

IEEJ Outlook 2019

エネルギー変革と3E達成への茨の道

エネルギー・環境・経済



The Institute of
Energy Economics, Japan

IEEJ Outlook 2019



**The Institute of
Energy Economics, Japan**

100年に1度とも言われた世界金融危機から10年を経たが、今も世界は時にその後遺症に苛まれている。確かに、2018年に米国株は最高値を更新し、ギリシャは欧州連合による金融支援から脱却し、OECDの工業生産は危機前の水準を回復している。しかし、危機対応金融緩和からの米国・ヨーロッパの脱却が、一部の新興国での資本流出や信用不安を想起させ通貨の減価などを引き起こしている。当時6,000億ドルもの景気刺激策を打ち出した中国は、過剰な債務を抱えている。そうしたところに、米国発の自国第一主義がリスクの火種として加わり、貿易戦争・通貨戦争に対する懸念が日増しに高まっている。

国際協調気運の低下は、経済のみならずエネルギー安全保障にも差し響いている。10年前、エネルギー安全保障における大きな課題は、\$145/bblを越す史上最高値を付けた原油価格であった。今、注視されるのは、その後2度の急落を経た原油価格が\$70/bbl程度まで上昇してきた背景の一部をなすもの——米国・イラン関係の緊張やサウジアラビアと周辺国との関係悪化など——である。これらが、エネルギー供給障害の端緒となることが憂慮されている。ベネズエラやリビアの原油生産量が減少している現状、石油安定供給の不全による衝撃は世界への大きな脅威となりかねない。

供給障害は、石油に固有のものではない。社会の高度化が進むにつれ、その基盤たる電力が安定的に供給されることが必要不可欠となる。その一方で、電力の供給障害が、従来の災害・設備故障などに加え、発電方式の変化、サイバー攻撃などにより発生する可能性が指摘され始めている。この大規模貯蔵が容易でない、しかし刹那も欠かしがたいエネルギー源の安定供給確保は、重要性和求められる対策がますます増してゆくことになる。

エネルギー安全保障にあだなしうるのは、なにも悪意や不測の事態に限らない。気候変動への対処として、石炭火力発電所への投融資を控えようとする動きが一部で強まっている。ただし、こうした動きの広まりは、現実——とりわけアジアにおける実状——を十分に勘案したものでない限り、受け入れがたい副作用をもたらす。そればかりでなく、意図に反し気候変動対策としても機能しない可能性も否定できない。

IEEJ Outlook 2019では、2050年までの世界のエネルギー需給を定量的に描き出すことに加え、エネルギー安全保障に連なるこれらの諸課題の公正・中立な考察に取り組んでいる。われわれは、この試みが知見の蓄積を通じて世に広く貢献できるものと考えている。

2018年10月、東京

担当者

伊藤 浩吉
江藤 諒
遠藤 聖也
大平 智子
小笠原 潤一
川上 恭章
鬮 思超
木村 謙仁
久谷 一朗
黒木 昭弘
小林 良和
小松 潔
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
松尾 雄司
村上 朋子
森川 哲男
柳澤 明
山下 ゆかり
呂 正

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	27
1. 主要前提	29
2. エネルギー需要	35
3. エネルギー供給	59
4. 技術進展シナリオ	79
5. エネルギー関連投資	103
第II部 エネルギー安定供給の課題	113
6. エネルギー供給障害のリスクと影響	115
7. 石炭火力発電所新設禁止の影響	129
付表	149

図目次

図1 世界の一次エネルギー消費[レファレンスシナリオ]	1
図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]	2
図3 世界の一次エネルギー消費[レファレンスシナリオ]	2
図4 石油一次消費[レファレンスシナリオ]	3
図5 天然ガス一次消費[レファレンスシナリオ]	3
図6 石炭一次消費[レファレンスシナリオ]	4
図7 世界の最終エネルギー消費[レファレンスシナリオ]	4
図8 道路部門石油消費増減への寄与[レファレンスシナリオ、2016年-2050年]	5
図9 家庭部門電力消費増減への寄与[レファレンスシナリオ、2016年-2050年]	5
図10 発電量[レファレンスシナリオ]	6
図11 世界の一次エネルギー消費増加[レファレンスシナリオ、2016年-2050年]	6
図12 主要地域の原油生産[レファレンスシナリオ]	7
図13 主要地域間の原油貿易[レファレンスシナリオ、2030年]	7
図14 主要国・地域の天然ガス生産[レファレンスシナリオ]	8
図15 主要国・地域のLNG需要[レファレンスシナリオ、2030年]	8
図16 世界の発電構成[レファレンスシナリオ]	9
図17 主要発電国の電力CO ₂ 排出原単位[レファレンスシナリオ、2050年]	10
図18 世界の一次エネルギー消費	11
図19 世界の一次エネルギー消費[技術進展シナリオ]	11
図20 世界のエネルギー関連投資[2017年-2050年累積]	12
図21 世界のエネルギー起源CO ₂ 排出	13
図22 緩和、適応、被害の総合コストのイメージ	14
図23 超長期パス	15
図24 CO ₂ 削減コスト	16
図25 中東の原油生産10 Mb/d減少による実質GDPへの影響	18
図26 所得水準と停電時間[2015年]	19
図27 発電量構成[レファレンスシナリオ]	21
図28 石炭火力発電所新設禁止で得られるメリット	22
図29 石炭火力発電所新設禁止による天然ガスへの影響	23
図30 石炭火力発電所新設禁止による太陽光・風力発電への影響	24
図31 石炭火力発電所新設禁止による電力コストへの影響《概数》	25

図1-1 地域区分	29
図1-2 技術導入の想定例[技術進展シナリオ]	30
図1-3 主要国・地域の人口	31
図1-4 主要国・地域の経済成長率	33
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]	35
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]	36
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]	36
図2-4 一次エネルギー消費の増加量[レファレンスシナリオ、2016年-2050年]	37
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]	38
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]	38
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]	39
図2-8 主要国・地域の石油消費[レファレンスシナリオ]	40
図2-9 世界の石油消費[レファレンスシナリオ]	40
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]	41
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]	42
図2-12 世界の天然ガス消費[レファレンスシナリオ]	42
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]	43
図2-14 主要国・地域の石炭消費[レファレンスシナリオ]	44
図2-15 世界の石炭消費[レファレンスシナリオ]	44
図2-16 発電用非化石エネルギー消費[レファレンスシナリオ]	45
図2-17 熱用非化石エネルギー消費[レファレンスシナリオ]	45
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]	46
図2-19 ASEANの一次エネルギー消費[レファレンスシナリオ]	46
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]	46
図2-21 アジアの石油消費[レファレンスシナリオ]	47
図2-22 アジアの天然ガス消費[レファレンスシナリオ]	47
図2-23 主要国・地域のエネルギー純輸入増減[レファレンスシナリオ、2016年-2050年]	49
図2-24 アジア主要国のエネルギー自給率[レファレンスシナリオ]	49

図2-25 アジアのエネルギー自給率[レファレンスシナリオ].....	50
図2-26 アジアの化石燃料輸入金額とGDP比.....	50
図2-27 GDPと最終エネルギー消費[レファレンスシナリオ].....	51
図2-28 最終エネルギー消費(地域別) [レファレンスシナリオ].....	52
図2-29 OECD、非OECDの最終エネルギー消費[レファレンスシナリオ].....	53
図2-30 近代エネルギーにアクセスできない人々の数[レファレンスシナリオ].....	55
図2-31 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].....	56
図2-32 電力最終消費[レファレンスシナリオ].....	57
図2-33 家庭用電力消費の増減[レファレンスシナリオ、2016年-2050年].....	58
図3-1 主要地域間の原油貿易[2017年].....	61
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].....	61
図3-3 主要地域間の天然ガス貿易[2017年].....	64
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].....	64
図3-5 世界の石炭生産[レファレンスシナリオ].....	65
図3-6 世界の石炭貿易(輸入量) [レファレンスシナリオ].....	68
図3-7 主要国・地域間の一般炭貿易[2017年].....	69
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].....	69
図3-9 主要国・地域間の原料炭貿易[2017年].....	70
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].....	70
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].....	71
図3-12 主要国・地域の発電電力量[レファレンスシナリオ].....	71
図3-13 世界の発電構成[レファレンスシナリオ].....	72
図3-14 OECD、非OECDの電源構成[レファレンスシナリオ].....	73
図3-15 中国、インド、ASEANの電源構成[レファレンスシナリオ].....	73
図3-16 原子力発電設備容量と基数.....	74
図3-17 原子力発電設備容量[レファレンスシナリオ].....	75
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].....	76
図3-19 風力発電設備容量[レファレンスシナリオ].....	77
図3-20 太陽光発電設備容量[レファレンスシナリオ].....	77
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].....	78
図4-1 技術の想定例[技術進展シナリオ].....	79
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].....	80

図4-3 風力発電設備容量[技術進展シナリオ].....	82
図4-4 太陽光発電設備容量[技術進展シナリオ].....	82
図4-5 原子力発電設備容量[技術進展シナリオ].....	83
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	84
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]	85
図4-8 一次エネルギー消費量の対GDP原単位[技術進展シナリオ].....	86
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]	86
図4-10 世界の道路部門エネルギー消費構成	87
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]	87
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]	88
図4-13 世界のエネルギー源別発電量[技術進展シナリオ].....	89
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].....	89
図4-15 石炭生産[技術進展シナリオ].....	92
図4-16 世界のエネルギー起源二酸化炭素排出	96
図4-17 二酸化炭素排出[技術進展シナリオ、2050年].....	96
図4-18 世界のエネルギー起源二酸化炭素排出と対策別削減寄与	97
図4-19 世界のエネルギー起源CO ₂ 排出(超長期分析との比較).....	98
図4-20 世界全体の二酸化炭素の累積総排出量と世界平均地上気温の上昇量.....	100
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、2017年-2050年].....	103
図5-2 エネルギー関連投資額[レファレンスシナリオ].....	104
図5-3 世界の化石燃料投資額[レファレンスシナリオ].....	105
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、2017年-2050年].....	106
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].....	107
図5-6 送配電設備投資額[レファレンスシナリオ].....	108
図5-7 省エネルギー投資額[レファレンスシナリオ].....	108
図5-8 世界のエネルギー関連投資額[2017年-2050年].....	109
図5-9 発電設備投資額[技術進展シナリオ].....	110
図5-10 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、2017年-2050年].....	111

目次

図6-1 中東の原油生産10 Mb/d減少による実質GDPへの影響	117
図6-2 シナリオの分岐点と国際石油・エネルギー市場のポイント	118
図6-3 所得水準と停電時間[2015年]	119
図6-4 日本における低圧需要家の平均停電時間	121
図6-5 ヨーロッパにおける低圧需要家の平均停電時間	123
図7-1 世界のエネルギー起源CO ₂ 直接排出[レファレンスシナリオ]	129
図7-2 石炭火力発電比率[2016年]	131
図7-3 発電量構成[2016年]	132
図7-4 化石燃料自給率[2016年]	132
図7-5 アジア、ヨーロッパ、米国のエネルギー価格	133
図7-6 世界の石炭火力発電設備容量[レファレンスシナリオ]	134
図7-7 世界の発電量[レファレンスシナリオ]	134
図7-8 世界の発電量構成	135
図7-9 アジアの発電量構成	136
図7-10 非アジアの発電量構成	136
図7-11 世界の石炭一次消費	137
図7-12 世界のエネルギー起源CO ₂ 排出	138
図7-13 世界の石炭火力発電の効率とCO ₂ 直接排出[2050年]	139
図7-14 世界の天然ガス一次消費	139
図7-15 主要地域の天然ガス生産[石炭火力新設禁止(天然ガス代替)ケース]	141
図7-16 世界のLNG需要	142
図7-17 アジアの自給率	142
図7-18 主要天然ガス純輸入国・地域の天然ガス純輸入額	144
図7-19 世界の太陽光・風力等発電量	145
図7-20 太陽光・風力発電設備容量[石炭火力新設禁止(再生可能代替)ケース]	145
図7-21 インドの電力需給「イメージ」 [石炭火力新設禁止(再生可能代替)ケース、 2050年]	146
図7-22 電力コスト「概数」	147

表目次

表1 石油供給障害リスクとその事例	17
表2 石油と電力の供給障害の特徴	20

表1-1 国際エネルギー価格	34
表3-1 原油生産[レファレンスシナリオ].....	59
表3-2 天然ガス生産[レファレンスシナリオ].....	62
表3-3 石炭生産[レファレンスシナリオ].....	66
表4-1 エネルギー指標	81
表4-2 原油生産[技術進展シナリオ].....	90
表4-3 天然ガス生産[技術進展シナリオ].....	91
表4-4 石炭生産[技術進展シナリオ].....	93
表4-5 パリ協定の概要	94
表4-6 主要国・地域のNDC.....	95
表4-7 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].....	97
表4-8 さらなる削減に向けた革新的技術のコストとポテンシャル	99
表4-9 温暖化閾値ごとの許容される累積排出量の比較	102
表6-1 石油供給障害リスクとその事例	115
表6-2 米国における大規模停電の例	120
表6-3 石油と電力の供給障害の特徴	125
表7-1 脱・石炭の動きの高まり	130
表7-2 石炭火力高比率国・地域と「脱・石炭国」の資源状況	131
表7-3 実質天然ガス価格.....	143

Box目次

Box 2-1 アジアのエネルギー自給率.....	48
Box 2-2 Energy for All	54
Box 6-1 イラン情勢が国際石油市場に与える影響.....	118
Box 6-2 北海道胆振東部地震に伴う停電と需給逼迫.....	122
Box 7-1 石炭火力発電の発電効率とCO ₂ 排出	138
Box 7-2 石炭火力新設禁止(天然ガス代替)ケースにおける主要地域の天然ガス 生産	140

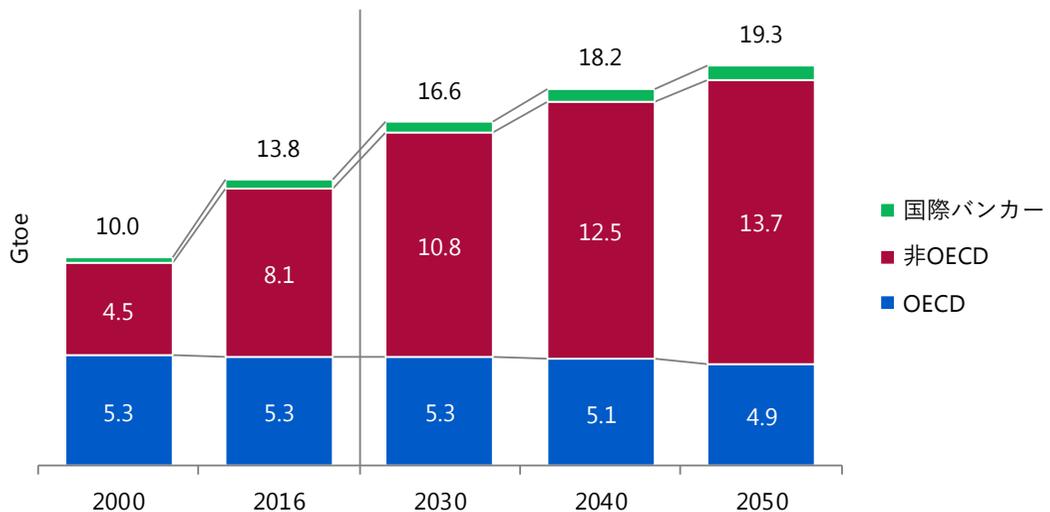
エグゼクティブ・サマリー

世界のエネルギー需給展望

需要

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19.3十億t (Gtoe)まで増大する(図1)。マクロ・ミクロな省エネルギーが進展し、エネルギー消費の増加率は実質GDPのそれを下回る。それでも、足元からのエネルギー消費の増分5.5 Gtoeは、中国、米国、日本の現消費量の和に匹敵する膨大な量である。

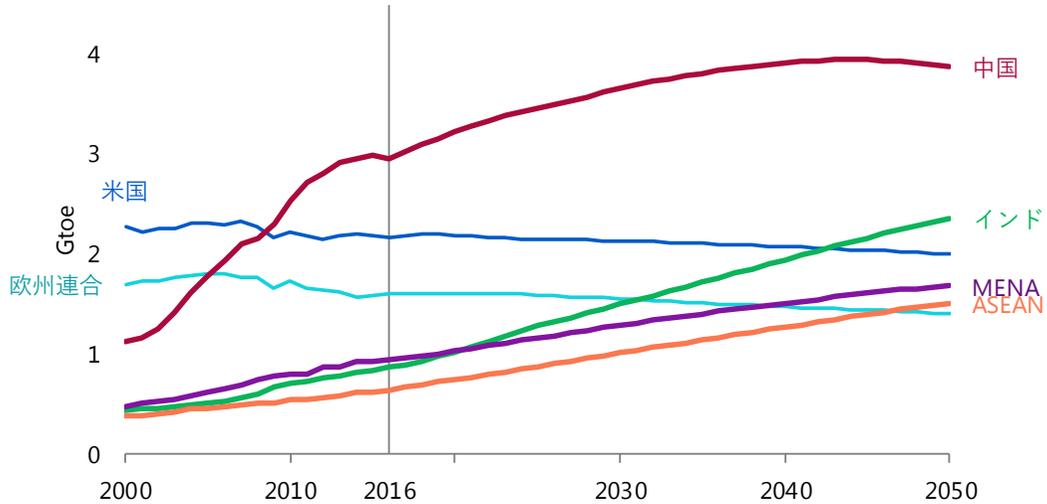
図1 | 世界の一次エネルギー消費[レファレンスシナリオ]



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。経済協力開発機構(OECD)加盟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、すべて非OECDと国際バンカーによるものである。中国は世界最大の消費国の座を維持し、消費量は2040年代半ばに4.0 Gtoe目前に達する。ただし、その後は減少に転じる。中国の後を襲うのは、成長著しいインドであり、東南アジア諸国連合(ASEAN)である。両者を合わせた2050年の消費規模は中国に伍し、2050年までの増分は中国の2.6倍にもなる。中

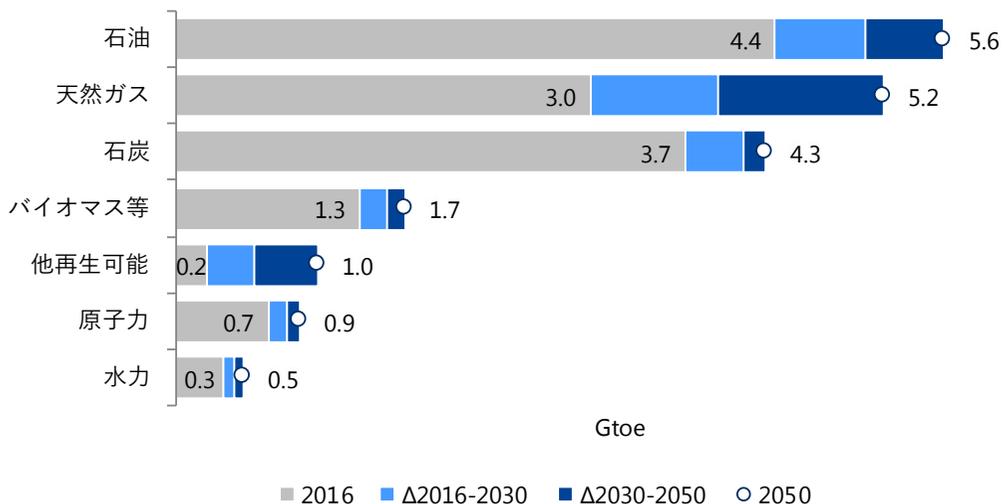
東・北アフリカ(MENA)も、経済成長と急速な人口増加を背景に消費を大きく増やす(図2)。

図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]



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のは将来も主に化石燃料である(図3)。化石燃料は、現在81%の依存度が30余年をかけて79%へとわずかに低下するのみで、消費量が減少することもない。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。再生可能エネルギーの増分をすべて合わせて、石油の増分によようやく肩を並べるといった具合である。

図3 | 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分の1を支える最大のエネルギー源である。石油消費¹は、現在の日量91百万バレル(Mb/d)から、2020年代半ばには100 Mb/dを超え、2050年には116 Mb/dに達する(図4)。こうした増加を牽引するのは、非OECDおよび国際バンカーである。中国は、この先10年ほどで米国を凌駕して世界最大の消費国となる——ただし、2040年過ぎにピークをつけ、その後は減少に転じる。2040年代後半には、インドが米国と入れ替わり第2の消費国となる。産油国が集まるMENAではあるが、消費地域としても存在感を増してゆく。対して、OECDの消費は、2005年がピークであり、今後も減少傾向は変わらない。

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。米国では2030年ごろ、欧州連合(EU)では2040年ごろ、アジア以外の地域計では2020年代初頭には、天然ガスが最大のエネルギー源となる。石油と異なりOECDでも消費が拡大するが、非OECDの増分ははるかに大きくOECDのその8.6倍にもなる(図5)。

図4 | 石油一次消費[レファレンスシナリオ]

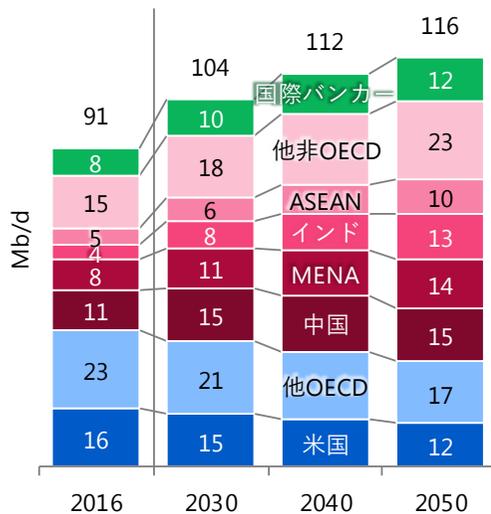
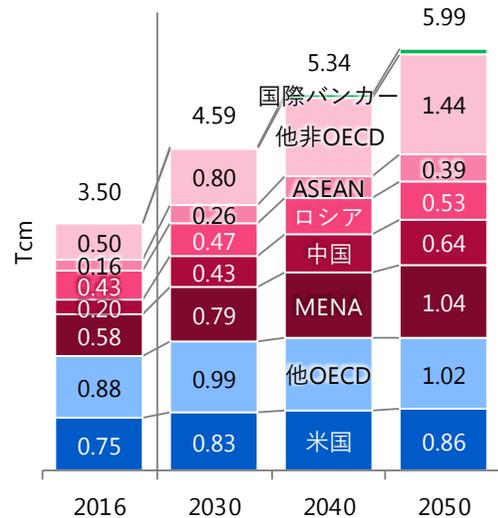


図5 | 天然ガス一次消費[レファレンスシナリオ]



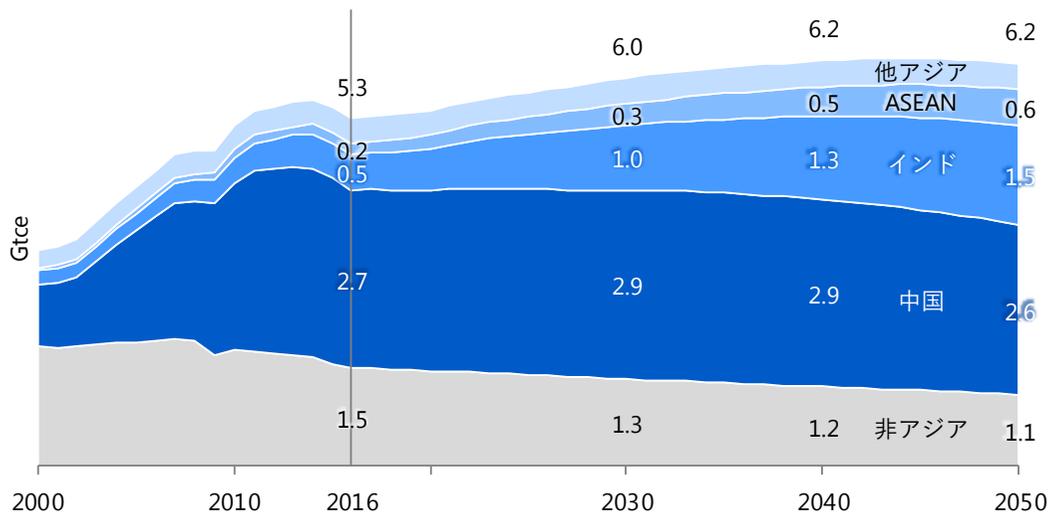
石炭は、直近数年は増加が影をひそめていたが、その要因はどちらかと言えば短期的なものとして整理される。消費がこのまま減少してゆくということではなく、2030年に石炭換算6.0十億t(Gtce²)、2040年には6.2 Mtceまで緩やかに増加する(図6)。減少(微減)トレンドに転じるのはその先、2040年代半ばである。ただし、様相は地域によっ

¹ 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。

² 1 tce = 0.7 toe

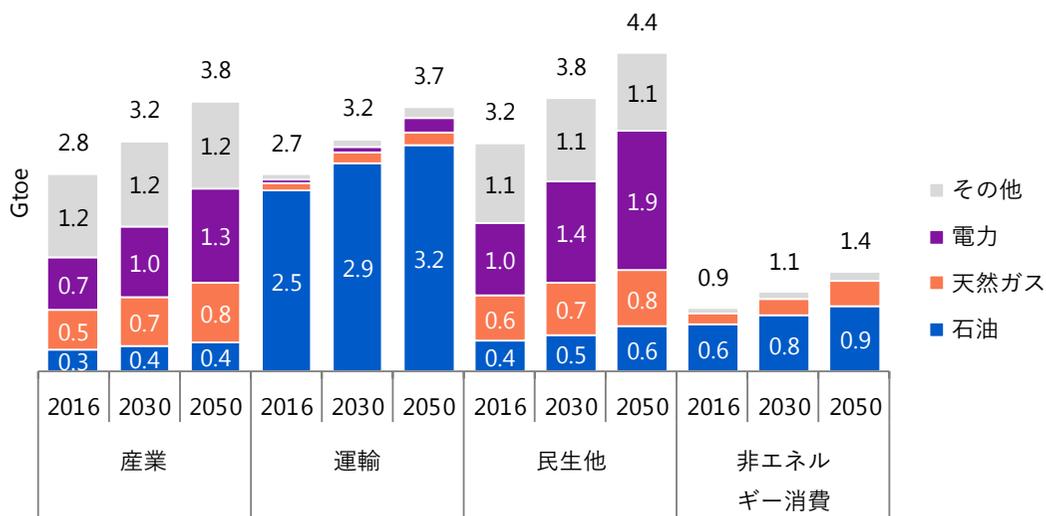
てかなり異なる。OECDでは引き続き減少、世界最大の石炭消費国である中国では2030年代半ばまで微増した後に減少に転じる。一方、インド、ASEANでは、石炭が旺盛なエネルギー需要の多くを賄い、2050年の石炭依存度は現在より高まる。この結果、2050年には世界の石炭消費の82%がアジアに集中する。

図6 | 石炭一次消費[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9.6 Gtoeから2050年までに39%増え13.3 Gtoeに達する(図7)。産業、運輸で1 Gtoe前後、民生他では1.3 Gtoeもの増加となる。これらの増分のほとんどが、非OECDに由来する。

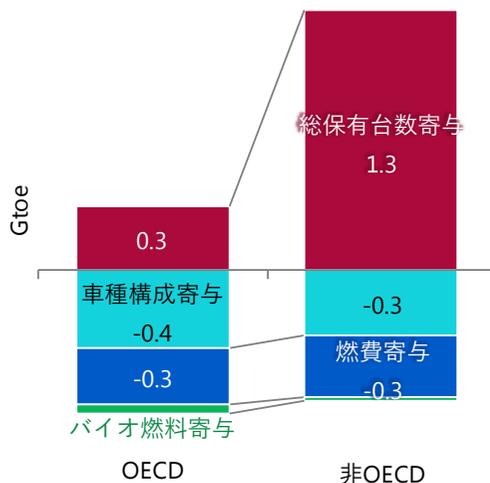
図7 | 世界の最終エネルギー消費[レファレンスシナリオ]



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あるが、その構成比は現在の41%から2050年には38%に低下する。石油の最大消費部門である自動車では、電気自動車などによる石油消費減退が注目されているが、各車種の燃費改善も車種構成変化と劣らない規模で消費節減に効く(図8)。

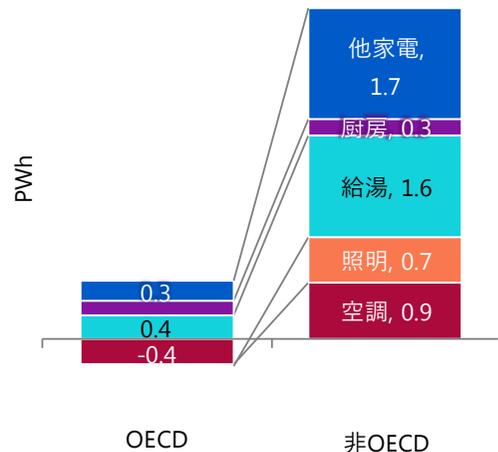
電力は、各国・地域の経済発展段階を問わず嗜好され、他のどのエネルギー源よりも増加する。最終エネルギー消費に占めるシェアは、現在の19%から26%まで上昇する。今後のカギとなる非OECDの家庭部門では、電力インフラの充実とともに、電気温水器やエアコン、照明器具、冷蔵庫などの家電製品が普及し、消費を押し上げる(図9)。

図8 | 道路部門石油消費増減への寄与[レファレンスシナリオ、2016年-2050年]



注: 内燃機関車からハイブリッド車への切替による効果は、燃費寄与ではなく車種構成寄与としている

図9 | 家庭部門電力消費増減への寄与[レファレンスシナリオ、2016年-2050年]



電力消費の伸長に伴い、世界の電力供給(発電電力量)も2050年までにおよそ倍増と、急激な増加を示す(図10)。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11)。換言すれば、発電所で何を用いるかが、エネルギー消費の全体像を大きく左右する。

図10 | 発電量[レファレンスシナリオ]

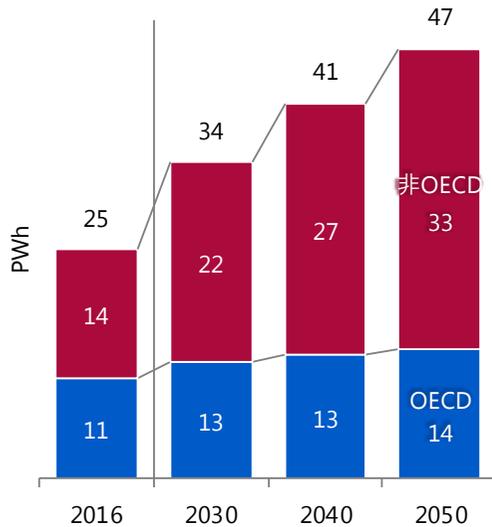
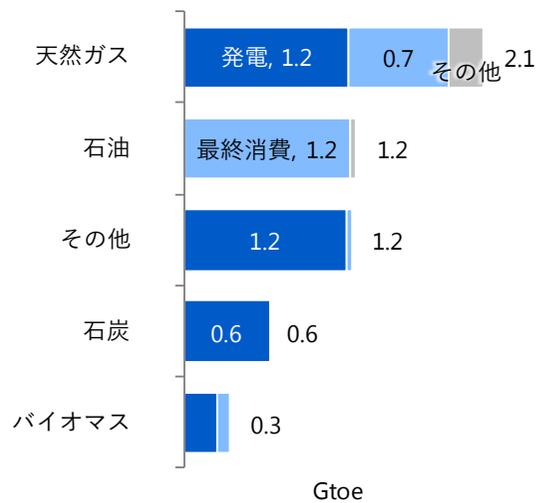


図11 | 世界の一次エネルギー消費増加[レファレンスシナリオ、2016年-2050年]



供給

2030年にかけて、米国では探鉱・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(図12)。同時期、ブラジル・プレソルト開発に代表される中南米でも原油増産が進む。非在来型石油を増産するカナダも含め、米州が世界の供給量増加の4分の3を占める。その後は、米国のシェールオイル生産量減退や、ヨーロッパ・ユーラシアでの生産量の2030年頃でのピークアウトなどから、非OPECの生産量シェアは徐々に低下する。2030年から2050年までの原油増産量は打って変わってその9割がOPECによりもたらされる。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ン・イラクといった国々がその原動力になる。

主要地域間の原油貿易は、2017年の42 Mb/dから2030年には43 Mb/dとわずかに増加する(図13)。OECDでは消費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、アジア新興国での消費増加に伴う輸入量増加が全体の貿易量を押上げる。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ものの、中東およびアフリカからの供給が2030年時点でも8割を占める。ヨーロッパでも輸入が減少する中で、非OECDヨーロッパ/中央アジア、アフリカ、中東、そして北米が競合する。非OECDヨーロッパ/中央アジアおよび中東は需要が増加するアジアへの輸出先シフトを強め、他方、生産を拡大する北米からヨーロッパへの原油輸出が増加する。

図12 | 主要地域の原油生産[レファレンスシナリオ]

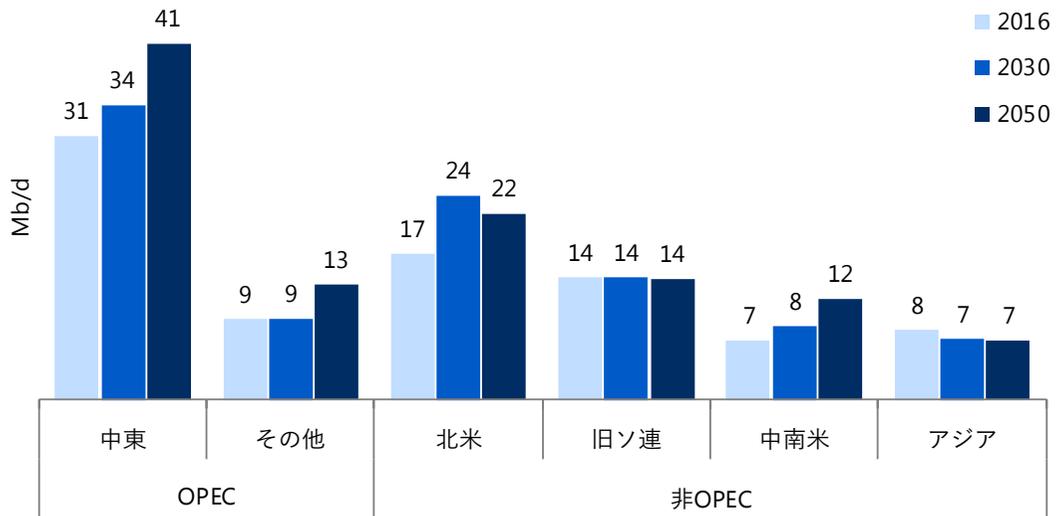
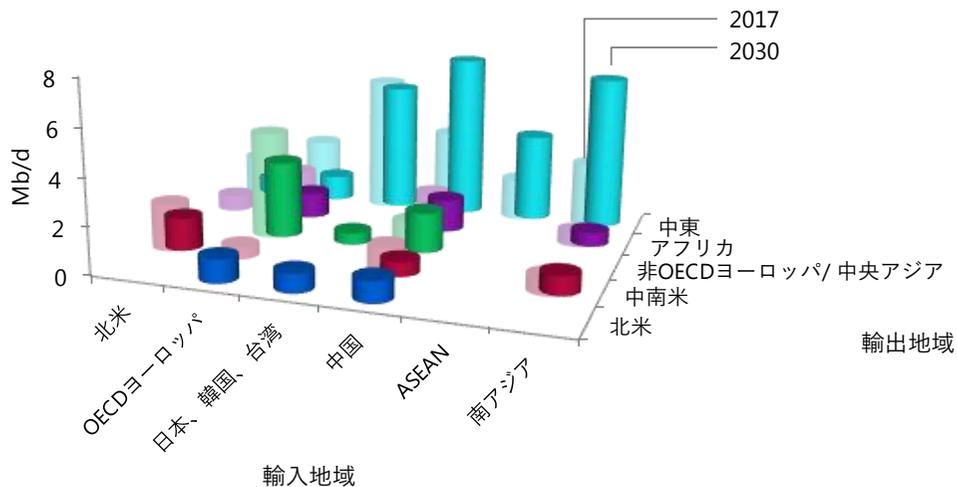


図13 | 主要地域間の原油貿易[レファレンスシナリオ、2030年]



天然ガス生産では、投資額が2017年以降の油価の回復に伴い増加に転じており、生産量は2016年から2050年にかけて1.7倍に増加する(図14)。北米では、米国がPermianやMarcellusからの増産を中心に堅調に増加、カナダでは西海岸におけるLNG案件の実現に伴いシェールガスを含む資源開発が進む。北米に次ぐ増産となる中東では、イランが一時的に停滞を余儀なくされるものの、長期的には域内消費の増加やLNG輸出の拡大が増産を要請する。ロシアでは、輸出量の増大に伴い、北極海沿岸や東シベリア等の新規ガス田開発が進められる。アジアでは、消費が拡大する中国やインドにお

いて開発が進む。アフリカでは、モザンビーク、タンザニア、セネガルなどで新規のLNG案件の稼働開始によって生産量が増加する。

主要地域間の天然ガス貿易は、2017年の631十億 m^3 (Bcm)から2030年には800 Bcmまで増加する。北米と中東が輸出量を最も大きく増加させる。北米では、米国のLNG輸出が飛躍的に増加、カナダも新規のLNG輸出案件が計画されている。中東では、カタールで生産能力を現行の77 Mtから2024年を目途に100 Mtへ増強することが計画されている。輸出量としてはロシアなど非OECDヨーロッパが最大であり続け、従来のヨーロッパ向けのパイプライン輸出の拡大に加え、中国向けのパイプライン輸出や新規のLNG輸出プロジェクトからの輸出を増やす。

LNG輸入の主役は、これまで最大であった日本や韓国から、中国、インドあるいはヨーロッパといった地域に分散してゆく(図15)。また、長らく輸出側であった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。

図14 | 主要国・地域の天然ガス生産[レファレンスシナリオ]

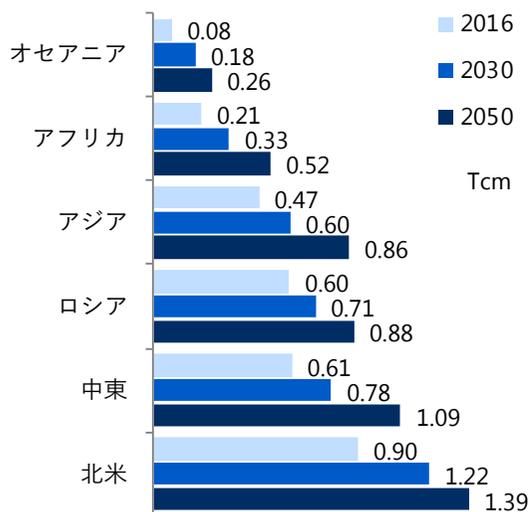
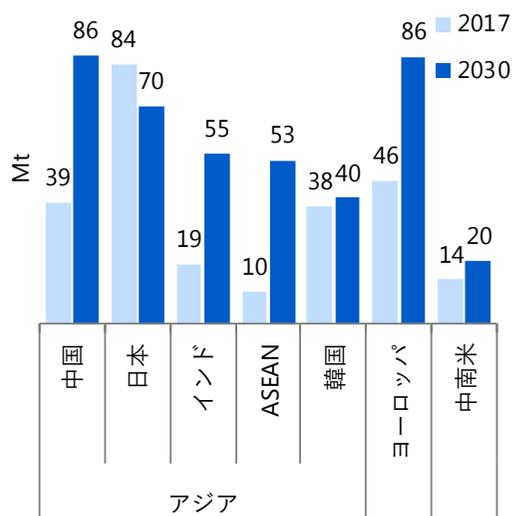


図15 | 主要国・地域のLNG需要[レファレンスシナリオ、2030年]



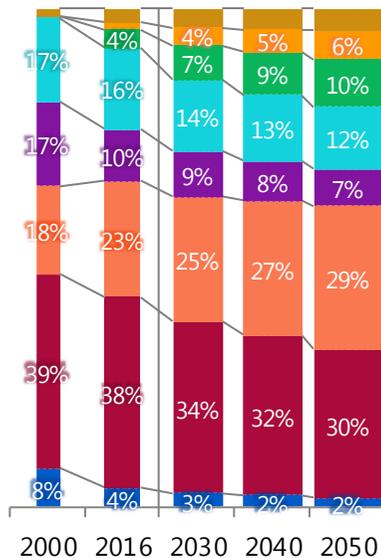
石炭生産量は、アジアを中心に中南米、アフリカなどの非OECDでの石炭消費の増加に伴い、2016年の7.3 Gtから2050年には9.1 Gtまで増加するが、その増加は次第に穏やかになる。一般炭生産量が主に発電用消費の増加に伴い2016年の5.5 Gtから2050年には7.4 Gtと1.4倍に増加する一方で、原料炭は微減する。

発電では再生可能エネルギーが脚光を浴びているが、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16)。ただし、火力でシェアを拡大するのは、発電

効率が高く、二酸化炭素(CO₂)排出が少なく、負荷追従性が優れた天然ガスのみである。石炭は、最大の電源であり発電量は増え続けるものの、欧米で減少することなどでシェアは9%ポイント(%p)落ち、天然ガスと1%p差の30%となる。

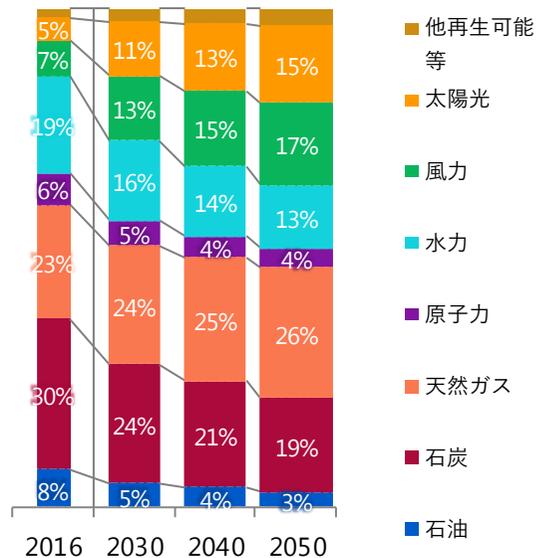
図16 | 世界の発電構成[レファレンスシナリオ]

発電量



注: 棒の幅は総発電量に比例

発電設備容量



注: 棒の幅は総発電設備容量に比例

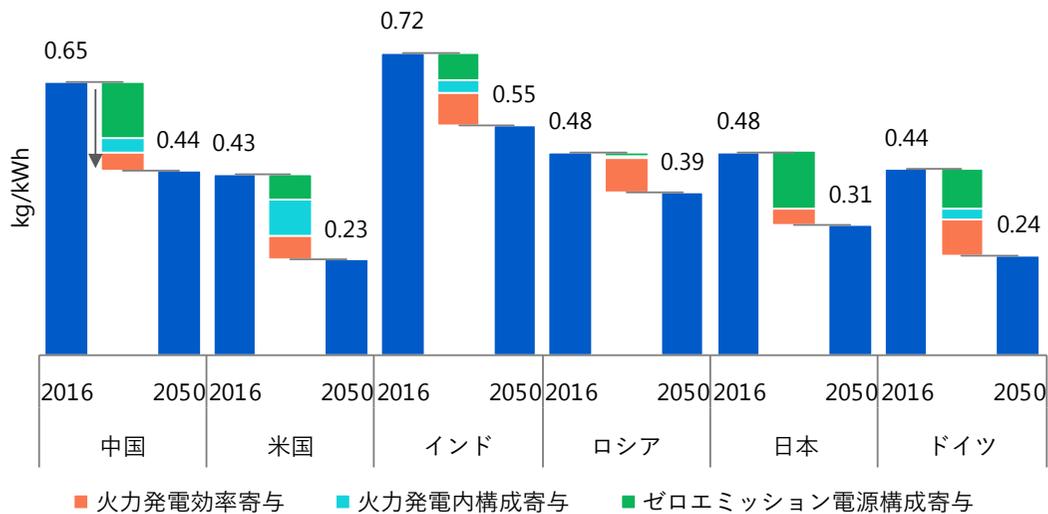
原子力発電所は、福島第一原子力発電所事故を契機とした世論の変化や建設コストの増大などにより、日本、韓国、米国、ヨーロッパの一部の国では従来計画どおりの新設が困難となっている。また、既設炉の閉鎖も進むため、利用規模が縮小する国も少なくない。ただし、そういった国々でも、エネルギー安定供給や気候変動問題への対応、さらには自国の原子力産業育成を通じた国際競争力の維持・強化という観点から、一定程度の原子力利用が維持される。また、中国をはじめとして、今後さらに原子力利用を推進していく国も複数存在する。世界の原子力設備容量は2016年の406 GWから2050年には518 GWまで拡大、発電量も1.3倍増となる。ただし、総発電量の急激な伸びには追い付かず、発電量構成比は3%p低下する。

太陽光発電、風力発電等の再生可能エネルギーには、大きな期待が寄せられている。ヨーロッパ先進国を中心とした導入支援策縮小などの影響を受けながらも、コストが大幅に低下している太陽光発電や風力発電を中心に導入量が順調に拡大している。風力は2016年の465 GWから2050年に5倍弱の2,254 GWに増加、太陽光は2016年の

290 GWから2050年に7倍強の2,110 GWに拡大する。しかし、稼働が自然条件に左右されるため、発電量構成比は設備容量構成比32%に比べはるかに小さい15%である。

大きく増加する発電量を火力発電で賄う国・地域があるため、世界全体としては火力発電構成比の低下幅は5%pにとどまる。それでも、各国・地域の発電量あたりCO₂排出原単位は低下する。主要発電国も、それぞれの方策によってCO₂排出原単位を引き下げる(図17)。

図17 | 主要発電国の電力CO₂排出原単位[レファレンスシナリオ、2050年]



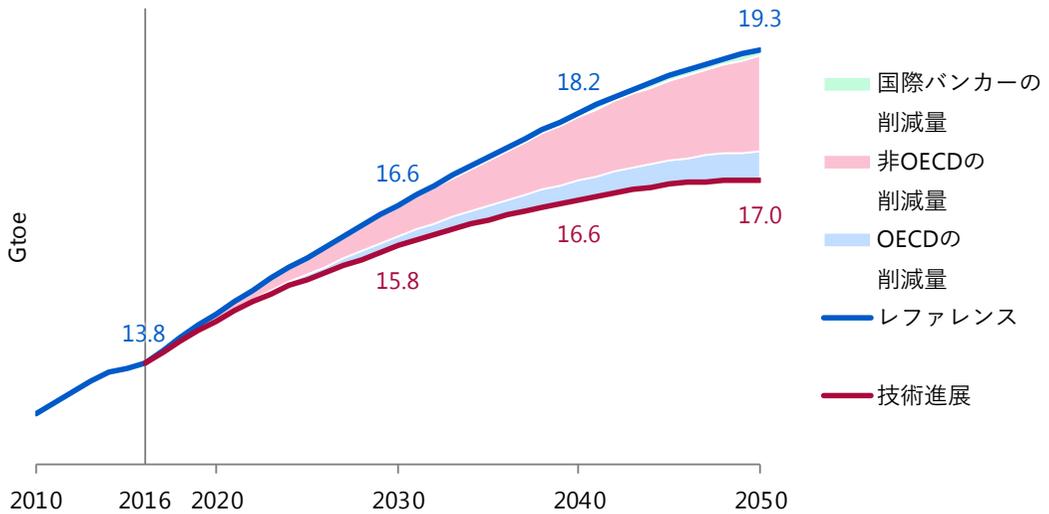
注: 発電端ベース

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。今後の消費増分はレファレンスシナリオ比で41%抑制され、2050年におけるエネルギー節減量は米国の現消費量を上回る2.3 Gtoeに上る(図18)。

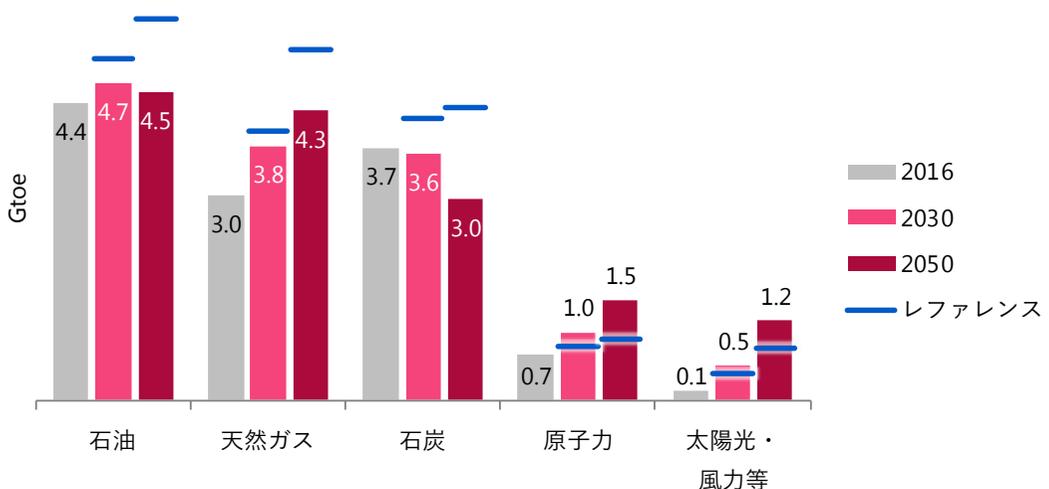
技術進展シナリオの実現に必要な2050年における省エネルギー量のうち、22%はOECD 34か国によるものである。これに対し、中国、インドは1国でそれぞれ23%、16%の節減に寄与し、非OECDでは合わせて74%にもなる。世界の将来像は、技術展開のポテンシャルに恵まれた発展途上国での広範な省エネルギー・低炭素化に大きく依存する。

図18 | 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3.3 Gtoe減少する(図19)。このうち最も著しいのは、電力消費の抑制、発電効率の向上、他エネルギーへの代替影響により主に発電用が減少する石炭である。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22 Mb/d下回る。一方で、天然ガスは、石炭や石油と異なり、技術進展シナリオにおいても増加が2050年まで継続する。その増加量は、レファレンスシナリオでと同じくエネルギー源の中で最大である。

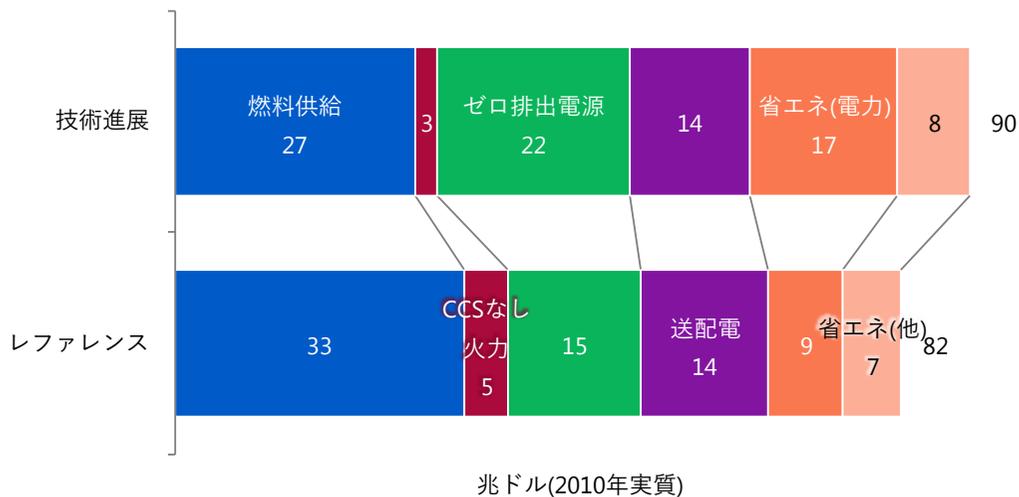
図19 | 世界の一次エネルギー消費[技術進展シナリオ]



非化石エネルギーでは、原子力がレファレンスシナリオより0.6 Gtoe、太陽光・風力等が0.4 Gtoe増加する。これらの結果、化石燃料の消費量は足元を上回るものの、そのシェアは2016年の81%から2050年には69%まで低下する。

こうしたエネルギー供給像を実現するためには、2050年までに総額90兆ドル(2010年実質)もの投資³が必要となる(図20)。そのうち25兆ドルが省エネルギーにかかるのである。燃料供給投資は、レファレンスシナリオを6兆ドル下回る。また、アジアでの追加投資は、燃料輸入額の削減で十分に回収可能である。

図20 | 世界のエネルギー関連投資[2017年-2050年累積]



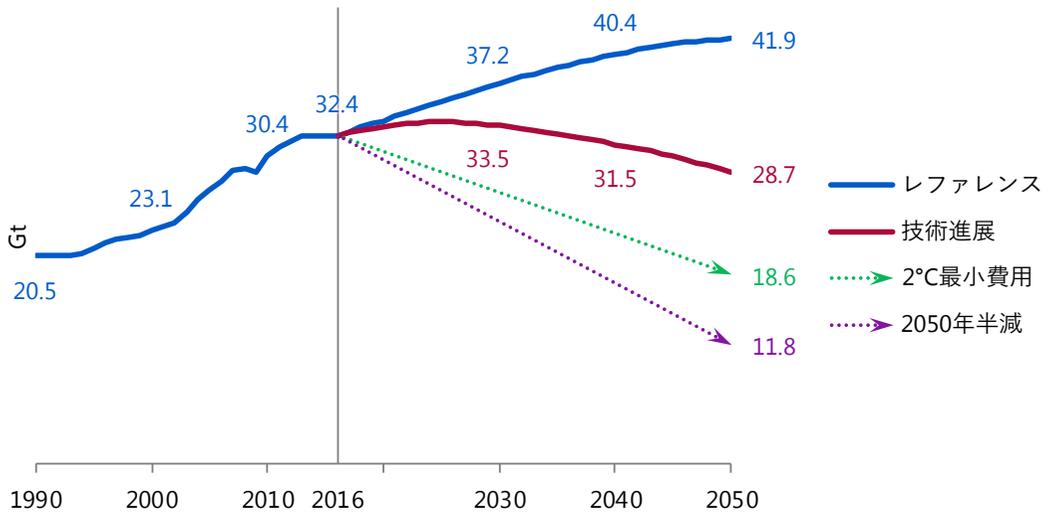
世界のエネルギー起源CO₂排出量は、2020年代半ばをピークに緩やかな減少に転じ、2050年には2010年比1.7 Gt、6%減の28.7 Gtとなる⁴(図21)。レファレンスシナリオからの削減量13.2 Gtは世界の2010年の排出量の43%に相当し、2050年までの累積削減量206 Gtは世界の現排出量の6.8年分にあたるなど、決して小さな効果ではない。地

³ 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されるものと見込まれる。ただし、市場で短期主義が前面に出ると、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リスクが高まる。

⁴ 2015年のG7エルマウ・サミットでは「(温室効果ガスを) 2050年までに2010年比で最新の気候変動に関する政府間パネル(IPCC)提案の40%から70%の幅の上方の削減とする」ことが支持された。しかし、2018年のG7シャルルボワ・サミットでは、カナダ、フランス、ドイツ、イタリア、日本、英国および欧州連合が「特に排出量の削減といった野心的な気候変動への行動を通じて、パリ協定の実施に対する強いコミットメントを再確認する」としたのみで、数量的な言及はなかった。さらに、米国はこれに加わらなかった。

域別では、OECDは2050年において2010年比49%減となる。これに対し、非OECDは2030年代半ばのピークからは減少するものの、2010年比では23%増となる。

図21 | 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

気候変動問題への対処——IEEJ Outlook 2018再掲

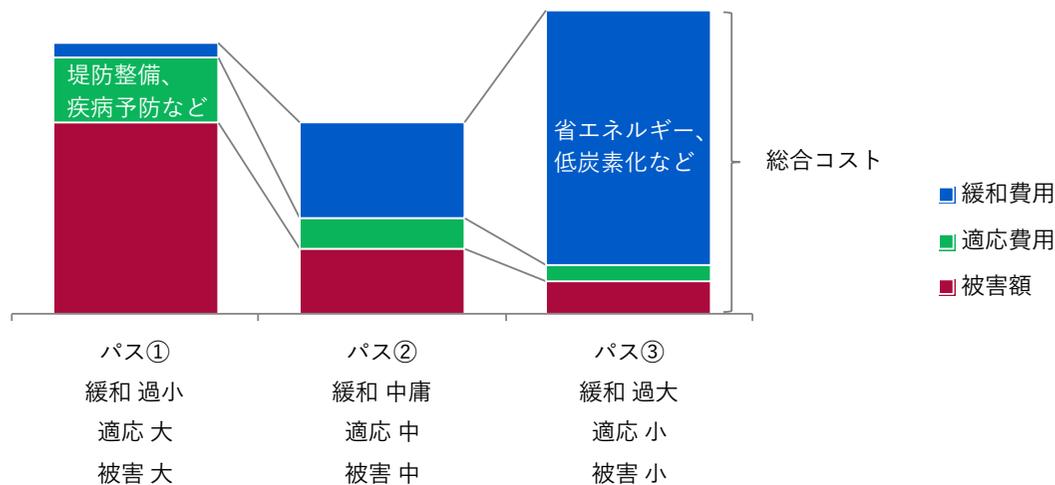
気候変動問題は、広範な領域に影響し、かつ何世代にもわたる長期的課題である。いつ、どのような、どの程度の対策を講じてゆくべきか、よくよく吟味する必要がある。バランスや持続可能という視点に基づけば、消費によって規定される効用を大きくする一すなわち、緩和費用、適応費用、被害額の和である総合コストを小さくするような組み合わせが評価に値する(図22のパス②)。\$100の被害を防止するために\$1,000の費用を投じて排出を削減し堤防を築く—そのようなことを長期にわたり継続するのは相当に困難であり、いずこかで破綻するリスクを否めないからである。

累積総合コストを小さくする「最小費用パス」は、2050年にエネルギー起源CO₂を技術進展シナリオなみに削減することとなるが、GHG排出を現状比半減させなければならぬほどのものではない(図23)。GHG排出は、2050年以降も緩やかに減少を続け、2100年に現状比52%減となる。大気中GHG濃度⁵は、2100年ごろまで緩やかに上昇を続けた後、2150年には550 ppmまで低下する。気温は、19世紀後半と比べ2100年

⁵ CO₂換算。エーロゾル等を含む

に2.4°C、2150年に2.6°C上昇する。すなわち、最小費用パスは極めて野心的なパリ協定の長期目標の達成の将来パスとは異なる姿となる。

図22 | 緩和、適応、被害の総合コストのイメージ



もっとも、これらは条件次第で異なった姿にもなりうる。例えば、気候感度⁶が3.0°Cではなく1.9°Cである場合、最小費用パスでは緩和対策が先送りされるものの、気温上昇は2°C程度に収まる。単純計算すると気候感度1°Cの違いで2200年の気温に0.5°C程度の差が生じる。また、割引率として2300年までの期間平均2.5%ではなく1.1%を採用する場合⁷、将来発生する費用がより高めに評価されるため、早急に緩和を行うパスが最適と評価される。気温は2100年頃に2°Cまで上昇し、その後は低下していく。単純計算すると割引率1%ポイントの違いで2200年の気温に0.5°C程度の差が生じる。

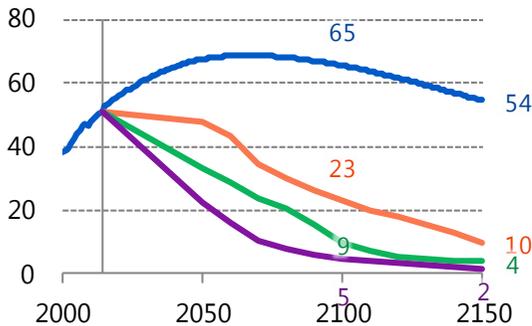
一方、国際政治・交渉の場における「2°C目標」への尊重を鑑みれば、気温上昇抑制へ上述の最小費用パスより強力に取り組むパスの検討も有益である。例えば、累積総合コストを可能な限り小さくする原則を堅持しつつ、2150年における気温上昇幅を2°Cに抑えるためには、最小費用パスより追加的な削減が必要となる。この「2°C最小費用パス」の下でのGHG排出は、2050年に2010年比31%減、2100年に80%減となる。

⁶ 大気中のGHGのCO₂換算濃度が倍増した場合の平均気温の上昇幅(°C)

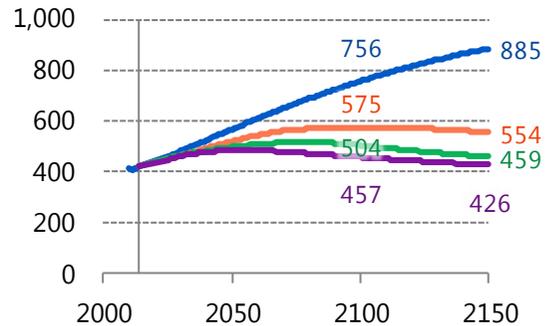
⁷ 期間平均2.5%はラムゼイ・ルールにおける時間選好率 $\delta = 0.5\%$ 、限界効用の対消費弾力性 $\eta = 2$ に相当。期間平均1.1%は $\delta = 0.1\%$ 、 $\eta = 1$ に相当。

図23 | 超長期パス

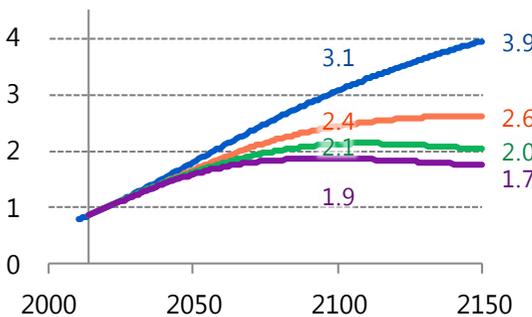
GHG排出(GtCO₂)



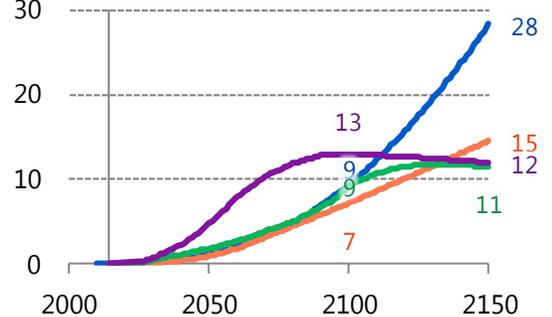
大気中GHG濃度(ppmCO₂-eq)



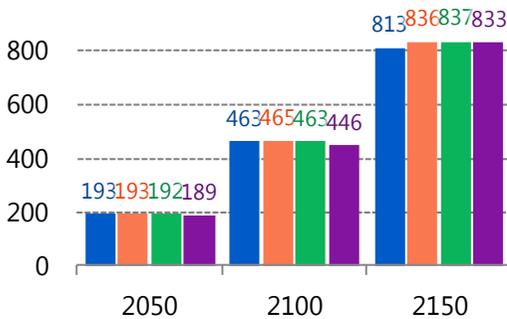
19世紀後半からの気温上昇(°C)



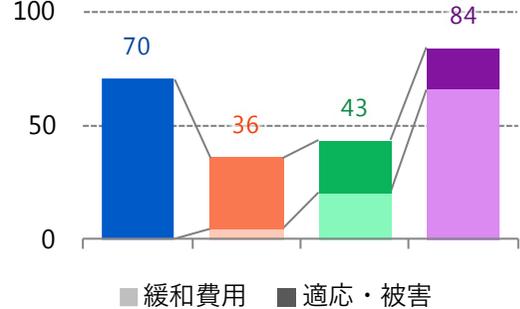
総合コスト(2010年兆ドル)



GDP (2010年兆ドル)



累積総合コスト(2010年兆ドル、現在価値)



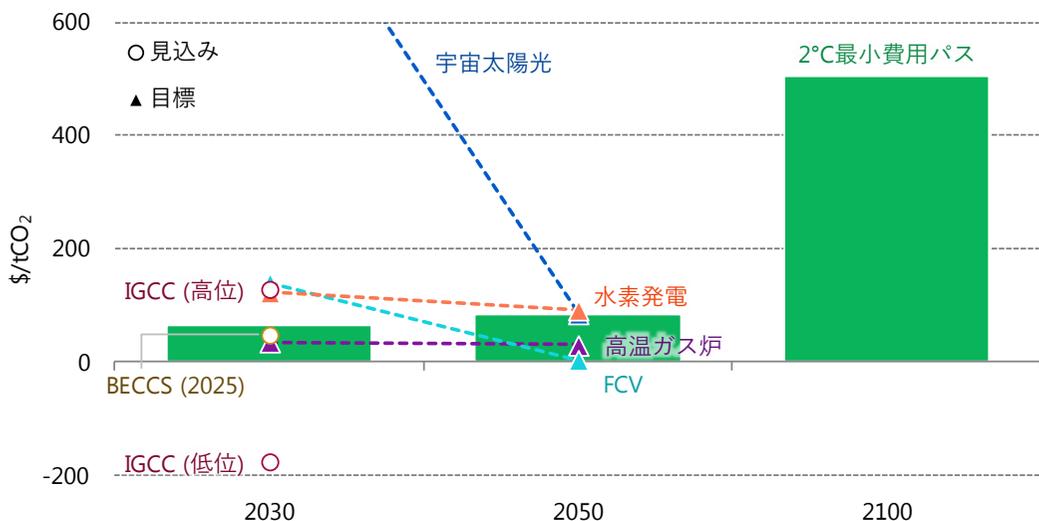
■ レファレンス ■ 最小費用 ■ 2°C最小費用 ■ 2050年半減

注: 大気中GHG濃度はエアロゾル等を含む。累積総合コストは2015年-2500年

2°C最小費用パスの実現には、革新的技術の開発・普及が不可欠である。革新的技術のすべてが、現状、技術面、社会の受容性などで課題を抱えており、その克服のためには個別の技術開発と同時に国際協力も重要である。

また、これらの技術は十分に低廉化されていなければならない。2°C最小費用パスにおける暗黙的なCO₂削減コスト(2010年実質)の最高値は、2050年に\$85/tCO₂、2100年に\$503/tCO₂である(図24)。累積総合コストを小さくする原則が規定する最小費用パスでは、少なくとも技術のコストがこのCO₂削減コストを下回らなければ、その技術は導入されない。さらに、他の競合技術より廉価でなければ、競合技術の導入ポテンシャルに制約がない限り、経済合理的に選択されることはない。革新的技術には革新的なコスト低減も求められる。BECCSや水素発電、FCV、高温ガス炉、宇宙太陽光などの革新的技術の目標コストは上記CO₂削減コストの概ね範囲内にあり、2°C目標はこれらの技術を活用することができれば、十分に達成可能となる。

図24 | CO₂削減コスト



注: 2°C最小費用パスは、同パスの各時点で採用された技術のうち最も高いもののコスト(炭素価格)で、2010年実質。目標・見込みの前提条件・野心度合いなどは各技術で異なる。

計算の主要な前提:

[高温ガス炉] 原子力科学技術委員会「高温ガス炉技術開発に係わる今後の研究開発の進め方について(案)」を参考に、30万kW発電炉の建設費約5億ドルと想定。

[石炭ガス化複合発電(IGCC)] OECD/NEA "Projected Costs of Generating Electricity 2015 Edition"を参考に、建設費\$1,200/kW - \$2,900/kW、発電効率50%-52%と想定。

[燃料電池自動車(FCV)] 水素・燃料電池戦略協議会「水素・燃料電池戦略ロードマップ」を参考に、2050年の車両価格\$25,000(従来車と同等)、燃費115 km/kg(ガソリン換算燃費31 km/L)、水素小売価格\$0.5/Nm³と想定。

[水素発電] 水素・燃料電池戦略協議会「水素・燃料電池戦略ロードマップ」、IEA "Technology Roadmap: Hydrogen and Fuel Cells"を参考に、2050年の水素プラント引き渡し価格\$0.15/Nm³、建設費\$1,200/kW、発電効率57%と想定。

[宇宙太陽光] 宇宙システム開発利用推進機構「発電電一体型宇宙太陽光発電システム2006モデル研究開発ロードマップ 2016年度改訂版」を参考に、2050年の発電単価目標として\$100/MWhを使用。

[CCS付きバイオマス発電(BECCS)] IRENA "Renewable Power Generation Costs in 2014"より、バイオマス発電単価\$130/MWh、IPCC "Special Report on CCS"よりCO₂回収貯留コスト\$70/tCO₂をもとに推計。

エネルギー供給障害のリスクと影響

石油の供給障害

石油の供給障害は、伝統的なエネルギー安全保障の議論の中核をなしてきた。これまで、生産-輸送-国内供給の各段階で、事故や故障、自然災害、あるいは社会や経済全体に及ぶ構造的な要因に起因してさまざまな供給障害が発生し、現在もそのリスクは存在している。

表1 | 石油供給障害リスクとその事例

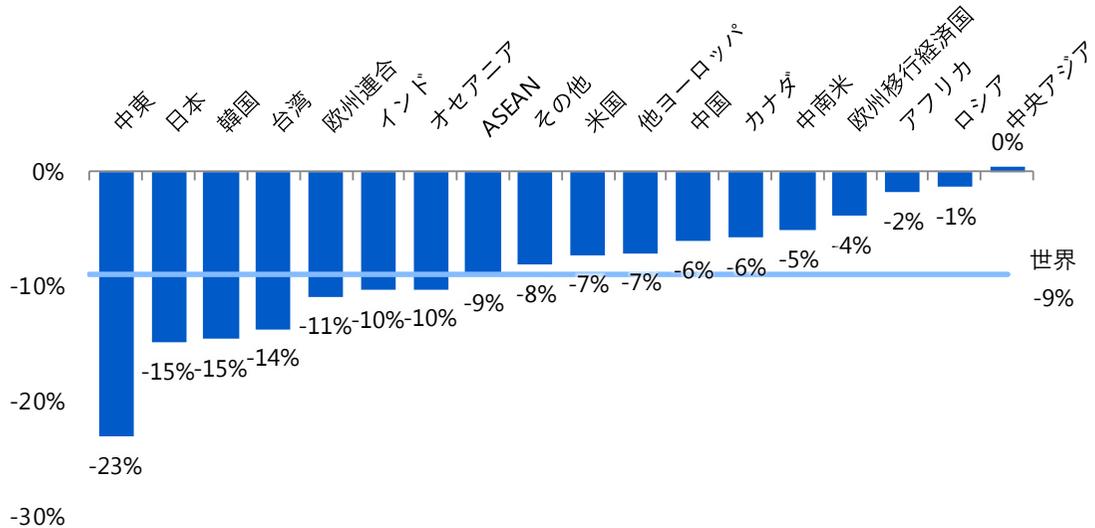
	リスク	事例
生産	事故や故障、自然災害など偶発的な事象による生産設備の破壊や操業停止 政変やテロによる生産設備の破壊や操業停止 政治的な意思や戦略による輸出停止	1973年: OAPC諸国による米国、オランダ向け禁輸措置 2005年: ハリケーンによる米国メキシコ湾岸の原油生産設備停止 2018年: 内紛による生産停止、港湾の封鎖などによってリビアからの原油輸出が一部停止
輸送	事故や故障、自然災害など偶発的な事象による設備の破壊や操業停止 テロや海賊行為による輸送手段(輸送船、パイプライン等)の破壊や運行停止 政治的な意思や戦略、軍事行動による輸送路の遮断	1984-88年: イラン-イラクによる「タンカー戦争」 2011年: テロによるエジプトからイスラエルに至るガスパイプラインの破壊 2018年: イエメンの武装勢力による原油タンカー攻撃
国内供給	事故や故障、自然災害など偶発的な事象による供給設備の破壊や操業停止 テロによる供給設備の破壊や操業停止	2011年: 東日本大震災による製油所、油槽所の損傷、港湾や鉄道、道路の破壊による石油供給の停止

直近では、米国のイラン核合意からの離脱に伴う対イラン制裁の復活が、石油供給に影響を及ぼすことが懸念される。シナリオ分析の結果によると、イラン産原油の輸出(約2.5 Mb/d)が完全に無くなる場合、OPEC余剰生産能力の逼迫から原油価格が高騰するシナリオが考えられる。逆に、米国発の貿易摩擦が激化するシナリオでは、世界経済の減速から石油需給が緩和し、価格が低下するシナリオが考えられる。

石油供給途絶の影響は大きい。仮に中東の原油生産が10 Mb/d落ち込み、他の国・地域がこれを補う増産を行えない場合を想定すると、世界経済は9%も縮小する(図25)。供給障害の震源地である中東を除けば最も大きなダメージに襲われるのが、日本、韓

国、台湾である。他の原油の純輸出国・地域も悪影響とは無縁ではおられず、中央アジアを除き絶対利得を得られる国・地域はない。

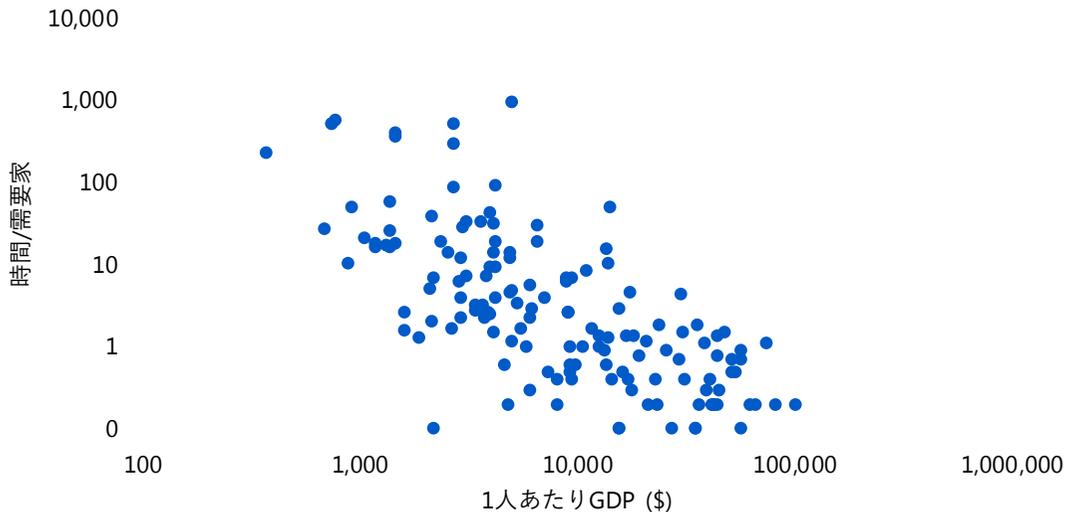
図25 | 中東の原油生産10 Mb/d減少による実質GDPへの影響



電力の供給障害

- 電力の供給障害は停電という形で現れる。国際的に見ると停電には地域差が大きく、低所得国の中には停電時間が年間1割を超える国もある。先進諸国では需要家あたり年間停電時間が1時間未満であることが多く、近年では送配電自動化の進展により大都市を中心に数分程度に収まることもある。大規模自然災害で停電に至ることも多いが、数日以内に大部分の需要家への供給が復旧するようになってきている。
- その一方でIT化の進展で需要家が求める電力供給品質が向上しているのに対し、①特定のエネルギー源依存の高まり、②太陽光発電導入拡大に伴う純負荷のダックカーブ化、③経済性に伴う発電所停止、④サイバー攻撃が、新しいリスクとして注目されるようになっており、リスクの評価方法を含めて議論が行われている。
- 2018年9月に北海道胆振東部地震を起因として北海道全域で発生した停電は、国民生活や経済活動における電力の重要性を改めて思い起こさせることとなった。電力広域的運営推進機関が原因の分析を進めているが、この経験をもとに、電力の供給安定性を強化するための議論が展開されるとみられる。

図26 | 所得水準と停電時間[2015年]



出所: World Bank "Doing Business database"および"World Bank Open Data"

石油と電力の対比

- 伝統的に供給障害の対象として議論されてきた石油と比べると、電力供給障害の地理的広がりには狭い。先物市場が発達した石油の場合、物理的な供給量の制限はもとより、国際市場の価格高騰という形で、支障の影響は短期間のうちに世界経済の隅々にまで及ぶ。これに対して電力では、多くの場合は影響が国・地域内に限定される。
- 供給障害への対応では、多角化・冗長化・分散化など両者で共通する点が多い。石油では輸入相手国や輸入経路の多角化、製油所や油槽所の地理的分散化、供給網の冗長化であり、電力では発電所の燃料種の多角化や地理的分散化、送配電網の冗長化である。これらが、支障が発生するリスクを引き下げ、また発生した際の対応力を高めることにつながる。ただし、インフラの多角化、冗長化はコスト増を意味するため、セキュリティの強化と経済合理性の追求という2つの命題の間の難しいバランスが必要となる。なお石油については、中東を中心とした産油国経済の多角化・安定化を支援することも重要である。
- 石油では、多くの場合は緊急時対応を目的とした備蓄があり、また国際エネルギー機関に加盟する国の間では国際的に協調して対応する体制も整えており、対応力の確保が制度的に担保されている。これに対して電力では、現在の技術では大規模かつ長期間にわたって経済的に貯蔵することができないため石油備蓄に類するものがないことに加え、供給障害時に必要な予備発電能力の確保が、制度的に十分に保障されて

いない。先進国の例でみると、自由化以前のように大手電力会社の自主的な判断に依存した予備力の維持は難しく、これを担保する制度が必要となる。

他方で、電力では、人工知能(AI)による需給予測精度の向上やモノのインターネット(IoT)を活用した需要の管理、電気自動車の蓄電池と組み合わせた需給調整など、技術革新によってこれまでは想像できなかったような安定供給対策も可能になりつつある。現実の脅威となりつつあるサイバー攻撃への対策も含め、電力市場においても適切なセキュリティ制度を構築していくことが望まれる。

表2 | 石油と電力の供給障害の特徴

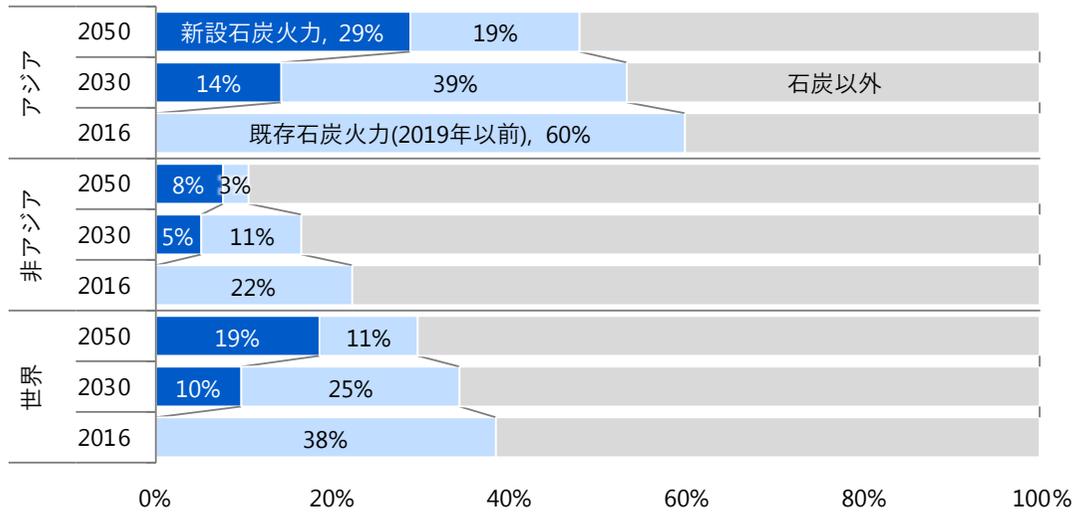
	石油	電力
影響の地理的広がり	広い	狭い
需要の代替性	高い	低い
供給障害への対応	輸入相手国/経路の多角化 国内設備の地理的分散化 国内供給網の冗長化 産油国経済安定化の支援 備蓄	発電燃料の多角化 発電設備の地理的分散化 送配電網の冗長化 予備発電能力

注: 影響の地理的広がりが必要代替性の評価は、石油と電力の相対的な関係を表す。

石炭火力発電所新設禁止の影響

世界のエネルギー起源CO₂排出はレファレンスシナリオでは2050年までに10 Gt増加するが、その過半は発電部門の直接排出によるものである。こうしたトレンドを背景に、石炭火力発電に対し昨今とみに厳しい視線が一部より投げかけられている。ことアジアでは、現状から大幅なエネルギー変革となる脱・石炭を行うには克服すべき課題が山積しているが、ここではそうした現実社会における種々の問題を認識しつつもひとまず脇に置く。そして、石炭火力発電所の新設を2020年以降、全面的に禁止する状況を仮想的に設定してシミュレートする(石炭火力新設禁止ケース)。

図27 | 発電量構成[レファレンスシナリオ]

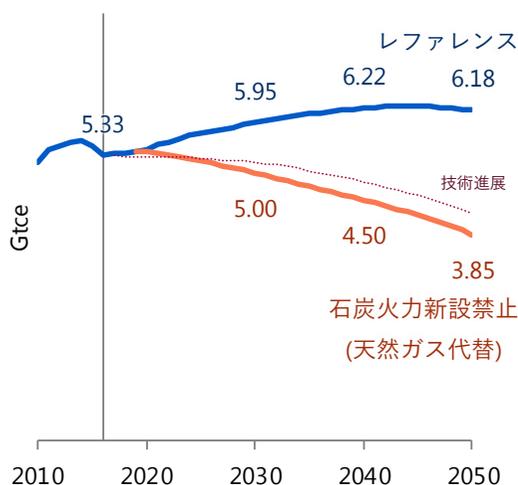
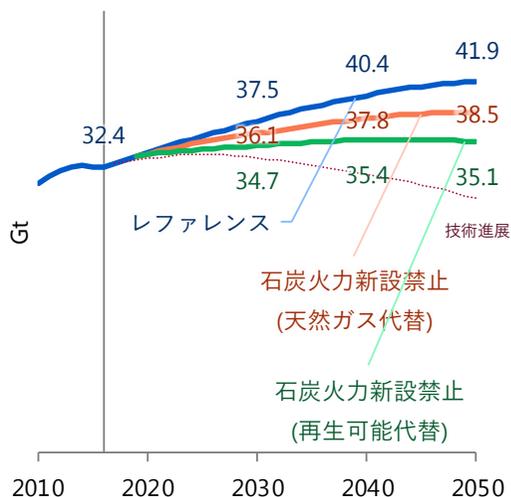


石炭火力発電所新設禁止で得られる効果

- 建設されるはずであった石炭火力発電所——2050年時点で1.6 TW——が他で代替されることで、2050年における世界の石炭一次消費は現在の7割強の3.8 Gtceまで減少する(図28)。レファレンスシナリオからの減少量2.3 Gtceは、技術進展シナリオでの減少量を上回り、世界一の石炭大国・中国の現生産量に比肩する。その大部分は、アジアにおけるものである。
- 世界のエネルギー起源CO₂排出は、レファレンスシナリオでは42 Gtまで増加するが、新設石炭火力発電所による電力を天然ガス火力発電で代替した場合はそこから3 Gtの抑制、太陽光発電・風力発電で代替した場合は、世界第2位の排出国・米国と第3位インドの現排出量の和に匹敵する7 Gtの抑制につながる。しかしながら、後者の排出量35 Gtでも、足元から減少とはならない。注目される脱・石炭火力発電ではあるが、これのみで気候変動問題が解決できるわけではない。

図28 | 石炭火力発電所新設禁止で得られるメリット

世界の石炭一次消費

世界のエネルギー起源CO₂排出

不可避な副作用——価格の上昇、自給率の低下など

■ 新設石炭火力発電所に代えて天然ガス火力発電を用いると、世界の天然ガス一次消費は2050年に7.3兆m³ (Tcm)に達する(図29)。レファレンスシナリオからの追加的な消費量1.3 Tcmは、米国とロシアの現生産量の和(世界シェア38%)に相当する膨大なものである。劇的に拡大する消費を満たすには、可能な資源はすべて——深海や北極海地域のような技術的に困難なものも——開発するという姿勢で臨む必要がある。

■ 天然ガスの消費が特に増大するのがアジアであるのに対し、増産の主軸となる地域は中東、非OECDヨーロッパ、北米であることから、天然ガス貿易、とりわけLNG貿易を拡大させることが欠かせない。2030年において必要となるLNG貿易量は、現在の2.9倍の750 Mtにも上る。これは、現在比較的確証の高い開発計画を有するすべての液化プラント案件が予定どおり実現した場合の供給量(720 Mt程度)でも不足する規模である。

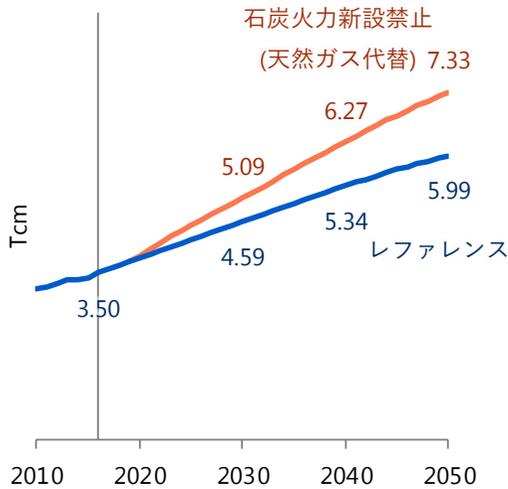
■ こうした急激な生産と貿易の拡大を実現できたとしても、アジアはエネルギー安全保障上の新たな問題の種を抱え込むことになる。すなわち、天然ガス資源に乏しいアジアは、域外からの輸入に頼らざるを得ない。その天然ガス自給率は、現在の69%から2050年には現在の半分近い36%まで急落する。

■ 天然ガス消費の増加はアジアにおいて顕著であるが、その影響が及ぶ範囲はアジアにとどまらない。消費の大きな上振れによる天然ガス価格の高騰は、世界全体を覆い

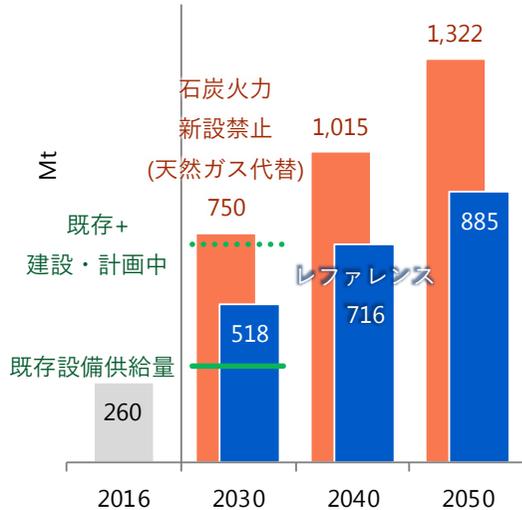
尽くす。2050年には、輸出が最も大きく増加する米国で\$15/MBtu（2017年実質）、ヨーロッパで\$18/MBtu、日本で\$20/MBtuまで跳ね上がると想定する。これにより、発電用天然ガス消費の上振れが小さなOECDヨーロッパでも、天然ガス純輸入額は4,000億ドルに膨れ上がる。

図29 | 石炭火力発電所新設禁止による天然ガスへの影響

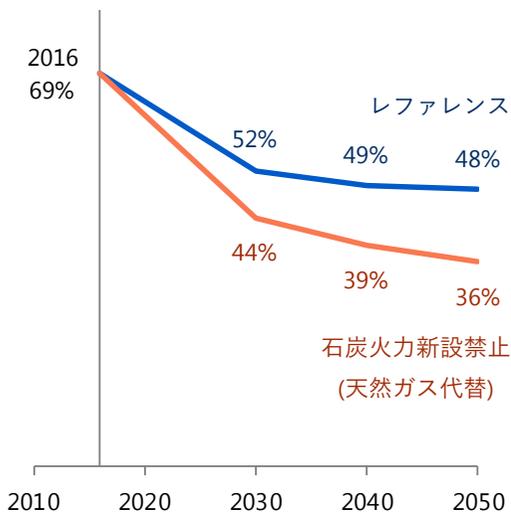
世界の天然ガス一次消費



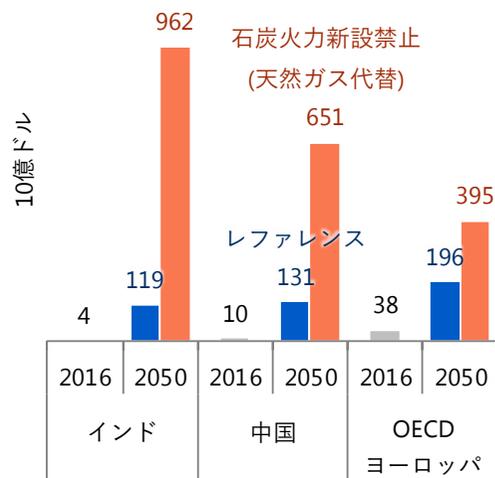
世界のLNG需要



アジアの天然ガス自給率



主要国・地域の天然ガス純輸入額

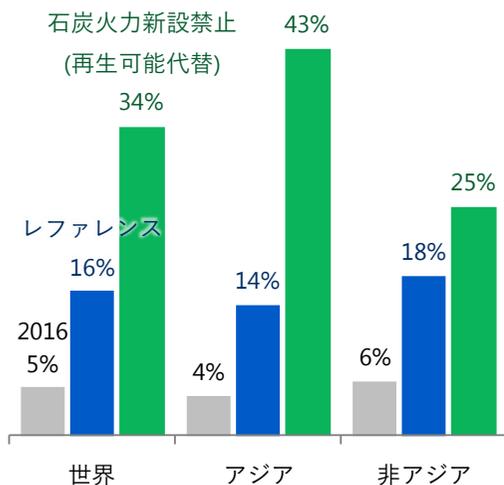


あるいは、石炭火力発電量の減少分を太陽光発電・風力発電で埋め合わせると、2050年における太陽光・風力等発電構成比は、世界で34%、アジアでは43%にも達する(図

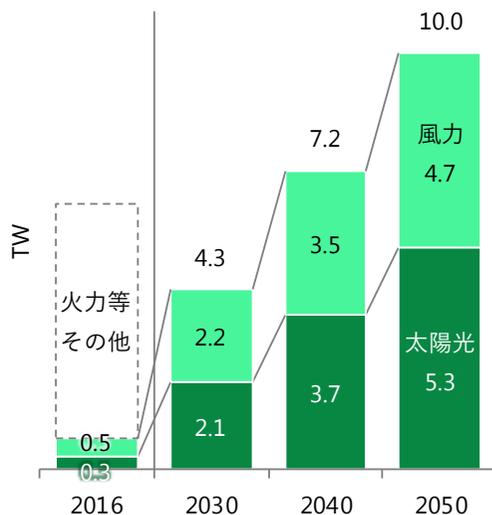
30)。これに必要な太陽光・風力発電設備は、好条件が揃うものとして少なく見積もっても世界で10.0 TW——現在の火力・再生可能・原子力を合わせた総発電設備容量の1.6倍に相当——、アジアでは7.2 TWにもなる。大量導入実現に向けた持続可能な促進策が欠かせない。

図30 | 石炭火力発電所新設禁止による太陽光・風力発電への影響

太陽光・風力等発電構成比[2050年]

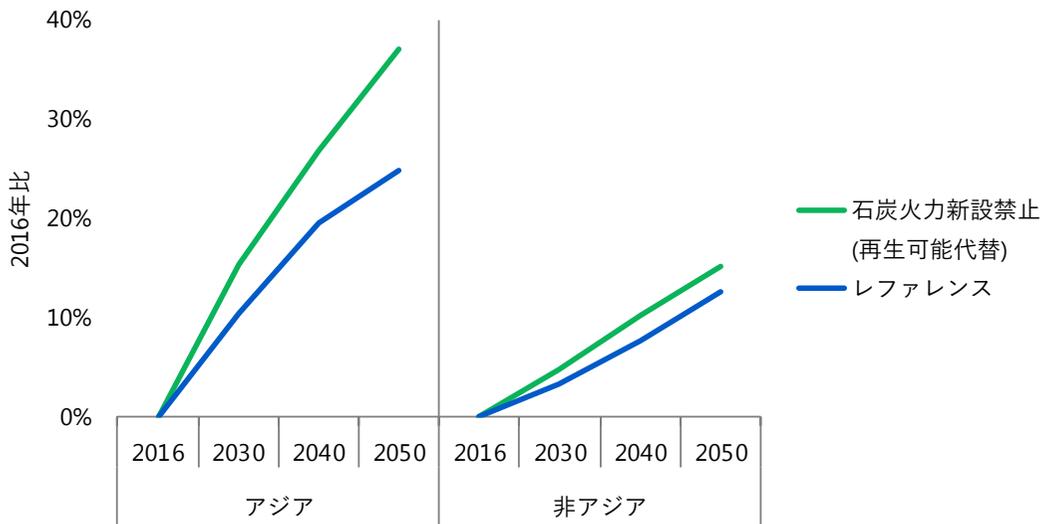


世界の太陽光・風力発電設備容量[石炭火力新設禁止(再生可能代替)ケース]



太陽光や風力といった間欠性の再生可能電源を大量に導入しつつ電力の安定供給を維持するには、抜本的な措置が必要となる。それらは、設備の導入や運用体系の根本的な変革などを要請し、電力コストを押し上げることになる(図31)。さらには、再生可能電源大量導入を促すための経済的インセンティブの原資——現状多くの国でその負担の大きさが問題となっている——も、電力コスト上昇に拍車をかける。その程度はアジアにおいて顕著となる。エネルギー貧困や競争力劣後といった問題を誘発しないよう、電力安全保障への十分な目配りが必要である。

図31 | 石炭火力発電所新設禁止による電力コストへの影響「概数」



注: 発電設備の設備費、燃料費、電力系統対策費を含む。2010年実質価格ベース。再生可能エネルギー発電の設備費は、2050年にかけて低減してゆくと想定。低減率(太陽光で2050年までに30%程度、風力で10%程度)は、IEA “World Energy Outlook 2016”を参考にした。導入量のレファレンスシナリオからの上積みによるコスト低減は考慮していない。電力系統対策費は、OECD/NEA “The Full Costs of Electricity Provision” (2018)を参照して設定。地域特性は考慮していない

Victoria concordia crescit (勝利は調和から生まれる)

発電部門の低炭素化が気候変動対策の1つとして欠かせないことは、衆目の一致するところである。石炭火力発電を早急に廃止できる国・地域は、着実にこれを推進すべきである。一方、アジアで同じ動きを展開するには、克服しなければならない高い障壁が眼前にそびえている。脱・石炭火力発電を世界で推進するアジア外の先進国は、アジア発展途上国のエネルギー大変革を資金的・技術的に支援する覚悟も決める必要がある。

現実的に脱・石炭火力発電が今は難しいあるいはよりふさわしいCO₂削減手段がある国・地域は、取り組みの優先順位を冷静に見極めざるを得ない。脱・石炭火力発電は手段の1つに過ぎず、目的は気候変動問題への対応であることを取り違えてはならない。もちろん、そうした国・地域であっても、低効率石炭火力発電所は早々に高効率なものに転換しなければならない。さらに、石炭火力発電への依存を低減できるようになる環境の整備にも並行して尽力しなければならない。

より大きくとらえれば、気候変動問題は人類が抱える課題の1つではあるが、唯一のものではないことを多くの人が思い起こすであろう。石炭火力への対応に限らず各種のアクションを起こすに際しては、悪い副作用を減殺できるような対応の用意が

欠かせない。各国・地域の実情を十分顧み、調和のとれた判断を下したうえで、現実的な道を歩むことが、持続可能な開発という地球大の課題と真に誠実に向き合うことにつながる。

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

図1-2 | 技術導入の想定例[技術進展シナリオ]

<p>環境規制や国家目標の導入、強化 国家的戦略・目標設定、省エネ基準、燃費基準、低炭素燃料基準、省エネ・環境ラベリング制度、再生可能エネルギー導入基準、固定価格買取制度、補助金・助成制度、環境税、排出量取引等</p>	<p>技術開発強化や国際的な技術協力の推進 研究開発投資の拡大、国際的な省エネ技術協力(鉄鋼、セメント分野等)や省エネ基準制度の構築支援等</p>
<p>【需要サイドの技術】</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 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 	<p>【供給サイドの技術】</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 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。

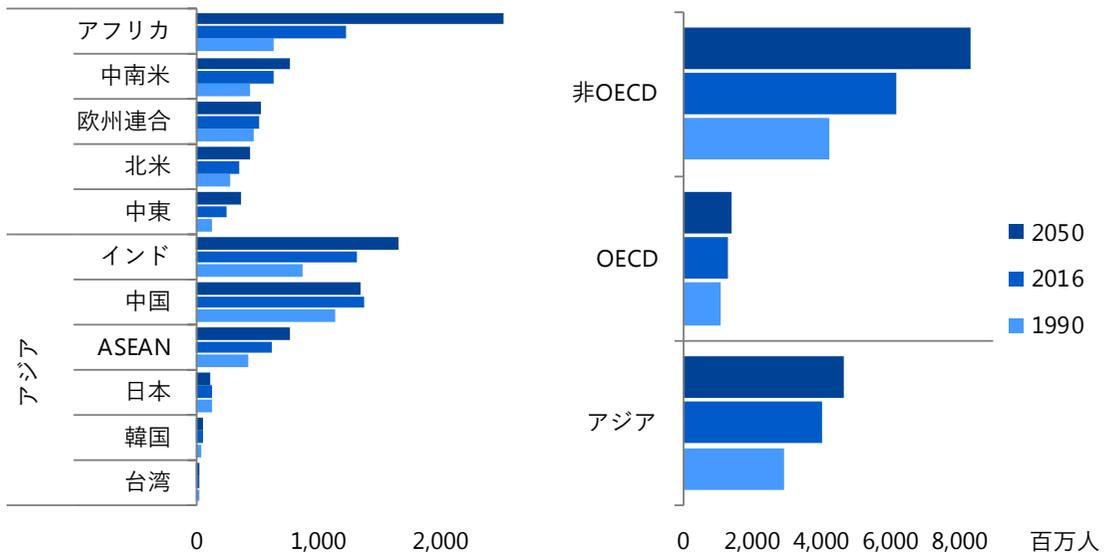
人口

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、2016年に74億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、付表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。2016年には高齢人口が年少人口の2倍を超えており、今後もいっそうの少子高齢化が進む。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2.2%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、国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17億人に達する。現在、最大の人口を擁する中国は、2030年頃には14億1,500万人でピークを打ち、その後2050年に向けて約7,500万人減少する。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、2016年には54%であった世界シェアは、2050年にはおよそ48%にまで縮小する。

経済

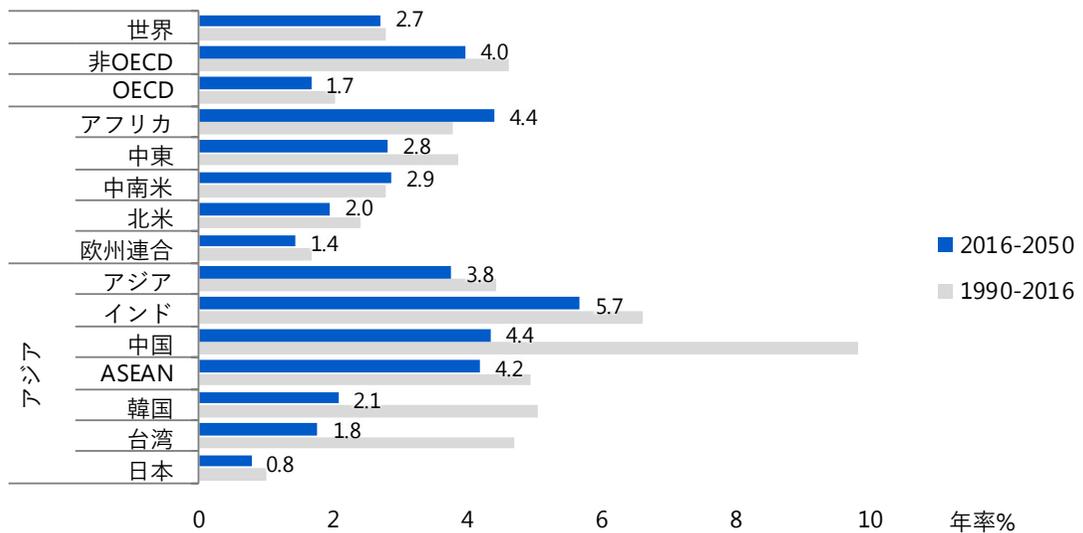
世界経済は足元では、原油価格の上昇や貿易摩擦の激化、国内における政治の不確実性などに伴い、各国の経済成長にばらつきが生じている。世界最大の米国経済は、貿易政策などトランプ政権の政策動向に不安感があるものの、雇用・所得環境の改善、税制改革による家計向けの減税効果もあり、OECDの中では顕著な成長を見せている。また、米国に次ぐヨーロッパ経済は、米国との貿易摩擦など不確実性はあるが、東欧を中心に経済成長が続いている。世界第3の経済規模を持つ中国経済は減税効果に伴い景気が加速し始めているが、米国の関税引き上げに対する報復措置があり、先行きは不透明である。一方、原油価格は上昇してきているものの、協調減産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。さらに、トルコなど一部の新興国では米国の貿易政策の変化に伴い、経済の縮小が進んでいる。

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。その中で今後、世界経済の新たなけん引役として存在感を増してゆくのがインドである。インド経済は、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5.7%で成長する。また、ASEANも年率4.2%の成長率を維持する。

このように、アジア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、内需主導型の経済への移行という長期的な課題には届いていない。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輸出主導型の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2.7%と想定した(図1-4、付表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2018年9月平均では\$70/bbl前後まで上昇している。しかし、OPECの協調減産がいつまで守られるのか、先行きは不透明である。

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の石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(2017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\$123/bbl、2050年には\$240/bblに達する。

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、2017年の\$8.1/MBtuから2050年にかけて、レファレンスシナリオにおいて\$10.8/MBtuに上昇すると

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いくと想定する。一方、足元では米国産LNGによる価格低減の効果は限定的である。また、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。

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		
		2017	2030	2040	2050	2030	2040	2050
原油	\$2017/bbl	54	95	115	125	80	80	80
天然ガス								
日本	\$2017/MBtu	8.1	10.5	10.7	10.8	9.9	9.9	9.9
ヨーロッパ(英国)	\$2017/MBtu	5.8	8.2	8.8	8.9	7.8	7.8	7.9
米国	\$2017/MBtu	3.0	4.2	5.0	5.2	3.8	3.9	4.0
一般炭	\$2017/t	99	96	107	111	85	85	85

名目価格			レファレンス			技術進展		
		2017	2030	2040	2050	2030	2040	2050
原油	\$/bbl	54	123	181	240	103	126	154
天然ガス								
日本	\$/MBtu	8.1	13.5	16.9	20.8	12.8	15.6	19.0
ヨーロッパ(英国)	\$/MBtu	5.8	10.6	13.9	17.1	10.1	12.3	15.2
米国	\$/MBtu	3.0	5.4	7.9	10.0	4.9	6.1	7.7
一般炭	\$/t	99	124	169	213	110	134	163

注: インフレ率を年率2%として算出。

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。

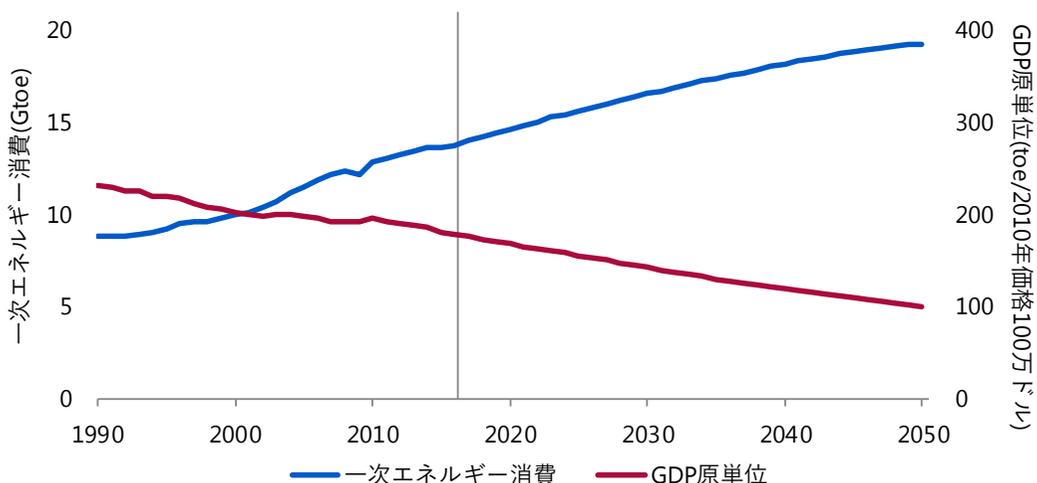
2. エネルギー需要

2.1 一次エネルギー消費

世界

近年、世界の一次エネルギー消費量は、経済が堅調に成長しているにも関わらず、その増加スピードが鈍化している。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⁸で見ても0.52から0.20へと大幅に低下した。この動きをもって、いわゆるエネルギーと経済のデカップリングが進んでいるとの見方がある。たしかにOECDの消費量は2007年をピークに減少しており、デカップリングと言える状況にある。しかし、非OECDの消費量は堅調に増加しており、足元の動きは中国の経済減速に伴う鉄鋼やセメントなどの生産調整による一時的な事象と見られる。「中国能源発展報告2017」によれば、中国の2017年の総エネルギー消費量は前年比2.9%増で、増加率は2016年よりも1.5パーセントポイント(%p)高くなっている。

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



⁸ 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

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2016年の石油換算13,761百万t (Mtoe)から2050年には19,275 Mtoeへと1.4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1.0%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0.37)。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(特に非OECDでは)困難であることも示唆している。

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]

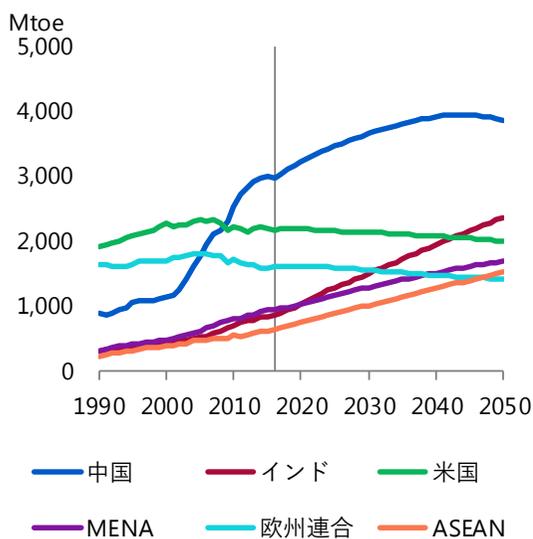
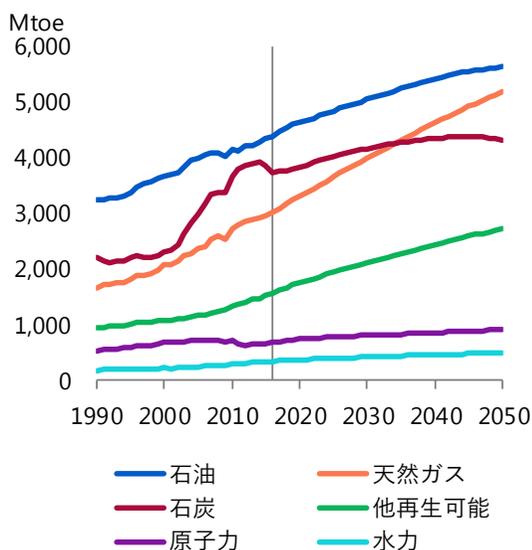


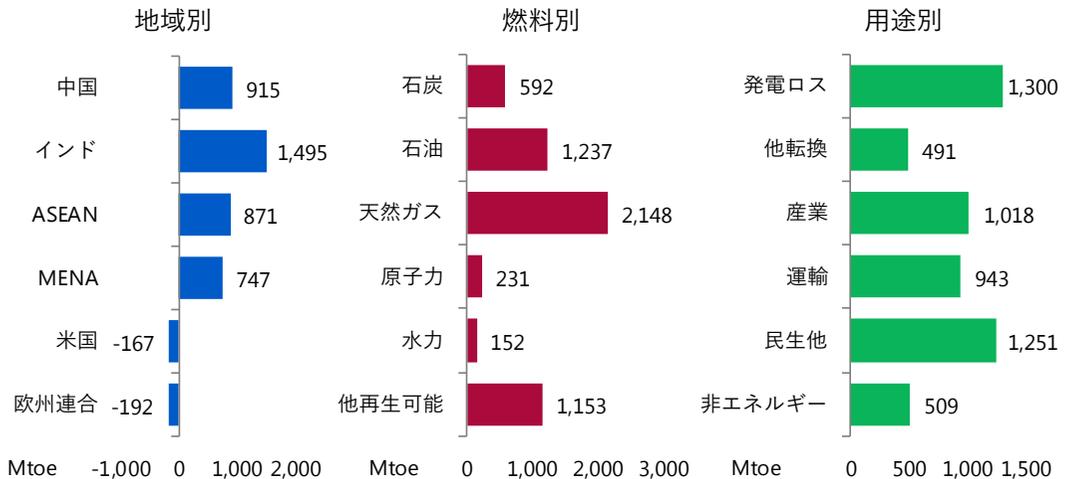
図2-3 | 世界の一次エネルギー消費[レファレンスシナリオ]



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、2016年の40%から2050年には47%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年代半ば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。両地域の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20%になり、中国に匹敵する規模になる。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。

図2-4 | 一次エネルギー消費の増加量[レファレンスシナリオ、2016年-2050年]



今後最も増加するエネルギーは天然ガスで、増加量全体の約4割を占める(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年代後半には石炭を抜いて、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0.7%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、石油や天然ガスに比して消費の伸びは緩やかになる(年率0.4%増)。原子力や再生可能エネルギーなどの非化石燃料は、年率1.4%増で増加する。そのうち、太陽光・風力等⁹は年率5.0%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。

⁹ 太陽熱発電、海洋発電も含む。

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]

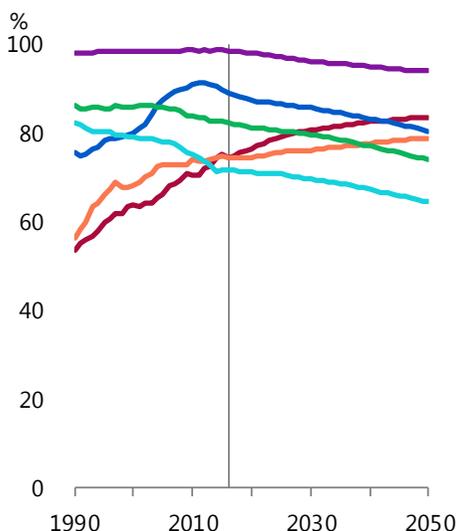
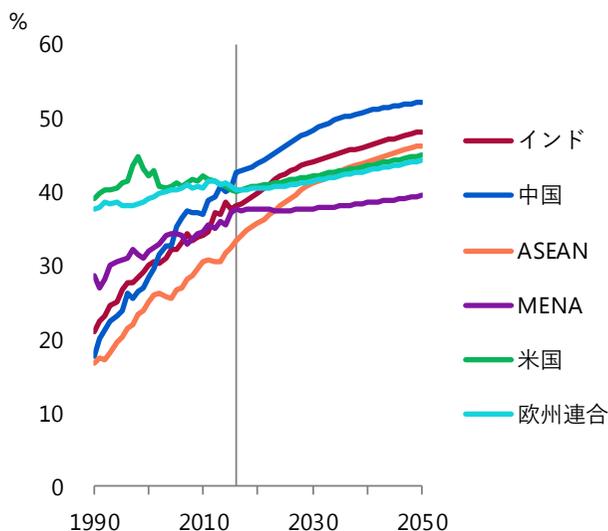


図2-6 | 主要国・地域の電化率(供給側) [レファレンスシナリオ]



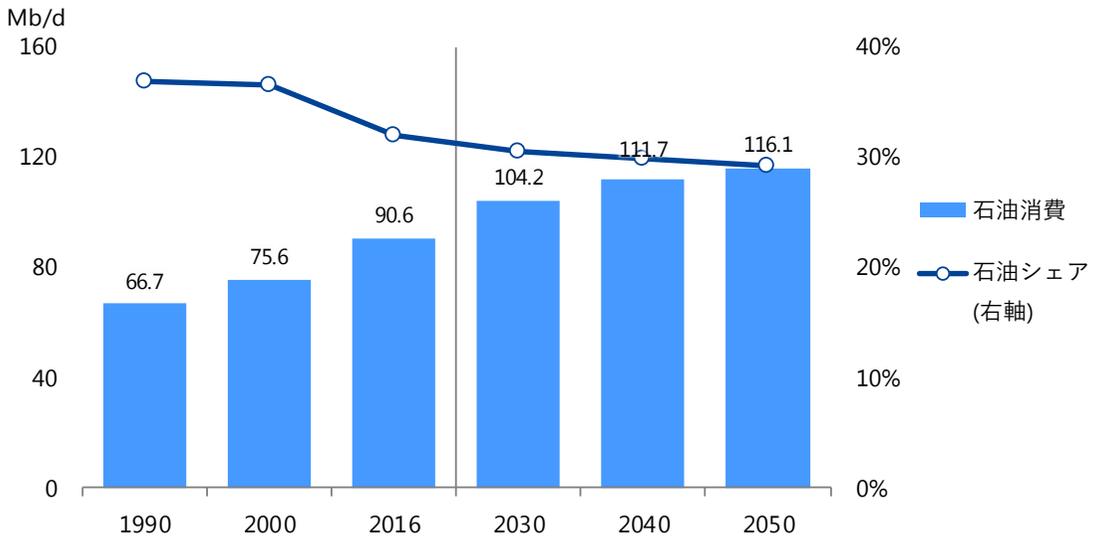
用途別でみると、今後最も大きく増加するのは発電部門におけるエネルギー消費(発電ロス)である(図2-4)。所得水準の向上や未電化地域における電力インフラの整備などを背景に、利便性の高い電力がより多く使われるようになる。そのため、発電のためのエネルギー消費が増大してゆく。供給側からみた電化率¹⁰は、特にアジアで大きく上昇してゆく(図2-6)。電化率の上昇を抑えるには、発電効率の改善や送配電ロスの抑制が求められる。

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。2016年に日量90.6百万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116.1 Mb/dまで年率0.7%程度で増加する(図2-7)。その増分25.5 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)を上回る。一次エネルギー消費に占めるシェアは2016年の32%から2050年には29%まで低下するものの、最も多く消費されるエネルギー源であり続ける。

¹⁰ 一次エネルギー消費に占める発電投入量の割合。

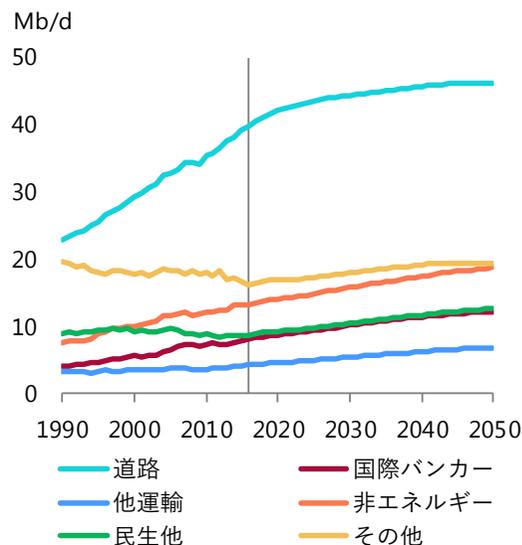
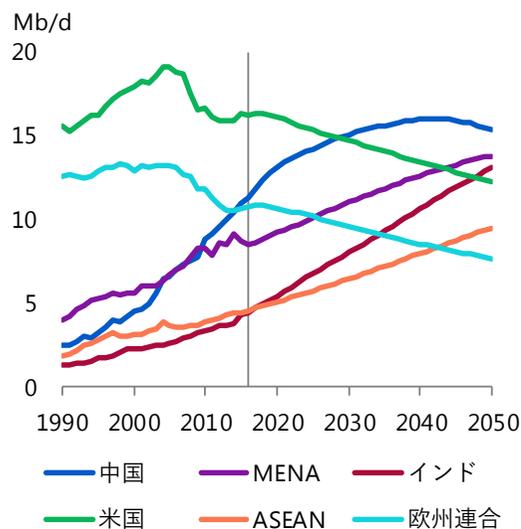
図2-7 | 世界の石油消費と一次エネルギー消費に占めるシェア[レファレンスシナリオ]



