

IEEJ Outlook 2020

深刻化するエネルギー・トリレンマの克服に向けて

エネルギー・環境・経済



**The Institute of
Energy Economics, Japan**

IEEJ Outlook 2020



**The Institute of
Energy Economics, Japan**

50年前の1969年、液化天然ガス(LNG)が米国から日本に輸入され、現在のエネルギー需要センターであるアジアでLNG利用という地平が切り開かれた。それは、メタン・パイオニア号がこの極低温の液体を米国から英国へと海上輸送することに成功し、世界がエネルギーの新たな供給形態を手に入れてからほんの10年後の出来事であった。元戦時標準船に積載されたわずか2,000 tから出発したLNGの国際取引は、半世紀を経て年3億tを超え、世界の天然ガス貿易の3分の1を担うほど、役割が大きなものになっている。

太陽光発電は、“モダンな”再生可能エネルギーの代表格とみなされているが、LNGに劣らない歴史を有している。実用的な結晶型シリコン太陽電池は、LNGが大西洋を渡る5年前の1954年に米国で誕生した。1958年に打ち上げられた米国の人工衛星ヴァンガードI号への太陽電池の搭載は、1 Wという容量とは裏腹にその発展の可能性をおおいに象徴するものとなった。また、現在、適地ではコスト低下が急速に進む再生可能発電のもう1つの柱をなす風力発電は、起首がさらに古く19世紀にまで遡る。実験的なものまで論及すれば、1891年にはデンマーク人ラ・クールが、風力発電で得た電力で水素を製造・貯蔵するという、こんにち言うところの“RE-P2G”の嚆矢を放っている。ただ、太陽光発電、風力発電ともに、本格的な発展の契機となったのは1970年代の石油危機であり、その広範な普及にはさらに歳月を要した。

世界を揺るがせた1979年の第二次石油危機から40年を経る間に、LNG、太陽光・風力発電に寄せられる期待には、エネルギー安全保障、大気汚染対策のみならず、気候変動対策も加わった。一方、2016年のパリ合意にもかかわらず、温室効果ガスは増え続けている。人類は、成長しつつ気候変動問題に取り組まなければならない。その実践的な道は何なのか。

LNGは、その価格競争力を高めることが、アジア新興・途上国でのさらなる活用の鍵を握ると考えられている。供給間欠性を有する太陽光・風力発電は、大量導入による電力系統不安定化をいかに合理的に克服するかが、社会の高度化・情報化の進展により電力の品質確保がより肝要となる中、喫緊の課題となっている。残念ながら、人類は完璧なエネルギー源を——少なくともまだ——掌中に収めていない。IEEJ Outlook 2020では、エネルギートリレンマの克服という難題に立ち向かうべく、再生可能エネルギーやLNGなど諸種のエネルギーの佳処を活かしつつ弊^{へい}費^とを補うための考究を行っている。もちろん、これまでのシリーズでと同様に、分析手法にさらなる改善を施しつつ、長期のエネルギー需給とこれに連なる領域も定量的に描出している。この一冊がより良い世界への活計たらんことを望んでいる。

2019年10月、東京



一般財団法人
日本エネルギー経済研究所

担当者

相澤 なつみ

江藤 諒

遠藤 聖也

大槻 貴司

大平 智子

川上 恭章

鬨 思超

木村 謙仁

久谷 一朗

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

野上 一成

橋本 裕

松尾 雄司

村上 朋子

森川 哲男

森本 壮一

柳澤 明

山下 ゆかり

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	23
1. 主要前提	25
2. エネルギー需要	33
3. エネルギー供給	55
4. 技術進展シナリオ	77
5. エネルギー関連投資	95
第II部 エネルギー変革に向けた課題	105
6. 再生可能エネルギー大量導入の可能性と課題	107
7. アジアのLNG	119
8. 気候変動問題への実践的アプローチ	129
付表	139
スライド	195

図目次

図1 世界の原油生産[レファレンスシナリオ]	1
図2 主要国の原油生産[レファレンスシナリオ]	2
図3 主要国・地域間の主な原油貿易[レファレンスシナリオ、2030年]	3
図4 世界の天然ガス生産[レファレンスシナリオ]	3
図5 主要国・地域の天然ガス生産[レファレンスシナリオ]	3
図6 主要国・地域間の天然ガス貿易[レファレンスシナリオ]	4
図7 主要国・地域間の主なLNG貿易[レファレンスシナリオ、2030年]	4
図8 世界の石炭生産[レファレンスシナリオ]	5
図9 主要国の石炭生産[レファレンスシナリオ]	5
図10 世界の主要一次電力供給[レファレンスシナリオ]	6
図11 発電量構成[レファレンスシナリオ]	6
図12 一次エネルギー消費と増減寄与[レファレンスシナリオ、2017年比]	7
図13 世界の一次エネルギー消費[レファレンスシナリオ]	7
図14 石油一次消費[レファレンスシナリオ]	8
図15 米国の石油純輸出[レファレンスシナリオ]	8
図16 世界の石油製品需要構成[レファレンスシナリオ]	8
図17 天然ガスの一次消費計に占めるシェアと消費量[レファレンスシナリオ]	9
図18 天然ガス一次消費[レファレンスシナリオ]	9
図19 石炭一次消費[レファレンスシナリオ]	10
図20 化石燃料一次消費構成[レファレンスシナリオ]	10
図21 世界の最終エネルギー消費[レファレンスシナリオ]	11
図22 電力最終消費[レファレンスシナリオ]	11
図23 発電量[レファレンスシナリオ]	11
図24 世界の一次エネルギー消費増加[レファレンスシナリオ、2017年-2050年]	11
図25 世界の一次エネルギー消費	12
図26 世界の一次エネルギー消費、発電量[技術進展シナリオ]	13
図27 世界の電源構成	13
図28 世界のエネルギー関連投資[2018年-2050年累積]	14
図29 統合費用の試算例[2050年]	15
図30 ドイツの太陽光・風力発電比率と電力市場価格[2019年1月～7月]	16
図31 共食い効果の試算例[2050年]	16

図32 アジア新興LNG輸入国の天然ガス需要と純輸入[レファレンスシナリオ].....	17
図33 アジア新興LNG輸入国のLNG需要	18
図34 世界のエネルギー起源CO ₂ 排出	20
図35 「費用」とその最小化	20
図1-1 地域区分	25
図1-2 技術導入の想定例[技術進展シナリオ].....	26
図1-3 主要国・地域の人口	27
図1-4 主要国・地域の経済成長率	29
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].....	34
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].....	35
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].....	35
図2-4 一次エネルギー消費増減[レファレンスシナリオ、2017年-2050年].....	35
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].....	36
図2-6 主要国・地域の電化率(供給側) [レファレンスシナリオ].....	36
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].....	37
図2-8 主要国・地域の石油消費[レファレンスシナリオ].....	38
図2-9 世界の石油消費[レファレンスシナリオ].....	38
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].....	39
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].....	40
図2-12 世界の天然ガス消費[レファレンスシナリオ].....	40
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].....	41
図2-14 主要国・地域の石炭消費[レファレンスシナリオ].....	42
図2-15 世界の石炭消費[レファレンスシナリオ].....	42
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].....	43
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].....	43
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].....	44
図2-19 ASEANの一次エネルギー消費[レファレンスシナリオ].....	44
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].....	44
図2-21 アジアの石油消費[レファレンスシナリオ].....	46

図2-22 アジアの天然ガス消費[レファレンスシナリオ].....	46
図2-23 GDPと最終エネルギー消費[レファレンスシナリオ]	47
図2-24 最終エネルギー消費(地域別) [レファレンスシナリオ].....	48
図2-25 OECD、非OECDの最終エネルギー消費[レファレンスシナリオ]	49
図2-26 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].....	51
図2-27 電力最終消費[レファレンスシナリオ].....	52
図2-28 家庭用電力消費の増減[レファレンスシナリオ、2017年-2050年].....	53
図3-1 主要地域間の原油貿易[2018年].....	57
図3-2 主要地域間の原油貿易[レファレンスシナリオ、2030年].....	57
図3-3 主要地域間の天然ガス貿易[2018年].....	60
図3-4 主要地域間の天然ガス貿易[レファレンスシナリオ、2030年].....	60
図3-5 世界の石炭生産[レファレンスシナリオ].....	61
図3-6 世界の石炭貿易(輸入量) [レファレンスシナリオ].....	64
図3-7 主要国・地域間の一般炭貿易[2018年].....	65
図3-8 主要国・地域間の一般炭貿易[レファレンスシナリオ、2030年]	65
図3-9 主要国・地域間の原料炭貿易[2018年].....	66
図3-10 主要国・地域間の原料炭貿易[レファレンスシナリオ、2030年]	66
図3-11 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].....	67
図3-12 主要国・地域の発電電力量[レファレンスシナリオ].....	68
図3-13 世界の発電構成[レファレンスシナリオ].....	68
図3-14 先進国、新興・途上国の電源構成[レファレンスシナリオ].....	69
図3-15 中国、インド、ASEANの電源構成[レファレンスシナリオ].....	70
図3-16 原子力発電設備容量と基数	71
図3-17 原子力発電設備容量[レファレンスシナリオ].....	71
図3-18 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].....	73
図3-19 風力発電設備容量[レファレンスシナリオ].....	74
図3-20 太陽光発電設備容量[レファレンスシナリオ].....	74
図3-21 輸送用液体バイオ燃料の利用量[レファレンスシナリオ].....	75
図4-1 技術の想定例[技術進展シナリオ].....	77
図4-2 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4-3 風力発電設備容量[技術進展シナリオ].....	80
図4-4 太陽光発電設備容量[技術進展シナリオ].....	80

図4-5 原子力発電設備容量[技術進展シナリオ].....	81
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	83
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]	84
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]	84
図4-9 世界の最終エネルギー消費の変化(レファレンスシナリオ比) [技術進展シナ リオ]	85
図4-10 世界の道路部門エネルギー消費構成	86
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]	86
図4-12 電力最終消費の節減等に伴う一次エネルギー消費の削減[技術進展シナリオ、 2050年]	86
図4-13 世界のエネルギー源別発電量[技術進展シナリオ]	87
図4-14 アジアのエネルギー源別発電量[技術進展シナリオ]	88
図4-15 世界の石炭生産[技術進展シナリオ]	90
図4-16 世界のエネルギー起源二酸化炭素排出	92
図4-17 二酸化炭素排出[技術進展シナリオ、2050年]	92
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、2018年-2050年]	95
図5-2 エネルギー関連投資額[レファレンスシナリオ]	96
図5-3 世界の化石燃料投資額[レファレンスシナリオ]	97
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、2018年-2050年]	98
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]	99
図5-6 送配電設備投資額[レファレンスシナリオ]	100
図5-7 省エネルギー投資額[レファレンスシナリオ]	100
図5-8 世界のエネルギー関連投資額[2018年-2050年]	101
図5-9 発電設備投資額[技術進展シナリオ]	102
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]	103
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、2018年-2050年]	104
図6-1 電源別発電コスト	107
図6-2 風力資源の地域的分布	108
図6-3 太陽光・風力発電の資源量	109
図6-4 統合費用の概念図	110

目次

図6-5 VRE40%導入時の国別内訳(ASEAN)	111
図6-6 VRE 40%導入時の地域別内訳(欧州)	112
図6-7 統合費用の評価例	113
図6-8 VRE比率拡大による市場価格の低下(ドイツを含むエリア)	114
図6-9 共食い効果の試算例	115
図6-10 無風期間の電力需給(欧州)	116
図6-11 ボルネオ島の平均降水量の推移	116
図7-1 アジアの天然ガス需要 (国・地域別) [レファレンスシナリオ]	119
図7-2 アジアの天然ガス需要 (部門別) [レファレンスシナリオ]	119
図7-3 アジアの需要見通しの比較[2030年時点]	120
図7-4 アジアの天然ガス生産量と輸入依存度[レファレンスシナリオ]	121
図7-5 アジアのLNG需要	123
図7-6 世界のLNG輸出量と余剰液化能力	126
図7-7 世界の契約期間別LNG輸出量	126
図7-8 他地域/国の需給調整力を活用するイメージ	127
図8-1 世界のエネルギー起源CO ₂ 排出(超長期分析との比較)	129
図8-2 費用便益分析の概念図	130
図8-3 Tipping elementの例	132
図8-4 米国を対象とした被害関数の評価例	135
図8-5 Tipping elementsを考慮した費用便益分析評価例(最適パスにおける気温上昇 の変化)	136
図8-6 3つのTipping elementsを組み込んだ費用便益分析例	137

表目次

表1 LNGの供給セキュリティ対策	19
表2 革新的技術の例	21
表1-1 国際エネルギー価格	30
表3-1 原油生産[レファレンスシナリオ]	55
表3-2 天然ガス生産[レファレンスシナリオ]	58
表3-3 石炭生産[レファレンスシナリオ]	62
表4-1 世界のエネルギー指標	79
表4-2 原油生産[技術進展シナリオ]	88

表4-3 天然ガス生産[技術進展シナリオ].....	89
表4-4 石炭生産[技術進展シナリオ].....	91
表4-5 世界の二酸化炭素削減量(レファレンスシナリオ比) [技術進展シナリオ].....	93
表7-1 アジア向け実質LNG価格想定	122
表7-2 LNGの供給セキュリティ対策	125

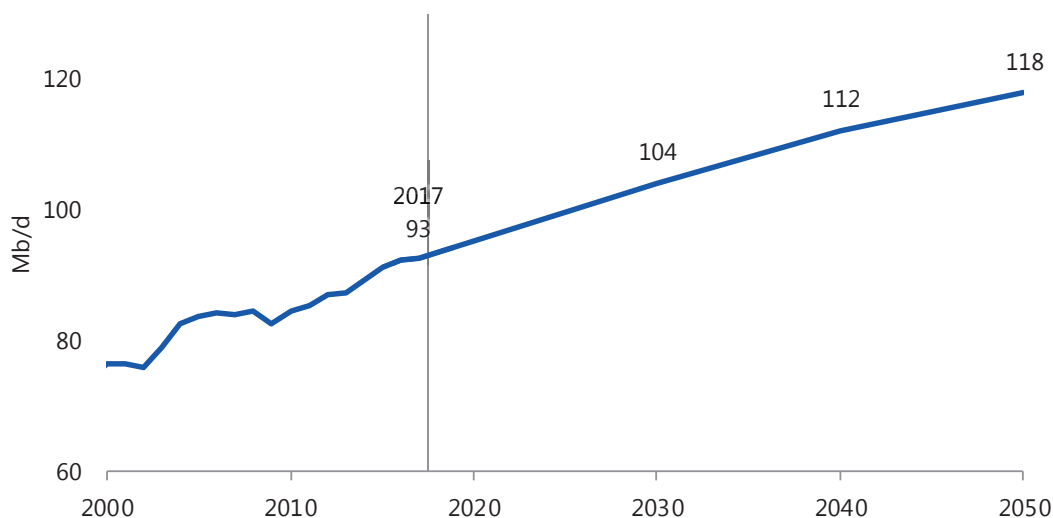
エグゼクティブ・サマリー

世界のエネルギー需給展望

供給

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、世界の原油生産量¹は、需要の増大に応ずるべく拡大し、大台の日量100百万bbl (Mb/d)を2020年代半ばに超える(図1)。2030年には104 Mb/d、2050年には118 Mb/dにまで達する。ただし、その増分は需要の伸びの鈍化に応じて徐々に縮小してゆく。10 Mb/dの増加を足元までは9年で達成というペースであったものが、見通し期間末にかけては15年まで延びる。

図1 | 世界の原油生産[レファレンスシナリオ]



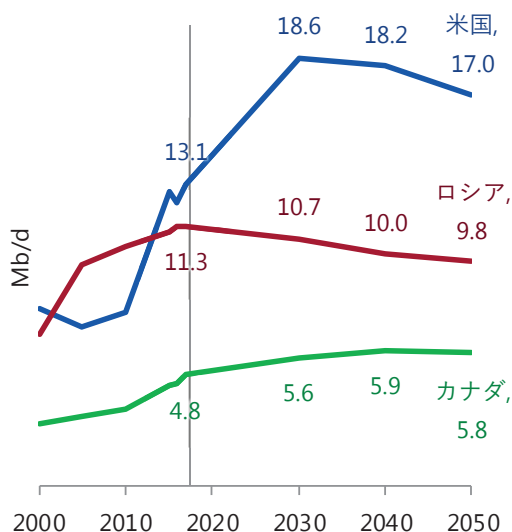
米国を世界最大の産油国に返り咲かせたここ10年余のシェールオイル(ライトタイトオイル)の増産は、極めて顕著であった。この傾向は、探鉱・開発部門への投資が堅調に進むことで、もうしばらく継続する(図2)。米国は、2030年にかけての世界の原油増産量11.6 Mb/dのうち約半分に当たる5.5 Mb/dを担う。一方で、長期的には、世界の石油需要の増分を満たし既存油田の減退分を埋め合わせてゆくのは、石油輸出国機構(OPEC)、とりわけ中東のメンバー国である。米国は2030年以降も最大産油

¹ 天然ガス液(NGL)を含み、プロセスゲインやバイオ燃料等を含まない。

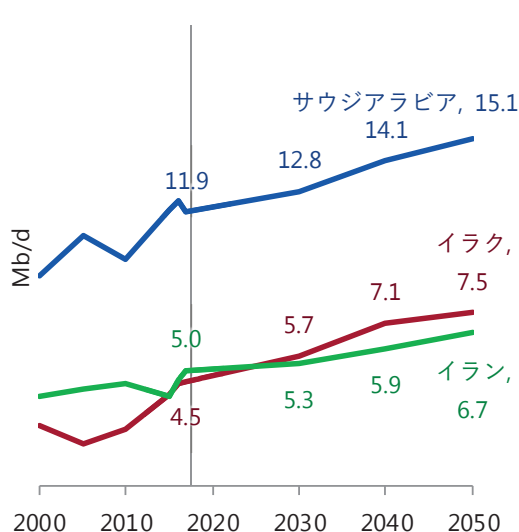
国の地位を守りはするが、生産量は減少に転じる。それとは対照的に、この巨大カールテルの市場シェアは、2050年には44%と現在を4ポイントも上回る。目下、OPECプラスとして生産量を協調してコントロールしているロシアとの勢力図で見ても、OPECの量的な優位性はより強まる。

図2 | 主要国の原油生産[レファレンスシナリオ]

非OPEC



OPEC



主要地域間の原油貿易は、2018年の43 Mb/dから2030年に44 Mb/dへとわずかに増加するにとどまる。先進国²の輸入量は、消費縮小や北米での増産に伴って減少する。しかし、アジア新興・途上国での消費拡大に伴う輸入量増加が、全体の貿易量を下支えする。輸出側では最大拠点は中東であり、2030年における主要地域間貿易全体のうち5分の3は中東原油である(図3)。原油貿易におけるアジア・中東の結びつきは、他のどの地域間も比較にならないほどであり、双方にとっても最も重要な関係となる。

² 先進国、新興・途上国は、地域を含む。

図3 | 主要国・地域間の主な原油貿易[レファレンスシナリオ、2030年]

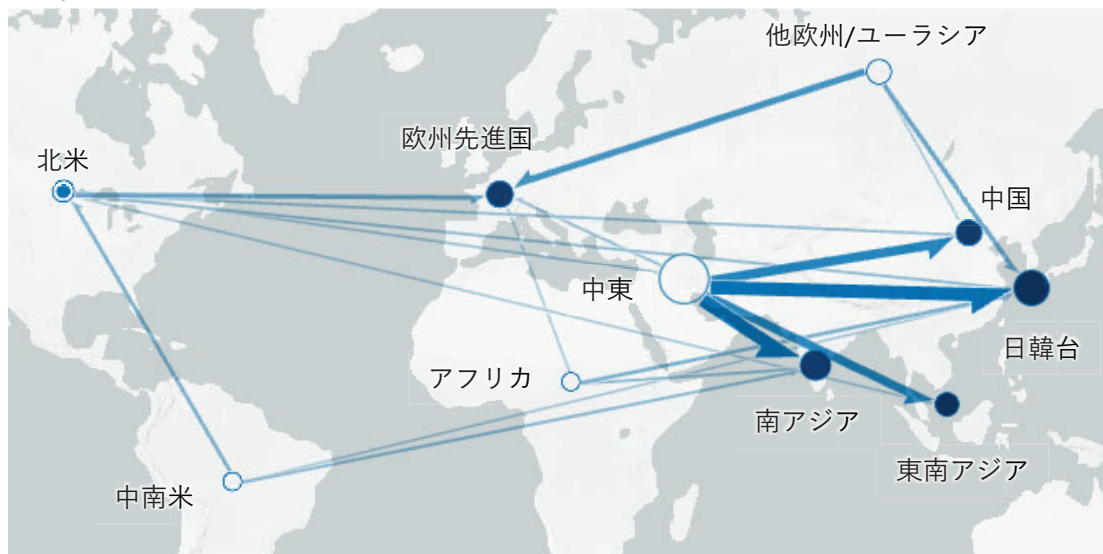


Diagram created using flowmap.blue. ©Mapbox

天然ガス生産は、2000年以降、平均して年74十億 m^3 (Bcm)の増加を示してきたが、2040年にかけても増産ペースが大きく減速することはない(図4)。その後はやや緩和するが、それでも2017年に3.8兆 m^3 (Tcm)であった生産量は、2050年には6.1 Tcmに達する。

図4 | 世界の天然ガス生産[レファレンスシナリオ]

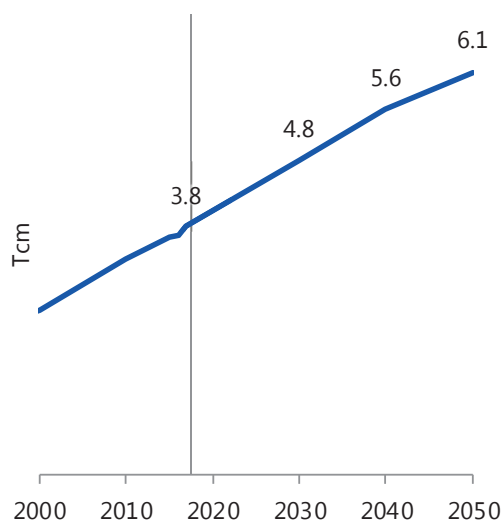
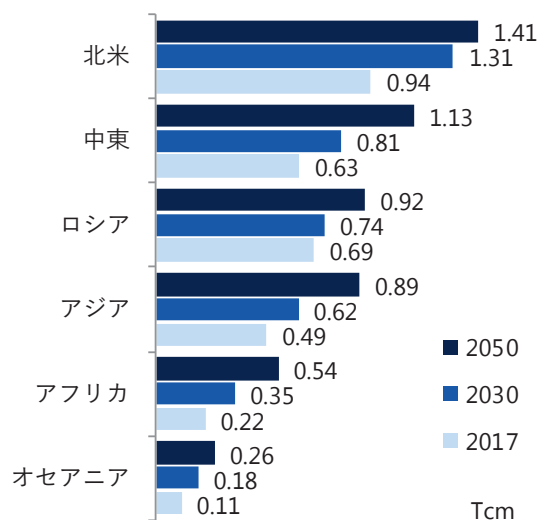


図5 | 主要国・地域の天然ガス生産[レファレンスシナリオ]



この先しばらくの間、天然ガスの増産が最も顕著であるのは北米であり、2030年までの世界の増産量1.0 Tcmのうち36%が北米によりもたらされる(図5)。ただし、長期的には原油生産同様に北米以外——中東、他欧州/ユーラシア、それにアジアなど——の役割が大きくなってゆく。2030年から2050年にかけて生産量を最も上積みする国は、需要の伸びに対応して国産天然ガス開発の投資を本格化させる中国である。

主要国・地域間の天然ガス貿易は、2018年の759 Bcm (637 Mtoe)から2030年には983 Bcm (825 Mtoe)まで拡大する(図6)。最大の貿易財である原油の輸出入量が同期間に1,891 Mtoeから1,993 Mtoeにしか伸びないこととは好対照をなす。北米が増産を背景に輸出量を2倍以上に増やす一方、中国は輸入量を約倍増させる。

図6 | 主要国・地域間の天然ガス貿易[レファレンスシナリオ]

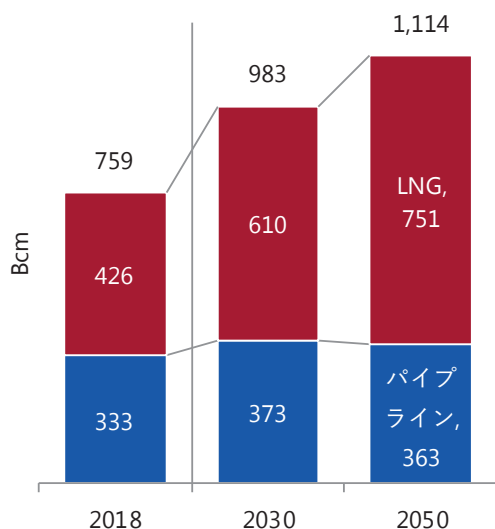
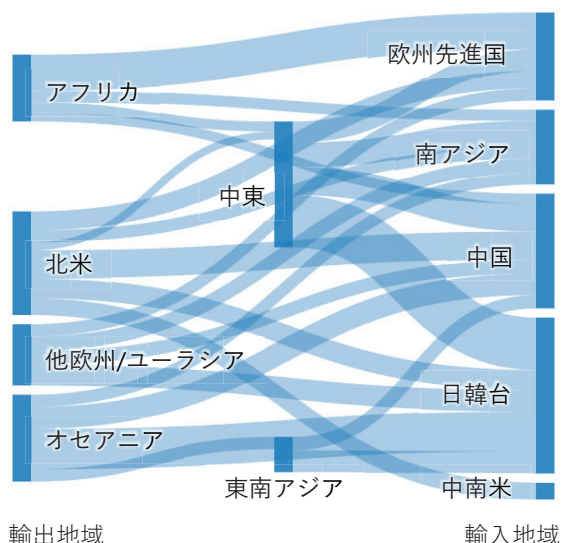


図7 | 主要国・地域間の主なLNG貿易[レファレンスシナリオ、2030年]



現在、パイプラインガスと液化天然ガス(LNG)は、天然ガスの主要国・地域間貿易を4:5の割合で担っている³。しかし、今後の増分においては、LNGがその本格的利用地域の拡大を背景にパイプラインを圧倒する。これまでLNG輸入の主役は、日本や韓国であった。しかし、2017年に韓国を抜き輸入量世界第2位となった中国をはじめ、インドを含む南アジアあるいはLNGが補助的な役回りであったヨーロッパといった地域のプレゼンスが増してゆく(図7)。また、長らく輸出側であった東南アジア諸国

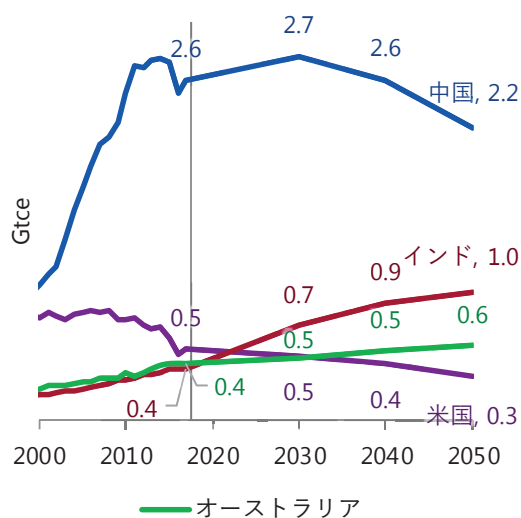
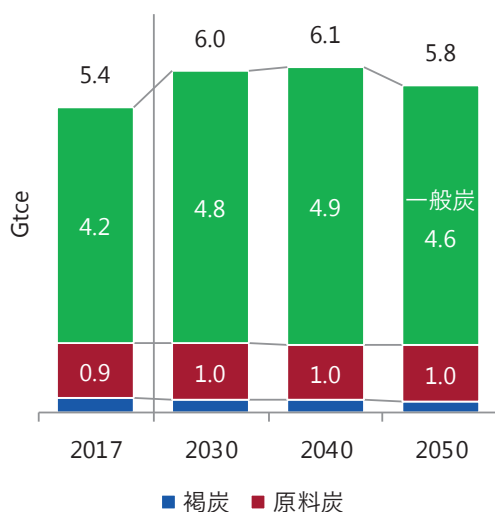
³ 地域内供給なども加味すれば、パイプラインガスが約3分の2を担っている。

連合(ASEAN)も消費増と資源枯渇により輸入量を急速に拡大させる。供給源としては、2020年から2025年にかけて多くのLNGプロジェクトの稼働開始が計画されているオセアニアと北米の存在感が大幅に増す。

石炭生産量は、2017年の石炭換算5.4十億t (Gtce⁴)から2040年には6.1 Gtceまで増加する(図8)。その後は、10年間で0.3 Gtceの減産となるが、それでも2050年における生産量は現在よりも多い。こうした石炭生産の大きな流れを形成するのは、発電ボイラーなどで消費される一般炭である。

現在、世界の石炭の約半分を採掘する中国の生産量は、2020年代前半をピークに減少に転じる(図9)。2040年以降の世界の減産量に対する寄与率は、100%を超える。それでもなお、中国は2050年においても他の追随を許さない最大の産炭国である。第2の生産国である米国の産出量も減少トレンドを描く一方で、インド、オーストラリアでは増産が続く。インドは国内向け、オーストラリアは輸出向けが牽引役となる。

図8 | 世界の石炭生産[レファレンスシナリオ] 図9 | 主要国の石炭生産[レファレンスシナリオ]



原子力発電所は、福島第一原子力発電所事故を契機とした世論の変化や建設費の増大などにより、従来計画どおりの新設が困難となっている。既設炉の閉鎖も進むため、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、原子力利用の維持を図る取り組みが見られる。また、中国を

⁴ 1 tce = 0.7×10⁷ kcal

はじめとして、利用を今後さらに推進していく国も存在する。世界の原子力設備容量は2017年の409 GWから2050年には480 GWまで拡大、発電量も24%増加する(図10)。ただし、総発電量の急激な伸びには追いつかず、発電量構成比は3ポイント低下する。

再生可能エネルギーには、大きな期待が寄せられている。実際、太陽光発電や風力発電は、適地を中心に発電コストが大幅に低下し、導入量が大きく伸びている。2050年の太陽光発電設備容量は現在の7.7倍、風力は3.5倍に拡大する。それぞれの発電量3.7 PWhは、最大の一次電力である水力の現規模の9割程度になる。

とはいえ、発電量構成において火力発電が中心である大枠に変化はない(図11)。ただし、火力でシェアを拡大するのは、発電効率がよく、二酸化炭素(CO₂)排出が少なく、調整力に優れた天然ガスのみである。現在最大の電源である石炭は、発電量は2040年代半ばまで増え続けるものの、ほどなくしてその地位を天然ガスに譲る。

図10 | 世界の主要一次電力供給[レファレンスシナリオ]

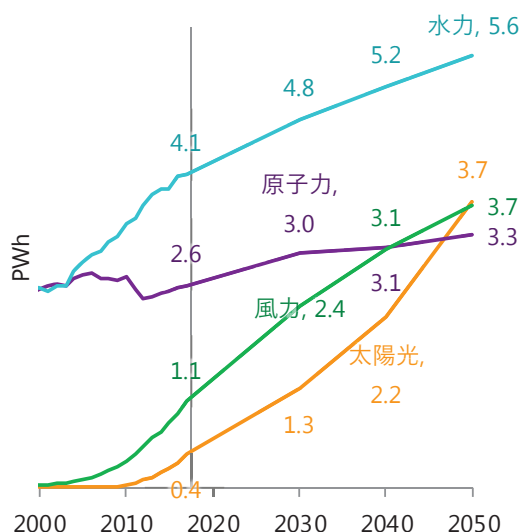
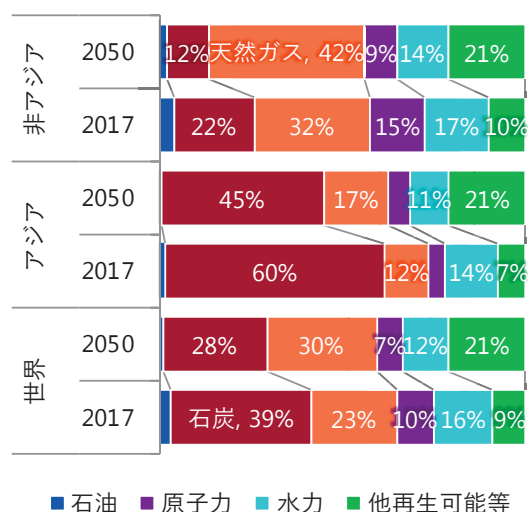


図11 | 発電量構成[レファレンスシナリオ]



需要

世界の一次エネルギー消費は、拡大する経済や増加する人口などを背景に、2050年に石油換算18.8十億t (Gtoe)まで増大する(図12)。もっとも、エネルギー消費量の今後の方向性は、国・地域によりかなり異なる。先進国のエネルギー消費は、経済成長にもかかわらず横ばいから減少傾向で推移する。すなわち、エネルギー消費の純増分は、すべて新興・途上国と国際バンカーによる。中国は世界最大の消費国の座を維持し、消費量は2040年には3.8 Gtoeに達する。その後、減少に転じはするものの、2050

年の消費量は現在を17%上回る。中国の後を追うのは、成長著しいインドであり、ASEANである。それぞれの2050年までの増分は、中国の2.9倍、1.5倍にもなる。中東・北アフリカ(MENA)も、経済成長と急速な人口増加を背景に消費を大きく増やす。

非化石エネルギーに寄せられる期待は大きいですが、膨大な需要を満たす中心は将来も化石燃料である(図13)。現在81%の化石燃料依存度は30余年をかけて79%へとわずかに低下するものの、化石燃料が2050年までのエネルギー消費増分の4分の3を担う。非化石エネルギーをすべて合わせても、2050年時点で最少化石燃料の石炭にまだ及ばない。非化石エネルギーの増分をすべて合わせて、石油の増分によりやく肩を並べるといった具合である。

図12 | 一次エネルギー消費と増減寄与[レファレンスシナリオ、2017年比]

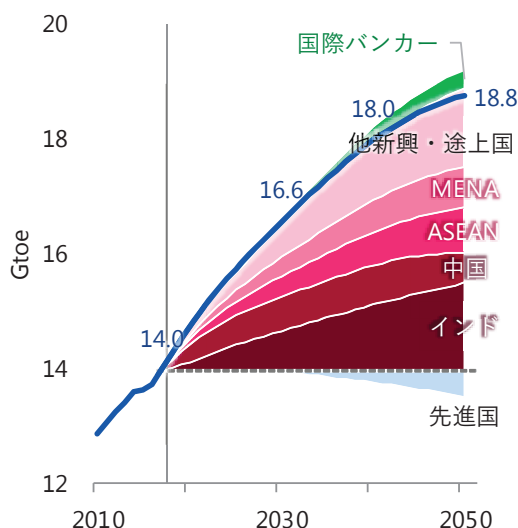
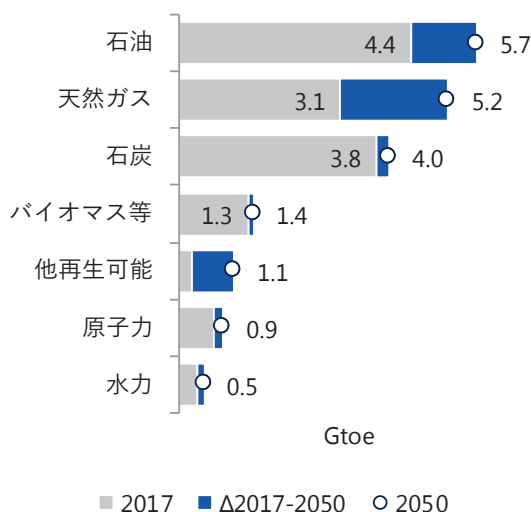


図13 | 世界の一次エネルギー消費[レファレンスシナリオ]



その石油は、2050年においても世界のエネルギー需要の3割を支える最大のエネルギー源である。現在92 Mb/dの石油消費⁵は、2050年には118 Mb/dに達する(図14)。こうした増加を牽引するのは、やはり新興・途上国および国際バンカーである。中国は、2030年頃に米国を凌駕して世界最大の消費国となる——ただし、2040年頃にピークをつけ、その後は減少に転じる。2040年代後半には、今度はインドが中国と入れ替わり最大消費国となる。なお、現在最大の消費国でありかつ最大の生産国である米国の石油需給バランスは、原油輸入の減少とガソリン輸出の増加を背景に純輸出に転じ、純輸出量は2040年の4.4 Mb/dまで拡大する(図15)。

⁵ 一次消費。プロセスゲイン分を含まず、バイオ燃料分も含まない。

図14 | 石油一次消費[レファレンスシナリオ]

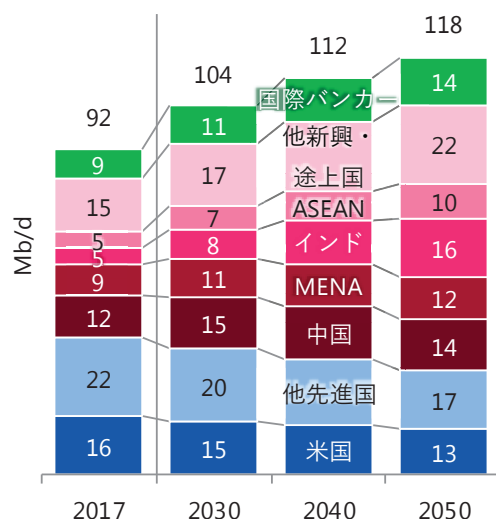
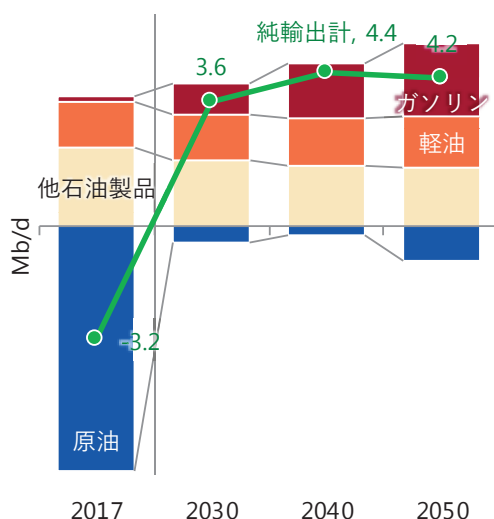
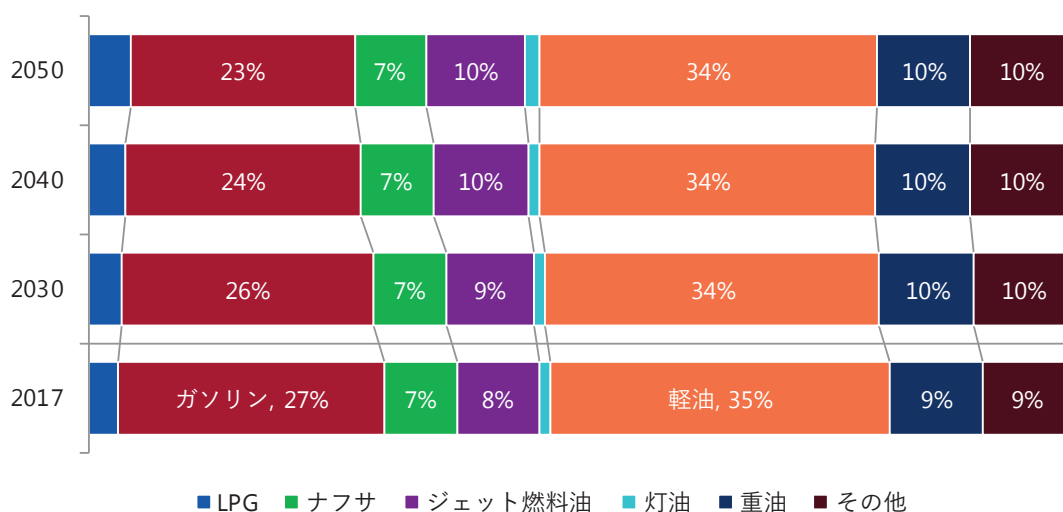


図15 | 米国の石油純輸出[レファレンスシナリオ]



石油製品別の需要では、これまで最重要油種であったガソリン、軽油の地位が取って代わられることはないが、自動車の燃費改善や電動化の影響を強く受けるガソリンのシェアは逡減する(図16)。これとは逆に構成比率を高めるのは、グローバル化や幅広い層への浸透が見込まれる航空輸送を支えるジェット燃料油である。船舶用の重油も含め運輸部門の動向は、石油製品需要構成の重要な決定要因である。

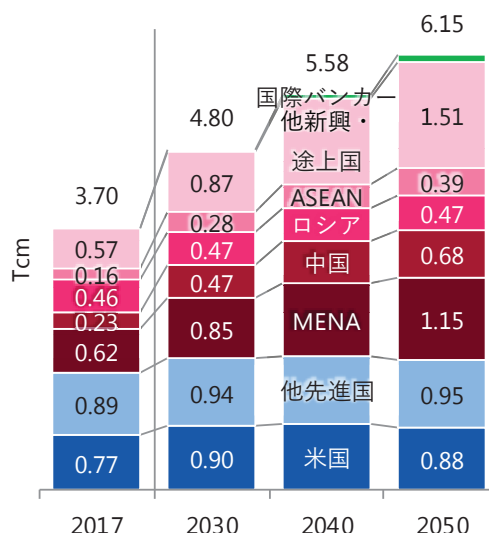
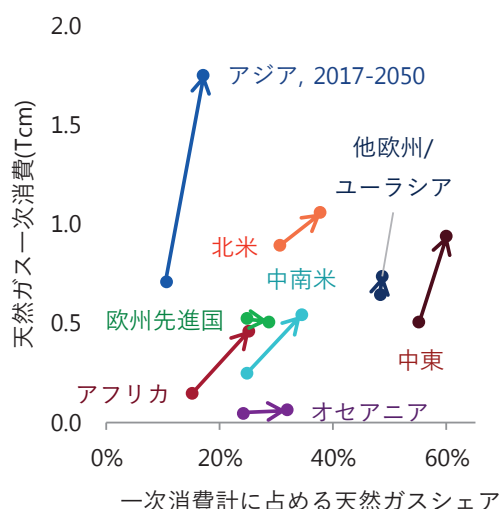
図16 | 世界の石油製品需要構成[レファレンスシナリオ]



注: 製油所自家消費を除く

天然ガスは、消費量の増加が他のどのエネルギー源よりも多く、2030年代半ばに石炭を抜き石油に次ぐ第2のエネルギー源となる。とはいえ、天然ガスの利用程度は、地域差が大きい(図17)。米国ではこの先10年ほどで、欧州連合(EU)では2040年ごろ、アジア以外の地域計ではこの先数年で、天然ガスが最大のエネルギー源となる。ただし、先進国の消費量は——IEEJ Outlook 2019までとは異なり——2040年以降は緩やかな減少トレンドに従う(図18)。

図17 | 天然ガスの一次消費計に占めるシェアと消費量[レファレンスシナリオ] 図18 | 天然ガス一次消費[レファレンスシナリオ]



石炭消費は、増加が影をひそめていた年も近年あったが、このまま減少してゆくということはない。消費量は、2030年に6.0 Gtce、2040年には6.1 Gtceまで緩やかに増加する(図19)。減少(微減)トレンドを形成するのは、2040年代である。ただし、様相は地域によってかなり異なる。先進国では引き続き減少、世界最大の石炭消費国である中国では、2020年代半ばまで微増した後に減少に転じる。一方、インド、ASEANでは石炭が旺盛なエネルギー需要の多くを賄い、ASEANでは2050年の石炭依存度は現在より高くなる。こうした結果、2050年には世界の石炭の80%がアジアで消費される(図20)。

図19 | 石炭一次消費[レファレンスシナリオ]

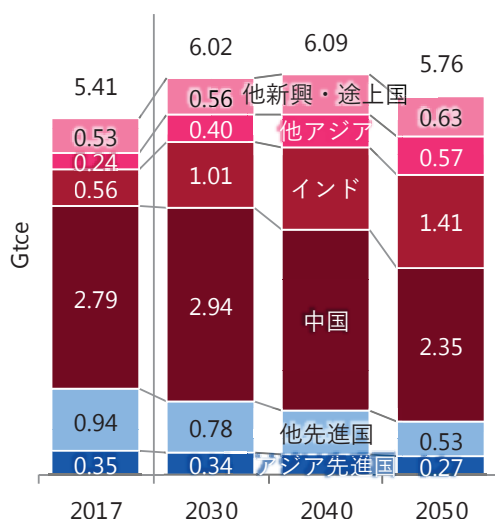
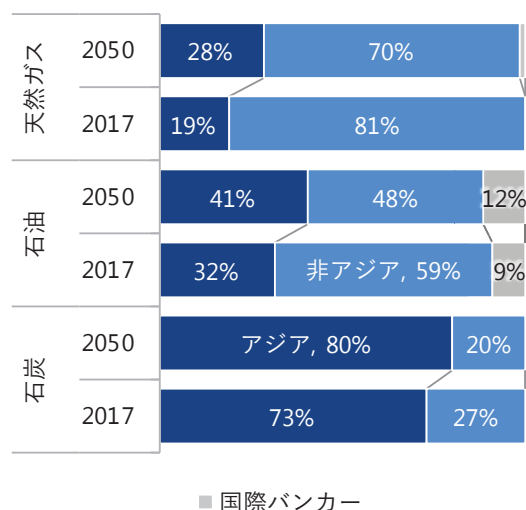


図20 | 化石燃料一次消費構成[レファレンスシナリオ]



エンドユーザーが実際に消費する分を表す最終エネルギー消費は、現在の9.7 Gtceから2050年までに34%増え13.0 Gtceに達する(図21)。最も多く最終消費されるエネルギー源はこの先も石油で、2050年におけるその構成比は41%で現在と変わらない。石油の最大消費部門である道路部門では、電気自動車などによる石油消費減退が注目されている。しかし、2050年でも道行く自動車の7台のうち6台は、石油タンクを備えた車——従来型石油内燃機関車、ハイブリッド車、プラグインハイブリッド車——である。

電力は、各国・地域の経済発展段階を問わず嗜好され、他のどのエネルギー源よりも増加する。最終エネルギー消費に占めるシェアは、現在の19%から2050年には26%まで上昇する。新興・途上国では、電力インフラの充実や所得の向上を背景に1人あたりの電力消費が増加し、これに人口増加が消費量拡大に拍車をかける(図22)。先進国でも、最終エネルギー消費計は総量、1人あたりともに減少する中で電力だけは増加を続け、電化がさらに進む。最終エネルギー消費に占める電力のシェアは、現在の22%から30%まで上昇する。

図21 | 世界の最終エネルギー消費[レファレンスシナリオ]

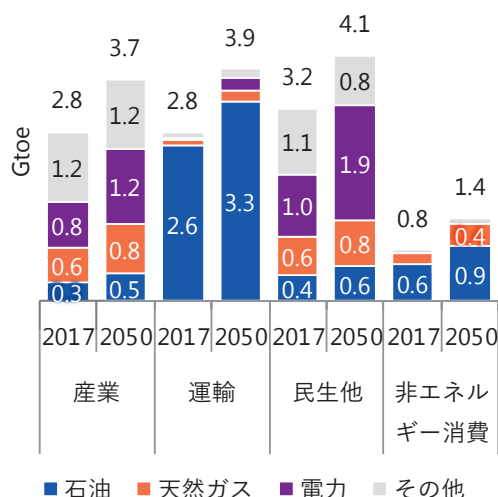
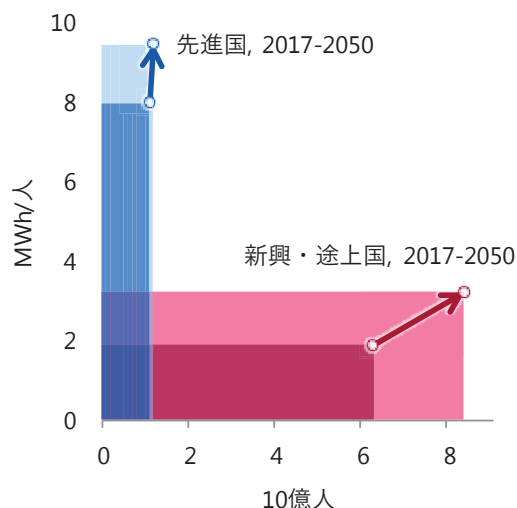


図22 | 電力最終消費[レファレンスシナリオ]



電力消費の伸長に伴い、世界の発電電力量も2050年までに77%増と大幅な伸びを示す(図23)。そのため、石油以外のエネルギー源においては、2050年までの一次消費増分の過半あるいはほとんどが発電用に帰属する(図24)。換言すれば、発電所で何をどれだけ効率的に用いるかが、エネルギー消費の全体像を大きく左右する。

図23 | 発電量[レファレンスシナリオ]

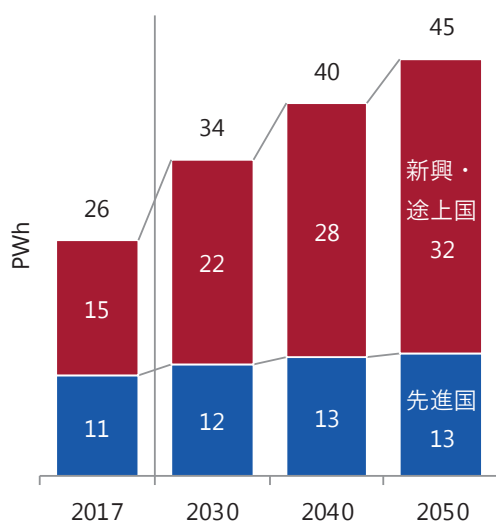
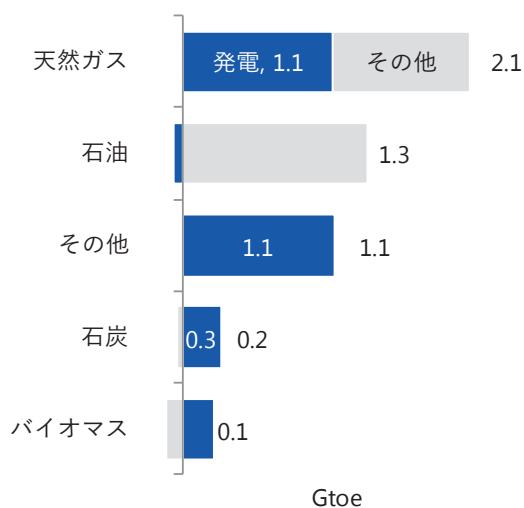


図24 | 世界の一次エネルギー消費増加[レファレンスシナリオ、2017年-2050年]

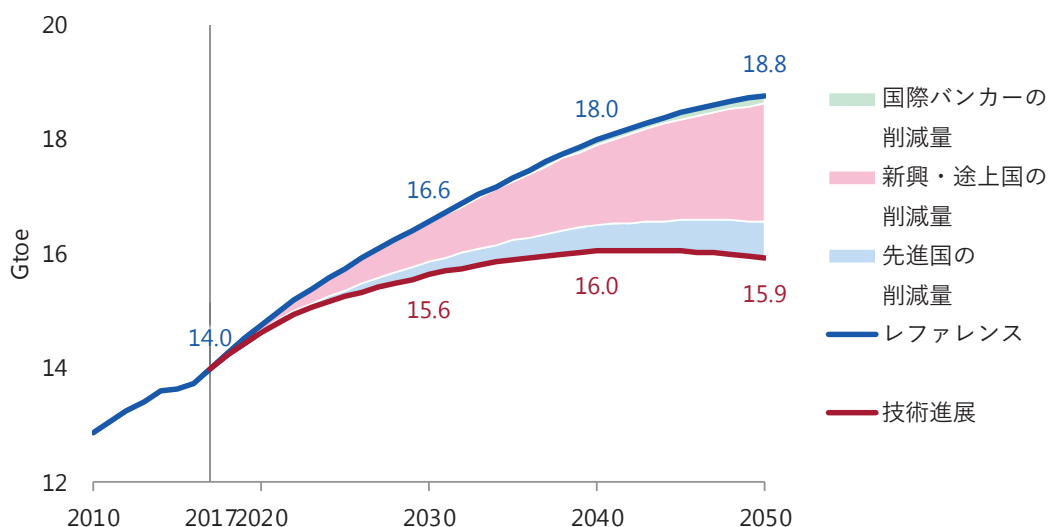


技術進展シナリオ

「技術進展シナリオ」では、エネルギー安定供給確保、気候変動対策、大気汚染対策などのため、省エネルギー・低炭素化技術が、世界のすべての国において、現実社会での適用機会・受容性を踏まえて最大限展開されることを想定する。この最大限の展開の想定のため、技術毎に導入可能性を検討し専門的見地からジャッジメントを下した。今後の消費増分はレファレンスシナリオ比で41%にまで抑制され、2050年におけるエネルギー節減量は現在の消費量の20%に相当する2.8 Gtoeに上る(図25)。

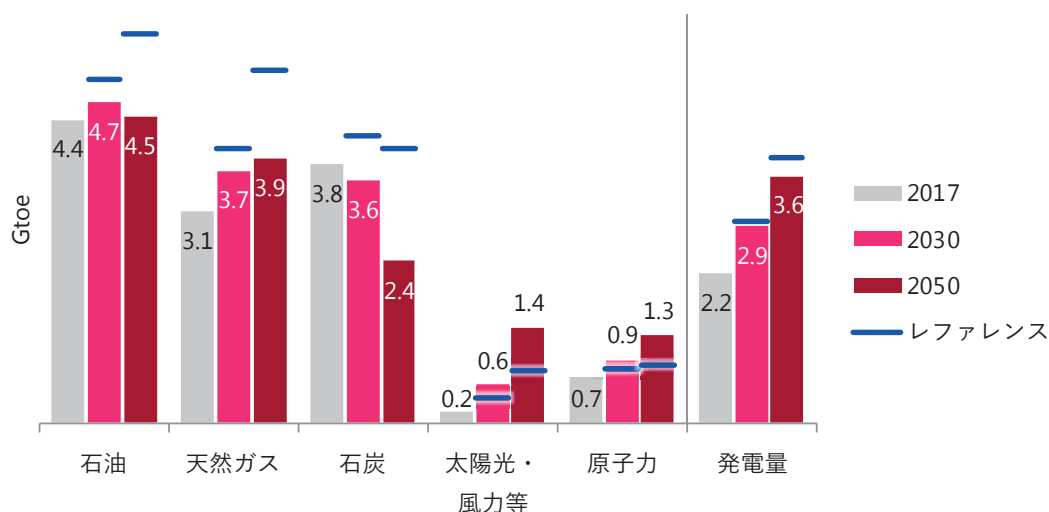
技術進展シナリオの実現に必要な2050年における省エネルギー量のうち、22%は先進36か国によるものである。これに対し、中国、インドは1国でそれぞれ21%、18%の節減に寄与し、新興・途上国では合わせて73%にもなる。世界の将来像は、技術展開のポテンシャルに恵まれた新興・途上国での広範な省エネルギー・低炭素化に大きく依存する。

図25 | 世界の一次エネルギー消費



化石燃料は、2050年にレファレンスシナリオから合わせて4.2 Gtoe減少する(図26)。このうち最も著しいのは、主に発電用が電力消費の抑制、他エネルギーへの代替影響により減少する石炭である。天然ガスは——技術進展シナリオでも増加を続けていたIEEJ Outlook 2019までと異なり——2040年代前半にピークとなり、その後はわずかながらも減少する。石油は、2030年過ぎには頭打ちとなり、2050年にはレファレンスシナリオを25 Mb/d下回る。

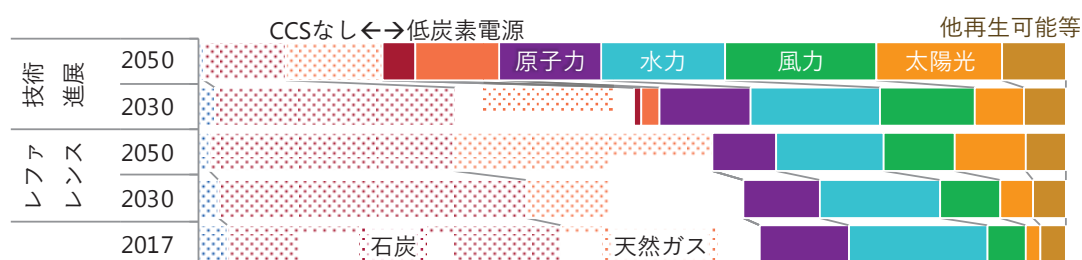
図26 | 世界の一次エネルギー消費、発電量[技術進展シナリオ]



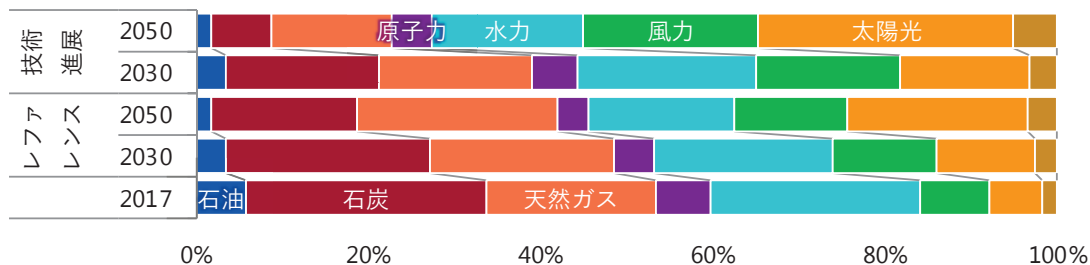
非化石エネルギーでは、太陽光・風力等がレファレンスシナリオより0.6 Gtoe、原子力が0.4 Gtoe増加する。これらに加え、CO₂回収・貯留(CCS)付き火力発電所の導入により、2050年における低炭素電源の発電量構成比は、レファレンスシナリオ(41%)の約2倍に相当する79%に達する(図27)。

図27 | 世界の電源構成

発電量

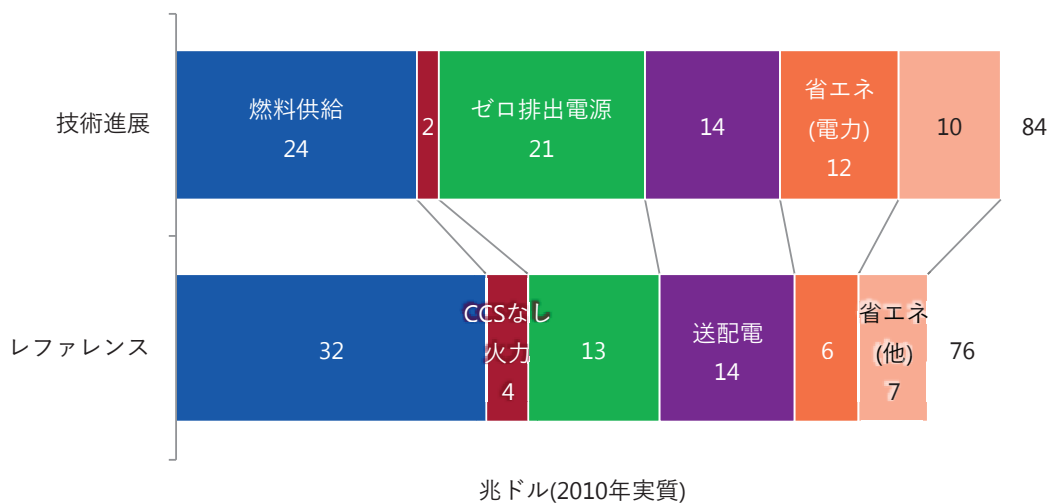


設備容量



こうしたエネルギー需給像を実現するためには、2050年までに総額84兆ドル(2010年実質価格)もの投資が必要となる(図28)。そのうち22兆ドルが省エネルギーにかかる分である。技術進展シナリオへの移行は、こと電力の供給・消費にかかる設備・機器に対し、より多くの資本費すなわち初期投資を求める。低炭素化の具現には、着実な技術開発・低コスト化と、長期を見据えた適切な投資が欠かせない。

図28 | 世界のエネルギー関連投資[2018年-2050年累積]



世界のエネルギー起源CO₂排出量は2020年代半ばをピークに減少に転じ、2050年には25.3 Gtと、2010年比17%減少——先進国は54%減少、新興・途上国は6%増加——する。温室効果ガス(GHG)排出半減目標の水準には遠く及ばない。

エネルギー変革に向けた課題

再生可能エネルギーの大量導入の可能性と課題

太陽光発電、風力発電は、多くの国で発電コストが大幅に低下しており、普及が急速に拡大している。将来に向けて野心的な導入目標も提示されている。ただし、素朴に想像されるのとは異なり、太陽光・風力やその他の再生可能エネルギー資源であってもまんべんなく賦存してはいない。導入の可能性を検討する際には、地域特性や地域

⁶ 投資であって、収益を生まない費用や損失ではない。市場が適切に機能する環境であれば、これらの投資の多くは十分に回収可能と見込まれる。ただし、市場で短期主義が前面に出ると、適切な支援なしには長い回収期間を要するエネルギー投資は十分な資金を集めにくくなり、必要な投資が行われないうリスクが高まる。

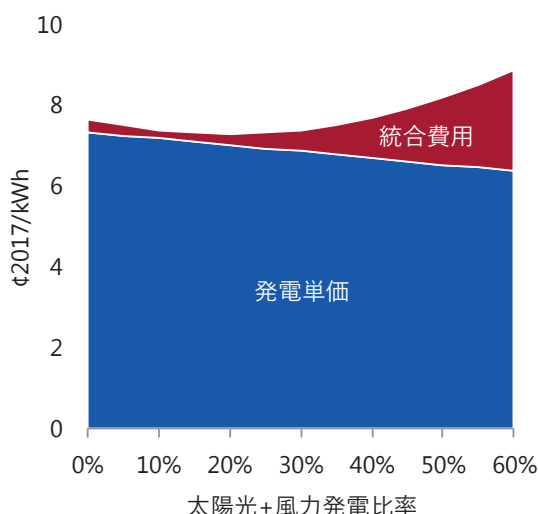
による差異——風力発電の適地である欧州に対しそうではないASEANや日本など——を十分に考慮することが不可欠である。

太陽光・風力発電の導入可能性の検討においても1つ重要な点は、これらの大量導入に伴って生じる経済性の変化である。太陽光・風力発電は供給間欠性を有し、かつ人間が制御することもできない。電力系統の安定を保つためには、蓄電池の導入や余剰時の出力制御、柔軟性の確保などの追加的な対策が必要となる。そのための費用は、太陽光・風力発電の導入が進むにつれ大きな額となってゆく。すなわち、経済性を評価するにあたっては、従来行われていたような発電単価を見るだけでは十分でなく、こうした「統合費用」を加味することが期待される。

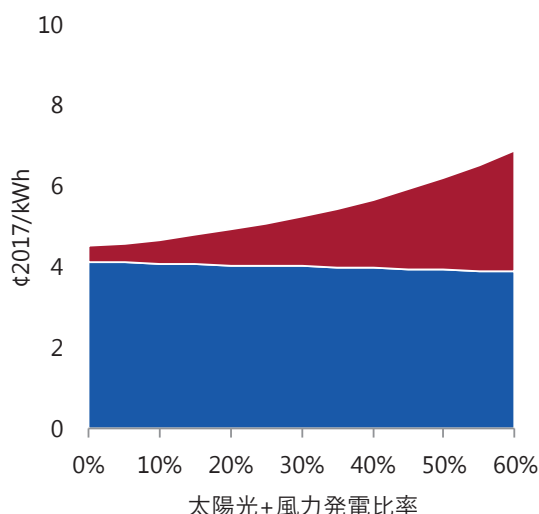
2050年の欧州およびASEANにおける太陽光・風力発電比率と経済性との関係では、発電単価は再生可能エネルギー比率の増大に伴い低下する(図29)——これは、太陽光・風力の発電単価が火力などよりも安いと想定しているためである。一方で、統合費用は太陽光・風力発電比率が増大するにつれ顕著に上昇する。そのため、発電単価と統合費用とを合算した電力総単価は、比較的低い太陽光・風力発電比率で最小となる。

図29 | 統合費用の試算例[2050年]

欧州



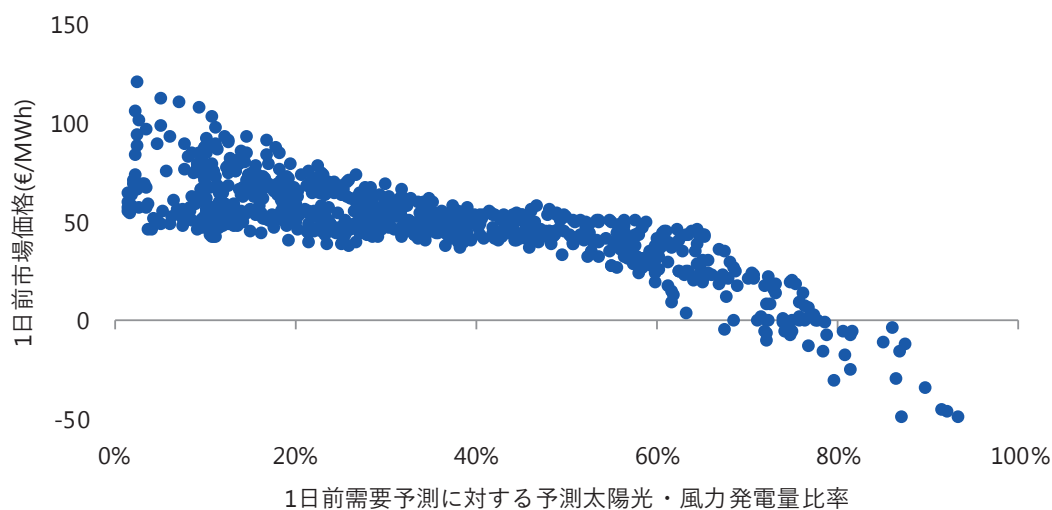
ASEAN



太陽光・風力発電は、燃料費が不要で運転維持費も比較的小さいため、電力の市場価格にかかわらず発電する傾向がある。太陽光・風力発電の導入が進むと、その発電量

が多くなる時点——例えば晴れた日の昼間や地域全体で良好な風が吹く時——において、卸売電力市場価格は低下し、マイナスの値さえつける(図30)。

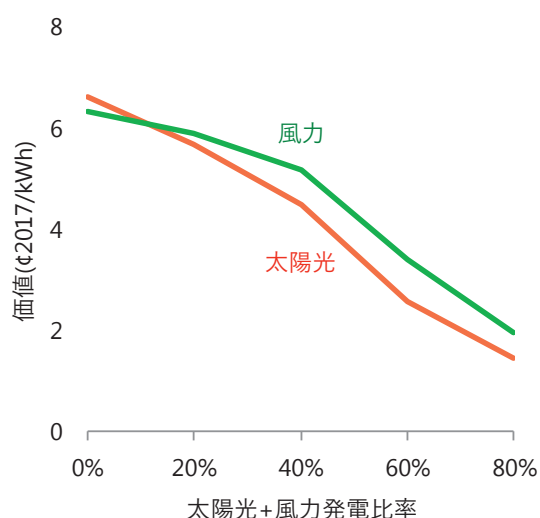
図30 | ドイツの太陽光・風力発電比率と電力市場価格[2019年1月～7月]



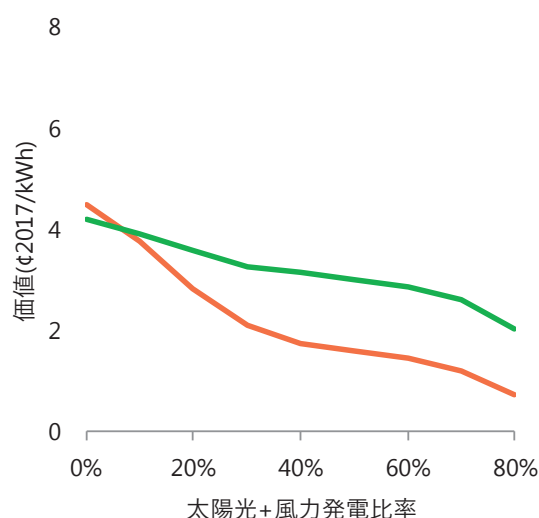
出所: Entso-Eデータより作成

図31 | 共食い効果の試算例[2050年]

欧州



ASEAN



例えば、太陽光発電の導入量が膨大となった場合、太陽光が発電する日中は電力の市場価格がタダ同然となり、太陽光発電からは収益をほとんど得ることができない。太

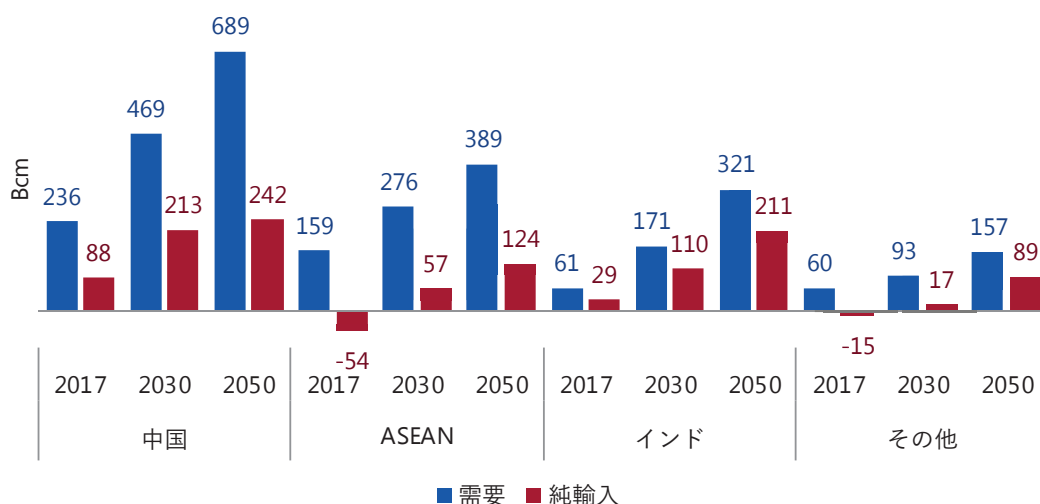
陽光発電が他の太陽光発電の、そして自身の価値⁷を棄損する「共食い」となる(図31)。また、電力価格の極端な低下は、他の再生可能発電や火力発電などの収益性も損ね、ひいては電源全体の過少投資を惹起する。自然変動性に伴う電力供給途絶リスクに対応するだけでなく、電力供給の持続可能性も確保できるよう対策を打った上で、太陽光・風力発電の導入を適切に進めなければならない。

Respice, adspice, prospice. (過去を吟味し、現在を吟味し、将来を吟味せよ)

アジアのLNG

アジアの天然ガス需要は、レファレンスシナリオでは、年率2.8%で増加し2050年には1,748 Bcmに達する。その多くは、国内資源の制約のため輸入——とりわけLNG——により満たすことになる(図32)。ただし、中国、インド、ASEANは石炭火力への依存度が高く、こうしたアジア新興LNG輸入国⁸の発電部門でのLNGは、廉価な石炭との競合が避けられない。アジアでのLNG利用は、潜在的な需要を相当程度下回るものになると考えられる。

図32 | アジア新興LNG輸入国の天然ガス需要と純輸入[レファレンスシナリオ]



アジアでの新設の天然ガス火力が0となる前提の高価格ケースの場合、アジア新興LNG輸入国のLNG需要は、2050年にかけての伸びが年率0.4%にとどまる(図33)。2050年の需要は108 Mtと、レファレンスシナリオより188 Mt (63%)も少ない。一方、アジアでの石炭火力増分の半分が天然ガス火力に移る前提の低価格ケースでは、2050年

⁷ ここでは売電収入を発電量で除したものとして評価

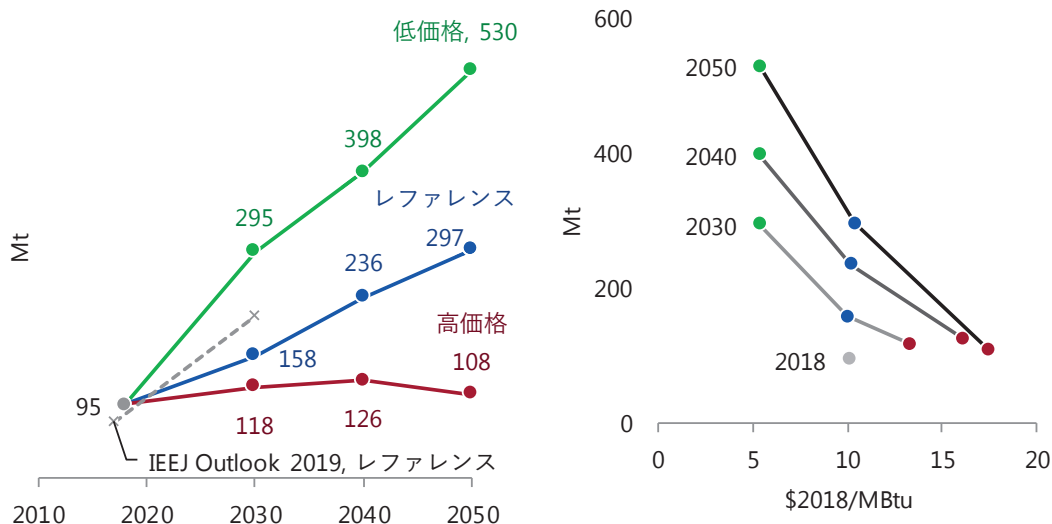
⁸ アジア新興LNG輸入国は、中国、ASEAN、インド、その他南アジア

にかけての伸びは年率5.5%となり、2050年の需要は現在の世界のLNG需要426 Mtを上回る530 Mtにも達する。中でも、ASEAN、インド、その他南アジアの需要は、極めて急速に拡大する。高価格ケースと低価格ケースでは、2050年の需要の差は422 Mtにも上る。

図33 | アジア新興LNG輸入国のLNG需要

需要

価格—需要曲線



LNG需要の拡大で、その環境メリット等をより享受するためには、LNG価格が低位で推移することが必要である。供給側は、液化や輸送段階におけるコスト削減が求められることになる。ただし、拡大する需要を賄うに足る供給を可能にする投資が適切に実施されていく必要があり、需要・供給双方の観点での持続可能な、健全な市場成長・拡大が重要である。なお、輸入側では、インフラ整備、天然ガスへの燃料転換、ガスや電力の小売価格への補助金削減、長期売電契約といった天然ガス火力発電への優遇策などの取り組みを進めることが必要である。

エネルギー利用におけるLNGの位置づけが今後大きくなるにつれ、その供給セキュリティに対する関心が高まることが考えられる。これまでアジアの伝統的LNG輸入地域のLNG供給セキュリティは、主に輸入相手国やルートの分散化と天然ガスの高効率利用という方法によって担保されてきた。また、長期契約そのものが安定供給に資するとの考えも採られてきた。しかし、近年のLNG市場では、供給力の拡大や量的に柔軟な取引の増加など、供給安定化にとって追い風となる新たな要素や変化が生まれている。この状況下、米欧や中国など、LNG以外の多様な天然ガス供給手段を持つ「懐の深い」国/地域があり、LNG・天然ガス供給の柔軟性をこれら地域とグロー

バルに連携・協調することで、アジアのLNG供給セキュリティをさらに高められる可能性がある。

表1 | LNGの供給セキュリティ対策

既存の対策	輸入相手国やルート分散化 ある国からの輸入が途絶えた場合でも、他国からの輸入で代替
	効率的な利用による需要の抑制 利用効率の向上によって輸入量を減し、支障の影響範囲や対策量を削減
	長期契約による売り手との安定的な関係構築 拘束力を持つ長期契約によって売り手との間に安定的な関係を構築することで供給を確保。 特に、需要が拡大する局面で有効
新たな対策	流動性の高いアジアLNG市場を作りそれを活用 流動性の高い国際市場から、必要な時に必要な量を輸入
	他の天然ガス市場との協調 欧州、中国、米国など他の天然ガス市場の特徴を活かし、それらと協調してLNG需給バランスを調整する仕組みを構築

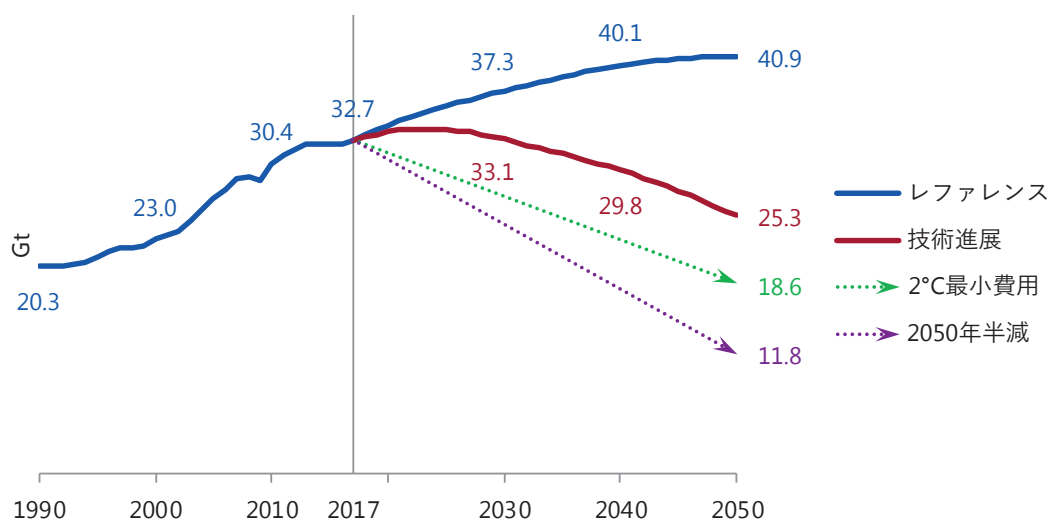
天気の良い日に嵐のことなど考えてもみないのは、人間共通の弱点である(ニッコロ・マキャヴェッリ)

気候変動問題への実践的アプローチ

技術進展シナリオにおける2050年のエネルギー起源CO₂排出量は、2010年から17%減少し25.3 Gtとなる(図34)。しかし、2150年に19世紀後半からの気温上昇を2°Cに抑える「2°C最小費用パス」⁹を達成するためには、さらに7 Gt削減する必要がある。

ここで言う「費用」(総合コスト)とは、CO₂の削減に代表される「緩和」のための支払いだけでなく、気候変動影響にうまく対処するための「適応」に費やすコスト、それに「被害」を包括した総和である(図35)。そして、「実践的アプローチ」とは、人類がこの先超長期にわたり気候変動対策と経済成長を同時達成できるよう、この費用をできる限り抑えるべく最善の方策を採り、同時にそれに資するゼロカーボン水素やカーボンリサイクル技術などの新・革新的技術の開発・普及を推し進めようとするものである。

⁹ IEEJ Outlook 2018を参照

図34 | 世界のエネルギー起源CO₂排出

注: 2050年半減は、気候変動に関する政府間パネル(IPCC)第5次評価報告書(AR5)で整理されている「RCP2.6」における排出パスを設定

図35 | 「費用」とその最小化

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。CCS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

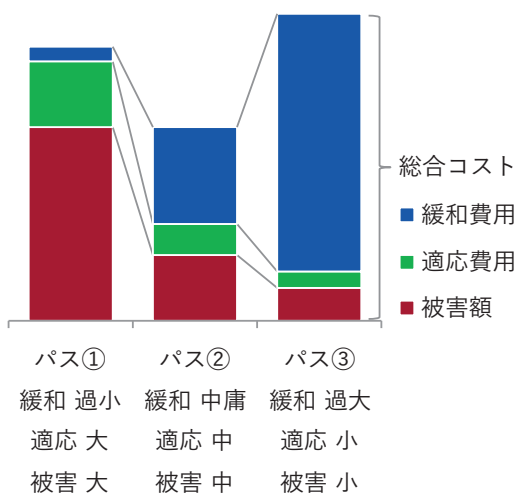


表2 | 革新的技術の例

技術	概要	課題
CO ₂ の発生を抑制するもの	次世代原子炉 超高温ガス炉、高速炉などの第4世代原子炉や中小型炉が、現在国際的に開発がすすめられている	次世代原子炉に対する研究開発支援の拡大等
	核融合 質量数の小さな水素等の核融合により、太陽と同じようにエネルギーを取り出す技術。 燃料となる重水素は豊富かつ普遍的に存在する。また、高レベル放射性廃棄物としての使用済燃料が発生しない	連続的に核融合反応を起こし、またそれを一定の空間に閉じ込める技術、エネルギー収支およびコストの削減、大規模な開発のための資金調達と国際協力体制の構築等
	宇宙太陽光 (SPS) 太陽光が地上よりも豊富に降り注ぐ宇宙空間にて太陽光発電を行い、発電した電気を、マイクロ波等を通じて無線で地球に伝送し地上で利用する技術	無線エネルギー転送技術の確立、宇宙に建設資材を運ぶコストの低減等
発生したCO ₂ を固定、または、大気中のCO ₂ を取り除くもの	水素の利活用 水素を化石燃料から製造する場合は、発生したCO ₂ の二酸化炭素回収・貯留(CCS)実施によりカーボンフリーにできる	水素製造技術(化石・再エネベース)のコスト削減、輸送・貯蔵の効率向上、水素利用を促進するための制度構築(第1/2、水素閣僚会議/東京ステートメント)等
	CO ₂ 固定化・有効活用 (カーボンリサイクル) 触媒変換、鉱物化、電気化学的変換、光触媒変換、発酵などにより、CO ₂ を原料にして化学中間品、燃料、建材、ポリマーなどを製造。CO ₂ を固定化できる	固定化・有効利用できる量や効率の格段の向上等(カーボンリサイクル産学官国際会議)
	CCS付きバイオエネルギー (BECCS) 生物学的プロセスによる光合成とCCSにより、大気から炭素を吸収	大規模な土地を必要とし、食料等の生産のために利用可能な土地面積に影響を与える可能性がある

しかし、気候変動に伴う被害をどう見積もるかについては、研究が世界中で進められているものの、十分な知見が蓄積していない。IEEJ Outlook 2020では、不確実性をもたらしているもののうち、「グリーンランド氷床の融解」に代表されるような、ある一定の限界を超えると地球を現平衡状態から別の平衡状態に不可逆的に移行せしめる要因(Tipping element)について考察している。

グリーンランド氷床の融解、シベリアの永久凍土の融解および北極海のアルベド¹⁰の変化を考慮しても、費用最小化のアプローチで描かれる絵姿を大きく変えるほどではない。ただし、他のTipping elementやそれ以外の不確実性を含め、常に最新のデータをもとに気候変動問題に係る定量的な評価を継続することが望まれる。

気軽に約束しない人は、最も誠実に約束を守る(ジャン=ジャック・ルソー)

¹⁰ 入射光エネルギーに対する反射光のエネルギーの比

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、モデル化を行っている。世界全体を図1-1に示す42地域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上で分析した。

図1-1 | 地域区分



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]

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	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
【需要サイドの技術】 ■ 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 ■ 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 ■ 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	【供給サイドの技術】 ■ 再生可能エネルギー 風力発電、太陽光発電、太陽熱発電、バイオマス発電、海洋発電、バイオ燃料の普及拡大 ■ 原子力導入促進 原子力発電建設加速、設備利用率向上 ■ 高効率火力発電技術 SC、USC、A-USC、石炭IGCC、天然ガスMACCの普及拡大 ■ 次世代送配電技術 低損失型の変電設備、電圧調整装置 ■ 二酸化炭素貯留技術

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、人口、経済成長については、両シナリオ共通の前提として、以下のような想定をしている。

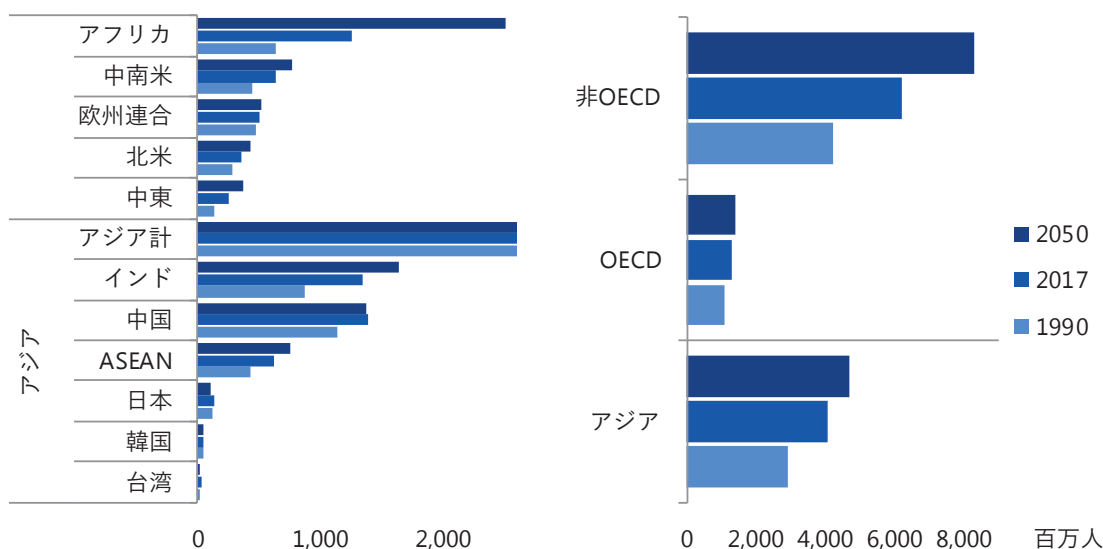
人口

人口の想定においては、国際連合の“World Population Prospects”等を参照した。多くの経済開発協力機構(OECD)諸国においては、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を割り込んでおり、人口減少圧力が増大する。非OECD諸国においても所得水準の上昇、女性の社会進出に伴い出生率は低下傾向にあるが、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いるため、人口の増加が続く。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、2017年に75億人であった世界の人口は、2050年には97億人に達する(図1-3)。

OECDのうち、北米では、特に米国において、国外からの人口流入が多く、また出生率も高いことから、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にとどまり、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り、欧州連合(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、今後は世界で最も速いスピードで減少してゆく。2050年には総人口は現在から約2割減少し、1億500万人となる。韓国も2030年代半ばをピークに減少に転じる。

図1-3 | 主要国・地域の人口



他方、非OECDでは、アフリカや人口の多い国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、年率2.1%と引き続き急速に増加する。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。ヨーロッパでは、ロシアがソ連崩壊以降の人口減に悩んでおり今後も引き続き減少基調で推移するが、東欧諸国は緩やかなペースで増加する。アジアでは、インドは高い増加率を維持し、2020年代前半には中国を抜き、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年に向けて約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、今後もますます高齢化が進む。多くの若年層が都市部に集中し、農村部での高齢化がさらに深刻化する。

東南アジア諸国連合(ASEAN)は、2050年代には7億6,000万人にまで増加し、中国の半分を超える。

アジア全体としては、引き続き増加となるものの、世界に占める割合は緩やかに減少してゆき、2017年に54%であった世界シェアは2050年にはおよそ48%まで縮小する。

経済

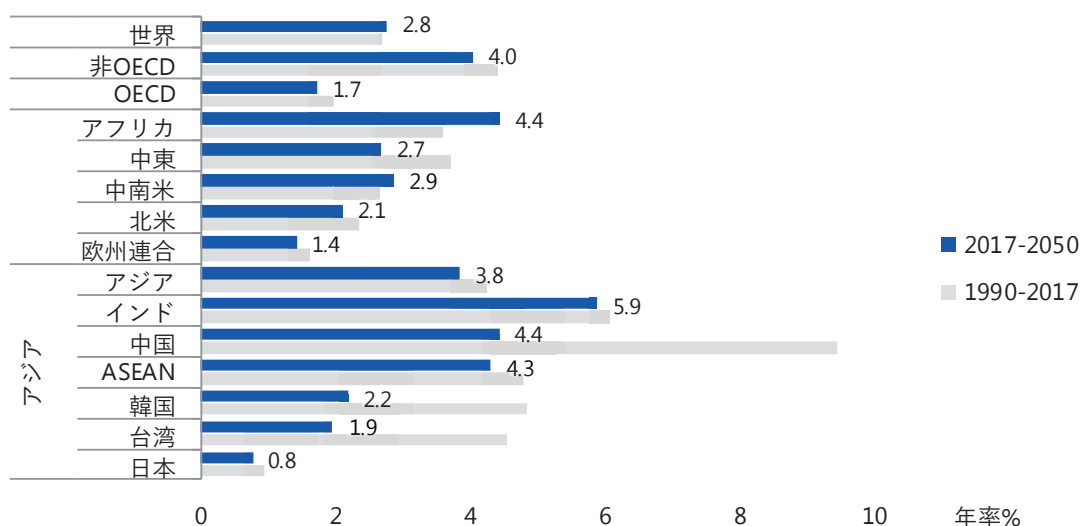
世界経済は足元では、米中摩擦の激化、中国経済の減速、地政学リスクの高まりなどに伴い、各国の経済成長にばらつきが生じている。世界最大の米国経済は、トランプ政権の政策動向に不安感があるものの、雇用・所得環境の改善、税制改革による家計向けの減税効果もあり、OECDの中では顕著な成長を見せている。また、米国に次ぐヨーロッパ経済は、東欧を中心に経済成長が続いているが、英国がEUからの「合意なき離脱」に至る可能性を抱える。世界第3の経済規模を持つ中国経済は、対米輸出額の半分に当たる2,700億ドルに対する関税引き上げを控え、先行きは不透明である。こうした世界経済の減速リスクを受け、原油価格は下落しており、協調減産の長期化がロシアや中東、中南米などの産油国・資源国経済を圧迫している。

中長期的には、人口増加、生産性向上、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を通じ、多くの国で経済は成長してゆくと考えられる。先進国はこれまでと同水準での成長が続き、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5.9%で成長する。中国は、減速傾向が続くものの年率4.4%の成長となる。アフリカは年率4.4%と地域別では最も成長が加速し、2050年には現在の約5倍に成長する。

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ている。しかしながら、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。

以上のような情勢を鑑み、また国際通貨基金、アジア開発銀行をはじめとする国際機関による予測、ならびに各国政府の経済開発計画等も参考にして、見通し期間における世界の経済成長率を年率2.8%と想定した(図1-4)。

図1-4 | 主要国・地域の経済成長率



国際エネルギー価格

2014年後半以降、ヨーロッパや中国の景気減速等に、米国の原油増産および石油輸出国機構(OPEC)の減産見送り等も加わり、国際原油市場で需給緩和・供給余剰感が拡大したことで原油価格が急落し、2016年1月にはBrent原油価格は\$30.80/bblまで下落した。その後、米国の原油生産増加などもあったが、OPECの協調減産合意等により原油価格は上昇を続けた。2018年5月には米国がイラン核合意からの離脱を表明し、2018年9月平均では\$80/bbl前後まで上昇した。しかし2018年11月に米国が日中韓等8か国にイラン産原油禁輸の180日間の適用除外発表を発表し、低下トレンドへ転じた。米中貿易摩擦に端を発する世界経済減速懸念が価格低下に拍車をかけ、\$50/bbl付近まで低下した。これを受け12月のOPEC総会および非OPEC閣僚会議は、1.2 Mb/dの協調減産を決定した。2019年1月には米連邦準備理事会のパウエル議長が金融政策の見直しを表明し、米国の利上げ延長が見込まれたことなどから再び上昇トレンドへと転じた。4月からは米国原油在庫が高水準であることや米中貿易摩擦の激化懸念により下降トレンドとなった。7月にはホルムズ海峡沖の英国船タンカー拿捕、9月にはサウジアラビア東部の石油供給施設が攻撃されるなど、地政学リスクが高まっている。

レファレンスシナリオ

レファレンスシナリオにおいて、石油需要は世界経済の堅調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。同時に、相対的に生産コストの高い中小規模、極地、大水深油田等へのシフトによる限界費用の上

昇も見込まれる。また、先物市場への過剰な資金流入に対し強力な規制が導入される見込みは薄く、投機・投資資金による原油価格の押し上げの発生も否定できない。これらから、原油価格は短期的な変動幅を増しつつ、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(2018年価格)は、2030年に\$95/bbl、2050年には\$125/bblと想定する(表1-1)。想定インフレ率2%/年での名目価格は、2030年に\$120/bbl、2050年には\$236/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		
		2018	2030	2040	2050	2030	2040	2050
原油	\$2018/bbl	71	95	115	125	80	80	80
天然ガス								
日本	\$2018/MBtu	10.1	9.5	9.7	9.9	9.3	9.3	9.3
ヨーロッパ(英国)	\$2018/MBtu	8.1	8.1	8.4	9.0	7.7	7.8	7.9
米国	\$2018/MBtu	3.1	3.8	4.2	4.9	3.4	3.9	4.0
一般炭	\$2018/t	118	110	120	125	85	85	85

名目価格			レファレンス			技術進展		
		2018	2030	2040	2050	2030	2040	2050
原油	\$/bbl	71	120	178	236	101	124	151
天然ガス								
日本	\$/MBtu	10.1	12.0	15.0	18.6	11.8	14.4	17.5
ヨーロッパ(英国)	\$/MBtu	8.1	10.3	13.0	17.0	9.8	12.1	14.9
米国	\$/MBtu	3.1	4.8	6.5	9.2	4.3	6.0	7.5
一般炭	\$/t	118	140	186	236	108	131	160

注: インフレ率を年率2%として算出。

天然ガスは、米国では今後も廉価な価格が持続する。ただし、開発・生産コストの上昇に伴い、その価格は現在の記録的な安さからは上昇する。日本の実質輸入価格は、2018年の\$10.1/MBtuからいったん少し下げた後、現在と同じ水準まで上昇すると想定する。なお、米国の液化天然ガス(LNG)輸出開始で、調達先の多様化や仕向け地条項の緩和・撤廃に貢献することが期待され、油価の水準とは少しずつ離れてゆく想定する。足元でも特にアジア向け長期契約LNG価格と低迷するスポット価格の乖離が拡大し、契約条件を見直す動きが出始めている。ただし液化や海上輸送等のコスト低減は一定の限界があり、欧米との価格差は残る。

石炭価格は、一時、需給の緩和を反映してかなり低廉であった。資源制約が相対的に小さいものの、アジアで発電用を中心とした需要が増加傾向にあること、およびこれまでの安値からの反発により、長期的にその価格は上昇しゆく。もっとも、単位発電量あたりの価格は原油や天然ガスと比べると低廉である。

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燃料転換が進むことから、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、石炭価格はアジアで発電用の石炭需要が大きく減少することに伴い、足元から下落する。

2. エネルギー需要

2.1 一次エネルギー消費

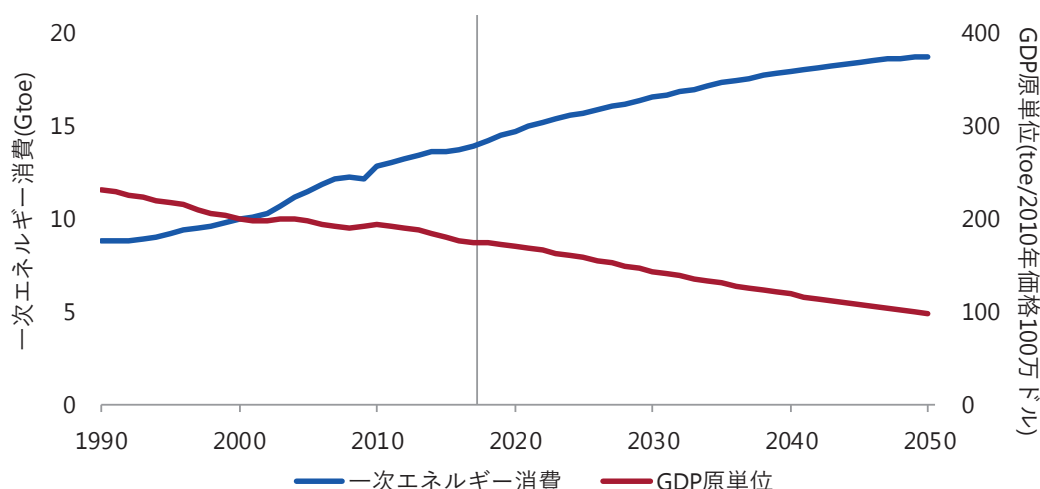
世界

2010年代半ばにおいては、経済の堅調な成長にも関わらず世界の一次エネルギー消費量の増加スピードは鈍化した。リーマンショックの直接的な影響が緩和した2011年から2014年の4年間におけるエネルギー消費の平均増加率は1.4%であったのに対して、2015年および2016年の2年間は0.5%まで低下している。経済成長との関係を表すGDP弾性値¹¹で見ても0.51から0.17へと大幅に低下した。しかし、2017年はこの過去2年の動きに反して、エネルギー消費は1.9%増と大きく増加した。増加の6割以上がアジアによるものであり、中でも中国がそのうちの過半を占めている。経済減速に伴う鉄鋼やセメントなどの生産調整が一巡し、再びエネルギー消費が加速し始めている。「2018年国民経済と社会発展統計公報」によれば、中国の2018年の総エネルギー消費量(速報値)は前年比3.3%増で、増加率は2017年の3.1%よりも高くなっている。

中国以外にも、インドや東南アジア諸国連合(ASEAN)、アフリカなど成長ポテンシャルの高い地域はまだ多い。これらの地域は、概して貧しく十分なエネルギーを享受できていない。経済発展、生活水準の向上とともにエネルギーの需要はますます高くなってゆく(経済発展のためにはエネルギーが必要であるとも言える)。社会・経済・政策・技術導入等の趨勢的な変化の継続を想定するレファレンスシナリオでは、経済成長と人口増加などを背景に、世界の一次エネルギー消費量は2017年の石油換算13,972百万t (Mtoe)から2050年には18,757 Mtoeへと1.3倍に増加する(図2-1)。GDP成長率が年率2.7%であるのに対して、エネルギー消費の増加は年率0.9%にとどまり、省エネルギーが一定程度進展する(GDP弾性値は0.34)。しかしながら、この結果は、レファレンスシナリオにおいて見込んでいる現行のエネルギー政策や省エネルギー技術だけでは、経済成長を進めながらエネルギー消費を抑制するデカップリングが(特に新興・途上国では)困難であることも示唆している。

¹¹ エネルギー消費のGDP弾性値=一次エネルギー消費の変化率/実質GDP変化率

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]



巨大な人口と高い成長ポテンシャルを有するアジアが、引き続き世界のエネルギー消費増に大きく寄与する(図2-2、図2-4)。アジアの世界に占めるシェアは、2017年の41%から2050年には46%まで上昇する。しかし、これまで世界の消費増を牽引してきた中国は、高齢化・人口減少などからその成長はやや鈍化し、消費量は2040年頃をピークに減少に転じる。代わって大きく伸びるのが、相対的に若い人口構成を背景に高成長の継続が見込まれるインド、ASEANである。両地域が世界に占めるシェアは、現在合わせて11%であるが2050年には21%になり、中国を凌駕する規模になる。次いで、大きく拡大するのは中東・北アフリカ(MENA)で、やはり若い人口構成が特徴である。一方、米国や欧州連合(EU)など先進国の消費は減少し続ける。

今後最も増加するエネルギーは天然ガスで、増加量全体の4割強を占める(図2-3、図2-4)。主に発電部門での消費により年率1.6%で拡大し、2030年代半ばには石炭を抜いて、石油に次ぐ第2のエネルギーとなる。次いで大きく増加するのが石油(年率0.8%増)で、主に運輸部門(自動車や国際バンカー)で消費を伸ばす。一次エネルギー消費に占めるシェアは低下するものの、最も多く消費されるエネルギー源であり続ける。石炭は、主に発電部門での増加により消費が伸張するが、大気汚染や気候変動問題等を背景とした使用抑制の動きもあり、2040年頃をピークに減少に転じる。

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]

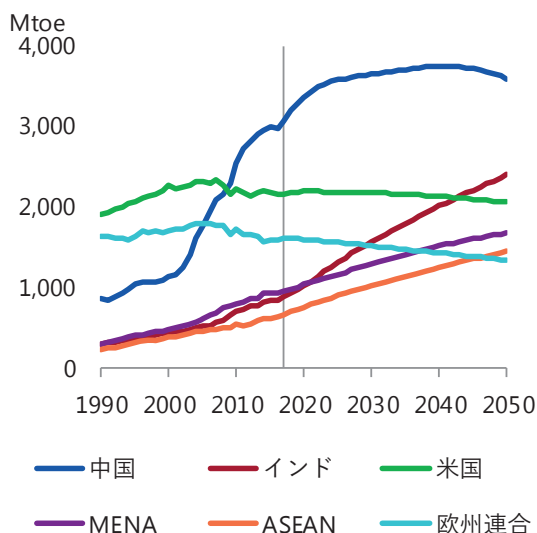


図2-3 | 世界の一次エネルギー消費[レファレンスシナリオ]

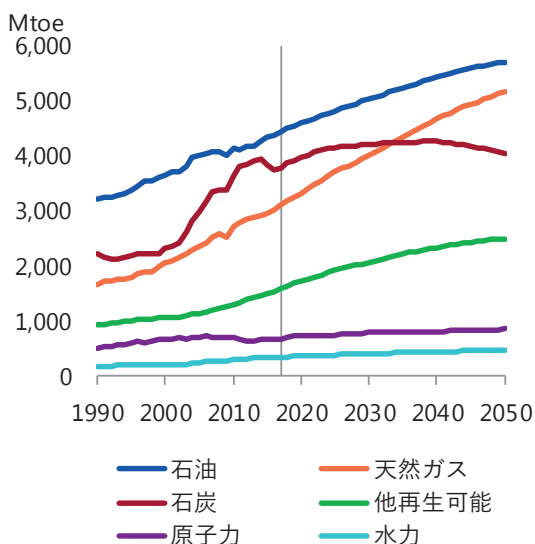
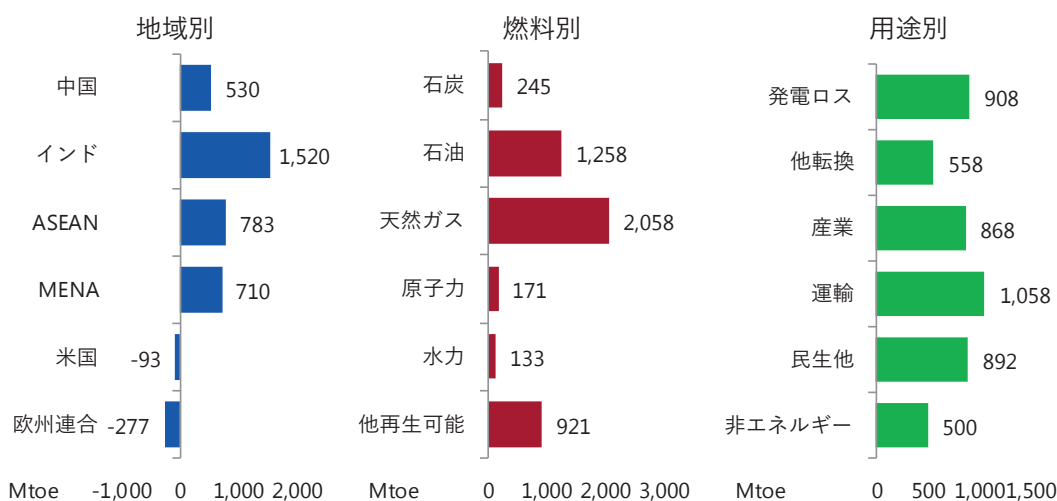


図2-4 | 一次エネルギー消費増減[レファレンスシナリオ、2017年-2050年]



原子力や再生可能エネルギーなどの非化石燃料は、年率1.2%増で増加する。そのうち、太陽光・風力等¹²は年率4.7%と高い伸びを示すが、一次エネルギー全体に占めるシェアは2050年でも4%に過ぎない。現在、一次エネルギー消費の81%は化石燃料(石油、石炭、天然ガス)であり、2050年でも化石燃料が一次エネルギー消費の79%を引き続き担う。近年、気候変動対策として化石燃料への依存低減を目指す国・地域が多く見られる。しかし、野

¹² 太陽熱発電、海洋発電も含む。

心的な気候変動対策を打ち出しているEUであってもなお、2050年時点で一次エネルギー消費の6割以上を化石燃料に頼る(図2-5)。一方、経済成長著しいインドおよびASEANでは、化石燃料への依存をますます強めてゆく。

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]

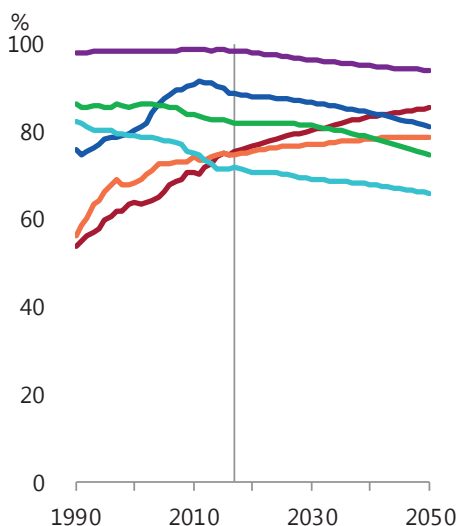
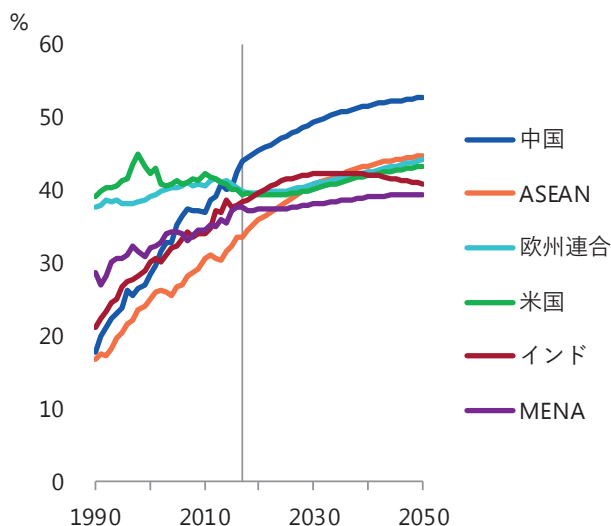


図2-6 | 主要国・地域の電化率(供給側) [レファレンスシナリオ]



用途別でみると、今後最も大きく増加するのは、運輸部門である(図2-4)。所得向上に伴う自動車利用の増加が大半を占めるが、国際バンカー(航空・船舶)による消費量も大きく伸長する。海外渡航や国際貿易の拡大により年率1.8%で増加し、2050年には同部門の20%を占めるようになる。次いで大きく伸びるのが、発電部門におけるエネルギー消費(発電ロス)である。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。そのため、発電のためのエネルギー消費が増大してゆく。供給側からみた電化率¹³は、特にアジアで大きく上昇してゆく(図2-6)。電化率の上昇を抑えるには、発電効率の改善や送配電ロスの抑制が求められる。

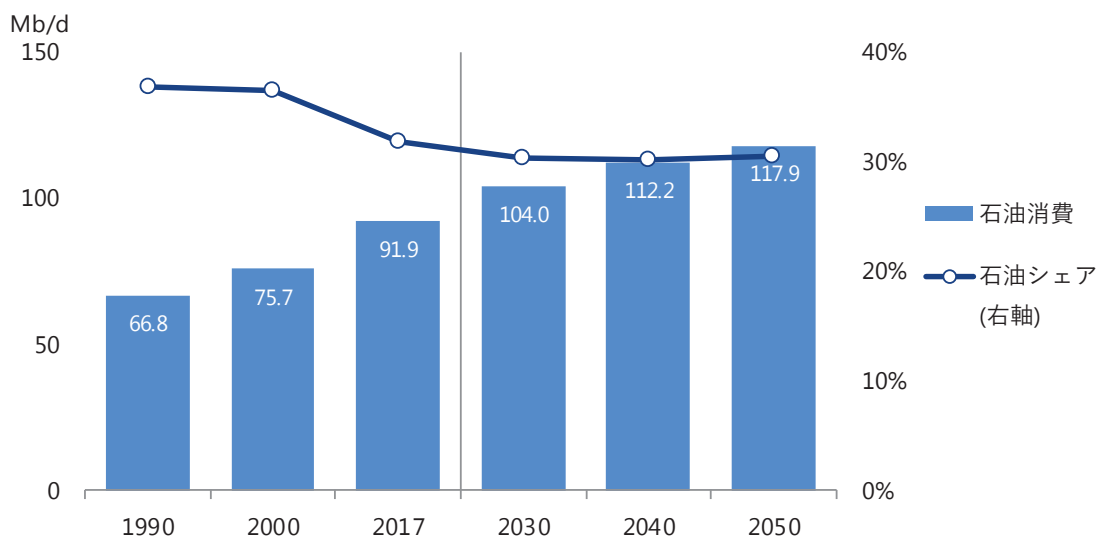
石油

石油は、輸送用燃料や石油化学原料として、2050年までその消費量が堅調に増加する。2017年に日量91.9百万bbl (Mb/d)であった消費量は、2020年代半ばに100 Mb/dを超え、2050年には117.9 Mb/dまで年率0.8%程度で増加する(図2-7)。その増分26.0 Mb/dは、現在世界第1位、2位の生産量を誇る米国・サウジアラビアの原油生産量の和(約25 Mb/d)を上

¹³ 一次エネルギー消費に占める発電投入量の割合。

回る。一次エネルギー消費に占めるシェアは2017年の32%から2050年には30%に低下するものの、最も多く消費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]

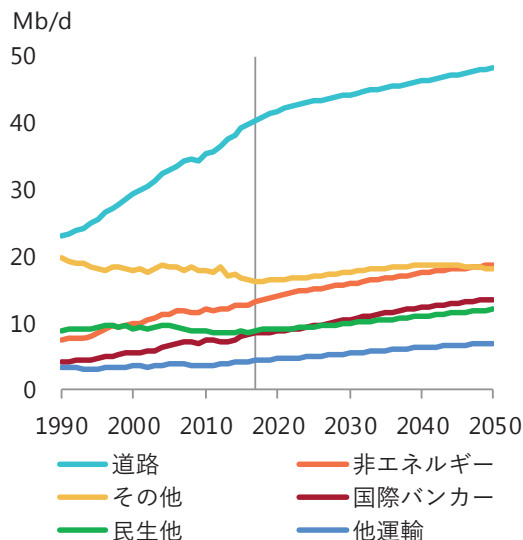
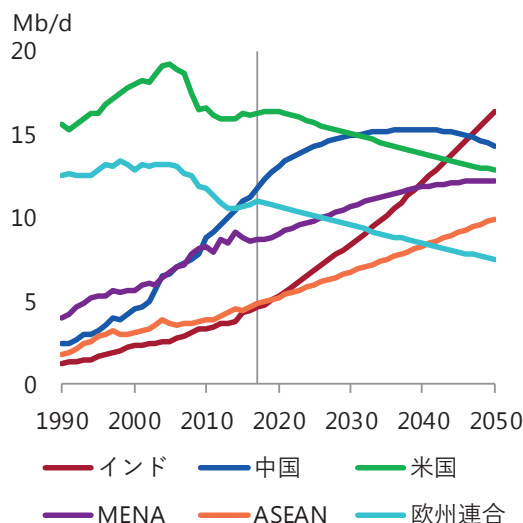


先進国の石油消費は、既に2000年代半ばをピークに減少トレンドに入っているが、今後も年率0.8%で減少してゆく(図2-8)。2050年までに9.4 Mb/d減少するが、その約8割が自動車燃料の減少によるもので、電動化を含む燃費改善の効果が大きい。一方、新興・途上国の石油消費は、年率1.6%で堅調に増加する。2050年までの増分(30.3 Mb/d)のうち50%が自動車用で、次いで石油化学原料用に代表される非エネルギー消費が16%、民生他¹⁴が14%を占める。世界全体の石油消費に占める新興・途上国の割合は、2017年の49%から2050年には64%まで拡大する。特にアジアへの集中度は4割を超える。

中国は2030年頃には米国を追い抜いて世界最大の石油消費国となるが、その後、消費量は2040年代にピークを迎えて減少に転じる。これは、主に自動車燃料の減少によるもので、燃費改善が進展する傍ら、人口減により自動車保有台数の増加がピークを迎える。インドおよびASEANの石油消費は、2017年から2050年にかけてそれぞれ3.5倍、2.1倍に増加する。中国やインド、ASEANは国内消費の増加に対応するために輸入を増やすことになる。中国の石油自給率は現在の34%から26%へ、インドは18%から3%へ、ASEANは50%から21%へとそれぞれ低下する。国内資源に乏しい地域が多いアジアにおいては域外からの供給に依存せざるを得ず、エネルギー安全保障が重要な課題となる。

¹⁴ 家庭、業務、農林水産、その他

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]



2050年までの消費増分のうち6割近くが、自動車用燃料を中心とする運輸部門によるものである(図2-9)。新興・途上国を中心に、世界の自動車保有台数¹⁵は倍増する見込みで、燃費改善が進むものの、自動車燃料消費は7.8 Mb/dの増加となる。国際バンカー(航空・船舶)による石油消費量は、海外渡航や国際貿易の拡大により年率1.4%で増加し、2050年には石油消費全体の12%を占めるようになる。次いで、非エネルギー消費部門での消費増が大きく、5.4 Mb/dの増加となる。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。民生部門では、主に新興・途上国で、給湯・厨房用の需要が大きく伸びる。所得改善に伴い、農村部を中心に、健康被害をもたらす石炭や固形バイオマス利用からの移行が進む。2050年には、石油の58%が運輸部門(うち自動車41%、国際バンカー12%)、16%が非エネルギー消費部門、そして、10%が民生他部門で消費される。

石油はその重要性から戦略的物資と位置づけられ、特に輸入国にとっては、適切な価格での安定した量の確保はエネルギー安全保障上の重要事項となる。そのため、自動車燃料消費の増加に伴う石油輸入依存の高まりは頭の痛い問題である。一方で、中国やインド、東南アジアなど急速に自動車の普及が進んでいる地域では大気汚染が深刻になっている。

