IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

第433回 定例研究報告会

IEEJ Outlook 2020

深刻化するエネルギートリレンマの克服に向けて

エネルギー・環境・経済

2019年10月15日, 東京

日本エネルギー経済研究所

IEEJ © 2019

IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

2050年までのエネルギー需給見通し

IEEJ Outlook 2020　IEEJ © 2019

IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

IEEJ Outlook の基本シナリオ

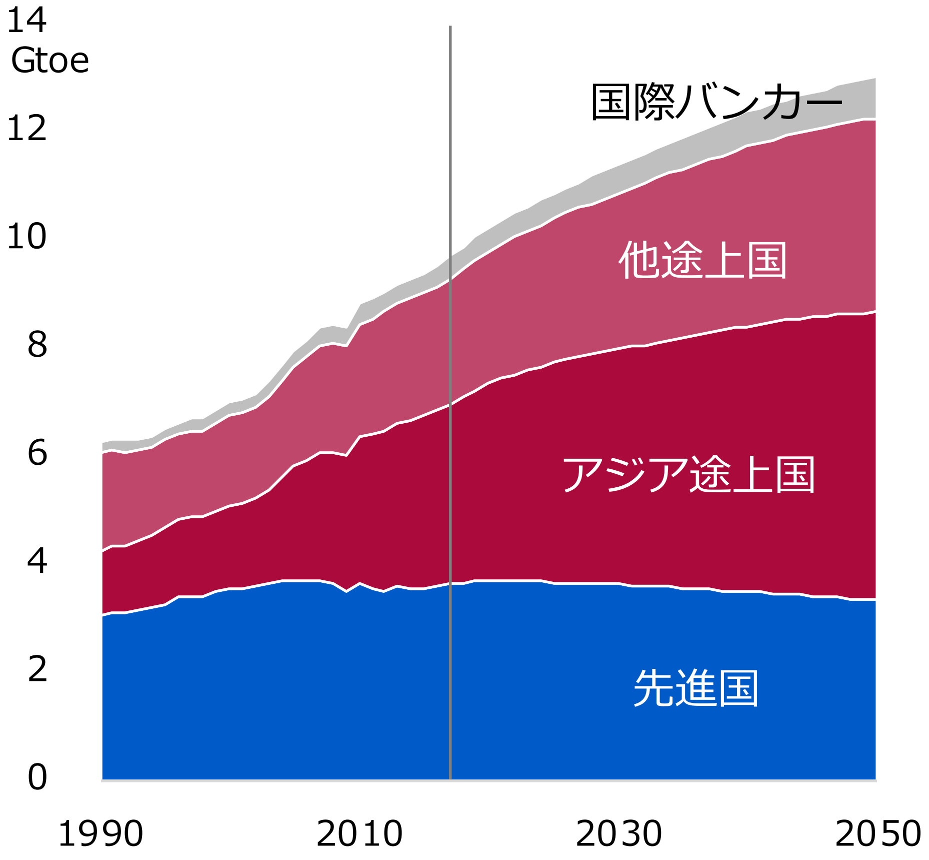
	レファレンスシナリオ	技術進展シナリオ
	現在までのエネルギー・環境政策等を背景とし、これまでの**趨勢的な変化が継続**するシナリオ。急進的な省エネルギー・低炭素化政策は打ち出されない	各国がエネルギー安定供給の確保や気候変動対策の強化のため、**強力なエネルギー・環境政策**を打ち出し、それが最大限奏功するシナリオ
社会経済構造	人口増加率は低下するものの、新興・途上国を中心に安定した経済成長 所得水準の向上により、家電、自動車等のエネルギー消費機器が大きく普及	
国際エネルギー価格	原油：需要増に伴い、生産費用が上昇 ガス：欧米亜市場の価格差が縮小 石炭：現状と同程度の水準を維持 [アジアLNG]高価格・低価格ケース	需要増抑制のため価格上昇は限定的 (石炭価格は低下)
エネルギー・環境政策	過去の動向と同様に低炭素化政策を漸進的に強化	さらなる国内政策の強化とともに国際連携を推進
エネルギー・環境技術	現行技術について、過去の趨勢と同程度の効率進展・価格低下	現行技術及び商業化の見込みが高い技術について、価格低下が加速

IEEJ Outlook 2020 IEEJ © 2019

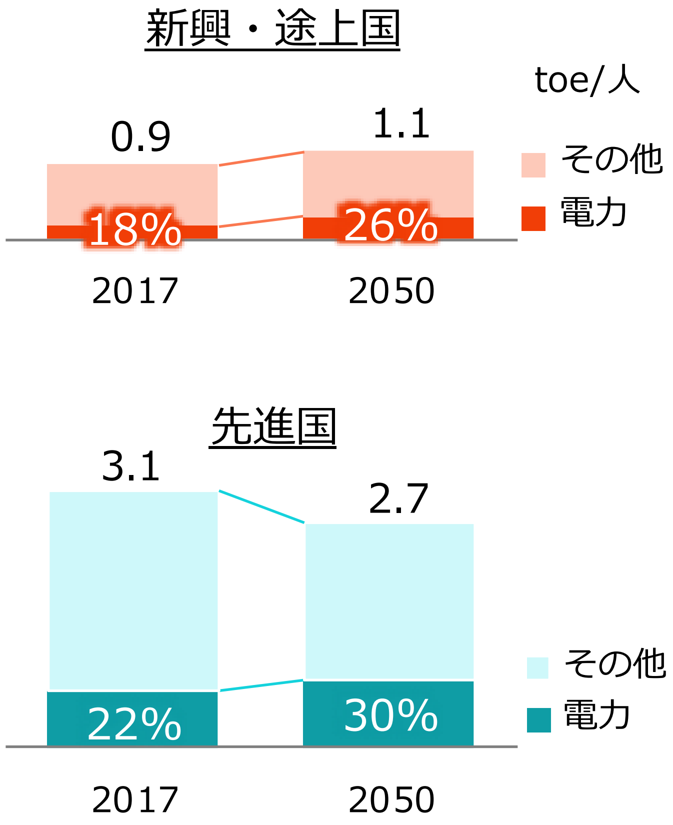
IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

途上国では1人当たりの消費量はまだ小さい

❖ 最終エネルギー需要



❖1人当たりのエネルギー消費量



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

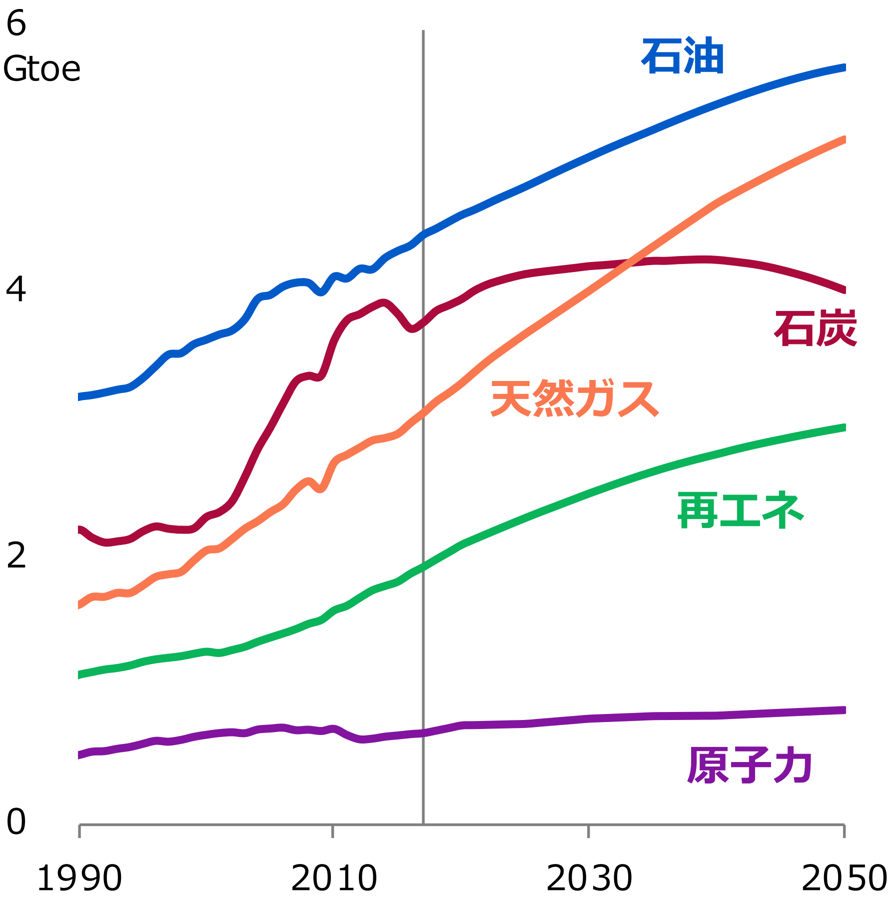
IEEJ Outlook 2020 IEEJ © 2019

レファレンス

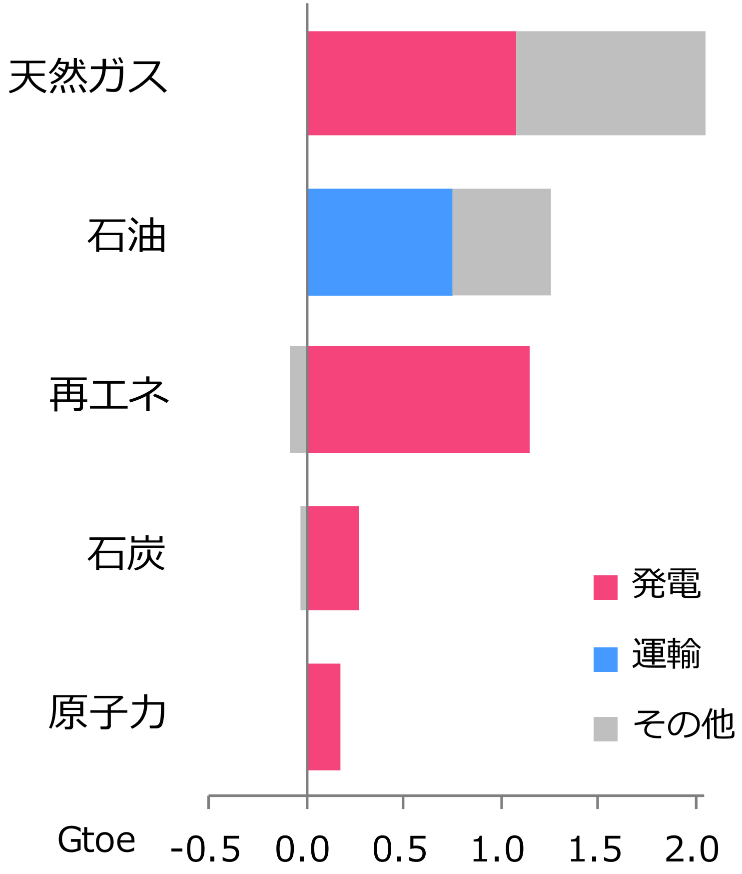
IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

化石燃料への依存は変わらない

❖ 一次エネルギー需要



❖エネ需要の増減(2017-2050年)



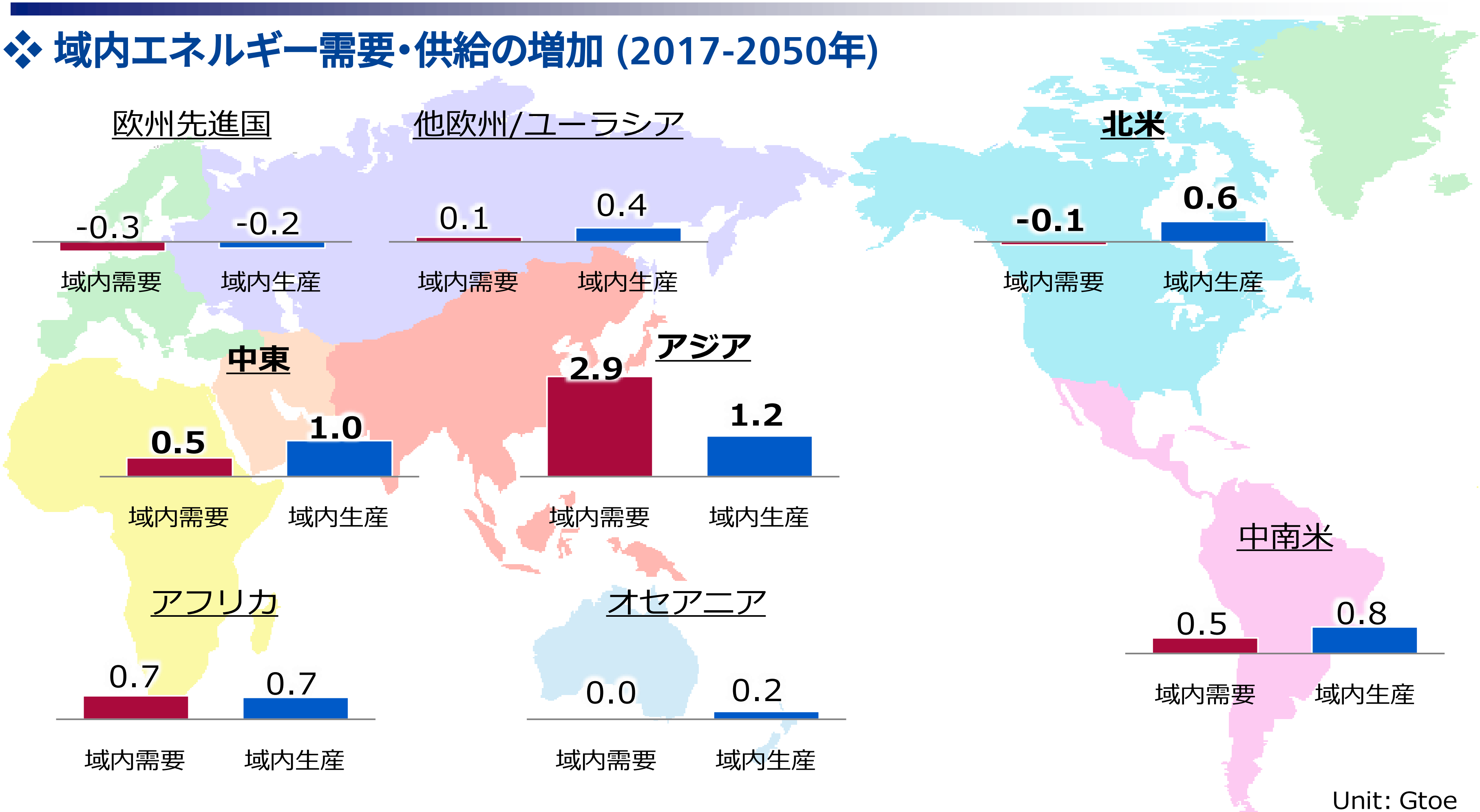
発電部門を中心に天然ガス需要が1.7倍に増加し、第二のエネルギー源に。
石炭は2040年頃にピークを打ち減少へ。石油は第一のエネルギー源を維持する。
再エネは大きく増えるも、シェアは14%から16%への上昇にとどまる。脱化石燃料の進展はわずか。

IEEJ Outlook 2020 IEEJ © 2019

IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

アジアの需要増に域内生産が追いつかない

❖ 域内エネルギー需要・供給の増加 (2017-2050年)



