

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 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

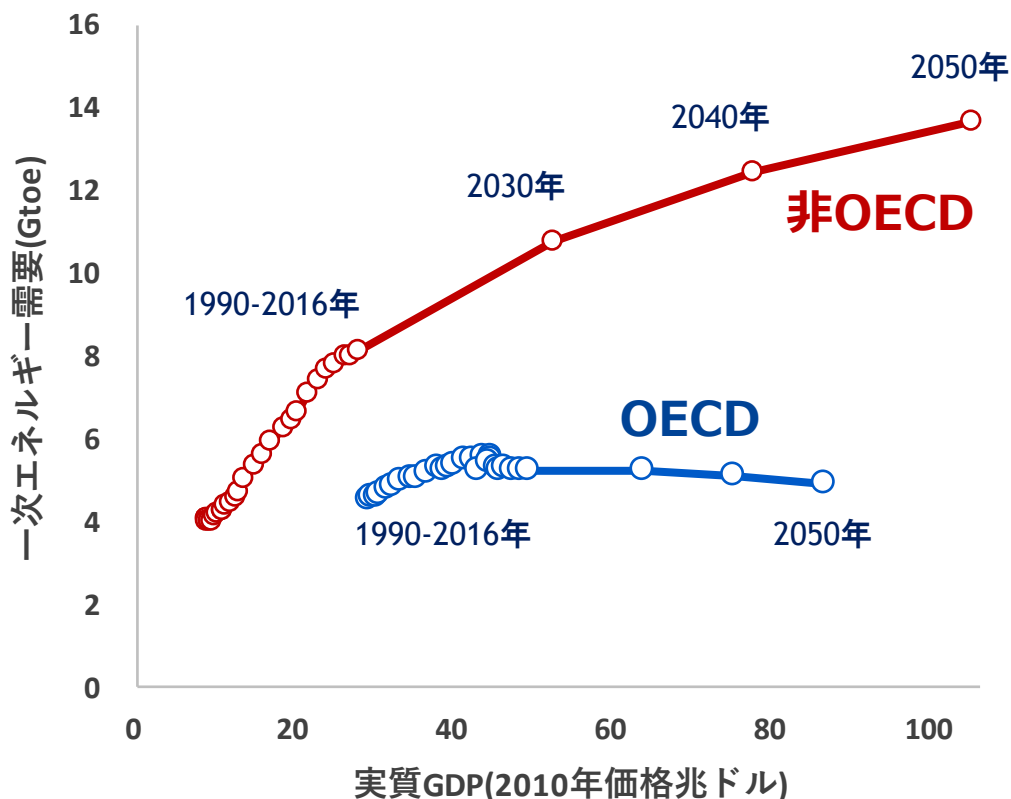
厳しい視線が投げかけられている石炭火力発電所の新設を全面的に禁止する状況を仮想的に設定し、脱・石炭火力発電の影響を評価する。a)天然ガス火力で代替、b)太陽光・風力発電で代替の2パターンを想定。



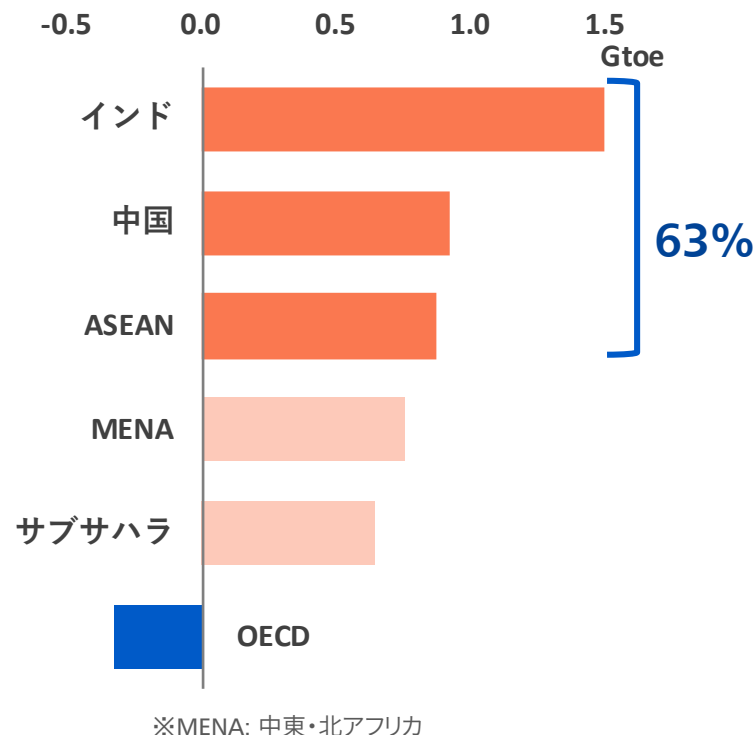
2050年までのエネルギー需給と気候変動

エネルギー需要はますますアジアに集中

❖ 一次エネルギー需要とGDP



❖ エネ需要の増減(2016-2050年)

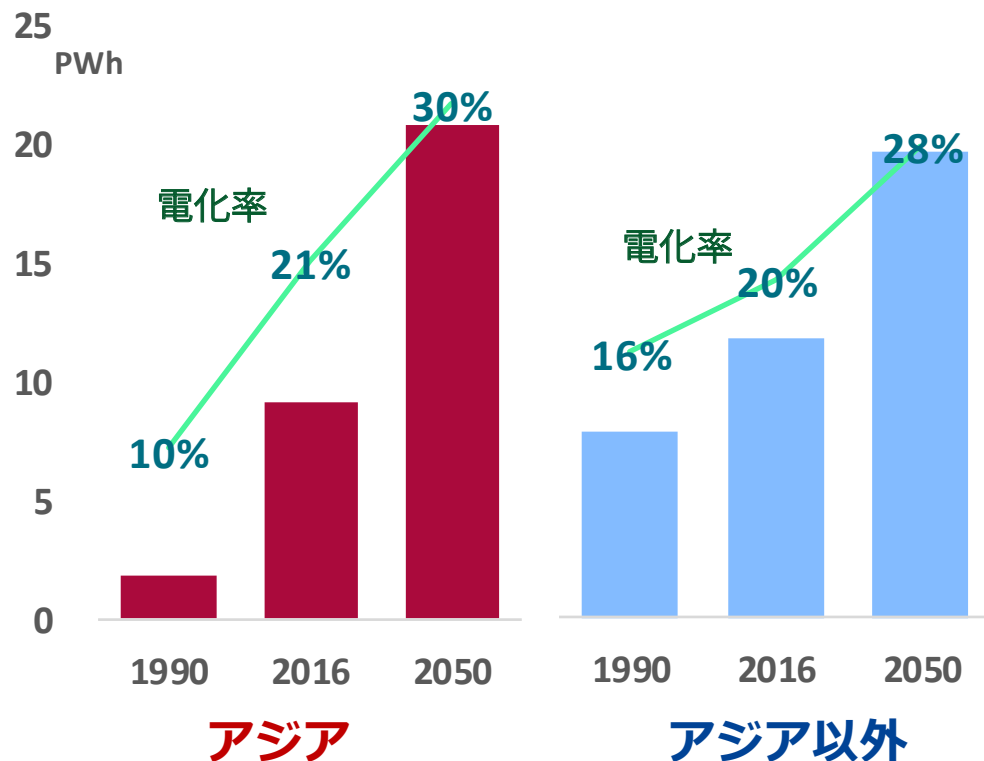


世界の一次エネルギー需要は2050年までに1.4倍に拡大、その増加分はすべて非OECD地域からである。一方、OECD地域ではエネルギー消費と経済成長のデカップリングが進む。

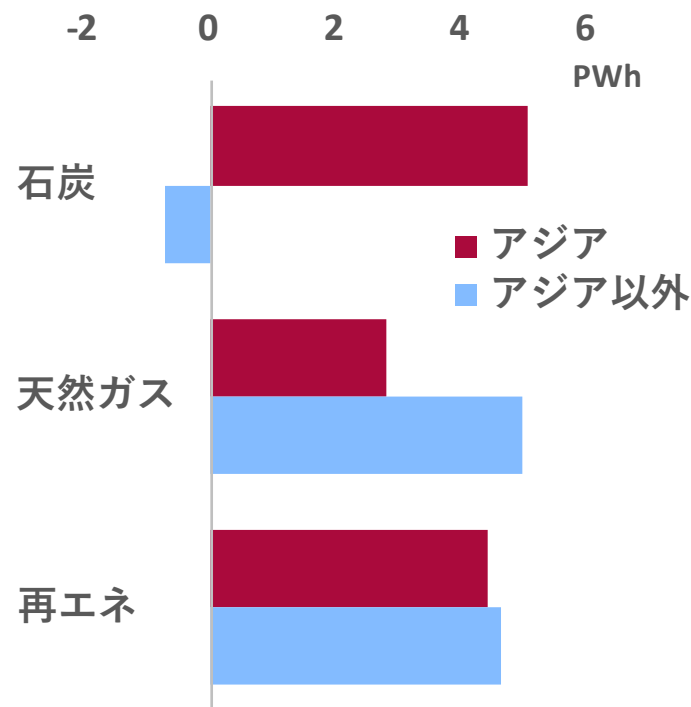
需要増加の63%が中印、ASEANに集中。世界に占めるアジアのシェアは41%から48%まで増加。

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)

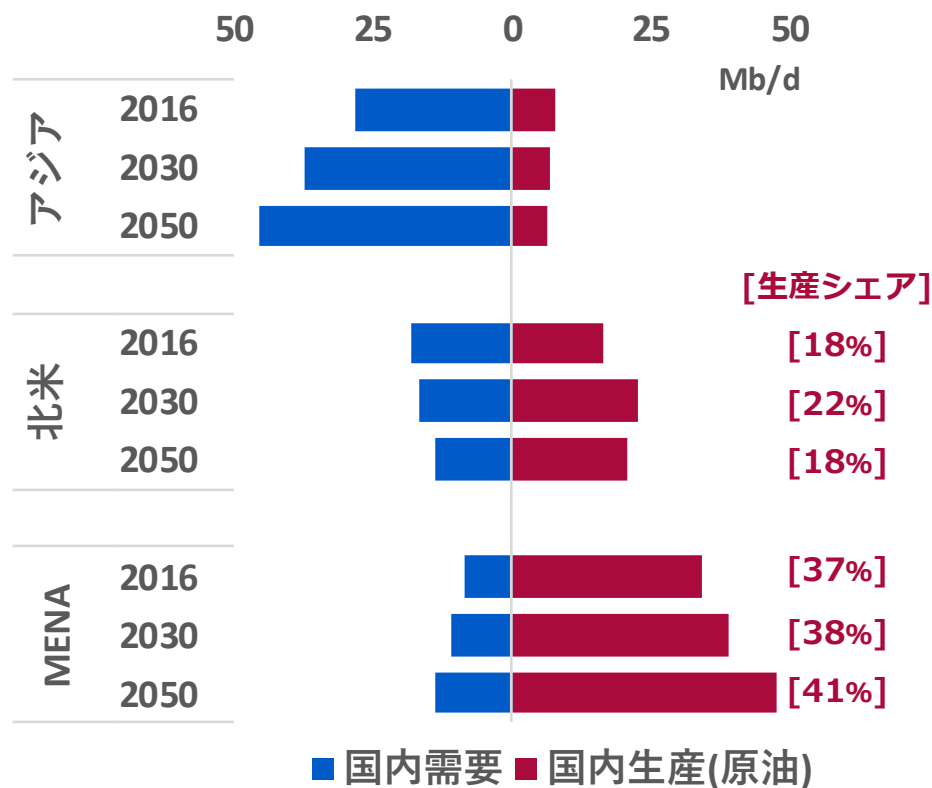


※電化率: 最終エネルギー需要に占める電力需要の割合

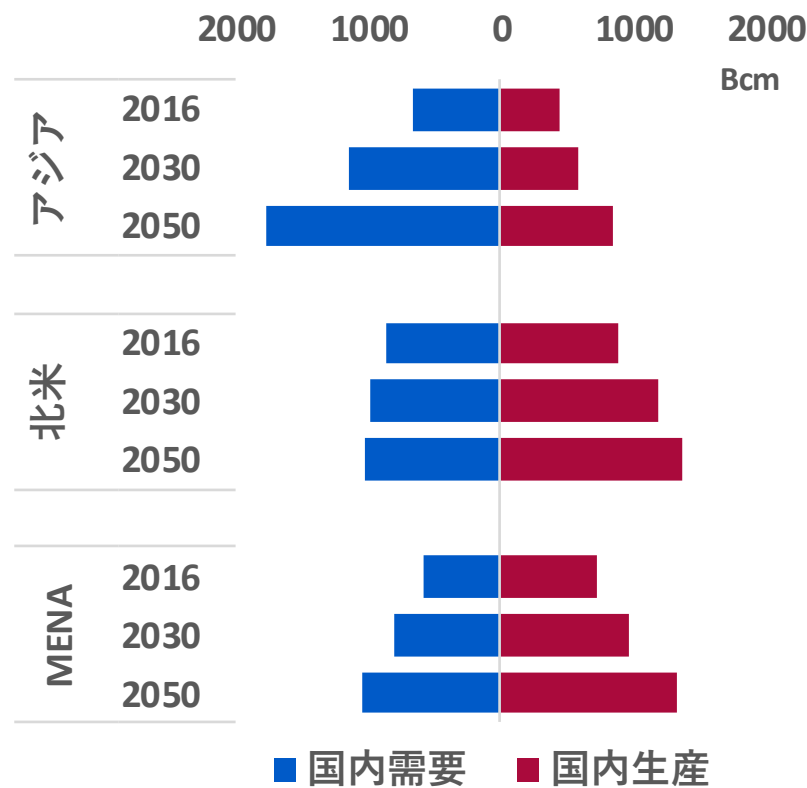
一次エネルギー需要増加のうち6割以上が発電のためのエネルギー投入である。世界の電力需要は倍増し、その増加の60%はアジアから生じる。アジアの最終需要における電化率は30%へ上昇。急増するアジアの電力需要の約4割は主に安価で豊富な石炭を利用して賄われる。一方、アジア以外では石炭火力より環境負荷の低い天然ガス火力が好まれる。

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



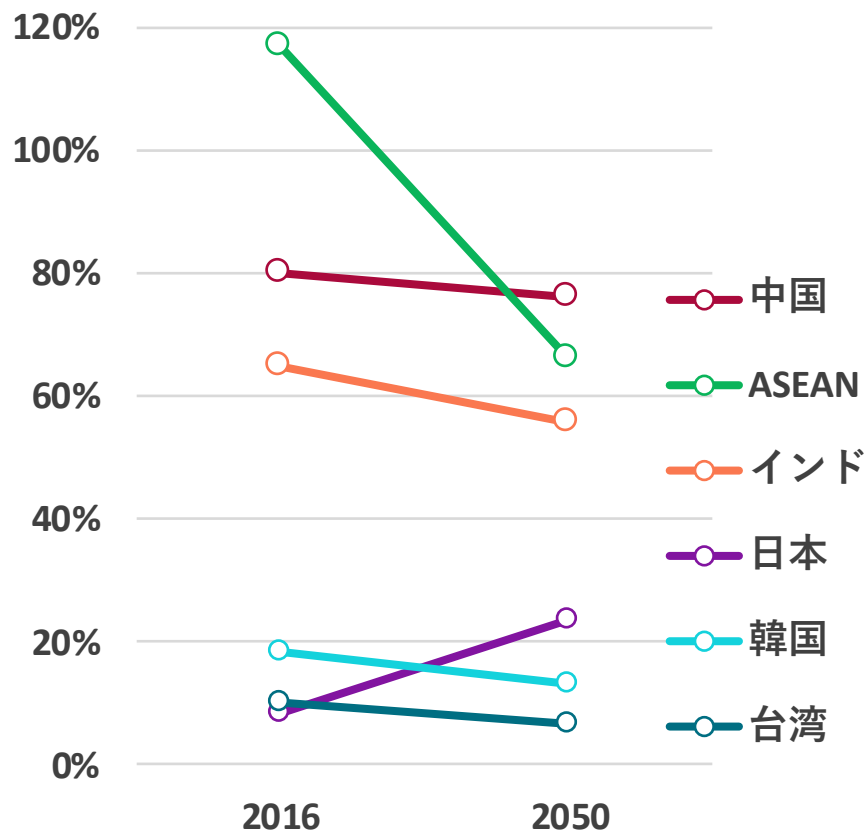
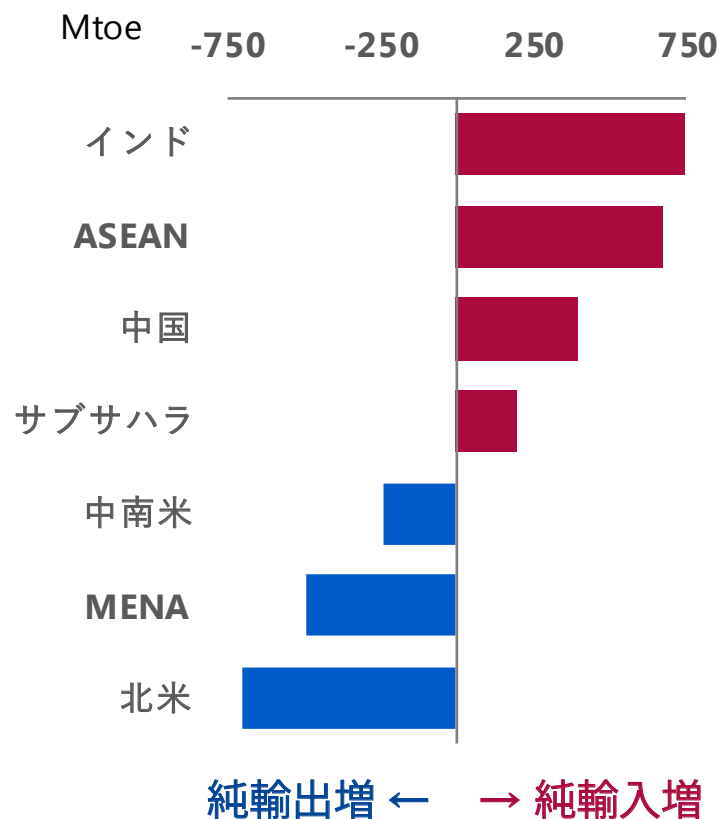
※北米: カナダ・アメリカ。MENA: 中東・北アフリカ

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)。

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(2016-2050年) ❖ エネルギー自給率

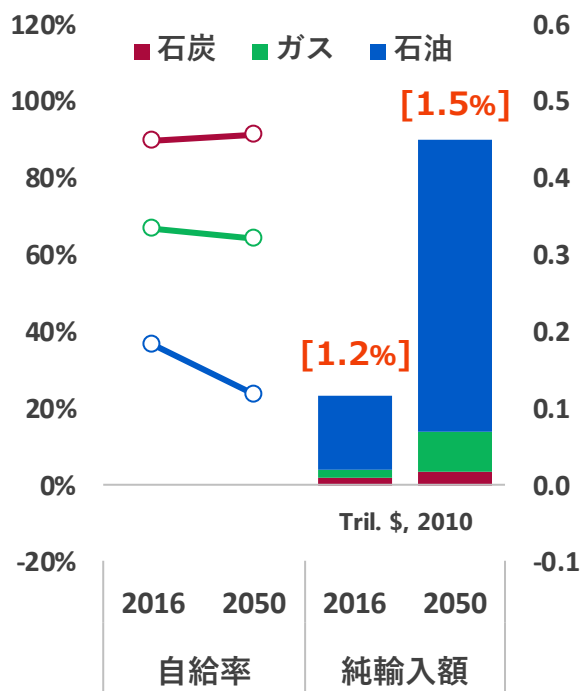


アジアのエネルギー輸入は大きく増加し、貿易取引量の8割がアジアに向かう。米国は2020年代半ばには純輸出国に転じる。

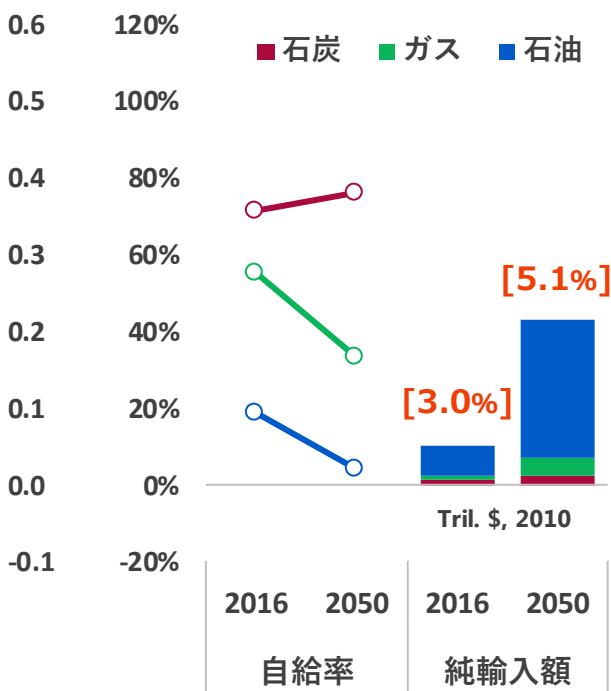
アジアの域内自給率は72%から63%に低下。とりわけ、2020年代前半には純輸入ポジションに転落するASEANで顕著。

膨らむ石油輸入金額

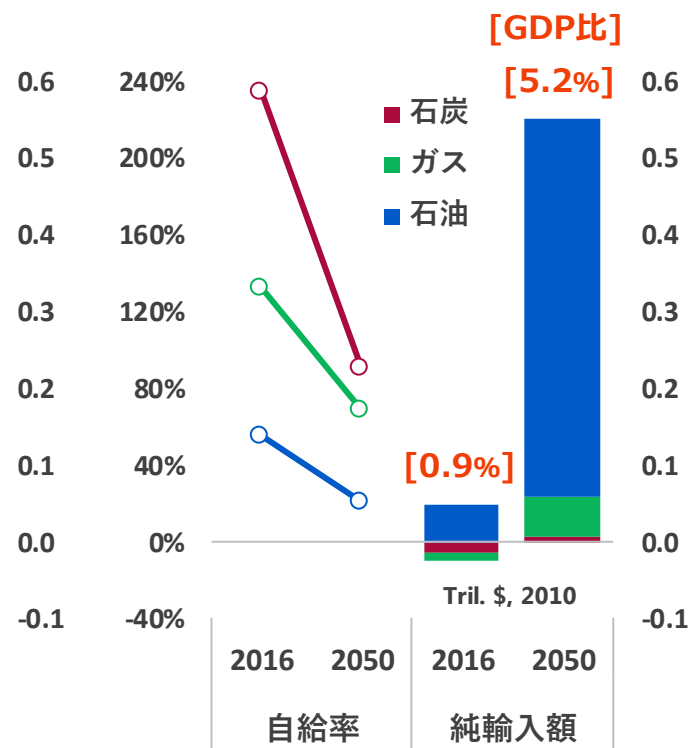
❖ 中国



❖ インド



❖ ASEAN

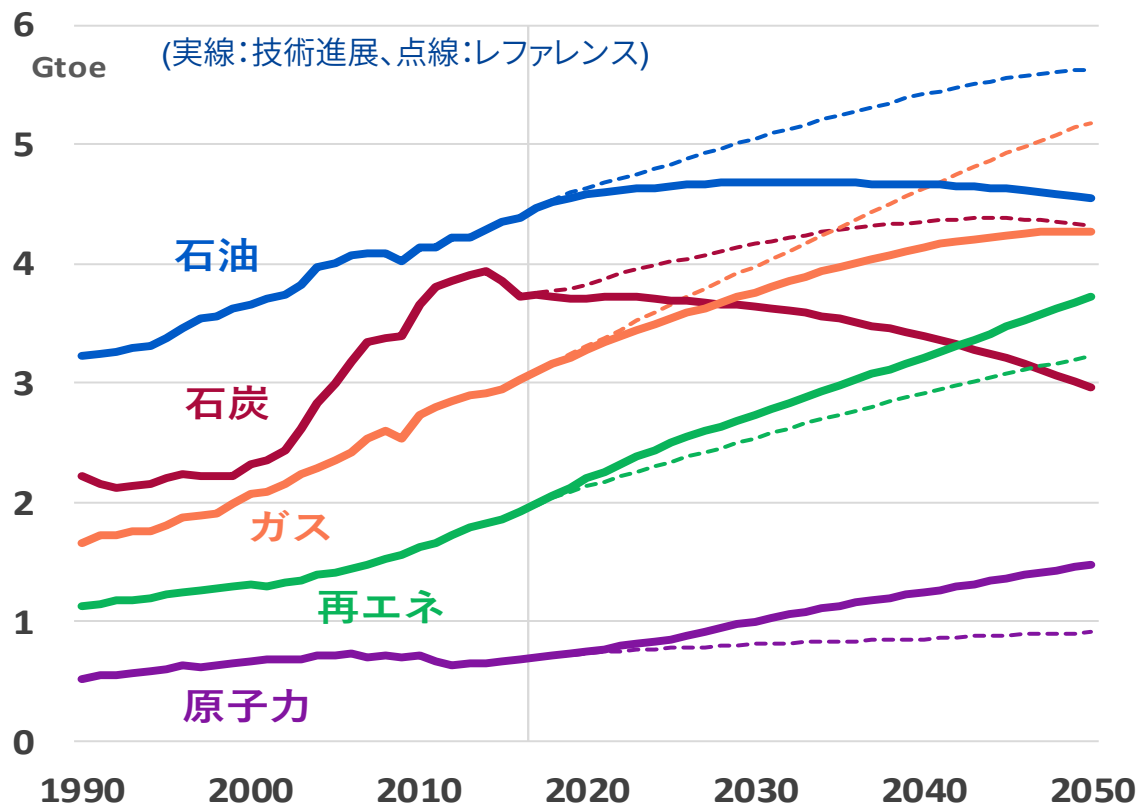


輸送用燃料の増加に伴い、アジアの石油自給率は28%から14%へと半減。天然ガス自給率の低下も大きい。一方、石炭自給率は若干低下するものの8割以上を維持。

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。

石炭は大きく減少、石油も2030年にピーク

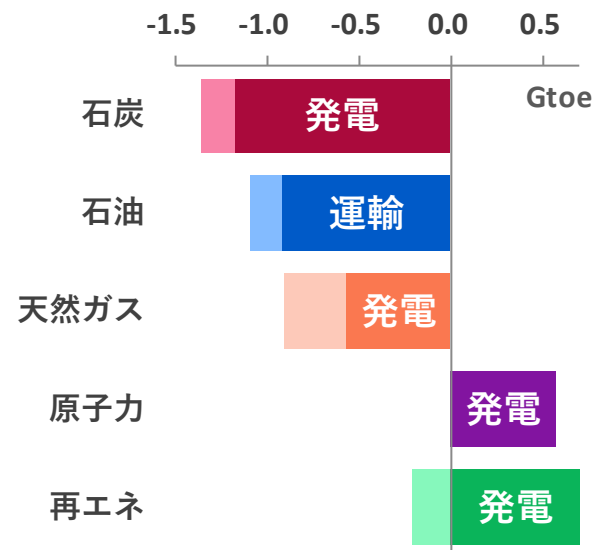
❖ 一次エネルギー需要



● 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)

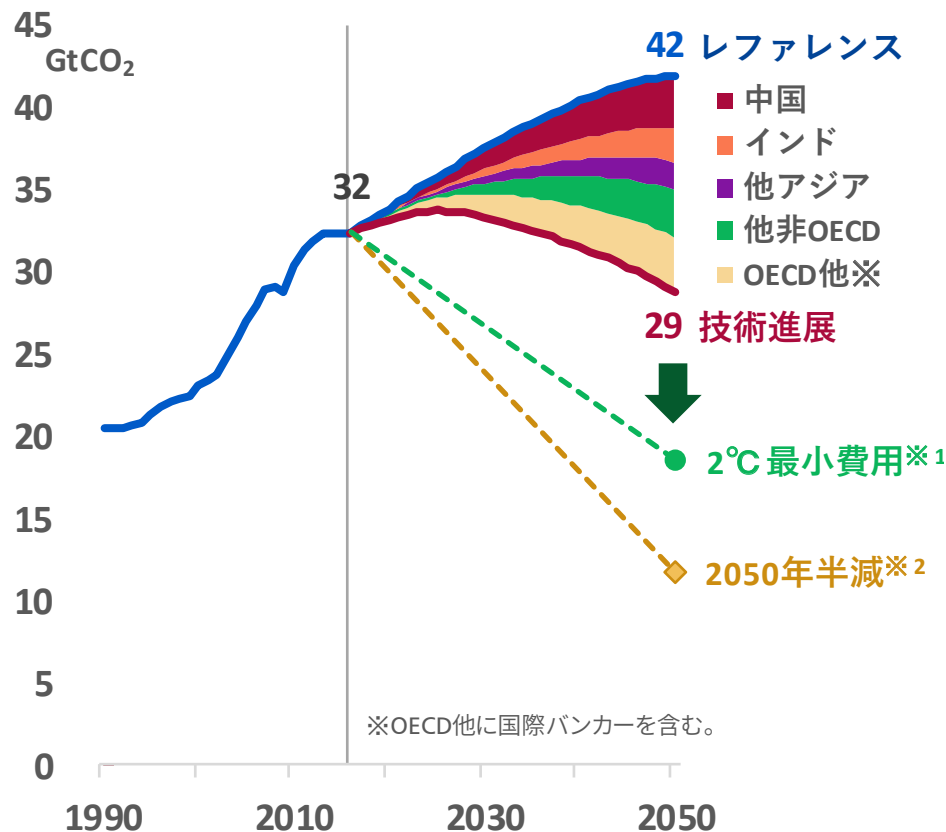


最も節減可能なのが石炭(特に発電部門)で、技術進展シナリオでは、現在をピークに減少。石油需要は運輸用燃料の減少などにより2030年頃がピーク。

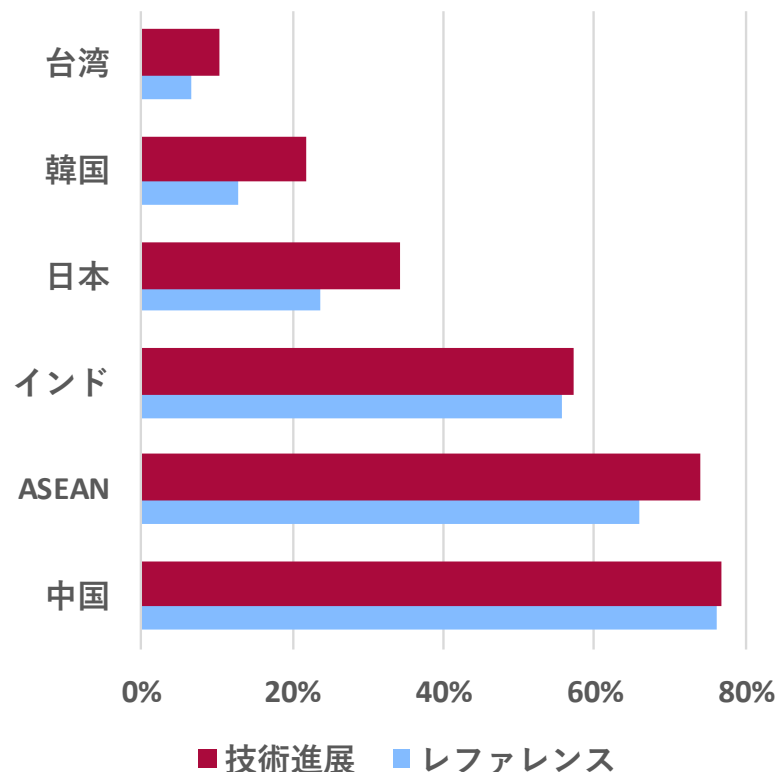
技術進展シナリオでの化石燃料シェアは81%から69%に低下(レファレンスは79%)するも、依然として高い化石燃料依存が続く。

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)

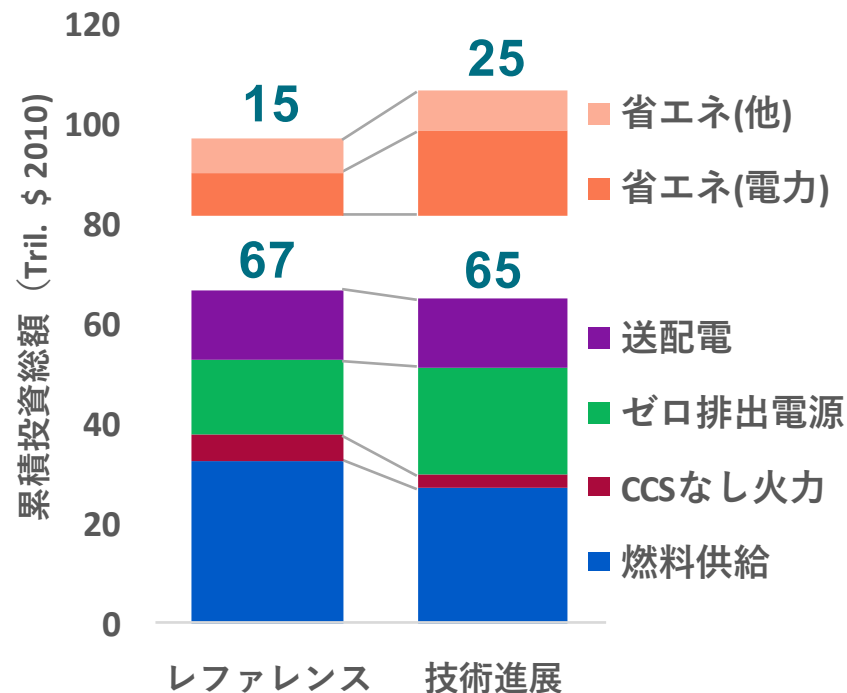


※1: 「IEEJアウトルック2018」を参照。※2: 気候変動に関する政府間パネル(IPCC)第5次評価報告書(AR5)で整理されている「RCP2.6」における排出パスを設定。

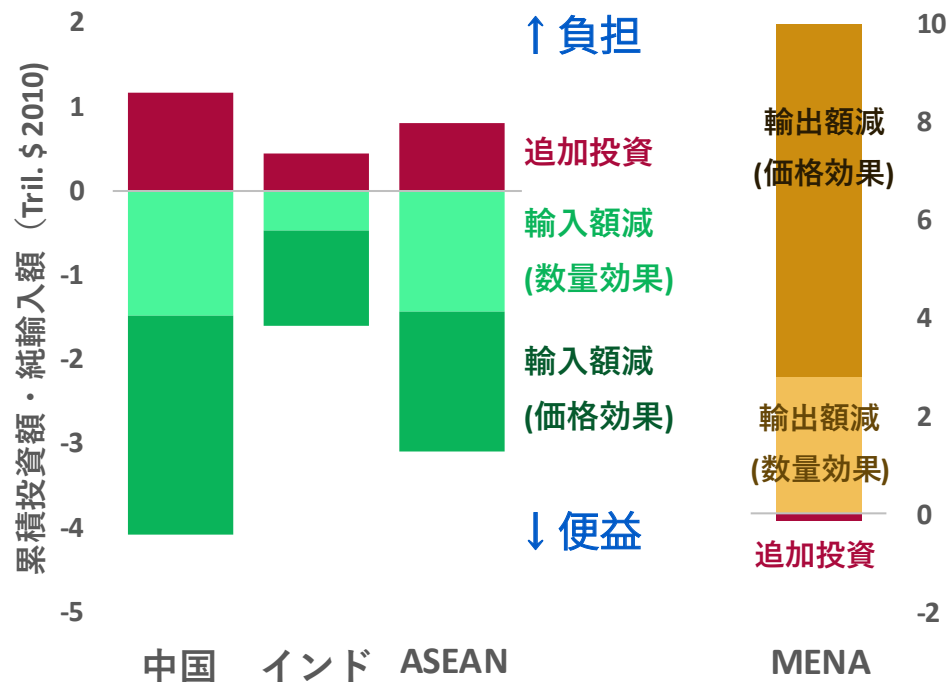
技術進展シナリオでのCO₂排出量は2020年代半ばがピーク、2050年には2016年比11%減に。しかし、気温上昇を2°Cに抑える排出パスの実現には、さらなる削減政策や革新的技術の開発が必要。技術進展により、アジアのエネルギー自給率は3%p(2050年)改善する。特に日韓、ASEANで顕著。

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。

A light gray world map serves as the background for the slide, centered behind the title text.

超長期気候変動分析

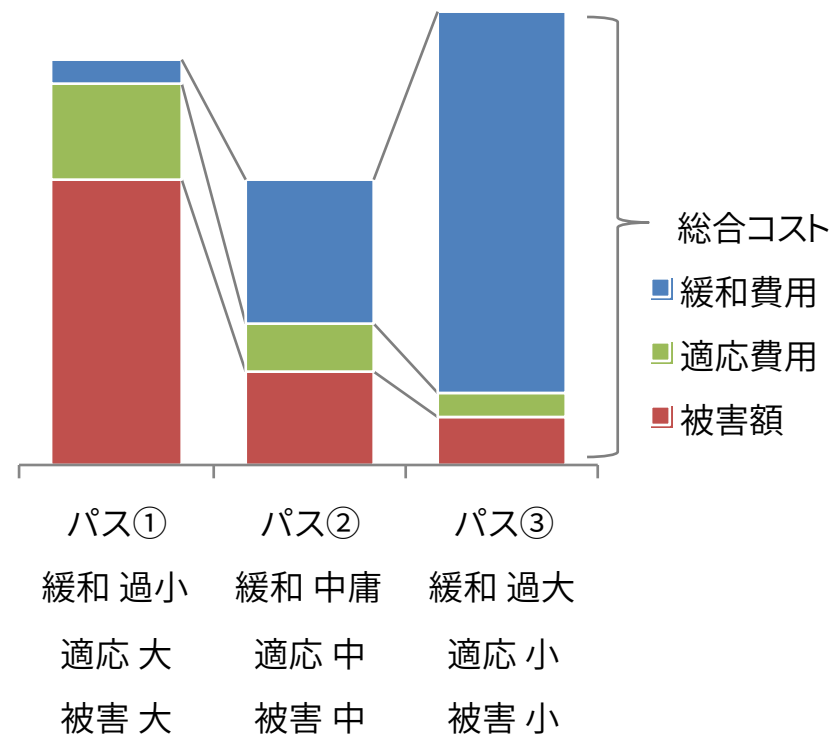
——IEEJアウトルック 2018再掲——

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

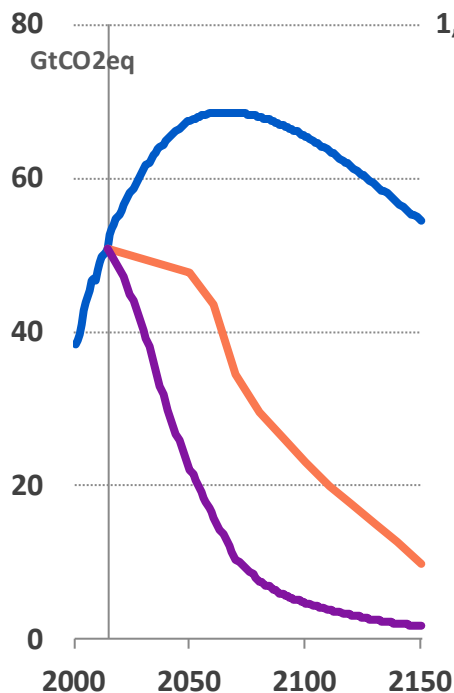
❖ パスごとの総合コストのイメージ



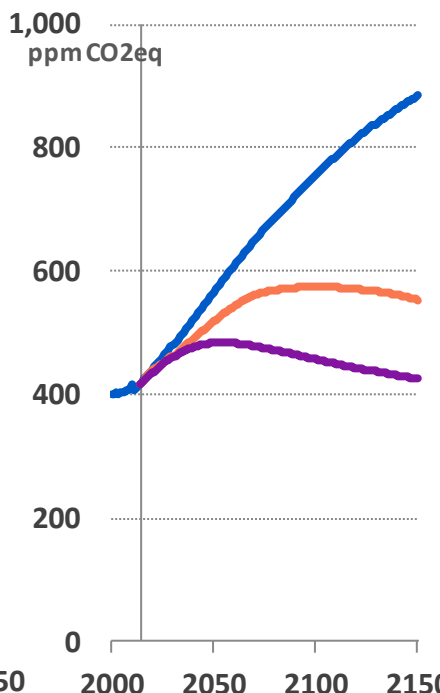
気候変動に対して無策であれば、緩和費用をかけずに済むが、適応費用・被害は膨大となる。強力な緩和策を講じれば、適応費用・被害は軽減されるが、そのための費用は顕著に大きい。気候変動問題は、広範な領域に影響し、かつ何世代にもわたる長期的課題。持続可能性に基づき、緩和費用、適応費用、被害額の和＝総合コスト が小さくなる組み合わせを評価する。

コスト最小化を統合評価モデルで表現

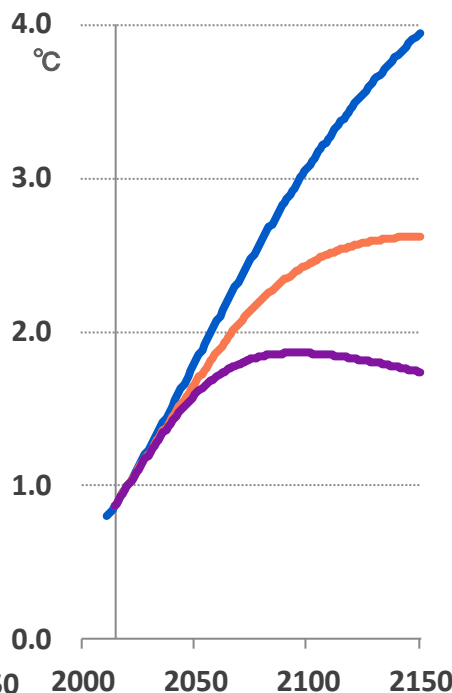
❖ GHG排出量



❖ GHG濃度 (エーロゾル等を含む)

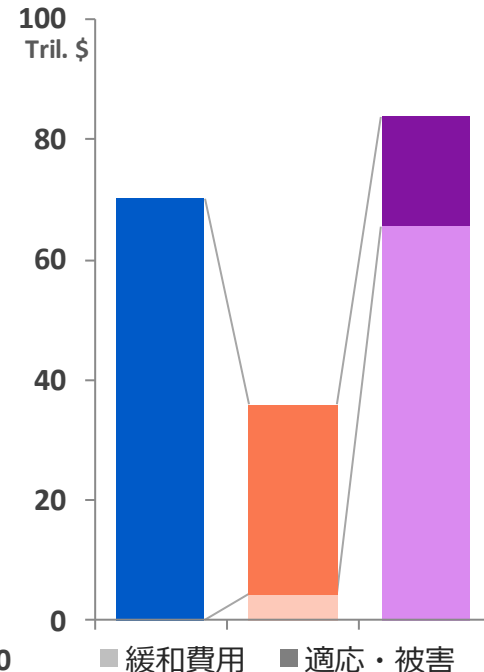


❖ 気温上昇 (19世紀後半から)



❖ 総合コスト (累積現在価値※)

※2015-2500年の累積



■ レファレンス

■ 最小費用パス

■ 2050年半減*

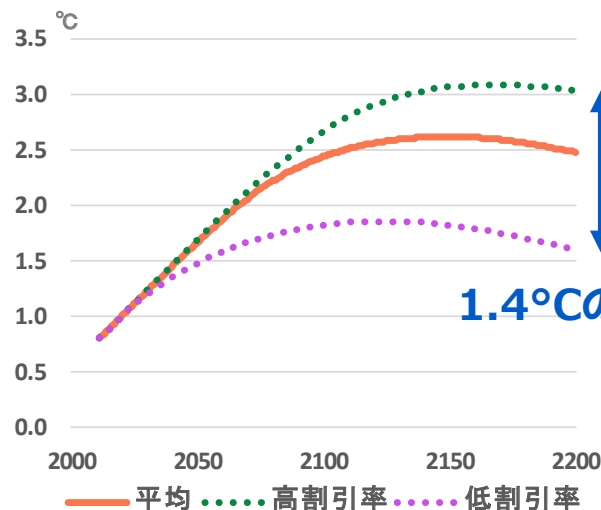
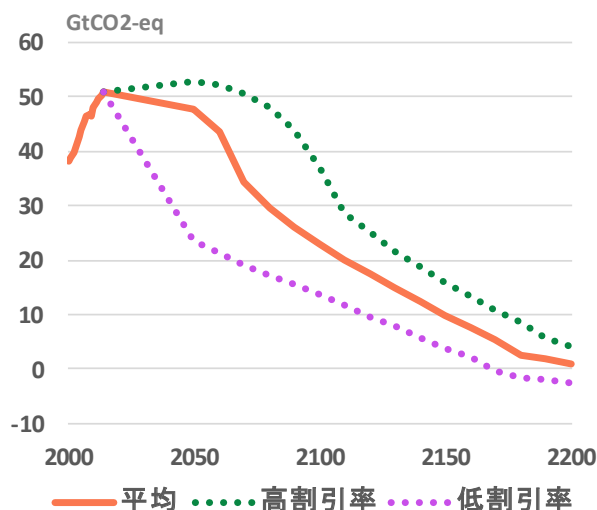
最小費用パスの総合コストはレファレンスの半分程度。GHG排出量は2150年に現状比8割減で、19世紀後半からの気温上昇は2.6°Cとなる。

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。

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)

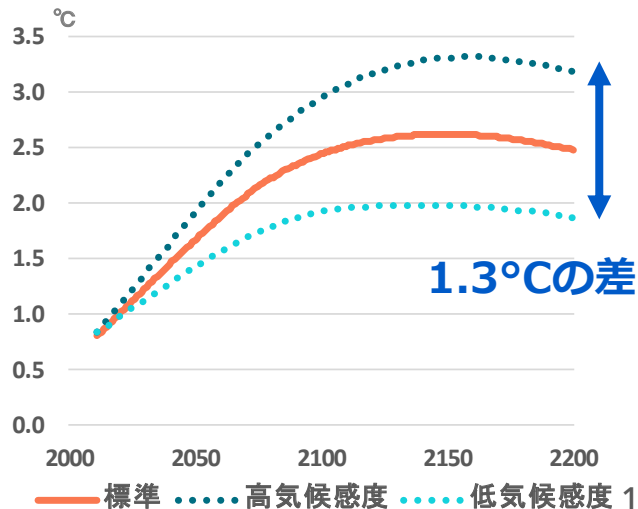
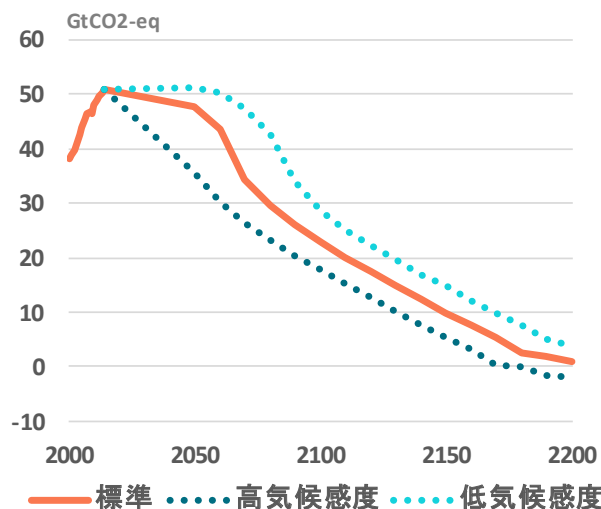


割引率※
本分析は2.5%を採用。
AR5のまとめでは1.1%
から4.1%と幅がある。

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)

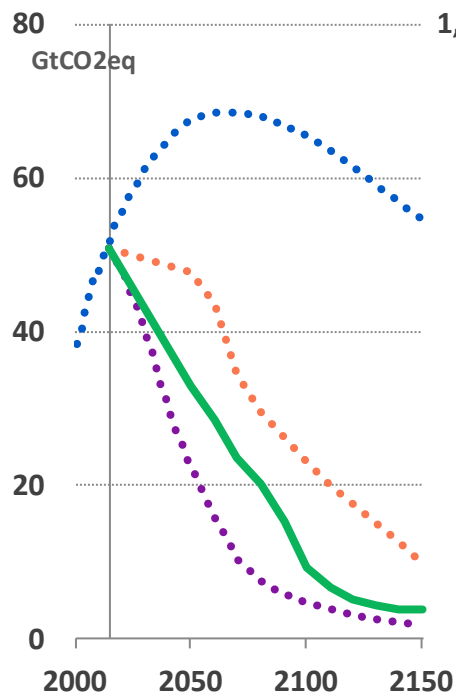
気候感度※
本分析は3°Cを採用。
AR5によれば1.9°Cから
4.5°C内にある可能性大。



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。

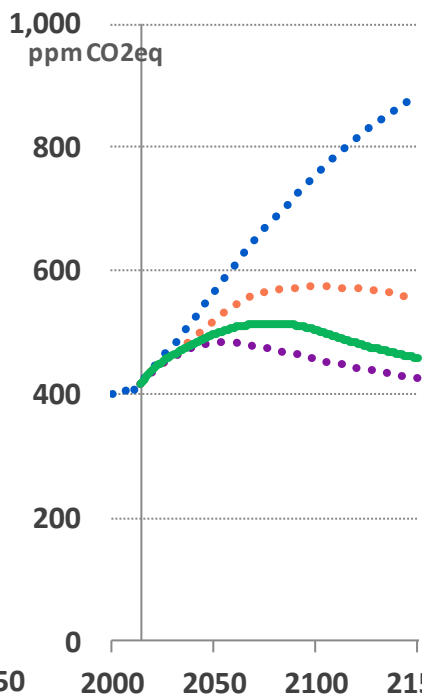
2℃目標へのもう一つの排出パス

❖ GHG排出量



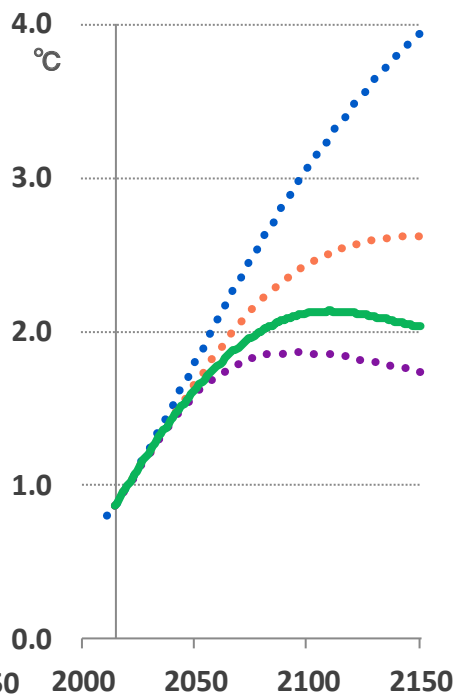
■ レファレンス

❖ GHG濃度 (エーロゾル等を含む)



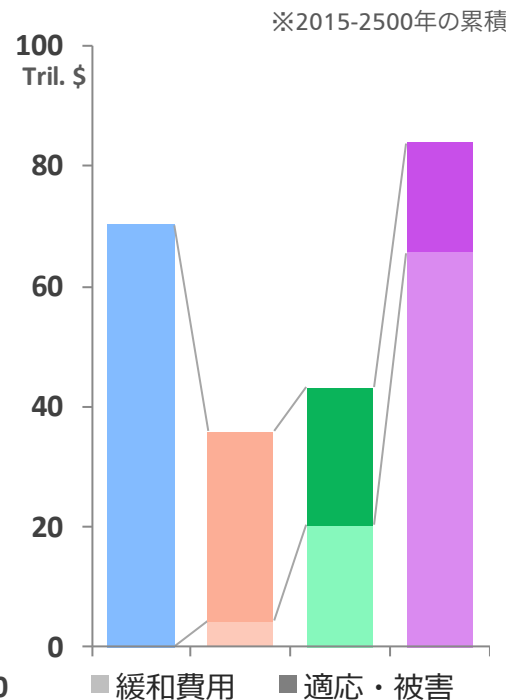
■ 最小費用パス

❖ 気温上昇 (19世紀後半から)



■ 2℃最小費用パス

❖ 総合コスト (累積現在価値※)



■ 2050年半減*

「2℃最小費用」は、例えば、2150年の気温上昇幅を2℃に抑えるという条件下で、総合コストが最小化となるパスの例。気温条件のない最小費用パスより総合コストは2割ほど増大する。

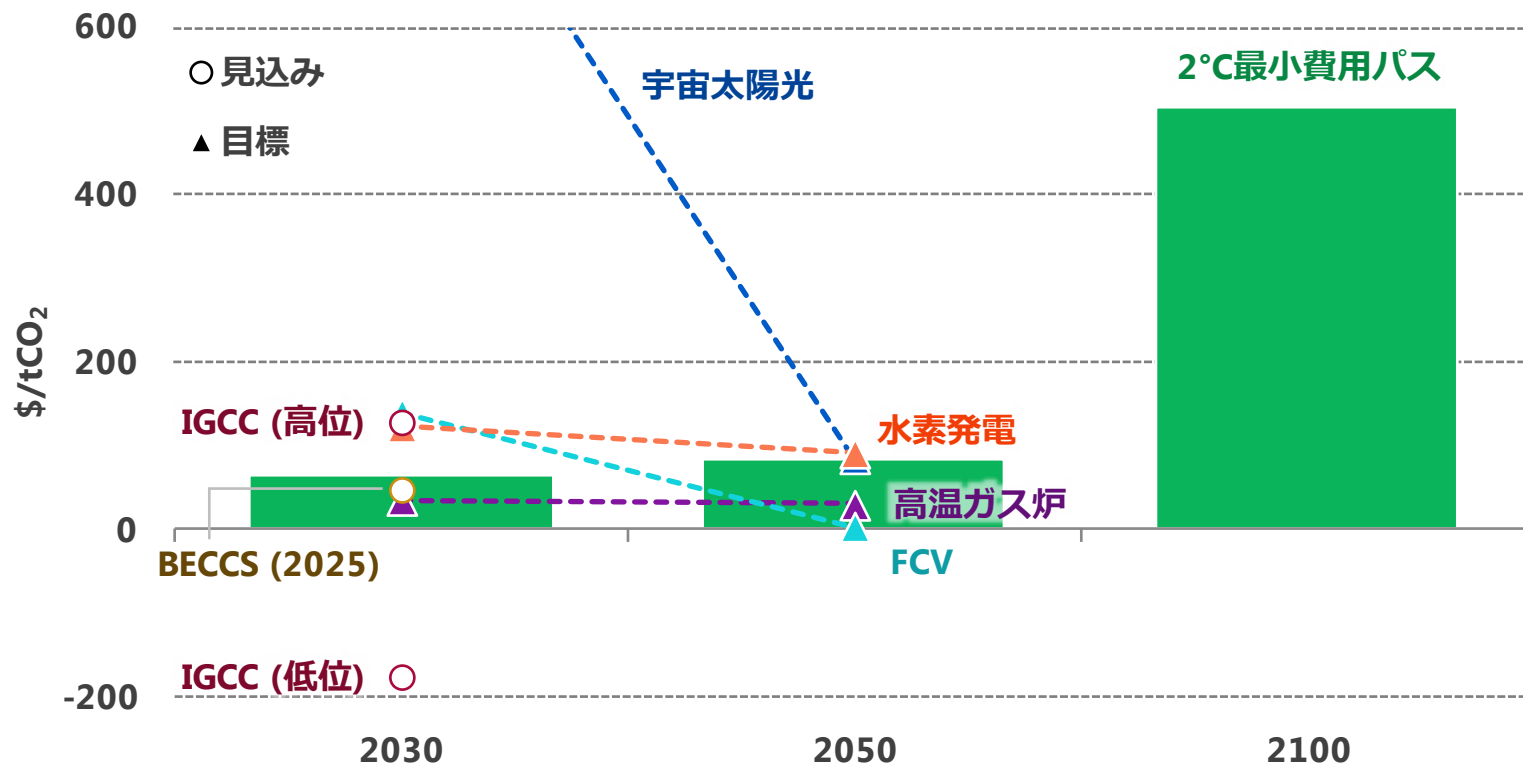
GHG排出量は2050年に3割減、2100年以降は概ねゼロエミッションに。気温上昇幅は2100年に2℃わずかに超えたところでピークとなり、低下に転じる。

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

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。

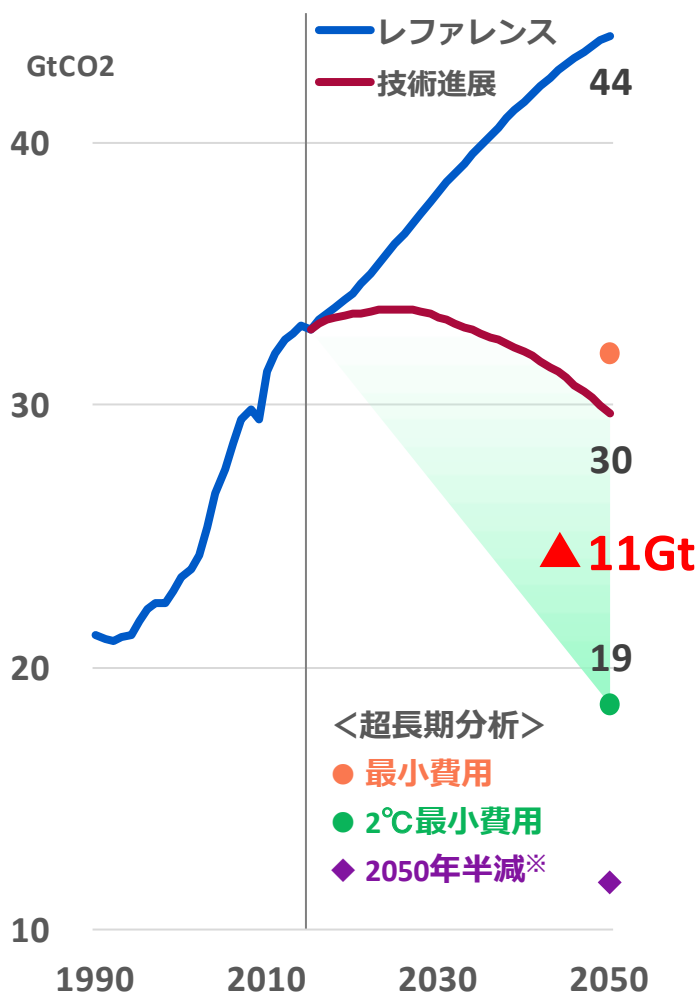
モデル内で計算された「2°C最小費用パス」の炭素価格は、2050年に\$85/tCO₂。

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。

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

①CO₂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)

A light gray world map serves as the background for the slide, centered on the Atlantic Ocean.