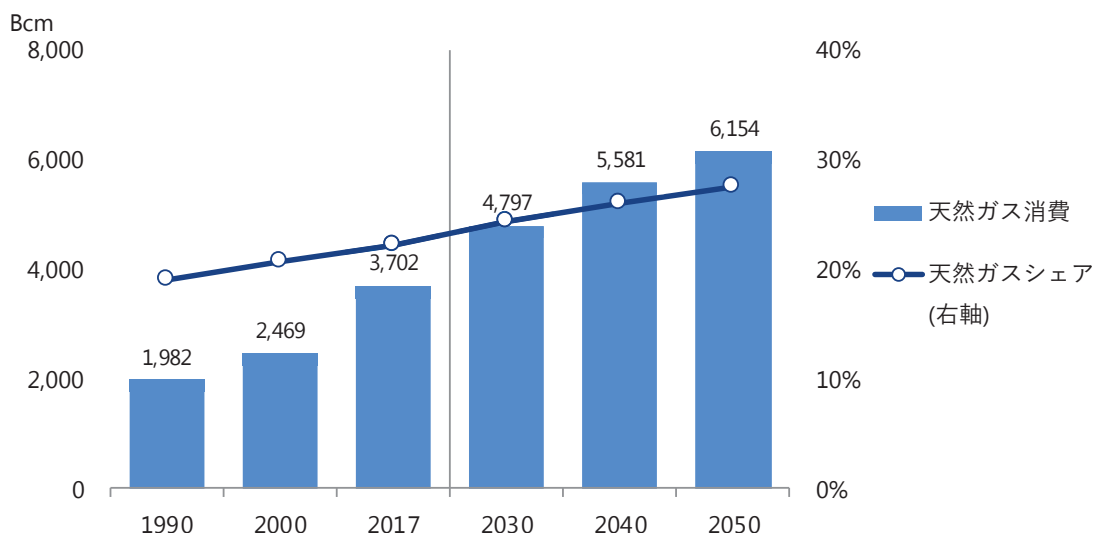
¹⁵ カーシェアリングの進展による台数抑制の効果は織り込まれていない。輸送需要が一定であれば、カーシェアリングにより保有台数が低下しても、稼働率の上昇によって自動車燃料への影響は中立的になる。しかし、シェアリングによる輸送需要への影響、さらに言えば、自動運転化による影響なども含めて不透明な点が多く、今後の研究課題としたい。

気候変動問題への対策も鑑みれば、自動車による石油消費の抑制は喫緊の課題と言える。その主な方策の一つとして、(発電部門の低炭素化を伴った)電動自動車の普及拡大が挙げられる。フランスおよび英国は、それぞれ2040年以降のガソリン車、ディーゼル車等の販売を禁止する方針を示した。中国、インドなど他国でも同様の規制導入を検討する動きが見られる。こうした動きが、本格的に加速すれば、石油消費の増加が抑制あるいは減少する可能性もある(そうした場合の影響については「IEEJ Outlook 2018」参照)。

天然ガス

天然ガスは、発電部門での石炭からの燃料転換や最終消費の増加などから、他のどのエネルギー源よりも消費が拡大し、その量は2017年の3,702十億m³ (Bcm)から、2050年には1.7倍の6,154 Bcmになる(図2-10)。一次エネルギー消費に占めるシェアは、2017年の22%から2050年には28%まで上昇し、石油に次ぐ第2の主要なエネルギーとなる。

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2017年から2050年の間で2,452 Bcm増加するが、この増分の88%が新興・途上国に由来する(図2-11)。この増加により、世界の天然ガス消費に占める新興・途上国のシェアは55%から68%に拡大する。新興・途上国の中でも特に著しい増加が生じるのが、中国、インドおよびMENAである。中国の天然ガス需要はこの先33年間で452 Bcm、インドは261 Bcm増加する。中東では、石油輸出による外貨獲得のために、国内での石油消費抑制・天然ガス活用を進めるほか、雇用創出の見地から天然ガスを原料とする石油化学プラントが増強されている。MENAの天然ガス消費量は、2030年代半ばには米国の消費量を追い越す。日本は2050年までに現在より34 Bcm減少し、EUも2030年代半ばには減少に

転じる。一方、米国での消費は2040年頃までに150 Bcm拡大し、先進国としては著しい増加を見せる。2020年代後半には天然ガス消費が石油を上回り、最大のエネルギー源となるが、2040年頃をピークに減少に転じる。

天然ガスの用途としては、利用技術の進歩、経済性、環境面への適合性から、発電等で大きく増加する。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(図2-12)。石油は発電コストが高く、石炭は環境影響の問題等から、天然ガスの活用が進んでゆく。2050年には世界の発電電力量に占める天然ガス火力発電の割合は30%となり、石炭火力を上回る。発電部門に次いで天然ガス消費が増加する分野が産業部門である。利便性や環境面への配慮から、石油・石炭からの代替も進む。民生他部門での増分の8割以上が中国におけるもので、室内汚染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んでいる。

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]

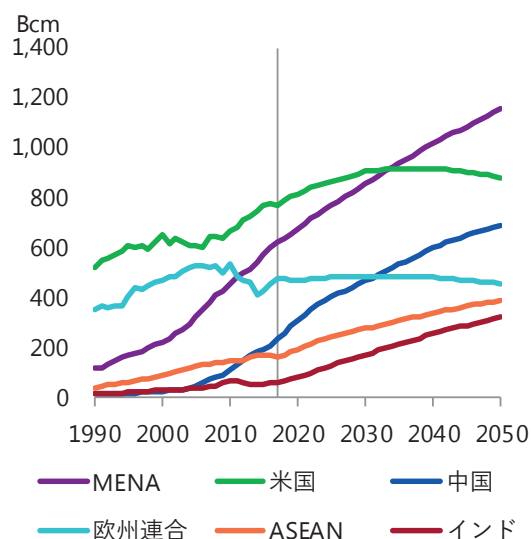
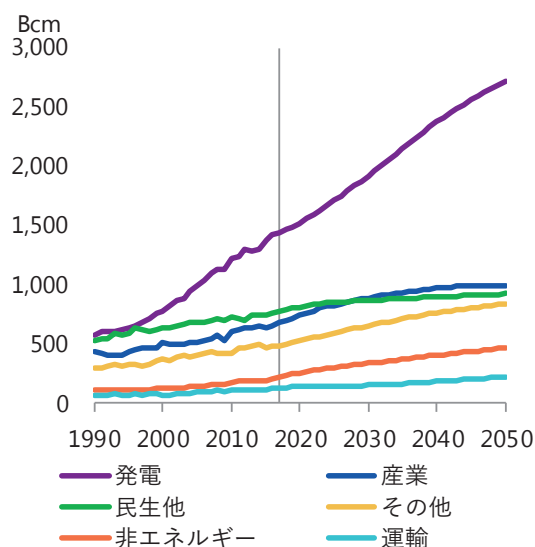


図2-12 | 世界の天然ガス消費[レファレンスシナリオ]



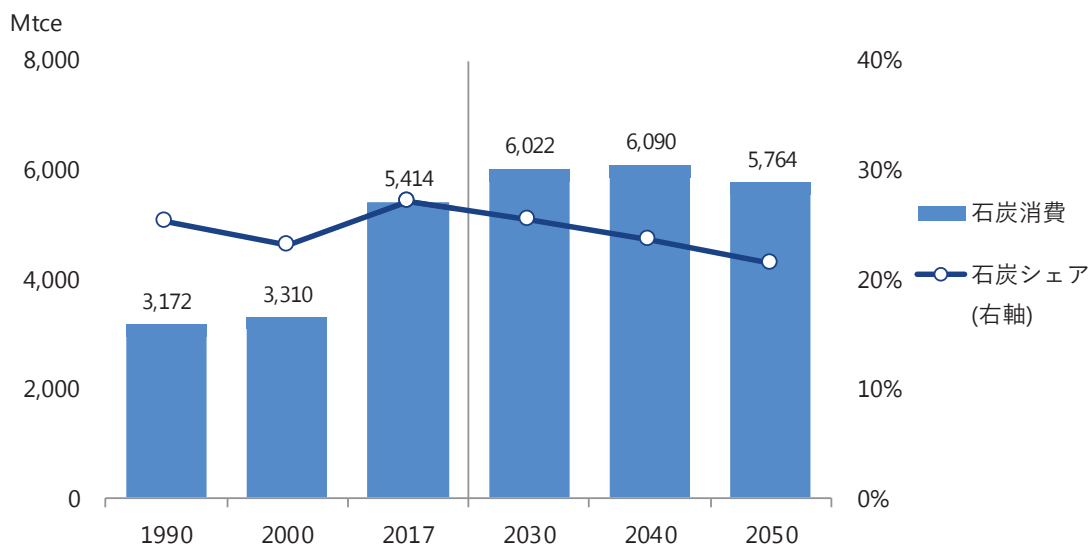
石炭

石炭消費の今後の動向は、石油・天然ガスとはやや異なる。大気汚染や気候変動問題等を背景に、先進国を中心に石炭から他エネルギー源への代替が進むこともあり、石油や天然ガスに比して消費の増加は緩やかで、2040年頃にはピークを迎える(図2-13)。2050年には石炭換算5,764百万t (Mtce¹⁶)と現在(5,414 Mtce)よりも6%増加するが、その増分の大半は

¹⁶ 1 tce = 0.7 toe

発電用である。一次エネルギー消費に占める石炭の割合は、2017年の27%から2050年には22%に縮小する。

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]



世界の石炭消費の52%を占める中国では、鉄鋼およびセメント生産が概ねピークを迎えていることから産業用石炭消費が2050年までに約4割減と激減するが、一方で発電用が増加するため、2020年代半ばまでは緩やかに増加してゆく。その後、減少に転じるが、消費量は世界最大であり続ける(2050年の世界シェア41%)。先進国では、米国やEU加盟国を中心に石炭火力発電所に対する課税負担の増大、二酸化炭素(CO₂)や水銀などの排出規制の強化、天然ガスとの競合などから、石炭火力発電量が減少する。先進国における石炭一次消費は2050年までに491 Mtce減少(38%減)する一方で、新興・途上国では841 Mtce増加する(20%増)。この新興・途上国の増分のうちアジアの増分は87%を占める。中国が減少してゆく一方で、代わりに増加するのがインドやASEANであり、2015年に米国を抜いたインドは、見通し期間に他のどの国よりも多い消費増分を示す(図2-14)。

石炭は世界に広く賦存し、少数の地域に偏在する石油や天然ガスに比べ安定供給が容易といえる。さらに低廉であることも相まって、発電用に主に増加する(図2-15)。石炭火力発電による消費量は、2050年にかけて年率0.3%で増加して現状の1.1倍となる。増加分はすべて新興・途上国からものである。しかし、気候変動問題への対処として、世界の金融・投資業界では石炭火力発電事業への融資を停止する動きが広がっている。自己資金調達力に劣る新興・途上国では、レファレンスシナリオで見通したような石炭火力の導入が見込めない懸念もある(「IEEJ Outlook 2019」参照)。

図2-14 | 主要国・地域の石炭消費[レファレンスシナリオ]

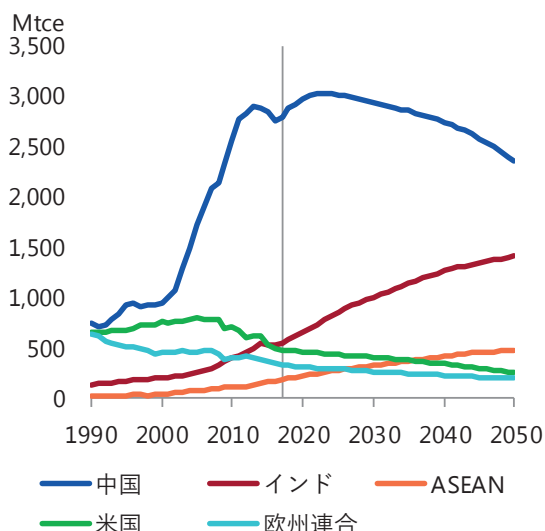
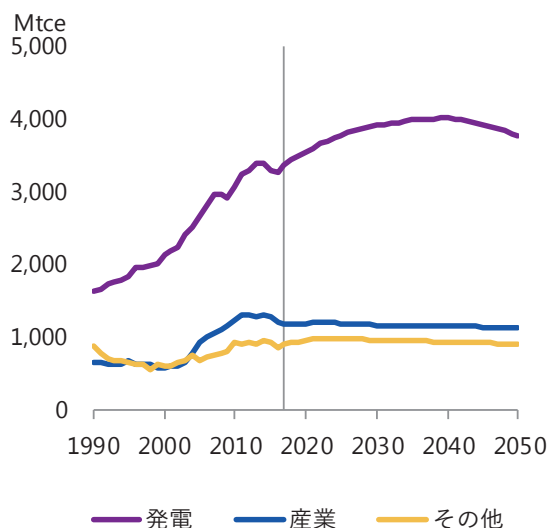


図2-15 | 世界の石炭消費[レファレンスシナリオ]



非化石エネルギー

非化石エネルギーは2050年までに1.5倍に増大するが、一次エネルギー全体に占める割合は2017年の19%から2050年には21%とわずかな拡大にとどまる。現在、非化石エネルギーの55%は発電用で、原子力、水力が大半を占める(図2-16)。一方、熱利用¹⁷の大半は主に発展途上国の農村部で使われる薪・畜糞などの固形バイオマスである(図2-17)。

将来の非化石エネルギーの増加はすべて発電用で、そのうち太陽光・風力他¹⁸の伸びが最も大きい。太陽光・風力他は2017年の139 Mtoeから、2050年には5倍以上の728 Mtoeへと急速に拡大する。ただし、一次エネルギー全体に占める割合は小さく、2050年時点でも4.2%にとどまる。一方、現在主力の原子力および水力は、原子力政策の見直しや開発立地の制約などにより伸びは小さい。発電用非化石エネルギーに占める割合は、両者合わせて2017年の72%から2050年には49%と5割を割り込む。

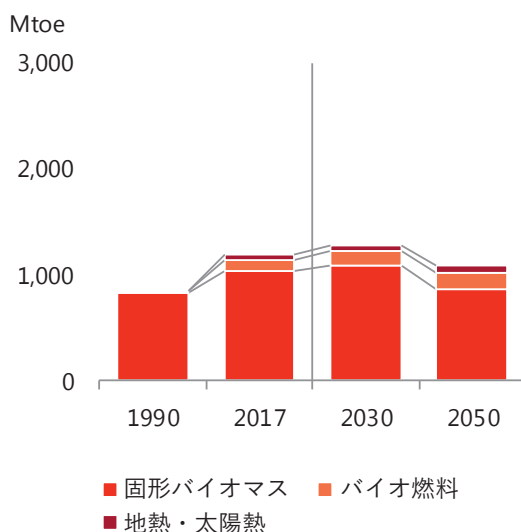
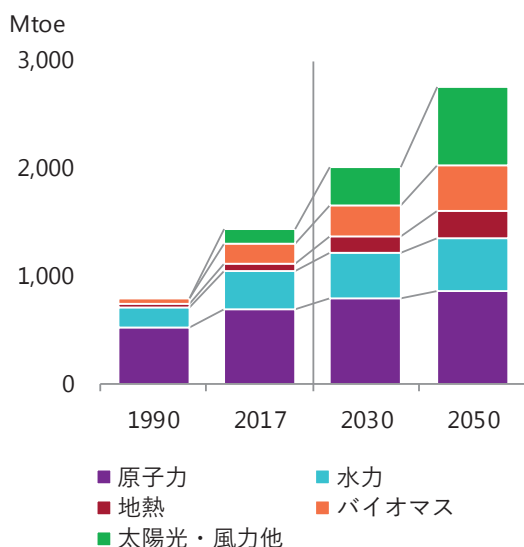
一方、非化石エネルギーによる熱利用はほとんど増えず、2030年頃には減少に転じる。これは、大半を占める農村部の伝統的バイオマス利用が、生活水準の向上に伴って電力・ガスなどの近代的エネルギーに転換してゆくためである。最終消費の直接熱需要のうち、固形バイオマスによる熱利用は現在12%であるが、2050年には8%まで低下する。主に自動

¹⁷ 化学原料用を含む。

¹⁸ 太陽光・風力他には太陽光発電、風力発電、太陽熱発電、海洋発電が含まれる。

車・民生用の液体バイオ燃料やバイオガスは2050年にかけて倍増するものの、その絶対量は限定的であり、最終消費の直接熱需要の1.7%に過ぎない。

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¹⁹非化石エネルギー消費[レファレンスシナリオ]



アジア

2017年に5,669 Mtoeであったアジアの一次エネルギー消費は、堅調な経済成長に伴い2050年まで年率1.3%で増加し、2050年には8,585 Mtoeに達する(図2-18)。この増分2,916 Mtoeは、世界のエネルギー消費増分の6割以上を占める。世界の一次エネルギー消費に占めるアジアのシェアは、2017年の41%から2050年には46%に拡大する。

アジアのエネルギー消費の54%を占める中国は、高齢化・人口減少などからその成長はやや鈍化し、2040年頃をピークに消費量は減少に転じる。代わって大きく伸びるのが、相対的に若い人口構成を背景に引き続き高成長が見込まれるインド、ASEANである。アジアの消費増分のうちそれぞれ52%、27%がこれらの地域に由来する。ASEANの中では、インドネシアやベトナムの増加が大きく、合わせてASEANの増分の65%を占める(図2-19)。一方、日本、韓国、台湾等の経済がある程度成熟した地域では、エネルギー消費は減少、あるいは遅くとも2020年代半ばまでには減少に転じる。アジア内でのエネルギー市場の重心は、東アジアから東南・南アジアへと時計回りにシフトしてゆく。

¹⁹ 化学原料用を含む

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]

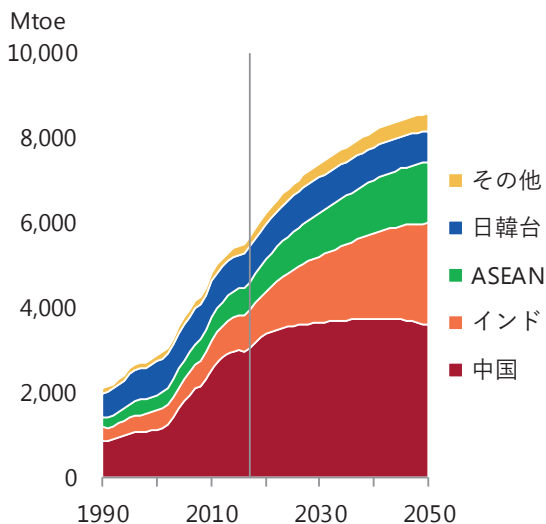


図2-19 | ASEANの一次エネルギー消費[レファレンスシナリオ]

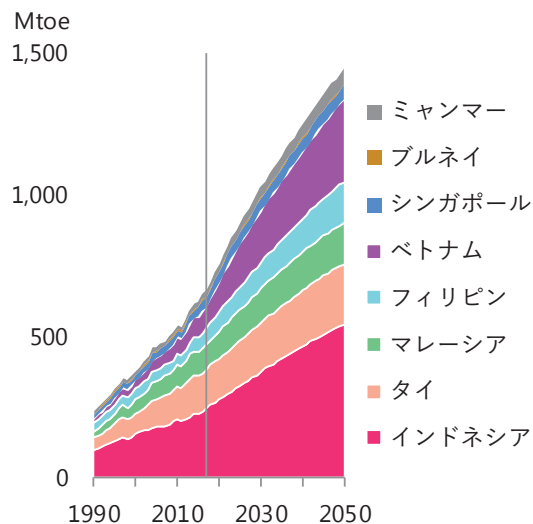
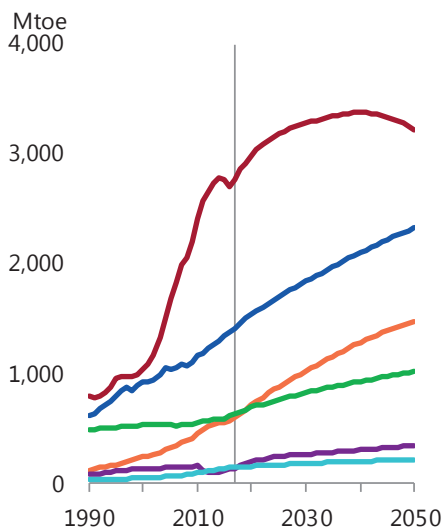
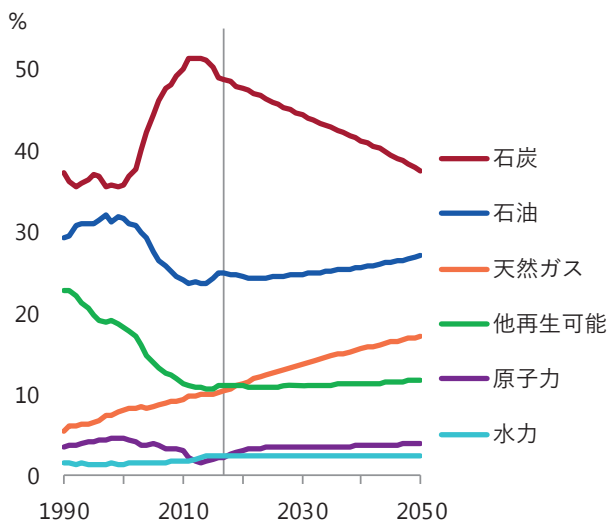


図2-20 | アジアの一次エネルギー消費[レファレンスシナリオ]

消費量



シェア



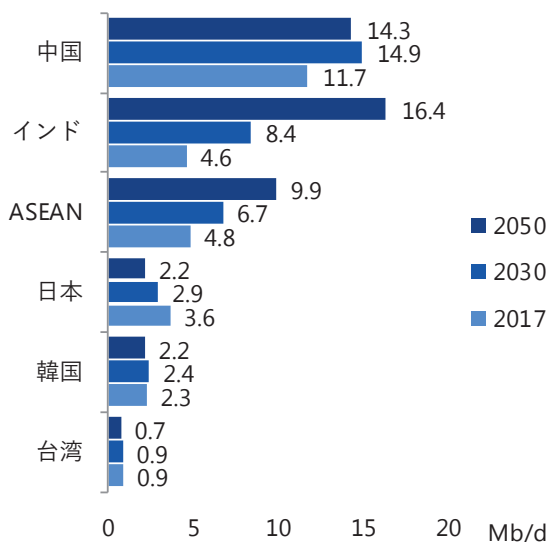
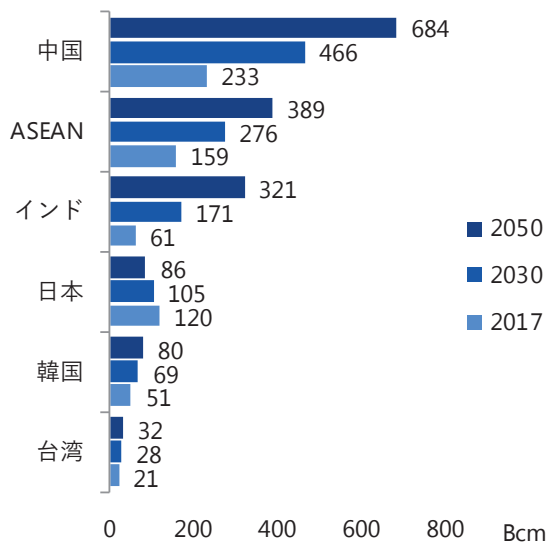
現在、アジアの一次エネルギー消費の49%が石炭で賄われており、石油(25%)、天然ガス(10%)を合わせると、84%を化石燃料に依存している(図2-20)。この高い化石燃料依存は、82%と若干低くなるものの2050年まで続くことになる。化石燃料の中では、石炭のシェアが大きく落ち込み(11ポイント減)、天然ガスのシェアが拡大する(7ポイント増)。これは

主に発電部門において環境負荷の小さい天然ガスが好まれるようになるためである。非化石燃料では、規模はまだ小さいものの原子力が2.6倍増、バイオマス以外の再生可能エネルギーが2.9倍増となる。一方、薪や畜糞などの伝統的バイオマス利用は半減する。

アジアの石油消費は2017年に29.1 Mb/dであったが、2050年には47.9 Mb/dまで増加する(図2-21)。年平均増加率は1.5%であり、世界全体の伸び率0.8%と比べると2倍である。運輸(11.4 Mb/d増)、非エネルギー消費部門(3.5 Mb/d増)および民生他(2.2 Mb/d増)で石油消費が拡大し、消費増全体の90%を占める。地域別には、インドが最も多く増分の6割強を占める。次いで、ASEAN(27%)、中国(14%)と続く。日本、韓国、台湾における石油消費は減少する。世界の石油消費増分の7割以上はアジアに由来し、アジアの世界シェアは32%から41%へ拡大する。こうした消費の増加により石油輸入は増加し、域内の石油自給率は現在の26%から2050年には14%まで低下する。2050年時点で国際取引される石油の約8割がアジアに向かい、国際石油市場におけるアジア諸国の影響力は、現在以上に大きいものとなる。

アジアの天然ガス消費は、2017年の708 Bcmから2050年には2.5倍の1,753 Bcmとなり、石油の伸びを大幅に上回る年率2.8%で増加してゆく(図2-22)。天然ガス消費の43%が発電用であり、今後の消費増もそのほぼ半分が発電部門によるものである。世界の天然ガス消費に占めるアジアのシェアは、2017年の19%から2050年には28%に上昇する。特に中国の増加寄与は大きく、2050年の消費量は現在の約3倍の684 Bcmに増加、世界全体の天然ガス消費の11%に相当する。インドの天然ガス消費は2011年以降減少傾向にあったが、2015年に増加に転じ、以降も発電用途を中心に増大してゆく。一方、現在液化天然ガス(LNG)輸入大国である日本では、省エネルギーの進展や非化石エネルギーの活用などにより、天然ガス消費は2014年をピークに減少を続ける。

アジアにおける天然ガス需要の拡大に伴い、調達手段としてLNG需要も大きく増大する。低廉で安定した資源の調達を達成するために、資源国との交渉、市場設計などの取り組みを進めてゆくことが望ましい。また、LNG貯蔵や、国や地域間での流通・融通を行うパイプラインの敷設など、安定供給に向けた対策を強化することも必要である(第7章「アジアのLNG」参照)。

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]

アジアの石炭消費は、2017年の3,944 Mtceから、2050年には4,602 Mtceに増加するが、他のエネルギーに比べて最も伸び率が小さい。そのため、一次エネルギー消費に占める石炭のシェアは、2017年の49%から2050年には38%まで低下するが、それでもなお最大のエネルギー源であり続ける。アジアの7割を占める中国での消費は2020年代半ばに減少に転じるものの、経済成長が続くインド、ASEANでは堅調な増加を続ける。用途別に見ると、産業用、民生用で大きく減少するが、発電用の増加はその減少分を大きく上回る。旺盛な電力需要を賄うためには、大規模な火力発電が必要となるが、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・増設は、厳に避ける必要がある。アジアは石炭の賦存量が豊富であることから、経済的にもエネルギー安全保障の面でも、石炭の有効活用をできる限り図ってゆく必要がある。

アジアの非化石エネルギーは、2017年の903 Mtoeから2050年には1,571 Mtoeに増加、一次エネルギー消費全体に占めるシェアは18%と現在より2ポイント上昇する。増分の73%がバイオマスを除く再生可能エネルギーで、次いで同32%が原子力である。アジアのバイオマスを除く再生可能エネルギーの世界に占めるシェアは、2017年の43%から2050年には48%へと拡大、そのうち中国が過半を占める。アジアの原子力は、中国、インドを中心に2017年の130 Mtoeから2050年の345 Mtoeまで拡大する。現在世界の原子力の75%を占める先進国では、今後原子力発電が大きく減少するため、アジアのシェアが現在の19%から40%まで一気に上昇する。

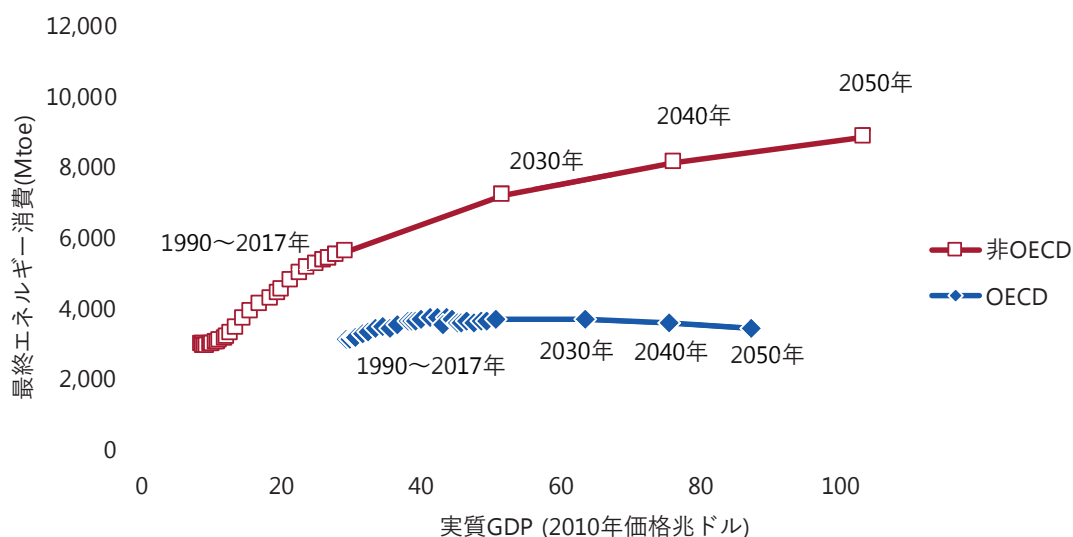
2.2 最終エネルギー消費

世界

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。1990年から2017年の間、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1.6%であった²⁰。こうした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、最終エネルギーの増加は年率1.4%にとどまっている。特に、OECDにおいては、経済のサービス化や省エネルギーの進展などにより、2007年をピークに減少傾向に転じており、いわゆる、エネルギー消費と経済成長のデカップリングが観測されている。一方、非OECDでは年率4.5%の高い経済成長率とエネルギー多消費型産業の生産量の増大、および人口増を主な要因として、最終エネルギー消費は年率2.3%で増加している。

2050年までの最終エネルギー消費は、OECDではデカップリングがさらに進み、年率0.2%で減少、現在の水準をやや下回る3,441 Mtoeに縮小する。非OECDでも、省エネルギーが進展、GDP弾性値²¹は0.53 (1990年-2017年)から0.36 (2017年-2050年)に低下するものの、2050年には現在の1.6倍の8,840 Mtoeへと増加する(図2-23)。世界全体では、非OECDでの需要増加が牽引するため、最終エネルギー消費は年率0.9%増、2017年の1.3倍に増加する。

図2-23 | GDPと最終エネルギー消費[レファレンスシナリオ]



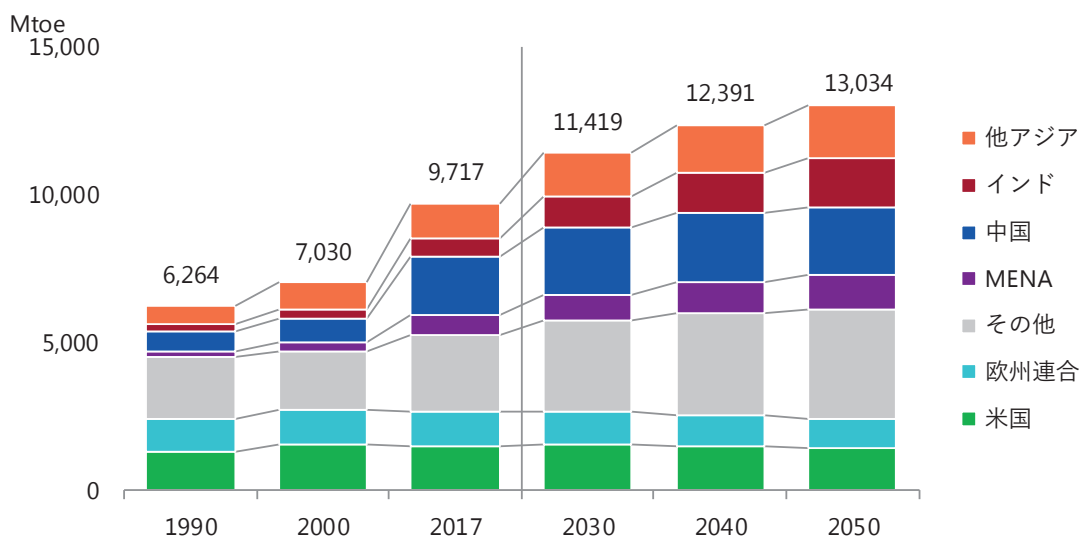
²⁰ 世界計は国際バンカーを含む。

²¹ 最終エネルギー消費のGDP弾性値=最終エネルギー変化率/実質GDP変化率

地域別

最終エネルギー消費の2050年までの増分3,317 Mtoeのうち、6割弱の1,957 Mtoeがアジアによるものとなる(図2-24)。人口の増大を背景に高い経済成長率を維持するアジアでは、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により、最終消費は2017年の3,793 Mtoeから年率1.3%で増加し、2050年には5,750 Mtoeに達する。中国を抜いて世界最大の人口を抱えるインドは1,631 Mtoeとまだ中国の2,327 Mtoeに及ばないが、現在からの増分でみるとアジアの53%を占め(中国は17%)、拡大規模は凄まじい。にもかかわらず、2050年時点でも1人あたりの消費量は0.99 toeでアジア平均の1.23 toe (中国は1.70 toe)よりも依然低く、まだまだ需要拡大の余地が大きいと言える。

図2-24 | 最終エネルギー消費(地域別) [レファレンスシナリオ]



MENAは、人口増加と経済成長を背景に2017年の641 Mtoeから、2050年には1,127 Mtoeまで増加する。その増加量はASEANの増加量を上回り、世界の増加分の15%を占めることになる。一方、成熟社会である米国やEUの最終消費は2020年前後には縮小傾向に転じ、それぞれ現在よりも4%、16%程度少ない水準になる。

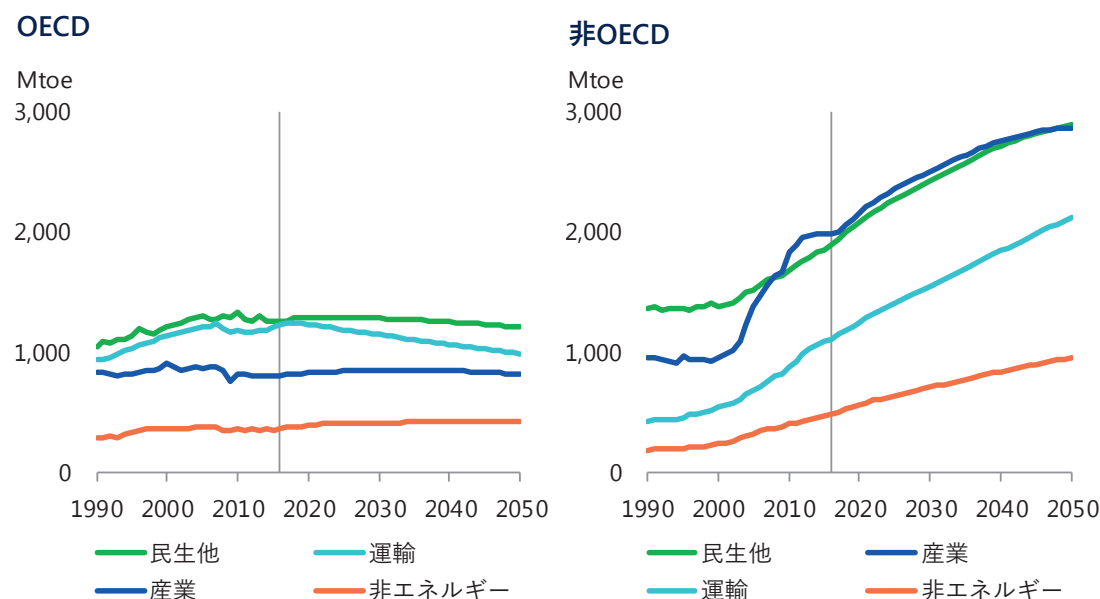
部門別

最終エネルギー消費の増加分3,318 Mtoeを部門別に見ると、運輸部門が1,058 Mtoeとなり、全体の3分の1を占める。次いで、民生他部門が892 Mtoe、産業部門が868 Mtoe、非エネルギー消費部門が500 Mtoeと続く。増加率は、非エネルギー消費部門が年率1.4%、運輸部門が同1.0%、そして産業部門、民生部門がそれぞれ同0.8%、同0.7%である。OECDでは民生他部門、産業部門で概ね横ばいで推移するが、電動自動車の導入拡大を含む自動車燃費の

改善などにより運輸部門での減少が大きい(図2-25)。一方、非OECDでは、生活水準の向上、経済発展を背景に、民生他部門、産業部門、運輸部門いずれも急速に増加する。

民生他部門は、2050年まで年率0.7%、特に非OECDでは生活水準の向上を背景に年率1.2%で増加する。同部門は、特に農村部での調理・暖房などにおいて、薪や畜糞などの伝統的バイオマスの利用が全体の23%を占めているのが大きな特徴である(非OECDでは34%)。伝統的バイオマスの利用は、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が、生活水準の改善とともに、電気やガスなどの近代的エネルギーへ移行する。2050年時点での伝統的バイオマスの割合は13% (非OECDでは17%)まで低下、一方で、近代的エネルギー消費は年率1.1% (非OECDでは1.9%)で増加する。

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



運輸部門では、道路におけるエネルギー消費が75%を占め、自動車保有台数や燃費改善の動向が鍵を握る。世界の自動車保有台数²²は2017年の14億1,000万台から2050年には28億9,000万台まで倍増するが、ハイブリッド車、電気自動車などの電動自動車の保有構成は47%に達するなど大幅な燃費改善により、運輸部門のエネルギー消費は1.4倍増にとどまる。OECDでは、自動車の普及率が既に高いため保有台数の伸びは小さく、かつ燃費改善の効果が大きいことから、運輸部門のエネルギー消費は年率0.7%で減少する。一方、非OECDでは、自動車保有台数が約3倍増と燃費改善効果を大きく上回り、年率1.9%で増加する。特に、アジア地域におけるモータリゼーションの進展は目覚しく、今後の自動車保

²² カーシェアリングの進展による台数抑制の効果は織り込まれていない。

有の増加分のうち、約6割が非OECDアジアに集中する。運輸部門の15%を占める国際バunker(航空・船舶)による消費量は、海外渡航や国際貿易の拡大により年率1.8%で増加し、2050年には同部門の20%を占めるようになる。

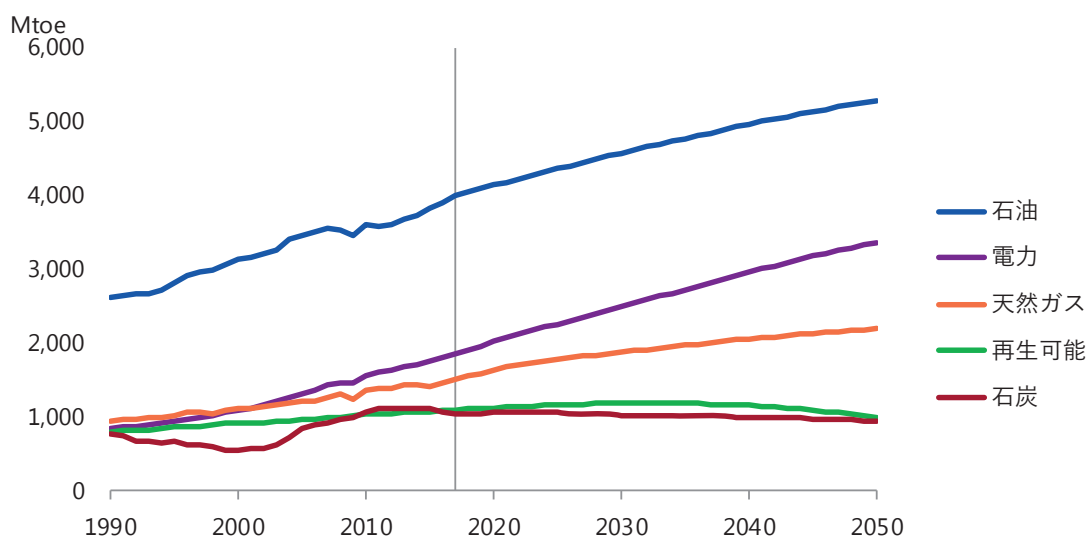
世界の製造業GDPは、非OECDが牽引する形で年率2.5%で成長する一方で、産業部門のエネルギー消費は年率0.8%の増加にとどまる。これは、技術的な省エネルギーの進展だけでなく、より付加価値が高く、よりエネルギー寡消費な産業への移行による効果も含まれる。例えば、「世界の工場」と呼ばれる中国は、エネルギー多消費型の典型である鉄鋼、セメントの生産がピークを迎えていることから、製造業GDPが年率3.3%で成長するにもかかわらず、エネルギー消費は年率0.1%で減少する。現在、同部門のエネルギー消費において世界の36%を占めている中国は、2050年には23%まで低下する。代わって大きく伸びるのがインド、ASEANで、それぞれ15% (8ポイント増)、10% (5ポイント増)を占めるようになる。

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・生産ともに非OECDでの伸びは大きく、世界の非エネルギー消費の増加の9割以上が非OECDに集中する。プラスチックごみが投棄され、それらがプラスチック粉末として水系に流入した場合の海洋環境への影響が懸念されている。そのため、微生物と酵素の働きによって最終的に水と二酸化炭素に分解される生分解性プラスチックへの移行が進められている。バイオプラスチックの多くは生分解性であり、石油化学原料としてバイオマスの利用が徐々に高まってくる。

エネルギー源別

世界の最終エネルギー消費をエネルギー源別に見ると、増加量が最も大きいのは電力であり、最終消費全体の増分の46%を占める。電力はOECD、非OECD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す(図2-26)。また、石油は非OECDの運輸部門と非エネルギー消費部門によって増加、天然ガスは中国の民生他部門、中東の産業部門で大幅に増加する。2017年から2050年の間、電力は年率1.8%、天然ガスは年率1.1%、石油は年率0.8%で増加する。一方、石炭は2014年に既にピークを迎えており、今後はほぼ横ばいで推移する。エネルギー源別シェアでは、電力が19%から26%に、天然ガスが15%から17%にそれぞれ増加、石油は41%から変化せず、石炭は10%から7%に減少する。

図2-26 | 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]

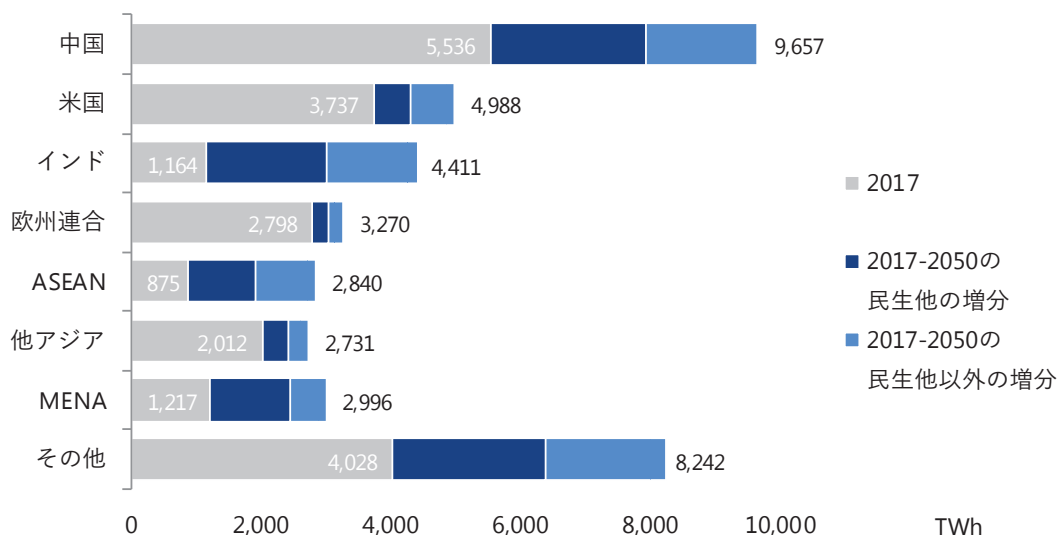


石油最終消費のうち、65%が運輸部門(うち、道路部門49%、国際バンカー10%)、16%が非エネルギー消費部門、11%が民生他部門での消費である。これらの部門の中で、今後、石油消費が最も増加するのが運輸部門で、次いで非エネルギー消費部門である。とりわけ、需要増加を牽引するのは、アジアにおける自動車用燃料であり、OECDの石油消費の減少分を完全に相殺する。中国やインド、ASEANといったアジア新興・途上国では、所得水準の向上に伴いモータリゼーションが進展、自動車の保有台数が急速に増加する。また、非エネルギー消費部門においても、その増分の6割弱がアジアからである。アジアは2050年までの世界の石油最終消費増加量の約7割を占め、世界の石油消費に占めるシェアも2017年の32%から2050年には41%へ拡大する。また、国際バンカーによる消費量も、海外渡航や国際貿易の拡大により大きく増加、石油最終消費におけるシェアも12%に上昇する。

最終天然ガス消費のうち、43%が民生他部門(うち、家庭部門30%、業務部門13%)、38%が産業部門、12%が非エネルギー消費部門での消費である。これらの部門の中で、今後、天然ガス消費が最も増加するのが産業部門で、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58%、45%がアジアに集中しているが、次いで中東がそれぞれ19%、18%を占めているのが特徴である。中東では、石油輸出による外貨獲得のために、国内での天然ガス活用を進めるほか、雇用創出の見地から天然ガスを原料とする石油化学プラントが増強されている。また、中国の民生他部門における需要増は、それだけで世界最終天然ガス消費の増分の16%を占める。中国の家庭部門では、石炭や薪などのバイオマス燃料がまだ多く利用されているが、室内汚染、大気汚染問題等から都市ガスへの燃料転換が急速に進んでいる。

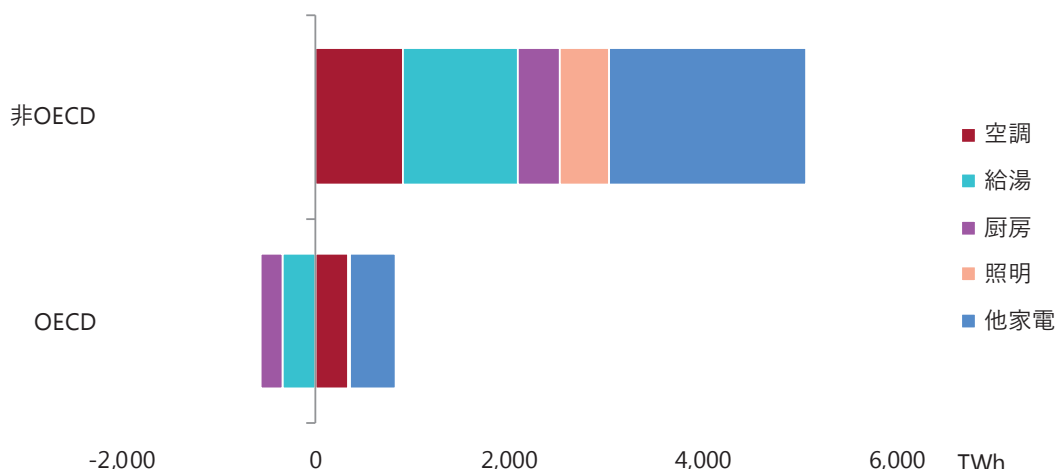
一般に所得の増大につれ利便性の高い電力が嗜好されてゆくが、今後もその傾向は変わらない。電力の消費はOECD、非OECDいずれにおいても主要エネルギーの中で最大の増加率を示す。世界の電化率(消費側)²³は2017年の19%から2050年に26%に上昇する。とりわけその増加を牽引するのは、中国、インド、ASEANを中心とするアジア地域である。世界最大の電力消費国である中国の消費量が、第2位である米国の現在の消費量(3,737 TWh)を上回る4,120 TWhも増加し、インドも3,015 TWh増加して2050年には米国に匹敵する市場になるなど、電力消費量の伸びは速くて大きい。世界の電力消費量増分の85%が非OECDで発生し、部門別では民生他部門での増加寄与が57%と大きい(図2-27)。同部門の増加量のうち54%強が家庭におけるもので、これまで非電化地域であった農村部においても電力インフラの整備が進むことや、利便性を求めて電化製品が普及してゆくことが電力消費の増加を誘発する。非OECDでは、電気温水器やエアコン、照明器具、冷蔵庫等の家電製品が普及し、電力消費を押し上げる(図2-28)。一方、OECDでは、既に多くの家電製品が普及しており、一部の石油・ガス機器から電化製品への切り替えはあるものの、機器効率や断熱効率の改善が進むことから、家庭用の電力消費はほとんど増えない。

図2-27 | 電力最終消費[レファレンスシナリオ]



²³ 最終エネルギー消費に占める電力消費量の比率。

図2-28 | 家庭用電力消費の増減[レファレンスシナリオ、2017年-2050年]



経済活動や日常生活における電力依存の拡大は、供給障害が生じた場合の影響もそれだけ大きくなる。間欠性電源の大量導入やサイバー攻撃など、新たな供給障害へのリスクが高まりつつある中、技術面、制度面双方から供給支障に備えることがますます重要となる。

石炭最終消費のうち、約8割が産業部門における消費であり、地域別には65%が中国で消費されている。中国では、鉄鋼およびセメント生産がピークを迎えていることから、産業用石炭消費が2050年までに約5割減と激減し、インド、ASEANなどが増加するものの世界全体での石炭最終消費は年率0.3%で減少する。石炭は安価ではあるが、その環境性が劣ることなどから、一部の産業を除き電力や天然ガスなどへ需要が移行しており、大きな伸びは期待できない。なお、中国では、その豊富な資源量を背景に、石油輸入を抑制する目的で、石油化学原料として石炭の活用を進めている。

最終消費される再生可能エネルギーのうち、約4分の3が主に途上国の農村部で使用される薪や畜糞などの伝統的バイオマス、1割強が欧米諸国にて暖炉などで使われる暖房用の薪、1割弱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。伝統的バイオマスは、農村部での人口増加により増加し続けるが、近代エネルギーへのアクセスが改善してゆくことで、2030年頃をピークに減少に転じる。

3. エネルギー供給

3.1 原油

生産

レファレンスシナリオにおける原油(NGLを含む)生産は、需要の堅調な増加に合わせて、OPEC、非OPECともに増加する(表3-1)。非OPECでは、欧州・ユーラシアやアジアでの生産量が減少してゆく一方、原油価格の緩やかな上昇や、デジタル技術活用等による生産コストの低減等に伴って、米国での探鉱・開発部門への投資が堅調に進み、シェールオイル(ライトタイトオイル)の生産量が力強く増加する。とりわけ2030年にかけての生産量増加は著しく、北米が世界全体の原油供給量増分の54%を占める。北米と同様に非OPEC原油増産の中心地となるのが中南米である。制度改正に伴う外資参入の増加等を背景に開発が進んでいるブラジル・プレソルトや、大規模油田の発見により国際石油企業の参入が相次ぎ、2020年には最初の大型オフショアプロジェクトが生産開始となる見込みのガイアナ等が供給増加の中心となる。これらにより、世界全体に占める非OPEC供給量のシェアは2017年の59%から2030年には60%にわずかに上昇する。

表3-1 | 原油生産[レファレンスシナリオ]

	2017	2030	2040	2050	(Mb/d)	
					2017-2050 変化量	変化率
原油生産計	92.5	104.1	112.2	117.9	25.4	0.7%
OPEC	37.8	41.5	47.7	52.4	14.6	1.0%
中東	28.4	31.5	35.7	38.6	10.3	0.9%
その他	9.4	9.9	11.9	13.8	4.3	1.1%
非OPEC	54.7	62.6	64.6	65.5	10.8	0.5%
北米	17.9	24.2	24.1	22.8	4.9	0.7%
中南米	6.8	8.7	10.8	12.7	5.9	1.9%
欧州・ユーラシア	17.8	17.4	17.0	16.9	-0.9	-0.2%
中東	3.1	3.5	3.9	4.3	1.1	0.9%
アフリカ	1.3	1.5	1.7	1.8	0.5	1.0%
アジア・オセアニア	7.8	7.3	7.1	7.0	-0.7	-0.3%
プロセスゲイン	2.3	2.8	3.2	3.5	1.2	1.3%
石油供給計	94.8	106.9	115.4	121.4	26.6	0.8%

注: 原油にはNGLを含む

その後は、米シェールオイルの生産量減退などから、非OPEC生産量の伸びは鈍化する。それに伴い非OPECの生産量シェアは徐々に低下し、2050年には56%となる。2030年から2050年までの石油増産量の約75%がOPECによりもたらされ、余剰生産能力を有するサウジアラビアや増産ポテンシャルを持つイラクといった国々がその原動力になる。

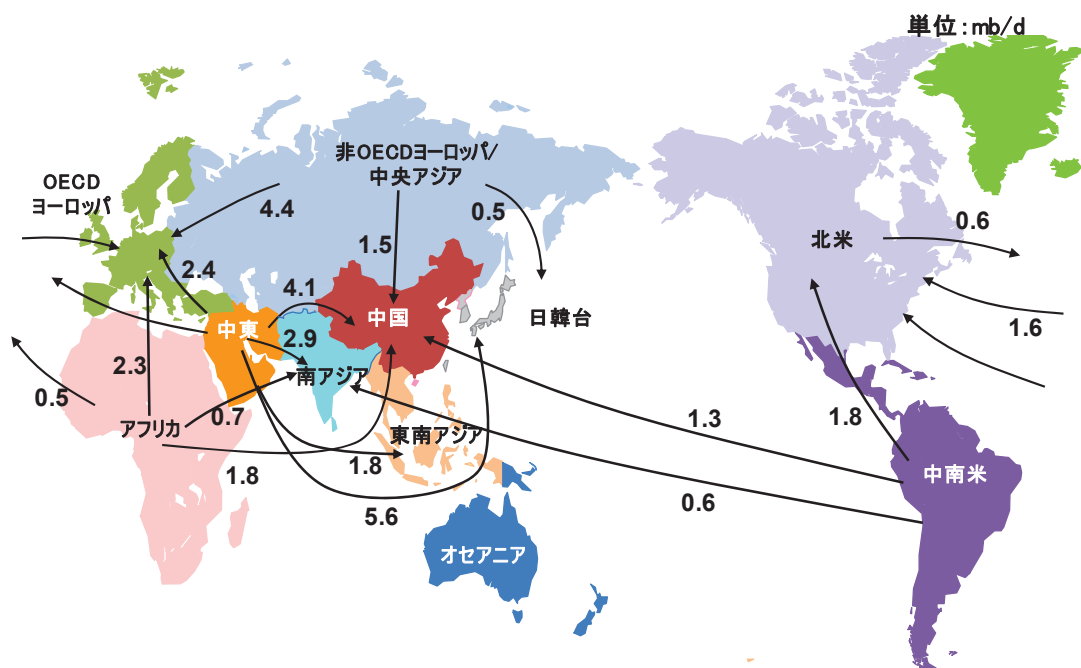
貿易

2018年の世界の主要地域間の原油貿易量は43 Mb/dであった(図3-1)。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総量の44%を占める。アジアによる輸入量は総貿易量の過半を占めており、中東から輸出される原油の8割弱が同地域に向かっている。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。しかし、米国の原油生産量の著しい増加を背景に、北米の原油輸入量はここ数年、減少推移している。

2030年にかけて、貿易量は44 Mb/dへとわずかに増加する。OECD諸国では、需要減少や北米での生産量増加に伴って輸入量が減少するが、アジアの新興国での需要増加に伴う輸入量増加が全体の貿易量を押し上げる結果となる(図3-2)。

アジアでは、北米や非OECDヨーロッパ/中央アジアからの供給が増加することで、ある程度の供給源多角化が図られるものの、中東への依存度は2030年時点でも高く、7割を占める。北米は、中南米や中東からの輸入を継続する一方、自地域での生産増加が著しいことから、輸入量は2018年と比較して大幅に減少する。北米からの輸出量は対照的に増加し、地理的に近接するOECDヨーロッパへの輸出量が増加する。従来OECDヨーロッパへ原油を供給していた非OECDヨーロッパ/中央アジア、アフリカ、中東から同地域への輸出量は減少し、これらの地域は需要が増加するアジアへのシフトを強める。

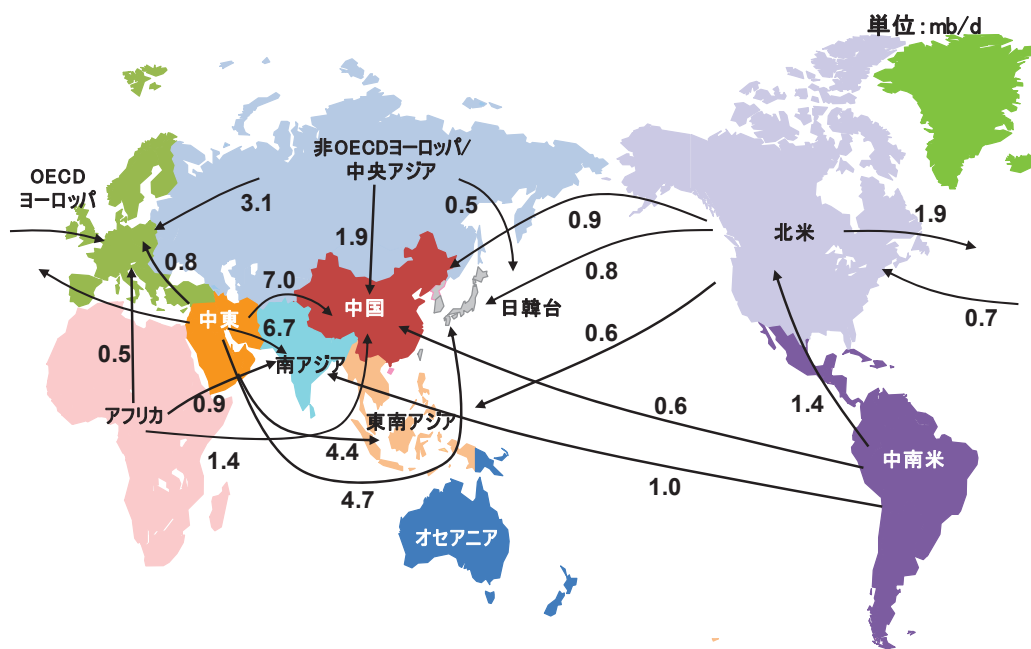
図3-1 | 主要地域間の原油貿易[2018年]



注: 0.5 Mb/d以上のフローを記載

出所: BP「BP Statistical Review of World Energy」(2019年版)、各国貿易統計等をもとに作成

図3-2 | 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

3.2 天然ガス

生産

世界の天然ガス生産量は2017年から2050年にかけて約1.6倍に増加する(表3-2)。2014年から2016年にかけて、原油価格・天然ガス価格低迷に伴い、世界的に上流部門への投資が停滞したが、その後の価格回復に伴い投資額が増加に転じたことにより、今後も天然ガス生産の増加が続く。

表3-2 | 天然ガス生産[レファレンスシナリオ]

	2017	2030	2040	2050	(Bcm)	
					2017-2050 変化量	変化率
世界	3,768	4,779	5,559	6,129	2,360	1.5%
北米	945	1,308	1,389	1,415	470	1.2%
中南米	215	295	403	479	264	2.5%
OECDヨーロッパ	248	204	182	144	-104	-1.6%
非OECDヨーロッパ/中央アジア	920	1,004	1,137	1,273	353	1.0%
ロシア	694	739	828	917	223	0.8%
中東	629	813	957	1,132	502	1.8%
アフリカ	215	346	498	536	320	2.8%
アジア	486	624	761	893	407	1.9%
中国	142	246	356	429	287	3.4%
インド	31	60	86	109	78	3.8%
ASEAN	222	226	237	273	51	0.6%
オセアニア	110	185	232	257	146	2.6%

地域別に見て2017年から2050年までの増産量が一番大きいのは北米であり、同期間に500 Bcmを超える増産となる。この中で、米国がその増加量の8割近くを占める。今後も開発に関する知見の蓄積が進むことと、メキシコ湾岸からの液化天然ガス(LNG)の輸出が拡大することで、増産が大きく進む。また米国同様、豊富なシェールガス資源の賦存するカナダの生産量が2030年以降拡大する。

次に大きな増産となるのは中東である。イランでは、経済制裁の影響により、一時的には天然ガス開発の停滞を余儀なくされる。しかし同国は世界最大の確認埋蔵量を有しており、2030年以降、隣国へのパイプラインガスの輸出やLNG案件の実現によって中東最大のガス生産国の地位を維持し続ける。また、カタールでも大型LNG輸出プロジェクトの増設、サウジアラビアでは資源開発の促進により増産する。旧ソ連では、特にロシアにおいては現在開発が進められているヤマル半島・北極圏に加えて、2030年以降は東シベリアやサハリンなどの増産も全体の生産量に寄与する。

一方、アジアにおいては、需要が拡大する中国やインドにおいて、国内のガス開発が進む。特に中国においては天然ガス利用をさらに促進すべく、国内でより開発難度の高いシェールガスの開発に対する投資が本格化してゆく。アフリカでは、モザンビークやタンザニア、セネガルなどにおいてガス田の発見が相次いでおり、LNG生産を含めて、2030年以降にその増産が本格化してゆく。その一方で、OECDヨーロッパにおいては、地質学的な限界もあり、域内の生産量は徐々に減少してゆく。

貿易

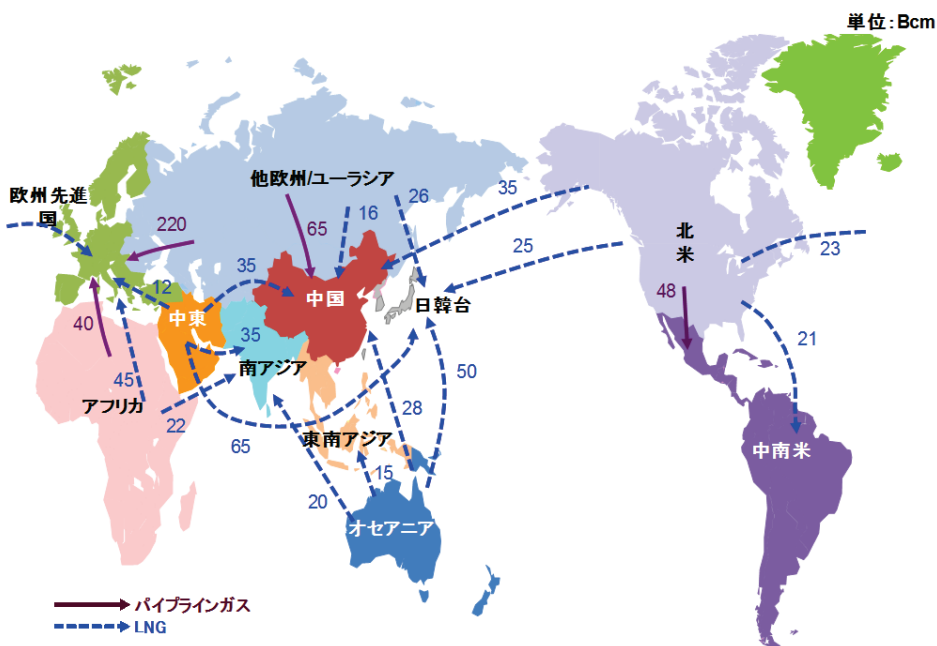
2018年の世界の主要地域間の天然ガス貿易量は760 Bcmである(図3-3)。このうち44%がパイプライン貿易であり、ロシアから欧州へと輸出されるパイプライン輸出量が多くを占める。LNG貿易は元々、東南アジアから日本や韓国など北東アジアへの貿易が多かったが、最近ではカタールや豪州、ロシアなどでの新規LNGプロジェクトの稼働開始に伴い、世界のLNG貿易はより分散化しつつある。供給側では2016年に米国本土からのLNG輸出が開始され生産の急速な拡大が続いている。また2018年にはカメルーンがLNG輸出を開始、需要側ではバングラデシュ、パナマが新たにLNG輸入を開始した。LNG貿易パターンの多様化は今後も続いてゆく。

主要地域間の天然ガス貿易量は、主としてアジア地域における輸入増加や北米からの輸出増加によって拡大を続け、2030年には約1,000 Bcmまで増加する。輸出地域として最も大きな増加が見られるのがオセアニアと北米であり、それぞれ2020年から2025年にかけて多くのLNGプロジェクトの稼働開始が計画されている。一方、最も多くの天然ガスを輸入するのが中国であり、特にロシア・中央アジアからパイプラインとLNG合計で200 Bcm超の天然ガスを輸入する。

單位: Bcm



單位: Bcm

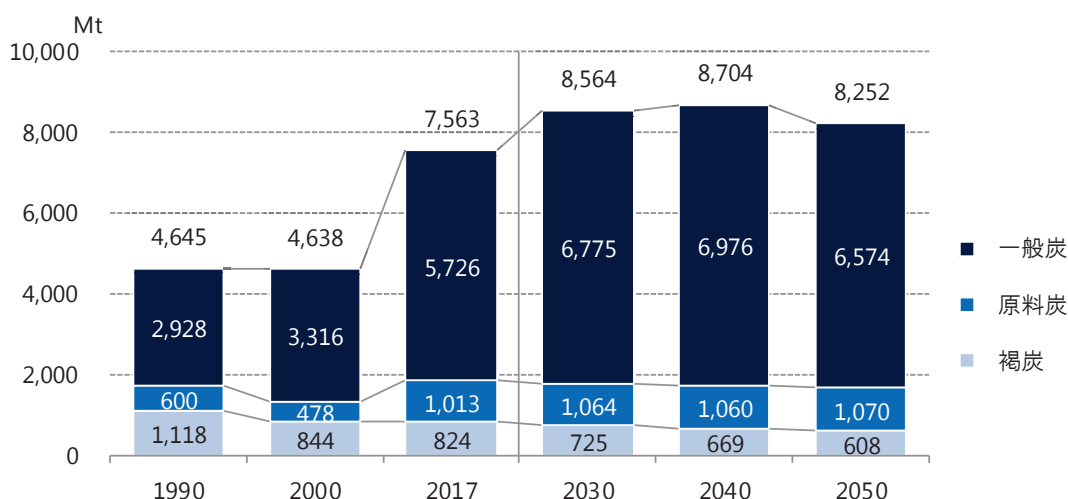


3.3 石炭

生産

世界の石炭生産量は、アジアを中心に中南米、アフリカなどの非OECDでの石炭需要の増加に伴い、2017年の7,563 Mtから2030年には8,564 Mtまで増加するが、その増加は次第に穏やかになり、2040年頃をピークに減少に転じる(図3-5)。炭種別にみると、一般炭生産量は主に発電用需要の増加に伴い2017年の5,726 Mtから2040年には6,976 Mtと1.22倍に増加するが、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、2017年の1,033 Mtから2030年に1,064 Mtに微増した後、ほぼ横ばいで推移する。褐炭は2017年の824 Mtから漸減し、2050年には608 Mtとなる。

図3-5 | 世界の石炭生産[レファレンスシナリオ]



炭種別に地域別の生産量をみると、一般炭の生産量は需要が増加するアジアと主要輸出国があるオセアニアやアフリカ、中南米等で増加する(表3-3)。一方で、需要が大きく減少する北米やOECDヨーロッパでは減少する。

アジアでは、需要の増加に伴いインドの一般炭生産量は2017年の643 Mtから2050年には1,525 Mtまで増加する。中国の生産量は今後も発電用需要の増加により穏やかに増加するが、2020年代半ばをピークに需要が減少することから生産量も減少する。インドネシアでは国内需要と輸出需要の増加により生産量が増加するが、国内石炭資源の保護と持続的な利用のために生産量は抑えられ頭打ちになる。

表3-3 | 石炭生産[レファレンスシナリオ]

一般炭生産

(Mt)

	2017	2030	2040	2050	2017-2050	
					変化量	変化率
世界	5,726	6,775	6,976	6,574	848	0.4%
北米	597	533	452	346	-251	-1.6%
米国	574	519	447	343	-231	-1.6%
中南米	100	144	170	177	78	1.8%
コロンビア	86	129	152	158	72	1.9%
OECDヨーロッパ	66	54	47	40	-26	-1.5%
非OECDヨーロッパ・中央アジア	339	368	429	445	106	0.8%
ロシア	227	266	312	326	99	1.1%
中東	0	0	0	0	0	-1.0%
アフリカ	264	314	338	350	86	0.9%
南アフリカ	253	295	310	313	60	0.6%
アジア	4,107	5,046	5,170	4,845	738	0.5%
中国	2,882	3,161	3,017	2,594	-288	-0.3%
インド	643	1,168	1,431	1,525	882	2.7%
インドネシア	490	600	600	600	110	0.6%
オセアニア	254	318	370	370	116	1.1%
オーストラリア	253	316	369	369	116	1.2%

原料炭生産

(Mt)

	2017	2030	2040	2050	2017-2050	
					変化量	変化率
世界	1,013	1,064	1,060	1,070	57	0.2%
北米	94	88	88	86	-7	-0.2%
米国	65	60	59	57	-9	-0.4%
中南米	9	11	12	13	4	1.0%
コロンビア	4	5	6	6	1	0.9%
OECDヨーロッパ	18	17	17	18	0	-0.1%
非OECDヨーロッパ・中央アジア	107	113	116	118	10	0.3%
ロシア	86	89	91	90	4	0.1%
中東	1	2	2	2	0	0.8%
アフリカ	11	28	34	41	30	4.1%
モザンビーク	7	23	29	35	28	5.0%
アジア	581	596	550	516	-65	-0.4%
中国	515	495	418	350	-166	-1.2%
インド	36	70	101	137	101	4.1%
モンゴル	26	24	23	22	-4	-0.5%
オセアニア	191	209	240	276	85	1.1%
オーストラリア	190	208	239	275	85	1.1%

主要輸出国では、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、コロンビア、ロシア、南アフリカ等での一般炭生産量が大きく増加する。オーストラリアの生産量は、主にアジア市場向け輸出の増加に伴い2017年の253 Mtから2050年には369 Mtと116 Mt増加する。ロシアの生産量は欧州市場向け輸出が減少する一方で、アジア市場向け輸出の増加により2017年の227 Mtから2050年には326 Mtに増加する。コロンビアの生産量は、主な輸出先であるヨーロッパ市場は縮小するが、アフリカや南米の輸入拡大に加え、アジア市場向け輸出の増加により2017年の86 Mtから2050年には158 Mtに増加する。南アフリカでは国内需要とインドを中心とするアジア市場向け輸出の増加により、2017年の253 Mtから2050年には313 Mtに増加する。

一方で、北米の一般炭生産量は、主に米国での消費の減少に伴い2017年の597 Mtから2050年には346 Mtまで大きく減少する。OECDヨーロッパでも、域内の消費減少により生産量は2017年の66 Mtから2050年には40 Mtまで減少する。

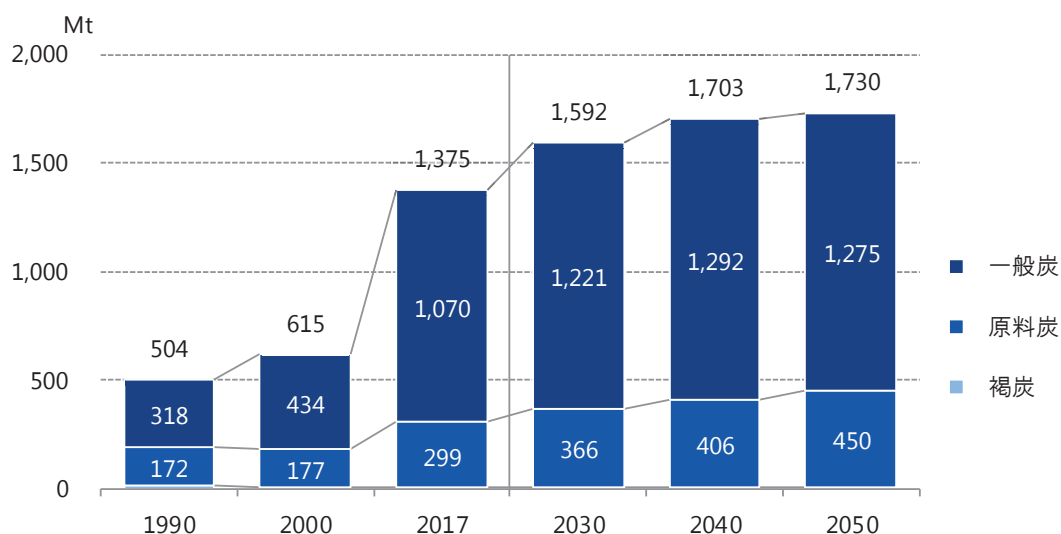
原料炭の生産量は、需要が大きく増加するインドと主要輸出国があるオセアニア、アフリカ等で増加する。インドでは国内需要の拡大に伴い生産量は増加するが、高品位の原料炭の埋蔵量が少ないため、需要増の多くは輸入に依存する。中国では2020年頃をピークに需要が減少するため、生産量は減少する。

一方、輸出国ではオーストラリアやモザンビークで炭鉱開発が進められ、インド向けを中心に輸出需要が増加に対応する。オーストラリアの生産量は2017年の190 Mtから2050年には275 Mtに、モザンビークの生産量は7 Mtから2050年には35 Mtに増加する。

貿易

石炭貿易量(輸入量)は、需要の増加に伴い2017年の1,375 Mtから2050年には1,730 Mtにまで増加する(図3-6)。炭種別では、一般炭貿易量はインドや東南アジア等での消費増に伴い2017年の1,070 Mtから2050年には1,275 Mtにまで、原料炭貿易量は主にインドでの消費増により2017年の299 Mtから2050年には450 Mtまで増加する。

図3-6 | 世界の石炭貿易(輸入量) [レファレンスシナリオ]

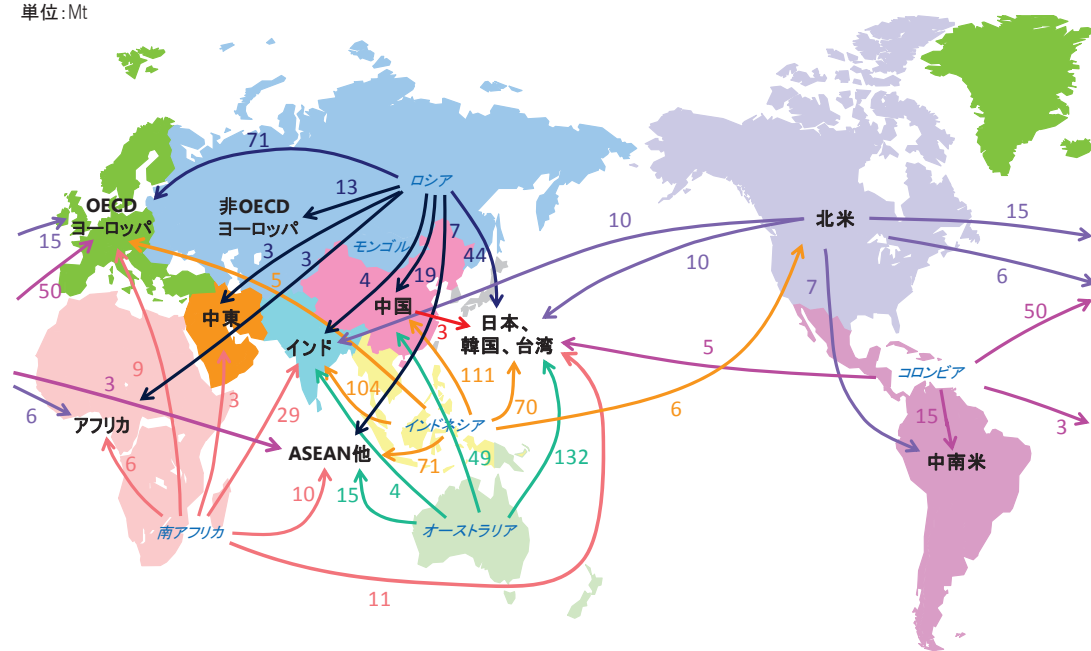


一般炭貿易量は、発電用需要の増加によりアジアの輸入量が2017年の802 Mtから2050年には1,062 Mtへと260 Mt増加し、その他地域では同期間にアフリカで20 Mt、中南米で9 Mt増加する。アジアでの増加はインドとASEAN 4か国(マレーシア、タイ、フィリピン、ベトナム)で大きい。一方で、需要の減少に伴い、日本、韓国、台湾の輸入量は漸減し、中国の輸入量は2025年頃をピークに減少する。OECDヨーロッパでは消費の減少に伴い、2017年の160 Mtから2050年には81 Mtと大きく減少する。供給側では、輸入需要を賄うためにオーストラリア、南アフリカ、ロシア、コロンビア等で増加する。なお、インドネシアでは生産が調整されるため、中長期的には国内消費の増加に伴い輸出量は減少する。

原料炭貿易量は、インドで2017年の52 Mtから2050年に221 Mtと大きく増加する。一方で消費が減少する中国や日本、韓国、台湾では同期間においてそれぞれ22 Mt、17 Mt減少する。供給側では、同期間においてオーストラリアやモザンビーク、ロシアからの輸出が増加する。

図3-7 | 主要国・地域間の一般炭貿易[2018年]

単位: Mt

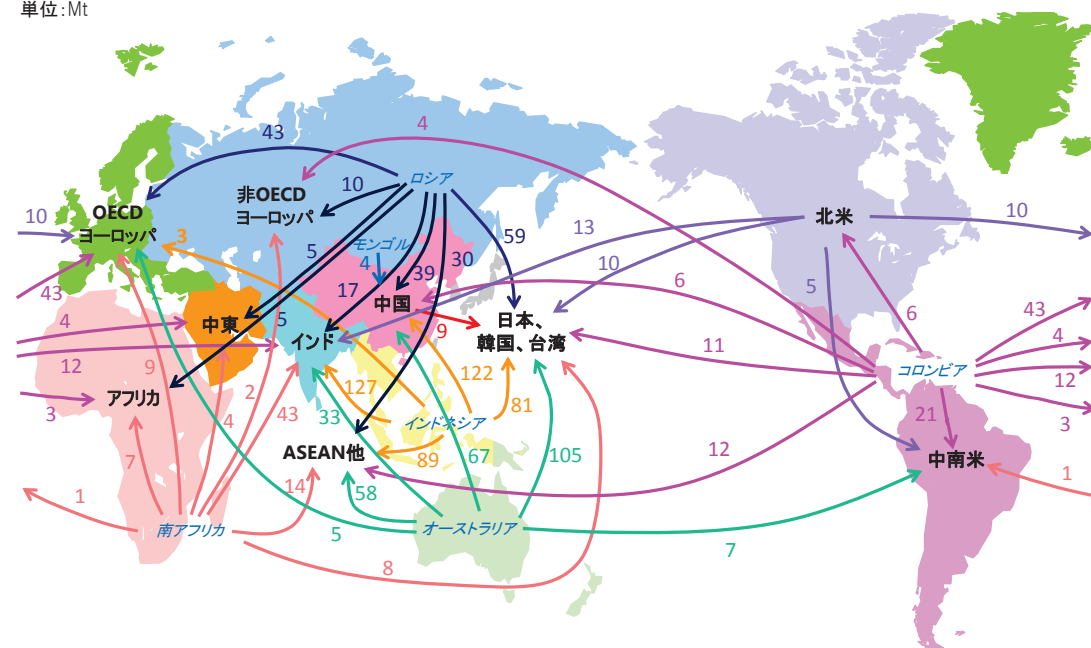


注: 見込み値。2 Mt以上を記載。

出所: IEA "Coal Information 2019"をもとに作成

図3-8 | 主要国・地域間の一般炭貿易[レファレンスシナリオ、2030年]

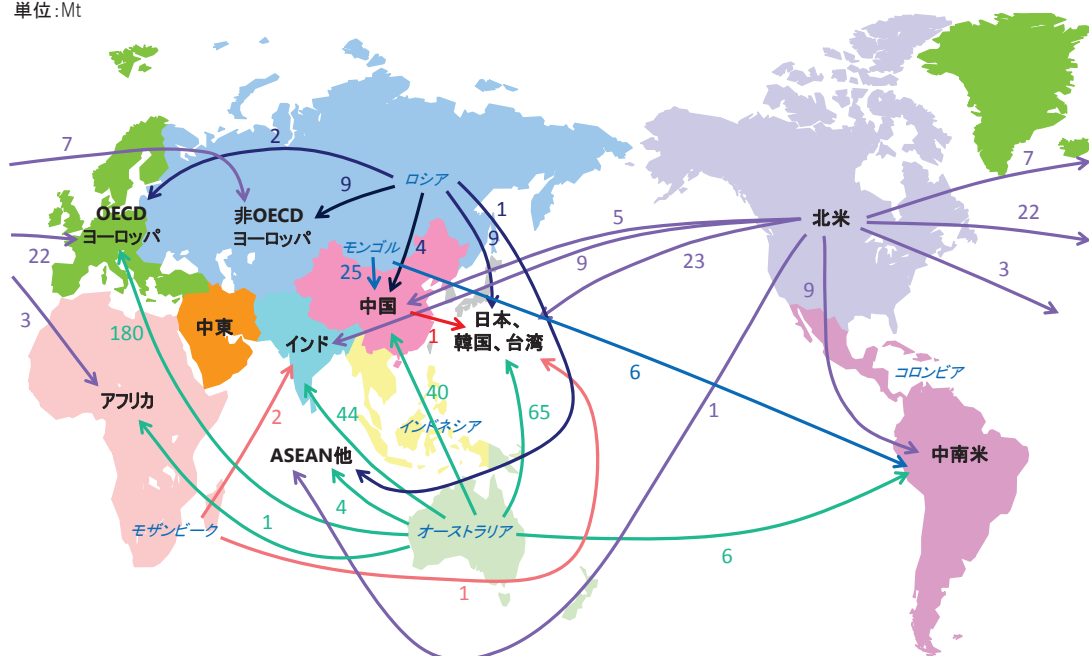
単位: Mt



注: 2 Mt以上を記載。

図3-9 | 主要国・地域間の原料炭貿易[2018年]

単位: Mt

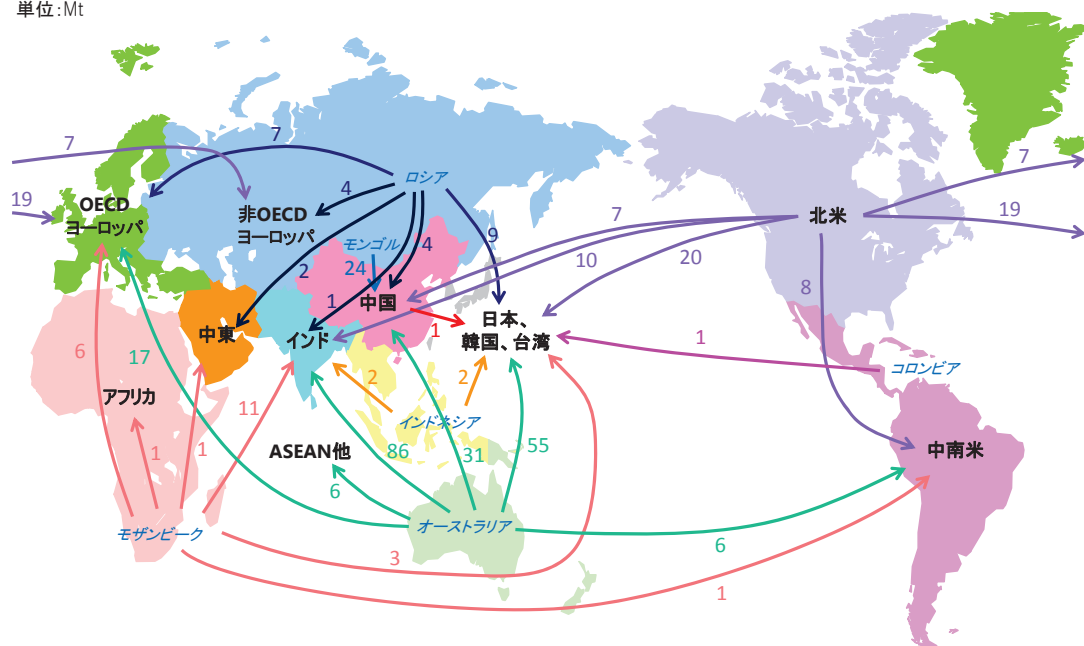


注: 見込み値。1 Mt以上を記載。

出所: IEA "Coal Information 2019"をもとに作成

図3-10 | 主要国・地域間の原料炭貿易[レファレンスシナリオ、2030年]

単位: Mt



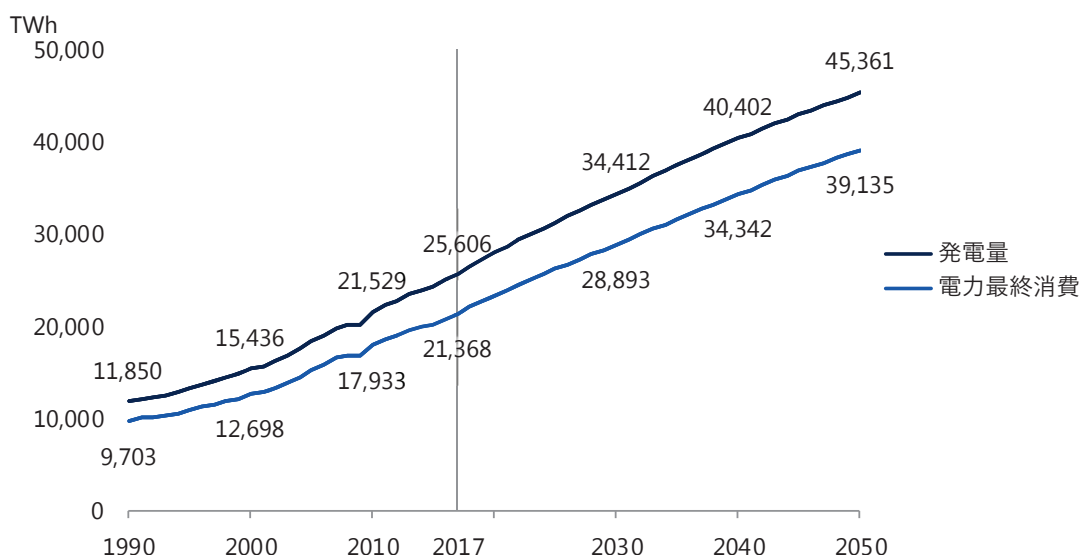
注: 1 Mt以上を記載。

3.4 発電

発電量・電源構成

電力消費の増加に伴い、世界の発電量は年率1.7%で増加し、2050年には現在の1.8倍となる45,361 TWhに増大する(図3-11)。その増分19,754 TWhは、世界最大の中国の現発電量の3倍に相当し、うち約9割が非OECDに由来する。急速な経済成長を続けるアジアの発電量は、2017年の11,340 TWhから年率2.1%で増加し、2050年には22,576 TWhに達する(図3-12)。

図3-11 | 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]



2017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3-13)。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、シェアを2017年の23%から2050年には30%に拡大し最大の電源となる。技術開発により複合発電(CCGT)が普及、さらに変動性再生可能エネルギーの出力変動を調整する役割を担う。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、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5.5%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。発電設備容量で見ると天然ガス火力が2050年にかけて設備投資が堅調に推進され、発電量同様最大のシェアを占める。

図3-12 | 主要国・地域の発電電力量[レファレンスシナリオ]

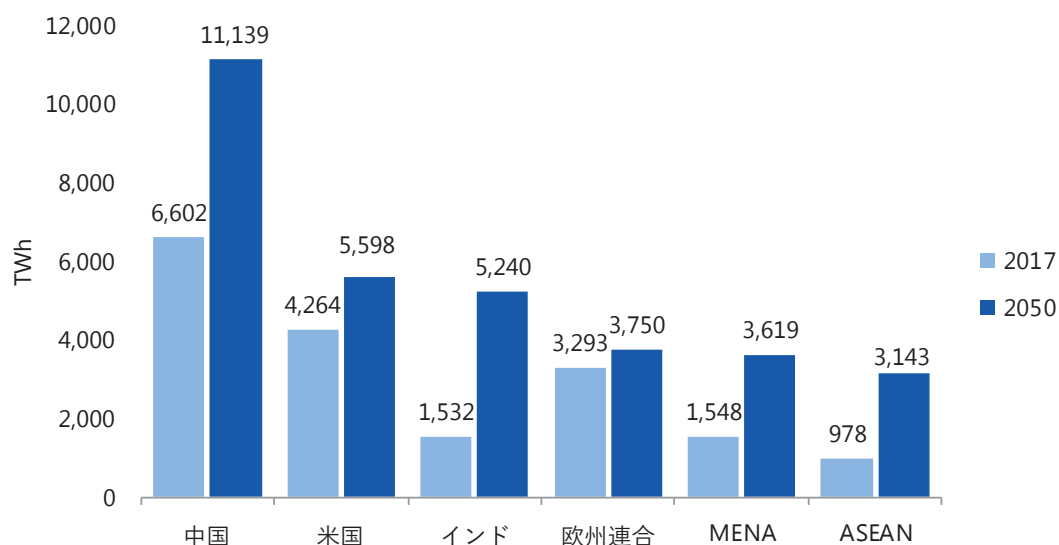
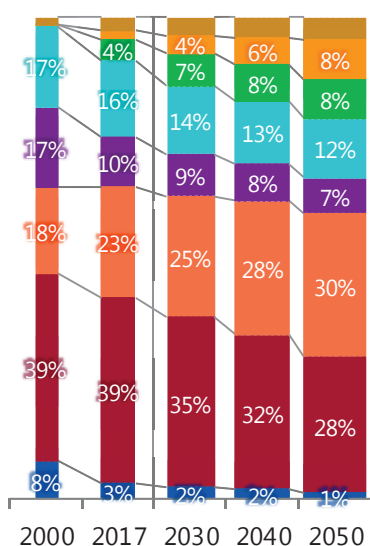


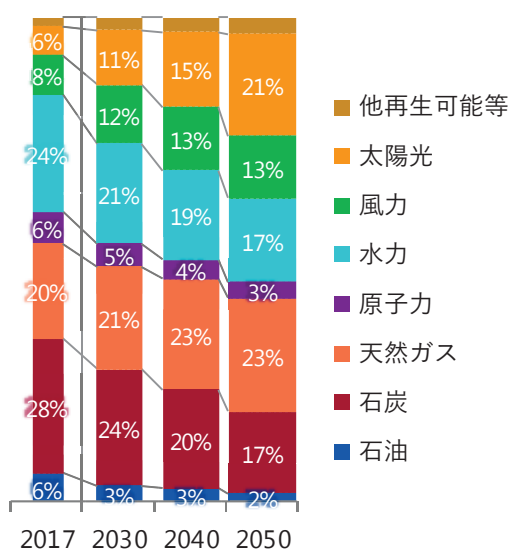
図3-13 | 世界の発電構成[レファレンスシナリオ]

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



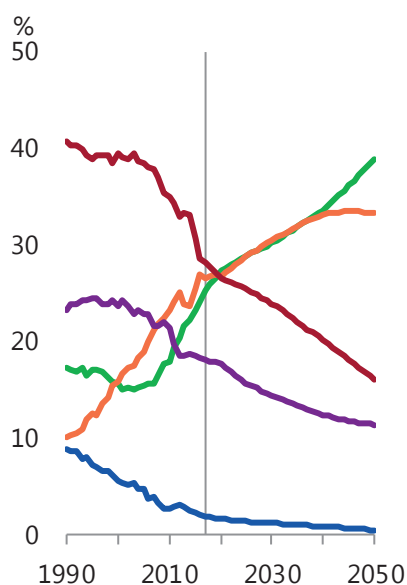
注: 棒の幅は総発電設備容量に比例

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割に達し、天然ガスを追い抜き最大の電源となる(図3-14)。このうち太陽光・風力が発電量の23%を占めるようになり、各地域で出力変動への対策を推進する必要がある。

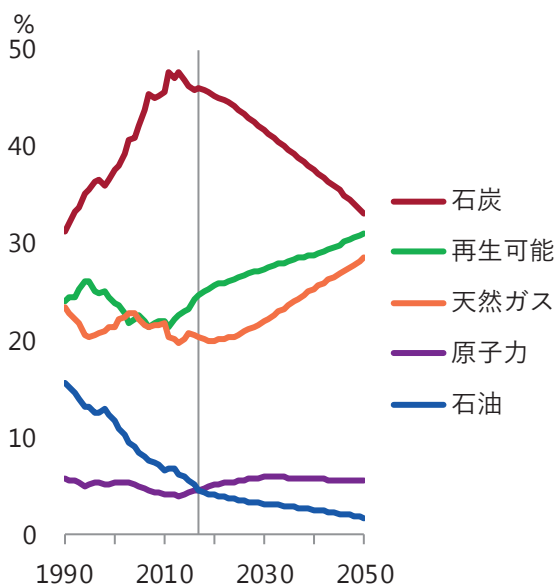
一方、足元で最大のシェアを占める石炭は、カナダ、イタリア等における脱石炭火力の政策、金融機関の投資差控えによりシェアを大きく低減させ、2050年には16%にとどまる。新興・途上国においても石炭火力比率は低下するが、2050年時点でも最大のシェアを持つ電源であり続ける。旺盛な電力需要を石炭火力によって支えるためには、予見性の高い投資環境の整備および大気汚染等の環境問題対策が急務となる。その一方で、天然ガス、再生可能電源のシェアが拡大し、2050年にはそれぞれ発電量の30%弱を占める主要電源となる。

図3-14 | 先進国、新興・途上国の電源構成[レファレンスシナリオ]

先進国

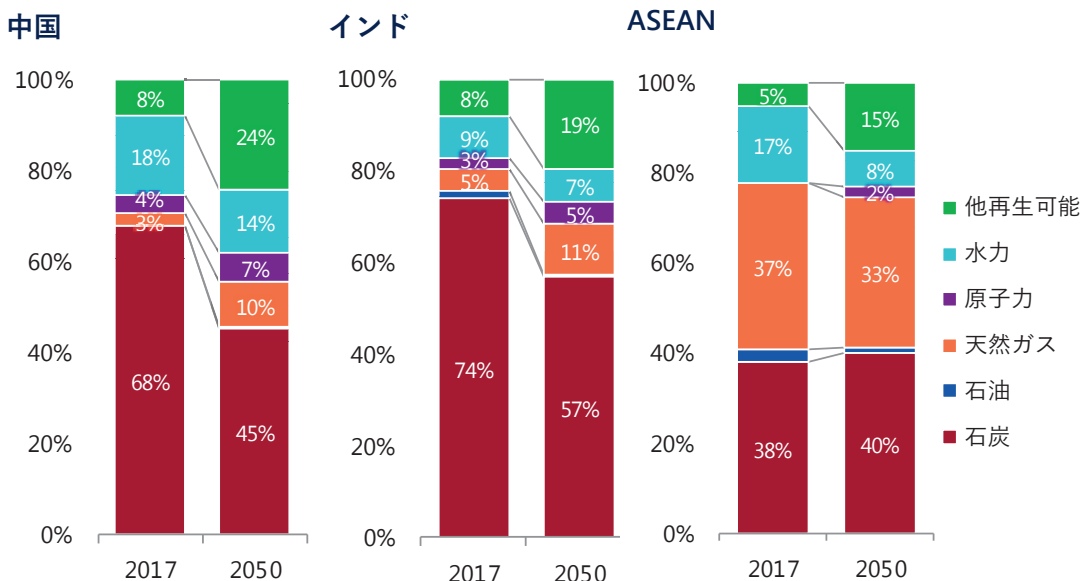


新興・途上国



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、その高いシェアは徐々に減少し、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(図3-15)。一方でASEANでは、需要増加に対し天然ガスの国内生産が追いつかなくなるため天然ガス火力のシェアが減少し、石炭火力のシェアが引き続き増大する。

図3-15 | 中国、インド、ASEANの電源構成[レファレンスシナリオ]



原子力

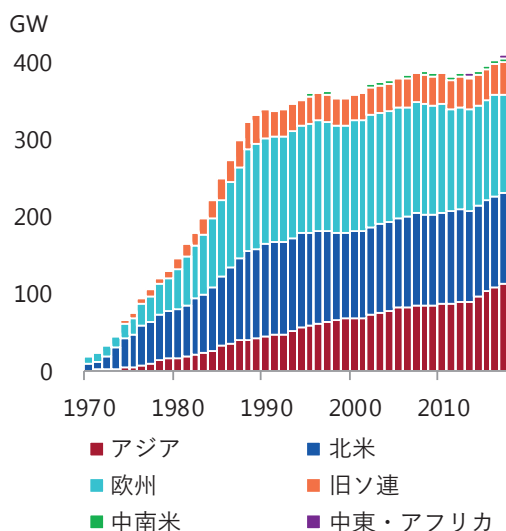
世界の原子力発電の設備容量は、1970～1980年代は欧米を中心に急激に拡大したが、1990年代は増加率が低下して横ばいで推移した。1990年代後半には欧米でパフォーマンスの低下した原子炉の廃止もあって減少した時期もあった。2000年代以降は、1970年代ほどではないものの、アジアを中心に着実に設備容量が増加しつつある(図3-16左)。

2011年3月の福島第一原子力発電所事故(福島第一事故)後は、日本における新規規制基準に基づく安全対策実施のための運転停止や、ドイツにおける政策変更に伴う既設炉の閉鎖、米国における経済的な観点による既設炉の閉鎖等を背景に、運転中の原子炉基数が一時的に減少した。しかし、それでもアジアを中心に新規建設が進捗しており、現在では運転中原子炉の基数は福島第一事故前を超えている(図3-16右)。

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、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ほか、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も複数存在する。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3-17)。

図3-16 | 原子力発電設備容量と基数

容量



基数

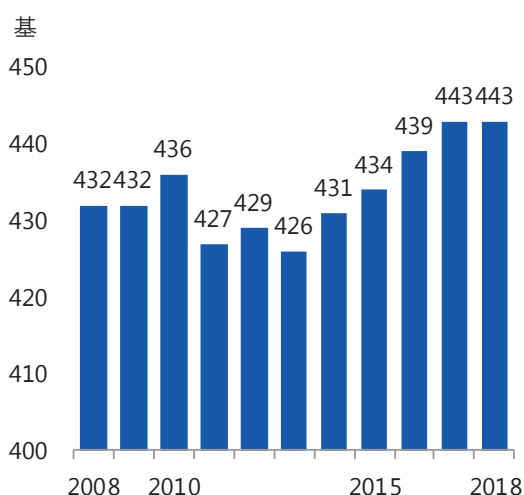
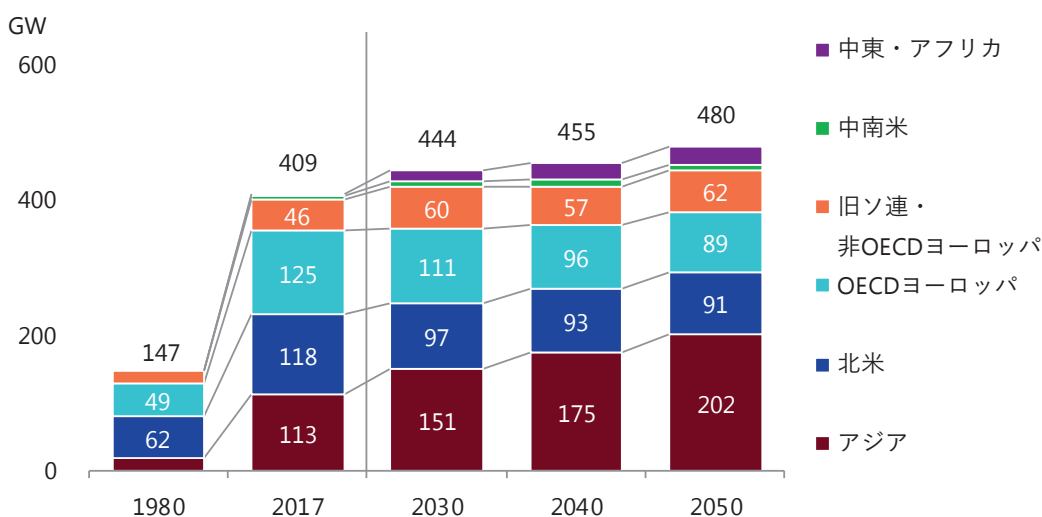


図3-17 | 原子力発電設備容量[レファレンスシナリオ]



米国は98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が進んだことなどによって、新規に建設される原子力発電所の足取りが弱まり、経済的な観点から一部既設炉の閉鎖も行われている。新設計画や既設炉の運転期間延長(60～80年運

転)といった試みのほか、一部の州では既設炉の早期閉鎖回避のための支援策も進められているが、設備容量は2050年にかけて低減してゆく。

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年の原子力比率を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ている。したがって、フランスでは当面は現状の設備容量の維持が続き、長期的には減少に転じる可能性もある、と整理できる。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年にかけて0となる。他のOECDヨーロッパ諸国でも新規建設に向けた動きは見られるが、老朽化した既設炉の廃炉も進むため、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2030年にかけて33 GWまで拡大するが、その後は横ばいとなる。

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。

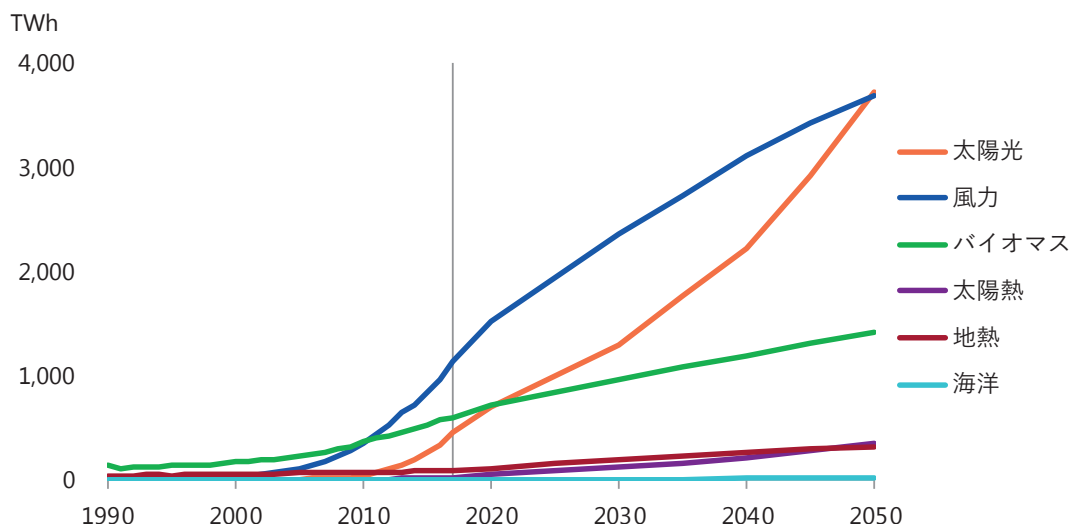
また、原子力分野においても中国、インドを中心とするアジアの存在感はますます高まってゆく。2040年には、中国は設備容量が93 GWとなり(2017年は36 GW)、米国を抜いて世界第1位の原子力大国となる。アジアの設備容量は、2045年には187 GWとなり、OECDヨーロッパと北米の設備容量の和である185 GWを上回る。

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、ヨーロッパ先進国や日本、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。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おり、米国では投資税控除や風力発電への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。中国では補助金無しの風力・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、2020年度内の再生可能エネルギー固定価格買取制度の抜本的見直しを機に、風力発電と太陽光発電の自立を促すための新たな制度構築が検討されている。このようにコストが

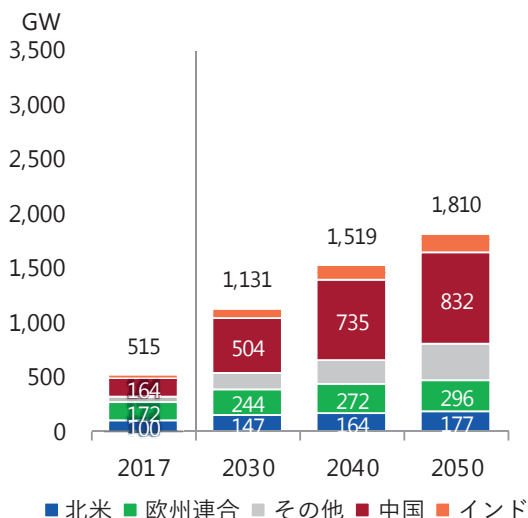
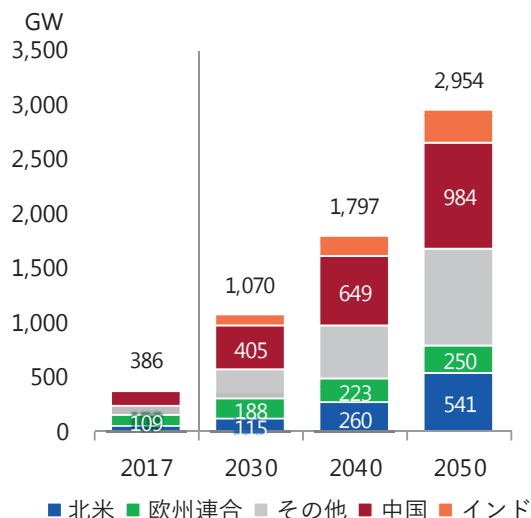
大幅に低下している風力・太陽光を中心に、再生可能エネルギー発電の導入量は拡大を続ける(図3-18)。自然変動電源の発電量合計は、2017年の1,722 TWhから2050年には5,101 TWhに達する。世界の総発電量における自然変動電源のシェアは2017年時点で6%に過ぎないが、2050年には16%へ上昇し、電力システムにおける存在感を増してゆく。

図3-18 | 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3-19)。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。これら以外の地域においては、インド、ブラジル、メキシコ等の新興国にて陸上風力発電を中心に設備導入量が増加してゆく。世界全体の風力発電設備容量は、2017年の515 GWから2050年には1,810 GWへ4倍弱に拡大する。

太陽光発電の世界市場は、ヨーロッパから中国、インド、米国、日本等に主役交代し、引き続き拡大してゆく(図3-20)。世界全体では太陽光発電の発電コストは従来発電技術より依然として高いものの、チリやメキシコ、アラブ首長国連邦、米国など日射に恵まれた国での太陽光発電入札で\$35/MWh以下の売電価格が記録されるなど、今後太陽光発電の競争力がさらに高まると予想される。レファレンスシナリオにおける世界の太陽光発電設備容量は、2017年の386 GWから2050年には2,954 GWへ7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1,157 GWに達する。

図3-19 | 風力発電設備容量[レファレンス
シナリオ]図3-20 | 太陽光発電設備容量[レファレン
スシナリオ]

なお、IEEJ Outlook 2020では自然変動電源の導入に係る費用を捕捉するため、中国、インド、日本、米国、ASEAN、欧州連合(EU)の各国・地域を対象とした詳細電源構成モデルを新たに構築した。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——を加味した結果、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設置可能適地が相対的に広い太陽光発電は競争力を有する傾向となる。

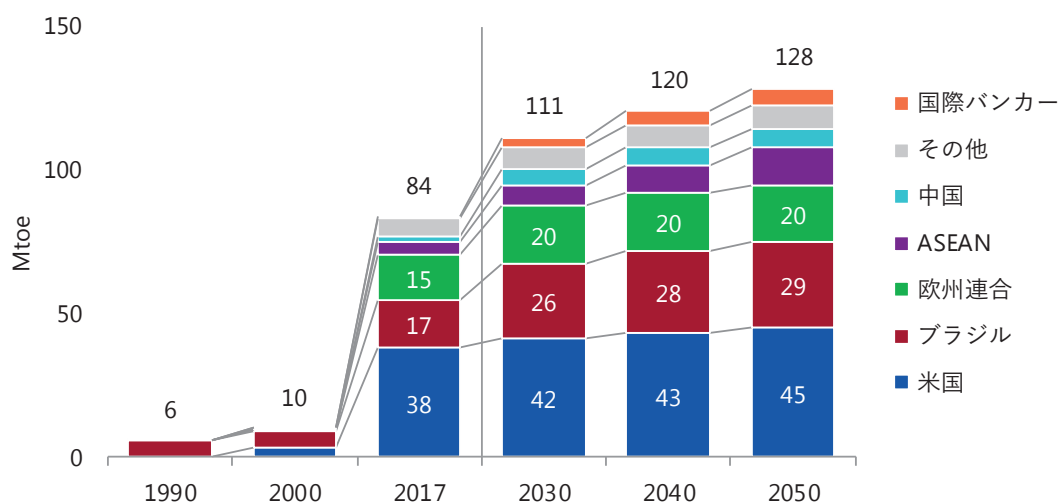
再生可能エネルギーの利用は、電力供給の低炭素化や対外依存度の低減と共に、化石燃料価格高騰の抑制にも潜在的に貢献しうる。レファレンスシナリオにおいて再生可能エネルギー電源は堅調に増加しゆくが、それを超える規模の普及を実現するためには、研究開発によるさらなる低コスト化や高効率化、普及に遅れが出ている電源への政策的支援、そして、エネルギー・社会システムとの調和の実現が重要な課題となる。エネルギー・社会システムとの調和の例として、自然変動電源は電力システム統合策に係る技術開発や制度構築、バイオマス発電は土地利用状況等を踏まえた上での持続可能なバイオマス供給チェーンの実現、地熱発電については周辺自然環境の保護や、地熱資源を利用する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、2017年においてこれら3地域が世界のバイオ燃料消費量の8割を占めている。

世界の自動車用バイオ燃料導入量は、2017年の84 Mtoeから2050年に128 Mtoeに増加する(図3-21)。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。米国では、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。ブラジルでは、エタノールとガソリンの両方を利用できるFlexible Fuel Vehicle (FFV)の普及により、利用量が増加する。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減速する。アジアでは、ASEAN、中国等で大きく伸びるが、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、国際航空用のバイオジェット燃料が2020年以降に活用されるようになる。

図3-21 | 輸送用液体バイオ燃料の利用量[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(図4-1)。

図4-1 | 技術の想定例[技術進展シナリオ]

2017年 → 2050年 (レファレンス2050年)

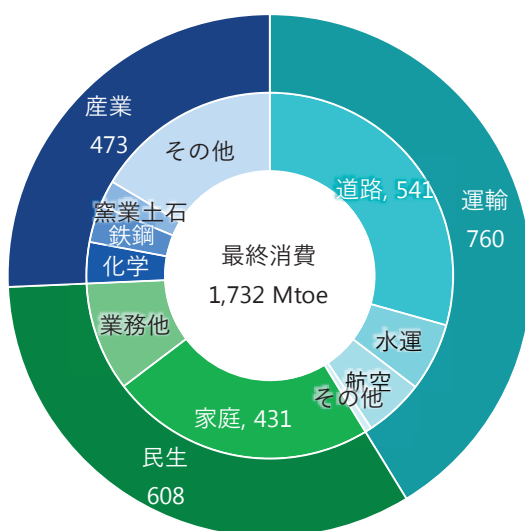
	先進国	発展途上国
火力発電	初期投資ファイナンススキーム整備 IGCC新設導入比率0% → 60% (20%) 2030年以降新設CCS導入(帯水層を除く貯留ポテンシャルがある国)	
[ストック効率]	天然ガス: 48.8% → 62.2% (59.8%) 石炭: 37.3% → 44.2% (44.6%)	天然ガス: 37.1% → 55.9% (47.5%) 石炭: 35.6% → 43.0% (41.3%)
原子力発電	適切な卸電力市場価格の維持	初期投資の融資枠組み整備
[設備容量]	2017年: 308 GW → 290 (215)	2017年: 101 GW → 426 (265)
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
[設備容量]	風力: 260 GW → 1,315 (886) 太陽光: 186 GW → 1,050 (751)	風力: 205 GW → 2036 (1,368) 太陽光: 104 GW → 1,943 (1,359)
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づけ
[消費量]	57 Mtoe → 108 (69)	27 Mtoe → 84 (54)
産業	2050年にBATが100%普及	
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]	15.0 km/L → 40.9 (29.3)	13.3 km/L → 31.6 (22.3)
[乗用ZEV販売比率]	1.2% → 68% (43%)	1.2% → 50% (26%)
民生	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 (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1,843 Mtoeの最終エネルギー消費が節減される。これは、2017年の世界の最終エネルギー消費の19%に及ぶ量である。節減量の内訳は、運輸部門が760 Mtoe、民生部門が608 Mtoe、産業部門が473 Mtoeである(図4-2)。運輸部門の中では道路部門が541 Mtoe、民生部門の中では家庭部門が431 Mtoeと過半を占める。自動車や家庭の機器効率等において、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、非OECD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80%と大きい。産業部門を中心とした非OECD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カギを握っている。

図4-2 | 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12%程度改善する(表4-1)。これにより、非OECDの産業部門の消費はレファレンスシナリオから379 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57%を占める。OECDの高効率技術の移転という形で非OECDの効率改善に協力する効果は非常に大きい。OECDによる省エネルギー技術に関する研究事業、途上国との積極的な協力事業が期待される。

運輸部門では、燃費改善や車種構成の変化がいっそう進展する。2050年の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ゼロエミッション自動車(ZEV)の導入・普及拡大で、販売シェアはレファレンスシナリオから21%ポイント増加する。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9.9 km/L改善して33.8 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し、OECDでは運輸部門が最も省エネルギー量が多い部門となる。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、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、非OECD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。給湯や暖房には、国による違いはあるものの、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。電力消費も、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、大きく低下する。