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

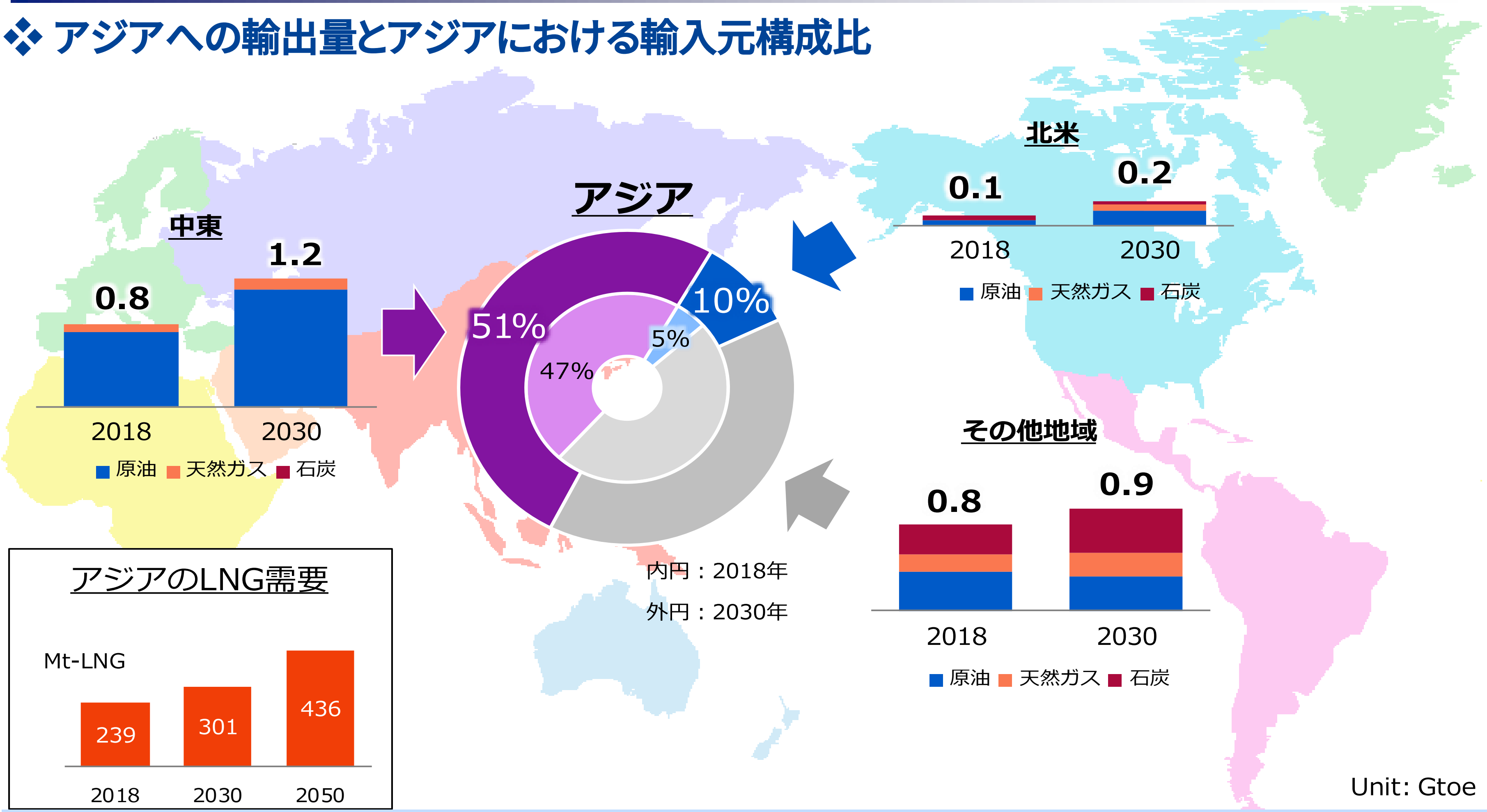
北米・中東で、輸出余力が増大し、エネルギー供給国としてのプレゼンスが拡大。

IEEJ Outlook 2020　IEEJ © 2019

IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

エネルギーはアジアに向かう

❖ アジアへの輸出量とアジアにおける輸入元構成比



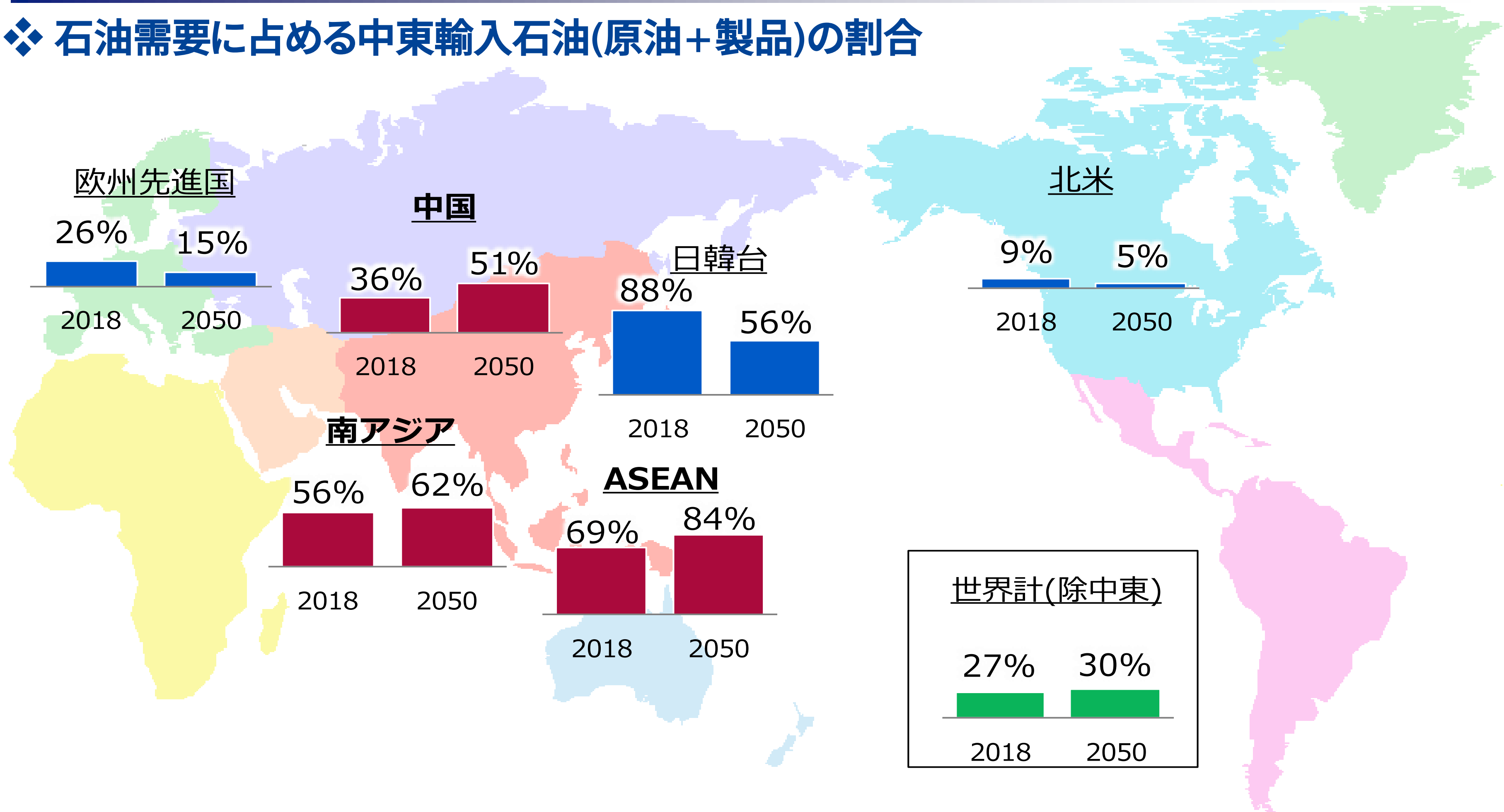
エネルギー貿易取引量の約8割がアジアに向かう(2017年：67%)。北米からの輸入は約3倍に増加。
輸入に占める中東シェアは5割を超え、アジア・中東間のエネルギー分野の関係はさらに拡大する。
アジアのLNG需要は急増するが、供給元の多様化も進む。

IEEJ Outlook 2020 IEEJ © 2019

IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

アジアだけが中東依存を高めている

❖ 石油需要に占める中東輸入石油(原油+製品)の割合



アジア途上国が石油需要の中東依存を高めている。供給障害に対するリスク緩和が課題。

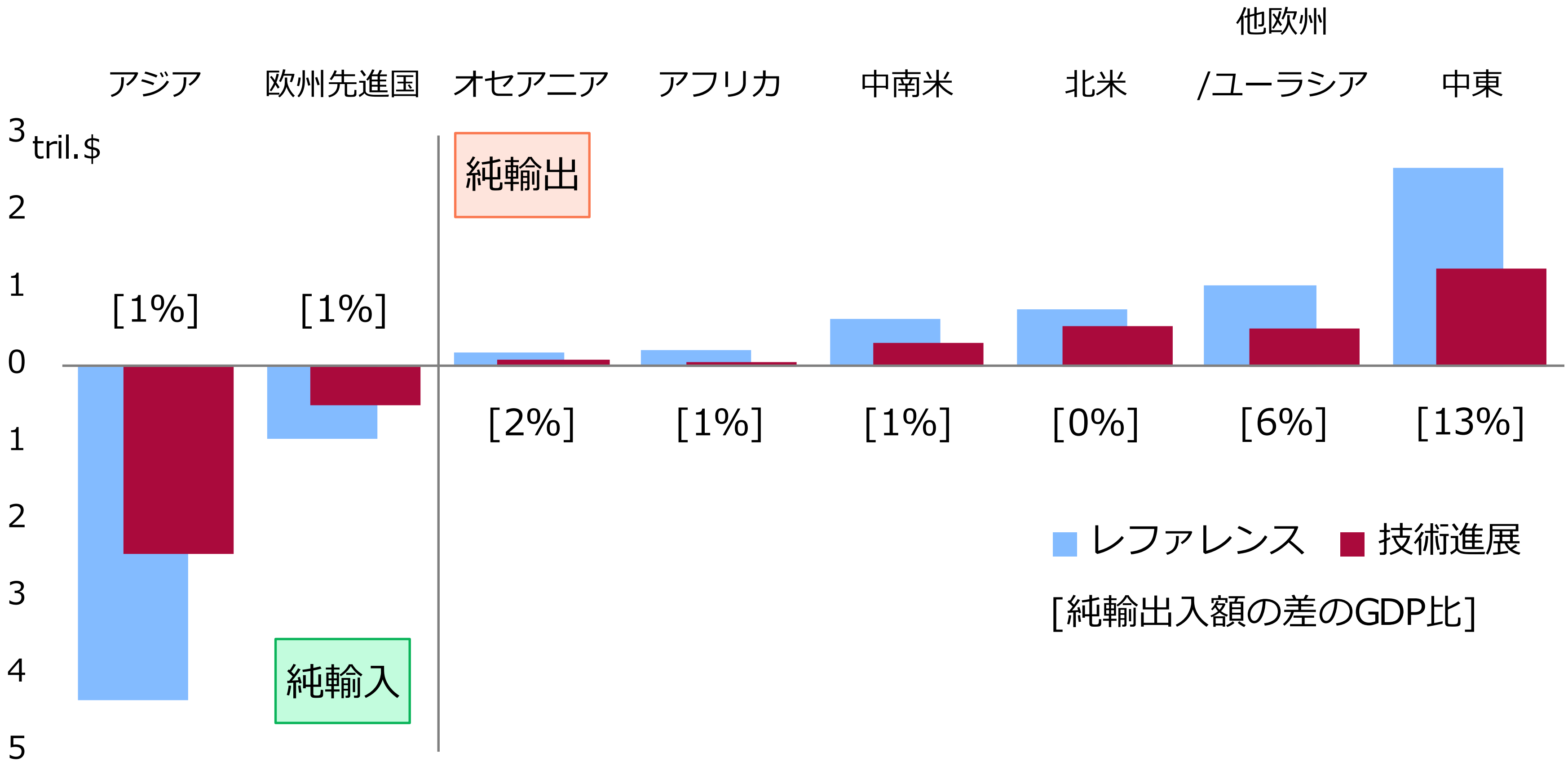
一方、北米や欧州先進国では大きく低下する。しかし、世界石油需要の中東依存が高まる中で、有事における価格高騰の影響は先進国にも及ぶことに。

IEEJ Outlook 2020　IEEJ © 2019

IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

中東の石油収入見通しに大きな差

❖ 各地域の純輸出入額 (2050年)



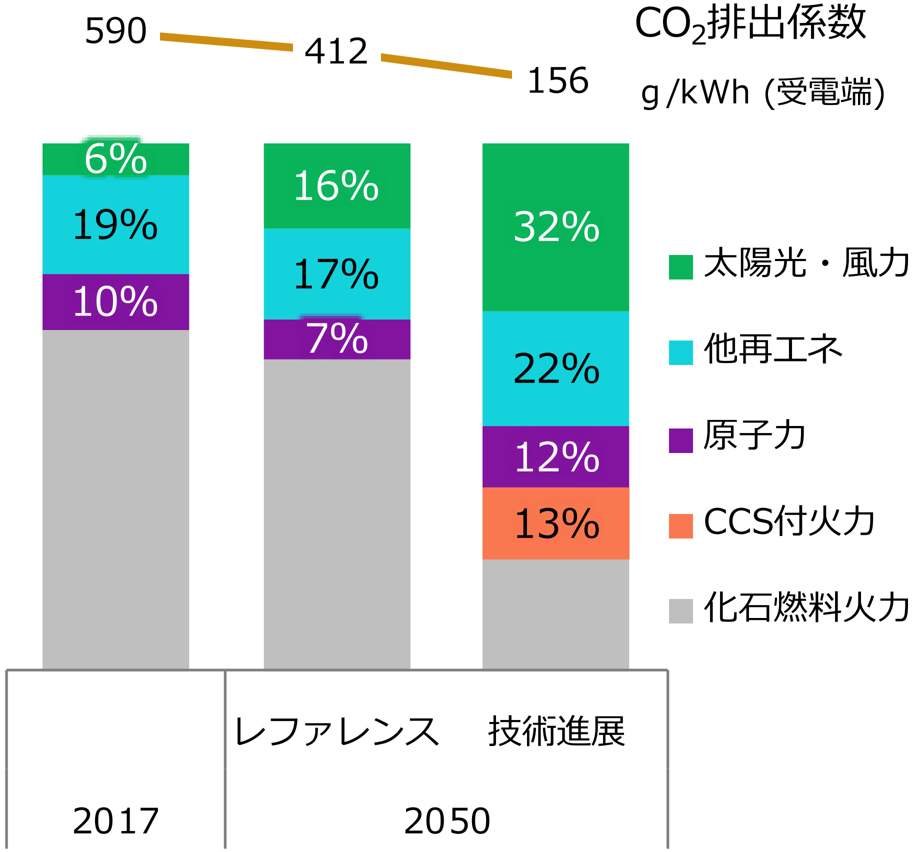
技術進展シナリオでは、化石燃料の需要増が抑制され、価格もレファレンスシナリオに比べて低い。
アジアや欧州先進国は、純輸入額を大きく抑制することができる。
一方で、中東の純輸出額は大きく低下、GDPの13%に相当する収入が失われる可能性。

IEEJ Outlook 2020 IEEJ © 2019

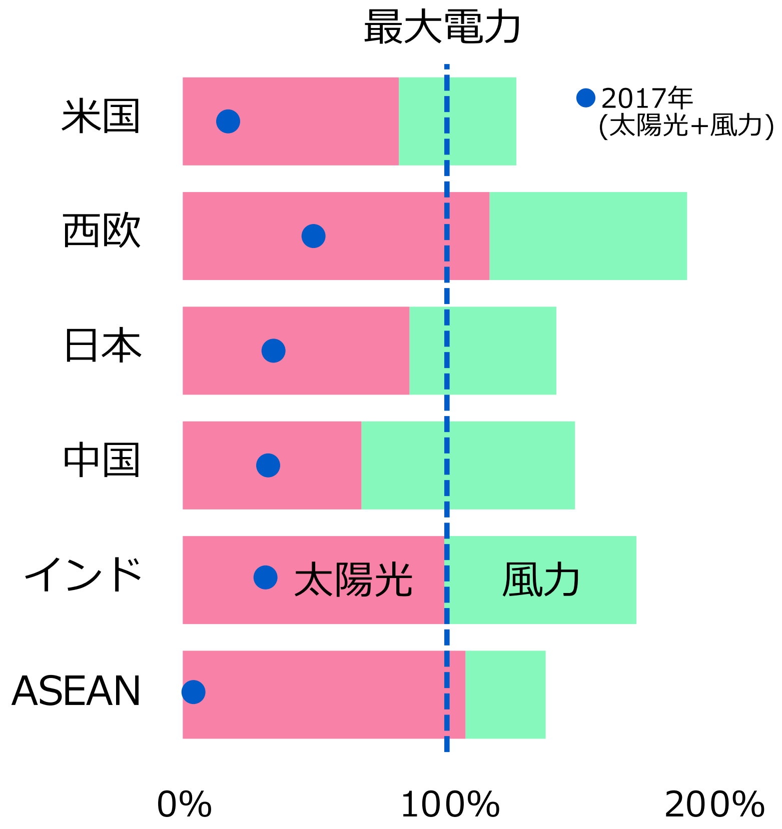
IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

自然変動電源の発電能力が最大電力を超える

❖ 発電構成と排出係数



❖ 最大電力に対する発電能力の比 (2050年、技術進展)



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

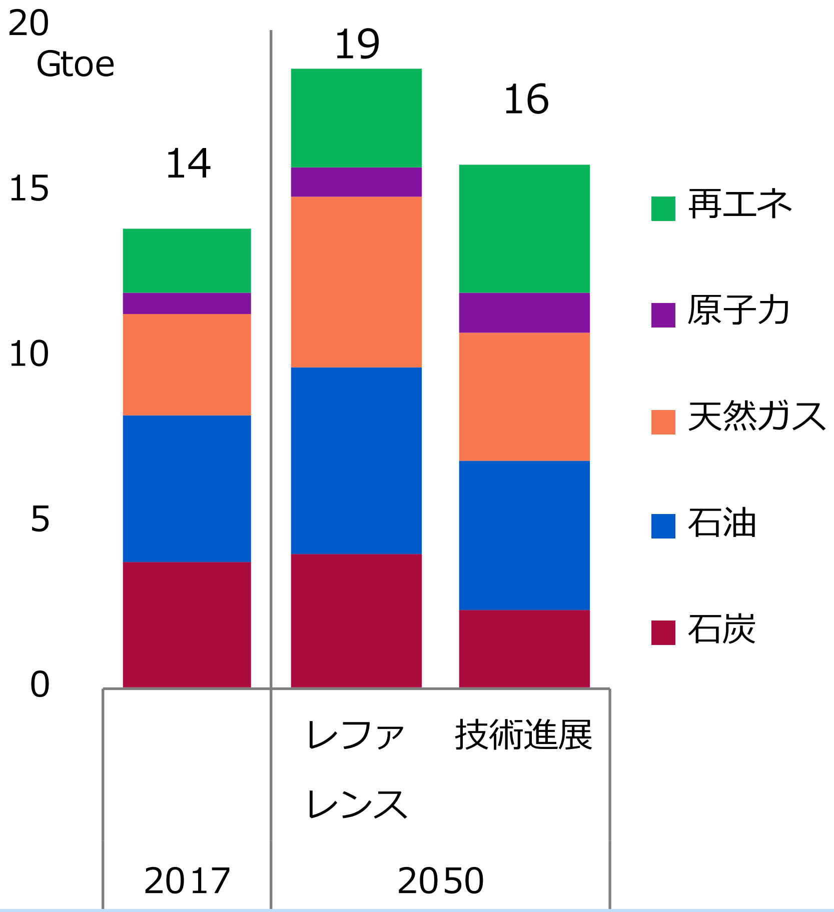
自然変動電源(太陽光・風力発電など)の発電能力が最大電力を超えてくる地域も。蓄電池などの系統安定対策が必要に。

IEEJ Outlook 2020　IEEJ © 2019

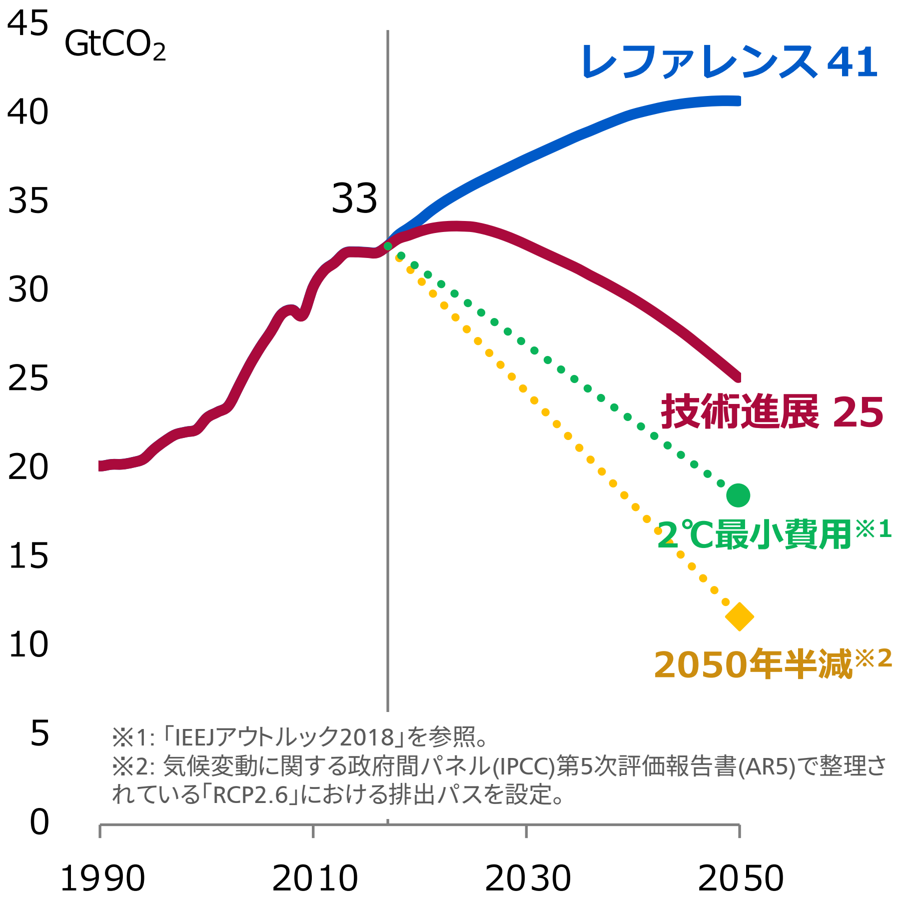
IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

排出量は大きく減少も、2℃目標には届かない

❖ 一次エネルギー需要



❖エネルギー起源CO_2排出量



※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。

技術進展シナリオの化石燃料依存は現在より低下するものの、依然として7割弱を占める。
CO_2排出量は2020年代半ばがピーク、2050年には2017年比で23%減となる。
気温上昇を2°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。

IEEJ Outlook 2020 IEEJ © 2019

IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

まとめ

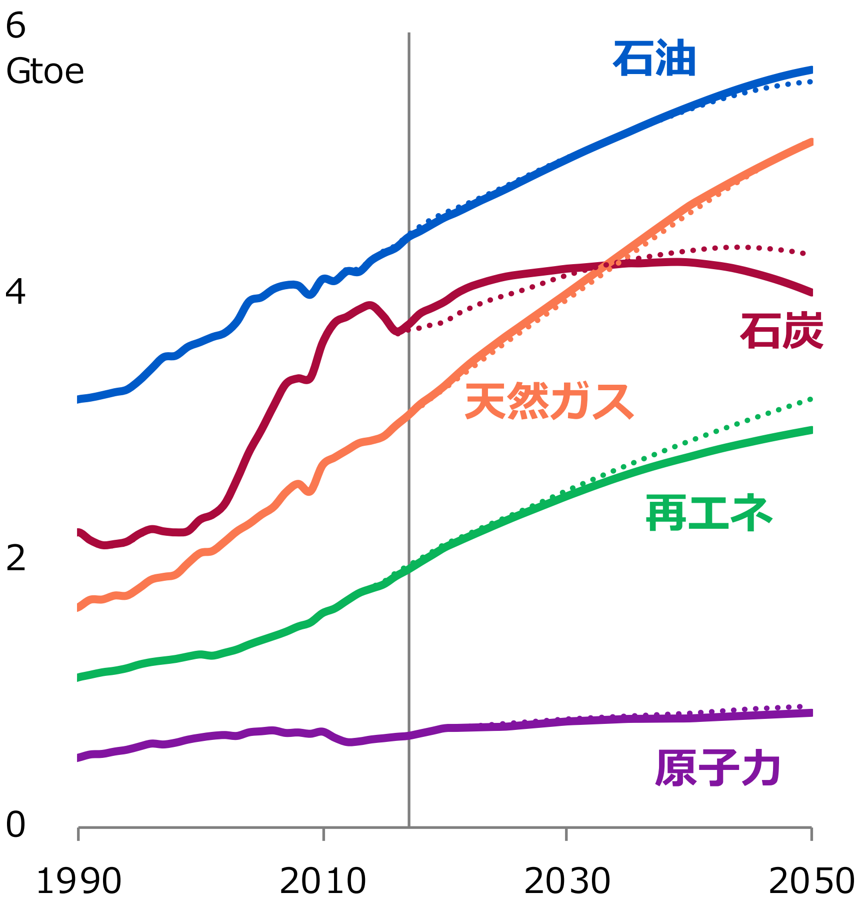
- ✓ 今後エネルギー需要が大きく増えるのは新興・途上国。2050年でも１人当たりの消費水準はなお低く、以降も増え続ける可能性。
- ✓ アジアの需要増に域内生産が追いつかず、北米・中東からの輸入が大きく増える。原油の中東依存度は高まり、供給障害に対するリスク緩和が課題であり続ける。
- ✓ 低炭素化の帰結は国によって異なる。中東は石油輸出収入に依存しない経済への移行が急務。
- ✓ 技術進展シナリオでは、自然変動電源の発電能力が最大需要を超え、系統安定対策が必要。一方、エネルギー全体の化石依存度は高く、２度目標には届かない。革新的技術の開発が必要。