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

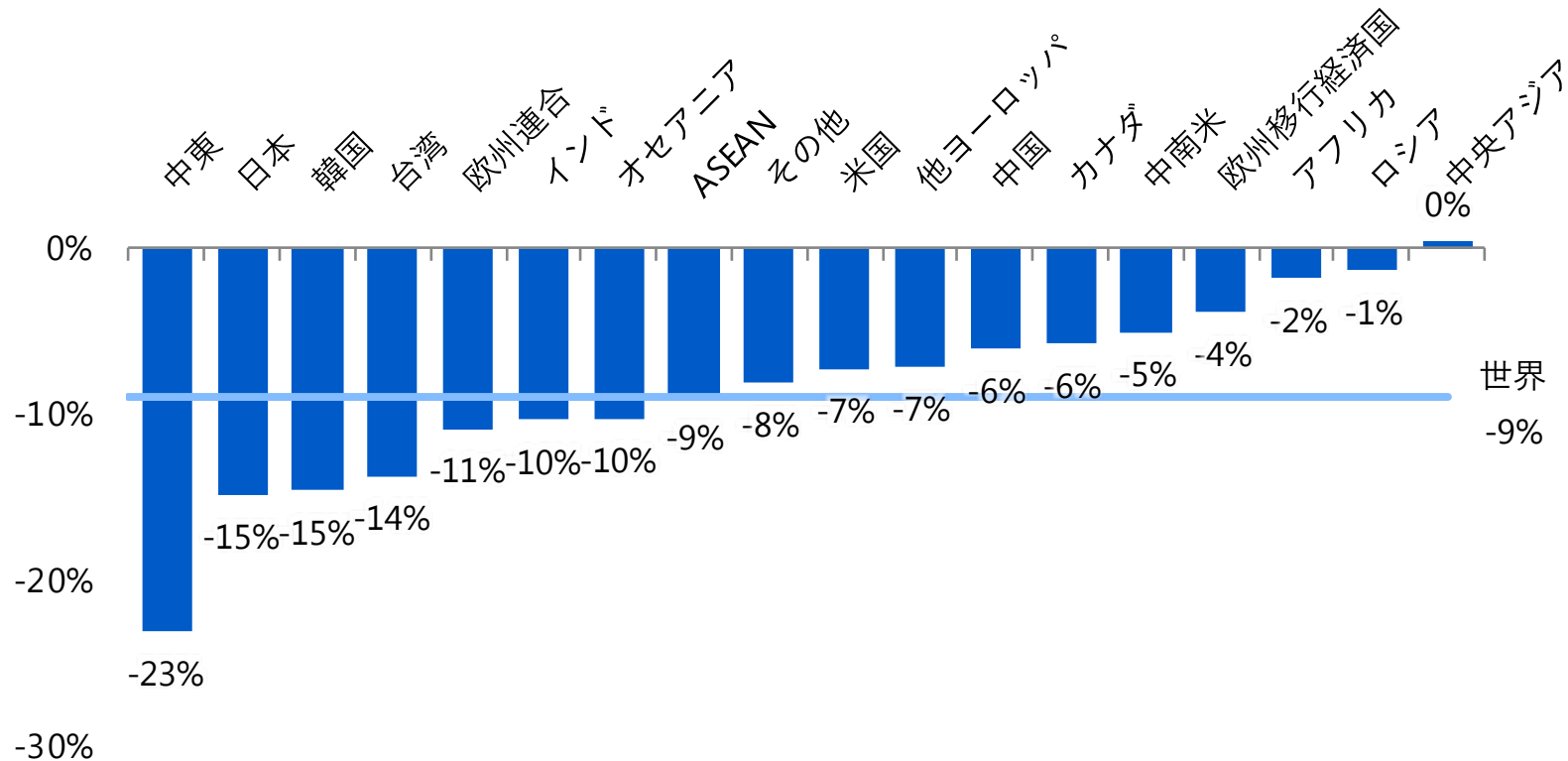
- 石油の供給障害は、伝統的なエネルギー安全保障の議論の中核をなしてきた。
- 生産-輸送-国内供給の各段階で、事故や故障、自然災害、あるいは社会や経済全体に及ぶ構造的な要因に起因して様々な供給障害が発生。
- 現在もそのリスクは存在。

	リスク	事例
生産	- 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: OAPEC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

石油供給途絶の経済影響

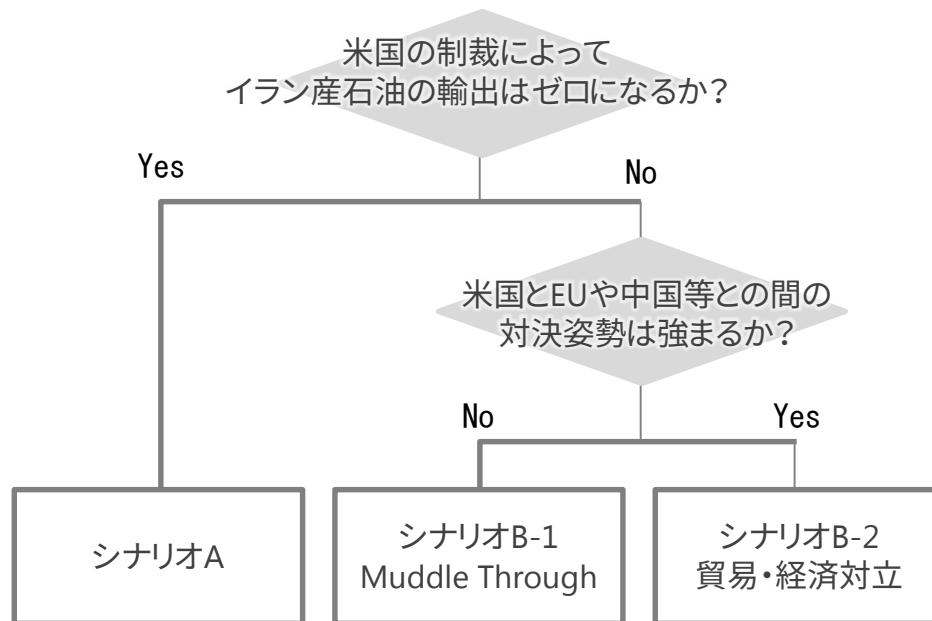
- 石油供給途絶の影響は大きい
- 仮に中東の原油生産が10 Mb/d落ち込み、他の国・地域がこれを補う増産を行えない場合を想定すると、世界経済は9%も縮小。
- 日本を含むアジア地域は大きな影響を受ける。

❖ 中東の原油生産10 Mb/d減少による実質GDPへの影響



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。

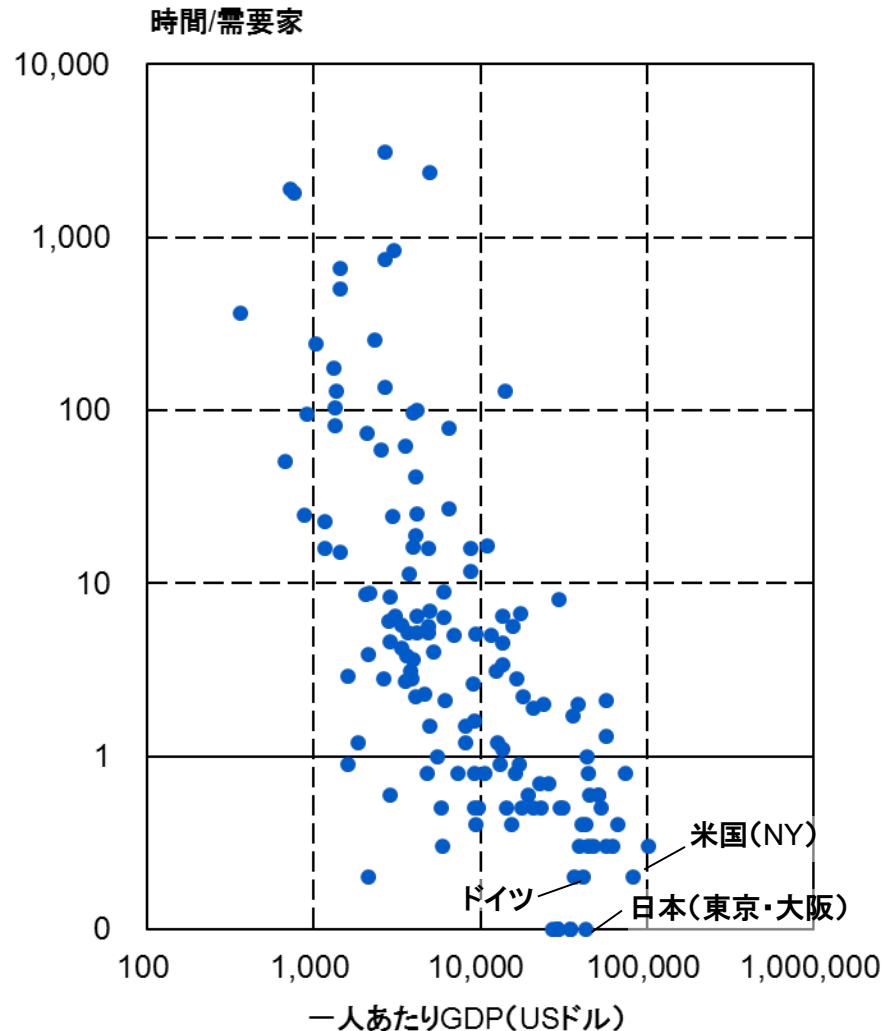


❖ シナリオ分析のポイント

	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、比較的平穏。	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。

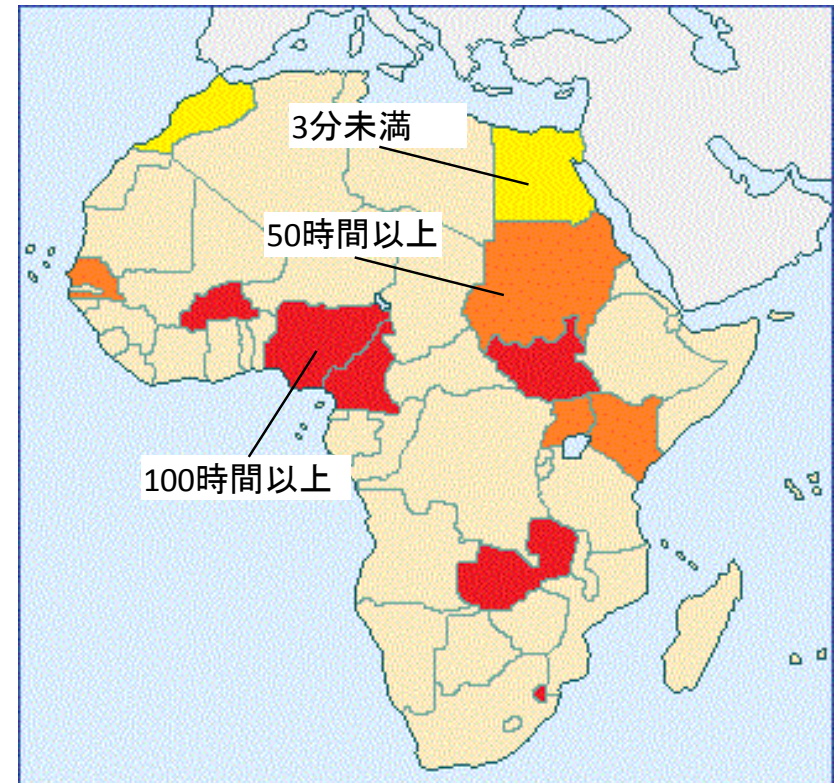
停電時間国際比較

❖ 所得水準と停電時間の関係(2015年)



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

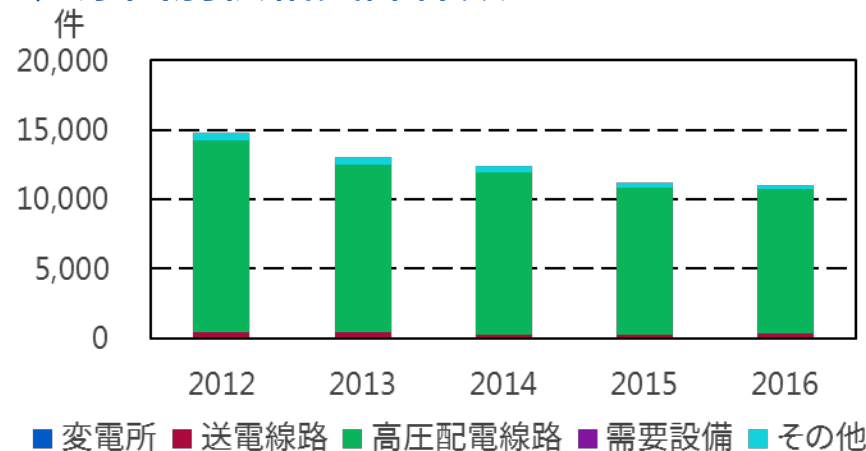
- 停電は地域差が大きく、サブサハラ
アフリカと島嶼国、南アジアで需要家
あたり停電時間が長い傾向。
- 2015年の調査で停電時間が1,000時間
(年間11%)を超えていたのはイラク、
コモロ、エリトリア、ナイジェリア、
パキスタン、南スーダン、スワジランド。



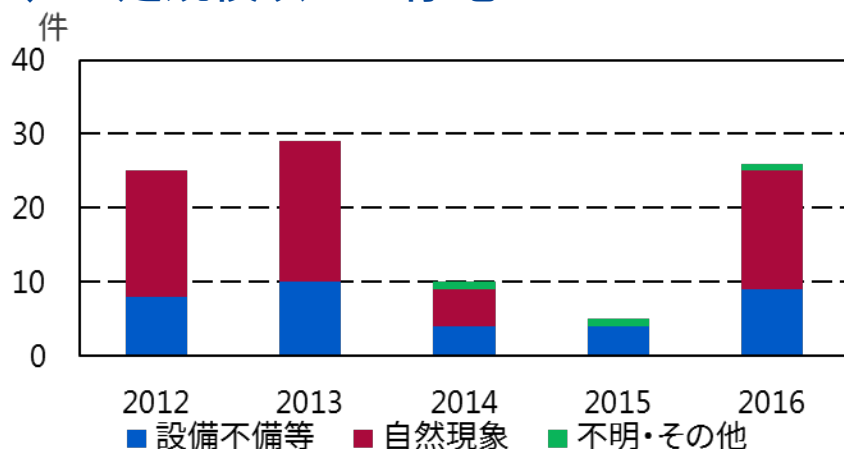
日本における停電

- 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系統の自動化により迅速な復旧が容易になっている。

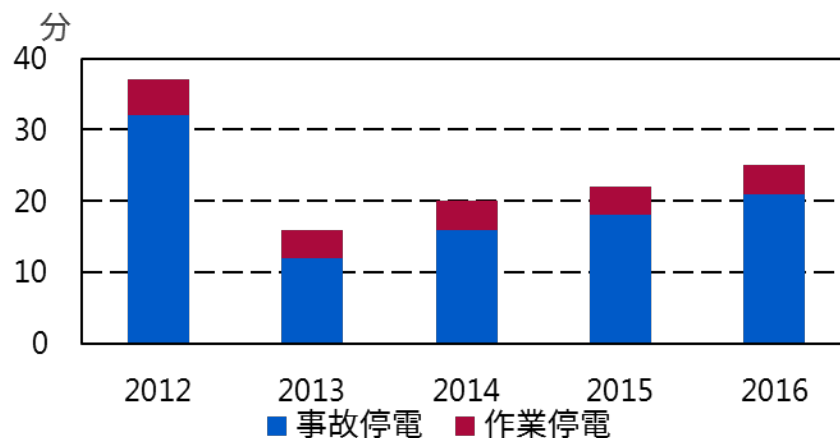
❖ 原因別供給支障件数



❖ 一定規模以上の停電



❖ 低圧需要家あたり停電時間



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。

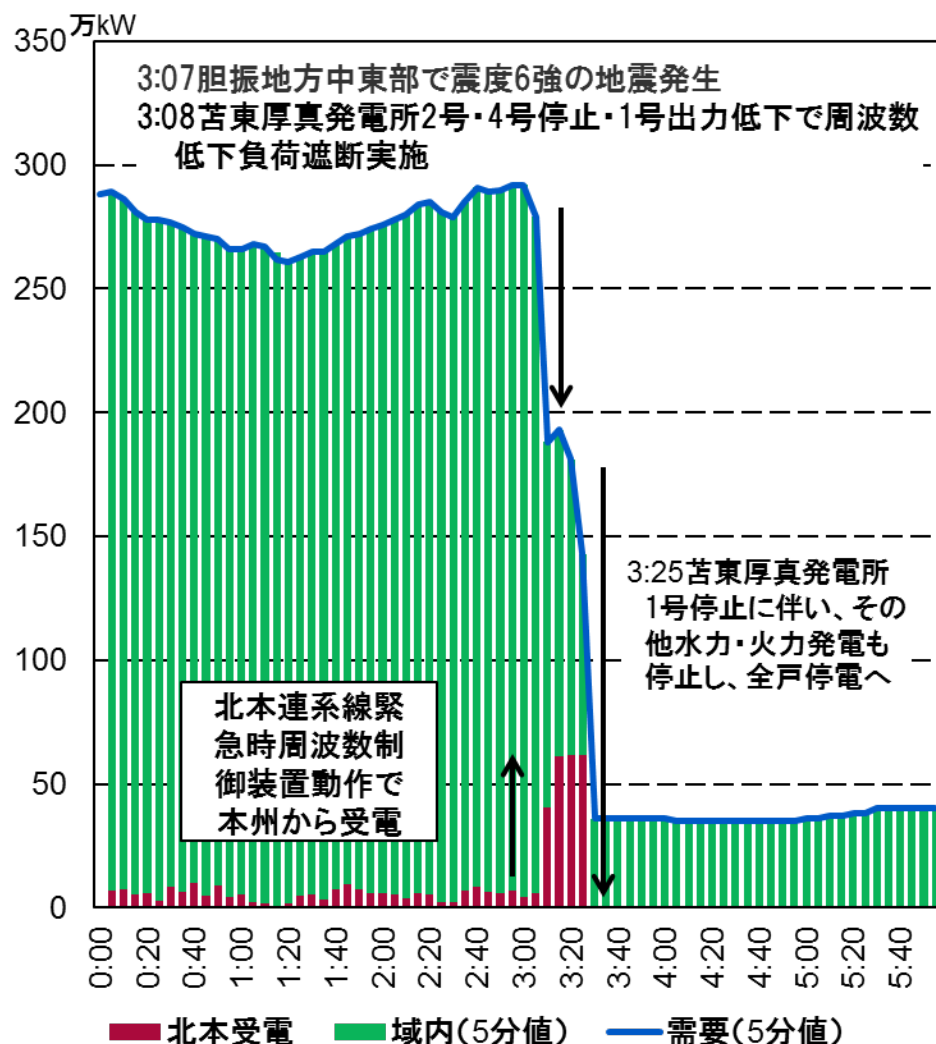
突発性のリスク

●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。

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%。

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	広い - 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。	狭い 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	高い ボイラーや発電など一部用途で代替性がある。	低い 大部分の用途で、代替性がない。
供給支障 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 - 産油国経済の安定化支援 - 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と需要代替性の評価は、石油と電力の相対的な関係を表す。

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



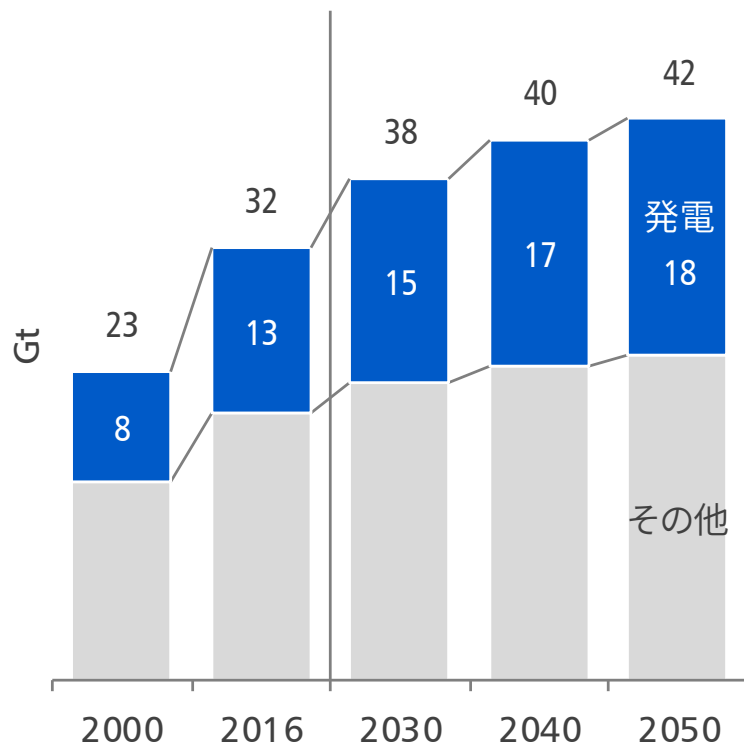
- 適切なセキュリティ制度構築が望まれる

A light gray world map serves as the background for the slide.

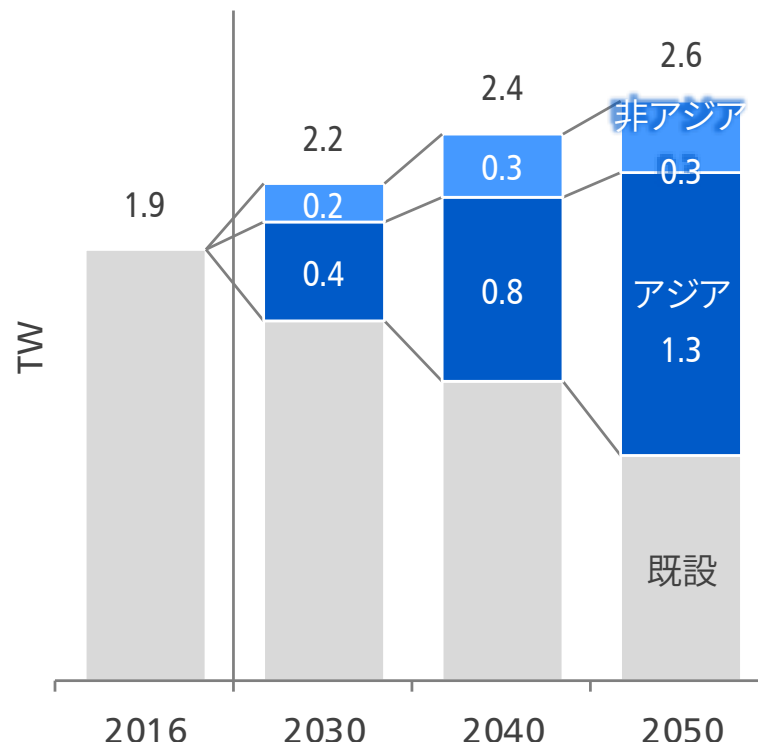
石炭火力新設禁止ケース

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、こういった規模でメリット・デメリットをもたらしうるか、エネルギー需給バランス、経済性などの視点から考える

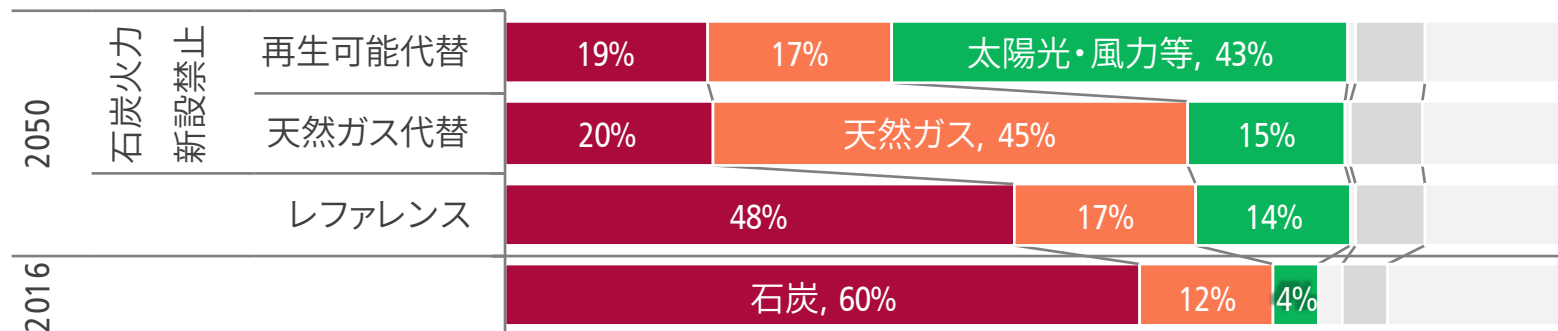


石炭火力新設禁止ケースは、「そうなるであろう」「そうすることができる」といったことを示すものではありません

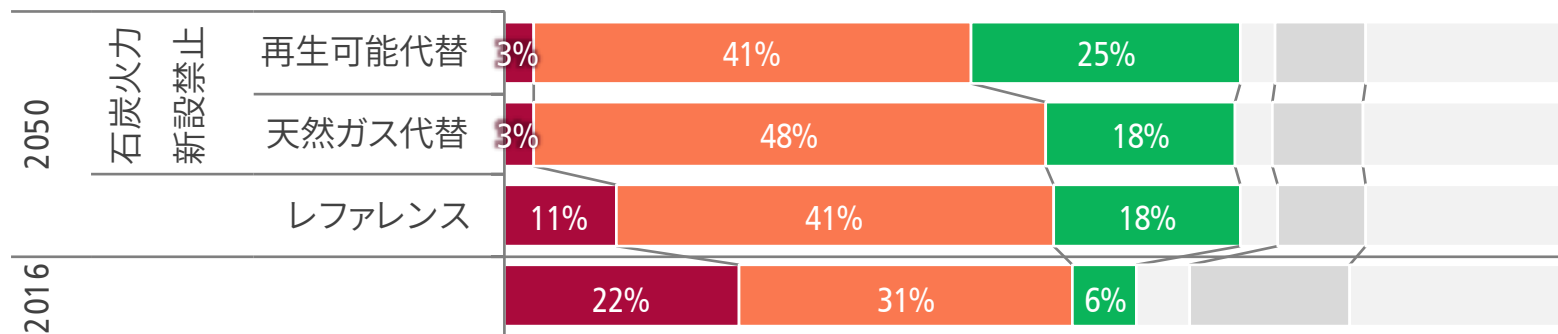
大きく変容する電源構成! 特にアジア!!

❖ 発電量構成

アジア



非アジア

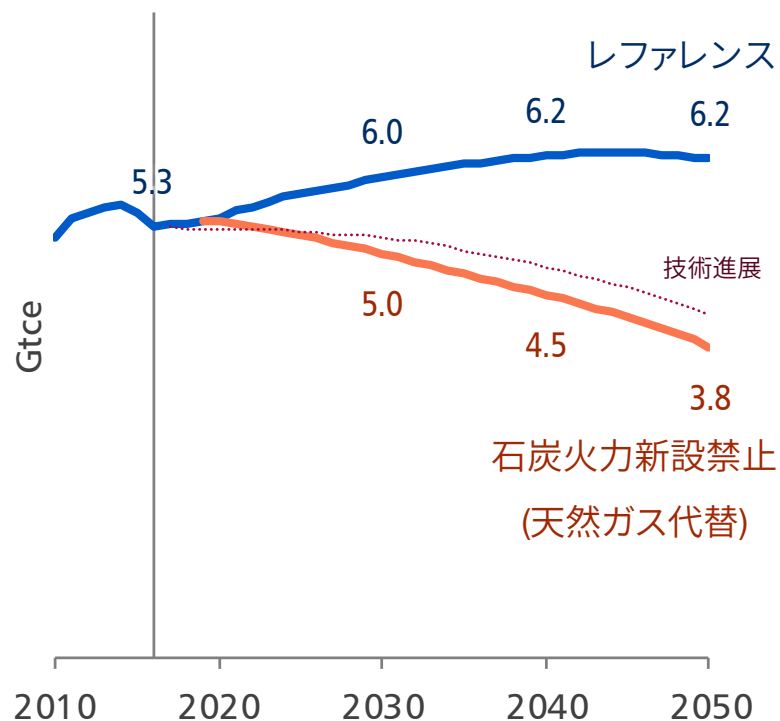


さまざまな事情で石炭依存が高いアジアでの石炭火力新設禁止は、激甚とも言える大転換を意味する

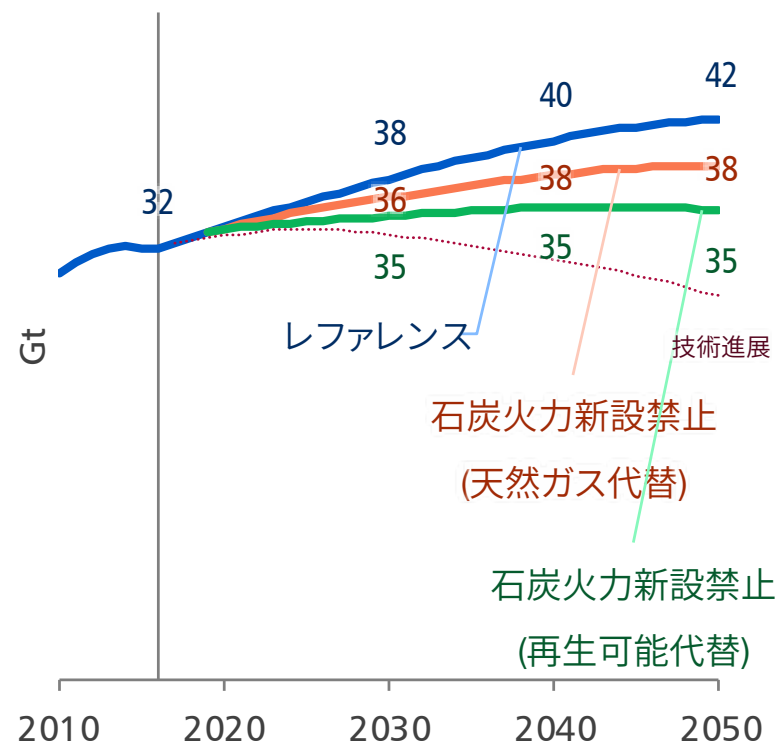
一方、アジアの外では変化の程度が限定的。新設石炭火力を太陽光・風力で代替しても、最大電源は天然ガスのまま

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

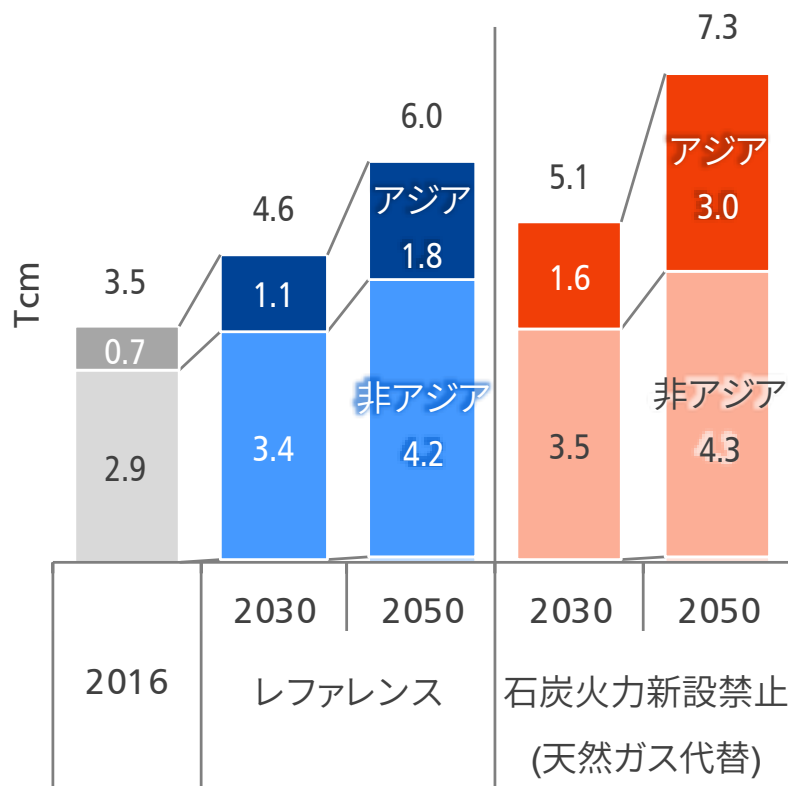
大気汚染物質の排出抑制にも寄与しうる

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

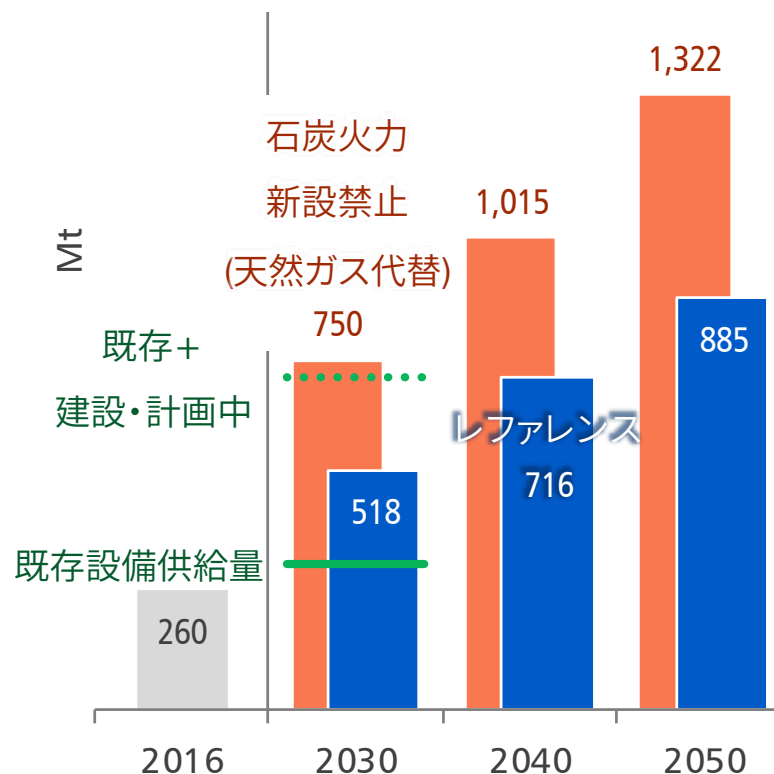
ただし、後者であっても排出量は足元から減少しない

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



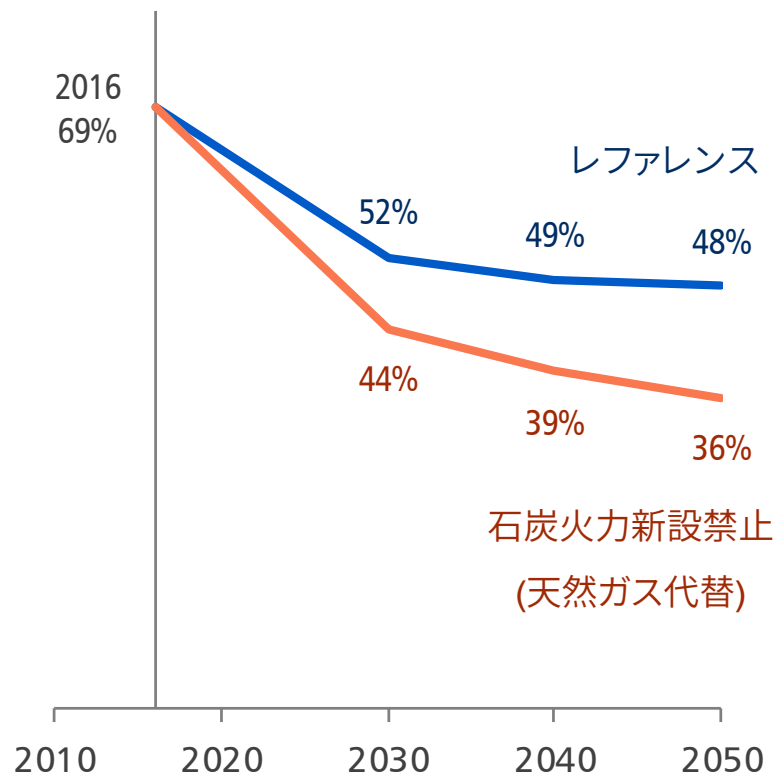
2050年の天然ガス消費量は現在の2倍超に。
2050年までの累積消費量は、状況次第で
確認埋蔵量を超過

可能な資源は、条件によらずすべて開発を

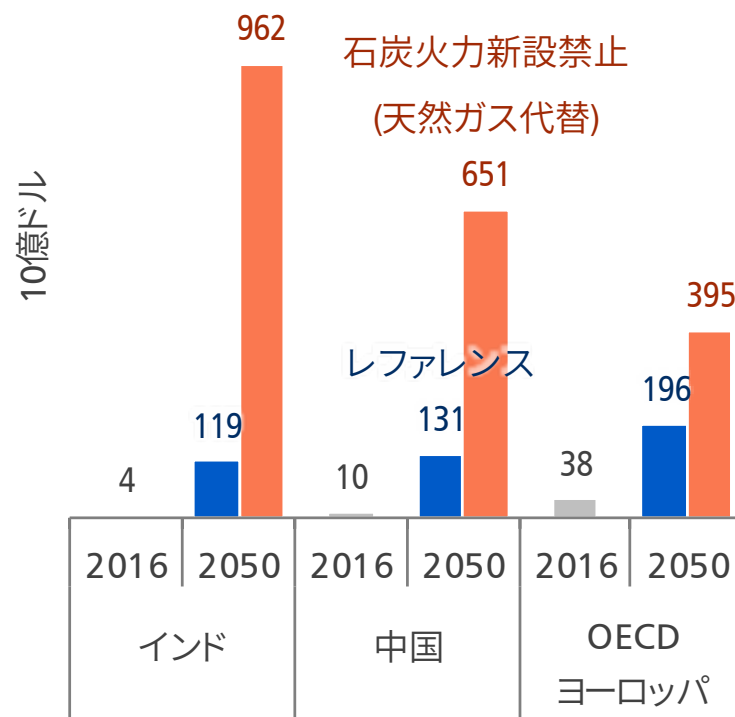
2030年のLNG需要は、現在の約3倍に
膨大な需要を充足するために、明確な
開発計画が立てられていないLNG案件も
早急に運開までこぎつけを

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

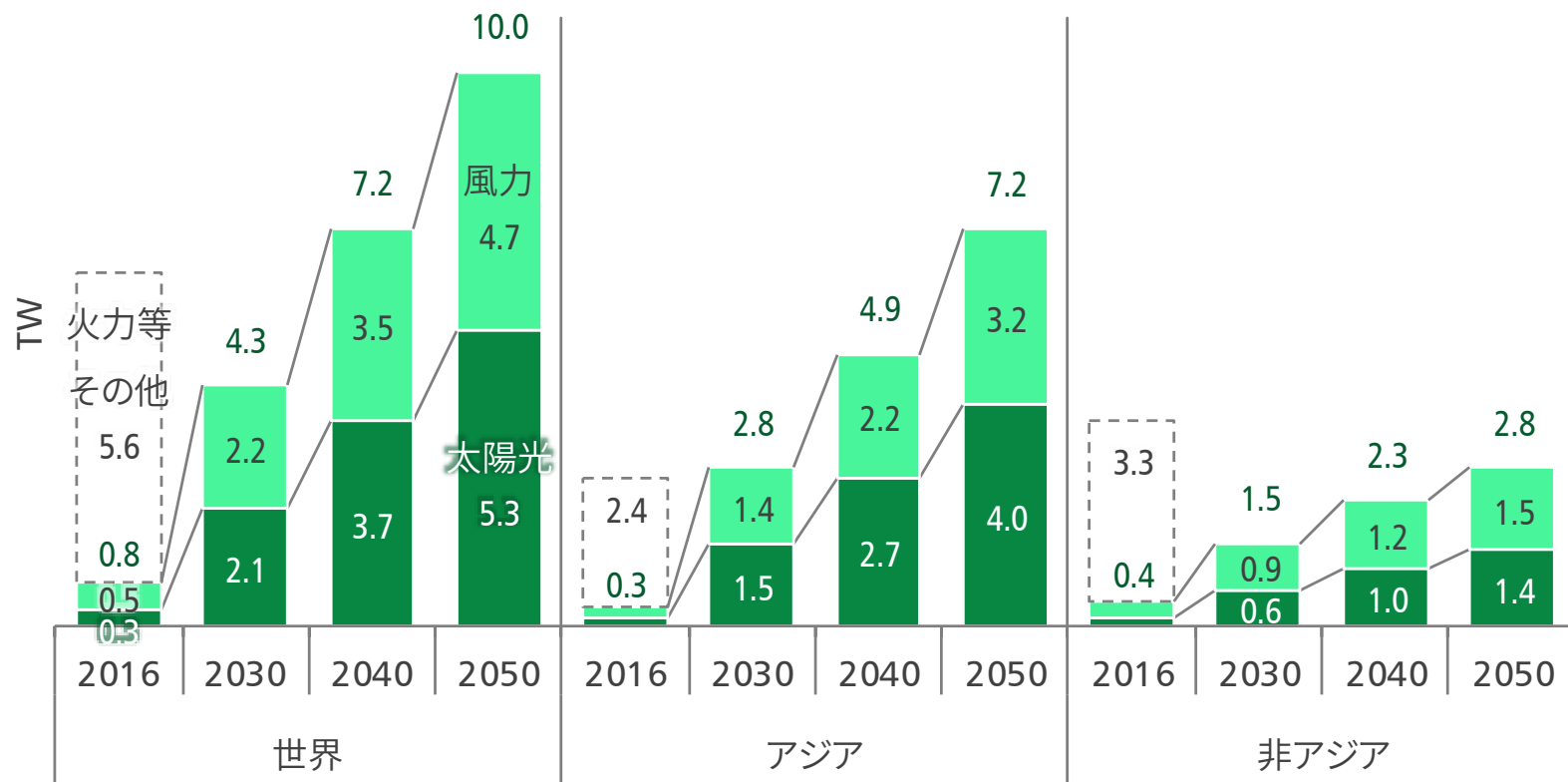


天然ガス生産、LNG供給チェーンが確立できても、アジアには安全保障の新たな課題
その天然ガス自給率は、現在の半分程度に低下

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]

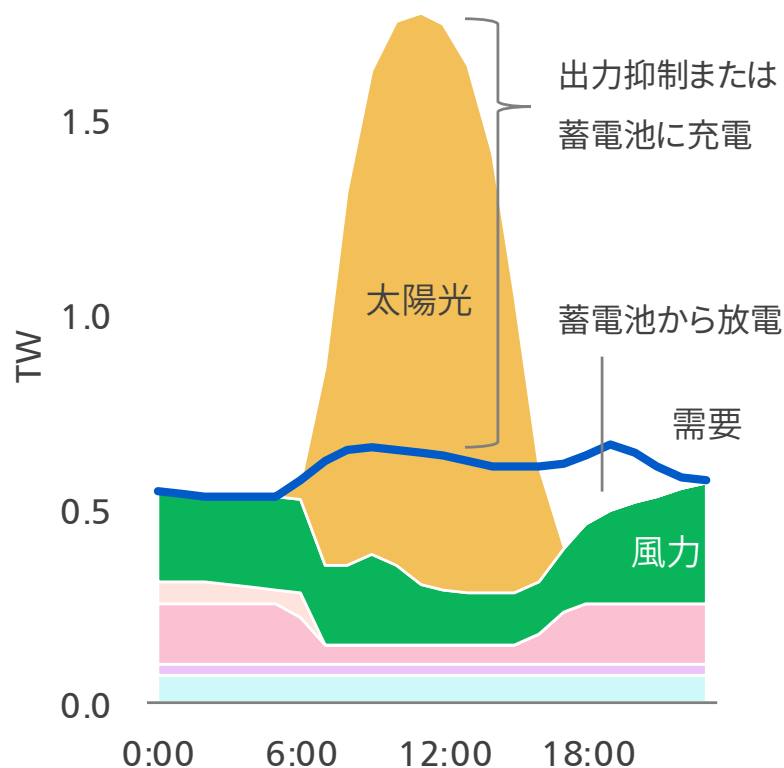


ロスを無視しうる高効率な蓄電・送電技術を全世界で制約なく利用できるようになったとしても、2050年に10 TWの太陽光・風力発電設備が必要

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

電力安全保障にも目配りを

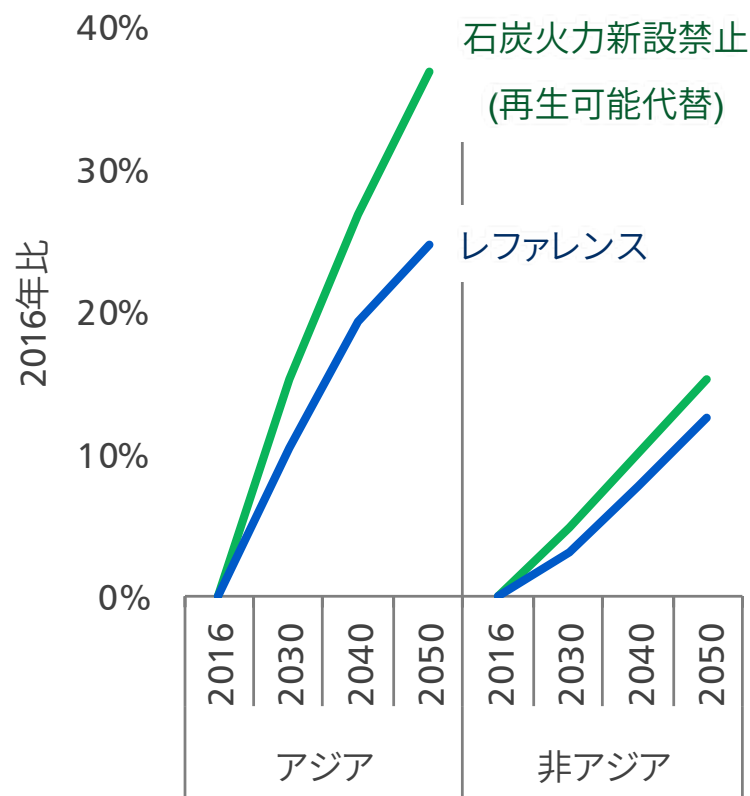
❖インドの電力需給「イメージ」[石炭火力 新設禁止(再生可能代替)ケース、2050年]



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

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「概数」



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

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

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

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



付属資料

- 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

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

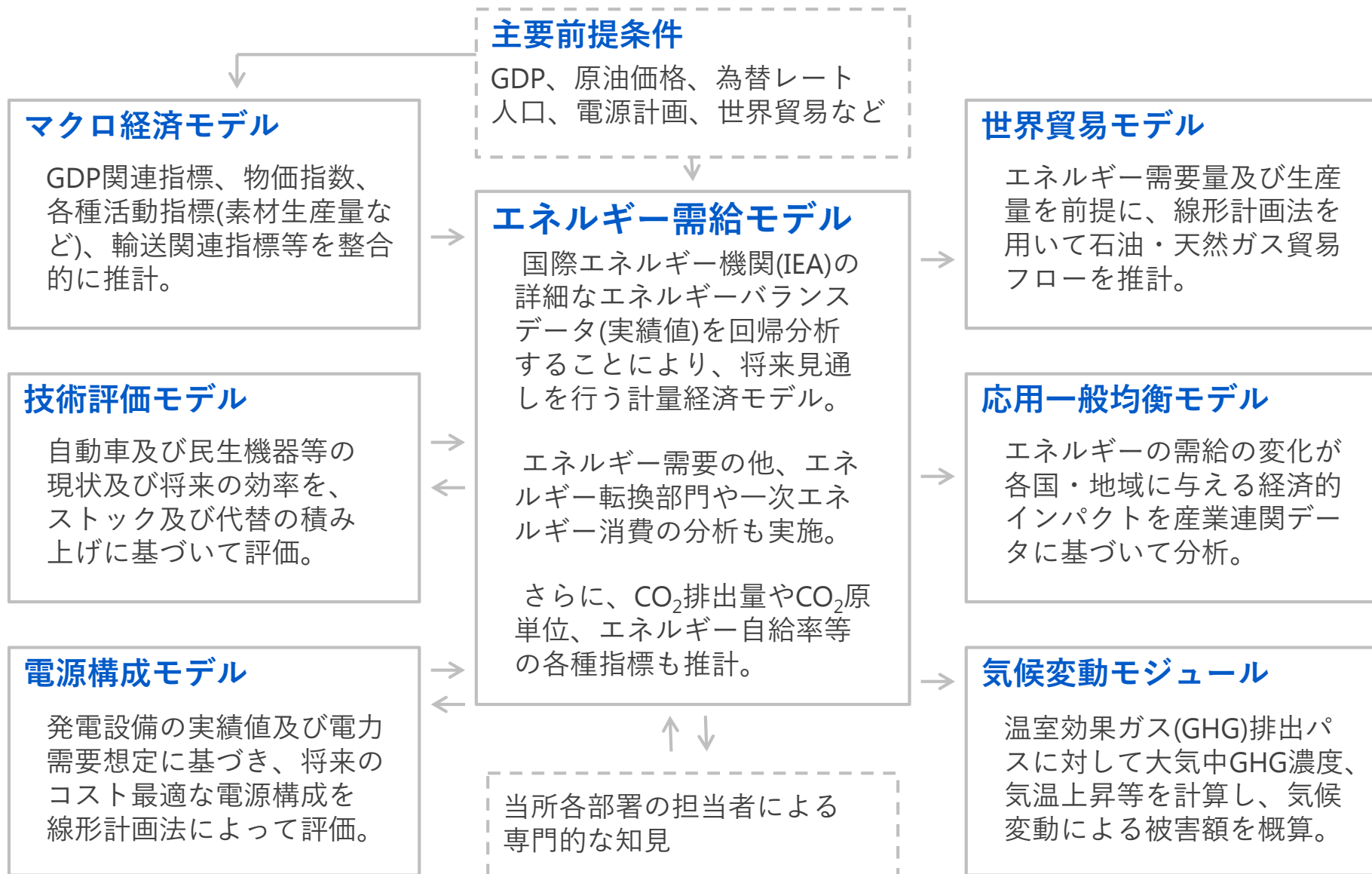
- ・南アフリカ
- ・北アフリカ
- ・他アフリカ

オセアニア

- ・オーストラリア
- ・ニュージーランド

中南米

- ・メキシコ
- ・ブラジル
- ・チリ
- ・他中南米



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}
省エネルギー	高効率石炭火力	2030		30%	70%	-
	発電比率 ^{*2}	2050		90%	100%	-
	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	
	太陽光発電		290	2,110	2,922	5,341
	風力発電		465	2,254	3,351	4,671