表4-1 | 世界のエネルギー指標

		2017	2050 レファレンス	2050 技術進展
産業	鉄鋼原単位(2017=100)	100	74.7	65.4
	窯業土石原単位(2017=100)	100	73.7	64.7
	化学原単位(2017=100)	100	79.3	70.0
	紙パルプ原単位(2017=100)	100	85.3	75.4
	その他産業原単位(2017=100)	100	67.9	59.0
運輸	乗用車の新車燃費(km/L)	14.1	23.9	33.8
	ZEV販売シェア	0.9%	27%	48%
	外航海運の天然ガスシェア	0.0%	21%	41%
	国際航空のバイオ燃料シェア	0.0%	1.6%	19%
民生	家庭総合効率(2017=100)	100	65.1	53.3
	業務総合効率(2017=100)	100	35.8	30.1
	家庭電化率	24%	38%	41%
	業務電化率	52%	65%	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

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、2017年の14%から2050年にはレファレンスシナリオを8%ポイント上回る24%に上昇する。中でも風力発電や太陽光発電の増分が大きく、その合計が一次エネルギー消費に占める割合は2017年の1.0%から2050年には7.3%まで上昇する。

脱炭素化への取り組みがさらに強化されることを背景に、送電インフラの整備や、エネルギー貯蔵技術のコスト削減とそれに伴う利用促進によって、風力発電はすべての地域で導入が加速する。陸上風力発電は、中国やインドおよびその他地域での導入拡大が著し

い。洋上風力発電は、技術開発とコスト削減により、これまでの主役であったヨーロッパに加え、中国でも導入が拡大する(図4-3)。陸上風力と洋上風力を合わせて、2050年の世界の風力発電の設備容量は3,065 GWで、レファレンスシナリオの1.7倍となる。

太陽光発電も、世界的に普及が加速してゆく。現在では太陽光発電の主要市場ではない地域での導入拡大が著しく(図4-4)、特に中東、北アフリカ、中南米等の日射量に恵まれたサンベルト地域での伸びが大きい。2050年における世界の設備容量は4,434 GWと、レファレンスシナリオの1.5倍に拡大する。

図4-3 | 風力発電設備容量[技術進展シナリオ]

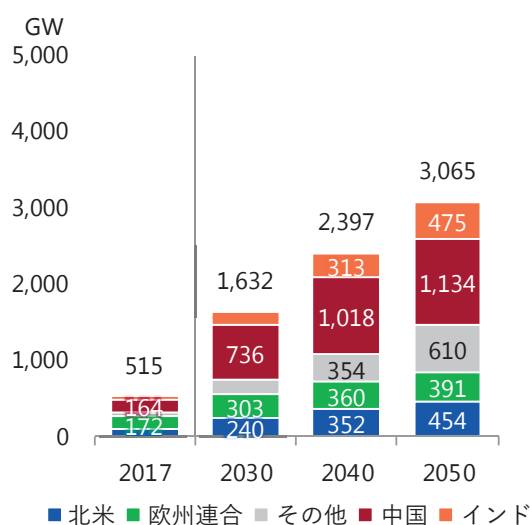
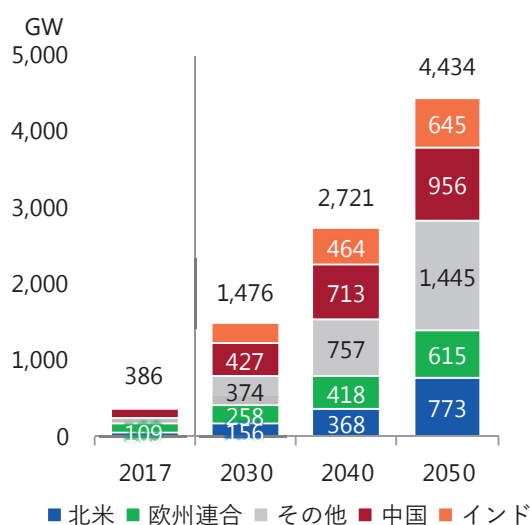


図4-4 | 太陽光発電設備容量[技術進展シナリオ]



再生可能エネルギー発電技術やエネルギー貯蔵技術のコスト削減に加え、環境負荷低減や、投資家や消費者の環境意識の向上等も自然変動電源の導入拡大を加速させる要因となる。また、発電予測技術、出力抑制、エネルギー貯蔵技術、送配電網増強、さらにはこれらの技術を情報技術(IT)と組み合わせたスマートグリッド技術による系統安定化対策の強化も大きな役割を果たす。

再生可能エネルギー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つに水素があり、近年ヨーロッパをはじめ、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。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ことから、再生可能エネルギー電力

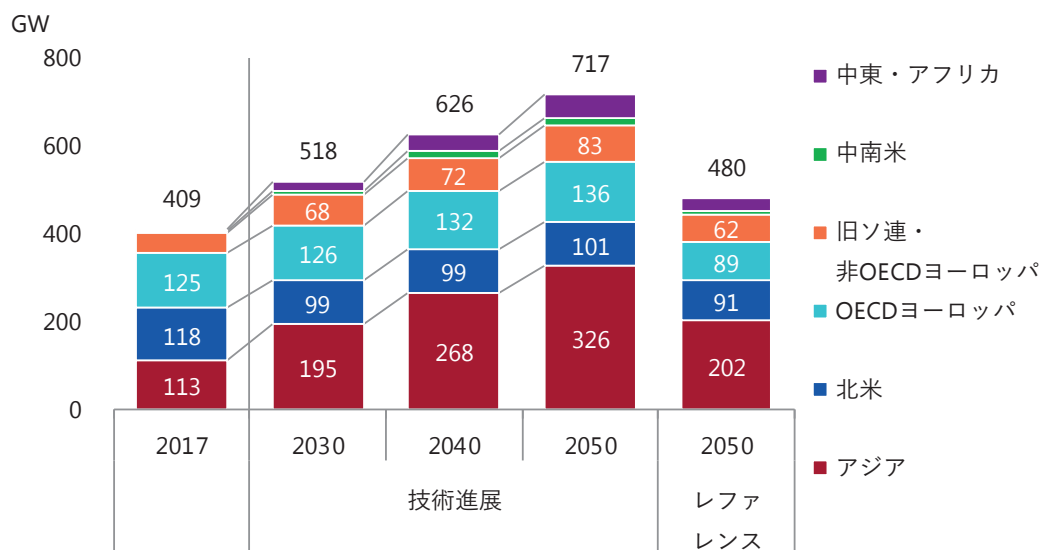
を部門横断的に活用するシステム・インテグレーション的な観点からも期待が高い。このような技術が長期的に普及拡大すれば、再生可能エネルギー電源のさらなる促進に繋がる可能性がある。

原子力

原子力発電は、低炭素化対策の観点から期待が大きい。新興・途上国では、電力需要の急速な拡大に対応し、かつ低炭素化対策を進めるために、導入が検討されている。従来原子力発電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2017年から低減する一方で、英国、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ベルギーなどでも、低炭素化対策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イスで補うという方針が検討される可能性がある。

技術進展シナリオでは、原子力発電の設備容量は2017年の409 GWから2050年には717 GWに増大する(図4-5)。これは、レファレンスシナリオでの設備容量480 GWに対して約1.5倍に相当する。

図4-5 | 原子力発電設備容量[技術進展シナリオ]



北米は、主に米国での伸び悩みにより、2050年には設備容量が101 GWへと縮小する。米国での縮小には、経済性が悪化した既設炉の閉鎖に加え、最近の電力需要の伸び悩みや安価な天然ガス価格および再生可能エネルギー価格といった背景がある。ただし、米国では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おり、研究開発や発電事業に対する支援策も検討が進められているため、

レファレンスシナリオよりも大きな役割が原子力に期待されることも考えられる。その結果、技術進展シナリオでの設備容量は、2050年に90 GWとなる(レファレンスシナリオ: 87 GW)。

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、リプレースによって設備容量は補われ、2017年の125 GWから2050年には136 GWまで拡大する。例えば、英国では既設炉の廃炉と同時に新規建設が進み、2050年には16 GWまで拡大する。

ロシアでは新規建設計画が加速し、設備容量は2017年の28 GWから2040年には34 GWへと拡大する。ロシアではその後、設備容量が横ばいで推移するものの、東欧諸国では2040年以降も新規建設が着実に進められる。

アジアでは、中国、インドが牽引役となるが、東南アジア諸国でも新規建設が進展する。設備容量は2035年にOECDヨーロッパと北米の和(225 GW)を上回り、2050年には326 GWに達する。中国は2035年に米国の設備容量(88 GW)を上回って世界最大の原子力利用国となり、2050年には143 GWまで導入が進む。インドは2017年時点の設備容量こそ7 GWでしかないものの、政府は積極的な原子力導入目標を掲げており、2030年には29 GW、2050年には71 GWまで拡大する。

新興市場とされる中東、アフリカ、中南米では、2025年頃より新設炉の運転開始を迎え、以降設備容量は着実に拡大する。特に中東では、アラブ首長国連邦とサウジアラビアを中心に新規建設が計画されており、2030年に15 GW、2050年に30 GWまで達する。

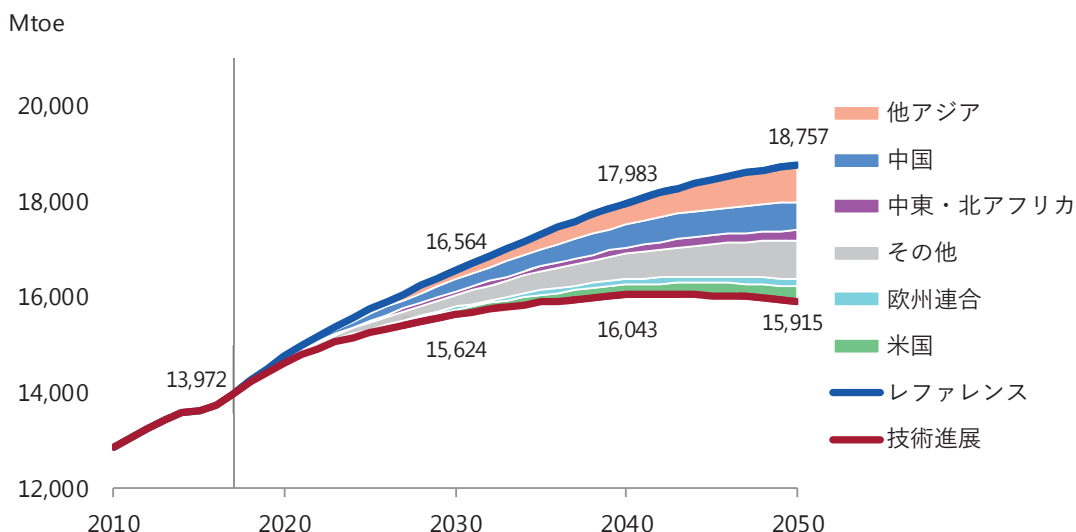
4.2 エネルギー需給

一次エネルギー消費

上述の省エネルギー・気候変動対策の強力な展開により、一次エネルギー消費は大幅に節減されうる(図4-6)。技術進展シナリオにおける2050年の一次エネルギー消費量は15,915 Mtoeであり、レファレンスシナリオからの節減量は2,841 Mtoeと、世界の2017年の一次エネルギー消費量の20%に相当する。さらに、2050年までの累積節減量は、約45 Gtoeにも及ぶ。これは、世界の一次エネルギー消費の3.2年分に当たる。

技術進展シナリオへの移行においては、今後エネルギー需要が拡大し、かつ節減対策ポテンシャルが大きい新興・途上国やアジアの役割が大きい。2050年における世界の省エネルギー量のうち、新興・途上国による分は73%、アジアによる分は48%に上る。これらの地域で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カギを握っている。

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



一次エネルギー消費節減量をエネルギー源別にみると、化石燃料のそれが非常に大きい(図4-7)。2050年における一次エネルギー消費のレファレンスシナリオからの節減量2,841 Mtoeのうち、石炭が1,659 Mtoe、石油が1,218 Mtoe、天然ガスが1,286 Mtoeをそれぞれ占有する。他方、原子力や再生可能エネルギーは導入が加速し、その消費量は、原子力がレファレンスシナリオを424 Mtoe(うちアジアが222 Mtoe)、再生可能エネルギーが898 Mtoe(同465 Mtoe)、それぞれ上回る。これらの結果、技術進展シナリオにおける化石燃料のシェアは、2017年の81%から2050年に68%まで低下する。

化石燃料消費の節減量のうち、中国やインドを中心とするアジアが占める割合は49%であり、特に石炭の節減量では76%と非常に高い。また、原子力や再生可能エネルギーの増加量に対しても、アジアの寄与はそれぞれ52%と過半を占める。

マクロなエネルギー効率を示す世界の一次エネルギー消費量のGDP原単位は、2050年に2017年比52%減少する(図4-8)。先進国が53%減であるのに対して、新興・途上国は足元における効率改善余地が大きいことから、62%減と先進国より大きく減少し差を縮めてゆく。中でも中国のGDP原単位は、産業構造の変化などから足元でも急速に減少しているが、この先も減少が続き、まもなく新興・途上国の平均を下回り、2040年頃には世界平均に追いつく。アジア全体では、GDP原単位は2050年までに61%減少する。

技術進展シナリオが描く世界のエネルギーシステム実現のために、アジアが極めて重要な役割を担う。技術の普及を阻む資金調達力や意識の不足などの省エネルギーバリア解消が重要である。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、都市部と郊外のライフスタイルの違いも考慮した省エネルギー技術の提供も

必要である。国全体で省エネルギー意識を高めてゆく教育も必要となろう。二国間協力や、ASEAN+3、APEC等の多国間枠組みなどがその一助となる。

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]

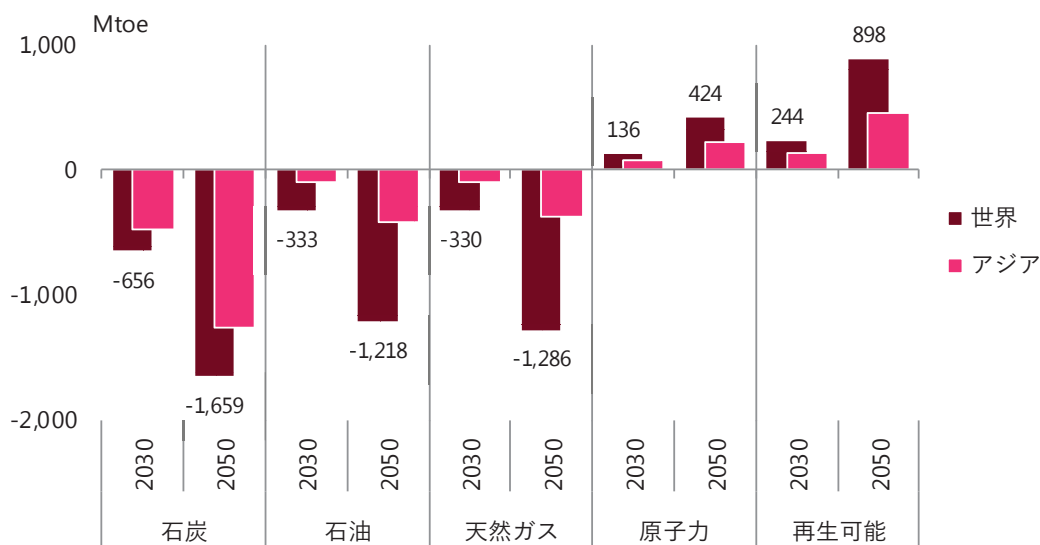
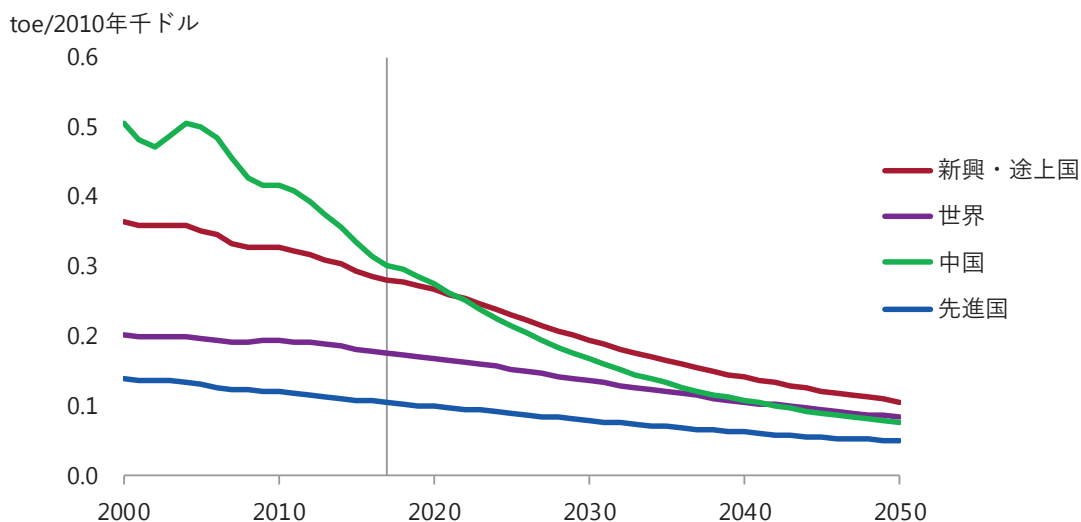


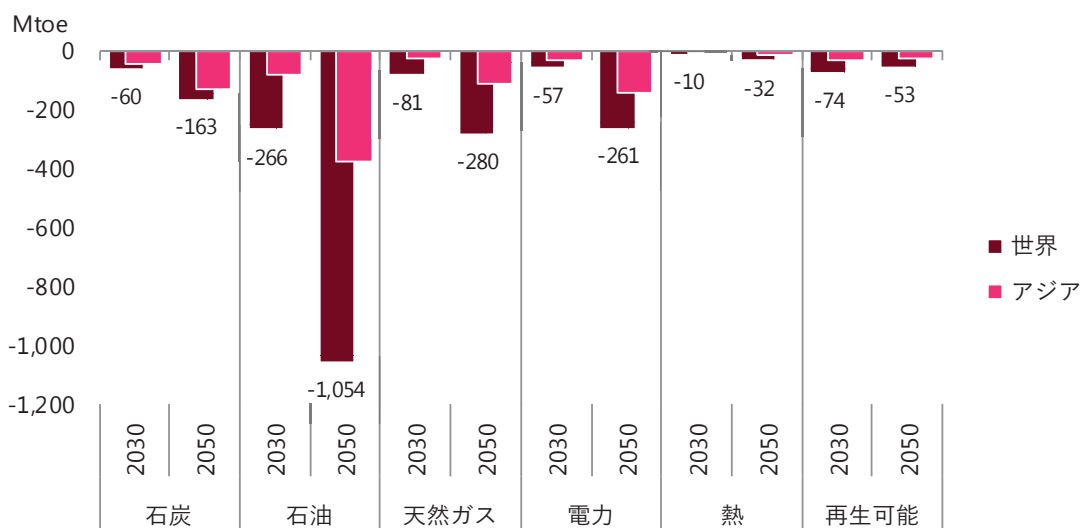
図4-8 | 一次エネルギー消費量のGDP原単位[技術進展シナリオ]



最終エネルギー消費

最終エネルギー消費は、2050年において1,841 Mtoe節減されうる。このうち、石油が1,054 Mtoeであり、省エネルギー量の57%を占める(図4-9)。

図4-9 | 世界の最終エネルギー消費の変化(レファレンスシナリオ比) [技術進展シナリオ]



世界的な発電効率改善の実現を目指す過程においては、先進国と新興・途上国が協力してこの課題に取り組むことが重要である。新興・途上国では、経済成長を急ぐあまりに、環境への配慮を欠いた開発が進められていることも少なくない。例えば、火力発電による大気汚染問題への取り組みは、経済性が低下する懸念から、新興・途上国の対応は鈍くなりがちである。かつて環境問題を克服してきた先進国の知見がますます重要になる。

発電効率の向上はもちろん、電力消費そのものを抑制する技術も重要である。とりわけ、生活水準の向上とともに増加を続ける民生部門の電力消費をいかに抑制するかは、先進国においても重要な課題である。スマートメーターを含むホームエネルギー管理システム(HEMS)やビルエネルギー管理システム(BEMS)など、エネルギー消費をコントロールする技術が先進国に普及し、新興・途上国にその技術が移転されることが期待される。

石油の節減は、運輸部門の省エネルギー進展の寄与が大きい。2017年に94%を占めていた道路部門における石油の割合は、ZEVの普及が進むことにより、2050年に77%まで低下する(図4-10)。道路部門のエネルギー消費をレファレンスシナリオと比べると、電力の増加が最も多い(図4-11)。

電力の最終消費は261 Mtoe節減され、これにより発電量が280 Mtoe、一次エネルギー消費は1,010 Mtoe節減される(図4-12)。これは一次エネルギー消費の総節減量の36%に相当する。この節減に大きく寄与する地域は、アジアである。アジア新興・途上国での発電効率は大きく向上し、電力需要の増加に伴う新規発電設備の導入やリプレースによって2050年には先進国とほぼ大差ない水準まで改善する。

図4-10 | 世界の道路部門エネルギー消費構成 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]

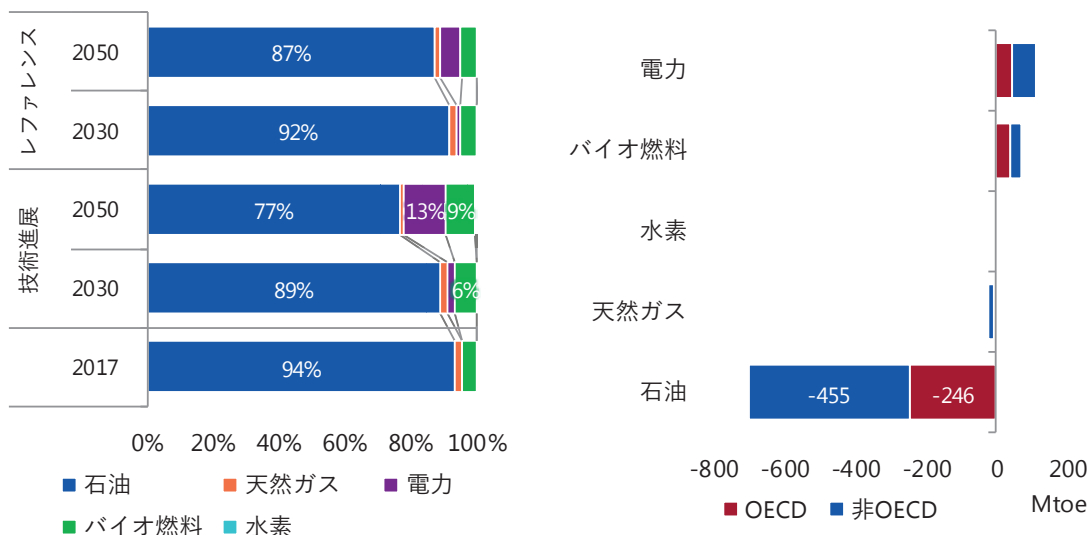
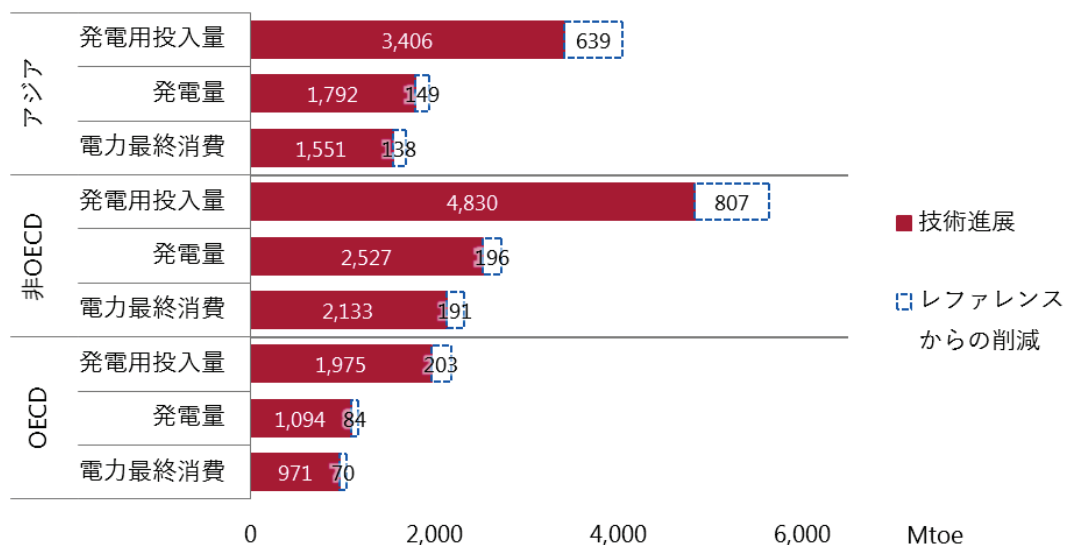


図4-12 | 電力最終消費の節減等に伴う一次エネルギー消費の削減[技術進展シナリオ、2050年]



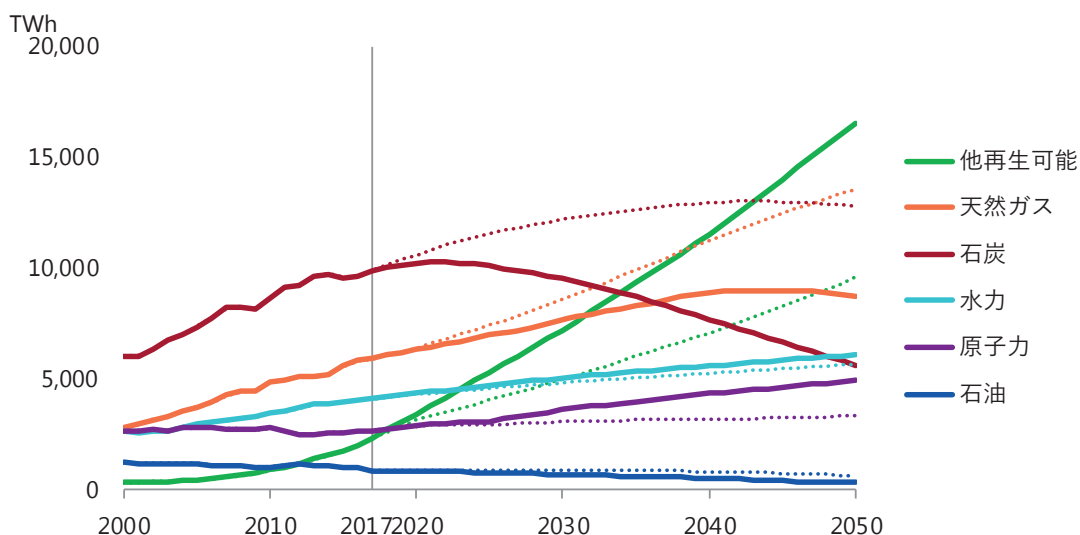
石炭の最終消費の節減は2050年には163 Mtoeとなり、アジアは世界全体の節減量の79%を占める。このうち、粗鋼生産量が拡大するインド等の鉄鋼業での省エネルギーが要諦となる。例えば、日本の粗鋼生産量あたりのエネルギー消費量は、世界トップレベルの小ささ

であり、インドの約3分の1となっている。今後、インドを含むアジア新興・途上国に高効率技術を展開することができれば、当該部門のエネルギー節減の実現性は非常に高くなる。先進国は、省エネルギー設備・機器のハード面だけでなく、オペレーション等のソフト面においてもエネルギー節減に貢献できよう。

電源構成

電力最終消費の節減が発電量を3,236 TWh減少させる。これは、OECDヨーロッパの2017年の発電量に相当する。また、石炭ガス化複合化発電(IGCC)やバイオマスとの混焼が、石炭消費量を大幅に節減させる。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)。

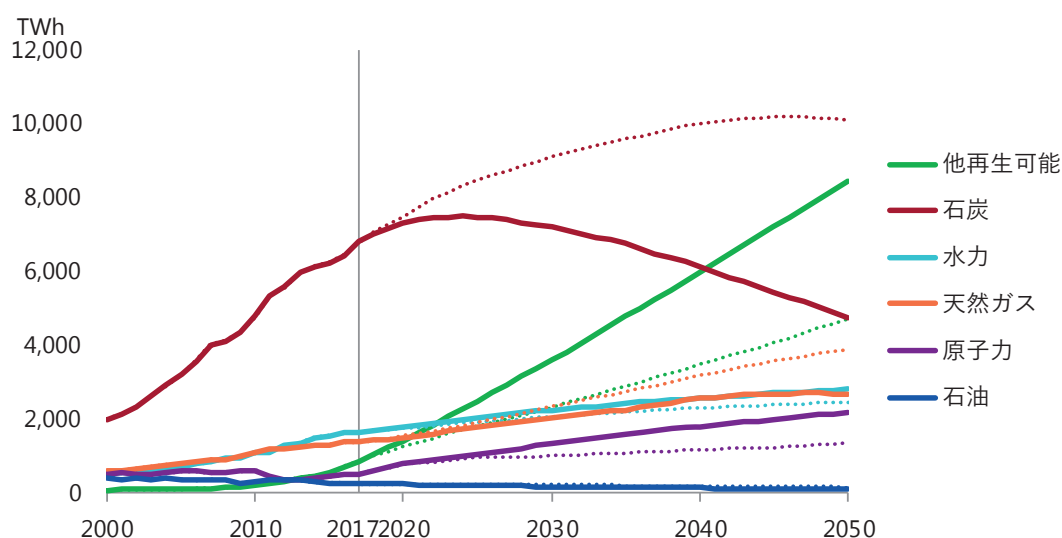
図4-13 | 世界のエネルギー源別発電量[技術進展シナリオ]



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る。とはいえ、アジアでは、総発電量に占める石炭の割合は、2050年においても一定のシェアを占める(図4-14)。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 | アジアのエネルギー源別発電量[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、2030年頃にピークを迎えその後は減少傾向となる。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、押しなべて減少する(表4-2)。

表4-2 | 原油生産[技術進展シナリオ]

	2017	2030	2040	2050	(Mb/d)	
					2017-2050 変化量	2017-2050 変化率
原油生産計	92.5	97.2	96.6	92.7	0.2	0.0%
OPEC	37.8	39.1	41.4	41.6	3.8	0.3%
中東	28.4	29.7	31.1	31.1	2.7	0.3%
その他	9.4	9.4	10.3	10.5	1.1	0.3%
非OPEC	54.7	58.0	55.2	51.1	-3.6	-0.2%
北米	17.9	22.2	20.4	17.5	-0.4	-0.1%
中南米	6.8	7.9	8.8	9.3	2.5	1.0%
欧州・ユーラシア	17.8	16.2	14.7	13.4	-4.4	-0.8%
中東	3.1	3.3	3.4	3.4	0.3	0.3%
アフリカ	1.3	1.4	1.4	1.4	0.1	0.2%
アジア・オセアニア	7.8	7.0	6.5	6.1	-1.7	-0.8%
プロセスゲイン	2.3	2.6	2.7	2.8	0.5	0.6%
石油供給計	94.8	99.8	99.3	95.5	0.7	0.0%

注: 原油には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中東OPECが生産量を増やし、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い中南米、北米、アフリカや、需要が減少する欧州向け供給が多いロシアを中心とする欧州・ユーラシアでは、レファレンスシナリオに比べて生産量の減少が著しい。一方、アジアを中心とする純輸入国では、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。同地域の自給率はレファレンスシナリオよりも上昇する。

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、2040年時点で、レファレンスシナリオと比べて16%、2050年時点では25%低い水準となる。しかしながら石油や石炭と比較すれば、レファレンスシナリオとの差は小さい。

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。また北米における生産量も、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、堅調に生産を増加させる。

表4-3 | 天然ガス生産[技術進展シナリオ]

	2017	2030	2040	2050	(Bcm)	
					2017-2050 変化量	変化率
世界	3,755	4,390	4,685	4,606	851	0.6%
北米	945	1,212	1,239	1,138	193	0.6%
中南米	215	249	303	308	93	1.1%
OECDヨーロッパ	248	136	85	50	-198	-4.8%
非OECDヨーロッパ/中央アジア	906	935	937	941	35	0.1%
ロシア	694	693	722	734	40	0.2%
中東	629	766	820	878	249	1.0%
アフリカ	215	333	441	410	194	2.0%
アジア	486	585	672	688	202	1.1%
中国	142	237	330	352	210	2.8%
インド	31	57	72	72	41	2.6%
ASEAN	222	205	194	192	-29	-0.4%
オセアニア	110	175	187	193	83	1.7%

石炭供給

利用効率の向上および発電構成におけるシェア減少等により、石炭需要は減少に向かう。それに伴い石炭生産量は、2017年の7,563 Mtから2050年の4,672 Mtまで減少する(図4-15)。炭種別にみると、一般炭生産量は2017年の5,726 Mtから2050年には3,536 Mtに、原料炭生産量は2017年の1,013 Mtから2050年には921 Mtに、褐炭生産量は2017年の824 Mtから2050年には215 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3,580 Mt減少し、その内訳は一般炭が3,038 Mt、原料炭が149 Mt、褐炭が393 Mtの減少となる。

地域別にみても、各地域で石炭需要が大きく減少することから石炭生産量も減少する(表4-4)。特に北米、OECDヨーロッパおよび中国での一般炭生産量は、域内(国内)需要の減少により大きく減少する。

図4-15 | 世界の石炭生産[技術進展シナリオ]

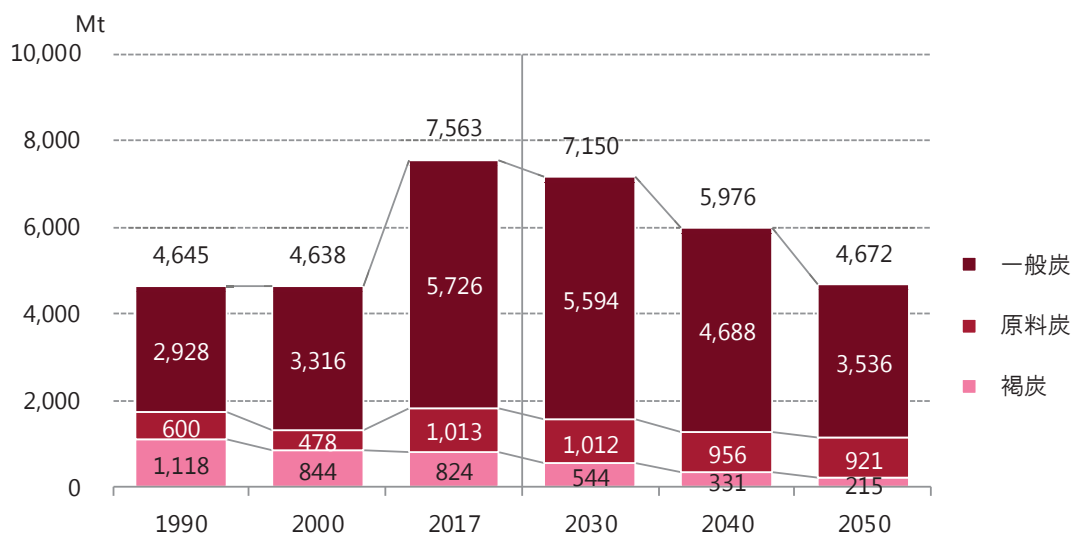


表4-4 | 石炭生産[技術進展シナリオ]

一般炭生産					(Mt)	
	2017	2030	2040	2050	2017-2050	
					変化量	変化率
世界	5,726	5,594	4,688	3,536	-2,190	-1.4%
北米	597	407	246	94	-503	-5.5%
米国	574	403	245	93	-481	-5.4%
中南米	100	96	74	56	-44	-1.8%
コロンビア	86	86	66	50	-36	-1.6%
OECDヨーロッパ	66	42	26	11	-55	-5.3%
非OECDヨーロッパ・中央アジア	339	284	254	211	-128	-1.4%
ロシア	227	204	176	143	-84	-1.4%
中東	0	0	0	0	0	-1.0%
アフリカ	264	274	240	185	-79	-1.1%
南アフリカ	253	260	225	172	-81	-1.2%
アジア	4,107	4,234	3,633	2,835	-1,271	-1.1%
中国	2,882	2,673	2,144	1,531	-1,351	-1.9%
インド	643	916	861	765	122	0.5%
インドネシア	490	533	515	429	-62	-0.4%
オセアニア	254	256	215	144	-110	-1.7%
オーストラリア	253	255	214	143	-109	-1.7%

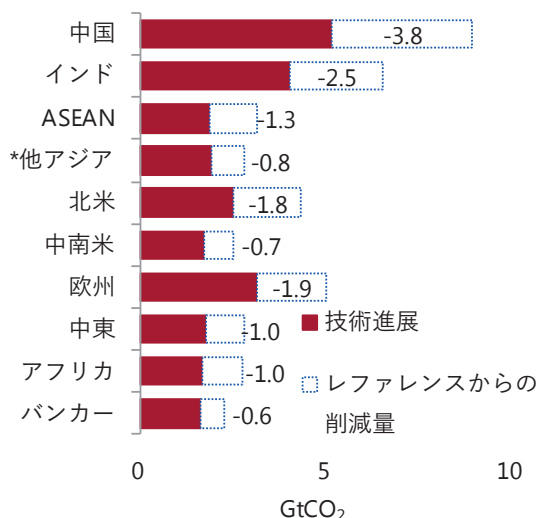
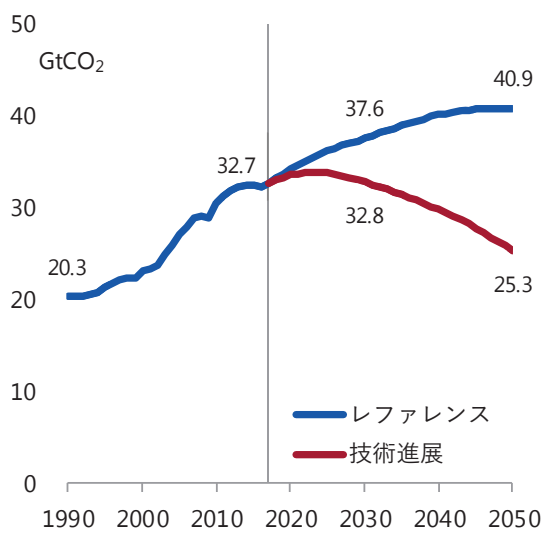
原料炭生産					(Mt)	
	2017	2030	2040	2050	2017-2050	
					変化量	変化率
世界	1,013	1,012	956	921	-92	-0.3%
北米	94	86	82	78	-16	-0.5%
米国	65	58	55	51	-14	-0.8%
中南米	9	11	11	11	2	0.7%
コロンビア	4	5	5	6	1	0.7%
OECDヨーロッパ	18	16	15	14	-4	-0.8%
非OECDヨーロッパ・中央アジア	107	108	106	102	-5	-0.1%
ロシア	86	86	82	77	-9	-0.3%
中東	1	2	2	2	0	0.7%
アフリカ	11	16	19	23	11	2.2%
モザンビーク	7	12	15	19	12	3.0%
アジア	581	576	512	462	-119	-0.7%
中国	515	482	402	330	-185	-1.3%
インド	36	63	83	108	72	3.4%
モンゴル	26	25	21	18	-8	-1.2%
オセアニア	191	198	209	229	37	0.5%
オーストラリア	190	196	207	227	37	0.5%

4.3 二酸化炭素、温室効果ガス排出量

省エネルギー・低炭素技術のいっそうの進展により、世界のエネルギー起源二酸化炭素(CO₂)排出量は、2025年ごろをピークに緩やかな減少に転じる(図4-16)。2050年には2017年比22.7%減の25.3 Gtとなる。レファレンスシナリオからは38%減、15.6 Gtの削減となるが、これは現在のOECD全体の排出量である9.3 Gtを大きく上回る規模である。また、2050年までの累積削減量239 Gtは世界の現排出量の7.3年分にあたる。

2050年における削減量のおよそ4分の3を非OECDが占め、途上国の削減ポテンシャルが大きい。世界最大の排出国である中国の削減量は、欧州連合の現排出量3.2 Gtとほぼ同じ3.8 Gtに上る(図4-17)。そのうちの約5割強が発電部門での石炭消費の削減に起因する。中国は石炭火力への依存度が高く(現在の発電構成比は約7割。レファレンスシナリオでは2050年でもほぼ半分を占める)、電力需要の削減、発電効率の改善、そして非化石電源へのシフトがCO₂削減への大きなファクターとなる。2035年までに米国を越え世界第2の排出国となるインドは、現排出量とほぼ同じ2.1 Gtを削減する。中国同様に石炭火力への依存が高く、排出削減の約6割弱が発電部門での石炭消費の削減による。アジアをはじめとする途上国においてCO₂排出削減を実現することが、実効性のある気候変動対策として不可欠である。その意味で、途上国自身の取り組み、先進国による途上国への技術移転や制度構築支援等による低炭素技術の展開支援の意義は極めて大きい。

図4-16 | 世界のエネルギー起源二酸化炭素排出
排出
図4-17 | 二酸化炭素排出[技術進展シナリオ、2050年]



注: 他アジアにはオセアニアを含む

2050年における世界のエネルギー起源CO₂削減量を技術別にみると、省エネルギーによるものが最大で6.6 Gt、次いで再生可能エネルギーが4.8 Gt、二酸化炭素回収・貯留技術(CCS²⁴)が2.1 Gt、原子力が1.1 Gtとなる(表4-5)。太陽光、風力などの再生可能エネルギー発電および原子力発電の非化石電源によるCO₂削減効果は全体の4割である。CCSは、貯留ポテンシャルがある国・地域について、2030年以降の新設火力発電所すべてに付設することを想定している。

表4-5 | 世界の二酸化炭素削減量(レファレンスシナリオ比) [技術進展シナリオ]

(GtCO₂)

	2050		2018-2050累積	
	削減量	構成比	削減量	構成比
省エネルギー	6.6	42%	98.8	42%
バイオ燃料	0.4	3%	5.8	2%
太陽光・風力等	4.8	31%	81.4	34%
原子力	1.1	7%	18.0	8%
燃料転換	0.6	4%	8.6	4%
CCS	2.1	13%	25.2	11%
合計	15.5	100%	206.3	100%

それぞれの技術は完璧なものではなく、長所と同時に短所も併せ持つ。また、国、地域によっても、それぞれの技術の導入容易性・困難性は大きく異なる。ある特定の技術や手段に偏ることなく、さまざまなオプションの適切な活用を模索することが肝要である。

²⁴ Carbon capture and storage

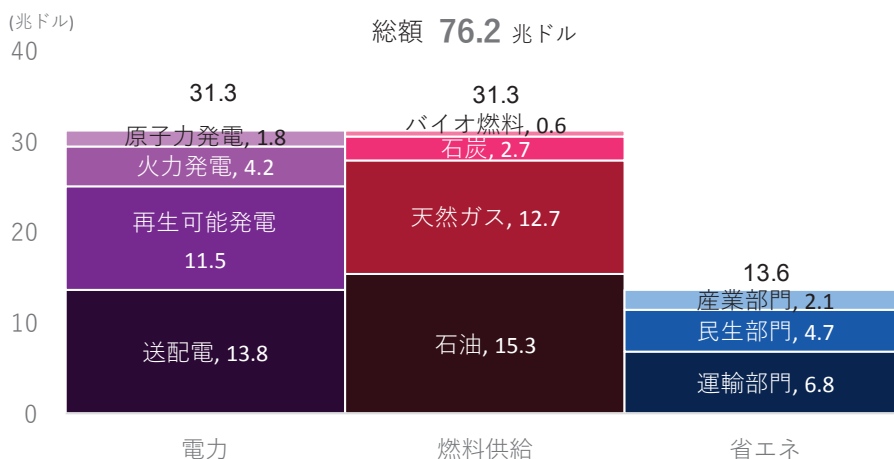
5. エネルギー関連投資

5.1 レファレンスシナリオ総論

世界の一次エネルギー消費は、2017年の14.0 Gtoeから2050年には18.7 Gtoeまで拡大する。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、既存設備のリプレイス、および省エネルギーに係る投資が欠かせない。

レファレンスシナリオでは、2018年から2050年までの33年間に76兆2,000億ドル(2010年実質、以下同じ)のエネルギー関連投資²⁵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、2018年-2050年]



この4割にあたる31兆3,000億ドルは電力部門への投資である。2050年の電力最終消費は2017年の1.9倍となる40,477 TWhとなり、急速に電力需要が拡大する新興・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11兆5,000億ドルが再生可能エネルギー発電、4兆2,000億ドルが火力発電に振り向けられる。石炭火力への投資は年を追うごとに低減するが、それと入れ替わる形で天然ガス火力への投資が増加する。

²⁵ 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。

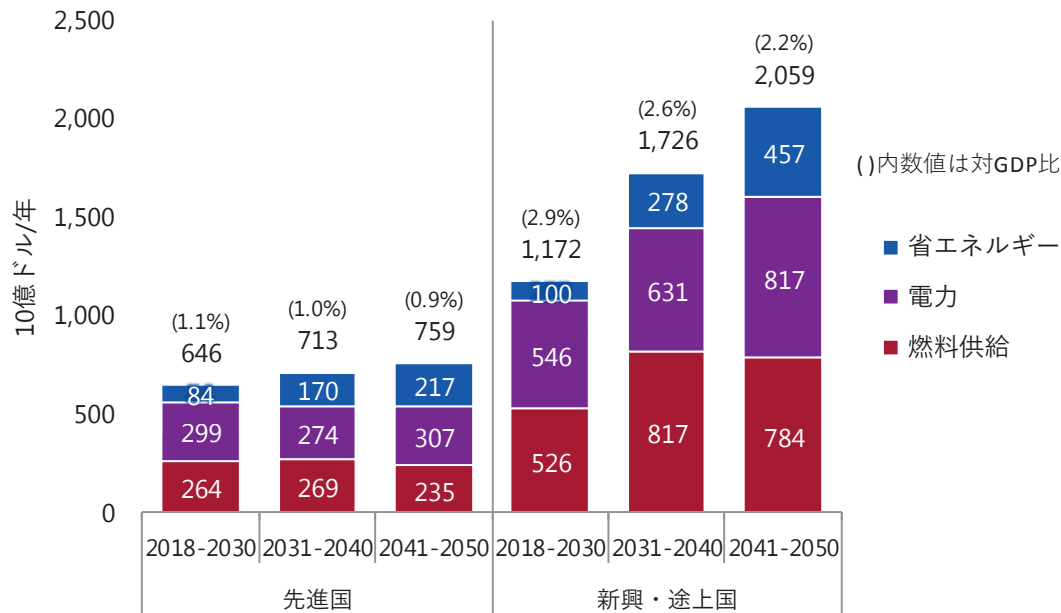
電力需要の増加に伴い送配電設備への投資も拡大し、エネルギー投資額全体の18%を占める。

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と同程度の31兆3,000億ドルにのぼり、投資額全体の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17%に相当する13兆6,000億ドルが省エネルギー設備投資に充てられる。そのうち、運輸部門が6兆8,000億ドル(総投資額の9%)、民生部門が4兆7,000億ドル(同6%)、産業部門が1兆7,000億ドル(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2.5%程度であり、とりわけ2018年～2030年でその割合が大きい。

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。一方の

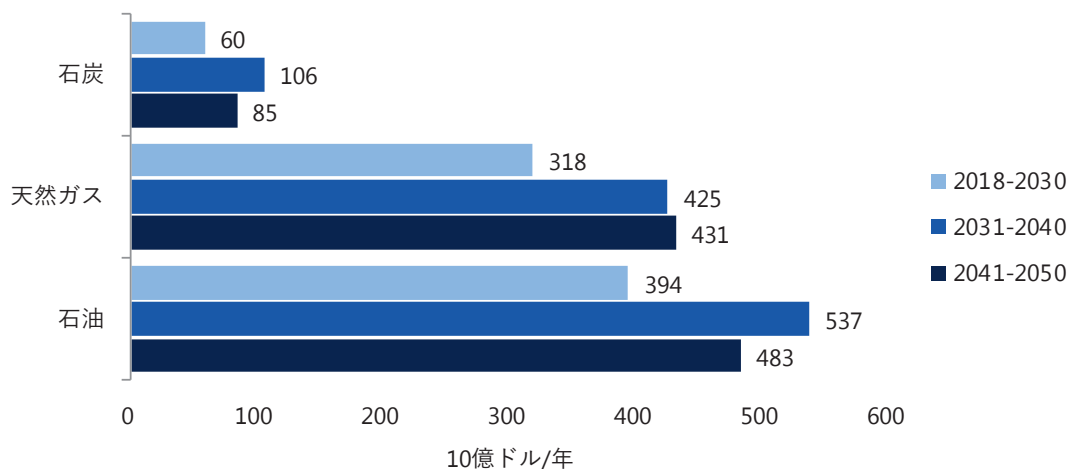
新興・途上国の中には、エネルギーインフラ、特に電力インフラが未発展な地域が多く、急速なエネルギー需要拡大に対応するべく、供給側への多額の投資が必要になる。

化石燃料供給設備、発電設備への投資は、先進国でピークを打つ一方、新興・途上国では年々拡大し、2040年代には足元の3倍程度の規模となる。燃料供給への投資は、現在既に十分な設備容量を保有し需要増加が比較的小さい先進国では、徐々に縮小してゆく。一方、エネルギー需要が急速に拡大する新興・途上国では年々拡大を続ける。先進国で唯一投資額が増加し続けるのは需要側の省エネルギー投資であり、2040年代では総投資額の約30%を占める。

5.2 化石燃料投資

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年あたり1兆ドルが必要で、エネルギー関連投資の主要な市場であり続ける。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を始める(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、生産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。

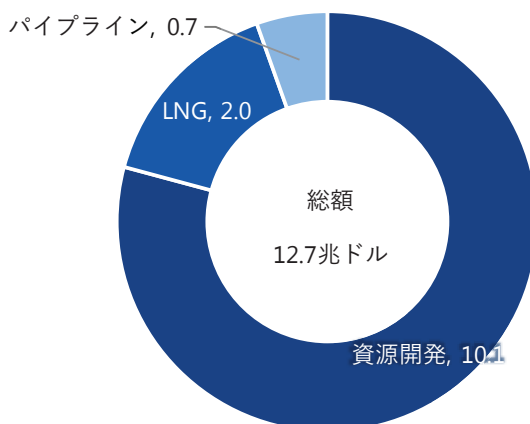
図5-3 | 世界の化石燃料投資額[レファレンスシナリオ]



天然ガス消費の拡大に伴い、生産設備、輸送設備やLNG製造施設の拡張が必要になる。2050年までの天然ガス関連投資12兆7,000億ドルのうち、およそ8割の10兆1,000億ドルが

資源開発にかかる投資である(図5-4)。一方で、LNG貿易の拡大に伴い、製造施設や輸送用タンカーなどを含むLNG関連設備に対し2兆7,000億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、2018年-2050年]



5.3 電力投資

発電設備

発電設備への投資額は拡大を続け、2050年までの累計額は18兆ドルに達する。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、2020年代から減少に転じ、2050年では現在の半分程度となる。とりわけ先進国では、米国での天然ガス火力へのシフトや、英国、カナダ等に代表される脱・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年代の新設ラッシュが落ち着くことと、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。

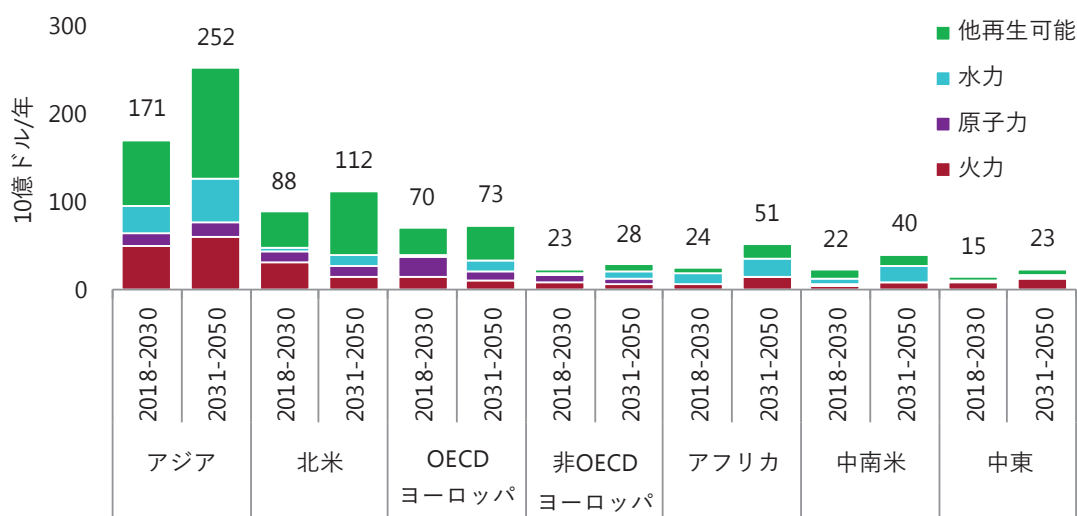
再生可能発電への投資額は、2050年に向けて大きく拡大する。2040年代には、年あたりで水力に1,200億ドル、太陽光に900億ドル、風力に1,600億ドルの投資が必要となり、再生可能エネルギー全体では足元(2018年～2020年)の2.5倍の市場規模となる。

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。このような地域では、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。

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年まで年あたり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。

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]

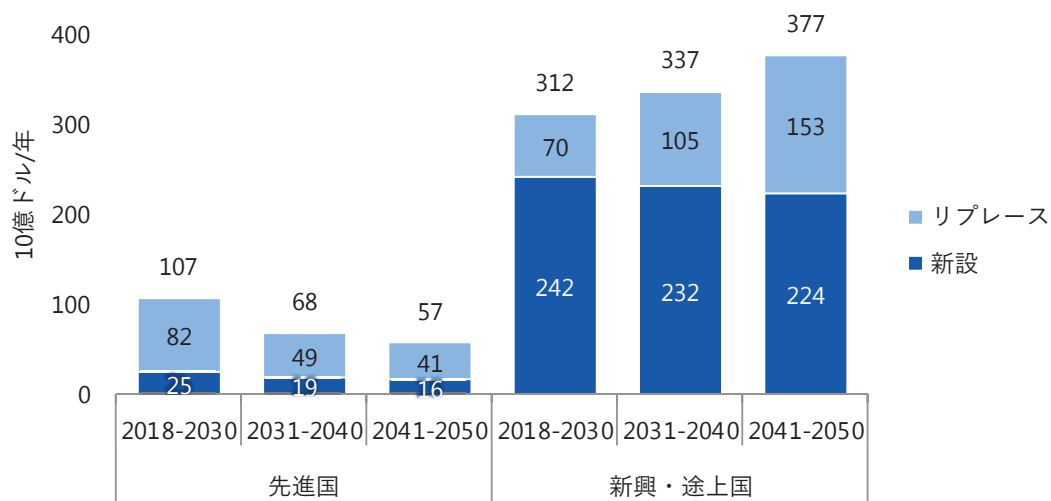


送配電設備

送配電設備には、2050年までに累計13兆8,000億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2.3%で著しく増加し続ける新興・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、先進国では総投資額の11%程度である一方、新興・途上国では21%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。

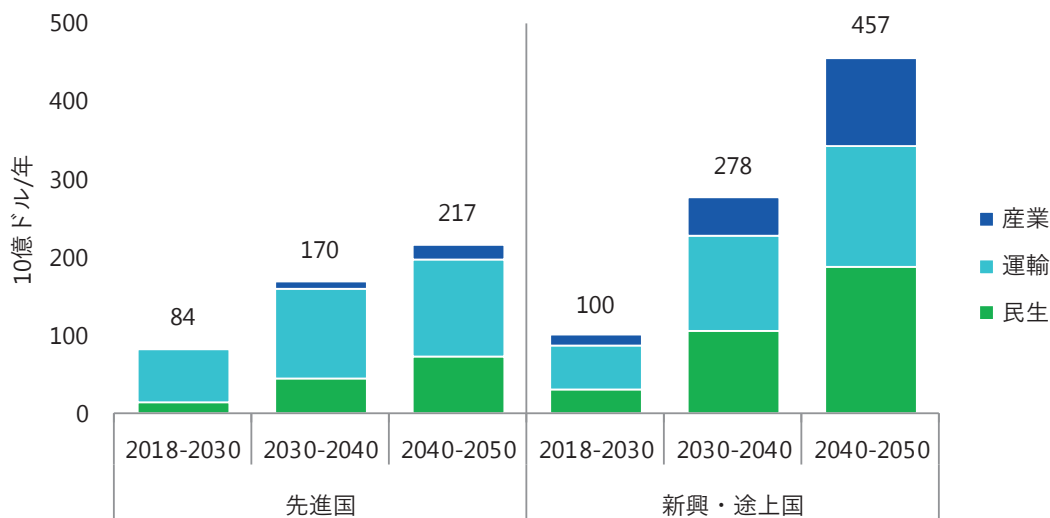
図5-6 | 送配電設備投資額[レファレンスシナリオ]



5.4 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²⁶は年々増加し、2050年までの累計で13兆6,000億ドルに達する(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]



²⁶ 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、これらの費用が全て設備・製品価格に転嫁されているとみなせば含まれているという解釈も可能である。

民生部門では今後33年で4兆7,000億ドルの投資が必要で、その内訳は家庭が3兆ドル、業務が1兆7,000億ドルである。家庭、業務共に省エネルギー投資額は年を追うごとに増加する。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。

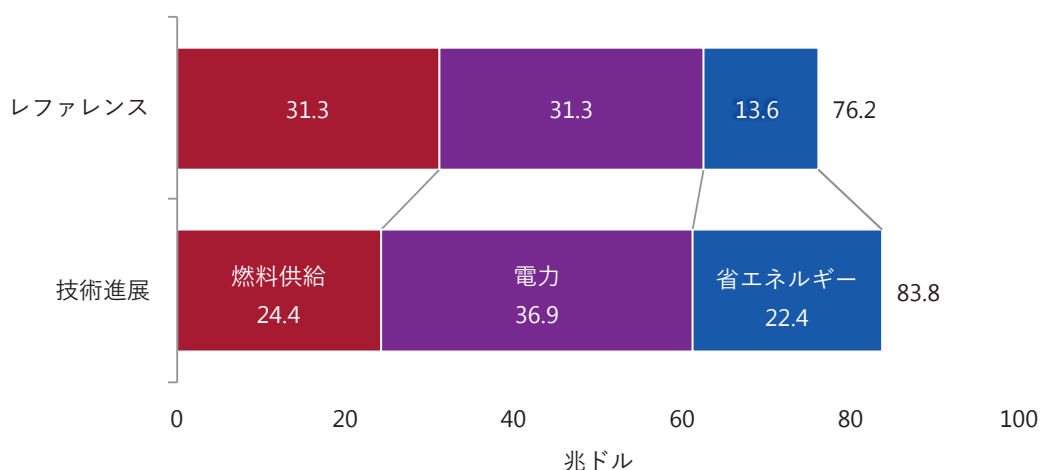
道路部門では6兆8,000億ドルの投資が必要で、その大半は乗用車向けである。2050年時点では、世界の乗用車の25%がハイブリッド車、25%が電気自動車(プラグインハイブリッド車を含む)となり、従来型の内燃機関車も燃費が改善することから、省エネルギーが大きく進展し、ストック燃費は2050年時点で足元の1.7倍に改善する。

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OECDヨーロッパでは、今後数十年間で運輸部門に対する集中的な省エネルギー投資が求められる。

5.5 気候変動問題への対策——投資とその効果

技術進展シナリオでの投資額は累計85兆ドルであり、これはレファレンスシナリオより7兆6,000億ドル多い(図5-8)。他方、技術進展シナリオでの累積排出量は、レファレンスシナリオより238 Gt少ない。レファレンスシナリオからの追加的な投資額を二酸化炭素(CO₂)排出削減量で割ることで削減のための平均投資額を推計することができる。技術進展シナリオを実現するためには、平均してCO₂削減量1 tあたり32ドルの投資が必要になる。

図5-8 | 世界のエネルギー関連投資額[2018年-2050年]

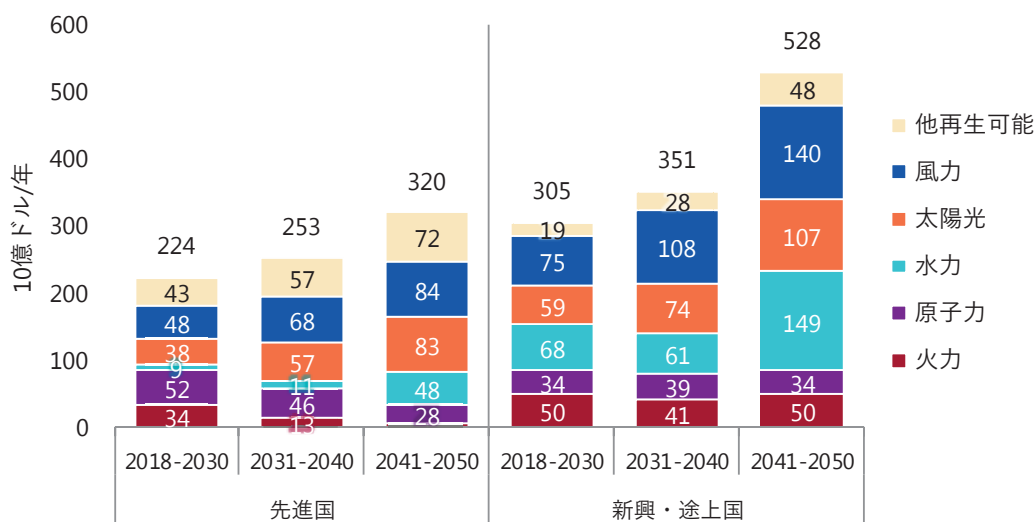


技術進展シナリオにおける化石燃料への累計投資額は、レファレンスシナリオの8割程度である。特に、石炭は投資額がレファレンスシナリオから40%減少し1兆6,000億ドルにとどまる。それでも化石燃料全体で見れば、2040年代に必要な投資額は現在のそれと遜色ない規模になる。環境保護を名目とした運動により化石燃料開発投資が足元より縮退することがあれば、エネルギーの安定供給を妨げかねない。金融機関などの投資主体や政策決定者には、3E+Sを踏まえた判断が求められる。

技術進展シナリオでは、2050年の発電量はレファレンスシナリオに比べて3,300 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5兆6,000億ドル多い36兆9,000億ドルにのぼる。電源の中で初期投資費用が比較的高い再生可能エネルギー発電、原子力発電などが、初期投資が安価な火力発電(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。事業者が必要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。

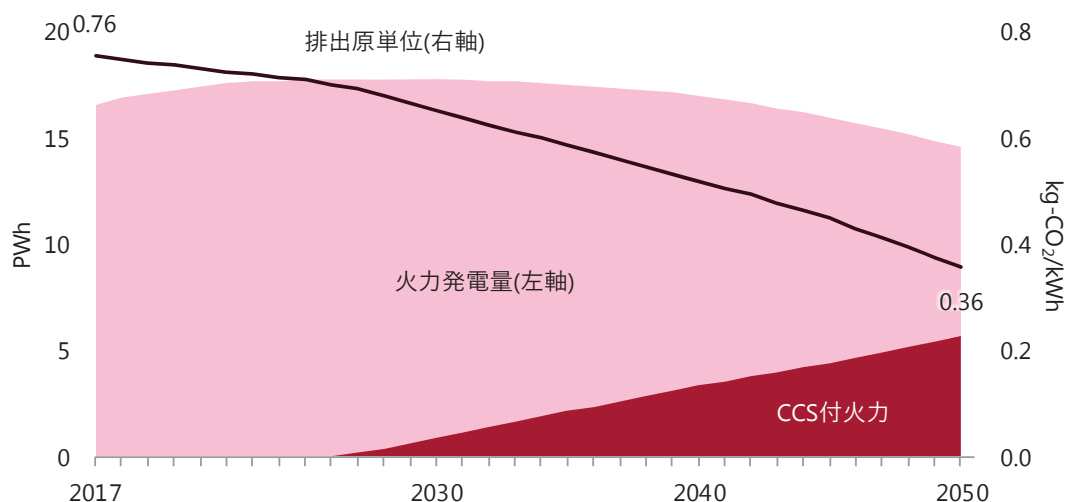
先進国、新興・途上国ともに、再生可能エネルギーへの投資が発電設備投資の大半を占める(図5-9)。その中でも、風力、太陽光への投資が年々拡大傾向にある。火力発電への投資額は、先進国では年々縮小するのに対し、新興国では現在と同様の規模が求められ続ける。低炭素電源拡大はもちろん重要だが、火力発電についても可能な限り高効率、低環境負荷の技術が選択され、それらに対し着実に投資が行われることが望ましい。

図5-9 | 発電設備投資額[技術進展シナリオ]



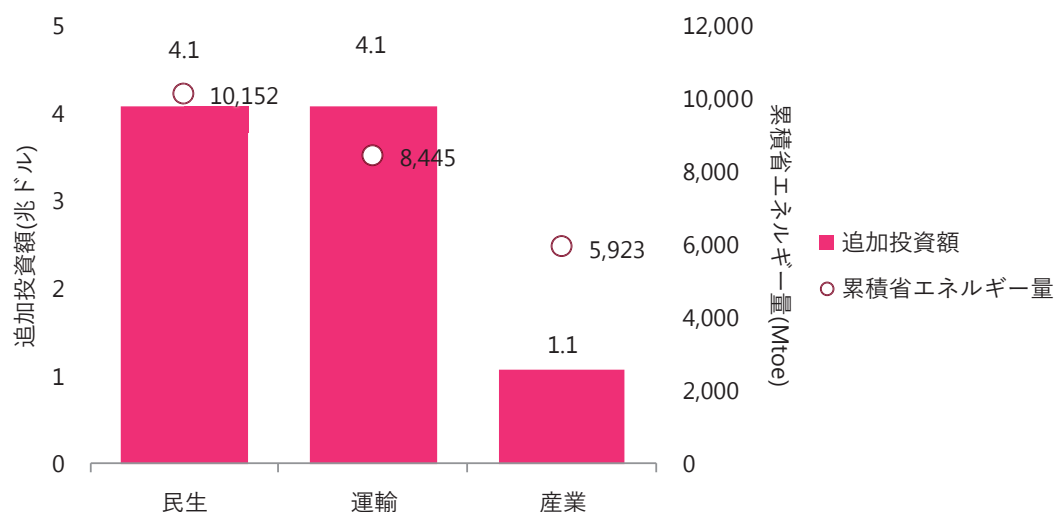
技術進展シナリオにおいても、再生可能エネルギーや原子力発電の導入には一定の限度がある以上、火力発電の必要性は依然として高く、二酸化炭素回収・貯留(CCS)の導入は発電における有効なCO₂削減オプションとなる。CCS投資の規模は、2018年～2050年累計で2,000億ドル程度となる。プラントにおけるCO₂分離・回収設備投資に加え、発電効率の低下(約8ポイント程度)を補うための追加発電設備、回収したCO₂の輸送設備、注入設備が必要になる。このCCS投資により、2050年時点の火力発電量のおよそ4割がCCS付設備から発電され、火力発電のCO₂排出原単位は足元より半減する(図5-10)。

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]



需要側による省エネルギー投資額は、2050年までの累計で22兆ドルにのぼり、レファレンスシナリオからさらに8兆8,000億ドルが必要である。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28,000 Mtoe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\$400/toe、運輸部門で\$500/toe、産業部門では\$200/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、2018年-2050年]



第II部

エネルギー変革に向けた課題

6. 再生可能エネルギー大量導入の可能性と課題

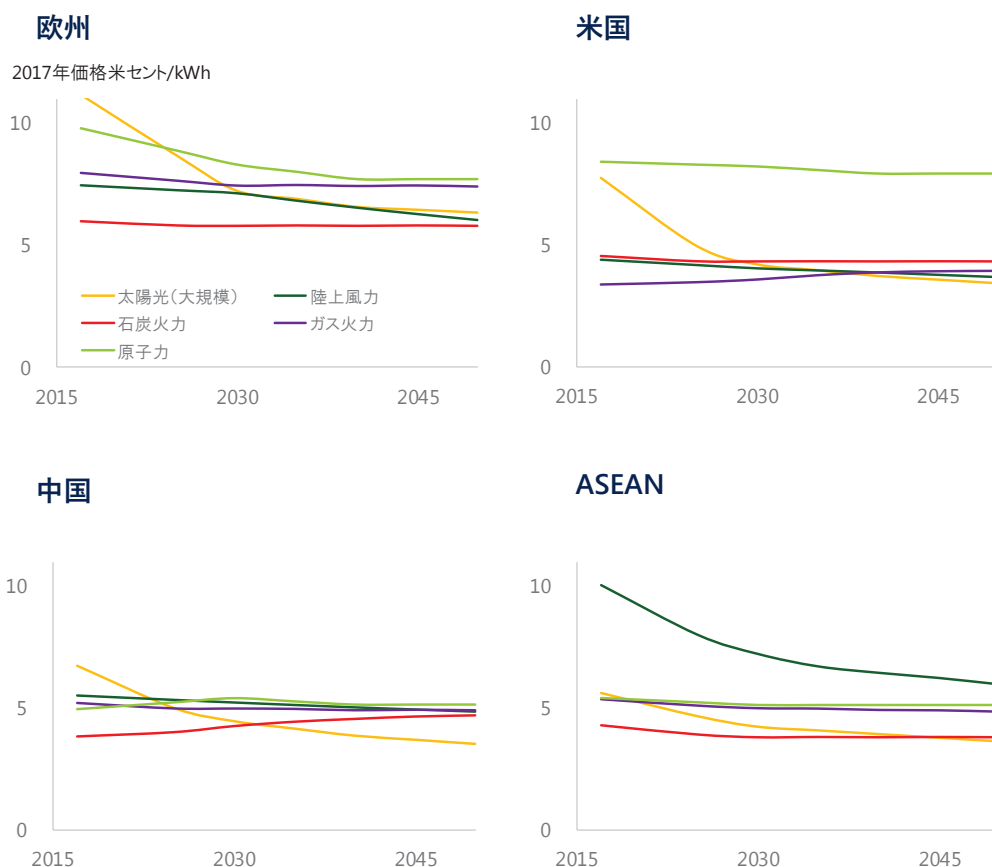
6.1 再生可能エネルギーの大量導入可能性と統合コスト

自然変動性再生可能エネルギーのコスト低下と野心的な導入目標

再生可能エネルギー、特に自然変動性の再生可能エネルギー(VRE²⁷)のコストは、現在、急速に低下している。世界各地域の電源別発電コストの見通しを図6-1に示す。

ここに示されるように、従来欧米では陸上風力発電のコストが安価であり、一部の地域では火力発電を下回っている。一方で太陽光は特に近年においてコストの低減が顕著であり、最も条件の良い地域では既に火力を下回り、また少なくとも2050年までには多くの地域でそのような状況となることが見込まれる。

図6-1 | 電源別発電コスト



²⁷ Variable renewable energy

このような状況を反映し、世界の多くの国で既にVREの急速な普及拡大が進んでおり、更に将来に向けて野心的な再生可能エネルギー導入の目標も提示されている。ドイツでは2005年に5%であった風力・太陽光等の発電電力量の比率が2017年には既に23%に至っており、OECD欧州全体で見ても14%に達している。将来的には2050年までに欧州連合(EU)域内の再生可能エネルギーの比率を97%まで高めるシナリオも提示されており、スペインのように2050年までに全電源を再生可能エネルギーで賄う目標を公式に立てる国も複数存在する。このような傾向は欧州のみに見られるものではなく、例えば中国・国家再生能源中心は2050年までに中国の発電量の85%を再生可能エネルギーで供給するシナリオを提示している。もちろん2050年までに80%の温室効果ガス削減目標を掲げ、具体的な導入比率は不明ながら再生可能エネルギーの「主力電源化」を図る日本も例外ではない。

VREの資源ポテンシャル

ここで注意すべきことは、他のあらゆるエネルギー資源と同様、VREやその他の再生可能エネルギー資源も決して地域的に均一には分布していないということである。図6-2に欧州と東南アジア諸国連合(ASEAN)における風力資源の分布を示す。欧州は概して風力資源に富んでいる一方で、ASEAN地域では概ね風況が良好でなく、ベトナムやフィリピンの一部の地域を除き風力資源には乏しい。

図6-2 | 風力資源の地域的分布

欧州



ASEAN

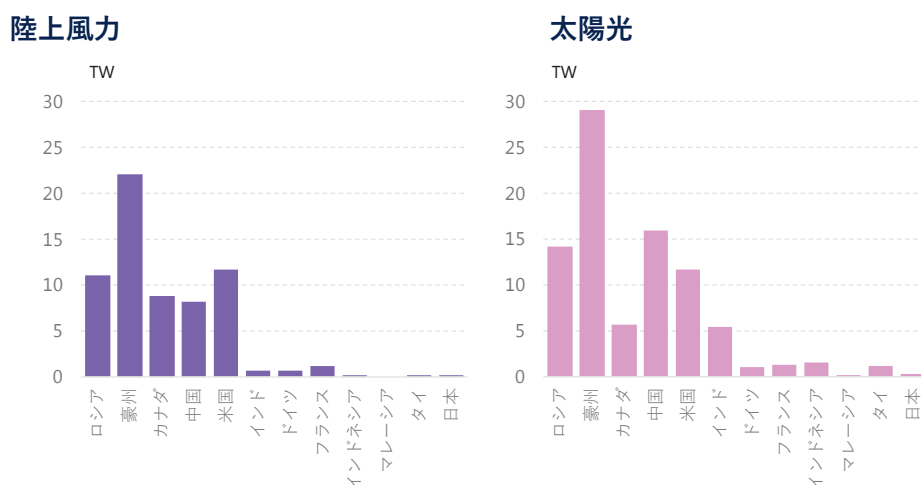


出所: Global Wind Atlas²⁸

²⁸ Global Wind Atlas 2.0, a free, web-based application developed, owned and operated by the Technical University of Denmark (DTU) in partnership with the World Bank Group, utilizing data provided by Vortex, with funding provided by the Energy Sector Management Assistance Program (ESMAP). For additional information: <https://globalwindatlas.info>

世界的には図6-3に示すとおり、VRE資源は豊富に存在する。国別に見るとロシアや豪州等、広大な土地を有する国に特に豊富に存在することは言うまでもない。一方で面積の小さな国、もしくは風況等の条件が良好でない国における資源量は必ずしも大きくはない。したがって、将来の再生可能エネルギー導入の可能性を検討する際には、地域による特性の差を十分に考慮することが必要である。

図6-3 | 太陽光・風力発電の資源量



VRE大量導入時の統合コスト

VREの導入の可能性を検討する際にもう1つ重要な点は、大量導入に伴って必要となる経済性の変化である。すなわち、VREの出力は間欠性を有し、人間が制御することができないため、その大量導入のためには蓄電池の導入や余剰時の出力抑制、柔軟性の確保などのために追加的な費用が必要となる。この理由により、将来の発電部門の経済性を評価するためには従来用いられてきた発電単価(LCOE²⁹)のみの評価では十分でなく、いわゆる「統合コスト」を評価することが必要となる。

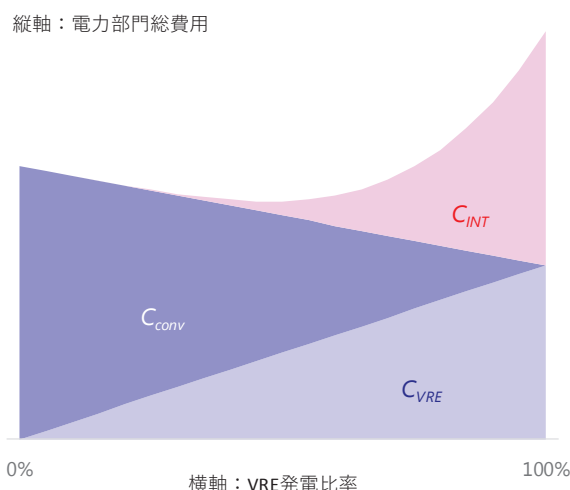
ここでいう「統合費用」とは、電力システムにかかる総費用からLCOE比例分を除いた残りである(図6-4)。仮に従来型電源とVREの2種から成る系を考え、従来型電源の発電量にそのLCOE (L_{conv})を乗じた値を C_{conv} 、VREの発電量にLCOE (L_{VRE})を乗じた値を C_{VRE} とすると、総費用 C はこれらの費用と統合費用 C_{INT} の和として表される。このとき、 C を最小化するVRE導入量 x は

$$L_{conv} = L_{VRE} + \frac{dC_{INT}}{dx} \equiv L_{VRE} + L_{INT} \quad (1)$$

²⁹ Levelised cost of electricity

を満たす点として求められる。右辺の値は(限界)システムLCOEと呼ばれ、従来考えられてきたLCOEに限界統合費用分 L_{INT} を加算した値により電力部門の経済性が決定されることになる。

図6-4 | 統合費用の概念図



統合費用 C_{INT} は多くの場合、以下のように区分される^{30, 31}。

① バランスコスト (Balancing cost)

短期の予測誤差等に伴うインバランスのコストであり、概念的にはVRE導入比率に応じて上昇すると考えられる。ただし、実際にはシステム運用の改善等に伴い、逆に減少することもある³²。

② グリッドコスト (Grid cost)

電力グリッドの強化もしくは拡大に係るコストであるが、より一般的には、VER発電と電力需要の「空間的」な乖離に起因して生じるコストと定義される。

③ プロファイルコスト (Profile cost)

VRE発電と電力需要の「時間的」な乖離に起因する追加コストであり、利用コスト (Utilisation cost) とも呼ばれる。ここにはVREの出力抑制や蓄電池の導入、従来電源の設

³⁰ Hirth L., Ueckerdt F. and Edenhofer O. (2015). Integration costs revisited – an economic framework for wind and solar variability, *Renew. Energy*, 74, 925-939.

³¹ Organisation for economic co-operation and development (OECD)/Nuclear energy agency (NEA) (2019). *The costs of decarbonisation: System costs with high shares of nuclear and renewables*. OECD publications, Paris.

³² Joos M. and Staffell I. (2018). Short-term integration costs of variable renewable energy: Wind curtailment and balancing in Britain and Germany, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 86, 45-65.

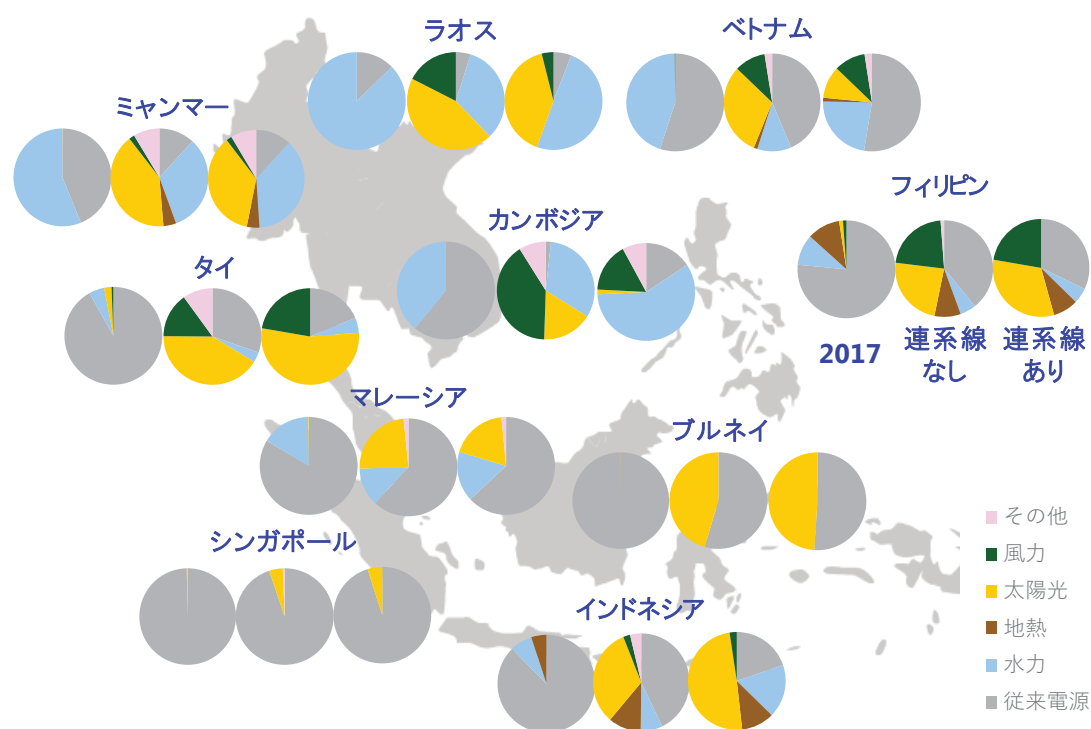
備利用率低下、火力発電の部分負荷運転、起動停止回数の増加などに伴う費用が含まれる。①のバランスコストと異なり、仮にVRE発電や需要の変動が完全に予測可能であったとしてもプロファイルコストは減少せず、依然として必要になる。

VREの導入初期にあたっては、①のバランスコストの上昇が大きな課題として認識される。一方でVRE導入比率が一定程度を超えて上昇した場合には、このプロファイルコストの影響が大きくなるとされている。

6.2 統合費用の評価例: 欧州とASEAN

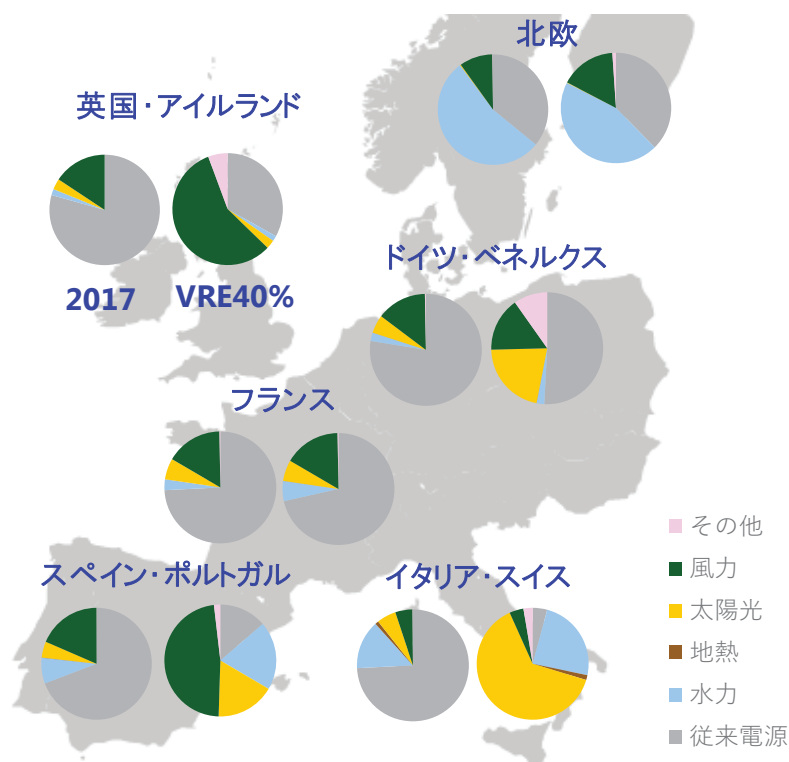
再生可能エネルギー、すなわちVREや水力・地熱発電の資源賦存量は国によって大きく異なるため、低炭素化の際の電源構成は図6-5に示すとおり、国ごとに大きく異なる。ここでは2017年の実績値と比較して、国際送電線が十分に敷設されない場合(各国・域内で電力供給を行う場合)と、敷設される場合(より国際的な枠組みのもと電力供給を行う場合)を示す。前者と後者の相違は主に、水力資源の有効利用の可否によるものである。すなわち、国際送電線が十分によく利用可能な場合には、ラオス、ミャンマー、カンボジア、ベトナム等からタイへの、またマレーシアからブルネイ等への電力供給が行われる。

図6-5 | VRE40%導入時の国別内訳(ASEAN)



欧州について、2017年実績とVRE 40%ケース(再生可能エネルギー60%、原子力を含む低炭素電源86%となるケース)を比較して示す。このように、英国やスペインでは風力発電が大量に導入され、電力の輸出も行われる一方で、イタリアでは日射等の関係から、太陽光発電がより積極的に導入される。

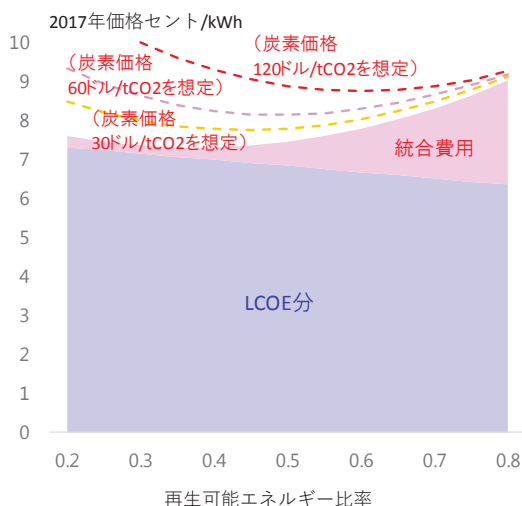
図6-6 | VRE 40%導入時の地域別内訳(欧州)



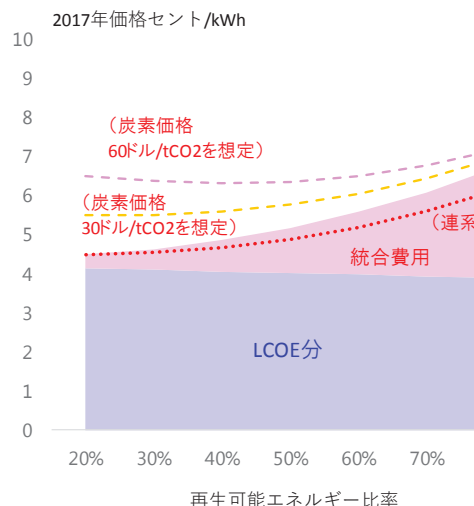
欧州およびASEANを対象に、再生可能エネルギー導入比率を横軸に、電力総単価(LCOE分と統合費用分を合計したもの)を縦軸にとると図6-7のようになる。VREのLCOEが従来型電源(火力等)よりも安い場合、LCOE分のみ見ると再生可能エネルギー比率に伴い費用が低下している一方で、統合費用分が再生可能エネルギー比率とともに拡大するため、全体のコストは一般的にはVRE比率が比較的低い領域で最小となり、比率が高まるにつれて緩やかに上昇する。火力発電に炭素価格をかけた場合には、比率の低い領域でのコストが上昇し、コスト最小点が右側に移動することになる。

図6-7 | 統合費用の評価例

欧州



ASEAN



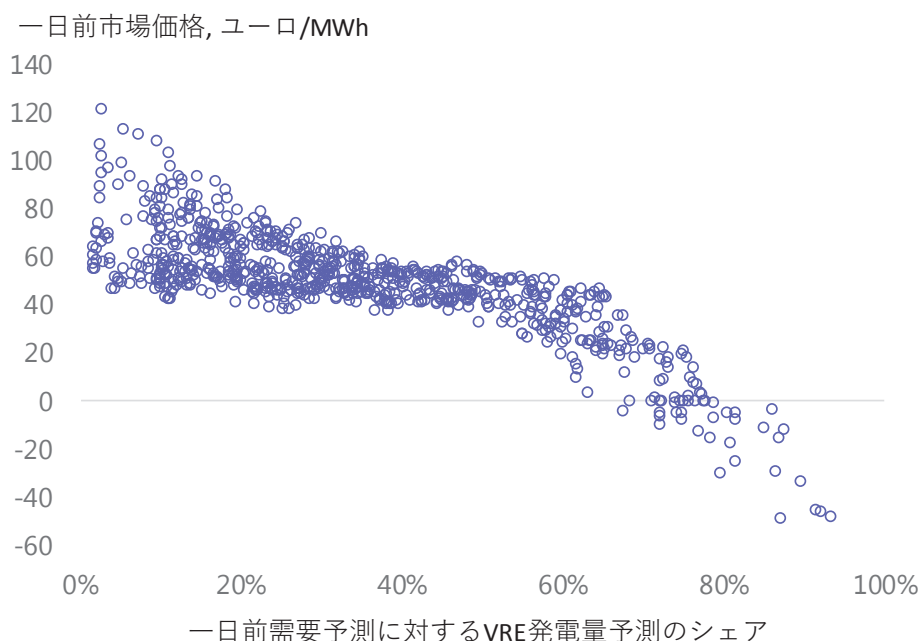
6.3 再生可能エネルギー大量導入時の課題

市場価値と共食い効果

以上の評価結果は、VRE大量導入に伴う電力部門の経済性を「コスト」の面から示すものであった。一方で、同じ状況を「市場価値」の面から見ることも可能であり、これによってやや異なる像を描くことができる。

ここで特に注目すべき点は、VREは燃料費がかからず、運転維持費も比較的小さいため、一度設備が設置されると非常に低い限界コストで発電が行われるということである。この理由のため、VREが大量に導入された場合、VRE発電量が大きくなる時点、例えば晴れた日の昼間や地域全体で良好な風が吹く時において卸売電力市場価格が非常に低下する。図6-8は欧州のドイツを含むエリアにおいて、前日VRE発電予測量と前日市場価格との関係(2019年1月1日～7月31日)を示したものである。VRE発電比率が大きくなるにつれて電力市場価格が顕著に低下する。

図6-8 | VRE比率拡大による市場価格の低下(ドイツを含むエリア)



出所: Entso-Eデータより作成

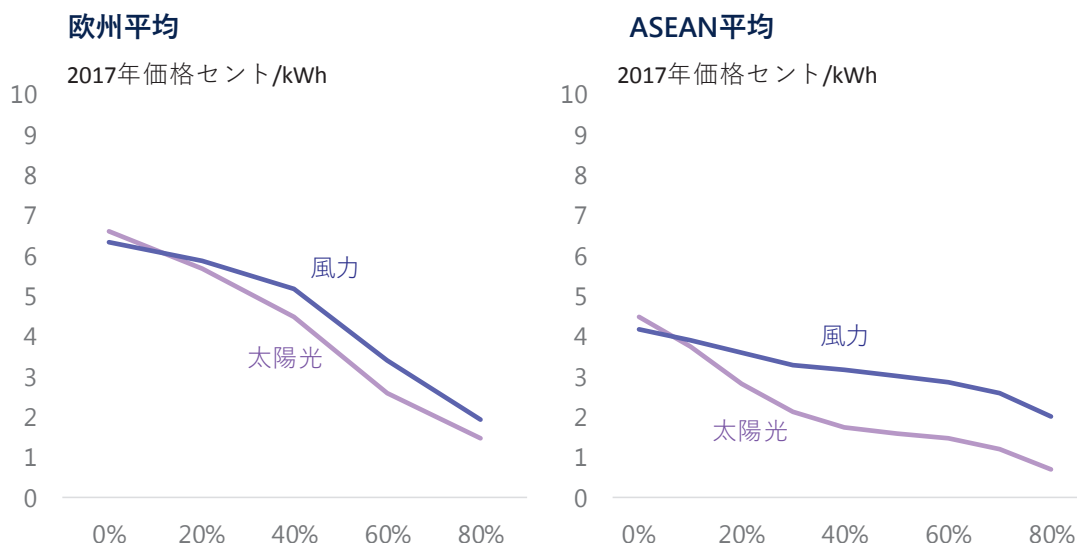
これにより、VRE大量導入時には以下のような現象が起きることが予想される。すなわち、例えば太陽光発電設備が大量に導入された場合、晴れた日中において卸売電力市場価格が顕著に低下、もしくは0または負の値を取る。このとき従来型電源は市場価格が低下しない時刻(例えば夕刻や夜間)に発電することによりある程度の収益が得られるのに対し、太陽光発電設備自体は価格の低い晴れた日中のみにしか発電しないため、他の電源に比べて極めて小さな収益しか得ることができない。これは太陽光発電の導入が進むことにより、太陽光発電自身の「価値」が低下することを意味している。同様の現象は、より弱い程度において風力発電についても生じることが予想される。このように、大量に導入されたVRE発電設備どうしが互いの価値を損ねあう現象は、「共食い効果³³⁾」と呼ばれる。

数学的には、VRE発電導入量の最適点(図6-7に示す総費用が最小となるVRE導入量)においては当該電源の「コスト」と「価値」とが一致し、導入量がそれよりも小さいときには価値がコストよりも大きく、また逆に大きいときには価値がコストよりも小さくなることが示される。すなわち、計算上得られる最適点を超えて導入を進める場合には、この共食い効果が発生することになる。

³³⁾ Cannibalisation effect

図6-9には欧州およびASEAN地域における共食い効果の試算結果を示す。ここに示されるように、欧州ではVRE比率が40%~50%を超えると太陽光・風力ともに価値が $\text{¢}5/\text{kWh}$ を下回る。またASEANではVRE比率30%~40%で太陽光の価値は $\text{¢}2/\text{kWh}$ を下回る(それ比べて風力の価値低下が緩やかになっている理由としては、風力資源が地域的に分散していることの他に、そもそもASEANでは資源量の面から風力の導入量自体がさほど大きくないことが挙げられる)。

図6-9 | 共食い効果の試算例

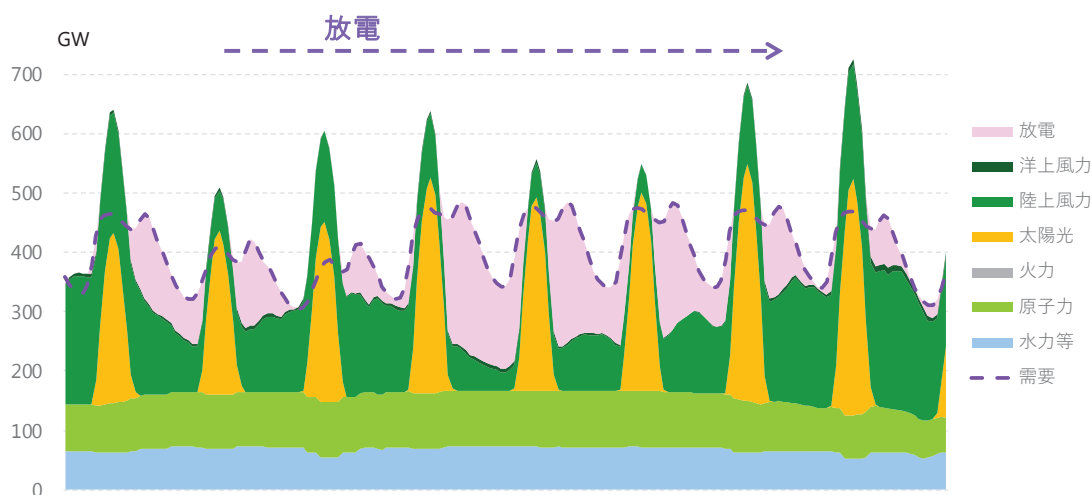


気象条件と電力供給途絶リスク

VREがさらに大量導入された場合に特に考慮すべきことは、その自然変動性に伴う電力供給途絶のリスクである。すなわち、1年のうち1度か2度、風力・太陽光の発電量が極めて小さくなる時期(無風期間、“Dark doldrums”と呼ばれる)が生じる。図6-10は火力発電量をゼロとした極端なケースにおいて、欧州の2014年データにおける4月15日付近の電力需給を示したものである。ここに示されるように、数日間にわたって風力・太陽光の導入量が小さくなっており、それに伴い、電力貯蔵システムからの放電によって需要を満たす必要が生じている。このような無風期間の電力需要を賄うために必要な電力量が、蓄電池の必要量となることが示される。

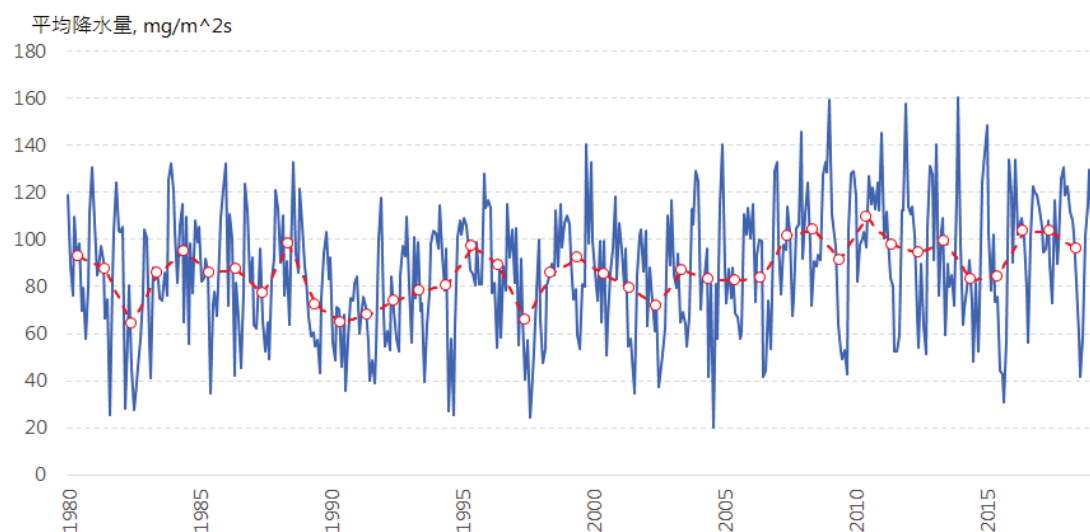
このように、極度に高いVRE比率を達成するためには、単年ではなく多数年のデータを用い、無風期間の発生リスクを評価した上で適切な蓄電システムを備える必要がある。

図6-10 | 無風期間の電力需給(欧州)



電力供給途絶のリスクはVREのみでなく、水力発電にも存在することを忘れてはならない。図6-11はボルネオ島の平均降水量の推移(再解析による推計データ)を1980年から示したものである。平均降水量は季節によって変化するのみならず、年によっても大きく異なる。このため、ASEAN地域において水力発電を大量に導入した場合には、渇水リスクに対処し得るよう、十分に対処する必要がある。

図6-11 | ボルネオ島の平均降水量の推移



出所: NASA "MERRA-2"より作成

再生可能エネルギーの持続的な導入拡大に向けて

VREのLCOEは近年急速に低下しており、これに伴って今後急速な導入の進展が予想される。しかし、仮にVREのLCOEが従来電源に比べて顕著に安くなったとしても、その間欠性によって普及拡大には大きな課題が残る。このことから、電力部門の低炭素化を持続的に進めるためには、VREへの政策的支援を長期的に継続する必要があることが示唆される。また、VREもしくは水力発電が大量に普及した場合には、自然変動性に伴う電力供給途絶のリスクがあることを常に意識する必要がある。このため、バッテリーや揚水発電、更には水素貯蔵といった電力貯蔵システムの利用が必要となる一方で、更なる低炭素化のためには、ゼロエミッション火力発電や原子力発電といった安定電源の利用も有益となるであろう。

また、従来用いられてきた指標であるLCOEのみでは低炭素化の進む電力部門の経済性を十分に評価することはできない、という点も今後の政策立案のためには重要である。VRE大量導入時の統合費用についてはここ数年、多くの研究成果が公表されつつあるが、その評価結果は未だ不確実性が大きく、またそれらの結論は必ずしも一致していない。今後、評価方法を確立するとともに、より正確な評価を目指して検討を続けることが必要である。

7. アジアのLNG

7.1 アジアの天然ガス需給

化石燃料の中で最も環境負荷の低い天然ガスは、世界のエネルギー需要増加を牽引するアジアにおいて、大きな役割を果たすことが期待されている。レファレンスシナリオでは、アジアの天然ガス需要は今後年率2.8%で増加し、2050年には1,467 Mtoe (1,748 Bcm) に達する(図7-1)。需要が最も増加するのは中国、インドであるが、東南アジア諸国連合(ASEAN)の需要増加も著しい。需要部門では、発電部門での需要増加が最も大きい(図7-2)。中国、インド、ASEANは石炭火力の依存度が高く、これらの国・地域の発電部門での天然ガスは発電コストが安い石炭火力との競合が避けられない。

図7-1 | アジアの天然ガス需要
(国・地域別) [レファレンスシナリオ]

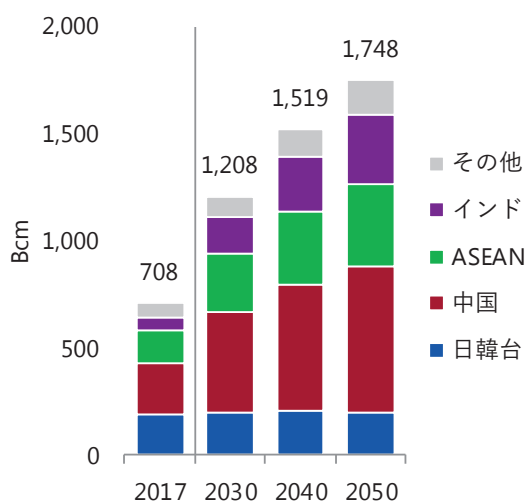
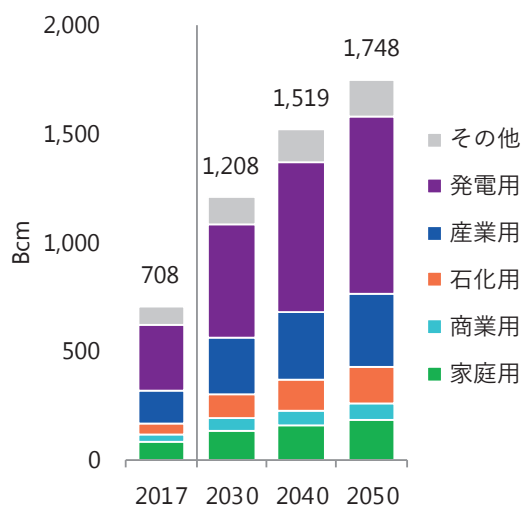


図7-2 | アジアの天然ガス需要
(部門別) [レファレンスシナリオ]

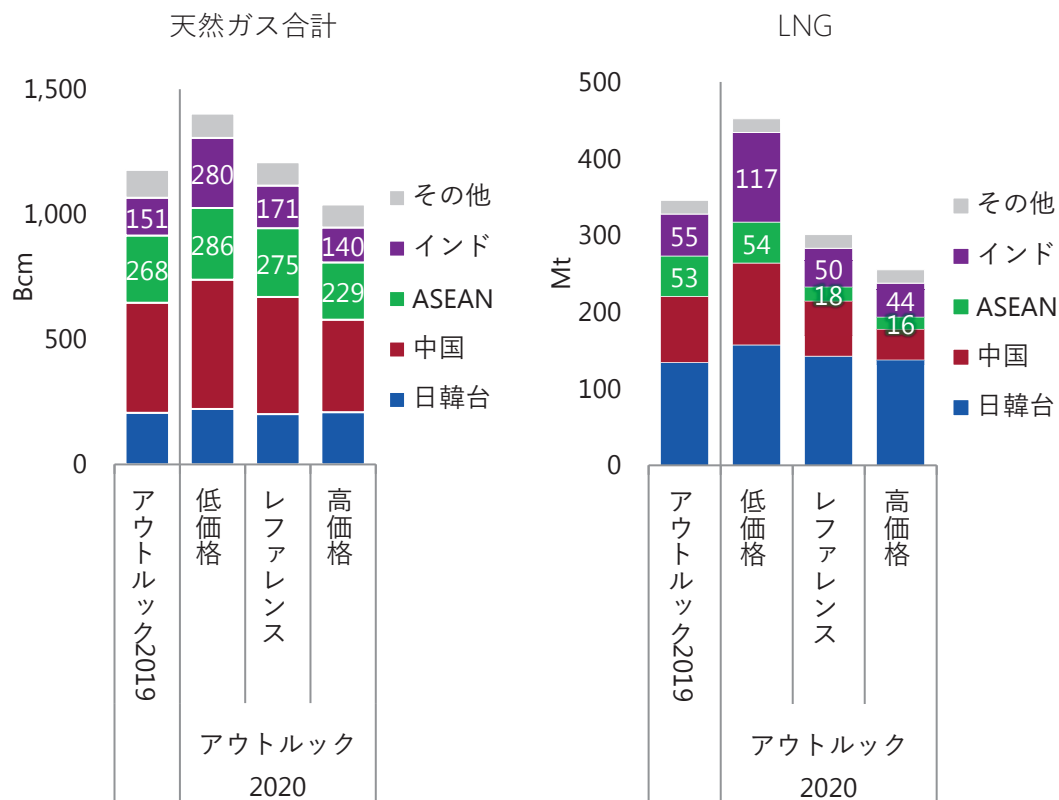


また、省エネルギーのよりいっそうの進展や、再生可能エネルギーの市場導入加速などが想定され、化石エネルギーの需要見通しには不確実性がある。発電部門で多用される天然ガスは、石炭とともにこの影響から無縁ではいられない。ただし、天然ガス/液化天然ガス(LNG)の価格競争力を高めることで、こうした影響を緩和することが可能であろう。

後述のとおり、本章ではレファレンスケースに加え、高価格・低価格ケースにおけるLNG需要を検討しているが、以下に2030年時点での各ケースのアジアにおけるLNG需要見通しを、昨年版(IEEJ Outlook 2019)の見通しと比較して示す。所得の低い国ではエネルギー

供給には低廉性が求められ、LNG高価格の影響は特にインドやASEANにおいて顕著となる。そのため、天然ガス需要全体はIEEJ Outlook 2019とほぼ同じである一方、LNG需要は見通しを下方修正している。

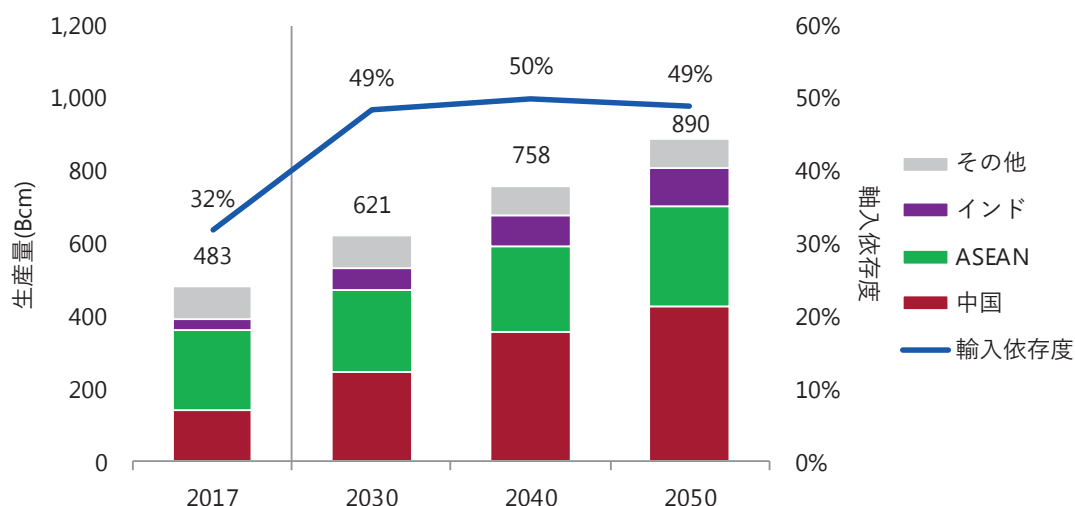
図7-3 | アジアの需要見通しの比較[2030年時点]



アジアでの天然ガス需要を満たすためには、域内での生産では追いつかない。需要増加は主として輸入で満たされ、輸入依存度は2017年の32%から2050年には49%に高まる(図7-4)。輸入供給源としては、旧ソ連や中東からのパイプラインガスのポテンシャルもあるが、それよりも液化天然ガス(LNG)の輸入量の伸びが速い。したがって、アジアでは競争力の高いLNGの重要性がこれまで以上に高まることになる。

上記の点に鑑みて、本章では、7.2で異なるLNG価格によって需要がどの程度変化し、供給側にはどのような影響があるのかを考察する。また、LNG需要の増加の大半をアジアが担う可能性が高いことを考慮し、7.3では、アジアでのLNG供給セキュリティ強化のためにどのような取り組みが必要かを検討する。

図7-4 | アジアの天然ガス生産量と輸入依存度[レファレンスシナリオ]



7.2 LNG需要

実質LNG価格

表7-1にアジアでのLNG価格想定を示す。レファレンスシナリオでは、日本の実質LNG輸入価格(2017年価格)は、2018年の\$10.1/MBtuからほぼ横ばいで推移し、2050年時点では\$10.4/MBtuとなる。アジアでのLNG価格決定方式は未だ油価連動が主流であるが、近年ではヘンリーハブ価格連動、スポットLNG価格連動、石炭価格連動といったように、価格決定方式が多様化している。本章ではアジアの価格決定方式が将来どのようなものになるかは考慮していないが、レファレンスシナリオの場合、油価連動契約が減少する、もしくは油価連動契約における連動程度が低下することを見込んでいる。

この想定価格が、アジアでの新興LNG輸入国³⁴においてどの程度の競争力があるかは、各国での部門別天然ガス需要、競合燃料価格、電力価格、インフラ整備程度、各燃料に対するインセンティブの程度等によって大きく異なる。しかし、一般的にはアジアの新興LNG輸入(予定)国では、現在の価格水準では輸入LNGの競争力が弱いことが認識されている。

特に、石炭火力との競合が強られる多くのアジア新興LNG輸入国における発電部門の場合、レファレンスシナリオでのLNG利用は潜在的な需要を相当程度下回るものになると考えられる。

³⁴ アジアLNG市場では、日本・韓国・台湾を伝統的LNG輸入地域、その他を新興LNG輸入国と区分するのが一般的である。

表7-1 | アジア向け実質LNG価格想定

(\$2018/MBtu)

	2018	2030	2040	2050
レファレンスシナリオ	10.1	10.0	10.2	10.4
参考)原油価格(\$2018/bbl)	71.31	95	115	125
高価格ケース	10.1	13.3	16.1	17.5
低価格ケース	10.1	5.4	5.4	5.4

高価格ケースの場合、2018年の日本のLNG輸入平均価格における原油価格連動程度が2050年まで継続すると見なした。実質原油価格は2018年の\$71/bblから2050年には\$125/bblに達すると想定しており、2018年では83%であった油価連動程度を2050年の油価に適用すると2050年の実質LNG価格は\$17.5/MBtuとなる³⁵。このケースの場合、南アジアや東南アジアといった新興LNG輸入国での発電用燃料としてのLNGは競争力を持たず、当該国での需要増加はさらに押し下げられることになる。アジアでのLNG利用は引き続き北東アジアに依存することになり、アジアのみならず世界のLNG需要増加は現在想定されているレベルからかなり低いものとなる。

一方、低価格ケースでは、2019年1月～8月のスポットLNGの実質価格が2050年まで継続すると仮定した³⁶。この水準であれば、南アジアや東南アジアといった新興LNG輸入国での発電用燃料としてもLNGは競争力を持ちはじめると考えられる³⁷。しかし、本ケースでのLNG需要を満たすには、液化プラントや輸送における大幅なコストダウンに加え、拡大する需要に見合った投資が適切に実施されていくことが必要となる。

アジアのLNG需要

実現可能性はさておき、上記のような価格の変化は、アジアのLNG需要を大きく変化させることは明らかである。本項では、各ケースに基づいたアジアのLNG需要を示す。高価

³⁵ なお、実際のLNG長期契約における油価連動では、原油価格は一定期間のタイムラグを経てLNG価格に反映されるが、本節ではそのようなタイムラグは考慮していない。

³⁶ ここでは2019年1月～8月に発信されたPlatts JKM期近物価格の単純平均値を取った。

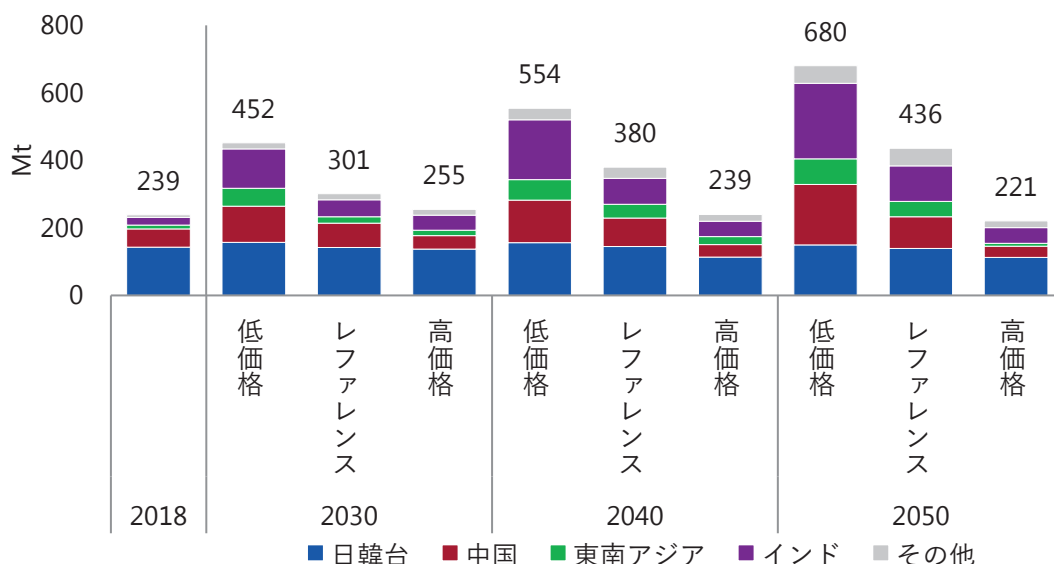
³⁷ 中国以上に石炭火力依存度が高く、大幅な天然ガス需要増加が見込まれるインドの場合、LNG価格が\$5/MBtuを切ると、石炭に対してLNGの競争力が出るとの見方がある(Platts LNG Daily、2019年3月25日)。輸送コストを考慮すると、インド向けのLNG価格はJKM価格より\$0.1/MBtu以上低くなる可能性がある。