OECD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年までに現在よりも9.3 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、非OECD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(30.8 Mb/d)のうち44%が自動車用で、次いで非エネルギー消費が17%、民生他が16%を占める。世界全体の石油消費に占める非OECDの割合は、2016年の48%から2050年には64%まで拡大する。特にアジアへの集中度は約4割に達する。

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年代半ば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、2016年から2050年にかけてそれぞれ2.9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37%から23%へ、インドは19%から4%へ、ASEANは55%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。

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半分以上は、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)。非OECDを中心に、世界の自動車保有台数¹¹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6.5 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1.2%で増加し、2050年には石油消費全体の10%を占めるようになる。次いで、石油化学原料や潤滑油などの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、主に非OECD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56%が運輸部門(うち自動車40%、国際バンカー10%)、16%が非エネルギー消費部門、そして、11%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。

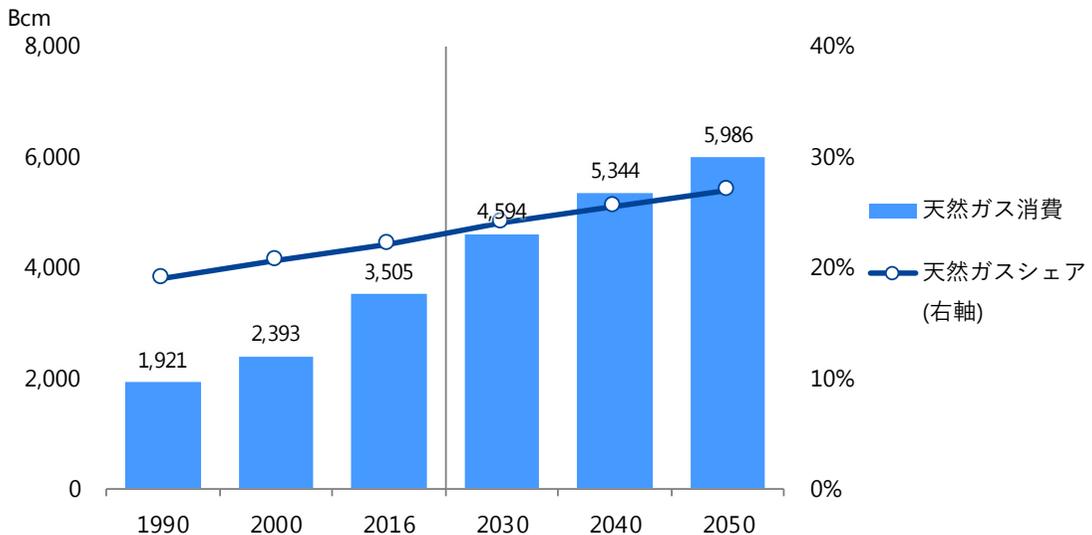
¹¹ カーシェアリングの進展による台数抑制の効果は織り込まれていない。輸送需要が一定であれば、カーシェアリングにより保有台数が低下しても、稼働率の上昇によって自動車燃料への影響は中立的になる。しかし、シェアリングによる輸送需要への影響、さらに言えば、自動運転化による影響なども含めて不透明な点が多く、今後の研究課題としたい。

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2016年の3,505十億m³ (Bcm)から、2050年には1.7倍の5,986 Bcmになる(図2-10)。一次エネルギー消費に占めるシェアは、2016年の22%から2050年には27%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2016年から2050年の間で2,481 Bcm増加するが、この増分の87%が非OECD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非OECDのシェアは53%から67%に拡大する。非OECDの中で、著しい増加が生じるのが、中国、インドおよび中東・北アフリカ(MENA)である。中国の天然ガス需要はこの先34年間で442 Bcm、インドは257 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。中東・北アフリカ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22 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2050年までに108 Bcm拡大し、OECD諸国としては著しい増加を見せる。米国では、2030年頃に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。

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29%となり、石炭との差は1%pまで縮まる。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約4分の3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]

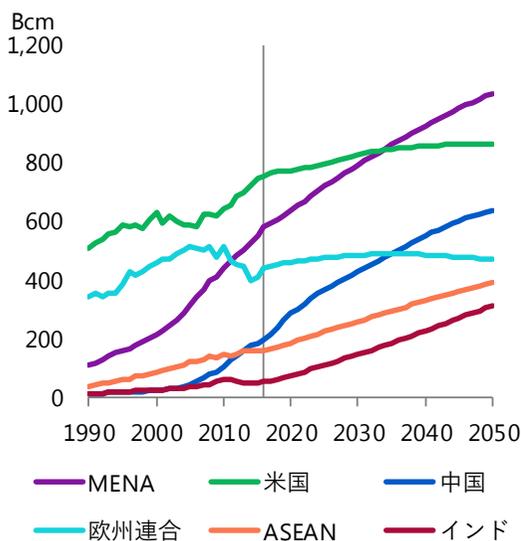
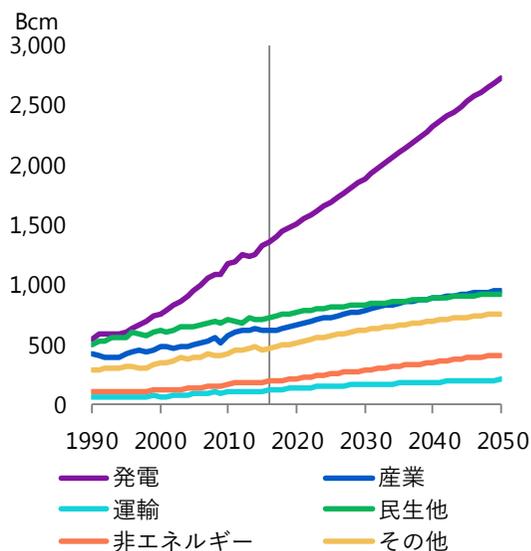


図2-12 | 世界の天然ガス消費[レファレンスシナリオ]



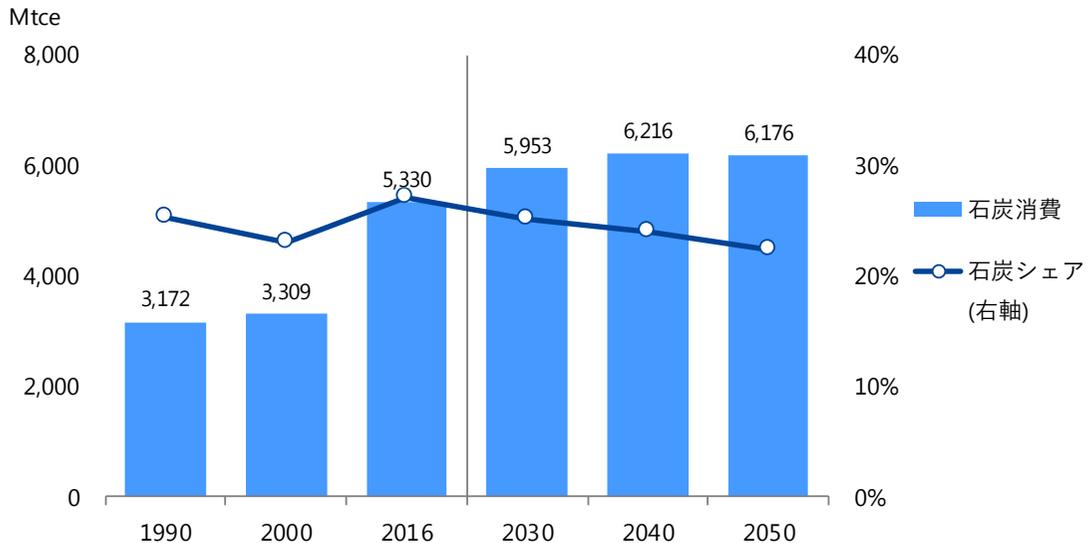
石炭

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年代後半にはピークを迎える(図2-13)。2050年には石炭換算6,176百万t(Mtce¹²)と現在(5,330 Mtce)よりも16%増加するが、その増分の大

¹² 1 tce = 0.7 toe

半は発電用である。一次エネルギー消費に占める石炭の割合は、2016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51%を占める中国では、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4割減と激減するが、一方で発電用が増加するため、2030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42%)。OECD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。OECDにおける石炭一次消費は2050年までに529 Mtce減少(42%減)する一方で、非OECDでは1,375 Mtce増加する(34%増)。この非OECDの増分のうちアジアの増分は91%を占める。中国があまり伸びないなかで、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、発電用で主に増加する(図2-15)。石炭火力発電による消費量は、2050年にかけて年率0.7%で増加して現状の1.3倍となる。もちろん、増加分はすべて非OECDからのものである。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非OECD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(「7章 石炭火力発電所新設禁止の影響」を参照)。

図2-14 | 主要国・地域の石炭消費[レファレンスシナリオ]

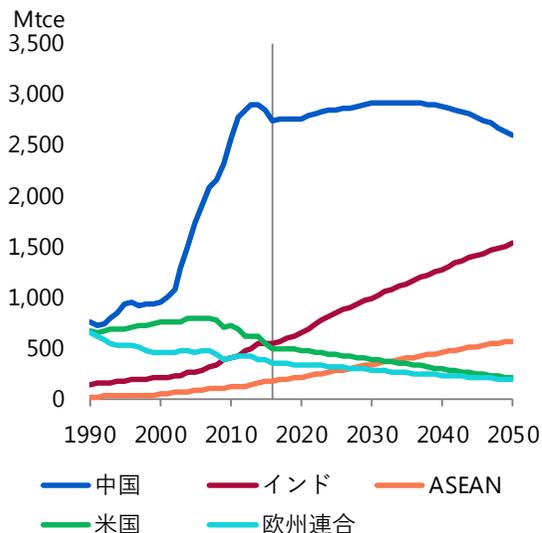
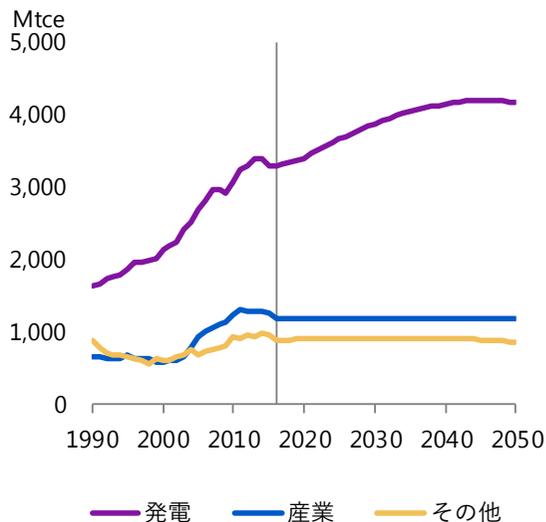


図2-15 | 世界の石炭消費[レファレンスシナリオ]



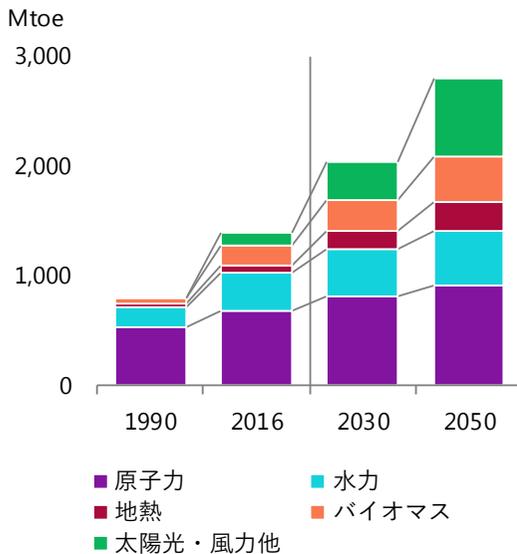
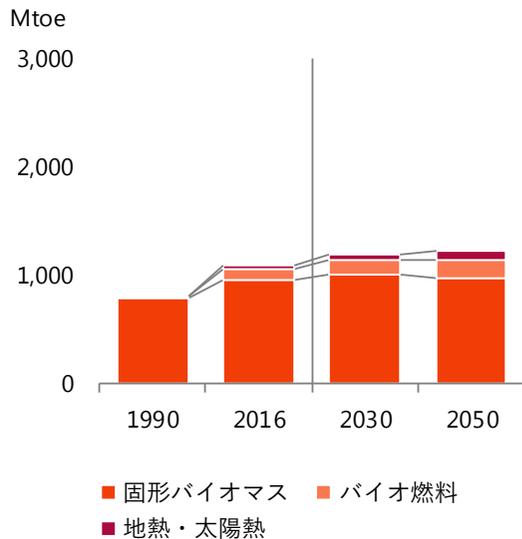
非化石エネルギー

非化石エネルギーは2050年までに1.6倍に増大するが、一次エネルギー全体に占める割合は2016年の19%から2050年には21%とわずかに拡大するにとどまる。現在、非化石エネルギーの53%は発電用で、原子力、水力が大半を占める(図2-16)。一方、熱利用の大半はおも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の9割以上が発電用で、そのうち太陽光・風力他¹³の伸びが最も大きい。太陽光・風力他は2016年の114 Mtoeから、2050年には6倍以上の705 Mtoeへと急速に拡大する。次いで、原子力の伸びが大きく、その消費量は2016年の680 Mtoeから2050年には911 Mtoeへと増加する。ただし、太陽光・風力他、原子力のいずれも一次エネルギー全体に占める割合は小さく、2050年時点でもそれぞれ、4.0%、4.7%である。

一方、非化石エネルギーによる熱利用はほとんど増えない。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10%まで低下する。主に自動車・民生用の液体バイオ燃料やバイオガスは2050年にかけて倍増するものの、その絶対量は限定的であり、最終消費の直接熱需要の1.8%に過ぎない

¹³ 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。

図2-16 | 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 | 熱用非化石エネルギー消費[レ
ファレンスシナリオ]

アジア

2016年に5,497 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1.5%で増加し、2050年には8,987 Mtoeに達する(図2-18)。この増分3,490 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、2016年の40%から2050年には47%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年代半ば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43%、25%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63%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またはほぼ横ばいにとどまる。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。

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、81%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(9%p減)、天然ガスのシェアが拡大する(7%p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3.3倍増、バイオマス以外の再生可能エネルギーが3.0倍増となる。一方、薪や畜糞などの伝統的バイオマスは3割減となる。

図2-18 | アジアの一次エネルギー消費[レファレンスシナリオ]

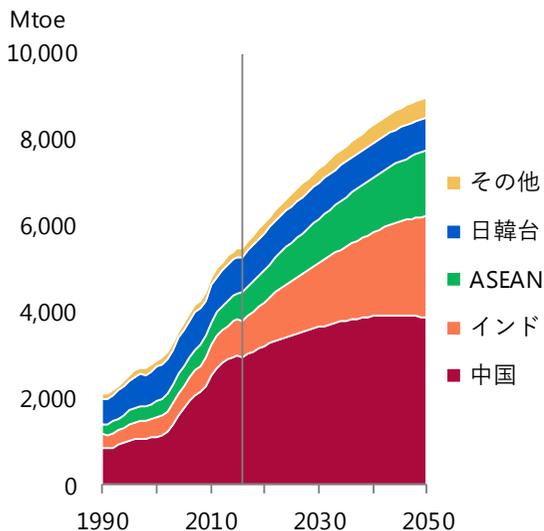


図2-19 | ASEANの一次エネルギー消費[レファレンスシナリオ]

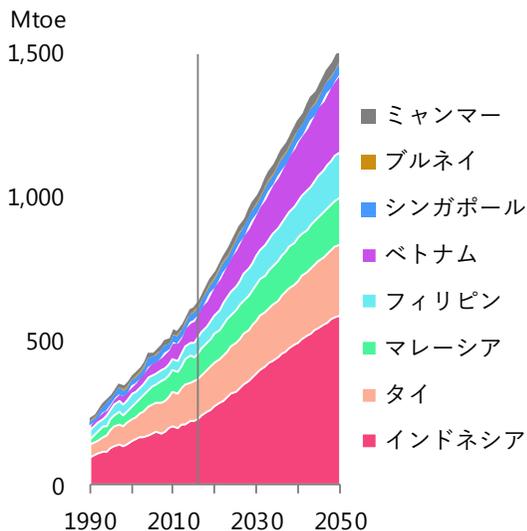
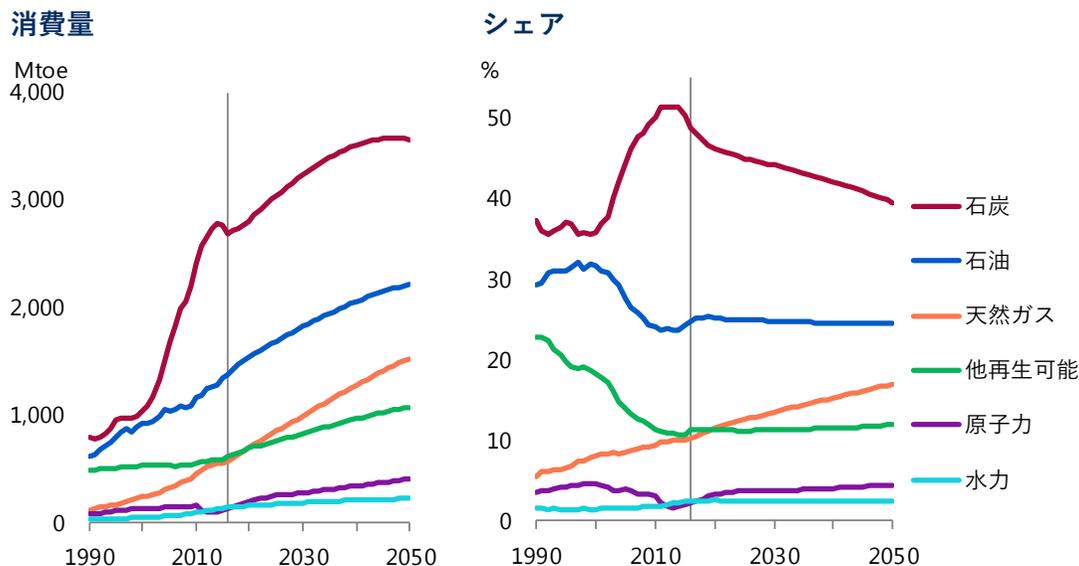


図2-20 | アジアの一次エネルギー消費[レファレンスシナリオ]



アジアの石油消費は2016年に28.2 Mb/dであったが、2050年には45.5 Mb/dまで増加する(図2-21)。平均増加率は1.4%であり、世界全体の伸び率0.7%と比べると2倍の伸び率であ

る。運輸(9.7 Mb/d増)、民生他(3.2 Mb/d増)および非エネルギー消費部門(3.1 Mb/d増)で石油消費が拡大し、消費増全体の92%を占める。地域別には、インドが最も多く増分の50%を占める。次いで、ASEAN(29%)、中国(24%)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3分の2はアジアに由来し、アジアの世界シェアは31%から39%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28%から2050年には14%まで低下する(Box 2-1)。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、2016年の654 Bcmから2050年には2.7倍の1,761 Bcmとなり、石油の伸びを大幅に上回る年率3.0%で増加してゆく(図2-22)。天然ガス消費の45%が発電用であり、今後の消費増もその半分以上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、2016年の19%から2050年には29%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3倍以上の639 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、2016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、今後の天然ガス消費は減少に向かう。

図2-21 | アジアの石油消費[レファレンスシナリオ]

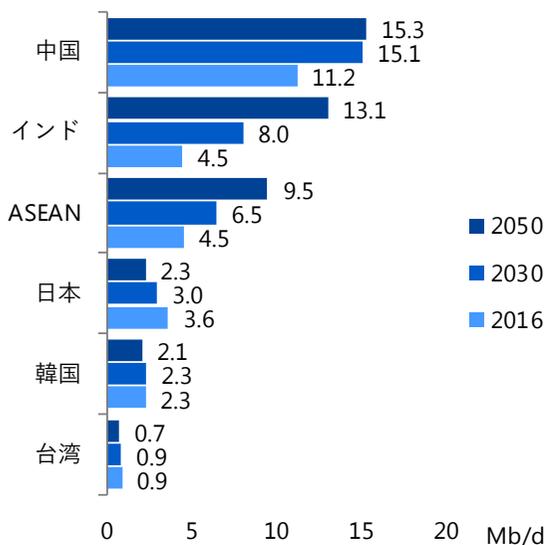
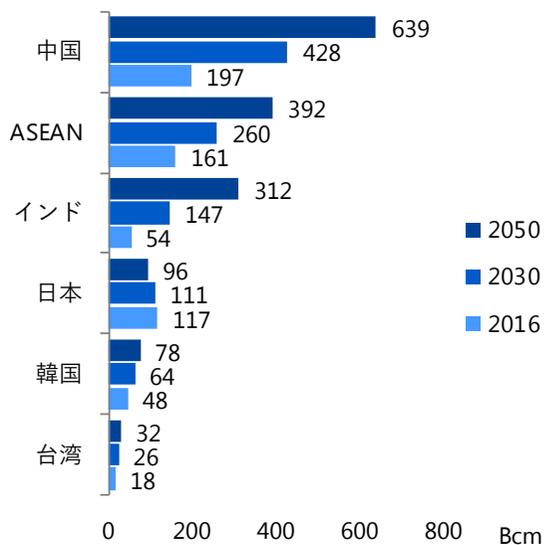


図2-22 | アジアの天然ガス消費[レファレンスシナリオ]



アジアにおける天然ガス需要の拡大に伴い、今後はアジアの天然ガス市場を巡る動きがますます活発になる。ロシアなどの多くの資源国がアジアを成長市場とみなし目を向け

ている。アジア諸国は、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いくことが望ましい。また、天然ガスの備蓄や、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。

アジアの石炭消費は、2016年の3,835 Mtceから、2050年には5,082 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、2016年の49%から2050年には40%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横ばいから微減で推移するものの、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、ますます難しくなってゆく。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、2016年の878 Mtoeから2050年には1,698 Mtoeに増加、一次エネルギー消費全体に占めるシェアは19%と現在より3%p上昇する。増分の57%がバイオマスを除く再生可能エネルギーで、次いで同34%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、2016年の42%から2050年には46%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2016年の122 Mtoeから2050年の404 Mtoeまで拡大する。現在世界の原子力の75%を占めるOECD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18%から44%まで一気に上昇する。

Box 2-1 | アジアのエネルギー自給率

エネルギー需要、特に化石燃料への需要が急増してゆくアジア地域は、その需要増加の大半を域外からの輸入に依存することになる。域内の石油生産は減少傾向にあり、生産が伸びる天然ガス、石炭でもそのスピードは需要の増加に追い付かない。こうした輸入の増加は、アジアの国際エネルギー市場でのプレゼンスを高めてゆく。今後のエネルギー貿易における輸入の増加は主にアジアから生じ(図2-23)、石油貿易(輸入)におけるアジアのシェアは現在の56%から2050年には79%へと上昇する。天然ガスや石炭も同様で、2050年には国際取引量の約6割、7割がそれぞれアジアに向かうことになる。国際市場におけるアジアの影響力はより大きくなるが、その一方でエネルギー自給率が低下してゆくことになり、エネルギー安全保障上の課題を抱えることになる。

図2-23 | 主要国・地域のエネルギー純
輸入増減[レファレンスシナリオ、2016
年-2050年]

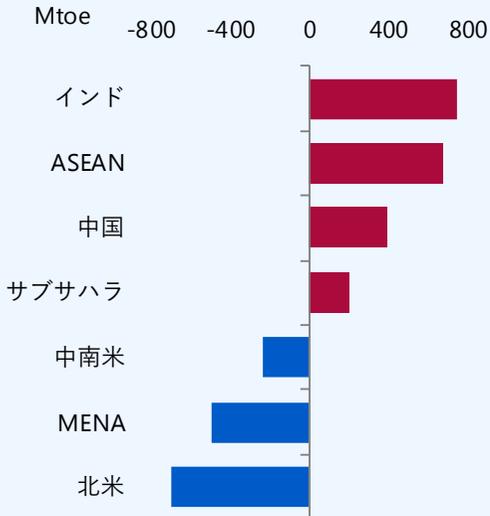
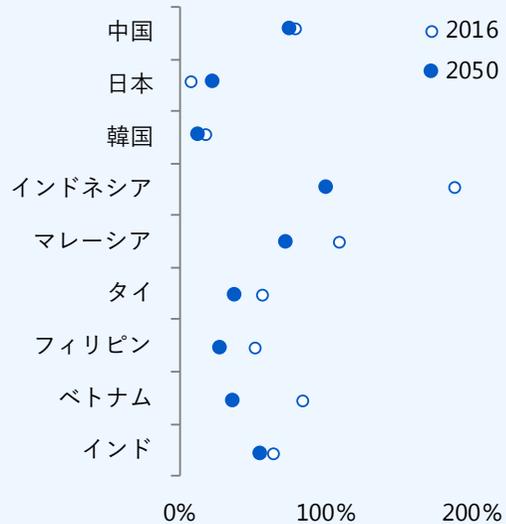


図2-24 | アジア主要国のエネルギー自
給率[レファレンスシナリオ]



世界最大のエネルギー輸入大国である中国のエネルギー自給率は現在80%で、2050年にはやや低下して76%に低下する(図2-24)。石炭の自給率が90%程度を維持することと、原子力や再生可能エネルギーが大幅に伸展するため、エネルギー全体の自給率はそれほど落ちない。現在第3位の輸入大国であるインドは、2020年までに日本を、2040年代半ばには中国を抜き世界1位になる。インドのエネルギー自給率は現在の65%から56%まで低下するが、比較的その落ち幅は小さい。一方、ASEAN諸国の自給率低下のスピードは速い。エネルギー純輸出国であるマレーシアの自給率は2020年には100%を下回り、2050年には73%まで下落する。同じく純輸出国であるインドネシアの自給率は現在の189%から2050年には101%と辛うじて100%を上回るが、概ね半減する。タイやベトナムなど輸入国の自給率はさらに落ち込み、ASEAN全体で見ても域内自給率は117%から66%へと純輸入地域へと転落する。

アジア全体におけるエネルギーの域内自給率は、2016年は72%から2050年には63%まで低下する(図2-25)。しかし、各化石燃料の自給率を個別に見ると、その動向はかなり違ったものになる。化石燃料全体で見れば、アジアは比較的埋蔵資源に恵まれているが、燃料種別によって大きく異なるためである。BP統計(2018)年によれば、2017年末の可採年数(R/P比)は石炭は56年であるが、天然ガスは32年、石油は16年とさらに短い。そのため、域内における資源が豊富な石炭の自給率の低下は比較的緩やかであるが、石油、天然ガスの自給率はそれぞれ14%p、21%pと大きく低下する。

化石燃料輸入の増大により、自給率の低下といったエネルギー安全保障上の懸念だけでなく、輸入代金の拡大といった経済的な面でも懸念が高まる。化石燃料のアジア域外からの純輸入総額は2016年の3,900億ドル(名目価格)から2050年には4兆1,000億ドルと、10倍以上に拡大する(図2-26)。その8割以上は、石油への支払いである。GDPに占める割合は2016年の1.6%から2050年の3.0%へ上昇するが、輸入量の増大だけでなく、輸入価格の上昇も大きく寄与している。とりわけ、ASEANの輸入拡大は急速で、域外からの純輸入額はGDP比で0.9%から5.2%へと大幅に上昇する。

図2-25 | アジアのエネルギー自給率[レファレンスシナリオ]

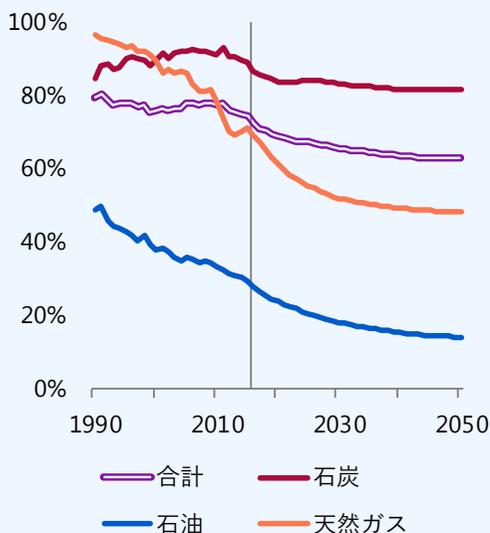
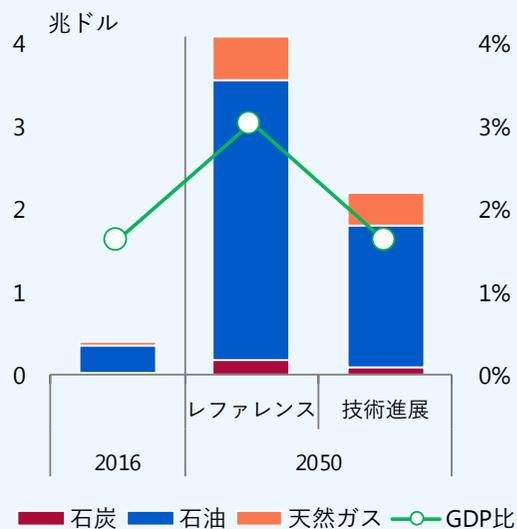


図2-26 | アジアの化石燃料輸入金額とGDP比



4章で詳述する技術進展シナリオでは、省エネルギー・非化石エネルギーの進展により、域外からの輸入量が抑制される。また、世界的な消費抑制に伴って国際化石燃料価格の上昇も緩やかになると見込むため、2050年におけるアジアの純輸入額は2兆2,000億ドルとレファレンスシナリオの半分程度になる。GDP比では現在と同水準の1.6%を維持する。

将来のエネルギー安全保障の懸念を鑑みれば、省エネルギー技術の導入や非化石エネルギー利用をより積極的に進め、エネルギーの輸入量を抑制してゆくことが重要である。それと同時に、不測時への対応として備蓄制度や域内融通システムを整備してゆく必要もあろう。特に、急速に輸入拡大が進むASEANにおいて、Trans ASEAN Gas Pipeline計画やASEAN Power Grid構想などの実現は、域内のエネルギー安全保障に大きく寄与すると期待される(「アジア/世界エネルギーアウトック2016」参照)。

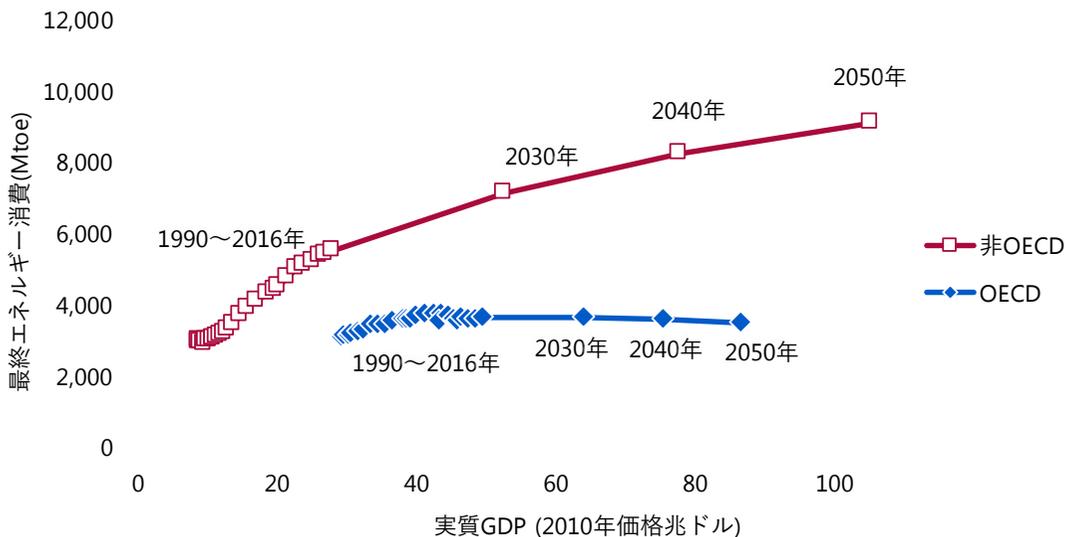
2.2 最終エネルギー消費

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2016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¹⁴。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2.7%に対して、最終エネルギーの増加は年率1.3%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2.4%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0.1%で減少、現在の水準をやや下回る3,479 Mtoeに縮小する。非OECDでも、省エネルギーが進展、GDP弾性値¹⁵は0.52 (1990年-2016年)から0.38 (2016年-2050年)に低下するものの、2050年には現在の1.7倍の9,133 Mtoeへと増加する(図2-27)。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1.0%増、2016年の1.4倍に増加する。

図2-27 | GDPと最終エネルギー消費[レファレンスシナリオ]



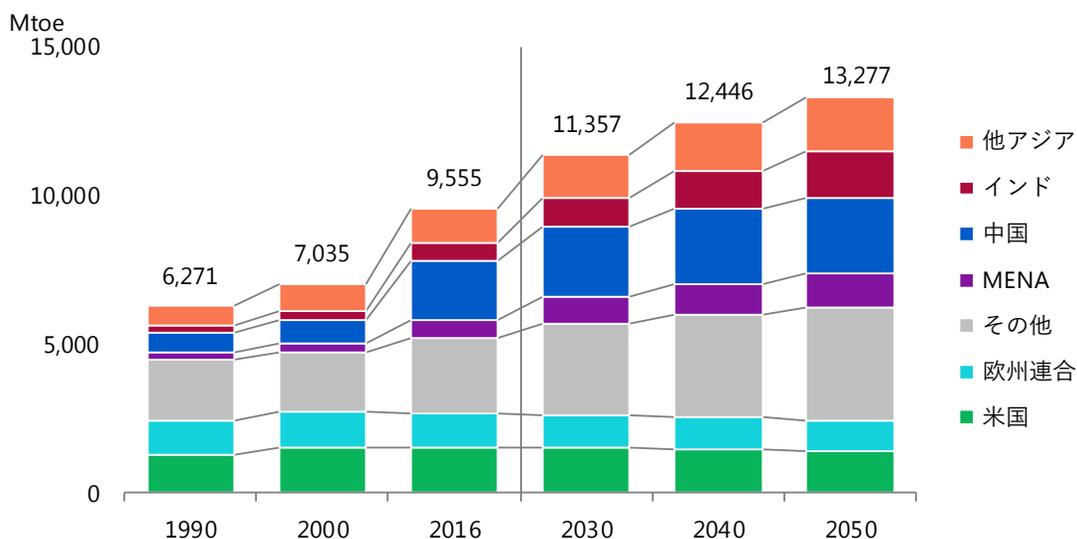
¹⁴ 世界計は国際バンカーを含む。

¹⁵ 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3,722 Mtoeのうち、6割弱の2,178 Mtoeがアジアによるものとなる(図2-28)。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2016年の3,709 Mtoeから年率1.3%で増加し、2050年には5,887 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1,538 Mtoeとまだ中国の2,536 Mtoeに及ばないが、現在からの増分でみるとアジアの44%を占め(中国は26%)、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0.93 toeでアジア平均の1.26 toe(中国は1.89 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2-28 | 最終エネルギー消費(地域別) [レファレンスシナリオ]



中東・北アフリカ(MENA)は、人口増加と経済成長を背景に2016年の627 Mtoeから、2050年には1,134 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14%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5%、9%程度少ない水準になる。

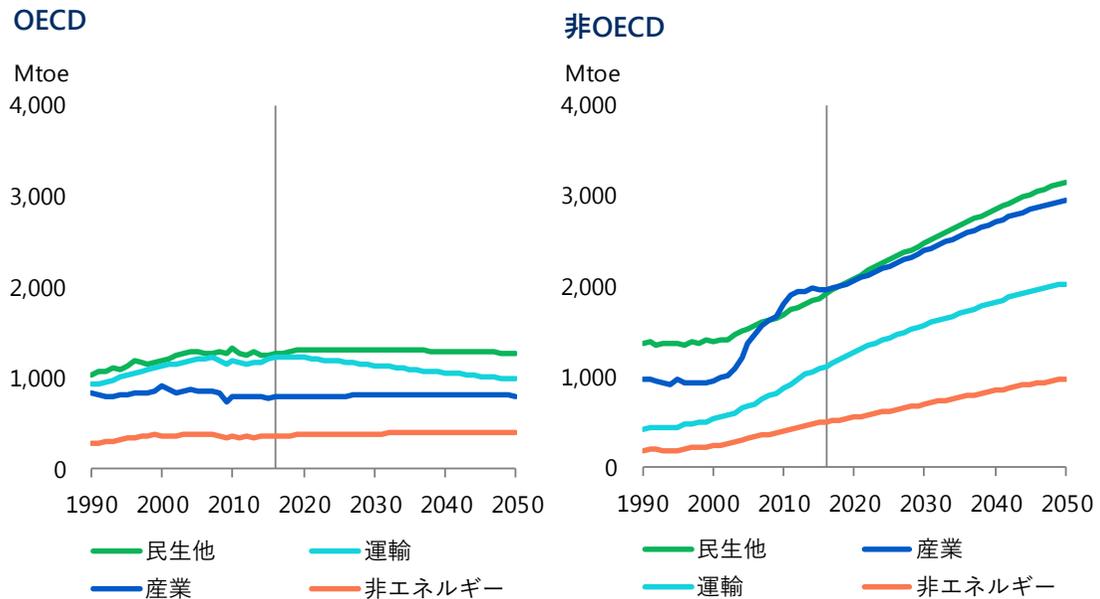
部門別

最終エネルギー消費の増加分3,722 Mtoeを部門別に見ると、民生他部門が1,251 Mtoeとなり、全体の3分の1を占める。次いで、産業部門が1,018 Mtoe、運輸部門が943 Mtoe、非エネルギー消費部門が509 Mtoeと続く。増加率は、非エネルギー消費部門が年率1.4%、民生他部門が同1.0%、そして産業部門、運輸部門がともに同0.9%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

などに伴う運輸部門での減少が大きい(図2-29)。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1.0%、特に非OECDでは生活水準の向上を背景に年率1.5%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24%を占めているのが大きな特徴である(非OECDでは36%)。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(Box 2-2)、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16%(非OECDでは21%)まで低下、一方で、近代的エネルギー消費は年率1.3%(非OECDでは2.1%)で増加する。

図2-29 | 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¹⁶は2016年の13億6,000万台から2050年には27億2,000万台まで倍増するが、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1.3倍増にとどまる。OECDでは、自動車の普及率が既にも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0.6%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1.8%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

¹⁶ 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%を占める国際バンカー(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1.6%で増加し、2050年には同部門の18%を占めるようになる。

世界の製造業GDPは、非OECDが牽引するかたちで年率2.6%で成長する一方で、産業部門のエネルギー消費は年率0.9%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26%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%p増)、8%(4%p増)を占めるようになる。

非エネルギー消費の約7割が石油化学製品の原料用途であり、残りは潤滑油などの用途に利用される。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。近年、大量の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、海洋環境への甚大な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。

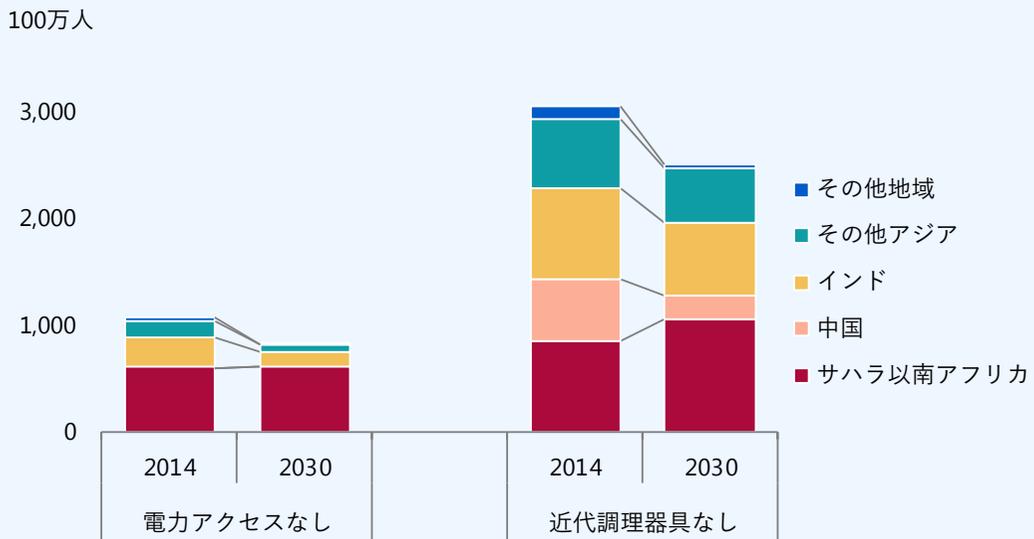
Box 2-2 | Energy for All

アフリカやアジアなどの農村部では、いまだに十分なエネルギーインフラが行き届いていない。世界銀行のWorld Development Indicatorsによれば、現在でも約11億人が電気を使えない生活を送り、そして約30億人が薪や畜糞などの伝統的バイオマスや石炭などを使った調理に依存している。問題は、単に貧困による不便な生活を強いられているにとどまらない。特に、薪や石炭などによる調理は、燃焼時の煤煙を吸い込むことで健康被害をもたらしており、世界全体で毎年400万人がこうした室内環境汚染で死亡している(世界保健機関)。貧困の軽減や平和構築などを目指した国際連合の「持続可能な開発目標(SDGs; Sustainable Development Goals)」では、「すべての人々に手ごろで信頼でき、持続可能かつ近代的なエネルギーへのアクセスを確保する」という目標が掲げられている。

IEEJ Outlook 2019では、電化地域の拡大や近代的調理器具の大幅な普及を見込んでいるものの、国連が目標としている2030年時点でも約8億人が電力にアクセスできず、

約25億人が室内汚染につながる燃料を使って調理を続けている。特にサハラ以南アフリカでは、農村部での人口増加が、近代的エネルギーへの普及スピードを凌駕するためである。国際エネルギー機関(IEA)によれば、2030年までにサハラ以南アフリカで電力へのアクセスを達成するためには年間260億ドル、近代的料理器具へは同170億ドルの投資が必要であるとしている。アフリカ開発銀行は、未電化地域の解消に向けて2020年までに120億ドルの投資を行い、さらに500億ドルの官民からの協調資金調達を見込んでいるが、IEAが推計する必要額にはまだまだ足りない。一方で、エネルギーインフラ自体は貧困を解消せず、「アクセスできるが、支払えない貧困」が増えるだけとの懸念もある。エネルギー代金を支払うための所得改善策も同時に実施されるべきであろう。もちろん、国連のSDGには「貧困をなくす」が目標の筆頭に掲げられているが、貧困解消への道のりはまだまだ長い。

図2-30 | 近代エネルギーにアクセスできない人々の数[レファレンスシナリオ]



参考文献: International Energy Agency "Energy Access Outlook 2017"、World Health Organization "World health statistics 2016: monitoring health for the SDGs, sustainable development goals"、United Nations "Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development"、African Development Bank Group "The New Deal on Energy for Africa"

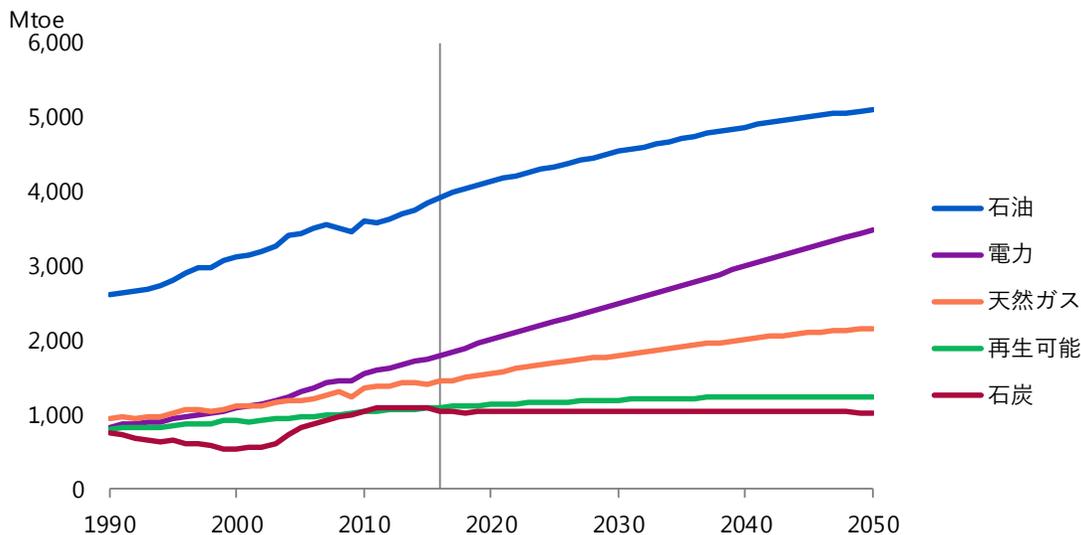
エネルギー源別

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45%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2-31)。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。2016年から2050年の間、電力は年率2.0%、天然ガスは年率1.2%、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16%にそれぞれ増加、石油は41%から38%へ、石炭は11%から8%にそれぞれ減少する。

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%)、17%が非エネルギー消費部門、11%が民生他部門での消費ある。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2016年の31%から2050年には40%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。

図2-31 | 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]

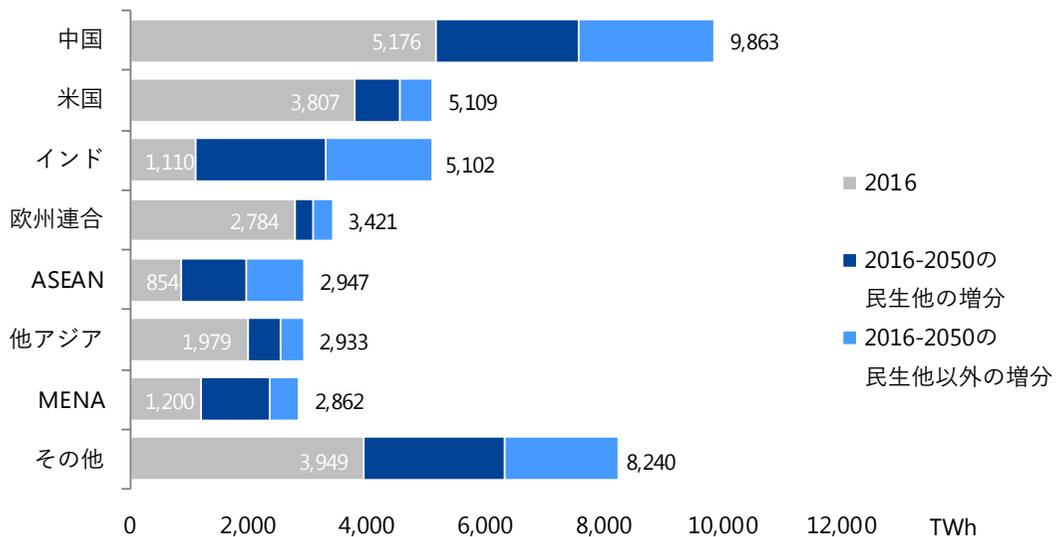


最終天然ガス消費のうち、44%が民生他部門(うち、家庭部門30%、業務部門13%)、37%が産業部門、12%が非エネルギー消費部門での消費である。これらの部門の中で、今後、天然ガス消費が最も増加するのが産業部門で、次いで非エネルギー消費部門、そして民生他部門である。産業部門、非エネルギー消費部門の増分のうち、それぞれ51%、35%がアジアに集中しているが、次いで中東がそれぞれ26%、21%を占めているのが特徴である。中東では、石油輸出による外貨獲得のために、国内での天然ガス活用を進めるほか、雇用創出の見地から天然ガスを原料とする石油化学プラントが増強されている。また、中国の

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17%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。

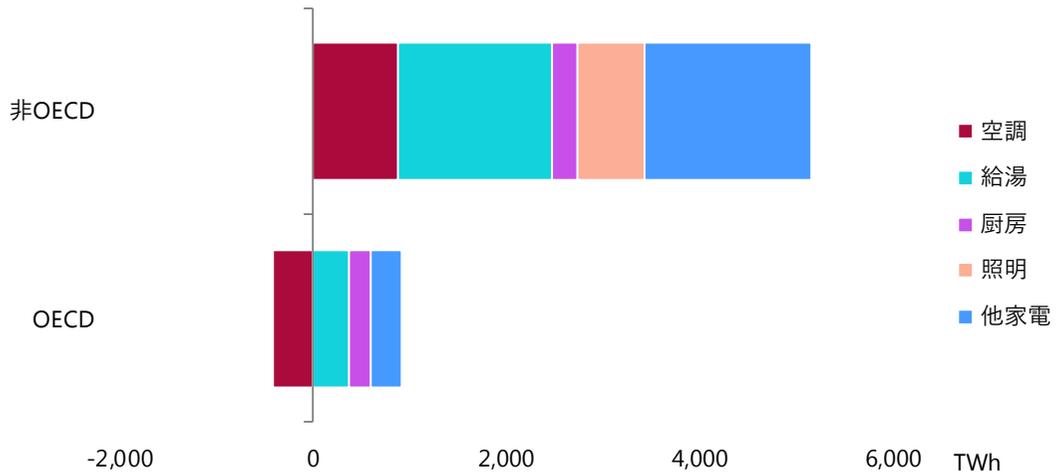
一般に所得の増大につれ利便性の高い電力が嗜好されてゆくが、今後もその傾向は変わらない。電力の消費はOECD、非OECDいずれにおいても主要エネルギーの中で最大の増加率を示す。世界の電化率(消費側)¹⁷は2016年の19%から2050年に26%に上昇する。とりわけその増加をけん引するのは、中国、インド、ASEANを中心とするアジア地域である。世界最大の電力消費国である中国の消費量が、第2位である米国の現在の消費量(3,807 TWh)を上回る4,687 TWhも増加し、インドも3,992 TWh増加して2050年には米国に匹敵する市場になるなど、電力消費量の伸びは速くて大きい。世界の電力消費量増分の85%が非OECDで発生し、とりわけ民生他部門での増加寄与は55%と大きい(図2-32)。同部門の増加量のうち50%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2-33)。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2-32 | 電力最終消費[レファレンスシナリオ]



¹⁷ 最終エネルギー消費に占める電力消費量の比率。

図2-33 | 家庭用電力消費の増減[レファレンスシナリオ、2016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ってくる(「6章 エネルギー供給障害のリスクと影響」参照)。

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、地域別には約7割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4割減と激減するが、一方でインド、ASEANなどが増加することから世界全体での石炭最終消費はほぼ横ばいで推移する(年率0.04%減)。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。

最終再生可能エネルギーのうち、約4分の3が主に発展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年代半ば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生産は、石油消費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、2030年にかけて、アジアでの生産量は減少していく一方、緩やかな原油価格上昇に伴って、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。また、ブラジル・プレソルト開発に代表される中南米でも増産が進む。これらにより、世界全体に占める非OPECの生産シェアは2016年の57%から2030年には58%にわずかに上昇する。非在来型石油の増産が見込まれるカナダも含め、北米および中南米における生産量増加が、2030年にかけての世界全体の生産量増加の77%を占める。

表3-1 | 原油生産[レファレンスシナリオ]

	2016	2030	2040	2050	(Mb/d)	
					2016-2050 変化量	変化率
原油生産計	92.0	102.8	110.2	114.5	22.5	0.6%
OPEC	39.9	43.6	50.2	54.4	14.6	0.9%
中東	30.6	34.1	38.4	41.2	10.6	0.9%
その他	9.3	9.5	11.7	13.3	4.0	1.1%
非OPEC	52.2	59.2	60.0	60.0	7.9	0.4%
北米	16.8	23.6	23.0	21.6	4.8	0.7%
中南米	6.9	8.5	10.5	11.8	4.8	1.6%
欧州・ユーラシア	17.7	16.9	16.3	16.2	-1.5	-0.3%
中東	1.3	1.5	1.6	1.7	0.5	0.9%
アフリカ	1.3	1.6	1.7	1.8	0.5	0.9%
アジア・オセアニア	8.0	7.1	7.0	6.9	-1.1	-0.5%
プロセスゲイン	2.3	2.8	3.2	3.4	1.1	1.2%
バイオ燃料	2.2	3.1	3.5	3.9	1.7	1.7%
GTL、CTL	0.3	0.9	1.0	1.1	0.8	4.0%
液体燃料供給計	96.9	109.7	117.9	123.0	26.1	0.7%

その後は、米シェールオイルの生産量減退や、ヨーロッパ・ユーラシアでの生産量の2030年頃のピークアウトなどから、非OPECの生産量シェアは徐々に低下し、2050年に52%となる。2030年から2050年までの原油増産量の93%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ン・イラクといった国々がその原動力になる。

貿易

2017年の世界の主要地域間の原油貿易量は42 Mb/dであった(図3-1)。主要な輸入地域は、アジア(日韓台、中国、東南アジア、南アジア)、OECDヨーロッパおよび北米であるが、アジアには中東・アフリカ・中南米、OECDヨーロッパには非OECDヨーロッパ/中央アジア、北米には中南米や中東がそれぞれ主要な原油供給地域となっている。

貿易量は、2030年には43 Mb/dへとわずかに増加する。OECD諸国では消費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消費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、中東およびアフリカからの供給量は2030年時点でも8割を占める。2030年時点の北米の輸入量は、中南米や中東からの輸入は継続するものの、生産量の堅調な増加により、2017年と比較して大幅に減少する。ヨーロッパでも輸入量が減少する中で、北米、非OECDヨーロッパ/中央アジア、アフリカ、中東が競合する。非OECDヨーロッパ/中央アジア、アフリカおよび中東は、消費が増加するアジアへのシフトを強め、結果としてヨーロッパへの供給量を減少させる。他方、生産を拡大する北米からヨーロッパへの原油輸出が増加する。

図3-1 | 主要地域間の原油貿易[2017年]

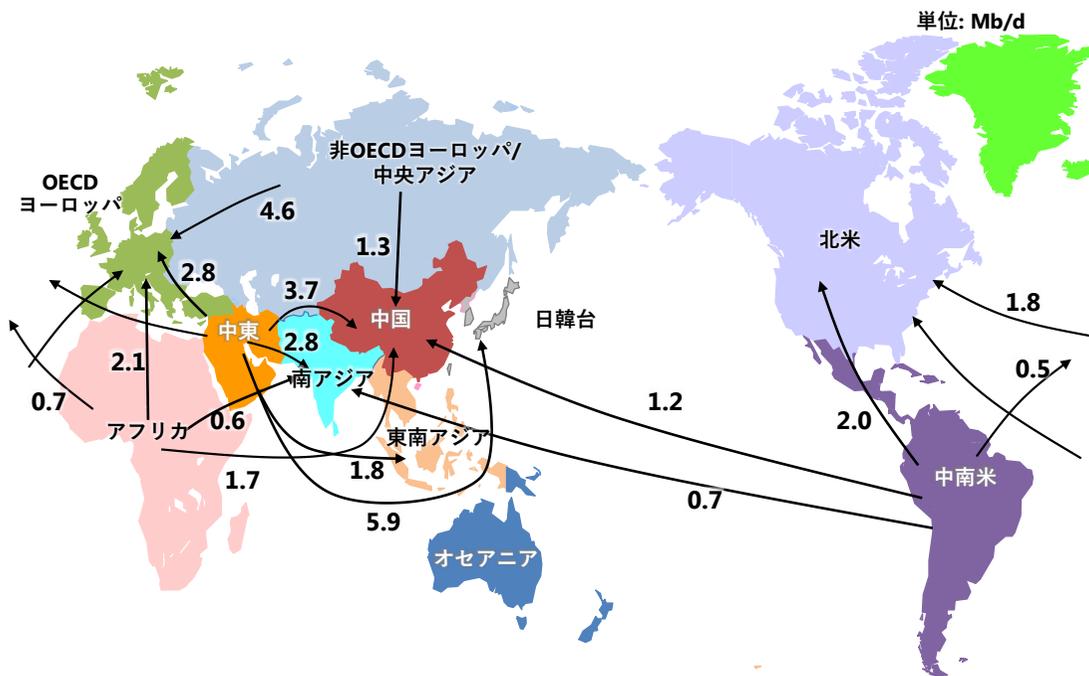
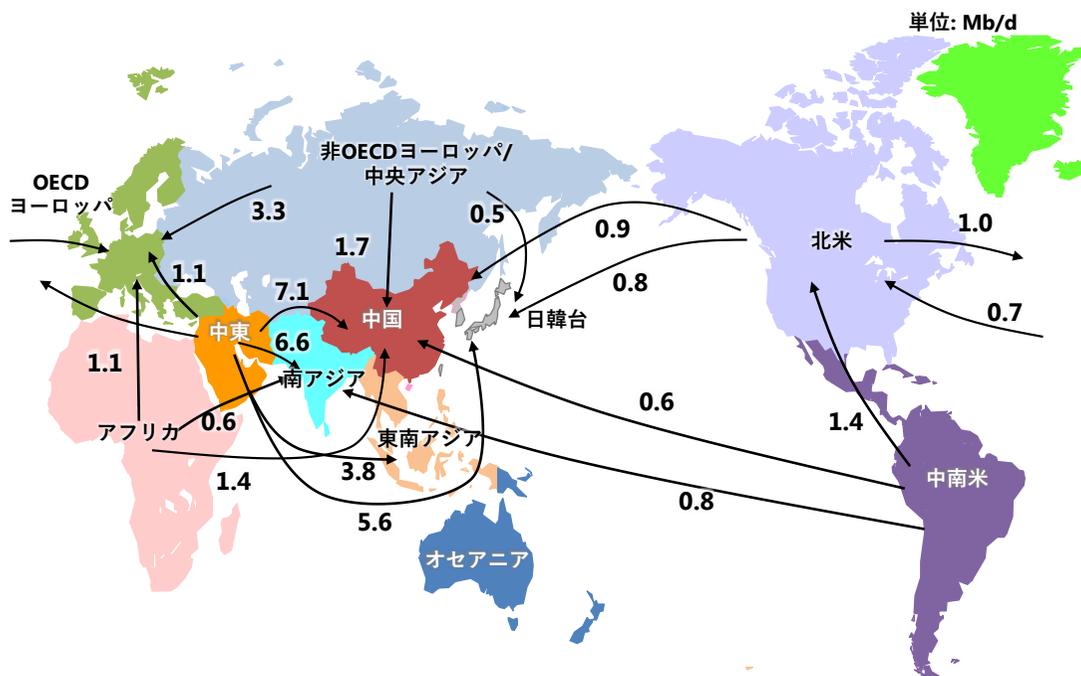


図3-2 | 主要地域間の原油貿易[レファレンスシナリオ、2030年]



3.2 天然ガス

生産

世界の天然ガス生産量は、2016年から2050年にかけて約1.7倍に増加する(表3-2)。2014年以降、原油価格低迷によって世界的な上流部門への投資が低迷していたものの、2017年以降の油価の回復に伴い投資額は増加に転じており、天然ガスの生産も着実に増加トレンドをたどる。

表3-2 | 天然ガス生産[レファレンスシナリオ]

	2016	2030	2040	2050	(Bcm)	
					2016-2050 変化量	変化率
世界	3,502	4,595	5,345	5,987	2,485	1.6%
北米	901	1,216	1,283	1,390	489	1.3%
中南米	199	284	388	461	262	2.5%
OECDヨーロッパ	245	221	210	186	-58	-0.8%
非OECDヨーロッパ/中央アジア	790	968	1,096	1,226	436	1.3%
ロシア	599	713	798	883	284	1.1%
中東	610	784	922	1,090	480	1.7%
アフリカ	211	334	480	516	305	2.7%
アジア	466	603	734	861	396	1.8%
中国	133	237	343	413	280	3.4%
インド	30	58	83	105	75	3.7%
ASEAN	213	218	228	263	50	0.6%
オセアニア	81	185	232	257	176	3.4%

北米における生産量は、米国南部のPermian地域や北東部におけるMarcellusシェールからの増産を中心に、今後も堅調に増加する。カナダにおいても、西海岸におけるLNG案件の実現に伴い、国内のシェールガスを含むガス資源開発が進む。

非OECDヨーロッパでは、ロシアやトルクメニスタンといった豊富な埋蔵量を有する国が増産する。特にロシアでは、パイプライン、LNGの双方の輸出量の増大に伴い、今後北極海沿岸や東シベリア等をはじめとする新規のガス田開発が進められる。中東では、米国トランプ政権によるイラン核合意からの離脱とイランに対する経済制裁の復活によって、イランにおける天然ガス開発は少なくとも一時的には停滞を余儀なくされる。しかし、長期的には、中東域内での消費の増加やLNG輸出の拡大によってその生産は増加する。

アジアにおいては、消費が拡大する中国やインドにおいて、国内の天然ガス開発が進む。中国においては今後、より開発難易度の高い、シェールガスをはじめとする非在来型天然

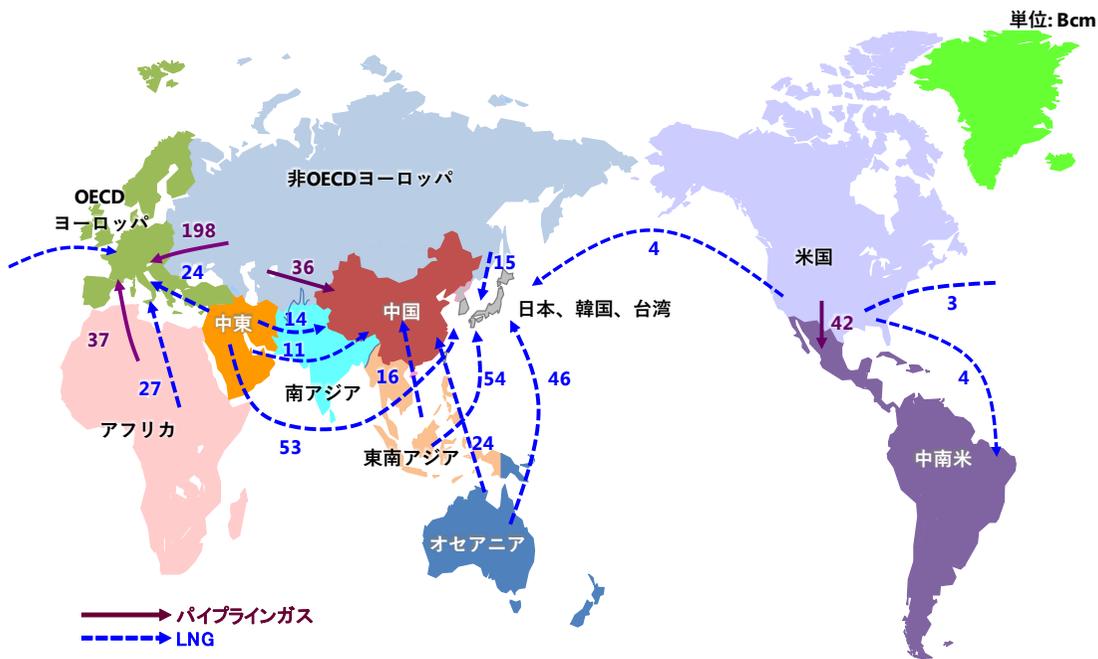
ガスのシェアが高まっていくため、国内消費の増加に対し、どの程度国産ガスの開発を進めていけるかが注目される。そのほか、アフリカでは、モザンビークやセネガル、タンザニアなどでは、新規のLNG案件の稼働開始によって生産量が増加していく。

貿易

2017年時点での世界の主要地域間の天然ガス貿易量は631 Bcmである。その約半分がパイプライン貿易であり、特にロシアからヨーロッパへ輸出されるパイプライン輸出量が大半を占める。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。しかし、最近では米国やオーストラリアなどでの新規LNGプロジェクトの稼働開始や、東南アジア、中南米、ヨーロッパ、中東など世界各地において新規のLNG受け入れ基地の建設が進んでおり、世界のLNG貿易フローはより多様化・複雑化しつつある。

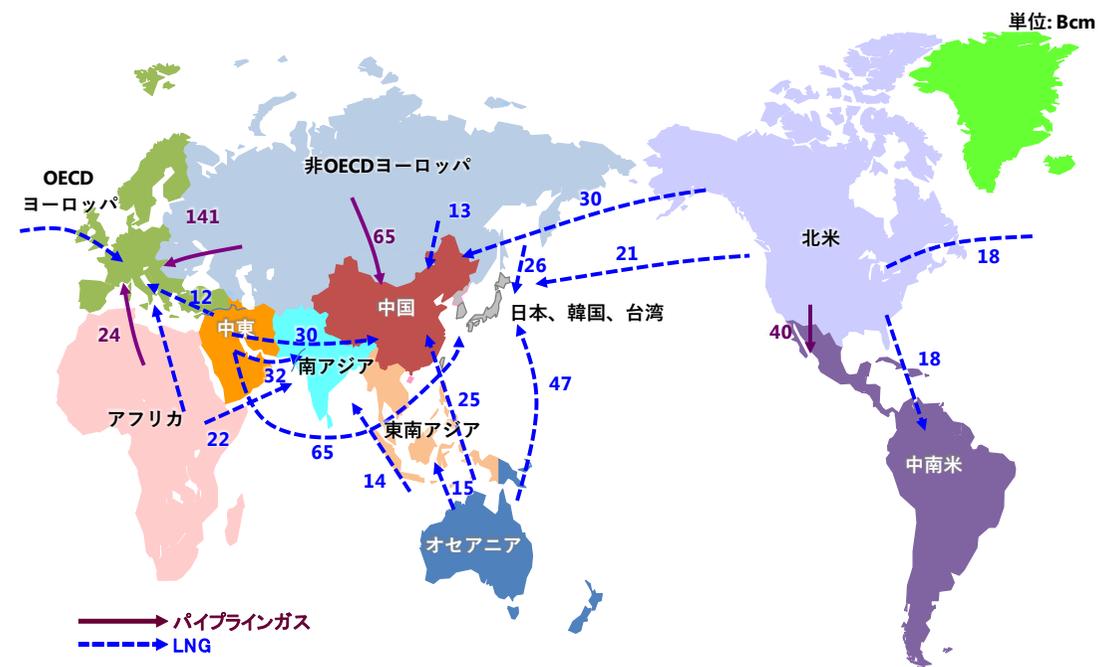
今後の主要地域間の天然ガス貿易量は、2030年までには800 Bcmにまで増加する。輸出地域として最も大きな増加がみられるのが北米と中東である。北米では、米国からのLNG輸出が飛躍的に増加するだけでなく、カナダにおいても新規のLNG輸出案件が計画されている。中東では、カタールにおいて2024年を目途に現行の生産能力7,700万トンから1億トンへの能力増強が計画されている。輸出量全体の規模としては、ロシアや中央アジアを含む非OECDヨーロッパが世界最大の輸出拠点であり続け、今後も従来のヨーロッパ向けのパイプライン輸出の拡大に加え、中国向けのパイプライン輸出や新規のLNG輸出プロジェクトからの輸出を増やしてゆく。

図3-3 | 主要地域間の天然ガス貿易[2017年]



出所: BP 「BP Statistical Review of World Energy」 (2018年版) をもとに作成

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]

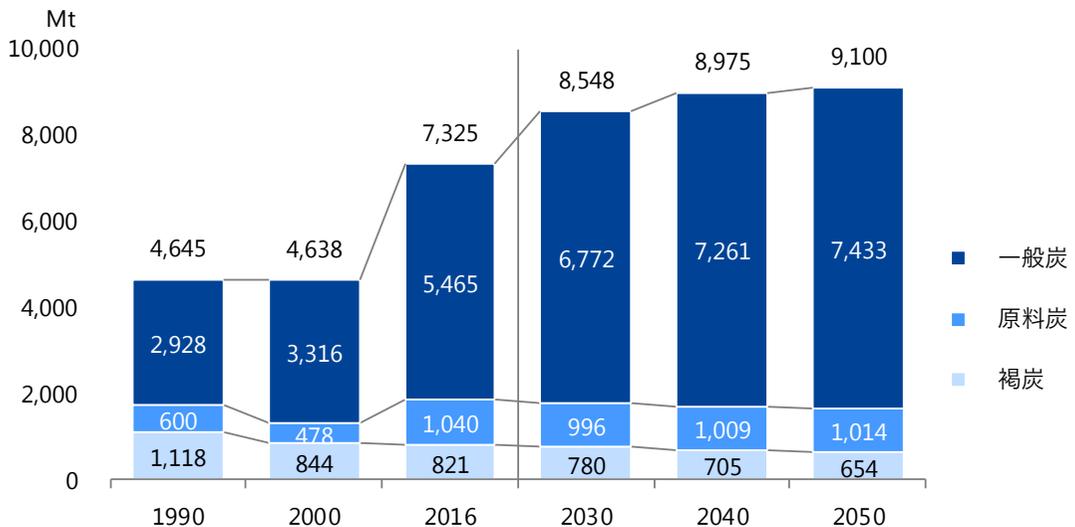


3.3 石炭

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での石炭消費の増加に伴い、2016年の7,325 Mtから2050年には9,100 Mtまで増加するが、その増加は次第に穏やかになる(図3-5)。炭種別では、一般炭生産量は主に発電用消費の増加に伴い2016年の5,465 Mtから2050年には7,433 Mtと1.36倍に増加する一方で、原料炭は2016年の1,040 Mtから2050年には1,014 Mtに微減する。褐炭は2016年の821 Mtから漸減し、2050年の生産量は654 Mtとなる。

図3-5 | 世界の石炭生産[レファレンスシナリオ]



地域別では、石炭の生産量は消費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、非OECDヨーロッパ・中央アジアで増加する一方で、消費が減少する北米やOECDヨーロッパで減少する(表3-3)。

表3-3 | 石炭生産[レファレンスシナリオ]

一般炭生産	2016	2030	2040	2050	(Mt)	
					2016-2050 変化量	変化率
世界	5,465	6,772	7,261	7,433	1,968	0.9%
北米	571	476	369	271	-299	-2.2%
米国	544	473	365	266	-278	-2.1%
中南米	101	140	171	195	94	2.0%
コロンビア	86	124	154	176	89	2.1%
OECDヨーロッパ	72	68	57	48	-24	-1.2%
非OECDヨーロッパ・中央アジア	324	363	420	460	136	1.0%
ロシア	209	256	304	344	135	1.5%
中東	0	0	0	0	0	1.1%
アフリカ	258	315	352	376	118	1.1%
南アフリカ	252	294	318	328	76	0.8%
アジア	3,889	5,063	5,439	5,545	1,656	1.0%
中国	2,721	3,237	3,273	3,085	364	0.4%
インド	609	1,171	1,506	1,793	1,184	3.2%
インドネシア	460	552	552	552	92	0.5%
オセアニア	251	346	453	538	287	2.3%
オーストラリア	250	345	452	537	288	2.3%

原料炭生産	2016	2030	2040	2050	(Mt)	
					2015-2050 変化量	変化率
世界	1,040	996	1,009	1,014	-26	0.0%
北米	75	66	67	64	-11	-0.3%
米国	50	42	43	41	-9	-0.5%
中南米	9	10	10	10	1	0.4%
コロンビア	4	5	5	5	1	0.6%
OECDヨーロッパ	20	17	16	15	-5	-0.7%
非OECDヨーロッパ・中央アジア	110	107	107	107	-3	0.1%
ロシア	84	77	76	75	-9	-0.2%
中東	1	1	1	1	0	0.0%
アフリカ	8	14	18	22	14	3.8%
モザンビーク	4	11	15	19	15	4.8%
アジア	627	590	585	583	-44	-0.3%
中国	547	459	424	394	-153	-1.2%
インド	57	108	140	168	111	3.7%
モンゴル	20	17	16	15	-5	-0.8%
オセアニア	190	192	205	212	22	0.8%
オーストラリア	189	191	203	210	21	0.8%

アジアの石炭生産量は、2016年の4,600 Mtから2050年には6,332 Mtまで増加する。世界最大の石炭の消費・生産国である中国では、消費が大気汚染対策からここ数年減少傾向にあったが、今後は発電用の増加により一般炭消費は穏やかに増加し、これに伴い生産量も増加する。しかし、その増加量は次第に減少し、2035年頃を境に減少に転じる。一方で原料炭は、銑鉄生産量の減少に伴い消費が減少し、生産量も減少を示す。インドでは石炭消費拡大に伴い一般炭・原料炭ともに生産量は増加する。インドは自国に豊富な石炭資源を有し、生産の拡大に力を入れているが、賦存する石炭が高灰分であることや需要増加に炭鉱開発と石炭輸送インフラ整備が追いつかないことなどの問題から、増加する需要を全て満たすことはできない。インドネシアは、中国やインドの輸入量の減少、また国際石炭価格の低迷の影響により、生産量が2013年をピークに減少したが、今後は国内消費の拡大に伴い生産量は増加する。しかし、インドネシア政府は自国の石炭資源の保護と持続的・効率的な利用のために生産量を調整する(生産量にキャップをかける)方針を打ち出しており、このため生産量は穏やかな増加に留まり、頭打ちになる。

北米の石炭生産量は、2016年の722 Mtから2050年には365 Mtまで大きく減少する。一般炭は、米国、カナダともに国内消費の減少に伴い減少する。原料炭は国際市場動向によるが、主要輸出先であるOECDヨーロッパと東アジアでの輸入減少に伴い生産量は減少する。

OECDヨーロッパでは、域内の消費が減少することに加え、生産コストの上昇や数か国で石炭産業への補助金が2019年になくなることから、一般炭、原料炭ともに減少する。非OECDヨーロッパ・中央アジアでは、自国および域内の消費は減少するもののアジア向け輸出の増加が見込めることから、ロシアの一般炭生産量が増加する。

アフリカでは、域内の一般炭消費の増加と輸出の増加(主にアジアでの一般炭消費の増加とインドでの原料炭消費の増加)に伴い、石炭生産量は2016年の266 Mtから2050年には400 Mtに増加する。南アフリカでは一般炭が増加し、モザンビークでは原料炭と一般炭が増加する。

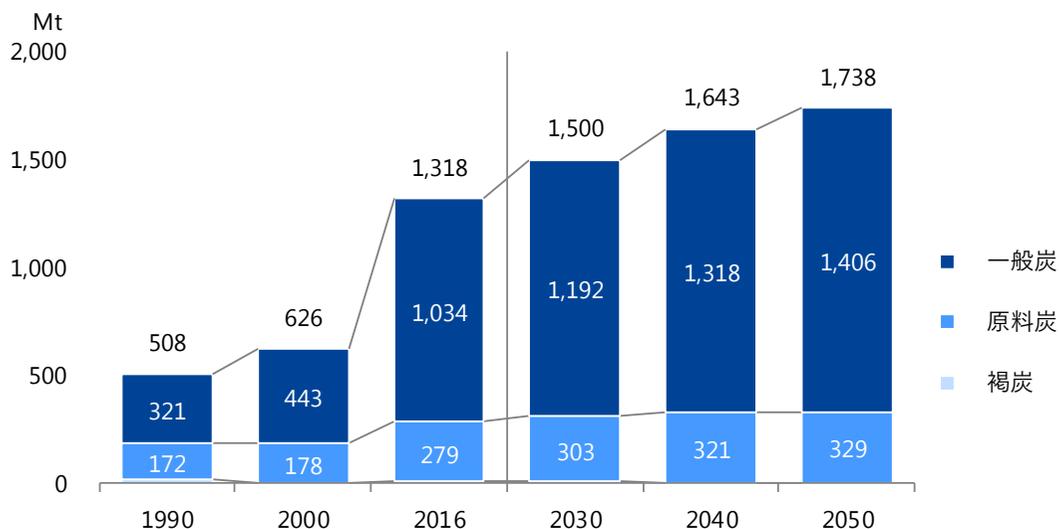
中南米の石炭生産量は、域内消費と輸出の拡大により増加する。一般炭の主要な輸出国であるコロンビアでは、主な輸出先であるヨーロッパ市場は縮小するが、アフリカや南米、中東での輸入拡大に加え、アジア市場の拡大にも対応することで、生産量は2016年の86 Mtから2050年には176 Mtと倍増する。

オセアニアでは、アジアを中心とした一般炭市場の拡大に伴いオーストラリアの石炭生産量が大きく増加する。オーストラリアの一般炭生産量は、アジア市場の拡大に加えインドネシアの輸出量の減少を補うために、2016年の250 Mtから2050年には537 Mtと大きく増加することになる。

貿易

石炭貿易量(輸入量)は、消費の増加に伴い2016年の1,318 Mtから2050年には1,738 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2016年の1,034 Mtから2050年には1,406 Mtにまで、原料炭貿易量は主にインドでの消費増により2016年の279 Mtから2050年には329 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]

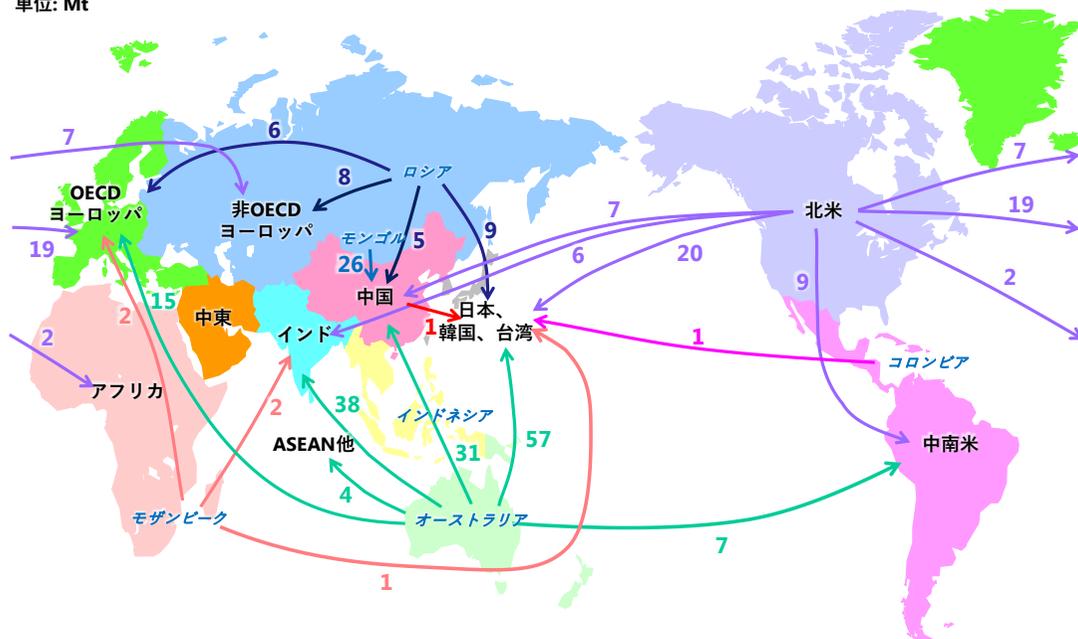


一般炭貿易量は、発電用消費の増加によりアジアの輸入量が2016年の748 Mtから2050年には1,157 Mtと409 Mt増加し、その他地域では同期間に中南米で26 Mt、アフリカで18 Mt、中東で5 Mt増加する。アジアでの増加はインドとASEAN主要4か国(マレーシア、タイ、フィリピン、ベトナム)で大きく、それぞれインドが165 Mt、ASEAN主要4か国が159 Mtを占める。一方で、OECDヨーロッパでは、消費の減少に伴い2016年の188 Mtから2050年には113 Mtまで減少する。供給側では、オーストラリア、南アフリカ、ロシア、コロンビア等で増加する。なお、インドネシアで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。南アフリカでは現在の主要生産地域の埋蔵量が次第に枯渇に向かうため新規炭田の開発が進められているが、生産拡大には限界がある。このため、国内消費の増加を考慮すると輸出量は90 Mt程度で頭打ちとなる。

原料炭貿易量は、インドで2016年の47 Mtから2050年に119 Mtと大きく増加するほか、ブラジルでも9 Mt増加する。一方で消費が減少する中国やOECDヨーロッパでそれぞれ11 Mt、17 Mt減少するほか、日本、韓国、台湾でも合計で11 Mt減少する。供給側では、オーストラリアやモザンビークで増加するが、OECDヨーロッパや中国、日本、韓国の輸入量が減少するため、米国やカナダ、モンゴルから輸出量は減少する。

図3-9 | 主要国・地域間の原料炭貿易[2017年]

単位: Mt

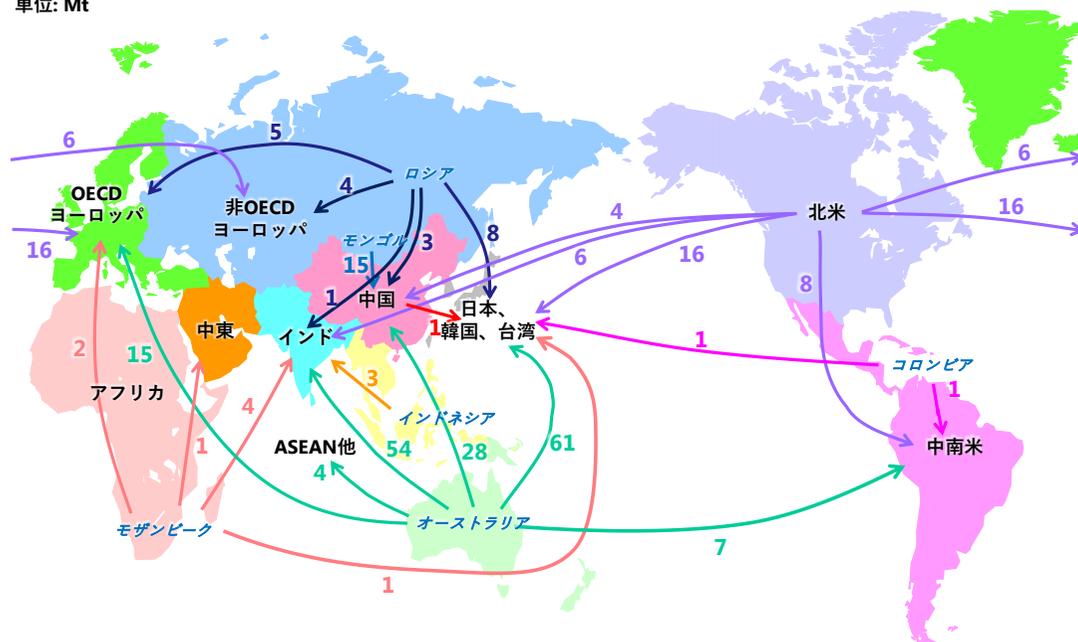


注: 見込み値。1 Mt以上を記載。

出所: IEA "Coal Information 2018"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1.9%で増加し、2050年には46,915 TWhとなり、1.9倍に増大する(図3-11)。その増分21,942 TWhは、世界最大の中国の現発電量の3.6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、2016年の10,768 TWhから年率2.4%で増加し、2050年には23,994 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]

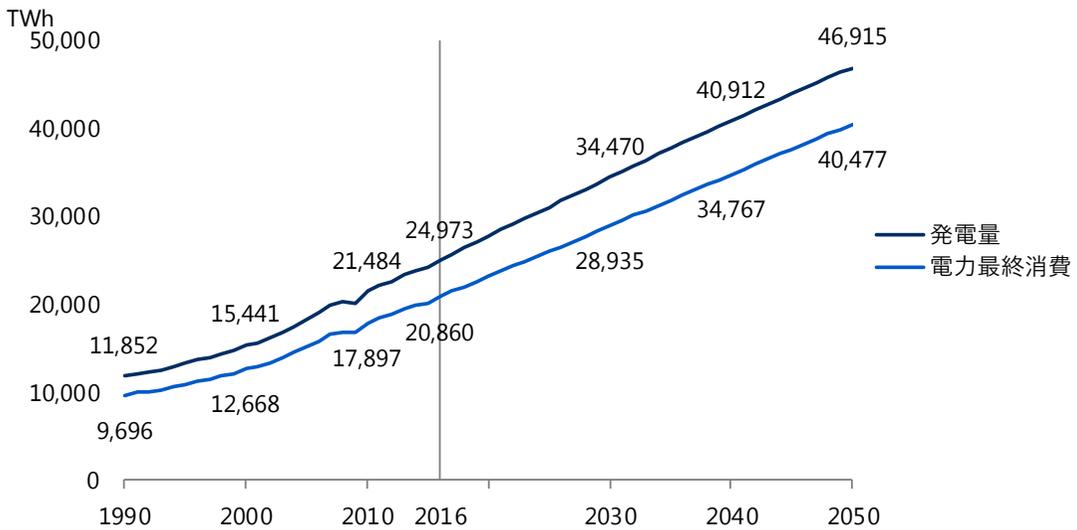
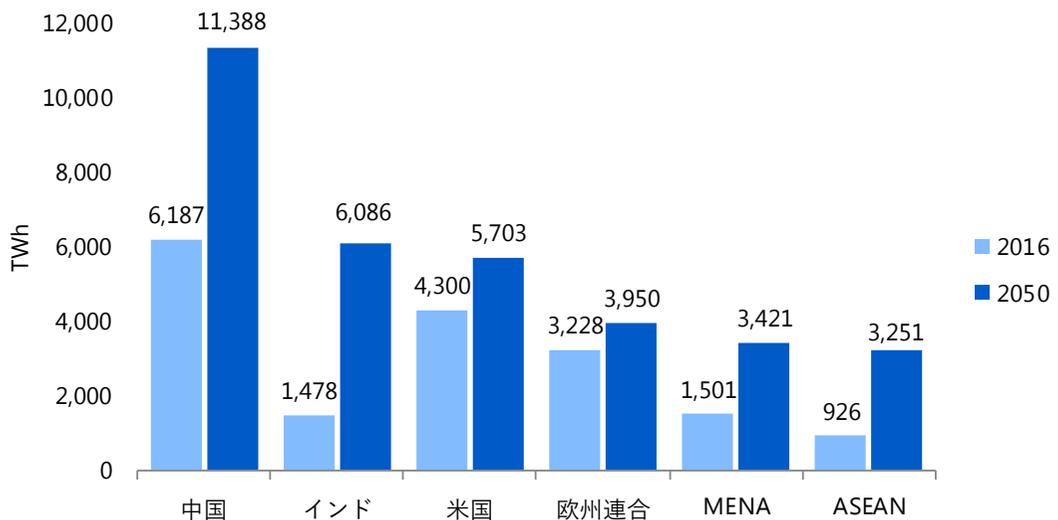


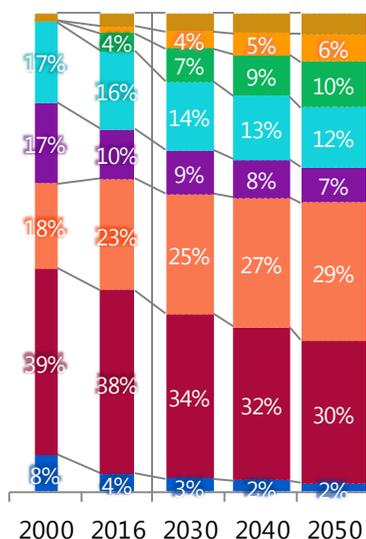
図3-12 | 主要国・地域の発電電力量[レファレンスシナリオ]



2016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)。2050年にかけて、石炭のシェアは低下するものの依然として最大で、基幹電源の役割を引き続き担う。天然ガスは、技術開発により高効率の天然ガス複合発電(CCGT)が普及、変動性再生可能エネルギーの調整電源の役割も担うことから、シェアを2016年の23%から2050年には29%に拡大する。石油のシェアは、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の拡大は見込めず、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5.1%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が2050年にかけてそのシェアを徐々に増やし、石炭を追い抜き最大となる。

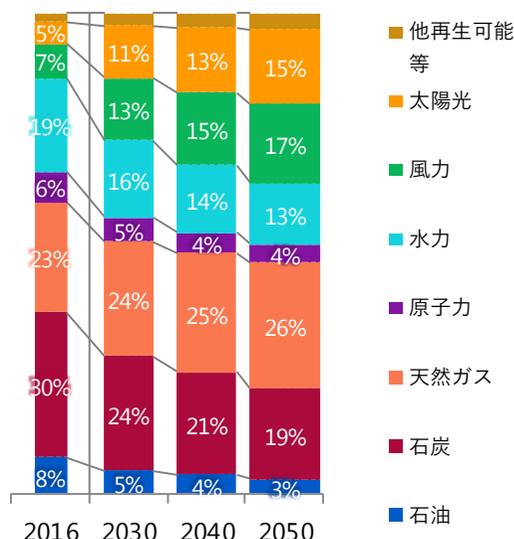
図3-13 | 世界の発電構成[レファレンスシナリオ]

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

OECD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割を越し、天然ガスを追い抜き最大の電源となる。また、足元で最大のシェアを占める石炭は、脱石炭火力政策により大きくシェアを低減させ、2050年には10%強にとどまる。非OECD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。非OECDの旺盛な電力需要を石炭火力によって支えるにあたっては、資金調達、および大気汚染等の環境問題対策が急務となる。天然ガス、再生可能エネルギーのシェアが拡大し、2050年にはそれぞれ発電量の30%弱を占める主要な電源となる(図3-14)。

図3-14 | OECD、非OECDの電源構成[レファレンスシナリオ]

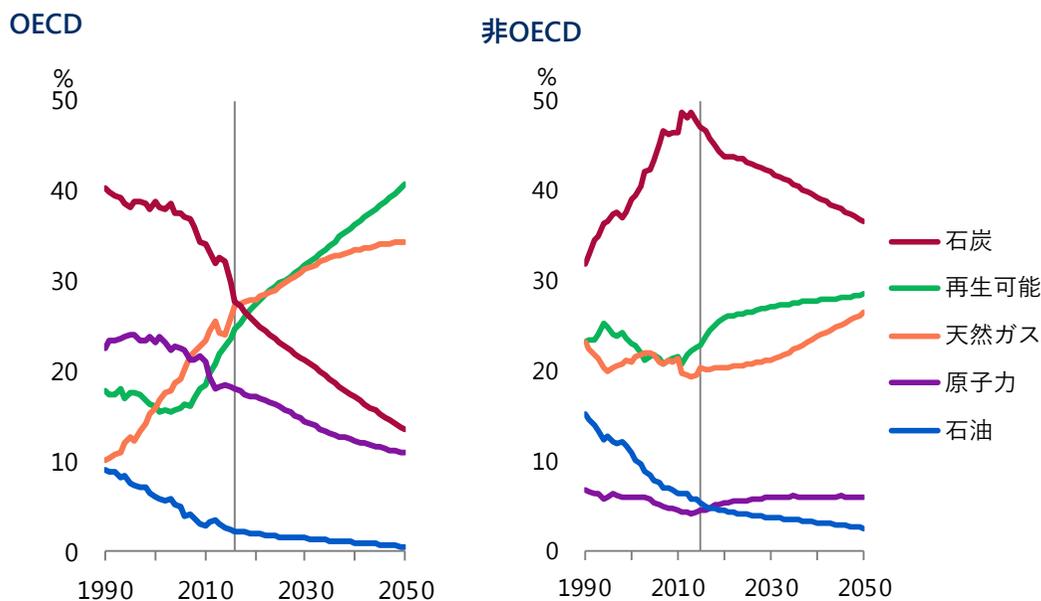
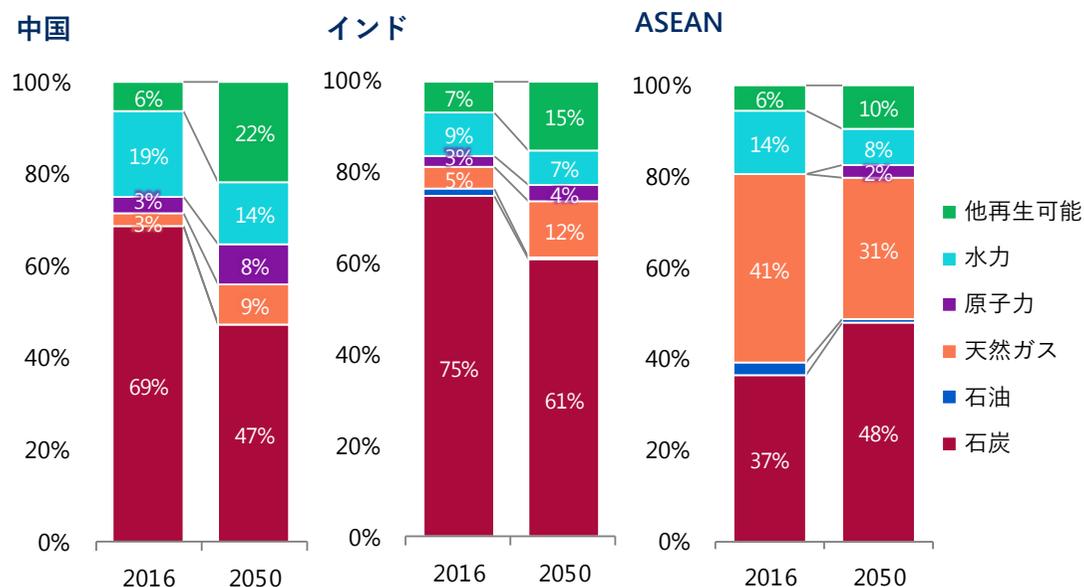


図3-15 | 中国、インド、ASEANの電源構成[レファレンスシナリオ]



アジア、特に中国、インドにおいては急速に伸びる電力消費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、代わって原子力、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、タイ湾等での天然ガス資源開発により、1990年代以降、発電構成は石油から天然ガスへと大きくシフト

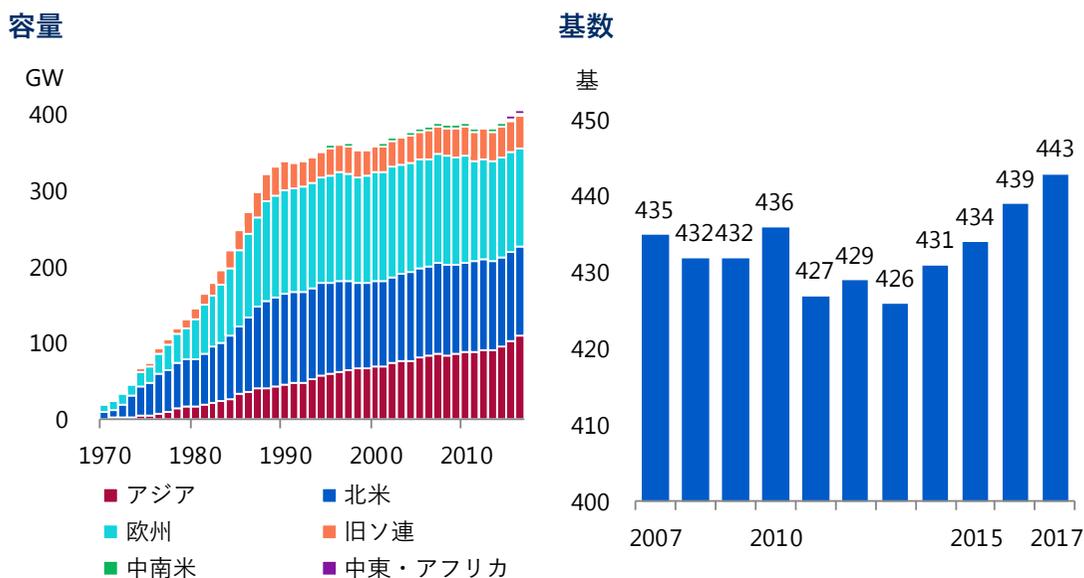
した。しかし、2000年代には天然ガス生産量の頭打ち、他部門での消費増により、発電向けの供給力が不足しつつある。天然ガスの純輸出地域であったASEANでも輸入が進められている。ただし、電源構成における天然ガスのシェアは減少し、石炭へのシフトが進む。

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が福島第一事故前の水準を超えている(図3-16右)。

図3-16 | 原子力発電設備容量と基数

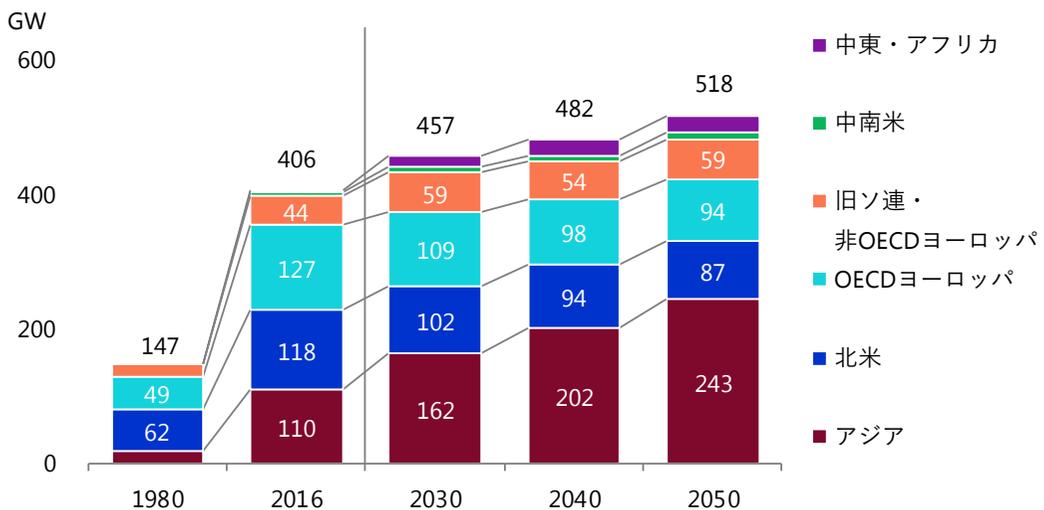


福島第一事故を契機とした世論の変化や建設コストの増大などにより、日本や韓国、米国やヨーロッパの一部の国では従来想定されていた計画どおりの新設は困難となっているほか、1970年代から1980年代頃にかけて建設された既設炉の閉鎖も進むため、将来的には利用規模が縮小する国も少なくない。ただし、そういった国々でも、エネルギー安定供給や気候変動問題への対応、さらには自国の原子力産業育成を通じた国際競争力の維持・強

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いく国も複数存在する。

米国は99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年運転)の試みも進められているが、設備容量は2050年にかけて少しずつ低減していく(図3-17)。

図3-17 | 原子力発電設備容量[レファレンスシナリオ]



ヨーロッパで最大の原子力推進国であるフランスでは、原子力発電の設備容量上限を現行の66 GW (ネット電気出力63.2 GW)とし、2025年には原子力比率を50% (2015年時点は75%程度)とすることを目標としたエネルギー転換法が2015年7月に成立した。しかし、温室効果ガス排出削減目標との兼ね合いなどからFessenheim 1号機以外の閉鎖計画は明らかにされておらず、2025年という目標年についても見直しが見込まれている。したがって、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年にかけてゼロとなる。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2016年の27 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。

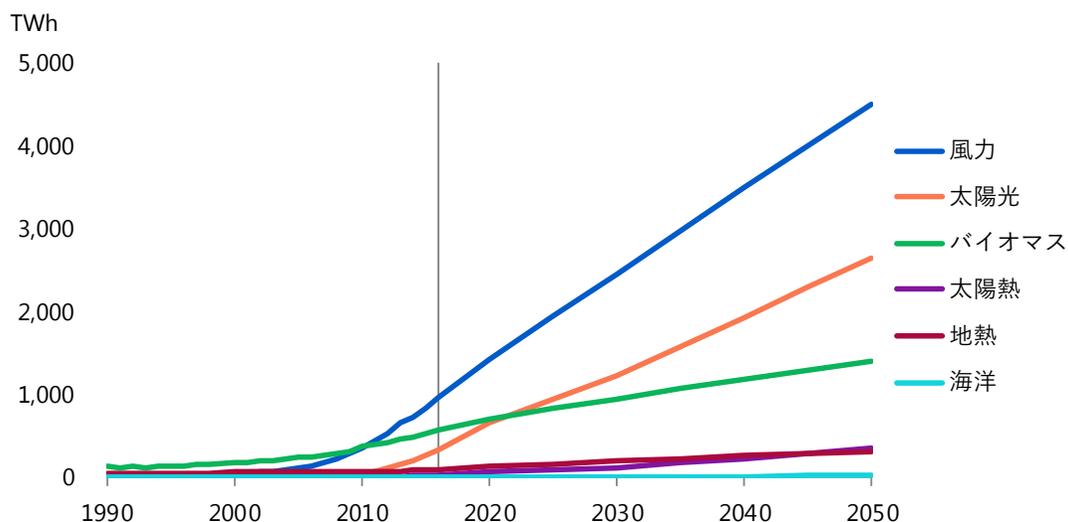
2030年以降には、それまで市場化されていなかった中東やアフリカ、および中南米等の国々の台頭も見られるようになる。中東では、アラブ首長国連邦やサウジアラビア、イランを中心に導入が進み、2050年には設備容量が22 GWに達する。中南米ではブラジルやアルゼンチンを中心に、国内の電力需要の拡大を満たすための原子力発電導入計画が掲げられており、少量ながら新規建設が進められる。

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。2035年には、中国は設備容量が102 GWとなり(2016年時点の中国の設備容量は34 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、2040年には202 GWとなり、OECDヨーロッパと北米の設備容量の和である192 GWを上回る。

再生可能エネルギー発電

太陽光発電、風力発電等の再生可能エネルギーに対しては、大きな期待が寄せられている。ヨーロッパ先進国を中心とした導入支援政策の規模縮小、原油価格の低迷等、ネガティブ要素の影響を受けながらも、大幅にコストが低下している太陽光発電や風力発電を中心に再生可能エネルギー発電の導入量は順調に拡大している(図3-18)。

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]



再生可能エネルギーの導入は、電源の低炭素化に貢献し、対外依存度を低減し、化石燃料価格高騰を潜在的に抑制しうる。大規模な普及の実現には、研究開発の継続によるさらなる低コスト化、高効率化、エネルギーシステムとの調和の実現が重要な課題となる。

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、今後もけん引役を担う(図3-19)。他方、インド、ブラジル、メキシコ等新興国においても、風力発電の設備導

入量が拡大していく。風力発電設備容量は、2016年の465 GWから2050年には2,254 GWへ5倍弱に拡大する。

図3-19 | 風力発電設備容量[レファレンスシナリオ]

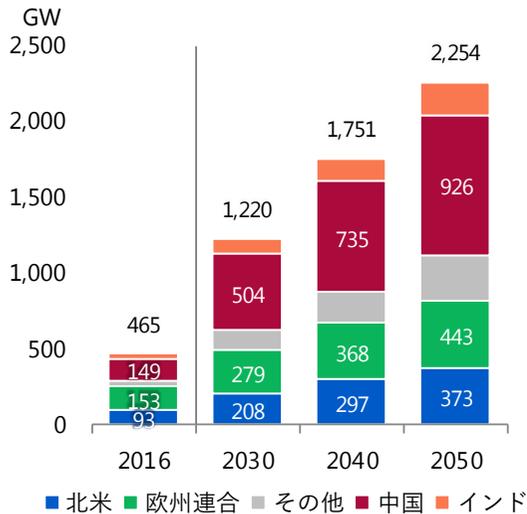
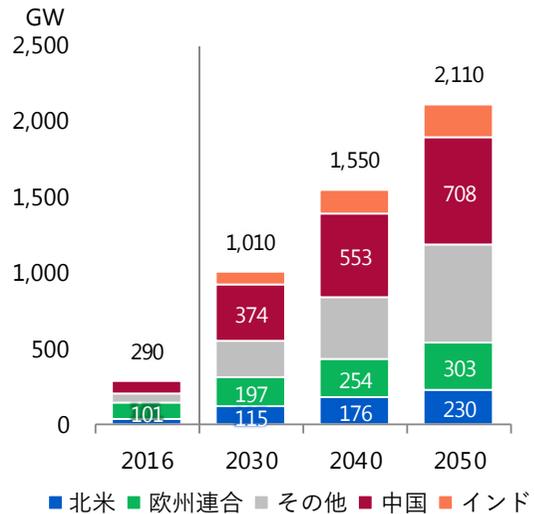


図3-20 | 太陽光発電設備容量[レファレンスシナリオ]



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、アラブ首長国連邦やメキシコ、チリなど日射に恵まれた国での太陽光発電入札で\$30/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、2016年の290 GWから2050年には2,110 GWへ7倍強に拡大する。

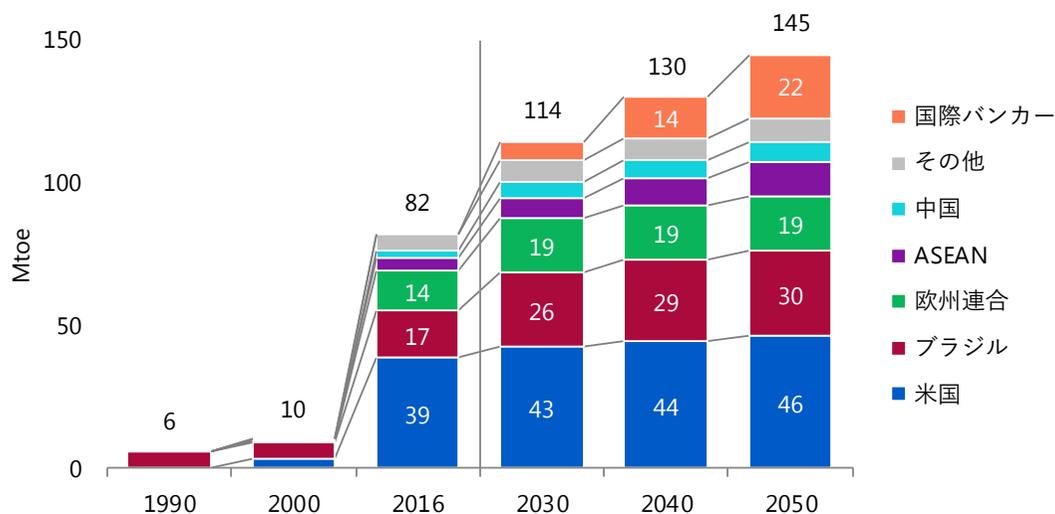
3.5 バイオ燃料

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、欧州連合(EU)に偏っており、2016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割以上を占めている。

世界の自動車用バイオ燃料導入量は、2016年の82 Mtoeから2050年に145 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)の普及より、利用量が堅調に増加する。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]

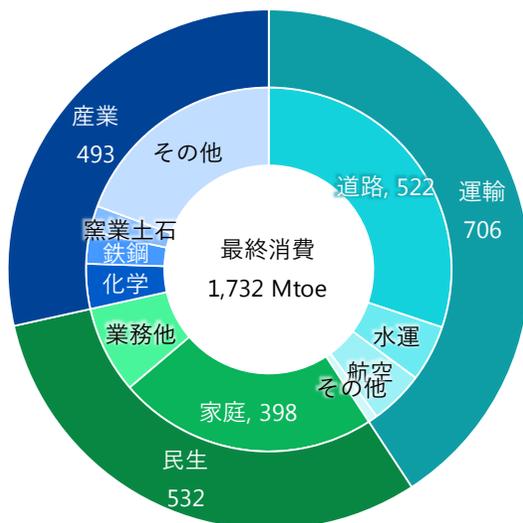
		2016年 → 2050年 (レファレンス2050年)	
		先進国	発展途上国
火力発電		初期投資ファイナンススキーム整備 IGCC新設導入比率0% → 60% (20%) 2030年以降新設CCS導入(帯水層を除く貯留ポテンシャルがある国)	
[ストック効率]		天然ガス: 48.4% → 56.8% (57.0%) 石炭: 37.2% → 43.5% (44.3%)	天然ガス: 37.1% → 49.1% (45.9%) 石炭: 35.4% → 39.3% (40.6%)
原子力発電		適切な卸電力市場価格の維持	初期投資の融資枠組み整備
[設備容量]		2016年: 311 GW → 298 (217)	2016年: 96 GW → 550 (302)
再生可能発電		システムコスト低減	システムコスト低減
[設備容量]		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 風力: 237 GW → 1,091 (718) 太陽光: 165 GW → 909 (573)	低コスト融資 電力システムの高度化 風力: 178 GW → 1,912 (1,152) 太陽光: 60 GW → 1,588 (946)
自動車用バイオ燃料		次世代バイオ燃料の開発	バイオ燃料のコスト低減
[消費量]		FFVの普及拡大 55 Mtoe → 106 (69)	農業政策としての位置づけ 27 Mtoe → 81 (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]		14.5 km/L → 39.3 (28.6)	12.9 km/L → 30.5 (21.7)
[乗用ZEV販売比率]		0.8% → 64% (40%)	0.6% → 48% (25%)
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1,732 Mtoeの最終エネルギー消費が節減される。これは、2016年の世界の最終エネルギー消費の18%に及ぶ量である。節減量の内訳は、運輸部門が706 Mtoe、民生部門が532 Mtoe、産業部門が493 Mtoeである(図4-2)。運輸部門の中では道路部門が522 Mtoe、民生部門の中では家庭部門が398 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82%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404 Mtoe節減され、素材系産業の生産量の割合が高いアジアにおける節減は世界の58%を占める。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20%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9.3 km/L改善して33.0 km/L (3.0 L/100 km)になる。先進地域では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33%となり、国際航空ではバイオ燃料が17%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 | エネルギー指標

	2016	2050 レファレンス	2050 技術進展
産業	鉄鋼原単位(2016=100)	100	63.3
	窯業土石原単位(2016=100)	100	70.6
	化学原単位(2016=100)	100	66.8
	紙パルプ原単位(2016=100)	100	71.9
	その他産業原単位(2016=100)	100	59.8
運輸	乗用車の新車燃費(km/L)	13.6	33.0
	ZEV販売シェア	0.6%	46%
	外航海運の天然ガスシェア	0.0%	33%
	国際航空のバイオ燃料シェア	0.0%	17%
民生	家庭総合効率(2016=100)	100	51.2
	業務総合効率(2016=100)	100	39.8
	家庭電化率	24%	37%
	業務電化率	52%	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

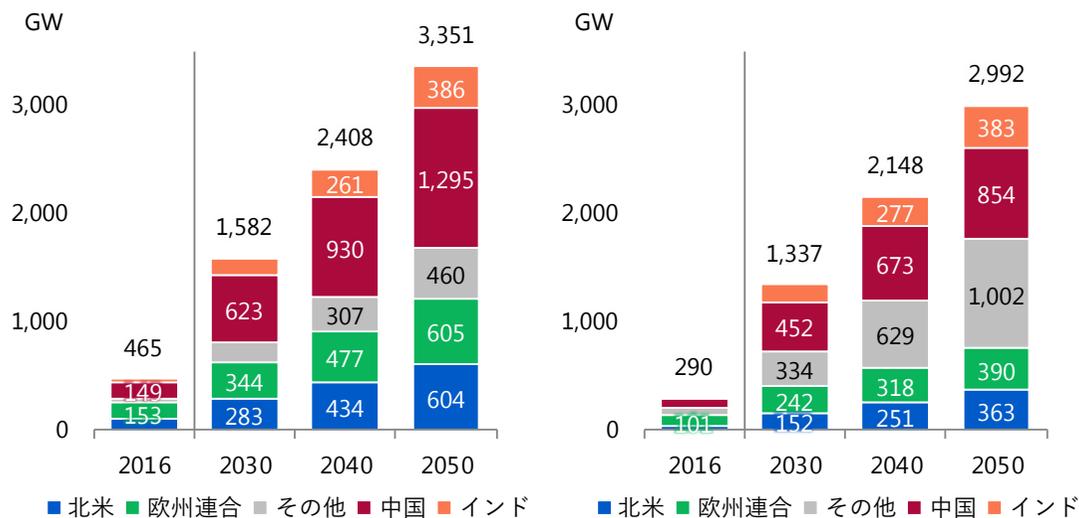
技術進展シナリオでは、一次エネルギー消費に占める再生可能エネルギー(水力を含む)のシェアは、2016年の14%から2050年にはレファレンスシナリオを5%ポイント上回る22%に上昇する。その牽引役は、風力発電や太陽光発電であり、これらの合計(太陽熱発電と海洋発電も含む)が一次エネルギー消費に占める割合は、2016年の1.1%から2050年には6.9%まで上昇する。

風力発電は、陸上風力発電のさらなるコスト削減と送電インフラの整備によって、新興・途上国および米国を中心に導入が加速する。また、ヨーロッパを中心に建設コスト、運営

管理費、系統連系コストの低減により洋上風力発電の導入が拡大する(図4-3)。2050年の世界の設備容量は3,351 GWで、レファレンスシナリオの1.5倍弱となる。

太陽光発電は、システムコストの低減によって、新興・途上国において普及がさらに拡大する(図4-4)。特に、中国、インド、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。先進国では、蓄電池の価格低下が普及を加速させる。2050年における世界の設備容量は2,992 GWと、レファレンスシナリオの1.4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]



風力発電や太陽光発電等の自然変動電源の導入拡大を加速させる要因は、建設コストや、システム価格の低減であるが、環境負荷低減や、投資家や消費者の環境意識の向上も重要な要素である。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。

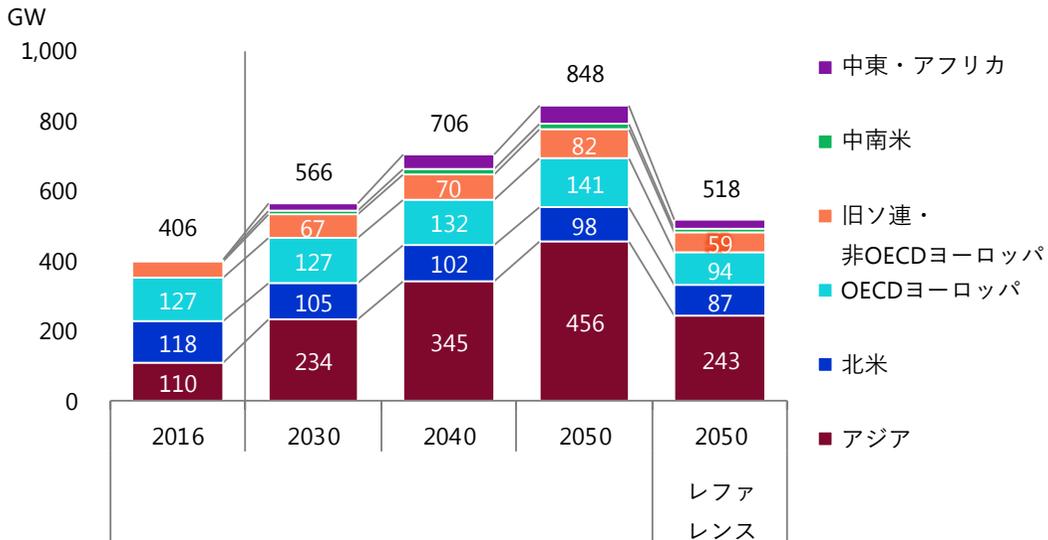
原子力

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2016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ー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2016年の406 GWから2050年には848 GWに増大する(図4-5)。レファレンスシナリオでの518 GW比では1.6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98 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、米国では原子力による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87 GWとなる(レファレンスシナリオ: 82 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、2016年の127 GWから2050年には141 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2016年の27 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2030年にOECDヨーロッパと北米の和(232 GW)を上回り、2050年には456 GW

に達する。中国は2030年に米国の設備容量(94 GW)を上回って世界最大の原子力利用国となり、2050年には250 GWまで導入が進む。インドは2016年時点の設備容量が6 GWであるが、政府は積極的な原子力導入目標を掲げており、2030年には37 GW、2050年には90 GWまで拡大する。