^{*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

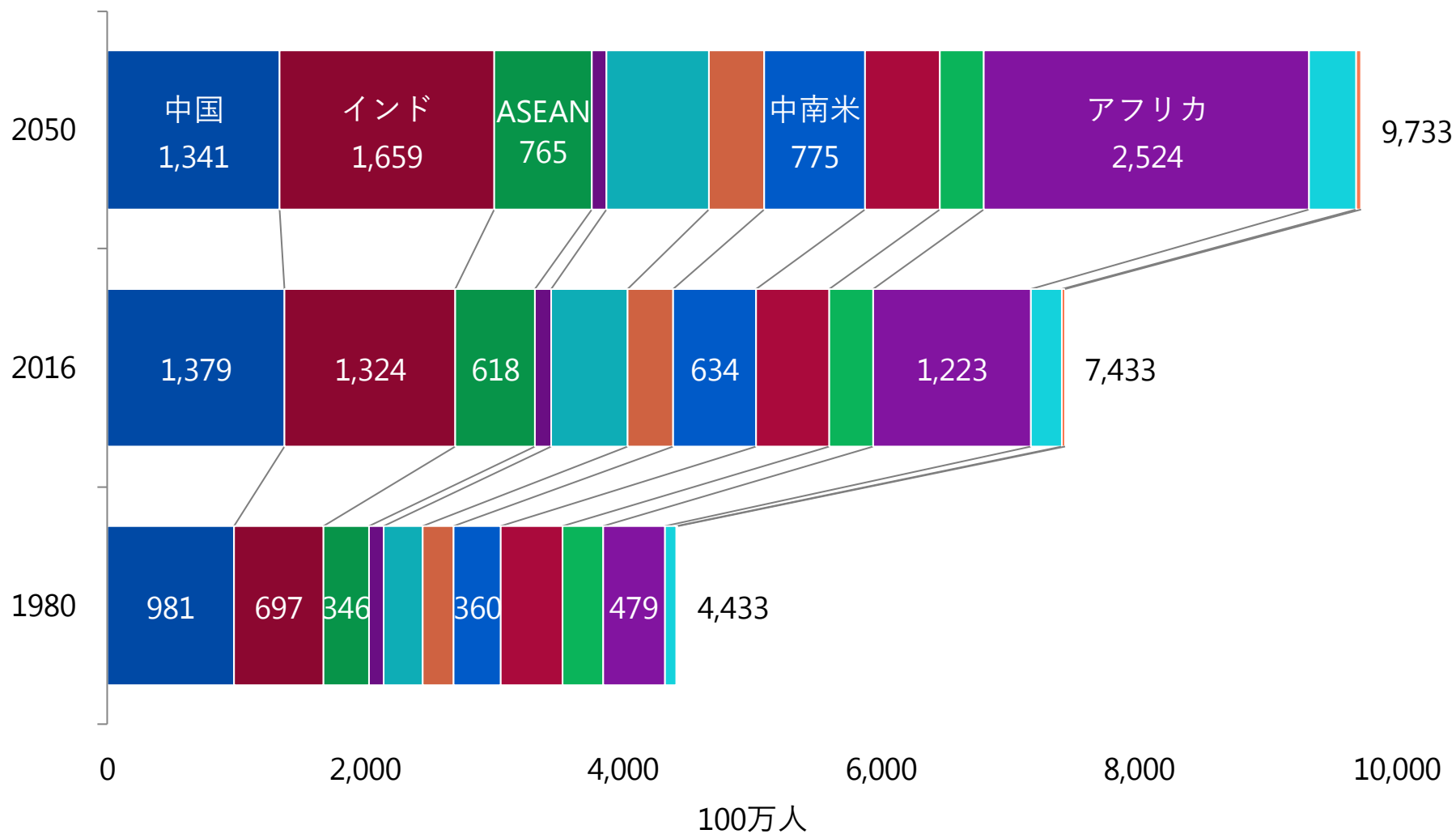
最小費用パス

累積総合コストが最小となる排出パス

2050年半減

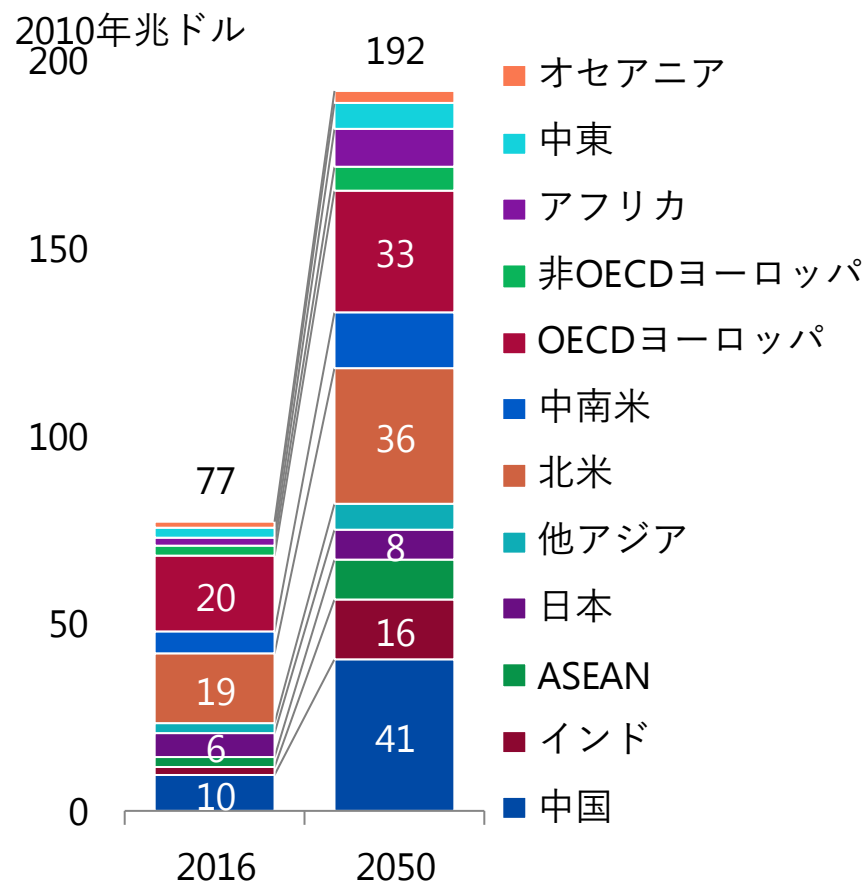
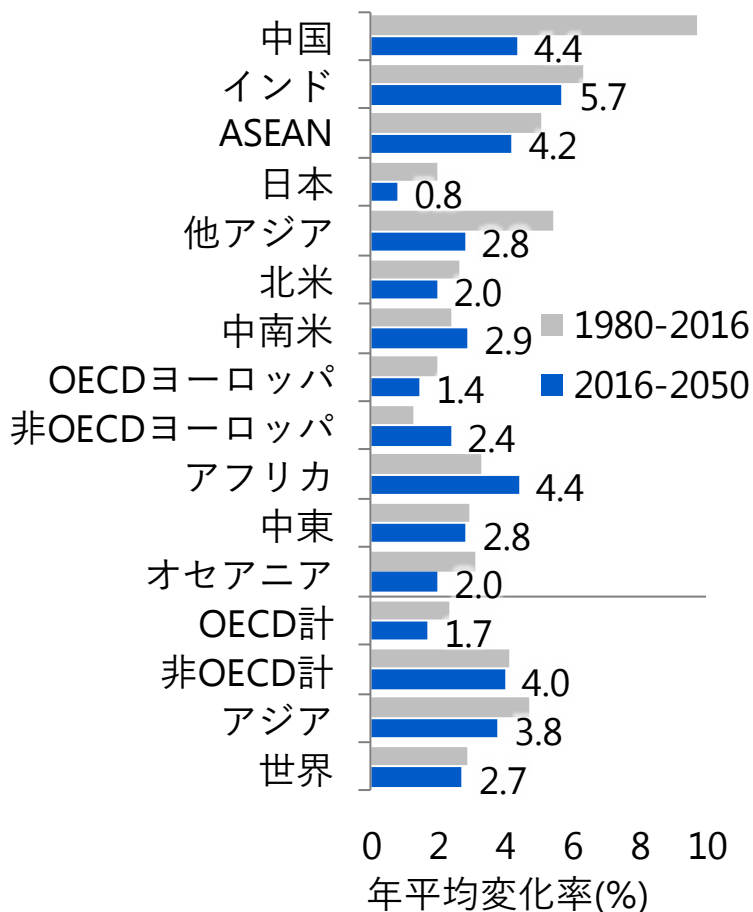
IPCC第5次評価報告書の「RCP2.6」における排出パス

主な前提条件: 人口



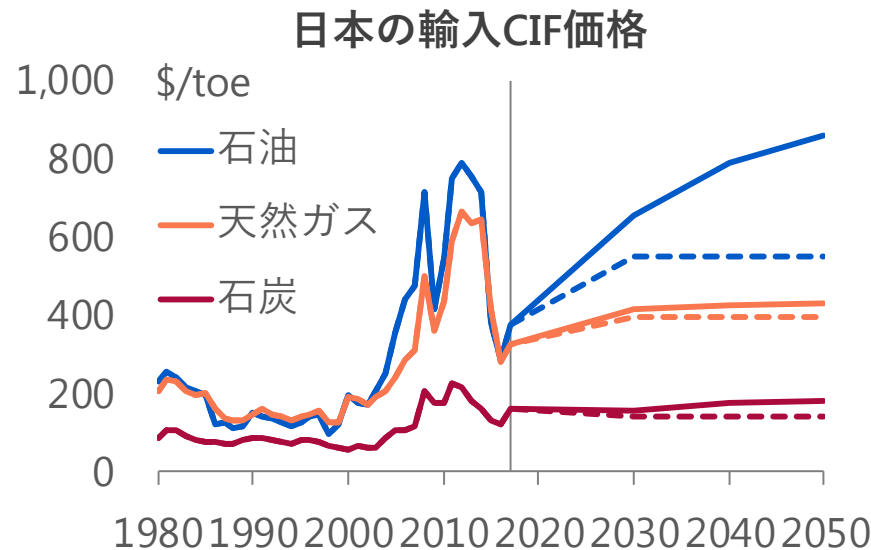
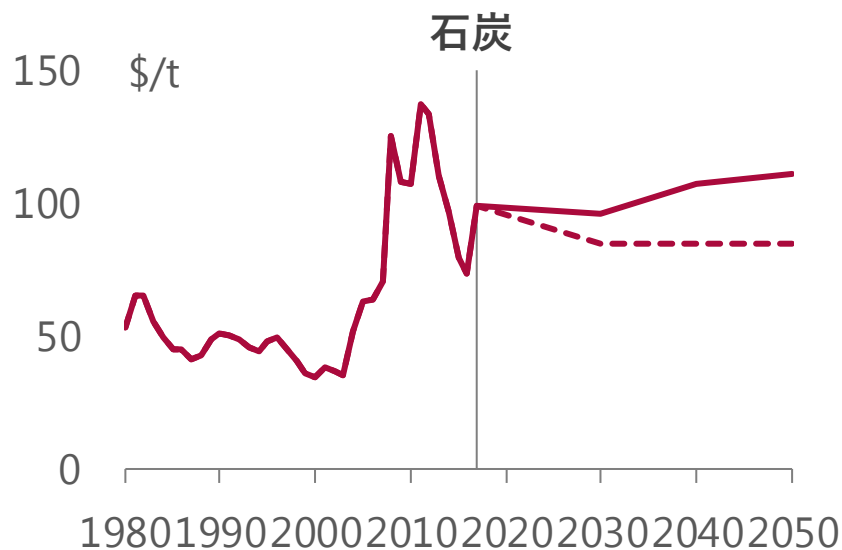
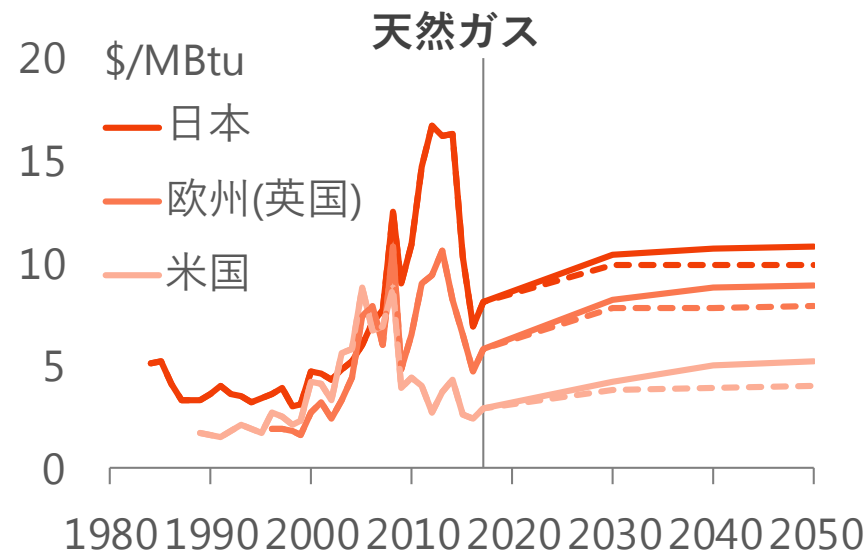
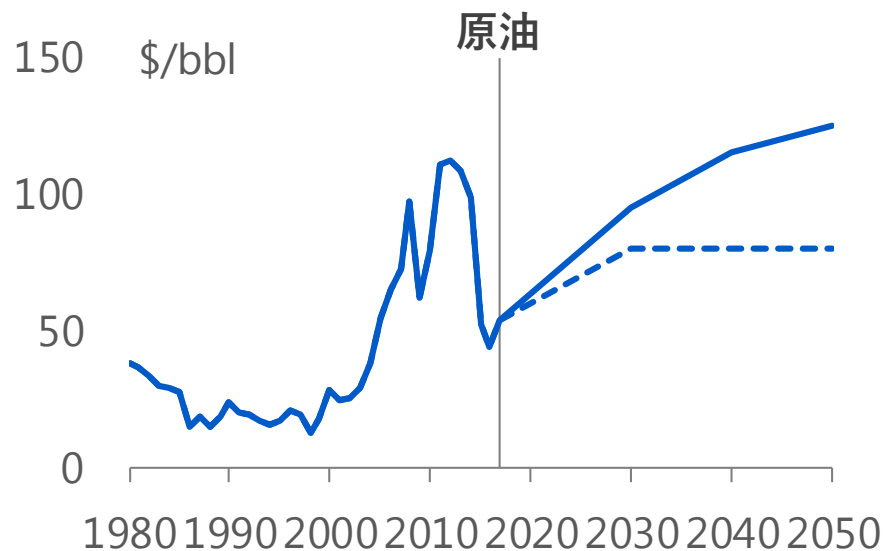
■ 日本 ■ 他アジア ■ 北米 ■ OECDヨーロッパ ■ 非OECDヨーロッパ ■ 中東 ■ オセアニア

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

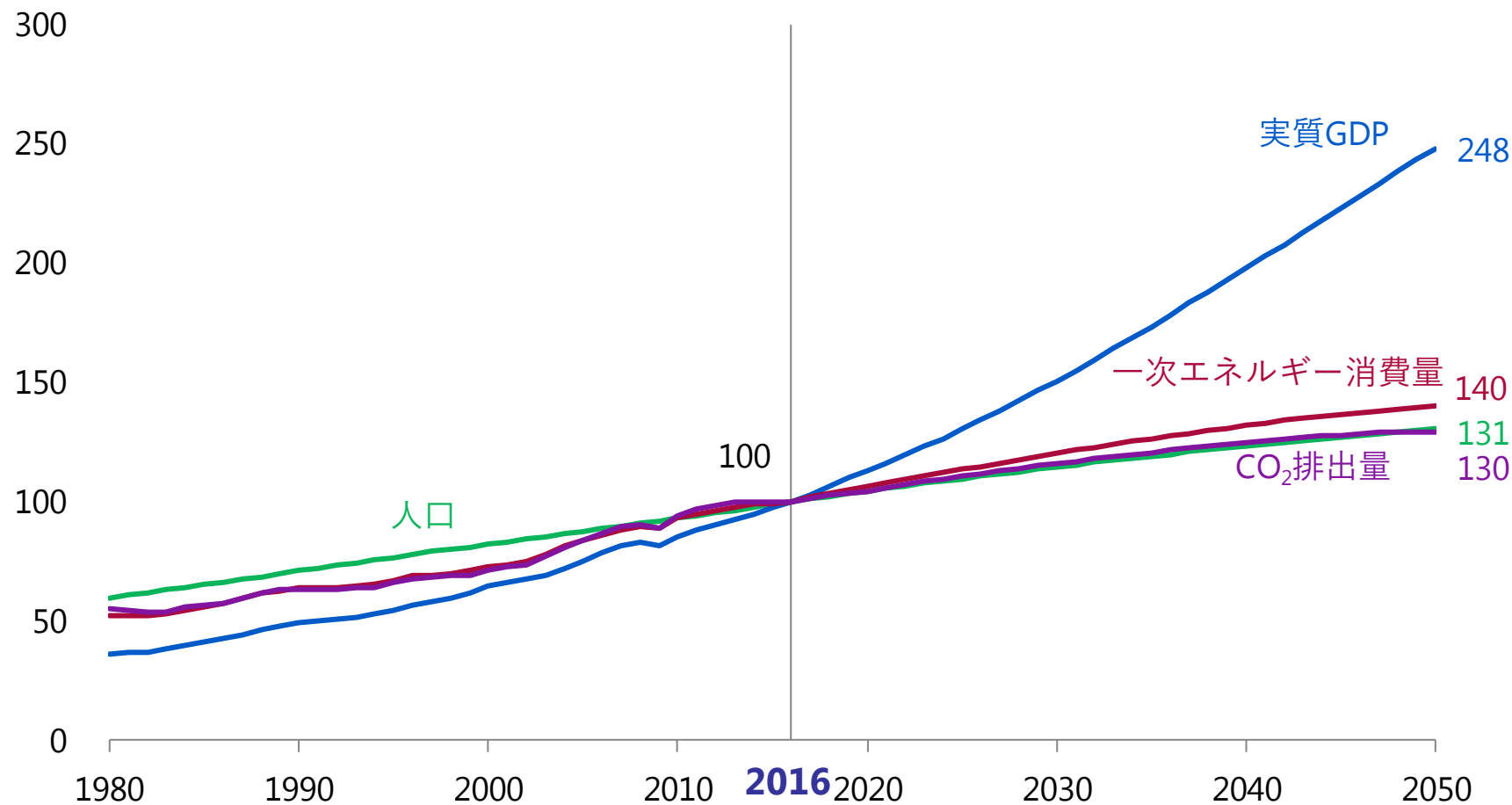


2050年までの 世界・アジアのエネルギー需給展望 レファレンスシナリオ

世界の人口、GDP、エネルギー消費、CO₂排出

レファレンスシナリオ

2016=100

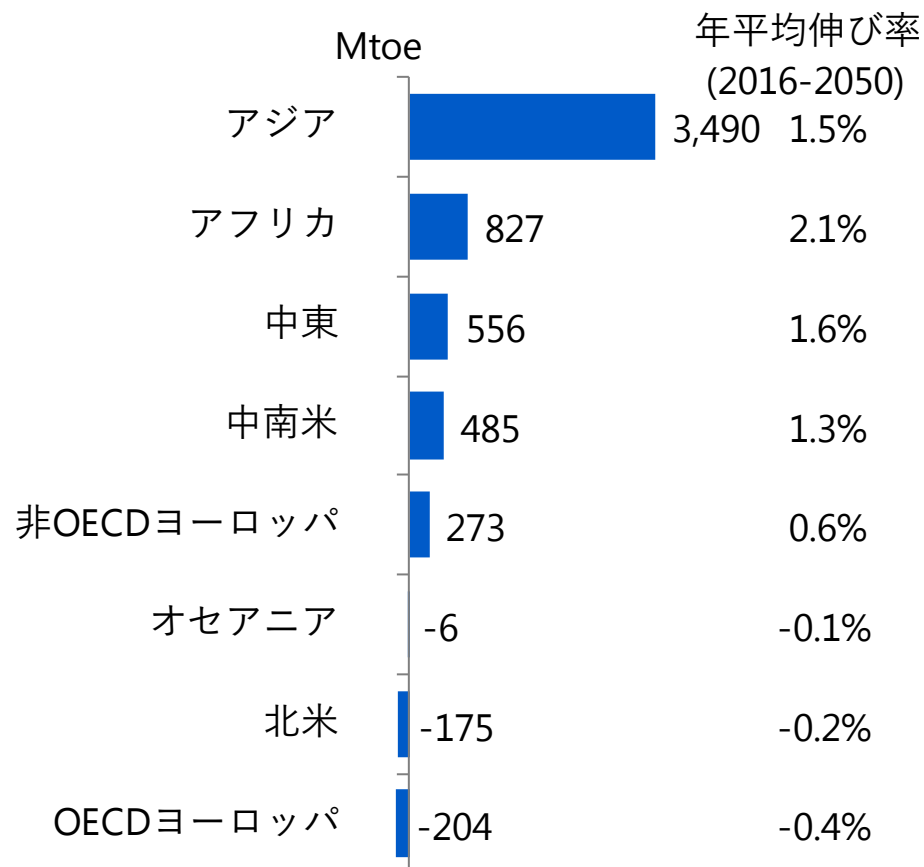
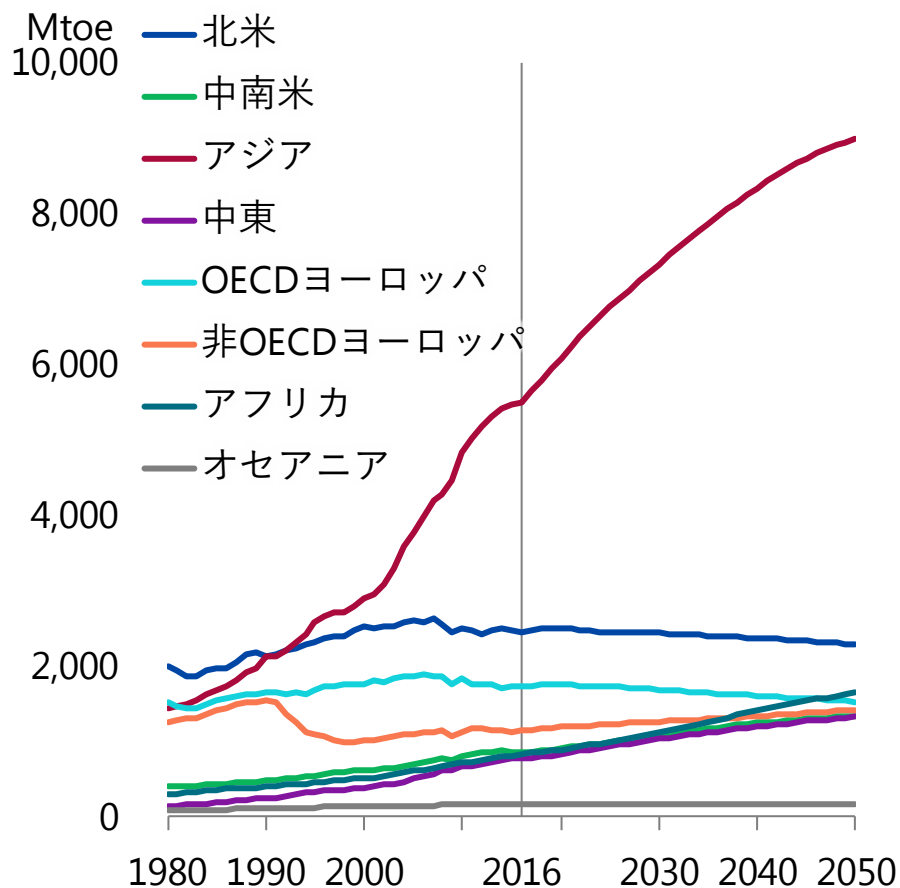


世界の一次エネルギー消費(地域別)

世界計

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

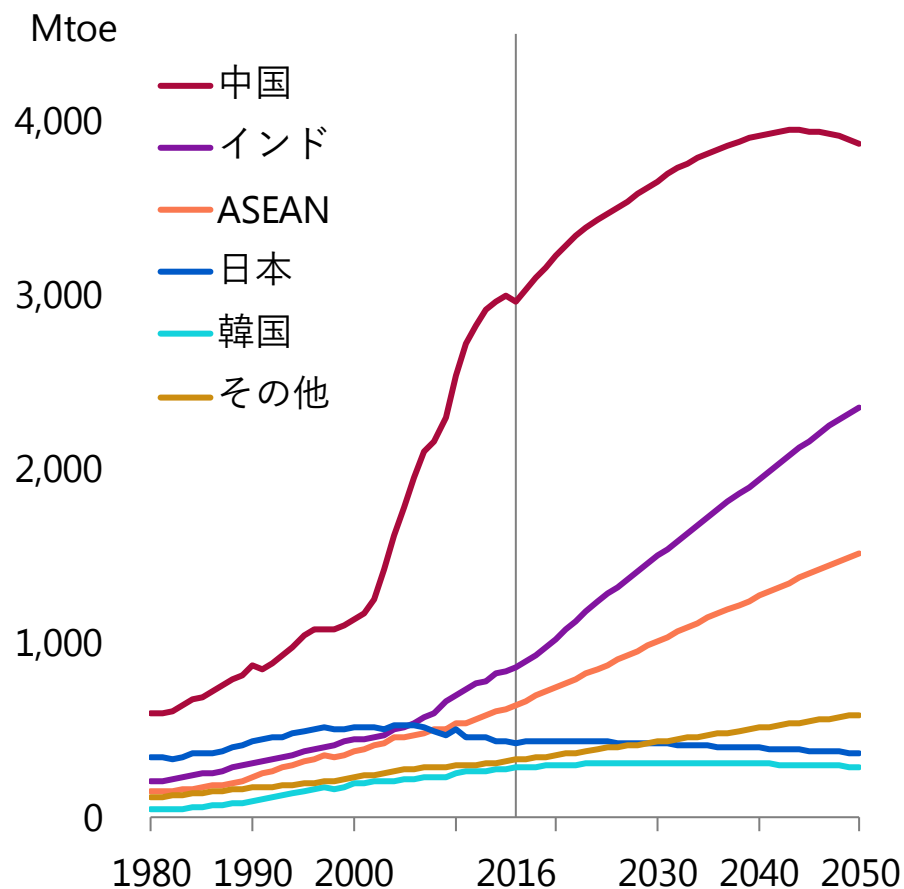
2016-2050年の増加分



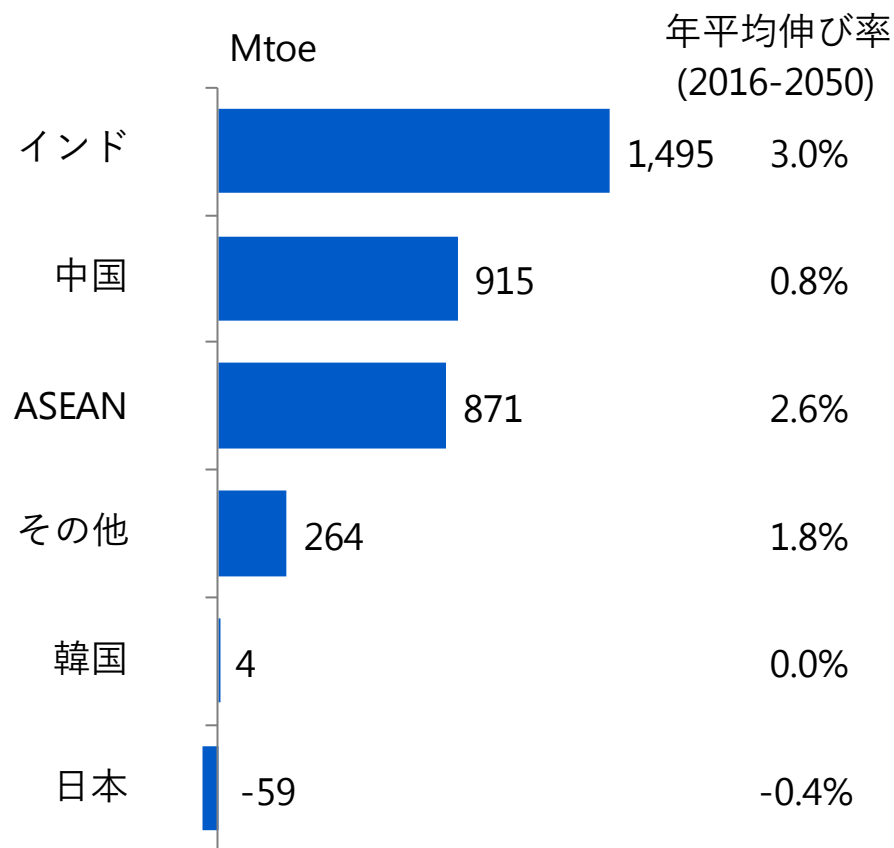
アジアの一次エネルギー消費(国・地域別)

アジア計

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



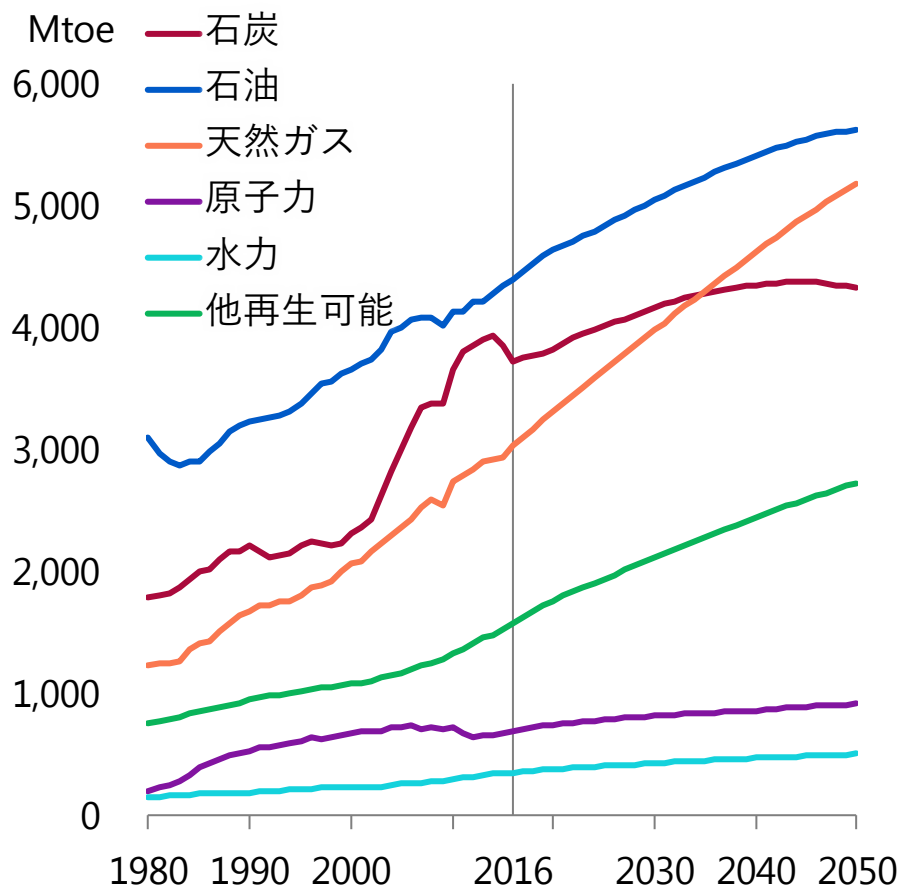
2016-2050年の増加分



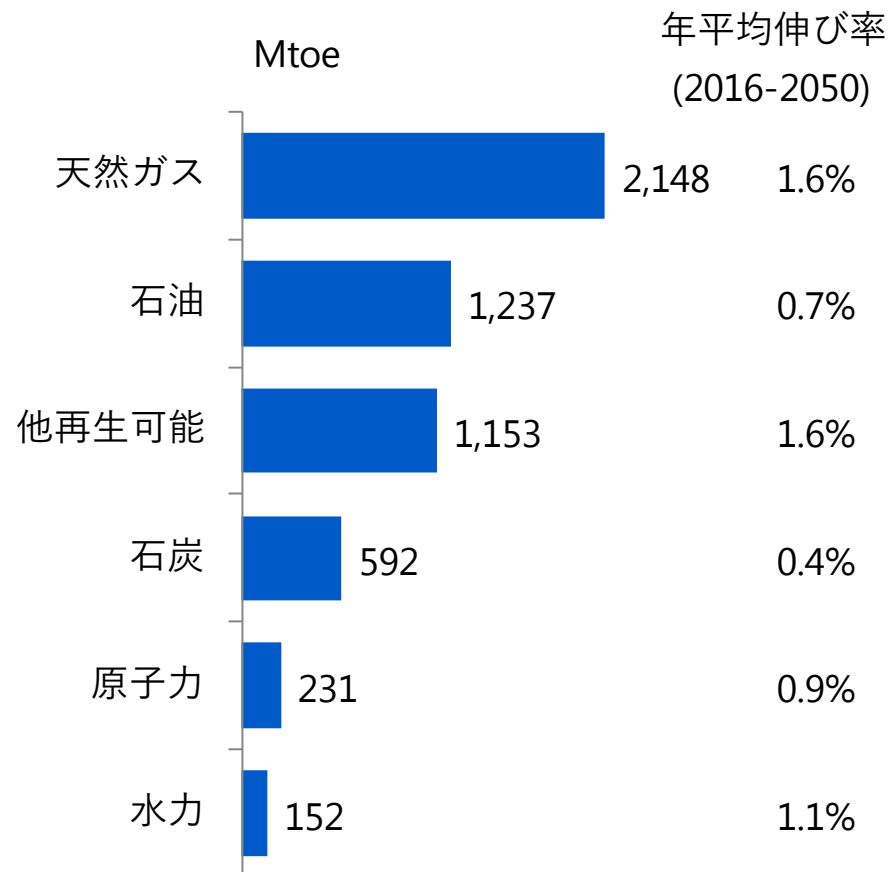
世界の一次エネルギー消費(エネルギー別)

世界計

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



2016-2050年の増加分



アジアの一次エネルギー消費(エネルギー別)

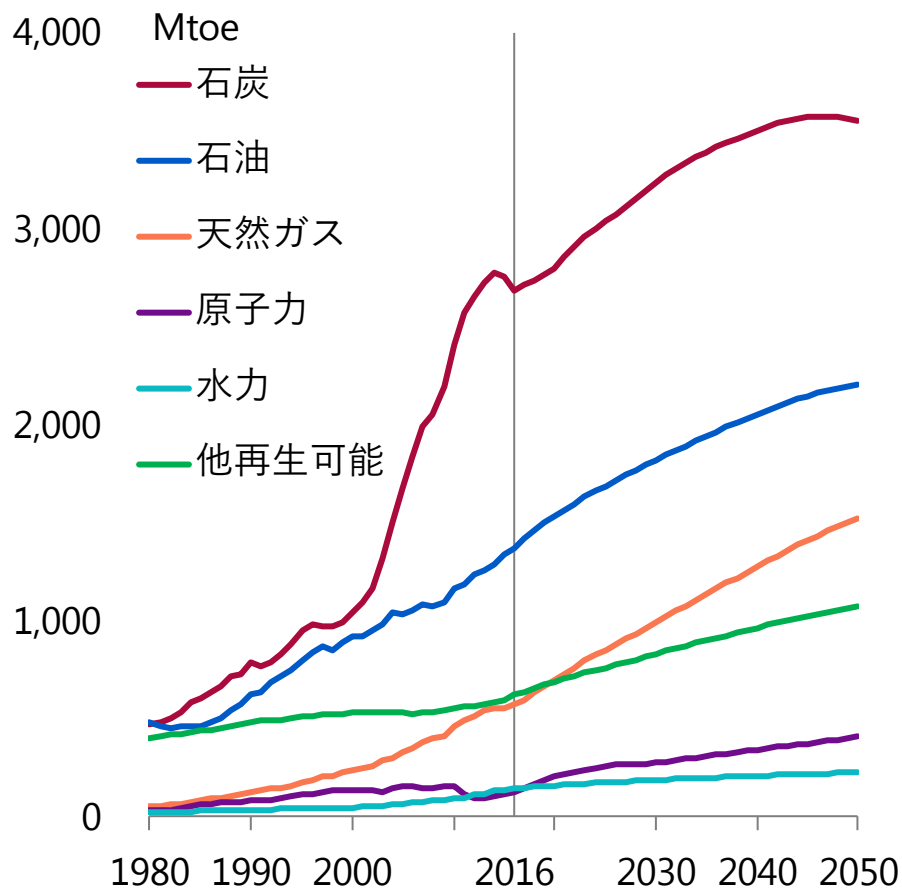
レファレンスシナリオ

アジア計

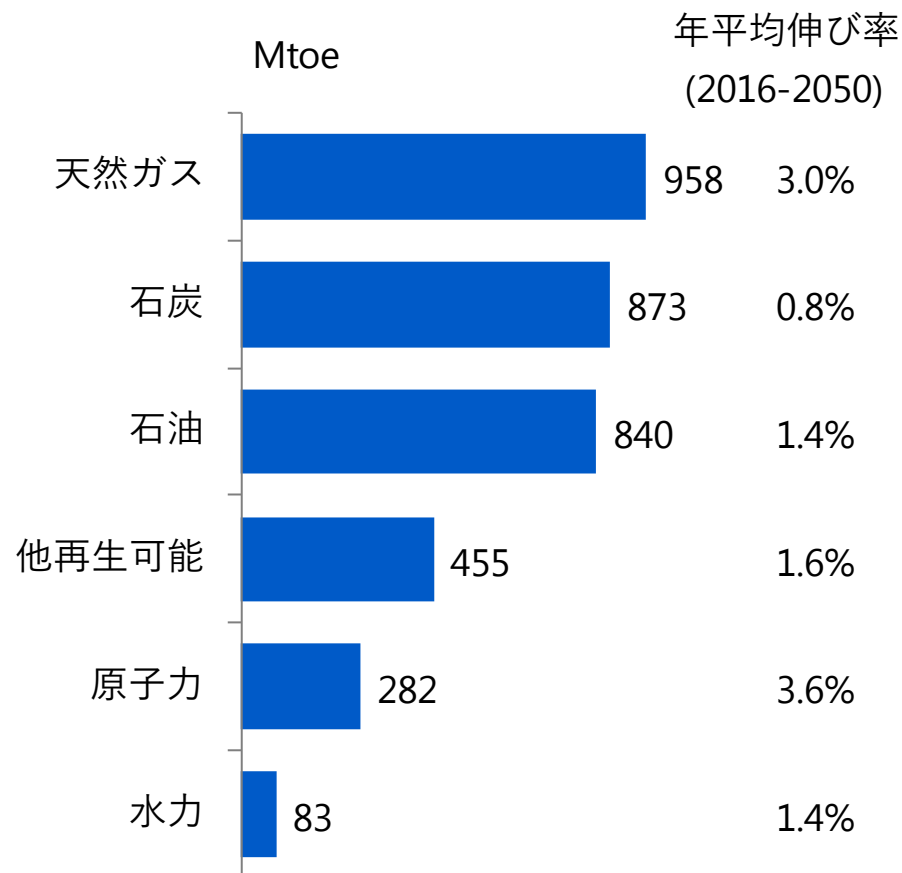
2016
5.5 Gtoe

→
(1.6倍に増加)

2050
9.0 Gtoe



2016-2050年の増加分

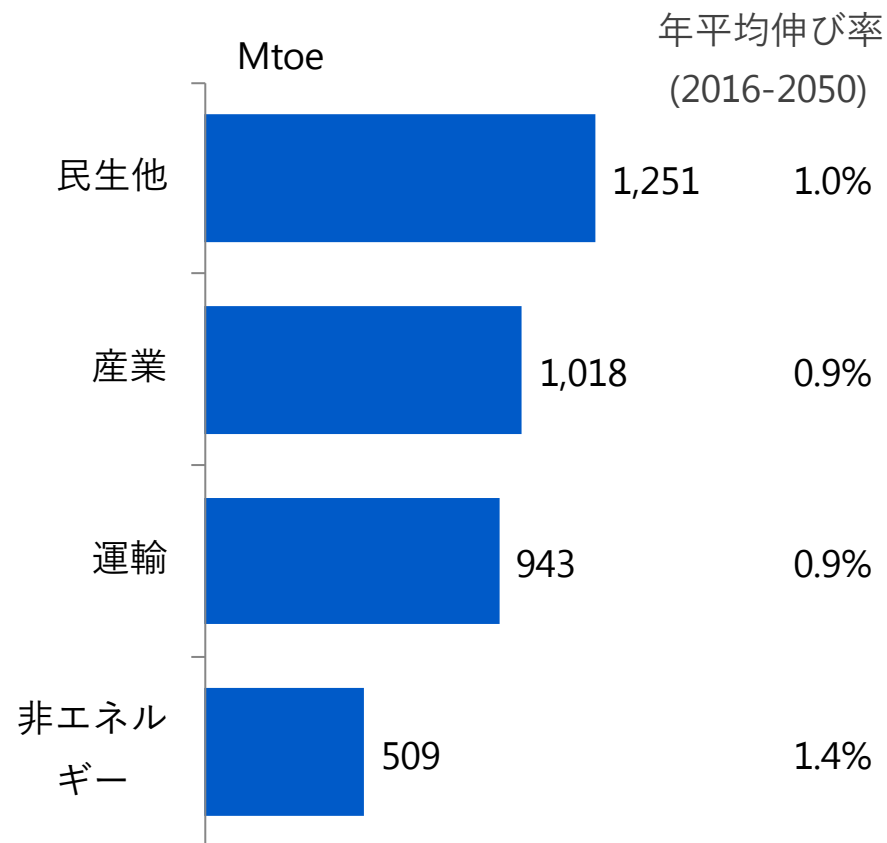
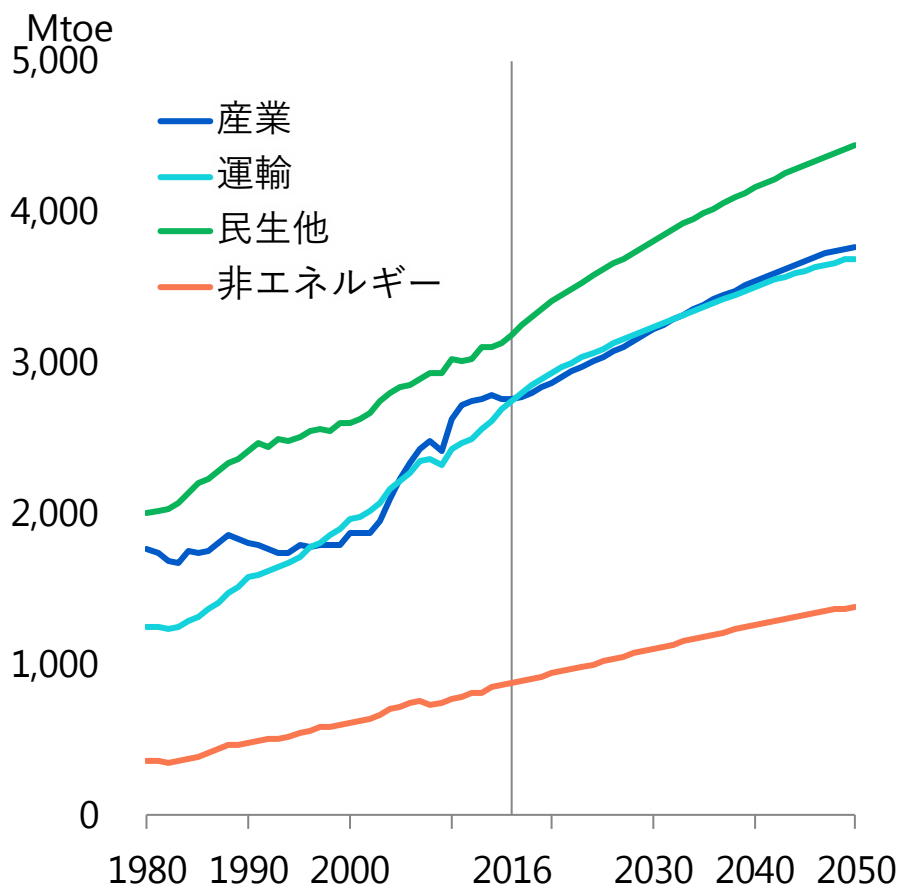


世界の最終エネルギー消費(部門別)

世界計

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

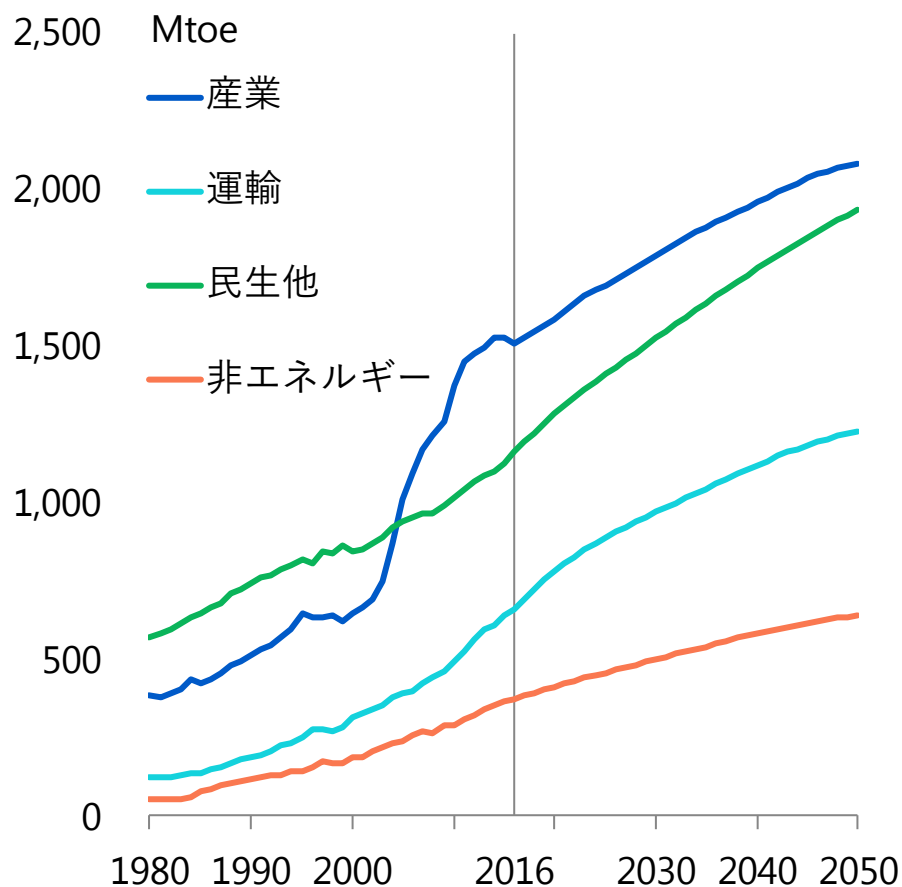
2016-2050年の増加分



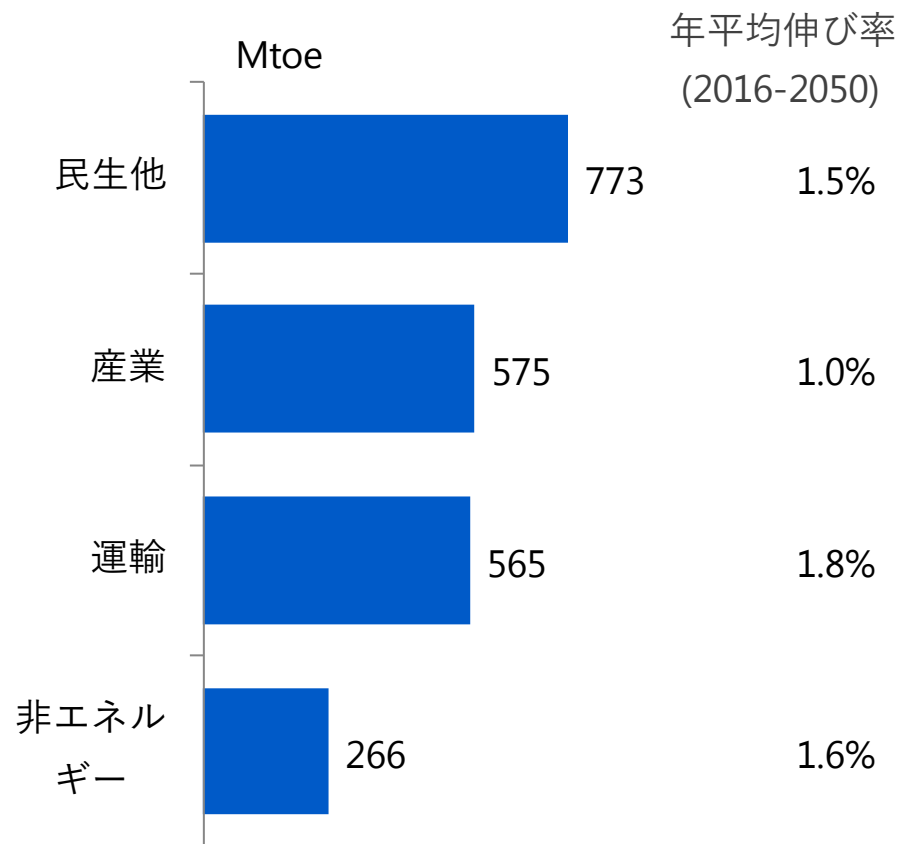
アジアの最終エネルギー消費(部門別)

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



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

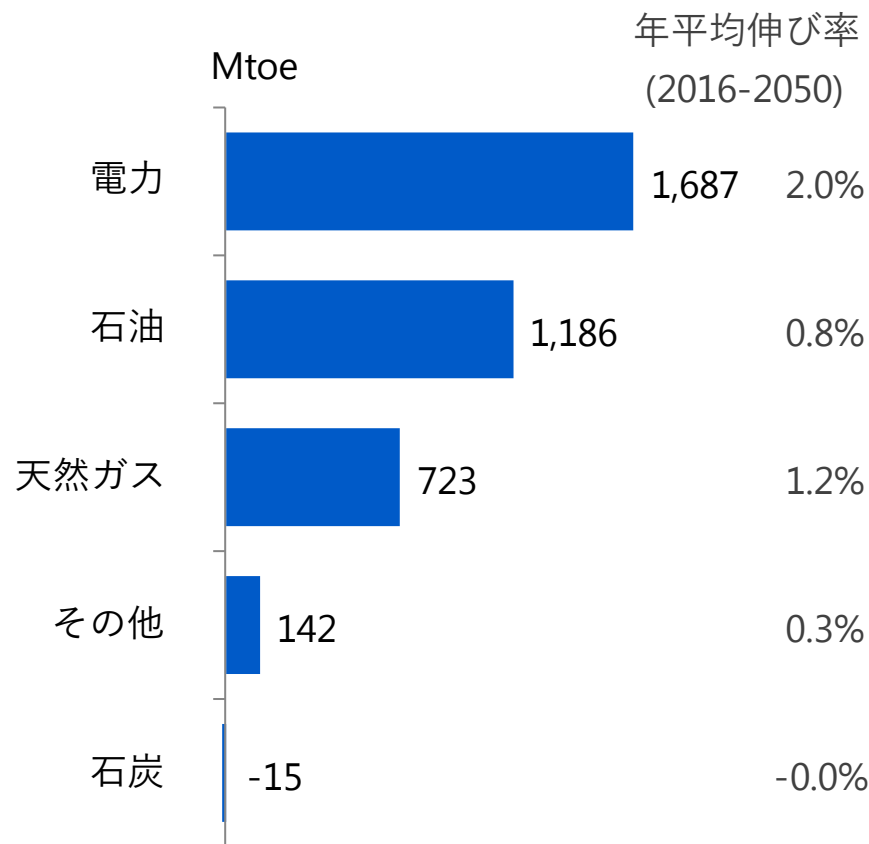
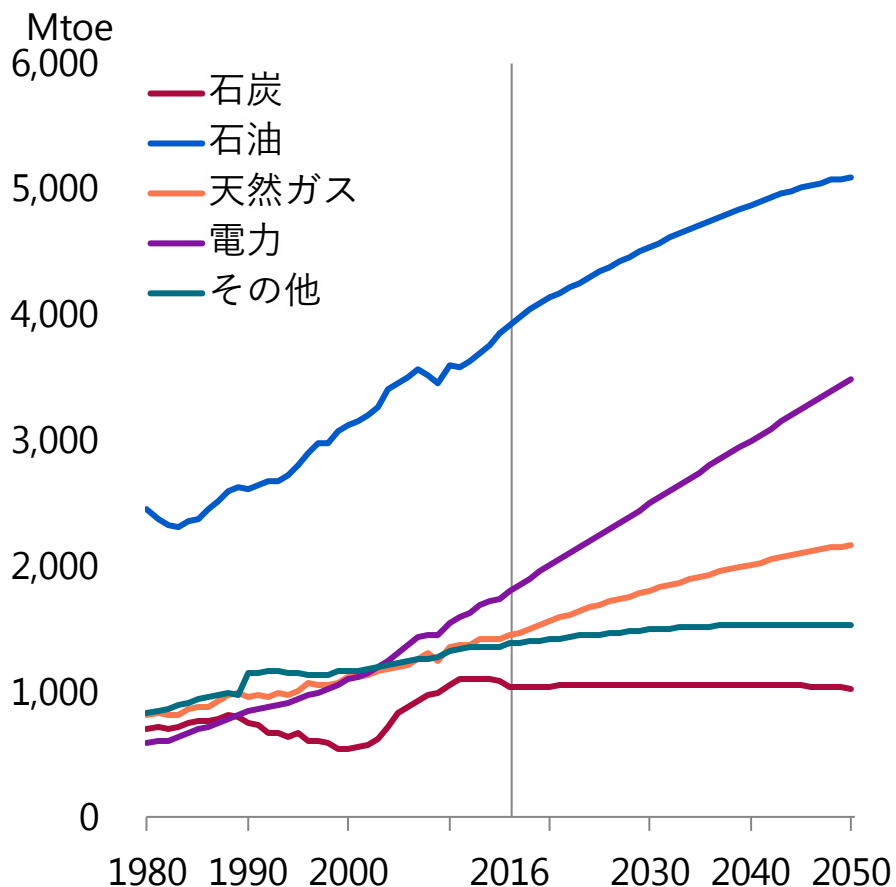
世界計

2016
9.6 Gtoe

→
(1.4倍に増加)

2050
13.3 Gtoe

2016-2050年の増加分



アジアの最終エネルギー消費(エネルギー別)

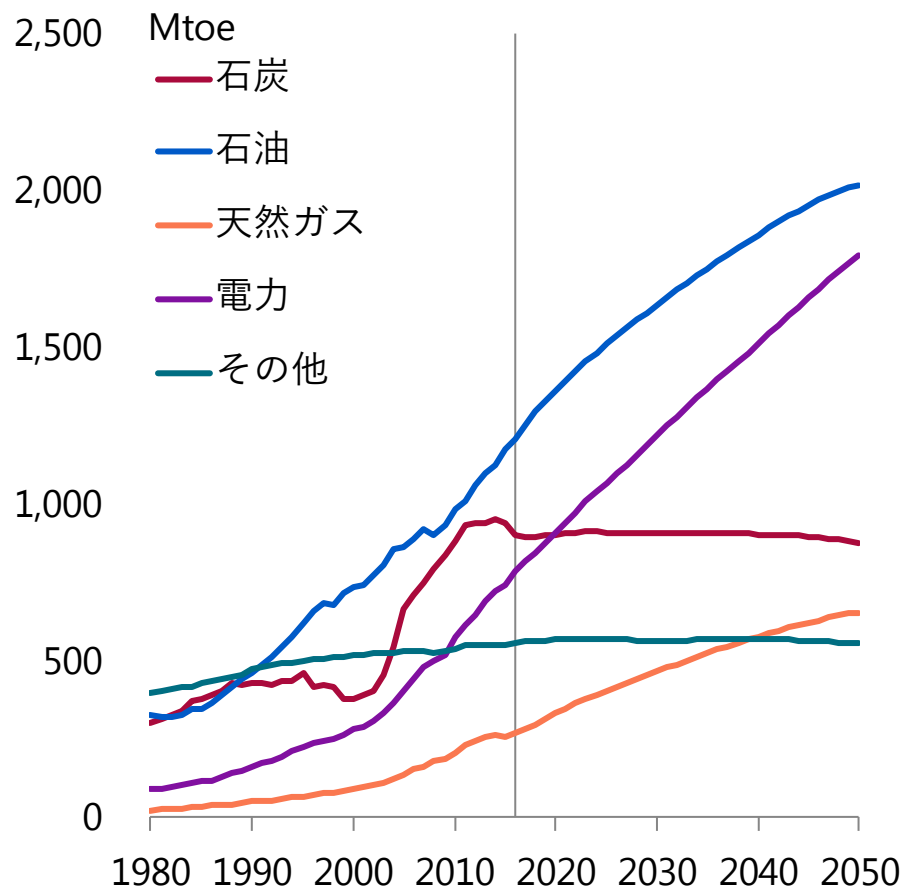
レファレンスシナリオ

アジア計

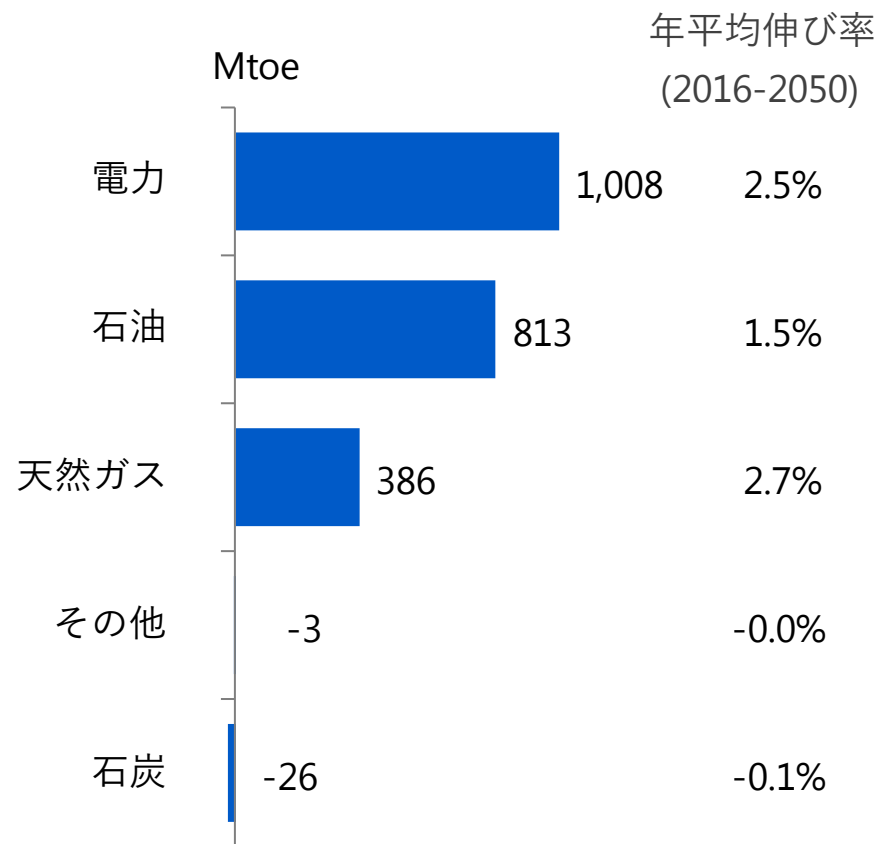
2016
3.7 Gtoe

→
(1.6倍に増加)