格ケースは、アジアでの新設の天然ガス火力が0となる前提、低価格ケースはアジアでの石炭火力増分の半分が天然ガス火力に移るという前提をそれぞれ置いている。

レファレンスシナリオの場合、アジアのLNG需要は2018年の2億3,900万tから年率1.9%で増加し、2050年には4億3,600万tに達する。最も需要が大きいのはインド(1億500万t)で中国(9,300万t)が続く。伝統的LNG輸入地域である日韓台では需要は増加しないが、東南アジア、インド、その他南アジアでの伸び率は年率4.4%~6.2%と非常に高い(図7-5)。

高価格ケースの場合、2050年にかけての伸びはほぼ横ばいとなり、2050年の需要は2億3,400万tとレファレンスシナリオよりも2億t(46%)も少ない。日韓台の需要は微減となり、他国・地域の需要伸び率は大幅に抑制される。一方、低価格ケースでは、2050年にかけての伸び率は年率3.3%となり、2050年の需要は6億8,000万tにも達する。このケースでは、日韓台の需要はレファレンスシナリオよりもやや大きくなり、東南アジア、インド、その他南アジアでは年率6.1%~7.5%といった極めて高い伸び率で需要が増加する。

図7-5 | アジアのLNG需要



油価回復とともに、2018年以降はLNGプロジェクトへの投資が回復しており、2019年前半までに最終投資決定がなされた液化容量は5,400万tに達した。2020年末までにはさらに1億2,000万tもの容量が最終投資決定に至る可能性がある。これら新規プロジェクトの生産量の8割がアジア市場をターゲットとしていると仮定すれば、2020年代半ばには約1億4,000万tものアジア向けLNG供給力が追加されることとなり、高価格ケースでは2050年までの需要が賄えることになる。2020年代以降の新規液化プロジェクト投資は低迷し、アジアでは石炭火力依存が高まり、環境負荷が増大する。一方、低価格ケースでは、アジアは天

然ガスのメリットを享受しやすくなるが、新規液化プロジェクトの投資確保のためには液化プラントや輸送に係わるコスト削減が課題となる。

上記のように、いずれのケースにおいても、需要増加は日韓台から新興輸入国へ移ってゆくのは明らかである。既に述べたとおり、これら新興輸入国では石炭火力が主要な電源であることも多く、需要増加ポテンシャルの大きい発電部門での競争力がなければLNG需要拡大は限定的なものとなる。従って、LNGの環境メリットを享受するためには、LNG価格が低位で推移することが必要であるのは言うまでもない。LNG供給側は、液化や輸送段階におけるコスト削減が求められることになる。さらに、拡大する需要を賄うに足る供給を可能にする投資が適切に実施されていく必要があり、需要・供給双方の観点での持続可能な、健全な市場成長・拡大が重要である。なお、LNG輸入側でも、インフラ整備、天然ガスへの燃料転換、ガスや電力小売価格への燃料補助金削減、長期売電契約といった天然ガス火力発電への優遇策などの取り組みを進めることが必要である。

7.3 LNGの供給セキュリティ強化に向けて

前節では、需要増加という長期的なトレンドに変わりはないものの、LNG価格のシナリオによってはその速度が変わりうることを示した。今後エネルギー利用におけるLNGの位置づけが大きくなるにつれ、その供給セキュリティに対する関心が高まることが考えられる。そこで本節では、LNG供給セキュリティの強化に向けた処方箋を考察する。

LNG供給セキュリティの考え方

LNGの供給セキュリティ確保に向けては、これまで大きく2つの方法が採られてきた。第一に、「輸入相手国やルートの分散化」である。LNGの輸入相手が複数あれば、ある国からの輸入に支障が生じたとしても、他国からの輸入で代替することができる。分散化は最も基本的なセキュリティ対策であり、分散化が進むほど安全性は高まる。一方で、複数のLNG輸入契約を持つためにはある程度の需要規模(企業規模と言い換えることもできる)が必要であり、理論上、LNGの分散調達ができない小規模な国や事業者ほどセキュリティ上のリスクが高くなる。第二に、天然ガスの「高効率利用」である。高いエネルギー効率で利用すればLNG輸入量を減らすことができ、したがってセキュリティリスクも小さくなる。また、そもそも従来のLNG貿易の特徴であった、長期契約等に基づいた安定的な関係そのものが安定供給に資する、との考えも採られてきた。

これらの取り組みによって、幸いこれまでのところ、日本のLNG供給セキュリティが破綻をきたすような事態には陥っていない。しかし、輸入に頼る限り供給リスクは常に存在し、セキュリティの強化に向けた不断の取り組みが求められる。そこで、日本のLNG供給セキュリティをさらに向上させるための措置として考え得るのが、「流動性の高いアジ

「アLNG市場の活用」と「他の天然ガス市場との協調」である(表7-2)。この2つについて、順に後述する。

表7-2 | LNGの供給セキュリティ対策

既存の対策	輸入相手国やルートの分散化 ある国からの輸入が途絶えた場合でも、他国からの輸入で代替。
	効率的な利用による需要の抑制 利用効率の向上によって輸入量を減し、支障の影響範囲や対策量を削減。
	長期契約による売り手との安定的な関係構築 拘束力を持つ長期契約によって売り手との間に安定的な関係を構築することで供給を確保。特に、需要が拡大する局面で有効。
新たな対策	流動性の高いアジアLNG市場を作りそれを活用 流動性の高い国際市場から、必要な時に必要な量を輸入。
	他の天然ガス市場との協調 欧州や中国など他の天然ガス市場の特徴を活かし、それらと協調してLNG需給バランスを調整する仕組みを構築。

流動性の高い国際市場の活用

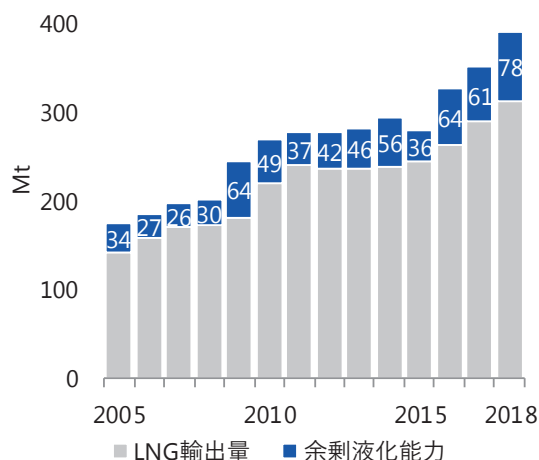
国際LNG市場では近年、アジアのLNG供給セキュリティにとって有利な変化が生まれている。

第一に、LNG輸出プロジェクトが次第に増え、新たな供給力が着実に積みあがりつつあることである(図7-6)。しかも、供給力の積み上げ速度は需要量の拡大速度を上回っており、単年度で見れば設備のトラブルや内戦が重なることで利用可能な液化能力が減少する場合もあるが、全体としては余剰液化能力が増える傾向にある。近年の中国のLNG輸入量の増え方には目を見張るものがあるが、米国や豪州、ロシアなどでの液化能力の追加はそれを上回っているためである。このことは、量の確保という点でセキュリティ上の懸念が緩和していることを意味する。

第二に、柔軟なLNGの供給量/取引が増えていることである。スポットLNG(契約から90日以内に引渡しが行われるものと定義)の取引量が年々増え、2018年は全取引量(約3億1,000万t)の25%に相当する7,870万tにもなった(図7-7)。この背景には、需要側で柔軟なLNG供給に対するニーズが高まると同時に、供給側では制限の少ない米国からのLNG輸出が増えていることや複数の液化ポートフォリオを自在に運用するプレーヤーが増えて

いることがある。LNG輸入国にとっては、必要な時に必要な量を調達できる可能性が高まっていることを意味し、したがってセキュリティの向上につながっている。

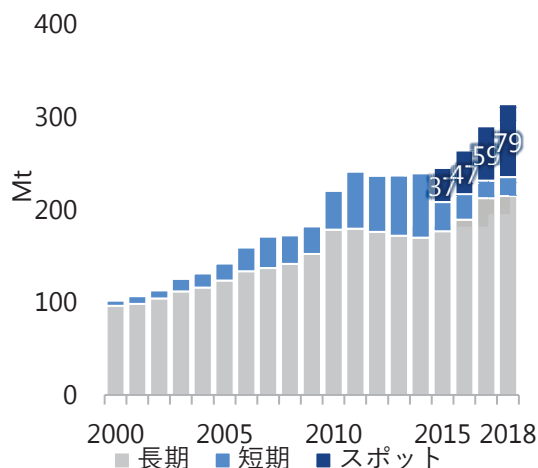
図7-6 | 世界のLNG輸出量と余剰液化能力



注: 余剰液化能力=総液化能力-停止中の液化能力-LNG輸出量

出所: GIIGNL各年版

図7-7 | 世界の契約期間別LNG輸出量



注: 2000年から2014年までの「短期」(契約期間4年以下)には「スポット」を含む。

出所: GIIGNL各年版

こうした好環境を維持してゆくために、適切なタイミングで上流投資(天然ガスの開発、生産、LNG製造)がなされ、また過度な天然ガス需要の増加を回避するための取り組みが必要である。また、仕向け地の規制などLNG取引の柔軟性を損なう慣行を解消してゆくための努力を続けなければならない。

他の天然ガス市場との協調

日本の天然ガス供給はほぼLNG輸入に依存しているが、そうでない国や地域もある。例えば欧州連合(EU)は、天然ガス需要の26%(2017年, IEA 2019)を自給するほか、ロシアやノルウェー、アルジェリアなど周辺国からのパイプラインによる輸入、枯渇ガス田や岩塩ドームなどを活用した天然ガス地下貯蔵設備(2017年の需要の24%に相当するワーキングガス能力)など、LNG以外に複数の供給手段を持つ。そのためEUは、仮にLNG輸入量が減ったとしても、域内での生産量増加やパイプラインによる輸入量の増加、地下貯蔵からの天然ガス放出など、多様な手段を駆使して天然ガス供給を維持することができる。

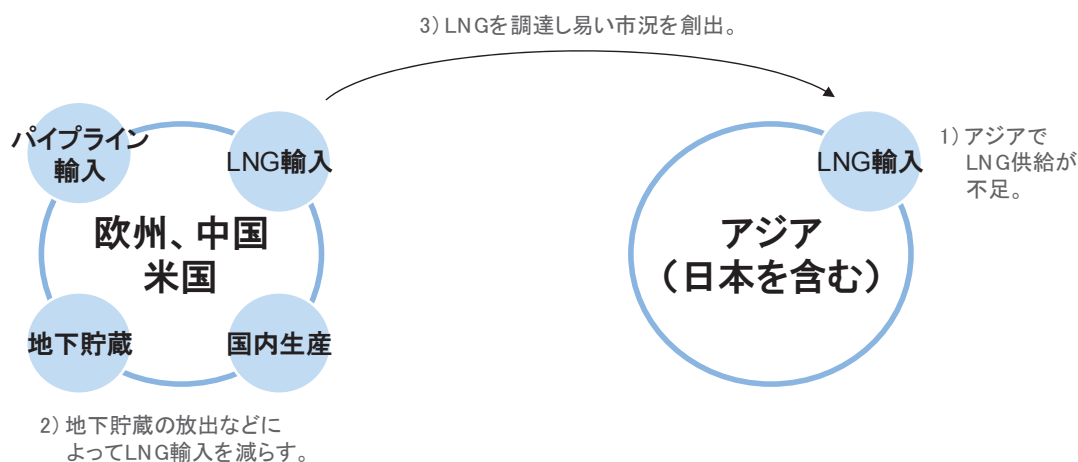
似たような構造は中国にもある。中国は東シナ海に面する沿海部のLNG輸入以外に、国内での生産(2017年の自給率は63%, IEA 2019)に加え、トルクメニスタンなど中央アジア

やミャンマーからのパイプラインによる輸入が可能である。また、2017年時点で中国の天然ガス消費量の6%、約20日分に相当する地下貯蔵設備も有する(JOGMEC 2019)。また、米国も然りである。

こうしたEUや中国、あるいは米国の天然ガス市場の需給調整能力を活用することで、アジアのLNG供給セキュリティを向上させることが期待できる。例えば、アジアでLNGの輸入不足が発生したとする。不足するLNGをEUや中国が持つLNGで手当てし、EUや中国自身はパイプラインによる輸入量を増やすことで需給をバランスさせることができる。このように、需給バランスの調整を一国で完結させるのではなく、多様なガス供給オプションとインフラを持つ国/地域と一体で考えることによって、より柔軟かつ強靱なセキュリティ体制を構築できる可能性がある。アジアの国がそれぞれ大量の天然ガス/LNG備蓄を持つことは経済性の点で現実的でないが、この方法であれば、EUや中国の天然ガス地下貯蔵能力をあたかもアジアの備蓄であるかのように活用することも可能だろう。

実際には、例えば大西洋市場の余剰LNGを需給がひっ迫するアジア市場に転売する、といった取引が既に行われている。ビジネスを目的とした取引が結果としてセキュリティに貢献するのであれば、経済効率的で望ましい姿と言える。しかし、非常時に確実に機能することが期待されるセキュリティ策とは性格が異なるのも事実である。ビジネス上の取引で対処可能な範囲はそれに任せ、一定の水準を超える危機に際しては政府が介入する二段階の方法を考えるのが適切であろう。例えば、LNG需給のタイト化に際して、EUや中国が地下貯蔵を放出する。EUや中国の天然ガス需給が短期的に緩和することで世界のLNG市場には余剰が生じ、アジアがLNGを調達し易い状態を作ることができる(図7-8)。

図7-8 | 他地域/国の需給調整力を活用するイメージ



逆に、他の国/地域に依存したガスセキュリティ体制は不安定ではないか、との議論も当然出てくるであろう。しかし、例えば石油市場では国際エネルギー機関(IEA)の下で危機に際して加盟国が協調行動を取る枠組みが長く機能している。これは、どの輸入国も国際石油市場の影響から無縁でいられず、また危機の規模によっては一国では十分な対策ができない、との認識をもとにしている。LNGの消費量が増え、その重要性が益々高まっていることを踏まえば、危機に際してLNG輸入国同士が協調してあたることにも合理性が生まれる。また別の視点では、EUの起源が戦争回避を目的とした戦略物資(石炭、鉄鋼)の共同管理にあることを踏まえば、天然ガス/LNGセキュリティにおける他国/地域との協力は、両国の関係を強固にする礎となるかもしれない。議論を深める必要があるものの、アジアのLNGセキュリティ強化の一手段として他国/地域との協調は検討の意義があるだろう。

まとめ

これまでアジアのLNG供給セキュリティは、主に輸入相手国やルートの分散化と天然ガスの高効率利用、長期契約による売り手との安定的な関係構築という方法によって担保されてきた。LNG供給セキュリティへの関心が高まってゆくと見られるなかで、近年のLNG市場では供給力の拡大や量的に柔軟なLNG取引の増加など、アジアのLNG供給安定化にとって追い風となる変化が生まれている。また、米国やEU、中国など、LNG以外の多様な供給手段を持つ国/地域があり、これらと協調することで、アジアのLNG供給セキュリティをさらに高められる可能性がある。

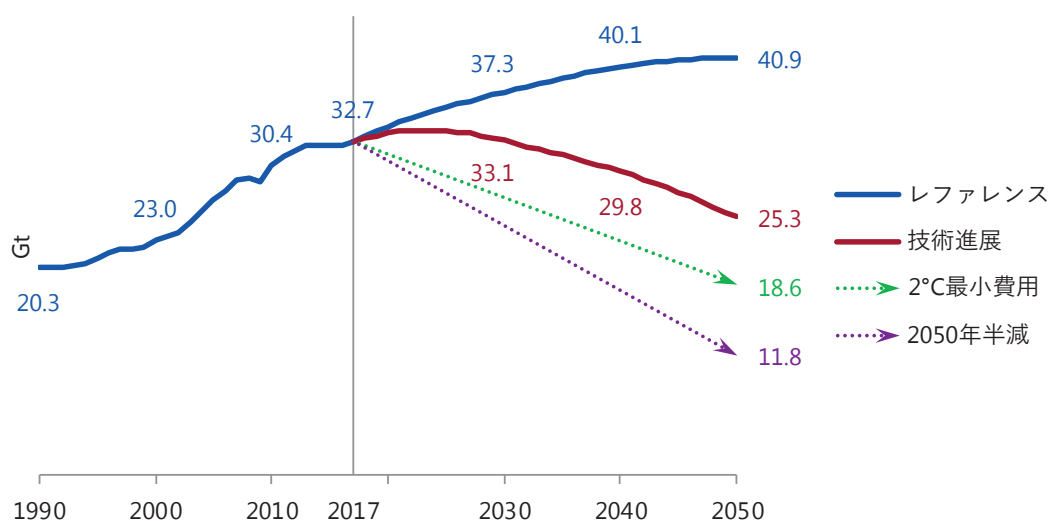
日本は天然ガス供給の97% (2017年度)を輸入に依存し(IEEJ 2019)、輸入の全量がLNGである。そのためLNG供給のセキュリティが重要であることは論を待たない。従来からされている輸入相手国やルートの分散化といった取り組みと同時に、日本を含むアジアのLNG供給セキュリティにとって有利な国際市場の育成、さらには他の天然ガス市場と一体となった危機対応メカニズムなど、あらゆる選択肢を視野に入れた継続的な取り組みが必要である。

8. 気候変動問題への実践的アプローチ

8.1 さらにCO₂削減に向けて

技術進展シナリオにおける2050年のエネルギー起源二酸化炭素(CO₂)排出量は2010年比17%減で、2050年に半減を目指す考えとは大きな隔たりがある。しかし、2150年に19世紀後半からの気温上昇を2°Cに抑える場合(IEEJ Outlook 2018の「2°C最小費用パス」)、2050年時点でさらに7 Gt削減する必要がある。

図8-1 | 世界のエネルギー起源CO₂排出(超長期分析との比較)



注: 超長期分析は統合評価モデルによる結果(IEEJ Outlook 2018参照)

2050年に7 GtのCO₂をさらに削減するためには、革新的技術の大量導入が必要となる。気温上昇を抑える技術として、省エネルギー、再生可能エネルギー、原子力のほかに、次世代原子炉、宇宙太陽光発電、核融合、水素の利活用、CO₂固定化・有効利用、CO₂回収・貯留(CCS)付きバイオエネルギーなどのさまざまな技術が期待される。

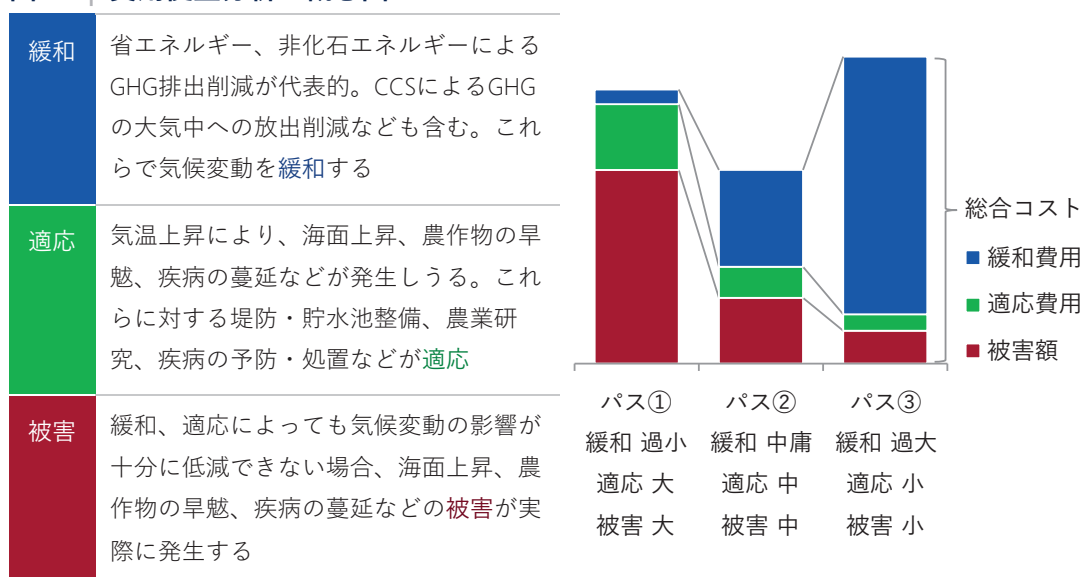
8.2 超長期の温室効果ガス排出パスと費用便益分析

温室効果ガスの排出に伴う気候変動は数百年レベルの長期の時間スケールにわたるものであり、それを十分に考慮した評価が適切な政策決定のためには不可欠である。これは従来、長期の費用便益分析として行われてきた。

費用便益分析の概念は図8-2に示すとおりである。まず、地球規模での気候変動に係るほぼ唯一の懸念は将来、気温が上昇した場合に人類が被るであろう「被害」であることから、

この被害がどのようなものであり、具体的にどの程度の被害額となるかを可能な限り正確に評価することが必要である。これに対し、いわゆる「適応」策、すなわち海水位の上昇に対して堤防を作る、農作物の収穫量変化に対して品種改良を行う、あるいは健康被害に対して医療・衛生面での対策を行い、また生活様式を変化させるといった方策によりある程度は被害を抑制することができると考えられる。よって、概念的にはそれらの適応策に係るコストの増加も踏まえて評価を行うべきである。一方で温室効果ガスの排出を削減するためには追加的な費用が必要となるが、仮にそれによって気温上昇を抑制し、気候変動を「緩和」させることができれば、上述の被害額や適応費用はより小さなものとなる。これらのことから、「緩和」「適応」および「被害」の3種のコストの最適なバランスを評価する試みが、気候変動に係る長期の費用便益分析である。また、この分析を行うための数理モデルは統合評価モデルと呼ばれる。

図8-2 | 費用便益分析の概念図



気候変動に係る費用便益分析の歴史は長く、1992年にはこの分析を行うため、後にノーベル経済学賞を受賞するWilliam Nordhausが代表的な統合評価モデルであるDICE³⁸モデルを公表している。DICEモデルは2019年の現在に至るまで継続的に改良が進められており、またその他にもRichard TolらによるFUND³⁹モデルやChris HopeらによるPAGE⁴⁰モデルなど、多くの統合評価モデルが考案・改良されている。

³⁸ Dynamic Integrated Climate-Economy

³⁹ Climate Framework for Uncertainty, Negotiation and Distribution

⁴⁰ Policy Analysis of the Greenhouse Effect

このような評価が世界的に進められている一方で、費用便益分析の方法自体に対する批判も根強く存在する。主な批判としては、以下のような点が挙げられる⁴¹。

(1) 被害額の不確実性

気候変動に伴う被害額の推計は大きな不確実性を伴い、それは統合評価モデルによる評価の結果を脆弱なものとし得る。多くの統合評価モデルでは必ずしも考え得るすべての被害を考慮しておらず、また考慮している場合でもその被害項目間の相互作用を考慮していない。また既存の評価結果の多くは、欧米を対象とした比較的气温上昇の低い領域(1°C~3°C程度)についての評価結果を他地域、より高温域に外挿しており、その正当性には疑問を挟む余地がある。気温上昇に伴う気候変動およびその被害については近年、従来に増して多くの研究が公表されつつあり、それらを十分に反映させた被害関数(気温上昇と被害額との関係)を設定することは重要な課題であり続けている。

(2) “Tipping element”の影響

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効果(負のフィードバックと呼ばれる)、例えば地表や海水へのCO₂吸収量の増加等によって相殺され、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」として変化を加速する方向に働き、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⁴²。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。Tipping pointの原因となる事象は、Tipping elementと呼ばれる。

Tipping elementの例として、例えばグリーンランド氷床の融解が挙げられる。グリーンランド島の上には厚さ1,600 mの氷が蓄積しており、2019年現在、既に大気気温上昇に伴って氷はかつてない速度で溶け始めている。仮にこの氷がすべて融解すると世界の海水位を7 m上昇させると言われており、この場合には人類の生活に深刻な影響を与えかねないことが懸念されている。ここで重要なことは、気温上昇と氷の融解レベルとの間には一意の関係があるのではなく、ある種のヒステリシスの現象が生じることである。すなわ

⁴¹ D. Diaz and F. Moore (2017). Quantifying the economic risks of climate change, *Nature Climate Change*, 7, 774-782.

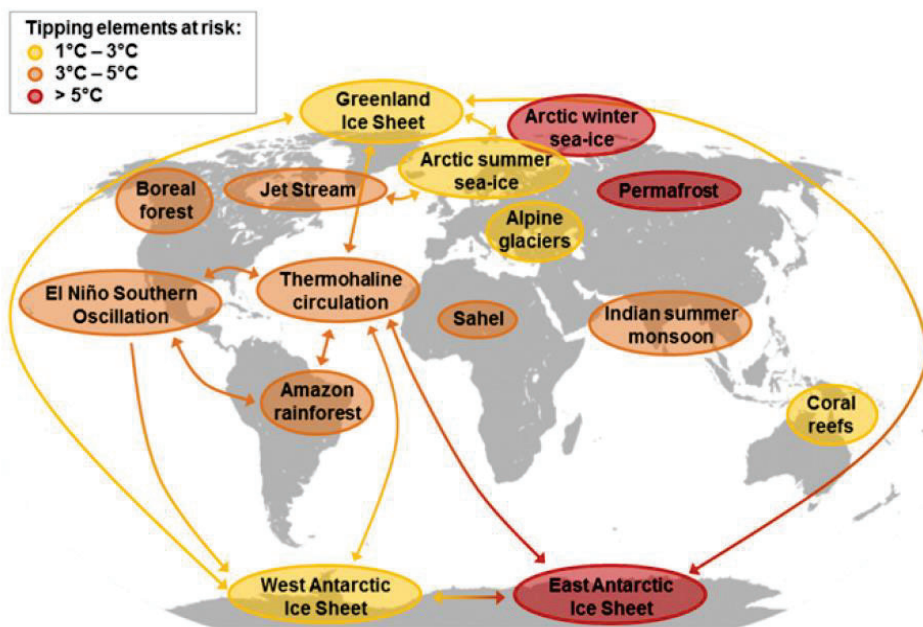
⁴² 注意すべきことは、この「異なる平衡状態」は必ずしも地球の歴史上初めてのものではないということである。例えば今から5,500万年前の暁新世/始新世頃には現在よりも気温が5-8°C 程度高かったとされ、地球は現在とは異なる平衡状態にあった可能性がある。

ち、仮に一度グリーンランドの氷床が融解した場合、その後に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。このような(ほぼ)不可逆的な現象が、上述の異なる平衡状態を作り出す可能性があるとしてされている。

他の例としては、シベリア等の永久凍土の融解が挙げられる。凍土中には大量の炭素が存在しており、融解した場合にはメタンないしCO₂として大気中に放出される。永久凍土中の炭素量は1.7兆トン程度と言われており、その一部でも大気に放出された場合には温室効果により気温を著しく上昇させかねない。上記の氷床の融解とはやや異なり、これは本質的に不可逆な過程である。

これらの他にも、さまざまなTipping elementsが提示されている(図8-3)⁴³。これらの事象に共通することは、大気平均気温に伴う変化が少なくとも完全に可逆的ではないと見做されること、またそれが完全に発現した場合には人類に対して多大な影響を与えると考えられることである。これらの事象が発現した異なる平衡状態に至る世界は“Hothouse earth”(熱室的な地球)とも呼ばれ、将来の人類にとっての大きな危機の1つと考えられている。

図8-3 | Tipping elementの例



出所: Steffen et al. (2018)

⁴³ W. Steffen et al. (2018). Trajectories of the earth system in the Anthropocene, *PNAS*, 115 (33), 8252-8259.

(3) その他の論点

気候変動に係る費用便益分析は学問的な議論が多いことで知られている。最も有名な論争は超長期の割引率に関する議論である。割引率とは将来の貨幣価値を現在の価値に換算するために用いられる値である。例えば仮に実質3%の金利が確実に見込める場合には、現在の1,000ドルは10年後の実質1,305ドルに等しい。逆に言えば10年後の1,305ドルは現在の1,000ドルに割り引かれる。この場合、3%が実質割引率に等しい。長期の気候変動問題について言えば、遠い将来に発生するかも知れない被害額を一定の割引率で現在価値に割り引いた場合、それは指数関数的に0に近くなる。これは将来の世代に幾ら大きな負担をかけてでも現世代のコストを減らすべきという議論につながり、世代間の衡平性の観点から疑念が生じる。

実際には、超長期にわたる経済問題を考える際には一定の割引率を用いるのではなく、年を追うごとに低下する割引率を用いるべきだとされている^{44, 45}。しかし、その低下のしかたをどの程度と想定すべきかについて、少なくとも現状で一致した見解は存在しない。歴史的にはStern⁴⁶らが将来世代との衡平性の観点から極めて低い割引率を想定したのに対し、Nordhausらはそれを経済学的な観点からは合理的でないと批判した。この論争から10年が経過した現在でも議論が決着しているとは言い難く、継続的に議論が行われている。

もう1つ有名な問題は、Weitzman⁴⁷らによって指摘されたFat tailの問題である。例えば将来の気温上昇を予測する重要な指標である平衡気候感度(ECS⁴⁸)について、その評価の値には不確実性の幅が大きく、従って非常に高い値を取る可能性も否定できない。例えば国連気候変動に関する政府間パネル(IPCC)の第4次評価報告書では、ECSの最良推定値は3.0°C、可能性の高い範囲は2.0-4.5°C程度とされており、4.5°Cよりも更に高い評価結果も示されている。ここでWeitzmanが主張したことは、第一に我々はECSの正確な値を知らない以上、ECSはある(主観的な)確率分布に従う値だと考えるべきだということ、第二にその確率分布が値の大きな側で非常に速やかにゼロに収束しない限り、確率論を踏まえた費用便益分析はECSが(従って気候変動による被害が)無限に大きいと見做す場合と等

⁴⁴ M.L. Weitzman (1998). Why the far-distant future should be discounted at its lowest possible rate, *Journal of Environmental Economics and Management*, 36, 201-208.

⁴⁵ C. Gollier (2012). *Pricing the Planet's Future: The Economics of Discounting in an Uncertain World*, Princeton University Press, Princeton.

⁴⁶ N. Stern (2007). *The Economics of Climate Change: The Stern Review*, Cambridge University Press, Cambridge.

⁴⁷ M.L. Weitzman (2009). On modelling and interpreting the economics of catastrophic climate change, *Review of Economics and Statistics*, 91 (1), 1-19.

⁴⁸ Equilibrium Climate Sensitivity

しくなることが、少なくとも数学上は証明されるということである(Weitzman はこれを「陰鬱な定理」と呼んでいる)。この場合、いかなる費用をかけてでも温室効果ガスの排出量を削減すべきだという議論が、少なくとも数学上は成り立つ。同様の数学的な議論は、逆に例えば21世紀内に世界の温室効果ガスを正味で0にするために必要なコストについても言うことができ、従って温室効果ガスの削減は実際には「費用も便益も無限大」になるのではないかという指摘に対しては、「温室効果ガス削減対策の費用上限はいわゆるバックストップ価格(炭素直接回収のような『最終的な技術』のコスト)によって規定されるために、確率分布はFat tailにはならない、という議論がある(ただし、そのようなバックストップ価格が真に存在するののかという点についても議論はあり得るであろう)。一方で、もし誰かが本当に現在1tの炭素を排出することのコストが無限大であると考えたならば、なぜその人は今日から電気とガスとガソリンを消費することを一切止めないのか、と問うことには意味があるかも知れない。また、気候感度の確率分布がFat tailであることは気温上昇の確率分布がFat tailであることを意味するが、それは必ずしも被害額の確率分布がFat tailであることを意味せず、従って費用便益分析は依然として有効であると主張する論文も提示されている⁴⁹。

8.3 費用便益分析の精緻化に向けて

このように、長期の気候変動問題については多くの議論が行われており、特に(3)で述べた理論的な問題については未だ明確な解決の道筋は見えない。しかし気候変動の費用便益分析は今現在の気候変動政策に直接に結びつくものであり、現状で議論が多いならば多いなりに、より妥当な評価に向けて現時点でできることは何かを考えるべきである。特に(1)で述べた被害関数の精緻化については、米国を中心とした多くの研究者により具体的な努力が続けられている。図8-4に示す例は米国を対象として、現在の最新の知見を反映して新たに評価を試みたものである⁵⁰。ここでは産業化前からの気温上昇4°Cで被害額はGDP比2%~3%程度と、従来の例えばDICEモデルでの想定と本質的な大きな差はない程度となっている。しかし、大きな差がないということ自体が重要な知見であり、このような努力はさらに続けられるべきである。

⁴⁹ I.C. Hwang et al. (2016). Fat-tailed risk about climate change and climate policy, *Energy Policy*, 89, 25-35.

⁵⁰ S. Hsiang et al. (2017). Estimating economic damage from climate change in the United States, *Science*, 356, 1362-1369.

図8-4 | 米国を対象とした被害関数の評価例

項目別被害の地域分布

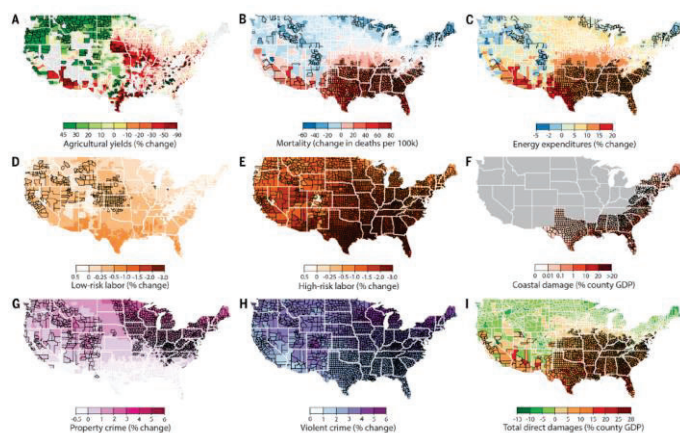
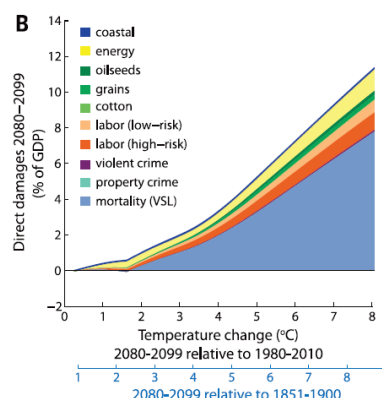


Fig. 2. Spatial distributions of projected damages. County-level median values for average 2080 to 2099 RCP8.5 impacts. Impacts are changes relative to counterfactual "no additional climate change" trajectories. Color indicates magnitude of impact in median projection; outline color indicates level of agreement across projections (thin white outline, inner 66% of projections disagree in sign; no outline, >83% of projections agree in sign; black outline, >95% agree in sign; thick white outline, state borders; maps without outlines shown in fig. S2). Negative damages indicate economic gains. (A) Percent change in yields, area-weighted

average for maize, wheat, soybeans, and cotton. (B) Change in all-cause mortality rates, across all age groups. (C) Change in electricity demand. (D) Change in labor supply of full-time-equivalent workers for low-risk jobs where workers are minimally exposed to outdoor temperature. (E) Same as (D), except for high-risk jobs where workers are heavily exposed to outdoor temperatures. (F) Change in damages from coastal storms. (G) Change in property-crime rates. (H) Change in violent-crime rates. (I) Median total direct economic damage across all sectors [(A) to (H)].

被害額合計値(対GDP比)



出所: Hsiang et al. (2017)

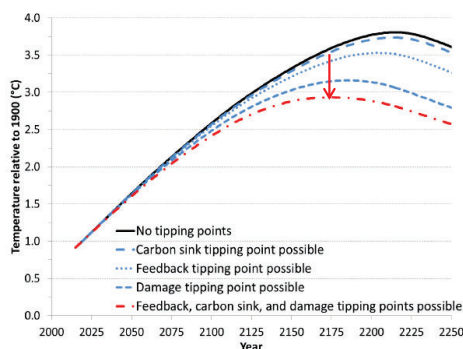
また、従来の統合評価モデルには明示的に組み込まれていなかったTipping elementsを明示的に考慮して費用便益分析を行う試みも行われており、その結果は例えば図8-5に示すとおりである^{51, 52}。左に示す例では炭素吸収、気候フィードバックおよび温暖化被害に伴う3種のTipping elementsを考慮し、動的計画法によって評価を行うことにより、「最適」な排出経路での最高気温上昇は4℃弱程度から3℃弱まで低下するとしている。また図右に示す例では同様に、大西洋の海流の変化、グリーンランド氷床の融解、西南極氷床の融解、アマゾンの熱帯雨林枯死、エルニーニョ多発状態への移行といったTipping elementsを考慮することにより、最適パスでの気温上昇は2100年の2.8℃程度から大幅に低下し、1.5℃を超えないという結果になっている。このような分析結果が、パリ協定以来大きく注目されている1.5℃目標の背後にあることには注意すべきである。

⁵¹ D. Lemoine and C.P. Traeger (2016). Economics of tipping the climate dominoes, *Nature Climate Change*, 6, 514-520.

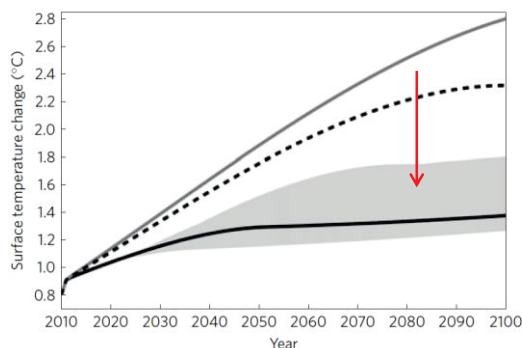
⁵² Y. Cai et al. (2016). Risk of multiple interacting tipping points should encourage rapid CO₂ emission reduction, *Nature Climate Change*, 6, 520-527.

図8-5 | Tipping elementsを考慮した費用便益分析評価例(最適パスにおける気温上昇の変化)

Lemoine and Traeger (2016)



Cai et al. (2016)



ただし、図8-5で示した2つの例では、Tipping elementsの影響を極めて簡素に評価している可能性も否定できない。例えば図左のLemoine and Traeger (2016)では、炭素吸収に係るTipping elementは一度生じたら全地球の炭素の吸収率が50%低下し、二度と元に戻らないとしている。Cai et al. (2016)では専門家からのヒアリングをもとに、例えば大西洋の海流の変化が一度生じた場合には世界のGDPの15%が失われ、決して戻らないとしている。確かにTipping elementsとは気温上昇による(ほぼ)不可逆的な過程と見做されているものの、それは超長期にわたって(人間の時間スケールから見ると)多くは緩やかに生じるものである。また、一度発生すると必ずすべてが発現するものではなく、例えばグリーンランドの氷床の融解といった例で言えば、もし途中で気温上昇が止められるならば、(慣性によりその後も幾分は長期的に融解が進むにせよ)氷床がすべて融解するという結末を迎えることは回避できると思われる。

このように、Tipping elementsのモデルへの組み入れは従来のような簡易なものであってはならず、その変化のダイナミズムをある程度は的確に織り込む必要があるということが認識されつつあり、それに対応した評価が2019年現在では試みられている。例えばNordhausはグリーンランド氷床の融解について、既存の研究をもとにヒステリシスをもつ応答を想定し、自ら改良を続けてきたDICEモデルの中に組み込むことによって、その影響が比較的軽微であることを示した⁵³。少なくともこの定式化のもとでは、この軽微な影響は、氷床の融解が非常に緩やかな現象であることの必然的な結果である。またYumashevらはシベリアの永久凍土の融解と北極海のアルベド⁵⁴の変化を明示的にPAGE

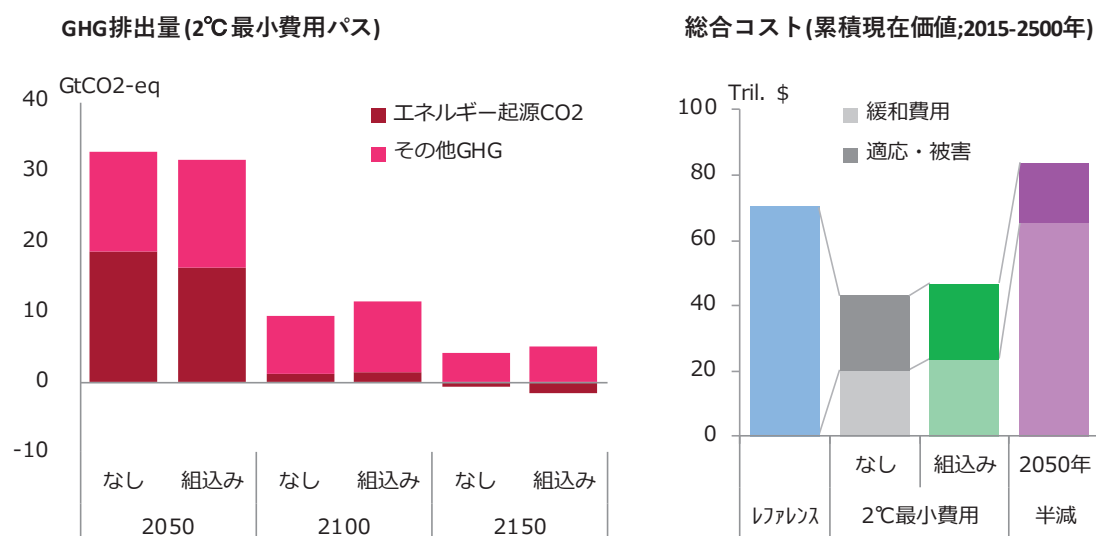
⁵³ W. Nordhaus (2019). Economics of the disintegration of the Greenland ice sheet, *PNAS*, 116 (25), 12261-12269.

⁵⁴ 入射光エネルギーに対する反射光のエネルギーの比

モデルに織り込み、それによって費用便益分析はやはり軽微な、しかし有意な影響を与えられることを示した^{55, 56}。このように、Tipping elementのダイナミズムを明示的に織り込んで評価した結果は、従来論じられてきた異なる平衡状態のリスクとは大きく異なる可能性がある。

図8-6は、IEEJ Outlook 2018で示した2°C最小費用パス(2150年における気温上昇を2°C以内に抑えるという条件の下、総合コストが最小化となるパス)につき、上記のグリーンランド氷床の融解、永久凍土の融解および北極海のアルベドの変化を明示的に織り込んで評価を行ったものである。これら3種のTipping elementsを考慮した場合、2°Cを維持するためにはやや早めにGHG排出量を抑制する必要がある。また、凍土融解によるメタン等の噴出を相殺するために、エネルギー起源CO₂の排出をさらに抑制しなければならない。そして、その分だけ総合コストは上昇することになる。しかし、他のシナリオと比べれば、その絵姿を大きく変えるほどではない。

図8-6 | 3つのTipping elementsを組み込んだ費用便益分析例



注: 3つのTipping elementsとは、グリーンランド氷床の融解、永久凍土の融解および北極海のアルベドの変化

ここでまず重要なことは、想定すべきすべてのTipping elementsについて同様なことが言えるのか否かということである。Tipping elementsのもつ超長期的な性質を考えると、素

⁵⁵ D. Yumashev et al. (2019). Climate Policy implications of nonlinear decline of Arctic land permafrost and other cryosphere elements, *Nature Communications*, 10, 1900.

⁵⁶ ただし、Yumashevらが用いているPAGEモデルでは元々、緩和のために必要な費用の想定が比較的安いので、Tipping elementsを考慮する前に既に2°Cもしくは1.5°C目標が最適パスに近いところにあることを記しておく必要がある。

朴には結果は似たようなものとなることが予想されるとはいえ、それは決して自明ではない。また、その定式化が妥当であるか否かについては常に検証が必要である。そもそも、費用便益分析という手法自体が上記のような大きな不確実性に捉われていることは決して忘れてはならない。気候変動問題に係る定量的な評価は現在のエネルギー・環境政策に直接的に、極めて大きな影響を与えるものである。このため、そこに大きな不確実性が含まれることは十分に考慮した上で、常に最新のデータをもとに評価を行い、かつ、その不確実性を少しでも低減させる努力を継続することが望ましい。

付表

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	ブルネイ
	(ASEAN)	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, 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, ペラルーシ, 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, マケドニア, マルタ, モンテネグロ, 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, コンゴ民主共和 国, コンゴ共和国, コートジボアール, 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
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, 英国
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, エクアドル, 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	2017	2030	2050	2030	2050	1990/ 2017	2017/2050	
									レファレンス	技術進展
一次エネルギー消費 (Mtoe)	世界	8,766	13,972	16,564	18,757	15,624	15,915	1.7	0.9	0.4
	先進国	4,468	5,228	5,181	4,767	4,959	4,131	0.6	-0.3	-0.7
	新興・途上国	4,096	8,331	10,854	13,236	10,180	11,168	2.7	1.4	0.9
	アジア	2,110	5,669	7,386	8,585	6,937	7,223	3.7	1.3	0.7
	非アジア	6,453	7,890	8,650	9,418	8,201	8,076	0.7	0.5	0.1
石油一次消費 (Mtoe)	世界	3,233	4,449	5,035	5,707	4,702	4,489	1.2	0.8	0.0
	先進国	1,826	1,874	1,711	1,421	1,594	1,110	0.1	-0.8	-1.6
	新興・途上国	1,205	2,163	2,813	3,628	2,650	2,961	2.2	1.6	1.0
	アジア	618	1,410	1,836	2,321	1,741	1,905	3.1	1.5	0.9
	非アジア	2,413	2,627	2,688	2,728	2,503	2,167	0.3	0.1	-0.6
天然ガス一次消費 (Mtoe)	世界	1,664	3,107	4,026	5,165	3,696	3,879	2.3	1.6	0.7
	先進国	827	1,389	1,551	1,538	1,409	1,011	1.9	0.3	-1.0
	新興・途上国	837	1,718	2,462	3,537	2,266	2,730	2.7	2.2	1.4
	アジア	116	595	1,016	1,471	917	1,097	6.2	2.8	1.9
	非アジア	1,548	2,512	2,997	3,604	2,758	2,644	1.8	1.1	0.2
石炭一次消費 (Mtoe)	世界	2,220	3,790	4,215	4,035	3,559	2,375	2.0	0.2	-1.4
	先進国	1,088	904	782	560	625	254	-0.7	-1.4	-3.8
	新興・途上国	1,133	2,886	3,433	3,474	2,934	2,121	3.5	0.6	-0.9
	アジア	788	2,761	3,279	3,222	2,799	1,963	4.8	0.5	-1.0
	非アジア	1,432	1,029	936	813	760	412	-1.2	-0.7	-2.7
発電電力量 (TWh)	世界	11,850	25,606	34,412	45,363	33,552	42,127	2.9	1.7	1.5
	先進国	7,668	10,868	12,177	13,258	11,899	12,292	1.3	0.6	0.4
	新興・途上国	4,182	14,738	22,235	32,105	21,653	29,835	4.8	2.4	2.2
	アジア	2,241	11,340	16,958	22,578	16,482	20,859	6.2	2.1	1.9
	非アジア	9,608	14,266	17,455	22,785	17,070	21,268	1.5	1.4	1.2
エネルギー起源 二酸化炭素排出 (Mt)	世界	20,302	32,711	37,571	40,858	32,793	25,288	1.8	0.7	-0.8
	先進国	10,801	11,347	10,660	8,879	9,282	5,411	0.2	-0.7	-2.2
	新興・途上国	8,873	20,081	25,293	29,744	22,043	18,290	3.1	1.2	-0.3
	アジア	4,631	15,157	19,038	20,987	16,511	12,709	4.5	1.0	-0.5
	非アジア	15,043	16,271	16,916	17,636	14,814	10,993	0.3	0.2	-1.2
GDP (2010年価格10億ドル)	世界	38,050	79,936	115,397	190,750	115,397	190,750	2.8	2.7	2.7
	先進国	28,914	50,277	62,850	85,161	62,850	85,161	2.1	1.6	1.6
	新興・途上国	9,137	29,659	52,547	105,589	52,547	105,589	4.5	3.9	3.9
	アジア	7,628	24,564	42,742	81,204	42,742	81,204	4.4	3.7	3.7
	非アジア	30,422	55,373	72,655	109,546	72,655	109,546	2.2	2.1	2.1
人口 (100万人)	世界	5,281	7,519	8,522	9,716	8,522	9,716	1.3	0.8	0.8
	先進国	999	1,181	1,222	1,238	1,222	1,238	0.6	0.1	0.1
	新興・途上国	4,282	6,338	7,300	8,478	7,300	8,478	1.5	0.9	0.9
	アジア	2,933	4,072	4,449	4,681	4,449	4,681	1.2	0.4	0.4
	非アジア	2,348	3,447	4,073	5,035	4,073	5,035	1.4	1.2	1.2

付表3 | 人口

(100万人)

	1990	2000	2017	2030	2040	2050	年平均変化率(%)				
							1990/ 2017	2017/ 2030	2030/ 2040	2040/ 2050	2017/ 2050
世界	5,281 (100)	6,112 (100)	7,519 (100)	8,522 (100)	9,176 (100)	9,716 (100)	1.3	1.0	0.7	0.6	0.8
アジア	2,933 (55.5)	3,410 (55.8)	4,072 (54.2)	4,449 (52.2)	4,617 (50.3)	4,681 (48.2)	1.2	0.7	0.4	0.1	0.4
中国	1,135 (21.5)	1,263 (20.7)	1,386 (18.4)	1,429 (16.8)	1,414 (15.4)	1,368 (14.1)	0.7	0.2	-0.1	-0.3	0.0
インド	870 (16.5)	1,053 (17.2)	1,339 (17.8)	1,504 (17.7)	1,593 (17.4)	1,640 (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)	51 (0.7)	52 (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	430 (8.1)	506 (8.3)	625 (8.3)	699 (8.2)	739 (8.0)	761 (7.8)	1.4	0.9	0.5	0.3	0.6
インドネシア	181 (3.4)	212 (3.5)	264 (3.5)	299 (3.5)	318 (3.5)	331 (3.4)	1.4	1.0	0.6	0.4	0.7
マレーシア	18 (0.3)	23 (0.4)	32 (0.4)	37 (0.4)	39 (0.4)	41 (0.4)	2.1	1.2	0.7	0.5	0.8
ミャンマー	41 (0.8)	46 (0.8)	53 (0.7)	58 (0.7)	61 (0.7)	62 (0.6)	1.0	0.7	0.5	0.2	0.5
フィリピン	62 (1.2)	78 (1.3)	105 (1.4)	123 (1.4)	135 (1.5)	144 (1.5)	2.0	1.3	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)	2.3	0.7	0.3	-0.1	0.4
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	-0.1
ベトナム	68 (1.3)	80 (1.3)	96 (1.3)	105 (1.2)	109 (1.2)	111 (1.1)	1.3	0.7	0.3	0.2	0.4
北米	277 (5.3)	313 (5.1)	362 (4.8)	391 (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)	325 (4.3)	350 (4.1)	367 (4.0)	379 (3.9)	1.0	0.6	0.5	0.3	0.5
中南米	441 (8.4)	521 (8.5)	640 (8.5)	712 (8.4)	748 (8.2)	769 (7.9)	1.4	0.8	0.5	0.3	0.6
欧州先進国	505 (9.6)	527 (8.6)	575 (7.6)	588 (6.9)	590 (6.4)	585 (6.0)	0.5	0.2	0.0	-0.1	0.1
欧州連合	478 (9.1)	488 (8.0)	512 (6.8)	518 (6.1)	518 (5.6)	511 (5.3)	0.3	0.1	0.0	-0.1	0.0
他欧州/ユーラシア	337 (6.4)	335 (5.5)	341 (4.5)	345 (4.0)	343 (3.7)	341 (3.5)	0.0	0.1	-0.1	-0.1	0.0
アフリカ	634 (12.0)	816 (13.4)	1,255 (16.7)	1,703 (20.0)	2,095 (22.8)	2,511 (25.8)	2.6	2.4	2.1	1.8	2.1
中東	132 (2.5)	168 (2.8)	246 (3.3)	302 (3.5)	335 (3.7)	365 (3.8)	2.3	1.6	1.1	0.8	1.2
オセアニア	20 (0.4)	23 (0.4)	29 (0.4)	33 (0.4)	36 (0.4)	39 (0.4)	1.4	1.0	0.8	0.7	0.8
先進国	999 (18.9)	1,070 (17.5)	1,181 (15.7)	1,222 (14.3)	1,237 (13.5)	1,238 (12.7)	0.6	0.3	0.1	0.0	0.1
新興・途上国	4,282 (81.1)	5,043 (82.5)	6,338 (84.3)	7,300 (85.7)	7,938 (86.5)	8,478 (87.3)	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	2017	2030	2040	2050	年平均変化率(%)				
							1990/ 2017	2017/ 2030	2030/ 2040	2040/ 2050	2017/ 2050
世界	38,050 (100)	50,096 (100)	79,936 (100)	115,397 (100)	151,856 (100)	190,750 (100)	2.8	2.9	2.8	2.3	2.7
アジア	7,628 (20.0)	11,102 (22.2)	24,564 (30.7)	42,742 (37.0)	61,349 (40.4)	81,204 (42.6)	4.4	4.4	3.7	2.8	3.7
中国	830 (2.2)	2,237 (4.5)	10,161 (12.7)	20,439 (17.7)	30,536 (20.1)	39,687 (20.8)	9.7	5.5	4.1	2.7	4.2
インド	506 (1.3)	870 (1.7)	2,651 (3.3)	6,273 (5.4)	10,518 (6.9)	16,320 (8.6)	6.3	6.9	5.3	4.5	5.7
日本	4,704 (12.4)	5,349 (10.7)	6,158 (7.7)	6,762 (5.9)	7,291 (4.8)	7,787 (4.1)	1.0	0.7	0.8	0.7	0.7
韓国	363 (1.0)	710 (1.4)	1,346 (1.7)	1,886 (1.6)	2,308 (1.5)	2,664 (1.4)	5.0	2.6	2.0	1.4	2.1
台湾	155 (0.4)	297 (0.6)	529 (0.7)	707 (0.6)	847 (0.6)	971 (0.5)	4.6	2.3	1.8	1.4	1.9
ASEAN	741 (1.9)	1,180 (2.4)	2,747 (3.4)	5,008 (4.3)	7,463 (4.9)	10,499 (5.5)	5.0	4.7	4.1	3.5	4.1
インドネシア	310 (0.8)	453 (0.9)	1,090 (1.4)	2,100 (1.8)	3,296 (2.2)	4,779 (2.5)	4.8	5.2	4.6	3.8	4.6
マレーシア	82 (0.2)	163 (0.3)	365 (0.5)	645 (0.6)	919 (0.6)	1,238 (0.6)	5.7	4.5	3.6	3.0	3.8
ミャンマー	7 (0.0)	13 (0.0)	67 (0.1)	142 (0.1)	237 (0.2)	366 (0.2)	8.9	6.0	5.3	4.5	5.3
フィリピン	95 (0.2)	125 (0.3)	303 (0.4)	623 (0.5)	922 (0.6)	1,311 (0.7)	4.4	5.7	4.0	3.6	4.5
シンガポール	68 (0.2)	134 (0.3)	310 (0.4)	421 (0.4)	496 (0.3)	549 (0.3)	5.8	2.4	1.6	1.0	1.7
タイ	142 (0.4)	218 (0.4)	423 (0.5)	672 (0.6)	929 (0.6)	1,221 (0.6)	4.1	3.6	3.3	2.8	3.3
ベトナム	29 (0.1)	61 (0.1)	175 (0.2)	383 (0.3)	637 (0.4)	1,005 (0.5)	6.8	6.2	5.2	4.7	5.4
北米	10,078 (26.5)	14,056 (28.1)	19,232 (24.1)	25,073 (21.7)	31,059 (20.5)	37,311 (19.6)	2.4	2.1	2.2	1.9	2.0
米国	9,064 (23.8)	12,713 (25.4)	17,349 (21.7)	22,684 (19.7)	28,174 (18.6)	33,922 (17.8)	2.4	2.1	2.2	1.9	2.1
中南米	2,835 (7.4)	3,819 (7.6)	5,798 (7.3)	8,300 (7.2)	11,426 (7.5)	14,589 (7.6)	2.7	2.8	3.2	2.5	2.8
欧州先進国	12,721 (33.4)	15,953 (31.8)	20,808 (26.0)	25,402 (22.0)	28,941 (19.1)	32,256 (16.9)	1.8	1.5	1.3	1.1	1.3
欧州連合	11,891 (31.3)	14,783 (29.5)	18,824 (23.5)	22,909 (19.9)	26,160 (17.2)	29,207 (15.3)	1.7	1.5	1.3	1.1	1.3
他欧州/ユーラシア	2,145 (5.6)	1,472 (2.9)	2,759 (3.5)	3,792 (3.3)	4,804 (3.2)	6,014 (3.2)	0.9	2.5	2.4	2.3	2.4
アフリカ	893 (2.3)	1,166 (2.3)	2,391 (3.0)	4,084 (3.5)	6,571 (4.3)	9,731 (5.1)	3.7	4.2	4.9	4.0	4.3
中東	1,029 (2.7)	1,532 (3.1)	2,770 (3.5)	3,805 (3.3)	5,059 (3.3)	6,552 (3.4)	3.7	2.5	2.9	2.6	2.6
オセアニア	721 (1.9)	996 (2.0)	1,614 (2.0)	2,199 (1.9)	2,647 (1.7)	3,092 (1.6)	3.0	2.4	1.9	1.6	2.0
先進国	28,914 (76.0)	37,649 (75.2)	50,277 (62.9)	62,850 (54.5)	74,064 (48.8)	85,161 (44.6)	2.1	1.7	1.7	1.4	1.6
新興・途上国	9,137 (24.0)	12,448 (24.8)	29,659 (37.1)	52,547 (45.5)	77,792 (51.2)	105,589 (55.4)	4.5	4.5	4.0	3.1	3.9

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

見通しは日本エネルギー経済研究所

(注)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	2017	2030	2040	2050	1990/ 2017	2017/ 2030	2030/ 2040	2040/ 2050	2017/ 2050
世界	7.2	8.2	10.6	13.5	16.6	19.6	1.5	1.9	2.0	1.7	1.9
アジア	2.6	3.3	6.0	9.6	13.3	17.3	3.2	3.6	3.3	2.7	3.3
中国	0.7	1.8	7.3	14.3	21.6	29.0	8.9	5.3	4.2	3.0	4.3
インド	0.6	0.8	2.0	4.2	6.6	10.0	4.6	5.9	4.7	4.2	5.0
日本	38.1	42.2	48.6	56.3	64.7	74.0	0.9	1.1	1.4	1.4	1.3
韓国	8.5	15.1	26.2	36.6	46.0	56.5	4.3	2.6	2.3	2.1	2.4
台湾	7.6	13.3	22.4	29.6	36.1	43.5	4.1	2.1	2.0	1.9	2.0
ASEAN	1.7	2.3	4.4	7.2	10.1	13.8	3.5	3.8	3.5	3.2	3.5
インドネシア	1.7	2.1	4.1	7.0	10.4	14.5	3.3	4.2	3.9	3.4	3.9
マレーシア	4.5	7.0	11.5	17.6	23.3	30.0	3.5	3.3	2.9	2.6	2.9
ミャンマー	0.2	0.3	1.2	2.4	3.9	5.9	7.8	5.2	4.8	4.3	4.8
フィリピン	1.5	1.6	2.9	5.1	6.8	9.1	2.4	4.4	3.0	2.9	3.5
シンガポール	22.2	33.4	55.2	68.4	78.3	87.2	3.4	1.7	1.4	1.1	1.4
タイ	2.5	3.5	6.1	9.6	13.5	18.6	3.4	3.5	3.5	3.2	3.4
ベトナム	0.4	0.8	1.8	3.6	5.9	9.1	5.5	5.4	4.9	4.5	5.0
北米	36.3	44.9	53.1	64.2	75.7	87.8	1.4	1.5	1.7	1.5	1.5
米国	36.3	45.1	53.4	64.9	76.8	89.4	1.4	1.5	1.7	1.5	1.6
中南米	6.4	7.3	9.1	11.7	15.3	19.0	1.3	2.0	2.7	2.2	2.3
欧州先進国	25.2	30.3	36.2	43.2	49.0	55.1	1.4	1.4	1.3	1.2	1.3
欧州連合	24.9	30.3	36.7	44.2	50.5	57.1	1.5	1.4	1.3	1.2	1.3
他欧州/ユーラシア	6.4	4.4	8.1	11.0	14.0	17.6	0.9	2.4	2.4	2.3	2.4
アフリカ	1.4	1.4	1.9	2.4	3.1	3.9	1.1	1.8	2.7	2.1	2.2
中東	7.8	9.1	11.3	12.6	15.1	18.0	1.4	0.9	1.8	1.8	1.4
オセアニア	35.3	43.3	54.9	65.7	73.2	80.2	1.6	1.4	1.1	0.9	1.2
先進国	29.0	35.2	42.6	51.4	59.9	68.8	1.4	1.5	1.5	1.4	1.5
新興・途上国	2.1	2.5	4.7	7.2	9.8	12.5	3.0	3.4	3.1	2.4	3.0

(出所)世界銀行 "World Development Indicators"、IEA "World Energy Balances"等より算出
見通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		
		2018	2030	2040	2050	2030	2040	2050
原油	\$2018/bbl	71	95	115	125	80	80	80
天然ガス								
日本	\$2018/MBtu	10.1	9.5	9.7	9.9	9.3	9.3	9.3
ヨーロッパ(英国)	\$2018/MBtu	8.1	8.1	8.4	9.0	7.7	7.8	7.9
米国	\$2018/MBtu	3.1	3.8	4.2	4.9	3.4	3.9	4.0
一般炭	\$2018/t	118	110	120	125	85	85	85

名目価格			レファレンス			技術進展		
		2018	2030	2040	2050	2030	2040	2050
原油	\$/bbl	71	120	178	236	101	124	151
天然ガス								
日本	\$/MBtu	10.1	12.0	15.0	18.6	11.8	14.4	17.5
ヨーロッパ(英国)	\$/MBtu	8.1	10.3	13.0	17.0	9.8	12.1	14.9
米国	\$/MBtu	3.1	4.8	6.5	9.2	4.3	6.0	7.5
一般炭	\$/t	118	140	186	236	108	131	160

(注)インフレ率を年率2%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	2017	2030	2040	2050	年平均変化率(%)				
							1990/ 2017	2017/ 2030	2030/ 2040	2040/ 2050	2017/ 2050
世界	8,766 (100)	10,025 (100)	13,972 (100)	16,564 (100)	17,983 (100)	18,757 (100)	1.7	1.3	0.8	0.4	0.9
アジア	2,110 (24.1)	2,887 (28.8)	5,669 (40.6)	7,386 (44.6)	8,171 (45.4)	8,585 (45.8)	3.7	2.1	1.0	0.5	1.3
中国	874 (10.0)	1,130 (11.3)	3,063 (21.9)	3,654 (22.1)	3,752 (20.9)	3,594 (19.2)	4.8	1.4	0.3	-0.4	0.5
インド	306 (3.5)	441 (4.4)	882 (6.3)	1,566 (9.5)	2,016 (11.2)	2,402 (12.8)	4.0	4.5	2.6	1.8	3.1
日本	439 (5.0)	518 (5.2)	432 (3.1)	408 (2.5)	378 (2.1)	347 (1.8)	-0.1	-0.4	-0.8	-0.9	-0.7
韓国	93 (1.1)	188 (1.9)	282 (2.0)	306 (1.8)	297 (1.7)	274 (1.5)	4.2	0.6	-0.3	-0.8	-0.1
台湾	48 (0.5)	85 (0.8)	110 (0.8)	113 (0.7)	109 (0.6)	102 (0.5)	3.1	0.2	-0.3	-0.7	-0.2
ASEAN	232 (2.7)	379 (3.8)	666 (4.8)	1,026 (6.2)	1,249 (6.9)	1,449 (7.7)	4.0	3.4	2.0	1.5	2.4
インドネシア	99 (1.1)	156 (1.6)	244 (1.7)	374 (2.3)	464 (2.6)	539 (2.9)	3.4	3.3	2.2	1.5	2.4
マレーシア	21 (0.2)	48 (0.5)	85 (0.6)	120 (0.7)	136 (0.8)	144 (0.8)	5.3	2.7	1.2	0.6	1.6
ミャンマー	11 (0.1)	13 (0.1)	23 (0.2)	37 (0.2)	48 (0.3)	58 (0.3)	2.9	3.8	2.6	2.0	2.9
フィリピン	29 (0.3)	40 (0.4)	58 (0.4)	95 (0.6)	119 (0.7)	146 (0.8)	2.6	3.8	2.3	2.0	2.8
シンガポール	12 (0.1)	19 (0.2)	37 (0.3)	42 (0.3)	45 (0.3)	47 (0.2)	4.4	1.1	0.7	0.3	0.7
タイ	42 (0.5)	72 (0.7)	138 (1.0)	173 (1.0)	197 (1.1)	218 (1.2)	4.5	1.7	1.3	1.0	1.4
ベトナム	18 (0.2)	29 (0.3)	78 (0.6)	181 (1.1)	237 (1.3)	294 (1.6)	5.6	6.7	2.7	2.2	4.1
北米	2,126 (24.3)	2,527 (25.2)	2,444 (17.5)	2,473 (14.9)	2,430 (13.5)	2,347 (12.5)	0.5	0.1	-0.2	-0.3	-0.1
米国	1,915 (21.8)	2,274 (22.7)	2,155 (15.4)	2,178 (13.1)	2,136 (11.9)	2,062 (11.0)	0.4	0.1	-0.2	-0.4	-0.1
中南米	464 (5.3)	600 (6.0)	830 (5.9)	1,043 (6.3)	1,214 (6.7)	1,311 (7.0)	2.2	1.8	1.5	0.8	1.4
欧州先進国	1,643 (18.7)	1,759 (17.5)	1,761 (12.6)	1,669 (10.1)	1,578 (8.8)	1,487 (7.9)	0.3	-0.4	-0.6	-0.6	-0.5
欧州連合	1,645 (18.8)	1,695 (16.9)	1,619 (11.6)	1,519 (9.2)	1,431 (8.0)	1,342 (7.2)	-0.1	-0.5	-0.6	-0.6	-0.6
他欧州/ユーラシア	1,513 (17.3)	993 (9.9)	1,122 (8.0)	1,178 (7.1)	1,227 (6.8)	1,268 (6.8)	-1.1	0.4	0.4	0.3	0.4
アフリカ	385 (4.4)	490 (4.9)	812 (5.8)	1,101 (6.6)	1,363 (7.6)	1,537 (8.2)	2.8	2.4	2.2	1.2	2.0
中東	223 (2.5)	372 (3.7)	773 (5.5)	1,031 (6.2)	1,199 (6.7)	1,316 (7.0)	4.7	2.2	1.5	0.9	1.6
オセアニア	99 (1.1)	125 (1.2)	148 (1.1)	156 (0.9)	155 (0.9)	150 (0.8)	1.5	0.4	0.0	-0.3	0.0
先進国	4,468 (51.0)	5,235 (52.2)	5,228 (37.4)	5,181 (31.3)	5,008 (27.8)	4,767 (25.4)	0.6	-0.1	-0.3	-0.5	-0.3
新興・途上国	4,096 (46.7)	4,517 (45.1)	8,331 (59.6)	10,854 (65.5)	12,329 (68.6)	13,236 (70.6)	2.7	2.1	1.3	0.7	1.4

(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(%). 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	2017	2030	2040	2050	年平均変化率(%)				
							1990/ 2017	2017/ 2030	2030/ 2040	2040/ 2050	2017/ 2050
世界	2,220 (100)	2,317 (100)	3,790 (100)	4,215 (100)	4,263 (100)	4,035 (100)	2.0	0.8	0.1	-0.5	0.2
アジア	788 (35.5)	1,037 (44.7)	2,761 (72.8)	3,279 (77.8)	3,376 (79.2)	3,222 (79.9)	4.8	1.3	0.3	-0.5	0.5
中国	531 (23.9)	665 (28.7)	1,953 (51.5)	2,060 (48.9)	1,923 (45.1)	1,646 (40.8)	4.9	0.4	-0.7	-1.5	-0.5
インド	93 (4.2)	146 (6.3)	391 (10.3)	706 (16.8)	886 (20.8)	990 (24.5)	5.5	4.7	2.3	1.1	2.9
日本	77 (3.5)	97 (4.2)	116 (3.1)	99 (2.3)	91 (2.1)	79 (1.9)	1.6	-1.3	-0.8	-1.5	-1.2
韓国	25 (1.1)	42 (1.8)	83 (2.2)	87 (2.1)	82 (1.9)	71 (1.8)	4.5	0.4	-0.6	-1.4	-0.5
台湾	11 (0.5)	30 (1.3)	41 (1.1)	42 (1.0)	37 (0.9)	32 (0.8)	4.9	0.1	-1.2	-1.6	-0.8
ASEAN	13 (0.6)	32 (1.4)	132 (3.5)	233 (5.5)	295 (6.9)	334 (8.3)	9.1	4.5	2.4	1.3	2.9
インドネシア	4 (0.2)	12 (0.5)	48 (1.3)	85 (2.0)	116 (2.7)	135 (3.4)	10.2	4.4	3.2	1.5	3.2
マレーシア	1 (0.1)	2 (0.1)	21 (0.5)	28 (0.7)	31 (0.7)	31 (0.8)	10.6	2.3	1.0	0.1	1.2
ミャンマー	0 (0.0)	0 (0.0)	1 (0.0)	3 (0.1)	5 (0.1)	7 (0.2)	8.7	11.2	6.0	4.6	7.6
フィリピン	2 (0.1)	5 (0.2)	17 (0.4)	24 (0.6)	29 (0.7)	33 (0.8)	9.3	2.8	1.8	1.3	2.0
シンガポール	0 (0.0)	- (-)	1 (0.0)	1 (0.0)	1 (0.0)	1 (0.0)	14.8	0.2	-0.2	-0.7	-0.2
タイ	4 (0.2)	8 (0.3)	16 (0.4)	21 (0.5)	22 (0.5)	22 (0.5)	5.5	1.8	0.8	-0.1	0.9
ベトナム	2 (0.1)	4 (0.2)	28 (0.7)	72 (1.7)	91 (2.1)	105 (2.6)	9.9	7.5	2.4	1.5	4.1
北米	484 (21.8)	566 (24.4)	348 (9.2)	297 (7.0)	245 (5.7)	183 (4.5)	-1.2	-1.2	-1.9	-2.9	-1.9
米国	460 (20.7)	534 (23.0)	331 (8.7)	287 (6.8)	242 (5.7)	180 (4.5)	-1.2	-1.1	-1.7	-2.9	-1.8
中南米	21 (1.0)	27 (1.2)	45 (1.2)	51 (1.2)	60 (1.4)	63 (1.6)	2.8	0.9	1.6	0.6	1.0
欧州先進国	448 (20.2)	331 (14.3)	263 (7.0)	212 (5.0)	184 (4.3)	160 (4.0)	-2.0	-1.7	-1.4	-1.4	-1.5
欧州連合	454 (20.4)	321 (13.9)	234 (6.2)	187 (4.4)	161 (3.8)	140 (3.5)	-2.4	-1.7	-1.4	-1.4	-1.5
他欧州/ユーラシア	365 (16.4)	209 (9.0)	209 (5.5)	199 (4.7)	209 (4.9)	211 (5.2)	-2.0	-0.4	0.5	0.1	0.0
アフリカ	74 (3.3)	90 (3.9)	110 (2.9)	128 (3.0)	145 (3.4)	156 (3.9)	1.5	1.2	1.2	0.8	1.1
中東	3 (0.1)	8 (0.3)	9 (0.2)	12 (0.3)	12 (0.3)	11 (0.3)	4.1	2.6	-0.3	-1.0	0.6
オセアニア	36 (1.6)	49 (2.1)	45 (1.2)	38 (0.9)	33 (0.8)	29 (0.7)	0.8	-1.4	-1.2	-1.5	-1.4
先進国	1,088 (49.0)	1,118 (48.3)	904 (23.9)	782 (18.6)	680 (16.0)	560 (13.9)	-0.7	-1.1	-1.4	-1.9	-1.4
新興・途上国	1,133 (51.0)	1,198 (51.7)	2,886 (76.1)	3,433 (81.4)	3,583 (84.0)	3,474 (86.1)	3.5	1.3	0.4	-0.3	0.6

(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(%). 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	2017	2030	2040	2050	年平均変化率(%)				
							1990/ 2017	2017/ 2030	2030/ 2040	2040/ 2050	2017/ 2050
世界	3,233 (100)	3,663 (100)	4,449 (100)	5,035 (100)	5,429 (100)	5,707 (100)	1.2	1.0	0.8	0.5	0.8
アジア	618 (19.1)	916 (25.0)	1,410 (31.7)	1,836 (36.5)	2,098 (38.6)	2,321 (40.7)	3.1	2.1	1.3	1.0	1.5
中国	119 (3.7)	221 (6.0)	568 (12.8)	722 (14.3)	742 (13.7)	693 (12.1)	6.0	1.9	0.3	-0.7	0.6
インド	61 (1.9)	112 (3.1)	223 (5.0)	408 (8.1)	586 (10.8)	792 (13.9)	4.9	4.7	3.7	3.1	3.9
日本	250 (7.7)	255 (7.0)	176 (4.0)	142 (2.8)	122 (2.2)	105 (1.8)	-1.3	-1.6	-1.5	-1.5	-1.6
韓国	50 (1.5)	99 (2.7)	109 (2.5)	117 (2.3)	113 (2.1)	104 (1.8)	3.0	0.5	-0.4	-0.8	-0.1
台湾	26 (0.8)	38 (1.0)	42 (1.0)	42 (0.8)	39 (0.7)	36 (0.6)	1.9	-0.2	-0.5	-0.9	-0.5
ASEAN	89 (2.7)	153 (4.2)	234 (5.3)	326 (6.5)	402 (7.4)	479 (8.4)	3.7	2.6	2.1	1.8	2.2
インドネシア	33 (1.0)	58 (1.6)	76 (1.7)	105 (2.1)	128 (2.4)	147 (2.6)	3.1	2.6	2.0	1.4	2.0
マレーシア	11 (0.4)	19 (0.5)	29 (0.7)	37 (0.7)	40 (0.7)	43 (0.7)	3.5	1.8	0.9	0.7	1.2
ミャンマー	1 (0.0)	2 (0.1)	7 (0.1)	13 (0.3)	19 (0.4)	25 (0.4)	8.5	5.5	3.8	2.6	4.1
フィリピン	11 (0.3)	16 (0.4)	20 (0.4)	36 (0.7)	50 (0.9)	67 (1.2)	2.2	4.7	3.4	3.0	3.8
シンガポール	11 (0.4)	17 (0.5)	26 (0.6)	29 (0.6)	32 (0.6)	34 (0.6)	3.1	0.9	0.9	0.6	0.8
タイ	18 (0.6)	32 (0.9)	56 (1.3)	63 (1.3)	72 (1.3)	80 (1.4)	4.3	0.9	1.3	1.0	1.1
ベトナム	3 (0.1)	8 (0.2)	20 (0.4)	42 (0.8)	60 (1.1)	84 (1.5)	7.6	6.0	3.6	3.4	4.5
北米	833 (25.8)	958 (26.2)	890 (20.0)	824 (16.4)	757 (13.9)	697 (12.2)	0.2	-0.6	-0.8	-0.8	-0.7
米国	757 (23.4)	871 (23.8)	790 (17.8)	729 (14.5)	672 (12.4)	621 (10.9)	0.2	-0.6	-0.8	-0.8	-0.7
中南米	238 (7.4)	303 (8.3)	350 (7.9)	412 (8.2)	445 (8.2)	447 (7.8)	1.4	1.3	0.8	0.1	0.7
欧州先進国	617 (19.1)	655 (17.9)	577 (13.0)	504 (10.0)	449 (8.3)	401 (7.0)	-0.3	-1.0	-1.1	-1.1	-1.1
欧州連合	607 (18.8)	624 (17.0)	531 (11.9)	461 (9.2)	409 (7.5)	364 (6.4)	-0.5	-1.1	-1.2	-1.2	-1.1
他欧州/ユーラシア	458 (14.2)	199 (5.4)	237 (5.3)	230 (4.6)	228 (4.2)	228 (4.0)	-2.4	-0.2	-0.1	0.0	-0.1
アフリカ	85 (2.6)	101 (2.8)	191 (4.3)	265 (5.3)	365 (6.7)	463 (8.1)	3.0	2.5	3.3	2.4	2.7
中東	146 (4.5)	217 (5.9)	332 (7.5)	404 (8.0)	445 (8.2)	451 (7.9)	3.1	1.5	1.0	0.1	0.9
オセアニア	35 (1.1)	40 (1.1)	50 (1.1)	48 (1.0)	45 (0.8)	41 (0.7)	1.3	-0.2	-0.7	-1.0	-0.6
先進国	1,826 (56.5)	2,069 (56.5)	1,874 (42.1)	1,711 (34.0)	1,561 (28.7)	1,421 (24.9)	0.1	-0.7	-0.9	-0.9	-0.8
新興・途上国	1,205 (37.3)	1,320 (36.0)	2,163 (48.6)	2,813 (55.9)	3,272 (60.3)	3,628 (63.6)	2.2	2.0	1.5	1.0	1.6

(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(%). 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	2017	2030	2040	2050	年平均変化率(%)				
							1990/ 2017	2017/ 2030	2030/ 2040	2040/ 2050	2017/ 2050
世界	1,664 (100)	2,072 (100)	3,107 (100)	4,026 (100)	4,685 (100)	5,165 (100)	2.3	2.0	1.5	1.0	1.6
アジア	116 (7.0)	233 (11.2)	595 (19.1)	1,016 (25.2)	1,278 (27.3)	1,471 (28.5)	6.2	4.2	2.3	1.4	2.8
中国	13 (0.8)	21 (1.0)	195 (6.3)	391 (9.7)	501 (10.7)	574 (11.1)	10.6	5.5	2.5	1.4	3.3
インド	11 (0.6)	23 (1.1)	51 (1.6)	144 (3.6)	213 (4.5)	270 (5.2)	6.0	8.3	4.0	2.4	5.2
日本	44 (2.7)	66 (3.2)	101 (3.2)	88 (2.2)	82 (1.8)	72 (1.4)	3.1	-1.1	-0.7	-1.2	-1.0
韓国	3 (0.2)	17 (0.8)	43 (1.4)	58 (1.4)	64 (1.4)	67 (1.3)	10.8	2.3	1.0	0.4	1.3
台湾	1 (0.1)	6 (0.3)	18 (0.6)	24 (0.6)	26 (0.5)	27 (0.5)	9.9	2.2	0.8	0.3	1.2
ASEAN	30 (1.8)	74 (3.6)	134 (4.3)	231 (5.7)	283 (6.0)	326 (6.3)	5.7	4.3	2.0	1.4	2.7
インドネシア	16 (1.0)	27 (1.3)	39 (1.3)	67 (1.7)	89 (1.9)	109 (2.1)	3.4	4.3	2.9	2.0	3.2
マレーシア	7 (0.4)	25 (1.2)	32 (1.0)	51 (1.3)	56 (1.2)	58 (1.1)	5.9	3.6	0.9	0.5	1.8
ミャンマー	1 (0.0)	1 (0.1)	4 (0.1)	10 (0.3)	15 (0.3)	20 (0.4)	6.0	8.3	3.8	2.8	5.2
フィリピン	- (-)	0 (0.0)	3 (0.1)	6 (0.2)	9 (0.2)	11 (0.2)	-	5.0	3.5	2.7	3.9
シンガポール	- (-)	1 (0.1)	9 (0.3)	10 (0.3)	10 (0.2)	10 (0.2)	-	1.2	0.0	-0.6	0.3
タイ	5 (0.3)	17 (0.8)	36 (1.2)	43 (1.1)	47 (1.0)	47 (0.9)	7.6	1.5	0.8	0.0	0.8
ベトナム	0 (0.0)	1 (0.1)	8 (0.3)	40 (1.0)	54 (1.2)	69 (1.3)	34.3	13.4	3.0	2.4	6.8
北米	493 (29.6)	622 (30.0)	745 (24.0)	879 (21.8)	910 (19.4)	887 (17.2)	1.5	1.3	0.3	-0.3	0.5
米国	438 (26.3)	548 (26.4)	644 (20.7)	758 (18.8)	769 (16.4)	740 (14.3)	1.4	1.3	0.1	-0.4	0.4
中南米	72 (4.3)	119 (5.7)	205 (6.6)	278 (6.9)	375 (8.0)	451 (8.7)	3.9	2.4	3.1	1.9	2.4
欧州先進国	267 (16.1)	396 (19.1)	435 (14.0)	444 (11.0)	446 (9.5)	424 (8.2)	1.8	0.2	0.0	-0.5	-0.1
欧州連合	297 (17.9)	396 (19.1)	398 (12.8)	402 (10.0)	403 (8.6)	382 (7.4)	1.1	0.1	0.0	-0.5	-0.1
他欧州/ユーラシア	596 (35.8)	486 (23.4)	542 (17.5)	571 (14.2)	603 (12.9)	618 (12.0)	-0.3	0.4	0.6	0.2	0.4
アフリカ	30 (1.8)	47 (2.3)	123 (3.9)	198 (4.9)	287 (6.1)	387 (7.5)	5.4	3.8	3.8	3.0	3.5
中東	72 (4.3)	145 (7.0)	427 (13.7)	583 (14.5)	693 (14.8)	790 (15.3)	6.8	2.4	1.7	1.3	1.9
オセアニア	19 (1.1)	24 (1.2)	36 (1.1)	44 (1.1)	48 (1.0)	48 (0.9)	2.4	1.7	0.8	0.0	0.9
先進国	827 (49.7)	1,134 (54.7)	1,389 (44.7)	1,551 (38.5)	1,590 (33.9)	1,538 (29.8)	1.9	0.8	0.3	-0.3	0.3
新興・途上国	837 (50.3)	938 (45.3)	1,718 (55.3)	2,462 (61.2)	3,050 (65.1)	3,537 (68.5)	2.7	2.8	2.2	1.5	2.2

(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(%). 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	2017	2030	2040	2050	年平均変化率(%)				
							1990/ 2017	2017/ 2030	2030/ 2040	2040/ 2050	2017/ 2050
世界	6,264 (100)	7,030 (100)	9,717 (100)	11,420 (100)	12,392 (100)	13,035 (100)	1.6	1.2	0.8	0.5	0.9
アジア	1,554 (24.8)	1,992 (28.3)	3,793 (39.0)	4,828 (42.3)	5,369 (43.3)	5,751 (44.1)	3.4	1.9	1.1	0.7	1.3
中国	658 (10.5)	781 (11.1)	1,995 (20.5)	2,304 (20.2)	2,375 (19.2)	2,328 (17.9)	4.2	1.1	0.3	-0.2	0.5
インド	243 (3.9)	314 (4.5)	591 (6.1)	1,035 (9.1)	1,343 (10.8)	1,631 (12.5)	3.3	4.4	2.6	2.0	3.1
日本	287 (4.6)	332 (4.7)	293 (3.0)	266 (2.3)	245 (2.0)	224 (1.7)	0.1	-0.7	-0.8	-0.9	-0.8
韓国	65 (1.0)	127 (1.8)	183 (1.9)	203 (1.8)	201 (1.6)	191 (1.5)	3.9	0.8	-0.1	-0.5	0.1
台湾	29 (0.5)	49 (0.7)	70 (0.7)	74 (0.6)	73 (0.6)	70 (0.5)	3.3	0.4	-0.1	-0.4	0.0
ASEAN	173 (2.8)	269 (3.8)	477 (4.9)	703 (6.2)	850 (6.9)	990 (7.6)	3.8	3.0	1.9	1.5	2.2
インドネシア	80 (1.3)	120 (1.7)	174 (1.8)	238 (2.1)	284 (2.3)	324 (2.5)	2.9	2.5	1.8	1.3	1.9
マレーシア	13 (0.2)	29 (0.4)	61 (0.6)	88 (0.8)	99 (0.8)	108 (0.8)	5.7	2.9	1.2	0.9	1.8
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	2.3	1.7	2.4
フィリピン	20 (0.3)	24 (0.3)	33 (0.3)	57 (0.5)	76 (0.6)	98 (0.7)	2.0	4.1	2.9	2.6	3.3
シンガポール	5 (0.1)	8 (0.1)	25 (0.3)	28 (0.2)	30 (0.2)	31 (0.2)	6.1	1.1	0.6	0.3	0.7
タイ	29 (0.5)	51 (0.7)	99 (1.0)	121 (1.1)	140 (1.1)	156 (1.2)	4.7	1.6	1.4	1.1	1.4
ベトナム	16 (0.3)	25 (0.4)	64 (0.7)	140 (1.2)	182 (1.5)	227 (1.7)	5.3	6.2	2.7	2.2	3.9
北米	1,455 (23.2)	1,738 (24.7)	1,716 (17.7)	1,739 (15.2)	1,699 (13.7)	1,646 (12.6)	0.6	0.1	-0.2	-0.3	-0.1
米国	1,294 (20.7)	1,546 (22.0)	1,520 (15.6)	1,540 (13.5)	1,506 (12.2)	1,462 (11.2)	0.6	0.1	-0.2	-0.3	-0.1
中南米	343 (5.5)	446 (6.3)	612 (6.3)	761 (6.7)	869 (7.0)	936 (7.2)	2.2	1.7	1.3	0.7	1.3
欧州先進国	1,142 (18.2)	1,235 (17.6)	1,258 (12.9)	1,208 (10.6)	1,140 (9.2)	1,071 (8.2)	0.4	-0.3	-0.6	-0.6	-0.5
欧州連合	1,133 (18.1)	1,178 (16.8)	1,154 (11.9)	1,104 (9.7)	1,039 (8.4)	973 (7.5)	0.1	-0.3	-0.6	-0.7	-0.5
他欧州/ユーラシア	1,056 (16.9)	646 (9.2)	726 (7.5)	757 (6.6)	774 (6.2)	787 (6.0)	-1.4	0.3	0.2	0.2	0.2
アフリカ	287 (4.6)	364 (5.2)	594 (6.1)	815 (7.1)	1,001 (8.1)	1,112 (8.5)	2.7	2.5	2.1	1.1	1.9
中東	157 (2.5)	253 (3.6)	509 (5.2)	680 (6.0)	790 (6.4)	876 (6.7)	4.4	2.3	1.5	1.0	1.7
オセアニア	66 (1.1)	83 (1.2)	96 (1.0)	103 (0.9)	104 (0.8)	102 (0.8)	1.4	0.5	0.1	-0.2	0.2
先進国	3,056 (48.8)	3,581 (50.9)	3,651 (37.6)	3,632 (31.8)	3,502 (28.3)	3,345 (25.7)	0.7	0.0	-0.4	-0.5	-0.3
新興・途上国	3,006 (48.0)	3,175 (45.2)	5,654 (58.2)	7,260 (63.6)	8,244 (66.5)	8,937 (68.6)	2.4	1.9	1.3	0.8	1.4

(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(%). 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	2017	2030	2040	2050	年平均変化率(%)				
							1990/ 2017	2017/ 2030	2030/ 2040	2040/ 2050	2017/ 2050
世界	1,804 (100)	1,873 (100)	2,821 (100)	3,356 (100)	3,607 (100)	3,689 (100)	1.7	1.3	0.7	0.2	0.8
アジア	516 (28.6)	653 (34.9)	1,544 (54.7)	1,885 (56.2)	2,005 (55.6)	2,026 (54.9)	4.1	1.5	0.6	0.1	0.8
中国	234 (13.0)	302 (16.1)	986 (35.0)	987 (29.4)	934 (25.9)	855 (23.2)	5.5	0.0	-0.5	-0.9	-0.4
インド	67 (3.7)	83 (4.5)	205 (7.3)	416 (12.4)	519 (14.4)	565 (15.3)	4.2	5.6	2.2	0.9	3.1
日本	108 (6.0)	104 (5.5)	86 (3.1)	80 (2.4)	73 (2.0)	65 (1.7)	-0.8	-0.6	-0.9	-1.2	-0.9
韓国	19 (1.1)	38 (2.1)	48 (1.7)	54 (1.6)	54 (1.5)	50 (1.3)	3.5	0.9	-0.1	-0.8	0.1
台湾	12 (0.7)	19 (1.0)	24 (0.8)	25 (0.7)	24 (0.7)	23 (0.6)	2.5	0.3	-0.1	-0.6	-0.1
ASEAN	43 (2.4)	75 (4.0)	148 (5.2)	255 (7.6)	316 (8.8)	368 (10.0)	4.7	4.3	2.2	1.5	2.8
インドネシア	18 (1.0)	30 (1.6)	45 (1.6)	70 (2.1)	88 (2.4)	103 (2.8)	3.4	3.5	2.3	1.6	2.6
マレーシア	6 (0.3)	12 (0.6)	18 (0.6)	24 (0.7)	28 (0.8)	31 (0.8)	4.4	2.5	1.3	0.9	1.7
ミャンマー	0 (0.0)	1 (0.1)	3 (0.1)	7 (0.2)	10 (0.3)	13 (0.4)	8.4	5.3	4.3	2.7	4.2
フィリピン	5 (0.3)	5 (0.3)	8 (0.3)	12 (0.4)	14 (0.4)	17 (0.5)	2.0	3.2	1.8	1.6	2.3
シンガポール	1 (0.0)	2 (0.1)	7 (0.2)	8 (0.2)	8 (0.2)	8 (0.2)	9.4	1.4	0.3	-0.4	0.5
タイ	9 (0.5)	17 (0.9)	31 (1.1)	42 (1.3)	49 (1.4)	54 (1.5)	4.9	2.4	1.5	0.8	1.7
ベトナム	5 (0.3)	8 (0.4)	35 (1.3)	91 (2.7)	117 (3.3)	141 (3.8)	7.9	7.6	2.6	1.9	4.3
北米	331 (18.4)	388 (20.7)	307 (10.9)	327 (9.7)	327 (9.1)	319 (8.6)	-0.3	0.5	0.0	-0.2	0.1
米国	284 (15.7)	332 (17.7)	261 (9.3)	281 (8.4)	281 (7.8)	274 (7.4)	-0.3	0.6	0.0	-0.2	0.1
中南米	114 (6.3)	148 (7.9)	190 (6.7)	242 (7.2)	288 (8.0)	311 (8.4)	1.9	1.9	1.7	0.8	1.5
欧州先進国	330 (18.3)	325 (17.4)	297 (10.5)	295 (8.8)	286 (7.9)	271 (7.3)	-0.4	0.0	-0.3	-0.6	-0.3
欧州連合	345 (19.1)	308 (16.4)	263 (9.3)	261 (7.8)	253 (7.0)	239 (6.5)	-1.0	-0.1	-0.3	-0.6	-0.3
他欧州/ユーラシア	390 (21.6)	204 (10.9)	215 (7.6)	236 (7.0)	251 (7.0)	258 (7.0)	-2.2	0.7	0.6	0.3	0.5
アフリカ	53 (2.9)	57 (3.0)	88 (3.1)	134 (4.0)	183 (5.1)	227 (6.2)	1.9	3.3	3.2	2.2	2.9
中東	47 (2.6)	71 (3.8)	153 (5.4)	207 (6.2)	236 (6.5)	248 (6.7)	4.5	2.3	1.3	0.5	1.5
オセアニア	23 (1.3)	28 (1.5)	27 (1.0)	31 (0.9)	32 (0.9)	31 (0.8)	0.6	1.1	0.2	-0.3	0.4
先進国	826 (45.8)	906 (48.4)	798 (28.3)	822 (24.5)	806 (22.3)	767 (20.8)	-0.1	0.2	-0.2	-0.5	-0.1
新興・途上国	978 (54.2)	967 (51.6)	2,023 (71.7)	2,534 (75.5)	2,801 (77.7)	2,921 (79.2)	2.7	1.7	1.0	0.4	1.1

(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	2017	2030	2040	2050	年平均変化率(%)				
							1990/ 2017	2017/ 2030	2030/ 2040	2040/ 2050	2017/ 2050
世界	1,571 (100)	1,958 (100)	2,808 (100)	3,228 (100)	3,553 (100)	3,866 (100)	2.2	1.1	1.0	0.8	1.0
アジア	183 (11.7)	318 (16.2)	692 (24.6)	965 (29.9)	1,160 (32.6)	1,351 (34.9)	5.0	2.6	1.9	1.5	2.0
中国	30 (1.9)	84 (4.3)	310 (11.0)	438 (13.6)	463 (13.0)	432 (11.2)	9.0	2.7	0.5	-0.7	1.0
インド	21 (1.3)	32 (1.6)	98 (3.5)	192 (6.0)	317 (8.9)	486 (12.6)	5.9	5.3	5.1	4.4	5.0
日本	68 (4.4)	86 (4.4)	71 (2.5)	58 (1.8)	51 (1.4)	44 (1.1)	0.1	-1.5	-1.4	-1.3	-1.4
韓国	15 (0.9)	26 (1.3)	36 (1.3)	37 (1.1)	35 (1.0)	30 (0.8)	3.4	0.3	-0.7	-1.2	-0.5
台湾	7 (0.4)	12 (0.6)	13 (0.5)	12 (0.4)	10 (0.3)	9 (0.2)	2.5	-0.4	-1.4	-2.0	-1.2
ASEAN	32 (2.1)	61 (3.1)	127 (4.5)	174 (5.4)	216 (6.1)	264 (6.8)	5.2	2.5	2.2	2.0	2.2
インドネシア	11 (0.7)	21 (1.1)	49 (1.8)	68 (2.1)	85 (2.4)	103 (2.7)	5.8	2.5	2.3	1.9	2.2
マレーシア	5 (0.3)	11 (0.6)	21 (0.7)	23 (0.7)	23 (0.6)	22 (0.6)	5.5	0.6	-0.1	-0.4	0.1
ミャンマー	0 (0.0)	1 (0.1)	2 (0.1)	4 (0.1)	7 (0.2)	10 (0.3)	5.8	6.2	4.7	3.6	5.0
フィリピン	5 (0.3)	8 (0.4)	12 (0.4)	25 (0.8)	36 (1.0)	50 (1.3)	3.6	5.8	3.9	3.4	4.5
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	-0.7	-1.2	-0.7
タイ	9 (0.6)	15 (0.7)	27 (1.0)	31 (0.9)	33 (0.9)	36 (0.9)	4.2	0.9	0.9	0.7	0.8
ベトナム	1 (0.1)	3 (0.2)	13 (0.5)	21 (0.7)	30 (0.8)	42 (1.1)	8.6	4.1	3.4	3.4	3.7
北米	531 (33.8)	640 (32.7)	687 (24.5)	638 (19.8)	595 (16.8)	561 (14.5)	1.0	-0.6	-0.7	-0.6	-0.6
米国	488 (31.0)	588 (30.0)	625 (22.3)	578 (17.9)	541 (15.2)	511 (13.2)	0.9	-0.6	-0.7	-0.6	-0.6
中南米	103 (6.6)	141 (7.2)	223 (7.9)	281 (8.7)	308 (8.7)	321 (8.3)	2.9	1.8	0.9	0.4	1.1
欧州先進国	269 (17.1)	318 (16.2)	353 (12.6)	311 (9.6)	278 (7.8)	251 (6.5)	1.0	-1.0	-1.1	-1.0	-1.0
欧州連合	259 (16.5)	303 (15.5)	327 (11.6)	287 (8.9)	255 (7.2)	229 (5.9)	0.9	-1.0	-1.2	-1.0	-1.1
他欧州/ユーラシア	170 (10.8)	109 (5.6)	146 (5.2)	140 (4.3)	135 (3.8)	131 (3.4)	-0.6	-0.3	-0.4	-0.3	-0.3
アフリカ	38 (2.4)	55 (2.8)	117 (4.2)	159 (4.9)	211 (5.9)	267 (6.9)	4.2	2.4	2.9	2.4	2.5
中東	51 (3.2)	75 (3.8)	140 (5.0)	168 (5.2)	184 (5.2)	194 (5.0)	3.8	1.4	0.9	0.5	1.0
オセアニア	24 (1.5)	30 (1.5)	39 (1.4)	38 (1.2)	37 (1.0)	36 (0.9)	1.8	-0.1	-0.3	-0.4	-0.2
先進国	916 (58.3)	1,117 (57.0)	1,202 (42.8)	1,100 (34.1)	1,010 (28.4)	935 (24.2)	1.0	-0.7	-0.8	-0.8	-0.8
新興・途上国	453 (28.8)	568 (29.0)	1,193 (42.5)	1,601 (49.6)	1,897 (53.4)	2,177 (56.3)	3.7	2.3	1.7	1.4	1.8

(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(%). 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	2017	2030	2040	2050	年平均変化率(%)				
							1990/ 2017	2017/ 2030	2030/ 2040	2040/ 2050	2017/ 2050
世界	2,414 (100)	2,592 (100)	3,209 (100)	3,713 (100)	3,969 (100)	4,101 (100)	1.1	1.1	0.7	0.3	0.7
アジア	740 (30.7)	843 (32.5)	1,178 (36.7)	1,453 (39.1)	1,600 (40.3)	1,709 (41.7)	1.7	1.6	1.0	0.7	1.1
中国	351 (14.5)	338 (13.1)	537 (16.7)	653 (17.6)	726 (18.3)	780 (19.0)	1.6	1.5	1.1	0.7	1.1
インド	142 (5.9)	172 (6.6)	242 (7.5)	341 (9.2)	392 (9.9)	434 (10.6)	2.0	2.7	1.4	1.0	1.8
日本	78 (3.2)	107 (4.1)	101 (3.1)	95 (2.6)	90 (2.3)	85 (2.1)	1.0	-0.4	-0.6	-0.6	-0.5
韓国	24 (1.0)	37 (1.4)	47 (1.5)	50 (1.3)	49 (1.2)	46 (1.1)	2.4	0.5	-0.3	-0.5	0.0
台湾	7 (0.3)	10 (0.4)	12 (0.4)	14 (0.4)	14 (0.4)	15 (0.4)	2.3	1.0	0.5	0.1	0.6
ASEAN	87 (3.6)	112 (4.3)	144 (4.5)	186 (5.0)	209 (5.3)	228 (5.6)	1.9	2.0	1.2	0.8	1.4
インドネシア	44 (1.8)	59 (2.3)	73 (2.3)	88 (2.4)	95 (2.4)	98 (2.4)	1.9	1.4	0.8	0.3	0.9
マレーシア	2 (0.1)	4 (0.2)	9 (0.3)	12 (0.3)	14 (0.4)	16 (0.4)	5.6	2.1	1.5	1.1	1.6
ミャンマー	8 (0.4)	9 (0.4)	14 (0.4)	17 (0.5)	18 (0.5)	19 (0.5)	1.8	1.7	0.6	0.3	0.9
フィリピン	10 (0.4)	10 (0.4)	12 (0.4)	18 (0.5)	21 (0.5)	24 (0.6)	0.7	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	1.0	0.1	-0.2	0.4
タイ	11 (0.4)	14 (0.5)	18 (0.5)	22 (0.6)	24 (0.6)	25 (0.6)	1.8	1.7	0.7	0.7	1.1
ベトナム	10 (0.4)	14 (0.5)	15 (0.5)	26 (0.7)	34 (0.8)	42 (1.0)	1.6	4.2	2.5	2.3	3.1
北米	460 (19.0)	537 (20.7)	556 (17.3)	579 (15.6)	575 (14.5)	561 (13.7)	0.7	0.3	-0.1	-0.3	0.0
米国	403 (16.7)	473 (18.2)	488 (15.2)	508 (13.7)	507 (12.8)	495 (12.1)	0.7	0.3	0.0	-0.2	0.0
中南米	100 (4.2)	119 (4.6)	162 (5.0)	194 (5.2)	221 (5.6)	245 (6.0)	1.8	1.4	1.3	1.0	1.3
欧州先進国	442 (18.3)	477 (18.4)	501 (15.6)	491 (13.2)	466 (11.8)	441 (10.8)	0.5	-0.1	-0.5	-0.6	-0.4
欧州連合	430 (17.8)	454 (17.5)	461 (14.4)	452 (12.2)	428 (10.8)	403 (9.8)	0.3	-0.1	-0.5	-0.6	-0.4
他欧州/ユーラシア	431 (17.9)	285 (11.0)	284 (8.9)	292 (7.9)	289 (7.3)	290 (7.1)	-1.5	0.2	-0.1	0.0	0.1
アフリカ	185 (7.7)	238 (9.2)	368 (11.5)	491 (13.2)	565 (14.2)	566 (13.8)	2.6	2.2	1.4	0.0	1.3
中東	40 (1.7)	75 (2.9)	137 (4.3)	187 (5.0)	223 (5.6)	259 (6.3)	4.7	2.4	1.8	1.5	2.0
オセアニア	15 (0.6)	19 (0.7)	25 (0.8)	27 (0.7)	29 (0.7)	29 (0.7)	1.9	0.8	0.5	0.3	0.5
先進国	1,028 (42.6)	1,193 (46.0)	1,248 (38.9)	1,264 (34.0)	1,230 (31.0)	1,184 (28.9)	0.7	0.1	-0.3	-0.4	-0.2
新興・途上国	1,385 (57.4)	1,399 (54.0)	1,961 (61.1)	2,449 (66.0)	2,739 (69.0)	2,918 (71.1)	1.3	1.7	1.1	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	2017	2030	2040	2050	年平均変化率(%)				
							1990/ 2017	2017/ 2030	2030/ 2040	2040/ 2050	2017/ 2050
世界	9,703 (100)	12,698 (100)	21,368 (100)	28,893 (100)	34,343 (100)	39,138 (100)	3.0	2.3	1.7	1.3	1.9
アジア	1,826 (18.8)	3,257 (25.6)	9,588 (44.9)	14,364 (49.7)	17,325 (50.4)	19,640 (50.2)	6.3	3.2	1.9	1.3	2.2
中国	454 (4.7)	1,036 (8.2)	5,536 (25.9)	7,880 (27.3)	9,049 (26.3)	9,658 (24.7)	9.7	2.8	1.4	0.7	1.7
インド	215 (2.2)	376 (3.0)	1,164 (5.4)	2,518 (8.7)	3,497 (10.2)	4,411 (11.3)	6.5	6.1	3.3	2.3	4.1
日本	765 (7.9)	973 (7.7)	964 (4.5)	975 (3.4)	981 (2.9)	976 (2.5)	0.9	0.1	0.1	-0.1	0.0
韓国	94 (1.0)	263 (2.1)	523 (2.4)	625 (2.2)	661 (1.9)	663 (1.7)	6.5	1.4	0.6	0.0	0.7
台湾	77 (0.8)	160 (1.3)	241 (1.1)	283 (1.0)	303 (0.9)	312 (0.8)	4.3	1.2	0.7	0.3	0.8
ASEAN	130 (1.3)	320 (2.5)	875 (4.1)	1,643 (5.7)	2,233 (6.5)	2,840 (7.3)	7.3	5.0	3.1	2.4	3.6
インドネシア	28 (0.3)	79 (0.6)	223 (1.0)	435 (1.5)	654 (1.9)	873 (2.2)	8.0	5.3	4.2	2.9	4.2
マレーシア	20 (0.2)	61 (0.5)	147 (0.7)	213 (0.7)	263 (0.8)	311 (0.8)	7.7	2.9	2.1	1.7	2.3
ミャンマー	2 (0.0)	3 (0.0)	17 (0.1)	43 (0.2)	72 (0.2)	108 (0.3)	8.8	7.4	5.2	4.2	5.8
フィリピン	21 (0.2)	37 (0.3)	78 (0.4)	137 (0.5)	190 (0.6)	246 (0.6)	4.9	4.5	3.3	2.6	3.5
シンガポール	13 (0.1)	27 (0.2)	50 (0.2)	62 (0.2)	66 (0.2)	65 (0.2)	5.1	1.7	0.5	0.0	0.8
タイ	38 (0.4)	88 (0.7)	185 (0.9)	286 (1.0)	357 (1.0)	421 (1.1)	6.0	3.4	2.2	1.7	2.5
ベトナム	6 (0.1)	22 (0.2)	173 (0.8)	463 (1.6)	628 (1.8)	810 (2.1)	13.1	7.9	3.1	2.6	4.8
北米	3,051 (31.4)	3,980 (31.3)	4,246 (19.9)	4,896 (16.9)	5,339 (15.5)	5,663 (14.5)	1.2	1.1	0.9	0.6	0.9
米国	2,633 (27.1)	3,499 (27.6)	3,737 (17.5)	4,315 (14.9)	4,707 (13.7)	4,988 (12.7)	1.3	1.1	0.9	0.6	0.9
中南米	517 (5.3)	798 (6.3)	1,311 (6.1)	1,849 (6.4)	2,403 (7.0)	2,897 (7.4)	3.5	2.7	2.7	1.9	2.4
欧州先進国	2,247 (23.2)	2,716 (21.4)	3,136 (14.7)	3,444 (11.9)	3,592 (10.5)	3,667 (9.4)	1.2	0.7	0.4	0.2	0.5
欧州連合	2,160 (22.3)	2,526 (19.9)	2,798 (13.1)	3,067 (10.6)	3,200 (9.3)	3,270 (8.4)	1.0	0.7	0.4	0.2	0.5
他欧州/ユーラシア	1,449 (14.9)	1,001 (7.9)	1,247 (5.8)	1,502 (5.2)	1,751 (5.1)	1,980 (5.1)	-0.6	1.4	1.5	1.2	1.4
アフリカ	256 (2.6)	361 (2.8)	652 (3.1)	1,118 (3.9)	1,778 (5.2)	2,686 (6.9)	3.5	4.2	4.7	4.2	4.4
中東	199 (2.0)	379 (3.0)	939 (4.4)	1,415 (4.9)	1,820 (5.3)	2,246 (5.7)	5.9	3.2	2.5	2.1	2.7
オセアニア	158 (1.6)	207 (1.6)	250 (1.2)	305 (1.1)	335 (1.0)	358 (0.9)	1.7	1.6	1.0	0.6	1.1
先進国	6,428 (66.3)	8,362 (65.9)	9,453 (44.2)	10,638 (36.8)	11,327 (33.0)	11,753 (30.0)	1.4	0.9	0.6	0.4	0.7
新興・途上国	3,274 (33.7)	4,336 (34.1)	11,915 (55.8)	18,255 (63.2)	23,016 (67.0)	27,385 (70.0)	4.9	3.3	2.3	1.8	2.6

(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16 | 発電電力量[レファレンスシナリオ]

(TWh)

	1990	2000	2017	2030	2040	2050	年平均変化率(%)				
							1990/ 2017	2017/ 2030	2030/ 2040	2040/ 2050	2017/ 2050
世界	11,850 (100)	15,436 (100)	25,606 (100)	34,412 (100)	40,404 (100)	45,363 (100)	2.9	2.3	1.6	1.2	1.7
アジア	2,241 (18.9)	3,980 (25.8)	11,340 (44.3)	16,958 (49.3)	20,212 (50.0)	22,578 (49.8)	6.2	3.1	1.8	1.1	2.1
中国	621 (5.2)	1,356 (8.8)	6,602 (25.8)	9,315 (27.1)	10,574 (26.2)	11,141 (24.6)	9.1	2.7	1.3	0.5	1.6
インド	293 (2.5)	570 (3.7)	1,532 (6.0)	3,223 (9.4)	4,313 (10.7)	5,240 (11.6)	6.3	5.9	3.0	2.0	3.8
日本	862 (7.3)	1,055 (6.8)	1,061 (4.1)	1,072 (3.1)	1,077 (2.7)	1,069 (2.4)	0.8	0.1	0.0	-0.1	0.0
韓国	105 (0.9)	289 (1.9)	563 (2.2)	675 (2.0)	713 (1.8)	713 (1.6)	6.4	1.4	0.6	0.0	0.7
台湾	88 (0.7)	181 (1.2)	265 (1.0)	310 (0.9)	332 (0.8)	341 (0.8)	4.2	1.2	0.7	0.3	0.8
ASEAN	154 (1.3)	370 (2.4)	978 (3.8)	1,826 (5.3)	2,478 (6.1)	3,143 (6.9)	7.1	4.9	3.1	2.4	3.6
インドネシア	33 (0.3)	93 (0.6)	255 (1.0)	495 (1.4)	740 (1.8)	984 (2.2)	7.9	5.2	4.1	2.9	4.2
マレーシア	23 (0.2)	69 (0.4)	165 (0.6)	239 (0.7)	294 (0.7)	348 (0.8)	7.6	2.9	2.1	1.7	2.3
ミャンマー	2 (0.0)	5 (0.0)	22 (0.1)	73 (0.2)	115 (0.3)	165 (0.4)	8.5	9.5	4.7	3.7	6.2
フィリピン	26 (0.2)	45 (0.3)	94 (0.4)	165 (0.5)	224 (0.6)	286 (0.6)	4.8	4.4	3.1	2.4	3.4
シンガポール	16 (0.1)	32 (0.2)	52 (0.2)	65 (0.2)	69 (0.2)	69 (0.2)	4.6	1.7	0.5	0.0	0.8
タイ	44 (0.4)	96 (0.6)	187 (0.7)	271 (0.8)	335 (0.8)	392 (0.9)	5.5	2.9	2.2	1.6	2.3
ベトナム	9 (0.1)	27 (0.2)	199 (0.8)	514 (1.5)	695 (1.7)	894 (2.0)	12.3	7.6	3.1	2.6	4.7
北米	3,685 (31.1)	4,631 (30.0)	4,922 (19.2)	5,645 (16.4)	6,107 (15.1)	6,418 (14.1)	1.1	1.1	0.8	0.5	0.8
米国	3,203 (27.0)	4,026 (26.1)	4,264 (16.7)	4,907 (14.3)	5,321 (13.2)	5,598 (12.3)	1.1	1.1	0.8	0.5	0.8
中南米	623 (5.3)	1,009 (6.5)	1,615 (6.3)	2,249 (6.5)	2,872 (7.1)	3,392 (7.5)	3.6	2.6	2.5	1.7	2.3
欧州先進国	2,697 (22.8)	3,238 (21.0)	3,666 (14.3)	4,001 (11.6)	4,140 (10.2)	4,189 (9.2)	1.1	0.7	0.3	0.1	0.4
欧州連合	2,577 (21.7)	3,006 (19.5)	3,269 (12.8)	3,563 (10.4)	3,683 (9.1)	3,721 (8.2)	0.9	0.7	0.3	0.1	0.4
他欧州/ユーラシア	1,857 (15.7)	1,415 (9.2)	1,750 (6.8)	2,038 (5.9)	2,280 (5.6)	2,470 (5.4)	-0.2	1.2	1.1	0.8	1.0
アフリカ	315 (2.7)	441 (2.9)	817 (3.2)	1,376 (4.0)	2,145 (5.3)	3,170 (7.0)	3.6	4.1	4.5	4.0	4.2
中東	244 (2.1)	472 (3.1)	1,194 (4.7)	1,778 (5.2)	2,252 (5.6)	2,731 (6.0)	6.0	3.1	2.4	1.9	2.5
オセアニア	187 (1.6)	249 (1.6)	302 (1.2)	366 (1.1)	396 (1.0)	416 (0.9)	1.8	1.5	0.8	0.5	1.0
先進国	7,668 (64.7)	9,706 (62.9)	10,868 (42.4)	12,177 (35.4)	12,878 (31.9)	13,258 (29.2)	1.3	0.9	0.6	0.3	0.6
新興・途上国	4,182 (35.3)	5,730 (37.1)	14,738 (57.6)	22,235 (64.6)	27,526 (68.1)	32,105 (70.8)	4.8	3.2	2.2	1.6	2.4

(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	2017	2030	2040	2050	年平均変化率(%)				
							1990/ 2017	2017/ 2030	2030/ 2040	2040/ 2050	2017/ 2050
世界	1.66	1.64	1.86	1.94	1.96	1.93	0.4	0.3	0.1	-0.2	0.1
アジア	0.72	0.85	1.39	1.66	1.77	1.83	2.5	1.4	0.6	0.4	0.8
中国	0.77	0.89	2.21	2.56	2.65	2.63	4.0	1.1	0.4	-0.1	0.5
インド	0.35	0.42	0.66	1.04	1.27	1.46	2.4	3.6	2.0	1.5	2.5
日本	3.55	4.09	3.41	3.40	3.36	3.29	-0.2	0.0	-0.1	-0.2	-0.1
韓国	2.17	4.00	5.48	5.94	5.92	5.81	3.5	0.6	0.0	-0.2	0.2
台湾	2.34	3.81	4.67	4.72	4.65	4.57	2.6	0.1	-0.2	-0.2	-0.1
ASEAN	0.54	0.75	1.07	1.47	1.69	1.90	2.6	2.5	1.4	1.2	1.8
インドネシア	0.54	0.74	0.92	1.25	1.46	1.63	2.0	2.4	1.5	1.1	1.7
マレーシア	1.18	2.08	2.68	3.27	3.44	3.49	3.1	1.5	0.5	0.1	0.8
ミャンマー	0.26	0.28	0.43	0.63	0.78	0.94	1.8	3.0	2.2	1.8	2.4
フィリピン	0.46	0.51	0.55	0.77	0.88	1.01	0.7	2.5	1.4	1.4	1.8
シンガポール	3.78	4.63	6.53	6.86	7.14	7.38	2.0	0.4	0.4	0.3	0.4
タイ	0.74	1.15	2.00	2.47	2.87	3.32	3.7	1.6	1.5	1.5	1.5
ベトナム	0.26	0.36	0.82	1.72	2.17	2.65	4.3	5.9	2.4	2.0	3.6
北米	7.66	8.08	6.75	6.33	5.93	5.52	-0.5	-0.5	-0.7	-0.7	-0.6
米国	7.67	8.06	6.63	6.23	5.83	5.43	-0.5	-0.5	-0.7	-0.7	-0.6
中南米	1.05	1.15	1.30	1.47	1.62	1.71	0.8	1.0	1.0	0.5	0.8
欧州先進国	3.25	3.34	3.06	2.84	2.67	2.54	-0.2	-0.6	-0.6	-0.5	-0.6
欧州連合	3.44	3.47	3.16	2.93	2.76	2.62	-0.3	-0.6	-0.6	-0.5	-0.6
他欧州/ユーラシア	4.48	2.96	3.29	3.41	3.57	3.72	-1.1	0.3	0.5	0.4	0.4
アフリカ	0.61	0.60	0.65	0.65	0.65	0.61	0.2	0.0	0.1	-0.6	-0.2
中東	1.68	2.21	3.15	3.42	3.57	3.61	2.3	0.6	0.4	0.1	0.4
オセアニア	4.85	5.44	5.03	4.65	4.30	3.89	0.1	-0.6	-0.8	-1.0	-0.8
先進国	4.47	4.89	4.43	4.24	4.05	3.85	0.0	-0.3	-0.5	-0.5	-0.4
新興・途上国	0.96	0.90	1.31	1.49	1.55	1.56	1.2	1.0	0.4	0.1	0.5