参考

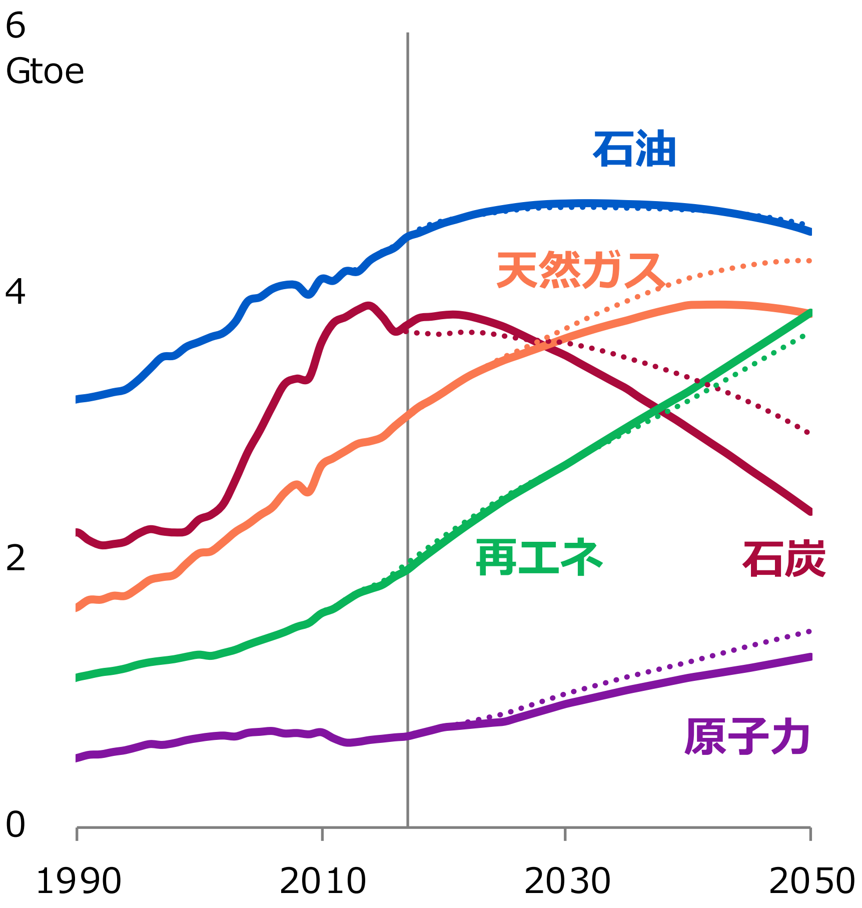
IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

Outlook2019との比較

❖ レファレンスシナリオ



❖ 技術進展シナリオ



※一次エネルギー需要
実線：Outlook2020
点線：Outlook2019

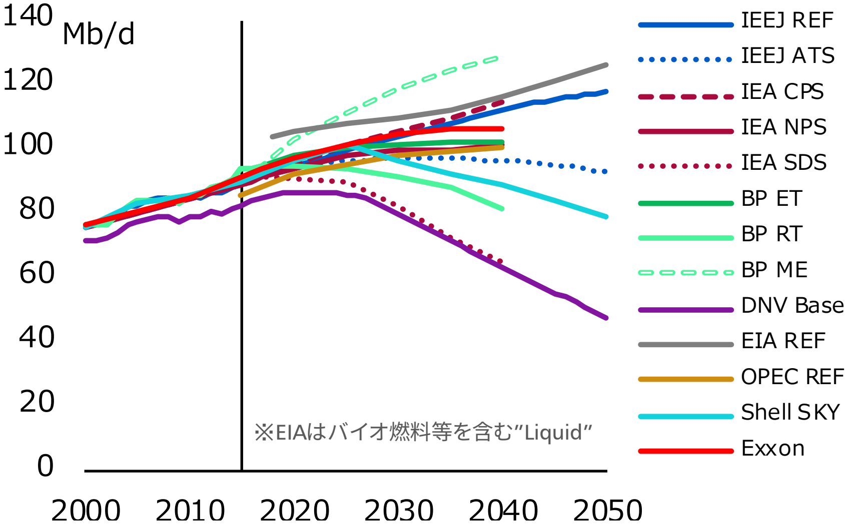
IEEJ Outlook 2020 IEEJ © 2019

参考

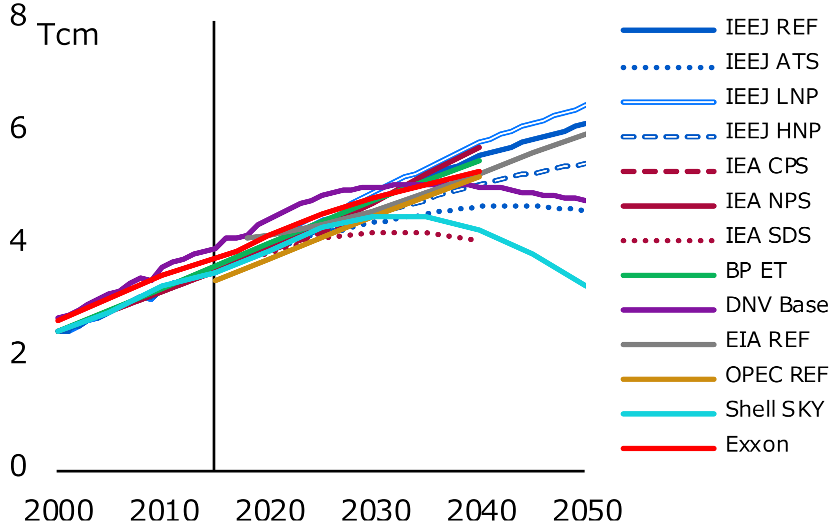
IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

他の研究機関の見通しとの比較(1)

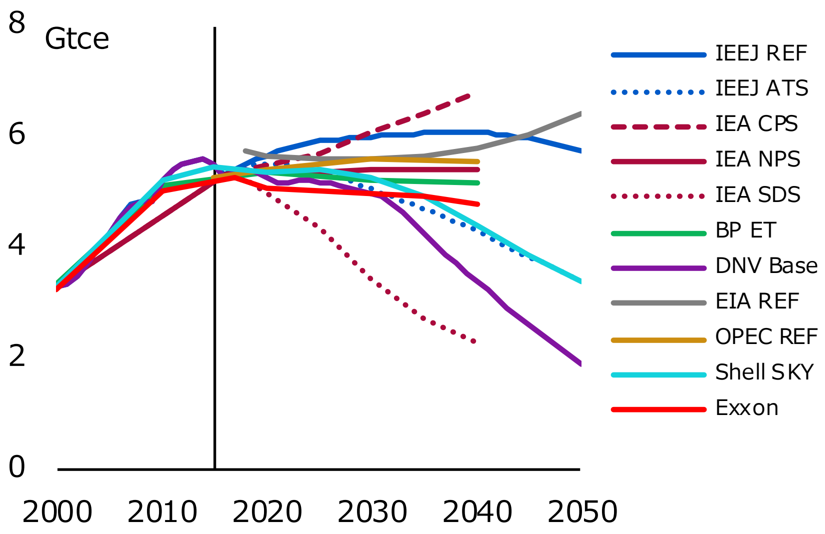
❖ 石油



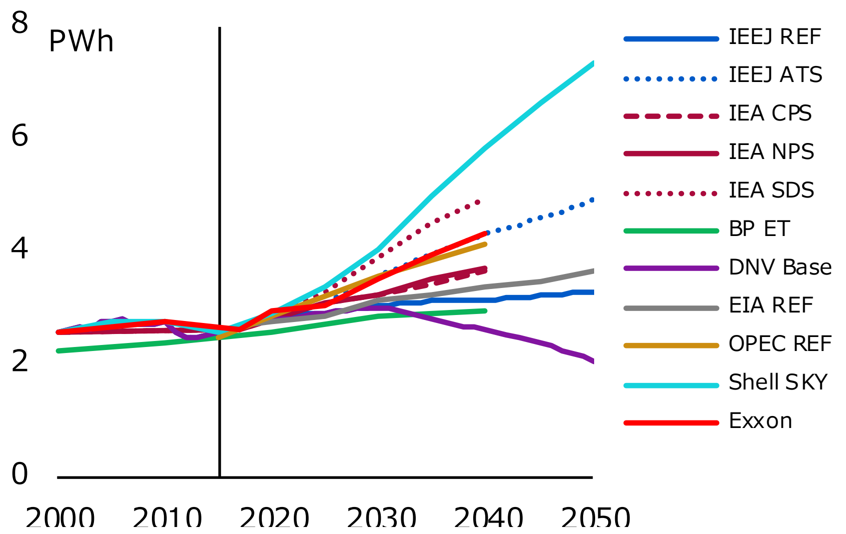
❖ 天然ガス



❖ 石炭



❖ 原子力



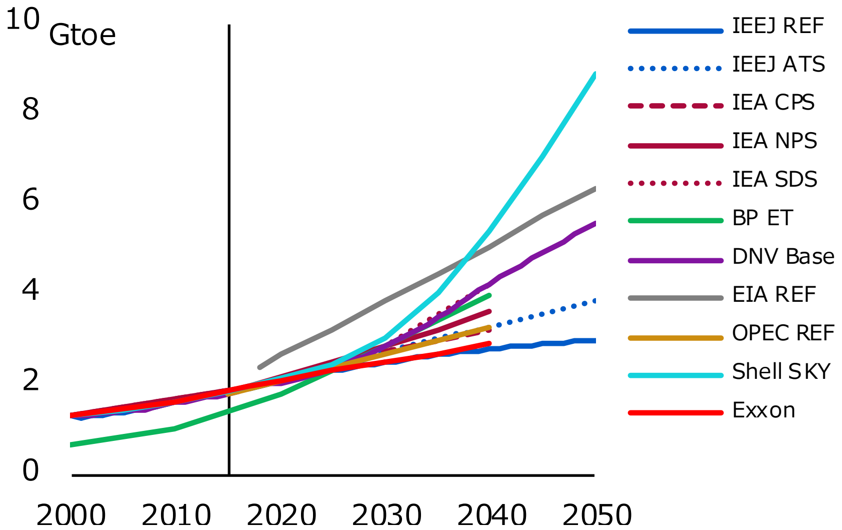
IEEJ Outlook 2020 IEEJ © 2019

参考

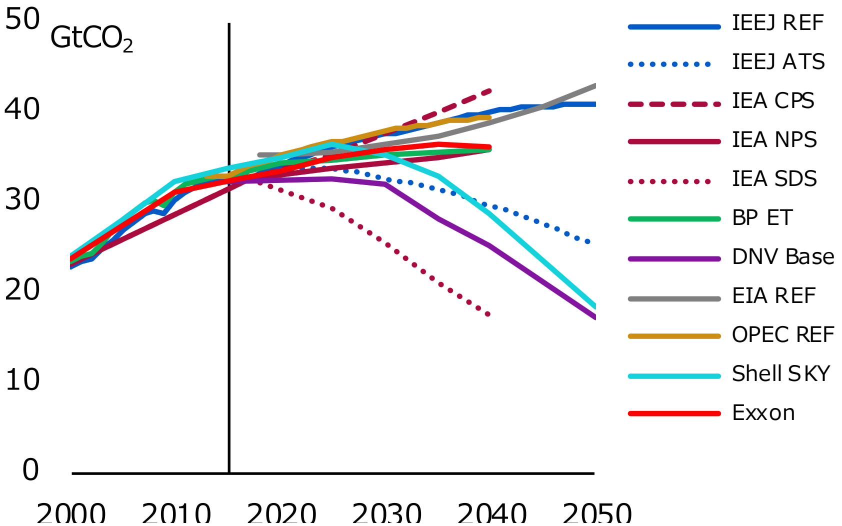
IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

他の研究機関の見通しとの比較(2)

❖ 再生可能エネルギー



❖ エネルギー起源CO_2



Source

IEEJ "IEEJ Outlook 2020", Oct. 2019
- REF: Reference Scenario
- ATS: Advanced Scenario
- LNP: Lower Natural Gas price Case
- HNP: Higher Natural Gas price Case

IEA "World Energy Outlook 2018", Nov. 2018
- CPS: Current Policies Scenario
- NPS: New Policies Scenario
- SDS: Sustainable Development Scenario

BP "BP Energy Outlook 2019", Feb. 2019
- ET: Evolving transition
- RT: Rapid transition demand
- ME: More energy demand

DNV GL "Energy Transition Outlook 2019", Sep. 2019
- Base: Base Scenario

US EIA "International Energy Outlook 2019", Sep. 2019
- REF: Reference Scenario

OPEC "World Oil Outlook 2040", Oct. 2018
- REF: Reference Scenario

Shell "Shell Scenarios", May. 2018
- SKY: Sky Scenario

ExxonMobil "Outlook for Energy", Aug. 2019

IEEJ Outlook 2020 IEEJ © 2019

IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

気候変動分析

― 総合コスト最小化分析の課題とその対応 ―

IEEJ Outlook 2020　IEEJ © 2019

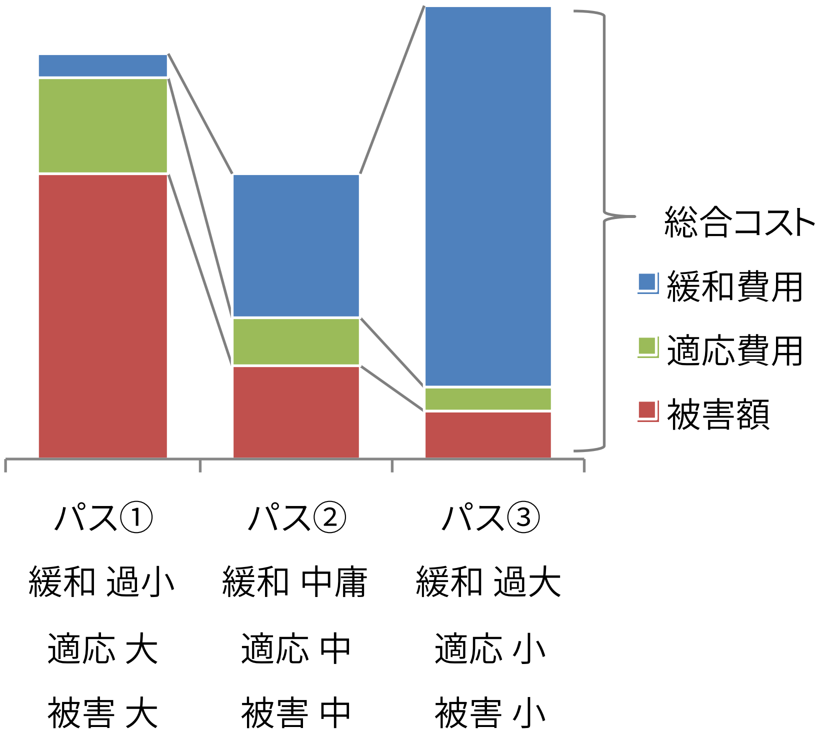
IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

超長期を踏まえた規範＝総合コストの最小化

❖ 緩和＋適応＋被害＝総合コスト

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

❖ パスごとの総合コストのイメージ



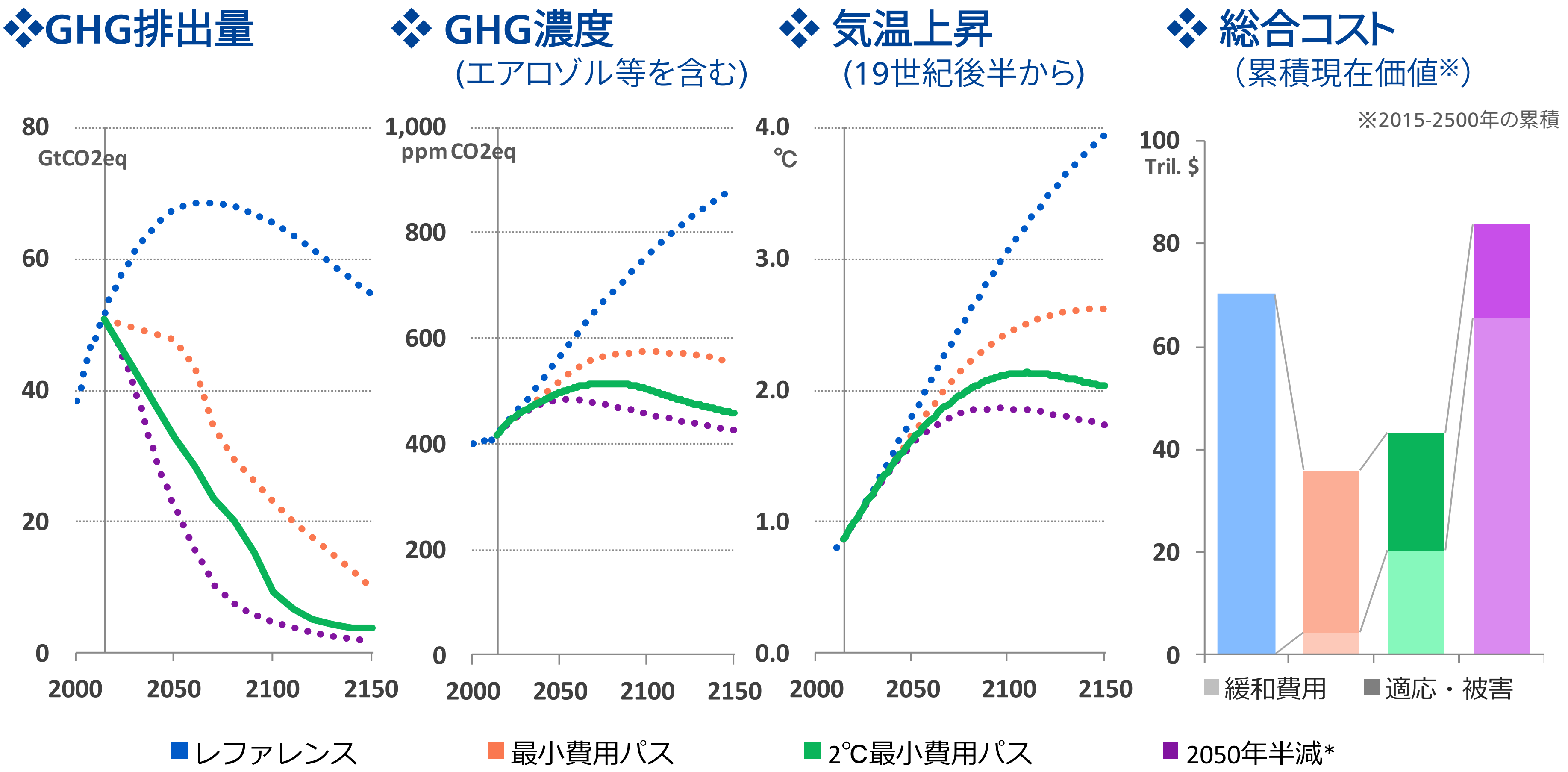
気候変動に対して無策であれば、緩和費用をかけずに済むが、適応費用・被害は厖大となる。
強力な緩和策を講じれば、適応費用・被害は軽減されるが、そのための費用は顕著に大きい