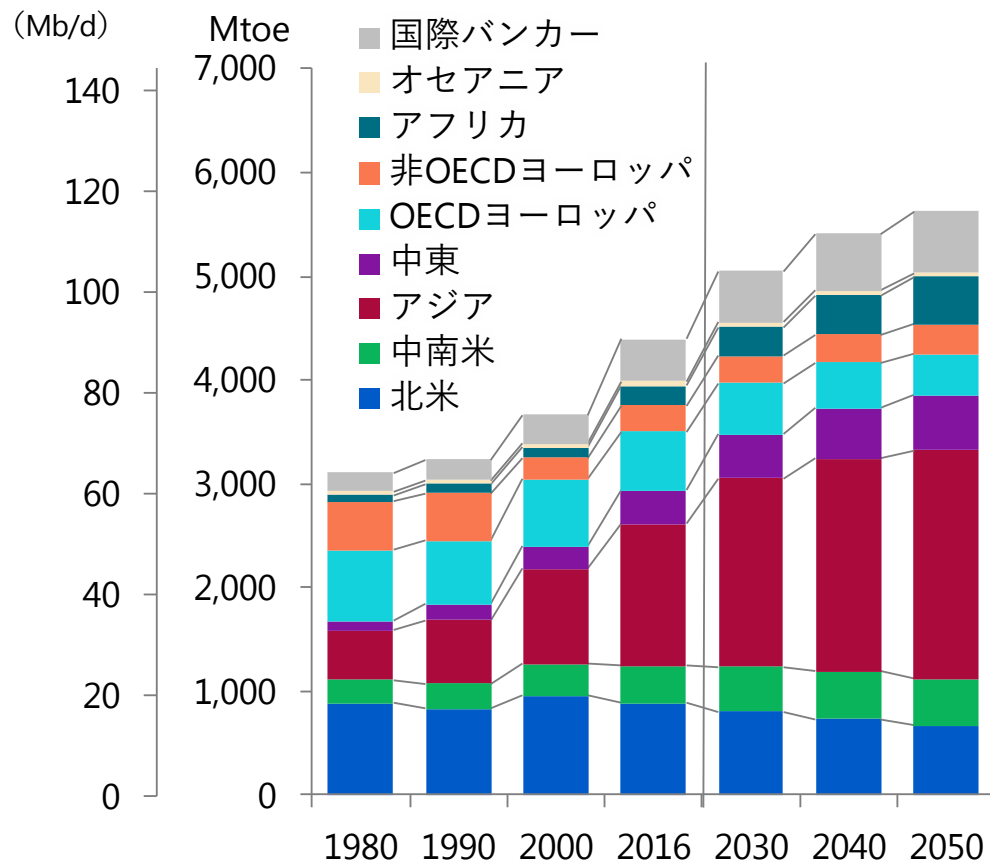
2050
5.9 Gtoe



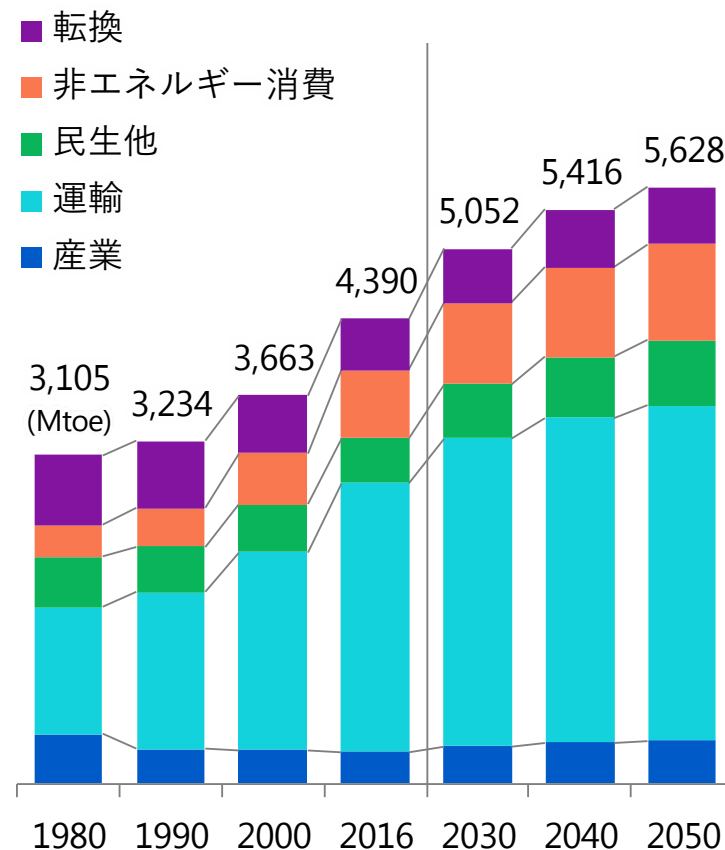
2016-2050年の増加分



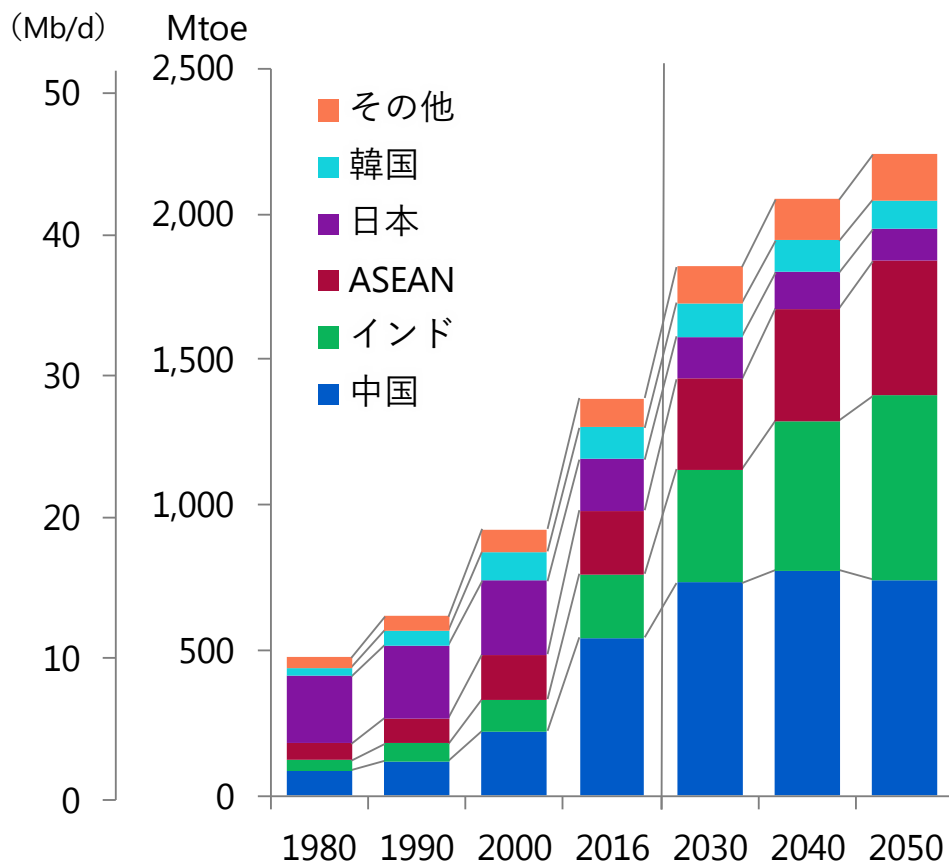
地域別



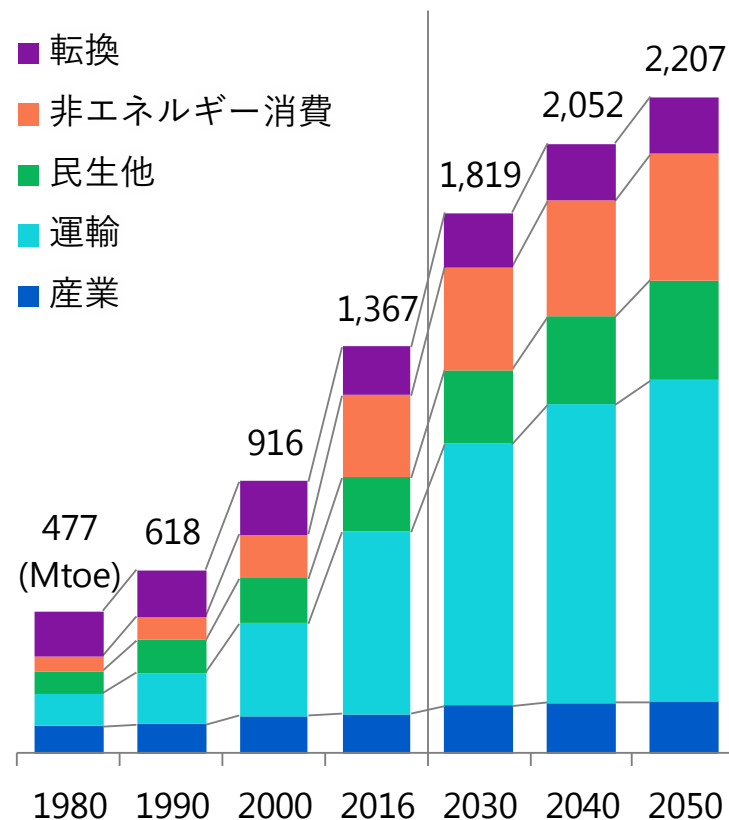
部門別

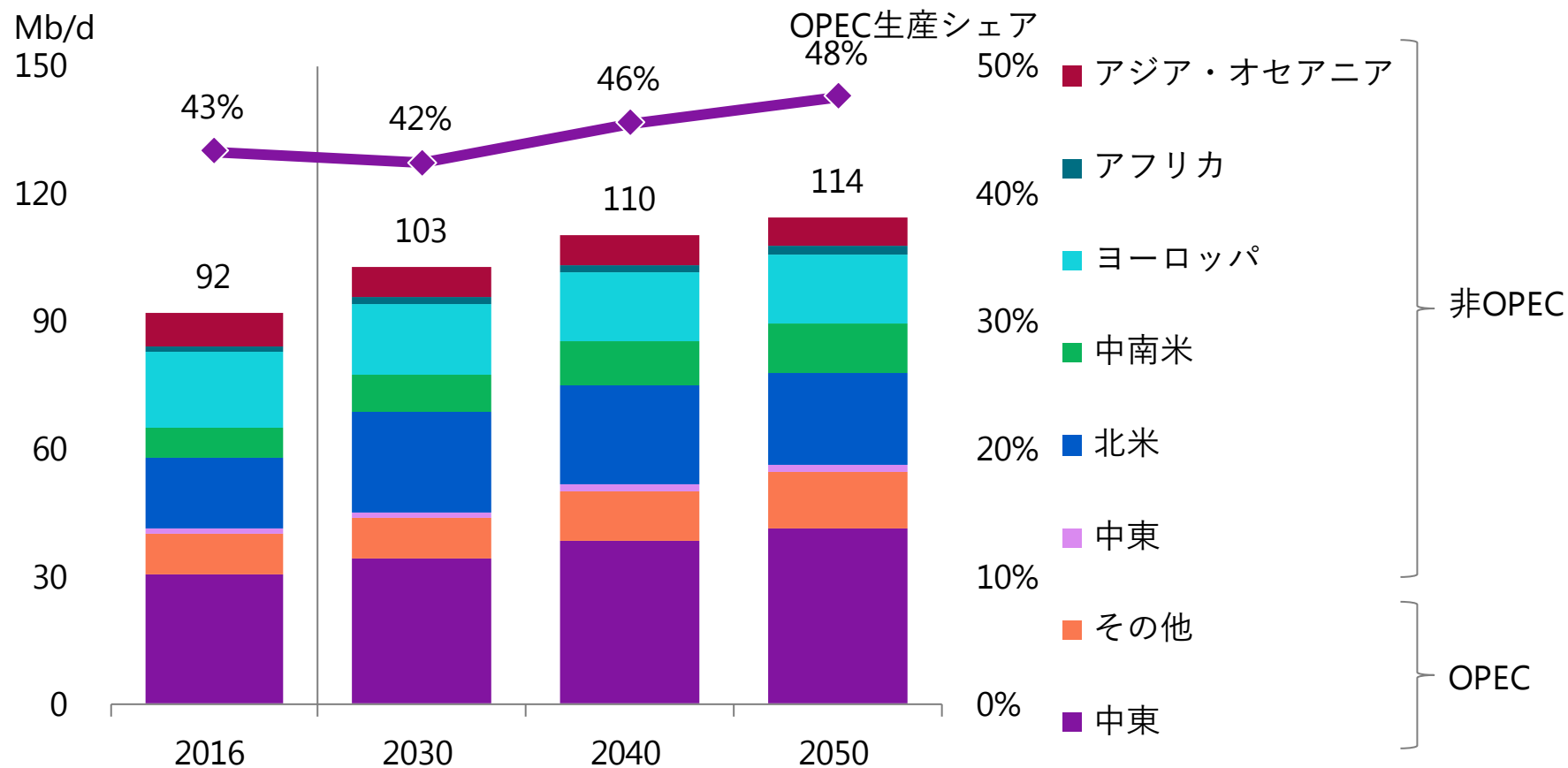


地域別

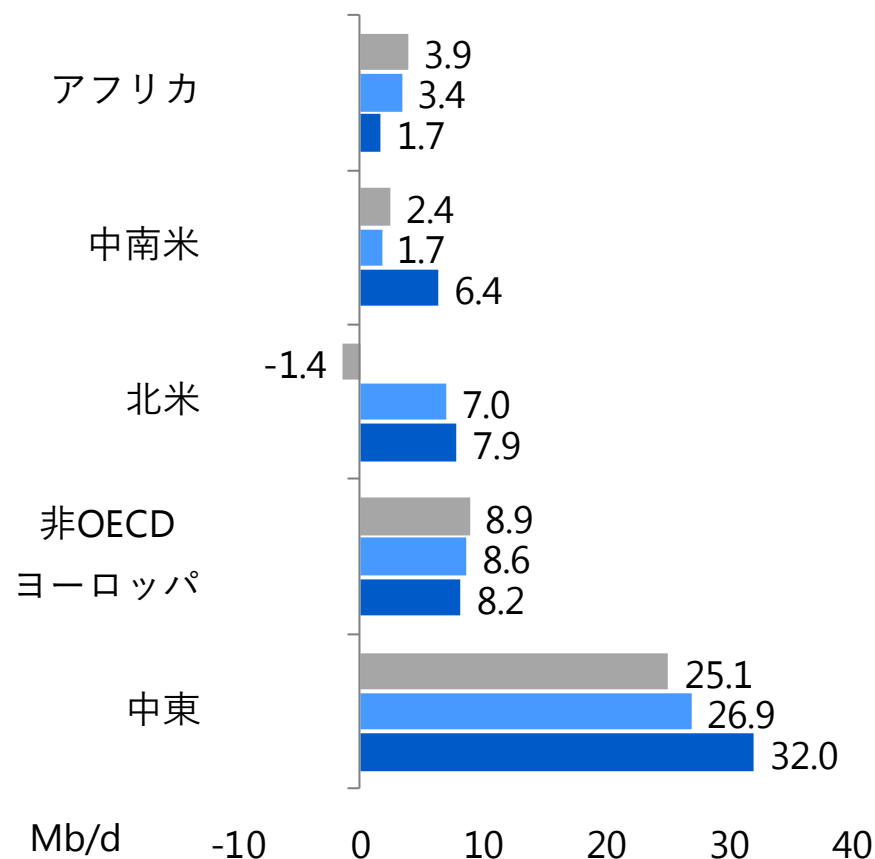


部門別

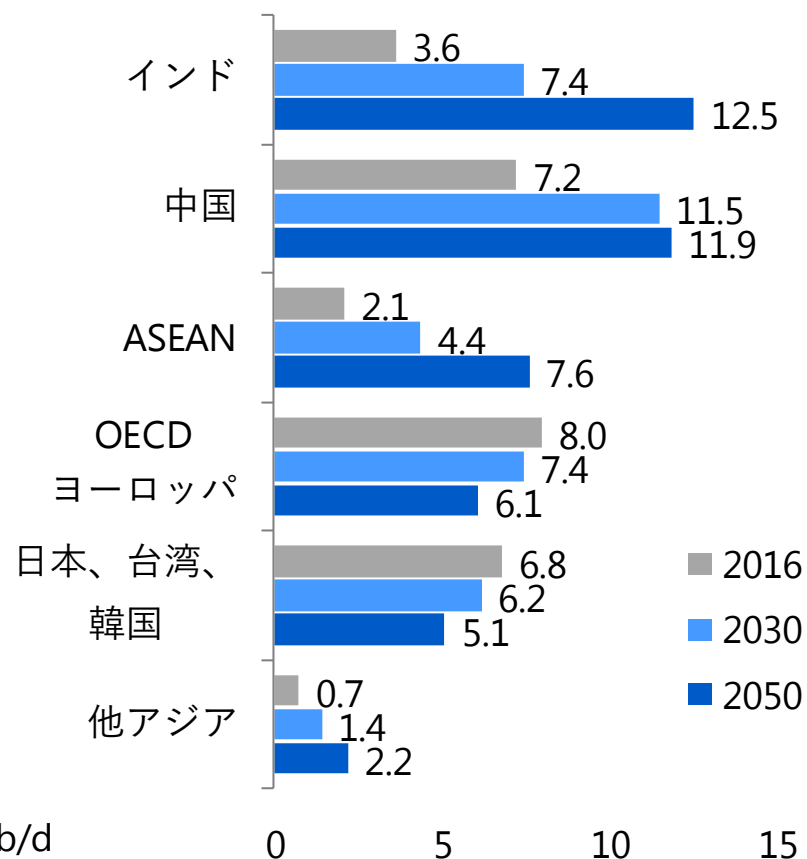




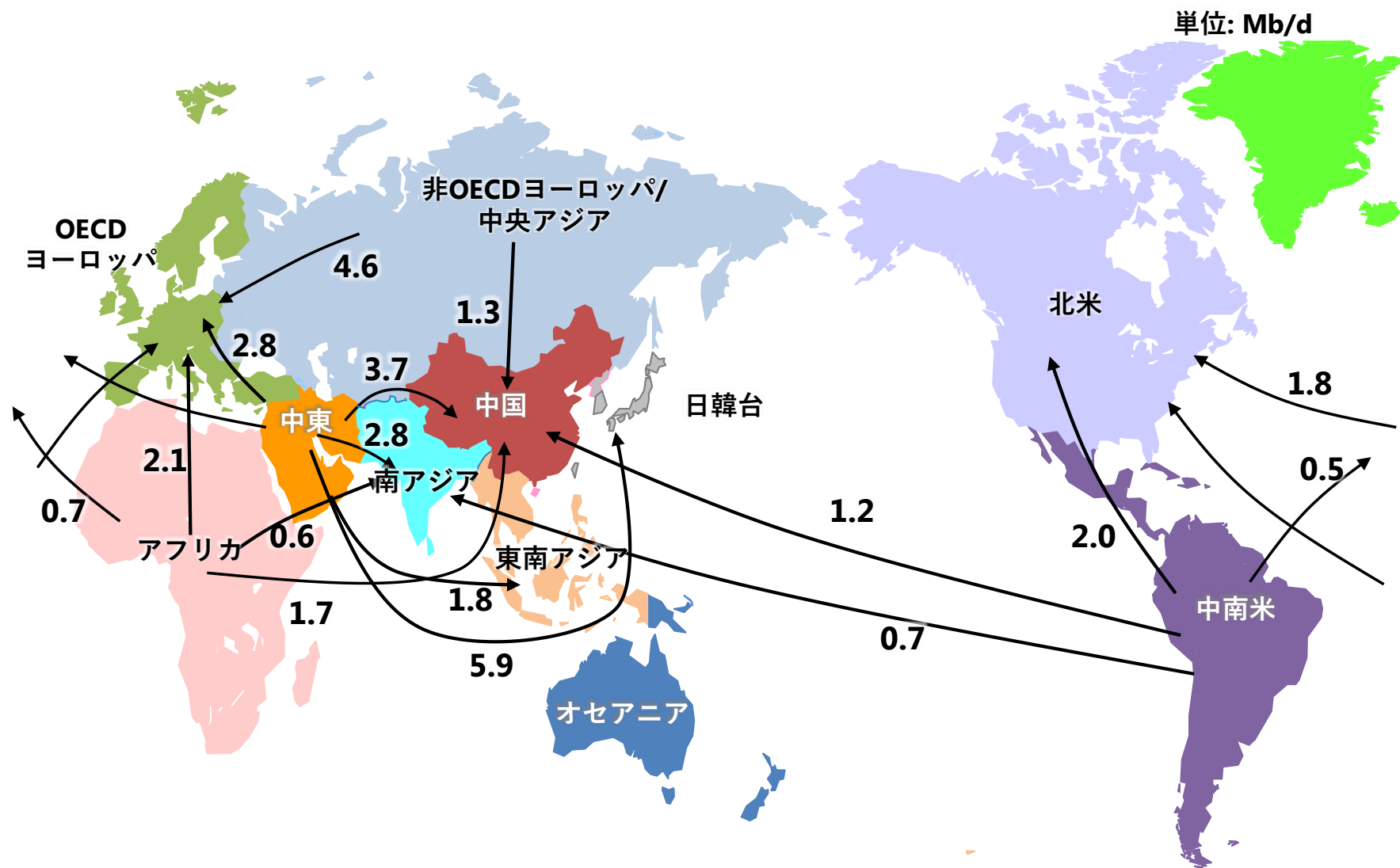
2050年純輸出地域純輸出量



2050年純輸入地域純輸入量

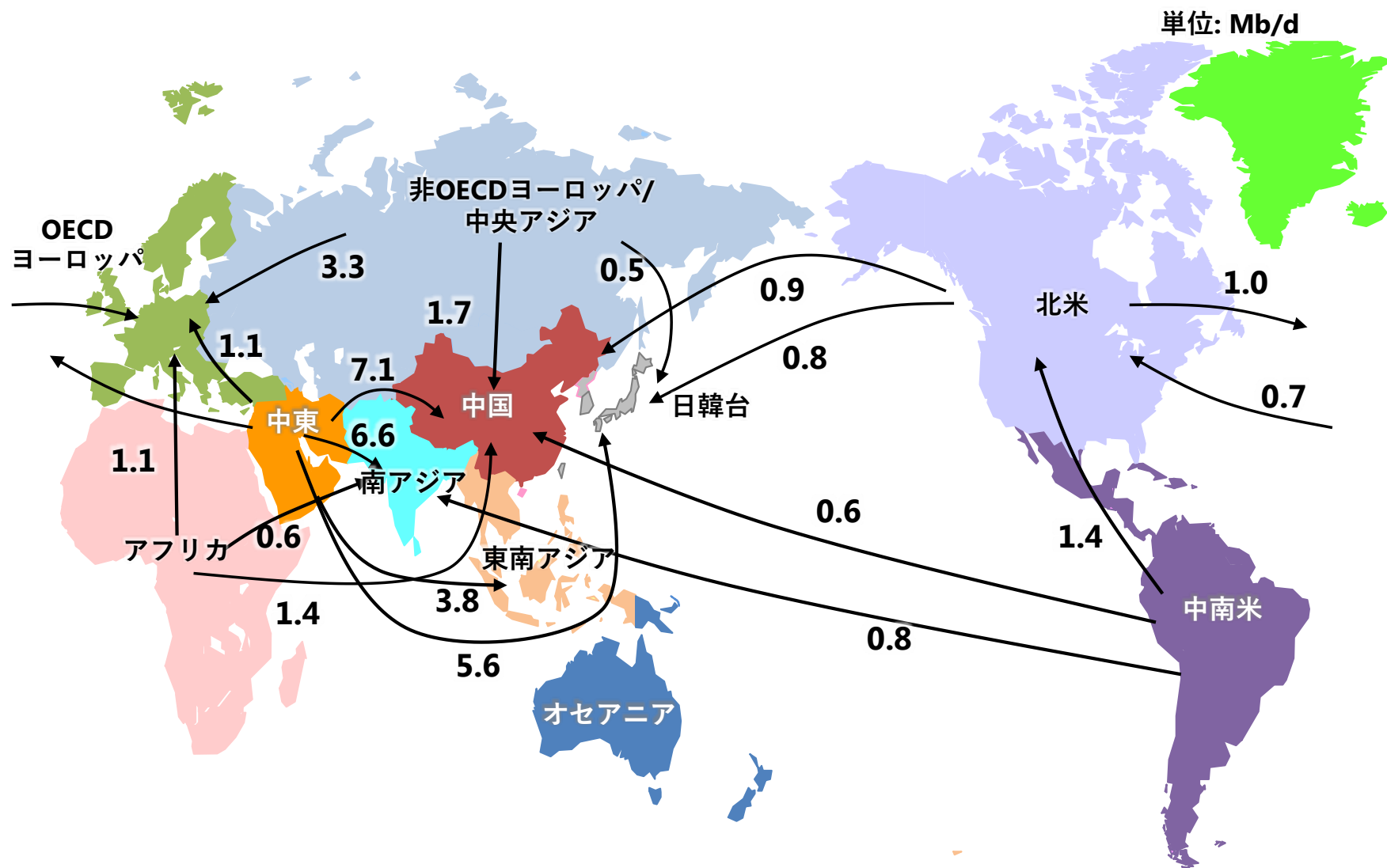


主要な原油貿易フロー(2017年)

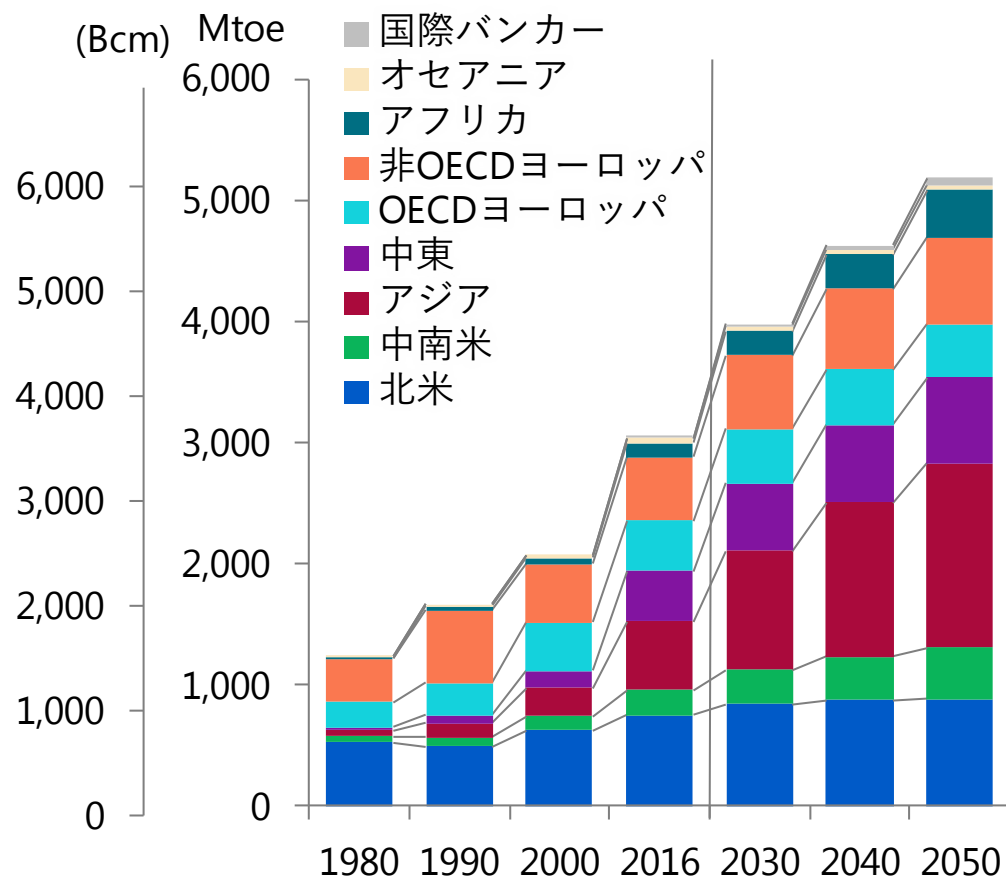


主要な原油貿易フロー(2030年)

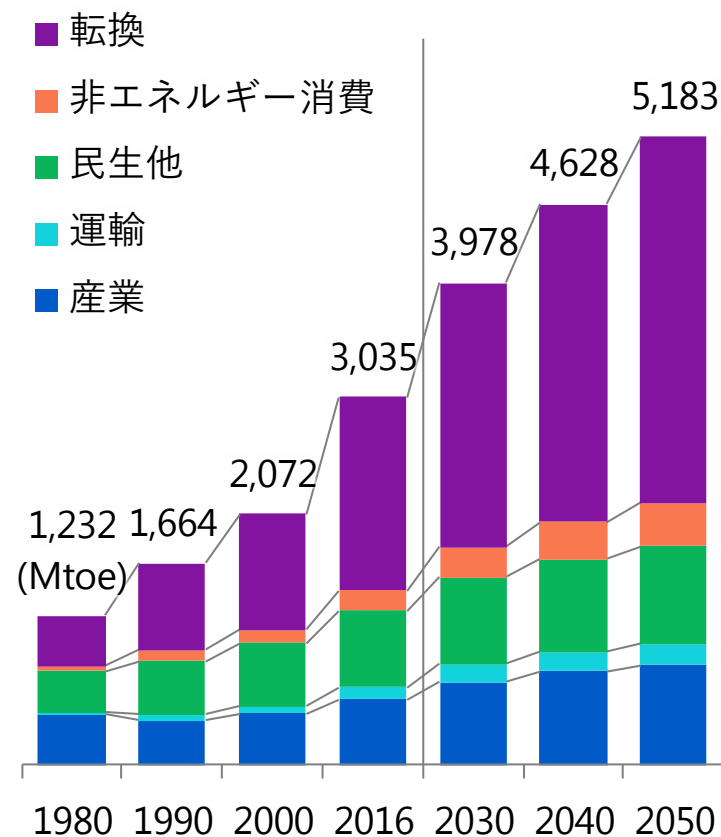
レファレンスシナリオ



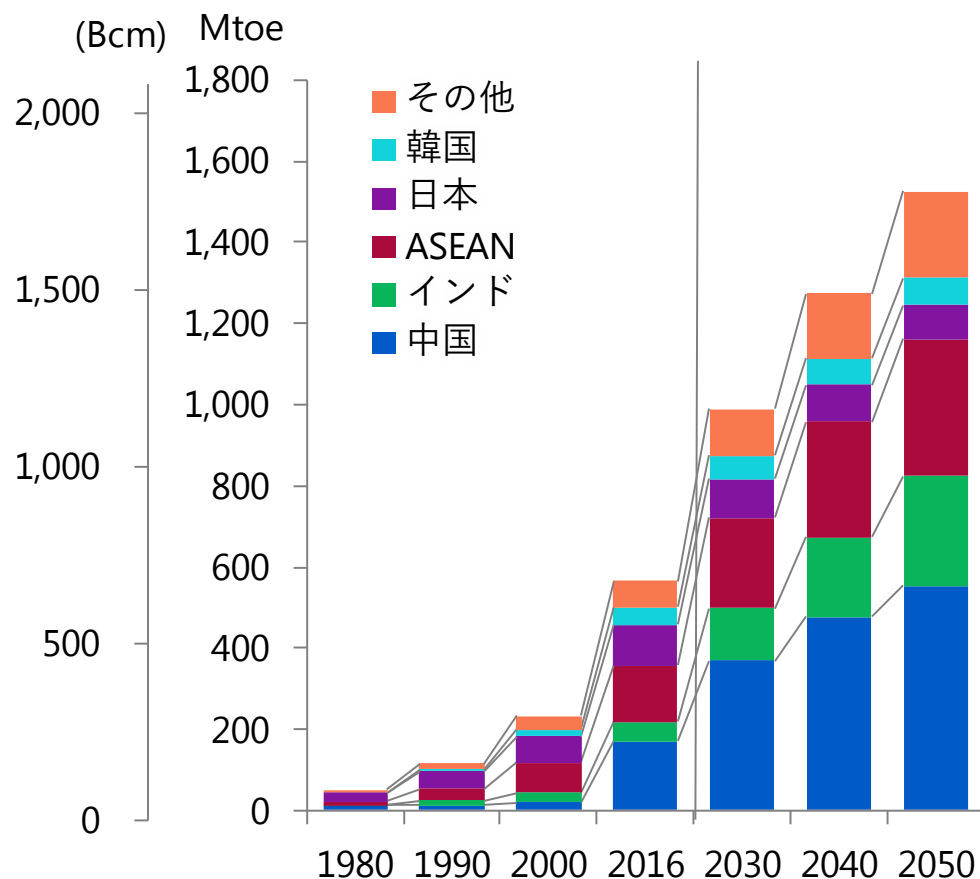
地域別



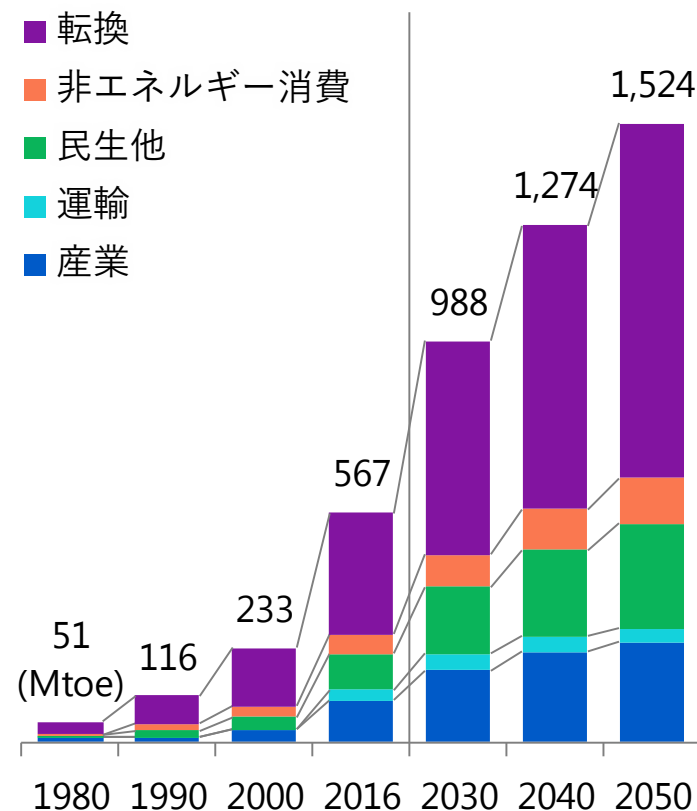
部門別

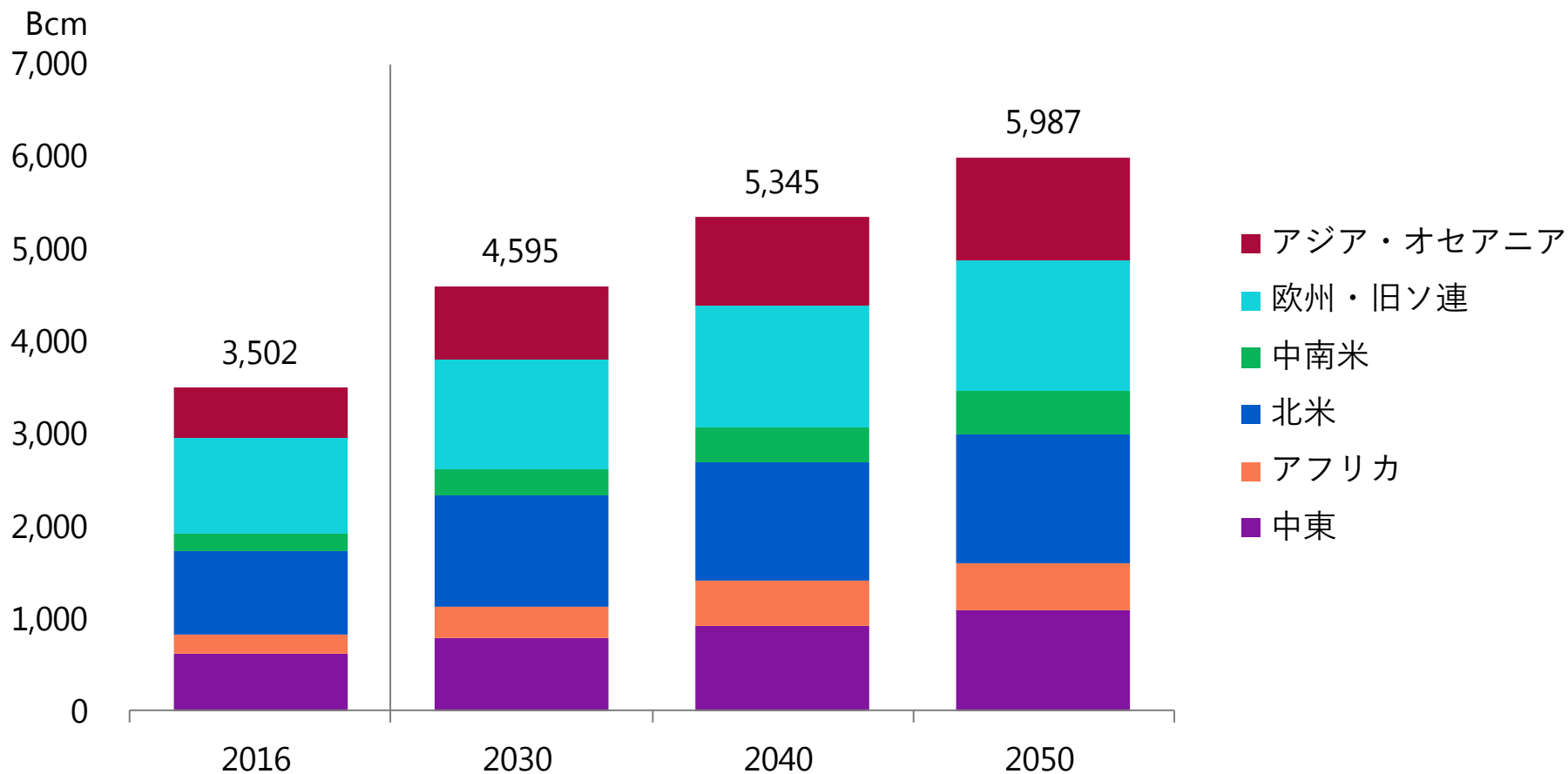


地域別

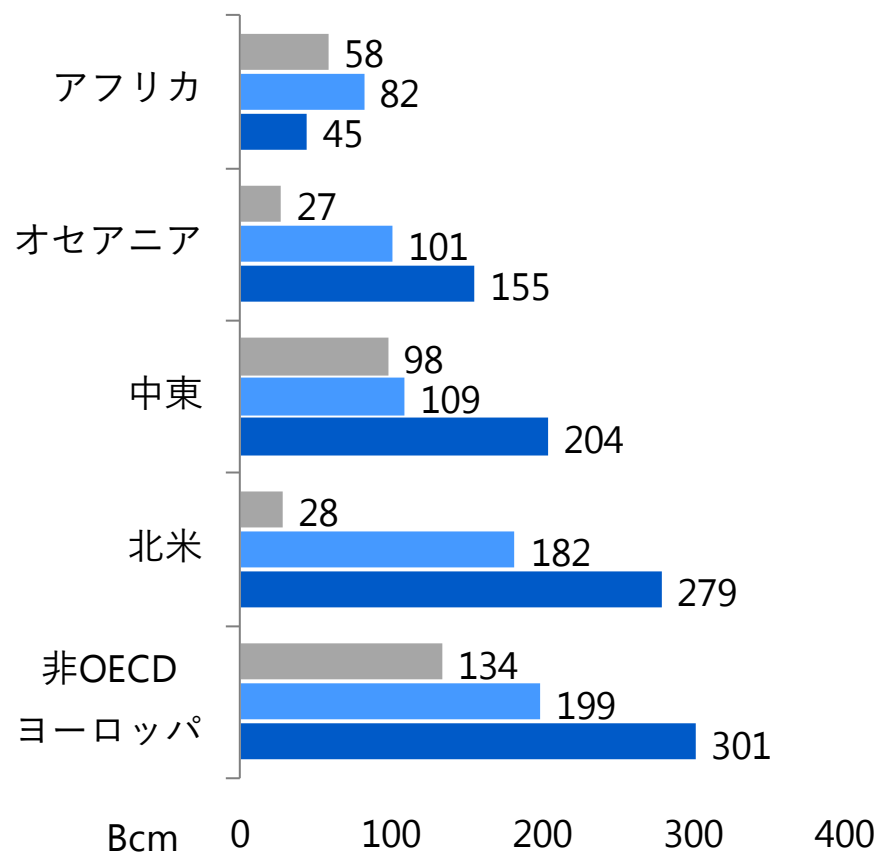


部門別

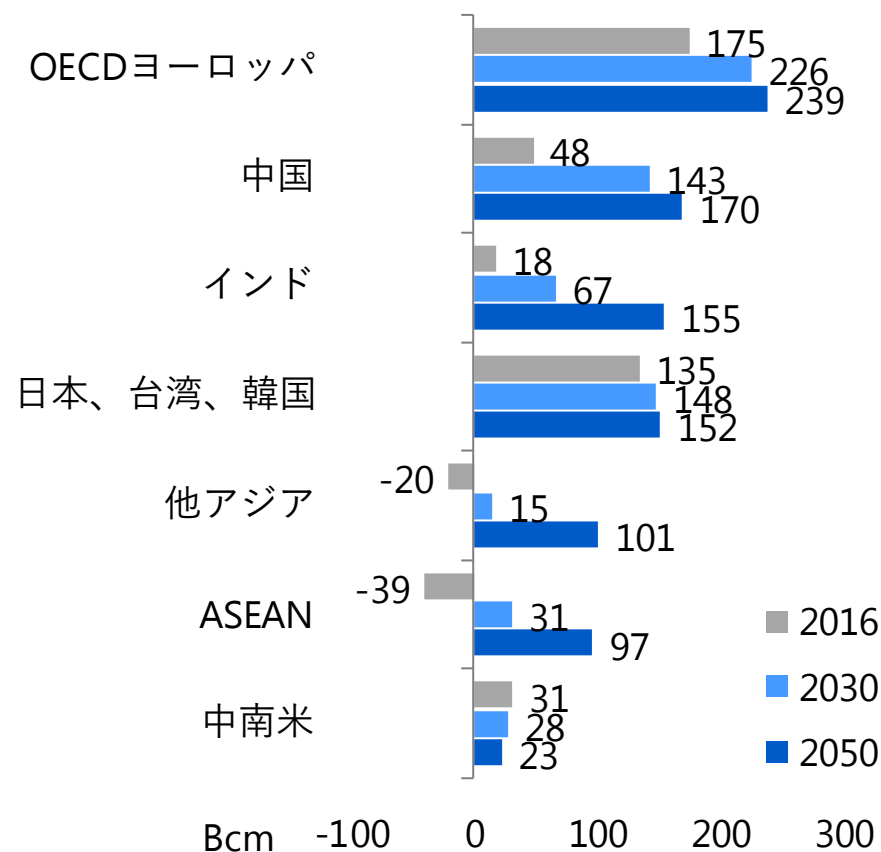




2050年純輸出地域の純輸出力

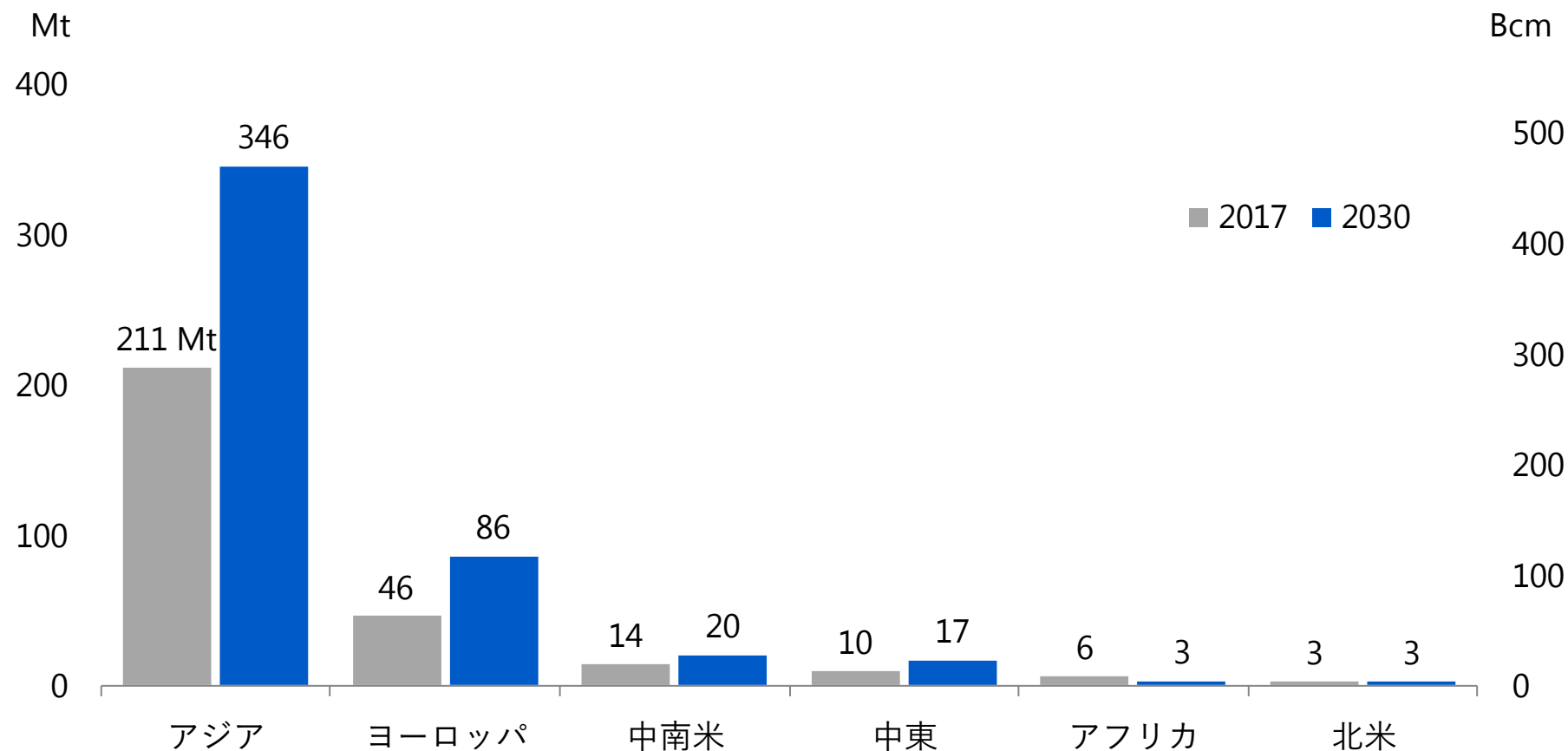


2050年純輸入地域の純輸入力



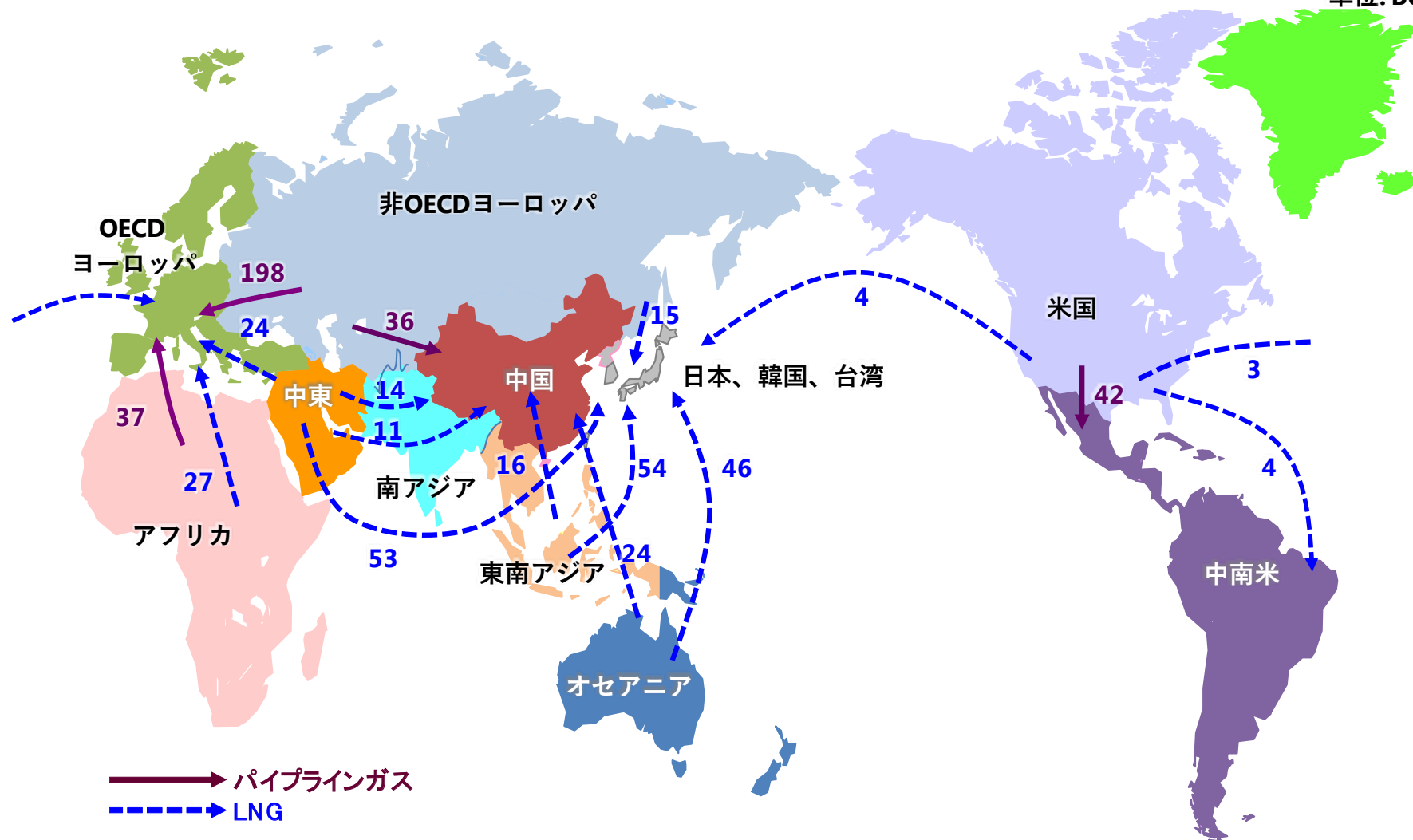
世界のLNG輸入量

レファレンスシナリオ



主要な天然ガス貿易フロー(2017年)

