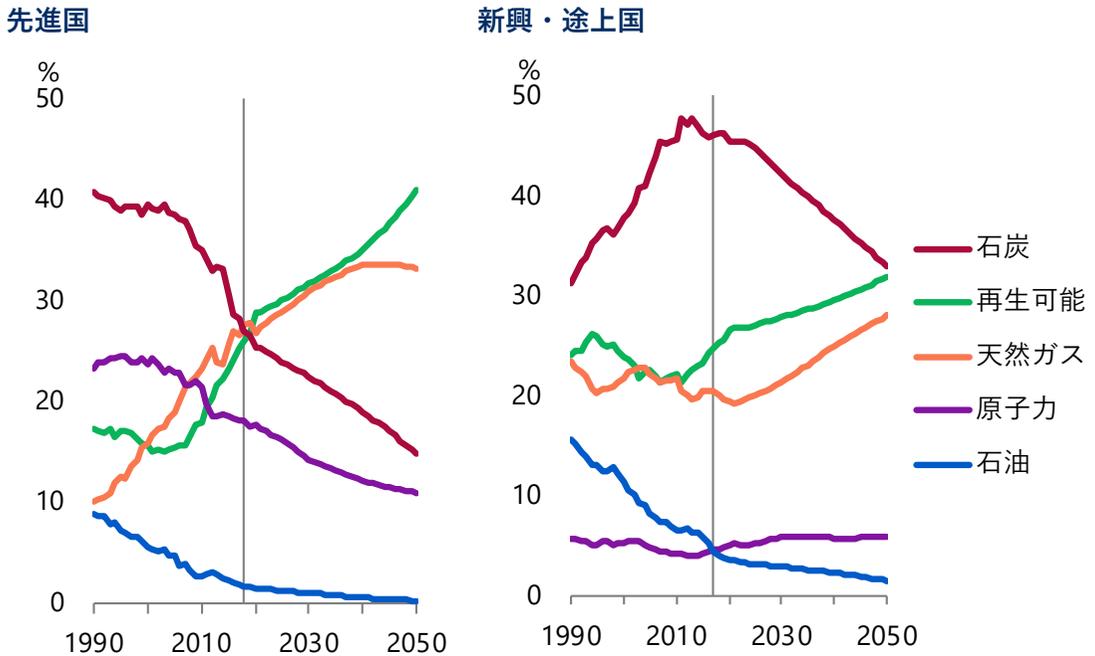


注: 棒の幅は総発電設備容量に比例

- 他再生可能等
- 太陽光
- 風力
- 水力
- 原子力
- 天然ガス
- 石炭
- 石油

先進国では、発電量全体に占める再生可能エネルギーのシェアが2030年には3割、2050年には4割を超え、天然ガスを追い抜き最大の電源となる(図3-20)。このうち太陽光・風力が発電量の23%を占めるようになり、出力変動への対策は各地域における課題となる。一方、足元で最大のシェアを占める石炭は、カナダ、イタリア等における脱石炭火力の政策、金融機関の投資差し控えによりシェアを大きく低減させ、2050年には15%にとどまる。一方で新興・途上国においては石炭火力比率が低下しつつも、2050年時点で最大のシェアを持つ電源であり続ける。旺盛な電力需要を支えるために石炭火力が果たす役割は決して小さくなく、予見性の高い投資環境の整備および大気汚染等の環境問題対策が必要となる。減少する石炭に代わり天然ガス、再生可能電源のシェアが拡大し、2050年にはそれぞれ発電量の30%程度を占める主要電源となる。

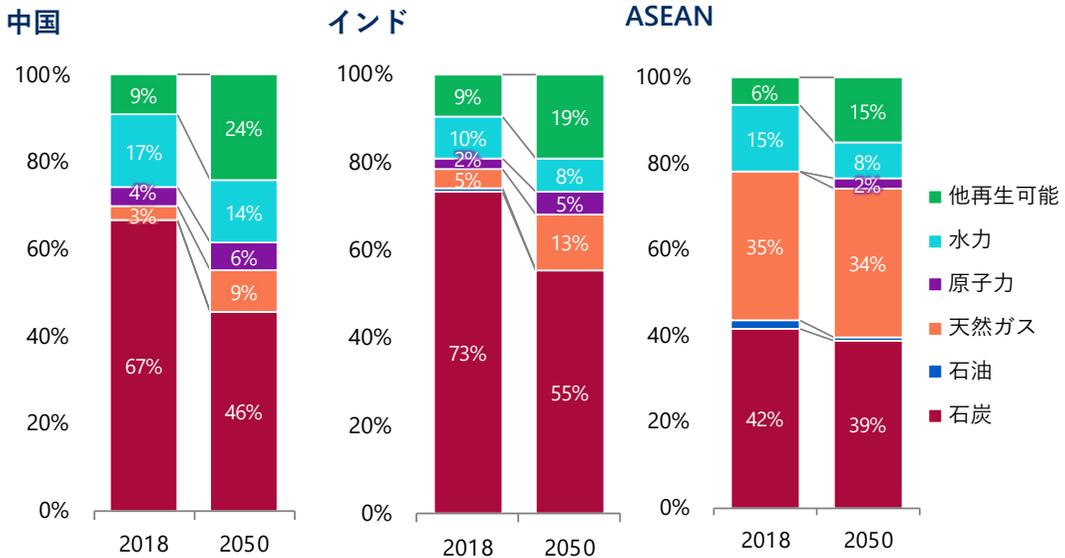
図3-20 | 先進国、新興・途上国の電源構成[レファレンスシナリオ]



アジアでは火力が大宗を占める

アジア、特に中国、インドにおいては急速に伸びる電力需要に対し石炭火力が主要な電源としての地位を維持するが、大気汚染、気候変動対策を背景にその高いシェアは徐々に減少する(図3-21)。代わって再生可能エネルギー、天然ガスが割合を増加させる。一方で東南アジア諸国連合(ASEAN)の全体的な傾向として、天然ガス火力による発電量は増加するもののシェアは足元の水準を維持する。石炭火力発電の動向は国によって状況が異なり、例えばフィリピンでは増加する需要に対し石炭火力の新設が進む。一方、タイでは確度の高い新設プロジェクトに乏しく、なおかつ激しい脱石炭火力の世論の影響を受け、増加する電力需要は主に天然ガス火力、再生可能エネルギーが担う。

図3-21 | 中国、インド、ASEANの電源構成[レファレンスシナリオ]



原子力

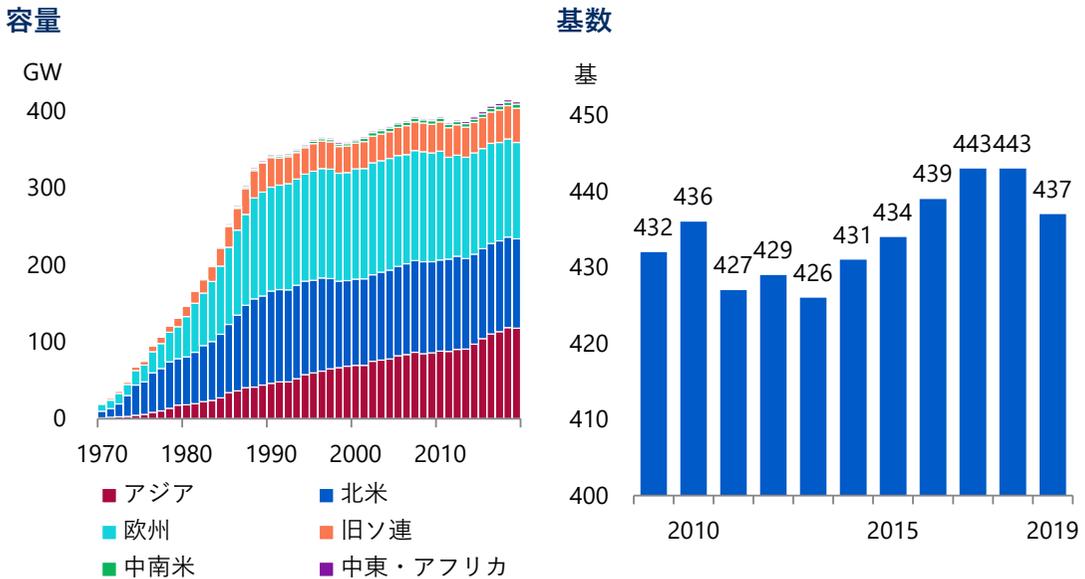
2019年は前年比で微減: 新技術への期待は市場化につながるか?

世界の原子力発電の設備容量は、1970年代～1980年代は欧米を中心に急激に拡大したが、その後はアジアを中心に、緩やかな増加傾向が続いている。2014年以降、2018年まで設備容量および原子炉基数は毎年増加を続けていたが、2019年には6年ぶりに減少に転じた(図3-22)。これは、特に日本において5基(約5 GW)が閉鎖されたことによる影響が大きい。他方で中国やロシアでは新設プロジェクトが比較的順調に進行しており、2019年には中国で3基、ロシアで1基が営業運転を開始した。特にロシアは国外への輸出も旺盛である。欧米では新設プロジェクトの遅延や凍結が相次いでいることもあり、世界市場では中露の存在感が強まってきているといえる。

なお、2019年末から2020年にかけて世界的に感染拡大が続いているCOVID-19の影響により、短期的には電力需要の減少に伴って原子力の発電量も低下するほか、新設計画の一部にも遅延が生じる見込みである。

一部の国を除いて新設計画が進まない一方で、世界的に気候変動対策の重要性が高まっていることを背景に、既設炉の有効活用を目指す動きも広まっている。特に米国では、2019年12月にターキーポイント3、4号機が、2020年3月にピーチボトム2、3号機が2回目の運転期間延長を承認され、合計80年間の運転が可能となったことは特筆に値する。

図3-22 | 原子力発電設備容量と基数

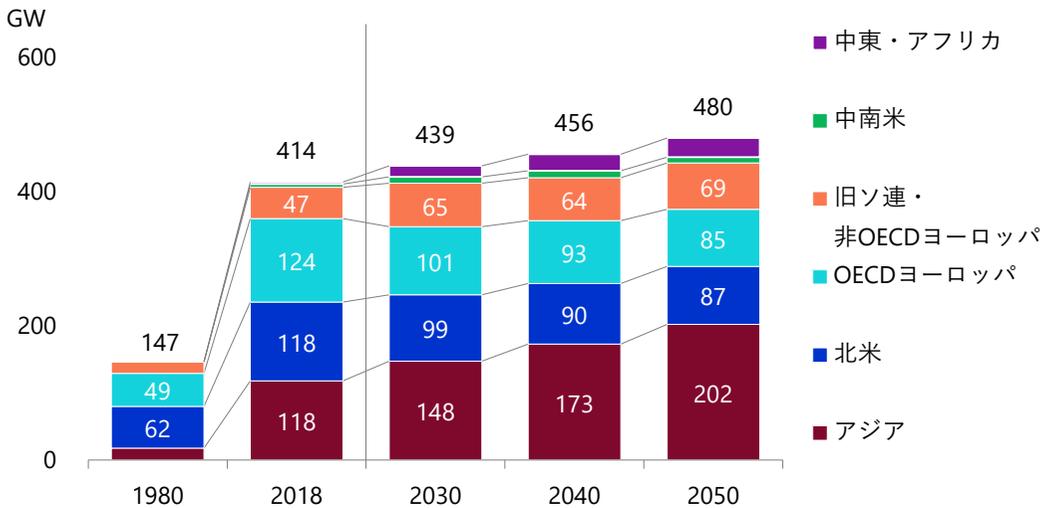


また、近年では原子力が将来の市場の要請にも応えられるよう、小型モジュール炉(SMR)や第四世代炉といった、現行炉以上に競争力のある原子炉の開発を目指す動きも活発化してきている。特に米国、英国、カナダといった国々では、民間事業者が国から資金や敷地・設備等の提供を受けて、研究開発や実証プロジェクトを積極的に進めている。これらの新型炉が「期待の新技术」のままで終わるのか、あるいは投資家にとって魅力的な実用技術として社会に普及するのかが、特に注目すべきポイントだと言えよう。

将来見通し: 欧米では減少するものの、アジアを中心に増加の見込み

原子力発電所は、福島第一事故を契機とした世論の変化や建設コストの増大などにより、日本や韓国、米国やヨーロッパの一部の国では従来想定されていた計画どおりの新設は困難となっている。1970年代から1980年代頃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、そういった国々でも、エネルギー安定供給や気候変動問題への対応、さらには自国の原子力産業育成を通じた国際競争力の維持・強化という観点から、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、中東諸国など、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く(図3-23)。

図3-23 | 原子力発電設備容量[レファレンスシナリオ]



米国は96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、シェール開発により天然ガス火力発電の経済的優位性が増したことや、安価な再生可能エネルギーの導入などによって、原子力新設の足取りが弱まり、経済的な観点から一部既設炉の閉鎖も進む。そのため、設備容量は2050年にかけて低減してゆく。ただし、原子力を重要なエネルギー源と位置付ける基本方針自体に変更はなく、運転期間の延長や一定程度の新設計画が実現するほか、一部の州では既設炉の早期閉鎖回避のための支援策が実施される。

ヨーロッパで最大の原子力推進国であるフランスでは、原子力発電の設備容量上限を現行の66 GW(ネット電気出力63.2 GW)とし、2025年には原子力比率を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、年限を2035年に遅らせることが決定された。したがって、当面は一部炉の閉鎖と新規建設が重なることによって現在の水準を維持ないしは微減にとどまる。しかし、2040年以降は廃炉のペースが加速し、大幅な減少となる。

英国では、経年化した既設炉の廃炉が相次ぐことから、2030年頃までは低減してゆく。しかし、政府として原子力を維持する方針を示しており、実際に新設計画が複数立ち上がっている。近年の事例に見られたように、資金調達などが難航して運転開始までに遅延が生じる事態は考えられるものの、2040年頃には現在の水準近くにまで到達する。

福島第一事故を受けて脱原子力政策の方向性を明確にしているドイツ、スイス、ベルギーなどでは、政府の原子炉閉鎖計画に従い、原子力発電は2025年から2035年頃にかけて0と

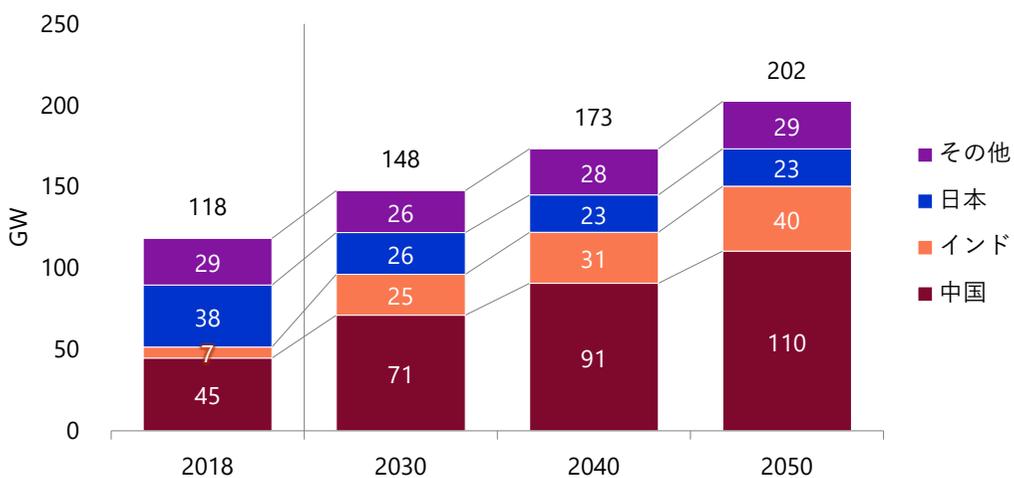
なる。他のOECDヨーロッパ諸国では、新規建設に向けて動いている国も見られるものの、経年化炉の廃止も進むため、全体として設備容量は2050年にかけて低減してゆく。

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2017年の28 GWから2035年にかけて38 GW程度まで拡大する。その過程では2030年頃に、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得る。特にロシアには2020年5月、世界初となる浮体式原子力発電所(35 MW×2基)の営業運転を開始した実績がある。将来的にはこの技術を用いて、遠隔地への導入など、新たな市場ニーズの開拓に乗り出してゆくことも見込まれる。

2030年以降には、それまで市場化されていなかった中東やアフリカ、および中南米等の国々の台頭も見られるようになる。中東では、アラブ首長国連邦やサウジアラビア、イランを中心に導入が進み、2050年には設備容量が合計で22 GWに達する。中南米ではブラジルやアルゼンチンを中心に、国内の電力需要の拡大を満たすための原子力発電導入計画が掲げられており、少量ながら新規建設が進められる。

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。中国は、2040年には設備容量が91 GWとなり、米国を抜いて世界第1位の原子力大国となる(図3-24)。アジアの設備容量は、2045年には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202 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3-24 | アジアの原子力発電設備容量[レファレンスシナリオ]

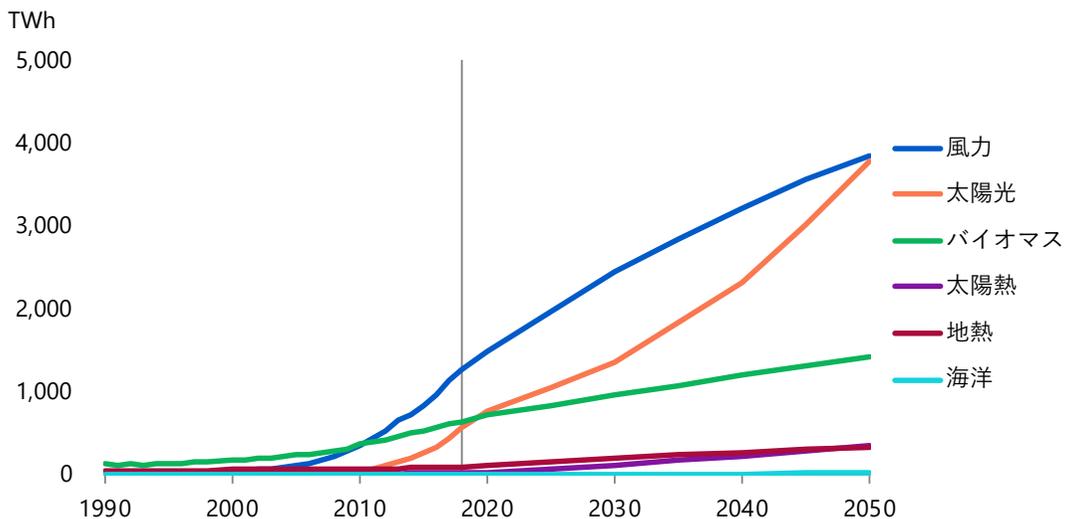


再生可能エネルギー発電

再生可能エネルギーに対しては世界的に大きな期待が寄せられている。2000年代半ば以降、ヨーロッパ主要国や日本、米国、中国を中心とした導入支援政策やコスト低下により、風力発電や太陽光発電といった自然変動電源の市場導入が顕著に進んだ。大幅な経済性の改善を背景に、近年は風力発電や太陽光発電への支援策の見直しや規模縮小の動きが加速している。米国では投資税控除や生産税控除の段階的縮小や終了等が計画または検討されている。ヨーロッパでは補助金・プレミアムなしの案件の落札が見られる。中国でも補助金なしの風力・太陽光発電プロジェクトの公募が2019年から正式に実施され、計20 GW以上のプロジェクトが建設予定となった。日本においても、再生可能エネルギー固定価格買取制度の抜本の見直しを機に、風力発電と太陽光発電の自立を促すための新たな制度設計の検討が始まっている。世界各地で政府の補助が縮小しても、自然変動電源の経済性は火力発電に匹敵しつつあり、導入拡大が進んでいる。

他方、COVID-19の感染拡大は再生可能エネルギープロジェクトのサプライチェーンや、建設工事、資金調達等にも影響を与えており、2020年における再生可能エネルギー発電の新規設備導入量は前年比で減少する。しかしながら、脱炭素化の流れはCOVID-19後も変わらないため、長期的に再生可能エネルギーを含めた環境技術への投資がさらに増えてゆくことが考えられる。自然変動電源の発電量は、2018年の1,840 TWhから2050年には7,992 TWhに達する。世界の総発電量における自然変動電源のシェアは2018年で7%に過ぎないが、2050年には18%へ上昇し、電力システムにおける存在感を増してゆく(図3-25)。

図3-25 | 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、風力発電の主要な市場であるヨーロッパ、中国および北米は、今後も牽引役を担う(図3-26)。陸上風力発電については送電線制約や開発適地の減少等の課題が生じ、その増加率は逡減してゆく。一方、近年事業性が向上している洋上風力発電が市場拡大に寄与する。2010年から2018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23 GWに拡大した¹²。ヨーロッパは世界最大の洋上風力発電市場であり、洋上風力発電のサプライチェーンも整備されている。近年ヨーロッパにおける洋上風力発電の入札では、補助金ゼロの案件が相次いで出ており、落札された売電価格も\$50/MWh台に突入している(2025年以降稼働開始予定)。ヨーロッパ以外では、台湾、中国、米国が洋上風力発電の新興市場として注目されている。日本では、再エネ海域利用法¹³の成立とともに洋上風力発電プロジェクトの開発が活発化している。洋上風力発電の導入も追い風となり、世界の風力発電設備容量は2018年の564 GWから2050年には1,850 GWへ3倍強に拡大する。

図3-26 | 風力発電設備容量[レファレンスシナリオ]

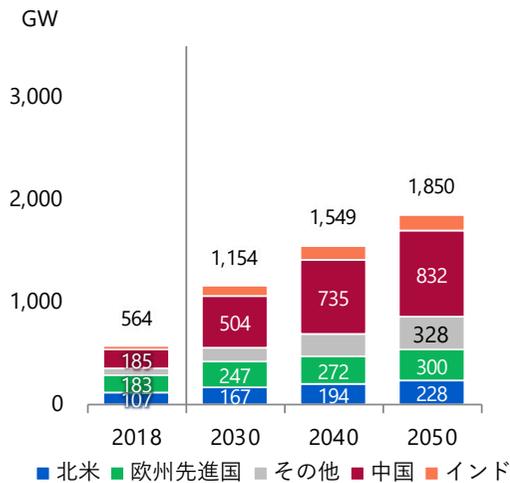
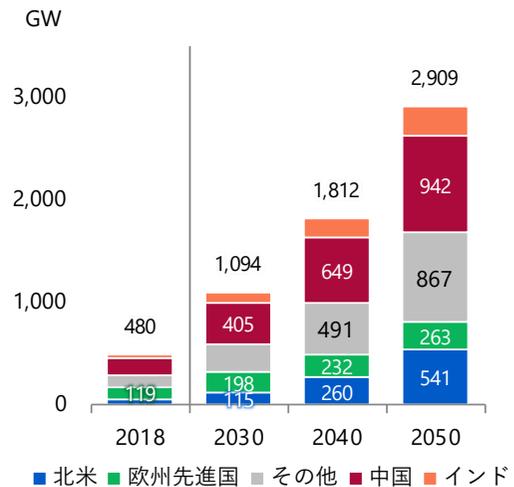


図3-27 | 太陽光発電設備容量[レファレンスシナリオ]



太陽光発電の普及は、大幅なコスト低減によって、補助政策が充実していたヨーロッパ、米国、中国、日本等から全世界に広がっている(図3-27)。チリやアラブ首長国連邦、サウジアラビアなど日射に恵まれた国での太陽光発電入札で\$20/MWh台の売電価格が記録されている。また、自家消費型太陽光発電システムの発電コストは、電力小売価格と競合できる水準(グリッドパリティ)になってきている。今後も太陽光発電の競争力はさらに高ま

¹² International Energy Agency (IEA), *Offshore Wind Outlook 2019*, 2019, <https://www.iea.org/reports/offshore-wind-outlook-2019>

¹³ 海洋再生可能エネルギー発電設備の整備に係る海域の利用の促進に関する法律

ると予想される。世界の太陽光発電設備容量は、2018年の480 GWから2050年には2,909 GWへ6倍強に拡大する。長期的かつ継続的にコストが低下してゆくことから、見通し期間の後半において導入が大幅に拡大し、2040年～2050年における世界の設備容量の正味増分は1,097 GWに達する。

中国、インド、日本、米国、ASEAN、EUの各国・地域を対象とした詳細電源構成モデル¹⁴分析の結果によると、米国や中国では地域偏在する陸上風力発電の導入が抑制され、対照的に、コスト低下が著しく相対的に設置可能適地が広い太陽光発電が競争力を有する傾向となる。

再生可能エネルギーの利用は、電力供給の低炭素化やエネルギー供給の対外依存度の低減、エネルギーシステム強靱化の向上等に貢献し、再生可能エネルギー電源は堅調に増加しゆく。しかしながら、長期的な気候変動対策目標を実現するためには、最終エネルギー需要における電化がさらに進むことが考えられ、電源の低炭素化がいっそう重要となり、レファレンスシナリオを超える規模の再生可能エネルギー発電の普及が求められる。そのためには、再生可能エネルギー発電のさらなる低コスト化や高効率化、投資促進への政策誘導・環境規制強化、普及に遅れが出ている電源への政策的支援が必要となる。そして、エネルギー・社会システムとの調和の実現が重要な課題となる。例えば、自然変動電源は電力システム統合策に係る技術開発や制度構築、バイオマス発電は土地利用状況等を踏まえたうえでの持続可能なバイオマス供給チェーンの実現、洋上風力発電と地熱発電については周辺自然環境の保護や、既存産業との相互理解の醸成等が必要となる。

3.5 バイオ燃料

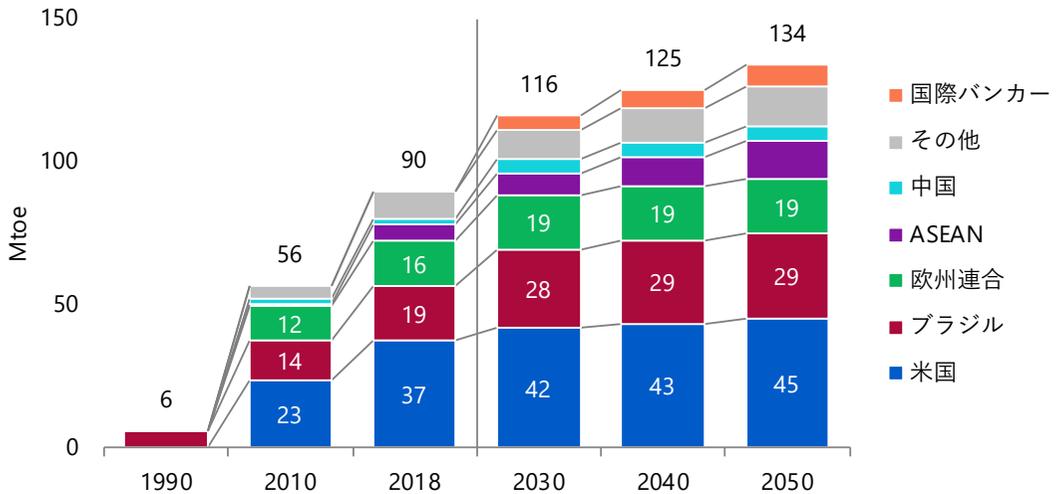
気候変動対策、エネルギー安全保障、農業振興の一環として、バイオエタノールとバイオディーゼルに代表される液体バイオ燃料の普及が進んでいる。ただし、自動車用バイオ燃料の利用は米国、ブラジル、EUに偏っており、2018年においてこれら3地域が世界のバイオ燃料消費量(90 Mtoe)の8割を占めている。

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継続している。COVID-19の影響による自動車用燃料消費の落ち込みのため、2020年のバイオ燃料消費量も前年比で減少する。長期的には、気候変動対策の強化とともにバイオ燃料消費が回復してゆくものの、自動車部門の電動化拡大の影響で、バイオ燃料の需要増が過去と比べて減速する。それでも、2050年にはバイオ燃料(自動車用)の

¹⁴ 各国・地域内における風力・太陽光資源の地域偏在や時間変動およびそれらに起因する制約や対策費用——エネルギー貯蔵や地域間送電容量、出力抑制等——を加味した。

消費量は134 Mtoeに達する(図3-28)。自動車用バイオ燃料利用は、今後も、米国、ブラジル、EUが中心であり続ける。米国とブラジルは、高いバイオエタノール混合率でも対応できる自動車の普及拡大によって、消費量は若干増える。一方、EUでは、液体燃料の需要増の鈍化とともに、第一世代のバイオ燃料の環境影響に対する懸念が強まっているため、2030年以降の消費量増が横ばいになる。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、欧米やブラジルほどの規模には至らない。また、現在はほとんど利用実績がないが、国際航空や海運におけるバイオ燃料利用が拡大する。

図3-28 | バイオ燃料消費[レファレンスシナリオ]



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・原子力の普及拡大などが強力に図られる(表4-1)。

表4-1 | 技術の想定例[技術進展シナリオ]

2018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)	
[IGCC新設導入比率]	0% → 60% (20%)	
[石炭ストック効率]	37.9% → 42.9% (44.9%)	35.2% → 40.5% (40.4%)
[天然ガスストック効率]	49.3% → 60.4% (59.9%)	37.5% → 55.1% (47.7%)
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]	312 GW → 292 (204)	104 GW → 433 (276)
再生可能発電	システムコスト低減 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	システムコスト低減 低コスト融資 電力システムの高度化
[風力設備容量]	302 GW → 1,011 (608)	261 GW → 2,614 (1,242)
[太陽光設備容量]	248 GW → 1,793 (1,019)	232 GW → 2,943 (1,889)
自動車用バイオ燃料	次世代バイオ燃料の開発 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付け
[消費量]	58 Mtoe → 108 (70)	32 Mtoe → 83 (57)
産業	2050年にBATが100%普及	

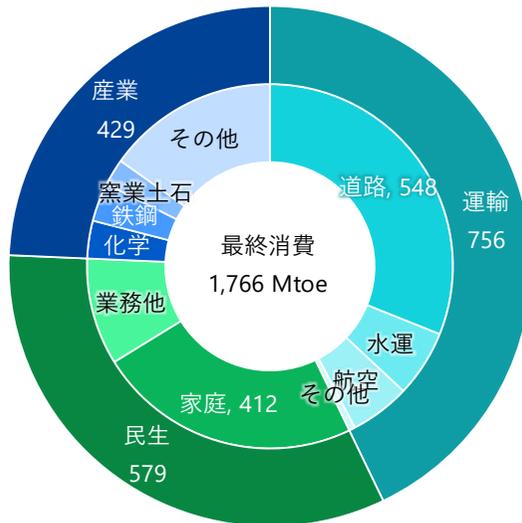
2018年 → 2050年 (レファレンス2050年)

	先進国	新興・途上国
運輸	低燃費自動車のコスト低下。ZEVの航続距離が2倍に	
[乗用車新車燃費]	15.6 km/L → 41.1 (29.1)	13.5 km/L → 31.8 (22.1)
[乗用ZEV販売比率]	2.2% → 66% (41%)	1.3% → 50% (25%)
民生	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約2倍に(2050年でレファレンス比約15%改善) 暖房・給湯・厨房用途における電化、クリーンクッキング化	

省エネルギー

技術進展シナリオでは、2050年にレファレンスシナリオと比較して1,766 Mtoeの最終エネルギー消費が節減される。これは、2018年の世界の最終エネルギー消費の18%に及ぶ量である。節減量の内訳は、運輸部門が756 Mtoe、民生部門が579 Mtoe、産業部門が429 Mtoeである(図4-1)。運輸部門の中では道路部門が548 Mtoe、民生部門の中では家庭部門が412 Mtoeと過半を占める。自動車や家庭の機器等において、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81%と大きい。産業部門を中心とした新興・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 | 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、2050年の各産業の原単位はレファレンスシナリオより11%~12%程度改善する(表4-2)。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346 Mtoe節減され、素材系産業の生産量の割合が高いアジアにおける節減は世界の58%を占める。先進国の高効率技術の移転が新興・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。

表4-2 | 世界のエネルギー指標

	2018	2050 レファレンス	2050 技術進展
産業	鉄鋼原単位(2018=100)	100	66.6
	窯業土石原単位(2018=100)	100	70.6
	化学原単位(2018=100)	100	73.5
	紙パルプ原単位(2018=100)	100	78.9
	その他産業原単位(2018=100)	100	59.7
運輸	乗用車の新車燃費(km/L)	13.6	33.0
	ZEV販売シェア	0.6%	46%
	外航海運の天然ガスシェア	0.0%	41%
	国際航空のバイオ燃料シェア	0.0%	19%
民生	家庭総合効率(2018=100)	100	55.4
	業務総合効率(2018=100)	100	32.2
	家庭電化率	24%	42%
	業務電化率	53%	65%

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

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、プラグインハイブリッド自動車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2050年の販売シェアは、レファレンスシナリオから20%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レファレンスシナリオから9.3 km/L改善して33.0 km/L(3.0 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増加することから、運輸部門が最も省エネルギー量が大きい部門となる。国際バンカーにおいては、技術革新と運用の改善などによる省エネルギーが前進する。同時に、燃料転換の余地が大きく、外航海運では2050年に天然ガスのシェアが41%となり、国際航空ではバイオ燃料が19%を占める。

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比17%程度、業務の総合効率は15%程度改善する。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、給湯や暖房には灯油、液化石油ガス(LPG)、都市ガス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うる。特に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、燃焼効率の悪い薪や畜糞などの伝統的バイオマスが最も削減される。電力でも、使用機器の電化が進むものの、冷房・動力・照明等広い範囲における省エネルギーが上回り、消費が大きく低下する。

再生可能エネルギー

一次エネルギー消費に占める再生可能エネルギー(水力を含む)のシェアは、2018年の14%から2050年にはレファレンスシナリオを9%ポイント上回る25%に上昇する。中でも自然変動電源(風力発電や太陽光発電)の増分が大きく、それらの合計が一次エネルギー消費に占める割合は2018年の1.4%から2050年には9.0%まで上昇する。脱炭素化に向けた政策的取り組みや技術開発のさらなる強化、事業者や投資家、消費者の環境意識の高まり、そして、再生可能エネルギー設備建設や送電インフラ敷設への社会的受容性向上等の要因が技術進展シナリオにおける再生可能エネルギーの導入拡大を後押しする。また、自然変動電源の系統統合にあたっては、発電予測技術、出力抑制、エネルギー貯蔵技術、電気自動車を活用した電力需給調整技術、さらにはこれらの技術を情報通信技術と組み合わせたスマートグリッド等の社会実装も大きな役割を果たす。

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、2050年の世界の設備容量は3,625 GWに達する(図4-2)。これはレファレンスシナリオの2倍の規模である。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。米国においても、レファレンスシナリオでは発電税額控除の廃止や大陸中心部に偏在する資源が抑制要因となるが、技術進展シナリオでは優遇政策等の延長や系統増強により拡大傾向が続く。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、アジア(中国や台湾、日本)でも導入が進む。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年時点で世界の設備容量の48%を、2050年時点においても44%を占める。

図4-2 | 風力発電設備容量[技術進展シナリオ]

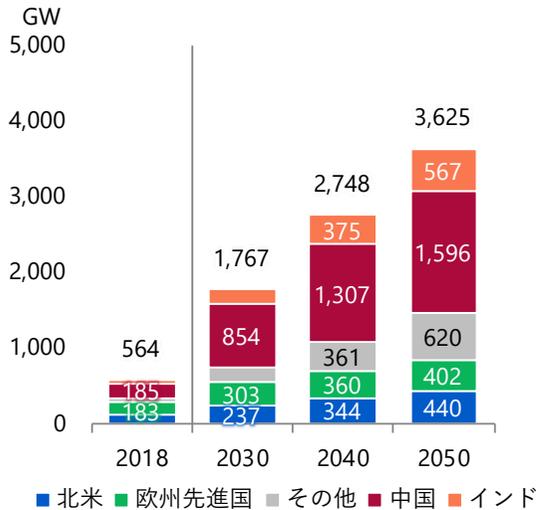
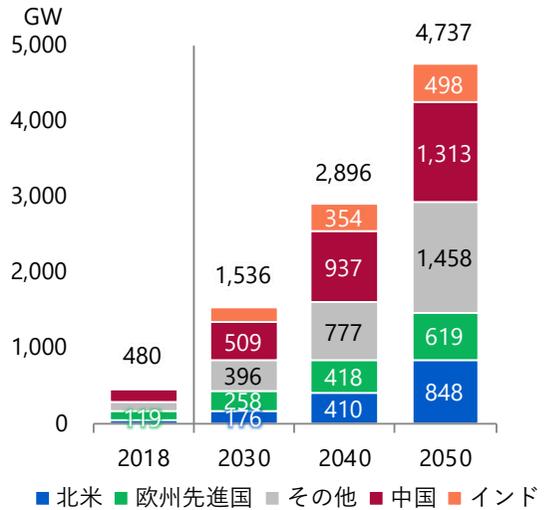


図4-3 | 太陽光発電設備容量[技術進展シナリオ]



太陽光発電も世界的に導入が加速し、2050年における世界の設備容量は4,737 GWに達する(図4-3)。これはレファレンスシナリオの1.6倍である。現在の太陽光発電の主要市場は中国やヨーロッパ先進国、米国、日本等であるが、太陽光発電や蓄電池のコスト低下に牽引され、これらの地域に加えてインドの存在感が増す。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。2050年の中国、米国、インドの設備導入量合計値は2,639 GWであり、これら3か国で世界の56%を占める。中東やアフリカ、中南米の3地域は、2050年に合わせて486 GWとなる。レファレンスシナリオ比で1.7倍、そして、2018年の導入実績から比べると32倍の規模であり、有望な太陽光発電市場となる。

このような自然変動電源の大量導入を実現させるためには、蓄電池のような短周期のエネルギー貯蔵技術に加え、出力の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。そのような技術の1つに水素がある。近年、ヨーロッパなどでは、再生可能エネルギー電力で水素を製造するPower-to-Gasの概念設計や実証実験が行われている。Power-to-Gasに必要な水電解装置は負荷応答性が速く、電力需給調整力として期待されることから電力系統へ柔軟性を与えるとともに、余剰電力から水素を製造することもできる。製造された水素は発電利用のほか、輸送用燃料や産業・民生部門の

熱供給用途の燃料、さらには工業用プロセスの原料としても利用可能である。また、再生可能エネルギー電力由来の水素とCO₂を合成し、燃料や素材として利用するカーボンリサイクル(第7章)も近年脚光を浴びている。燃料合成プロセスとしては、メタネーションや液体燃料合成(フィッシャー・トロプシュ合成等)がある。それらを活用すれば、メタンや液体炭化水素燃料として既存のエネルギー供給インフラを活用しつつ、再生可能エネルギーの余剰電力を部門横断的に利用することが可能になる。これらのような電力系統と他部門を統合して低炭素化を図るシステム・インテグレーション技術が長期的に普及拡大すれば、再生可能エネルギー電源のさらなる促進につながる可能性がある。

原子力

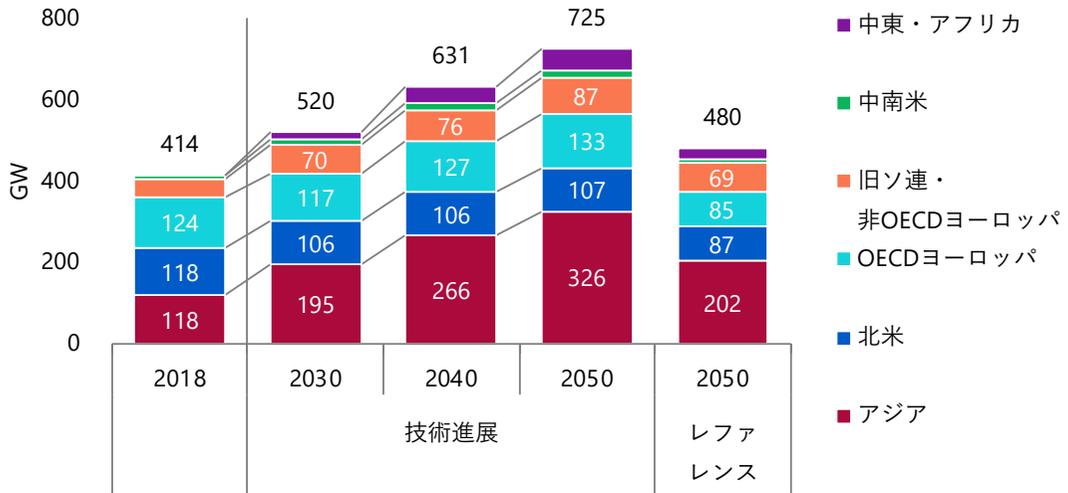
原子力は、エネルギー安定供給、気候変動対策そして大気汚染対策といった多くの政策目標に対して有用性を発揮できる。そのため、技術進展シナリオではレファレンスシナリオ以上に導入が進むこととなる。近年特に開発が進められている小型モジュール炉(SMR)や第四世代炉といった新型炉もまた、実用化に向けて強力な政策措置が実施される。ただし、これらの新型炉は2020年現在でも開発途上である。また、SMRは1基あたりの規模が小さいため、導入が進んだ場合でも全体の設備容量の中では大きなインパクトを持ちにくいことには注意が必要である。

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。そのため、原子力エネルギーは単に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展開され、かつエネルギーシステムの高度化にも貢献することが見込まれる。

もとより原子力を積極的に推進してきた国々の中でも米国やフランスは、設備容量が現在の水準から低下する。しかし、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、下げ幅は縮まる。他方で、英国やロシアでは、現状の設備容量を上回る規模での新規建設が進む。また、福島第一事故を受けて脱原子力政策の方向性を明確にした国でも、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閉鎖計画に沿って廃炉した設備をリプレー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。

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2018年の414 GWから2050年には725 GWに拡大する(図4-4)。これは、レファレンスシナリオでの設備容量480 GWの約1.5倍に相当する。

図4-4 | 原子力発電設備容量[技術進展シナリオ]



北米は、主に米国での縮小により、2050年には設備容量が107 GWとなる。その背景としては、経済性が悪化した既設炉や経年化炉の閉鎖に加え、電力需要の伸び悩みや安価な天然ガス・再生可能エネルギーといったものが挙げられる。ただし、米国では既に、原子力の低炭素価値やエネルギー供給の信頼性を再評価する動きが連邦政府や一部の州政府で高まっている。そのため、そういった政策動向が最大限奏功する技術進展シナリオでは、原子力革新技術開発への支援や既設炉の長期運転がレファレンスシナリオよりも大規模に進められる。特に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おり、2030年代以降はそれらの実用化も進む。

野心的な温室効果ガス排出削減目標を掲げるOECDヨーロッパでは、老朽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ことによって、設備容量は2018年の124 GWから2050年には133 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つそう促進され、2050年には17 GWと現在を上回る水準まで増加する。英国も米国やカナダと並んで新型炉開発を進めているため、大型軽水炉(第3世代+)の新設促進と併せ、2030年代以降はその実用化および普及がこの拡大の強力なドライバーとなる。

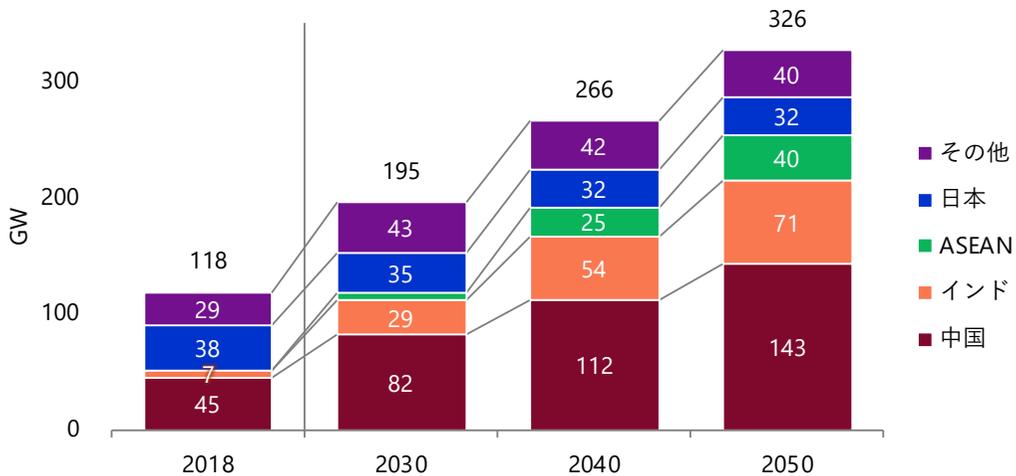
ロシアでは新規建設計画が加速し、設備容量は2018年の29 GWから2035年頃には38 GWへと拡大する。それ以降、ロシア国内では設備容量が横ばいで推移するものの、新興国の経済成長およびエネルギー需要の増大を背景に、国外への輸出が積極的に進められる。既に多くの新興国との間で、原子力を含む多くの産業分野での基盤整備や人材育成などを

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、2025年頃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、既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15 GW、2050年に37 GWまで達する。

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(図4-5)。アジア全体での設備容量は2035年にOECDヨーロッパと北米の和(231 GW)を上回り、2050年には326 GWに達する。その内訳もレファレンスシナリオ同様、中国とインドが牽引役となるが、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。そのため、東南アジア諸国連合(ASEAN)での導入量は2018年時点でこそゼロであるが、2030年頃から営業運転が順次開始され、2050年には発電設備容量が40 GWに達する。これは、同時点の日本の設備容量(32 GW)を上回る値である。

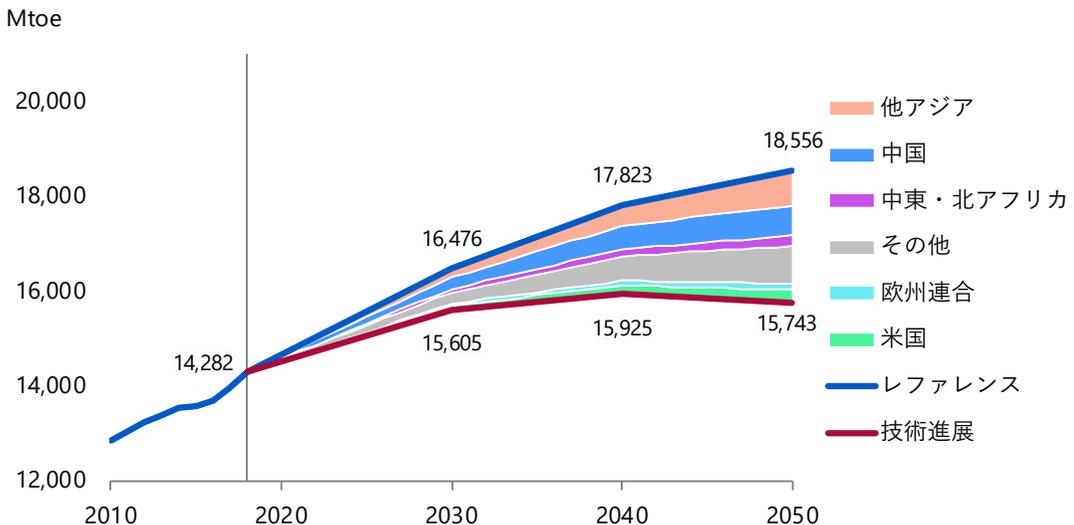
図4-5 | アジアの原子力発電設備容量[技術進展シナリオ]



4.2 エネルギー需給

一次エネルギー消費の15%削減を新興・途上国の大幅な化石燃料削減により実現する省エネルギー・気候変動対策の強力な展開は、世界のエネルギー消費を大幅に節減することができる(図4-6)。2050年における一次エネルギー消費量のレファレンスシナリオ比15.2%削減を可能とし、2050年までの累積節減量は45.3 Gtoeに及ぶ。特に石油・天然ガス・石炭の化石燃料を65.1 Gtoe削減し、2050年までのCO₂累積削減量は225.7 Gtとなる。気候変動を考慮する立場からは望ましいことは言うまでもないが、各国のエネルギー安全保障にも貢献する。

図4-6 | 世界の一次エネルギー消費と地域別省エネルギー(レファレンスシナリオ比)

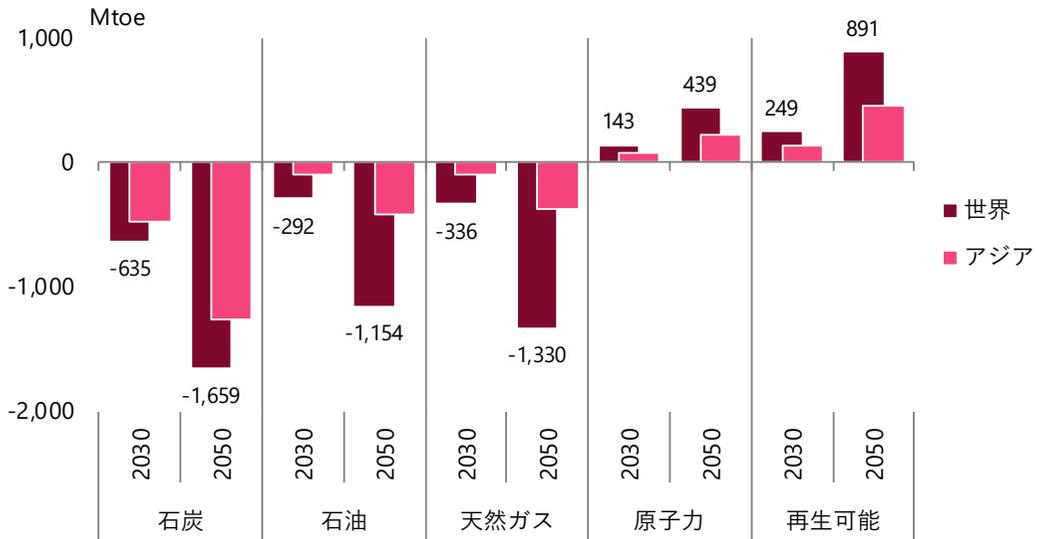


技術進展シナリオ実現のためには、今後エネルギー需要が増大し、かつ節減ポテンシャルが大きい新興・途上国、特にアジア新興・途上国の役割が大きい。世界が到達可能なレファレンスシナリオからの省エネルギー量のうち、2050年において新興・途上国は73.8%、アジア新興・途上国は47.3%を占める。これらの国々のエネルギー消費が、世界で必要とされるエネルギーの消費・生産形態、あるいは地球環境への影響力など、広い意味での世界のエネルギーシステムを変革する鍵を握っている。

エネルギー源別では、化石燃料消費量が大幅に減少し、非化石エネルギー消費量が増加する(図4-7)。化石燃料全体の2050年一次エネルギー消費節減量4,143 Mtoeのうち、石炭が40.1%、石油が27.9%、天然ガスが32.1%を占める。一方、非化石エネルギーは1,330 Mtoe増加し、このうち再生可能エネルギーが67.0%、原子力が33.0%の増加を示す。この結果、

化石燃料シェアは、2018年の81.2%から2050年に66.6%まで低下する。特筆すべきは、技術進展シナリオにおいても世界が化石燃料に依存し続けることである。

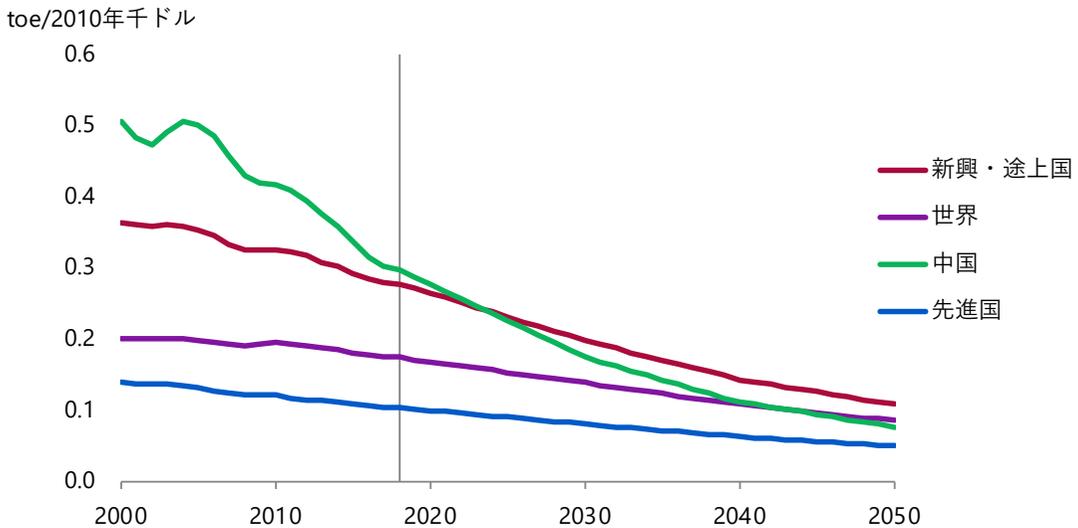
図4-7 | 世界の一次エネルギー消費の変化(レファレンスシナリオ比) [技術進展シナリオ]



2050年における化石燃料の消費節減量のうち、新興・途上国が占める割合は68.5%、中国、インド、ASEANなどのアジア新興・途上国が占める割合は46.7%である。特に、石炭節減量では、新興・途上国が82.8%、アジア新興・途上国が73.3%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20.8%、35.9%、アジア新興・途上国の寄与率はそれぞれ14.1%、31.6%を占め、無視できない。

世界のGDP原単位は、2050年に2018年比51.2%減少する(図4-8)。先進国の原単位が52.2%減となる一方、新興・途上国では足元における効率改善余地が大きいため61.2%減と大きく減少する。特に、中国のGDP原単位は、産業構造の変化などからこの先も減少が続く。2020年代前半に新興・途上国の平均を下回り、2040年頃には世界平均に追いつく。インド、ASEANのGDP原単位も2050年に63.0%、46.3%とそれぞれ大きく減少する。2050年までにアジア新興・途上国は66.4%減少する。

図4-8 | 一次エネルギー消費量のGDP原単位[技術進展シナリオ]



技術進展シナリオ実現に向け、新興・途上国、特にアジア新興・途上国における省エネルギー技術の導入・普及を促進するため、これらの国々における資金調達力や意識不足などの省エネルギーバリア解消が必要となる。具体的には、低所得者層に対してリーズナブルな価格で省エネルギー機器の普及を促すことや、都市部と農村部のライフスタイルの違いも考慮した省エネルギー技術を提供してゆくことも必要である。また、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。具体的政策の立案・実行には、先進国と新興・途上国間の二国間協力や、ASEAN+3、APEC等の多国間協調フレームワークを活用することも一助となるにちがいない。

道路部門の石油最終消費が大きく減少

上述の強力な省エネルギー・気候変動対策は、最終エネルギー消費にも大きく影響する。2050年の最終エネルギー消費は11,107 Mtoeとなり、レファレンスシナリオでの最終エネルギー消費量の14%に相当する1,766 Mtoeが節減される。2050年における世界の1人あたり最終エネルギー消費量は、レファレンスシナリオでは1.33 toeと2018年(1.31 toe/人)よりわずかながら上昇するのに対して、技術進展シナリオでは1.15 toe/人と2018年比で約12%減少する(図4-9)。各種施策の着実な実施が大きな効果を持つ。

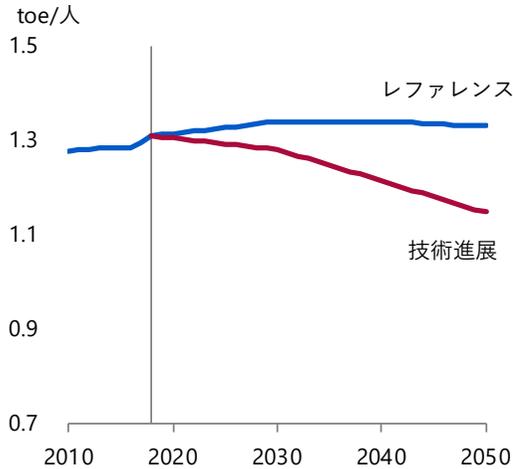
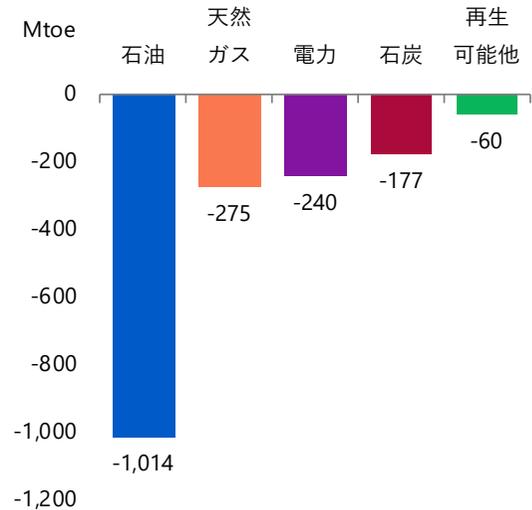
図4-9 | 世界の1人あたりエネルギー消費
量[技術進展シナリオ]

図4-10 | 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]



2050年時点の主要なエネルギー源別に節減量を見てみると、圧倒的に大きく減少するのは石油で、次いで天然ガス、電力の順となる(図4-10)。石油の最終消費は、レファレンスシナリオ比19%、1,014 Mtoeが節減され、単独で節減量全体の57%を占める。この節減はほぼすべてが運輸部門の消費減によるもので、中でも自動車燃費の改善と電動自動車の普及拡大を背景とした道路部門の減少が顕著である(図4-11)。2050年の自動車保有構成に電動自動車占める比率は、レファレンスシナリオでは57%であるのに対し、技術進展シナリオでは78%まで上昇する。このように普及を急拡大させるためには、例えば高性能蓄電池の技術開発や自動車製造コストの削減、商品ラインナップの充実といった商品開発をいっそう加速させる必要がある。さらに、各地域の市場の発展段階などに則した政策導入、導入期の優遇税制や充電インフラ導入促進策などの整備を複合的かつ強力に推進することが求められる。

天然ガスの最終消費は、2050年時点でレファレンスシナリオから275 Mtoe節減される。ヨーロッパと北米の民生他部門における消費がそれぞれ39 Mtoe、36 Mtoeと大きく減少しており、ガス利用機器の効率や建物の断熱効率の向上などがこれに寄与している。

電力最終消費は、民生他部門、産業部門がそれぞれ202 Mtoe、151 Mtoe減少し、運輸部門の消費増を打ち消している。両部門の合計節減量が特に大きいのは中国やインドを筆頭

としたアジアであり、世界全体の約半分を占めるほどである。気候変動対策・省エネルギーの観点からも、同地域に対する高効率技術の展開が効果的であることがわかる。

技術進展シナリオではレファレンスシナリオ比で最終消費が大きく節減される一方で、エネルギー源別シェアの違いは限定的である(図4-12)。技術進展シナリオにおいても、多様かつ安定的なエネルギー供給が重要である。

図4-11 | 世界の道路部門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]

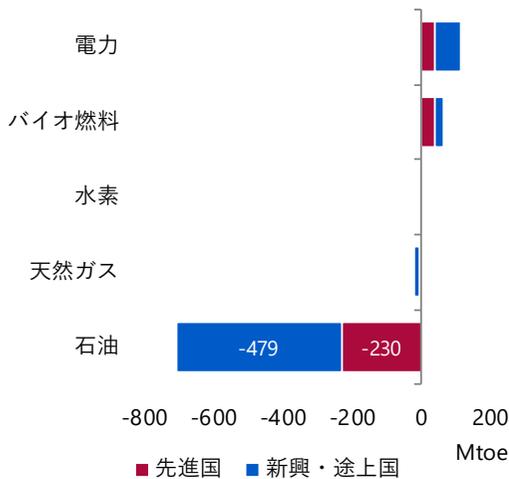
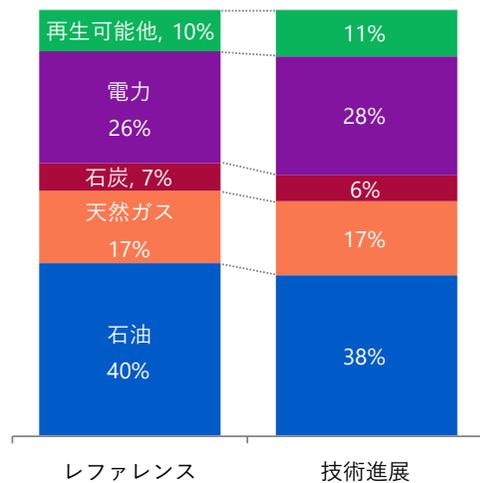


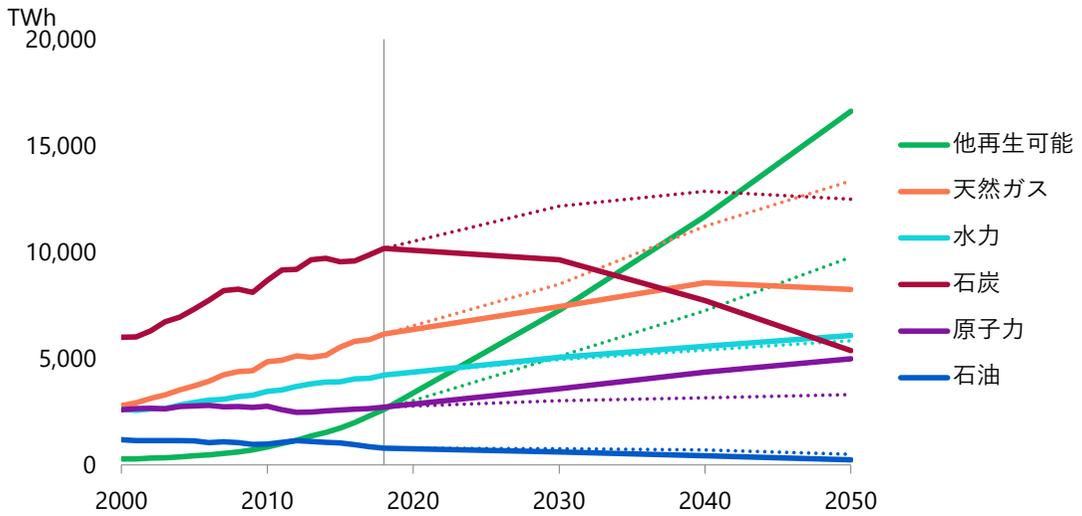
図4-12 | 世界の最終エネルギー消費構成 [2050年]



電源構成

省エネルギーの進展により、2050年の発電量は3,711 TWh減少する。これは、米国の2018年の発電量に匹敵する。石炭ガス化複合化発電(IGCC)やバイオマスとの混焼を含む燃料転換により、石炭火力発電量は大幅に減少、2050年には足元の半分程度となる(図4-13)。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他再生可能エネルギーが最大の電源となり、原子力発電も次第に拡大する。

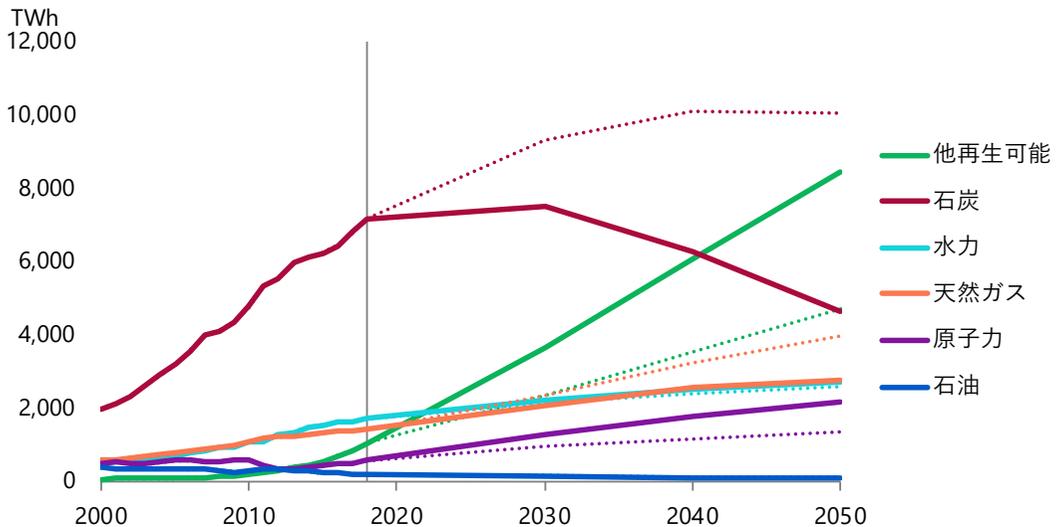
図4-13 | 世界の発電量[技術進展シナリオ]



注: 点線はレファレンスシナリオ

アジアでも、石炭による発電量は大幅に節減されうる(図4-14)。とはいえ、総発電量に占める石炭の割合は、2050年においても4分の1程度のシェアを占め主要な電源の一つであり続ける。特に中国、インドで再生可能エネルギー導入が増加を続けており、この導入拡大を継続し、CO₂排出を削減することが重要である。

図4-14 | 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、省エネルギーや燃料代替の進展等により石油需要の伸びが抑制され、石油需要は2030年頃にピークを迎えその後は減少推移する。そのような状況で、各地域の石油供給量はレファレンスシナリオと比較して押しなべて減少し、2050年の石油供給量は2017年のそれに匹敵する水準まで減少する(表4-3)。

表4-3 | 原油生産[技術進展シナリオ]

	2018	2030	2040	2050	(Mb/d)	
					2018-2050	
					変化量	変化率
原油生産計	95.3	96.5	95.7	92.4	-2.9	-0.1%
OPEC	37.0	38.3	40.9	41.3	4.3	0.3%
中東	28.7	29.7	31.4	31.4	2.8	0.3%
その他	8.4	8.7	9.6	9.9	1.5	0.5%
非OPEC	58.2	58.2	54.8	51.0	-7.2	-0.4%
北米	20.9	22.2	20.1	17.0	-3.8	-0.6%
中南米	7.1	8.4	9.2	10.0	2.9	1.1%
欧州・ユーラシア	18.1	16.1	14.4	13.3	-4.8	-1.0%
中東	3.2	3.3	3.3	3.4	0.2	0.2%
アフリカ	1.4	1.4	1.4	1.4	0.0	0.0%
アジア・オセアニア	7.6	6.9	6.4	6.0	-1.6	-0.7%
プロセスゲイン	2.3	2.5	2.7	2.8	0.5	0.6%
石油供給計	97.6	99.1	98.4	95.1	-2.4	-0.1%

注: 原油には天然ガス液(NGL)を含む

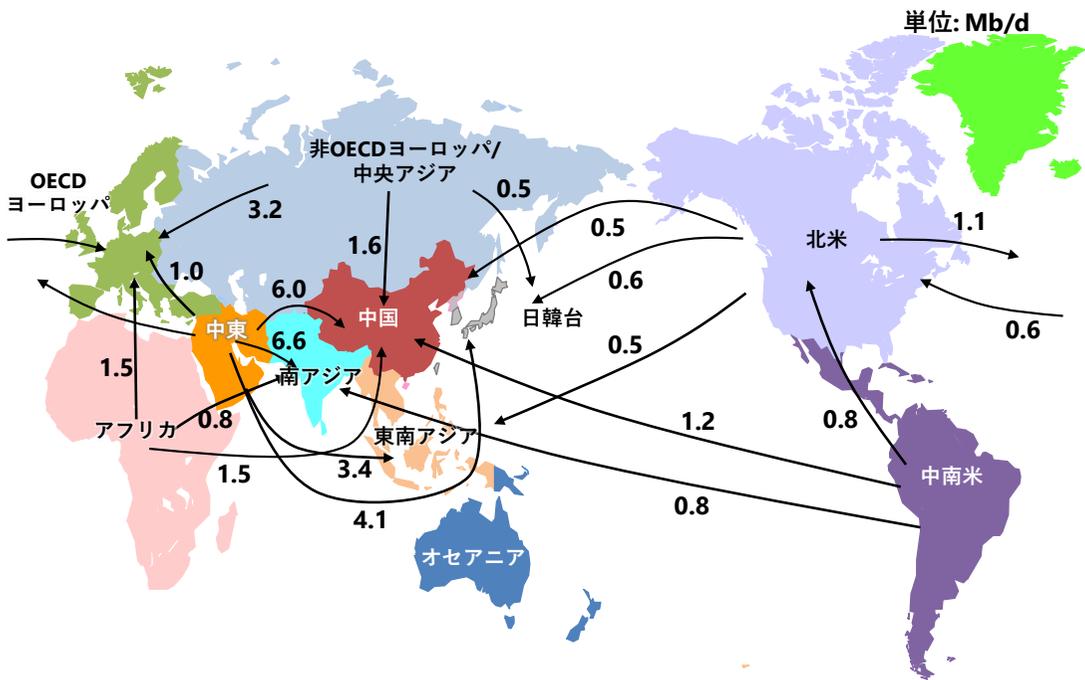
供給国間での競争が強まる中、相対的にコスト競争力の高い石油輸出国機構(OPEC)の中東加盟国が2050年までの期間中に最も生産量を増加させ、OPECのシェアはレファレンスシナリオと比較してわずかに上昇する。コスト競争力が仮定的に低く2018年から2050年までの需要の減少量が7.4 Mb/dと最も大きい北米や、次いで減少量が大きいヨーロッパ(5.4 Mb/d)への供給が多いロシア(欧州・ユーラシア)では、レファレンスシナリオに比べて供給量の減少が著しい。他方、中南米は生産コストこそ安価ではないものの、ガイアナに代表されるように、近年新たな埋蔵量の確認が相次ぎ、外資の誘致にも積極的な国々における開発の推進が、同地域の供給量増加に寄与する。中南米では、北米等とは異なり、技術進展シナリオにおいても石油需要は横ばい傾向で推移し、この点も生産増を後押しする要因となる。

アジアでは既に生産量が緩やかな減少傾向にあり、レファレンスシナリオを上回る減少率で供給量は減少してゆく。しかし、同地域は多くが純輸入国であり、また石油生産を国営石油会社が担っているケースが多い。そのため、供給セキュリティ確保の観点から、相対的に高い生産コストであっても生産減少を抑制しようとする。結果として、アジアの自給率はレファレンスシナリオよりも上昇する。

石油需要のピークアウトに伴い、世界の原油貿易量も減少してゆく。2050年の主要地域間の貿易量は、2019年の約43 Mb/dから約35 Mb/dに減少する。2050年の主たる原油輸入地域はアジアとなり、供給量が底堅く推移する中東地域から多くの原油が供給される。

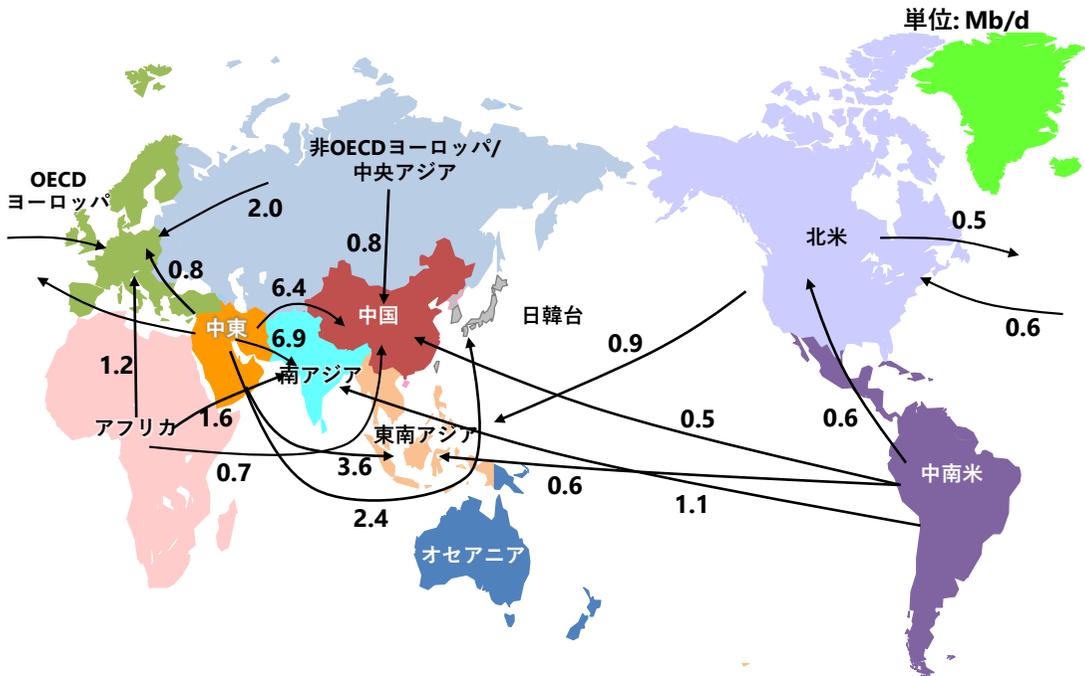
ただし、将来の原油貿易フローは、石油精製部門における今後の熾烈な競合の趨勢と密接に関わっており、不確実性を伴う。石油需要はピークアウトし、2050年には2017年頃の水準まで減少する。これに対して、製油所は利用年数が50年超と長く、使用計画年数を前倒しした設備廃棄が行われない限り、供給過剰となる可能性が高い。競合が激化し、各地域の製油所の稼働率は一様とはならないだろう。コスト競争力に秀でた製油所を有する地域では、その地域の石油需要が減少するとしても、原油調達量を削減せず、製品輸出を増加させることにより事業の成長・継続を図る。その趨勢により原油貿易フローは変化する可能性がある。

図4-15 | 主要地域間の原油貿易[技術進展シナリオ、2030年]



注: 0.5 Mb/d以上のフローを記載

図4-16 | 主要地域間の原油貿易[技術進展シナリオ、2050年]



注: 0.5 Mb/d以上のフローを記載

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年時点で17%、2050年時点で27%低い水準となる。しかしながら、しかしながら、技術進展により温室効果ガス(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比較的開発・生産コストが高いOECDヨーロッパの生産量であり、2050年時点での生産量はレファレンスシナリオと比較して4割を下回る低い水準となる。また、北米の生産量も、米国、カナダにおいて、2040年頃にピークを迎え減少に転じる。一方、中東やロシアを含む非OECDヨーロッパにおいては、レファレンスシナリオに比べて増加ペースは落ちるものの、相対的には堅調に生産を増加させる。特に中東では、イラン、カタール、サウジアラビアが、技術進展シナリオにおいても生産量の増加は大きい。

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およびメタン排出監視・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4-4 | 天然ガス生産[技術進展シナリオ]

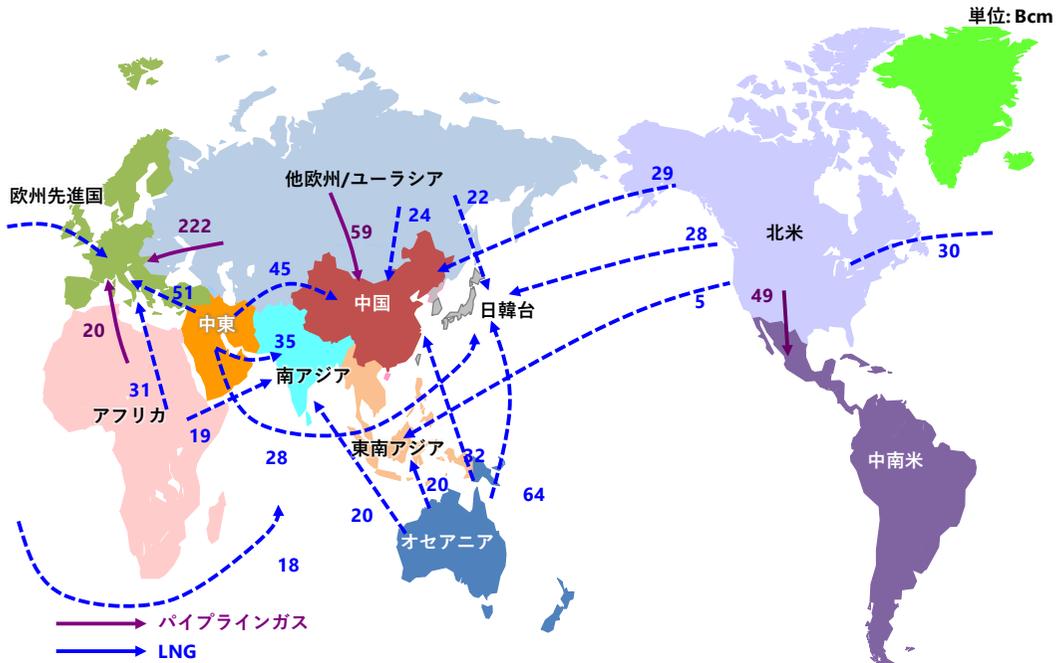
	2018	2030	2040	2050	2018-2050	
					変化量	変化率
世界	3,937	4,442	4,677	4,543	606	0.4%
北米	1,052	1,146	1,041	892	-160	-0.5%
中南米	208	254	328	348	140	1.6%
OECDヨーロッパ	234	100	55	30	-204	-6.3%
非OECDヨーロッパ/中央アジア	951	970	935	929	-22	-0.1%
ロシア	715	725	721	724	9	0.0%
中東	655	832	875	857	202	0.8%
アフリカ	240	337	462	507	268	2.4%
アジア	476	611	749	752	276	1.4%
中国	160	240	361	367	207	2.6%
インド	32	57	72	71	39	2.5%
ASEAN	208	226	220	221	13	0.2%
オセアニア	122	192	231	229	107	2.0%

地域間貿易量を見ると、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概ね1割～3割減少する。純輸出地域の内では、ロシアを含む非OECDヨーロッパ、中東では、2050年の輸出量がレファレンスシナリオ比で概ね2割～4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年の純輸出量は微減となる。

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、天然ガスおよび液化天然ガス(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。

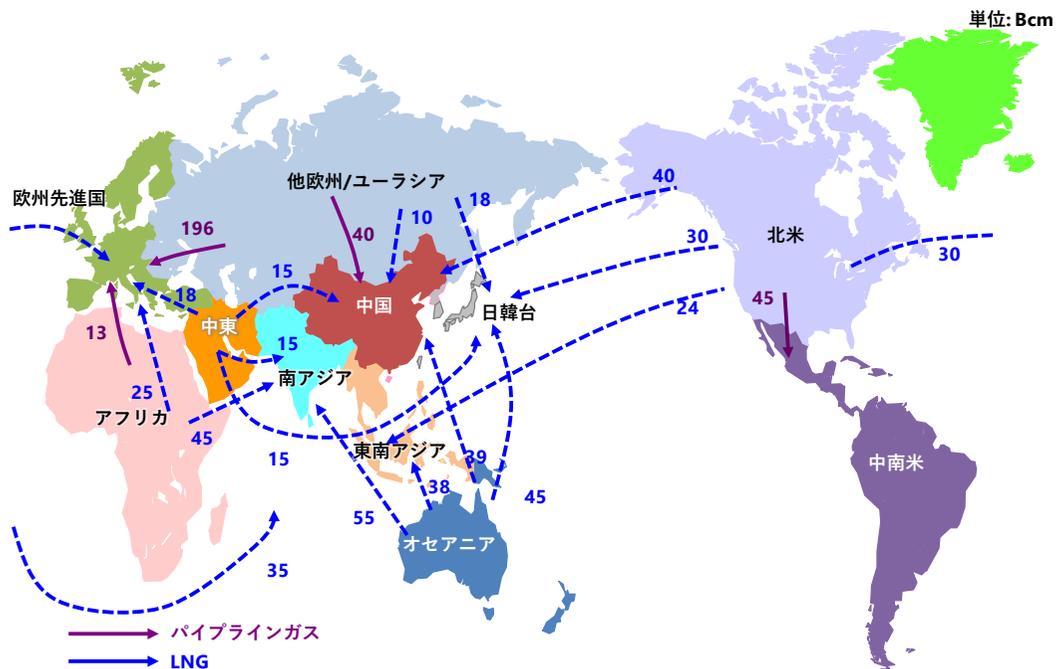
LNG輸送船舶、あるいは圧縮天然ガスも含めた海上輸送技術の進展、パイプライン貿易においてはコンプレッサー効率の向上、漏洩検知監視等の技術進展およびこれを促進する政策支援が、持続的な天然ガス貿易の発展に寄与することとなる。

図4-17 | 主要地域間の天然ガス貿易[技術進展シナリオ、2030年]



注: 主な地域間貿易を記載。一部、パイプラインガスがLNGに代替される可能性がある。

図4-18 | 主要地域間の天然ガス貿易[技術進展シナリオ、2050年]



注: 主な地域間貿易を記載。一部、パイプラインガスがLNGに代替される可能性がある。

石炭供給

再生可能エネルギー等の低炭素技術の進展により、電源構成に占める石炭火力発電のシェアが低下する。再生可能エネルギー発電の間欠性を補うための調整電源としての役割を担うようになるが、エネルギー貯蔵技術のコスト低下等を背景に、石炭火力発電設備を維持するインセンティブは低下する。さらに、石炭利用に関する技術進展により、発電、製鉄等、石炭利用の各分野で熱効率が高まり、石炭需要は減少に向かう。

石炭火力発電は、新興国において老朽化した低効率設備を高効率設備に置き換える取り組みが進められるものの、途上国でも公的支援において低炭素化が重視されることから、低炭素電源の開発支援への比重が高まり、石炭火力発電については、高効率設備へのリプレースに限られてゆくとともに、新設については従来の高効率設備に加え、IGCCやアンモニア混焼等の導入支援が重視される。

先進国では、IGCCや二酸化炭素回収・貯留(CCS)付帯火力等のさらなる低炭素化技術の取り組みが一部で進められるものの、ヨーロッパなどでは石炭の利用を伴う技術については普及が進まない。これら先進技術による石炭需要の喚起は、2050年時点においてもわずかにとどまる。

こうした動きに伴い石炭生産量は、2018年の7,804 Mtから2050年の4,413 Mtまで減少する(図4-19)。炭種別に見ると、一般炭生産量は2018年の6,025 Mtから2050年には3,458 Mtに、原料炭生産量は2018年の978 Mtから2050年には743 Mtに、褐炭生産量は2018年の801 Mtから2050年には212 Mtに減少する。レファレンスシナリオと比較すると、石炭生産量は2050年において石炭全体で3,601 Mt減少し、特に一般炭は3,038 Mt、褐炭は402 Mtと大幅に減少し、原料炭は112 Mtの減少となる。石炭需要が全面的に減少することで、一般炭生産は2030年以降いずれの地域でも減少に転じ、原料炭が石炭生産全体に占める割合が相対的に上昇する。

図4-19 | 世界の石炭生産[技術進展シナリオ]

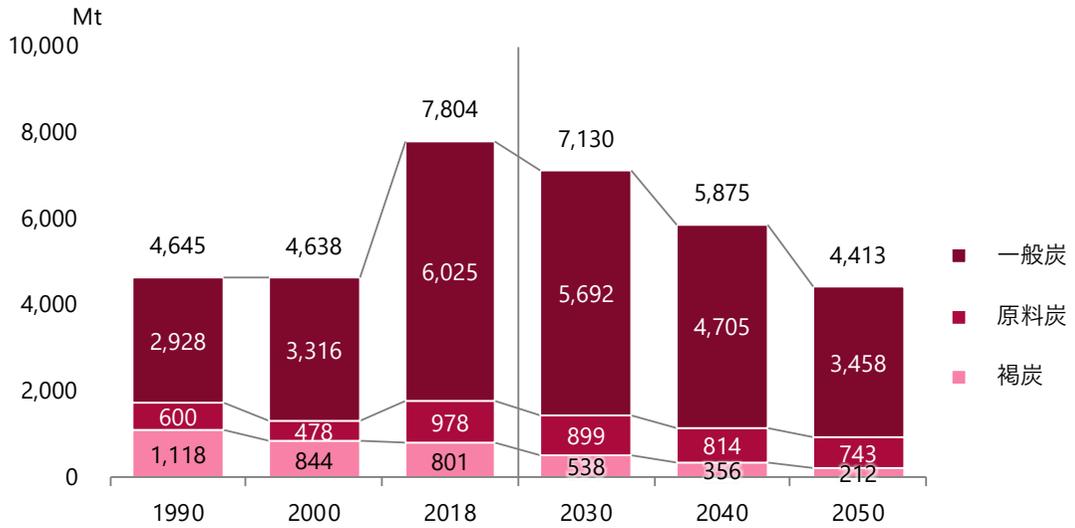
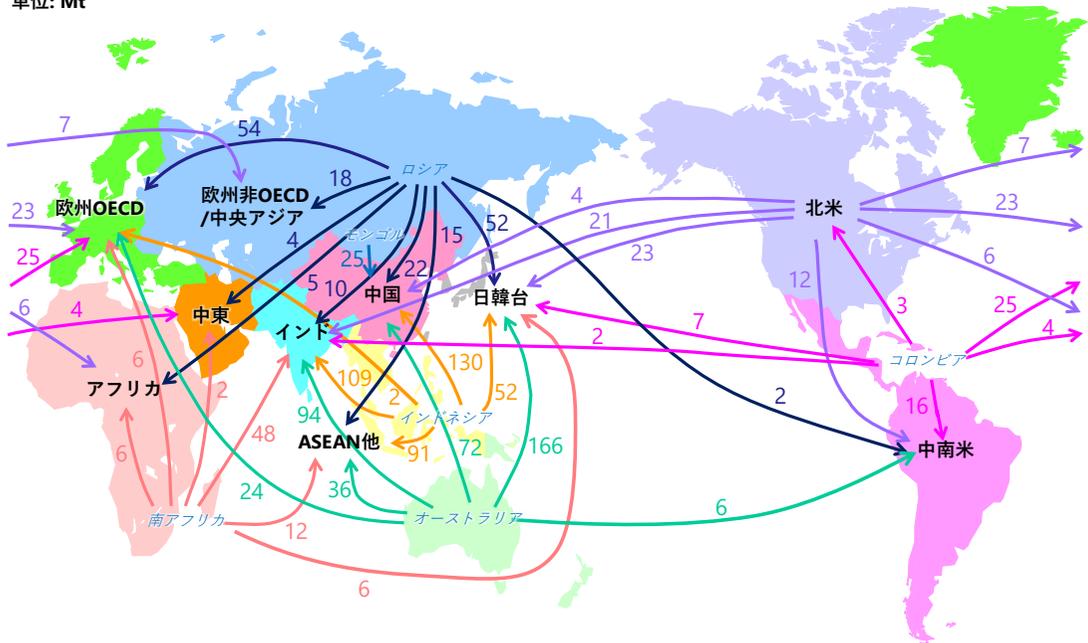


図4-20 | 主要国・地域間の石炭貿易[技術進展シナリオ、2030年]

単位: Mt



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。

表4-5 | 一般炭生産[技術進展シナリオ]

	2018	2030	2040	2050	(Mt)	
					変化量	変化率
世界	6,025	5,692	4,705	3,458	-2,567	-1.7%
北米	582	355	218	89	-493	-5.7%
米国	562	351	216	87	-475	-5.7%
中南米	92	71	51	34	-58	-3.0%
コロンビア	79	60	43	28	-51	-3.2%
OECDヨーロッパ	63	36	25	13	-50	-4.7%
非OECDヨーロッパ・中央アジア	369	306	274	232	-136	-1.4%
ロシア	247	210	180	148	-99	-1.6%
中東	0	0	0	0	0	0.0%
アフリカ	265	243	206	146	-119	-1.8%
南アフリカ	252	229	192	134	-117	-1.9%
アジア	4,394	4,425	3,714	2,782	-1,612	-1.4%
中国	3,065	2,858	2,223	1,469	-1,596	-2.3%
インド	694	919	870	781	86	0.4%
インドネシア	543	530	500	414	-129	-0.8%
オセアニア	262	256	216	162	-100	-1.5%
オーストラリア	260	255	215	161	-99	-1.5%

表4-6 | 原料炭生産[技術進展シナリオ]

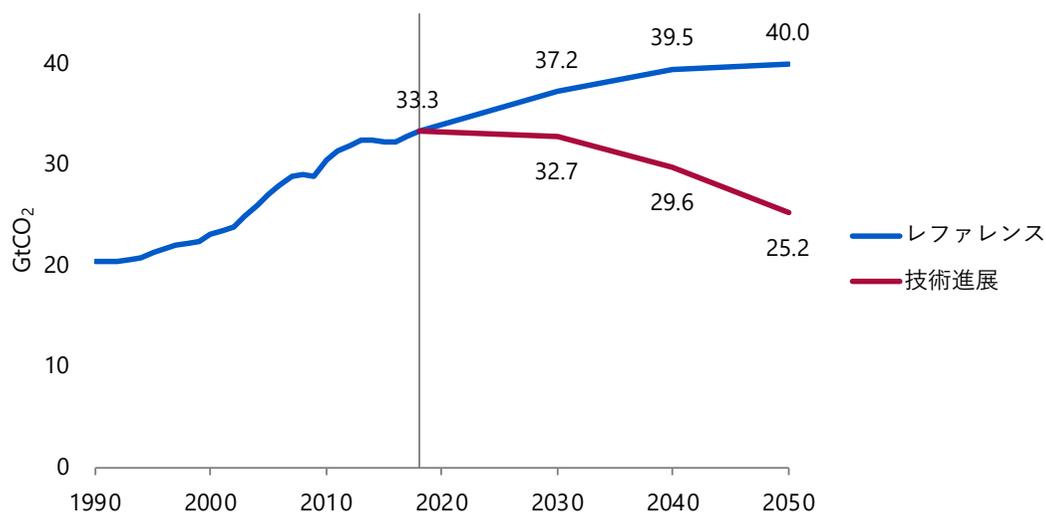
	2018	2030	2040	2050	(Mt)	
					変化量	変化率
世界	978	899	814	743	-235	-0.9%
北米	104	81	76	69	-35	-1.3%
米国	72	54	52	49	-23	-1.2%
中南米	10	10	10	9	-1	-0.3%
コロンビア	6	5	5	5	0	-0.2%
OECDヨーロッパ	16	14	14	13	-3	-0.6%
非OECDヨーロッパ・中央アジア	101	95	88	79	-21	-0.7%
ロシア	92	87	80	71	-20	-0.8%
中東	1	2	2	1	0	0.0%
アフリカ	11	18	24	30	19	3.1%
モザンビーク	7	14	20	25	18	4.1%
アジア	553	490	406	342	-212	-1.5%
中国	484	404	307	228	-255	-2.3%
インド	37	60	77	95	58	3.0%
モンゴル	27	21	16	12	-16	-2.6%
オセアニア	181	189	194	199	19	0.3%
オーストラリア	179	188	193	198	19	0.3%

4.3 二酸化炭素排出量

世界のCO₂排出は2020年代半ばから減少、インドの増加は鈍化、低炭素化が進展

世界のエネルギー起源CO₂排出は、2018年の33.3 Gtから2020年代半ばに34 Gt弱でピークに達し、2050年にかけて25.2 Gtまで大きく減少する(図4-22)。

図4-22 | 世界のエネルギー起源CO₂排出



2018年～2050年の世界全体の減少量8.1 Gtに対して、中国が4.3 Gt、米国が2.8 Gt、欧州連合(EU)が1.6 Gtの減少を示す(図4-23)。インドは、2018年～2050年に1.8 Gt増加するが、そのうち2018年～2030年の12年間で1.1 Gt、2030年～2050年の20年間で0.7 Gtの増加となり、増加は鈍化する。

2050年におけるレファレンスシナリオからのCO₂排出削減率は、世界全体で37.0%である(図4-24)。国・地域別では、米国、中国、ASEAN、EUで大きい。これらの国・地域の排出削減には、GDPあたり一次エネルギー消費の減少(省エネルギー)よりも一次エネルギー消費あたりCO₂排出の削減(低炭素化)が主に寄与している。具体的には、米国、中国、ASEAN、EUそれぞれについて、天然ガス・石炭から太陽光・風力等、石炭から地熱、天然ガスから原子力といった転換が行われる。また、これら以外にも、第7章で述べるように、化石燃料自体の脱炭素化という方策もある(第7章)。技術進展シナリオの着実な実現には、低炭素化の推進が鍵になる。

図4-23 | エネルギー起源CO₂排出の変化[技術進展シナリオ]

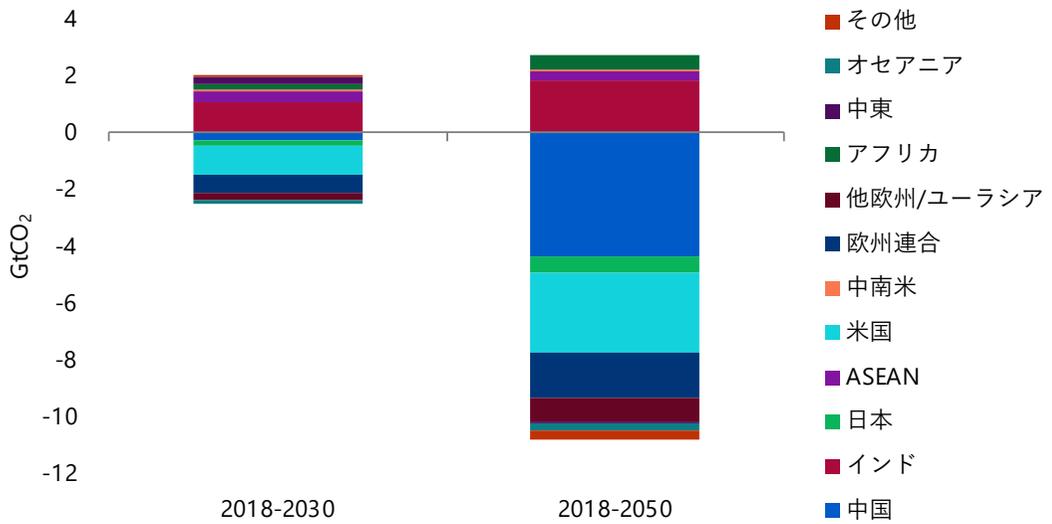
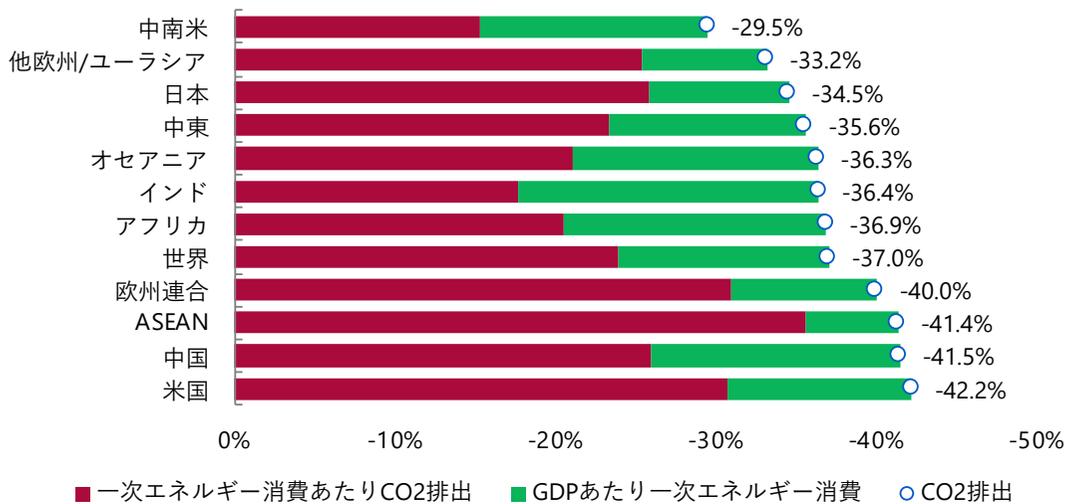


図4-24 | CO₂排出の削減率と寄与(レファレンスシナリオ比) [技術進展シナリオ、2050年]



5. エネルギー関連投資

5.1 近年のトレンド

天然ガス投資の拡大

世界的な天然ガス需要拡大を受けて、豪州、ロシアを中心に天然ガスの生産が拡大している。また米国においても、天然ガス輸出は過去最高となった。貿易の規模も拡大しており、2019年の世界の液化天然ガス(LNG)取引量は前年比12%増となる348百万t (Mt)に達した。この規模拡大に対応するべく、2019年のLNGプロジェクトへの最終投資決定(FID)容量は過去最大となる71 Mt/年に達した。

新型コロナウイルスの影響と「グリーンリカバリー」

2020年に深刻化した新型コロナウイルス感染症(COVID-19)は原油先物価格の歴史的な暴落を引き起こし、資源開発投資の減退要因となっている。足元の供給過剰とそれに伴う資源価格下落により、ChevronやExxon等の資源メジャー、サウジアラムコ等の産油・産ガス国の国営企業が軒並み当面の資源開発投資を削減することを表明している。また、一般に\$50/bblが採算ラインといわれる米国のシェール企業にとってはこの油価下落は致命的な事態であり、大手、中小を問わず関連企業の経営破綻が相次いでいる。