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。

IEEJ Outlook 2020　IEEJ © 2019

IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

2°C目標の費用便益分析結果 (IEEJ Outlook 2018)



「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割ほど増大するが、2050年半減ケースよりは、総合コストは半減する。GHG排出量は2050年に3割減、2100年以降は概ねゼロエミッションに。気温上昇幅は2100年に2°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。

IEEJ Outlook 2020　IEEJ © 2019

IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

超長期の将来に向けて期待される技術開発の例

技術		概要	課題
CO_2の発生を抑制するもの	次世代原子炉	超高温ガス炉、高速炉などの第4世代原子炉や中小型炉が、現在国際的に開発がすすめられている	次世代原子炉に対する研究開発支援の拡大等
	核融合	質量数の小さな水素等の核融合により、太陽と同じようにエネルギーを取り出す技術。燃料となる重水素は豊富かつ普遍的に存在する。また、高レベル放射性廃棄物としての使用済燃料が発生しない	連続的に核融合反応を起こし、またそれを一定の空間に閉じ込める技術、エネルギー収支およびコストの削減、大規模な開発のための資金調達と国際協力体制の構築等
	宇宙太陽光(SPS)	太陽光が地上よりも豊富に降り注ぐ宇宙空間にて太陽光発電を行い、発電した電気を、マイクロ波等を通じて無線で地球に伝送し地上で利用する技術	無線エネルギー転送技術の確立、宇宙に建設資材を運ぶコストの低減等
発生したCO_2を固定、または、大気中のCO_2を取り除くもの	水素の利活用	水素を化石燃料から製造する場合は、発生したCO_2の二酸化炭素回収・貯留(CCS)実施によりカーボンフリーにできる	水素製造技術（化石・再エネベース）のコスト削減、輸送・貯蔵の効率向上、水素利用を促進するための制度構築（第1/2、水素閣僚会議/東京ステートメント）等
	CO_2固定化・有効活用(カーボンリサイクル)	触媒変換、鉱物化、電気化学的変換、光触媒変換、発酵などにより、CO_2を原料にして化学中間品、燃料、建材、ポリマーなどを製造。CO_2を固定化できる	固定化・有効利用できる量や効率の格段の向上等（カーボンリサイクル産学官国際会議）
	CCS付きバイオエネルギー(BECCS)	生物学的プロセスによる光合成とCCSにより、大気から炭素を吸収	大規模な土地を必要とし、食料等の生産のために利用可能な土地面積に影響を与える可能性がある

IEEJ Outlook 2020　IEEJ © 2019

費用便益分析の課題

1) 被害額(被害関数)は正確か？

- 被害額の推計には非常に大きな不確実性を伴う。世界中で研究が進められているものの、十分な知見が蓄積されていない*1。
- 最新の科学的知見を踏まえ、被害関数(気温上昇と被害額の関係)をより精緻化することは重要な課題。

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

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

- ある事象の進行が臨界点を超えると、地球システムによるGHGの自動吸収作用が機能しなくなることによりがかかり、変化が加速的に進む可能性がある。
- 例えば、温暖化によってシベリア永久凍土の融解が進むと、地中のメタンやCO_2が大気に放出される。その放出自体が温暖化に寄与することで、凍土融解がさらに進むことになる。
- 結果として、これまでとは異なる平衡状態、例えば気温が数度以上高い状態 ”Hothouse Earth(熱室的な地球)” に移行するリスクが指摘されている。

3) その他の理論的な問題

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

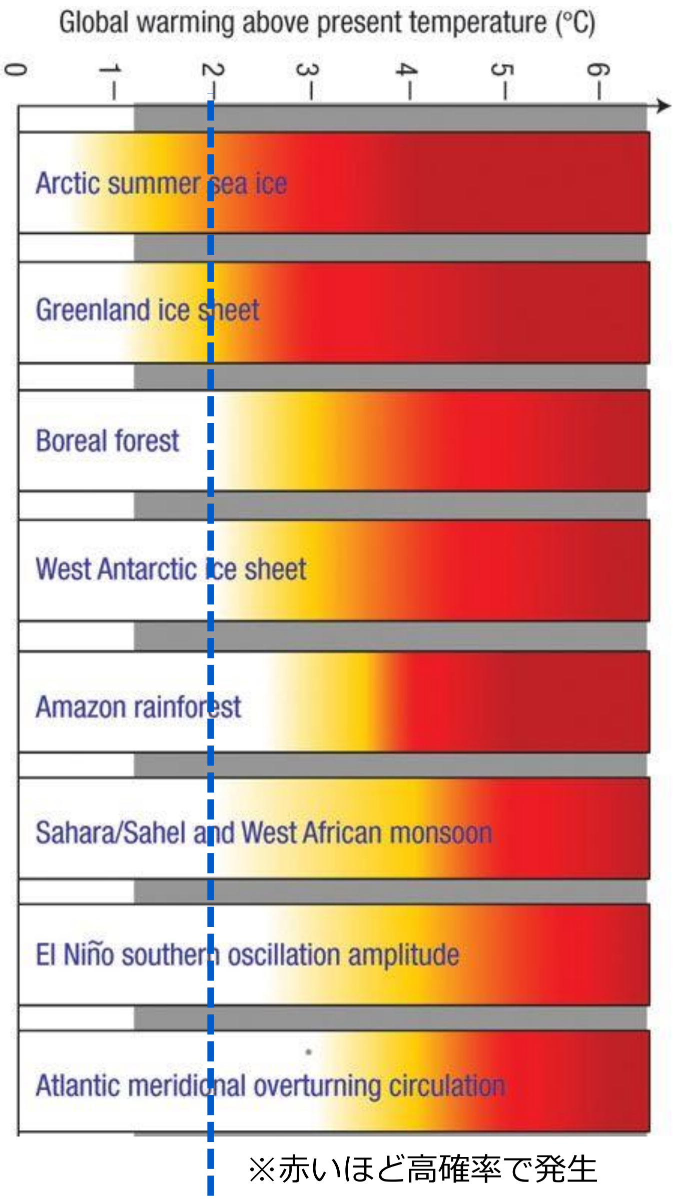
*2:気候変動における損害の確率分布の裾が厚い(正規分布に比べて発現確率が高い)ことが指摘されている。

IEEJ Outlook 2020 IEEJ © 2019

IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

Tipping elements(臨界点を超える事象)の例

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



※赤いほど高確率で発生

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

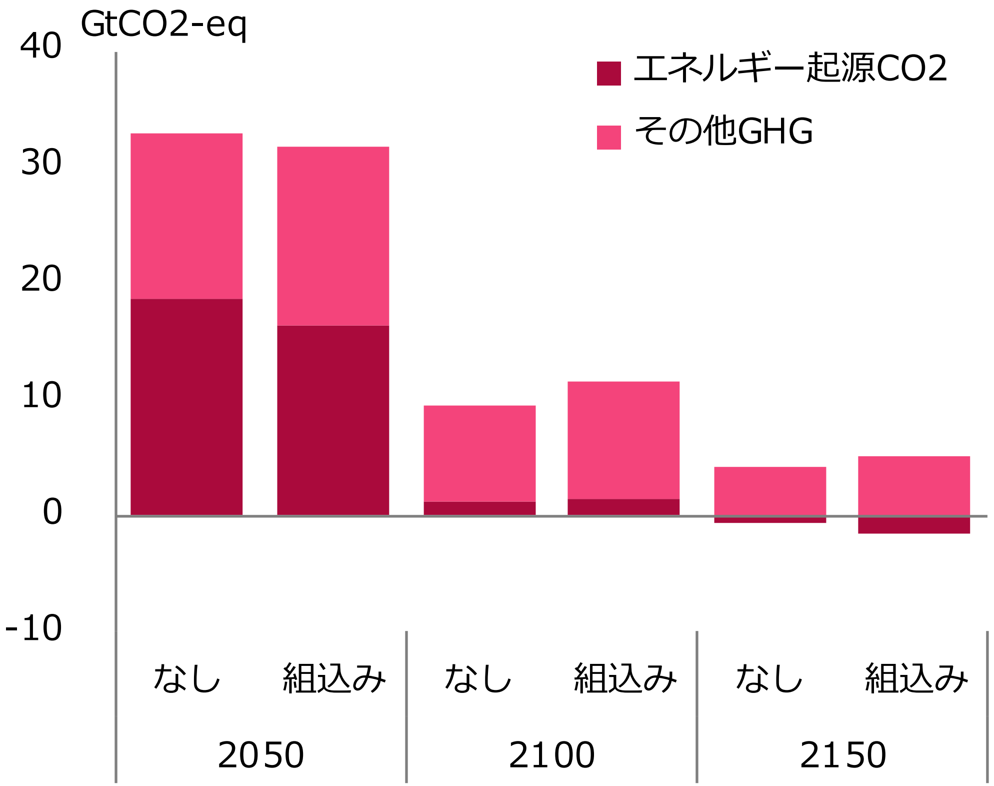
IEEJ Outlook 2020 IEEJ © 2019

IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

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

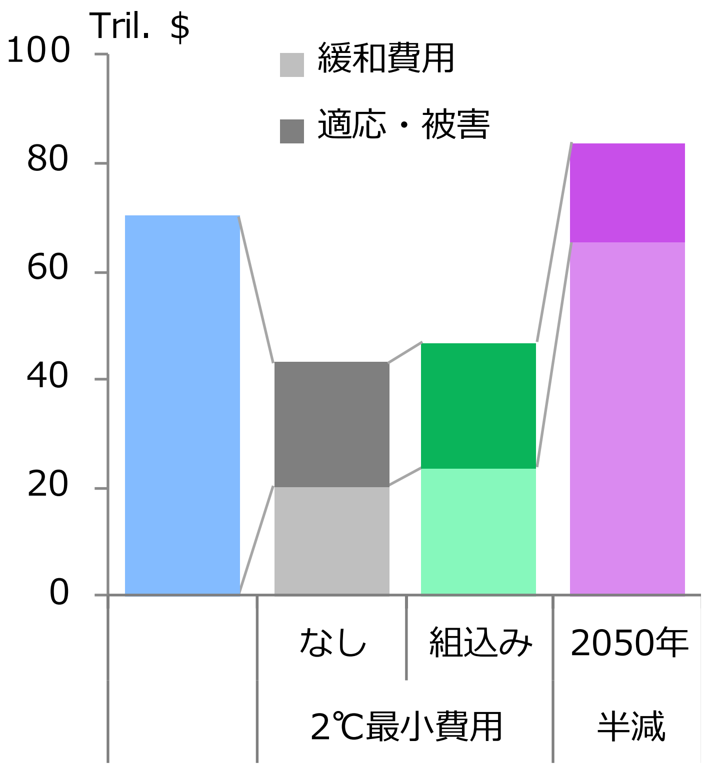
モデルに組み込んだTipping Elements： ①グリーンランド氷床の融解、②永久凍土の融解によるCO_2及びCH_4の排出、③北極海氷面積の減少による日光反射の変化

❖ GHG排出量 (2°C最小費用パス)



❖ 総合コスト（累積現在価値※）

※2015-2500年の累積



3つのTipping Elementsを組み込むと、エネ起CO_2の排出余地は抑制され、総合コストも増加する。しかし、被害影響は長期間にわたり生じるため、費用便益分析の結果に与える影響は大きくない。

IEEJ Outlook 2020　IEEJ © 2019

IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

まとめと今後の課題

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

参考

IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

被害関数精緻化の試みの例

項目別被害の地域的分布

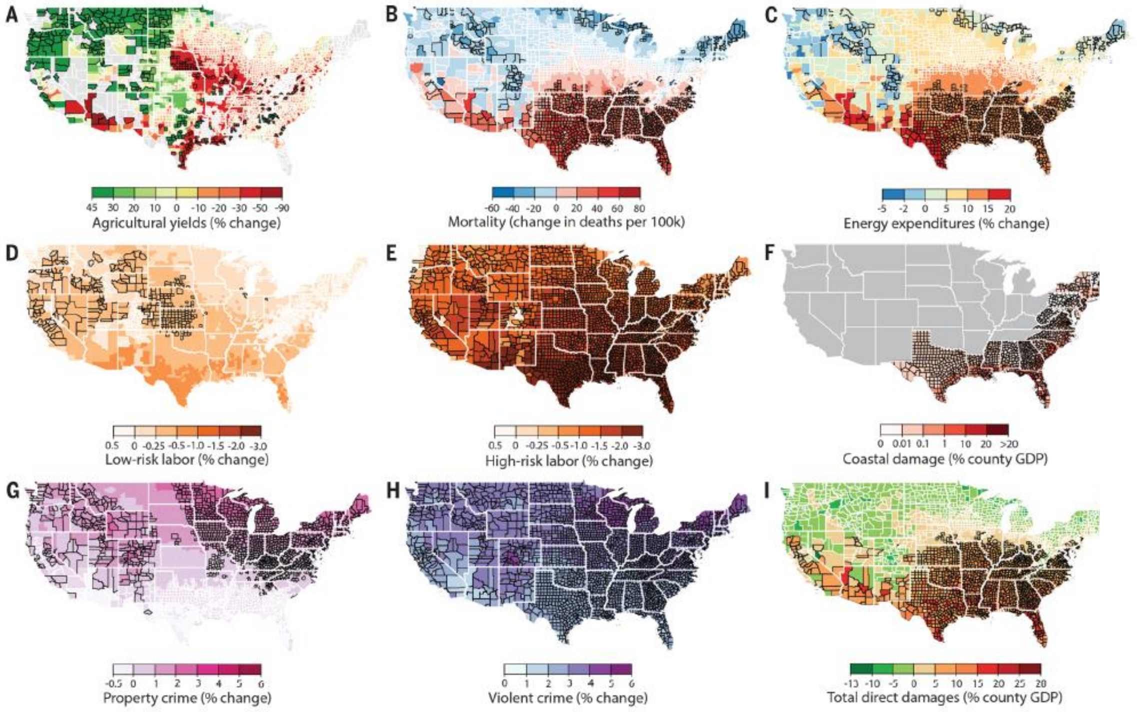
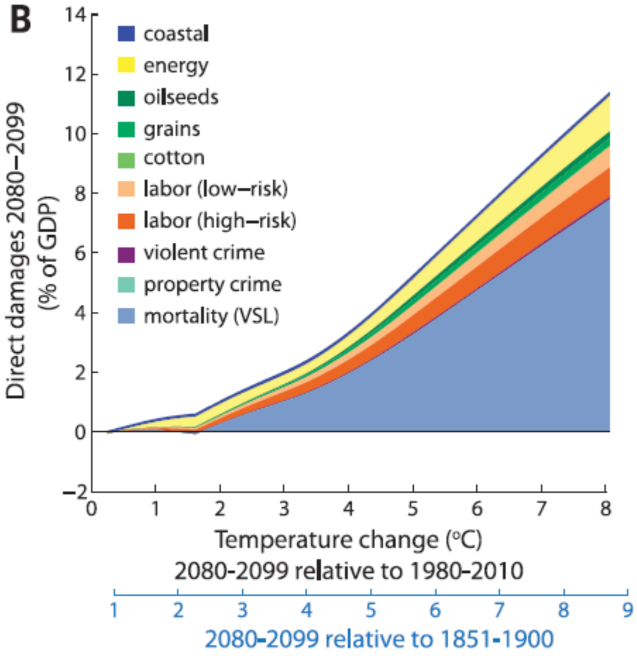


Fig. 2. Spatial distributions of projected damages. County-level median values for average 2080 to 2099 RCP8.5 impacts. Impacts are changes relative to counterfactual "no additional climate change" trajectories. Color indicates magnitude of impact in median projection; outline color indicates level of agreement across projections (thin white outline, inner 66% of projections disagree in sign; no outline, ≥83% of projections agree in sign; black outline, ≥95% agree in sign; thick white outline, state borders; maps without outlines shown in fig. S2). Negative damages indicate economic gains. (**A**) Percent change in yields, area-weighted average for maize, wheat, soybeans, and cotton. (**B**) Change in all-cause mortality rates, across all age groups. (**C**) Change in electricity demand. (**D**) Change in labor supply of full-time-equivalent workers for low-risk jobs where workers are minimally exposed to outdoor temperature. (**E**) Same as (D), except for high-risk jobs where workers are heavily exposed to outdoor temperatures. (**F**) Change in damages from coastal storms. (**G**) Change in property-crime rates. (**H**) Change in violent-crime rates. (**I**) Median total direct economic damage across all sectors [(A) to (H)].

被害額合計値（対GDP比）

4℃で2～3%程度、8℃で10～11%程度



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

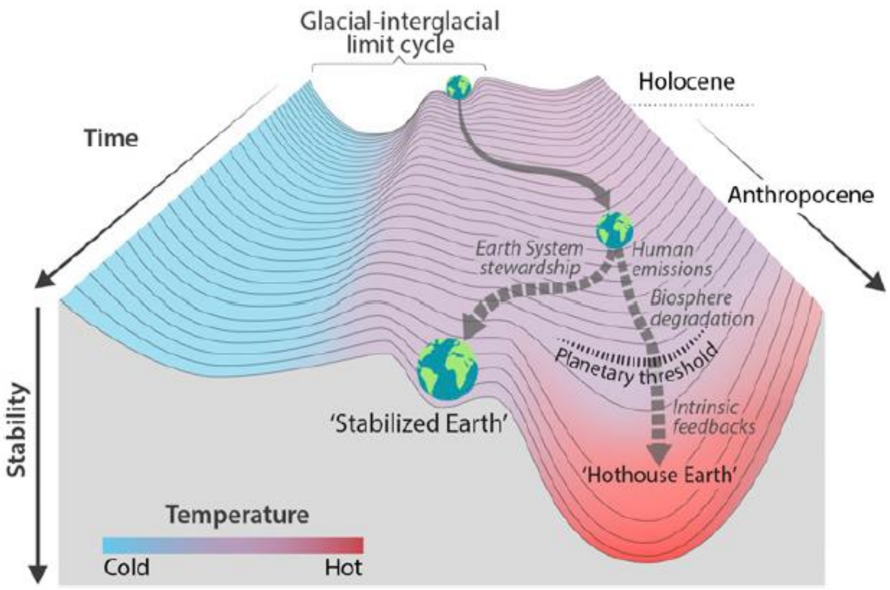
Hsiang et al., 2017. Estimating economic damage from climate change in the United States. *Science*, 356, 1362-1369.