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

見通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	2017	2030	2040	2050	年平均変化率(%)				
							1990/ 2017	2017/ 2030	2030/ 2040	2040/ 2050	2017/ 2050
世界	230	200	175	144	118	98	-1.0	-1.5	-1.9	-1.8	-1.7
アジア	277	260	231	173	133	106	-0.7	-2.2	-2.6	-2.3	-2.3
中国	1,053	505	301	179	123	91	-4.5	-3.9	-3.7	-3.0	-3.6
インド	605	507	333	250	192	147	-2.2	-2.2	-2.6	-2.6	-2.4
日本	93	97	70	60	52	45	-1.0	-1.1	-1.5	-1.5	-1.4
韓国	256	265	210	162	129	103	-0.7	-2.0	-2.3	-2.2	-2.1
台湾	308	286	208	160	129	105	-1.4	-2.0	-2.1	-2.0	-2.1
ASEAN	314	321	243	205	167	138	-0.9	-1.3	-2.0	-1.9	-1.7
インドネシア	318	343	224	178	141	113	-1.3	-1.7	-2.3	-2.2	-2.1
マレーシア	259	297	233	186	148	116	-0.4	-1.7	-2.3	-2.4	-2.1
ミャンマー	1,594	960	343	260	202	159	-5.5	-2.1	-2.5	-2.3	-2.3
フィリピン	304	319	192	152	129	111	-1.7	-1.8	-1.6	-1.5	-1.6
シンガポール	171	139	118	100	91	85	-1.3	-1.3	-0.9	-0.7	-1.0
タイ	296	332	327	258	212	179	0.4	-1.8	-1.9	-1.7	-1.8
ベトナム	607	470	446	472	371	292	-1.1	0.4	-2.4	-2.4	-1.3
北米	211	180	127	99	78	63	-1.9	-1.9	-2.3	-2.2	-2.1
米国	211	179	124	96	76	61	-1.9	-2.0	-2.3	-2.2	-2.1
中南米	164	157	143	126	106	90	-0.5	-1.0	-1.7	-1.7	-1.4
欧州先進国	129	110	85	66	55	46	-1.6	-1.9	-1.8	-1.7	-1.8
欧州連合	138	115	86	66	55	46	-1.7	-2.0	-1.9	-1.7	-1.9
他欧州/ユーラシア	705	674	407	311	255	211	-2.0	-2.1	-1.9	-1.9	-2.0
アフリカ	432	420	340	269	207	158	-0.9	-1.8	-2.6	-2.7	-2.3
中東	216	243	279	271	237	201	0.9	-0.2	-1.3	-1.6	-1.0
オセアニア	137	126	92	71	59	49	-1.5	-2.0	-1.9	-1.9	-1.9
先進国	155	139	104	82	68	56	-1.5	-1.8	-2.0	-1.9	-1.9
新興・途上国	448	363	281	207	158	125	-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

見通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	2017	2030	2040	2050	年平均変化率(%)				
							1990/ 2017	2017/ 2030	2030/ 2040	2040/ 2050	2017/ 2050
世界	20,302 (100)	23,029 (100)	32,711 (100)	37,571 (100)	40,095 (100)	40,858 (100)	1.8	1.1	0.7	0.2	0.7
アジア	4,631 (22.8)	6,714 (29.2)	15,157 (46.3)	19,038 (50.7)	20,612 (51.4)	20,987 (51.4)	4.5	1.8	0.8	0.2	1.0
中国	2,146 (10.6)	3,140 (13.6)	9,230 (28.2)	10,323 (27.5)	10,021 (25.0)	8,942 (21.9)	5.6	0.9	-0.3	-1.1	-0.1
インド	529 (2.6)	885 (3.8)	2,163 (6.6)	4,077 (10.9)	5,411 (13.5)	6,504 (15.9)	5.4	5.0	2.9	1.9	3.4
日本	1,046 (5.2)	1,145 (5.0)	1,122 (3.4)	953 (2.5)	861 (2.1)	742 (1.8)	0.3	-1.3	-1.0	-1.5	-1.2
韓国	208 (1.0)	402 (1.7)	594 (1.8)	640 (1.7)	618 (1.5)	561 (1.4)	4.0	0.6	-0.4	-1.0	-0.2
台湾	109 (0.5)	212 (0.9)	265 (0.8)	275 (0.7)	254 (0.6)	224 (0.5)	3.4	0.3	-0.8	-1.2	-0.5
ASEAN	344 (1.7)	669 (2.9)	1,344 (4.1)	2,171 (5.8)	2,704 (6.7)	3,129 (7.7)	5.2	3.8	2.2	1.5	2.6
インドネシア	133 (0.7)	255 (1.1)	496 (1.5)	779 (2.1)	1,013 (2.5)	1,179 (2.9)	5.0	3.5	2.7	1.5	2.7
マレーシア	51 (0.3)	111 (0.5)	203 (0.6)	254 (0.7)	271 (0.7)	271 (0.7)	5.2	1.8	0.6	0.0	0.9
ミャンマー	4 (0.0)	10 (0.0)	30 (0.1)	73 (0.2)	109 (0.3)	147 (0.4)	7.8	7.0	4.1	3.0	4.9
フィリピン	36 (0.2)	67 (0.3)	126 (0.4)	206 (0.5)	269 (0.7)	334 (0.8)	4.7	3.8	2.7	2.2	3.0
シンガポール	21 (0.1)	33 (0.1)	48 (0.1)	54 (0.1)	56 (0.1)	55 (0.1)	3.1	0.9	0.4	-0.1	0.4
タイ	77 (0.4)	147 (0.6)	244 (0.7)	291 (0.8)	311 (0.8)	309 (0.8)	4.4	1.3	0.7	-0.1	0.7
ベトナム	17 (0.1)	43 (0.2)	189 (0.6)	508 (1.4)	668 (1.7)	828 (2.0)	9.4	7.9	2.8	2.2	4.6
北米	5,174 (25.5)	6,161 (26.8)	5,328 (16.3)	5,163 (13.7)	4,815 (12.0)	4,325 (10.6)	0.1	-0.2	-0.7	-1.1	-0.6
米国	4,763 (23.5)	5,656 (24.6)	4,781 (14.6)	4,622 (12.3)	4,283 (10.7)	3,813 (9.3)	0.0	-0.3	-0.8	-1.2	-0.7
中南米	873 (4.3)	1,194 (5.2)	1,596 (4.9)	1,952 (5.2)	2,290 (5.7)	2,473 (6.1)	2.3	1.6	1.6	0.8	1.3
欧州先進国	3,929 (19.4)	3,911 (17.0)	3,523 (10.8)	3,120 (8.3)	2,853 (7.1)	2,573 (6.3)	-0.4	-0.9	-0.9	-1.0	-0.9
欧州連合	3,980 (19.6)	3,783 (16.4)	3,201 (9.8)	2,761 (7.3)	2,511 (6.3)	2,248 (5.5)	-0.8	-1.1	-0.9	-1.1	-1.1
他欧州/ユーラシア	3,678 (18.1)	2,225 (9.7)	2,349 (7.2)	2,318 (6.2)	2,396 (6.0)	2,408 (5.9)	-1.6	-0.1	0.3	0.0	0.1
アフリカ	541 (2.7)	667 (2.9)	1,196 (3.7)	1,623 (4.3)	2,169 (5.4)	2,716 (6.6)	3.0	2.4	2.9	2.3	2.5
中東	568 (2.8)	942 (4.1)	1,858 (5.7)	2,329 (6.2)	2,622 (6.5)	2,785 (6.8)	4.5	1.8	1.2	0.6	1.2
オセアニア	282 (1.4)	363 (1.6)	422 (1.3)	409 (1.1)	389 (1.0)	357 (0.9)	1.5	-0.3	-0.5	-0.9	-0.5
先進国	10,801 (53.2)	12,266 (53.3)	11,347 (34.7)	10,660 (28.4)	9,890 (24.7)	8,879 (21.7)	0.2	-0.5	-0.7	-1.1	-0.7
新興・途上国	8,873 (43.7)	9,912 (43.0)	20,081 (61.4)	25,293 (67.3)	28,256 (70.5)	29,744 (72.8)	3.1	1.8	1.1	0.5	1.2

(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

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	2017	2030	2040	2050	1990	2017	2050	1990/2017	2017/2030	2030/2050	2017/2050
合計 ¹⁾	7,203	8,766	10,025	13,972	16,564	17,983	18,757	100	100	100	1.7	1.3	0.6	0.9
石炭	1,783	2,220	2,317	3,790	4,215	4,263	4,035	25	27	22	2.0	0.8	-0.2	0.2
石油	3,105	3,233	3,663	4,449	5,035	5,429	5,707	37	32	30	1.2	1.0	0.6	0.8
天然ガス	1,232	1,664	2,072	3,107	4,026	4,685	5,165	19	22	28	2.3	2.0	1.3	1.6
原子力	186	526	675	687	794	817	858	6.0	4.9	4.6	1.0	1.1	0.4	0.7
水力	148	184	225	351	413	449	484	2.1	2.5	2.6	2.4	1.3	0.8	1.0
地熱	12	34	52	86	182	240	289	0.4	0.6	1.5	3.5	6.0	2.3	3.7
太陽光・風力等	0.1	2.5	7.9	171	386	562	782	0.0	1.2	4.2	17.0	6.5	3.6	4.7
バイオマス・廃棄物	737	902	1,012	1,329	1,510	1,536	1,435	10	9.5	7.7	1.4	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	2017	2030	2040	2050	1990	2017	2050	1990/2017	2017/2030	2030/2050	2017/2050
合計	5,369	6,264	7,030	9,717	11,420	12,392	13,035	100	100	100	1.6	1.2	0.7	0.9
産業	1,766	1,804	1,873	2,821	3,356	3,607	3,689	29	29	28	1.7	1.3	0.5	0.8
運輸	1,246	1,571	1,958	2,808	3,228	3,553	3,866	25	29	30	2.2	1.1	0.9	1.0
民生・農業他	2,000	2,414	2,592	3,209	3,713	3,969	4,101	39	33	31	1.1	1.1	0.5	0.7
非エネルギー消費	358	476	607	879	1,122	1,264	1,379	7.6	9.0	11	2.3	1.9	1.0	1.4
石炭	703	753	542	1,020	1,017	990	931	12	10	7.1	1.1	0.0	-0.4	-0.3
石油	2,449	2,604	3,122	3,985	4,573	4,961	5,279	42	41	41	1.6	1.1	0.7	0.9
天然ガス	815	944	1,116	1,502	1,871	2,051	2,183	15	15	17	1.7	1.7	0.8	1.1
電力	586	834	1,092	1,838	2,485	2,954	3,366	13	19	26	3.0	2.3	1.5	1.9
熱	121	336	248	289	299	294	284	5.4	3.0	2.2	-0.6	0.2	-0.2	-0.1
水素	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	-	-	0.0	n.a.	n.a.	-7.0	n.a.
再生可能	696	794	910	1,083	1,176	1,143	992	13	11	7.6	1.2	0.6	-0.8	-0.3

発電量

	(TWh)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2017	2030	2040	2050	1990	2017	2050	1990/2017	2017/2030	2030/2050	2017/2050
合計	8,283	11,850	15,436	25,606	34,412	40,404	45,363	100	100	100	2.9	2.3	1.4	1.7
石炭	3,137	4,430	5,994	9,863	12,190	12,954	12,762	37	39	28	3.0	1.6	0.2	0.8
石油	1,659	1,325	1,207	842	833	787	593	11	3.3	1.3	-1.7	-0.1	-1.7	-1.1
天然ガス	999	1,750	2,760	5,883	8,585	11,250	13,553	15	23	30	4.6	3.0	2.3	2.6
原子力	713	2,013	2,591	2,636	3,049	3,136	3,295	17	10	7.3	1.0	1.1	0.4	0.7
水力	1,717	2,141	2,613	4,082	4,806	5,225	5,624	18	16	12	2.4	1.3	0.8	1.0
地熱	14	36	52	85	191	263	319	0.3	0.3	0.7	3.2	6.4	2.6	4.1
太陽光	-	0.1	1.0	444	1,290	2,228	3,731	0.0	1.7	8.2	37.0	8.6	5.5	6.7
風力	0.0	3.9	31	1,127	2,358	3,114	3,688	0.0	4.4	8.1	23.4	5.8	2.3	3.7
太陽熱・海洋	0.5	1.2	1.1	12	119	214	351	0.0	0.0	0.8	8.9	19.4	5.6	10.8
バイオマス・廃棄物	44	130	164	596	955	1,196	1,413	1.1	2.3	3.1	5.8	3.7	2.0	2.7
水素	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
その他	-	20	22	36	36	36	36	0.2	0.1	0.1	2.2	0.0	0.0	0.0

エネルギー・経済指標他

	1980	1990	2000	2017	2030	2040	2050	1990/2017	2017/2030	2030/2050	2017/2050
GDP (2010年価格10億ドル)	28,173	38,050	50,096	79,936	115,397	151,856	190,750	2.8	2.9	2.5	2.7
人口(100万人)	4,437	5,281	6,112	7,519	8,522	9,176	9,716	1.3	1.0	0.7	0.8
エネルギー起源CO ₂ 排出(100万t)	17,777	20,302	23,029	32,711	37,571	40,095	40,858	1.8	1.1	0.4	0.7
一人あたりGDP (2010年価格1,000ドル/人)	6.4	7.2	8.2	11	14	17	20	1.5	1.9	1.9	1.9
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	2.0	1.9	0.4	0.3	0.0	0.1
GDPあたり一次エネルギー消費 ²⁾	256	230	200	175	144	118	98	-1.0	-1.5	-1.9	-1.7
GDPあたりCO ₂ 排出量 ³⁾	631	534	460	409	326	264	214	-1.0	-1.7	-2.1	-1.9
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	-0.2	-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	2017	2030	2040	2050	1990	2017	2050	1990/2017	2017/2030	2030/2050	2017/2050
合計 ¹	1,439	2,110	2,887	5,669	7,386	8,171	8,585	100	100	100	3.7	2.1	0.8	1.3
石炭	466	788	1,037	2,761	3,279	3,376	3,222	37	49	38	4.8	1.3	-0.1	0.5
石油	477	618	916	1,410	1,836	2,098	2,321	29	25	27	3.1	2.1	1.2	1.5
天然ガス	51	116	233	595	1,016	1,278	1,471	5.5	10	17	6.2	4.2	1.9	2.8
原子力	25	77	132	130	256	299	345	3.6	2.3	4.0	2.0	5.3	1.5	3.0
水力	20	32	41	141	176	196	211	1.5	2.5	2.5	5.7	1.7	0.9	1.2
地熱	2.6	8.2	23	44	94	120	145	0.4	0.8	1.7	6.4	6.1	2.2	3.7
太陽光・風力等	-	1.2	2.1	75	193	287	390	0.1	1.3	4.5	16.4	7.5	3.6	5.1
バイオマス・廃棄物	397	471	503	513	533	516	479	22	9.0	5.6	0.3	0.3	-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	2017	2030	2040	2050	1990	2017	2050	1990/2017	2017/2030	2030/2050	2017/2050
合計	1,133	1,554	1,992	3,793	4,828	5,369	5,751	100	100	100	3.4	1.9	0.9	1.3
産業	383	516	653	1,544	1,885	2,005	2,026	33	41	35	4.1	1.5	0.4	0.8
運輸	124	183	318	692	965	1,160	1,351	12	18	23	5.0	2.6	1.7	2.0
民生・農業他	568	740	843	1,178	1,453	1,600	1,709	48	31	30	1.7	1.6	0.8	1.1
非エネルギー消費	58	115	179	380	524	604	665	7.4	10	12	4.5	2.5	1.2	1.7
石炭	301	424	373	859	859	836	785	27	23	14	2.7	0.0	-0.4	-0.3
石油	330	458	734	1,261	1,672	1,928	2,152	29	33	37	3.8	2.2	1.3	1.6
天然ガス	21	46	87	295	514	610	679	2.9	7.8	12	7.2	4.4	1.4	2.6
電力	88	157	280	825	1,235	1,490	1,689	10	22	29	6.3	3.2	1.6	2.2
熱	7.5	14	30	102	117	121	121	0.9	2.7	2.1	7.6	1.0	0.2	0.5
水素	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	-	-	0.0	n.a.	n.a.	-11.3	n.a.
再生可能	385	455	488	452	431	384	325	29	12	5.7	0.0	-0.4	-1.4	-1.0

発電量

	(TWh)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2017	2030	2040	2050	1990	2017	2050	1990/2017	2017/2030	2030/2050	2017/2050
合計	1,196	2,241	3,980	11,340	16,958	20,212	22,578	100	100	100	6.2	3.1	1.4	2.1
石炭	298	868	1,983	6,788	9,109	9,995	10,096	39	60	45	7.9	2.3	0.5	1.2
石油	476	436	385	213	197	171	132	19	1.9	0.6	-2.6	-0.6	-2.0	-1.4
天然ガス	90	237	570	1,352	2,314	3,156	3,871	11	12	17	6.7	4.2	2.6	3.2
原子力	97	294	505	500	983	1,148	1,323	13	4.4	5.9	2.0	5.3	1.5	3.0
水力	232	368	478	1,638	2,051	2,282	2,455	16	14	11	5.7	1.7	0.9	1.2
地熱	3.0	8.4	20	26	61	78	95	0.4	0.2	0.4	4.2	6.9	2.2	4.0
太陽光	-	0.1	0.6	228	745	1,258	2,059	0.0	2.0	9.1	34.9	9.5	5.2	6.9
風力	-	0.0	2.4	362	1,113	1,619	1,926	0.0	3.2	8.5	41.0	9.0	2.8	5.2
太陽熱・海洋	-	0.0	0.0	0.5	7.5	14	26	0.0	0.0	0.1	17.4	22.6	6.4	12.5
バイオマス・廃棄物	0.0	9.4	16	210	355	469	573	0.4	1.9	2.5	12.2	4.1	2.4	3.1
水素	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
その他	-	20	20	22	22	22	22	0.9	0.2	0.1	0.4	0.0	0.0	0.0

エネルギー・経済指標他

	1980	1990	2000	2017	2030	2040	2050	1990/2017	2017/2030	2030/2050	2017/2050
GDP (2010年価格10億ドル)	4,510	7,628	11,102	24,564	42,742	61,349	81,204	4.4	4.4	3.3	3.7
人口(100万人)	2,440	2,933	3,410	4,072	4,449	4,617	4,681	1.2	0.7	0.3	0.4
エネルギー起源CO ₂ 排出(100万t)	3,103	4,631	6,714	15,157	19,038	20,612	20,987	4.5	1.8	0.5	1.0
一人あたりGDP (2010年価格1,000ドル/人)	1.8	2.6	3.3	6.0	9.6	13	17	3.2	3.6	3.0	3.3
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	1.4	0.5	0.8
GDPあたり一次エネルギー消費 ²	319	277	260	231	173	133	106	-0.7	-2.2	-2.4	-2.3
GDPあたりCO ₂ 排出量 ³	688	607	605	617	445	336	258	0.1	-2.5	-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

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100万吨[Mtoe])							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2017	2030	2040	2050	1990	2017	2050	1990/ 2017	2017/ 2030	2030/ 2050	2017/ 2050
合計 ¹	598	874	1,130	3,063	3,654	3,752	3,594	100	100	100	4.8	1.4	-0.1	0.5
石炭	313	531	665	1,953	2,060	1,923	1,646	61	64	46	4.9	0.4	-1.1	-0.5
石油	89	119	221	568	722	742	693	14	19	19	6.0	1.9	-0.2	0.6
天然ガス	12	13	21	195	391	501	574	1.5	6.4	16	10.6	5.5	1.9	3.3
原子力	-	-	4.4	65	129	159	189	-	2.1	5.3	n.a.	5.4	1.9	3.3
水力	5.0	11	19	99	120	128	131	1.2	3.2	3.7	8.5	1.4	0.5	0.8
地熱	-	-	1.7	10	13	15	16	-	0.3	0.4	n.a.	1.9	0.9	1.3
太陽光・風力等	-	0.0	1.0	60	141	202	251	0.0	1.9	7.0	32.0	6.9	2.9	4.4
バイオマス・廃棄物	180	200	198	114	79	84	95	23	3.7	2.6	-2.1	-2.8	0.9	-0.6

最終エネルギー消費

	(Mtoe)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2017	2030	2040	2050	1990	2017	2050	1990/ 2017	2017/ 2030	2030/ 2050	2017/ 2050
合計	487	658	781	1,995	2,304	2,375	2,328	100	100	100	4.2	1.1	0.1	0.5
産業	181	234	302	986	987	934	855	36	49	37	5.5	0.0	-0.7	-0.4
運輸	22	30	84	310	438	463	432	4.6	16	19	9.0	2.7	-0.1	1.0
民生・農業他	274	351	338	537	653	726	780	53	27	33	1.6	1.5	0.9	1.1
非エネルギー消費	10	43	57	162	226	252	261	6.5	8.1	11	5.1	2.6	0.7	1.5
石炭	214	311	274	663	560	483	403	47	33	17	2.8	-1.3	-1.6	-1.5
石油	59	85	180	514	664	683	639	13	26	27	6.9	2.0	-0.2	0.7
天然ガス	6.4	8.9	12	132	220	249	268	1.3	6.6	12	10.5	4.0	1.0	2.2
電力	21	39	89	476	678	778	831	5.9	24	36	9.7	2.8	1.0	1.7
熱	7.4	13	26	96	109	114	113	2.0	4.8	4.9	7.6	1.0	0.2	0.5
水素	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
再生可能	180	200	199	114	74	67	74	30	5.7	3.2	-2.1	-3.3	0.0	-1.3

発電量

	(TWh)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2017	2030	2040	2050	1990	2017	2050	1990/ 2017	2017/ 2030	2030/ 2050	2017/ 2050
合計	301	621	1,356	6,602	9,315	10,574	11,141	100	100	100	9.1	2.7	0.9	1.6
石炭	159	441	1,060	4,485	5,414	5,447	5,063	71	68	45	9.0	1.5	-0.3	0.4
石油	82	50	47	9.9	9.6	7.6	5.0	8.1	0.1	0.0	-5.9	-0.3	-3.2	-2.1
天然ガス	0.7	2.8	5.8	183	569	873	1,119	0.4	2.8	10	16.8	9.1	3.4	5.6
原子力	-	-	17	248	493	611	725	-	3.8	6.5	n.a.	5.4	1.9	3.3
水力	58	127	222	1,157	1,390	1,487	1,528	20	18	14	8.5	1.4	0.5	0.8
地熱	-	0.1	0.1	0.1	0.3	0.4	0.5	0.0	0.0	0.0	3.0	7.8	2.2	4.3
太陽光	-	0.0	0.0	131	392	628	952	0.0	2.0	8.5	50.8	8.8	4.5	6.2
風力	-	0.0	0.6	295	907	1,321	1,497	0.0	4.5	13	55.4	9.0	2.5	5.0
太陽熱・海洋	-	0.0	0.0	0.0	1.0	3.7	8.0	0.0	0.0	0.1	6.6	28.7	10.7	17.5
バイオマス・廃棄物	-	-	2.4	93	139	195	244	-	1.4	2.2	n.a.	3.2	2.8	3.0
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	2017	2030	2040	2050	1990/ 2017	2017/ 2030	2030/ 2050	2017/ 2050
GDP (2010年価格10億ドル)	341	830	2,237	10,161	20,439	30,536	39,687	9.7	5.5	3.4	4.2
人口(100万人)	981	1,135	1,263	1,386	1,429	1,414	1,368	0.7	0.2	-0.2	0.0
エネルギー起源CO ₂ 排出(100万t)	1,399	2,146	3,140	9,230	10,323	10,021	8,942	5.6	0.9	-0.7	-0.1
一人あたりGDP (2010年価格1,000ドル/人)	0.3	0.7	1.8	7.3	14	22	29	8.9	5.3	3.6	4.3
一人あたり一次エネルギー消費(toe/人)	0.6	0.8	0.9	2.2	2.6	2.7	2.6	4.0	1.1	0.1	0.5
GDPあたり一次エネルギー消費 ²	1,752	1,053	505	301	179	123	91	-4.5	-3.9	-3.3	-3.6
GDPあたりCO ₂ 排出量 ³	4,097	2,587	1,404	908	505	328	225	-3.8	-4.4	-4.0	-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	3.0	2.8	2.7	2.5	0.8	-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	2017	2030	2040	2050	1990	2017	2050	1990/ 2017	2017/ 2030	2030/ 2050	2017/ 2050
合計 ¹⁾	200	306	441	882	1,566	2,016	2,402	100	100	100	4.0	4.5	2.2	3.1
石炭	44	93	146	391	706	886	990	30	44	41	5.5	4.7	1.7	2.9
石油	33	61	112	223	408	586	792	20	25	33	4.9	4.7	3.4	3.9
天然ガス	1.3	11	23	51	144	213	270	3.5	5.8	11	6.0	8.3	3.2	5.2
原子力	0.8	1.6	4.4	10.0	43	54	68	0.5	1.1	2.8	7.0	11.9	2.3	6.0
水力	4.0	6.2	6.4	12	21	27	33	2.0	1.4	1.4	2.6	4.3	2.2	3.0
地熱	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
太陽光・風力等	-	0.0	0.2	7.5	33	53	81	0.0	0.8	3.4	27.6	12.1	4.5	7.5
バイオマス・廃棄物	116	133	149	187	212	197	168	44	21	7.0	1.3	1.0	-1.1	-0.3

最終エネルギー消費

	(Mtoe)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2017	2030	2040	2050	1990	2017	2050	1990/ 2017	2017/ 2030	2030/ 2050	2017/ 2050
合計	174	243	314	591	1,035	1,343	1,631	100	100	100	3.3	4.4	2.3	3.1
産業	41	67	83	205	416	519	565	27	35	35	4.2	5.6	1.5	3.1
運輸	17	21	32	98	192	317	486	8.5	17	30	5.9	5.3	4.7	5.0
民生・農業他	110	142	172	242	341	392	434	59	41	27	2.0	2.7	1.2	1.8
非エネルギー消費	5.7	13	27	46	86	116	146	5.5	7.8	9.0	4.7	5.0	2.7	3.6
石炭	25	38	33	101	184	225	248	16	17	15	3.7	4.7	1.5	2.8
石油	27	50	94	196	372	543	742	21	33	45	5.2	5.1	3.5	4.1
天然ガス	0.7	5.6	9.7	36	97	135	163	2.3	6.1	10	7.1	7.9	2.6	4.7
電力	7.8	18	32	100	217	301	379	7.6	17	23	6.5	6.1	2.8	4.1
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	158	166	139	99	54	27	6.1	0.7	0.4	-2.6	-1.4

発電量

	(TWh)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2017	2030	2040	2050	1990	2017	2050	1990/ 2017	2017/ 2030	2030/ 2050	2017/ 2050
合計	120	293	570	1,532	3,223	4,313	5,240	100	100	100	6.3	5.9	2.5	3.8
石炭	61	192	390	1,134	2,116	2,684	2,991	65	74	57	6.8	4.9	1.7	3.0
石油	8.8	13	29	25	23	20	12	4.5	1.6	0.2	2.4	-0.6	-3.4	-2.3
天然ガス	0.6	10.0	56	71	234	404	578	3.4	4.6	11	7.5	9.6	4.6	6.6
原子力	3.0	6.1	17	38	165	206	262	2.1	2.5	5.0	7.0	11.9	2.3	6.0
水力	47	72	74	142	244	313	381	24	9.3	7.3	2.6	4.3	2.2	3.0
地熱	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
太陽光	-	-	0.0	26	200	359	591	-	1.7	11	n.a.	17.0	5.6	9.9
風力	-	0.0	1.7	51	150	206	270	0.0	3.3	5.2	31.4	8.7	3.0	5.2
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	-	3.0	2.8	n.a.	5.1	2.6	3.6
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	2017	2030	2040	2050	1990/ 2017	2017/ 2030	2030/ 2050	2017/ 2050
GDP (2010年価格10億ドル)	295	506	870	2,651	6,273	10,518	16,320	6.3	6.9	4.9	5.7
人口(100万人)	697	870	1,053	1,339	1,504	1,593	1,640	1.6	0.9	0.4	0.6
エネルギー起源CO ₂ 排出(100万t)	258	529	885	2,163	4,077	5,411	6,504	5.4	5.0	2.4	3.4
一人あたりGDP (2010年価格1,000ドル/人)	0.4	0.6	0.8	2.0	4.2	6.6	10.0	4.6	5.9	4.4	5.0
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	3.6	1.7	2.5
GDPあたり一次エネルギー消費 ²⁾	679	605	507	333	250	192	147	-2.2	-2.2	-2.6	-2.4
GDPあたりCO ₂ 排出量 ³⁾	876	1,046	1,017	816	650	514	399	-0.9	-1.7	-2.4	-2.1
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	1.3	0.5	0.2	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

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	2017	2030	2040	2050	1990	2017	2050	1990/2017	2017/2030	2030/2050	2017/2050
合計 ¹⁾	345	439	518	432	408	378	347	100	100	100	-0.1	-0.4	-0.8	-0.7
石炭	60	77	97	116	99	91	79	17	27	23	1.6	-1.3	-1.1	-1.2
石油	234	250	255	176	142	122	105	57	41	30	-1.3	-1.6	-1.5	-1.6
天然ガス	21	44	66	101	88	82	72	10	23	21	3.1	-1.1	-1.0	-1.0
原子力	22	53	84	8.6	40	37	37	12	2.0	11	-6.5	12.5	0.4	4.5
水力	7.6	7.6	7.2	7.1	7.3	7.4	7.4	1.7	1.6	2.1	-0.2	0.2	0.1	0.1
地熱	0.8	1.6	3.1	2.2	5.3	8.4	11	0.4	0.5	3.1	1.3	6.8	3.7	4.9
太陽光・風力等	-	1.2	0.8	5.5	8.8	11	16	0.3	1.3	4.7	5.9	3.6	3.1	3.3
バイオマス・廃棄物	-	4.6	5.4	15	19	19	20	1.0	3.5	5.7	4.6	1.6	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	2017	2030	2040	2050	1990	2017	2050	1990/2017	2017/2030	2030/2050	2017/2050
合計	236	287	332	293	266	245	224	100	100	100	0.1	-0.7	-0.9	-0.8
産業	91	108	104	86	80	73	65	38	30	29	-0.8	-0.6	-1.0	-0.9
運輸	54	68	86	71	58	51	44	24	24	20	0.1	-1.5	-1.4	-1.4
民生・農業他	58	78	107	101	95	90	85	27	35	38	1.0	-0.4	-0.6	-0.5
非エネルギー消費	32	33	36	35	33	32	31	11	12	14	0.2	-0.4	-0.4	-0.4
石炭	25	27	21	22	19	16	14	9.5	7.4	6.0	-0.8	-1.1	-1.6	-1.4
石油	160	177	202	151	125	109	95	61	52	42	-0.6	-1.4	-1.4	-1.4
天然ガス	5.8	14	21	30	31	29	26	4.7	10	12	3.0	0.3	-0.9	-0.4
電力	44	66	84	83	84	84	84	23	28	37	0.9	0.1	0.0	0.0
熱	0.1	0.2	0.5	0.5	0.4	0.4	0.3	0.1	0.2	0.1	3.7	-1.5	-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	6.3	5.8	5.2	1.4	2.2	2.3	2.0	-0.3	-0.9	-0.7

発電量

	(TWh)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2017	2030	2040	2050	1990	2017	2050	1990/2017	2017/2030	2030/2050	2017/2050
合計	573	862	1,055	1,061	1,072	1,077	1,069	100	100	100	0.8	0.1	0.0	0.0
石炭	55	123	223	352	290	284	256	14	33	24	4.0	-1.5	-0.6	-1.0
石油	265	250	134	70	34	17	1.7	29	6.6	0.2	-4.6	-5.3	-13.9	-10.6
天然ガス	81	168	258	398	325	317	285	20	38	27	3.2	-1.5	-0.7	-1.0
原子力	83	202	322	33	152	141	141	23	3.1	13	-6.5	12.5	-0.4	4.5
水力	88	88	84	83	85	86	87	10	7.8	8.1	-0.2	0.2	0.1	0.1
地熱	0.9	1.7	3.3	2.5	6.0	9.7	13	0.2	0.2	1.2	1.3	7.1	3.7	5.1
太陽光	-	0.1	0.4	55	84	103	123	0.0	5.2	11	28.2	3.3	1.9	2.5
風力	-	-	0.1	6.5	16	28	64	-	0.6	6.0	n.a.	7.1	7.2	7.2
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	41	60	70	78	1.0	3.9	7.3	5.9	3.0	1.3	2.0
水素	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
その他	-	20	20	20	20	20	20	2.3	1.9	1.9	0.2	0.0	0.0	0.0

エネルギー・経済指標他

	1980	1990	2000	2017	2030	2040	2050	1990/2017	2017/2030	2030/2050	2017/2050
GDP (2010年価格10億ドル)	3,019	4,704	5,349	6,158	6,762	7,291	7,787	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	1,046	1,145	1,122	953	861	742	0.3	-1.3	-1.2	-1.2
一人あたりGDP (2010年価格1,000ドル/人)	26	38	42	49	56	65	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	3.4	3.3	-0.2	0.0	-0.2	-0.1
GDPあたり一次エネルギー消費 ²⁾	114	93	97	70	60	52	45	-1.0	-1.1	-1.5	-1.4
GDPあたりCO ₂ 排出量 ³⁾	299	222	214	182	141	118	95	-0.7	-2.0	-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	2.6	2.3	2.3	2.1	0.3	-0.8	-0.4	-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	2017	2030	2040	2050	1990	2017	2050	1990/2017	2017/2030	2030/2050	2017/2050
合計 ¹⁾	41	93	188	282	306	297	274	100	100	100	4.2	0.6	-0.5	-0.1
石炭	14	25	42	83	87	82	71	27	29	26	4.5	0.4	-1.0	-0.5
石油	27	50	99	109	117	113	104	54	39	38	3.0	0.5	-0.6	-0.1
天然ガス	-	2.7	17	43	58	64	67	2.9	15	24	10.8	2.3	0.7	1.3
原子力	0.9	14	28	39	32	25	17	15	14	6.3	3.9	-1.5	-3.0	-2.4
水力	0.2	0.5	0.3	0.2	0.3	0.3	0.3	0.6	0.1	0.1	-3.0	1.7	0.0	0.6
地熱	-	-	-	0.2	0.2	0.2	0.2	-	0.1	0.1	n.a.	1.4	-0.2	0.4
太陽光・風力等	-	0.0	0.0	1.0	2.7	4.1	6.0	0.0	0.4	2.2	18.6	8.0	4.1	5.6
バイオマス・廃棄物	-	0.7	1.4	7.2	9.0	9.0	8.3	0.8	2.5	3.0	8.8	1.7	-0.4	0.4

最終エネルギー消費

	(Mtoe)							構成比(%)			1990/2017	2017/2030	2030/2050	2017/2050
	1980	1990	2000	2017	2030	2040	2050	1990	2017	2050	2017	2030	2050	2050
合計	31	65	127	183	203	201	191	100	100	100	3.9	0.8	-0.3	0.1
産業	10	19	38	48	54	54	50	30	26	26	3.5	0.9	-0.4	0.1
運輸	4.8	15	26	36	37	35	30	22	19	16	3.4	0.3	-0.9	-0.5
民生・農業他	13	24	37	47	50	49	46	38	25	24	2.4	0.5	-0.4	0.0
非エネルギー消費	3.1	6.7	25	53	62	64	64	10	29	34	7.9	1.3	0.1	0.6
石炭	9.7	12	9.1	8.6	7.4	6.2	4.9	18	4.7	2.6	-1.1	-1.2	-2.0	-1.7
石油	19	44	80	97	105	101	94	67	53	49	3.0	0.6	-0.6	-0.1
天然ガス	-	0.7	11	22	27	27	25	1.0	12	13	13.8	1.4	-0.2	0.4
電力	2.8	8.1	23	45	54	57	57	13	25	30	6.5	1.4	0.3	0.7
熱	-	-	3.3	5.1	5.3	5.1	4.7	-	2.8	2.5	n.a.	0.3	-0.6	-0.2
水素	-	-	-	-	0.0	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	-100	n.a.
再生可能	-	0.7	1.3	5.0	5.6	5.4	4.8	1.1	2.7	2.5	7.3	0.9	-0.8	-0.1

発電量

	(TWh)							構成比(%)			1990/	2017/	2030/	2017/
	1980	1990	2000	2017	2030	2040	2050	1990	2017	2050	2017	2030	2050	2050
合計	37	105	289	563	675	713	713	100	100	100	6.4	1.4	0.3	0.7
石炭	2.5	18	111	256	298	302	279	17	45	39	10.4	1.2	-0.3	0.3
石油	29	19	35	12	9.2	5.1	0.1	18	2.1	0.0	-1.7	-1.9	-19.7	-13.1
天然ガス	-	9.6	29	126	197	246	278	9.1	22	39	10.0	3.5	1.7	2.4
原子力	3.5	53	109	148	122	94	66	50	26	9.3	3.9	-1.5	-3.0	-2.4
水力	2.0	6.4	4.0	2.8	3.5	3.5	3.5	6.0	0.5	0.5	-3.0	1.7	0.0	0.6
地熱	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
太陽光	-	0.0	0.0	7.1	22	33	46	0.0	1.3	6.5	38.8	9.2	3.7	5.9
風力	-	-	0.0	2.2	5.7	9.6	16	-	0.4	2.2	n.a.	7.7	5.2	6.2
太陽熱・海洋	-	-	-	0.5	3.2	4.7	8.0	-	0.1	1.1	n.a.	15.5	4.7	8.8
バイオマス・廃棄物	-	-	0.1	6.9	12	13	14	-	1.2	2.0	n.a.	4.2	0.9	2.2
水素	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
その他	-	-	-	1.6	1.6	1.6	1.6	-	0.3	0.2	n.a.	0.0	0.0	0.0

エネルギー・経済指標他

	1980	1990	2000	2017	2030	2040	2050	1990/2017	2017/2030	2030/2050	2017/2050
GDP (2010年価格10億ドル)	141	363	710	1,346	1,886	2,308	2,664	5.0	2.6	1.7	2.1
人口(100万人)	38	43	47	51	52	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	208	402	594	640	618	561	4.0	0.6	-0.7	-0.2
一人あたりGDP (2010年価格1,000ドル/人)	3.7	8.5	15	26	37	46	56	4.3	2.6	2.2	2.4
一人あたり一次エネルギー消費(toe/人)	1.1	2.2	4.0	5.5	5.9	5.9	5.8	3.5	0.6	-0.1	0.2
GDPあたり一次エネルギー消費 ²⁾	292	256	265	210	162	129	103	-0.7	-2.0	-2.2	-2.1
GDPあたりCO ₂ 排出量 ³⁾	772	573	566	442	339	268	211	-1.0	-2.0	-2.4	-2.2
一次エネルギー消費あたりCO ₂ 排出(t/toe)	2.6	2.2	2.1	2.1	2.1	2.1	2.0	-0.2	0.0	-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	2017	2030	2040	2050	1990	2017	2050	1990/ 2017	2017/ 2030	2030/ 2050	2017/ 2050
合計 ¹⁾	28	48	85	110	113	109	102	100	100	100	3.1	0.2	-0.5	-0.2
石炭	3.9	11	30	41	42	37	32	24	38	31	4.9	0.1	-1.4	-0.8
石油	20	26	38	42	42	39	36	54	39	35	1.9	-0.2	-0.7	-0.5
天然ガス	1.6	1.4	5.6	18	24	26	27	2.9	16	26	9.9	2.2	0.6	1.2
原子力	2.1	8.6	10	5.8	0.0	0.0	0.0	18	5.3	0.0	-1.4	-35.0	0.0	-15.6
水力	0.3	0.5	0.4	0.5	0.4	0.4	0.4	1.1	0.4	0.4	-0.6	-1.0	0.1	-0.3
地熱	-	0.0	-	-	-	-	-	0.0	-	-	-100	n.a.	n.a.	n.a.
太陽光・風力等	-	0.0	0.1	0.4	1.5	2.4	3.3	0.0	0.4	3.3	12.1	10.6	4.1	6.7
バイオマス・廃棄物	-	-	0.6	1.5	3.6	3.7	3.6	-	1.4	3.5	n.a.	6.8	0.0	2.7

最終エネルギー消費

	(Mtoe)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2017	2030	2040	2050	1990	2017	2050	1990/ 2017	2017/ 2030	2030/ 2050	2017/ 2050
合計	19	29	49	70	74	73	70	100	100	100	3.3	0.4	-0.3	0.0
産業	10	12	19	24	25	24	23	42	34	33	2.5	0.3	-0.3	-0.1
運輸	2.9	6.6	12	13	12	10	8.5	22	18	12	2.5	-0.4	-1.7	-1.2
民生・農業他	3.6	6.5	10	12	14	14	15	22	17	21	2.3	1.0	0.3	0.6
非エネルギー消費	2.0	4.0	7.8	22	23	24	24	14	31	34	6.4	0.5	0.1	0.3
石炭	2.2	3.6	5.0	7.8	7.6	7.1	6.5	12	11	9.2	2.9	-0.2	-0.8	-0.6
石油	12	18	28	38	37	35	32	62	54	46	2.7	-0.1	-0.7	-0.5
天然ガス	1.4	0.9	1.6	3.2	3.9	3.9	3.6	3.0	4.6	5.2	4.9	1.5	-0.4	0.4
電力	3.2	6.6	14	21	24	26	27	22	30	38	4.3	1.2	0.5	0.8
熱	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
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	0.8	0.8	13.4	0.6	-0.3	0.0

発電量

	(TWh)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2017	2030	2040	2050	1990	2017	2050	1990/ 2017	2017/ 2030	2030/ 2050	2017/ 2050
合計	43	88	181	265	310	332	341	100	100	100	4.2	1.2	0.5	0.8
石炭	6.0	24	89	126	137	128	113	28	48	33	6.3	0.6	-1.0	-0.3
石油	26	23	30	13	13	11	8.5	26	4.9	2.5	-2.1	-0.1	-2.1	-1.3
天然ガス	-	1.2	17	91	132	153	168	1.4	34	49	17.2	2.9	1.2	1.9
原子力	8.2	33	39	22	0.1	0.1	0.1	37	8.5	0.0	-1.4	-35.0	0.0	-15.6
水力	2.9	6.4	4.6	5.4	4.8	4.8	4.9	7.2	2.1	1.4	-0.6	-1.0	0.1	-0.3
地熱	-	0.0	-	-	-	-	-	0.0	-	-	-100	n.a.	n.a.	n.a.
太陽光	-	-	-	1.7	6.5	10	14	-	0.6	4.2	n.a.	10.9	4.1	6.7
風力	-	-	0.0	1.7	9.6	16	23	-	0.7	6.8	n.a.	14.1	4.5	8.2
太陽熱・海洋	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
バイオマス・廃棄物	-	-	1.7	3.5	7.3	8.3	8.8	-	1.3	2.6	n.a.	5.9	0.9	2.9
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	2017	2030	2040	2050	1990/ 2017	2017/ 2030	2030/ 2050	2017/ 2050
GDP (2010年価格10億ドル)	70	155	297	529	707	847	971	4.6	2.3	1.6	1.9
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)	71	109	212	265	275	254	224	3.4	0.3	-1.0	-0.5
一人あたりGDP (2010年価格1,000ドル/人)	3.9	7.6	13	22	30	36	44	4.1	2.1	2.0	2.0
一人あたり一次エネルギー消費(toe/人)	1.6	2.3	3.8	4.7	4.7	4.6	4.6	2.6	0.1	-0.2	-0.1
GDPあたり一次エネルギー消費 ²⁾	396	308	286	208	160	129	105	-1.4	-2.0	-2.1	-2.1
GDPあたりCO ₂ 排出量 ³⁾	1,004	701	713	501	389	300	231	-1.2	-1.9	-2.6	-2.3
一次エネルギー消費あたりCO ₂ 排出(t/toe)	2.5	2.3	2.5	2.4	2.4	2.3	2.2	0.2	0.1	-0.5	-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	2017	2030	2040	2050	1990	2017	2050	1990/2017	2017/2030	2030/2050	2017/2050
合計 ¹⁾	142	232	379	666	1,026	1,249	1,449	100	100	100	4.0	3.4	1.7	2.4
石炭	3.6	13	32	132	233	295	334	5.4	20	23	9.1	4.5	1.8	2.9
石油	58	89	153	234	326	402	479	38	35	33	3.7	2.6	1.9	2.2
天然ガス	8.6	30	74	134	231	283	326	13	20	23	5.7	4.3	1.7	2.7
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	17	20	21	1.0	2.1	1.5	6.9	1.5	1.0	1.2
地熱	1.8	6.6	18	31	75	96	117	2.9	4.6	8.1	5.8	7.1	2.3	4.1
太陽光・風力等	-	-	-	0.8	4.2	11	28	-	0.1	1.9	n.a.	14.0	9.8	11.5
バイオマス・廃棄物	69	92	98	119	136	131	121	40	18	8.3	1.0	1.0	-0.6	0.0

最終エネルギー消費

	(Mtoe)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2017	2030	2040	2050	1990	2017	2050	1990/2017	2017/2030	2030/2050	2017/2050
合計	112	173	269	477	703	850	990	100	100	100	3.8	3.0	1.7	2.2
産業	22	43	75	148	255	316	368	25	31	37	4.7	4.3	1.8	2.8
運輸	17	32	61	127	174	216	264	19	27	27	5.2	2.5	2.1	2.2
民生・農業他	70	87	112	144	186	209	228	50	30	23	1.9	2.0	1.0	1.4
非エネルギー消費	2.4	11	21	57	87	108	131	6.3	12	13	6.3	3.3	2.0	2.5
石炭	2.1	6.1	13	39	60	73	81	3.5	8.1	8.1	7.1	3.4	1.5	2.2
石油	41	67	123	219	306	377	453	39	46	46	4.5	2.6	2.0	2.2
天然ガス	2.5	7.5	17	42	90	112	130	4.4	8.8	13	6.6	6.0	1.9	3.5
電力	4.7	11	28	75	141	192	244	6.5	16	25	7.3	5.0	2.8	3.6
熱	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
水素	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	-	-	0.0	n.a.	n.a.	-7.9	n.a.
再生可能	61	81	89	102	106	96	81	47	21	8.2	0.8	0.4	-1.3	-0.7

発電量

	(TWh)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2017	2030	2040	2050	1990	2017	2050	1990/2017	2017/2030	2030/2050	2017/2050
合計	62	154	370	978	1,826	2,478	3,143	100	100	100	7.1	4.9	2.8	3.6
石炭	3.0	28	79	372	769	1,040	1,256	18	38	40	10.1	5.8	2.5	3.8
石油	47	66	72	26	40	46	42	43	2.7	1.3	-3.4	3.2	0.3	1.5
天然ガス	0.7	26	154	362	667	872	1,051	17	37	33	10.2	4.8	2.3	3.3
原子力	-	-	-	-	-	37	71	-	-	2.3	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
水力	9.8	27	47	166	200	227	245	18	17	7.8	6.9	1.5	1.0	1.2
地熱	2.1	6.6	16	23	54	67	81	4.3	2.4	2.6	4.7	6.7	2.1	3.9
太陽光	-	-	-	6.3	32	99	278	-	0.6	8.9	n.a.	13.4	11.4	12.2
風力	-	-	-	2.5	17	27	40	-	0.3	1.3	n.a.	15.5	4.6	8.8
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	20	47	63	78	0.4	2.0	2.5	13.8	7.0	2.5	4.3
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	2017	2030	2040	2050	1990/2017	2017/2030	2030/2050	2017/2050
GDP (2010年価格10億ドル)	440	741	1,180	2,747	5,008	7,463	10,499	5.0	4.7	3.8	4.1
人口(100万人)	346	430	506	625	699	739	761	1.4	0.9	0.4	0.6
エネルギー起源CO ₂ 排出(100万t)	185	344	669	1,344	2,171	2,704	3,129	5.2	3.8	1.8	2.6
一人あたりGDP (2010年価格1,000ドル/人)	1.3	1.7	2.3	4.4	7.2	10	14	3.5	3.8	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	1.5	1.7	1.9	2.6	2.5	1.3	1.8
GDPあたり一次エネルギー消費 ²⁾	322	314	321	243	205	167	138	-0.9	-1.3	-2.0	-1.7
GDPあたりCO ₂ 排出量 ³⁾	421	464	567	489	434	362	298	0.2	-0.9	-1.9	-1.5
一次エネルギー消費あたりCO ₂ 排出(t/toe)	1.3	1.5	1.8	2.0	2.1	2.2	2.2	1.2	0.4	0.1	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

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	2017	2030	2040	2050	1990	2017	2050	1990/ 2017	2017/ 2030	2030/ 2050	2017/ 2050
合計 ¹⁾	56	99	156	244	374	464	539	100	100	100	3.4	3.3	1.8	2.4
石炭	0.2	3.5	12	48	85	116	135	3.6	20	25	10.2	4.4	2.4	3.2
石油	20	33	58	76	105	128	147	34	31	27	3.1	2.6	1.7	2.0
天然ガス	5.0	16	27	39	67	89	109	16	16	20	3.4	4.3	2.5	3.2
原子力	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
水力	0.1	0.5	0.9	1.6	2.0	2.5	3.0	0.5	0.7	0.6	4.5	1.9	2.0	1.9
地熱	-	1.9	8.4	22	58	76	96	2.0	9.0	18	9.4	7.8	2.6	4.6
太陽光・風力等	-	-	-	0.0	0.3	2.6	11	-	0.0	2.0	n.a.	42.4	19.6	28.1
バイオマス・廃棄物	30	44	50	58	57	49	39	44	24	7.1	1.0	-0.1	-1.9	-1.2

最終エネルギー消費

	(Mtoe)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2017	2030	2040	2050	1990	2017	2050	1990/ 2017	2017/ 2030	2030/ 2050	2017/ 2050
合計	50	80	120	174	238	284	324	100	100	100	2.9	2.5	1.6	1.9
産業	6.7	18	30	45	70	88	103	23	26	32	3.4	3.5	2.0	2.6
運輸	6.0	11	21	49	68	85	103	13	28	32	5.8	2.5	2.1	2.2
民生・農業他	36	44	59	73	88	95	98	55	42	30	1.9	1.4	0.5	0.9
非エネルギー消費	1.2	7.4	9.8	6.4	13	17	21	9.2	3.7	6.4	-0.5	5.3	2.5	3.6
石炭	0.1	2.3	4.7	11	17	21	25	2.8	6.4	7.9	6.1	3.2	2.1	2.5
石油	17	27	48	72	98	118	136	34	42	42	3.7	2.3	1.7	1.9
天然ガス	2.4	6.0	12	15	32	43	52	7.5	8.5	16	3.4	6.0	2.5	3.9
電力	0.6	2.4	6.8	19	37	56	75	3.0	11	23	8.0	5.3	3.5	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	56	55	47	36	53	32	11	1.1	-0.2	-2.1	-1.3

発電量

	(TWh)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2017	2030	2040	2050	1990	2017	2050	1990/ 2017	2017/ 2030	2030/ 2050	2017/ 2050
合計	7.5	33	93	255	495	740	984	100	100	100	7.9	5.2	3.5	4.2
石炭	-	9.8	34	148	286	420	507	30	58	52	10.6	5.2	2.9	3.8
石油	6.2	15	18	19	31	39	38	47	7.6	3.8	0.9	3.7	1.0	2.0
天然ガス	-	0.7	26	55	113	173	218	2.2	22	22	17.4	5.7	3.3	4.2
原子力	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
水力	1.3	5.7	10	19	24	29	35	17	7.3	3.5	4.5	1.9	2.0	1.9
地熱	-	1.1	4.9	13	34	44	56	3.4	5.0	5.7	9.4	7.8	2.6	4.6
太陽光	-	-	-	0.0	2.1	27	119	-	0.0	12	n.a.	39.2	22.2	28.7
風力	-	-	-	0.0	1.3	2.7	5.6	-	0.0	0.6	n.a.	51.5	7.4	23.0
太陽熱・海洋	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
バイオマス・廃棄物	-	-	0.0	0.8	3.4	4.6	5.8	-	0.3	0.6	n.a.	11.6	2.6	6.1
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	2017	2030	2040	2050	1990/ 2017	2017/ 2030	2030/ 2050	2017/ 2050
GDP (2010年価格10億ドル)	182	310	453	1,090	2,100	3,296	4,779	4.8	5.2	4.2	4.6
人口(100万人)	147	181	212	264	299	318	331	1.4	1.0	0.5	0.7
エネルギー起源CO ₂ 排出(100万t)	64	133	255	496	779	1,013	1,179	5.0	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	4.1	7.0	10	14	3.3	4.2	3.7	3.9
一人あたり一次エネルギー消費(toe/人)	0.4	0.5	0.7	0.9	1.3	1.5	1.6	2.0	2.4	1.3	1.7
GDPあたり一次エネルギー消費 ²⁾	307	318	343	224	178	141	113	-1.3	-1.7	-2.3	-2.1
GDPあたりCO ₂ 排出量 ³⁾	351	430	562	455	371	307	247	0.2	-1.6	-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	2.0	2.1	2.2	2.2	1.5	0.2	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	2017	2030	2040	2050	1990	2017	2050	1990/2017	2017/2030	2030/2050	2017/2050
合計 ¹⁾	11	21	48	85	120	136	144	100	100	100	5.3	2.7	0.9	1.6
石炭	0.1	1.4	2.3	21	28	31	31	6.4	24	22	10.6	2.3	0.5	1.2
石油	7.9	11	19	29	37	40	43	54	34	30	3.5	1.8	0.8	1.2
天然ガス	2.2	6.8	25	32	51	56	58	32	38	41	5.9	3.6	0.7	1.8
原子力	-	-	-	-	-	3.7	3.7	-	-	2.5	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
水力	0.1	0.3	0.6	2.3	2.9	3.2	3.3	1.6	2.7	2.3	7.3	1.8	0.7	1.1
地熱	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
太陽光・風力等	-	-	-	0.0	0.2	0.4	2.8	-	0.0	2.0	n.a.	15.5	14.6	15.0
バイオマス・廃棄物	1.2	1.2	1.3	0.6	1.6	2.0	2.3	5.9	0.7	1.6	-2.7	8.0	1.6	4.1

最終エネルギー消費

	(Mtoe)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2017	2030	2040	2050	1990	2017	2050	1990/2017	2017/2030	2030/2050	2017/2050
合計	6.9	13	29	61	88	99	108	100	100	100	5.7	2.9	1.0	1.8
産業	3.1	5.6	12	18	24	28	31	42	29	28	4.4	2.5	1.1	1.7
運輸	2.1	4.9	11	21	23	23	22	36	35	20	5.5	0.6	-0.2	0.1
民生・農業他	1.4	2.1	4.3	9.3	12	14	16	16	15	15	5.6	2.1	1.3	1.6
非エネルギー消費	0.3	0.8	2.2	13	29	35	40	6.3	21	37	10.5	6.6	1.7	3.6
石炭	0.1	0.5	1.0	1.8	2.0	2.1	2.1	3.8	3.0	2.0	4.8	0.8	0.3	0.5
石油	5.3	9.3	18	29	37	40	43	70	48	40	4.3	1.8	0.8	1.2
天然ガス	0.0	1.1	3.9	17	31	34	36	8.2	28	33	10.7	4.7	0.8	2.3
電力	0.7	1.7	5.3	13	18	23	27	13	21	25	7.7	2.9	1.9	2.3
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	0.6	0.6	-2.6	3.0	1.1	1.8

発電量

	(TWh)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2017	2030	2040	2050	1990	2017	2050	1990/2017	2017/2030	2030/2050	2017/2050
合計	10	23	69	165	239	294	348	100	100	100	7.6	2.9	1.9	2.3
石炭	-	2.9	7.7	72	106	126	139	13	44	40	12.6	3.0	1.3	2.0
石油	8.5	11	3.6	1.5	1.6	1.3	0.8	46	0.9	0.2	-6.9	0.4	-3.2	-1.8
天然ガス	0.1	5.5	51	63	92	108	117	24	38	34	9.4	2.9	1.2	1.9
原子力	-	-	-	-	-	14	14	-	-	4.0	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
水力	1.4	4.0	7.0	27	33	37	38	17	16	11	7.3	1.8	0.7	1.1
地熱	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
太陽光	-	-	-	0.3	2.2	4.3	33	-	0.2	9.5	n.a.	15.5	14.6	15.0
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	-	-	-	0.8	3.4	4.5	5.7	-	0.5	1.6	n.a.	11.3	2.6	6.0
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	2017	2030	2040	2050	1990/2017	2017/2030	2030/2050	2017/2050
GDP (2010年価格10億ドル)	46	82	163	365	645	919	1,238	5.7	4.5	3.3	3.8
人口(100万人)	14	18	23	32	37	39	41	2.1	1.2	0.6	0.8
エネルギー起源CO ₂ 排出(100万t)	26	51	111	203	254	271	271	5.2	1.8	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	23	30	3.5	3.3	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	2.7	3.3	3.4	3.5	3.1	1.5	0.3	0.8
GDPあたり一次エネルギー消費 ²⁾	251	259	297	233	186	148	116	-0.4	-1.7	-2.3	-2.1
GDPあたりCO ₂ 排出量 ³⁾	568	625	680	556	395	295	219	-0.4	-2.6	-2.9	-2.8
一次エネルギー消費あたりCO ₂ 排出(t/toe)	2.3	2.4	2.3	2.4	2.1	2.0	1.9	0.0	-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

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	2017	2030	2040	2050	1990	2017	2050	1990/2017	2017/2030	2030/2050	2017/2050	
合計 ¹⁾	9.4	11	13	23	37	48	58	100	100	100	2.9	3.8	2.3	2.9	
石炭	0.2	0.1	0.3	0.6	2.5	4.5	7.1	0.6	2.8	12	8.7	11.2	5.3	7.6	
石油	1.3	0.7	2.0	6.7	13	19	25	6.8	29	43	8.5	5.5	3.2	4.1	
天然ガス	0.3	0.8	1.2	3.6	10	15	20	7.1	16	34	6.0	8.3	3.3	5.2	
原子力	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
水力	0.1	0.1	0.2	1.1	1.4	1.7	1.9	1.0	4.7	3.3	9.1	1.8	1.7	1.7	
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	0.8	n.a.	41.2	9.7	21.2	
バイオマス・廃棄物	7.6	9.0	9.2	11	11	9.6	7.4	84	48	13	0.7	0.1	-2.0	-1.2	

最終エネルギー消費

	(Mtoe)								構成比(%)			1990/	2017/	2030/	2017/
	1980	1990	2000	2017	2030	2040	2050	1990	2017	2050	2017	2030	2050	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	3.4	6.7	10	13	4.2	17	31	8.4	5.3	3.5	4.2	
運輸	0.6	0.4	1.2	2.0	4.5	7.0	10	4.7	10	23	5.8	6.2	4.1	5.0	
民生・農業他	7.0	8.5	9.1	14	17	18	19	90	70	43	1.8	1.7	0.4	0.9	
非エネルギー消費	0.1	0.1	0.1	0.5	0.7	0.9	1.1	1.0	2.3	2.6	6.0	3.2	2.4	2.7	
石炭	0.1	0.1	0.3	0.2	0.3	0.4	0.4	0.5	1.1	0.9	5.6	2.5	1.3	1.8	
石油	1.2	0.6	1.5	6.7	13	19	25	6.2	34	58	9.4	5.4	3.2	4.1	
天然ガス	0.1	0.2	0.3	0.5	0.8	1.0	1.2	2.4	2.7	2.8	3.3	2.6	2.4	2.5	
電力	0.1	0.1	0.3	1.5	3.7	6.2	9.3	1.6	7.4	22	8.8	7.4	4.7	5.8	
熱	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
水素	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	-	-	0.0	n.a.	n.a.	-2.0	n.a.	
再生可能	6.9	8.4	9.0	11	11	9.6	7.3	89	55	17	1.0	0.1	-2.0	-1.2	

発電量

	(TWh)							構成比(%)			1990/	2017/	2030/	2017/
	1980	1990	2000	2017	2030	2040	2050	1990	2017	2050	2017	2030	2050	2050
合計	1.5	2.5	5.1	22	73	115	165	100	100	100	8.5	9.5	4.2	6.2
石炭	0.0	0.0	-	1.4	11	21	35	1.6	6.3	21	14.1	16.7	6.2	10.2
石油	0.5	0.3	0.7	0.1	0.3	0.3	0.2	11	0.3	0.1	-4.9	11.3	-0.7	3.8
天然ガス	0.2	1.0	2.5	8.3	45	72	102	39	37	62	8.3	13.9	4.2	7.9
原子力	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
水力	0.8	1.2	1.9	13	16	19	22	48	56	13	9.1	1.8	1.7	1.7
地熱	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
太陽光	-	-	-	0.0	0.6	1.8	4.7	-	0.0	2.8	n.a.	36.8	11.3	20.7
風力	-	-	-	0.0	0.3	0.4	0.7	-	0.0	0.4	n.a.	108	4.4	37.0
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	2017	2030	2040	2050	1990/2017	2017/2030	2030/2050	2017/2050
GDP (2010年価格10億ドル)	5.9	6.7	13	67	142	237	366	8.9	6.0	4.9	5.3
人口(100万人)	33	41	46	53	58	61	62	1.0	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	30	73	109	147	7.8	7.0	3.6	4.9
一人あたりGDP (2010年価格1,000ドル/人)	0.2	0.2	0.3	1.2	2.4	3.9	5.9	7.8	5.2	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	0.6	0.8	0.9	1.8	3.0	2.0	2.4
GDPあたり一次エネルギー消費 ²	1,597	1,594	960	343	260	202	159	-5.5	-2.1	-2.4	-2.3
GDPあたりCO ₂ 排出量 ³	879	602	711	455	514	461	402	-1.0	0.9	-1.2	-0.4
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	4.8	3.1	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	2017	2030	2040	2050	1990	2017	2050	1990/ 2017	2017/ 2030	2030/ 2050	2017/ 2050
合計 ¹⁾	22	29	40	58	95	119	146	100	100	100	2.6	3.8	2.2	2.8
石炭	0.5	1.5	5.2	17	24	29	33	5.3	29	23	9.3	2.8	1.6	2.0
石油	10	11	16	20	36	50	67	38	34	46	2.2	4.7	3.2	3.8
天然ガス	-	-	0.0	3.2	6.1	8.7	11	-	5.6	7.8	n.a.	5.0	3.1	3.9
原子力	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
水力	0.3	0.5	0.7	0.8	1.0	1.2	1.3	1.8	1.4	0.9	1.7	1.8	1.0	1.3
地熱	1.8	4.7	10	8.8	17	19	21	16	15	15	2.4	5.2	1.1	2.7
太陽光・風力等	-	-	-	0.2	0.8	1.6	2.7	-	0.3	1.9	n.a.	11.1	6.5	8.3
バイオマス・廃棄物	9.4	11	8.1	8.5	9.7	9.5	9.1	39	15	6.3	-1.0	0.9	-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	2017	2030	2040	2050	1990	2017	2050	1990/ 2017	2017/ 2030	2030/ 2050	2017/ 2050
合計	16	20	24	33	57	76	98	100	100	100	2.0	4.1	2.8	3.3
産業	3.4	4.7	5.3	8.0	12	14	17	24	24	17	2.0	3.2	1.7	2.3
運輸	3.3	4.5	8.1	12	25	36	50	23	35	51	3.6	5.8	3.6	4.5
民生・農業他	9.4	10	10	12	18	21	24	52	37	25	0.7	2.8	1.7	2.1
非エネルギー消費	0.3	0.2	0.3	1.3	2.5	3.9	6.3	1.2	4.0	6.4	6.7	4.9	4.8	4.8
石炭	0.2	0.6	0.8	3.1	4.3	4.8	5.3	3.1	9.3	5.5	6.2	2.5	1.1	1.7
石油	6.8	8.1	13	18	33	48	65	41	53	66	2.9	5.0	3.4	4.0
天然ガス	-	-	-	0.1	0.1	0.2	0.2	-	0.2	0.2	n.a.	6.0	2.7	4.0
電力	1.5	1.8	3.1	6.7	12	16	21	9.3	20	22	4.9	4.5	2.9	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	6.9	6.7	6.2	46	18	6.4	-1.6	1.3	-0.5	0.2

発電量

	(TWh)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2017	2030	2040	2050	1990	2017	2050	1990/ 2017	2017/ 2030	2030/ 2050	2017/ 2050
合計	18	26	45	94	165	224	286	100	100	100	4.8	4.4	2.8	3.4
石炭	0.2	1.9	17	47	79	106	131	7.3	50	46	12.5	4.1	2.6	3.2
石油	12	12	9.2	3.8	4.4	3.7	1.8	47	4.0	0.6	-4.3	1.1	-4.4	-2.3
天然ガス	-	-	0.0	21	40	59	80	-	22	28	n.a.	5.2	3.6	4.2
原子力	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
水力	3.5	6.1	7.8	9.6	12	13	15	23	10	5.2	1.7	1.8	1.0	1.3
地熱	2.1	5.5	12	10	20	23	25	21	11	8.7	2.4	5.3	1.1	2.7
太陽光	-	-	-	1.2	4.9	12	20	-	1.3	7.1	n.a.	11.4	7.4	9.0
風力	-	-	-	1.1	4.2	6.8	12	-	1.2	4.0	n.a.	10.9	5.2	7.4
太陽熱・海洋	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
バイオマス・廃棄物	-	0.4	-	1.0	1.3	1.8	2.2	1.6	1.1	0.8	3.2	2.1	2.6	2.4
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	2017	2030	2040	2050	1990/ 2017	2017/ 2030	2030/ 2050	2017/ 2050
GDP (2010年価格10億ドル)	80	95	125	303	623	922	1,311	4.4	5.7	3.8	4.5
人口(100万人)	47	62	78	105	123	135	144	2.0	1.3	0.8	1.0
エネルギー起源CO ₂ 排出(100万t)	31	36	67	126	206	269	334	4.7	3.8	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	2.9	5.1	6.8	9.1	2.4	4.4	3.0	3.5
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	192	152	129	111	-1.7	-1.8	-1.5	-1.6
GDPあたりCO ₂ 排出量 ³⁾	392	382	532	417	330	291	255	0.3	-1.8	-1.3	-1.5
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	0.0	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	2017	2030	2040	2050	1990	2017	2050	1990/ 2017	2017/ 2030	2030/ 2050	2017/ 2050
合計 ¹	22	42	72	138	173	197	218	100	100	100	4.5	1.7	1.2	1.4
石炭	0.5	3.8	7.7	16	21	22	22	9.1	12	10	5.5	1.8	0.3	0.9
石油	11	18	32	56	63	72	80	43	41	36	4.3	0.9	1.1	1.1
天然ガス	-	5.0	17	36	43	47	47	12	26	21	7.6	1.5	0.4	0.8
原子力	-	-	-	-	-	1.8	6.2	-	-	2.8	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
水力	0.1	0.4	0.5	0.8	0.7	0.8	0.8	1.0	0.6	0.4	2.4	-0.7	0.5	0.0
地熱	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.0	1.1	5.3
太陽光・風力等	-	-	-	0.5	2.0	3.7	6.5	-	0.4	3.0	n.a.	11.2	6.2	8.1
バイオマス・廃棄物	11	15	15	26	39	45	50	35	19	23	2.2	3.0	1.3	2.0

最終エネルギー消費

	(Mtoe)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2017	2030	2040	2050	1990	2017	2050	1990/ 2017	2017/ 2030	2030/ 2050	2017/ 2050
合計	15	29	51	99	121	140	156	100	100	100	4.7	1.6	1.3	1.4
産業	4.0	8.7	17	31	42	49	54	30	32	34	4.9	2.4	1.2	1.7
運輸	3.2	9.0	15	27	31	33	36	31	28	23	4.2	0.9	0.8	0.8
民生・農業他	7.8	11	14	18	22	24	25	37	18	16	1.8	1.7	0.7	1.1
非エネルギー消費	0.2	0.4	5.6	23	26	34	42	1.5	23	27	15.9	1.1	2.3	1.8
石炭	0.1	1.3	3.5	7.5	8.3	8.1	7.4	4.5	7.6	4.8	6.7	0.8	-0.5	0.0
石油	7.3	15	29	54	61	69	76	52	54	49	4.9	1.0	1.1	1.1
天然ガス	-	0.1	1.1	7.0	9.5	13	16	0.5	7.1	10	15.7	2.3	2.7	2.5
電力	1.1	3.3	7.6	16	25	31	36	11	16	23	6.0	3.4	2.0	2.5
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	9.2	9.4	15	18	19	20	32	15	13	1.7	1.6	0.6	1.0

発電量

	(TWh)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2017	2030	2040	2050	1990	2017	2050	1990/ 2017	2017/ 2030	2030/ 2050	2017/ 2050
合計	14	44	96	187	271	335	392	100	100	100	5.5	2.9	1.9	2.3
石炭	1.4	11	18	36	54	66	71	25	19	18	4.4	3.2	1.4	2.1
石油	12	10	10	0.3	-	-	-	23	0.2	-	-12.2	-100	n.a.	-100
天然ガス	-	18	62	120	150	162	153	40	64	39	7.3	1.7	0.1	0.7
原子力	-	-	-	-	-	7.0	24	-	-	6.1	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
水力	1.3	5.0	6.0	9.5	8.6	9.3	9.5	11	5.1	2.4	2.4	-0.7	0.5	0.0
地熱	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.0	1.1	5.3
太陽光	-	-	-	4.5	18	35	66	-	2.4	17	n.a.	11.0	6.8	8.4
風力	-	-	-	1.1	4.9	7.4	8.8	-	0.6	2.2	n.a.	12.1	3.0	6.5
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	15	36	48	60	-	8.3	15	n.a.	6.7	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	2017	2030	2040	2050	1990/ 2017	2017/ 2030	2030/ 2050	2017/ 2050
GDP (2010年価格10億ドル)	67	142	218	423	672	929	1,221	4.1	3.6	3.0	3.3
人口(100万人)	47	57	63	69	70	69	66	0.7	0.1	-0.3	-0.1
エネルギー起源CO ₂ 排出(100万t)	31	77	147	244	291	311	309	4.4	1.3	0.3	0.7
一人あたりGDP (2010年価格1,000ドル/人)	1.4	2.5	3.5	6.1	9.6	13	19	3.4	3.5	3.4	3.4
一人あたり一次エネルギー消費(toe/人)	0.5	0.7	1.1	2.0	2.5	2.9	3.3	3.7	1.6	1.5	1.5
GDPあたり一次エネルギー消費 ²	331	296	332	327	258	212	179	0.4	-1.8	-1.8	-1.8
GDPあたりCO ₂ 排出量 ³	466	546	674	577	433	335	253	0.2	-2.2	-2.7	-2.5
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	1.7	1.6	1.4	-0.2	-0.4	-0.9	-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	2017	2030	2040	2050	1990	2017	2050	1990/2017	2017/2030	2030/2050	2017/2050
合計 ¹⁾	14	18	29	78	181	237	294	100	100	100	5.6	6.7	2.5	4.1
石炭	2.3	2.2	4.4	28	72	91	105	12	36	36	9.9	7.5	1.9	4.1
石油	1.8	2.7	7.8	20	42	60	84	15	25	28	7.6	6.0	3.5	4.5
天然ガス	-	0.0	1.1	7.8	40	54	69	0.0	10.0	23	34.3	13.4	2.7	6.8
原子力	-	-	-	-	-	4.2	8.6	-	-	2.9	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
水力	0.1	0.5	1.3	7.7	9.2	10	11	2.6	9.8	3.7	11.0	1.4	0.8	1.0
地熱	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
太陽光・風力等	-	-	-	0.0	0.8	2.2	4.0	-	0.0	1.4	n.a.	29.4	8.4	16.2
バイオマス・廃棄物	10	12	14	15	16	14	12	70	19	4.1	0.6	0.8	-1.5	-0.6

最終エネルギー消費

	(Mtoe)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2017	2030	2040	2050	1990	2017	2050	1990/2017	2017/2030	2030/2050	2017/2050
合計	13	16	25	64	140	182	227	100	100	100	5.3	6.2	2.5	3.9
産業	3.8	4.5	7.9	35	91	117	141	28	55	62	7.9	7.6	2.2	4.3
運輸	0.6	1.4	3.5	13	21	30	42	8.6	20	18	8.6	4.1	3.4	3.7
民生・農業他	8.6	10	14	15	26	34	42	63	24	19	1.6	4.2	2.4	3.1
非エネルギー消費	0.0	0.0	0.1	0.6	1.0	1.4	1.8	0.2	1.0	0.8	12.2	4.1	2.8	3.3
石炭	1.5	1.3	3.2	15	28	36	40	8.3	23	17	9.3	5.1	1.7	3.0
石油	1.7	2.3	6.5	20	42	60	84	15	31	37	8.2	5.9	3.5	4.5
天然ガス	-	-	0.0	1.0	15	19	23	-	1.6	10	n.a.	22.7	2.2	9.8
電力	0.2	0.5	1.9	15	40	54	70	3.3	23	31	13.1	7.9	2.8	4.8
熱	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
水素	-	-	-	-	0.0	0.0	-	-	-	-	n.a.	n.a.	-100	n.a.
再生可能	9.7	12	13	14	15	13	11	74	21	4.8	0.5	0.8	-1.6	-0.7

発電量

	(TWh)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2017	2030	2040	2050	1990	2017	2050	1990/2017	2017/2030	2030/2050	2017/2050
合計	3.6	8.7	27	199	514	695	894	100	100	100	12.3	7.6	2.8	4.7
石炭	1.4	2.0	3.1	68	234	301	372	23	34	42	13.9	10.0	2.4	5.3
石油	0.7	1.3	4.5	0.7	1.8	1.6	1.0	15	0.4	0.1	-2.3	7.4	-3.0	1.0
天然ガス	-	0.0	4.4	41	162	231	315	0.1	21	35	38.7	11.2	3.4	6.4
原子力	-	-	-	-	-	16	33	-	-	3.7	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
水力	1.5	5.4	15	89	107	119	125	62	45	14	11.0	1.4	0.8	1.0
地熱	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
太陽光	-	-	-	-	3.4	16	33	-	-	3.7	n.a.	n.a.	11.9	n.a.
風力	-	-	-	0.3	5.8	9.6	14	-	0.2	1.5	n.a.	24.9	4.4	12.1
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	0.2	0.3	-	0.0	0.0	n.a.	6.4	2.6	4.1
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	2017	2030	2040	2050	1990/2017	2017/2030	2030/2050	2017/2050
GDP (2010年価格10億ドル)	17	29	61	175	383	637	1,005	6.8	6.2	4.9	5.4
人口(100万人)	54	68	80	96	105	109	111	1.3	0.7	0.3	0.4
エネルギー起源CO ₂ 排出(100万t)	15	17	43	189	508	668	828	9.4	7.9	2.5	4.6
一人あたりGDP (2010年価格1,000ドル/人)	0.3	0.4	0.8	1.8	3.6	5.9	9.1	5.5	5.4	4.7	5.0
一人あたり一次エネルギー消費(toe/人)	0.3	0.3	0.4	0.8	1.7	2.2	2.7	4.3	5.9	2.2	3.6
GDPあたり一次エネルギー消費 ²⁾	851	607	470	446	472	371	292	-1.1	0.4	-2.4	-1.3
GDPあたりCO ₂ 排出量 ³⁾	859	572	699	1,080	1,325	1,049	823	2.4	1.6	-2.4	-0.8
一次エネルギー消費あたりCO ₂ 排出(t/toe)	1.0	0.9	1.5	2.4	2.8	2.8	2.8	3.6	1.1	0.0	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

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	2017	2030	2040	2050	1990	2017	2050	1990/ 2017	2017/ 2030	2030/ 2050	2017/ 2050
合計 ¹⁾	1,997	2,126	2,527	2,444	2,473	2,430	2,347	100	100	100	0.5	0.1	-0.3	-0.1
石炭	397	484	566	348	297	245	183	23	14	7.8	-1.2	-1.2	-2.4	-1.9
石油	885	833	958	890	824	757	697	39	36	30	0.2	-0.6	-0.8	-0.7
天然ガス	522	493	622	745	879	910	887	23	30	38	1.5	1.3	0.0	0.5
原子力	80	179	227	245	197	190	186	8.4	10	7.9	1.2	-1.7	-0.3	-0.8
水力	46	49	53	60	61	62	63	2.3	2.4	2.7	0.7	0.1	0.2	0.2
地熱	4.6	14	13	9.2	18	31	37	0.7	0.4	1.6	-1.6	5.1	3.8	4.3
太陽光・風力等	-	0.3	2.1	33	65	100	156	0.0	1.4	6.6	18.7	5.3	4.4	4.8
バイオマス・廃棄物	62	73	87	115	132	136	139	3.4	4.7	5.9	1.7	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	2017	2030	2040	2050	1990	2017	2050	1990/ 2017	2017/ 2030	2030/ 2050	2017/ 2050
合計	1,466	1,455	1,738	1,716	1,739	1,699	1,646	100	100	100	0.6	0.1	-0.3	-0.1
産業	437	331	388	307	327	327	319	23	18	19	-0.3	0.5	-0.1	0.1
運輸	470	531	640	687	638	595	561	36	40	34	1.0	-0.6	-0.6	-0.6
民生・農業他	446	460	537	556	579	575	561	32	32	34	0.7	0.3	-0.2	0.0
非エネルギー消費	114	134	173	166	195	202	206	9.2	9.7	13	0.8	1.2	0.3	0.7
石炭	60	59	36	20	17	15	12	4.0	1.1	0.8	-4.0	-1.1	-1.6	-1.4
石油	769	752	874	837	781	720	667	52	49	40	0.4	-0.5	-0.8	-0.7
天然ガス	374	346	413	394	419	408	387	24	23	24	0.5	0.5	-0.4	-0.1
電力	200	262	342	365	421	459	487	18	21	30	1.2	1.1	0.7	0.9
熱	1.0	2.8	6.1	6.4	6.0	5.5	4.9	0.2	0.4	0.3	3.1	-0.5	-1.1	-0.8
水素	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
再生可能	62	33	66	94	95	92	88	2.3	5.5	5.4	4.0	0.1	-0.4	-0.2

発電量

	(TWh)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2017	2030	2040	2050	1990	2017	2050	1990/ 2017	2017/ 2030	2030/ 2050	2017/ 2050
合計	2,801	3,685	4,631	4,922	5,645	6,107	6,418	100	100	100	1.1	1.1	0.6	0.8
石炭	1,303	1,782	2,247	1,381	1,329	1,114	830	48	28	13	-0.9	-0.3	-2.3	-1.5
石油	277	147	133	40	34	25	14	4.0	0.8	0.2	-4.7	-1.1	-4.5	-3.2
天然ガス	380	391	668	1,395	1,986	2,320	2,387	11	28	37	4.8	2.8	0.9	1.6
原子力	304	685	871	940	756	729	714	19	19	11	1.2	-1.7	-0.3	-0.8
水力	530	570	612	695	708	725	735	15	14	11	0.7	0.1	0.2	0.2
地熱	5.4	16	15	19	36	64	77	0.4	0.4	1.2	0.6	5.2	3.8	4.4
太陽光	-	0.0	0.2	71	160	364	759	0.0	1.4	12	45.2	6.5	8.1	7.4
風力	-	3.1	5.9	286	416	463	494	0.1	5.8	7.7	18.3	2.9	0.9	1.7
太陽熱・海洋	-	0.7	0.6	3.6	52	100	174	0.0	0.1	2.7	6.3	22.7	6.3	12.5
バイオマス・廃棄物	1.8	90	80	86	162	196	228	2.5	1.7	3.6	-0.2	5.0	1.7	3.0
水素	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
その他	-	-	-	5.7	5.7	5.7	5.7	-	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	2017	2030	2040	2050	1990/ 2017	2017/ 2030	2030/ 2050	2017/ 2050
GDP (2010年価格10億ドル)	7,310	10,078	14,056	19,232	25,073	31,059	37,311	2.4	2.1	2.0	2.0
人口(100万人)	252	277	313	362	391	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	5,174	6,161	5,328	5,163	4,815	4,325	0.1	-0.2	-0.9	-0.6
一人あたりGDP (2010年価格1,000ドル/人)	29	36	45	53	64	76	88	1.4	1.5	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	6.3	5.9	5.5	-0.5	-0.5	-0.7	-0.6
GDPあたり一次エネルギー消費 ²⁾	273	211	180	127	99	78	63	-1.9	-1.9	-2.2	-2.1
GDPあたりCO ₂ 排出量 ³⁾	684	513	438	277	206	155	116	-2.3	-2.3	-2.8	-2.6
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	2.1	2.0	1.8	-0.4	-0.3	-0.6	-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	2017	2030	2040	2050	1990	2017	2050	1990/ 2017	2017/ 2030	2030/ 2050	2017/ 2050
合計 ¹⁾	1,805	1,915	2,274	2,155	2,178	2,136	2,062	100	100	100	0.4	0.1	-0.3	-0.1
石炭	376	460	534	331	287	242	180	24	15	8.7	-1.2	-1.1	-2.3	-1.8
石油	797	757	871	790	729	672	621	40	37	30	0.2	-0.6	-0.8	-0.7
天然ガス	477	438	548	644	758	769	740	23	30	36	1.4	1.3	-0.1	0.4
原子力	69	159	208	219	176	176	179	8.3	10	8.7	1.2	-1.6	0.1	-0.6
水力	24	23	22	26	26	27	27	1.2	1.2	1.3	0.4	0.0	0.2	0.1
地熱	4.6	14	13	9.2	18	31	37	0.7	0.4	1.8	-1.6	5.1	3.8	4.3
太陽光・風力等	-	0.3	2.1	30	60	92	146	0.0	1.4	7.1	18.4	5.3	4.6	4.9
バイオマス・廃棄物	54	62	73	101	119	123	127	3.3	4.7	6.2	1.8	1.2	0.3	0.7

最終エネルギー消費

	(Mtoe)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2017	2030	2040	2050	1990	2017	2050	1990/ 2017	2017/ 2030	2030/ 2050	2017/ 2050
合計	1,311	1,294	1,546	1,520	1,540	1,506	1,462	100	100	100	0.6	0.1	-0.3	-0.1
産業	387	284	332	261	281	281	274	22	17	19	-0.3	0.6	-0.1	0.1
運輸	425	488	588	625	578	541	511	38	41	35	0.9	-0.6	-0.6	-0.6
民生・農業他	397	403	473	488	508	507	495	31	32	34	0.7	0.3	-0.1	0.0
非エネルギー消費	102	119	153	145	172	178	182	9.2	9.6	12	0.7	1.3	0.3	0.7
石炭	56	56	33	17	15	13	11	4.3	1.1	0.7	-4.3	-1.0	-1.6	-1.4
石油	689	683	793	748	694	640	594	53	49	41	0.3	-0.6	-0.8	-0.7
天然ガス	338	303	360	346	369	360	342	23	23	23	0.5	0.5	-0.4	0.0
電力	174	226	301	321	371	405	429	18	21	29	1.3	1.1	0.7	0.9
熱	-	2.2	5.3	5.9	5.5	5.0	4.4	0.2	0.4	0.3	3.8	-0.5	-1.1	-0.9
水素	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
再生可能	54	23	54	82	85	83	81	1.8	5.4	5.6	4.8	0.3	-0.3	0.0

発電量

	(TWh)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2017	2030	2040	2050	1990	2017	2050	1990/ 2017	2017/ 2030	2030/ 2050	2017/ 2050
合計	2,427	3,203	4,026	4,264	4,907	5,321	5,598	100	100	100	1.1	1.1	0.7	0.8
石炭	1,243	1,700	2,129	1,321	1,292	1,110	829	53	31	15	-0.9	-0.2	-2.2	-1.4
石油	263	131	118	32	27	18	8.5	4.1	0.8	0.2	-5.0	-1.5	-5.6	-4.0
天然ガス	370	382	634	1,338	1,859	2,120	2,158	12	31	39	4.8	2.6	0.7	1.5
原子力	266	612	798	839	677	676	685	19	20	12	1.2	-1.6	0.1	-0.6
水力	279	273	253	302	302	310	314	8.5	7.1	5.6	0.4	0.0	0.2	0.1
地熱	5.4	16	15	19	36	64	77	0.5	0.4	1.4	0.6	5.2	3.8	4.4
太陽光	-	0.0	0.2	67	153	354	744	0.0	1.6	13	44.9	6.5	8.2	7.6
風力	-	3.1	5.7	257	360	389	399	0.1	6.0	7.1	17.8	2.6	0.5	1.3
太陽熱・海洋	-	0.7	0.5	3.6	52	100	174	0.0	0.1	3.1	6.5	22.8	6.3	12.5
バイオマス・廃棄物	0.5	86	72	79	144	175	203	2.7	1.8	3.6	-0.4	4.8	1.7	2.9
水素	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
その他	-	-	-	5.4	5.4	5.4	5.4	-	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	2017	2030	2040	2050	1990/ 2017	2017/ 2030	2030/ 2050	2017/ 2050
GDP (2010年価格10億ドル)	6,529	9,064	12,713	17,349	22,684	28,174	33,922	2.4	2.1	2.0	2.1
人口(100万人)	227	250	282	325	350	367	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	4,763	5,656	4,781	4,622	4,283	3,813	0.0	-0.3	-1.0	-0.7
一人あたりGDP (2010年価格1,000ドル/人)	29	36	45	53	65	77	89	1.4	1.5	1.6	1.6
一人あたり一次エネルギー消費(toe/人)	7.9	7.7	8.1	6.6	6.2	5.8	5.4	-0.5	-0.5	-0.7	-0.6
GDPあたり一次エネルギー消費 ²⁾	276	211	179	124	96	76	61	-1.9	-2.0	-2.3	-2.1
GDPあたりCO ₂ 排出量 ³⁾	702	525	445	276	204	152	112	-2.4	-2.3	-2.9	-2.7
一次エネルギー消費あたりCO ₂ 排出(t/toe)	2.5	2.5	2.5	2.2	2.1	2.0	1.8	-0.4	-0.3	-0.7	-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

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	2017	2030	2040	2050	1990	2017	2050	1990/ 2017	2017/ 2030	2030/ 2050	2017/ 2050
合計 ¹⁾	382	464	600	830	1,043	1,214	1,311	100	100	100	2.2	1.8	1.2	1.4
石炭	13	21	27	45	51	60	63	4.6	5.4	4.8	2.8	0.9	1.1	1.0
石油	223	238	303	350	412	445	447	51	42	34	1.4	1.3	0.4	0.7
天然ガス	48	72	119	205	278	375	451	16	25	34	3.9	2.4	2.5	2.4
原子力	0.6	3.2	5.3	8.6	18	19	16	0.7	1.0	1.2	3.7	5.9	-0.6	1.9
水力	19	33	50	64	73	78	83	7.2	7.7	6.3	2.4	1.1	0.7	0.8
地熱	1.2	5.1	6.4	6.4	21	30	37	1.1	0.8	2.8	0.8	9.7	2.7	5.4
太陽光・風力等	-	0.0	0.2	7.6	22	31	41	0.0	0.9	3.2	25.2	8.4	3.3	5.3
バイオマス・廃棄物	78	92	88	143	169	176	173	20	17	13	1.7	1.3	0.1	0.6

最終エネルギー消費

	(Mtoe)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2017	2030	2040	2050	1990	2017	2050	1990/ 2017	2017/ 2030	2030/ 2050	2017/ 2050
合計	288	343	446	612	761	869	936	100	100	100	2.2	1.7	1.0	1.3
産業	98	114	148	190	242	288	311	33	31	33	1.9	1.9	1.3	1.5
運輸	85	103	141	223	281	308	321	30	36	34	2.9	1.8	0.7	1.1
民生・農業他	88	100	119	162	194	221	245	29	26	26	1.8	1.4	1.2	1.3
非エネルギー消費	16	26	38	38	44	52	58	7.5	6.2	6.2	1.4	1.3	1.4	1.3
石炭	6.1	7.8	11	15	18	20	21	2.3	2.5	2.2	2.5	1.1	0.7	0.9
石油	159	179	240	303	366	402	418	52	50	45	2.0	1.5	0.7	1.0
天然ガス	27	38	54	74	96	117	131	11	12	14	2.6	2.0	1.5	1.7
電力	27	44	69	113	159	207	249	13	18	27	3.5	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	68	74	73	106	122	123	117	22	17	12	1.4	1.0	-0.2	0.3

発電量

	(TWh)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2017	2030	2040	2050	1990	2017	2050	1990/ 2017	2017/ 2030	2030/ 2050	2017/ 2050
合計	380	623	1,009	1,615	2,249	2,872	3,392	100	100	100	3.6	2.6	2.1	2.3
石炭	7.8	23	43	98	117	157	175	3.8	6.1	5.1	5.5	1.3	2.0	1.8
石油	111	128	198	146	135	112	43	21	9.0	1.3	0.5	-0.6	-5.5	-3.6
天然ガス	35	60	141	440	704	1,096	1,472	9.6	27	43	7.7	3.7	3.8	3.7
原子力	2.3	12	20	33	69	73	61	2.0	2.0	1.8	3.7	5.9	-0.6	1.9
水力	218	386	584	740	849	911	967	62	46	28	2.4	1.1	0.7	0.8
地熱	1.4	5.9	7.8	9.8	34	48	60	1.0	0.6	1.8	1.9	9.9	2.9	5.6
太陽光	-	0.0	0.0	8.2	47	81	124	0.0	0.5	3.7	39.6	14.4	5.0	8.6
風力	-	0.0	0.3	66	182	253	331	0.0	4.1	9.7	50.9	8.1	3.0	5.0
太陽熱・海洋	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
バイオマス・廃棄物	3.9	7.6	14	74	113	140	159	1.2	4.6	4.7	8.8	3.3	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	2017	2030	2040	2050	1990/ 2017	2017/ 2030	2030/ 2050	2017/ 2050
GDP (2010年価格10億ドル)	2,441	2,835	3,819	5,798	8,300	11,426	14,589	2.7	2.8	2.9	2.8
人口(100万人)	360	441	521	640	712	748	769	1.4	0.8	0.4	0.6
エネルギー起源CO ₂ 排出(100万t)	765	873	1,194	1,596	1,952	2,290	2,473	2.3	1.6	1.2	1.3
一人あたりGDP (2010年価格1,000ドル/人)	6.8	6.4	7.3	9.1	12	15	19	1.3	2.0	2.5	2.3
一人あたり一次エネルギー消費(toe/人)	1.1	1.1	1.2	1.3	1.5	1.6	1.7	0.8	1.0	0.8	0.8
GDPあたり一次エネルギー消費 ²⁾	157	164	157	143	126	106	90	-0.5	-1.0	-1.7	-1.4
GDPあたりCO ₂ 排出量 ³⁾	313	308	313	275	235	200	169	-0.4	-1.2	-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	1.9	1.9	1.9	0.1	-0.2	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	2017	2030	2040	2050	1990	2017	2050	1990/ 2017	2017/ 2030	2030/ 2050	2017/ 2050
合計 ¹⁾	1,494	1,643	1,759	1,761	1,669	1,578	1,487	100	100	100	0.3	-0.4	-0.6	-0.5
石炭	464	448	331	263	212	184	160	27	15	11	-2.0	-1.7	-1.4	-1.5
石油	688	617	655	577	504	449	401	38	33	27	-0.3	-1.0	-1.1	-1.1
天然ガス	206	267	396	435	444	446	424	16	25	29	1.8	0.2	-0.2	-0.1
原子力	60	210	247	215	187	162	151	13	12	10	0.1	-1.1	-1.1	-1.1
水力	36	39	47	45	50	51	53	2.4	2.6	3.5	0.6	0.8	0.3	0.5
地熱	3.0	4.9	7.1	17	27	30	32	0.3	1.0	2.1	4.8	3.5	0.8	1.9
太陽光・風力等	0.1	0.4	2.7	48	75	87	98	0.0	2.7	6.6	19.9	3.5	1.4	2.2
バイオマス・廃棄物	36	56	72	160	169	168	166	3.4	9.1	11	4.0	0.4	-0.1	0.1

最終エネルギー消費

	(Mtoe)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2017	2030	2040	2050	1990	2017	2050	1990/ 2017	2017/ 2030	2030/ 2050	2017/ 2050
合計	1,081	1,142	1,235	1,258	1,208	1,140	1,071	100	100	100	0.4	-0.3	-0.6	-0.5
産業	356	330	325	297	295	286	271	29	24	25	-0.4	0.0	-0.4	-0.3
運輸	209	269	318	353	311	278	251	24	28	23	1.0	-1.0	-1.1	-1.0
民生・農業他	425	442	477	501	491	466	441	39	40	41	0.5	-0.1	-0.5	-0.4
非エネルギー消費	90	101	115	108	110	110	109	8.9	8.6	10	0.2	0.2	-0.1	0.0
石炭	156	124	62	48	39	33	29	11	3.8	2.7	-3.5	-1.7	-1.4	-1.5
石油	551	527	573	520	454	400	356	46	41	33	-0.1	-1.0	-1.2	-1.1
天然ガス	161	205	269	274	273	260	243	18	22	23	1.1	0.0	-0.6	-0.4
電力	147	193	234	270	296	309	315	17	21	29	1.2	0.7	0.3	0.5
熱	35	45	42	49	45	40	35	3.9	3.9	3.3	0.3	-0.7	-1.2	-1.0
水素	-	-	-	-	0.0	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	-100	n.a.
再生可能	31	48	55	97	102	97	93	4.2	7.7	8.6	2.7	0.3	-0.5	-0.1

発電量

	(TWh)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2017	2030	2040	2050	1990	2017	2050	1990/ 2017	2017/ 2030	2030/ 2050	2017/ 2050
合計	2,049	2,697	3,238	3,666	4,001	4,140	4,189	100	100	100	1.1	0.7	0.2	0.4
石炭	887	1,030	968	768	676	590	499	38	21	12	-1.1	-1.0	-1.5	-1.3
石油	364	210	180	56	41	39	28	7.8	1.5	0.7	-4.8	-2.3	-1.9	-2.0
天然ガス	138	176	514	760	919	1,078	1,135	6.5	21	27	5.6	1.5	1.1	1.2
原子力	230	804	948	823	716	622	580	30	22	14	0.1	-1.1	-1.1	-1.1
水力	416	451	549	526	581	597	612	17	14	15	0.6	0.8	0.3	0.5
地熱	2.7	3.6	6.2	18	30	34	36	0.1	0.5	0.9	6.1	4.1	0.9	2.2
太陽光	-	0.0	0.1	114	194	231	259	0.0	3.1	6.2	38.8	4.1	1.5	2.5
風力	0.0	0.8	22	373	529	588	640	0.0	10	15	25.7	2.7	1.0	1.6
太陽熱・海洋	0.5	0.5	0.5	6.4	34	47	65	0.0	0.2	1.5	9.9	13.6	3.3	7.3
バイオマス・廃棄物	11	21	48	215	275	308	329	0.8	5.9	7.8	9.1	1.9	0.9	1.3
水素	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
その他	-	0.3	1.5	6.0	6.0	6.0	6.0	0.0	0.2	0.1	11.1	0.0	0.0	0.0

エネルギー・経済指標他

	1980	1990	2000	2017	2030	2040	2050	1990/ 2017	2017/ 2030	2030/ 2050	2017/ 2050
GDP (2010年価格10億ドル)	9,925	12,721	15,953	20,808	25,402	28,941	32,256	1.8	1.5	1.2	1.3
人口(100万人)	475	505	527	575	588	590	585	0.5	0.2	0.0	0.1
エネルギー起源CO ₂ 排出(100万t)	4,101	3,929	3,911	3,523	3,120	2,853	2,573	-0.4	-0.9	-1.0	-0.9
一人あたりGDP (2010年価格1,000ドル/人)	21	25	30	36	43	49	55	1.4	1.4	1.2	1.3
一人あたり一次エネルギー消費(toe/人)	3.1	3.3	3.3	3.1	2.8	2.7	2.5	-0.2	-0.6	-0.6	-0.6
GDPあたり一次エネルギー消費 ²⁾	151	129	110	85	66	55	46	-1.6	-1.9	-1.8	-1.8
GDPあたりCO ₂ 排出量 ³⁾	413	309	245	169	123	99	80	-2.2	-2.4	-2.1	-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	2.0	1.9	1.8	1.7	-0.7	-0.5	-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

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	2017	2030	2040	2050	1990	2017	2050	1990/2017	2017/2030	2030/2050	2017/2050
合計 ¹⁾	1,241	1,513	993	1,122	1,178	1,227	1,268	100	100	100	-1.1	0.4	0.4	0.4
石炭	362	365	209	209	199	209	211	24	19	17	-2.0	-0.4	0.3	0.0
石油	464	458	199	237	230	228	228	30	21	18	-2.4	-0.2	-0.1	-0.1
天然ガス	355	596	486	542	571	603	618	39	48	49	-0.3	0.4	0.4	0.4
原子力	21	55	61	83	109	103	112	3.6	7.4	8.9	1.6	2.1	0.1	0.9
水力	20	22	23	26	29	30	31	1.5	2.3	2.4	0.6	0.8	0.4	0.5
地熱	-	0.0	0.1	0.2	0.5	0.6	0.6	0.0	0.0	0.0	8.5	7.0	0.7	3.1
太陽光・風力等	-	-	0.0	1.6	4.1	6.5	9.5	-	0.1	0.8	n.a.	7.4	4.2	5.5
バイオマス・廃棄物	21	17	15	23	37	47	59	1.1	2.1	4.7	1.2	3.7	2.3	2.9

最終エネルギー消費

	(Mtoe)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2017	2030	2040	2050	1990	2017	2050	1990/2017	2017/2030	2030/2050	2017/2050
合計	869	1,056	646	726	757	774	787	100	100	100	-1.4	0.3	0.2	0.2
産業	395	390	204	215	236	251	258	37	30	33	-2.2	0.7	0.5	0.5
運輸	107	170	109	146	140	135	131	16	20	17	-0.6	-0.3	-0.3	-0.3
民生・農業他	301	431	285	284	292	289	290	41	39	37	-1.5	0.2	0.0	0.1
非エネルギー消費	67	65	48	81	90	99	108	6.2	11	14	0.8	0.8	1.0	0.9
石炭	152	113	36	50	52	51	49	11	7.0	6.2	-2.9	0.2	-0.3	-0.1
石油	310	274	143	190	192	191	190	26	26	24	-1.3	0.1	0.0	0.0
天然ガス	215	258	199	229	235	238	240	24	32	30	-0.4	0.2	0.1	0.1
電力	95	125	86	107	129	151	170	12	15	22	-0.6	1.4	1.4	1.4
熱	78	274	170	132	131	128	123	26	18	16	-2.7	0.0	-0.3	-0.2
水素	-	-	-	-	0.0	0.0	-	-	-	-	n.a.	n.a.	-100	n.a.
再生可能	21	13	11	16	18	16	14	1.2	2.2	1.8	0.9	0.6	-1.1	-0.4

発電量

	(TWh)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2017	2030	2040	2050	1990	2017	2050	1990/2017	2017/2030	2030/2050	2017/2050
合計	1,461	1,857	1,415	1,750	2,038	2,280	2,470	100	100	100	-0.2	1.2	1.0	1.0
石炭	471	429	338	388	436	513	546	23	22	22	-0.4	0.9	1.1	1.0
石油	357	252	69	17	14	13	9.8	14	1.0	0.4	-9.4	-1.4	-1.9	-1.7
天然ガス	295	707	504	702	754	872	918	38	40	37	0.0	0.6	1.0	0.8
原子力	79	209	234	318	419	397	431	11	18	17	1.6	2.1	0.1	0.9
水力	232	260	267	301	334	350	360	14	17	15	0.6	0.8	0.4	0.5
地熱	-	0.0	0.1	0.4	1.7	2.0	2.2	0.0	0.0	0.1	10.7	11.2	1.1	5.0
太陽光	-	-	-	5.2	16	27	41	-	0.3	1.7	n.a.	8.7	5.0	6.4
風力	-	-	0.0	12	31	47	67	-	0.7	2.7	n.a.	7.4	4.0	5.3
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	4.9	33	59	93	0.0	0.3	3.8	18.7	15.7	5.4	9.3
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	2017	2030	2040	2050	1990/2017	2017/2030	2030/2050	2017/2050
GDP (2010年価格10億ドル)	1,765	2,145	1,472	2,759	3,792	4,804	6,014	0.9	2.5	2.3	2.4
人口(100万人)	321	337	335	341	345	343	341	0.0	0.1	-0.1	0.0
エネルギー起源CO ₂ 排出(100万t)	3,319	3,678	2,225	2,349	2,318	2,396	2,408	-1.6	-0.1	0.2	0.1
一人あたりGDP (2010年価格1,000ドル/人)	5.5	6.4	4.4	8.1	11	14	18	0.9	2.4	2.4	2.4
一人あたり一次エネルギー消費(toe/人)	3.9	4.5	3.0	3.3	3.4	3.6	3.7	-1.1	0.3	0.4	0.4
GDPあたり一次エネルギー消費 ²⁾	703	705	674	407	311	255	211	-2.0	-2.1	-1.9	-2.0
GDPあたりCO ₂ 排出量 ³⁾	1,881	1,714	1,512	851	611	499	400	-2.6	-2.5	-2.1	-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	2.0	2.0	1.9	-0.6	-0.5	-0.2	-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	2017	2030	2040	2050	1990	2017	2050	1990/ 2017	2017/ 2030	2030/ 2050	2017/ 2050
合計 ¹⁾	n.a.	1,645	1,695	1,619	1,519	1,431	1,342	100	100	100	-0.1	-0.5	-0.6	-0.6
石炭	n.a.	454	321	234	187	161	140	28	14	10	-2.4	-1.7	-1.4	-1.5
石油	n.a.	607	624	531	461	409	364	37	33	27	-0.5	-1.1	-1.2	-1.1
天然ガス	n.a.	297	396	398	402	403	382	18	25	28	1.1	0.1	-0.3	-0.1
原子力	n.a.	207	246	216	188	164	154	13	13	11	0.2	-1.1	-1.0	-1.0
水力	n.a.	25	31	26	29	30	31	1.5	1.6	2.3	0.1	1.0	0.2	0.5
地熱	n.a.	3.2	4.6	6.8	8.8	9.6	10	0.2	0.4	0.8	2.9	2.0	0.8	1.3
太陽光・風力等	n.a.	0.3	2.4	46	72	84	95	0.0	2.8	7.1	20.1	3.6	1.4	2.3
バイオマス・廃棄物	n.a.	48	67	159	168	167	164	2.9	9.8	12	4.6	0.4	-0.1	0.1

最終エネルギー消費

	(Mtoe)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2017	2030	2040	2050	1990	2017	2050	1990/ 2017	2017/ 2030	2030/ 2050	2017/ 2050
合計	n.a.	1,133	1,178	1,154	1,104	1,039	973	100	100	100	0.1	-0.3	-0.6	-0.5
産業	n.a.	345	308	263	261	253	239	30	23	25	-1.0	-0.1	-0.4	-0.3
運輸	n.a.	259	303	327	287	255	229	23	28	24	0.9	-1.0	-1.1	-1.1
民生・農業他	n.a.	430	454	461	452	428	403	38	40	41	0.3	-0.1	-0.6	-0.4
非エネルギー消費	n.a.	99	112	102	103	103	101	8.7	8.9	10	0.1	0.1	-0.1	0.0
石炭	n.a.	120	51	35	29	25	22	11	3.1	2.3	-4.4	-1.6	-1.3	-1.4
石油	n.a.	506	542	479	417	366	324	45	42	33	-0.2	-1.1	-1.3	-1.2
天然ガス	n.a.	227	272	254	252	240	224	20	22	23	0.4	-0.1	-0.6	-0.4
電力	n.a.	186	217	241	264	275	281	16	21	29	1.0	0.7	0.3	0.5
熱	n.a.	55	45	49	44	39	35	4.9	4.2	3.6	-0.5	-0.7	-1.2	-1.0
水素	n.a.	-	-	-	0.0	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	-100	n.a.
再生可能	n.a.	40	50	96	99	93	87	3.5	8.3	9.0	3.3	0.3	-0.6	-0.3

発電量

	(TWh)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2017	2030	2040	2050	1990	2017	2050	1990/ 2017	2017/ 2030	2030/ 2050	2017/ 2050
合計	n.a.	2,577	3,006	3,269	3,563	3,683	3,721	100	100	100	0.9	0.7	0.2	0.4
石炭	n.a.	1,050	968	710	622	542	459	41	22	12	-1.4	-1.0	-1.5	-1.3
石油	n.a.	224	181	61	46	42	30	8.7	1.9	0.8	-4.7	-2.2	-2.0	-2.1
天然ガス	n.a.	193	480	663	792	932	973	7.5	20	26	4.7	1.4	1.0	1.2
原子力	n.a.	795	945	830	723	630	590	31	25	16	0.2	-1.1	-1.0	-1.0
水力	n.a.	290	357	301	342	349	355	11	9.2	9.6	0.1	1.0	0.2	0.5
地熱	n.a.	3.2	4.8	6.7	8.9	9.8	11	0.1	0.2	0.3	2.8	2.2	0.9	1.4
太陽光	n.a.	0.0	0.1	114	192	233	264	0.0	3.5	7.1	39.1	4.1	1.6	2.6
風力	n.a.	0.8	22	362	527	588	640	0.0	11	17	25.6	2.9	1.0	1.7
太陽熱・海洋	n.a.	0.5	0.5	6.4	34	47	63	0.0	0.2	1.7	9.9	13.7	3.1	7.2
バイオマス・廃棄物	n.a.	20	46	211	272	306	330	0.8	6.4	8.9	9.2	2.0	1.0	1.4
水素	n.a.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
その他	n.a.	0.2	1.4	4.9	4.9	4.9	4.9	0.0	0.1	0.1	12.3	0.0	0.0	0.0

エネルギー・経済指標他

	1980	1990	2000	2017	2030	2040	2050	1990/ 2017	2017/ 2030	2030/ 2050	2017/ 2050
GDP (2010年価格10億ドル)	n.a.	11,891	14,783	18,824	22,909	26,160	29,207	1.7	1.5	1.2	1.3
人口(100万人)	n.a.	478	488	512	518	518	511	0.3	0.1	-0.1	0.0
エネルギー起源CO ₂ 排出(100万t)	n.a.	3,980	3,783	3,201	2,761	2,511	2,248	-0.8	-1.1	-1.0	-1.1
一人あたりGDP (2010年価格1,000ドル/人)	n.a.	25	30	37	44	51	57	1.5	1.4	1.3	1.3
一人あたり一次エネルギー消費(toe/人)	n.a.	3.4	3.5	3.2	2.9	2.8	2.6	-0.3	-0.6	-0.6	-0.6
GDPあたり一次エネルギー消費 ²⁾	n.a.	138	115	86	66	55	46	-1.7	-2.0	-1.8	-1.9
GDPあたりCO ₂ 排出量 ³⁾	n.a.	335	256	170	121	96	77	-2.5	-2.6	-2.2	-2.4
一次エネルギー消費あたりCO ₂ 排出(t/toe)	n.a.	2.4	2.2	2.0	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	2017	2030	2040	2050	1990	2017	2050	1990/ 2017	2017/ 2030	2030/ 2050	2017/ 2050
合計 ¹⁾	272	385	490	812	1,101	1,363	1,537	100	100	100	2.8	2.4	1.7	2.0
石炭	52	74	90	110	128	145	156	19	13	10	1.5	1.2	1.0	1.1
石油	65	85	101	191	265	365	463	22	24	30	3.0	2.5	2.8	2.7
天然ガス	12	30	47	123	198	287	387	7.7	15	25	5.4	3.8	3.4	3.5
原子力	-	2.2	3.4	3.7	5.8	10	8.8	0.6	0.5	0.6	1.9	3.5	2.1	2.6
水力	4.1	4.8	6.4	11	19	25	37	1.3	1.3	2.4	2.9	4.6	3.4	3.9
地熱	-	0.3	0.4	4.1	13	21	29	0.1	0.5	1.9	10.5	9.4	4.0	6.1
太陽光・風力等	-	0.0	0.0	2.0	13	29	51	0.0	0.2	3.3	35.8	15.9	7.0	10.4
バイオマス・廃棄物	139	189	240	367	458	480	404	49	45	26	2.5	1.7	-0.6	0.3

最終エネルギー消費

	(Mtoe)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2017	2030	2040	2050	1990	2017	2050	1990/ 2017	2017/ 2030	2030/ 2050	2017/ 2050
合計	216	287	364	594	815	1,001	1,112	100	100	100	2.7	2.5	1.6	1.9
産業	46	53	57	88	134	183	227	18	15	20	1.9	3.3	2.7	2.9
運輸	28	38	55	117	159	211	267	13	20	24	4.2	2.4	2.6	2.5
民生・農業他	137	185	238	368	491	565	566	64	62	51	2.6	2.2	0.7	1.3
非エネルギー消費	5.4	11	15	22	33	42	51	3.8	3.6	4.6	2.5	3.2	2.2	2.6
石炭	21	20	19	21	26	28	29	6.9	3.6	2.6	0.3	1.4	0.5	0.9
石油	54	70	90	166	233	318	408	25	28	37	3.2	2.6	2.8	2.8
天然ガス	2.8	8.6	14	41	64	84	103	3.0	6.9	9.3	6.0	3.5	2.4	2.8
電力	14	22	31	56	96	153	231	7.7	9.4	21	3.5	4.2	4.5	4.4
熱	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
水素	-	-	-	-	0.0	0.0	-	-	-	-	n.a.	n.a.	-100	n.a.
再生可能	124	166	210	309	397	418	341	58	52	31	2.3	1.9	-0.8	0.3

発電量

	(TWh)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2017	2030	2040	2050	1990	2017	2050	1990/ 2017	2017/ 2030	2030/ 2050	2017/ 2050
合計	184	315	441	817	1,376	2,145	3,170	100	100	100	3.6	4.1	4.3	4.2
石炭	100	164	209	254	331	405	461	52	31	15	1.6	2.1	1.7	1.8
石油	22	41	51	75	103	159	187	13	9.2	5.9	2.3	2.5	3.0	2.8
天然ガス	14	45	92	325	564	963	1,549	14	40	49	7.6	4.3	5.2	4.8
原子力	-	8.4	13	14	22	39	34	2.7	1.7	1.1	1.9	3.5	2.1	2.6
水力	47	56	75	123	219	295	430	18	15	14	2.9	4.6	3.4	3.9
地熱	-	0.3	0.4	4.8	16	24	34	0.1	0.6	1.1	10.5	9.4	4.0	6.1
太陽光	-	-	0.0	4.7	52	139	284	-	0.6	9.0	n.a.	20.4	8.9	13.3
風力	-	-	0.2	12	38	63	106	-	1.5	3.4	n.a.	9.1	5.3	6.8
太陽熱・海洋	-	-	-	1.1	20	42	66	-	0.1	2.1	n.a.	25.0	6.2	13.2
バイオマス・廃棄物	0.2	0.4	0.9	1.8	9.1	14	17	0.1	0.2	0.5	5.7	13.3	3.2	7.1
水素	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
その他	-	-	0.1	1.6	1.6	1.6	1.6	-	0.2	0.0	n.a.	0.0	0.0	0.0

エネルギー・経済指標他

	1980	1990	2000	2017	2030	2040	2050	1990/ 2017	2017/ 2030	2030/ 2050	2017/ 2050
GDP (2010年価格10億ドル)	718	893	1,166	2,391	4,084	6,571	9,731	3.7	4.2	4.4	4.3
人口(100万人)	479	634	816	1,255	1,703	2,095	2,511	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	1,196	1,623	2,169	2,716	3.0	2.4	2.6	2.5
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	3.9	1.1	1.8	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	0.6	0.6	0.7	0.6	0.2	0.0	-0.3	-0.2
GDPあたり一次エネルギー消費 ²⁾	379	432	420	340	269	207	158	-0.9	-1.8	-2.6	-2.3
GDPあたりCO ₂ 排出量 ³⁾	553	606	572	500	398	330	279	-0.7	-1.8	-1.8	-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	0.6

*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	2017	2030	2040	2050	1990	2017	2050	1990/2017	2017/2030	2030/2050	2017/2050
合計 ¹⁾	121	223	372	773	1,031	1,199	1,316	100	100	100	4.7	2.2	1.2	1.6
石炭	1.2	3.0	8.1	8.8	12	12	11	1.3	1.1	0.8	4.1	2.6	-0.7	0.6
石油	90	146	217	332	404	445	451	66	43	34	3.1	1.5	0.5	0.9
天然ガス	29	72	145	427	583	693	790	32	55	60	6.8	2.4	1.5	1.9
原子力	-	-	-	2.0	22	33	39	-	0.3	3.0	n.a.	20.4	3.0	9.5
水力	0.8	1.0	0.7	1.5	2.1	2.3	2.4	0.5	0.2	0.2	1.5	2.5	0.8	1.4
地熱	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
太陽光・風力等	-	0.4	0.7	1.1	6.9	12	22	0.2	0.1	1.7	3.6	15.2	5.9	9.5
バイオマス・廃棄物	0.3	0.4	0.4	1.0	0.9	0.8	0.8	0.2	0.1	0.1	2.9	-0.7	-0.4	-0.5