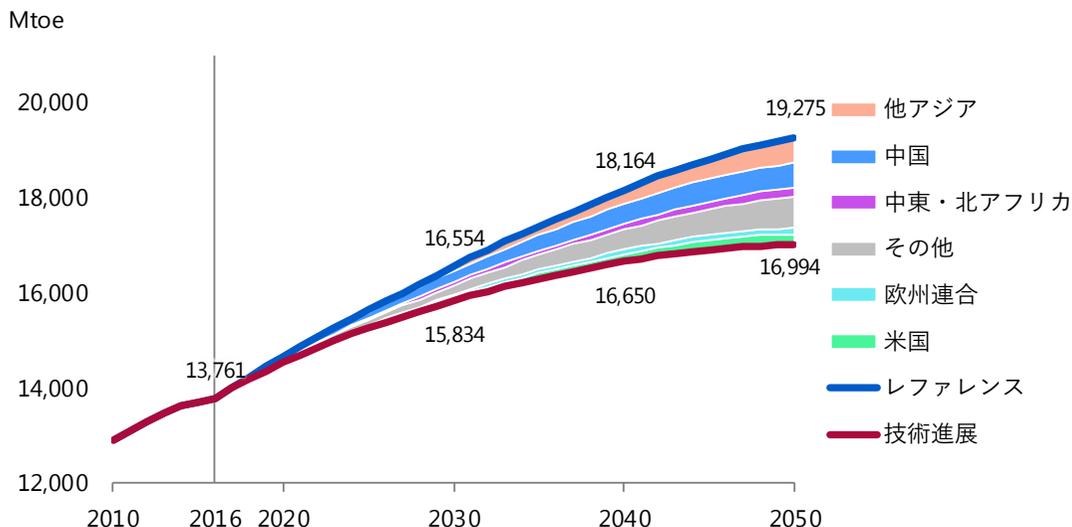
新興市場とされる中東、アフリカ、中南米では、2025年頃より新設炉の運転開始を迎え、以降設備容量は着実に拡大する。特に中東では、アラブ首長国連邦とサウジアラビアを中心に新規建設が計画されており、2030年に19 GW、2050年に37 GWまで達する。

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16,994 Mtoeであり、レファレンスシナリオからの節減量は2,281 Mtoeと、世界の2016年の一次エネルギー消費量の17%に相当する。さらに、2050年までの累積節減量は、約35 Gtoeにも及ぶ。これは、世界の一次エネルギー消費の2.6年分に当たる。

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

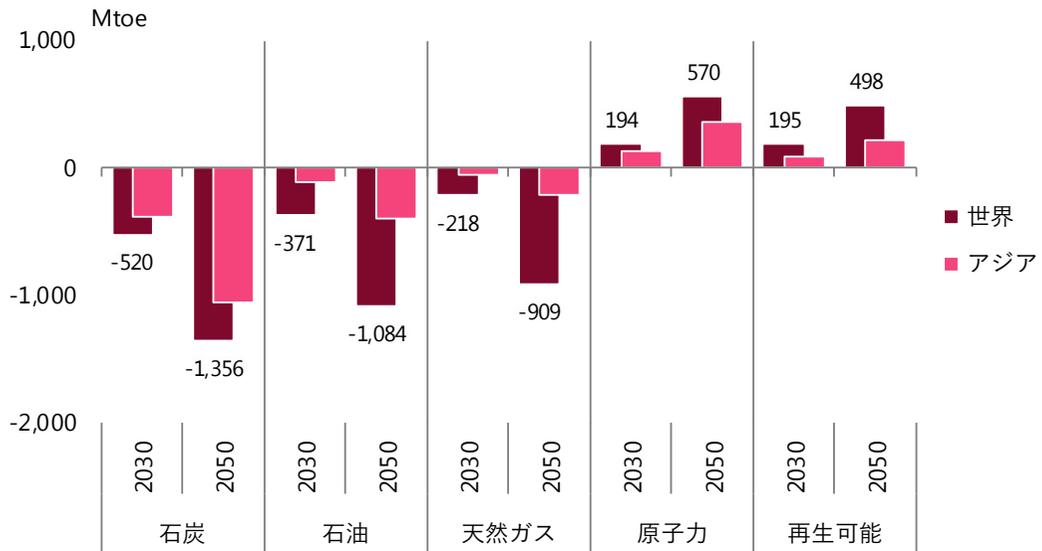


技術進展シナリオへの移行においては、今後エネルギー需要が拡大し、かつ節減対策ポテンシャルが大きい非OECDやアジアの役割が大きい。2050年における世界の省エネルギー量のうち、非OECDによる分は74%、アジアによる分は47%に上る。これらの地域でのエネルギー消費が、世界で必要とされるエネルギーの消費・生産形態、あるいは地球環境への影響力など、広い意味での世界のエネルギーシステムを変革するカギを握っている。

一次エネルギー消費節減量をエネルギー源別に見ると、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2,281 Mtoeのうち、石炭が1,356 Mtoe、石油が1,084 Mtoe、天然ガスが909 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570 Mtoe(うちアジアが361 Mtoe)、水力を除く再生可能エネルギーが498 Mtoe(同223 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、2016年の81%から2050年に69%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78%と非常に高い。また、原子力の増加量に対しても、アジアの寄与は63%と過半を占めるが、水力を除く再生可能エネルギーの増加量に対しては45%の寄与にとどまる。

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]

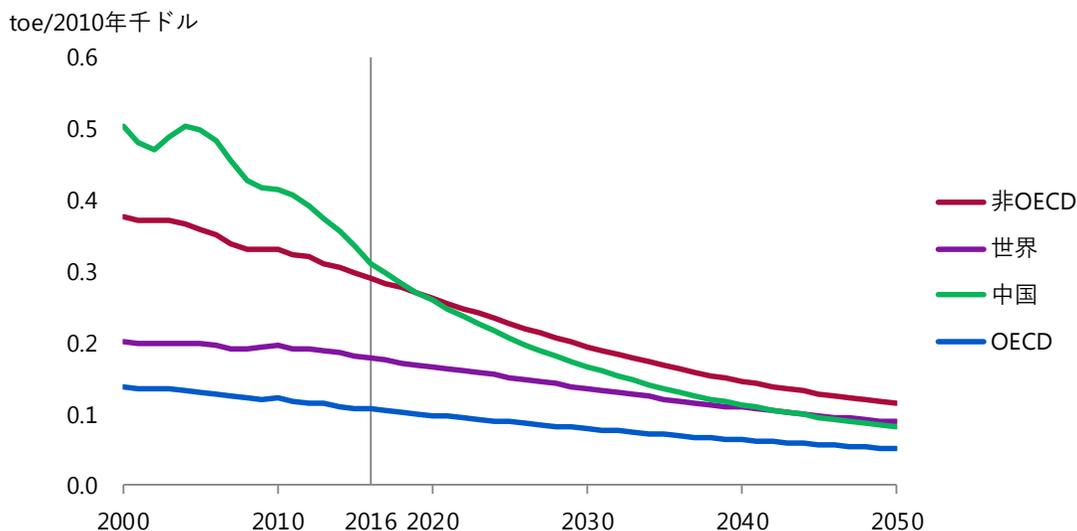


マクロなエネルギー効率を示す世界の一次エネルギー消費量の対GDP原単位は、2050年に2016年比50%減少する(図4-8)。OECDが52%減であるのに対して、非OECDは2016年の効率改善の余地がOECDよりも大きいことから、61%減とOECDより大きく減少し差を縮めてゆく。中でも中国の対GDP原単位は、産業構造の変化などから足元でも急速に減少しているが、この先も減少が続き、2020年ごろに非OECDの平均を下回り、2040年代半ばには世界平均に追いつく。アジア全体では、対GDP原単位は2050年までに59%減少する。

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。

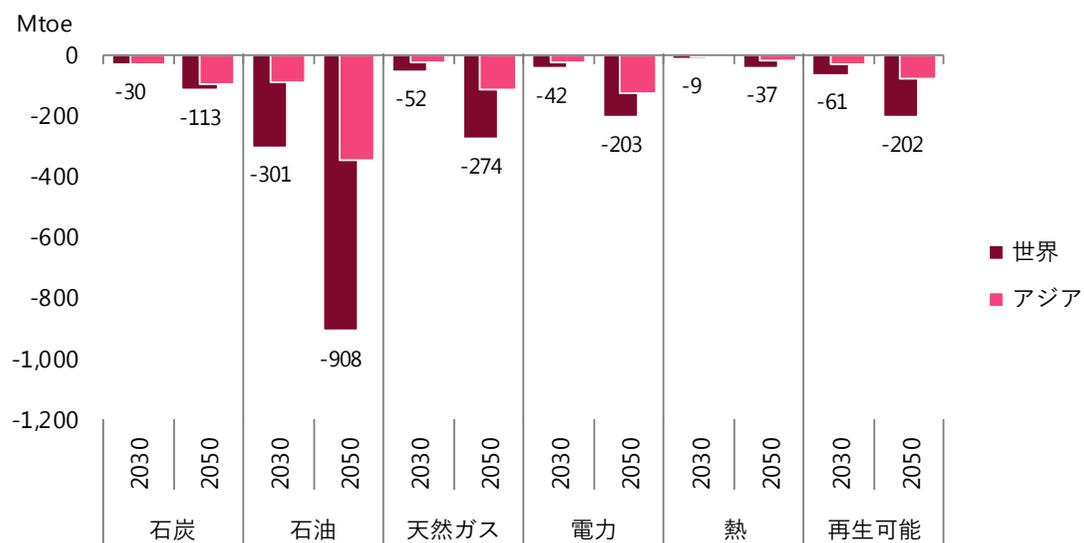
図4-8 | 一次エネルギー消費量の対GDP原単位[技術進展シナリオ]



最終エネルギー消費

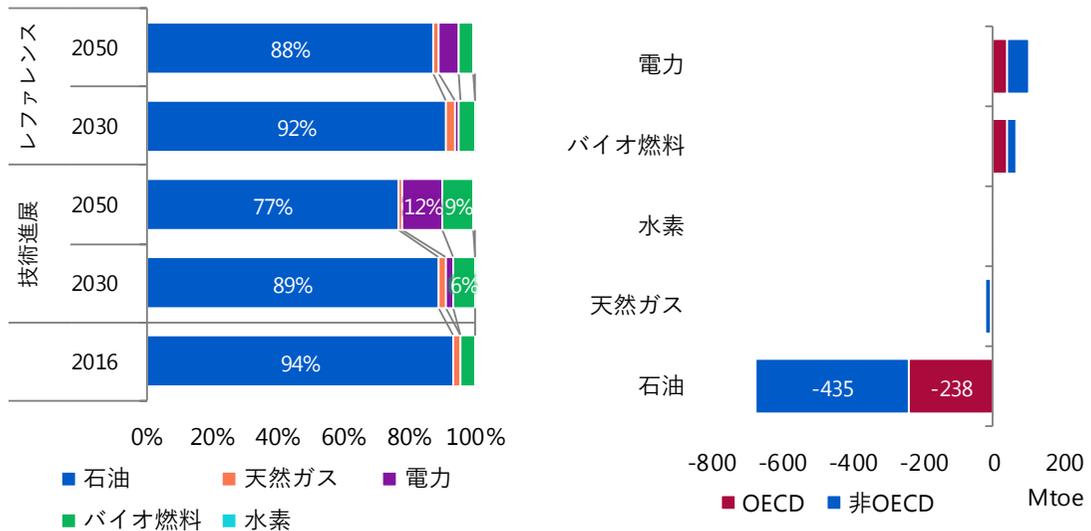
最終エネルギー消費は、2050年において1,732 Mtoe節減されうる。このうち、石油が908 Mtoeであり、省エネルギー量の52%を占める(図4-9)。

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]



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。2016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)。

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]



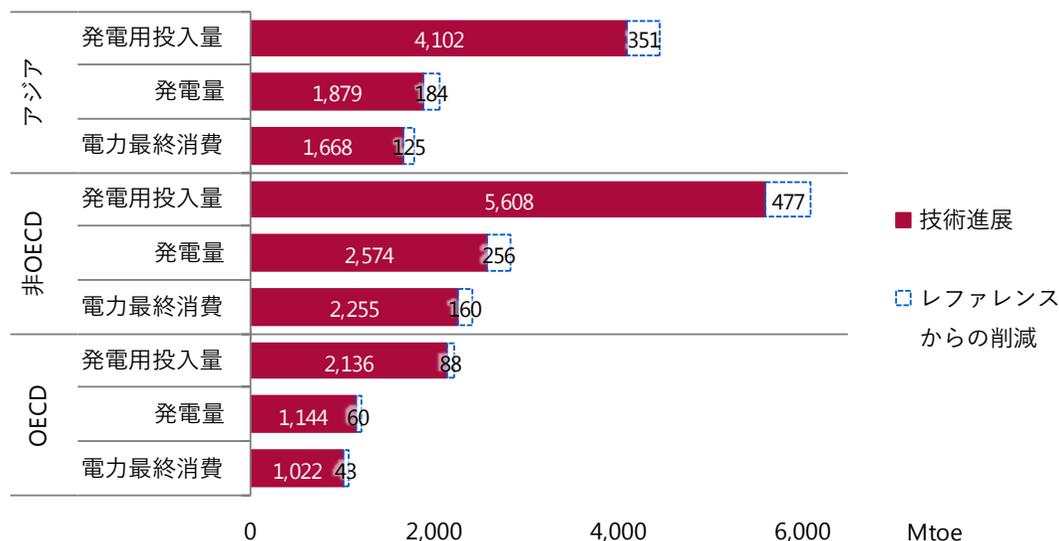
電力の最終消費は203 Mtoe節減され、これにより発電量を316 Mtoe削減される。発電効率向上の効果も相まって、一次エネルギー消費は565 Mtoe節減される(図4-12)。これは一次エネルギー消費の総節減量の25%に相当する。この節減に大きく寄与する地域は、アジアである。アジア新興国での発電効率は大きく向上し、電力需要の増加に伴う新規発電設備の導入やリプレースによって2050年には先進地域とほぼ大差ない水準まで改善する。

世界的な発電効率改善の実現を目指す過程においては、先進地域と新興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地域の協力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、先進地域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地域に普及し、新興国にその技術が移転されることが期待される。

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]

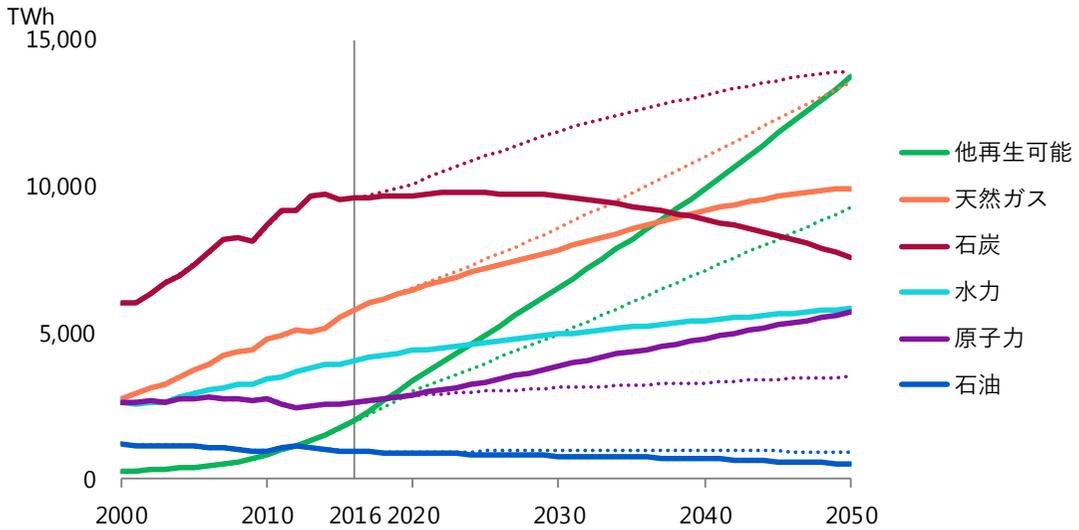


石炭の最終消費の節減は2050年には113 Mtoeとなり、アジアは世界全体の節減量の84%を占める。このうち、粗鋼生産量が拡大するインド等の鉄鋼業での省エネルギーが要諦となる。例えば、日本の粗鋼生産量あたりのエネルギー消費量は、世界トップレベルの小ささであり、インドの約3分の1となっている。今後、インドを含むアジア新興国に、日本のような先進地域の高効率技術を移転することができれば、当該部門のエネルギー節減の実現性は非常に高くなる。先進地域は、省エネルギー設備・機器のハード面だけでなく、オペレーション等のソフト面においてもエネルギー節減に貢献できよう。

電源構成

技術進展シナリオでは、電力最終消費の節減が発電量を3,670 TWh減少させる。これは、OECDヨーロッパの2016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になり、原子力による発電の存在感も高まってゆく(図4-13)。

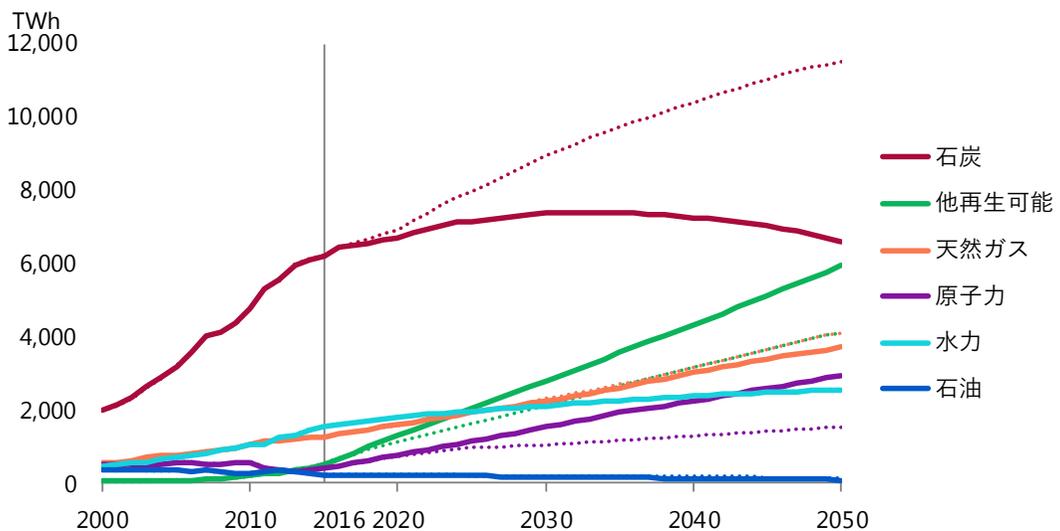
図4-13 | 世界のエネルギー源別発電量[技術進展シナリオ]



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うる。とはいえ、アジアでは、総発電量に占める石炭の割合は、2050年においても他の地域に比べて高いことに変わりはない(図4-14)。中国等では再生可能エネルギー技術の導入が盛んになっており、これらの導入拡大を今後も持続させながら、石炭消費量を節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から、2030年および2050年の石油消費はレファレンスシナリオと比べてそれぞれ7%、19%減少する。消費の伸びが大きく減少し、2030年ごろには横ばいないしわずかな減少を迎える状況で、各地域の原油生産量は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]

	2016	2030	2040	2050	2016-2050	
					変化量	変化率
原油生産計	92.0	95.5	95.0	92.4	0.4	0.0%
OPEC	39.9	40.8	43.6	44.4	4.6	0.3%
中東	174.8	176.2	175.7	171.1	-3.7	-0.1%
その他	53.1	52.6	53.2	52.1	-1.0	-0.1%
非OPEC	52.2	54.7	51.4	48.0	-4.2	-0.2%
北米	16.8	21.6	19.4	16.7	-0.1	0.0%
中南米	6.9	7.8	8.8	9.4	2.5	0.9%
欧州・ユーラシア	17.7	15.7	14.1	13.1	-4.6	-0.9%
中東	1.3	1.4	1.4	1.4	0.1	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	8.0	6.8	6.2	5.9	-2.2	-0.9%
プロセスゲイン	2.3	2.6	2.7	2.8	0.5	0.6%
バイオ燃料	2.2	4.2	5.6	6.7	4.5	3.3%
GTL、CTL	0.3	0.9	1.0	1.1	0.8	4.0%
液体燃料供給計	96.9	103.2	104.4	103.0	6.1	0.2%

もっとも、産油国間の競合が強まり、相対的にコスト競争力の高いOPECのシェアが、レファレンスシナリオと比較して上昇する。コスト競争力が相対的に低い北米やアフリカ、中南米や、消費が減少するヨーロッパ向け供給が多いロシアを中心とするヨーロッパ・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、生産の減少率は相対的に小さく、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

技術進展シナリオにおいては、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って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に比べると11%、2050年時点では同18%低い水準となる(表4-3)。ただ、石油や石炭に比べれば、レファレンスシナリオとの差は小さい。

表4-3 | 天然ガス生産[技術進展シナリオ]

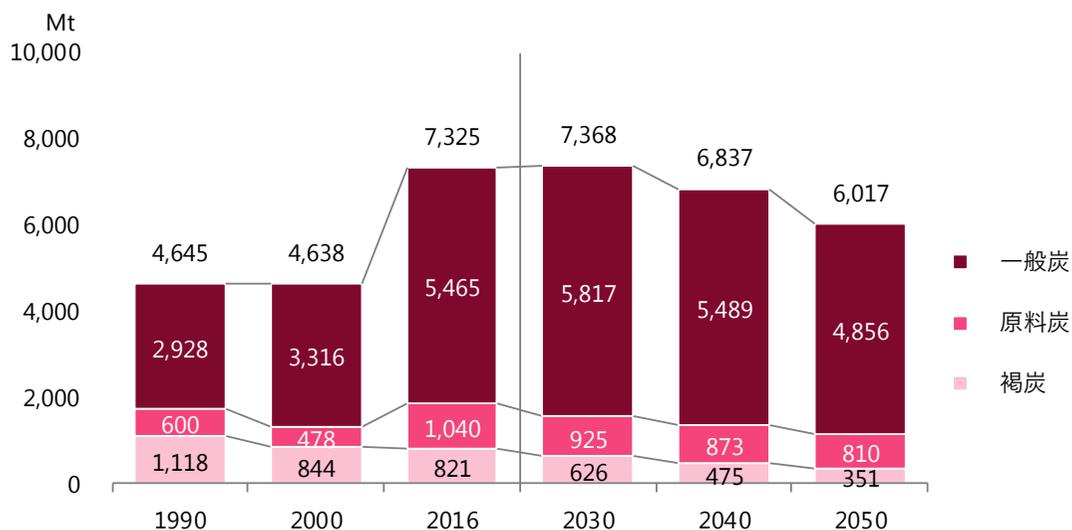
	2016	2030	2040	2050	(Bcm)	
					2016-2050 変化量	変化率
世界	3,502	4,333	4,762	4,912	1,410	1.0%
北米	901	1,180	1,244	1,158	257	0.7%
中南米	199	247	294	338	139	1.6%
OECDヨーロッパ	245	169	131	64	-181	-3.9%
非OECDヨーロッパ/中央アジア	790	908	954	1,001	211	0.7%
ロシア	599	673	741	783	184	0.8%
中東	610	744	824	972	362	1.4%
アフリカ	211	324	428	436	225	2.2%
アジア	466	591	705	756	291	1.4%
中国	133	237	335	373	240	3.1%
インド	30	58	81	85	55	3.1%
ASEAN	213	211	215	228	15	0.2%
オセアニア	81	170	182	187	106	2.5%

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が、比較的開発コストが高い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べて4割程度の低い水準となる。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ればその増加ペースは落ちるものの、堅調に生産を増加させる。

石炭供給

技術進展シナリオでの石炭消費は、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、減少に向かう。それに伴い石炭生産量は、2016年の7,325 Mtから2050年の6,017 Mtまで減少する(図4-15)。炭種別にみると、一般炭生産量は2016年の5,465 Mtから2050年には4,856 Mtに、原料炭生産量は2016年の1,040 Mtから2050年には810 Mtに、褐炭生産量は2016年の821 Mtから2050年には351 Mtに減少する。2050年の石炭生産量は石炭全体でレファレンスシナリオ比3,083 Mt減少し、その内訳は一般炭が2,577 Mt、原料炭が203 Mt、褐炭が302 Mtの減少となる。

図4-15 | 石炭生産[技術進展シナリオ]



石炭生産量は消費が大きく減少する北米、OECDヨーロッパ、中国において大きく減少する(表4-4)。一方、インドとインドネシアでは、消費増に伴い生産量が増加する。また、世界全体の消費減少に伴い石炭貿易量が減少するため、石炭輸出国の生産量は地域により異なるが横ばいから減少となる。

表4-4 | 石炭生産[技術進展シナリオ]

一般炭生産	2016	2030	2040	2050	(Mt)	
					変化量	変化率
世界	5,465	5,817	5,489	4,856	-609	-0.3%
北米	571	390	243	118	-453	-4.5%
米国	544	387	240	115	-429	-4.5%
中南米	101	112	116	114	13	0.4%
コロンビア	86	98	102	101	15	0.5%
OECDヨーロッパ	72	54	36	23	-49	-3.3%
非OECDヨーロッパ・中央アジア	324	304	301	279	-45	-0.4%
ロシア	209	209	210	200	-9	-0.1%
中東	0	0	0	0	0	1.1%
アフリカ	258	285	286	267	9	0.1%
南アフリカ	252	269	263	239	-12	-0.1%
アジア	3,889	4,403	4,217	3,780	-109	-0.1%
中国	2,721	2,761	2,444	1,907	-814	-1.0%
インド	609	998	1,114	1,207	598	2.0%
インドネシア	460	541	552	552	92	0.5%
オセアニア	251	269	288	275	25	0.3%
オーストラリア	250	268	287	275	25	0.3%

原料炭生産	2016	2030	2040	2050	(Mt)	
					変化量	変化率
世界	1,040	925	873	810	-230	-0.8%
北米	75	64	60	52	-23	-1.2%
米国	50	42	39	33	-17	-1.3%
中南米	9	9	9	9	1	0.2%
コロンビア	4	5	5	5	1	0.4%
OECDヨーロッパ	20	14	12	10	-9	-1.9%
非OECDヨーロッパ・中央アジア	110	100	95	89	-21	-0.6%
ロシア	84	73	68	62	-21	-0.8%
中東	1	1	1	1	0	0.0%
アフリカ	8	10	10	10	2	1.0%
モザンビーク	4	6	7	7	3	1.2%
アジア	627	559	523	487	-140	-1.0%
中国	547	435	376	325	-222	-2.0%
インド	57	105	128	145	88	3.1%
モンゴル	20	15	13	11	-9	-1.9%
オセアニア	190	167	163	152	-38	-0.4%
オーストラリア	189	166	161	151	-38	-0.5%

4.3 二酸化炭素、温室効果ガス排出量

パリ協定と2030年温室効果ガス削減目標

2015年12月の国連気候変動枠組条約第21回締約国会議(COP21)でパリ協定が採択され、2020年以降の温室効果ガス(GHG)排出削減等のための国際枠組みが整備された(表4-5)。

表4-5 | パリ協定の概要

項目	内容
緩和(削減) 目標設定の 事前プロセス	<p>パリ協定締約国会合は、この協定の目的と長期目標の達成に向けた全体の進捗を定期的に評価しなければならない(グローバルストックテイク)。また各国が定める貢献(削減目標等)を5年ごとに通知する際には、グローバルストックテイクの結果を踏まえなければならない。</p> <p>すべての締約国は、長期低排出発展戦略を作成・通知するよう努力すべき。(COP決定)</p> <p>締約国は2018年に気温上昇を抑えるための長期削減目標に向けた進捗に関する締約国全体の努力をレビューする「促進的対話」を招集(グローバルストックテイクの前哨戦)。</p> <p>気候変動に関する政府間パネル(IPCC)に対して、産業化前レベルより1.5°C地球温暖化の影響および関係する世界の温室効果ガス排出経路に関する特別報告書を2018年に提供するよう招請。</p>
緩和(削減) 目標達成の 事後レビュー	<p>各締約国が緩和行動および支援に関して提出した情報は、技術的専門家レビューを受けなければならない。また各締約国は、支援に対する努力および各国が定める貢献の実施・達成に関して、促進的性質で多国間の進捗検討に参加しなければならない。</p> <p>パリ協定の規定の実施および遵守の促進のメカニズムを設置</p>
適応	<p>気候変動に対する脆弱性の減少などの適応に関する世界目標を設定。</p> <p>途上国の適応努力は認識されなければならない。</p> <p>各国は、適当な場合、適応に関する報告を提出および定期的に更新すべき</p>
資金	<p>先進国は、資金提供および資金の調達に関する情報を隔年で通知しなければならない。</p> <p>(COP決定)</p> <p>パリ協定締約国会合は、2025年までに2020年以降の資金に関する全体目標を設定しなければならない。</p>

パリ協定の下でのパリ協定特別作業部会では、協定実施のため、①目標設定に関して、5年ごとに通知することとなった各国で定める貢献(削減目標等、Nationally Determined Contribution, NDC)に関するガイダンスや、長期目標の達成に向けた5年ごとの全体進捗

評価(グローバルストックテイク)、②目標達成のチェックに関して、削減行動や支援等についての透明性を確保する枠組みの手続き・ガイドライン、実施・遵守のためのメカニズム、③適応ニーズの通知に関するガイダンス、④資金等のその他の事項についてどのように議論を行うか、等が検討されている。パリ協定の実施のための作業は2018年12月、ポーランド・カトビツェ市で開かれるCOP24までに終わることとされている。

主要国・地域は、NDCを5年ごとに提出、更新することが求められている(現在のNDCは表4-6)。各国が次のNDCを提出する際には、その前のNDCより厳格化することになっており、長期目標の達成に向けた全体の進捗が5年に1度評価されるが(グローバルストックテイク)、その結果を各国はNDCを5年ごとに通知する際に考慮に入れなければならない。

表4-6 | 主要国・地域のNDC

	目標タイプ	削減水準(%)	参照点	目標年	対象セクター・ガス
中国	基準年比対GDP原単位	60~65	2005	2030	CO ₂ 排出量
米国	基準年比排出量	26~28	2005	2025	GHG排出量*
欧州連合	基準年比排出量	40	1990	2030	GHG排出量
ロシア	基準年比排出量	25~30	1990	2030	GHG排出量
インド	基準年比対GDP原単位	33~35	2005	2030	GHG排出量
日本	基準年比排出量	26	2013	2030	GHG排出量
ブラジル	基準年比排出量	37 (2030年 43)	2005	2025	GHG排出量
インドネシア	BAU比排出量	29	BAU	2030	GHG排出量

注: * 基準年排出量には森林吸収源等による吸収量を含む。

米国は、2017年8月4日、パリ協定から脱退する旨の通知を国連に対して提出したが、最短で米国がパリ協定を脱退できるのは2020年11月4日のため、記載している。

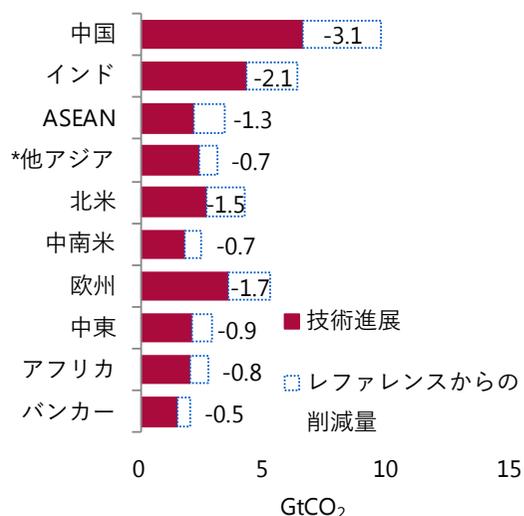
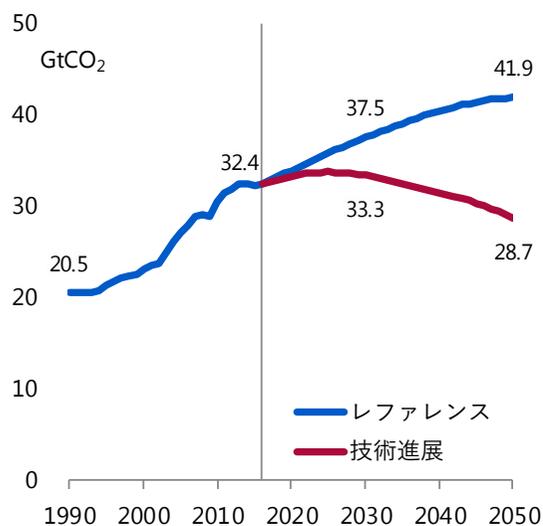
2023年に始まるグローバルストックテイクに先立って、2018年にパリ協定の長期削減目標に向けた進捗に関連付けて締約国全体としての努力を評価する「促進的対話(タラノア対話)」が行われている。また、これらを受けて各国は2020年初めに2030年目標を改めて通知することとなっている。今後この協定での目標を着実に現実のものとし、さらなる削減につなげてゆくためには、削減目標の客観的評価が必要であり、各国には技術進展シナリオ程度の努力が望まれる。その上で、技術革新と同時に、途上国への技術移転および資金支援による世界全体での対策を後押しすることが欠かせない。

技術進展シナリオ

省エネルギー・低炭素技術のいっそうの進展を見込む技術進展シナリオでは、世界のエネルギー起源二酸化炭素(CO₂)排出量は、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2016年比11.2%減の28.7 Gtとなる。レファレンスシナリオからは31%減、13.2 Gtの削減となるが、これは現在のOECD全体の排出量である11.5 Gtを上回る規模である。また、2050年までの累積削減量206 Gtは世界の現排出量の6.4年分に当たる。

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3.1 Gtにのぼる(図4-17)。そのうちの約6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
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削減量を技術別に見ると、省エネルギーによるものが最大で5.3 Gt、次いで再生可能エネルギーが3.8 Gt、二酸化炭素回収・貯留技術(Carbon Capture and Storage, CCS)が2.0 Gt、原子力が1.7 Gtとなる(図4-18、表4-7)。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。

図4-18 | 世界のエネルギー起源二酸化炭素排出と対策別削減寄与

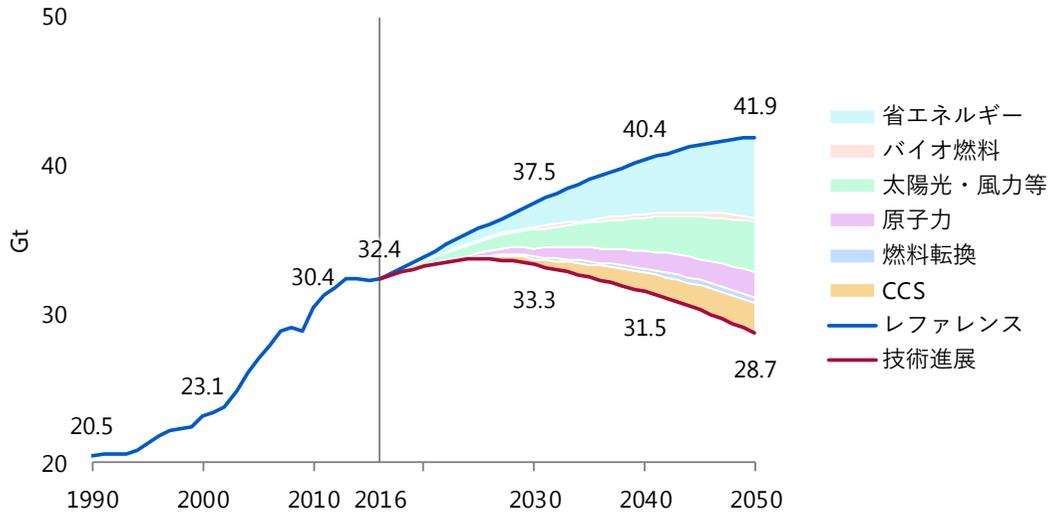


表4-7 | 世界の二酸化炭素削減量(レファレンスシナリオ比) [技術進展シナリオ]

(GtCO₂)

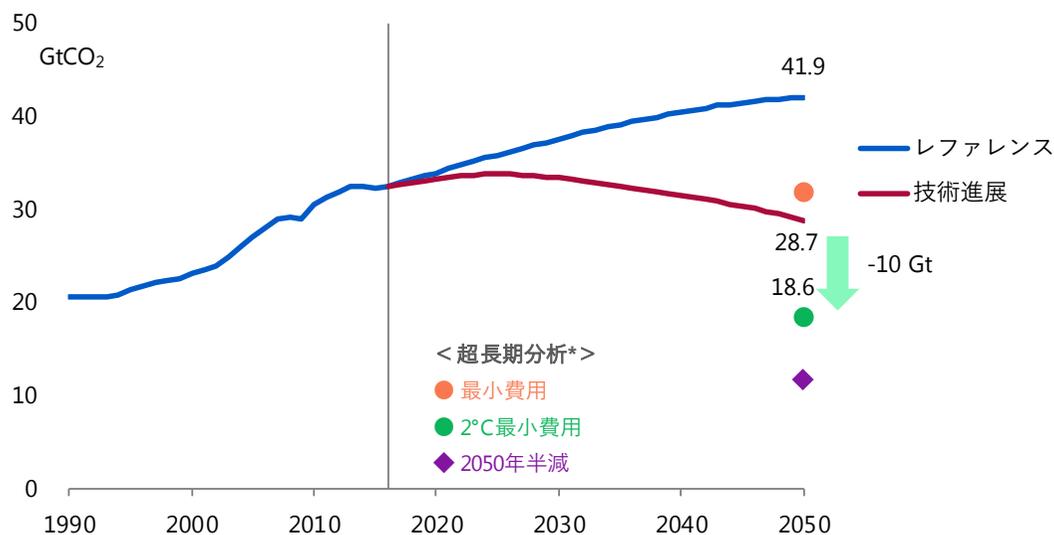
	2050		2017-2050累積	
	削減量	構成比	削減量	構成比
省エネルギー	5.3	40%	83.2	40%
バイオ燃料	0.3	2%	5.8	3%
太陽光・風力等	3.4	26%	55.4	27%
原子力	1.7	13%	27.1	13%
燃料転換	0.4	3%	6.7	3%
CCS	2.0	15%	27.7	13%
合計	13.2	100%	206.3	100%

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。

さらなる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CO₂排出量は2016年比11.2%減で、2050年に半減を目指す考えとは大きな隔たりがある。技術進展シナリオのCO₂排出パスは、前年のIEEJ Outlook 2018の「最小費用パス」と概ね整合的である。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年時点で技術進展シナリオよりもさらに10 Gt削減する必要がある。

図4-19 | 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10 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、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。

カーボンフリー水素による火力発電容量(CCS未設置)の代替や燃料電池自動車の導入には膨大なポテンシャルがある。カーボンフリー水素は、再生可能エネルギー電力を使った電気分解による水素製造、あるいは化石燃料からの水素製造時にCCSを活用することで最終消費段階だけでなく、製造段階からもCO₂を排出しない水素のことである。カーボンフリー水素は自国にCCS貯留ポテンシャルがない国・地域でも貿易を通して入手可能であることが大きな特長の1つである。

CO₂固定化・有効利用については、建材やポリマーが商業化に近く、そのようなCO₂利用製品に2030年で1~7 GtCO₂のCO₂を利用するポテンシャルがある。また、バイオマスを活用したCCS (Bioenergy with Carbon Capture and Storage, BECCS)といったネガティブエミッション技術であれば、2100年時点で12.1 GtのCO₂削減も可能である。ただし、バイオマスを短期伐採林(ヤナギ・ポプラなど)などで供給するためには、世界の農地の7~25%、可耕地・永年作物栽培地の25~46%の土地を要する計算となる。

もちろん、どれか1つの技術だけで10 Gtを削減する必要はなく、これらの革新的技術を複合的かつ適材適所で導入していけばよい。しかし、2050年までに大量導入が必要となることを考えれば、今後10年間で、技術面やコスト面での課題を解決している必要がある。

表4-8 | さらなる削減に向けた革新的技術のコストとポテンシャル

技術	コスト	ポテンシャル
次世代原子炉	約¥4.2/kWh (実用発電高温ガス炉システム試算値(日本))	70~600 MW/基
宇宙太陽光発電	¥10/kWh (コスト目標)	1,300 MW/システム
核融合	€0.0627/kWh~€0.1883/kWh	700 MW/基
水素の利活用	\$0.5/Nm ³ ~\$0.6/Nm ³ (電気分解の場合)、熱量あたり水素価格は約¥1,800/toe	多様な資源から製造できることから膨大
CO ₂ 固定化・有効利用	建材やポリマーは商業化に近い	1~7 GtCO ₂ /年(2030年、CO ₂ 利用製品)
CCS付きバイオエネルギー (BECCS)	\$40/tCO ₂ ~\$100/tCO ₂ (2100年時点でのモデル上での価格中央値は\$36/tCO ₂)	12.1 GtCO ₂ /年(2100年時点)

注: 削減コストは、代替する電源とのコスト差が¥1/kWh、代替する電源の排出係数が0.5 kgCO₂/kWhの場合、¥2,000/tCO₂になる。

出所: IEEJ Outlook 2018およびBustreo, 2013, Fusion energy economics, 64th Semi-annual ETSAP meetingから作成

許容される累積排出量

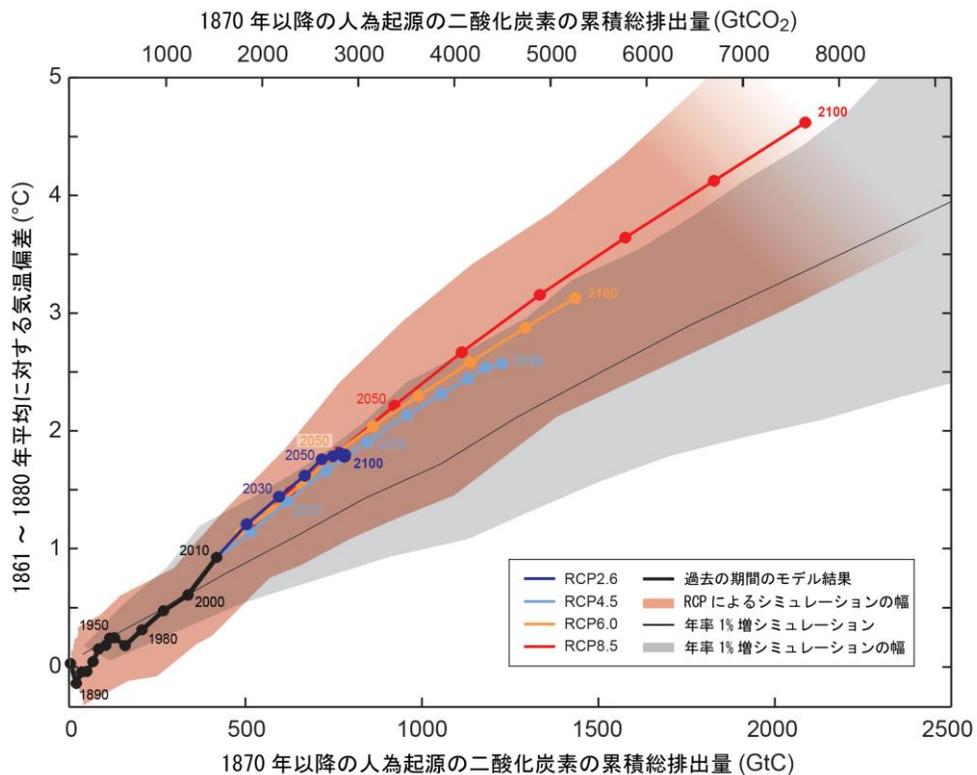
2100年に向けて、当該時点における気温上昇をある一定値に抑えるための上限の累積CO₂排出量(カーボンバジェット)をめぐる議論が行われている。カーボンバジェットの概念は、2009年のCOP9コペンハーゲン会合の前に導入され、ピーク時の温暖化は累積排出量に関係し、排出経路には関係しないとされた。IPCC第5次評価報告書(2013)においてカー

ボンバジェットの概念が前面に出された。それに対して、Miller et al (2017)¹⁸がNature Geoscience誌2017年10月号に発表され、温暖化を1.5°Cに抑えることは地球物理学的に不可能ではないこと、1.5°Cに残されたカーボンバジェットは、以前IPCCによって示されたものの数倍大きい可能性があることを示して大きな関心を集めた。

IPCC第5次評価報告書(2013)では、次のように記されている。

CO₂の累積総排出量と世界平均地上気温の応答とはほぼ直線的に関係している。人為的CO₂排出量のみにより引き起こされる温暖化を、33%、50%、66%の確率で1861～1880年の期間以降2°C未満に抑えるには、すべての人為的排出源からの累積CO₂排出量を、それぞれ1,570 GtC、1,210 GtC、1,000 GtC以下にする必要がある。これらの値は、RCP2.6¹⁹の非CO₂放射強制力を考慮した場合、それぞれ900 GtC、820 GtC、790 GtCに削減される。515 GtCがすでに2011年までに排出されている。

図4-20 | 世界全体の二酸化炭素の累積総排出量と世界平均地上気温の上昇量



出所: IPCC第5次評価報告書第1作業部会報告書政策決定者向け要約(気象庁訳)

¹⁸ Miller, R. J. et al. *Nat. Geosci.* **10**, 741-747 (2017).

¹⁹ 代表的濃度経路(Representative Concentration Pathway)。排出量と濃度の時系列を含む経路で、特定の放射強制力に達する多くの可能性のあるシナリオから選ばれた一つ。RCP2.6は、放射強制力が2100年より前に3 W/m²でピークを迎え、その後減少するもので、RCPの中で、達する放射強制力が最も低いもの。

また、Miller et al. (2017)では、次のように記されている。

2015年の人為起源の温暖化の推定値は1861～80年比0.93°C、2015年より前の累積炭素排出量は1870年以降545 GtCであるが、5th Coupled Model Intercomparison Projectで集められた地球システムモデル(CMIP5)の応答の中央値とは相違がある。2010年代から0.6°Cの温暖化についての残りのカーボンバジェットを評価するため、現在の温暖化と累積排出量を起点にしてCMIP5を分析した。CMIP5モデルの応答の中央値によれば、将来の累積排出許容量(閾値超過バジェット, TEB)²⁰は、2010～2019年平均に対する0.6°Cの温暖化について223 GtC、2015年からでは204 GtCのTEBになる(IPCC第5次評価報告書で2°Cカーボンバジェットを評価した方法と同じ、CMIPモデルの66%値)。

しかし、TEBは非CO₂の放射強制力に適用されないことから、21世紀の残りを通じて非CO₂放射強制力が2010～2019年平均に近いままになるRCP2.6シナリオを用いて検討を行った。RCP2.6はCO₂排出削減が2010年に始まるが、これを現在の排出量と現在の気候放射強制力に一致するように修正した。この修正されたRCP2.6-2017シナリオは、CO₂と他の人為的放射強制力成分について、RCP2.6シナリオの2010年からと同様の変化率を仮定し、削減開始時点を7年遅らせ2017年にするものである。このシナリオの将来の温暖化への影響を、CMIP5モデルの放射強制力への応答を再現する簡単な気候モデルで評価した。RCP2.6-2017シナリオの温暖化ピークは、2015年の温暖化を0.92°Cとすると、1.24°C～2.03°C(2100年の温暖化で1.12～1.99°C)である。過渡的気候応答(TCR)²¹の中央値である1.6°Cを用いると、RCP2.6-2017の温暖化ピークの中央値は1.55°C、2100年には1.47°Cになる。

現状の気候応答の不確実性を考慮して、さまざまな気候応答について、2100年1.5°Cの温暖化に一致する将来の気温経路の分布を検討した。気温は、当初はRCP2.6-2017シナリオへの応答にしたがい、その後、最尤応答値による経路に変わるとした。気温経路から排出経路を導出し気温経路に一致する排出経路を示し、当該排出経路の下での累積排出量(ネットのカーボンバジェット)を示した。中央ケースは、2015年から2100年の370 GtCの累積バジェット(最後の数十年に最大で10 GtCのネガティブ排出量を含む)に対応する。21世紀中頃の気温オーバーシュートを許容すると、2015年から2100年の累積カーボンバジェットは、33～67%の確率範囲で250～540 GtCになる。下限の250 GtCは、先に示したCMIP5の分布の66%値である204 GtCのTEBよりも25%高い。

NDCの下限は、2015年値よりも少し高い世界の化石燃料・土地利用変化CO₂排出量と一致しており、RCP2.6-2017シナリオに近い。提案されている2030年の排出量の約10%の削減に対応する目標の若干の強化により、RCP2.6-2017シナリオを達成できる。ただし、RCP2.6-2017は、2030年代・2040年代に0.3 GtC/年を超える値、または、数十年にわたって継続して4～6%/年での脱炭素化を意味する。長期のディープな脱炭素化は、さまざまなエネルギーシステムのイノベーションに依存する。気温上昇を1.5°Cに抑える努力をすることは、地球物理学的に不可能なことではない。

²⁰ Threshold-Excedance Budget.

²¹ Transient Climate Response. CO₂が1%/年で増加する気候モデルシミュレーションにおいて、大気中のCO₂が倍増する時点を中心とした20年間で平均された世界平均地上気温の変化。

Miller et al. (2017)によるアプローチと結果はその後、他の論文により確認されている。

IPCC第5次評価報告書(2013)とMiller et al. (2017)による許容される累積排出量の検討を比較すると、次のようになる。

表4-9 | 温暖化閾値ごとの許容される累積排出量の比較

温暖化閾値	累積排出量起算年	IPCC第5次評価報告書 Miller et al. (2017) 書(2013)		
		IPCC第5次評価報告書の方法		Millerらの独自の 方法
1.5°C	2015年以降	70 GtC (66%値)	204 GtC (66%値)	250 GtC (67%値)
			223 GtC (50%値)	370 GtC (中央値)
			250 GtC (33%値)	540 GtC (33%値)
2°C	2015年以降		395 GtC (66%値)	
			416 GtC (50%値)	
			464 GtC (33%値)	
	2012年以降	275 GtC (66%値)		
		285 GtC (50%値)		
		385 GtC (33%値)		

注: IPCC第5次評価報告書(2013)およびMiller et al. (2017)から作成。

以上のような議論を踏まえると、残されたカーボンバジェットがこれまで示されてきたより大きい可能性があることに安心するのではなく、温暖化を2°Cないしは1.5°Cに抑えることを可能にするために、次のようなことに積極的に取り組んでいくことが重要である。

- 気温上昇をある一定値に抑えるためのカーボンバジェットをさらに検討していくこと、気候応答の不確実性を減少させていくこと
- 2030年以降に必要な急速な脱炭素化を緩和するため、2030年のNDCを強化すること、また、そのためにNDCの客観的評価を進めていくこと
- 2030年以降のエネルギーシステムのイノベーションを進めるため、現時点で研究・開発に注力すること

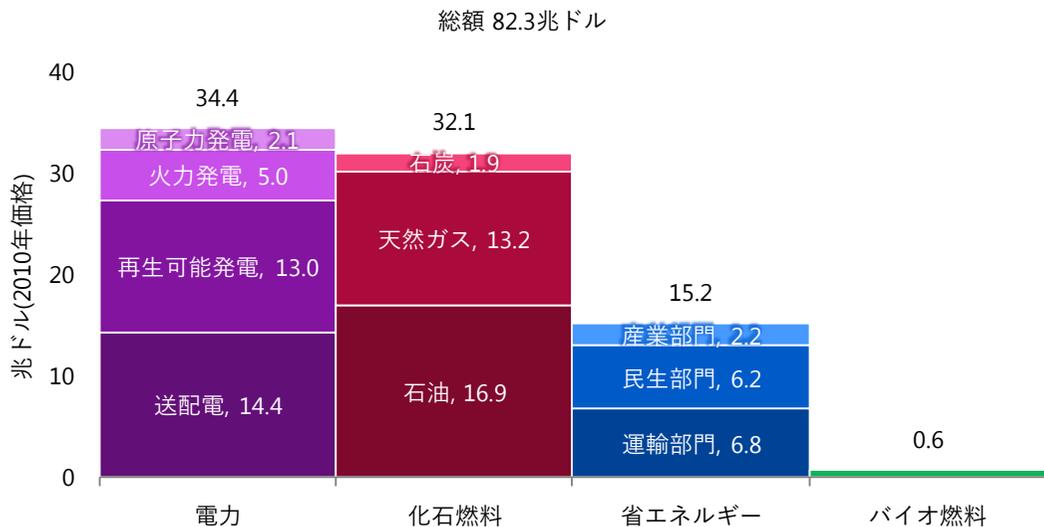
5. エネルギー関連投資

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、2016年の13.8 Gtoeからレファレンスシナリオでは2050年に19.3 Gtoeまで拡大する。とりわけ新興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、既存設備の更新投資および省エネルギー投資が欠かせない。

レファレンスシナリオでは、2017年から2050年までの34年間に82兆3,000億ドル(2010年実質、以下同じ)のエネルギー関連投資²²が必要となる(図5-1)。このうち32兆1,000億ドル、総投資額の4割強は、化石燃料(石油、天然ガス、石炭)に関するものである。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を含める。今後も、化石燃料関連の投資は現在同様大きなウェイトを占める。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に対し十分な資金が供給される環境の構築・維持が必要である。

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、2017年-2050年]

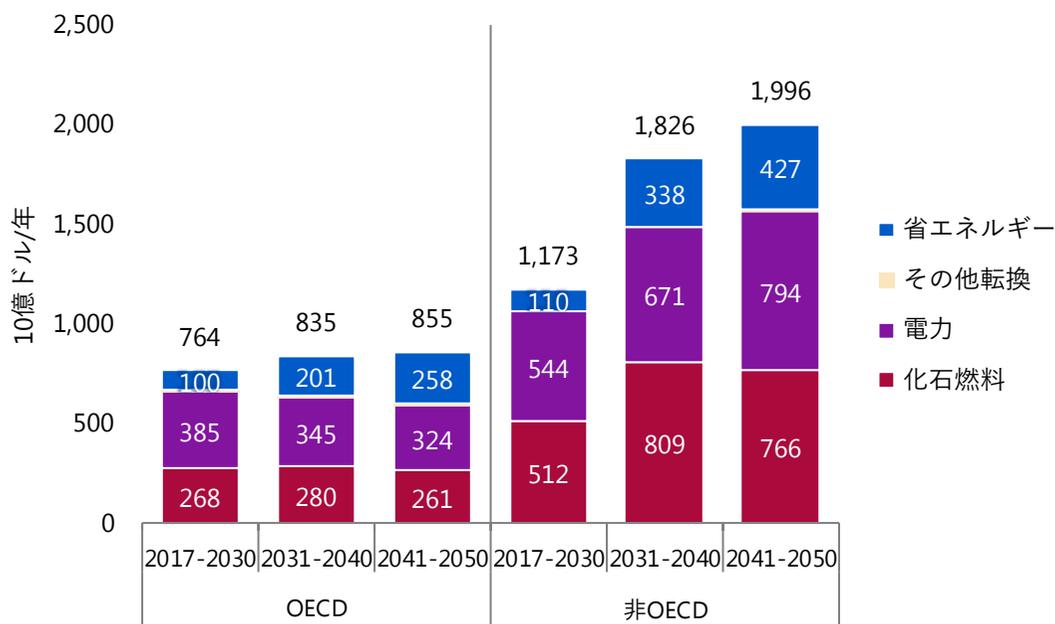


²² 本章で取り扱うエネルギー関連投資の範囲は、資源開発(原油、天然ガス、石炭)、石油精製、燃料輸送(石油、天然ガス、石炭)、天然ガス液化、バイオ燃料、火力発電(石炭、天然ガス、石油)、原子力発電、再生可能エネルギー発電(太陽光、風力、水力、地熱、バイオマス、太陽熱、海洋)、CCS、送電、配電、省エネルギー設備・製品(運輸、民生、産業)である。

電力部門への投資は34兆4,000億ドルで総投資額の42%に相当し、うち16%を再生可能エネルギー発電が占める(内訳は風力5%、太陽光3%、水力5%、その他2%)。火力発電への投資額は6%を占める。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。送配電への投資は17%を占める。2050年の電力最終消費は2016年の1.9倍となる40,477 TWhである。特に、急速に電力需要が拡大する途上国においては電化地域の拡大、送電線高圧化のための集中的な設備投資が必要となる。需要側では2050年までに15兆2,000億ドルの省エネルギー投資が必要で、総投資額の18%を占める。そのうち、運輸部門が6兆8,000億ドル、民生部門が6兆2,000億ドル、産業部門が2兆2,000億ドルである。

エネルギー関連投資の傾向は、OECDと非OECD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、その伸び率は非OECDのほうが著しい(図5-2)。比較的大幅な気候変動対策を講じるOECDにおいては、原子力、再生可能エネルギーのようなゼロエミッション電源や、需要側における省エネルギー投資のシェアが大きい。一方の非OECD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も多く、急速な需要拡大に対応するべく発電・送配電設備に対し多額の投資が必要な傾向にある。

図5-2 | エネルギー関連投資額[レファレンスシナリオ]



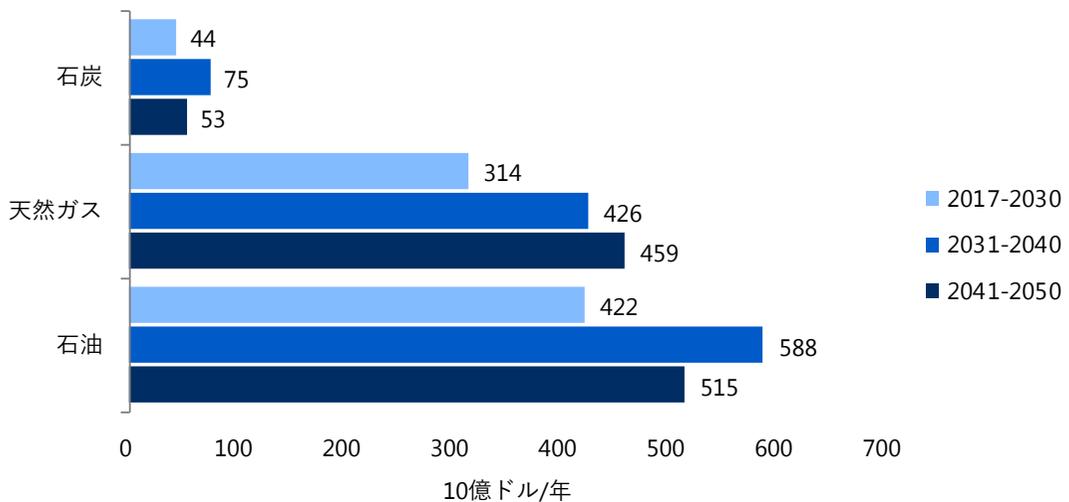
化石燃料生産への投資はOECD、非OECDの双方で2030年代がピークとなり、それ以降は減少に向かうが、それでもなお大きなシェアを占める。電力設備への投資は、現在既に十分な設備容量を保有し需要増加が比較的小さいOECDでは、徐々に縮小していく。一方、

エネルギー需要が急速に拡大する非OECDでは、年々拡大する。OECD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

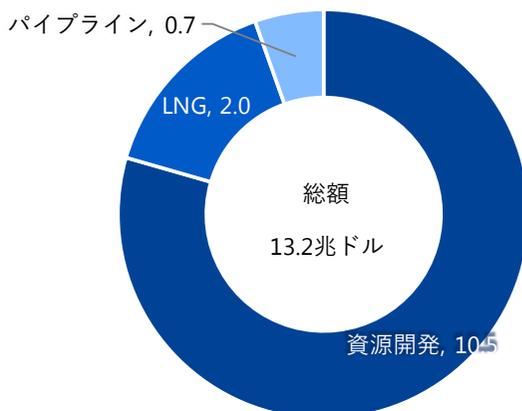
化石燃料投資額は、2030年代までは急速に拡大するが、そこからは緩やかに縮小に転じる。しかしながら2040年代でも年あたり1兆ドルが必要で、エネルギー関連投資の主流であり続ける。燃料別に見ると、石炭の一次消費は2040年過ぎに減少に向かい、それに合わせて投資額も減少を始める(図5-3)。石油の生産量は増加を続けるものの、その増分は逡減していくために新規設備の建設は減少していく。これに伴い、石油への投資額は2030年代を境に減少に転じる。一方、生産の伸びが著しい天然ガスへの投資額は、2050年まで増加を続ける。

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13兆2,000億ドルのうち、およそ8割の10兆5,000億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、2017年-2050年]



5.3 電力投資

発電設備

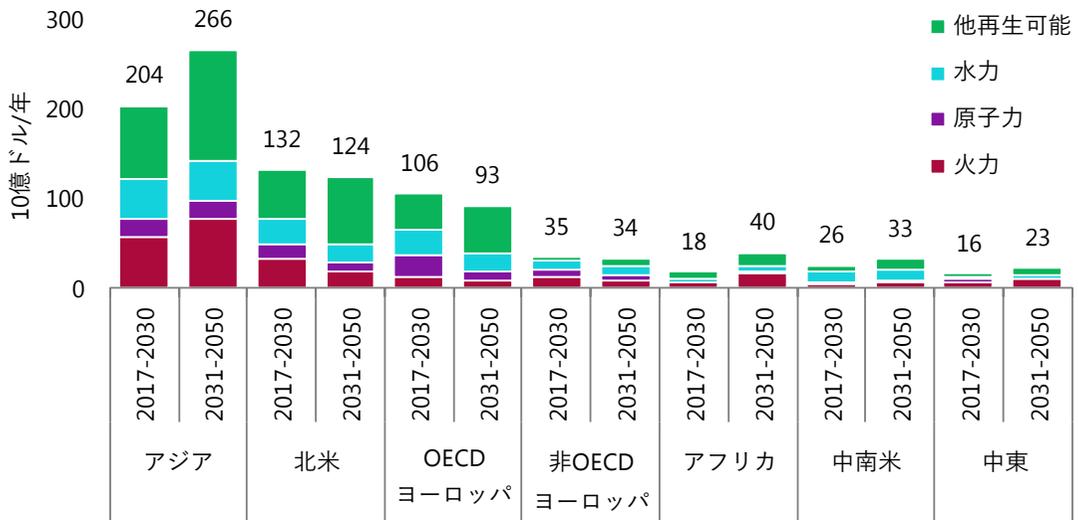
発電設備への投資額は拡大を続け、2050年までの累計額は20兆ドルに達する。しかし、石炭火力発電投資額は、2020年代から減少に転じる。とりわけOECDでは、米国での天然ガス火力へのシフトや、英国、カナダ等に代表される脱・石炭火力政策の影響で大きく減少する。2050年に発電量の3割弱を占める電源となる天然ガス火力発電への投資額は、OECD、非OECDを問わず年々拡大する。原子力発電の設備容量は年を追うごとに増加するが、2020年代の新設ラッシュが落ち着くことと、技術進歩による設備費用の低減があいまって、投資額は減少傾向となる。

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る。これらは、原子力発電への投資額を上回る。再生可能エネルギーは設備費用が大きく低減しており、将来に向けてもこの傾向が継続するが、それでもなお投資額は増加を続ける。

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)。北米、OECDヨーロッパのような先進国を多く含む地域においては、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。全体の投資額が小さくなる一方で、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重要な市場となる。

一方、アジア、アフリカ、中東のような途上国を多く含む地域では、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う必要があり、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、新興国発展のための重要な課題となる。

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]

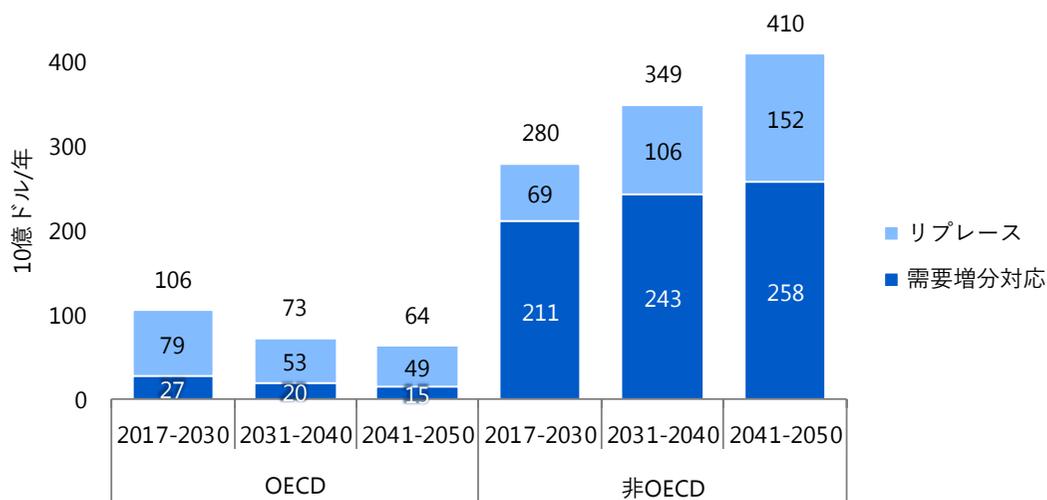


送配電設備

送配電設備には、2050年までに累計14兆4,000億ドルを投資する必要がある。これは、発電設備投資のおよそ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、送配電設備への投資が発電設備の投資と並んで重要である。

送配電設備投資額の推移は、先進国と途上国とで対照的な様相を示す(図5-6)。需要に対して既に十分な送配電網が整備されているOECD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2.1%で著しく増加し続ける非OECDでは、送配電設備への投資額は年を追うごとに拡大する。また、その大半が増え続ける需要に対応するための拡張投資である。送配電設備への累計投資額は、OECDでは総投資額の10%に過ぎない一方で、非OECD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。

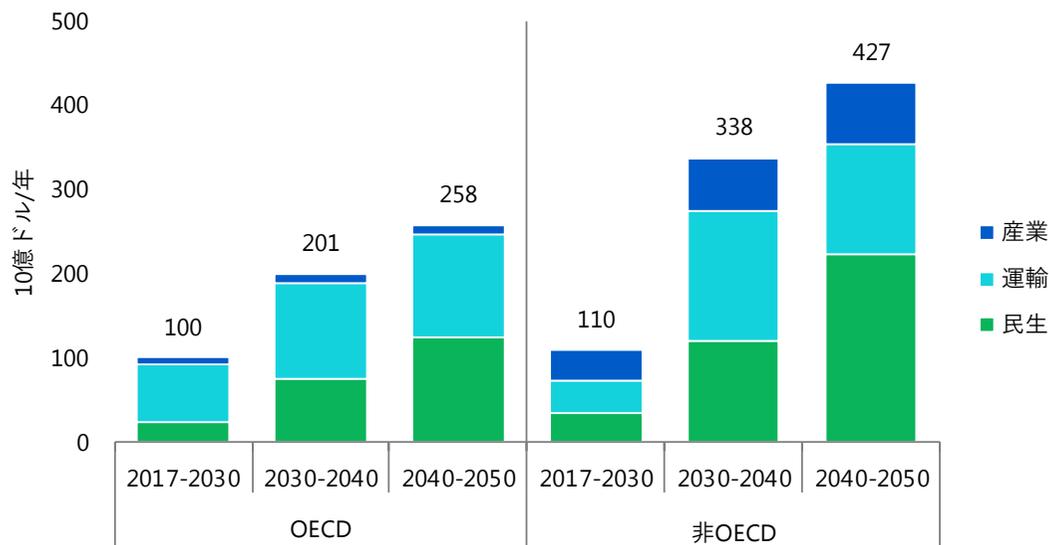
図5-6 | 送配電設備投資額[レファレンスシナリオ]



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²³は年々増加し、2050年までの累計で15兆2,000億ドルに達する(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]



²³ 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34年で6兆2,000億ドルの投資が必要で、その内訳は家庭が3兆6,000億ドル、業務が2兆6,000億ドルである。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。

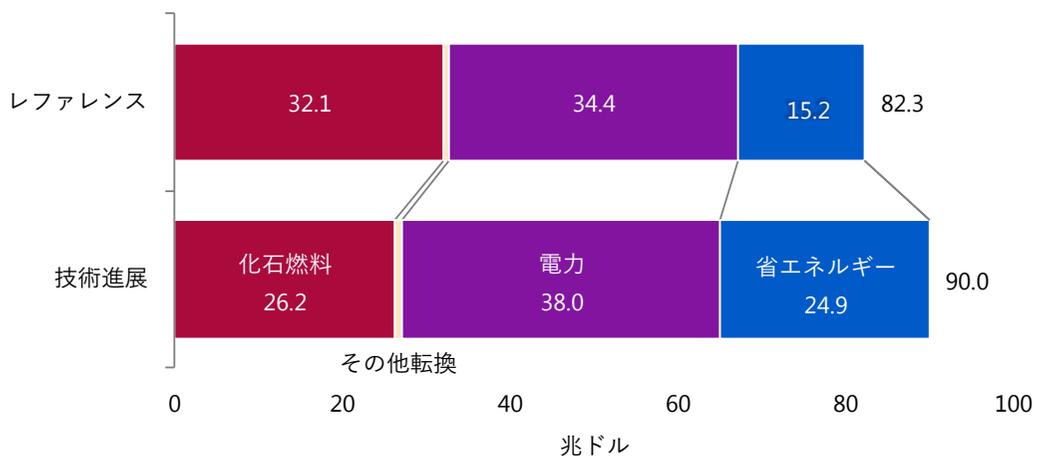
道路部門では6兆8,000億ドルの投資が必要で、その大半は乗用車向けである。2050年時点では、世界の乗用車の27%がハイブリッド車、10%が電気自動車(プラグインハイブリッド車を含む)となり、残る内燃機関車も燃費が改善することから、省エネルギーが大きく進捗する。単位エネルギー消費あたりの走行距離は2050年時点で足元の1.5倍に改善する。

省エネルギー投資の特徴として、先進国の金額構成比が他の投資よりも大きい。北米、OECDヨーロッパの割合が発電投資などに比べ大きく、また2050年まで増加傾向にある。また、自動車の保有台数が多い北米や、野心的な電気自動車導入目標を掲げるOECDヨーロッパでは、今後数十年間で自動車に対する旺盛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90兆ドルであり、これはレファレンスシナリオより7兆7,000億ドル多い(図5-8)。対して、技術進展シナリオでのCO₂累積排出量は、レファレンスシナリオより206 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37ドルの投資が必要になる。

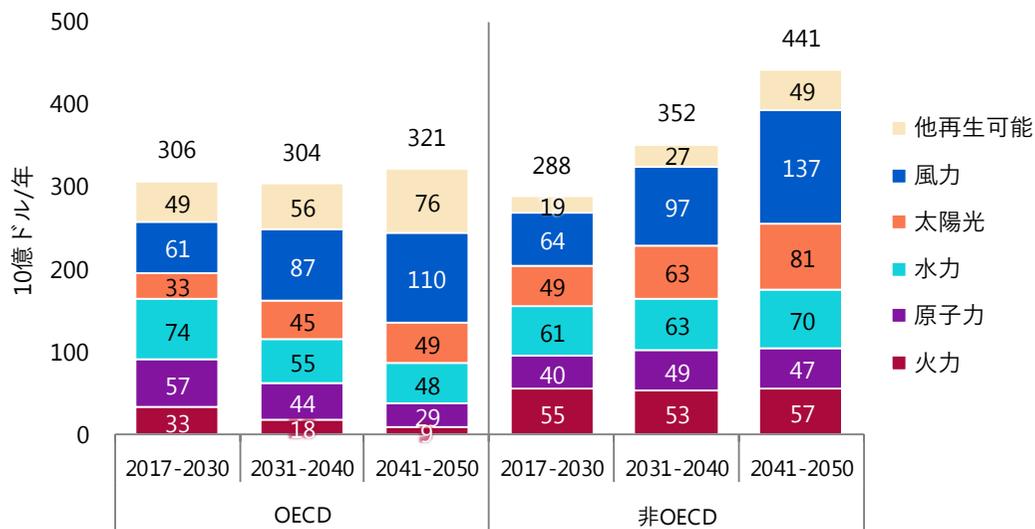
図5-8 | 世界のエネルギー関連投資額[2017年-2050年]



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、石炭はレファレンスシナリオから6,000億ドル減少し、1兆3,000億ドルにとどまる。それでもなお、2050年の化石燃料投資額は現在よりも多い。環境保護を名目とした潮流などにより化石燃料開発投資が縮退することがあれば、エネルギーの安定供給を妨げることにつながりかねない。金融機関などの投資主体や政策決定者には、いわゆる3E+Sを踏まえた賢明な判断が求められる。

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3,700 TWh減少するが、発電・送配電設備投資額は2050年までの累計で3兆6,000億ドル多い38兆ドルにのぼる。設備費用が比較的高い再生可能エネルギー発電、原子力発電などで、設備費が安価な火力発電(主に石炭火力)を代替することが原因である。技術進展シナリオでは、OECD、非OECD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、太陽光への投資は年々拡大傾向にある。火力発電への投資額は、OECDでは年々縮小するのに対し、非OECDでは現在と大差ない規模が求められ続ける。新興国の低炭素電源拡大に対する協力はもちろんのこと、火力発電についても可能な限り高効率、低環境負荷のものを選択し、回収予見性の高い形で投資が行われる環境の整備が求められる。

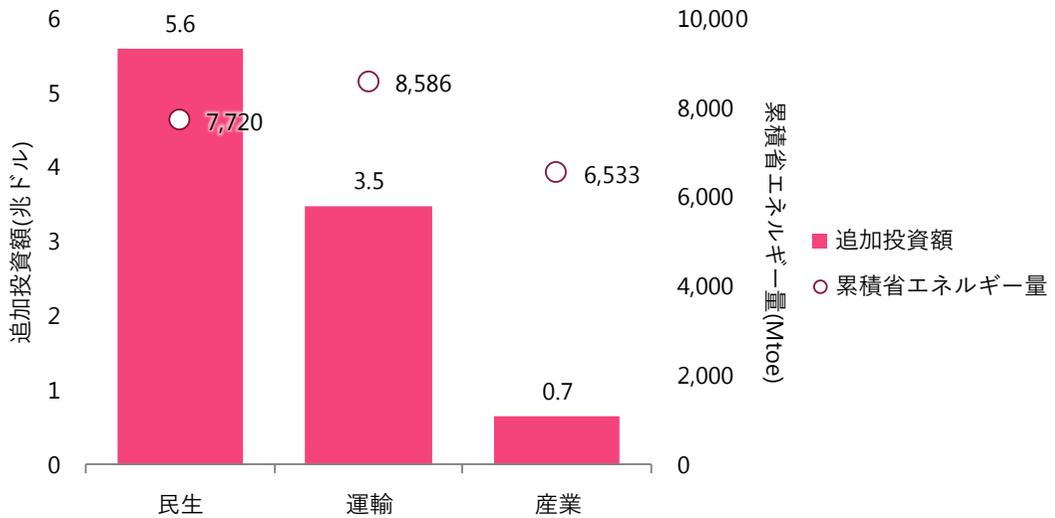
図5-9 | 発電設備投資額[技術進展シナリオ]



需要側による省エネルギー投資額は、2050年までの累計で24兆9,000億ドルにのぼり、レファレンスシナリオからさらに9兆7,000億ドルが必要である。投資額の増分が最も多いのは民生部門で、5兆6,000億ドルの上乗せとなる(図5-10)。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26,000 Mtoe減少する。省エネルギー量

1 toeあたりの追加投資額は部門間で一様ではなく、民生部門では約\$700/toe、運輸部門で\$400/toe、産業部門では\$100/toe程度である。ただし、民生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程度の経済合理性を期待できる。

図5-10 | 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、2017年-2050年]



第II部

エネルギー安定供給の課題

6. エネルギー供給障害のリスクと影響

先進国などに住む多くの人は、普段生活しているなかでエネルギーの供給を意識することはないであろう。日常生活や経済活動に不可欠なエネルギーを、それと意識することなく自由に使用することができるのは幸福な状態である。しかし、時としてエネルギーの供給には障害が生じることを歴史は示している。また世界全体を見渡せば、エネルギーが安定して供給されていない国がある。ここでは、伝統的に供給障害の対象として議論がされてきた石油と、社会や経済活動のあらゆる側面で利用が増えており、また今後もモノのインターネット(IoT)や人工知能(AI)を含むデジタル化や気候変動対策のなかでますます需要が増えてゆく電力を取り上げ、これらの供給障害について議論を行う。

6.1 石油の供給障害

供給障害の事例と要因

石油の供給障害のリスクを、供給チェーンに沿って考えてみる(表6-1)。

表6-1 | 石油供給障害リスクとその事例

リスク	事例	
生産	<p>事故や故障、自然災害など偶発的な事象による生産設備の破壊や操業停止</p> <p>政変やテロによる生産設備の破壊や操業停止</p> <p>政治的な意思や戦略による輸出停止</p>	<p>1973年: OAPEC諸国による米国、オランダ向け禁輸措置</p> <p>2005年: ハリケーンによる米国メキシコ湾岸の原油生産設備停止</p> <p>2018年: 内紛による生産停止、港湾の封鎖などによってリビアからの原油輸出が一部停止</p>
輸送	<p>事故や故障、自然災害など偶発的な事象による設備の破壊や操業停止</p> <p>テロや海賊行為による輸送手段(輸送船、パイプライン等)の破壊や運行停止</p> <p>政治的な意思や戦略、軍事行動による輸送路の遮断</p>	<p>1984-88年: イラン-イラクによる「タンカー戦争」</p> <p>2011年: テロによるエジプトからイスラエルに至るガスパイプラインの破壊</p> <p>2018年: イエメンの武装勢力による原油タンカー攻撃</p>
国内供給	<p>事故や故障、自然災害など偶発的な事象による供給設備の破壊や操業停止</p> <p>テロによる供給設備の破壊や操業停止</p>	<p>2011年: 東日本大震災による製油所、油槽所の損傷、港湾や鉄道、道路の破壊による石油供給の停止</p>

第II部 エネルギー安定供給の課題

まず生産段階では、古くは1973年の石油危機から今年(2018年)発生したリビアの原油輸出の一部停止まで、様々な事例がある。このうち、事故や故障、自然災害に起因した供給途絶は偶発的なものである。生産のみならず供給チェーンのあらゆる段階において一定の確率で発生し、これを完全に避けることはできない。ただし、設備を多重化するなど技術的な措置によって、影響を一定程度軽減する具体的な対策が可能ナリスクでもある。これに対して、政変やテロによる設備の破壊、戦略による意図的な輸出停止は、たとえ発生が予想されたとしても、抜本的な対策を講じることは難しい。リスクを減じるためには、輸入相手国の分散や石油備蓄など、対処療法的な措置を講じるしかない。

生産段階では、これらとは別に構造的なリスクが存在することも忘れてはならない。構造的なリスクは突発的かつ大規模な供給障害につながることはまれであるが、長期間にわたって影響を及ぼす。例えば、近年見られるベネズエラの原油輸出減少がこれにあたる。ベネズエラの原油生産量は2008年以降減少傾向にあったが、2014年以降の原油価格低迷とチャベス大統領後の失政がこれに拍車をかけた。財政赤字や経済の混乱から原油生産量の維持・増進に向けた投資が滞り、現在も原油生産量が減り続けている。社会や経済全体に及ぶ構造的な要因に起因するため、対策も容易ではない。

輸送段階にもリスクは潜んでいる。石油の輸送を船舶に依存する場合、ホルムズ海峡に代表される「チョークポイント」のセキュリティが昔も今も最大のリスクである。また、まれには、テロや海賊行為によって石油タンカーの航行が脅かされることもある。パイプラインによる輸送の場合は、テロによる直接的な破壊の対象となることや、国際政治における武器(戦略的な供給停止)として利用されることもある。

国内供給の途絶は、日本ではあまり意識されることはなかったが、東日本大震災によって大きく変わった。自然災害により石油の供給が一時的に滞ることは従来からあったものの、影響を受ける地域は限定的であった。東日本大震災の事例では影響の範囲が地理的に広範囲に及び、そのために量的・時間的に適切なバックアップを行うことが困難であった。例えば、複数の製油所や油槽所が同時に稼働できなくなる、被災地に向けた輸送手段として船舶、鉄道、タンクローリーのいずれも使えなくなる、といったことが起こった。

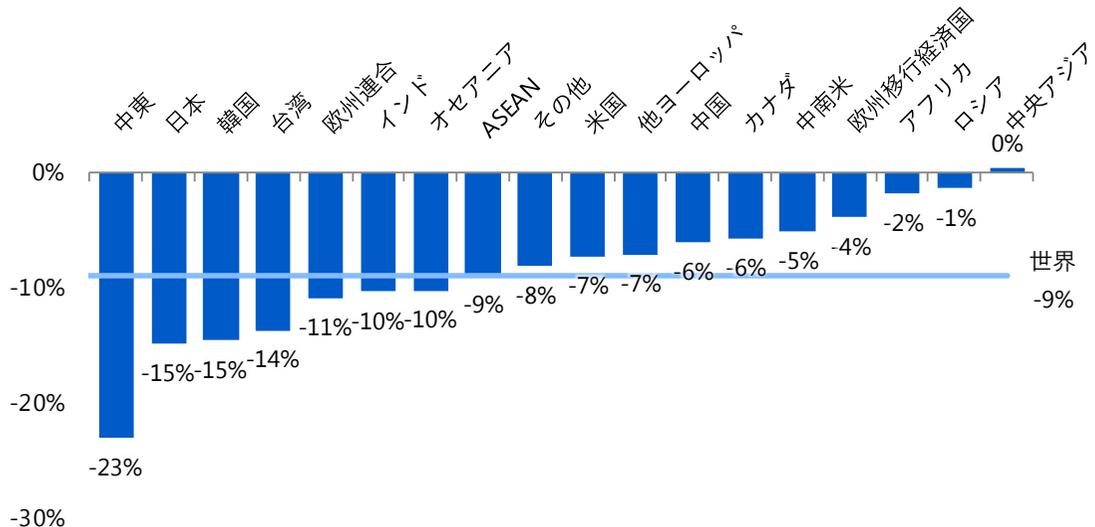
供給障害の経済影響

では、石油の供給障害リスクが顕在化した場合の影響はどのようなものであろうか。ここでは仮に中東の原油生産が10 Mb/d落ち込み、他の国・地域がこれを補う増産を行えない場合を想定し、その影響を試算してみる²⁴。

²⁴ 分析は代表的な応用一般均衡モデルの1つであるGlobal Trade Analysis Project (GTAP)モデルを用いる。供給障害は、その財の需給バランスを崩して価格を上昇させるのみならず、他財の相対価格の変

そうした大規模供給障害をもたらすのは、世界経済の9%もの縮小である(図6-1)——なお、世界金融危機が発生した2008年であっても世界経済の成長減速は前年比2.3%ポイント(%p)、翌2009年が同3.5%pであった²⁵。供給障害の震源地である中東を除けば最も大きなダメージに襲われるのが、日本、韓国、台湾である。これら国・地域では、石油依存度が高く同時に原油の中東依存度も欧米に比べて高めであることが響く。石炭シェアが高めなインド、原油の中東依存度が低めな欧州連合での経済収縮は、日本、韓国、台湾ほどではないが、それでも10%超の落ち込みとなる。米国は、足元に向け原油生産量が増えていることから、落ち込みは7%程度と世界平均を下回るが、やはり悪影響は及ぶ。日本、韓国、台湾と同じく東アジアに位置する中国は、世界第2の石油消費国ではあるが、石炭中心のエネルギー構造であり、またアジア最大、世界でも第8位の生産国であるため、影響は相対的に抑制されたものに止まる。

図6-1 | 中東の原油生産10 Mb/d減少による実質GDPへの影響



ロシア、アフリカ、中南米、カナダは原油の純輸出国・地域であるが、それでも悪影響とは無縁ではいられない。原油純輸出額は価格上昇²⁶により拡大するが、実質GDPは世界経済の縮小により1%～5%落ち込む。こうした国・地域は相対利得を得ることはできるものの、中央アジアを除き絶対利得を得られる国・地域はない。

化、生産活動の変化、所得や生産要素の移転などを通じ、各地域の各経済主体の活動に影響が及ぶ。詳細はIEEJ「アジア/世界エネルギーアウトック 2016」を参照。

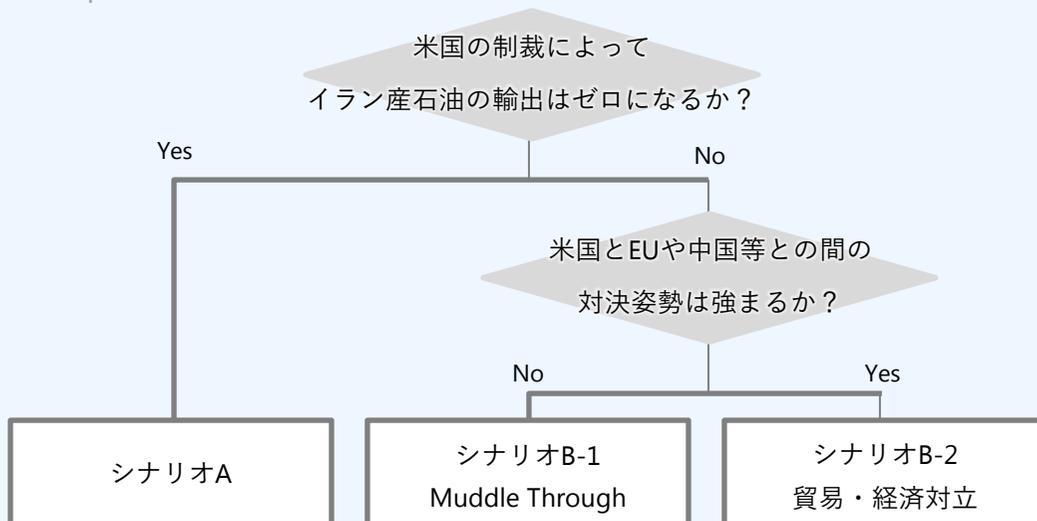
²⁵ IMF “World Economic Outlook Database”

²⁶ 需給バランスの変化に起因するものであり、投機的なものによる分は含まない。

Box 6-1 | イラン情勢が国際石油市場に与える影響

2018年5月に米国のトランプ大統領は、イラン核合意からの離脱に際し対イラン制裁を全て復活させることを発表した。米国は輸入国に対し、イランからの輸入量を0にするよう要請しているが、イランの輸出货量(約2.5 Mb/d)低下は国際石油市場と原油価格の安定に大きな影響を及ぼす可能性がある。そこで、シナリオ・プランニングの手法を用い、2020年頃までを視野に、イラン情勢と国際石油市場への影響を分析した。

図6-2 | シナリオの分岐点と国際石油・エネルギー市場のポイント



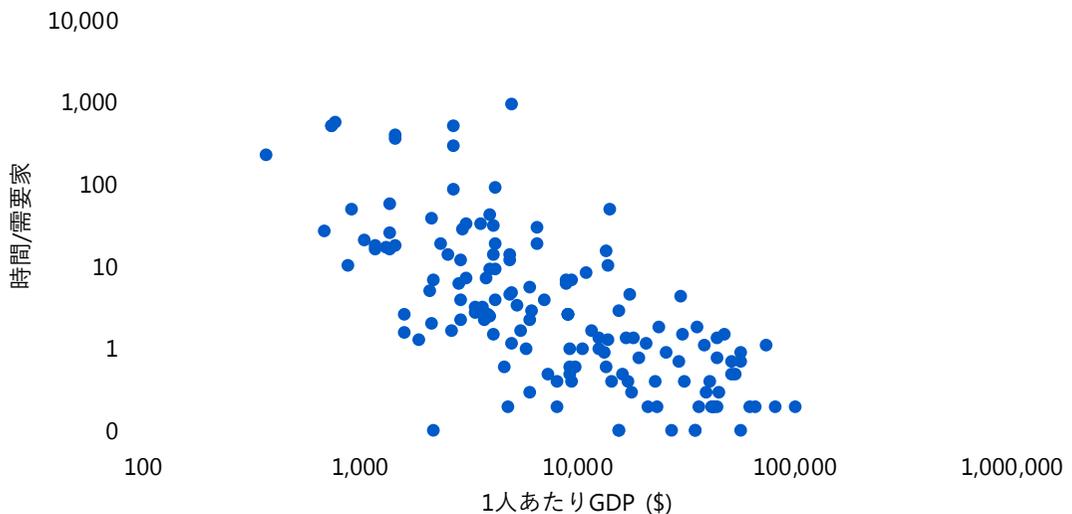
	シナリオA	シナリオB-1	シナリオB-2
原油市場	需給がタイト化し、余剰生産能力も逼迫。	サウジアラビアなどの増産寄与によって、比較的平穏。	景気の減速によって供給過剰に。
原油価格	80から100ドル/bblの水準。場合によってはそれ以上を目指す。	70から80ドル/bblの水準。	50ドル/bblを目指す。
その他 エネルギー	LNG価格も上昇することで需要が減速し、石炭が優位に。	-	LNG価格の低下が潜在的な需要を発掘。新規液化計画のFIDが遅延。

6.2 電力の供給障害

供給障害の実態

電力の供給障害は停電という形で現れる。国際的に見ると停電は地域差が大きい。需要家あたり停電時間は、サブサハラアフリカと島嶼国、南アジアで長い傾向にある。世界銀行による2015年の調査で停電時間が1,000時間(年間11%)を超えていたのは、コモロ、エリトリア、イラク、ナイジェリア、パキスタン、南スーダンおよびエスワティニ(旧スワジランド)であった(図6-3)。先進諸国では需要家あたり年間停電時間が1時間未満であることが多く、特に大都市を供給エリアに持つ地域では数分程度に収まっていることもある。

図6-3 | 所得水準と停電時間[2015年]



出所: World Bank "Doing Business database"および"World Bank Open Data"

米国

一般的に大規模停電は自然災害に起因することが多い。米国では、ハリケーンや寒波等の大規模自然災害に起因して発生することが多い。過去規模の大きい停電は2003年北米北東部停電であるが、その年の累積停電規模は最大電力比で9.1%にも達した。しかし北米北東部停電も43時間(ニューヨーク市は30時間弱)で復旧したこともあり、全体のエネルギー需給に与える影響は軽微であった。

最近の大停電の例では、2017年8月のハリケーン ハーベイが流通設備の物理的破損や発電所の停止等の影響を引き起こした。主として流通設備の破損による停電は、テキサス州、ルイジアナ州、ミシシッピ州およびアーカンソー州でおおよそ202万件にも達した。復旧に12日間を要した地域もあった。送電設備の破損850か所以上、配電電柱の破損6,200

第II部 エネルギー安定供給の課題

か所以上、変電所の破損90か所以上、発電所停止2,143.5万kW以上という物理的被害に起因する停電であった。同地域に含まれるテキサス州には大量の風力発電が設置されているが、強風による風力発電の激しい出力変動(1時間あたり100万kW程度の変動が数回)もあったものの、周波数は通常の変動幅に収められ、需給バランスの崩れによる大停電は回避された。道路の破損や鉄塔の倒壊等の障害もあったが、復旧を1万2,000人体制で行い概ね2日間～12日間と迅速な回復を達成した²⁷。配電自動化等の設備の高度化により、大規模自然災害に伴う設備故障に起因する停電であっても、通常は数日の間に大部分の需要家への供給が復旧するようになってきている。

表6-2 | 米国における大規模停電の例

		自然災害	停電地域と規模
2012年	7月5日	オハイオ渓谷・中西部夏嵐(広域雷雨)	イリノイ州、インディアナ州、メリーランド州、ニュージャージー州、オハイオ州、バージニア州、ウェストバージニア州で61.6万口が停電
	9月5日	ハリケーン アイザック	ルイジアナ州で1.4万口が停電
	11月6日	ハリケーン サンディ	コネチカット州、メリーランド州、ニュージャージー州、ニューヨーク州、ペンシルベニア州、ウェストバージニア州で93万口が停電
2013年	2月11日	北東部ブリザード	コネチカット州、マサチューセッツ州、ニューヨーク州、ロードアイランド州で13.6万口が停電
	12月6日	寒波	アーカンソー州、ミズーリ州、オクラホマ州、テネシー州、テキサス州で28.6万口が停電
2014年	2月13日	北米寒波	アラバマ州、フロリダ州、ジョージア州、ルイジアナ州、ニュージャージー州、ノースカロライナ州、ペンシルベニア州、サウスカロライナ州、テネシー州、テキサス州、バージニア州で74.2万口が停電
2015年	8月17日	台風13号	サイパンで1.4万口・4.5万kWが停電(全停電)
2016年	10月7日	ハリケーン マシュー	フロリダ州で42万口が停電
2017年	8月26日	ハリケーン ハーベイ	テキサス州、ルイジアナ州、ミシシッピ州、アーカンソー州でおおよそ202万口が停電

出所: エネルギー省電力輸送・エネルギー信頼度局 “Emergency Situation Reports”

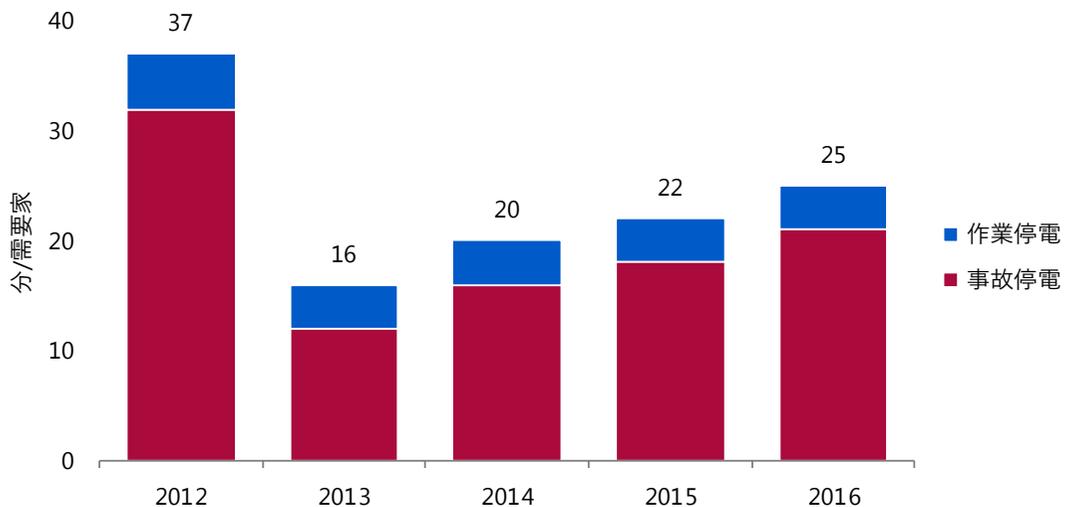
²⁷ North American Electric Reliability Corporation “Hurricane Harvey Event Analysis Report” 2018年3月

先進諸国でも配電自動化と呼ばれる配電設備の遠方監視と操作を可能とするシステムを導入しているのは都市部に限定されている場合も多かった。2008年オバマ政権によるグリーンニューディール政策で世界的にスマートグリッド・ブームが到来し、連邦政府の補助金により、配電自動化の実装が進んだ。カリフォルニア州でも配電自動化に取り組み、パシフィック・ガス・アンド・エレクトリックでは停電時間の短縮化を実現したとしている。停電時間の長い地域では、送配電自動化は停電時間の短縮化に有効と言える。

日本

日本では2012年度から電力広域的運営推進機関が「電気の質に関する報告書」を公表して電力供給における品質の報告を行うようになってきている。低圧も含めると日本でも年間1万件を超える停電が発生している。停電の原因の大半は配電系統に起因しており、大部分の停電の影響範囲は狭い地域に止まっている。また、台風や豪雨等の自然災害により一定規模以上の停電回数が多くなることもある。

図6-4 | 日本における低圧需要家の平均停電時間



出所: 電力広域的運営推進機関「電気の質に関する報告書」2017年11月

至近では、2018年9月4日の台風21号で関西電力および中部電力の供給エリアを中心に大規模停電が発生し、9月6日の北海道胆振東部地震では震源地に近い石炭火力発電の停止に伴い北海道全土で大規模停電に至った。台風の被害が著しかった関西電力エリアでは、ほぼ2日間で停電世帯の9割を復旧させる等、迅速な復旧作業が実施されたが、倒木等で道路の通行が困難な地域では停電が長期化した。北海道胆振東部地震に伴う停電では、低負荷期であり供給力の半分程度を占めていた苫東厚真発電所が被災したことで、全面的な供給力の回復が遅れている。

Box 6-2 | 北海道胆振東部地震に伴う停電と需給逼迫**(1) 停電に至るプロセスと復旧**

2018年9月6日3時8分に起きた北海道胆振東部地震では同時刻に苫東厚真発電所2号・4号が停止したことに伴い周波数が低下し、一部地域で停電に至った。その後、北海道と東北を結ぶ北本連系線の緊急時周波数制御装置が作動して60万kWの送電が行われ系統は維持されていたが、3:25に苫東厚真発電所1号が故障により停止したことで北海道の全土が停電するに至った。

北海道電力の送配電部門は発電機の停止に備えて域内に当該時間の需要の3%程度の瞬動予備力と北本連系線の緊急時周波数制御装置(この時点で60万kW)と、地域内の発電機の最大値以上の事故に備えて準備することになっていたが、それを上回る発電機の故障が発生したため広域停電に至った。国際的にもこうした地震等の大規模自然災害に対して停電はやむを得ないとして評価するのが通例であり、今回のような場合でも停電を回避すべきとした場合は、安定供給の評価方法を見直す必要がある。なお9月6日に全戸停電に至ったが、昼頃から停電復旧作業が開始され、8日0:00時点で89%が復旧、9日朝時点で物理的被害があった地域を除きほぼ復旧を果たした。

停電復旧にあたっては、給電指令に従うことが可能でかつ自立的に発電できる水力発電から稼働を回復し、順次火力発電の復旧を進めながら供給力の回復に努めた。

(2) 需給逼迫とその対策

その後、停止していた発電所の復旧により供給力の回復が進められたが、8日時点で供給力が359万kWに限られ、地震前9月5日の最大電力383万kWと比べると不足していたため節電要請が実施され本原稿執筆時点まで再度の広域停電は生じていないが、14日・15日両日ともに供給予備率が3%を下回り、非常に厳しい状況であった。

地震により故障した苫東厚真発電所の1号機35万kWは9月中に復旧したものの、2号機60万kWが10月中旬以降、4号機70万kWが11月以降の復旧とされ、高需要期にあたる冬に向けて供給力不足が懸念されている。冬に向けて供給力不足が懸念される場合には、東日本大震災後の夏場に向けた供給力対策でも実施されたように節電要請と緊急電源設置等の追加的供給力確保が実施されると考えられる。

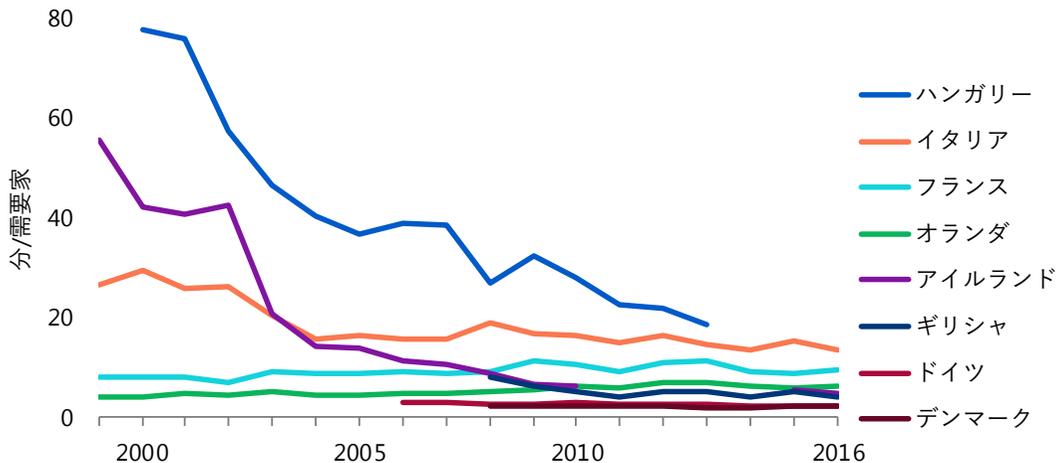
北海道電力は火力発電の老朽化に備えて石狩LNG火力発電(1号56.94万kWが2019年2月稼働開始予定)の建設を進めると共に、供給信頼度向上を目的として北本連系線の増強(30万kWが2019年3月稼働開始予定)を進めていた。いずれかが運転を開始していれば供給信頼度は向上していたと考えられ、非常に不幸なタイミングで地震を迎えてしまったと言える。

なお、日本では1980年代より配電自動化システムの導入を進めており、都市部に限らず全国どこでも停電時間に大きな差はない。

ヨーロッパ

ヨーロッパでは電力の供給品質に関する情報提供は限定的で、規制機関の団体である Council of European Energy Regulators (CEER) が加盟各国の停電時間に関する報告書を不定期に公表している。それによると、停電時間は、フランス、ドイツ、デンマークおよびオランダといった大陸中央部の各国で短く、東欧やイタリア、アイルランド等の国々で長い傾向にある(図6-5)。また、停電時間の長い国は2000年代に停電時間が短くなる傾向もあり、配電系統の高度化により各国の差が縮小していると考えられる。その一方で、都市部と郊外との間の供給品質の格差は未だに大きく残っている。例えば、2013年のフランスの都市部における計画外停電時間は34.6分であるが、郊外は118.4分と3倍近い開きがある。IT化で停電時間の短縮を求める需要家のニーズは高まっているが、全国どこでも高い供給品質を実現している例はまれであると言える。

図6-5 | ヨーロッパにおける低圧需要家の平均停電時間



注: 作業工事による計画的停電時間を含まない

出所: CEER "CEER Benchmarking Report 5.2 on the Continuity of Electricity Supply" 2015年2月、"CEER Benchmarking Report 6.1 - Continuity of Electricity and Gas supply" 2018年7月26日

供給障害の新たな要因

電力におけるこれまでの供給障害は、自然災害や電力系統設備の事故等に起因することが多かった。その一方で時間としては短時間の事象であるが、電力自由化と再生可能エネルギー発電導入促進等の気候変動対策により、新しいリスクが指摘されるようになって

第II部 エネルギー安定供給の課題

いる。それは、①特定のエネルギー源依存の高まり、②太陽光発電導入拡大に伴う純負荷のダックカーブ化、③経済性に基づく発電所停止、④サイバー攻撃である。

特定のエネルギー源依存の高まり

米国は元々は石炭火力発電の割合が高かったが、天然ガス価格の低下に伴い天然ガス火力発電への依存が高まった地域が増えた。天然ガスはパイプラインを通じて供給を受けることから、極端な気象条件で発電所計画外停止だけでなく、天然ガス供給支障による供給力減少リスクが顕在化しつつある。実際に2018年1月に米国北東部地域を襲った寒波では発電設備の計画外停止が生じたが、天然ガス供給設備の停止やパイプラインのルートダウンを理由とする天然ガス火力の停止もあった。特定のエネルギー源への依存が高まると、当該エネルギー源特有のリスクが現実のものとなった際に影響が甚大になる場合もある。米国でも天然ガス依存の高まりを受けて、新しい評価方法の作成や対策強化への取り組みが開始されている。

太陽光発電導入拡大に伴う純負荷のダックカーブ化

太陽光発電の導入拡大が進んでいるカリフォルニア州と日本では、1日の間に2度ピークを迎えるダックカーブ化が進展している。特に昼間から夕方に向かって急峻な需要増が生じるため、急激な出力増に対応可能な供給力確保が必要である。しかし、そうした急激な出力増に対応できる供給力は揚水発電やガス火力発電等に限られ、即応型の供給力の不足により需給バランスが崩れる可能性がある。カリフォルニア独立系統運用機関(ISO)は、過去のデータに基づき1時間あたりおよび3時間あたり出力変化量を算定し、確保している供給力で応答可能かという検証を行うことでリスクへの備えを行っている。従来は予想される最大電力に対して十分な供給力が確保できているかという「量」に着目した供給信頼度評価であったが、弾力性という「質」への配慮も必要になりつつあると言える。

経済性に基づく発電所停止

特定の電源種の経済性が悪化し、短期間で大量の発電所閉鎖が発生するリスクが考えられる。米国では天然ガス価格の低下に伴い、石炭火力発電所が2014年～2017年に5,526万kW閉鎖された。ヨーロッパでも供給信頼度評価を行っている欧州送電系統運用者ネットワーク(ENTSO-E)が毎年行っている中期アデカシー評価の2017年版で送電系統運用者にアンケートを行ったところ、2020年および2025年に向けて、容量市場の不在や市況の悪化(ミッシングマネー問題を含む)により、45%の国で火力発電所の廃止リスクがあると回答されている。ヨーロッパ全体で2020年に2,530万kW、2025年に2,943万kWの火力発電廃止リスクがあり、フランス、ドイツおよびポーランドでリスクがあると認識されている。発

送電分離が行われた後において、送電系統運用者や信頼度機関にとって把握が難しく、情報の把握が課題である。

サイバー攻撃

上記以外にもサイバー攻撃による電力供給設備の停止リスクも生じつつある。ウクライナでは2015年12月と2016年12月にサイバー攻撃に起因する停電が発生した。系統制御システムに侵入して直接制御を加えることで停電に至ったものである。日本のように系統制御にかかわる設備間で専用回線を用いると、通常的一般回線を用いる場合よりもサイバー攻撃を受けるリスクは低い。しかし、供給力の分散化に伴い、アグリゲーターが小規模分散型供給力をまとめあげて供給力の提供を行うバーチャルパワープラント(VPP)型供給力の割合が高まった場合、そうしたVPPの需給運用システムにサイバー攻撃をかけて全体の需給運用に混乱を与える可能性は将来的にあると考えられる。

6.3 まとめ

ここまで石油と電力について、供給障害のリスクや事例、影響について取り上げてきた。全く異なる2つのエネルギーの供給障害の特徴や対策をどのように整理することができるだろうか。ここでは、「影響の地理的広がり」「需要の代替性」「供給障害リスクへの対応」の3つの側面で比較を試みる(表6-3)。なお、評価は石油と電力の二者間の相対的なものである点に留意願いたい。

表6-3 | 石油と電力の供給障害の特徴

	石油	電力
影響の地理的広がり	広い	狭い
需要の代替性	高い	低い
供給障害への対応	輸入相手国/経路の多角化 国内設備の地理的分散化 国内供給網の冗長化 産油国経済安定化の支援 備蓄	発電燃料の多角化 発電設備の地理的分散化 送配電網の冗長化 予備発電能力

注: 影響の地理的広がりが必要代替性の評価は、石油と電力の相対的な関係を表す。

まず、影響の地理的広がりという点では、石油は広く、電力は狭い。石油では、産油国や国際輸送ルート上の諸要因によって供給障害が生じることがある。この場合、供給障害の影響は世界全体に及ぶ。特に、先物市場が発達した現代においては、物理的な供給量の制

限よりも国際市場の価格高騰という形で、障害の影響は短期間のうちに世界経済の隅々にまで及ぶ。一方の電力は、基本的に国・地域ごとに閉じた供給システムであり、したがって多くの場合は影響が国・地域内に限定される。また送配電システムの自動化が進んだ先進国においては、支障系統の切り離しが自動的にすばやく行われるため、地理的な影響の範囲を限定することもできる。

次に、需要の(短期的な)代替性という点では、石油は代替性が高く、電力は低い。供給障害が発生した場合の対策の1つとして、利用するエネルギーを切り替えることが挙げられる。電力をエネルギー源とする機器は、電力以外で使うことはできない。例えばモーターやエアコン、照明は電力なしには作動せず、つまり電力需要の代替性は極めて低い。石油も特に自動車用燃料としての代替性は低いものの、工場のボイラーや発電など一部の用途では、石油以外のエネルギーで同等の機能を発揮することができる。また自動車用でも、プラグインハイブリッド車であれば、石油でなく電力で代替することができる。

最後に、供給障害への対応という点では、実は石油と電力で共通する点が多い。それは、多角化・冗長化・分散化といったキーワードで表される措置である。石油では、輸入相手国や輸入経路の多角化がリスクの分散に効果を発揮する。国内供給網でも、製油所や油槽所の地理的分散化、供給網の冗長化がされていれば、供給障害への耐力が高まる。電力も然りで、発電所の燃料種の多角化や地理的分散化、送配電網の冗長化が、障害が発生するリスクを引き下げ、また発生した際の対応力を高めることにつながる。

ただし、インフラの多角化、冗長化はコスト増を意味するため、セキュリティの強化と経済合理性の追求という2つの命題の間の難しいバランスが必要となる。さらには、自由化された市場では企業は利益を最大化しようとするが、この行動原理が時として安定供給上のリスクにつながる場合がある。例えば、石油における特定の輸入相手国への高い依存であり、電力における特定のエネルギー源依存の高まりである。この場合、何らかの規制によって多様性を維持する方法が考えられるが、これは同時に市場競争を歪めることにもなる。ここでもまた、セキュリティの強化と経済合理性の追求の間でジレンマが生じる。

逆に、石油と電力で異なる点もある。石油では、国によって手法や規模は異なるが、多くの場合は緊急時対応を目的とした備蓄がある。さらには、国際エネルギー機関(IEA)に加盟する国のあいだでは、国際的に協調して対処する体制も整えている。これまで実際に備蓄を放出した例は少ないが、湾岸戦争(1991年)やハリケーン カトリーナによる被害(2005年)、東日本大震災の後(2011年)など、供給障害に際して石油供給を維持することに貢献してきた。さらに日本国内の例では、災害時の石油会社間の連携体制構築や、拠点となる

中核サービス・ステーション(SS)/住民拠点SSの整備など、災害時に石油の供給を維持するための仕組みを定めている。

なお石油の場合は、産油国経済の安定化を支援することも重要な対策である。過去の例にもあるとおり、産油国の不安定さが石油の供給障害を招く要因の一つとなっている。経済の安定化は社会不安を減らし、産油国の安定化、ひいては石油供給の安定化に寄与するためである。

これに対して電力では、現在の技術では大規模かつ長期間にわたって経済的に貯蔵することができないため、備蓄に類するものはない。備蓄に代わって供給障害の際に機能するのは、予備発電能力である。例えば、故障によって稼働中の発電所が停止することとなった、あるいは天候の変化によって太陽光発電の発電量が急減となった場合には、こうした事態に備えて待機していた発電所を短時間のうちに稼働させ、電力の供給力を維持する。

石油との違いは、電力では供給障害時に必要な予備発電能力の確保が、制度的に十分に保障されていない点である。日本やヨーロッパといった先進国の例でみると、電力市場が自由化される以前は、経営に余力のある地域独占の大手電力会社が自主的な取り組みとして規制が求める以上の予備力を維持してきた。ところが、電力小売市場が自由化されたことで、激しい競争が行われるようになった。このような環境のなかでは、自由化以前のように大手電力会社の自主的な判断に依存した予備力の維持は難しく、これを担保する制度が必要となる。すなわち、適切な対価のもとで予備発電能力を確保する制度である。

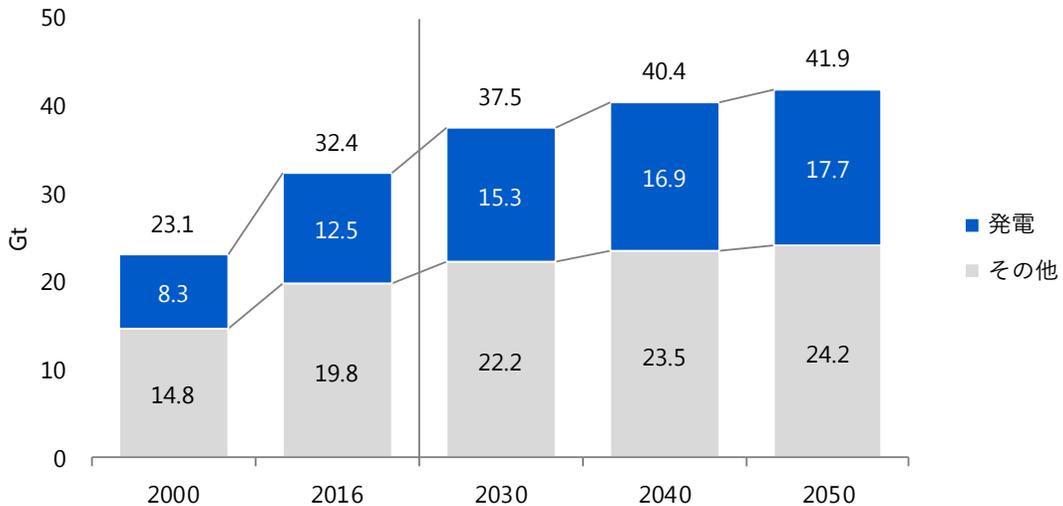
また、太陽光発電導入拡大に伴う純負荷のダックカーブ化は、発電者の多様化と相まって、これまでにない複雑な系統運用を求めるようになってきている。他方で、AIによる需給予測精度の向上やIoTを活用した需要の管理、電気自動車の蓄電池と組み合わせた需給調整など、技術の革新によってこれまでは想像出来なかったような安定供給対策も可能になりつつある。今後強力な気候変動対策を進め、またデジタル化などエネルギー利用の電力シフトが進むと予想されるなかでは、電力の供給障害に備えることがますます重要となる。電力市場を自由化し、また再生可能エネルギーが増えている国々ではさまざまな安定供給策が措置、あるいは検討されているが、現実の脅威となりつつあるサイバー攻撃への対策も含め、電力市場においても適切なセキュリティ制度を構築していくことが望まれる。

7. 石炭火力発電所新設禁止の影響

7.1 石炭火力発電反対の動き

世界のエネルギー起源二酸化炭素(CO₂)排出は、2016年の32 Gtからレファレンスシナリオでは2050年に42 Gtまで増加する(図7-1)。今後の増分9.6 Gtのうち、過半の5.2 Gtは発電部門の直接排出によるものである。こうしたトレンドを背景に、発電部門の低炭素化が——最終エネルギー消費部門における省エネルギーと並ぶ——中核的な気候変動対策となることが要請されている。

図7-1 | 世界のエネルギー起源CO₂直接排出[レファレンスシナリオ]



発電部門において期待されている低炭素技術には、大きく分けて、火力発電効率の向上、低炭素投入エネルギーの採用、二酸化炭素回収貯留(CCS)の適用の3つがある。このうちの投入エネルギーの低炭素化に絡み、熱量あたりの炭素排出量が最も多い石炭を発電ボイラーにくべることに對して、昨今とみに厳しい視線が一部より投げかけられている。その表れの一例が、世界銀行などにみられる石炭火力発電所の新設に対する融資制限の動きである(表7-1)。これは、ファイナンス阻害を通じて、自己資金調達力に劣る発展途上国などでの石炭火力発電所の新設を抑制しようとするものである。また、環境・社会・企業統治(ESG)投資あるいはダイベストメントの掛け声の下、民間ベースでも石炭火力発電所への投融資の手控え・撤退の動きが一部で見られるようになっている。

表7-1 | 脱・石炭の動きの高まり

2013年	[世界銀行] 石炭火力発電所新設への金融支援をまれな環境を除き停止する方針を発表
2015年	[G20財務相・中央銀行総裁会合] 低炭素化への移行が金融部門に財務影響を及ぼすリスクを指摘。気候関連財務情報開示タスクフォース(TCFD)設立 [OECD] 公的輸出信用アレンジメントで低効率石炭火力発電に対する公的支援を制限
2017年	[オランダ] 2030年までに石炭火力発電所全5基廃止で政権連立合意 脱石炭アライアンス(Powering Past Coal Alliance, PPCA)が英国・カナダ主導で発足 [TCFD] 低炭素経済への移行に伴うリスクと機会に関し、推奨される情報開示を提言
2018年	[英国] 2025年の石炭火力発電廃止に向けた最終文書 [ドイツ] 石炭火力発電廃止に向け検討再開で政権連立合意
2019年	[OECD] 公的輸出信用アレンジメントルール見直し予定