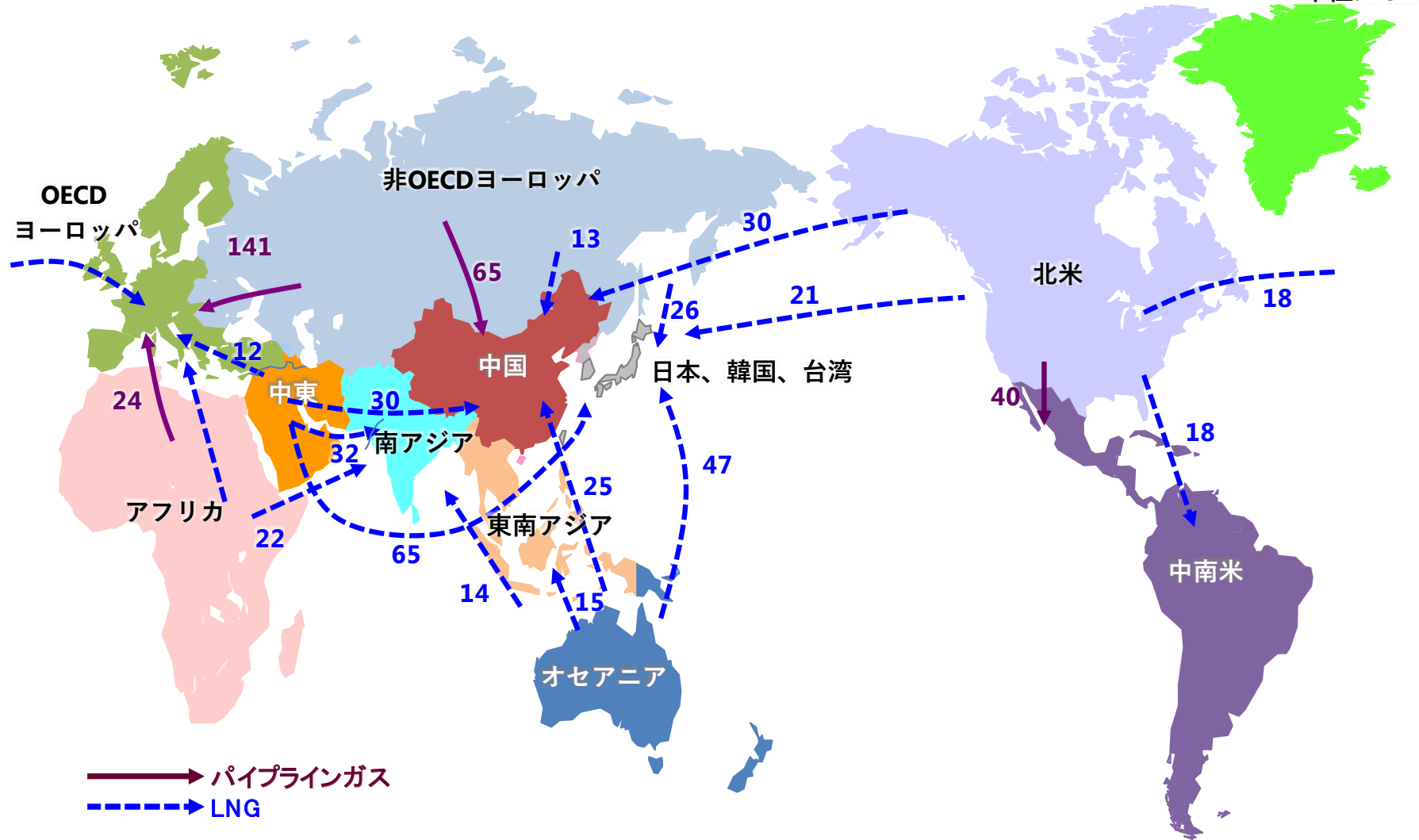
単位: Bcm



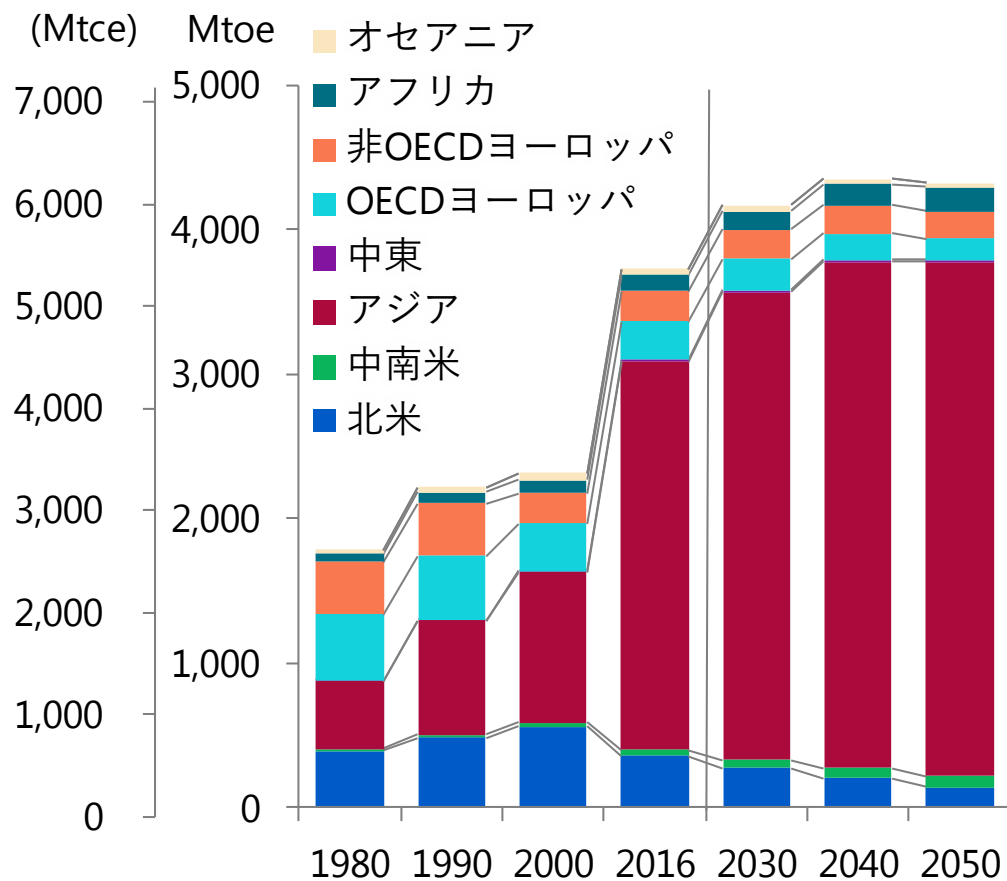
JFE
JAPAN

JAPAN

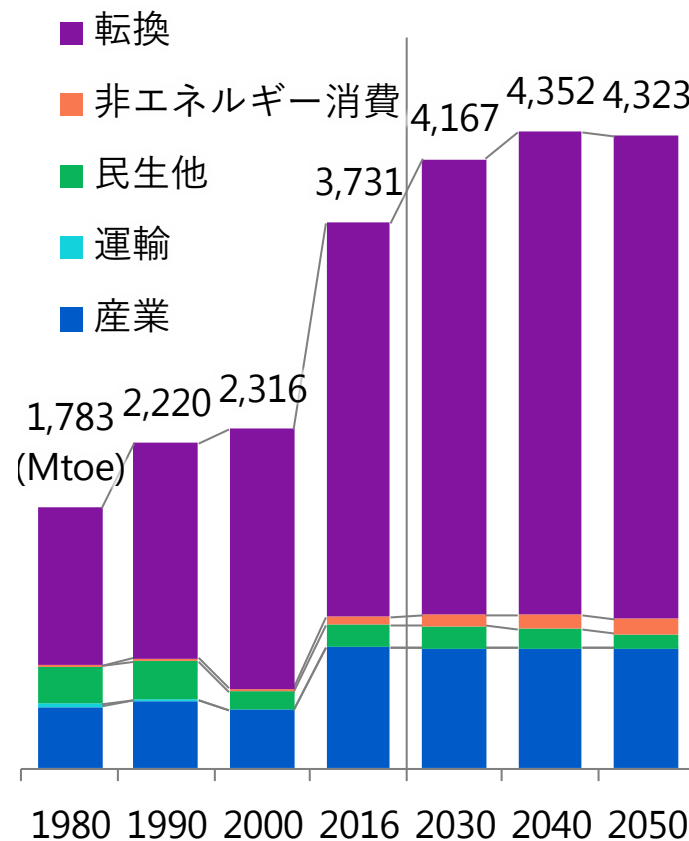
單位: Bcm



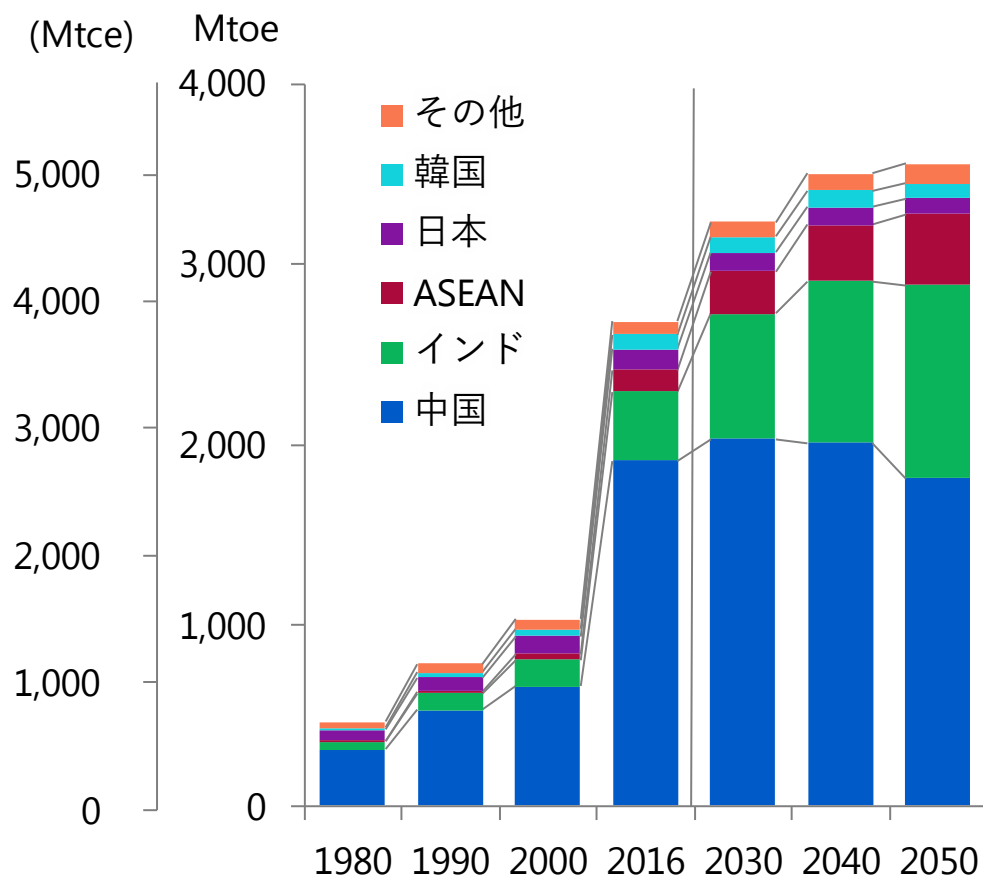
地域別



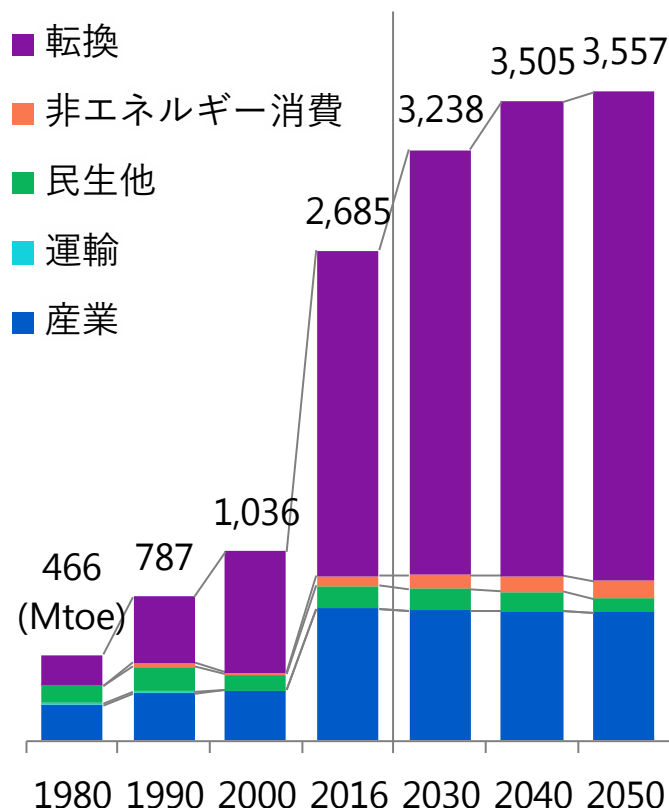
部門別

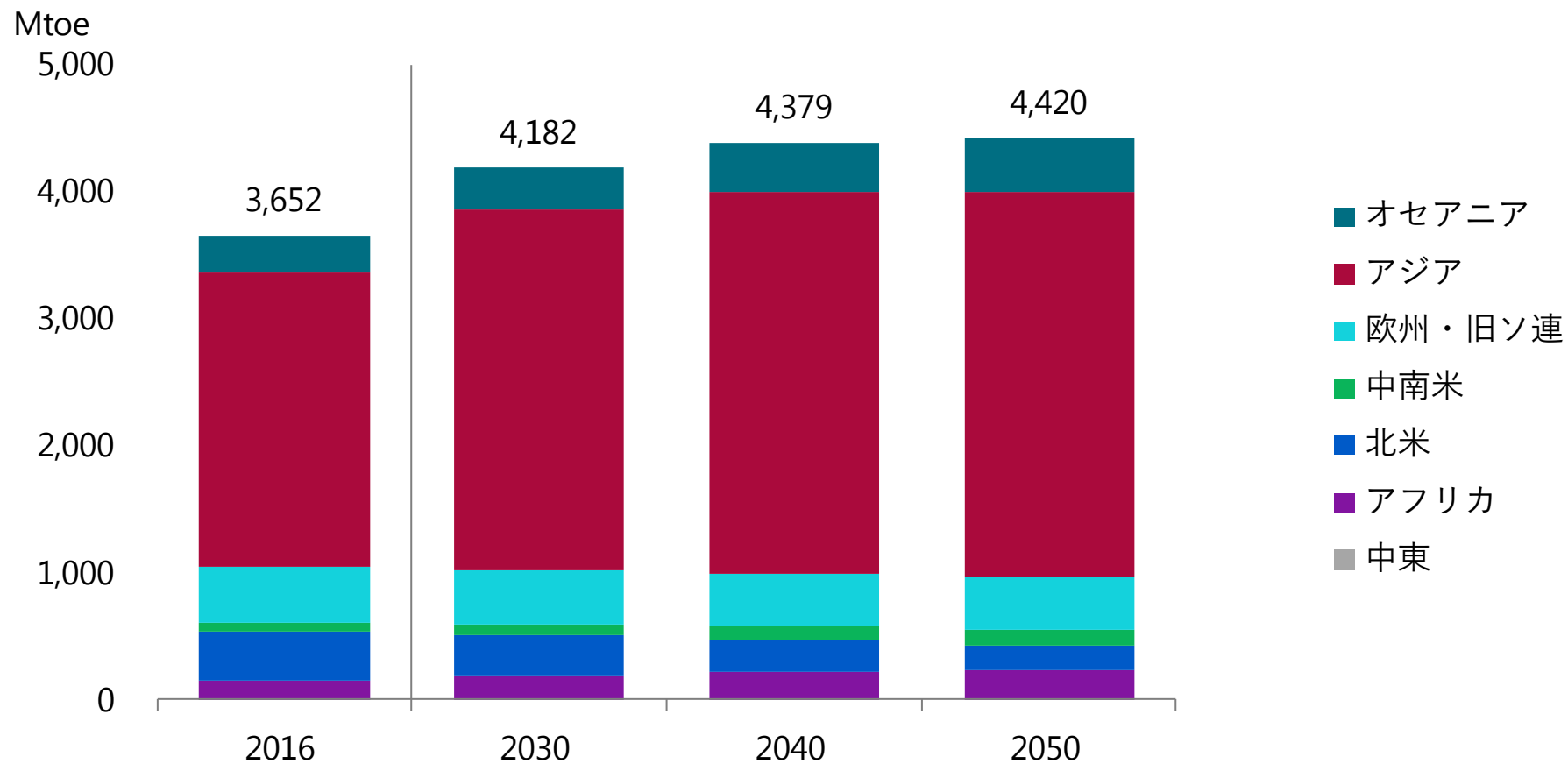


地域別

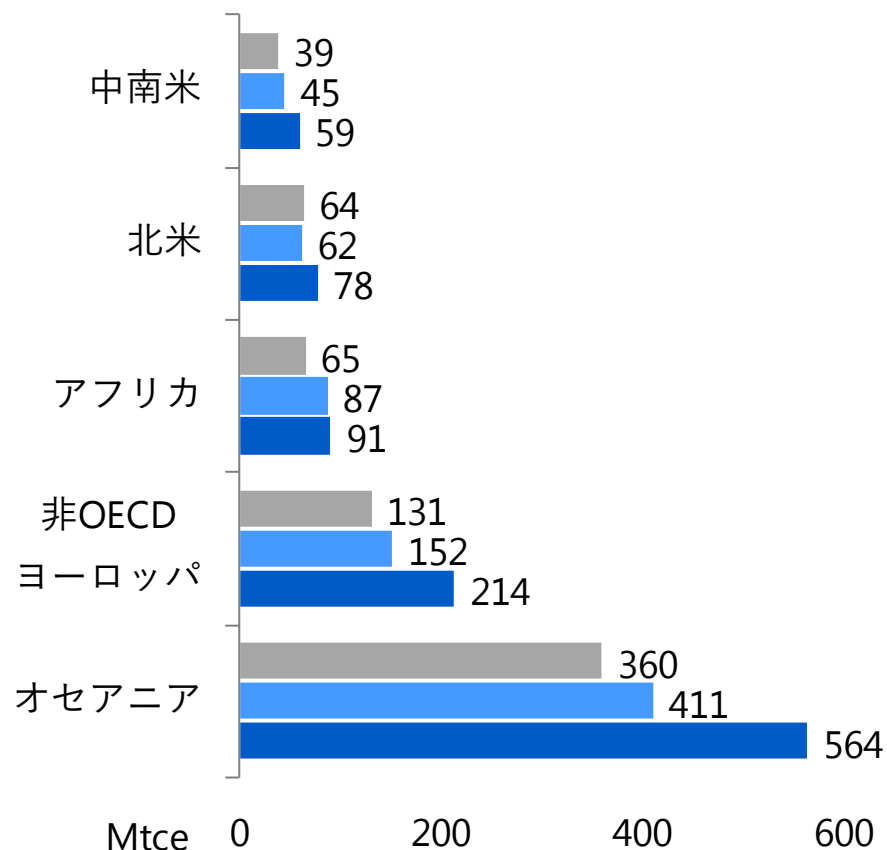


部門別

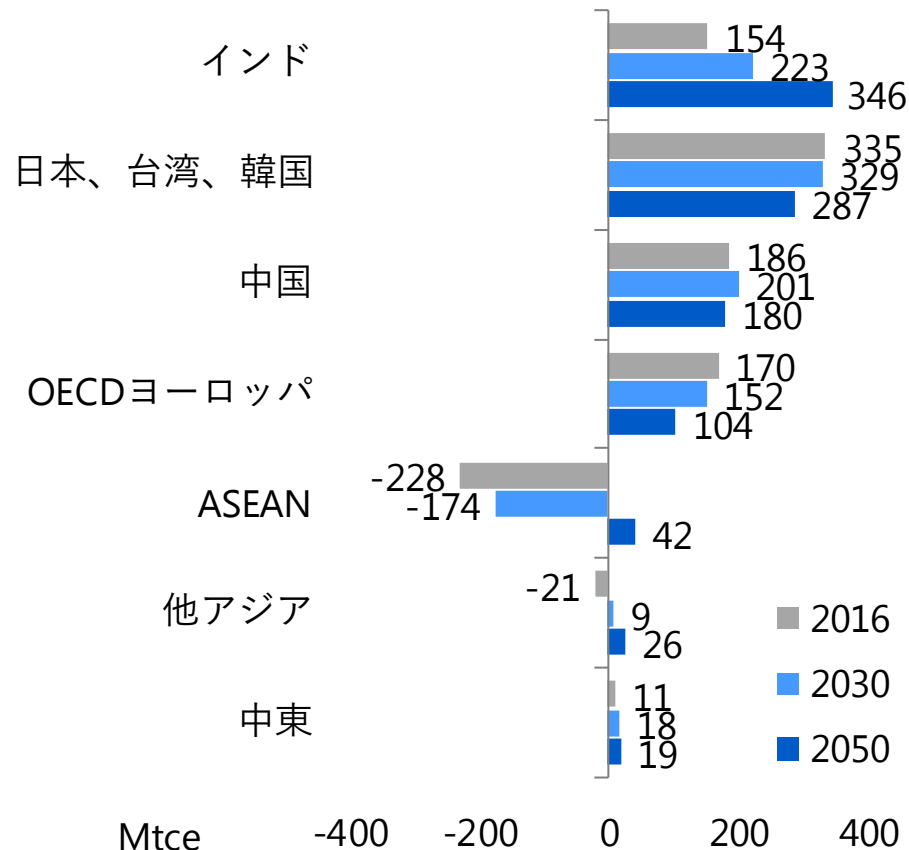




2050年純輸出地域純輸出量

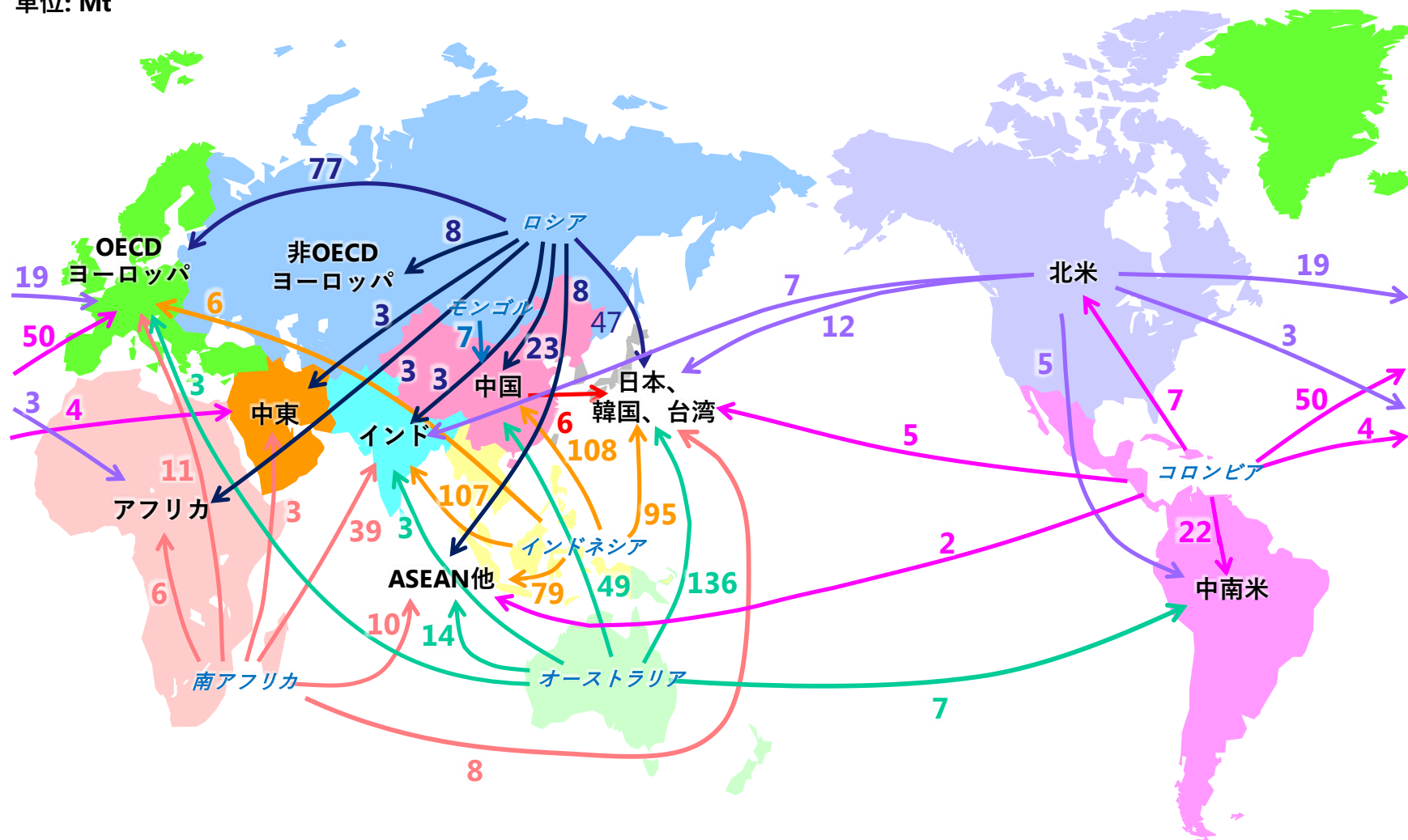


2050年純輸入地域純輸入量



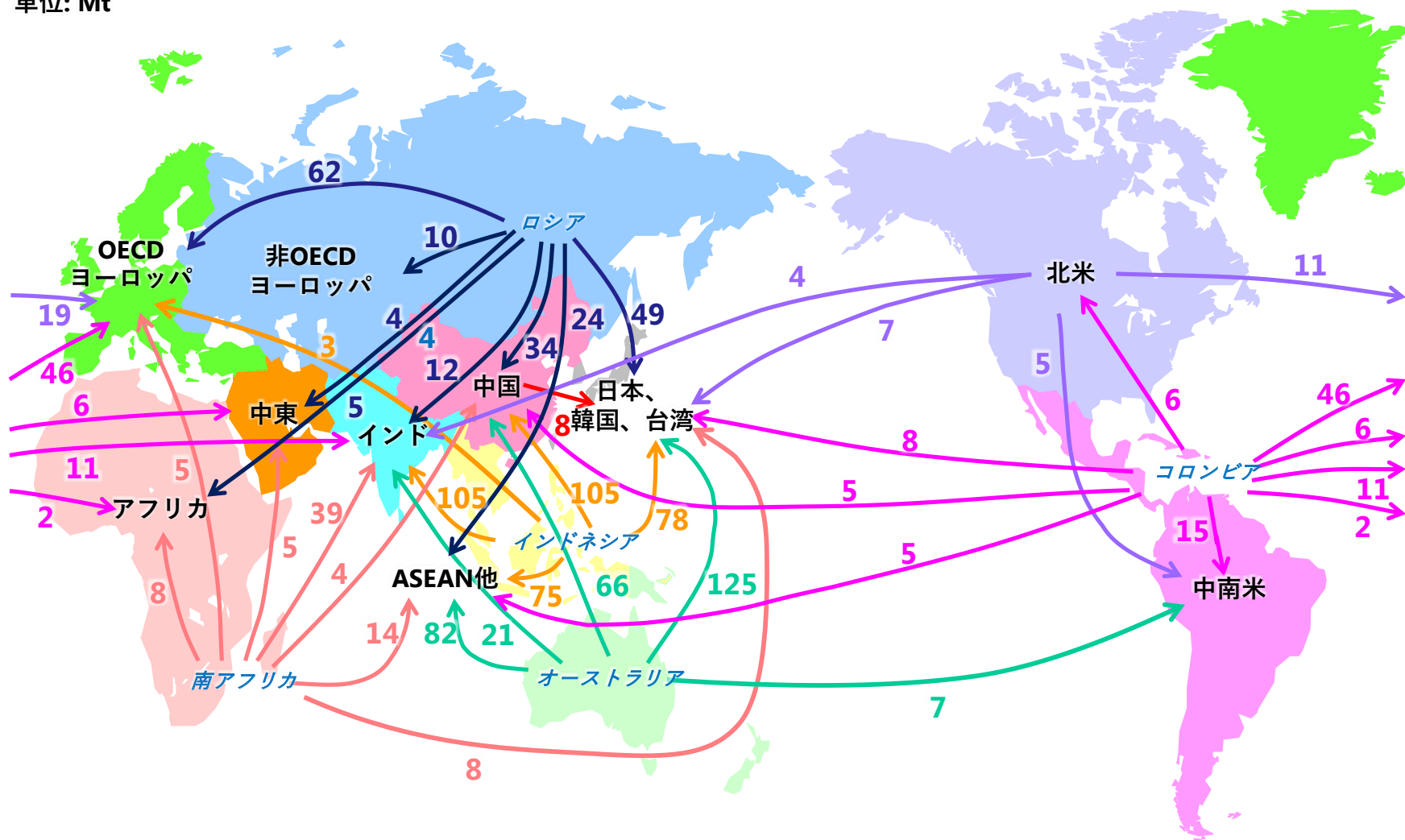
主要な一般炭貿易フロー(2017年)

単位: Mt



主要な一般炭貿易フロー(2030年)

単位: Mt



JFE
JAPAN

単位: Mt

OECD ヨーロッパ

非OECD ヨーロッパ

ロシア

モンゴル

中国

日本、韓国、台湾

インド

ASEAN他

インドネシア

オーストラリア

中東

アフリカ

モザンビーク

北米

コロンビア

中南米

7

6

8

5

9

7

19

2

15

26

1

6

20

9

2

1

38

31

57

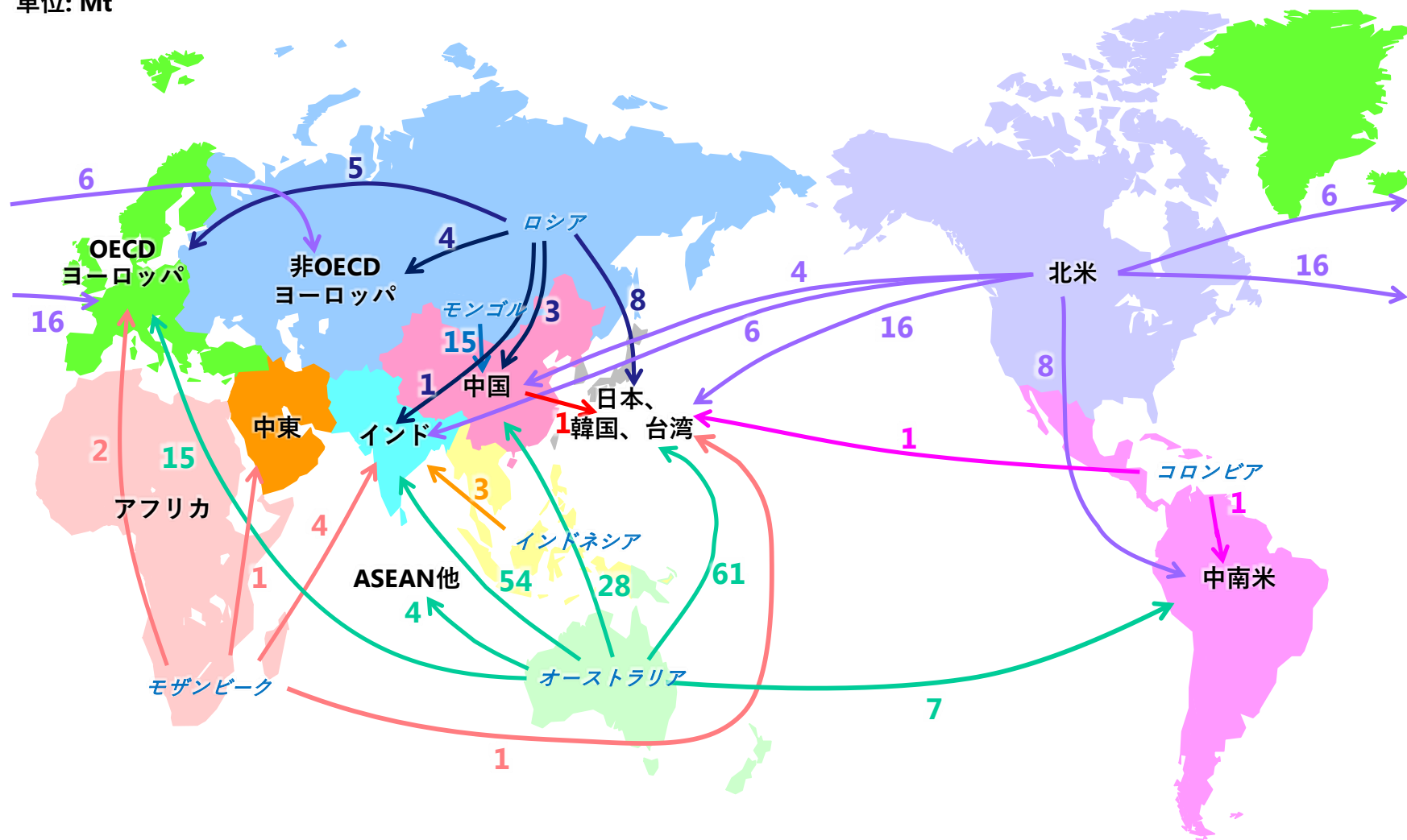
4

7

1

主要な原料炭貿易フロー(2030年)

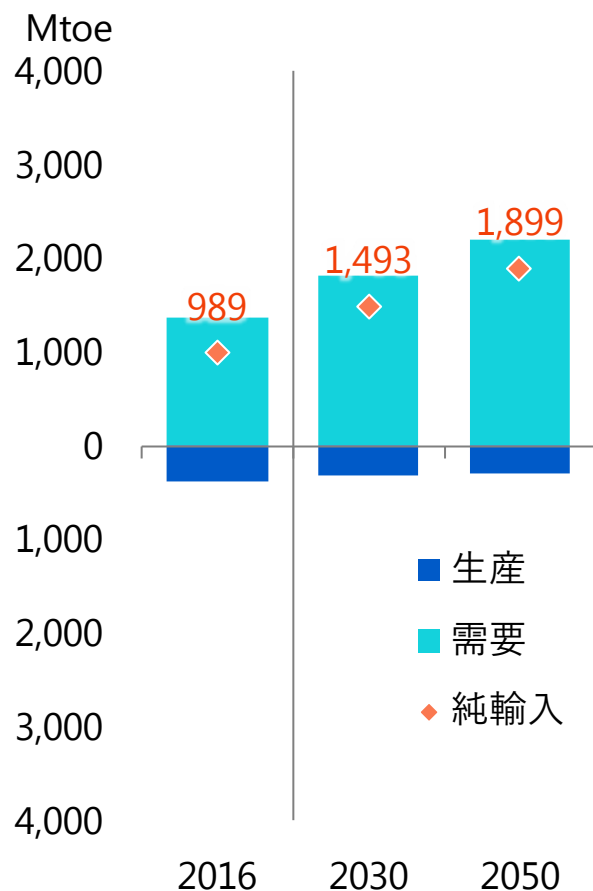
単位: Mt



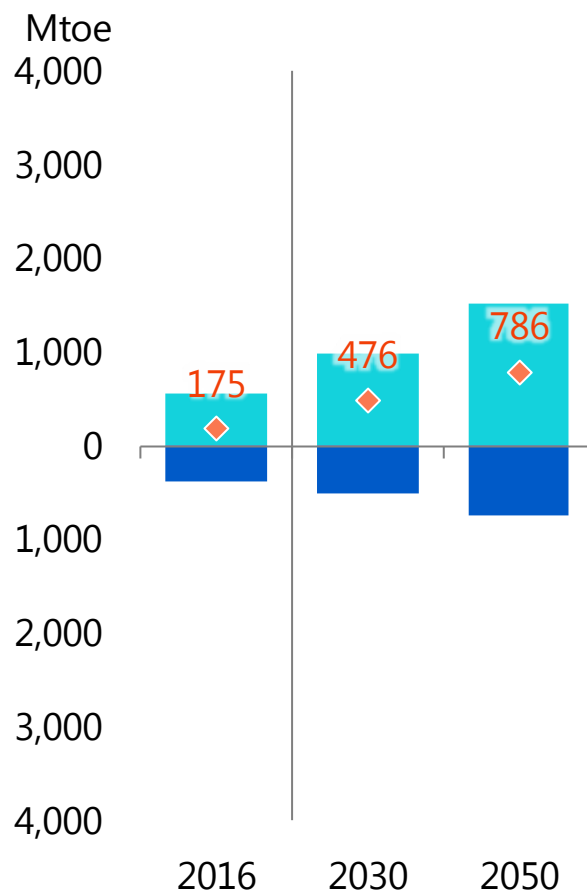
アジアの化石燃料需給バランス

レファレンスシナリオ

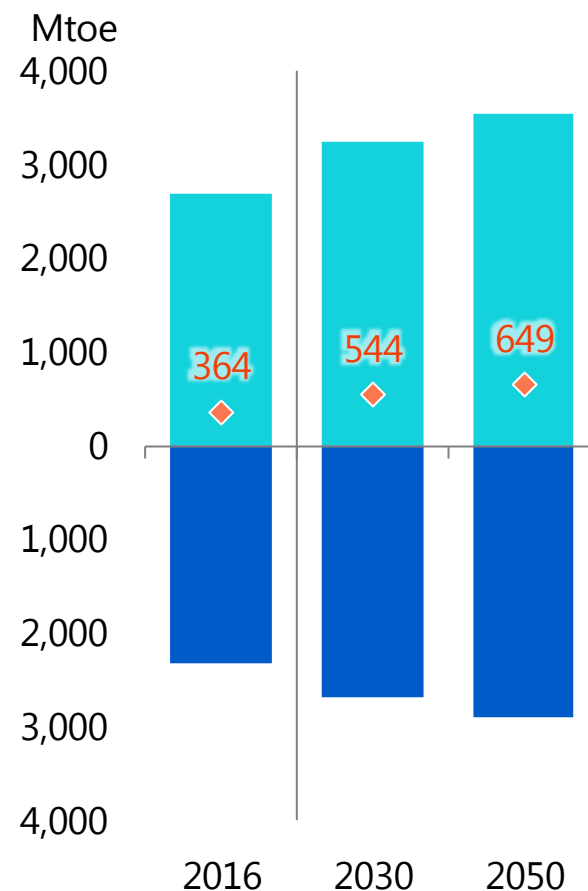
石油



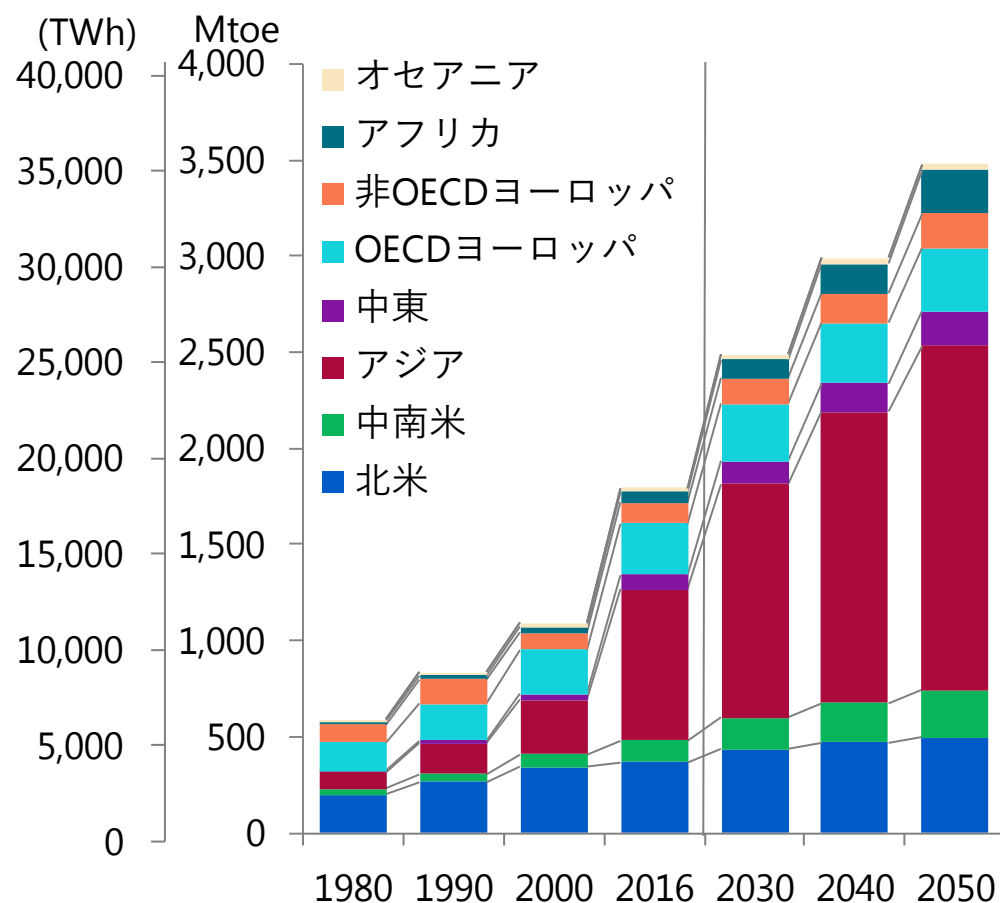
天然ガス



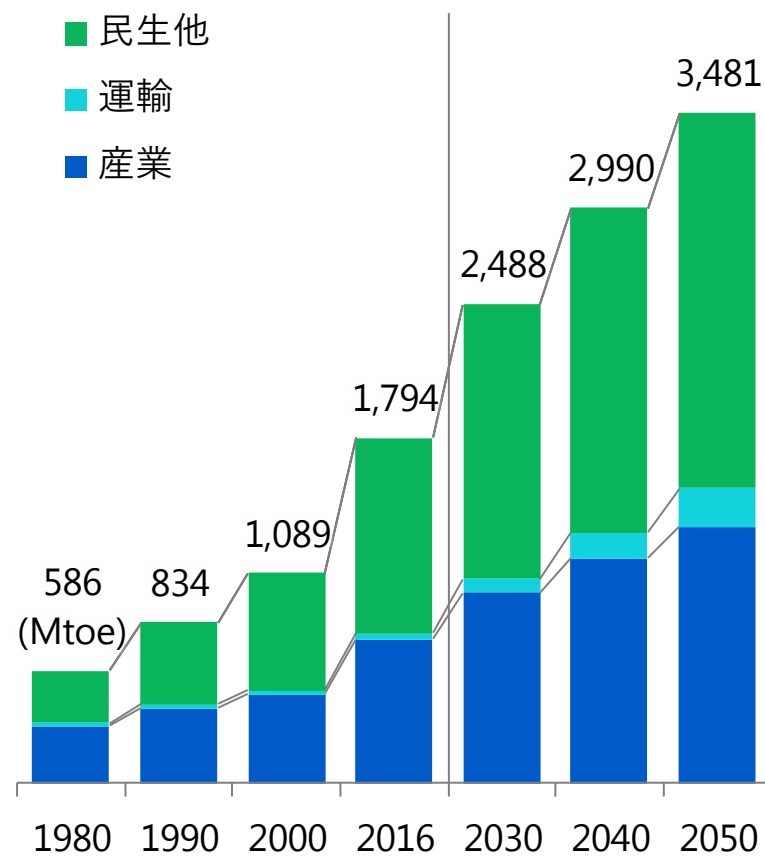
石炭



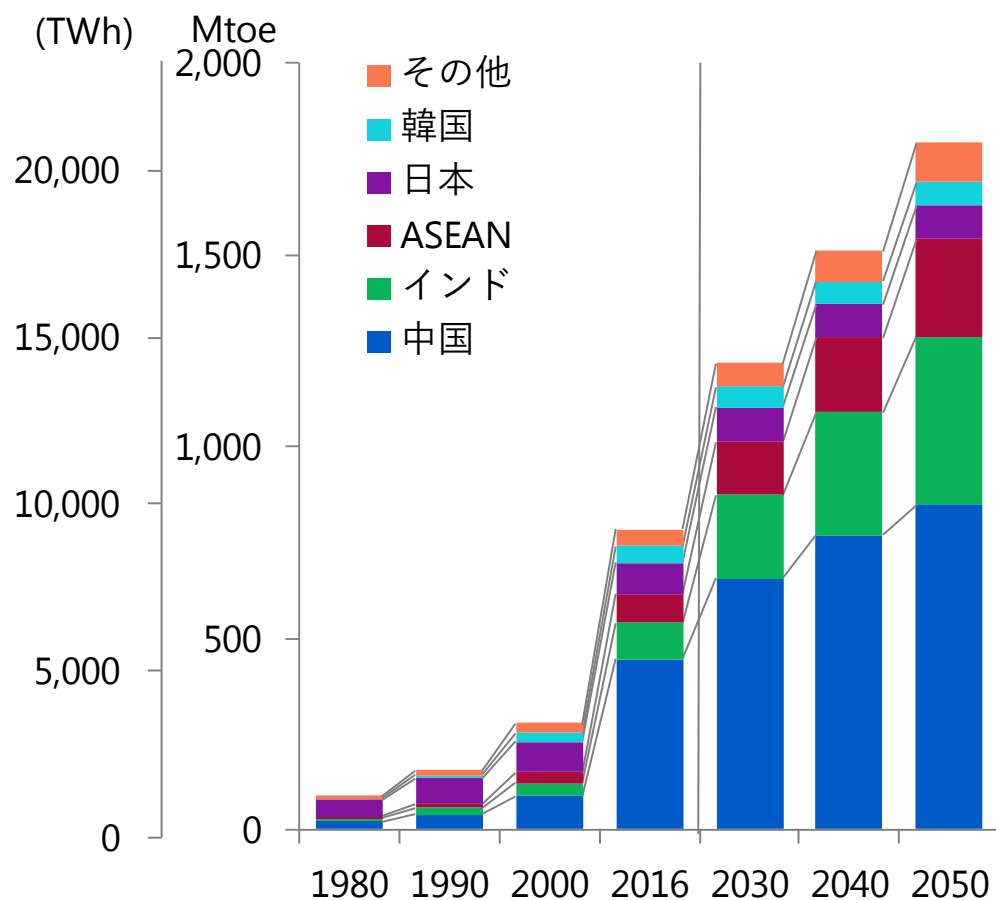
地域別



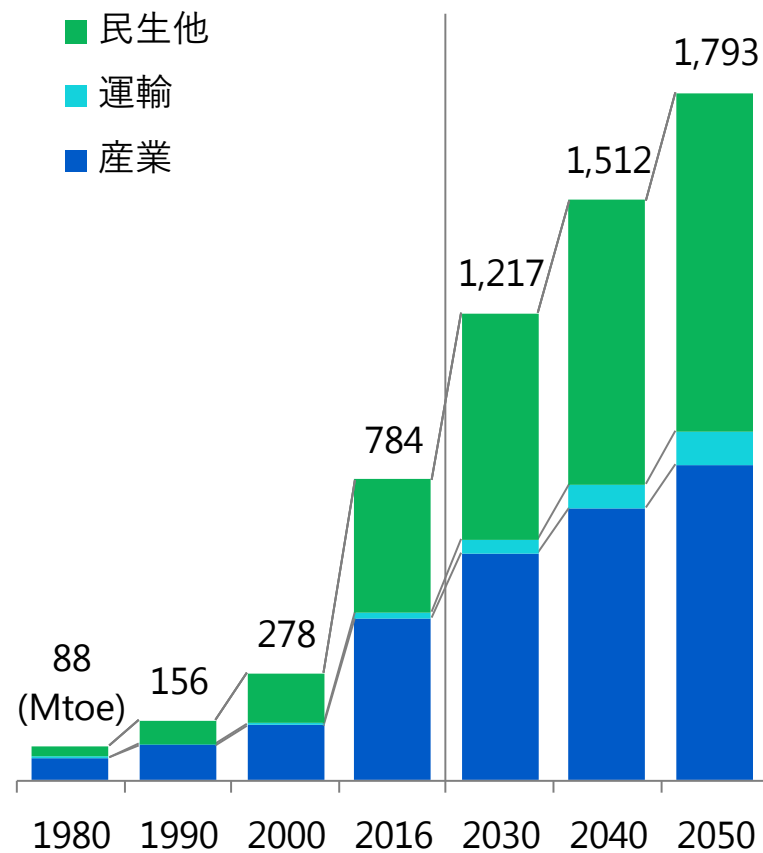
部門別



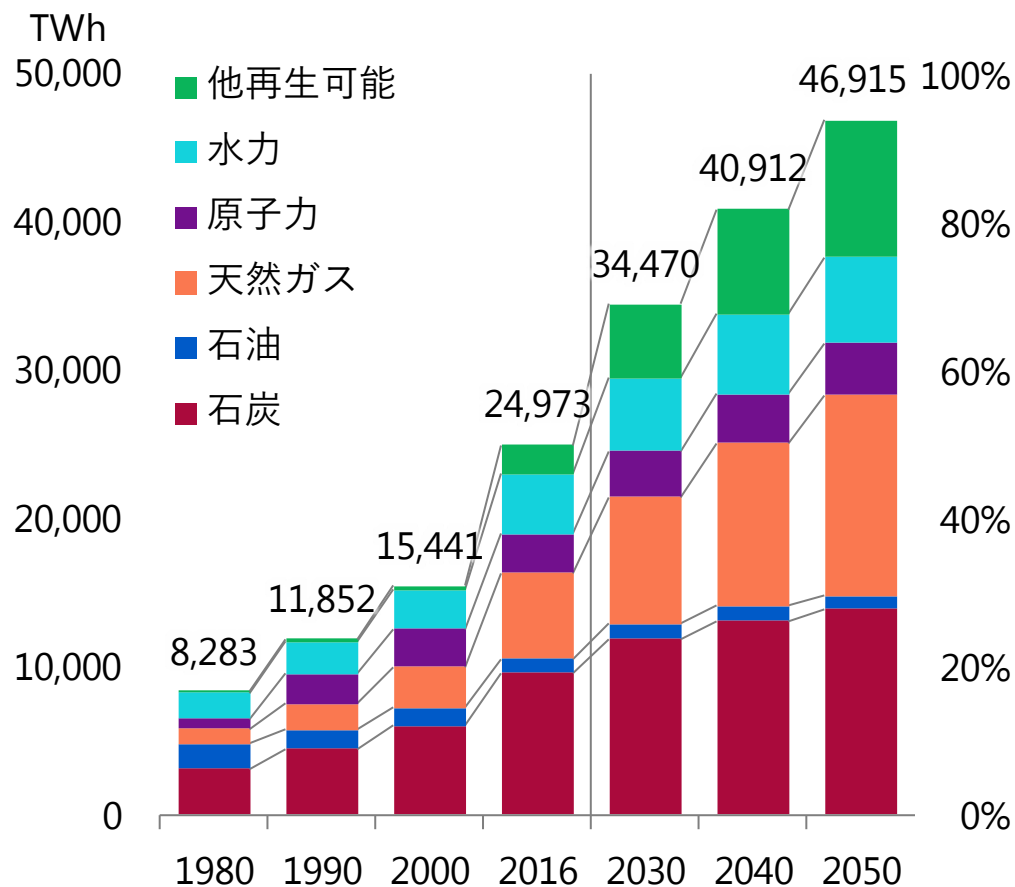
地域別



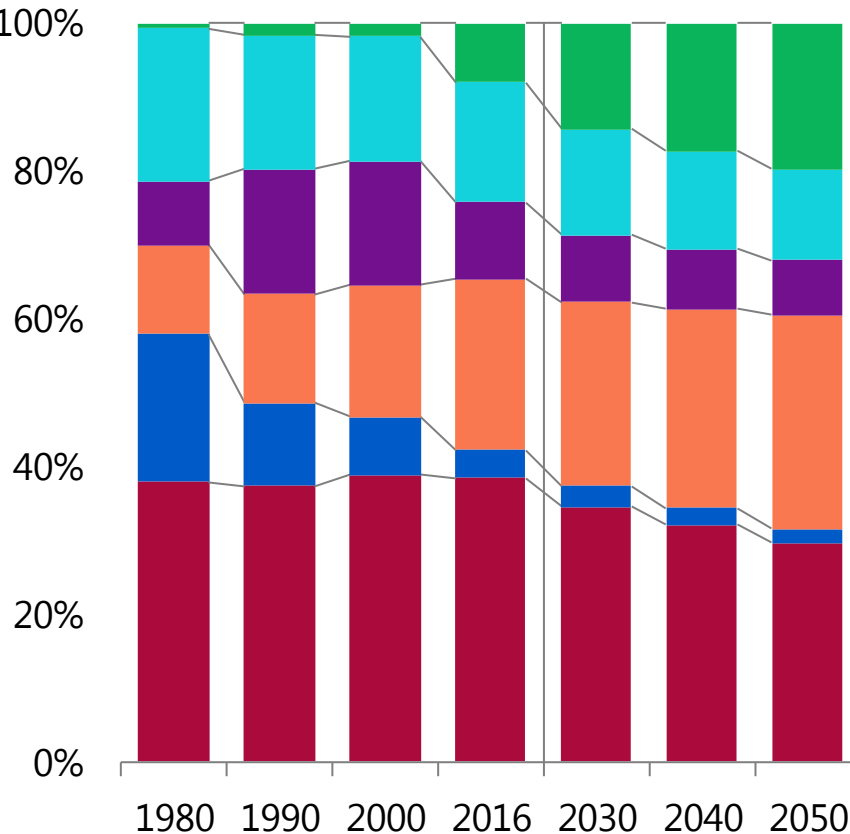
部門別



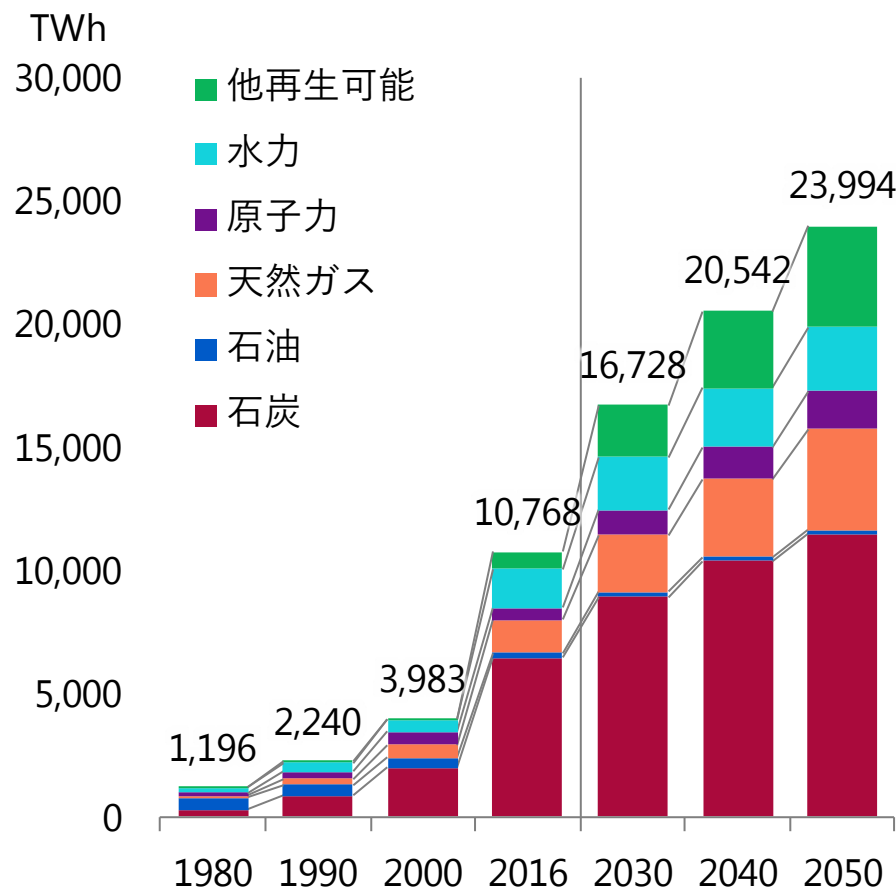
発電量



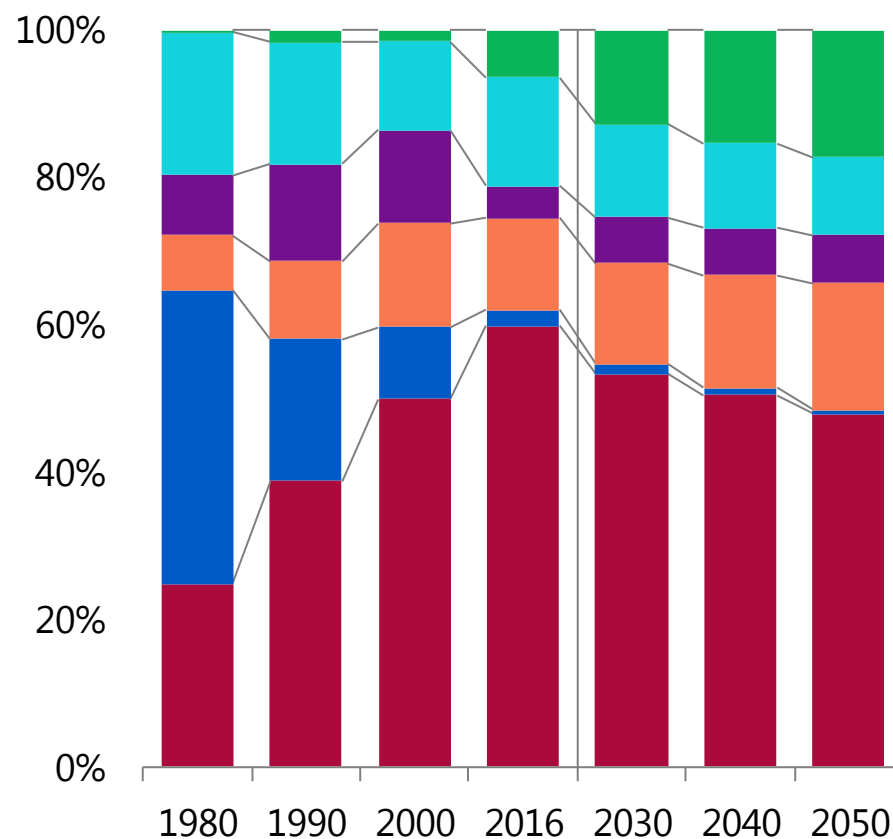
発電量シェア



発電量



発電量シェア



世界のエネルギー関連投資額

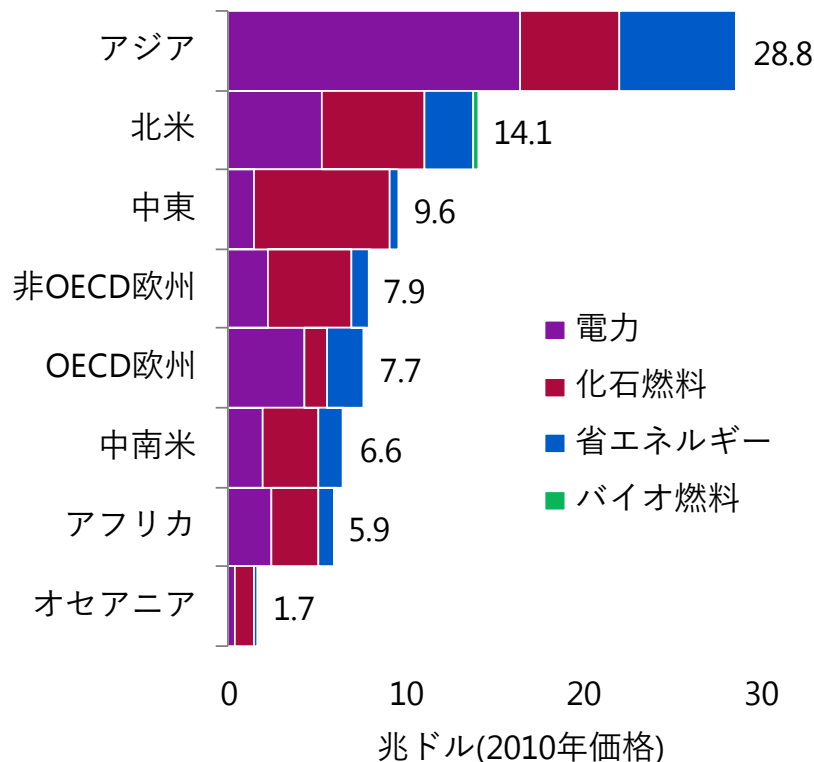
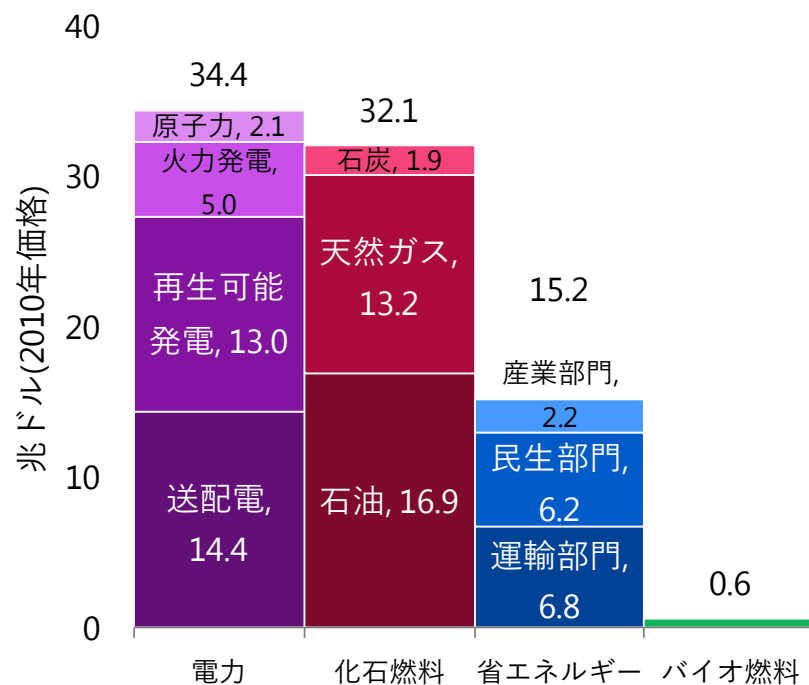
(2017年～2050年 累積投資額)