IEEJ Outlook 2020 IEEJ © 2019

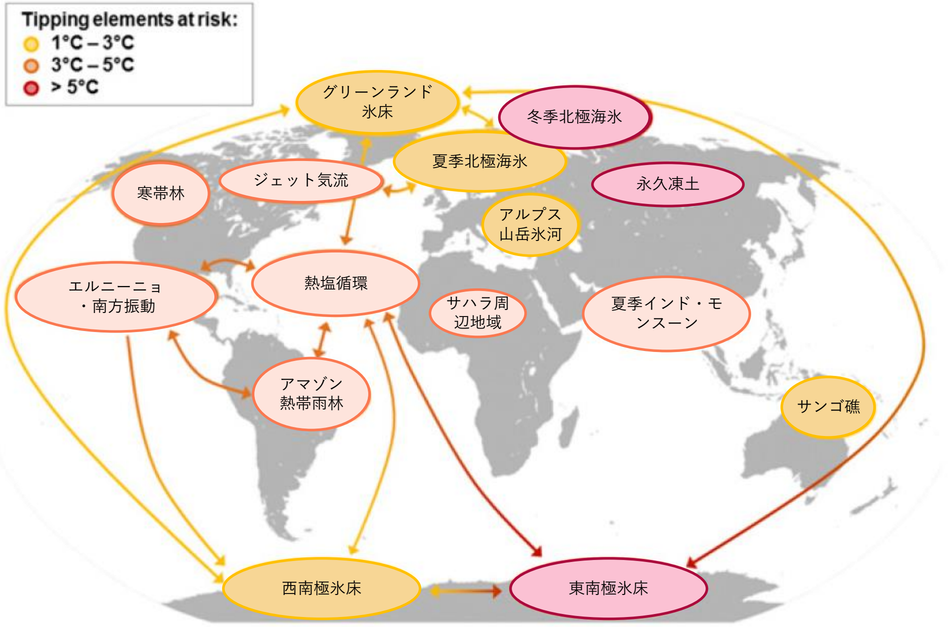
IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

不可逆的な事象の考慮（Hothouse earth）

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



起り得る"Tipping elements"の例



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

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

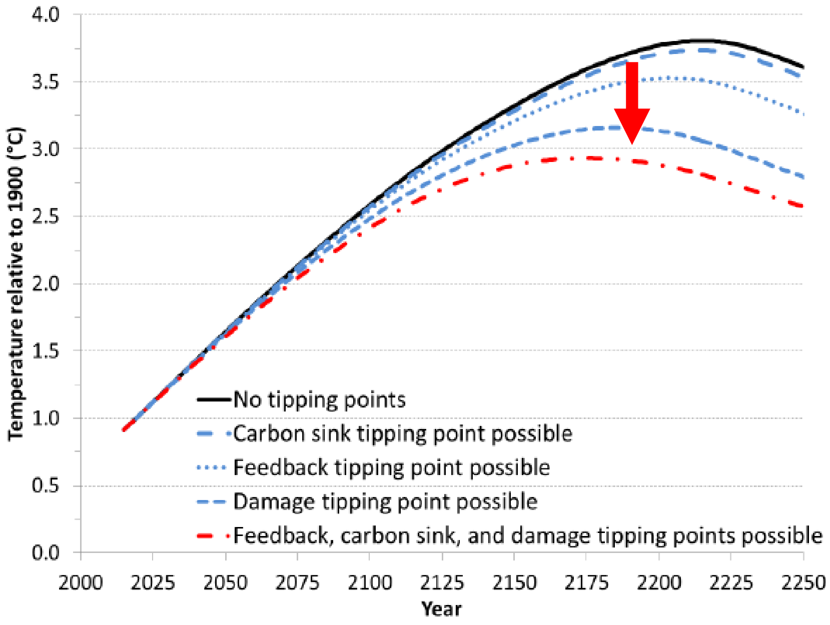
W. Steffen et al., 2018. Trajectories of the earth system in the Anthropocene. *PNAS*, 115(33), 8252-8259.

参考

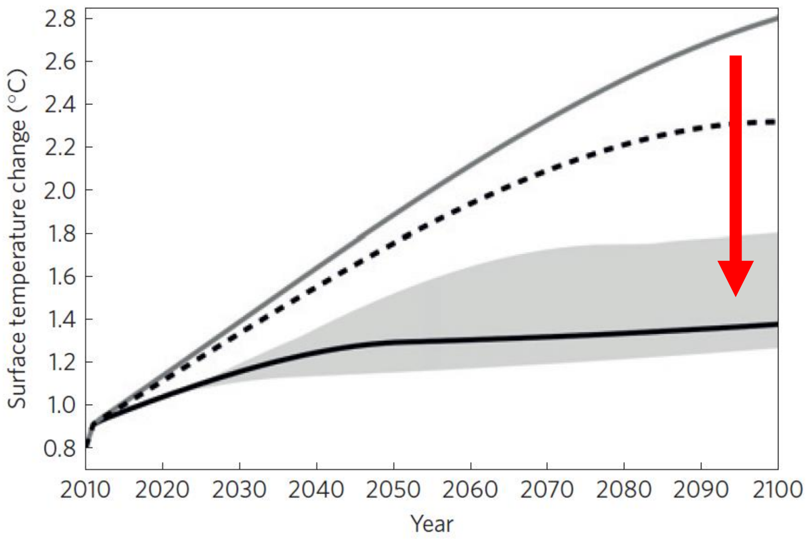
IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

Tipping elementsを組み込んだ分析例

Lemoine and Traeger (2016)



Cai et al. (2016)



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

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

D. Lemoine and C. P. Traeger, 2016. Economics of tipping the climate dominoes. *Nat. Clim. Change*, 6, 514-519.
Y. Cai, T. M. Lenton and T. S. Lontzek, 2016. Risk of multiple interacting tipping points should encourage rapid CO_2 emission reduction. *Nat. Clim. Change*, 6, 520-525.

IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

アジアLNG市場の発展に向けて

-LNGの価格競争力と供給セキュリティ-

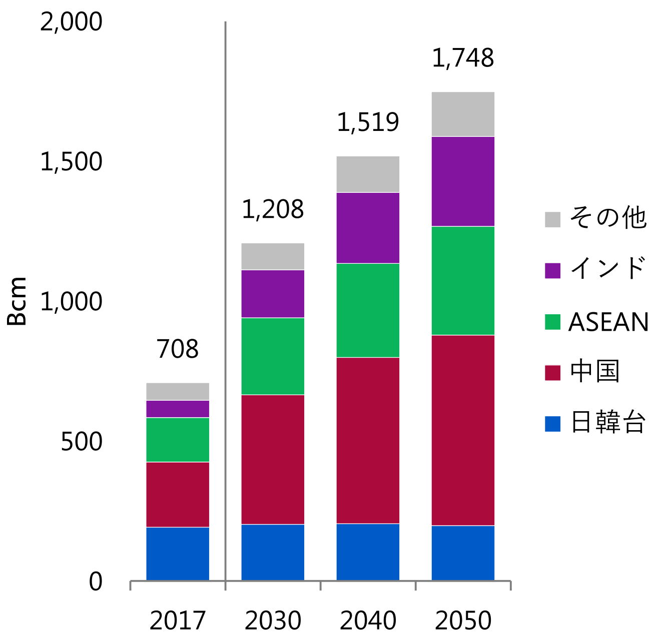
IEEJ Outlook 2020 IEEJ © 2019

IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

拡大するアジアの天然ガス市場

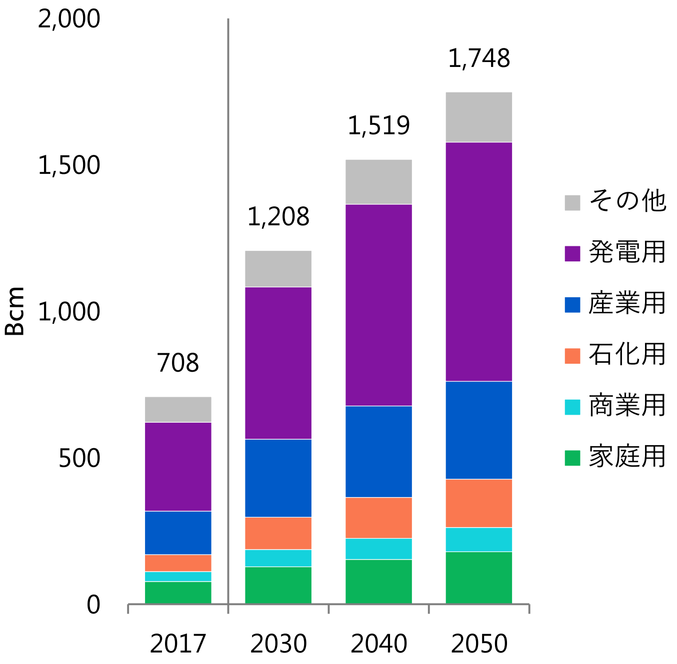
- 化石燃料の中で最も環境負荷の低い天然ガスは、アジアにおいて大きな役割を果たすことが期待されている。
- 需要が最も増加するのは中国、インドであるが、ASEANの需要増加も著しい。
- 部門別には発電部門での需要増加が最も大きいが、石炭火力との競合が避けられない。