経済影響が長期化すれば、資源開発のみならずあらゆる産業分野での設備投資減退が懸念される。資源開発企業の厳しい財務状況が継続すれば、新規開発に向けた資金不足は避けられず、中期的には燃料需給バランスを不安定化させかねない。また中長期的な影響として、エネルギー転換、消費機器の高効率化を阻害し、省エネルギー・低炭素化の妨げになることが懸念される。

他方、ヨーロッパを中心に、「グリーンリカバリー」と呼ばれる、環境投資を通じてコロナ危機からの経済回復を期する動きが広がりつつある。2020年5月、欧州委員会は最大750億ユーロの復興基金(Next generation EU)を提案した。この用途にはヘルスケア、雇用対策のほか、再生可能エネルギーや電気自動車などの環境、エネルギー分野への投資も含まれており、経済回復と環境保護を両立させる姿勢を示している。

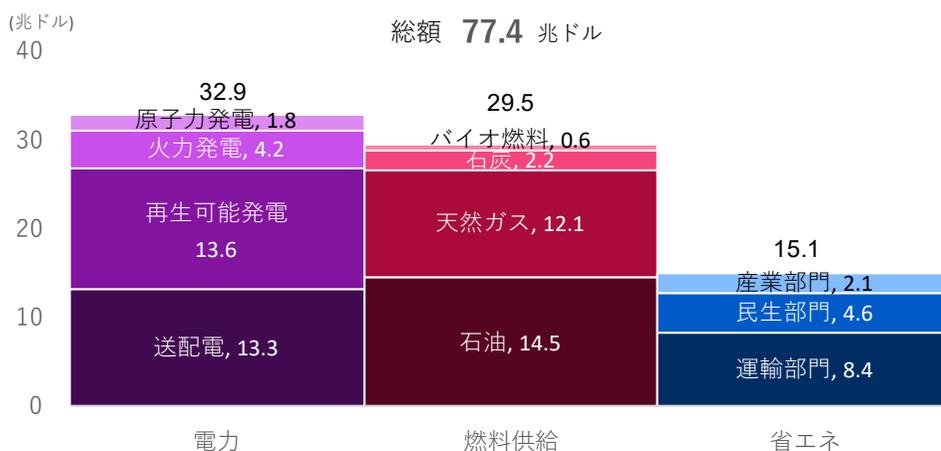
5.2 レファレンスシナリオ

電力関連投資を中心に、GDP比2%規模の投資が必要

世界経済は直近のCOVID-19による経済ショックから時間をかけて回復し、それに伴い世界の一次エネルギー消費は再び拡大を始め、2018年の14.0 Gtoeから2050年には18.5 Gtoeに達する。とりわけ新興・途上国におけるエネルギー消費の増大は著しく、これに対応するために資源開発、燃料輸送、発電、送配電等の設備へ多額の投資が必須となる。また、現在十分な設備量を保有する地域においても、既存設備のリプレース、および省エネルギーにかかる投資が欠かせない。

レファレンスシナリオでは、2019年から2050年までの32年間に77兆4,000億ドル(2010年実質、以下同じ)のエネルギー関連投資¹⁵が必要となる(図5-1)。これは世界のGDP(同期間累積額)の約2%に相当する。

図5-1 | 世界のエネルギー関連投資額[レファレンスシナリオ、2019年～2050年]



この4割にあたる32兆9,000億ドルは電力部門への投資である。2050年の電力最終消費は2018年の1.8倍となる39,056 TWhとなり、電力需要が急速に拡大する新興・途上国を中心に集中的な設備投資が必要となる。このため、発電設備投資として再生可能エネルギー発電に13兆6,000億ドル、火力発電に4兆2,000億ドルが振り向けられる。石炭火力への投資は年を追うごとに低下し、それと入れ替わるかたちで天然ガス火力、再生可能電源への投資

¹⁵ 本章で取り扱うエネルギー関連投資の範囲は、資源開発(原油、天然ガス、石炭)、石油精製、燃料輸送(石油、天然ガス、石炭)、天然ガス液化、バイオ燃料、火力発電(石炭、天然ガス、石油)、原子力発電、再生可能エネルギー発電(太陽光、風力、水力、地熱、バイオマス、太陽熱、海洋)、CCS、送電、配電、省エネルギー設備・製品(運輸、民生、産業)である。

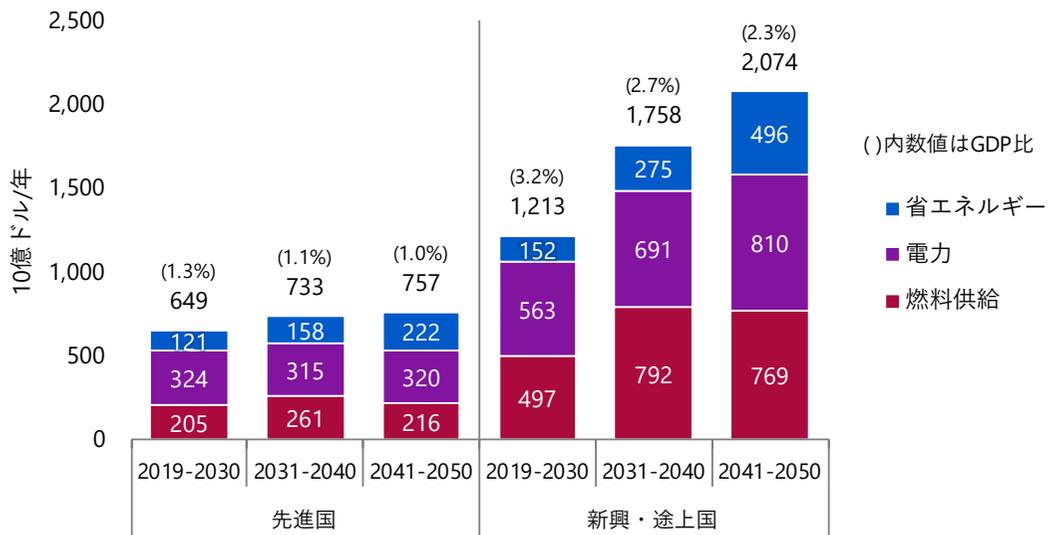
が増加する。電力需要の増加に伴い送配電設備への投資も拡大し、エネルギー投資額全体の17%を占める。

燃料供給(石油、天然ガス、石炭、バイオ)に関する投資は、電力投資に近い規模の29兆5,000億ドルにのぼり、投資額全体のおよそ4割に相当する。その大部分は生産に向けられ、精製、輸送や天然ガスの液化が残り占める。化石燃料関連の投資は現在同様大きなウエイトを占め、過度の化石燃料ダイベストメントはエネルギーの安定供給を脅かすことにつながりかねない。必要となる資源開発のために十分な資金が供給される環境の構築・維持が必要である。

需要側では2050年までに総投資額の19%に相当する15兆1,000億ドルが省エネルギー設備、製品への投資に充てられる。そのうち、運輸部門が8兆4,000億ドル(総投資額の11%)、民生部門が4兆6,000億ドル(同6%)、産業部門が2兆1,000億ドル(同3%)である。

エネルギー関連投資の傾向は、先進国と新興・途上国とで異なったものになる。両者とも年あたりの投資額は増加し続けるが、その伸び率は新興・途上国でより大きい(図5-2)。さらに、この投資額が各年のGDPに占める割合は先進国で1%程度である一方、新興・途上国では2.7%程度に相当し、とりわけ今後十数年間では3%以上を占める。

図5-2 | エネルギー関連投資額[レファレンスシナリオ]



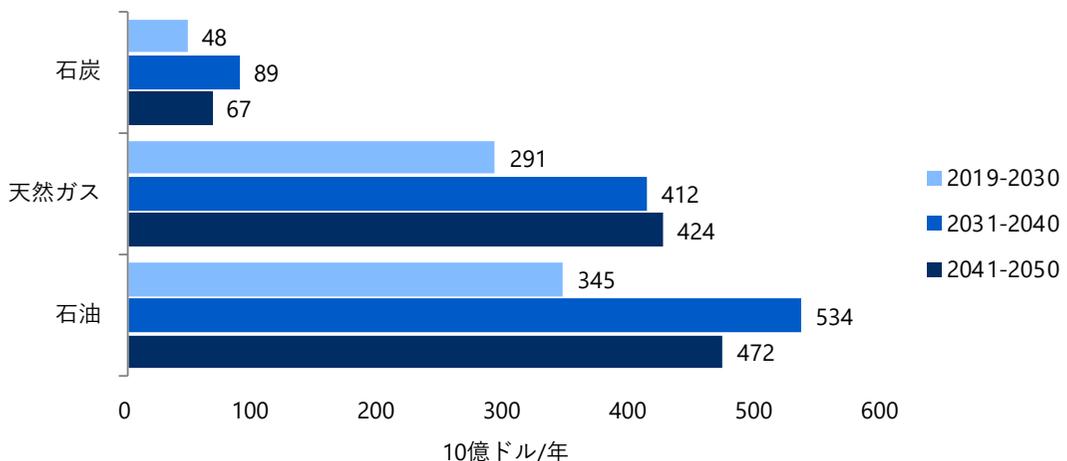
野心的な気候変動対策を講じる先進国においては、原子力や再生可能エネルギーのようなゼロエミッション電源および需要側における省エネルギー投資が主流となる。一方、新興・途上国は、エネルギーインフラ、特に電力インフラが未発展な地域も多く、急速なエネルギー需要拡大に対応するべく、供給側への多額の投資が必要になる。

先進国、新興・途上国の両方において燃料供給への投資は、2030年代にピークを迎える。一方、発電設備への投資は年々拡大を続け、投資の重心が電力関連設備に移行する。同様に需要側の省エネルギー投資は年々拡大を続け、2040年代では総投資額の約25%を占める。

化石燃料投資

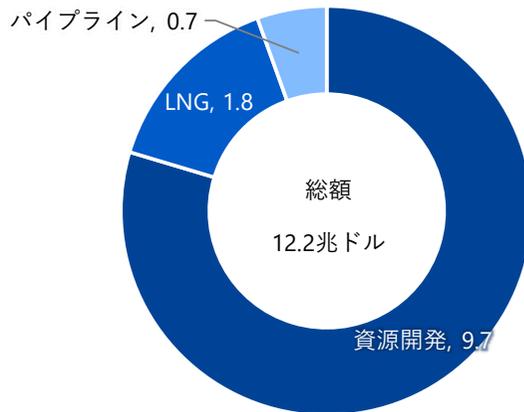
新興国を中心とした石油・天然ガス需要の拡大を背景に、化石燃料投資額は2030年代までは急速に拡大するが、そこからは緩やかに縮小に転じる。しかしながら2040年代でも需要を満たすためには年あたり1兆ドルの投資が必要で、化石燃料への資本投入が安定的なエネルギー供給の大前提であることに変わりはない。燃料別に見ると、石炭の一次消費は2040年過ぎに減少に向かい、それに合わせて投資額も減少に進む(図5-3)。石油の生産量は増加を続けるものの、その増分は逡減してゆくために新規設備の建設は減少してゆく。これに伴い、石油への投資額は2040年代を境に減少に転じる。一方、アジア地域を中心に需要の伸びが著しい天然ガスへの投資額は2050年まで拡大を続ける。

図5-3 | 世界の化石燃料投資額[レファレンスシナリオ]



近年の天然ガス投資拡大トレンドは継続し、生産設備、輸送設備やLNG製造施設の拡張が現在と変わらぬペースで継続する。2050年までの天然ガス関連投資1兆2,000億ドルのうち、およそ8割の9兆7,000億ドルが資源開発にかかる投資である(図5-4)。それに加えて、冷却設備や輸送用タンカーなどを含むLNG関連設備に対し1兆8,000億ドルの投資が必要となる。

図5-4 | 世界の天然ガス関連投資額[レファレンスシナリオ、2019年～2050年]



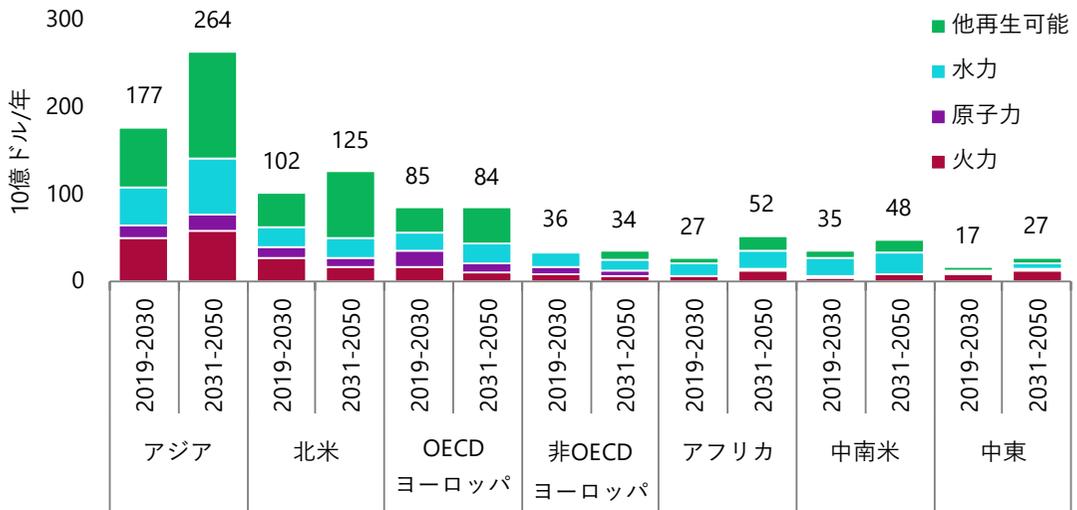
発電設備: 再生可能エネルギー投資が進むも、火力も現在の規模が求められる

発電設備への投資額は拡大を続け、2050年までの累計額は19兆5,000億ドルに達する。2050年時点で最大の電源となる天然ガス火力発電への投資は、先進国、新興・途上国を問わず年々拡大し、現在よりさらに速いペースで設備投資が進む。一方で石炭火力発電への投資は2050年では現在の半分程度となる。とりわけ先進国では、北米での天然ガス火力へのシフト、ヨーロッパに代表される脱・石炭火力政策の影響で大きく減少する。原子力発電の設備容量は年を追うごとに増加するが、2020年代に相次ぐ新設が2030年以降落ち着くこと、技術進歩による設備費用の低減が相まって、投資額はアジアのみで増加、その他地域では横ばいか減少傾向となる。

再生可能発電への投資額は、2050年に向けて大きく拡大する。2040年代には、年あたりで水力に2,000億ドル、太陽光に1,300億ドル、風力に1,200億ドルの投資が必要となる。再生可能エネルギー全体では足元(2019年～2030年)の1.5倍の市場規模となる。

発電設備への投資額には、各地域の特徴が色濃く現れる(図5-5)。欧米においては、投資額が年々減少に向かう傾向にあり、とりわけ火力発電への投資減少が著しい。その一方で、再生可能発電への投資額は2050年まで増加を続ける。このような地域は、電力需要の伸びは緩やかなものの、再生可能発電設備にとっては有力な市場となる。

図5-5 | 主要地域の発電設備投資額[レファレンスシナリオ]



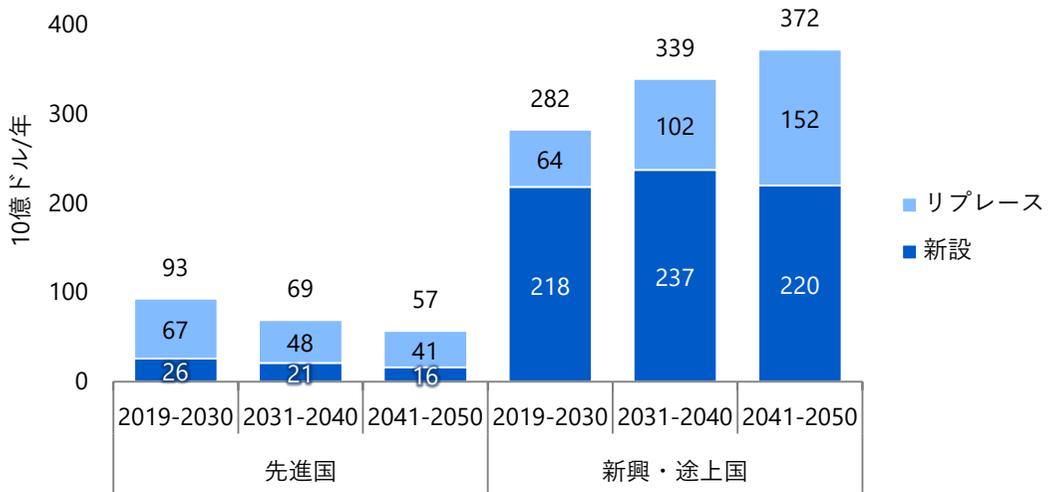
一方、アジア、アフリカ、中東のような新興・途上国を含む地域では、電力需要増に対応するべく発電設備への急速な投資が求められる。これらの地域では、火力発電への投資も盛んに行われ、2050年まで投資額の増加が続く。このような投資に伴う資金調達をいかに円滑に行うか、および火力発電に付随する環境問題にいかに対処すべきかが、重要な課題となる。

送配電設備: 新興・途上国で集中的な投資が必要

送配電設備には、2050年までに累計13兆3,000億ドルを投資する必要がある。これは、発電設備投資額のおよそ4分の3に相当する。急速な電力需要の拡大に対応するには、発電設備と並んで送配電網の整備にも力点が置かれるべきである。

送配電設備投資額の推移は、先進国と新興・途上国とで対照的な様相を示す(図5-6)。需要を満たすのに十分な送配電網が既に整備されている先進国では、送配電設備への投資額は年々減少し、その用途のほとんどは寿命を迎えた設備のリプレースとなる。一方、電力最終消費が年率2%のペースで増加し続ける新興・途上国では、送配電設備への投資額は年を追うごとに拡大し、その大半が増え続ける需要に対応するための新設設備である。送配電設備への累計投資額は、先進国ではエネルギー投資の11%程度である一方、新興・途上国では20%を占める。新興国にとって迅速な送配電網の整備は今後数十年の重要課題であり、その実現のための資金調達さらには円滑な用地確保、対応する法整備なども求められる。

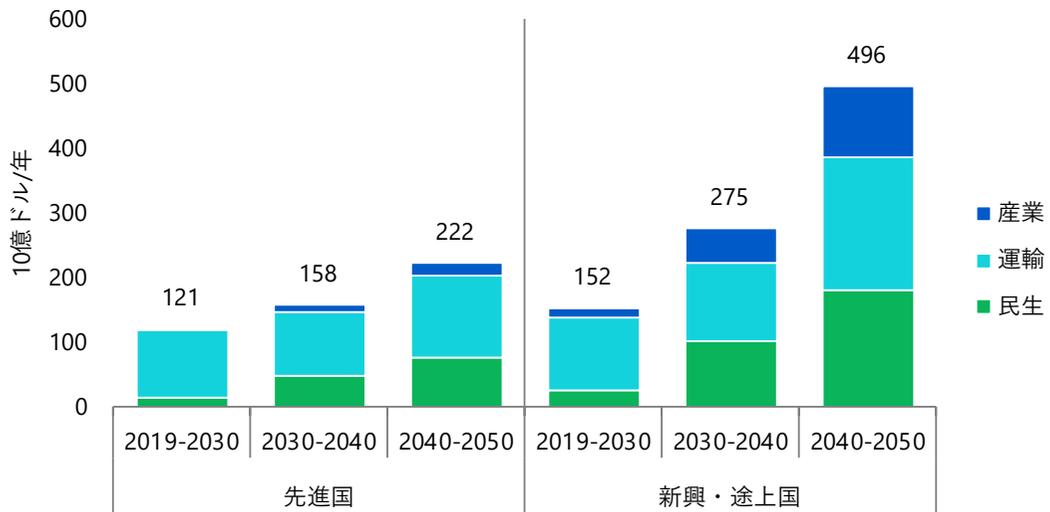
図5-6 | 送配電設備投資額[レファレンスシナリオ]



需要サイドにおける省エネルギー投資

需要サイドにおける省エネルギー投資¹⁶は年々増加し、2050年までの累計で15兆1,000億ドルに達する(図5-7)。

図5-7 | 省エネルギー投資額[レファレンスシナリオ]



¹⁶ 需要家が従来よりも高効率の設備・製品を導入する場合に支払う、従来品との価格差を省エネルギー投資と定義する。技術開発等の投資費用は明示的には含まれていないが、その一定の割合は設備・製品価格に転嫁されるとみなされる。

民生部門では今後32年で4兆7,000億ドルの投資がなされ、その内訳は家庭が2兆9,000億ドル、業務が1兆7,000億ドルである。家庭、業務ともに高性能な機器の普及が進み、省エネルギー投資額は年を追うごとに増加する。民生部門内でも冷暖房、断熱への省エネルギー投資は、家庭における投資額の約5割を、業務部門における投資額の8割以上を占める。この分野の技術進展および費用低減が民生部門における省エネルギーの鍵になる。

道路部門では8兆4,000億ドルの投資が必要で、その大半は乗用車向けである。2050年時点では、世界の乗用車の25%がガソリンハイブリッド車、25%が電気自動車(プラグインハイブリッド車を含む)となり、自動車の低燃費化が大きく進む。加えて従来型の内燃機関車もエンジン性能の向上に伴う燃費改善により省エネルギーが大きく進展し、ストック燃費は2050年時点で足元の1.7倍に改善する。

省エネルギー投資は主に先進国で重点的に取り組まれ、その投資額は2050年まで増加傾向にある。とりわけ、野心的な電気自動車導入目標、燃費目標を掲げるEU諸国では、今後数十年間で道路部門に対する集中的な省エネルギー投資が求められる。

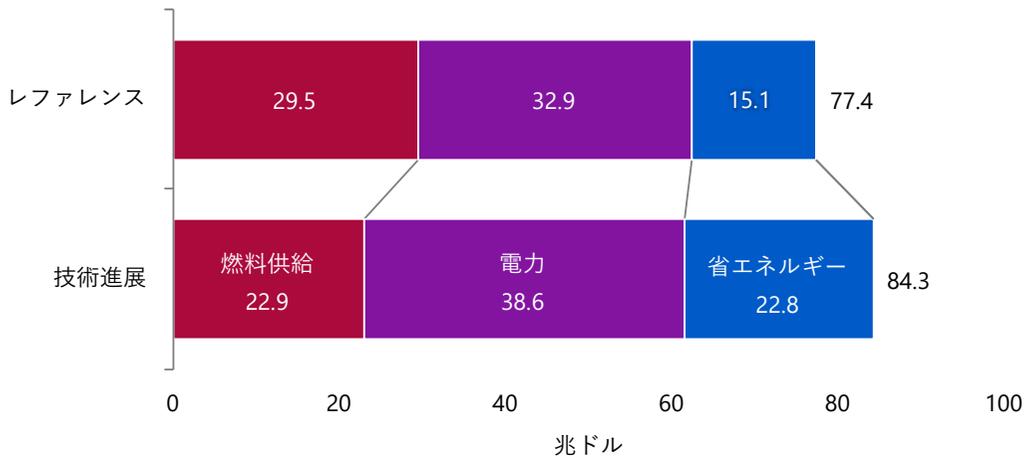
5.3 気候変動問題への対策——投資とその効果

総論: 気候変動対策に必要な投資額

技術進展シナリオにおけるエネルギー起源二酸化炭素(CO₂)の2050年までの累積排出量は、レファレンスシナリオより235 Gt少ない(図5-8)。この追加的な削減を達成するために、レファレンスシナリオに加え6兆7,000億ドルの追加的な投資を行っており、累計投資額は82兆ドルにのぼる。この追加的な投資をCO₂排出削減量で割った、技術進展シナリオを実現するための平均投資額は、\$28.8/tである。

技術進展シナリオにおける化石燃料への累計投資額は、レファレンスシナリオの8割程度である。特に、石炭は投資額がレファレンスシナリオから40%減少し1億4,000万ドルにとどまる。それでも化石燃料全体で見れば、2040年代に必要な投資額は現在のそれと遜色ない規模になる。環境保護を名目とした運動により化石燃料開発投資が足元より縮退することがあれば、エネルギーの安定供給を妨げかねない。金融機関などの投資主体や政策決定者には、3E+Sを踏まえた判断が求められる。

図5-8 | 世界のエネルギー関連投資額[2019年～2050年]

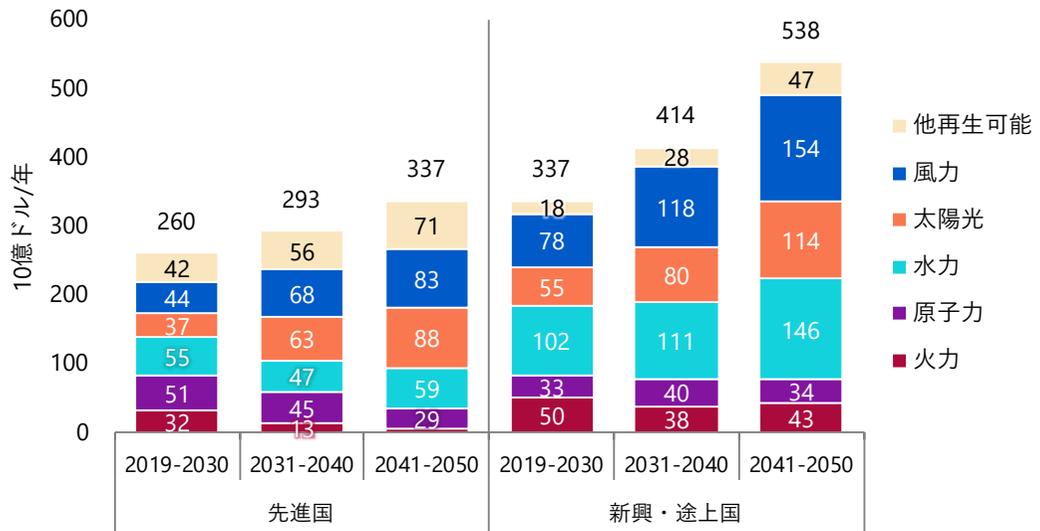


発電設備: 再生可能エネルギー設備が増加することで、発電コストは設備費が上昇

技術進展シナリオでは、2050年の発電量がレファレンスシナリオに比べて3,900 TWh減少する一方で、発電・送配電設備投資額は2050年までの累計で16%多い38兆1,000億ドルにのぼる。電源の中で初期投資費用の比較的高い再生可能エネルギー発電、原子力発電などが、初期投資の安価な火力発電(主に石炭火力)を代替することが原因である。このような電源種の転換は気候変動対策に不可欠であるが、同時に初期費用の増加(と燃料費の大きな低減)は一般に投資回収年数の増加および電力市場における価格形成メカニズムの変化を伴う。事業者が十分な収益を確保することができ、なおかつそれを予見しやすくする制度設計が求められる。

先進国、新興・途上国ともに、再生可能エネルギーへの投資が発電設備投資の大半を占める(図5-9)。その中でも、風力、太陽光への投資が年々拡大傾向にある。火力発電への投資額は、先進国では年々縮小するのに対し、新興国では現在と同様の規模が求められ続ける。ゼロエミッション電源のシェア拡大が重要である一方、火力発電についても可能な限り高効率、低環境負荷の技術が選択されることを前提に、それらに対し着実に投資が行われることが望ましい。また、このような変動性再生可能エネルギーの増加に合わせ、各地域における送配電設備の増強が求められる。技術進展シナリオにおける2050年の電力需要はレファレンスシナリオより約10%少ないにもかかわらず、送配電設備への投資額はレファレンスシナリオとほぼ同額の13兆3,000億ドルになる。これは再生可能エネルギーの地域偏在、出力変動といった性質に対応するため、送電線や配電線、蓄電池の増設が必要になるためである。

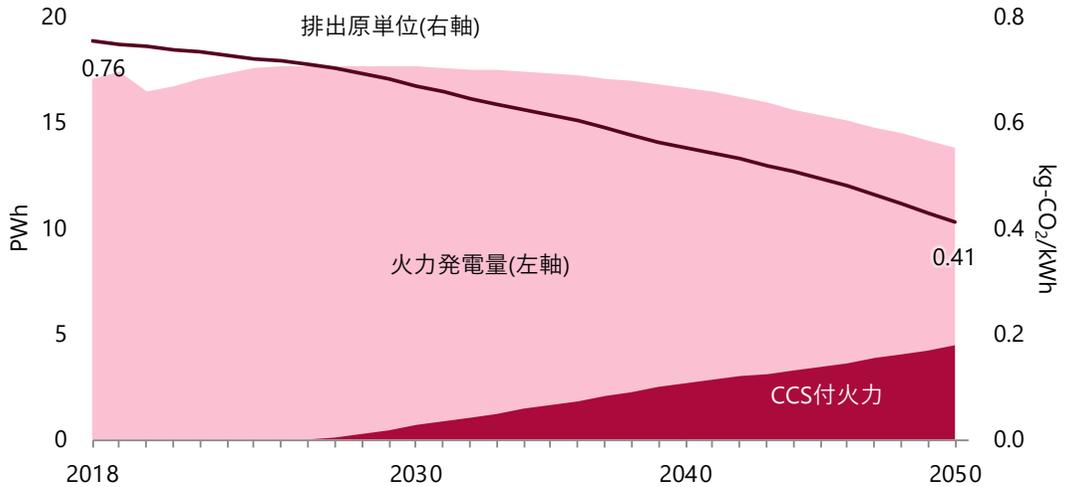
図5-9 | 発電設備投資額[技術進展シナリオ]



再生可能エネルギーや原子力発電の導入には一定の限度がある以上、技術進展シナリオにおいても火力発電の必要性は依然として高く、二酸化炭素回収・貯留(CCS)の導入は発電における有効なCO₂削減オプションとなる。CCS投資の規模は、2019年～2050年累計で2,000億ドル程度となる。プラントにおけるCO₂分離・回収設備投資に加え、CCSに要する電力を補うための追加発電設備、回収したCO₂の輸送設備、注入設備が必要になる。

このCCS投資により、2050年時点の火力発電量のおよそ4割がCCS付設備から発電され、火力発電のCO₂排出原単位は足元より半減する(図5-10)。

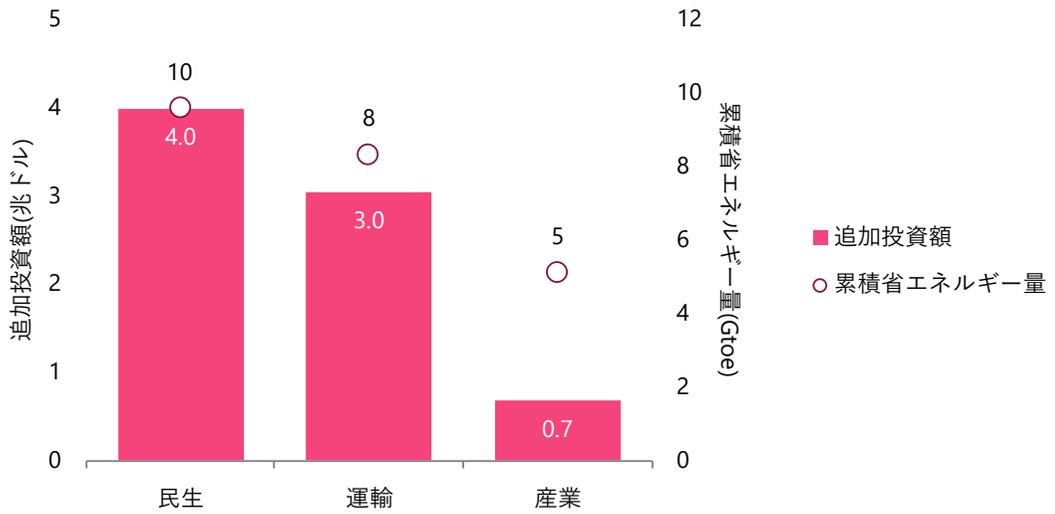
図5-10 | 世界の火力発電量および排出原単位[技術進展シナリオ]



省エネルギー投資: 民生、運輸で比較的高い投資コスト

需要側による省エネルギー投資額は、2050年までの累計で20兆ドルにのぼり、レファレンスシナリオからさらに8兆1,000億ドルが必要である。投資額の増分が最も多いのは民生部門で、4兆1,000億ドルの上乗せとなる(図5-11)。一方で2050年までのエネルギー消費量は、3部門合計でレファレンスシナリオから累計27 Gtoe減少する。1 toeの追加的な省エネルギーに必要な投資額は部門間である程度差があり、民生部門では約\$450/toe、運輸部門で\$400/toe、産業部門では\$150/toe程度である。ただし、民生・運輸部門はエネルギーが相対的に高価であることから、単価の高い省エネルギー投資でも一定の経済合理性を期待できる。

図5-11 | 世界の省エネルギー追加投資と累積省エネルギー量(レファレンスシナリオ比)
[技術進展シナリオ、2019年～2050年]



第II部

エネルギー情勢の変容と変革

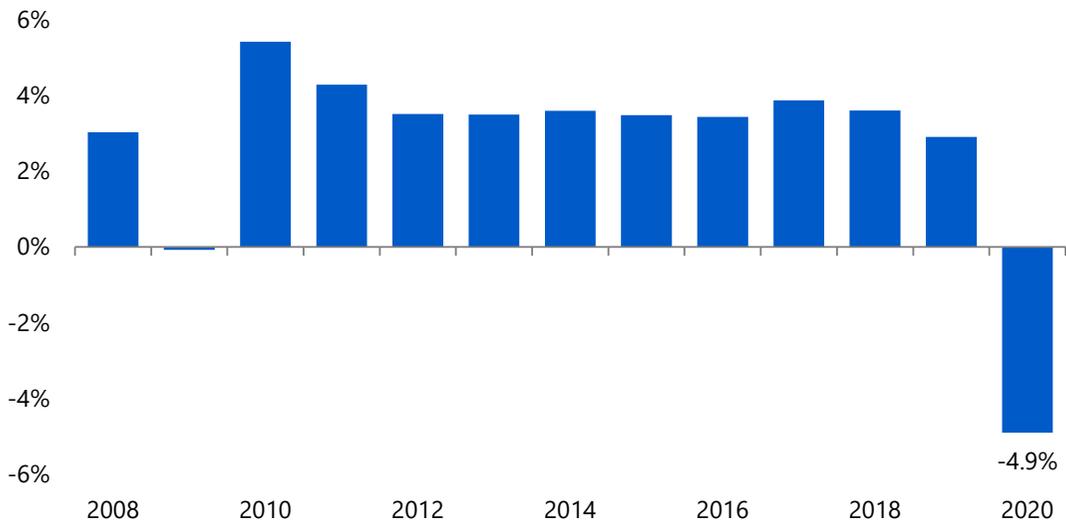
6. ポストコロナ・世界変容シナリオ

6.1 COVID-19の国際エネルギー情勢への影響

2020年初頭から、中国・武漢での感染拡大を端緒として、新型コロナウイルス感染症(COVID-19)が世界に拡散して爆発的に蔓延、パンデミックとして猛威を振るうに至っている。世界全体で、累計3,300万人を超える感染者、同100万人を超える死者が発生(2020年9月29日時点)、いまだにその拡大は続き、現時点では終息の兆しは見えていない。

感染拡大防止のため、人・モノの移動を厳しく制限する「都市封鎖」などの経済・社会活動の抑制手段を講ぜざるを得なくなる国が続出、その結果、経済・産業活動が極度に低迷し、経済成長が大幅に鈍化した。国際通貨基金(IMF)は、2020年6月発表の「世界経済見通し」で、2020年の世界経済は前年比4.9%のマイナス成長となるとの見通しを示した(図6-1)。世界経済はコロナ禍の下で、1920年代終盤からの世界大恐慌以来、最悪の状況にある。

図6-1 | 世界の経済成長率



注: 購買力平価ベース

出所: IMF「世界経済見通し」(2020年4月、2020年6月)

都市封鎖など、人・モノの移動を制限する手段・措置が取られる中、市民生活や社会活動も大きく変化した。感染拡大防止のために、人の物理的な移動や直接対面式の集まりや密集化を避けることが重視され、情報通信・デジタル技術を活用することで、テレワークやWeb会議が世界中で一気に多用されるようになり、急速に普及した。また、国際的な人の移動も制限され、その結果として国際航空需要は激減した。大恐慌以来最悪の経済状況の

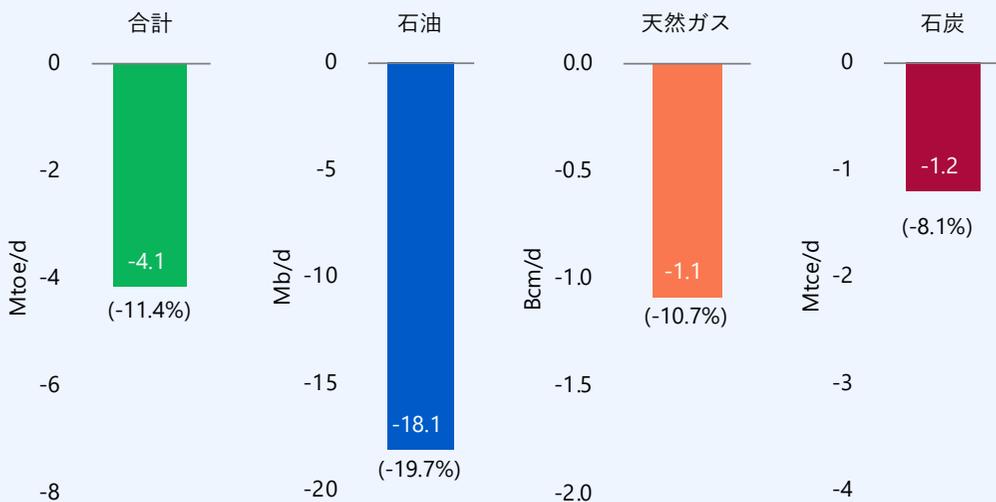
下で、人々の行動や社会・経済活動のあり方が変容したため、世界のエネルギー消費は劇的に減少した。

とりわけ、世界的に移動需要が大幅に減少したため、交通用エネルギー消費とその中心である石油消費が世界で著しい減少を示した。都市封鎖が強力に実施され、経済活動が特に低迷した2020年3月～5月頃の期間を中心に、特にエネルギー消費の減少が大きかったと見られる。都市封鎖が徐々に緩和・解除され、経済活動の再開が各国で進められるようになった5月以降は、世界のエネルギー需要も徐々に回復基調をたどっているが、まだコロナ禍前の水準には戻っていない。エネルギー需要の回復動向もまさに今後のコロナ禍の帰趨次第であり、仮にパンデミックの第2波・第3波が襲来するようなことがあれば、世界経済への影響とともに世界のエネルギー需要の回復に大きな影響を及ぼす。

Box 6-1 | COVID-19によるエネルギー消費への短期的影響

COVID-19が急拡大した2020年3月から4月にかけては、多くの国で人の動きを制限することで感染拡大を防ぐ都市封鎖が実施された。各種報道によれば、4月9日時点で120以上の国がなんらかの外出制限・自粛要請を実施しており、世界人口の半数以上の約41億人が、制限の強度に差異はあるものの、都市封鎖の対象になっていたと見られる。こうした都市封鎖により、世界のエネルギー消費は平時に比べて1日あたり石油換算4.1百万t (Mtoe)、11.4%減少したと推計される。輸送用燃料を中心に影響が最も大きい石油消費は18.1 Mb/dの低下となる(同19.7%減)。特に、強力な都市封鎖が実施され、自動車保有が多い欧米でインパクトが大きかった。

図6-2 | 都市封鎖による世界の一次エネルギー消費への影響



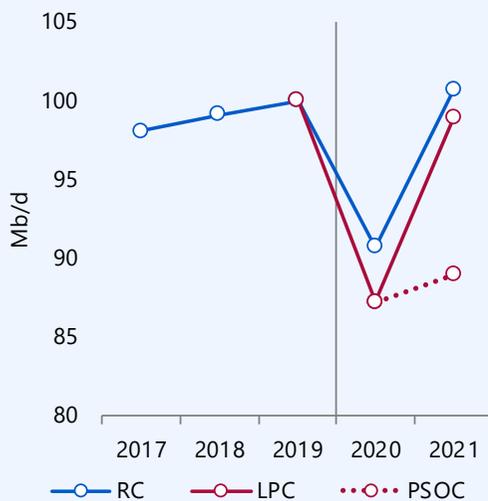
注: 括弧内は平常時(2017年の日平均消費実績)に対する比率。伝統的バイオマス利用は除く。

都市封鎖に加えて、産業活動、国際輸送の低下などにより、2020年の世界石油消費は、前年比9.3 Mb/d減の90.7 Mb/dまで低下する(基準ケース、Reference Case: RC)。特に、都市封鎖が行われた第2四半期は83.0 Mb/d程度と未曾有の減少となるが、その後は徐々に回復に向かう。パンデミックがより長期化するケース(Longer Pandemic Case: LPC)ではさらに消費は低下するが、どちらのケースでも2021年にはウイルス流行以前の水準まで需要は回復する。しかし、2021年にパンデミックの第2波が発生するケース(Pandemic Second Outbreak Case: PSOC)では、石油消費は低迷を続けることになる。

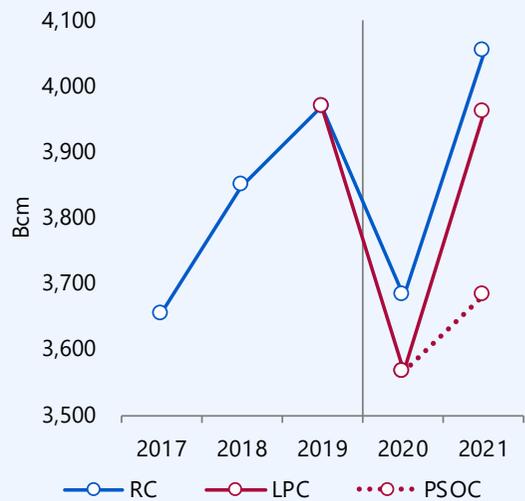
2020年の天然ガス消費は前年比7.2%減の3,682十億m³ (Bcm)、LNG消費は同28 Mt減の325 Mtになる(基準ケース)。石油と同様に2021年にはウイルス流行以前の水準まで需要は回復すると見込まれるが、パンデミックの第2波が発生する場合には、需要停滞が続くことになる。

図6-3 | 世界の石油、天然ガス消費

石油

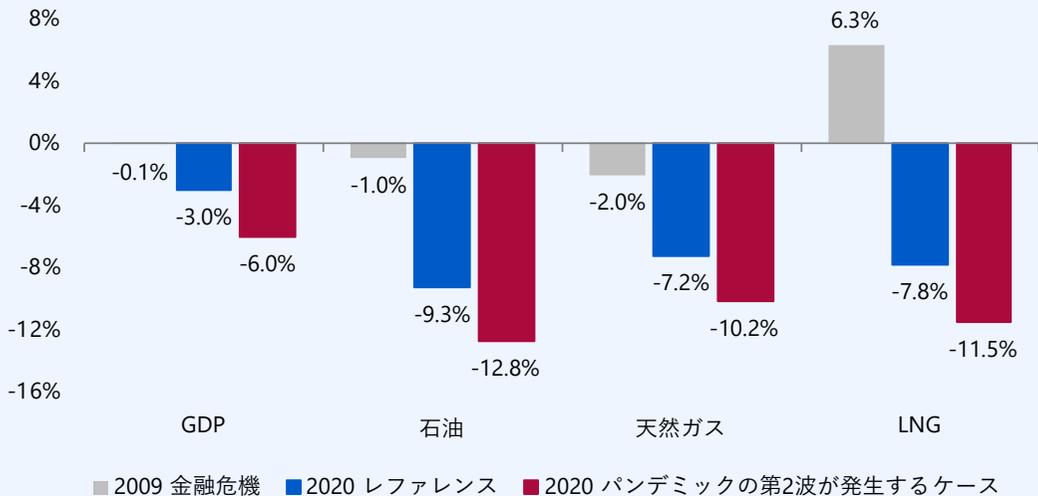


天然ガス



今回のCOVID-19パンデミックによる経済活動、エネルギー需要の落ち込みは、2008年～2009年の金融危機をはるかに凌ぐ規模となる。とりわけ、石油需要への影響は、人の移動制限に伴う輸送用燃料の落ち込みが大半で、単なる経済活動の低迷とは次元が異なる。この未曾有の「需要破壊」は、国際石油・天然ガス・LNG市場における大規模な供給過剰をもたらし、国際エネルギー価格への低下圧力を発生させている。

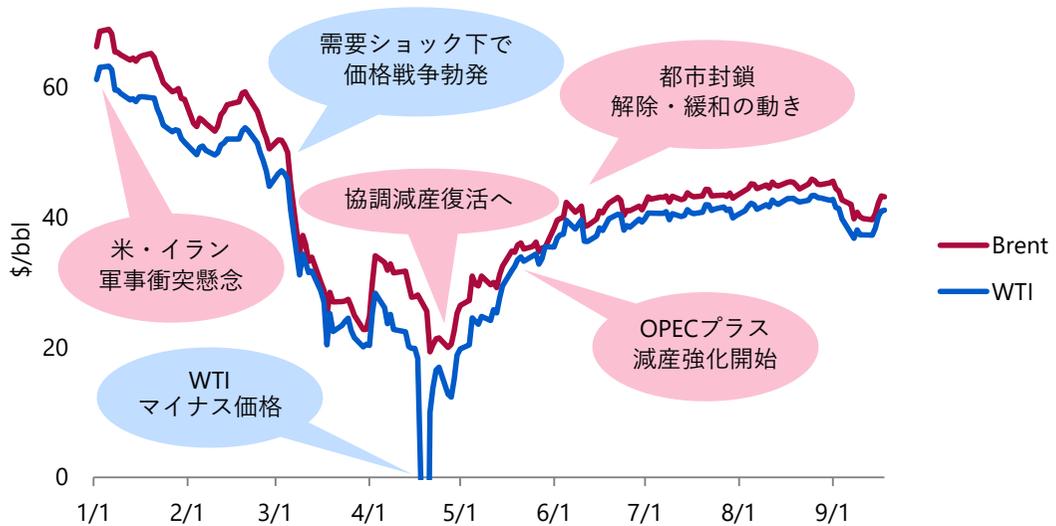
図6-4 | 世界のGDPおよび各エネルギー消費の前年比[2020年]



参考文献: 末広・小山「「都市封鎖」による世界のエネルギー需要への影響に関する一考察」(日本エネルギー経済研究所、2020年4月9日)、小山・末広「大恐慌以来最悪の世界経済下における石油・天然ガス・LNG需要」(日本エネルギー経済研究所、2020年4月17日)、小山・末広「COVID-19パンデミックと2021年の石油・天然ガス・LNG需要見通し」(日本エネルギー経済研究所、2020年5月1日)

世界的なエネルギー消費の大幅減少は、国際エネルギー市場における供給過剰を引き起こした。石油・天然ガス・液化天然ガス(LNG)・石炭・電力市場等では、いずれも需要減少によって需給バランスが供給過剰となり、それぞれの価格が大幅に低下あるいは暴落した。最も象徴的で世界の耳目を引いた例としては、4月に米国産ウエスト・テキサス・インターミディエート(WTI)原油の先物価格が史上初めて「マイナス価格」となったことがある(図6-5)。この原因としては、先物取引の限月交代期における特殊要因・事情があり、買い手を見つけられない原油先物の売り手が代金を払ってでも引き取り手を探さざるを得なくなったという事象が発生した。特殊な要因・事情があったとはいえ、こうした著しい低価格をもたらした基本要因は、コロナ禍の影響による未曾有の規模の需要減少であったといえる。

図6-5 | 原油価格[2020年]



出所: NYMEX等、各種データに基づき作成

エネルギー価格の低下を受けて、国際石油市場では油価下支えのため、石油輸出国機構(OPEC)とロシアなど一部の非OPEC産油国によるOPECプラスグループが、5月から史上最大規模となる9.7 Mb/dの減産を実施した。また、低価格の状況下、生産コストの高い油田の生産は採算割れとなり、経済要因の圧力で供給が減少した。典型的な例は、米国シェールオイルの減産で、2020年の米国の石油生産は前年比で1 Mb/dを大きく超える減産となる。

原油価格をはじめとするエネルギー価格の低下は、国際エネルギー産業・企業の経営に大打撃をもたらした。経営が悪化する中で、各企業はコスト削減を図り合理化を徹底的に追求、その下でエネルギー部門投資を削減せざるを得なくなった。代表的な国際石油企業(IOC)のエネルギー投資は概ね前年比で3割程度の削減となっており、投資削減が将来の供給拡大に負の影響を及ぼし、いずれ需要が回復した時の需給逼迫化をもたらす要因になるのではないかと懸念も高まっている。また、石油収入等に経済運営を依存する産油国では、原油価格低下と需要減少で経済的に甚大な打撃を受けている。産油国の中には、自国におけるCOVID-19拡大に苦しむところも多く、経済的打撃や社会情勢の困難化が産油国情勢の不安定化を招く可能性も指摘されている。

コロナ禍が現在の国際エネルギー情勢に与えている上述の多大な影響に加えて、コロナ禍が国際関係・世界経済・地政学・社会生活等に広範で深い影響を及ぼすことで、世界のあり方が構造的・長期的に変容してゆくのではないかと、それが国際エネルギー情勢にも大きく変化を生み出してゆくのではないかと関心が高まっている。世界経済に未曾有

の負の影響が発生し、国際関係が緊張し、人々の社会・経済生活のあり方が変容したことが、そのまま継続あるいはさらに強化・進展してゆく場合、これまで想定していた世界像・社会像とは異なる未来が生じるのではないかとの問題意識である。そして、その先行きが見通せないからこそ、大きく変わるかもしれない世界に対応するためにどうすべきかという関心が高まっている。すなわち、エネルギーに即していえば、長期的な将来には不確実性が高く正確に将来を見通すことが容易でない一方、国際エネルギー情勢を長期的な視点で捉えることと、それに対応するための国家としてのエネルギー政策や産業・企業としてのエネルギー戦略を立案し、実施してゆくことが極めて重要であるとの問題認識である。

6.2 シナリオの基本的考え方

以下では、上記の問題意識に基づき、ポストコロナの世界のエネルギー情勢に関するシナリオの概略を示し、その将来像をレファレンスシナリオとの対比で定量的に示すことを試みる。そのため、不確実性の高い将来・未来を描くための手法として知られるシナリオプランニング手法に基づくワークショップを実施し、ポストコロナの世界のエネルギー情勢に関するシナリオを作成した。レファレンスシナリオで考えられている世界像といかに大きく変容しうる世界となるかを描いている。そこで、このシナリオを「ポストコロナ・世界変容シナリオ」(Post Corona World Transformation Scenario)¹⁷と称する。また、そのシナリオにおける、世界の2050年の一次エネルギー消費、石油消費、電力消費等や主要国・地域の一次エネルギー構成を定量的に示し、レファレンスシナリオと対比する。

シナリオ設定に関する基本的考え方

ポストコロナ・世界変容シナリオが描く世界は、現在進行中のCOVID-19パンデミックによって引き起こされ、顕在化した政治・経済・社会のあり方の変化が、その後、各国で展開される政策の効果もあり、そのまま維持・強化されてゆく世界像である。これまでの趨勢がそのまま持続してゆくことを想定したレファレンスシナリオの世界とは性格が構造的に異なる。すなわち、ポストコロナ・世界変容シナリオは、世界が従来トレンドで進む結果たどり着く将来像とは異なる将来にコロナ禍の影響で変容する姿を描く。コロナ禍の影響で世界経済が減速し、低下したエネルギー需要がいずれは回復してゆくという意味での、将来変化がそのまま後ろにずれてゆく姿を描いたものではない。

将来のエネルギー情勢を展望するうえでは、パンデミックの影響が今後の気候変動対策に及ぼす影響も将来を変える大きな分岐点となる可能性がある。しかし、ポストコロナ・

¹⁷ 略称、ポストコロナ・シナリオ(Post Corona Scenario)

世界変容シナリオにおいては、パンデミックでも世界的な脱炭素化に向けた動き自体は進んでゆく世界を描いた。換言すれば、コロナ禍の影響で脱炭素化に向けた動きに強力なブレーキがかかる世界とはならない。ただし、コロナ禍で喫緊の課題としての人間の生存・健康・安全などの重要性が見直され、経済復興も極めて重要となっているため、気候変動問題は重要でありつつも、いわば「相対化」されて見られるようになる。

また、後述するとおり、ポストコロナ・世界変容シナリオでは、各国が自国のエネルギー安全保障をより重視するようになる中で、各国は自国の事情に即した脱炭素政策を志向するようになる。例えば、ヨーロッパでは強力な脱炭素化政策推進をコロナ禍からの復興計画の中心と位置付けた取り組みが追求されているが、今後もこの流れが維持される。他方、途上国の中には、脱炭素化に向けた取り組みを、より自分たちのペースで、自分たちなりの手法で進めようとするなど、世界の脱炭素化対策は「まだら模様」のようなかたちで進められてゆく。

6.3 シナリオの特徴: 安全保障の重視

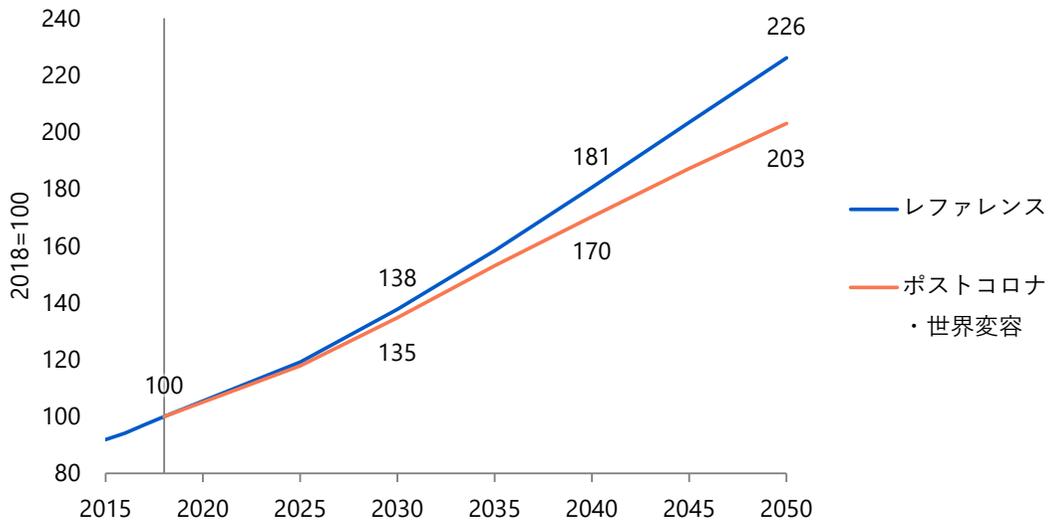
下押し圧力がかかる世界経済

各国政府は、感染対策に対する危機管理体制の強化・拡充を契機として、自国民の安全保障の重要性を再認識し、これまで以上に自国の安全保障を重視する政策志向を強めてゆく。安全保障を重視する姿勢は、すべてを「市場に委ねる」ことで最大の経済効率を追求するやり方よりも安全保障強化のための「コスト」をかけることにつながるが、そうしたコストの発生や負担は社会的に許容される。

昨今の米中間の対立関係の激化も、各国の安全保障意識の高まりに拍車をかける。各国間の政治的な緊張は相対的に高く、地域的な紛争発生の可能性も高まり、地政学的な緊張が高い世界となる。

経済面においてもいわゆる経済安全保障に対する関心が強まる。COVID-19の拡大によって、他国に依存したサプライチェーンや代替が困難な戦略物資の海外依存がもたらす問題点が明らかとなった。各国の産業は、自国政府の後押しや支援もあり、既存の国際分業体制を見直し、自給体制の整備を含むグローバルサプライチェーンの見直しを図るようになる。従来のグローバルサプライチェーンは、いわばコスト効率最大化を追求して整備されてきたものだが、その見直しは相対的にはコスト増や効率性の低下を招くことになる。その結果、世界経済にとってはマイナスの影響が生じることになる(図6-6)。

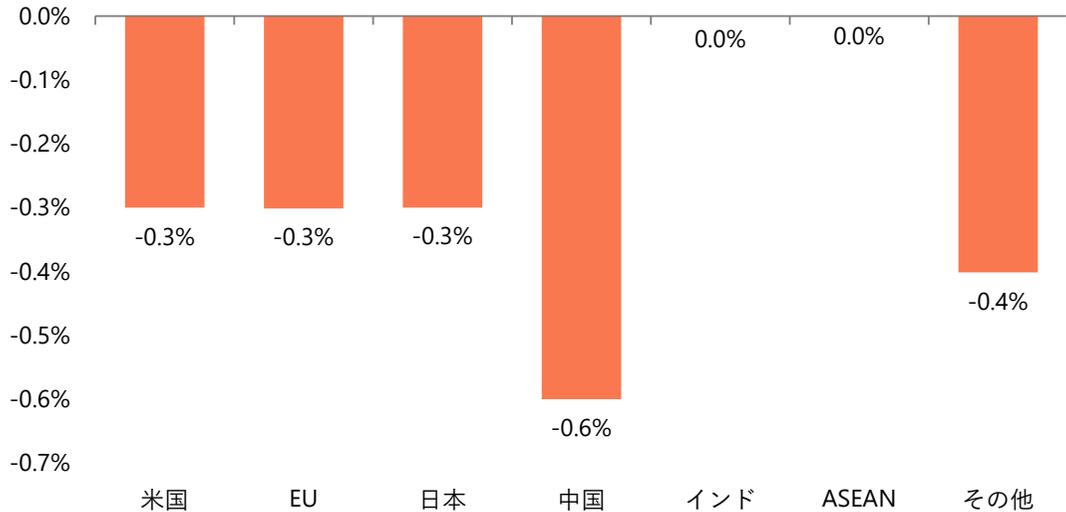
図6-6 | 世界の経済規模[ポストコロナ・世界変容シナリオ]



また、グローバルサプライチェーンの見直しの結果として、自給体制の重視に加えて、安全保障上の同盟的な関係がある国家間や、既に経済面での連携体制が出来上がっている国家間、地理的に近接した国家間、いわゆる「勢力圏」的な国家間関係などの関係が重視されるようになる。また、グローバルサプライチェーンの見直しは、世界経済の地域別の成長パターンに影響を及ぼす。産業・製造業等が移転・流出する国においては成長率が低下し、その移動先・受け皿となるような国・地域においては成長率が上積みされることになる。

2050年に向けて、世界の経済成長率は、経済効率重視の基調が続く「ビジネス・アズ・ユー・ジョア」のレファレンスシナリオよりは、平均的に0.3%ポイント低下する姿となる。また、地域別には、OECD各国・地域は0.3%ポイントの低下となり、中国はグローバルサプライチェーン流出等の影響で0.6%ポイントの低下となる(図6-7)。他方、インド・ASEANはサプライチェーンの受け皿効果等もあって、レファレンスシナリオからの変化なしとなる。世界経済全体としてのマイナス成長は、コスト効率最適化追求の自由貿易体制やグローバルサプライチェーン体制からの乖離がもたらすもので、1920年代後半からの大恐慌後に進んだ世界経済ブロック化等が世界経済にもたらした負の影響と同様の性質を持つ。

図6-7 | 経済成長率の変化(レファレンスシナリオ比) [ポストコロナ・世界変容シナリオ、2018年～2050年]

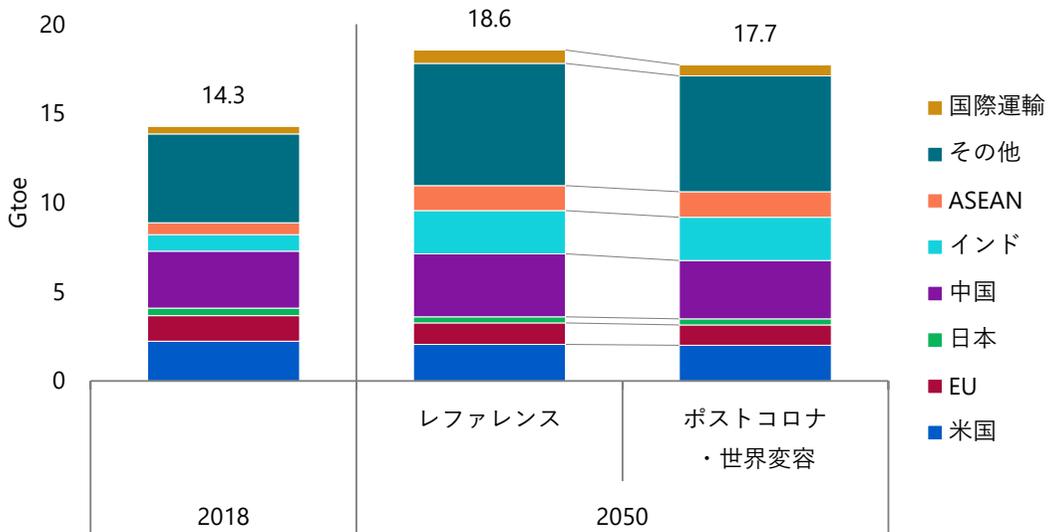


エネルギー消費の低下、安全保障志向の高まり

世界経済の成長率低下を受けて、世界の一次エネルギー消費の増加も鈍化する。世界の一次エネルギー消費は2050年に石油換算17.7十億t (Gtoe)と、レファレンスシナリオ比で4%減となる(図6-8)。また、地域別のエネルギー消費の増減パターンには差異が現れ、米国3%減、日本4%減、EU5%減であるが、中国は7%減と大きい。逆にインドはレファレンスシナリオと同じ、ASEANは2%増となり、これら地域が相対的に今後のエネルギー需要の増加やシェアの面で重要性を高める。

安全保障への全体的な関心が高まる中、エネルギー面においても上述の流れの中でエネルギー安全保障に対する関心が高まり、エネルギー自給率や供給源の多様化等が改めてエネルギー政策における重要な指標の1つとみなされるようになる。このため、各国政府は、国内や域内におけるエネルギー資源の活用や、再生可能エネルギー、原子力、水素などへの関心を強めるようになる。他方、多くを輸入に依存する石油や天然ガスについても、その供給セキュリティ強化を図るための施策が重要になる。

図6-8 | 世界の一次エネルギー消費[ポストコロナ・世界変容シナリオ]



強化される非化石エネルギーと革新的技術開発

先述した理由で地域的には「まだら模様」の進展となる可能性があるものの、脱炭素化への取り組みのモメンタムは維持されている。そのため、自給率向上とともに脱炭素化への貢献という観点でも、再生可能エネルギーおよび原子力には推進の力が作用する。また、地政学的緊張が高い世界において、覇権を巡る競争関係は厳しさを増すが、エネルギー安全保障強化や脱炭素化に貢献する革新的なエネルギー開発を巡る技術開発も重視され、エネルギー面での技術覇権を巡る競争も激しくなる。

その点から、革新的エネルギー開発への取り組みも強化され、個別の技術要素の開発・普及の加速化が図られる。水素については、再生可能エネルギー由来の水素である「グリーン水素」は基本的に国産あるいは地域エネルギーとして利活用される場合が多いため、ポストコロナ・世界変容シナリオでもヨーロッパ等での取り組みが進展する。また、世界的に再生可能エネルギー利用が拡大することもグリーン水素利用への弾みを付けてゆく。一方、化石燃料由来で二酸化炭素回収・貯留(CCS)と組み合わせる「ブルー水素」も、輸入される場合は自給率向上とはならないものの、供給源多様化と脱炭素化への貢献、そして技術覇権の観点から取り組みが進む。また、ブルー水素が中東などの産油国で生産され消費国に輸出される場合には、産油国経済の多様化・高度化・安定化につながることで、国際エネルギー市場の安定化とエネルギー安全保障の維持・強化に貢献することになる。これらの革新的エネルギー開発とサプライチェーンの整備を通して関係国の戦略的協力関係が強化されることも、当該国にとってのエネルギー安全保障にはプラスに働く面が出てくる。グリーン水素、ブルー水素ともに、各国・地域の特徴や事情を反映して、徐々

に導入に向けた動きが進む。なお、水素等、革新エネルギーの導入はその端緒が2050年前後から見られる姿となり、本格的な導入はポストコロナ・世界変容シナリオの見通し期間以降となる。

しかし、これらの上述のさまざまな対応・オプションは、そうでないシナリオにおけるコスト——自然体でのコスト——と比べて状況と比べて高くなる可能性がある。一定のコスト上昇はポストコロナ・世界変容シナリオの基本的考えにあるとお許容されることになるが、それにしてもコスト削減が極めて重要になる。また、その渦中で、地域に応じて最も選択されやすいオプションには差異が現れ、さらなる自給率向上のための省エネ推進とともに、それぞれの国情に応じて再生可能エネルギーや原子力、水素をはじめとする革新エネルギー技術の導入推進が進む。

6.4 シナリオの特徴: デジタル化の進展とその影響

石油需要は2040年頃にピークアウト

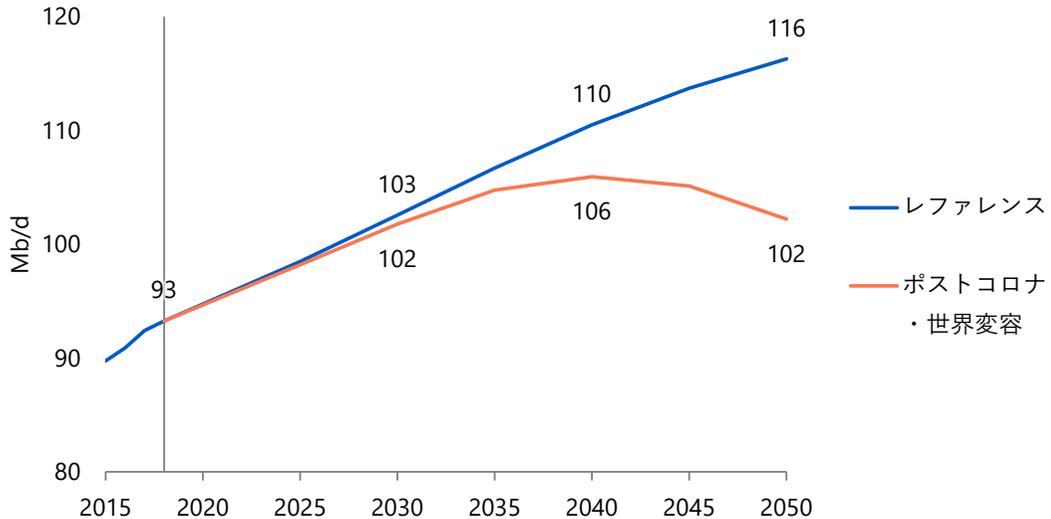
ポストコロナ・世界変容シナリオにおいては、安全保障に対する意識の高まりとあわせて、デジタル化の進展が重要なポイントになる。経済・社会や人々の生活様式等の変容という面において、デジタル化が重要な役割を果たす。コロナ禍の緊急時対応で急速に普及した、テレワークや働き方の変更、コミュニケーションのあり方の変化、物理的な移動需要の抑制を可能にしたのは、情報通信技術やデジタル技術であり、緊急事態下で適応が進んだ社会変化が今後もデジタル・情報通信技術のさらなる進展・普及で社会変容を支えてゆく。エネルギー需給システムにおけるデジタル化とそれによる世界の変容が進展してゆく。

その下で、エネルギー面で顕在化するのが、石油需要ピークである。世界の石油需要は、従来は、今後の自動車の普及・利用拡大や航空需要の拡大、石油化学部門等での需要増に支えられ、長期的にも緩やかな拡大を見込む見通しが主流となってきた。しかし、数年前から、石油を燃料とする内燃機関自動車に代わって、電気自動車や燃料電池自動車などのパワートレインの変化やモビリティの変化の可能性を踏まえ、石油需要がピークを打って減少に転ずるという「需要ピーク論」が関心を集めるようになった。

今回のコロナ禍は、都市封鎖等による移動制限がいかに石油需要を劇的に抑制するかが実証される結果をもたらした。また、人の物理的な移動を抑制する手段として、テレワークやWeb会議等が相応に機能することも実証された。今後のポストコロナの社会変容によって、これらの移動需要が構造的に抑制され、かつ、世界経済が全体的に成長鈍化することでも需要が抑えられるため、石油需要ピークがもたらされることになる。

世界の石油需要は、2040年頃をピークとして2050年には102 Mb/dへと低下する(図6-9)。2050年の石油需要は、レファレンスシナリオに比べて約14 Mb/d低下する。先述のとおり、世界経済の成長率がレファレンスシナリオより0.3%ポイント低いいため、全体としての石油需要が縮小していることに加え、移動需要の大幅減少がこの低下をもたらす。

図6-9 | 世界の石油消費[ポストコロナ・世界変容シナリオ]



世界の石油需要の低下とピークアウトは、国際石油情勢に大きな影響を及ぼす。世界の長期エネルギー見通しにおいては、石油需要が長期的にも拡大してゆくことを前提に、より生産コストの高い石油の供給が必要になるとの考えを踏まえて、原油価格が長期的に上昇傾向を続けるとの見通しになっている。しかし、世界の石油需要がピークアウトすることになればその考えが根本から変わり、原油価格は上昇してゆくモメンタムを失ってゆく可能性がある。

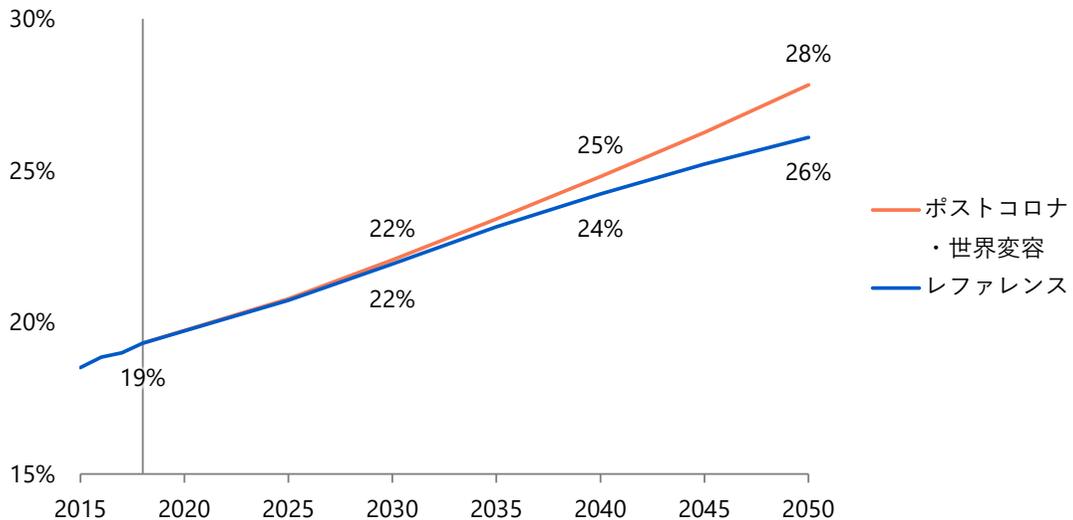
自動車の電動化・ゼロエミッション車の普及によって石油需要ピークが訪れる可能性を分析したIEEJ Outlook 2018では、世界の石油需要ピークによって原油価格は2050年でも\$50/bbl程度にとどまり、その結果として中東の石油輸出額はレファレンスシナリオ比で1兆6,000億ドル(名目GDP比13%)も減少する試算結果が示されている。需要ピークをもたらす原因が異なったとしても、石油需給と原油価格に及ぼす影響は同程度になりうるものと考えられ、中東など主要産油国にとっては極めて厳しい経済的な結果をもたらす可能性がある。その意味では、産油国にとっては、現在取り組みを進めている経済構造の多様化・高度化の努力を持続・強化してゆくことが重要となる。他方で、需要がピークを打つとはいえ、2050年の世界の石油需要は103 Mb/dと現状を上回る。既存油田の減退を考

えると、現在の生産水準を維持するだけでも相当の石油上流部門への投資が必要であり、今後も適切・必要十分な投資確保が石油市場の安定にとっては必須となる。

進む電力化・デジタル化

また、石油需要ピークの問題とともに注目されるのは、電力化の進展である。社会・経済・生活の変容を支える主要因が情報通信技術やデジタル化であること、石油需要がピークを打つことと相まって、電力の重要性が相対的に増してゆく。ポストコロナ・世界変容シナリオでは、世界の電力化率(最終エネルギー消費に占める電力消費の割合)は、2018年の19%から、2050年には28%にまで拡大する(図6-10)。この2050年時点での電力化率はレファレンスシナリオと比較して2%ポイント高く、世界はより電力に依存する姿となる。

図6-10 | 世界の電力化率[ポストコロナ・世界変容シナリオ]



電力が重要になればなるほど、その電力を安定的に、環境に優しく、そして購入しやすい(Affordable)価格で供給してゆくことが重要になる。その意味で、上記3つの課題にバランス良く対応し、同時課題解決が図られるような「最適解」を見出すべく、各国はエネルギー政策を展開することが求められてゆく。その際には、サイバーセキュリティの重要性、自然変動型再生可能エネルギー拡大への適切な対応、電力市場改革の中での必要な電力部門投資の確保など、今後ますます重要性を増す問題への対応が必要となる。これらの課題・問題対応としては、先進的・革新的な電力関連技術をいかに低コストで導入することも重要なポイントになる。

なお、情報通信技術がより重要な役割を果たし、デジタル化が進展してゆく世界においては、その重要性を増す情報通信技術やデジタル化の管理がどのようなかたちで行われる

のかも世界の関心事項となっている。その点では、政府による個人情報の集中的な収集・管理体制の強度、プライバシー保護の重視の度合い等が、今後の注目点となる。デジタル化の進展が、強い国家管理の下で「中央集権」的に進められるのか、プライバシー保護と人々の主体的な対応を重視するようなスタイルで進められるのかは、それぞれの国の体制や産業・社会制度の下で選択が進む。デジタル化が異なるパターンで進展してゆく可能性はある。

異なるパターンでのデジタル化進展の下では、エネルギーに関連したインフラや供給チェーン形成のあり方についても、中央集権的にトップダウンで進む傾向が強まるのか、分散型でボトムアップ的なモメンタム・要素が色濃く出ることなどの特徴・差異が生まれてくる可能性がある。中央集権型の管理が行われてゆく国では、国家主導のトップダウンで大規模なインフラ整備や大型プロジェクトの推進が図られやすくなり、エネルギー転換が国のリードの下で進んでゆくかたちになる。他方、プライバシー保護と人々の主体的な対応が重視される分散型の管理が行われる社会では、ボトムアップで比較企業や市民がさまざまな取り組みを進め、民間・市場の力を活かした形でエネルギー転換が進められてゆく。そうした中で、それぞれの国・地域が、それぞれのエネルギー資源の賦存状況、経済発展状況と所得水準、関連産業・技術の発展状況、政府の支援政策・制度、社会制度や人々のライフスタイルなどにおける違いを踏まえ、それぞれに適したエネルギー選択が行われてゆくことになる。こうして、安全保障への関心の高まりや、脱炭素化への取り組み、そしてエネルギー関連の技術覇権の要素もあり、エネルギー自給率向上、多様化、温室効果ガス(GHG)排出削減等に効果のあるエネルギー選択が、個別の国・地域の事情に基づいて進められる世界となる。

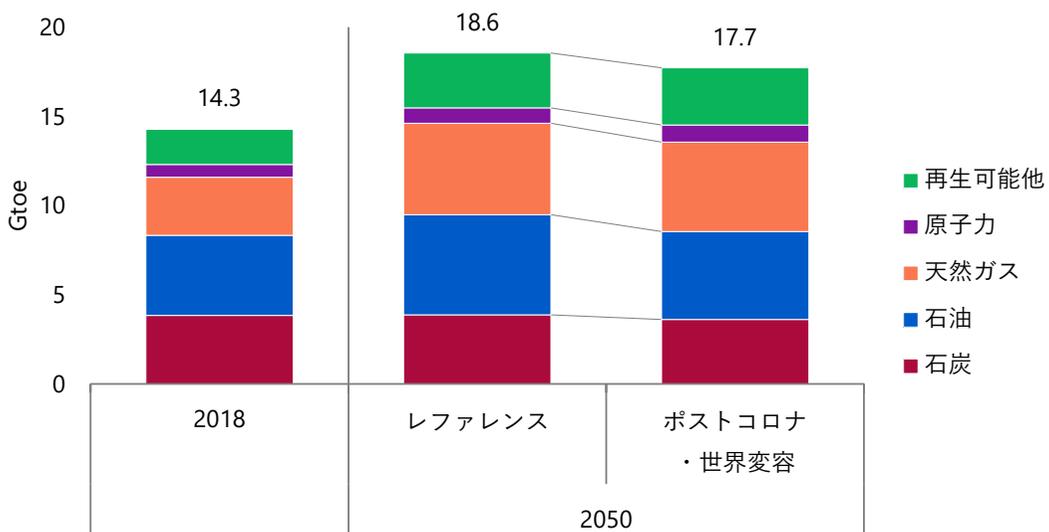
なお、技術覇権を巡る競争に関しては、このデジタル化の主導権を巡る競争もその一部となる。上述した異なるパターンでのデジタル化が進展してゆく場合、どのパターンが今後の世界の中心になり、主導的なポジションになるかも競争上のポイントになる。

6.5 一次エネルギー消費と電源構成

世界経済の成長率がレファレンスシナリオより低めになり、社会変容のため移動需要が減少する中で、エネルギー安全保障強化のための自給率向上・供給源多様化への取り組みが行われる。また、脱炭素化への取り組みは、世界的に地域ごとに差異があるまだら模様での努力が見られる。技術覇権を重視して、先進的・革新的なエネルギー開発・導入への努力も進められる。その結果、エネルギー供給構造はレファレンスシナリオのそれとは差異が生ずる。

世界の一次エネルギー消費は、2018年の14.3 Gtoeから2050年には17.7 Gtoeまで、24%増加する(図6-11)。しかし、レファレンスシナリオの18.6 Gtoeより4%の減少となる。エネルギー別に見ると、特に大きな減少となるのは石油で、2050年における一次エネルギー消費に占めるシェアは28%と、レファレンスシナリオの30%より2%ポイント低下する。天然ガス・石炭もシェアはレファレンスシナリオより低下し、結果として化石燃料全体のシェアはレファレンスシナリオの81%から79%へと低下する。代わって、再生可能エネルギーと原子力はレファレンスシナリオより絶対量でも増加し、そのシェアは各々18%、5%となる(レファレンスシナリオでは、17%、5%)。

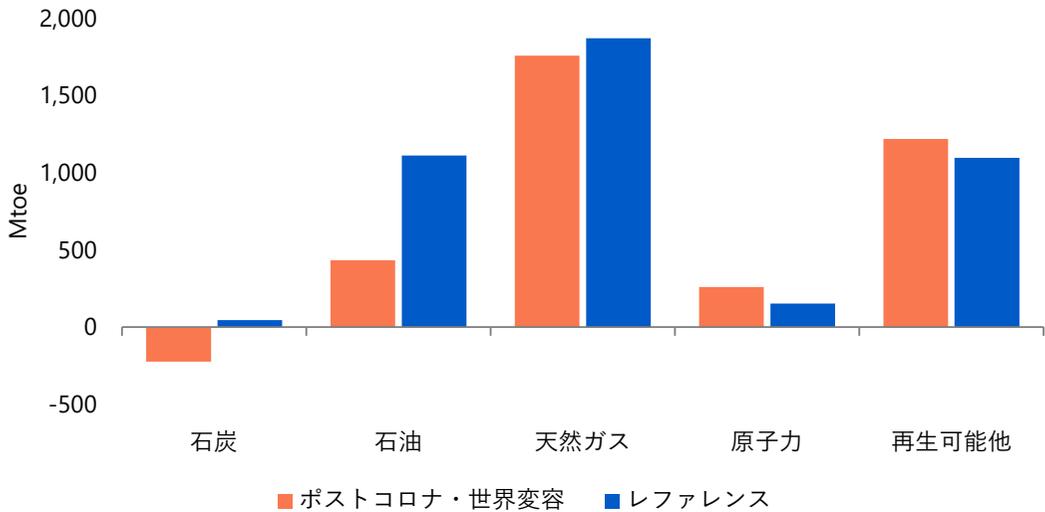
図6-11 | 世界の一次エネルギー消費構成[ポストコロナ・世界変容シナリオ]



2018年からの増加量に関しては、レファレンスシナリオと同様に天然ガスが最大で、次いで再生可能エネルギーとなる(図6-12)。ただし、ポストコロナ・世界変容シナリオでは、天然ガスの拡大はレファレンスシナリオのそれより小さくなるのに対し、再生可能エネルギーはポストコロナ・世界変容シナリオでの拡大の方がレファレンスシナリオより大きくなる。また、石油については、前述のとおり需要ピークとなるため、レファレンスシナリオでの増加に比べて大幅に低下する。

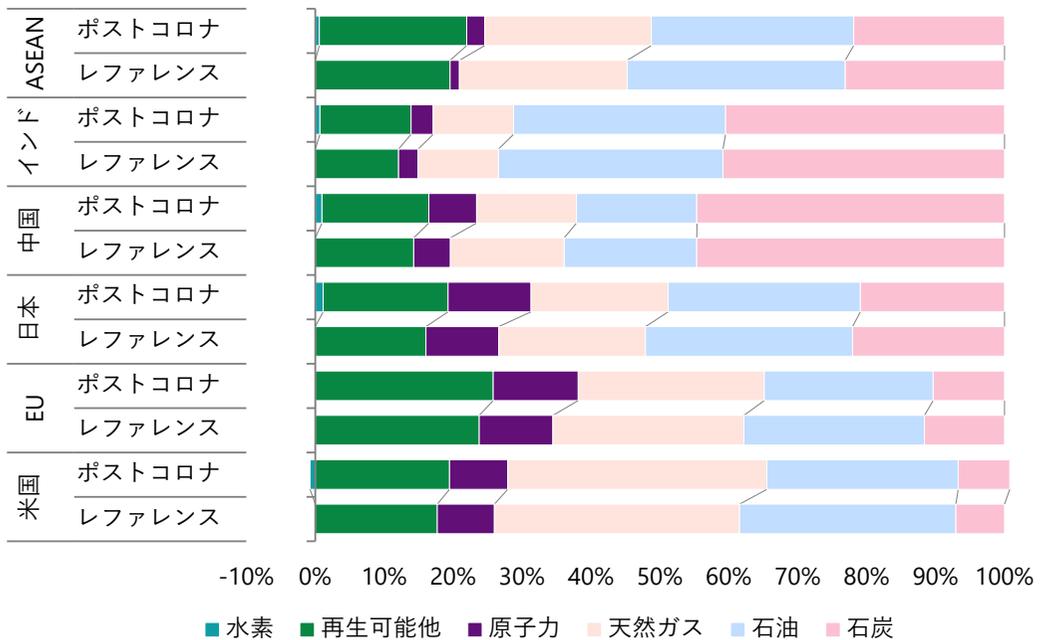
再生可能エネルギーと原子力がレファレンスシナリオ比で拡大するため非化石エネルギーのシェアは拡大するが、ポストコロナ・世界変容シナリオでも化石燃料がエネルギーの大宗であることは変わらない。その意味では、化石燃料の安定供給は、エネルギー安全保障を重視するポストコロナ・世界変容シナリオでも重要なポイントになる。

図6-12 | 世界の一次エネルギー消費増減[2018年～2050年]



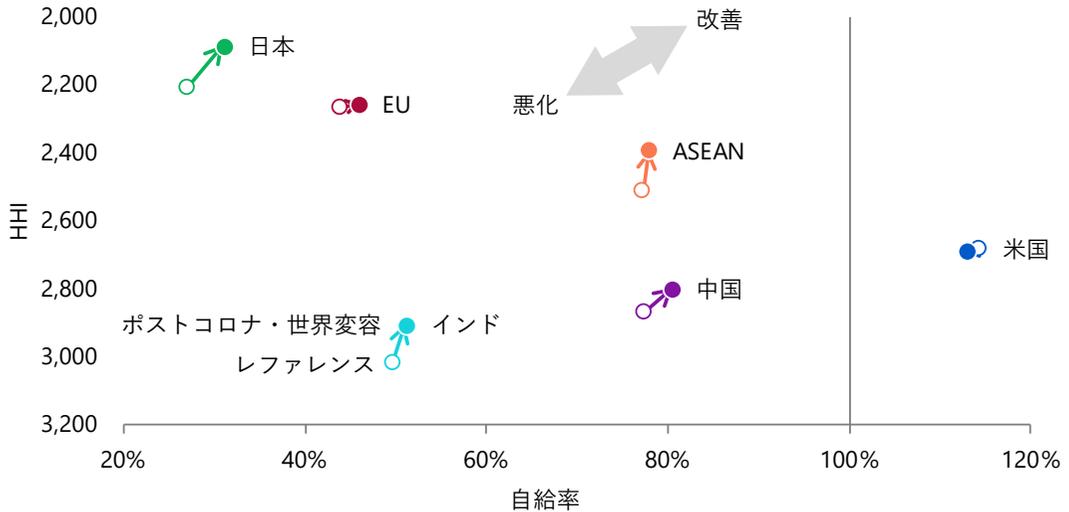
非化石エネルギーの拡大は、世界の主要地域のどこにおいても当てはまる。2050年の主要地域の一次エネルギー消費構成は、それぞれのエネルギー賦存や技術導入状況等の条件で差異があるが、いずれも非化石エネルギーのシェアがレファレンスシナリオより拡大する(図6-13)。

図6-13 | 主要国・地域の一次エネルギー消費構成[2050年]



非化石エネルギーの拡大で、自給率が向上するとともに、エネルギー消費構成の多様化も進む。多様化の状況を示すハーフィンダール・ハーシュマン指数(Herfindahl-Hirschman Index, HHI)¹⁸と自給率は、ほぼ横ばいで推移する米国を除くと、各地域ともいずれもポストコロナ・世界変容シナリオでの数値がレファレンスシナリオでの数値より改善し、エネルギー安全保障強化の傾向が読み取れる(図6-14)。

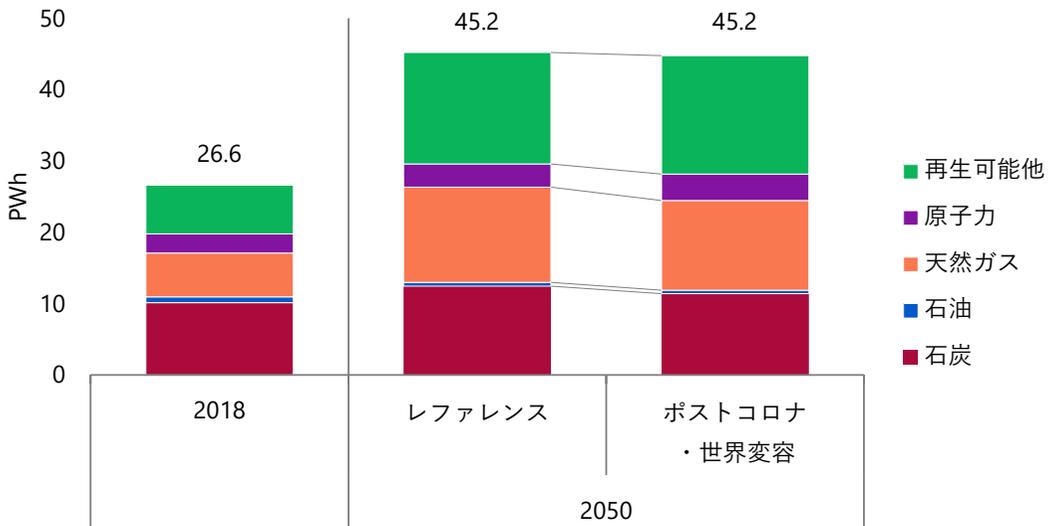
図6-14 | 自給率と一次エネルギー消費構成のHHI [2050年]



また、電源構成でも同様の傾向が見て取れる(図6-15)。世界の電力消費は2018年の26.6千兆ワット時(PWh)、26.6 PWhから2050年には45.2 PWhへ急増するが、レファレンスシナリオでは化石電源が供給の中心であるのに対し、ポストコロナ・世界変容シナリオでは再生可能エネルギー、原子力等の非化石電源が供給の過半を占めるに至る。

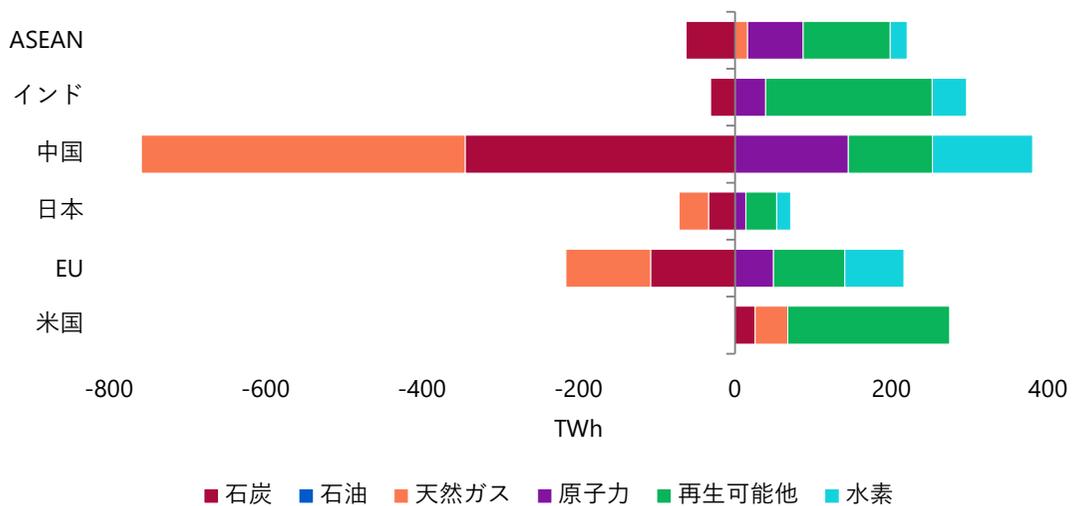
¹⁸ 各構成要素のシェアの2乗和

図6-15 | 世界の発電構成[ポストコロナ・世界変容シナリオ]



また、水素発電も2050年には導入が進展し始める(図6-16)。電源構成における非化石電源のシェア拡大と水素の導入開始で、電源全体の低炭素化が進む姿となる。

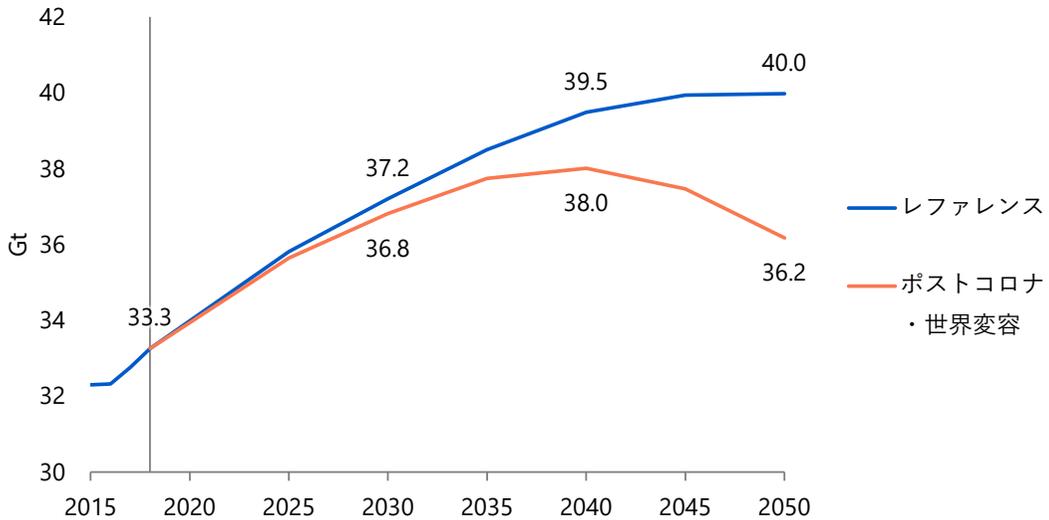
図6-16 | 世界の発電量変化(レファレンスシナリオ比) [ポストコロナ・世界変容シナリオ、2050年]



世界経済の低成長化と移動需要の抑制等によって、エネルギー消費が全体的に低下することに加え、再生可能エネルギー、原子力等の推進が加速されることもあって、世界のエネルギー起源二酸化炭素(CO₂)排出量は、レファレンスシナリオより少なめとなる。図6-17にあるとおり、世界のエネルギー起源CO₂排出量は、2018年の33.3 Gtから、レファレンス

シナリオでは2050年に40.0 Gtまで増加する。他方、ポストコロナ・世界変容シナリオでの2050年の同排出量は36.2 Gtと、レファレンスシナリオ比で、3.8 Gt (10%)低下する。

図6-17 | 世界のエネルギー起源CO₂排出量[ポストコロナ・世界変容シナリオ]



6.6 インプリケーション

COVID-19パンデミックによって、世界のエネルギー市場は需要蒸発による供給過剰の発生とそれに伴うエネルギー価格の低下に直面することとなった。次の段階として、低価格そのものが市場において需要・供給面での「反応」(需要喚起や供給削減など)を引き起こしてきたこともあり、今後の国際エネルギー市場の需給バランス・価格がこれからどのように動いてゆくかが世界の関心事になっている。

同時に、パンデミックがもたらす可能性のある国際エネルギー市場の構造的・長期的変化にも関心の目が向けられている。ポストコロナ・世界変容シナリオではパンデミックがもたらした国際政治・世界経済・社会・暮らしにおける変化が維持・強化される中で、世界が変容してゆく将来像をシナリオ手法を基に描き、それをレファレンスシナリオとの対比で定量的に示した。

世界が経済効率性の最大化(コスト最小化)を追求したシステムから安全保障を意識したシステムへと変容してゆく場合、経済効率最適化から乖離することで経済成長率が低下する可能性がある。それは、次にエネルギー需要増加の低下ももたらすことになる。また、安全保障重視の流れの中でグローバルサプライチェーンの見直しが起きると、今後の経済成長の増減パターンが地域ごとに、従来想定してきたものから変化してゆく可能性が

ある。それは、当然のことながら、地域別のエネルギー需要増加のパターンに変化をもたらす。今後、世界のエネルギー需要の重心がアジアにシフトしてゆくことは必至だが、そのアジアの中でも市場成長のパイがどこでどれだけ大きくなるかが変わってくる可能性があり、その先行きには世界のエネルギー関係者が注目することになる。

石油需要ピークの発生は、国際石油市場における新たな課題をもたらす可能性がある。需要ピークが原油価格低迷を引き起こす場合には、産油国経済の安定とそのための産油国経済多様化・高度化への取り組みが重要性を増すことにつながる。他方で、ピークといっても現状並みの石油需要水準が維持される場合には、その需要を賄うための適切な投資確保が重要である。

情報通信技術やデジタル化がますます重要性を増す中、世界は電力化が加速し、その電力を安定的に、環境に優しく、購入しやすい(Affordable)価格で供給することがますます求められてゆく。そのための政策的な取り組み・支援やエネルギー産業の努力と投資、そして先進的・革新的な技術開発と普及が求められることとなる。

エネルギー安全保障強化と脱炭素化への取り組み、そしてそれらを可能にするための先進的・革新的な技術の開発を巡る競争が、非化石エネルギーや水素などの推進をもたらす。その推進によってこれらのエネルギー源がエネルギーミックスの中での重要性を高めてゆくことになるが、同時に2050年までの時点で化石燃料も大きなシェアを占め続け、化石燃料の安定供給確保とクリーンで環境に優しい化石燃料の利用を推進することも重要であり続ける。

ポストコロナ・世界変容シナリオは、パンデミックがもたらした変化をきっかけに、世界が変容してゆく姿を捉えようとしたものである。現実の世界では、その変容が本当に生ずるのか、どの程度の規模で生ずるのか、予断をもって望むことはできない。大きな変化の可能性を常に意識して、その変化に柔軟に対応できるようなエネルギー政策・戦略の立案が求められる。

7. 炭素循環経済/4Rシナリオ

7.1 炭素循環型経済

概念と重要性

今後、温室効果ガスの野心的な排出削減を進めてゆく上では、多様な排出削減技術の開発と導入がますます重要になってくる。従来、そうした排出削減技術としては省エネルギーや再生可能エネルギー、原子力分野の技術が関心を集めてきたが、今後、排出削減のいっそうの積み増しを行う上では、利用可能な排出削減技術のあらゆるオプションを最大限活用するという包括的なアプローチが必要である。その中では化石燃料を脱炭素化して利用する技術の開発・導入も欠かせない。