最終エネルギー消費

	(Mtoe)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2017	2030	2040	2050	1990	2017	2050	1990/2017	2017/2030	2030/2050	2017/2050
合計	84	157	253	509	680	790	876	100	100	100	4.4	2.3	1.3	1.7
産業	30	47	71	153	207	236	248	30	30	28	4.5	2.3	0.9	1.5
運輸	26	51	75	140	168	184	194	32	28	22	3.8	1.4	0.7	1.0
民生・農業他	22	40	75	137	187	223	259	25	27	30	4.7	2.4	1.7	2.0
非エネルギー消費	5.6	20	32	79	118	148	175	12	15	20	5.3	3.2	2.0	2.4
石炭	0.3	0.2	0.5	3.2	3.9	3.8	3.6	0.1	0.6	0.4	11.1	1.4	-0.4	0.3
石油	67	108	153	245	314	358	385	69	48	44	3.1	1.9	1.0	1.4
天然ガス	9.8	31	65	178	239	271	293	20	35	33	6.7	2.3	1.0	1.5
電力	6.5	17	33	81	122	157	193	11	16	22	5.9	3.2	2.3	2.7
熱	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
水素	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	-	-	0.0	n.a.	n.a.	-2.8	n.a.
再生可能	0.2	0.7	1.0	1.4	1.5	1.5	1.7	0.5	0.3	0.2	2.5	0.3	0.7	0.5

発電量

	(TWh)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2017	2030	2040	2050	1990	2017	2050	1990/2017	2017/2030	2030/2050	2017/2050
合計	95	244	472	1,194	1,778	2,252	2,731	100	100	100	6.0	3.1	2.2	2.5
石炭	0.1	11	30	23	35	34	29	4.3	1.9	1.1	2.9	3.3	-0.8	0.8
石油	47	108	188	290	303	266	177	44	24	6.5	3.7	0.4	-2.6	-1.5
天然ガス	39	114	246	851	1,273	1,688	2,144	47	71	78	7.7	3.1	2.6	2.8
原子力	-	-	-	7.5	83	127	151	-	0.6	5.5	n.a.	20.4	3.0	9.5
水力	9.7	12	8.0	18	24	26	28	4.9	1.5	1.0	1.5	2.5	0.8	1.4
地熱	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
太陽光	-	-	-	3.9	44	77	136	-	0.3	5.0	n.a.	20.3	5.9	11.4
風力	-	0.0	0.0	0.9	9.5	22	44	0.0	0.1	1.6	28.8	19.5	7.9	12.4
太陽熱・海洋	-	-	-	0.3	6.0	10	20	-	0.0	0.7	n.a.	27.5	6.2	14.1
バイオマス・廃棄物	-	-	-	0.0	0.3	0.4	0.6	-	0.0	0.0	n.a.	20.7	2.9	9.6
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	2017	2030	2040	2050	1990/2017	2017/2030	2030/2050	2017/2050
GDP (2010年価格10億ドル)	976	1,029	1,532	2,770	3,805	5,059	6,552	3.7	2.5	2.8	2.6
人口(100万人)	92	132	168	246	302	335	365	2.3	1.6	1.0	1.2
エネルギー起源CO ₂ 排出(100万t)	311	568	942	1,858	2,329	2,622	2,785	4.5	1.8	0.9	1.2
一人あたりGDP (2010年価格1,000ドル/人)	11	7.8	9.1	11	13	15	18	1.4	0.9	1.8	1.4
一人あたり一次エネルギー消費(toe/人)	1.3	1.7	2.2	3.1	3.4	3.6	3.6	2.3	0.6	0.3	0.4
GDPあたり一次エネルギー消費 ²⁾	124	216	243	279	271	237	201	0.9	-0.2	-1.5	-1.0
GDPあたりCO ₂ 排出量 ³⁾	318	552	615	671	612	518	425	0.7	-0.7	-1.8	-1.4
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	2.3	2.2	2.1	-0.2	-0.5	-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

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	2017	2030	2040	2050	1990	2017	2050	1990/ 2017	2017/ 2030	2030/ 2050	2017/ 2050
合計 ¹⁾	79	99	125	148	156	155	150	100	100	100	1.5	0.4	-0.2	0.0
石炭	28	36	49	45	38	33	29	36	31	19	0.8	-1.4	-1.4	-1.4
石油	34	35	40	50	48	45	41	35	34	27	1.3	-0.2	-0.9	-0.6
天然ガス	8.3	19	24	36	44	48	48	19	24	32	2.4	1.7	0.4	0.9
原子力	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
水力	2.7	3.2	3.5	3.5	3.4	3.3	3.3	3.2	2.4	2.2	0.4	-0.3	-0.2	-0.3
地熱	1.0	1.5	2.0	4.9	7.7	8.1	8.4	1.5	3.3	5.6	4.5	3.5	0.5	1.7
太陽光・風力等	0.0	0.1	0.1	2.4	6.7	10.0	13	0.1	1.6	8.9	11.9	8.4	3.5	5.4
バイオマス・廃棄物	4.1	4.7	6.2	6.6	7.5	8.0	8.2	4.8	4.5	5.5	1.3	0.9	0.5	0.7

最終エネルギー消費

	(Mtoe)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2017	2030	2040	2050	1990	2017	2050	1990/ 2017	2017/ 2030	2030/ 2050	2017/ 2050
合計	54	66	83	96	103	104	102	100	100	100	1.4	0.5	0.0	0.2
産業	20	23	28	27	31	32	31	35	28	30	0.6	1.1	-0.1	0.4
運輸	19	24	30	39	38	37	36	36	40	35	1.8	-0.1	-0.3	-0.2
民生・農業他	11	15	19	25	27	29	29	22	26	29	1.9	0.8	0.4	0.5
非エネルギー消費	3.1	4.6	6.1	6.3	6.6	6.6	6.5	6.9	6.5	6.4	1.2	0.4	0.0	0.1
石炭	5.3	5.2	4.7	3.1	3.2	3.1	2.9	7.9	3.2	2.8	-1.9	0.3	-0.6	-0.2
石油	31	33	40	50	50	47	44	50	52	43	1.6	-0.1	-0.6	-0.4
天然ガス	5.4	10	14	16	18	18	18	16	16	17	1.5	0.8	0.1	0.4
電力	8.5	14	18	21	26	29	31	20	22	30	1.7	1.6	0.8	1.1
熱	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
水素	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	-	-	0.0	n.a.	n.a.	-11.2	n.a.
再生可能	4.0	4.1	5.6	5.9	6.6	6.7	6.6	6.2	6.1	6.4	1.3	0.9	0.0	0.3

発電量

	(TWh)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2017	2030	2040	2050	1990	2017	2050	1990/ 2017	2017/ 2030	2030/ 2050	2017/ 2050
合計	118	187	249	302	366	396	416	100	100	100	1.8	1.5	0.6	1.0
石炭	70	122	176	163	158	145	125	65	54	30	1.1	-0.3	-1.2	-0.8
石油	5.2	3.6	1.8	5.3	4.2	3.2	2.0	1.9	1.7	0.5	1.5	-1.7	-3.5	-2.8
天然ガス	8.7	20	26	58	72	77	77	11	19	19	4.0	1.7	0.4	0.9
原子力	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
水力	32	37	41	41	39	39	38	20	14	9.1	0.4	-0.3	-0.2	-0.3
地熱	1.2	2.1	2.9	7.9	13	13	14	1.1	2.6	3.3	5.0	3.7	0.5	1.7
太陽光	-	-	0.0	8.1	33	51	67	-	2.7	16	n.a.	11.4	3.6	6.6
風力	-	-	0.2	15	39	58	80	-	4.9	19	n.a.	7.9	3.6	5.3
太陽熱・海洋	-	-	-	0.0	0.0	0.1	0.2	-	0.0	0.0	n.a.	26.8	6.5	14.1
バイオマス・廃棄物	0.7	1.2	1.7	4.1	7.4	10	13	0.7	1.4	3.1	4.5	4.6	2.8	3.5
水素	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
その他	-	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-1.1	0.0	0.0	0.0

エネルギー・経済指標他

	1980	1990	2000	2017	2030	2040	2050	1990/ 2017	2017/ 2030	2030/ 2050	2017/ 2050
GDP (2010年価格10億ドル)	528	721	996	1,614	2,199	2,647	3,092	3.0	2.4	1.7	2.0
人口(100万人)	18	20	23	29	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	422	409	389	357	1.5	-0.3	-0.7	-0.5
一人あたりGDP (2010年価格1,000ドル/人)	30	35	43	55	66	73	80	1.6	1.4	1.0	1.2
一人あたり一次エネルギー消費(toe/人)	4.4	4.9	5.4	5.0	4.6	4.3	3.9	0.1	-0.6	-0.9	-0.8
GDPあたり一次エネルギー消費 ²⁾	149	137	126	92	71	59	49	-1.5	-2.0	-1.9	-1.9
GDPあたりCO ₂ 排出量 ³⁾	435	391	365	262	186	147	115	-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	2.9	2.6	2.5	2.4	0.0	-0.6	-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	2017	2030	2040	2050	1990	2017	2050	1990/ 2017	2017/ 2030	2030/ 2050	2017/ 2050
合計 ¹⁾	3,993	4,468	5,235	5,228	5,181	5,008	4,767	100	100	100	0.6	-0.1	-0.4	-0.3
石炭	966	1,088	1,118	904	782	680	560	24	17	12	-0.7	-1.1	-1.7	-1.4
石油	1,898	1,826	2,069	1,874	1,711	1,561	1,421	41	36	30	0.1	-0.7	-0.9	-0.8
天然ガス	760	827	1,134	1,389	1,551	1,590	1,538	19	27	32	1.9	0.8	0.0	0.3
原子力	164	463	596	513	455	413	391	10	9.8	8.2	0.4	-0.9	-0.8	-0.8
水力	92	100	111	116	122	125	127	2.2	2.2	2.7	0.6	0.4	0.2	0.3
地熱	9.4	22	25	34	58	77	88	0.5	0.6	1.9	1.6	4.2	2.1	2.9
太陽光・風力等	0.1	2.0	5.9	90	160	215	293	0.0	1.7	6.1	15.2	4.5	3.1	3.6
バイオマス・廃棄物	102	139	173	306	341	345	347	3.1	5.8	7.3	3.0	0.8	0.1	0.4

最終エネルギー消費

	(Mtoe)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2017	2030	2040	2050	1990	2017	2050	1990/ 2017	2017/ 2030	2030/ 2050	2017/ 2050
合計	2,891	3,056	3,581	3,651	3,632	3,502	3,345	100	100	100	0.7	0.0	-0.4	-0.3
産業	927	826	906	798	822	806	767	27	22	23	-0.1	0.2	-0.3	-0.1
運輸	761	916	1,117	1,202	1,100	1,010	935	30	33	28	1.0	-0.7	-0.8	-0.8
民生・農業他	959	1,028	1,193	1,248	1,264	1,230	1,184	34	34	35	0.7	0.1	-0.3	-0.2
非エネルギー消費	245	286	366	402	445	456	458	9.3	11	14	1.3	0.8	0.1	0.4
石炭	259	231	138	110	94	82	71	7.6	3.0	2.1	-2.7	-1.2	-1.4	-1.3
石油	1,545	1,557	1,808	1,716	1,577	1,439	1,315	51	47	39	0.4	-0.6	-0.9	-0.8
天然ガス	547	578	732	741	773	748	705	19	20	21	0.9	0.3	-0.5	-0.2
電力	407	553	719	813	915	974	1,011	18	22	30	1.4	0.9	0.5	0.7
熱	36	48	52	61	57	51	45	1.6	1.7	1.4	0.9	-0.6	-1.1	-0.9
水素	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	-	-	0.0	n.a.	n.a.	-11.7	n.a.
再生可能	97	89	133	209	216	207	198	2.9	5.7	5.9	3.2	0.2	-0.4	-0.2

発電量

	(TWh)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2017	2030	2040	2050	1990	2017	2050	1990/ 2017	2017/ 2030	2030/ 2050	2017/ 2050
合計	5,639	7,668	9,706	10,868	12,177	12,878	13,258	100	100	100	1.3	0.9	0.4	0.6
石炭	2,323	3,127	3,833	3,070	2,912	2,588	2,126	41	28	16	-0.1	-0.4	-1.6	-1.1
石油	985	669	539	196	137	101	55	8.7	1.8	0.4	-4.4	-2.7	-4.5	-3.8
天然ガス	607	767	1,531	2,891	3,708	4,274	4,412	10	27	33	5.0	1.9	0.9	1.3
原子力	629	1,776	2,288	1,967	1,746	1,587	1,501	23	18	11	0.4	-0.9	-0.8	-0.8
水力	1,071	1,159	1,294	1,354	1,421	1,455	1,479	15	12	11	0.6	0.4	0.2	0.3
地熱	10	23	27	47	85	120	140	0.3	0.4	1.1	2.6	4.7	2.5	3.4
太陽光	-	0.1	0.7	258	501	794	1,271	0.0	2.4	9.6	34.4	5.2	4.8	5.0
風力	0.0	3.8	29	684	1,016	1,164	1,317	0.1	6.3	9.9	21.2	3.1	1.3	2.0
太陽熱・海洋	0.5	1.2	1.1	11	88	152	247	0.0	0.1	1.9	8.4	17.8	5.3	10.0
バイオマス・廃棄物	13	121	142	358	528	611	675	1.6	3.3	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	34	34	34	34	0.3	0.3	0.3	2.0	0.0	0.0	0.0

エネルギー・経済指標他

	1980	1990	2000	2017	2030	2040	2050	1990/ 2017	2017/ 2030	2030/ 2050	2017/ 2050
GDP (2010年価格10億ドル)	21,080	28,914	37,649	50,277	62,850	74,064	85,161	2.1	1.7	1.5	1.6
人口(100万人)	925	999	1,070	1,181	1,222	1,237	1,238	0.6	0.3	0.1	0.1
エネルギー起源CO ₂ 排出(100万t)	10,435	10,801	12,266	11,347	10,660	9,890	8,879	0.2	-0.5	-0.9	-0.7
一人あたりGDP (2010年価格1,000ドル/人)	23	29	35	43	51	60	69	1.4	1.5	1.5	1.5
一人あたり一次エネルギー消費(toe/人)	4.3	4.5	4.9	4.4	4.2	4.0	3.8	0.0	-0.3	-0.5	-0.4
GDPあたり一次エネルギー消費 ²⁾	189	155	139	104	82	68	56	-1.5	-1.8	-1.9	-1.9
GDPあたりCO ₂ 排出量 ³⁾	495	374	326	226	170	134	104	-1.8	-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	2.1	2.0	1.9	-0.4	-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

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	2017	2030	2040	2050	1990	2017	2050	1990/ 2017	2017/ 2030	2030/ 2050	2017/ 2050
合計 ¹⁾	3,032	4,096	4,517	8,331	10,854	12,329	13,236	100	100	100	2.7	2.1	1.0	1.4
石炭	817	1,133	1,198	2,886	3,433	3,583	3,474	28	35	26	3.5	1.3	0.1	0.6
石油	1,029	1,205	1,320	2,163	2,813	3,272	3,628	29	26	27	2.2	2.0	1.3	1.6
天然ガス	472	837	938	1,718	2,462	3,050	3,537	20	21	27	2.7	2.8	1.8	2.2
原子力	22	62	79	175	339	404	467	1.5	2.1	3.5	3.9	5.2	1.6	3.0
水力	56	84	113	235	291	324	356	2.1	2.8	2.7	3.9	1.7	1.0	1.3
地熱	3.0	12	27	52	124	163	201	0.3	0.6	1.5	5.6	6.9	2.4	4.2
太陽光・風力等	-	0.5	2.1	80	226	348	489	0.0	1.0	3.7	20.9	8.3	3.9	5.6
バイオマス・廃棄物	635	763	839	1,023	1,166	1,186	1,083	19	12	8.2	1.1	1.0	-0.4	0.2

最終エネルギー消費

	(Mtoe)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2017	2030	2040	2050	1990	2017	2050	1990/ 2017	2017/ 2030	2030/ 2050	2017/ 2050
合計	2,300	3,006	3,175	5,654	7,260	8,244	8,937	100	100	100	2.4	1.9	1.0	1.4
産業	839	978	967	2,023	2,534	2,801	2,921	33	36	33	2.7	1.7	0.7	1.1
運輸	307	453	568	1,193	1,601	1,897	2,177	15	21	24	3.7	2.3	1.5	1.8
民生・農業他	1,041	1,385	1,399	1,961	2,449	2,739	2,918	46	35	33	1.3	1.7	0.9	1.2
非エネルギー消費	113	190	241	477	676	808	921	6.3	8.4	10	3.5	2.7	1.6	2.0
石炭	444	522	404	910	923	908	860	17	16	9.6	2.1	0.1	-0.4	-0.2
石油	726	844	1,040	1,856	2,485	2,925	3,306	28	33	37	3.0	2.3	1.4	1.8
天然ガス	267	366	384	761	1,084	1,258	1,388	12	13	16	2.7	2.8	1.2	1.8
電力	178	282	373	1,025	1,570	1,979	2,355	9.4	18	26	4.9	3.3	2.0	2.6
熱	85	288	196	228	242	243	239	9.6	4.0	2.7	-0.9	0.4	-0.1	0.1
水素	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	-	-	0.0	n.a.	n.a.	-4.9	n.a.
再生可能	599	704	777	873	956	931	788	23	15	8.8	0.8	0.7	-1.0	-0.3

発電量

	(TWh)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2017	2030	2040	2050	1990	2017	2050	1990/ 2017	2017/ 2030	2030/ 2050	2017/ 2050
合計	2,644	4,182	5,730	14,738	22,235	27,526	32,105	100	100	100	4.8	3.2	1.9	2.4
石炭	813	1,303	2,162	6,794	9,278	10,366	10,635	31	46	33	6.3	2.4	0.7	1.4
石油	674	655	668	645	696	686	538	16	4.4	1.7	-0.1	0.6	-1.3	-0.6
天然ガス	392	984	1,228	2,992	4,877	6,977	9,140	24	20	28	4.2	3.8	3.2	3.4
原子力	85	236	303	669	1,302	1,549	1,793	5.7	4.5	5.6	3.9	5.3	1.6	3.0
水力	646	982	1,319	2,729	3,385	3,770	4,145	23	19	13	3.9	1.7	1.0	1.3
地熱	3.5	13	25	38	106	143	179	0.3	0.3	0.6	4.1	8.1	2.7	4.8
太陽光	-	0.0	0.3	186	790	1,435	2,460	0.0	1.3	7.7	50.5	11.8	5.8	8.1
風力	-	0.0	2.8	443	1,342	1,950	2,371	0.0	3.0	7.4	41.7	8.9	2.9	5.2
太陽熱・海洋	-	0.0	0.0	1.4	30	63	104	0.0	0.0	0.3	21.6	26.7	6.4	14.0
バイオマス・廃棄物	31	8.5	22	238	427	585	738	0.2	1.6	2.3	13.1	4.6	2.8	3.5
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	2017	2030	2040	2050	1990/ 2017	2017/ 2030	2030/ 2050	2017/ 2050
GDP (2010年価格10億ドル)	7,093	9,137	12,448	29,659	52,547	77,792	105,589	4.5	4.5	3.6	3.9
人口(100万人)	3,512	4,282	5,043	6,338	7,300	7,938	8,478	1.5	1.1	0.8	0.9
エネルギー起源CO ₂ 排出(100万t)	6,787	8,873	9,912	20,081	25,293	28,256	29,744	3.1	1.8	0.8	1.2
一人あたりGDP (2010年価格1,000ドル/人)	2.0	2.1	2.5	4.7	7.2	9.8	12	3.0	3.4	2.8	3.0
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	1.6	1.6	1.2	1.0	0.2	0.5
GDPあたり一次エネルギー消費 ²⁾	427	448	363	281	207	158	125	-1.7	-2.3	-2.5	-2.4
GDPあたりCO ₂ 排出量 ³⁾	957	971	796	677	481	363	282	-1.3	-2.6	-2.6	-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	2017	2030	2040	2050	1990	2017	2050	1990/ 2017	2017/ 2030	2030/ 2050	2017/ 2050
合計 ¹	7,203	8,766	10,025	13,972	15,624	16,043	15,915	100	100	100	1.7	0.9	0.1	0.4
石炭	1,783	2,220	2,317	3,790	3,559	3,011	2,375	25	27	15	2.0	-0.5	-2.0	-1.4
石油	3,105	3,233	3,663	4,449	4,702	4,672	4,489	37	32	28	1.2	0.4	-0.2	0.0
天然ガス	1,232	1,664	2,072	3,107	3,696	3,945	3,879	19	22	24	2.3	1.3	0.2	0.7
原子力	186	526	675	687	930	1,125	1,282	6.0	4.9	8.1	1.0	2.4	1.6	1.9
水力	148	184	225	351	432	479	522	2.1	2.5	3.3	2.4	1.6	1.0	1.2
地熱	12	34	52	86	229	339	437	0.4	0.6	2.7	3.5	7.8	3.3	5.1
太陽光・風力等	0.1	2.5	7.9	171	561	946	1,410	0.0	1.2	8.9	17.0	9.6	4.7	6.6
バイオマス・廃棄物	737	902	1,012	1,329	1,514	1,525	1,519	10	9.5	9.5	1.4	1.0	0.0	0.4

最終エネルギー消費

	(Mtoe)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2017	2030	2040	2050	1990	2017	2050	1990/ 2017	2017/ 2030	2030/ 2050	2017/ 2050
合計	5,369	6,264	7,030	9,717	10,872	11,176	11,193	100	100	100	1.6	0.9	0.1	0.4
産業	1,766	1,804	1,873	2,821	3,275	3,344	3,216	29	29	29	1.7	1.2	-0.1	0.4
運輸	1,246	1,571	1,958	2,808	2,990	3,039	3,106	25	29	28	2.2	0.5	0.2	0.3
民生・農業他	2,000	2,414	2,592	3,209	3,487	3,532	3,493	39	33	31	1.1	0.6	0.0	0.3
非エネルギー消費	358	476	607	879	1,121	1,262	1,378	7.6	9.0	12	2.3	1.9	1.0	1.4
石炭	703	753	542	1,020	957	875	768	12	10	6.9	1.1	-0.5	-1.1	-0.9
石油	2,449	2,604	3,122	3,985	4,306	4,332	4,226	42	41	38	1.6	0.6	-0.1	0.2
天然ガス	815	944	1,116	1,502	1,789	1,861	1,903	15	15	17	1.7	1.4	0.3	0.7
電力	586	834	1,092	1,838	2,428	2,807	3,104	13	19	28	3.0	2.2	1.2	1.6
熱	121	336	248	289	289	273	252	5.4	3.0	2.2	-0.6	0.0	-0.7	-0.4
水素	-	-	-	-	0.4	1.3	2.8	-	-	0.0	n.a.	n.a.	10.2	n.a.
再生可能	696	794	910	1,083	1,102	1,027	938	13	11	8.4	1.2	0.1	-0.8	-0.4

発電量

	(TWh)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2017	2030	2040	2050	1990	2017	2050	1990/ 2017	2017/ 2030	2030/ 2050	2017/ 2050
合計	8,283	11,850	15,436	25,606	33,552	38,465	42,127	100	100	100	2.9	2.1	1.1	1.5
石炭	3,137	4,430	5,994	9,863	9,528	7,675	5,610	37	39	13	3.0	-0.3	-2.6	-1.7
石油	1,659	1,325	1,207	842	656	485	273	11	3.3	0.6	-1.7	-1.9	-4.3	-3.4
天然ガス	999	1,750	2,760	5,883	7,622	8,905	8,730	15	23	21	4.6	2.0	0.7	1.2
原子力	713	2,013	2,591	2,636	3,569	4,317	4,920	17	10	12	1.0	2.4	1.6	1.9
水力	1,717	2,141	2,613	4,082	5,023	5,567	6,069	18	16	14	2.4	1.6	1.0	1.2
地熱	14	36	52	85	247	369	481	0.3	0.3	1.1	3.2	8.5	3.4	5.4
太陽光	-	0.1	1.0	444	1,904	3,652	6,102	0.0	1.7	14	37.0	11.9	6.0	8.3
風力	0.0	3.9	31	1,127	3,637	5,567	7,323	0.0	4.4	17	23.4	9.4	3.6	5.8
太陽熱・海洋	0.5	1.2	1.1	12	173	426	809	0.0	0.0	1.9	8.9	22.9	8.0	13.6
バイオマス・廃棄物	44	130	164	596	1,157	1,466	1,773	1.1	2.3	4.2	5.8	5.2	2.2	3.4
水素	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
その他	-	20	22	36	36	36	36	0.2	0.1	0.1	2.2	0.0	0.0	0.0

エネルギー・経済指標他

	1980	1990	2000	2017	2030	2040	2050	1990/ 2017	2017/ 2030	2030/ 2050	2017/ 2050
GDP (2010年価格10億ドル)	28,173	38,050	50,096	79,936	115,397	151,856	190,750	2.8	2.9	2.5	2.7
人口(100万人)	4,437	5,281	6,112	7,519	8,522	9,176	9,716	1.3	1.0	0.7	0.8
エネルギー起源CO ₂ 排出(100万t)	17,777	20,302	23,029	32,711	32,793	29,761	25,288	1.8	0.0	-1.3	-0.8
一人あたりGDP (2010年価格1,000ドル/人)	6.4	7.2	8.2	11	14	17	20	1.5	1.9	1.9	1.9
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	-0.1	-0.6	-0.4
GDPあたり一次エネルギー消費 ²	256	230	200	175	135	106	83	-1.0	-1.9	-2.4	-2.2
GDPあたりCO ₂ 排出量 ³	631	534	460	409	284	196	133	-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	-0.8	-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

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	2017	2030	2040	2050	1990	2017	2050	1990/ 2017	2017/ 2030	2030/ 2050	2017/ 2050
合計 ¹	1,439	2,110	2,887	5,669	6,937	7,236	7,223	100	100	100	3.7	1.6	0.2	0.7
石炭	466	788	1,037	2,761	2,799	2,435	1,963	37	49	27	4.8	0.1	-1.8	-1.0
石油	477	618	916	1,410	1,741	1,855	1,905	29	25	26	3.1	1.6	0.5	0.9
天然ガス	51	116	233	595	917	1,064	1,097	5.5	10	15	6.2	3.4	0.9	1.9
原子力	25	77	132	130	339	466	566	3.6	2.3	7.8	2.0	7.6	2.6	4.6
水力	20	32	41	141	192	220	240	1.5	2.5	3.3	5.7	2.4	1.1	1.6
地熱	2.6	8.2	23	44	117	179	232	0.4	0.8	3.2	6.4	7.9	3.5	5.2
太陽光・風力等	-	1.2	2.1	75	293	488	693	0.1	1.3	9.6	16.4	11.0	4.4	7.0
バイオマス・廃棄物	397	471	503	513	538	528	525	22	9.0	7.3	0.3	0.4	-0.1	0.1

最終エネルギー消費

	(Mtoe)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2017	2030	2040	2050	1990	2017	2050	1990/ 2017	2017/ 2030	2030/ 2050	2017/ 2050
合計	1,133	1,554	1,992	3,793	4,619	4,875	4,962	100	100	100	3.4	1.5	0.4	0.8
産業	383	516	653	1,544	1,838	1,852	1,755	33	41	35	4.1	1.3	-0.2	0.4
運輸	124	183	318	692	891	982	1,068	12	18	22	5.0	2.0	0.9	1.3
民生・農業他	568	740	843	1,178	1,367	1,438	1,475	48	31	30	1.7	1.2	0.4	0.7
非エネルギー消費	58	115	179	380	524	603	664	7.4	10	13	4.5	2.5	1.2	1.7
石炭	301	424	373	859	817	748	655	27	23	13	2.7	-0.4	-1.1	-0.8
石油	330	458	734	1,261	1,594	1,716	1,779	29	33	36	3.8	1.8	0.6	1.0
天然ガス	21	46	87	295	490	542	566	2.9	7.8	11	7.2	4.0	0.7	2.0
電力	88	157	280	825	1,207	1,410	1,551	10	22	31	6.3	3.0	1.3	1.9
熱	7.5	14	30	102	113	113	107	0.9	2.7	2.2	7.6	0.8	-0.3	0.1
水素	-	-	-	-	0.2	0.7	1.6	-	-	0.0	n.a.	n.a.	11.6	n.a.
再生可能	385	455	488	452	399	345	302	29	12	6.1	0.0	-1.0	-1.4	-1.2

発電量

	(TWh)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2017	2030	2040	2050	1990	2017	2050	1990/ 2017	2017/ 2030	2030/ 2050	2017/ 2050
合計	1,196	2,241	3,980	11,340	16,482	19,052	20,859	100	100	100	6.2	2.9	1.2	1.9
石炭	298	868	1,983	6,788	7,213	6,106	4,725	39	60	23	7.9	0.5	-2.1	-1.1
石油	476	436	385	213	152	111	71	19	1.9	0.3	-2.6	-2.6	-3.8	-3.3
天然ガス	90	237	570	1,352	2,012	2,544	2,665	11	12	13	6.7	3.1	1.4	2.1
原子力	97	294	505	500	1,303	1,789	2,173	13	4.4	10	2.0	7.6	2.6	4.6
水力	232	368	478	1,638	2,229	2,553	2,796	16	14	13	5.7	2.4	1.1	1.6
地熱	3.0	8.4	20	26	76	116	151	0.4	0.2	0.7	4.2	8.7	3.5	5.5
太陽光	-	0.1	0.6	228	1,112	2,052	3,195	0.0	2.0	15	34.9	13.0	5.4	8.3
風力	-	0.0	2.4	362	1,908	3,150	4,268	0.0	3.2	20	41.0	13.6	4.1	7.8
太陽熱・海洋	-	0.0	0.0	0.5	12	28	62	0.0	0.0	0.3	17.4	27.5	8.4	15.6
バイオマス・廃棄物	0.0	9.4	16	210	443	580	729	0.4	1.9	3.5	12.2	5.9	2.5	3.8
水素	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
その他	-	20	20	22	22	22	22	0.9	0.2	0.1	0.4	0.0	0.0	0.0

エネルギー・経済指標他

	1980	1990	2000	2017	2030	2040	2050	1990/ 2017	2017/ 2030	2030/ 2050	2017/ 2050
GDP (2010年価格10億ドル)	4,510	7,628	11,102	24,564	42,742	61,349	81,204	4.4	4.4	3.3	3.7
人口(100万人)	2,440	2,933	3,410	4,072	4,449	4,617	4,681	1.2	0.7	0.3	0.4
エネルギー起源CO ₂ 排出(100万t)	3,103	4,631	6,714	15,157	16,511	15,202	12,709	4.5	0.7	-1.3	-0.5
一人あたりGDP (2010年価格1,000ドル/人)	1.8	2.6	3.3	6.0	9.6	13	17	3.2	3.6	3.0	3.3
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	0.9	-0.1	0.3
GDPあたり一次エネルギー消費 ²	319	277	260	231	162	118	89	-0.7	-2.7	-3.0	-2.8
GDPあたりCO ₂ 排出量 ³	688	607	605	617	386	248	157	0.1	-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	-1.5	-1.3

*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	2017	2030	2040	2050	1990	2017	2050	1990/ 2017	2017/ 2030	2030/ 2050	2017/ 2050
合計 ¹	598	874	1,130	3,063	3,401	3,279	2,997	100	100	100	4.8	0.8	-0.6	-0.1
石炭	313	531	665	1,953	1,786	1,439	1,053	61	64	35	4.9	-0.7	-2.6	-1.9
石油	89	119	221	568	681	641	558	14	19	19	6.0	1.4	-1.0	-0.1
天然ガス	12	13	21	195	350	426	452	1.5	6.4	15	10.6	4.6	1.3	2.6
原子力	-	-	4.4	65	147	196	244	-	2.1	8.1	n.a.	6.5	2.6	4.1
水力	5.0	11	19	99	128	139	144	1.2	3.2	4.8	8.5	1.9	0.6	1.1
地熱	-	-	1.7	10	13	14	15	-	0.3	0.5	n.a.	1.7	0.6	1.0
太陽光・風力等	-	0.0	1.0	60	203	314	402	0.0	1.9	13	32.0	9.9	3.5	6.0
バイオマス・廃棄物	180	200	198	114	94	111	132	23	3.7	4.4	-2.1	-1.4	1.7	0.4

最終エネルギー消費

	(Mtoe)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2017	2030	2040	2050	1990	2017	2050	1990/ 2017	2017/ 2030	2030/ 2050	2017/ 2050
合計	487	658	781	1,995	2,222	2,183	2,052	100	100	100	4.2	0.8	-0.4	0.1
産業	181	234	302	986	971	887	775	36	49	38	5.5	-0.1	-1.1	-0.7
運輸	22	30	84	310	400	380	329	4.6	16	16	9.0	2.0	-1.0	0.2
民生・農業他	274	351	338	537	626	666	687	53	27	34	1.6	1.2	0.5	0.8
非エネルギー消費	10	43	57	162	225	251	260	6.5	8.1	13	5.1	2.6	0.7	1.4
石炭	214	311	274	663	536	439	345	47	33	17	2.8	-1.6	-2.2	-2.0
石油	59	85	180	514	627	592	518	13	26	25	6.9	1.5	-1.0	0.0
天然ガス	6.4	8.9	12	132	208	219	223	1.3	6.6	11	10.5	3.6	0.3	1.6
電力	21	39	89	476	666	747	775	5.9	24	38	9.7	2.6	0.8	1.5
熱	7.4	13	26	96	106	106	101	2.0	4.8	4.9	7.6	0.8	-0.3	0.1
水素	-	-	-	-	0.1	0.5	1.1	-	-	0.1	n.a.	n.a.	12.0	n.a.
再生可能	180	200	199	114	77	79	90	30	5.7	4.4	-2.1	-2.9	0.7	-0.7

発電量

	(TWh)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2017	2030	2040	2050	1990	2017	2050	1990/ 2017	2017/ 2030	2030/ 2050	2017/ 2050
合計	301	621	1,356	6,602	9,117	10,117	10,563	100	100	100	9.1	2.5	0.7	1.4
石炭	159	441	1,060	4,485	4,383	3,514	2,576	71	68	24	9.0	-0.2	-2.6	-1.7
石油	82	50	47	9.9	7.7	5.0	2.4	8.1	0.1	0.0	-5.9	-1.9	-5.6	-4.1
天然ガス	0.7	2.8	5.8	183	477	733	857	0.4	2.8	8.1	16.8	7.6	3.0	4.8
原子力	-	-	17	248	564	753	937	-	3.8	8.9	n.a.	6.5	2.6	4.1
水力	58	127	222	1,157	1,486	1,619	1,675	20	18	16	8.5	1.9	0.6	1.1
地熱	-	0.1	0.1	0.1	0.4	0.6	0.8	0.0	0.0	0.0	3.0	10.0	2.8	5.6
太陽光	-	0.0	0.0	131	492	906	1,328	0.0	2.0	13	50.8	10.7	5.1	7.3
風力	-	0.0	0.6	295	1,536	2,351	2,870	0.0	4.5	27	55.4	13.5	3.2	7.1
太陽熱・海洋	-	0.0	0.0	0.0	3.5	11	29	0.0	0.0	0.3	6.6	41.2	11.2	22.2
バイオマス・廃棄物	-	-	2.4	93	168	225	288	-	1.4	2.7	n.a.	4.7	2.7	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	2017	2030	2040	2050	1990/ 2017	2017/ 2030	2030/ 2050	2017/ 2050
GDP (2010年価格10億ドル)	341	830	2,237	10,161	20,439	30,536	39,687	9.7	5.5	3.4	4.2
人口(100万人)	981	1,135	1,263	1,386	1,429	1,414	1,368	0.7	0.2	-0.2	0.0
エネルギー起源CO ₂ 排出(100万t)	1,399	2,146	3,140	9,230	9,019	7,493	5,136	5.6	-0.2	-2.8	-1.8
一人あたりGDP (2010年価格1,000ドル/人)	0.3	0.7	1.8	7.3	14	22	29	8.9	5.3	3.6	4.3
一人あたり一次エネルギー消費(toe/人)	0.6	0.8	0.9	2.2	2.4	2.3	2.2	4.0	0.6	-0.4	0.0
GDPあたり一次エネルギー消費 ²	1,752	1,053	505	301	166	107	76	-4.5	-4.5	-3.9	-4.1
GDPあたりCO ₂ 排出量 ³	4,097	2,587	1,404	908	441	245	129	-3.8	-5.4	-5.9	-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	3.0	2.7	2.3	1.7	0.8	-1.0	-2.2	-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

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	2017	2030	2040	2050	1990	2017	2050	1990/ 2017	2017/ 2030	2030/ 2050	2017/ 2050
合計 ¹	200	306	441	882	1,430	1,685	1,879	100	100	100	4.0	3.8	1.4	2.3
石炭	44	93	146	391	569	563	538	30	44	29	5.5	2.9	-0.3	1.0
石油	33	61	112	223	391	524	644	20	25	34	4.9	4.4	2.5	3.3
天然ガス	1.3	11	23	51	132	171	187	3.5	5.8	9.9	6.0	7.6	1.7	4.0
原子力	0.8	1.6	4.4	10.0	50	93	122	0.5	1.1	6.5	7.0	13.2	4.5	7.9
水力	4.0	6.2	6.4	12	24	32	40	2.0	1.4	2.1	2.6	5.2	2.7	3.7
地熱	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
太陽光・風力等	-	0.0	0.2	7.5	62	117	176	0.0	0.8	9.4	27.6	17.6	5.4	10.1
バイオマス・廃棄物	116	133	149	187	203	186	173	44	21	9.2	1.3	0.6	-0.8	-0.2

最終エネルギー消費

	(Mtoe)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2017	2030	2040	2050	1990	2017	2050	1990/ 2017	2017/ 2030	2030/ 2050	2017/ 2050
合計	174	243	314	591	971	1,179	1,338	100	100	100	3.3	3.9	1.6	2.5
産業	41	67	83	205	394	448	442	27	35	33	4.2	5.2	0.6	2.4
運輸	17	21	32	98	179	273	385	8.5	17	29	5.9	4.7	3.9	4.2
民生・農業他	110	142	172	242	312	342	366	59	41	27	2.0	2.0	0.8	1.3
非エネルギー消費	5.7	13	27	46	86	116	146	5.5	7.8	11	4.7	5.0	2.7	3.6
石炭	25	38	33	101	173	197	200	16	17	15	3.7	4.2	0.7	2.1
石油	27	50	94	196	358	487	603	21	33	45	5.2	4.8	2.6	3.5
天然ガス	0.7	5.6	9.7	36	92	117	129	2.3	6.1	9.7	7.1	7.5	1.7	3.9
電力	7.8	18	32	100	207	273	336	7.6	17	25	6.5	5.7	2.5	3.7
熱	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
水素	-	-	-	-	0.0	0.1	0.4	-	-	0.0	n.a.	n.a.	16.6	n.a.
再生可能	114	130	144	158	142	106	70	54	27	5.2	0.7	-0.8	-3.5	-2.5

発電量

	(TWh)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2017	2030	2040	2050	1990	2017	2050	1990/ 2017	2017/ 2030	2030/ 2050	2017/ 2050
合計	120	293	570	1,532	3,017	3,772	4,484	100	100	100	6.3	5.4	2.0	3.3
石炭	61	192	390	1,134	1,530	1,298	1,064	65	74	24	6.8	2.3	-1.8	-0.2
石油	8.8	13	29	25	17	10	4.4	4.5	1.6	0.1	2.4	-2.9	-6.6	-5.1
天然ガス	0.6	10.0	56	71	207	285	314	3.4	4.6	7.0	7.5	8.6	2.1	4.6
原子力	3.0	6.1	17	38	192	357	467	2.1	2.5	10	7.0	13.2	4.5	7.9
水力	47	72	74	142	275	370	466	24	9.3	10	2.6	5.2	2.7	3.7
地熱	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
太陽光	-	-	0.0	26	392	705	993	-	1.7	22	n.a.	23.2	4.8	11.7
風力	-	0.0	1.7	51	284	583	949	0.0	3.3	21	31.4	14.1	6.2	9.3
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	-	3.0	4.6	n.a.	7.5	2.9	4.7
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	2017	2030	2040	2050	1990/ 2017	2017/ 2030	2030/ 2050	2017/ 2050
GDP (2010年価格10億ドル)	295	506	870	2,651	6,273	10,518	16,320	6.3	6.9	4.9	5.7
人口(100万人)	697	870	1,053	1,339	1,504	1,593	1,640	1.6	0.9	0.4	0.6
エネルギー起源CO ₂ 排出(100万t)	258	529	885	2,163	3,433	3,831	4,031	5.4	3.6	0.8	1.9
一人あたりGDP (2010年価格1,000ドル/人)	0.4	0.6	0.8	2.0	4.2	6.6	10.0	4.6	5.9	4.4	5.0
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	1.1	1.1	2.4	2.9	0.9	1.7
GDPあたり一次エネルギー消費 ²	679	605	507	333	228	160	115	-2.2	-2.9	-3.4	-3.2
GDPあたりCO ₂ 排出量 ³	876	1,046	1,017	816	547	364	247	-0.9	-3.0	-3.9	-3.6
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	2.1	1.3	-0.2	-0.6	-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	2017	2030	2040	2050	1990	2017	2050	1990/ 2017	2017/ 2030	2030/ 2050	2017/ 2050
合計 ¹	345	439	518	432	398	355	309	100	100	100	-0.1	-0.6	-1.3	-1.0
石炭	60	77	97	116	88	66	39	17	27	13	1.6	-2.1	-3.9	-3.2
石油	234	250	255	176	134	110	92	57	41	30	-1.3	-2.1	-1.9	-2.0
天然ガス	21	44	66	101	73	59	38	10	23	12	3.1	-2.5	-3.3	-2.9
原子力	22	53	84	8.6	56	59	58	12	2.0	19	-6.5	15.6	0.2	6.0
水力	7.6	7.6	7.2	7.1	7.8	8.0	8.1	1.7	1.6	2.6	-0.2	0.7	0.2	0.4
地熱	0.8	1.6	3.1	2.2	6.5	11	16	0.4	0.5	5.1	1.3	8.6	4.5	6.1
太陽光・風力等	-	1.2	0.8	5.5	12	19	33	0.3	1.3	11	5.9	5.9	5.3	5.5
バイオマス・廃棄物	-	4.6	5.4	15	21	24	25	1.0	3.5	8.2	4.6	2.6	0.8	1.5

最終エネルギー消費

	(Mtoe)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2017	2030	2040	2050	1990	2017	2050	1990/ 2017	2017/ 2030	2030/ 2050	2017/ 2050
合計	236	287	332	293	256	226	200	100	100	100	0.1	-1.0	-1.2	-1.1
産業	91	108	104	86	78	69	59	38	30	29	-0.8	-0.8	-1.4	-1.2
運輸	54	68	86	71	53	43	36	24	24	18	0.1	-2.2	-1.9	-2.0
民生・農業他	58	78	107	101	92	82	74	27	35	37	1.0	-0.8	-1.0	-0.9
非エネルギー消費	32	33	36	35	33	32	31	11	12	15	0.2	-0.4	-0.4	-0.4
石炭	25	27	21	22	17	14	11	9.5	7.4	5.5	-0.8	-1.7	-2.3	-2.1
石油	160	177	202	151	120	99	83	61	52	41	-0.6	-1.8	-1.8	-1.8
天然ガス	5.8	14	21	30	30	26	23	4.7	10	11	3.0	0.0	-1.4	-0.9
電力	44	66	84	83	82	80	77	23	28	39	0.9	-0.1	-0.3	-0.2
熱	0.1	0.2	0.5	0.5	0.4	0.4	0.3	0.1	0.2	0.1	3.7	-1.6	-2.1	-1.9
水素	-	-	-	-	0.0	0.1	0.1	-	-	0.1	n.a.	n.a.	5.1	n.a.
再生可能	-	3.9	4.3	6.6	6.0	5.5	5.7	1.4	2.2	2.9	2.0	-0.7	-0.3	-0.4

発電量

	(TWh)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2017	2030	2040	2050	1990	2017	2050	1990/ 2017	2017/ 2030	2030/ 2050	2017/ 2050
合計	573	862	1,055	1,061	1,049	1,026	987	100	100	100	0.8	-0.1	-0.3	-0.2
石炭	55	123	223	352	243	163	60	14	33	6.1	4.0	-2.8	-6.7	-5.2
石油	265	250	134	70	20	8.4	0.5	29	6.6	0.0	-4.6	-9.0	-17.1	-14.0
天然ガス	81	168	258	398	243	191	89	20	38	9.0	3.2	-3.7	-4.9	-4.4
原子力	83	202	322	33	217	225	224	23	3.1	23	-6.5	15.6	0.2	6.0
水力	88	88	84	83	90	94	94	10	7.8	9.6	-0.2	0.7	0.2	0.4
地熱	0.9	1.7	3.3	2.5	7.5	13	18	0.2	0.2	1.8	1.3	8.9	4.5	6.2
太陽光	-	0.1	0.4	55	109	143	183	0.0	5.2	19	28.2	5.4	2.6	3.7
風力	-	-	0.1	6.5	24	78	196	-	0.6	20	n.a.	10.5	11.1	10.9
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	41	75	91	101	1.0	3.9	10	5.9	4.7	1.5	2.8
水素	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
その他	-	20	20	20	20	20	20	2.3	1.9	2.1	0.2	0.0	0.0	0.0

エネルギー・経済指標他

	1980	1990	2000	2017	2030	2040	2050	1990/ 2017	2017/ 2030	2030/ 2050	2017/ 2050
GDP (2010年価格10億ドル)	3,019	4,704	5,349	6,158	6,762	7,291	7,787	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	1,046	1,145	1,122	851	674	475	0.3	-2.1	-2.9	-2.6
一人あたりGDP (2010年価格1,000ドル/人)	26	38	42	49	56	65	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	2.9	-0.2	-0.2	-0.6	-0.5
GDPあたり一次エネルギー消費 ²	114	93	97	70	59	49	40	-1.0	-1.3	-2.0	-1.7
GDPあたりCO ₂ 排出量 ³	299	222	214	182	126	92	61	-0.7	-2.8	-3.6	-3.3
一次エネルギー消費あたりCO ₂ 排出(t/toe)	2.6	2.4	2.2	2.6	2.1	1.9	1.5	0.3	-1.5	-1.6	-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

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	2017	2030	2040	2050	1990	2017	2050	1990/ 2017	2017/ 2030	2030/ 2050	2017/ 2050
合計 ¹	142	232	379	666	999	1,205	1,346	100	100	100	4.0	3.2	1.5	2.2
石炭	3.6	13	32	132	198	221	207	5.4	20	15	9.1	3.2	0.2	1.4
石油	58	89	153	234	308	357	398	38	35	30	3.7	2.2	1.3	1.6
天然ガス	8.6	30	74	134	214	241	245	13	20	18	5.7	3.7	0.7	1.8
原子力	-	-	-	-	12	46	73	-	-	5.5	n.a.	n.a.	9.6	n.a.
水力	0.8	2.3	4.1	14	21	26	30	1.0	2.1	2.2	6.9	3.0	1.8	2.3
地熱	1.8	6.6	18	31	97	153	200	2.9	4.6	15	5.8	9.2	3.7	5.8
太陽光・風力等	-	-	-	0.8	8.9	23	59	-	0.1	4.3	n.a.	20.7	9.9	14.0
バイオマス・廃棄物	69	92	98	119	137	133	130	40	18	9.7	1.0	1.1	-0.2	0.3

最終エネルギー消費

	(Mtoe)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2017	2030	2040	2050	1990	2017	2050	1990/ 2017	2017/ 2030	2030/ 2050	2017/ 2050
合計	112	173	269	477	674	778	866	100	100	100	3.8	2.7	1.3	1.8
産業	22	43	75	148	250	295	324	25	31	37	4.7	4.1	1.3	2.4
運輸	17	32	61	127	162	187	216	19	27	25	5.2	1.9	1.4	1.6
民生・農業他	70	87	112	144	174	187	196	50	30	23	1.9	1.5	0.6	0.9
非エネルギー消費	2.4	11	21	57	87	108	131	6.3	12	15	6.3	3.3	2.0	2.5
石炭	2.1	6.1	13	39	57	64	66	3.5	8.1	7.6	7.1	3.0	0.8	1.6
石油	41	67	123	219	291	338	381	39	46	44	4.5	2.2	1.4	1.7
天然ガス	2.5	7.5	17	42	87	102	113	4.4	8.8	13	6.6	5.8	1.3	3.0
電力	4.7	11	28	75	138	182	223	6.5	16	26	7.3	4.8	2.4	3.3
熱	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
水素	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	-	-	0.0	n.a.	n.a.	7.4	n.a.
再生可能	61	81	89	102	101	91	83	47	21	9.6	0.8	0.0	-1.0	-0.6

発電量

	(TWh)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2017	2030	2040	2050	1990	2017	2050	1990/ 2017	2017/ 2030	2030/ 2050	2017/ 2050
合計	62	154	370	978	1,817	2,458	3,004	100	100	100	7.1	4.9	2.5	3.5
石炭	3.0	28	79	372	639	740	694	18	38	23	10.1	4.2	0.4	1.9
石油	47	66	72	26	33	34	26	43	2.7	0.9	-3.4	1.9	-1.2	0.0
天然ガス	0.7	26	154	362	626	751	744	17	37	25	10.2	4.3	0.9	2.2
原子力	-	-	-	-	45	178	282	-	-	9.4	n.a.	n.a.	9.6	n.a.
水力	9.8	27	47	166	245	302	347	18	17	12	6.9	3.0	1.8	2.3
地熱	2.1	6.6	16	23	67	102	131	4.3	2.4	4.4	4.7	8.6	3.4	5.4
太陽光	-	-	-	6.3	68	191	510	-	0.6	17	n.a.	20.1	10.6	14.3
風力	-	-	-	2.5	34	82	169	-	0.3	5.6	n.a.	22.2	8.3	13.6
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	20	60	79	100	0.4	2.0	3.3	13.8	8.9	2.6	5.0
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	2017	2030	2040	2050	1990/ 2017	2017/ 2030	2030/ 2050	2017/ 2050
GDP (2010年価格10億ドル)	440	741	1,180	2,747	5,008	7,463	10,499	5.0	4.7	3.8	4.1
人口(100万人)	346	430	506	625	699	739	761	1.4	0.9	0.4	0.6
エネルギー起源CO ₂ 排出(100万t)	185	344	669	1,344	1,851	1,879	1,833	5.2	2.5	0.0	0.9
一人あたりGDP (2010年価格1,000ドル/人)	1.3	1.7	2.3	4.4	7.2	10	14	3.5	3.8	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	2.6	2.3	1.1	1.5
GDPあたり一次エネルギー消費 ²	322	314	321	243	199	161	128	-0.9	-1.5	-2.2	-1.9
GDPあたりCO ₂ 排出量 ³	421	464	567	489	370	252	175	0.2	-2.1	-3.7	-3.1
一次エネルギー消費あたりCO ₂ 排出(t/toe)	1.3	1.5	1.8	2.0	1.9	1.6	1.4	1.2	-0.6	-1.5	-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	2017	2030	2040	2050	1990	2017	2050	1990/ 2017	2017/ 2030	2030/ 2050	2017/ 2050
合計 ¹	1,805	1,915	2,274	2,155	2,072	1,924	1,760	100	100	100	0.4	-0.3	-0.8	-0.6
石炭	376	460	534	331	227	139	55	24	15	3.1	-1.2	-2.9	-6.9	-5.3
石油	797	757	871	790	671	556	462	40	37	26	0.2	-1.3	-1.8	-1.6
天然ガス	477	438	548	644	701	636	496	23	30	28	1.4	0.7	-1.7	-0.8
原子力	69	159	208	219	181	182	184	8.3	10	10	1.2	-1.4	0.1	-0.5
水力	24	23	22	26	28	30	33	1.2	1.2	1.9	0.4	0.5	0.8	0.7
地熱	4.6	14	13	9.2	25	41	57	0.7	0.4	3.2	-1.6	7.9	4.2	5.7
太陽光・風力等	-	0.3	2.1	30	97	182	299	0.0	1.4	17	18.4	9.3	5.8	7.2
バイオマス・廃棄物	54	62	73	101	139	153	169	3.3	4.7	9.6	1.8	2.5	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	2017	2030	2040	2050	1990	2017	2050	1990/ 2017	2017/ 2030	2030/ 2050	2017/ 2050
合計	1,311	1,294	1,546	1,520	1,472	1,364	1,262	100	100	100	0.6	-0.2	-0.8	-0.6
産業	387	284	332	261	275	262	243	22	17	19	-0.3	0.4	-0.6	-0.2
運輸	425	488	588	625	537	463	413	38	41	33	0.9	-1.2	-1.3	-1.3
民生・農業他	397	403	473	488	487	461	425	31	32	34	0.7	0.0	-0.7	-0.4
非エネルギー消費	102	119	153	145	172	178	182	9.2	9.6	14	0.7	1.3	0.3	0.7
石炭	56	56	33	17	12	9.2	6.9	4.3	1.1	0.5	-4.3	-2.7	-2.7	-2.7
石油	689	683	793	748	641	536	450	53	49	36	0.3	-1.2	-1.8	-1.5
天然ガス	338	303	360	346	349	319	285	23	23	23	0.5	0.1	-1.0	-0.6
電力	174	226	301	321	363	387	398	18	21	32	1.3	0.9	0.5	0.7
熱	-	2.2	5.3	5.9	5.3	4.6	3.8	0.2	0.4	0.3	3.8	-0.8	-1.6	-1.3
水素	-	-	-	-	0.1	0.3	0.6	-	-	0.0	n.a.	n.a.	10.3	n.a.
再生可能	54	23	54	82	101	108	117	1.8	5.4	9.3	4.8	1.6	0.7	1.1

発電量

	(TWh)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2017	2030	2040	2050	1990	2017	2050	1990/ 2017	2017/ 2030	2030/ 2050	2017/ 2050
合計	2,427	3,203	4,026	4,264	4,818	5,119	5,204	100	100	100	1.1	0.9	0.4	0.6
石炭	1,243	1,700	2,129	1,321	999	609	220	53	31	4.2	-0.9	-2.1	-7.3	-5.3
石油	263	131	118	32	22	12	2.9	4.1	0.8	0.1	-5.0	-2.9	-9.7	-7.1
天然ガス	370	382	634	1,338	1,635	1,499	856	12	31	16	4.8	1.6	-3.2	-1.3
原子力	266	612	798	839	695	699	708	19	20	14	1.2	-1.4	0.1	-0.5
水力	279	273	253	302	323	353	382	8.5	7.1	7.3	0.4	0.5	0.8	0.7
地熱	5.4	16	15	19	52	86	119	0.5	0.4	2.3	0.6	8.1	4.2	5.8
太陽光	-	0.0	0.2	67	237	560	1,166	0.0	1.6	22	44.9	10.2	8.3	9.0
風力	-	3.1	5.7	257	608	896	1,145	0.1	6.0	22	17.8	6.8	3.2	4.6
太陽熱・海洋	-	0.7	0.5	3.6	84	208	376	0.0	0.1	7.2	6.5	27.5	7.8	15.1
バイオマス・廃棄物	0.5	86	72	79	158	192	224	2.7	1.8	4.3	-0.4	5.5	1.8	3.2
水素	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
その他	-	-	-	5.4	5.4	5.4	5.4	-	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	2017	2030	2040	2050	1990/ 2017	2017/ 2030	2030/ 2050	2017/ 2050
GDP (2010年価格10億ドル)	6,529	9,064	12,713	17,349	22,684	28,174	33,922	2.4	2.1	2.0	2.1
人口(100万人)	227	250	282	325	350	367	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	4,763	5,656	4,781	4,005	3,088	2,167	0.0	-1.4	-3.0	-2.4
一人あたりGDP (2010年価格1,000ドル/人)	29	36	45	53	65	77	89	1.4	1.5	1.6	1.6
一人あたり一次エネルギー消費(toe/人)	7.9	7.7	8.1	6.6	5.9	5.2	4.6	-0.5	-0.9	-1.2	-1.1
GDPあたり一次エネルギー消費 ²	276	211	179	124	91	68	52	-1.9	-2.3	-2.8	-2.6
GDPあたりCO ₂ 排出量 ³	702	525	445	276	177	110	64	-2.4	-3.4	-5.0	-4.3
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	-1.1	-2.2	-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 toe/2010年価格100万ドル。*3 t/2010年価格100万ドル

付表

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	2017	2030	2040	2050	1990	2017	2050	1990/ 2017	2017/ 2030	2030/ 2050	2017/ 2050
合計 ¹	n.a.	1,645	1,695	1,619	1,460	1,317	1,194	100	100	100	-0.1	-0.8	-1.0	-0.9
石炭	n.a.	454	321	234	140	81	60	28	14	5.0	-2.4	-3.9	-4.2	-4.1
石油	n.a.	607	624	531	429	345	278	37	33	23	-0.5	-1.6	-2.1	-1.9
天然ガス	n.a.	297	396	398	358	310	237	18	25	20	1.1	-0.8	-2.1	-1.6
原子力	n.a.	207	246	216	215	226	232	13	13	19	0.2	-0.1	0.4	0.2
水力	n.a.	25	31	26	29	30	31	1.5	1.6	2.6	0.1	1.0	0.2	0.5
地熱	n.a.	3.2	4.6	6.8	10	12	13	0.2	0.4	1.1	2.9	3.1	1.1	1.9
太陽光・風力等	n.a.	0.3	2.4	46	90	122	153	0.0	2.8	13	20.1	5.4	2.7	3.7
バイオマス・廃棄物	n.a.	48	67	159	186	188	189	2.9	9.8	16	4.6	1.2	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	2017	2030	2040	2050	1990	2017	2050	1990/ 2017	2017/ 2030	2030/ 2050	2017/ 2050
合計	n.a.	1,133	1,178	1,154	1,059	946	844	100	100	100	0.1	-0.7	-1.1	-0.9
産業	n.a.	345	308	263	256	237	213	30	23	25	-1.0	-0.2	-0.9	-0.6
運輸	n.a.	259	303	327	267	215	181	23	28	21	0.9	-1.6	-1.9	-1.8
民生・農業他	n.a.	430	454	461	434	393	355	38	40	42	0.3	-0.5	-1.0	-0.8
非エネルギー消費	n.a.	99	112	102	103	101	96	8.7	8.9	11	0.1	0.0	-0.3	-0.2
石炭	n.a.	120	51	35	23	18	15	11	3.1	1.8	-4.4	-3.3	-2.1	-2.6
石油	n.a.	506	542	479	390	313	253	45	42	30	-0.2	-1.6	-2.1	-1.9
天然ガス	n.a.	227	272	254	242	217	193	20	22	23	0.4	-0.4	-1.1	-0.8
電力	n.a.	186	217	241	258	265	266	16	21	32	1.0	0.5	0.2	0.3
熱	n.a.	55	45	49	43	36	30	4.9	4.2	3.6	-0.5	-0.9	-1.8	-1.4
水素	n.a.	-	-	-	0.0	0.1	0.2	-	-	0.0	n.a.	n.a.	8.7	n.a.
再生可能	n.a.	40	50	96	103	95	87	3.5	8.3	10	3.3	0.6	-0.8	-0.3

発電量

	(TWh)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2017	2030	2040	2050	1990	2017	2050	1990/ 2017	2017/ 2030	2030/ 2050	2017/ 2050
合計	n.a.	2,577	3,006	3,269	3,508	3,568	3,580	100	100	100	0.9	0.5	0.1	0.3
石炭	n.a.	1,050	968	710	410	154	67	41	22	1.9	-1.4	-4.1	-8.7	-6.9
石油	n.a.	224	181	61	31	15	4.9	8.7	1.9	0.1	-4.7	-5.1	-8.8	-7.4
天然ガス	n.a.	193	480	663	612	517	245	7.5	20	6.8	4.7	-0.6	-4.5	-3.0
原子力	n.a.	795	945	830	824	868	890	31	25	25	0.2	-0.1	0.4	0.2
水力	n.a.	290	357	301	342	349	355	11	9.2	9.9	0.1	1.0	0.2	0.5
地熱	n.a.	3.2	4.8	6.7	10	13	13	0.1	0.2	0.4	2.8	3.4	1.2	2.1
太陽光	n.a.	0.0	0.1	114	267	433	652	0.0	3.5	18	39.1	6.8	4.6	5.4
風力	n.a.	0.8	22	362	654	777	844	0.0	11	24	25.6	4.6	1.3	2.6
太陽熱・海洋	n.a.	0.5	0.5	6.4	38	72	101	0.0	0.2	2.8	9.9	14.7	5.0	8.7
バイオマス・廃棄物	n.a.	20	46	211	316	365	402	0.8	6.4	11	9.2	3.2	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	4.9	4.9	4.9	4.9	0.0	0.1	0.1	12.3	0.0	0.0	0.0

エネルギー・経済指標他

	1980	1990	2000	2017	2030	2040	2050	1990/ 2017	2017/ 2030	2030/ 2050	2017/ 2050
GDP (2010年価格10億ドル)	n.a.	11,891	14,783	18,824	22,909	26,160	29,207	1.7	1.5	1.2	1.3
人口(100万人)	n.a.	478	488	512	518	518	511	0.3	0.1	-0.1	0.0
エネルギー起源CO ₂ 排出(100万t)	n.a.	3,980	3,783	3,201	2,379	1,792	1,348	-0.8	-2.3	-2.8	-2.6
一人あたりGDP (2010年価格1,000ドル/人)	n.a.	25	30	37	44	51	57	1.5	1.4	1.3	1.3
一人あたり一次エネルギー消費(toe/人)	n.a.	3.4	3.5	3.2	2.8	2.5	2.3	-0.3	-0.9	-0.9	-0.9
GDPあたり一次エネルギー消費 ²	n.a.	138	115	86	64	50	41	-1.7	-2.3	-2.2	-2.2
GDPあたりCO ₂ 排出量 ³	n.a.	335	256	170	104	69	46	-2.5	-3.7	-4.0	-3.9
一次エネルギー消費あたりCO ₂ 排出(t/toe)	n.a.	2.4	2.2	2.0	1.6	1.4	1.1	-0.7	-1.5	-1.8	-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

スライド

第433回 定例研究報告会

IEEJ Outlook 2020

深刻化するエネルギー・環境・経済の課題に向けて

エネルギー・環境・経済

2019年10月15日, 東京

日本エネルギー経済研究所

IEEJ © 2019



2050年までのエネルギー需給見通し

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 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：欧米市場の価格差が縮小 石炭：現状と同程度の水準を維持 [アジアLNG]高価格・低価格ケース	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	さらなる国内政策の強化とともに国際連携を推進
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・価格低下	現行技術及び商業化の見込みが高い技術について、価格低下が加速

IEEJ Outlook 2020 IEEJ © 2019

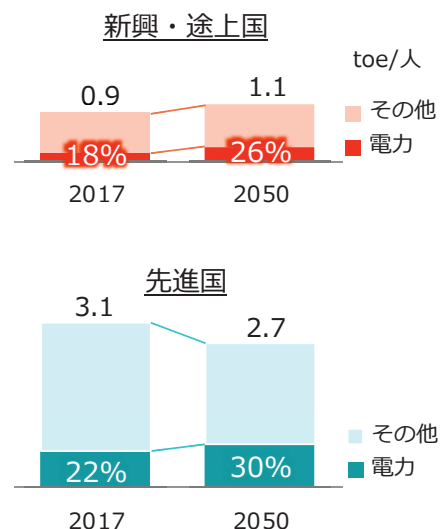
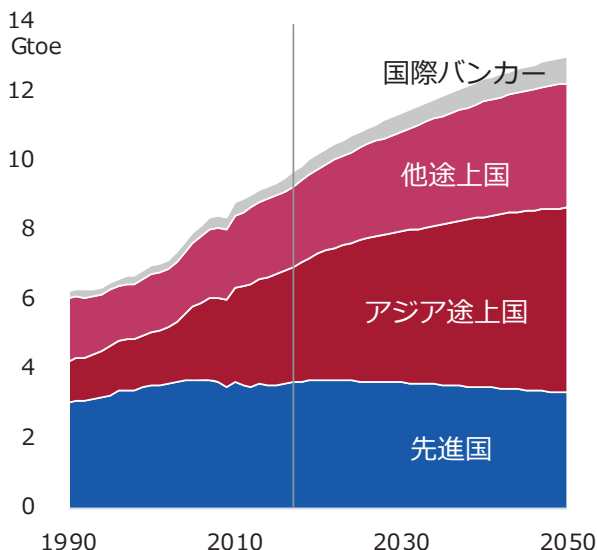
3

レファレンス

途上国では1人当たりの消費量はまだ小さい

❖ 最終エネルギー需要

❖ 1人当たりのエネルギー消費量



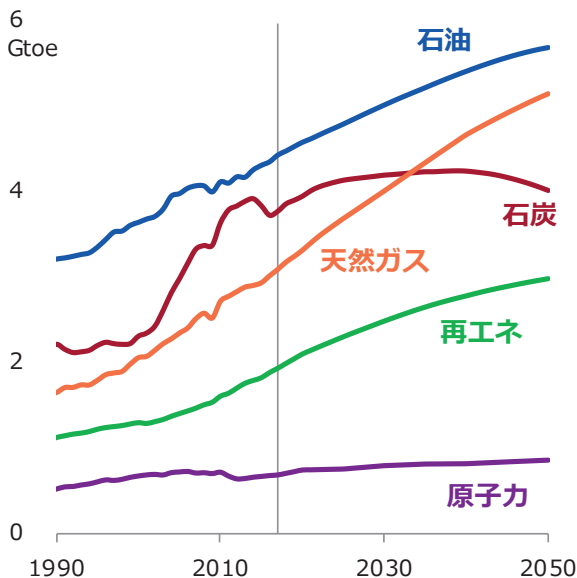
世界の最終エネルギー需要は2050年までに1.3倍に拡大、一方、先進国の需要は減少に転じる。新興・途上国の1人当たりのエネルギー消費は、2050年でも先進国に比べて半分以下にとどまる。電力需要は増加し続け、最終エネルギー需要に占める電化率は大きく上昇する。

IEEJ Outlook 2020 IEEJ © 2019

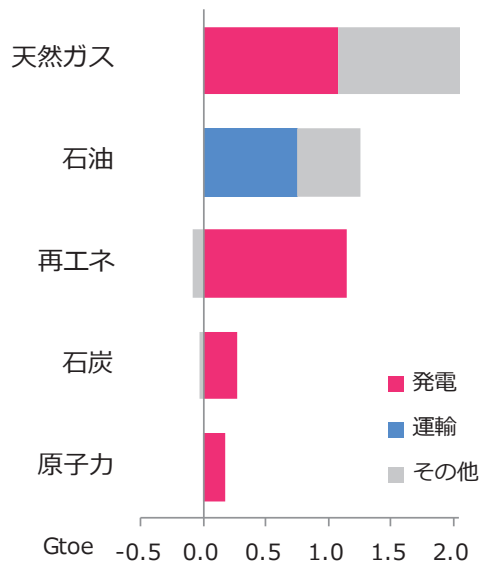
4

化石燃料への依存は変わらない

❖ 一次エネルギー需要



❖ エネ需要の増減(2017-2050年)



発電部門を中心に天然ガス需要が1.7倍に増加し、第二のエネルギー源に。

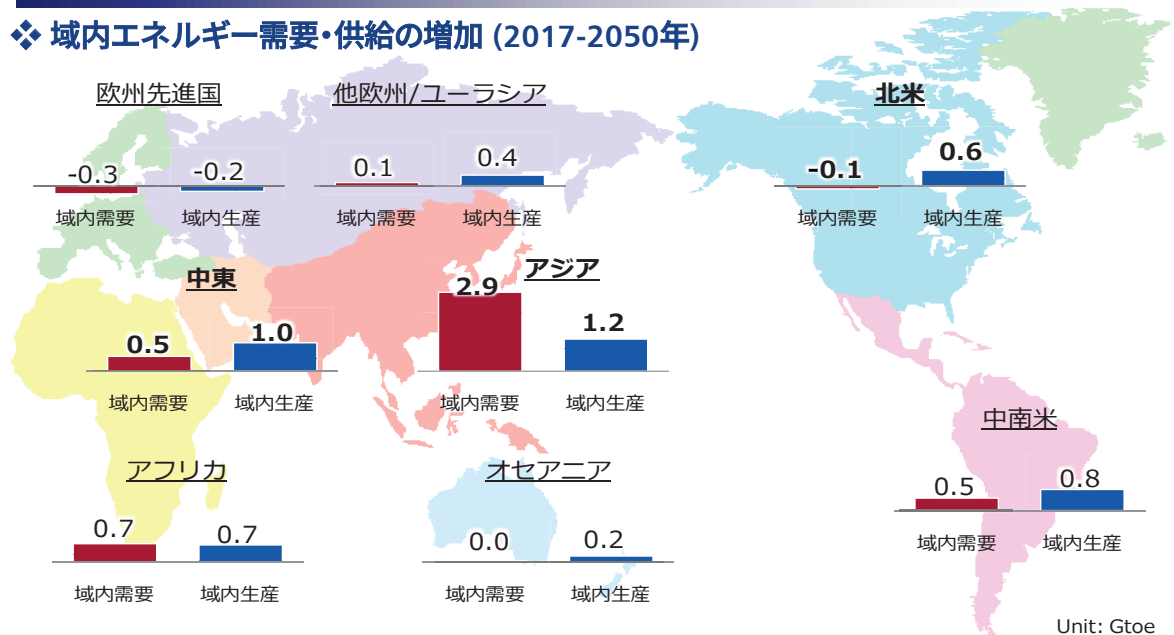
石炭は2040年頃にピークを打ち減少へ。石油は第一のエネルギー源を維持する。

再エネは大きく増えるも、シェアは14%から16%への上昇にとどまる。脱化石燃料の進展はわずか。

5

アジアの需要増に域内生産が追いつかない

❖ 域内エネルギー需要・供給の増加 (2017-2050年)



Unit: Gtoe

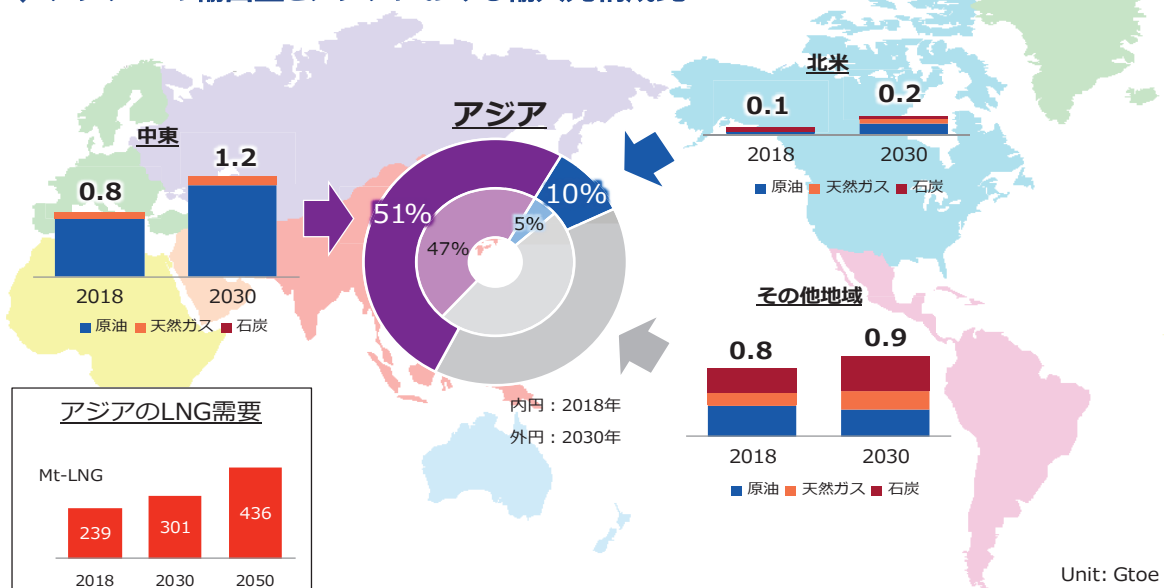
エネルギー需要の増加の6割以上がアジア地域に集中する。一方で、域内生産が需要増に追いつかず、アジアのエネルギー自給率は72%から61%に低下する。

北米・中東で、輸出余力が増大し、エネルギー供給国としてのプレゼンスが拡大。

6

エネルギーはアジアに向かう

❖ アジアへの輸出量とアジアにおける輸入元構成比

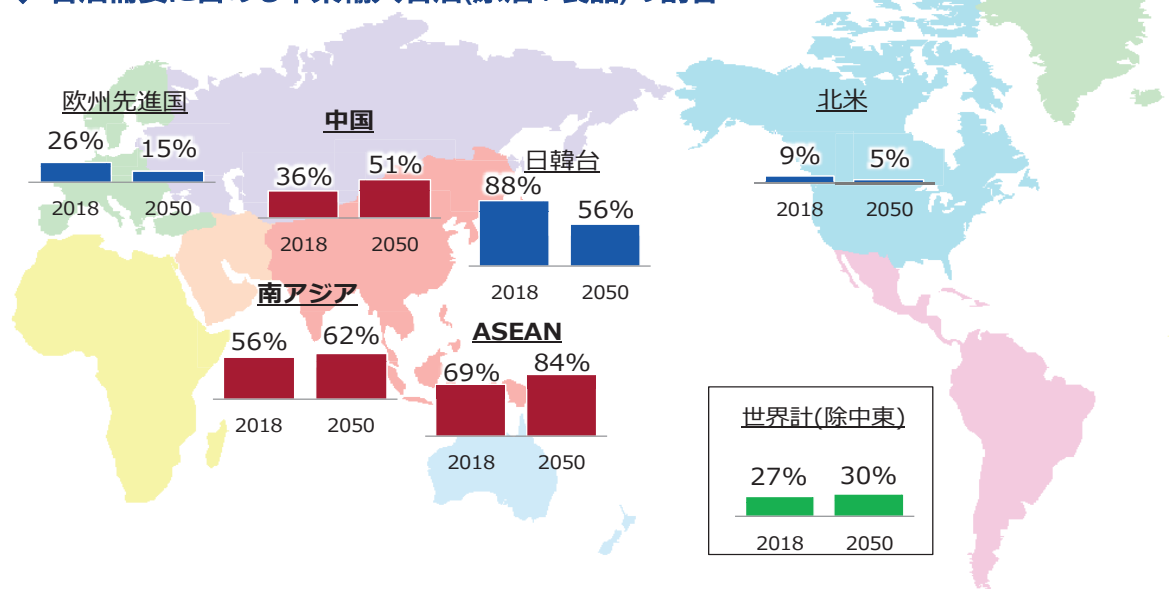


エネルギー貿易取引量の約8割がアジアに向かう(2017年:67%)。北米からの輸入は約3倍に増加。輸入に占める中東シェアは5割を超え、アジア・中東間のエネルギー分野の関係はさらに拡大する。アジアのLNG需要は急増するが、供給元の多様化も進む。

7

アジアだけが中東依存を高めている

❖ 石油需要に占める中東輸入石油(原油+製品)の割合

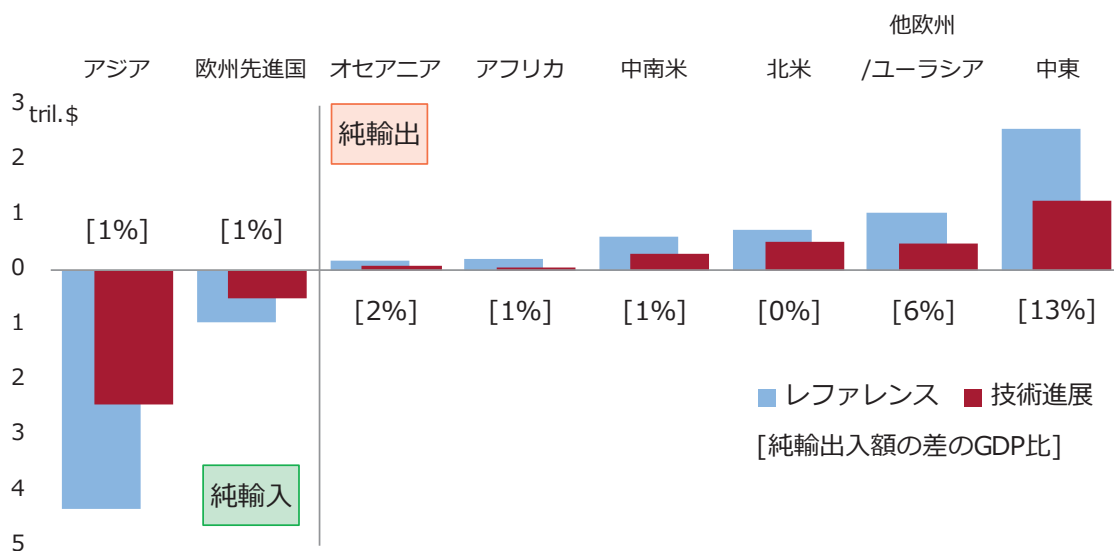


アジア途上国が石油需要の中東依存を高めている。供給障害に対するリスク緩和が課題。一方、北米や欧州先進国では大きく低下する。しかし、世界石油需要の中東依存が高まる中で、有事における価格高騰の影響は先進国にも及ぶことに。

8

中東の石油収入見通しに大きな差

❖ 各地域の純輸出入額 (2050年)



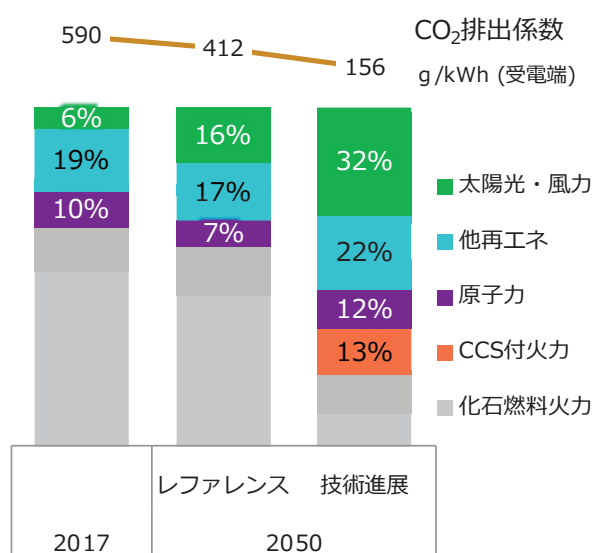
技術進展シナリオでは、化石燃料の需要増が抑制され、価格もレファレンスシナリオに比べて低い。アジアや欧州先進国は、純輸入額を大きく抑制することができる。

一方で、中東の純輸出額は大きく低下、GDPの13%に相当する収入が失われる可能性。

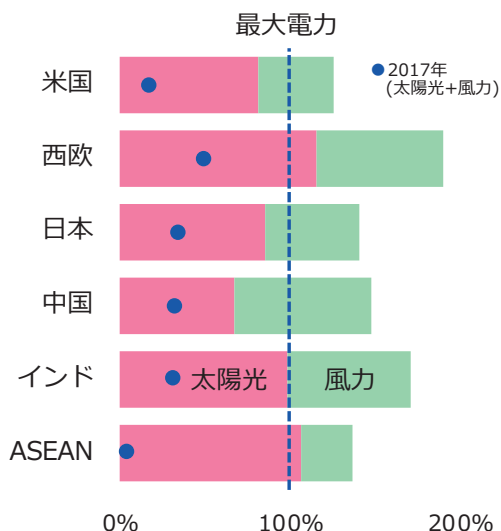
9

自然変動電源の発電能力が最大電力を超える

❖ 発電構成と排出係数



❖ 最大電力に対する発電能力の比 (2050年、技術進展)



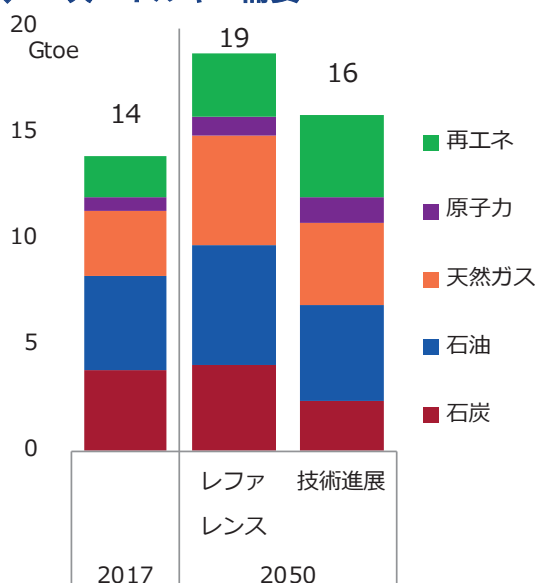
技術進展シナリオの発電構成のうち、ゼロ排出電源(再エネ・原子力・CCS付き火力)が約8割に。

自然変動電源(太陽光・風力発電など)の発電能力が最大電力を超えてくる地域も。蓄電池などの系統安定対策が必要に。

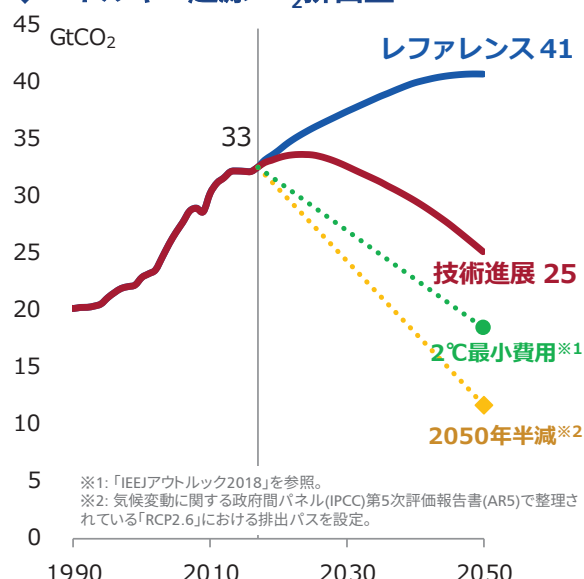
10

排出量は大きく減少も、2℃目標には届かない

❖ 一次エネルギー需要



❖ エネルギー起源CO₂排出量



技術進展シナリオの化石燃料依存は現在より低下するものの、依然として7割弱を占める。CO₂排出量は2020年代半ばがピーク、2050年には2017年比で23%減となる。気温上昇を2℃に抑える排出パスの実現には、さらなる削減政策や革新的技術の開発が必要。

11

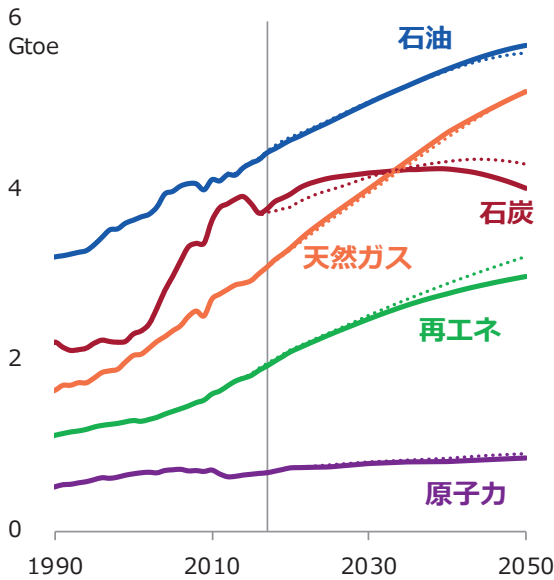
まとめ

- ✓ 今後エネルギー需要が大きく増えるのは新興・途上国。2050年でも1人当たりの消費水準はなお低く、以降も増え続ける可能性。
- ✓ アジアの需要増に域内生産が追いつかず、北米・中東からの輸入が大きく増える。原油の中東依存度は高まり、供給障害に対するリスク緩和が課題であり続ける。
- ✓ 低炭素化の帰結は国によって異なる。中東は石油輸出収入に依存しない経済への移行が急務。
- ✓ 技術進展シナリオでは、自然変動電源の発電能力が最大需要を超え、系統安定対策が必要。一方、エネルギー全体の化石依存度は高く、2度目標には届かない。革新的技術の開発が必要。

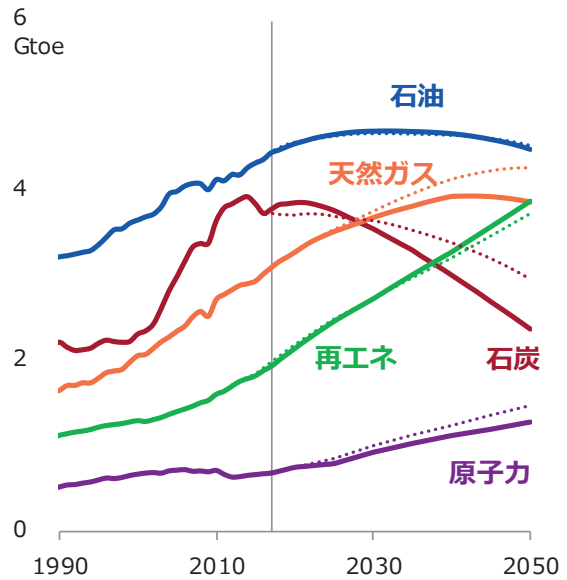
12

Outlook2019との比較

❖ レファレンスシナリオ

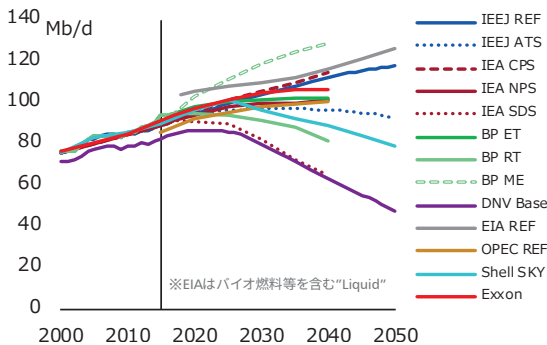


❖ 技術進展シナリオ

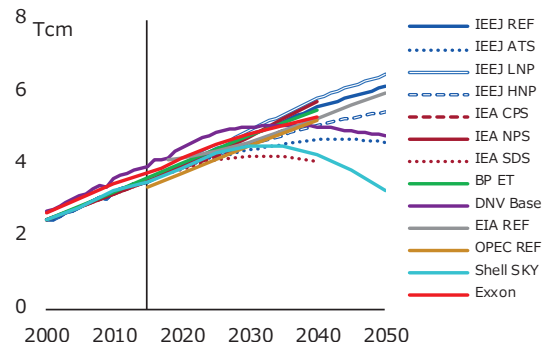


他の研究機関の見通しとの比較(1)

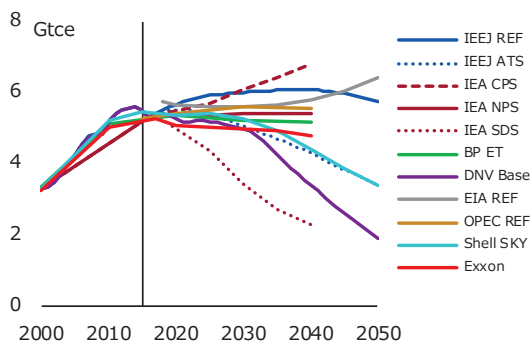
❖ 石油



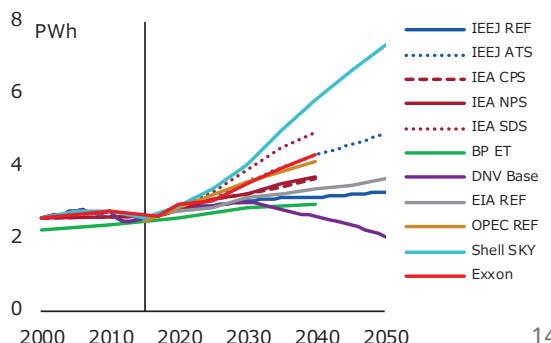
❖ 天然ガス



❖ 石炭

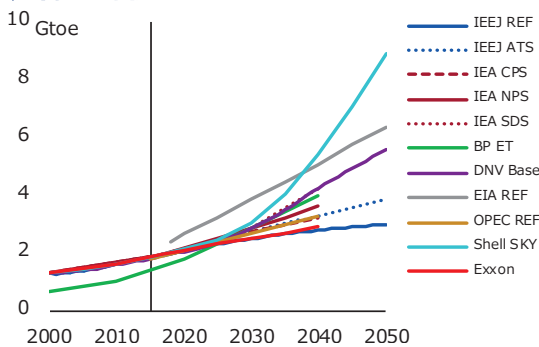


❖ 原子力



他の研究機関の見通しとの比較(2)

❖ 再生可能エネルギー



Source

IEEJ “IEEJ Outlook 2020”, Oct. 2019

- REF: Reference Scenario
- ATS: Advanced Scenario
- LNP: Lower Natural Gas price Case
- HNP: Higher Natural Gas price Case

IEA “World Energy Outlook 2018”, Nov. 2018

- CPS: Current Policies Scenario
- NPS: New Policies Scenario
- SDS: Sustainable Development Scenario

BP “BP Energy Outlook 2019”, Feb. 2019

- ET: Evolving transition
- RT: Rapid transition demand
- ME: More energy demand

DNV GL “Energy Transition Outlook 2019”, Sep. 2019

- Base: Base Scenario

US EIA “International Energy Outlook 2019”, Sep. 2019

- REF: Reference Scenario

OPEC “World Oil Outlook 2040”, Oct. 2018

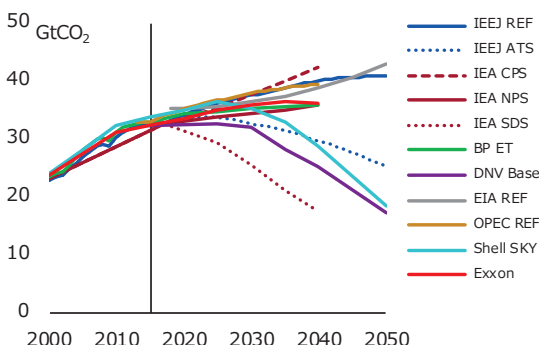
- REF: Reference Scenario

Shell “Shell Scenarios”, May. 2018

- SKY: Sky Scenario

ExxonMobil “Outlook for Energy”, Aug. 2019

❖ エネルギー起源CO₂



IEEJ Outlook 2020 IEEJ © 2019

気候変動分析

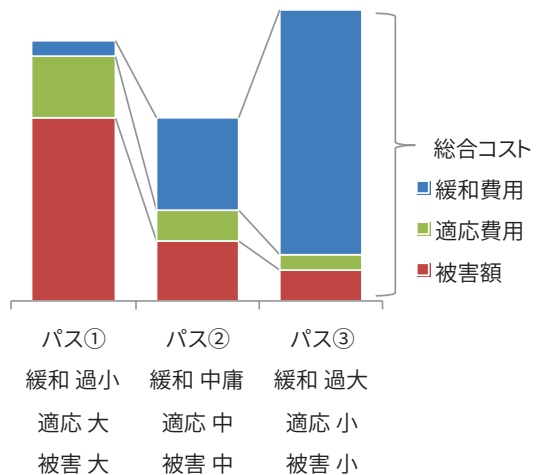
— 総合コスト最小化分析の課題とその対応 —

超長期を踏まえた規範＝総合コストの最小化

❖ 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。CCS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、農作物の旱魃、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、農作物の旱魃、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

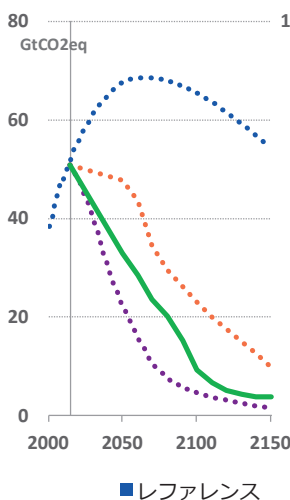


気候変動に対して無策であれば、緩和費用をかけずに済むが、適応費用・被害は膨大となる。強力な緩和策を講じれば、適応費用・被害は軽減されるが、そのための費用は顕著に大きい。気候変動問題は、広範な領域に影響し、かつ何世代にもわたる長期的課題。持続可能性に基づき、緩和費用、適応費用、被害額の和＝総合コスト が小さくなる組み合わせを評価する。

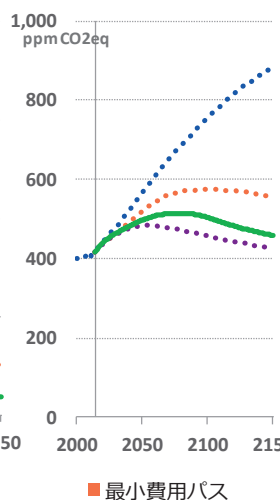
17

2℃目標の費用便益分析結果 (IEEJ Outlook 2018)

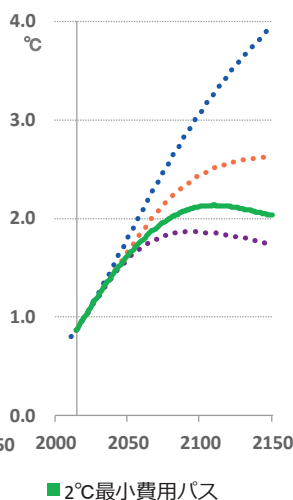
❖ GHG排出量



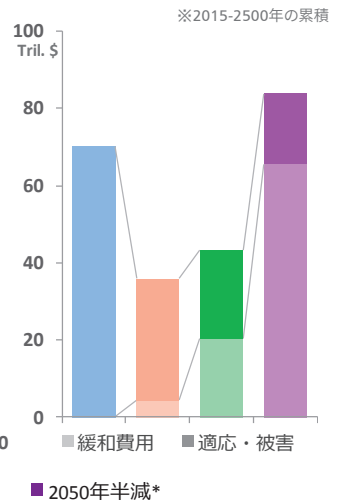
❖ GHG濃度 (エアロゾル等を含む)



❖ 気温上昇 (19世紀後半から)



❖ 総合コスト (累積現在価値※)



「2℃最小費用」は、例えば、2150年の気温上昇幅を2℃に抑えるという条件下で、総合コストが最小化となるパスの例。気温条件のない最小費用パスより総合コストは2割ほど増大するが、2050年半減ケースよりは、総合コストは半減する。GHG排出量は2050年に3割減、2100年以降は概ねゼロエミッションに。気温上昇幅は2100年に2℃わずかに超えたところでピークとなり、低下に転じる。

*気候変動に関する政府間パネル(IPCC)第5次評価報告書(AR5)で整理されている「RCP2.6」における排出パスを設定。

18

超長期の将来に向けて期待される技術開発の例

技術	概要	課題
CO ₂ の発生を抑制するもの	次世代原子炉 超高温ガス炉、高速炉などの第4世代原子炉や中小型炉が、現在国際的に開発がすすめられている	次世代原子炉に対する研究開発支援の拡大等
	核融合 質量数の小さな水素等の核融合により、太陽と同じようにエネルギーを取り出す技術。燃料となる重水素は豊富かつ普遍的に存在する。また、高レベル放射性廃棄物としての使用済燃料が発生しない	連続的に核融合反応を起こし、またそれを一定の空間に閉じ込める技術、エネルギー収支およびコストの削減、大規模な開発のための資金調達と国際協力体制の構築等
	宇宙太陽光 (SPS) 太陽光が地上よりも豊富に降り注ぐ宇宙空間にて太陽光発電を行い、発電した電気を、マイクロ波等を通じて無線で地球に伝送し地上で利用する技術	無線エネルギー転送技術の確立、宇宙に建設資材を運ぶコストの低減等
発生したCO ₂ を固定、または、大気中のCO ₂ を取り除くもの	水素の利活用 水素を化石燃料から製造する場合は、発生したCO ₂ の二酸化炭素回収・貯留(CCS)実施により カーボンフリーにできる	水素製造技術(化石・再エネベース)のコスト削減、輸送・貯蔵の効率向上、水素利用を促進するための制度構築(第1/2、水素閣僚会議/東京ステートメント)等
	CO ₂ 固定化・有効活用 (カーボンリサイクル) 触媒変換、鉱物化、電気化学的変換、光触媒変換、発酵などにより、CO ₂ を原料にして化学中間品、燃料、建材、ポリマーなどを製造。 CO₂を固定化できる	固定化・有効利用できる量や効率の格段の向上等(カーボンリサイクル産学官国際会議)
	CCS付きバイオエネルギー (BECCS) 生物学的プロセスによる光合成とCCSにより、大気から炭素を吸収	大規模な土地を必要とし、食料等の生産のために利用可能な土地面積に影響を与える可能性がある

19

費用便益分析の課題

1) 被害額(被害関数)は正確か？

- 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*1。
- 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。

*1:多くの統合評価モデルでは必ずしも全ての被害を網羅しておらず、被害項目間の相互作用も考慮していない。また、多くの場合、欧米を対象とした比較的低温域(気温上昇1~3℃程度)の被害結果を他地域や、より高温域の被害に当てはめ過小評価しているとの批判がある。

2) Tipping Elements(不可逆的な事象、臨界点を越える事象)のモデル化

- ある事象の進行が臨界点を越えると、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がかり、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。

3) その他の理論的な問題

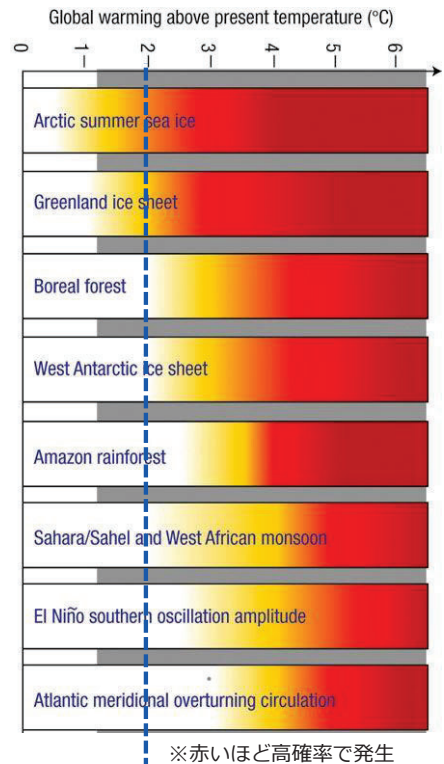
- 超長期の現在価値割引率や、いわゆる“Fat tail”*2の問題など。
- 引き続き議論が行われており、現状では多くの研究者が一致する見解は見出されていない。

*2:気候変動における損害の確率分布の裾が厚い(正規分布に比べて発現確率が高い)ことが指摘されている。

20

Tipping elements(臨界点を超える事象)の例

1. 夏季北極海水の減少 -----
日光反射量の減少、温暖化の増幅
2. グリーンランド氷床の減少 -----
日光反射量の減少、海面の上昇
3. 寒帯林の林冠率の減少 -----
温室効果ガスの排出、生物群系の変化
4. 西南極氷床の減少 -----
日光反射量の減少、海面の上昇
5. アマゾン熱帯雨林の枯死衰退 -----
温室効果ガスの排出、生物多様性の減少
6. サハラ周辺地域のモンスーン強化 -----
サハラ周辺地域の植生被覆率の増加
7. エルニーニョ・南方振動の増加 -----
東南アジア等の干ばつ
8. 大西洋熱塩循環の減少 -----
地域的な寒冷化、熱帯収束帯の南下



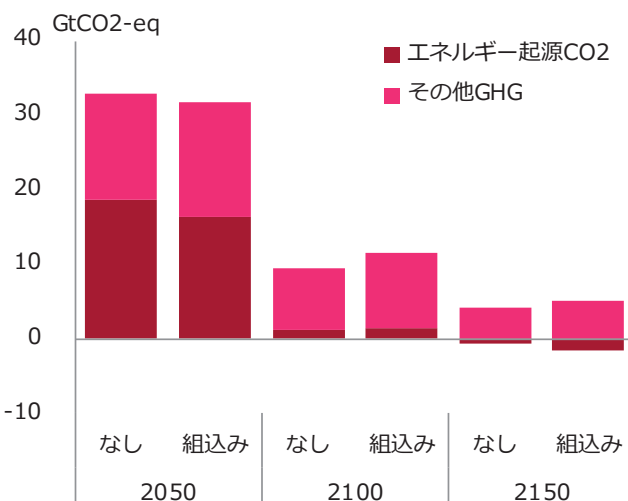
Lenton, T.M. and Schellnhuber, H.J., 2007. Tipping the scales. Nature Climate Change

21

Tipping elements(臨界点を超える事象)を組み込んだ費用便益分析

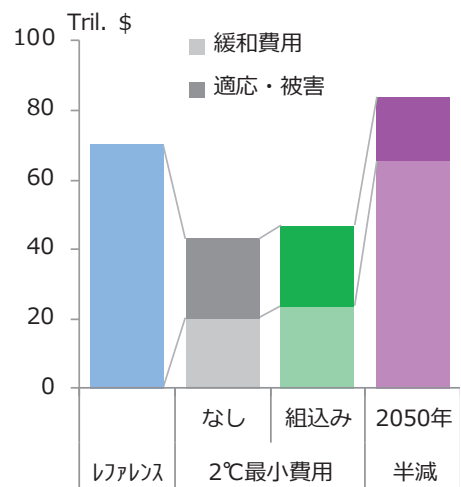
モデルに組み込んだTipping Elements: ①グリーンランド氷床の融解、②永久凍土の融解によるCO₂及びCH₄の排出、③北極海水面積の減少による日光反射の変化

❖ GHG排出量 (2°C最小費用パス)



❖ 総合コスト (累積現在価値※)

※2015-2500年の累積



3つのTipping Elementsを組み込むと、エネ起CO₂の排出余地は抑制され、総合コストも増加する。しかし、被害影響は長期間にわたり生じるため、費用便益分析の結果に与える影響は大きくない。

22

まとめと今後の課題

- ✓ 経済成長と気候変動対策の両立を考えると、総合コスト(被害、適応コスト、削減コストの総和)の最小化を意識した取組が必要。
- ✓ 費用便益分析のアプローチには、まだ多くの課題があると認識。
- ✓ 今回3つのTipping Elementsを組み込み、費用便益分析を実施した。これらの現象は、氷床の融解がゆっくり進むように、変化に対して反応が遅れ、影響の発現に時間がかかり、極めて長期間にわたって生じるため、費用便益分析の結果に与える影響はさほど大きくはない。
- ✓ 現象発生の不確実性を分析に組み込み、より明確な結論を導くことが望ましい。また、上記以外のTipping Elementsもモデル化し、同様の結論となるかを確認することも必要。
- ✓ 最新の科学的知見を織り込んだ被害関数を設定し、評価を行うことは今後の重要な課題。分析のさらなる精緻化を継続して行う予定。

23

参考

被害関数精緻化の試みの例

項目別被害の地域的分布

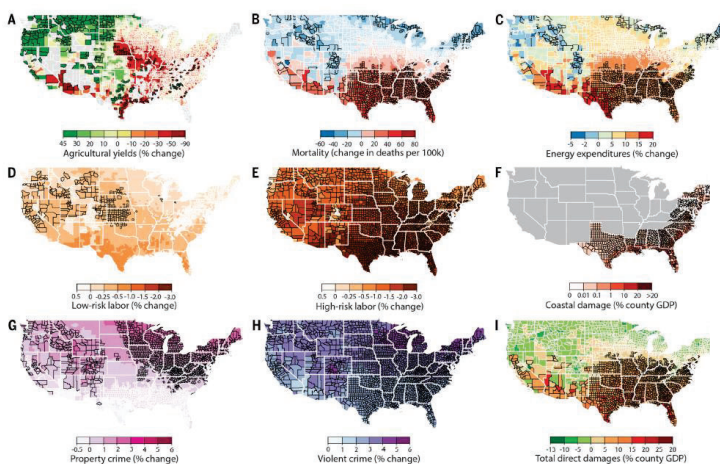
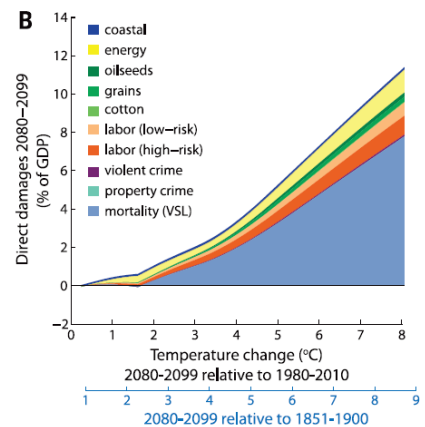


Fig. 2. Spatial distributions of projected damages. County-level median values for average 2080 to 2099 RCP8.5 impacts. Impacts are changes relative to counterfactual "no additional climate change" trajectories. Color indicates magnitude of impact in median projection; outline color indicates level of agreement across projections (thin white outline, inner 66% of projections disagree in sign; no outline, ≥83% of projections agree in sign; black outline, ≥95% agree in sign; thick white outline, state borders; maps without outlines shown in fig. S2). Negative damages indicate economic gains. (A) Percent change in yields, area-weighted

average for maize, wheat, soybeans, and cotton. (B) Change in all-cause mortality rates, across all age groups. (C) Change in electricity demand. (D) Change in labor supply of full-time-equivalent workers for low-risk jobs where workers are minimally exposed to outdoor temperature. (E) Same as (D), except for high-risk jobs where workers are heavily exposed to outdoor temperatures. (F) Change in damages from coastal storms. (G) Change in property-crime rates. (H) Change in violent-crime rates. (I) Median total direct economic damage across all sectors [(A) to (H)].

被害額合計値 (対GDP比)

4℃で2~3%程度、8℃で10~11%程度

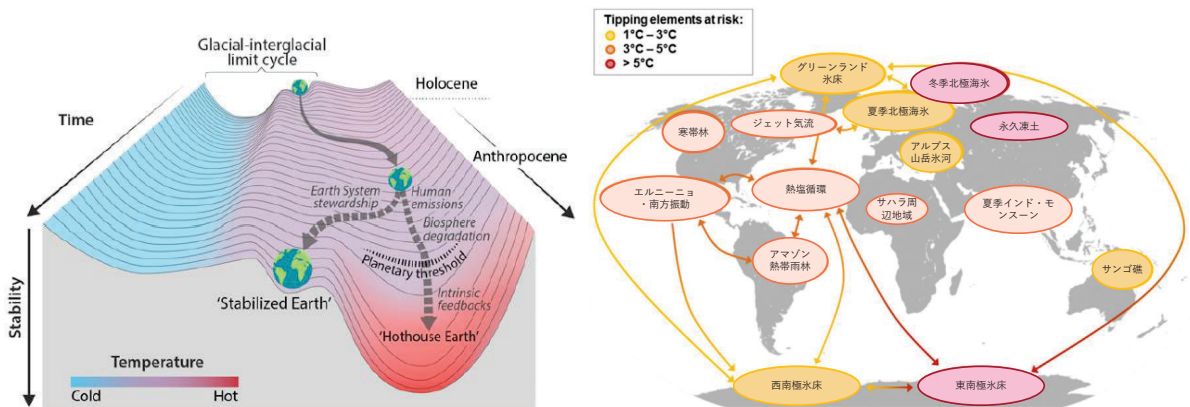


- ・ 被害関数精緻化の取り組みは米国を中心に進められつつある。
- ・ 精緻化の結果、これまでと大きくは変わらないことも多い。

不可逆的な事象の考慮(Hothouse earth)

“Stabilized Earth”(安定的な地球)と“Hothouse Earth”の概念図

起り得る“Tipping elements”の例



地球システムは、氷期・間氷期サイクルから抜け出しつつある。現在、地球システムは、人為的な温室効果ガス排出と生物圏の劣化により、地球の閾値に近づきつつあり、それを超えると内在する生物・地球物理的なフィードバックにより、不可逆的なHothouse Earthとなっていく。「安定的な地球」に向かうには、地球システムの人為的な管理が必要である。

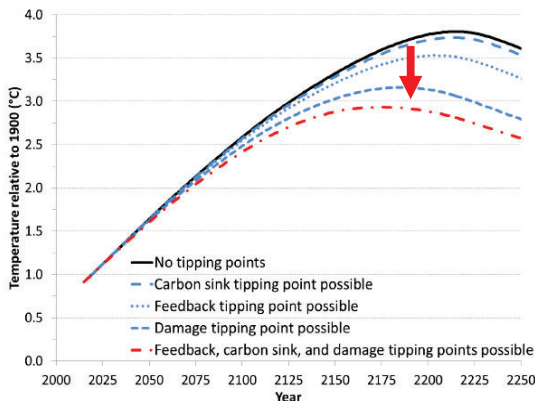
Steffen et al, (2018)は気温上昇がある臨界点(Tipping point)を超えた場合、地球システムのGHGの自動吸収作用が機能なくなり、地球が従来の氷期・間氷期サイクルとは異なる(より温度が高い領域での)平衡状態へと向かう可能性があると述べた。

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

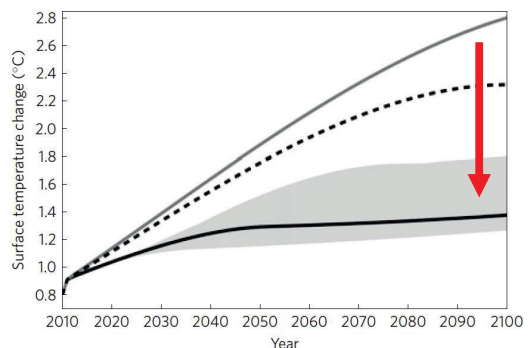
25

Tipping elementsを組み込んだ分析例

Lemoine and Traeger (2016)



Cai et al. (2016)



Lemoine and Traeger (2016)によれば、①炭素吸収、②地球システムのGHGの自動吸収作用、③温暖化被害に係る3つのTipping Elements (不可逆的な事象、臨界点を超える事象)を考慮することにより、最適化パスの気温上昇は最大4°C弱から3°C弱まで低下する。またCai et al. (2016)によれば、5種類のTipping Elementsを考慮することで、最適化パスの気温上昇は2100年に2.8°Cから1.5°C未満まで低下する。

Tipping elementsを考慮すると同じ気温上昇時の被害額がより大きくなるため、より気温上昇を抑制するパスが総合コスト最小となり、最適な気温パスは下方に移動する。ただしこれらの計算では、Tipping Elementsは「ありなし」のみで表現されており、地球システムの変化のダイナミズムが考慮されていない。

D. Lemoine and C. P. Traeger, 2016. Economics of tipping the climate dominoes. *Nat. Clim. Change*, 6, 514-519.

Y. Cai, T. M. Lenton and T. S. Lontzek, 2016. Risk of multiple interacting tipping points should encourage rapid CO₂ emission reduction. *Nat. Clim. Change*, 6, 520-525.