レファレンスシナリオ

部門別

地域別

総額 82.3兆ドル



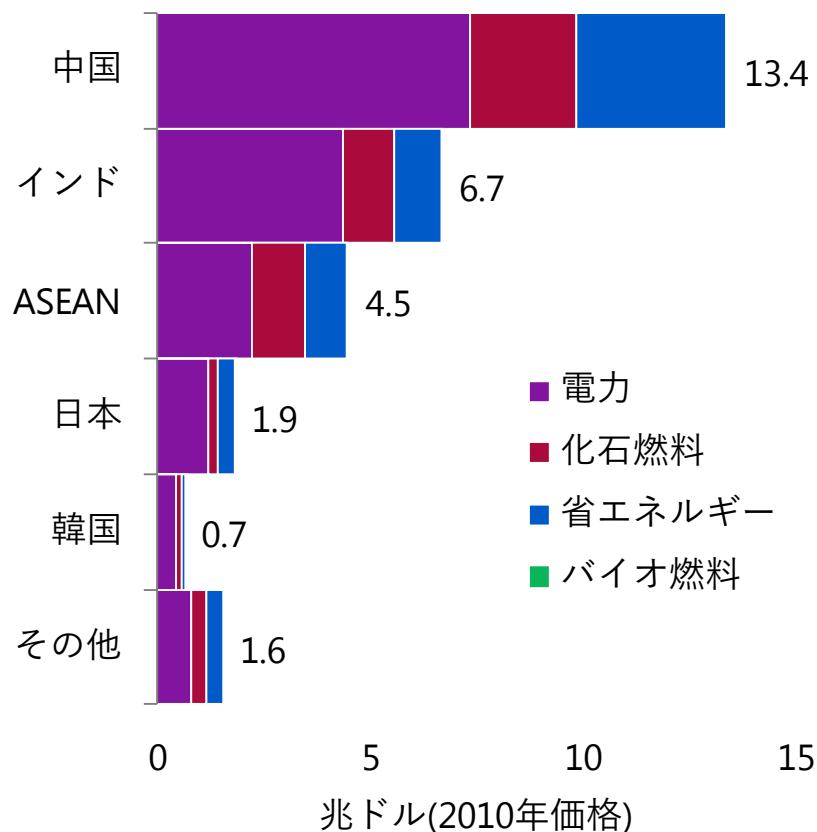
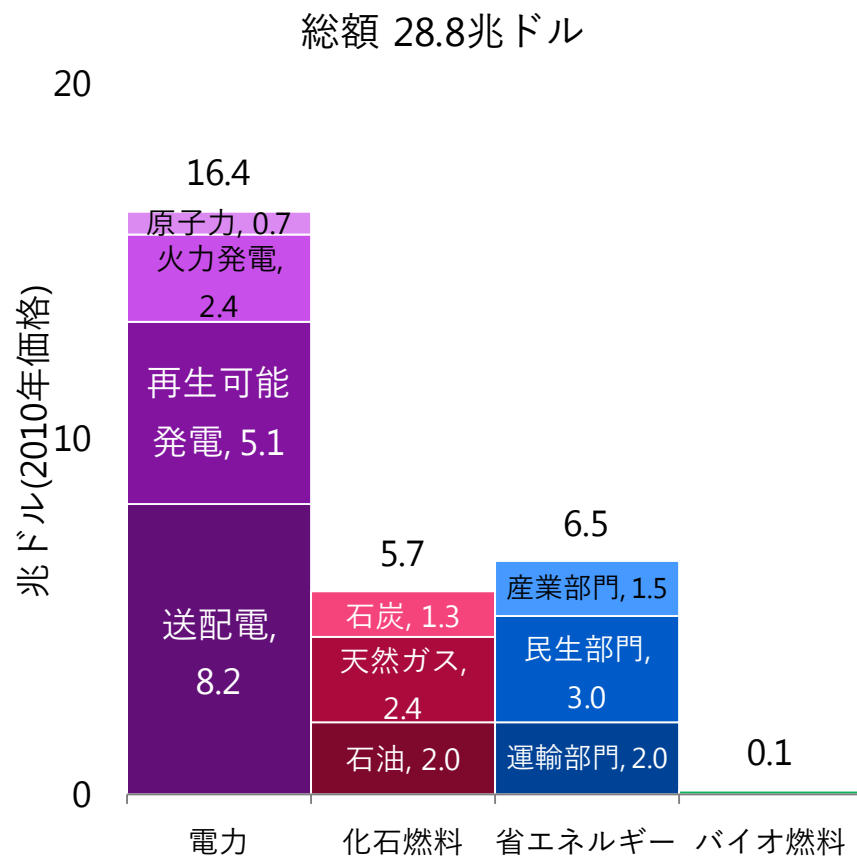
アジアのエネルギー関連投資額

(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



世界のCO₂排出量

レファレンスシナリオ

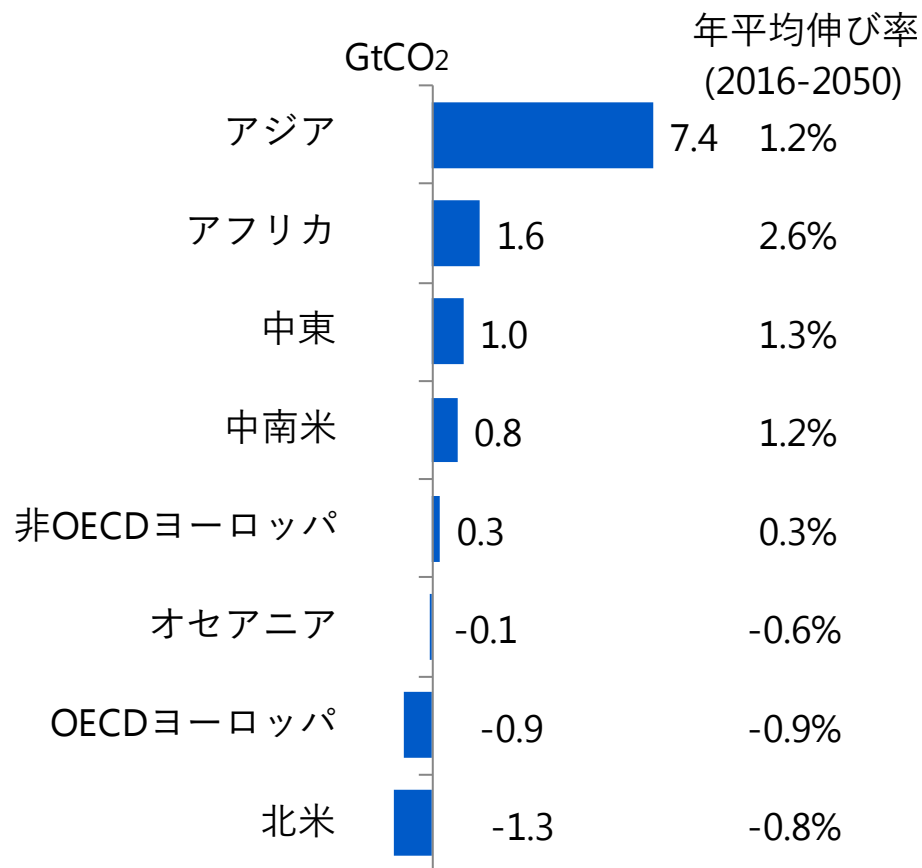
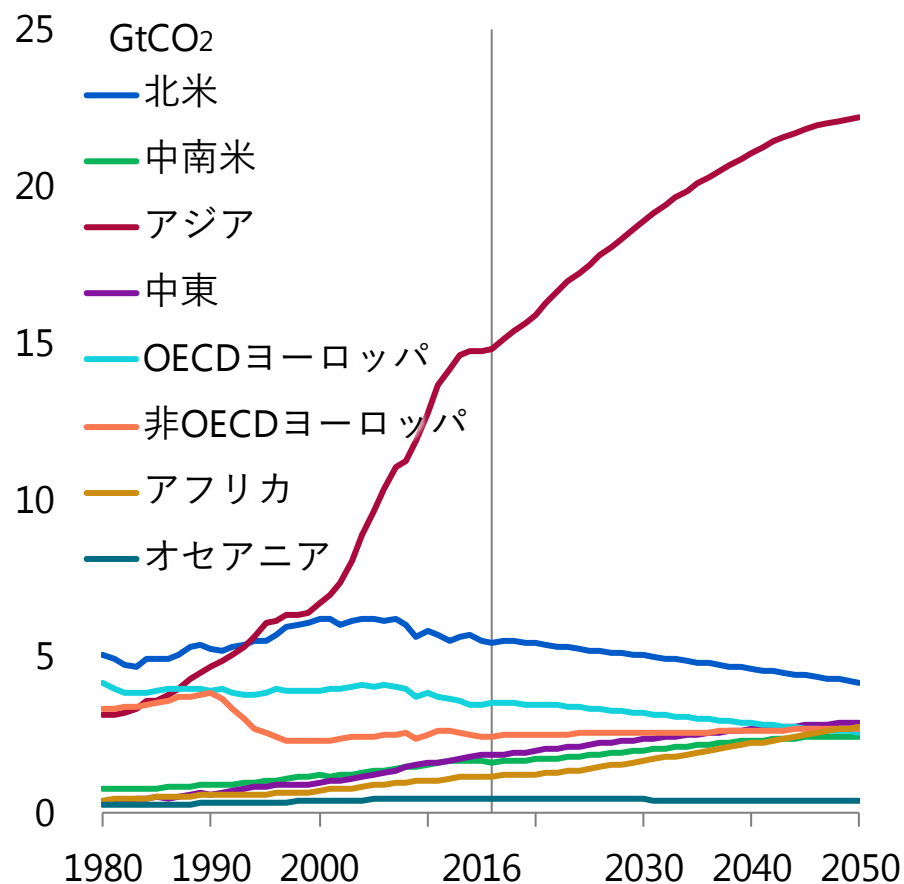
世界計

2016
32.4 Gt

→
(1.3倍に増加)

2050
41.9 Gt

2016-2050年の増加分



アジアのCO₂排出量

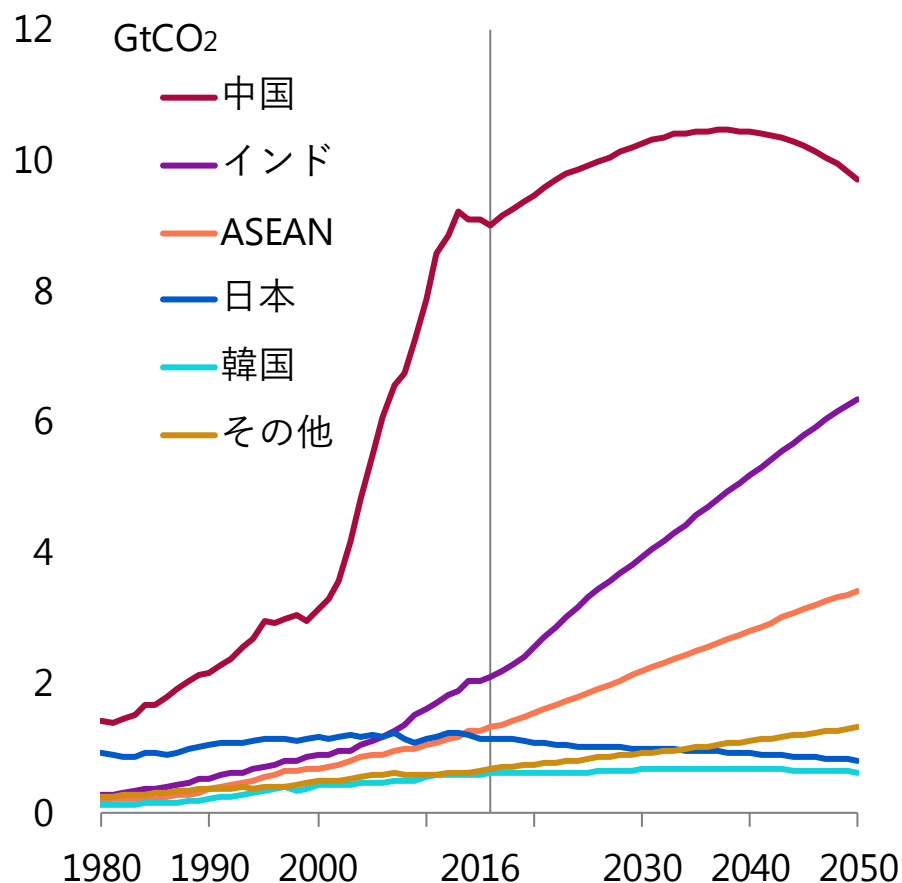
レファレンスシナリオ

アジア計

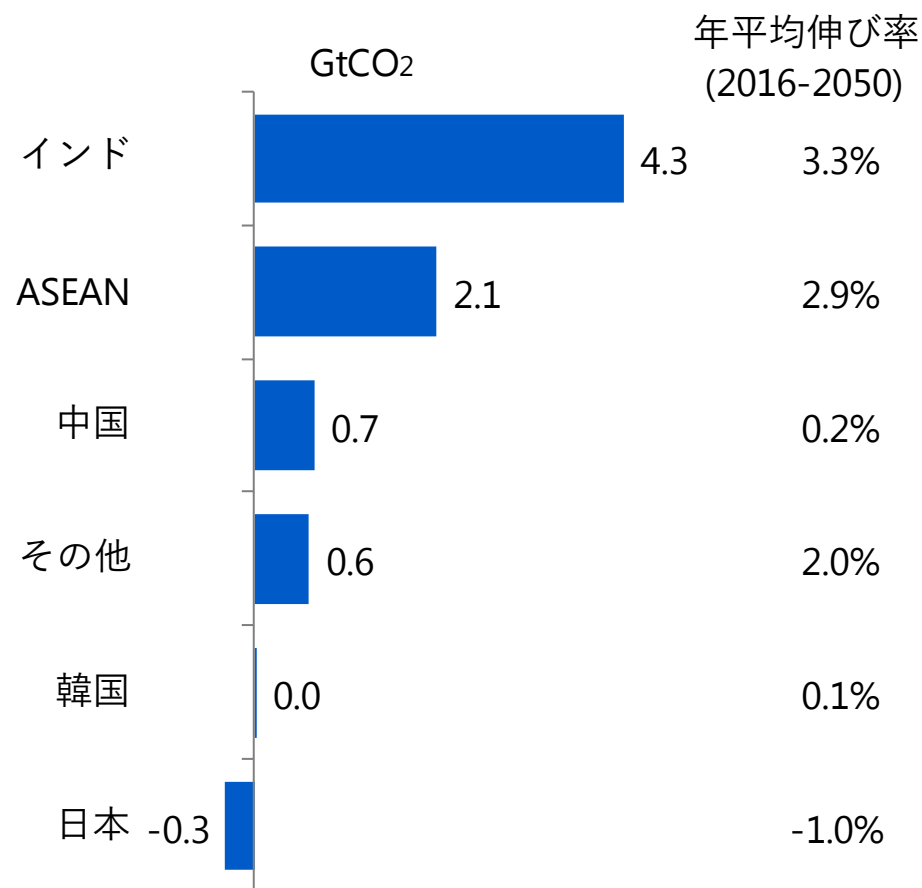
2016
14.8 Gt

→
(1.5倍に増加)

2050
22.2 Gt



2016-2050年の増加分



A light gray world map serves as the background for the slide, centered on the Atlantic Ocean.

技術進展シナリオ

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

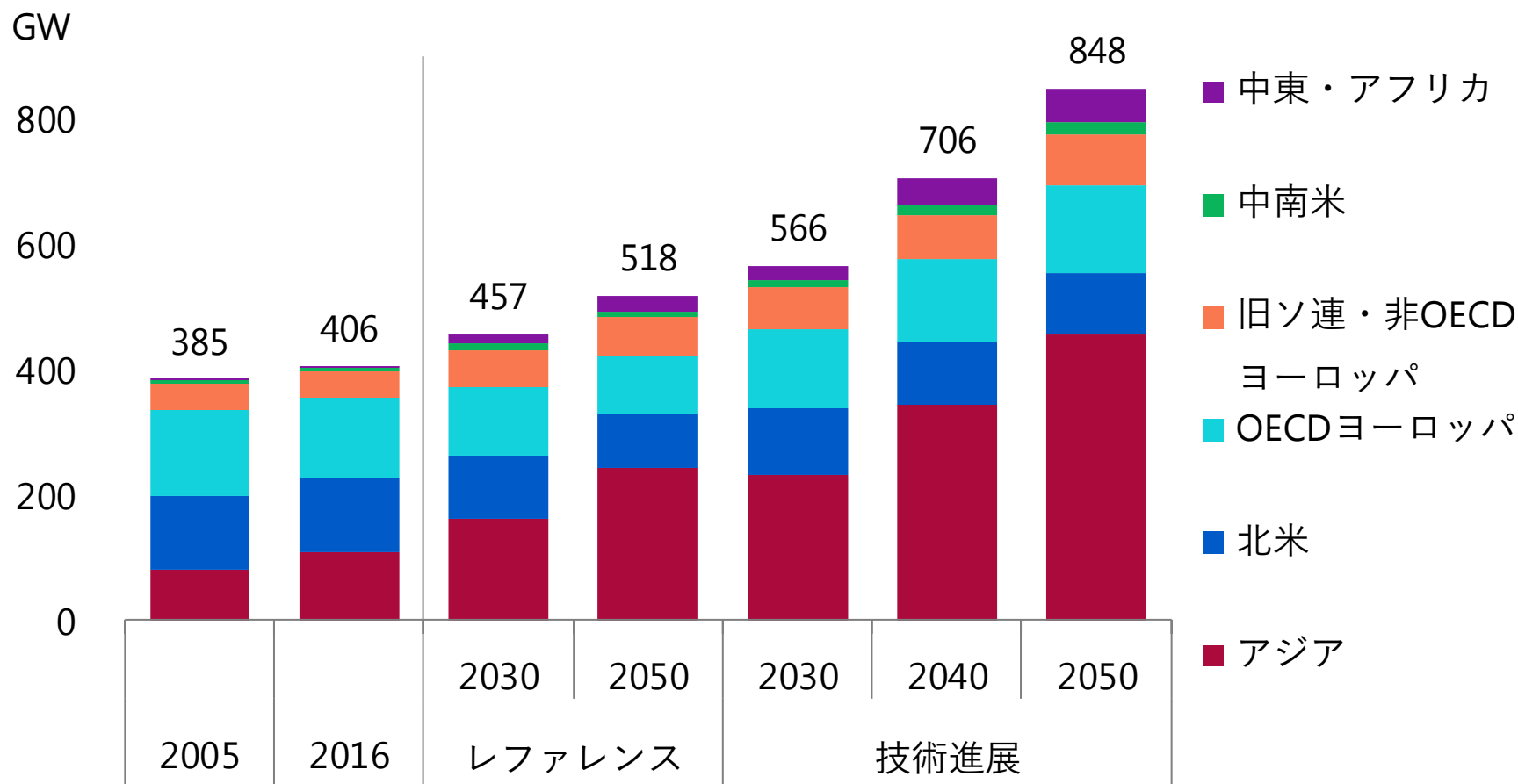
低損失型の変電設備、電圧調整装置

■ 二酸化炭素貯留技術

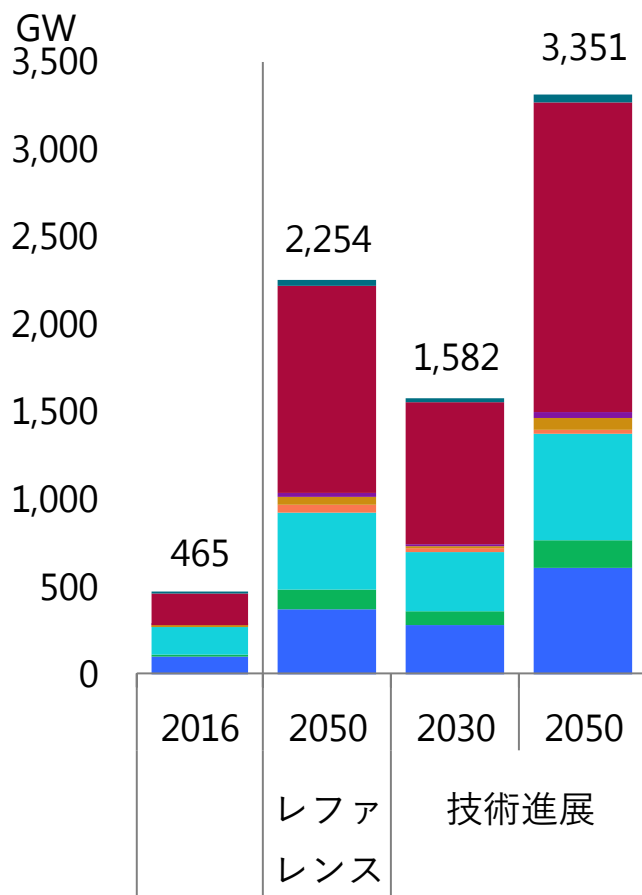
主な前提条件: エネルギー・環境技術

2016年 → 2050年 (レファレンス2050年)

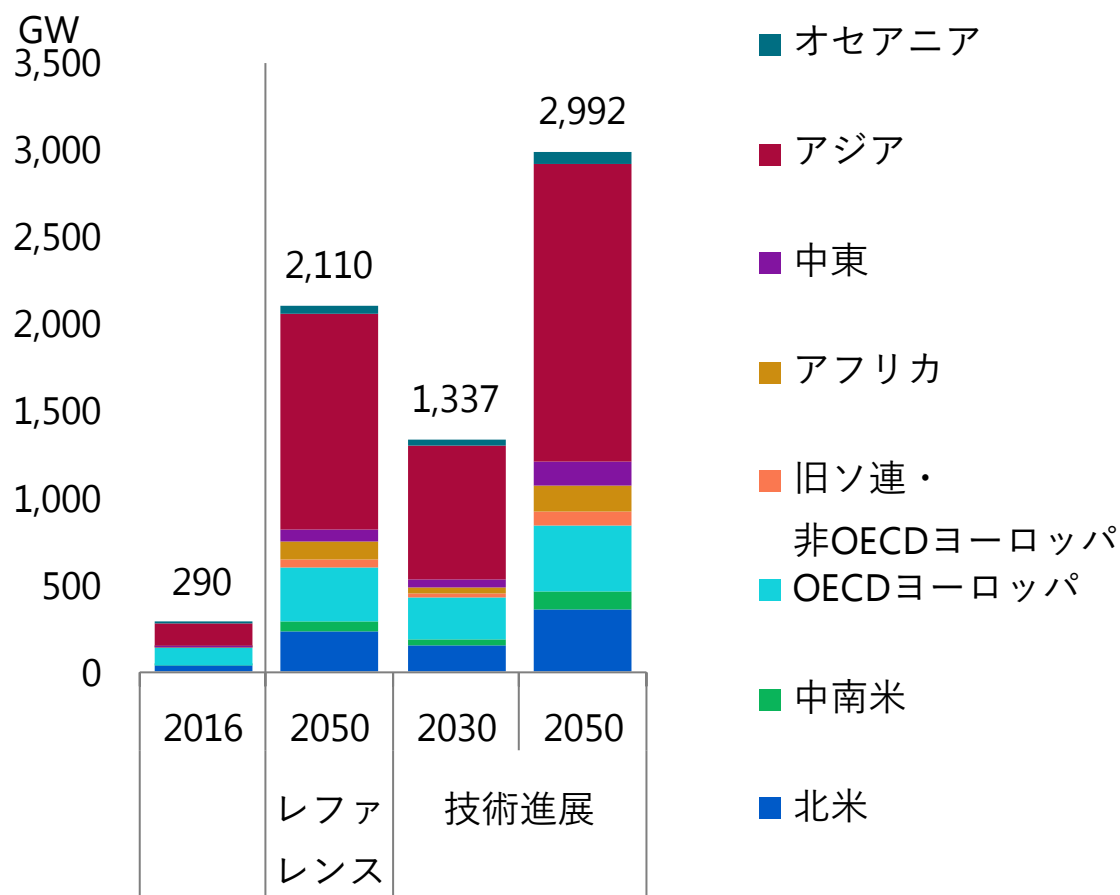
	先進国	発展途上国
火力発電	初期投資ファイナンススキーム整備 IGCC新設導入比率0% → 60% (20%) 2030年以降新設CCS導入(帯水層を除く貯留ポテンシャルがある国)	
[ストック効率]	天然ガス: 48.4% → 56.8% (57.0%) 石炭: 37.2% → 43.5% (44.3%)	天然ガス: 37.1% → 49.1% (45.9%) 石炭: 35.4% → 39.3% (40.6%)
原子力発電	適切な卸電力市場価格の維持	初期投資の融資枠組み整備
[設備容量]	2016年: 311 GW → 298 (217)	2016年: 96 GW → 550 (302)
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	