エネルギー分野における先端技術の導入が進む技術進展シナリオであっても、世界は2050年時点で7割近くのエネルギー需要を化石燃料に依存する。世界が長期にわたり多くのエネルギー需要を化石燃料に依存せざるを得ない以上、この化石燃料をいかにクリーンに利用してゆくかということは、今後の排出削減を進めてゆく上では中長期的な観点から取り組むべき大きな課題である。特に、エネルギー需要が大きく増加するアジアにおいては、安定的に再生可能エネルギーを確保することが比較的困難な国も存在する。省エネルギーや再生可能エネルギーの導入を進めつつ、化石燃料をできるだけ脱炭素化して利用する方策についても同時並行的に検討・実施してゆかなければ、野心的な排出削減目標の実現は難しい。

こうした化石燃料の脱炭素化の必要性への関心は、現在、世界的にも多くの国々に共有されつつある。2020年にサウジアラビアをホスト国として開催されるG20サミットにおいては、化石燃料を持続可能な形で利用しながら気候変動対策に取り組んでゆく概念として「炭素循環経済」(Circular Carbon Economy: CCE)の重要性が提唱される見通しである。この炭素循環経済とは、大気中に存在する二酸化炭素(CO₂)を循環構造に見立てて、全体を俯瞰する包括的な観点から削減を進めてゆく考え方である。炭素循環経済は従来の循環型経済(Circular Economy)の考え方を発展させた概念である。「Reduce」、「Reuse」、「Recycle」の3つの「R」を通じて資源の利用や廃棄物の発生を抑制する循環型経済の考え方に対し、炭素循環経済はこれらの3つのRに「Remove」を加えた4つのRを通じて大気中のCO₂の総量を抑制するという概念となる¹⁹。

¹⁹ 炭素循環経済の概念の大元となった、大気中の炭素を循環構造に見立てる発想や炭素を利用可能な資源とみなす考え方は、米国の建築家であるMcDonough氏によって提唱された。詳しくは、William

4R技術

これらの4つのRについては、具体的にはそれぞれ以下のような対応策がとられる。これらの4R対応策は、それぞれが単独の対応策として用いられるものもあれば、他の対応策と併用されるものもある。

1つ目のRが削減(Reduce)である。これは、エネルギー利用の場面における化石燃料の使用量そのものを削減することで、大気中に排出されるCO₂の削減を図るものである。従来の再生可能エネルギーや原子力による化石燃料の代替、省エネルギーの推進といった対応策はこのReduceに含まれる。化石燃料利用の脱炭素化という観点から重要となるのが、二酸化炭素回収・貯留(CCS)を活用した化石燃料を原料として製造する水素——いわゆるブルー水素——の利用である。このブルー水素は、発電や運輸、産業など多くの部門で化石燃料を代替することでCO₂の排出削減に貢献する。

2つ目のRが再利用(Reuse)である。これはReduceによって化石燃料起源のCO₂排出削減を進めるものの、それでも残る化石燃料の利用によって大気中に排出されるCO₂を回収し、そのままCO₂として別の用途に用いることで排出削減につなげるというものである。具体的な技術としては、CO₂を回収しそれを油田の増進回収技術に用いる増進回収法(Enhanced Oil Recovery)や、回収したCO₂を集中的に利用することで食物や藻類系のバイオ燃料の増産につなげるという利用技術などがある。

3つ目のRが再循環(Recycle)である。これは、Reuse同様、排出されたCO₂を回収して別の用途に用いるものであるが、回収したCO₂に化学変化を加えて他の物質に転換した上で別の用途に用いるという点がReuseとは異なる。代表的なRecycleの対応策としては、回収したCO₂を特殊な混和剤を利用することでコンクリートに吸収させる技術や、回収したCO₂を水素と合成させてメタン化して天然ガス代替として用いる技術、同じく回収したCO₂を水素と合成させて液体燃料を生産する技術、メタノールなどに転換した上で石油化学製品の原料として活用する技術などがある。

最後の4つ目のRが除去(Remove)である。ReduceからRecycleに至る対応策でも削減できないCO₂を直接回収し、取り除く技術である。火力発電所などの排出源からCO₂を回収して地中に埋め込むCCS技術や、大気中から直接CO₂を回収する二酸化炭素直接吸収(Direct

McDonough, "Carbon Is Not the Enemy," *Nature News* 539 (2016): 349-351を参照。またこの考え方を元に炭素循環経済の概念を構築したものとして、Eric Williams, "Achieving Climate Goals by Closing the Loop in a Circular Carbon Economy," *Instant Insight* KS-2019-III10 (2019): 1-12、Ahmad O. Al Khowaiter and Yasser M. Mufti, "An Alternative Energy Transition Pathway Enabled by the Oil and Gas Industry," *Oxford Energy Forum* Issue 121 (2020): 14-19などがある。

Air Capture: DAC)技術などが含まれる。これらの4R対応策に用いられる代表的な技術を表7-1にまとめる。

表7-1 | 炭素循環経済における主な「4R技術」

	概要	主な技術
削減(Reduce)	化石燃料の使用量そのものを削減することで大気中に排出されるCO ₂ の量を削減する。	省エネルギーの推進 再生可能エネルギーの導入促進 原子力の導入促進 先進超々臨界圧石炭火力発電の活用 燃料電池車の導入促進 水素発電 アンモニアの発電用燃料や船舶用燃料としての利用 石炭灰等の混和材を用いたセメント生産量削減 水素を用いた還元製鉄プロセス 石炭灰などの混和材を用いたセメント生産量の削減 水素を用いた還元製鉄プロセス
再利用(Reuse)	大気中から回収したCO ₂ を化学変化を加えない形で別の用途に利用する。	回収したCO ₂ を用いた油田の増進回収法(Enhanced Oil Recovery: EOR) 回収したCO ₂ を活用し CO ₂ 濃度を高めたグリーンハウスにおける農産物栽培 回収したCO ₂ を活用した藻類系バイオ燃料原料の増産 葦を原料としたジェット燃料の生産
再循環(Recycle)	大気中から回収したCO ₂ を化学変化を加えた形で別の用途に利用する。	回収したCO ₂ をコンクリートに吸着させる技術 回収したCO ₂ を炭酸塩として固定 回収したCO ₂ と水素を原料とした合成液体燃料の生産 回収したCO ₂ と水素を原料とした合成メタンの生産 回収したCO ₂ と水素を原料とした化学原料の生産
除去(Remove)	大気中のCO ₂ を回収して除去する。	二酸化炭素回収・貯留(CCS) 二酸化炭素直接吸収(Direct Air Capture: DAC)によるCO ₂ の回収

出所: Mansouri, N. Y. *et al.* (2020) "A Carbon Management System of Innovation: Towards a Circular Carbon Economy"を基に作成

炭素循環経済の概念は、現在主流となっている気候変動対策に向けた考え方に比べて、2つの新しい視点を提示している。1つは、排出削減を進める上で、利用可能なエネルギー、対応策や技術はすべて活用するという、全体論的なアプローチを提唱している点である。炭素循環経済の概念は、再生可能エネルギーのような排出0のエネルギー源のみに100%依存した排出削減策を講じるのではなく、化石燃料の脱炭素化による排出削減策もあわせて並行的に追求すべきとの発想に基づく。全体論的なアプローチをとることで、仮に再生可能エネルギーの導入が当初の想定よりも進まなかった場合でも、補完的な化石燃料の脱炭素化策により実効的な排出削減の積み増しが可能となる。炭素循環経済の考え方は、今後のエネルギーミックスの脱炭素化を図る上で、再生可能エネルギーをはじめとするいわゆるグリーン技術に加えて、もう1つの追加的・補完的なオプションを提示しているという点で、排出削減目標の達成に向けたより包括的な対応策の体系を示している。

もう1つは、排出削減を進める上で、CO₂を資源とみなし「再利用」や「再循環」する対応策を強調している点である。従来、排出削減の議論においては、省エネルギーや再生可能エネルギーを最大限導入し、それでも削減しきれない分はCCSによって地中に貯留するという発想が主流であった。上述のとおり、これらの技術も4R技術の中核をなすものであるが、それ以外の第三、第四の道として、排出されたCO₂を資源として回収して別の用途に再利用してゆくという対応策も、排出削減を図る上での主要な対応策の1つとなりうる。この視点が、炭素循環経済の概念のもう1つの新しい点である。実際には、後述するとおり、4Rの技術の中でもこうした再利用や再循環によって削減されるCO₂量には限りがある。しかし、今後のさらなる排出削減を実現する上では、あらゆる利用可能な技術を最大限動員すべきであり、社会におけるCO₂排出を1つの循環構造と捉え、再利用や再循環によって削減が可能な部分については積極的にこれを追求するという発想も必要である。こうした炭素循環経済の考え方は、今後も世界が一定程度のエネルギー供給を化石燃料に依存せざるを得ない以上、より広い視野に基づいた排出削減策を提唱している。

なお、こうした4R対応に要する技術の多く——特にReuseやRecycleに関する技術——はまだ開発段階で実際の導入には時間がかかると思われがちであるが、そうした見方は必ずしも正しくない。上記の技術の中には既に実用化されているものもあれば、実用化に近い段階のものもある。例えば、CO₂を吸収するコンクリートについては、既に鹿島建設や中国電力、電気化学工業が共同開発した「CO₂-SUICOM」という技術が実用化され、この技術を用いて生産されたコンクリートが中国電力福山発電所において舗装ブロックやフェンスの基礎などに用いられている。またブルー水素を用いるアンモニアについても、2020年に、サウジアラビアで生産したアンモニアが日本に輸入され、石炭火力発電所で石

炭との混焼燃料として利用する実証実験が行われる見通しである。こうした実用化に近い技術の存在は、今後の炭素循環経済を実現させてゆく上で大きな推進材料となる。

7.2 炭素循環経済/4Rシナリオの概要

炭素循環経済を実現するための技術としては多様なものが想定されている。それぞれの技術の全体に対する削減インパクトや技術開発の段階などを踏まえ、2050年時点において、そのうちいくつかの代表的な技術が最大限導入されると想定した「炭素循環経済/4Rシナリオ」を設け、世界のCO₂排出量やエネルギー需給を試算する。ここで想定する技術と前提は表7-2のとおりである。なお、それ以外の前提は技術進展シナリオに準じる。

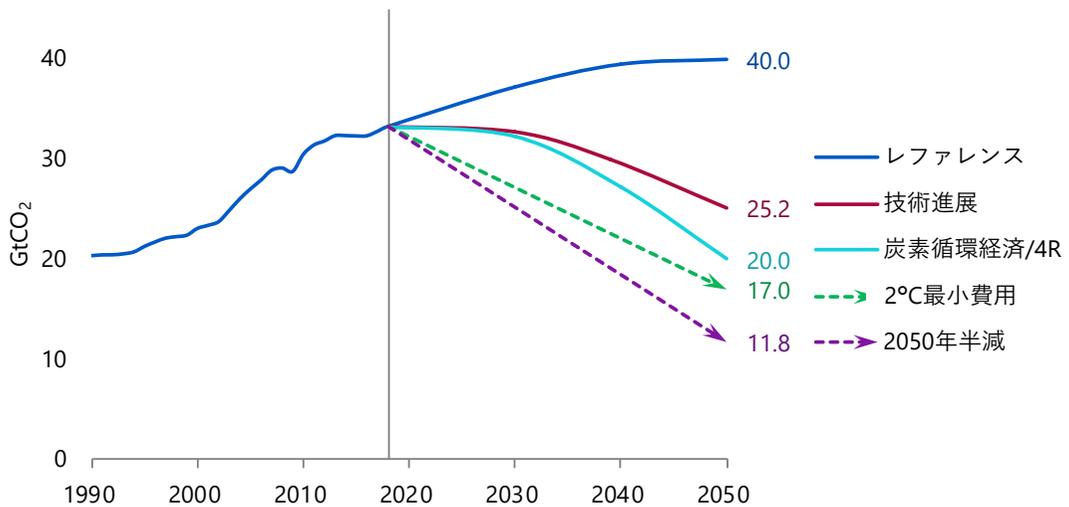
表7-2 | 技術導入想定[炭素循環経済/4Rシナリオ]

4R分類	シナリオで想定する技術	想定内容
Reduce	ブルー水素の発電利用	技術進展シナリオにおいて2050年時点でCCSがついていない石炭火力発電の50%にブルー水素発電(ブルー水素を原料としたアンモニアの利用も含む)を導入
	輸送部門におけるブルー水素の利用	技術進展シナリオにおける2050年時点の道路部門の輸送用需要の20%をブルー水素に転換
	ブルー水素を利用した水素還元製鉄	2050年時点で先進国および中国・インドの粗鋼生産の25%にブルー水素を用いた水素還元製鉄技術を適用
	セメント生産量の削減	石炭灰や石灰石焼成粘土などの混和材を活用することで2050年時点の世界のセメント生産量を25%削減
Reuse	CO ₂ 集中利用による藻類系バイオ燃料の増産	技術進展シナリオにおける2050年時点のバイオディーゼルの生産量が50%増加
Recycle	CO ₂ 吸着コンクリート	2050年時点の世界のコンクリート生産の50%にCO ₂ 吸着技術を適用
	合成メタン	技術進展シナリオにおいて2050年時点でCCSがついていないガス火力発電の燃料の50%を合成メタンで代替
Remove	CO ₂ 回収・貯留	ブルー水素製造に要するCCSを追加で実施

7.3 分析結果

まず、炭素循環経済/4RシナリオにおけるCO₂排出量であるが、2050年時点では、技術進展シナリオの25.2 Gtから20%減少し、20.0 Gtとなる(図7-1)。「2°C最小費用パス」(第8章)と技術進展シナリオとの差の6割以上を埋める形になる。

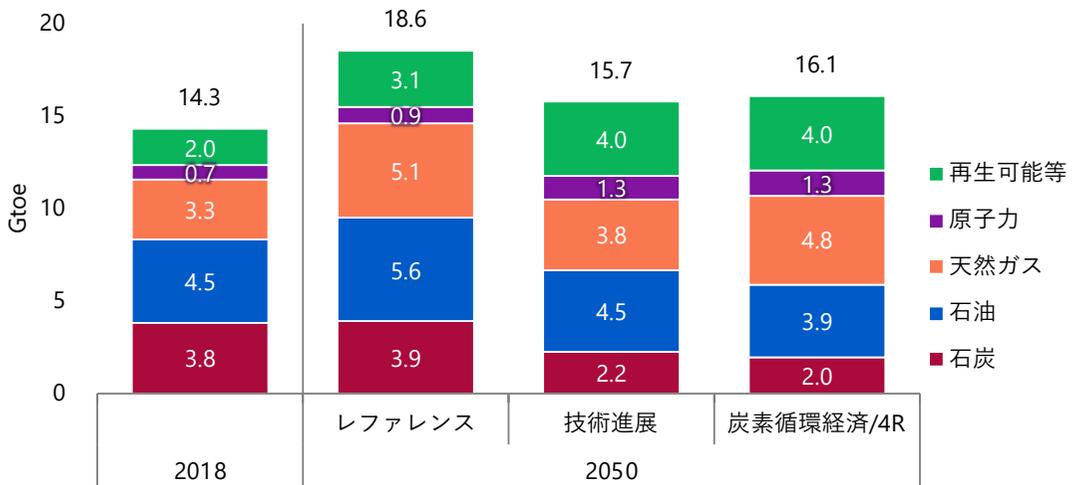
図7-1 | 世界のCO₂排出



次に、一次エネルギー消費を図7-2に示す。全体の一次エネルギー消費量は技術進展シナリオからやや増加する。これは4R技術の導入によって追加的な転換需要が発生するためである²⁰。エネルギー源別の構成を見ると、2050年時点での化石燃料全体のシェアは67%と、レファレンスシナリオの79%からは大きく低下するものの、技術進展シナリオの67%と同水準となる。化石燃料の内訳では、石油や石炭のシェアが減り、天然ガスへの振替が起きる。これは発電部門や運輸部門における石炭や石油の消費が主として天然ガス由来のブルー水素によって置換されることによる。石炭のシェアが石油ほど減らないのは、発電部門における需要の減少分が石炭由来のブルー水素の原料需要増加によって一定程度相殺されることによる。こうした排出削減と一次エネルギーミックスの結果は、化石燃料利用の脱炭素化技術の導入を進めることで、化石燃料の消費量は全体として大きく変わらない中で、CO₂排出量を大幅に削減することが可能であるということを示している。

²⁰ ただし、炭素循環経済/4Rシナリオでは、想定した4R技術を導入した際の追加的なエネルギー消費のすべてを見込んでいるわけではないので、実際にはこの見通しよりも一次エネルギー消費量が増加する可能性がある。

図7-2 | 世界の一次エネルギー消費[2050年]

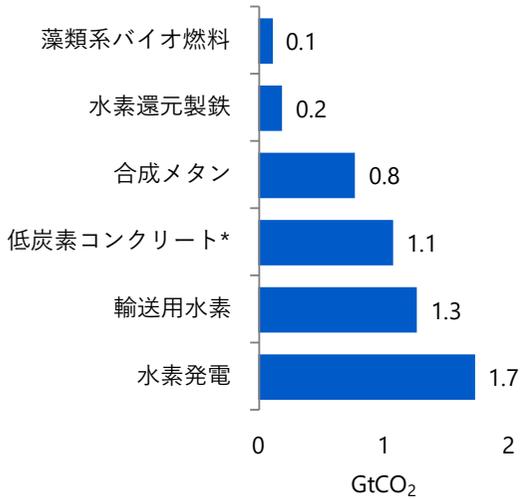


注: 天然ガスには合成メタンを含む。

個別の導入技術で排出削減に最も大きく寄与するのは、石炭火力発電のブルー水素発電への転換であり、それに輸送用需要(道路部門)におけるブルー水素の導入が続く(図7-3)。一般に排出削減が困難とされる産業部門についても低炭素コンクリート、水素還元製鉄といった技術が導入されれば排出削減に貢献する。炭素循環経済/4Rシナリオでは、合成メタンはグリーン水素およびブルー水素の双方から生産されると想定しているが、この合成メタンの導入も発電部門の脱炭素化に大きく寄与する。なお、炭素循環経済/4Rシナリオにおけるこれらの技術による排出削減量を4R別にまとめると、ブルー水素を利用したReduce、Recycle技術の寄与度が特に大きい。

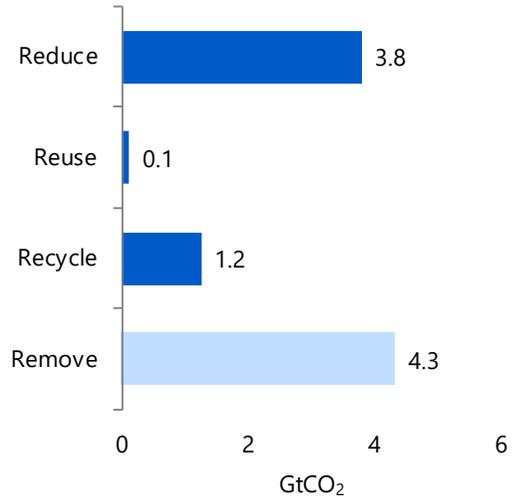
電源構成では、石炭のシェアが低下し、その分、水素発電(アンモニアを含む)の比率が増加する(図7-6)。2050年時点での化石燃料による火力発電のシェアは、技術進展シナリオの34%に比べて、27%にまで低下する。その一方で、水素発電のシェアは5%となり、化石燃料を一部代替する。

図7-3 | 世界のCO₂排出削減量(技術別、技術進展シナリオ比) [炭素循環経済/4Rシナリオ、2050年]



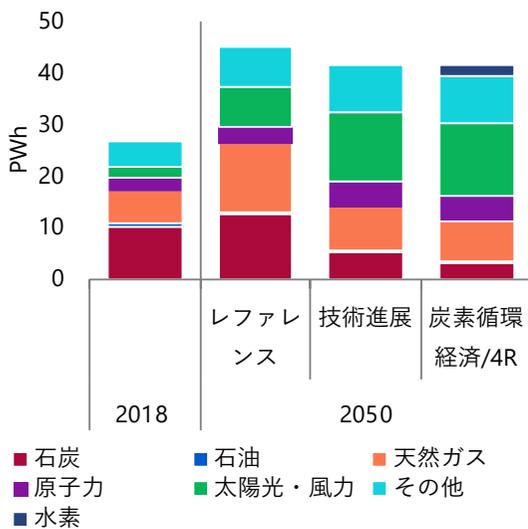
注: 低炭素コンクリートは、セメント生産量の削減とCO₂吸着コンクリートの排出削減量の合計値

図7-4 | 世界のCO₂排出削減量(4R別、技術進展シナリオ比) [炭素循環経済/4Rシナリオ、2050年]



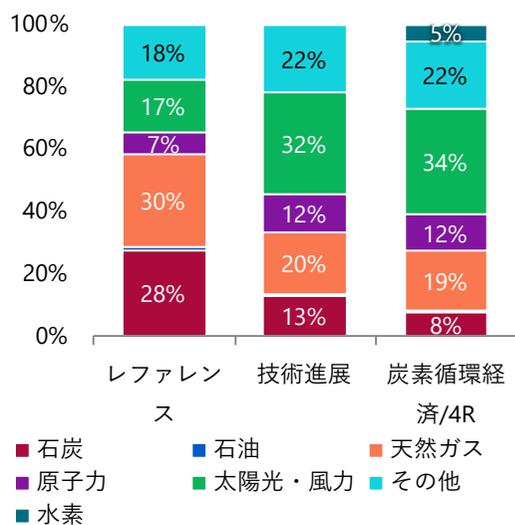
注: Remove (CC S)による排出削減量はブルー水素を利用した技術の排出削減量としてカウントしているため、薄色で表現している。

図7-5 | 世界の発電量[2050年]



注: 天然ガスには合成メタンを含む。

図7-6 | 世界の発電構成[2050年]



炭素循環経済/4Rシナリオにおいて大きな役割を果たすのがブルー水素を中心とする水素であるが、その地域別の需要を図7-7に示す。2050年に向けて世界全体で1,164 Mtoeの水素が必要となり、その需要の多くは今後エネルギー需要が大きく拡大するアジアをはじめとする途上国において発生する。化石燃料の脱炭素化によって大幅な排出削減を行うことが可能であるが、そのためには安価かつ大量の水素が世界各地において安定的に供給されることが必要となる。ブルー水素の生産および輸出は、主として安価な天然ガスや石炭資源が豊富に存在する地域から行われる(図7-8)。こうした水素の供給・国際貿易に必要なインフラや市場の形成も炭素循環経済の実現を図ってゆく上では大きな課題となる。

図7-7 | 世界の水素需要[炭素循環経済/4Rシナリオ]

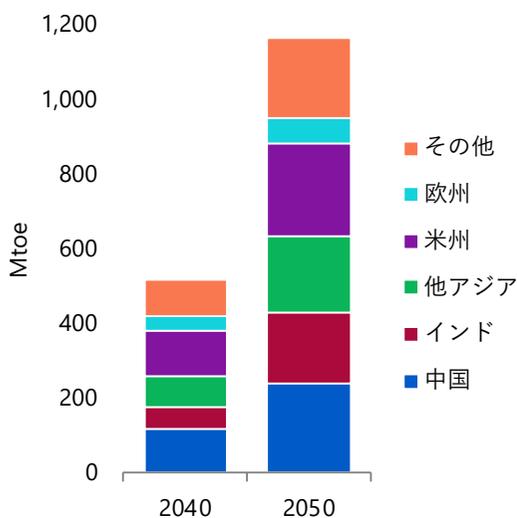
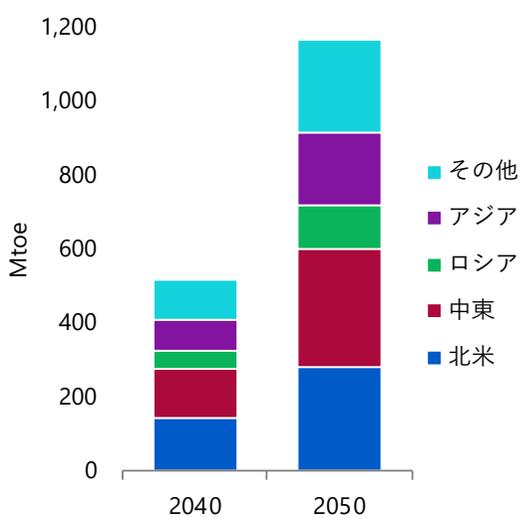


図7-8 | 世界の水素供給[炭素循環経済/4Rシナリオ]



炭素循環経済/4Rシナリオでは、利用されるブルー水素の80%が天然ガスを原料とする想定しているため、ブルー水素の利用拡大によって天然ガスの消費量も大きく増大する(図7-9)——実際には他の化石燃料が利用されるケースもありうる。世界の天然ガス消費(合成メタンを含む)は、この水素原料としての消費量が増加するため、全体としては技術進展シナリオに比べて27%増加する。こうした天然ガス需要の増加は、主要な天然ガス地域における増産を要請するが、その増産を加味しても生産水準はレファレンスシナリオには達しない。ブルー水素の利用拡大を進めてゆくための十分な資源が存在する(図7-10)。

図7-9 | 世界の天然ガス消費[2050年]

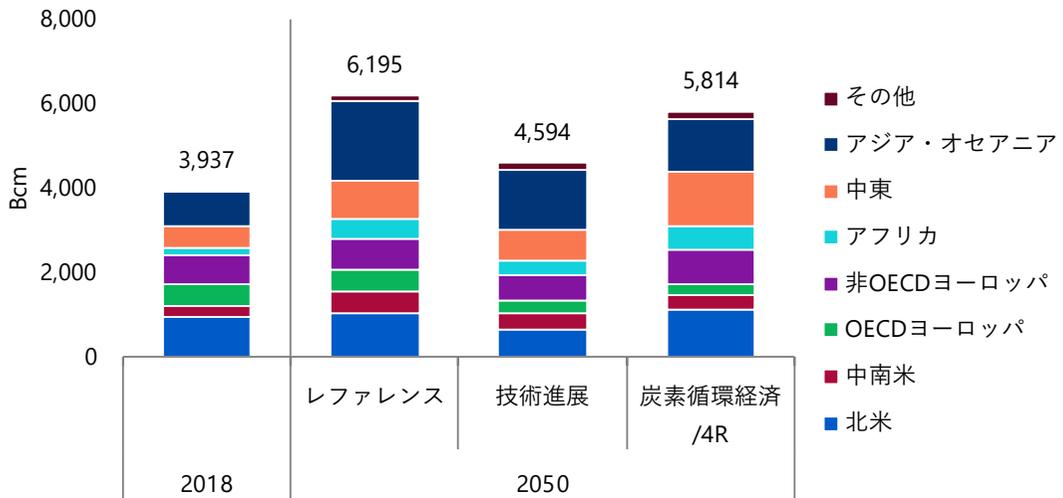
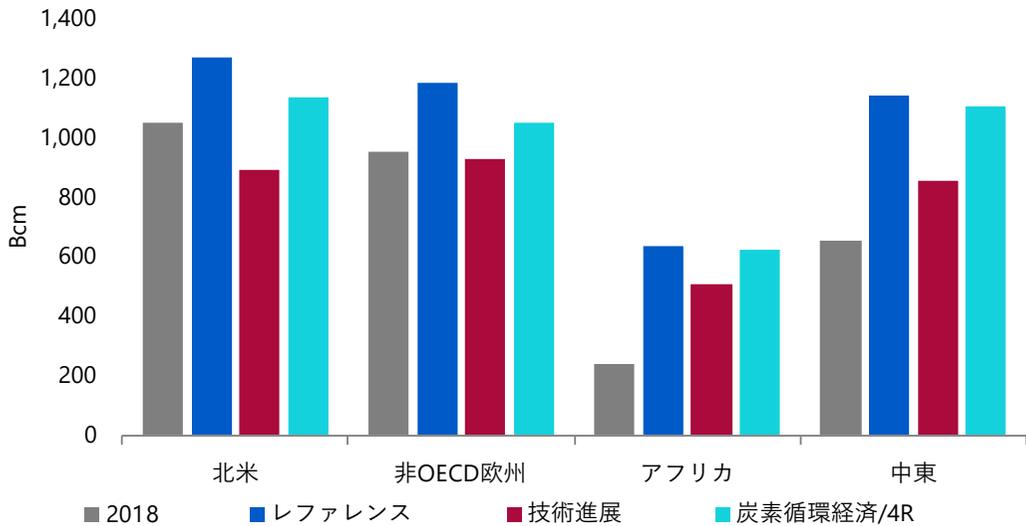


図7-10 | 主要産ガス地域の天然ガス生産[2050年]



7.4 まとめとインプリケーション

炭素循環経済/4Rシナリオのインプリケーションとしては次の4点が挙げられる。1つ目は化石燃料の利用と大幅なCO₂排出削減の両立の可能性である。化石燃料利用の脱炭素化を進める4R技術を最大限導入することで、化石燃料全体のシェアを大きく変えずにCO₂排出量の大幅削減ができる。排出削減を進めてゆく上では、今後も再生可能エネルギーの導

入を中心とした対応策が進められてゆくことが考えられる。しかし、化石燃料の利用は必ずしもそうした排出削減の推進と対立する関係にあるのではなく、4Rによる脱炭素化技術を積極的に導入してゆくことで両立させることが可能である。これが、最大のインプリケーションである。

次に挙げられるが、脱炭素化に大きな役割を果たすブルー水素の供給体制整備の重要性である。化石燃料利用の脱炭素化によっても大幅な排出削減が可能であるが、その大前提としてブルー水素が大量かつ安価で安定的に供給されなければならない。そのためには水素製造技術の低コスト化、水素供給に要するインフラの整備、技術標準の統一化などといった多くの課題を克服する必要がある。言うまでもなく、こうした課題の克服には長い時間と投資が必要となるため、長期的な視野に基づいた政府・企業の取り組みが今後も重要となる。

3点目は技術開発の重要性である。上述のとおり、炭素循環経済/4Rシナリオにおいて想定している技術の中には既に実用化されているものも含まれているが、まだ技術開発段階にあるものも多い。炭素循環経済/4Rシナリオにおいては、技術導入に際しての技術制約や経済性については厳密に考慮していない。実際にこれらの技術を広範に導入してゆく場合には、必然的に代替技術と比較した場合の相対的な導入コストの削減が不可欠となる。4Rの技術の中でも特に排出削減に対する寄与度が大きいのは、ReduceやRemoveであり、ReuseやRecycleによる相対的な寄与度は低い。しかし、CCSの実施可能性が低い日本などの国にとって、自国内で化石燃料利用の脱炭素化を図る上では、特にReuseやRecycleに関する技術開発を進めてゆくことが重要である。化石燃料利用の脱炭素化技術については引き続き継続的な技術開発が必要であり、そうした技術開発に必要な政策的支援や財源を安定的に提供できる仕組みの整備、情報交換を図るための国際協力の推進などが重要となる。

最後に、広報面での取り組みの重要性が挙げられる。化石燃料の利用の継続とCO₂の排出削減は、今後の技術開発やその適用によっては両立させてゆくことが可能である。しかし、一般的には両者は相いれないものとして認識されている場合が多い。4R技術の開発・導入が両者を両立せしめうる点について、より広範な層の人々に対しても周知してゆくことが重要である。

8. 気候変動への実践的アプローチ

8.1 気候変動の費用便益分析

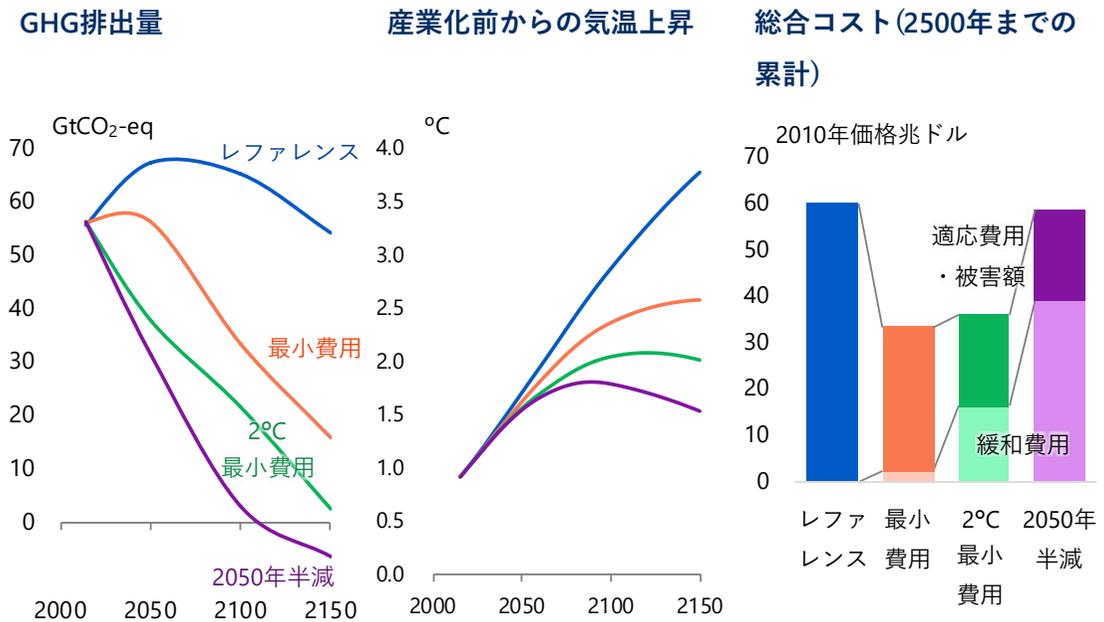
気候変動問題は、近年、益々大きな関心を集めるに至っている。2018年に公表された気候変動に関する政府間パネル(IPCC)の1.5°C特別報告書では、地球は人類の活動により産業化以前から既におよそ1°C上昇しており、またこれを1.5°Cおよび2°Cに抑えるためには、2050年前後もしくは2075年前後までに世界全体の人為的なCO₂排出量を正味で0にすることが必要であるとされた。一方で、世界各国が現在提出している温室効果ガス(GHG)削減目標はこの水準の削減目標の達成には十分ではなく、達成のためにはさらに野心的な取り組みが必要となる。

気温が既に1°C上昇し、また今後も少なくともある程度は上昇することが不可避である以上、気候変動政策を考える上で重要となることは、人類はどの程度までの気温上昇を許容し、最大どこまでの気温上昇に抑えるべきかということである。この評価のために、古くから費用便益分析という試みがなされている。まず、気候変動を抑制するためにはGHG排出を抑制する必要があるが、それにはある程度の「緩和費用」がかかる。そこで十分に抑制できず地球が温暖化した場合、ある対策、例えば海面水準の上昇に対応して堤防を築くなどの「適応」に費用をかければ、人類にとっての被害を抑制することができる。この「適応」が十分になされない場合には、人類にとって実質的な「被害」が生じることになる。少なくとも概念上は、これら3種のコストの累計合計額を最小化する、もしくはそれらを考慮した上で人類にとっての効用を最大化するような排出削減パスが、人類にとって最も望ましいものであるということになる。この費用便益分析を行うモデルは統合評価モデルとも呼ばれ、1990年代以降、多くの研究者によってモデルの開発が行われている。

図8-1に当所の統合評価モデルを用いた費用便益分析による超長期パスの例を示す²¹。この評価における最小費用パスでは、世界の平均気温は2150年までにおよそ2.6°C上昇する。ただし、例えば2150年までにオーバーシュートを伴って気温上昇が2°Cまで回帰するシナリオも、総合コストは他のシナリオ(例えばGHG削減を行わないシナリオや、2050年までに世界のGHG排出量を半減以下とするシナリオ)に比べて少ない。現実的には、単一の評価結果のみでなく、評価の不確実性や技術開発の進展によるさらなるコスト低減の可能性等も踏まえて、妥当な排出水準を模索することが必要となるであろう。

²¹ より詳細については、IEEJ Outlook 2018, 2019および2020も参照されたい。

図8-1 | 費用便益分析による超長期パス



注: 2050年半減パスはIPCCのRCP2.6に概ね相当する排出パス

このような費用便益分析については多くの研究がなされているものの、分析手法やその前提について不確実な部分がいまだに多く、多くの議論が研究者の間で行われている。前述のIPCC 1.5°C特別報告書では費用便益分析と費用効率性分析²²とがともに一般的に用いられる評価方法であるものの、前者における評価の不確実性は後者よりもはるかに大きいとされている。ただし注意すべき点は、少なくとも原理的には、費用便益分析は気候変動対策の適切な強度を評価するためのほぼ唯一の方法であるということである。例えば我々が費用効率性分析の前提として2°Cの気温上昇を設定するとき、2°Cを超える気温上昇は人類に大きな被害を与えるためそれをもたらす政策は正当化し得ないという判断が多くの場合その背後にあり、これは一種の費用便益分析とも言える。このようなことから、費用便益分析には多くの課題があるにも関わらず、それを解決するための試みを継続することは非常に重要であると言える。

IEEJ Outlook 2021では、費用便益分析に大きな影響を与え得る要素のうち主要なものとして、いわゆるティッピング・エレメント(Tipping elements)と割引率の想定、さらに長期の技術開発の可能性に焦点を当てて分析を行う。

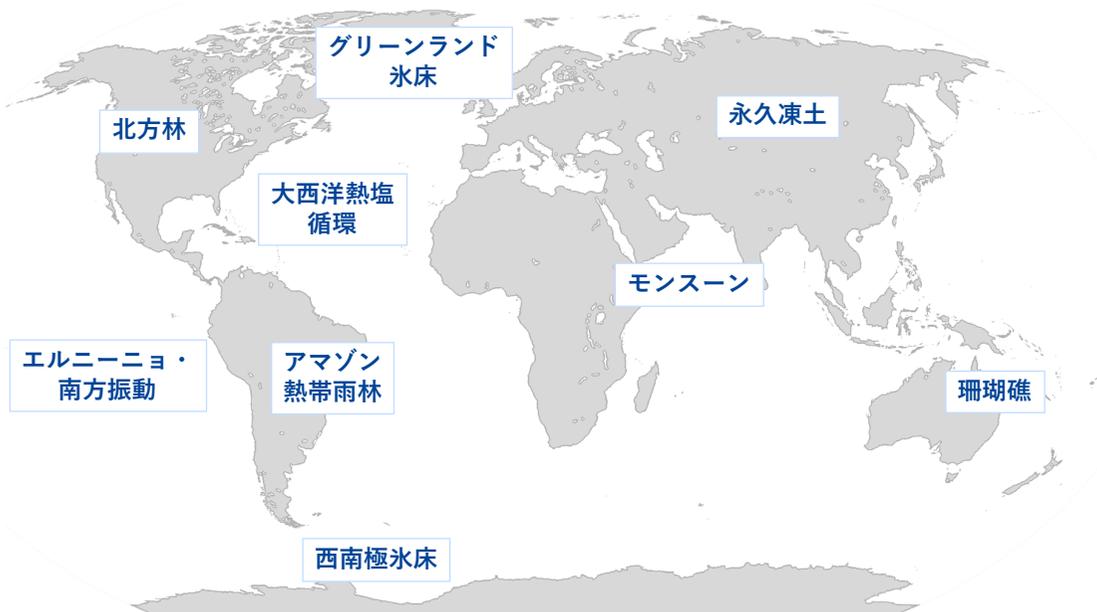
²² 例えば、2°C目標といった特定の目標を達成するために最も効率的な排出パスを評価すること

8.2 地球システムの不可逆的な変化

ティッピング・エレメント: 地球システムの遷移をもたらす重要な要素

地球の気候は、従来、ある種の「平衡状態」にあったとされている。すなわち、ある規模までの擾乱、例えば大気中のCO₂濃度の上昇はそれを打ち消す負のフィードバックと呼ばれる効果——地表や海水へのCO₂吸収量の増加等——によって相殺される。その結果として平衡状態から大きく逸脱することは妨げられる。これに対し、擾乱が一定程度を超えて大きくなったときには地球のシステムはそれを抑制する方向のみには働かず、むしろ「正のフィードバック」として加速する方向に働き、変化は不可逆的となり、最終的にはこれまでとは異なる(例えば気温のより高い)平衡状態に至る可能性が指摘されている。ここでは、2つの異なる平衡状態の間にある鞍点、もしくは臨界点(Tipping pointと呼ばれる)のようなものが存在し、その点を越えると地球は加速度的に異なる平衡状態に至ることが想定されている。臨界点をもたらす地球のサブシステムは、ティッピング・エレメントと呼ばれる。図8-2に示すとおり、地球には数多くのティッピング・エレメントが存在する可能性が指摘されている^{23, 24, 25}。

図8-2 | ティッピング・エレメントの例



出所: Lenton et al. 2008; Kopp et al. 2016; Stfepen et al. 2018

²³ T. M. Lenton et al. (2008). Tipping elements in the Earth's climate system. *PNAS*, 105(6), 1786-1793.

²⁴ R. E. Kopp et al. (2016). Tipping elements and climate-economic shocks: Pathways toward integrated assessment. *Earth's Future*, 4(8), 346-372.

²⁵ W. Steffen et al. (2018). Trajectories of the Earth System in the Anthropocene. *PNAS*, 115(33), 8252-8259.

IEEJ Outlook 2020では、代表的なティッピング・エレメントと考えられるグリーンランド氷床および永久凍土からのメタン放出について、既存文献^{26, 27}をもとにモデル化を行い費用便益分析に組み込んだ。その結果、これらの事象が費用便益分析に与える影響は非常に限定的であり、最小費用パスや社会的炭素費用を大きくは変化させない。ただし、すべてのティッピング・エレメントがそのように極めて小さな影響しか与えないというわけでは必ずしもない。今回はティッピング・エレメントのうち、比較的大きな影響を与える可能性があるものとして、南極氷床の崩壊と珊瑚礁の消滅について取り上げる。

ティッピング・エレメントの具体例(1) 南極氷床の崩壊

南極大陸は約1,400万km²の広大な面積と、約2,700万km³相当の氷床を有し、すべてが融解すると世界の海面水準を60 m程上昇させる淡水を蓄えている。南極横断山脈の東側が東南極(EAIS)、西側が西南極(WAIS)と呼称される。氷床の体積は東南極の方が大きいにもかかわらず、気候変動問題でより大きな注目を集めるのは西南極である。その理由は、西南極の氷床底のかなりの部分が海水面よりも低いところに位置し、したがって海水の侵入に伴いより早く融解が進む可能性が指摘されていることによる。DeConto and Pollard²⁸はこの西南極において、海氷崖不安定性(Marine Ice Cliff Instability: MICI)の可能性を指摘した。これは、温暖化による海水温上昇により西南極氷床の海中部分が融解して氷床が不安定化し崩壊、そして世界全体の急激な海面上昇を引き起こすことを意味している。

これに対してEdwardsら²⁹は、海氷崖の急速な崩壊を仮定しなくても過去の南極氷床動態を説明できるとし、DeConto and Pollard (2016)は過大評価の可能性があると指摘した。さらにGolledgeら³⁰は南極やグリーンランドの氷床融解と海洋・大気フィードバックを考慮した気候モデルにより海面上昇等を推計し、DeConto and Pollard (2016)よりも小さい——しかしIPCC「第5次評価報告書」(AR5)(IPCC 2014)で述べられているよりは大きい——海面上昇を推計している。IPCCが2019年に公表した海洋・雪氷圏特別報告書では、この海氷崖不安定性の正確なメカニズムや、それが本当に発生し得るのか否かについては現状では必ずしも確かではないと述べられており、将来の海面上昇予測において海氷崖不安定性は考慮されていない。

²⁶ W. Nordhaus (2019). Economics of the disintegration of the Greenland ice sheet. *PNAS*, 116(25), 12261-12269

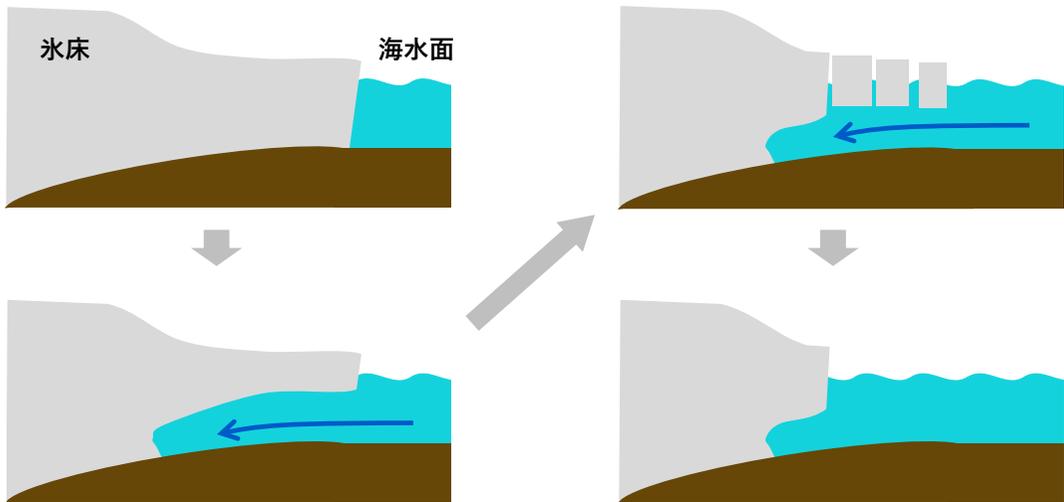
²⁷ D. Yumashev et al. (2019). Climate policy implications of nonlinear decline of Arctic land permafrost and other cryosphere elements. *Nature Communications*, 10, 1900.

²⁸ R. M. DeConto, and D. Pollard (2016). Contribution of Antarctica to past and future sea-level rise. *Nature*, 531, 591-597.

²⁹ T. L. Edwards et al. (2019). Revisiting Antarctic ice loss due to marine ice-cliff instability. *Nature*, 566, 58-64

³⁰ N. R. Golledge et al. (2019). Global environmental consequences of twenty-first-century ice-sheet melt. *Nature*, 566, 65-72.

図8-3 | 海水崖不安定性の概念図



ここでは、海水崖不安定性を想定しない南極氷床の崩壊についてはGolledgeら(2019)に、仮に海水崖不安定性が存在する場合の南極氷床の崩壊についてはDeConto and Pollard (2016)に従い、それぞれパラメータを設定した。具体的な定式化は附録に示す。

海水崖不安定性が存在しない場合の特性時間が1,900年であるのに対し、海水崖不安定性を仮定した場合には700年と顕著に短くなる。いずれにせよ、この南極氷床崩壊の特性時間はグリーンランド氷床融解の9,000年と比べて顕著に短く、気候変動問題における南極氷床崩壊の重要性を伺わせる。

ティッピング・エレメントの具体例(2) 珊瑚礁の消滅

珊瑚礁は地球の表面積の0.1%の面積を占めるに過ぎないものの、そこに9万種の生物が生息し、人間に漁業・観光資源を提供している。また珊瑚礁は天然の防波堤となっており、高波防止に役立っているとされる。珊瑚礁は温暖な水温(20°C~29°C程度といわれる)で生息する暖水性と、深海や比較的低い水温域に生息する冷水性に大きく分けられるが、暖水性珊瑚が特に気候変動の影響を受ける。珊瑚礁は既に白化が進んでおり、IPCCによれば、今後2°C上昇で暖水性珊瑚の99%以上が、1.5°Cでは70~90%が消滅の危機に晒されるとされる。ここでは附録に示すとおり、逆正接関数を用いて珊瑚礁の消滅をモデル化した。

ティッピング・エレメントの考慮による最小費用パスの変化

図8-4に、グリーンランド氷床および南極氷床(海水崖不安定性がある場合)を取り入れた場合の最小費用パスを示す。ティッピング・エレメントを入れることにより、特に南極氷床(海水崖不安定性がある場合)によって最小費用パスは大きく変化する。一方でグリーンラ

ンド氷床の影響は小さく、最小費用パスを大きくは変化させない。図8-5に示すとおり、永久凍土、珊瑚礁および南極氷床(海水崖不安定性がない場合)についても、これらを考慮することによって最小費用パスにおける2050年のCO₂排出量は大きく変化しない。

図8-4 | ティッピング・エレメントの考慮によるGHG排出量の変化

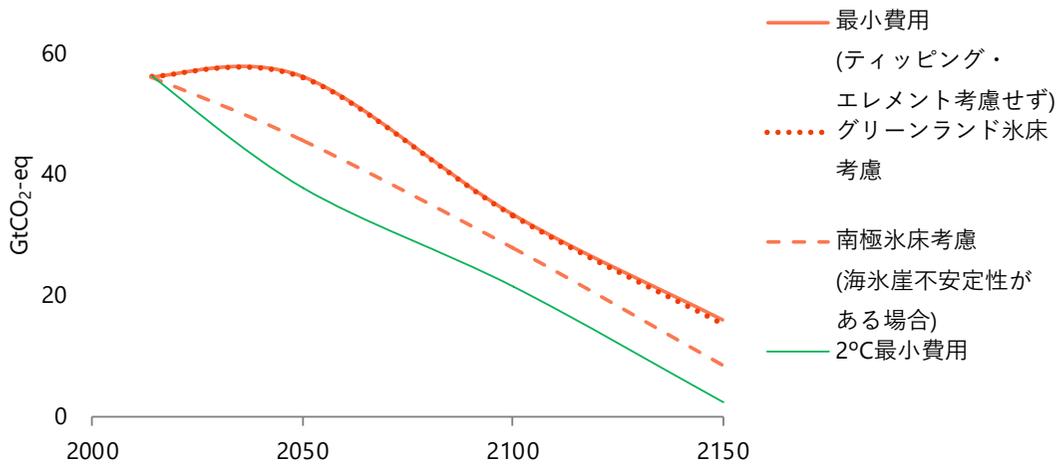
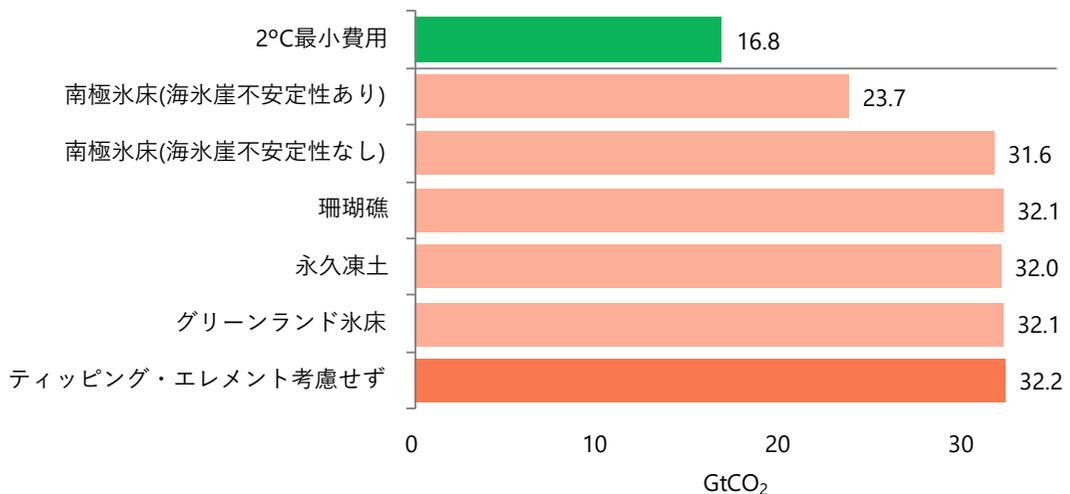


図8-5 | ティッピング・エレメントの考慮によるエネルギー起源CO₂排出量の変化[2050年]

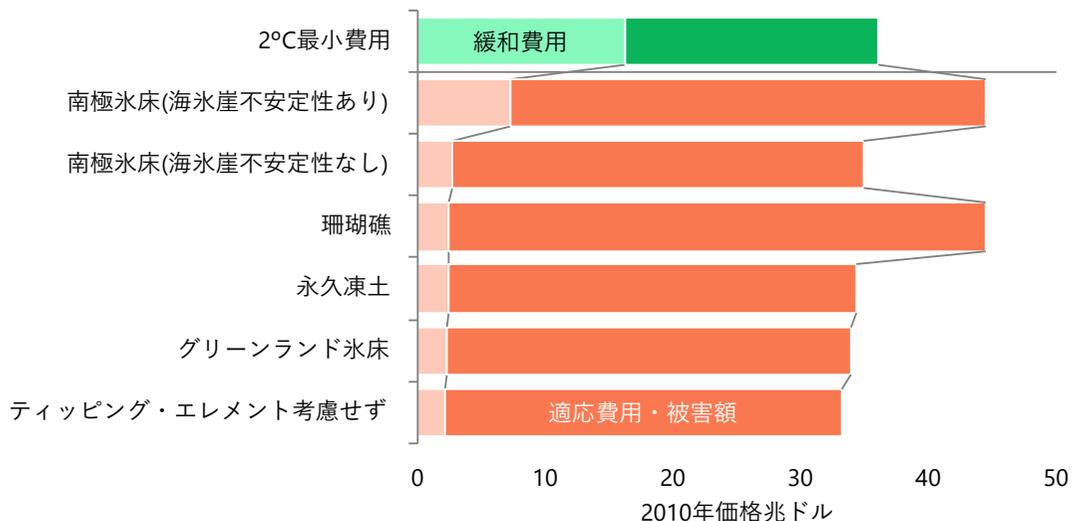


仮に海水崖不安定性によって南極氷床崩壊の特性時間が極めて短くなる場合には、これが費用便益分析に与える影響は決して無視できるものではない。少なくとも氷床の融解

といった事象に関しては、ティッピング・エレメントの影響度は特性時間スケールに強く依存している。グリーンランド氷床は南極氷床(海水崖不安定性がある場合)に比べて長い特性時間を有するため、その影響は小さくなる。このため、海水崖不安定性のような特性時間を早める現象が存在するか否かについて、さらに科学的理解を深めることが気候変動問題への適切な対処のために極めて重要となる。ただし、少なくともこの分析においては、海水崖不安定性を考慮したとしても最小費用パスが従来の2°C最小費用パスよりも低い排出水準となるには至らない。

図8-6には各ケースにおける総合コストの変化を示す。排出パスと同様、総合コストについてもグリーンランド氷床、永久凍土および南極氷床(海水崖不安定性がない場合)の影響は小さい一方で、南極氷床(海水崖不安定性がある場合)を考慮するとコストが大きく上昇する。

図8-6 | ティッピング・エレメントの考慮による総合コストの変化



注: 南極氷床(海水崖不安定性あり)を考慮する場合、2°C最小費用パスの適応費用・被害額は9兆6,000億ドル増加する。

注目すべきは、珊瑚礁の考慮によってコストが大きく上昇する点である。すなわち、珊瑚礁が消滅する被害は非常に大きい可能性があるが、それにもかかわらず最小費用パスに与える影響は非常に小さい。これは、上述のとおり、1.5°Cの気温上昇で珊瑚礁のかなりの部分が、2°Cの気温上昇でほとんどすべてが消失すると想定していることによる。最小費用パスもしくは2°C最小費用パスに相当する気温上昇による地球システムの変化は、おそらく「世界の終わり」を意味するものではない。しかし、世界の一部、例えば珊瑚礁という生態系にとっては確実に終焉を意味するものであり、したがって気候変動は珊瑚礁

に深い関わりをもつ人とそうでない人との間に不均一な被害を発生させる。このような衡平性の問題により深く立ち入ることは、単純な費用便益分析の範囲を超えることにせよ、今後の気候変動政策を考える際には忘れてはならない視点であるとも言える。

8.3 長期の技術開発と割引率の問題

割引率の想定方法

上述のように、ティッピング・エレメントは長期の将来において人類に大きな被害を与える可能性がある。ただし、その影響は上述の特性時間スケールのみでなく、その他多くの要因によって左右されると考えられる。以下、長期割引率と長期の技術開発の可能性に焦点を当て、これらがティッピング・エレメントの影響をどのように変えるかについて評価する。

割引率は気候変動のみならず、エネルギー・環境関連の多くの経済問題を考える上で重要となる概念である。いま仮に、将来に向けて(実質)3%の利息収入が確実に見込めるとする。この場合、現在の1,000ドルは10年後の(実質値で)1,340ドルと同等の価値を持つ。逆に、10年後の1,000ドルは現在の740ドルと同等の価値しか持たない。このような異なる時点における貨幣価値を換算する比率を割引率と言い、上記の実質3%がそれに相当する。

割引率の想定は、時間的な広がりをもつ経済問題において常に重要となる。問題が短期～中期の時間スケールにわたる場合、上記のとおり、概ね(実質もしくは名目)利子率をもって(実質もしくは名目)割引率とすることができる。一方で、気候変動問題のような長期の問題を考える際にどのような割引率を用いるべきかについては、少なくとも現状では研究者間で合意のとれた見解は存在しない。多くの場合、社会的割引率 ρ はラムゼイ・ルールと呼ばれる以下の式によって表される。

$$\rho = \delta + \eta g \quad (1)$$

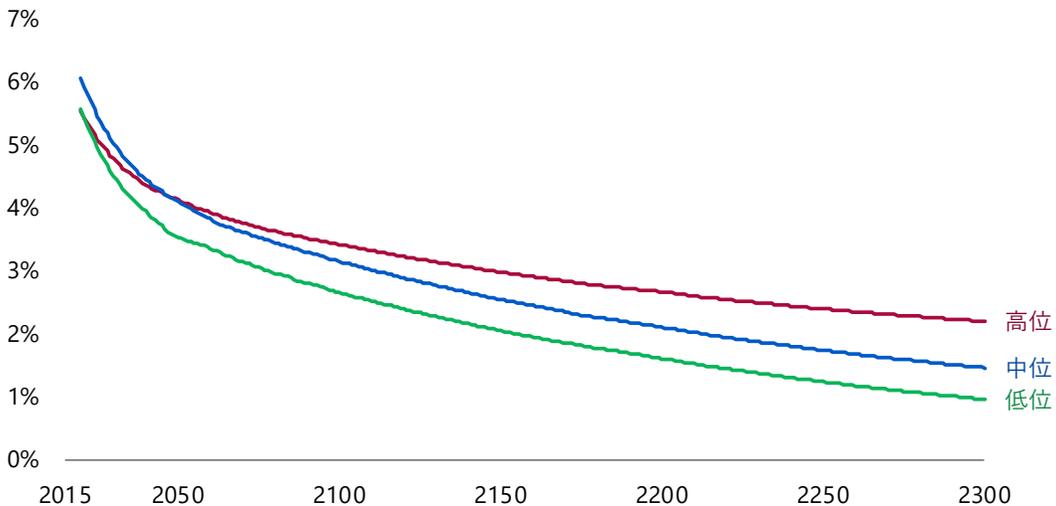
ここで δ は純時間選好率であり、この数値が大きいほど、将来の価値は現在の価値よりも低く評価されるべきだと人々が考えていることになる。 g は消費の成長率であり、一般的には消費は経済規模とともに成長してゆく。 η は限界効用の対消費弾力性であり、消費の水準(1人あたりの消費)が1%拡大すると同一金額の財の価値が何%低下するかを示している。

統合評価モデルによる最適解のある1つの例について、高位($\delta = 1.5\%$, $\eta = 1.45$)、中位($\delta = 0.5\%$, $\eta = 2.0$)および低位($\delta = 0.05\%$, $\eta = 2.0$)の3種類の異なるパラメータによる実質割引率の変化を図8-7に示す。高位および低位の想定はそれぞれ、NordhausによるDICE-2016R

モデルとGollier³¹に概ね基づいて設定されている。なお前節での計算は、このうち中位の割引率パラメータ想定に従っている。一般的に、より高い割引率を用いた場合には、将来発生する被害額がより小さく現在価値に換算されるため、現在の緩和費用による負担を減らし将来の被害を増やす方向に最適解が移行する。このように、割引率の想定によって費用便益分析の結果は大きく異なるものとなる。

長期割引率に関する議論は多い。モデル分析の観点からは、その想定は将来の世界に対する我々の見方を反映しているといえることができる。より高い割引率の想定を置くということは、現在の緩和対策による経済への影響を将来の気候変動被害と比較してより重視するということである。同時にそれは、将来の技術進歩による適応の可能性をより強く信じるということであるかも知れない。どのような割引率の想定が妥当かについての研究・議論は引き続き行われるべきであり、それはより公平かつ客観的な政策決定を行うための我々の努力として不可欠である。それと同時に、現状で合理的と考えられる範囲内において、異なる割引率の想定、すなわち異なる将来の見方がどの程度最適な選択に影響を与えるのかを評価することも重要であると言える。

図8-7 | 割引率の想定例



最小費用排出パスとティッピング・エレメントの影響に与える変化

図8-8に示すように、最小費用パスは割引率の想定に強く依存する。低位の割引率想定を用いた場合には気候変動に伴う将来の被害がより重視され、温室効果ガスをより強く削

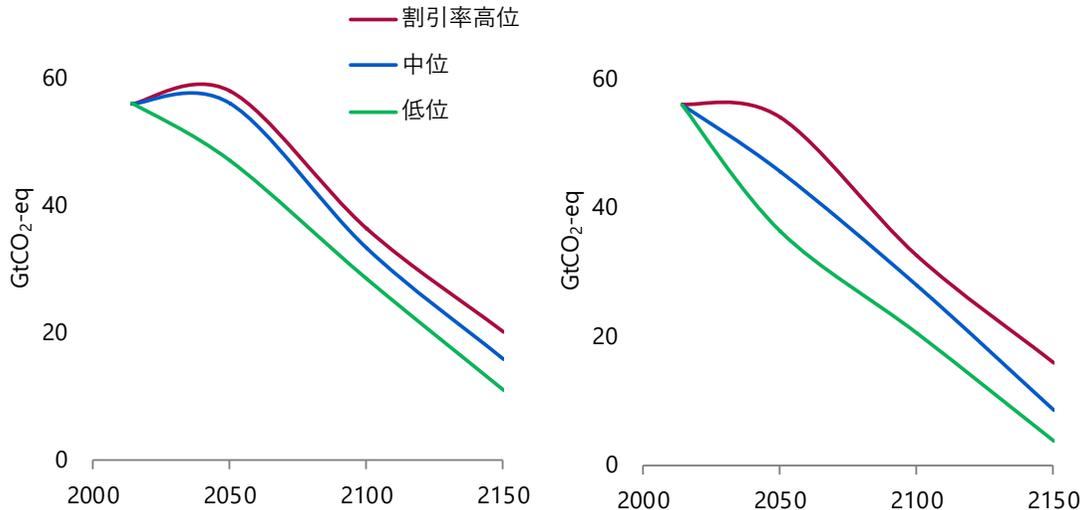
³¹ C. Gollier (2013). *Pricing the Planet's Future: The Economics of Discounting in an Uncertain World*. Princeton University Press, Princeton, USA.

減するパスが最適となる。また、ティッピング・エレメント(海水崖不安定性が存在する場合の南極氷床の崩壊)を考慮することによる最小費用パスの変化も、より低い割引率想定を用いるほど大きくなる。

図8-8 | 割引率の想定によるGHG排出量の変化

ティッピング・エレメント考慮せず

南極氷床考慮(海水崖不安定性がある場合)



長期にわたる技術開発

気候変動問題は現在から長期の将来までの長い時間スケールにわたる問題であり、その中で、長期の将来を見据えた技術開発の可能性は大きな意義を持つものと考えられる。ここではこれを簡易に表現するため、仮に①将来にわたる緩和コストの低減率(0.5%/年)が1.5倍となり、さらに、2100年以降、レファレンスケースにおけるエネルギー起源CO₂排出量の20%に相当する負の排出技術が導入可能となる技術進歩加速を想定する。負の排出技術とは、大気からCO₂を吸収しそれを地下に貯蔵する技術であり、例としてCCS付きバイオマスエネルギー(Bioenergy with Carbon Capture and Storage: BECCS)や二酸化炭素直接吸収(Direct Air Capture: DAC)等が存在する。DACについては2017年にClimeworks社が世界初の商用プラントを稼働させており、同社によれば現状でそのコストは\$600/tCO₂まで低下しているという。またKeithら³²によれば、大気からCO₂を吸収するコストは(各種の条件に依存するものの) \$94/tCO₂~\$232/tCO₂程度であるという。これらのコストは決して安価ではないものの、費用便益分析において長期の将来に想定される炭素価格と

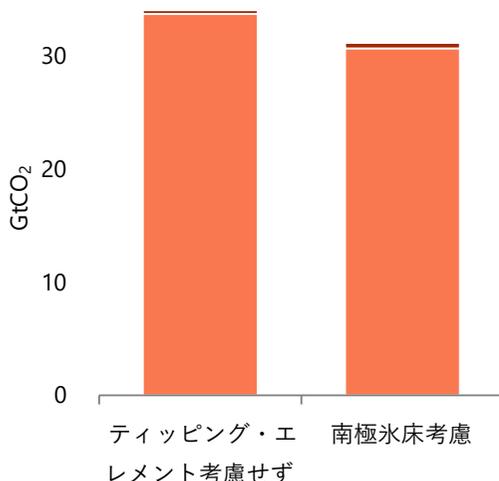
³² D. W. Keith et al. (2018). A Process for Capturing CO₂ from the Atmosphere. *Joule*, 2(8), 1573-1594.

同程度の水準であり、その大量の普及を想定することは、長期の気候変動対策の観点からは決して非現実的ではない。

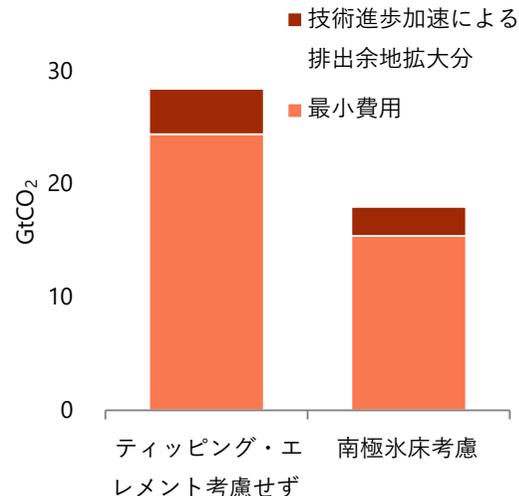
図8-9は高位・低位それぞれの割引率想定において、元の最小費用パスと南極氷床の崩壊を考慮したパスに対し、さらに上述の技術進歩加速を加味した場合の2050年のCO₂排出量を示す。高位の割引率想定を用いた場合には、技術進歩が加速してもCO₂排出量はほとんど変化しない。これに対し、低位の割引率想定を用いた場合には、技術進歩加速により排出の余地が数Gtオーダーで緩和する。この結果は、技術進歩を加速させることにより、仮にティッピング・エレメントが気候変動に大きな影響を与える場合でも、求められる排出削減量がある程度緩和させうることを示している。また、海水崖不安定性のように人類の将来に大きな影響を与え得る要素を科学的に解明することは、喫緊の急務であることも示している。

図8-9 | 技術進歩加速によるCO₂排出量の変化[最小費用パス、2050年]

割引率高位



割引率低位



今後、人類の活動に伴う環境への負荷を劇的に低減するために、さまざまな技術革新が必要であることは言うまでもない。モデル分析が示唆することは、ティッピング・エレメントのような潜在的に大きな環境被害や、低い割引率想定に示されるような世代間衡平性の配慮などを考慮に入れた場合、長期にわたる技術開発の重要性はさらに高まるということである。気候変動という人類がこれまでに直面したことのない課題を克服するために、長期の将来を見据えた着実な技術の開発・実用化を後押しする政策の遂行が、今後ますます求められるようになる。

[附録] ティッピング・エレメントの定式化

南極氷床の崩壊

南極氷床の崩壊については、以下のように定式化を行い、モデルに組み込んでいる。

平衡状態の定義式

$$X^*(t) = \max(X_0(T(t) - 1.35), 0) \quad (\text{A1})$$

運動方程式

$$\frac{\Delta X(t)}{\Delta t} = \frac{1}{t_0} (X^*(t) - X(t)) \quad (\text{A2})$$

ここで t は時刻(年)、 T は産業化前からの気温上昇、 X は世界平均の海水位上昇に換算した南極氷床の崩壊量、 X^* はその潜在量であり、 t_0 は崩壊の速さを示す特性時間、 X_0 は最大の海水位上昇を反映した特性スケールである。

珊瑚礁の消滅

珊瑚の潜在的な消失率 X^* が以下の式に応じて気温上昇に応じて拡大するものとし、その X^* に向けて現実の状態は20年の時間スケールで移動するものと想定した。

$$X^*(t) = \frac{\text{Arctan}(10.17(T(t) - 1.23))}{\pi} - 0.5 \quad (\text{A3})$$

珊瑚礁消失の経済的被害については、国連環境計画(UNEP)の評価を参考に設定した。ここではこれにより毎年3,750億ドルの被害が生じると推計されており、これは世界のGDPの0.5%近くにもものぼる。

附表

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
		インドネシア
		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, カンボジア, 朝鮮民主主義人民共和国, ラオス, 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	米国	
	カナダ	
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, 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, ボスニア・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, コートジボアール, コンゴ民主共和国, 赤道ギニア, エリトリア, エチオピア, ガボン, ガーナ, ケニア, 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, セネガル, 南スーダン, スーダン, トーゴ, タンザニア, 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, ギリシャ, 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	香港, 日本, 韓国, 北米, オセアニア, 欧州先進国, シンガポール, 台湾	
新興・途上国	アフリカ, ブルネイ, 中国, インド, インドネシア, 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	
石油輸出国機構 (OPEC)	アルジェリア, アンゴラ, 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 | 主要エネルギー・経済指標

				レファレンス		技術進展		年平均変化率(%)		
		1990	2018	2030	2050	2030	2050	1990/ 2018	2018/2050	
									レファレンス	技術進展
一次エネルギー消費 (Mtoe)	世界	8,767	14,282	16,476	18,556	15,605	15,743	1.8	0.8	0.3
	先進国	4,467	5,290	5,152	4,726	4,954	4,126	0.6	-0.4	-0.8
	新興・途上国	4,097	8,570	10,797	13,076	10,160	10,991	2.7	1.3	0.8
	アジア	2,110	5,844	7,363	8,490	6,934	7,105	3.7	1.2	0.6
	非アジア	6,454	8,016	8,586	9,312	8,179	8,012	0.8	0.5	0.0
石油一次消費 (Mtoe)	世界	3,233	4,497	4,946	5,608	4,654	4,454	1.2	0.7	0.0
	先進国	1,826	1,870	1,698	1,423	1,598	1,121	0.1	-0.9	-1.6
	新興・途上国	1,205	2,205	2,739	3,527	2,594	2,907	2.2	1.5	0.9
	アジア	618	1,464	1,808	2,269	1,720	1,863	3.1	1.4	0.8
	非アジア	2,413	2,612	2,629	2,680	2,471	2,165	0.3	0.1	-0.6
天然ガス一次消費 (Mtoe)	世界	1,662	3,262	4,059	5,132	3,723	3,802	2.4	1.4	0.5
	先進国	827	1,452	1,565	1,513	1,419	982	2.0	0.1	-1.2
	新興・途上国	835	1,809	2,481	3,530	2,282	2,683	2.8	2.1	1.2
	アジア	116	641	1,037	1,512	945	1,132	6.3	2.7	1.8
	非アジア	1,546	2,620	3,009	3,531	2,757	2,533	1.9	0.9	-0.1
石炭一次消費 (Mtoe)	世界	2,221	3,838	4,176	3,884	3,541	2,225	2.0	0.0	-1.7
	先進国	1,088	877	732	516	587	231	-0.8	-1.6	-4.1
	新興・途上国	1,133	2,962	3,444	3,368	2,953	1,994	3.5	0.4	-1.2
	アジア	788	2,821	3,290	3,133	2,817	1,857	4.7	0.3	-1.3
	非アジア	1,432	1,018	886	751	724	368	-1.2	-0.9	-3.1
発電電力量 (TWh)	世界	11,846	26,619	34,431	45,201	33,525	41,490	2.9	1.7	1.4
	先進国	7,668	11,048	12,019	13,172	11,753	12,253	1.3	0.6	0.3
	新興・途上国	4,178	15,571	22,412	32,028	21,772	29,237	4.8	2.3	2.0
	アジア	2,238	12,069	17,248	22,749	16,784	20,808	6.2	2.0	1.7
	非アジア	9,608	14,550	17,183	22,452	16,742	20,682	1.5	1.4	1.1
エネルギー起源	世界	20,324	33,258	37,205	39,975	32,750	25,167	1.8	0.6	-0.9
二酸化炭素排出 (Mt)	先進国	10,827	11,407	10,520	8,717	9,250	5,392	0.2	-0.8	-2.3
	新興・途上国	8,867	20,538	25,074	29,026	22,018	18,166	3.0	1.1	-0.4
	アジア	4,639	15,495	18,941	20,546	16,526	12,653	4.4	0.9	-0.6
	非アジア	15,055	16,449	16,653	17,198	14,742	10,905	0.3	0.1	-1.3
	GDP (2010年価格10億ドル)	世界	37,880	82,365	113,405	186,235	113,405	186,235	2.8	2.6
先進国		28,740	51,436	61,870	83,921	61,870	83,921	2.1	1.5	1.5
新興・途上国		9,140	30,929	51,535	102,314	51,535	102,314	4.4	3.8	3.8
アジア		7,629	25,670	42,014	78,948	42,014	78,948	4.4	3.6	3.6
非アジア		30,251	56,695	71,392	107,287	71,392	107,287	2.3	2.0	2.0
人口 (100万人)	世界	5,278	7,591	8,497	9,682	8,497	9,682	1.3	0.8	0.8
	先進国	998	1,186	1,222	1,238	1,222	1,238	0.6	0.1	0.1
	新興・途上国	4,280	6,405	7,275	8,444	7,275	8,444	1.5	0.9	0.9
	アジア	2,939	4,118	4,454	4,687	4,454	4,687	1.2	0.4	0.4
	非アジア	2,339	3,473	4,043	4,995	4,043	4,995	1.4	1.1	1.1

付表3 | 人口

(100万人)

	1990	2000	2018	2030	2040	2050	年平均変化率(%)				
							1990/ 2018	2018/ 2030	2030/ 2040	2040/ 2050	2018/ 2050
世界	5,278 (100)	6,111 (100)	7,591 (100)	8,497 (100)	9,146 (100)	9,682 (100)	1.3	0.9	0.7	0.6	0.8
アジア	2,939 (55.7)	3,420 (56.0)	4,118 (54.3)	4,454 (52.4)	4,623 (50.5)	4,687 (48.4)	1.2	0.7	0.4	0.1	0.4
中国	1,135 (21.5)	1,263 (20.7)	1,393 (18.3)	1,429 (16.8)	1,414 (15.5)	1,368 (14.1)	0.7	0.2	-0.1	-0.3	-0.1
インド	873 (16.5)	1,057 (17.3)	1,353 (17.8)	1,504 (17.7)	1,593 (17.4)	1,639 (16.9)	1.6	0.9	0.6	0.3	0.6
日本	124 (2.3)	127 (2.1)	127 (1.7)	120 (1.4)	113 (1.2)	105 (1.1)	0.1	-0.4	-0.6	-0.7	-0.6
韓国	43 (0.8)	47 (0.8)	52 (0.7)	51 (0.6)	50 (0.5)	47 (0.5)	0.7	0.0	-0.3	-0.6	-0.3
台湾	20 (0.4)	22 (0.4)	24 (0.3)	24 (0.3)	23 (0.3)	22 (0.2)	0.5	0.1	-0.2	-0.5	-0.2
ASEAN	431 (8.2)	507 (8.3)	631 (8.3)	699 (8.2)	738 (8.1)	761 (7.9)	1.4	0.9	0.5	0.3	0.6
インドネシア	181 (3.4)	212 (3.5)	268 (3.5)	299 (3.5)	319 (3.5)	331 (3.4)	1.4	0.9	0.6	0.4	0.7
マレーシア	18 (0.3)	23 (0.4)	32 (0.4)	36 (0.4)	39 (0.4)	41 (0.4)	2.0	1.1	0.7	0.5	0.8
ミャンマー	41 (0.8)	47 (0.8)	54 (0.7)	58 (0.7)	61 (0.7)	62 (0.6)	0.9	0.7	0.5	0.2	0.5
フィリピン	62 (1.2)	78 (1.3)	107 (1.4)	124 (1.5)	136 (1.5)	144 (1.5)	2.0	1.2	0.9	0.6	1.0
シンガポール	3 (0.1)	4 (0.1)	6 (0.1)	6 (0.1)	6 (0.1)	6 (0.1)	2.2	0.7	0.3	-0.1	0.3
タイ	57 (1.1)	63 (1.0)	69 (0.9)	70 (0.8)	69 (0.8)	66 (0.7)	0.7	0.1	-0.2	-0.5	-0.2
ベトナム	68 (1.3)	80 (1.3)	96 (1.3)	104 (1.2)	108 (1.2)	110 (1.1)	1.2	0.7	0.3	0.2	0.4
北米	277 (5.3)	313 (5.1)	364 (4.8)	390 (4.6)	410 (4.5)	425 (4.4)	1.0	0.6	0.5	0.4	0.5
米国	250 (4.7)	282 (4.6)	327 (4.3)	350 (4.1)	366 (4.0)	379 (3.9)	1.0	0.6	0.5	0.3	0.5
中南米	438 (8.3)	517 (8.5)	638 (8.4)	702 (8.3)	738 (8.1)	758 (7.8)	1.3	0.8	0.5	0.3	0.5
欧州先進国	505 (9.6)	527 (8.6)	577 (7.6)	588 (6.9)	590 (6.5)	586 (6.0)	0.5	0.2	0.0	-0.1	0.0
欧州連合	420 (8.0)	429 (7.0)	447 (5.9)	447 (5.3)	445 (4.9)	437 (4.5)	0.2	0.0	-0.1	-0.2	-0.1
他欧州/ユーラシア	337 (6.4)	334 (5.5)	340 (4.5)	344 (4.0)	342 (3.7)	340 (3.5)	0.0	0.1	-0.1	-0.1	0.0
アフリカ	630 (11.9)	810 (13.3)	1,275 (16.8)	1,686 (19.8)	2,074 (22.7)	2,486 (25.7)	2.6	2.4	2.1	1.8	2.1
中東	132 (2.5)	168 (2.7)	248 (3.3)	299 (3.5)	333 (3.6)	362 (3.7)	2.3	1.6	1.1	0.8	1.2
オセアニア	20 (0.4)	23 (0.4)	30 (0.4)	33 (0.4)	36 (0.4)	39 (0.4)	1.4	1.0	0.8	0.7	0.8
先進国	998 (18.9)	1,070 (17.5)	1,186 (15.6)	1,222 (14.4)	1,237 (13.5)	1,238 (12.8)	0.6	0.2	0.1	0.0	0.1
新興・途上国	4,280 (81.1)	5,042 (82.5)	6,405 (84.4)	7,275 (85.6)	7,909 (86.5)	8,444 (87.2)	1.5	1.1	0.8	0.7	0.9

(出所)国際連合 "World Population Prospects: The 2019 Revision"、世界銀行 "World Development Indicators"

(注)カッコ内は対世界比(%)

付表4 | GDP

(2010年価格10億ドル)

	1990	2000	2018	2030	2040	2050	年平均変化率(%)				
							1990/ 2018	2018/ 2030	2030/ 2040	2040/ 2050	2018/ 2050
世界	37,880 (100)	49,899 (100)	82,365 (100)	113,405 (100)	148,705 (100)	186,235 (100)	2.8	2.7	2.7	2.3	2.6
アジア	7,629 (20.1)	11,103 (22.3)	25,670 (31.2)	42,014 (37.0)	59,911 (40.3)	78,948 (42.4)	4.4	4.2	3.6	2.8	3.6
中国	828 (2.2)	2,232 (4.5)	10,797 (13.1)	20,026 (17.7)	29,506 (19.8)	37,968 (20.4)	9.6	5.3	4.0	2.6	4.0
インド	506 (1.3)	870 (1.7)	2,831 (3.4)	6,146 (5.4)	10,304 (6.9)	15,988 (8.6)	6.3	6.7	5.3	4.5	5.6
日本	4,704 (12.4)	5,349 (10.7)	6,190 (7.5)	6,693 (5.9)	7,234 (4.9)	7,744 (4.2)	1.0	0.7	0.8	0.7	0.7
韓国	363 (1.0)	710 (1.4)	1,382 (1.7)	1,859 (1.6)	2,275 (1.5)	2,626 (1.4)	4.9	2.5	2.0	1.4	2.0
台湾	155 (0.4)	297 (0.6)	544 (0.7)	687 (0.6)	827 (0.6)	953 (0.5)	4.6	2.0	1.9	1.4	1.8
ASEAN	742 (2.0)	1,182 (2.4)	2,893 (3.5)	4,968 (4.4)	7,422 (5.0)	10,452 (5.6)	5.0	4.6	4.1	3.5	4.1
インドネシア	310 (0.8)	453 (0.9)	1,147 (1.4)	2,089 (1.8)	3,278 (2.2)	4,753 (2.6)	4.8	5.1	4.6	3.8	4.5
マレーシア	82 (0.2)	163 (0.3)	382 (0.5)	640 (0.6)	912 (0.6)	1,229 (0.7)	5.7	4.4	3.6	3.0	3.7
ミャンマー	7 (0.0)	13 (0.0)	71 (0.1)	143 (0.1)	238 (0.2)	369 (0.2)	8.8	6.0	5.3	4.5	5.3
フィリピン	95 (0.2)	125 (0.3)	322 (0.4)	613 (0.5)	907 (0.6)	1,290 (0.7)	4.5	5.5	4.0	3.6	4.4
シンガポール	69 (0.2)	136 (0.3)	328 (0.4)	431 (0.4)	530 (0.4)	606 (0.3)	5.7	2.3	2.1	1.4	1.9
タイ	142 (0.4)	218 (0.4)	442 (0.5)	656 (0.6)	907 (0.6)	1,191 (0.6)	4.1	3.3	3.3	2.8	3.1
ベトナム	29 (0.1)	61 (0.1)	188 (0.2)	375 (0.3)	624 (0.4)	985 (0.5)	6.8	5.9	5.2	4.7	5.3
北米	9,935 (26.2)	13,827 (27.7)	19,761 (24.0)	24,631 (21.7)	30,511 (20.5)	36,654 (19.7)	2.5	1.9	2.2	1.9	1.9
米国	9,001 (23.8)	12,620 (25.3)	17,856 (21.7)	22,303 (19.7)	27,700 (18.6)	33,351 (17.9)	2.5	1.9	2.2	1.9	2.0
中南米	2,834 (7.5)	3,819 (7.7)	5,833 (7.1)	8,064 (7.1)	11,058 (7.4)	14,073 (7.6)	2.6	2.7	3.2	2.4	2.8
欧州先進国	12,689 (33.5)	15,969 (32.0)	21,276 (25.8)	25,015 (22.1)	28,501 (19.2)	31,766 (17.1)	1.9	1.4	1.3	1.1	1.3
欧州連合	10,234 (27.0)	12,698 (25.4)	16,365 (19.9)	19,171 (16.9)	21,845 (14.7)	24,303 (13.0)	1.7	1.3	1.3	1.1	1.2
他欧州/ユーラシア	2,146 (5.7)	1,478 (3.0)	2,857 (3.5)	3,740 (3.3)	4,733 (3.2)	5,916 (3.2)	1.0	2.3	2.4	2.3	2.3
アフリカ	895 (2.4)	1,171 (2.3)	2,474 (3.0)	4,015 (3.5)	6,457 (4.3)	9,559 (5.1)	3.7	4.1	4.9	4.0	4.3
中東	1,031 (2.7)	1,533 (3.1)	2,829 (3.4)	3,760 (3.3)	4,922 (3.3)	6,263 (3.4)	3.7	2.4	2.7	2.4	2.5
オセアニア	722 (1.9)	998 (2.0)	1,665 (2.0)	2,166 (1.9)	2,612 (1.8)	3,057 (1.6)	3.0	2.2	1.9	1.6	1.9
先進国	28,740 (75.9)	37,440 (75.0)	51,436 (62.4)	61,870 (54.6)	72,952 (49.1)	83,921 (45.1)	2.1	1.6	1.7	1.4	1.5
新興・途上国	9,140 (24.1)	12,459 (25.0)	30,929 (37.6)	51,535 (45.4)	75,753 (50.9)	102,314 (54.9)	4.4	4.3	3.9	3.1	3.8

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

見直しは日本エネルギー経済研究所

(注)カッコ内は対世界比(%)

付表5 | 1人あたりGDP

	(2010年価格1,000ドル/人)										
							年平均変化率(%)				
	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990/ 2018	2018/ 2030	2030/ 2040	2040/ 2050	2018/ 2050
世界	7.2	8.2	10.9	13.3	16.3	19.2	1.5	1.7	2.0	1.7	1.8
アジア	2.6	3.2	6.2	9.4	13.0	16.8	3.2	3.5	3.2	2.7	3.2
中国	0.7	1.8	7.8	14.0	20.9	27.7	8.8	5.1	4.1	2.9	4.1
インド	0.6	0.8	2.1	4.1	6.5	9.8	4.7	5.7	4.7	4.2	4.9
日本	38.1	42.2	48.9	55.7	64.2	73.6	0.9	1.1	1.4	1.4	1.3
韓国	8.5	15.1	26.8	36.2	45.5	55.8	4.2	2.5	2.3	2.1	2.3
台湾	7.6	13.3	23.1	28.7	35.2	42.7	4.0	1.8	2.1	1.9	1.9
ASEAN	1.7	2.3	4.6	7.1	10.1	13.7	3.6	3.7	3.5	3.2	3.5
インドネシア	1.7	2.1	4.3	7.0	10.3	14.3	3.3	4.1	3.9	3.4	3.8
マレーシア	4.5	7.0	12.1	17.7	23.5	30.3	3.6	3.2	2.9	2.6	2.9
ミャンマー	0.2	0.3	1.3	2.4	3.9	5.9	7.8	5.3	4.8	4.3	4.8
フィリピン	1.5	1.6	3.0	5.0	6.7	8.9	2.5	4.2	3.0	2.9	3.4
シンガポール	22.6	33.9	58.2	70.0	83.6	96.2	3.4	1.5	1.8	1.4	1.6
タイ	2.5	3.5	6.4	9.3	13.1	18.1	3.4	3.2	3.5	3.2	3.3
ベトナム	0.4	0.8	2.0	3.6	5.8	9.0	5.5	5.2	4.9	4.5	4.9
北米	35.8	44.2	54.3	63.1	74.5	86.3	1.5	1.3	1.7	1.5	1.5
米国	36.1	44.7	54.7	63.8	75.6	87.9	1.5	1.3	1.7	1.5	1.5
中南米	6.5	7.4	9.1	11.5	15.0	18.6	1.2	1.9	2.7	2.2	2.2
欧州先進国	25.1	30.3	36.8	42.5	48.3	54.2	1.4	1.2	1.3	1.2	1.2
欧州連合	24.3	29.6	36.6	42.9	49.1	55.6	1.5	1.3	1.4	1.2	1.3
他欧州/ユーラシア	6.4	4.4	8.4	10.9	13.8	17.4	1.0	2.2	2.4	2.3	2.3
アフリカ	1.4	1.4	1.9	2.4	3.1	3.8	1.1	1.7	2.7	2.1	2.2
中東	7.8	9.2	11.4	12.6	14.8	17.3	1.4	0.8	1.6	1.6	1.3
オセアニア	35.4	43.4	55.8	64.7	72.3	79.3	1.6	1.2	1.1	0.9	1.1
先進国	28.8	35.0	43.4	50.6	59.0	67.8	1.5	1.3	1.5	1.4	1.4
新興・途上国	2.1	2.5	4.8	7.1	9.6	12.1	3.0	3.2	3.1	2.4	2.9

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

付表6 | 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	\$2019/bbl	64	87	102	107	71	66	56
天然ガス								
日本	\$2019/MBtu	9.9	8.2	8.2	8.0	7.7	7.0	5.8
ヨーロッパ(英国)	\$2019/MBtu	4.8	7.8	7.9	7.9	7.4	6.7	5.6
米国	\$2019/MBtu	2.5	3.4	3.9	3.9	3.0	3.6	3.6
一般炭	\$2019/t	109	100	104	107	83	80	74
名目価格								
			2030	2040	2050	2030	2040	2050
原油	\$/bbl	64	108	155	198	89	100	104
天然ガス								
日本	\$/MBtu	9.9	10.2	12.4	14.8	9.5	10.6	10.6
ヨーロッパ(英国)	\$/MBtu	4.8	9.6	11.9	14.5	9.2	10.2	10.4
米国	\$/MBtu	2.5	4.2	5.9	7.2	3.8	5.4	6.6
一般炭	\$/t	109	124	158	198	103	121	138

(注)インフレ率を年率2%程度として算出。

付表7 | 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)

	1990	2000	2018	2030	2040	2050	年平均変化率(%)				
							1990/ 2018	2018/ 2030	2030/ 2040	2040/ 2050	2018/ 2050
世界	8,767 (100)	10,034 (100)	14,282 (100)	16,476 (100)	17,823 (100)	18,556 (100)	1.8	1.2	0.8	0.4	0.8
アジア	2,110 (24.1)	2,887 (28.8)	5,844 (40.9)	7,363 (44.7)	8,101 (45.5)	8,490 (45.8)	3.7	1.9	1.0	0.5	1.2
中国	874 (10.0)	1,130 (11.3)	3,196 (22.4)	3,719 (22.6)	3,756 (21.1)	3,532 (19.0)	4.7	1.3	0.1	-0.6	0.3
インド	306 (3.5)	441 (4.4)	919 (6.4)	1,542 (9.4)	2,003 (11.2)	2,425 (13.1)	4.0	4.4	2.7	1.9	3.1
日本	439 (5.0)	518 (5.2)	426 (3.0)	406 (2.5)	377 (2.1)	347 (1.9)	-0.1	-0.4	-0.7	-0.8	-0.6
韓国	93 (1.1)	188 (1.9)	282 (2.0)	299 (1.8)	290 (1.6)	268 (1.4)	4.0	0.5	-0.3	-0.8	-0.2
台湾	48 (0.5)	85 (0.8)	110 (0.8)	111 (0.7)	109 (0.6)	102 (0.6)	3.0	0.0	-0.2	-0.6	-0.2
ASEAN	233 (2.7)	379 (3.8)	669 (4.7)	969 (5.9)	1,192 (6.7)	1,399 (7.5)	3.8	3.1	2.1	1.6	2.3
インドネシア	99 (1.1)	156 (1.6)	231 (1.6)	346 (2.1)	447 (2.5)	541 (2.9)	3.1	3.4	2.6	1.9	2.7
マレーシア	21 (0.2)	48 (0.5)	93 (0.7)	131 (0.8)	148 (0.8)	158 (0.8)	5.4	2.9	1.2	0.6	1.6
ミャンマー	11 (0.1)	13 (0.1)	24 (0.2)	39 (0.2)	51 (0.3)	62 (0.3)	2.9	4.1	2.8	2.0	3.0
フィリピン	29 (0.3)	40 (0.4)	60 (0.4)	94 (0.6)	119 (0.7)	146 (0.8)	2.7	3.8	2.4	2.0	2.8
シンガポール	12 (0.1)	19 (0.2)	38 (0.3)	43 (0.3)	46 (0.3)	47 (0.3)	4.3	1.1	0.6	0.3	0.7
タイ	42 (0.5)	72 (0.7)	136 (1.0)	172 (1.0)	193 (1.1)	209 (1.1)	4.3	2.0	1.1	0.8	1.4
ベトナム	18 (0.2)	29 (0.3)	83 (0.6)	140 (0.8)	184 (1.0)	233 (1.3)	5.7	4.4	2.8	2.4	3.3
北米	2,126 (24.3)	2,527 (25.2)	2,528 (17.7)	2,472 (15.0)	2,423 (13.6)	2,333 (12.6)	0.6	-0.2	-0.2	-0.4	-0.3
米国	1,915 (21.8)	2,274 (22.7)	2,231 (15.6)	2,179 (13.2)	2,137 (12.0)	2,057 (11.1)	0.5	-0.2	-0.2	-0.4	-0.3
中南米	463 (5.3)	607 (6.0)	819 (5.7)	1,003 (6.1)	1,175 (6.6)	1,271 (6.9)	2.1	1.7	1.6	0.8	1.4
欧州先進国	1,643 (18.7)	1,759 (17.5)	1,742 (12.2)	1,653 (10.0)	1,567 (8.8)	1,467 (7.9)	0.2	-0.4	-0.5	-0.7	-0.5
欧州連合	1,439 (16.4)	1,471 (14.7)	1,428 (10.0)	1,364 (8.3)	1,288 (7.2)	1,202 (6.5)	0.0	-0.4	-0.6	-0.7	-0.5
他欧州/ユーラシア	1,514 (17.3)	993 (9.9)	1,159 (8.1)	1,207 (7.3)	1,252 (7.0)	1,290 (7.0)	-0.9	0.3	0.4	0.3	0.3
アフリカ	386 (4.4)	491 (4.9)	837 (5.9)	1,080 (6.6)	1,331 (7.5)	1,528 (8.2)	2.8	2.2	2.1	1.4	1.9
中東	222 (2.5)	371 (3.7)	782 (5.5)	1,019 (6.2)	1,178 (6.6)	1,276 (6.9)	4.6	2.2	1.5	0.8	1.5
オセアニア	99 (1.1)	125 (1.2)	149 (1.0)	152 (0.9)	152 (0.9)	148 (0.8)	1.5	0.2	0.0	-0.3	0.0
先進国	4,467 (51.0)	5,235 (52.2)	5,290 (37.0)	5,152 (31.3)	4,981 (27.9)	4,726 (25.5)	0.6	-0.2	-0.3	-0.5	-0.4
新興・途上国	4,097 (46.7)	4,526 (45.1)	8,570 (60.0)	10,797 (65.5)	12,198 (68.4)	13,076 (70.5)	2.7	1.9	1.2	0.7	1.3

(出所) IEA "World Energy Balances"

見直しは日本エネルギー経済研究所

(注)カッコ内は対世界比(%)。世界は国際バンカーを含む

付表8 | 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)

	1990	2000	2018	2030	2040	2050	年平均変化率(%)				
							1990/ 2018	2018/ 2030	2030/ 2040	2040/ 2050	2018/ 2050
世界	2,221 (100)	2,317 (100)	3,838 (100)	4,176 (100)	4,174 (100)	3,884 (100)	2.0	0.7	0.0	-0.7	0.0
アジア	788 (35.5)	1,037 (44.7)	2,821 (73.5)	3,290 (78.8)	3,332 (79.8)	3,133 (80.7)	4.7	1.3	0.1	-0.6	0.3
中国	531 (23.9)	665 (28.7)	1,980 (51.6)	2,096 (50.2)	1,902 (45.6)	1,578 (40.6)	4.8	0.5	-1.0	-1.9	-0.7
インド	93 (4.2)	146 (6.3)	414 (10.8)	697 (16.7)	883 (21.2)	990 (25.5)	5.5	4.4	2.4	1.2	2.8
日本	77 (3.5)	97 (4.2)	114 (3.0)	98 (2.4)	90 (2.2)	76 (2.0)	1.4	-1.3	-0.9	-1.6	-1.3
韓国	25 (1.1)	42 (1.8)	81 (2.1)	82 (2.0)	76 (1.8)	64 (1.7)	4.2	0.1	-0.7	-1.7	-0.7
台湾	11 (0.5)	30 (1.3)	40 (1.0)	41 (1.0)	37 (0.9)	32 (0.8)	4.5	0.3	-0.9	-1.4	-0.6
ASEAN	13 (0.6)	32 (1.4)	150 (3.9)	226 (5.4)	284 (6.8)	324 (8.3)	9.3	3.5	2.3	1.3	2.4
インドネシア	4 (0.2)	12 (0.5)	55 (1.4)	90 (2.2)	121 (2.9)	137 (3.5)	10.3	4.2	2.9	1.3	2.9
マレーシア	1 (0.1)	2 (0.1)	23 (0.6)	28 (0.7)	30 (0.7)	28 (0.7)	10.6	1.8	0.5	-0.6	0.6
ミャンマー	0 (0.0)	0 (0.0)	1 (0.0)	3 (0.1)	5 (0.1)	8 (0.2)	9.6	10.9	5.7	4.5	7.2
フィリピン	2 (0.1)	5 (0.2)	18 (0.5)	24 (0.6)	30 (0.7)	34 (0.9)	9.2	2.6	2.0	1.4	2.0
シンガポール	0 (0.0)	- (-)	0 (0.0)	1 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	11.7	0.4	-0.1	-1.1	-0.2
タイ	4 (0.2)	8 (0.3)	16 (0.4)	17 (0.4)	17 (0.4)	16 (0.4)	5.2	0.7	0.0	-1.0	0.0
ベトナム	2 (0.1)	4 (0.2)	37 (1.0)	62 (1.5)	80 (1.9)	100 (2.6)	10.5	4.5	2.6	2.2	3.2
北米	484 (21.8)	566 (24.4)	336 (8.8)	250 (6.0)	208 (5.0)	149 (3.8)	-1.3	-2.4	-1.8	-3.3	-2.5
米国	460 (20.7)	534 (23.0)	321 (8.4)	245 (5.9)	204 (4.9)	145 (3.7)	-1.3	-2.2	-1.8	-3.3	-2.4
中南米	21 (1.0)	27 (1.2)	44 (1.1)	46 (1.1)	54 (1.3)	55 (1.4)	2.6	0.5	1.5	0.3	0.8
欧州先進国	448 (20.2)	331 (14.3)	255 (6.7)	218 (5.2)	191 (4.6)	162 (4.2)	-2.0	-1.3	-1.3	-1.7	-1.4
欧州連合	391 (17.6)	285 (12.3)	216 (5.6)	188 (4.5)	165 (4.0)	140 (3.6)	-2.1	-1.2	-1.3	-1.6	-1.4
他欧州/ユーラシア	365 (16.4)	209 (9.0)	217 (5.6)	201 (4.8)	210 (5.0)	208 (5.4)	-1.9	-0.6	0.4	-0.1	-0.1
アフリカ	74 (3.3)	90 (3.9)	114 (3.0)	123 (3.0)	138 (3.3)	142 (3.7)	1.5	0.7	1.1	0.3	0.7
中東	3 (0.1)	8 (0.3)	8 (0.2)	11 (0.3)	10 (0.2)	9 (0.2)	3.8	1.9	-0.6	-1.6	0.0
オセアニア	36 (1.6)	49 (2.1)	44 (1.1)	36 (0.9)	32 (0.8)	26 (0.7)	0.7	-1.7	-1.4	-1.8	-1.6
先進国	1,088 (49.0)	1,119 (48.3)	877 (22.8)	732 (17.5)	641 (15.4)	516 (13.3)	-0.8	-1.5	-1.3	-2.1	-1.6
新興・途上国	1,133 (51.0)	1,198 (51.7)	2,962 (77.2)	3,444 (82.5)	3,533 (84.6)	3,368 (86.7)	3.5	1.3	0.3	-0.5	0.4