❖ アジアの国・地域別 天然ガス需要見通し



出所: IEEJ

❖ アジアの部門別 天然ガス需要見通し



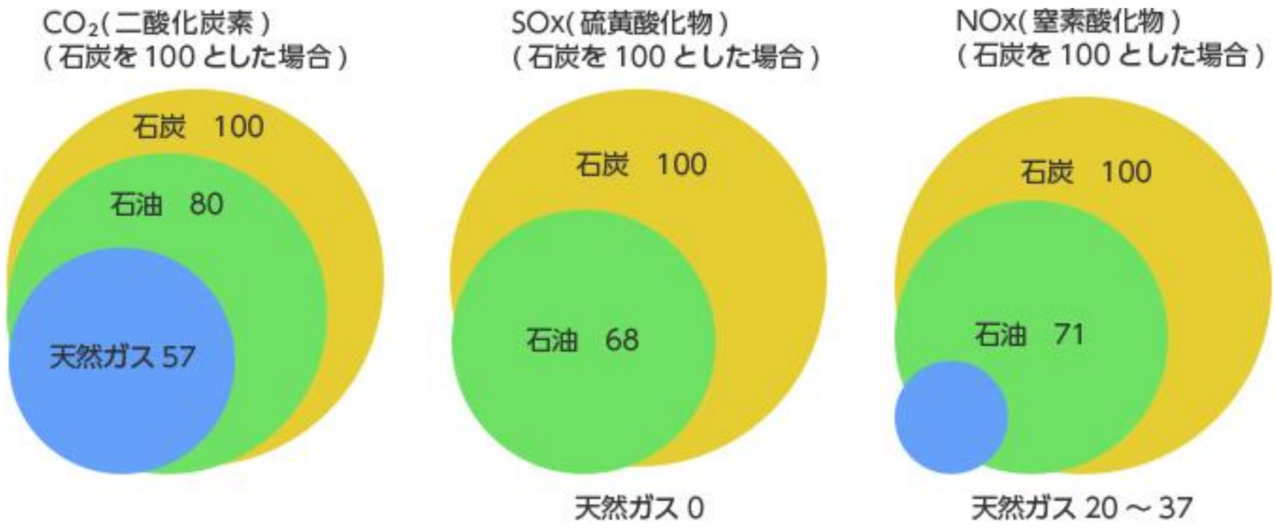
出所: IEEJ

IEEJ Outlook 2020 IEEJ © 2019

参考）化石エネルギーの特徴

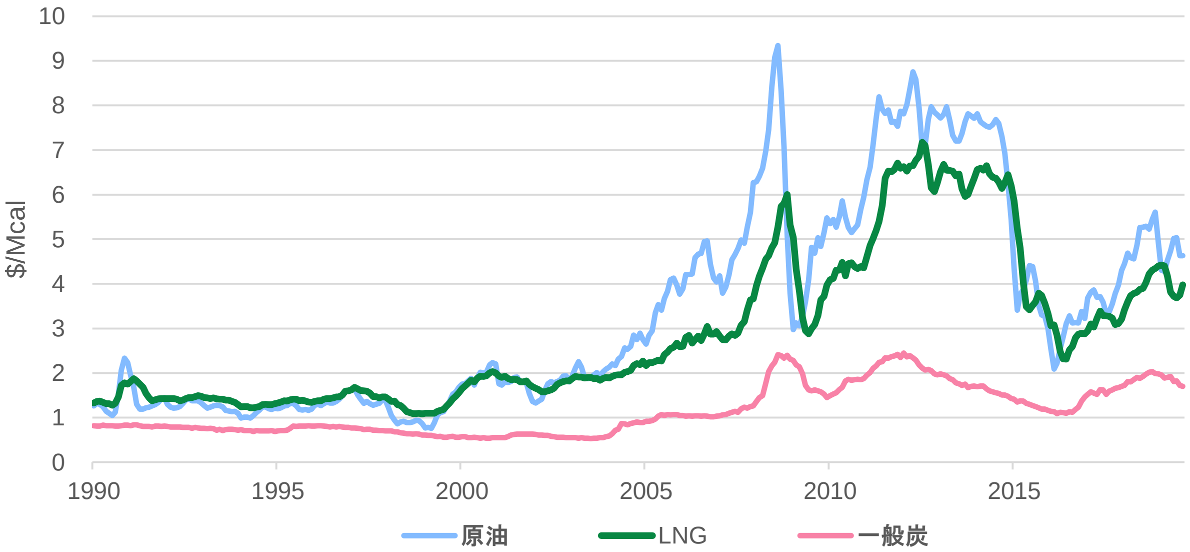
❖ 環境負荷

出所: 日本ガス協会



❖ 日本の輸入価格（単位熱量当り）

出所: IEEJ



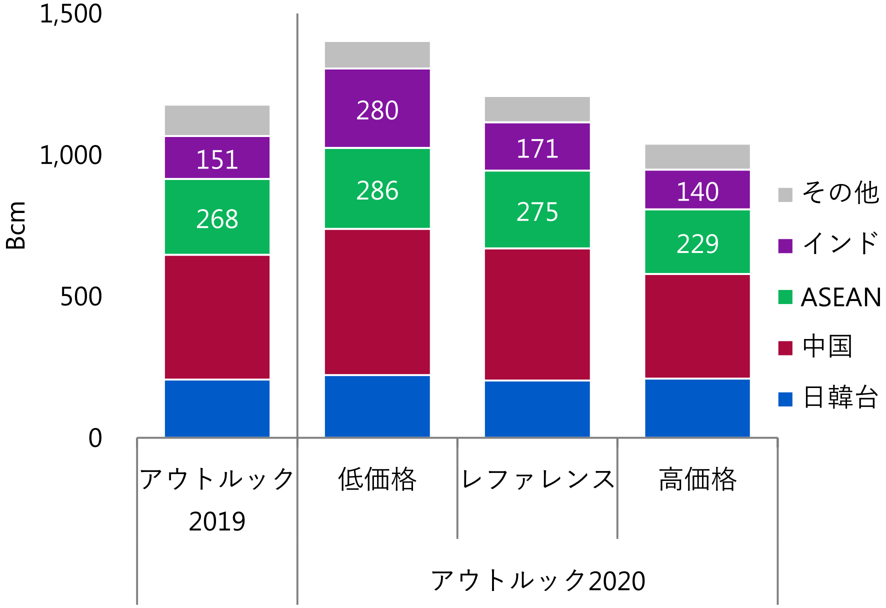
IEEJ Outlook 2020 IEEJ © 2019

IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

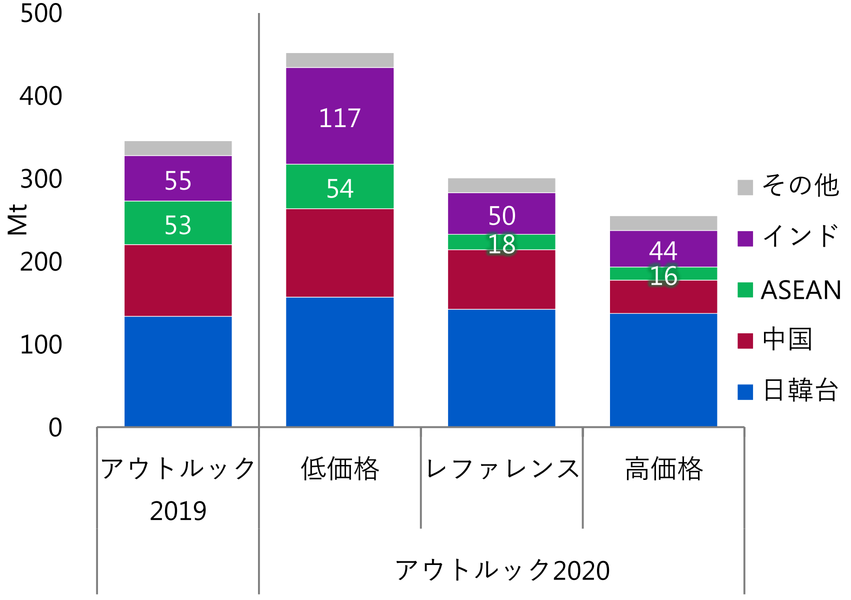
ただし、需要見通しは下方修正

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

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



出所: IEEJ



出所: IEEJ

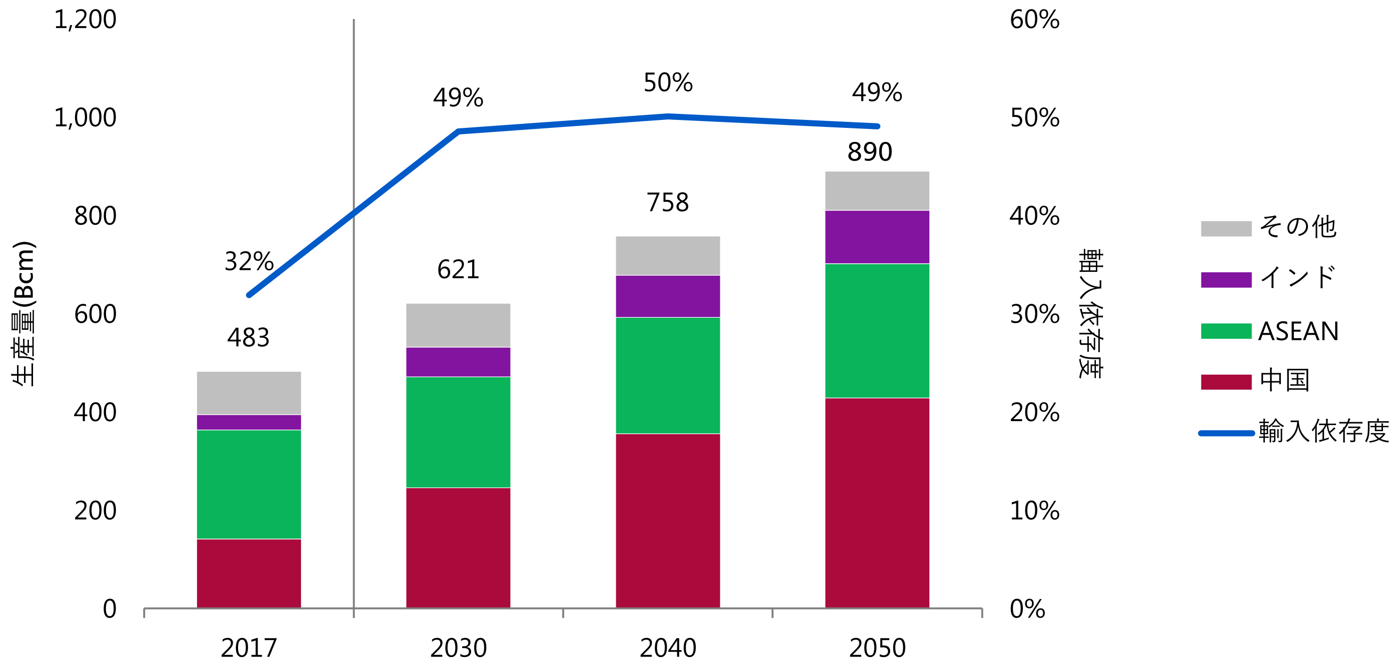
IEEJ Outlook 2020　IEEJ © 2019

IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

競争力の高いLNGの重要性の高まり

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

❖ アジアの天然ガス生産量及び輸入依存度（レファレンスケース）



出所: IEEJ

IEEJ Outlook 2020 IEEJ © 2019

IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

アジアのLNG価格想定

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

❖ アジア向けLNG価格想定（2017年価格；$/MMBtu）

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

出所: IEEJ

IEEJ Outlook 2020　IEEJ © 2019

IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

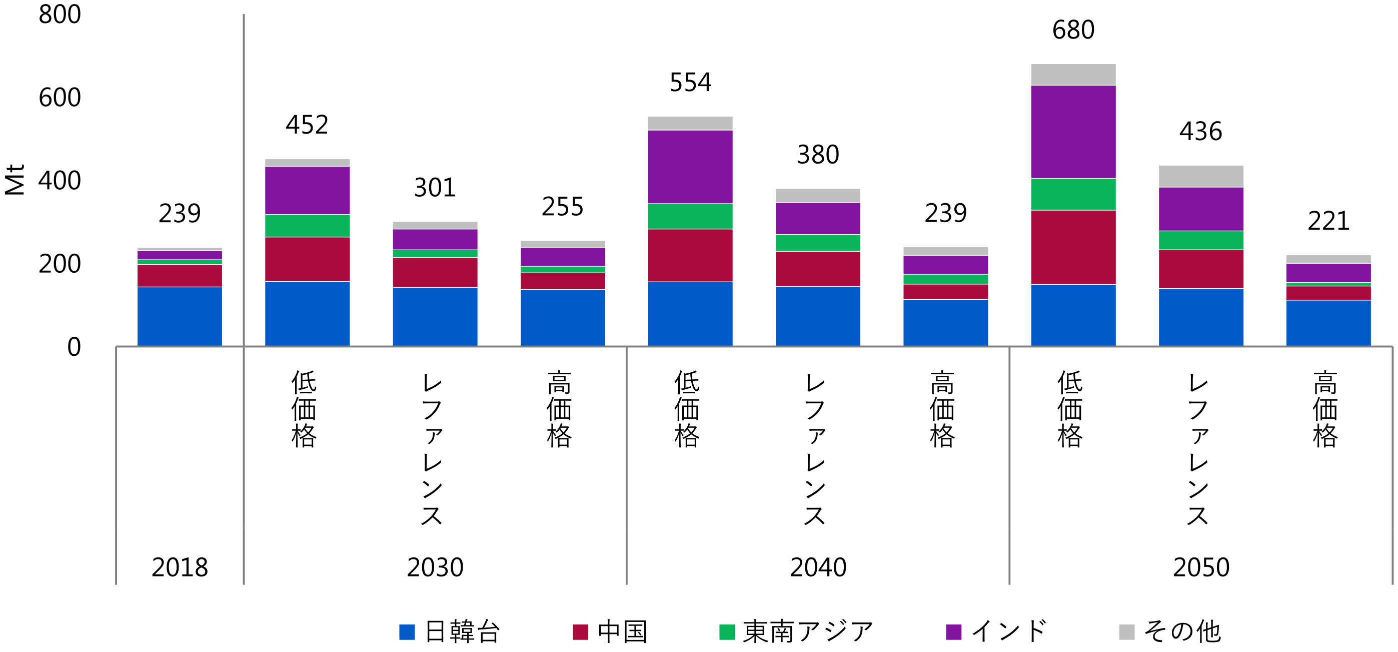
アジアのLNG需要見通し

●レファレンス　：日韓台では需要は伸びないが、ASEANやインドなどでは 4.4%～6.2%/年の高い伸び。

●高価格ケース：アジアでのガス火力新設が大きく減ると想定。2050年にかけての伸び率は-0.1%/年と増加せず。

●低価格ケース：石炭火力増分の半分がガス火力に移ると想定。2050年にかけて3.3%/年で増。

❖ アジアのLNG需要見通し



出所: IEEJ

IEEJ Outlook 2020　IEEJ © 2019

IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

LNG価格および需要見通しのポイント

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

2020年末までに相当量の液化能力が追加される可能性

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

高価格ケース

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

低価格ケース

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

IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

LNG供給セキュリティの考え方

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

❖ LNGの供給セキュリティ対策

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

出所: IEEJ

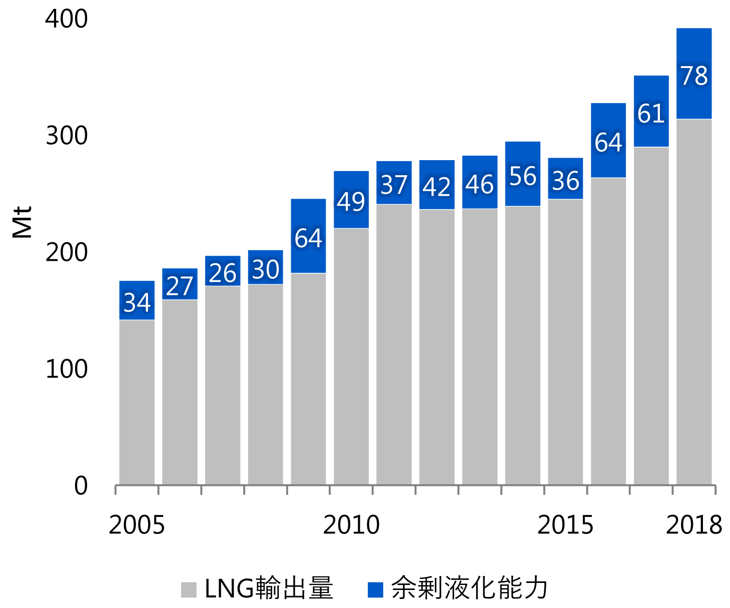
IEEJ Outlook 2020　IEEJ © 2019

IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

流動性の高い国際市場の活用

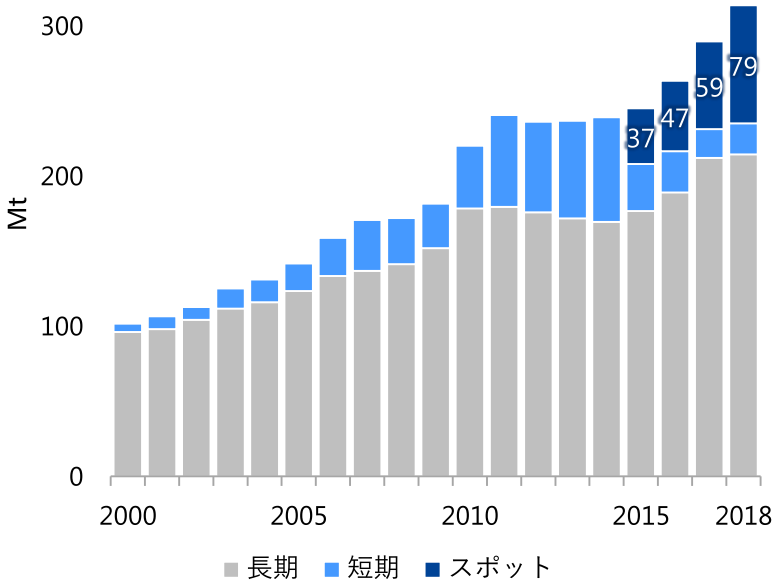
- 国際LNG市場では、アジアのLNG供給セキュリティにとって有利な変化が進展。
  - LNG輸出プロジェクトが増え、新たな供給力が着実に積みあがっている。
  - 仕向け地条項がないなど、柔軟なLNGの供給量/取引が増えている。

❖LNG輸出量と余剰液化能力



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

❖契約期間別のLNG輸出量



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

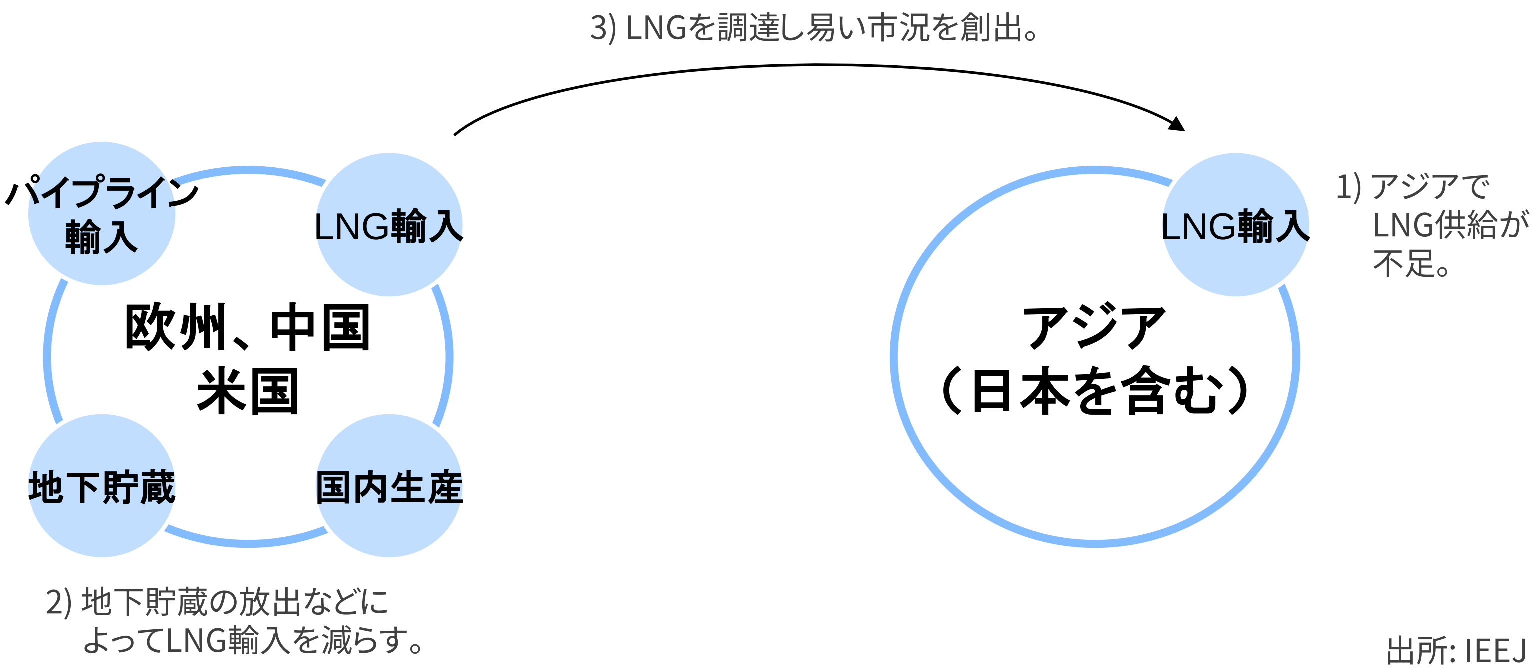
IEEJ Outlook 2020　IEEJ © 2019

IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

他の天然ガス市場との協調

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

❖他地域/国の需給調整能力を活用するイメージ



出所: IEEJ

IEEJ Outlook 2020 IEEJ © 2019

IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

参考）主要国の天然ガス地下貯蔵能力

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

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

出所 天然ガス消費量：IEA, Energy balance 2019より2017年データ
欧州のワーキングガス容量：Gas Infrastructure Europeより 2018年7月1日時点データ
米国のワーキングガス容量：EIA, Underground Natural Gas Storage Capacityより2017年データ
中国のワーキングガス容量：JOGMECより2018年データ
日本のワーキングガス容量：JOGMECより2017年データ（2017年の毎月末のLNG在庫量の平均値）

IEEJ Outlook 2020 IEEJ © 2019

IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

まとめ

- 需要増加の中心が日韓台から新興輸入国へ移っていくなかで、需要増加ポテンシャルの大きい発電部門での競争力がなければ、LNG需要拡大は限定的なものとならざるを得ない。

- 高価格ケースのLNG需要は低価格ケースの約70%も小さく、価格水準が需要を大きく規定する。

- 供給側でコスト削減の努力とともに、需要を賄うに足る供給を可能にする投資が適切に実施されていくことが必要である。一方の需要側では、インフラ整備や需要喚起策などが求められる。

- LNG需要が増えるとともに、その供給セキュリティに対する関心も高まっている。

- 国際LNG市場では日本を含むアジアのLNG供給セキュリティにとって有利な変化が進展しつつあり、これを更に推し進めることが必要。

- 米国やEU、中国の需給調整能力を活用することで日本やアジアのLNG供給セキュリティを向上させるが可能であり、今後こうした協力を深めることが必要であろう。

IEEJ Outlook 2020　IEEJ © 2019

IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

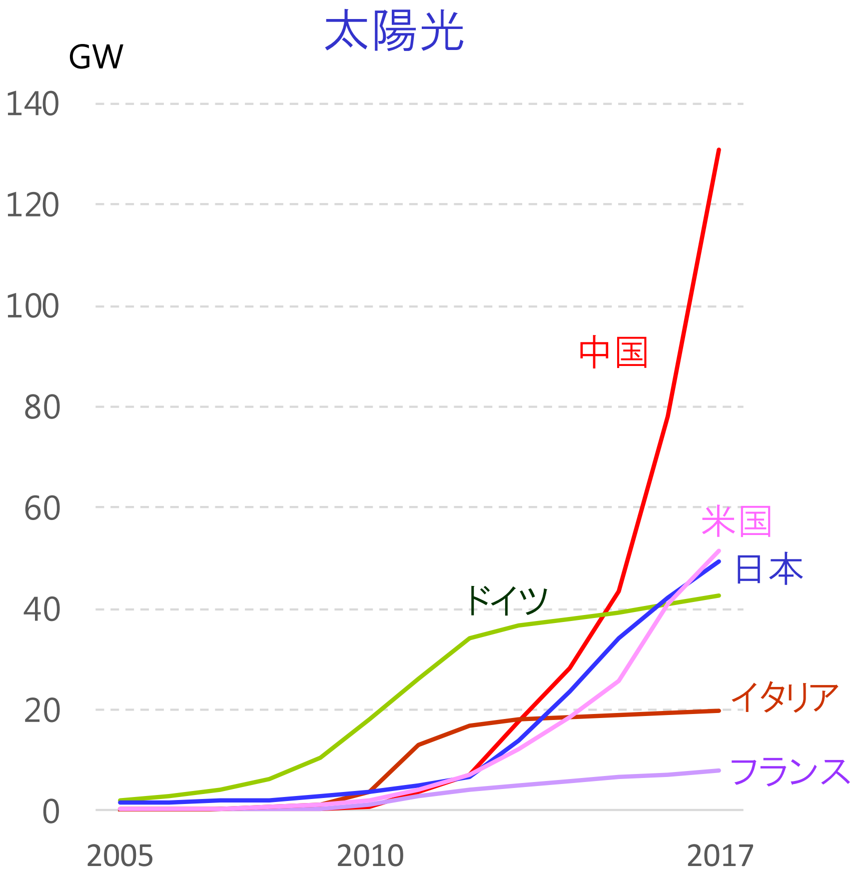
変動性再生可能エネルギーの大量導入

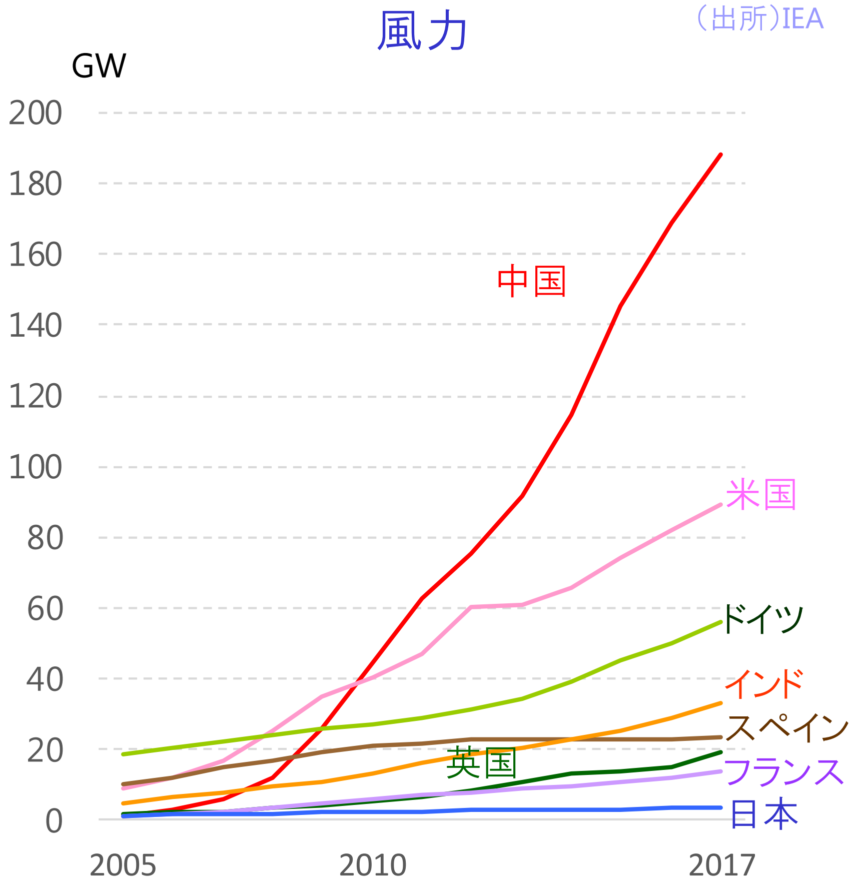
– 統合費用の評価と幾つかの課題 –

IEEJ Outlook 2020　IEEJ © 2019

IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

変動性再生可能エネルギー（VRE）の普及拡大





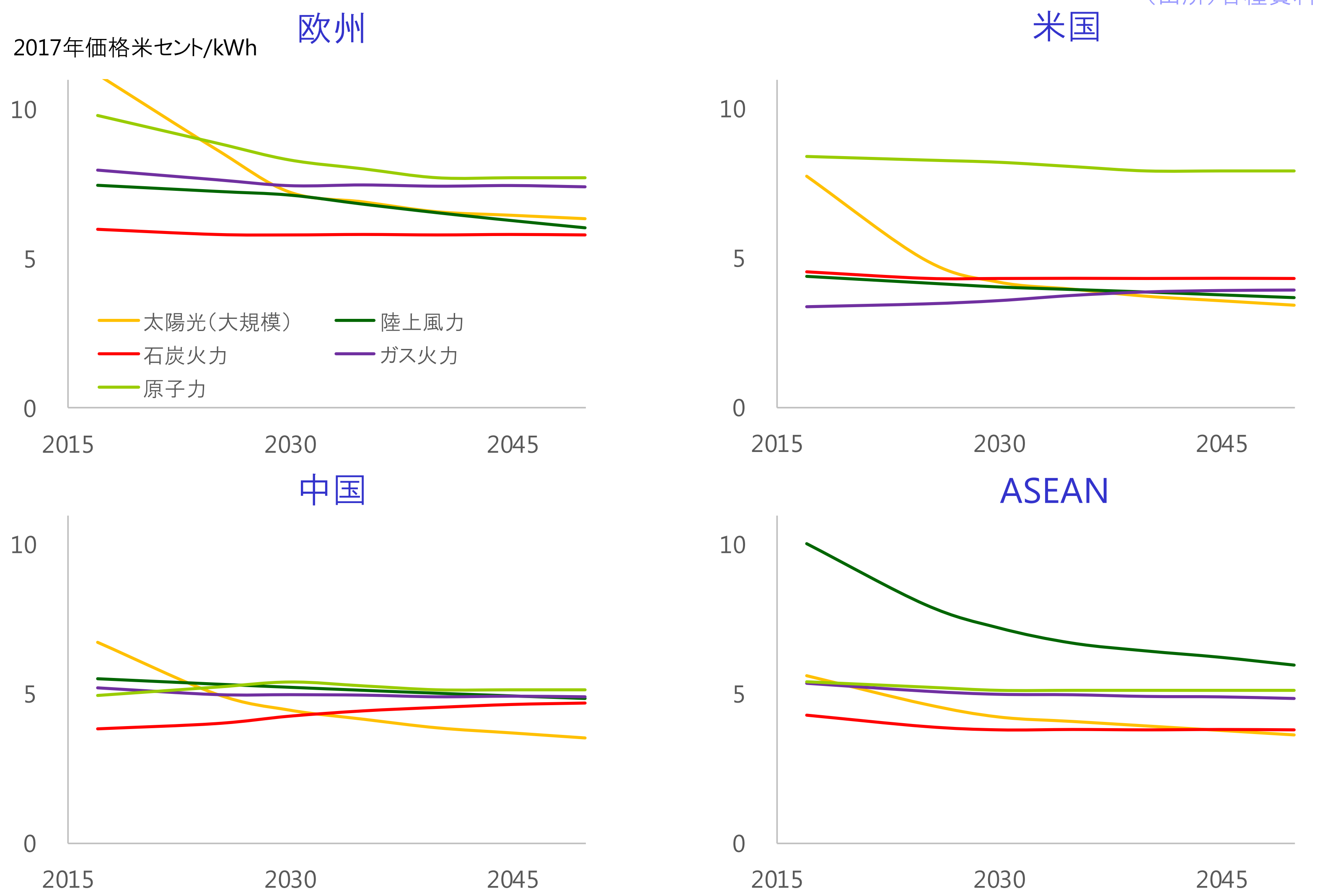
- **VRE（Variable Renewable Energy**: 変動性再生可能エネルギー＝風力・太陽光）は、地球環境問題への意識の高まりと発電コストの低下を背景に、世界各国で急速な普及が進んでいる。
- 優れた環境特性や豊富な資源の利用可能性から、**今後も引き続きVREを中心とした再生可能エネルギーの導入拡大が進むことが予想される**。例えば欧州では、 2050年までに発電部門で再生可能エネルギー100%の達成を目標とする国が複数存在する。また新興国、例えば中国においても、国家再生能源中心は2050年までに再生可能エネルギーシェアを85%まで拡大するシナリオを提示している。
- 但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