26

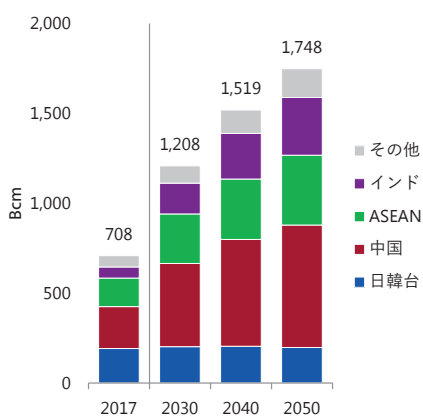
アジアLNG市場の発展に向けて -LNGの価格競争力と供給セキュリティ-

IEEJ Outlook 2020 IEEJ © 2019

拡大するアジアの天然ガス市場

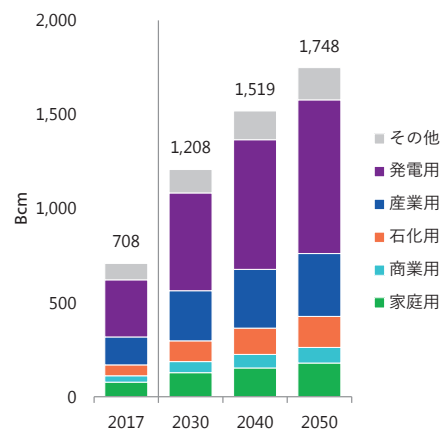
- 化石燃料の中で最も環境負荷の低い天然ガスは、アジアにおいて大きな役割を果たすことが期待されている。
- 需要が最も増加するのは中国、インドであるが、ASEANの需要増加も著しい。
- 部門別には発電部門での需要増加が最も大きい、石炭火力との競合が避けられない。

❖ アジアの国・地域別 天然ガス需要見通し



出所: IEEJ

❖ アジアの部門別 天然ガス需要見通し



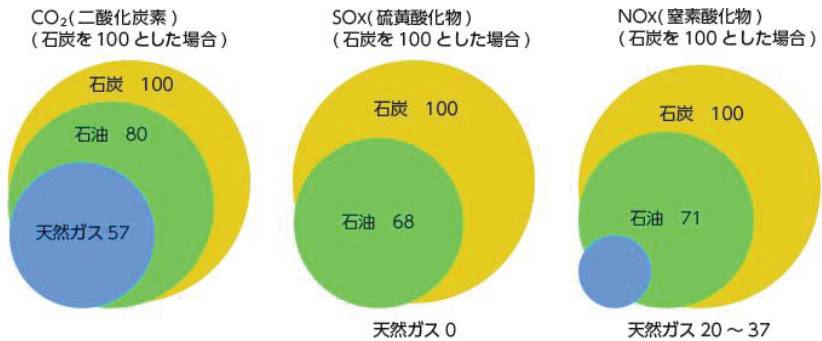
出所: IEEJ

IEEJ Outlook 2020 IEEJ © 2019

参考)化石エネルギーの特徴

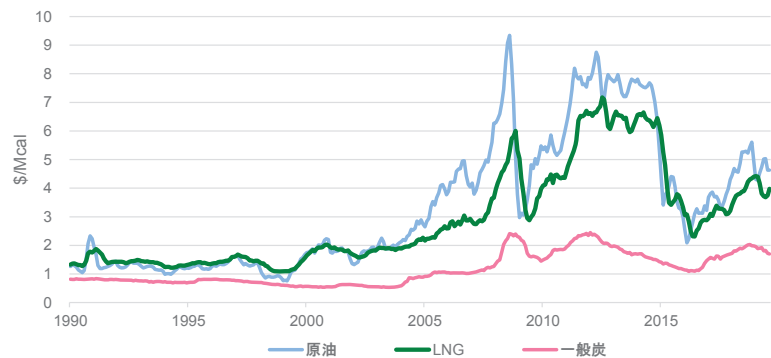
❖ 環境負荷

出所: 日本ガス協会



❖ 日本の輸入価格 (単位熱量当り)

出所: IEEJ

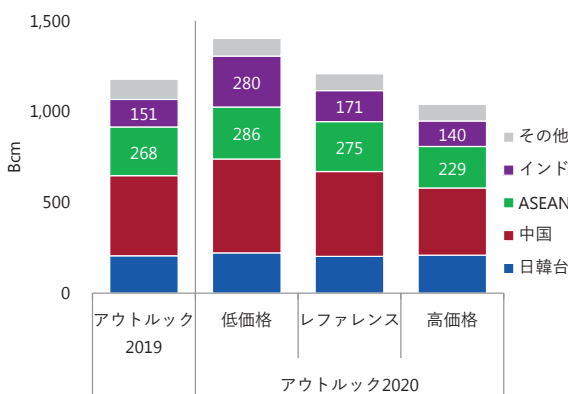


29

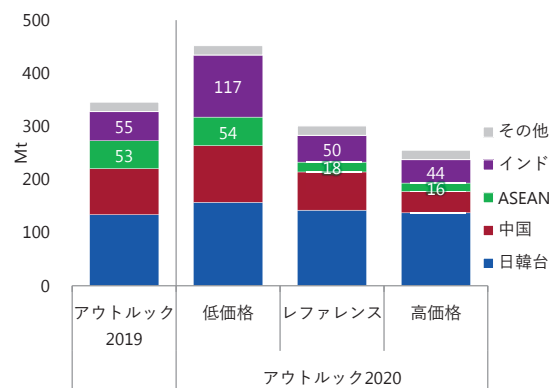
ただし、需要見通しは下方修正

- 所得の低い国ではエネルギー供給には低廉性が求められるが、現在の価格水準(約\$10/MMBtu)ではアジア途上国のLNGの購買意欲を高めることが出来ない。
- そのため、アジアのLNG見通しはアウトック2019から下方修正。
その影響は、特にインドやASEANで顕著。

❖ アジアの需要見通しの比較 (2030年時点) (左:LNGを含む天然ガス合計 右:LNG)



出所: IEEJ



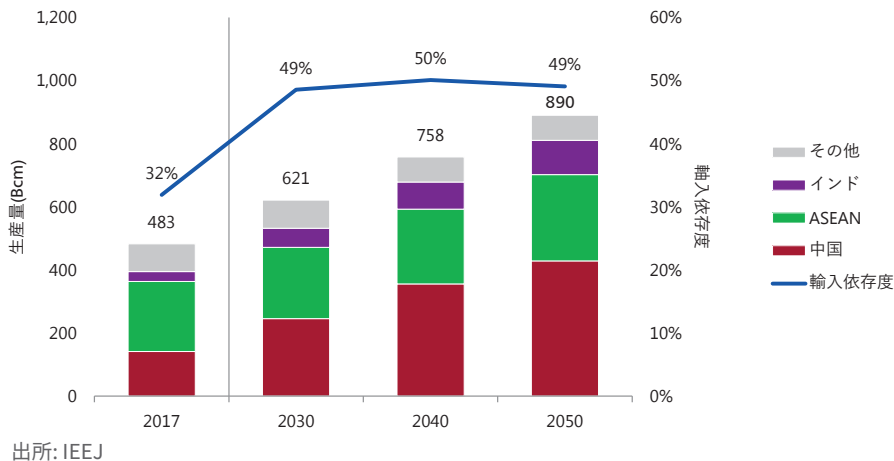
出所: IEEJ

30

競争力の高いLNGの重要性の高まり

- 需要増加は主として輸入で満たされ、輸入依存度は2017年の32%から2050年には49%に高まる。
- LNGの輸入量の伸びが速いことが見込まれ、アジアでは競争力の高いLNGの重要性がこれまで以上に高まる。

❖ アジアの天然ガス生産量及び輸入依存度(レファレンスケース)



31

アジアのLNG価格想定

- **レファレンスケース**: アジアの実質LNG輸入価格は、2018年の\$10.1/MMBtuからほぼ横ばいで推移すると想定。
 - 油価連動契約が減少する、もしくは油価連動契約における連動程度の低下を見込む。
 - アジアの新興LNG輸入国では、現在の価格水準では輸入LNGの競争力は弱いと認識。
- **高価格ケース**: 2018年のアジアのLNG輸入平均価格における原油価格連動程度が2050年まで継続すると想定。
 - 発電用燃料としてのLNGは競争力を持たず、需要増加は更に抑制される。
- **低価格ケース**: 歴史的な安値圏にあるスポットLNG価格(2019年1月から8月の平均)が2050年まで継続すると想定。
 - 液化プラントや輸送における大幅なコストダウンが必要。

❖ アジア向けLNG価格想定(2017年価格;\$/MMBtu)

	2018	2030	2040	2050
レファレンスケース	10.1	10.0	10.2	10.4
参考)原油価格	\$71.31/bbl	\$95/bbl	\$115/bbl	\$125/bbl
高価格ケース	10.1	13.3	16.1	17.5
低価格ケース	10.1	5.4	5.4	5.4

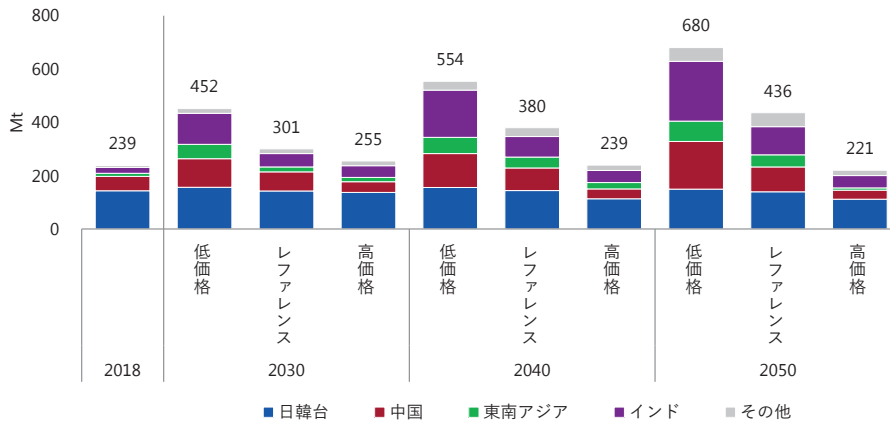
出所: IEEJ

32

アジアのLNG需要見通し

- レファレンス : 日韓台では需要は伸びないが、ASEANやインドなどでは4.4%~6.2%/年の高い伸び。
- 高価格ケース: アジアでのガス火力新設が大きく減ると想定。
2050年にかけての伸び率は-0.1%/年と増加せず。
- 低価格ケース: 石炭火力増分の半分がガス火力に移ると想定。
2050年にかけて3.3%/年で増。

❖ アジアのLNG需要見通し



出所: IEEJ

33

LNG価格および需要見通しのポイント

- 需要増加は日韓台から新興輸入国へ移っていく。
- 需要増加ポテンシャルの大きい発電部門での競争力がなければ、LNG需要拡大は限定的なものに。
- 液化能力との関係では、

2020年末までに相当量の 液化能力が追加される可能性

- 2019年前半までに5,400万トンが投資決定済み。
- 2020年末までに更に1億2,000万トンの追加可能性。

高価格ケース

- 2050年までの需要を2020年代までの液化投資で充足可能。
- 2020年代以降の液化投資が低迷。
- 石炭火力などへの依存と環境負荷の高まりの可能性。

低価格ケース

- 需要の拡大に伴い、相当程度の上流、液化等への投資が必要。
- 新規液化能力の確保に向けて、液化、輸送コストの削減が課題に。

34

LNG供給セキュリティの考え方

- 今後エネルギー利用におけるLNGの位置づけが大きくなるにつれ、その供給セキュリティに対する関心が高まることが考えられる。

❖ LNGの供給セキュリティ対策

既存の対策

輸入相手国やルートの分散化

ある国からの輸入が途絶えた場合でも、他国からの輸入で代替。

効率的な利用による需要の抑制

利用効率の向上によって輸入量を減し、支障の影響範囲や対策量を削減。

長期契約による売り手との安定的な関係構築

拘束力を持つ長期契約によって売り手との間に安定的な関係を構築することで供給を確保。特に、需要が拡大する局面で有効。

新たな対策

流動性の高いアジアLNG市場を作りそれを活用

流動性の高い国際市場から、必要な時に必要な量を輸入。

他の天然ガス市場との協調

欧州や中国など他の天然ガス市場の特徴を活かし、それらと協調してLNG需給バランスを調整する仕組みを構築。

出所: IEEJ

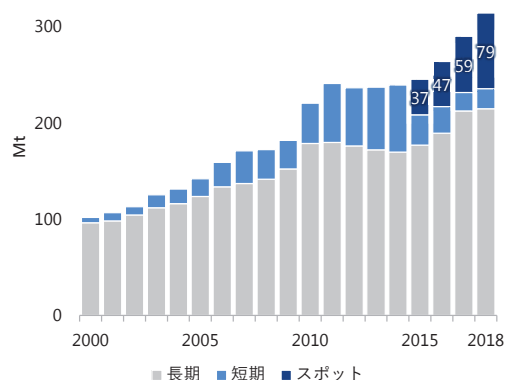
35

流動性の高い国際市場の活用

- 国際LNG市場では、アジアのLNG供給セキュリティにとって有利な変化が進展。
 - LNG輸出プロジェクトが増え、新たな供給力が着実に積みあがっている。
 - 仕向け地条項がないなど、柔軟なLNGの供給量/取引が増えている。

❖ LNG輸出量と余剰液化能力

❖ 契約期間別のLNG輸出量



余剰液化能力=総液化能力-停止中の液化能力-LNG輸出量
出所: GIIGNL各年版より作成

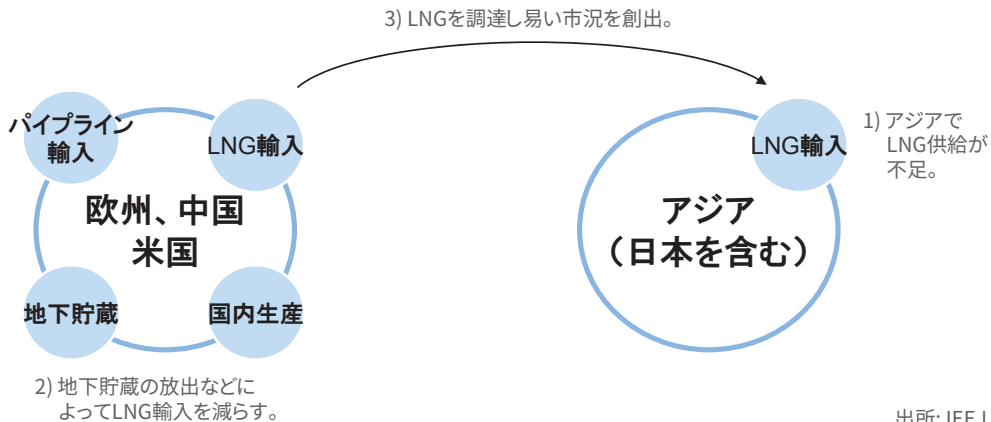
2000年から2014年までの「短期」(契約期間4年以下)には「スポット」を含む。
出所: GIIGNL各年版より作成

36

他の天然ガス市場との協調

- EUや中国、米国など、LNG以外に複数の供給手段を持つ地域/国が存在。
これら国/地域と協力しつつ、その需給調整能力を活用することで、アジアのLNG供給セキュリティを向上させることが可能。
- 他の地域／国に依存したセキュリティ体制は不安定か？
 - 石油市場では実績あり。
 - エネルギー協力を地域安定化の契機としていくことが重要。

◆他地域/国の需給調整能力を活用するイメージ



出所: IEEJ

37

参考) 主要国の天然ガス地下貯蔵能力

	ワーキングガス容量 [ktoe] *	天然ガス消費量 [ktoe]	ワーキングガス容量 ÷天然ガス消費量
フランス	11,446	38,492	30%
ドイツ	22,386	75,341	30%
イタリア	16,767	61,549	27%
イギリス	1,415	67,839	2%
EU-28	97,279	39,8384	24%
アメリカ	126,656	643,934	20%
中国	12,005	197,906	6%
日本**	4,955 (LNG在庫量)	100,895	5%

* ワーキングガス容量: 地下に貯蔵される天然ガスの一部は、ガスの払出し圧力を維持する必要から実際には活用されることは無く、このガスをクッションガスという。ワーキングガス容量とは、貯蔵設備の総ガス容量からクッションガス量を引いた、実際に活用可能なガスの貯蔵容量を指す。

** 日本のみLNGの在庫量。他の国の値にはLNG在庫量を含まない。

出所 天然ガス消費量: IEA, Energy balance 2019より2017年データ

欧州のワーキングガス容量: Gas Infrastructure Europeより2018年7月1日時点データ

米国のワーキングガス容量: EIA, Underground Natural Gas Storage Capacityより2017年データ

中国のワーキングガス容量: JOGMECより2018年データ

日本のワーキングガス容量: JOGMECより2017年データ(2017年の毎月末のLNG在庫量の平均値)

38

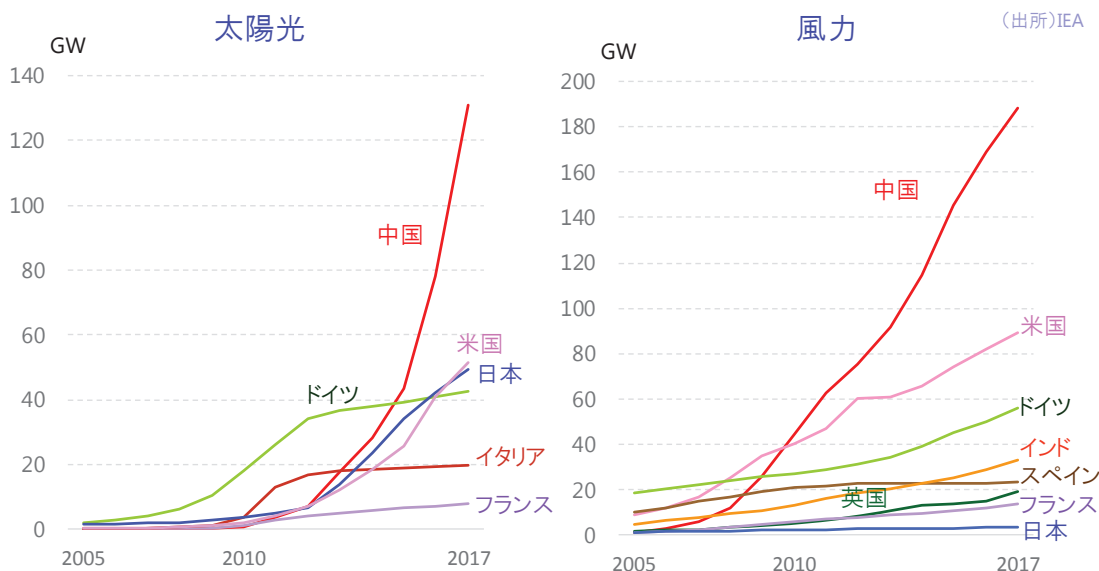
まとめ

- 需要増加の中心が日韓台から新興輸入国へ移っていくなかで、需要増加ポテンシャルの大きい発電部門での競争力がなければ、LNG需要拡大は限定的なものとならざるを得ない。
- 高価格ケースのLNG需要は低価格ケースの約70%も小さく、価格水準が需要を大きく規定する。
- 供給側でコスト削減の努力とともに、需要を賄うに足る供給を可能にする投資が適切に実施されていくことが必要である。一方の需要側では、インフラ整備や需要喚起策などが求められる。
- LNG需要が増えるとともに、その供給セキュリティに対する関心も高まっている。
- 国際LNG市場では日本を含むアジアのLNG供給セキュリティにとって有利な変化が進展しつつあり、これを更に推し進めることが必要。
- 米国やEU、中国の需給調整能力を活用することで日本やアジアのLNG供給セキュリティを向上させるが可能であり、今後こうした協力を深めることが必要であろう。



変動性再生可能エネルギーの大量導入 — 統合費用の評価と幾つかの課題 —

変動性再生可能エネルギー(VRE)の普及拡大

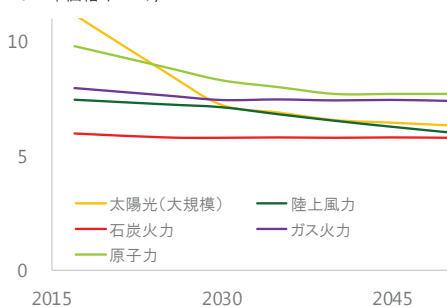


- ・ **VRE(Variable Renewable Energy: 変動性再生可能エネルギー＝風力・太陽光)**は、地球環境問題への意識の高まりと発電コストの低下を背景に、世界各国で急速な普及が進んでいる。
- ・ 優れた環境特性や豊富な資源の利用可能性から、**今後も引き続きVREを中心とした再生可能エネルギーの導入拡大が進むことが予想される**。例えば欧州では、2050年までに発電部門で再生可能エネルギー100%の達成を目標とする国が複数存在する。また新興国、例えば中国においても、国家再生可能エネルギー中心は2050年までに再生可能エネルギーシェアを85%まで拡大するシナリオを提示している。
- ・ 但しVREの大量導入には後述する複数の課題があり、それを考慮した上で政策的支援を行うことが求められる。

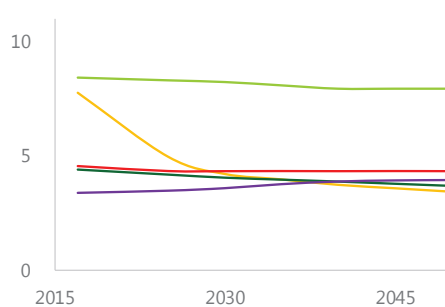
41

低下する再生可能エネルギーの発電単価(LCOE)

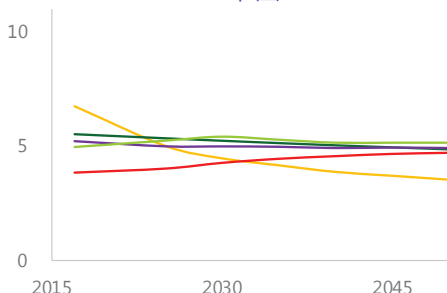
2017年価格米セント/kWh 欧州



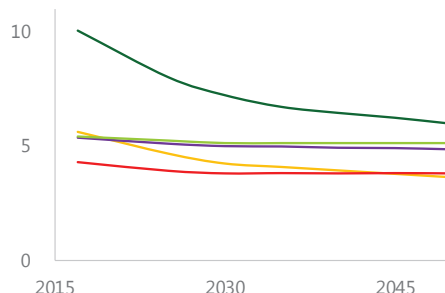
米国



中国



ASEAN



- ・ VREの発電単価(Levelized Cost of Electricity: LCOE)は急速な低下を続けており、2050年までには**世界の多くの地域で石炭火力・ガス火力を下回る見通し**。

42

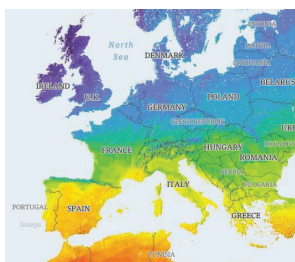
変動性再生可能エネルギーの地域的偏在性

※1: Obtained from the "Global Solar Atlas 2.0, a free, web-based application is developed and operated by the company Solargis s.r.o. on behalf of the World Bank Group, utilizing Solargis data, with funding provided by the Energy Sector Management Assistance Program (ESMAP). For additional information: <https://globalsolaratlas.info>

※2: Obtained from the "Global Wind Atlas 2.0, a free, web-based application developed, owned and operated by the Technical University of Denmark (DTU) in partnership with the World Bank Group, utilizing data provided by Vortex, with funding provided by the Energy Sector Management Assistance Program (ESMAP). For additional information: <https://globalwindatlas.info/>

太陽光

欧州



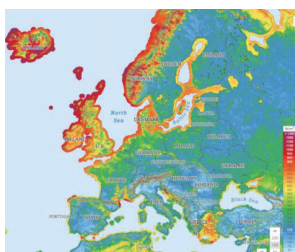
(出所)
Global Solar Atlas※1

ASEAN



風力

欧州



(出所)
Global Wind Atlas※2

ASEAN

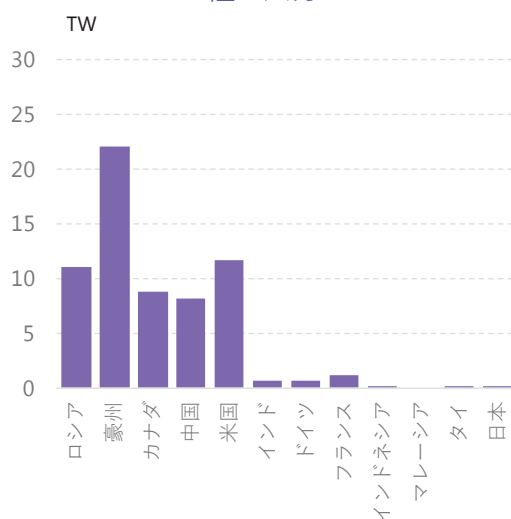


- ・VRE資源の賦存量は地域によって大きく異なる。特に風力発電資源の賦存量は風況によって大きく偏在し、例えば欧州では豊富に存在する一方で、ASEAN地域ではベトナム・フィリピンを除き、大きくない。

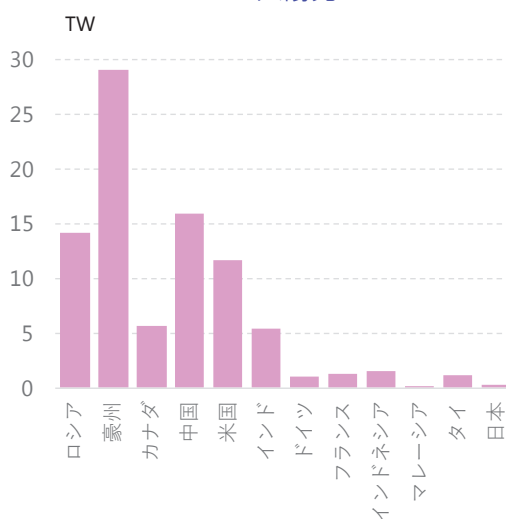
43

太陽光・風力発電資源量の地域的分布

陸上風力



太陽光



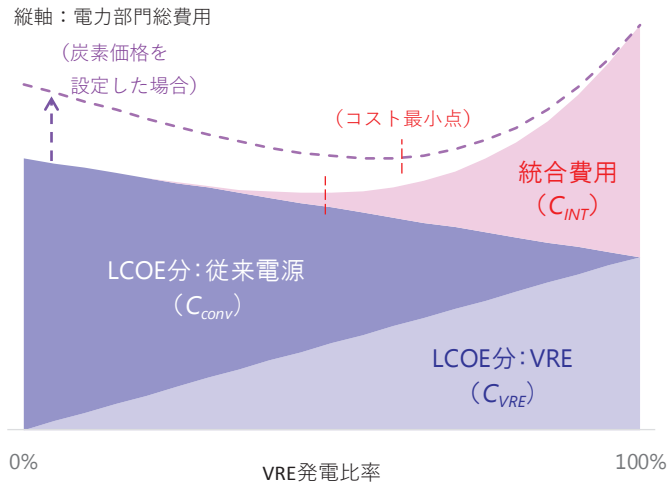
(出所) 当所推計※

- ・ロシア・豪州・中国・米国など、広大な土地を有する国に再生可能エネルギー資源は多量に存在する。全ての国の資源量を合計すると、世界全体の電力需要を供給するために必要な設備量を遥かに上回る。
- ・緯度の高い地域では太陽光発電の資源量が比較的小さいのに対し、アジア地域では総じて風力資源に乏しい国が多い。

※ GISデータをもとに、世界各国の日射・風速や土地の傾斜・利用状況等を勘案して推計。

44

VRE大量導入時の統合費用の概念



- 従来電源のLCOEよりもVREのLCOEの方が安くなった場合、LCOEに比例する費用（従来の発電コスト：図中 $C_{conv} + C_{VRE}$ ）のみで比較すると、VRE導入比率が高くなるほど総費用は小さくなる。
- 但し実際には、VREの大量導入に伴い出力抑制や蓄電システムの設置、グリッドの増強などに係る追加的な費用が発生する。LCOE分以外の追加費用（何に起因するものであれ、全て含めたもの：図中 C_{INT} に相当）を、VRE大量導入に係る**統合費用 (Integration cost)**と呼ぶ。

45

統合費用の区分

(出所) Ueckerdt F. et al., 2013. System LCOE: What are the costs of variable renewables?, *Energy*, 63, pp.61-75. などより作成

1. バランスコスト: Balancing cost

- ・主に短期の予測誤差に伴って追加的に生じるインバランスを調整するためのコスト。

2. グリッド増強コスト: Grid-related cost

- ・発電設備と電力需要の空間的な乖離に伴って生じるコスト。
- ・発電設備から系統までの接続線と、グリッド自体の増強の2種類が必要となる。（前者は発電単価(LCOE)の中にも含まれることもある）

3. プロファイルコスト: Profile cost

- ・発電設備と電力需要の時間的な乖離を解消するためのコスト。以下の項目に細分される。

3-1. 適合コスト(バックアップコスト): Adequacy cost / Backup cost

3-2. 出力抑制コスト: Overproduction cost

3-3. 設備利用率低下に係るコスト増加分: Full-load hour reduction

3-4. 計画内の起動・停止回数増加に係るコスト増加分: Flexibility effect

46

統合費用の評価例・・・欧州及びASEAN

評価方法

- ・ 特定の地域を対象に、1年間を1時間刻み(24時間×365日＝8,760時間区分)でモデル化。2014年実績値をもとに、太陽光・陸上風力・洋上風力の発電出力と電力需要の変化を模擬。
- ・ 線形計画法(Linear Programming)により必要な設備投資と年間の電力需給バランスを評価。
- ・ 蓄電システム、地域間連系線、VREの出力抑制、従来電源の設備利用率低下、LFC制約を考慮。但し、火力発電の起動停止回数の増加や部分負荷運転による効率の悪化、回転慣性の必要性などは明示的に考慮しておらず、コストを幾分過小評価していると考えられる。
- ・ 蓄電システムとしてはバッテリー及び揚水発電を考慮。また、追加的に水素貯蔵も考慮。

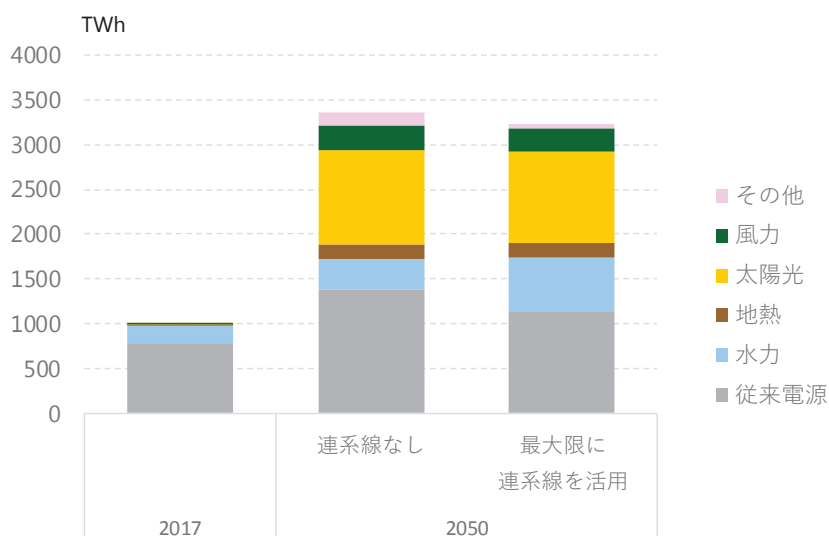
蓄電池・・・コストが80ドル/kWhまで低下すると想定。

水素貯蔵・・・貯蔵設備(タンク)のコストは安価(13ドル/kWh)。別途、水電解装置等の費用がかかる。

評価対象

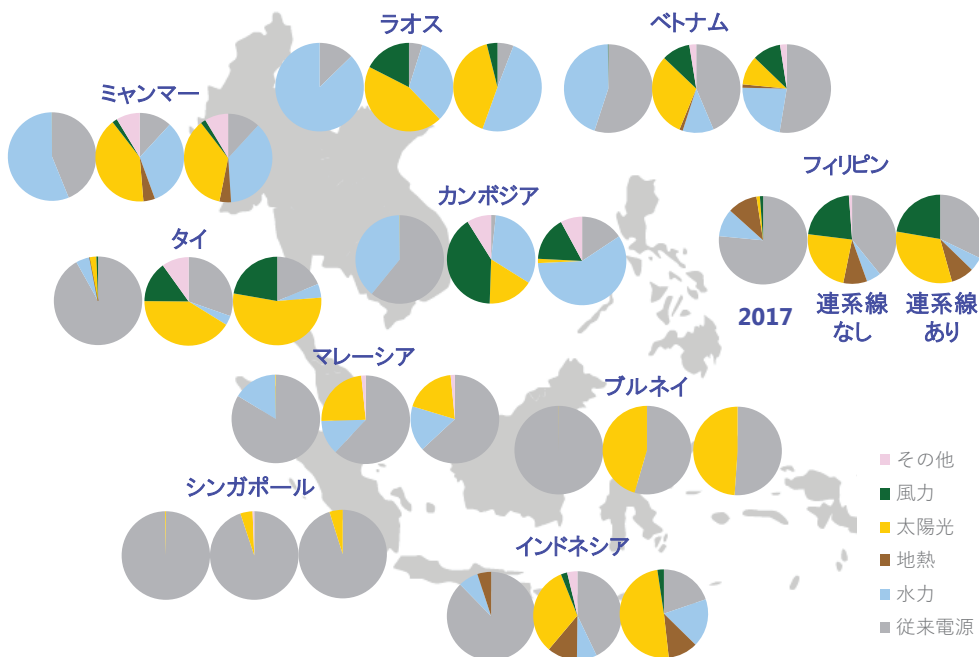
- ・ 欧州(6地域に分割)とASEAN(10カ国)を対象として評価。

ASEAN地域における再生可能エネルギー大量導入(VRE 40%)



- ASEAN地域では風力資源量が比較的乏しいため、VRE 40%を達成するためには太陽光発電比率32%が必要。このとき、再生可能エネルギー比率は60%弱となる。
- 仮に地域間連系線が拡大し、水力資源を最大限利用し得る場合、水力比率が20%程度となり、再生可能エネルギー比率は70%弱まで上昇する。

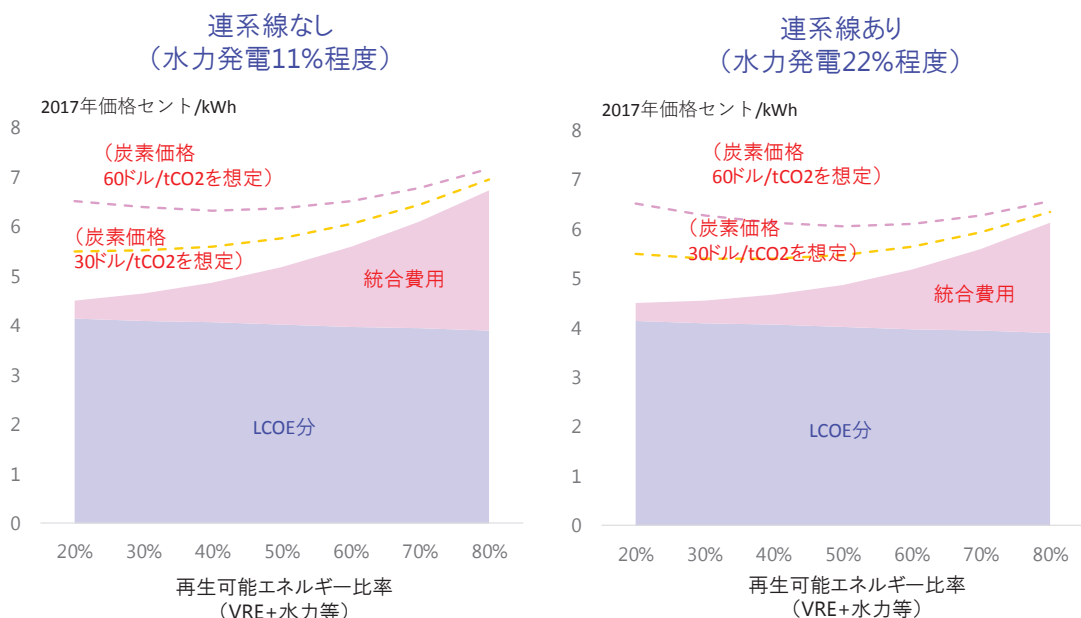
VRE 40%導入時の国別内訳(ASEAN):エネルギー資源の多様性



- VRE資源は国によって異なるため、国ごとに異なった導入比率を示す。
- 地域間連系線を最大限活用できる場合、水力発電資源の有効利用を行うことが可能となり、ラオス・ミャンマー・カンボジア・ベトナム等からタイに向けて、またマレーシアからブルネイに向けて電力輸出が行われる。

49

再生可能エネルギー導入比率上昇による統合費用の増加(ASEAN計)

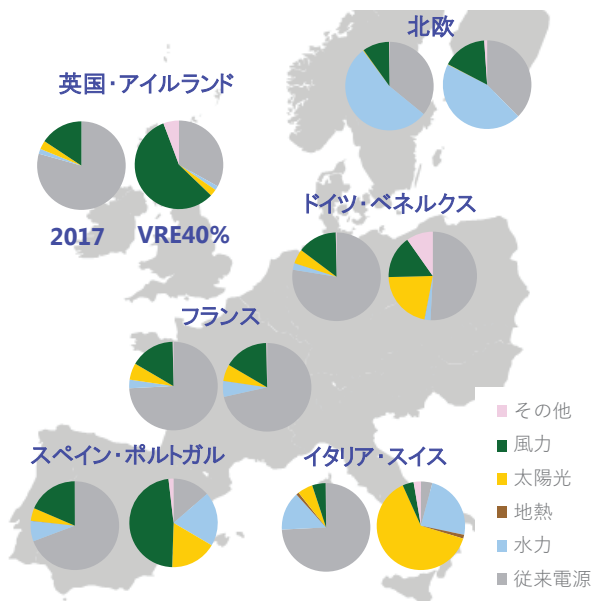


- VRE比率の上昇に伴い統合費用分が増大する。但し、地域間連系線が最大限利用可能な場合には、水力資源を有効に利用できるため、高い再生可能エネルギー比率においてコスト上昇が幾分抑えられる。
- より高額な炭素価格相当を想定した場合には、再生可能エネルギー比率の低い領域でコストが上昇し、より高い再生可能エネルギー導入比率で総コストが最小となる。
- 再生可能エネルギーシェアの拡大に伴うコストの増加を補うためには、強力な政策的支援が必要となる。

50

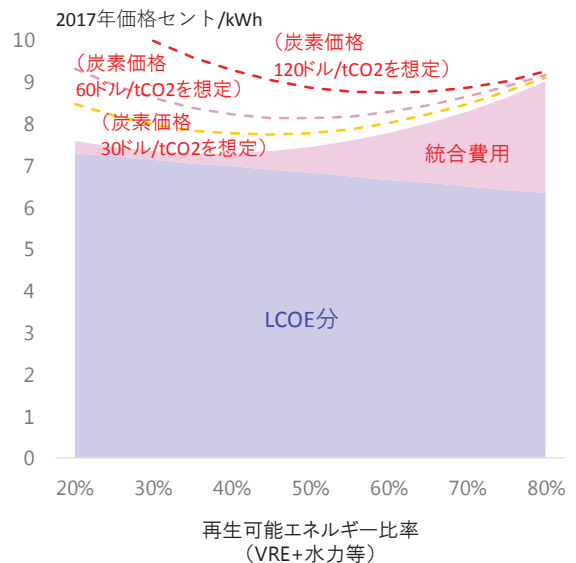
欧州における国・地域別内訳と統合費用

再生可能エネルギー導入の地域別内訳
(2017年実績とVRE40%ケースの比較)



- 欧州においても資源量は偏在し、水力資源の豊富な北欧や、風力資源の豊富なスペイン・英国、太陽光資源の豊富なイタリア・スペインなど、地域によって異なる特徴を有する。
- VRE比率が拡大するにつれ、統合費用は緩やかに上昇。ASEANよりも従来電源のコストが高いため、コスト最小点のVRE比率が高めとなる一方で、炭素価格による影響は比較的小さくなる。

欧州における統合費用



51

水素の利用によるコスト低減効果

- ・ 水素は多種類の方法により製造可能な2次エネルギー源であり、電力部門のみならず、エネルギー供給の低炭素化に大きく貢献し得ることが期待されている。

- 再生可能エネルギー由来
- 化石燃料由来
水蒸気改質等で水素を製造、発生するCO₂はCCS技術により地下に貯留することを想定
- 原子力由来

- ・ VRE大量導入下では、余剰電力を水素に転換・貯蔵し、電力供給が不足するときに発電を行うことを想定。

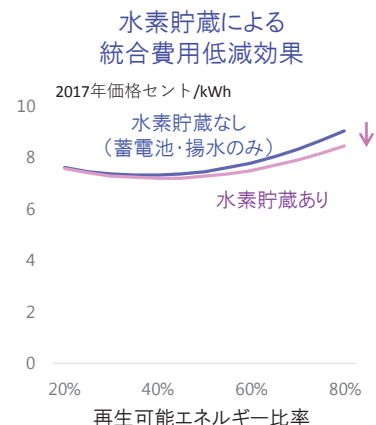
蓄電池・・・設備コストが高いが効率が良い
(サイクル効率80～95%程度)

水素貯蔵・・・貯蔵設備は安価であるが、水電解装置の費用がかかり、総合効率は低め。
(水電解効率×発電効率、50～60%程度)

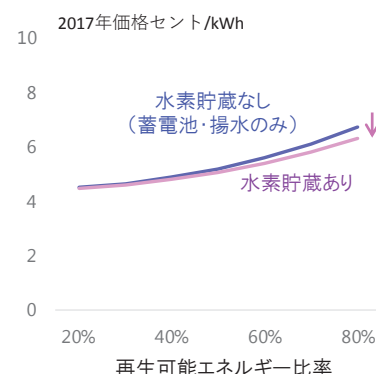
⇒ 水素貯蔵はVRE比率が高いときにのみ、主に長期のエネルギー貯蔵のために利用される。

- ・ この他、日本のようなエネルギー資源に乏しい国では、CO₂フリー水素を輸入し、直接燃焼させて発電に利用することも将来の選択肢の一つ。

欧州



ASEAN



52

VRE大量導入に伴う課題

1. 大量導入に伴う市場価値の低下

VREは一度設置されると、非常に低い限界費用で発電を行う。

→ 電力市場価格が低下し、VRE自体の価値が損なわれる(「共食い効果」)。

2. 電力の供給途絶リスク

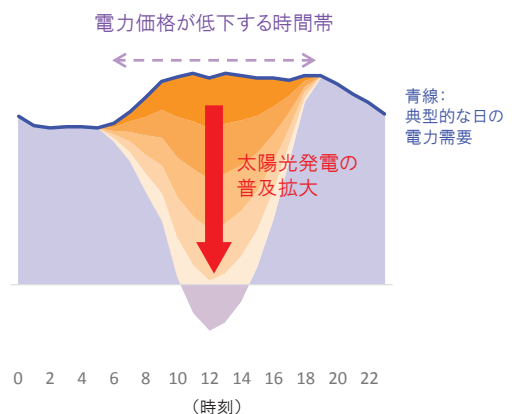
VRE及び水力発電は気象条件に応じて出力が変動する。

特に、長期の時間スケールでの出力の変動に伴う供給途絶リスクが、再生可能エネルギー大量導入時の大きな課題となる。

VRE大量導入時の課題(1) 共食い効果(Cannibalization effect)

◎ 太陽光発電設備が大量に導入された場合

- 晴れた昼間に限界費用(ほぼ)ゼロの電力が大量に供給される
- 晴れた昼間の電力価格が低く、もしくは負になる



このとき、

太陽光発電設備

- 電力価格が低い時間帯にしか発電できない
- 太陽光発電の普及拡大に伴い、**太陽光発電設備自体の「価値」が低下する**
- 「価値」が「コスト」を下回ると、それ以上の普及拡大がより困難になる

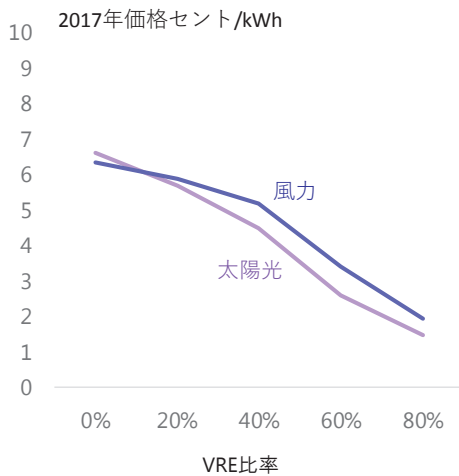
従来型発電設備

- 夜間にも発電が可能のため、「価値」の低下は太陽光発電設備に比べて限定的
- 価格の低下により**設備の投資回収がより困難になる**
- 価格が燃料費を下回る場合には、設備利用率の低い運用が求められる

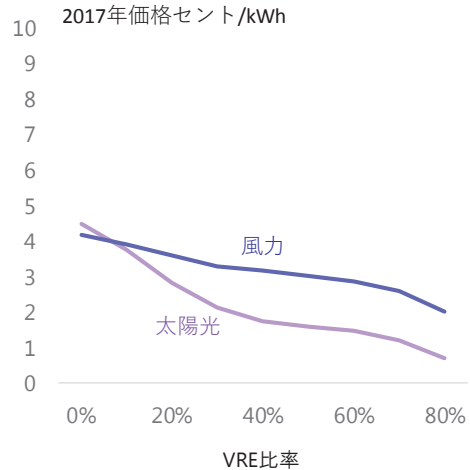
※ 同様の現象は太陽光のみでなく、より緩やかな程度で、風力発電についても生じる。

共食い効果の試算例：欧州及びASEAN

欧州平均



ASEAN平均



- VRE比率が高まるにつれ、共食い効果により太陽光・風力の価値は低下する。特に風力に比べ、太陽光の価値低下が著しい。
- この効果により、仮に将来太陽光・風力発電の発電単価(LCOE)が大幅に低下したとしても、**持続的な導入拡大のためには何らかの政策的支援が不可欠であり続ける可能性が高い。**

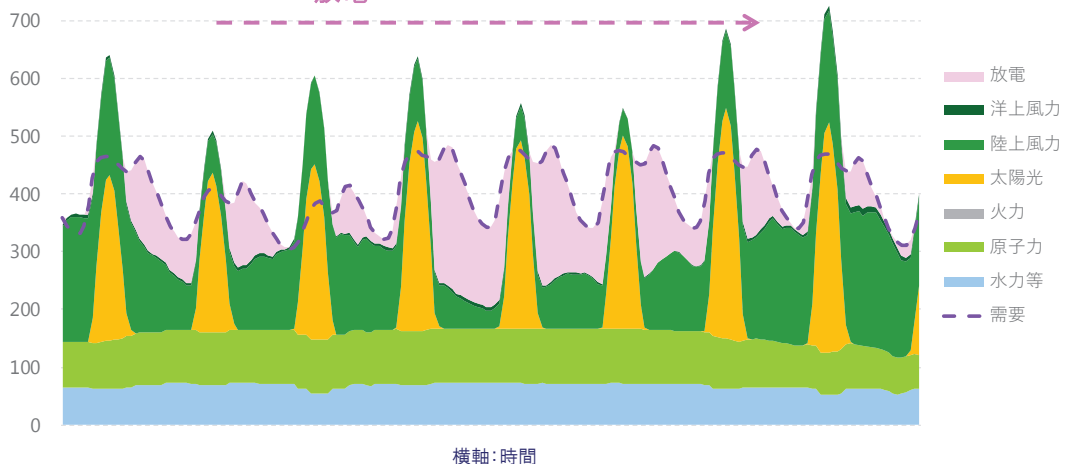
55

再生可能エネルギー大量導入に伴う課題(2) 電力供給途絶リスク

①「無風期間」の電力需給

縦軸：電力需要及び発電出力

GW



・1年のうち1度か2度、風力・太陽光の発電量が極めて小さくなる時期(無風期間・"Dark doldrums"と呼ばれる)が生じる。上図は2014年データで、欧州の4月15日付近の電力需給を示したもの(火力発電ゼロの極端なケース)。

・この「無風期間」の電力需要を賄うために必要な電力量が、蓄電池の必要量となる。

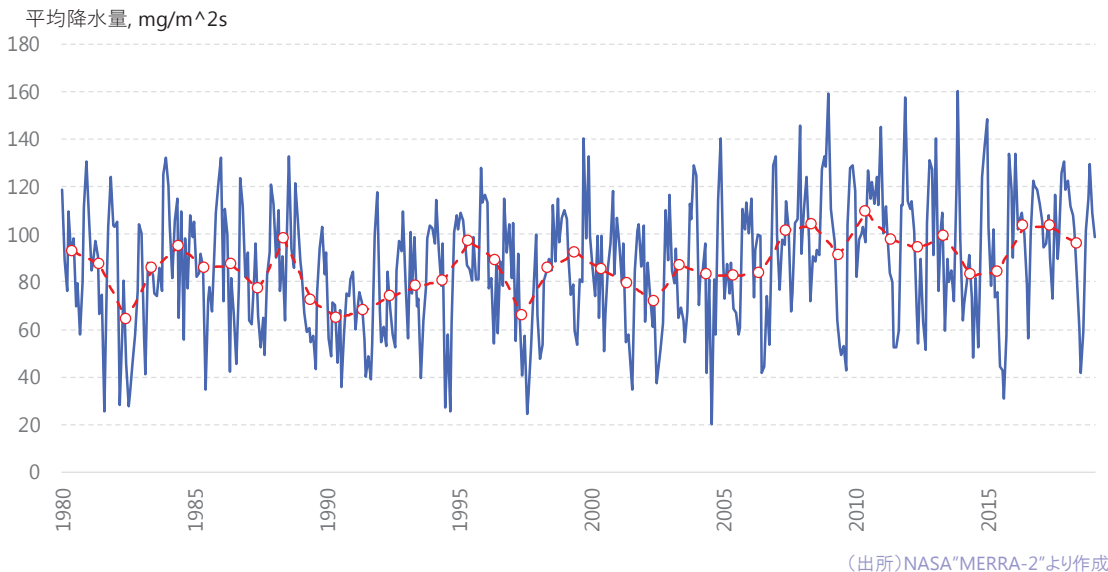
・極度に高いVRE比率を達成するためには、単年ではなく多数年のデータを用い、無風期間の発生リスクを評価した上で適切な蓄電システムを備える必要がある。

56

再生可能エネルギー大量導入に伴う課題(2) 電力供給途絶リスク

② 渇水リスク

ボルネオ島の平均降水量の推移



- ・ 東南アジアにおける平均降水量は季節によって変化するのみならず、年によっても大きく異なる。このため、水力発電を大量に導入した場合には、渇水のリスクに対処し得るよう、十分に対処する必要がある。

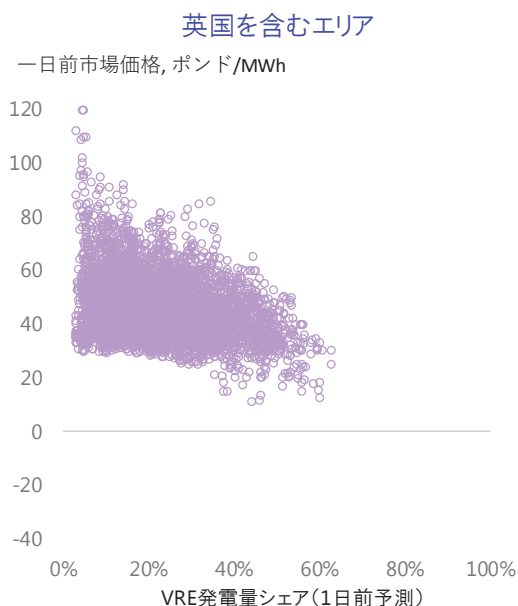
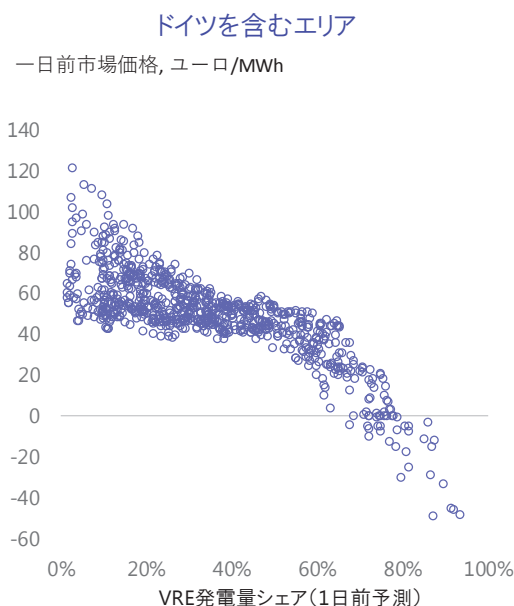
57

まとめ

- ・ 変動性再生可能エネルギー(VRE)のコスト低減に伴い、今後、2050年にかけてその普及が急速に進むことが予想される。但しVRE資源の賦存量には差も大きく、地域ごとに異なる導入比率を示す可能性が高い。
- ・ VREの大量導入には、出力の間歇性に伴う特有の費用(統合コスト)の増加が予想され、近年、多くの研究でその評価が試みられている。但し現状では評価の幅が大きく、今後、評価方法を確立するとともに、より正確な評価を目指して検討を続けることが必要。
- ・ 短中期的には、「共食い効果」によるVRE自身の価値低下が大きな課題。この問題のため、VREの導入を持続的に拡大するためには、適切な政策的支援を長期に継続することが必要となる。
- ・ より長期的にVRE比率が極度に上昇した場合には、「無風期間」における供給途絶リスクが大きな課題となり得る。また、大規模な土地の利用による社会的受容性も大きな課題となる可能性があり、慎重な考慮が必要。
- ・ 特定のエネルギー源のみに依存することは、コスト上昇や供給途絶のリスクを高める。今後、長期的な低炭素化・脱炭素化に向けて、新たなエネルギーミックスを目指すことが求められる。

58

【参考】VRE比率拡大による市場価格の低下： 欧州における実績(2017年1月1日～7月31日)



(出所)Entso-E

- 2017年の実績値では既に、VRE発電量が大きな日に市場価格が低下する傾向が見られる。
- 特に、ドイツでVRE比率が80%を超える時間帯には、価格が負になることもある。

付属資料

地域区分

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

欧州先進国

- ・イギリス
- ・ドイツ
- ・フランス
- ・イタリア
- ・他欧州先進国

他欧州／ユーラシア

- ・ロシア
- ・他旧ソ連
- ・他欧州新興・途上国

北米

- ・米国
- ・カナダ

中東(8地域)

- ・サウジアラビア・イラン
- ・イラク・UAE・クウェート
- ・カタール・オマーン
- ・他中東

アジア(15地域)

- ・日本・中国・インド
- ・台湾・韓国・香港
- ・インドネシア・マレーシア
- ・フィリピン・タイ・ベトナム
- ・シンガポール・ブルネイ
- ・ミャンマー・他アジア

中南米

- ・メキシコ
- ・ブラジル
- ・チリ
- ・他中南米

アフリカ

- ・南アフリカ
- ・北アフリカ
- ・他アフリカ

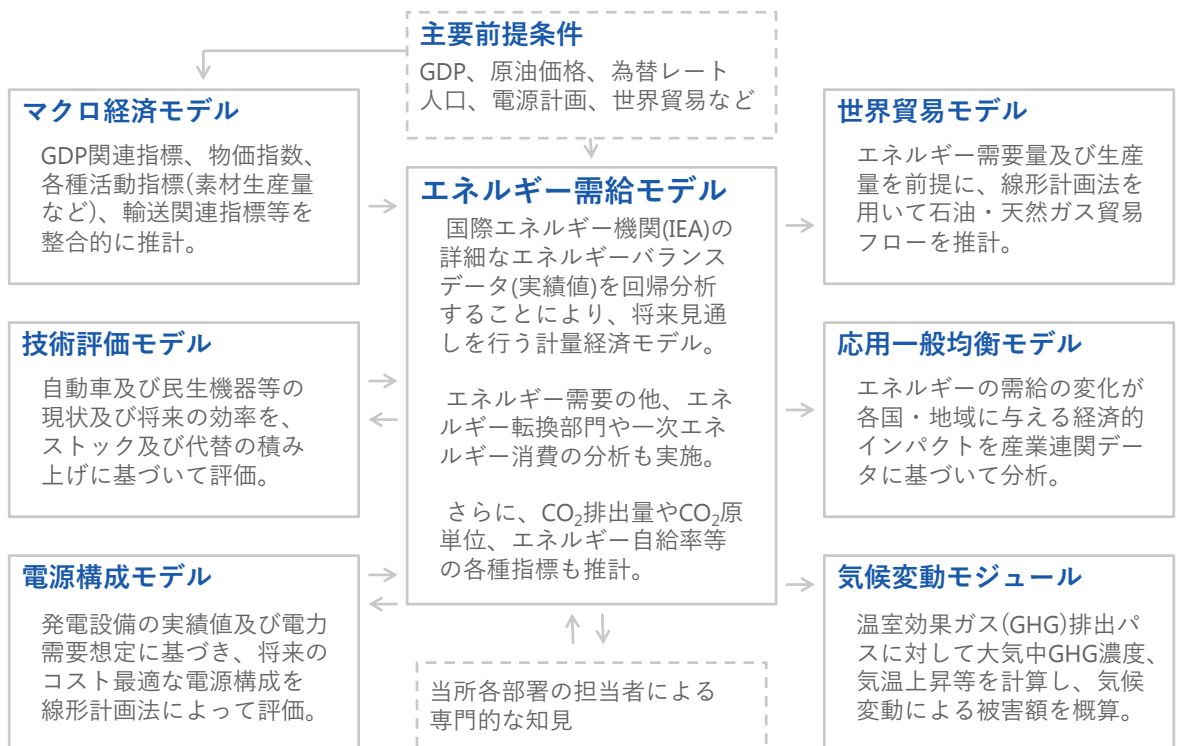
オセアニア

- ・オーストラリア
- ・ニュージーランド

国際バンカー

- ・国際航空
- ・国際船舶

モデルの構造



63

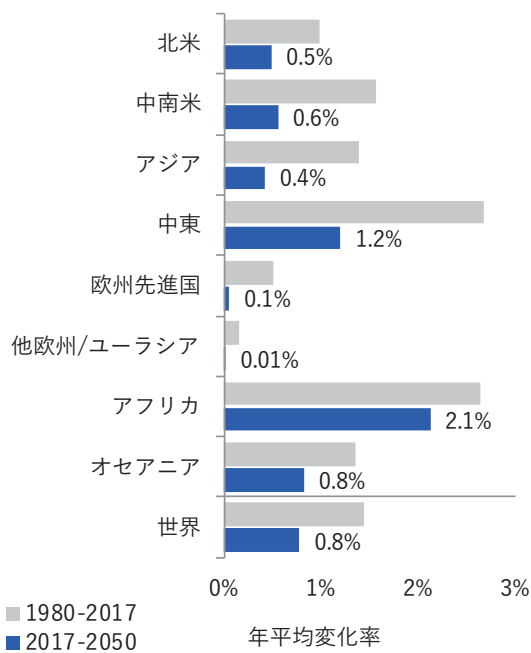
IEEJ Outlook の基本シナリオ

	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

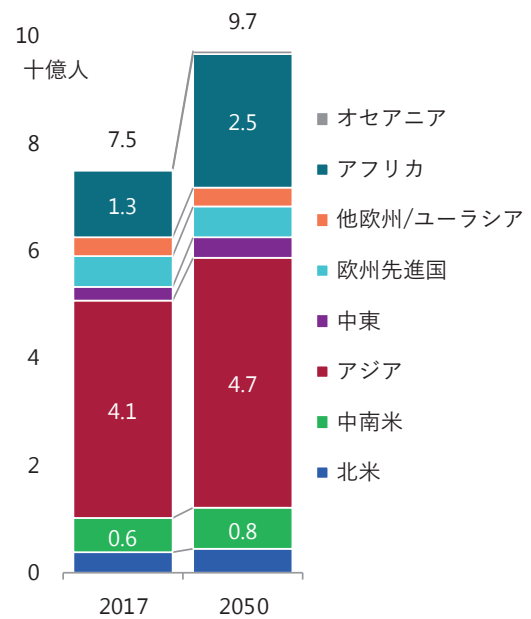
64

人口

年平均増減率



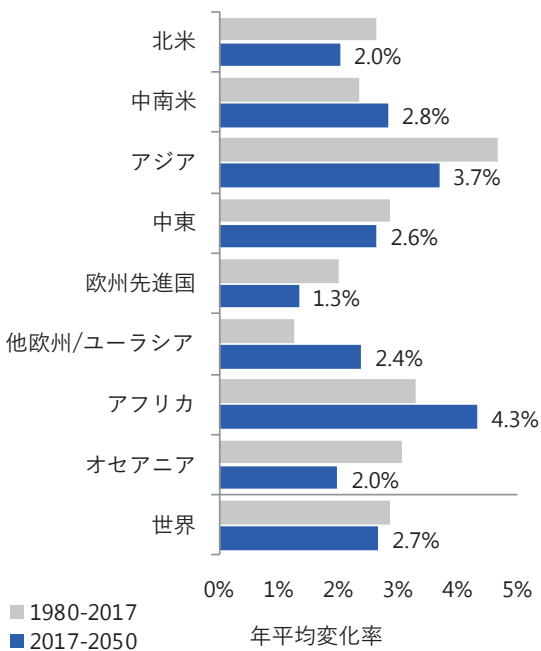
人口構成



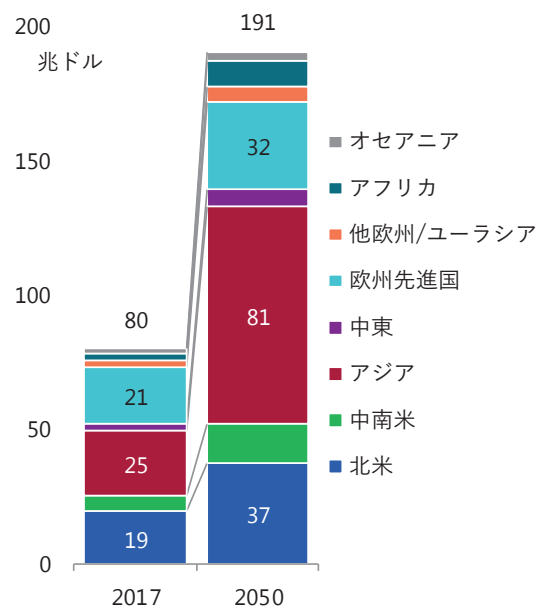
65

実質GDP

経済成長率



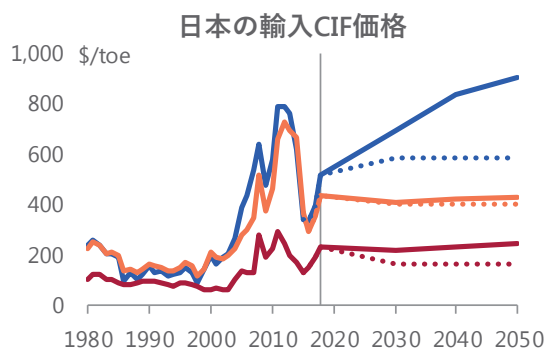
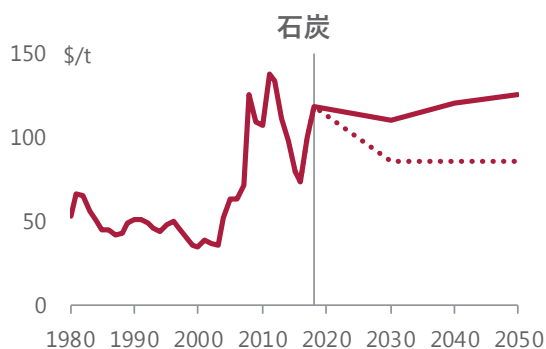
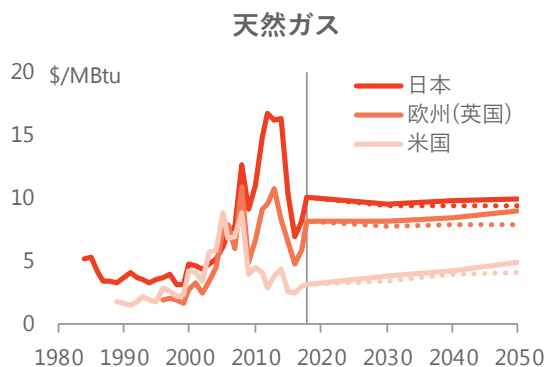
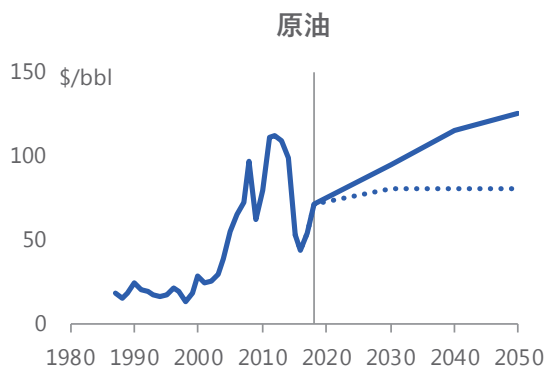
GDP構成



66

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2018年価格

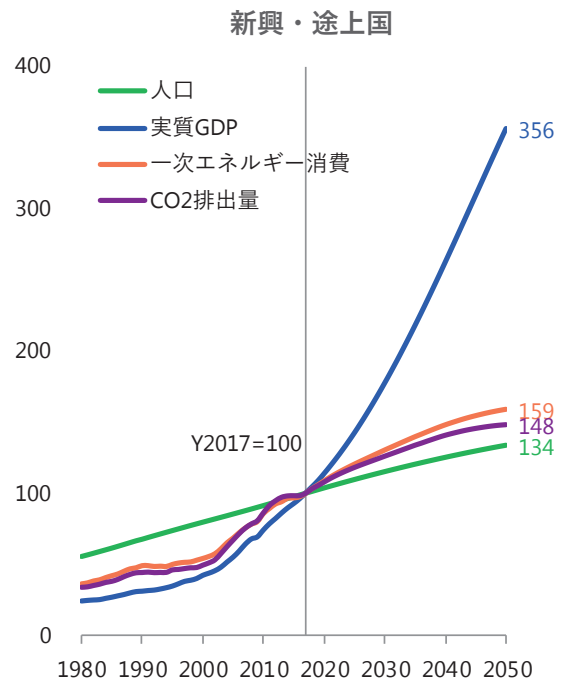
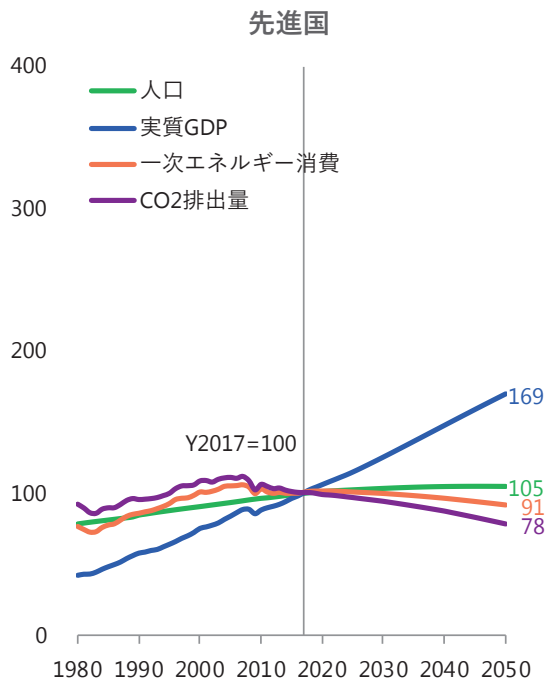
67

エネルギー・環境技術の前提

	2017	2050		技術進展シナリオにおける前提	
		レファレンス	技術進展		
エネルギー効率の改善					
産業部門	鉄鋼業の原単位 (ktoe/kt)	0.284	0.250	0.220	2050年までにBest Available Technologyが100%普及
	窯業土石業の原単位	0.092	0.066	0.058	
運輸部門	電動乗用車販売比率	3%	56%	86%	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)	14.1	23.9	33.8	
民生部門	家庭の総合効率 (Y2017=100)	100	154	188	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	186	220	
発電部門	火力発電効率(発電端)	38%	46%	47%	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)	84	128	253	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)	409	480	717	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)	515	1,810	3,671	発電コストのさらなる低下	
太陽光発電設備容量 (GW)	386	2,954	4,815	系統安定化技術のコスト低減、系統システムの効率的運用	
CCS付設火力発電設備容量 (GW)	0	0	1,256	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)	35%	41%	79%	国際連系を含む系統システムの効率的運用	

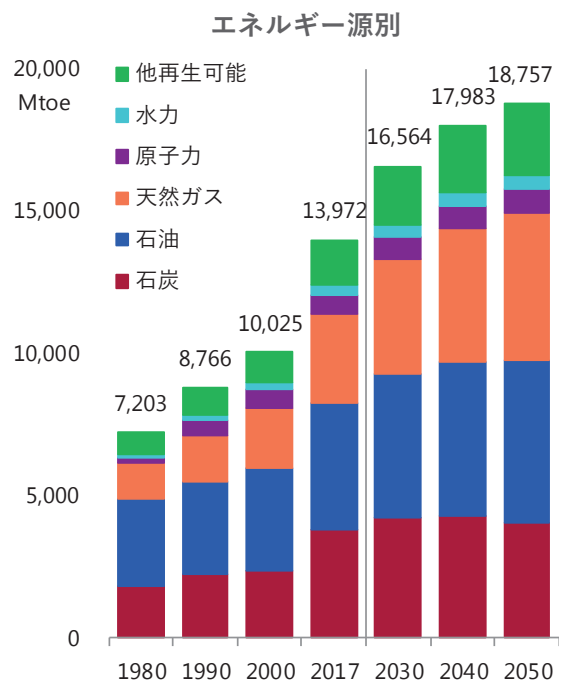
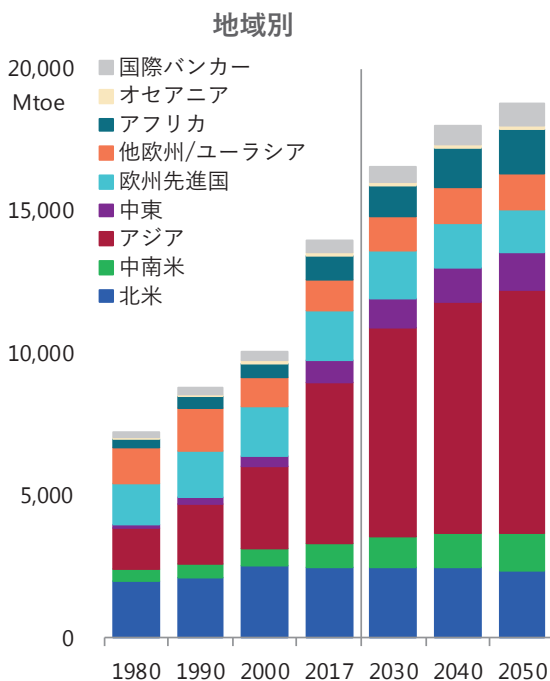
68

人口、GDP、エネルギー消費、CO₂排出量



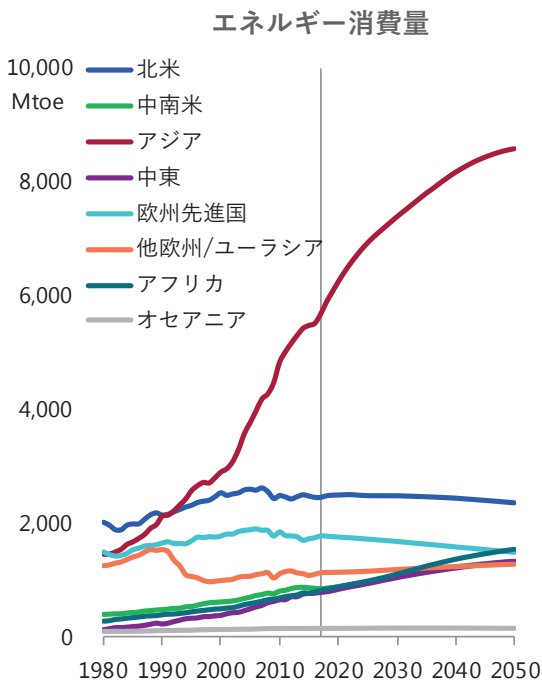
69

一次エネルギー消費

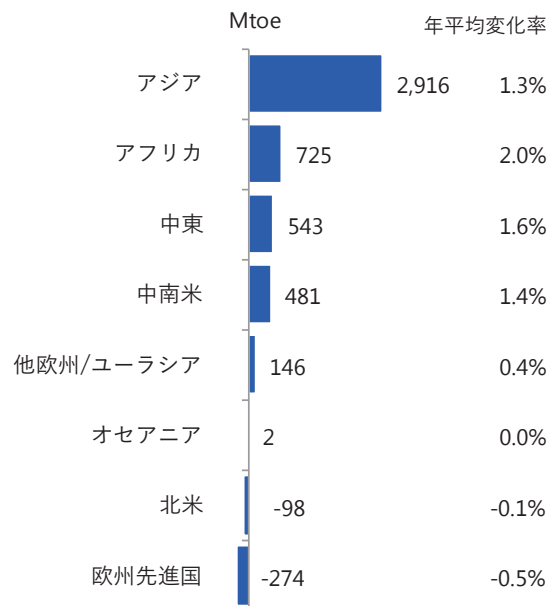


70

一次エネルギー消費(地域別)

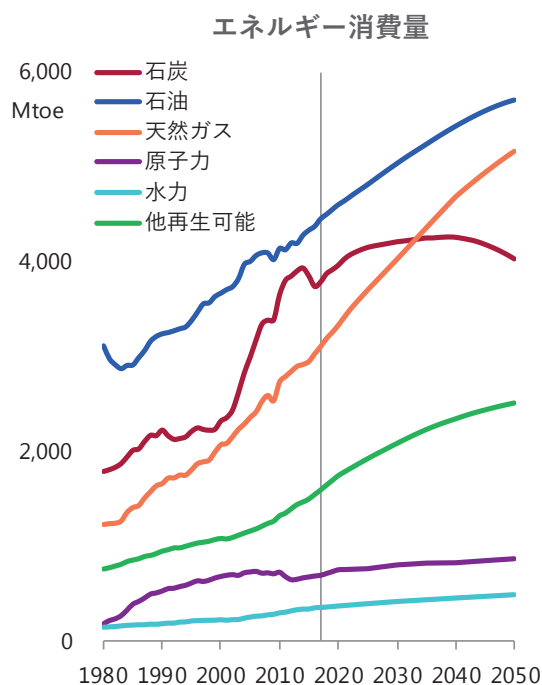


増減分(2017-2050年)

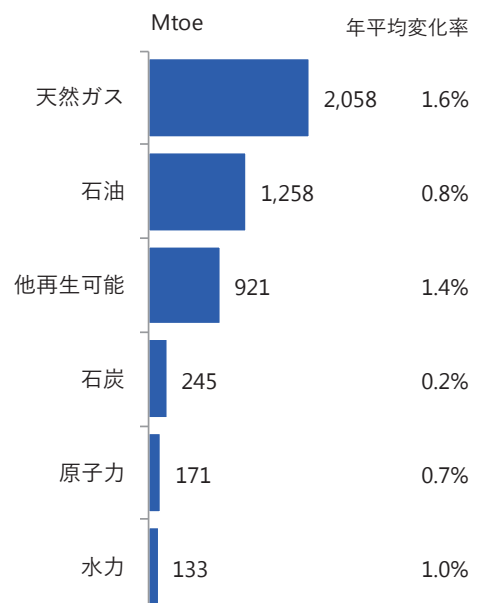


71

一次エネルギー消費(エネルギー別)



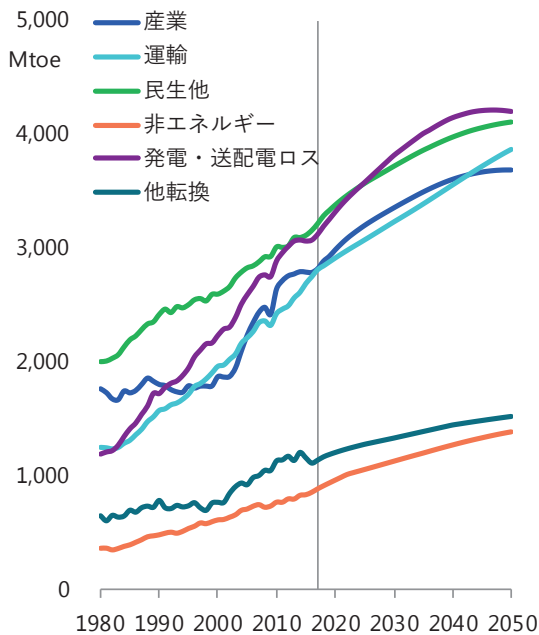
増減分(2017-2050年)



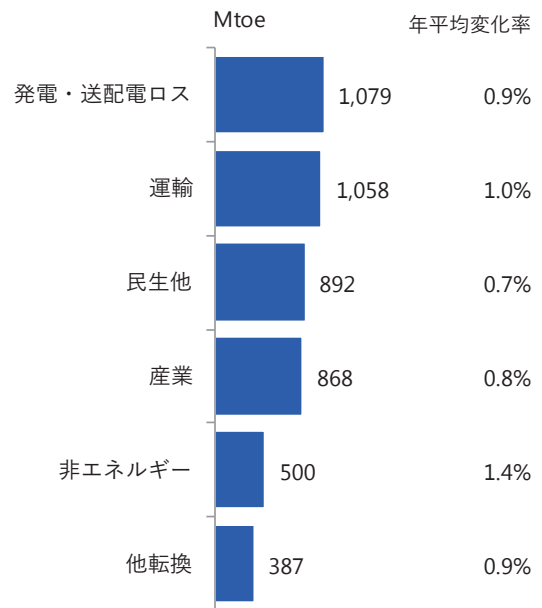
72

一次エネルギー消費(部門別)

エネルギー消費量



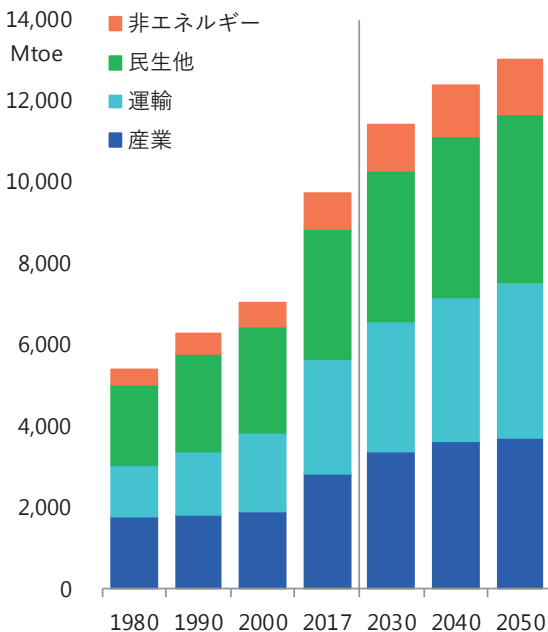
増減分(2017-2050年)



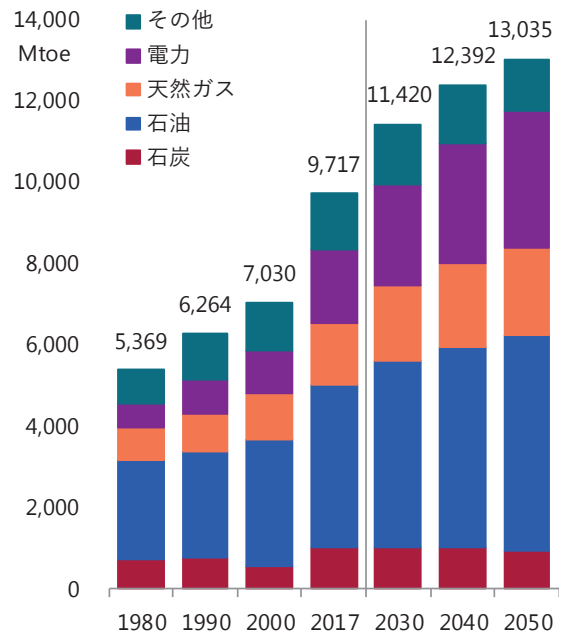
73

最終エネルギー消費

部門別

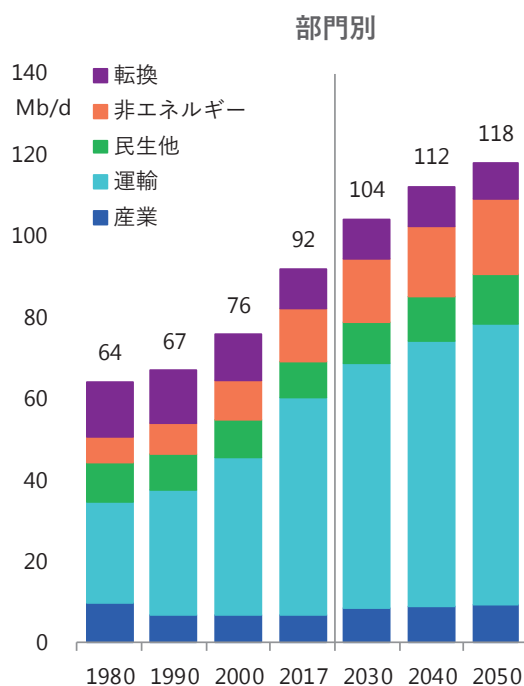
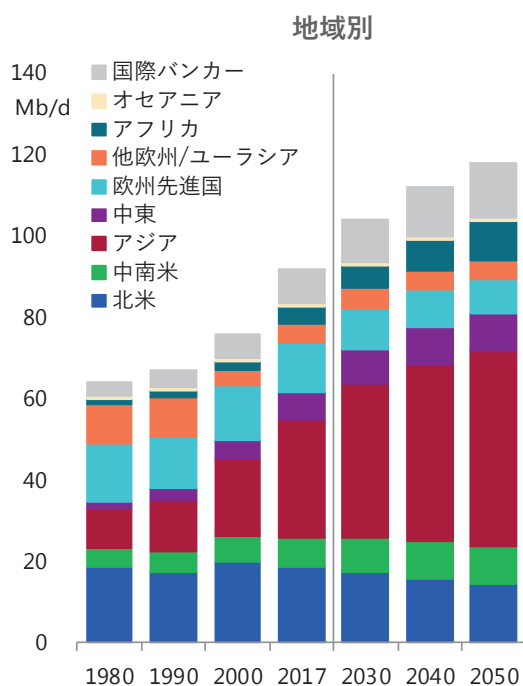


エネルギー源別



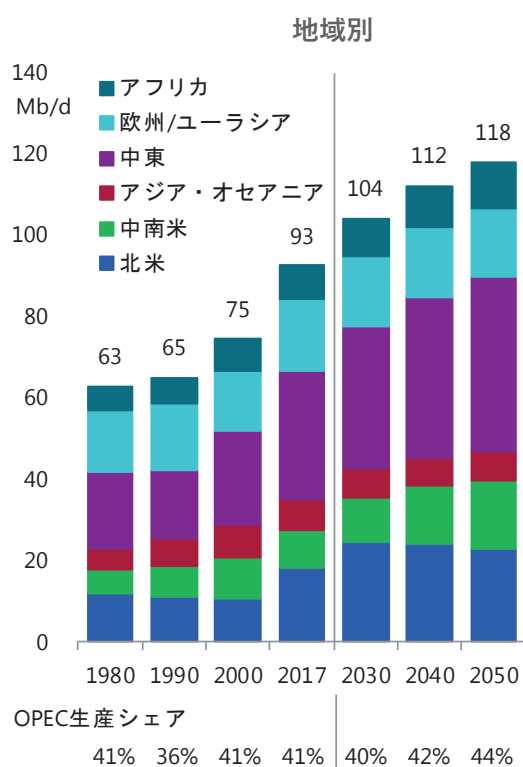
74

石油消費

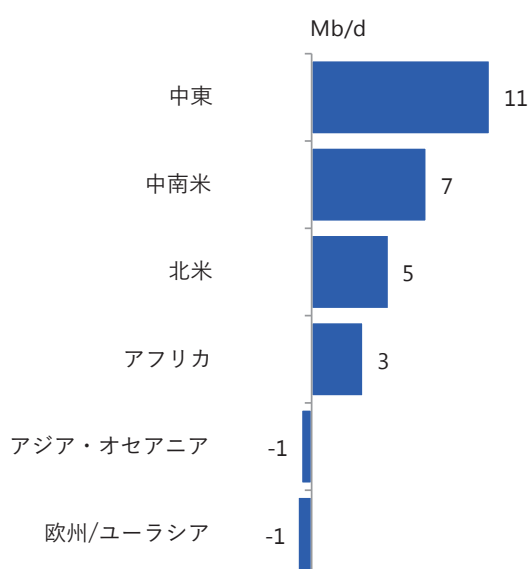


75

原油生産

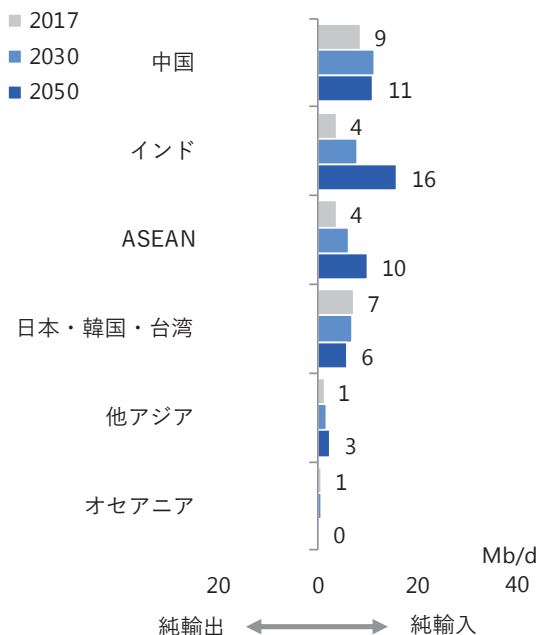
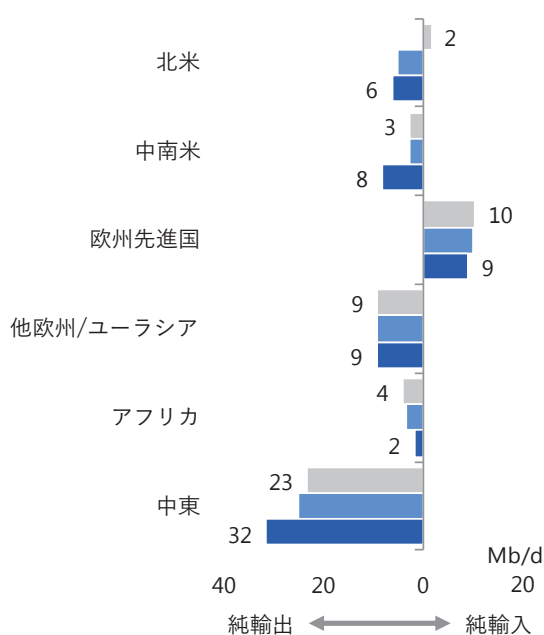


増減分(2017-2050)



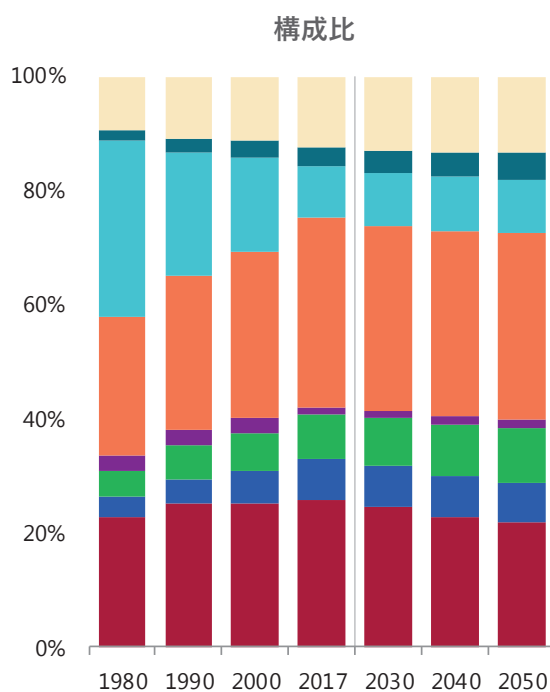
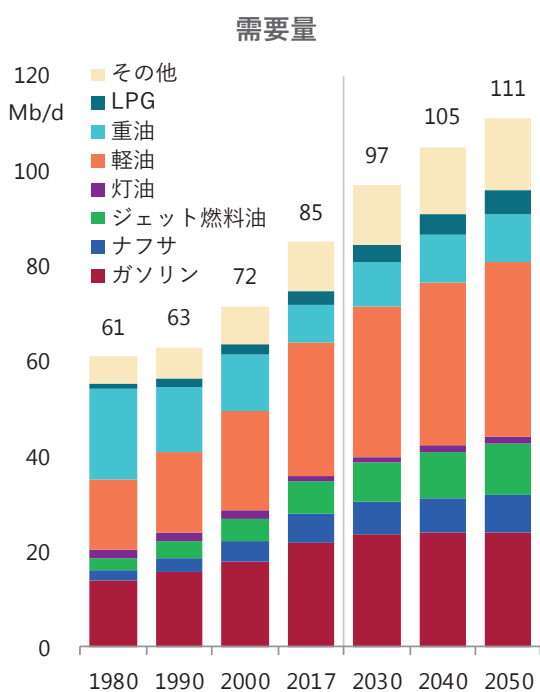
76

石油純輸出入量



77

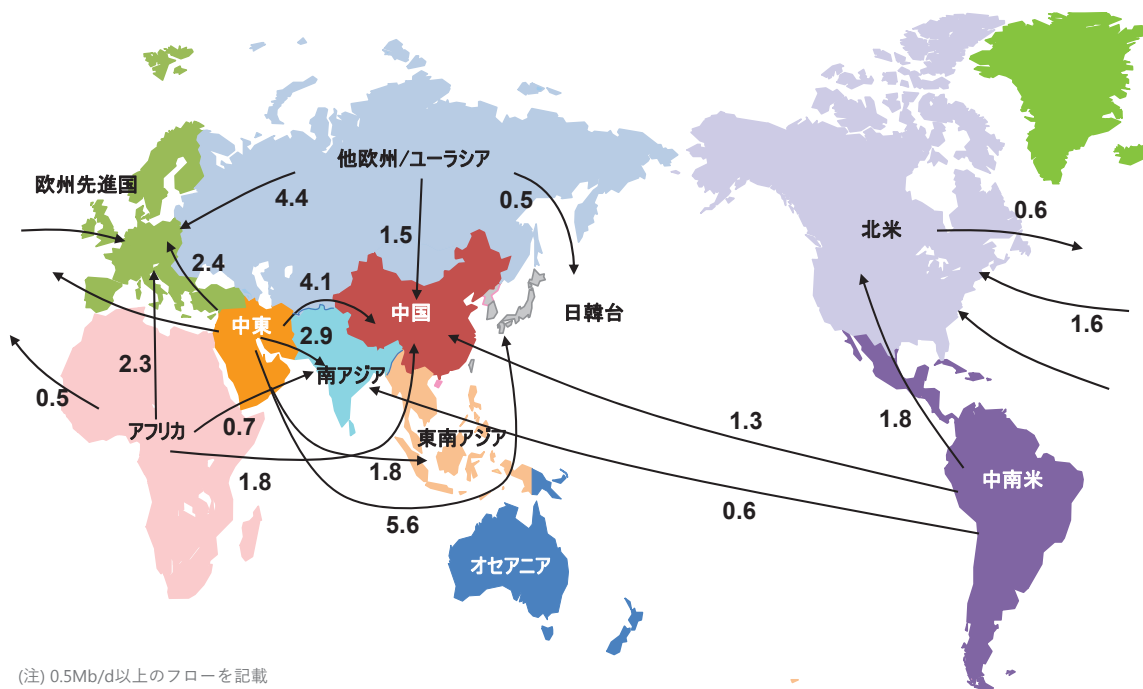
石油製品需要



78

主要な原油貿易フロー(2018年)

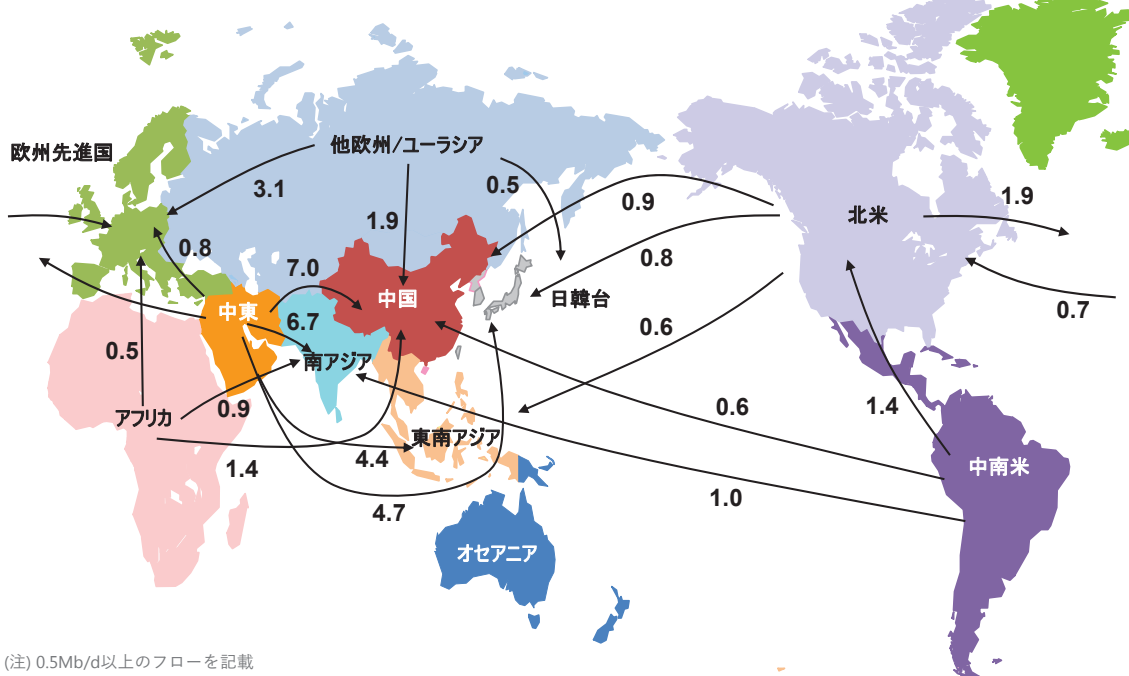
単位: Mb/d



79

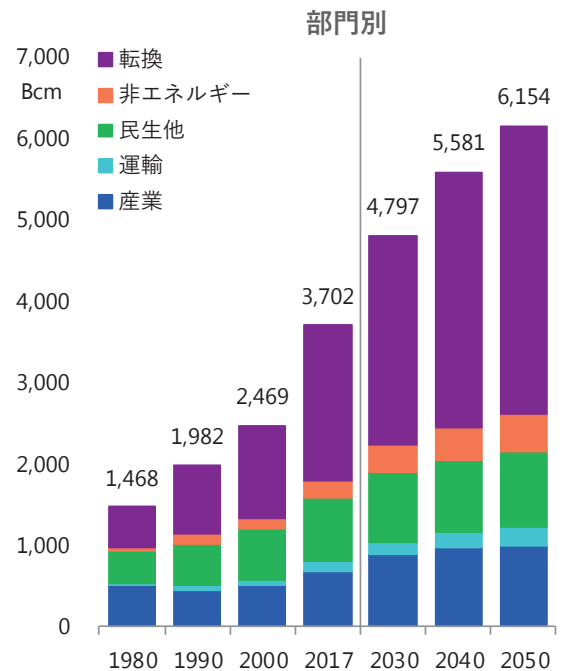
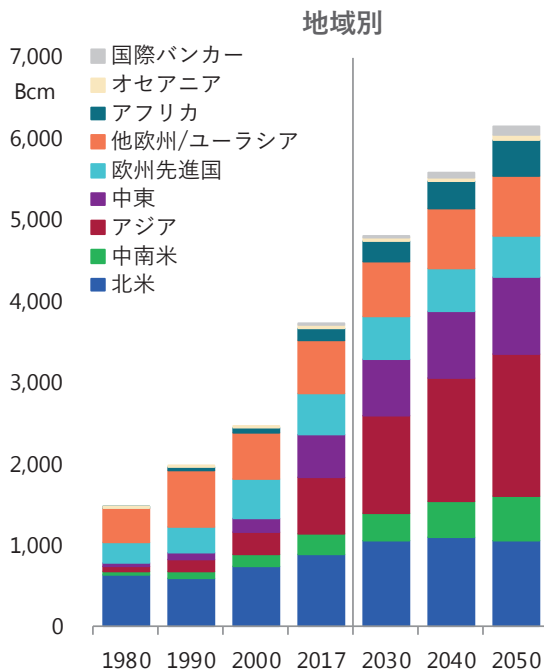
主要な原油貿易フロー(2030年)

単位: Mb/d



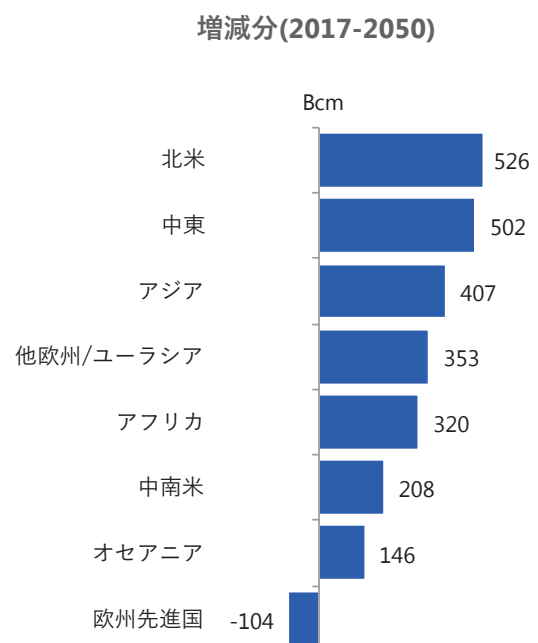
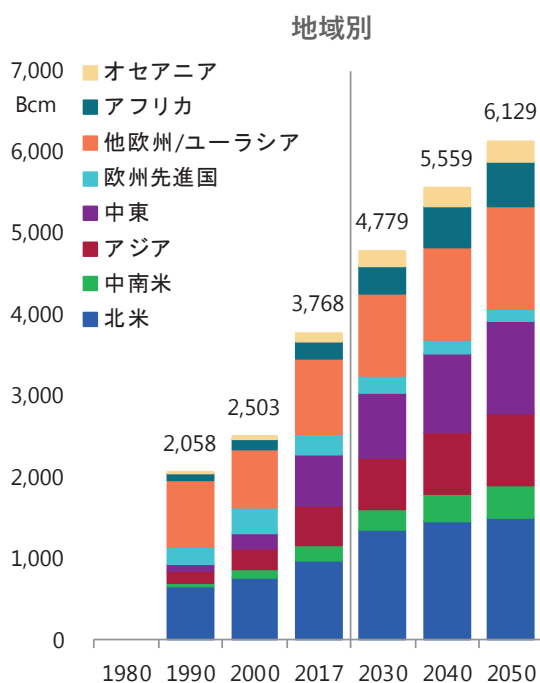
80

天然ガス消費



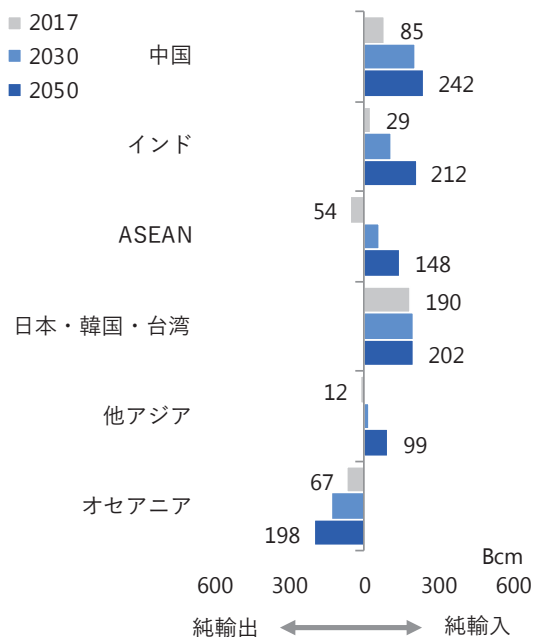
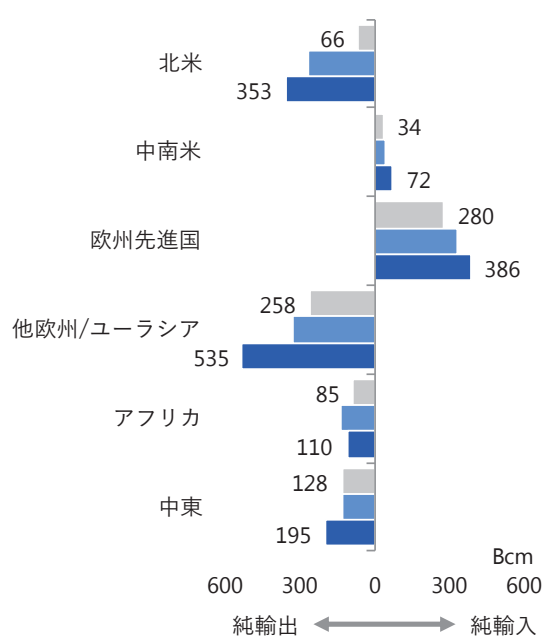
81

天然ガス生産



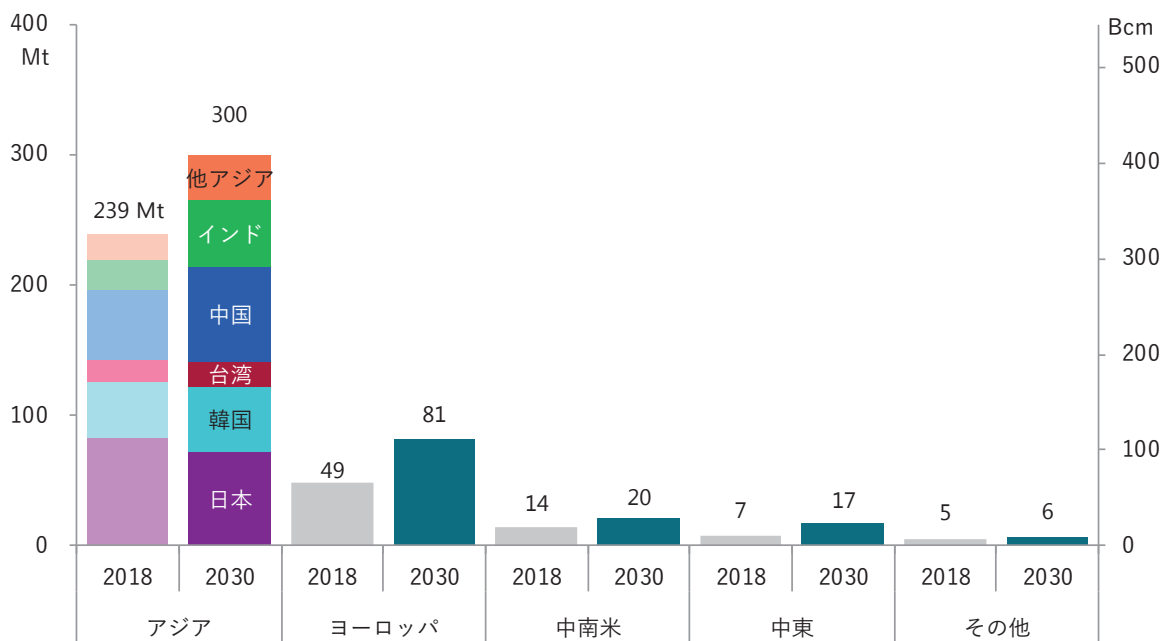
82

天然ガス純輸出入量



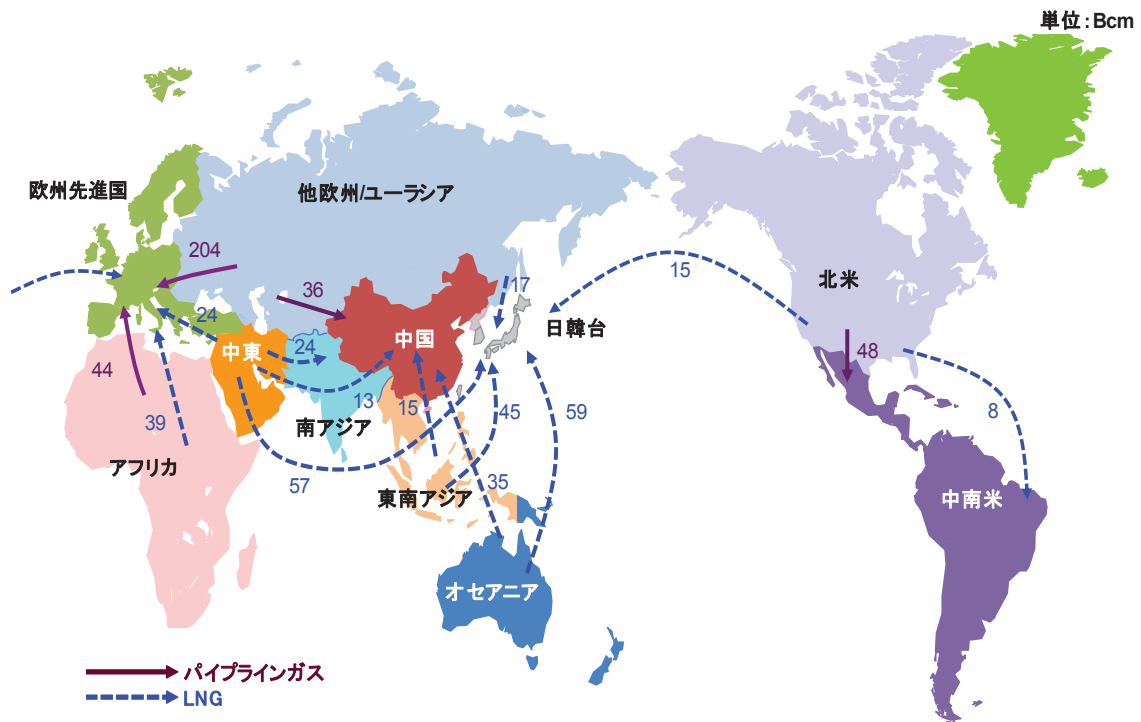
83

LNG輸入量



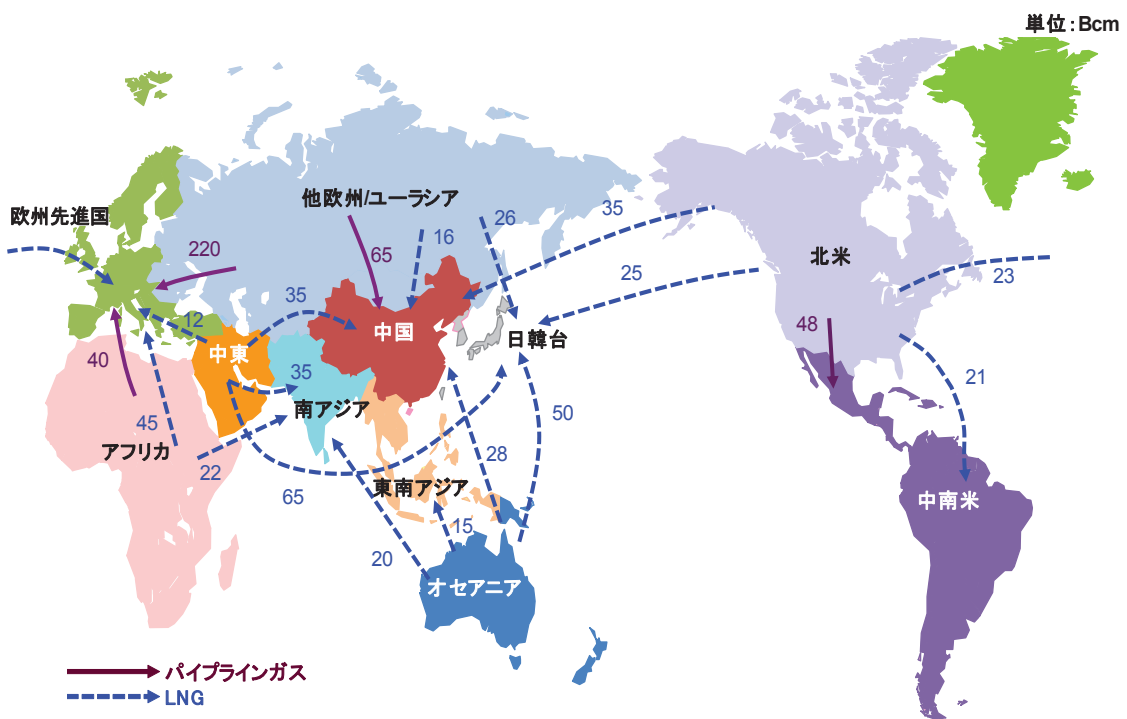
84

主要な天然ガス貿易フロー(2018年)



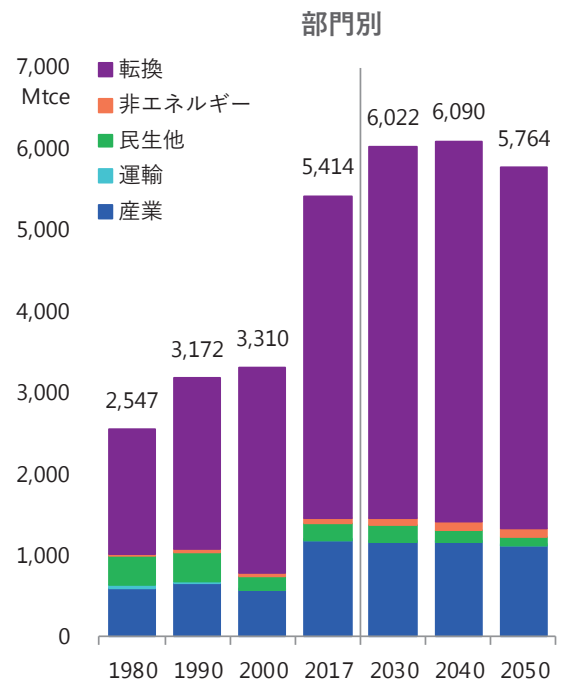
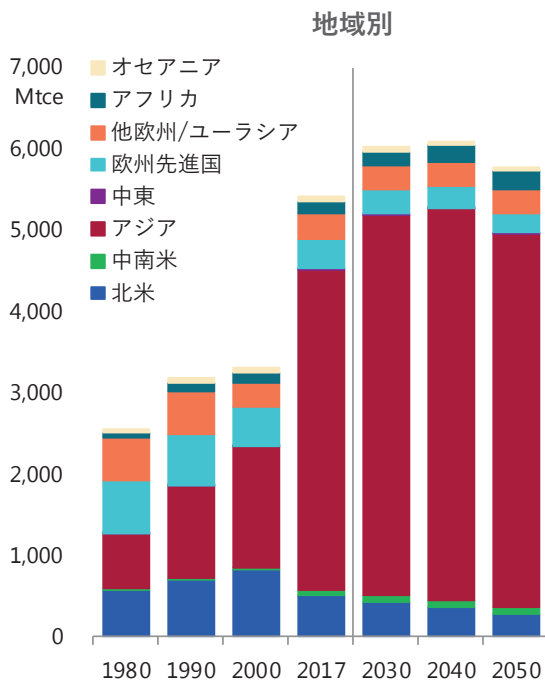
85

主要な天然ガス貿易フロー(2030年)



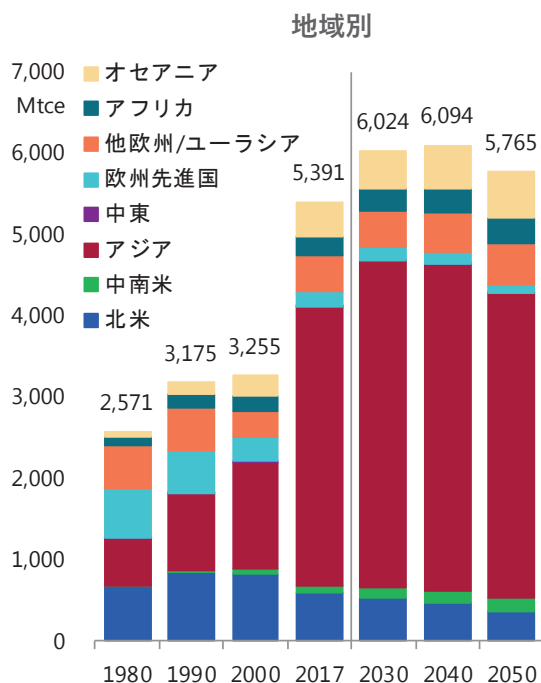
86

石炭消費

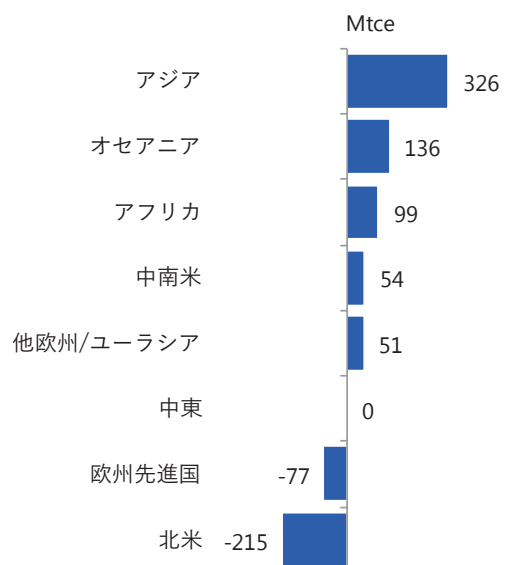


87

石炭生産

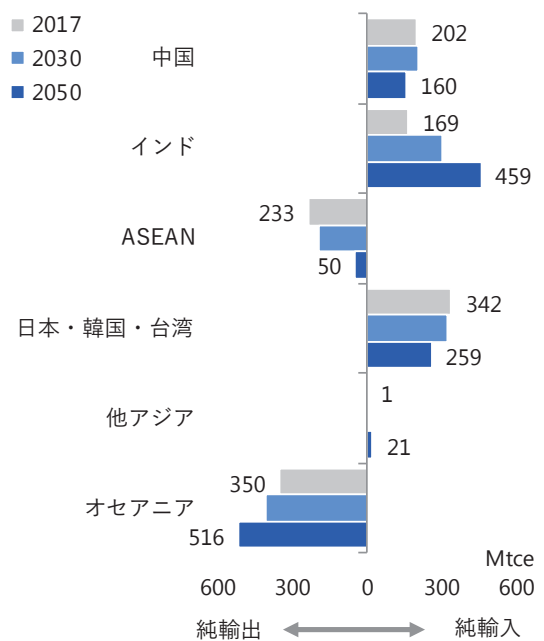
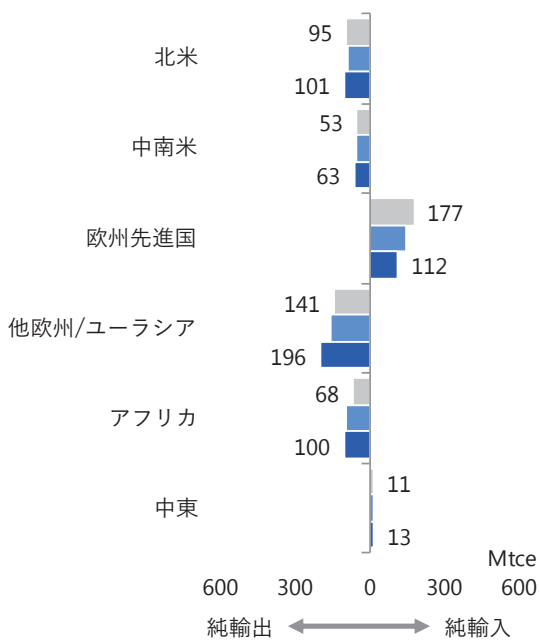


増減分(2017-2050)