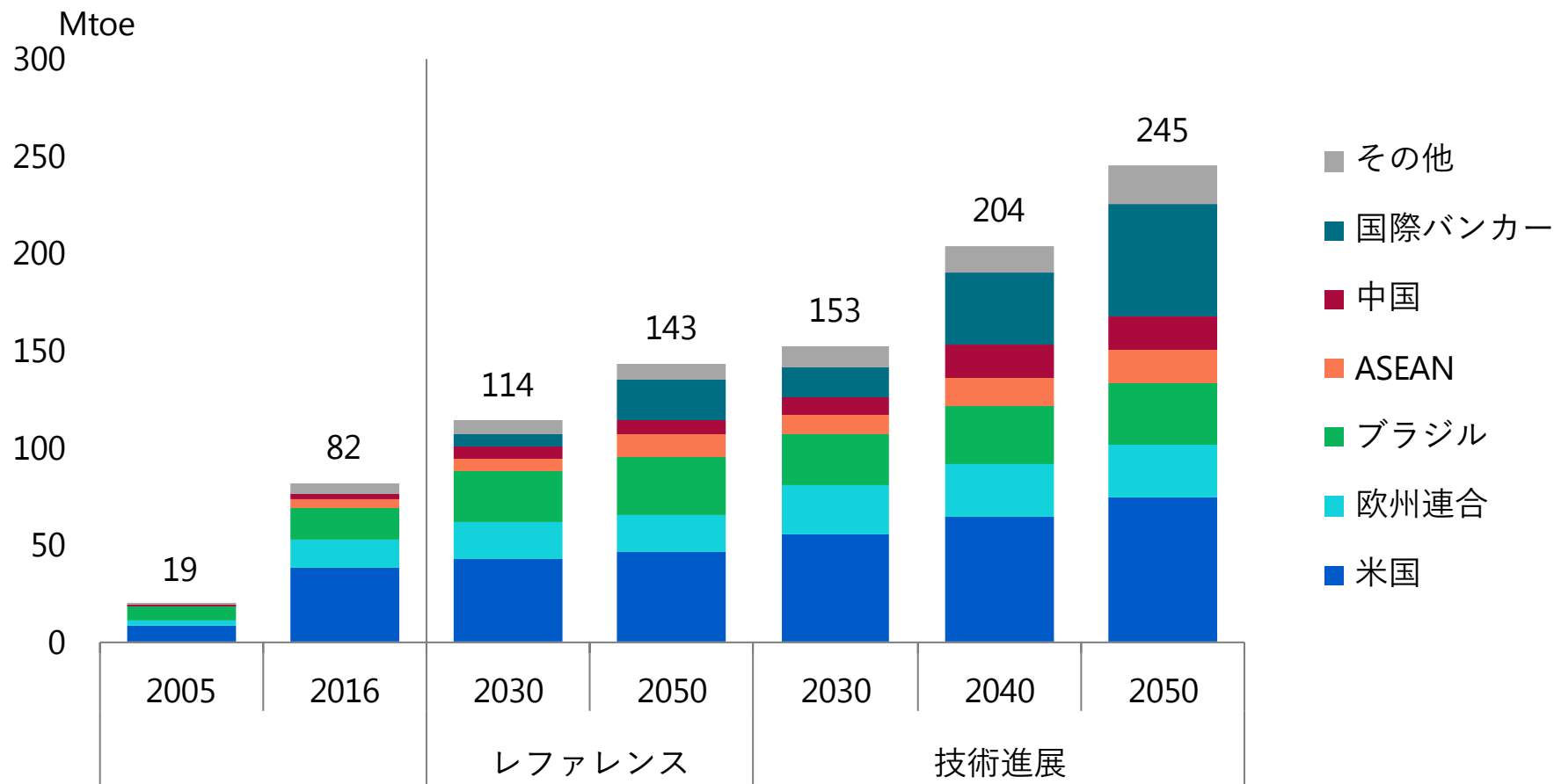


風力発電

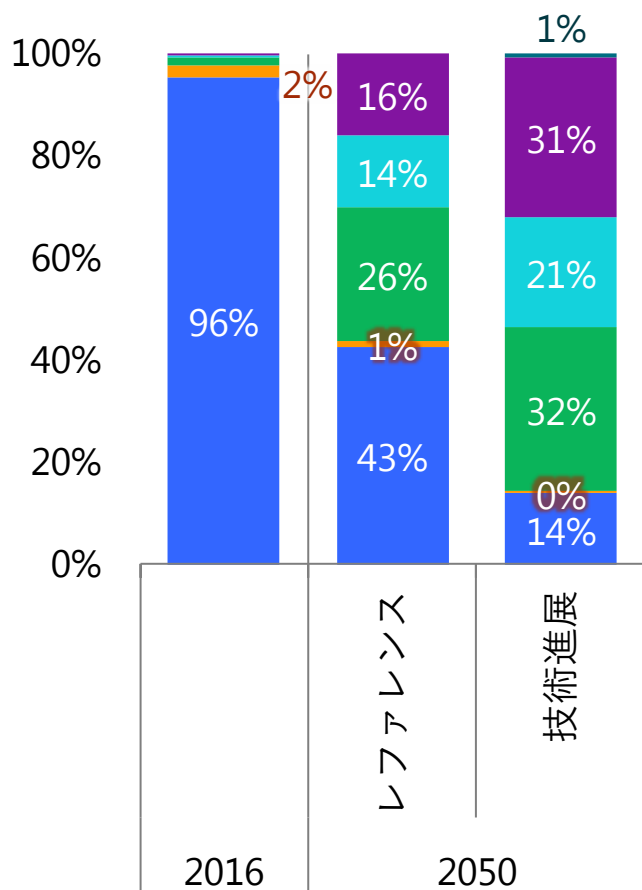


太陽光発電

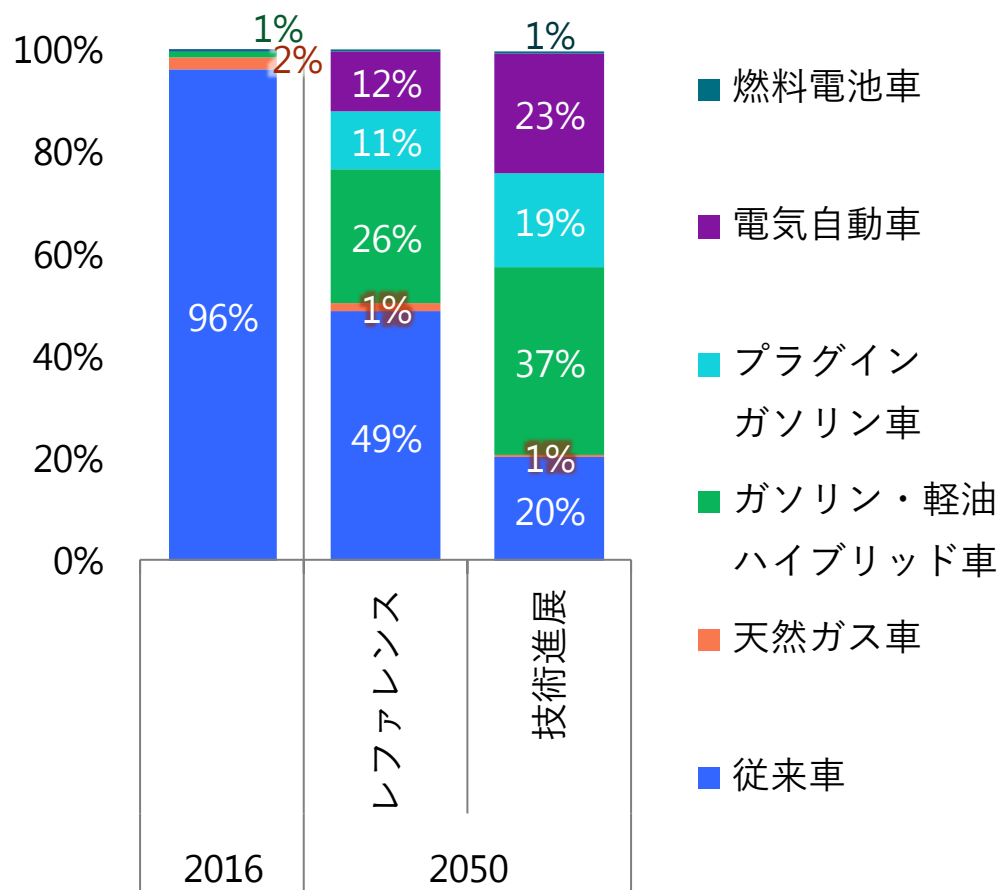


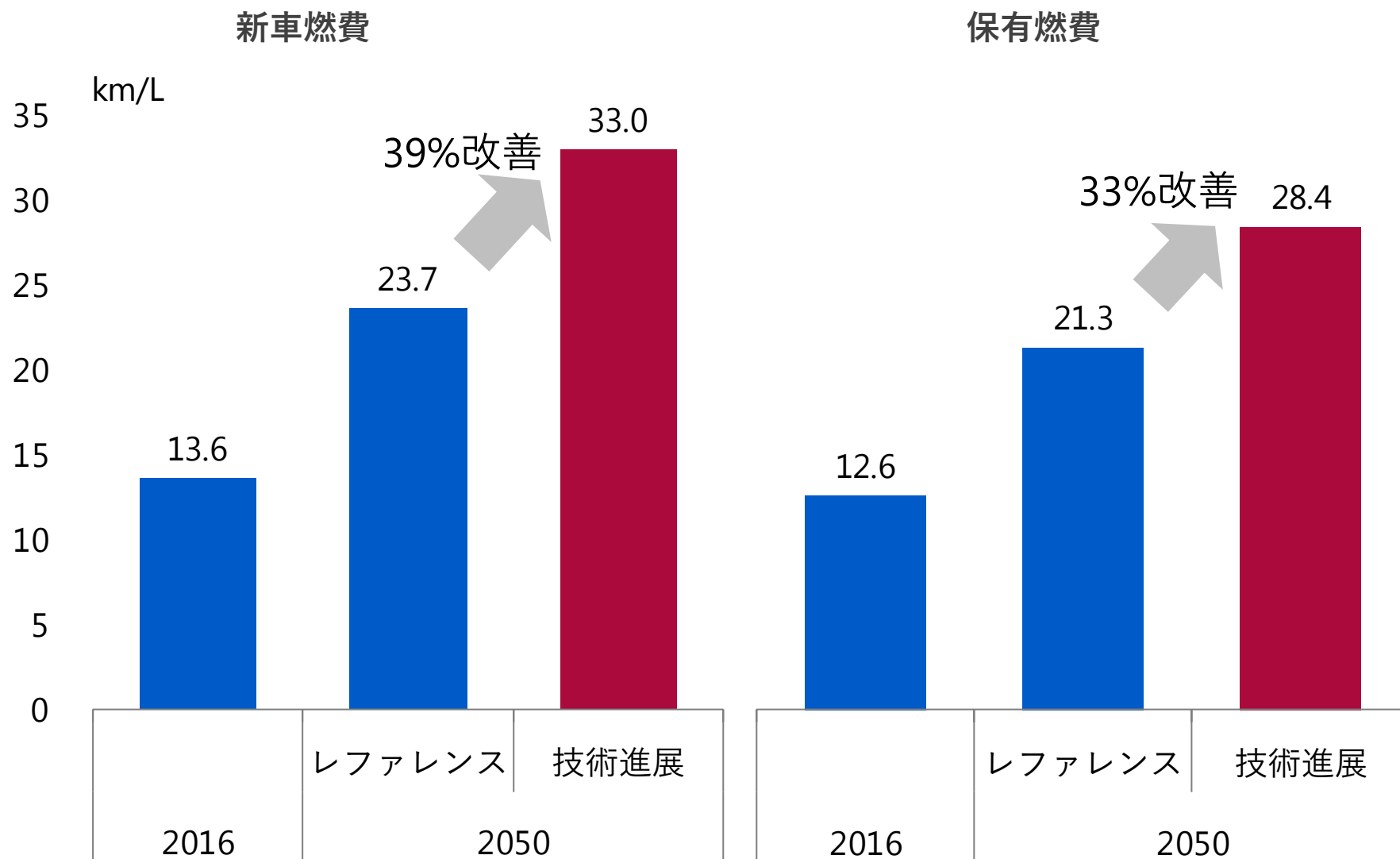


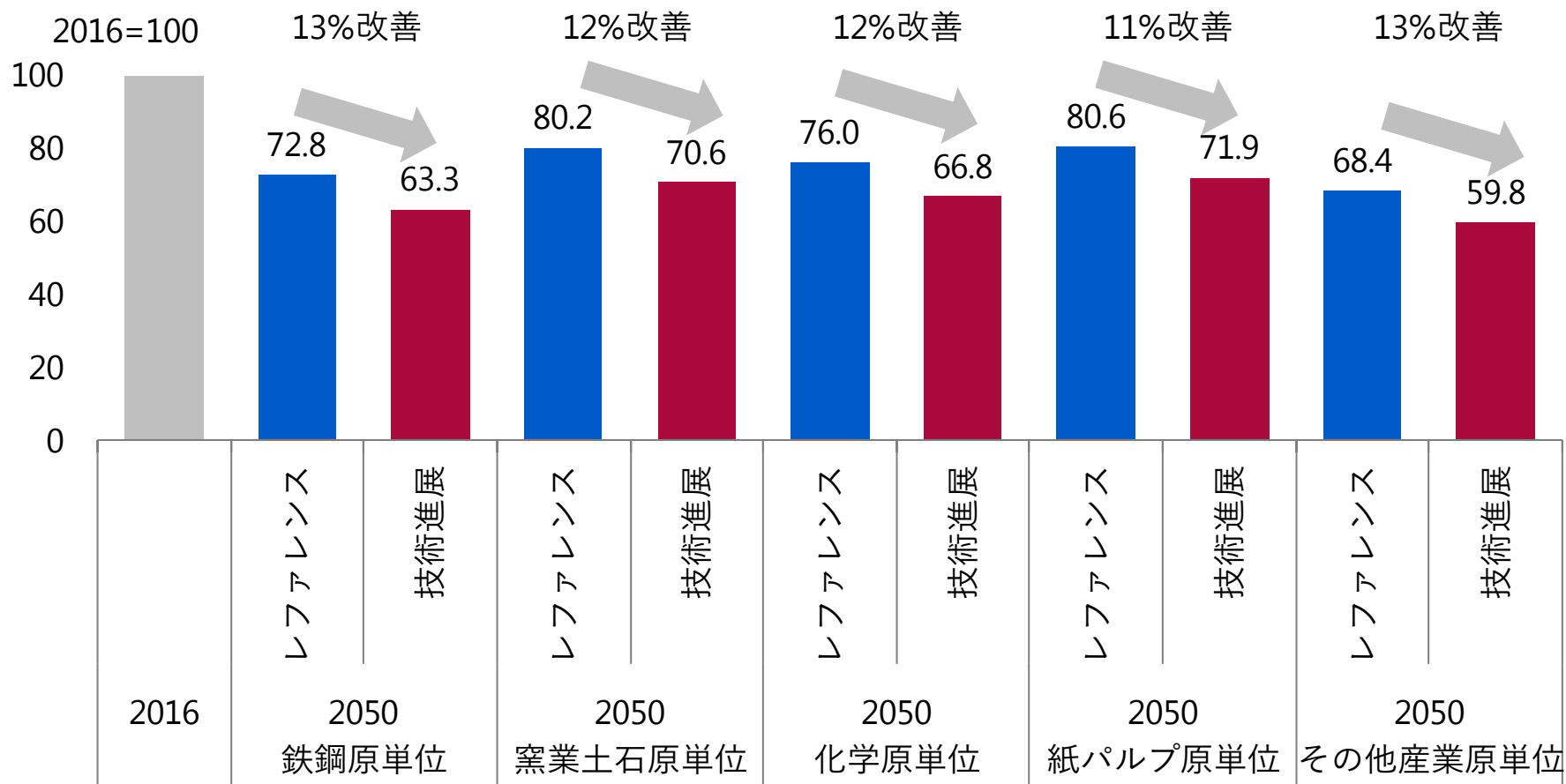
新車販売台数構成

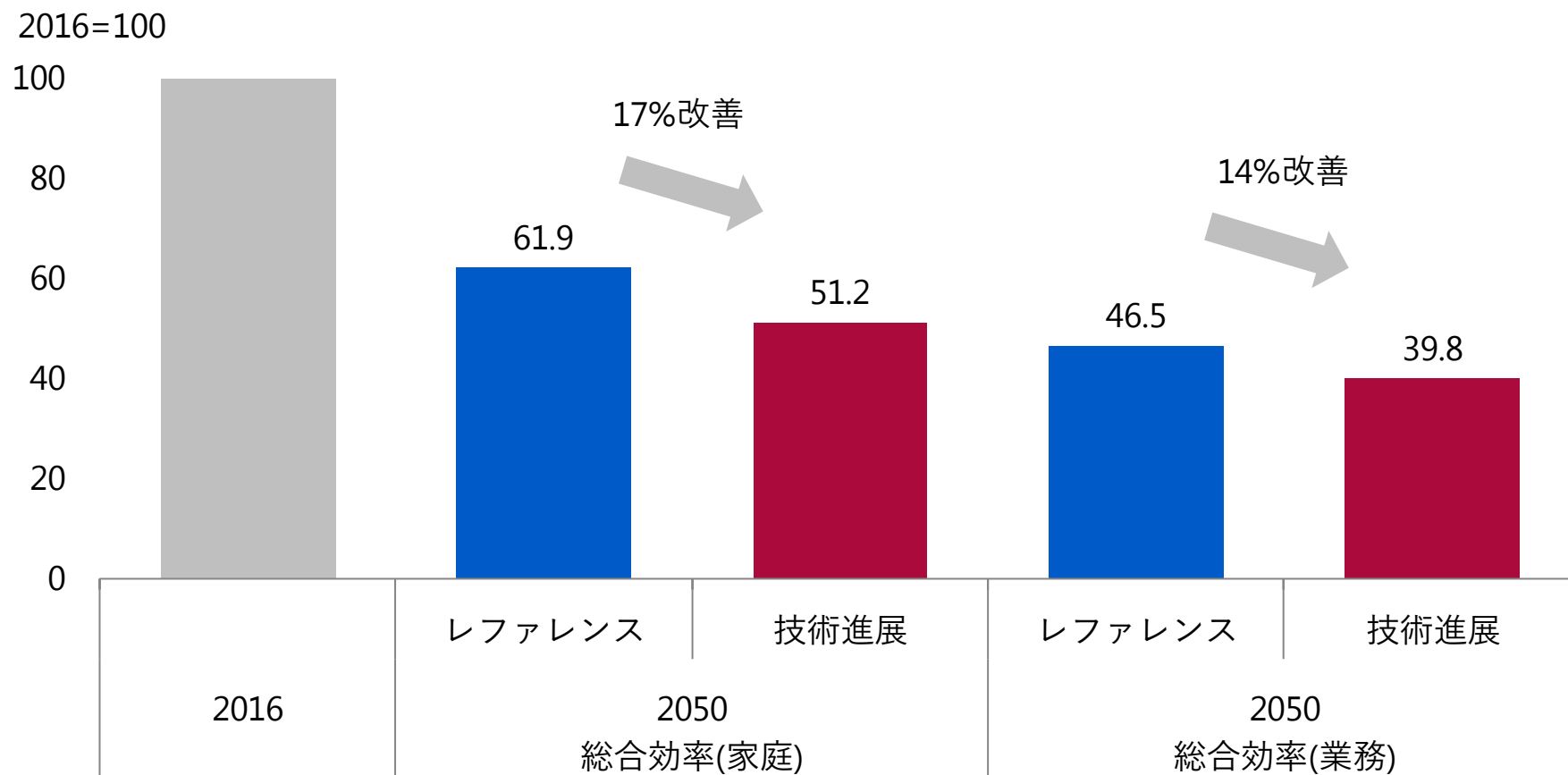


保有台数構成

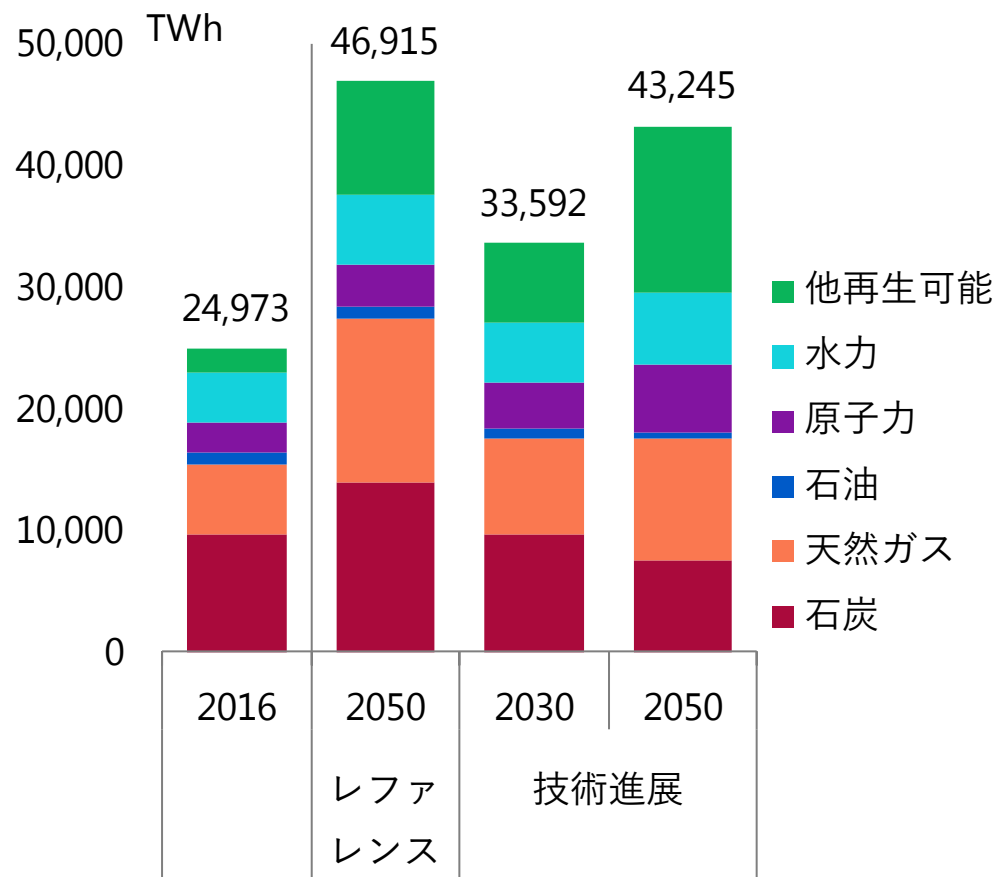




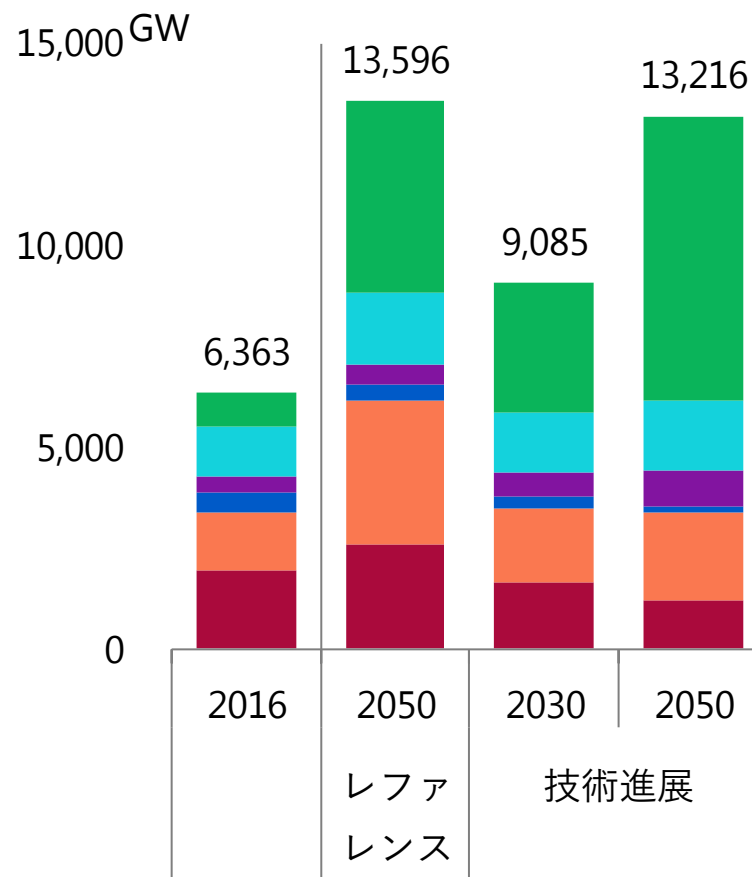




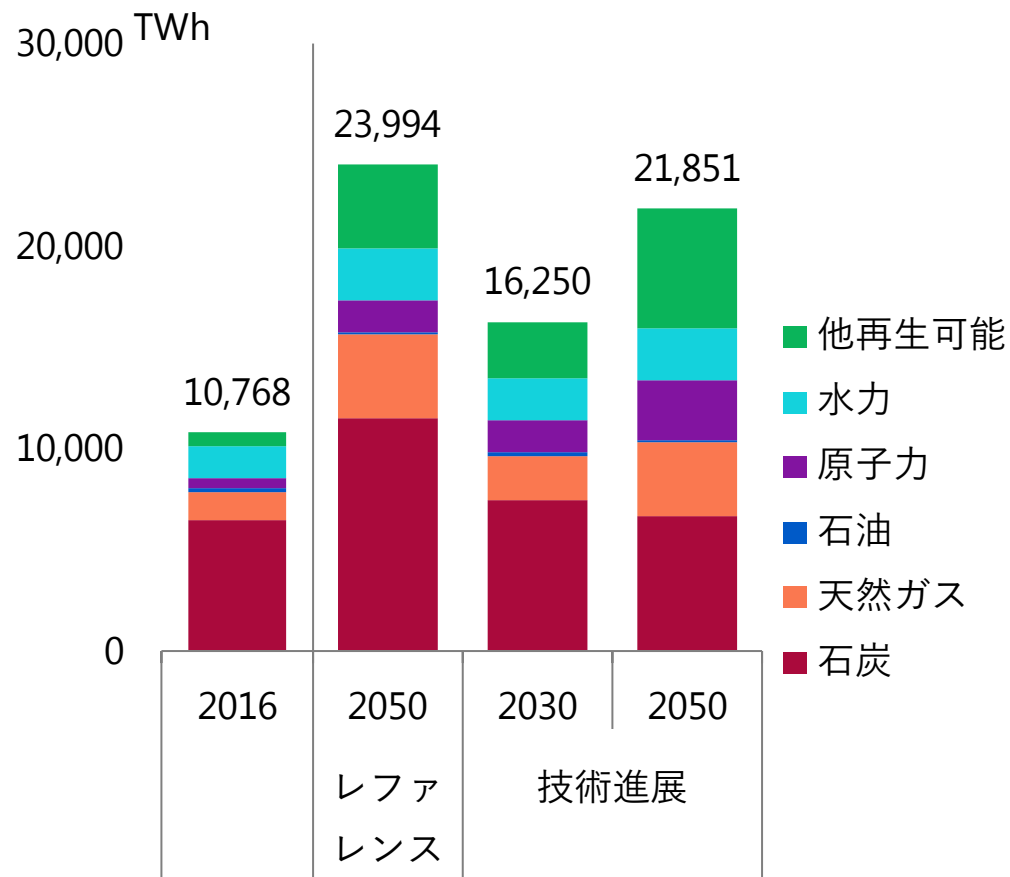
発電量



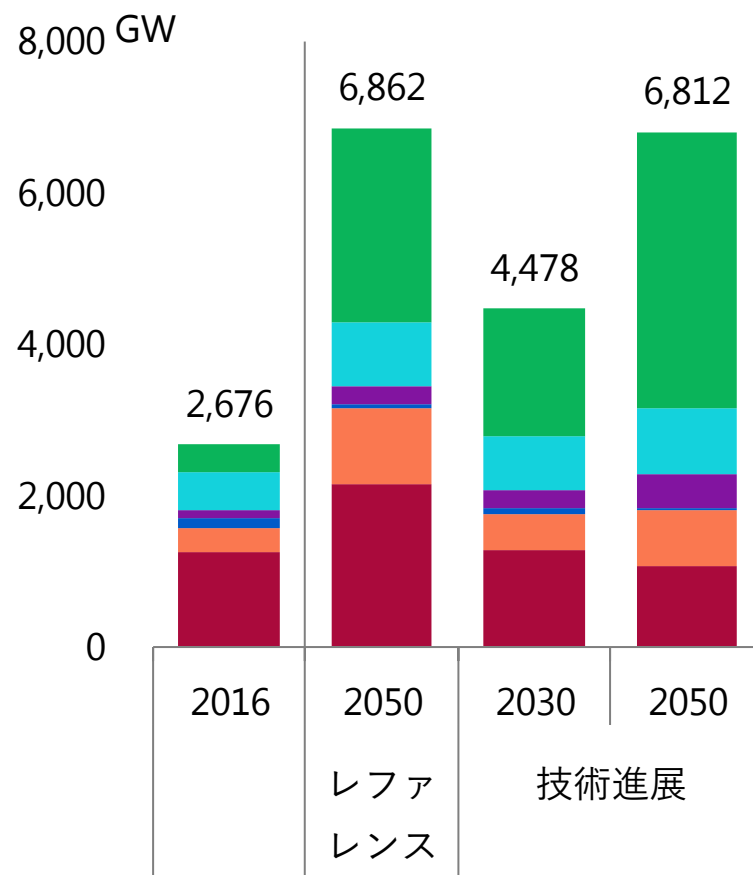
発電設備容量



発電量

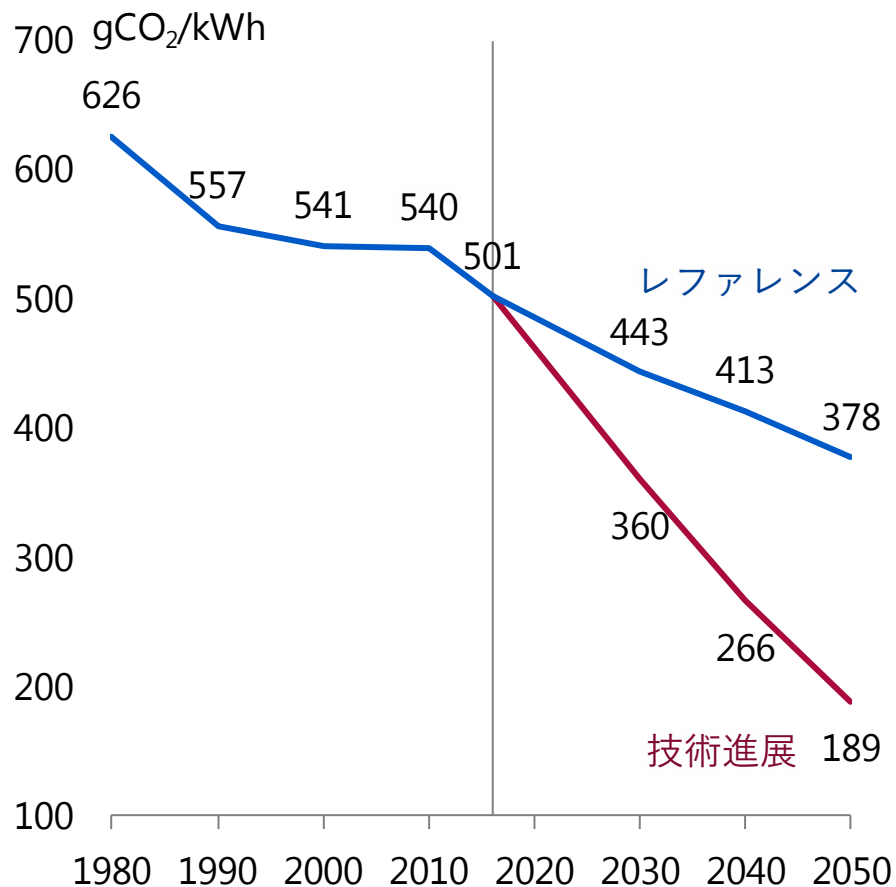


発電設備容量

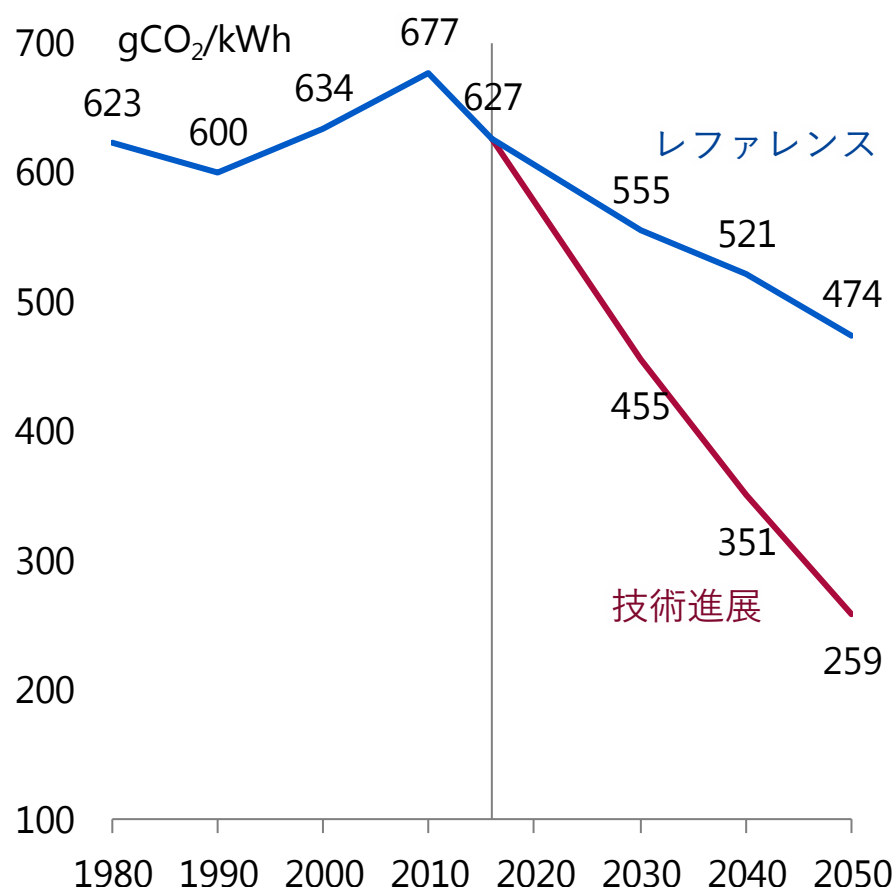


電力のCO₂排出原単位

世界

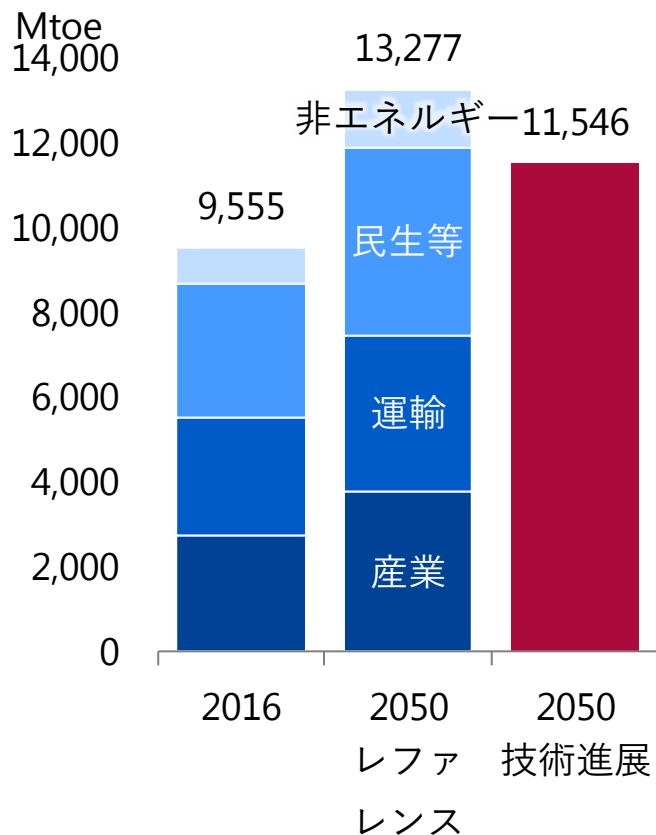


アジア

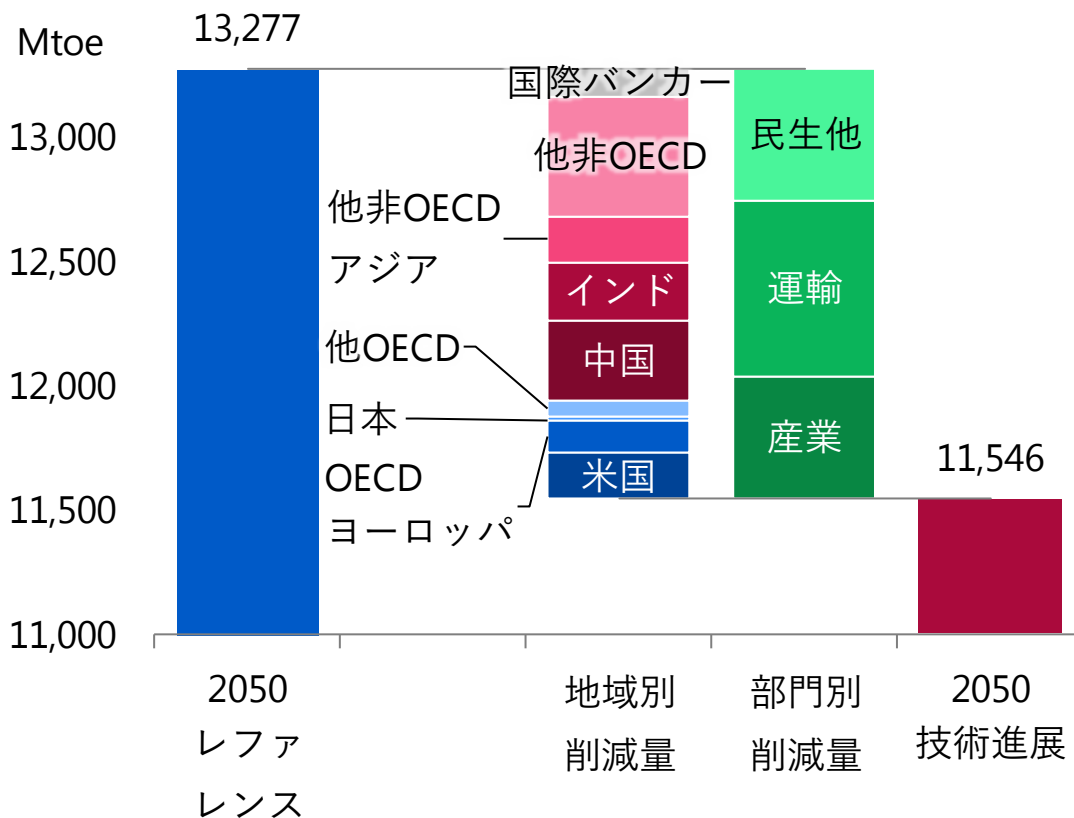


*発電端でのCO₂排出原単位

世界の最終エネルギー消費

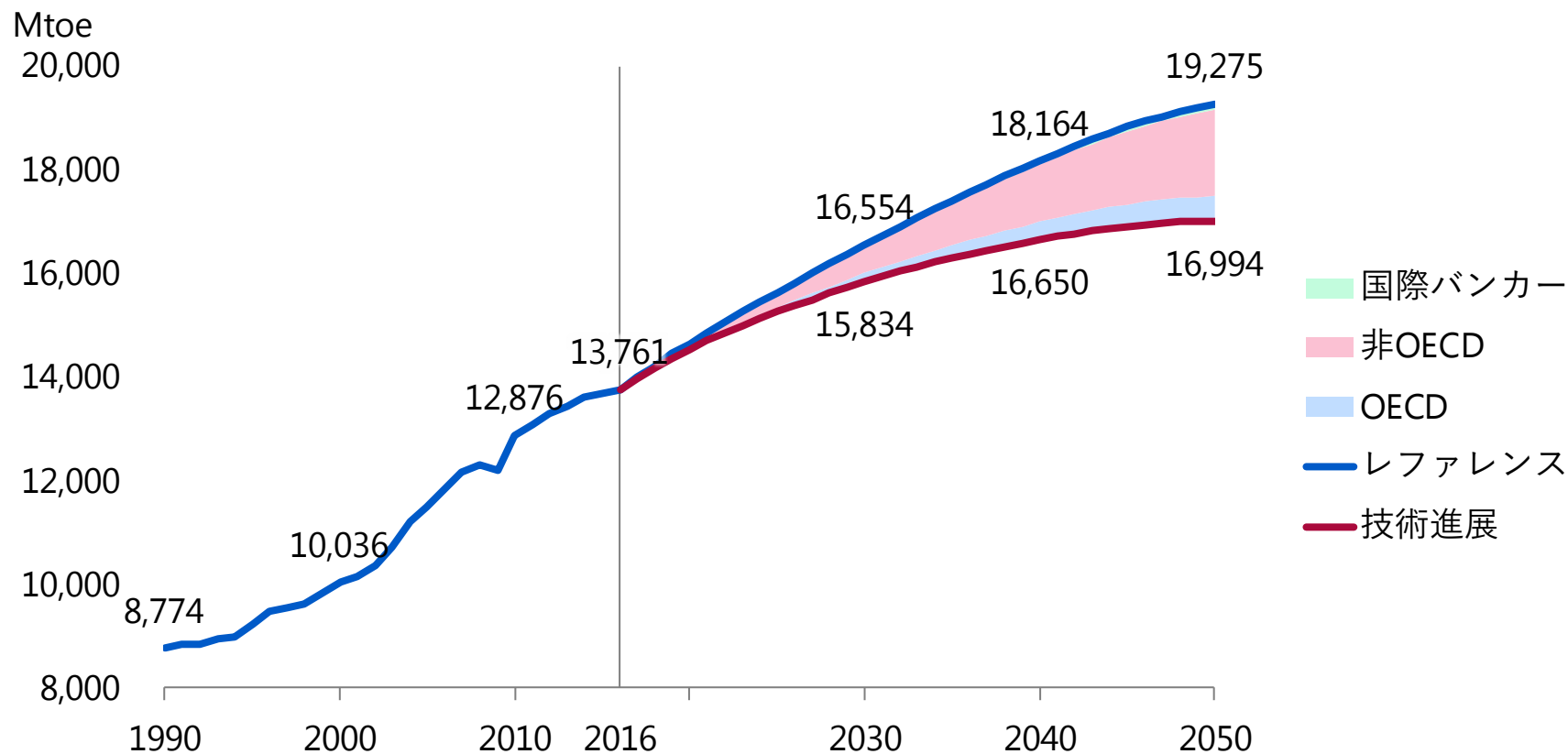


省エネルギー量の地域別・部門別内訳



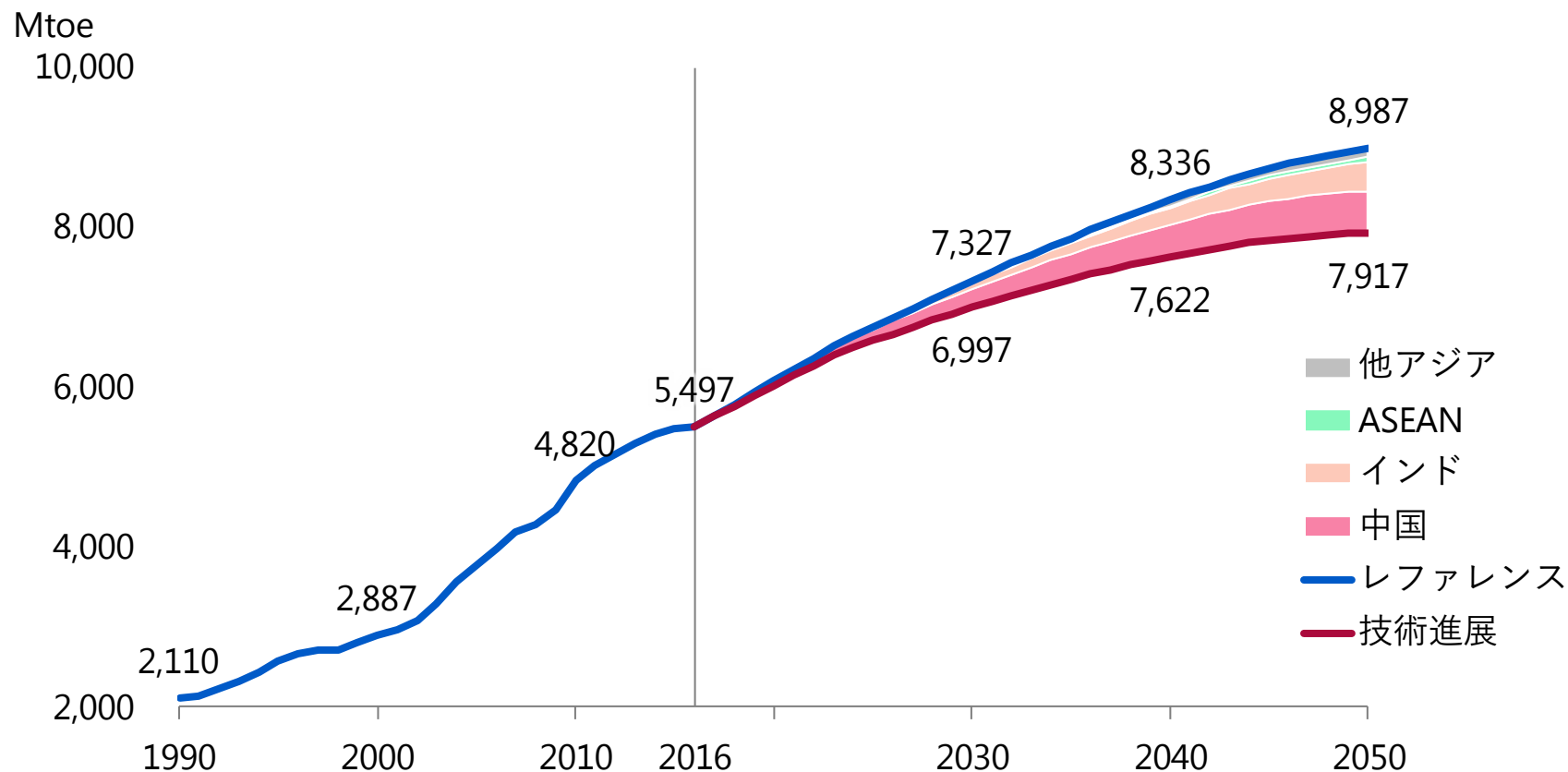
世界の一次エネルギー消費削減

技術進展シナリオ



アジアの一次エネルギー消費削減

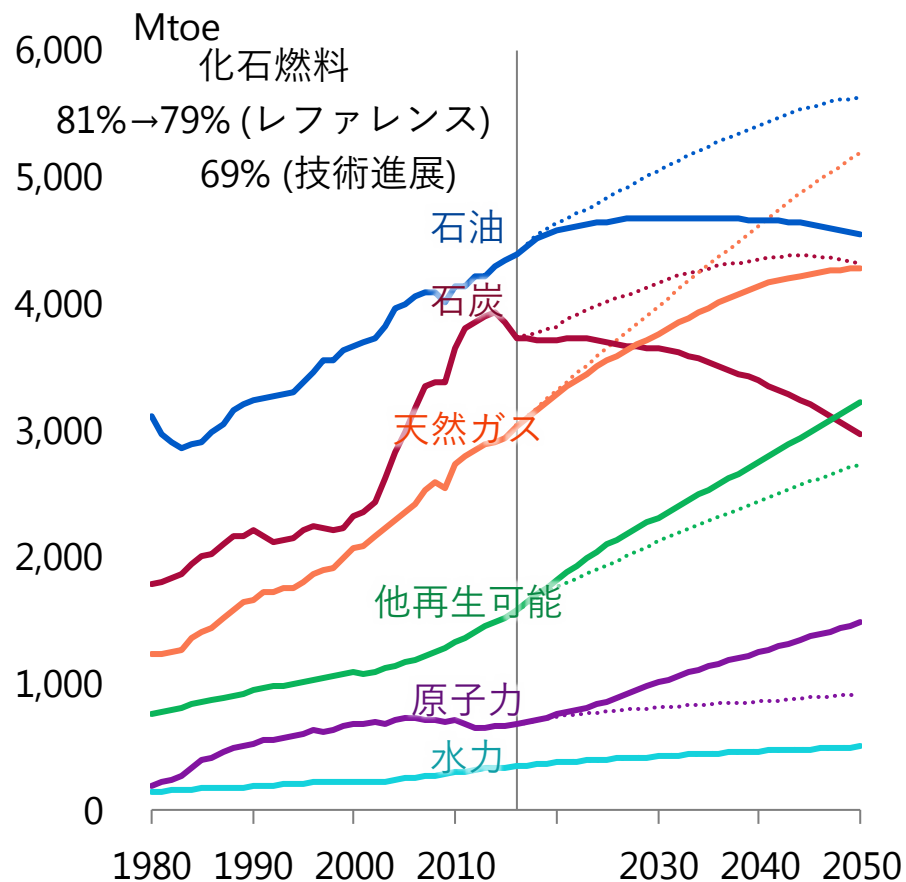
技術進展シナリオ



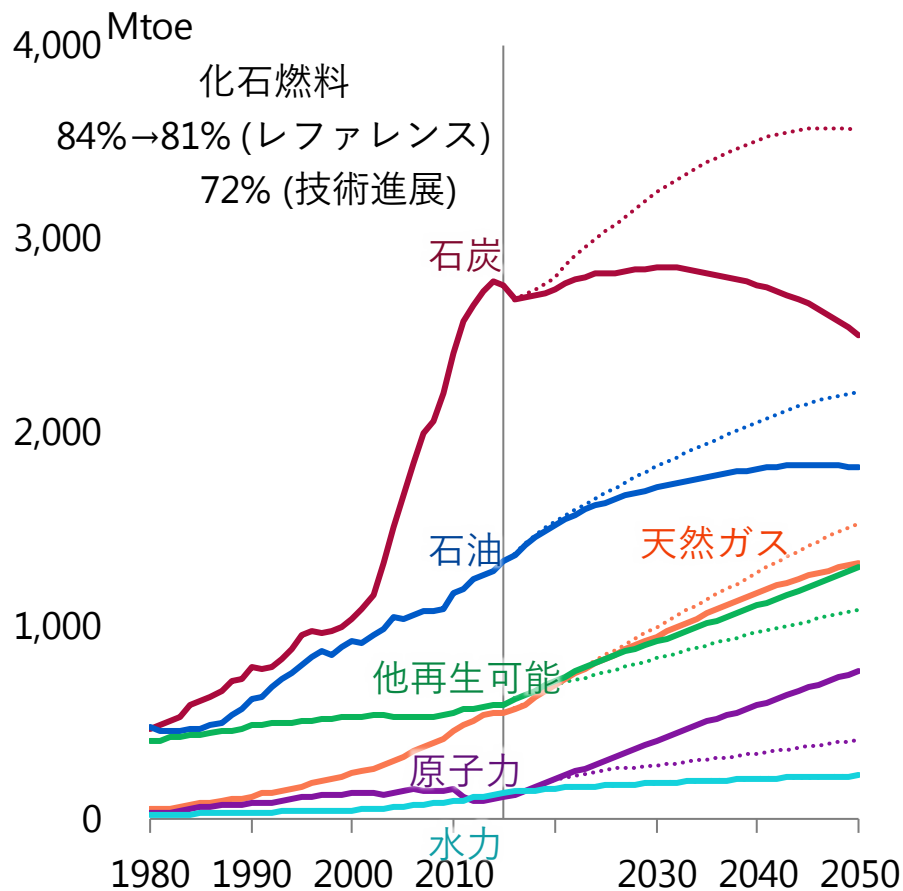
一次エネルギー消費(エネルギー源別)

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

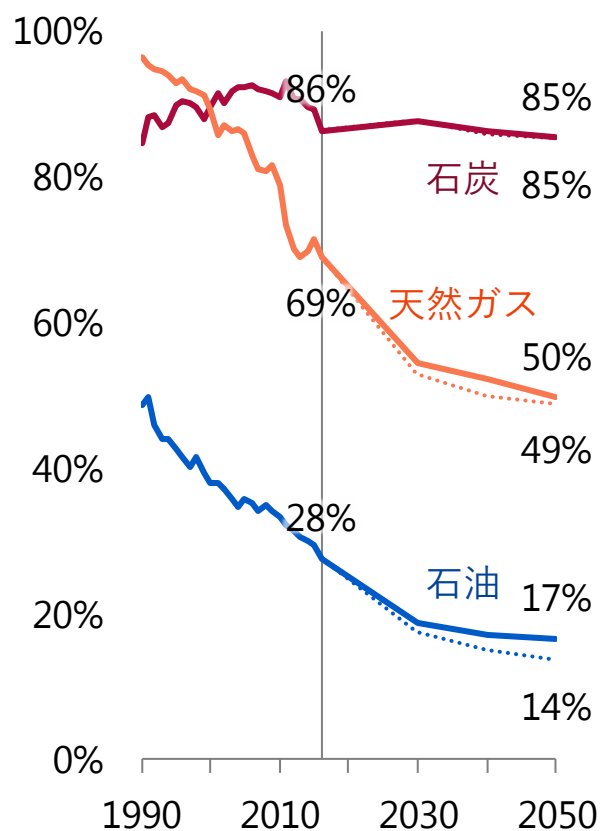


アジアのエネルギー自給率

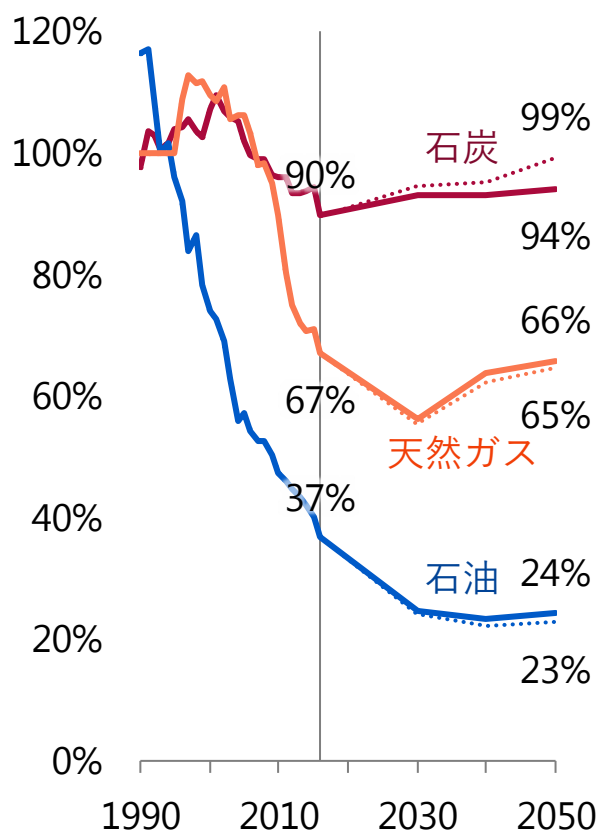
点線……レファレンスシナリオ
実線……技術進展シナリオ



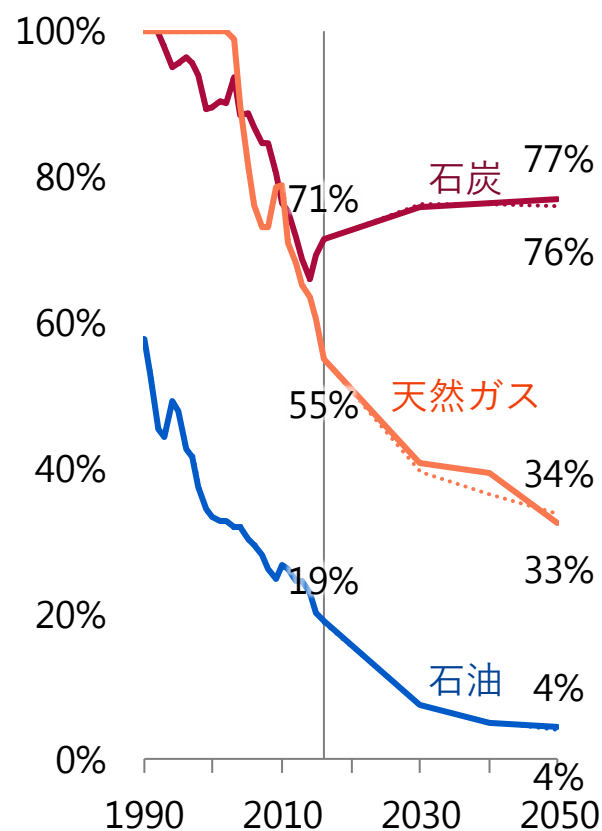
アジア計



中国



インド



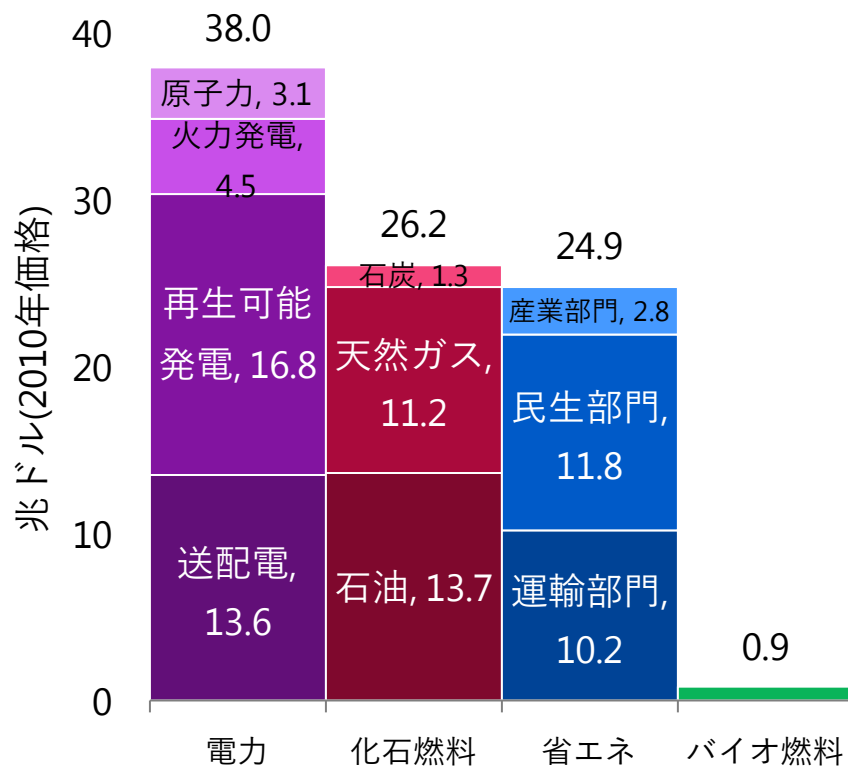
世界のエネルギー関連投資額

(2017年～2050年 累積投資額)

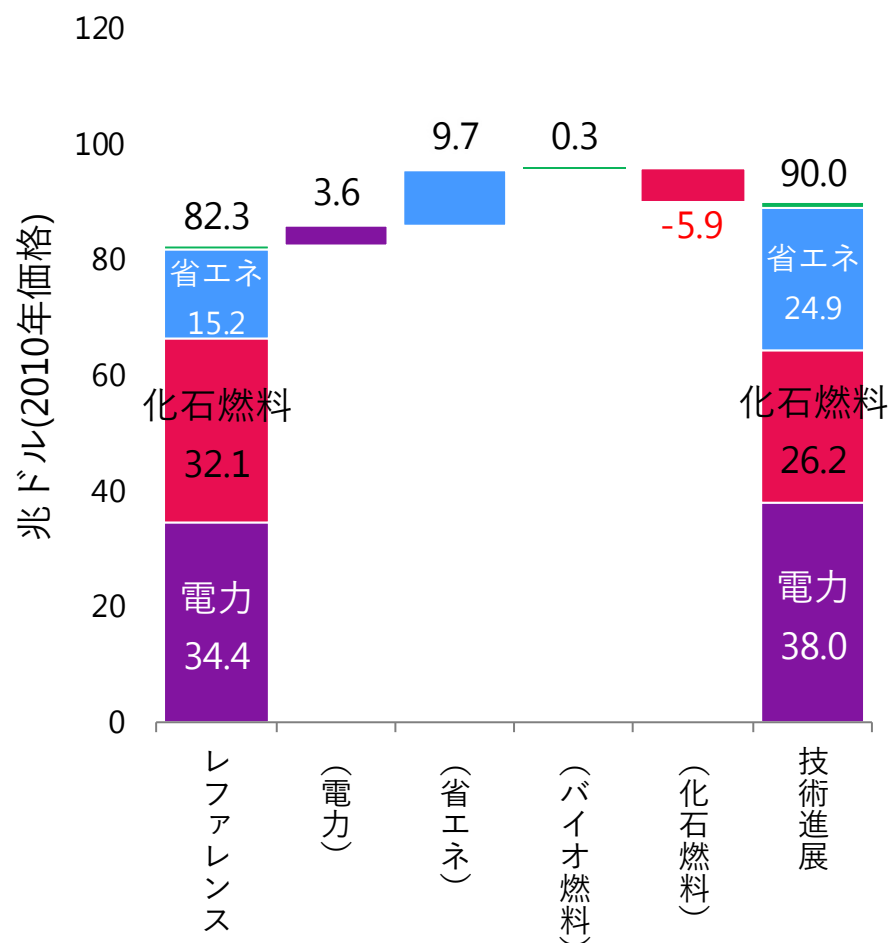
技術進展シナリオ

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

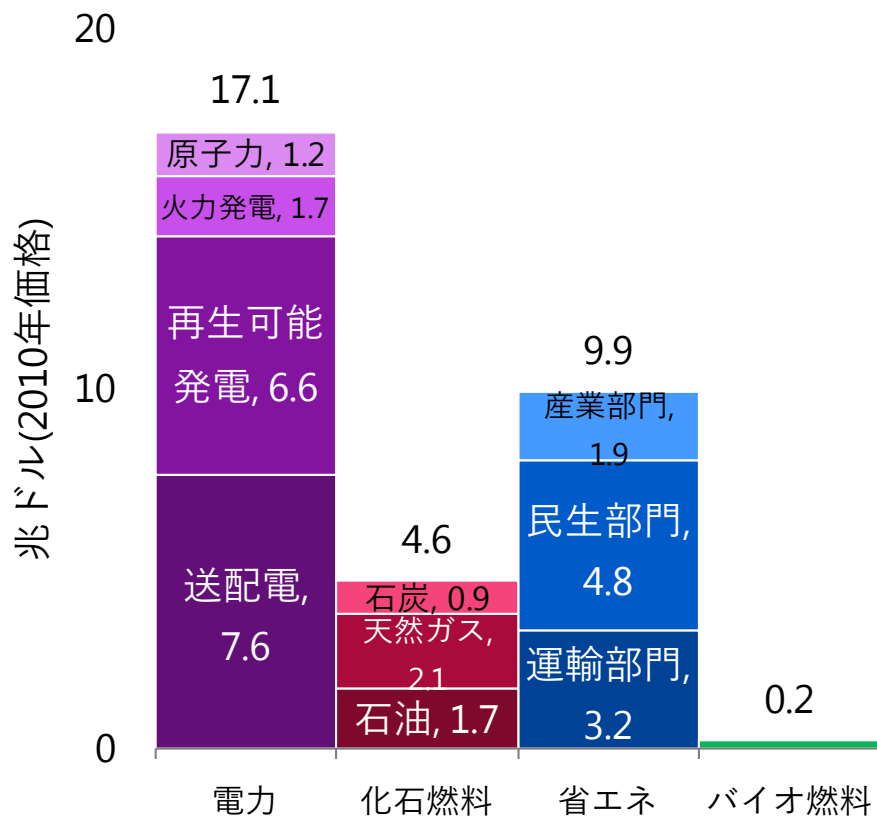


アジアのエネルギー関連投資額 (2017年～2050年)

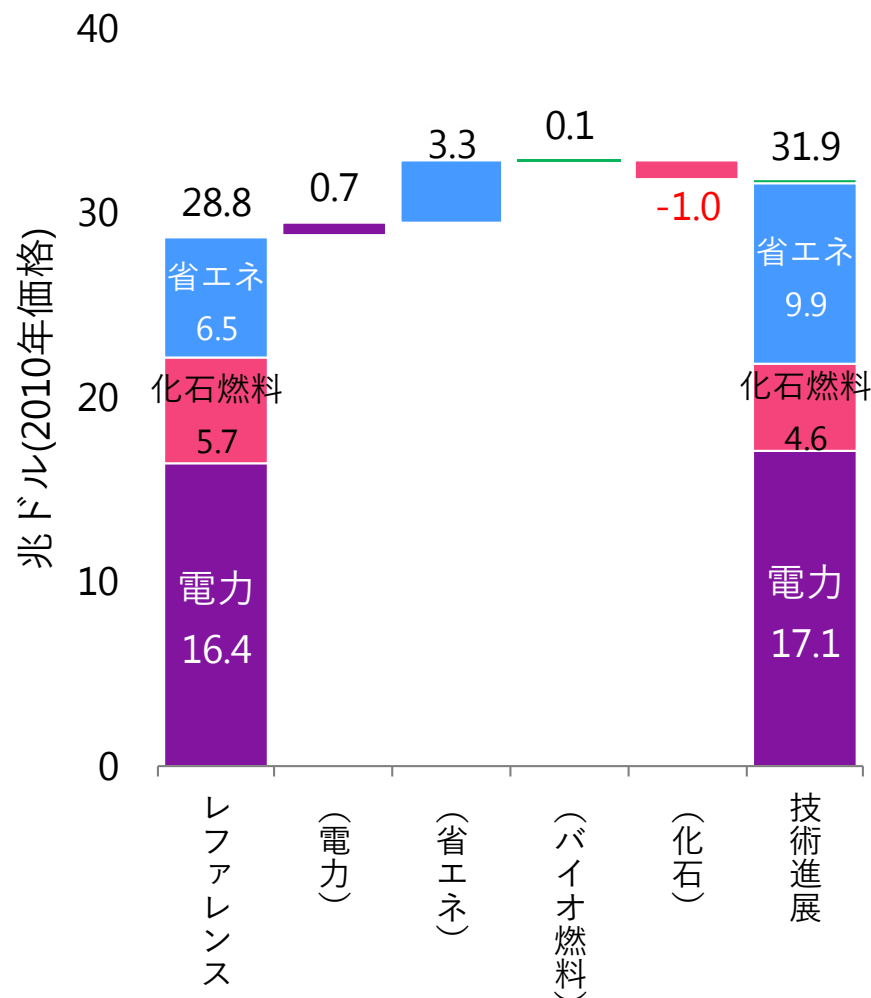
技術進展シナリオ

技術進展シナリオ 投資額

総額31.9兆ドル

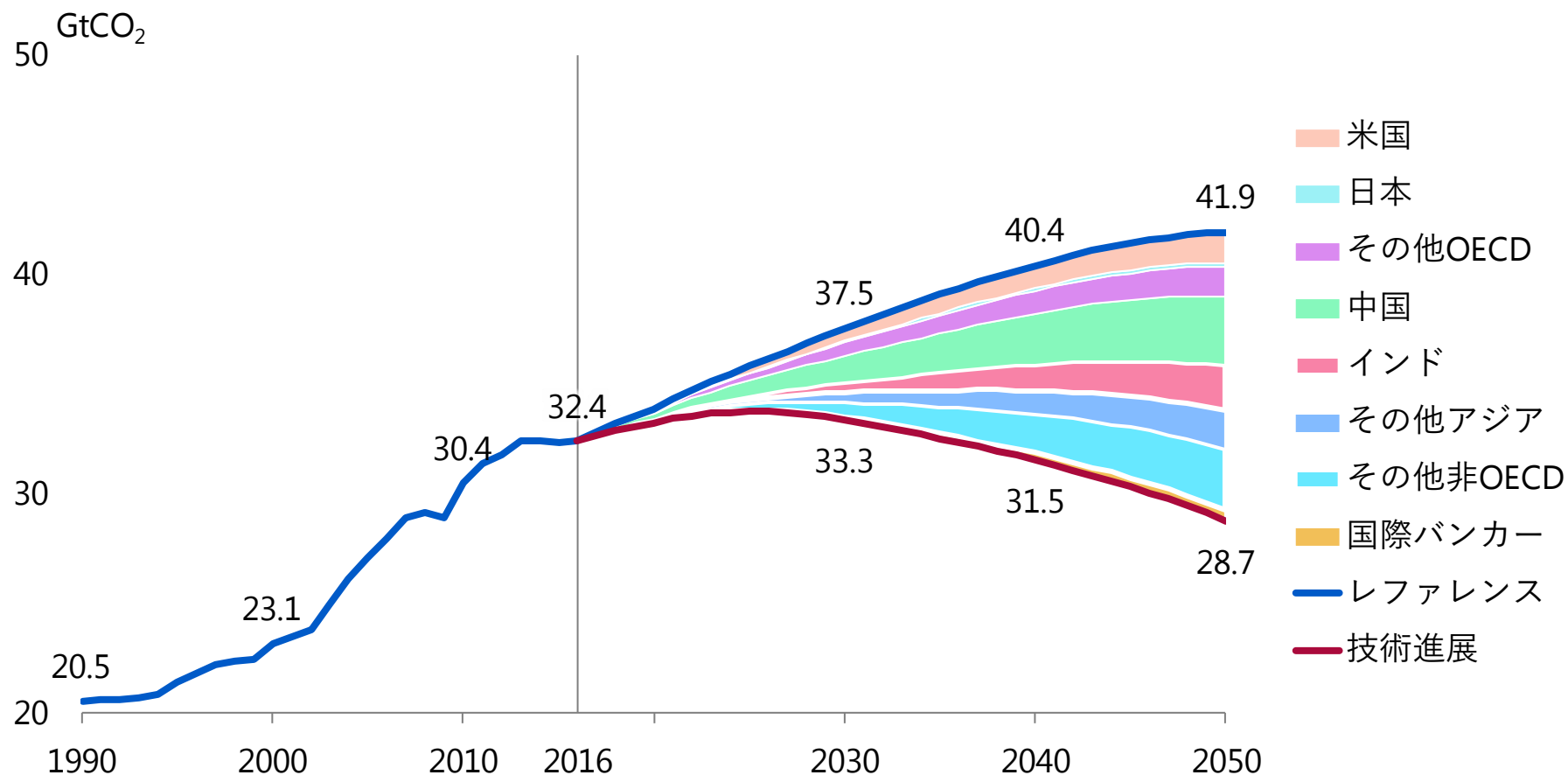


レファレンスシナリオとの比較



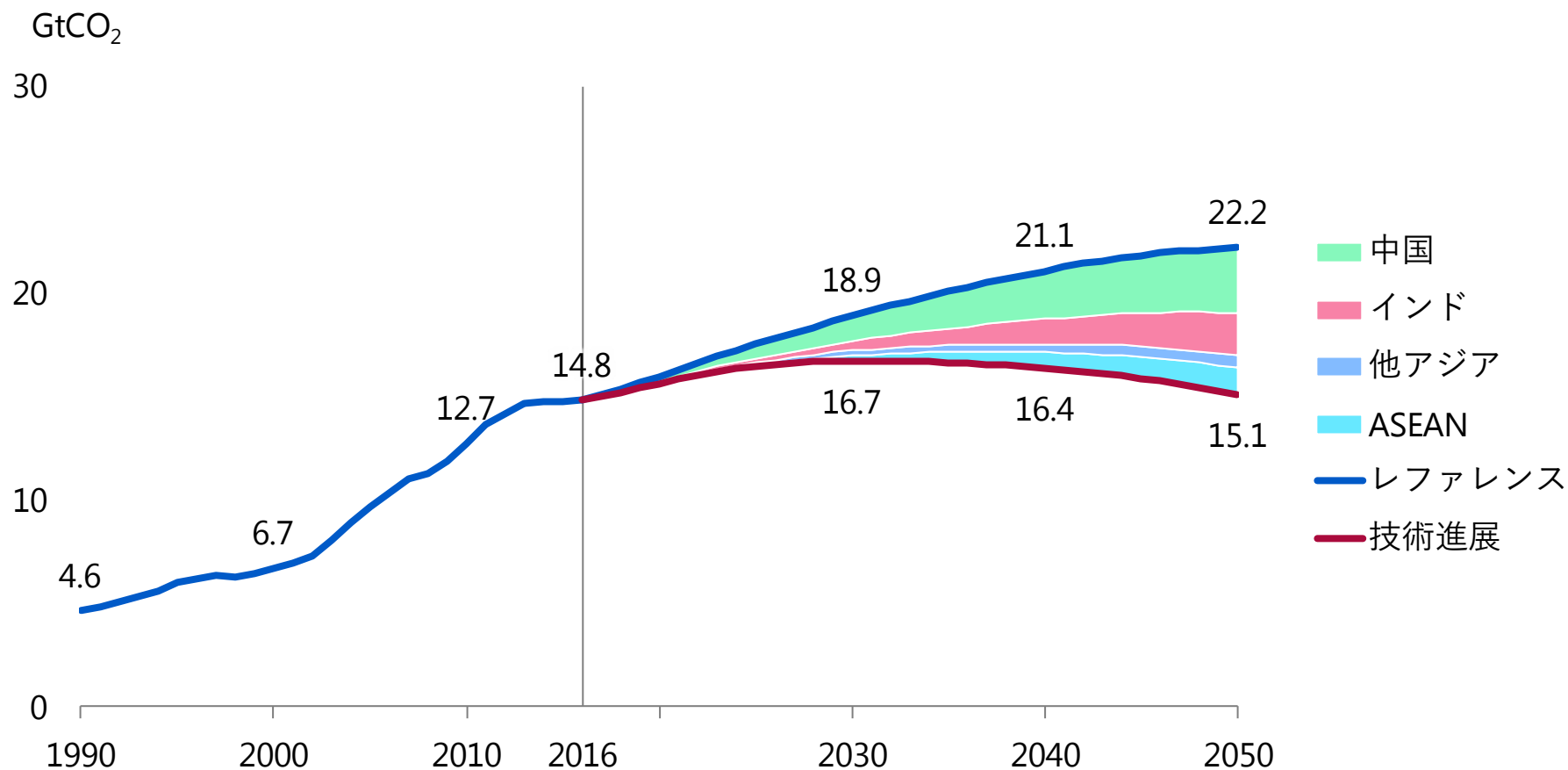
世界のCO₂排出削減(国・地域別)

技術進展シナリオ



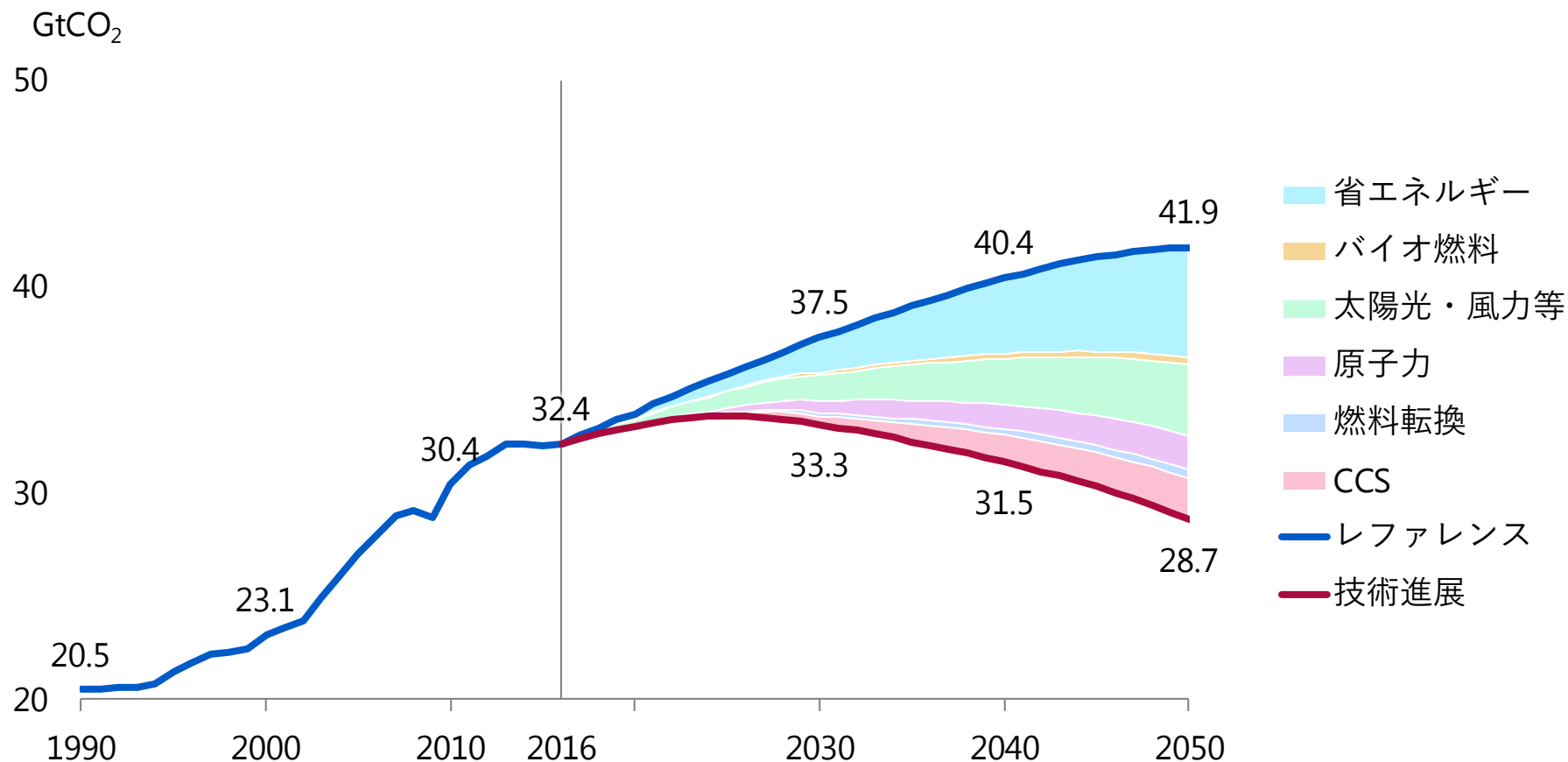
アジアのCO₂排出削減(国・地域別)

技術進展シナリオ



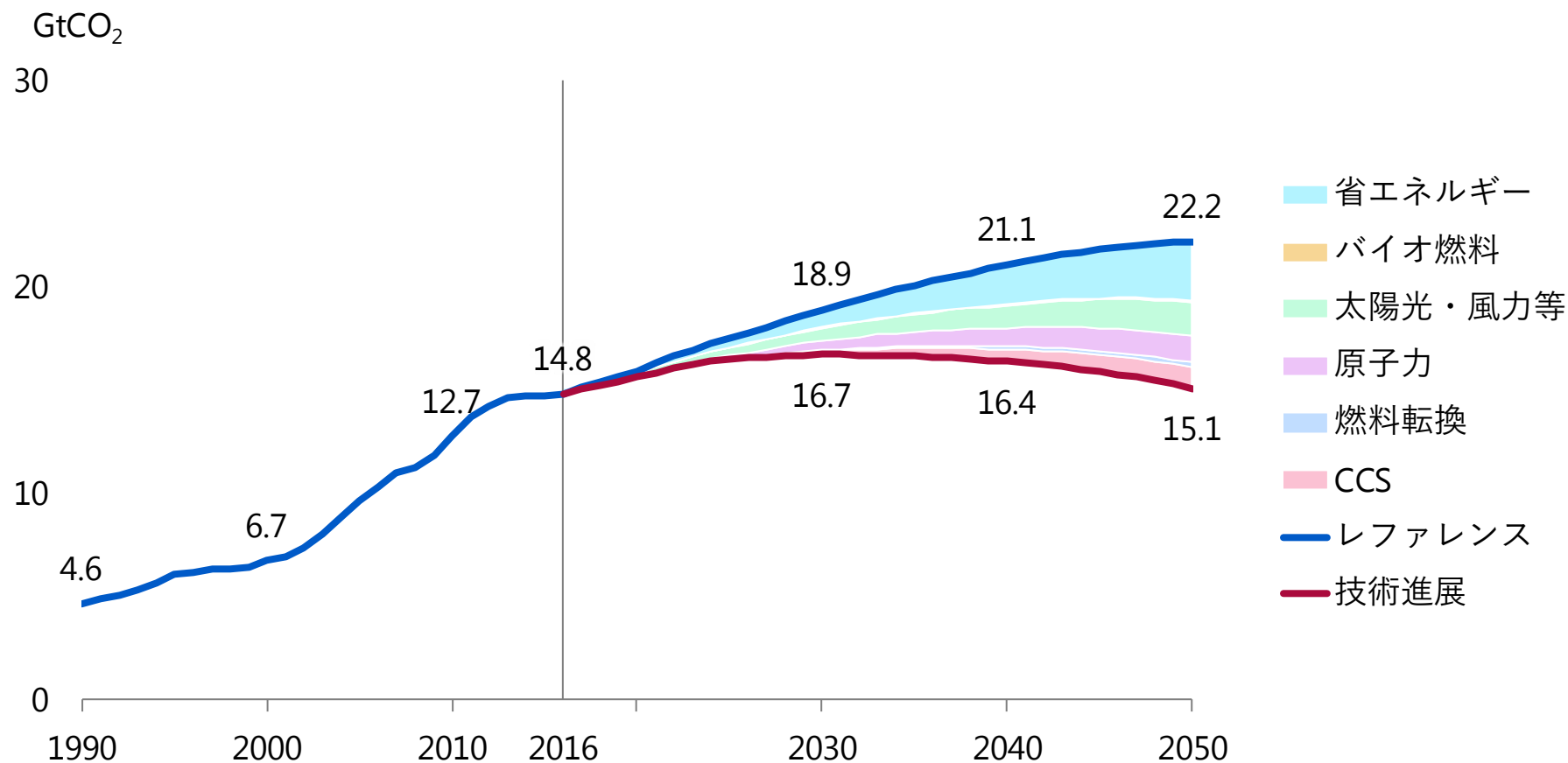
技術による世界のCO₂排出削減

技術進展シナリオ



技術によるアジアのCO₂排出削減

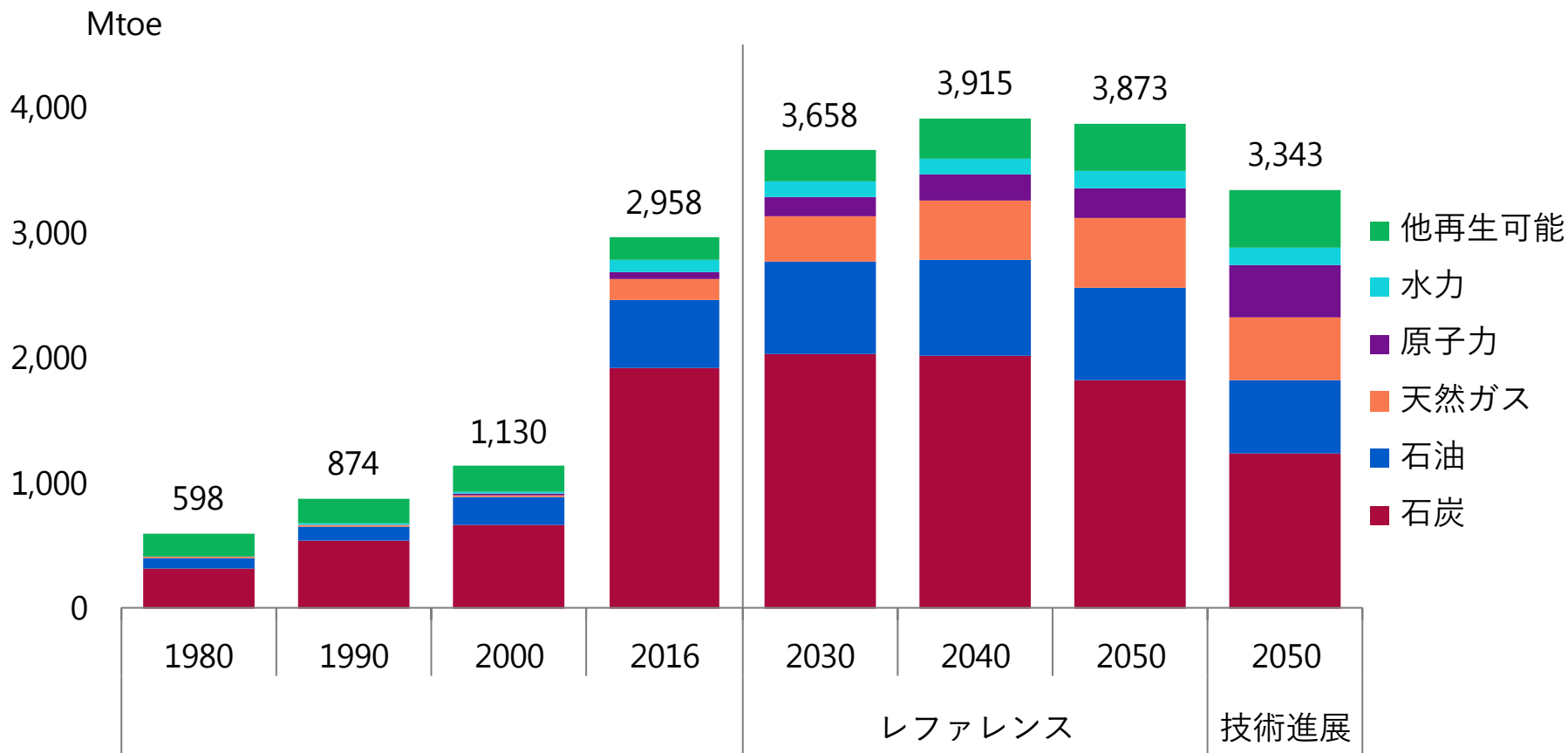
技術進展シナリオ



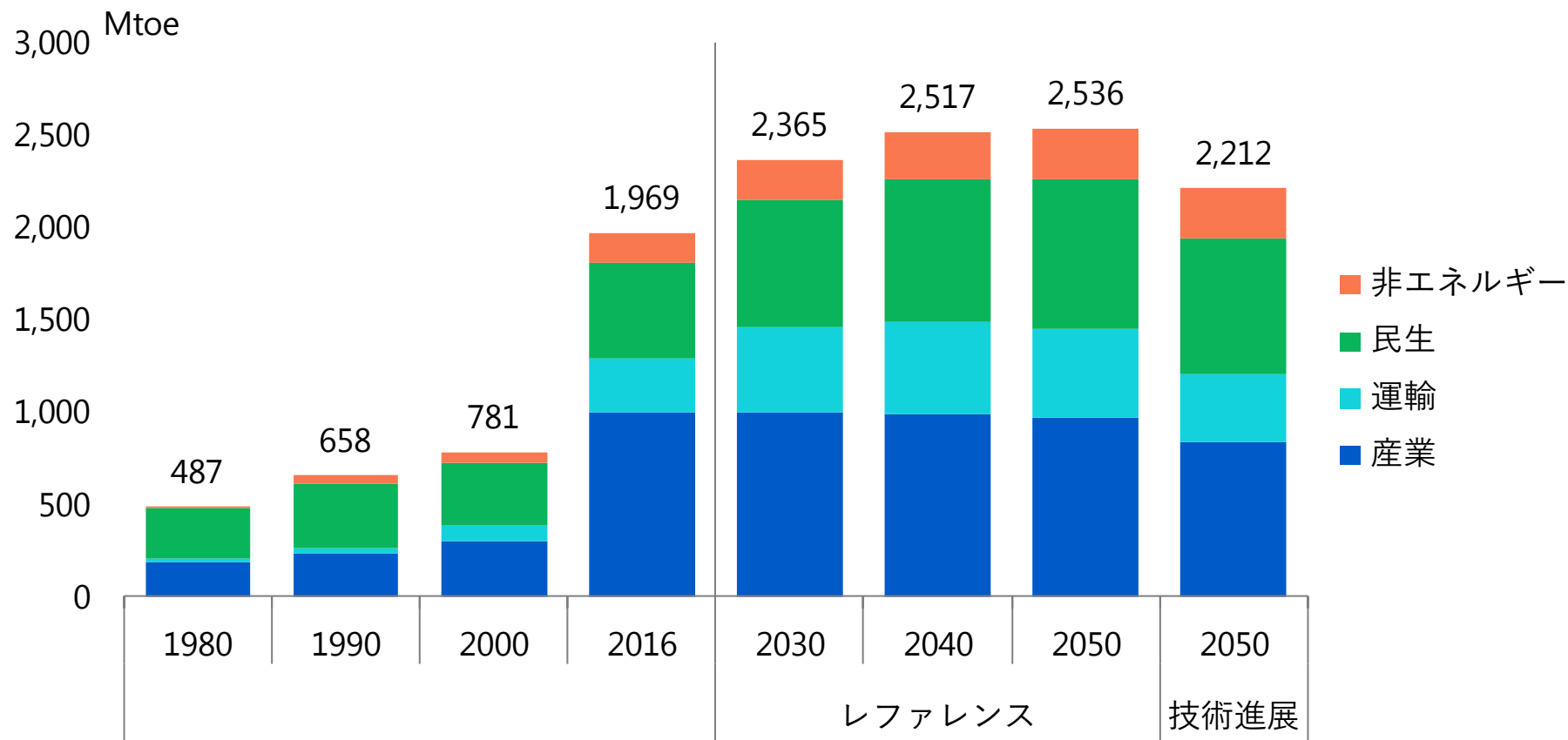
A light gray world map is visible in the background, centered on the Atlantic Ocean. The title text is overlaid on the map.