IEEJ Outlook 2020 IEEJ © 2019

IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

低下する再生可能エネルギーの発電単価（LCOE）

（出所）各種資料より推計



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

IEEJ Outlook 2020　IEEJ © 2019

IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

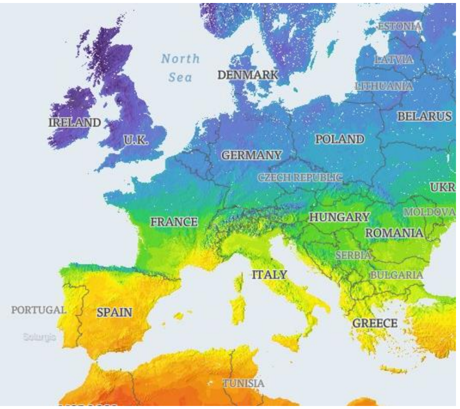
変動性再生可能エネルギーの地域的偏在性

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

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

太陽光

欧州

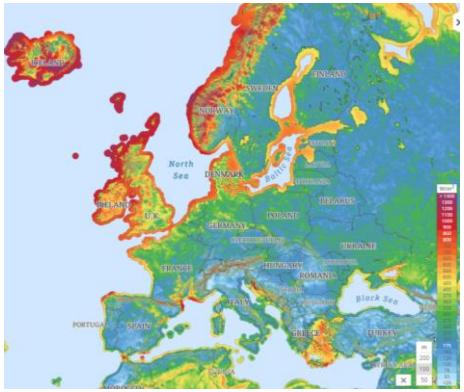


ASEAN

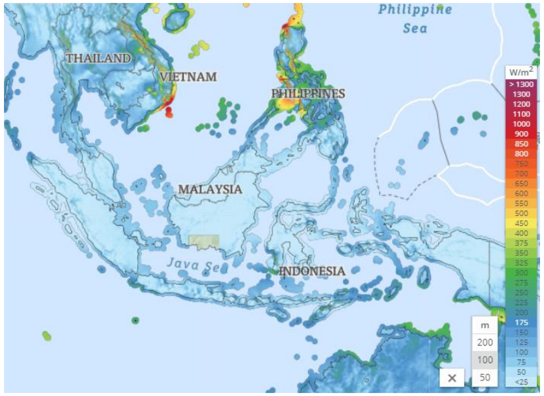
（出所）
Global Solar Atlas※1

風力

欧州



ASEAN



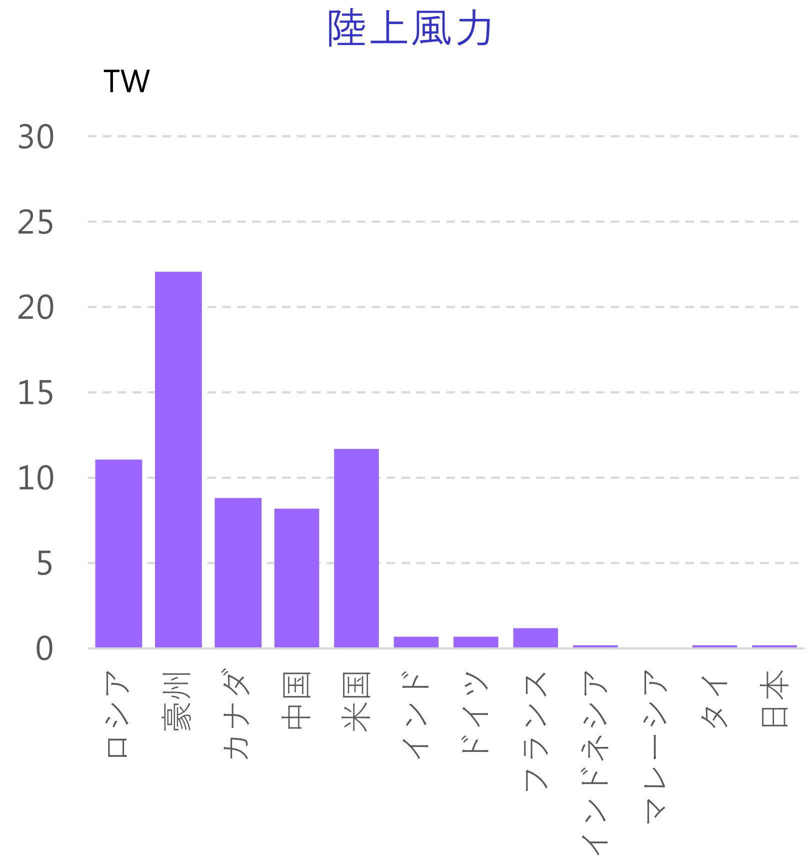
（出所）
Global Wind Atlas※2

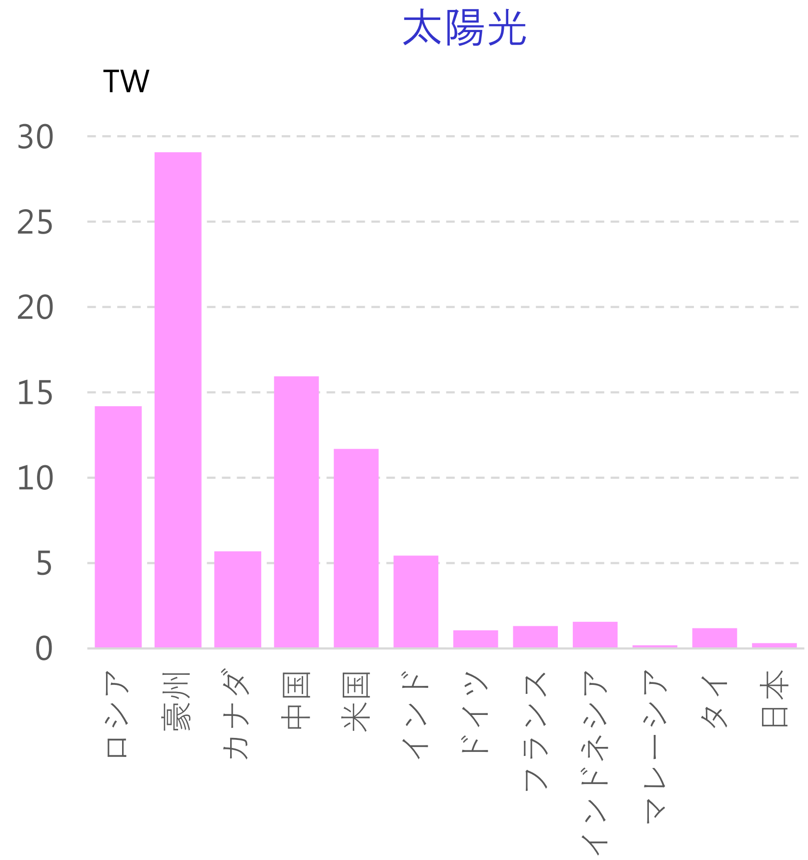
・**VRE資源の賦存量は地域によって大きく異なる**。特に風力発電資源の賦存量は風況によって大きく偏在し、例えば欧州では豊富に存在する一方で、ASEAN地域ではベトナム・フィリピンを除き、大きくない。

IEEJ Outlook 2020 IEEJ © 2019

IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

太陽光・風力発電資源量の地域的分布





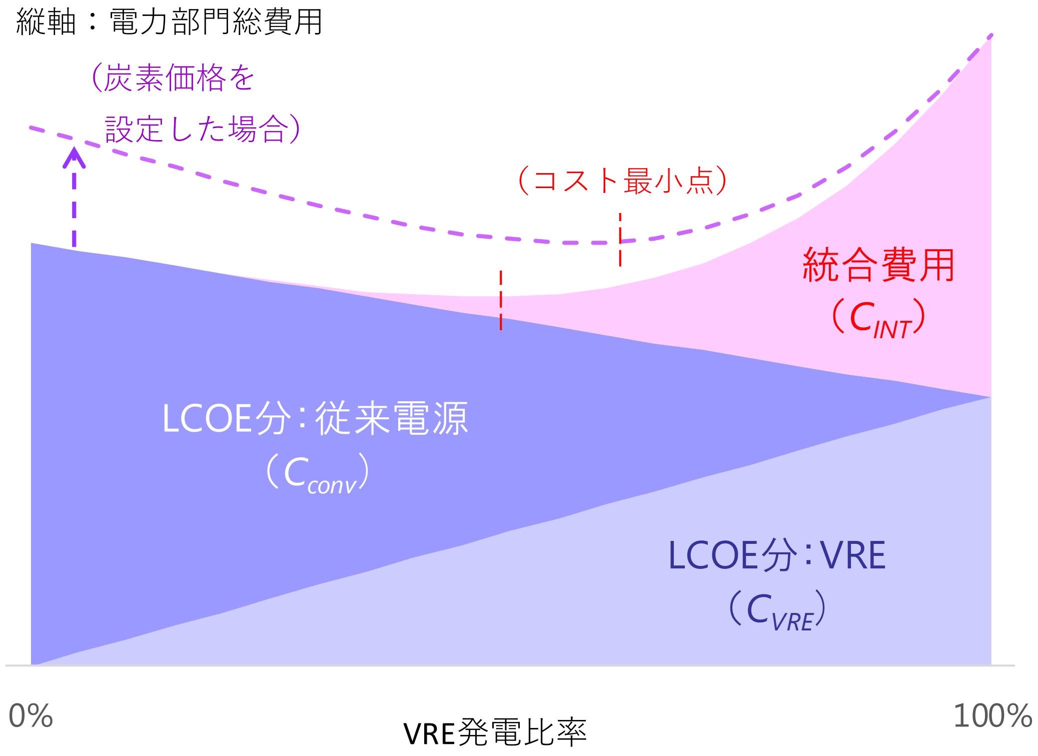
（出所）当所推計※

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

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

IEEJ Outlook 2020 IEEJ © 2019

VRE大量導入時の統合費用の概念



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

IEEJ Outlook 2020　IEEJ © 2019

IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

統合費用の区分

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

1. バランスコスト：Balancing cost

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

2. グリッド増強コスト：Grid-related cost

・発電設備と電力需要の空間的な乖離に伴って生じるコスト。

・発電設備から系統までの接続線と、グリッド自体の増強の2種類が必要となる。
（前者は発電単価（LCOE）の中に含まれることもある）

3. プロファイルコスト：Profile cost

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

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

3-2. 出力抑制コスト：Overproducion cost

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

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

IEEJ Outlook 2020　IEEJ © 2019

IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

統合費用の評価例･･･欧州及びASEAN

評価方法

・ 特定の地域を対象に、1年間を1時間刻み（24時間×365日＝8,760時間区分）でモデル化。
2014年実績値をもとに、太陽光･陸上風力･洋上風力の発電出力と電力需要の変化を模擬。

・ 線形計画法（Linear Programming）により必要な設備投資と年間の電力需給バランスを評価。

・ 蓄電システム、地域間連系線、VREの出力抑制、従来電源の設備利用率低下、LFC制約を考慮。
但し、火力発電の起動停止回数の増加や部分負荷運転による効率の悪化、回転慣性の必要性などは明示的に考慮しておらず、コストを幾分過小評価していると考えられる。

・ 蓄電システムとしてはバッテリー及び揚水発電を考慮。また、追加的に水素貯蔵も考慮。

蓄電池･･･コストが80ドル/kWhまで低下すると想定。

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

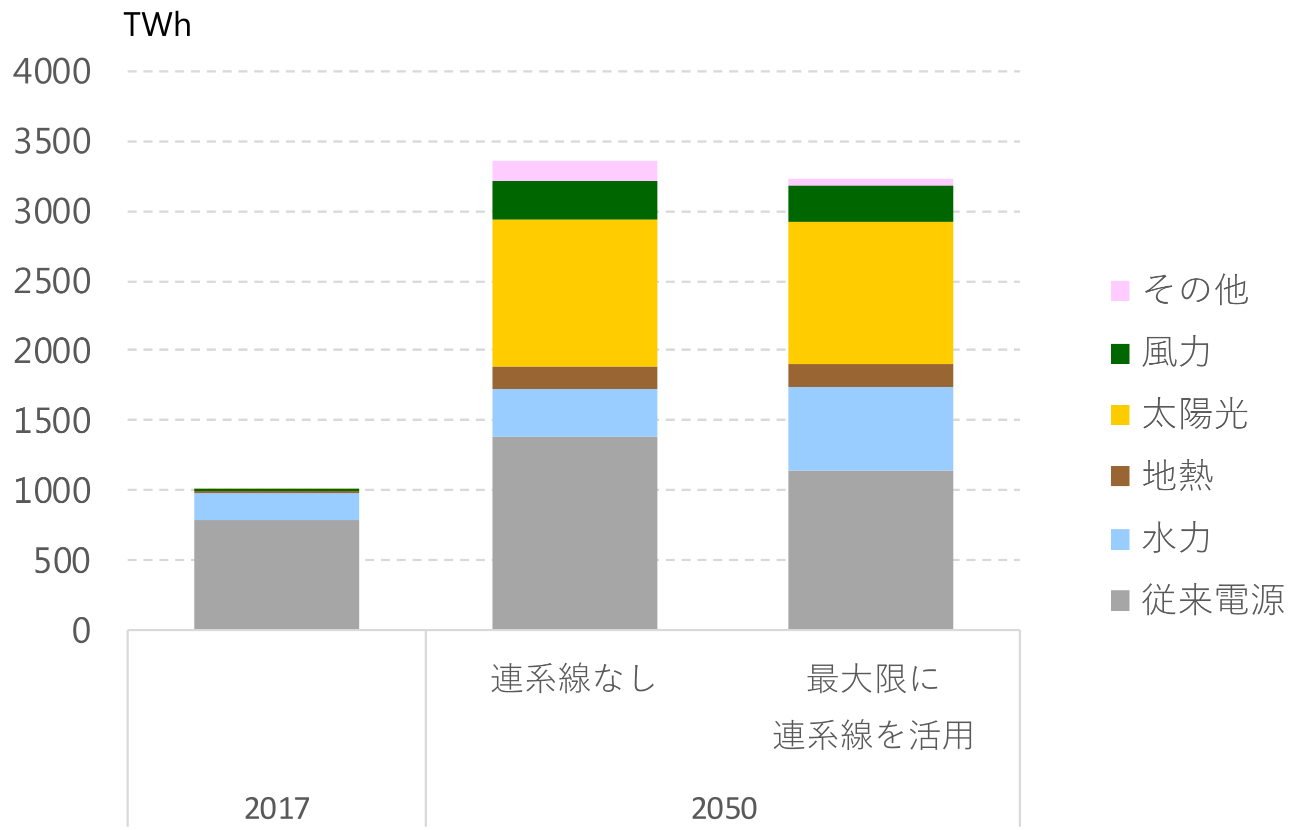
評価対象

・ 欧州（6地域に分割）とASEAN（10カ国）を対象として評価。

IEEJ Outlook 2020　IEEJ © 2019

IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

ASEAN地域における再生可能エネルギー大量導入（VRE 40%）

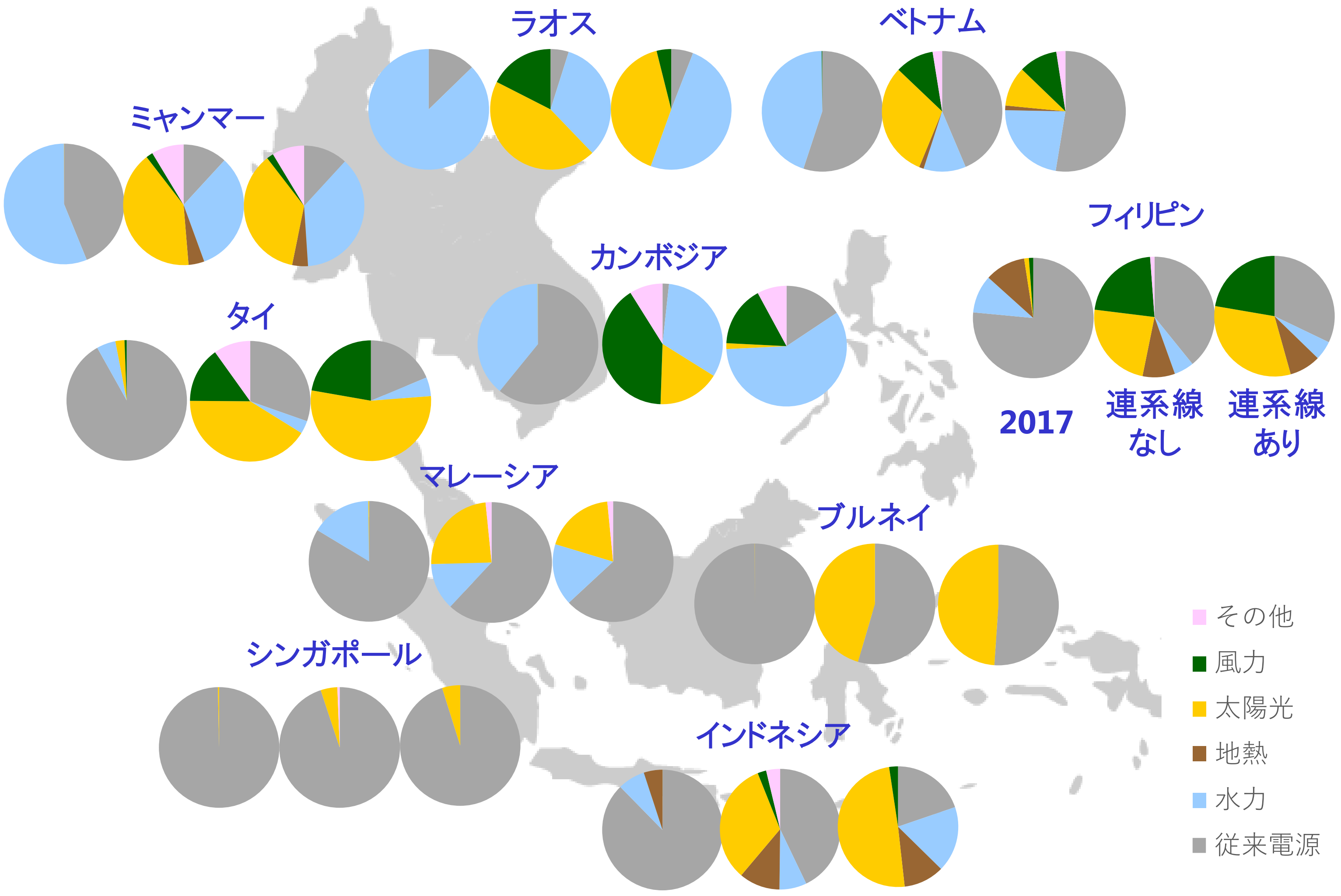


- ASEAN地域では風力資源量が比較的乏しいため、VRE 40%を達成するためには太陽光発電比率32%が必要。このとき、再生可能エネルギー比率は60%弱となる。
- 仮に地域間連系線が拡大し、水力資源を最大限利用し得る場合、水力比率が20%程度となり、再生可能エネルギー比率は70%弱まで上昇する。