7.2 石炭利用の地域性とその背景

CO₂削減に何よりも重きを置くならば、こうした方針に異論をはさみこむ余地は一分もない——そして、そうであれば、CO₂排出が多いという理由のみで、寒冷地に住むことは非難され、戸建て住宅への融資は停止しなければならない。確かに、気候変動問題への対応は、国際連合による17の持続可能な開発目標(SDG)のうちの1つの柱をなしているように、人類にとり重要な課題である。しかしながら、CO₂排出量を唯一の評価軸としてエネルギー利用にかかる指針を決めてしまっただけというものでもない。なぜなら、エネルギーの利用方針は、各国・地域の資源賦存状況、歴史的な背景、エネルギー分野以外も含め抱える諸課題などにも左右されるからである。

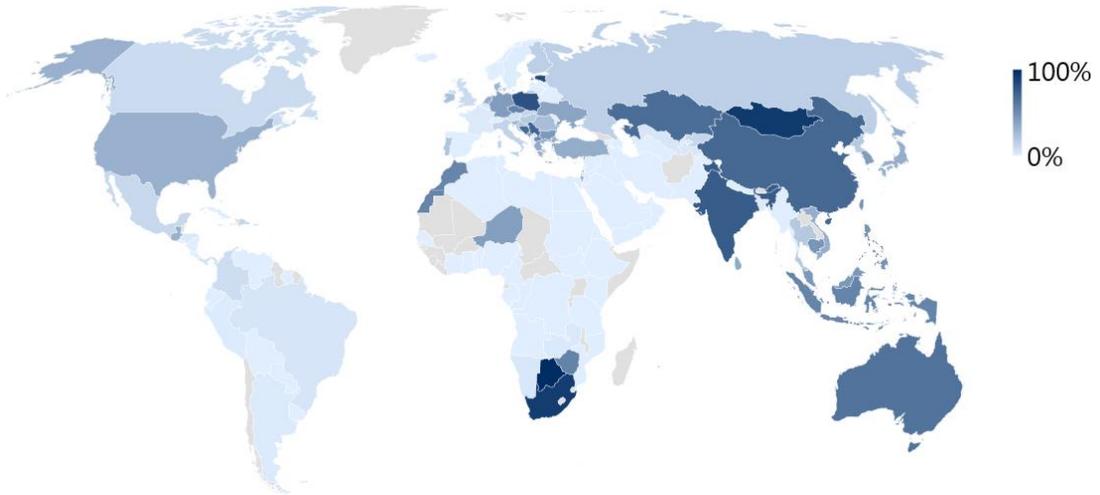
石炭は、世界の発電量の38%を担う最大の電源である(2016年)。しかし、石炭の利用程度は地域により濃淡がある(図7-2)。例えば、一定程度²⁸の発電規模を有する国・地域のうち石炭火力発電比率が最も高いのは南アフリカ、次いでポーランドであり、米州を除く各地域からの13か国・地域が世界平均を上回る比率を示す。これらの石炭火力高比率国・地域に石炭資源が豊富な国が名を連ねているのは自然なことである。ただ、それ以外にも、石炭以外の資源が石炭に比べ乏しい、あるいはエネルギー資源に全般的に恵まれない、といった国・地域も含まれる²⁹(表7-2)。なお、これに対し、脱・石炭火力発電に積極的とされる「脱・石炭国³⁰」は、石炭よりはむしろ石炭以外の資源に恵まれている国が多い。

²⁸ 50 TWh以上。シンガポールの発電量におよそ相当。

²⁹ 詳細には、ドイツでの石炭(褐炭)産業への歴史的な政策支援、豊富な天然ガス・石油資源をこれまで擁していたマレーシアでの電力需要の急激な増加などの個別事情もある。

³⁰ ここでは、Greenpeace “Global Shift” (2017)において、石炭火力発電所を既廃止あるいは全廃計画が

図7-2 | 石炭火力発電比率[2016年]



出所: IEA "World Energy Balances"

表7-2 | 石炭火力高比率国・地域と「脱・石炭国」の資源状況

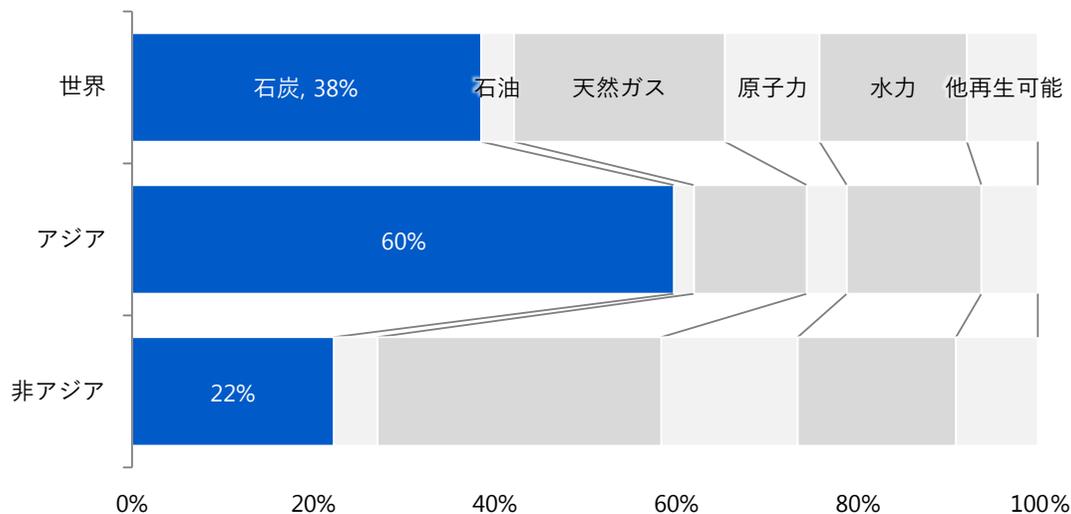
		石炭資源			
		← 乏しい			豊富 →
その他の資源	↑ 豊富	マレーシア オランダ アルバニア ガーナ			カザフスタン オーストラリア インドネシア カナダ
		フィリピン オーストリア フィンランド フランス スウェーデン 英国 エルサルバドル ラトビア	インド		南アフリカ 中国 チェコ ニュージーランド
	乏しい ↓	ベルギー ポルトガル	台湾 韓国	ドイツ ベラルーシ	ポーランド

注: 石炭火力高比率国・地域は赤字、「脱・石炭国」は黒字。その他の資源には非化石エネルギーも含む。資源の状況は反石炭火力発電の議論がこんにちほど高まる前の2014年時点の自給率で評価。

ある国と、ほぼ脱・石炭もしくは新規石炭火力発電所建設を停止したとされる国。

地理的枠組みとしては、アジアが石炭火力発電に大きく依存している。アジアの石炭火力発電比率は、天然ガスが最大電源である非アジアの3倍近い60%もある(図7-3)。

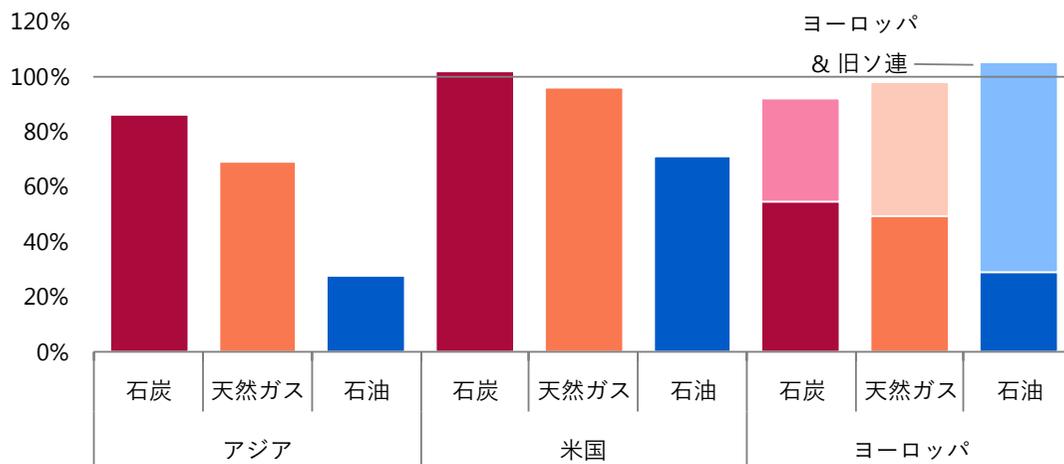
図7-3 | 発電量構成[2016年]



出所: IEA "World Energy Balances"

アジアは天然ガス・石油資源に全般的に恵まれない。こうした特徴は、アジアと欧米とを比較するとよく浮かび上がる(図7-4)。ヨーロッパは、そのエネルギー需要規模と資源の枯渇ゆえ、自給率はアジアと同程度かそれ以下である。しかし、エネルギー供給において歴史的な結びつきが深い旧ソビエト連邦を合わせて評価すれば、様相はかなり異なる。

図7-4 | 化石燃料自給率[2016年]

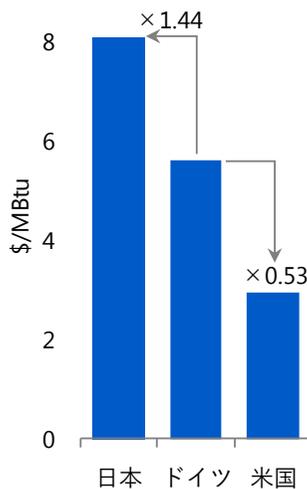


出所: IEA "World Energy Balances"

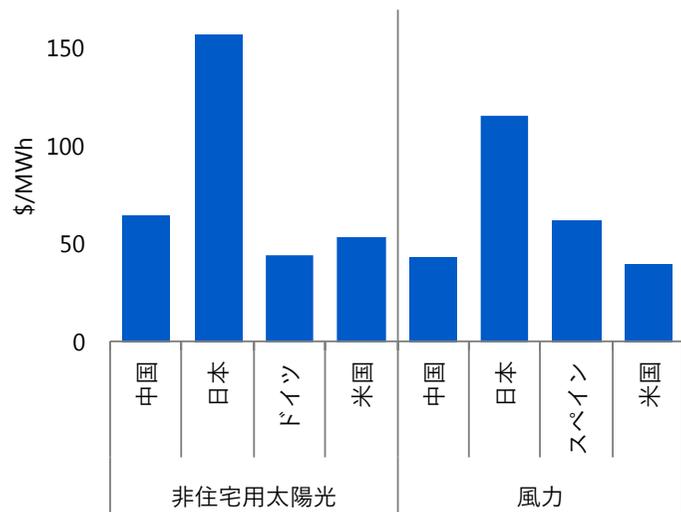
この「歴史的な結びつき」は、エネルギー供給のなかでも発電用燃料として石炭代替の代表たる天然ガスにおいて、とりわけ大きな意味を有している。すなわち、1970年代以降に旧ソ連の豊富な天然ガスを東欧の旧共産圏諸国へ輸送すべく整備されたパイプライン網——それは単に資源を届ける手段だけでなく、旧共産圏諸国間の国際分業やさらには政治的支配力を強固にする役割もあった——は、自国資源の開発にあわせて整備された国内パイプラインとともに、ヨーロッパが比較的廉価な天然ガスを容易に利用できる貴重な礎となっている³¹。もちろん、シェール革命に沸く米国での価格と比べてしまうと、ロシアからのパイプラインによる供給が支配的なドイツであっても割高である(図7-5)。しかし、液化天然ガス(LNG)での供給が中心的な日本での価格はさらに高い。経済的動機によって石炭火力発電が天然ガス火力発電により浸食されている米国はもとより、ヨーロッパと対比しても、アジアで天然ガスではなく石炭が重用されている一因は、廉価で潤沢な天然ガス供給源が地域大で存在しなかったことにある。

図7-5 | アジア、ヨーロッパ、米国のエネルギー価格

天然ガス



再生可能エネルギー発電



注: 天然ガスの日本はLNG輸入CIF価格、ドイツは輸入CIF価格、米国はヘンリーハブスポット価格で、いずれも2017年。再生可能エネルギー発電は均等化発電原価(LCOE)。非住宅用太陽光の中国と米国は2017年、日本とドイツは2016年。風力の中国とスペインは2017年、日本と米国は2016年。

出所: BP “BP Statistical Review of World Energy 2018” [天然ガス]、IEEJ推計[再生可能エネルギー発電]

地域による経済性の違いは、天然ガスにとどまらない。ヨーロッパでの再生可能エネルギー発電は、費用が技術革新などにより低下しており、一部の国では電力の卸取引制度も

³¹ 一方で、それに起因するロシアへの高い依存が問題視されもしている。

影響し、火力発電から市場を奪取している。対して、アジアでは、中国ではコストが強力な政策の下で低減しているものの、日本の太陽光発電の費用は大量導入にもかかわらず相当に高いままである。また、電力網の相互接続がヨーロッパほど進んでいないアジアは、こうした間欠性の再生可能電源を電力系統に大量に組み込むにあたり廉価な対応手段が限られ、不利である。

石炭を天然ガスあるいは再生可能エネルギーで代替する障壁の高さは、地域によってかなり異なる。アジアで石炭が最大の電源を担っていることは、地域事情の反映でもある。その石炭依存度を低減することの難易度は、ヨーロッパや米国と同列には論じがたい。

7.3 石炭火力発電所新設禁止の影響

ケース設定

現状から大幅なエネルギー変革を行うには克服すべき課題が山積しているが、ここではそうした現実社会における種々の問題を認識しつつもひとまず脇に置く。そして、石炭火力発電所の新設を2020年以降、全面的に禁止する状況を仮想的に設定してシミュレートする(石炭火力新設禁止ケース)。これにより、盛んに俎上に載る——ときにナイーブに語られる——脱・石炭火力発電について、その影響を評価する。

図7-6 | 世界の石炭火力発電設備容量[レファレンスシナリオ]

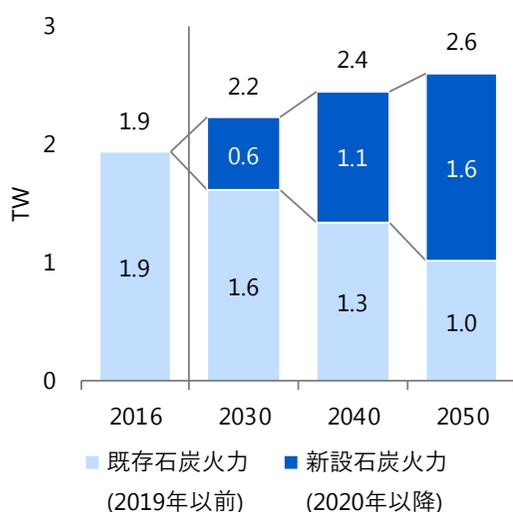
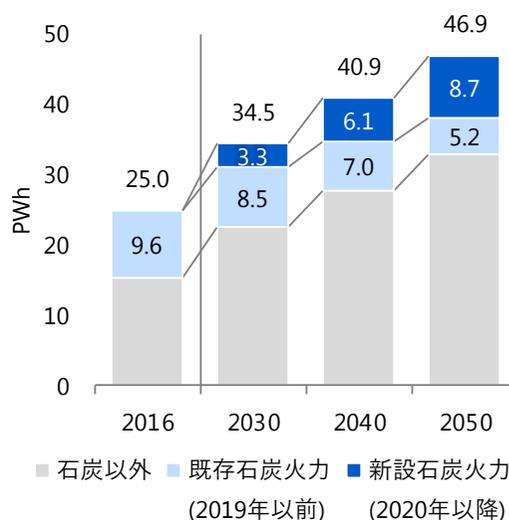


図7-7 | 世界の発電量[レファレンスシナリオ]

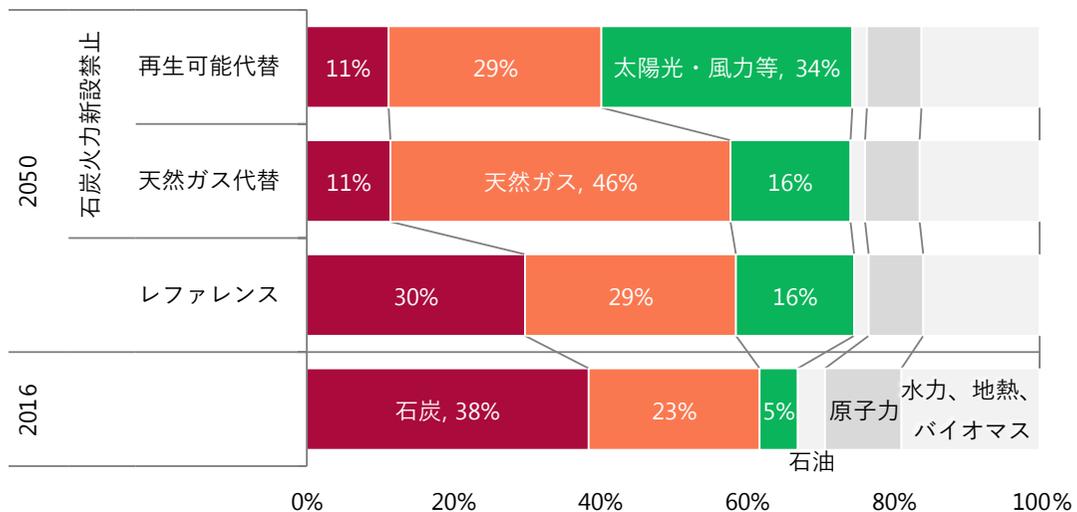


なお、新設石炭火力発電所によって賄われるはずであった電力の埋め合わせ方法に応じ、天然ガス火力発電で代替、太陽光発電・風力発電で代替³²、という2パターンを設ける。

発電量構成

レファレンスシナリオにおいては、2050年における世界の発電量のうち30%が石炭による(図7-8)。一方、石炭火力発電所の新設を2020年以降、全面的に禁止すると、建設されるはずであった石炭火力発電所——2050年時点で1.6 TW——が他で代替されることで、石炭発電比率は11%まで低下する。ただし、こうしたエネルギー変革の振幅は、地域により大きく異なる。

図7-8 | 世界の発電量構成

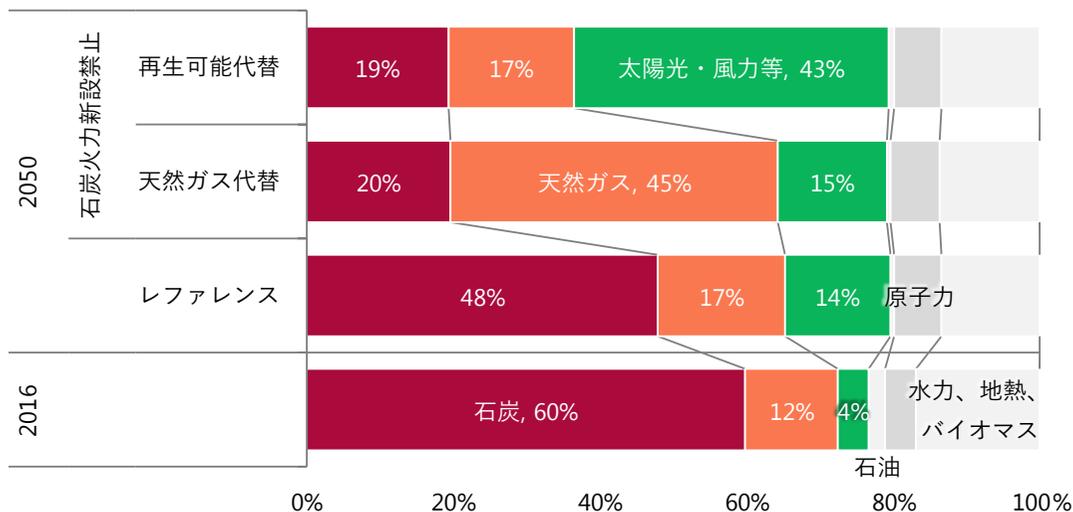


注: 価格変化に伴う電力需要変化の影響を含む。

アジアでは、2050年の発電量における石炭の比率は、レファレンスシナリオでは現在の8割に縮小するものの約半分を占める。これに対し、石炭火力発電所の新設が2020年以降できなくなると、石炭比率は2割まで急落する(図7-9)。その差約30%ポイント(%p)、量にして6.9 PWhを天然ガスもしくは太陽光・風力で埋め合わせることになる。天然ガスで代替する場合は、レファレンスシナリオにおける石炭と天然ガスの発電量構成比をおよそ入れ替えるにも近い大転換となる。難易度が高いが一部では理想像として語られるように太陽光・風力で代替する場合は、全体の43%を太陽光・風力等によって発電することになる。

³² 太陽光と風力は、レファレンスシナリオにおける各地域の太陽光・風力比率で便宜的に案分する。

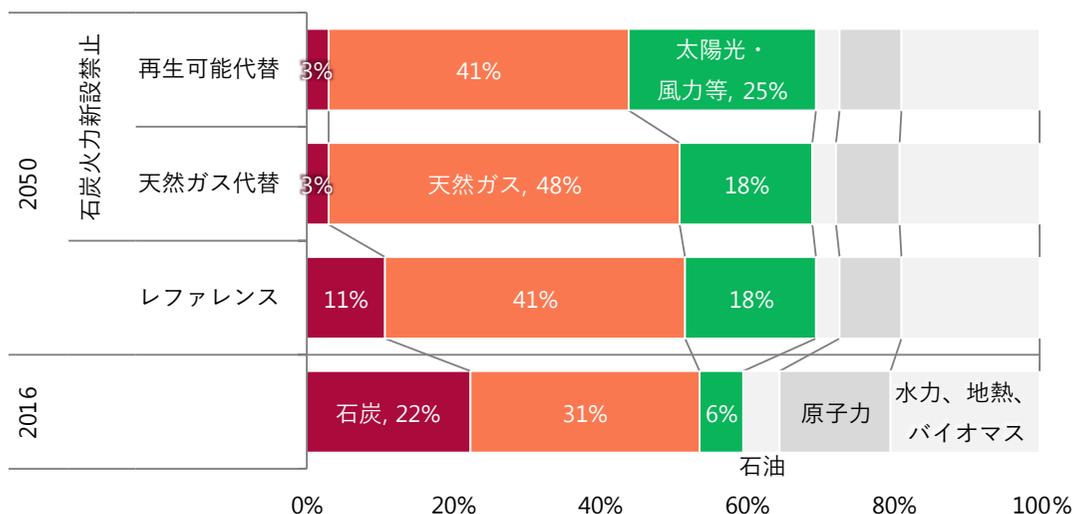
図7-9 | アジアの発電量構成



注: 価格変化に伴う電力需要変化の影響を含む。

一方、アジアの外では、2050年の石炭比率は、レファレンスシナリオでも11%に過ぎず、石炭火力発電所の新設を禁止しても8%p低下するのみである(図7-10)。石炭火力発電所を新設できないことによる変化は、アジアに比べると限定的である。石炭火力発電減少分を太陽光・風力で埋め合わせても、太陽光・風力等発電比率は25%にとどまり、最大の電源は天然ガスであり続ける。ちなみに、この太陽光・風力等発電比率は、技術進展シナリオにおける30%を下回る値である。

図7-10 | 非アジアの発電量構成



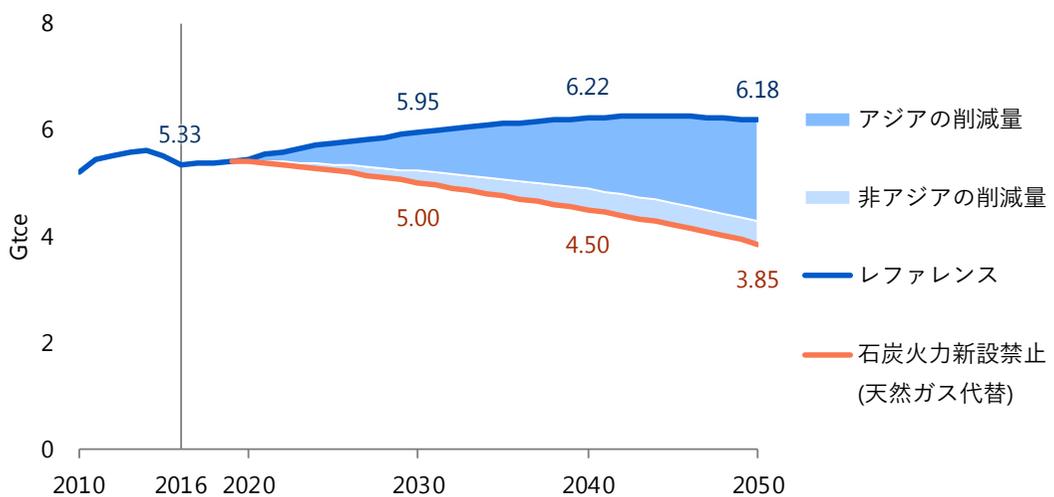
注: 価格変化に伴う電力需要変化の影響を含む。

得られる効果

石炭消費の削減

現在その62%が発電部門に集中している石炭消費は、こうした電源構成の転換により、大きく変化する。2050年における世界の石炭一次消費は、レファレンスシナリオでは現在を石炭換算0.8十億t (Gtce³³)上回る6.2 Gtceであるが、石炭火力発電所の新設を禁じると現在の7割強の3.8 Gtceまで減少する(図7-11)。レファレンスシナリオからの減少量2.3 Gtceは、世界一の石炭大国・中国の現生産量に比肩し、その大部分はアジアにおけるものである。

図7-11 | 世界の石炭一次消費

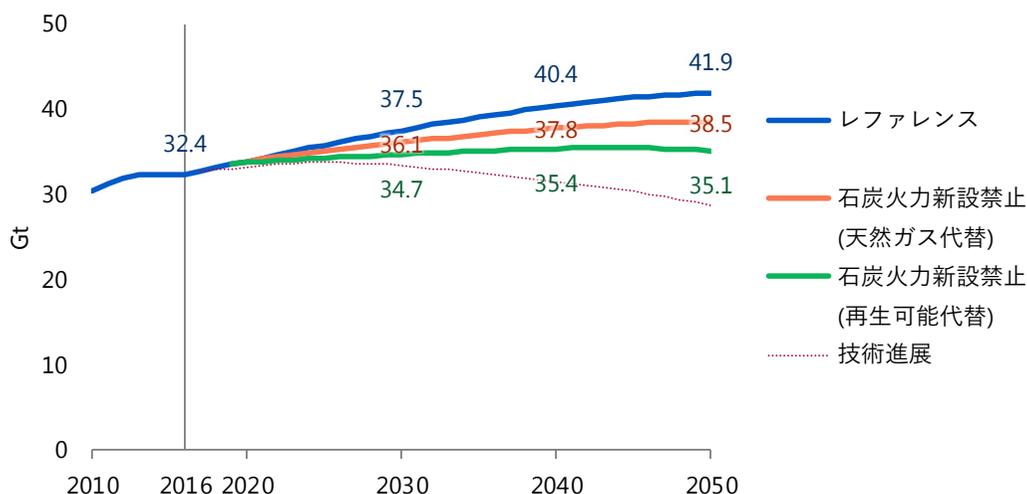


注: 石炭火力新設禁止(再生可能代替)ケースは、石炭火力新設禁止(天然ガス代替)ケースとほぼ同じ

CO₂排出の抑制

炭素排出原単位が最も大きい石炭の消費を削減することにより、CO₂排出を相当の規模で抑制することができる。2050年における世界のエネルギー起源CO₂排出は、レファレンスシナリオでは41.9 Gtまで増加するが、新設石炭火力発電所による電力を天然ガス火力発電で代替した場合はそこから3.5 Gtの削減、太陽光発電・風力発電で代替した場合は世界第2位の排出国・米国と第3位インドの現排出量の和に匹敵する6.8 Gtの削減につながる(図7-12)。しかしながら、後者の排出量35.1 Gtでも、技術進展シナリオでの28.7 Gtに及ばないばかりか、足元の32.4 Gtから減少させることにもならない。CO₂排出削減策として注目される脱・石炭火力発電ではあるが、効果が大きくかつ困難な太陽光・風力による代替であっても、これのみで気候変動問題が解決できるわけではない。

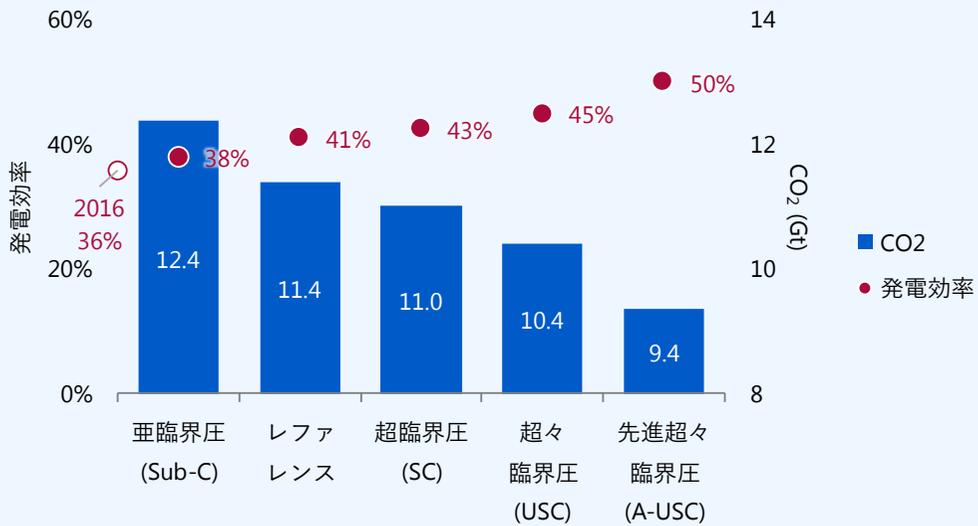
³³ 1 tce = 0.7 toe

図7-12 | 世界のエネルギー起源CO₂排出Box 7-1 | 石炭火力発電の発電効率とCO₂排出

石炭火力発電所新設に対する投融资停止は、その建設を抑制することを狙ったものである。その一方で、資金調達に不自由をきたした発電事業者が、石炭火力発電を断念し他の発電方式を採用するのではなく、より安い、しかし性能の劣る石炭火力発電所を建設し、かえってCO₂排出が増えてしまうことを懸念する向きもある——実際、企業などが政策意図と異なる反応を示すのを私たちはしばしば目にしている。

レファレンスシナリオの2050年においては、石炭火力発電のストック平均発電効率は現在の36%³⁴から41%まで改善し、そのCO₂直接排出は11.4 Gtである(図7-13)。しかし、仮に発電効率の改善が亜臨界圧(Sub-C)なみの38%までにとどまれば、CO₂排出はレファレンスシナリオ比1.0 Gt増加する。逆に超々臨界圧(USC)なみの45%まで向上すれば、CO₂排出を1.0 Gt抑制することができる。現実的には石炭火力発電にも当面頼らざるを得ないことから、環境負荷をできる限り抑制しつつこれを活用する知恵を絞らなければならない。

³⁴ これは、亜臨界圧の代表値38%をも下回る値である。ハードウェアの低い性能と適切でない運転・管理などに起因する。

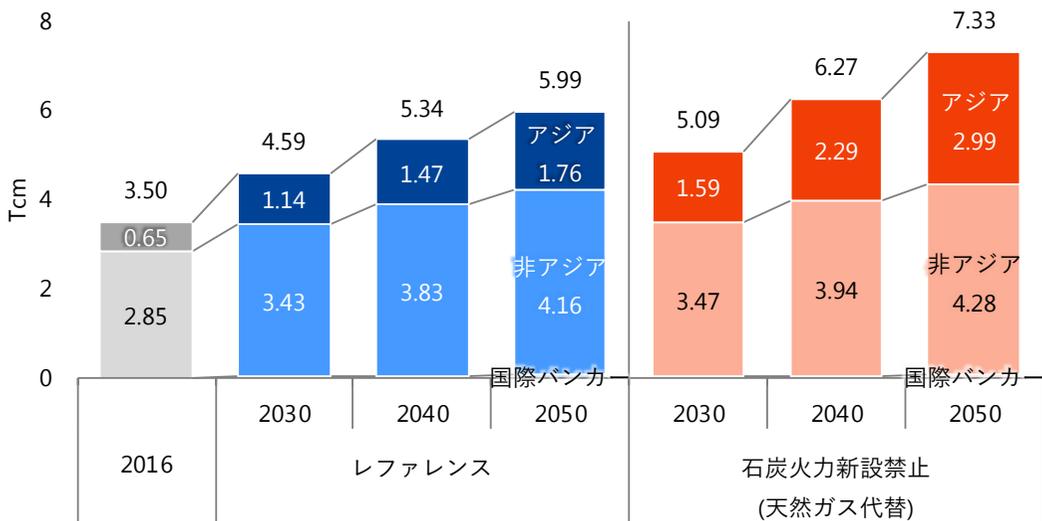
図7-13 | 世界の石炭火力発電の効率とCO₂直接排出[2050年]

不可避な副作用——天然ガスによる代替の場合

天然ガス消費の増大

新設石炭火力発電所に代え天然ガス火力発電を用いると、天然ガスは2040年過ぎに石油を上回る最大のエネルギー源となり、2050年における世界の一次消費量は7.3兆m³ (Tcm)に達する(図7-14)。レファレンスシナリオからの追加的な消費量1.3 Tcmは、米国とロシアの現生産量の和(世界シェア38%)に相当する膨大なものである。

図7-14 | 世界の天然ガス一次消費



もつとも、これは後述する天然ガス価格高騰による消費抑制効果を含んだ姿である。価格高騰がない場合、2050年における消費量は7.8 Tcm、2017年から2050年にかけての累積消費量は196 Tcmにも上る。この累積消費量は2016年末の確認埋蔵量192 Tcmを超過することから、現在の技術・経済性で採掘可能な資源のみでは不足が生じることになる。こうした資源制約は、とりわけアジアにおいて厳しい。

天然ガス生産の急速な引き上げ要請

劇的に拡大する天然ガス消費を満たすには、可能な資源はすべて——深海や北極海地域のような技術的に困難なものも——開発するという姿勢で臨む必要がある。さらに、現時点では北米を中心に行われているシェールガス開発も、旧ソ連、中国、南米、アフリカなど資源が存在する他の地域でも取り組まなければならない。

急激な天然ガス開発に際し非常に大きな制約要因となるのが、資機材や人材の確保である。掘削に必要なリグを十分に確保できるか、生産・出荷設備の建設に必要な資機材の調達を滞りなくできるか、開発や生産活動に従事する技術者・労働力を十分に確保できるかという点が、こと短中期において大きな課題となる。開発難易度が高い地域においても積極的なガス田開発が必要なことを考えると、十分な資機材・人材を確保することは実際には極めて困難となる可能性が高い。

また、北米以外でもシェールガスを開発する必要があるが、それには地質に関する十分な情報の蓄積と高度な技術を持った石油・天然ガス会社、サービス会社が必要となる。しかし現時点では、そうした地質情報が蓄積されている国は必ずしも多くなく、またシェール開発に知見を有する会社も、これだけの規模でシェール開発を進められるだけの能力を少なくとも現時点では持ち合わせていない。

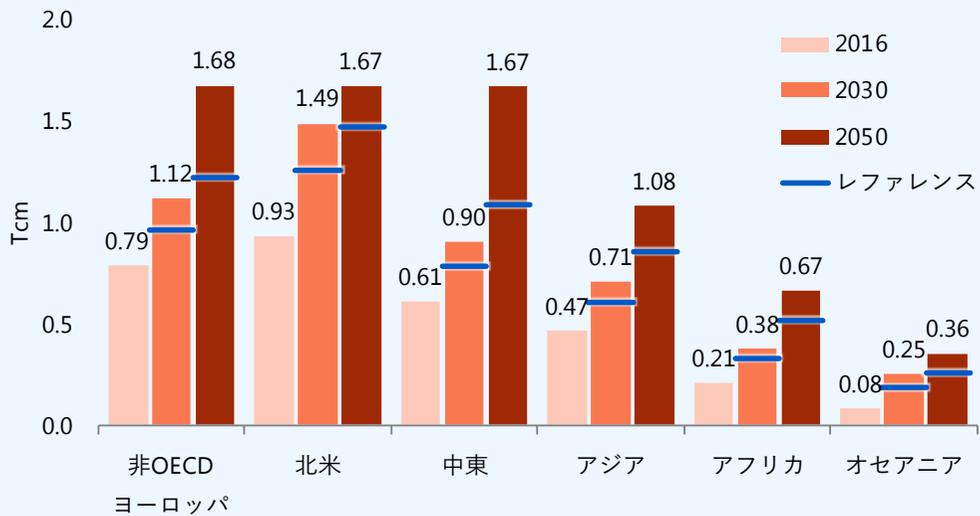
もう1つの制約となりうる問題が、西側諸国による産ガス国に対する経済制裁である。増産のカギを握るロシアやイランといった国に対しては、現在経済制裁が課されており、天然ガス開発の高い技術や開発能力を有する欧米企業が新規投資できない状況にある。経済制裁が今後も維持され、外資企業がこれらの産ガス国での開発に自由に参画できない状況が続けば、中長期的には深刻な供給不足が発生することが懸念される。

Box 7-2 | 石炭火力新設禁止(天然ガス代替)ケースにおける主要地域の天然ガス生産

石炭火力新設禁止(天然ガス代替)ケースにおける天然ガス生産は、2016年から2050年にかけて2.3倍に増大する。埋蔵量規模の大きい中東や、ロシアや中央アジアを含む非OECDヨーロッパの寄与度が大きい³⁵(図7-15)。

³⁵ この見通しは、急激な需要の増加を満たすには各地域の増産がどの程度必要かという命題の下、埋

図7-15 | 主要地域の天然ガス生産[石炭火力新設禁止(天然ガス代替)ケース]



中東では、イラン、カタール、サウジアラビアといった膨大な天然ガス埋蔵量を有する国の生産がさらに拡大しなければならない。また、イラクやアラブ首長国連邦といった、これまではどちらかといえば石油開発に重きを置き、天然ガス開発にはあまり力を入れてこなかった国々においても、積極的な天然ガス資源の開発が必要となる。

中東とあわせて生産量の大きな引き上げが必要なのがロシアである。近隣の東欧、旧ソ連諸国、中国において発生する非常に多くの石炭代替需要を満たすための増産を実現しなければならない。ロシアでは現在、主力産ガス地域の西シベリアに加えて、北極海や東シベリアにおける天然ガス開発計画が検討されているが、豊富に存在するシェールガス資源も早急その本格的な開発に取り掛かる必要がある。

シェールガスの開発により2010年前後から急速に生産量を拡大させてきた北米では、さらに速いペースでの開発が必要となる。一般にシェール資源はピーク生産時からの生産量の減退が早いとされているが、今後はそうした既存ガス田からの減退を補いつつ、さらにこれまで以上のペースで増産しなければならない。また、米国では既に内陸部と沿岸部を結ぶガスパイプラインの輸送能力不足の問題が顕在化してきているが、急速な生産量の拡大により、同じような輸送インフラストラクチャー面での制約が増産に対する障壁となる恐れもある。

蔵量、現在の生産量、ガス田開発、インフラ整備などといった要因をもとに算出したものである。こうした増産が現実的に可能であることを保証しているものではない。

求められるLNGの生産拡張

石炭火力発電所の新設禁止により、天然ガスの消費はアジアで最も増加する。一方、生産が拡大するのは、中東、非OECDヨーロッパ、北米であり、天然ガスの生産と消費との間の地理的なギャップがさらに拡大する。従って、天然ガスの国際貿易を大きく伸ばしていくことが不可避である。特にLNGの役割は重要であり、2030年におけるその需要は、レファレンスシナリオの520 Mtに対し、石炭火力新設禁止(天然ガス代替)ケースでは750 Mtまで上振れする(図7-16)。これを満たすためには、2016年時点での世界のLNG生産能力の実に1.9倍に相当する能力(490 Mt)を十数年のうちに追加しなければならない。天然ガスの供給面における懸念材料と同様、これだけの規模のLNG生産能力拡張を限られた時間で実現するのは、仮に世界中の石油・天然ガス会社やエンジニアリング会社の能力を総結集させたとしても、極めて困難であろう。

また、2030年時点で750 MtというLNG需要は、現在比較的確証の高い開発計画を有するすべての液化プラント案件が予定どおり実現した場合の供給量(720 Mt程度)でも不足となる規模である。その穴を埋めるには、現在明確な開発計画が立てられていない案件についても構想を開始し、さらにそれを2030年までに商業運転にまで進める必要がある。時に10年以上にもなるLNGプロジェクト商業化までの長い準備期間を考慮すれば、そうした多くの案件を運開させることは不可能とは言わなくとも極めてチャレンジングである。

図7-16 | 世界のLNG需要

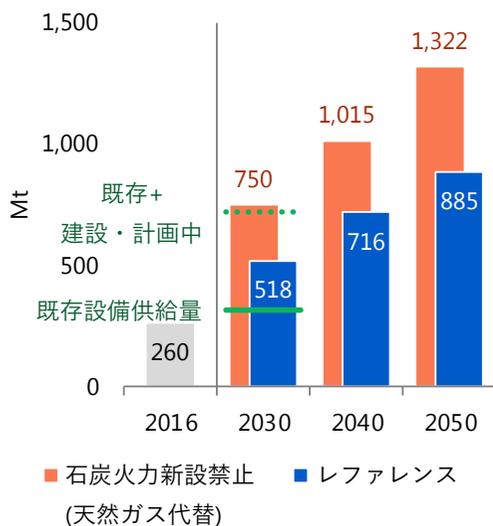
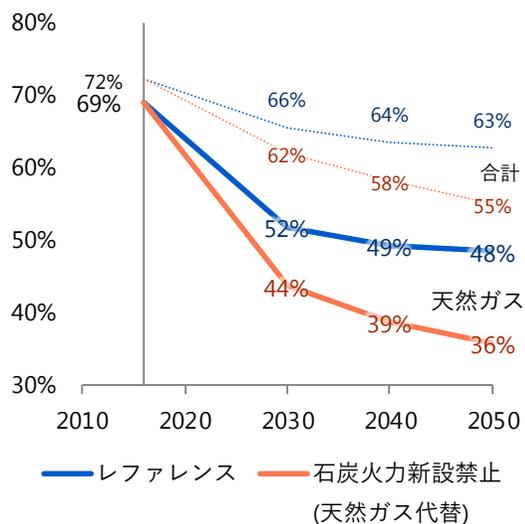


図7-17 | アジアの自給率



自給率低下に処する安定供給対策

仮に、前述のような生産拡大が全世界で達成でき、LNG供給チェーンも確立できたとしても、アジアはエネルギー安全保障上の新たな問題の種を抱え込むことになる。すなわち、天然ガス資源に乏しいアジアは、域外からの輸入に頼らざるを得ない。その天然ガス自給率は、現在の69%から2050年には現在の約半分となる36%まで急落する³⁶(図7-17)。

天然ガスの消費を増大させること、そしてその輸入依存を増すことは、こと輸入国において備蓄の重要性を必然的に高める。しかし、気体である天然ガスや極低温を維持する必要があるLNGの貯蔵は、野積みで済む石炭の貯蔵に比べてはるかに手数がかかる。石油を上回る最大のエネルギー源となる天然ガスがエネルギー安全保障上の大きなリスク要因とならないよう、十全な供給体制を整える必要がある。

天然ガス輸入支払い額の膨張

天然ガス消費の増加はアジアにおいて顕著であるが、そこから派生する影響が及ぶ範囲はアジアにとどまらない。われわれの想定では、消費の大きな上振れによる天然ガス価格の高騰は、世界全体を覆い尽くすことになる³⁷(表7-3)。2050年における天然ガスの価格を熱量あたりで原油³⁸と比較すると、レファレンスシナリオにおいては日本で約半分、米国では約4分の1であるのに対し、石炭火力新設禁止(天然ガス代替)ケースにおいては日本で熱量等価にかなり接近し、輸出が最も大きく増加する米国でも7割まで上昇する。

表7-3 | 実質天然ガス価格

		2017	レファレンス			石炭火力新設禁止 (天然ガス代替)		
			2030	2040	2050	2030	2040	2050
日本	\$2017/MBtu	8.1	10.5	10.7	10.8	16.6	18.8	19.5
ヨーロッパ(英国)	\$2017/MBtu	5.8	8.2	8.8	8.9	14.0	16.7	18.0
米国	\$2017/MBtu	3.0	4.2	5.0	5.2	10.2	13.3	15.0

天然ガス価格の高騰は発電用に限った話ではないことから、天然ガス純輸入額の増大はアジアの外でも甚だしい³⁹(図7-18)。OECDヨーロッパでは、石炭火力発電所の新設禁止による天然ガスの発電用消費増加率(2050年、レファレンスシナリオ比)は世界平均の60%

³⁶ 非アジアの自給率は、アジア向け輸出が増えることにより、定義的に上昇することになる。

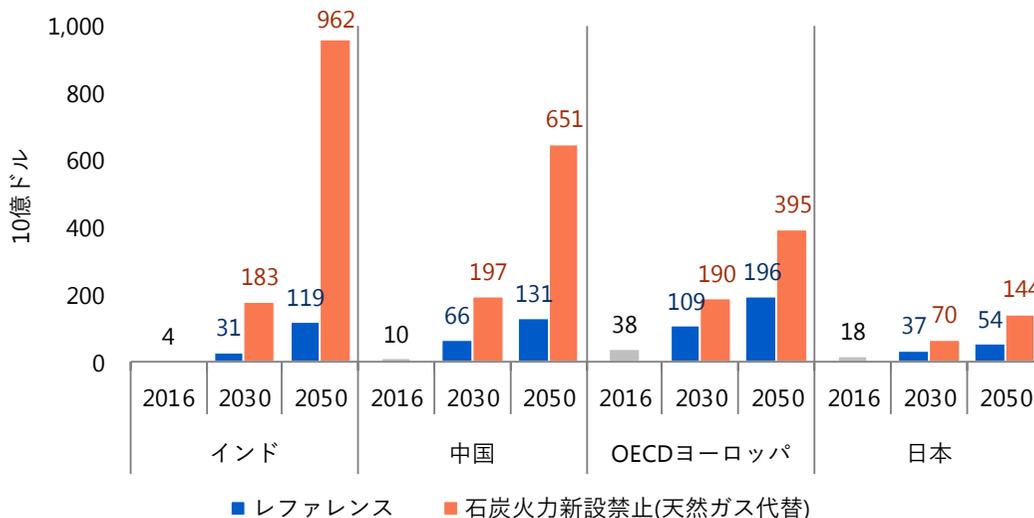
³⁷ なお、全体的な価格水準が上昇する一方で、LNG貿易のさらなる活発化を通して、世界の各地域間での価格差はさらに縮小する。

³⁸ \$125/bbl (2017年実質)

³⁹ 天然ガス輸入額が増大する一方で石炭輸入額は価格の下落と数量の減少により低下する。ただし、その規模は天然ガス輸入額に比べて1桁小さい。

を大きく下回る8%にとどまり、一次消費では価格上昇により若干減少さえする。しかし、天然ガスの利用が浸透しているこの地域では、発電用を上回る量が産業、民生などで消費されていることから、天然ガス純輸入額は4,000億ドルにも膨れ上がる。

図7-18 | 主要天然ガス純輸入国・地域の天然ガス純輸入額



こうして、新設石炭火力発電所の代替による天然ガス消費の上振れは、エネルギー安全保障⁴⁰にかかる大きな課題を惹起することになる。

不可避な副作用——太陽光・風力による代替の場合

太陽光・風力発電の未曾有の拡大

あるいは、石炭火力発電量の減少分を太陽光発電・風力発電で埋め合わせるならば、2050年において必要となる世界の太陽光・風力等発電量は16.1 PWhにも達する(図7-19)。これは、今後30余年で発電量を現在の12倍まで極めて急速に引き上げることを意味する。太陽光発電・風力発電は設備利用率が低いことも荷となる。仮に、ロスを無視しうほどの高効率な蓄電・送電技術を全世界で制約なく利用できるようになったとして少なく見積もっても、2050年に導入しておかなければならない太陽光・風力発電設備は世界で10.0 TW——現在の火力・再生可能・原子力を合わせた総発電設備容量の1.6倍相当である。その量は、アジアでは7.2 TWであるが、これは現在の総発電設備容量の2.7倍にもなる(図7-20)。

⁴⁰ IEAはエネルギーの安全保障を“the uninterrupted availability of energy sources at an affordable price”(受容可能な価格で途絶なく利用可能であること)と定義している。すなわち、単に需要が満たされることだけではなく、価格についても範疇に含めている。

図7-19 | 世界の太陽光・風力等発電量

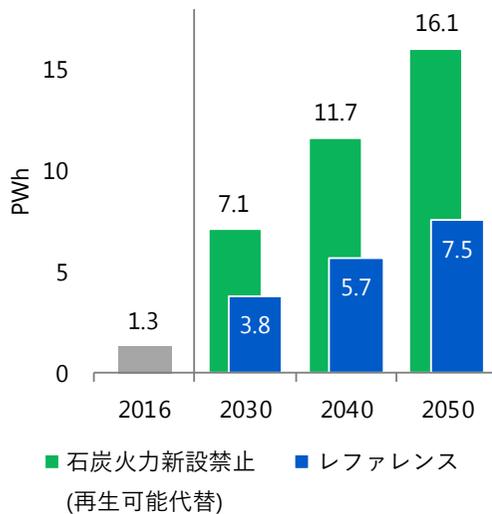
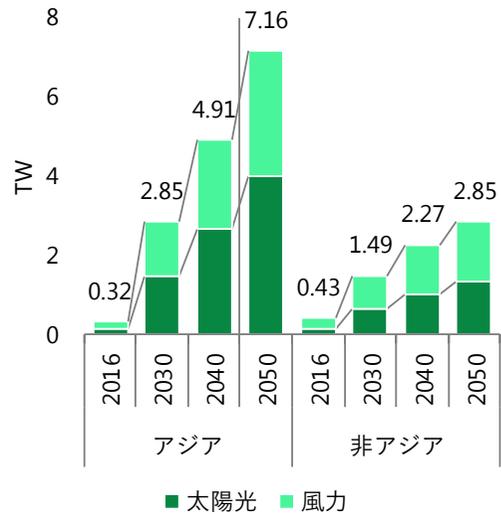


図7-20 | 太陽光・風力発電設備容量[石炭火力新設禁止(再生可能代替)ケース]

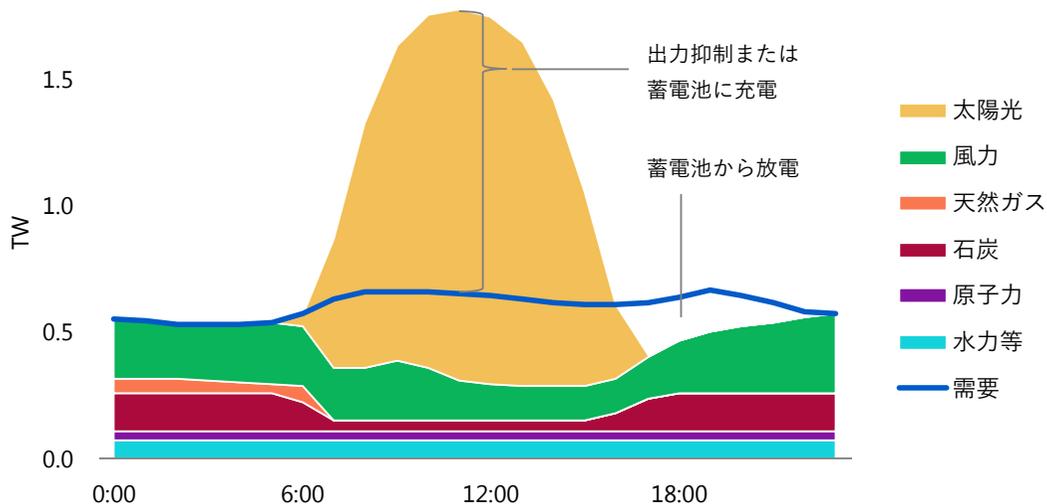


電力安定供給への挑戦

電力は需要と供給が常にバランスしていなければならない——供給不足のみならず供給過剰も許されない。需給バランスが崩れると停電につながることもある。太陽光発電・風力発電の大量導入は、人為的な制御が困難な電源が増えるということと同時に、調整用電源である火力発電を減少させるという面からも、電力の品質と安定供給を確保する難易度を上げる。新設石炭火力発電所をすべて代替するだけの再生可能発電の大量導入がもたらす影響——周波数、電圧、過渡安定度など——に関しては、技術的な検討が十分に進んでいない部分もあり、早急な取り組みが望まれる。

例えば、石炭火力発電所の新設を禁止することにより太陽光・風力発電を世界で最も上積みしなければならないインドでは、日中の供給量が太陽光発電により極端な過剰となる(図7-21)。また、夕刻にかけての発電量の減退も急激であり、これを補う応答性の高い電源の大量導入が不可欠である。こうした状況に対応し停電を回避するためには、米国の現在の最大電力0.77 TWを大きく上回るオーダーで、出力抑制、蓄電池への充電、蓄電池からの放電などにより需給バランスを取ることが求められる。

図7-21 | インドの電力需給「イメージ」 [石炭火力新設禁止(再生可能代替)ケース、2050年]



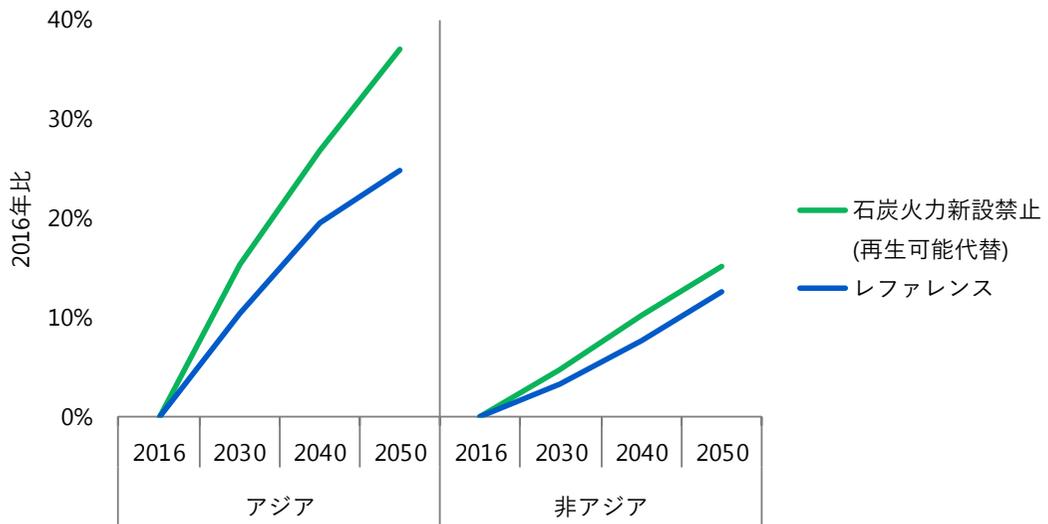
注: 需要パターンを現状のものから設定した場合の需給イメージ

電力コストの上昇

太陽光や風力といった間欠性の再生可能電源を大量に導入しつつ電力の安定供給を維持するには、抜本的な措置が必要となる。それらは、設備の導入や運用体系の根本的な変革などを伴うと同時に、電力コストを押し上げることになる。

さらには、再生可能電源大量導入を促すための経済的インセンティブの原資——現状多くの国でその負担の大きさが問題となっている——も電力コスト上昇に拍車をかけうる。こういった影響はアジアにおいて顕著となる。エネルギー貧困や競争力劣後といった問題を誘発しないよう、電力安全保障への十分な目配りが必要である。

図7-22 | 電力コスト「概数」



注: 発電設備の設備費、燃料費、電力系統対策費を含む。2010年実質価格ベース。再生可能エネルギー発電の設備費は、2050年にかけて低減してゆくと想定。低減率(太陽光で2050年までに30%程度、風力で10%程度)は、IEA “World Energy Outlook 2016”を参考にした。電力系統対策費は、OECD/NEA “The Full Costs of Electricity Provision” (2018)を参照して設定。地域特性は考慮していない

7.4 求められる多面的な判断

石炭火力発電とどう向き合うか

昨今、石炭火力発電に対する批判がより尖鋭的になっている。仮に、石炭火力発電所新設の全面的な禁止という厳格な方針を採れば、石炭消費の削減を通じて2050年にはCO₂排出を3 Gt～7 Gt抑制することが可能となる。石炭火力発電所での脱硫・脱硝・ばいじん除去の十分な対策が取られていない国・地域では、あわせて大気汚染物質の排出抑制効果も期待できる。しかし、これによりわれわれが向き合うことになる変化は、歓迎すべきものばかりではない。急激な脱・石炭は、代替エネルギーの爆発的な消費増と表裏一体である。天然ガスや再生可能エネルギーはCO₂排出が少ない一方で、その大量導入のためには——特にアジアでは——天然ガスの安定供給、電力の安定供給、経済性といった安全保障で克服しなければならない大きな課題がある。

発電部門の低炭素化が気候変動対策の1つとして欠かせないことは、衆目の一致するところである。石炭火力発電を早急に廃止できる国・地域は、着実にこれを推進すべきである。一方、アジアで同じ動きを展開するには、克服しなければならない高い障壁が眼前にそびえている。脱・石炭火力発電を世界で推進するアジア外の先進国は、アジア発展途上国のエネルギー大変革を支援する覚悟も決める必要がある。

現実的に脱・石炭火力発電が今は難しいあるいはよりふさわしいCO₂削減手段がある国・地域は、取り組みの優先順位を冷静に見極めざるを得ない。もちろん、そうした国・地域であっても、低効率石炭火力発電所は早々に高効率なものに転換しなければならない。さらに、石炭火力発電への依存を低減できるようになる環境の整備にも並行して尽力しなければならない。

調和の取れた対応を

目指すべきは気候変動問題への対応であり、脱・石炭火力発電は手段の1つに過ぎない。手段と目的を取り違えてはならない。石炭火力発電自体が絶対悪なのではなく、その短兵急な放棄が本質的な目的でもない。気候変動問題というこの超長期にわたる難題に持続可能な対応をしてゆくためには、物事を包括的・多面的にとらえた判断、広範に共有された確固たる決意、現実性・予見性を伴った周到な措置が不可欠である。

より大きくとらえれば、気候変動問題は人類が抱える課題の1つではあるが、唯一のものではないことを多くの人が思い起こすであろう。SDGを策定した国際連合も「持続可能な開発を達成するためには、経済成長、社会的包摂、環境保護という3つの主要素を調和させることが不可欠」「それぞれの目標は相互に独立しているものではなく、総合的に取り組むことが必要」⁴¹と説明している。各国・地域の実情を十分顧み、調和のとれた判断を下したうえで、現実的な道を歩むことが、持続可能な開発という地球大の課題と真に誠実に向き合うことにつながる。

⁴¹ 国際連合「我々の世界を変革する：持続可能な開発のための2030アジェンダ」
http://www.unic.or.jp/files/UNDPI_SDG_0707.pptx



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 (ASEAN)	ブルネイ
		インドネシア
		マレーシア
		ミャンマー
	フィリピン	
	シンガポール	
	タイ	
	ベトナム	
	その他アジア	バングラデシュ, 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, ポリビア, 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	OECDヨーロッパ	フランス
		ドイツ
		イタリア
		英国

	その他OECDヨーロッパ	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, 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
	非OECDヨーロッパ	ロシア
	その他非OECD旧ソビエト連邦	アルメニア, アゼルバイジャン, ベラルーシ, ジョージア, カザフスタン, キルギスタン, リトアニア, 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
	その他非OECDヨーロッパ	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	バーレーン, イスラエル, ヨルダン, レバノン, シリア, イエメン
オセアニア	オーストラリア	
	ニュージーランド	
国際バンカー		
欧州連合 (EU)	オーストリア, ベルギー, ブルガリア, クロアチア, キプロス, チェコ, デンマーク, エストニア, フィンランド, フランス, ドイツ, ギリシャ, ハンガリー, アイルランド, イタリア, ラトビア, リトアニア, ルクセンブルク, マルタ, オランダ, ポーランド, ポルトガル, ルーマニア, スロバキア, スロベニア, スペイン, スウェーデン, 英国	
経済協力開発 機構 (OECD)	オーストラリア, オーストリア, ベルギー, カナダ, チリ, 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, アイスランド, アイルランド, イタリア, 日本, 韓国, ラトビア, ルクセンブルク, メキシコ, オランダ, ニュージーランド, 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, 英国, 米国	
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, カタール, 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、(1)その他非OECD旧ソビエト連邦は1989年以前のエストニア、ラトビアを含む、(2) OECDはイスラエルを含まない。

付表

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	2016	2030	2050	2030	2050	1990/ 2016	2016/2050	
									レファレンス	技術進展
一次エネルギー消費 (Mtoe)	世界	8,774	13,761	16,554	19,275	15,834	16,994	1.7	1.0	0.6
	OECD	4,522	5,252	5,258	4,918	5,096	4,424	0.6	-0.2	-0.5
	非OECD	4,050	8,111	10,779	13,692	10,259	12,013	2.7	1.6	1.2
	アジア	2,110	5,497	7,327	8,987	6,997	7,917	3.8	1.5	1.1
	非アジア	6,461	7,866	8,711	9,622	8,358	8,520	0.8	0.6	0.2
石油一次消費 (Mtoe)	世界	3,234	4,390	5,052	5,628	4,681	4,543	1.2	0.7	0.1
	OECD	1,867	1,887	1,727	1,437	1,602	1,135	0.0	-0.8	-1.5
	非OECD	1,165	2,105	2,833	3,600	2,652	3,001	2.3	1.6	1.0
	アジア	618	1,367	1,819	2,207	1,711	1,815	3.1	1.4	0.8
	非アジア	2,414	2,625	2,741	2,830	2,544	2,321	0.3	0.2	-0.4
天然ガス一次消費 (Mtoe)	世界	1,664	3,035	3,978	5,183	3,761	4,274	2.3	1.6	1.0
	OECD	845	1,414	1,578	1,632	1,454	1,204	2.0	0.4	-0.5
	非OECD	818	1,621	2,382	3,497	2,269	2,978	2.7	2.3	1.8
	アジア	116	567	988	1,524	941	1,316	6.3	3.0	2.5
	非アジア	1,548	2,468	2,972	3,604	2,782	2,866	1.8	1.1	0.4
石炭一次消費 (Mtoe)	世界	2,220	3,731	4,167	4,323	3,646	2,968	2.0	0.4	-0.7
	OECD	1,076	887	747	517	628	304	-0.7	-1.6	-3.1
	非OECD	1,144	2,843	3,420	3,806	3,018	2,663	3.6	0.9	-0.2
	アジア	787	2,685	3,238	3,557	2,851	2,502	4.8	0.8	-0.2
	非アジア	1,433	1,046	929	766	796	465	-1.2	-0.9	-2.4
発電電力量 (TWh)	世界	11,852	24,973	34,470	46,915	33,592	43,245	2.9	1.9	1.6
	OECD	7,640	10,876	12,608	14,006	12,383	13,308	1.4	0.7	0.6
	非OECD	4,212	14,097	21,861	32,909	21,209	29,937	4.8	2.5	2.2
	アジア	2,240	10,768	16,728	23,994	16,250	21,851	6.2	2.4	2.1
	非アジア	9,611	14,205	17,741	22,922	17,342	21,394	1.5	1.4	1.2
エネルギー起源 二酸化炭素排出 (Mt)	世界	20,479	32,353	37,521	41,909	33,335	28,714	1.8	0.8	-0.4
	OECD	10,962	11,549	10,815	9,157	9,560	6,216	0.2	-0.7	-1.8
	非OECD	8,888	19,564	25,134	30,788	22,362	21,016	3.1	1.3	0.2
	アジア	4,632	14,795	18,891	22,176	16,704	15,090	4.6	1.2	0.1
	非アジア	15,218	16,319	17,058	17,769	15,217	12,142	0.3	0.3	-0.9
GDPあたり 一次エネルギー消費 (toe/100万ドル)	世界	232	178	142	100	136	89	-1.0	-1.7	-2.0
	OECD	155	106	82	57	80	51	-1.4	-1.8	-2.1
	非OECD	468	290	205	130	195	114	-1.8	-2.3	-2.7
	アジア	279	235	171	110	163	97	-0.7	-2.2	-2.6
	非アジア	213	146	118	87	114	77	-1.5	-1.5	-1.8
1人あたり 一次エネルギー消費 (toe/人)	世界	1.66	1.85	1.94	1.98	1.86	1.75	0.4	0.2	-0.2
	OECD	4.25	4.10	3.87	3.49	3.75	3.14	-0.1	-0.5	-0.8
	非OECD	0.96	1.32	1.51	1.64	1.43	1.44	1.2	0.7	0.3
	アジア	0.72	1.36	1.65	1.93	1.58	1.70	2.5	1.0	0.6
	非アジア	2.75	2.31	2.14	1.90	2.05	1.68	-0.7	-0.6	-0.9
GDP (2010年価格10億ドル)	世界	37,882	77,321	116,562	191,975	116,562	191,975	2.8	2.7	2.7
	OECD	29,234	49,348	63,980	86,697	63,980	86,697	2.0	1.7	1.7
	非OECD	8,648	27,973	52,582	105,279	52,582	105,279	4.6	4.0	4.0
	アジア	7,560	23,349	42,947	81,967	42,947	81,967	4.4	3.8	3.8
	非アジア	30,322	53,972	73,615	110,008	73,615	110,008	2.2	2.1	2.1
人口 (100万人)	世界	5,281	7,433	8,514	9,733	8,514	9,733	1.3	0.8	0.8
	OECD	1,064	1,281	1,358	1,409	1,358	1,409	0.7	0.3	0.3
	非OECD	4,216	6,152	7,156	8,324	7,156	8,324	1.5	0.9	0.9
	アジア	2,933	4,035	4,439	4,665	4,439	4,665	1.2	0.4	0.4
	非アジア	2,348	3,399	4,075	5,068	4,075	5,068	1.4	1.2	1.2

付表3 | 人口

(100万人)

	1990	2000	2016	2030	2040	2050	年平均変化率(%)				
							1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2040	2040/ 2050	2016/ 2050
世界	5,281 (100)	6,113 (100)	7,433 (100)	8,514 (100)	9,172 (100)	9,733 (100)	1.3	1.0	0.7	0.6	0.8
アジア	2,933 (55.5)	3,410 (55.8)	4,035 (54.3)	4,439 (52.1)	4,601 (50.2)	4,665 (47.9)	1.2	0.7	0.4	0.1	0.4
中国	1,135 (21.5)	1,263 (20.7)	1,379 (18.5)	1,416 (16.6)	1,393 (15.2)	1,341 (13.8)	0.8	0.2	-0.2	-0.4	-0.1
インド	870 (16.5)	1,053 (17.2)	1,324 (17.8)	1,513 (17.8)	1,605 (17.5)	1,659 (17.0)	1.6	1.0	0.6	0.3	0.7
日本	124 (2.3)	127 (2.1)	127 (1.7)	121 (1.4)	115 (1.2)	108 (1.1)	0.1	-0.4	-0.5	-0.6	-0.5
韓国	43 (0.8)	47 (0.8)	51 (0.7)	53 (0.6)	53 (0.6)	51 (0.5)	0.7	0.3	-0.1	-0.4	0.0
台湾	20 (0.4)	22 (0.4)	24 (0.3)	24 (0.3)	24 (0.3)	23 (0.2)	0.6	0.2	-0.1	-0.5	-0.1
ASEAN	430 (8.1)	506 (8.3)	618 (8.3)	700 (8.2)	740 (8.1)	765 (7.9)	1.4	0.9	0.6	0.3	0.6
インドネシア	181 (3.4)	212 (3.5)	261 (3.5)	296 (3.5)	313 (3.4)	322 (3.3)	1.4	0.9	0.6	0.3	0.6
マレーシア	18 (0.3)	23 (0.4)	31 (0.4)	37 (0.4)	40 (0.4)	42 (0.4)	2.1	1.2	0.7	0.5	0.9
ミャンマー	41 (0.8)	46 (0.8)	53 (0.7)	59 (0.7)	61 (0.7)	62 (0.6)	1.0	0.8	0.4	0.1	0.5
フィリピン	62 (1.2)	78 (1.3)	103 (1.4)	125 (1.5)	139 (1.5)	151 (1.6)	2.0	1.4	1.1	0.8	1.1
シンガポール	3 (0.1)	4 (0.1)	6 (0.1)	6 (0.1)	7 (0.1)	7 (0.1)	2.4	0.9	0.3	0.0	0.5
タイ	57 (1.1)	63 (1.0)	69 (0.9)	70 (0.8)	68 (0.7)	65 (0.7)	0.8	0.1	-0.2	-0.4	-0.2
ベトナム	68 (1.3)	80 (1.3)	95 (1.3)	106 (1.2)	111 (1.2)	115 (1.2)	1.3	0.8	0.5	0.3	0.6
非OECDアジア	2,767 (52.4)	3,236 (52.9)	3,856 (51.9)	4,265 (50.1)	4,434 (48.3)	4,506 (46.3)	1.3	0.7	0.4	0.2	0.5
北米	277 (5.3)	313 (5.1)	359 (4.8)	396 (4.7)	418 (4.6)	436 (4.5)	1.0	0.7	0.5	0.4	0.6
米国	250 (4.7)	282 (4.6)	323 (4.3)	356 (4.2)	375 (4.1)	391 (4.0)	1.0	0.7	0.5	0.4	0.6
中南米	441 (8.4)	521 (8.5)	634 (8.5)	713 (8.4)	752 (8.2)	775 (8.0)	1.4	0.8	0.5	0.3	0.6
OECDヨーロッパ	502 (9.5)	524 (8.6)	569 (7.7)	587 (6.9)	591 (6.4)	590 (6.1)	0.5	0.2	0.1	0.0	0.1
欧州連合	478 (9.1)	488 (8.0)	511 (6.9)	524 (6.2)	526 (5.7)	523 (5.4)	0.3	0.2	0.0	-0.1	0.1
非OECDヨーロッパ	341 (6.5)	339 (5.5)	342 (4.6)	345 (4.0)	341 (3.7)	338 (3.5)	0.0	0.1	-0.1	-0.1	0.0
アフリカ	634 (12.0)	816 (13.4)	1,223 (16.5)	1,701 (20.0)	2,097 (22.9)	2,524 (25.9)	2.6	2.4	2.1	1.9	2.2
中東	132 (2.5)	168 (2.8)	242 (3.2)	299 (3.5)	335 (3.6)	367 (3.8)	2.3	1.5	1.1	0.9	1.2
オセアニア	20 (0.4)	23 (0.4)	29 (0.4)	34 (0.4)	36 (0.4)	39 (0.4)	1.4	1.1	0.8	0.7	0.9
OECD	1,064 (20.2)	1,150 (18.8)	1,281 (17.2)	1,358 (15.9)	1,391 (15.2)	1,409 (14.5)	0.7	0.4	0.2	0.1	0.3
非OECD	4,216 (79.8)	4,963 (81.2)	6,152 (82.8)	7,156 (84.1)	7,781 (84.8)	8,324 (85.5)	1.5	1.1	0.8	0.7	0.9

(出所)国際連合 "World Population Prospects: The 2017 Revision"、世界銀行 "World Development Indicators"

(注)カッコ内は対世界比(%)

付表

付表4 | GDP

(2010年価格10億ドル)

	1990	2000	2016	2030	2040	2050	年平均変化率(%)				
							1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2040	2040/ 2050	2016/ 2050
世界	37,882 (100)	49,957 (100)	77,321 (100)	116,562 (100)	153,030 (100)	191,975 (100)	2.8	3.0	2.8	2.3	2.7
アジア	7,560 (20.0)	11,025 (22.1)	23,349 (30.2)	42,947 (36.8)	61,820 (40.4)	81,967 (42.7)	4.4	4.4	3.7	2.9	3.8
中国	830 (2.2)	2,237 (4.5)	9,504 (12.3)	20,603 (17.7)	31,022 (20.3)	40,505 (21.1)	9.8	5.7	4.2	2.7	4.4
インド	465 (1.2)	800 (1.6)	2,456 (3.2)	6,243 (5.4)	10,407 (6.8)	16,104 (8.4)	6.6	6.9	5.2	4.5	5.7
日本	4,683 (12.4)	5,349 (10.7)	6,053 (7.8)	6,808 (5.8)	7,353 (4.8)	7,885 (4.1)	1.0	0.8	0.8	0.7	0.8
韓国	363 (1.0)	710 (1.4)	1,305 (1.7)	1,873 (1.6)	2,278 (1.5)	2,624 (1.4)	5.0	2.6	2.0	1.4	2.1
台湾	155 (0.4)	297 (0.6)	514 (0.7)	684 (0.6)	814 (0.5)	929 (0.5)	4.7	2.1	1.8	1.3	1.8
ASEAN	741 (2.0)	1,180 (2.4)	2,607 (3.4)	5,042 (4.3)	7,503 (4.9)	10,546 (5.5)	5.0	4.8	4.1	3.5	4.2
インドネシア	310 (0.8)	453 (0.9)	1,038 (1.3)	2,138 (1.8)	3,351 (2.2)	4,849 (2.5)	4.8	5.3	4.6	3.8	4.6
マレーシア	82 (0.2)	163 (0.3)	344 (0.4)	646 (0.6)	917 (0.6)	1,236 (0.6)	5.7	4.6	3.6	3.0	3.8
ミャンマー	7 (0.0)	13 (0.0)	62 (0.1)	150 (0.1)	246 (0.2)	375 (0.2)	9.0	6.5	5.1	4.3	5.4
フィリピン	95 (0.2)	125 (0.3)	284 (0.4)	620 (0.5)	915 (0.6)	1,305 (0.7)	4.3	5.7	4.0	3.6	4.6
シンガポール	68 (0.2)	134 (0.3)	295 (0.4)	419 (0.4)	501 (0.3)	564 (0.3)	5.8	2.5	1.8	1.2	1.9
タイ	142 (0.4)	218 (0.4)	406 (0.5)	669 (0.6)	921 (0.6)	1,204 (0.6)	4.1	3.6	3.2	2.7	3.2
ベトナム	29 (0.1)	61 (0.1)	164 (0.2)	377 (0.3)	622 (0.4)	980 (0.5)	6.8	6.1	5.2	4.6	5.4
非OECDアジア	2,515 (6.6)	4,966 (9.9)	15,992 (20.7)	34,266 (29.4)	52,189 (34.1)	71,458 (37.2)	7.4	5.6	4.3	3.2	4.5
北米	10,078 (26.6)	14,056 (28.1)	18,748 (24.2)	25,056 (21.5)	30,555 (20.0)	36,229 (18.9)	2.4	2.1	2.0	1.7	2.0
米国	9,064 (23.9)	12,713 (25.4)	16,920 (21.9)	22,637 (19.4)	27,647 (18.1)	32,825 (17.1)	2.4	2.1	2.0	1.7	2.0
中南米	2,787 (7.4)	3,778 (7.6)	5,704 (7.4)	8,559 (7.3)	11,723 (7.7)	14,928 (7.8)	2.8	2.9	3.2	2.4	2.9
OECDヨーロッパ	12,691 (33.5)	15,934 (31.9)	20,165 (26.1)	25,706 (22.1)	29,301 (19.1)	32,707 (17.0)	1.8	1.7	1.3	1.1	1.4
欧州連合	11,895 (31.4)	14,789 (29.6)	18,309 (23.7)	23,323 (20.0)	26,643 (17.4)	29,798 (15.5)	1.7	1.7	1.3	1.1	1.4
非OECDヨーロッパ	2,143 (5.7)	1,497 (3.0)	2,727 (3.5)	3,815 (3.3)	4,817 (3.1)	6,023 (3.1)	0.9	2.4	2.4	2.3	2.4
アフリカ	876 (2.3)	1,146 (2.3)	2,307 (3.0)	4,168 (3.6)	6,725 (4.4)	9,996 (5.2)	3.8	4.3	4.9	4.0	4.4
中東	1,024 (2.7)	1,525 (3.1)	2,749 (3.6)	4,118 (3.5)	5,467 (3.6)	7,075 (3.7)	3.9	2.9	2.9	2.6	2.8
オセアニア	721 (1.9)	996 (2.0)	1,570 (2.0)	2,193 (1.9)	2,621 (1.7)	3,050 (1.6)	3.0	2.4	1.8	1.5	2.0
OECD	29,234 (77.2)	38,070 (76.2)	49,348 (63.8)	63,980 (54.9)	75,356 (49.2)	86,697 (45.2)	2.0	1.9	1.6	1.4	1.7
非OECD	8,648 (22.8)	11,887 (23.8)	27,973 (36.2)	52,582 (45.1)	77,674 (50.8)	105,279 (54.8)	4.6	4.6	4.0	3.1	4.0

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

見直しは日本エネルギー経済研究所

(注)カッコ内は対世界比(%)

付表5 | 1人あたりGDP

	(2010年価格1,000ドル/人)										
							年平均変化率(%)				
	1990	2000	2016	2030	2040	2050	1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2040	2040/ 2050	2016/ 2050
世界	7.2	8.2	10.4	13.7	16.7	19.7	1.4	2.0	2.0	1.7	1.9
アジア	2.6	3.2	5.8	9.7	13.4	17.6	3.2	3.7	3.3	2.7	3.3
中国	0.7	1.8	6.9	14.6	22.3	30.2	9.0	5.5	4.3	3.1	4.4
インド	0.5	0.8	1.9	4.1	6.5	9.7	4.9	5.9	4.6	4.1	5.0
日本	37.9	42.2	47.7	56.3	64.2	72.9	0.9	1.2	1.3	1.3	1.3
韓国	8.5	15.1	25.5	35.2	43.1	51.5	4.3	2.3	2.0	1.8	2.1
台湾	7.6	13.3	21.8	28.3	34.2	40.8	4.1	1.9	1.9	1.8	1.9
ASEAN	1.7	2.3	4.2	7.2	10.1	13.8	3.5	3.9	3.5	3.1	3.5
インドネシア	1.7	2.1	4.0	7.2	10.7	15.0	3.3	4.4	4.0	3.4	4.0
マレーシア	4.5	7.0	11.0	17.5	23.1	29.6	3.5	3.4	2.8	2.5	2.9
ミャンマー	0.2	0.3	1.2	2.5	4.0	6.0	7.9	5.6	4.6	4.1	4.9
フィリピン	1.5	1.6	2.8	4.9	6.6	8.6	2.3	4.3	2.9	2.8	3.4
シンガポール	22.2	33.4	52.6	66.2	76.6	86.0	3.4	1.7	1.5	1.2	1.5
タイ	2.5	3.5	5.9	9.6	13.5	18.4	3.4	3.5	3.4	3.2	3.4
ベトナム	0.4	0.8	1.7	3.5	5.6	8.5	5.5	5.2	4.7	4.3	4.8
非OECDアジア	0.9	1.5	4.1	8.0	11.8	15.9	6.0	4.8	3.9	3.0	4.0
北米	36.3	44.9	52.2	63.2	73.1	83.2	1.4	1.4	1.5	1.3	1.4
米国	36.3	45.1	52.4	63.6	73.7	84.0	1.4	1.4	1.5	1.3	1.4
中南米	6.3	7.3	9.0	12.0	15.6	19.3	1.4	2.1	2.7	2.1	2.3
OECDヨーロッパ	25.3	30.4	35.4	43.8	49.5	55.5	1.3	1.5	1.2	1.1	1.3
欧州連合	24.9	30.3	35.8	44.5	50.6	56.9	1.4	1.6	1.3	1.2	1.4
非OECDヨーロッパ	6.3	4.4	8.0	11.1	14.1	17.8	0.9	2.4	2.5	2.4	2.4
アフリカ	1.4	1.4	1.9	2.5	3.2	4.0	1.2	1.9	2.7	2.1	2.2
中東	7.7	9.1	11.4	13.8	16.3	19.3	1.5	1.4	1.7	1.7	1.6
オセアニア	35.3	43.3	54.3	65.3	72.0	78.1	1.7	1.3	1.0	0.8	1.1
OECD	27.5	33.1	38.5	47.1	54.2	61.5	1.3	1.5	1.4	1.3	1.4
非OECD	2.1	2.4	4.5	7.3	10.0	12.6	3.1	3.5	3.1	2.4	3.1

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

付表

付表6 | 国際エネルギー価格

実質価格			レファレンス			技術進展		
			2030	2040	2050	2030	2040	2050
原油	\$2017/bbl	54	95	115	125	80	80	80
天然ガス								
日本	\$2017/MBtu	8.1	10.5	10.7	10.8	9.9	9.9	9.9
ヨーロッパ(英国)	\$2017/MBtu	5.8	8.2	8.8	8.9	7.8	7.8	7.9
米国	\$2017/MBtu	3.0	4.2	5.0	5.2	3.8	3.9	4.0
一般炭	\$2017/t	99	96	107	111	85	85	85
名目価格			レファレンス			技術進展		
			2030	2040	2050	2030	2040	2050
原油	\$/bbl	54	123	181	240	103	126	154
天然ガス								
日本	\$/MBtu	8.1	13.5	16.9	20.8	12.8	15.6	19.0
ヨーロッパ(英国)	\$/MBtu	5.8	10.6	13.9	17.1	10.1	12.3	15.2
米国	\$/MBtu	3.0	5.4	7.9	10.0	4.9	6.1	7.7
一般炭	\$/t	99	124	169	213	110	134	163

(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	2016	2030	2040	2050	年平均変化率(%)				
							1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2040	2040/ 2050	2016/ 2050
世界	8,774 (100)	10,036 (100)	13,761 (100)	16,554 (100)	18,164 (100)	19,275 (100)	1.7	1.3	0.9	0.6	1.0
アジア	2,110 (24.1)	2,887 (28.8)	5,497 (39.9)	7,327 (44.3)	8,336 (45.9)	8,987 (46.6)	3.8	2.1	1.3	0.8	1.5
中国	874 (10.0)	1,130 (11.3)	2,958 (21.5)	3,658 (22.1)	3,915 (21.6)	3,873 (20.1)	4.8	1.5	0.7	-0.1	0.8
インド	306 (3.5)	441 (4.4)	862 (6.3)	1,499 (9.1)	1,943 (10.7)	2,357 (12.2)	4.1	4.0	2.6	1.9	3.0
日本	438 (5.0)	518 (5.2)	426 (3.1)	420 (2.5)	394 (2.2)	367 (1.9)	-0.1	-0.1	-0.6	-0.7	-0.4
韓国	93 (1.1)	188 (1.9)	282 (2.1)	307 (1.9)	304 (1.7)	287 (1.5)	4.4	0.6	-0.1	-0.6	0.0
台湾	48 (0.5)	85 (0.8)	110 (0.8)	111 (0.7)	110 (0.6)	105 (0.5)	3.3	0.1	-0.1	-0.5	-0.1
ASEAN	233 (2.7)	379 (3.8)	643 (4.7)	1,011 (6.1)	1,270 (7.0)	1,514 (7.9)	4.0	3.3	2.3	1.8	2.6
インドネシア	99 (1.1)	156 (1.6)	230 (1.7)	390 (2.4)	497 (2.7)	591 (3.1)	3.3	3.8	2.4	1.8	2.8
マレーシア	22 (0.2)	49 (0.5)	89 (0.6)	125 (0.8)	146 (0.8)	161 (0.8)	5.5	2.4	1.6	1.0	1.8
ミャンマー	11 (0.1)	13 (0.1)	19 (0.1)	29 (0.2)	38 (0.2)	47 (0.2)	2.3	3.0	2.6	2.1	2.6
フィリピン	29 (0.3)	40 (0.4)	55 (0.4)	97 (0.6)	127 (0.7)	161 (0.8)	2.5	4.2	2.7	2.4	3.2
シンガポール	12 (0.1)	19 (0.2)	27 (0.2)	34 (0.2)	37 (0.2)	38 (0.2)	3.4	1.5	0.9	0.4	1.0
タイ	42 (0.5)	72 (0.7)	139 (1.0)	182 (1.1)	215 (1.2)	246 (1.3)	4.7	2.0	1.7	1.4	1.7
ベトナム	18 (0.2)	29 (0.3)	81 (0.6)	150 (0.9)	207 (1.1)	266 (1.4)	6.0	4.5	3.3	2.5	3.6
非OECDアジア	1,579 (18.0)	2,181 (21.7)	4,789 (34.8)	6,600 (39.9)	7,638 (42.0)	8,334 (43.2)	4.4	2.3	1.5	0.9	1.6
北米	2,126 (24.2)	2,527 (25.2)	2,447 (17.8)	2,426 (14.7)	2,357 (13.0)	2,272 (11.8)	0.5	-0.1	-0.3	-0.4	-0.2
米国	1,915 (21.8)	2,274 (22.7)	2,167 (15.7)	2,135 (12.9)	2,074 (11.4)	1,999 (10.4)	0.5	-0.1	-0.3	-0.4	-0.2
中南米	464 (5.3)	600 (6.0)	840 (6.1)	1,068 (6.5)	1,230 (6.8)	1,325 (6.9)	2.3	1.7	1.4	0.7	1.3
OECDヨーロッパ	1,627 (18.5)	1,753 (17.5)	1,723 (12.5)	1,676 (10.1)	1,593 (8.8)	1,519 (7.9)	0.2	-0.2	-0.5	-0.5	-0.4
欧州連合	1,646 (18.8)	1,695 (16.9)	1,599 (11.6)	1,553 (9.4)	1,475 (8.1)	1,407 (7.3)	-0.1	-0.2	-0.5	-0.5	-0.4
非OECDヨーロッパ	1,530 (17.4)	1,000 (10.0)	1,130 (8.2)	1,252 (7.6)	1,321 (7.3)	1,403 (7.3)	-1.2	0.7	0.5	0.6	0.6
アフリカ	392 (4.5)	498 (5.0)	818 (5.9)	1,116 (6.7)	1,390 (7.7)	1,644 (8.5)	2.9	2.2	2.2	1.7	2.1
中東	223 (2.5)	372 (3.7)	757 (5.5)	1,019 (6.2)	1,184 (6.5)	1,313 (6.8)	4.8	2.1	1.5	1.0	1.6
オセアニア	99 (1.1)	125 (1.2)	151 (1.1)	154 (0.9)	151 (0.8)	145 (0.8)	1.6	0.2	-0.2	-0.4	-0.1
OECD	4,522 (51.5)	5,287 (52.7)	5,252 (38.2)	5,258 (31.8)	5,108 (28.1)	4,918 (25.5)	0.6	0.0	-0.3	-0.4	-0.2
非OECD	4,050 (46.2)	4,475 (44.6)	8,111 (58.9)	10,779 (65.1)	12,454 (68.6)	13,692 (71.0)	2.7	2.1	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

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	2016	2030	2040	2050	年平均変化率(%)				
							1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2040	2040/ 2050	2016/ 2050
世界	2,220 (100)	2,316 (100)	3,731 (100)	4,167 (100)	4,352 (100)	4,323 (100)	2.0	0.8	0.4	-0.1	0.4
アジア	787 (35.5)	1,036 (44.7)	2,685 (72.0)	3,238 (77.7)	3,505 (80.5)	3,557 (82.3)	4.8	1.3	0.8	0.1	0.8
中国	531 (23.9)	665 (28.7)	1,916 (51.4)	2,035 (48.8)	2,014 (46.3)	1,817 (42.0)	5.1	0.4	-0.1	-1.0	-0.2
インド	93 (4.2)	146 (6.3)	380 (10.2)	694 (16.6)	892 (20.5)	1,068 (24.7)	5.6	4.4	2.5	1.8	3.1
日本	76 (3.4)	97 (4.2)	114 (3.1)	103 (2.5)	99 (2.3)	89 (2.1)	1.6	-0.8	-0.4	-1.0	-0.7
韓国	25 (1.1)	42 (1.8)	81 (2.2)	89 (2.1)	88 (2.0)	81 (1.9)	4.6	0.6	0.0	-0.8	0.0
台湾	11 (0.5)	30 (1.3)	41 (1.1)	42 (1.0)	39 (0.9)	33 (0.8)	5.0	0.2	-0.9	-1.5	-0.6
ASEAN	13 (0.6)	32 (1.4)	120 (3.2)	233 (5.6)	316 (7.3)	395 (9.1)	9.1	4.8	3.1	2.3	3.6
インドネシア	4 (0.2)	12 (0.5)	43 (1.2)	88 (2.1)	124 (2.9)	158 (3.7)	10.1	5.2	3.5	2.5	3.9
マレーシア	1 (0.1)	2 (0.1)	19 (0.5)	33 (0.8)	39 (0.9)	43 (1.0)	10.6	4.2	1.7	0.9	2.5
ミャンマー	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	4 (0.1)	7 (0.1)	10 (0.2)	6.9	17.5	6.0	4.9	10.2
フィリピン	2 (0.1)	5 (0.2)	14 (0.4)	25 (0.6)	33 (0.7)	40 (0.9)	9.0	4.1	2.6	2.1	3.1
シンガポール	0 (0.0)	- (-)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	12.2	0.2	-0.1	-0.8	-0.2
タイ	4 (0.2)	8 (0.3)	15 (0.4)	20 (0.5)	23 (0.5)	25 (0.6)	5.5	2.0	1.2	0.7	1.4
ベトナム	2 (0.1)	4 (0.2)	28 (0.7)	62 (1.5)	90 (2.1)	118 (2.7)	10.2	5.9	3.8	2.8	4.4
非OECDアジア	686 (30.9)	898 (38.8)	2,489 (66.7)	3,047 (73.1)	3,318 (76.2)	3,387 (78.4)	5.1	1.5	0.9	0.2	0.9
北米	484 (21.8)	566 (24.4)	359 (9.6)	275 (6.6)	207 (4.8)	144 (3.3)	-1.2	-1.9	-2.8	-3.6	-2.6
米国	460 (20.7)	534 (23.1)	342 (9.2)	273 (6.5)	205 (4.7)	142 (3.3)	-1.1	-1.6	-2.8	-3.6	-2.5
中南米	21 (1.0)	27 (1.2)	45 (1.2)	55 (1.3)	68 (1.6)	74 (1.7)	2.9	1.5	2.1	0.8	1.5
OECDヨーロッパ	448 (20.2)	331 (14.3)	269 (7.2)	219 (5.3)	177 (4.1)	146 (3.4)	-1.9	-1.5	-2.1	-1.9	-1.8
欧州連合	454 (20.5)	321 (13.9)	241 (6.5)	196 (4.7)	159 (3.7)	131 (3.0)	-2.4	-1.5	-2.1	-1.9	-1.8
非OECDヨーロッパ	367 (16.5)	209 (9.0)	212 (5.7)	200 (4.8)	198 (4.5)	193 (4.5)	-2.1	-0.4	-0.1	-0.2	-0.3
アフリカ	74 (3.3)	90 (3.9)	108 (2.9)	128 (3.1)	149 (3.4)	166 (3.8)	1.5	1.2	1.5	1.1	1.3
中東	3 (0.1)	8 (0.3)	9 (0.2)	13 (0.3)	14 (0.3)	14 (0.3)	4.2	2.9	0.8	0.0	1.4
オセアニア	36 (1.6)	49 (2.1)	45 (1.2)	38 (0.9)	33 (0.8)	28 (0.7)	0.8	-1.2	-1.3	-1.6	-1.3
OECD	1,076 (48.5)	1,094 (47.2)	887 (23.8)	747 (17.9)	631 (14.5)	517 (12.0)	-0.7	-1.2	-1.7	-2.0	-1.6
非OECD	1,144 (51.5)	1,222 (52.8)	2,843 (76.2)	3,420 (82.1)	3,721 (85.5)	3,806 (88.0)	3.6	1.3	0.8	0.2	0.9

(出所) IEA "World Energy Balances"

見通しは日本エネルギー経済研究所

(注)カッコ内は対世界比(%).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	2016	2030	2040	2050	年平均変化率(%)				
							1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2040	2040/ 2050	2016/ 2050
世界	3,234 (100)	3,663 (100)	4,390 (100)	5,052 (100)	5,416 (100)	5,628 (100)	1.2	1.0	0.7	0.4	0.7
アジア	618 (19.1)	916 (25.0)	1,367 (31.1)	1,819 (36.0)	2,052 (37.9)	2,207 (39.2)	3.1	2.1	1.2	0.7	1.4
中国	119 (3.7)	221 (6.0)	545 (12.4)	732 (14.5)	774 (14.3)	743 (13.2)	6.0	2.1	0.6	-0.4	0.9
インド	61 (1.9)	112 (3.1)	217 (4.9)	390 (7.7)	516 (9.5)	633 (11.3)	5.0	4.3	2.8	2.1	3.2
日本	250 (7.7)	255 (7.0)	177 (4.0)	144 (2.9)	126 (2.3)	110 (2.0)	-1.3	-1.4	-1.4	-1.3	-1.4
韓国	50 (1.5)	99 (2.7)	110 (2.5)	113 (2.2)	109 (2.0)	100 (1.8)	3.1	0.2	-0.4	-0.8	-0.3
台湾	26 (0.8)	38 (1.0)	43 (1.0)	41 (0.8)	39 (0.7)	36 (0.6)	2.0	-0.2	-0.5	-0.8	-0.5
ASEAN	89 (2.7)	153 (4.2)	220 (5.0)	314 (6.2)	386 (7.1)	461 (8.2)	3.6	2.6	2.1	1.8	2.2
インドネシア	33 (1.0)	58 (1.6)	70 (1.6)	104 (2.1)	127 (2.3)	147 (2.6)	2.9	2.8	2.1	1.5	2.2
マレーシア	11 (0.4)	19 (0.5)	31 (0.7)	37 (0.7)	40 (0.7)	42 (0.7)	3.9	1.3	0.8	0.5	0.9
ミャンマー	1 (0.0)	2 (0.1)	4 (0.1)	9 (0.2)	12 (0.2)	15 (0.3)	7.2	4.9	3.2	2.4	3.7
フィリピン	11 (0.3)	16 (0.4)	19 (0.4)	36 (0.7)	51 (0.9)	69 (1.2)	2.1	4.9	3.5	3.1	4.0
シンガポール	11 (0.4)	17 (0.5)	17 (0.4)	21 (0.4)	24 (0.4)	26 (0.5)	1.6	1.5	1.2	0.7	1.2
タイ	18 (0.6)	32 (0.9)	55 (1.3)	67 (1.3)	78 (1.4)	88 (1.6)	4.4	1.4	1.5	1.2	1.4
ベトナム	3 (0.1)	8 (0.2)	22 (0.5)	39 (0.8)	54 (1.0)	73 (1.3)	8.5	4.0	3.3	3.2	3.5
非OECDアジア	318 (9.8)	562 (15.3)	1,080 (24.6)	1,561 (30.9)	1,818 (33.6)	1,996 (35.5)	4.8	2.7	1.5	0.9	1.8
北米	833 (25.8)	958 (26.2)	886 (20.2)	806 (15.9)	736 (13.6)	666 (11.8)	0.2	-0.7	-0.9	-1.0	-0.8
米国	757 (23.4)	871 (23.8)	787 (17.9)	712 (14.1)	652 (12.0)	592 (10.5)	0.2	-0.7	-0.9	-1.0	-0.8
中南米	238 (7.4)	303 (8.3)	361 (8.2)	427 (8.5)	456 (8.4)	452 (8.0)	1.6	1.2	0.7	-0.1	0.7
OECDヨーロッパ	611 (18.9)	653 (17.8)	560 (12.8)	499 (9.9)	446 (8.2)	402 (7.1)	-0.3	-0.8	-1.1	-1.0	-1.0
欧州連合	608 (18.8)	625 (17.1)	522 (11.9)	464 (9.2)	414 (7.6)	371 (6.6)	-0.6	-0.8	-1.1	-1.1	-1.0
非OECDヨーロッパ	465 (14.4)	202 (5.5)	257 (5.8)	265 (5.2)	272 (5.0)	283 (5.0)	-2.3	0.2	0.3	0.4	0.3
アフリカ	85 (2.6)	100 (2.7)	184 (4.2)	275 (5.4)	373 (6.9)	459 (8.2)	3.0	2.9	3.1	2.1	2.7
中東	146 (4.5)	217 (5.9)	327 (7.5)	421 (8.3)	481 (8.9)	526 (9.4)	3.1	1.8	1.4	0.9	1.4
オセアニア	35 (1.1)	40 (1.1)	50 (1.1)	49 (1.0)	46 (0.8)	42 (0.7)	1.4	-0.2	-0.7	-0.8	-0.5
OECD	1,867 (57.7)	2,105 (57.5)	1,887 (43.0)	1,727 (34.2)	1,581 (29.2)	1,437 (25.5)	0.0	-0.6	-0.9	-1.0	-0.8
非OECD	1,165 (36.0)	1,284 (35.0)	2,105 (47.9)	2,833 (56.1)	3,281 (60.6)	3,600 (64.0)	2.3	2.1	1.5	0.9	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

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	2016	2030	2040	2050	年平均変化率(%)				
							1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2040	2040/ 2050	2016/ 2050
世界	1,664 (100)	2,072 (100)	3,035 (100)	3,978 (100)	4,628 (100)	5,183 (100)	2.3	2.0	1.5	1.1	1.6
アジア	116 (7.0)	233 (11.2)	567 (18.7)	988 (24.8)	1,274 (27.5)	1,524 (29.4)	6.3	4.1	2.6	1.8	3.0
中国	13 (0.8)	21 (1.0)	171 (5.6)	370 (9.3)	476 (10.3)	554 (10.7)	10.5	5.7	2.6	1.5	3.5
インド	11 (0.6)	23 (1.1)	47 (1.5)	127 (3.2)	197 (4.3)	270 (5.2)	5.9	7.4	4.5	3.2	5.3
日本	44 (2.7)	66 (3.2)	102 (3.4)	96 (2.4)	91 (2.0)	83 (1.6)	3.3	-0.4	-0.5	-0.9	-0.6
韓国	3 (0.2)	17 (0.8)	41 (1.4)	55 (1.4)	63 (1.4)	67 (1.3)	11.0	2.1	1.3	0.6	1.5
台湾	1 (0.1)	6 (0.3)	15 (0.5)	22 (0.6)	25 (0.5)	28 (0.5)	9.7	2.6	1.3	0.9	1.7
ASEAN	30 (1.8)	74 (3.6)	139 (4.6)	225 (5.7)	285 (6.2)	339 (6.5)	6.1	3.5	2.4	1.7	2.7
インドネシア	16 (1.0)	27 (1.3)	39 (1.3)	77 (1.9)	108 (2.3)	134 (2.6)	3.5	5.0	3.4	2.1	3.7
マレーシア	7 (0.4)	25 (1.2)	36 (1.2)	49 (1.2)	57 (1.2)	66 (1.3)	6.6	2.3	1.5	1.4	1.8
ミャンマー	1 (0.0)	1 (0.1)	4 (0.1)	5 (0.1)	8 (0.2)	10 (0.2)	6.1	2.7	4.0	3.0	3.2
フィリピン	- (-)	0 (0.0)	3 (0.1)	8 (0.2)	12 (0.3)	16 (0.3)	-	6.2	4.3	3.5	4.8
シンガポール	- (-)	1 (0.1)	9 (0.3)	10 (0.3)	10 (0.2)	10 (0.2)	-	1.1	0.3	-0.4	0.4
タイ	5 (0.3)	17 (0.8)	37 (1.2)	49 (1.2)	54 (1.2)	58 (1.1)	8.0	2.0	1.0	0.8	1.4
ベトナム	0 (0.0)	1 (0.1)	9 (0.3)	24 (0.6)	34 (0.7)	42 (0.8)	36.9	6.9	3.5	2.1	4.5
非OECDアジア	69 (4.1)	150 (7.2)	424 (14.0)	837 (21.0)	1,120 (24.2)	1,374 (26.5)	7.2	5.0	3.0	2.1	3.5
北米	493 (29.6)	622 (30.0)	748 (24.6)	842 (21.2)	874 (18.9)	882 (17.0)	1.6	0.9	0.4	0.1	0.5
米国	438 (26.4)	548 (26.4)	653 (21.5)	718 (18.0)	742 (16.0)	747 (14.4)	1.5	0.7	0.3	0.1	0.4
中南米	72 (4.3)	119 (5.7)	208 (6.9)	278 (7.0)	359 (7.8)	426 (8.2)	4.2	2.1	2.6	1.7	2.1
OECDヨーロッパ	262 (15.8)	394 (19.0)	414 (13.6)	452 (11.4)	453 (9.8)	437 (8.4)	1.8	0.6	0.0	-0.3	0.2
欧州連合	297 (17.9)	396 (19.1)	383 (12.6)	420 (10.6)	422 (9.1)	406 (7.8)	1.0	0.7	0.0	-0.4	0.2
非OECDヨーロッパ	600 (36.1)	488 (23.5)	529 (17.4)	609 (15.3)	665 (14.4)	713 (13.8)	-0.5	1.0	0.9	0.7	0.9
アフリカ	30 (1.8)	47 (2.3)	115 (3.8)	194 (4.9)	283 (6.1)	395 (7.6)	5.4	3.8	3.8	3.4	3.7
中東	72 (4.3)	145 (7.0)	415 (13.7)	553 (13.9)	640 (13.8)	708 (13.7)	7.0	2.1	1.5	1.0	1.6
オセアニア	19 (1.1)	24 (1.2)	39 (1.3)	43 (1.1)	44 (1.0)	43 (0.8)	2.9	0.7	0.3	-0.3	0.3
OECD	845 (50.8)	1,164 (56.2)	1,414 (46.6)	1,578 (39.7)	1,632 (35.3)	1,632 (31.5)	2.0	0.8	0.3	0.0	0.4
非OECD	818 (49.2)	908 (43.8)	1,621 (53.4)	2,382 (59.9)	2,960 (64.0)	3,497 (67.5)	2.7	2.8	2.2	1.7	2.3

(出所) IEA "World Energy Balances"

見通しは日本エネルギー経済研究所

(注)カッコ内は対世界比(%).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	2016	2030	2040	2050	年平均変化率(%)				
							1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2040	2040/ 2050	2016/ 2050
世界	6,271 (100)	7,035 (100)	9,555 (100)	11,357 (100)	12,446 (100)	13,277 (100)	1.6	1.2	0.9	0.6	1.0
アジア	1,556 (24.8)	1,991 (28.3)	3,709 (38.8)	4,783 (42.1)	5,412 (43.5)	5,887 (44.3)	3.4	1.8	1.2	0.8	1.4
中国	658 (10.5)	781 (11.1)	1,969 (20.6)	2,365 (20.8)	2,517 (20.2)	2,536 (19.1)	4.3	1.3	0.6	0.1	0.7
インド	243 (3.9)	314 (4.5)	572 (6.0)	971 (8.6)	1,261 (10.1)	1,538 (11.6)	3.4	3.9	2.6	2.0	2.9
日本	288 (4.6)	331 (4.7)	294 (3.1)	277 (2.4)	261 (2.1)	245 (1.8)	0.1	-0.4	-0.6	-0.6	-0.5
韓国	65 (1.0)	127 (1.8)	179 (1.9)	196 (1.7)	197 (1.6)	189 (1.4)	4.0	0.7	0.0	-0.4	0.2
台湾	29 (0.5)	49 (0.7)	70 (0.7)	72 (0.6)	72 (0.6)	71 (0.5)	3.4	0.2	0.0	-0.2	0.0
ASEAN	173 (2.8)	270 (3.8)	451 (4.7)	659 (5.8)	812 (6.5)	960 (7.2)	3.7	2.7	2.1	1.7	2.2
インドネシア	80 (1.3)	120 (1.7)	165 (1.7)	241 (2.1)	295 (2.4)	342 (2.6)	2.8	2.8	2.1	1.5	2.2
マレーシア	14 (0.2)	30 (0.4)	56 (0.6)	76 (0.7)	87 (0.7)	96 (0.7)	5.5	2.2	1.4	1.0	1.6
ミャンマー	9 (0.1)	11 (0.2)	16 (0.2)	24 (0.2)	29 (0.2)	35 (0.3)	2.2	2.7	2.1	1.7	2.2
フィリピン	20 (0.3)	24 (0.3)	32 (0.3)	59 (0.5)	81 (0.6)	108 (0.8)	1.8	4.5	3.2	2.9	3.7
シンガポール	5 (0.1)	8 (0.1)	18 (0.2)	23 (0.2)	25 (0.2)	26 (0.2)	5.1	1.5	0.9	0.4	1.0
タイ	29 (0.5)	51 (0.7)	98 (1.0)	125 (1.1)	147 (1.2)	168 (1.3)	4.8	1.8	1.6	1.4	1.6
ベトナム	16 (0.3)	25 (0.4)	65 (0.7)	110 (1.0)	146 (1.2)	183 (1.4)	5.5	3.9	2.8	2.3	3.1
非OECDアジア	1,202 (19.2)	1,533 (21.8)	3,236 (33.9)	4,309 (37.9)	4,955 (39.8)	5,453 (41.1)	3.9	2.1	1.4	1.0	1.5
北米	1,455 (23.2)	1,738 (24.7)	1,706 (17.9)	1,705 (15.0)	1,669 (13.4)	1,619 (12.2)	0.6	0.0	-0.2	-0.3	-0.2
米国	1,294 (20.6)	1,546 (22.0)	1,515 (15.9)	1,508 (13.3)	1,476 (11.9)	1,432 (10.8)	0.6	0.0	-0.2	-0.3	-0.2
中南米	343 (5.5)	447 (6.3)	610 (6.4)	768 (6.8)	876 (7.0)	947 (7.1)	2.2	1.7	1.3	0.8	1.3
OECDヨーロッパ	1,133 (18.1)	1,231 (17.5)	1,230 (12.9)	1,217 (10.7)	1,166 (9.4)	1,119 (8.4)	0.3	-0.1	-0.4	-0.4	-0.3
欧州連合	1,134 (18.1)	1,179 (16.8)	1,138 (11.9)	1,127 (9.9)	1,078 (8.7)	1,032 (7.8)	0.0	-0.1	-0.4	-0.4	-0.3
非OECDヨーロッパ	1,067 (17.0)	651 (9.3)	713 (7.5)	780 (6.9)	824 (6.6)	876 (6.6)	-1.5	0.6	0.6	0.6	0.6
アフリカ	292 (4.7)	368 (5.2)	594 (6.2)	816 (7.2)	1,012 (8.1)	1,193 (9.0)	2.8	2.3	2.2	1.7	2.1
中東	157 (2.5)	253 (3.6)	498 (5.2)	672 (5.9)	782 (6.3)	870 (6.6)	4.5	2.2	1.5	1.1	1.7
オセアニア	66 (1.1)	83 (1.2)	96 (1.0)	101 (0.9)	102 (0.8)	100 (0.8)	1.4	0.4	0.0	-0.1	0.1
OECD	3,102 (49.5)	3,625 (51.5)	3,654 (38.2)	3,674 (32.3)	3,589 (28.8)	3,479 (26.2)	0.6	0.0	-0.2	-0.3	-0.1
非OECD	2,967 (47.3)	3,136 (44.6)	5,503 (57.6)	7,168 (63.1)	8,254 (66.3)	9,133 (68.8)	2.4	1.9	1.4	1.0	1.5

(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

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	2016	2030	2040	2050	年平均変化率(%)				
							1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2040	2040/ 2050	2016/ 2050
世界	1,804 (100)	1,868 (100)	2,753 (100)	3,214 (100)	3,535 (100)	3,771 (100)	1.6	1.1	1.0	0.6	0.9
アジア	514 (28.5)	647 (34.6)	1,511 (54.9)	1,789 (55.7)	1,959 (55.4)	2,086 (55.3)	4.2	1.2	0.9	0.6	1.0
中国	234 (13.0)	302 (16.2)	994 (36.1)	998 (31.0)	986 (27.9)	967 (25.6)	5.7	0.0	-0.1	-0.2	-0.1
インド	67 (3.7)	83 (4.5)	193 (7.0)	364 (11.3)	473 (13.4)	557 (14.8)	4.2	4.7	2.6	1.7	3.2
日本	106 (5.9)	97 (5.2)	82 (3.0)	79 (2.4)	77 (2.2)	75 (2.0)	-1.0	-0.3	-0.2	-0.3	-0.3
韓国	19 (1.1)	38 (2.1)	48 (1.7)	52 (1.6)	52 (1.5)	50 (1.3)	3.6	0.6	0.0	-0.5	0.1
台湾	12 (0.7)	19 (1.0)	23 (0.9)	24 (0.8)	24 (0.7)	24 (0.6)	2.5	0.2	0.0	-0.3	0.0
ASEAN	43 (2.4)	75 (4.0)	129 (4.7)	208 (6.5)	267 (7.5)	317 (8.4)	4.3	3.5	2.5	1.7	2.7
インドネシア	18 (1.0)	30 (1.6)	39 (1.4)	65 (2.0)	85 (2.4)	103 (2.7)	3.0	3.7	2.9	1.9	2.9
マレーシア	6 (0.3)	12 (0.6)	16 (0.6)	26 (0.8)	32 (0.9)	37 (1.0)	4.2	3.4	2.1	1.3	2.4
ミャンマー	0 (0.0)	1 (0.1)	2 (0.1)	4 (0.1)	5 (0.2)	7 (0.2)	5.9	5.7	3.7	2.3	4.1
フィリピン	5 (0.3)	5 (0.3)	8 (0.3)	14 (0.4)	18 (0.5)	23 (0.6)	1.9	4.2	2.8	2.5	3.3
シンガポール	1 (0.0)	2 (0.1)	6 (0.2)	7 (0.2)	8 (0.2)	8 (0.2)	9.4	1.3	0.5	-0.2	0.7
タイ	9 (0.5)	17 (0.9)	31 (1.1)	41 (1.3)	50 (1.4)	57 (1.5)	5.1	2.0	1.8	1.4	1.8
ベトナム	5 (0.3)	8 (0.4)	27 (1.0)	51 (1.6)	68 (1.9)	82 (2.2)	7.0	4.7	2.9	2.0	3.4
非OECDアジア	388 (21.5)	511 (27.3)	1,382 (50.2)	1,658 (51.6)	1,830 (51.8)	1,961 (52.0)	5.0	1.3	1.0	0.7	1.0
北米	331 (18.4)	388 (20.8)	306 (11.1)	313 (9.7)	314 (8.9)	304 (8.1)	-0.3	0.2	0.0	-0.3	0.0
米国	284 (15.7)	332 (17.8)	264 (9.6)	271 (8.4)	273 (7.7)	265 (7.0)	-0.3	0.2	0.1	-0.3	0.0
中南米	114 (6.3)	148 (7.9)	187 (6.8)	237 (7.4)	283 (8.0)	315 (8.4)	1.9	1.7	1.8	1.1	1.5
OECDヨーロッパ	327 (18.1)	324 (17.4)	284 (10.3)	287 (8.9)	282 (8.0)	275 (7.3)	-0.5	0.1	-0.2	-0.3	-0.1
欧州連合	345 (19.1)	308 (16.5)	257 (9.3)	262 (8.1)	257 (7.3)	250 (6.6)	-1.1	0.1	-0.2	-0.3	-0.1
非OECDヨーロッパ	394 (21.8)	205 (11.0)	198 (7.2)	223 (6.9)	243 (6.9)	262 (7.0)	-2.6	0.8	0.9	0.8	0.8
アフリカ	55 (3.1)	58 (3.1)	87 (3.2)	132 (4.1)	183 (5.2)	229 (6.1)	1.8	3.0	3.3	2.3	2.9
中東	47 (2.6)	71 (3.8)	152 (5.5)	204 (6.3)	241 (6.8)	270 (7.2)	4.6	2.1	1.7	1.1	1.7
オセアニア	23 (1.3)	28 (1.5)	27 (1.0)	30 (0.9)	30 (0.8)	29 (0.8)	0.7	0.6	0.0	-0.4	0.1
OECD	835 (46.3)	910 (48.7)	792 (28.8)	818 (25.5)	825 (23.3)	810 (21.5)	-0.2	0.2	0.1	-0.2	0.1
非OECD	968 (53.7)	957 (51.3)	1,960 (71.2)	2,396 (74.5)	2,710 (76.7)	2,961 (78.5)	2.7	1.4	1.2	0.9	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	2016	2030	2040	2050	年平均変化率(%)				
							1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2040	2040/ 2050	2016/ 2050
世界	1,570 (100)	1,958 (100)	2,748 (100)	3,238 (100)	3,497 (100)	3,691 (100)	2.2	1.2	0.8	0.5	0.9
アジア	184 (11.7)	318 (16.2)	661 (24.1)	969 (29.9)	1,120 (32.0)	1,226 (33.2)	5.1	2.8	1.5	0.9	1.8
中国	30 (1.9)	84 (4.3)	297 (10.8)	465 (14.4)	501 (14.3)	484 (13.1)	9.2	3.3	0.8	-0.4	1.4
インド	21 (1.3)	32 (1.6)	90 (3.3)	168 (5.2)	234 (6.7)	299 (8.1)	5.8	4.6	3.4	2.5	3.6
日本	68 (4.4)	86 (4.4)	72 (2.6)	58 (1.8)	51 (1.5)	46 (1.2)	0.2	-1.4	-1.3	-1.2	-1.3
韓国	15 (0.9)	26 (1.3)	35 (1.3)	37 (1.1)	35 (1.0)	31 (0.8)	3.4	0.4	-0.7	-1.1	-0.3
台湾	7 (0.4)	12 (0.6)	13 (0.5)	12 (0.4)	11 (0.3)	9 (0.2)	2.6	-0.5	-1.2	-1.7	-1.1
ASEAN	32 (2.1)	61 (3.1)	122 (4.4)	176 (5.4)	220 (6.3)	273 (7.4)	5.2	2.7	2.3	2.2	2.4
インドネシア	11 (0.7)	21 (1.1)	47 (1.7)	70 (2.2)	89 (2.5)	109 (2.9)	5.9	2.9	2.4	2.0	2.5
マレーシア	5 (0.3)	11 (0.6)	22 (0.8)	24 (0.7)	25 (0.7)	25 (0.7)	5.9	0.8	0.3	0.1	0.4
ミャンマー	0 (0.0)	1 (0.1)	2 (0.1)	4 (0.1)	5 (0.2)	7 (0.2)	4.9	6.5	3.8	3.4	4.8
フィリピン	5 (0.3)	8 (0.4)	11 (0.4)	26 (0.8)	38 (1.1)	53 (1.4)	3.6	5.9	3.9	3.5	4.6
シンガポール	1 (0.1)	2 (0.1)	2 (0.1)	2 (0.1)	2 (0.1)	2 (0.1)	2.2	-0.1	-0.7	-1.1	-0.6
タイ	9 (0.6)	15 (0.7)	25 (0.9)	29 (0.9)	31 (0.9)	33 (0.9)	4.0	1.0	0.8	0.6	0.8
ベトナム	1 (0.1)	3 (0.2)	12 (0.4)	21 (0.6)	30 (0.8)	43 (1.2)	8.8	3.8	3.6	3.8	3.8
非OECDアジア	101 (6.4)	206 (10.5)	555 (20.2)	874 (27.0)	1,034 (29.6)	1,149 (31.1)	6.8	3.3	1.7	1.1	2.2
北米	531 (33.8)	640 (32.7)	683 (24.9)	637 (19.7)	593 (17.0)	558 (15.1)	1.0	-0.5	-0.7	-0.6	-0.6
米国	488 (31.0)	588 (30.0)	622 (22.6)	577 (17.8)	538 (15.4)	507 (13.7)	0.9	-0.5	-0.7	-0.6	-0.6
中南米	103 (6.6)	141 (7.2)	223 (8.1)	284 (8.8)	311 (8.9)	322 (8.7)	3.0	1.7	0.9	0.4	1.1
OECDヨーロッパ	267 (17.0)	317 (16.2)	343 (12.5)	305 (9.4)	274 (7.8)	250 (6.8)	1.0	-0.8	-1.1	-0.9	-0.9
欧州連合	259 (16.5)	303 (15.5)	319 (11.6)	284 (8.8)	254 (7.3)	231 (6.3)	0.8	-0.8	-1.1	-0.9	-1.0
非OECDヨーロッパ	171 (10.9)	110 (5.6)	145 (5.3)	149 (4.6)	148 (4.2)	148 (4.0)	-0.6	0.2	-0.1	0.0	0.1
アフリカ	38 (2.4)	54 (2.8)	117 (4.3)	165 (5.1)	219 (6.3)	279 (7.5)	4.5	2.5	2.9	2.4	2.6
中東	51 (3.2)	75 (3.8)	139 (5.1)	174 (5.4)	193 (5.5)	207 (5.6)	3.9	1.6	1.0	0.7	1.2
オセアニア	24 (1.5)	30 (1.5)	38 (1.4)	38 (1.2)	37 (1.0)	36 (1.0)	1.8	0.0	-0.3	-0.3	-0.2
OECD	936 (59.6)	1,140 (58.2)	1,232 (44.8)	1,146 (35.4)	1,063 (30.4)	994 (26.9)	1.1	-0.5	-0.7	-0.7	-0.6
非OECD	432 (27.5)	544 (27.8)	1,117 (40.7)	1,577 (48.7)	1,832 (52.4)	2,032 (55.0)	3.7	2.5	1.5	1.0	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