(出所) IEA "World Energy Balances"

見直しは日本エネルギー経済研究所

(注)カッコ内は対世界比(%)。世界は国際バンカーを含む

付表9 | 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)

	1990	2000	2018	2030	2040	2050	年平均変化率(%)				
							1990/ 2018	2018/ 2030	2030/ 2040	2040/ 2050	2018/ 2050
世界	3,233 (100)	3,669 (100)	4,497 (100)	4,946 (100)	5,328 (100)	5,608 (100)	1.2	0.8	0.7	0.5	0.7
アジア	618 (19.1)	916 (25.0)	1,464 (32.5)	1,808 (36.5)	2,048 (38.4)	2,269 (40.5)	3.1	1.8	1.3	1.0	1.4
中国	119 (3.7)	221 (6.0)	610 (13.6)	713 (14.4)	731 (13.7)	679 (12.1)	6.0	1.3	0.3	-0.7	0.3
インド	61 (1.9)	112 (3.1)	235 (5.2)	401 (8.1)	569 (10.7)	790 (14.1)	4.9	4.6	3.5	3.3	3.9
日本	250 (7.7)	255 (6.9)	166 (3.7)	137 (2.8)	118 (2.2)	104 (1.9)	-1.5	-1.6	-1.5	-1.2	-1.5
韓国	50 (1.5)	99 (2.7)	110 (2.5)	111 (2.2)	106 (2.0)	99 (1.8)	2.9	0.1	-0.4	-0.8	-0.3
台湾	26 (0.8)	38 (1.0)	43 (1.0)	42 (0.9)	40 (0.8)	37 (0.7)	1.9	-0.2	-0.5	-0.9	-0.5
ASEAN	89 (2.7)	153 (4.2)	239 (5.3)	319 (6.5)	381 (7.2)	442 (7.9)	3.6	2.4	1.8	1.5	1.9
インドネシア	33 (1.0)	58 (1.6)	77 (1.7)	105 (2.1)	129 (2.4)	151 (2.7)	3.0	2.6	2.1	1.6	2.1
マレーシア	11 (0.4)	19 (0.5)	29 (0.6)	35 (0.7)	35 (0.7)	34 (0.6)	3.4	1.6	0.1	-0.3	0.5
ミャンマー	1 (0.0)	2 (0.1)	7 (0.2)	13 (0.3)	19 (0.4)	24 (0.4)	8.3	5.5	3.7	2.6	4.0
フィリピン	11 (0.3)	16 (0.4)	20 (0.4)	35 (0.7)	49 (0.9)	65 (1.2)	2.2	4.7	3.4	3.0	3.8
シンガポール	11 (0.4)	17 (0.5)	28 (0.6)	31 (0.6)	33 (0.6)	34 (0.6)	3.2	0.9	0.7	0.4	0.7
タイ	18 (0.6)	32 (0.9)	55 (1.2)	64 (1.3)	69 (1.3)	72 (1.3)	4.1	1.2	0.8	0.4	0.8
ベトナム	3 (0.1)	8 (0.2)	22 (0.5)	36 (0.7)	47 (0.9)	60 (1.1)	7.9	3.9	2.7	2.6	3.1
北米	833 (25.8)	958 (26.1)	905 (20.1)	834 (16.9)	777 (14.6)	719 (12.8)	0.3	-0.7	-0.7	-0.8	-0.7
米国	757 (23.4)	871 (23.7)	802 (17.8)	744 (15.0)	694 (13.0)	646 (11.5)	0.2	-0.6	-0.7	-0.7	-0.7
中南米	237 (7.3)	310 (8.4)	336 (7.5)	376 (7.6)	409 (7.7)	411 (7.3)	1.3	0.9	0.8	0.0	0.6
欧州先進国	617 (19.1)	654 (17.8)	563 (12.5)	492 (9.9)	435 (8.2)	386 (6.9)	-0.3	-1.1	-1.2	-1.2	-1.2
欧州連合	531 (16.4)	550 (15.0)	462 (10.3)	405 (8.2)	357 (6.7)	315 (5.6)	-0.5	-1.1	-1.3	-1.3	-1.2
他欧州/ユーラシア	459 (14.2)	200 (5.4)	238 (5.3)	233 (4.7)	230 (4.3)	228 (4.1)	-2.3	-0.2	-0.2	-0.1	-0.1
アフリカ	85 (2.6)	101 (2.8)	190 (4.2)	253 (5.1)	359 (6.7)	465 (8.3)	2.9	2.4	3.6	2.6	2.8
中東	146 (4.5)	216 (5.9)	330 (7.3)	394 (8.0)	431 (8.1)	431 (7.7)	3.0	1.5	0.9	0.0	0.8
オセアニア	35 (1.1)	40 (1.1)	50 (1.1)	47 (0.9)	44 (0.8)	40 (0.7)	1.3	-0.6	-0.6	-0.8	-0.7
先進国	1,826 (56.5)	2,068 (56.4)	1,870 (41.6)	1,698 (34.3)	1,557 (29.2)	1,423 (25.4)	0.1	-0.8	-0.9	-0.9	-0.9
新興・途上国	1,205 (37.3)	1,327 (36.2)	2,205 (49.0)	2,739 (55.4)	3,176 (59.6)	3,527 (62.9)	2.2	1.8	1.5	1.1	1.5

(出所) IEA "World Energy Balances"

見直しは日本エネルギー経済研究所

(注)カッコ内は対世界比(%)。世界は国際バンカーを含む

付表10 | 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)

	1990	2000	2018	2030	2040	2050	年平均変化率(%)				
							1990/ 2018	2018/ 2030	2030/ 2040	2040/ 2050	2018/ 2050
世界	1,662 (100)	2,071 (100)	3,262 (100)	4,059 (100)	4,690 (100)	5,132 (100)	2.4	1.8	1.5	0.9	1.4
アジア	116 (7.0)	233 (11.2)	641 (19.7)	1,037 (25.5)	1,316 (28.1)	1,512 (29.5)	6.3	4.1	2.4	1.4	2.7
中国	13 (0.8)	21 (1.0)	230 (7.1)	417 (10.3)	525 (11.2)	582 (11.3)	10.9	5.1	2.3	1.0	2.9
インド	11 (0.6)	23 (1.1)	52 (1.6)	135 (3.3)	216 (4.6)	283 (5.5)	5.9	8.2	4.8	2.7	5.4
日本	44 (2.7)	66 (3.2)	97 (3.0)	89 (2.2)	85 (1.8)	74 (1.4)	2.9	-0.7	-0.4	-1.4	-0.9
韓国	3 (0.2)	17 (0.8)	48 (1.5)	62 (1.5)	69 (1.5)	73 (1.4)	10.8	2.2	1.1	0.5	1.3
台湾	1 (0.1)	6 (0.3)	18 (0.6)	23 (0.6)	25 (0.5)	26 (0.5)	9.6	2.1	0.9	0.4	1.2
ASEAN	30 (1.8)	74 (3.6)	141 (4.3)	229 (5.6)	287 (6.1)	341 (6.6)	5.7	4.1	2.3	1.7	2.8
インドネシア	16 (1.0)	27 (1.3)	39 (1.2)	70 (1.7)	98 (2.1)	126 (2.5)	3.3	5.0	3.4	2.6	3.7
マレーシア	7 (0.4)	25 (1.2)	39 (1.2)	64 (1.6)	74 (1.6)	83 (1.6)	6.4	4.2	1.6	1.1	2.4
ミャンマー	1 (0.0)	1 (0.1)	4 (0.1)	12 (0.3)	18 (0.4)	23 (0.5)	6.2	9.4	3.9	2.8	5.6
フィリピン	- (-)	0 (0.0)	4 (0.1)	6 (0.2)	9 (0.2)	12 (0.2)	-	4.7	3.7	2.7	3.8
シンガポール	- (-)	1 (0.1)	9 (0.3)	10 (0.3)	11 (0.2)	10 (0.2)	-	1.1	0.4	-0.4	0.4
タイ	5 (0.3)	17 (0.8)	36 (1.1)	44 (1.1)	47 (1.0)	47 (0.9)	7.3	1.8	0.7	-0.1	0.9
ベトナム	0 (0.0)	1 (0.1)	8 (0.2)	20 (0.5)	28 (0.6)	37 (0.7)	33.0	8.0	3.2	3.0	4.9
北米	493 (29.7)	622 (30.0)	815 (25.0)	896 (22.1)	907 (19.3)	868 (16.9)	1.8	0.8	0.1	-0.4	0.2
米国	438 (26.4)	548 (26.4)	709 (21.7)	769 (18.9)	773 (16.5)	732 (14.3)	1.7	0.7	0.1	-0.5	0.1
中南米	71 (4.3)	118 (5.7)	203 (6.2)	268 (6.6)	364 (7.8)	437 (8.5)	3.8	2.3	3.1	1.9	2.4
欧州先進国	267 (16.1)	396 (19.1)	426 (13.1)	438 (10.8)	433 (9.2)	412 (8.0)	1.7	0.2	-0.1	-0.5	-0.1
欧州連合	250 (15.0)	309 (14.9)	324 (9.9)	341 (8.4)	347 (7.4)	333 (6.5)	0.9	0.4	0.2	-0.4	0.1
他欧州/ユーラシア	596 (35.8)	486 (23.4)	569 (17.5)	576 (14.2)	598 (12.7)	606 (11.8)	-0.2	0.1	0.4	0.1	0.2
アフリカ	30 (1.8)	47 (2.3)	133 (4.1)	207 (5.1)	296 (6.3)	391 (7.6)	5.5	3.7	3.6	2.8	3.4
中東	72 (4.3)	145 (7.0)	437 (13.4)	582 (14.3)	687 (14.6)	771 (15.0)	6.7	2.4	1.7	1.2	1.8
オセアニア	19 (1.1)	24 (1.2)	36 (1.1)	43 (1.1)	47 (1.0)	47 (0.9)	2.4	1.5	0.8	0.0	0.8
先進国	827 (49.8)	1,134 (54.8)	1,452 (44.5)	1,565 (38.6)	1,581 (33.7)	1,513 (29.5)	2.0	0.6	0.1	-0.4	0.1
新興・途上国	835 (50.2)	937 (45.2)	1,809 (55.5)	2,481 (61.1)	3,067 (65.4)	3,530 (68.8)	2.8	2.7	2.1	1.4	2.1

(出所) IEA "World Energy Balances"

見直しは日本エネルギー経済研究所

(注)カッコ内は対世界比(%)。世界は国際バンカーを含む

付表11 | 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)

	1990	2000	2018	2030	2040	2050	年平均変化率(%)				
							1990/ 2018	2018/ 2030	2030/ 2040	2040/ 2050	2018/ 2050
世界	6,267 (100)	7,032 (100)	9,938 (100)	11,375 (100)	12,251 (100)	12,872 (100)	1.7	1.1	0.7	0.5	0.8
アジア	1,558 (24.9)	1,999 (28.4)	3,847 (38.7)	4,748 (41.7)	5,232 (42.7)	5,593 (43.5)	3.3	1.8	1.0	0.7	1.2
中国	658 (10.5)	781 (11.1)	2,058 (20.7)	2,333 (20.5)	2,353 (19.2)	2,259 (17.6)	4.2	1.1	0.1	-0.4	0.3
インド	243 (3.9)	315 (4.5)	607 (6.1)	1,002 (8.8)	1,305 (10.7)	1,621 (12.6)	3.3	4.3	2.7	2.2	3.1
日本	292 (4.7)	337 (4.8)	283 (2.8)	263 (2.3)	244 (2.0)	224 (1.7)	-0.1	-0.6	-0.8	-0.8	-0.7
韓国	65 (1.0)	127 (1.8)	182 (1.8)	201 (1.8)	200 (1.6)	189 (1.5)	3.8	0.8	-0.1	-0.5	0.1
台湾	29 (0.5)	49 (0.7)	72 (0.7)	73 (0.6)	73 (0.6)	70 (0.5)	3.2	0.2	0.0	-0.4	-0.1
ASEAN	172 (2.7)	269 (3.8)	454 (4.6)	635 (5.6)	778 (6.3)	917 (7.1)	3.5	2.8	2.0	1.7	2.2
インドネシア	79 (1.3)	120 (1.7)	156 (1.6)	214 (1.9)	271 (2.2)	326 (2.5)	2.5	2.7	2.4	1.9	2.3
マレーシア	13 (0.2)	29 (0.4)	63 (0.6)	88 (0.8)	99 (0.8)	108 (0.8)	5.7	2.9	1.2	0.9	1.7
ミャンマー	9 (0.2)	11 (0.2)	20 (0.2)	29 (0.3)	36 (0.3)	43 (0.3)	2.8	3.0	2.4	1.7	2.4
フィリピン	20 (0.3)	24 (0.3)	34 (0.3)	55 (0.5)	74 (0.6)	96 (0.7)	2.0	4.1	3.0	2.6	3.3
シンガポール	5 (0.1)	8 (0.1)	20 (0.2)	23 (0.2)	25 (0.2)	25 (0.2)	5.1	1.2	0.7	0.3	0.8
タイ	29 (0.5)	51 (0.7)	100 (1.0)	121 (1.1)	136 (1.1)	147 (1.1)	4.5	1.6	1.2	0.8	1.2
ベトナム	16 (0.3)	25 (0.4)	60 (0.6)	103 (0.9)	135 (1.1)	170 (1.3)	4.8	4.6	2.7	2.4	3.3
北米	1,452 (23.2)	1,734 (24.7)	1,800 (18.1)	1,780 (15.7)	1,742 (14.2)	1,689 (13.1)	0.8	-0.1	-0.2	-0.3	-0.2
米国	1,294 (20.6)	1,546 (22.0)	1,594 (16.0)	1,575 (13.9)	1,543 (12.6)	1,497 (11.6)	0.7	-0.1	-0.2	-0.3	-0.2
中南米	344 (5.5)	442 (6.3)	606 (6.1)	728 (6.4)	832 (6.8)	897 (7.0)	2.0	1.5	1.3	0.8	1.2
欧州先進国	1,142 (18.2)	1,235 (17.6)	1,253 (12.6)	1,210 (10.6)	1,141 (9.3)	1,073 (8.3)	0.3	-0.3	-0.6	-0.6	-0.5
欧州連合	995 (15.9)	1,028 (14.6)	1,023 (10.3)	994 (8.7)	937 (7.6)	879 (6.8)	0.1	-0.2	-0.6	-0.6	-0.5
他欧州/ユーラシア	1,058 (16.9)	648 (9.2)	765 (7.7)	790 (6.9)	795 (6.5)	804 (6.2)	-1.1	0.3	0.1	0.1	0.2
アフリカ	287 (4.6)	365 (5.2)	612 (6.2)	801 (7.0)	969 (7.9)	1,096 (8.5)	2.7	2.3	1.9	1.2	1.8
中東	157 (2.5)	253 (3.6)	535 (5.4)	688 (6.0)	791 (6.5)	865 (6.7)	4.5	2.1	1.4	0.9	1.5
オセアニア	66 (1.1)	83 (1.2)	98 (1.0)	104 (0.9)	104 (0.9)	103 (0.8)	1.4	0.5	0.1	-0.2	0.2
先進国	3,058 (48.8)	3,582 (50.9)	3,717 (37.4)	3,664 (32.2)	3,538 (28.9)	3,382 (26.3)	0.7	-0.1	-0.4	-0.4	-0.3
新興・途上国	3,007 (48.0)	3,176 (45.2)	5,799 (58.4)	7,185 (63.2)	8,068 (65.9)	8,736 (67.9)	2.4	1.8	1.2	0.8	1.3

(出所) IEA "World Energy Balances"

見直しは日本エネルギー経済研究所

(注)カッコ内は対世界比(%)。世界は国際バンカーを含む

付表12 | 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)

	1990	2000	2018	2030	2040	2050	年平均変化率(%)				
							1990/ 2018	2018/ 2030	2030/ 2040	2040/ 2050	2018/ 2050
世界	1,803 (100)	1,871 (100)	2,839 (100)	3,264 (100)	3,463 (100)	3,518 (100)	1.6	1.2	0.6	0.2	0.7
アジア	515 (28.6)	655 (35.0)	1,556 (54.8)	1,828 (56.0)	1,911 (55.2)	1,921 (54.6)	4.0	1.4	0.4	0.0	0.7
中国	234 (13.0)	302 (16.1)	996 (35.1)	988 (30.3)	900 (26.0)	803 (22.8)	5.3	-0.1	-0.9	-1.1	-0.7
インド	67 (3.7)	85 (4.6)	206 (7.3)	391 (12.0)	499 (14.4)	559 (15.9)	4.1	5.5	2.5	1.1	3.2
日本	108 (6.0)	104 (5.5)	82 (2.9)	77 (2.3)	71 (2.0)	64 (1.8)	-1.0	-0.6	-0.8	-1.1	-0.8
韓国	19 (1.1)	38 (2.1)	49 (1.7)	56 (1.7)	56 (1.6)	52 (1.5)	3.4	1.1	-0.1	-0.8	0.2
台湾	12 (0.7)	19 (1.0)	24 (0.8)	25 (0.8)	24 (0.7)	23 (0.7)	2.4	0.3	0.0	-0.5	-0.1
ASEAN	42 (2.3)	75 (4.0)	151 (5.3)	228 (7.0)	281 (8.1)	327 (9.3)	4.7	3.5	2.1	1.5	2.4
インドネシア	17 (1.0)	30 (1.6)	50 (1.8)	74 (2.3)	93 (2.7)	109 (3.1)	3.8	3.3	2.3	1.6	2.5
マレーシア	6 (0.3)	12 (0.6)	20 (0.7)	25 (0.8)	29 (0.8)	32 (0.9)	4.6	2.2	1.4	0.9	1.5
ミャンマー	0 (0.0)	1 (0.1)	4 (0.1)	7 (0.2)	10 (0.3)	13 (0.4)	8.3	5.3	4.3	2.6	4.1
フィリピン	5 (0.3)	5 (0.3)	8 (0.3)	11 (0.3)	14 (0.4)	17 (0.5)	1.8	3.4	2.1	1.8	2.5
シンガポール	1 (0.0)	2 (0.1)	7 (0.2)	8 (0.3)	9 (0.3)	9 (0.2)	9.2	1.4	0.6	-0.1	0.7
タイ	9 (0.5)	17 (0.9)	30 (1.1)	39 (1.2)	46 (1.3)	49 (1.4)	4.6	2.2	1.4	0.7	1.5
ベトナム	5 (0.3)	8 (0.4)	33 (1.1)	62 (1.9)	80 (2.3)	97 (2.8)	7.3	5.5	2.5	2.0	3.5
北米	331 (18.4)	388 (20.7)	322 (11.4)	329 (10.1)	330 (9.5)	323 (9.2)	-0.1	0.2	0.0	-0.2	0.0
米国	284 (15.7)	332 (17.8)	277 (9.7)	282 (8.7)	283 (8.2)	278 (7.9)	-0.1	0.2	0.0	-0.2	0.0
中南米	113 (6.3)	143 (7.6)	179 (6.3)	223 (6.8)	265 (7.6)	285 (8.1)	1.6	1.8	1.8	0.7	1.5
欧州先進国	330 (18.3)	325 (17.4)	299 (10.5)	301 (9.2)	296 (8.5)	282 (8.0)	-0.4	0.0	-0.2	-0.5	-0.2
欧州連合	313 (17.4)	274 (14.7)	244 (8.6)	247 (7.6)	244 (7.0)	233 (6.6)	-0.9	0.1	-0.1	-0.5	-0.1
他欧州/ユーラシア	391 (21.7)	205 (10.9)	202 (7.1)	216 (6.6)	227 (6.6)	231 (6.6)	-2.3	0.5	0.5	0.1	0.4
アフリカ	53 (2.9)	57 (3.0)	91 (3.2)	129 (4.0)	170 (4.9)	206 (5.9)	1.9	3.0	2.8	1.9	2.6
中東	47 (2.6)	71 (3.8)	163 (5.7)	209 (6.4)	234 (6.8)	241 (6.9)	4.5	2.1	1.1	0.3	1.2
オセアニア	23 (1.3)	28 (1.5)	27 (0.9)	30 (0.9)	30 (0.9)	29 (0.8)	0.5	0.9	0.2	-0.3	0.3
先進国	826 (45.8)	906 (48.4)	813 (28.6)	827 (25.3)	818 (23.6)	784 (22.3)	-0.1	0.1	-0.1	-0.4	-0.1
新興・途上国	977 (54.2)	965 (51.6)	2,027 (71.4)	2,437 (74.7)	2,645 (76.4)	2,734 (77.7)	2.6	1.5	0.8	0.3	0.9

(出所) IEA "World Energy Balances"

見通しは日本エネルギー経済研究所

(注)カッコ内は対世界比(%)

付表13 | 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)

	1990	2000	2018	2030	2040	2050	年平均変化率(%)				
							1990/ 2018	2018/ 2030	2030/ 2040	2040/ 2050	2018/ 2050
世界	1,575 (100)	1,963 (100)	2,891 (100)	3,222 (100)	3,556 (100)	3,898 (100)	2.2	0.9	1.0	0.9	0.9
アジア	187 (11.9)	321 (16.4)	717 (24.8)	935 (29.0)	1,121 (31.5)	1,322 (33.9)	4.9	2.2	1.8	1.7	1.9
中国	30 (1.9)	84 (4.3)	325 (11.2)	415 (12.9)	445 (12.5)	416 (10.7)	8.9	2.1	0.7	-0.7	0.8
インド	21 (1.3)	32 (1.6)	104 (3.6)	183 (5.7)	292 (8.2)	469 (12.0)	5.9	4.9	4.8	4.9	4.8
日本	72 (4.6)	89 (4.5)	71 (2.4)	60 (1.8)	52 (1.5)	46 (1.2)	-0.1	-1.4	-1.4	-1.2	-1.3
韓国	15 (0.9)	26 (1.3)	35 (1.2)	35 (1.1)	33 (0.9)	29 (0.7)	3.2	0.1	-0.6	-1.3	-0.6
台湾	7 (0.4)	11 (0.6)	12 (0.4)	11 (0.4)	10 (0.3)	8 (0.2)	2.2	-0.6	-1.4	-2.1	-1.3
ASEAN	32 (2.1)	61 (3.1)	132 (4.6)	176 (5.5)	218 (6.1)	264 (6.8)	5.1	2.4	2.2	1.9	2.2
インドネシア	11 (0.7)	21 (1.1)	54 (1.9)	76 (2.4)	97 (2.7)	119 (3.1)	6.0	2.8	2.4	2.1	2.5
マレーシア	5 (0.3)	11 (0.6)	21 (0.7)	22 (0.7)	22 (0.6)	21 (0.5)	5.3	0.5	-0.1	-0.5	0.0
ミャンマー	0 (0.0)	1 (0.1)	2 (0.1)	4 (0.1)	6 (0.2)	9 (0.2)	5.7	5.6	4.7	3.6	4.7
フィリピン	5 (0.3)	8 (0.4)	12 (0.4)	24 (0.7)	35 (1.0)	49 (1.2)	3.6	5.7	3.9	3.4	4.4
シンガポール	1 (0.1)	2 (0.1)	3 (0.1)	2 (0.1)	2 (0.1)	2 (0.1)	2.3	-0.2	-0.5	-1.1	-0.6
タイ	9 (0.6)	15 (0.7)	28 (1.0)	29 (0.9)	32 (0.9)	33 (0.9)	4.1	0.5	0.8	0.6	0.6
ベトナム	1 (0.1)	3 (0.2)	12 (0.4)	18 (0.6)	24 (0.7)	31 (0.8)	8.0	3.5	2.8	2.6	3.0
北米	531 (33.7)	640 (32.6)	706 (24.4)	651 (20.2)	615 (17.3)	585 (15.0)	1.0	-0.7	-0.6	-0.5	-0.6
米国	488 (31.0)	588 (30.0)	638 (22.1)	585 (18.1)	553 (15.6)	527 (13.5)	1.0	-0.7	-0.5	-0.5	-0.6
中南米	103 (6.5)	140 (7.1)	225 (7.8)	266 (8.3)	294 (8.3)	309 (7.9)	2.8	1.4	1.0	0.5	1.0
欧州先進国	269 (17.1)	318 (16.2)	354 (12.3)	313 (9.7)	279 (7.9)	253 (6.5)	1.0	-1.0	-1.1	-1.0	-1.1
欧州連合	220 (14.0)	262 (13.3)	287 (9.9)	253 (7.9)	225 (6.3)	202 (5.2)	1.0	-1.0	-1.2	-1.1	-1.1
他欧州/ユーラシア	170 (10.8)	109 (5.6)	156 (5.4)	152 (4.7)	147 (4.1)	143 (3.7)	-0.3	-0.2	-0.3	-0.2	-0.3
アフリカ	38 (2.4)	55 (2.8)	124 (4.3)	165 (5.1)	224 (6.3)	287 (7.4)	4.3	2.5	3.1	2.5	2.7
中東	51 (3.2)	75 (3.8)	147 (5.1)	175 (5.4)	193 (5.4)	208 (5.3)	3.9	1.4	1.0	0.7	1.1
オセアニア	24 (1.5)	30 (1.5)	39 (1.4)	39 (1.2)	38 (1.1)	37 (0.9)	1.8	-0.1	-0.2	-0.3	-0.2
先進国	920 (58.4)	1,120 (57.1)	1,223 (42.3)	1,114 (34.6)	1,032 (29.0)	961 (24.7)	1.0	-0.8	-0.8	-0.7	-0.7
新興・途上国	453 (28.8)	569 (29.0)	1,246 (43.1)	1,582 (49.1)	1,879 (52.8)	2,183 (56.0)	3.7	2.0	1.7	1.5	1.8

(出所) IEA "World Energy Balances"

見直しは日本エネルギー経済研究所

(注)カッコ内は対世界比(%)。世界は国際バンカーを含む

付表14 | 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)

	1990	2000	2018	2030	2040	2050	年平均変化率(%)				
							1990/ 2018	2018/ 2030	2030/ 2040	2040/ 2050	2018/ 2050
世界	2,411 (100)	2,592 (100)	3,291 (100)	3,772 (100)	3,986 (100)	4,111 (100)	1.1	1.1	0.6	0.3	0.7
アジア	740 (30.7)	842 (32.5)	1,172 (35.6)	1,456 (38.6)	1,602 (40.2)	1,701 (41.4)	1.7	1.8	1.0	0.6	1.2
中国	351 (14.5)	338 (13.1)	559 (17.0)	704 (18.7)	764 (19.2)	793 (19.3)	1.7	1.9	0.8	0.4	1.1
インド	142 (5.9)	171 (6.6)	246 (7.5)	339 (9.0)	394 (9.9)	443 (10.8)	2.0	2.7	1.5	1.2	1.9
日本	78 (3.2)	108 (4.2)	96 (2.9)	94 (2.5)	89 (2.2)	84 (2.0)	0.7	-0.2	-0.5	-0.6	-0.4
韓国	24 (1.0)	37 (1.4)	47 (1.4)	49 (1.3)	48 (1.2)	46 (1.1)	2.4	0.4	-0.2	-0.5	0.0
台湾	6 (0.3)	10 (0.4)	12 (0.4)	12 (0.3)	13 (0.3)	13 (0.3)	2.2	0.3	0.4	0.1	0.3
ASEAN	87 (3.6)	112 (4.3)	113 (3.4)	141 (3.7)	170 (4.3)	200 (4.9)	1.0	1.8	1.9	1.6	1.8
インドネシア	44 (1.8)	59 (2.3)	43 (1.3)	49 (1.3)	61 (1.5)	74 (1.8)	-0.1	1.0	2.3	1.9	1.7
マレーシア	2 (0.1)	4 (0.2)	9 (0.3)	12 (0.3)	15 (0.4)	17 (0.4)	5.2	2.8	1.8	1.3	2.0
ミャンマー	8 (0.4)	9 (0.4)	14 (0.4)	17 (0.5)	19 (0.5)	19 (0.5)	1.8	1.8	0.8	0.4	1.0
フィリピン	10 (0.4)	10 (0.4)	13 (0.4)	18 (0.5)	21 (0.5)	24 (0.6)	0.8	2.8	2.0	1.3	2.1
シンガポール	1 (0.0)	2 (0.1)	3 (0.1)	3 (0.1)	3 (0.1)	3 (0.1)	3.0	1.1	0.4	0.0	0.5
タイ	11 (0.4)	14 (0.5)	18 (0.5)	21 (0.6)	23 (0.6)	24 (0.6)	1.8	1.5	0.8	0.5	1.0
ベトナム	10 (0.4)	14 (0.5)	14 (0.4)	20 (0.5)	28 (0.7)	38 (0.9)	1.2	3.1	3.2	3.0	3.1
北米	456 (18.9)	533 (20.6)	600 (18.2)	607 (16.1)	597 (15.0)	577 (14.0)	1.0	0.1	-0.2	-0.3	-0.1
米国	403 (16.7)	473 (18.2)	530 (16.1)	539 (14.3)	531 (13.3)	514 (12.5)	1.0	0.1	-0.2	-0.3	-0.1
中南米	101 (4.2)	121 (4.7)	166 (5.0)	197 (5.2)	223 (5.6)	247 (6.0)	1.8	1.4	1.3	1.0	1.3
欧州先進国	442 (18.3)	477 (18.4)	495 (15.0)	491 (13.0)	460 (11.5)	434 (10.6)	0.4	-0.1	-0.7	-0.6	-0.4
欧州連合	374 (15.5)	391 (15.1)	400 (12.2)	403 (10.7)	377 (9.5)	354 (8.6)	0.2	0.1	-0.7	-0.6	-0.4
他欧州/ユーラシア	432 (17.9)	287 (11.1)	316 (9.6)	326 (8.7)	315 (7.9)	313 (7.6)	-1.1	0.3	-0.4	0.0	0.0
アフリカ	185 (7.7)	238 (9.2)	374 (11.4)	473 (12.5)	535 (13.4)	557 (13.5)	2.5	2.0	1.2	0.4	1.2
中東	40 (1.7)	75 (2.9)	143 (4.3)	192 (5.1)	225 (5.6)	253 (6.1)	4.7	2.5	1.6	1.2	1.8
オセアニア	15 (0.6)	19 (0.7)	25 (0.8)	28 (0.7)	29 (0.7)	30 (0.7)	1.9	1.0	0.4	0.2	0.6
先進国	1,025 (42.5)	1,189 (45.9)	1,281 (38.9)	1,290 (34.2)	1,244 (31.2)	1,191 (29.0)	0.8	0.1	-0.4	-0.4	-0.2
新興・途上国	1,386 (57.5)	1,403 (54.1)	2,009 (61.1)	2,482 (65.8)	2,742 (68.8)	2,920 (71.0)	1.3	1.8	1.0	0.6	1.2

(出所) IEA "World Energy Balances"

見通しは日本エネルギー経済研究所

(注)カッコ内は対世界比(%)

付表15 | 最終エネルギー消費、電力[レファレンスシナリオ]

(TWh)

	1990	2000	2018	2030	2040	2050	年平均変化率(%)				
							1990/ 2018	2018/ 2030	2030/ 2040	2040/ 2050	2018/ 2050
世界	9,701 (100)	12,695 (100)	22,311 (100)	29,000 (100)	34,516 (100)	39,056 (100)	3.0	2.2	1.8	1.2	1.8
アジア	1,822 (18.8)	3,251 (25.6)	10,190 (45.7)	14,609 (50.4)	17,556 (50.9)	19,772 (50.6)	6.3	3.0	1.9	1.2	2.1
中国	454 (4.7)	1,036 (8.2)	6,010 (26.9)	8,245 (28.4)	9,309 (27.0)	9,708 (24.9)	9.7	2.7	1.2	0.4	1.5
インド	212 (2.2)	369 (2.9)	1,201 (5.4)	2,441 (8.4)	3,471 (10.1)	4,454 (11.4)	6.4	6.1	3.6	2.5	4.2
日本	765 (7.9)	973 (7.7)	945 (4.2)	973 (3.4)	989 (2.9)	982 (2.5)	0.8	0.2	0.2	-0.1	0.1
韓国	94 (1.0)	263 (2.1)	531 (2.4)	623 (2.1)	664 (1.9)	668 (1.7)	6.4	1.3	0.6	0.1	0.7
台湾	77 (0.8)	160 (1.3)	247 (1.1)	274 (0.9)	294 (0.9)	304 (0.8)	4.3	0.9	0.7	0.3	0.6
ASEAN	130 (1.3)	320 (2.5)	941 (4.2)	1,583 (5.5)	2,192 (6.3)	2,844 (7.3)	7.3	4.4	3.3	2.6	3.5
インドネシア	28 (0.3)	79 (0.6)	256 (1.1)	460 (1.6)	700 (2.0)	955 (2.4)	8.2	5.0	4.3	3.1	4.2
マレーシア	20 (0.2)	61 (0.5)	153 (0.7)	221 (0.8)	277 (0.8)	329 (0.8)	7.5	3.1	2.3	1.7	2.4
ミャンマー	2 (0.0)	3 (0.0)	19 (0.1)	47 (0.2)	77 (0.2)	116 (0.3)	8.8	8.1	5.1	4.1	5.9
フィリピン	21 (0.2)	37 (0.3)	83 (0.4)	138 (0.5)	193 (0.6)	251 (0.6)	5.0	4.4	3.4	2.7	3.5
シンガポール	13 (0.1)	27 (0.2)	50 (0.2)	62 (0.2)	68 (0.2)	70 (0.2)	5.0	1.7	0.9	0.2	1.0
タイ	38 (0.4)	88 (0.7)	188 (0.8)	272 (0.9)	337 (1.0)	390 (1.0)	5.8	3.1	2.2	1.4	2.3
ベトナム	6 (0.1)	22 (0.2)	189 (0.8)	378 (1.3)	535 (1.5)	730 (1.9)	13.0	5.9	3.5	3.2	4.3
北米	3,051 (31.5)	3,980 (31.4)	4,424 (19.8)	4,802 (16.6)	5,265 (15.3)	5,580 (14.3)	1.3	0.7	0.9	0.6	0.7
米国	2,633 (27.1)	3,499 (27.6)	3,900 (17.5)	4,213 (14.5)	4,623 (13.4)	4,895 (12.5)	1.4	0.6	0.9	0.6	0.7
中南米	518 (5.3)	797 (6.3)	1,327 (5.9)	1,825 (6.3)	2,382 (6.9)	2,863 (7.3)	3.4	2.7	2.7	1.9	2.4
欧州先進国	2,248 (23.2)	2,717 (21.4)	3,159 (14.2)	3,460 (11.9)	3,642 (10.6)	3,700 (9.5)	1.2	0.8	0.5	0.2	0.5
欧州連合	1,887 (19.4)	2,198 (17.3)	2,511 (11.3)	2,773 (9.6)	2,933 (8.5)	2,992 (7.7)	1.0	0.8	0.6	0.2	0.5
他欧州/ユーラシア	1,449 (14.9)	1,001 (7.9)	1,279 (5.7)	1,506 (5.2)	1,783 (5.2)	2,013 (5.2)	-0.4	1.4	1.7	1.2	1.4
アフリカ	256 (2.6)	363 (2.9)	680 (3.0)	1,096 (3.8)	1,744 (5.1)	2,580 (6.6)	3.6	4.1	4.8	4.0	4.3
中東	199 (2.0)	379 (3.0)	999 (4.5)	1,402 (4.8)	1,816 (5.3)	2,198 (5.6)	5.9	2.9	2.6	1.9	2.5
オセアニア	158 (1.6)	207 (1.6)	252 (1.1)	299 (1.0)	329 (1.0)	349 (0.9)	1.7	1.4	1.0	0.6	1.0
先進国	6,429 (66.3)	8,363 (65.9)	9,655 (43.3)	10,545 (36.4)	11,303 (32.7)	11,703 (30.0)	1.5	0.7	0.7	0.3	0.6
新興・途上国	3,272 (33.7)	4,332 (34.1)	12,657 (56.7)	18,456 (63.6)	23,213 (67.3)	27,353 (70.0)	5.0	3.2	2.3	1.7	2.4

(出所) IEA "World Energy Balances"

見直しは日本エネルギー経済研究所

(注)カッコ内は対世界比(%)

付表16 | 発電電力量[レファレンスシナリオ]

(TWh)

							年平均変化率(%)				
	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990/ 2018	2018/ 2030	2030/ 2040	2040/ 2050	2018/ 2050
世界	11,846 (100)	15,427 (100)	26,619 (100)	34,431 (100)	40,519 (100)	45,201 (100)	2.9	2.2	1.6	1.1	1.7
アジア	2,238 (18.9)	3,971 (25.7)	12,069 (45.3)	17,248 (50.1)	20,488 (50.6)	22,749 (50.3)	6.2	3.0	1.7	1.1	2.0
中国	621 (5.2)	1,356 (8.8)	7,149 (26.9)	9,723 (28.2)	10,858 (26.8)	11,191 (24.8)	9.1	2.6	1.1	0.3	1.4
インド	289 (2.4)	562 (3.6)	1,583 (5.9)	3,128 (9.1)	4,284 (10.6)	5,294 (11.7)	6.3	5.8	3.2	2.1	3.8
日本	862 (7.3)	1,055 (6.8)	1,050 (3.9)	1,079 (3.1)	1,093 (2.7)	1,082 (2.4)	0.7	0.2	0.1	-0.1	0.1
韓国	105 (0.9)	289 (1.9)	586 (2.2)	687 (2.0)	731 (1.8)	734 (1.6)	6.3	1.3	0.6	0.0	0.7
台湾	88 (0.7)	181 (1.2)	272 (1.0)	302 (0.9)	323 (0.8)	333 (0.7)	4.1	0.9	0.7	0.3	0.6
ASEAN	154 (1.3)	370 (2.4)	1,059 (4.0)	1,763 (5.1)	2,435 (6.0)	3,152 (7.0)	7.1	4.3	3.3	2.6	3.5
インドネシア	33 (0.3)	93 (0.6)	284 (1.1)	513 (1.5)	782 (1.9)	1,065 (2.4)	8.0	5.1	4.3	3.1	4.2
マレーシア	23 (0.2)	69 (0.4)	170 (0.6)	247 (0.7)	309 (0.8)	366 (0.8)	7.4	3.1	2.3	1.7	2.4
ミャンマー	2 (0.0)	5 (0.0)	25 (0.1)	78 (0.2)	122 (0.3)	175 (0.4)	8.5	10.1	4.6	3.7	6.3
フィリピン	26 (0.2)	45 (0.3)	99 (0.4)	165 (0.5)	227 (0.6)	291 (0.6)	4.9	4.3	3.2	2.5	3.4
シンガポール	16 (0.1)	32 (0.2)	53 (0.2)	65 (0.2)	72 (0.2)	73 (0.2)	4.4	1.7	0.9	0.2	1.0
タイ	44 (0.4)	96 (0.6)	182 (0.7)	249 (0.7)	307 (0.8)	350 (0.8)	5.2	2.6	2.1	1.3	2.1
ベトナム	9 (0.1)	27 (0.2)	241 (0.9)	441 (1.3)	612 (1.5)	826 (1.8)	12.6	5.2	3.3	3.0	3.9
北米	3,685 (31.1)	4,631 (30.0)	5,088 (19.1)	5,500 (16.0)	5,993 (14.8)	6,309 (14.0)	1.2	0.6	0.9	0.5	0.7
米国	3,203 (27.0)	4,026 (26.1)	4,434 (16.7)	4,774 (13.9)	5,212 (12.9)	5,486 (12.1)	1.2	0.6	0.9	0.5	0.7
中南米	623 (5.3)	1,009 (6.5)	1,637 (6.2)	2,224 (6.5)	2,851 (7.0)	3,356 (7.4)	3.5	2.6	2.5	1.6	2.3
欧州先進国	2,697 (22.8)	3,238 (21.0)	3,656 (13.7)	3,984 (11.6)	4,161 (10.3)	4,191 (9.3)	1.1	0.7	0.4	0.1	0.4
欧州連合	2,259 (19.1)	2,631 (17.1)	2,920 (11.0)	3,206 (9.3)	3,361 (8.3)	3,392 (7.5)	0.9	0.8	0.5	0.1	0.5
他欧州/ユーラシア	1,857 (15.7)	1,415 (9.2)	1,801 (6.8)	2,049 (6.0)	2,326 (5.7)	2,516 (5.6)	-0.1	1.1	1.3	0.8	1.1
アフリカ	315 (2.7)	442 (2.9)	835 (3.1)	1,336 (3.9)	2,092 (5.2)	3,031 (6.7)	3.5	4.0	4.6	3.8	4.1
中東	244 (2.1)	472 (3.1)	1,228 (4.6)	1,733 (5.0)	2,218 (5.5)	2,643 (5.8)	5.9	2.9	2.5	1.8	2.4
オセアニア	187 (1.6)	249 (1.6)	305 (1.1)	359 (1.0)	389 (1.0)	406 (0.9)	1.8	1.4	0.8	0.4	0.9
先進国	7,668 (64.7)	9,706 (62.9)	11,048 (41.5)	12,019 (34.9)	12,808 (31.6)	13,172 (29.1)	1.3	0.7	0.6	0.3	0.6
新興・途上国	4,178 (35.3)	5,721 (37.1)	15,571 (58.5)	22,412 (65.1)	27,711 (68.4)	32,028 (70.9)	4.8	3.1	2.1	1.5	2.3

(出所) IEA "World Energy Balances"

見通しは日本エネルギー経済研究所

(注)カッコ内は対世界比(%)

付表17 | 1人あ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/人)

	1990	2000	2018	2030	2040	2050	年平均変化率(%)				
							1990/ 2018	2018/ 2030	2030/ 2040	2040/ 2050	2018/ 2050
世界	1.66	1.64	1.88	1.94	1.95	1.92	0.4	0.3	0.0	-0.2	0.1
アジア	0.72	0.84	1.42	1.65	1.75	1.81	2.5	1.3	0.6	0.3	0.8
中国	0.77	0.89	2.30	2.60	2.66	2.58	4.0	1.1	0.2	-0.3	0.4
インド	0.35	0.42	0.68	1.03	1.26	1.48	2.4	3.5	2.1	1.6	2.5
日本	3.55	4.09	3.37	3.38	3.35	3.29	-0.2	0.0	-0.1	-0.2	-0.1
韓国	2.17	4.00	5.47	5.81	5.80	5.70	3.4	0.5	0.0	-0.2	0.1
台湾	2.33	3.81	4.67	4.64	4.63	4.58	2.5	-0.1	0.0	-0.1	-0.1
ASEAN	0.54	0.75	1.06	1.39	1.62	1.84	2.4	2.3	1.5	1.3	1.7
インドネシア	0.54	0.74	0.86	1.16	1.40	1.63	1.7	2.5	1.9	1.5	2.0
マレーシア	1.18	2.08	2.96	3.64	3.83	3.88	3.4	1.7	0.5	0.1	0.8
ミャンマー	0.26	0.27	0.44	0.66	0.83	1.00	1.9	3.4	2.3	1.9	2.6
フィリピン	0.46	0.51	0.56	0.76	0.88	1.01	0.7	2.5	1.5	1.4	1.8
シンガポール	3.78	4.63	6.70	7.00	7.26	7.48	2.1	0.4	0.4	0.3	0.3
タイ	0.75	1.15	1.96	2.45	2.80	3.17	3.5	1.9	1.3	1.2	1.5
ベトナム	0.26	0.36	0.87	1.34	1.71	2.13	4.4	3.6	2.4	2.2	2.8
北米	7.67	8.08	6.95	6.34	5.91	5.49	-0.3	-0.8	-0.7	-0.7	-0.7
米国	7.67	8.06	6.83	6.23	5.83	5.42	-0.4	-0.8	-0.7	-0.7	-0.7
中南米	1.06	1.17	1.28	1.43	1.59	1.68	0.7	0.9	1.1	0.5	0.8
欧州先進国	3.25	3.34	3.02	2.81	2.66	2.51	-0.3	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6
欧州連合	3.42	3.43	3.20	3.05	2.90	2.75	-0.2	-0.4	-0.5	-0.5	-0.5
他欧州/ユーラシア	4.50	2.97	3.41	3.51	3.66	3.79	-1.0	0.2	0.4	0.4	0.3
アフリカ	0.61	0.61	0.66	0.64	0.64	0.61	0.2	-0.2	0.0	-0.4	-0.2
中東	1.69	2.22	3.15	3.40	3.54	3.53	2.3	0.6	0.4	0.0	0.4
オセアニア	4.85	5.44	4.98	4.54	4.22	3.83	0.1	-0.8	-0.7	-1.0	-0.8
先進国	4.47	4.89	4.46	4.22	4.03	3.82	0.0	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5
新興・途上国	0.96	0.90	1.34	1.48	1.54	1.55	1.2	0.9	0.4	0.0	0.5

(出所)世界銀行 "World Development Indicators"、IEA "World Energy Balances"等より算出

見直しは日本エネルギー経済研究所

(注)世界は国際バンカーを含む

付表18 | GDPあ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/2010年価格100万ドル)

	1990	2000	2018	2030	2040	2050	年平均変化率(%)				
							1990/ 2018	2018/ 2030	2030/ 2040	2040/ 2050	2018/ 2050
世界	231	201	173	145	120	100	-1.0	-1.5	-1.9	-1.8	-1.7
アジア	277	260	228	175	135	108	-0.7	-2.2	-2.6	-2.3	-2.3
中国	1,055	506	296	186	127	93	-4.4	-3.8	-3.7	-3.1	-3.6
インド	605	507	325	251	194	152	-2.2	-2.1	-2.5	-2.5	-2.4
日本	93	97	69	61	52	45	-1.1	-1.0	-1.5	-1.5	-1.3
韓国	256	265	204	161	128	102	-0.8	-2.0	-2.3	-2.2	-2.1
台湾	307	286	203	161	131	107	-1.5	-1.9	-2.0	-2.0	-2.0
ASEAN	313	321	231	195	161	134	-1.1	-1.4	-1.9	-1.8	-1.7
インドネシア	318	343	202	166	136	114	-1.6	-1.6	-1.9	-1.8	-1.8
マレーシア	259	297	245	205	163	128	-0.2	-1.5	-2.3	-2.4	-2.0
ミャンマー	1,594	960	337	271	213	169	-5.4	-1.8	-2.4	-2.3	-2.1
フィリピン	304	319	186	154	132	113	-1.7	-1.6	-1.5	-1.5	-1.5
シンガポール	168	137	115	100	87	78	-1.3	-1.2	-1.4	-1.1	-1.2
タイ	298	332	307	263	213	175	0.1	-1.3	-2.1	-1.9	-1.7
ベトナム	607	470	445	372	295	237	-1.1	-1.5	-2.3	-2.2	-2.0
北米	214	183	128	100	79	64	-1.8	-2.0	-2.3	-2.2	-2.2
米国	213	180	125	98	77	62	-1.9	-2.0	-2.3	-2.2	-2.2
中南米	163	159	140	124	106	90	-0.5	-1.0	-1.6	-1.6	-1.4
欧州先進国	129	110	82	66	55	46	-1.6	-1.8	-1.8	-1.7	-1.8
欧州連合	141	116	87	71	59	49	-1.7	-1.7	-1.9	-1.7	-1.8
他欧州/ユーラシア	706	672	406	323	265	218	-2.0	-1.9	-2.0	-1.9	-1.9
アフリカ	432	419	338	269	206	160	-0.9	-1.9	-2.6	-2.5	-2.3
中東	216	242	277	271	239	204	0.9	-0.2	-1.2	-1.6	-1.0
オセアニア	137	126	89	70	58	48	-1.5	-2.0	-1.8	-1.9	-1.9
先進国	155	140	103	83	68	56	-1.5	-1.7	-2.0	-1.9	-1.9
新興・途上国	448	363	277	210	161	128	-1.7	-2.3	-2.6	-2.3	-2.4

(出所)世界銀行 "World Development Indicators"、IEA "World Energy Balances"等より算出

見直しは日本エネルギー経済研究所

(注)世界は国際バンカーを含む

付表19 | 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	2018	2030	2040	2050	年平均変化率(%)				
							1990/ 2018	2018/ 2030	2030/ 2040	2040/ 2050	2018/ 2050
世界	20,324 (100)	23,046 (100)	33,258 (100)	37,205 (100)	39,486 (100)	39,975 (100)	1.8	0.9	0.6	0.1	0.6
アジア	4,639 (22.8)	6,729 (29.2)	15,495 (46.6)	18,941 (50.9)	20,310 (51.4)	20,546 (51.4)	4.4	1.7	0.7	0.1	0.9
中国	2,146 (10.6)	3,140 (13.6)	9,348 (28.1)	10,360 (27.8)	9,853 (25.0)	8,562 (21.4)	5.4	0.9	-0.5	-1.4	-0.3
インド	530 (2.6)	890 (3.9)	2,324 (7.0)	4,033 (10.8)	5,384 (13.6)	6,557 (16.4)	5.4	4.7	2.9	2.0	3.3
日本	1,058 (5.2)	1,161 (5.0)	1,081 (3.2)	940 (2.5)	852 (2.2)	738 (1.8)	0.1	-1.2	-1.0	-1.4	-1.2
韓国	209 (1.0)	404 (1.8)	602 (1.8)	629 (1.7)	608 (1.5)	550 (1.4)	3.8	0.4	-0.3	-1.0	-0.3
台湾	105 (0.5)	203 (0.9)	255 (0.8)	266 (0.7)	250 (0.6)	223 (0.6)	3.2	0.4	-0.6	-1.1	-0.4
ASEAN	341 (1.7)	669 (2.9)	1,444 (4.3)	2,106 (5.7)	2,608 (6.6)	3,026 (7.6)	5.3	3.2	2.2	1.5	2.3
インドネシア	130 (0.6)	254 (1.1)	539 (1.6)	817 (2.2)	1,062 (2.7)	1,248 (3.1)	5.2	3.5	2.7	1.6	2.7
マレーシア	51 (0.3)	111 (0.5)	222 (0.7)	280 (0.8)	298 (0.8)	296 (0.7)	5.4	2.0	0.6	-0.1	0.9
ミャンマー	4 (0.0)	10 (0.0)	31 (0.1)	77 (0.2)	116 (0.3)	157 (0.4)	7.6	7.8	4.2	3.0	5.2
フィリピン	36 (0.2)	67 (0.3)	133 (0.4)	206 (0.6)	271 (0.7)	337 (0.8)	4.8	3.7	2.8	2.2	3.0
シンガポール	21 (0.1)	33 (0.1)	47 (0.1)	53 (0.1)	56 (0.1)	56 (0.1)	2.9	1.0	0.6	0.0	0.6
タイ	77 (0.4)	147 (0.6)	238 (0.7)	272 (0.7)	281 (0.7)	271 (0.7)	4.1	1.1	0.3	-0.4	0.4
ベトナム	17 (0.1)	43 (0.2)	227 (0.7)	396 (1.1)	517 (1.3)	655 (1.6)	9.7	4.7	2.7	2.4	3.4
北米	5,184 (25.5)	6,154 (26.7)	5,501 (16.5)	5,046 (13.6)	4,719 (12.0)	4,215 (10.5)	0.2	-0.7	-0.7	-1.1	-0.8
米国	4,783 (23.5)	5,661 (24.6)	4,929 (14.8)	4,499 (12.1)	4,186 (10.6)	3,704 (9.3)	0.1	-0.8	-0.7	-1.2	-0.9
中南米	866 (4.3)	1,193 (5.2)	1,574 (4.7)	1,838 (4.9)	2,171 (5.5)	2,339 (5.9)	2.2	1.3	1.7	0.7	1.2
欧州先進国	3,935 (19.4)	3,910 (17.0)	3,456 (10.4)	3,140 (8.4)	2,855 (7.2)	2,547 (6.4)	-0.5	-0.8	-0.9	-1.1	-1.0
欧州連合	3,422 (16.8)	3,248 (14.1)	2,781 (8.4)	2,478 (6.7)	2,262 (5.7)	2,008 (5.0)	-0.7	-1.0	-0.9	-1.2	-1.0
他欧州/ユーラシア	3,680 (18.1)	2,233 (9.7)	2,399 (7.2)	2,323 (6.2)	2,366 (6.0)	2,348 (5.9)	-1.5	-0.3	0.2	-0.1	-0.1
アフリカ	541 (2.7)	667 (2.9)	1,253 (3.8)	1,617 (4.3)	2,174 (5.5)	2,712 (6.8)	3.0	2.1	3.0	2.2	2.4
中東	568 (2.8)	943 (4.1)	1,844 (5.5)	2,291 (6.2)	2,567 (6.5)	2,689 (6.7)	4.3	1.8	1.1	0.5	1.2
オセアニア	282 (1.4)	363 (1.6)	423 (1.3)	399 (1.1)	380 (1.0)	348 (0.9)	1.5	-0.5	-0.5	-0.9	-0.6
先進国	10,827 (53.3)	12,268 (53.2)	11,407 (34.3)	10,520 (28.3)	9,765 (24.7)	8,717 (21.8)	0.2	-0.7	-0.7	-1.1	-0.8
新興・途上国	8,867 (43.6)	9,925 (43.1)	20,538 (61.8)	25,074 (67.4)	27,779 (70.4)	29,026 (72.6)	3.0	1.7	1.0	0.4	1.1

(出所) IEA "World Energy Balances"より算出

見通しは日本エネルギー経済研究所

(注)カッコ内は対世界比(%)。世界は国際バンカーを含む

付表20 | 世界[レファレンスシナリオ]

一次エネルギー消費

	(石油換算100万トン[Mtoe])							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990	2018	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050
合計 ¹⁾	7,203	8,767	10,034	14,282	16,476	17,823	18,556	100	100	100	1.8	1.2	0.6	0.8
石炭	1,783	2,221	2,317	3,838	4,176	4,174	3,884	25	27	21	2.0	0.7	-0.4	0.0
石油	3,105	3,233	3,669	4,497	4,946	5,328	5,608	37	31	30	1.2	0.8	0.6	0.7
天然ガス	1,231	1,662	2,071	3,262	4,059	4,690	5,132	19	23	28	2.4	1.8	1.2	1.4
原子力	185	526	675	707	786	819	858	6.0	4.9	4.6	1.1	0.9	0.4	0.6
水力	148	184	225	362	424	464	502	2.1	2.5	2.7	2.4	1.3	0.8	1.0
地熱	12	34	52	92	185	243	292	0.4	0.6	1.6	3.6	6.0	2.3	3.7
太陽光・風力等	0.1	2.5	8.0	194	403	583	803	0.0	1.4	4.3	16.8	6.3	3.5	4.5
バイオマス・廃棄物	738	904	1,015	1,327	1,494	1,520	1,475	10	9.3	8.0	1.4	1.0	-0.1	0.3

最終エネルギー消費

	(Mtoe)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990	2018	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050
合計	5,370	6,267	7,032	9,938	11,375	12,251	12,872	100	100	100	1.7	1.1	0.6	0.8
産業	1,767	1,803	1,871	2,839	3,264	3,463	3,518	29	29	27	1.6	1.2	0.4	0.7
運輸	1,245	1,575	1,963	2,891	3,222	3,556	3,898	25	29	30	2.2	0.9	1.0	0.9
民生・農業他	2,000	2,411	2,592	3,291	3,772	3,986	4,111	38	33	32	1.1	1.1	0.4	0.7
非エネルギー消費	358	477	606	917	1,117	1,245	1,345	7.6	9.2	10	2.4	1.7	0.9	1.2
石炭	703	752	542	994	995	943	875	12	10	6.8	1.0	0.0	-0.6	-0.4
石油	2,449	2,606	3,119	4,051	4,516	4,892	5,211	42	41	40	1.6	0.9	0.7	0.8
天然ガス	815	944	1,119	1,611	1,928	2,065	2,175	15	16	17	1.9	1.5	0.6	0.9
電力	586	834	1,092	1,919	2,494	2,968	3,359	13	19	26	3.0	2.2	1.5	1.8
熱	121	336	248	301	311	298	283	5.4	3.0	2.2	-0.4	0.3	-0.5	-0.2
水素	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	-	-	0.0	n.a.	n.a.	-1.5	n.a.
再生可能	697	794	911	1,061	1,132	1,083	969	13	11	7.5	1.0	0.5	-0.8	-0.3

発電量

	(TWh)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990	2018	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050
合計	8,282	11,846	15,427	26,619	34,431	40,519	45,201	100	100	100	2.9	2.2	1.4	1.7
石炭	3,137	4,430	5,994	10,160	12,146	12,846	12,477	37	38	28	3.0	1.5	0.1	0.6
石油	1,659	1,323	1,184	784	754	694	494	11	2.9	1.1	-1.9	-0.3	-2.1	-1.4
天然ガス	998	1,749	2,775	6,150	8,477	11,198	13,344	15	23	30	4.6	2.7	2.3	2.5
原子力	713	2,013	2,591	2,710	3,018	3,142	3,294	17	10	7.3	1.1	0.9	0.4	0.6
水力	1,717	2,141	2,613	4,214	4,936	5,398	5,835	18	16	13	2.4	1.3	0.8	1.0
地熱	14	36	52	89	191	264	319	0.3	0.3	0.7	3.2	6.6	2.6	4.1
太陽光	-	0.1	0.8	554	1,357	2,311	3,785	0.0	2.1	8.4	36.5	7.7	5.3	6.2
風力	0.0	3.9	31	1,273	2,441	3,224	3,856	0.0	4.8	8.5	23.0	5.6	2.3	3.5
太陽熱・海洋	0.5	1.2	1.1	12	119	214	351	0.0	0.0	0.8	8.7	20.8	5.6	11.0
バイオマス・廃棄物	44	130	163	637	957	1,195	1,412	1.1	2.4	3.1	5.9	3.4	2.0	2.5
水素	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
その他	-	20	22	35	35	35	35	0.2	0.1	0.1	2.0	0.0	0.0	0.0

エネルギー・経済指標他

	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050
GDP (2010年価格10億ドル)	28,022	37,880	49,899	82,365	113,405	148,705	186,235	2.8	2.7	2.5	2.6
人口(100万人)	4,434	5,278	6,111	7,591	8,497	9,146	9,682	1.3	0.9	0.7	0.8
エネルギー起源CO ₂ 排出(100万t)	17,774	20,324	23,046	33,258	37,205	39,486	39,975	1.8	0.9	0.4	0.6
一人あたりGDP (2010年価格1,000ドル/人)	6.3	7.2	8.2	11	13	16	19	1.5	1.7	1.8	1.8
一人あたり一次エネルギー消費(toe/人)	1.6	1.7	1.6	1.9	1.9	1.9	1.9	0.4	0.3	-0.1	0.1
GDPあたり一次エネルギー消費 ²⁾	257	231	201	173	145	120	100	-1.0	-1.5	-1.9	-1.7
GDPあたりCO ₂ 排出量 ³⁾	634	537	462	404	328	266	215	-1.0	-1.7	-2.1	-2.0
一次エネルギー消費あたりCO ₂ 排出(t/toe)	2.5	2.3	2.3	2.3	2.3	2.2	2.2	0.0	-0.3	-0.2	-0.2

*1 電力、熱、水素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 toe/2010年価格100万ドル。*3 t/2010年価格100万ドル

付表21 | アジア[レファレンスシナリオ]

一次エネルギー消費

	(石油換算100万トン[Mtoe])							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990	2018	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050
合計 ¹⁾	1,439	2,110	2,887	5,844	7,363	8,101	8,490	100	100	100	3.7	1.9	0.7	1.2
石炭	466	788	1,037	2,821	3,290	3,332	3,133	37	48	37	4.7	1.3	-0.2	0.3
石油	477	618	916	1,464	1,808	2,048	2,269	29	25	27	3.1	1.8	1.1	1.4
天然ガス	51	116	233	641	1,037	1,316	1,512	5.5	11	18	6.3	4.1	1.9	2.7
原子力	25	77	132	148	250	295	345	3.6	2.5	4.1	2.4	4.5	1.6	2.7
水力	20	32	41	146	183	205	222	1.5	2.5	2.6	5.6	1.9	1.0	1.3
地熱	2.6	8.2	23	47	96	121	147	0.4	0.8	1.7	6.4	6.1	2.1	3.6
太陽光・風力等	-	1.2	2.1	89	200	296	393	0.1	1.5	4.6	16.5	7.0	3.4	4.7
バイオマス・廃棄物	396	471	503	487	498	486	469	22	8.3	5.5	0.1	0.2	-0.3	-0.1

最終エネルギー消費

	(Mtoe)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990	2018	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050
合計	1,133	1,558	1,999	3,847	4,748	5,232	5,593	100	100	100	3.3	1.8	0.8	1.2
産業	384	515	655	1,556	1,828	1,911	1,921	33	40	34	4.0	1.4	0.2	0.7
運輸	124	187	321	717	935	1,121	1,322	12	19	24	4.9	2.2	1.7	1.9
民生・農業他	568	740	842	1,172	1,456	1,602	1,701	48	30	30	1.7	1.8	0.8	1.2
非エネルギー消費	58	116	180	401	528	598	650	7.4	10	12	4.5	2.3	1.0	1.5
石炭	301	423	372	834	835	789	731	27	22	13	2.5	0.0	-0.7	-0.4
石油	331	464	740	1,288	1,622	1,853	2,070	30	33	37	3.7	1.9	1.2	1.5
天然ガス	21	46	89	318	511	602	664	3.0	8.3	12	7.1	4.0	1.3	2.3
電力	88	157	280	876	1,256	1,510	1,700	10	23	30	6.3	3.0	1.5	2.1
熱	7.5	14	30	112	126	127	122	0.9	2.9	2.2	7.7	1.0	-0.1	0.3
水素	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	-	-	0.0	n.a.	n.a.	-11.7	n.a.
再生可能	385	455	488	418	397	352	306	29	11	5.5	-0.3	-0.4	-1.3	-1.0

発電量

	(TWh)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990	2018	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050
合計	1,195	2,238	3,971	12,069	17,248	20,488	22,749	100	100	100	6.2	3.0	1.4	2.0
石炭	298	868	1,983	7,172	9,327	10,096	10,060	39	59	44	7.8	2.2	0.4	1.1
石油	475	432	376	170	151	125	95	19	1.4	0.4	-3.3	-1.0	-2.3	-1.8
天然ガス	90	237	570	1,416	2,324	3,215	3,979	11	12	17	6.6	4.2	2.7	3.3
原子力	97	294	505	569	960	1,134	1,323	13	4.7	5.8	2.4	4.5	1.6	2.7
水力	232	368	477	1,703	2,133	2,389	2,582	16	14	11	5.6	1.9	1.0	1.3
地熱	3.0	8.4	20	27	61	78	95	0.4	0.2	0.4	4.3	6.9	2.2	4.0
太陽光	-	0.1	0.4	299	782	1,308	2,069	0.0	2.5	9.1	34.8	8.3	5.0	6.2
風力	-	0.0	2.4	449	1,126	1,639	1,928	0.0	3.7	8.5	40.3	8.0	2.7	4.7
太陽熱・海洋	-	0.0	0.0	0.8	7.5	14	26	0.0	0.0	0.1	18.4	20.6	6.4	11.5
バイオマス・廃棄物	0.0	9.4	16	241	355	469	573	0.4	2.0	2.5	12.3	3.3	2.4	2.7
水素	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
その他	-	20	20	21	21	21	21	0.9	0.2	0.1	0.3	0.0	0.0	0.0

エネルギー・経済指標他

	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050
GDP (2010年価格10億ドル)	4,510	7,629	11,103	25,670	42,014	59,911	78,948	4.4	4.2	3.2	3.6
人口(100万人)	2,445	2,939	3,420	4,118	4,454	4,623	4,687	1.2	0.7	0.3	0.4
エネルギー起源CO ₂ 排出(100万t)	3,102	4,639	6,729	15,495	18,941	20,310	20,546	4.4	1.7	0.4	0.9
一人あたりGDP (2010年価格1,000ドル/人)	1.8	2.6	3.2	6.2	9.4	13	17	3.2	3.5	2.9	3.2
一人あたり一次エネルギー消費(toe/人)	0.6	0.7	0.8	1.4	1.7	1.8	1.8	2.5	1.3	0.5	0.8
GDPあたり一次エネルギー消費 ²⁾	319	277	260	228	175	135	108	-0.7	-2.2	-2.4	-2.3
GDPあたりCO ₂ 排出量 ³⁾	688	608	606	604	451	339	260	0.0	-2.4	-2.7	-2.6
一次エネルギー消費あたりCO ₂ 排出(t/toe)	2.2	2.2	2.3	2.7	2.6	2.5	2.4	0.7	-0.3	-0.3	-0.3

*1 電力、熱、水素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 toe/2010年価格100万ドル。*3 t/2010年価格100万ドル

付表22 | 中国[レファレンスシナリオ]

一次エネルギー消費

	(石油換算100万トン[Mtoe])							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990	2018	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050
合計 ¹⁾	598	874	1,130	3,196	3,719	3,756	3,532	100	100	100	4.7	1.3	-0.3	0.3
石炭	313	531	665	1,980	2,096	1,902	1,578	61	62	45	4.8	0.5	-1.4	-0.7
石油	89	119	221	610	713	731	679	14	19	19	6.0	1.3	-0.2	0.3
天然ガス	12	13	21	230	417	525	582	1.5	7.2	16	10.9	5.1	1.7	2.9
原子力	-	-	4.4	77	121	156	189	-	2.4	5.4	n.a.	3.9	2.2	2.9
水力	5.0	11	19	103	124	134	138	1.2	3.2	3.9	8.4	1.6	0.5	0.9
地熱	-	-	1.7	11	15	16	17	-	0.4	0.5	n.a.	2.3	0.8	1.3
太陽光・風力等	-	0.0	1.0	70	145	207	252	0.0	2.2	7.1	31.4	6.3	2.8	4.1
バイオマス・廃棄物	180	200	198	117	89	86	98	23	3.7	2.8	-1.9	-2.2	0.5	-0.5

最終エネルギー消費

	(Mtoe)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990	2018	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050
合計	487	658	781	2,058	2,333	2,353	2,259	100	100	100	4.2	1.1	-0.2	0.3
産業	181	234	302	996	988	900	803	36	48	36	5.3	-0.1	-1.0	-0.7
運輸	22	30	84	325	415	445	416	4.6	16	18	8.9	2.1	0.0	0.8
民生・農業他	274	351	338	559	704	764	793	53	27	35	1.7	1.9	0.6	1.1
非エネルギー消費	10	43	57	179	225	243	246	6.5	8.7	11	5.2	2.0	0.4	1.0
石炭	214	311	274	635	541	437	345	47	31	15	2.6	-1.3	-2.2	-1.9
石油	59	85	180	535	637	655	608	13	26	27	6.8	1.5	-0.2	0.4
天然ガス	6.4	8.9	12	153	241	268	281	1.3	7.4	12	10.7	3.8	0.8	1.9
電力	21	39	89	517	709	801	835	5.9	25	37	9.7	2.7	0.8	1.5
熱	7.4	13	26	103	116	118	113	2.0	5.0	5.0	7.6	1.0	-0.1	0.3
水素	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
再生可能	180	200	199	114	88	74	77	30	5.5	3.4	-2.0	-2.1	-0.7	-1.2

発電量

	(TWh)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990	2018	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050
合計	301	621	1,356	7,149	9,723	10,858	11,191	100	100	100	9.1	2.6	0.7	1.4
石炭	159	441	1,060	4,773	5,768	5,680	5,126	71	67	46	8.9	1.6	-0.6	0.2
石油	82	50	47	11	10	7.4	4.2	8.1	0.2	0.0	-5.4	-0.5	-4.3	-2.9
天然ガス	0.7	2.8	5.8	224	578	845	1,034	0.4	3.1	9.2	17.0	8.2	3.0	4.9
原子力	-	-	17	295	466	597	725	-	4.1	6.5	n.a.	3.9	2.2	2.9
水力	58	127	222	1,199	1,445	1,553	1,600	20	17	14	8.4	1.6	0.5	0.9
地熱	-	0.1	0.1	0.1	0.3	0.5	0.5	0.0	0.0	0.0	2.9	8.6	2.2	4.5
太陽光	-	0.0	0.0	177	409	656	952	0.0	2.5	8.5	50.2	7.2	4.3	5.4
風力	-	0.0	0.6	366	907	1,321	1,497	0.0	5.1	13	54.1	7.9	2.5	4.5
太陽熱・海洋	-	0.0	0.0	0.3	1.0	3.7	8.0	0.0	0.0	0.1	14.5	10.6	10.7	10.7
バイオマス・廃棄物	-	-	2.4	104	139	195	244	-	1.5	2.2	n.a.	2.5	2.8	2.7
水素	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
その他	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.

エネルギー・経済指標他

	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050
GDP (2010年価格10億ドル)	341	828	2,232	10,797	20,026	29,506	37,968	9.6	5.3	3.3	4.0
人口(100万人)	981	1,135	1,263	1,393	1,429	1,414	1,368	0.7	0.2	-0.2	-0.1
エネルギー起源CO ₂ 排出(100万t)	1,399	2,146	3,140	9,348	10,360	9,853	8,562	5.4	0.9	-0.9	-0.3
一人あたりGDP (2010年価格1,000ドル/人)	0.3	0.7	1.8	7.8	14	21	28	8.8	5.1	3.5	4.1
一人あたり一次エネルギー消費(toe/人)	0.6	0.8	0.9	2.3	2.6	2.7	2.6	4.0	1.1	0.0	0.4
GDPあたり一次エネルギー消費 ²⁾	1,756	1,055	506	296	186	127	93	-4.4	-3.8	-3.4	-3.6
GDPあたりCO ₂ 排出量 ³⁾	4,106	2,593	1,407	866	517	334	226	-3.8	-4.2	-4.1	-4.1
一次エネルギー消費あたりCO ₂ 排出(t/toe)	2.3	2.5	2.8	2.9	2.8	2.6	2.4	0.6	-0.4	-0.7	-0.6

*1 電力、熱、水素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 toe/2010年価格100万ドル。*3 t/2010年価格100万ドル

付表23 | インド[レファレンスシナリオ]

一次エネルギー消費

	(石油換算100万トン[Mtoe])							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990	2018	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050
合計 ¹⁾	200	306	441	919	1,542	2,003	2,425	100	100	100	4.0	4.4	2.3	3.1
石炭	44	93	146	414	697	883	990	30	45	41	5.5	4.4	1.8	2.8
石油	33	61	112	235	401	569	790	20	26	33	4.9	4.6	3.4	3.9
天然ガス	1.3	11	23	52	135	216	283	3.5	5.7	12	5.9	8.2	3.8	5.4
原子力	0.8	1.6	4.4	9.9	43	54	68	0.5	1.1	2.8	6.7	13.1	2.3	6.2
水力	4.0	6.2	6.4	13	21	28	35	2.0	1.4	1.4	2.7	4.1	2.5	3.1
地熱	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
太陽光・風力等	-	0.0	0.2	9.9	34	55	81	0.0	1.1	3.3	27.8	10.9	4.4	6.8
バイオマス・廃棄物	116	133	149	185	211	200	178	44	20	7.4	1.2	1.1	-0.8	-0.1

最終エネルギー消費

	(Mtoe)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990	2018	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050
合計	174	243	315	607	1,002	1,305	1,621	100	100	100	3.3	4.3	2.4	3.1
産業	42	67	85	206	391	499	559	28	34	34	4.1	5.5	1.8	3.2
運輸	17	21	32	104	183	292	469	8.5	17	29	5.9	4.9	4.8	4.8
民生・農業他	110	142	171	246	339	394	443	58	41	27	2.0	2.7	1.3	1.9
非エネルギー消費	5.7	13	27	51	89	120	151	5.5	8.4	9.3	4.9	4.7	2.7	3.5
石炭	25	38	33	107	186	233	261	16	18	16	3.7	4.7	1.7	2.8
石油	27	50	94	208	364	520	727	21	34	45	5.2	4.8	3.5	4.0
天然ガス	0.7	6.1	12	32	80	116	146	2.5	5.3	9.0	6.2	7.8	3.1	4.8
電力	7.7	18	32	103	210	298	383	7.5	17	24	6.4	6.1	3.1	4.2
熱	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
水素	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
再生可能	114	130	144	157	162	138	103	54	26	6.4	0.7	0.3	-2.2	-1.3

発電量

	(TWh)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990	2018	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050
合計	119	289	562	1,583	3,128	4,284	5,294	100	100	100	6.3	5.8	2.7	3.8
石炭	61	192	390	1,163	2,014	2,598	2,937	66	73	55	6.7	4.7	1.9	2.9
石油	7.6	10	22	7.8	10	9.0	5.2	3.5	0.5	0.1	-0.9	2.2	-3.3	-1.3
天然ガス	0.6	10.0	56	74	242	447	672	3.4	4.6	13	7.4	10.4	5.2	7.2
原子力	3.0	6.1	17	38	165	206	262	2.1	2.4	4.9	6.7	13.1	2.3	6.2
水力	47	72	74	151	244	322	401	25	9.5	7.6	2.7	4.1	2.5	3.1
地熱	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
太陽光	-	-	0.0	40	200	359	591	-	2.5	11	n.a.	14.4	5.6	8.8
風力	-	0.0	1.7	64	162	221	270	0.0	4.1	5.1	31.2	8.0	2.6	4.6
太陽熱・海洋	-	-	-	-	3.2	5.9	9.5	-	-	0.2	n.a.	n.a.	5.6	n.a.
バイオマス・廃棄物	-	-	1.3	45	87	116	146	-	2.9	2.8	n.a.	5.6	2.6	3.7
水素	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
その他	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.

エネルギー・経済指標他

	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050
GDP (2010年価格10億ドル)	295	506	870	2,831	6,146	10,304	15,988	6.3	6.7	4.9	6.3	6.7	4.9	6.3	6.7	4.9
人口(100万人)	699	873	1,057	1,353	1,504	1,593	1,639	1.6	0.9	0.4	1.6	0.9	0.4	1.6	0.9	0.4
エネルギー起源CO ₂ 排出(100万t)	258	530	890	2,324	4,033	5,384	6,557	5.4	4.7	2.5	5.4	4.7	2.5	5.4	4.7	2.5
一人あたりGDP (2010年価格1,000ドル/人)	0.4	0.6	0.8	2.1	4.1	6.5	9.8	4.7	5.7	4.4	4.7	5.7	4.4	4.7	5.7	4.4
一人あたり一次エネルギー消費(toe/人)	0.3	0.4	0.4	0.7	1.0	1.3	1.5	2.4	3.5	1.8	2.4	3.5	1.8	2.4	3.5	1.8
GDPあたり一次エネルギー消費 ²⁾	679	605	507	325	251	194	152	-2.2	-2.1	-2.5	-2.2	-2.1	-2.5	-2.2	-2.1	-2.5
GDPあたりCO ₂ 排出量 ³⁾	876	1,048	1,023	821	656	523	410	-0.9	-1.8	-2.3	-0.9	-1.8	-2.3	-0.9	-1.8	-2.3
一次エネルギー消費あたりCO ₂ 排出(t/toe)	1.3	1.7	2.0	2.5	2.6	2.7	2.7	1.4	0.3	0.2	1.4	0.3	0.2	1.4	0.3	0.2

*1 電力、熱、水素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 toe/2010年価格100万ドル。*3 t/2010年価格100万ドル

付表24 | 日本[レファレンスシナリオ]

一次エネルギー消費

	(石油換算100万トン[Mtoe])							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990	2018	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050
合計 ¹⁾	345	439	518	426	406	377	347	100	100	100	-0.1	-0.4	-0.8	-0.6
石炭	60	77	97	114	98	90	76	17	27	22	1.4	-1.3	-1.2	-1.3
石油	234	250	255	166	137	118	104	57	39	30	-1.5	-1.6	-1.4	-1.5
天然ガス	21	44	66	97	89	85	74	10	23	21	2.9	-0.7	-0.9	-0.9
原子力	22	53	84	17	41	37	37	12	4.0	11	-4.0	7.6	-0.6	2.4
水力	7.6	7.6	7.2	7.0	7.8	8.1	8.1	1.7	1.6	2.3	-0.3	1.0	0.2	0.5
地熱	0.8	1.6	3.1	2.3	5.3	8.4	11	0.4	0.5	3.1	1.4	7.2	3.7	5.0
太陽光・風力等	-	1.2	0.8	6.3	9.2	12	16	0.3	1.5	4.7	6.2	3.2	2.9	3.0
バイオマス・廃棄物	-	4.6	5.4	16	19	20	20	1.0	3.7	5.9	4.6	1.3	0.5	0.8

最終エネルギー消費

	(Mtoe)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990	2018	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050
合計	236	292	337	283	263	244	224	100	100	100	-0.1	-0.6	-0.8	-0.7
産業	91	108	104	82	77	71	64	37	29	28	-1.0	-0.6	-0.9	-0.8
運輸	54	72	89	71	60	52	46	25	25	20	-0.1	-1.4	-1.3	-1.3
民生・農業他	58	78	108	96	94	89	84	27	34	37	0.7	-0.2	-0.6	-0.4
非エネルギー消費	32	34	37	34	33	32	31	12	12	14	0.0	-0.3	-0.4	-0.3
石炭	25	27	21	21	19	16	14	9.3	7.5	6.1	-0.9	-1.0	-1.5	-1.3
石油	160	182	207	144	123	107	95	62	51	42	-0.8	-1.3	-1.3	-1.3
天然ガス	5.8	14	21	29	31	29	26	4.7	10	11	2.7	0.4	-0.9	-0.4
電力	44	66	84	81	84	85	84	22	29	38	0.8	0.2	0.0	0.1
熱	0.1	0.2	0.5	0.5	0.5	0.4	0.3	0.1	0.2	0.1	3.6	-1.3	-1.8	-1.6
水素	-	-	-	-	0.0	0.0	-	-	-	-	n.a.	n.a.	-100	n.a.
再生可能	-	3.9	4.3	6.6	6.5	6.0	5.5	1.3	2.3	2.4	1.9	-0.2	-0.8	-0.6

発電量

	(TWh)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990	2018	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050
合計	573	862	1,055	1,050	1,079	1,093	1,082	100	100	100	0.7	0.2	0.0	0.1
石炭	55	123	223	339	291	289	262	14	32	24	3.7	-1.3	-0.5	-0.8
石油	265	250	134	52	21	2.0	-	29	4.9	-	-5.5	-7.3	-100	-100
天然ガス	81	168	258	378	329	330	288	20	36	27	2.9	-1.1	-0.7	-0.8
原子力	83	202	322	65	157	141	141	23	6.2	13	-4.0	7.6	-0.6	2.4
水力	88	88	84	81	91	94	94	10	7.7	8.7	-0.3	1.0	0.2	0.5
地熱	0.9	1.7	3.3	2.5	6.0	9.7	13	0.2	0.2	1.2	1.3	7.5	3.7	5.1
太陽光	-	0.1	0.4	63	87	106	123	0.0	6.0	11	27.7	2.8	1.7	2.1
風力	-	-	0.1	7.5	18	32	64	-	0.7	5.9	n.a.	7.5	6.6	6.9
太陽熱・海洋	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
バイオマス・廃棄物	-	8.7	9.9	44	60	70	78	1.0	4.2	7.2	6.0	2.6	1.3	1.8
水素	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
その他	-	20	20	19	19	19	19	2.3	1.8	1.8	-0.1	0.0	0.0	0.0

エネルギー・経済指標他

	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050
GDP (2010年価格10億ドル)	3,019	4,704	5,349	6,190	6,693	7,234	7,744	1.0	0.7	0.7	0.7
人口(100万人)	117	124	127	127	120	113	105	0.1	-0.4	-0.7	-0.6
エネルギー起源CO ₂ 排出(100万t)	904	1,058	1,161	1,081	940	852	738	0.1	-1.2	-1.2	-1.2
一人あたりGDP (2010年価格1,000ドル/人)	26	38	42	49	56	64	74	0.9	1.1	1.4	1.3
一人あたり一次エネルギー消費(toe/人)	3.0	3.6	4.1	3.4	3.4	3.3	3.3	-0.2	0.0	-0.1	-0.1
GDPあたり一次エネルギー消費 ²⁾	114	93	97	69	61	52	45	-1.1	-1.0	-1.5	-1.3
GDPあたりCO ₂ 排出量 ³⁾	299	225	217	175	140	118	95	-0.9	-1.8	-1.9	-1.9
一次エネルギー消費あたりCO ₂ 排出(t/toe)	2.6	2.4	2.2	2.5	2.3	2.3	2.1	0.2	-0.8	-0.4	-0.5

*1 電力、熱、水素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 toe/2010年価格100万ドル。*3 t/2010年価格100万ドル

付表25 | 韓国[レファレンスシナリオ]

一次エネルギー消費

	(石油換算100万トン[Mtoe])								構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990	2018	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050	
合計 ¹⁾	41	93	188	282	299	290	268	100	100	100	4.0	0.5	-0.5	-0.2	
石炭	14	25	42	81	82	76	64	27	29	24	4.2	0.1	-1.2	-0.7	
石油	27	50	99	110	111	106	99	54	39	37	2.9	0.1	-0.6	-0.3	
天然ガス	-	2.7	17	48	62	69	73	2.9	17	27	10.8	2.2	0.8	1.3	
原子力	0.9	14	28	35	32	25	17	15	12	6.4	3.4	-0.8	-3.0	-2.2	
水力	0.2	0.5	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.6	0.1	0.1	-2.3	0.5	0.0	0.2	
地熱	-	-	-	0.2	0.2	0.2	0.2	-	0.1	0.1	n.a.	1.1	-0.2	0.3	
太陽光・風力等	-	0.0	0.0	1.2	2.8	4.3	6.3	0.0	0.4	2.3	18.8	7.1	4.1	5.2	
バイオマス・廃棄物	-	0.7	1.4	7.1	9.0	9.1	8.4	0.8	2.5	3.1	8.4	2.0	-0.3	0.6	

最終エネルギー消費

	(Mtoe)								構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990	2018	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050	
合計	31	65	127	182	201	200	189	100	100	100	3.8	0.8	-0.3	0.1	
産業	10	19	38	49	56	56	52	30	27	27	3.4	1.1	-0.4	0.2	
運輸	4.8	15	26	35	35	33	29	22	19	15	3.2	0.1	-1.0	-0.6	
民生・農業他	13	24	37	47	49	48	46	38	26	24	2.4	0.4	-0.3	0.0	
非エネルギー消費	3.1	6.7	25	51	60	62	62	10	28	33	7.5	1.4	0.2	0.6	
石炭	9.7	12	9.1	9.4	8.7	7.5	6.0	18	5.2	3.2	-0.8	-0.7	-1.8	-1.4	
石油	19	44	80	95	100	97	89	67	52	47	2.8	0.5	-0.6	-0.2	
天然ガス	-	0.7	11	22	27	27	26	1.0	12	14	13.3	1.6	-0.2	0.5	
電力	2.8	8.1	23	46	54	57	57	13	25	30	6.4	1.3	0.3	0.7	
熱	-	-	3.3	5.5	5.9	5.7	5.3	-	3.0	2.8	n.a.	0.5	-0.5	-0.1	
水素	-	-	-	-	0.0	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	-100	n.a.	
再生可能	-	0.7	1.3	4.5	5.7	5.4	4.7	1.1	2.5	2.5	6.7	1.9	-0.9	0.2	

発電量

	(TWh)								構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990	2018	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050	
合計	37	105	289	586	687	731	734	100	100	100	6.3	1.3	0.3	0.7	
石炭	2.5	18	111	258	283	285	258	17	44	35	10.1	0.8	-0.5	0.0	
石油	29	19	35	13	8.5	2.6	-	18	2.2	-	-1.3	-3.5	-100	-100	
天然ガス	-	9.6	29	156	224	280	318	9.1	27	43	10.5	3.1	1.8	2.3	
原子力	3.5	53	109	134	122	94	66	50	23	9.0	3.4	-0.8	-3.0	-2.2	
水力	2.0	6.4	4.0	3.4	3.6	3.6	3.6	6.0	0.6	0.5	-2.3	0.5	0.0	0.2	
地熱	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
太陽光	-	0.0	0.0	9.2	24	35	49	0.0	1.6	6.7	38.5	8.2	3.7	5.4	
風力	-	-	0.0	2.5	5.7	9.6	16	-	0.4	2.1	n.a.	7.2	5.2	6.0	
太陽熱・海洋	-	-	-	0.5	3.2	4.7	8.0	-	0.1	1.1	n.a.	17.0	4.7	9.2	
バイオマス・廃棄物	-	-	0.1	8.4	12	13	14	-	1.4	1.9	n.a.	2.8	0.9	1.6	
水素	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
その他	-	-	-	1.9	1.9	1.9	1.9	-	0.3	0.3	n.a.	0.0	0.0	0.0	

エネルギー・経済指標他

	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050
GDP (2010年価格10億ドル)	141	363	710	1,382	1,859	2,275	2,626	4.9	2.5	1.7	2.0
人口(100万人)	38	43	47	52	51	50	47	0.7	0.0	-0.4	-0.3
エネルギー起源CO ₂ 排出(100万t)	109	209	404	602	629	608	550	3.8	0.4	-0.7	-0.3
一人あたりGDP (2010年価格1,000ドル/人)	3.7	8.5	15	27	36	45	56	4.2	2.5	2.2	2.3
一人あたり一次エネルギー消費(toe/人)	1.1	2.2	4.0	5.5	5.8	5.8	5.7	3.4	0.5	-0.1	0.1
GDPあたり一次エネルギー消費 ²⁾	292	256	265	204	161	128	102	-0.8	-2.0	-2.2	-2.1
GDPあたりCO ₂ 排出量 ³⁾	772	577	568	436	338	267	210	-1.0	-2.1	-2.4	-2.3
一次エネルギー消費あたりCO ₂ 排出(t/toe)	2.6	2.3	2.1	2.1	2.1	2.1	2.0	-0.2	-0.1	-0.1	-0.1

*1 電力、熱、水素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 toe/2010年価格100万ドル。*3 t/2010年価格100万ドル

付表26 | 台湾[レファレンスシナリオ]

一次エネルギー消費

	(石油換算100万トン[Mtoe])							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990	2018	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050
合計 ¹⁾	28	48	85	110	111	109	102	100	100	100	3.0	0.0	-0.4	-0.2
石炭	3.9	11	30	40	41	37	32	24	36	32	4.5	0.3	-1.2	-0.6
石油	20	26	38	43	42	40	37	54	39	36	1.9	-0.2	-0.7	-0.5
天然ガス	1.6	1.4	5.6	18	23	25	26	2.9	16	26	9.6	2.1	0.6	1.2
原子力	2.1	8.6	10	7.2	-	-	-	18	6.5	-	-0.6	-100	n.a.	-100
水力	0.3	0.5	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	1.2	0.3	0.5	-1.3	1.7	0.1	0.7
地熱	-	0.0	-	-	-	-	-	0.0	-	-	-100	n.a.	n.a.	n.a.
太陽光・風力等	-	0.0	0.1	0.5	1.5	2.3	3.3	0.0	0.4	3.2	12.4	9.8	4.1	6.2
バイオマス・廃棄物	-	-	0.6	1.5	2.6	2.8	2.8	-	1.4	2.8	n.a.	4.4	0.5	2.0

最終エネルギー消費

	(Mtoe)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990	2018	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050
合計	19	29	49	72	73	73	70	100	100	100	3.2	0.2	-0.2	-0.1
産業	10	12	19	24	25	24	23	42	33	33	2.4	0.3	-0.3	-0.1
運輸	2.8	6.6	11	12	11	9.8	8.0	23	17	11	2.2	-0.6	-1.7	-1.3
民生・農業他	3.5	6.5	10	12	12	13	13	22	17	19	2.2	0.3	0.2	0.3
非エネルギー消費	2.0	4.0	7.8	24	25	26	26	14	33	37	6.6	0.5	0.2	0.3
石炭	2.2	3.5	4.9	5.3	5.6	5.3	4.8	12	7.4	6.8	1.5	0.5	-0.8	-0.3
石油	12	18	28	39	38	37	34	63	55	48	2.7	-0.2	-0.6	-0.4
天然ガス	1.4	0.9	1.6	3.5	3.9	3.8	3.6	3.0	4.9	5.1	5.1	1.0	-0.5	0.1
電力	3.2	6.6	14	21	24	25	26	22	30	37	4.3	0.9	0.5	0.6
熱	-	-	-	1.8	1.4	1.4	1.3	-	2.5	1.8	n.a.	-1.9	-0.6	-1.1
水素	-	-	-	-	0.0	0.0	-	-	-	-	n.a.	n.a.	-100	n.a.
再生可能	-	0.0	0.1	0.5	0.6	0.6	0.5	0.1	0.7	0.8	12.5	1.0	0.0	0.4

発電量

	(TWh)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990	2018	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050
合計	43	88	181	272	302	323	333	100	100	100	4.1	0.9	0.5	0.6
石炭	6.0	24	89	131	137	126	110	28	48	33	6.2	0.3	-1.1	-0.5
石油	26	23	30	8.2	7.1	5.1	2.8	26	3.0	0.9	-3.7	-1.2	-4.5	-3.3
天然ガス	-	1.2	17	92	129	152	169	1.4	34	51	16.6	2.8	1.3	1.9
原子力	8.2	33	39	28	-	-	-	37	10	-	-0.6	-100	n.a.	-100
水力	2.9	6.4	4.6	4.5	5.4	5.5	5.5	7.2	1.6	1.7	-1.3	1.7	0.1	0.7
地熱	-	0.0	-	-	-	-	-	0.0	-	-	-100	n.a.	n.a.	n.a.
太陽光	-	-	-	2.7	6.5	10	14	-	1.0	4.3	n.a.	7.5	4.1	5.3
風力	-	-	0.0	1.7	9.6	16	23	-	0.6	7.0	n.a.	15.6	4.5	8.5
太陽熱・海洋	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
バイオマス・廃棄物	-	-	1.7	3.7	7.2	8.3	8.7	-	1.4	2.6	n.a.	5.7	0.9	2.7
水素	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
その他	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.