中国、インド、ASEANのエネルギー需給

中国の一次エネルギー消費



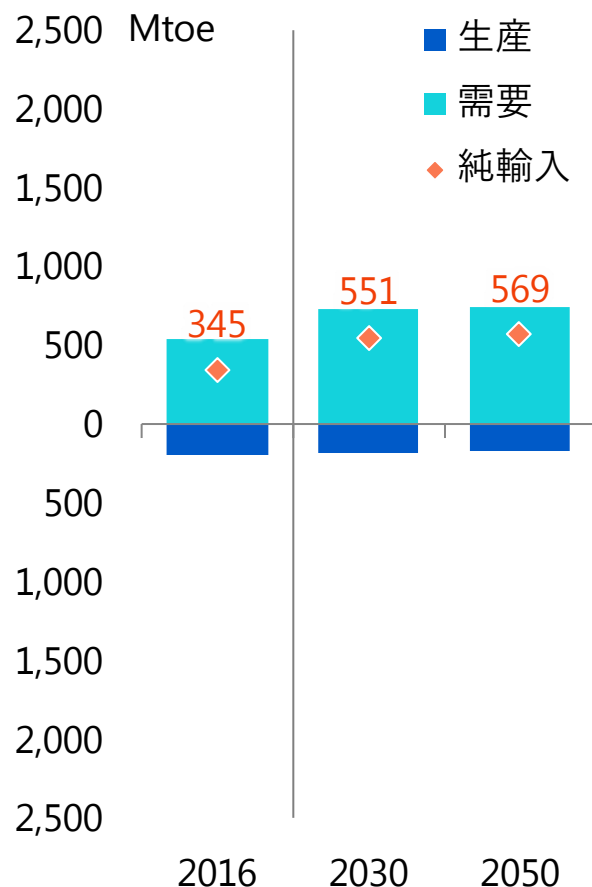
中国の最終エネルギー消費



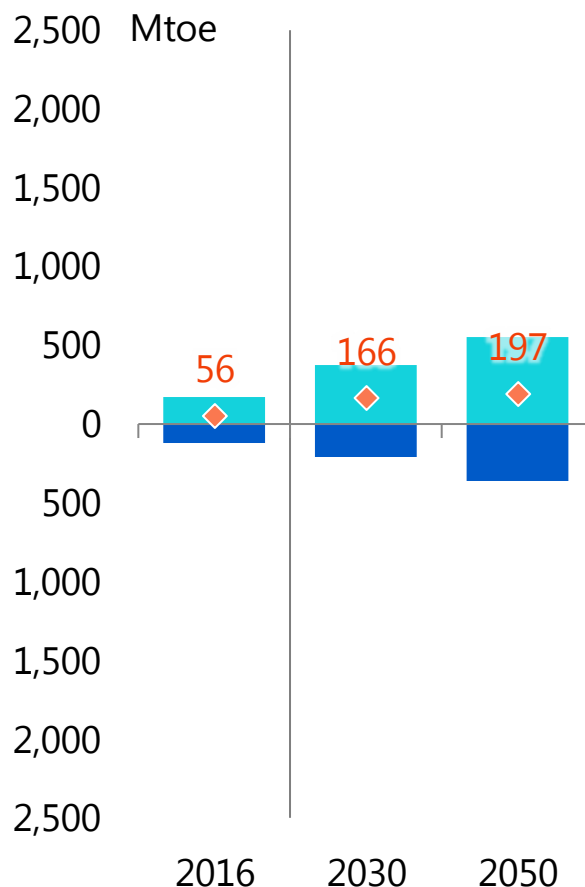
中国の化石燃料需給バランス

レファレンスシナリオ

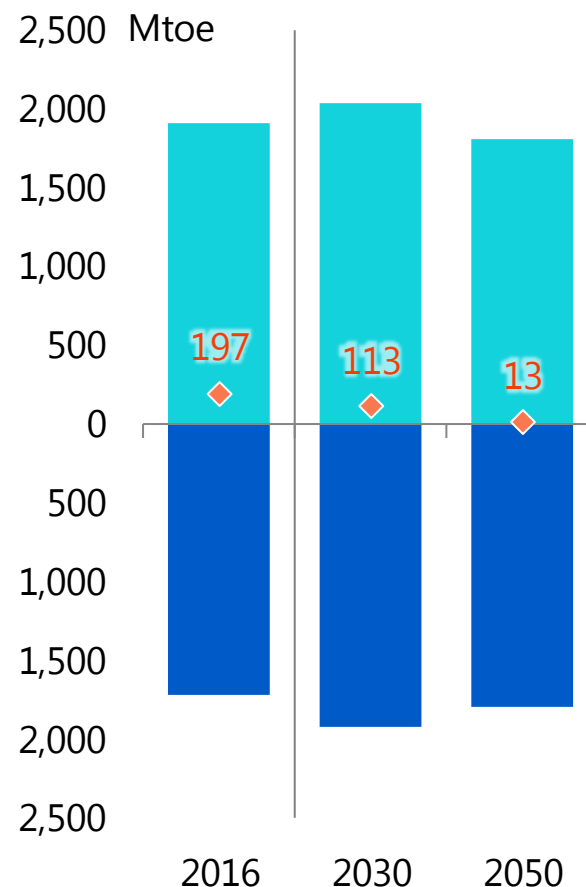
石油



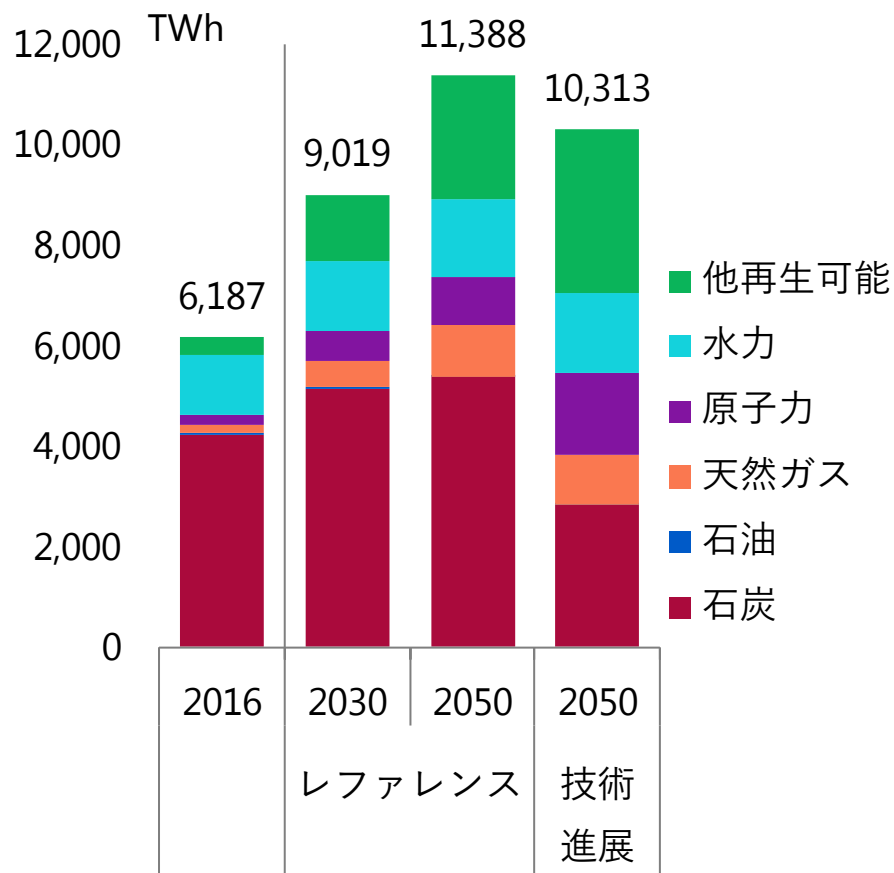
天然ガス



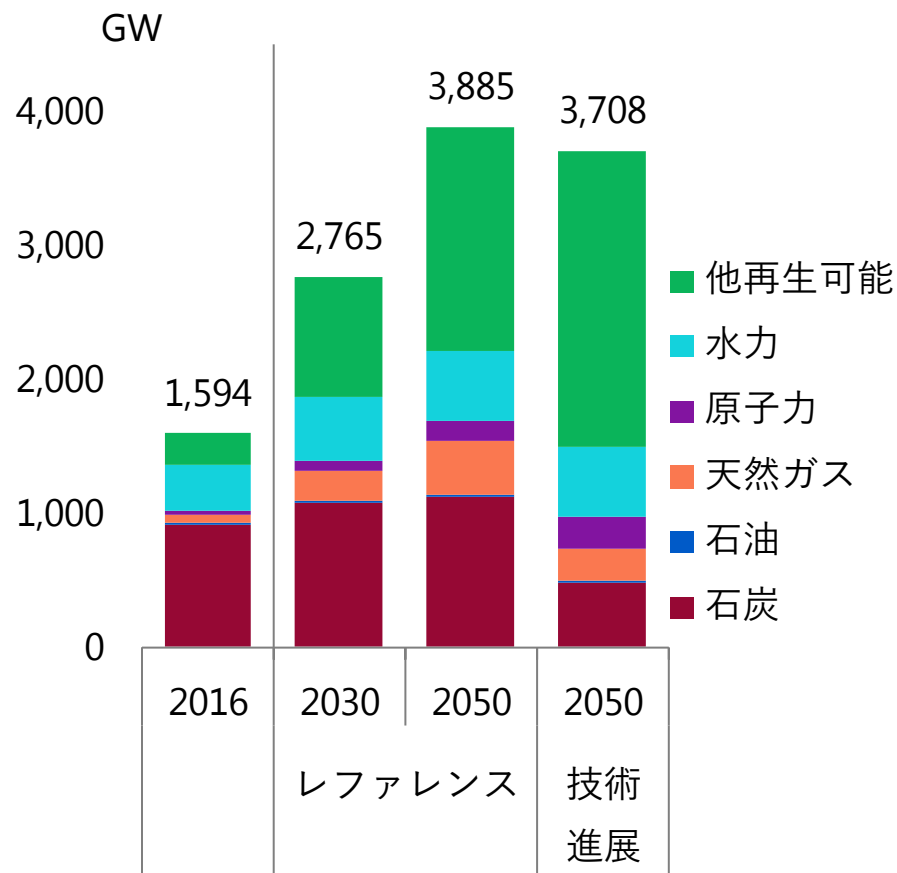
石炭



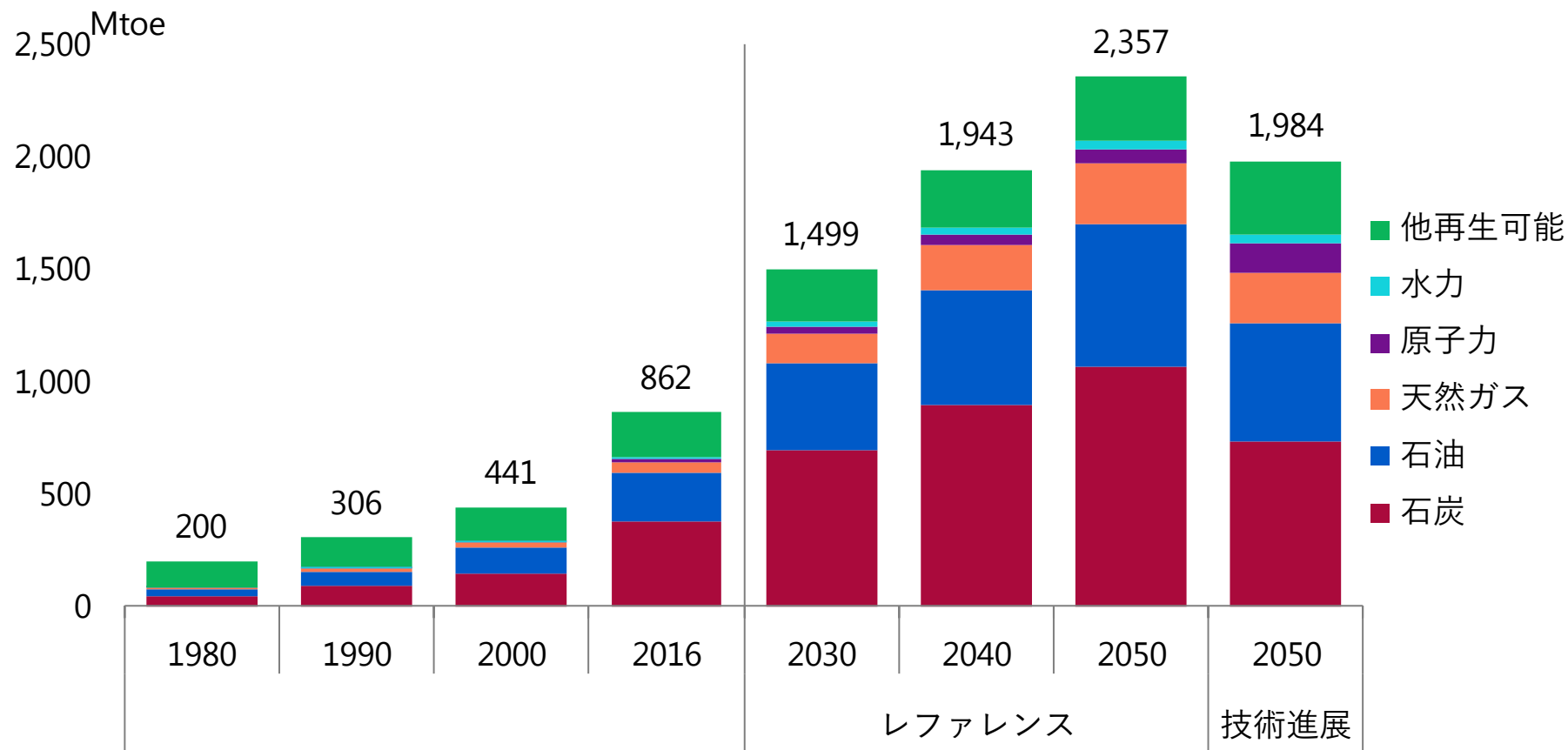
発電量



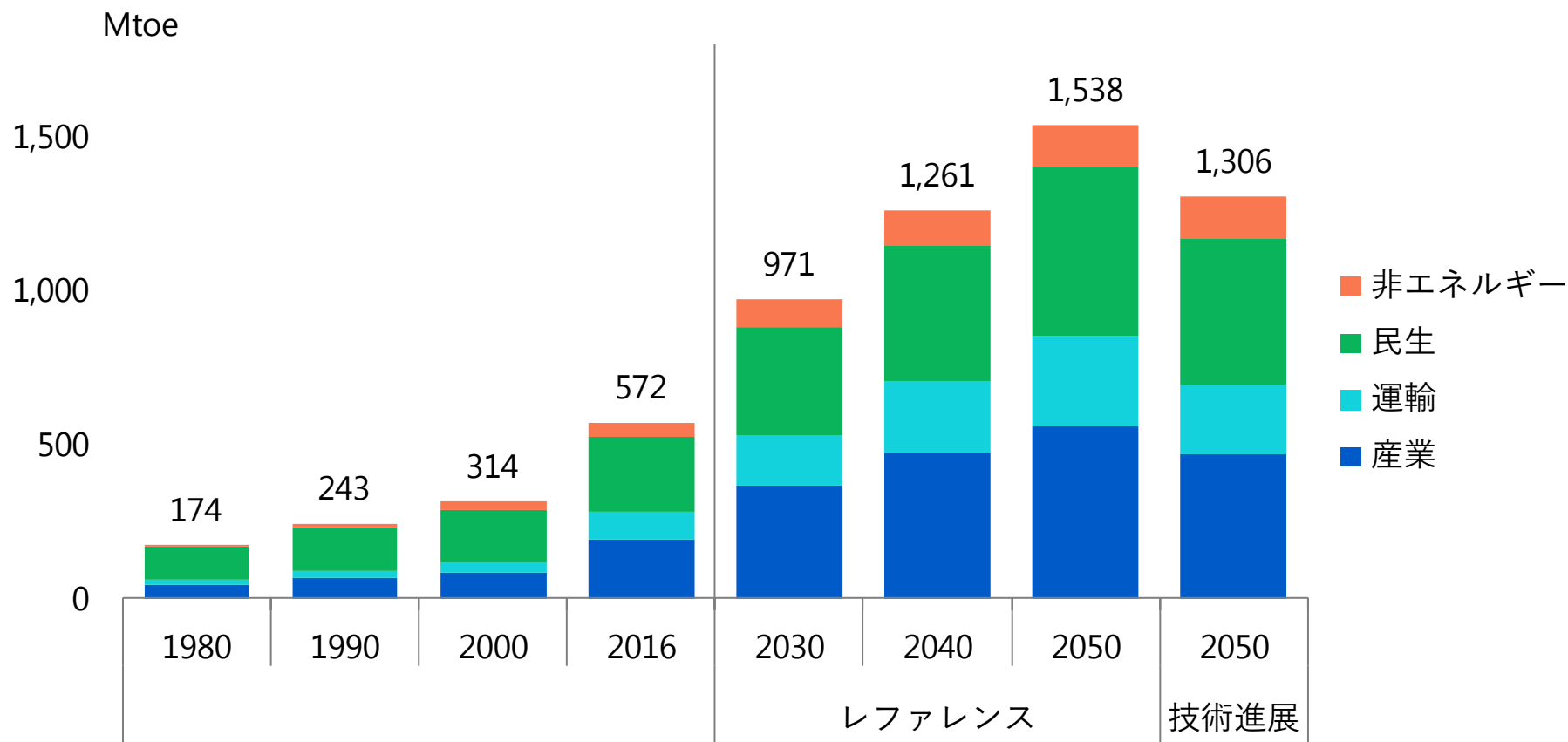
発電設備容量



インドの一次エネルギー消費



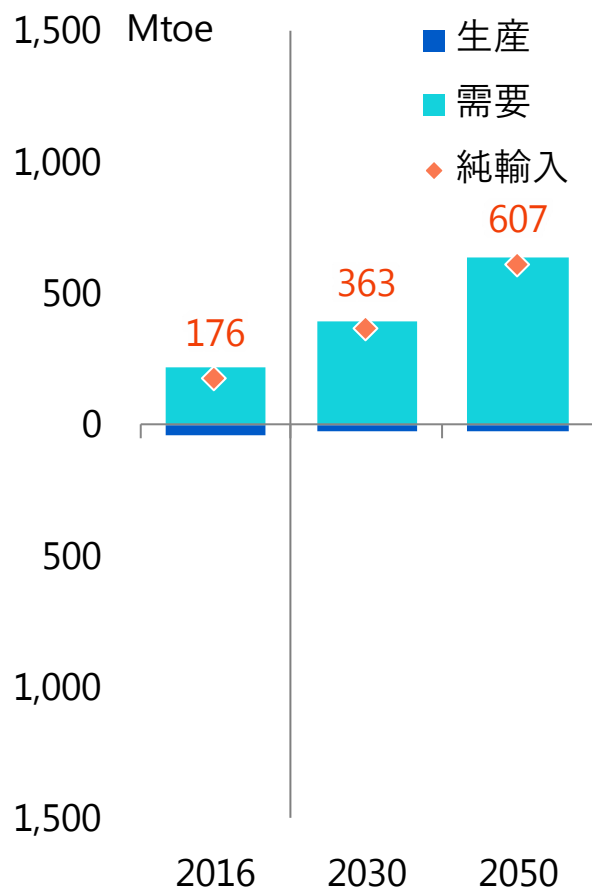
インドの最終エネルギー消費



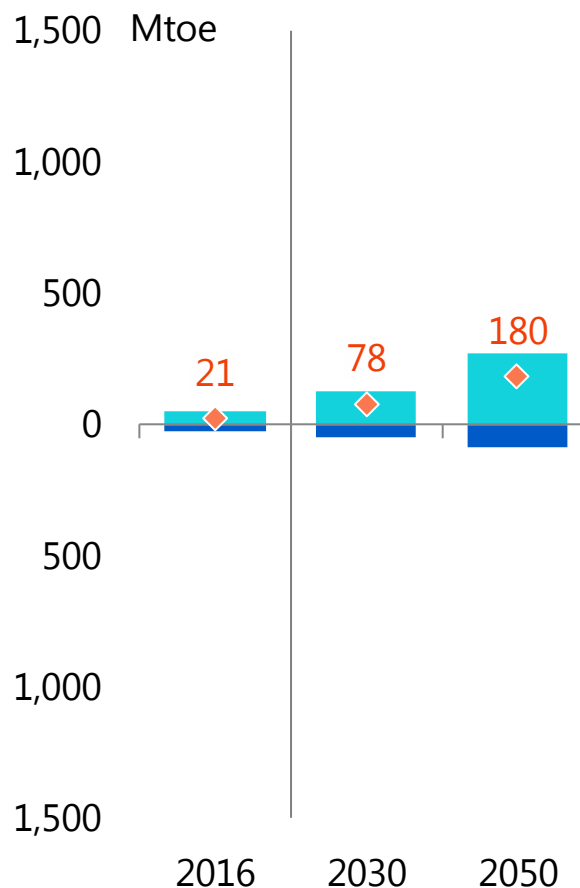
インドの化石燃料需給バランス

レファレンスシナリオ

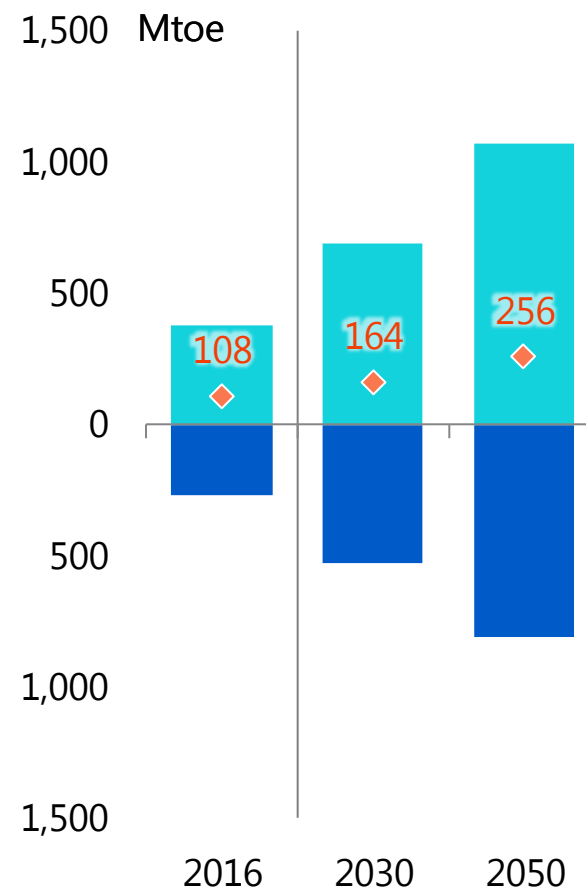
石油



天然ガス

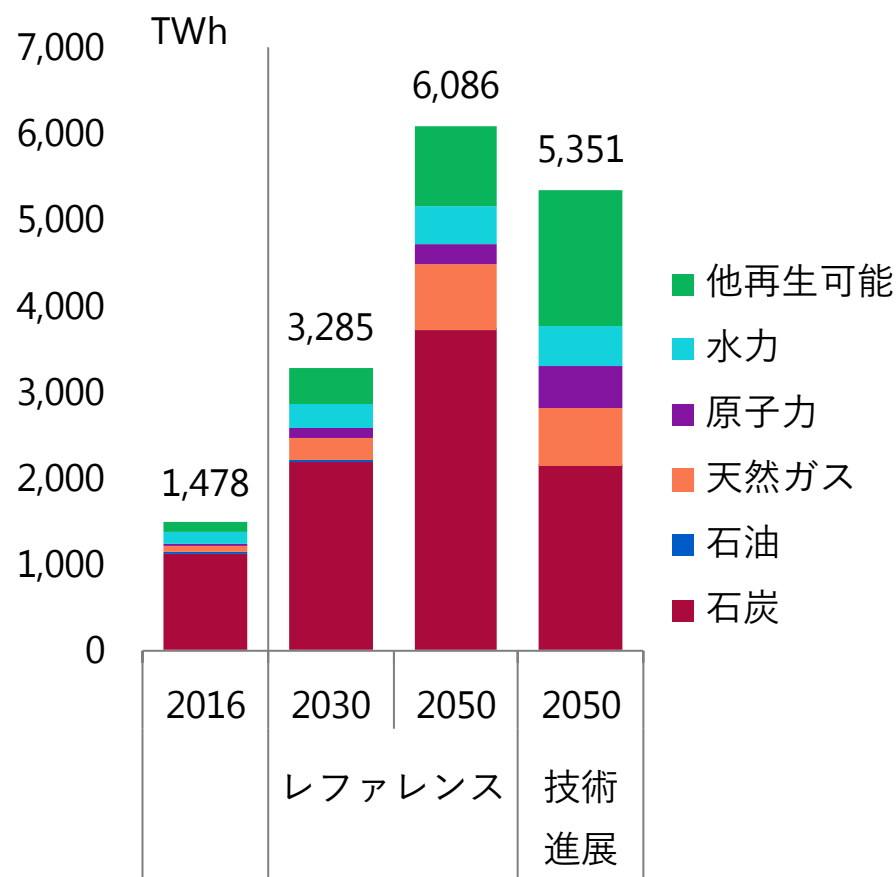


石炭

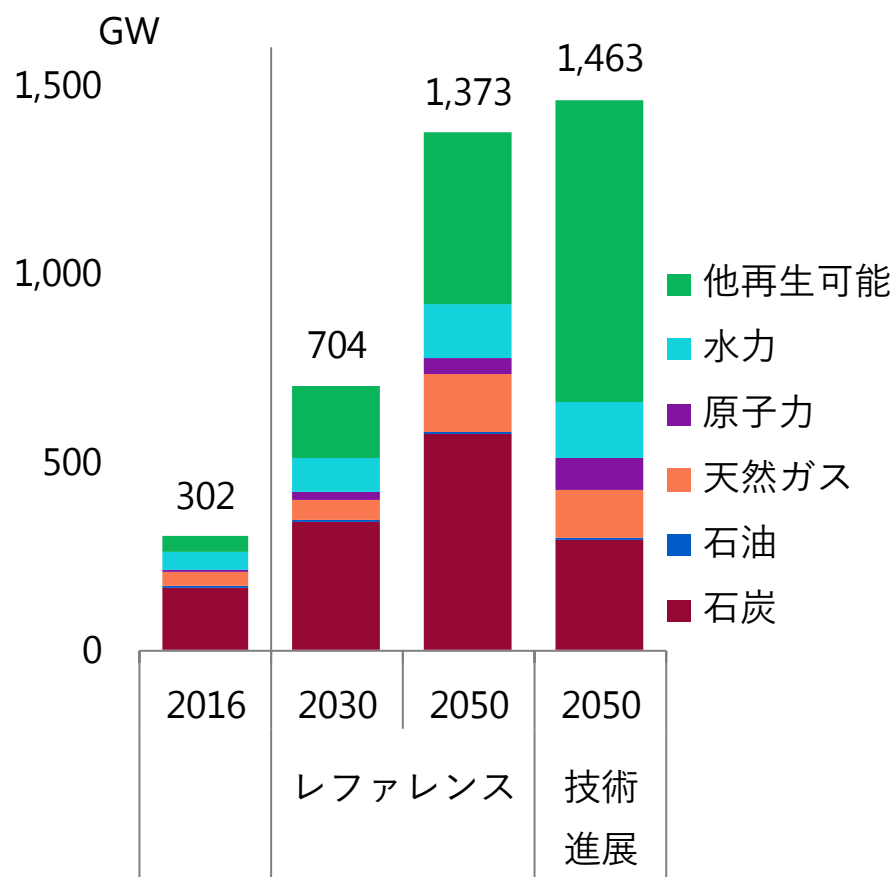


インドの発電構成

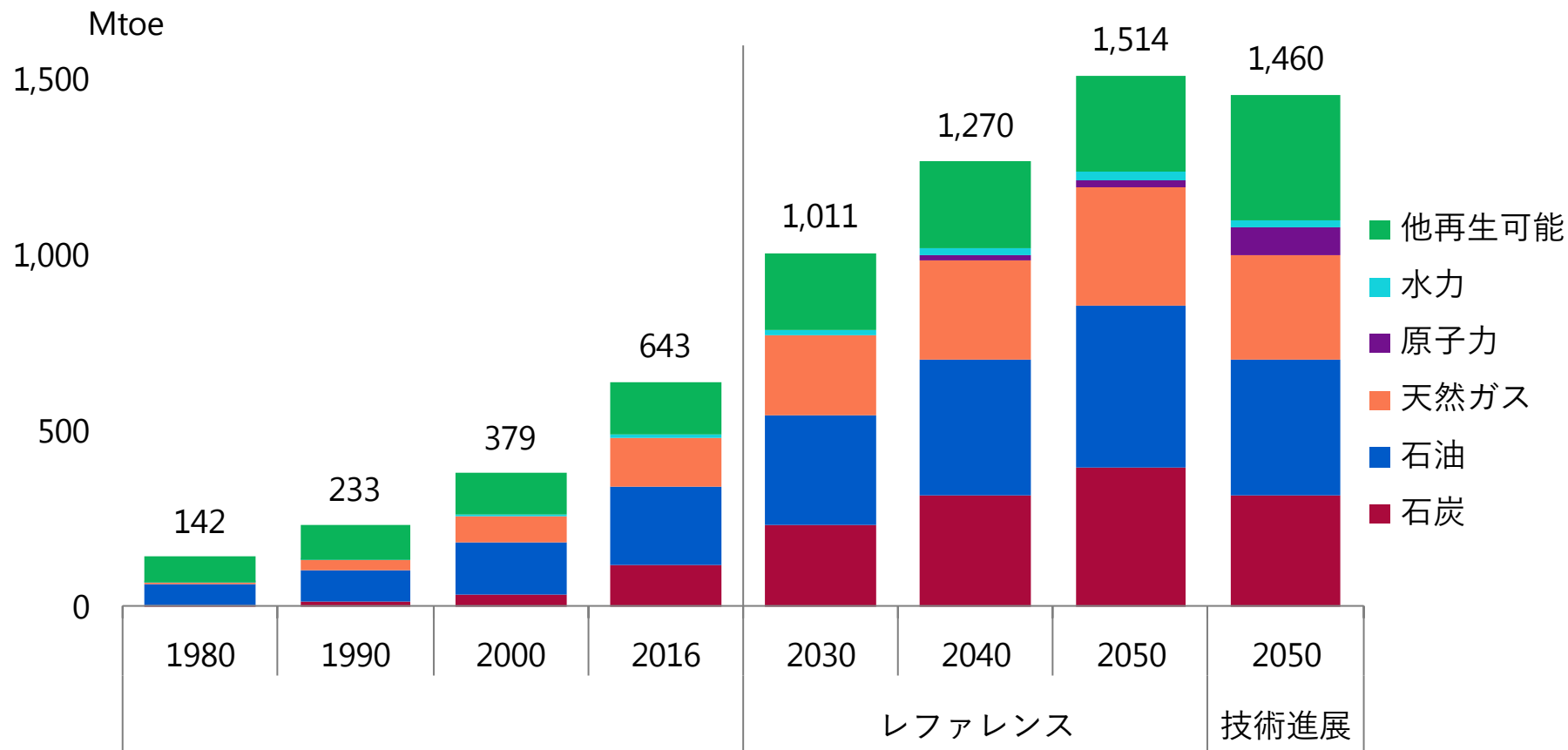
発電量



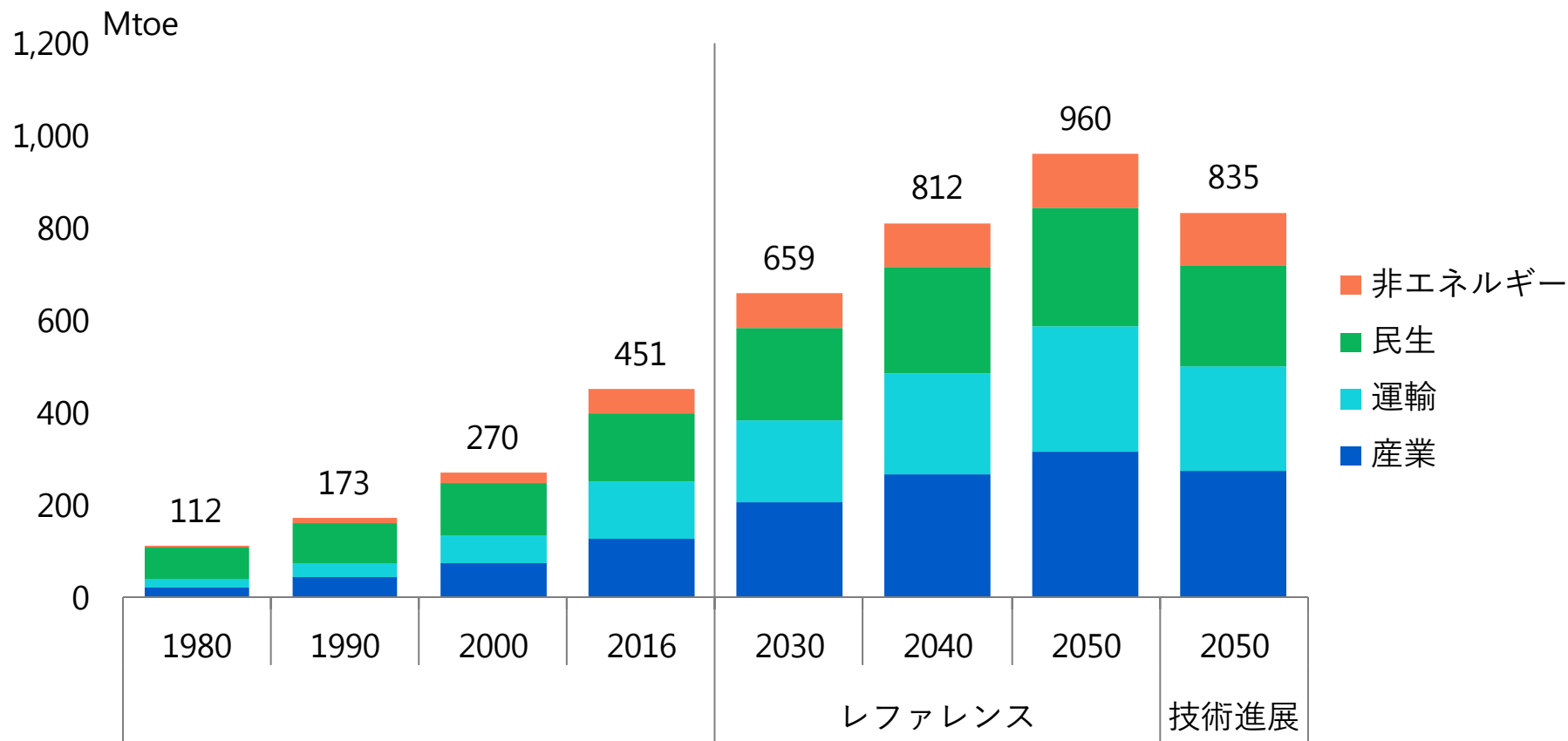
発電設備容量



ASEANの一次エネルギー消費

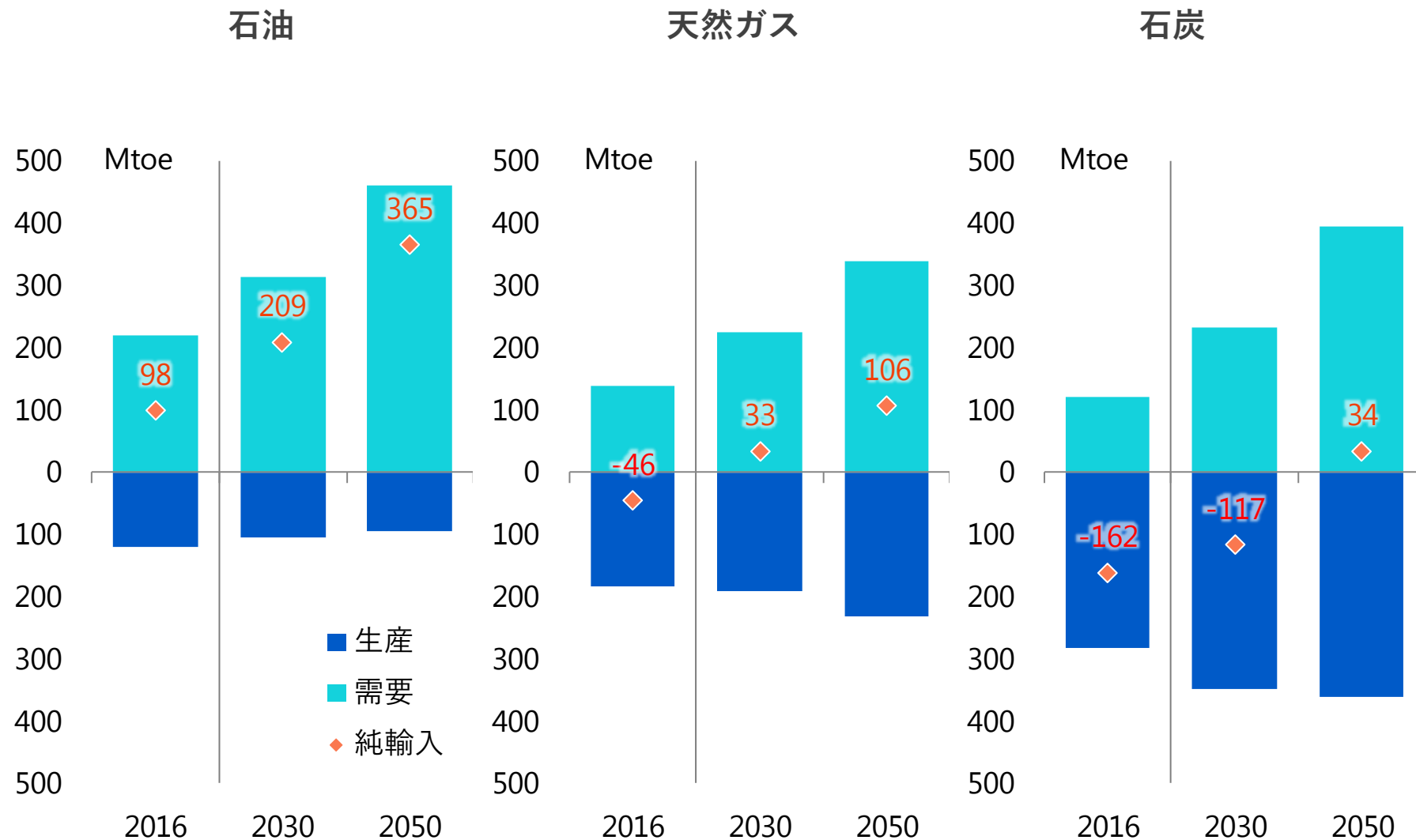


ASEANの最終エネルギー消費

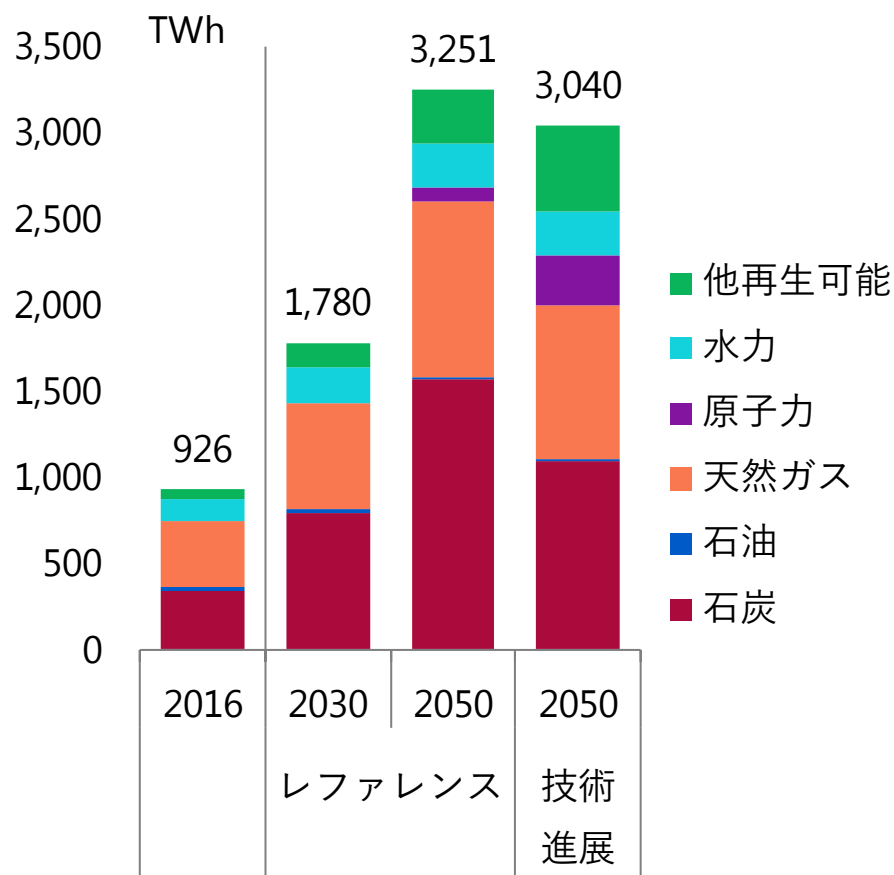


ASEANの化石燃料需給バランス

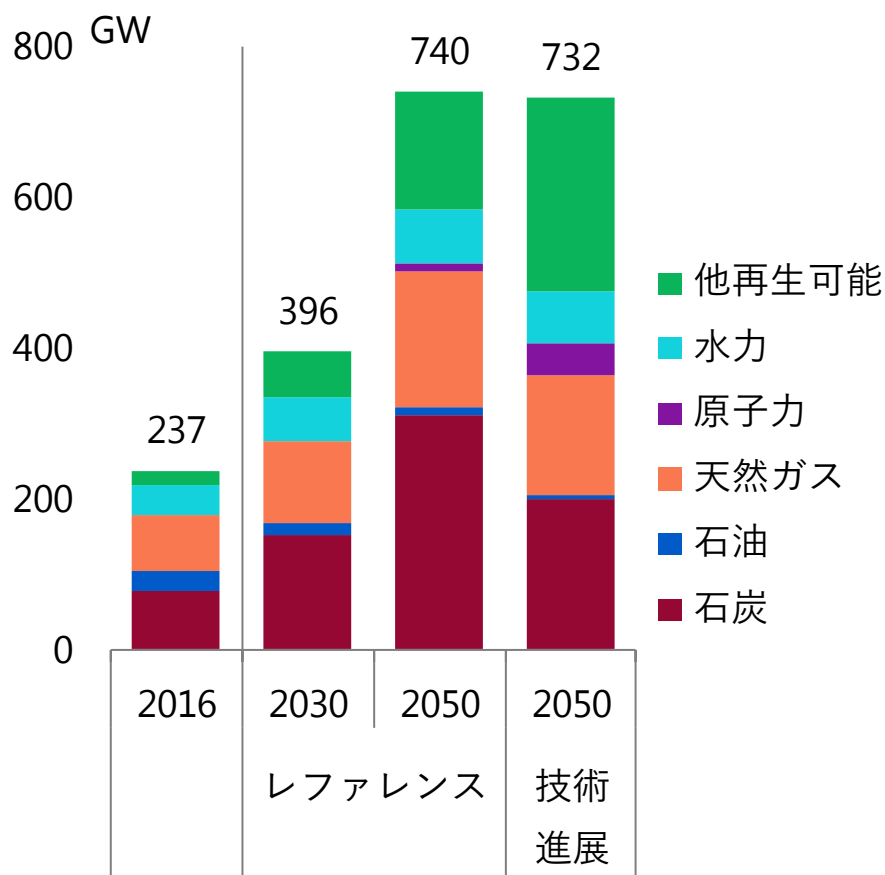
レファレンスシナリオ



発電量



発電設備容量

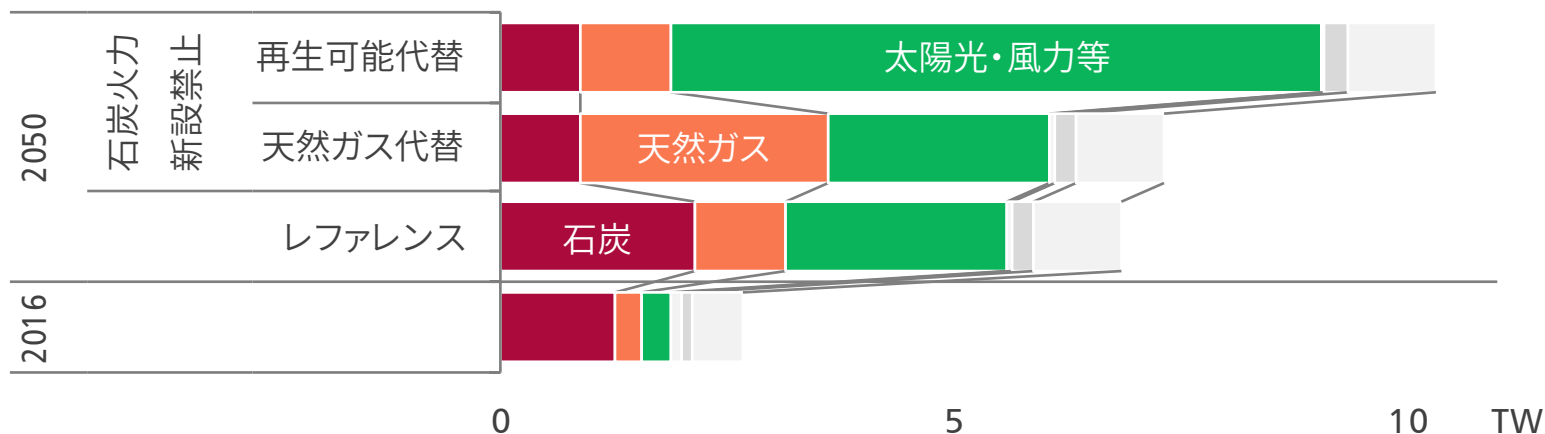


A light gray world map serves as the background for the slide, showing the outlines of continents and major landmasses.

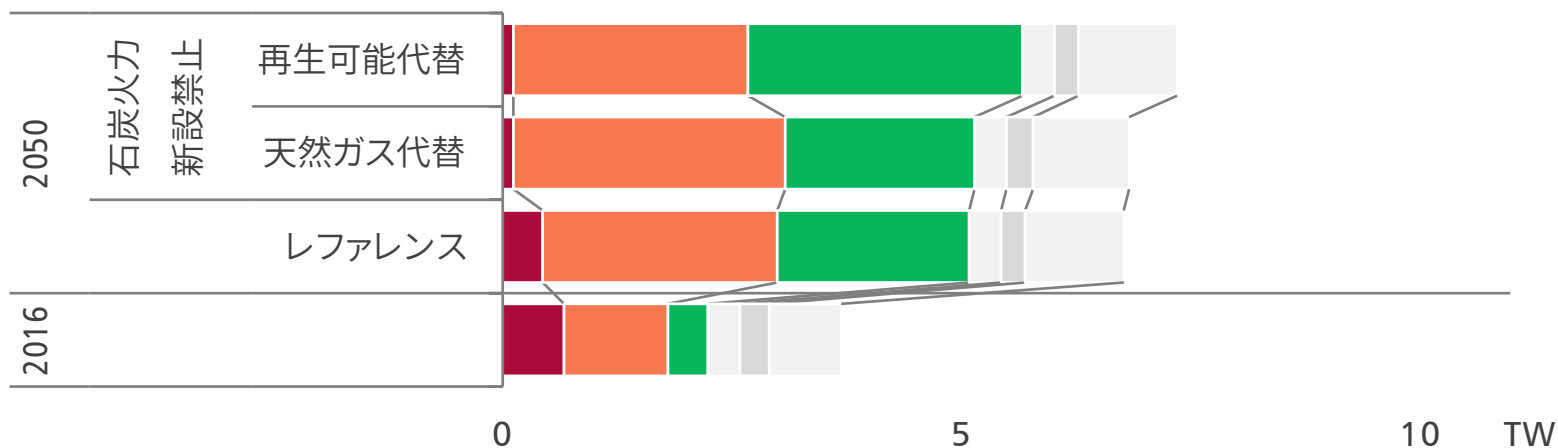
石炭火力新設禁止ケース

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での値。
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

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

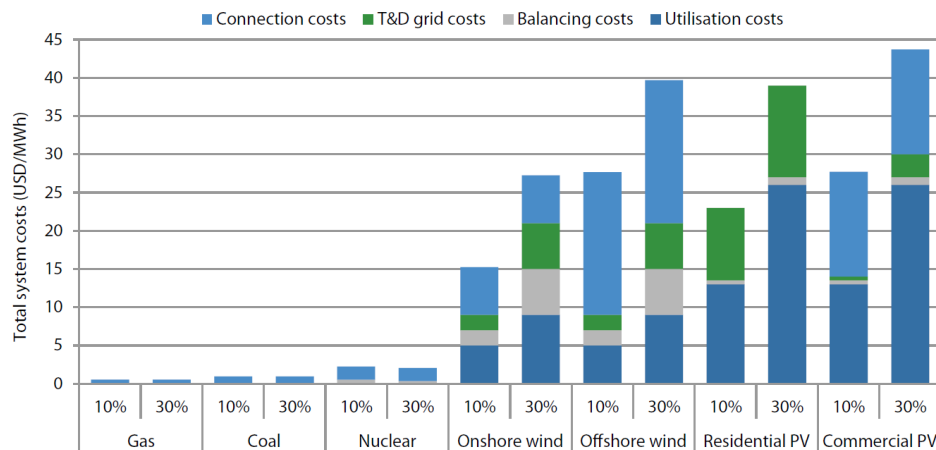
2010年実質価格

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

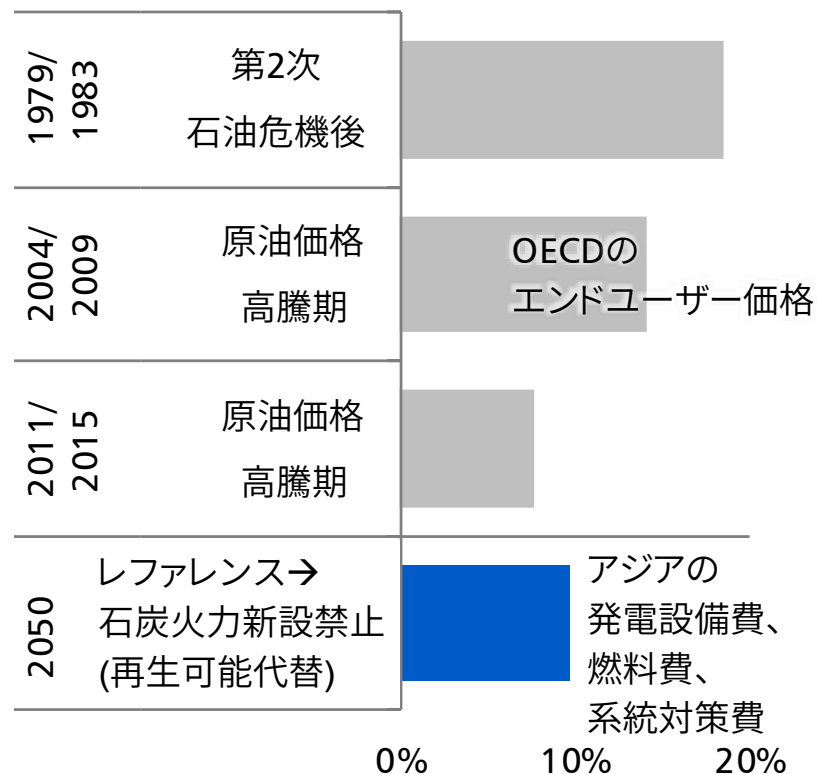
電力系統対策費は、NEA “The Full Costs of Electricity Provision” (2018)を参照して設定
地域特性は考慮していない

Figure 3.3: System cost of different generation technologies

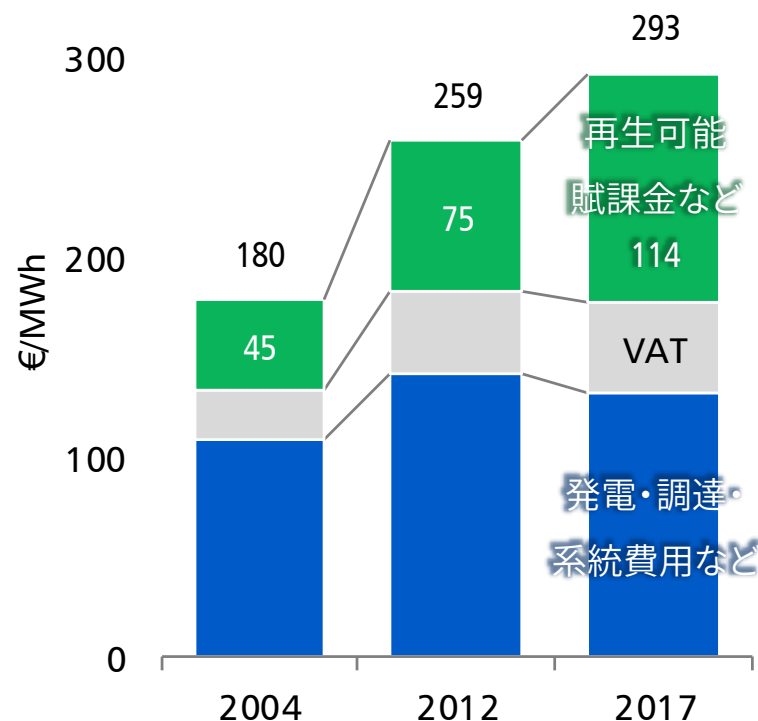


出所: OECD/NEA “The Full Costs of Electricity Provision”

❖ 実質電力価格・電力コストの変化率



❖ ドイツの家庭用電力価格



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

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