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	2016	2030	2040	2050	年平均変化率(%)				
							1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2040	2040/ 2050	2016/ 2050
世界	2,417 (100)	2,596 (100)	3,185 (100)	3,807 (100)	4,158 (100)	4,436 (100)	1.1	1.3	0.9	0.7	1.0
アジア	741 (30.7)	842 (32.4)	1,162 (36.5)	1,525 (40.1)	1,750 (42.1)	1,935 (43.6)	1.7	2.0	1.4	1.0	1.5
中国	351 (14.5)	338 (13.0)	516 (16.2)	686 (18.0)	778 (18.7)	816 (18.4)	1.5	2.1	1.3	0.5	1.4
インド	142 (5.9)	172 (6.6)	243 (7.6)	351 (9.2)	440 (10.6)	545 (12.3)	2.1	2.7	2.3	2.2	2.4
日本	78 (3.2)	106 (4.1)	104 (3.3)	104 (2.7)	97 (2.3)	91 (2.0)	1.1	0.0	-0.7	-0.7	-0.4
韓国	24 (1.0)	37 (1.4)	46 (1.4)	52 (1.4)	53 (1.3)	53 (1.2)	2.5	0.8	0.3	-0.1	0.4
台湾	7 (0.3)	10 (0.4)	12 (0.4)	14 (0.4)	14 (0.3)	15 (0.3)	2.5	0.7	0.6	0.5	0.6
ASEAN	87 (3.6)	113 (4.3)	148 (4.7)	199 (5.2)	230 (5.5)	257 (5.8)	2.1	2.1	1.5	1.1	1.6
インドネシア	44 (1.8)	59 (2.3)	71 (2.2)	95 (2.5)	106 (2.6)	114 (2.6)	1.9	2.1	1.1	0.7	1.4
マレーシア	3 (0.1)	5 (0.2)	9 (0.3)	13 (0.3)	15 (0.4)	17 (0.4)	5.0	2.3	1.7	1.4	1.9
ミャンマー	8 (0.4)	9 (0.3)	13 (0.4)	15 (0.4)	17 (0.4)	19 (0.4)	1.6	1.4	1.2	1.0	1.2
フィリピン	10 (0.4)	10 (0.4)	11 (0.4)	17 (0.5)	22 (0.5)	26 (0.6)	0.4	3.1	2.1	1.8	2.4
シンガポール	1 (0.0)	2 (0.1)	3 (0.1)	3 (0.1)	3 (0.1)	3 (0.1)	3.2	1.3	0.6	-0.1	0.7
タイ	11 (0.4)	14 (0.5)	18 (0.6)	22 (0.6)	26 (0.6)	29 (0.6)	2.0	1.5	1.5	1.1	1.4
ベトナム	10 (0.4)	14 (0.5)	23 (0.7)	33 (0.9)	40 (1.0)	48 (1.1)	3.1	2.7	2.1	1.7	2.2
非OECDアジア	639 (26.4)	699 (26.9)	1,012 (31.8)	1,369 (36.0)	1,600 (38.5)	1,792 (40.4)	1.8	2.2	1.6	1.1	1.7
北米	460 (19.0)	537 (20.7)	557 (17.5)	578 (15.2)	577 (13.9)	574 (12.9)	0.7	0.3	0.0	-0.1	0.1
米国	403 (16.7)	473 (18.2)	493 (15.5)	508 (13.3)	509 (12.2)	506 (11.4)	0.8	0.2	0.0	-0.1	0.1
中南米	100 (4.2)	120 (4.6)	162 (5.1)	201 (5.3)	230 (5.5)	251 (5.7)	1.9	1.6	1.3	0.9	1.3
OECDヨーロッパ	438 (18.1)	475 (18.3)	499 (15.7)	515 (13.5)	498 (12.0)	482 (10.9)	0.5	0.2	-0.3	-0.3	-0.1
欧州連合	430 (17.8)	454 (17.5)	463 (14.5)	480 (12.6)	463 (11.1)	448 (10.1)	0.3	0.2	-0.3	-0.3	-0.1
非OECDヨーロッパ	436 (18.0)	287 (11.1)	275 (8.6)	292 (7.7)	298 (7.2)	309 (7.0)	-1.8	0.4	0.2	0.4	0.3
アフリカ	188 (7.8)	241 (9.3)	370 (11.6)	488 (12.8)	569 (13.7)	631 (14.2)	2.6	2.0	1.5	1.0	1.6
中東	40 (1.7)	75 (2.9)	136 (4.3)	181 (4.8)	207 (5.0)	226 (5.1)	4.8	2.1	1.3	0.9	1.5
オセアニア	15 (0.6)	19 (0.7)	24 (0.8)	27 (0.7)	29 (0.7)	30 (0.7)	1.9	0.8	0.5	0.3	0.6
OECD	1,038 (43.0)	1,205 (46.4)	1,265 (39.7)	1,317 (34.6)	1,300 (31.3)	1,277 (28.8)	0.8	0.3	-0.1	-0.2	0.0
非OECD	1,379 (57.0)	1,392 (53.6)	1,920 (60.3)	2,490 (65.4)	2,857 (68.7)	3,160 (71.2)	1.3	1.9	1.4	1.0	1.5

(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	2016	2030	2040	2050	年平均変化率(%)				
							1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2040	2040/ 2050	2016/ 2050
世界	9,696 (100)	12,668 (100)	20,860 (100)	28,935 (100)	34,767 (100)	40,477 (100)	3.0	2.4	1.9	1.5	2.0
アジア	1,817 (18.7)	3,228 (25.5)	9,120 (43.7)	14,152 (48.9)	17,581 (50.6)	20,846 (51.5)	6.4	3.2	2.2	1.7	2.5
中国	454 (4.7)	1,036 (8.2)	5,176 (24.8)	7,613 (26.3)	8,940 (25.7)	9,863 (24.4)	9.8	2.8	1.6	1.0	1.9
インド	215 (2.2)	376 (3.0)	1,110 (5.3)	2,543 (8.8)	3,728 (10.7)	5,102 (12.6)	6.5	6.1	3.9	3.2	4.6
日本	756 (7.8)	943 (7.4)	967 (4.6)	1,036 (3.6)	1,043 (3.0)	1,029 (2.5)	1.0	0.5	0.1	-0.1	0.2
韓国	94 (1.0)	263 (2.1)	517 (2.5)	625 (2.2)	678 (2.0)	702 (1.7)	6.8	1.4	0.8	0.3	0.9
台湾	77 (0.8)	160 (1.3)	236 (1.1)	268 (0.9)	290 (0.8)	307 (0.8)	4.4	0.9	0.8	0.6	0.8
ASEAN	130 (1.3)	320 (2.5)	854 (4.1)	1,616 (5.6)	2,257 (6.5)	2,947 (7.3)	7.5	4.7	3.4	2.7	3.7
インドネシア	28 (0.3)	79 (0.6)	216 (1.0)	458 (1.6)	678 (1.9)	906 (2.2)	8.1	5.5	4.0	3.0	4.3
マレーシア	20 (0.2)	61 (0.5)	144 (0.7)	234 (0.8)	300 (0.9)	361 (0.9)	7.9	3.5	2.5	1.9	2.7
ミャンマー	2 (0.0)	3 (0.0)	15 (0.1)	45 (0.2)	72 (0.2)	106 (0.3)	8.7	8.0	4.8	4.0	5.8
フィリピン	21 (0.2)	37 (0.3)	74 (0.4)	152 (0.5)	218 (0.6)	300 (0.7)	4.9	5.3	3.7	3.2	4.2
シンガポール	13 (0.1)	27 (0.2)	49 (0.2)	60 (0.2)	66 (0.2)	67 (0.2)	5.2	1.6	0.8	0.3	1.0
タイ	38 (0.4)	88 (0.7)	194 (0.9)	292 (1.0)	368 (1.1)	445 (1.1)	6.4	3.0	2.3	1.9	2.5
ベトナム	6 (0.1)	22 (0.2)	159 (0.8)	369 (1.3)	552 (1.6)	756 (1.9)	13.3	6.2	4.1	3.2	4.7
非OECDアジア	967 (10.0)	2,021 (16.0)	7,635 (36.6)	12,492 (43.2)	15,860 (45.6)	19,114 (47.2)	8.3	3.6	2.4	1.9	2.7
北米	3,051 (31.5)	3,980 (31.4)	4,282 (20.5)	5,055 (17.5)	5,461 (15.7)	5,765 (14.2)	1.3	1.2	0.8	0.5	0.9
米国	2,633 (27.2)	3,499 (27.6)	3,807 (18.3)	4,488 (15.5)	4,845 (13.9)	5,109 (12.6)	1.4	1.2	0.8	0.5	0.9
中南米	517 (5.3)	798 (6.3)	1,313 (6.3)	1,880 (6.5)	2,410 (6.9)	2,882 (7.1)	3.6	2.6	2.5	1.8	2.3
OECDヨーロッパ	2,235 (23.1)	2,710 (21.4)	3,097 (14.8)	3,494 (12.1)	3,664 (10.5)	3,772 (9.3)	1.3	0.9	0.5	0.3	0.6
欧州連合	2,160 (22.3)	2,526 (19.9)	2,784 (13.3)	3,150 (10.9)	3,315 (9.5)	3,421 (8.5)	1.0	0.9	0.5	0.3	0.6
非OECDヨーロッパ	1,462 (15.1)	1,006 (7.9)	1,238 (5.9)	1,565 (5.4)	1,819 (5.2)	2,091 (5.2)	-0.6	1.7	1.5	1.4	1.6
アフリカ	257 (2.6)	361 (2.8)	635 (3.0)	1,113 (3.8)	1,774 (5.1)	2,666 (6.6)	3.5	4.1	4.8	4.2	4.3
中東	199 (2.0)	379 (3.0)	925 (4.4)	1,372 (4.7)	1,721 (4.9)	2,093 (5.2)	6.1	2.9	2.3	2.0	2.4
オセアニア	157 (1.6)	207 (1.6)	250 (1.2)	305 (1.1)	337 (1.0)	363 (0.9)	1.8	1.4	1.0	0.8	1.1
OECD	6,410 (66.1)	8,285 (65.4)	9,454 (45.3)	11,006 (38.0)	11,817 (34.0)	12,394 (30.6)	1.5	1.1	0.7	0.5	0.8
非OECD	3,286 (33.9)	4,383 (34.6)	11,406 (54.7)	17,929 (62.0)	22,950 (66.0)	28,083 (69.4)	4.9	3.3	2.5	2.0	2.7

(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

付表16 | 発電電力量[レファレンスシナリオ]

(TWh)

	1990	2000	2016	2030	2040	2050	年平均変化率(%)				
							1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2040	2040/ 2050	2016/ 2050
世界	11,852 (100)	15,441 (100)	24,973 (100)	34,470 (100)	40,912 (100)	46,915 (100)	2.9	2.3	1.7	1.4	1.9
アジア	2,240 (18.9)	3,983 (25.8)	10,768 (43.1)	16,728 (48.5)	20,542 (50.2)	23,994 (51.1)	6.2	3.2	2.1	1.6	2.4
中国	621 (5.2)	1,356 (8.8)	6,187 (24.8)	9,019 (26.2)	10,463 (25.6)	11,388 (24.3)	9.2	2.7	1.5	0.9	1.8
インド	293 (2.5)	570 (3.7)	1,478 (5.9)	3,285 (9.5)	4,628 (11.3)	6,086 (13.0)	6.4	5.9	3.5	2.8	4.3
日本	861 (7.3)	1,058 (6.9)	1,052 (4.2)	1,125 (3.3)	1,130 (2.8)	1,112 (2.4)	0.8	0.5	0.0	-0.2	0.2
韓国	105 (0.9)	289 (1.9)	559 (2.2)	677 (2.0)	736 (1.8)	761 (1.6)	6.6	1.4	0.8	0.3	0.9
台湾	88 (0.7)	181 (1.2)	261 (1.0)	295 (0.9)	319 (0.8)	338 (0.7)	4.2	0.9	0.8	0.6	0.8
ASEAN	154 (1.3)	370 (2.4)	926 (3.7)	1,780 (5.2)	2,493 (6.1)	3,251 (6.9)	7.1	4.8	3.4	2.7	3.8
インドネシア	33 (0.3)	93 (0.6)	249 (1.0)	525 (1.5)	773 (1.9)	1,026 (2.2)	8.1	5.5	3.9	2.9	4.3
マレーシア	23 (0.2)	69 (0.4)	157 (0.6)	257 (0.7)	330 (0.8)	398 (0.8)	7.7	3.6	2.5	1.9	2.8
ミャンマー	2 (0.0)	5 (0.0)	18 (0.1)	72 (0.2)	112 (0.3)	160 (0.3)	7.9	10.5	4.5	3.6	6.7
フィリピン	26 (0.2)	45 (0.3)	91 (0.4)	184 (0.5)	260 (0.6)	351 (0.7)	4.9	5.2	3.5	3.1	4.1
シンガポール	16 (0.1)	32 (0.2)	52 (0.2)	64 (0.2)	70 (0.2)	71 (0.2)	4.7	1.6	0.8	0.2	1.0
タイ	44 (0.4)	96 (0.6)	191 (0.8)	273 (0.8)	342 (0.8)	413 (0.9)	5.8	2.6	2.3	1.9	2.3
ベトナム	9 (0.1)	27 (0.2)	165 (0.7)	398 (1.2)	601 (1.5)	825 (1.8)	12.0	6.5	4.2	3.2	4.9
非OECDアジア	1,274 (10.8)	2,636 (17.1)	9,157 (36.7)	14,926 (43.3)	18,677 (45.7)	22,120 (47.1)	7.9	3.6	2.3	1.7	2.6
北米	3,685 (31.1)	4,631 (30.0)	4,967 (19.9)	5,831 (16.9)	6,256 (15.3)	6,554 (14.0)	1.2	1.2	0.7	0.5	0.8
米国	3,203 (27.0)	4,026 (26.1)	4,300 (17.2)	5,060 (14.7)	5,439 (13.3)	5,703 (12.2)	1.1	1.2	0.7	0.5	0.8
中南米	623 (5.3)	1,009 (6.5)	1,628 (6.5)	2,299 (6.7)	2,893 (7.1)	3,386 (7.2)	3.8	2.5	2.3	1.6	2.2
OECDヨーロッパ	2,668 (22.5)	3,227 (20.9)	3,599 (14.4)	4,037 (11.7)	4,201 (10.3)	4,287 (9.1)	1.2	0.8	0.4	0.2	0.5
欧州連合	2,577 (21.7)	3,006 (19.5)	3,228 (12.9)	3,654 (10.6)	3,839 (9.4)	3,950 (8.4)	0.9	0.9	0.5	0.3	0.6
非OECDヨーロッパ	1,888 (15.9)	1,428 (9.2)	1,764 (7.1)	2,147 (6.2)	2,390 (5.8)	2,625 (5.6)	-0.3	1.4	1.1	0.9	1.2
アフリカ	316 (2.7)	442 (2.9)	801 (3.2)	1,372 (4.0)	2,139 (5.2)	3,141 (6.7)	3.6	3.9	4.5	3.9	4.1
中東	244 (2.1)	472 (3.1)	1,147 (4.6)	1,694 (4.9)	2,096 (5.1)	2,510 (5.3)	6.1	2.8	2.2	1.8	2.3
オセアニア	187 (1.6)	249 (1.6)	299 (1.2)	361 (1.0)	395 (1.0)	420 (0.9)	1.8	1.4	0.9	0.6	1.0
OECD	7,640 (64.5)	9,700 (62.8)	10,876 (43.6)	12,608 (36.6)	13,453 (32.9)	14,006 (29.9)	1.4	1.1	0.7	0.4	0.7
非OECD	4,212 (35.5)	5,741 (37.2)	14,097 (56.4)	21,861 (63.4)	27,459 (67.1)	32,909 (70.1)	4.8	3.2	2.3	1.8	2.5

(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	2016	2030	2040	2050	年平均変化率(%)				
							1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2040	2040/ 2050	2016/ 2050
世界	1.66	1.64	1.85	1.94	1.98	1.98	0.4	0.4	0.2	0.0	0.2
アジア	0.72	0.85	1.36	1.65	1.81	1.93	2.5	1.4	0.9	0.6	1.0
中国	0.77	0.89	2.15	2.58	2.81	2.89	4.0	1.3	0.8	0.3	0.9
インド	0.35	0.42	0.65	0.99	1.21	1.42	2.4	3.0	2.0	1.6	2.3
日本	3.55	4.08	3.35	3.47	3.44	3.39	-0.2	0.3	-0.1	-0.1	0.0
韓国	2.17	4.00	5.51	5.78	5.75	5.63	3.7	0.3	0.0	-0.2	0.1
台湾	2.34	3.81	4.66	4.59	4.60	4.59	2.7	-0.1	0.0	0.0	0.0
ASEAN	0.54	0.75	1.04	1.44	1.72	1.98	2.5	2.4	1.7	1.4	1.9
インドネシア	0.54	0.74	0.88	1.32	1.59	1.83	1.9	2.9	1.9	1.4	2.2
マレーシア	1.21	2.11	2.85	3.38	3.68	3.86	3.3	1.2	0.8	0.5	0.9
ミャンマー	0.26	0.28	0.37	0.50	0.61	0.75	1.3	2.2	2.1	2.0	2.1
フィリピン	0.46	0.51	0.53	0.78	0.91	1.06	0.5	2.8	1.6	1.6	2.1
シンガポール	3.78	4.63	4.88	5.31	5.62	5.83	1.0	0.6	0.6	0.4	0.5
タイ	0.74	1.15	2.01	2.62	3.14	3.77	3.9	1.9	1.9	1.8	1.9
ベトナム	0.26	0.36	0.86	1.42	1.86	2.32	4.7	3.7	2.8	2.2	3.0
非OECDアジア	0.57	0.67	1.24	1.55	1.72	1.85	3.0	1.6	1.1	0.7	1.2
北米	7.66	8.08	6.81	6.12	5.64	5.22	-0.5	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8
米国	7.67	8.06	6.71	6.00	5.53	5.12	-0.5	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8
中南米	1.05	1.15	1.33	1.50	1.64	1.71	0.9	0.9	0.9	0.4	0.8
OECDヨーロッパ	3.24	3.35	3.03	2.86	2.69	2.58	-0.3	-0.4	-0.6	-0.4	-0.5
欧州連合	3.44	3.47	3.13	2.96	2.80	2.69	-0.4	-0.4	-0.6	-0.4	-0.4
非OECDヨーロッパ	4.48	2.95	3.30	3.63	3.87	4.16	-1.2	0.7	0.7	0.7	0.7
アフリカ	0.62	0.61	0.67	0.66	0.66	0.65	0.3	-0.1	0.1	-0.2	-0.1
中東	1.68	2.21	3.13	3.41	3.54	3.58	2.4	0.6	0.4	0.1	0.4
オセアニア	4.85	5.44	5.22	4.60	4.15	3.71	0.3	-0.9	-1.0	-1.1	-1.0
OECD	4.25	4.60	4.10	3.87	3.67	3.49	-0.1	-0.4	-0.5	-0.5	-0.5
非OECD	0.96	0.90	1.32	1.51	1.60	1.64	1.2	1.0	0.6	0.3	0.7

(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	2016	2030	2040	2050	年平均変化率(%)				
							1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2040	2040/ 2050	2016/ 2050
世界	232	201	178	142	119	100	-1.0	-1.6	-1.8	-1.7	-1.7
アジア	279	262	235	171	135	110	-0.7	-2.3	-2.3	-2.0	-2.2
中国	1,053	505	311	178	126	96	-4.6	-3.9	-3.4	-2.7	-3.4
インド	658	551	351	240	187	146	-2.4	-2.7	-2.5	-2.4	-2.5
日本	94	97	70	62	54	46	-1.1	-0.9	-1.4	-1.4	-1.2
韓国	256	265	216	164	134	109	-0.6	-2.0	-2.0	-2.0	-2.0
台湾	308	286	213	162	135	112	-1.4	-1.9	-1.8	-1.8	-1.9
ASEAN	314	322	247	201	169	144	-0.9	-1.5	-1.7	-1.6	-1.6
インドネシア	318	343	222	182	148	122	-1.4	-1.4	-2.1	-1.9	-1.7
マレーシア	267	301	258	193	159	130	-0.1	-2.1	-1.9	-2.0	-2.0
ミャンマー	1,594	960	310	196	153	124	-6.1	-3.2	-2.4	-2.1	-2.7
フィリピン	304	319	193	157	139	123	-1.7	-1.4	-1.3	-1.2	-1.3
シンガポール	171	139	93	80	73	68	-2.3	-1.0	-0.9	-0.8	-0.9
タイ	296	332	341	272	233	204	0.5	-1.6	-1.5	-1.3	-1.5
ベトナム	607	470	494	399	333	272	-0.8	-1.5	-1.8	-2.0	-1.7
非OECDアジア	628	439	299	193	146	117	-2.8	-3.1	-2.7	-2.2	-2.7
北米	211	180	131	97	77	63	-1.8	-2.1	-2.2	-2.0	-2.1
米国	211	179	128	94	75	61	-1.9	-2.2	-2.3	-2.1	-2.2
中南米	167	159	147	125	105	89	-0.5	-1.2	-1.7	-1.7	-1.5
OECDヨーロッパ	128	110	85	65	54	46	-1.5	-1.9	-1.8	-1.6	-1.8
欧州連合	138	115	87	67	55	47	-1.8	-1.9	-1.8	-1.6	-1.8
非OECDヨーロッパ	714	668	414	328	274	233	-2.1	-1.7	-1.8	-1.6	-1.7
アフリカ	447	434	354	268	207	164	-0.9	-2.0	-2.5	-2.3	-2.2
中東	217	244	275	247	217	186	0.9	-0.8	-1.3	-1.5	-1.2
オセアニア	137	126	96	70	58	48	-1.4	-2.2	-2.0	-1.9	-2.0
OECD	155	139	106	82	68	57	-1.4	-1.8	-1.9	-1.8	-1.8
非OECD	468	376	290	205	160	130	-1.8	-2.4	-2.4	-2.1	-2.3

(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)

							年平均変化率(%)				
	1990	2000	2016	2030	2040	2050	1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2040	2040/ 2050	2016/ 2050
世界	20,479 (100)	23,113 (100)	32,353 (100)	37,521 (100)	40,407 (100)	41,909 (100)	1.8	1.1	0.7	0.4	0.8
アジア	4,632 (22.6)	6,720 (29.1)	14,795 (45.7)	18,891 (50.3)	21,064 (52.1)	22,176 (52.9)	4.6	1.8	1.1	0.5	1.2
中国	2,136 (10.4)	3,126 (13.5)	9,015 (27.9)	10,267 (27.4)	10,433 (25.8)	9,706 (23.2)	5.7	0.9	0.2	-0.7	0.2
インド	529 (2.6)	885 (3.8)	2,078 (6.4)	3,921 (10.5)	5,180 (12.8)	6,343 (15.1)	5.4	4.6	2.8	2.0	3.3
日本	1,046 (5.1)	1,145 (5.0)	1,138 (3.5)	984 (2.6)	902 (2.2)	802 (1.9)	0.3	-1.0	-0.9	-1.2	-1.0
韓国	215 (1.1)	414 (1.8)	601 (1.9)	659 (1.8)	660 (1.6)	621 (1.5)	4.0	0.7	0.0	-0.6	0.1
台湾	110 (0.5)	214 (0.9)	261 (0.8)	276 (0.7)	263 (0.7)	239 (0.6)	3.4	0.4	-0.5	-1.0	-0.3
ASEAN	348 (1.7)	676 (2.9)	1,298 (4.0)	2,158 (5.8)	2,793 (6.9)	3,403 (8.1)	5.2	3.7	2.6	2.0	2.9
インドネシア	133 (0.7)	255 (1.1)	455 (1.4)	811 (2.2)	1,089 (2.7)	1,339 (3.2)	4.8	4.2	3.0	2.1	3.2
マレーシア	54 (0.3)	115 (0.5)	223 (0.7)	318 (0.8)	362 (0.9)	394 (0.9)	5.6	2.6	1.3	0.9	1.7
ミャンマー	4 (0.0)	9 (0.0)	21 (0.1)	49 (0.1)	75 (0.2)	106 (0.3)	6.6	6.3	4.3	3.5	4.9
フィリピン	36 (0.2)	67 (0.3)	115 (0.4)	218 (0.6)	297 (0.7)	386 (0.9)	4.5	4.7	3.1	2.7	3.6
シンガポール	22 (0.1)	34 (0.1)	47 (0.1)	53 (0.1)	56 (0.1)	56 (0.1)	2.9	1.0	0.5	-0.1	0.5
タイ	78 (0.4)	147 (0.6)	245 (0.8)	300 (0.8)	332 (0.8)	355 (0.8)	4.5	1.5	1.0	0.7	1.1
ベトナム	17 (0.1)	43 (0.2)	187 (0.6)	402 (1.1)	576 (1.4)	760 (1.8)	9.7	5.6	3.7	2.8	4.2
非OECDアジア	3,371 (16.5)	5,162 (22.3)	13,057 (40.4)	17,249 (46.0)	19,501 (48.3)	20,753 (49.5)	5.3	2.0	1.2	0.6	1.4
北米	5,226 (25.5)	6,203 (26.8)	5,409 (16.7)	5,008 (13.3)	4,585 (11.3)	4,153 (9.9)	0.1	-0.5	-0.9	-1.0	-0.8
米国	4,817 (23.5)	5,700 (24.7)	4,870 (15.1)	4,482 (11.9)	4,075 (10.1)	3,668 (8.8)	0.0	-0.6	-0.9	-1.0	-0.8
中南米	853 (4.2)	1,169 (5.1)	1,603 (5.0)	1,977 (5.3)	2,280 (5.6)	2,433 (5.8)	2.5	1.5	1.4	0.7	1.2
OECDヨーロッパ	3,908 (19.1)	3,902 (16.9)	3,466 (10.7)	3,162 (8.4)	2,837 (7.0)	2,544 (6.1)	-0.5	-0.7	-1.1	-1.1	-0.9
欧州連合	4,018 (19.6)	3,798 (16.4)	3,195 (9.9)	2,859 (7.6)	2,560 (6.3)	2,286 (5.5)	-0.9	-0.8	-1.1	-1.1	-1.0
非OECDヨーロッパ	3,840 (18.8)	2,296 (9.9)	2,425 (7.5)	2,525 (6.7)	2,618 (6.5)	2,683 (6.4)	-1.8	0.3	0.4	0.2	0.3
アフリカ	538 (2.6)	661 (2.9)	1,155 (3.6)	1,644 (4.4)	2,191 (5.4)	2,743 (6.5)	3.0	2.6	2.9	2.3	2.6
中東	571 (2.8)	948 (4.1)	1,837 (5.7)	2,341 (6.2)	2,649 (6.6)	2,870 (6.8)	4.6	1.7	1.2	0.8	1.3
オセアニア	282 (1.4)	363 (1.6)	423 (1.3)	402 (1.1)	376 (0.9)	343 (0.8)	1.6	-0.4	-0.7	-0.9	-0.6
OECD	10,962 (53.5)	12,421 (53.7)	11,549 (35.7)	10,815 (28.8)	10,023 (24.8)	9,157 (21.8)	0.2	-0.5	-0.8	-0.9	-0.7
非OECD	8,888 (43.4)	9,841 (42.6)	19,564 (60.5)	25,134 (67.0)	28,577 (70.7)	30,788 (73.5)	3.1	1.8	1.3	0.7	1.3

(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	2016	2030	2040	2050	1990	2016	2050	1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2050	2016/ 2050
合計 ¹⁾	7,208	8,774	10,036	13,761	16,554	18,164	19,275	100	100	100	1.7	1.3	0.8	1.0
石炭	1,783	2,220	2,316	3,731	4,167	4,352	4,323	25	27	22	2.0	0.8	0.2	0.4
石油	3,105	3,234	3,663	4,390	5,052	5,416	5,628	37	32	29	1.2	1.0	0.5	0.7
天然ガス	1,232	1,664	2,072	3,035	3,978	4,628	5,183	19	22	27	2.3	2.0	1.3	1.6
原子力	186	526	675	680	814	856	911	6.0	4.9	4.7	1.0	1.3	0.6	0.9
水力	148	184	225	349	425	466	501	2.1	2.5	2.6	2.5	1.4	0.8	1.1
地熱	12	34	52	81	183	234	283	0.4	0.6	1.5	3.4	6.0	2.2	3.8
太陽光・風力等	0.1	2.5	8.0	145	389	572	762	0.0	1.1	4.0	17.0	7.3	3.4	5.0
バイオマス・廃棄物	742	909	1,022	1,349	1,545	1,640	1,683	10	9.8	8.7	1.5	1.0	0.4	0.7

最終エネルギー消費

	(Mtoe)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2016	2030	2040	2050	1990	2016	2050	1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2050	2016/ 2050
合計	5,368	6,271	7,035	9,555	11,357	12,446	13,277	100	100	100	1.6	1.2	0.8	1.0
産業	1,766	1,804	1,868	2,753	3,214	3,535	3,771	29	29	28	1.6	1.1	0.8	0.9
運輸	1,246	1,570	1,958	2,748	3,238	3,497	3,691	25	29	28	2.2	1.2	0.7	0.9
民生・農業他	2,002	2,417	2,596	3,185	3,807	4,158	4,436	39	33	33	1.1	1.3	0.8	1.0
非エネルギー消費	354	480	614	870	1,098	1,256	1,379	7.6	9.1	10	2.3	1.7	1.1	1.4
石炭	703	752	542	1,036	1,050	1,050	1,020	12	11	7.7	1.2	0.1	-0.1	0.0
石油	2,446	2,605	3,122	3,908	4,536	4,874	5,094	42	41	38	1.6	1.1	0.6	0.8
天然ガス	815	945	1,118	1,440	1,798	2,007	2,163	15	15	16	1.6	1.6	0.9	1.2
電力	586	834	1,089	1,794	2,488	2,990	3,481	13	19	26	3.0	2.4	1.7	2.0
熱	121	336	248	283	293	297	298	5.4	3.0	2.2	-0.7	0.2	0.1	0.2
水素	-	-	-	-	0.7	1.2	1.3	-	-	0.0	n.a.	n.a.	3.1	n.a.
再生可能	698	799	916	1,095	1,191	1,228	1,220	13	11	9.2	1.2	0.6	0.1	0.3

発電量

	(TWh)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2016	2030	2040	2050	1990	2016	2050	1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2050	2016/ 2050
合計	8,283	11,852	15,441	24,973	34,470	40,912	46,915	100	100	100	2.9	2.3	1.6	1.9
石炭	3,137	4,430	6,001	9,594	11,873	13,096	13,912	37	38	30	3.0	1.5	0.8	1.1
石油	1,659	1,323	1,212	931	981	992	893	11	3.7	1.9	-1.3	0.4	-0.5	-0.1
天然ガス	999	1,750	2,747	5,794	8,587	11,012	13,538	15	23	29	4.7	2.9	2.3	2.5
原子力	713	2,013	2,591	2,606	3,122	3,287	3,496	17	10	7.5	1.0	1.3	0.6	0.9
水力	1,717	2,144	2,618	4,061	4,940	5,415	5,824	18	16	12	2.5	1.4	0.8	1.1
地熱	14	36	52	82	195	254	307	0.3	0.3	0.7	3.2	6.4	2.3	4.0
太陽光	-	0.1	1.0	328	1,229	1,923	2,653	0.0	1.3	5.7	37.3	9.9	3.9	6.3
風力	0.0	3.9	31	958	2,446	3,501	4,506	0.0	3.8	9.6	23.6	6.9	3.1	4.7
太陽熱・海洋	0.5	1.2	1.1	12	119	214	351	0.0	0.0	0.7	9.1	18.1	5.6	10.6
バイオマス・廃棄物	44	130	164	571	942	1,182	1,399	1.1	2.3	3.0	5.9	3.6	2.0	2.7
水素	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
その他	-	20	22	37	37	37	37	0.2	0.1	0.1	2.3	0.0	0.0	0.0

エネルギー・経済指標他

	1980	1990	2000	2016	2030	2040	2050	1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2050	2016/ 2050
GDP (2010年価格10億ドル)	28,090	37,882	49,957	77,321	116,562	153,030	191,975	2.8	3.0	2.5	2.7
人口(100万人)	4,437	5,281	6,113	7,433	8,514	9,172	9,733	1.3	1.0	0.7	0.8
エネルギー起源CO ₂ 排出(100万t)	17,808	20,479	23,113	32,353	37,521	40,407	41,909	1.8	1.1	0.6	0.8
一人あたりGDP (2010年価格1,000ドル/人)	6.3	7.2	8.2	10	14	17	20	1.4	2.0	1.8	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	2.0	0.4	0.4	0.1	0.2
GDPあたり一次エネルギー消費 ²⁾	257	232	201	178	142	119	100	-1.0	-1.6	-1.7	-1.7
GDPあたりCO ₂ 排出量 ³⁾	634	541	463	418	322	264	218	-1.0	-1.9	-1.9	-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	2.4	2.3	2.2	2.2	0.0	-0.3	-0.2	-0.2

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

*2 toe/2010年価格100万ドル。*3 t/2010年価格100万ドル

付表21 | アジア[レファレンスシナリオ]

一次エネルギー消費

	(石油換算100万トン[Mtoe])							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2016	2030	2040	2050	1990	2016	2050	1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2050	2016/ 2050
合計 ¹	1,439	2,110	2,887	5,497	7,327	8,336	8,987	100	100	100	3.8	2.1	1.0	1.5
石炭	466	787	1,036	2,685	3,238	3,505	3,557	37	49	40	4.8	1.3	0.5	0.8
石油	477	618	916	1,367	1,819	2,052	2,207	29	25	25	3.1	2.1	1.0	1.4
天然ガス	51	116	233	567	988	1,274	1,524	5.5	10	17	6.3	4.1	2.2	3.0
原子力	25	77	132	122	271	338	404	3.6	2.2	4.5	1.8	5.9	2.0	3.6
水力	20	32	41	138	182	205	221	1.5	2.5	2.5	5.8	2.0	1.0	1.4
地熱	2.6	8.2	23	40	93	119	145	0.4	0.7	1.6	6.3	6.3	2.2	3.9
太陽光・風力等	-	1.2	2.1	62	180	264	344	0.1	1.1	3.8	16.2	7.9	3.3	5.2
バイオマス・廃棄物	397	471	503	517	554	579	584	22	9.4	6.5	0.4	0.5	0.3	0.4

最終エネルギー消費

	(Mtoe)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2016	2030	2040	2050	1990	2016	2050	1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2050	2016/ 2050
合計	1,129	1,556	1,991	3,709	4,783	5,412	5,887	100	100	100	3.4	1.8	1.0	1.4
産業	383	514	647	1,511	1,789	1,959	2,086	33	41	35	4.2	1.2	0.8	1.0
運輸	124	184	318	661	969	1,120	1,226	12	18	21	5.1	2.8	1.2	1.8
民生・農業他	569	741	842	1,162	1,525	1,750	1,935	48	31	33	1.7	2.0	1.2	1.5
非エネルギー消費	54	117	185	375	499	583	640	7.5	10	11	4.6	2.1	1.3	1.6
石炭	301	424	373	899	906	901	873	27	24	15	2.9	0.1	-0.2	-0.1
石油	326	459	734	1,204	1,634	1,859	2,017	29	32	34	3.8	2.2	1.1	1.5
天然ガス	21	47	88	266	463	574	653	3.0	7.2	11	6.9	4.0	1.7	2.7
電力	88	156	278	784	1,217	1,512	1,793	10	21	30	6.4	3.2	2.0	2.5
熱	7.5	14	30	96	110	118	120	0.9	2.6	2.0	7.6	1.0	0.4	0.7
水素	-	-	-	-	0.2	0.5	0.5	-	-	0.0	n.a.	n.a.	3.7	n.a.
再生可能	386	456	488	459	452	447	431	29	12	7.3	0.0	-0.1	-0.2	-0.2

発電量

	(TWh)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2016	2030	2040	2050	1990	2016	2050	1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2050	2016/ 2050
合計	1,196	2,240	3,983	10,768	16,728	20,542	23,994	100	100	100	6.2	3.2	1.8	2.4
石炭	298	869	1,990	6,443	8,928	10,379	11,496	39	60	48	8.0	2.4	1.3	1.7
石油	476	434	390	233	209	183	140	19	2.2	0.6	-2.4	-0.8	-2.0	-1.5
天然ガス	90	237	559	1,340	2,299	3,156	4,119	11	12	17	6.9	3.9	3.0	3.4
原子力	97	294	505	468	1,041	1,296	1,552	13	4.3	6.5	1.8	5.9	2.0	3.6
水力	232	369	478	1,603	2,118	2,382	2,565	16	15	11	5.8	2.0	1.0	1.4
地熱	3.0	8.4	20	24	60	77	94	0.4	0.2	0.4	4.2	6.7	2.2	4.1
太陽光	-	0.1	0.6	152	708	1,123	1,533	0.0	1.4	6.4	34.4	11.6	3.9	7.0
風力	-	0.0	2.4	294	993	1,458	1,892	0.0	2.7	7.9	41.7	9.1	3.3	5.6
太陽熱・海洋	-	0.0	0.0	0.5	7.5	14	26	0.0	0.0	0.1	18.2	20.8	6.4	12.1
バイオマス・廃棄物	0.0	9.5	17	187	341	452	554	0.4	1.7	2.3	12.1	4.4	2.5	3.2
水素	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
その他	-	20	20	23	23	23	23	0.9	0.2	0.1	0.6	0.0	0.0	0.0

エネルギー・経済指標他

	1980	1990	2000	2016	2030	2040	2050	1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2050	2016/ 2050
GDP (2010年価格10億ドル)	4,441	7,560	11,025	23,349	42,947	61,820	81,967	4.4	4.4	3.3	3.8
人口(100万人)	2,440	2,933	3,410	4,035	4,439	4,601	4,665	1.2	0.7	0.2	0.4
エネルギー起源CO ₂ 排出(100万t)	3,105	4,632	6,720	14,795	18,891	21,064	22,176	4.6	1.8	0.8	1.2
一人あたりGDP (2010年価格1,000ドル/人)	1.8	2.6	3.2	5.8	9.7	13	18	3.2	3.7	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	1.9	2.5	1.4	0.8	1.0
GDPあたり一次エネルギー消費 ²	324	279	262	235	171	135	110	-0.7	-2.3	-2.2	-2.2
GDPあたりCO ₂ 排出量 ³	699	613	609	634	440	341	271	0.1	-2.6	-2.4	-2.5
一次エネルギー消費あたりCO ₂ 排出(t/toe)	2.2	2.2	2.3	2.7	2.6	2.5	2.5	0.8	-0.3	-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22 | 中国[レファレンスシナリオ]

一次エネルギー消費

	(石油換算100万トン[Mtoe])							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2016	2030	2040	2050	1990	2016	2050	1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2050	2016/ 2050
	合計 ¹	598	874	1,130	2,958	3,658	3,915	3,873	100	100	100	4.8	1.5	0.3
石炭	313	531	665	1,916	2,035	2,014	1,817	61	65	47	5.1	0.4	-0.6	-0.2
石油	89	119	221	545	732	774	743	14	18	19	6.0	2.1	0.1	0.9
天然ガス	12	13	21	171	370	476	554	1.5	5.8	14	10.5	5.7	2.0	3.5
原子力	-	-	4.4	56	149	200	249	-	1.9	6.4	n.a.	7.3	2.6	4.5
水力	5.0	11	19	100	122	132	135	1.2	3.4	3.5	8.9	1.4	0.5	0.9
地熱	-	-	1.7	9.4	12	15	16	-	0.3	0.4	n.a.	2.0	1.2	1.5
太陽光・風力等	-	0.0	1.0	49	133	186	231	0.0	1.7	6.0	32.4	7.3	2.8	4.7
バイオマス・廃棄物	180	200	198	113	106	121	130	23	3.8	3.3	-2.2	-0.5	1.0	0.4

最終エネルギー消費

	(Mtoe)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2016	2030	2040	2050	1990	2016	2050	1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2050	2016/ 2050
	合計	487	658	781	1,969	2,365	2,517	2,536	100	100	100	4.3	1.3	0.3
産業	181	234	302	994	998	986	967	36	50	38	5.7	0.0	-0.2	-0.1
運輸	22	30	84	297	465	501	484	4.6	15	19	9.2	3.3	0.2	1.4
民生・農業他	274	351	338	516	686	778	816	53	26	32	1.5	2.1	0.9	1.4
非エネルギー消費	10	43	57	162	215	252	269	6.5	8.2	11	5.3	2.0	1.1	1.5
石炭	214	311	274	710	620	558	488	47	36	19	3.2	-1.0	-1.2	-1.1
石油	59	85	180	495	673	712	685	13	25	27	7.0	2.2	0.1	1.0
天然ガス	6.4	8.9	12	113	214	264	294	1.3	5.7	12	10.3	4.7	1.6	2.8
電力	21	39	89	445	655	769	848	5.9	23	33	9.8	2.8	1.3	1.9
熱	7.4	13	26	90	103	111	113	2.0	4.6	4.5	7.7	1.0	0.4	0.7
水素	-	-	-	-	0.2	0.3	0.3	-	-	0.0	n.a.	n.a.	3.1	n.a.
再生可能	180	200	199	117	99	103	107	30	5.9	4.2	-2.1	-1.2	0.4	-0.3

発電量

	(TWh)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2016	2030	2040	2050	1990	2016	2050	1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2050	2016/ 2050
	合計	301	621	1,356	6,187	9,019	10,463	11,388	100	100	100	9.2	2.7	1.2
石炭	159	441	1,060	4,242	5,157	5,444	5,374	71	69	47	9.1	1.4	0.2	0.7
石油	82	50	47	10	10.0	8.2	5.7	8.1	0.2	0.1	-5.9	-0.3	-2.8	-1.7
天然ガス	0.7	2.8	5.8	170	535	773	1,020	0.4	2.8	9.0	17.2	8.5	3.3	5.4
原子力	-	-	17	213	573	766	955	-	3.4	8.4	n.a.	7.3	2.6	4.5
水力	58	127	222	1,163	1,414	1,531	1,574	20	19	14	8.9	1.4	0.5	0.9
地熱	-	0.1	0.1	0.1	0.4	0.4	0.5	0.0	0.0	0.0	3.1	8.2	1.3	4.1
太陽光	-	0.0	0.0	75	388	573	734	0.0	1.2	6.4	50.0	12.4	3.2	6.9
風力	-	0.0	0.6	237	802	1,169	1,474	0.0	3.8	13	56.7	9.1	3.1	5.5
太陽熱・海洋	-	0.0	0.0	0.0	1.0	3.7	8.0	0.0	0.0	0.1	6.9	26.2	10.7	16.9
バイオマス・廃棄物	-	-	2.4	76	139	195	244	-	1.2	2.1	n.a.	4.4	2.8	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	2016	2030	2040	2050	1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2050	2016/ 2050
GDP (2010年価格10億ドル)	341	830	2,237	9,504	20,603	31,022	40,505	9.8	5.7	3.4	4.4
人口(100万人)	981	1,135	1,263	1,379	1,416	1,393	1,341	0.8	0.2	-0.3	-0.1
エネルギー起源CO ₂ 排出(100万t)	1,392	2,136	3,126	9,015	10,267	10,433	9,706	5.7	0.9	-0.3	0.2
一人あたりGDP (2010年価格1,000ドル/人)	0.3	0.7	1.8	6.9	15	22	30	9.0	5.5	3.7	4.4
一人あたり一次エネルギー消費(toe/人)	0.6	0.8	0.9	2.1	2.6	2.8	2.9	4.0	1.3	0.6	0.9
GDPあたり一次エネルギー消費 ²	1,752	1,053	505	311	178	126	96	-4.6	-3.9	-3.0	-3.4
GDPあたりCO ₂ 排出量 ³	4,079	2,575	1,398	949	498	336	240	-3.8	-4.5	-3.6	-4.0
一次エネルギー消費あたりCO ₂ 排出(t/toe)	2.3	2.4	2.8	3.0	2.8	2.7	2.5	0.9	-0.6	-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	2016	2030	2040	2050	1990	2016	2050	1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2050	2016/ 2050
	合計 ¹⁾	200	306	441	862	1,499	1,943	2,357	100	100	100	4.1	4.0	2.3
石炭	44	93	146	380	694	892	1,068	30	44	45	5.6	4.4	2.2	3.1
石油	33	61	112	217	390	516	633	20	25	27	5.0	4.3	2.5	3.2
天然ガス	1.3	11	23	47	127	197	270	3.5	5.5	11	5.9	7.4	3.8	5.3
原子力	0.8	1.6	4.4	9.9	30	47	63	0.5	1.1	2.7	7.3	8.4	3.7	5.6
水力	4.0	6.2	6.4	12	24	31	38	2.0	1.4	1.6	2.5	5.2	2.4	3.5
地熱	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
太陽光・風力等	-	0.0	0.2	5.8	31	51	74	0.0	0.7	3.1	27.5	12.8	4.4	7.8
バイオマス・廃棄物	116	133	149	192	203	209	210	44	22	8.9	1.4	0.4	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	2016	2030	2040	2050	1990	2016	2050	1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2050	2016/ 2050
	合計	174	243	314	572	971	1,261	1,538	100	100	100	3.4	3.9	2.3
産業	41	67	83	193	364	473	557	27	34	36	4.2	4.7	2.1	3.2
運輸	17	21	32	90	168	234	299	8.5	16	19	5.8	4.6	2.9	3.6
民生・農業他	110	142	172	243	351	440	545	59	43	35	2.1	2.7	2.2	2.4
非エネルギー消費	5.7	13	27	46	88	115	137	5.5	8.1	8.9	4.9	4.7	2.3	3.2
石炭	25	38	33	99	177	222	252	16	17	16	3.7	4.3	1.8	2.8
石油	27	50	94	182	342	461	575	21	32	37	5.1	4.6	2.6	3.4
天然ガス	0.7	5.6	9.7	32	74	105	128	2.3	5.6	8.3	6.9	6.2	2.8	4.1
電力	7.8	18	32	95	219	321	439	7.6	17	29	6.5	6.1	3.5	4.6
熱	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
水素	-	-	-	-	0.0	0.1	0.1	-	-	0.0	n.a.	n.a.	7.0	n.a.
再生可能	114	130	144	164	158	153	144	54	29	9.4	0.9	-0.2	-0.5	-0.4

発電量

	(TWh)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2016	2030	2040	2050	1990	2016	2050	1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2050	2016/ 2050
	合計	120	293	570	1,478	3,285	4,628	6,086	100	100	100	6.4	5.9	3.1
石炭	61	192	390	1,105	2,184	2,936	3,710	65	75	61	7.0	5.0	2.7	3.6
石油	8.8	13	29	23	31	29	18	4.5	1.6	0.3	2.2	2.1	-2.6	-0.7
天然ガス	0.6	10.0	56	71	256	462	744	3.4	4.8	12	7.9	9.6	5.5	7.1
原子力	3.0	6.1	17	38	117	182	241	2.1	2.6	4.0	7.3	8.4	3.7	5.6
水力	47	72	74	138	280	364	448	24	9.3	7.4	2.5	5.2	2.4	3.5
地熱	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
太陽光	-	-	0.0	14	176	307	440	-	1.0	7.2	n.a.	19.7	4.7	10.6
風力	-	0.0	1.7	45	151	228	330	0.0	3.0	5.4	32.1	9.1	4.0	6.0
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	44	86	115	145	-	3.0	2.4	n.a.	5.0	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	2016	2030	2040	2050	1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2050	2016/ 2050
GDP (2010年価格10億ドル)	271	465	800	2,456	6,243	10,407	16,104	6.6	6.9	4.9	5.7
人口(100万人)	697	870	1,053	1,324	1,513	1,605	1,659	1.6	1.0	0.5	0.7
エネルギー起源CO ₂ 排出(100万t)	258	529	885	2,078	3,921	5,180	6,343	5.4	4.6	2.4	3.3
一人あたりGDP (2010年価格1,000ドル/人)	0.4	0.5	0.8	1.9	4.1	6.5	9.7	4.9	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	1.2	1.4	2.4	3.0	1.8	2.3
GDPあたり一次エネルギー消費 ²⁾	739	658	551	351	240	187	146	-2.4	-2.7	-2.4	-2.5
GDPあたりCO ₂ 排出量 ³⁾	953	1,138	1,106	846	628	498	394	-1.1	-2.1	-2.3	-2.2
一次エネルギー消費あたりCO ₂ 排出(t/toe)	1.3	1.7	2.0	2.4	2.6	2.7	2.7	1.3	0.6	0.1	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	2016	2030	2040	2050	1990	2016	2050	1990/2016	2016/2030	2030/2050	2016/2050	
	合計 ¹	345	438	518	426	420	394	367	100	100	100	-0.1	-0.1	-0.7	-0.4
石炭	60	76	97	114	103	99	89	17	27	24	1.6	-0.8	-0.7	-0.7	
石油	234	250	255	177	144	126	110	57	42	30	-1.3	-1.4	-1.4	-1.4	
天然ガス	21	44	66	102	96	91	83	10	24	23	3.3	-0.4	-0.7	-0.6	
原子力	22	53	84	4.7	40	35	34	12	1.1	9.4	-8.9	16.4	-0.7	6.0	
水力	7.6	7.6	7.3	6.8	7.7	7.8	7.9	1.7	1.6	2.1	-0.4	0.9	0.1	0.4	
地熱	0.8	1.6	3.1	2.3	5.2	8.2	11	0.4	0.5	2.9	1.5	5.8	3.6	4.5	
太陽光・風力等	-	1.2	0.8	5.1	7.7	11	14	0.3	1.2	3.8	5.8	2.9	3.0	3.0	
バイオマス・廃棄物	-	4.6	4.9	14	17	18	18	1.0	3.2	4.9	4.4	1.3	0.5	0.8	

最終エネルギー消費

	(Mtoe)								構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2016	2030	2040	2050	1990	2016	2050	1990/2016	2016/2030	2030/2050	2016/2050	
	合計	232	288	331	294	277	261	245	100	100	100	0.1	-0.4	-0.6	-0.5
産業	91	106	97	82	79	77	75	37	28	30	-1.0	-0.3	-0.3	-0.3	
運輸	54	68	86	72	58	51	46	24	24	19	0.2	-1.4	-1.2	-1.3	
民生・農業他	58	78	106	104	104	97	91	27	35	37	1.1	0.0	-0.7	-0.4	
非エネルギー消費	28	36	41	37	36	35	34	12	13	14	0.2	-0.2	-0.4	-0.3	
石炭	25	27	21	21	19	18	17	9.5	7.3	6.8	-0.9	-0.7	-0.8	-0.7	
石油	157	177	202	150	126	112	100	61	51	41	-0.6	-1.2	-1.1	-1.2	
天然ガス	5.8	15	22	32	36	34	33	5.1	11	13	3.0	0.8	-0.4	0.0	
電力	44	65	81	83	89	90	89	23	28	36	1.0	0.5	0.0	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	-1.2	-1.3	-1.3	
水素	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	-	-	0.0	n.a.	n.a.	-1.4	n.a.	
再生可能	-	3.9	3.8	6.7	6.7	6.4	6.1	1.4	2.3	2.5	2.1	0.0	-0.4	-0.3	

発電量

	(TWh)								構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2016	2030	2040	2050	1990	2016	2050	1990/2016	2016/2030	2030/2050	2016/2050	
	合計	573	861	1,058	1,052	1,125	1,130	1,112	100	100	100	0.8	0.5	-0.1	0.2
石炭	55	123	230	349	315	314	295	14	33	26	4.1	-0.7	-0.3	-0.5	
石油	265	248	140	84	47	27	8.2	29	8.0	0.7	-4.1	-4.2	-8.3	-6.6	
天然ガス	81	168	248	406	360	355	330	20	39	30	3.5	-0.9	-0.4	-0.6	
原子力	83	202	322	18	152	133	132	24	1.7	12	-8.9	16.4	-0.7	6.0	
水力	88	88	84	79	89	91	91	10	7.5	8.2	-0.4	0.9	0.1	0.4	
地熱	0.9	1.7	3.3	2.5	5.8	9.4	12	0.2	0.2	1.1	1.4	6.2	3.7	4.7	
太陽光	-	0.1	0.4	51	72	102	131	0.0	4.8	12	29.1	2.5	3.1	2.8	
風力	-	-	0.1	6.0	16	22	31	-	0.6	2.7	n.a.	7.1	3.4	4.9	
太陽熱・海洋	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
バイオマス・廃棄物	-	8.9	10	34	47	55	61	1.0	3.2	5.5	5.2	2.4	1.3	1.8	
水素	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
その他	-	20	20	21	21	21	21	2.3	2.0	1.9	0.3	0.0	0.0	0.0	

エネルギー・経済指標他

	1980	1990	2000	2016	2030	2040	2050	1990/2016	2016/2030	2030/2050	2016/2050
GDP (2010年価格10億ドル)	2,977	4,683	5,349	6,053	6,808	7,353	7,885	1.0	0.8	0.7	0.8
人口(100万人)	117	124	127	127	121	115	108	0.1	-0.4	-0.6	-0.5
エネルギー起源CO ₂ 排出(100万t)	908	1,046	1,145	1,138	984	902	802	0.3	-1.0	-1.0	-1.0
一人あたりGDP (2010年価格1,000ドル/人)	25	38	42	48	56	64	73	0.9	1.2	1.3	1.3
一人あたり一次エネルギー消費(toe/人)	3.0	3.5	4.1	3.4	3.5	3.4	3.4	0.4	-0.2	0.3	-0.1
GDPあたり一次エネルギー消費 ²	116	94	97	70	62	54	46	-1.1	-0.9	-1.4	-1.2
GDPあたりCO ₂ 排出量 ³	305	223	214	188	144	123	102	-0.7	-1.9	-1.7	-1.8
一次エネルギー消費あたりCO ₂ 排出(t/toe)	2.6	2.4	2.2	2.7	2.3	2.3	2.2	0.4	-0.9	-0.3	-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	2016	2030	2040	2050	1990	2016	2050	1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2050	2016/ 2050	
	合計 ¹	41	93	188	282	307	304	287	100	100	100	4.4	0.6	-0.3	0.0
石炭	14	25	42	81	89	88	81	27	29	28	4.6	0.6	-0.4	0.0	
石油	27	50	99	110	113	109	100	54	39	35	3.1	0.2	-0.6	-0.3	
天然ガス	-	2.7	17	41	55	63	67	2.9	15	24	11.0	2.1	1.0	1.5	
原子力	0.9	14	28	42	38	31	23	15	15	8.0	4.4	-0.8	-2.5	-1.8	
水力	0.2	0.5	0.3	0.2	0.3	0.3	0.3	0.6	0.1	0.1	-3.0	2.0	0.0	0.8	
地熱	-	-	-	0.2	0.2	0.2	0.2	-	0.1	0.1	n.a.	1.6	0.4	0.9	
太陽光・風力等	-	0.0	0.0	0.8	2.6	3.9	5.7	0.0	0.3	2.0	18.1	9.2	4.1	6.1	
バイオマス・廃棄物	-	0.7	1.4	6.4	8.7	8.8	8.4	0.8	2.3	2.9	8.7	2.2	-0.2	0.8	

最終エネルギー消費

	(Mtoe)								構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2016	2030	2040	2050	1990	2016	2050	1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2050	2016/ 2050	
	合計	31	65	127	179	196	197	189	100	100	100	4.0	0.7	-0.2	0.2
産業	10	19	38	48	52	52	50	30	27	26	3.6	0.6	-0.2	0.1	
運輸	4.8	15	26	35	37	35	31	22	20	16	3.4	0.4	-0.9	-0.3	
民生・農業他	13	24	37	46	52	53	53	38	26	28	2.5	0.8	0.1	0.4	
非エネルギー消費	3.1	6.7	25	50	55	56	56	10	28	29	8.0	0.7	0.0	0.3	
石炭	9.7	12	9.1	9.4	8.4	7.5	6.4	18	5.3	3.4	-0.8	-0.8	-1.4	-1.1	
石油	19	44	80	94	98	93	86	67	53	46	3.0	0.3	-0.6	-0.2	
天然ガス	-	0.7	11	22	26	27	27	1.0	12	14	14.3	1.4	0.2	0.7	
電力	2.8	8.1	23	44	54	58	60	13	25	32	6.8	1.4	0.6	0.9	
熱	-	-	3.3	4.8	4.8	4.8	4.5	-	2.7	2.4	n.a.	0.1	-0.4	-0.2	
水素	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	-	-	0.0	n.a.	n.a.	2.6	n.a.	
再生可能	-	0.7	1.3	4.4	5.2	5.1	4.7	1.1	2.5	2.5	7.1	1.2	-0.6	0.2	

発電量

	(TWh)								構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2016	2030	2040	2050	1990	2016	2050	1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2050	2016/ 2050	
	合計	37	105	289	559	677	736	761	100	100	100	6.6	1.4	0.6	0.9
石炭	2.5	18	111	235	275	293	288	17	42	38	10.5	1.1	0.2	0.6	
石油	29	19	35	18	16	13	7.9	18	3.2	1.0	-0.2	-0.7	-3.5	-2.4	
天然ガス	-	9.6	29	127	194	248	291	9.1	23	38	10.4	3.1	2.0	2.5	
原子力	3.5	53	109	162	146	117	88	50	29	12	4.4	-0.8	-2.5	-1.8	
水力	2.0	6.4	4.0	2.8	3.7	3.7	3.7	6.0	0.5	0.5	-3.0	2.0	0.0	0.8	
地熱	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
太陽光	-	0.0	0.0	5.1	22	32	45	0.0	0.9	5.9	38.9	10.8	3.7	6.6	
風力	-	-	0.0	1.7	4.9	8.3	14	-	0.3	1.8	n.a.	8.0	5.2	6.4	
太陽熱・海洋	-	-	-	0.5	3.2	4.7	8.0	-	0.1	1.1	n.a.	14.2	4.7	8.5	
バイオマス・廃棄物	-	-	0.1	6.4	12	13	14	-	1.1	1.9	n.a.	4.5	0.9	2.4	
水素	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
その他	-	-	-	1.3	1.3	1.3	1.3	-	0.2	0.2	n.a.	0.0	0.0	0.0	

エネルギー・経済指標他

	1980	1990	2000	2016	2030	2040	2050	1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2050	2016/ 2050
GDP (2010年価格10億ドル)	141	363	710	1,305	1,873	2,278	2,624	5.0	2.6	1.7	2.1
人口(100万人)	38	43	47	51	53	53	51	0.7	0.3	-0.2	0.0
エネルギー起源CO ₂ 排出(100万t)	112	215	414	601	659	660	621	4.0	0.7	-0.3	0.1
一人あたりGDP (2010年価格1,000ドル/人)	3.7	8.5	15	25	35	43	52	4.3	2.3	1.9	2.1
一人あたり一次エネルギー消費(toe/人)	1.1	2.2	4.0	5.5	5.8	5.8	5.6	3.7	0.3	-0.1	0.1
GDPあたり一次エネルギー消費 ²	292	256	265	216	164	134	109	-0.6	-2.0	-2.0	-2.0
GDPあたりCO ₂ 排出量 ³	793	593	583	461	352	290	237	-1.0	-1.9	-2.0	-1.9
一次エネルギー消費あたりCO ₂ 排出(t/toe)	2.7	2.3	2.2	2.1	2.1	2.2	2.2	-0.3	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

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	2016	2030	2040	2050	1990	2016	2050	1990/2016	2016/2030	2030/2050	2016/2050	
	合計 ¹	28	48	85	110	111	110	105	100	100	100	3.3	0.1	-0.3	-0.1
石炭	3.9	11	30	41	42	39	33	24	37	32	5.0	0.2	-1.2	-0.6	
石油	20	26	38	43	41	39	36	54	39	35	2.0	-0.2	-0.7	-0.5	
天然ガス	1.6	1.4	5.6	15	22	25	28	2.9	14	27	9.7	2.6	1.1	1.7	
原子力	2.1	8.6	10	8.2	-	-	-	18	7.5	-	-0.1	-100	n.a.	-100	
水力	0.3	0.5	0.4	0.6	0.4	0.4	0.4	1.1	0.5	0.4	0.1	-2.2	0.0	-0.9	
地熱	-	0.0	-	-	-	-	-	0.0	-	-	-100	n.a.	n.a.	n.a.	
太陽光・風力等	-	0.0	0.1	0.3	1.3	2.2	3.1	0.0	0.3	3.0	11.8	10.6	4.3	6.8	
バイオマス・廃棄物	-	-	0.6	1.5	3.3	3.7	3.7	-	1.4	3.5	n.a.	6.0	0.5	2.7	

最終エネルギー消費

	(Mtoe)								構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2016	2030	2040	2050	1990	2016	2050	1990/2016	2016/2030	2030/2050	2016/2050	
	合計	19	29	49	70	72	72	71	100	100	100	3.4	0.2	-0.1	0.0
産業	10	12	19	23	24	24	24	42	33	33	2.5	0.2	-0.1	0.0	
運輸	2.9	6.6	12	13	12	11	8.9	22	18	13	2.6	-0.5	-1.5	-1.1	
民生・農業他	3.6	6.5	10	12	14	14	15	22	17	21	2.5	0.7	0.6	0.6	
非エネルギー消費	2.0	4.0	7.8	22	23	23	23	14	31	33	6.8	0.3	0.1	0.2	
石炭	2.2	3.6	5.0	8.5	8.1	7.5	6.8	12	12	9.6	3.4	-0.4	-0.8	-0.7	
石油	12	18	28	38	37	35	33	62	54	46	2.9	-0.2	-0.6	-0.4	
天然ガス	1.4	0.9	1.6	3.0	3.9	4.2	4.2	3.0	4.3	5.9	4.9	1.9	0.3	1.0	
電力	3.2	6.6	14	20	23	25	26	22	29	37	4.4	0.9	0.7	0.8	
熱	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
水素	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	-	-	0.0	n.a.	n.a.	0.5	n.a.	
再生可能	-	0.0	0.1	0.2	0.4	0.5	0.5	0.1	0.3	0.7	9.8	4.4	1.8	2.8	

発電量

	(TWh)								構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2016	2030	2040	2050	1990	2016	2050	1990/2016	2016/2030	2030/2050	2016/2050	
	合計	43	88	181	261	295	319	338	100	100	100	4.2	0.9	0.7	0.8
石炭	6.0	24	88	122	134	128	118	28	47	35	6.4	0.7	-0.6	-0.1	
石油	26	23	30	11	11	8.5	6.1	26	4.3	1.8	-2.8	-0.5	-2.7	-1.8	
天然ガス	-	1.2	17	83	124	146	166	1.4	32	49	17.5	2.9	1.5	2.0	
原子力	8.2	33	39	32	-	-	-	37	12	-	-0.1	-100	n.a.	-100	
水力	2.9	6.4	4.6	6.6	4.8	4.8	4.8	7.2	2.5	1.4	0.1	-2.2	0.0	-0.9	
地熱	-	0.0	-	-	-	-	-	0.0	-	-	-100	n.a.	n.a.	n.a.	
太陽光	-	-	-	1.1	6.1	10	14	-	0.4	4.3	n.a.	12.7	4.4	7.8	
風力	-	-	0.0	1.5	8.3	14	20	-	0.6	5.9	n.a.	13.2	4.5	8.0	
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	-	1.4	2.6	n.a.	5.4	0.9	2.7	
水素	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
その他	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	

エネルギー・経済指標他

	1980	1990	2000	2016	2030	2040	2050	1990/2016	2016/2030	2030/2050	2016/2050
GDP (2010年価格10億ドル)	70	155	297	514	684	814	929	4.7	2.1	1.5	1.8
人口(100万人)	18	20	22	24	24	24	23	0.6	0.2	-0.3	-0.1
エネルギー起源CO ₂ 排出(100万t)	71	110	214	261	276	263	239	3.4	0.4	-0.7	-0.3
一人あたりGDP (2010年価格1,000ドル/人)	3.9	7.6	13	22	28	34	41	4.1	1.9	1.8	1.9
一人あたり一次エネルギー消費(toe/人)	1.6	2.3	3.8	4.7	4.6	4.6	4.6	2.7	-0.1	0.0	0.0
GDPあたり一次エネルギー消費 ²	396	308	286	213	162	135	112	-1.4	-1.9	-1.8	-1.9
GDPあたりCO ₂ 排出量 ³	1,008	706	722	508	404	323	257	-1.3	-1.6	-2.2	-2.0
一次エネルギー消費あたりCO ₂ 排出(t/toe)	2.5	2.3	2.5	2.4	2.5	2.4	2.3	0.1	0.3	-0.4	-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	2016	2030	2040	2050	1990	2016	2050	1990/2016	2016/2030	2030/2050	2016/2050
	合計 ¹	142	233	379	643	1,011	1,270	1,514	100	100	100	4.0	3.3	2.0
石炭	3.6	13	32	120	233	316	395	5.4	19	26	9.1	4.8	2.7	3.6
石油	58	89	153	220	314	386	461	38	34	30	3.6	2.6	1.9	2.2
天然ガス	8.6	30	74	139	225	285	339	13	22	22	6.1	3.5	2.1	2.7
原子力	-	-	-	-	-	12	21	-	-	1.4	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
水力	0.8	2.3	4.1	11	18	20	22	1.0	1.7	1.5	6.1	3.5	1.1	2.1
地熱	1.8	6.6	18	28	75	96	117	2.8	4.3	7.8	5.7	7.3	2.3	4.3
太陽光・風力等	-	-	-	0.6	3.8	8.1	13	-	0.1	0.9	n.a.	14.8	6.3	9.8
バイオマス・廃棄物	70	93	98	123	140	144	141	40	19	9.3	1.1	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	2016	2030	2040	2050	1990	2016	2050	1990/2016	2016/2030	2030/2050	2016/2050
	合計	112	173	270	451	659	812	960	100	100	100	3.7	2.7	1.9
産業	22	43	75	129	208	267	317	25	29	33	4.3	3.5	2.1	2.7
運輸	17	32	61	122	176	220	273	19	27	28	5.2	2.7	2.2	2.4
民生・農業他	71	87	113	148	199	230	257	50	33	27	2.1	2.1	1.3	1.6
非エネルギー消費	2.4	11	21	52	76	95	114	6.3	12	12	6.2	2.7	2.1	2.3
石炭	2.1	6.1	13	35	53	64	72	3.5	7.8	7.5	7.0	3.0	1.6	2.1
石油	41	67	123	204	292	362	435	38	45	45	4.4	2.6	2.0	2.3
天然ガス	2.5	7.5	17	37	66	85	100	4.4	8.2	10	6.3	4.2	2.1	3.0
電力	4.7	11	28	73	139	194	253	6.4	16	26	7.5	4.7	3.1	3.7
熱	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
水素	-	-	-	-	0.0	0.0	0.1	-	-	0.0	n.a.	n.a.	5.8	n.a.
再生可能	61	82	89	102	109	107	99	47	23	10	0.8	0.5	-0.5	-0.1

発電量

	(TWh)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2016	2030	2040	2050	1990	2016	2050	1990/2016	2016/2030	2030/2050	2016/2050
	合計	62	154	370	926	1,780	2,493	3,251	100	100	100	7.1	4.8	3.1
石炭	3.0	28	79	339	785	1,157	1,566	18	37	48	10.1	6.2	3.5	4.6
石油	47	66	72	25	23	22	14	43	2.7	0.4	-3.7	-0.5	-2.4	-1.6
天然ガス	0.7	26	154	383	617	808	1,019	17	41	31	10.9	3.5	2.5	2.9
原子力	-	-	-	-	-	44	81	-	-	2.5	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
水力	9.8	27	47	128	208	238	259	18	14	8.0	6.1	3.5	1.1	2.1
地熱	2.1	6.6	16	22	54	67	81	4.3	2.3	2.5	4.7	6.7	2.1	3.9
太陽光	-	-	-	4.9	38	83	136	-	0.5	4.2	n.a.	15.7	6.6	10.2
風力	-	-	-	1.5	6.3	11	16	-	0.2	0.5	n.a.	10.7	4.8	7.2
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	23	47	63	78	0.4	2.5	2.4	15.1	5.3	2.5	3.7
水素	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
その他	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.

エネルギー・経済指標他

	1980	1990	2000	2016	2030	2040	2050	1990/2016	2016/2030	2030/2050	2016/2050
GDP (2010年価格10億ドル)	440	741	1,180	2,607	5,042	7,503	10,546	5.0	4.8	3.8	4.2
人口(100万人)	346	430	506	618	700	740	765	1.4	0.9	0.4	0.6
エネルギー起源CO ₂ 排出(100万t)	188	348	676	1,298	2,158	2,793	3,403	5.2	3.7	2.3	2.9
一人あたりGDP (2010年価格1,000ドル/人)	1.3	1.7	2.3	4.2	7.2	10	14	3.5	3.9	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	1.0	1.4	1.7	2.0	2.5	2.4	1.6	1.9
GDPあたり一次エネルギー消費 ²	323	314	322	247	201	169	144	-0.9	-1.5	-1.7	-1.6
GDPあたりCO ₂ 排出量 ³	426	469	573	498	428	372	323	0.2	-1.1	-1.4	-1.3
一次エネルギー消費あたりCO ₂ 排出(t/toe)	1.3	1.5	1.8	2.0	2.1	2.2	2.2	1.2	0.4	0.3	0.3

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

*2 toe/2010年価格100万ドル。*3 t/2010年価格100万ドル

付表

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	2016	2030	2040	2050	1990	2016	2050	1990/2016	2016/2030	2030/2050	2016/2050	
	合計 ¹	56	99	156	230	390	497	591	100	100	100	3.3	3.8	2.1	2.8
石炭	0.2	3.5	12	43	88	124	158	3.6	19	27	10.1	5.2	3.0	3.9	
石油	20	33	58	70	104	127	147	34	31	25	2.9	2.8	1.8	2.2	
天然ガス	5.0	16	27	39	77	108	134	16	17	23	3.5	5.0	2.8	3.7	
原子力	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
水力	0.1	0.5	0.9	1.7	1.7	1.8	2.0	0.5	0.7	0.3	4.8	-0.1	1.0	0.6	
地熱	-	1.9	8.4	18	58	76	96	2.0	8.0	16	9.0	8.6	2.6	5.0	
太陽光・風力等	-	-	-	0.0	0.0	0.1	0.2	-	0.0	0.0	n.a.	24.2	8.0	14.4	
バイオマス・廃棄物	30	44	50	58	62	59	54	44	25	9.1	1.1	0.5	-0.7	-0.2	

最終エネルギー消費

	(Mtoe)								構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2016	2030	2040	2050	1990	2016	2050	1990/2016	2016/2030	2030/2050	2016/2050	
	合計	50	80	120	165	241	295	342	100	100	100	2.8	2.8	1.8	2.2
産業	6.7	18	30	39	65	85	103	23	24	30	3.0	3.7	2.4	2.9	
運輸	6.0	11	21	47	70	89	109	13	29	32	5.9	2.9	2.2	2.5	
民生・農業他	36	44	59	71	95	106	114	55	43	33	1.9	2.1	0.9	1.4	
非エネルギー消費	1.2	7.4	9.8	7.4	11	14	16	9.2	4.5	4.8	0.0	3.1	1.9	2.4	
石炭	0.1	2.3	4.7	9.5	15	19	23	2.8	5.8	6.8	5.7	3.3	2.2	2.7	
石油	17	27	48	67	98	121	142	34	41	41	3.5	2.8	1.8	2.2	
天然ガス	2.4	6.0	12	13	28	40	48	7.5	8.2	14	3.2	5.4	2.7	3.8	
電力	0.6	2.4	6.8	19	39	58	78	3.0	11	23	8.1	5.5	3.5	4.3	
熱	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
水素	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	-	-	0.0	n.a.	n.a.	5.4	n.a.	
再生可能	29	42	49	56	60	57	52	53	34	15	1.1	0.5	-0.7	-0.2	

発電量

	(TWh)								構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2016	2030	2040	2050	1990	2016	2050	1990/2016	2016/2030	2030/2050	2016/2050	
	合計	7.5	33	93	249	525	773	1,026	100	100	100	8.1	5.5	3.4	4.3
石炭	-	9.8	34	135	309	465	627	30	54	61	10.6	6.1	3.6	4.6	
石油	6.2	15	18	16	14	14	9.4	47	6.3	0.9	0.1	-0.8	-2.0	-1.5	
天然ガス	-	0.7	26	66	146	222	302	2.2	26	29	18.9	5.9	3.7	4.6	
原子力	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
水力	1.3	5.7	10	19	19	21	24	17	7.8	2.3	4.8	-0.1	1.0	0.6	
地熱	-	1.1	4.9	11	34	44	56	3.4	4.3	5.4	9.0	8.6	2.6	5.0	
太陽光	-	-	-	0.0	0.5	1.5	2.5	-	0.0	0.2	n.a.	26.0	8.0	15.1	
風力	-	-	-	0.0	0.0	0.1	0.1	-	0.0	0.0	n.a.	11.6	6.4	8.5	
太陽熱・海洋	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
バイオマス・廃棄物	-	-	0.0	1.8	3.4	4.6	5.8	-	0.7	0.6	n.a.	4.7	2.6	3.5	
水素	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
その他	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	

エネルギー・経済指標他

	1980	1990	2000	2016	2030	2040	2050	1990/2016	2016/2030	2030/2050	2016/2050
GDP (2010年価格10億ドル)	182	310	453	1,038	2,138	3,351	4,849	4.8	5.3	4.2	4.6
人口(100万人)	147	181	212	261	296	313	322	1.4	0.9	0.4	0.6
エネルギー起源CO ₂ 排出(100万t)	64	133	255	455	811	1,089	1,339	4.8	4.2	2.5	3.2
一人あたりGDP (2010年価格1,000ドル/人)	1.2	1.7	2.1	4.0	7.2	11	15	3.3	4.4	3.7	4.0
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	1.6	1.8	1.9	2.9	1.7	2.2
GDPあたり一次エネルギー消費 ²	307	318	343	222	182	148	122	-1.4	-1.4	-2.0	-1.7
GDPあたりCO ₂ 排出量 ³	352	431	563	439	379	325	276	0.1	-1.0	-1.6	-1.4
一次エネルギー消費あたりCO ₂ 排出(t/toe)	1.1	1.4	1.6	2.0	2.1	2.2	2.3	1.5	0.4	0.4	0.4

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

*2 toe/2010年価格100万ドル。*3 t/2010年価格100万ドル

付表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	2016	2030	2040	2050	1990	2016	2050	1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2050	2016/ 2050	
	合計 ¹	12	22	49	89	125	146	161	100	100	100	5.5	2.4	1.3	1.8
石炭	0.1	1.4	2.3	19	33	39	43	6.2	21	27	10.6	4.2	1.3	2.5	
石油	7.9	11	19	31	37	40	42	53	35	26	3.9	1.3	0.6	0.9	
天然ガス	2.2	6.8	25	36	49	57	66	31	40	41	6.6	2.3	1.5	1.8	
原子力	-	-	-	-	-	3.7	3.7	-	-	2.3	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
水力	0.1	0.3	0.6	1.7	2.4	2.8	3.1	1.6	1.9	1.9	6.4	2.4	1.3	1.7	
地熱	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
太陽光・風力等	-	-	-	0.0	0.2	0.4	0.6	-	0.0	0.3	n.a.	14.9	5.7	9.4	
バイオマス・廃棄物	1.6	1.9	1.9	1.9	2.6	2.9	3.2	8.5	2.2	2.0	0.2	2.2	0.9	1.4	

最終エネルギー消費

	(Mtoe)								構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2016	2030	2040	2050	1990	2016	2050	1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2050	2016/ 2050	
	合計	7.2	14	30	56	76	87	96	100	100	100	5.5	2.2	1.2	1.6
産業	3.1	5.6	12	16	26	32	37	40	29	38	4.2	3.4	1.7	2.4	
運輸	2.1	4.9	11	22	24	25	25	35	39	26	5.9	0.8	0.2	0.4	
民生・農業他	1.7	2.6	5.0	9.3	13	15	17	19	17	18	5.0	2.3	1.6	1.9	
非エネルギー消費	0.3	0.8	2.2	8.7	12	15	17	6.0	16	18	9.4	2.5	1.6	2.0	
石炭	0.1	0.5	1.0	1.8	2.4	2.8	3.0	3.7	3.2	3.1	4.9	2.2	1.1	1.5	
石油	5.3	9.3	18	28	34	36	38	67	50	40	4.4	1.3	0.6	0.9	
天然ガス	0.0	1.1	3.9	12	18	21	23	7.9	22	24	9.8	2.8	1.2	1.8	
電力	0.7	1.7	5.3	12	20	26	31	12	22	32	7.9	3.5	2.2	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.	3.5	n.a.	
再生可能	1.0	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.1	9.1	2.2	1.2	-0.1	-0.4	-0.2	-0.3	

発電量

	(TWh)								構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2016	2030	2040	2050	1990	2016	2050	1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2050	2016/ 2050	
	合計	10	23	69	157	257	330	398	100	100	100	7.7	3.6	2.2	2.8
石炭	-	2.9	7.7	69	141	173	198	13	44	50	12.9	5.2	1.7	3.1	
石油	8.5	11	3.6	1.2	1.1	0.7	-	46	0.8	-	-8.1	-0.3	-100	-100	
天然ガス	0.1	5.5	51	65	82	101	138	24	42	35	9.9	1.7	2.6	2.2	
原子力	-	-	-	-	-	14	14	-	-	3.5	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
水力	1.4	4.0	7.0	20	28	32	36	17	13	9.1	6.4	2.4	1.3	1.7	
地熱	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
太陽光	-	-	-	0.3	2.2	4.3	6.5	-	0.2	1.6	n.a.	14.9	5.7	9.4	
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	1.4	n.a.	11.3	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	2016	2030	2040	2050	1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2050	2016/ 2050
GDP (2010年価格10億ドル)	46	82	163	344	646	917	1,236	5.7	4.6	3.3	3.8
人口(100万人)	14	18	23	31	37	40	42	2.1	1.2	0.6	0.9
エネルギー起源CO ₂ 排出(100万t)	28	54	115	223	318	362	394	5.6	2.6	1.1	1.7
一人あたりGDP (2010年価格1,000ドル/人)	3.3	4.5	7.0	11	18	23	30	3.5	3.4	2.7	2.9
一人あたり一次エネルギー消費(toe/人)	0.9	1.2	2.1	2.9	3.4	3.7	3.9	3.3	1.2	0.7	0.9
GDPあたり一次エネルギー消費 ²	260	267	301	258	193	159	130	-0.1	-2.1	-1.9	-2.0
GDPあたりCO ₂ 排出量 ³	608	658	708	647	493	394	319	-0.1	-1.9	-2.1	-2.1
一次エネルギー消費あたりCO ₂ 排出(t/toe)	2.3	2.5	2.4	2.5	2.6	2.5	2.4	0.1	0.1	-0.2	-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

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	2016	2030	2040	2050	1990	2016	2050	1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2050	2016/ 2050	
合計 ¹	9.4	11	13	19	29	38	47	100	100	100	2.3	3.0	2.3	2.6	
石炭	0.2	0.1	0.3	0.4	3.6	6.5	10	0.6	2.0	22	6.9	17.5	5.4	10.2	
石油	1.3	0.7	2.0	4.4	8.5	12	15	6.8	23	32	7.2	4.9	2.8	3.7	
天然ガス	0.3	0.8	1.2	3.5	5.2	7.6	10	7.1	18	22	6.1	2.7	3.5	3.2	
原子力	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
水力	0.1	0.1	0.2	0.8	3.2	4.2	5.1	1.0	4.3	11	8.4	9.9	2.4	5.4	
地熱	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
太陽光・風力等	-	-	-	-	0.1	0.1	0.2	-	-	0.5	n.a.	n.a.	6.8	n.a.	
バイオマス・廃棄物	7.6	9.0	9.2	10	10	9.8	8.7	84	53	19	0.5	0.1	-0.8	-0.5	

最終エネルギー消費

	(Mtoe)								構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2016	2030	2040	2050	1990	2016	2050	1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2050	2016/ 2050	
合計	8.4	9.4	11	16	24	29	35	100	100	100	2.2	2.7	1.9	2.2	
産業	0.6	0.4	1.1	1.8	3.8	5.5	6.9	4.2	11	20	5.9	5.7	3.0	4.1	
運輸	0.6	0.4	1.2	1.5	3.7	5.4	7.5	4.7	9.3	21	4.9	6.5	3.6	4.8	
民生・農業他	7.0	8.5	9.1	13	15	17	19	90	77	55	1.6	1.4	1.1	1.2	
非エネルギー消費	0.1	0.1	0.1	0.6	0.9	1.2	1.5	1.0	3.4	4.3	7.1	3.8	2.4	3.0	
石炭	0.1	0.1	0.3	0.4	0.7	0.9	1.1	0.5	2.3	3.1	7.9	4.3	2.4	3.2	
石油	1.2	0.6	1.5	4.1	8.2	11	15	6.2	25	42	7.8	5.0	2.9	3.8	
天然ガス	0.1	0.2	0.3	0.6	1.0	1.3	1.7	2.4	3.4	4.7	3.5	4.0	2.8	3.3	
電力	0.1	0.1	0.3	1.3	3.9	6.2	9.1	1.6	8.0	26	8.7	8.0	4.4	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.	6.0	n.a.	
再生可能	6.9	8.4	9.0	10	10	9.7	8.6	89	61	25	0.7	0.1	-0.8	-0.5	

発電量

	(TWh)								構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2016	2030	2040	2050	1990	2016	2050	1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2050	2016/ 2050	
合計	1.5	2.5	5.1	18	72	112	160	100	100	100	7.9	10.5	4.1	6.7	
石炭	0.0	0.0	-	0.0	15	29	52	1.6	0.1	32	-5.2	68.4	6.5	28.6	
石油	0.5	0.3	0.7	0.1	0.2	0.2	0.2	11	0.3	0.1	-5.6	7.9	-0.5	2.8	
天然ガス	0.2	1.0	2.5	8.1	20	32	47	39	45	29	8.5	6.6	4.4	5.3	
原子力	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
水力	0.8	1.2	1.9	9.7	37	49	59	48	55	37	8.4	9.9	2.4	5.4	
地熱	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
太陽光	-	-	-	-	0.3	0.8	1.8	-	-	1.1	n.a.	n.a.	10.1	n.a.	
風力	-	-	-	-	0.5	0.7	1.0	-	-	0.6	n.a.	n.a.	3.7	n.a.	
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	2016	2030	2040	2050	1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2050	2016/ 2050
GDP (2010年価格10億ドル)	5.9	6.7	13	62	150	246	375	9.0	6.5	4.7	5.4
人口(100万人)	33	41	46	53	59	61	62	1.0	0.8	0.3	0.5
エネルギー起源CO ₂ 排出(100万t)	5.1	4.0	9.4	21	49	75	106	6.6	6.3	3.9	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	2.5	4.0	6.0	7.9	5.6	4.4	4.9
一人あたり一次エネルギー消費(toe/人)	0.3	0.3	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	1.3	2.2	2.1	2.1
GDPあたり一次エネルギー消費 ²	1,597	1,594	960	310	196	153	124	-6.1	-3.2	-2.2	-2.7
GDPあたりCO ₂ 排出量 ³	868	597	705	336	328	305	283	-2.2	-0.2	-0.7	-0.5
一次エネルギー消費あたりCO ₂ 排出(t/toe)	0.5	0.4	0.7	1.1	1.7	2.0	2.3	4.2	3.2	1.5	2.2

*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	2016	2030	2040	2050	1990	2016	2050	1990/2016	2016/2030	2030/2050	2016/2050	
	合計 ¹	22	29	40	55	97	127	161	100	100	100	2.5	4.2	2.5	3.2
石炭	0.5	1.5	5.2	14	25	33	40	5.3	26	25	9.0	4.1	2.4	3.1	
石油	10	11	16	19	36	51	69	38	34	43	2.1	4.9	3.3	4.0	
天然ガス	-	-	0.0	3.3	7.6	12	16	-	6.0	10	n.a.	6.2	3.9	4.8	
原子力	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
水力	0.3	0.5	0.7	0.7	0.9	0.9	1.0	1.8	1.3	0.6	1.1	2.1	0.1	0.9	
地熱	1.8	4.7	10	9.5	17	19	21	16	17	13	2.8	4.3	1.1	2.4	
太陽光・風力等	-	-	-	0.2	0.6	1.2	2.0	-	0.3	1.2	n.a.	9.0	6.3	7.4	
バイオマス・廃棄物	9.4	11	8.1	8.3	9.6	10	10	39	15	6.4	-1.1	1.1	0.4	0.7	

最終エネルギー消費

	(Mtoe)								構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2016	2030	2040	2050	1990	2016	2050	1990/2016	2016/2030	2030/2050	2016/2050	
	合計	16	20	24	32	59	81	108	100	100	100	1.8	4.5	3.1	3.7
産業	3.4	4.7	5.3	7.6	14	18	23	24	24	21	1.9	4.2	2.7	3.3	
運輸	3.3	4.5	8.1	11	26	38	53	23	36	50	3.6	5.9	3.7	4.6	
民生・農業他	9.4	10	10	11	17	22	26	52	36	24	0.4	3.1	2.0	2.4	
非エネルギー消費	0.3	0.2	0.3	1.1	2.2	3.5	5.6	1.2	3.6	5.2	6.3	4.9	4.8	4.8	
石炭	0.2	0.6	0.8	2.8	4.7	5.9	7.0	3.1	9.0	6.5	6.1	3.7	2.0	2.7	
石油	6.8	8.1	13	17	34	49	67	41	52	62	2.8	5.3	3.4	4.2	
天然ガス	-	-	-	0.1	0.1	0.2	0.2	-	0.2	0.2	n.a.	4.9	2.8	3.7	
電力	1.5	1.8	3.1	6.4	13	19	26	9.3	20	24	4.9	5.3	3.5	4.2	
熱	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
水素	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	-	-	0.0	n.a.	n.a.	6.0	n.a.	
再生可能	7.8	9.1	6.9	5.8	7.0	7.3	7.5	46	18	7.0	-1.7	1.4	0.4	0.8	

発電量

	(TWh)								構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2016	2030	2040	2050	1990	2016	2050	1990/2016	2016/2030	2030/2050	2016/2050	
	合計	18	26	45	91	184	260	351	100	100	100	4.9	5.2	3.3	4.1
石炭	0.2	1.9	17	43	92	130	175	7.3	48	50	12.7	5.5	3.3	4.2	
石油	12	12	9.2	5.7	4.6	3.6	0.7	47	6.2	0.2	-3.0	-1.4	-9.3	-6.1	
天然ガス	-	-	0.0	20	48	76	114	-	22	32	n.a.	6.5	4.4	5.3	
原子力	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
水力	3.5	6.1	7.8	8.1	11	11	11	23	8.9	3.2	1.1	2.1	0.1	0.9	
地熱	2.1	5.5	12	11	20	23	25	21	12	7.1	2.8	4.3	1.1	2.4	
太陽光	-	-	-	1.1	3.6	8.7	15	-	1.2	4.3	n.a.	8.8	7.5	8.0	
風力	-	-	-	1.0	3.4	5.3	8.1	-	1.1	2.3	n.a.	9.2	4.5	6.4	
太陽熱・海洋	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
バイオマス・廃棄物	-	0.4	-	0.7	1.3	1.8	2.2	1.6	0.8	0.6	2.0	4.4	2.6	3.4	
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	2016	2030	2040	2050	1990/2016	2016/2030	2030/2050	2016/2050
GDP (2010年価格10億ドル)	80	95	125	284	620	915	1,305	4.3	5.7	3.8	4.6
人口(100万人)	47	62	78	103	125	139	151	2.0	1.4	0.9	1.1
エネルギー起源CO ₂ 排出(100万t)	31	36	67	115	218	297	386	4.5	4.7	2.9	3.6
一人あたりGDP (2010年価格1,000ドル/人)	1.7	1.5	1.6	2.8	4.9	6.6	8.6	2.3	4.3	2.8	3.4
一人あたり一次エネルギー消費(toe/人)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.8	0.9	1.1	0.5	2.8	1.6	2.1
GDPあたり一次エネルギー消費 ²	280	304	319	193	157	139	123	-1.7	-1.4	-1.2	-1.3
GDPあたりCO ₂ 排出量 ³	393	383	533	404	352	324	296	0.2	-1.0	-0.9	-0.9
一次エネルギー消費あたりCO ₂ 排出(t/toe)	1.4	1.3	1.7	2.1	2.2	2.3	2.4	2.0	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	2016	2030	2040	2050	1990	2016	2050	1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2050	2016/ 2050
合計 ¹	22	42	72	139	182	215	246	100	100	100	4.7	2.0	1.5	1.7
石炭	0.5	3.8	7.7	15	20	23	25	9.1	11	10	5.5	2.0	1.0	1.4
石油	11	18	32	55	67	78	88	43	40	36	4.4	1.4	1.4	1.4
天然ガス	-	5.0	17	37	49	54	58	12	27	24	8.0	2.0	0.9	1.4
原子力	-	-	-	-	-	3.7	8.8	-	-	3.6	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
水力	0.1	0.4	0.5	0.6	0.6	0.7	0.7	1.0	0.4	0.3	1.3	0.5	0.1	0.3
地熱	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.1	1.1	5.1
太陽光・風力等	-	-	-	0.3	2.7	5.7	9.1	-	0.2	3.7	n.a.	16.3	6.3	10.4
バイオマス・廃棄物	11	15	15	28	39	46	51	35	20	21	2.5	2.3	1.3	1.8

最終エネルギー消費

	(Mtoe)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2016	2030	2040	2050	1990	2016	2050	1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2050	2016/ 2050
合計	15	29	51	98	125	147	168	100	100	100	4.8	1.8	1.5	1.6
産業	4.0	8.7	17	31	41	50	57	30	32	34	5.1	2.0	1.6	1.8
運輸	3.2	9.0	15	25	29	31	33	31	26	20	4.0	1.0	0.7	0.8
民生・農業他	7.8	11	14	18	22	26	29	37	18	17	2.0	1.5	1.3	1.4
非エネルギー消費	0.2	0.4	5.6	23	32	40	49	1.5	23	29	16.5	2.5	2.1	2.3
石炭	0.1	1.3	3.5	6.1	6.2	6.5	6.9	4.5	6.2	4.1	6.1	0.2	0.5	0.4
石油	7.3	15	29	54	65	75	85	52	55	51	5.1	1.4	1.3	1.4
天然ガス	-	0.1	1.1	7.2	12	15	19	0.5	7.4	11	16.4	3.7	2.3	2.8
電力	1.1	3.3	7.6	17	25	32	38	11	17	23	6.4	3.0	2.1	2.5
熱	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
水素	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	-	-	0.0	n.a.	n.a.	4.7	n.a.
再生可能	6.7	9.2	9.4	14	16	18	19	32	14	11	1.6	1.3	0.8	1.0

発電量

	(TWh)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2016	2030	2040	2050	1990	2016	2050	1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2050	2016/ 2050
合計	14	44	96	191	273	342	413	100	100	100	5.8	2.6	2.1	2.3
石炭	1.4	11	18	37	60	74	84	25	19	20	4.7	3.5	1.7	2.5
石油	12	10	10	0.6	0.1	-	-	23	0.3	-	-10.6	-15.6	-100	-100
天然ガス	-	18	62	125	139	134	122	40	65	30	7.8	0.8	-0.6	-0.1
原子力	-	-	-	-	-	14	34	-	-	8.1	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
水力	1.3	5.0	6.0	7.0	7.5	7.6	7.7	11	3.6	1.9	1.3	0.5	0.1	0.3
地熱	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.1	1.1	5.1
太陽光	-	-	-	3.4	30	63	102	-	1.8	25	n.a.	16.8	6.4	10.5
風力	-	-	-	0.3	1.1	1.9	2.7	-	0.2	0.7	n.a.	8.8	4.5	6.3
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	18	36	48	60	-	9.6	15	n.a.	4.9	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	2016	2030	2040	2050	1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2050	2016/ 2050
GDP (2010年価格10億ドル)	67	142	218	406	669	921	1,204	4.1	3.6	3.0	3.2
人口(100万人)	47	57	63	69	70	68	65	0.8	0.1	-0.3	-0.2
エネルギー起源CO ₂ 排出(100万t)	31	78	147	245	300	332	355	4.5	1.5	0.8	1.1
一人あたりGDP (2010年価格1,000ドル/人)	1.4	2.5	3.5	5.9	9.6	13	18	3.4	3.5	3.3	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	2.6	3.1	3.8	3.9	1.9	1.8	1.9
GDPあたり一次エネルギー消費 ²	331	296	332	341	272	233	204	0.5	-1.6	-1.4	-1.5
GDPあたりCO ₂ 排出量 ³	468	548	675	603	449	361	295	0.4	-2.1	-2.1	-2.1
一次エネルギー消費あたりCO ₂ 排出(t/toe)	1.4	1.8	2.0	1.8	1.6	1.5	1.4	-0.2	-0.5	-0.7	-0.6

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

*2 toe/2010年価格100万ドル。*3 t/2010年価格100万ドル

付表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	2016	2030	2040	2050	1990	2016	2050	1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2050	2016/ 2050	
	合計 ¹	14	18	29	81	150	207	266	100	100	100	6.0	4.5	2.9	3.6
石炭	2.3	2.2	4.4	28	62	90	118	12	34	44	10.2	5.9	3.3	4.4	
石油	1.8	2.7	7.8	22	39	54	73	15	28	28	8.5	4.0	3.2	3.5	
天然ガス	-	0.0	1.1	9.5	24	34	42	0.0	12	16	36.9	6.9	2.8	4.5	
原子力	-	-	-	-	-	4.2	8.6	-	-	3.2	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
水力	0.1	0.5	1.3	5.5	9.1	10	11	2.6	6.8	3.9	10.0	3.7	0.7	1.9	
地熱	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
太陽光・風力等	-	-	-	0.0	0.2	0.4	0.8	-	0.0	0.3	n.a.	20.3	6.1	11.7	
バイオマス・廃棄物	10	12	14	16	16	14	12	70	19	4.5	0.9	-0.1	-1.3	-0.8	

最終エネルギー消費

	(Mtoe)								構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2016	2030	2040	2050	1990	2016	2050	1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2050	2016/ 2050	
	合計	13	16	25	65	110	146	183	100	100	100	5.5	3.9	2.6	3.1
産業	3.8	4.5	7.9	27	51	68	82	28	41	45	7.0	4.7	2.4	3.4	
運輸	0.6	1.4	3.5	12	21	30	43	8.6	19	23	8.8	3.8	3.7	3.8	
民生・農業他	8.6	10	14	23	33	40	48	63	35	26	3.1	2.7	1.9	2.2	
非エネルギー消費	0.0	0.0	0.1	3.6	6.2	8.3	11	0.2	5.5	5.8	20.5	4.0	2.8	3.3	
石炭	1.5	1.3	3.2	14	24	29	31	8.3	22	17	9.6	3.6	1.3	2.2	
石油	1.7	2.3	6.5	20	36	50	70	15	32	38	8.7	4.1	3.4	3.7	
天然ガス	-	-	0.0	1.6	4.5	6.1	7.2	-	2.5	3.9	n.a.	7.6	2.4	4.5	
電力	0.2	0.5	1.9	14	32	47	65	3.3	21	35	13.3	6.2	3.7	4.7	
熱	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
水素	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	-	-	0.0	n.a.	n.a.	10.1	n.a.	
再生可能	9.7	12	13	15	15	13	11	74	23	6.0	0.8	-0.1	-1.4	-0.9	

発電量

	(TWh)								構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2016	2030	2040	2050	1990	2016	2050	1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2050	2016/ 2050	
	合計	3.6	8.7	27	165	398	601	825	100	100	100	12.0	6.5	3.7	4.9
石炭	1.4	2.0	3.1	54	168	285	429	23	33	52	13.5	8.5	4.8	6.3	
石油	0.7	1.3	4.5	1.1	2.5	3.3	3.6	15	0.7	0.4	-0.6	6.0	1.8	3.5	
天然ガス	-	0.0	4.4	46	118	175	228	0.1	28	28	41.0	7.0	3.3	4.9	
原子力	-	-	-	-	-	16	33	-	-	4.0	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
水力	1.5	5.4	15	64	106	117	122	62	39	15	10.0	3.7	0.7	1.9	
地熱	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
太陽光	-	-	-	-	1.4	2.7	4.7	-	-	0.6	n.a.	n.a.	6.4	n.a.	
風力	-	-	-	0.2	1.3	2.5	4.1	-	0.1	0.5	n.a.	14.3	5.8	9.2	
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.	7.6	2.6	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	2016	2030	2040	2050	1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2050	2016/ 2050
GDP (2010年価格10億ドル)	17	29	61	164	377	622	980	6.8	6.1	4.9	5.4
人口(100万人)	54	68	80	95	106	111	115	1.3	0.8	0.4	0.6
エネルギー起源CO ₂ 排出(100万t)	15	17	43	187	402	576	760	9.7	5.6	3.2	4.2
一人あたりGDP (2010年価格1,000ドル/人)	0.3	0.4	0.8	1.7	3.5	5.6	8.5	5.5	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	0.4	0.9	1.4	1.9	2.3	4.7	3.7	2.5	3.0
GDPあたり一次エネルギー消費 ²	851	607	470	494	399	333	272	-0.8	-1.5	-1.9	-1.7
GDPあたりCO ₂ 排出量 ³	859	572	698	1,140	1,067	925	776	2.7	-0.5	-1.6	-1.1
一次エネルギー消費あたりCO ₂ 排出(t/toe)	1.0	0.9	1.5	2.3	2.7	2.8	2.9	3.5	1.0	0.3	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

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	2016	2030	2040	2050	1990	2016	2050	1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2050	2016/ 2050
合計 ¹⁾	1,997	2,126	2,527	2,447	2,426	2,357	2,272	100	100	100	0.5	-0.1	-0.3	-0.2
石炭	397	484	566	359	275	207	144	23	15	6.3	-1.2	-1.9	-3.2	-2.6
石油	885	833	958	886	806	736	666	39	36	29	0.2	-0.7	-0.9	-0.8
天然ガス	522	493	622	748	842	874	882	23	31	39	1.6	0.9	0.2	0.5
原子力	80	179	227	245	207	192	177	8.4	10	7.8	1.2	-1.2	-0.8	-1.0
水力	46	49	53	56	61	62	62	2.3	2.3	2.7	0.5	0.6	0.1	0.3
地熱	4.6	14	13	9.2	21	28	34	0.7	0.4	1.5	-1.6	6.2	2.3	3.9
太陽光・風力等	-	0.3	2.1	29	80	122	167	0.0	1.2	7.3	18.9	7.4	3.7	5.2
バイオマス・廃棄物	62	73	87	115	133	137	141	3.4	4.7	6.2	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	2016	2030	2040	2050	1990	2016	2050	1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2050	2016/ 2050
合計	1,466	1,455	1,738	1,706	1,705	1,669	1,619	100	100	100	0.6	0.0	-0.3	-0.2
産業	437	331	388	306	313	314	304	23	18	19	-0.3	0.2	-0.1	0.0
運輸	470	531	640	683	637	593	558	36	40	34	1.0	-0.5	-0.7	-0.6
民生・農業他	446	460	537	557	578	577	574	32	33	35	0.7	0.3	0.0	0.1
非エネルギー消費	114	134	173	160	178	184	182	9.2	9.4	11	0.7	0.7	0.1	0.4
石炭	60	59	36	20	18	17	15	4.0	1.2	0.9	-4.1	-0.7	-0.9	-0.8
石油	769	752	874	837	767	704	643	52	49	40	0.4	-0.6	-0.9	-0.8
天然ガス	374	346	413	382	385	381	371	24	22	23	0.4	0.1	-0.2	-0.1
電力	200	262	342	368	435	470	496	18	22	31	1.3	1.2	0.7	0.9
熱	1.0	2.8	6.1	7.2	6.3	5.8	5.2	0.2	0.4	0.3	3.7	-1.0	-0.9	-0.9
水素	-	-	-	-	0.2	0.2	0.2	-	-	0.0	n.a.	n.a.	1.5	n.a.
再生可能	62	33	66	93	94	91	89	2.3	5.4	5.5	4.1	0.1	-0.3	-0.1

発電量

	(TWh)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2016	2030	2040	2050	1990	2016	2050	1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2050	2016/ 2050
合計	2,801	3,685	4,631	4,967	5,831	6,256	6,554	100	100	100	1.2	1.2	0.6	0.8
石炭	1,303	1,782	2,247	1,416	1,143	882	606	48	29	9.2	-0.9	-1.5	-3.1	-2.5
石油	277	147	133	43	35	25	14	4.0	0.9	0.2	-4.6	-1.5	-4.4	-3.2
天然ガス	380	391	668	1,480	2,134	2,442	2,672	11	30	41	5.2	2.6	1.1	1.8
原子力	304	685	871	941	795	738	679	19	19	10	1.2	-1.2	-0.8	-1.0
水力	530	570	612	657	712	721	725	15	13	11	0.5	0.6	0.1	0.3
地熱	5.4	16	15	19	44	58	70	0.4	0.4	1.1	0.6	6.3	2.4	4.0
太陽光	-	0.0	0.2	50	168	258	337	0.0	1.0	5.1	45.3	9.1	3.6	5.8
風力	-	3.1	5.9	260	581	829	1,042	0.1	5.2	16	18.6	5.9	3.0	4.2
太陽熱・海洋	-	0.7	0.6	3.7	52	100	174	0.0	0.1	2.7	6.7	20.7	6.3	12.0
バイオマス・廃棄物	1.8	90	80	92	162	196	228	2.5	1.9	3.5	0.1	4.1	1.7	2.7
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	2016	2030	2040	2050	1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2050	2016/ 2050
GDP (2010年価格10億ドル)	7,310	10,078	14,056	18,748	25,056	30,555	36,229	2.4	2.1	1.9	2.0
人口(100万人)	252	277	313	359	396	418	436	1.0	0.7	0.5	0.6
エネルギー起源CO ₂ 排出(100万t)	5,033	5,226	6,203	5,409	5,008	4,585	4,153	0.1	-0.5	-0.9	-0.8
一人あたりGDP (2010年価格1,000ドル/人)	29	36	45	52	63	73	83	1.4	1.4	1.4	1.4
一人あたり一次エネルギー消費(toe/人)	7.9	7.7	8.1	6.8	6.1	5.6	5.2	-0.5	-0.8	-0.8	-0.8
GDPあたり一次エネルギー消費 ²⁾	273	211	180	131	97	77	63	-1.8	-2.1	-2.1	-2.1
GDPあたりCO ₂ 排出量 ³⁾	688	519	441	289	200	150	115	-2.2	-2.6	-2.7	-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	1.9	1.8	-0.4	-0.5	-0.6	-0.6

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

*2 toe/2010年価格100万ドル。*3 t/2010年価格100万ドル

付表35 | 米国[レファレンスシナリオ]

一次エネルギー消費

	(石油換算100万トン[Mtoe])							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2016	2030	2040	2050	1990	2016	2050	1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2050	2016/ 2050
合計 ¹⁾	1,805	1,915	2,274	2,167	2,135	2,074	1,999	100	100	100	0.5	-0.1	-0.3	-0.2
石炭	376	460	534	342	273	205	142	24	16	7.1	-1.1	-1.6	-3.2	-2.5
石油	797	757	871	787	712	652	592	40	36	30	0.2	-0.7	-0.9	-0.8
天然ガス	477	438	548	653	718	742	747	23	30	37	1.5	0.7	0.2	0.4
原子力	69	159	208	219	186	179	169	8.3	10	8.5	1.2	-1.1	-0.5	-0.7
水力	24	23	22	23	25	26	26	1.2	1.1	1.3	0.0	0.7	0.1	0.3
地熱	4.6	14	13	9.2	21	28	34	0.7	0.4	1.7	-1.6	6.2	2.3	3.9
太陽光・風力等	-	0.3	2.1	26	74	114	156	0.0	1.2	7.8	18.5	7.6	3.8	5.4
バイオマス・廃棄物	54	62	73	102	120	124	128	3.3	4.7	6.4	1.9	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	2016	2030	2040	2050	1990	2016	2050	1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2050	2016/ 2050
合計	1,311	1,294	1,546	1,515	1,508	1,476	1,432	100	100	100	0.6	0.0	-0.3	-0.2
産業	387	284	332	264	271	273	265	22	17	18	-0.3	0.2	-0.1	0.0
運輸	425	488	588	622	577	538	507	38	41	35	0.9	-0.5	-0.6	-0.6
民生・農業他	397	403	473	493	508	509	506	31	33	35	0.8	0.2	0.0	0.1
非エネルギー消費	102	119	153	136	152	157	154	9.2	9.0	11	0.5	0.8	0.1	0.4
石炭	56	56	33	18	16	15	13	4.3	1.2	0.9	-4.4	-0.8	-0.9	-0.8
石油	689	683	793	744	678	622	568	53	49	40	0.3	-0.7	-0.9	-0.8
天然ガス	338	303	360	336	338	335	325	23	22	23	0.4	0.0	-0.2	-0.1
電力	174	226	301	327	386	417	439	18	22	31	1.4	1.2	0.7	0.9
熱	-	2.2	5.3	6.6	5.7	5.3	4.7	0.2	0.4	0.3	4.4	-1.1	-0.9	-1.0
水素	-	-	-	-	0.2	0.2	0.2	-	-	0.0	n.a.	n.a.	1.4	n.a.
再生可能	54	23	54	83	85	83	82	1.8	5.5	5.7	5.1	0.2	-0.2	0.0

発電量

	(TWh)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2016	2030	2040	2050	1990	2016	2050	1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2050	2016/ 2050
合計	2,427	3,203	4,026	4,300	5,060	5,439	5,703	100	100	100	1.1	1.2	0.6	0.8
石炭	1,243	1,700	2,129	1,354	1,143	882	606	53	31	11	-0.9	-1.2	-3.1	-2.3
石油	263	131	118	35	26	17	8.3	4.1	0.8	0.1	-5.0	-2.0	-5.6	-4.1
天然ガス	370	382	634	1,418	1,956	2,223	2,426	12	33	43	5.2	2.3	1.1	1.6
原子力	266	612	798	840	715	685	650	19	20	11	1.2	-1.1	-0.5	-0.7
水力	279	273	253	270	295	298	300	8.5	6.3	5.3	0.0	0.7	0.1	0.3
地熱	5.4	16	15	19	44	58	70	0.5	0.4	1.2	0.6	6.3	2.4	4.0
太陽光	-	0.0	0.2	47	161	248	325	0.0	1.1	5.7	44.9	9.2	3.6	5.9
風力	-	3.1	5.7	229	518	747	936	0.1	5.3	16	18.1	6.0	3.0	4.2
太陽熱・海洋	-	0.7	0.5	3.7	52	100	174	0.0	0.1	3.0	6.8	20.7	6.3	12.0
バイオマス・廃棄物	0.5	86	72	79	144	175	203	2.7	1.8	3.6	-0.3	4.4	1.7	2.8
水素	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
その他	-	-	-	5.6	5.6	5.6	5.6	-	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	2016	2030	2040	2050	1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2050	2016/ 2050
GDP (2010年価格10億ドル)	6,529	9,064	12,713	16,920	22,637	27,647	32,825	2.4	2.1	1.9	2.0
人口(100万人)	227	250	282	323	356	375	391	1.0	0.7	0.5	0.6
エネルギー起源CO ₂ 排出(100万t)	4,620	4,817	5,700	4,870	4,482	4,075	3,668	0.0	-0.6	-1.0	-0.8
一人あたりGDP (2010年価格1,000ドル/人)	29	36	45	52	64	74	84	1.4	1.4	1.4	1.4
一人あたり一次エネルギー消費(toe/人)	7.9	7.7	8.1	6.7	6.0	5.5	5.1	-0.5	-0.8	-0.8	-0.8
GDPあたり一次エネルギー消費 ²⁾	276	211	179	128	94	75	61	-1.9	-2.2	-2.2	-2.2
GDPあたりCO ₂ 排出量 ³⁾	708	531	448	288	198	147	112	-2.3	-2.6	-2.8	-2.7
一次エネルギー消費あたりCO ₂ 排出(t/toe)	2.6	2.5	2.5	2.2	2.1	2.0	1.8	-0.4	-0.5	-0.7	-0.6

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

*2 toe/2010年価格100万ドル。*3 t/2010年価格100万ドル

付表

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	2016	2030	2040	2050	1990	2016	2050	1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2050	2016/ 2050
合計 ¹	382	464	600	840	1,068	1,230	1,325	100	100	100	2.3	1.7	1.1	1.3
石炭	13	21	27	45	55	68	74	4.6	5.4	5.6	2.9	1.5	1.4	1.5
石油	223	238	303	361	427	456	452	51	43	34	1.6	1.2	0.3	0.7
天然ガス	48	72	119	208	278	359	426	16	25	32	4.2	2.1	2.1	2.1
原子力	0.6	3.2	5.3	9.0	17	18	15	0.7	1.1	1.2	4.0	4.7	-0.6	1.6
水力	19	33	50	63	77	82	88	7.2	7.5	6.7	2.5	1.5	0.7	1.0
地熱	1.2	5.1	6.4	6.6	21	30	37	1.1	0.8	2.8	1.0	8.8	2.8	5.2
太陽光・風力等	-	0.0	0.2	6.3	21	29	39	0.0	0.8	2.9	25.4	8.8	3.2	5.5
バイオマス・廃棄物	78	92	89	141	170	186	193	20	17	15	1.7	1.4	0.6	0.9

最終エネルギー消費

	(Mtoe)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2016	2030	2040	2050	1990	2016	2050	1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2050	2016/ 2050
合計	288	343	447	610	768	876	947	100	100	100	2.2	1.7	1.1	1.3
産業	98	114	148	187	237	283	315	33	31	33	1.9	1.7	1.4	1.5
運輸	85	103	141	223	284	311	322	30	37	34	3.0	1.7	0.6	1.1
民生・農業他	88	100	120	162	201	230	251	29	27	27	1.9	1.6	1.1	1.3
非エネルギー消費	16	26	38	37	46	53	58	7.5	6.1	6.1	1.4	1.5	1.2	1.3
石炭	6.1	7.8	11	13	17	20	21	2.3	2.1	2.3	1.9	2.0	1.2	1.5
石油	159	179	240	304	371	404	416	52	50	44	2.1	1.4	0.6	0.9
天然ガス	27	38	53	75	97	114	129	11	12	14	2.7	1.8	1.5	1.6
電力	27	44	69	113	162	207	248	13	19	26	3.6	2.6	2.2	2.3
熱	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
水素	-	-	-	-	0.1	0.2	0.2	-	-	0.0	n.a.	n.a.	3.4	n.a.
再生可能	68	74	74	104	121	130	133	22	17	14	1.3	1.0	0.5	0.7

発電量

	(TWh)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2016	2030	2040	2050	1990	2016	2050	1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2050	2016/ 2050
合計	380	623	1,009	1,628	2,299	2,893	3,386	100	100	100	3.8	2.5	2.0	2.2
石炭	7.8	23	43	107	139	191	220	3.8	6.6	6.5	6.0	1.8	2.3	2.1
石油	111	128	198	178	153	131	63	21	11	1.9	1.3	-1.1	-4.4	-3.0
天然ガス	35	60	141	436	679	1,039	1,373	9.6	27	41	8.0	3.2	3.6	3.4
原子力	2.3	12	20	35	66	71	59	2.0	2.1	1.7	4.0	4.7	-0.6	1.6
水力	218	386	584	729	899	959	1,027	62	45	30	2.5	1.5	0.7	1.0
地熱	1.4	5.9	7.8	10	34	49	61	1.0	0.6	1.8	2.1	9.0	3.0	5.4
太陽光	-	0.0	0.0	5.2	38	66	99	0.0	0.3	2.9	39.0	15.2	4.9	9.1
風力	-	0.0	0.3	56	179	249	324	0.0	3.4	9.6	52.3	8.7	3.0	5.3
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	71	113	140	160	1.2	4.3	4.7	9.0	3.4	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	2016	2030	2040	2050	1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2050	2016/ 2050
GDP (2010年価格10億ドル)	2,418	2,787	3,778	5,704	8,559	11,723	14,928	2.8	2.9	2.8	2.9
人口(100万人)	360	441	521	634	713	752	775	1.4	0.8	0.4	0.6
エネルギー起源CO ₂ 排出(100万t)	749	853	1,169	1,603	1,977	2,280	2,433	2.5	1.5	1.0	1.2
一人あたりGDP (2010年価格1,000ドル/人)	6.7	6.3	7.3	9.0	12	16	19	1.4	2.1	2.4	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	0.9	0.9	0.7	0.8
GDPあたり一次エネルギー消費 ²	158	167	159	147	125	105	89	-0.5	-1.2	-1.7	-1.5
GDPあたりCO ₂ 排出量 ³	310	306	309	281	231	194	163	-0.3	-1.4	-1.7	-1.6
一次エネルギー消費あたりCO ₂ 排出(t/toe)	2.0	1.8	1.9	1.9	1.9	1.9	1.8	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 | OECDヨーロッパ[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	2016	2030	2040	2050	1990	2016	2050	1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2050	2016/ 2050
合計 ¹	1,494	1,627	1,753	1,723	1,676	1,593	1,519	100	100	100	0.2	-0.2	-0.5	-0.4
石炭	464	448	331	269	219	177	146	28	16	9.6	-1.9	-1.5	-2.0	-1.8
石油	688	611	653	560	499	446	402	38	33	26	-0.3	-0.8	-1.1	-1.0
天然ガス	206	262	394	414	452	453	437	16	24	29	1.8	0.6	-0.2	0.2
原子力	60	205	245	217	184	166	159	13	13	10	0.2	-1.2	-0.7	-0.9
水力	36	39	47	50	51	52	54	2.4	2.9	3.5	1.0	0.2	0.2	0.2
地熱	3.0	4.9	7.2	16	25	28	30	0.3	1.0	1.9	4.7	3.1	0.8	1.7
太陽光・風力等	0.1	0.3	2.7	41	78	103	126	0.0	2.4	8.3	20.4	4.7	2.4	3.3
バイオマス・廃棄物	36	55	72	155	166	166	165	3.4	9.0	11	4.0	0.5	0.0	0.2

最終エネルギー消費

	(Mtoe)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2016	2030	2040	2050	1990	2016	2050	1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2050	2016/ 2050
合計	1,081	1,133	1,231	1,230	1,217	1,166	1,119	100	100	100	0.3	-0.1	-0.4	-0.3
産業	356	327	324	284	287	282	275	29	23	25	-0.5	0.1	-0.2	-0.1
運輸	209	267	317	343	305	274	250	24	28	22	1.0	-0.8	-1.0	-0.9
民生・農業他	425	438	475	499	515	498	482	39	41	43	0.5	0.2	-0.3	-0.1
非エネルギー消費	90	101	115	105	111	112	112	8.9	8.5	10	0.1	0.4	0.1	0.2
石炭	156	123	62	47	44	41	38	11	3.8	3.4	-3.7	-0.4	-0.7	-0.6
石油	551	524	572	509	453	405	365	46	41	33	-0.1	-0.8	-1.1	-1.0
天然ガス	161	203	268	267	276	269	261	18	22	23	1.1	0.2	-0.3	-0.1
電力	147	192	233	266	300	315	324	17	22	29	1.3	0.9	0.4	0.6
熱	35	43	41	47	45	41	37	3.8	3.9	3.3	0.4	-0.4	-0.9	-0.7
水素	-	-	-	-	0.1	0.1	0.1	-	-	0.0	n.a.	n.a.	2.6	n.a.
再生可能	31	47	55	94	98	95	93	4.2	7.7	8.3	2.7	0.3	-0.3	0.0