エネルギー・経済指標他

	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050
GDP (2010年価格10億ドル)	70	155	297	544	687	827	953	4.6	2.0	1.7	1.8
人口(100万人)	18	20	22	24	24	23	22	0.5	0.1	-0.3	-0.2
エネルギー起源CO ₂ 排出(100万t)	70	105	203	255	266	250	223	3.2	0.4	-0.9	-0.4
一人あたりGDP (2010年価格1,000ドル/人)	3.9	7.6	13	23	29	35	43	4.0	1.8	2.0	1.9
一人あたり一次エネルギー消費(toe/人)	1.6	2.3	3.8	4.7	4.6	4.6	4.6	2.5	-0.1	-0.1	-0.1
GDPあたり一次エネルギー消費 ²⁾	396	307	286	203	161	131	107	-1.5	-1.9	-2.0	-2.0
GDPあたりCO ₂ 排出量 ³⁾	993	679	684	468	388	303	234	-1.3	-1.6	-2.5	-2.1
一次エネルギー消費あたりCO ₂ 排出(t/toe)	2.5	2.2	2.4	2.3	2.4	2.3	2.2	0.2	0.3	-0.5	-0.2

*1 電力、熱、水素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 toe/2010年価格100万ドル。*3 t/2010年価格100万ドル

付表27 | ASEAN [レファレンスシナリオ]

一次エネルギー消費

	(石油換算100万トン[Mtoe])								構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990	2018	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050	
合計 ¹⁾	142	233	379	669	969	1,192	1,399	100	100	100	3.8	3.1	1.9	2.3	
石炭	3.6	13	32	150	226	284	324	5.4	22	23	9.3	3.5	1.8	2.4	
石油	58	89	153	239	319	381	442	38	36	32	3.6	2.4	1.6	1.9	
天然ガス	8.6	30	74	141	229	287	341	13	21	24	5.7	4.1	2.0	2.8	
原子力	-	-	-	-	-	9.7	18	-	-	1.3	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
水力	0.8	2.3	4.1	14	18	21	23	1.0	2.1	1.6	6.6	2.3	1.0	1.5	
地熱	1.8	6.6	18	33	75	96	117	2.9	4.9	8.4	5.9	7.1	2.3	4.0	
太陽光・風力等	-	-	-	0.9	5.3	12	28	-	0.1	2.0	n.a.	16.1	8.6	11.3	
バイオマス・廃棄物	69	92	98	89	93	98	102	40	13	7.3	-0.1	0.3	0.5	0.4	

最終エネルギー消費

	(Mtoe)								構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990	2018	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050	
合計	112	172	269	454	635	778	917	100	100	100	3.5	2.8	1.9	2.2	
産業	22	42	75	151	228	281	327	24	33	36	4.7	3.5	1.8	2.4	
運輸	17	32	61	132	176	218	264	19	29	29	5.1	2.4	2.0	2.2	
民生・農業他	70	87	112	113	141	170	200	50	25	22	1.0	1.8	1.8	1.8	
非エネルギー消費	2.4	11	21	58	90	108	126	6.3	13	14	6.1	3.7	1.7	2.5	
石炭	2.1	5.4	13	40	57	68	76	3.1	8.9	8.2	7.5	2.9	1.4	2.0	
石油	41	67	123	219	292	351	410	39	48	45	4.3	2.4	1.7	2.0	
天然ガス	2.5	7.5	17	46	87	109	127	4.4	10	14	6.7	5.4	1.9	3.2	
電力	4.7	11	28	81	136	188	245	6.5	18	27	7.3	4.4	3.0	3.5	
熱	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
水素	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	-	-	0.0	n.a.	n.a.	-7.8	n.a.	
再生可能	61	81	89	68	63	62	59	47	15	6.5	-0.7	-0.6	-0.3	-0.4	

発電量

	(TWh)								構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990	2018	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050	
合計	62	154	370	1,059	1,763	2,435	3,152	100	100	100	7.1	4.3	2.9	3.5	
石炭	3.0	28	79	442	744	1,002	1,226	18	42	39	10.4	4.4	2.5	3.2	
石油	4.7	66	72	20	28	32	28	43	1.9	0.9	-4.2	2.8	0.0	1.1	
天然ガス	0.7	26	154	366	614	853	1,085	17	35	34	9.9	4.4	2.9	3.5	
原子力	-	-	-	-	-	37	71	-	-	2.2	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
水力	9.8	27	47	163	215	243	262	18	15	8.3	6.6	2.3	1.0	1.5	
地熱	2.1	6.6	16	24	54	67	81	4.3	2.3	2.6	4.8	6.8	2.1	3.8	
太陽光	-	-	-	6.7	45	112	278	-	0.6	8.8	n.a.	17.2	9.5	12.3	
風力	-	-	-	3.5	17	27	42	-	0.3	1.3	n.a.	13.8	4.8	8.1	
太陽熱・海洋	-	-	-	-	0.1	0.2	0.3	-	-	0.0	n.a.	n.a.	8.3	n.a.	
バイオマス・廃棄物	-	0.6	1.0	33	47	63	78	0.4	3.1	2.5	15.4	3.0	2.5	2.7	
水素	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
その他	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	

エネルギー・経済指標他

	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050
GDP (2010年価格10億ドル)	441	742	1,182	2,893	4,968	7,422	10,452	5.0	4.6	3.8	4.1
人口(100万人)	347	431	507	631	699	738	761	1.4	0.9	0.4	0.6
エネルギー起源CO ₂ 排出(100万t)	185	341	669	1,444	2,106	2,608	3,026	5.3	3.2	1.8	2.3
一人あたりGDP (2010年価格1,000ドル/人)	1.3	1.7	2.3	4.6	7.1	10	14	3.6	3.7	3.3	3.5
一人あたり一次エネルギー消費(toe/人)	0.4	0.5	0.7	1.1	1.4	1.6	1.8	2.4	2.3	1.4	1.7
GDPあたり一次エネルギー消費 ²⁾	322	313	321	231	195	161	134	-1.1	-1.4	-1.9	-1.7
GDPあたりCO ₂ 排出量 ³⁾	420	459	566	499	424	351	289	0.3	-1.3	-1.9	-1.7
一次エネルギー消費あたりCO ₂ 排出(t/toe)	1.3	1.5	1.8	2.2	2.2	2.2	2.2	1.4	0.1	0.0	0.0

*1 電力、熱、水素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 toe/2010年価格100万ドル。*3 t/2010年価格100万ドル

付表28 | インドネシア[レファレンスシナリオ]

一次エネルギー消費

	(石油換算100万トン[Mtoe])							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990	2018	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050
合計 ¹⁾	56	99	156	231	346	447	541	100	100	100	3.1	3.4	2.3	2.7
石炭	0.2	3.5	12	55	90	121	137	3.6	24	25	10.3	4.2	2.1	2.9
石油	20	33	58	77	105	129	151	34	33	28	3.0	2.6	1.9	2.1
天然ガス	5.0	16	27	39	70	98	126	16	17	23	3.3	5.0	3.0	3.7
原子力	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
水力	0.1	0.5	0.9	1.9	2.2	2.7	3.1	0.5	0.8	0.6	4.9	1.4	1.8	1.6
地熱	-	1.9	8.4	24	58	76	96	2.0	10	18	9.4	7.6	2.6	4.4
太陽光・風力等	-	-	-	0.0	0.3	2.6	11	-	0.0	2.0	n.a.	23.3	19.6	21.0
バイオマス・廃棄物	30	44	50	34	20	18	17	44	15	3.1	-0.9	-4.0	-1.0	-2.1

最終エネルギー消費

	(Mtoe)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990	2018	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050
合計	50	79	120	156	214	271	326	100	100	100	2.5	2.7	2.1	2.3
産業	6.7	17	30	50	74	93	109	22	32	34	3.8	3.3	1.9	2.5
運輸	6.0	11	21	54	76	97	119	14	35	37	6.0	2.8	2.3	2.5
民生・農業他	36	44	59	43	49	61	74	55	28	23	-0.1	1.0	2.1	1.7
非エネルギー消費	1.2	7.4	9.8	8.5	15	20	24	9.3	5.4	7.3	0.5	5.0	2.3	3.3
石炭	0.1	1.5	4.6	15	22	27	32	1.9	9.4	9.7	8.4	3.3	1.9	2.4
石油	17	27	48	76	102	124	146	34	48	45	3.7	2.5	1.8	2.1
天然ガス	2.4	6.0	12	17	33	44	53	7.6	11	16	3.7	5.8	2.4	3.7
電力	0.6	2.4	6.8	22	40	60	82	3.1	14	25	8.2	5.0	3.7	4.2
熱	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
水素	-	-	-	-	0.0	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	-100	n.a.
再生可能	29	42	49	27	18	15	14	53	17	4.2	-1.6	-3.3	-1.4	-2.1

発電量

	(TWh)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990	2018	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050
合計	7.5	33	93	284	513	782	1,065	100	100	100	8.0	5.1	3.7	4.2
石炭	-	9.8	34	160	287	408	482	30	56	45	10.5	5.0	2.6	3.5
石油	6.2	15	18	15	23	28	27	47	5.2	2.5	-0.1	3.7	0.7	1.8
天然ガス	-	0.7	26	59	137	236	334	2.2	2.1	31	17.0	7.2	4.5	5.5
原子力	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
水力	1.3	5.7	10	22	25	31	36	17	7.6	3.4	4.9	1.4	1.8	1.6
地熱	-	1.1	4.9	14	34	44	56	3.4	4.9	5.3	9.4	7.6	2.6	4.4
太陽光	-	-	-	0.1	2.1	27	119	-	0.0	11	n.a.	30.2	22.2	25.1
風力	-	-	-	0.2	1.3	2.7	5.6	-	0.1	0.5	n.a.	17.6	7.4	11.1
太陽熱・海洋	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
バイオマス・廃棄物	-	-	0.0	14	3.4	4.6	5.8	-	4.8	0.5	n.a.	-10.8	2.6	-2.6
水素	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
その他	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.

エネルギー・経済指標他

	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050
GDP (2010年価格10億ドル)	182	310	453	1,147	2,089	3,278	4,753	4.8	5.1	4.2	4.5
人口(100万人)	147	181	212	268	299	319	331	1.4	0.9	0.5	0.7
エネルギー起源CO ₂ 排出(100万t)	64	130	254	539	817	1,062	1,248	5.2	3.5	2.1	2.7
一人あたりGDP (2010年価格1,000ドル/人)	1.2	1.7	2.1	4.3	7.0	10	14	3.3	4.1	3.7	3.8
一人あたり一次エネルギー消費(toe/人)	0.4	0.5	0.7	0.9	1.2	1.4	1.6	1.7	2.5	1.7	2.0
GDPあたり一次エネルギー消費 ²⁾	307	318	343	202	166	136	114	-1.6	-1.6	-1.9	-1.8
GDPあたりCO ₂ 排出量 ³⁾	351	420	561	470	391	324	263	0.4	-1.5	-2.0	-1.8
一次エネルギー消費あたりCO ₂ 排出(t/toe)	1.1	1.3	1.6	2.3	2.4	2.4	2.3	2.1	0.1	-0.1	0.0

*1 電力、熱、水素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 toe/2010年価格100万ドル。*3 t/2010年価格100万ドル

付表29 | マレーシア[レファレンスシナリオ]

一次エネルギー消費

	(石油換算100万トン[Mtoe])							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990	2018	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050
合計 ¹⁾	11	21	48	93	131	148	158	100	100	100	5.4	2.9	0.9	1.6
石炭	0.1	1.4	2.3	23	28	30	28	6.4	24	18	10.6	1.8	-0.1	0.6
石油	7.9	11	19	29	35	35	34	54	31	22	3.4	1.6	-0.1	0.5
天然ガス	2.2	6.8	25	39	64	74	83	32	42	53	6.4	4.2	1.4	2.4
原子力	-	-	-	-	-	3.7	3.7	-	-	2.3	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
水力	0.1	0.3	0.6	2.3	3.0	3.3	3.4	1.6	2.4	2.2	7.0	2.4	0.7	1.3
地熱	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
太陽光・風力等	-	-	-	0.0	0.2	0.4	2.8	-	0.1	1.8	n.a.	11.7	14.6	13.5
バイオマス・廃棄物	1.2	1.2	1.3	0.9	1.7	2.0	2.4	5.9	0.9	1.5	-1.2	5.5	1.9	3.2

最終エネルギー消費

	(Mtoe)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990	2018	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050
合計	6.9	13	29	63	88	99	108	100	100	100	5.7	2.9	1.0	1.7
産業	3.1	5.6	12	20	25	29	32	41	31	29	4.6	2.2	1.1	1.5
運輸	2.1	4.9	11	21	22	22	21	36	34	19	5.3	0.5	-0.3	0.0
民生・農業他	1.4	2.1	4.3	8.8	12	15	17	16	14	15	5.2	2.8	1.5	2.0
非エネルギー消費	0.3	0.8	2.2	13	28	34	39	6.3	21	36	10.4	6.5	1.6	3.4
石炭	0.1	0.5	1.0	1.8	2.0	2.0	2.0	3.8	2.9	1.9	4.6	0.6	0.2	0.3
石油	5.3	9.3	18	28	32	32	32	70	45	29	4.0	1.1	-0.1	0.3
天然ガス	0.0	1.1	3.9	19	34	41	46	8.2	30	42	10.7	5.1	1.4	2.8
電力	0.7	1.7	5.3	13	19	24	28	13	21	26	7.5	3.1	2.0	2.4
熱	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
水素	-	-	-	-	0.0	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	-100	n.a.
再生可能	0.8	0.8	0.7	0.4	0.6	0.6	0.7	5.7	0.7	0.6	-2.0	2.0	1.2	1.5

発電量

	(TWh)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990	2018	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050
合計	10	23	69	170	247	309	366	100	100	100	7.4	3.1	2.0	2.4
石炭	-	2.9	7.7	77	102	113	113	13	45	31	12.4	2.4	0.5	1.2
石油	8.5	11	3.6	1.0	0.8	0.3	-	46	0.6	-	-7.9	-1.9	-100	-100
天然ガス	0.1	5.5	51	64	103	134	160	24	37	44	9.1	4.1	2.2	2.9
原子力	-	-	-	-	-	14	14	-	-	3.8	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
水力	1.4	4.0	7.0	26	35	39	40	17	15	11	7.0	2.4	0.7	1.3
地熱	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
太陽光	-	-	-	0.6	2.2	4.3	33	-	0.3	9.0	n.a.	11.7	14.6	13.5
風力	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
太陽熱・海洋	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
バイオマス・廃棄物	-	-	-	1.4	3.4	4.5	5.7	-	0.8	1.6	n.a.	7.9	2.6	4.6
水素	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
その他	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.

エネルギー・経済指標他

	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050
GDP (2010年価格10億ドル)	46	82	163	382	640	912	1,229	5.7	4.4	3.3	5.7	4.4	3.3	3.7
人口(100万人)	14	18	23	32	36	39	41	2.0	1.1	0.6	2.0	1.1	0.6	0.8
エネルギー起源CO ₂ 排出(100万t)	26	51	111	222	280	298	296	5.4	2.0	0.3	5.4	2.0	0.3	0.9
一人あたりGDP (2010年価格1,000ドル/人)	3.3	4.5	7.0	12	18	24	30	3.6	3.2	2.7	3.6	3.2	2.7	2.9
一人あたり一次エネルギー消費(toe/人)	0.8	1.2	2.1	3.0	3.6	3.8	3.9	3.4	1.7	0.3	3.4	1.7	0.3	0.8
GDPあたり一次エネルギー消費 ²⁾	251	259	297	245	205	163	128	-0.2	-1.5	-2.3	-0.2	-1.5	-2.3	-2.0
GDPあたりCO ₂ 排出量 ³⁾	568	625	680	580	437	327	241	-0.3	-2.3	-2.9	-0.3	-2.3	-2.9	-2.7
一次エネルギー消費あたりCO ₂ 排出(t/toe)	2.3	2.4	2.3	2.4	2.1	2.0	1.9	-0.1	-0.9	-0.6	-0.1	-0.9	-0.6	-0.7

*1 電力、熱、水素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 toe/2010年価格100万ドル。*3 t/2010年価格100万ドル

付表30 | ミャンマー[レファレンスシナリオ]

一次エネルギー消費

	(石油換算100万トン[Mtoe])							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990	2018	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050
合計 ¹⁾	9.4	11	13	24	39	51	62	100	100	100	2.9	4.1	2.4	3.0
石炭	0.2	0.1	0.3	0.9	3.0	5.3	8.2	0.6	3.7	13	9.6	10.9	5.1	7.2
石油	1.3	0.7	2.0	6.9	13	19	24	6.8	29	39	8.3	5.5	3.1	4.0
天然ガス	0.3	0.8	1.2	4.1	12	18	23	7.1	17	37	6.2	9.4	3.3	5.6
原子力	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
水力	0.1	0.1	0.2	1.2	1.5	1.8	2.0	1.0	5.1	3.2	9.2	1.7	1.5	1.6
地熱	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
太陽光・風力等	-	-	-	0.0	0.1	0.2	0.5	-	0.0	0.7	n.a.	44.3	9.7	21.6
バイオマス・廃棄物	7.6	9.0	9.2	11	11	9.4	7.1	84	46	11	0.7	-0.3	-2.0	-1.3

最終エネルギー消費

	(Mtoe)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990	2018	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050
合計	8.4	9.4	11	20	29	36	43	100	100	100	2.8	3.0	2.0	2.4
産業	0.6	0.4	1.1	3.7	6.8	10	13	4.2	18	31	8.3	5.3	3.4	4.1
運輸	0.6	0.4	1.2	2.1	4.0	6.4	9.1	4.7	10	21	5.7	5.6	4.1	4.7
民生・農業他	7.0	8.5	9.1	14	17	19	19	90	69	45	1.8	1.8	0.6	1.0
非エネルギー消費	0.1	0.1	0.1	0.5	0.7	0.9	1.1	1.0	2.4	2.6	6.0	3.2	2.4	2.7
石炭	0.1	0.1	0.3	0.3	0.4	0.5	0.6	0.5	1.3	1.3	6.0	3.3	1.9	2.4
石油	1.2	0.6	1.5	6.8	13	19	24	6.2	34	56	9.2	5.5	3.2	4.0
天然ガス	0.1	0.2	0.3	0.6	0.8	1.0	1.2	2.4	2.8	2.9	3.4	2.5	2.4	2.4
電力	0.1	0.1	0.3	1.6	4.0	6.7	10.0	1.6	7.9	23	8.8	8.1	4.6	5.9
熱	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
水素	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	-	-	0.0	n.a.	n.a.	-2.7	n.a.
再生可能	6.9	8.4	9.0	11	11	9.4	7.1	89	54	16	0.9	-0.3	-2.0	-1.3

発電量

	(TWh)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990	2018	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050
合計	1.5	2.5	5.1	25	78	122	175	100	100	100	8.5	10.1	4.1	6.3
石炭	0.0	0.0	-	1.5	11	22	37	1.6	6.3	21	13.9	18.0	6.2	10.5
石油	0.5	0.3	0.7	0.1	0.3	0.2	-	11	0.3	-	-4.4	11.1	-100	-100
天然ガス	0.2	1.0	2.5	8.8	48	77	109	39	36	62	8.2	15.3	4.2	8.2
原子力	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
水力	0.8	1.2	1.9	14	17	21	23	48	58	13	9.2	1.7	1.5	1.6
地熱	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
太陽光	-	-	-	0.0	0.6	1.8	4.7	-	0.0	2.7	n.a.	39.5	11.3	21.1
風力	-	-	-	0.0	0.3	0.4	0.7	-	0.0	0.4	n.a.	121	4.4	38.4
太陽熱・海洋	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
バイオマス・廃棄物	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
水素	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
その他	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.

エネルギー・経済指標他

	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050
GDP (2010年価格10億ドル)	5.9	6.7	13	71	143	238	369	8.8	6.0	4.9	5.3
人口(100万人)	34	41	47	54	58	61	62	0.9	0.7	0.3	0.5
エネルギー起源CO ₂ 排出(100万t)	5.2	4.0	9.5	31	77	116	157	7.6	7.8	3.6	5.2
一人あたりGDP (2010年価格1,000ドル/人)	0.2	0.2	0.3	1.3	2.4	3.9	5.9	7.8	5.3	4.5	4.8
一人あたり一次エネルギー消費(toe/人)	0.3	0.3	0.3	0.4	0.7	0.8	1.0	1.9	3.4	2.1	2.6
GDPあたり一次エネルギー消費 ²⁾	1,597	1,594	960	337	271	213	169	-5.4	-1.8	-2.3	-2.1
GDPあたりCO ₂ 排出量 ³⁾	879	602	711	445	540	488	426	-1.1	1.6	-1.2	-0.1
一次エネルギー消費あたりCO ₂ 排出(t/toe)	0.6	0.4	0.7	1.3	2.0	2.3	2.5	4.6	3.5	1.2	2.0

*1 電力、熱、水素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 toe/2010年価格100万ドル。*3 t/2010年価格100万ドル

付表31 | フィリピン[レファレンスシナリオ]

一次エネルギー消費

	(石油換算100万トン[Mtoe])							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990	2018	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050
合計 ¹⁾	22	29	40	60	94	119	146	100	100	100	2.7	3.8	2.2	2.8
石炭	0.5	1.5	5.2	18	24	30	34	5.3	30	23	9.2	2.6	1.7	2.0
石油	10	11	16	20	35	49	65	38	33	45	2.2	4.7	3.2	3.8
天然ガス	-	-	0.0	3.6	6.3	9.1	12	-	6.0	8.1	n.a.	4.7	3.2	3.8
原子力	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
水力	0.3	0.5	0.7	0.8	1.1	1.2	1.3	1.8	1.3	0.9	1.6	2.6	0.9	1.6
地熱	1.8	4.7	10	9.0	17	19	21	16	15	15	2.3	5.6	1.1	2.7
太陽光・風力等	-	-	-	0.2	0.8	1.6	2.8	-	0.3	1.9	n.a.	11.7	6.6	8.5
バイオマス・廃棄物	9.4	11	8.1	8.5	9.6	9.4	9.1	39	14	6.2	-1.0	1.0	-0.3	0.2

最終エネルギー消費

	(Mtoe)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990	2018	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050
合計	16	20	24	34	55	74	96	100	100	100	2.0	4.1	2.8	3.3
産業	3.4	4.7	5.3	7.6	11	14	17	24	23	18	1.8	3.4	2.0	2.5
運輸	3.3	4.5	8.1	12	24	35	49	23	36	51	3.6	5.7	3.6	4.4
民生・農業他	9.4	10	10	13	18	21	24	52	37	26	0.8	2.8	1.7	2.1
非エネルギー消費	0.3	0.2	0.3	1.3	2.2	3.5	5.6	1.2	3.7	5.9	6.3	4.8	4.7	4.8
石炭	0.2	0.6	0.8	2.5	3.5	4.1	4.7	3.1	7.4	4.9	5.2	2.7	1.5	2.0
石油	6.8	8.1	13	18	33	46	63	41	54	66	2.9	5.0	3.3	4.0
天然ガス	-	-	-	0.1	0.1	0.2	0.2	-	0.2	0.2	n.a.	7.0	2.8	4.4
電力	1.5	1.8	3.1	7.1	12	17	22	9.3	21	23	5.0	4.4	3.0	3.5
熱	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
水素	-	-	-	-	0.0	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	-100	n.a.
再生可能	7.8	9.1	6.9	5.9	6.8	6.5	6.0	46	18	6.3	-1.5	1.1	-0.6	0.1

発電量

	(TWh)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990	2018	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050
合計	18	26	45	99	165	227	291	100	100	100	4.9	4.3	2.9	3.4
石炭	0.2	1.9	17	52	80	109	134	7.3	52	46	12.5	3.7	2.6	3.0
石油	12	12	9.2	3.2	3.4	2.8	1.2	47	3.2	0.4	-4.8	0.6	-5.2	-3.1
天然ガス	-	-	0.0	21	38	59	81	-	22	28	n.a.	5.0	3.8	4.2
原子力	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
水力	3.5	6.1	7.8	9.4	13	14	15	23	9.5	5.3	1.6	2.6	0.9	1.6
地熱	2.1	5.5	12	10	20	23	25	21	11	8.5	2.3	5.6	1.1	2.7
太陽光	-	-	-	1.2	4.9	12	20	-	1.3	7.0	n.a.	12.0	7.4	9.1
風力	-	-	-	1.2	4.2	6.8	12	-	1.2	4.2	n.a.	11.3	5.5	7.7
太陽熱・海洋	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
バイオマス・廃棄物	-	0.4	-	0.5	1.3	1.8	2.2	1.6	0.5	0.8	0.8	7.9	2.6	4.6
水素	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
その他	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.

エネルギー・経済指標他

	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050
GDP (2010年価格10億ドル)	80	95	125	322	613	907	1,290	4.5	5.5	3.8	4.4
人口(100万人)	47	62	78	107	124	136	144	2.0	1.2	0.8	1.0
エネルギー起源CO ₂ 排出(100万t)	31	36	67	133	206	271	337	4.8	3.7	2.5	3.0
一人あたりGDP (2010年価格1,000ドル/人)	1.7	1.5	1.6	3.0	5.0	6.7	8.9	2.5	4.2	3.0	3.4
一人あたり一次エネルギー消費(toe/人)	0.5	0.5	0.5	0.6	0.8	0.9	1.0	0.7	2.5	1.4	1.8
GDPあたり一次エネルギー消費 ²⁾	280	304	319	186	154	132	113	-1.7	-1.6	-1.5	-1.5
GDPあたりCO ₂ 排出量 ³⁾	392	382	532	411	335	299	262	0.3	-1.7	-1.2	-1.4
一次エネルギー消費あたりCO ₂ 排出(t/toe)	1.4	1.3	1.7	2.2	2.2	2.3	2.3	2.0	-0.1	0.3	0.1

*1 電力、熱、水素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 toe/2010年価格100万ドル。*3 t/2010年価格100万ドル

付表32 | タイ[レファレンスシナリオ]

一次エネルギー消費

	(石油換算100万トン[Mtoe])								構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990	2018	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050	
合計 ¹⁾	22	42	72	136	172	193	209	100	100	100	4.3	2.0	1.0	1.4	
石炭	0.5	3.8	7.7	16	17	17	16	9.1	12	7.5	5.2	0.7	-0.5	0.0	
石油	11	18	32	55	64	69	72	43	41	35	4.1	1.2	0.6	0.8	
天然ガス	-	5.0	17	36	44	47	47	12	26	22	7.3	1.8	0.3	0.9	
原子力	-	-	-	-	-	1.8	6.2	-	-	3.0	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
水力	0.1	0.4	0.5	0.7	0.8	0.9	1.0	1.0	0.5	0.5	1.5	1.9	0.9	1.3	
地熱	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	9.9	1.1	4.3	
太陽光・風力等	-	-	-	0.5	2.3	4.3	6.6	-	0.4	3.2	n.a.	12.8	5.4	8.1	
バイオマス・廃棄物	11	15	15	26	39	47	54	35	19	26	2.0	3.6	1.6	2.3	

最終エネルギー消費

	(Mtoe)								構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990	2018	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050	
合計	15	29	51	100	121	136	147	100	100	100	4.5	1.6	1.0	1.2	
産業	4.0	8.7	17	30	39	46	49	30	30	33	4.6	2.2	1.1	1.5	
運輸	3.2	9.0	15	28	29	32	33	31	28	23	4.1	0.5	0.7	0.6	
民生・農業他	7.8	11	14	18	21	23	24	37	18	17	1.8	1.5	0.7	1.0	
非エネルギー消費	0.2	0.4	5.6	25	31	36	40	1.5	25	27	15.5	2.0	1.3	1.5	
石炭	0.1	1.3	3.5	6.8	7.4	7.2	6.6	4.5	6.8	4.5	6.1	0.7	-0.6	-0.1	
石油	7.3	15	29	55	62	67	70	52	55	47	4.7	1.1	0.6	0.8	
天然ガス	-	0.1	1.1	7.2	10	13	15	0.5	7.2	10	15.2	3.0	1.9	2.3	
電力	1.1	3.3	7.6	16	23	29	33	11	16	23	5.8	3.1	1.8	2.3	
熱	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
水素	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
再生可能	6.7	9.3	9.4	15	18	20	22	32	15	15	1.8	1.3	1.0	1.1	

発電量

	(TWh)								構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990	2018	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050	
合計	14	44	96	182	249	307	350	100	100	100	5.2	2.6	1.7	2.1	
石炭	1.4	11	18	36	43	47	44	25	20	13	4.3	1.4	0.1	0.6	
石油	12	10	10	0.2	-	-	-	23	0.1	-	-13.5	-100	n.a.	-100	
天然ガス	-	18	62	116	134	145	135	40	63	39	6.9	1.3	0.0	0.5	
原子力	-	-	-	-	-	7.0	24	-	-	6.8	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
水力	1.3	5.0	6.0	7.6	9.5	11	11	11	4.1	3.3	1.5	1.9	0.9	1.3	
地熱	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	9.9	1.1	4.3	
太陽光	-	-	-	4.5	21	42	66	-	2.5	19	n.a.	13.8	5.8	8.7	
風力	-	-	-	1.6	4.9	7.4	9.7	-	0.9	2.8	n.a.	9.5	3.5	5.7	
太陽熱・海洋	-	-	-	-	0.1	0.2	0.3	-	-	0.1	n.a.	n.a.	8.3	n.a.	
バイオマス・廃棄物	-	-	0.5	16	36	48	60	-	9.0	17	n.a.	6.8	2.6	4.2	
水素	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
その他	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	

エネルギー・経済指標他

	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050
GDP (2010年価格10億ドル)	67	142	218	442	656	907	1,191	4.1	3.3	3.0	3.1
人口(100万人)	47	57	63	69	70	69	66	0.7	0.1	-0.3	-0.2
エネルギー起源CO ₂ 排出(100万t)	31	77	147	238	272	281	271	4.1	1.1	0.0	0.4
一人あたりGDP (2010年価格1,000ドル/人)	1.4	2.5	3.5	6.4	9.3	13	18	3.4	3.2	3.4	3.3
一人あたり一次エネルギー消費(toe/人)	0.5	0.7	1.1	2.0	2.4	2.8	3.2	3.5	1.9	1.3	1.5
GDPあたり一次エネルギー消費 ²⁾	331	298	332	307	263	213	175	0.1	-1.3	-2.0	-1.7
GDPあたりCO ₂ 排出量 ³⁾	466	546	674	539	414	310	227	0.0	-2.2	-3.0	-2.7
一次エネルギー消費あたりCO ₂ 排出(t/toe)	1.4	1.8	2.0	1.8	1.6	1.5	1.3	-0.2	-0.9	-1.0	-0.9

*1 電力、熱、水素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 toe/2010年価格100万ドル。*3 t/2010年価格100万ドル

付表33 | ベトナム[レファレンスシナリオ]

一次エネルギー消費

	(石油換算100万トン[Mtoe])								構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990	2018	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050	
合計 ¹⁾	14	18	29	83	140	184	233	100	100	100	5.7	4.4	2.6	3.3	
石炭	2.3	2.2	4.4	37	62	80	100	12	44	43	10.5	4.5	2.4	3.2	
石油	1.8	2.7	7.8	22	36	47	60	15	27	26	7.9	3.9	2.6	3.1	
天然ガス	-	0.0	1.1	7.9	20	28	37	0.0	9.5	16	33.0	8.0	3.1	4.9	
原子力	-	-	-	-	-	4.2	8.6	-	-	3.7	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
水力	0.1	0.5	1.3	7.2	9.9	11	12	2.6	8.7	5.0	10.3	2.6	0.8	1.5	
地熱	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
太陽光・風力等	-	-	-	0.0	1.6	2.7	4.0	-	0.1	1.7	n.a.	34.7	4.7	15.1	
バイオマス・廃棄物	10	12	14	8.9	9.6	10	11	70	11	4.6	-1.2	0.6	0.6	0.6	

最終エネルギー消費

	(Mtoe)								構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990	2018	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050	
合計	13	16	25	60	103	135	170	100	100	100	4.8	4.6	2.5	3.3	
産業	3.8	4.5	7.9	33	62	80	97	28	54	57	7.3	5.5	2.3	3.5	
運輸	0.6	1.4	3.5	12	18	24	31	8.6	20	18	8.0	3.5	2.7	3.0	
民生・農業他	8.6	10	14	14	20	28	38	63	24	22	1.2	3.1	3.1	3.1	
非エネルギー消費	0.0	0.0	0.1	1.5	2.3	3.2	4.1	0.2	2.5	2.4	15.3	3.8	2.8	3.2	
石炭	1.5	1.3	3.2	14	22	27	30	8.3	24	18	8.8	3.7	1.6	2.4	
石油	1.7	2.3	6.5	21	34	45	58	15	34	34	8.1	4.2	2.7	3.3	
天然ガス	-	-	0.0	1.0	6.2	8.0	9.5	-	1.6	5.6	n.a.	16.6	2.2	7.3	
電力	0.2	0.5	1.9	16	32	46	63	3.3	27	37	13.0	5.9	3.4	4.3	
熱	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
水素	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	-	-	0.0	n.a.	n.a.	-13.2	n.a.	
再生可能	9.7	12	13	8.1	8.7	9.6	9.9	74	13	5.8	-1.4	0.6	0.6	0.6	

発電量

	(TWh)								構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990	2018	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050	
合計	3.6	8.7	27	241	441	612	826	100	100	100	12.6	5.2	3.2	3.9	
石炭	1.4	2.0	3.1	114	219	303	415	23	47	50	15.5	5.6	3.2	4.1	
石油	0.7	1.3	4.5	0.3	-	-	-	15	0.1	-	-5.6	-100	n.a.	-100	
天然ガス	-	0.0	4.4	42	88	133	196	0.1	17	24	37.2	6.5	4.1	5.0	
原子力	-	-	-	-	-	16	33	-	-	4.0	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
水力	1.5	5.4	15	84	115	128	135	62	35	16	10.3	2.6	0.8	1.5	
地熱	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
太陽光	-	-	-	0.0	13	22	33	-	0.0	4.0	n.a.	69.4	4.8	25.5	
風力	-	-	-	0.5	5.8	9.6	14	-	0.2	1.7	n.a.	22.8	4.4	11.0	
太陽熱・海洋	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
バイオマス・廃棄物	-	-	-	0.1	0.2	0.3	0.3	-	0.1	0.0	n.a.	4.2	2.6	3.2	
水素	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
その他	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	

エネルギー・経済指標他

	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050
GDP (2010年価格10億ドル)	17	29	61	188	375	624	985	6.8	5.9	4.9	5.3
人口(100万人)	54	68	80	96	104	108	110	1.2	0.7	0.3	0.4
エネルギー起源CO ₂ 排出(100万t)	15	17	43	227	396	517	655	9.7	4.7	2.5	3.4
一人あたりGDP (2010年価格1,000ドル/人)	0.3	0.4	0.8	2.0	3.6	5.8	9.0	5.5	5.2	4.7	4.9
一人あたり一次エネルギー消費(toe/人)	0.3	0.3	0.4	0.9	1.3	1.7	2.1	4.4	3.6	2.3	2.8
GDPあたり一次エネルギー消費 ²⁾	851	607	470	445	372	295	237	-1.1	-1.5	-2.2	-2.0
GDPあたりCO ₂ 排出量 ³⁾	859	572	699	1,210	1,055	828	665	2.7	-1.1	-2.3	-1.9
一次エネルギー消費あたりCO ₂ 排出(t/toe)	1.0	0.9	1.5	2.7	2.8	2.8	2.8	3.9	0.3	0.0	0.1

*1 電力、熱、水素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 toe/2010年価格100万ドル。*3 t/2010年価格100万ドル

付表34 | 北米[レファレンスシナリオ]

一次エネルギー消費

	(石油換算100万トン[Mtoe])							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990	2018	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050
合計 ¹⁾	1,997	2,126	2,527	2,528	2,472	2,423	2,333	100	100	100	0.6	-0.2	-0.3	-0.3
石炭	397	484	566	336	250	208	149	23	13	6.4	-1.3	-2.4	-2.6	-2.5
石油	885	833	958	905	834	777	719	39	36	31	0.3	-0.7	-0.7	-0.7
天然ガス	522	493	622	815	896	907	868	23	32	37	1.8	0.8	-0.2	0.2
原子力	80	179	227	245	201	185	177	8.4	9.7	7.6	1.1	-1.7	-0.6	-1.0
水力	46	49	53	59	61	63	64	2.3	2.3	2.7	0.6	0.4	0.2	0.3
地熱	4.6	14	13	10	18	31	38	0.7	0.4	1.6	-1.2	5.2	3.7	4.2
太陽光・風力等	-	0.3	2.1	37	72	108	170	0.0	1.5	7.3	18.5	5.6	4.4	4.9
バイオマス・廃棄物	62	73	87	121	141	145	149	3.4	4.8	6.4	1.8	1.3	0.3	0.6

最終エネルギー消費

	(Mtoe)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990	2018	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050
合計	1,466	1,452	1,734	1,800	1,780	1,742	1,689	100	100	100	0.8	-0.1	-0.3	-0.2
産業	437	331	388	322	329	330	323	23	18	19	-0.1	0.2	-0.1	0.0
運輸	470	531	640	706	651	615	585	37	39	35	1.0	-0.7	-0.5	-0.6
民生・農業他	446	456	533	600	607	597	577	31	33	34	1.0	0.1	0.3	-0.1
非エネルギー消費	114	134	173	172	193	200	205	9.2	9.5	12	0.9	1.0	0.3	0.6
石炭	60	59	36	20	17	15	12	4.1	1.1	0.7	-3.9	-1.4	-1.5	-1.5
石油	769	749	870	860	797	745	695	52	48	41	0.5	-0.6	-0.7	-0.7
天然ガス	374	346	413	432	445	424	400	24	24	24	0.8	0.2	-0.5	-0.2
電力	200	262	342	381	413	453	480	18	21	28	1.3	0.7	0.8	0.7
熱	1.0	2.8	6.1	6.9	6.2	5.6	5.0	0.2	0.4	0.3	3.3	-0.9	-1.1	-1.0
水素	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
再生可能	62	33	66	101	103	100	97	2.3	5.6	5.7	4.1	0.1	-0.3	-0.1

発電量

	(TWh)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990	2018	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050
合計	2,801	3,685	4,631	5,088	5,500	5,993	6,309	100	100	100	1.2	0.6	0.7	0.7
石炭	1,303	1,782	2,247	1,323	1,106	941	668	48	26	11	-1.1	-1.5	-2.5	-2.1
石油	277	147	133	49	39	28	14	4.0	1.0	0.2	-3.8	-2.0	-4.8	-3.7
天然ガス	380	391	668	1,582	1,972	2,298	2,308	11	31	37	5.1	1.9	0.8	1.2
原子力	304	685	871	942	770	708	680	19	19	11	1.1	-1.7	-0.6	-1.0
水力	530	570	612	681	715	731	740	15	13	12	0.6	0.4	0.2	0.3
地熱	5.4	16	15	19	36	64	77	0.4	0.4	1.2	0.6	5.6	3.8	4.5
太陽光	-	0.0	0.2	85	161	365	761	0.0	1.7	12	44.2	5.5	8.1	7.1
風力	-	3.1	5.9	309	482	557	653	0.1	6.1	10	17.9	3.8	1.5	2.4
太陽熱・海洋	-	0.7	0.6	4.0	52	100	174	0.0	0.1	2.8	6.4	23.9	6.3	12.5
バイオマス・廃棄物	1.8	90	80	88	162	197	228	2.5	1.7	3.6	-0.1	5.2	1.7	3.0
水素	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
その他	-	-	-	5.5	5.5	5.5	5.5	-	0.1	0.1	n.a.	0.0	0.0	0.0

エネルギー・経済指標他

	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050
GDP (2010年価格10億ドル)	7,216	9,935	13,827	19,761	24,631	30,511	36,654	2.5	1.9	2.0	1.9
人口(100万人)	252	277	313	364	390	410	425	1.0	0.6	0.4	0.5
エネルギー起源CO ₂ 排出(100万t)	4,997	5,184	6,154	5,501	5,046	4,719	4,215	0.2	-0.7	-0.9	-0.8
一人あたりGDP (2010年価格1,000ドル/人)	29	36	44	54	63	74	86	1.5	1.3	1.6	1.5
一人あたり一次エネルギー消費(toe/人)	7.9	7.7	8.1	7.0	6.3	5.9	5.5	-0.3	-0.8	-0.7	-0.7
GDPあたり一次エネルギー消費 ²⁾	277	214	183	128	100	79	64	-1.8	-2.0	-2.3	-2.2
GDPあたりCO ₂ 排出量 ³⁾	692	522	445	278	205	155	115	-2.2	-2.5	-2.8	-2.7
一次エネルギー消費あたりCO ₂ 排出(t/toe)	2.5	2.4	2.4	2.2	2.0	1.9	1.8	-0.4	-0.5	-0.6	-0.6

*1 電力、熱、水素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 toe/2010年価格100万ドル。*3 t/2010年価格100万ドル

付表35 | 米国[レファレンスシナリオ]

一次エネルギー消費

	(石油換算100万トン[Mtoe])							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990	2018	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050
合計 ¹⁾	1,805	1,915	2,274	2,231	2,179	2,137	2,057	100	100	100	0.5	-0.2	-0.3	-0.3
石炭	376	460	534	321	245	204	145	24	14	7.1	-1.3	-2.2	-2.6	-2.4
石油	797	757	871	802	744	694	646	40	36	31	0.2	-0.6	-0.7	-0.7
天然ガス	477	438	548	709	769	773	732	23	32	36	1.7	0.7	-0.2	0.1
原子力	69	159	208	219	180	171	170	8.3	9.8	8.2	1.1	-1.6	-0.3	-0.8
水力	24	23	22	25	26	27	27	1.2	1.1	1.3	0.3	0.3	0.2	0.2
地熱	4.6	14	13	10	18	31	38	0.7	0.4	1.8	-1.2	5.2	3.7	4.2
太陽光・風力等	-	0.3	2.1	34	66	100	159	0.0	1.5	7.7	18.1	5.6	4.5	4.9
バイオマス・廃棄物	54	62	73	107	128	132	136	3.3	4.8	6.6	2.0	1.4	0.3	0.8

最終エネルギー消費

	(Mtoe)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990	2018	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050
合計	1,311	1,294	1,546	1,594	1,575	1,543	1,497	100	100	100	0.7	-0.1	-0.3	-0.2
産業	387	284	332	277	282	283	278	22	17	19	-0.1	0.2	-0.1	0.0
運輸	425	488	588	638	585	553	527	38	40	35	1.0	-0.7	-0.5	-0.6
民生・農業他	397	403	473	530	539	531	514	31	33	34	1.0	0.1	-0.2	-0.1
非エネルギー消費	102	119	153	149	169	176	179	9.2	9.4	12	0.8	1.0	0.3	0.6
石炭	56	56	33	17	14	12	10	4.3	1.1	0.7	-4.2	-1.4	-1.6	-1.5
石油	689	683	793	765	704	658	614	53	48	41	0.4	-0.7	-0.7	-0.7
天然ガス	338	303	360	381	396	378	357	23	24	24	0.8	0.3	-0.5	-0.2
電力	174	226	301	335	362	398	421	18	21	28	1.4	0.6	0.8	0.7
熱	-	2.2	5.3	6.2	5.5	5.0	4.4	0.2	0.4	0.3	3.9	-1.0	-1.2	-1.1
水素	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
再生可能	54	23	54	90	94	92	90	1.8	5.6	6.0	5.0	0.4	-0.2	0.0

発電量

	(TWh)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990	2018	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050
合計	2,427	3,203	4,026	4,434	4,774	5,212	5,486	100	100	100	1.2	0.6	0.7	0.7
石炭	1,243	1,700	2,129	1,272	1,101	940	667	53	29	12	-1.0	-1.2	-2.5	-2.0
石油	263	131	118	43	33	25	13	4.1	1.0	0.2	-3.9	-2.1	-4.5	-3.6
天然ガス	370	382	634	1,519	1,834	2,108	2,087	12	34	38	5.1	1.6	0.6	1.0
原子力	266	612	798	841	690	655	651	19	19	12	1.1	-1.6	-0.3	-0.8
水力	279	273	253	296	305	312	316	8.5	6.7	5.8	0.3	0.3	0.2	0.2
地熱	5.4	16	15	19	36	64	77	0.5	0.4	1.4	0.6	5.6	3.8	4.5
太陽光	-	0.0	0.2	81	153	354	744	0.0	1.8	14	44.0	5.4	8.2	7.2
風力	-	3.1	5.7	276	420	475	548	0.1	6.2	10	17.4	3.6	1.3	2.2
太陽熱・海洋	-	0.7	0.5	3.9	52	100	174	0.0	0.1	3.2	6.6	23.9	6.3	12.6
バイオマス・廃棄物	0.5	86	72	78	144	175	203	2.7	1.8	3.7	-0.4	5.3	1.7	3.0
水素	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
その他	-	-	-	5.3	5.3	5.3	5.3	-	0.1	0.1	n.a.	0.0	0.0	0.0

エネルギー・経済指標他

	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050
GDP (2010年価格10億ドル)	6,496	9,001	12,620	17,856	22,303	27,700	33,351	2.5	1.9	2.0	2.0
人口(100万人)	227	250	282	327	350	366	379	1.0	0.6	0.4	0.5
エネルギー起源CO ₂ 排出(100万t)	4,582	4,783	5,661	4,929	4,499	4,186	3,704	0.1	-0.8	-1.0	-0.9
一人あたりGDP (2010年価格1,000ドル/人)	29	36	45	55	64	76	88	1.5	1.3	1.6	1.5
一人あたり一次エネルギー消費(toe/人)	7.9	7.7	8.1	6.8	6.2	5.8	5.4	-0.4	-0.8	-0.7	-0.7
GDPあたり一次エネルギー消費 ²⁾	278	213	180	125	98	77	62	-1.9	-2.0	-2.3	-2.2
GDPあたりCO ₂ 排出量 ³⁾	705	531	449	276	202	151	111	-2.3	-2.6	-2.9	-2.8
一次エネルギー消費あたりCO ₂ 排出(t/toe)	2.5	2.5	2.5	2.2	2.1	2.0	1.8	-0.4	-0.6	-0.7	-0.6

*1 電力、熱、水素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 toe/2010年価格100万ドル。*3 t/2010年価格100万ドル

付表36 | 中南米[レファレンスシナリオ]

一次エネルギー消費

	(石油換算100万トン[Mtoe])							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990	2018	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050
合計 ¹⁾	381	463	607	819	1,003	1,175	1,271	100	100	100	2.1	1.7	1.2	1.4
石炭	13	21	27	44	46	54	55	4.6	5.3	4.4	2.6	0.5	0.9	0.8
石油	222	237	310	336	376	409	411	51	41	32	1.3	0.9	0.4	0.6
天然ガス	47	71	118	203	268	364	437	15	25	34	3.8	2.3	2.5	2.4
原子力	0.6	3.2	5.3	9.4	18	19	16	0.7	1.2	1.3	3.9	5.6	-0.6	1.7
水力	19	33	50	64	75	82	88	7.2	7.8	6.9	2.4	1.3	0.8	1.0
地熱	1.2	5.1	6.5	6.3	22	30	37	1.1	0.8	2.9	0.7	10.9	2.7	5.7
太陽光・風力等	-	0.0	0.2	9.3	22	31	42	0.0	1.1	3.3	25.1	7.5	3.3	4.8
バイオマス・廃棄物	78	92	89	147	176	185	184	20	18	14	1.7	1.6	0.2	0.7

最終エネルギー消費

	(Mtoe)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990	2018	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050
合計	287	344	442	606	728	832	897	100	100	100	2.0	1.5	1.0	1.2
産業	98	113	143	179	223	265	285	33	30	32	1.6	1.8	1.2	1.5
運輸	85	103	140	225	266	294	309	30	37	35	2.8	1.4	0.8	1.0
民生・農業他	88	101	121	166	197	223	247	29	27	28	1.8	1.4	1.1	1.3
非エネルギー消費	16	26	38	36	42	49	55	7.6	6.0	6.1	1.2	1.3	1.3	1.3
石炭	6.2	8.1	11	16	18	20	20	2.4	2.6	2.2	2.4	1.1	0.6	0.7
石油	158	178	235	294	337	374	390	52	48	43	1.8	1.2	0.7	0.9
天然ガス	27	38	54	75	92	108	122	11	12	14	2.5	1.7	1.4	1.5
電力	27	45	69	114	157	205	246	13	19	27	3.4	2.7	2.3	2.4
熱	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
水素	-	-	-	-	0.0	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	-100	n.a.
再生可能	69	75	74	107	124	125	119	22	18	13	1.3	1.2	-0.2	0.3

発電量

	(TWh)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990	2018	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050
合計	380	623	1,009	1,637	2,224	2,851	3,356	100	100	100	3.5	2.6	2.1	2.3
石炭	8.2	24	43	96	104	139	152	3.8	5.9	4.5	5.1	0.6	1.9	1.4
石油	112	129	198	133	121	96	26	21	8.1	0.8	0.1	-0.8	-7.5	-5.0
天然ガス	34	58	141	449	679	1,066	1,413	9.3	27	42	7.6	3.5	3.7	3.6
原子力	2.3	12	20	36	70	74	62	2.0	2.2	1.9	3.9	5.6	-0.6	1.7
水力	218	386	584	746	871	951	1,023	62	46	30	2.4	1.3	0.8	1.0
地熱	1.4	5.9	8.0	9.4	34	49	60	1.0	0.6	1.8	1.7	11.3	2.9	6.0
太陽光	-	0.0	0.0	14	51	85	130	0.0	0.9	3.9	40.7	11.1	4.9	7.1
風力	-	0.0	0.3	79	182	253	331	0.0	4.8	9.9	49.6	7.2	3.0	4.6
太陽熱・海洋	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
バイオマス・廃棄物	3.6	7.5	13	74	112	139	158	1.2	4.6	4.7	8.5	3.5	1.7	2.4
水素	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
その他	-	-	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	-	0.0	0.0	n.a.	0.0	0.0	0.0

エネルギー・経済指標他

	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050
GDP (2010年価格10億ドル)	2,440	2,834	3,819	5,833	8,064	11,058	14,073	2.6	2.7	2.8	2.8
人口(100万人)	357	438	517	638	702	738	758	1.3	0.8	0.4	0.5
エネルギー起源CO ₂ 排出(100万t)	761	866	1,193	1,574	1,838	2,171	2,339	2.2	1.3	1.2	1.2
一人あたりGDP (2010年価格1,000ドル/人)	6.8	6.5	7.4	9.1	11	15	19	1.2	1.9	2.4	2.2
一人あたり一次エネルギー消費(toe/人)	1.1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.6	1.7	0.7	0.9	0.8	0.8
GDPあたり一次エネルギー消費 ²⁾	156	163	159	140	124	106	90	-0.5	-1.0	-1.6	-1.4
GDPあたりCO ₂ 排出量 ³⁾	312	305	312	270	228	196	166	-0.4	-1.4	-1.6	-1.5
一次エネルギー消費あたりCO ₂ 排出(t/toe)	2.0	1.9	2.0	1.9	1.8	1.8	1.8	0.1	-0.4	0.0	-0.1

*1 電力、熱、水素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 toe/2010年価格100万ドル。*3 t/2010年価格100万ドル

付表37 | 欧州先進国[レファレンスシナリオ]

一次エネルギー消費

	(石油換算100万トン[Mtoe])							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990	2018	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050
合計 ¹⁾	1,494	1,643	1,759	1,742	1,653	1,567	1,467	100	100	100	0.2	-0.4	-0.6	-0.5
石炭	464	448	331	255	218	191	162	27	15	11	-2.0	-1.3	-1.5	-1.4
石油	688	617	654	563	492	435	386	38	32	26	-0.3	-1.1	-1.2	-1.2
天然ガス	206	267	396	426	438	433	412	16	24	28	1.7	0.2	-0.3	-0.1
原子力	60	210	247	215	171	158	144	13	12	9.8	0.1	-1.9	-0.9	-1.3
水力	36	39	47	49	51	52	54	2.4	2.8	3.7	0.8	0.4	0.3	0.3
地熱	3.0	4.9	7.1	19	28	30	32	0.3	1.1	2.2	5.0	3.0	0.8	1.6
太陽光・風力等	0.1	0.4	2.7	51	77	89	102	0.0	2.9	6.9	19.4	3.6	1.4	2.2
バイオマス・廃棄物	36	56	72	161	175	176	174	3.4	9.2	12	3.9	0.7	0.0	0.2

最終エネルギー消費

	(Mtoe)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990	2018	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050
合計	1,081	1,142	1,235	1,253	1,210	1,141	1,073	100	100	100	0.3	-0.3	-0.6	-0.5
産業	356	330	325	299	301	296	282	29	24	26	-0.4	0.0	-0.3	-0.2
運輸	209	269	318	354	313	279	253	24	28	24	1.0	-1.0	-1.1	-1.1
民生・農業他	425	442	477	495	491	460	434	39	39	40	0.4	-0.1	-0.6	-0.4
非エネルギー消費	90	101	115	105	105	105	104	8.9	8.4	9.7	0.1	0.0	-0.1	0.0
石炭	156	124	62	44	38	33	29	11	3.5	2.7	-3.6	-1.3	-1.4	-1.3
石油	551	527	573	514	452	399	355	46	41	33	-0.1	-1.1	-1.2	-1.2
天然ガス	161	205	269	276	275	258	242	18	22	23	1.1	0.0	-0.6	-0.4
電力	147	193	234	272	298	313	318	17	22	30	1.2	0.8	0.3	0.5
熱	35	45	42	48	45	40	35	3.9	3.8	3.3	0.3	-0.5	-1.3	-1.0
水素	-	-	-	-	0.0	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	-100	n.a.
再生可能	31	48	55	99	102	98	94	4.2	7.9	8.8	2.6	0.3	-0.4	-0.2

発電量

	(TWh)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990	2018	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050
合計	2,049	2,697	3,238	3,656	3,984	4,161	4,191	100	100	100	1.1	0.7	0.3	0.4
石炭	887	1,030	968	738	701	625	514	38	20	12	-1.2	-0.4	-1.5	-1.1
石油	364	210	180	51	37	26	10.0	7.8	1.4	0.2	-5.0	-2.5	-6.4	-5.0
天然ガス	138	176	514	702	902	1,063	1,124	6.5	19	27	5.1	2.1	1.1	1.5
原子力	230	804	948	825	656	607	551	30	23	13	0.1	-1.9	-0.9	-1.3
水力	416	451	549	567	592	608	624	17	16	15	0.8	0.4	0.3	0.3
地熱	2.7	3.6	6.2	20	30	34	36	0.1	0.5	0.9	6.3	3.5	0.9	1.9
太陽光	-	0.0	0.1	129	214	251	284	0.0	3.5	6.8	37.8	4.3	1.4	2.5
風力	0.0	0.8	22	392	535	588	651	0.0	11	16	24.9	2.6	1.0	1.6
太陽熱・海洋	0.5	0.5	0.5	5.4	34	47	65	0.0	0.1	1.5	8.8	16.5	3.3	8.1
バイオマス・廃棄物	11	21	48	221	276	306	327	0.8	6.0	7.8	8.8	1.9	0.9	1.2
水素	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
その他	-	0.3	1.5	5.8	5.8	5.8	5.8	0.0	0.2	0.1	10.6	0.0	0.0	0.0

エネルギー・経済指標他

	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050
GDP (2010年価格10億ドル)	9,896	12,689	15,969	21,276	25,015	28,501	31,766	1.9	1.4	1.2	1.3
人口(100万人)	475	505	527	577	588	590	586	0.5	0.2	0.0	0.0
エネルギー起源CO ₂ 排出(100万t)	4,102	3,935	3,910	3,456	3,140	2,855	2,547	-0.5	-0.8	-1.0	-1.0
一人あたりGDP (2010年価格1,000ドル/人)	21	25	30	37	43	48	54	1.4	1.2	1.2	1.2
一人あたり一次エネルギー消費(toe/人)	3.1	3.3	3.3	3.0	2.8	2.7	2.5	-0.3	-0.6	-0.6	-0.6
GDPあたり一次エネルギー消費 ²⁾	151	129	110	82	66	55	46	-1.6	-1.8	-1.8	-1.8
GDPあたりCO ₂ 排出量 ³⁾	415	310	245	162	126	100	80	-2.3	-2.1	-2.2	-2.2
一次エネルギー消費あたりCO ₂ 排出(t/toe)	2.7	2.4	2.2	2.0	1.9	1.8	1.7	-0.7	-0.4	-0.4	-0.4

*1 電力、熱、水素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 toe/2010年価格100万ドル。*3 t/2010年価格100万ドル

付表38 | 他欧州/ユーラシア[レファレンスシナリオ]

一次エネルギー消費

	(石油換算100万トン[Mtoe])							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990	2018	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050
合計 ¹⁾	1,240	1,514	993	1,159	1,207	1,252	1,290	100	100	100	-0.9	0.3	0.3	0.3
石炭	362	365	209	217	201	210	208	24	19	16	-1.9	-0.6	0.2	-0.1
石油	464	459	200	238	233	230	228	30	20	18	-2.3	-0.2	-0.1	-0.1
天然ガス	355	596	486	569	576	598	606	39	49	47	-0.2	0.1	0.3	0.2
原子力	20	55	61	83	117	116	125	3.6	7.2	9.7	1.5	2.8	0.3	1.3
水力	20	22	23	28	29	31	32	1.5	2.4	2.4	0.8	0.4	0.4	0.4
地熱	-	0.0	0.1	0.2	0.5	0.6	0.6	0.0	0.0	0.0	8.2	7.9	0.7	3.4
太陽光・風力等	-	-	0.0	1.7	4.4	6.7	9.5	-	0.1	0.7	n.a.	8.3	4.0	5.6
バイオマス・廃棄物	21	17	15	25	48	63	84	1.1	2.2	6.5	1.5	5.5	2.9	3.8

最終エネルギー消費

	(Mtoe)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990	2018	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050
合計	869	1,058	648	765	790	795	804	100	100	100	-1.1	0.3	0.1	0.2
産業	395	391	205	202	216	227	231	37	26	29	-2.3	0.5	0.3	0.4
運輸	107	170	109	156	152	147	143	16	20	18	-0.3	-0.2	-0.3	-0.3
民生・農業他	301	432	287	316	326	315	313	41	41	39	-1.1	0.3	-0.2	0.0
非エネルギー消費	67	65	47	91	96	106	116	6.2	12	14	1.2	0.5	0.9	0.8
石炭	152	113	36	50	51	50	46	11	6.5	5.8	-2.9	0.3	-0.5	-0.2
石油	310	275	144	197	199	197	196	26	26	24	-1.2	0.1	-0.1	0.0
天然ガス	215	258	200	257	258	255	256	24	34	32	0.0	0.1	0.0	0.0
電力	95	125	86	110	130	153	173	12	14	22	-0.4	1.4	1.5	1.4
熱	78	274	170	134	134	126	121	26	18	15	-2.5	0.0	-0.5	-0.3
水素	-	-	-	-	0.0	0.0	-	-	-	-	n.a.	n.a.	-100	n.a.
再生可能	21	13	11	18	18	15	11	1.2	2.3	1.4	1.2	0.2	-2.3	-1.4

発電量

	(TWh)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990	2018	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050
合計	1,461	1,857	1,415	1,801	2,049	2,326	2,516	100	100	100	-0.1	1.1	1.0	1.1
石炭	471	429	338	390	428	516	555	23	22	22	-0.3	0.8	1.3	1.1
石油	357	252	69	16	13	11	7.5	14	0.9	0.3	-9.4	-1.6	-2.8	-2.3
天然ガス	295	707	504	726	734	860	903	38	40	36	0.1	0.1	1.0	0.7
原子力	79	209	234	319	449	445	479	11	18	19	1.5	2.9	0.3	1.3
水力	232	260	267	326	341	357	367	14	18	15	0.8	0.4	0.4	0.4
地熱	-	0.0	0.1	0.4	1.7	2.0	2.2	0.0	0.0	0.1	10.2	12.3	1.1	5.2
太陽光	-	-	-	6.1	18	29	41	-	0.3	1.6	n.a.	9.4	4.2	6.1
風力	-	-	0.0	12	31	47	68	-	0.7	2.7	n.a.	8.3	4.0	5.6
太陽熱・海洋	-	-	-	-	0.0	0.1	0.2	-	-	0.0	n.a.	n.a.	12.7	n.a.
バイオマス・廃棄物	27	0.0	2.6	6.2	34	59	93	0.0	0.3	3.7	19.0	15.1	5.2	8.8
水素	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
その他	-	-	-	0.1	0.1	0.1	0.1	-	0.0	0.0	n.a.	0.0	0.0	0.0

エネルギー・経済指標他

	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050
GDP (2010年価格10億ドル)	1,736	2,146	1,478	2,857	3,740	4,733	5,916	1.0	2.3	2.3	2.3
人口(100万人)	320	337	334	340	344	342	340	0.0	0.1	-0.1	0.0
エネルギー起源CO ₂ 排出(100万t)	3,319	3,680	2,233	2,399	2,323	2,366	2,348	-1.5	-0.3	0.1	-0.1
一人あたりGDP (2010年価格1,000ドル/人)	5.4	6.4	4.4	8.4	11	14	17	1.0	2.2	2.4	2.3
一人あたり一次エネルギー消費(toe/人)	3.9	4.5	3.0	3.4	3.5	3.7	3.8	-1.0	0.2	0.4	0.3
GDPあたり一次エネルギー消費 ²⁾	715	706	672	406	323	265	218	-2.0	-1.9	-1.9	-1.9
GDPあたりCO ₂ 排出量 ³⁾	1,912	1,715	1,511	840	621	500	397	-2.5	-2.5	-2.2	-2.3
一次エネルギー消費あたりCO ₂ 排出(t/toe)	2.7	2.4	2.2	2.1	1.9	1.9	1.8	-0.6	-0.6	-0.3	-0.4

*1 電力、熱、水素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 toe/2010年価格100万ドル。*3 t/2010年価格100万ドル

付表39 | 欧州連合[レファレンスシナリオ]

一次エネルギー消費

	(石油換算100万トン[Mtoe])							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990	2018	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050
合計 ¹⁾	n.a.	1,439	1,471	1,428	1,364	1,288	1,202	100	100	100	0.0	-0.4	-0.6	-0.5
石炭	n.a.	391	285	216	188	165	140	27	15	12	-2.1	-1.2	-1.5	-1.4
石油	n.a.	531	550	462	405	357	315	37	32	26	-0.5	-1.1	-1.3	-1.2
天然ガス	n.a.	250	309	324	341	347	333	17	23	28	0.9	0.4	-0.1	0.1
原子力	n.a.	190	224	199	165	142	128	13	14	11	0.2	-1.5	-1.2	-1.4
水力	n.a.	24	30	30	30	31	31	1.7	2.1	2.6	0.7	0.1	0.2	0.2
地熱	n.a.	3.2	4.6	6.8	8.8	9.6	10	0.2	0.5	0.9	2.8	2.2	0.8	1.3
太陽光・風力等	n.a.	0.3	2.4	41	65	75	87	0.0	2.9	7.2	19.1	3.8	1.5	2.3
バイオマス・廃棄物	n.a.	47	65	147	159	158	155	3.3	10	13	4.2	0.7	-0.1	0.2

最終エネルギー消費

	(Mtoe)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990	2018	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050
合計	n.a.	995	1,028	1,023	994	937	879	100	100	100	0.1	-0.2	-0.6	-0.5
産業	n.a.	313	274	244	247	244	233	31	24	26	-0.9	0.1	-0.3	-0.1
運輸	n.a.	220	262	287	253	225	202	22	28	23	1.0	-1.0	-1.1	-1.1
民生・農業他	n.a.	374	391	400	403	377	354	38	39	40	0.2	0.1	-0.6	-0.4
非エネルギー消費	n.a.	88	101	91	91	91	89	8.9	8.9	10	0.1	0.0	-0.1	-0.1
石炭	n.a.	109	47	32	28	24	21	11	3.1	2.4	-4.3	-1.2	-1.4	-1.3
石油	n.a.	444	479	420	370	326	288	45	41	33	-0.2	-1.1	-1.2	-1.2
天然ガス	n.a.	185	220	216	221	209	196	19	21	22	0.6	0.2	-0.6	-0.3
電力	n.a.	162	189	216	238	252	257	16	21	29	1.0	0.8	0.4	0.5
熱	n.a.	55	43	46	44	38	34	5.5	4.5	3.8	-0.6	-0.5	-1.3	-1.0
水素	n.a.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
再生可能	n.a.	39	50	92	93	88	83	4.0	9.0	9.4	3.1	0.1	-0.6	-0.3

発電量

	(TWh)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990	2018	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050
合計	n.a.	2,259	2,631	2,920	3,206	3,361	3,392	100	100	100	0.9	0.8	0.3	0.5
石炭	n.a.	844	846	643	630	564	468	37	22	14	-1.0	-0.2	-1.5	-1.0
石油	n.a.	190	173	55	41	29	12	8.4	1.9	0.3	-4.3	-2.4	-6.1	-4.7
天然ガス	n.a.	188	331	491	646	834	902	8.3	17	27	3.5	2.3	1.7	1.9
原子力	n.a.	729	860	762	633	547	493	32	26	15	0.2	-1.5	-1.2	-1.4
水力	n.a.	285	352	344	348	357	365	13	12	11	0.7	0.1	0.2	0.2
地熱	n.a.	3.2	4.8	6.7	10	11	12	0.1	0.2	0.4	2.6	3.5	0.9	1.9
太陽光	n.a.	0.0	0.1	110	187	222	254	0.0	3.8	7.5	37.3	4.5	1.5	2.6
風力	n.a.	0.8	21	321	445	490	543	0.0	11	16	24.0	2.8	1.0	1.7
太陽熱・海洋	n.a.	0.5	0.5	5.3	34	47	65	0.0	0.2	1.9	8.8	16.5	3.3	8.1
バイオマス・廃棄物	n.a.	19	42	177	227	255	274	0.8	6.1	8.1	8.3	2.1	0.9	1.4
水素	n.a.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
その他	n.a.	0.2	1.4	4.6	4.6	4.6	4.6	0.0	0.2	0.1	11.6	0.0	0.0	0.0

エネルギー・経済指標他

	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050
GDP (2010年価格10億ドル)	n.a.	10,234	12,698	16,365	19,171	21,845	24,303	1.7	1.3	1.2	1.2
人口(100万人)	n.a.	420	429	447	447	445	437	0.2	0.0	-0.1	-0.1
エネルギー起源CO ₂ 排出(100万t)	n.a.	3,422	3,248	2,781	2,478	2,262	2,008	-0.7	-1.0	-1.0	-1.0
一人あたりGDP (2010年価格1,000ドル/人)	n.a.	24	30	37	43	49	56	1.5	1.3	1.3	1.3
一人あたり一次エネルギー消費(toe/人)	n.a.	3.4	3.4	3.2	3.0	2.9	2.7	-0.2	-0.4	-0.5	-0.5
GDPあたり一次エネルギー消費 ²⁾	n.a.	141	116	87	71	59	49	-1.7	-1.7	-1.8	-1.8
GDPあたりCO ₂ 排出量 ³⁾	n.a.	334	256	170	129	104	83	-2.4	-2.3	-2.2	-2.2
一次エネルギー消費あたりCO ₂ 排出(t/toe)	n.a.	2.4	2.2	1.9	1.8	1.8	1.7	-0.7	-0.6	-0.4	-0.5

*1 電力、熱、水素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 toe/2010年価格100万ドル。*3 t/2010年価格100万ドル

付表40 | アフリカ[レファレンスシナリオ]

一次エネルギー消費

	(石油換算100万トン[Mtoe])							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990	2018	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050
合計 ¹⁾	273	386	491	837	1,080	1,331	1,528	100	100	100	2.8	2.2	1.7	1.9
石炭	52	74	90	114	123	138	142	19	14	9.3	1.5	0.7	0.7	0.7
石油	65	85	101	190	253	359	465	22	23	30	2.9	2.4	3.1	2.8
天然ガス	12	30	47	133	207	296	391	7.6	16	26	5.5	3.7	3.2	3.4
原子力	-	2.2	3.4	3.0	7.6	12	12	0.6	0.4	0.8	1.1	8.0	2.5	4.5
水力	4.1	4.8	6.4	11	19	25	37	1.2	1.3	2.4	3.1	4.4	3.4	3.8
地熱	-	0.3	0.4	4.5	13	21	29	0.1	0.5	1.9	10.4	9.6	4.0	6.1
太陽光・風力等	-	0.0	0.0	2.4	13	29	52	0.0	0.3	3.4	35.3	15.5	7.0	10.1
バイオマス・廃棄物	140	190	241	379	443	450	398	49	45	26	2.5	1.3	-0.5	0.2

最終エネルギー消費

	(Mtoe)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990	2018	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050
合計	217	287	365	612	801	969	1,096	100	100	100	2.7	2.3	1.6	1.8
産業	46	53	57	91	129	170	206	18	15	19	1.9	3.0	2.4	2.6
運輸	28	38	55	124	165	224	287	13	20	26	4.3	2.5	2.8	2.7
民生・農業他	138	185	238	374	473	535	557	64	61	51	2.5	2.0	0.8	1.2
非エネルギー消費	5.4	11	15	24	33	39	46	3.8	3.9	4.2	2.8	2.7	1.7	2.1
石炭	21	20	19	25	29	30	30	6.9	4.0	2.8	0.8	1.2	0.3	0.7
石油	54	70	90	172	233	322	414	25	28	38	3.2	2.6	2.9	2.8
天然ガス	2.8	8.6	14	47	69	87	103	3.0	7.7	9.4	6.3	3.3	2.0	2.5
電力	14	22	31	59	94	150	222	7.7	9.6	20	3.6	4.1	4.4	4.3
熱	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
水素	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	-	-	0.0	n.a.	n.a.	3.3	n.a.
再生可能	125	166	211	310	375	380	327	58	51	30	2.3	1.6	-0.7	0.2

発電量

	(TWh)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990	2018	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050
合計	184	315	442	835	1,336	2,092	3,031	100	100	100	3.5	4.0	4.2	4.1
石炭	100	164	209	260	300	363	391	52	31	13	1.7	1.2	1.3	1.3
石油	22	41	37	67	96	161	210	13	8.0	6.9	1.8	3.0	4.0	3.6
天然ガス	14	45	106	334	554	938	1,432	14	40	47	7.4	4.3	4.9	4.7
原子力	-	8.4	13	12	29	46	48	2.7	1.4	1.6	1.1	8.0	2.5	4.5
水力	47	56	75	131	219	294	429	18	16	14	3.1	4.4	3.4	3.8
地熱	-	0.3	0.4	5.2	16	24	34	0.1	0.6	1.1	10.4	9.6	4.0	6.1
太陽光	-	-	0.0	5.3	55	145	298	-	0.6	9.8	n.a.	21.5	8.8	13.4
風力	-	-	0.2	14	37	61	103	-	1.7	3.4	n.a.	8.2	5.3	6.4
太陽熱・海洋	-	-	-	2.0	20	42	66	-	0.2	2.2	n.a.	21.1	6.2	11.6
バイオマス・廃棄物	0.2	0.4	0.9	2.1	9.9	15	19	0.1	0.2	0.6	6.0	13.9	3.2	7.1
水素	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
その他	-	-	0.1	1.7	1.7	1.7	1.7	-	0.2	0.1	n.a.	0.0	0.0	0.0

エネルギー・経済指標他

	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050
GDP (2010年価格10億ドル)	720	895	1,171	2,474	4,015	6,457	9,559	3.7	4.1	4.4	4.3
人口(100万人)	476	630	810	1,275	1,686	2,074	2,486	2.6	2.4	2.0	2.1
エネルギー起源CO ₂ 排出(100万t)	397	541	667	1,253	1,617	2,174	2,712	3.0	2.1	2.6	2.4
一人あたりGDP (2010年価格1,000ドル/人)	1.5	1.4	1.4	1.9	2.4	3.1	3.8	1.1	1.7	2.4	2.2
一人あたり一次エネルギー消費(toe/人)	0.6	0.6	0.6	0.7	0.6	0.6	0.6	0.2	-0.2	-0.2	-0.2
GDPあたり一次エネルギー消費 ²⁾	380	432	419	338	269	206	160	-0.9	-1.9	-2.6	-2.3
GDPあたりCO ₂ 排出量 ³⁾	552	604	570	506	403	337	284	-0.6	-1.9	-1.7	-1.8
一次エネルギー消費あたりCO ₂ 排出(t/toe)	1.5	1.4	1.4	1.5	1.5	1.6	1.8	0.2	0.0	0.9	0.5

*1 電力、熱、水素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 toe/2010年価格100万ドル。*3 t/2010年価格100万ドル

付表41 | 中東[レファレンスシナリオ]

一次エネルギー消費

	(石油換算100万トン[Mtoe])							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990	2018	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050
合計 ¹⁾	121	222	371	782	1,019	1,178	1,276	100	100	100	4.6	2.2	1.1	1.5
石炭	1.2	3.0	8.1	8.5	11	10	8.5	1.3	1.1	0.7	3.8	1.9	-1.1	0.0
石油	90	146	216	330	394	431	431	66	42	34	3.0	1.5	0.4	0.8
天然ガス	29	72	145	437	582	687	771	32	56	60	6.7	2.4	1.4	1.8
原子力	-	-	-	2.0	22	33	39	-	0.3	3.1	n.a.	22.1	3.0	9.8
水力	0.8	1.0	0.7	1.6	2.1	2.3	2.4	0.5	0.2	0.2	1.6	2.2	0.7	1.3
地熱	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
太陽光・風力等	-	0.4	0.7	1.2	7.0	12	22	0.2	0.2	1.7	4.0	15.5	5.8	9.4
バイオマス・廃棄物	0.3	0.4	0.4	1.0	1.0	0.9	0.9	0.2	0.1	0.1	3.1	-0.3	-0.4	-0.3

最終エネルギー消費

	(Mtoe)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990	2018	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050
合計	84	157	253	535	688	791	865	100	100	100	4.5	2.1	1.1	1.5
産業	30	47	71	163	209	234	241	30	30	28	4.5	2.1	0.7	1.2
運輸	26	51	75	147	175	193	208	32	28	24	3.9	1.4	0.9	1.1
民生・農業他	22	40	75	143	192	225	253	25	27	29	4.7	2.5	1.4	1.8
非エネルギー消費	5.6	20	32	81	112	139	163	12	15	19	5.2	2.7	1.9	2.2
石炭	0.3	0.2	0.5	3.1	3.4	3.4	3.1	0.1	0.6	0.4	10.5	0.8	-0.4	0.1
石油	67	108	153	253	316	359	389	69	47	45	3.1	1.9	1.0	1.4
天然ガス	9.8	31	65	191	247	271	282	20	36	33	6.7	2.1	0.7	1.2
電力	6.5	17	33	86	121	156	189	11	16	22	5.9	2.9	2.3	2.5
熱	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
水素	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	-	-	0.0	n.a.	n.a.	2.5	n.a.
再生可能	0.2	0.7	1.0	1.5	1.7	1.7	1.8	0.5	0.3	0.2	2.6	0.8	0.4	0.5

発電量

	(TWh)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990	2018	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050
合計	95	244	472	1,228	1,733	2,218	2,643	100	100	100	5.9	2.9	2.1	2.4
石炭	0.1	11	30	21	30	28	23	4.3	1.7	0.9	2.5	3.0	-1.4	0.2
石油	47	108	189	293	294	244	130	44	24	4.9	3.6	0.0	-4.0	-2.5
天然ガス	39	114	246	881	1,241	1,682	2,110	47	72	80	7.6	2.9	2.7	2.8
原子力	-	-	-	7.6	83	127	151	-	0.6	5.7	n.a.	22.1	3.0	9.8
水力	9.7	12	8.0	19	24	26	28	4.9	1.5	1.1	1.6	2.2	0.7	1.3
地熱	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
太陽光	-	-	-	5.1	44	77	136	-	0.4	5.1	n.a.	19.7	5.8	10.8
風力	-	0.0	0.0	1.3	9.5	22	44	0.0	0.1	1.7	29.2	18.1	7.9	11.6
太陽熱・海洋	-	-	-	0.2	6.0	10	20	-	0.0	0.8	n.a.	31.1	6.2	14.9
バイオマス・廃棄物	-	-	0.0	0.0	0.3	0.4	0.6	-	0.0	0.0	n.a.	22.4	2.9	9.8
水素	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
その他	-	-	-	0.2	0.2	0.2	0.2	-	0.0	0.0	n.a.	0.0	0.0	0.0

エネルギー・経済指標他

	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050
GDP (2010年価格10億ドル)	977	1,031	1,533	2,829	3,760	4,922	6,263	3.7	2.4	2.6	2.5
人口(100万人)	92	132	168	248	299	333	362	2.3	1.6	0.9	1.2
エネルギー起源CO ₂ 排出(100万t)	311	568	943	1,844	2,291	2,567	2,689	4.3	1.8	0.8	1.2
一人あたりGDP (2010年価格1,000ドル/人)	11	7.8	9.2	11	13	15	17	1.4	0.8	1.6	1.3
一人あたり一次エネルギー消費(toe/人)	1.3	1.7	2.2	3.2	3.4	3.5	3.5	2.3	0.6	0.2	0.4
GDPあたり一次エネルギー消費 ²⁾	124	216	242	277	271	239	204	0.9	-0.2	-1.4	-1.0
GDPあたりCO ₂ 排出量 ³⁾	318	550	615	652	609	522	429	0.6	-0.6	-1.7	-1.3
一次エネルギー消費あたりCO ₂ 排出(t/toe)	2.6	2.6	2.5	2.4	2.2	2.2	2.1	-0.3	-0.4	-0.3	-0.3

*1 電力、熱、水素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 toe/2010年価格100万ドル。*3 t/2010年価格100万ドル

付表42 | オセアニア[レファレンスシナリオ]

一次エネルギー消費

	(石油換算100万トン[Mtoe])							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990	2018	2050	1990/ 2018	2018/ 2030	2030/ 2050	2018/ 2050
合計 ¹⁾	79	99	125	149	152	152	148	100	100	100	1.5	0.2	-0.1	0.0
石炭	28	36	49	44	36	32	26	36	30	18	0.7	-1.7	-1.6	-1.6
石油	34	35	40	50	47	44	40	35	34	27	1.3	-0.6	-0.7	-0.7
天然ガス	8.3	19	24	36	43	47	47	19	25	32	2.4	1.5	0.4	0.8
原子力	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
水力	2.7	3.2	3.5	3.6	3.6	3.5	3.5	3.2	2.4	2.4	0.4	-0.2	-0.1	-0.1
地熱	1.0	1.5	2.0	5.0	7.7	8.1	8.5	1.5	3.3	5.8	4.4	3.8	0.5	1.7
太陽光・風力等	0.0	0.1	0.1	2.8	6.8	10.0	13	0.1	1.9	9.0	11.7	7.7	3.4	5.0
バイオマス・廃棄物	4.1	4.7	6.2	6.5	7.7	8.4	9.0	4.8	4.3	6.1	1.1	1.5	0.8	1.0

最終エネルギー消費

	(Mtoe)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990	2018	2050	1990/ 2018	2018/ 2030	2030/ 2050	2018/ 2050
合計	54	66	83	98	104	104	103	100	100	100	1.4	0.5	0.0	0.2
産業	20	23	28	27	30	30	29	35	27	29	0.5	0.9	-0.1	0.3
運輸	19	24	30	39	39	38	37	36	40	36	1.8	-0.1	-0.3	-0.2
民生・農業他	11	15	19	25	28	29	30	22	25	29	1.9	1.0	0.3	0.6
非エネルギー消費	3.1	4.6	6.1	6.8	7.0	7.0	6.9	6.9	7.0	6.7	1.4	0.2	-0.1	0.0
石炭	5.3	5.2	4.7	3.7	3.8	3.7	3.4	7.9	3.7	3.3	-1.3	0.4	-0.6	-0.3
石油	31	33	40	51	51	49	46	50	53	45	1.6	-0.1	-0.5	-0.3
天然ガス	5.4	10	14	15	17	18	17	16	16	17	1.4	0.9	0.1	0.4
電力	8.5	14	18	22	26	28	30	20	22	29	1.7	1.4	0.8	1.0
熱	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
水素	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	-	-	0.0	n.a.	n.a.	-11.1	n.a.
再生可能	4.0	4.1	5.6	5.7	6.2	6.2	6.0	6.2	5.9	5.9	1.2	0.6	-0.1	0.2

発電量

	(TWh)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990	2018	2050	1990/ 2018	2018/ 2030	2030/ 2050	2018/ 2050
合計	118	187	249	305	359	389	406	100	100	100	1.8	1.4	0.6	0.9
石炭	70	122	176	159	151	137	115	65	52	28	1.0	-0.5	-1.3	-1.0
石油	5.2	3.6	1.8	4.8	4.0	3.1	2.1	1.9	1.6	0.5	1.1	-1.6	-3.2	-2.6
天然ガス	8.7	20	26	60	71	76	74	11	20	18	4.0	1.4	0.2	0.7
原子力	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
水力	32	37	41	42	41	41	40	20	14	10.0	0.4	-0.2	-0.1	-0.1
地熱	1.2	2.1	2.9	8.0	13	13	14	1.1	2.6	3.4	4.8	3.9	0.5	1.8
太陽光	-	-	0.0	10	33	51	67	-	3.3	17	n.a.	10.5	3.6	6.1
風力	-	-	0.2	17	39	58	80	-	5.6	20	n.a.	7.1	3.6	4.9
太陽熱・海洋	-	-	-	0.0	0.0	0.1	0.2	-	0.0	0.0	n.a.	25.7	6.5	13.3
バイオマス・廃棄物	0.7	1.2	1.7	4.1	7.4	10	13	0.7	1.3	3.2	4.3	5.0	2.8	3.6
水素	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
その他	-	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	-0.9	0.0	0.0	0.0

エネルギー・経済指標他

	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990/ 2018	2018/ 2030	2030/ 2050	2018/ 2050
GDP (2010年価格10億ドル)	527	722	998	1,665	2,166	2,612	3,057	3.0	2.2	1.7	1.9
人口(100万人)	18	20	23	30	33	36	39	1.4	1.0	0.7	0.8
エネルギー起源CO ₂ 排出(100万t)	230	282	363	423	399	380	348	1.5	-0.5	-0.7	-0.6
一人あたりGDP (2010年価格1,000ドル/人)	30	35	43	56	65	72	79	1.6	1.2	1.0	1.1
一人あたり一次エネルギー消費(toe/人)	4.4	4.9	5.4	5.0	4.5	4.2	3.8	0.1	-0.8	-0.8	-0.8
GDPあたり一次エネルギー消費 ²⁾	149	137	126	89	70	58	48	-1.5	-2.0	-1.8	-1.9
GDPあたりCO ₂ 排出量 ³⁾	436	390	364	254	184	146	114	-1.5	-2.6	-2.4	-2.5
一次エネルギー消費あたりCO ₂ 排出(t/toe)	2.9	2.8	2.9	2.8	2.6	2.5	2.4	0.0	-0.7	-0.5	-0.6

*1 電力、熱、水素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 toe/2010年価格100万ドル。*3 t/2010年価格100万ドル

付表43 | 先進国[レファレンスシナリオ]

一次エネルギー消費

	(石油換算100万トン[Mtoe])							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990	2018	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050
合計 ¹⁾	3,993	4,467	5,235	5,290	5,152	4,981	4,726	100	100	100	0.6	-0.2	-0.4	-0.4
石炭	966	1,088	1,119	877	732	641	516	24	17	11	-0.8	-1.5	-1.7	-1.6
石油	1,898	1,826	2,068	1,870	1,698	1,557	1,423	41	35	30	0.1	-0.8	-0.9	-0.9
天然ガス	760	827	1,134	1,452	1,565	1,581	1,513	19	27	32	2.0	0.6	-0.2	0.1
原子力	164	463	596	519	444	404	375	10	9.8	7.9	0.4	-1.3	-0.9	-1.0
水力	92	100	111	119	124	127	130	2.2	2.2	2.7	0.6	0.4	0.2	0.3
地熱	9.4	22	25	37	59	78	89	0.5	0.7	1.9	1.8	4.0	2.1	2.8
太陽光・風力等	0.1	2.0	5.9	99	169	226	311	0.0	1.9	6.6	14.9	4.6	3.1	3.7
バイオマス・廃棄物	102	139	173	314	356	363	365	3.1	5.9	7.7	3.0	1.0	0.1	0.5

最終エネルギー消費

	(Mtoe)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990	2018	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050
合計	2,891	3,058	3,582	3,717	3,664	3,538	3,382	100	100	100	0.7	-0.1	-0.4	-0.3
産業	927	826	906	813	827	818	784	27	22	23	-0.1	0.1	-0.3	-0.1
運輸	761	920	1,120	1,223	1,114	1,032	961	30	33	28	1.0	-0.8	-0.7	-0.7
民生・農業他	959	1,025	1,189	1,281	1,290	1,244	1,191	34	34	35	0.8	0.1	-0.4	-0.2
非エネルギー消費	245	287	367	400	433	443	445	9.4	11	13	1.2	0.7	0.1	0.3
石炭	259	231	137	104	93	82	70	7.5	2.8	2.1	-2.8	-1.0	-1.4	-1.3
石油	1,545	1,559	1,809	1,722	1,580	1,454	1,334	51	46	39	0.4	-0.7	-0.8	-0.8
天然ガス	547	578	732	780	802	762	717	19	21	21	1.1	0.2	-0.6	-0.3
電力	407	553	719	830	907	972	1,006	18	22	30	1.5	0.7	0.5	0.6
熱	36	48	52	63	59	53	47	1.6	1.7	1.4	1.0	-0.5	-1.1	-0.9
水素	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	-	-	0.0	n.a.	n.a.	-11.5	n.a.
再生可能	97	89	133	217	224	216	208	2.9	5.8	6.1	3.2	0.3	-0.4	-0.1

発電量

	(TWh)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990	2018	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050
合計	5,639	7,668	9,706	11,048	12,019	12,808	13,172	100	100	100	1.3	0.7	0.5	0.6
石炭	2,323	3,127	3,833	2,972	2,695	2,430	1,951	41	27	15	-0.2	-0.8	-1.6	-1.3
石油	985	669	539	178	117	68	30	8.7	1.6	0.2	-4.6	-3.5	-6.6	-5.4
天然ガス	607	767	1,531	3,033	3,704	4,283	4,367	10	27	33	5.0	1.7	0.8	1.1
原子力	629	1,776	2,288	1,993	1,705	1,551	1,438	23	18	11	0.4	-1.3	-0.9	-1.0
水力	1,071	1,159	1,294	1,379	1,448	1,482	1,508	15	12	11	0.6	0.4	0.2	0.3
地熱	10	23	27	49	85	120	140	0.3	0.4	1.1	2.7	4.7	2.5	3.3
太陽光	-	0.1	0.7	299	526	821	1,300	0.0	2.7	9.9	33.7	4.8	4.6	4.7
風力	0.0	3.8	29	730	1,089	1,260	1,487	0.1	6.6	11	20.6	3.4	1.6	2.2
太陽熱・海洋	0.5	1.2	1.1	9.8	88	152	247	0.0	0.1	1.9	7.8	20.1	5.3	10.6
バイオマス・廃棄物	13	121	142	372	528	609	674	1.6	3.4	5.1	4.1	3.0	1.2	1.9
水素	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
その他	-	20	22	32	32	32	32	0.3	0.3	0.2	1.7	0.0	0.0	0.0

エネルギー・経済指標他

	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050
GDP (2010年価格10億ドル)	20,957	28,740	37,440	51,436	61,870	72,952	83,921	2.1	1.6	1.5	1.5
人口(100万人)	925	998	1,070	1,186	1,222	1,237	1,238	0.6	0.2	0.1	0.1
エネルギー起源CO ₂ 排出(100万t)	10,435	10,827	12,268	11,407	10,520	9,765	8,717	0.2	-0.7	-0.9	-0.8
一人あたりGDP (2010年価格1,000ドル/人)	23	29	35	43	51	59	68	1.5	1.3	1.5	1.4
一人あたり一次エネルギー消費(toe/人)	4.3	4.5	4.9	4.5	4.2	4.0	3.8	0.0	-0.5	-0.5	-0.5
GDPあたり一次エネルギー消費 ²⁾	191	155	140	103	83	68	56	-1.5	-1.7	-1.9	-1.9
GDPあたりCO ₂ 排出量 ³⁾	498	377	328	222	170	134	104	-1.9	-2.2	-2.4	-2.3
一次エネルギー消費あたりCO ₂ 排出(t/toe)	2.6	2.4	2.3	2.2	2.0	2.0	1.8	-0.4	-0.5	-0.5	-0.5

*1 電力、熱、水素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 toe/2010年価格100万ドル。*3 t/2010年価格100万ドル

付表44 | 新興・途上国[レファレンスシナリオ]

一次エネルギー消費

	(石油換算100万トン[Mtoe])							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990	2018	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050
合計 ¹⁾	3,031	4,097	4,526	8,570	10,797	12,198	13,076	100	100	100	2.7	1.9	1.0	1.3
石炭	817	1,133	1,198	2,962	3,444	3,533	3,368	28	35	26	3.5	1.3	-0.1	0.4
石油	1,028	1,205	1,327	2,205	2,739	3,176	3,527	29	26	27	2.2	1.8	1.3	1.5
天然ガス	471	835	937	1,809	2,481	3,067	3,530	20	21	27	2.8	2.7	1.8	2.1
原子力	21	62	79	187	342	415	484	1.5	2.2	3.7	4.0	5.1	1.7	3.0
水力	56	84	113	244	300	337	372	2.1	2.8	2.8	3.9	1.7	1.1	1.3
地熱	3.0	12	27	55	126	165	202	0.3	0.6	1.5	5.6	7.1	2.4	4.1
太陽光・風力等	-	0.5	2.1	96	233	357	493	0.0	1.1	3.8	20.8	7.7	3.8	5.3
バイオマス・廃棄物	636	765	842	1,013	1,134	1,151	1,103	19	12	8.4	1.0	0.9	-0.1	0.3

最終エネルギー消費

	(Mtoe)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990	2018	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050
合計	2,300	3,007	3,176	5,799	7,185	8,068	8,736	100	100	100	2.4	1.8	1.0	1.3
産業	839	977	965	2,027	2,437	2,645	2,734	32	35	31	2.6	1.5	0.6	0.9
運輸	306	453	569	1,246	1,582	1,879	2,183	15	21	25	3.7	2.0	1.6	1.8
民生・農業他	1,041	1,386	1,403	2,009	2,482	2,742	2,920	46	35	33	1.3	1.8	0.8	1.2
非エネルギー消費	113	191	239	517	684	802	900	6.3	8.9	10	3.6	2.4	1.4	1.7
石炭	444	521	404	890	902	862	806	17	15	9.2	1.9	0.1	-0.6	-0.3
石油	726	844	1,036	1,907	2,427	2,844	3,220	28	33	37	3.0	2.0	1.4	1.6
天然ガス	268	367	388	831	1,113	1,260	1,369	12	14	16	3.0	2.5	1.0	1.6
電力	178	281	373	1,088	1,587	1,996	2,352	9.4	19	27	5.0	3.2	2.0	2.4
熱	85	288	196	238	252	245	236	9.6	4.1	2.7	-0.7	0.5	-0.3	0.0
水素	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	-	-	0.0	n.a.	n.a.	1.0	n.a.
再生可能	600	705	779	844	904	861	754	23	15	8.6	0.6	0.6	-0.9	-0.4

発電量

	(TWh)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990	2018	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050
合計	2,643	4,178	5,721	15,571	22,412	27,711	32,028	100	100	100	4.8	3.1	1.8	2.3
石炭	814	1,303	2,162	7,188	9,451	10,416	10,527	31	46	33	6.3	2.3	0.5	1.2
石油	674	654	645	605	637	626	464	16	3.9	1.4	-0.3	0.4	-1.6	-0.8
天然ガス	391	982	1,243	3,117	4,773	6,915	8,977	24	20	28	4.2	3.6	3.2	3.4
原子力	85	236	303	717	1,313	1,591	1,856	5.7	4.6	5.8	4.0	5.2	1.7	3.0
水力	646	981	1,319	2,835	3,489	3,915	4,327	23	18	14	3.9	1.7	1.1	1.3
地熱	3.5	13	25	40	106	143	179	0.3	0.3	0.6	4.1	8.5	2.7	4.8
太陽光	-	0.0	0.1	255	831	1,490	2,485	0.0	1.6	7.8	50.0	10.3	5.6	7.4
風力	-	0.0	2.8	543	1,352	1,964	2,369	0.0	3.5	7.4	41.0	7.9	2.8	4.7
太陽熱・海洋	-	0.0	0.0	2.5	30	63	104	0.0	0.0	0.3	23.4	23.0	6.4	12.3
バイオマス・廃棄物	31	8.4	21	266	429	586	738	0.2	1.7	2.3	13.1	4.1	2.8	3.2
水素	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
その他	-	-	0.5	2.3	2.3	2.3	2.3	-	0.0	0.0	n.a.	0.0	0.0	0.0

エネルギー・経済指標他

	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050
GDP (2010年価格10億ドル)	7,065	9,140	12,459	30,929	51,535	75,753	102,314	4.4	4.3	3.5	3.8
人口(100万人)	3,510	4,280	5,042	6,405	7,275	7,909	8,444	1.5	1.1	0.7	0.9
エネルギー起源CO ₂ 排出(100万t)	6,784	8,867	9,925	20,538	25,074	27,779	29,026	3.0	1.7	0.7	1.1
一人あたりGDP (2010年価格1,000ドル/人)	2.0	2.1	2.5	4.8	7.1	9.6	12	3.0	3.2	2.7	2.9
一人あたり一次エネルギー消費(toe/人)	0.9	1.0	0.9	1.3	1.5	1.5	1.5	1.2	0.9	0.2	0.5
GDPあたり一次エネルギー消費 ²⁾	429	448	363	277	210	161	128	-1.7	-2.3	-2.4	-2.4
GDPあたりCO ₂ 排出量 ³⁾	960	970	797	664	487	367	284	-1.3	-2.6	-2.7	-2.6
一次エネルギー消費あたりCO ₂ 排出(t/toe)	2.2	2.2	2.2	2.4	2.3	2.3	2.2	0.4	-0.3	-0.2	-0.2

*1 電力、熱、水素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 toe/2010年価格100万ドル。*3 t/2010年価格100万ドル

付表45 | 世界[技術進展シナリオ]

一次エネルギー消費

	(石油換算100万トン[Mtoe])							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990	2018	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050
合計 ¹⁾	7,203	8,767	10,034	14,282	15,605	15,925	15,743	100	100	100	1.8	0.7	0.0	0.3
石炭	1,783	2,221	2,317	3,838	3,541	2,939	2,225	25	27	14	2.0	-0.7	-2.3	-1.7
石油	3,105	3,233	3,669	4,497	4,654	4,617	4,454	37	31	28	1.2	0.3	-0.2	0.0
天然ガス	1,231	1,662	2,071	3,262	3,723	3,918	3,802	19	23	24	2.4	1.1	0.1	0.5
原子力	185	526	675	707	929	1,134	1,297	6.0	4.9	8.2	1.1	2.3	1.7	1.9
水力	148	184	225	362	434	479	522	2.1	2.5	3.3	2.4	1.5	0.9	1.1
地熱	12	34	52	92	232	341	440	0.4	0.6	2.8	3.6	8.0	3.3	5.0
太陽光・風力等	0.1	2.5	8.0	194	573	964	1,420	0.0	1.4	9.0	16.8	9.4	4.6	6.4
バイオマス・廃棄物	738	904	1,015	1,327	1,517	1,530	1,581	10	9.3	10	1.4	1.1	0.2	0.5

最終エネルギー消費

	(Mtoe)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990	2018	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050
合計	5,370	6,267	7,032	9,938	10,878	11,102	11,107	100	100	100	1.7	0.8	0.1	0.3
産業	1,767	1,803	1,871	2,839	3,200	3,237	3,089	29	29	28	1.6	1.0	-0.2	0.3
運輸	1,245	1,575	1,963	2,891	2,999	3,052	3,142	25	29	28	2.2	0.3	0.2	0.3
民生・農業他	2,000	2,411	2,592	3,291	3,562	3,570	3,532	38	33	32	1.1	0.7	0.0	0.2
非エネルギー消費	358	477	606	917	1,116	1,243	1,344	7.6	9.2	12	2.4	1.7	0.9	1.2
石炭	703	752	542	994	924	816	699	12	10	6.3	1.0	-0.6	-1.4	-1.1
石油	2,449	2,606	3,119	4,051	4,282	4,297	4,198	42	41	38	1.6	0.5	-0.1	0.1
天然ガス	815	944	1,119	1,611	1,853	1,888	1,900	15	16	17	1.9	1.2	0.1	0.5
電力	586	834	1,092	1,919	2,444	2,836	3,118	13	19	28	3.0	2.0	1.2	1.5
熱	121	336	248	301	300	276	250	5.4	3.0	2.3	-0.4	0.0	-0.9	-0.6
水素	-	-	-	-	0.3	0.8	1.7	-	-	0.0	n.a.	n.a.	9.2	n.a.
再生可能	697	794	911	1,061	1,075	988	940	13	11	8.5	1.0	0.1	-0.7	-0.4

発電量

	(TWh)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990	2018	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050
合計	8,282	11,846	15,427	26,619	33,525	38,288	41,490	100	100	100	2.9	1.9	1.1	1.4
石炭	3,137	4,430	5,994	10,160	9,632	7,712	5,369	37	38	13	3.0	-0.4	-2.9	-2.0
石油	1,659	1,323	1,184	784	601	428	236	11	2.9	0.6	-1.9	-2.2	-4.6	-3.7
天然ガス	998	1,749	2,775	6,150	7,433	8,551	8,230	15	23	20	4.6	1.6	0.5	0.9
原子力	713	2,013	2,591	2,710	3,567	4,352	4,979	17	10	12	1.1	2.3	1.7	1.9
水力	1,717	2,141	2,613	4,214	5,043	5,574	6,070	18	16	15	2.4	1.5	0.9	1.1
地熱	14	36	52	89	248	369	481	0.3	0.3	1.2	3.2	8.9	3.4	5.4
太陽光	-	0.1	0.8	554	1,969	3,751	6,177	0.0	2.1	15	36.5	11.1	5.9	7.8
風力	0.0	3.9	31	1,273	3,665	5,626	7,330	0.0	4.8	18	23.0	9.2	3.5	5.6
太陽熱・海洋	0.5	1.2	1.1	12	173	426	809	0.0	0.0	2.0	8.7	24.6	8.0	14.0
バイオマス・廃棄物	44	130	163	637	1,159	1,465	1,773	1.1	2.4	4.3	5.9	5.1	2.1	3.2
水素	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
その他	-	20	22	35	35	35	35	0.2	0.1	0.1	2.0	0.0	0.0	0.0

エネルギー・経済指標他

	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050
GDP (2010年価格10億ドル)	28,022	37,880	49,899	82,365	113,405	148,705	186,235	2.8	2.7	2.5	2.6
人口(100万人)	4,434	5,278	6,111	7,591	8,497	9,146	9,682	1.3	0.9	0.7	0.8
エネルギー起源CO ₂ 排出(100万t)	17,774	20,324	23,046	33,258	32,750	29,634	25,167	1.8	-0.1	-1.3	-0.9
一人あたりGDP (2010年価格1,000ドル/人)	6.3	7.2	8.2	11	13	16	19	1.5	1.7	1.8	1.8
一人あたり一次エネルギー消費(toe/人)	1.6	1.7	1.6	1.9	1.8	1.7	1.6	0.4	-0.2	-0.6	-0.5
GDPあたり一次エネルギー消費 ²⁾	257	231	201	173	138	107	85	-1.0	-1.9	-2.4	-2.2
GDPあたりCO ₂ 排出量 ³⁾	634	537	462	404	289	199	135	-1.0	-2.8	-3.7	-3.4
一次エネルギー消費あたりCO ₂ 排出(t/toe)	2.5	2.3	2.3	2.3	2.1	1.9	1.6	0.0	-0.9	-1.4	-1.2

*1 電力、熱、水素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 toe/2010年価格100万ドル。*3 t/2010年価格100万ドル

付表46 | アジア[技術進展シナリオ]

一次エネルギー消費

	(石油換算100万トン[Mtoe])							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990	2018	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050
合計 ¹⁾	1,439	2,110	2,887	5,844	6,934	7,166	7,105	100	100	100	3.7	1.4	0.1	0.6
石炭	466	788	1,037	2,821	2,817	2,392	1,857	37	48	26	4.7	0.0	-2.1	-1.3
石油	477	618	916	1,464	1,720	1,816	1,863	29	25	26	3.1	1.4	0.4	0.8
天然ガス	51	116	233	641	945	1,096	1,132	5.5	11	16	6.3	3.3	0.9	1.8
原子力	25	77	132	148	332	463	566	3.6	2.5	8.0	2.4	7.0	2.7	4.3
水力	20	32	41	146	190	215	234	1.5	2.5	3.3	5.6	2.2	1.1	1.5
地熱	2.6	8.2	23	47	119	181	233	0.4	0.8	3.3	6.4	8.0	3.4	5.1
太陽光・風力等	-	1.2	2.1	89	302	501	697	0.1	1.5	9.8	16.5	10.7	4.3	6.6
バイオマス・廃棄物	396	471	503	487	509	503	523	22	8.3	7.4	0.1	0.4	0.1	0.2

最終エネルギー消費

	(Mtoe)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990	2018	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050
合計	1,133	1,558	1,999	3,847	4,559	4,771	4,848	100	100	100	3.3	1.4	0.3	0.7
産業	384	515	655	1,556	1,791	1,778	1,671	33	40	34	4.0	1.2	-0.3	0.2
運輸	124	187	321	717	861	942	1,035	12	19	21	4.9	1.5	0.9	1.2
民生・農業他	568	740	842	1,172	1,380	1,454	1,494	48	30	31	1.7	1.4	0.4	0.8
非エネルギー消費	58	116	180	401	527	597	649	7.4	10	13	4.5	2.3	1.0	1.5
石炭	301	423	372	834	786	693	593	27	22	12	2.5	-0.5	-1.4	-1.1
石油	331	464	740	1,288	1,548	1,649	1,703	30	33	35	3.7	1.5	0.5	0.9
天然ガス	21	46	89	318	497	548	570	3.0	8.3	12	7.1	3.8	0.7	1.8
電力	88	157	280	876	1,231	1,436	1,573	10	23	32	6.3	2.9	1.2	1.8
熱	7.5	14	30	112	122	118	109	0.9	2.9	2.2	7.7	0.7	-0.6	-0.1
水素	-	-	-	-	0.1	0.4	0.8	-	-	0.0	n.a.	n.a.	10.5	n.a.
再生可能	385	455	488	418	374	327	301	29	11	6.2	-0.3	-0.9	-1.1	-1.0

発電量

	(TWh)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990	2018	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050
合計	1,195	2,238	3,971	12,069	16,784	19,257	20,808	100	100	100	6.2	2.8	1.1	1.7
石炭	298	868	1,983	7,172	7,492	6,252	4,642	39	59	22	7.8	0.4	-2.4	-1.4
石油	475	432	376	170	123	86	62	19	1.4	0.3	-3.3	-2.6	-3.4	-3.1
天然ガス	90	237	570	1,416	2,045	2,576	2,767	11	12	13	6.6	3.1	1.5	2.1
原子力	97	294	505	569	1,275	1,775	2,173	13	4.7	10	2.4	7.0	2.7	4.3
水力	232	368	477	1,703	2,205	2,501	2,722	16	14	13	5.6	2.2	1.1	1.5
地熱	3.0	8.4	20	27	76	116	151	0.4	0.2	0.7	4.3	9.0	3.5	5.5
太陽光	-	0.1	0.4	299	1,157	2,117	3,210	0.0	2.5	15	34.8	11.9	5.2	7.7
風力	-	0.0	2.4	449	1,933	3,205	4,268	0.0	3.7	21	40.3	12.9	4.0	7.3
太陽熱・海洋	-	0.0	0.0	0.8	12	28	62	0.0	0.0	0.3	18.4	25.8	8.4	14.6
バイオマス・廃棄物	0.0	9.4	16	241	443	581	729	0.4	2.0	3.5	12.3	5.2	2.5	3.5
水素	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
その他	-	20	20	21	21	21	21	0.9	0.2	0.1	0.3	0.0	0.0	0.0

エネルギー・経済指標他

	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050
GDP (2010年価格10億ドル)	4,510	7,629	11,103	25,670	42,014	59,911	78,948	4.4	4.2	3.2	3.6
人口(100万人)	2,445	2,939	3,420	4,118	4,454	4,623	4,687	1.2	0.7	0.3	0.4
エネルギー起源CO ₂ 排出(100万t)	3,102	4,639	6,729	15,495	16,526	15,087	12,653	4.4	0.5	-1.3	-0.6
一人あたりGDP (2010年価格1,000ドル/人)	1.8	2.6	3.2	6.2	9.4	13	17	3.2	3.5	2.9	3.2
一人あたり一次エネルギー消費(toe/人)	0.6	0.7	0.8	1.4	1.6	1.6	1.5	2.5	0.8	-0.1	0.2
GDPあたり一次エネルギー消費 ²⁾	319	277	260	228	165	120	90	-0.7	-2.6	-3.0	-2.9
GDPあたりCO ₂ 排出量 ³⁾	688	608	606	604	393	252	160	0.0	-3.5	-4.4	-4.1
一次エネルギー消費あたりCO ₂ 排出(t/toe)	2.2	2.2	2.3	2.7	2.4	2.1	1.8	0.7	-0.9	-1.4	-1.2

*1 電力、熱、水素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 toe/2010年価格100万ドル。*3 t/2010年価格100万ドル

付表47 | 中国[技術進展シナリオ]

一次エネルギー消費

	(石油換算100万トン[Mtoe])							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990	2018	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050
合計 ¹⁾	598	874	1,130	3,196	3,474	3,270	2,890	100	100	100	4.7	0.7	-0.9	-0.3
石炭	313	531	665	1,980	1,829	1,416	952	61	62	33	4.8	-0.7	-3.2	-2.3
石油	89	119	221	610	676	633	544	14	19	19	6.0	0.9	-1.1	-0.4
天然ガス	12	13	21	230	376	443	452	1.5	7.2	16	10.9	4.2	0.9	2.1
原子力	-	-	4.4	77	140	193	244	-	2.4	8.4	n.a.	5.1	2.8	3.7
水力	5.0	11	19	103	128	139	144	1.2	3.2	5.0	8.4	1.8	0.6	1.1
地熱	-	-	1.7	11	15	16	16	-	0.4	0.5	n.a.	2.1	0.4	1.1
太陽光・風力等	-	0.0	1.0	70	208	320	404	0.0	2.2	14	31.4	9.5	3.4	5.6
バイオマス・廃棄物	180	200	198	117	103	111	135	23	3.7	4.7	-1.9	-1.0	1.3	0.4

最終エネルギー消費

	(Mtoe)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990	2018	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050
合計	487	658	781	2,058	2,251	2,159	1,983	100	100	100	4.2	0.8	-0.6	-0.1
産業	181	234	302	996	972	849	716	36	48	36	5.3	-0.2	-1.5	-1.0
運輸	22	30	84	325	378	362	314	4.6	16	16	8.9	1.3	-0.9	-0.1
民生・農業他	274	351	338	559	677	705	708	53	27	36	1.7	1.6	0.2	0.7
非エネルギー消費	10	43	57	179	225	242	245	6.5	8.7	12	5.2	1.9	0.4	1.0
石炭	214	311	274	635	512	387	282	47	31	14	2.6	-1.8	-2.9	-2.5
石油	59	85	180	535	604	567	488	13	26	25	6.8	1.0	-1.1	-0.3
天然ガス	6.4	8.9	12	153	231	239	237	1.3	7.4	12	10.7	3.5	0.1	1.4
電力	21	39	89	517	698	769	778	5.9	25	39	9.7	2.5	0.5	1.3
熱	7.4	13	26	103	113	110	101	2.0	5.0	5.1	7.6	0.8	-0.6	-0.1
水素	-	-	-	-	0.1	0.2	0.5	-	-	0.0	n.a.	n.a.	11.2	n.a.
再生可能	180	200	199	114	92	87	97	30	5.5	4.9	-2.0	-1.8	0.3	-0.5

発電量

	(TWh)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990	2018	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050
合計	301	621	1,356	7,149	9,522	10,326	10,346	100	100	100	9.1	2.4	0.4	1.2
石炭	159	441	1,060	4,773	4,779	3,746	2,463	71	67	24	8.9	0.0	-3.3	-2.0
石油	82	50	47	11	8.4	5.0	2.1	8.1	0.2	0.0	-5.4	-2.0	-6.6	-4.9
天然ガス	0.7	2.8	5.8	224	483	681	752	0.4	3.1	7.3	17.0	6.6	2.2	3.9
原子力	-	-	17	295	537	739	937	-	4.1	9.1	n.a.	5.1	2.8	3.7
水力	58	127	222	1,199	1,493	1,621	1,677	20	17	16	8.4	1.8	0.6	1.1
地熱	-	0.1	0.1	0.1	0.4	0.6	0.8	0.0	0.0	0.0	2.9	11.0	2.8	5.8
太陽光	-	0.0	0.0	177	514	947	1,328	0.0	2.5	13	50.2	9.3	4.9	6.5
風力	-	0.0	0.6	366	1,536	2,351	2,870	0.0	5.1	28	54.1	12.7	3.2	6.6
太陽熱・海洋	-	0.0	0.0	0.3	3.5	11	29	0.0	0.0	0.3	14.5	22.3	11.2	15.2
バイオマス・廃棄物	-	-	2.4	104	168	225	288	-	1.5	2.8	n.a.	4.1	2.7	3.2
水素	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
その他	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.