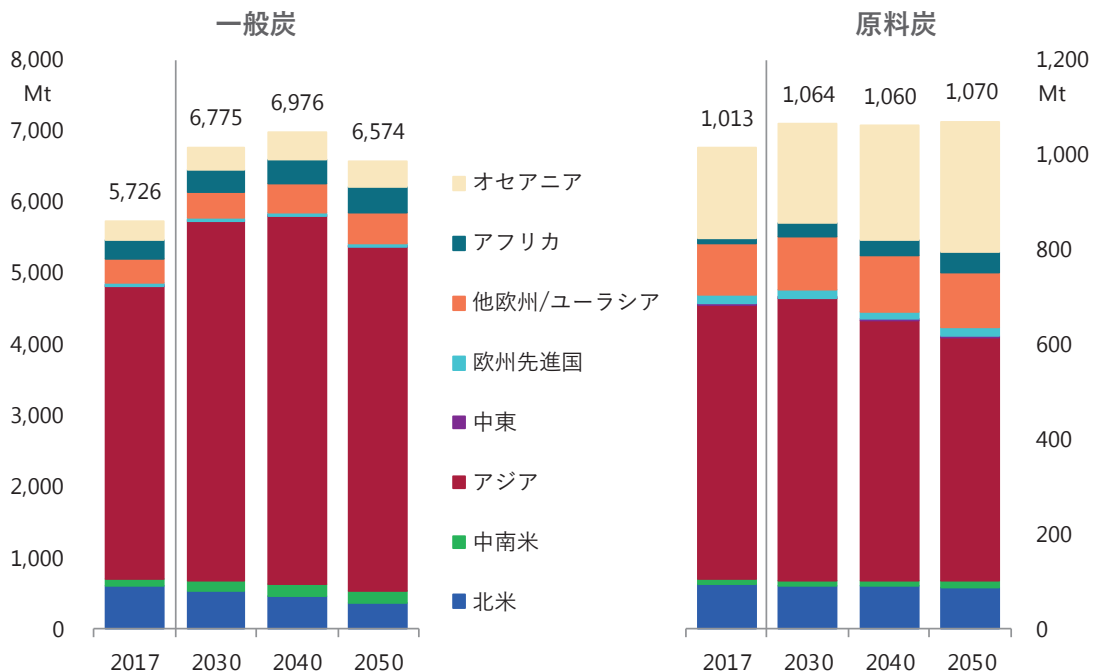
88

石炭純輸出入量



89

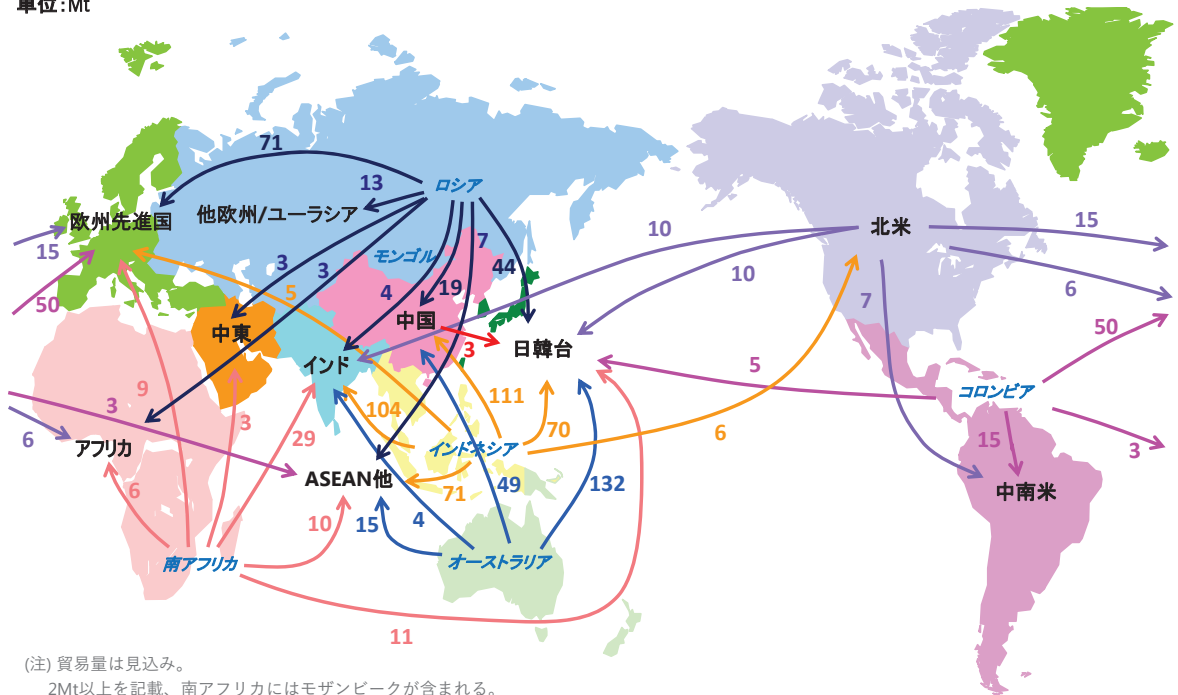
石炭生産（一般炭・原料炭）



90

主要な一般炭貿易フロー(2018年)

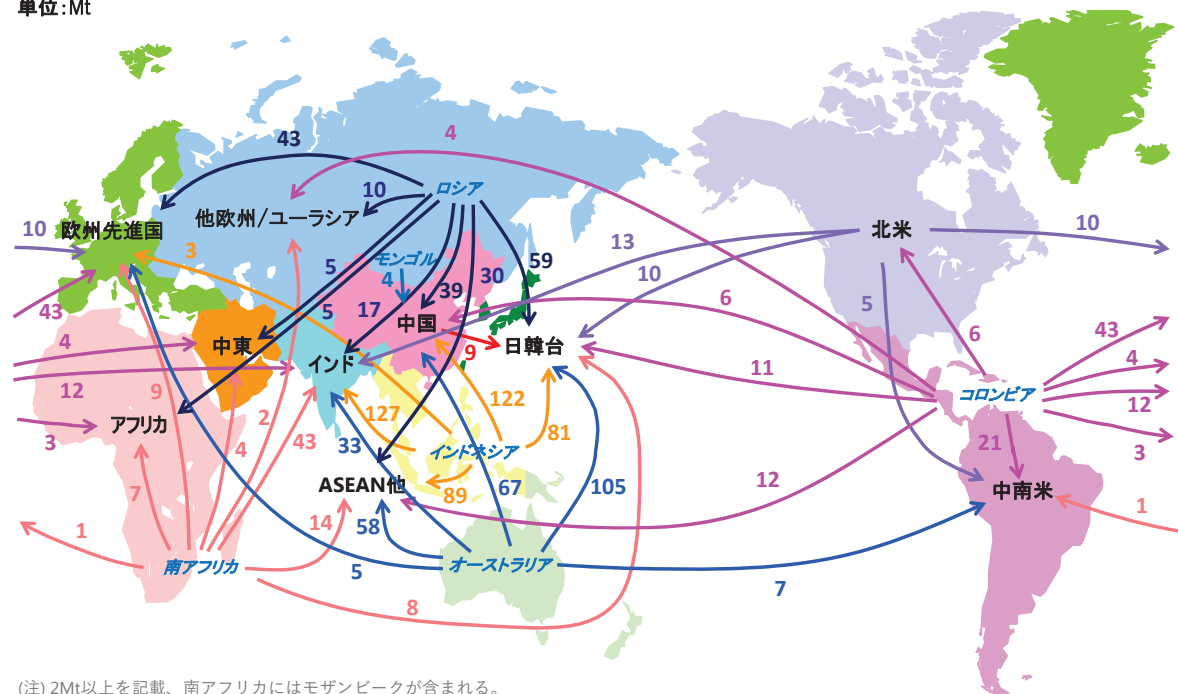
単位: Mt



91

主要な一般炭貿易フロー(2030年)

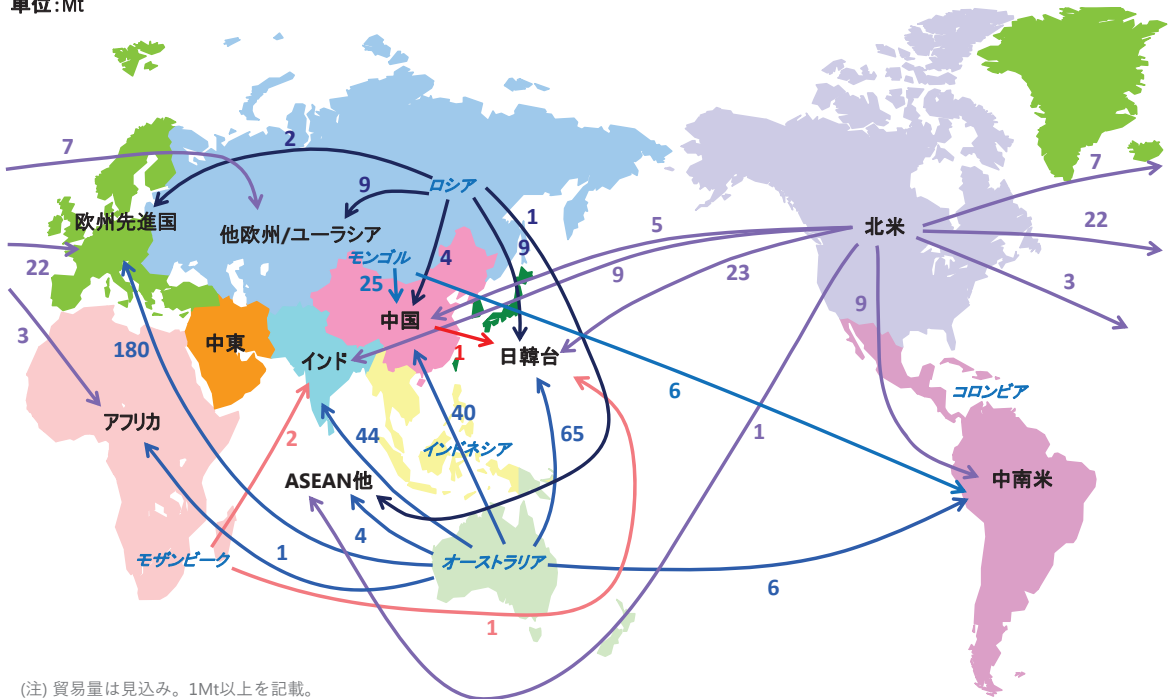
単位: Mt



92

主要な原料炭貿易フロー(2018年)

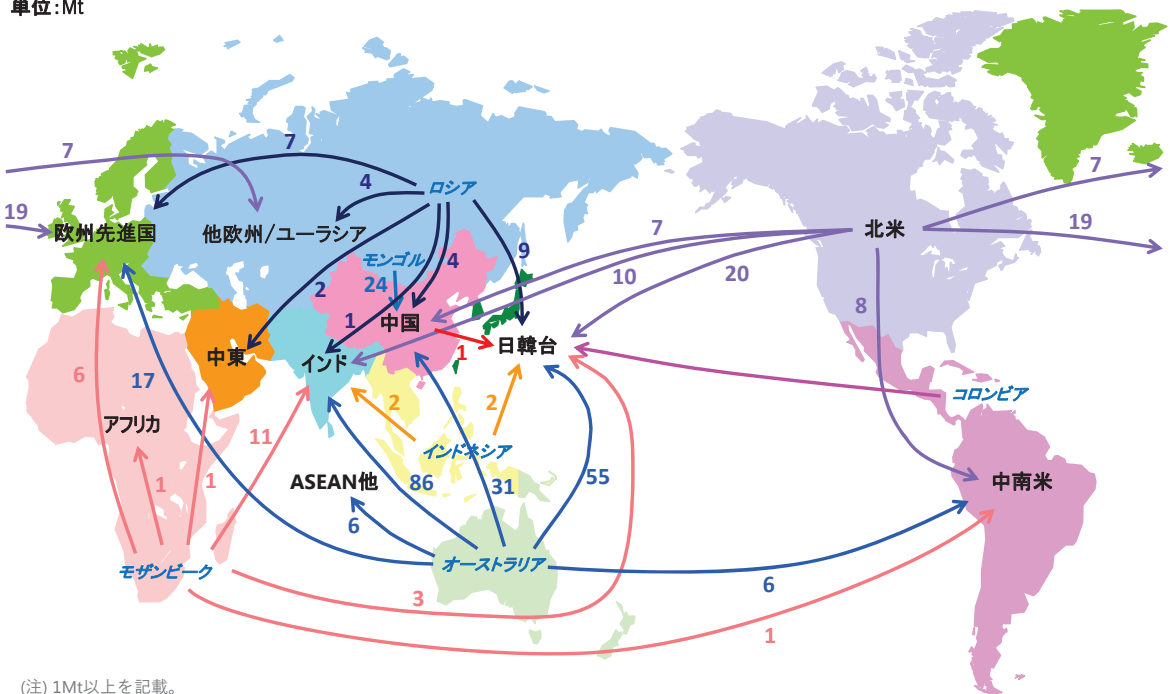
單位:Mt



93

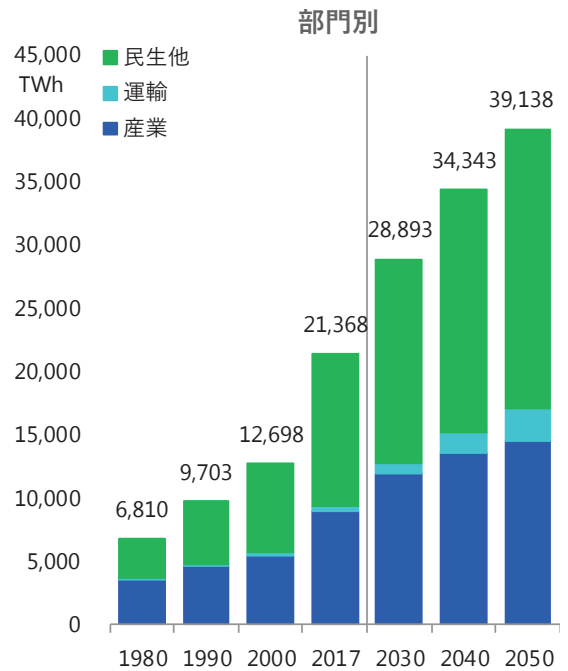
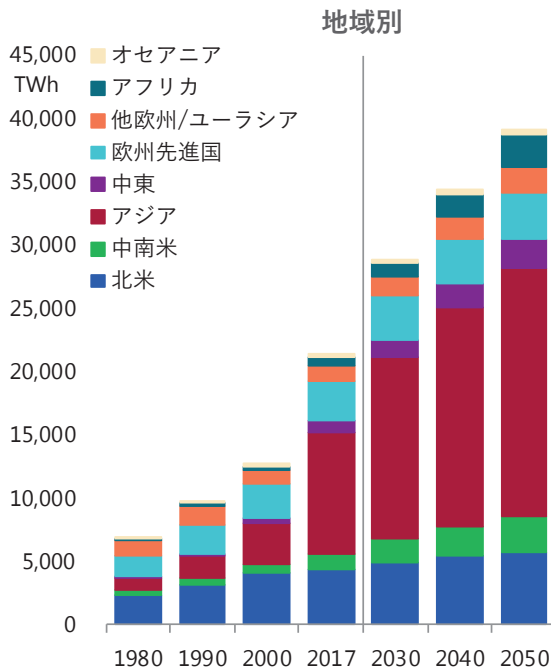
主要な原料炭貿易フロー(2030年)

単位: Mt



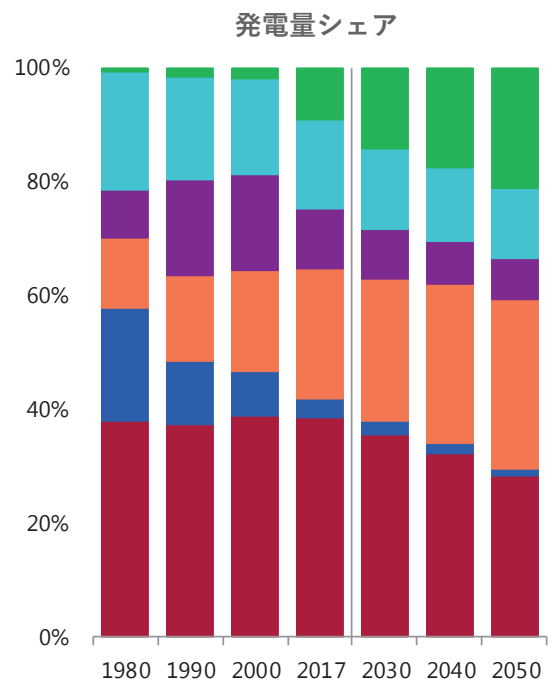
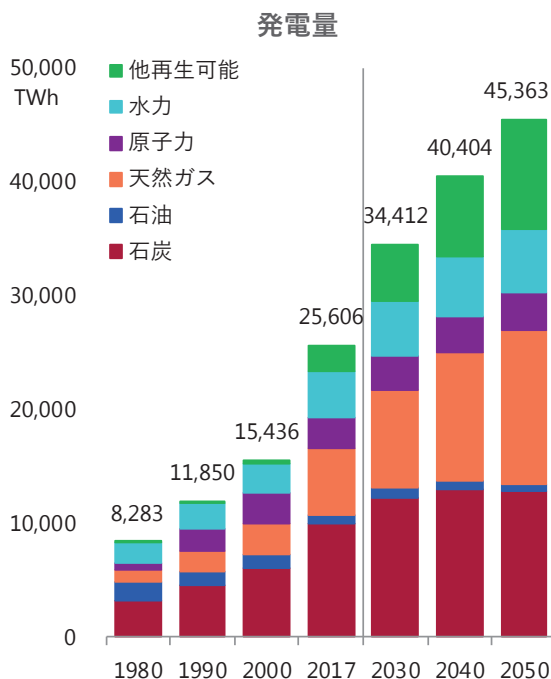
94

電力最終消費

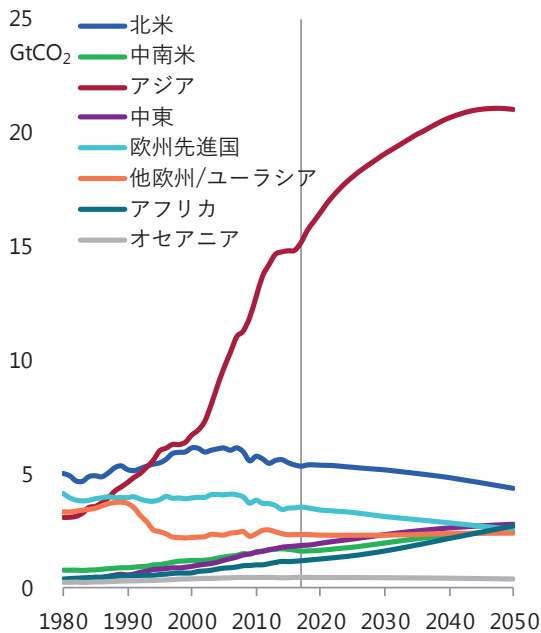


95

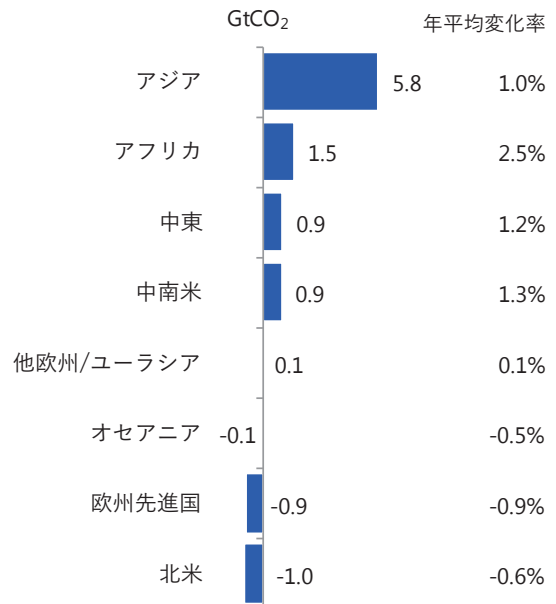
発電構成



96

CO₂排出量エネルギー起源CO₂排出量

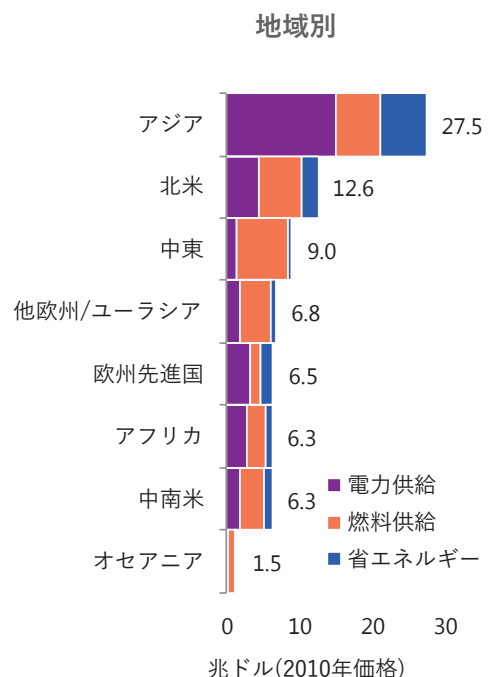
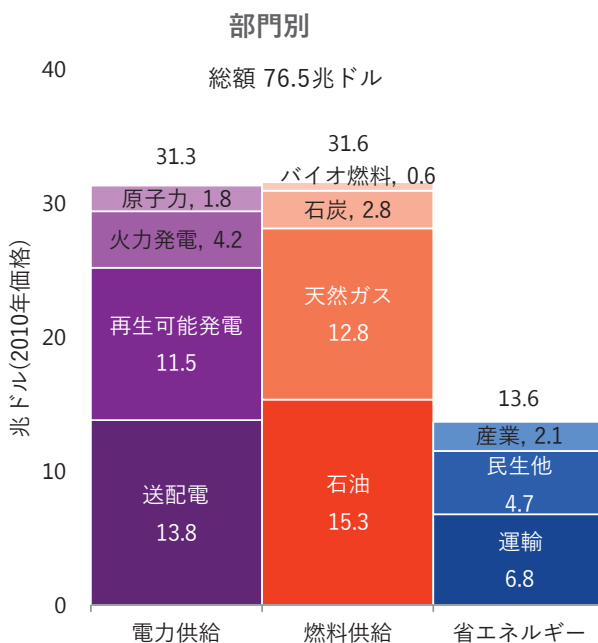
増減分(2017-2050年)



97

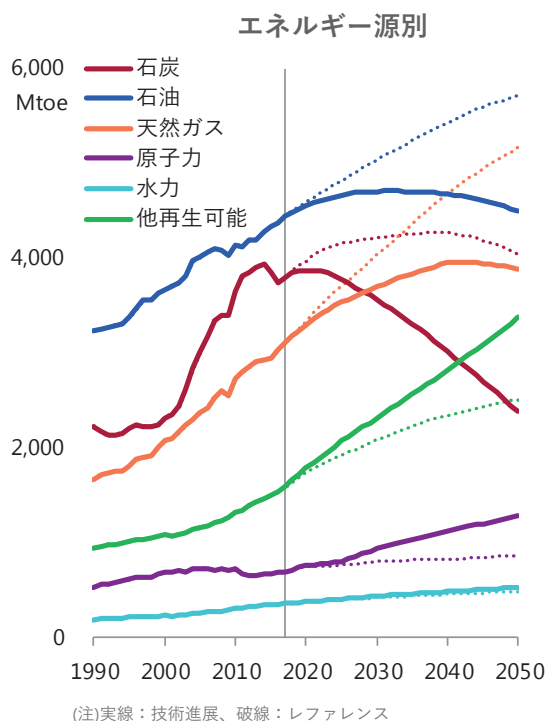
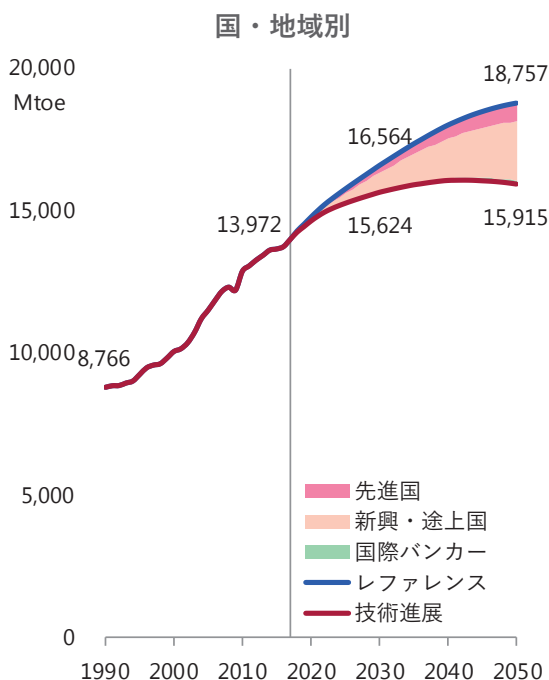
エネルギー関連投資額

(2018年～2050年 累積投資額)



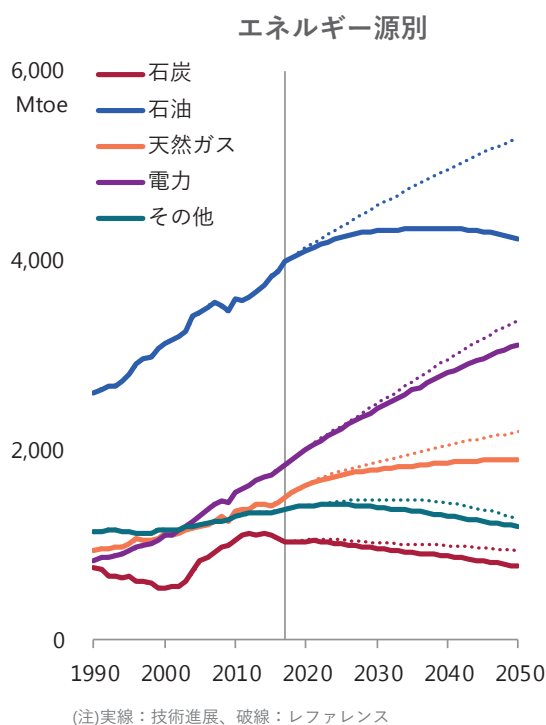
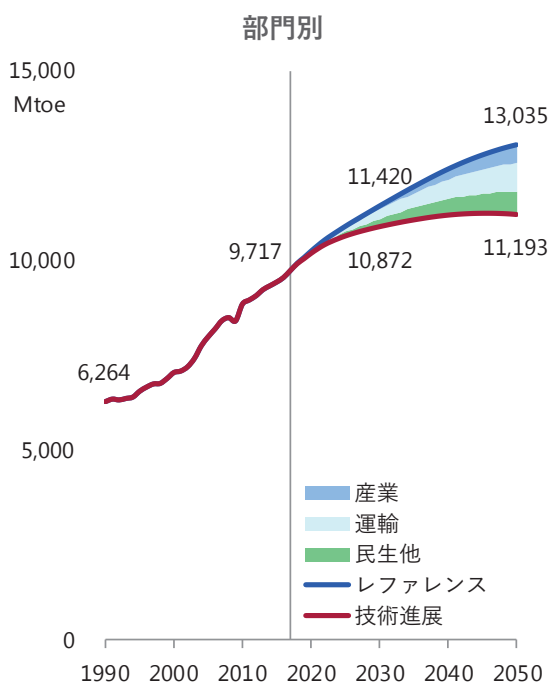
98

一次エネルギー消費



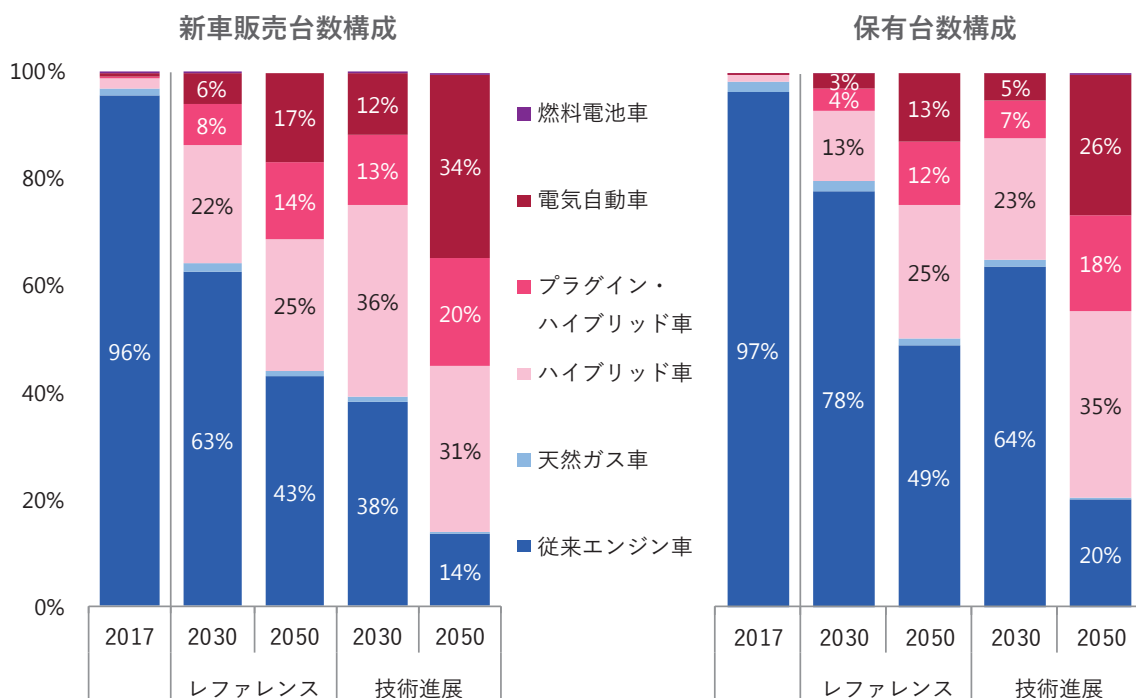
99

最終エネルギー消費



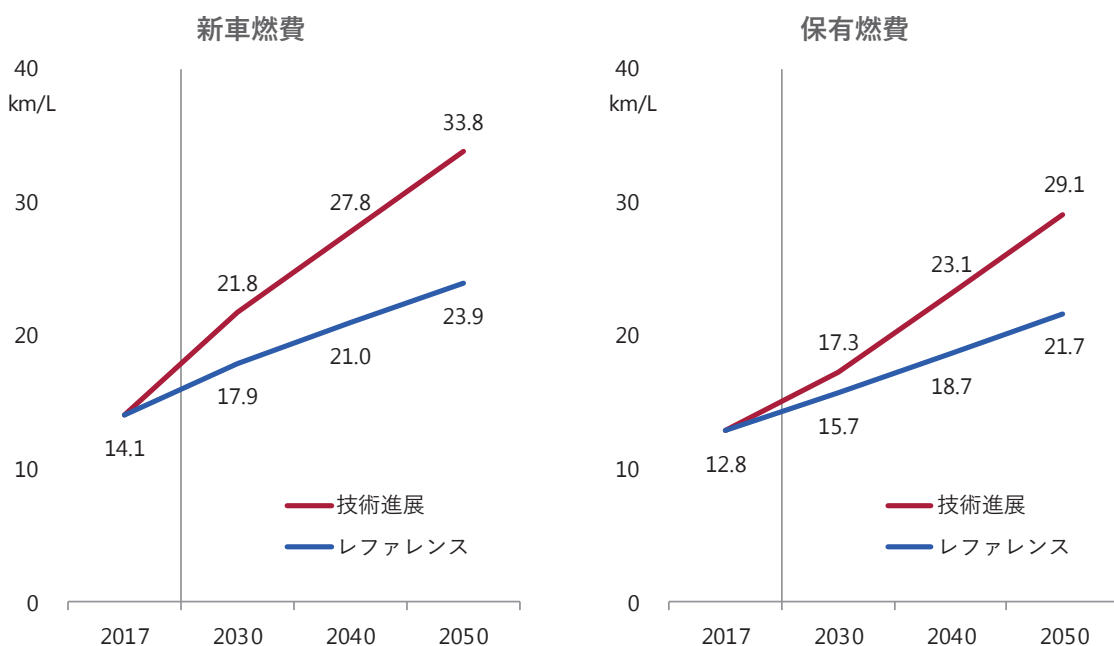
100

自動車駆動タイプ構成(乗用車)



101

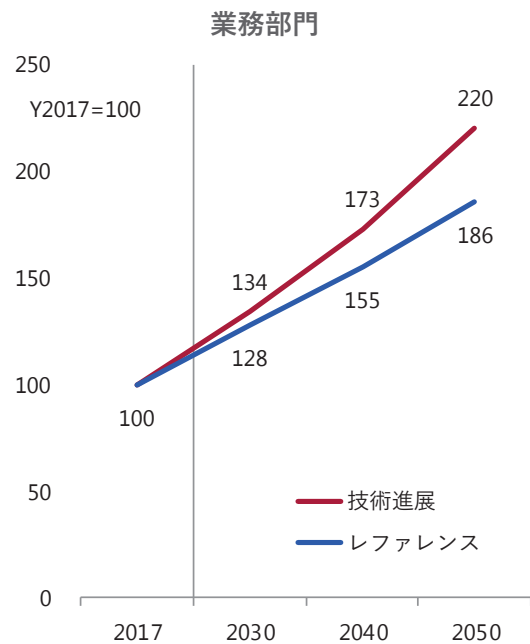
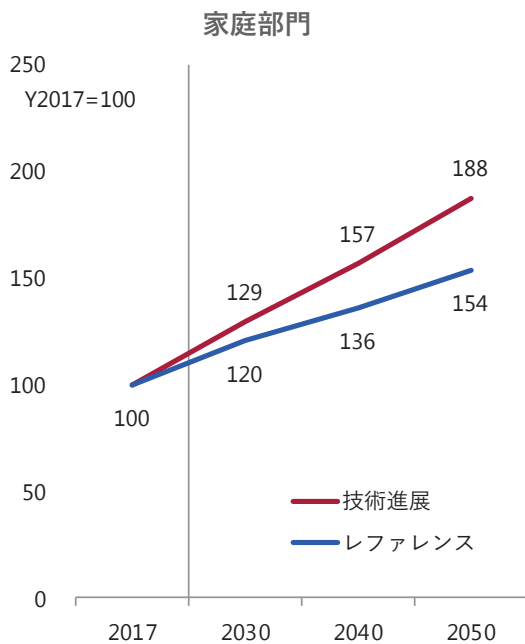
自動車燃費(乗用車)



(注)km/L: ガソリン換算 1L当たり走行距離

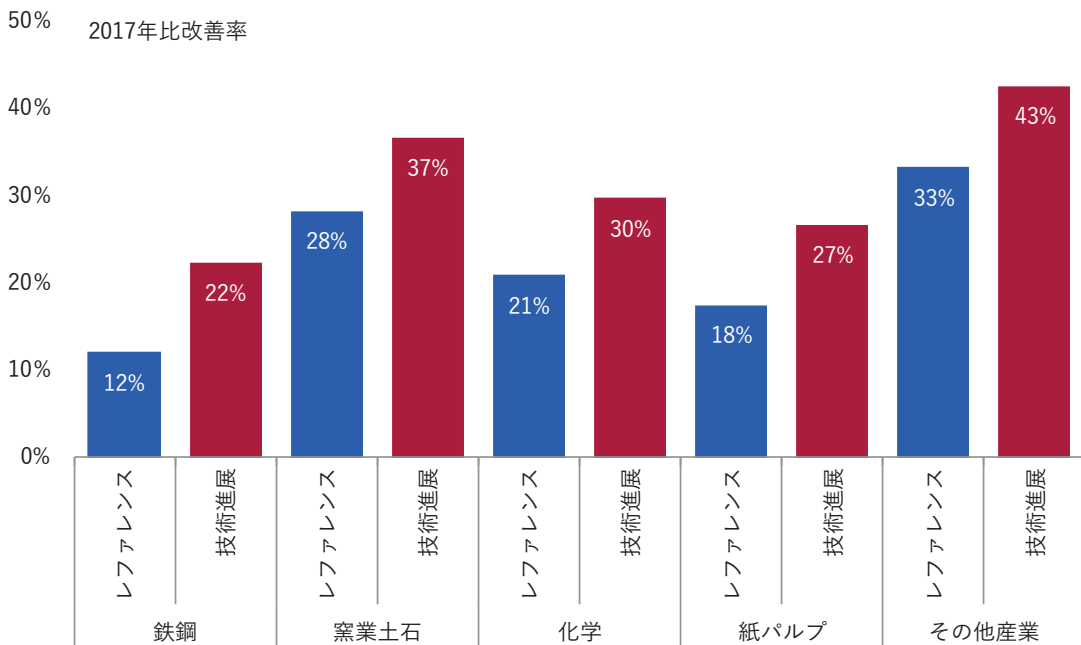
102

民生部門総合効率



103

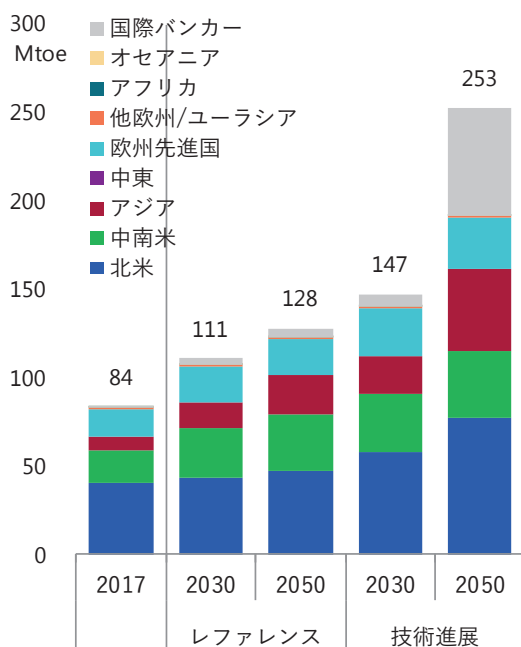
産業部門原単位改善率



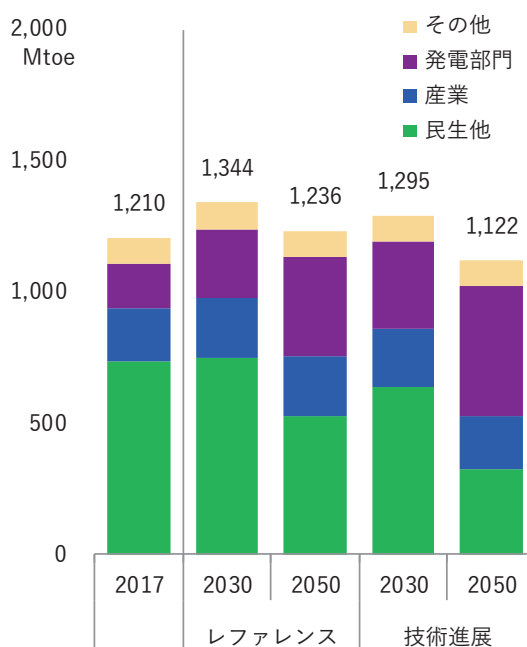
104

バイオマスエネルギー

輸送用バイオ燃料



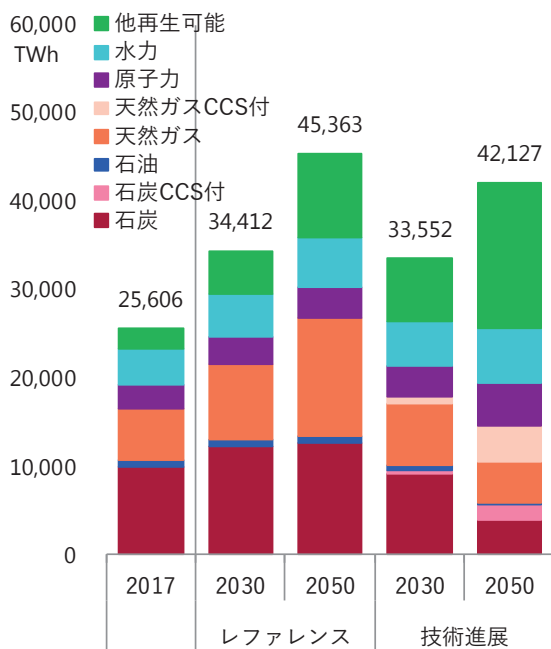
固形バイオマス利用量



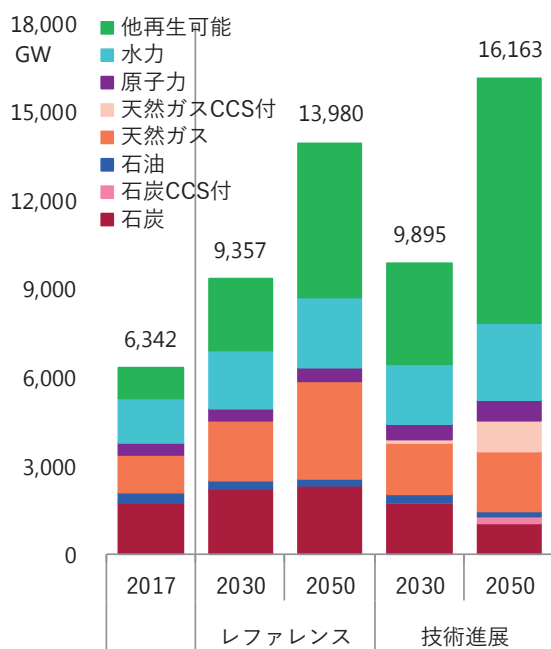
105

発電構成

発電量

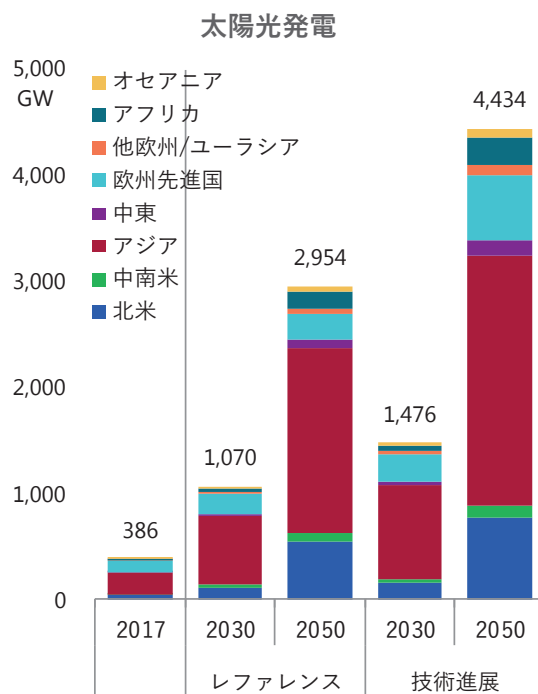
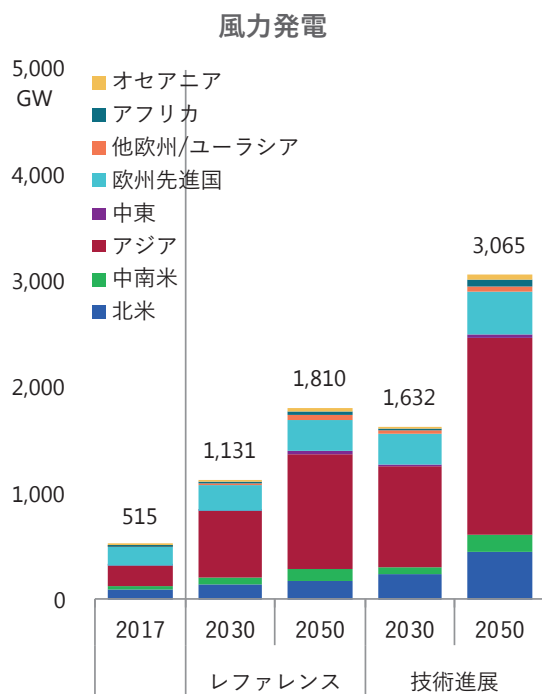


発電設備容量



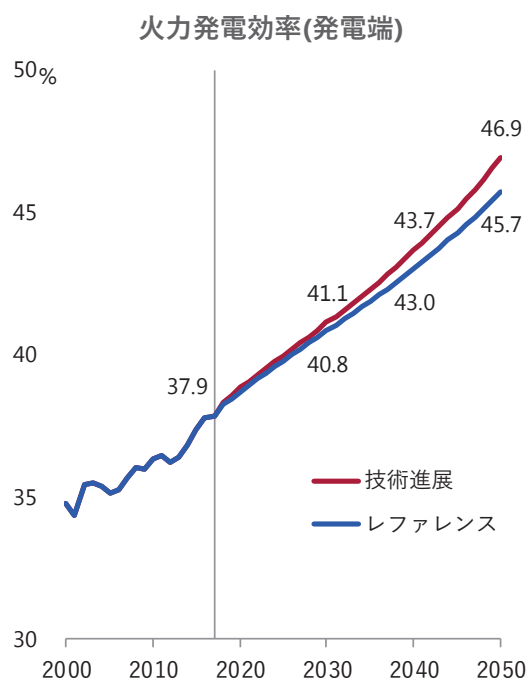
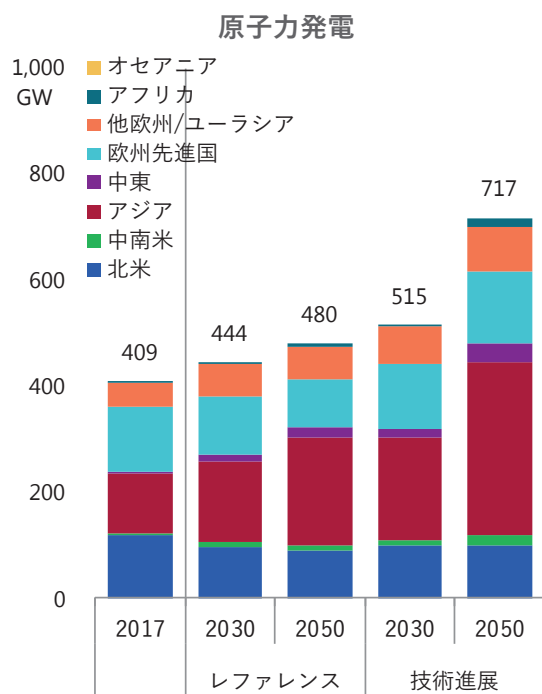
106

風力・太陽光発電設備容量

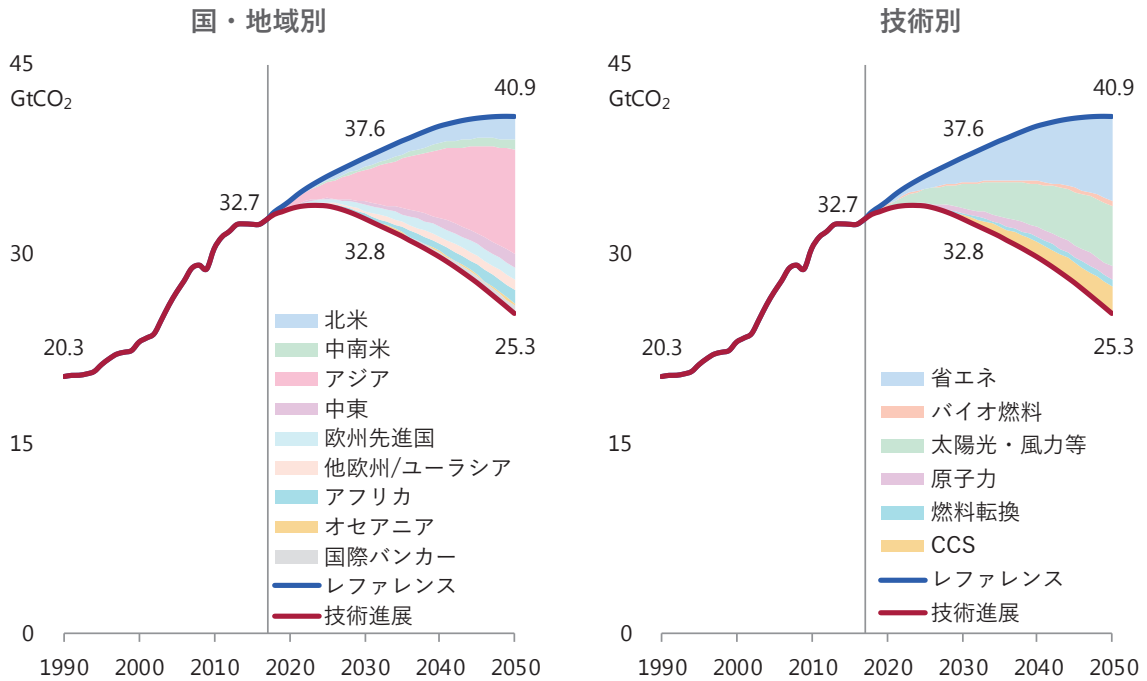


107

原子力発電設備容量・火力発電効率



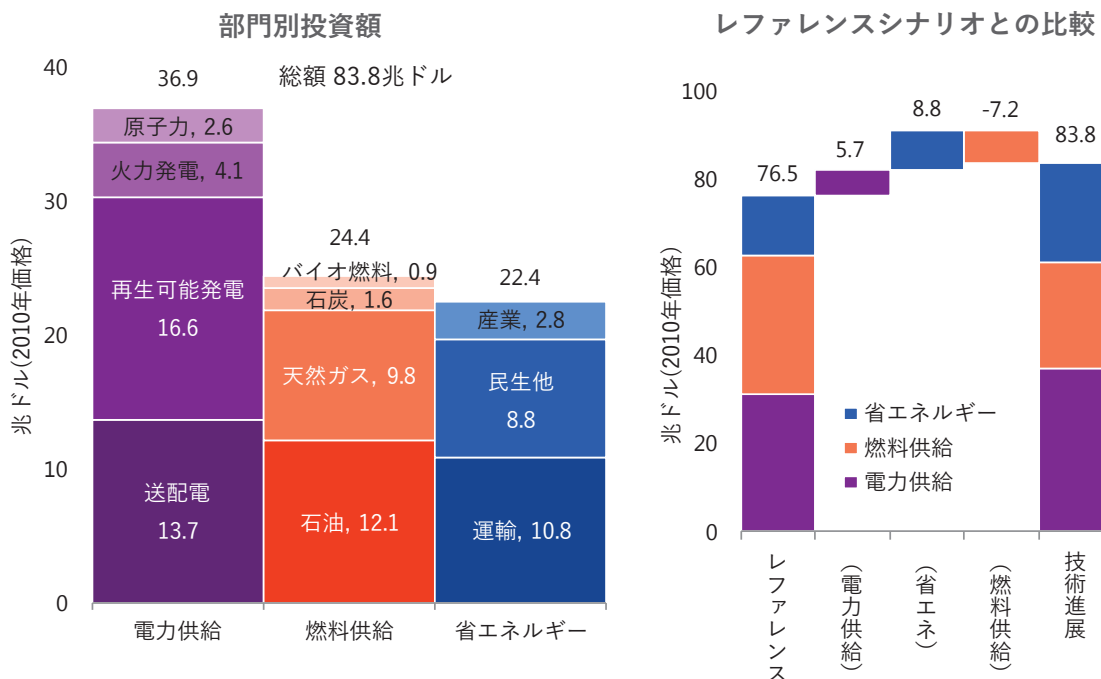
108

CO₂排出量

109

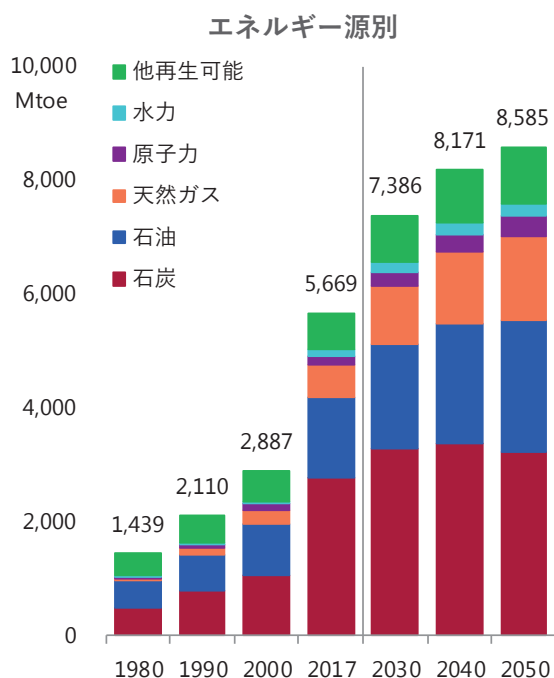
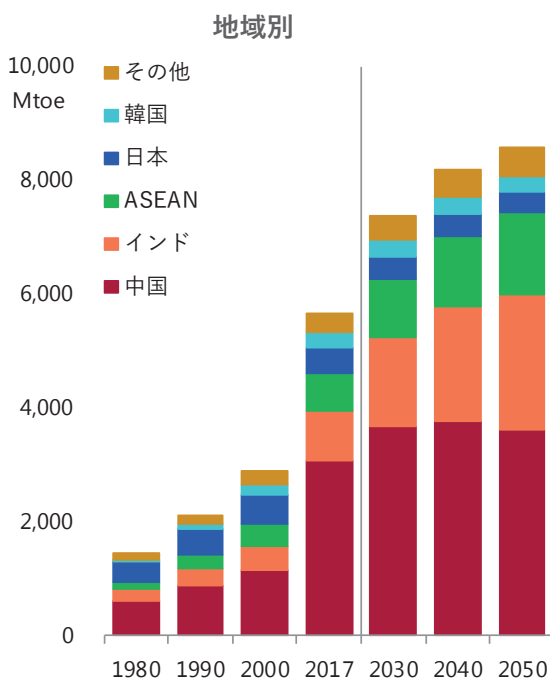
エネルギー関連投資額

(2018年～2050年 累積投資額)



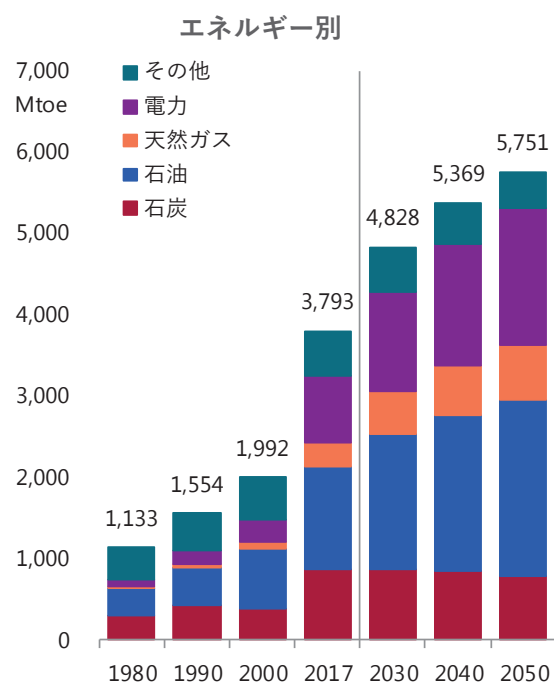
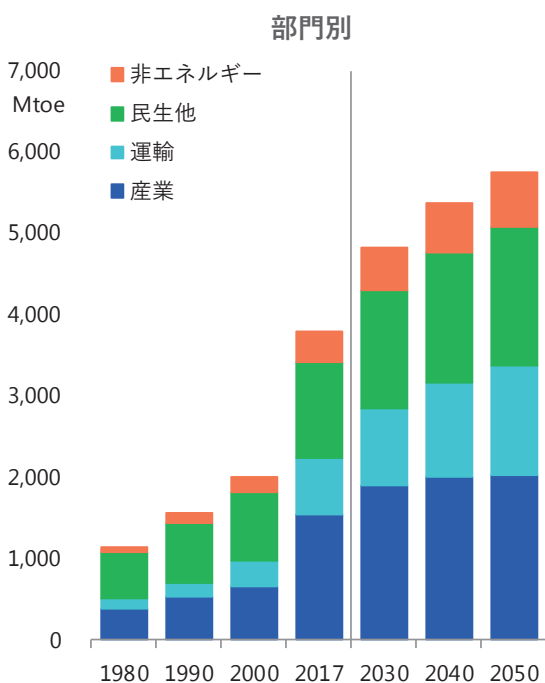
110

一次エネルギー消費



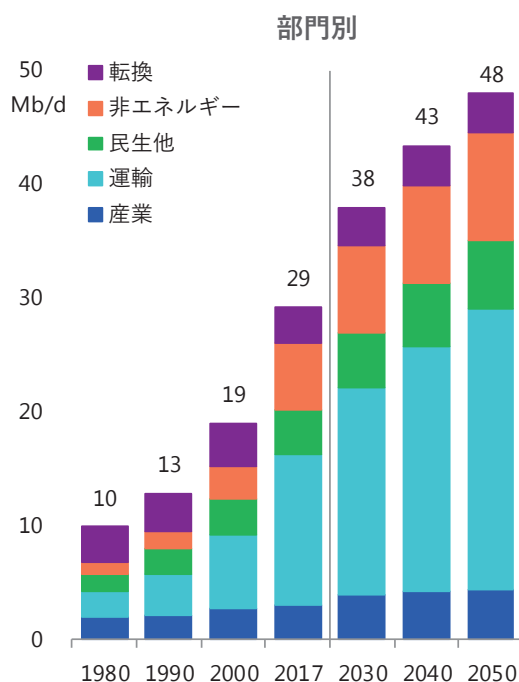
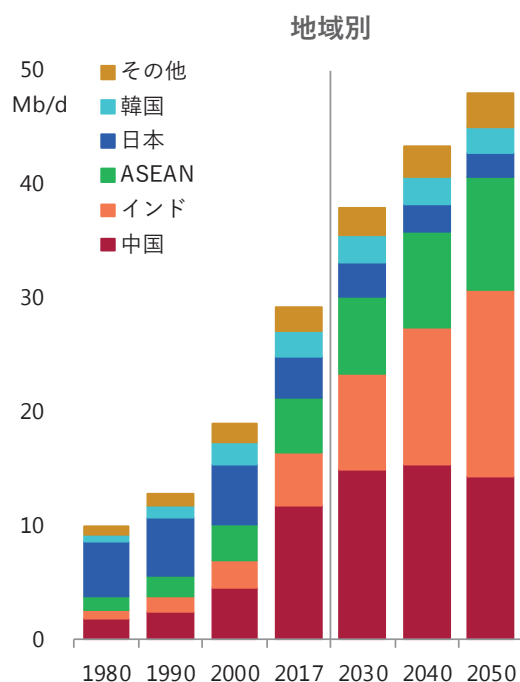
111

最終エネルギー消費



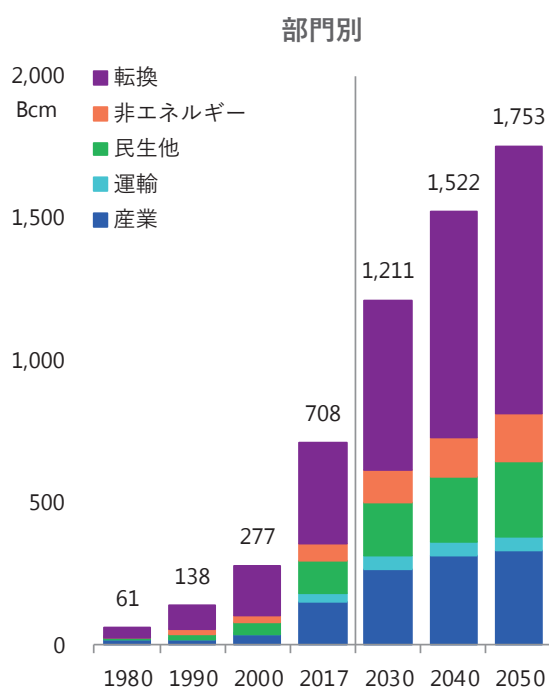
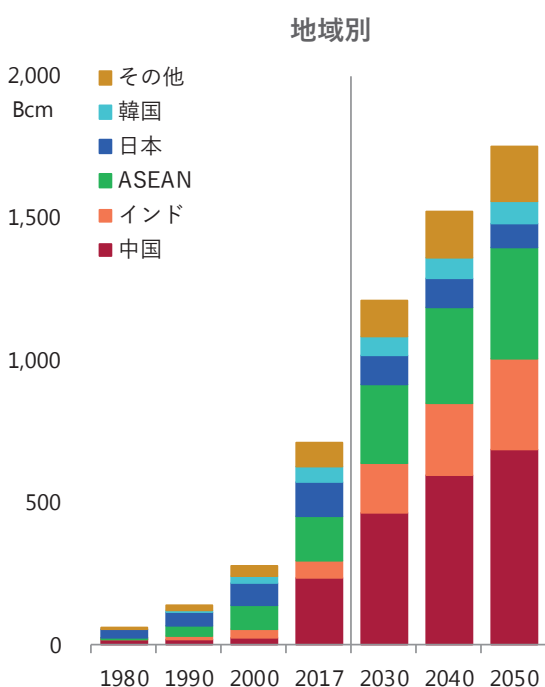
112

石油消費



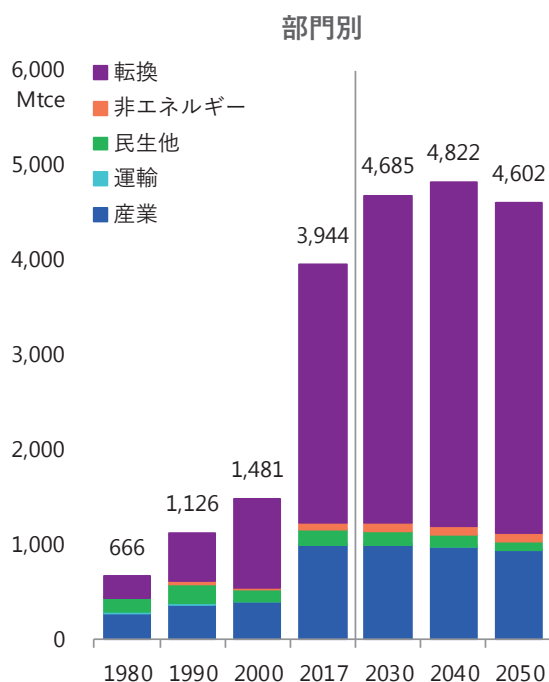
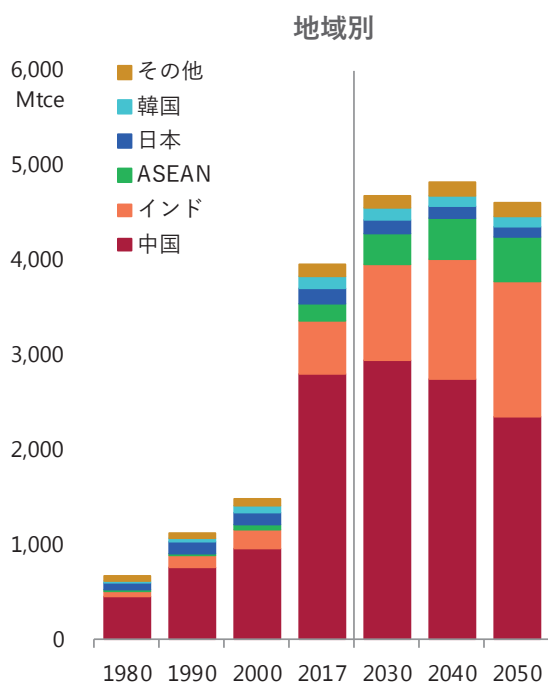
113

天然ガス消費



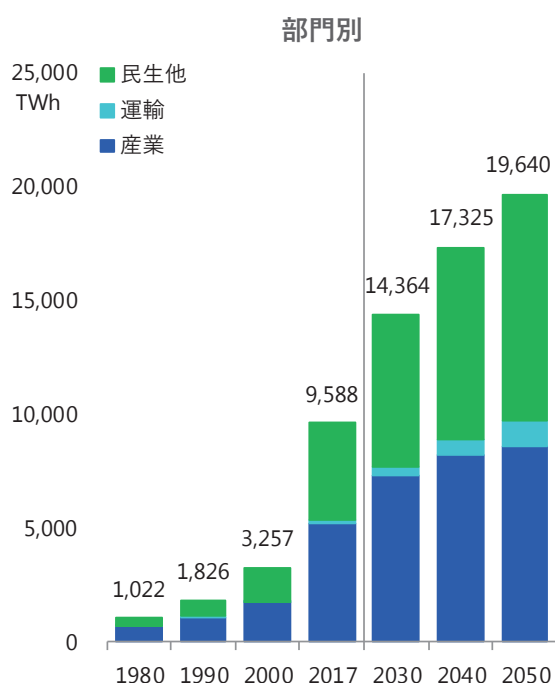
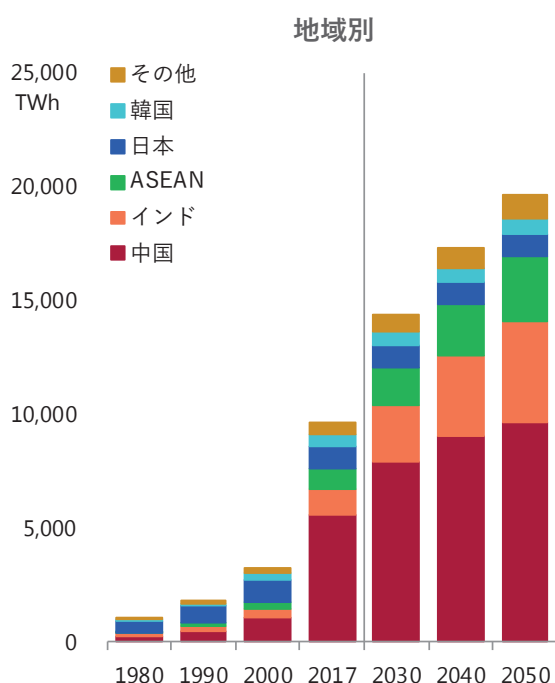
114

石炭消費

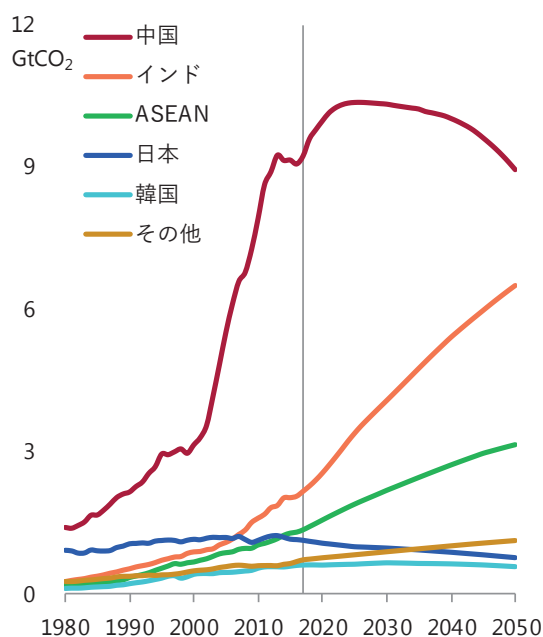


115

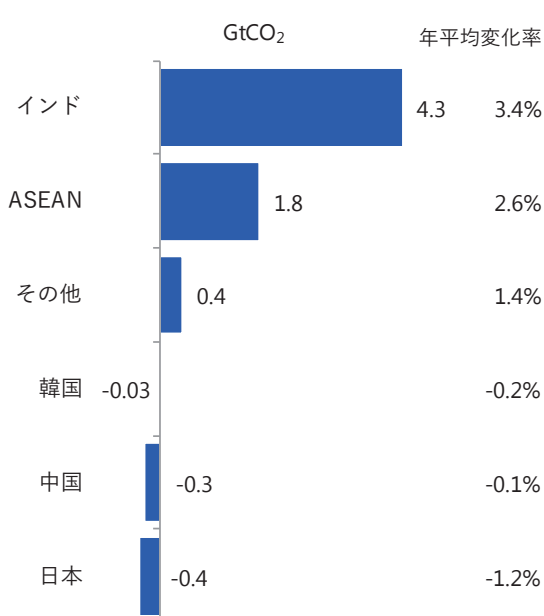
電力最終消費



116

CO₂排出量エネルギー起源CO₂排出量

増減分(2017-2050年)



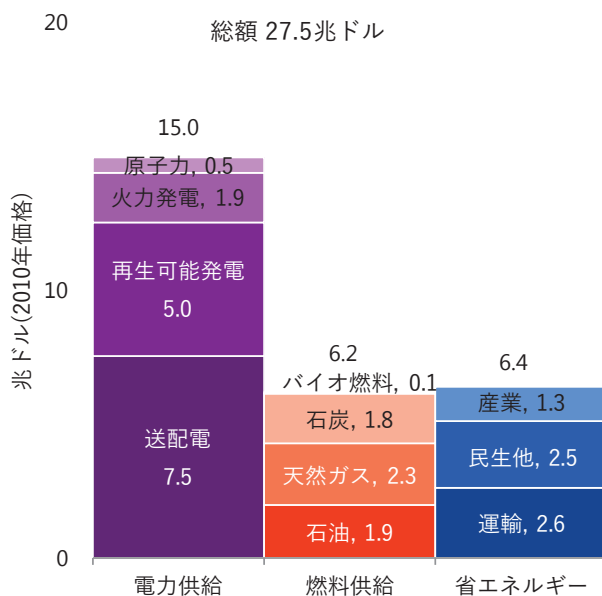
117

エネルギー関連投資額

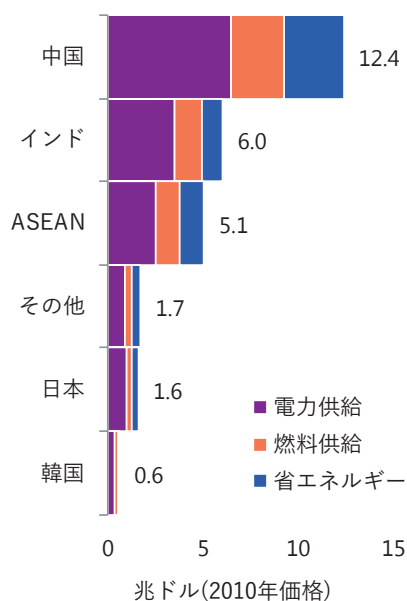
(2018年～2050年 累積投資額)

部門別

総額 27.5兆ドル

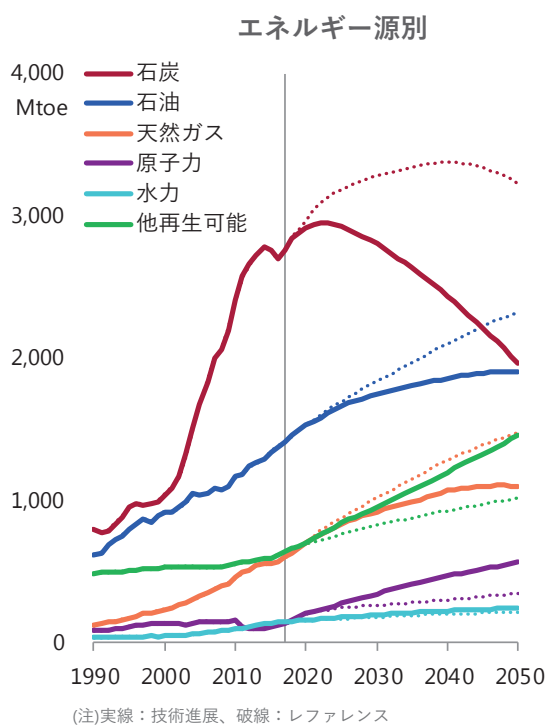
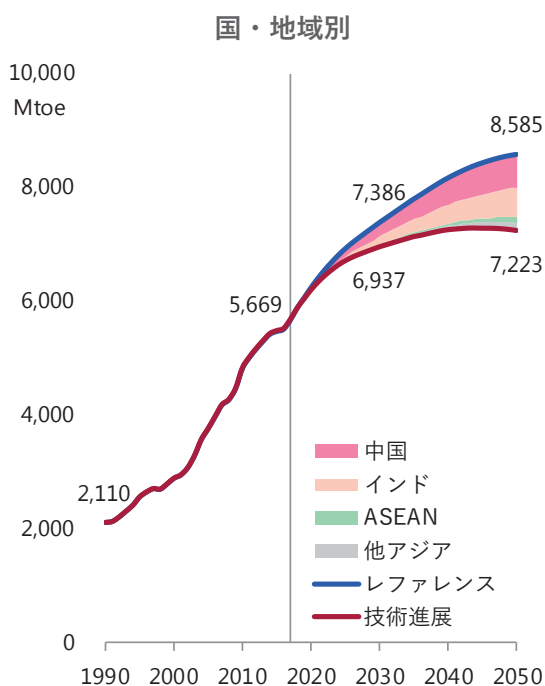


地域別



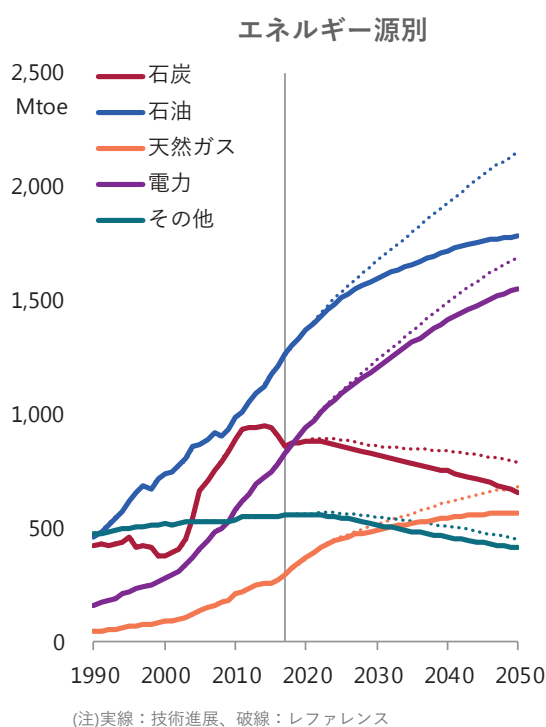
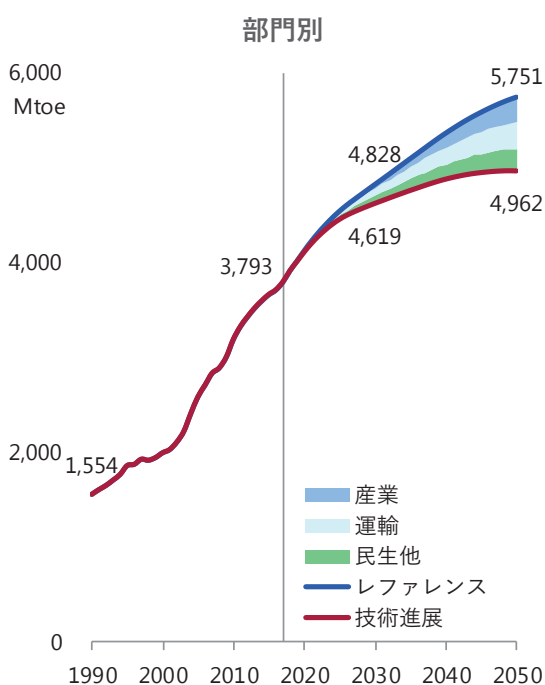
118

一次エネルギー消費



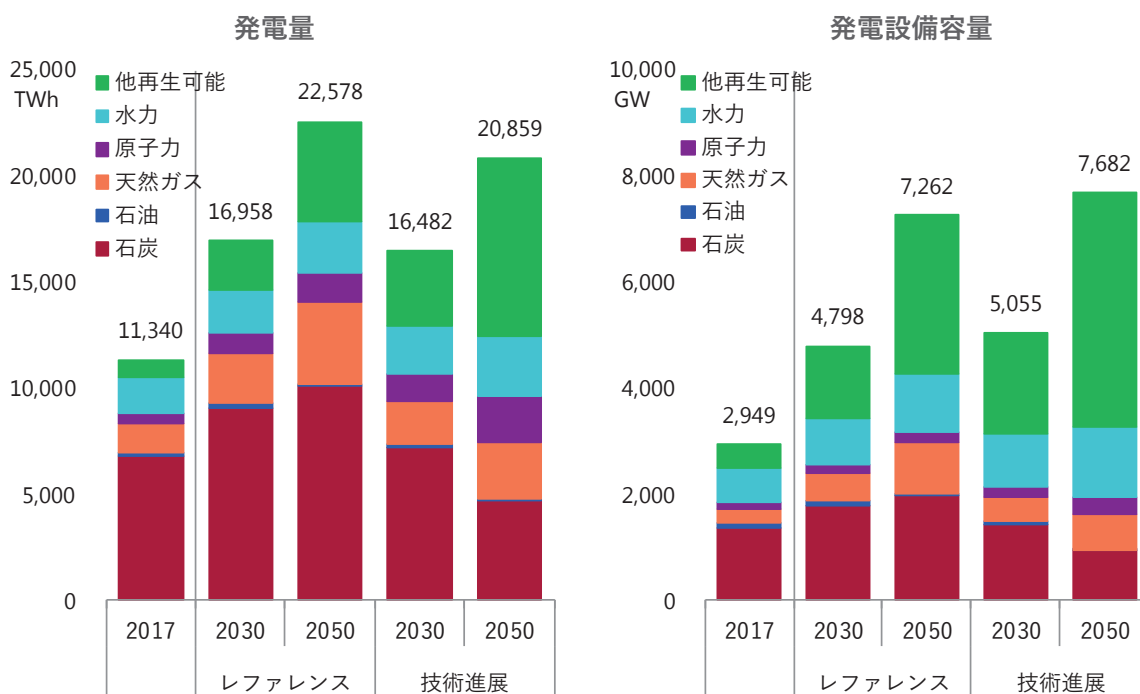
119

最終エネルギー消費



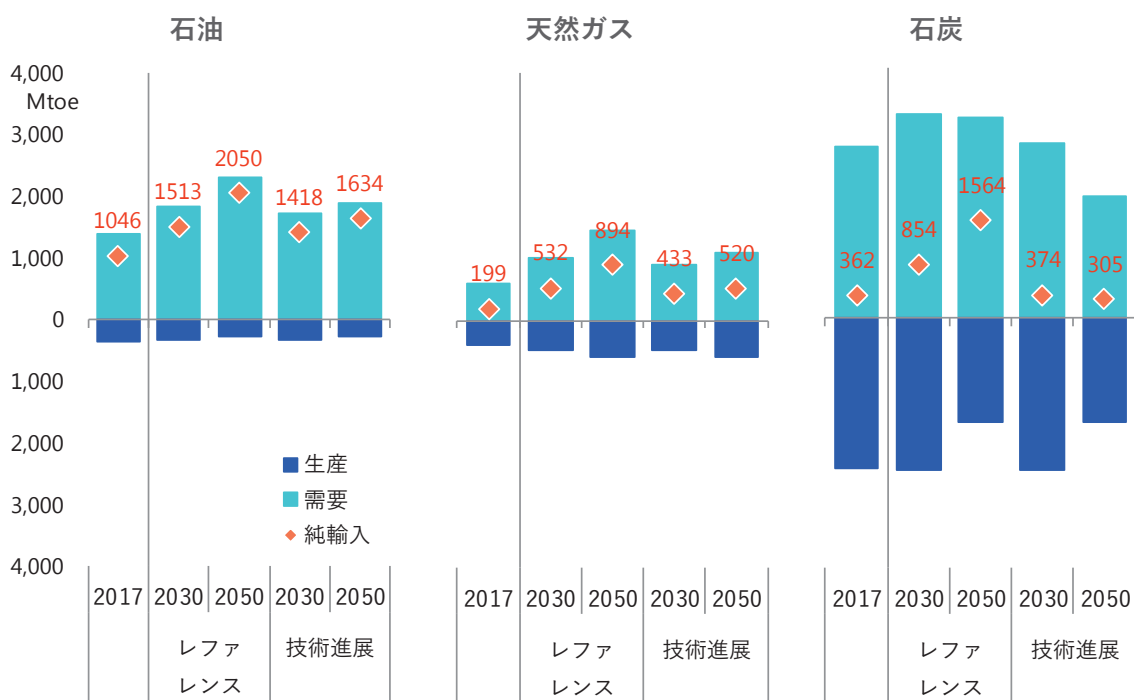
120

発電構成

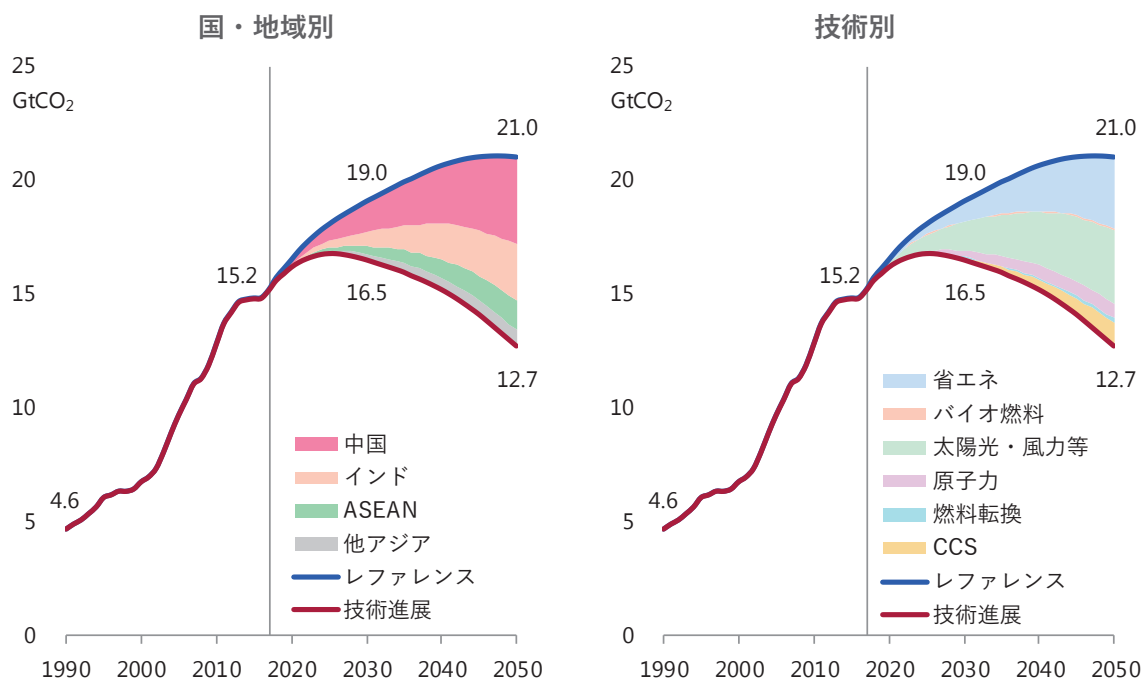


121

化石燃料需給バランス

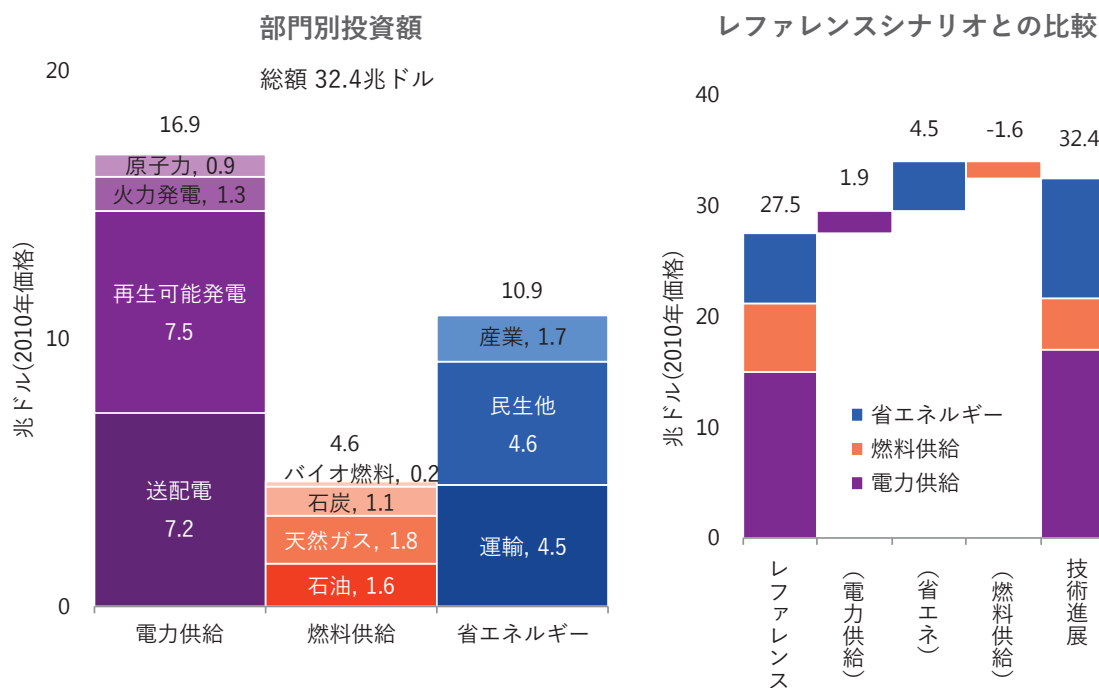


122

CO₂排出量

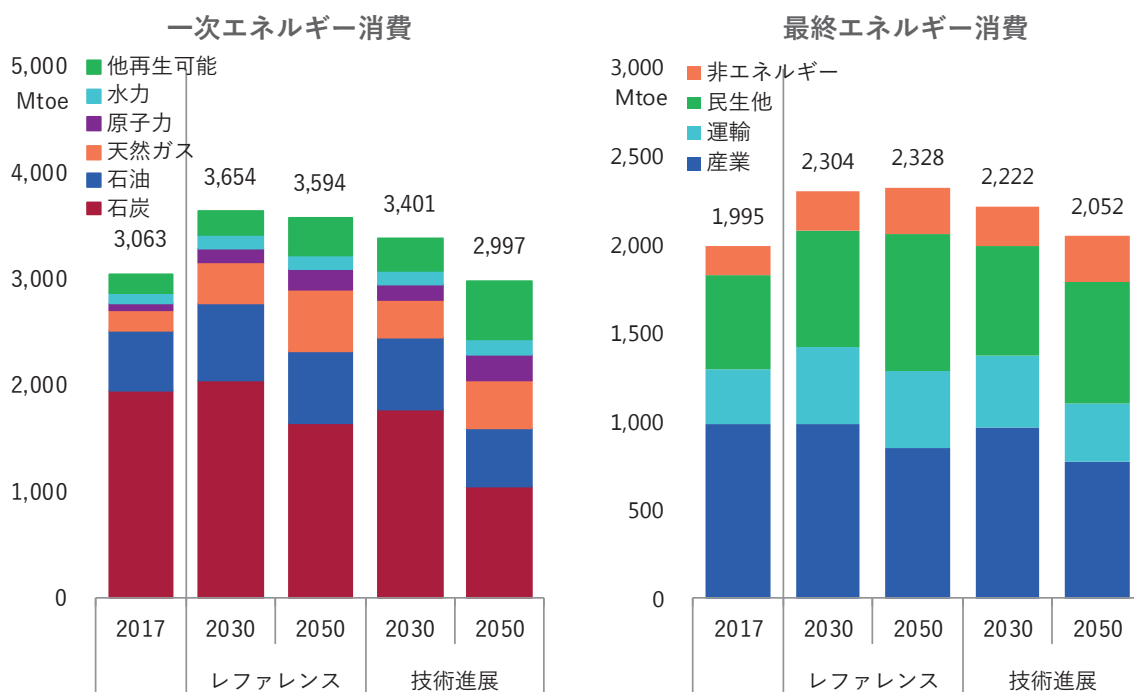
123

エネルギー関連投資額 (2018年～2050年)



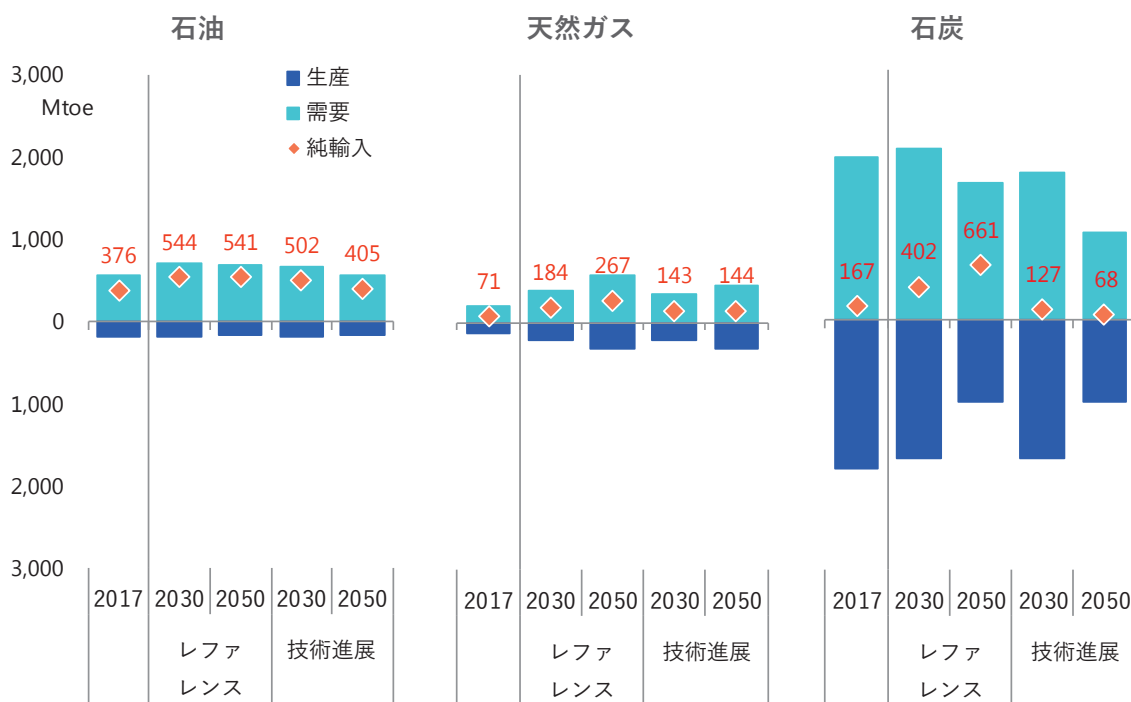
124

エネルギー消費



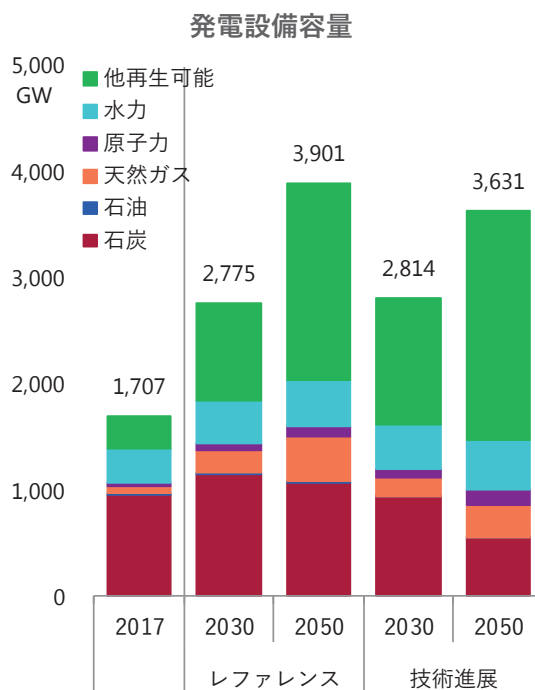
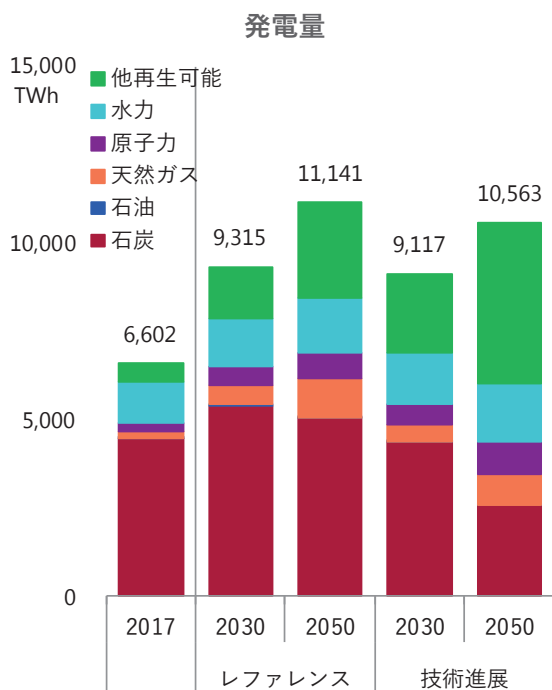
125

化石燃料需給バランス

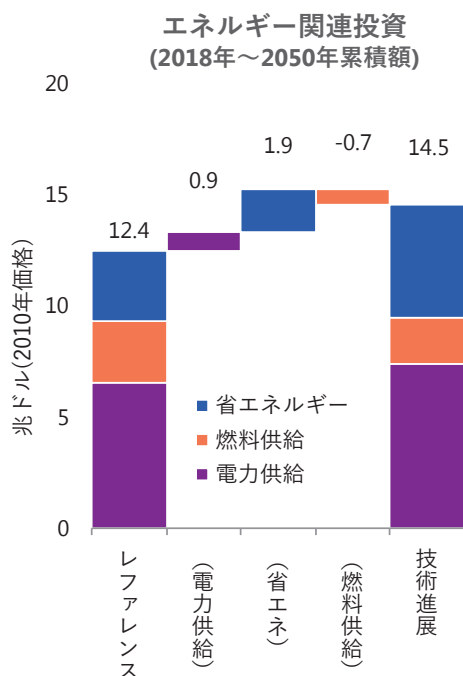
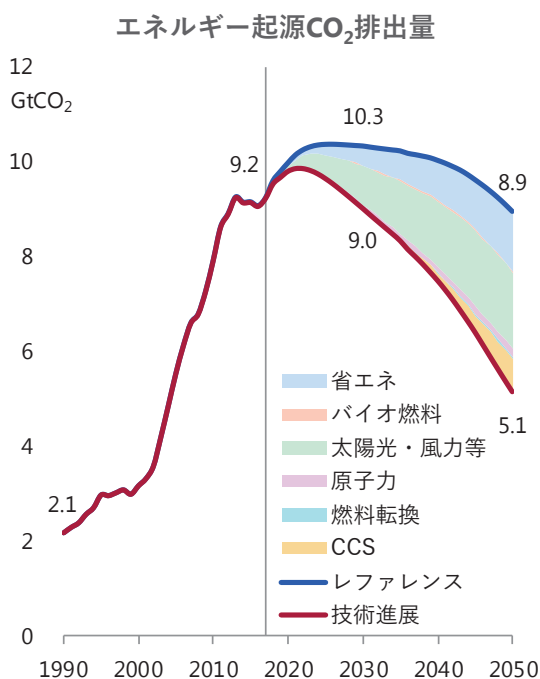


126

発電構成

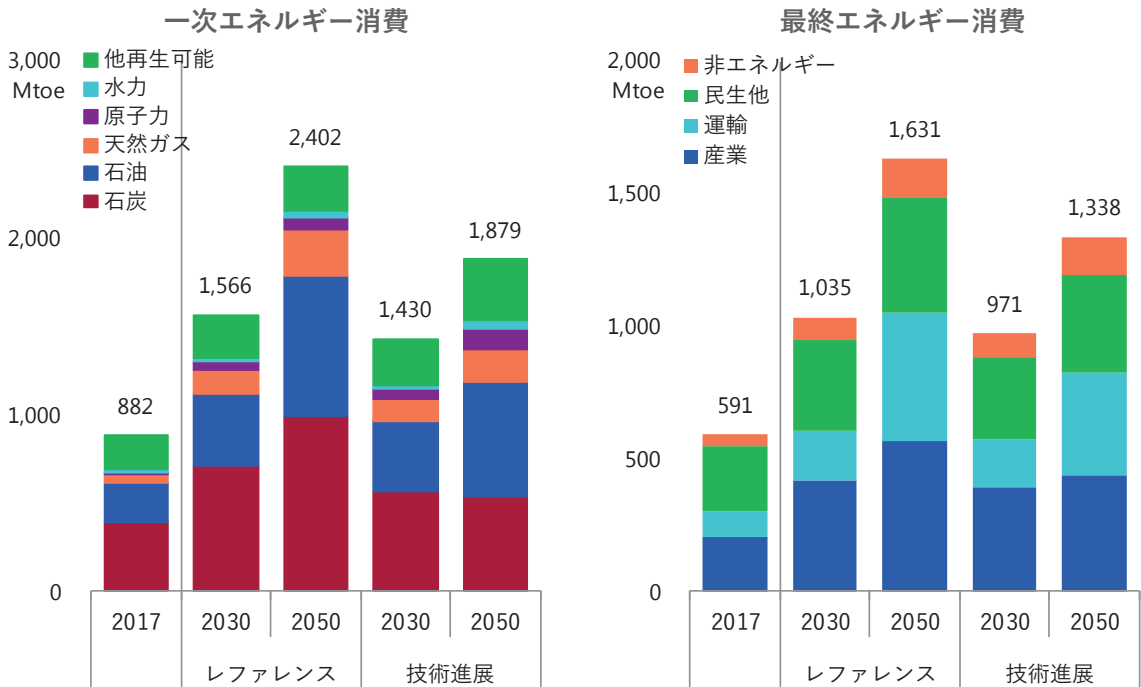


127

CO₂排出量・エネルギー関連投資

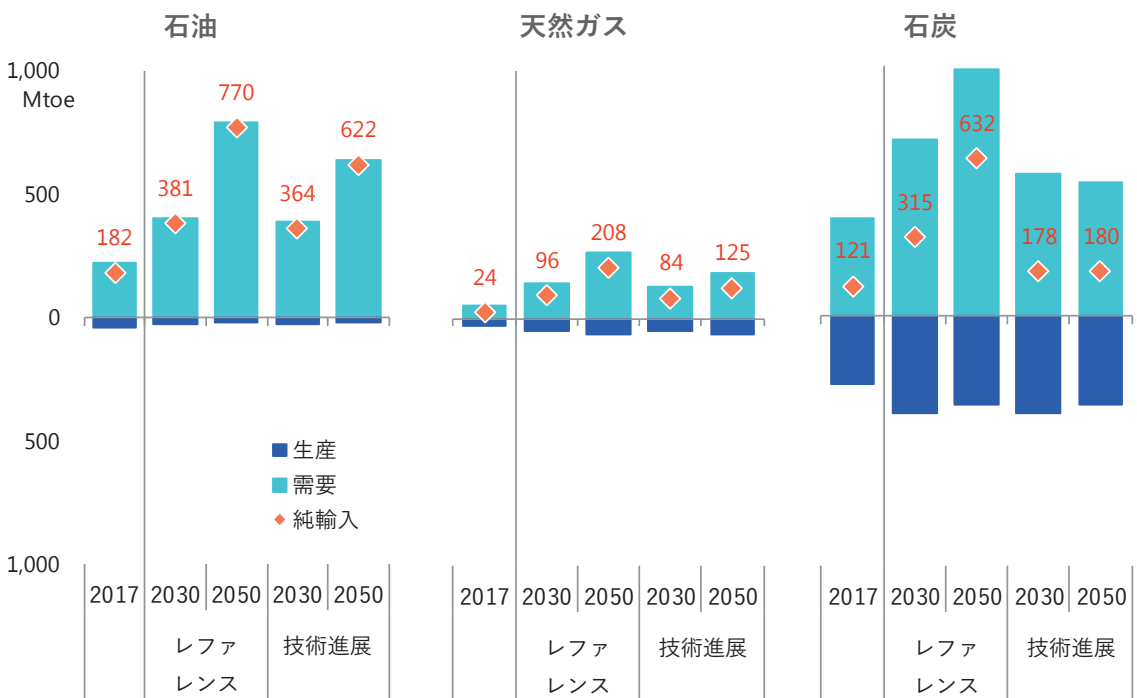
128

エネルギー消費



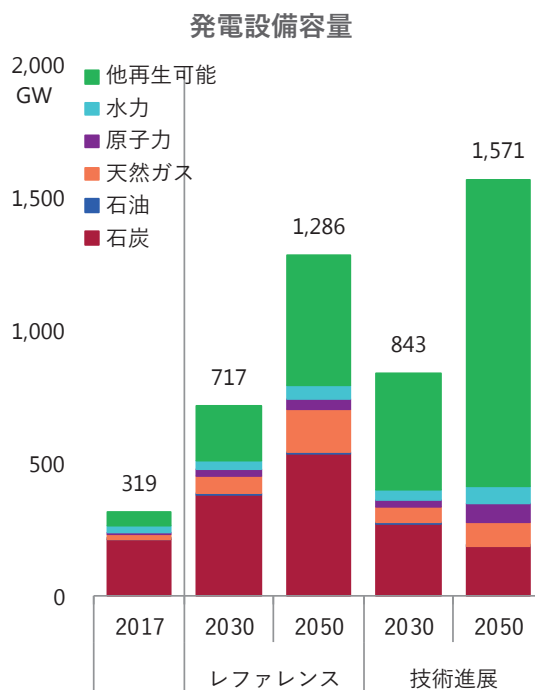
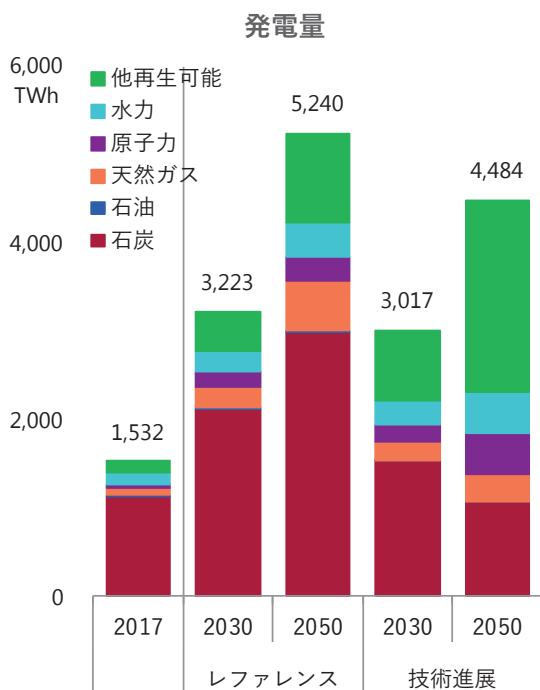
129

化石燃料需給バランス

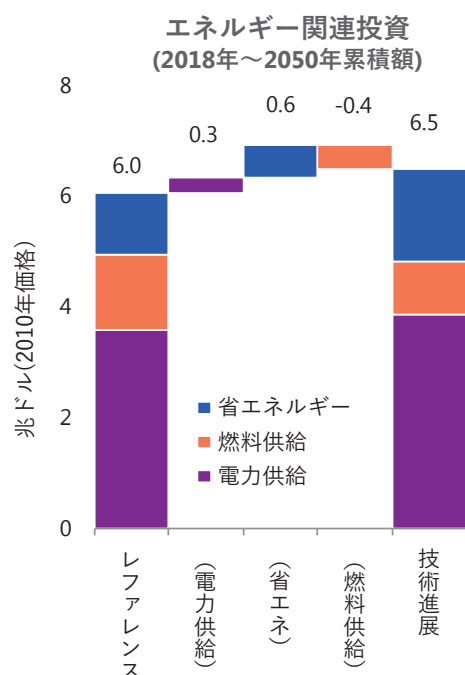
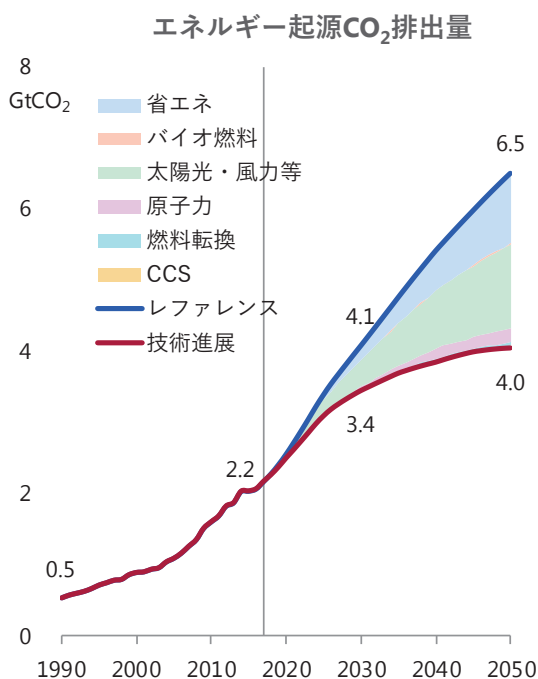


130

発電構成

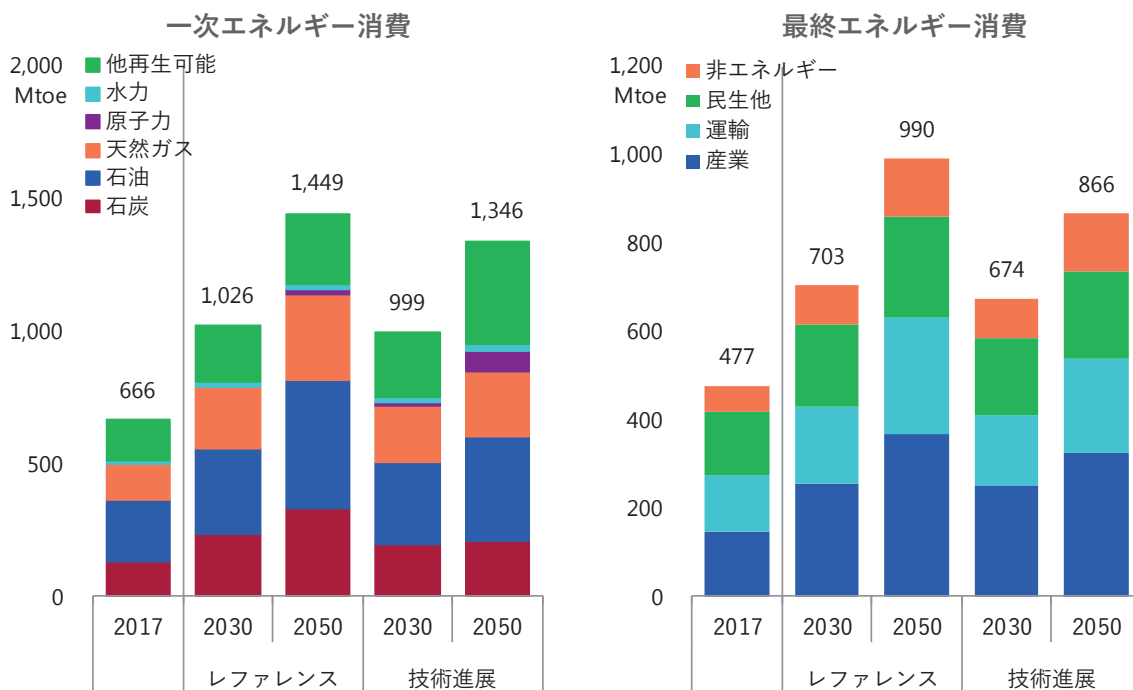


131

CO₂排出量・エネルギー関連投資

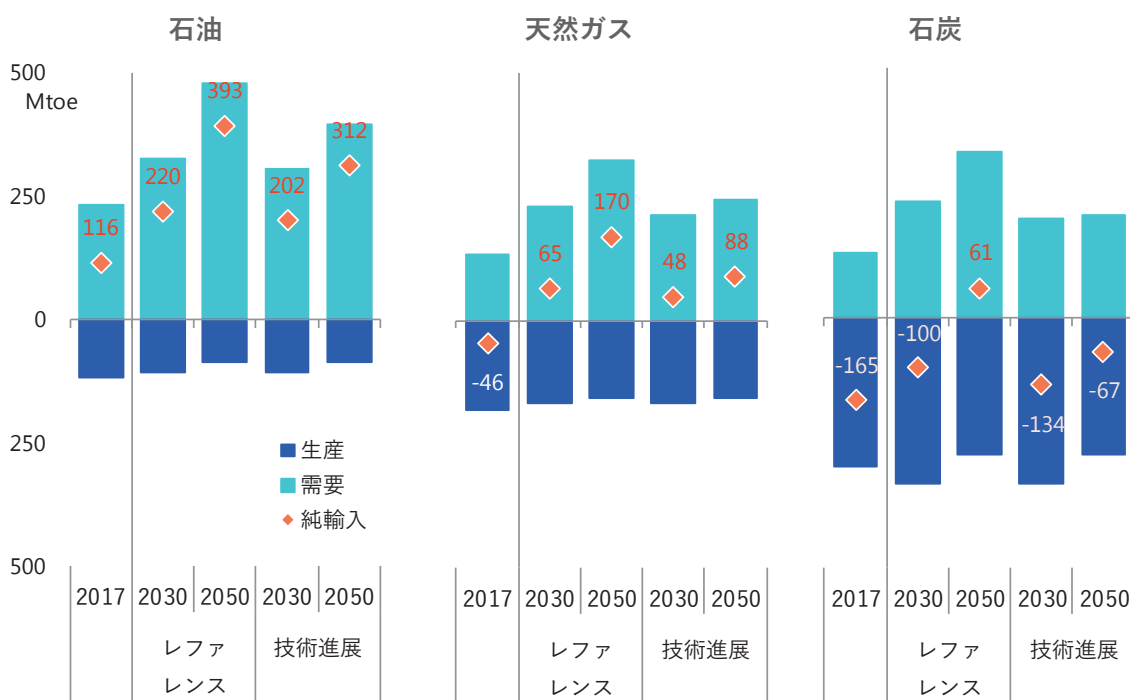
132

エネルギー消費



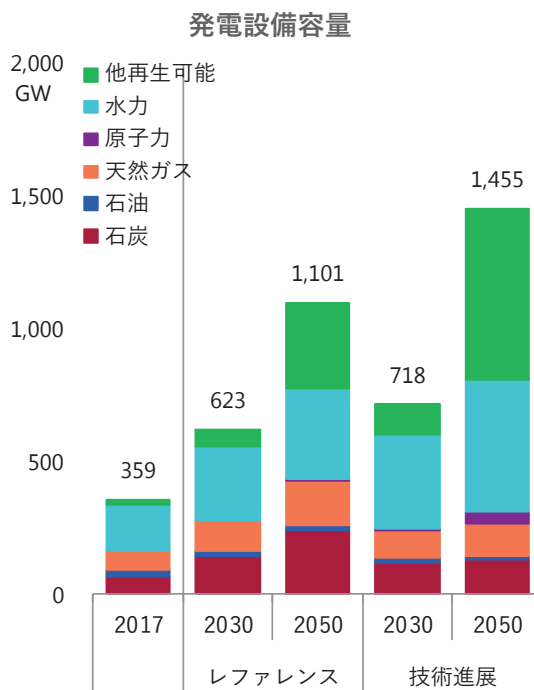
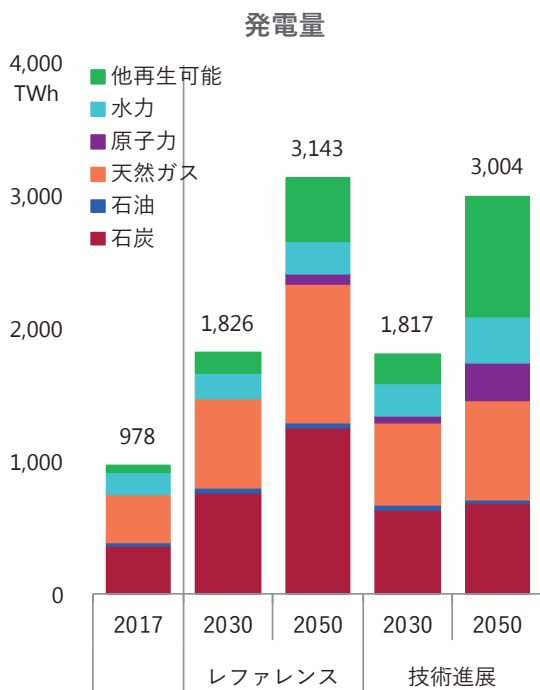
133

化石燃料需給バランス

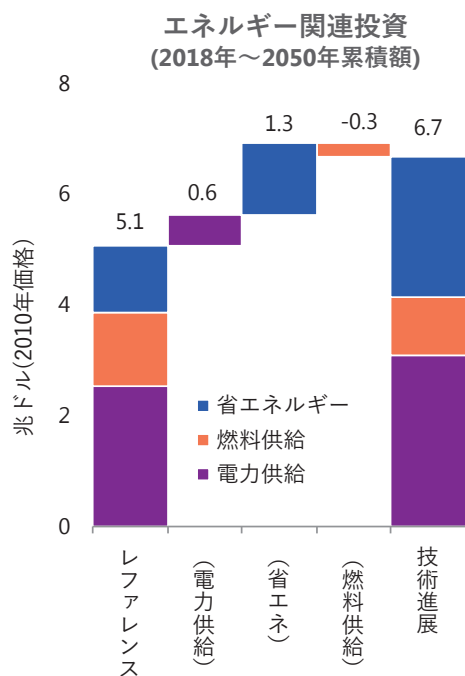
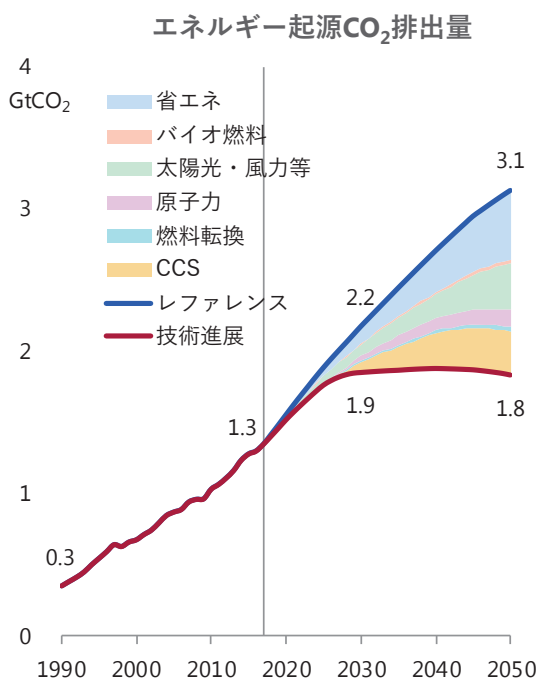


134

発電構成



135

CO₂排出量・エネルギー関連投資

136

IEEJ Outlook 2020

2019年10月

日本エネルギー経済研究所

IEEJ © 2019