発電量

	(TWh)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2016	2030	2040	2050	1990	2016	2050	1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2050	2016/ 2050
合計	2,049	2,668	3,227	3,599	4,037	4,201	4,287	100	100	100	1.2	0.8	0.3	0.5
石炭	887	1,030	968	790	694	558	443	39	22	10	-1.0	-0.9	-2.2	-1.7
石油	364	206	179	55	42	29	15	7.7	1.5	0.4	-5.0	-1.9	-4.9	-3.7
天然ガス	138	169	513	689	893	970	953	6.3	19	22	5.6	1.9	0.3	1.0
原子力	230	787	939	834	707	638	609	29	23	14	0.2	-1.2	-0.7	-0.9
水力	416	451	549	579	596	610	623	17	16	15	1.0	0.2	0.2	0.2
地熱	2.7	3.6	6.2	17	28	31	33	0.1	0.5	0.8	6.0	3.7	0.9	2.1
太陽光	-	0.0	0.1	104	199	258	309	0.0	2.9	7.2	41.3	4.7	2.2	3.3
風力	0.0	0.8	22	310	565	749	904	0.0	8.6	21	25.9	4.4	2.4	3.2
太陽熱・海洋	0.5	0.5	0.5	6.1	34	47	65	0.0	0.2	1.5	10.1	13.0	3.3	7.2
バイオマス・廃棄物	11	21	48	210	274	306	327	0.8	5.8	7.6	9.3	1.9	0.9	1.3
水素	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
その他	-	0.3	1.4	5.7	5.7	5.7	5.7	0.0	0.2	0.1	11.8	0.0	0.0	0.0

エネルギー・経済指標他

	1980	1990	2000	2016	2030	2040	2050	1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2050	2016/ 2050
GDP (2010年価格10億ドル)	9,927	12,691	15,934	20,165	25,706	29,301	32,707	1.8	1.7	1.2	1.4
人口(100万人)	475	502	524	569	587	591	590	0.5	0.2	0.0	0.1
エネルギー起源CO ₂ 排出(100万t)	4,110	3,908	3,902	3,466	3,162	2,837	2,544	-0.5	-0.7	-1.1	-0.9
一人あたりGDP (2010年価格1,000ドル/人)	21	25	30	35	44	50	55	1.3	1.5	1.2	1.3
一人あたり一次エネルギー消費(toe/人)	3.1	3.2	3.3	3.0	2.9	2.7	2.6	-0.3	-0.4	-0.5	-0.5
GDPあたり一次エネルギー消費 ²	151	128	110	85	65	54	46	-1.5	-1.9	-1.7	-1.8
GDPあたりCO ₂ 排出量 ³	414	308	245	172	123	97	78	-2.2	-2.4	-2.3	-2.3
一次エネルギー消費あたりCO ₂ 排出(t/toe)	2.8	2.4	2.2	2.0	1.9	1.8	1.7	-0.7	-0.5	-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

付表38 | 非OECDヨーロッパ[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	2016	2030	2040	2050	1990/2016	2016/2030	2030/2050	1990/2016/2030/2050	2016/2030/2050	2030/2050	2016/2050
合計 ¹⁾	1,241	1,530	1,000	1,130	1,252	1,321	1,403	100	100	100	-1.2	0.7	0.6	0.6
石炭	362	367	209	212	200	198	193	24	19	14	-2.1	-0.4	-0.2	-0.3
石油	464	465	202	257	265	272	283	30	23	20	-2.3	0.2	0.3	0.3
天然ガス	355	600	488	529	609	665	713	39	47	51	-0.5	1.0	0.8	0.9
原子力	21	59	64	81	106	98	107	3.9	7.1	7.6	1.2	2.0	0.1	0.8
水力	20	23	23	27	28	29	30	1.5	2.4	2.1	0.7	0.3	0.3	0.3
地熱	-	0.0	0.1	0.2	0.5	0.6	0.6	0.0	0.0	0.0	9.0	6.2	0.7	2.9
太陽光・風力等	-	-	0.0	1.6	5.2	9.3	15	-	0.1	1.1	n.a.	8.9	5.4	6.8
バイオマス・廃棄物	21	17	16	24	39	49	63	1.1	2.2	4.5	1.4	3.4	2.3	2.8

最終エネルギー消費

	(Mtoe)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2016	2030	2040	2050	1990/2016	2016/2030	2030/2050	1990/2016/2030/2050	2016/2030/2050	2030/2050	2016/2050
合計	869	1,067	651	713	780	824	876	100	100	100	-1.5	0.6	0.6	0.6
産業	395	394	205	198	223	243	262	37	28	30	-2.6	0.8	0.8	0.8
運輸	107	171	110	145	149	148	148	16	20	17	-0.6	0.2	-0.1	0.1
民生・農業他	301	436	287	275	292	298	309	41	39	35	-1.8	0.4	0.3	0.3
非エネルギー消費	67	66	49	95	116	136	158	6.2	13	18	1.4	1.5	1.5	1.5
石炭	152	113	36	33	37	38	39	11	4.6	4.4	-4.7	0.8	0.3	0.5
石油	310	278	145	205	216	221	229	26	29	26	-1.2	0.4	0.3	0.3
天然ガス	215	261	201	220	242	259	277	24	31	32	-0.6	0.7	0.7	0.7
電力	95	126	87	106	135	156	180	12	15	21	-0.6	1.7	1.5	1.6
熱	78	277	171	132	132	133	135	26	19	15	-2.8	0.0	0.1	0.1
水素	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	-	-	0.0	n.a.	n.a.	3.3	n.a.
再生可能	21	13	12	17	18	17	16	1.2	2.4	1.8	1.1	0.4	-0.6	-0.2

発電量

	(TWh)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2016	2030	2040	2050	1990/2016	2016/2030	2030/2050	1990/2016/2030/2050	2016/2030/2050	2030/2050	2016/2050
合計	1,461	1,888	1,428	1,764	2,147	2,390	2,625	100	100	100	-0.3	1.4	1.0	1.2
石炭	471	429	338	395	438	474	469	23	22	18	-0.3	0.7	0.3	0.5
石油	357	256	70	25	24	24	21	14	1.4	0.8	-8.6	-0.2	-0.8	-0.5
天然ガス	295	714	503	699	854	1,003	1,106	38	40	42	-0.1	1.4	1.3	1.4
原子力	79	226	242	307	408	378	412	12	17	16	1.2	2.0	0.1	0.9
水力	232	262	272	315	329	340	347	14	18	13	0.7	0.3	0.3	0.3
地熱	-	0.0	0.1	0.4	1.7	2.0	2.2	0.0	0.0	0.1	11.2	10.2	1.1	4.8
太陽光	-	-	-	4.8	18	32	48	-	0.3	1.8	n.a.	9.7	5.2	7.0
風力	-	-	0.0	12	40	75	121	-	0.7	4.6	n.a.	9.1	5.7	7.0
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	5.0	35	63	99	0.0	0.3	3.8	19.5	14.9	5.4	9.2
水素	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
その他	-	0.0	0.1	0.4	0.4	0.4	0.4	0.0	0.0	0.0	9.3	0.0	0.0	0.0

エネルギー・経済指標他

	1980	1990	2000	2016	2030	2040	2050	1990/2016	2016/2030	2030/2050	1990/2016/2030/2050	2016/2030/2050	2030/2050	2016/2050
GDP (2010年価格10億ドル)	1,779	2,143	1,497	2,727	3,815	4,817	6,023	0.9	2.4	2.3	0.9	2.4	2.4	2.4
人口(100万人)	321	341	339	342	345	341	338	0.0	0.1	-0.1	0.0	0.1	-0.1	0.0
エネルギー起源CO ₂ 排出(100万t)	3,319	3,840	2,296	2,425	2,525	2,618	2,683	-1.8	0.3	0.3	-1.8	0.3	0.3	0.3
一人あたりGDP (2010年価格1,000ドル/人)	5.5	6.3	4.4	8.0	11	14	18	0.9	2.4	2.4	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	3.6	3.9	4.2	-1.2	0.7	0.7	-1.2	0.7	0.7	0.7
GDPあたり一次エネルギー消費 ²⁾	698	714	668	414	328	274	233	-2.1	-1.7	-1.7	-2.1	-1.7	-1.7	-1.7
GDPあたりCO ₂ 排出量 ³⁾	1,865	1,792	1,533	889	662	543	446	-2.7	-2.1	-2.0	-2.7	-2.1	-2.0	-2.0
一次エネルギー消費あたりCO ₂ 排出(t/toe)	2.7	2.5	2.3	2.1	2.0	2.0	1.9	-0.6	-0.4	-0.3	-0.6	-0.4	-0.3	-0.3

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

*2 toe/2010年価格100万ドル。*3 t/2010年価格100万ドル

付表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	2016	2030	2040	2050	1990	2016	2050	1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2050	2016/ 2050
合計 ¹	n.a.	1,646	1,695	1,599	1,553	1,475	1,407	100	100	100	-0.1	-0.2	-0.5	-0.4
石炭	n.a.	454	321	241	196	159	131	28	15	9.3	-2.4	-1.5	-2.0	-1.8
石油	n.a.	608	625	522	464	414	371	37	33	26	-0.6	-0.8	-1.1	-1.0
天然ガス	n.a.	297	396	383	420	422	406	18	24	29	1.0	0.7	-0.2	0.2
原子力	n.a.	207	246	219	186	167	161	13	14	11	0.2	-1.2	-0.7	-0.9
水力	n.a.	25	31	30	31	32	32	1.5	1.9	2.3	0.7	0.2	0.2	0.2
地熱	n.a.	3.2	4.6	6.7	8.6	9.4	10	0.2	0.4	0.7	2.9	1.9	0.8	1.2
太陽光・風力等	n.a.	0.3	2.4	40	76	101	124	0.0	2.5	8.8	20.6	4.8	2.5	3.4
バイオマス・廃棄物	n.a.	48	67	155	168	168	169	2.9	9.7	12	4.7	0.5	0.0	0.2

最終エネルギー消費

	(Mtoe)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2016	2030	2040	2050	1990	2016	2050	1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2050	2016/ 2050
合計	n.a.	1,134	1,179	1,138	1,127	1,078	1,032	100	100	100	0.0	-0.1	-0.4	-0.3
産業	n.a.	345	308	257	262	257	250	30	23	24	-1.1	0.1	-0.2	-0.1
運輸	n.a.	259	303	319	284	254	231	23	28	22	0.8	-0.8	-1.0	-1.0
民生・農業他	n.a.	430	454	463	480	463	448	38	41	43	0.3	0.2	-0.3	-0.1
非エネルギー消費	n.a.	100	113	98	102	103	103	8.8	8.6	10	-0.1	0.3	0.1	0.2
石炭	n.a.	120	51	34	33	31	28	11	3.0	2.8	-4.7	-0.3	-0.7	-0.6
石油	n.a.	506	543	471	420	374	335	45	41	32	-0.3	-0.8	-1.1	-1.0
天然ガス	n.a.	227	272	252	262	254	247	20	22	24	0.4	0.3	-0.3	-0.1
電力	n.a.	186	217	239	271	285	294	16	21	29	1.0	0.9	0.4	0.6
熱	n.a.	55	45	48	46	43	39	4.9	4.2	3.8	-0.5	-0.2	-0.8	-0.6
水素	n.a.	-	-	-	0.1	0.1	0.1	-	-	0.0	n.a.	n.a.	2.6	n.a.
再生可能	n.a.	40	50	93	96	92	88	3.5	8.2	8.6	3.3	0.2	-0.4	-0.1

発電量

	(TWh)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2016	2030	2040	2050	1990	2016	2050	1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2050	2016/ 2050
合計	n.a.	2,577	3,006	3,228	3,654	3,839	3,950	100	100	100	0.9	0.9	0.4	0.6
石炭	n.a.	1,050	968	736	649	527	422	41	23	11	-1.4	-0.9	-2.1	-1.6
石油	n.a.	224	181	60	46	32	18	8.7	1.8	0.5	-5.0	-1.8	-4.6	-3.5
天然ガス	n.a.	193	480	611	792	868	849	7.5	19	21	4.5	1.9	0.3	1.0
原子力	n.a.	795	945	840	713	643	616	31	26	16	0.2	-1.2	-0.7	-0.9
水力	n.a.	290	357	350	360	367	374	11	11	9.5	0.7	0.2	0.2	0.2
地熱	n.a.	3.2	4.8	6.6	8.7	9.6	10	0.1	0.2	0.3	2.8	1.9	0.9	1.3
太陽光	n.a.	0.0	0.1	105	205	269	326	0.0	3.3	8.2	41.8	4.9	2.3	3.4
風力	n.a.	0.8	22	303	564	752	910	0.0	9.4	23	25.8	4.5	2.4	3.3
太陽熱・海洋	n.a.	0.5	0.5	6.1	35	52	78	0.0	0.2	2.0	10.1	13.2	4.1	7.8
バイオマス・廃棄物	n.a.	20	46	206	276	315	344	0.8	6.4	8.7	9.5	2.1	1.1	1.5
水素	n.a.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
その他	n.a.	0.2	1.4	5.0	4.3	4.3	4.3	0.0	0.2	0.1	12.9	-1.0	0.0	-0.4

エネルギー・経済指標他

	1980	1990	2000	2016	2030	2040	2050	1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2050	2016/ 2050
GDP (2010年価格10億ドル)	n.a.	11,895	14,789	18,309	23,323	26,643	29,798	1.7	1.7	1.2	1.4
人口(100万人)	n.a.	478	488	511	524	526	523	0.3	0.2	0.0	0.1
エネルギー起源CO ₂ 排出(100万t)	n.a.	4,018	3,798	3,195	2,859	2,560	2,286	-0.9	-0.8	-1.1	-1.0
一人あたりGDP (2010年価格1,000ドル/人)	n.a.	25	30	36	45	51	57	1.4	1.6	1.2	1.4
一人あたり一次エネルギー消費(toe/人)	n.a.	3.4	3.5	3.1	3.0	2.8	2.7	-0.4	-0.4	-0.5	-0.4
GDPあたり一次エネルギー消費 ²	n.a.	138	115	87	67	55	47	-1.8	-1.9	-1.7	-1.8
GDPあたりCO ₂ 排出量 ³	n.a.	338	257	175	123	96	77	-2.5	-2.5	-2.3	-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	1.7	1.6	-0.8	-0.6	-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

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	2016	2030	2040	2050	1990/2016	2016/2030	2030/2050	1990/2016	2016/2030	2030/2050	2016/2050
合計 ¹	276	392	498	818	1,116	1,390	1,644	100	100	100	2.9	2.2	2.0	2.1
石炭	52	74	90	108	128	149	166	19	13	10	1.5	1.2	1.3	1.3
石油	64	85	100	184	275	373	459	22	23	28	3.0	2.9	2.6	2.7
天然ガス	12	30	47	115	194	283	395	7.5	14	24	5.4	3.8	3.6	3.7
原子力	-	2.2	3.4	3.9	5.8	10	8.8	0.6	0.5	0.5	2.2	2.9	2.1	2.4
水力	4.1	4.8	6.4	10.0	19	29	40	1.2	1.2	2.4	2.8	4.7	3.8	4.2
地熱	-	0.3	0.4	3.6	13	21	29	0.1	0.4	1.8	10.3	9.8	4.0	6.4
太陽光・風力等	-	0.0	0.0	1.5	11	23	39	0.0	0.2	2.3	35.9	15.8	6.3	10.1
バイオマス・廃棄物	143	196	249	390	468	502	507	50	48	31	2.7	1.3	0.4	0.8

最終エネルギー消費

	(Mtoe)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2016	2030	2040	2050	1990/2016	2016/2030	2030/2050	1990/2016	2016/2030	2030/2050	2016/2050
合計	218	292	368	594	816	1,012	1,193	100	100	100	2.8	2.3	1.9	2.1
産業	46	55	58	87	132	183	229	19	15	19	1.8	3.0	2.8	2.9
運輸	27	38	54	117	165	219	279	13	20	23	4.5	2.5	2.6	2.6
民生・農業他	139	188	241	370	488	569	631	64	62	53	2.6	2.0	1.3	1.6
非エネルギー消費	5.4	11	15	20	29	41	54	3.8	3.3	4.6	2.2	3.0	3.1	3.1
石炭	22	20	19	19	22	25	27	6.7	3.1	2.3	-0.2	1.1	1.0	1.1
石油	54	71	89	165	246	329	407	24	28	34	3.3	2.9	2.6	2.7
天然ガス	2.8	8.6	14	36	58	79	99	2.9	6.0	8.3	5.6	3.6	2.7	3.1
電力	14	22	31	55	96	153	229	7.6	9.2	19	3.5	4.1	4.5	4.3
熱	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
水素	-	-	-	-	0.0	0.1	0.1	-	-	0.0	n.a.	n.a.	5.6	n.a.
再生可能	126	171	215	320	394	426	431	59	54	36	2.4	1.5	0.4	0.9

発電量

	(TWh)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2016	2030	2040	2050	1990/2016	2016/2030	2030/2050	1990/2016	2016/2030	2030/2050	2016/2050
合計	184	316	442	801	1,372	2,139	3,141	100	100	100	3.6	3.9	4.2	4.1
石炭	100	165	209	254	334	418	503	52	32	16	1.7	2.0	2.1	2.0
石油	22	41	51	86	130	187	217	13	11	6.9	2.9	3.0	2.6	2.8
天然ガス	14	45	92	308	550	938	1,559	14	38	50	7.7	4.2	5.3	4.9
原子力	-	8.4	13	15	22	39	34	2.7	1.9	1.1	2.2	2.9	2.1	2.4
水力	47	56	75	116	220	336	465	18	15	15	2.8	4.7	3.8	4.2
地熱	-	0.3	0.4	4.2	16	24	34	0.1	0.5	1.1	10.3	9.8	4.0	6.4
太陽光	-	-	0.0	3.3	33	76	142	-	0.4	4.5	n.a.	17.8	7.6	11.7
風力	-	-	0.2	10	37	61	102	-	1.3	3.2	n.a.	9.6	5.2	7.0
太陽熱・海洋	-	-	-	0.9	20	42	66	-	0.1	2.1	n.a.	24.7	6.2	13.5
バイオマス・廃棄物	0.2	0.5	1.1	1.9	9.5	14	18	0.1	0.2	0.6	5.7	12.0	3.2	6.7
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	0.1	n.a.	0.0	0.0	0.0

エネルギー・経済指標他

	1980	1990	2000	2016	2030	2040	2050	1990/2016	2016/2030	2030/2050	1990/2016	2016/2030	2030/2050	2016/2050
GDP (2010年価格10億ドル)	717	876	1,146	2,307	4,168	6,725	9,996	3.8	4.3	4.5	4.4			
人口(100万人)	479	634	816	1,223	1,701	2,097	2,524	2.6	2.4	2.0	2.2			
エネルギー起源CO ₂ 排出(100万t)	396	538	661	1,155	1,644	2,191	2,743	3.0	2.6	2.6	2.6			
一人あたりGDP (2010年価格1,000ドル/人)	1.5	1.4	1.4	1.9	2.5	3.2	4.0	1.2	1.9	2.4	2.2			
一人あたり一次エネルギー消費(toe/人)	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7	0.3	-0.1	0.0	-0.1			
GDPあたり一次エネルギー消費 ²	384	447	434	354	268	207	164	-0.9	-2.0	-2.4	-2.2			
GDPあたりCO ₂ 排出量 ³	552	614	576	501	394	326	274	-0.8	-1.7	-1.8	-1.8			
一次エネルギー消費あたりCO ₂ 排出(t/toe)	1.4	1.4	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	0.1	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	2016	2030	2040	2050	1990	2016	2050	1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2050	2016/ 2050
	合計 ¹	121	223	372	757	1,019	1,184	1,313	100	100	100	4.8	2.1	1.3
石炭	1.2	3.0	8.1	8.7	13	14	14	1.3	1.2	1.1	4.2	2.9	0.4	1.4
石油	90	146	217	327	421	481	526	66	43	40	3.1	1.8	1.1	1.4
天然ガス	29	72	145	415	553	640	708	32	55	54	7.0	2.1	1.2	1.6
原子力	-	-	-	1.7	22	33	39	-	0.2	3.0	n.a.	19.8	3.0	9.6
水力	0.8	1.0	0.7	1.8	2.1	2.3	2.5	0.5	0.2	0.2	2.2	1.0	1.0	1.0
地熱	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
太陽光・風力等	-	0.4	0.7	0.9	6.7	12	21	0.2	0.1	1.6	3.2	15.0	5.9	9.6
バイオマス・廃棄物	0.3	0.4	0.4	0.9	1.1	1.0	1.0	0.2	0.1	0.1	2.9	0.8	-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	2016	2030	2040	2050	1990	2016	2050	1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2050	2016/ 2050
	合計	84	157	253	498	672	782	870	100	100	100	4.5	2.2	1.3
産業	30	47	71	152	204	241	270	30	30	31	4.6	2.1	1.4	1.7
運輸	26	51	75	139	174	193	207	32	28	24	3.9	1.6	0.9	1.2
民生・農業他	22	40	75	136	181	207	226	25	27	26	4.8	2.1	1.1	1.5
非エネルギー消費	5.6	20	32	72	112	141	167	12	14	19	5.1	3.2	2.0	2.5
石炭	0.3	0.2	0.5	2.9	3.7	4.0	4.2	0.1	0.6	0.5	11.2	1.6	0.7	1.0
石油	67	108	153	236	307	351	383	69	47	44	3.1	1.9	1.1	1.4
天然ガス	9.8	31	65	178	242	277	301	20	36	35	6.9	2.2	1.1	1.6
電力	6.5	17	33	80	118	148	180	11	16	21	6.1	2.9	2.1	2.4
熱	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
水素	-	-	-	-	0.0	0.1	0.1	-	-	0.0	n.a.	n.a.	4.1	n.a.
再生可能	0.2	0.7	1.0	1.4	1.6	1.7	1.7	0.5	0.3	0.2	2.5	1.0	0.3	0.6

発電量

	(TWh)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2016	2030	2040	2050	1990	2016	2050	1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2050	2016/ 2050
	合計	95	244	472	1,147	1,694	2,096	2,510	100	100	100	6.1	2.8	2.0
石炭	0.1	11	30	25	40	44	45	4.3	2.2	1.8	3.3	3.5	0.6	1.8
石油	47	108	188	306	383	409	419	44	27	17	4.1	1.6	0.4	0.9
天然ガス	39	114	246	785	1,106	1,384	1,673	47	68	67	7.7	2.5	2.1	2.3
原子力	-	-	-	6.6	83	127	151	-	0.6	6.0	n.a.	19.8	3.0	9.6
水力	9.7	12	8.0	21	24	27	30	4.9	1.8	1.2	2.2	1.0	1.0	1.0
地熱	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
太陽光	-	-	-	2.9	44	78	138	-	0.3	5.5	n.a.	21.5	5.9	12.1
風力	-	0.0	0.0	0.6	7.1	16	33	0.0	0.1	1.3	28.2	18.7	8.0	12.3
太陽熱・海洋	-	-	-	0.3	6.0	10	20	-	0.0	0.8	n.a.	25.1	6.2	13.6
バイオマス・廃棄物	-	-	-	0.1	0.3	0.4	0.6	-	0.0	0.0	n.a.	6.2	2.9	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	2016	2030	2040	2050	1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2050	2016/ 2050
GDP (2010年価格10億ドル)	972	1,024	1,525	2,749	4,118	5,467	7,075	3.9	2.9	2.7	2.8
人口(100万人)	92	132	168	242	299	335	367	2.3	1.5	1.0	1.2
エネルギー起源CO ₂ 排出(100万t)	313	571	948	1,837	2,341	2,649	2,870	4.6	1.7	1.0	1.3
一人あたりGDP (2010年価格1,000ドル/人)	11	7.7	9.1	11	14	16	19	1.5	1.4	1.7	1.6
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	3.5	3.6	2.4	0.6	0.2	0.4
GDPあたり一次エネルギー消費 ²	125	217	244	275	247	217	186	0.9	-0.8	-1.4	-1.2
GDPあたりCO ₂ 排出量 ³	322	557	622	668	568	485	406	0.7	-1.2	-1.7	-1.5
一次エネルギー消費あたりCO ₂ 排出(t/toe)	2.6	2.6	2.6	2.4	2.3	2.2	2.2	-0.2	-0.4	-0.3	-0.3

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

*2 toe/2010年価格100万ドル。*3 t/2010年価格100万ドル

付表

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	2016	2030	2040	2050	1990	2016	2050	1990/2016	2016/2030	2030/2050	2016/2050	
	合計 ¹	79	99	125	151	154	151	145	100	100	100	1.6	0.2	-0.3	-0.1
石炭	28	36	49	45	38	33	28	36	30	20	0.8	-1.2	-1.4	-1.3	
石油	34	35	40	50	49	46	42	35	33	29	1.4	-0.2	-0.7	-0.5	
天然ガス	8.3	19	24	39	43	44	43	19	26	30	2.9	0.7	0.0	0.3	
原子力	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
水力	2.7	3.2	3.5	3.5	3.5	3.6	3.6	3.2	2.3	2.5	0.3	0.1	0.1	0.1	
地熱	1.0	1.5	1.9	4.8	7.6	8.0	8.4	1.5	3.2	5.8	4.7	3.3	0.5	1.6	
太陽光・風力等	0.0	0.1	0.1	2.2	6.1	8.8	12	0.1	1.5	8.4	11.6	7.6	3.5	5.2	
バイオマス・廃棄物	4.1	4.7	6.2	6.6	7.3	7.5	7.5	4.8	4.4	5.2	1.3	0.7	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	2016	2030	2040	2050	1990	2016	2050	1990/2016	2016/2030	2030/2050	2016/2050	
	合計	54	66	83	96	101	102	100	100	100	100	1.4	0.4	-0.1	0.1
産業	20	23	28	27	30	30	29	35	29	29	0.7	0.6	-0.2	0.1	
運輸	19	24	30	38	38	37	36	36	39	35	1.8	0.0	-0.3	-0.2	
民生・農業他	11	15	19	24	27	29	30	22	25	29	1.9	0.8	0.4	0.6	
非エネルギー消費	3.1	4.6	6.1	6.2	6.4	6.4	6.4	6.9	6.5	6.4	1.2	0.3	0.0	0.1	
石炭	5.3	5.2	4.7	3.0	3.1	3.0	2.8	7.9	3.1	2.8	-2.1	0.3	-0.6	-0.2	
石油	31	33	40	49	48	46	43	50	51	43	1.5	-0.1	-0.6	-0.4	
天然ガス	5.4	10	14	16	17	17	17	16	17	17	1.7	0.5	0.0	0.2	
電力	8.5	14	18	22	26	29	31	20	22	31	1.8	1.4	0.9	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.	3.3	n.a.	
再生可能	4.0	4.1	5.6	6.1	6.4	6.2	5.8	6.2	6.3	5.8	1.5	0.4	-0.5	-0.1	

発電量

	(TWh)								構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2016	2030	2040	2050	1990	2016	2050	1990/2016	2016/2030	2030/2050	2016/2050	
	合計	118	187	249	299	361	395	420	100	100	100	1.8	1.4	0.8	1.0
石炭	70	122	176	164	158	150	132	65	55	32	1.1	-0.3	-0.9	-0.6	
石油	5.2	3.6	1.8	5.6	4.9	4.3	3.5	1.9	1.9	0.8	1.7	-0.9	-1.7	-1.4	
天然ガス	8.7	20	26	56	73	81	82	11	19	20	4.0	1.8	0.6	1.1	
原子力	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
水力	32	37	41	41	41	41	42	20	14	9.9	0.3	0.1	0.1	0.1	
地熱	1.2	2.1	2.9	7.4	12	13	13	1.1	2.5	3.1	4.9	3.4	0.5	1.7	
太陽光	-	-	0.0	6.3	22	32	47	-	2.1	11	n.a.	9.4	3.8	6.1	
風力	-	-	0.2	15	43	64	87	-	4.8	21	n.a.	8.1	3.6	5.4	
太陽熱・海洋	-	-	-	0.0	0.0	0.1	0.2	-	0.0	0.0	n.a.	19.2	6.5	11.5	
バイオマス・廃棄物	0.7	1.3	1.7	4.3	7.4	10	13	0.7	1.4	3.1	4.9	3.9	2.8	3.3	
水素	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
その他	-	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	-0.5	0.0	0.0	0.0	

エネルギー・経済指標他

	1980	1990	2000	2016	2030	2040	2050	1990/2016	2016/2030	2030/2050	2016/2050
GDP (2010年価格10億ドル)	526	721	996	1,570	2,193	2,621	3,050	3.0	2.4	1.7	2.0
人口(100万人)	18	20	23	29	34	36	39	1.4	1.1	0.8	0.9
エネルギー起源CO ₂ 排出(100万t)	230	282	363	423	402	376	343	1.6	-0.4	-0.8	-0.6
一人あたりGDP (2010年価格1,000ドル/人)	30	35	43	54	65	72	78	1.7	1.3	0.9	1.1
一人あたり一次エネルギー消費(toe/人)	4.4	4.9	5.4	5.2	4.6	4.1	3.7	0.3	-0.9	-1.1	-1.0
GDPあたり一次エネルギー消費 ²	150	137	126	96	70	58	48	-1.4	-2.2	-1.9	-2.0
GDPあたりCO ₂ 排出量 ³	437	391	365	269	183	143	112	-1.4	-2.7	-2.4	-2.5
一次エネルギー消費あたりCO ₂ 排出(t/toe)	2.9	2.8	2.9	2.8	2.6	2.5	2.4	-0.1	-0.5	-0.5	-0.5

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

*2 toe/2010年価格100万ドル。*3 t/2010年価格100万ドル

付表43 | OECD [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	2016	2030	2040	2050	1990/2016	2016/2030	2030/2050	1990/2016/2030/2050	2016/2030/2050	2030/2050	2016/2050
合計 ¹	4,060	4,522	5,287	5,252	5,258	5,108	4,918	100	100	100	0.6	0.0	-0.3	-0.2
石炭	966	1,076	1,094	887	747	631	517	24	17	11	-0.7	-1.2	-1.8	-1.6
石油	1,938	1,867	2,105	1,887	1,727	1,581	1,437	41	36	29	0.0	-0.6	-0.9	-0.8
天然ガス	778	845	1,164	1,414	1,578	1,632	1,632	19	27	33	2.0	0.8	0.2	0.4
原子力	162	451	586	512	474	429	397	10.0	9.8	8.1	0.5	-0.6	-0.9	-0.7
水力	94	102	115	121	130	132	134	2.3	2.3	2.7	0.7	0.5	0.2	0.3
地熱	10	27	30	36	71	89	105	0.6	0.7	2.1	1.2	4.9	2.0	3.2
太陽光・風力等	0.1	2.0	5.9	80	179	255	332	0.0	1.5	6.8	15.3	5.9	3.1	4.3
バイオマス・廃棄物	111	150	185	313	351	358	363	3.3	6.0	7.4	2.9	0.8	0.2	0.4

最終エネルギー消費

	(Mtoe)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2016	2030	2040	2050	1990/2016	2016/2030	2030/2050	1990/2016/2030/2050	2016/2030/2050	2030/2050	2016/2050
合計	2,937	3,102	3,625	3,654	3,674	3,589	3,479	100	100	100	0.6	0.0	-0.3	-0.1
産業	940	835	910	792	818	825	810	27	22	23	-0.2	0.2	-0.1	0.1
運輸	781	936	1,140	1,232	1,146	1,063	994	30	34	29	1.1	-0.5	-0.7	-0.6
民生・農業他	972	1,038	1,205	1,265	1,317	1,300	1,277	33	35	37	0.8	0.3	-0.2	0.0
非エネルギー消費	243	292	370	365	393	401	398	9.4	10.0	11	0.9	0.5	0.1	0.3
石炭	259	228	134	103	96	89	82	7.4	2.8	2.4	-3.0	-0.5	-0.8	-0.7
石油	1,570	1,586	1,838	1,729	1,594	1,466	1,343	51	47	39	0.3	-0.6	-0.9	-0.7
天然ガス	559	590	745	735	761	752	733	19	20	21	0.8	0.2	-0.2	0.0
電力	408	551	713	813	947	1,016	1,066	18	22	31	1.5	1.1	0.6	0.8
熱	36	46	51	60	56	52	48	1.5	1.6	1.4	1.0	-0.5	-0.8	-0.7
水素	-	-	-	-	0.3	0.5	0.5	-	-	0.0	n.a.	n.a.	1.9	n.a.
再生可能	105	100	144	215	221	214	208	3.2	5.9	6.0	3.0	0.2	-0.3	-0.1

発電量

	(TWh)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2016	2030	2040	2050	1990/2016	2016/2030	2030/2050	1990/2016/2030/2050	2016/2030/2050	2030/2050	2016/2050
合計	5,656	7,640	9,700	10,876	12,608	13,453	14,006	100	100	100	1.4	1.1	0.5	0.7
石炭	2,319	3,089	3,760	3,020	2,668	2,299	1,881	40	28	13	-0.1	-0.9	-1.7	-1.4
石油	980	688	584	243	180	131	72	9.0	2.2	0.5	-3.9	-2.1	-4.5	-3.5
天然ガス	618	773	1,538	2,963	3,948	4,492	4,822	10	27	34	5.3	2.1	1.0	1.4
原子力	621	1,729	2,249	1,965	1,818	1,648	1,524	23	18	11	0.5	-0.6	-0.9	-0.7
水力	1,093	1,185	1,341	1,412	1,508	1,535	1,555	16	13	11	0.7	0.5	0.2	0.3
地熱	11	29	33	51	111	145	173	0.4	0.5	1.2	2.3	5.7	2.2	3.6
太陽光	-	0.1	0.7	219	496	705	901	0.0	2.0	6.4	35.3	6.0	3.0	4.2
風力	0.0	3.8	29	605	1,240	1,714	2,133	0.1	5.6	15	21.5	5.3	2.7	3.8
太陽熱・海洋	0.5	1.2	1.1	10	88	152	247	0.0	0.1	1.8	8.6	16.6	5.3	9.8
バイオマス・廃棄物	13	122	143	353	517	599	665	1.6	3.2	4.7	4.2	2.8	1.3	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	0.2	2.1	0.0	0.0	0.0

エネルギー・経済指標他

	1980	1990	2000	2016	2030	2040	2050	1990/2016	2016/2030	2030/2050	1990/2016/2030/2050	2016/2030/2050	2030/2050	2016/2050
GDP (2010年価格10億ドル)	21,458	29,234	38,070	49,348	63,980	75,356	86,697	2.0	1.9	1.5	1.7	1.5	1.3	1.4
人口(100万人)	980	1,064	1,150	1,281	1,358	1,391	1,409	0.7	0.4	0.2	0.3	0.2	0.2	0.3
エネルギー起源CO ₂ 排出(100万t)	10,616	10,962	12,421	11,549	10,815	10,023	9,157	0.2	-0.5	-0.8	-0.7	-0.5	-0.5	-0.5
一人あたりGDP (2010年価格1,000ドル/人)	22	27	33	39	47	54	62	1.3	1.5	1.3	1.4	1.5	1.3	1.4
一人あたり一次エネルギー消費(toe/人)	4.1	4.2	4.6	4.1	3.9	3.7	3.5	-0.1	-0.4	-0.5	-0.5	-0.4	-0.5	-0.5
GDPあたり一次エネルギー消費 ²	189	155	139	106	82	68	57	-1.4	-1.8	-1.8	-1.8	-1.8	-1.8	-1.8
GDPあたりCO ₂ 排出量 ³	495	375	326	234	169	133	106	-1.8	-2.3	-2.3	-2.3	-2.3	-2.3	-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	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5

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

*2 toe/2010年価格100万ドル。*3 t/2010年価格100万ドル

付表

付表44 | 非OECD [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	2016	2030	2040	2050	1990	2016	2050	1990/2016	2016/2030	2030/2050	2016/2050
合計 ¹	2,969	4,050	4,475	8,111	10,779	12,454	13,692	100	100	100	2.7	2.1	1.2	1.6
石炭	817	1,144	1,222	2,843	3,420	3,721	3,806	28	35	28	3.6	1.3	0.5	0.9
石油	988	1,165	1,284	2,105	2,833	3,281	3,600	29	26	26	2.3	2.1	1.2	1.6
天然ガス	454	818	908	1,621	2,382	2,960	3,497	20	20	26	2.7	2.8	1.9	2.3
原子力	24	74	89	167	340	427	514	1.8	2.1	3.8	3.2	5.2	2.1	3.4
水力	54	82	110	228	295	334	367	2.0	2.8	2.7	4.0	1.9	1.1	1.4
地熱	2.2	7.6	22	45	112	145	178	0.2	0.5	1.3	7.0	6.8	2.4	4.2
太陽光・風力等	-	0.5	2.1	65	209	317	429	0.0	0.8	3.1	20.8	8.8	3.7	5.7
バイオマス・廃棄物	631	759	837	1,036	1,187	1,269	1,300	19	13	9.5	1.2	1.0	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	2016	2030	2040	2050	1990	2016	2050	1990/2016	2016/2030	2030/2050	2016/2050
合計	2,252	2,967	3,136	5,503	7,168	8,254	9,133	100	100	100	2.4	1.9	1.2	1.5
産業	825	968	957	1,960	2,396	2,710	2,961	33	36	32	2.7	1.4	1.1	1.2
運輸	286	432	544	1,117	1,577	1,832	2,032	15	20	22	3.7	2.5	1.3	1.8
民生・農業他	1,030	1,379	1,392	1,920	2,490	2,857	3,160	46	35	35	1.3	1.9	1.2	1.5
非エネルギー消費	111	187	243	505	705	855	981	6.3	9.2	11	3.9	2.4	1.7	2.0
石炭	444	524	408	933	954	960	938	18	17	10	2.2	0.2	-0.1	0.0
石油	697	817	1,010	1,781	2,449	2,854	3,160	28	32	35	3.0	2.3	1.3	1.7
天然ガス	256	354	372	706	1,020	1,219	1,376	12	13	15	2.7	2.7	1.5	2.0
電力	177	283	377	981	1,542	1,974	2,415	9.5	18	26	4.9	3.3	2.3	2.7
熱	85	291	197	223	237	245	251	9.8	4.1	2.7	-1.0	0.4	0.3	0.3
水素	-	-	-	-	0.4	0.7	0.8	-	-	0.0	n.a.	n.a.	4.0	n.a.
再生可能	593	698	772	880	964	1,001	992	24	16	11	0.9	0.7	0.1	0.4

発電量

	(TWh)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2016	2030	2040	2050	1990	2016	2050	1990/2016	2016/2030	2030/2050	2016/2050
合計	2,628	4,212	5,741	14,097	21,861	27,459	32,909	100	100	100	4.8	3.2	2.1	2.5
石炭	817	1,342	2,242	6,575	9,206	10,796	12,031	32	47	37	6.3	2.4	1.3	1.8
石油	678	635	628	689	802	861	821	15	4.9	2.5	0.3	1.1	0.1	0.5
天然ガス	381	977	1,209	2,831	4,638	6,521	8,716	23	20	26	4.2	3.6	3.2	3.4
原子力	93	283	341	641	1,305	1,639	1,972	6.7	4.5	6.0	3.2	5.2	2.1	3.4
水力	624	959	1,277	2,649	3,432	3,881	4,269	23	19	13	4.0	1.9	1.1	1.4
地熱	2.6	7.8	19	30	84	109	135	0.2	0.2	0.4	5.4	7.5	2.4	4.5
太陽光	-	0.0	0.3	109	733	1,218	1,752	0.0	0.8	5.3	52.1	14.6	4.5	8.5
風力	-	0.0	2.8	352	1,205	1,786	2,373	0.0	2.5	7.2	42.5	9.2	3.4	5.8
太陽熱・海洋	-	0.0	0.0	1.2	30	63	104	0.0	0.0	0.3	21.9	25.9	6.4	14.0
バイオマス・廃棄物	31	7.7	21	217	425	583	734	0.2	1.5	2.2	13.7	4.9	2.8	3.6
水素	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
その他	-	0.0	0.6	2.3	2.3	2.3	2.3	0.0	0.0	0.0	17.2	0.0	0.0	0.0

エネルギー・経済指標他

	1980	1990	2000	2016	2030	2040	2050	1990/2016	2016/2030	2030/2050	2016/2050
GDP (2010年価格10億ドル)	6,632	8,648	11,887	27,973	52,582	77,674	105,279	4.6	4.6	3.5	4.0
人口(100万人)	3,457	4,216	4,963	6,152	7,156	7,781	8,324	1.5	1.1	0.8	0.9
エネルギー起源CO ₂ 排出(100万t)	6,637	8,888	9,841	19,564	25,134	28,577	30,788	3.1	1.8	1.0	1.3
一人あたりGDP (2010年価格1,000ドル/人)	1.9	2.1	2.4	4.5	7.3	10.0	13	3.1	3.5	2.8	3.1
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	0.4	0.7
GDPあたり一次エネルギー消費 ²	448	468	376	290	205	160	130	-1.8	-2.4	-2.2	-2.3
GDPあたりCO ₂ 排出量 ³	1,001	1,028	828	699	478	368	292	-1.5	-2.7	-2.4	-2.5
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	-0.2	-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	2016	2030	2040	2050	1990	2016	2050	1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2050	2016/ 2050
合計 ¹	7,208	8,774	10,036	13,761	15,834	16,650	16,994	100	100	100	1.7	1.0	0.4	0.6
石炭	1,783	2,220	2,316	3,731	3,646	3,391	2,968	25	27	17	2.0	-0.2	-1.0	-0.7
石油	3,105	3,234	3,663	4,390	4,681	4,662	4,543	37	32	27	1.2	0.5	-0.1	0.1
天然ガス	1,232	1,664	2,072	3,035	3,761	4,140	4,274	19	22	25	2.3	1.5	0.6	1.0
原子力	186	526	675	680	1,008	1,246	1,481	6.0	4.9	8.7	1.0	2.9	1.9	2.3
水力	148	184	225	349	425	466	501	2.1	2.5	2.9	2.5	1.4	0.8	1.1
地熱	12	34	52	81	242	339	430	0.4	0.6	2.5	3.4	8.2	2.9	5.1
太陽光・風力等	0.1	2.5	8.0	145	508	810	1,175	0.0	1.1	6.9	17.0	9.4	4.3	6.3
バイオマス・廃棄物	742	909	1,022	1,349	1,562	1,595	1,620	10	9.8	9.5	1.5	1.0	0.2	0.5

最終エネルギー消費

	(Mtoe)							構成比(%)			1990/2016/2030/2050			
	1980	1990	2000	2016	2030	2040	2050	1990	2016	2050	1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2050	2016/ 2050
合計	5,368	6,271	7,035	9,555	10,863	11,333	11,546	100	100	100	1.6	0.9	0.3	0.6
産業	1,766	1,804	1,868	2,753	3,106	3,258	3,278	29	29	28	1.6	0.9	0.3	0.5
運輸	1,246	1,570	1,958	2,748	2,997	3,001	2,985	25	29	26	2.2	0.6	0.0	0.2
民生・農業他	2,002	2,417	2,596	3,185	3,663	3,817	3,904	39	33	34	1.1	1.0	0.3	0.6
非エネルギー消費	354	480	614	870	1,098	1,256	1,379	7.6	9.1	12	2.3	1.7	1.1	1.4
石炭	703	752	542	1,036	1,020	980	907	12	11	7.9	1.2	-0.1	-0.6	-0.4
石油	2,446	2,605	3,122	3,908	4,235	4,250	4,186	42	41	36	1.6	0.6	-0.1	0.2
天然ガス	815	945	1,118	1,440	1,747	1,857	1,889	15	15	16	1.6	1.4	0.4	0.8
電力	586	834	1,089	1,794	2,446	2,889	3,278	13	19	28	3.0	2.2	1.5	1.8
熱	121	336	248	283	285	276	261	5.4	3.0	2.3	-0.7	0.0	-0.4	-0.2
水素	-	-	-	-	0.6	2.2	6.2	-	-	0.1	n.a.	n.a.	12.9	n.a.
再生可能	698	799	916	1,095	1,130	1,080	1,018	13	11	8.8	1.2	0.2	-0.5	-0.2

発電量

	(TWh)							構成比(%)			1990/2016/2030/2050			
	1980	1990	2000	2016	2030	2040	2050	1990	2016	2050	1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2050	2016/ 2050
合計	8,283	11,852	15,441	24,973	33,592	38,835	43,245	100	100	100	2.9	2.1	1.3	1.6
石炭	3,137	4,430	6,001	9,594	9,665	8,869	7,577	37	38	18	3.0	0.1	-1.2	-0.7
石油	1,659	1,323	1,212	931	796	689	512	11	3.7	1.2	-1.3	-1.1	-2.2	-1.7
天然ガス	999	1,750	2,747	5,794	7,825	9,188	9,929	15	23	23	4.7	2.2	1.2	1.6
原子力	713	2,013	2,591	2,606	3,868	4,783	5,685	17	10	13	1.0	2.9	1.9	2.3
水力	1,717	2,144	2,618	4,061	4,940	5,415	5,824	18	16	13	2.5	1.4	0.8	1.1
地熱	14	36	52	82	268	371	468	0.3	0.3	1.1	3.2	8.8	2.8	5.3
太陽光	-	0.1	1.0	328	1,677	2,750	3,884	0.0	1.3	9.0	37.3	12.4	4.3	7.5
風力	0.0	3.9	31	958	3,186	4,864	6,762	0.0	3.8	16	23.6	9.0	3.8	5.9
太陽熱・海洋	0.5	1.2	1.1	12	190	422	814	0.0	0.0	1.9	9.1	22.2	7.5	13.3
バイオマス・廃棄物	44	130	164	571	1,141	1,448	1,755	1.1	2.3	4.1	5.9	5.1	2.2	3.4
水素	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
その他	-	20	22	37	37	37	37	0.2	0.1	0.1	2.3	0.0	0.0	0.0

エネルギー・経済指標他

	1980	1990	2000	2016	2030	2040	2050	1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2050	2016/ 2050
GDP (2010年価格10億ドル)	28,090	37,882	49,957	77,321	116,562	153,030	191,975	2.8	3.0	2.5	2.7
人口(100万人)	4,437	5,281	6,113	7,433	8,514	9,172	9,733	1.3	1.0	0.7	0.8
エネルギー起源CO ₂ 排出(100万t)	17,808	20,479	23,113	32,353	33,335	31,513	28,714	1.8	0.2	-0.7	-0.4
一人あたりGDP (2010年価格1,000ドル/人)	6.3	7.2	8.2	10	14	17	20	1.4	2.0	1.8	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	1.8	1.7	0.4	0.0	-0.3	-0.2
GDPあたり一次エネルギー消費 ²	257	232	201	178	136	109	89	-1.0	-1.9	-2.1	-2.0
GDPあたりCO ₂ 排出量 ³	634	541	463	418	286	206	150	-1.0	-2.7	-3.2	-3.0
一次エネルギー消費あたりCO ₂ 排出(t/toe)	2.5	2.3	2.3	2.4	2.1	1.9	1.7	0.0	-0.8	-1.1	-1.0

*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

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	2016	2030	2040	2050	1990	2016	2050	1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2050	2016/ 2050
合計 ¹	1,439	2,110	2,887	5,497	6,997	7,622	7,917	100	100	100	3.8	1.7	0.6	1.1
石炭	466	787	1,036	2,685	2,851	2,761	2,502	37	49	32	4.8	0.4	-0.6	-0.2
石油	477	618	916	1,367	1,711	1,807	1,815	29	25	23	3.1	1.6	0.3	0.8
天然ガス	51	116	233	567	941	1,167	1,316	5.5	10	17	6.3	3.7	1.7	2.5
原子力	25	77	132	122	398	583	765	3.6	2.2	9.7	1.8	8.8	3.3	5.6
水力	20	32	41	138	182	205	221	1.5	2.5	2.8	5.8	2.0	1.0	1.4
地熱	2.6	8.2	23	40	122	179	231	0.4	0.7	2.9	6.3	8.4	3.2	5.3
太陽光・風力等	-	1.2	2.1	62	229	351	484	0.1	1.1	6.1	16.2	9.8	3.8	6.2
バイオマス・廃棄物	397	471	503	517	563	569	582	22	9.4	7.3	0.4	0.6	0.2	0.4

最終エネルギー消費

	(Mtoe)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2016	2030	2040	2050	1990	2016	2050	1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2050	2016/ 2050
合計	1,129	1,556	1,991	3,709	4,592	4,950	5,123	100	100	100	3.4	1.5	0.5	1.0
産業	383	514	647	1,511	1,726	1,796	1,800	33	41	35	4.2	1.0	0.2	0.5
運輸	124	184	318	661	892	947	968	12	18	19	5.1	2.2	0.4	1.1
民生・農業他	569	741	842	1,162	1,475	1,624	1,715	48	31	33	1.7	1.7	0.8	1.2
非エネルギー消費	54	117	185	375	499	583	640	7.5	10	12	4.6	2.1	1.3	1.6
石炭	301	424	373	899	879	841	778	27	24	15	2.9	-0.2	-0.6	-0.4
石油	326	459	734	1,204	1,547	1,647	1,670	29	32	33	3.8	1.8	0.4	1.0
天然ガス	21	47	88	266	440	511	544	3.0	7.2	11	6.9	3.6	1.1	2.1
電力	88	156	278	784	1,193	1,450	1,668	10	21	33	6.4	3.0	1.7	2.2
熱	7.5	14	30	96	106	109	104	0.9	2.6	2.0	7.6	0.7	-0.1	0.2
水素	-	-	-	-	0.3	1.1	3.0	-	-	0.1	n.a.	n.a.	13.0	n.a.
再生可能	386	456	488	459	427	391	356	29	12	7.0	0.0	-0.5	-0.9	-0.7

発電量

	(TWh)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2016	2030	2040	2050	1990	2016	2050	1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2050	2016/ 2050
合計	1,196	2,240	3,983	10,768	16,250	19,345	21,851	100	100	100	6.2	3.0	1.5	2.1
石炭	298	869	1,990	6,443	7,393	7,257	6,617	39	60	30	8.0	1.0	-0.6	0.1
石油	476	434	390	233	169	135	89	19	2.2	0.4	-2.4	-2.3	-3.2	-2.8
天然ガス	90	237	559	1,340	2,242	3,023	3,705	11	12	17	6.9	3.7	2.5	3.0
原子力	97	294	505	468	1,529	2,236	2,935	13	4.3	13	1.8	8.8	3.3	5.6
水力	232	369	478	1,603	2,118	2,382	2,565	16	15	12	5.8	2.0	1.0	1.4
地熱	3.0	8.4	20	24	80	116	151	0.4	0.2	0.7	4.2	8.8	3.2	5.5
太陽光	-	0.1	0.6	152	974	1,602	2,187	0.0	1.4	10	34.4	14.2	4.1	8.2
風力	-	0.0	2.4	294	1,285	1,985	2,812	0.0	2.7	13	41.7	11.1	4.0	6.9
太陽熱・海洋	-	0.0	0.0	0.5	12	28	62	0.0	0.0	0.3	18.2	25.2	8.4	15.0
バイオマス・廃棄物	0.0	9.5	17	187	425	559	705	0.4	1.7	3.2	12.1	6.0	2.6	4.0
水素	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
その他	-	20	20	23	23	23	23	0.9	0.2	0.1	0.6	0.0	0.0	0.0

エネルギー・経済指標他

	1980	1990	2000	2016	2030	2040	2050	1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2050	2016/ 2050
GDP (2010年価格10億ドル)	4,441	7,560	11,025	23,349	42,947	61,820	81,967	4.4	4.4	3.3	3.8
人口(100万人)	2,440	2,933	3,410	4,035	4,439	4,601	4,665	1.2	0.7	0.2	0.4
エネルギー起源CO ₂ 排出(100万t)	3,105	4,632	6,720	14,795	16,704	16,369	15,090	4.6	0.9	-0.5	0.1
一人あたりGDP (2010年価格1,000ドル/人)	1.8	2.6	3.2	5.8	9.7	13	18	3.2	3.7	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	1.7	1.7	2.5	1.0	0.4	0.6
GDPあたり一次エネルギー消費 ²	324	279	262	235	163	123	97	-0.7	-2.6	-2.6	-2.6
GDPあたりCO ₂ 排出量 ³	699	613	609	634	389	265	184	0.1	-3.4	-3.7	-3.6
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	2.4	2.1	1.9	0.8	-0.9	-1.1	-1.0

*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	2016	2030	2040	2050	1990	2016	2050	1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2050	2016/ 2050
	合計 ¹	598	874	1,130	2,958	3,427	3,503	3,343	100	100	100	4.8	1.1	-0.1
石炭	313	531	665	1,916	1,791	1,578	1,240	61	65	37	5.1	-0.5	-1.8	-1.3
石油	89	119	221	545	678	657	587	14	18	18	6.0	1.6	-0.7	0.2
天然ガス	12	13	21	171	365	455	490	1.5	5.8	15	10.5	5.6	1.5	3.1
原子力	-	-	4.4	56	188	308	427	-	1.9	13	n.a.	9.1	4.2	6.2
水力	5.0	11	19	100	122	132	135	1.2	3.4	4.0	8.9	1.4	0.5	0.9
地熱	-	-	1.7	9.4	12	14	14	-	0.3	0.4	n.a.	1.9	0.7	1.2
太陽光・風力等	-	0.0	1.0	49	156	223	295	0.0	1.7	8.8	32.4	8.6	3.2	5.4
バイオマス・廃棄物	180	200	198	113	117	137	156	23	3.8	4.7	-2.2	0.2	1.4	0.9

最終エネルギー消費

	(Mtoe)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2016	2030	2040	2050	1990	2016	2050	1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2050	2016/ 2050
	合計	487	658	781	1,969	2,260	2,301	2,212	100	100	100	4.3	1.0	-0.1
産業	181	234	302	994	950	898	833	36	50	38	5.7	-0.3	-0.7	-0.5
運輸	22	30	84	297	424	416	375	4.6	15	17	9.2	2.6	-0.6	0.7
民生・農業他	274	351	338	516	670	736	736	53	26	33	1.5	1.9	0.5	1.0
非エネルギー消費	10	43	57	162	215	252	269	6.5	8.2	12	5.3	2.0	1.1	1.5
石炭	214	311	274	710	601	525	445	47	36	20	3.2	-1.2	-1.5	-1.4
石油	59	85	180	495	626	609	546	13	25	25	7.0	1.7	-0.7	0.3
天然ガス	6.4	8.9	12	113	198	226	233	1.3	5.7	11	10.3	4.1	0.8	2.2
電力	21	39	89	445	635	733	782	5.9	23	35	9.8	2.6	1.0	1.7
熱	7.4	13	26	90	99	102	97	2.0	4.6	4.4	7.7	0.7	-0.1	0.2
水素	-	-	-	-	0.2	0.9	2.6	-	-	0.1	n.a.	n.a.	14.3	n.a.
再生可能	180	200	199	117	100	106	106	30	5.9	4.8	-2.1	-1.1	0.3	-0.3

発電量

	(TWh)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2016	2030	2040	2050	1990	2016	2050	1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2050	2016/ 2050
	合計	301	621	1,356	6,187	8,687	9,833	10,313	100	100	100	9.2	2.5	0.9
石炭	159	441	1,060	4,242	4,277	3,809	2,830	71	69	27	9.1	0.1	-2.0	-1.2
石油	82	50	47	10	8.6	6.2	3.4	8.1	0.2	0.0	-5.9	-1.3	-4.5	-3.2
天然ガス	0.7	2.8	5.8	170	634	890	1,002	0.4	2.8	9.7	17.2	9.8	2.3	5.3
原子力	-	-	17	213	721	1,183	1,639	-	3.4	16	n.a.	9.1	4.2	6.2
水力	58	127	222	1,163	1,414	1,531	1,574	20	19	15	8.9	1.4	0.5	0.9
地熱	-	0.1	0.1	0.1	0.5	0.6	0.7	0.0	0.0	0.0	3.1	10.1	2.1	5.3
太陽光	-	0.0	0.0	75	469	698	886	0.0	1.2	8.6	50.0	14.0	3.2	7.5
風力	-	0.0	0.6	237	992	1,479	2,061	0.0	3.8	20	56.7	10.8	3.7	6.6
太陽熱・海洋	-	0.0	0.0	0.0	3.5	11	29	0.0	0.0	0.3	6.9	37.5	11.2	21.4
バイオマス・廃棄物	-	-	2.4	76	168	225	288	-	1.2	2.8	n.a.	5.8	2.7	4.0
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	2016	2030	2040	2050	1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2050	2016/ 2050
	GDP (2010年価格10億ドル)	341	830	2,237	9,504	20,603	31,022	40,505	9.8	5.7	3.4
人口(100万人)	981	1,135	1,263	1,379	1,416	1,393	1,341	0.8	0.2	-0.3	-0.1
エネルギー起源CO ₂ 排出(100万t)	1,392	2,136	3,126	9,015	9,042	8,113	6,574	5.7	0.0	-1.6	-0.9
一人あたりGDP (2010年価格1,000ドル/人)	0.3	0.7	1.8	6.9	15	22	30	9.0	5.5	3.7	4.4
一人あたり一次エネルギー消費(toe/人)	0.6	0.8	0.9	2.1	2.4	2.5	2.5	4.0	0.9	0.1	0.4
GDPあたり一次エネルギー消費 ²	1,752	1,053	505	311	166	113	83	-4.6	-4.4	-3.4	-3.8
GDPあたりCO ₂ 排出量 ³	4,079	2,575	1,398	949	439	262	162	-3.8	-5.4	-4.9	-5.1
一次エネルギー消費あたりCO ₂ 排出(t/toe)	2.3	2.4	2.8	3.0	2.6	2.3	2.0	0.9	-1.0	-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

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	2016	2030	2040	2050	1990	2016	2050	1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2050	2016/ 2050
合計 ¹	200	306	441	862	1,436	1,732	1,984	100	100	100	4.1	3.7	1.6	2.5
石炭	44	93	146	380	603	676	735	30	44	37	5.6	3.4	1.0	2.0
石油	33	61	112	217	375	466	524	20	25	26	5.0	4.0	1.7	2.6
天然ガス	1.3	11	23	47	123	178	226	3.5	5.5	11	5.9	7.1	3.1	4.7
原子力	0.8	1.6	4.4	9.9	53	92	130	0.5	1.1	6.6	7.3	12.7	4.6	7.9
水力	4.0	6.2	6.4	12	24	31	38	2.0	1.4	1.9	2.5	5.2	2.4	3.5
地熱	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
太陽光・風力等	-	0.0	0.2	5.8	51	88	128	0.0	0.7	6.4	27.5	16.8	4.7	9.5
バイオマス・廃棄物	116	133	149	192	207	200	203	44	22	10	1.4	0.5	-0.1	0.2

最終エネルギー消費

	(Mtoe)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2016	2030	2040	2050	1990	2016	2050	1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2050	2016/ 2050
合計	174	243	314	572	940	1,141	1,306	100	100	100	3.4	3.6	1.7	2.5
産業	41	67	83	193	361	430	468	27	34	36	4.2	4.6	1.3	2.6
運輸	17	21	32	90	156	198	228	8.5	16	17	5.8	4.0	1.9	2.8
民生・農業他	110	142	172	243	335	399	472	59	43	36	2.1	2.3	1.7	2.0
非エネルギー消費	5.7	13	27	46	88	115	137	5.5	8.1	10	4.9	4.7	2.3	3.2
石炭	25	38	33	99	173	204	216	16	17	17	3.7	4.1	1.1	2.3
石油	27	50	94	182	330	416	473	21	32	36	5.1	4.3	1.8	2.8
天然ガス	0.7	5.6	9.7	32	72	94	107	2.3	5.6	8.2	6.9	5.9	2.0	3.6
電力	7.8	18	32	95	217	304	402	7.6	17	31	6.5	6.1	3.1	4.3
熱	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
水素	-	-	-	-	0.0	0.1	0.2	-	-	0.0	n.a.	n.a.	12.4	n.a.
再生可能	114	130	144	164	147	124	108	54	29	8.2	0.9	-0.8	-1.6	-1.2

発電量

	(TWh)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2016	2030	2040	2050	1990	2016	2050	1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2050	2016/ 2050
合計	120	293	570	1,478	3,187	4,210	5,351	100	100	100	6.4	5.6	2.6	3.9
石炭	61	192	390	1,105	1,756	1,913	2,135	65	75	40	7.0	3.4	1.0	2.0
石油	8.8	13	29	23	26	20	12	4.5	1.6	0.2	2.2	0.7	-3.9	-2.1
天然ガス	0.6	10.0	56	71	251	439	665	3.4	4.8	12	7.9	9.4	5.0	6.8
原子力	3.0	6.1	17	38	203	352	500	2.1	2.6	9.3	7.3	12.7	4.6	7.9
水力	47	72	74	138	280	364	448	24	9.3	8.4	2.5	5.2	2.4	3.5
地熱	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
太陽光	-	-	0.0	14	311	550	762	-	1.0	14	n.a.	24.7	4.6	12.4
風力	-	0.0	1.7	45	240	408	604	0.0	3.0	11	32.1	12.7	4.7	7.9
太陽熱・海洋	-	-	-	-	5.1	11	22	-	-	0.4	n.a.	n.a.	7.6	n.a.
バイオマス・廃棄物	-	-	1.3	44	115	154	204	-	3.0	3.8	n.a.	7.2	2.9	4.6
水素	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
その他	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.

エネルギー・経済指標他

	1980	1990	2000	2016	2030	2040	2050	1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2050	2016/ 2050
GDP (2010年価格10億ドル)	271	465	800	2,456	6,243	10,407	16,104	6.6	6.9	4.9	5.7
人口(100万人)	697	870	1,053	1,324	1,513	1,605	1,659	1.6	1.0	0.5	0.7
エネルギー起源CO ₂ 排出(100万t)	258	529	885	2,078	3,470	3,972	4,283	5.4	3.7	1.1	2.1
一人あたりGDP (2010年価格1,000ドル/人)	0.4	0.5	0.8	1.9	4.1	6.5	9.7	4.9	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	0.9	1.1	1.2	2.4	2.7	1.2	1.8
GDPあたり一次エネルギー消費 ²	739	658	551	351	230	166	123	-2.4	-3.0	-3.1	-3.0
GDPあたりCO ₂ 排出量 ³	953	1,138	1,106	846	556	382	266	-1.1	-3.0	-3.6	-3.3
一次エネルギー消費あたりCO ₂ 排出(t/toe)	1.3	1.7	2.0	2.4	2.4	2.3	2.2	1.3	0.0	-0.6	-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	2016	2030	2040	2050	1990/2016	2016/2030	2030/2050	1990/2016	2016/2030	2030/2050	2016/2050
合計 ¹	345	438	518	426	418	385	352	100	100	100	-0.1	-0.1	-0.9	-0.6
石炭	60	76	97	114	97	84	66	17	27	19	1.6	-1.2	-1.9	-1.6
石油	234	250	255	177	135	114	96	57	42	27	-1.3	-1.9	-1.7	-1.8
天然ガス	21	44	66	102	83	77	69	10	24	19	3.3	-1.4	-1.0	-1.2
原子力	22	53	84	4.7	60	56	56	12	1.1	16	-8.9	20.0	-0.4	7.6
水力	7.6	7.6	7.3	6.8	7.7	7.8	7.9	1.7	1.6	2.2	-0.4	0.9	0.1	0.4
地熱	0.8	1.6	3.1	2.3	6.4	11	15	0.4	0.5	4.3	1.5	7.4	4.5	5.7
太陽光・風力等	-	1.2	0.8	5.1	9.1	14	19	0.3	1.2	5.3	5.8	4.2	3.7	3.9
バイオマス・廃棄物	-	4.6	4.9	14	19	21	24	1.0	3.2	6.8	4.4	2.3	1.1	1.6

最終エネルギー消費

	(Mtoe)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2016	2030	2040	2050	1990/2016	2016/2030	2030/2050	1990/2016	2016/2030	2030/2050	2016/2050
合計	232	288	331	294	271	249	230	100	100	100	0.1	-0.6	-0.8	-0.7
産業	91	106	97	82	78	76	73	37	28	32	-1.0	-0.3	-0.3	-0.3
運輸	54	68	86	72	53	44	37	24	24	16	0.2	-2.1	-1.7	-1.9
民生・農業他	58	78	106	104	103	95	85	27	35	37	1.1	0.0	-1.0	-0.6
非エネルギー消費	28	36	41	37	36	35	34	12	13	15	0.2	-0.2	-0.4	-0.3
石炭	25	27	21	21	19	18	16	9.5	7.3	7.0	-0.9	-0.7	-0.9	-0.8
石油	157	177	202	150	121	103	88	61	51	38	-0.6	-1.5	-1.6	-1.6
天然ガス	5.8	15	22	32	35	33	30	5.1	11	13	3.0	0.7	-0.8	-0.2
電力	44	65	81	83	89	89	87	23	28	38	1.0	0.5	-0.1	0.1
熱	0.1	0.2	0.5	0.5	0.4	0.4	0.3	0.1	0.2	0.1	3.7	-1.0	-1.5	-1.3
水素	-	-	-	-	0.1	0.1	0.2	-	-	0.1	n.a.	n.a.	7.0	n.a.
再生可能	-	3.9	3.8	6.7	6.5	6.4	7.4	1.4	2.3	3.2	2.1	-0.2	0.6	0.3

発電量

	(TWh)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2016	2030	2040	2050	1990/2016	2016/2030	2030/2050	1990/2016	2016/2030	2030/2050	2016/2050
合計	573	861	1,058	1,052	1,119	1,121	1,098	100	100	100	0.8	0.4	-0.1	0.1
石炭	55	123	230	349	286	241	181	14	33	16	4.1	-1.4	-2.3	-1.9
石油	265	248	140	84	31	18	5.9	29	8.0	0.5	-4.1	-6.8	-8.0	-7.5
天然ガス	81	168	248	406	290	286	270	20	39	25	3.5	-2.4	-0.4	-1.2
原子力	83	202	322	18	232	215	215	24	1.7	20	-8.9	20.0	-0.4	7.6
水力	88	88	84	79	89	91	91	10	7.5	8.3	-0.4	0.9	0.1	0.4
地熱	0.9	1.7	3.3	2.5	7.2	12	18	0.2	0.2	1.6	1.4	7.8	4.5	5.9
太陽光	-	0.1	0.4	51	84	130	168	0.0	4.8	15	29.1	3.6	3.5	3.6
風力	-	-	0.1	6.0	20	35	50	-	0.6	4.5	n.a.	9.1	4.6	6.4
太陽熱・海洋	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
バイオマス・廃棄物	-	8.9	10	34	58	71	79	1.0	3.2	7.2	5.2	4.0	1.5	2.5
水素	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
その他	-	20	20	21	21	21	21	2.3	2.0	2.0	0.3	0.0	0.0	0.0

エネルギー・経済指標他

	1980	1990	2000	2016	2030	2040	2050	1990/2016	2016/2030	2030/2050	1990/2016	2016/2030	2030/2050	2016/2050
GDP (2010年価格10億ドル)	2,977	4,683	5,349	6,053	6,808	7,353	7,885	1.0	0.8	0.7	0.8	0.8	0.7	0.8
人口(100万人)	117	124	127	127	121	115	108	0.1	-0.4	-0.6	-0.5	-0.4	-0.6	-0.5
エネルギー起源CO ₂ 排出(100万t)	908	1,046	1,145	1,138	904	778	642	0.3	-1.6	-1.7	-1.7	-1.6	-1.7	-1.7
一人あたりGDP (2010年価格1,000ドル/人)	25	38	42	48	56	64	73	0.9	1.2	1.3	1.3	1.2	1.3	1.3
一人あたり一次エネルギー消費(toe/人)	3.0	3.5	4.1	3.4	3.5	3.4	3.3	-0.2	0.2	-0.3	-0.1	0.2	-0.3	-0.1
GDPあたり一次エネルギー消費 ²	116	94	97	70	61	52	45	-1.1	-1.0	-1.6	-1.3	-1.0	-1.6	-1.3
GDPあたりCO ₂ 排出量 ³	305	223	214	188	133	106	81	-0.7	-2.4	-2.4	-2.4	-2.4	-2.4	-2.4
一次エネルギー消費あたりCO ₂ 排出(t/toe)	2.6	2.4	2.2	2.7	2.2	2.0	1.8	0.4	-1.5	-0.8	-1.1	-1.5	-0.8	-1.1

*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

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	2016	2030	2040	2050	1990	2016	2050	1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2050	2016/ 2050
	合計 ¹	142	233	379	643	998	1,247	1,460	100	100	100	4.0	3.2	1.9
石炭	3.6	13	32	120	209	269	316	5.4	19	22	9.1	4.0	2.1	2.9
石油	58	89	153	220	294	343	389	38	34	27	3.6	2.1	1.4	1.7
天然ガス	8.6	30	74	139	212	259	298	13	22	20	6.1	3.1	1.7	2.3
原子力	-	-	-	-	14	49	76	-	-	5.2	n.a.	n.a.	9.0	n.a.
水力	0.8	2.3	4.1	11	18	20	22	1.0	1.7	1.5	6.1	3.5	1.1	2.1
地熱	1.8	6.6	18	28	103	153	200	2.8	4.3	14	5.7	9.8	3.4	6.0
太陽光・風力等	-	-	-	0.6	6.4	13	22	-	0.1	1.5	n.a.	19.1	6.5	11.5
バイオマス・廃棄物	70	93	98	123	139	137	132	40	19	9.0	1.1	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	2016	2030	2040	2050	1990	2016	2050	1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2050	2016/ 2050
	合計	112	173	270	451	629	739	835	100	100	100	3.7	2.4	1.4
産業	22	43	75	129	201	246	275	25	29	33	4.3	3.2	1.6	2.3
運輸	17	32	61	122	164	192	226	19	27	27	5.2	2.1	1.6	1.8
民生・農業他	71	87	113	148	189	207	221	50	33	26	2.1	1.8	0.8	1.2
非エネルギー消費	2.4	11	21	52	76	95	114	6.3	12	14	6.2	2.7	2.1	2.3
石炭	2.1	6.1	13	35	51	58	61	3.5	7.8	7.3	7.0	2.6	0.9	1.6
石油	41	67	123	204	276	325	371	38	45	44	4.4	2.2	1.5	1.8
天然ガス	2.5	7.5	17	37	62	76	83	4.4	8.2	10.0	6.3	3.8	1.5	2.4
電力	4.7	11	28	73	137	188	239	6.4	16	29	7.5	4.6	2.8	3.5
熱	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
水素	-	-	-	-	0.0	0.0	0.1	-	-	0.0	n.a.	n.a.	7.9	n.a.
再生可能	61	82	89	102	102	92	80	47	23	9.6	0.8	0.0	-1.2	-0.7

発電量

	(TWh)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2016	2030	2040	2050	1990	2016	2050	1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2050	2016/ 2050
	合計	62	154	370	926	1,753	2,400	3,040	100	100	100	7.1	4.7	2.8
石炭	3.0	28	79	339	679	893	1,098	18	37	36	10.1	5.1	2.4	3.5
石油	47	66	72	25	21	19	11	43	2.7	0.4	-3.7	-1.2	-3.0	-2.2
天然ガス	0.7	26	154	383	588	725	889	17	41	29	10.9	3.1	2.1	2.5
原子力	-	-	-	-	52	187	292	-	-	9.6	n.a.	n.a.	9.0	n.a.
水力	9.8	27	47	128	208	238	259	18	14	8.5	6.1	3.5	1.1	2.1
地熱	2.1	6.6	16	22	71	102	131	4.3	2.3	4.3	4.7	8.8	3.1	5.4
太陽光	-	-	-	4.9	63	135	226	-	0.5	7.4	n.a.	20.0	6.6	11.9
風力	-	-	-	1.5	11	22	33	-	0.2	1.1	n.a.	15.2	5.7	9.5
太陽熱・海洋	-	-	-	-	0.1	0.2	0.5	-	-	0.0	n.a.	n.a.	9.9	n.a.
バイオマス・廃棄物	-	0.6	1.0	23	60	79	100	0.4	2.5	3.3	15.1	7.0	2.6	4.4
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	2016	2030	2040	2050	1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2050	2016/ 2050
GDP (2010年価格10億ドル)	440	741	1,180	2,607	5,042	7,503	10,546	5.0	4.8	3.8	4.2
人口(100万人)	346	430	506	618	700	740	765	1.4	0.9	0.4	0.6
エネルギー起源CO ₂ 排出(100万t)	188	348	676	1,298	1,886	2,037	2,112	5.2	2.7	0.6	1.4
一人あたりGDP (2010年価格1,000ドル/人)	1.3	1.7	2.3	4.2	7.2	10	14	3.5	3.9	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	1.0	1.4	1.7	1.9	2.5	2.3	1.5	1.8
GDPあたり一次エネルギー消費 ²	323	314	322	247	198	166	138	-0.9	-1.6	-1.8	-1.7
GDPあたりCO ₂ 排出量 ³	426	469	573	498	374	271	200	0.2	-2.0	-3.1	-2.6
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	-0.5	-1.3	-1.0

*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	2016	2030	2040	2050	1990	2016	2050	1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2050	2016/ 2050
合計 ¹	1,805	1,915	2,274	2,167	2,056	1,914	1,764	100	100	100	0.5	-0.4	-0.8	-0.6
石炭	376	460	534	342	227	140	66	24	16	3.7	-1.1	-2.9	-6.0	-4.7
石油	797	757	871	787	652	542	452	40	36	26	0.2	-1.3	-1.8	-1.6
天然ガス	477	438	548	653	675	641	546	23	30	31	1.5	0.2	-1.1	-0.5
原子力	69	159	208	219	193	187	178	8.3	10	10	1.2	-0.9	-0.4	-0.6
水力	24	23	22	23	25	26	26	1.2	1.1	1.5	0.0	0.7	0.1	0.3
地熱	4.6	14	13	9.2	34	44	52	0.7	0.4	2.9	-1.6	9.8	2.1	5.2
太陽光・風力等	-	0.3	2.1	26	108	183	279	0.0	1.2	16	18.5	10.6	4.8	7.2
バイオマス・廃棄物	54	62	73	102	136	148	160	3.3	4.7	9.1	1.9	2.1	0.8	1.3

最終エネルギー消費

	(Mtoe)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2016	2030	2040	2050	1990	2016	2050	1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2050	2016/ 2050
合計	1,311	1,294	1,546	1,515	1,444	1,347	1,248	100	100	100	0.6	-0.3	-0.7	-0.6
産業	387	284	332	264	264	253	228	22	17	18	-0.3	0.0	-0.7	-0.4
運輸	425	488	588	622	536	465	418	38	41	34	0.9	-1.1	-1.2	-1.2
民生・農業他	397	403	473	493	493	472	447	31	33	36	0.8	0.0	-0.5	-0.3
非エネルギー消費	102	119	153	136	152	157	154	9.2	9.0	12	0.5	0.8	0.1	0.4
石炭	56	56	33	18	15	13	11	4.3	1.2	0.9	-4.4	-0.9	-1.6	-1.3
石油	689	683	793	744	622	521	438	53	49	35	0.3	-1.3	-1.7	-1.5
天然ガス	338	303	360	336	325	304	274	23	22	22	0.4	-0.2	-0.8	-0.6
電力	174	226	301	327	379	401	410	18	22	33	1.4	1.1	0.4	0.7
熱	-	2.2	5.3	6.6	5.5	4.8	4.0	0.2	0.4	0.3	4.4	-1.3	-1.5	-1.4
水素	-	-	-	-	0.1	0.7	2.4	-	-	0.2	n.a.	n.a.	15.9	n.a.
再生可能	54	23	54	83	97	101	107	1.8	5.5	8.6	5.1	1.1	0.5	0.8

発電量

	(TWh)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2016	2030	2040	2050	1990	2016	2050	1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2050	2016/ 2050
合計	2,427	3,203	4,026	4,300	4,958	5,207	5,285	100	100	100	1.1	1.0	0.3	0.6
石炭	1,243	1,700	2,129	1,354	893	518	196	53	31	3.7	-0.9	-2.9	-7.3	-5.5
石油	263	131	118	35	22	12	4.1	4.1	0.8	0.1	-5.0	-3.1	-8.1	-6.1
天然ガス	370	382	634	1,418	1,744	1,697	1,315	12	33	25	5.2	1.5	-1.4	-0.2
原子力	266	612	798	840	742	717	683	19	20	13	1.2	-0.9	-0.4	-0.6
水力	279	273	253	270	295	298	300	8.5	6.3	5.7	0.0	0.7	0.1	0.3
地熱	5.4	16	15	19	70	91	108	0.5	0.4	2.0	0.6	10.0	2.2	5.3
太陽光	-	0.0	0.2	47	214	353	510	0.0	1.1	9.7	44.9	11.5	4.4	7.3
風力	-	3.1	5.7	229	714	1,114	1,564	0.1	5.3	30	18.1	8.4	4.0	5.8
太陽熱・海洋	-	0.7	0.5	3.7	101	208	376	0.0	0.1	7.1	6.8	26.6	6.8	14.6
バイオマス・廃棄物	0.5	86	72	79	158	192	224	2.7	1.8	4.2	-0.3	5.1	1.8	3.1
水素	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
その他	-	-	-	5.6	5.6	5.6	5.6	-	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	2016	2030	2040	2050	1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2050	2016/ 2050
GDP (2010年価格10億ドル)	6,529	9,064	12,713	16,920	22,637	27,647	32,825	2.4	2.1	1.9	2.0
人口(100万人)	227	250	282	323	356	375	391	1.0	0.7	0.5	0.6
エネルギー起源CO ₂ 排出(100万t)	4,620	4,817	5,700	4,870	3,902	3,035	2,276	0.0	-1.6	-2.7	-2.2
一人あたりGDP (2010年価格1,000ドル/人)	29	36	45	52	64	74	84	1.4	1.4	1.4	1.4
一人あたり一次エネルギー消費(toe/人)	7.9	7.7	8.1	6.7	5.8	5.1	4.5	-0.5	-1.1	-1.2	-1.2
GDPあたり一次エネルギー消費 ²	276	211	179	128	91	69	54	-1.9	-2.4	-2.6	-2.5
GDPあたりCO ₂ 排出量 ³	708	531	448	288	172	110	69	-2.3	-3.6	-4.5	-4.1
一次エネルギー消費あたりCO ₂ 排出(t/toe)	2.6	2.5	2.5	2.2	1.9	1.6	1.3	-0.4	-1.2	-1.9	-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	2016	2030	2040	2050	1990	2016	2050	1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2050	2016/ 2050
合計 ¹	n.a.	1,646	1,695	1,599	1,507	1,385	1,280	100	100	100	-0.1	-0.4	-0.8	-0.7
石炭	n.a.	454	321	241	161	110	72	28	15	5.6	-2.4	-2.9	-3.9	-3.5
石油	n.a.	608	625	522	431	350	287	37	33	22	-0.6	-1.4	-2.0	-1.7
天然ガス	n.a.	297	396	383	375	331	270	18	24	21	1.0	-0.2	-1.6	-1.0
原子力	n.a.	207	246	219	220	228	244	13	14	19	0.2	0.0	0.5	0.3
水力	n.a.	25	31	30	31	32	32	1.5	1.9	2.5	0.7	0.2	0.2	0.2
地熱	n.a.	3.2	4.6	6.7	11	12	12	0.2	0.4	1.0	2.9	3.4	0.8	1.9
太陽光・風力等	n.a.	0.3	2.4	40	93	131	168	0.0	2.5	13	20.6	6.3	3.0	4.4
バイオマス・廃棄物	n.a.	48	67	155	184	188	192	2.9	9.7	15	4.7	1.2	0.2	0.6

最終エネルギー消費

	(Mtoe)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2016	2030	2040	2050	1990	2016	2050	1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2050	2016/ 2050
合計	n.a.	1,134	1,179	1,138	1,085	990	905	100	100	100	0.0	-0.3	-0.9	-0.7
産業	n.a.	345	308	257	252	239	221	30	23	24	-1.1	-0.1	-0.6	-0.4
運輸	n.a.	259	303	319	262	213	180	23	28	20	0.8	-1.4	-1.9	-1.7
民生・農業他	n.a.	430	454	463	469	437	406	38	41	45	0.3	0.1	-0.7	-0.4
非エネルギー消費	n.a.	100	113	98	102	101	97	8.8	8.6	11	-1.1	0.3	-0.2	0.0
石炭	n.a.	120	51	34	33	29	26	11	3.0	2.8	-4.7	-0.4	-1.2	-0.9
石油	n.a.	506	543	471	392	319	261	45	41	29	-0.3	-1.3	-2.0	-1.7
天然ガス	n.a.	227	272	252	252	232	211	20	22	23	0.4	0.0	-0.9	-0.5
電力	n.a.	186	217	239	266	279	287	16	21	32	1.0	0.8	0.4	0.5
熱	n.a.	55	45	48	45	39	34	4.9	4.2	3.8	-0.5	-0.5	-1.4	-1.0
水素	n.a.	-	-	-	0.0	0.1	0.2	-	-	0.0	n.a.	n.a.	9.1	n.a.
再生可能	n.a.	40	50	93	98	92	86	3.5	8.2	9.5	3.3	0.4	-0.7	-0.2

発電量

	(TWh)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2016	2030	2040	2050	1990	2016	2050	1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2050	2016/ 2050
合計	n.a.	2,577	3,006	3,228	3,618	3,787	3,907	100	100	100	0.9	0.8	0.4	0.6
石炭	n.a.	1,050	968	736	466	280	131	41	23	3.4	-1.4	-3.2	-6.1	-4.9
石油	n.a.	224	181	60	33	17	5.5	8.7	1.8	0.1	-5.0	-4.1	-8.6	-6.8
天然ガス	n.a.	193	480	611	582	463	244	7.5	19	6.2	4.5	-0.3	-4.3	-2.7
原子力	n.a.	795	945	840	844	875	936	31	26	24	0.2	0.0	0.5	0.3
水力	n.a.	290	357	350	360	367	374	11	11	9.6	0.7	0.2	0.2	0.2
地熱	n.a.	3.2	4.8	6.6	11	12	13	0.1	0.2	0.3	2.8	3.7	0.8	2.0
太陽光	n.a.	0.0	0.1	105	254	339	421	0.0	3.3	11	41.8	6.5	2.6	4.2
風力	n.a.	0.8	22	303	703	980	1,251	0.0	9.4	32	25.8	6.2	2.9	4.3
太陽熱・海洋	n.a.	0.5	0.5	6.1	39	73	110	0.0	0.2	2.8	10.1	14.1	5.3	8.9
バイオマス・廃棄物	n.a.	20	46	206	322	375	417	0.8	6.4	11	9.5	3.2	1.3	2.1
水素	n.a.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
その他	n.a.	0.2	1.4	5.0	4.3	4.3	4.3	0.0	0.2	0.1	12.9	-1.0	0.0	-0.4

エネルギー・経済指標他

	1980	1990	2000	2016	2030	2040	2050	1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2050	2016/ 2050
GDP (2010年価格10億ドル)	n.a.	11,895	14,789	18,309	23,323	26,643	29,798	1.7	1.7	1.2	1.4
人口(100万人)	n.a.	478	488	511	524	526	523	0.3	0.2	0.0	0.1
エネルギー起源CO ₂ 排出(100万t)	n.a.	4,018	3,798	3,195	2,510	1,967	1,497	-0.9	-1.7	-2.6	-2.2
一人あたりGDP (2010年価格1,000ドル/人)	n.a.	25	30	36	45	51	57	1.4	1.6	1.2	1.4
一人あたり一次エネルギー消費(toe/人)	n.a.	3.4	3.5	3.1	2.9	2.6	2.4	-0.4	-0.6	-0.8	-0.7
GDPあたり一次エネルギー消費 ²	n.a.	138	115	87	65	52	43	-1.8	-2.1	-2.0	-2.1
GDPあたりCO ₂ 排出量 ³	n.a.	338	257	175	108	74	50	-2.5	-3.4	-3.7	-3.6
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	1.7	1.4	1.2	-0.8	-1.3	-1.8	-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53 | 世界[石炭火力新設禁止(天然ガス代替)ケース]

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	2016	2030	2040	2050	1990	2016	2050	1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2050	2016/ 2050
合計 ¹⁾	7,208	8,774	10,036	13,761	16,377	17,835	18,879	100	100	100	1.7	1.3	0.7	0.9
石炭	1,783	2,220	2,316	3,731	3,502	3,150	2,693	25	27	14	2.0	-0.5	-1.3	-1.0
石油	3,105	3,234	3,663	4,390	5,121	5,496	5,715	37	32	30	1.2	1.1	0.6	0.8
天然ガス	1,232	1,664	2,072	3,035	4,403	5,429	6,344	19	22	34	2.3	2.7	1.8	2.2
原子力	186	526	675	680	814	856	911	6.0	4.9	4.8	1.0	1.3	0.6	0.9
水力	148	184	225	349	425	466	501	2.1	2.5	2.7	2.5	1.4	0.8	1.1
地熱	12	34	52	81	182	233	281	0.4	0.6	1.5	3.4	6.0	2.2	3.7
太陽光・風力等	0.1	2.5	8.0	145	387	568	757	0.0	1.1	4.0	17.0	7.3	3.4	5.0
バイオマス・廃棄物	742	909	1,022	1,349	1,541	1,634	1,676	10	9.8	8.9	1.5	1.0	0.4	0.6

最終エネルギー消費

	(Mtoe)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2016	2030	2040	2050	1990	2016	2050	1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2050	2016/ 2050
合計	5,368	6,271	7,035	9,555	11,307	12,350	13,145	100	100	100	1.6	1.2	0.8	0.9
産業	1,766	1,804	1,868	2,753	3,214	3,535	3,771	29	29	29	1.6	1.1	0.8	0.9
運輸	1,246	1,570	1,958	2,748	3,245	3,507	3,705	25	29	28	2.2	1.2	0.7	0.9
民生・農業他	2,002	2,417	2,596	3,185	3,750	4,052	4,290	39	33	33	1.1	1.2	0.7	0.9
非エネルギー消費	354	480	614	870	1,098	1,256	1,379	7.6	9.1	10	2.3	1.7	1.1	1.4
石炭	703	752	542	1,036	1,098	1,125	1,110	12	11	8.4	1.2	0.4	0.1	0.2
石油	2,446	2,605	3,122	3,908	4,599	4,948	5,175	42	41	39	1.6	1.2	0.6	0.8
天然ガス	815	945	1,118	1,440	1,670	1,827	1,955	15	15	15	1.6	1.1	0.8	0.9
電力	586	834	1,089	1,794	2,465	2,942	3,410	13	19	26	3.0	2.3	1.6	1.9
熱	121	336	248	283	288	288	286	5.4	3.0	2.2	-0.7	0.1	0.0	0.0
水素	-	-	-	-	0.7	1.2	1.3	-	-	0.0	n.a.	n.a.	3.1	n.a.
再生可能	698	799	916	1,095	1,186	1,218	1,208	13	11	9.2	1.2	0.6	0.1	0.3

発電量

	(TWh)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2016	2030	2040	2050	1990	2016	2050	1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2050	2016/ 2050
合計	8,283	11,852	15,441	24,973	34,152	40,269	45,964	100	100	100	2.9	2.3	1.5	1.8
石炭	3,137	4,430	6,001	9,594	8,524	7,006	5,217	37	38	11	3.0	-0.8	-2.4	-1.8
石油	1,659	1,323	1,212	931	981	991	891	11	3.7	1.9	-1.3	0.4	-0.5	-0.1
天然ガス	999	1,750	2,747	5,794	11,619	16,460	21,285	15	23	46	4.7	5.1	3.1	3.9
原子力	713	2,013	2,591	2,606	3,122	3,287	3,496	17	10	7.6	1.0	1.3	0.6	0.9
水力	1,717	2,144	2,618	4,061	4,940	5,415	5,824	18	16	13	2.5	1.4	0.8	1.1
地熱	14	36	52	82	195	254	307	0.3	0.3	0.7	3.2	6.4	2.3	4.0
太陽光	-	0.1	1.0	328	1,229	1,923	2,653	0.0	1.3	5.8	37.3	9.9	3.9	6.3
風力	0.0	3.9	31	958	2,446	3,501	4,506	0.0	3.8	9.8	23.6	6.9	3.1	4.7
太陽熱・海洋	0.5	1.2	1.1	12	119	214	351	0.0	0.0	0.8	9.1	18.1	5.6	10.6
バイオマス・廃棄物	44	130	164	571	942	1,182	1,399	1.1	2.3	3.0	5.9	3.6	2.0	2.7
水素	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
その他	-	20	22	37	37	37	37	0.2	0.1	0.1	2.3	0.0	0.0	0.0

エネルギー・経済指標他

	1980	1990	2000	2016	2030	2040	2050	1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2050	2016/ 2050
GDP (2010年価格10億ドル)	28,090	37,882	49,957	77,321	116,562	153,030	191,975	2.8	3.0	2.5	2.7
人口(100万人)	4,437	5,281	6,113	7,433	8,514	9,172	9,733	1.3	1.0	0.7	0.8
エネルギー起源CO ₂ 排出(100万t)	17,808	20,479	23,113	32,353	36,095	37,784	38,452	1.8	0.8	0.3	0.5
一人あたりGDP (2010年価格1,000ドル/人)	6.3	7.2	8.2	10	14	17	20	1.4	2.0	1.8	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	1.9	1.9	0.4	0.3	0.0	0.1
GDPあたり一次エネルギー消費 ²⁾	257	232	201	178	140	117	98	-1.0	-1.7	-1.8	-1.7
GDPあたりCO ₂ 排出量 ³⁾	634	541	463	418	310	247	200	-1.0	-2.1	-2.2	-2.1
一次エネルギー消費あたりCO ₂ 排出(t/toe)	2.5	2.3	2.3	2.4	2.2	2.1	2.0	0.0	-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54 | アジア[石炭火力新設禁止(天然ガス代替)ケース]

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	2016	2030	2040	2050	1990	2016	2050	1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2050	2016/ 2050
	合計 ¹⁾	1,439	2,110	2,887	5,497	7,215	8,116	8,721	100	100	100	3.8	2.0	1.0
石炭	466	787	1,036	2,685	2,729	2,573	2,230	37	49	26	4.8	0.1	-1.0	-0.5
石油	477	618	916	1,367	1,830	2,063	2,217	29	25	25	3.1	2.1	1.0	1.4
天然ガス	51	116	233	567	1,379	1,982	2,586	5.5	10	30	6.3	6.6	3.2	4.6
原子力	25	77	132	122	271	338	404	3.6	2.2	4.6	1.8	5.9	2.0	3.6
水力	20	32	41	138	182	205	221	1.5	2.5	2.5	5.8	2.0	1.0	1.4
地熱	2.6	8.2	23	40	93	118	143	0.4	0.7	1.6	6.3	6.3	2.2	3.8
太陽光・風力等	-	1.2	2.1	62	179	261	340	0.1	1.1	3.9	16.2	7.9	3.3	5.1
バイオマス・廃棄物	397	471	503	517	551	575	580	22	9.4	6.6	0.4	0.5	0.3	0.3

最終エネルギー消費

	(Mtoe)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2016	2030	2040	2050	1990	2016	2050	1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2050	2016/ 2050
	合計	1,129	1,556	1,991	3,709	4,754	5,352	5,797	100	100	100	3.4	1.8	1.0
産業	383	514	647	1,511	1,789	1,959	2,086	33	41	36	4.2	1.2	0.8	1.0
運輸	124	184	318	661	969	1,120	1,226	12	18	21	5.1	2.8	1.2	1.8
民生・農業他	569	741	842	1,162	1,496	1,690	1,846	48	31	32	1.7	1.8	1.1	1.4
非エネルギー消費	54	117	185	375	499	583	640	7.5	10	11	4.6	2.1	1.3	1.6
石炭	301	424	373	899	930	942	922	27	24	16	2.9	0.2	0.0	0.1
石油	326	459	734	1,204	1,645	1,870	2,027	29	32	35	3.8	2.3	1.0	1.5
天然ガス	21	47	88	266	417	502	565	3.0	7.2	9.7	6.9	3.3	1.5	2.2
電力	88	156	278	784	1,205	1,484	1,748	10	21	30	6.4	3.1	1.9	2.4
熱	7.5	14	30	96	109	114	114	0.9	2.6	2.0	7.6	0.9	0.2	0.5
水素	-	-	-	-	0.2	0.5	0.5	-	-	0.0	n.a.	n.a.	3.7	n.a.
再生可能	386	456	488	459	447	439	421	29	12	7.3	0.0	-0.2	-0.3	-0.3

発電量

	(TWh)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2016	2030	2040	2050	1990	2016	2050	1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2050	2016/ 2050
	合計	1,196	2,240	3,983	10,768	16,566	20,173	23,404	100	100	100	6.2	3.1	1.7
石炭	298	869	1,990	6,443	6,524	5,868	4,571	39	60	20	8.0	0.1	-1.8	-1.0
石油	476	434	390	233	209	183	140	19	2.2	0.6	-2.4	-0.8	-2.0	-1.5
天然ガス	90	237	559	1,340	4,540	7,297	10,455	11	12	45	6.9	9.1	4.3	6.2
原子力	97	294	505	468	1,041	1,296	1,552	13	4.3	6.6	1.8	5.9	2.0	3.6
水力	232	369	478	1,603	2,118	2,382	2,565	16	15	11	5.8	2.0	1.0	1.4
地熱	3.0	8.4	20	24	60	77	94	0.4	0.2	0.4	4.2	6.7	2.2	4.1
太陽光	-	0.1	0.6	152	708	1,123	1,533	0.0	1.4	6.5	34.4	11.6	3.9	7.0
風力	-	0.0	2.4	294	993	1,458	1,892	0.0	2.7	8.1	41.7	9.1	3.3	5.6
太陽熱・海洋	-	0.0	0.0	0.5	7.5	14	26	0.0	0.0	0.1	18.2	20.8	6.4	12.1
バイオマス・廃棄物	0.0	9.5	17	187	341	452	554	0.4	1.7	2.4	12.1	4.4	2.5	3.2
水素	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
その他	-	20	20	23	23	23	23	0.9	0.2	0.1	0.6	0.0	0.0	0.0

エネルギー・経済指標他

	1980	1990	2000	2016	2030	2040	2050	1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2050	2016/ 2050
	GDP (2010年価格10億ドル)	4,441	7,560	11,025	23,349	42,947	61,820	81,967	4.4	4.4	3.3
人口(100万人)	2,440	2,933	3,410	4,035	4,439	4,601	4,665	1.2	0.7	0.2	0.4
エネルギー起源CO ₂ 排出(100万t)	3,105	4,632	6,720	14,795	17,833	19,080	19,449	4.6	1.3	0.4	0.8
一人あたりGDP (2010年価格1,000ドル/人)	1.8	2.6	3.2	5.8	9.7	13	18	3.2	3.7	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	1.8	1.9	2.5	1.3	0.7	0.9
GDPあたり一次エネルギー消費 ²⁾	324	279	262	235	168	131	106	-0.7	-2.4	-2.3	-2.3
GDPあたりCO ₂ 排出量 ³⁾	699	613	609	634	415	309	237	0.1	-3.0	-2.8	-2.8
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	2.5	2.4	2.2	0.8	-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55 | 世界[石炭火力新設禁止(再生可能代替)ケース]

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	2016	2030	2040	2050	1990	2016	2050	1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2050	2016/ 2050
合計 ¹	7,208	8,774	10,036	13,761	16,106	17,377	18,257	100	100	100	1.7	1.1	0.6	0.8
石炭	1,783	2,220	2,316	3,731	3,460	3,096	2,632	25	27	14	2.0	-0.5	-1.4	-1.0
石油	3,105	3,234	3,663	4,390	5,043	5,397	5,603	37	32	31	1.2	1.0	0.5	0.7
天然ガス	1,232	1,664	2,072	3,035	3,967	4,603	5,153	19	22	28	2.3	1.9	1.3	1.6
原子力	186	526	675	680	814	856	911	6.0	4.9	5.0	1.0	1.3	0.6	0.9
水力	148	184	225	349	425	466	501	2.1	2.5	2.7	2.5	1.4	0.8	1.1
地熱	12	34	52	81	183	234	283	0.4	0.6	1.5	3.4	6.0	2.2	3.8
太陽光・風力等	0.1	2.5	8.0	145	672	1,086	1,493	0.0	1.1	8.2	17.0	11.6	4.1	7.1
バイオマス・廃棄物	742	909	1,022	1,349	1,542	1,637	1,679	10	9.8	9.2	1.5	1.0	0.4	0.6

最終エネルギー消費

	(Mtoe)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2016	2030	2040	2050	1990	2016	2050	1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2050	2016/ 2050
合計	5,368	6,271	7,035	9,555	11,346	12,427	13,248	100	100	100	1.6	1.2	0.8	1.0
産業	1,766	1,804	1,868	2,753	3,214	3,535	3,771	29	29	28	1.6	1.1	0.8	0.9
運輸	1,246	1,570	1,958	2,748	3,238	3,497	3,691	25	29	28	2.2	1.2	0.7	0.9
民生・農業他	2,002	2,417	2,596	3,185	3,796	4,139	4,407	39	33	33	1.1	1.3	0.7	1.0
非エネルギー消費	354	480	614	870	1,098	1,256	1,379	7.6	9.1	10	2.3	1.7	1.1	1.4
石炭	703	752	542	1,036	1,064	1,081	1,060	12	11	8.0	1.2	0.2	0.0	0.1
石油	2,446	2,605	3,122	3,908	4,527	4,857	5,072	42	41	38	1.6	1.1	0.6	0.8
天然ガス	815	945	1,118	1,440	1,789	1,987	2,137	15	15	16	1.6	1.6	0.9	1.2
電力	586	834	1,089	1,794	2,485	2,983	3,468	13	19	26	3.0	2.4	1.7	2.0
熱	121	336	248	283	292	295	295	5.4	3.0	2.2	-0.7	0.2	0.1	0.1
水素	-	-	-	-	0.7	1.2	1.3	-	-	0.0	n.a.	n.a.	3.1	n.a.
再生可能	698	799	916	1,095	1,188	1,224	1,215	13	11	9.2	1.2	0.6	0.1	0.3

発電量

	(TWh)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2016	2030	2040	2050	1990	2016	2050	1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2050	2016/ 2050
合計	8,283	11,852	15,441	24,973	34,417	40,815	46,737	100	100	100	2.9	2.3	1.5	1.9
石炭	3,137	4,430	6,001	9,594	8,524	7,006	5,217	37	38	11	3.0	-0.8	-2.4	-1.8
石油	1,659	1,323	1,212	931	981	992	893	11	3.7	1.9	-1.3	0.4	-0.5	-0.1
天然ガス	999	1,750	2,747	5,794	8,587	11,012	13,538	15	23	29	4.7	2.9	2.3	2.5
原子力	713	2,013	2,591	2,606	3,122	3,287	3,496	17	10	7.5	1.0	1.3	0.6	0.9
水力	1,717	2,144	2,618	4,061	4,940	5,415	5,824	18	16	12	2.5	1.4	0.8	1.1
地熱	14	36	52	82	195	254	307	0.3	0.3	0.7	3.2	6.4	2.3	4.0
太陽光	-	0.1	1.0	328	2,684	4,802	6,959	0.0	1.3	15	37.3	16.2	4.9	9.4
風力	0.0	3.9	31	958	4,287	6,614	8,717	0.0	3.8	19	23.6	11.3	3.6	6.7
太陽熱・海洋	0.5	1.2	1.1	12	119	214	351	0.0	0.0	0.8	9.1	18.1	5.6	10.6
バイオマス・廃棄物	44	130	164	571	942	1,182	1,399	1.1	2.3	3.0	5.9	3.6	2.0	2.7
水素	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
その他	-	20	22	37	37	37	37	0.2	0.1	0.1	2.3	0.0	0.0	0.0

エネルギー・経済指標他

	1980	1990	2000	2016	2030	2040	2050	1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2050	2016/ 2050
GDP (2010年価格10億ドル)	28,090	37,882	49,957	77,321	116,562	153,030	191,975	2.8	3.0	2.5	2.7
人口(100万人)	4,437	5,281	6,113	7,433	8,514	9,172	9,733	1.3	1.0	0.7	0.8
エネルギー起源CO ₂ 排出(100万t)	17,808	20,479	23,113	32,353	34,696	35,373	35,133	1.8	0.5	0.1	0.2
一人あたりGDP (2010年価格1,000ドル/人)	6.3	7.2	8.2	10	14	17	20	1.4	2.0	1.8	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	1.9	1.9	0.4	0.2	0.0	0.0
GDPあたり一次エネルギー消費 ²	257	232	201	178	138	114	95	-1.0	-1.8	-1.9	-1.8
GDPあたりCO ₂ 排出量 ³	634	541	463	418	298	231	183	-1.0	-2.4	-2.4	-2.4
一次エネルギー消費あたりCO ₂ 排出(t/toe)	2.5	2.3	2.3	2.4	2.2	2.0	1.9	0.0	-0.6	-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

付表56 | アジア[石炭火力新設禁止(再生可能代替)ケース]

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	2016	2030	2040	2050	1990	2016	2050	1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2050	2016/ 2050
合計 ¹	1,439	2,110	2,887	5,497	6,987	7,732	8,176	100	100	100	3.8	1.7	0.8	1.2
石炭	466	787	1,036	2,685	2,712	2,551	2,204	37	49	27	4.8	0.1	-1.0	-0.6
石油	477	618	916	1,367	1,812	2,038	2,188	29	25	27	3.1	2.0	0.9	1.4
天然ガス	51	116	233	567	982	1,261	1,507	5.5	10	18	6.3	4.0	2.2	2.9
原子力	25	77	132	122	271	338	404	3.6	2.2	4.9	1.8	5.9	2.0	3.6
水力	20	32	41	138	182	205	221	1.5	2.5	2.7	5.8	2.0	1.0	1.4
地熱	2.6	8.2	23	40	93	119	144	0.4	0.7	1.8	6.3	6.3	2.2	3.9
太陽光・風力等	-	1.2	2.1	62	383	644	925	0.1	1.1	11	16.2	13.9	4.5	8.3
バイオマス・廃棄物	397	471	503	517	552	577	582	22	9.4	7.1	0.4	0.5	0.3	0.3

最終エネルギー消費

	(Mtoe)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2016	2030	2040	2050	1990	2016	2050	1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2050	2016/ 2050
合計	1,129	1,556	1,991	3,709	4,774	5,398	5,863	100	100	100	3.4	1.8	1.0	1.4
産業	383	514	647	1,511	1,789	1,959	2,086	33	41	36	4.2	1.2	0.8	1.0
運輸	124	184	318	661	969	1,120	1,226	12	18	21	5.1	2.8	1.2	1.8
民生・農業他	569	741	842	1,162	1,517	1,736	1,911	48	31	33	1.7	1.9	1.2	1.5
非エネルギー消費	54	117	185	375	499	583	640	7.5	10	11	4.6	2.1	1.3	1.6
石炭	301	424	373	899	915	922	899	27	24	15	2.9	0.1	-0.1	0.0
石油	326	459	734	1,204	1,628	1,846	2,000	29	32	34	3.8	2.2	1.0	1.5
天然ガス	21	47	88	266	458	563	637	3.0	7.2	11	6.9	3.9	1.7	2.6
電力	88	156	278	784	1,214	1,506	1,781	10	21	30	6.4	3.2	1.9	2.4
熱	7.5	14	30	96	110	117	119	0.9	2.6	2.0	7.6	1.0	0.4	0.6
水素	-	-	-	-	0.2	0.5	0.5	-	-	0.0	n.a.	n.a.	3.7	n.a.
再生可能	386	456	488	459	449	444	427	29	12	7.3	0.0	-0.2	-0.3	-0.2

発電量

	(TWh)							構成比(%)			年平均変化率(%)			
	1980	1990	2000	2016	2030	2040	2050	1990	2016	2050	1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2050	2016/ 2050
合計	1,196	2,240	3,983	10,768	16,683	20,459	23,832	100	100	100	6.2	3.2	1.8	2.4
石炭	298	869	1,990	6,443	6,524	5,868	4,571	39	60	19	8.0	0.1	-1.8	-1.0
石油	476	434	390	233	209	183	140	19	2.2	0.6	-2.4	-0.8	-2.0	-1.5
天然ガス	90	237	559	1,340	2,299	3,156	4,119	11	12	17	6.9	3.9	3.0	3.4
原子力	97	294	505	468	1,041	1,296	1,552	13	4.3	6.5	1.8	5.9	2.0	3.6
水力	232	369	478	1,603	2,118	2,382	2,565	16	15	11	5.8	2.0	1.0	1.4
地熱	3.0	8.4	20	24	60	77	94	0.4	0.2	0.4	4.2	6.7	2.2	4.1
太陽光	-	0.1	0.6	152	1,888	3,492	5,201	0.0	1.4	22	34.4	19.7	5.2	10.9
風力	-	0.0	2.4	294	2,172	3,516	4,988	0.0	2.7	21	41.7	15.4	4.2	8.7
太陽熱・海洋	-	0.0	0.0	0.5	7.5	14	26	0.0	0.0	0.1	18.2	20.8	6.4	12.1
バイオマス・廃棄物	0.0	9.5	17	187	341	452	554	0.4	1.7	2.3	12.1	4.4	2.5	3.2
水素	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
その他	-	20	20	23	23	23	23	0.9	0.2	0.1	0.6	0.0	0.0	0.0

エネルギー・経済指標他

	1980	1990	2000	2016	2030	2040	2050	1990/ 2016	2016/ 2030	2030/ 2050	2016/ 2050
GDP (2010年価格10億ドル)	4,441	7,560	11,025	23,349	42,947	61,820	81,967	4.4	4.4	3.3	3.8
人口(100万人)	2,440	2,933	3,410	4,035	4,439	4,601	4,665	1.2	0.7	0.2	0.4
エネルギー起源CO ₂ 排出(100万t)	3,105	4,632	6,720	14,795	16,787	17,238	16,753	4.6	0.9	0.0	0.4
一人あたりGDP (2010年価格1,000ドル/人)	1.8	2.6	3.2	5.8	9.7	13	18	3.2	3.7	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	1.7	1.8	2.5	1.0	0.5	0.7
GDPあたり一次エネルギー消費 ²	324	279	262	235	163	125	100	-0.7	-2.6	-2.4	-2.5
GDPあたりCO ₂ 排出量 ³	699	613	609	634	391	279	204	0.1	-3.4	-3.2	-3.3
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	2.2	2.0	0.8	-0.8	-0.8	-0.8

*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

第430回 定例研究報告会

IEEJ Outlook 2019

エネルギー変革と3E達成への茨の道

エネルギー・環境・経済

2018年10月15日, 東京

日本エネルギー経済研究所

IEEJ © 2018

IEEJ Outlook 2019の構成

(1) 2050年までのエネルギー需給と気候変動

2050年までの世界エネルギー市場を「レファレンスシナリオ」「技術進展シナリオ」をベースに俯瞰する。

● レファレンスシナリオ

現在までのエネルギー・環境政策等を背景とし、消費者行動や技術普及等が過去の趨勢を継続するシナリオ。急進的な省エネルギー・低炭素化政策は打ち出されない。

● 技術進展シナリオ

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。

(2) エネルギー供給障害のリスクと影響

伝統的にエネルギー安全保障の中核をなしてきた石油と、今後エネルギー供給における役割が高まると予想される電力を取り上げ、両者の特徴を踏まえて供給障害のリスクと対策を議論する。

(3) 石炭火力新設禁止ケース

厳しい視線が投げかけられている石炭火力発電所の新設を全面的に禁止する状況を仮想的に設定し、脱・石炭火力発電の影響を評価する。a)天然ガス火力で代替、b)太陽光・風力発電で代替の2パターンを想定。

2050年までのエネルギー需給と気候変動

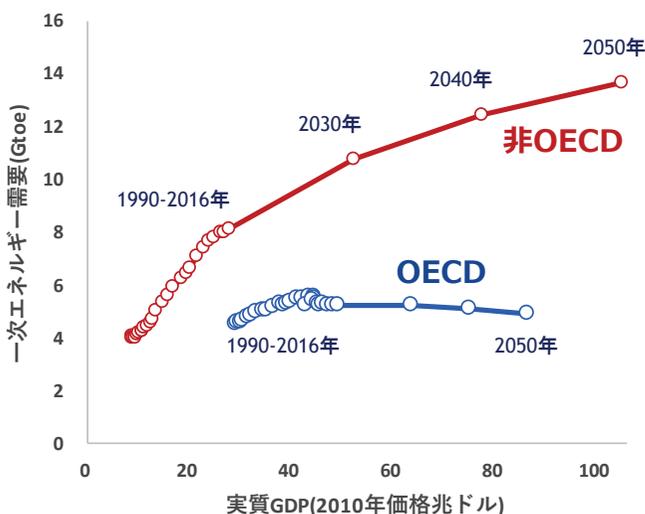
IEEJ Outlook 2019 | IEEJ © 2018

【レファレンス】

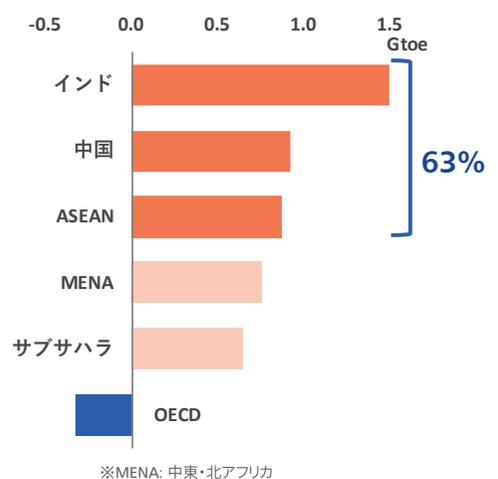
エネルギー需要はますますアジアに集中

IEE
JAPAN

❖ 一次エネルギー需要とGDP



❖ エネ需要の増減(2016-2050年)



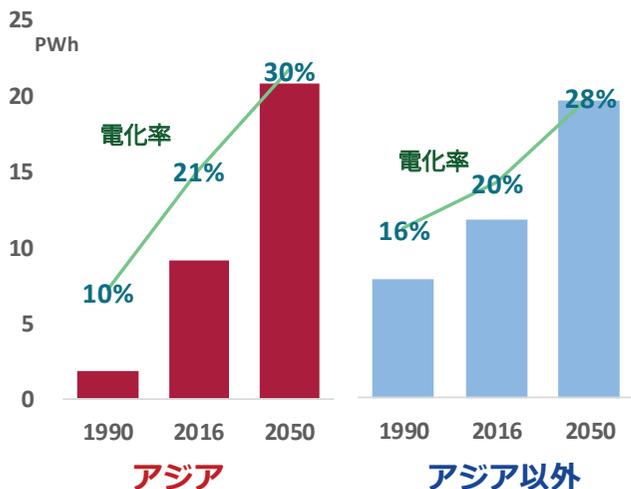
IEEJ Outlook 2019 | IEEJ © 2018

世界の一次エネルギー需要は2050年までに1.4倍に拡大、その増加分はすべて非OECD地域からである。一方、OECD地域ではエネルギー消費と経済成長のデカップリングが進む。

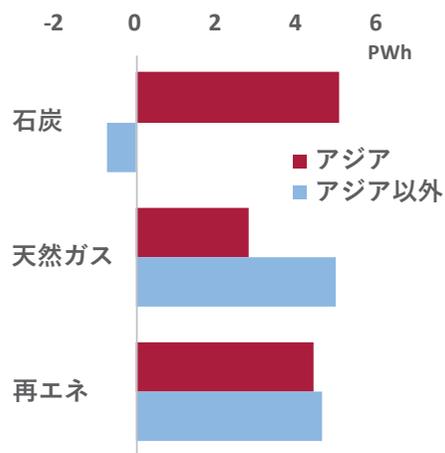
需要増加の63%が中印、ASEANに集中。世界に占めるアジアのシェアは41%から48%まで増加。

経済社会の電力依存が高まる

❖ 最終電力需要と電化率



❖ 発電量増減(2016-2050年)



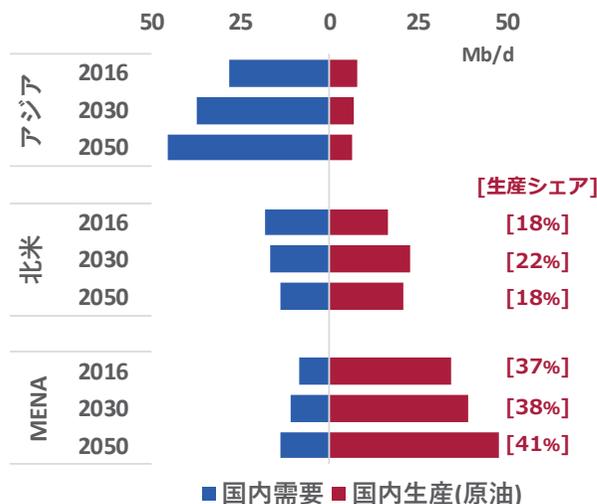
※電化率: 最終エネルギー需要に占める電力需要の割合

一次エネルギー需要増加のうち6割以上が発電のためのエネルギー投入である。世界の電力需要は倍増し、その増加の60%はアジアから生じる。アジアの最終需要における電化率は30%へ上昇。急増するアジアの電力需要の約4割は主に安価で豊富な石炭を利用して賄われる。一方、アジア以外では石炭火力より環境負荷の低い天然ガス火力が好まれる。

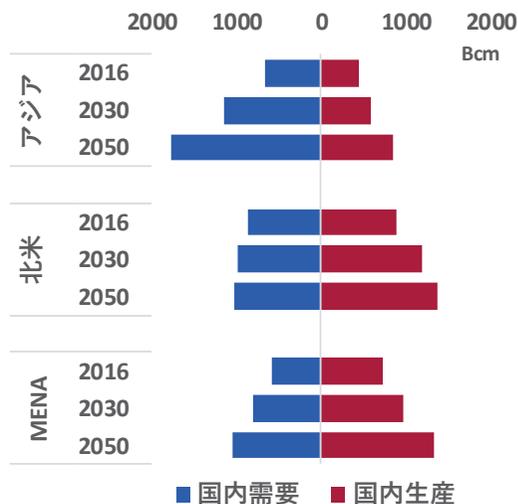
5

アジアの需給ギャップは広がってゆく

❖ 石油需給



❖ 天然ガス需給



■ 国内需要 ■ 国内生産(原油)

■ 国内需要 ■ 国内生産

※北米: カナダ・アメリカ。MENA: 中東・北アフリカ

アジアの旺盛な石油・ガス需要は、域内生産の伸びを大きく上回り、需給ギャップが広がってゆく。この需要増加を支えるのが、中東や北米の輸出余力である。

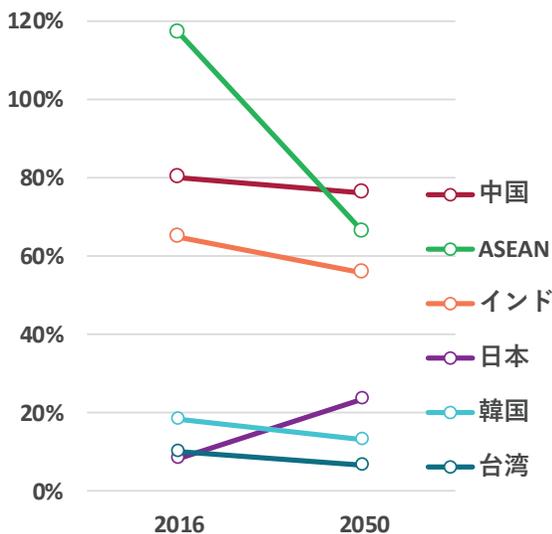
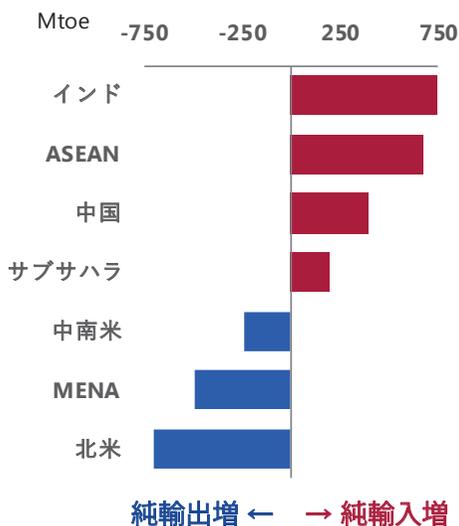
北米の石油生産は2030年以降減少に転じ、ますます中東への依存が高まる(石油生産のOPECシェアは42%から47%へ拡大)。