エネルギー・経済指標他

	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050
GDP (2010年価格10億ドル)	341	828	2,232	10,797	20,026	29,506	37,968	9.6	5.3	3.3	4.0
人口(100万人)	981	1,135	1,263	1,393	1,429	1,414	1,368	0.7	0.2	-0.2	-0.1
エネルギー起源CO ₂ 排出(100万t)	1,399	2,146	3,140	9,348	9,103	7,398	5,012	5.4	-0.2	-2.9	-1.9
一人あたりGDP (2010年価格1,000ドル/人)	0.3	0.7	1.8	7.8	14	21	28	8.8	5.1	3.5	4.1
一人あたり一次エネルギー消費(toe/人)	0.6	0.8	0.9	2.3	2.4	2.3	2.1	4.0	0.5	-0.7	-0.3
GDPあたり一次エネルギー消費 ²⁾	1,756	1,055	506	296	173	111	76	-4.4	-4.4	-4.0	-4.2
GDPあたりCO ₂ 排出量 ³⁾	4,106	2,593	1,407	866	455	251	132	-3.8	-5.2	-6.0	-5.7
一次エネルギー消費あたりCO ₂ 排出(t/toe)	2.3	2.5	2.8	2.9	2.6	2.3	1.7	0.6	-0.9	-2.0	-1.6

*1 電力、熱、水素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 toe/2010年価格100万ドル。*3 t/2010年価格100万ドル

付表48 | インド[技術進展シナリオ]

一次エネルギー消費

	(石油換算100万トン[Mtoe])							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990	2018	2050	1990/ 2018	2018/ 2030	2030/ 2050	2018/ 2050
合計 ¹⁾	200	306	441	919	1,418	1,689	1,921	100	100	100	4.0	3.7	1.5	2.3
石炭	44	93	146	414	563	569	558	30	45	29	5.5	2.6	-0.1	0.9
石油	33	61	112	235	390	520	654	20	26	34	4.9	4.3	2.6	3.2
天然ガス	1.3	11	23	52	124	169	195	3.5	5.7	10	5.9	7.4	2.3	4.2
原子力	0.8	1.6	4.4	9.9	50	93	122	0.5	1.1	6.3	6.7	14.5	4.5	8.2
水力	4.0	6.2	6.4	13	22	30	38	2.0	1.4	2.0	2.7	4.6	2.7	3.4
地熱	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
太陽光・風力等	-	0.0	0.2	9.9	64	121	177	0.0	1.1	9.2	27.8	16.7	5.2	9.4
バイオマス・廃棄物	116	133	149	185	205	188	178	44	20	9.3	1.2	0.8	-0.7	-0.1

最終エネルギー消費

	(Mtoe)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990	2018	2050	1990/ 2018	2018/ 2030	2030/ 2050	2018/ 2050
合計	174	243	315	607	949	1,166	1,357	100	100	100	3.3	3.8	1.8	2.5
産業	42	67	85	206	377	445	454	28	34	33	4.1	5.2	0.9	2.5
運輸	17	21	32	104	171	251	369	8.5	17	27	5.9	4.3	3.9	4.0
民生・農業他	110	142	171	246	312	349	383	58	41	28	2.0	2.0	1.0	1.4
非エネルギー消費	5.7	13	27	51	89	120	151	5.5	8.4	11	4.9	4.7	2.7	3.5
石炭	25	38	33	107	174	202	209	16	18	15	3.7	4.2	0.9	2.1
石油	27	50	94	208	355	477	603	21	34	44	5.2	4.6	2.7	3.4
天然ガス	0.7	6.1	12	32	76	103	120	2.5	5.3	8.8	6.2	7.4	2.3	4.2
電力	7.7	18	32	103	203	276	349	7.5	17	26	6.4	5.8	2.7	3.9
熱	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
水素	-	-	-	-	0.0	0.0	0.2	-	-	0.0	n.a.	n.a.	14.9	n.a.
再生可能	114	130	144	157	141	107	76	54	26	5.6	0.7	-0.9	-3.1	-2.2

発電量

	(TWh)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990	2018	2050	1990/ 2018	2018/ 2030	2030/ 2050	2018/ 2050
合計	119	289	562	1,583	2,958	3,817	4,645	100	100	100	6.3	5.3	2.3	3.4
石炭	61	192	390	1,163	1,467	1,290	1,164	66	73	25	6.7	1.9	-1.1	0.0
石油	7.6	10	22	7.8	7.5	4.7	2.2	3.5	0.5	0.0	-0.9	-0.3	-5.9	-3.9
天然ガス	0.6	10.0	56	74	213	316	398	3.4	4.6	8.6	7.4	9.3	3.2	5.4
原子力	3.0	6.1	17	38	192	357	467	2.1	2.4	10	6.7	14.5	4.5	8.2
水力	47	72	74	151	260	352	445	25	9.5	9.6	2.7	4.6	2.7	3.4
地熱	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
太陽光	-	-	0.0	40	392	705	993	-	2.5	21	n.a.	21.0	4.8	10.6
風力	-	0.0	1.7	64	306	627	949	0.0	4.1	20	31.2	13.9	5.8	8.8
太陽熱・海洋	-	-	-	-	5.1	11	22	-	-	0.5	n.a.	n.a.	7.6	n.a.
バイオマス・廃棄物	-	-	1.3	45	116	155	206	-	2.9	4.4	n.a.	8.1	2.9	4.8
水素	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
その他	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.

エネルギー・経済指標他

	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990/ 2018	2018/ 2030	2030/ 2050	2018/ 2050
GDP (2010年価格10億ドル)	295	506	870	2,831	6,146	10,304	15,988	6.3	6.7	4.9	5.6
人口(100万人)	699	873	1,057	1,353	1,504	1,593	1,639	1.6	0.9	0.4	0.6
エネルギー起源CO ₂ 排出(100万t)	258	530	890	2,324	3,430	3,870	4,169	5.4	3.3	1.0	1.8
一人あたりGDP (2010年価格1,000ドル/人)	0.4	0.6	0.8	2.1	4.1	6.5	9.8	4.7	5.7	4.4	4.9
一人あたり一次エネルギー消費(toe/人)	0.3	0.4	0.4	0.7	0.9	1.1	1.2	2.4	2.8	1.1	1.7
GDPあたり一次エネルギー消費 ²⁾	679	605	507	325	231	164	120	-2.2	-2.8	-3.2	-3.1
GDPあたりCO ₂ 排出量 ³⁾	876	1,048	1,023	821	558	376	261	-0.9	-3.2	-3.7	-3.5
一次エネルギー消費あたりCO ₂ 排出(t/toe)	1.3	1.7	2.0	2.5	2.4	2.3	2.2	1.4	-0.4	-0.5	-0.5

*1 電力、熱、水素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 toe/2010年価格100万ドル。*3 t/2010年価格100万ドル

付表49 | 日本[技術進展シナリオ]

一次エネルギー消費

	(石油換算100万トン[Mtoe])							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990	2018	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050
合計 ¹⁾	345	439	518	426	396	355	312	100	100	100	-0.1	-0.6	-1.2	-1.0
石炭	60	77	97	114	83	63	38	17	27	12	1.4	-2.7	-3.8	-3.4
石油	234	250	255	166	132	107	91	57	39	29	-1.5	-1.9	-1.8	-1.9
天然ガス	21	44	66	97	78	62	41	10	23	13	2.9	-1.8	-3.1	-2.7
原子力	22	53	84	17	56	59	58	12	4.0	19	-4.0	10.6	0.2	4.0
水力	7.6	7.6	7.2	7.0	7.9	8.1	8.2	1.7	1.6	2.6	-0.3	1.0	0.2	0.5
地熱	0.8	1.6	3.1	2.3	6.5	11	16	0.4	0.5	5.0	1.4	9.1	4.5	6.2
太陽光・風力等	-	1.2	0.8	6.3	12	21	33	0.3	1.5	10	6.2	5.7	5.0	5.3
バイオマス・廃棄物	-	4.6	5.4	16	21	24	26	1.0	3.7	8.4	4.6	2.4	1.1	1.6

最終エネルギー消費

	(Mtoe)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990	2018	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050
合計	236	292	337	283	253	225	201	100	100	100	-0.1	-0.9	-1.1	-1.1
産業	91	108	104	82	75	68	58	37	29	29	-1.0	-0.7	-1.3	-1.1
運輸	54	72	89	71	55	44	38	25	25	19	-0.1	-2.1	-1.9	-1.9
民生・農業他	58	78	108	96	90	82	74	27	34	37	0.7	-0.6	-1.0	-0.8
非エネルギー消費	32	34	37	34	33	32	31	12	12	15	0.0	-0.3	-0.4	-0.3
石炭	25	27	21	21	17	14	11	9.3	7.5	5.3	-0.9	-1.8	-2.3	-2.1
石油	160	182	207	144	118	98	82	62	51	41	-0.8	-1.7	-1.8	-1.8
天然ガス	5.8	14	21	29	30	26	23	4.7	10	11	2.7	0.2	-1.3	-0.8
電力	44	66	84	81	82	81	78	22	29	39	0.8	0.0	-0.3	-0.1
熱	0.1	0.2	0.5	0.5	0.4	0.4	0.3	0.1	0.2	0.1	3.6	-1.5	-2.0	-1.8
水素	-	-	-	-	0.0	0.1	0.1	-	-	0.0	n.a.	n.a.	5.5	n.a.
再生可能	-	3.9	4.3	6.6	6.2	5.9	6.8	1.3	2.3	3.4	1.9	-0.5	0.4	0.1

発電量

	(TWh)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990	2018	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050
合計	573	862	1,055	1,050	1,053	1,042	1,003	100	100	100	0.7	0.0	-0.2	-0.1
石炭	55	123	223	339	219	156	63	14	32	6.3	3.7	-3.6	-6.1	-5.1
石油	265	250	134	52	16	1.2	-	29	4.9	-	-5.5	-9.2	-100	-100
天然ガス	81	168	258	378	269	206	104	20	36	10	2.9	-2.8	-4.6	-4.0
原子力	83	202	322	65	217	225	224	23	6.2	22	-4.0	10.6	0.2	4.0
水力	88	88	84	81	91	94	95	10	7.7	9.5	-0.3	1.0	0.2	0.5
地熱	0.9	1.7	3.3	2.5	7.5	13	18	0.2	0.2	1.8	1.3	9.4	4.5	6.4
太陽光	-	0.1	0.4	63	113	149	183	0.0	6.0	18	27.7	5.1	2.4	3.4
風力	-	-	0.1	7.5	27	88	196	-	0.7	20	n.a.	11.3	10.4	10.7
太陽熱・海洋	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
バイオマス・廃棄物	-	8.7	9.9	44	75	91	101	1.0	4.2	10	6.0	4.5	1.5	2.6
水素	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
その他	-	20	20	19	19	19	19	2.3	1.8	1.9	-0.1	0.0	0.0	0.0

エネルギー・経済指標他

	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050
GDP (2010年価格10億ドル)	3,019	4,704	5,349	6,190	6,693	7,234	7,744	1.0	0.7	0.7	0.7
人口(100万人)	117	124	127	127	120	113	105	0.1	-0.4	-0.7	-0.6
エネルギー起源CO ₂ 排出(100万t)	904	1,058	1,161	1,081	837	669	483	0.1	-2.1	-2.7	-2.5
一人あたりGDP (2010年価格1,000ドル/人)	26	38	42	49	56	64	74	0.9	1.1	1.4	1.3
一人あたり一次エネルギー消費(toe/人)	3.0	3.6	4.1	3.4	3.3	3.1	3.0	-0.2	-0.2	-0.5	-0.4
GDPあたり一次エネルギー消費 ²⁾	114	93	97	69	59	49	40	-1.1	-1.3	-1.9	-1.7
GDPあたりCO ₂ 排出量 ³⁾	299	225	217	175	125	92	62	-0.9	-2.7	-3.4	-3.2
一次エネルギー消費あたりCO ₂ 排出(t/toe)	2.6	2.4	2.2	2.5	2.1	1.9	1.5	0.2	-1.5	-1.5	-1.5

*1 電力、熱、水素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 toe/2010年価格100万ドル。*3 t/2010年価格100万ドル

付表50 | ASEAN [技術進展シナリオ]

一次エネルギー消費

	(石油換算100万トン[Mtoe])							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990	2018	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050
合計 ¹⁾	142	233	379	669	945	1,147	1,299	100	100	100	3.8	2.9	1.6	2.1
石炭	3.6	13	32	150	192	206	194	5.4	22	15	9.3	2.1	0.1	0.8
石油	58	89	153	239	303	340	367	38	36	28	3.6	2.0	0.9	1.3
天然ガス	8.6	30	74	141	211	244	259	13	21	20	5.7	3.4	1.0	1.9
原子力	-	-	-	-	12	46	73	-	-	5.7	n.a.	n.a.	9.6	n.a.
水力	0.8	2.3	4.1	14	19	22	24	1.0	2.1	1.9	6.6	2.6	1.2	1.7
地熱	1.8	6.6	18	33	97	153	200	2.9	4.9	15	5.9	9.3	3.7	5.8
太陽光・風力等	-	-	-	0.9	10	24	59	-	0.1	4.5	n.a.	22.5	9.2	14.0
バイオマス・廃棄物	69	92	98	89	98	107	119	40	13	9.2	-0.1	0.8	1.0	0.9

最終エネルギー消費

	(Mtoe)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990	2018	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050
合計	112	172	269	454	613	718	808	100	100	100	3.5	2.5	1.4	1.8
産業	22	42	75	151	224	265	290	24	33	36	4.7	3.3	1.3	2.1
運輸	17	32	61	132	165	189	215	19	29	27	5.1	1.9	1.3	1.5
民生・農業他	70	87	112	113	134	156	177	50	25	22	1.0	1.4	1.4	1.4
非エネルギー消費	2.4	11	21	58	90	108	126	6.3	13	16	6.1	3.7	1.7	2.5
石炭	2.1	5.4	13	40	53	60	62	3.1	8.9	7.6	7.5	2.3	0.7	1.3
石油	41	67	123	219	279	315	343	39	48	42	4.3	2.0	1.0	1.4
天然ガス	2.5	7.5	17	46	85	100	110	4.4	10	14	6.7	5.2	1.3	2.8
電力	4.7	11	28	81	133	179	225	6.5	18	28	7.3	4.2	2.7	3.2
熱	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
水素	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	-	-	0.0	n.a.	n.a.	7.5	n.a.
再生可能	61	81	89	68	63	64	69	47	15	8.5	-0.7	-0.6	0.4	0.0

発電量

	(TWh)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990	2018	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050
合計	62	154	370	1,059	1,731	2,345	2,947	100	100	100	7.1	4.2	2.7	3.3
石炭	3.0	28	79	442	615	681	645	18	42	22	10.4	2.8	0.2	1.2
石油	4.7	66	72	20	24	25	19	43	1.9	0.6	-4.2	1.6	-1.2	-0.2
天然ガス	0.7	26	154	366	580	741	810	17	35	27	9.9	3.9	1.7	2.5
原子力	-	-	-	-	45	178	282	-	-	9.6	n.a.	n.a.	9.6	n.a.
水力	9.8	27	47	163	222	256	280	18	15	9.5	6.6	2.6	1.2	1.7
地熱	2.1	6.6	16	24	67	102	131	4.3	2.3	4.4	4.8	8.8	3.4	5.4
太陽光	-	-	-	6.7	83	202	510	-	0.6	17	n.a.	23.3	9.5	14.5
風力	-	-	-	3.5	34	82	169	-	0.3	5.7	n.a.	21.1	8.3	12.9
太陽熱・海洋	-	-	-	-	0.1	0.2	0.5	-	-	0.0	n.a.	n.a.	8.8	n.a.
バイオマス・廃棄物	-	0.6	1.0	33	60	79	100	0.4	3.1	3.4	15.4	5.0	2.6	3.5
水素	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
その他	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.

エネルギー・経済指標他

	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050
GDP (2010年価格10億ドル)	441	742	1,182	2,893	4,968	7,422	10,452	5.0	4.6	3.8	4.1
人口(100万人)	347	431	507	631	699	738	761	1.4	0.9	0.4	0.6
エネルギー起源CO ₂ 排出(100万t)	185	341	669	1,444	1,824	1,845	1,774	5.3	2.0	-0.1	0.6
一人あたりGDP (2010年価格1,000ドル/人)	1.3	1.7	2.3	4.6	7.1	10	14	3.6	3.7	3.3	3.5
一人あたり一次エネルギー消費(toe/人)	0.4	0.5	0.7	1.1	1.4	1.6	1.7	2.4	2.0	1.2	1.5
GDPあたり一次エネルギー消費 ²⁾	322	313	321	231	190	155	124	-1.1	-1.6	-2.1	-1.9
GDPあたりCO ₂ 排出量 ³⁾	420	459	566	499	367	249	170	0.3	-2.5	-3.8	-3.3
一次エネルギー消費あたりCO ₂ 排出(t/toe)	1.3	1.5	1.8	2.2	1.9	1.6	1.4	1.4	-0.9	-1.7	-1.4

*1 電力、熱、水素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 toe/2010年価格100万ドル。*3 t/2010年価格100万ドル

付表51 | 米国[技術進展シナリオ]

一次エネルギー消費

	(石油換算100万トン[Mtoe])							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990	2018	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050
合計 ¹⁾	1,805	1,915	2,274	2,231	2,093	1,942	1,772	100	100	100	0.5	-0.5	-0.8	-0.7
石炭	376	460	534	321	191	115	42	24	14	2.4	-1.3	-4.2	-7.3	-6.1
石油	797	757	871	802	691	582	489	40	36	28	0.2	-1.2	-1.7	-1.5
天然ガス	477	438	548	709	714	631	470	23	32	27	1.7	0.1	-2.1	-1.3
原子力	69	159	208	219	195	195	197	8.3	9.8	11	1.1	-1.0	0.0	-0.3
水力	24	23	22	25	28	31	34	1.2	1.1	1.9	0.3	0.9	0.9	0.9
地熱	4.6	14	13	10	26	42	57	0.7	0.4	3.2	-1.2	8.1	4.1	5.6
太陽光・風力等	-	0.3	2.1	34	97	182	299	0.0	1.5	17	18.1	9.2	5.8	7.0
バイオマス・廃棄物	54	62	73	107	147	161	179	3.3	4.8	10	2.0	2.6	1.0	1.6

最終エネルギー消費

	(Mtoe)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990	2018	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050
合計	1,311	1,294	1,546	1,594	1,512	1,404	1,298	100	100	100	0.7	-0.4	-0.8	-0.6
産業	387	284	332	277	277	266	248	22	17	19	-0.1	0.0	-0.6	-0.3
運輸	425	488	588	638	546	476	428	38	40	33	1.0	-1.3	-1.2	-1.2
民生・農業他	397	403	473	530	520	485	443	31	33	34	1.0	-0.2	-0.8	-0.6
非エネルギー消費	102	119	153	149	169	176	179	9.2	9.4	14	0.8	1.0	0.3	0.6
石炭	56	56	33	17	11	8.3	6.3	4.3	1.1	0.5	-4.2	-3.8	-2.5	-3.0
石油	689	683	793	765	656	556	472	53	48	36	0.4	-1.3	-1.6	-1.5
天然ガス	338	303	360	381	376	335	294	23	24	23	0.8	-0.1	-1.2	-0.8
電力	174	226	301	335	356	383	393	18	21	30	1.4	0.5	0.5	0.5
熱	-	2.2	5.3	6.2	5.4	4.6	3.8	0.2	0.4	0.3	3.9	-1.2	-1.7	-1.5
水素	-	-	-	-	0.1	0.2	0.4	-	-	0.0	n.a.	n.a.	9.6	n.a.
再生可能	54	23	54	90	109	117	129	1.8	5.6	9.9	5.0	1.6	0.8	1.1

発電量

	(TWh)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990	2018	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050
合計	2,427	3,203	4,026	4,434	4,684	5,011	5,102	100	100	100	1.2	0.5	0.4	0.4
石炭	1,243	1,700	2,129	1,272	838	496	155	53	29	3.0	-1.0	-3.4	-8.1	-6.4
石油	263	131	118	43	28	15	4.2	4.1	1.0	0.1	-3.9	-3.6	-8.9	-7.0
天然ガス	370	382	634	1,519	1,596	1,442	760	12	34	15	5.1	0.4	-3.6	-2.1
原子力	266	612	798	841	748	750	755	19	19	15	1.1	-1.0	0.0	-0.3
水力	279	273	253	296	329	361	393	8.5	6.7	7.7	0.3	0.9	0.9	0.9
地熱	5.4	16	15	19	52	86	119	0.5	0.4	2.3	0.6	8.8	4.2	5.9
太陽光	-	0.0	0.2	81	237	560	1,166	0.0	1.8	23	44.0	9.3	8.3	8.7
風力	-	3.1	5.7	276	608	896	1,145	0.1	6.2	22	17.4	6.8	3.2	4.5
太陽熱・海洋	-	0.7	0.5	3.9	84	208	376	0.0	0.1	7.4	6.6	29.1	7.8	15.3
バイオマス・廃棄物	0.5	86	72	78	158	192	224	2.7	1.8	4.4	-0.4	6.1	1.8	3.4
水素	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
その他	-	-	-	5.3	5.3	5.3	5.3	-	0.1	0.1	n.a.	0.0	0.0	0.0

エネルギー・経済指標他

	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050
GDP (2010年価格10億ドル)	6,496	9,001	12,620	17,856	22,303	27,700	33,351	2.5	1.9	2.0	2.0
人口(100万人)	227	250	282	327	350	366	379	1.0	0.6	0.4	0.5
エネルギー起源CO ₂ 排出(100万t)	4,582	4,783	5,661	4,929	3,948	3,054	2,140	0.1	-1.8	-3.0	-2.6
一人あたりGDP (2010年価格1,000ドル/人)	29	36	45	55	64	76	88	1.5	1.3	1.6	1.5
一人あたり一次エネルギー消費(toe/人)	7.9	7.7	8.1	6.8	6.0	5.3	4.7	-0.4	-1.1	-1.2	-1.2
GDPあたり一次エネルギー消費 ²⁾	278	213	180	125	94	70	53	-1.9	-2.4	-2.8	-2.6
GDPあたりCO ₂ 排出量 ³⁾	705	531	449	276	177	110	64	-2.3	-3.6	-4.9	-4.5
一次エネルギー消費あたりCO ₂ 排出(t/toe)	2.5	2.5	2.5	2.2	1.9	1.6	1.2	-0.4	-1.3	-2.2	-1.9

*1 電力、熱、水素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 toe/2010年価格100万ドル。*3 t/2010年価格100万ドル

付表52 | 欧州連合[技術進展シナリオ]

一次エネルギー消費

	(石油換算100万トン[Mtoe])							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990	2018	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050
合計 ¹⁾	n.a.	1,439	1,471	1,428	1,316	1,188	1,070	100	100	100	0.0	-0.7	-1.0	-0.9
石炭	n.a.	391	285	216	144	92	55	27	15	5.2	-2.1	-3.3	-4.7	-4.2
石油	n.a.	531	550	462	383	307	248	37	32	23	-0.5	-1.6	-2.1	-1.9
天然ガス	n.a.	250	309	324	303	263	208	17	23	19	0.9	-0.6	-1.9	-1.4
原子力	n.a.	190	224	199	192	195	196	13	14	18	0.2	-0.3	0.1	0.0
水力	n.a.	24	30	30	30	31	31	1.7	2.1	2.9	0.7	0.1	0.2	0.2
地熱	n.a.	3.2	4.6	6.8	10	12	13	0.2	0.5	1.2	2.8	3.4	1.1	1.9
太陽光・風力等	n.a.	0.3	2.4	41	80	109	140	0.0	2.9	13	19.1	5.6	2.8	3.9
バイオマス・廃棄物	n.a.	47	65	147	172	173	173	3.3	10	16	4.2	1.3	0.0	0.5

最終エネルギー消費

	(Mtoe)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990	2018	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050
合計	n.a.	995	1,028	1,023	958	857	765	100	100	100	0.1	-0.5	-1.1	-0.9
産業	n.a.	313	274	244	243	231	209	31	24	27	-0.9	0.0	-0.8	-0.5
運輸	n.a.	220	262	287	236	190	160	22	28	21	1.0	-1.6	-1.9	-1.8
民生・農業他	n.a.	374	391	400	387	347	313	38	39	41	0.2	-0.3	-1.1	-0.8
非エネルギー消費	n.a.	88	101	91	91	89	84	8.9	8.9	11	0.1	0.0	-0.4	-0.3
石炭	n.a.	109	47	32	21	16	13	11	3.1	1.7	-4.3	-3.6	-2.2	-2.7
石油	n.a.	444	479	420	352	284	230	45	41	30	-0.2	-1.5	-2.1	-1.9
天然ガス	n.a.	185	220	216	213	190	168	19	21	22	0.6	-0.1	-1.2	-0.8
電力	n.a.	162	189	216	234	243	243	16	21	32	1.0	0.7	0.2	0.4
熱	n.a.	55	43	46	42	35	29	5.5	4.5	3.8	-0.6	-0.7	-1.8	-1.4
水素	n.a.	-	-	-	0.0	0.1	0.1	-	-	0.0	n.a.	n.a.	9.1	n.a.
再生可能	n.a.	39	50	92	96	89	81	4.0	9.0	11	3.1	0.4	-0.8	-0.4

発電量

	(TWh)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990	2018	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050
合計	n.a.	2,259	2,631	2,920	3,151	3,210	3,212	100	100	100	0.9	0.6	0.1	0.3
石炭	n.a.	844	846	643	445	224	68	37	22	2.1	-1.0	-3.0	-9.0	-6.8
石油	n.a.	190	173	55	29	12	2.8	8.4	1.9	0.1	-4.3	-5.1	-11.0	-8.9
天然ガス	n.a.	188	331	491	482	430	246	8.3	17	7.7	3.5	-0.2	-3.3	-2.1
原子力	n.a.	729	860	762	739	748	753	32	26	23	0.2	-0.3	0.1	0.0
水力	n.a.	285	352	344	348	357	365	13	12	11	0.7	0.1	0.2	0.2
地熱	n.a.	3.2	4.8	6.7	11	14	16	0.1	0.2	0.5	2.6	4.5	1.6	2.7
太陽光	n.a.	0.0	0.1	110	245	397	599	0.0	3.8	19	37.3	6.9	4.6	5.4
風力	n.a.	0.8	21	321	546	649	724	0.0	11	23	24.0	4.5	1.4	2.6
太陽熱・海洋	n.a.	0.5	0.5	5.3	38	70	99	0.0	0.2	3.1	8.8	17.6	5.0	9.6
バイオマス・廃棄物	n.a.	19	42	177	265	305	337	0.8	6.1	10	8.3	3.4	1.2	2.0
水素	n.a.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
その他	n.a.	0.2	1.4	4.6	4.6	4.6	4.6	0.0	0.2	0.1	11.6	0.0	0.0	0.0

エネルギー・経済指標他

	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050
GDP (2010年価格10億ドル)	n.a.	10,234	12,698	16,365	19,171	21,845	24,303	1.7	1.3	1.2	1.2
人口(100万人)	n.a.	420	429	447	447	445	437	0.2	0.0	-0.1	-0.1
エネルギー起源CO ₂ 排出(100万t)	n.a.	3,422	3,248	2,781	2,153	1,638	1,204	-0.7	-2.1	-2.9	-2.6
一人あたりGDP (2010年価格1,000ドル/人)	n.a.	24	30	37	43	49	56	1.5	1.3	1.3	1.3
一人あたり一次エネルギー消費(toe/人)	n.a.	3.4	3.4	3.2	2.9	2.7	2.4	-0.2	-0.7	-0.9	-0.8
GDPあたり一次エネルギー消費 ²⁾	n.a.	141	116	87	69	54	44	-1.7	-2.0	-2.2	-2.1
GDPあたりCO ₂ 排出量 ³⁾	n.a.	334	256	170	112	75	50	-2.4	-3.4	-4.0	-3.8
一次エネルギー消費あたりCO ₂ 排出(t/toe)	n.a.	2.4	2.2	1.9	1.6	1.4	1.1	-0.7	-1.4	-1.9	-1.7

*1 電力、熱、水素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 toe/2010年価格100万ドル。*3 t/2010年価格100万ドル

付表53 | 世界[ポストコロナ・世界変容シナリオ]

一次エネルギー消費

	(石油換算100万トン[Mtoe])							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990/2018	2018/2050	2050/2018	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050
合計	7,203	8,767	10,034	14,282	16,389	17,494	17,724	100	100	100	1.8	1.2	0.4	0.7
石炭	1,783	2,221	2,317	3,838	4,129	4,042	3,614	25	27	20	2.0	0.6	-0.7	-0.2
石油	3,105	3,233	3,669	4,497	4,907	5,109	4,929	37	31	28	1.2	0.7	0.0	0.3
天然ガス	1,231	1,662	2,071	3,262	4,025	4,611	5,019	19	23	28	2.4	1.8	1.1	1.4
原子力	185	526	675	707	800	866	966	6.0	4.9	5.4	1.1	1.0	0.9	1.0
再生可能等	899	1,125	1,301	1,978	2,527	2,866	3,197	13	14	18	2.0	2.1	1.2	1.5

最終エネルギー消費

	(Mtoe)							構成比(%)			1990/2018/2030/2018/2050			
	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990	2018	2050	2018	2030	2050	2018/2050
合計	5,370	6,267	7,032	9,938	11,300	11,948	12,062	100	100	100	1.7	1.1	0.3	0.6
石炭	703	752	542	994	978	907	824	12	10	7	1.0	-0.1	-0.9	-0.6
石油	2,449	2,606	3,119	4,051	4,479	4,675	4,536	42	41	38	1.6	0.8	0.1	0.4
天然ガス	815	944	1,119	1,611	1,908	2,008	2,064	15	16	17	1.9	1.4	0.4	0.8
電力	586	834	1,092	1,919	2,492	2,963	3,356	13	19	28	3.0	2.2	1.5	1.8
水素	-	-	-	-	4.4	21	43	-	-	0.4	n.a.	n.a.	12.1	n.a.
熱、再生可能	817	1,131	1,160	1,362	1,440	1,374	1,239	18	14	10	0.7	0.5	-0.7	-0.3

発電量

	(TWh)							構成比(%)			1990/2018/2030/2018/2050			
	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990	2018	2050	2018	2030	2050	2018/2050
合計	8,282	11,846	15,427	26,619	34,407	40,441	45,151	100	100	100	2.9	2.2	1.4	1.7
石炭	3,137	4,430	5,994	10,160	12,017	12,410	11,422	37	38	25	3.0	1.4	-0.3	0.4
石油	1,659	1,323	1,184	784	749	684	479	11	2.9	1.1	-1.9	-0.4	-2.2	-1.5
天然ガス	998	1,749	2,775	6,150	8,359	10,838	12,551	15	23	28	4.6	2.6	2.1	2.3
原子力	713	2,013	2,591	2,710	3,072	3,323	3,707	17	10	8	1.1	1.0	0.9	1.0
再生可能	1,775	2,332	2,884	6,815	10,191	13,099	16,618	20	26	37	3.9	3.4	2.5	2.8
水素	-	-	-	-	19	86	373	-	-	0.8	n.a.	n.a.	16.1	n.a.

エネルギー・経済指標他

	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990/2018	2018/2030	2030/2050	2018/2050
GDP(2010年価格10億ドル)	28,022	37,880	49,899	82,365	110,959	140,233	167,242	2.8	2.5	2.1	2.2
エネルギー起源CO ₂ 排出(100万t)	17,774	20,324	23,046	33,258	36,816	38,013	36,175	1.8	0.9	-0.1	0.3

付表54 | 世界[炭素循環経済/4Rシナリオ]

一次エネルギー消費

	(石油換算100万トン[Mtoe])							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990	2018	2050	1990/ 2018	2018/ 2030	2030/ 2050	2018/ 2050
合計 ¹	7,203	8,767	10,034	14,282	15,624	16,030	16,061	100	100	100	1.8	0.8	0.1	0.4
石炭	1,783	2,221	2,317	3,838	3,521	2,800	1,980	25	27	12	2.0	-0.7	-2.8	-2.0
石油	3,105	3,233	3,669	4,497	4,605	4,350	3,922	37	31	24	1.2	0.2	-0.8	-0.4
天然ガス ²	1,231	1,662	2,071	3,262	3,812	4,397	4,816	19	23	30	2.4	1.3	1.2	1.2
原子力	185	526	675	707	929	1,134	1,297	6.0	4.9	8.1	1.1	2.3	1.7	1.9
水力	148	184	225	362	434	479	522	2.1	2.5	3.2	2.4	1.5	0.9	1.1
地熱	12	34	52	92	232	341	440	0.4	0.6	2.7	3.6	8.0	3.3	5.0
太陽光・風力等	0.1	2.5	8.0	194	573	978	1,468	0.0	1.4	9.1	16.8	9.4	4.8	6.5
バイオマス・廃棄物	738	904	1,015	1,327	1,517	1,548	1,613	10	9.3	10	1.4	1.1	0.3	0.6

最終エネルギー消費

	(Mtoe)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990	2018	2050	1990/ 2018	2018/ 2030	2030/ 2050	2018/ 2050
合計	5,370	6,267	7,032	9,938	10,876	11,056	10,999	100	100	100	1.7	0.8	0.1	0.3
産業	1,767	1,803	1,871	2,839	3,200	3,201	3,006	29	29	27	1.6	1.0	-0.3	0.2
運輸	1,245	1,575	1,963	2,891	2,999	3,052	3,142	25	29	29	2.2	0.3	0.2	0.3
民生・農業他	2,000	2,411	2,592	3,291	3,560	3,560	3,508	38	33	32	1.1	0.7	-0.1	0.2
非エネルギー消費	358	477	606	917	1,116	1,243	1,344	7.6	9.2	12	2.4	1.7	0.9	1.2
石炭	703	752	542	994	924	798	658	12	10	6.0	1.0	-0.6	-1.7	-1.3
石油	2,449	2,606	3,119	4,051	4,238	4,058	3,714	42	41	34	1.6	0.4	-0.7	-0.3
天然ガス	815	944	1,119	1,611	1,853	1,880	1,882	15	16	17	1.9	1.2	0.1	0.5
電力	586	834	1,092	1,919	2,443	2,826	3,096	13	19	28	3.0	2.0	1.2	1.5
熱	121	336	248	301	300	275	248	5.4	3.0	2.3	-0.4	0.0	-0.9	-0.6
水素	-	-	-	-	44	213	430	-	-	3.9	n.a.	n.a.	12.1	n.a.
再生可能	697	794	911	1,061	1,074	1,005	972	13	11	8.8	1.0	0.1	-0.5	-0.3

発電量

	(TWh)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990	2018	2050	1990/ 2018	2018/ 2030	2030/ 2050	2018/ 2050
合計	8,282	11,846	15,427	26,619	33,515	38,297	41,639	100	100	100	2.9	1.9	1.1	1.4
石炭	3,137	4,430	5,994	10,160	9,438	6,598	3,154	37	38	7.6	3.0	-0.6	-5.3	-3.6
石油	1,659	1,323	1,184	784	592	387	185	11	2.9	0.4	-1.9	-2.3	-5.6	-4.4
天然ガス ²	998	1,749	2,775	6,150	7,435	8,489	7,977	15	23	19	4.6	1.6	0.4	0.8
原子力	713	2,013	2,591	2,710	3,567	4,352	4,979	17	10	12	1.1	2.3	1.7	1.9
水力	1,717	2,141	2,613	4,214	5,043	5,574	6,070	18	16	15	2.4	1.5	0.9	1.1
地熱	14	36	52	89	248	369	481	0.3	0.3	1.2	3.2	8.9	3.4	5.4
太陽光	-	0.1	0.8	554	1,969	3,884	6,636	0.0	2.1	16	36.5	11.1	6.3	8.1
風力	0.0	3.9	31	1,273	3,665	5,626	7,351	0.0	4.8	18	23.0	9.2	3.5	5.6
太陽熱・海洋	0.5	1.2	1.1	12	173	426	809	0.0	0.0	1.9	8.7	24.6	8.0	14.0
バイオマス・廃棄物	44	130	163	637	1,159	1,465	1,773	1.1	2.4	4.3	5.9	5.1	2.1	3.2
水素	-	-	-	-	190	1,093	2,188	-	-	5.3	n.a.	n.a.	13.0	n.a.
その他	-	20	22	35	35	35	35	0.2	0.1	0.1	2.0	0.0	0.0	0.0

エネルギー・経済指標他

	1980	1990	2000	2018	2030	2040	2050	1990/ 2018	2018/ 2030	2030/ 2050	2018/ 2050
GDP (2010年価格10億ドル)	28,022	37,880	49,899	82,365	113,405	148,705	186,235	2.8	2.7	2.5	2.6
人口(100万人)	4,434	5,278	6,111	7,591	8,497	9,146	9,682	1.3	0.9	0.7	0.8
エネルギー起源CO ₂ 排出(100万t)	17,774	20,324	23,046	33,258	32,316	27,435	20,025	1.8	-0.2	-2.4	-1.6
一人あたりGDP (2010年価格1,000ドル/人)	6.3	7.2	8.2	11	13	16	19	1.5	1.7	1.8	1.8
一人あたり一次エネルギー消費(toe/人)	1.6	1.7	1.6	1.9	1.8	1.7	1.6	0.4	-0.2	-0.6	-0.4
GDPあたり一次エネルギー消費 ³	257	231	201	173	138	107	85	-1.0	-1.9	-2.4	-2.2
GDPあたりCO ₂ 排出量 ⁴	634	537	462	404	285	184	109	-1.0	-2.8	-4.7	-4.0
一次エネルギー消費あたりCO ₂ 排出(t/toe)	2.5	2.3	2.3	2.3	2.1	1.7	1.3	0.0	-1.0	-2.4	-1.8

*1 電力、熱、水素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 合成メタンを含む。*3 toe/2010年価格100万ドル。*4 t/2010年価格100万ドル

スライド

第436回 定例研究報告会

IEEJ Outlook 2021

ポストコロナのエネルギー変革

エネルギー・環境・経済

2020年10月16日, 東京

日本エネルギー経済研究所



2050年までのエネルギー需給見通しと
ポストコロナの影響分析

レファレンスシナリオのポイント

【レファレンス】とは

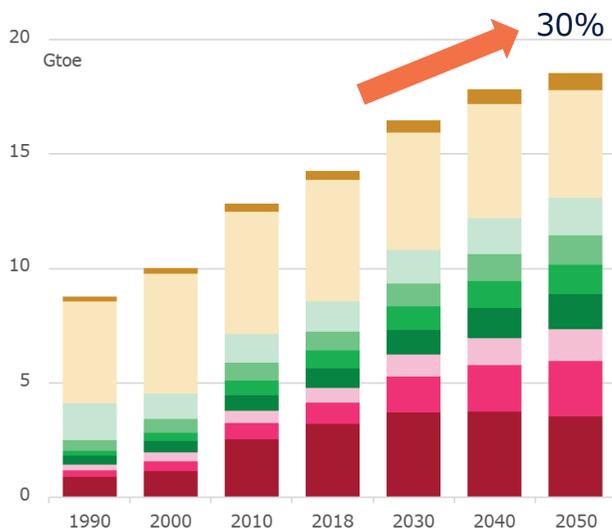
- 現在までのエネルギー・環境政策等を背景とし、これまでの趨勢的な変化が継続するシナリオ
- 世界のエネルギー需要は、アジアを中心に大幅増大。世界のエネルギー需要の重心はアジアにシフト
- アジアの中でも、インド・東南アジア等の需要増大が中心に
- 化石燃料のシェアは2050年でも8割。天然ガスは大幅増大。石油は緩やかな需要増持続。石炭はピーク
- アジアにおける化石燃料を中心としたエネルギー需要増加で、エネルギー安全保障や環境問題は今後一層深刻化
- 特にアジアでは、自給率の低下、環境負荷増大への対応が重要に

IEEJ Outlook 2021 | IEEJ © 2020

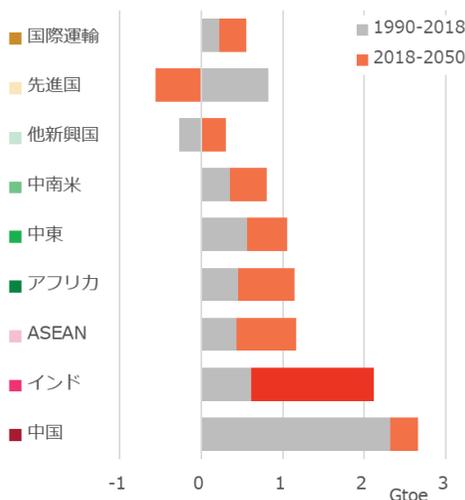
2

需要の成長源は中国からインドへ

❖ 一次エネルギー需要



❖ 増加分(1990-2050年)



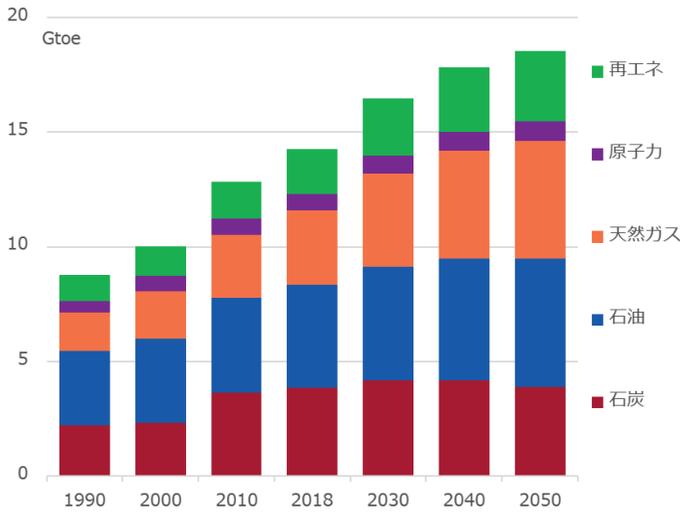
新興・途上国のエネルギー需要は50%以上増加する一方で、先進国は約10%減少する。世界のエネルギー需要の成長源は中国からインドに変わる。世界の需要増加の3分の1以上がインドから生じる一方、中国の需要は2030年代後半にはピークを迎える。

IEEJ Outlook 2021 | IEEJ © 2020

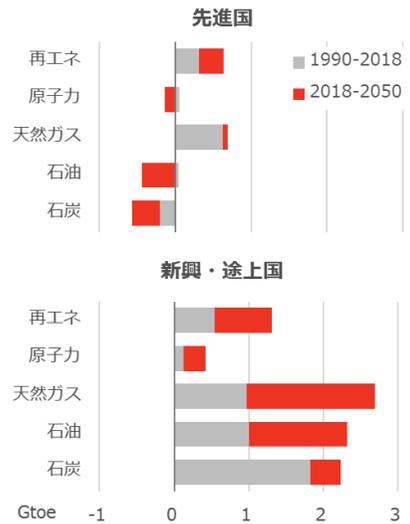
3

石炭ピーク、天然ガス大幅増、石油増加継続

❖ 一次エネルギー需要



❖ 増加分(1990-2050年)



発電部門を中心に天然ガスが最も増加、石油に次いで第2位のエネルギー源に。

石油は、新興・途上国の伸びが、先進国の減少を大きく凌駕する。石炭需要は、先進国・中国の減少により、2030年代半ばにはピークを迎える。

IEEJ Outlook 2021 | IEEJ © 2020

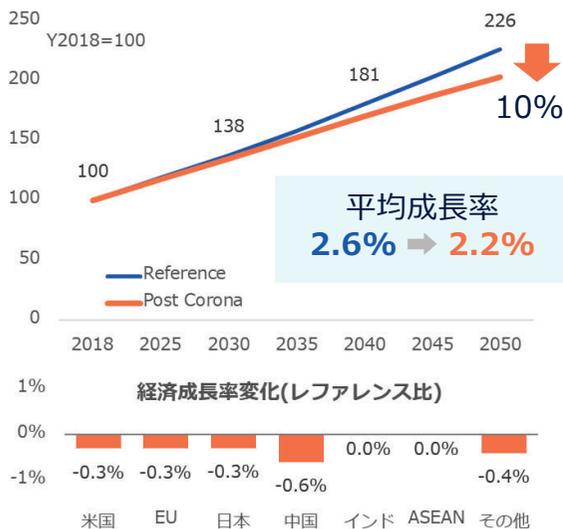
“ポストコロナ・世界変容シナリオ”の策定

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するシナリオ	
ポストコロナ・世界変容シナリオ	コロナウイルス感染拡大によって引き起こされた政治・経済・社会のあり方の変化が、そのまま維持・強化されていく世界。気候変動対策強化は継続。ただし、取り組み状況は国・地域で「まだら模様」に。	
	安全保障の重視	デジタル化の進展
感染拡大による意識の変化	<ul style="list-style-type: none"> 感染対策を契機に、自国民の安全確保の重要性を再認識 自給体制を含むサプライチェーンの見直し 	<ul style="list-style-type: none"> 人の移動・接触が控えられ、リモートでの活動が増える 密を避ける社会。大都市から地方移住への兆し
変化が加速	<ul style="list-style-type: none"> 米中関係悪化。国家間の政治的な緊張は相対的に高くなる 自国第一主義と同盟国重視。自由貿易体制からの離脱が進む 	<ul style="list-style-type: none"> 経済のリモート活動を支える情報通信技術の進展が加速 リモートワークが定着。海外渡航も控えられ、輸送需要は伸び悩む
変化の帰結	<ul style="list-style-type: none"> 世界経済は減速。中国の製造拠点がインド・ASEANに流出 エネ供給多様化・自給率向上への取り組み強化。エネ技術覇権の競争も 	<ul style="list-style-type: none"> 社会のデジタル化が進み、電力需要が増加 輸送用燃料である石油需要が大きく低下

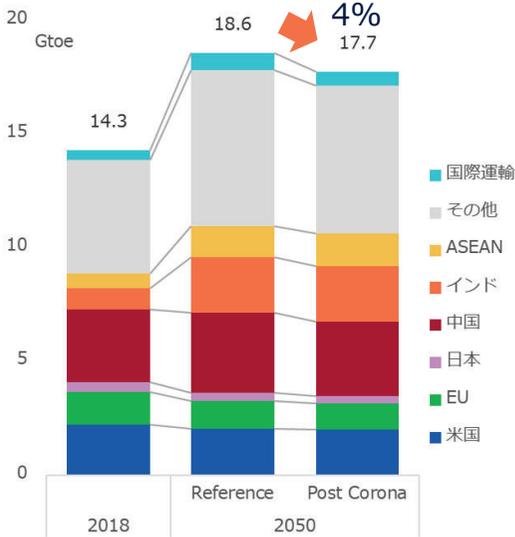
IEEJ Outlook 2021 | IEEJ © 2020

経済成長は減速し、エネルギー需要も抑制

❖ GDP



❖ 一次エネルギー需要



参考) 1929年の世界恐慌の際は、3年間で約10%のGDPが失われた。

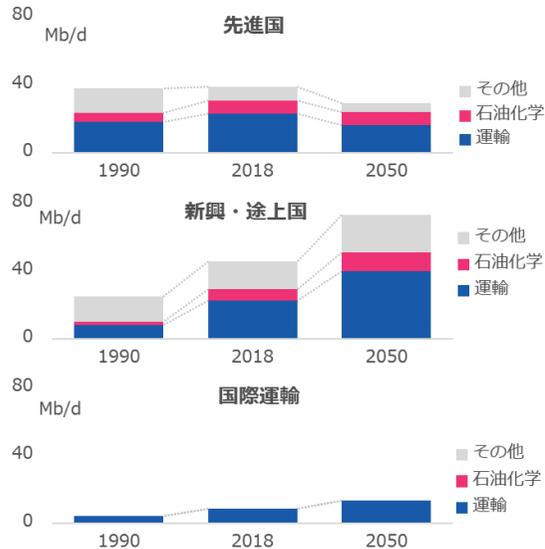
注) EU(欧州連合)に英国は含まれていない。以下同じ。

レファレンスシナリオにおけるエネルギー需要は30%増加、増加分の6割以上がアジア地域から生じる。

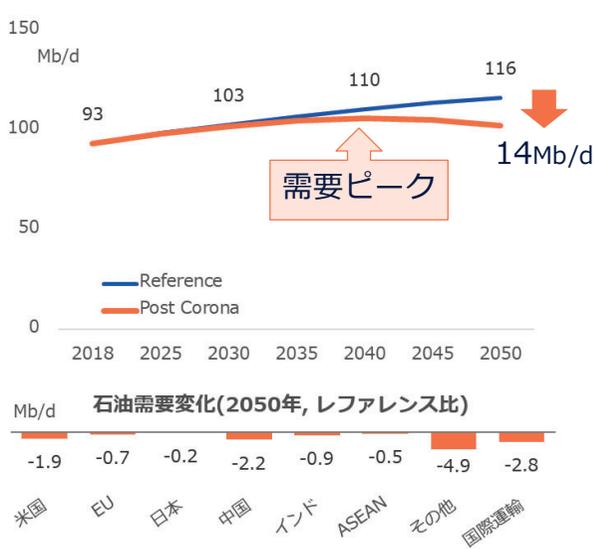
ポストコロナでは、自由貿易の停滞で世界経済はレファレンスより10%縮小、生産拠点が流出する中国の減速が大きい。エネルギー需要は4%縮小も、アジアへの集中は変わらない。

輸送停滞で石油需要はピークを迎える

❖ 用途別石油需要(レファレンス)



❖ ポストコロナの石油需要



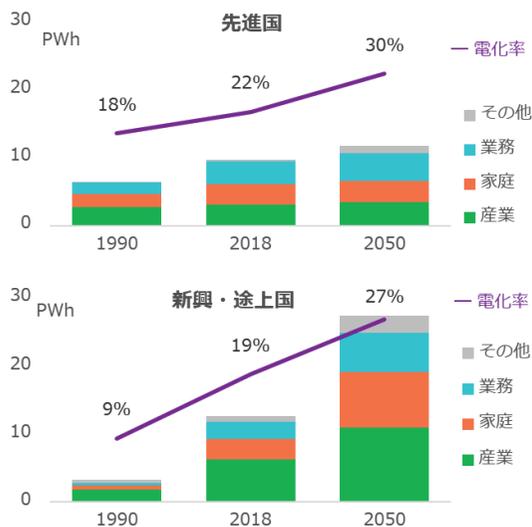
参考) 自動車の電動化が急速に進んだ場合は、2030年頃にピークを迎えると試算(IEE)アウトルック2018)。

レファレンスシナリオにおける世界の石油需要は、運輸燃料・石油化学原料を中心に伸びていく。先進国では減少続く。

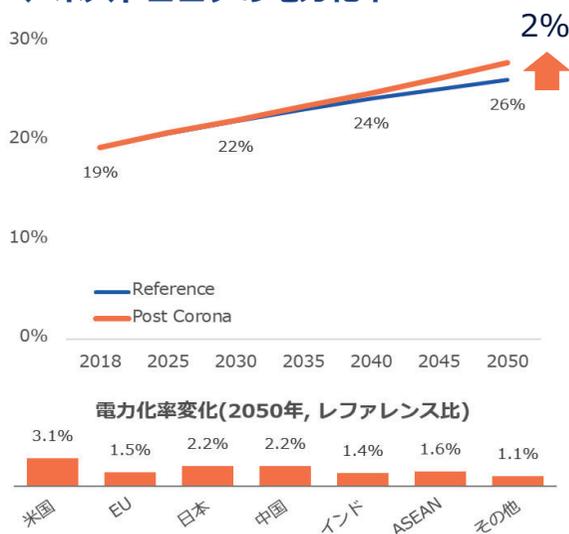
ポストコロナでは、2040年頃に石油需要はピークを打つ。輸送需要の抑制、経済減速で自動車、航空、船舶燃料が減少に転じる。

社会のデジタル化(DX)で電力化率が上昇

❖ 電力最終需要 (レファレンス)



❖ ポストコロナの電力化率



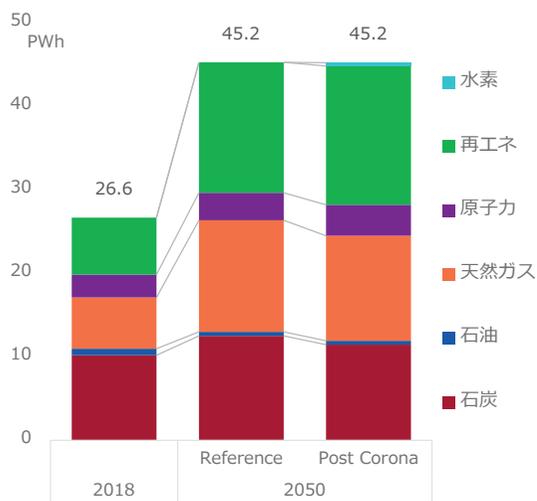
レファレンスシナリオでは、途上国の経済発展とともに産業・民生部門で電力需要が急増。エネルギー需要の電化が進む。

ポストコロナでは、経済活動のリモート化を支えるデジタルトランスフォーメーション(DX)により、電力化がさらに進む。政府による情報管理とプライバシー保護のバランスが課題。「中央集権型」と「分散型」の2パターンで、様々な差異も。

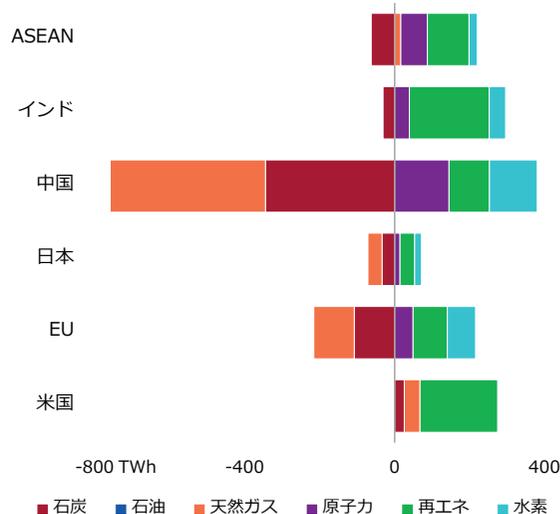
IEE Outlook 2021 | IEE © 2020

発電は非化石電源へシフト。水素の導入も

❖ 発電構成



❖ 発電量増減(2050年、レファレンス比)



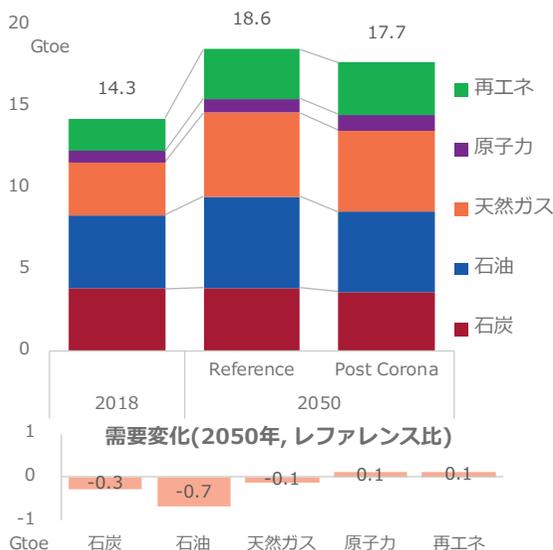
レファレンスシナリオでは、急増する電力需要を支えるのはガス火力と再エネ。途上国では石炭火力も必要。

ポストコロナでは、原子力・再エネ電源へのシフトが進み、輸入依存の高い天然ガスの利用が抑制される。また、革新的技術の開発競争が進み、発電にも水素が利用され始める。なお、水素導入については、「炭素循環経済・4Rシナリオ」参照。

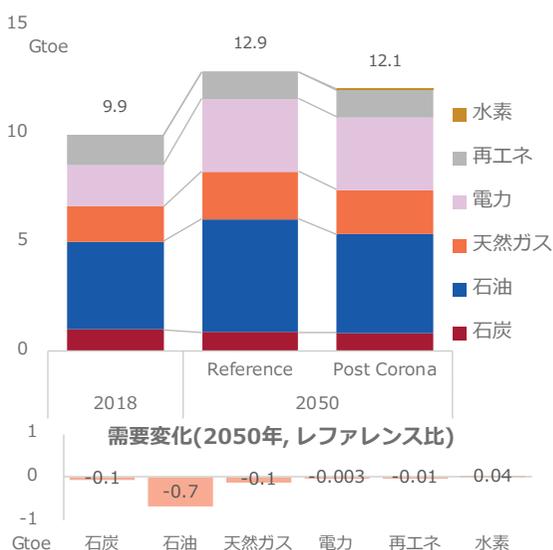
IEE Outlook 2021 | IEE © 2020

非化石へシフトも、化石燃料依存は変わらず

❖ 一次エネルギー需要



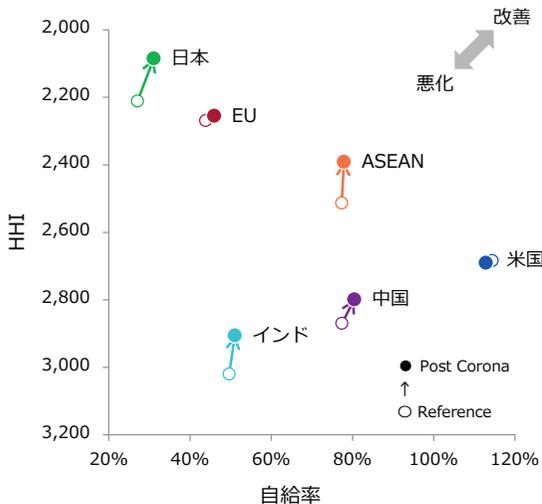
❖ 最終エネルギー需要



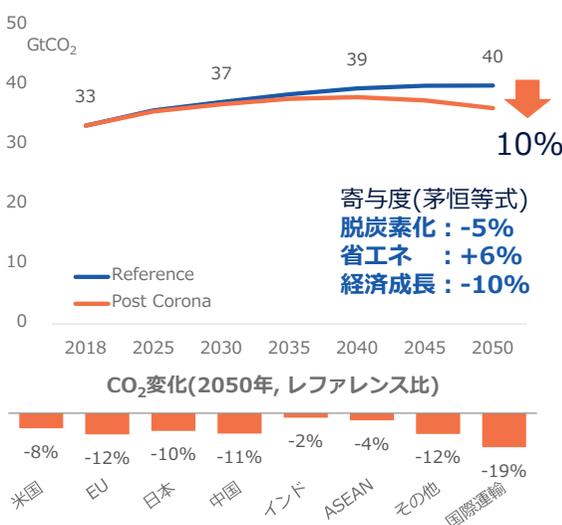
レファレンスシナリオの一次エネルギーの化石燃料依存度は81%から79%へと僅かに低下。ポストコロナでは、(準)国産エネルギーである原子力・再エネにシフトしていく。輸送需要の停滞により、レファレンスに比べて石油需要が大きく減少。化石燃料依存度は77%。

自給率/多様性は改善、CO₂ピークが早まる

❖ エネルギー自給率/多様性(2050年)



❖ エネルギー起源CO₂排出量



HHI(ハーフィンダール・ハーシュマン指数): 集中度を示す指標。数値が高いほど集中度が高く、数値が低いほど多様化していることを示す。

レファレンスシナリオにおいては、ASEAN・インドのエネルギー自給率は大きく低下。CO₂排出量は2040年代後半にピーク。

ポストコロナでは、輸入国の自給率/多様性は改善。CO₂排出量のピークは経済減速、脱炭素化などで10年早まる。

まとめ

【レファレンス】

- アジアを中心にエネルギー需要は増加、2050年でも化石燃料依存の構造は変わらない。途上国の生活水準の向上が石油・電力需要を誘発する。
- 省エネの進展や電源の低炭素化などにより、CO₂排出量は2040年代後半にピークを迎える。

【ポストコロナ】

- 経済効率性を追求するシステムからの乖離で、世界経済は減速、エネルギー需要増も鈍化。地域別エネ需要の増加パターンも変化。
- 石油需要ピーク前倒しは産油国経済を圧迫。経済多様化が一層重要に。他方、需要は一定水準で維持されるため、適切な上流投資も必須。
- エネルギー安全保障強化と脱炭素化への取組みが、革新的技術の開発競争を誘発し、非化石エネルギーやCO₂フリー水素の推進をもたらす。
- 世界変容の可能性を意識し、その変化に対応するための戦略思考に基づいたエネルギー政策の立案が重要に。



技術進展シナリオ

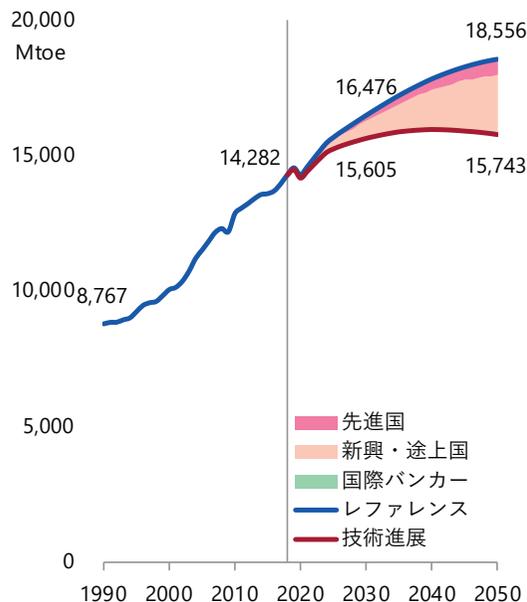
IEEJアウトLOOKの基本シナリオ

	レファレンスシナリオ	技術進展シナリオ
	<p>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</p>	<p>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、それが最大限奏功し、エネルギー・環境技術が最大限導入されるシナリオ</p>
社会経済構造	<p>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</p>	
国際エネルギー価格	<p>原油：需要増に伴い、生産費用が上昇 ガス：欧米亜市場の価格差が縮小 石炭：現状と同程度の水準を維持</p>	<p>需要増抑制のため価格上昇は限定的（石炭価格は低下）</p>
エネルギー・環境政策	<p>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(省エネ基準、排出規制等) ・経済的誘導措置(補助金、税金等)</p>	<p>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</p>
エネルギー・環境技術	<p>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</p>	<p>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</p>

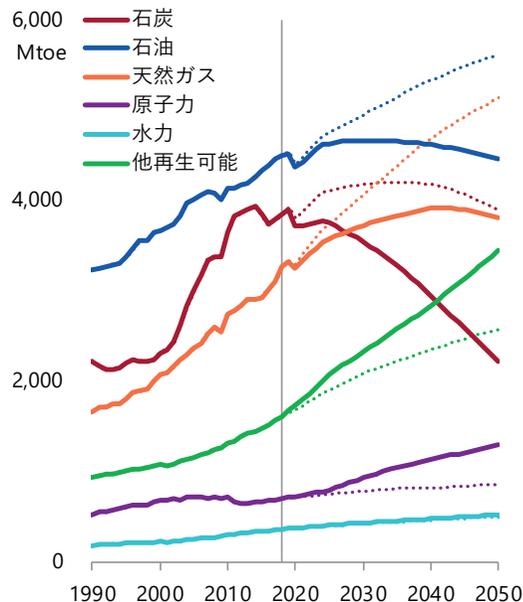
IEEJ Outlook 2021 | IEEJ © 2020

一次エネルギー需要（世界）

❖ 地域別の一次エネルギー需要の推移



❖ エネルギー源別の一次エネルギー需要の推移

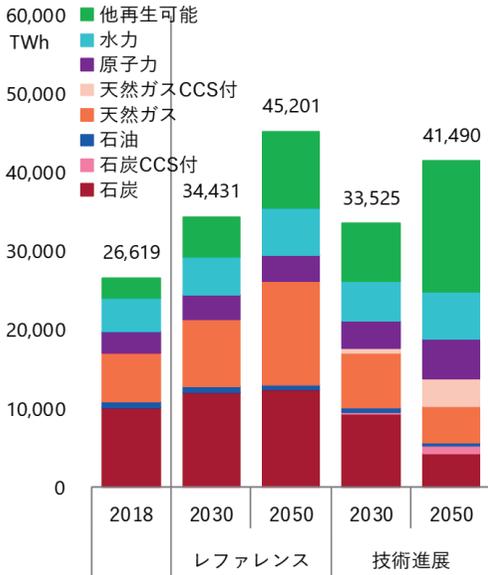


一次エネルギー需要は15%低下。新興・途上国における化石燃料の需要増の抑制が大きく寄与他方、2050年時点の化石燃料シェアは67%であり、依然として世界の化石燃料への依存は続く。

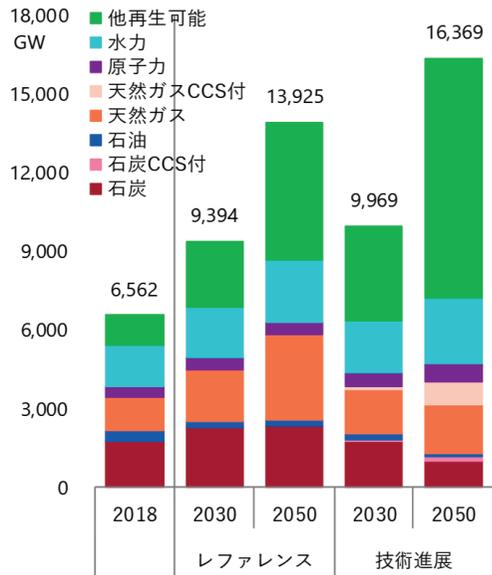
IEEJ Outlook 2021 | IEEJ © 2020

発電構成（世界）

❖ 発電量



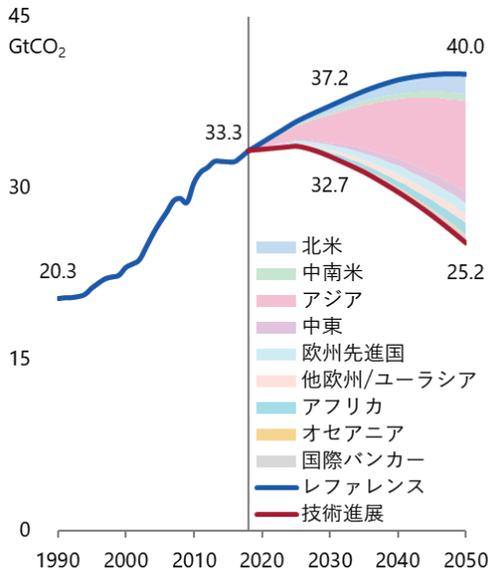
❖ 発電設備構成



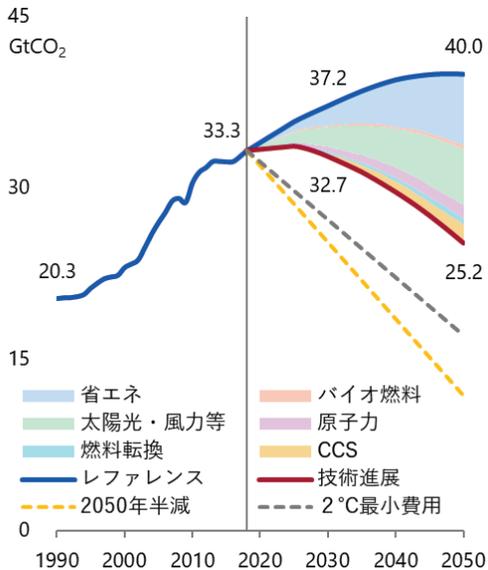
運輸用の電力需要が増加するものの、産業、民生他部門での省エネで相殺され、全体の発電量は低下
電源別では、石炭火力が大きく減少する一方、太陽光・風力などの他再生可能エネルギーが最大の電源
に成長する。

CO₂排出量（世界）

❖ 国・地域別



❖ 技術別



2°C最小費用: 「IEE」アトルック2021」気候変動シナリオ分析を参照
2050年半減: 気候変動に関する政府間パネル(IPCC)5次評価報告書(ARS)で整理され
ている「RCP2.6」における排出パスを設定

世界のCO₂排出量は2025年をピークに減少に転じ、2050年時点ではレファレンス対比で37%低下
一次エネルギー需要あたりのCO₂排出の低下（低炭素化）が、全体の排出量削減に寄与



炭素循環経済/4Rシナリオ

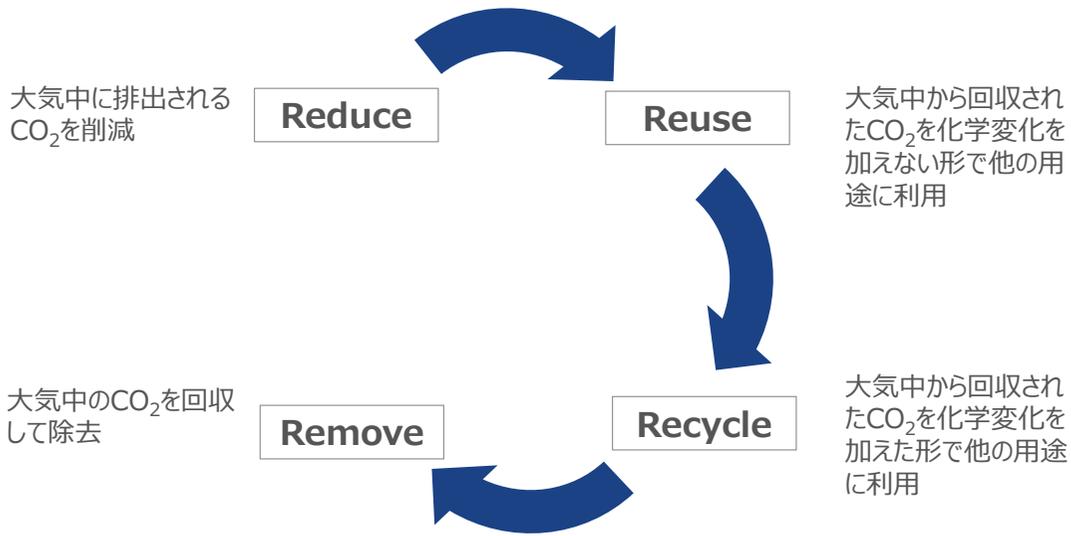
IEE Outlook 2021 IEE © 2020

本シナリオの意義

- 今後の野心的な排出削減目標を達成するためには、利用可能な排出削減技術のあらゆるオプションを最大限活用するという包括的なアプローチが必要
- その中では、再生可能エネルギーや省エネルギー、原子力などの導入を進めるとともに、「4R」として整理される化石燃料の利用を脱炭素化する技術についても最大限活用することが重要
- 2020年11月にサウジアラビアをホスト国として開催されるG20サミットにおいても、化石燃料利用の脱炭素化に主眼を置いた「炭素循環経済（Circular Carbon Economy: CCE）」が主要な議題の一つとして議論される予定であり、化石燃料利用の脱炭素化に対する国際的な関心も高まってきている。
- 炭素循環経済/4Rシナリオ（以下CCEシナリオ）では、化石燃料利用の脱炭素化技術を最大限導入した場合、世界全体の排出削減量はどのように変化するのか、またその際の一次エネルギー供給構成はどのようになるのかを試算する。

IEE Outlook 2021 IEE © 2020

炭素循環経済(Circular Carbon Economy)とは



炭素循環経済（Circular Carbon Economy：CCE）とは、大気中に存在するCO₂を循環構造に見立てて、全体を俯瞰する包括的な観点から削減を進めていく考え方

利用可能な技術は全て活用するという観点から、大気中の炭素削減策を、削減（Reduce）、再利用（Reuse）、再循環（Recycle）、除去（Remove）の4つの「R」の技術で進めるものとする。

IEE Outlook 2021 | IEE © 2020

20

4つの「R」技術で炭素の削減を目指す

❖ 炭素循環経済における主な「4R」技術

4Rの種類	削減 (Reduce)	再利用 (Reuse)	再循環 (Recycle)	除去 (Remove)
内容	大気中に排出されるCO ₂ の量を削減	大気中から回収したCO ₂ を化学変化を加えない形で別の用途に利用	大気中から回収したCO ₂ を化学変化を加えた形でほか別の用途に利用	大気中のCO ₂ を回収して除去
主な技術	<ul style="list-style-type: none"> 省エネルギーの推進 再生可能エネルギーの導入促進 原子力の導入促進 先進超々臨界圧石炭火力の活用 燃料電池車の導入促進 水素発電 アンモニアを発電用燃料や船舶用燃料として利用 石炭灰等の混和材を用いたセメント生産量削減 水素を用いた還元製鉄プロセス 	<ul style="list-style-type: none"> 回収したCO₂を用いた油田の増進回収法 (Enhanced Oil Recovery: EOR) CO₂濃度を高めたグリーンハウスにおける農産物栽培 回収されたCO₂を活用した藻類系バイオ燃料 糞を原料とするジェット燃料の生産 	<ul style="list-style-type: none"> 回収したCO₂をコンクリートに吸着させる技術 回収したCO₂を炭酸塩として固定 回収したCO₂と水素を原料とした合成液体燃料の生産 回収したCO₂と水素を原料とした合成メタンの生産 回収したCO₂と水素を原料とした化学原料の生産 	<ul style="list-style-type: none"> 炭素回収・貯留 (CCS) 二酸化炭素直接吸収 (Direct Air Capture : DAC) によるCO₂の回収

出所：Mansouri, N. Y. et al.(2020) "A Carbon Management System of Innovation: Towards a Circular Carbon Economy"を基に作成

個々の技術はこれまで開発が進められてきたものであるが、上記「4R」の分類は、これらの一連の技術を大気中の炭素の循環構造に見立てて包括的に再整理したもの

ReduceやRemoveが主であった従来の排出削減の議論に対し、炭素を資源とみなすReuseやRecycleの重要性を強調

IEE Outlook 2021 | IEE © 2020

21

本シナリオにおける想定

❖ シナリオの想定条件（ベースはいずれも本アウトルックの技術進展シナリオ）

4R分類	シナリオで想定する技術	想定内容
Reduce	ブルー水素*の発電利用	技術進展シナリオにおいて2050年時点でCCSがついていない石炭火力発電の50%にブルー水素発電（ブルー水素を原料としたアンモニアの利用も含む）を導入
	輸送部門におけるブルー水素の利用	技術進展シナリオにおける2050年時点の道路部門の輸送用需要の20%をブルー水素に転換
	ブルー水素を利用した水素還元製鉄	2050年時点の先進国および中国・インドの粗鋼生産の25%にブルー水素を用いた水素還元製鉄技術を導入
	セメント生産量の削減	石炭灰や石灰石焼成粘土などの混和剤を活用することで2050年時点の世界のセメント生産量を25%削減
Reuse	CO ₂ 集中利用による藻類系バイオ燃料の増産	技術進展シナリオにおける2050年時点のバイオディーゼルの生産量が50%増加
Recycle	CO ₂ 吸着コンクリート	2050年時点の世界のコンクリート生産の50%にCO ₂ 吸着技術を導入
	合成メタン	技術進展シナリオにおいて2050年時点でCCSがついていないガス火力発電の燃料の50%を、合成メタン（ブルー水素及びグリーン水素**由来）で代替
Remove	炭素回収・貯留（CCS）	ブルー水素製造に要するCCSを追加で実施

*ブルー水素：化石燃料と原料として、生産時に排出されるCO₂をCCSで回収貯留して生産する水素

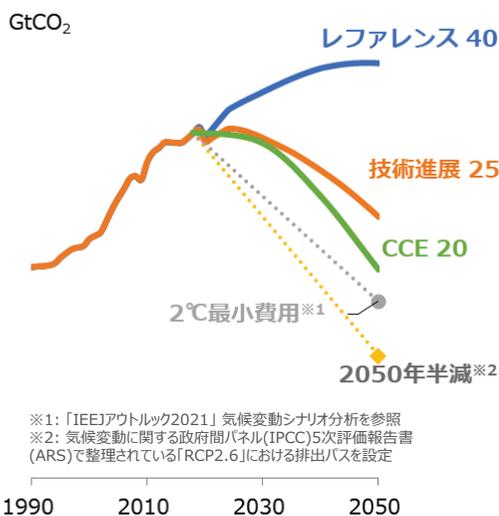
**グリーン水素：再生可能エネルギーによる電力を用いて製造する水素

上記想定は、本アウトルックの技術進展シナリオの想定に加えて、化石燃料利用を脱炭素化するという観点から、4Rの技術が最大限導入されるケースを一定の前提を置いてシナリオとして想定したもの

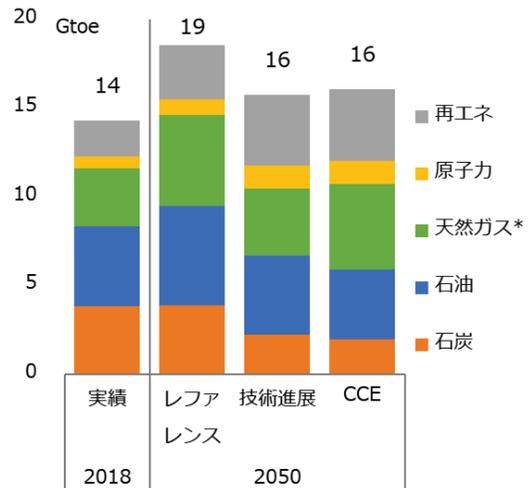
22

化石燃料消費量は変わらず排出量は大きく減少

❖ 世界のCO₂排出量



❖ 世界の一次エネルギー需要



CO₂排出量は、技術進展シナリオからさらに5 Gt削減され、2℃費用最小化パスに近づく。

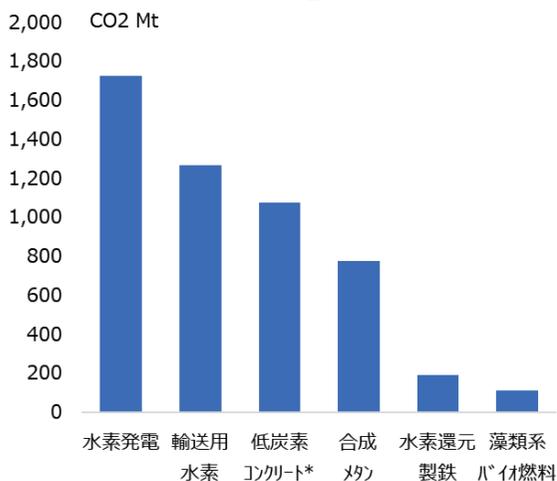
一次エネルギー需要における化石燃料全体に対する依存度は技術進展ケースとほぼ同じ（67%）だが、化石燃料間では、石油・石炭から主なブルー水素の原料となる天然ガスへの振替が発生する。

化石燃料消費は全体として大きく変わらない中で、CO₂の排出量は大幅に削減される。

23

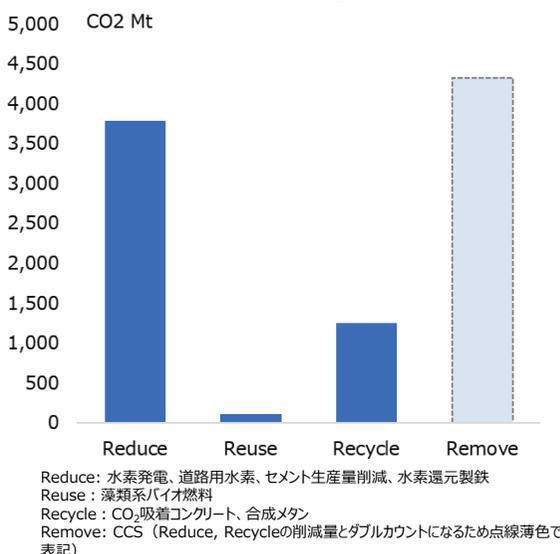
発電・輸送部門に大きな削減ポテンシャル

❖ 各導入技術によるCO₂排出削減量



*低炭素コンクリートは、セメント生産量の削減とCO₂吸着コンクリートの排出削減量の合計値

❖ 各技術分野によるCO₂排出削減量

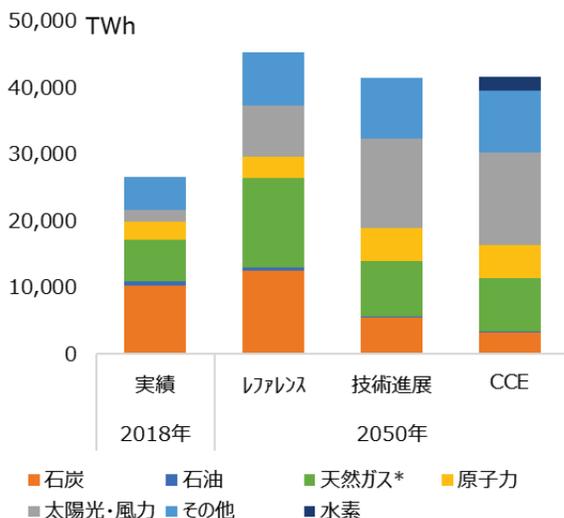


Reduce: 水素発電、道路用水素、セメント生産量削減、水素還元製鉄
 Reuse: 藻類系バイオ燃料
 Recycle: CO₂吸着コンクリート、合成メタン
 Remove: CCS (Reduce, Recycleの削減量とダブルカウントになるため点線薄色で表記)

排出削減量では発電・輸送部門における削減量が大きく、ブルー水素の寄与度が高い。
 4R別排出量削減では、本試算ではReduceによる排出量が大きく、Reuse、Recycleの削減量は限定的

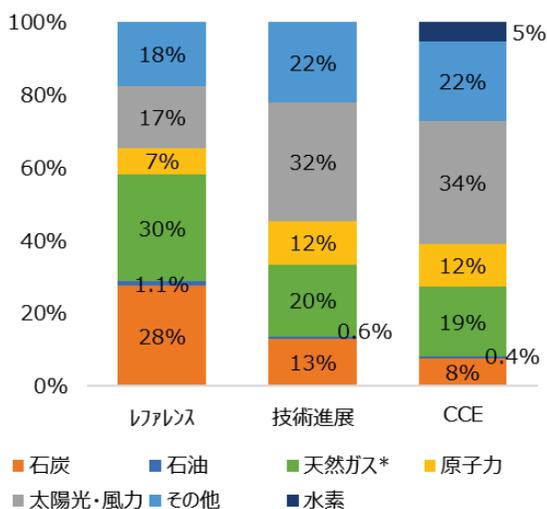
電源構成では水素が石炭を一部代替

❖ 世界の発電電力量構成



*CCEシナリオは合成メタンを含む

❖ 世界の2050年時点での電源シェア

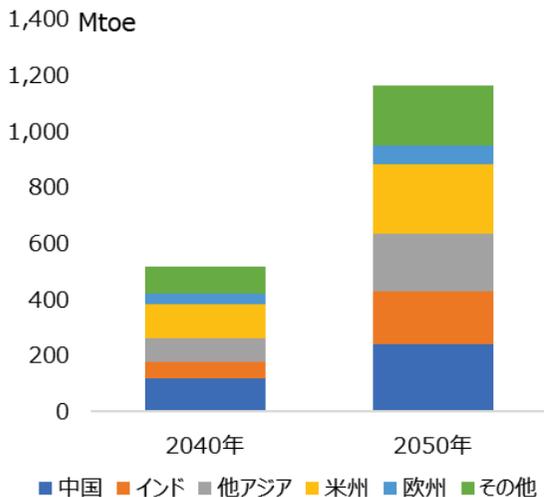


*CCEシナリオは合成メタンを含む

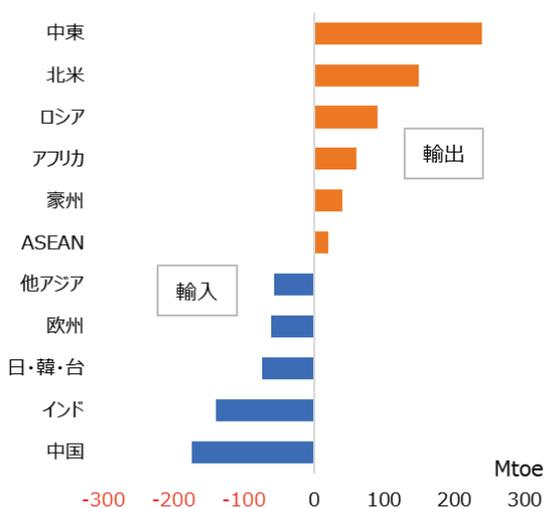
石炭火力のシェアが低下し、化石燃料火力の構成比は技術進展シナリオの34%から27%に低下
 水素発電の構成比は2050年時点で5%を占める。

水素需要はアジアを中心に拡大

❖ 世界の水素需要見通し



❖ 世界の水素輸出入 (2050年時点)



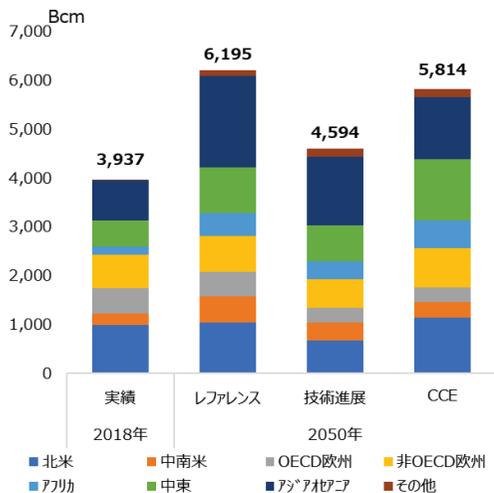
本シナリオでは世界の水素需要はアジアを中心に拡大

国内にブルー水素生産能力がない国は海外からブルー水素を輸入。主要なブルー水素の供給源は、豊富な化石燃料資源を有し、CCSを行うことができる中東や北米、ロシアなどになる

IEE/Outlook 2021 | IEE © 2020

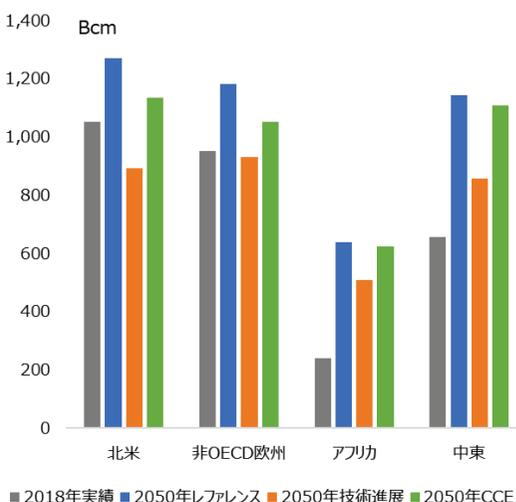
天然ガスの新たな需要が創出

❖ 世界の天然ガス需要* (2050年時点)



*合成メタンの需要を含む

❖ 天然ガス生産量 (2050年時点)



CCEシナリオにおいては、水素原料用の需要が増加することで、2050年時点での世界の天然ガス需要は技術進展シナリオに比べて27%増加する。

主要産ガス国では水素生産のための天然ガスが増産されるが、2050年時点での生産量はレファレンスケースの水準には達せず。

本試算では水素製造の主原料は天然ガス。実際には他の化石燃料が利用されるケースも。

IEE/Outlook 2021 | IEE © 2020

インプリケーション

- 炭素循環経済における4R技術を最大限導入することによって、大幅なCO₂の排出削減と化石燃料利用を両立をさせることが可能となる
- 鍵を握るのが排出削減への寄与度の大きいブルー水素の供給。今後さらなる水素製造技術の低コスト化、水素供給関連のインフラ整備、技術標準の統一化などが必要
- 加えて、4R技術開発の中では、Reuse、Recycle分野の底上げが重要。政策・資金面でのサポート、国際協力を通しての情報共有を進めていくべき
- 炭素循環経済の概念の重要性とその含意に対する社会の認知度の向上・PRの重要性