6

【レファレンス】

輸入頼みのアジアのエネルギー供給

❖ エネルギー純輸入増減(2016-20250年) ❖ エネルギー自給率



アジアのエネルギー輸入は大きく増加し、貿易取引量の8割がアジアに向かう。米国は2020年代半ばには純輸出国に転じる。

アジアの域内自給率は72%から63%に低下。とりわけ、2020年代前半には純輸入ポジションに転落するASEANで顕著。

7

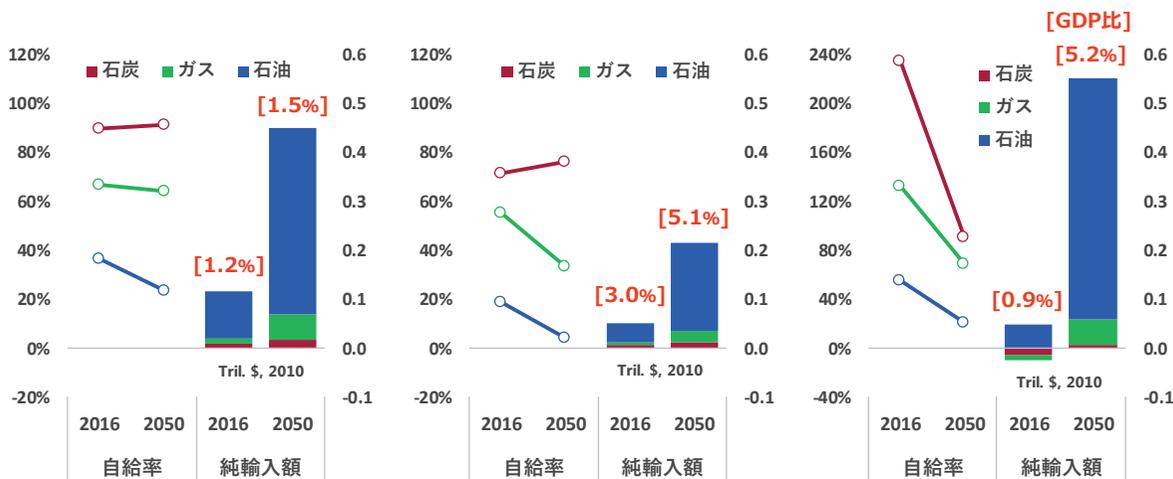
【レファレンス】

膨らむ石油輸入金額

❖ 中国

❖ インド

❖ ASEAN



輸送用燃料の増加に伴い、アジアの石油自給率は28%から14%へと半減。天然ガス自給率の低下も大きい。一方、石炭自給率は若干低下するものの8割以上を維持。

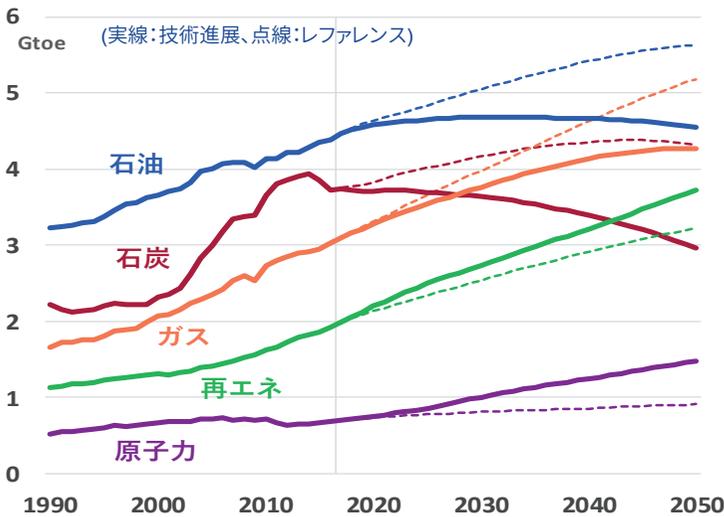
アジアの石油輸入金額は大幅に増加し、エネルギー輸入総額のGDP比は1.6%から3.0%に上昇。とりわけ、ASEANでは0.9%から5.2%に急上昇し、経済への影響が懸念される。

8

【技術進展】

石炭は大きく減少、石油も2030年にピーク

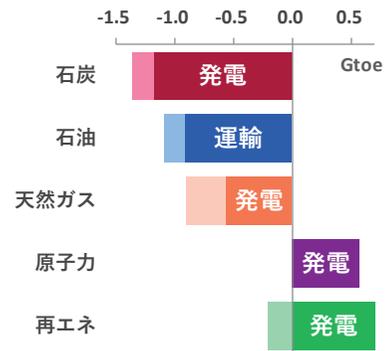
❖ 一次エネルギー需要



● 技術進展シナリオ

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。

❖ レファレンスとの差(2050年)

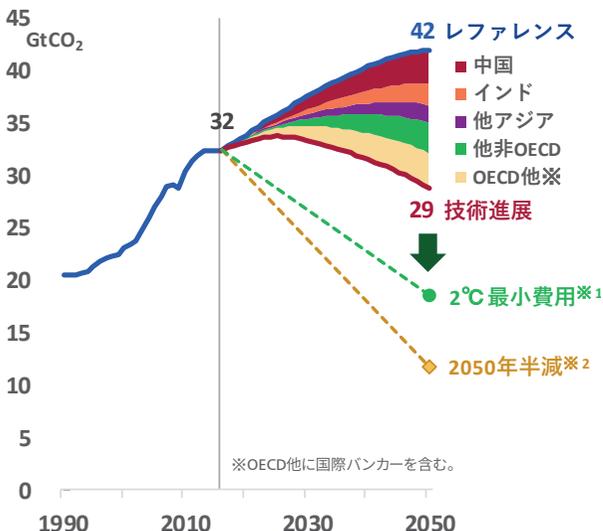


最も節減可能なのが石炭(特に発電部門)で、技術進展シナリオでは、現在をピークに減少。石油需要は運輸用燃料の減少などにより2030年頃がピーク。

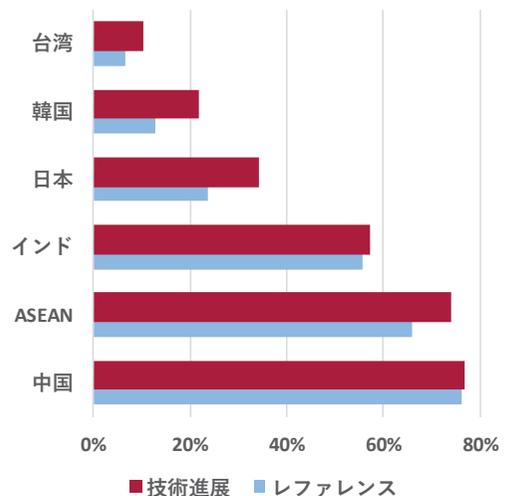
技術進展シナリオでの化石燃料シェアは81%から69%に低下(レファレンスは79%)するも、依然として高い化石燃料依存が続く。

【技術進展】

技術進展で環境負荷と自給率が改善

❖ エネルギー起源CO₂排出量

❖ アジアのエネルギー自給率(2050年)



※1:「IEEJアウトック2018」を参照。※2: 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。

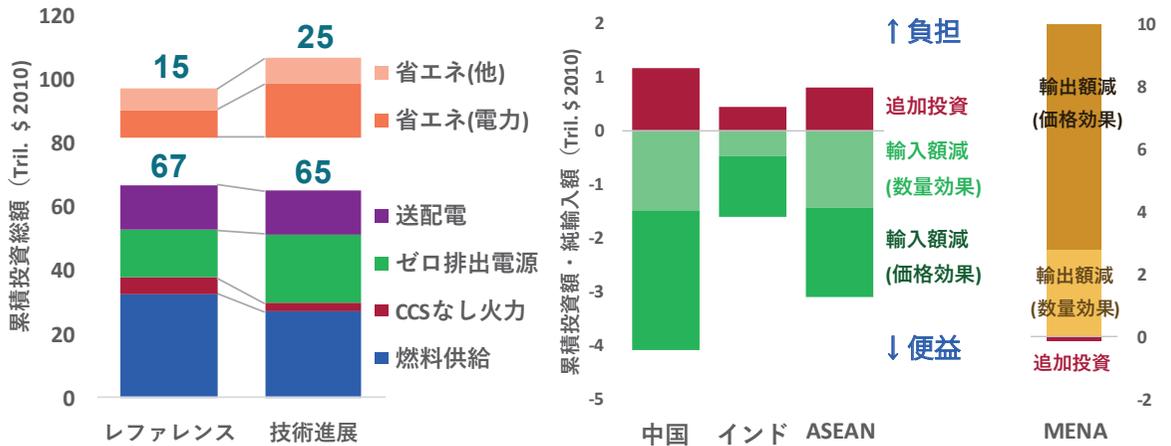
技術進展シナリオでのCO₂排出量は2020年代半ばがピーク、2050年には2016年比11%減に。しかし、気温上昇を2°Cに抑える排出パスの実現には、さらなる削減政策や革新的技術の開発が必要。技術進展により、アジアのエネルギー自給率は3%p(2050年)改善する。特に日韓、ASEANで顕著。

エネルギー供給には投資が必要

◆ エネルギー投資総額(2017-2050年)

◆ 追加投資総額と純輸入総額の削減

(技術進展とレファレンスの差;2017-2050年)



※省エネ(電力): 電化による省エネも含む

※MENA: 中東・北アフリカ

エネルギー供給に必要な投資は累積で67兆ドル、GDPの1.5%に相当。燃料供給・電力供給が半分ずつを占める。技術進展シナリオでは、省エネ投資を含めてさらに8兆ドルの追加投資が必要。

アジアでの追加投資は燃料輸入額の削減で十分に回収可能。一方、中東では上流投資が減るが、石油・ガスの輸出額がそれ以上に大きく減少 (GDPの約5%に相当) することに。

11

超長期気候変動分析

— IEEJアウトック 2018再掲 —

超長期を踏まえた規範=総合コストの低減

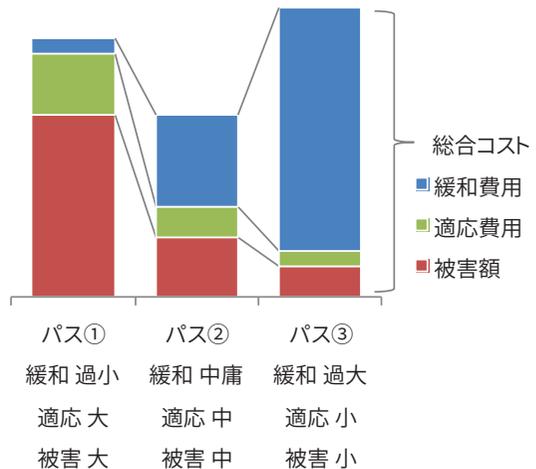
❖ 緩和+適応+被害=総合コスト

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の大气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



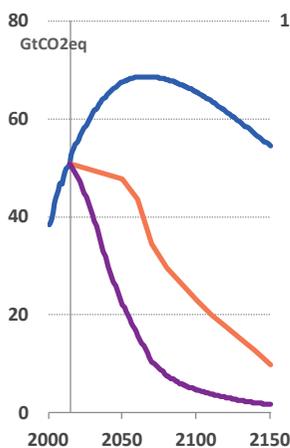
気候変動に対して無策であれば、緩和費用をかけずに済むが、適応費用・被害は膨大となる。強力な緩和策を講じれば、適応費用・被害は軽減されるが、そのための費用は顕著に大きい

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。

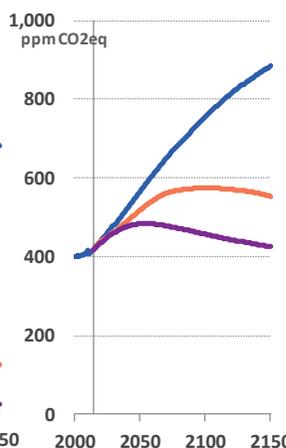
13

コスト最小化を統合評価モデルで表現

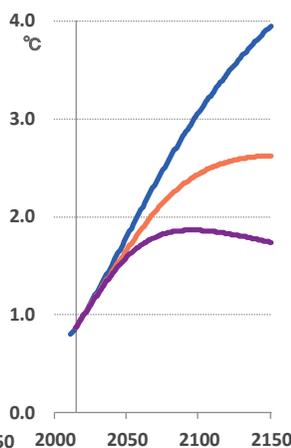
❖ GHG排出量



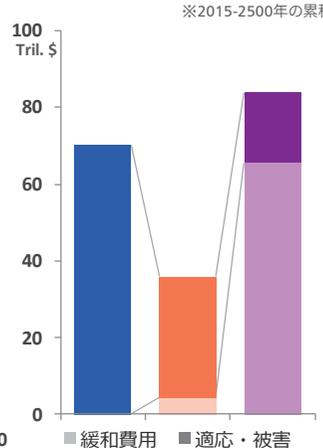
❖ GHG濃度 (エーロゾル等を含む)



❖ 気温上昇 (19世紀後半から)



❖ 総合コスト (累積現在価値※)



■ レファレンス

■ 最小費用パス

■ 2050年半減*

最小費用パスの総合コストはレファレンスの半分程度。GHG排出量は2150年に現状比8割減で、19世紀後半からの気温上昇は2.6°Cとなる。

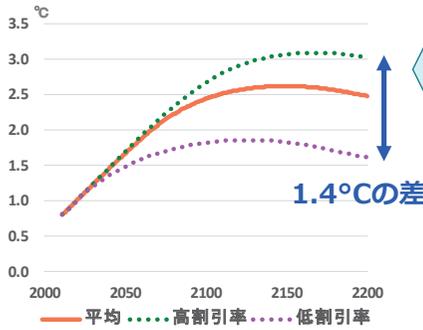
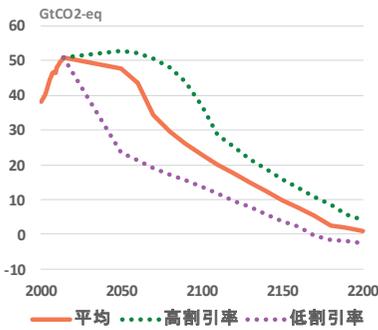
2050年半減パス*では、気温は2100年頃に低下に転じ、2150年には1.7°Cとなる。しかし、総合コストはレファレンスより2割程度、最小費用パスの2倍以上高い。

*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。

14

超長期の気候分析はいまだ不確実性が高い

❖ 割引率の違いによるGHG排出パスと気温変化(最小費用パス)



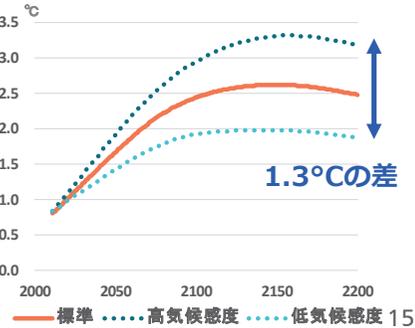
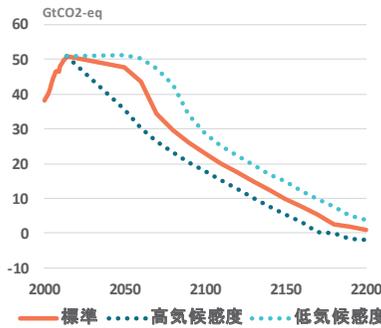
割引率※
本分析は2.5%を採用。
AR5のまとめでは1.1%
から4.1%と幅がある。

注:将来における価値(収入や支出)を現在の価値に換算する時に用いる値。低い割引率は適応・被害を相対的に重視して直近のGHG削減を強化し、高い割引率は緩和費用を重視してGHG削減を後ろ倒しにする傾向がある。モデル分析では毎年変化するが、ここでは2015~2300年の平均値で表記。

❖ 気候感度の違いによるGHG排出パスと気温変化(最小費用パス)

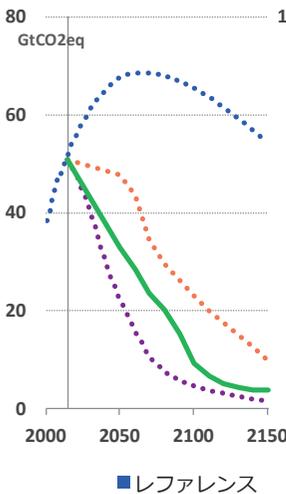
気候感度※
本分析は3°Cを採用。
AR5によれば1.9°Cから
4.5°C内にある可能性大。

注:大気中の温室効果ガスの濃度(CO₂換算濃度)が倍増したときに、気温が何°C上昇するかを示すパラメータ。

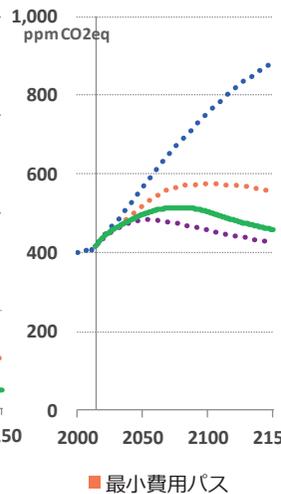


2°C目標へのもう一つの排出パス

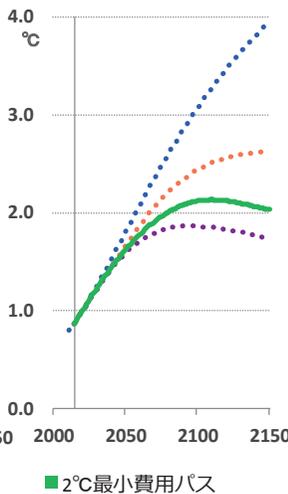
❖ GHG排出量



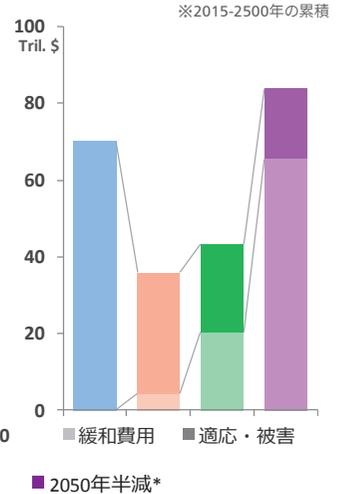
❖ GHG濃度 (エーロゾル等を含む)



❖ 気温上昇 (19世紀後半から)



❖ 総合コスト (累積現在価値※)



「2°C最小費用」は、例えば、2150年の気温上昇幅を2°C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。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°C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。

超長期の将来に向けた技術開発の例

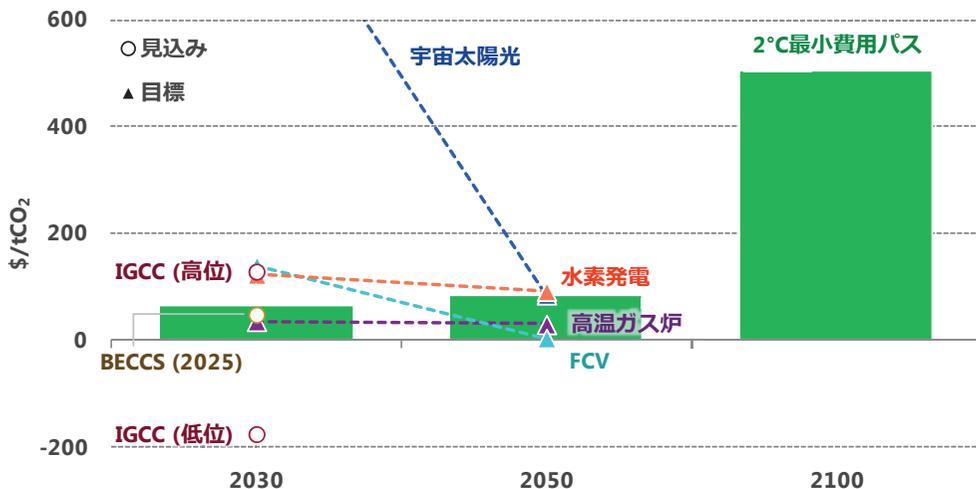
技術	概要	課題	
CO ₂ の発生を抑制するもの	次世代原子炉	超高温ガス炉、高速炉などの第4世代原子炉や中小型炉が、現在国際的に開発がすすめられている	次世代原子炉に対する研究開発支援の拡大等
	核融合	質量数の小さな水素等の核融合により、太陽と同じようにエネルギーを取り出す技術。燃料となる重水素は豊富かつ普遍的に存在する。また、高レベル放射性廃棄物としての使用済燃料が発生しない	連続的に核融合反応を起こし、またそれを一定の空間に閉じ込める技術、エネルギー収支およびコストの削減、大規模な開発のための資金調達と国際協力体制の構築等
	宇宙太陽光 (SPS)	太陽光が地上よりも豊富に降り注ぐ宇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等
	CO ₂ 固定化・有効活用 (CCU)	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
	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

IEEJ Outlook 2019 IEEJ © 2018

17

革新的技術のコスト低下がカギ

❖ 革新的技術のCO₂削減コスト



注: 2°C最小費用パスは、同パスの各時点で採用された技術のうち最も高いもののコスト(=炭素価格)。詳細は報告書本文を参照。

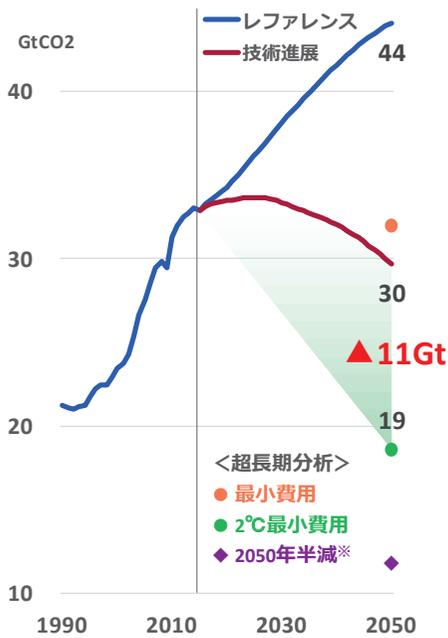
モデル内で計算された「2°C最小費用パス」の炭素価格は、2050年に\$85/tCO₂。BECCSや水素発電、FCV、高温ガス炉、宇宙太陽光などの革新的技術の目標コストはこれらの炭素価格の概ね範囲内に。2°C目標はこれらの技術を活用することで十分に達成可能。長期的視点から研究開発を強化することが重要であり、そのためには国際協力が不可欠。

IEEJ Outlook 2019 IEEJ © 2018

18

技術進展シナリオからのさらなる削減

❖ エネルギー起源CO₂排出量



❖ さらなる11Gtの削減に必要な技術導入量の例

① CO₂フリー水素技術の利用 (参考: アウトルック2016)

- ・ 水素発電 1GW x 3000基
 - ・ 燃料電池車 10億台
- (800Mt/年の水素需要は現在のLNG需要の約3倍)

② ネガティブエミッション技術の利用

- ・ BECCS : バイオマス発電 0.5GW x 2800基
- (2000Mtoe/年の燃料供給に285万km²相当の土地)

③ ゼロエミッション電源の利用+製造業CCS

▲ 10GtCO₂ (CCS未設置火力発電の代替による削減上限値)

- ・ 宇宙太陽光 : 1.3GW x 2300基
- or ・ 高温ガス炉 : 0.275GW x 8700基
- or ・ 核融合炉 : 0.5GW x 4500基
- or ・ CCS火力発電 : 2800GW

(CO₂貯留のポテンシャルは推定7000Gt以上)

+

▲ 1 GtCO₂

- ・ 製造業CCS : 製造施設・プラントの約2割に設置
- (鉄鋼、セメント、化学、紙パ、石油精製、GTL/CTL)

※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。

19

エネルギー供給障害のリスクと影響

石油供給障害の要因

- 石油の供給障害は、伝統的なエネルギー安全保障の議論の中核をなしてきた。
- 生産・輸送・国内供給の各段階で、事故や故障、自然災害、あるいは社会や経済全体に及ぶ構造的な要因に起因して様々な供給障害が発生。
- 現在もそのリスクは存在。

	リスク	事例
生産	<ul style="list-style-type: none"> ● 事故や故障、自然災害など偶発的な事象による生産設備の破壊や操業停止 ● 政変やテロによる生産設備の破壊や操業停止 ● 政治的な意思や戦略による輸出停止 	1973年: OPEC諸国による米国、オランダ向け禁輸措置 2005年: ハリケーンによる米国メキシコ湾岸の原油生産設備停止 2018年: 内紛による生産停止、港湾の封鎖などによってリビアからの原油輸出が一部停止
輸送	<ul style="list-style-type: none"> ● 事故や故障、自然災害など偶発的な事象による設備の破壊や操業停止 ● テロや海賊行為による輸送手段(輸送船、パイプライン等)の破壊や運行停止 ● 政治的な意思や戦略、軍事行動による輸送路の遮断 	1984-88年: イラン-イラクによる「タンカー戦争」 2011年: テロによるエジプトからイスラエルに至るガスパイプラインの破壊 2018年: イエメンの武装勢力による原油タンカー攻撃
国内供給	<ul style="list-style-type: none"> ● 事故や故障、自然災害など偶発的な事象による供給設備の破壊や操業停止 ● テロによる供給設備の破壊や操業停止 	2011年: 東日本大震災による製油所、油槽所の損傷、港湾や鉄道、道路の破壊による石油供給の停止

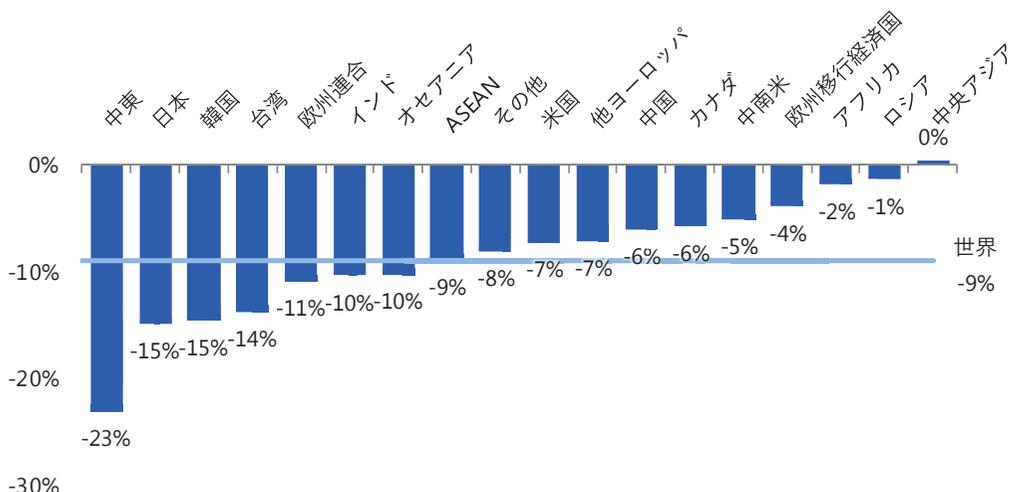
IEEJ Outlook 2019 IEEJ © 2018

21

石油供給途絶の経済影響

- 石油供給途絶の影響は大きい
- 仮に中東の原油生産が10 Mb/d落ち込み、他の国・地域がこれを補う増産を行えない場合を想定すると、世界経済は9%も縮小。
- 日本を含むアジア地域は大きな影響を受ける。

❖ 中東の原油生産10 Mb/d減少による実質GDPへの影響



IEEJ Outlook 2019 IEEJ © 2018

22

イラン情勢が国際石油市場に与える影響

- 米国による対イラン制裁復活の影響を、2020年頃までを視野にシナリオで分析。
- イラン産原油の輸出(約2.5Mb/d)が完全に無くなるシナリオでは、OPEC余剰生産能力の逼迫から価格が高騰。
- 米国発の貿易摩擦が激化するシナリオでは、世界経済の減速から石油需給が緩和し、価格が低下。

❖ シナリオ分析のポイント

	シナリオA	シナリオB-1	シナリオB-2
原油市場	需給がタイト化し、余剰生産能力も逼迫。	サウジアラビアなどの増産寄与によって、比較的平穩。	景気の減速によって供給過剰に。
原油価格	80-100\$/bblの水準。場合によってはそれ以上を目指す。	70-80\$/bblの水準。	50\$/bblを目指す。
他のエネルギー	LNG価格が上昇することで需要が減速。石炭が優位に。	-	LNG価格の低下が潜在的な需要を発掘。新規液化計画のFIDは遅延。

米国の制裁によってイラン産石油の輸出はゼロになるか？

Yes

No

米国とEUや中国等との間の対決姿勢は強まるか？

No

Yes

シナリオA

シナリオB-1
Muddle Through

シナリオB-2
貿易・経済対立

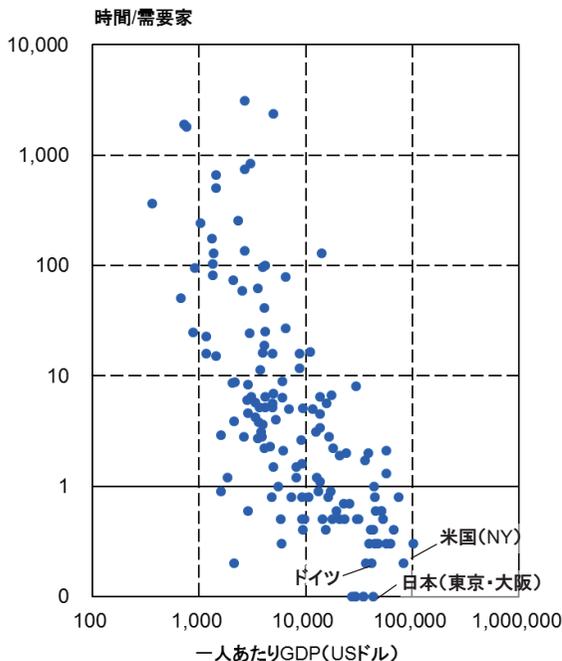
IEEJ Outlook 2018 IEEJ © 2018

(出所)IEEJ, イラン情勢と国際石油市場への影響に関するシナリオ分析, 2018年8月1日

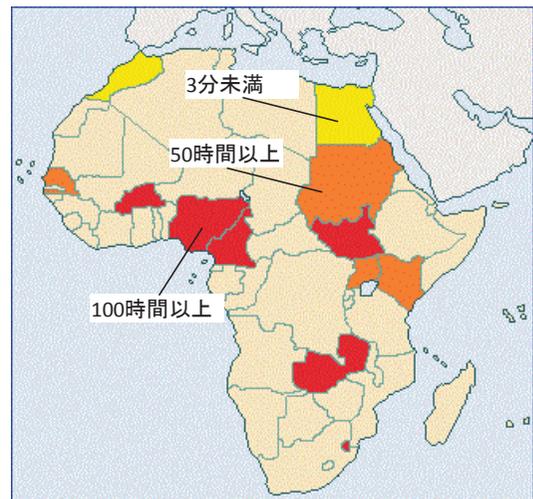
23

停電時間国際比較

❖ 所得水準と停電時間の関係(2015年)



- 停電は地域差が大きく、サブサハラアフリカと島嶼国、南アジアで需要家あたり停電時間が長い傾向。
- 2015年の調査で停電時間が1,000時間(年間11%)を超えていたのはイラク、コモロ、エリトリア、ナイジェリア、パキスタン、南スーダン、スワジランド。



IEEJ Outlook 2018 IEEJ © 2018

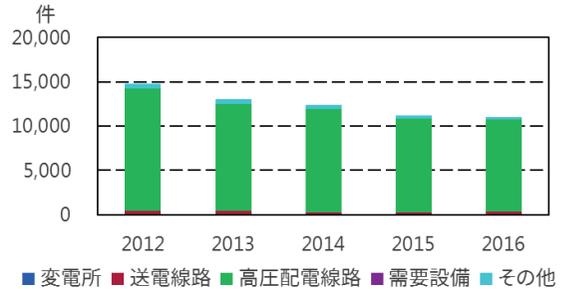
(出所) World Bank, "Doing Business database"および"World Bank Open Data"より作成

24

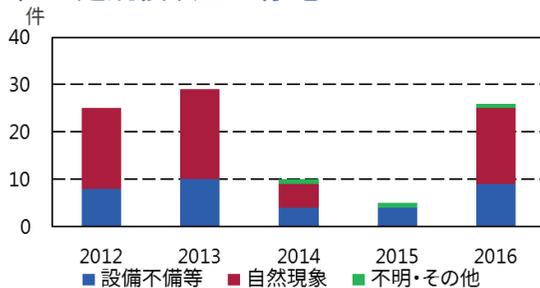
日本における停電

- 低圧も含めると日本でも年間1万件を超える停電が発生。原因の大半は配電系統に起因しており、大部分の停電の影響範囲は狭い地域に止まっている。
- 自然災害(台風や豪雨等)によって、一定規模以上の停電回数が多くなることも。
- 先進諸国では、物理的被害が無い場合には送配電システムの自動化により迅速な復旧が容易になっている。

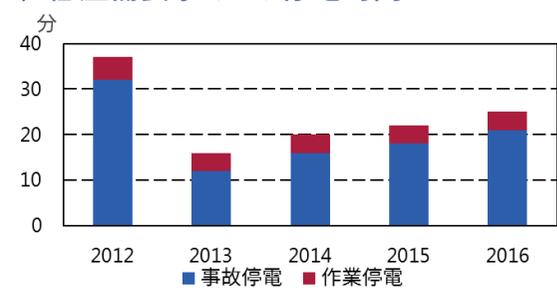
原因別供給支障件数



一定規模以上の停電



低圧需要家あたり停電時間



(出所) 電力広域的運営推進機関「電気の質に関する報告書」2017年11月より作成

25

電力供給の新しい脅威

構造的なリスク

● 特定のエネルギー源依存の高まり

✓ 米国ではガス火力発電への依存が高まった地域が増えたが、パイプラインを通じて供給を受けることから、極端な気象条件で発電所計画外停止だけでなくガス供給障害による供給力減少リスクが顕在化しつつある。

● 太陽光発電導入拡大に伴う純負荷のダックカーブ化

✓ 太陽光発電の導入拡大が進んでいるカリフォルニア州と日本では一日の間に二度ピークを迎えるダックカーブ化が進展している。特に昼間から夕方に向かって急峻な需要増が生じるため、急激な出力増に対応可能な供給力確保が必要。

● 経済原理に基づく発電所停止

✓ 特定の電源種の経済性が悪化し、短期間で大量の発電所閉鎖が発生するリスク。米国では2012～2017年に石炭火力発電:5,531万kW、ガス火力発電:3,555万kW、原子力発電:477万kWが閉鎖された。発送電分離が行われているため、送電系統運用者や信頼度機関にとって把握が難しく、情報の把握が課題である。

突発性のリスク

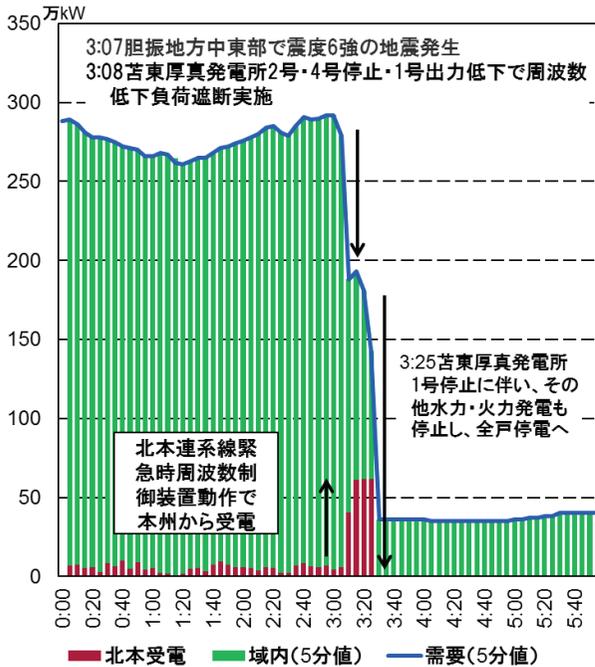
● サイバー攻撃

✓ ウクライナでは2015年12月と2016年12月にサイバー攻撃に起因する停電が発生した。系統制御システムに侵入されて直接制御を受け停電に至ったもの。将来的に供給力の分散化に伴いそれらをアグリゲートしてバーチャルパワープラント(VPP)型の供給力が高まった場合、VPP需給運用システムへの攻撃等のリスクが考えられる。

26

北海道胆振東部地震に伴う大規模停電

❖ 北海道での停電の経緯



(出所) 北海道電力「でんき予報」及び電力広域的運営推進機関「系統情報サービス」、JEPX「発電情報公開システム」より作成

【停電に至る経緯】

3:07 胆振地方中東部で震度6強の地震発生

3:08 供給▲181万kW、需要▲143万kW

苫東厚真発電所2号・4号停止	▲116万kW
苫東厚真発電所1号出力低下	▲5万kW
送電線事故で水力発電停止	▲43万kW
周波数低下で風力停止	▲17万kW
送電線事故で停電	▲13万kW
負荷遮断	▲130万kW

3:09 北本連系線受電(50万kW)で周波数回復

3:20 苫東厚真発電所1号の出力低下で周波数低下、周波数回復余力が無くなりブラックアウト

【停電の要因】

瞬動予備力確保義務量(当該時間需要の3%程度:9万kW程度)を大きく上回る発電設備の停止。

【停電からの復旧】

13:35 水力からの送電で砂川火力3号を再開。

9月8日2:00 復旧率99%。

27

供給障害における石油と電力の特徴

	石油	電力
影響の地理的広がり	<p>広い</p> <ul style="list-style-type: none"> 産油国や国際輸送ルート上の諸要因によって供給障害の影響は世界全体に。 国際市場の価格高騰が、短期間のうちに世界経済の隅々にまで影響。 	<p>狭い</p> <ul style="list-style-type: none"> 多くの場合、影響は特定の国や地域内に限定される。
需要の代替性	<p>高い</p> <ul style="list-style-type: none"> ボイラーや発電など一部用途で代替性がある。 	<p>低い</p> <ul style="list-style-type: none"> 大部分の用途で、代替性がない。
供給支障への対応	<ul style="list-style-type: none"> 輸入相手国/経路の多角化 国内設備の地理的分散化 国内供給網の冗長化 産油国経済の安定化支援 備蓄 	<ul style="list-style-type: none"> 発電燃料の多角化 発電設備の地理的分散化 送配電網の冗長化 予備発電能力

注: 影響の地理的広がりが必要代替性の評価は、石油と電力の相対的な関係を表す。

28

非常時への備え

石油

- 手法や規模は異なるが、多くの国は緊急時対応用に備蓄を保有。
- IEA加盟国は、国際的に協調して対処する体制も整備。
- 国内では、災害時の石油会社間の連携体制構築や、石油供給を維持するための中核サービス・ステーション(SS)/住民拠点SSの整備を定めている。
- ただし、供給を輸入に依存せざるを得ない日本は、今後も供給障害のリスクに晒される。



- セキュリティ制度の維持、強化が必要

電力

- 電力市場自由化以前は、大手電力会社の自主的な取り組みとして、規制が求める以上の予備発電能力を確保。
- 自由化された市場では、大手電力会社の自主的判断に依存することは不可能。
- 一方で、技術革新によって新たな対策も可能になりつつある。
- AIによる需給予測精度の向上
- IoTを活用した需要の管理
- 電気自動車の蓄電池と組み合わせた需給調整、等

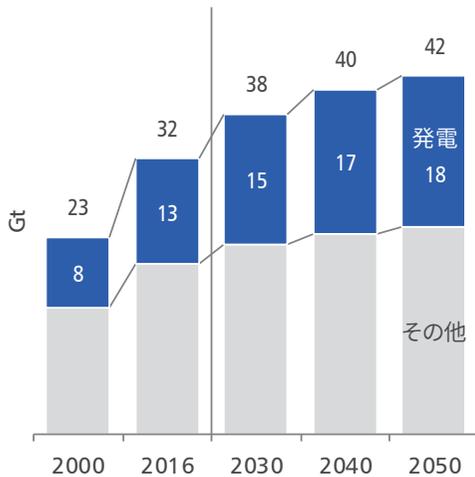


- 適切なセキュリティ制度構築が望まれる

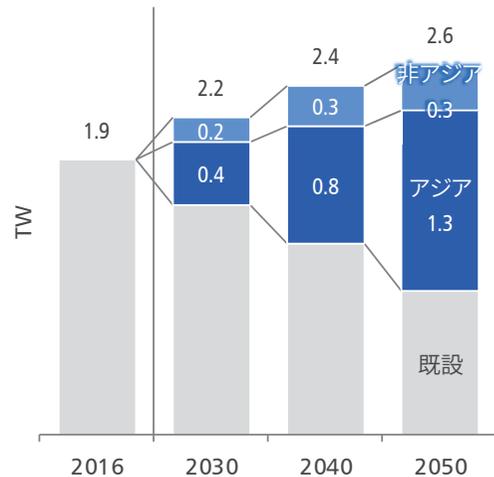
石炭火力新設禁止ケース

求められる発電部門の低炭素化

❖ CO₂直接排出[レファレンスシナリオ]



❖ 新設石炭火力容量[レファレンスシナリオ]



CO₂の2050年までの増分9.6 Gtのうち
過半の5.2 Gtは発電部門の直接排出

ESG投資、ダイベストメントの掛け声の下、
石炭火力への投融資手控え・撤退の動きも

レファレンスシナリオでは、石炭が最大の
電源であり続け、発電所の新設が続く

2020年以降新設の石炭火力は2050年で
1.6 TWに →これができなくなったら?

石炭火力新設禁止ケース——未来の仮想選択

現状から大幅なエネルギー変革を行うには、克服すべき課題が山積している。

しかし、ここでは、そうした現実社会における種々の問題を認識しつつも、ひとまず脇に置く。

石炭火力新設禁止ケース

石炭火力発電所の新設を2020年以降、全面的に禁止する状況を仮想的に設定してシミュレート。

新設石炭火力発電所によって賄われるはずであった電力の埋め合わせ方法に応じ、

天然ガス火力発電で代替——**石炭火力新設禁止(天然ガス代替)ケース**

太陽光発電・風力発電で代替——**石炭火力新設禁止(再生可能代替)ケース**

という2パターンを設ける。

石炭火力の運転特性を考えれば、原子力による代替も想定しうる。しかし、石炭火力発電所の代わりにあまねく原子力発電所を建設するには、十分な技術移転、規制体系の整備、核拡散防止などの課題にも取り組む必要があるが、その短期達成は難度が高い。また、目下の反・石炭火力の主張は、原子力での代替をセットとすることは少ない。そのため、ここでは天然ガス火力、太陽光・風力による代替の2パターン設定とした。

石炭火力発電所新設の全面禁止という厳格な措置が、どういった規模でメリット・デメリットをもたらさるか、エネルギー需給バランス、経済性などの視点から考える

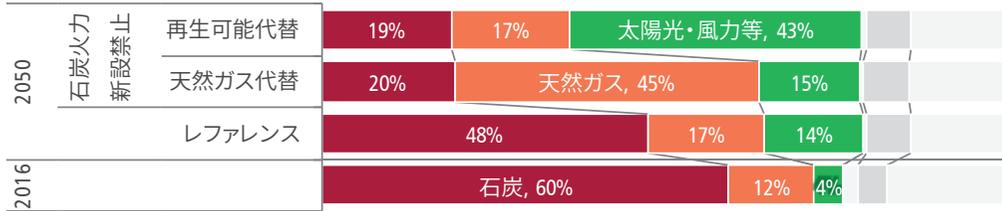


石炭火力新設禁止ケースは、「そうなるであろう」「そうすることができる」といったことを示すものではありません

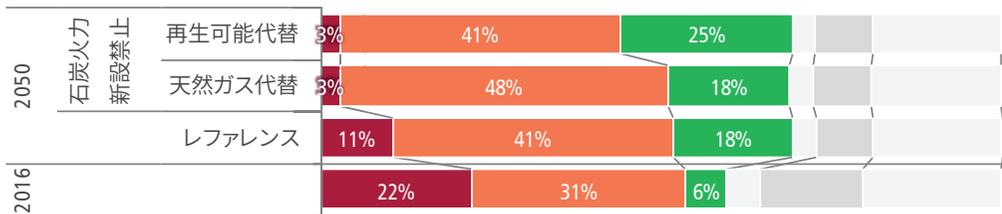
大きく変容する電源構成! 特にアジア!!

❖ 発電量構成

アジア



非アジア



さまざまな事情で石炭依存が高いアジアでの石炭火力新設禁止は、激甚とも言える大転換を意味する

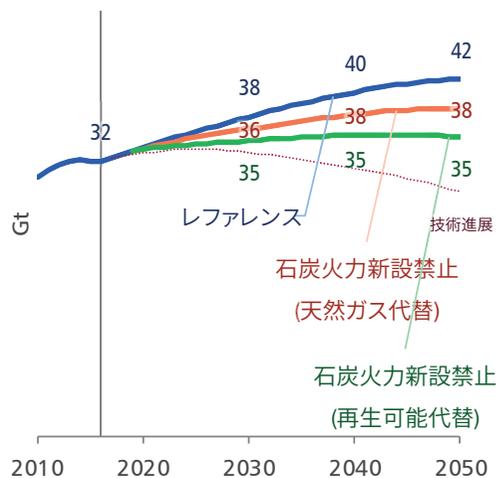
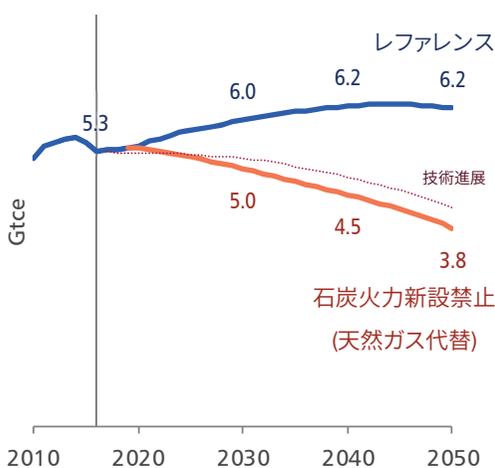
一方、アジアの外では変化の程度が限定的。新設石炭火力を太陽光・風力で代替しても、最大電源は天然ガスのまま

IEEJ Outlook 2019 | IEEJ © 2018

石炭火力新設禁止で得られるメリット

❖ 石炭一次消費

❖ CO₂排出



2050年の石炭消費の削減量は、中国の現生産量なみの2.3 Gtce

大気汚染物質の排出抑制にも寄与する

2050年のCO₂抑制量は、天然ガスで代替なら3 Gt、太陽光・風力で代替なら7 Gt

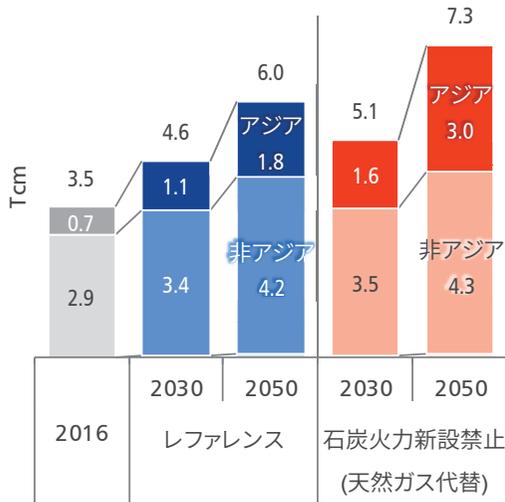
ただし、後者であっても排出量は足元から減少しない

注: 石炭火力新設禁止(再生可能代替)は、同(天然ガス代替)とほぼ同じ

IEEJ Outlook 2019 | IEEJ © 2018

天然ガスで代替するなら供給の飛躍的拡充を

❖ 天然ガス消費



❖ LNG需要

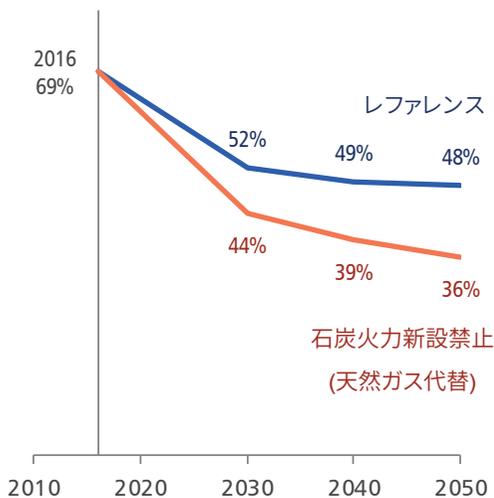


2050年の天然ガス消費量は現在の2倍超に。
2050年までの累積消費量は、状況次第で
確認埋蔵量を超過
可能な資源は、条件によらずすべて開発を

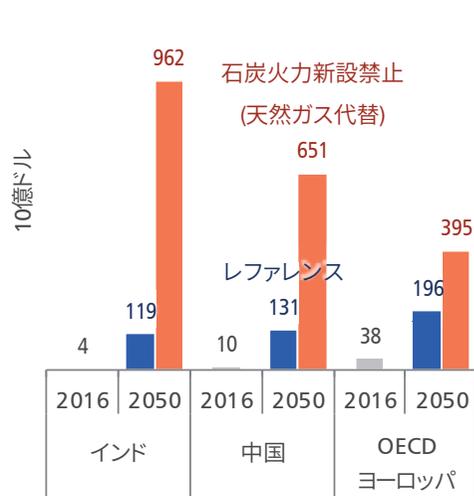
2030年のLNG需要は、現在の約3倍に
膨大な需要を充足するために、明確な
開発計画が立てられていないLNG案件も
早急に運開までこぎつけを

克服すべきは供給体制確立だけでなく……

❖ アジアの天然ガス自給率



❖ 天然ガス純輸入額

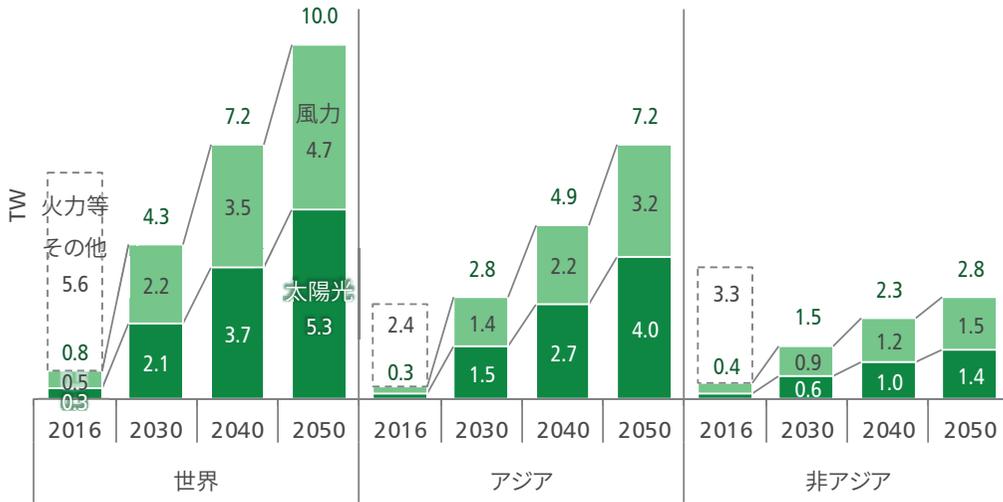


天然ガス生産、LNG供給チェーンが確立
できても、アジアには安全保障の新たな課題
その天然ガス自給率は、現在の半分程度に
低下

爆発的な消費上振れで価格が上昇すれば、
アジアのみならず、消費増分が少ない
OECDヨーロッパなどアジアの外でも
歓迎せざる影響が

太陽光・風力で代替なら未曾有の設備導入を

❖ 太陽光・風力発電設備容量[石炭火力新設禁止(再生可能代替)ケース]



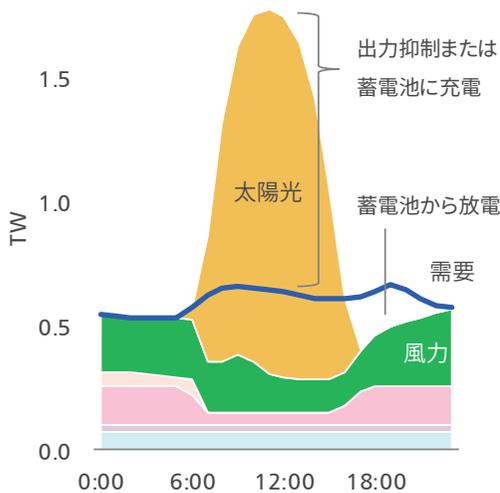
ロスを見逃さず高効率な蓄電・送電技術を全世界で制約なく利用できるようになったとしても、2050年に10 TWの太陽光・風力発電設備が必要

アジアの太陽光・風力発電設備は7.2 TW、現総発電容量(火力・再生可能・原子力)の2.7倍。大量導入実現に向けた持続可能な促進策を

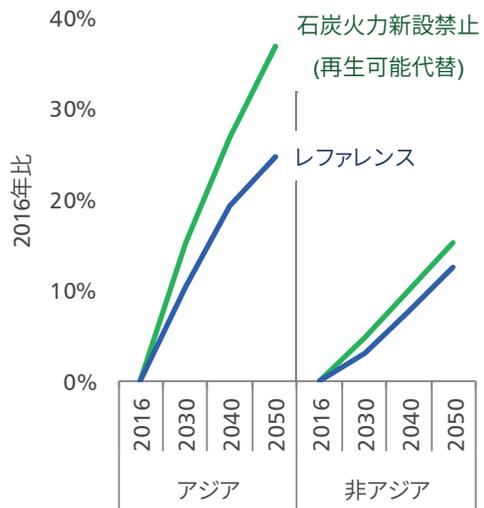
IEEJ Outlook 2019 IEEJ © 2018

電力安全保障にも目配りを

❖ インドの電力需給「イメージ」 [石炭火力新設禁止(再生可能代替)ケース、2050年]



❖ 電力コスト「概数」



電力は需給が常にバランスしていなければならない——供給不足も供給過剰も許されず太陽光・風力大量導入時の周波数、電圧、過渡安定度など技術的な検討を早急に

設備の導入や運用体系の根本的な変革で、間欠性再生可能電源の大量導入に準備をアジアでは対応費用がかさむが、エネルギー貧困や競争力劣後を誘発しないように

IEEJ Outlook 2019 IEEJ © 2018

注: 需要パターンを現状のものから設定した場合の需給イメージ

注: 再生可能発電促進のための賦課金などは含まない。詳細はp.126参照

Victoria concordia crescit (勝利は調和から生まれる)

石炭火力発電所の新設全面禁止



CO₂を3 Gt~7 Gt抑制



代替エネルギーの
爆発的な増加

天然ガス安定供給、
電力安定供給、
経済性など克服すべき
安全保障の大きな課題

石炭火力を廃止できる国は、着実に推進すべき
廃止が難しい国、よりよい他のCO₂削減手段がある国は、
優先順位を熟考せざるを得ない。ただし、低効率な石炭
火力の高効率なものへの転換、さらに並行して石炭火力
低減への環境整備に尽力を

IEEJ/Onidock, 2019 | IEEJ © 2018

いつも思い起こしてほしい……

アジア発展途上国の
エネルギー大変革を
支援する覚悟は
決まりましたか？

でも、
ちょっと待って

脱・石炭火力は
手段の1つに過ぎません。
真に目指すべきは
気候変動への対応です

さらに

その気候変動問題は、
人類が抱える課題の
1つですが、唯一の
ものではありません

39

付属資料

40

地域区分

- 世界を42地域に区分、特にアジア地域を15地域に区分
- アジアのエネルギー需給構造を特に詳細に考慮

OECDヨーロッパ

- ・イギリス
- ・ドイツ
- ・フランス
- ・イタリア
- ・他OECDヨーロッパ

非OECDヨーロッパ・旧ソ連

- ・ロシア
- ・他旧ソ連
- ・非OECDヨーロッパ

北米

- ・米国
- ・カナダ

中東

- ・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

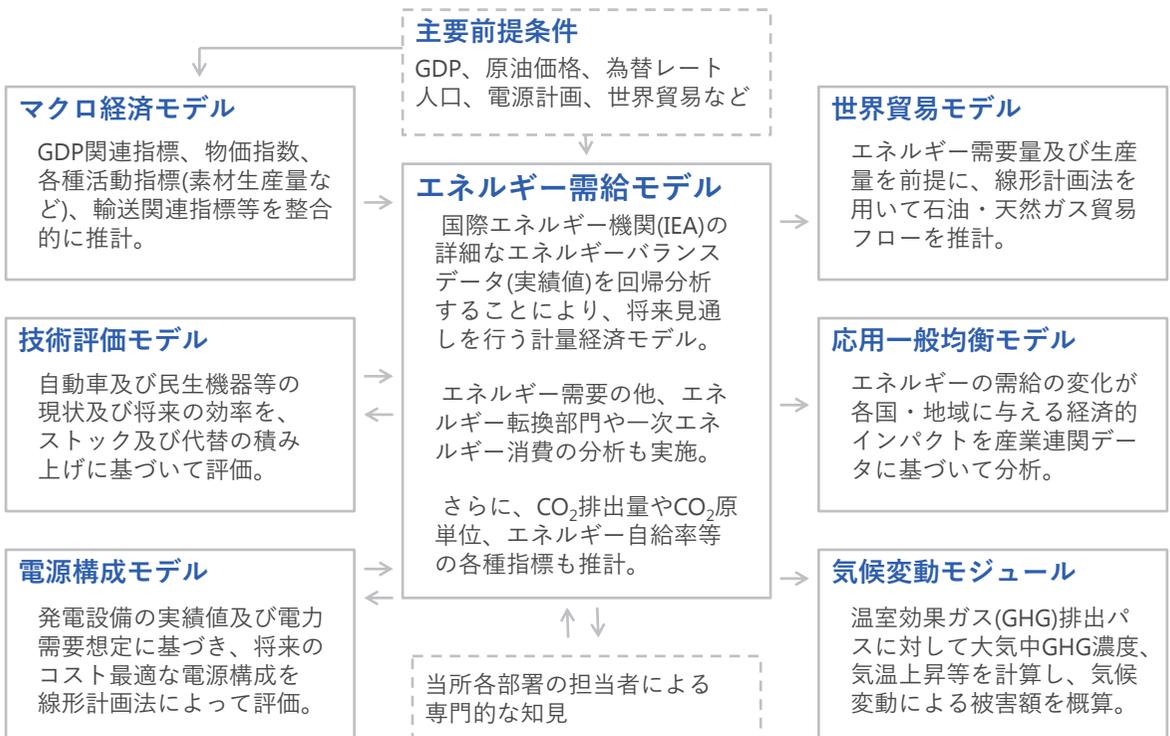
- ・南アフリカ
- ・北アフリカ
- ・他アフリカ

オセアニア

- ・オーストラリア
- ・ニュージーランド

41

モデルの構造



42

IEEJ Outlook 2019のシナリオ

レファレンスシナリオ

現在までのエネルギー・環境政策等を背景とし、過去の趨勢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。

技術進展シナリオ

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。

石炭火力新設禁止ケース

石炭火力の新設禁止の影響を分析するために、レファレンスシナリオをベースに、仮想的に天然ガス火力、あるいは太陽光発電・風力発電で代替したケース。

❖ 技術導入の例(2050年)

		2016	レファレンス	技術進展	石炭火力新設禁止 ¹
高効率石炭火力	2030		30%	70%	-
	発電比率 ²	2050	90%	100%	-
省エネルギー	ZEV ³ 販売比率	2030	11%	20%	レファレンスと同じ
		2050	26%	46%	
鉄鋼業の原単位 ⁴	286	240	215		
家庭の断熱効率(2016年比)		24.4%改善	27.4%改善		
石炭・天然ガス火力発電へのCCS付設 ⁵			なし	2030年以降新設分	
非化石電源	原子力発電(GW)	406	518	859	5,341
	太陽光発電	290	2,110	2,922	
	風力発電	465	2,254	3,351	

*1 石炭火力新設禁止(再生可能代替)ケース *2 新設に占める超々臨界圧発電、先進的超々臨界圧発電、石炭ガス化複合発電の比率 *3 ZEV: 電気自動車、プラグインハイブリッド自動車、燃料電池自動車 *4 粗鋼生産量あたりのエネルギー消費量(toe/kt) *5 帯水層を除くCO₂貯留ポテンシャルのある国・地域のみ

【超長期気候モデル分析】

レファレンス

過去の趨勢が継続する排出パス

最小費用パス

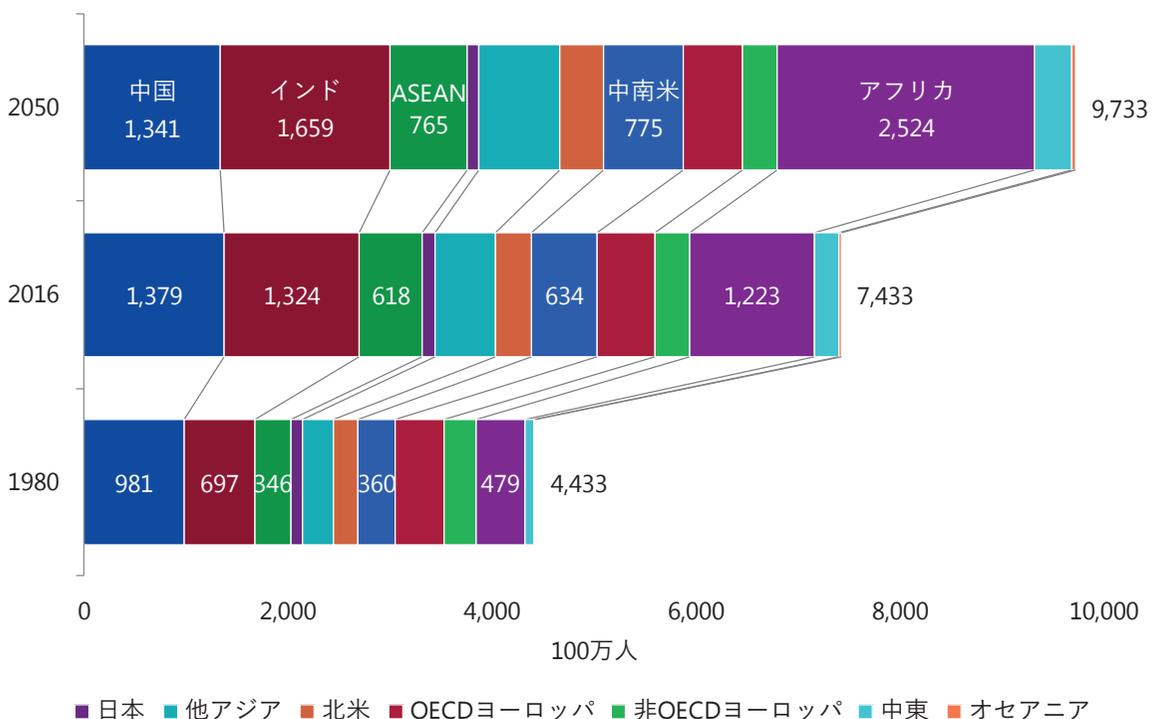
累積総合コストが最小となる排出パス

2050年半減

IPCC第5次評価報告書の「RCP2.6」における排出パス

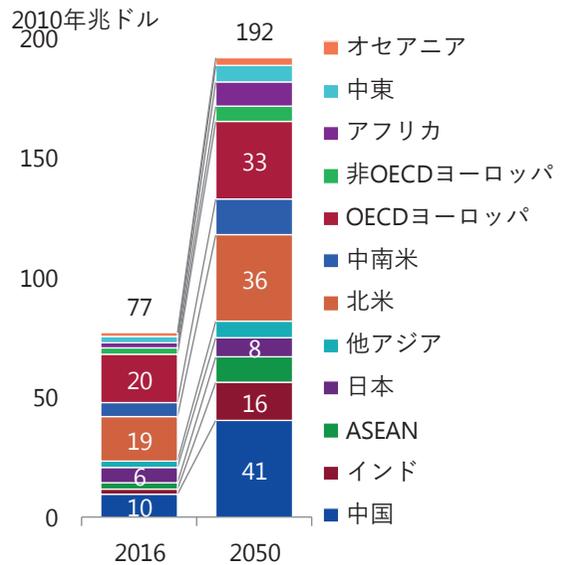
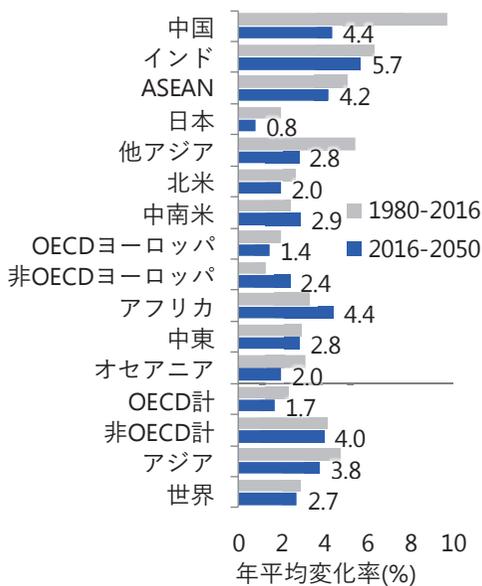
43

主な前提条件: 人口



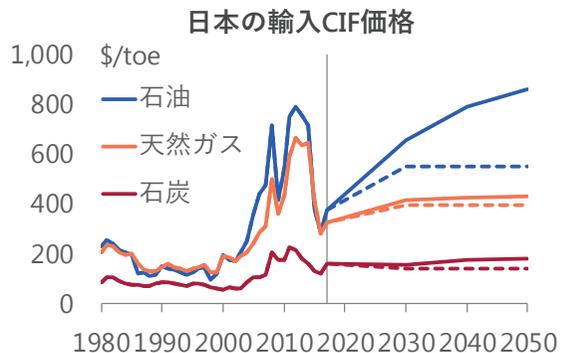
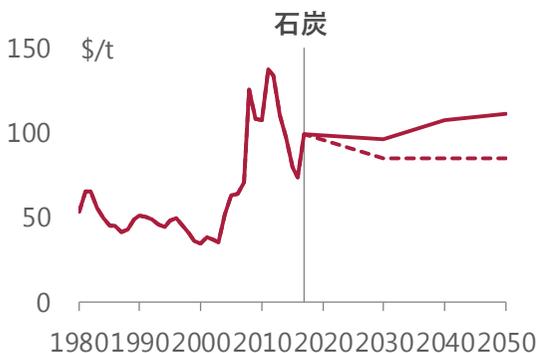
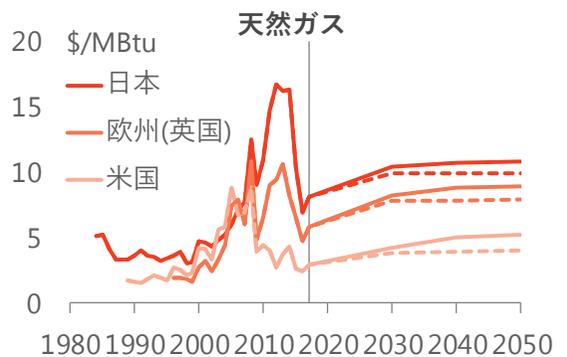
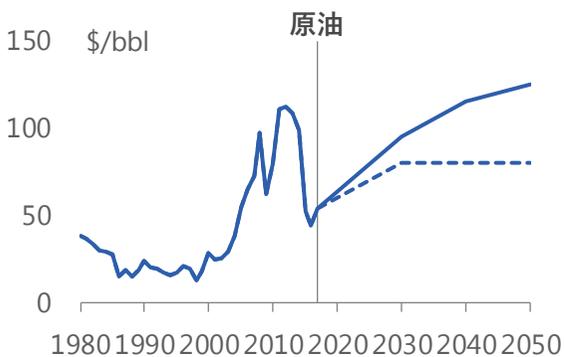
44

主な前提条件: 実質GDP



主な前提条件: 一次エネルギー価格

レファレンス: 実線
技術進展: 破線



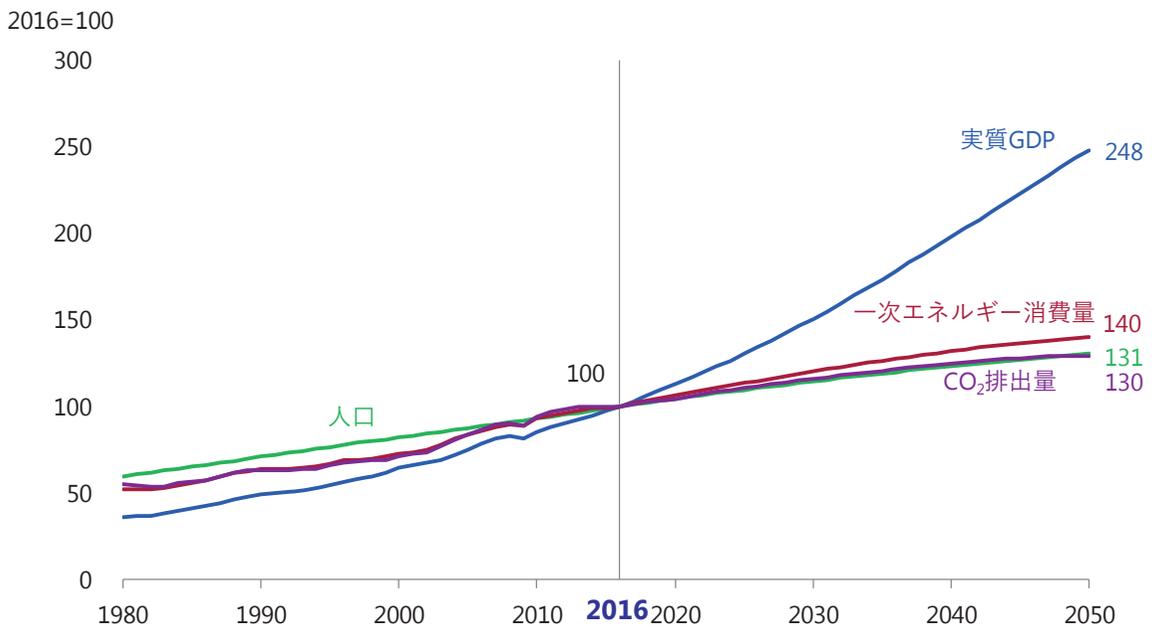
(注)実績値は名目価格、見通しは2017年価格

2050年までの 世界・アジアのエネルギー需給展望

レファレンスシナリオ

47

世界の人口、GDP、エネルギー消費、CO₂排出

 IEE
JAPAN
レファレンスシナリオ


48

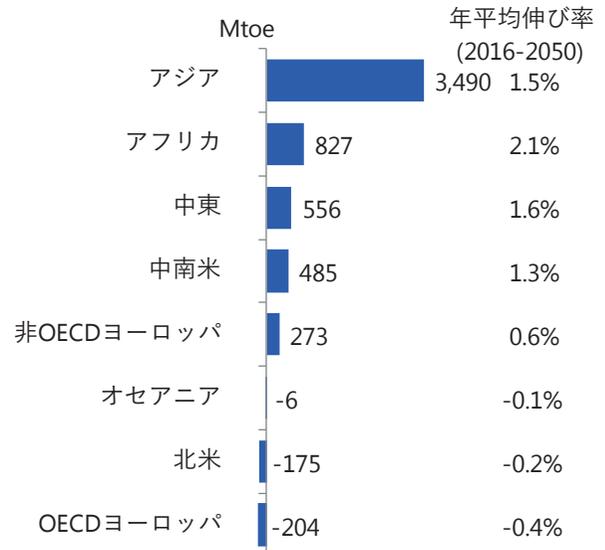
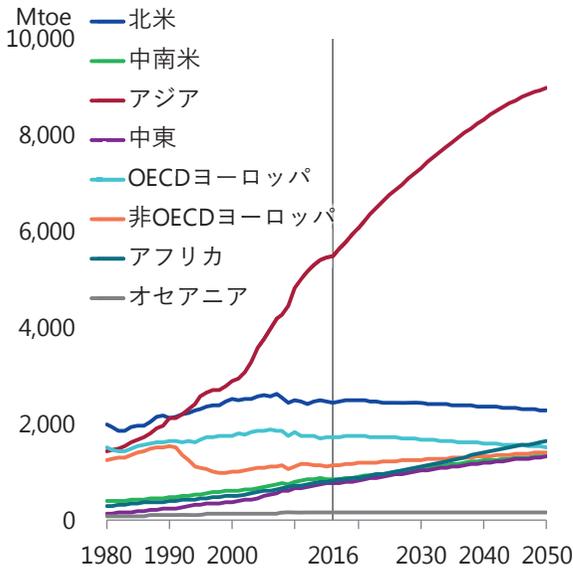
世界の一次エネルギー消費(地域別)

レファレンスシナリオ

世界計

2016 → 2050
13.8 Gtoe (1.4倍に増加) **19.3 Gtoe**

2016-2050年の増加分



49

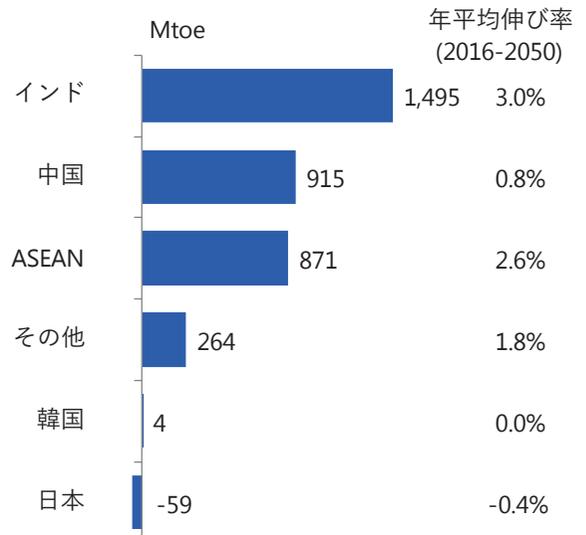
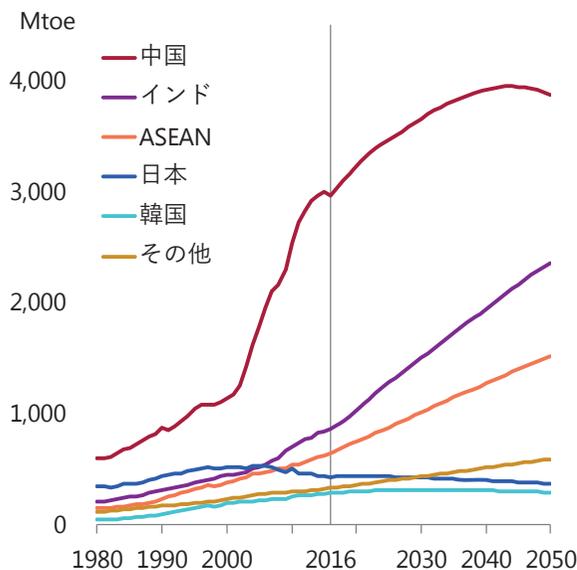
アジアの一次エネルギー消費(国・地域別)

レファレンスシナリオ

アジア計

2016 → 2050
5.5 Gtoe (1.6倍に増加) **9.0 Gtoe**

2016-2050年の増加分

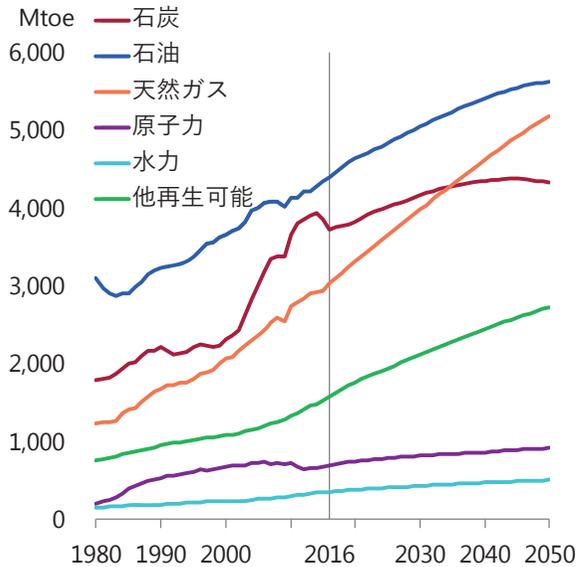


50

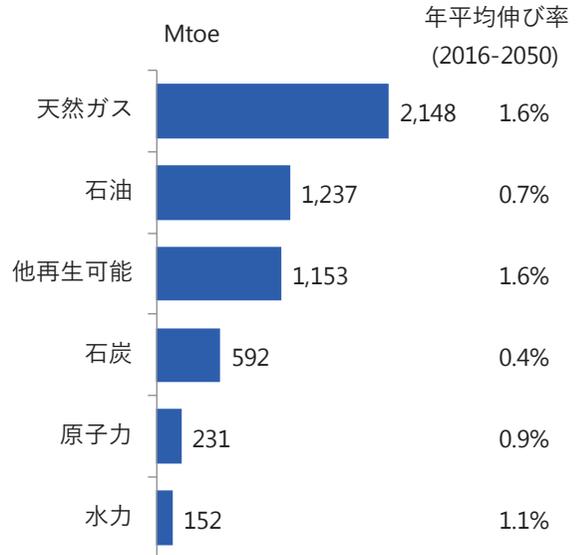
世界の一次エネルギー消費(エネルギー別)

レファレンスシナリオ

世界計

2016
13.8 Gtoe → (1.4倍に増加) 2050
19.3 Gtoe

2016-2050年の増加分

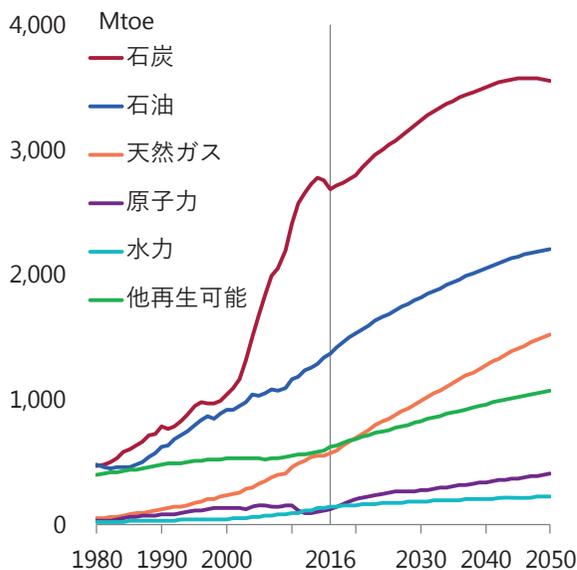


51

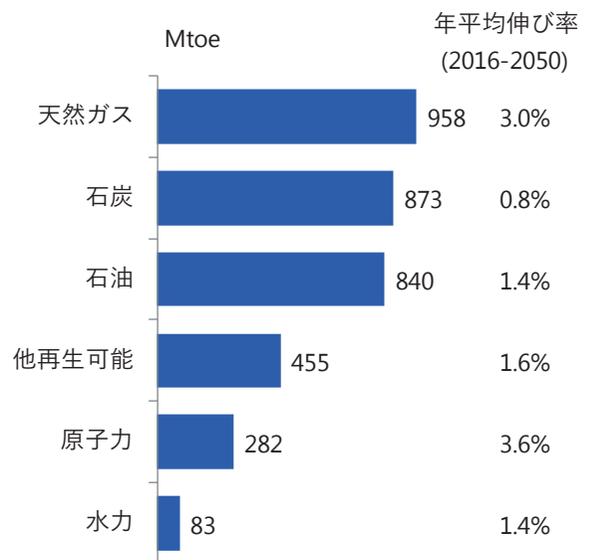
アジアの一次エネルギー消費(エネルギー別)

レファレンスシナリオ

アジア計

2016
5.5 Gtoe → (1.6倍に増加) 2050
9.0 Gtoe

2016-2050年の増加分

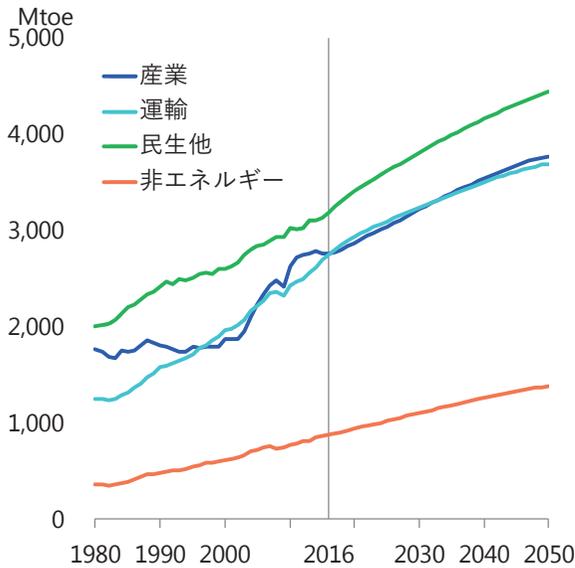


52

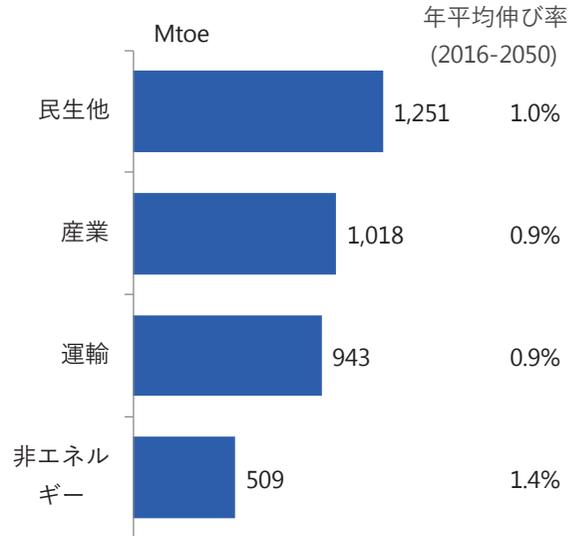
世界の最終エネルギー消費(部門別)

レファレンスシナリオ

世界計

2016
9.6 Gtoe → (1.4倍に増加) 2050
13.3 Gtoe

2016-2050年の増加分

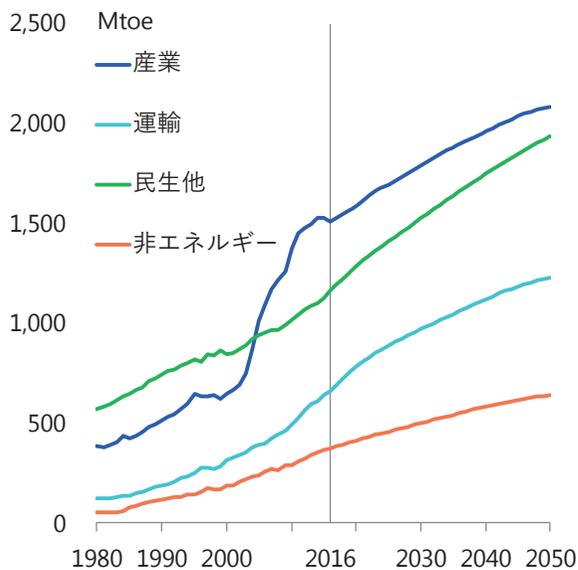


53

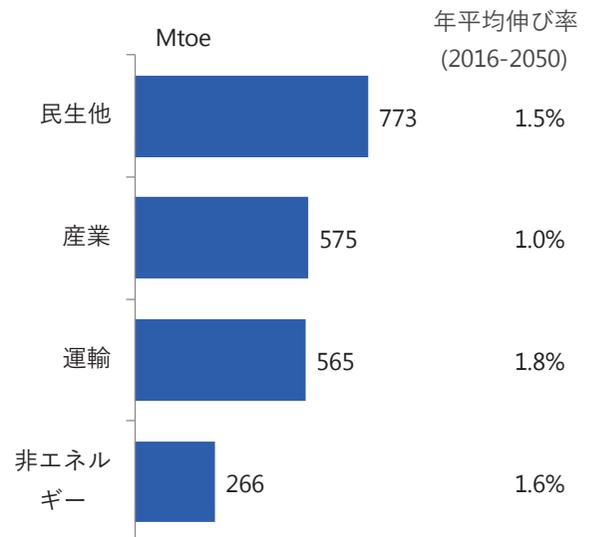
アジアの最終エネルギー消費(部門別)

レファレンスシナリオ

アジア計

2016
3.7 Gtoe → (1.6倍に増加) 2050
5.9 Gtoe

2016-2050年の増加分



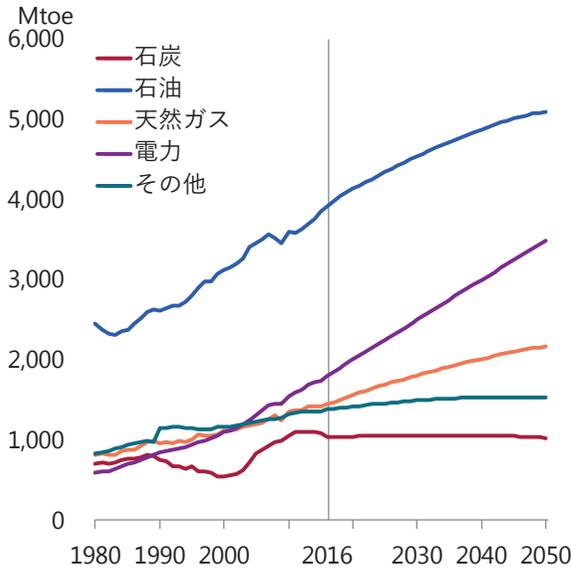
54

世界の最終エネルギー消費(エネルギー別)

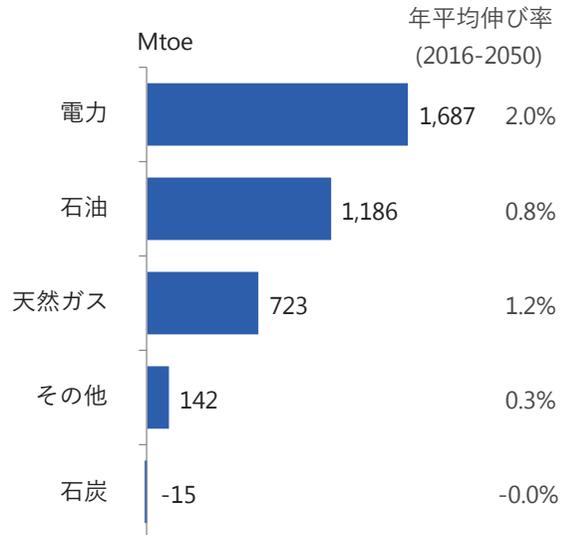
レファレンスシナリオ

世界計

2016 → 2050
9.6 Gtoe (1.4倍に増加) **13.3 Gtoe**



2016-2050年の増加分



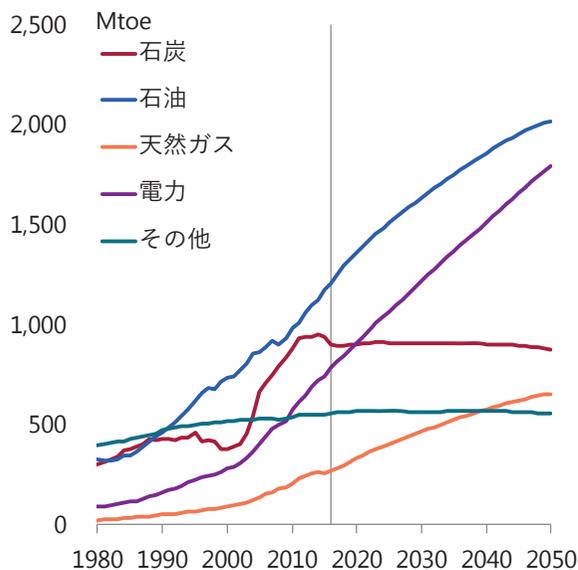
55

アジアの最終エネルギー消費(エネルギー別)

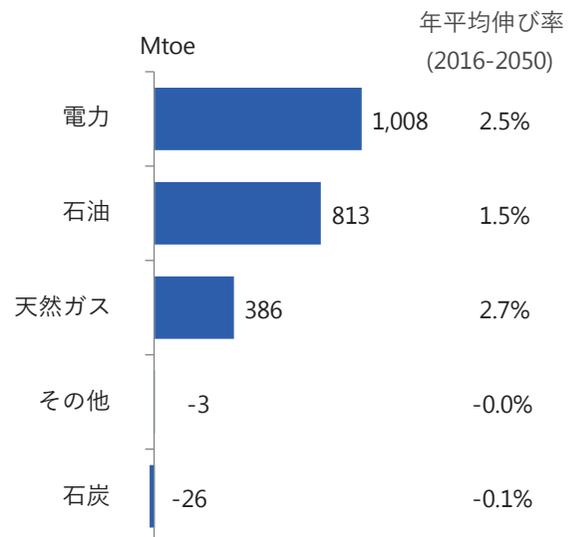
レファレンスシナリオ

アジア計

2016 → 2050
3.7 Gtoe (1.6倍に増加) **5.9 Gtoe**



2016-2050年の増加分

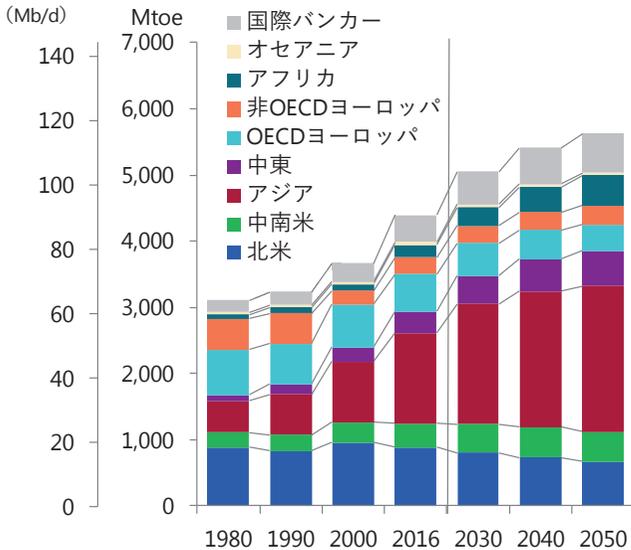


56

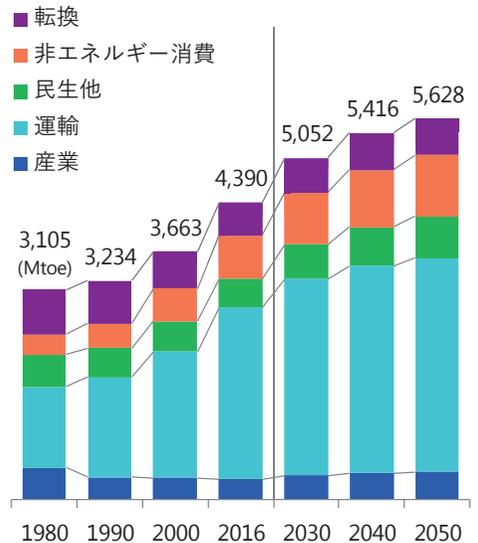
世界の石油消費

レファレンスシナリオ

地域別



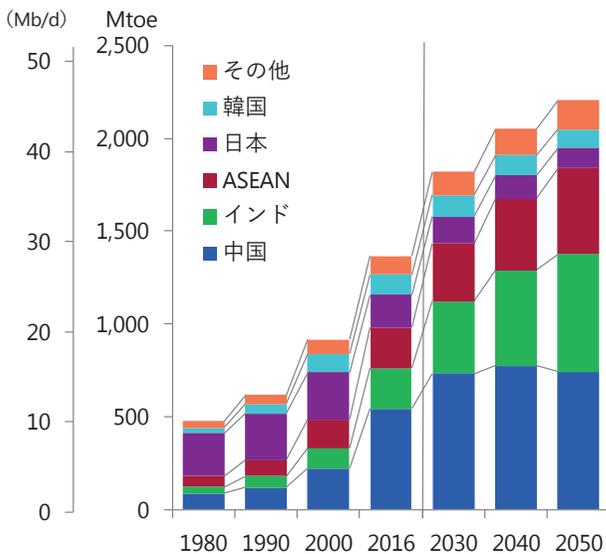
部門別



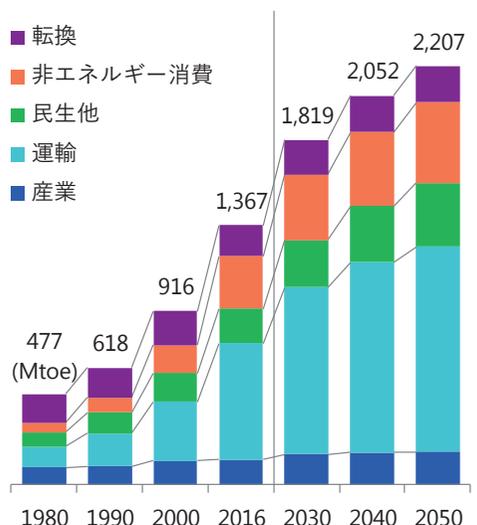
アジアの石油消費

レファレンスシナリオ

地域別

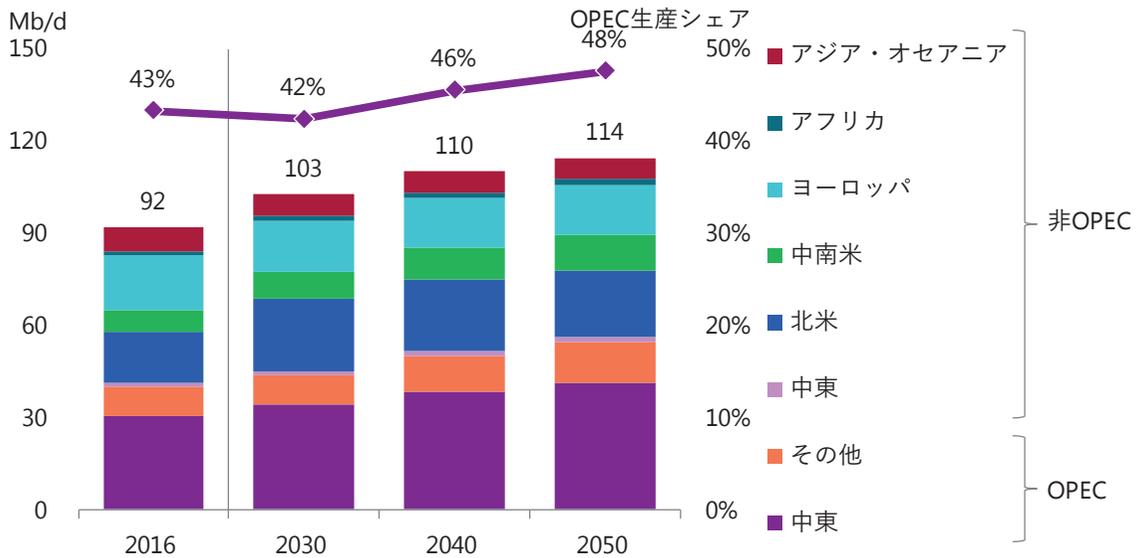


部門別



世界の原油生産

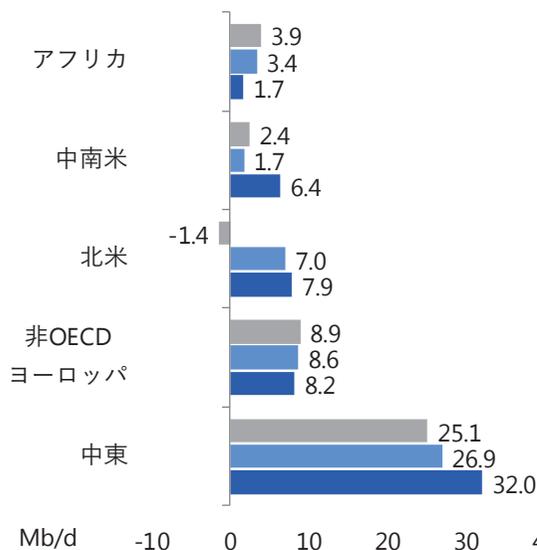
レファレンスシナリオ



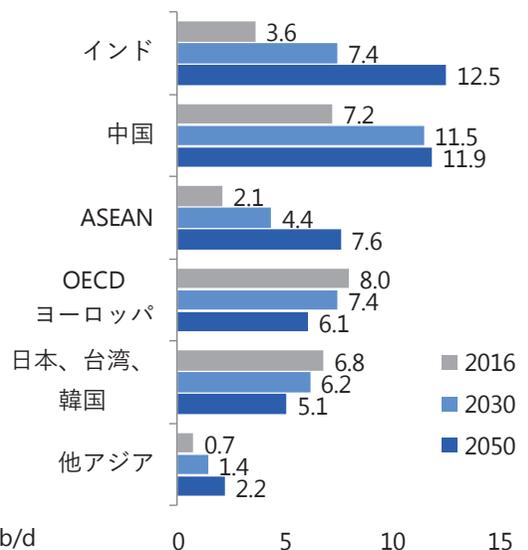
石油の純輸出入量

レファレンスシナリオ

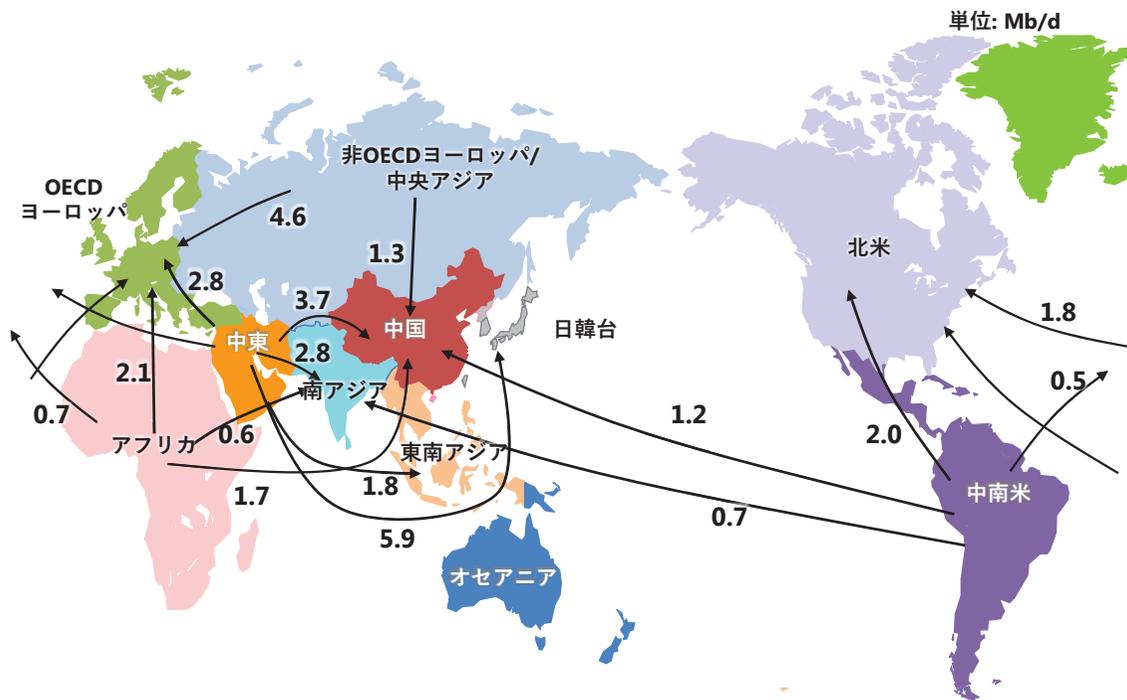
2050年純輸出地域の純輸出力



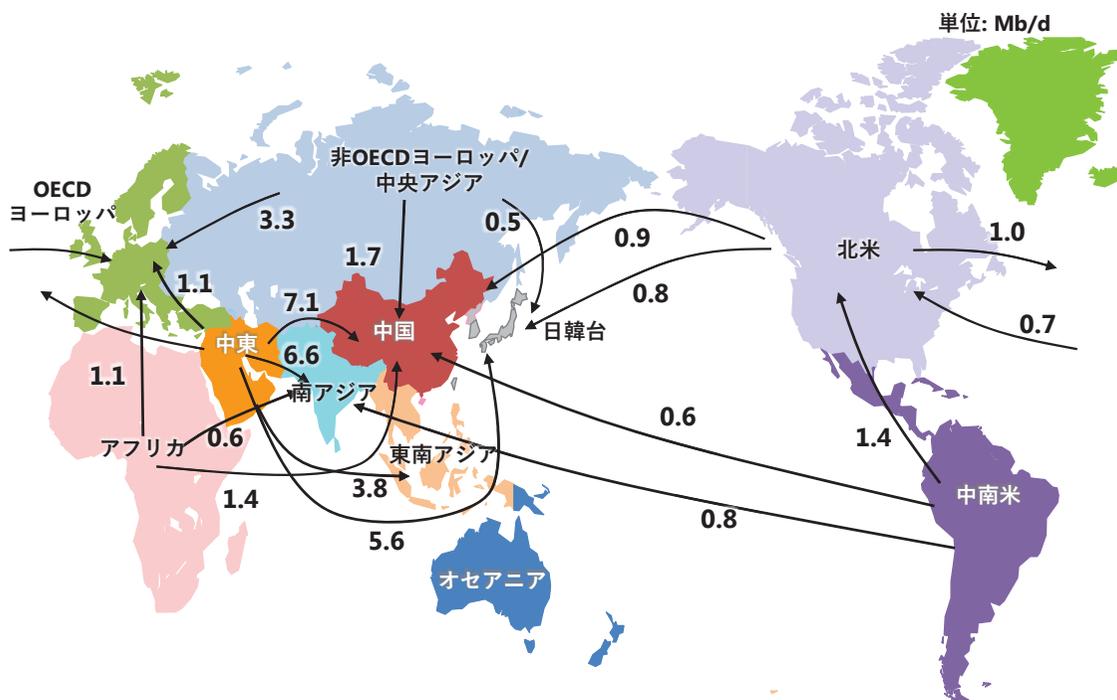
2050年純輸入地域の純輸入力



主要な原油貿易フロー(2017年)

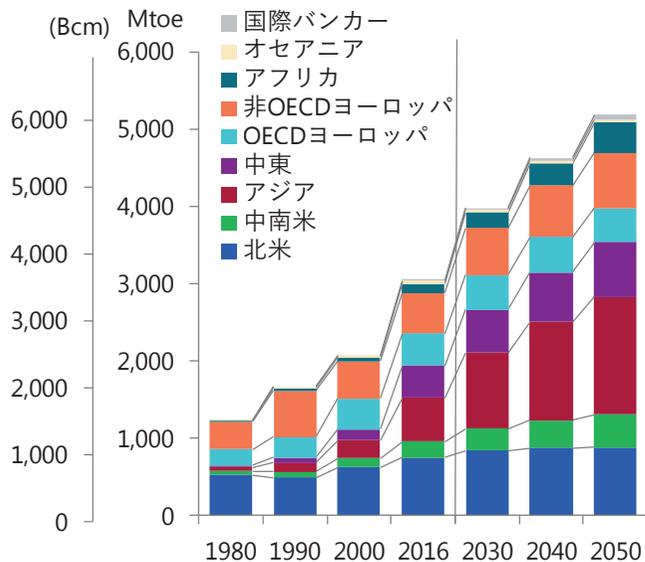


主要な原油貿易フロー(2030年)

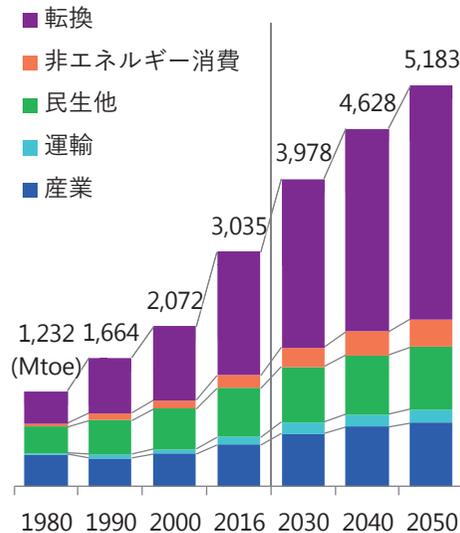


世界の天然ガス消費

地域別

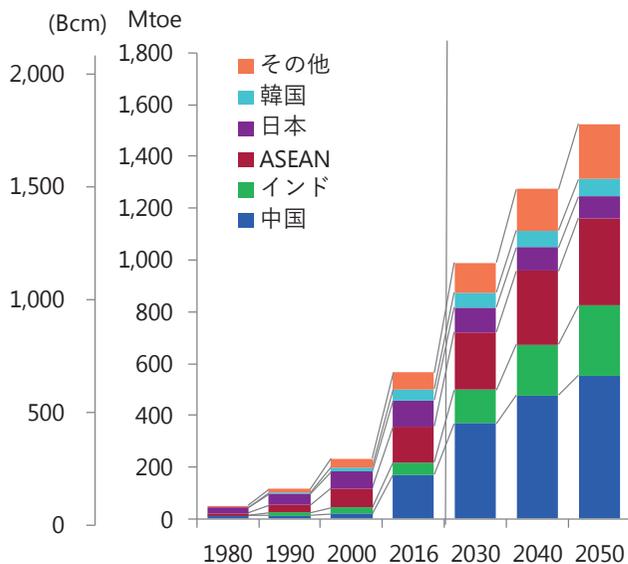


部門別

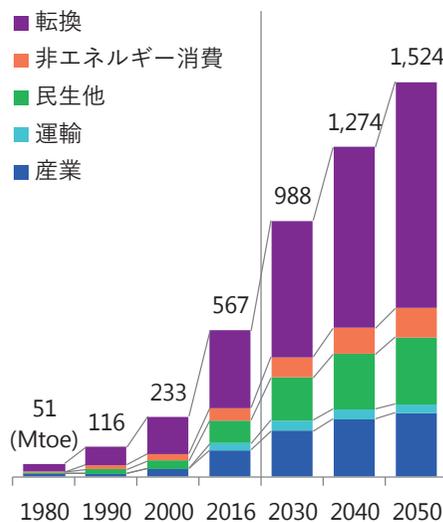


アジアの天然ガス消費

地域別

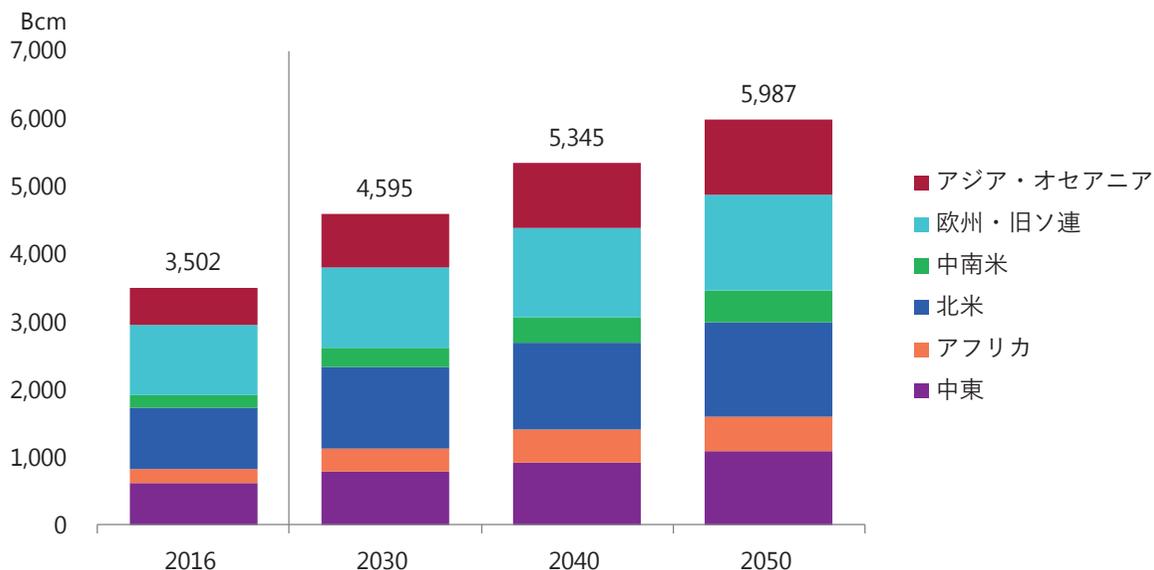


部門別



世界の天然ガス生産

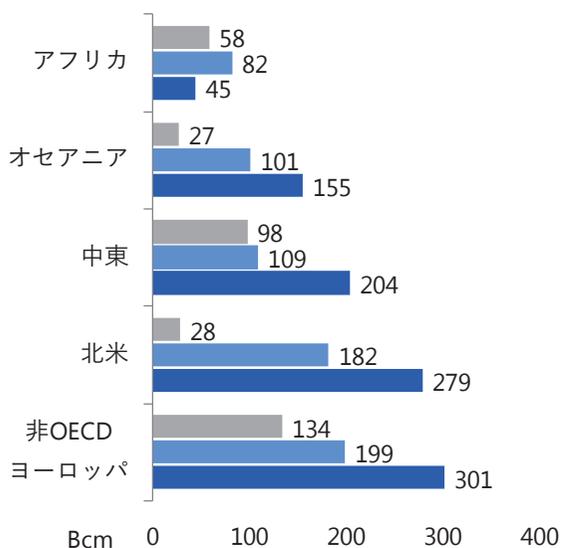
レファレンスシナリオ



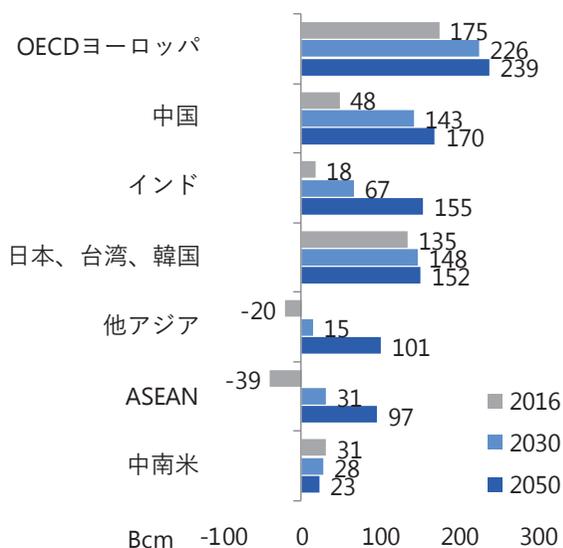
天然ガスの純輸出入量

レファレンスシナリオ

2050年純輸出地域の純輸出货量

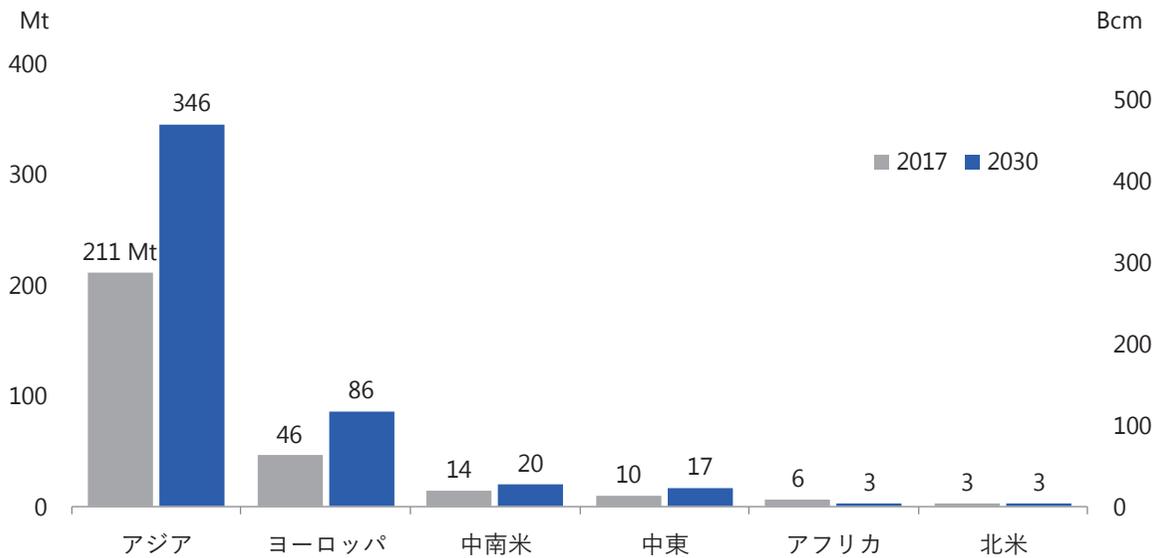


2050年純輸入地域の純輸入量



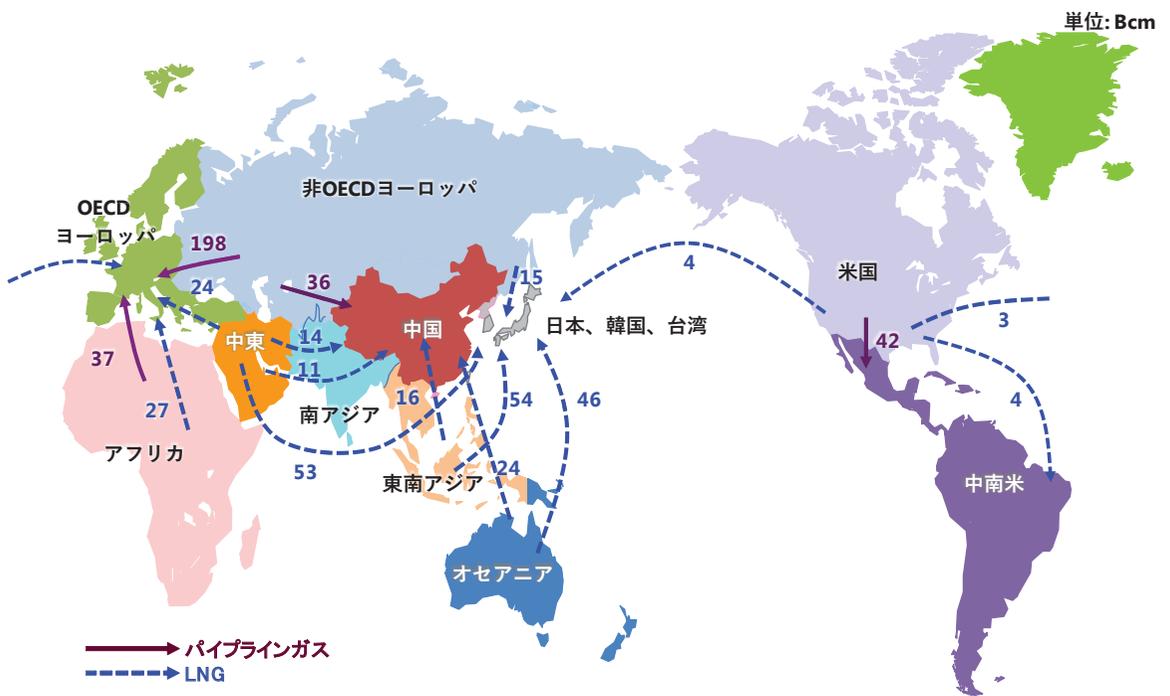
世界のLNG輸入量

レファレンスシナリオ



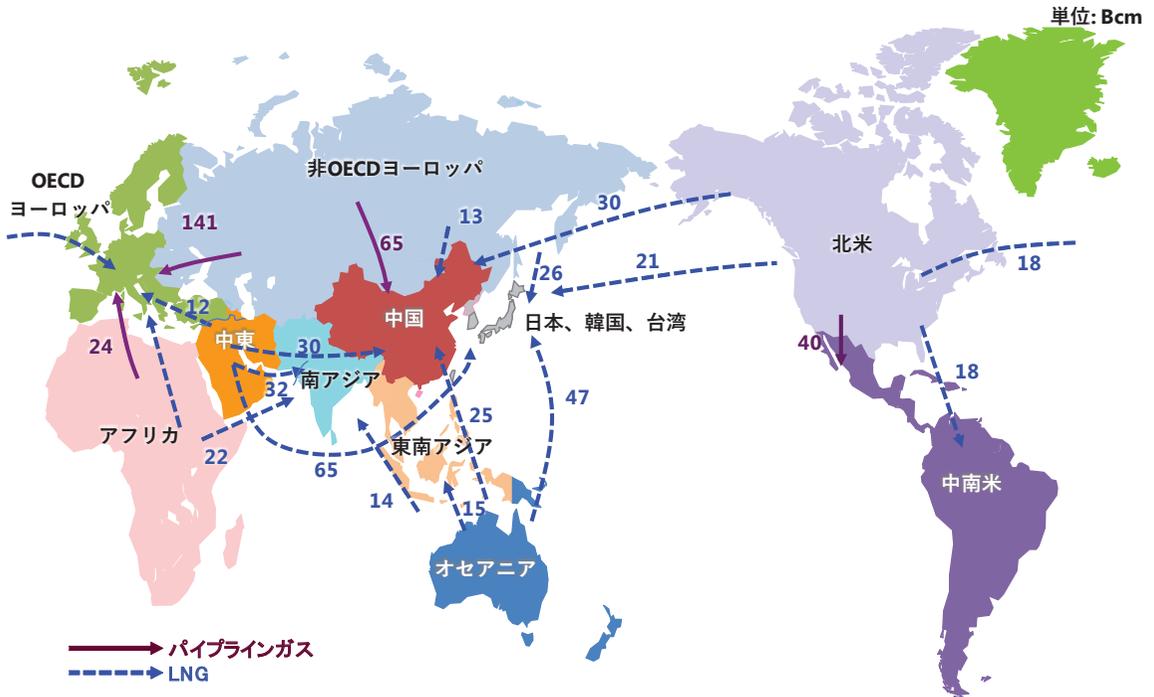
67

主要な天然ガス貿易フロー(2017年)



68

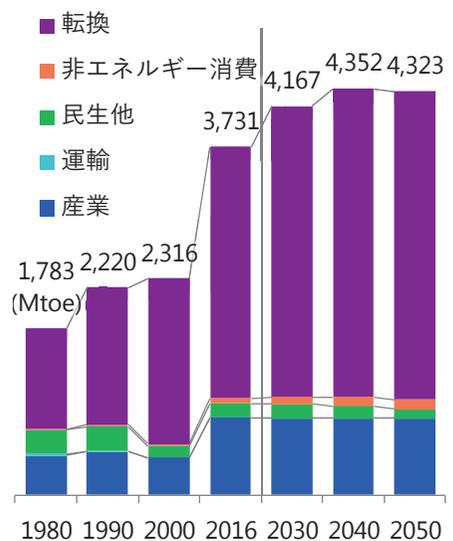
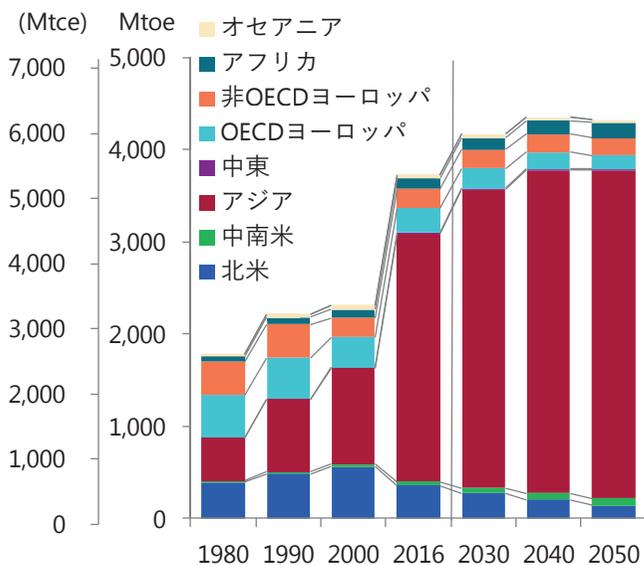
主要な天然ガス貿易フロー(2030年)



世界の石炭消費

地域別

部門別

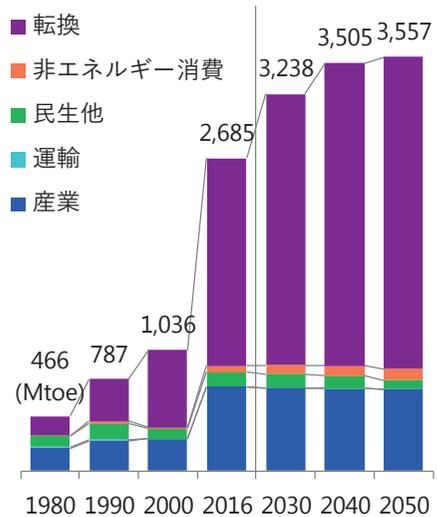
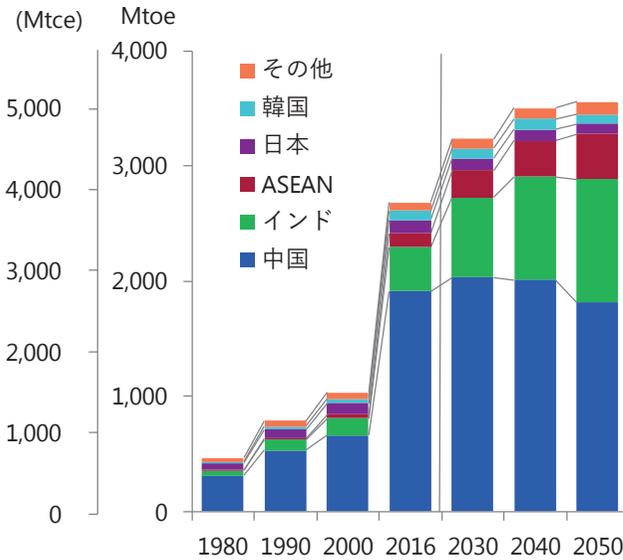


アジアの石炭消費

レファレンスシナリオ

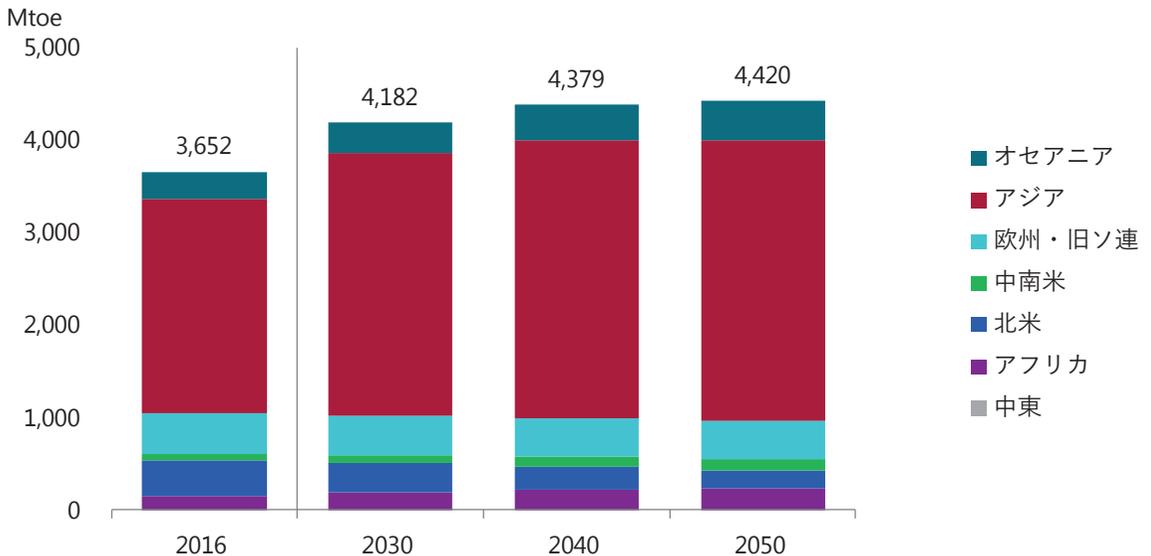
地域別

部門別



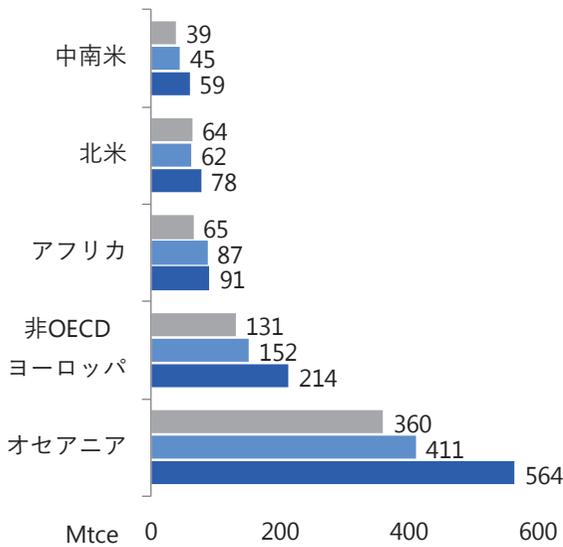
世界の石炭生産

レファレンスシナリオ

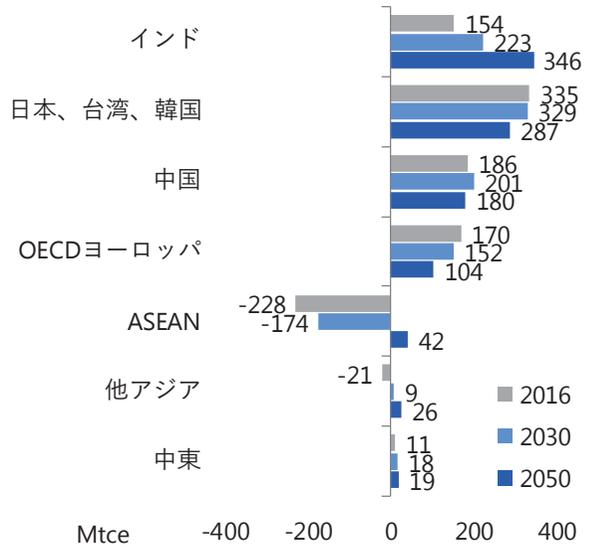


石炭の純輸出入量

2050年純輸出地域の純輸出货量

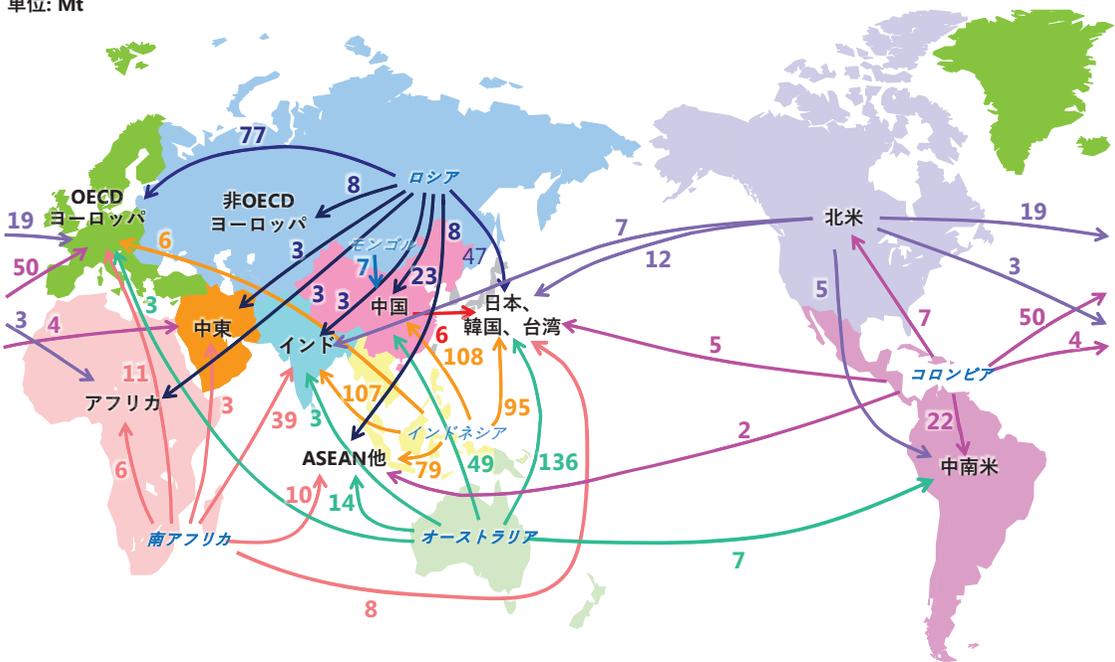


2050年純輸入地域の純輸入量



主要な一般炭貿易フロー(2017年)

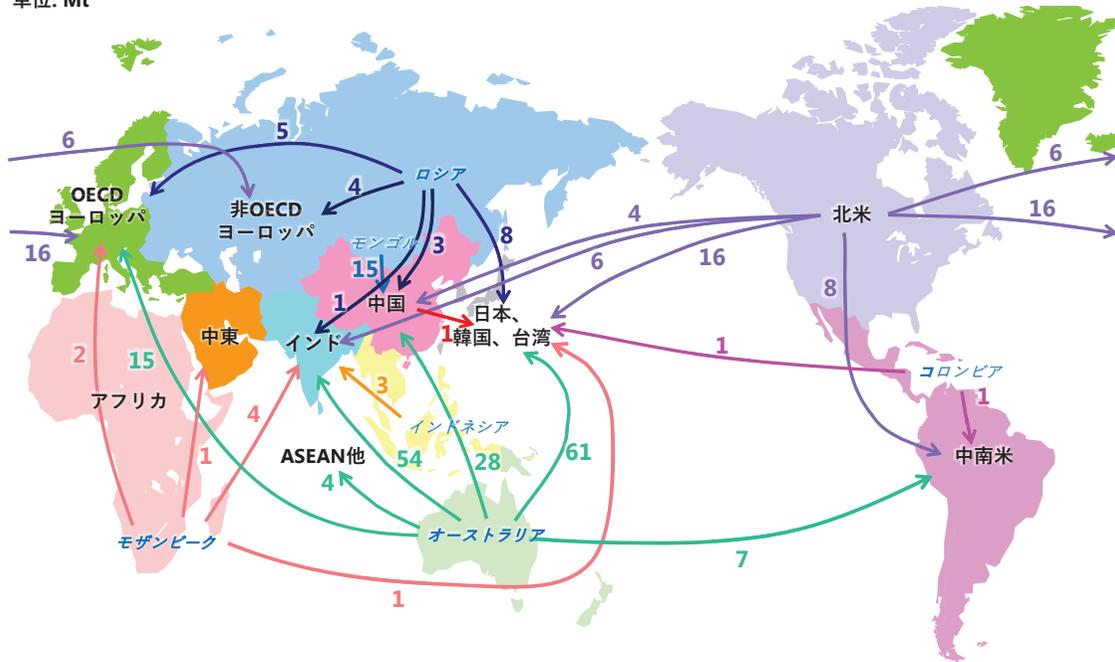
単位: Mt



主要な原料炭貿易フロー(2030年)

レファレンスシナリオ

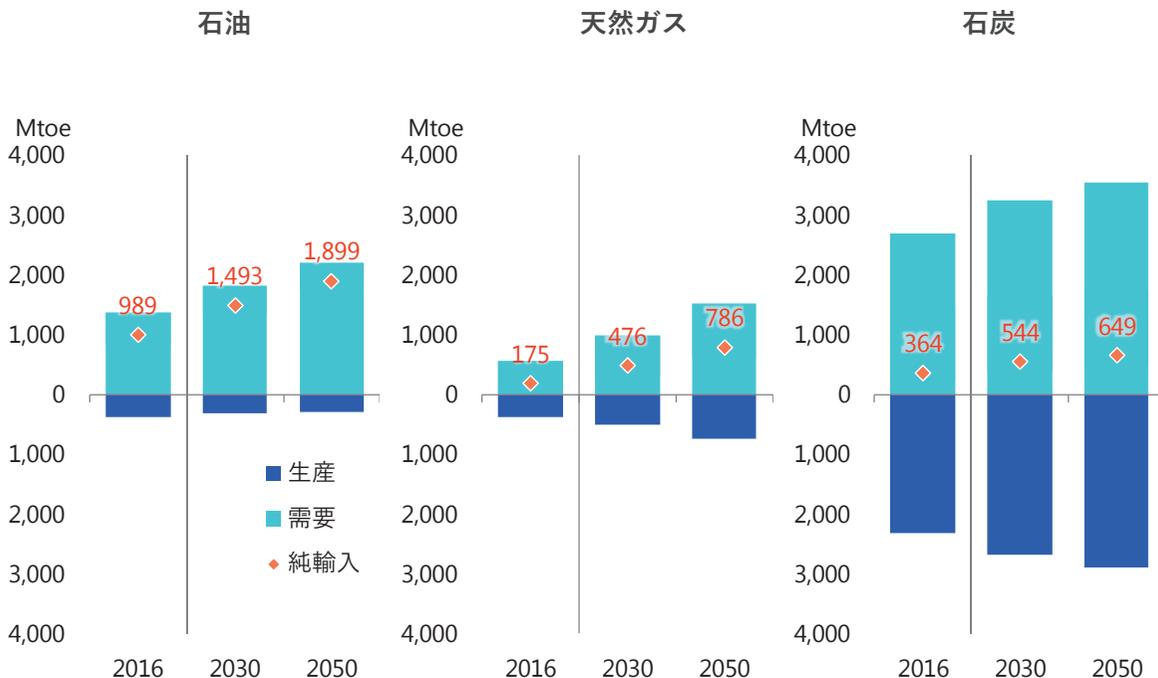
単位: Mt



77

アジアの化石燃料需給バランス

レファレンスシナリオ

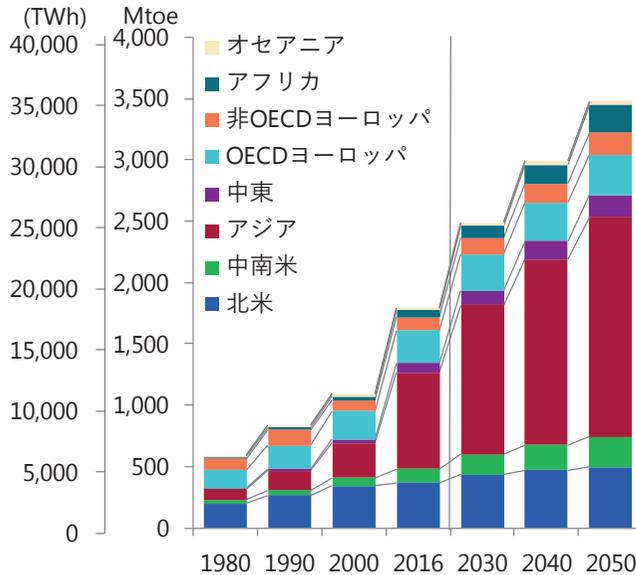


78

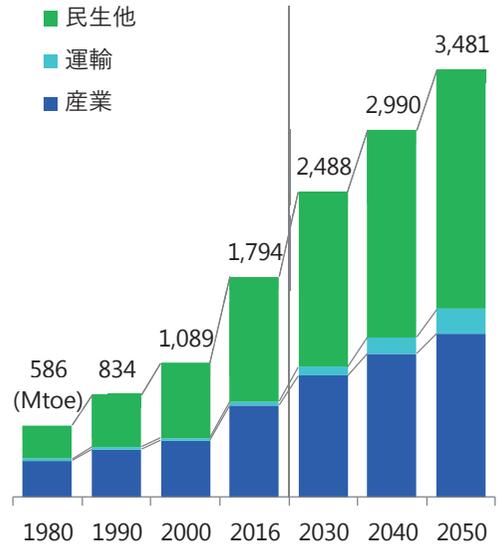
世界の電力最終消費

レファレンスシナリオ

地域別



部門別

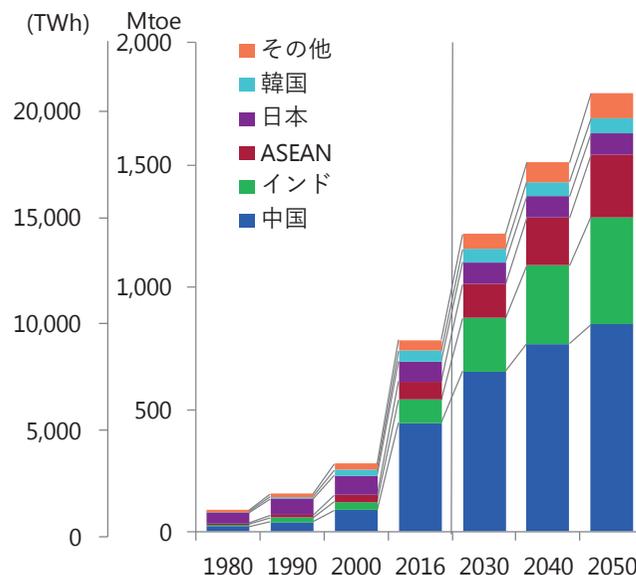


79

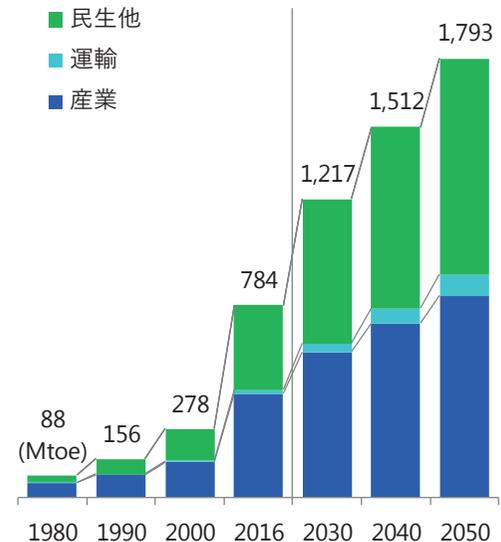
アジアの電力最終消費

レファレンスシナリオ

地域別



部門別

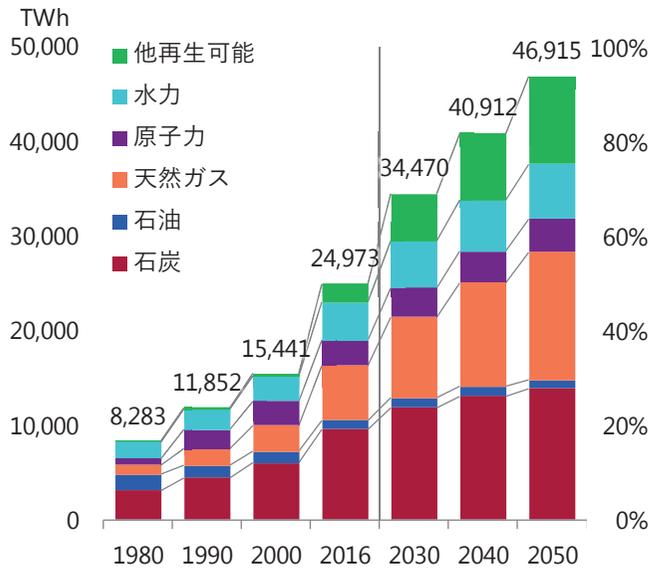


80

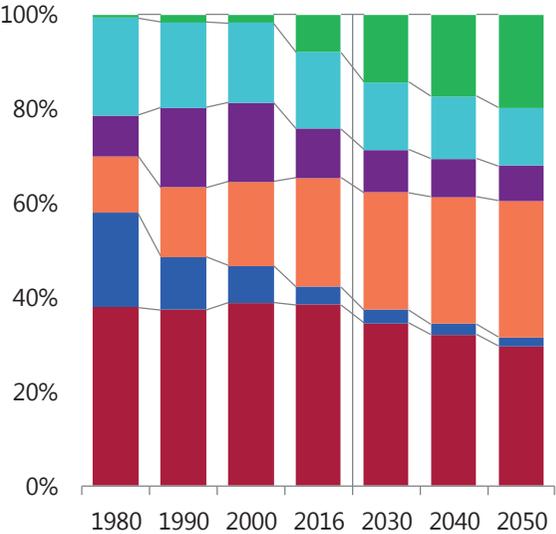
世界の発電構成

レファレンスシナリオ

発電量



発電量シェア

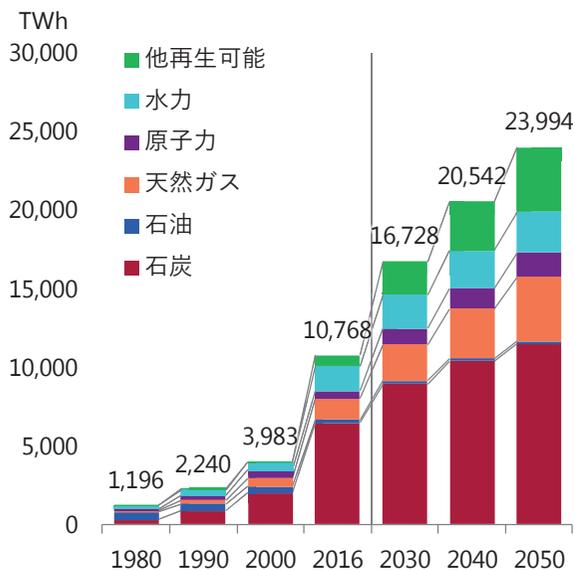


81

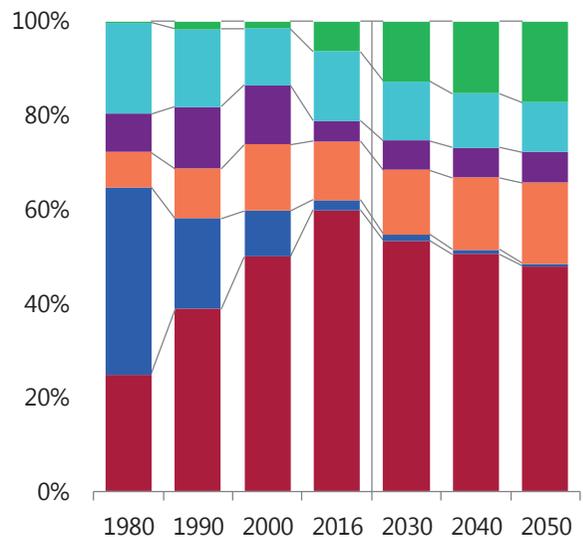
アジアの発電構成

レファレンスシナリオ

発電量



発電量シェア



82

世界のエネルギー関連投資額

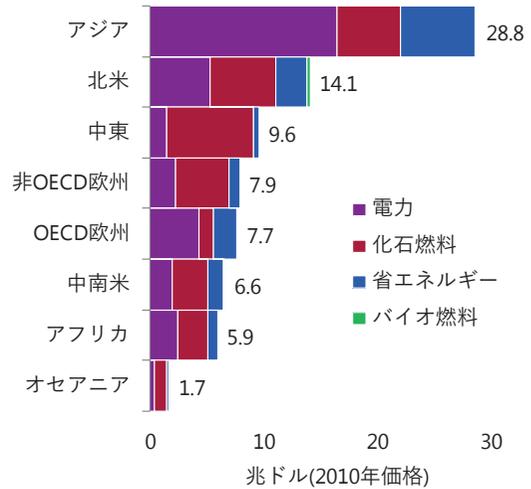
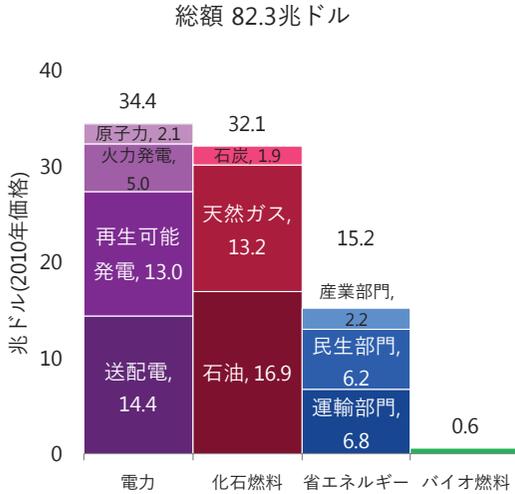
(2017年～2050年 累積投資額)

レファレンスシナリオ



部門別

地域別



83

アジアのエネルギー関連投資額

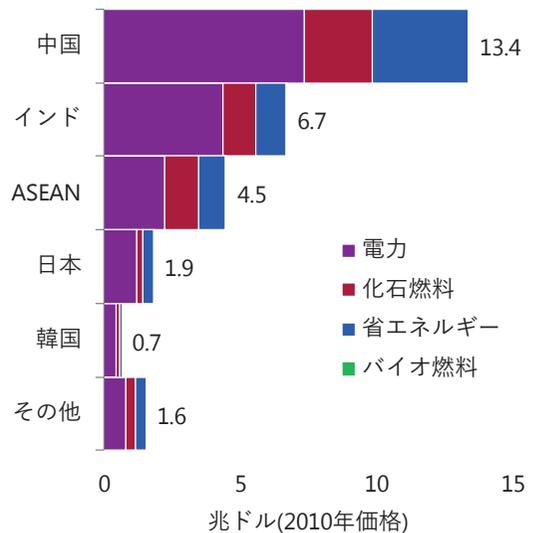
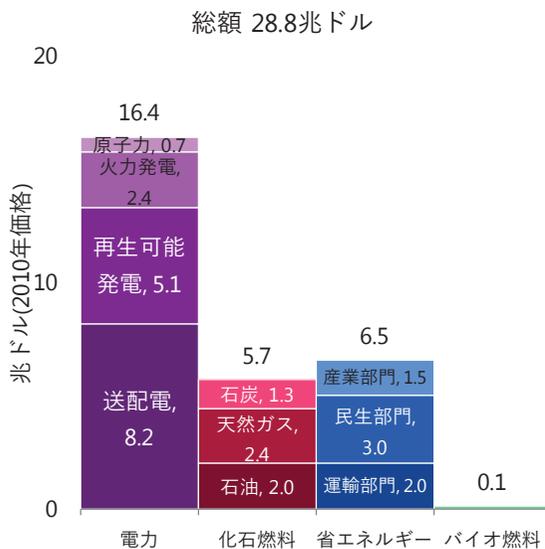
(2017年～2050年 累積投資額)

レファレンスシナリオ



部門別

地域別



84

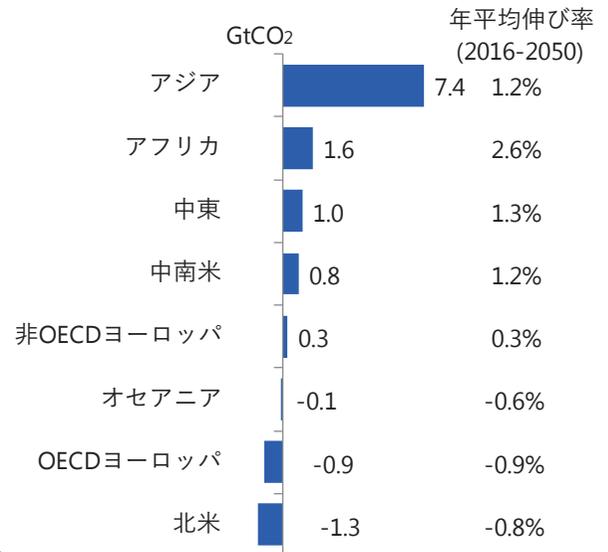
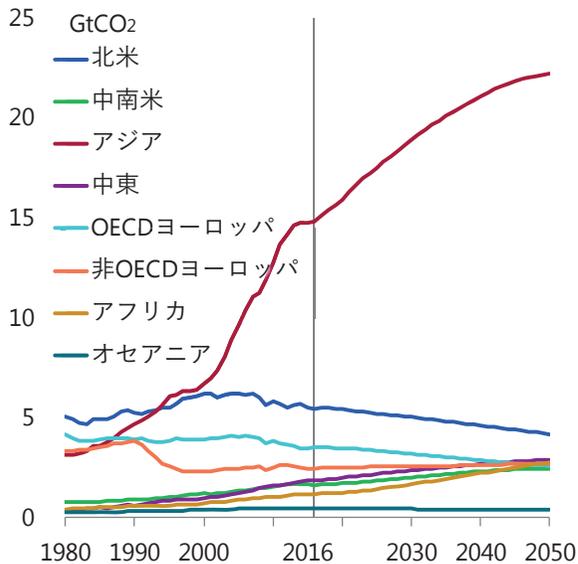
世界のCO₂排出量

レファレンスシナリオ

世界計

2016
32.4 Gt → (1.3倍に増加) 2050
41.9 Gt

2016-2050年の増加分



85

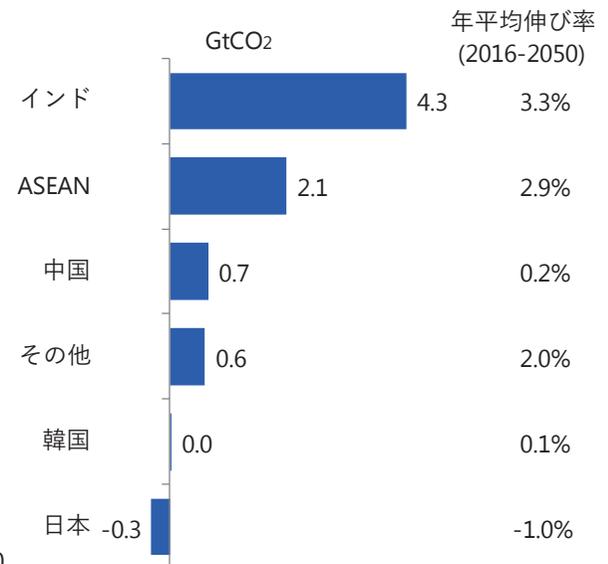
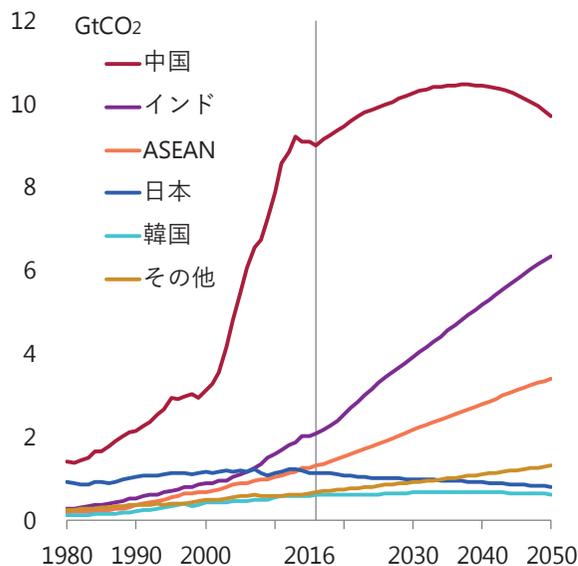
アジアのCO₂排出量

レファレンスシナリオ

アジア計

2016
14.8 Gt → (1.5倍に増加) 2050
22.2 Gt

2016-2050年の増加分



86

技術進展シナリオ

87

技術進展シナリオの前提

世界各国がエネルギー安定供給の確保、気候変動対策を一層強化すると共に、既存技術の効率改善や国際的な技術移転が促進され、新技術の普及が世界的により一層拡大するシナリオ

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

88

主な前提条件: エネルギー・環境技術

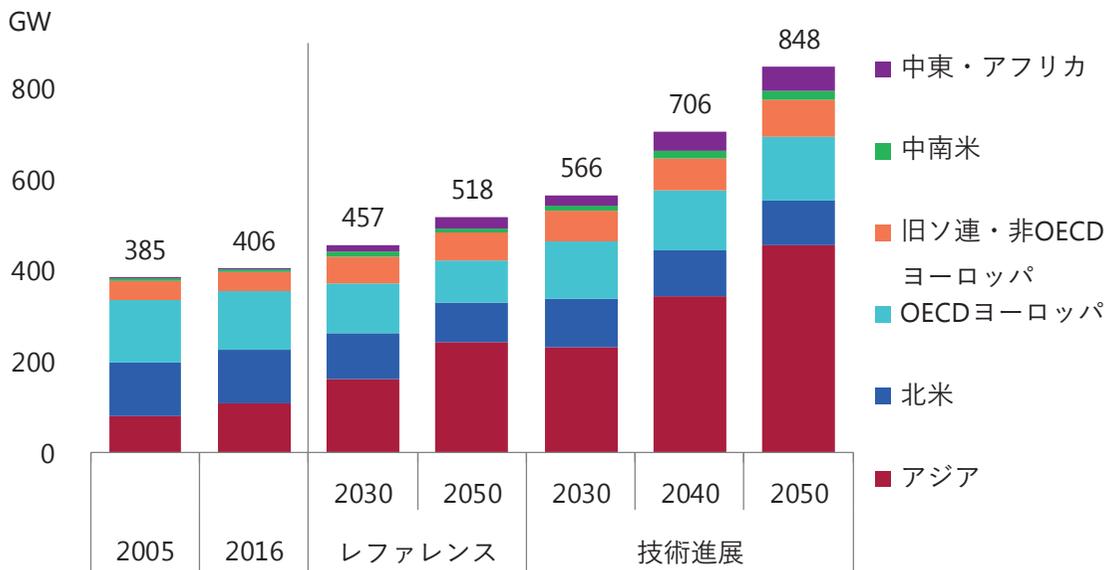
2016年 → 2050年 (レファレンス2050年)

	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: 48.4% → 56.8% (57.0%) 石炭: 37.2% → 43.5% (44.3%)	天然ガス: 37.1% → 49.1% (45.9%) 石炭: 35.4% → 39.3% (40.6%)
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]	2016年: 311 GW → 298 (217)	2016年: 96 GW → 550 (302)
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: 237 GW → 1,091 (718) 太陽光: 165 GW → 909 (573)	風力: 178 GW → 1,912 (1,152) 太陽光: 60 GW → 1,588 (946)
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]	55 Mtoe → 106 (69)	27 Mtoe → 81 (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]	14.5 km/L → 39.3 (28.6)	12.9 km/L → 30.5 (21.7)
[乗用ZEV販売比率]	0.8% → 64% (40%)	0.6% → 48% (25%)
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	

89

原子力発電設備容量

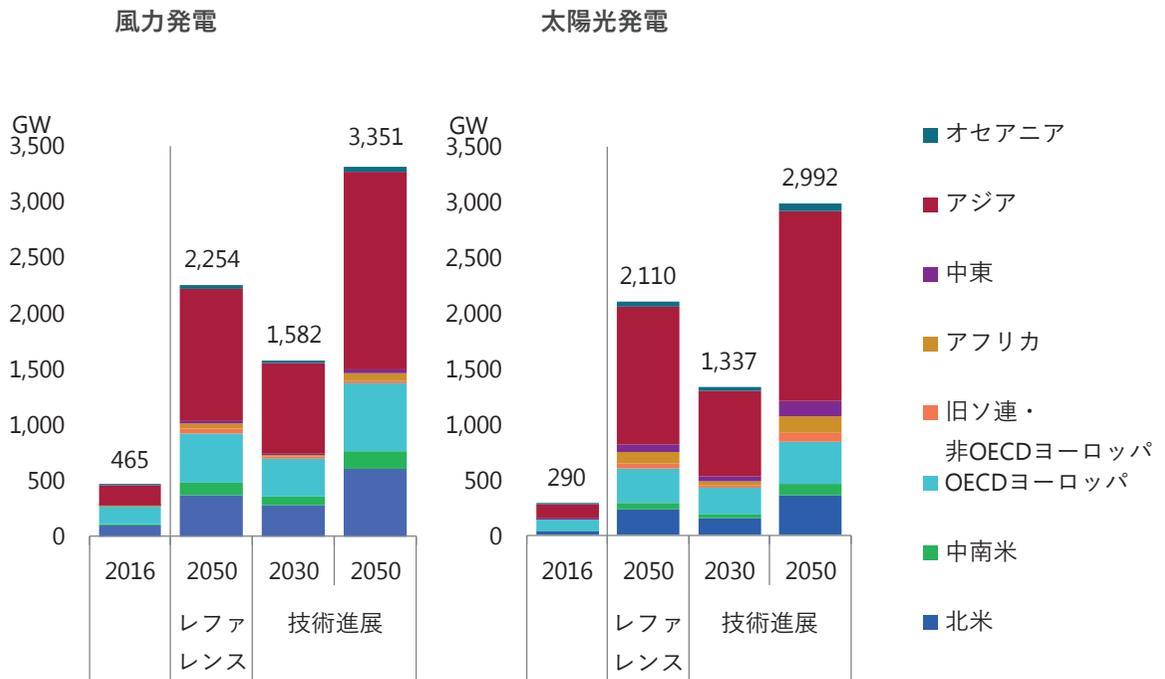
技術進展シナリオ



90

風力・太陽光発電設備容量

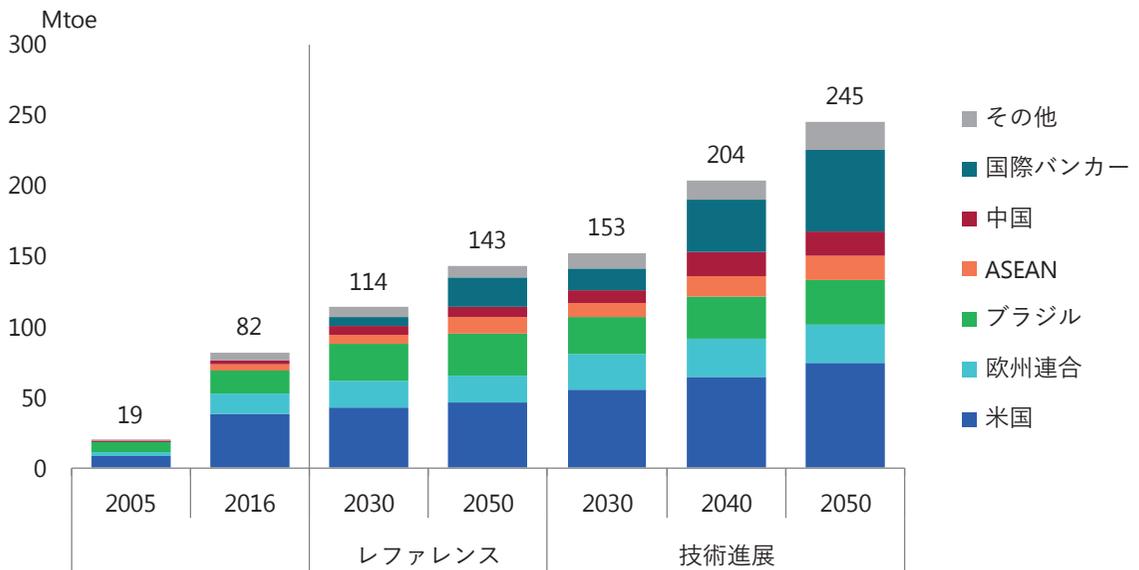
技術進展シナリオ



91

輸送用バイオ燃料導入量

技術進展シナリオ



92

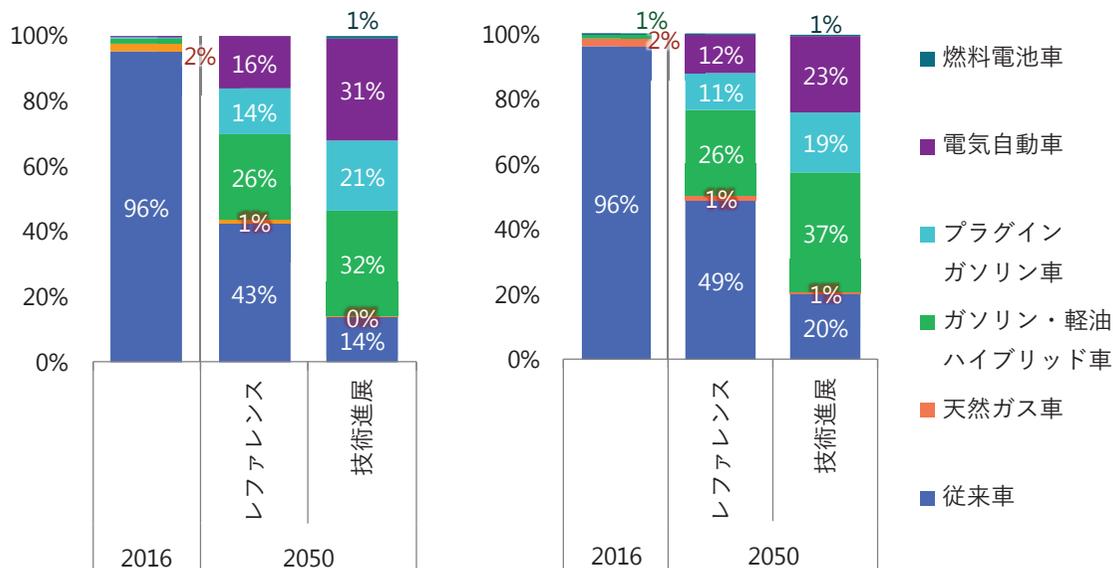
乗用車台数



技術進展シナリオ

新車販売台数構成

保有台数構成



93

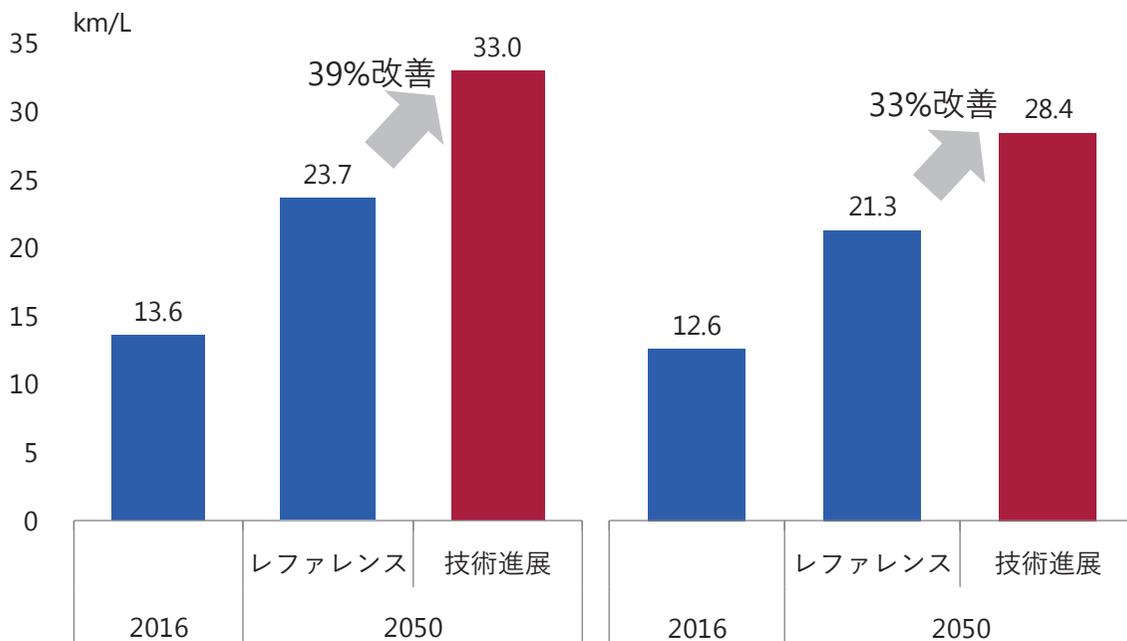
乗用車燃費



技術進展シナリオ

新車燃費

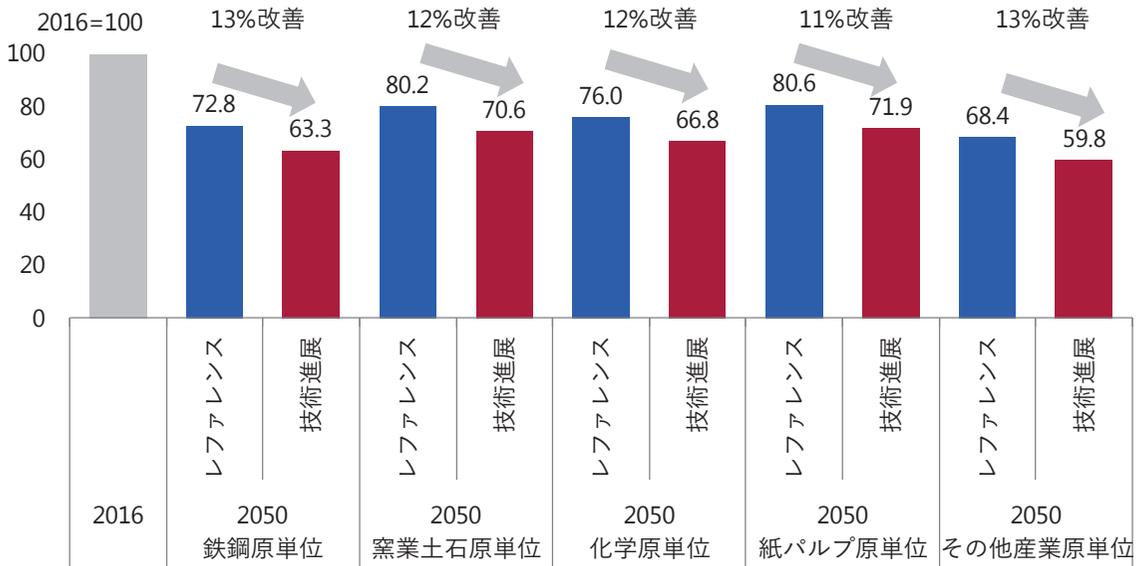
保有燃費



94

産業部門原単位

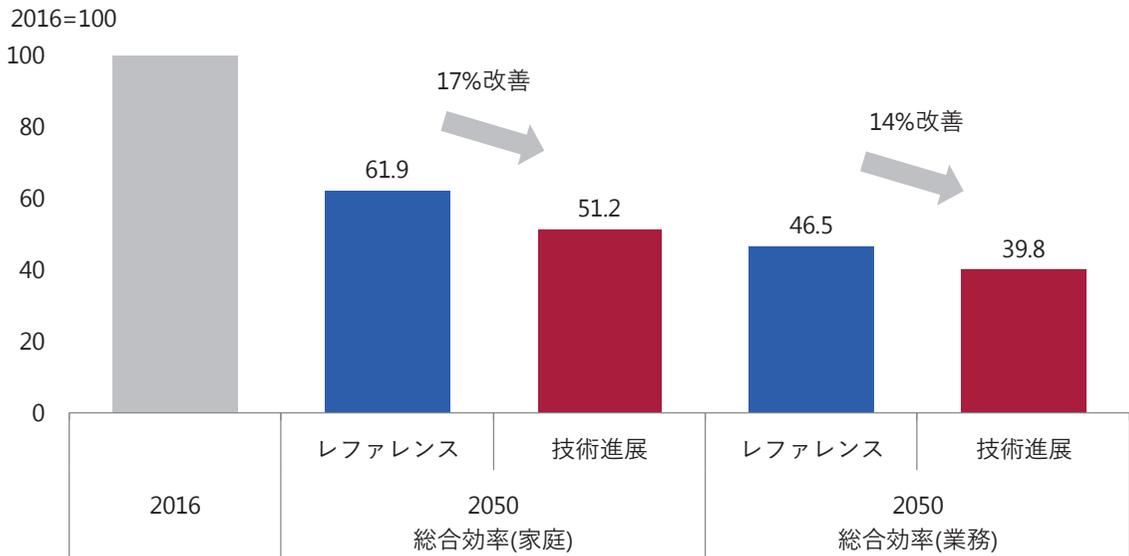
技術進展シナリオ



95

民生部門総合効率

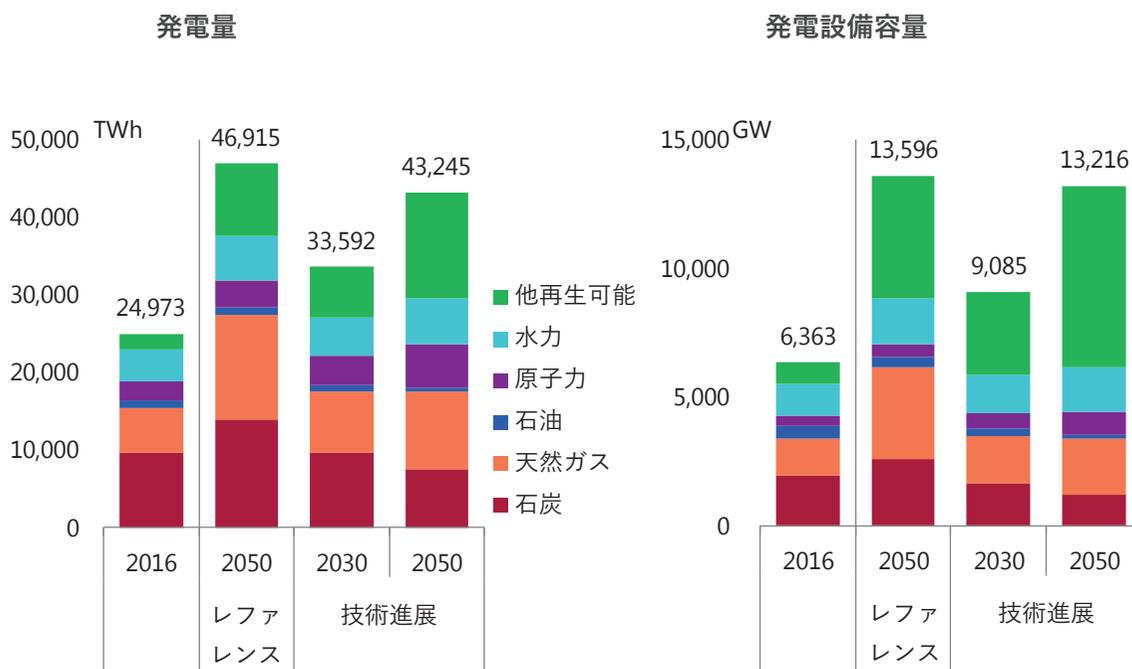
技術進展シナリオ



96

世界の発電構成

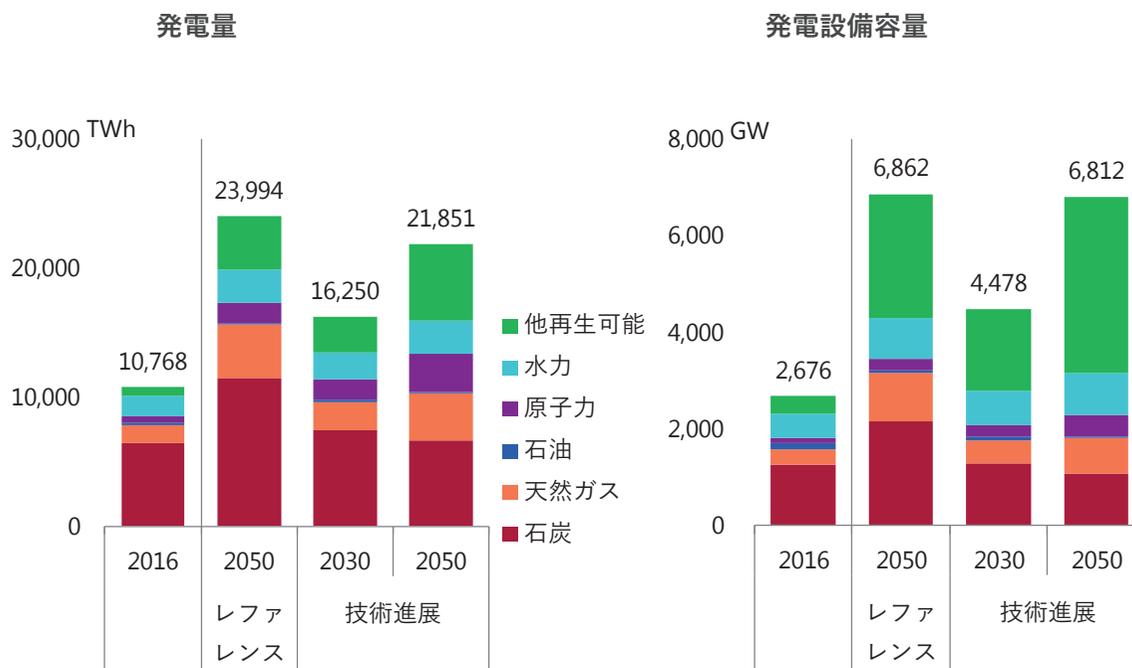
技術進展シナリオ



97

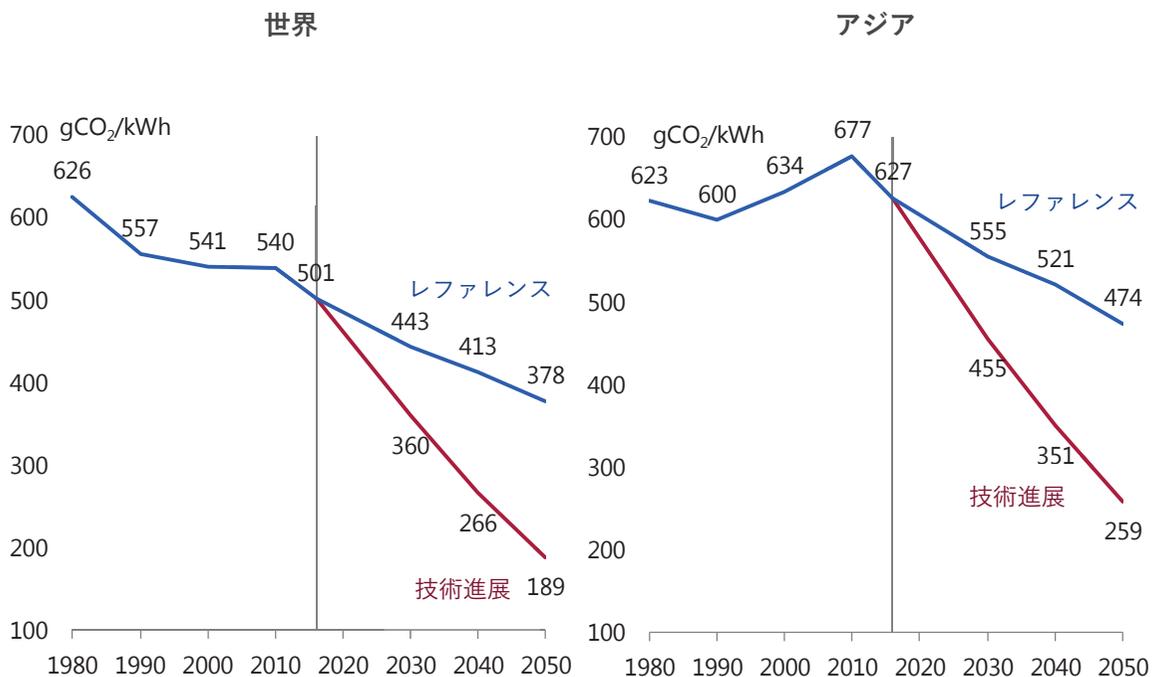
アジアの発電構成

技術進展シナリオ



98

電力のCO₂排出原単位

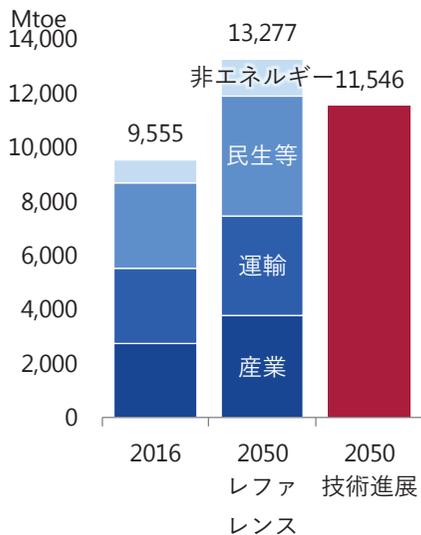


*発電端でのCO₂排出原単位

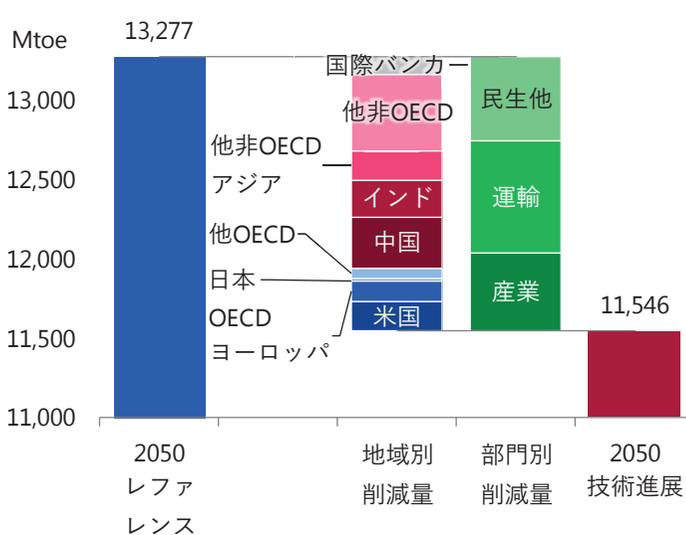
省エネルギー量の部門別・国別内訳

技術進展シナリオ

世界の最終エネルギー消費

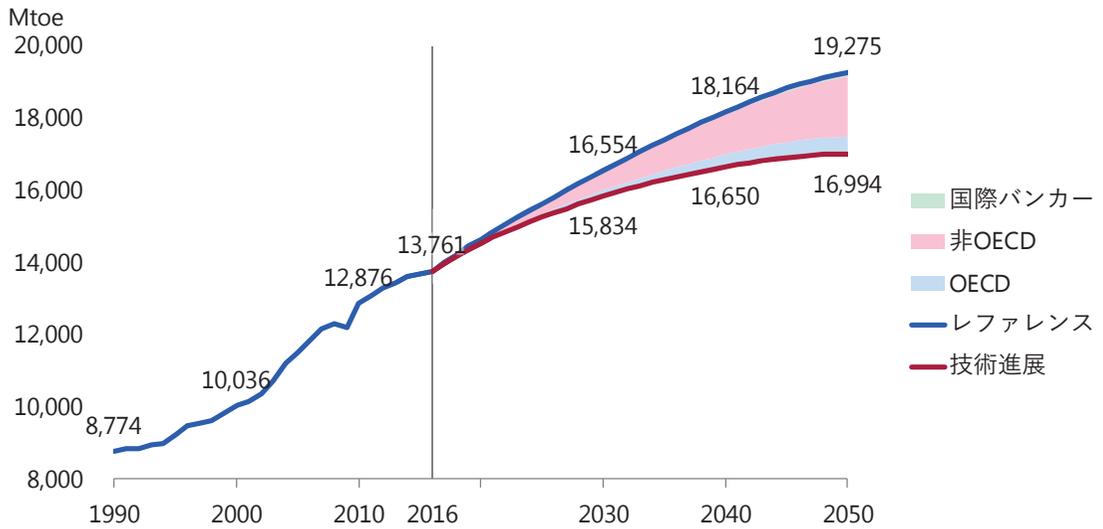


省エネルギー量の地域別・部門別内訳



世界の一次エネルギー消費削減

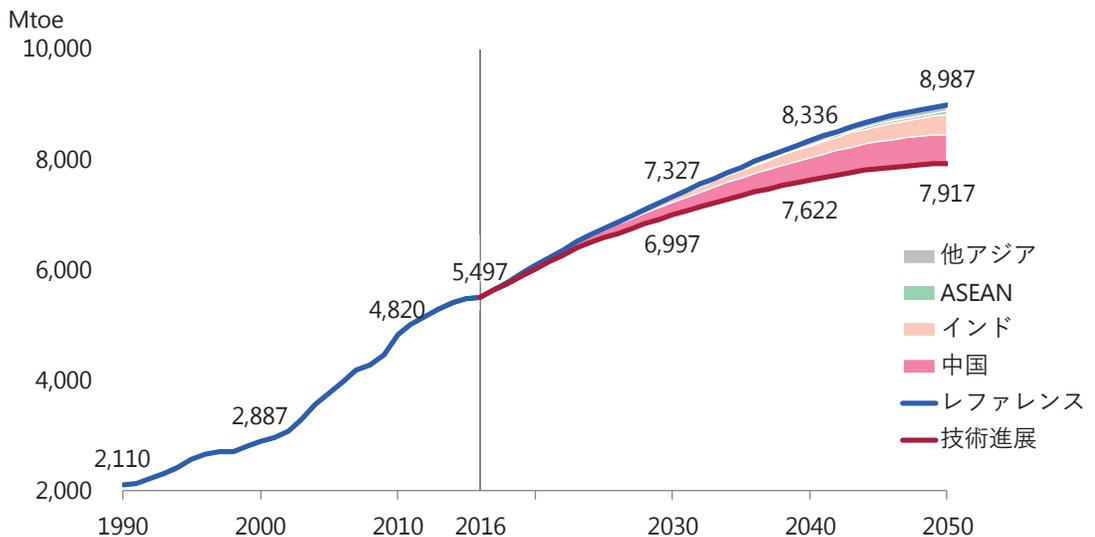
技術進展シナリオ



101

アジアの一次エネルギー消費削減

技術進展シナリオ



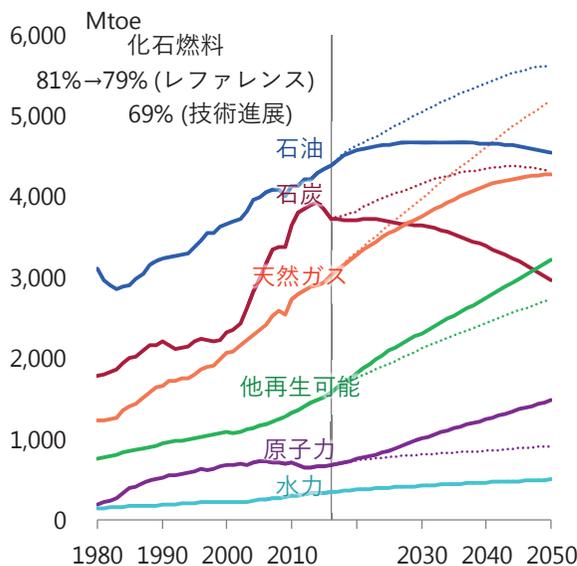
102

一次エネルギー消費(エネルギー源別)

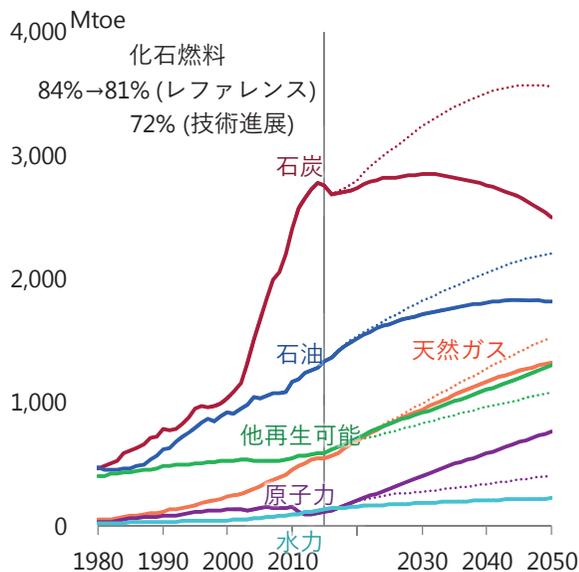
点線……レファレンスシナリオ
 実線……技術進展シナリオ



世界



アジア

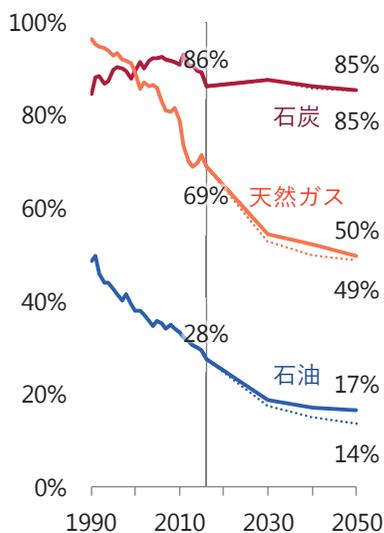


アジアのエネルギー自給率

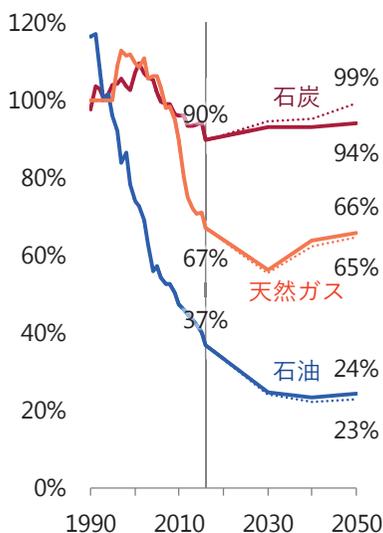
点線……レファレンスシナリオ
 実線……技術進展シナリオ



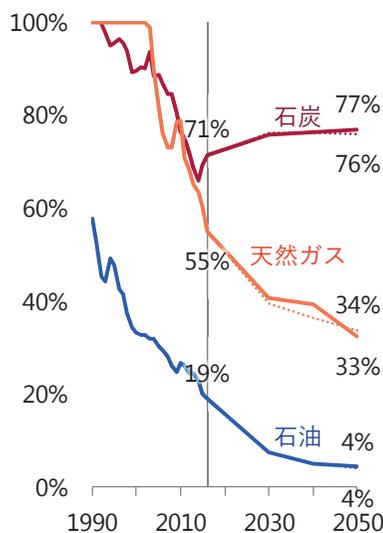
アジア計



中国



インド



世界のエネルギー関連投資額

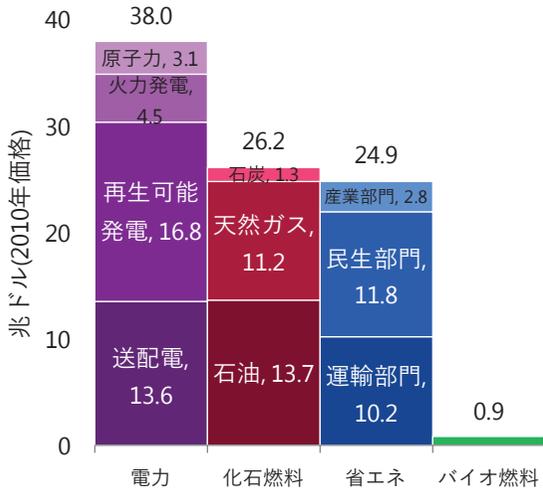
(2017年～2050年 累積投資額)

技術進展シナリオ

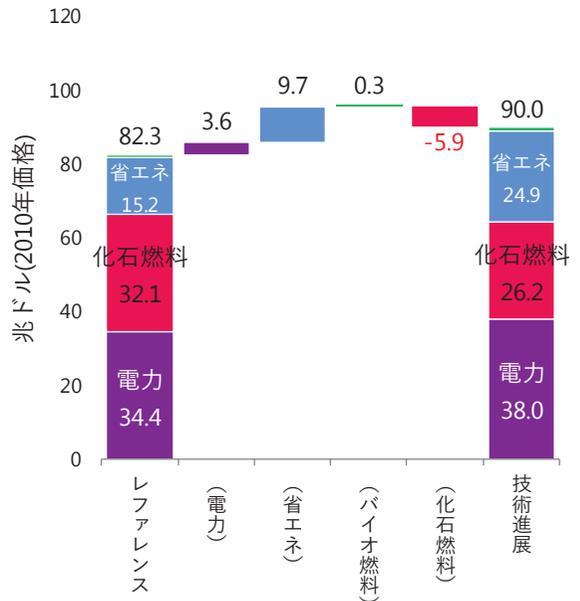


技術進展シナリオ 投資額

総額90.0兆ドル



レファレンスシナリオとの比較



105

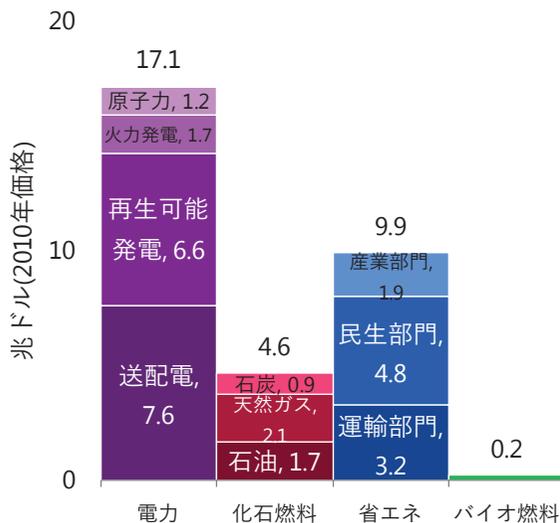
アジアのエネルギー関連投資額 (2017年～2050年)

技術進展シナリオ

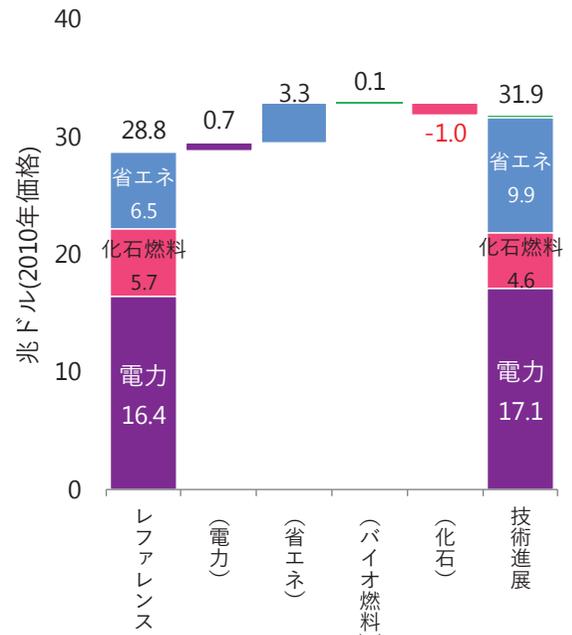


技術進展シナリオ 投資額

総額31.9兆ドル



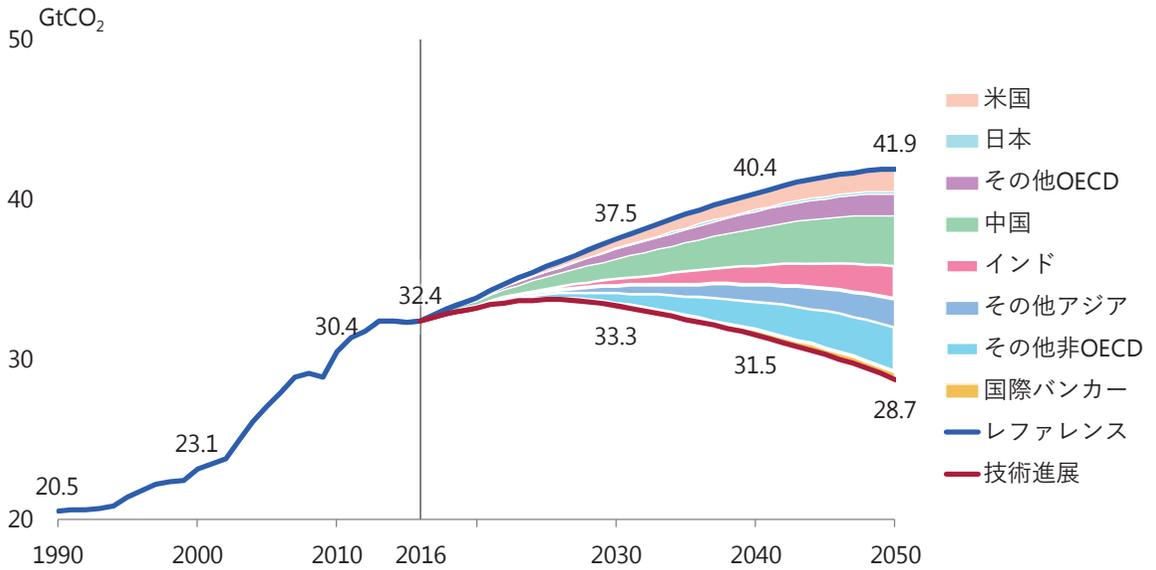
レファレンスシナリオとの比較



106

世界のCO₂排出削減(国・地域別)

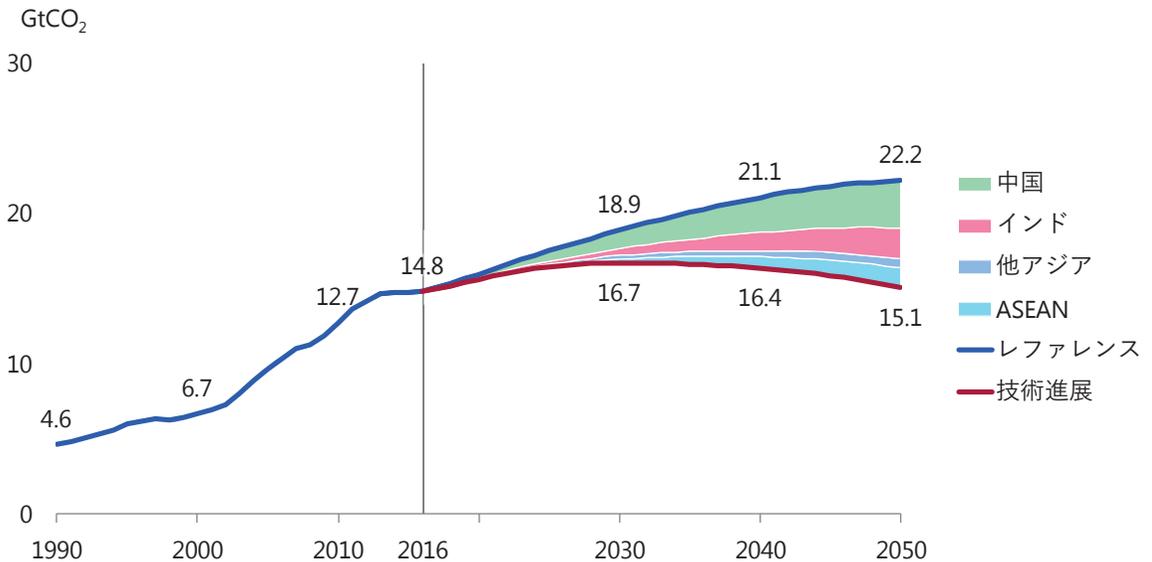
技術進展シナリオ



107

アジアのCO₂排出削減(国・地域別)

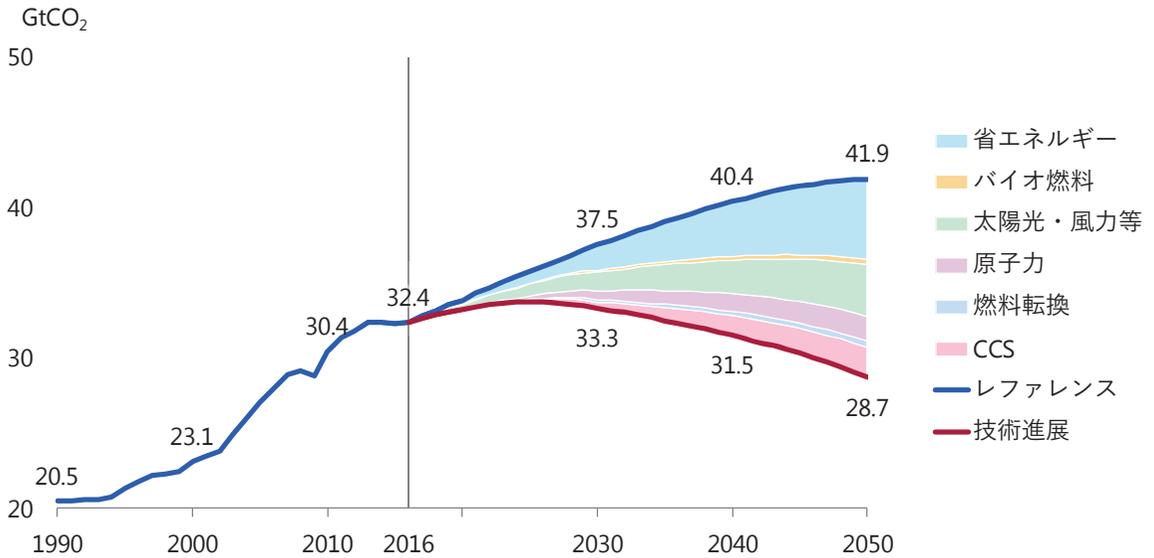
技術進展シナリオ



108

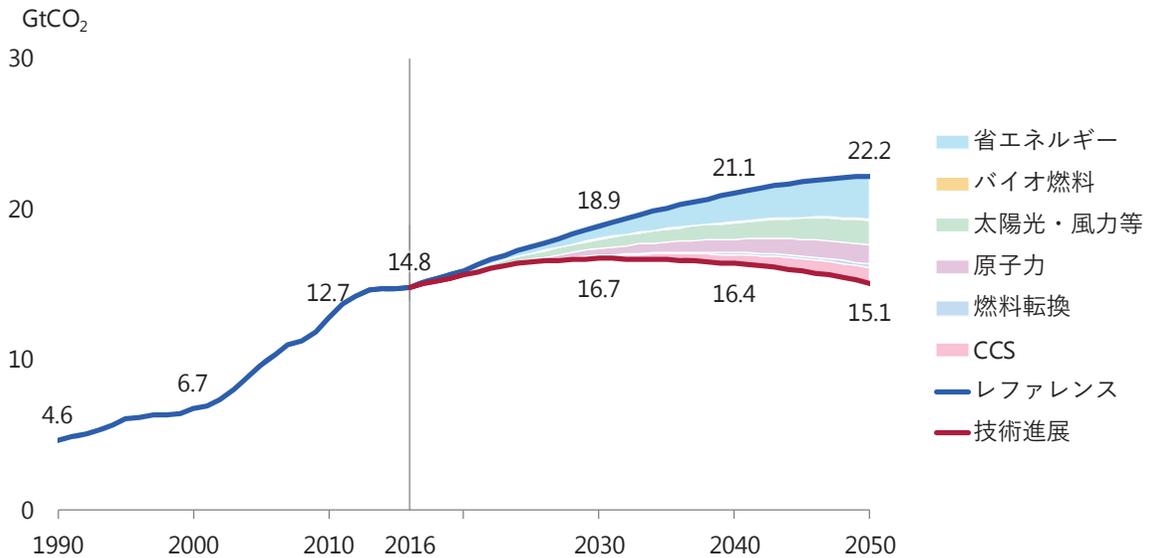
技術による世界のCO₂排出削減

技術進展シナリオ



技術によるアジアのCO₂排出削減

技術進展シナリオ

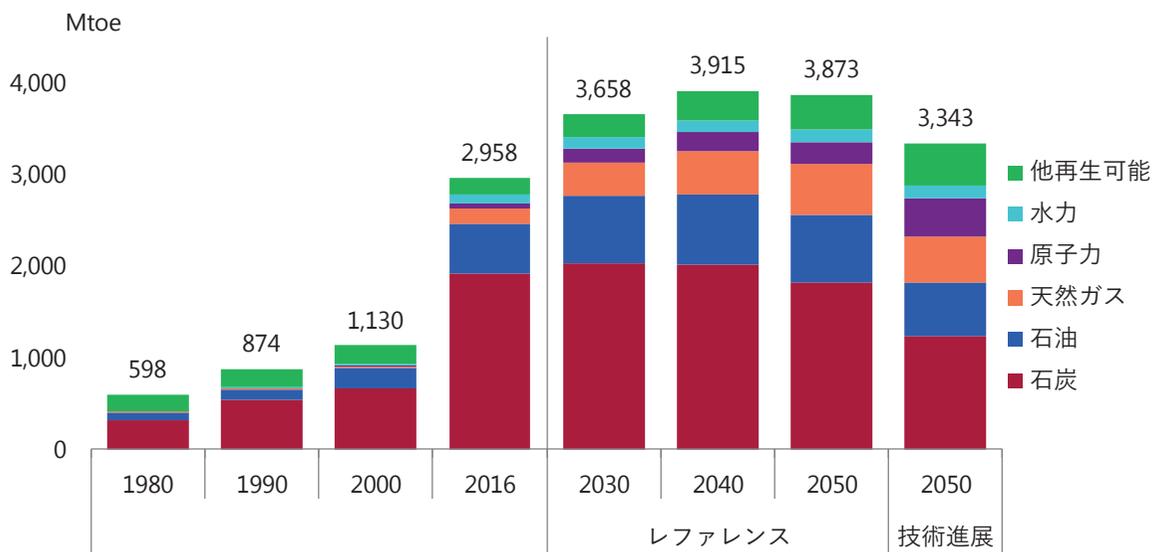


中国、インド、ASEANのエネルギー需給

111

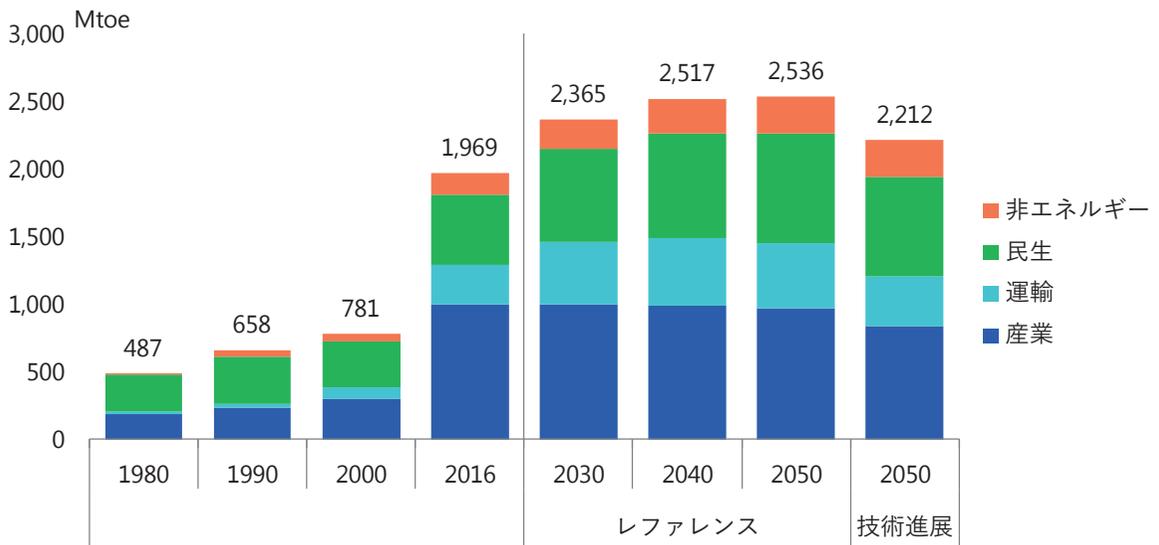
中国の一次エネルギー消費

レファレンスシナリオ IEE JAPAN
技術進展シナリオ



112

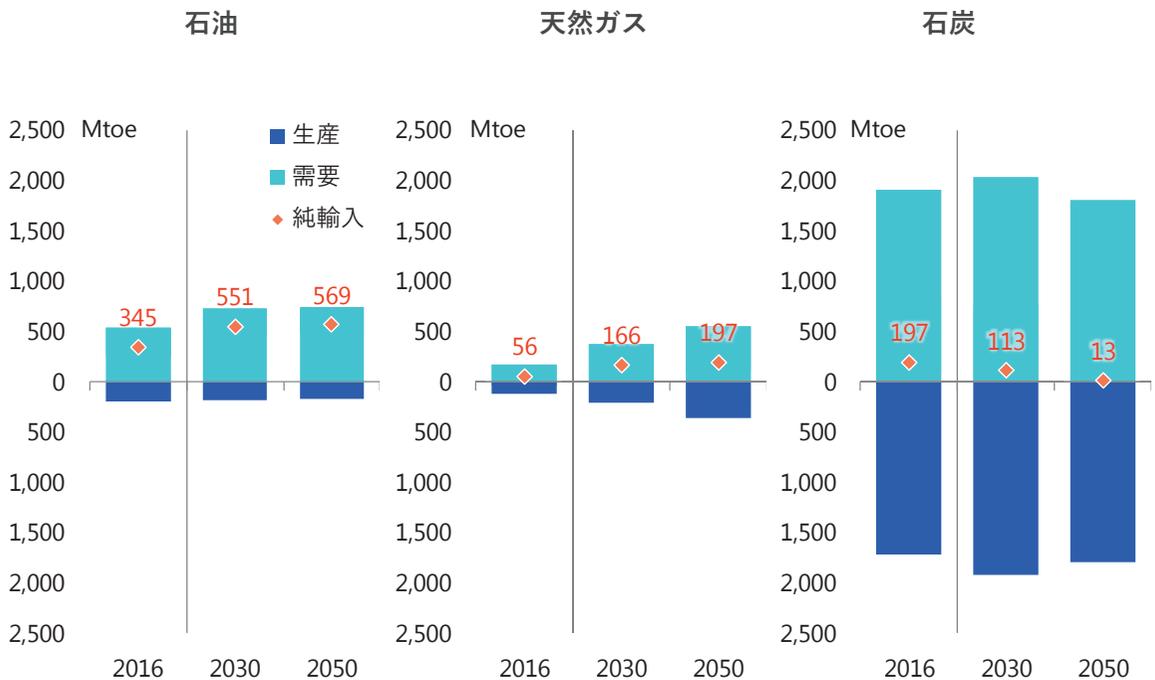
中国の最終エネルギー消費

 レファレンスシナリオ IEE JAPAN
 技術進展シナリオ


113

中国の化石燃料需給バランス

レファレンスシナリオ IEE JAPAN

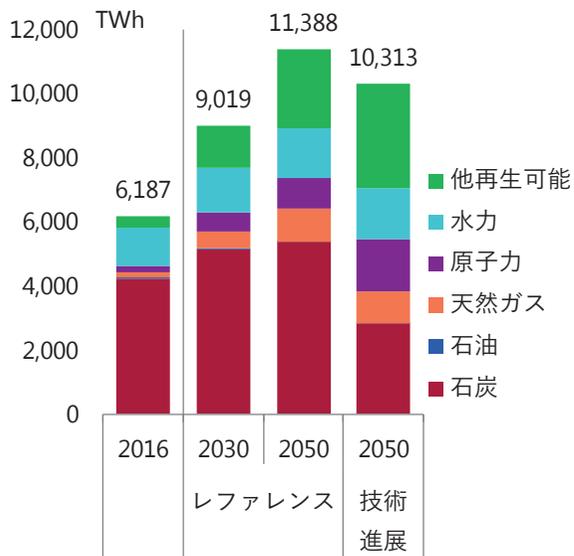


114

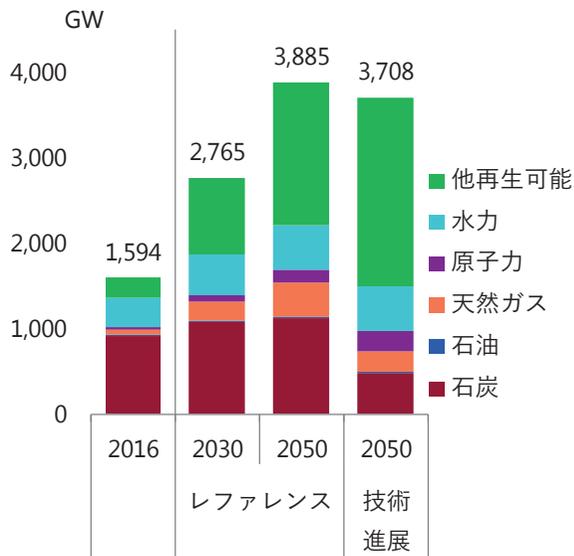
中国の発電構成

 レファレンスシナリオ IEE
 技術進展シナリオ JAPAN

発電量

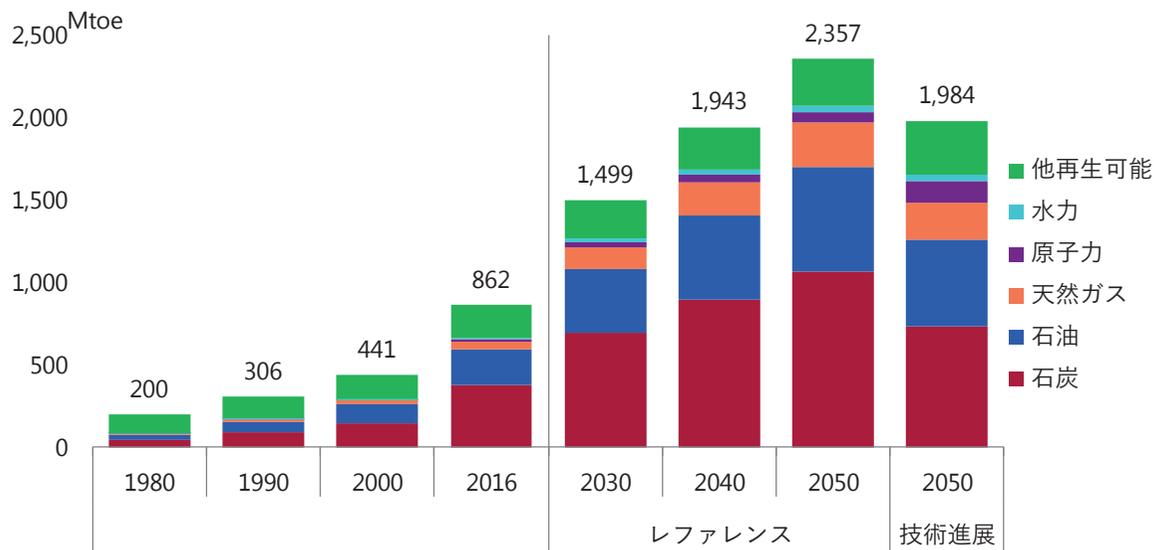


発電設備容量



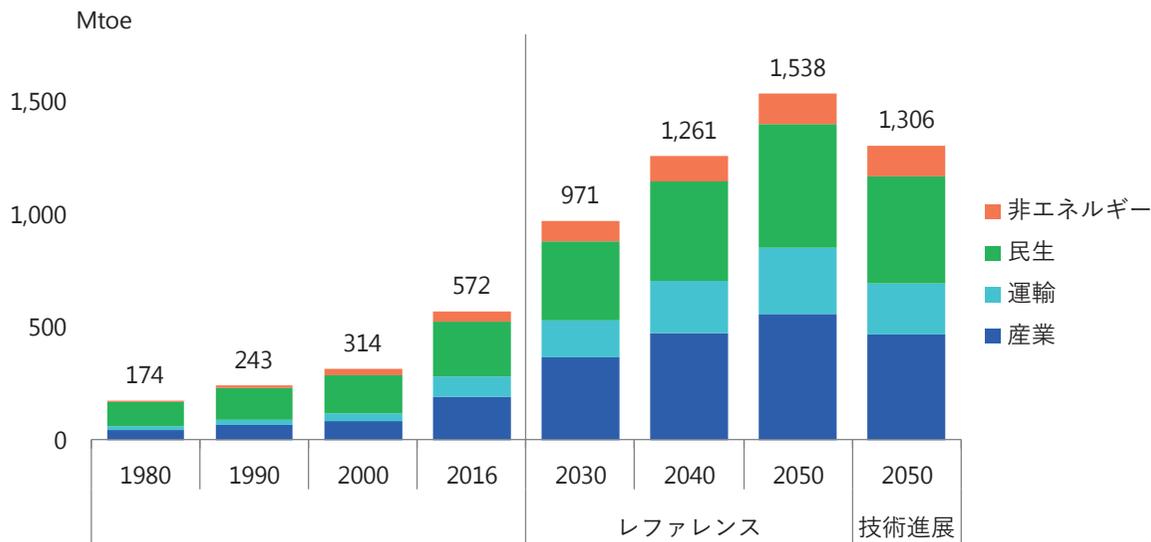
115

インドの一次エネルギー消費

 レファレンスシナリオ IEE
 技術進展シナリオ JAPAN


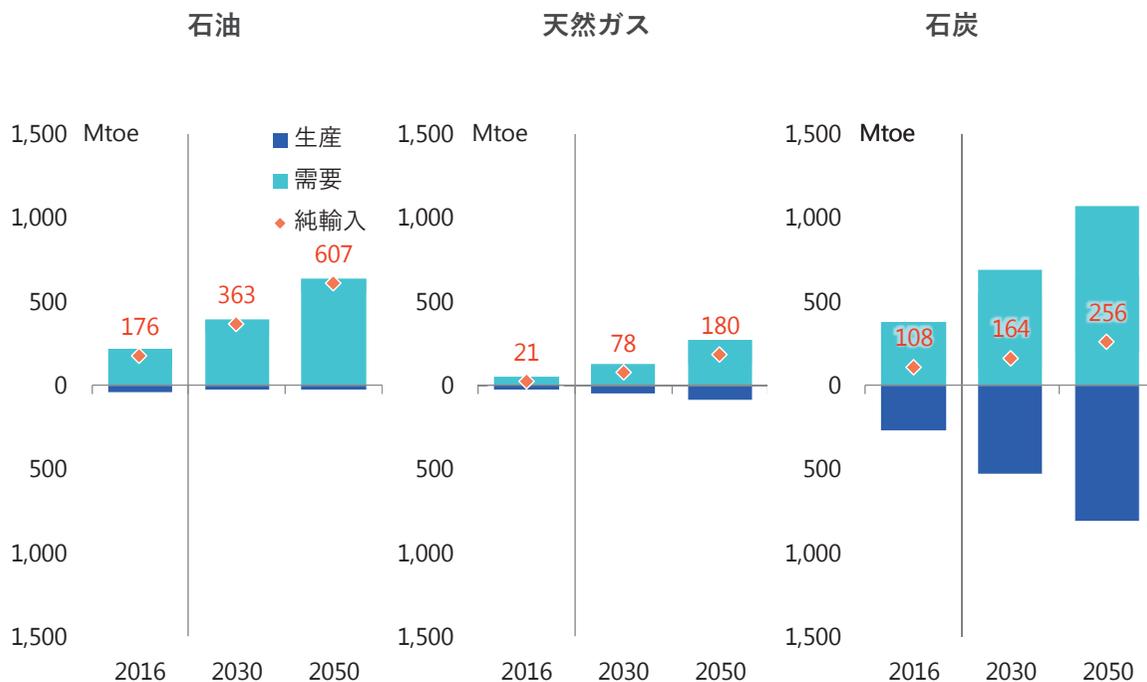
116

インドの最終エネルギー消費



117

インドの化石燃料需給バランス

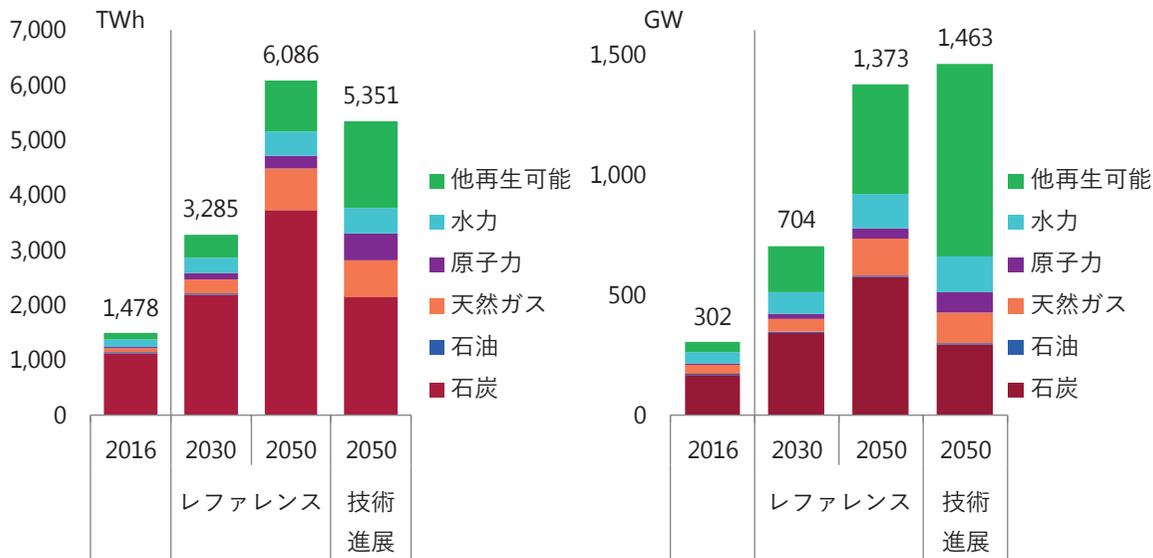


118

インドの発電構成

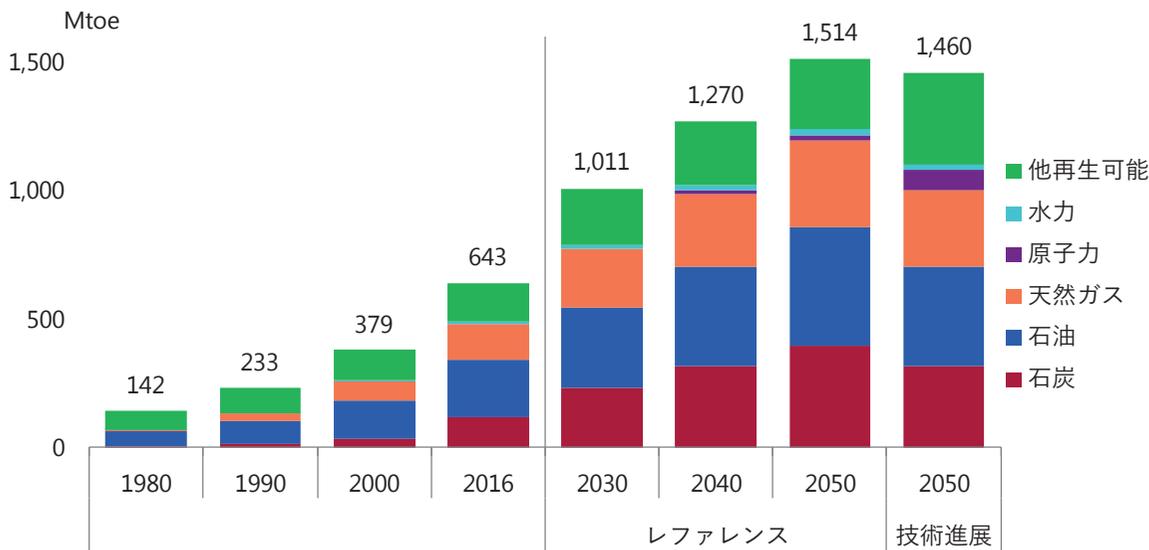
発電量

発電設備容量



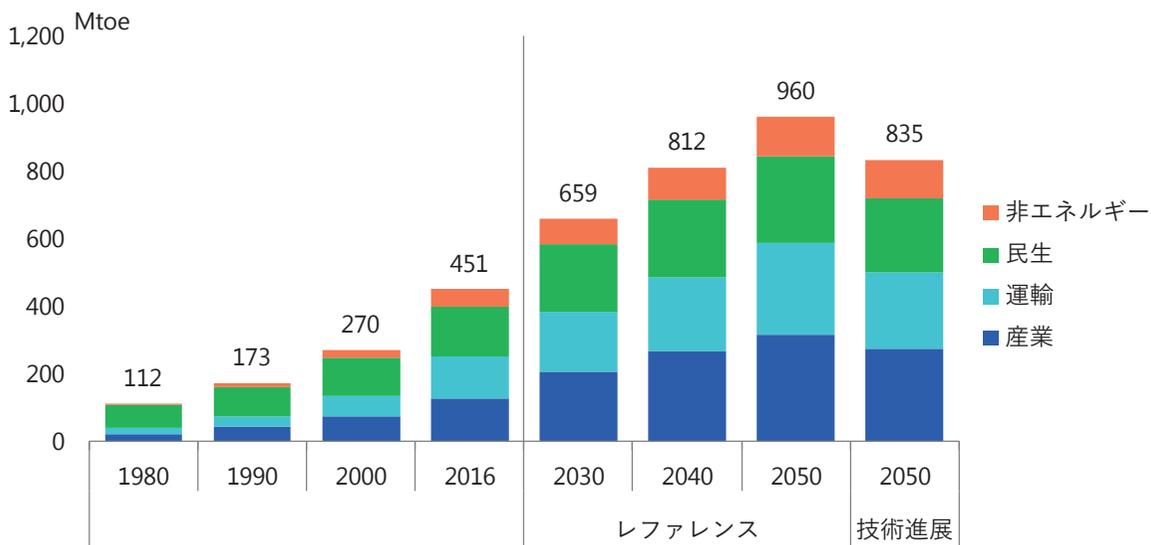
119

ASEANの一次エネルギー消費



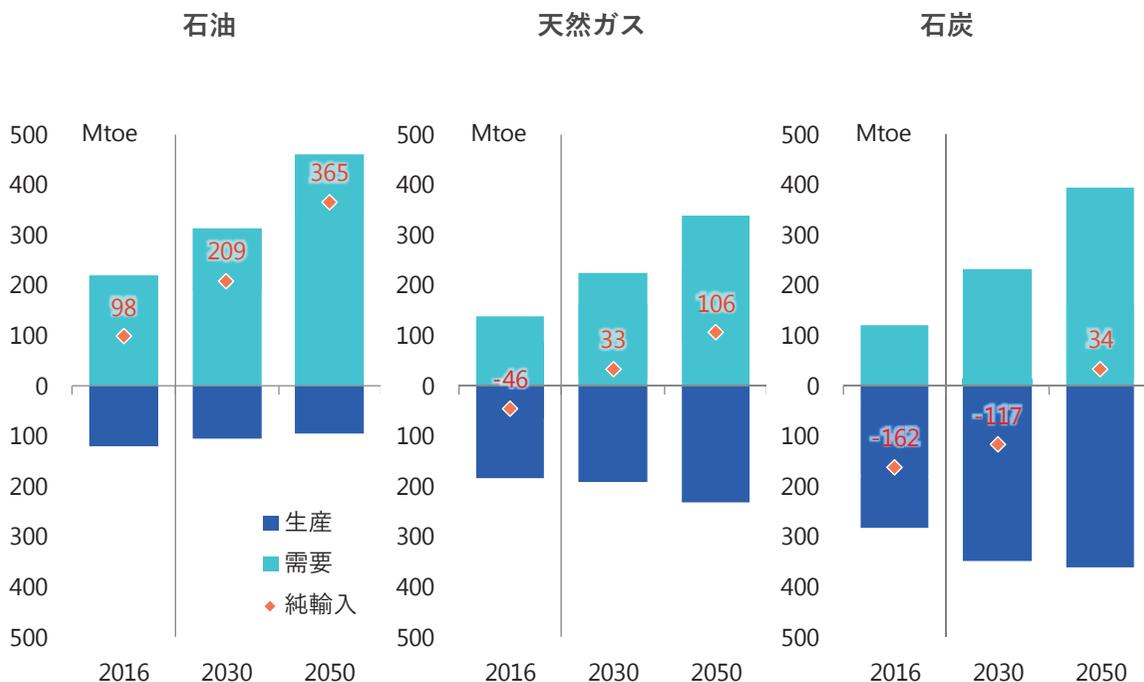
120

ASEANの最終エネルギー消費



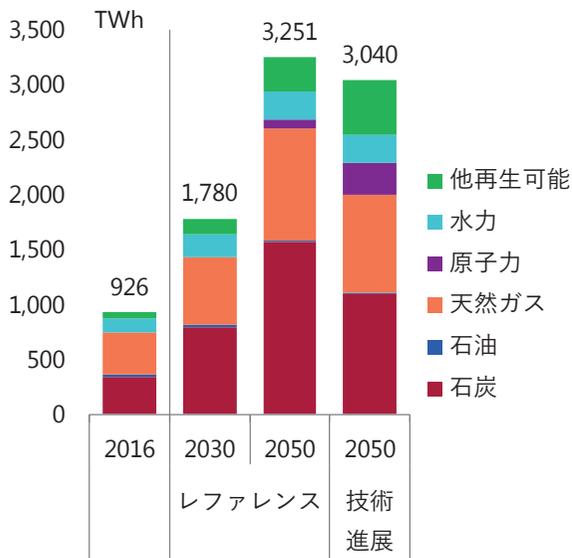
121

ASEANの化石燃料需給バランス

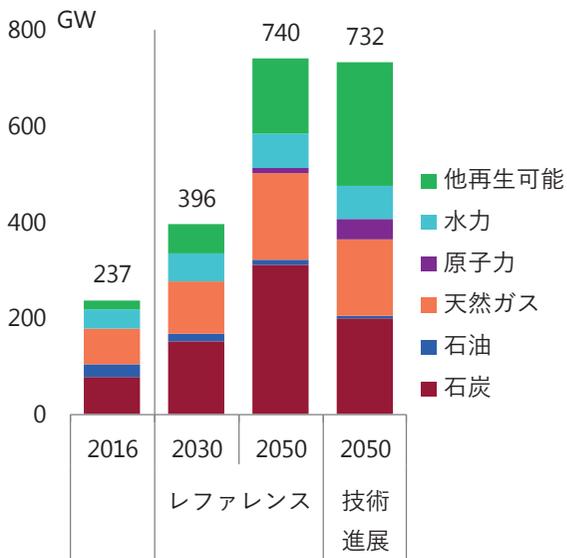


122

発電量



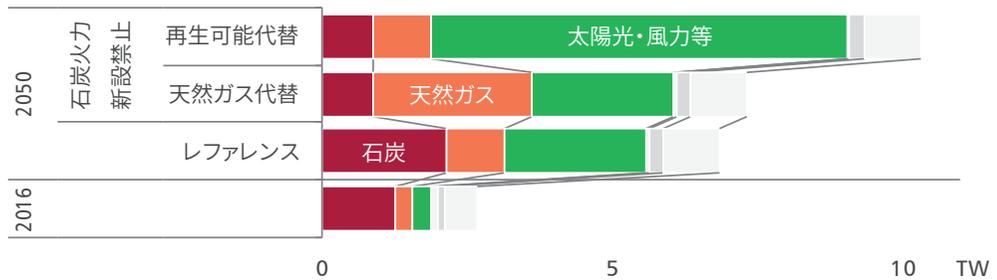
発電設備容量



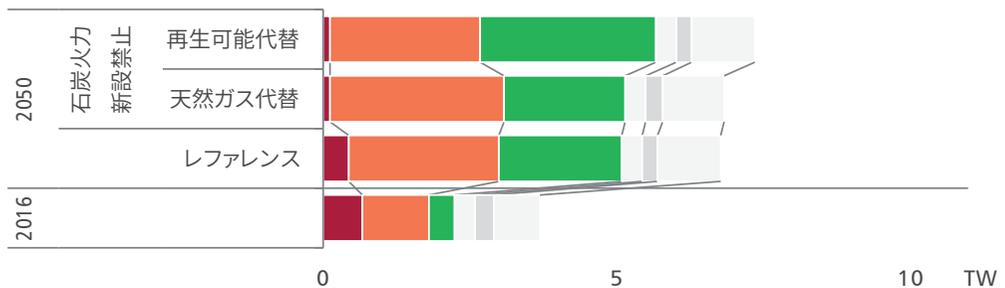
石炭火力新設禁止ケース

発電容量「概数」

アジア



非アジア



注: 火力発電新設禁止(再生可能代替)ケースは、太陽光・風力発電の出力抑制や蓄電池への充放電によるロスが無視できるほどという好条件を想定した下の値。レファレンスシナリオと同じ設備利用率を想定しているため、天然ガス火力発電容量は大きめの推計となっている場合がある

IEEJ Outlook 2019 IEEJ © 2018

125

電力コスト試算

定義

発電設備の設備費、燃料費、電力系統対策費を含む

再生可能電源大量導入を促す経済的インセンティブの原資——現状多くの国でその負担の大きさが問題となっている——は含んでいない

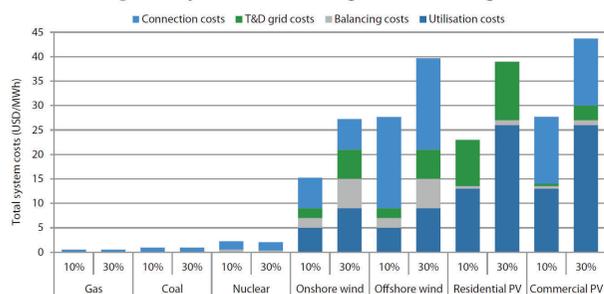
2010年実質価格

試算前提

再生可能エネルギー発電の設備費は、2050年にかけて低減してゆくと想定。低減率(太陽光で2050年までに30%程度、風力で10%程度)は、IEA “World Energy Outlook 2016”を参考にした導入量のレファレンスシナリオからの上積みによるコスト低減は考慮していない

電力系統対策費は、NEA “The Full Costs of Electricity Provision” (2018)を参照して設定
地域特性は考慮していない

Figure 3.3: System cost of different generation technologies



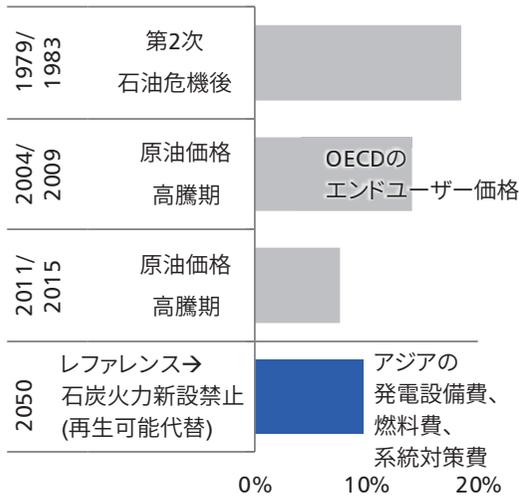
出所: OECD/NEA “The Full Costs of Electricity Provision”

IEEJ Outlook 2019 IEEJ © 2018

126

電力価格・電力コスト

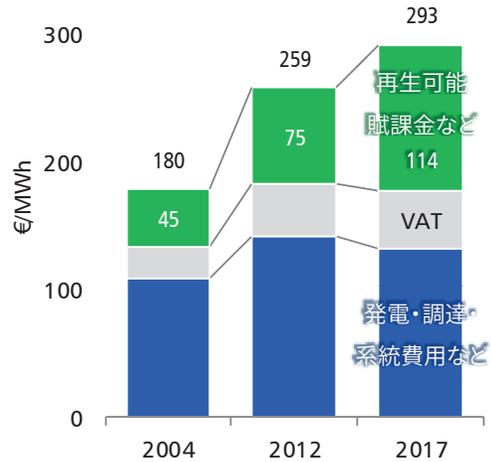
❖ 実質電力価格・電力コストの変化率



レファレンスシナリオから石炭火力新設禁止(再生可能代替)ケースへの移行は、アジアの電力コストを2050年時点で10%程度押し上げる

出所: IEA "Energy Prices and Taxes" [OECDエンドユーザー価格]

❖ ドイツの家庭用電力価格



電力価格に影響するのは、発電設備費などの電力コストのみでない。再生可能電力導入を進めるドイツでは、買取価格引き下げにもかかわらず、賦課金が電力価格上昇の主因に

出所: BDEW "BDEW - Strompreisanalyse Mai 2018"

IEEJ Outlook 2019

2018年10月

日本エネルギー経済研究所

IEEJ © 2018