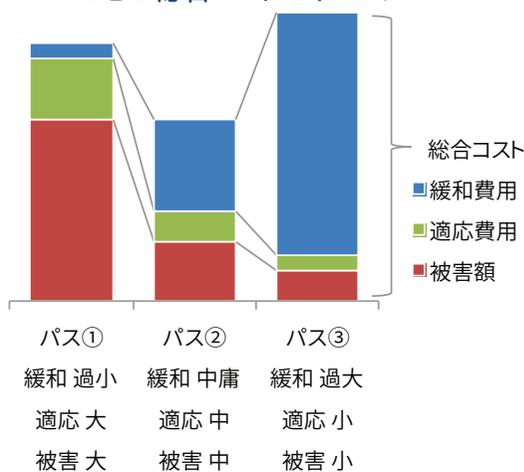
気候変動シナリオ分析

— 費用便益分析の改善に向けて —

❖ 緩和+適応+被害=総合コスト

緩和	省エネルギー、非化石エネルギーによるGHG排出削減が代表的。CCSIによるGHGの大気中への放出削減なども含む。これらで気候変動を緩和する
適応	気温上昇により、海面上昇、農作物の早魃、疾病の蔓延などが発生しうる。これらに対する堤防・貯水池整備、農業研究、疾病の予防・処置などが適応
被害	緩和、適応によっても気候変動の影響が十分に低減できない場合、海面上昇、農作物の早魃、疾病の蔓延などの被害が実際に発生する

❖ パスごとの総合コストのイメージ*



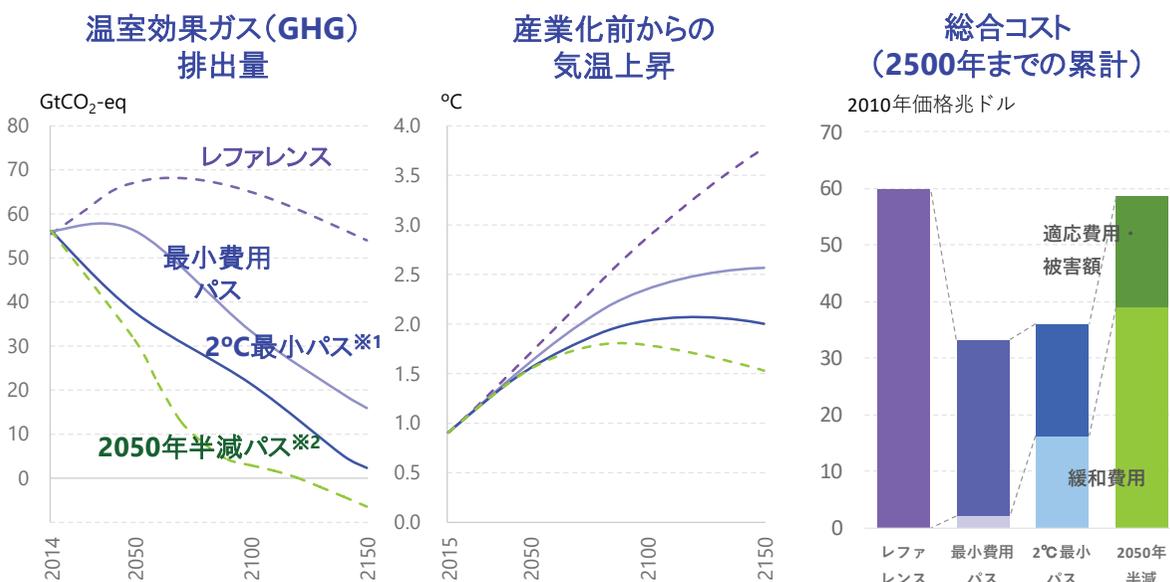
※ 実際のモデル計算では費用最小化ではなく、効用最大化で最適パスを計算

気候変動に対して無策であれば、緩和費用をかけずに済むが、適応費用・被害は膨大となる。強力な緩和策を講じれば、適応費用・被害は軽減されるが、そのための費用は顕著に大きい

気候変動問題は、広範な領域に影響し、かつ何世代にもわたる長期的課題。持続可能性に基づき、緩和費用、適応費用、被害額の和=総合コスト が小さくなる組み合わせ(最小費用パス)を評価する。

30

気候変動の最小費用パスと2°C最小費用シナリオ



※1 気温上昇が2°Cを超え、2150年に2°Cに回帰する排出パス

※2 IPCCのRCP2.6に概ね相当する排出パス

- 費用便益分析による「最小費用パス」での気温上昇は、2150年までに2.5°Cを超える。但し、結果は各種の前提条件に強く依存することに注意が必要。

- 更に低炭素技術の導入を進め、2150年に2.0°Cに回帰するパス(2°C最小費用化パス)も大きな総コスト上昇なく実現し得る可能性があり、リスク回避の観点からも、「最小費用パス」を超えた削減目標の追求が望まれる。

31

被害額(被害関数)の正確性: 気候変動に伴う被害額を正確に把握できなければ、費用便益分析も正しい結果は得られない。

- ・ 被害額の推計には非常に大きな不確実性を伴う。世界中で研究が進められているものの、十分な知見が蓄積されていない。
- ・ 最新の科学的知見を踏まえ、被害関数(気温上昇と被害額の関係)をより精緻化することは重要な課題。

Tipping elements (不可逆的、または臨界点をもつ要素)のモデル化: 一旦変化が始まると変化が加速化し、被害・費用が想定以上に大きくなることを考慮する必要がある。

- ・ ある事象の進行が臨界点を超えると、地球システムによるGHGの自動吸収作用が機能しなくなることにより正のフィードバックがかかり、変化が加速的に進む可能性がある。
- ・ 例えば、温暖化によってシベリア永久凍土の融解が進むと、地中のメタンやCO₂が大気に放出される。その放出自体が温暖化に寄与することで、凍土融解がさらに進むことになる。
- ・ 結果として、これまでとは異なる平衡状態、例えば気温が数度以上高い状態 "Hothouse Earth(熱室的な地球)" に移行するリスクが指摘されている。

その他の問題(衡平性、パラメータの不確実性など)

長期割引率: 一般的に、将来の貨幣価値は現在の貨幣価値に比べて割引して評価される。しかし、この「割引率」の設定を高くすると、将来発生する被害額が過小評価される可能性がある。

地域間の衡平性: 世界を1地域と見做して総被害を算出するモデルは、世界の地域ごとに異なる被害を考慮し得ず、地域間の不公平性に関する懸念をもたらす。

Fat tail: 被害関数等のパラメータの確率分布の裾が十分に早くゼロに収束しない場合、費用便益分析自体が意味をなさなくなる、との指摘がある。

32

地球システムの臨界点(Tipping point)



- ・ 地球のシステムは従来、ある種の安定状態にあったとされる。例えば大気中のCO₂濃度が上昇した場合、海洋へのCO₂の吸収が増加するなど、「負のフィードバック」が働くことによって状態が維持されていた。
- ・ これに対し、近年、地球システムの変化がある臨界点を超えると変化が不可逆的になる、もしくは「正のフィードバック」がかかり、従来とは異なる(より気温の高い)平衡状態へと至る可能性が指摘されている。この臨界点はTipping pointと呼ばれ、それを形成するサブシステムはTipping elementと呼ばれる。

33

グリーンランド氷床(GIS)の崩壊

グリーンランド島の氷床は既にかつてない速度で融解を始めており、全て融解すると世界の海水位を約7 m 上昇させる。気温上昇と氷の融解レベルの間にはヒステリシス的な現象が生じるとされ、仮に一度グリーンランドの氷床が融解した場合、その後気温が低下したとしても、少なくとも直ちには氷床は元に戻らない。

西南極大陸(WAIS)の崩壊

南極大陸の約2700万km³相当の氷床が仮に全て融解すると、世界の海面水準を約60m上昇させる。南極横断山脈の東側は東南極(EAIS)、西側は西南極(WAIS)と呼称される。氷床自体は西南極はよりも東南極の方が大きい、西南極氷床の方がより不安定であり、早期の崩壊が懸念されている(次頁)。

永久凍土によるフィードバック(PCF)

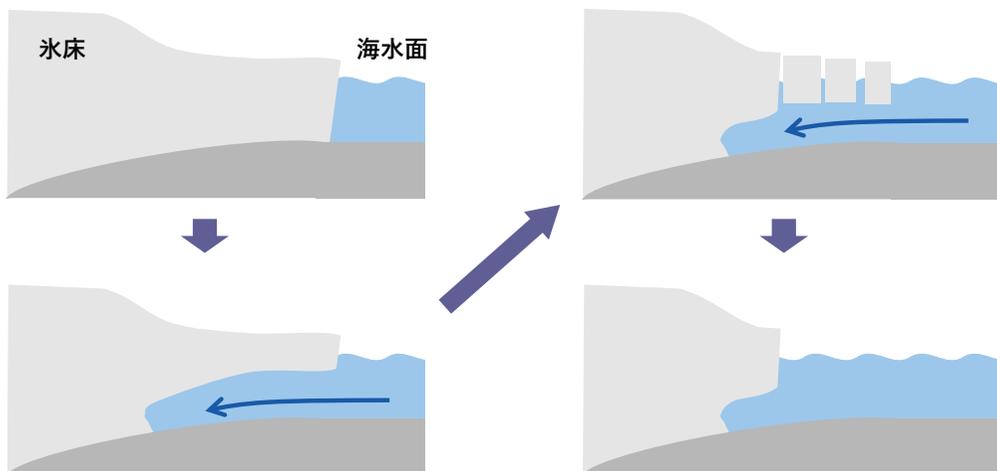
永久凍土中には1.7兆トン程度の炭素が存在しており、気温上昇によって凍土が融解した場合、これがメタンないしCO₂として大気中に放出される可能性がある。放出されたこれらのガスは気候変動を更に加速させ、いわゆる「正のフィードバック」として作用することが懸念されている。

珊瑚礁(CR)の消滅

珊瑚礁には9万種の生物が生息し、人間に漁業資源や観光資源を提供している。仮に全て死滅した場合には世界のGDPの0.5%に相当する経済影響を与えるとの評価もある。熱帯の珊瑚礁は既に白化が進んでおり、IPCCによれば2°Cで99%以上、1.5°C上昇でも70~90%が壊滅的な打撃を受けるとされる。

34

[参考] 西南極氷床(WAIS)の崩壊: 海水崖不安定性(MICI)



- 西南極では氷床底のかなりの部分が海面よりも低いところに位置しており、上図の通り、海水崖不安定性(Marine Ice Cliff Instability: MICI)と呼ばれるメカニズムにより、海水の侵入に伴い融解が早く進む可能性が指摘されている(DeConto and Pollard, 2016)。
- これに対しEdwardsら(2019)は、海水崖の急速な崩壊を仮定しなくても過去の南極氷床動態を説明できるとした。IPCCの海洋・雪氷圏報告書(2019)では、MICIの正確なメカニズムや、それが本当に発生し得るのかについては現状では不明確とされており、将来の海面上昇予測においてMICIは考慮されていない。

35

[参考] Tipping Elementsの定式化

平衡状態の定義式

$$X^*(t) = X_0 \frac{\max(T(t) - T_C)}{T_0} = \alpha \max(T(t) - T_C)$$

運動方程式

$$\frac{\Delta X(t)}{\Delta t} = \beta X_0 \text{sign}(X^*(t) - X(t)) \left| \frac{X^*(t) - X(t)}{X_0} \right|^\gamma$$

X : 事象を記述する変数(氷床の融解量等) X_0 : 事象の特性スケール
 X^* : X の衝状態 T_0 : 事象の特性気温
 T : 世界平均気温 $\alpha \cdot \beta \cdot \gamma$: パラメータ
 T_C : 臨界気温

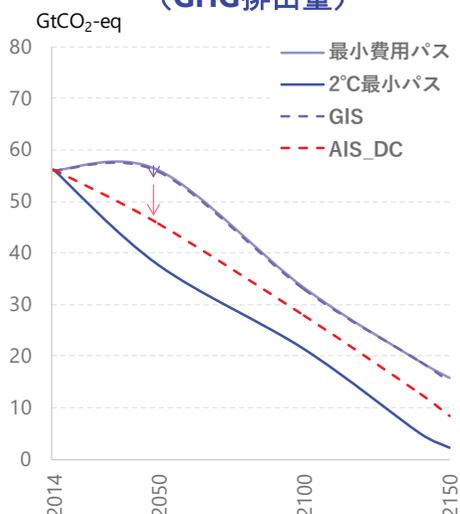
- 上記の簡易な方程式を用いてTipping elementsの挙動をモデル化。例えば西南極氷床においては、気温上昇(T)に伴って潜在的な氷床の崩壊量、もしくは「平衡状態」(X^*)が定まると想定し、現実の状態 X はこの平衡状態に向けて、ある時間遅れをもって移行すると想定した。

- グリーンランド氷床についてはNordhaus (2019)、南極氷床についてはMICIが存在する場合にはDeConto and Pollard (2016)、存在しない場合にはGolledge et al. (2019)、永久凍土についてはYumashev et al. (2019)をもとにパラメータを設定。また、珊瑚礁については1.2°Cの気温上昇で50%、2°Cの気温上昇でほぼ全てが致命的なダメージを被るとし、20年の時間遅れを想定した。

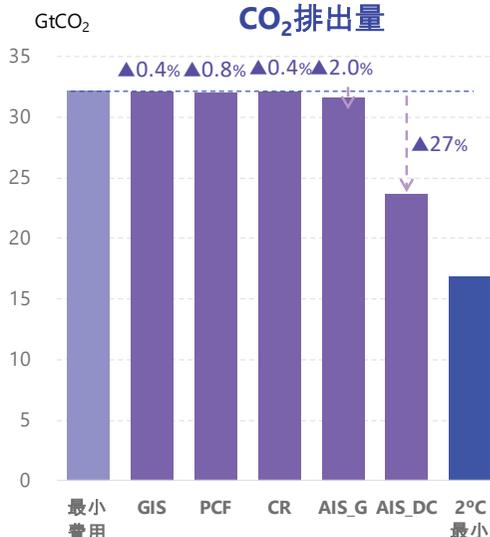
36

Tipping elementsの考慮による最小費用パスの変化

最小費用パスの変化
(GHG排出量)



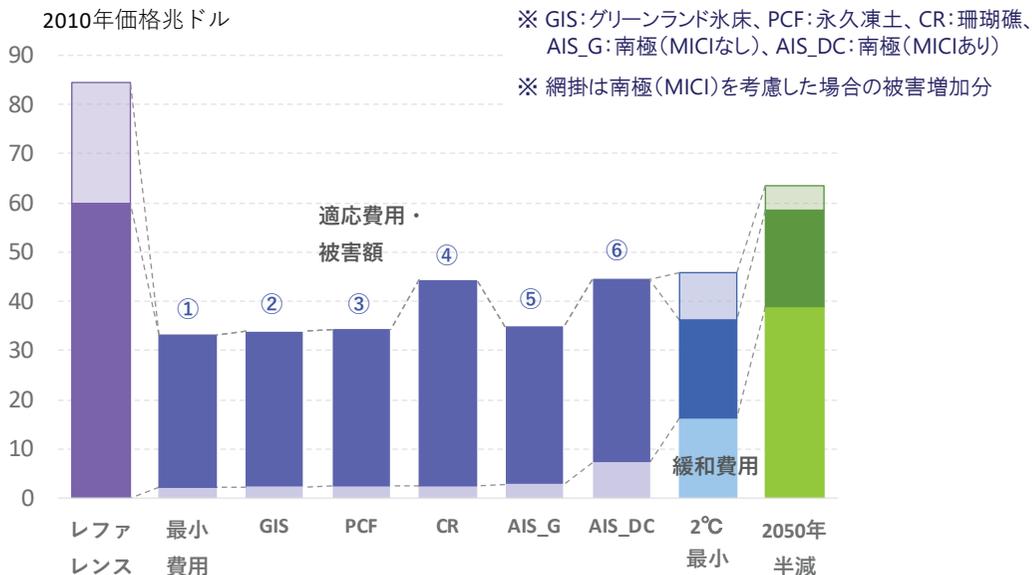
2050年のエネルギー起源
CO₂排出量



GIS: グリーンランド氷床、PCF: 永久凍土、CR: 珊瑚礁、
 AIS_G: 南極(MICIなし)、AIS_DC: 南極(MICIあり)

- Tipping elements として、グリーンランド氷床(GIS)、永久凍土(PCF)、珊瑚礁(CR)、及び南極氷床(AIS_G、MICIを考慮しない場合)を費用便益分析に取り入れても、最小費用パスは大きくは変化しない。
- 一方で、もしMICIが作用し、南極氷床の崩壊が急速に進む場合(AIS_DC)を分析に取り入れると最小費用パスは大きく変化し(左図の赤点線にシフト)、2050年の排出量は27%低下する。それでも、2°C最小費用パスでの排出削減までは求められない。

37



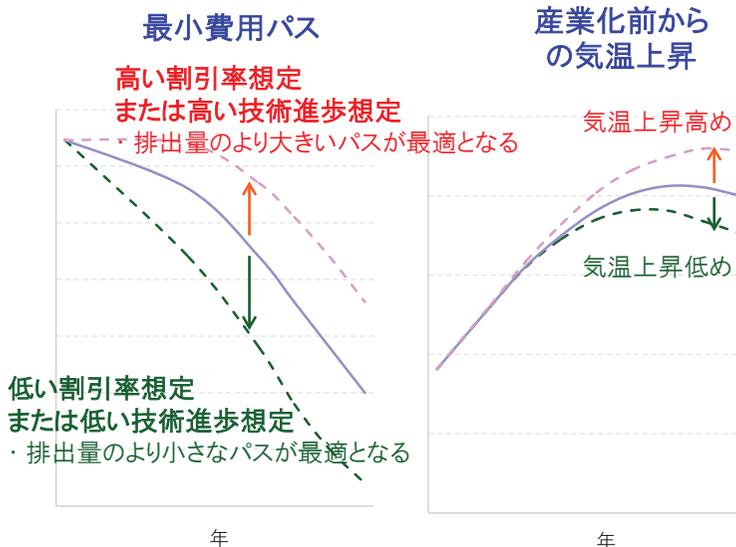
- Tipping elementとして、グリーンランド氷床(GIS)、永久凍土(PCF)、及び南極氷床(AIS_G、MICIを考慮しない場合)については、明示的に考慮することにより、総コストはわずかに上昇する(①と、②③⑤の対比)。
- 南極氷床(MICIを考慮する場合)と、珊瑚礁(CR)の被害を考慮する場合には、総コストは大きく上昇する(①と、④⑥の対比)。なお、珊瑚礁が消滅する被害は非常に大きい可能性があるが、1.5°C上昇の段階で既に大半が死滅するため、前頁に示す最小費用パスには大きく影響しない。

38

割引率及び技術進歩の想定

割引率の想定

- ・ 割引率は、将来の貨幣価値を現在価値に換算する(例えば、今手元にある1万円と10年後の幾らの金額が価値として釣り合うかを評価する)ために用いられる比率。
- ・ 割引率の想定を低くすると、将来の被害額はより大きく加算され、今から早めに排出量をより大きく削減するパスが「最適」となる。
- ・ 低い割引率想定は、「将来世代の負担をより重視する」見方を表すと考えることができる。

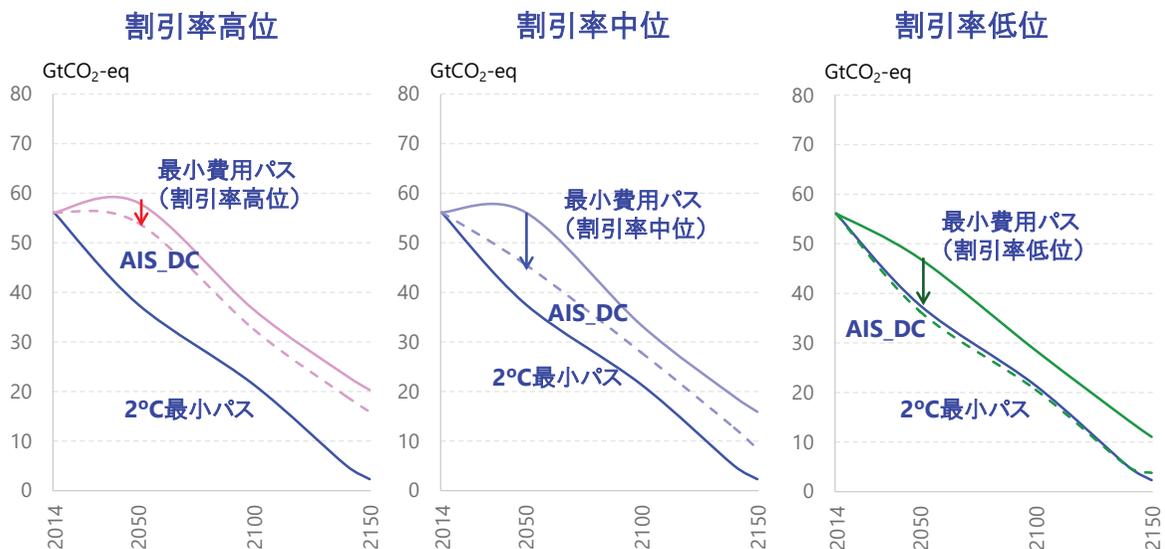


技術進歩の想定

- ・ 将来に向けた緩和コストの低減速度や、負の排出技術の導入時期・導入可能量など
- ・ より遅い技術進歩を想定すると、足元の排出量をより大きく削減するパスが「最適」となる。

※ 後述の想定に従い、割引率について「高位」「中位」「低位」、技術進歩について「通常ケース」と「技術進歩ケース」を設定し、結果を比較した。

39

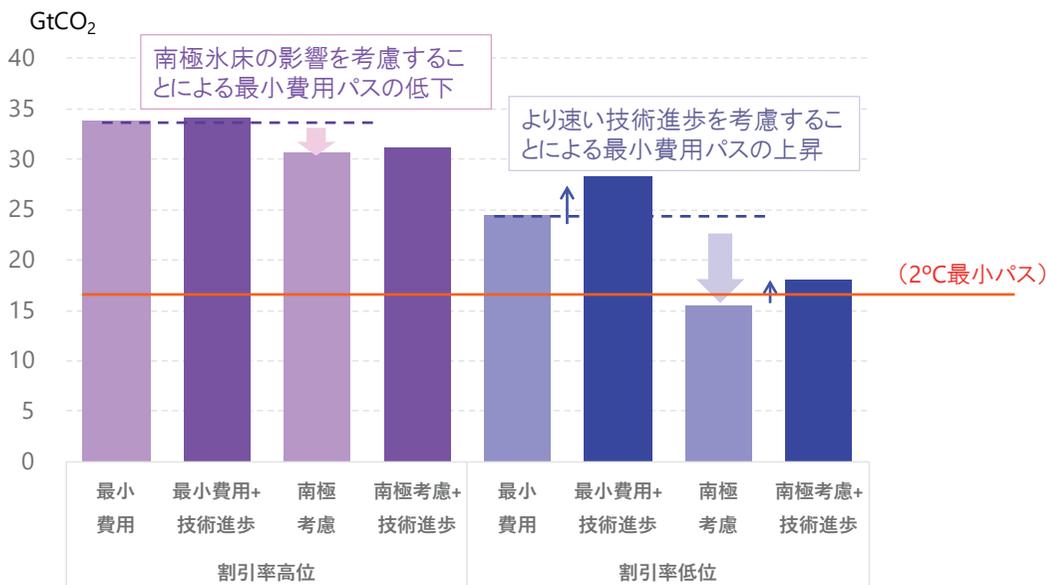


- 低い割引率想定を用いた場合、最小費用パスの排出量は減少し、より2°C最小パスに近づいてゆく。
- 更に、仮に南極の氷床崩壊が急速に進展する場合、最小費用パスは大きく変化する(上図AIS_DC)。特に低い割引率想定を用いるほど、南極氷床の影響によって、最小費用パスはより大きく変化する。
- 但し、その場合でも最小費用パスは2°C最小費用化パスと同等以上の排出となる。このような観点からも、2°C最小費用化パスを追求することの妥当性を確認することができる。

40

技術進歩による変化(2050年の最適CO₂排出量)

※ エネルギー起源CO₂排出量



- 将来の技術進歩をより強く見込んだとしても、高い割引率想定の場合には、2050年の最適排出量(=「最小費用パス」の2050年の排出量)は大きく変化しない。これは、この想定の下ではより近い将来における緩和費用や被害額を重視することによる。
- 一方で低い割引率想定の場合には、技術進歩を想定した場合、より低コストで大幅な削減が可能となるため、2050年の最適排出量は大きくなる。即ち、低い割引率想定は長期の視野での技術開発をより重視する見方であるといえる。

41

- ・ 気候変動への対策を行わなければ緩和費用をかけずに済むが、適応費用、もしくは気候変動による被害が甚大となる。逆に協力的な緩和策を講じる場合には、適応費用や被害は軽減されるが、そのために必要となる緩和費用が大きくなる。
- ・ この観点から、気候変動の緩和・適応・被害それぞれのコストを考慮し、「最適」な排出パスを求める試みが多くの研究者によって行われており、現状ではその評価には批判も含め、様々な意見がある。
- ・ 中でも、気候変動に伴って生じる不可逆的な事象(Tipping elements)が人類に大きな被害を与える可能性が懸念されている。しかし多くの場合、これらの事象を明示的に考慮しても、費用便益分析に与える影響は大きくない。これは一部には、例えばグリーンランドの氷床が融解するためには数千年の時間を要することなどによる。
- ・ 一方、南極氷床におけるMICIのような、事象の発現時間を極端に早めるような現象が発生する場合には、最小費用パスに大きな影響を与え得る。このような事象について、科学的知見を深めることは気候変動問題を考えるに当たって非常に重要である。
- ・ 割引率の想定によってもTipping elementsの影響は異なるものとなり、一般的には低い割引率を用いるほど、Tipping elementsの影響は大きなものとなる。その影響は将来の技術進歩によってある程度は緩和され得るものの、潜在的な脅威であり続けることに変わりはない。
- ・ Tipping elementsの考慮や低い割引率の想定は、将来に向けた技術開発の影響をより大きく評価することにもなる。気候変動問題に対処するために、長期の将来を見据えた、着実な技術の開発・実用化を後押しする政策の遂行が今後ますます求められるようになる。

[参考] 割引率及び技術進歩の想定

※ 最小費用パス(最適パス)及びTipping elementsの影響は、割引率や技術進歩の想定によって変化する。ここでは、以下のケースに従って感度解析を実施した。

割引率の想定

- ・ 割引率とは、将来の貨幣価値を現在価値に換算するために用いられる比率。例えば確実に3%の利息収入が得られる場合、10年後の1000ドルは現在の744ドルに相当し、この3%が割引率に相当する。
- ・ 一般的に、割引率 ρ は次のラムゼイ則によって記述される。

$$\rho = \delta + \eta g$$

δ : 純時間選好率、 g : 一人当り消費の成長率、 η : 効用の対消費弾性値

- ・ 以下の3通りの割引率想定を使用した。

高位: $\delta = 1.5\%$ 、 $\eta = 1.45$

中位: $\delta = 0.5\%$ 、 $\eta = 2.0$

低位: $\delta = 0.05\%$ 、 $\eta = 2.0$



技術進歩の想定

- ・ 将来への技術開発を加速することは、緩和コストの低減をもたらすとともに、より大きな排出削減に貢献し得ると考えられる。
- ・ 「技術進歩ケース」では技術進歩が加速し、緩和コストの低減率が1.5倍(0.5%/年→0.75%/年)になるとともに、2100年以降、ベースライン排出量の20%に相当する負の排出技術が可能になるとした。

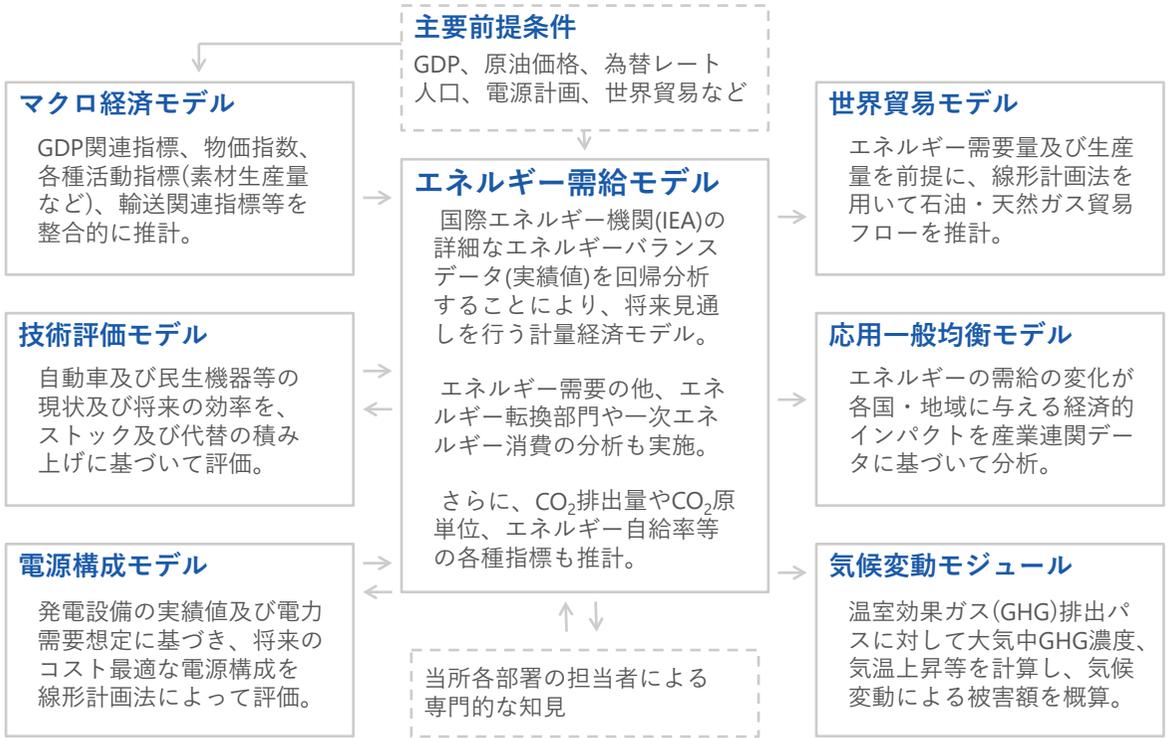
付属資料

地域区分

- 世界を42か国・地域および国際バンカーに区分
- 特にアジアは15か国・地域、中東は8か国・地域と詳細に区分



モデルの構造

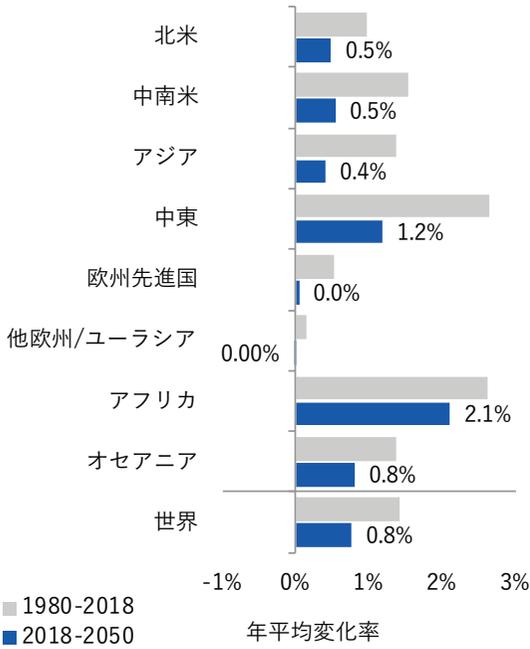


IEEJ Outlook の基本シナリオ

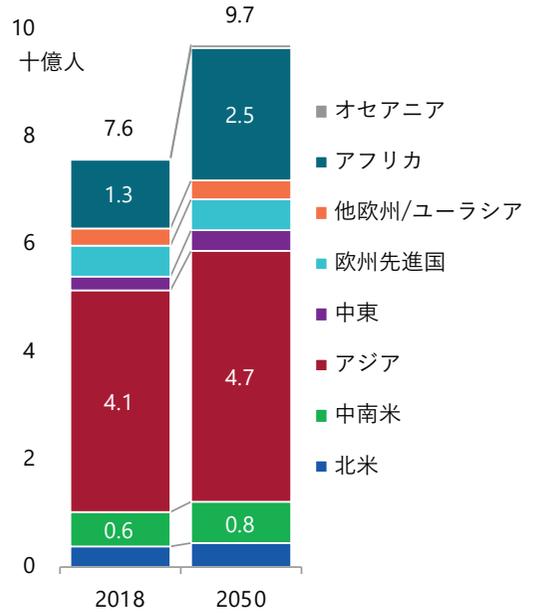
	レファレンスシナリオ	技術進展シナリオ
	現在までのエネルギー・環境政策等を背景とし、これまでの趨勢的な変化が継続するシナリオ。急進的な省エネルギー・低炭素化政策は打ち出されない	各国がエネルギー安定供給の確保や気候変動対策の強化のため、強力なエネルギー・環境政策を打ち出し、それが最大限奏功するシナリオ
社会経済構造	人口増加率は低下するものの、新興・途上国を中心に安定した経済成長 経済構造の変化は連続的、産業のサービス化が進展 所得水準の向上により、家電、自動車等のエネルギー消費機器が大きく普及	
国際エネルギー価格	原油：需要増に伴い、生産費用が上昇 ガス：欧米亜市場の価格差が縮小 石炭：現状と同程度の水準を維持	需要増抑制のため価格上昇は限定的 (石炭価格は低下)
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

年平均増減率

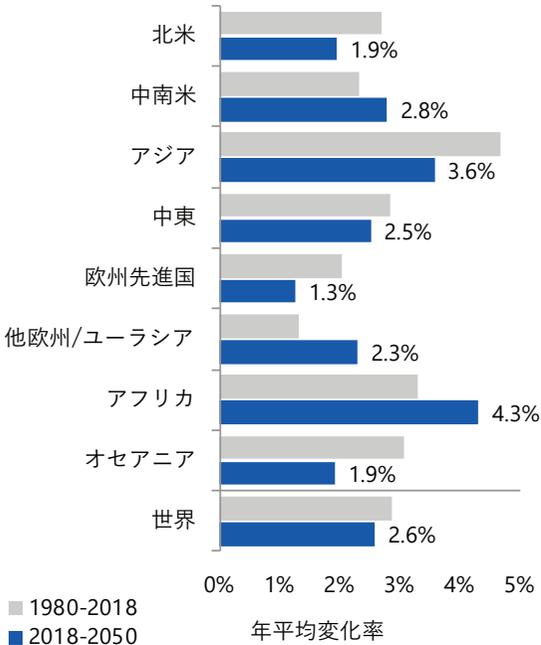


人口構成

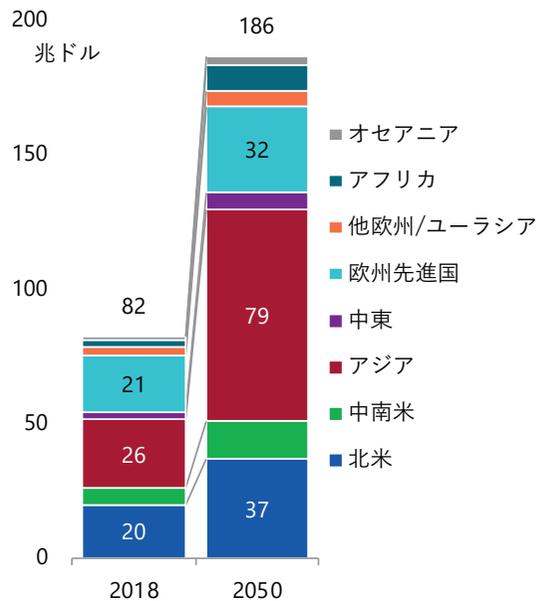


実質GDP

経済成長率

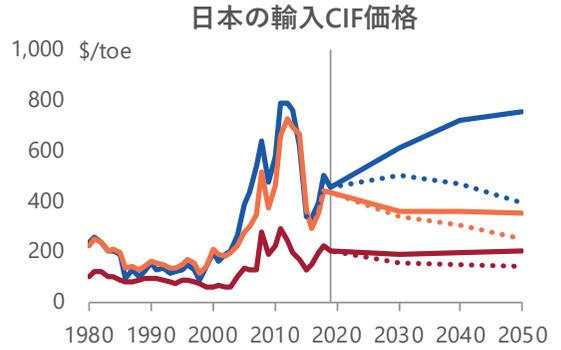
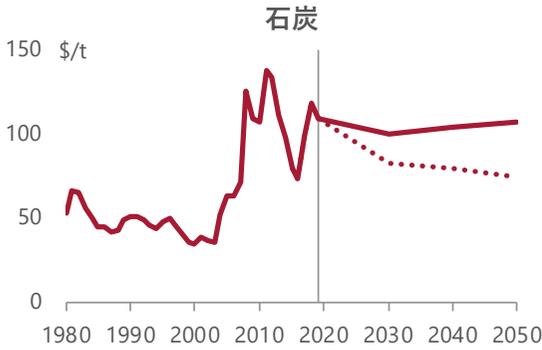
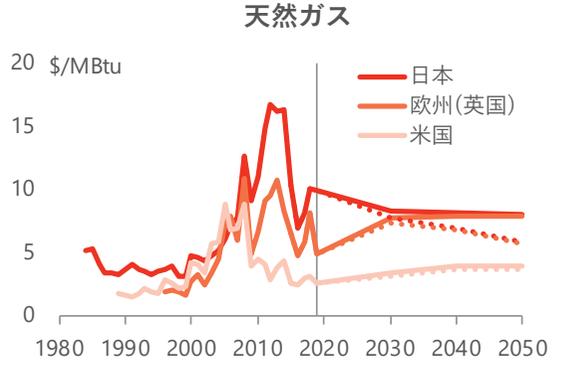
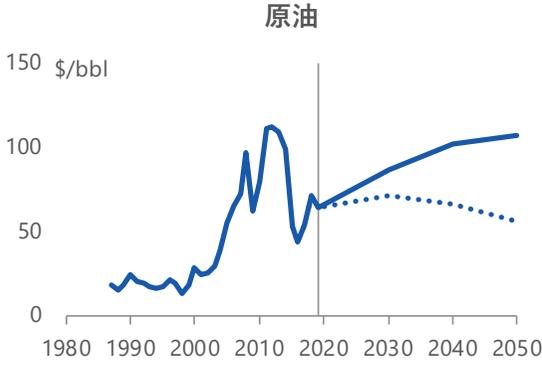


GDP構成



国際化石燃料価格

レファレンス：実線
技術進展：破線



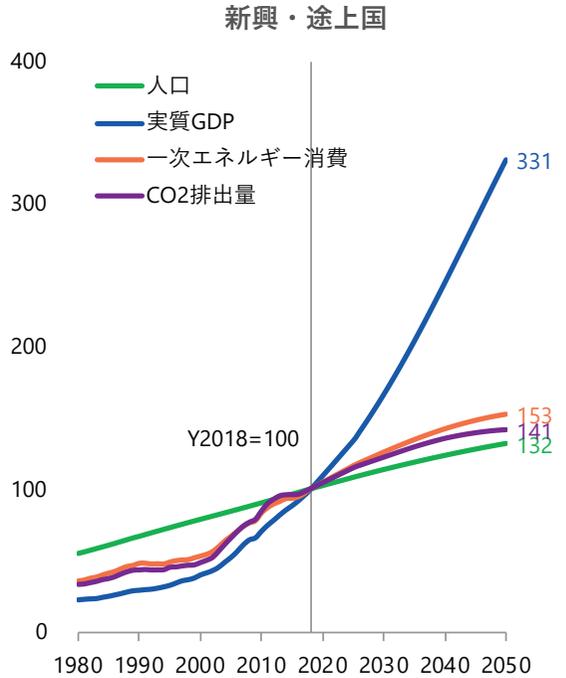
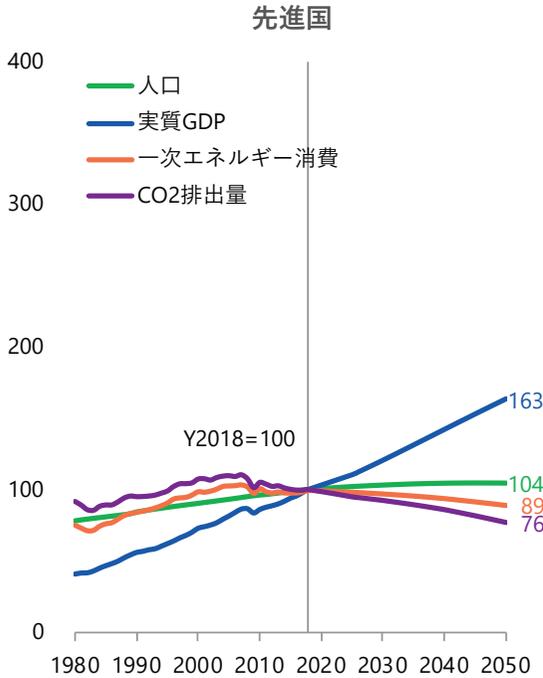
(注)実績値は名目価格、見通しは2019年価格

エネルギー・環境技術の前提



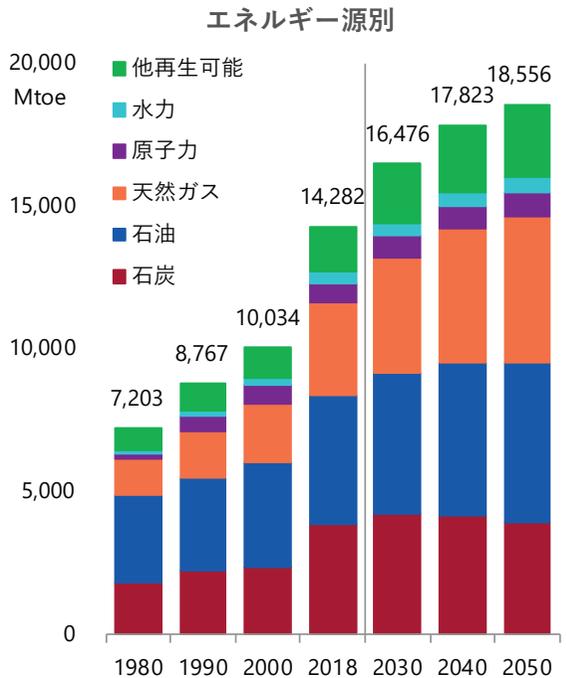
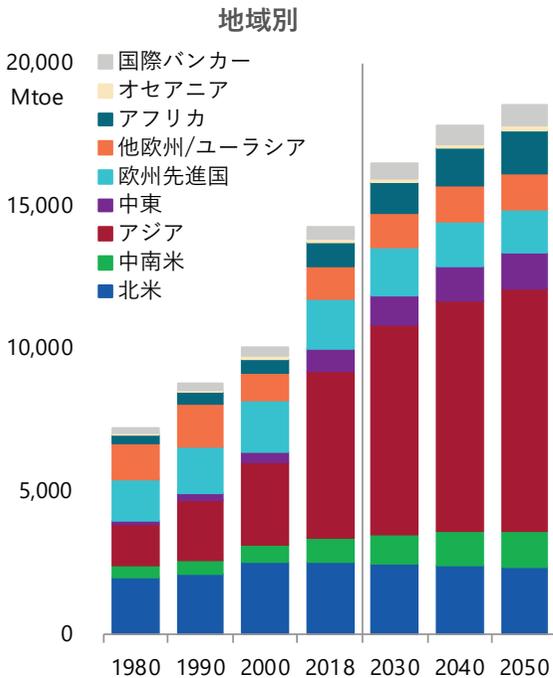
	2018	2050		技術進展シナリオにおける前提
		レファレンス	技術進展	
エネルギー効率の改善				
産業部門 鉄鋼業の原単位 (ktoe/kit)	0.274	0.245	0.217	2050年までにBest Available Technologyが100%普及
窯業土石業の原単位	0.093	0.072	0.064	
運輸部門 電動乗用車販売比率	6%	55%	87%	電動自動車のコスト低下。燃料インフラを含む普及促進策の強化 ※電動自動車・ハイブリッド車、プラグインハイブリッド車、電気自動車、燃料電池車
乗用車新車燃費 (km/L)	14.4	23.7	34.0	
民生部門 家庭の総合効率 (Y2018=100)	100	150	181	新規、新設の家電・機器効率及び断熱効率の改善スピードが約2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	180	211	
発電部門 火力発電効率(発電端)	38%	45%	46%	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)	90	134	254	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)	416	480	725	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)	564	1,850	3,625	発電コストのさらなる低下 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
太陽光発電設備容量 (GW)	480	2,909	4,737	
CCS付設火力発電設備容量 (GW)	0	0	1,023	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)	36%	42%	77%	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、CO₂排出量



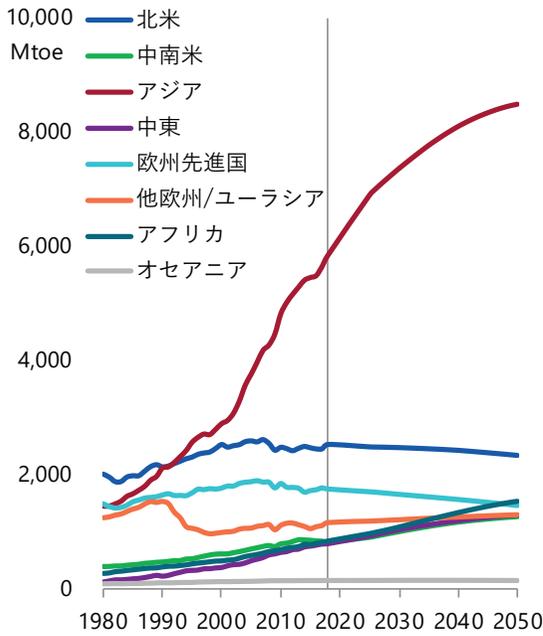
※コロナウイルス感染拡大による短期的な影響は6章Box 6-1を参照

一次エネルギー消費

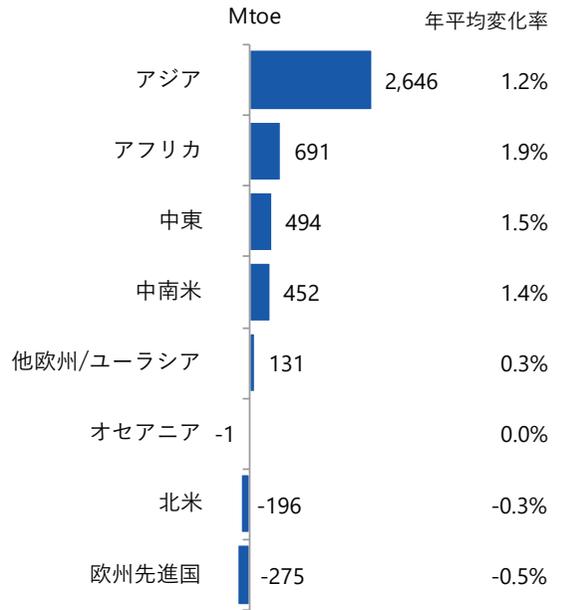


一次エネルギー消費(地域別)

エネルギー消費量



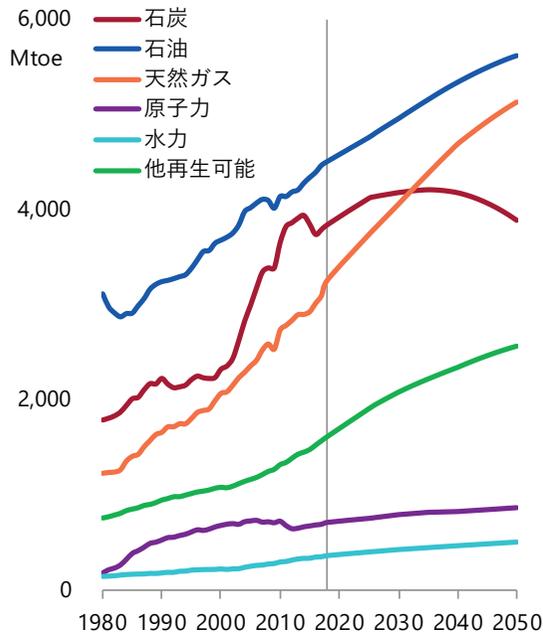
増減分(2018-2050年)



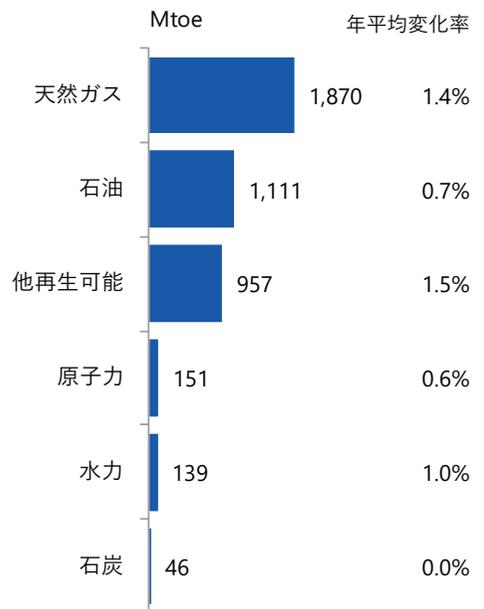
※コロナウイルス感染拡大による短期的な影響は6章Box 6-1を参照

一次エネルギー消費(エネルギー別)

エネルギー消費量



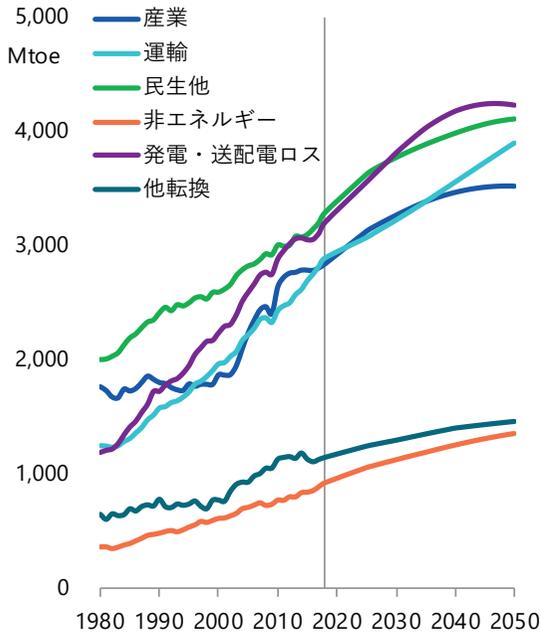
増減分(2018-2050年)



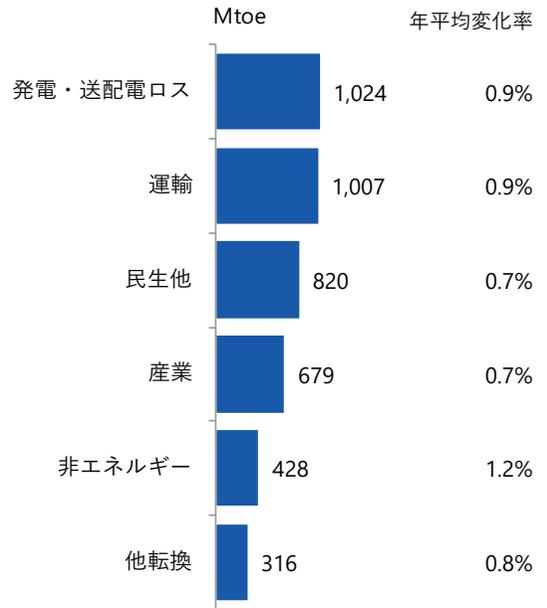
※コロナウイルス感染拡大による短期的な影響は6章Box 6-1を参照

一次エネルギー消費(部門別)

エネルギー消費量



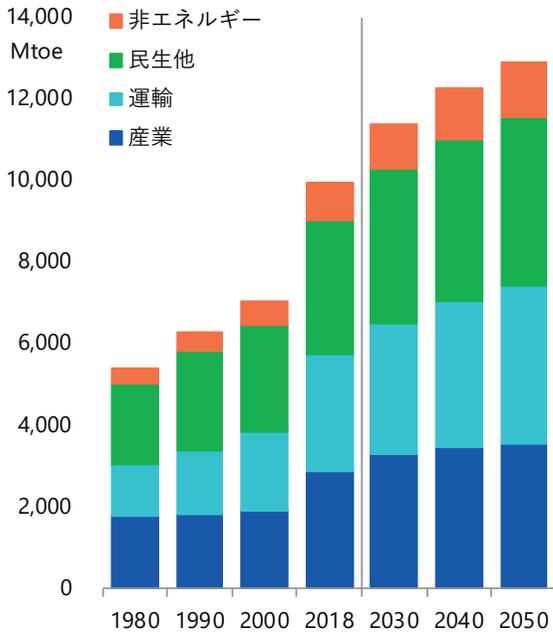
増減分(2018-2050年)



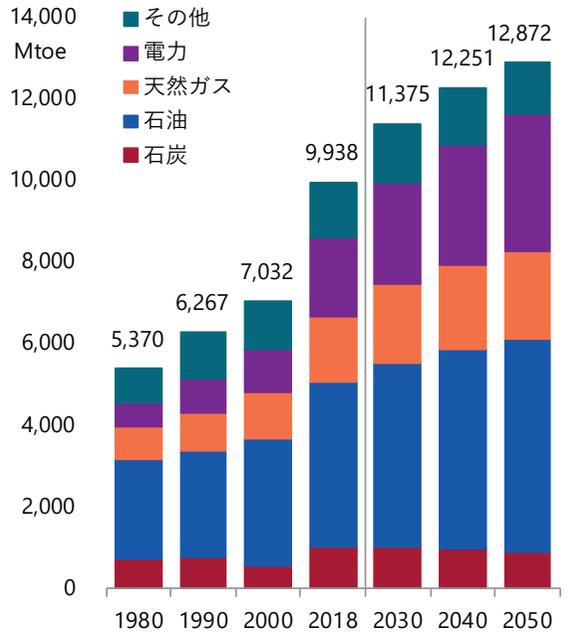
※コロナウイルス感染拡大による短期的な影響は6章Box 6-1を参照

最終エネルギー消費

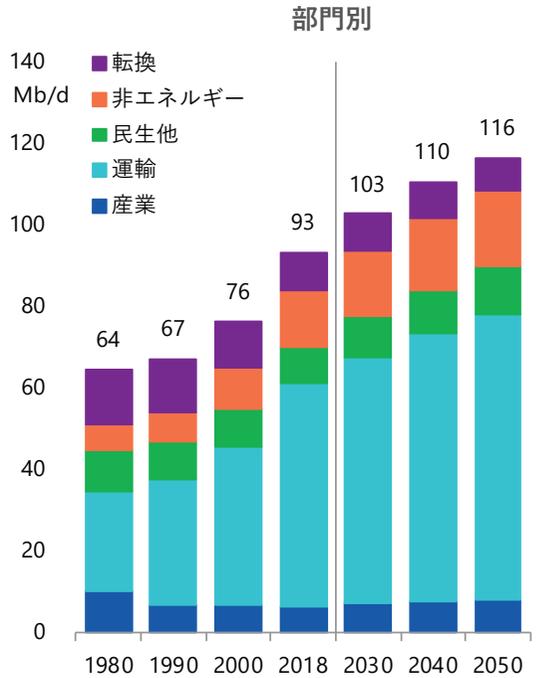
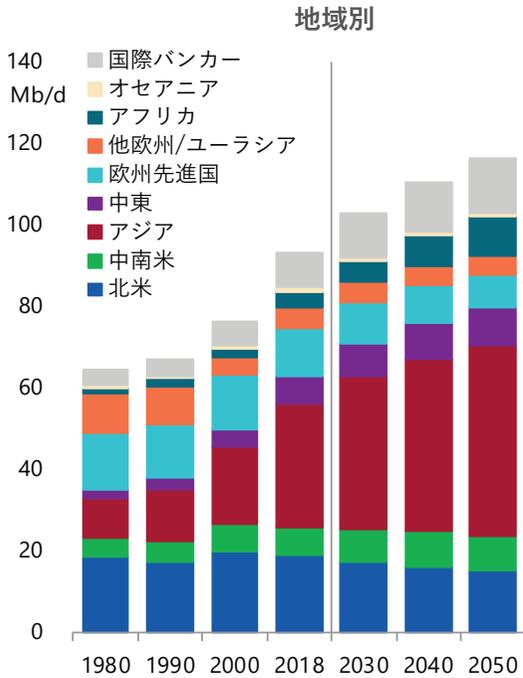
部門別



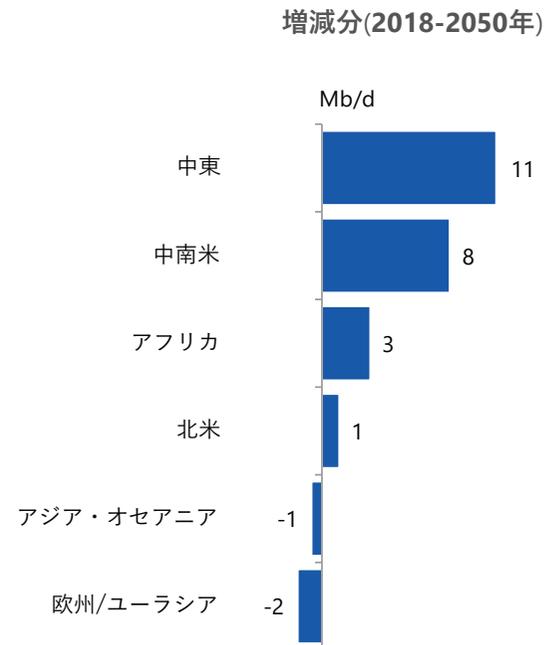
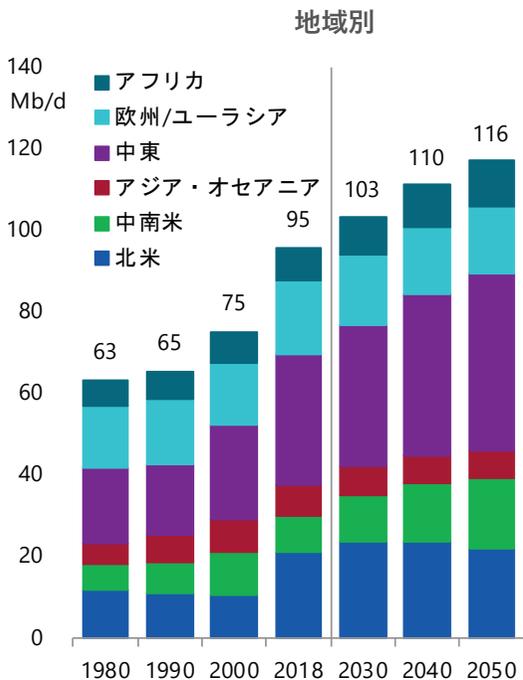
エネルギー源別



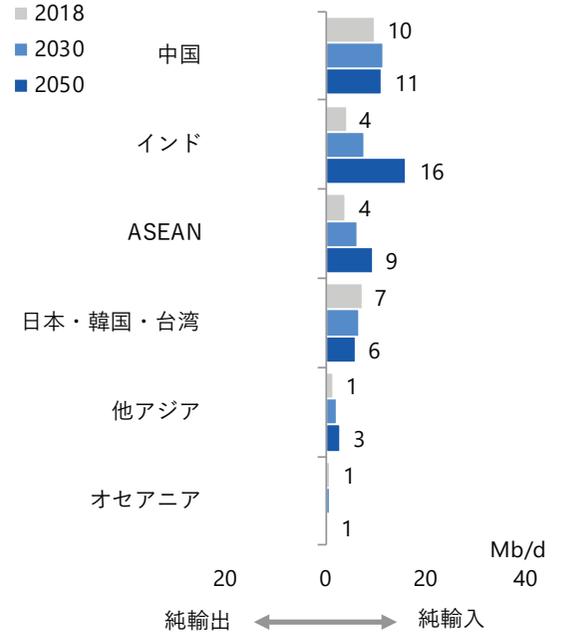
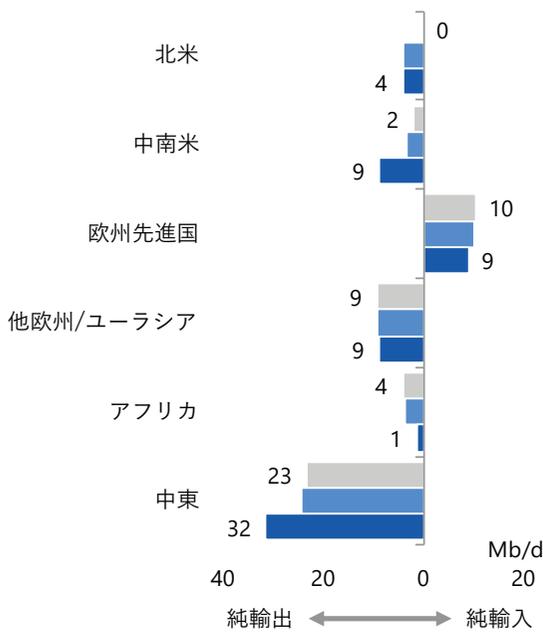
石油消費



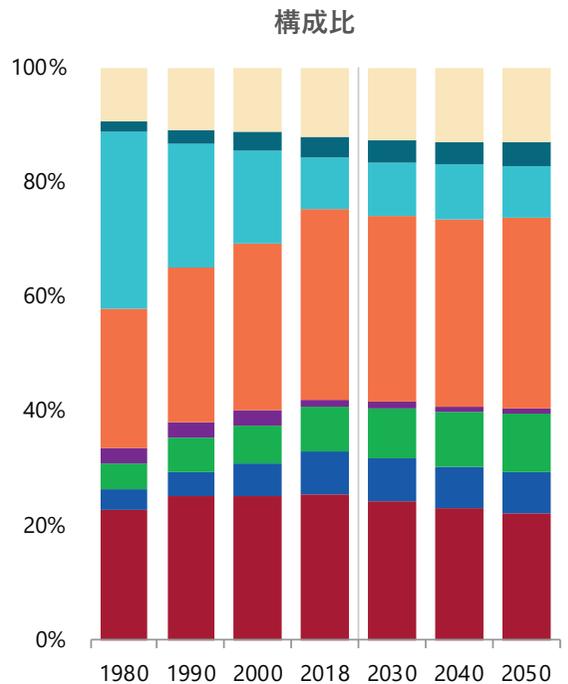
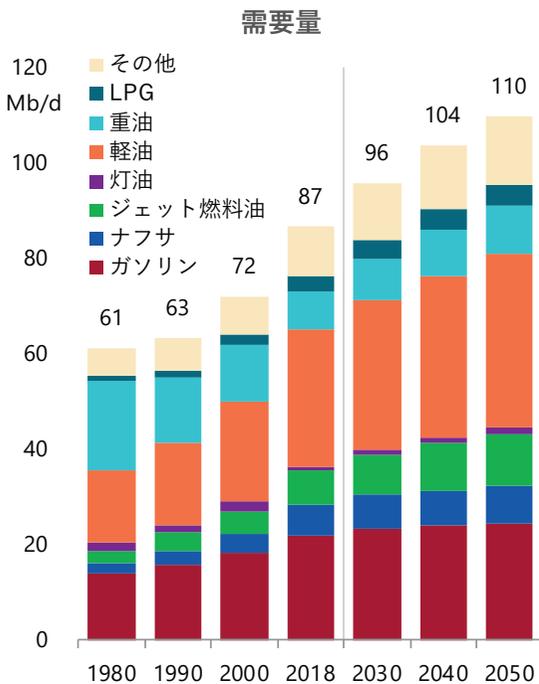
原油生産



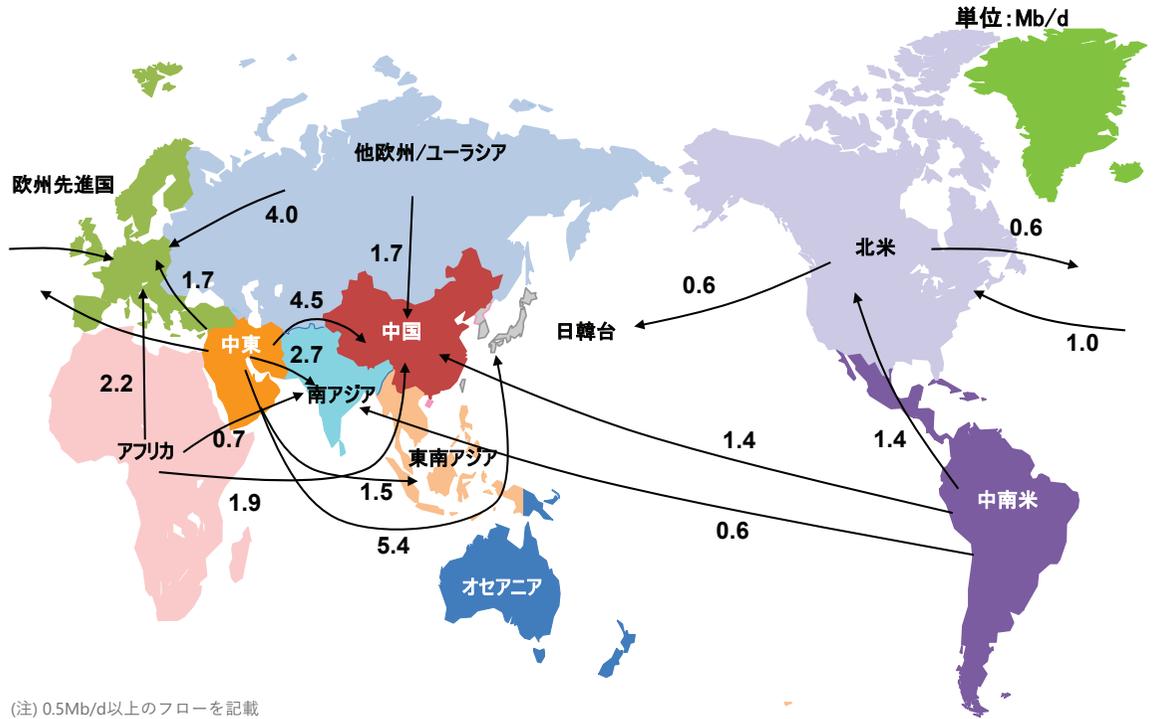
石油純輸出入量



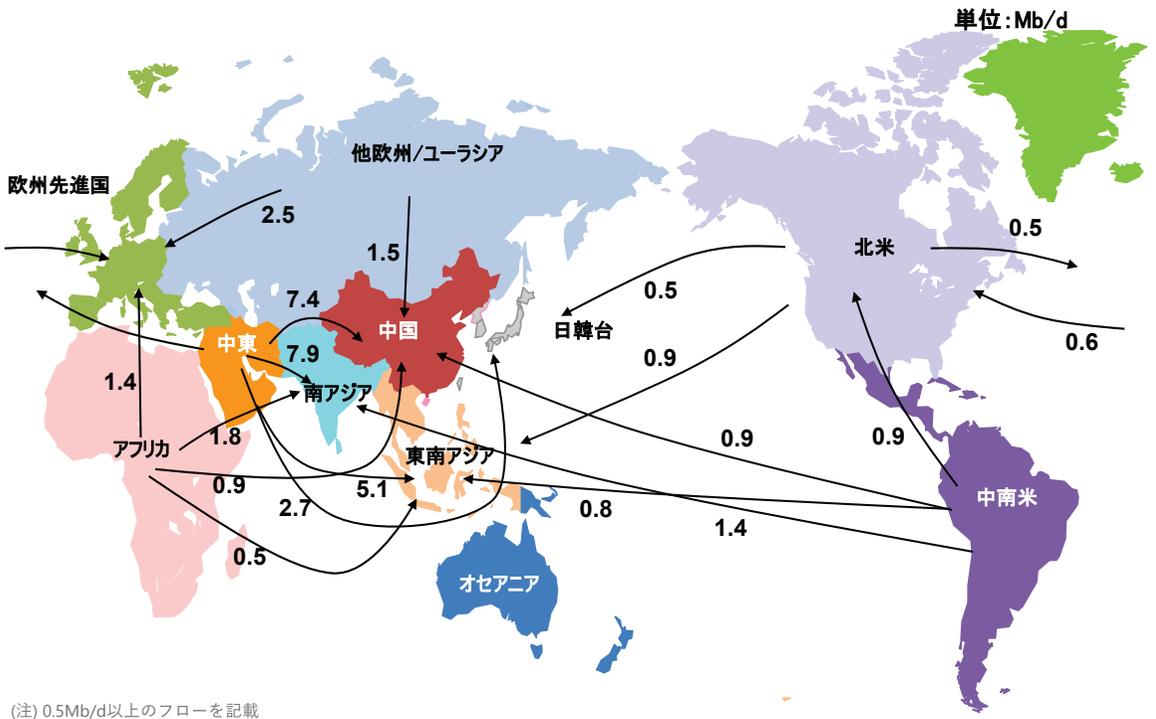
石油製品需要



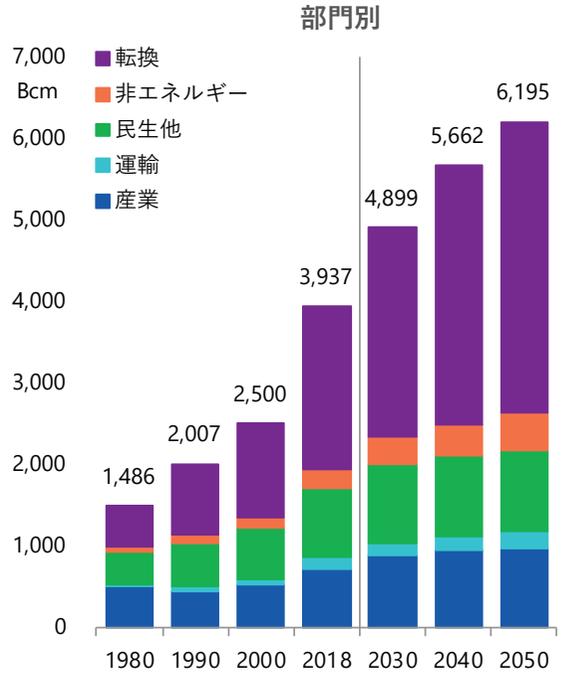
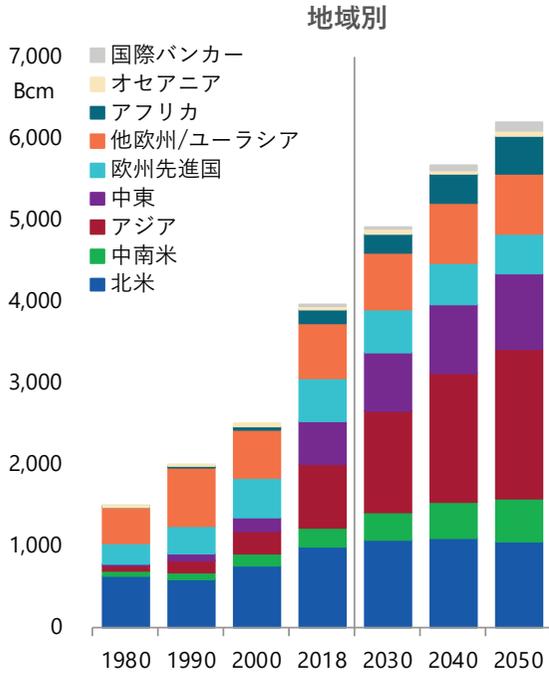
主要な原油貿易フロー(2019年)



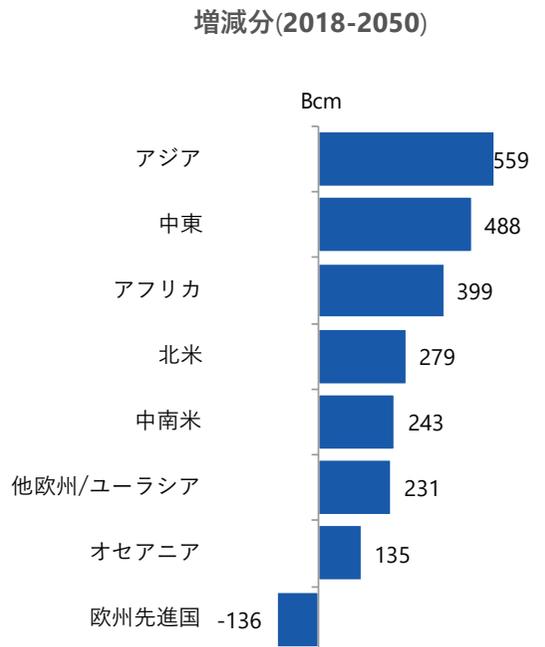
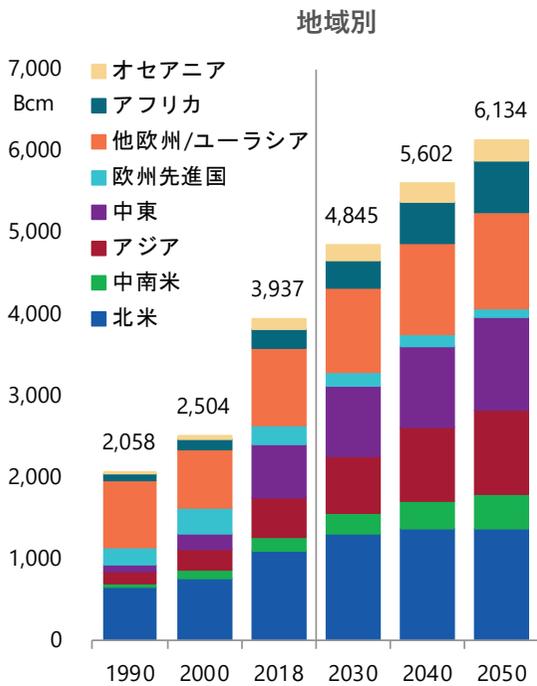
主要な原油貿易フロー(2050年)



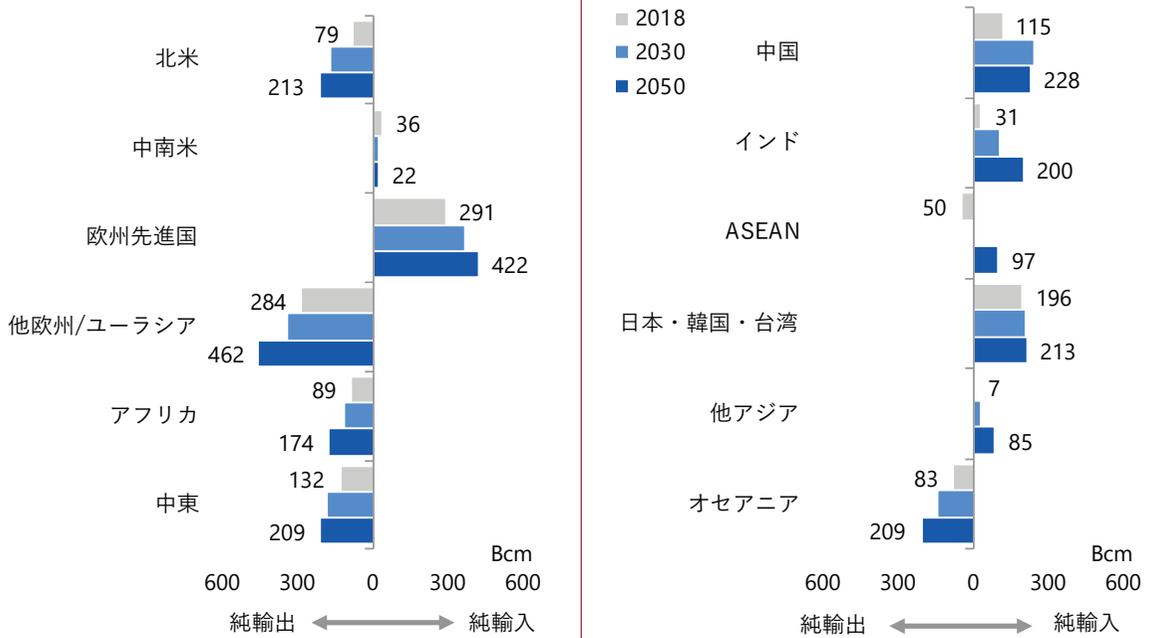
天然ガス消費



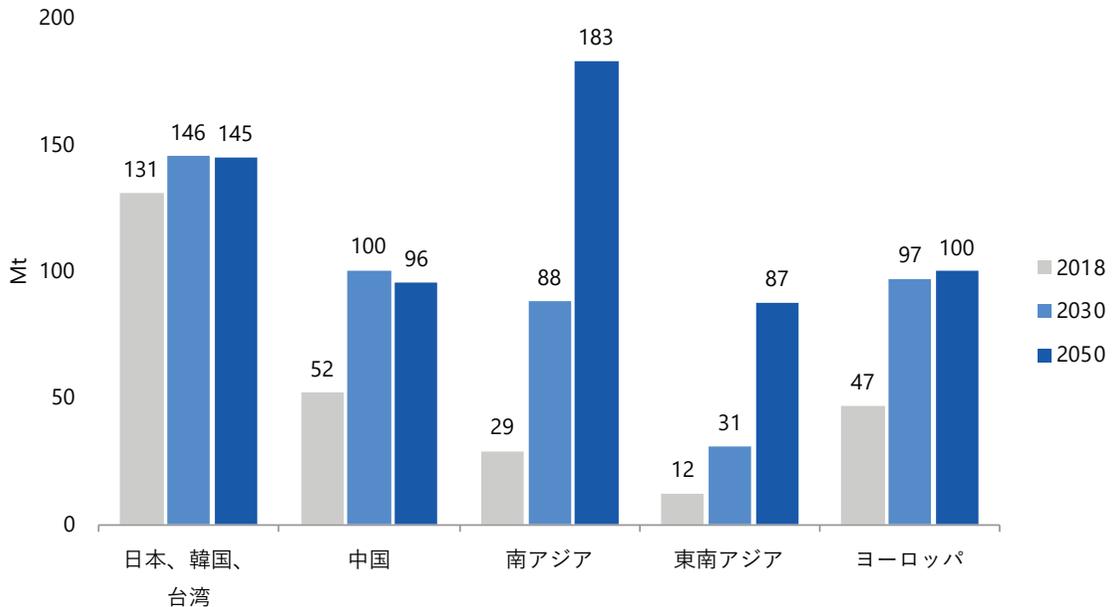
天然ガス生産



天然ガス純輸出入量

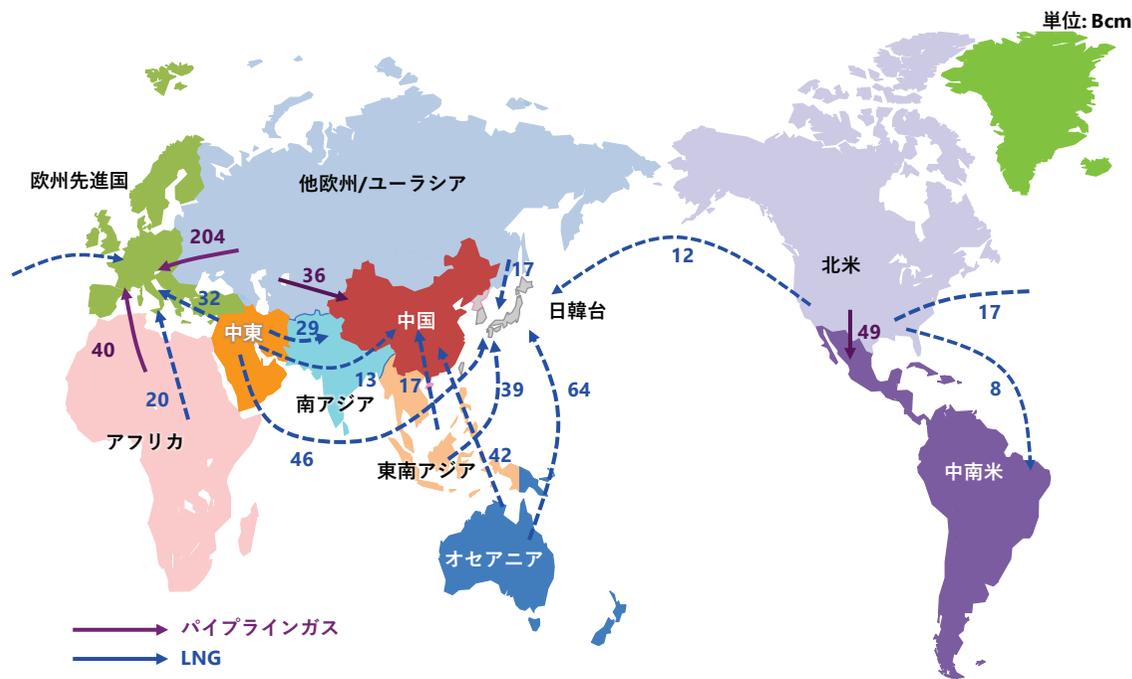


主要地域のLNG純輸入量

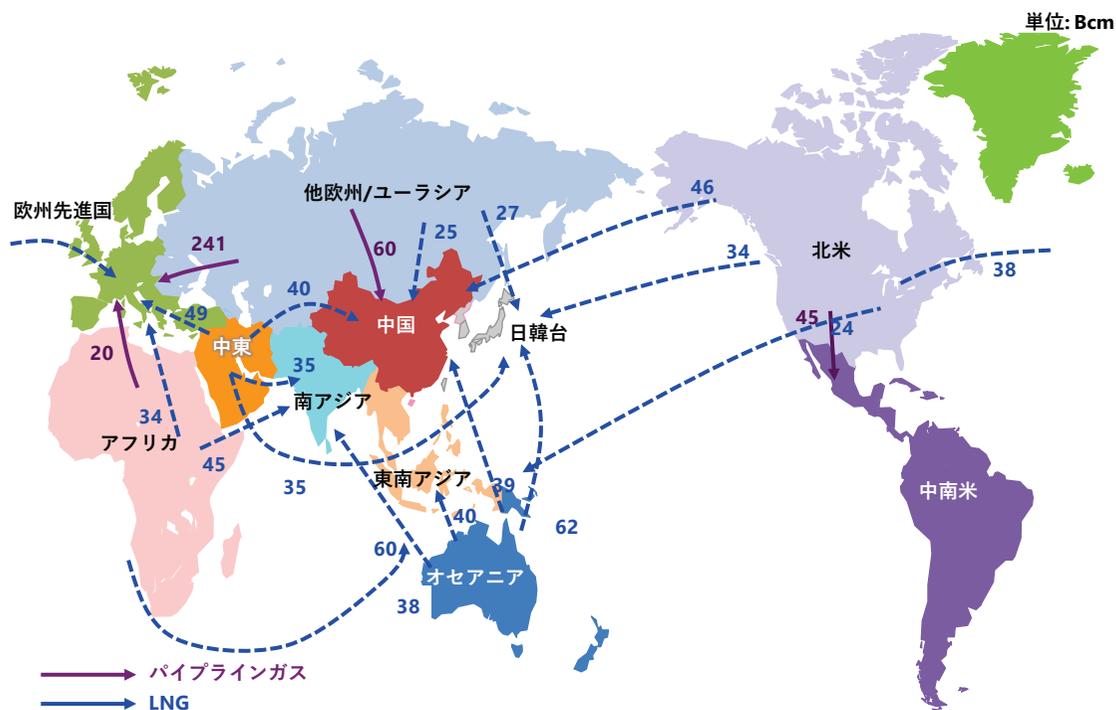


(注)域内貿易分を含まない

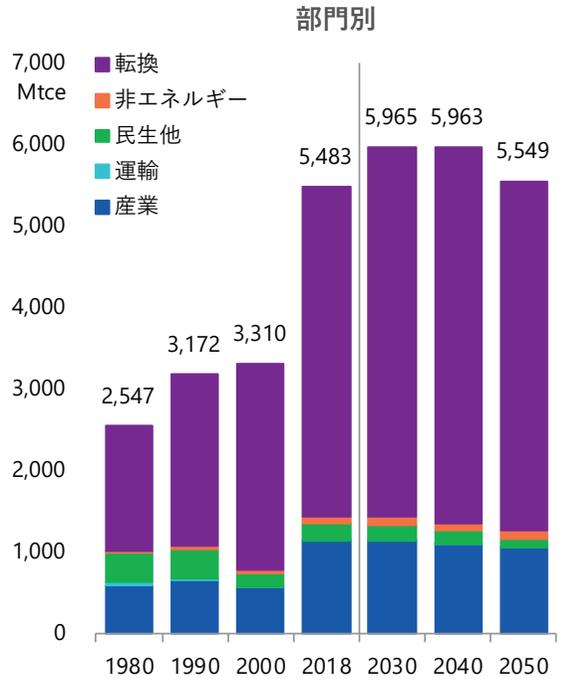
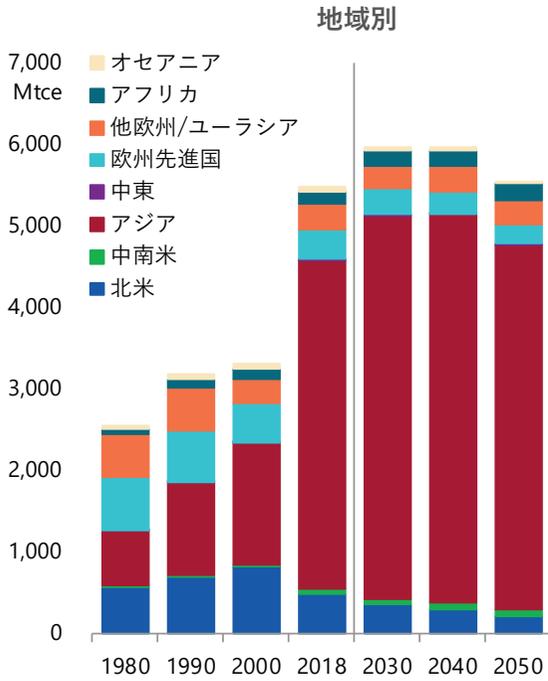
主要な天然ガス貿易フロー(2019年)



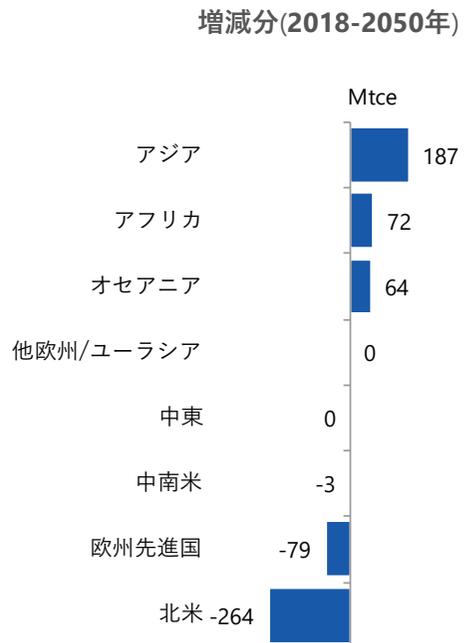
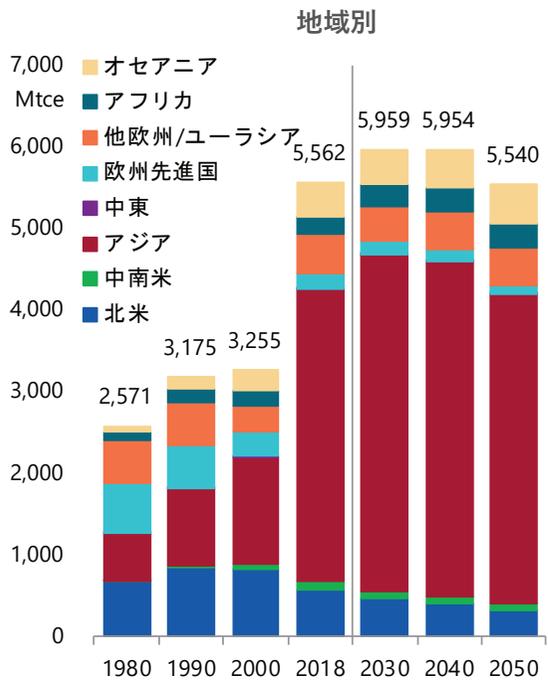
主要な天然ガス貿易フロー(2050年)



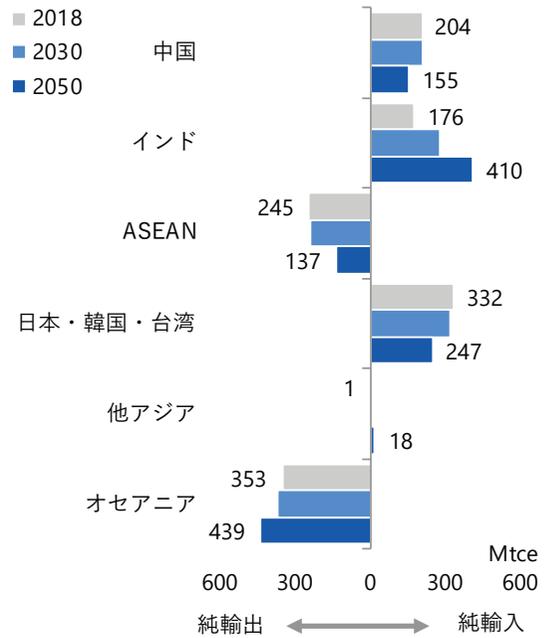
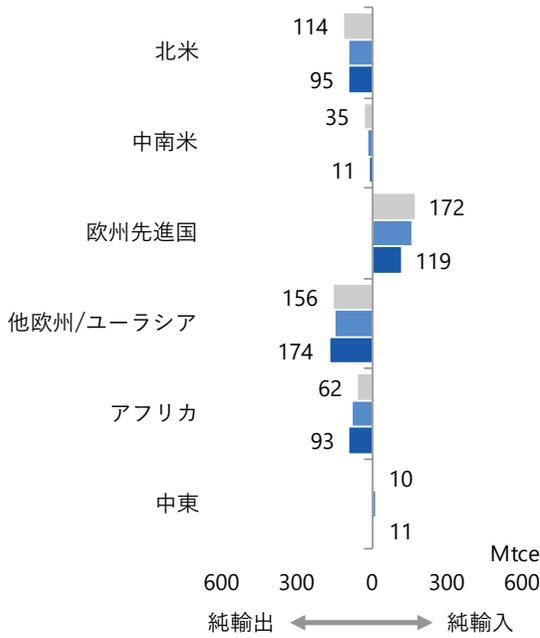
石炭消費



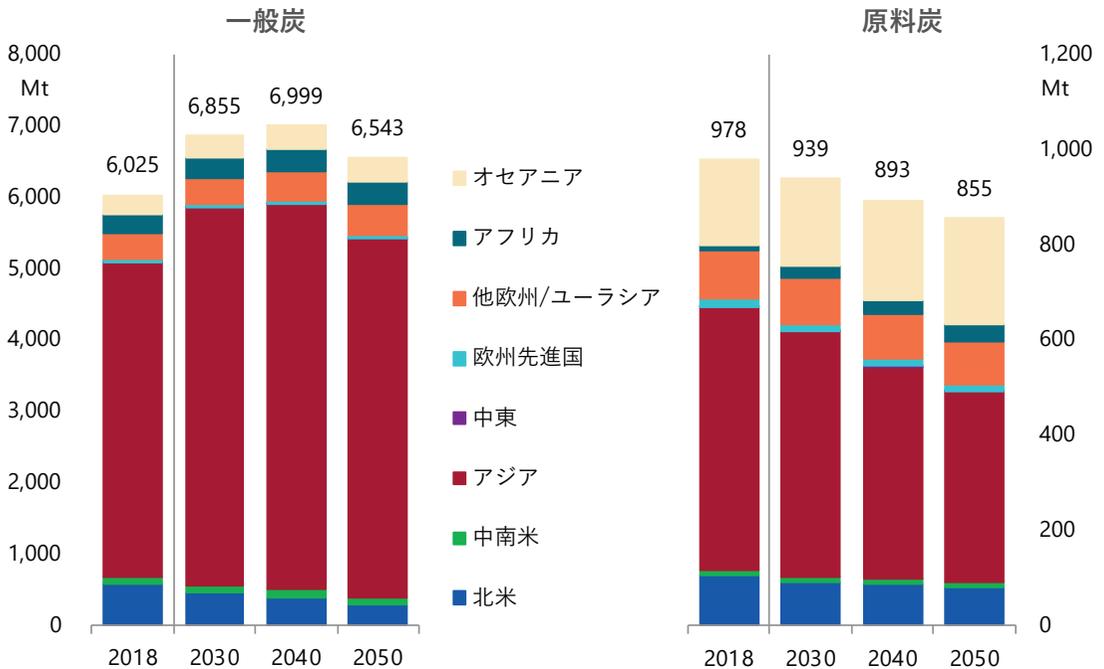
石炭生産



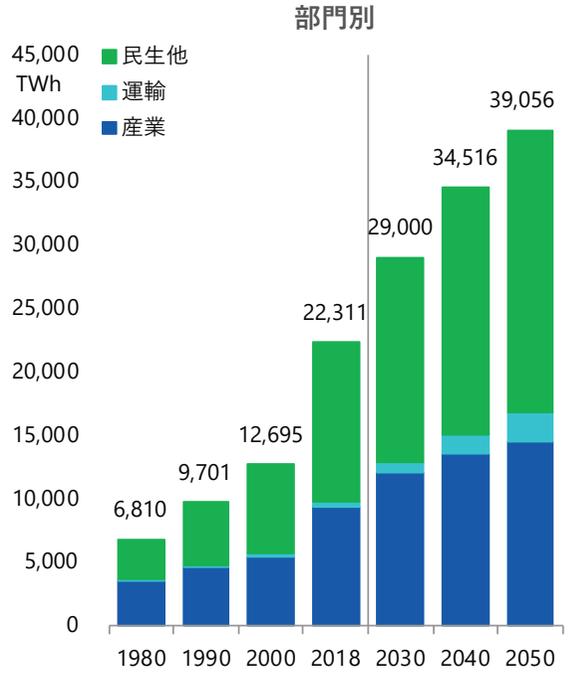
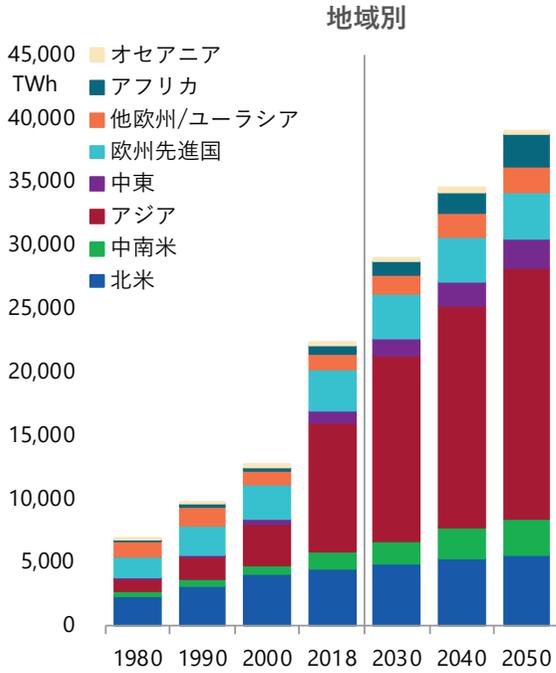
石炭純輸出入量



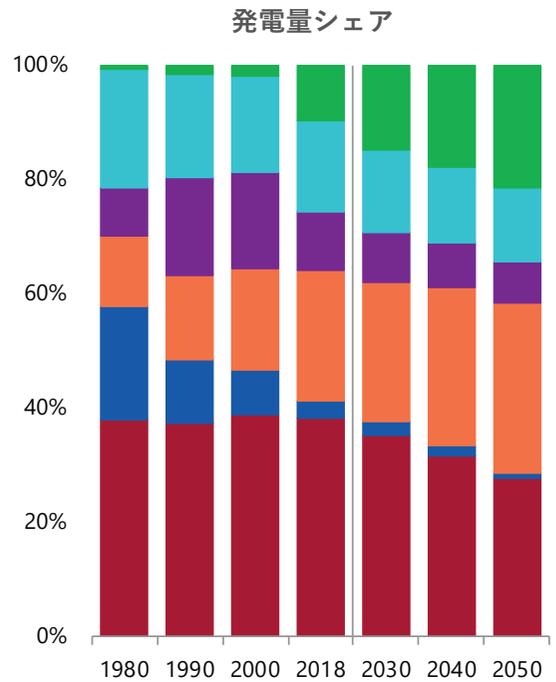
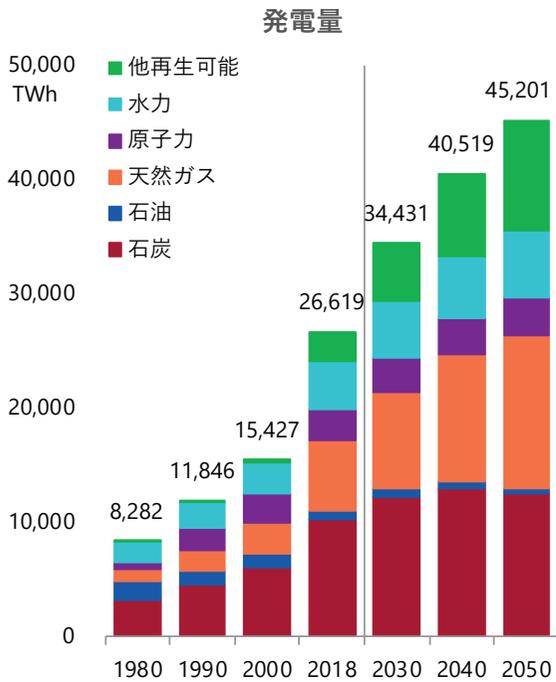
石炭生産(一般炭・原料炭)



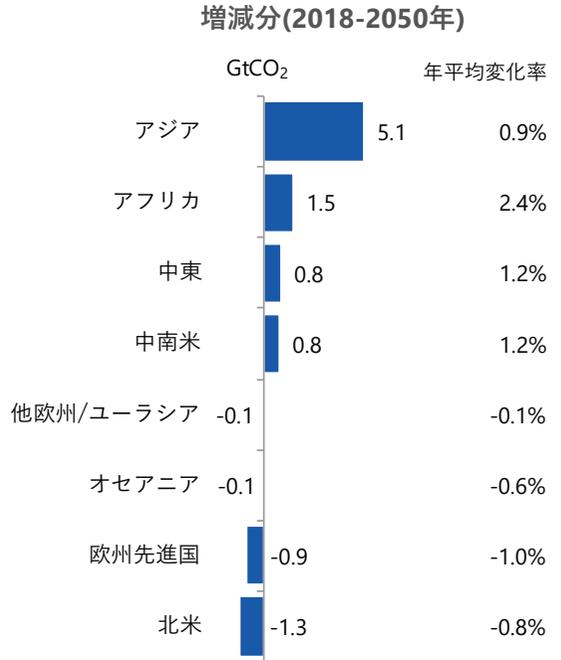
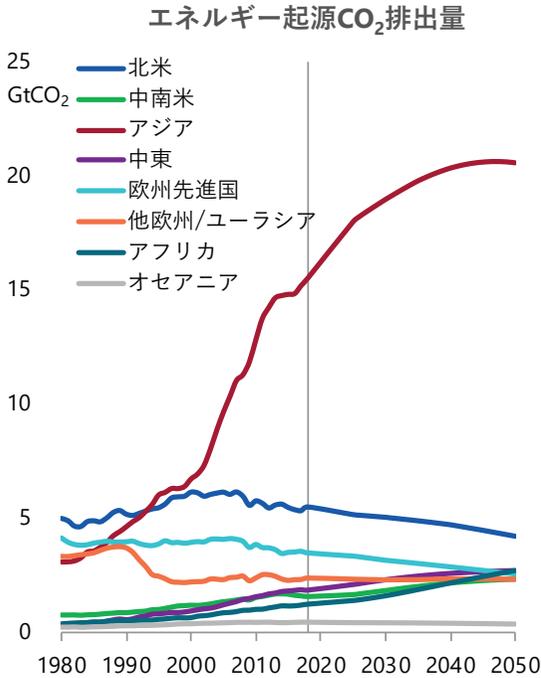
電力最終消費



発電構成



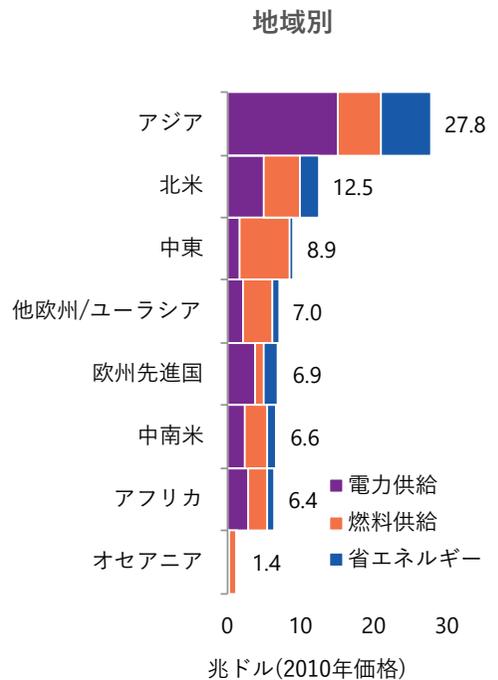
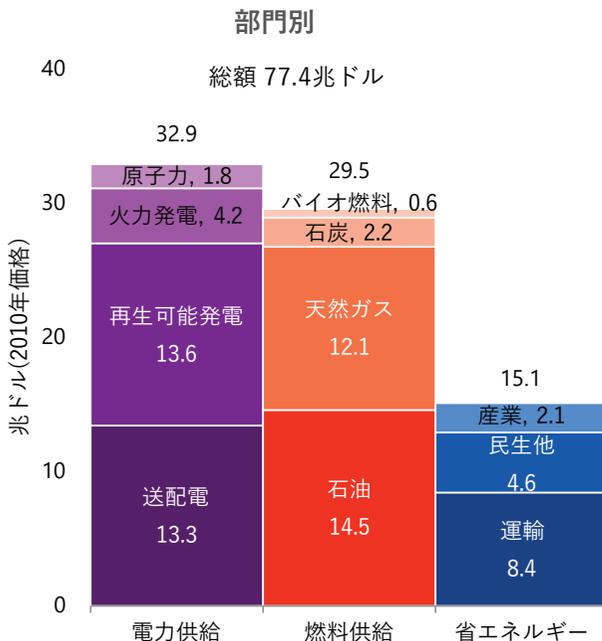
CO₂排出量



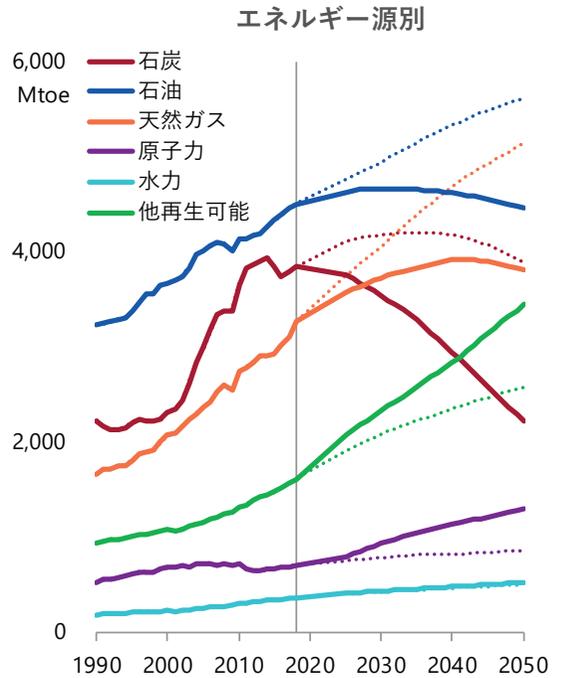
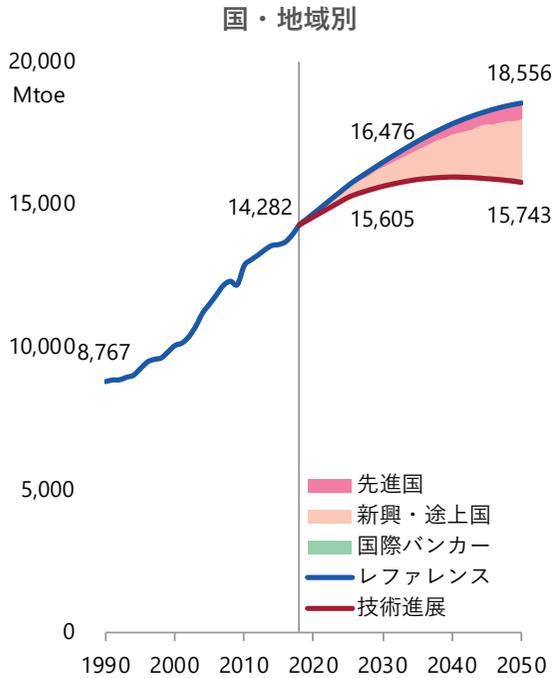
※コロナウイルス感染拡大による短期的な影響は6章Box 6-1を参照

エネルギー関連投資額

(2019年～2050年 累積投資額)



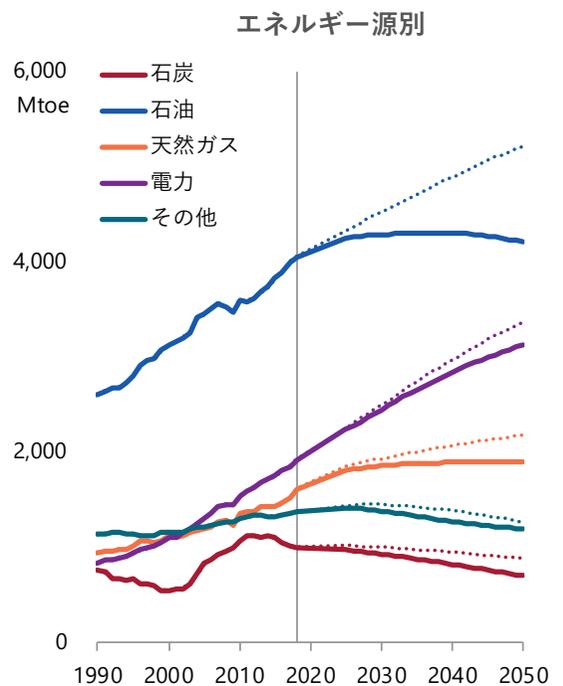
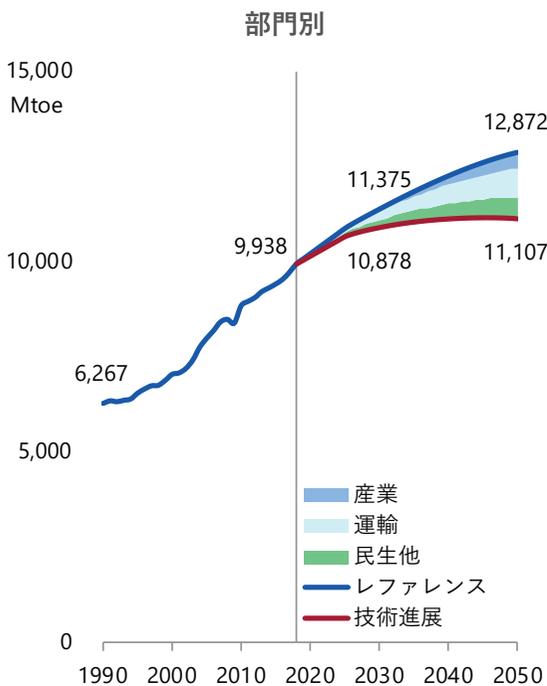
一次エネルギー消費



※コロナウイルス感染拡大による短期的な影響は6章Box 6-1を参照

(注)実線：技術進展、破線：レファレンス

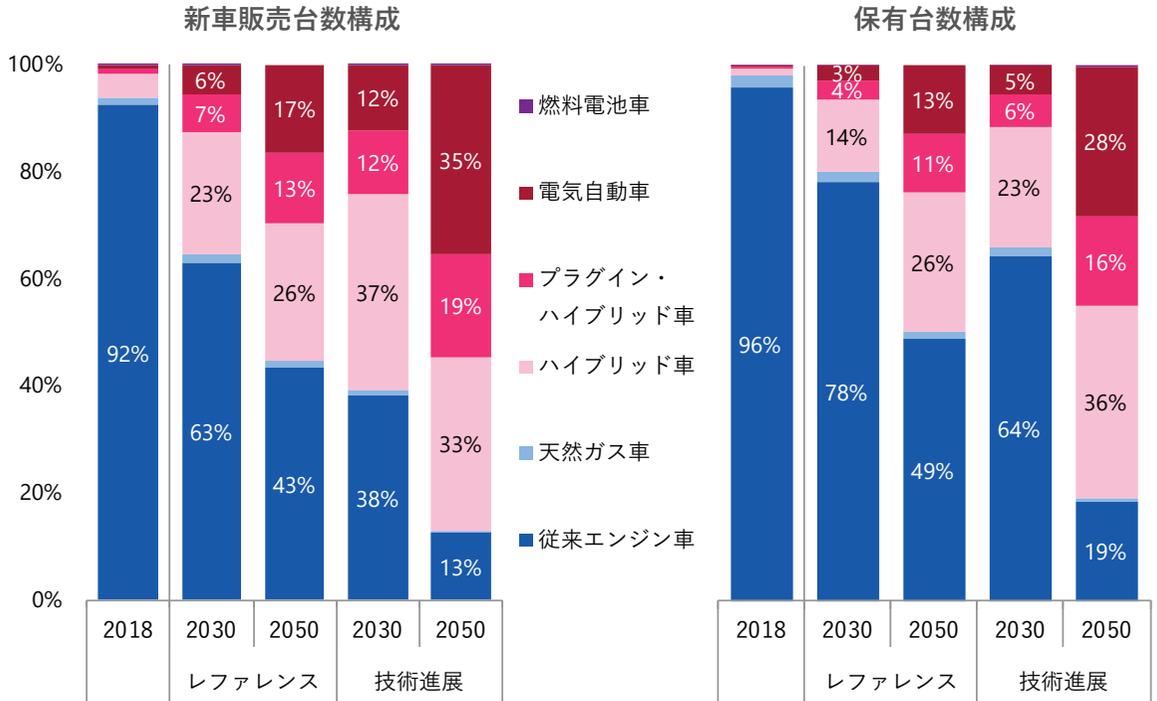
最終エネルギー消費



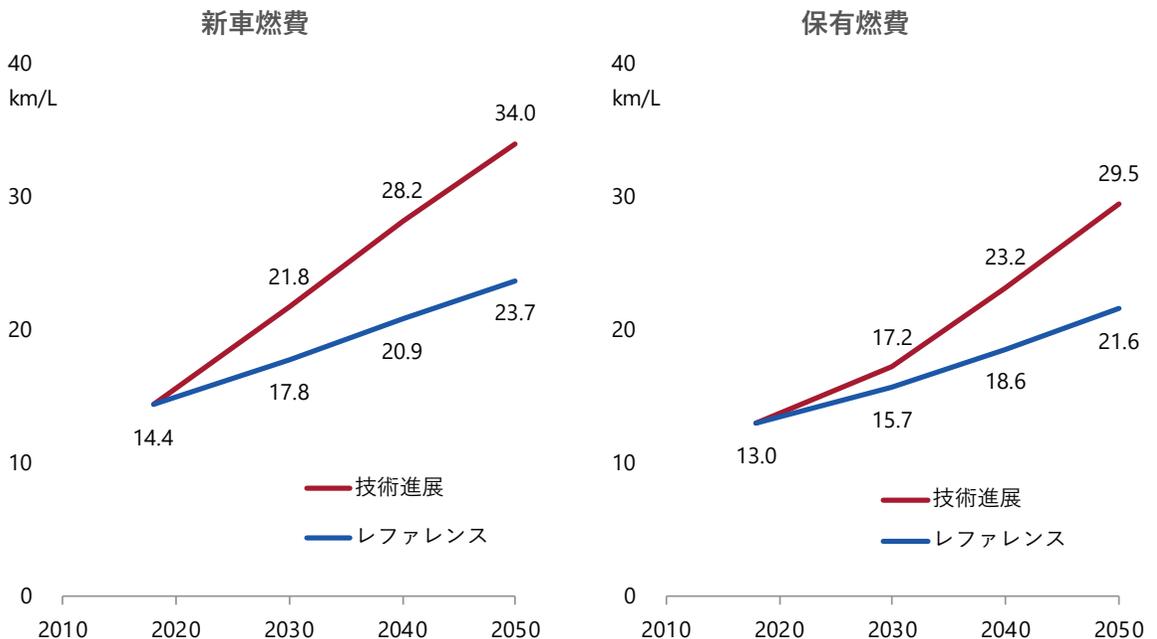
※コロナウイルス感染拡大による短期的な影響は6章Box 6-1を参照

(注)実線：技術進展、破線：レファレンス

自動車駆動タイプ構成(乗用車)



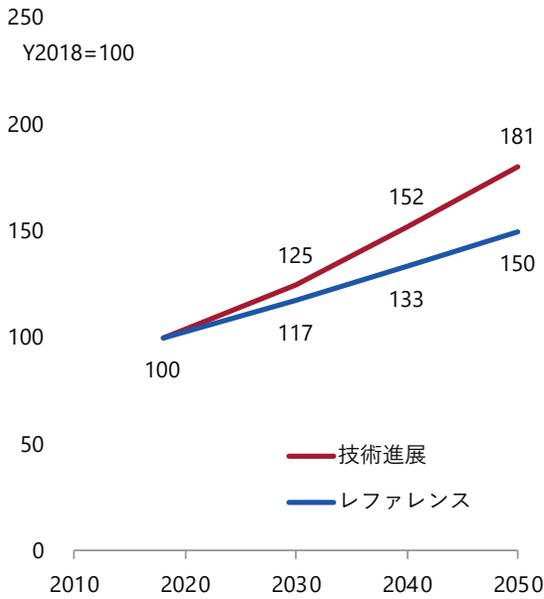
自動車燃費(乗用車)



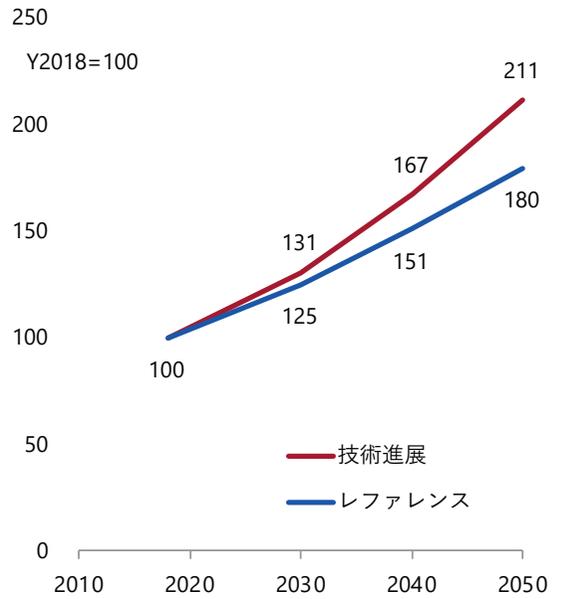
(注) km/L: ガソリン換算1Lあたり走行距離

民生部門総合効率

家庭部門

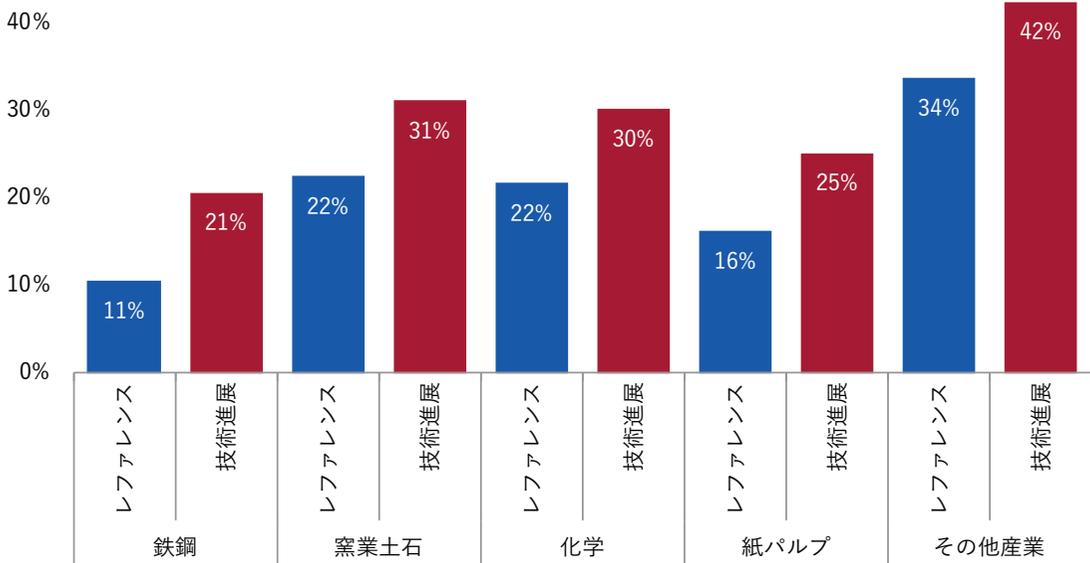


業務部門



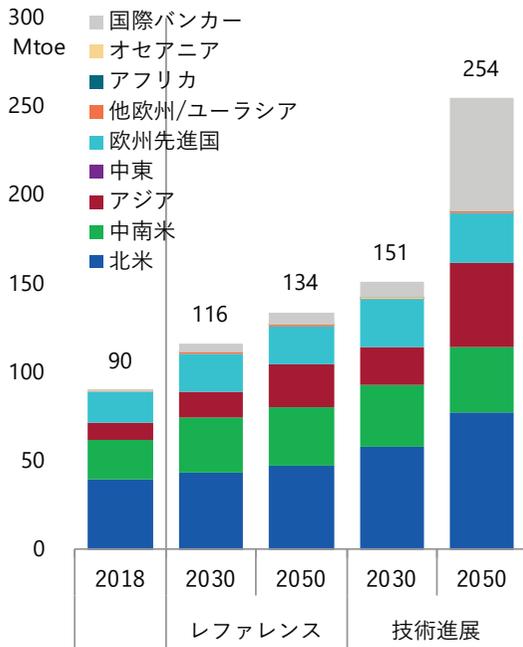
産業部門原単位改善率

2018年比改善率

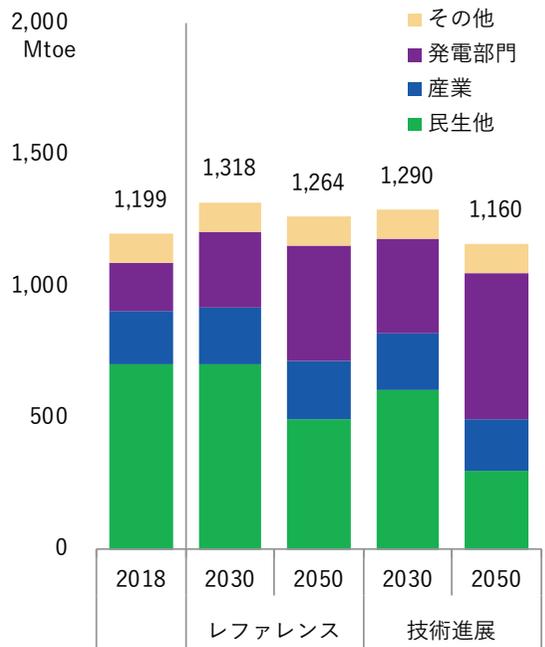


バイオマスエネルギー

輸送用バイオ燃料

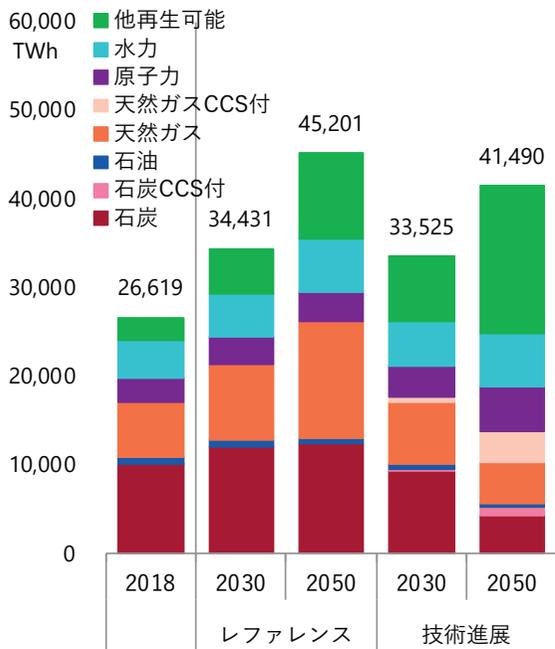


固形バイオマス利用量

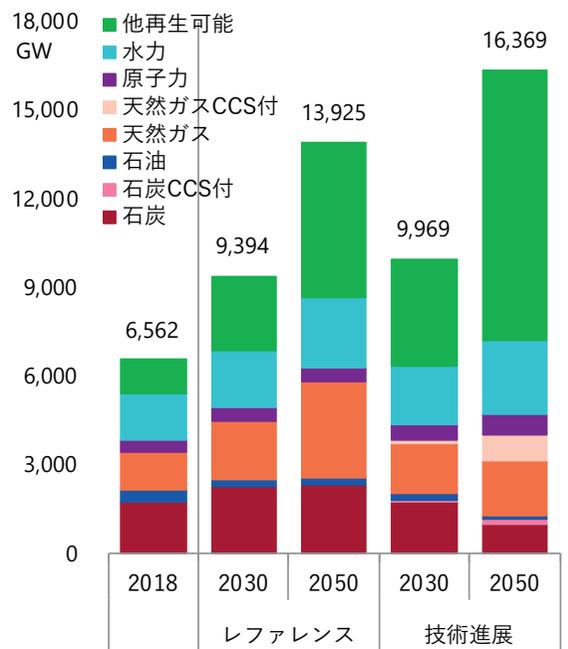


発電構成

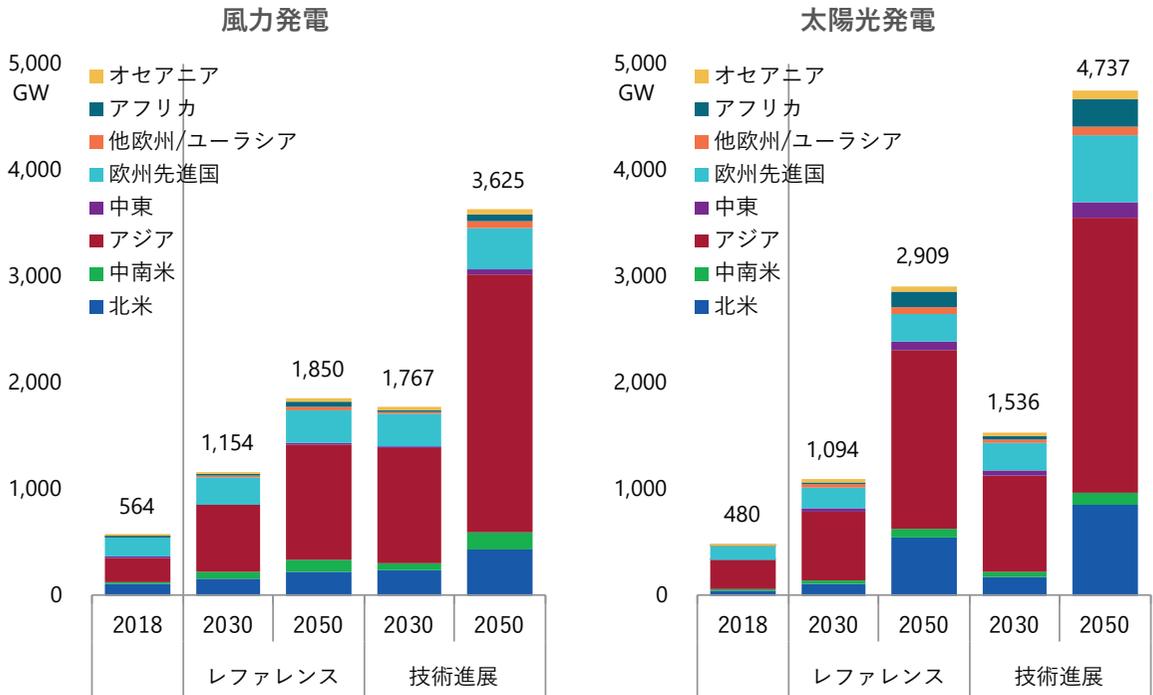
発電量



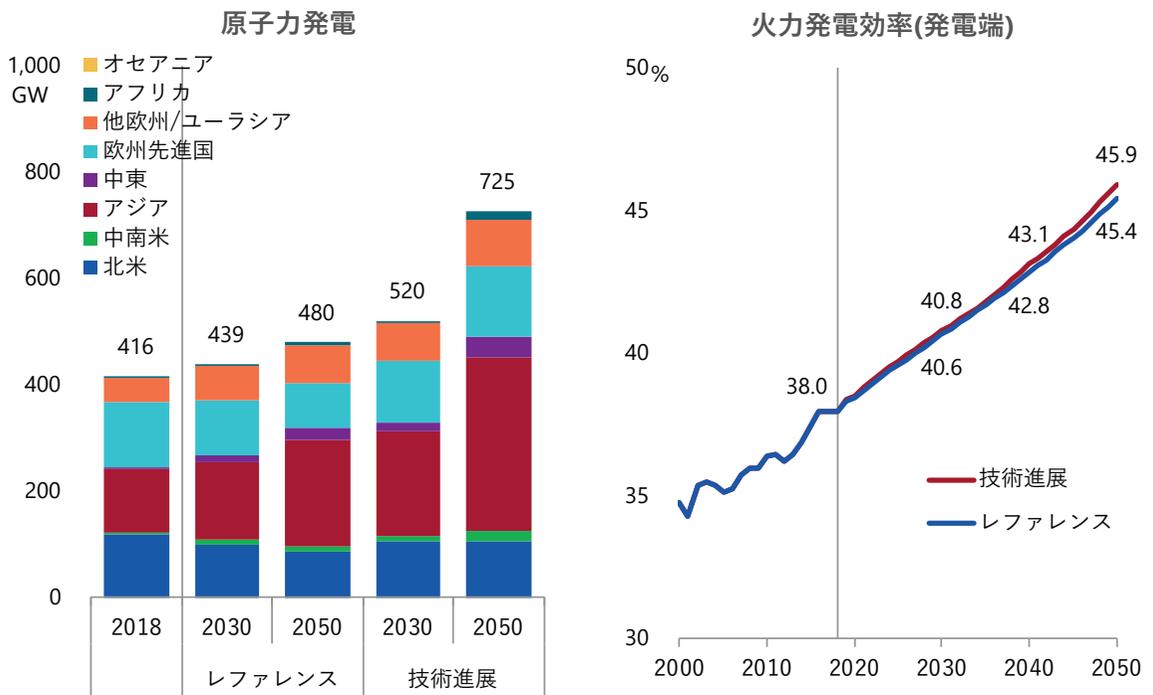
発電設備容量



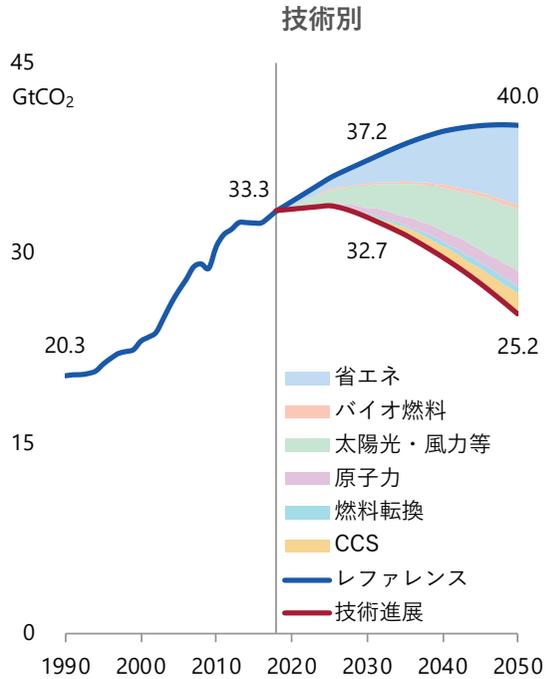
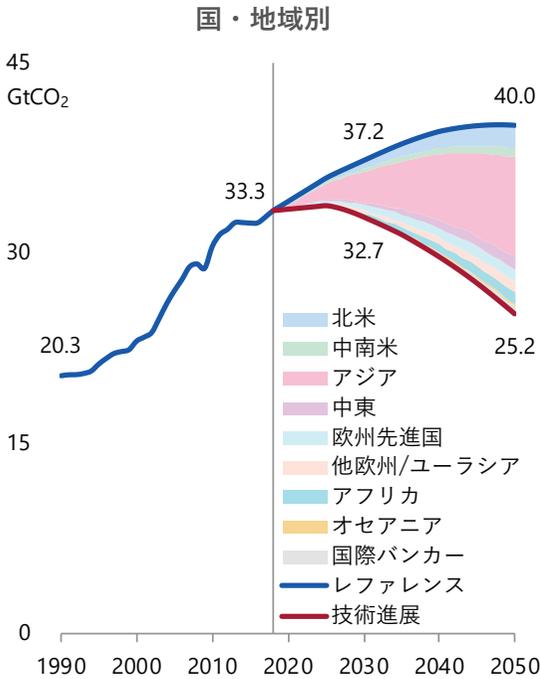
風力・太陽光発電設備容量



原子力発電設備容量・火力発電効率



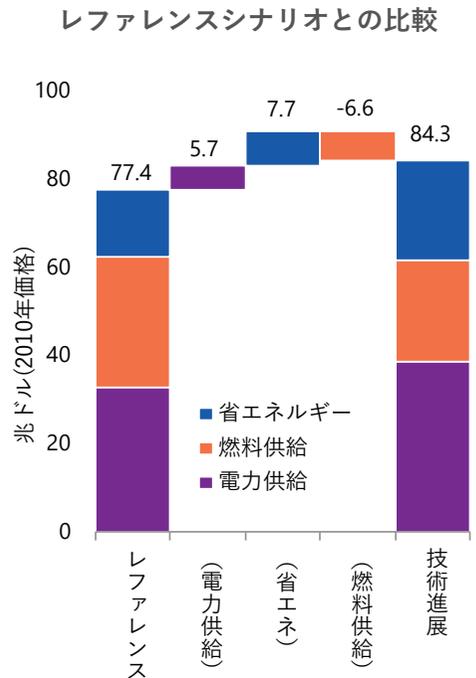
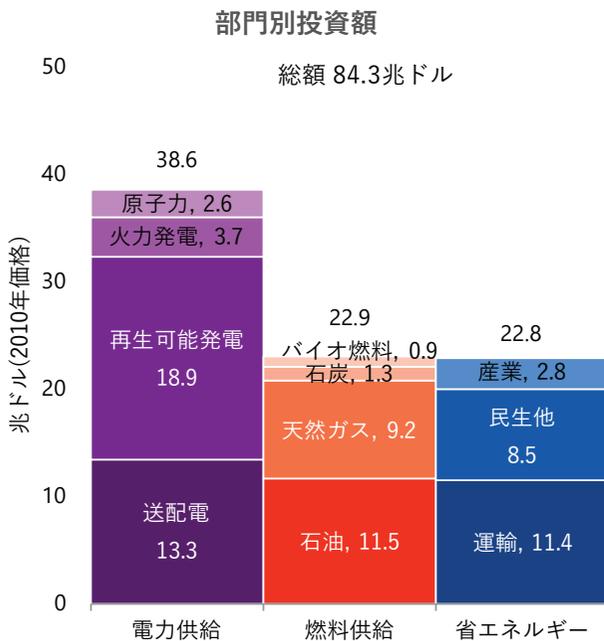
CO₂排出量



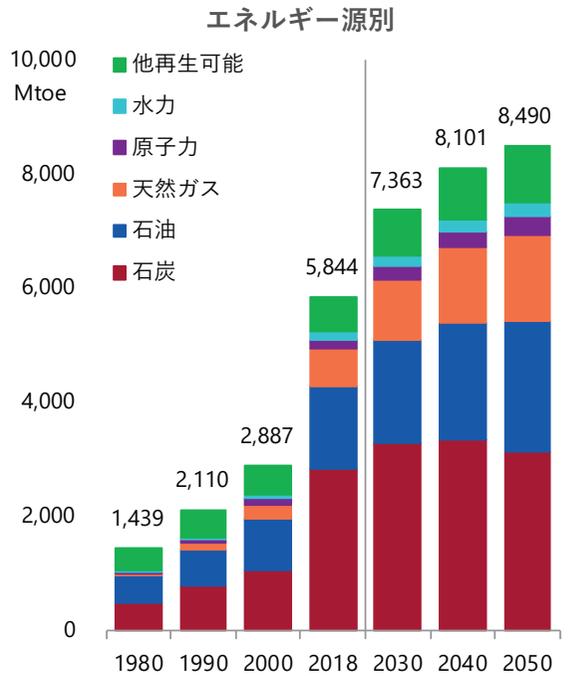
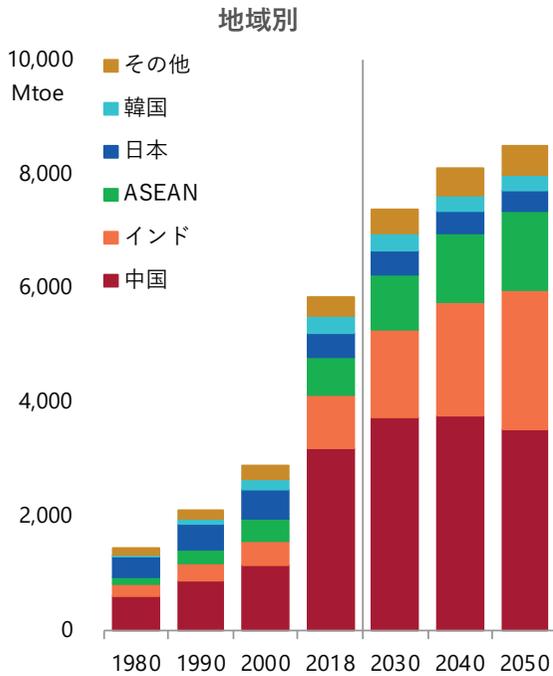
※コロナウイルス感染拡大による短期的な影響は6章Box 6-1を参照

エネルギー関連投資額

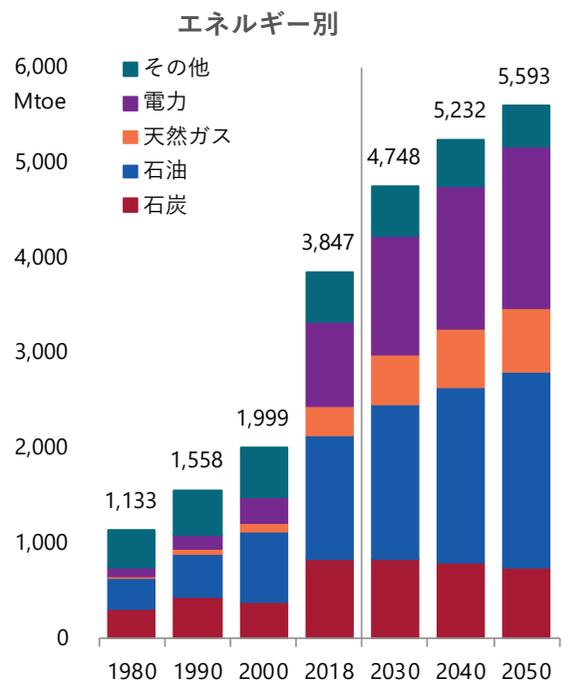
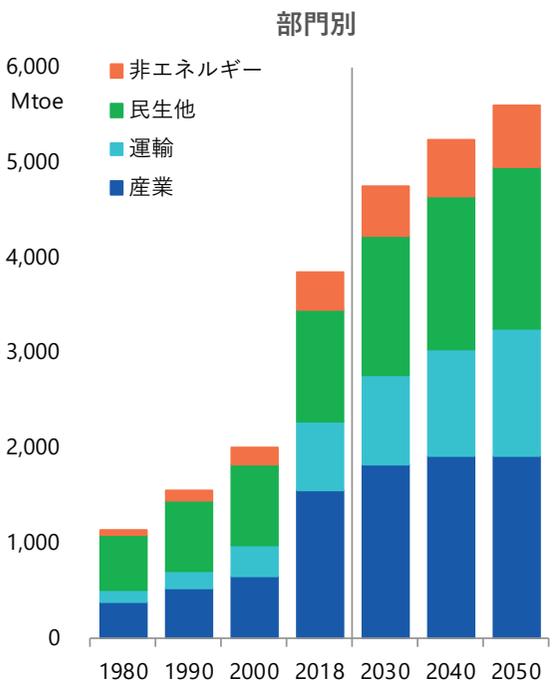
(2019年～2050年 累積投資額)



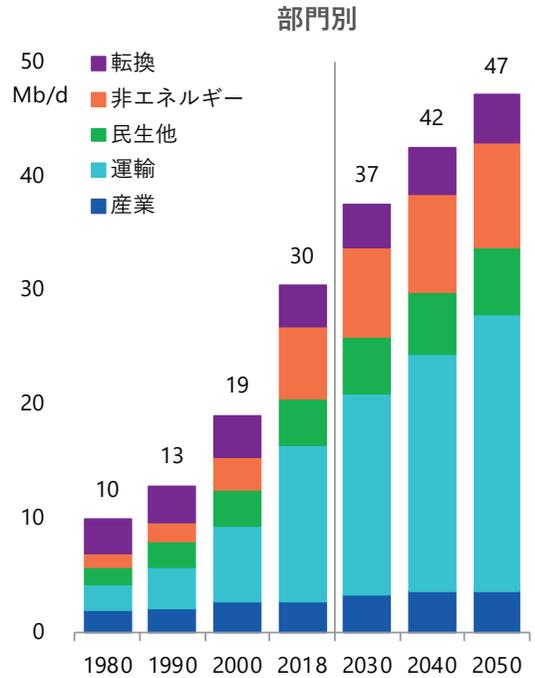
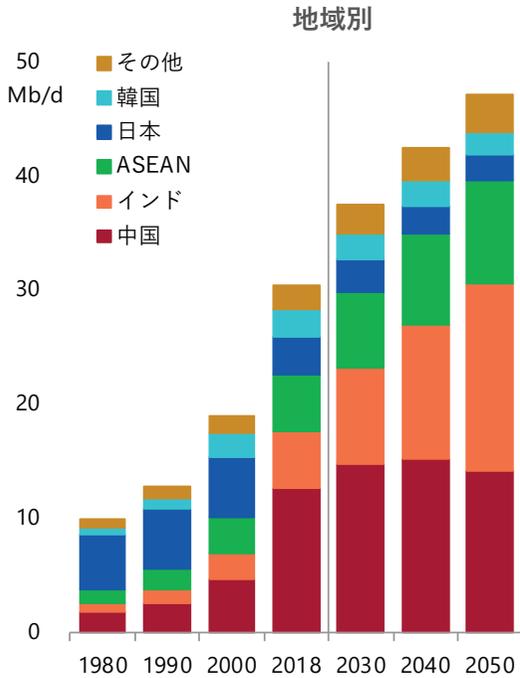
一次エネルギー消費



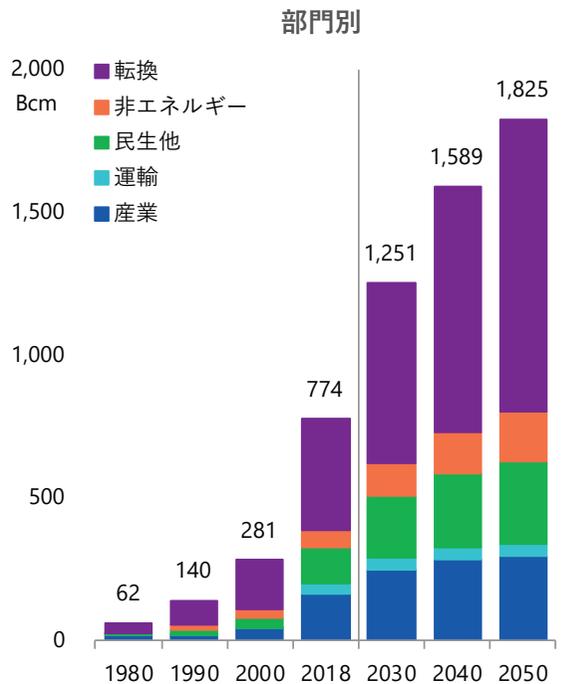
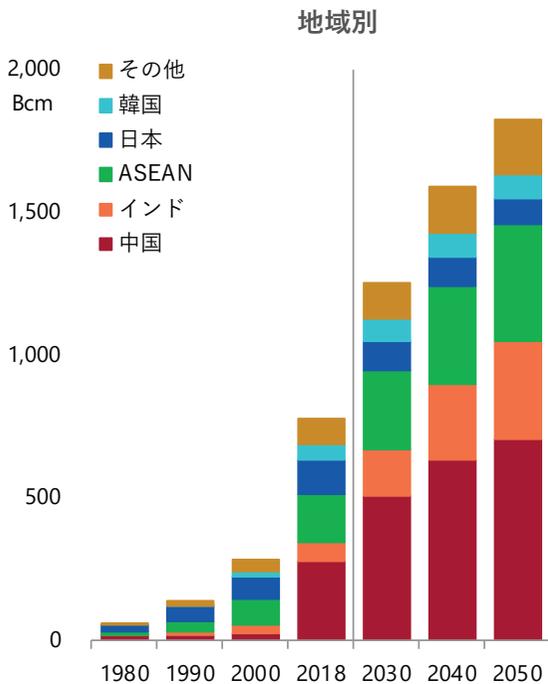
最終エネルギー消費



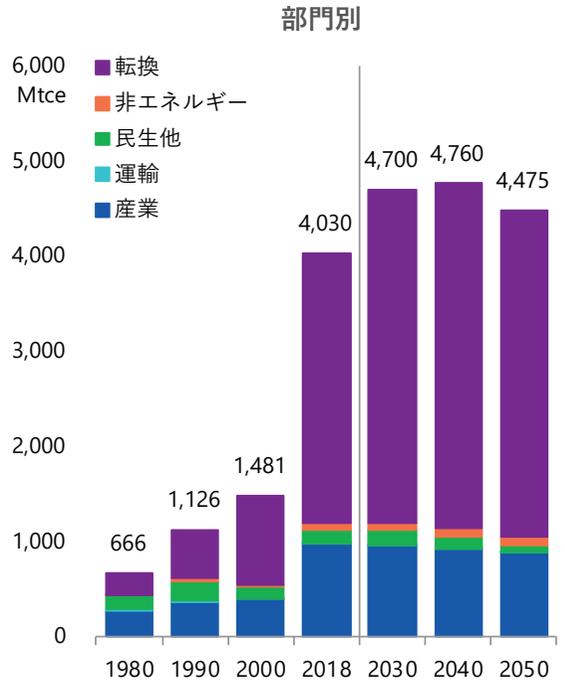
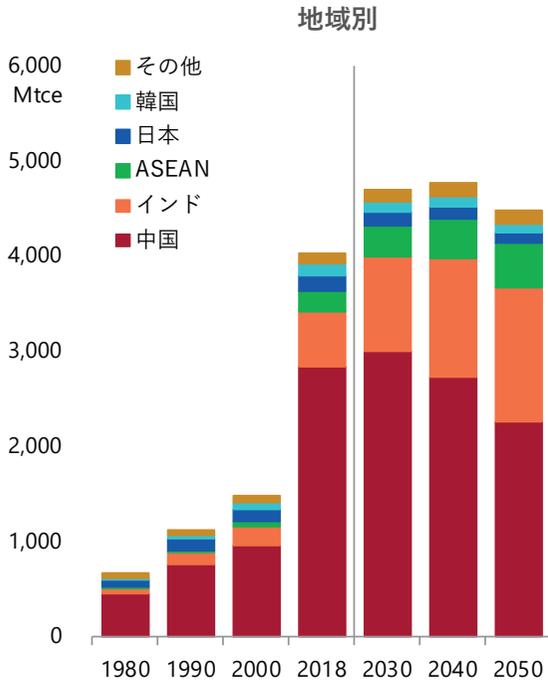
石油消費



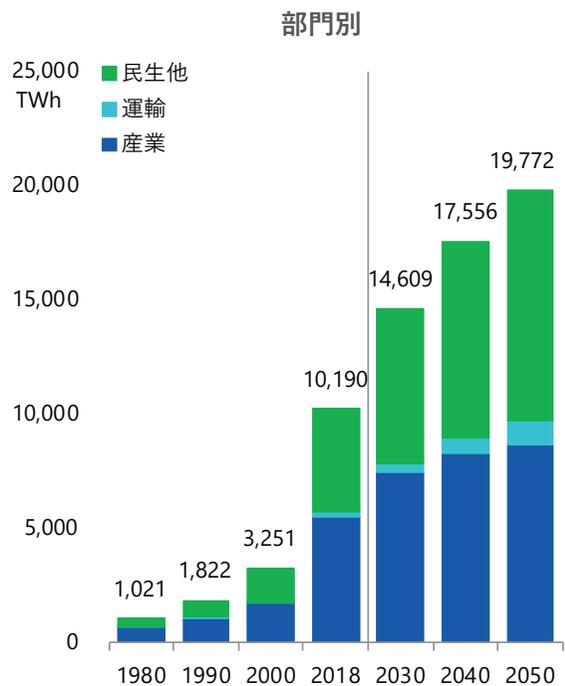
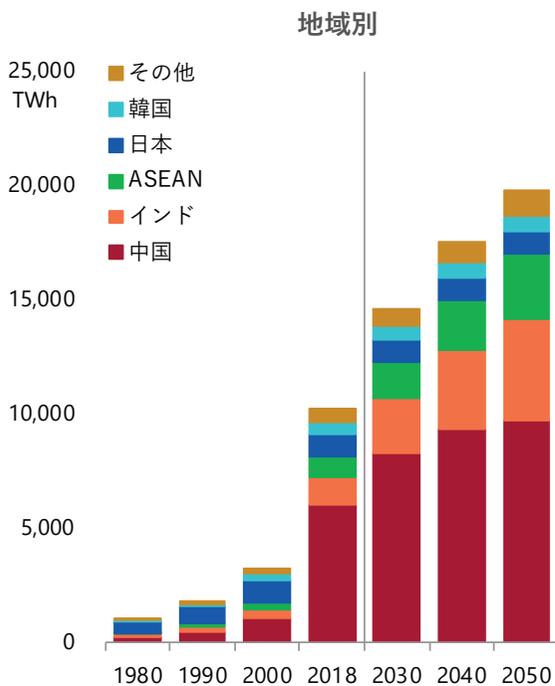
天然ガス消費



石炭消費

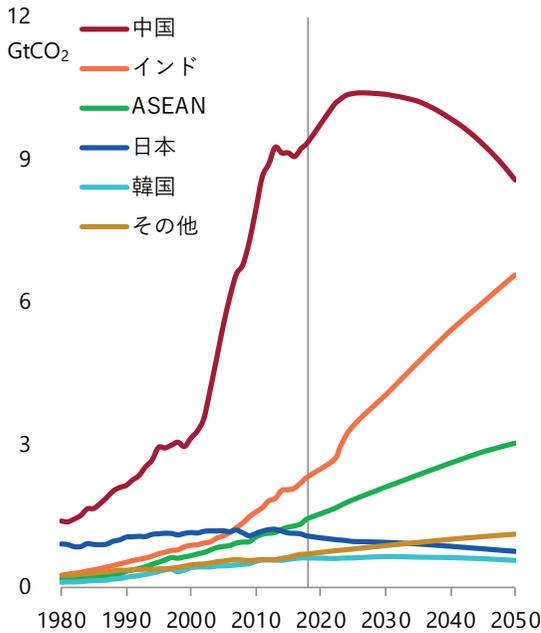


電力最終消費

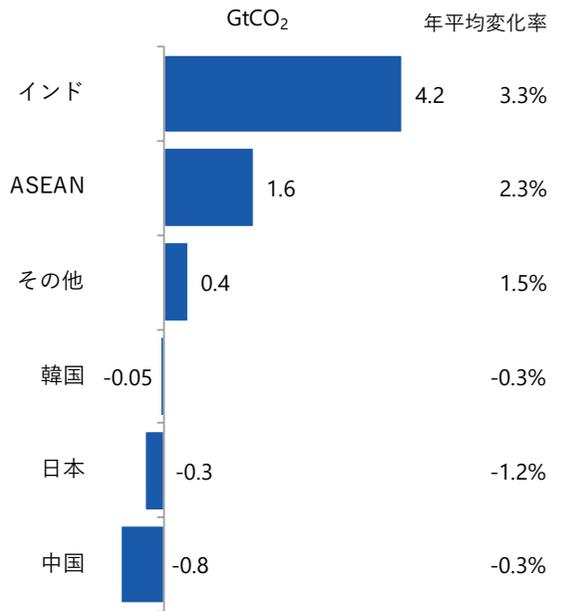


CO₂排出量

エネルギー起源CO₂排出量



増減分(2018-2050年)



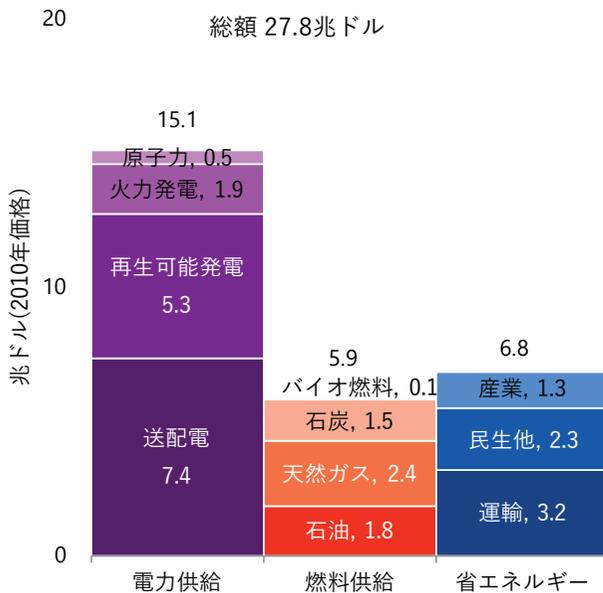
※コロナウイルス感染拡大による短期的な影響は6章Box 6-1を参照

エネルギー関連投資額

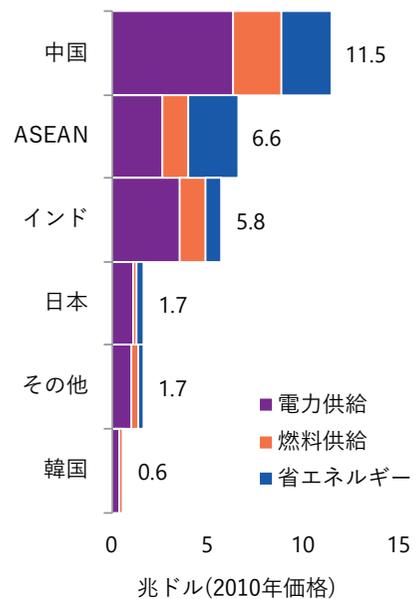
(2019年~2050年 累積投資額)

部門別

総額 27.8兆ドル

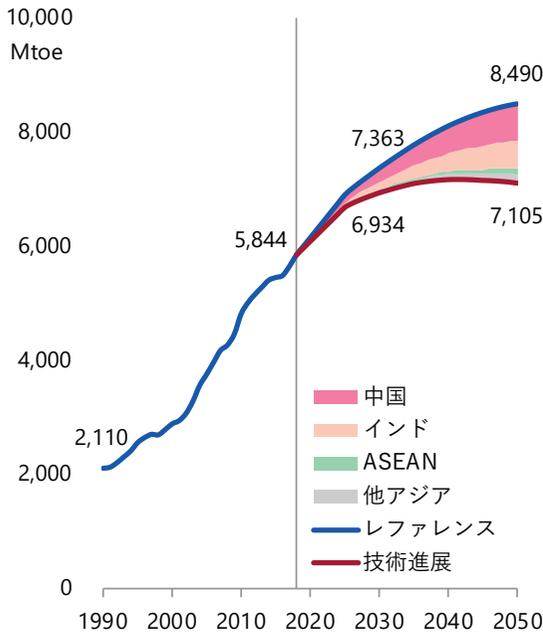


地域別

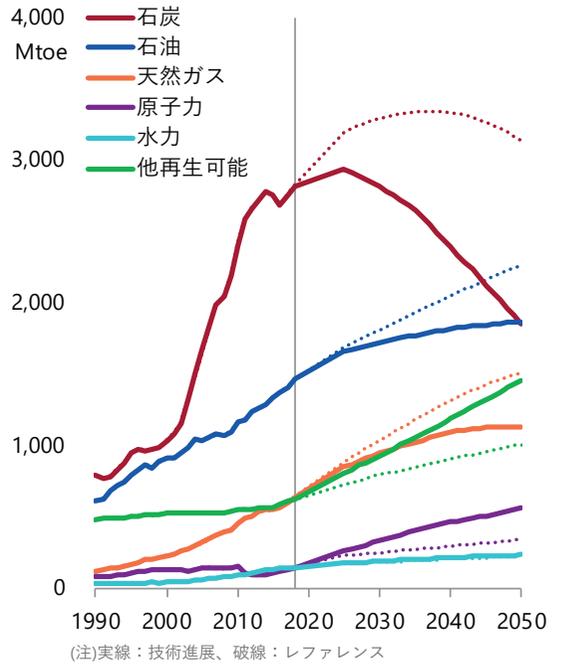


一次エネルギー消費

国・地域別



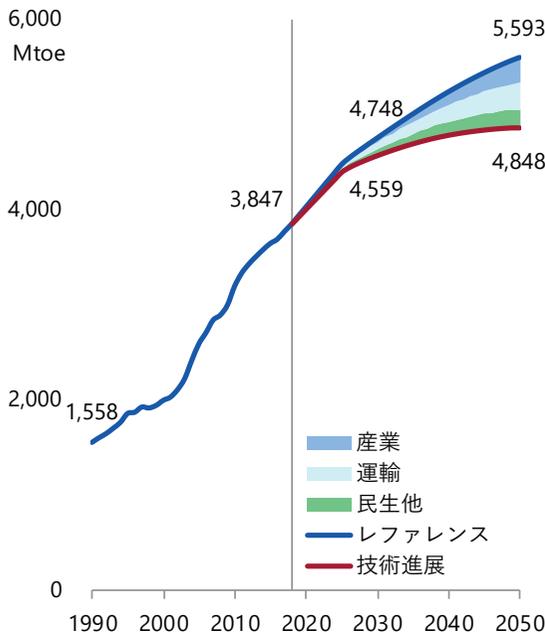
エネルギー源別



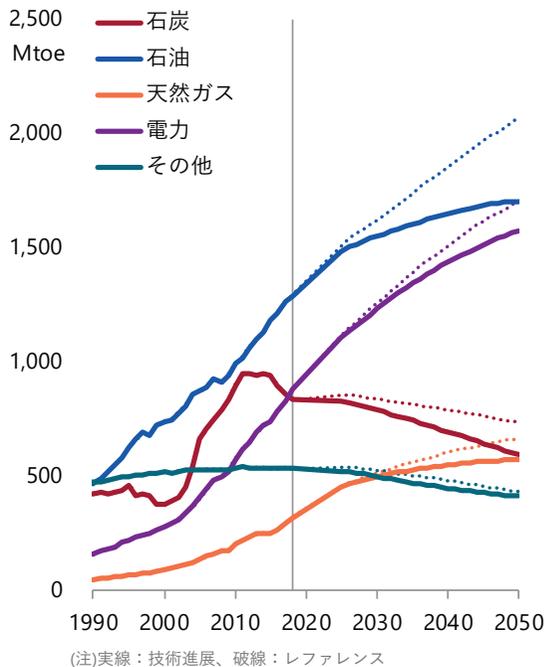
※コロナウイルス感染拡大による短期的な影響は6章Box 6-1を参照

最終エネルギー消費

部門別

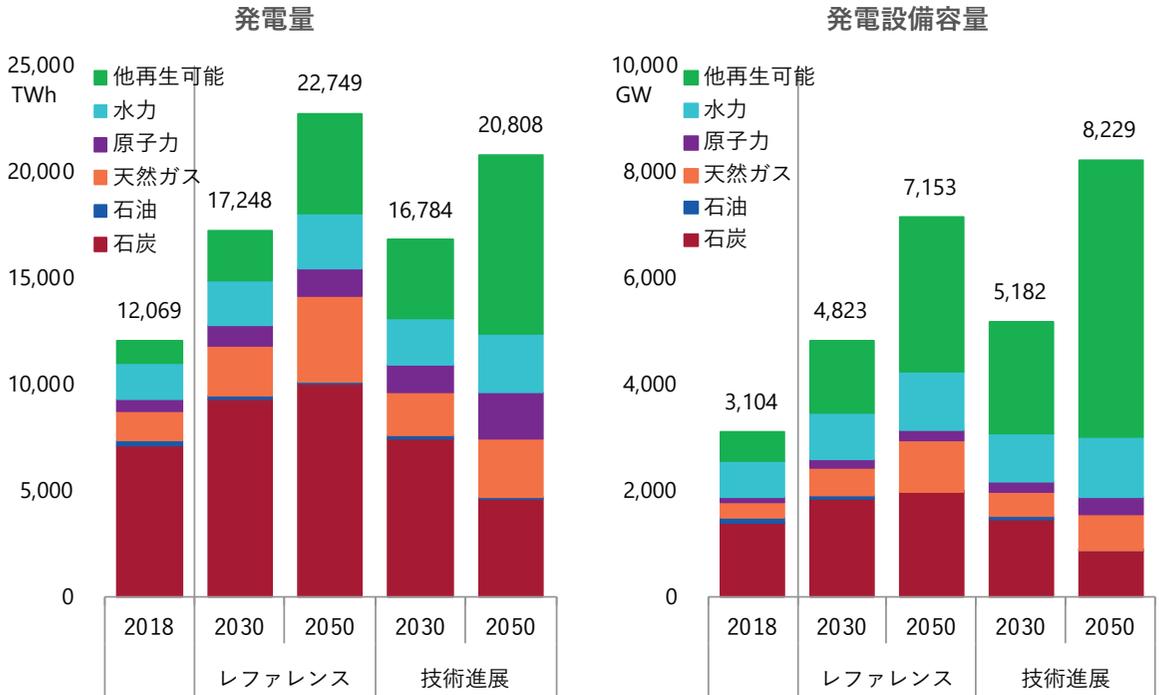


エネルギー源別

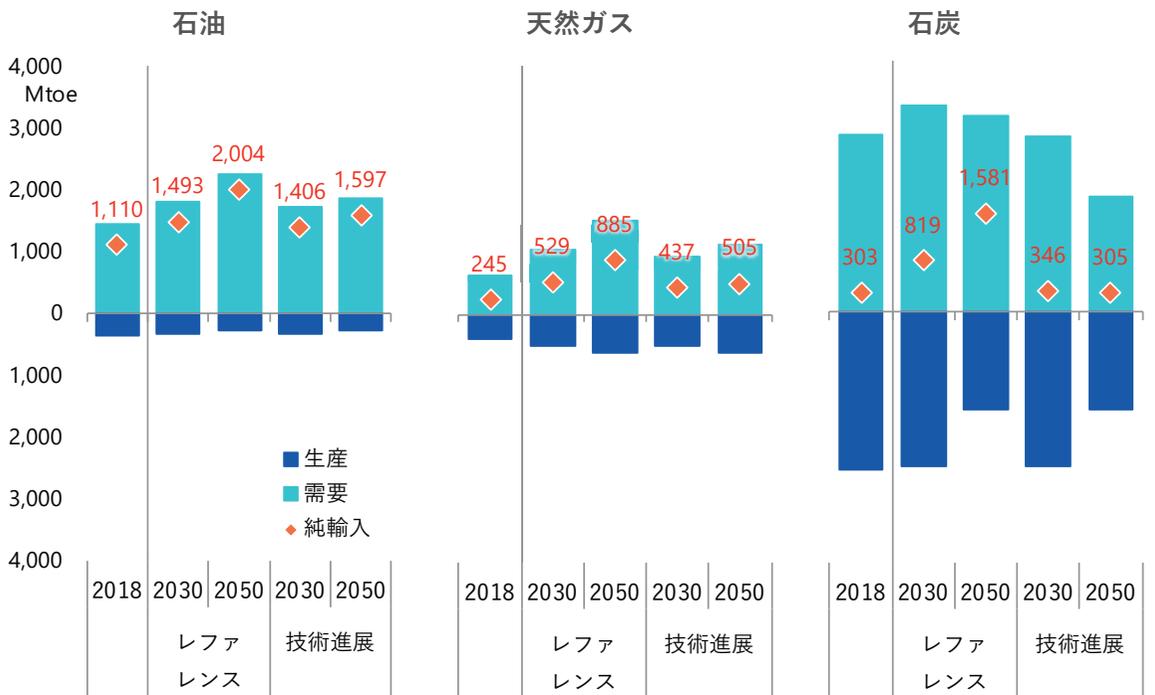


※コロナウイルス感染拡大による短期的な影響は6章Box 6-1を参照

発電構成

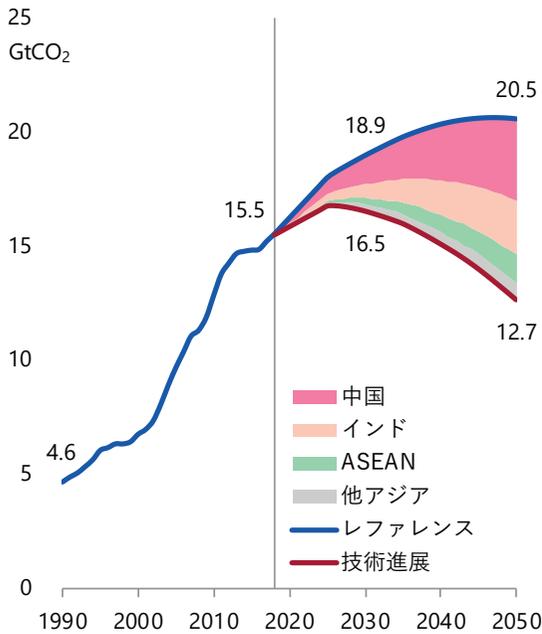


化石燃料需給バランス

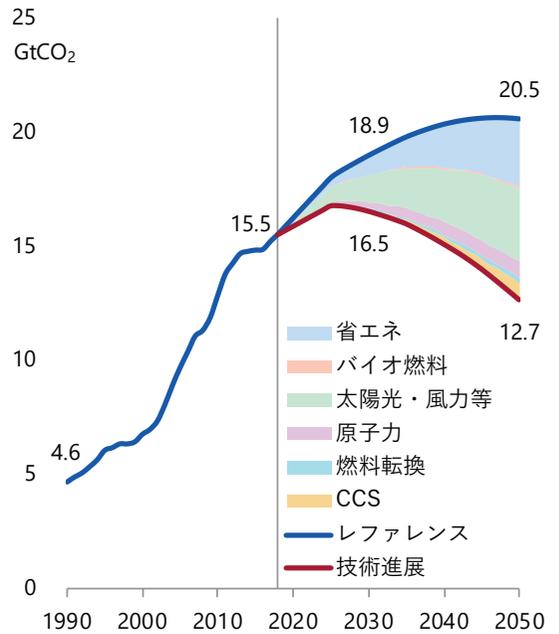


CO₂排出量

国・地域別



技術別

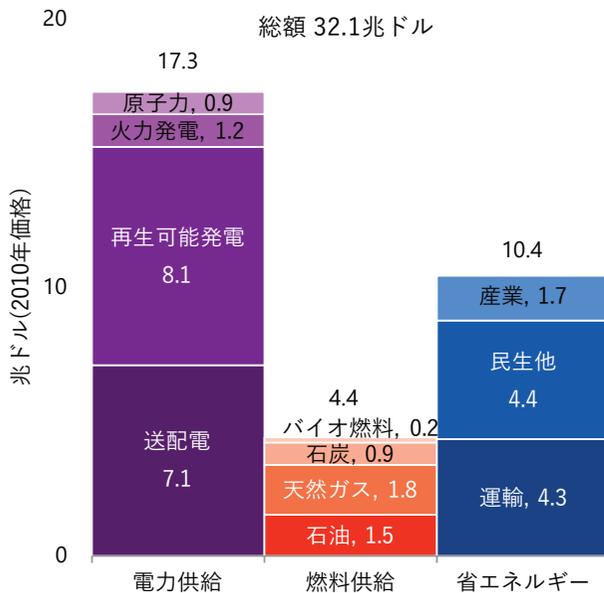


※コロナウイルス感染拡大による短期的な影響は6章Box 6-1を参照

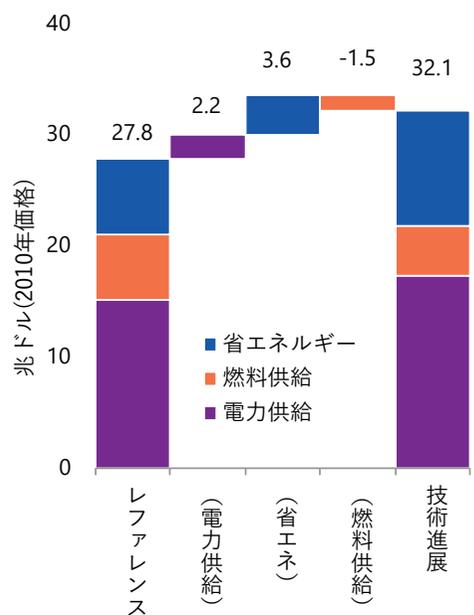
エネルギー関連投資額 (2019年~2050年)

部門別投資額

総額 32.1兆ドル

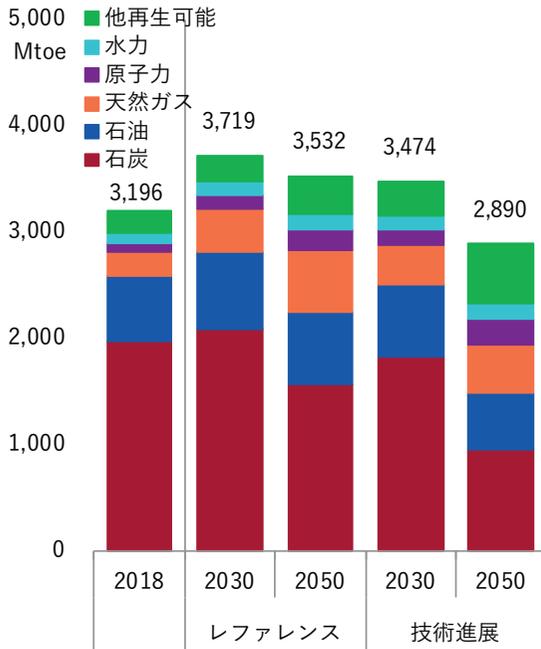


レファレンスシナリオとの比較

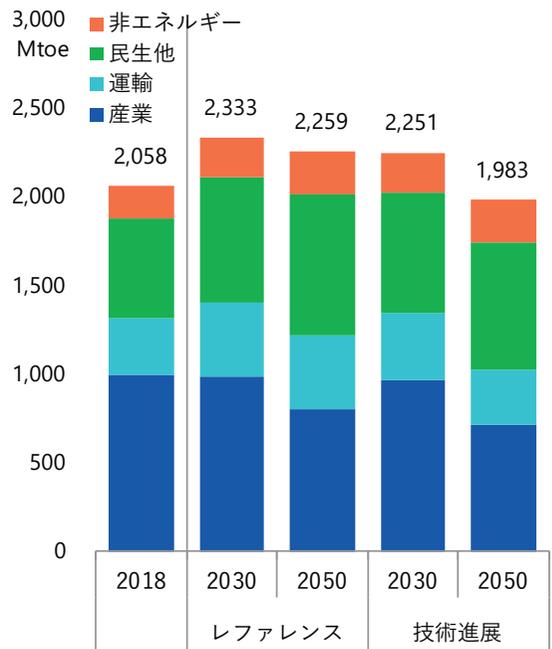


エネルギー消費

一次エネルギー消費

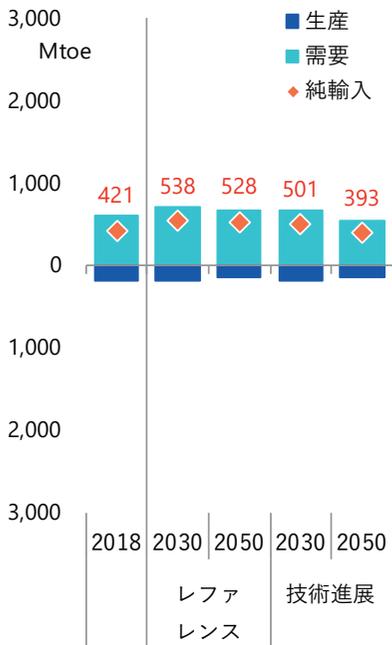


最終エネルギー消費

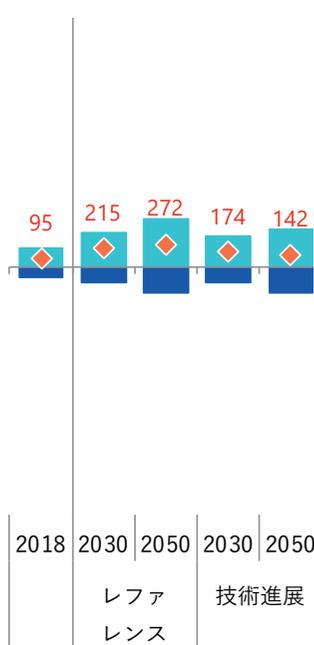


化石燃料需給バランス

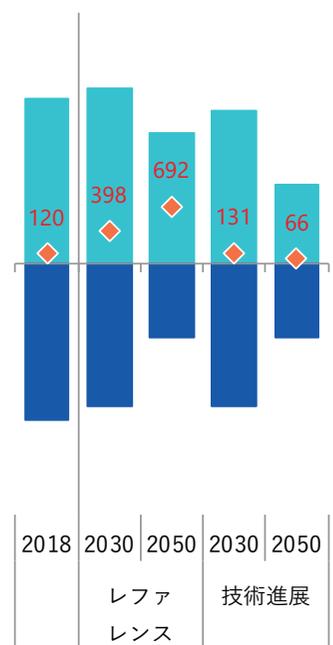
石油



天然ガス

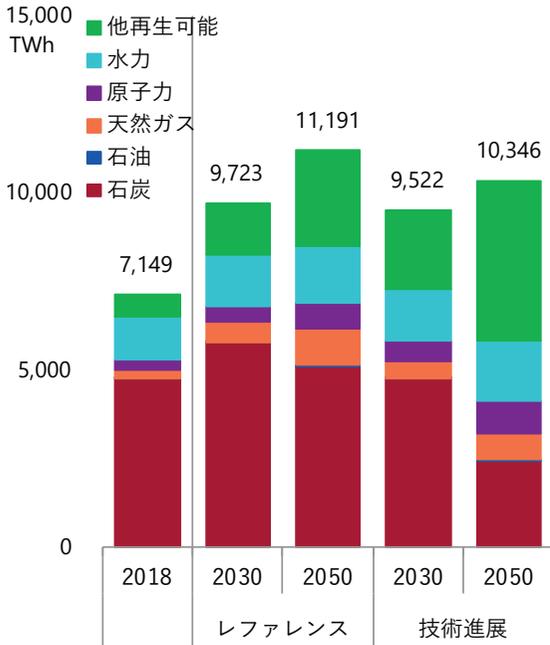


石炭

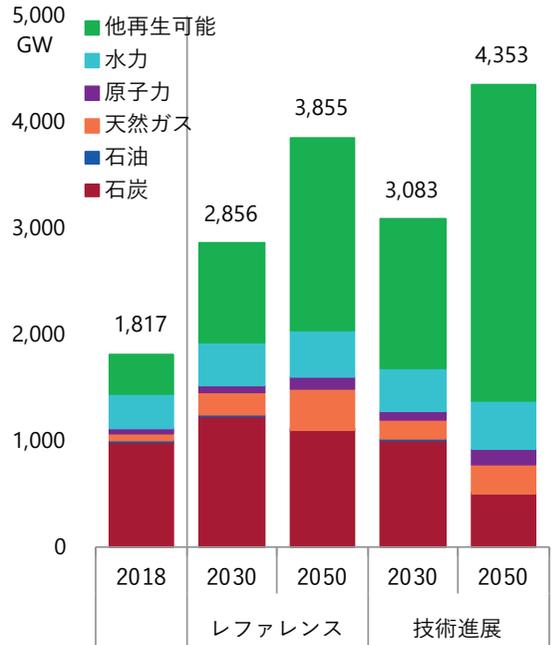


発電構成

発電量

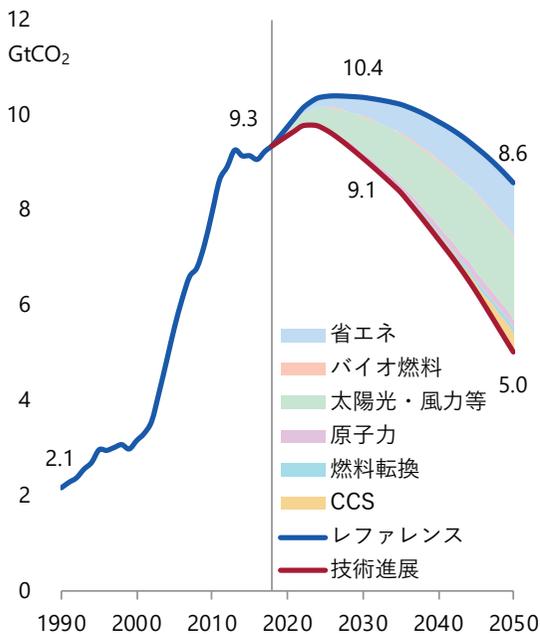


発電設備容量

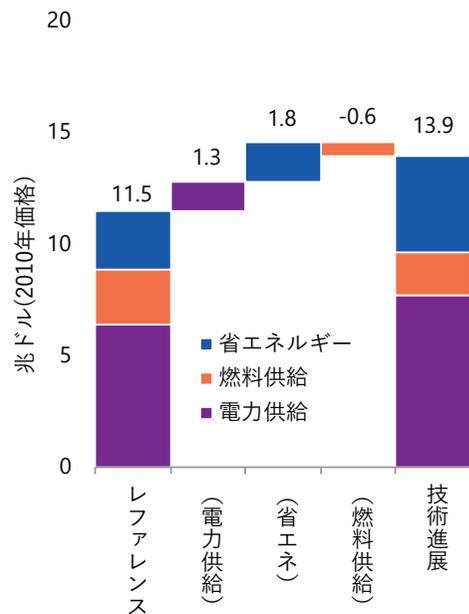


CO₂排出量・エネルギー関連投資

エネルギー起源CO₂排出量

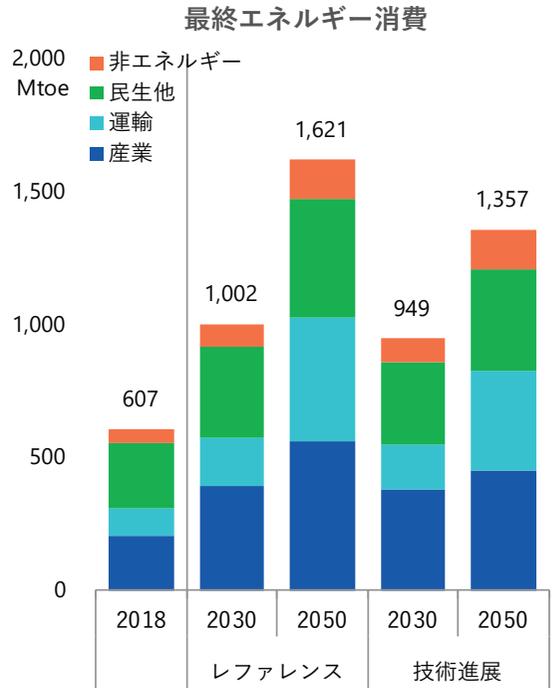
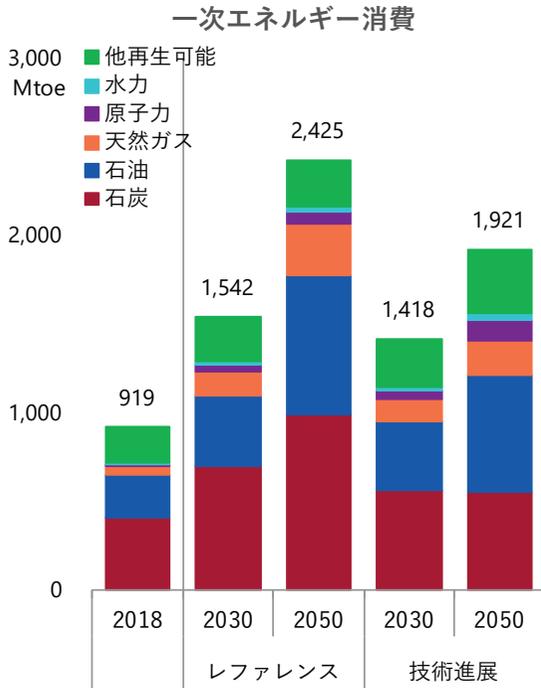


エネルギー関連投資
(2019年～2050年累積額)

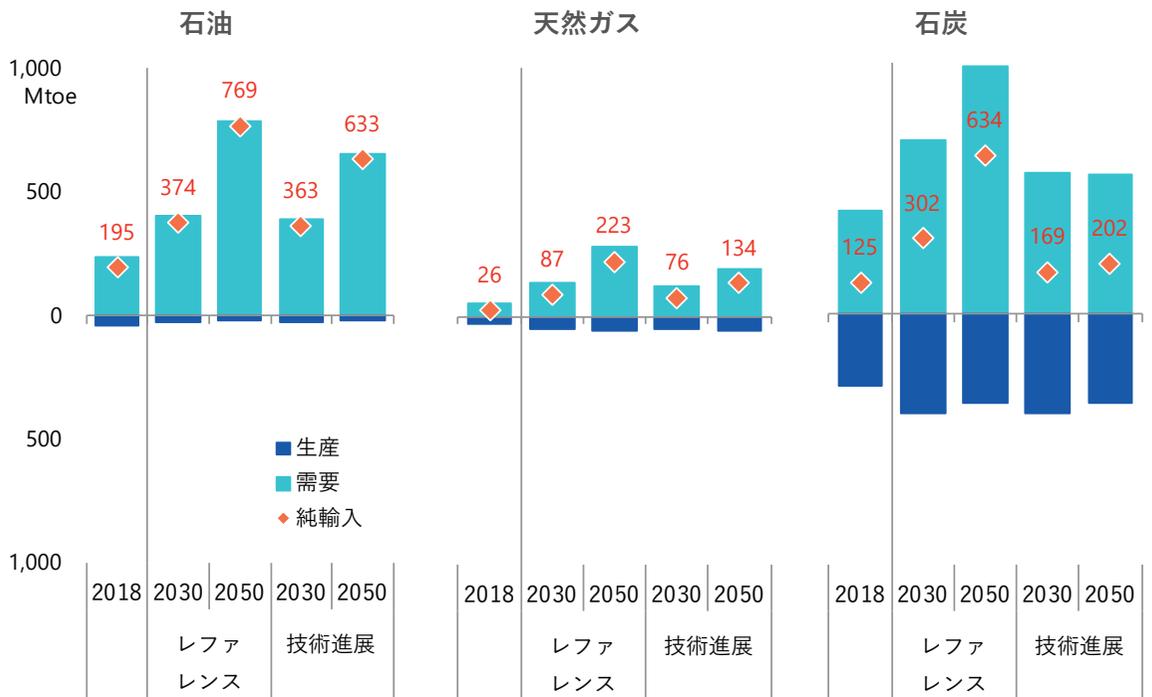


※コロナウイルス感染拡大による短期的な影響は6章Box 6-1を参照

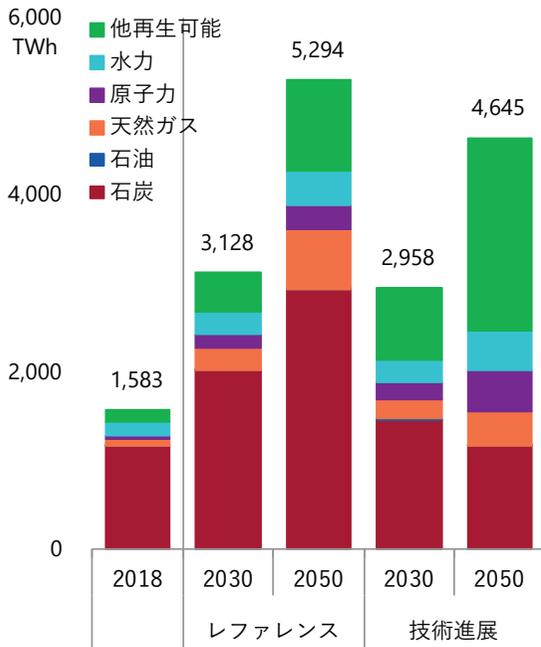
エネルギー消費



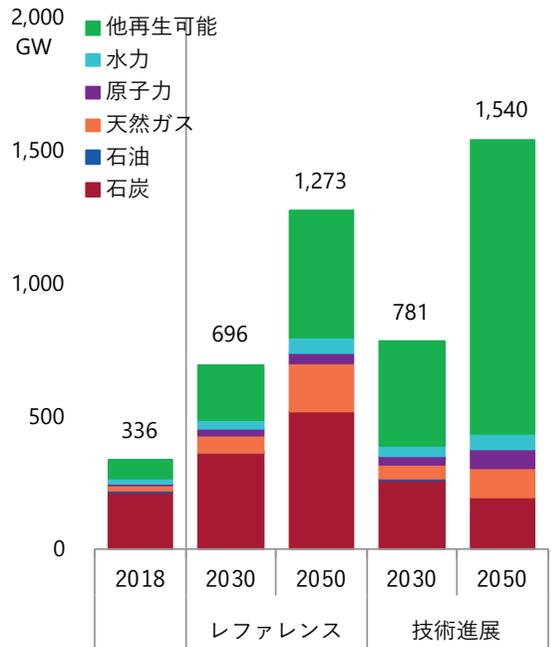
化石燃料需給バランス



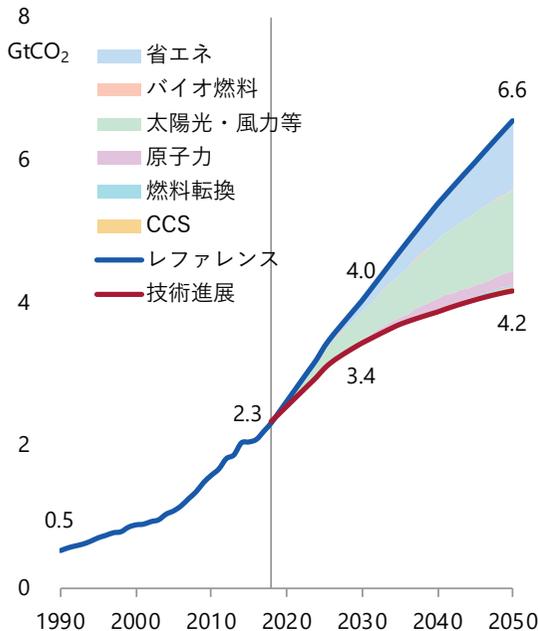
発電量



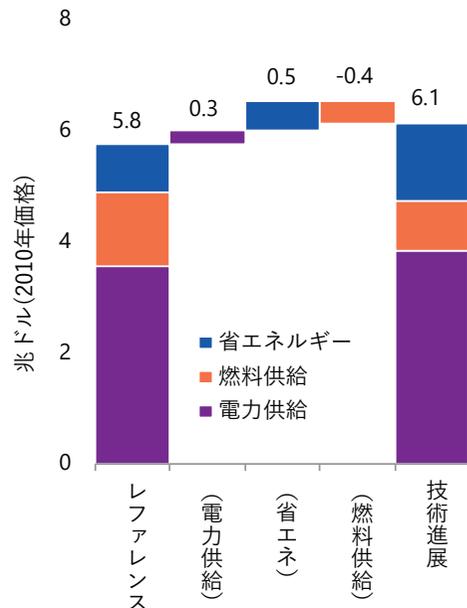
発電設備容量



エネルギー起源CO₂排出量



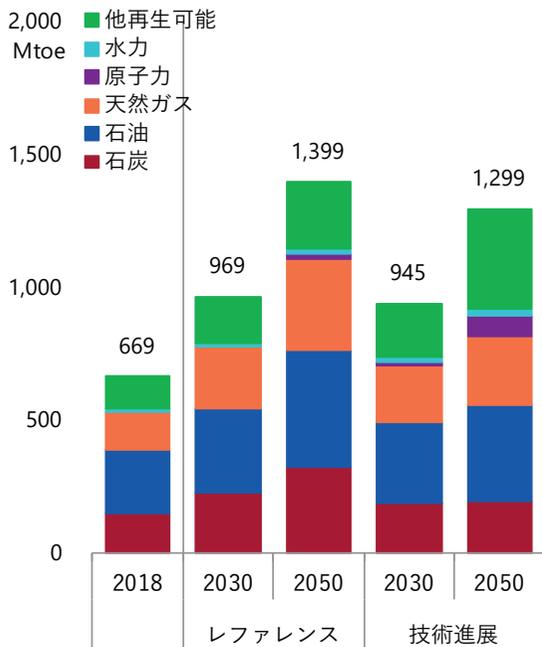
エネルギー関連投資
(2019年～2050年累積額)



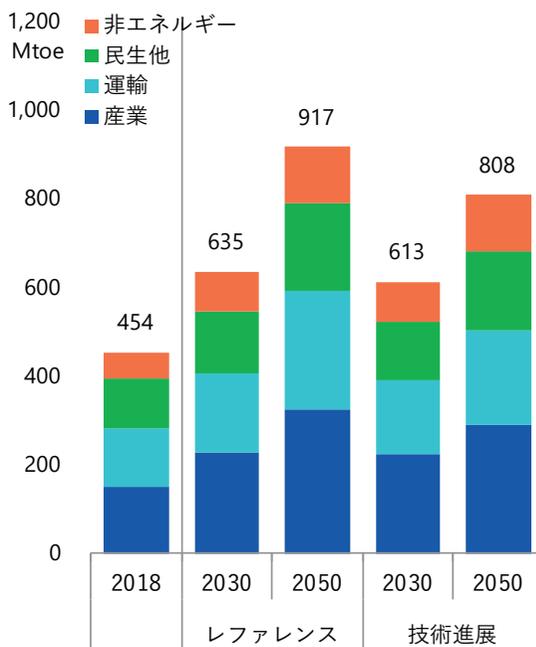
※コロナウイルス感染拡大による短期的な影響は6章Box 6-1を参照

エネルギー消費

一次エネルギー消費

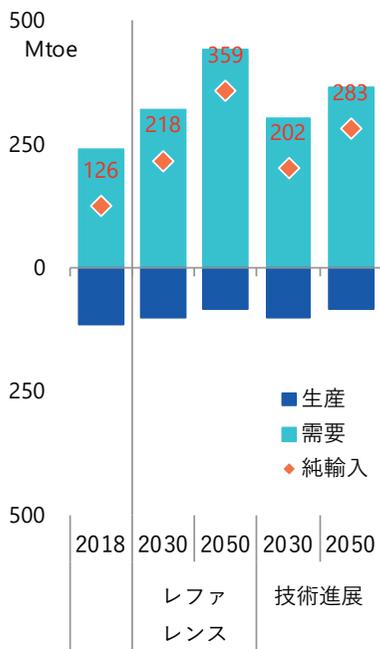


最終エネルギー消費



化石燃料需給バランス

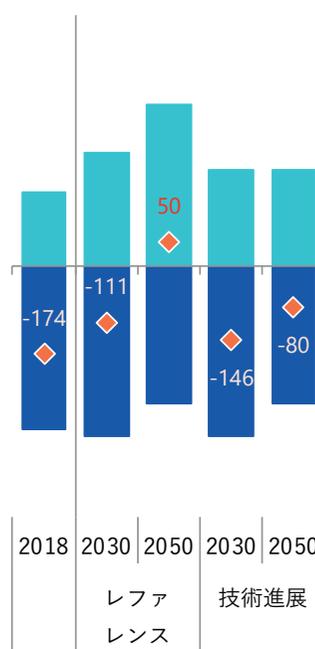
石油



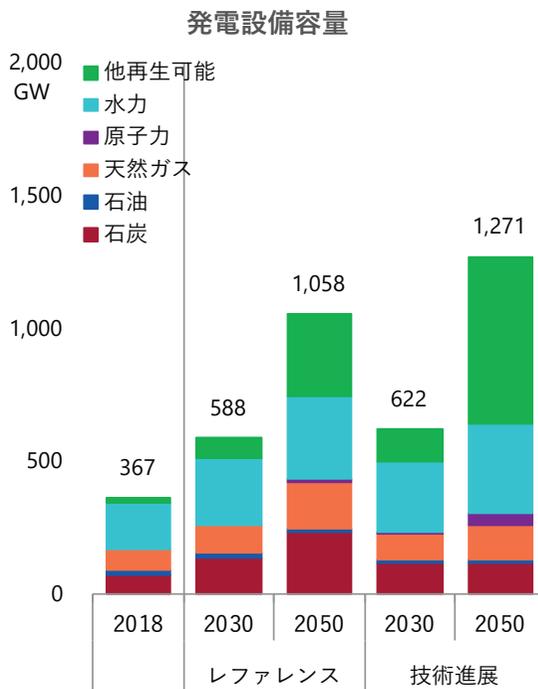
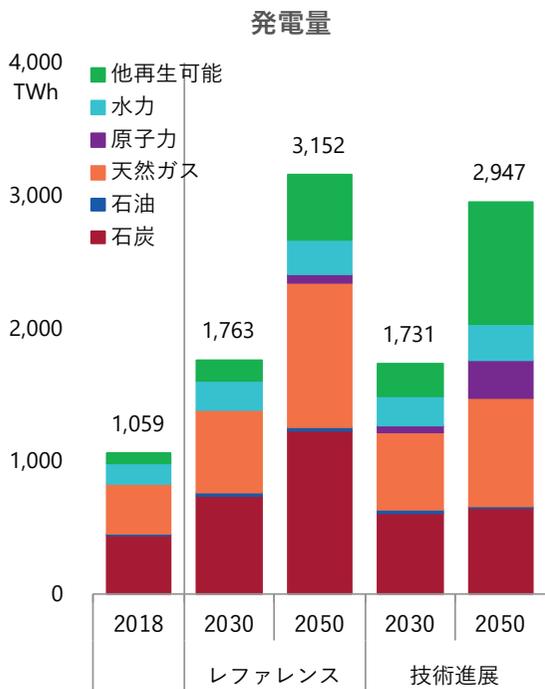
天然ガス



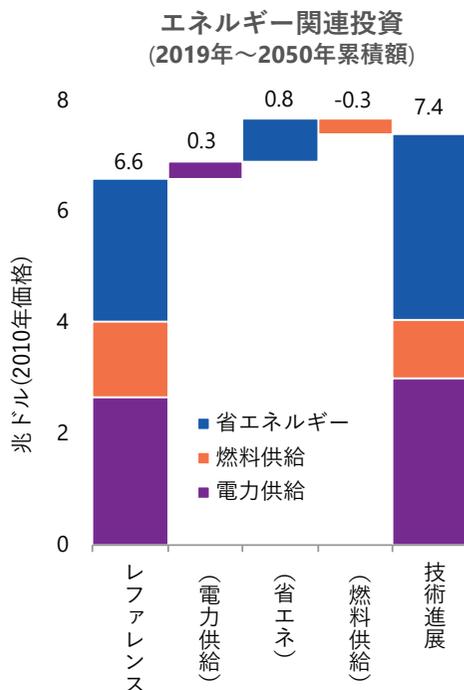
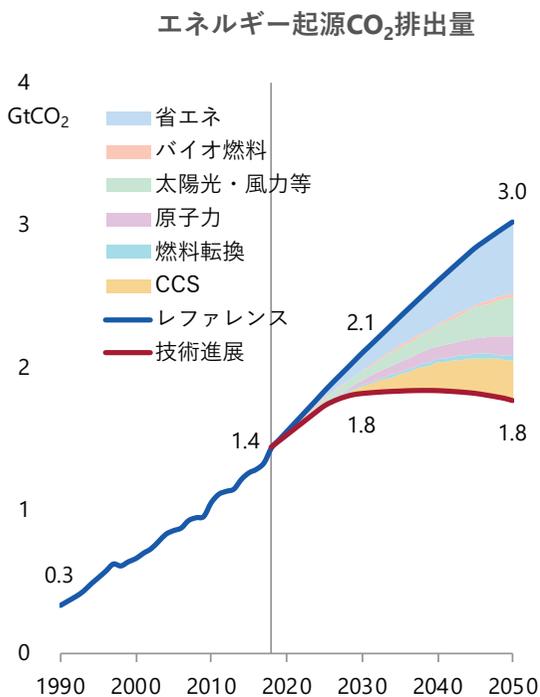
石炭



発電構成



CO₂排出量・エネルギー関連投資



※コロナウイルス感染拡大による短期的な影響は6章Box 6-1を参照

IEEJ Outlook 2021

2020年10月

日本エネルギー経済研究所

IEEJ © 2020

お問い合わせ: report@tky.ieej.or.jp