IEEJ Outlook 2020　IEEJ © 2019

IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

VRE 40%導入時の国別内訳（ASEAN）：エネルギー資源の多様性

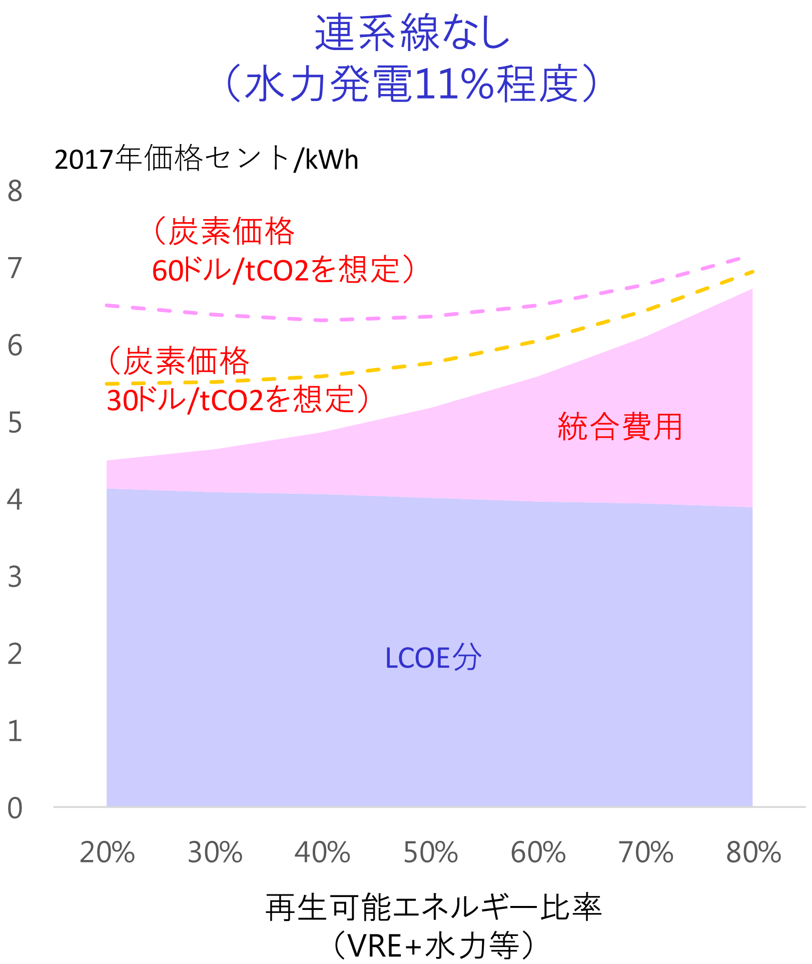


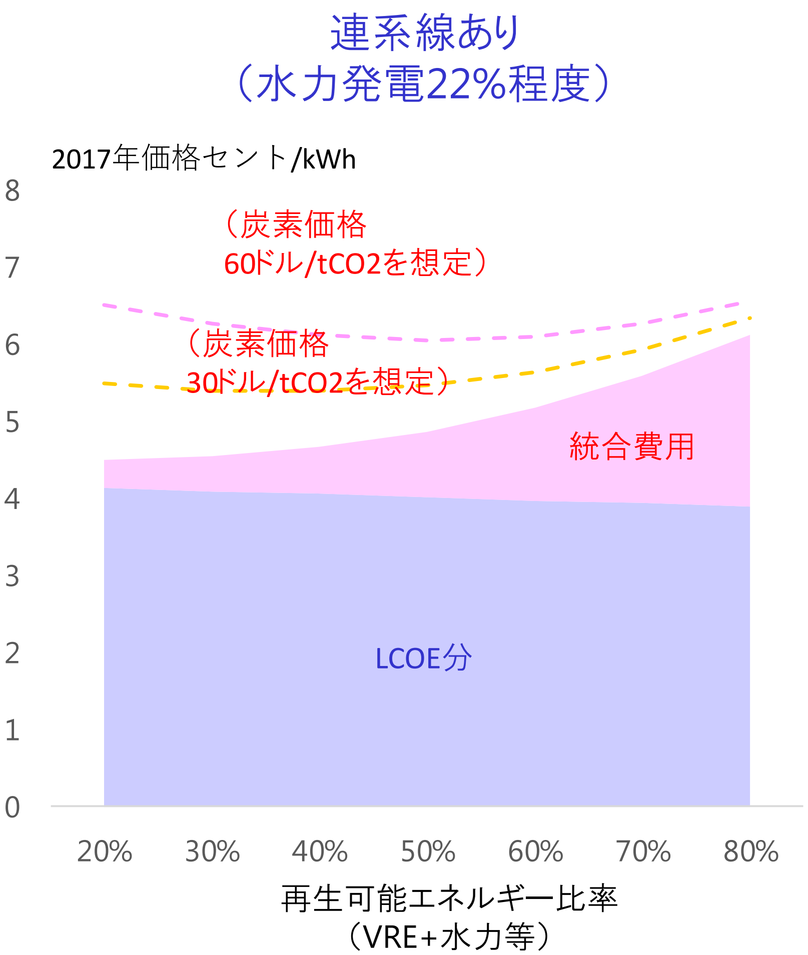
- VRE資源は国によって異なるため、**国ごとに異なった導入比率を示す。**
- 地域間連系線を最大限活用できる場合、水力発電資源の有効利用を行うことが可能となり、ラオス･ミャンマー･カンボジア･ベトナム等からタイに向けて、またマレーシアからブルネイに向けて電力輸出が行われる。

IEEJ Outlook 2020　IEEJ © 2019

再生可能エネルギー導入比率上昇による統合費用の増加（ASEAN計）

IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載



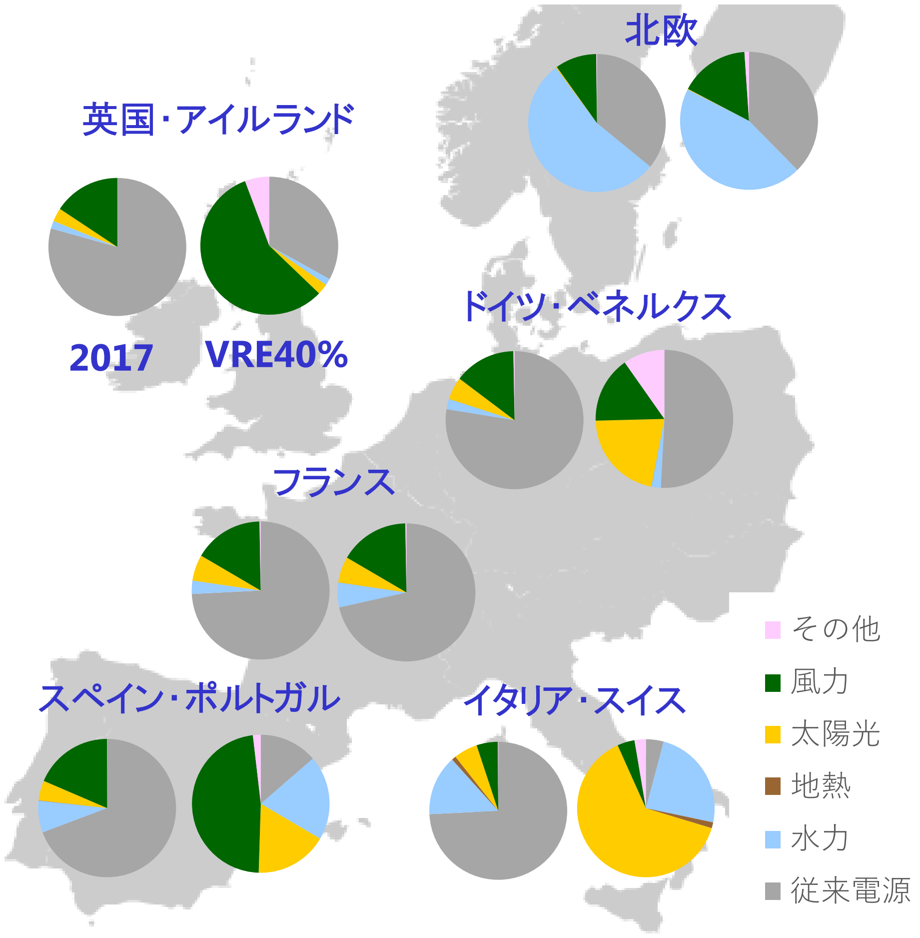


- VRE比率の上昇に伴い統合費用分が増大する。但し、地域間連系線が最大限利用可能な場合には、水力資源を有効に利用できるため、高い再生可能エネルギー比率においてコスト上昇が幾分抑えられる。
- より高額な炭素価格相当を想定した場合には、再生可能エネルギー比率の低い領域でコストが上昇し、より高い再生可能エネルギー導入比率で総コストが最小となる。
- 再生可能エネルギーシェアの拡大に伴うコストの増加を補うためには、**強力な政策的支援が必要**となる。

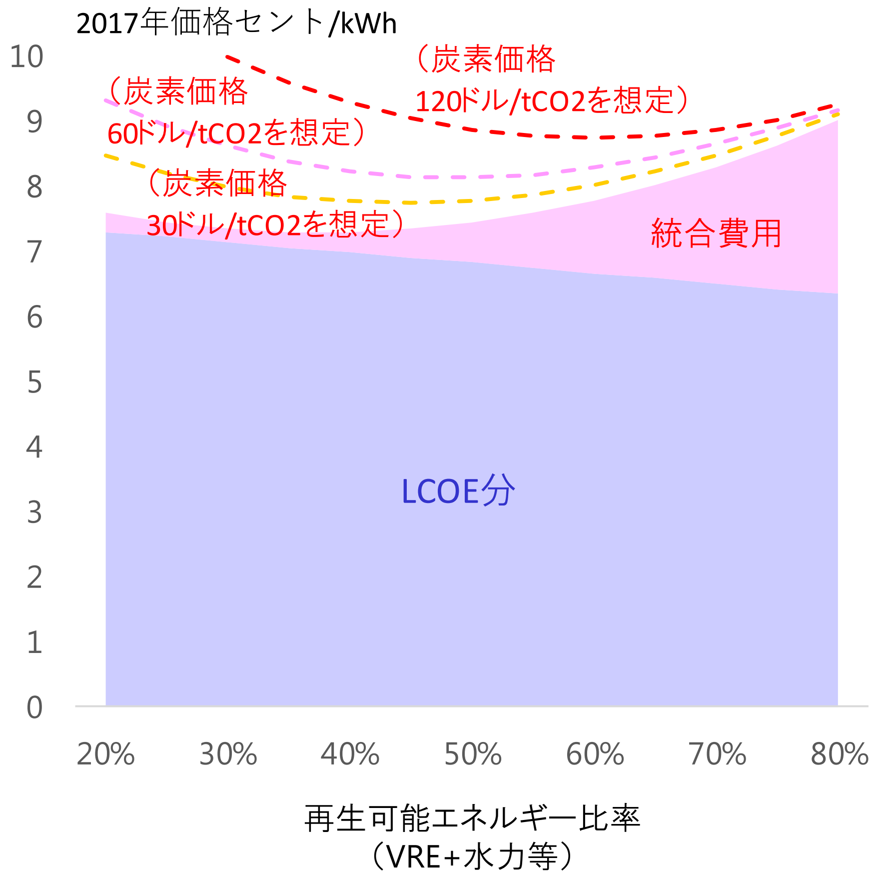
IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

欧州における国・地域別内訳と統合費用

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



欧州における統合費用



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

IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

水素の利用によるコスト低減効果

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

- **再生可能エネルギー由来**
- **化石燃料由来**
  水蒸気改質等で水素を製造、発生するCO_2はCCS技術により地下に貯留することを想定
- **原子力由来**

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

蓄電池・・・設備コストが高いが効率は良い（サイクル効率80～95%程度）

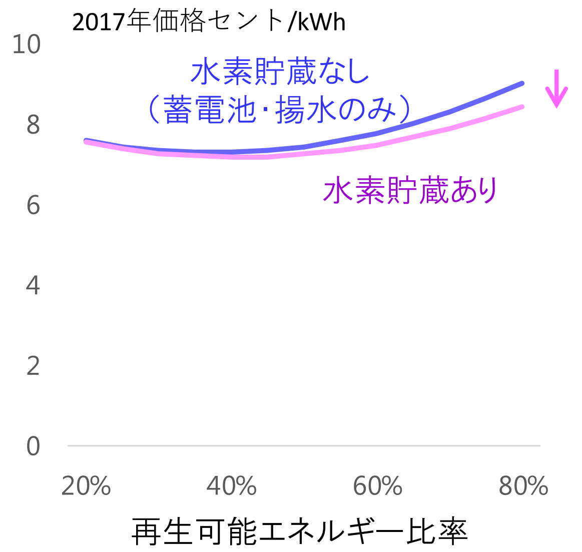
水素貯蔵・・・貯蔵設備は安価であるが、水電解装置の費用がかかり、総合効率は低め。（水電解効率×発電効率、50～60%程度）

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

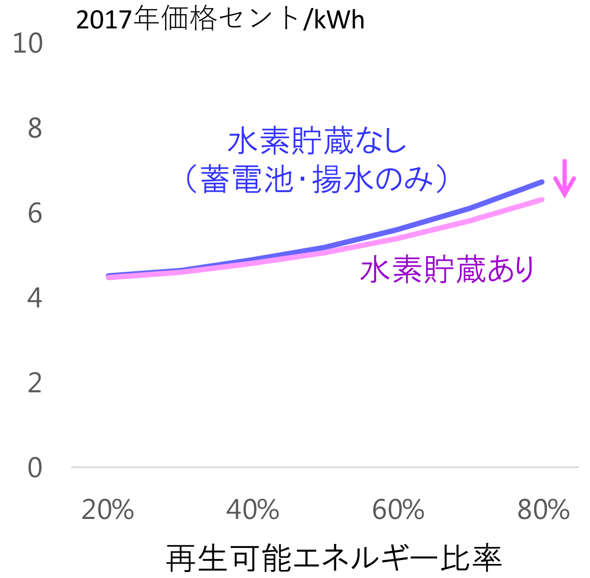
・この他、日本のようなエネルギー資源に乏しい国では、CO_2フリー水素を輸入し、直接燃焼させて発電に利用することも将来の選択肢の一つ。

水素貯蔵による
統合費用低減効果

欧州



ASEAN



IEEJ Outlook 2020 IEEJ © 2019

IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

VRE大量導入に伴う課題

1. 大量導入に伴う市場価値の低下

VREは一度設置されると、非常に低い限界費用で発電を行う。

→ 電力市場価格が低下し、VRE自体の価値が損なわれる（「共食い効果」）。

2. 電力の供給途絶リスク

VRE及び水力発電は気象条件に応じて出力が変動する。

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

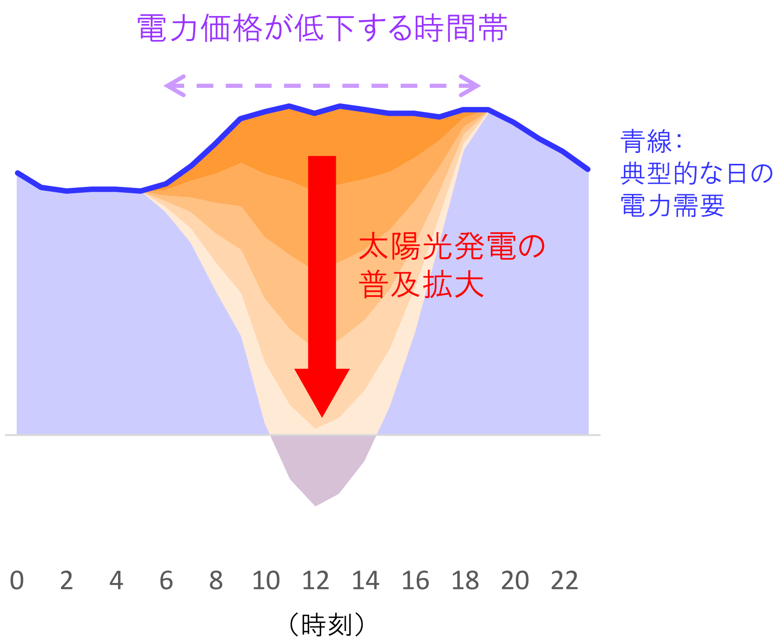
IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

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

◎ 太陽光発電設備が大量に導入された場合

→ 晴れた昼間に限界費用（ほぼ）ゼロの電力が大量に供給される

→ 晴れた昼間の電力価格が低く、もしくは負になる



このとき、

太陽光発電設備

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

従来型発電設備

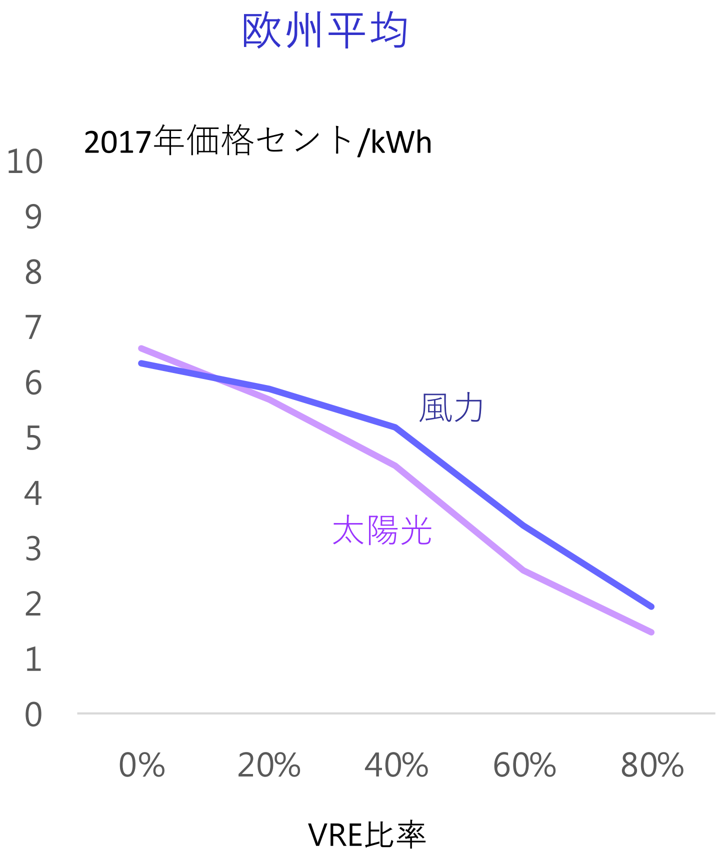
- 夜間にも発電が可能なため、「価値」の低下は太陽光発電設備に比べて限定的
- 価格の低下により**設備の投資回収がより困難**になる
- 価格が燃料費を下回る場合には、設備利用率の低い運用が求められる

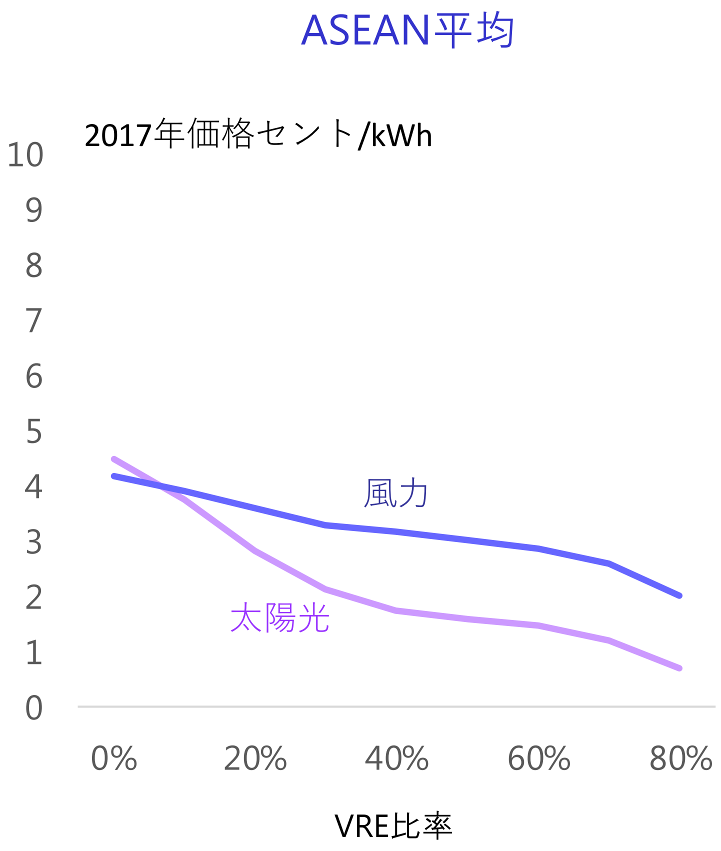
※ 同様の現象は太陽光のみでなく、**より緩やかな程度で、風力発電についても生じる**。

IEEJ Outlook 2020 IEEJ © 2019

IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

共食い効果の試算例：欧州及びASEAN



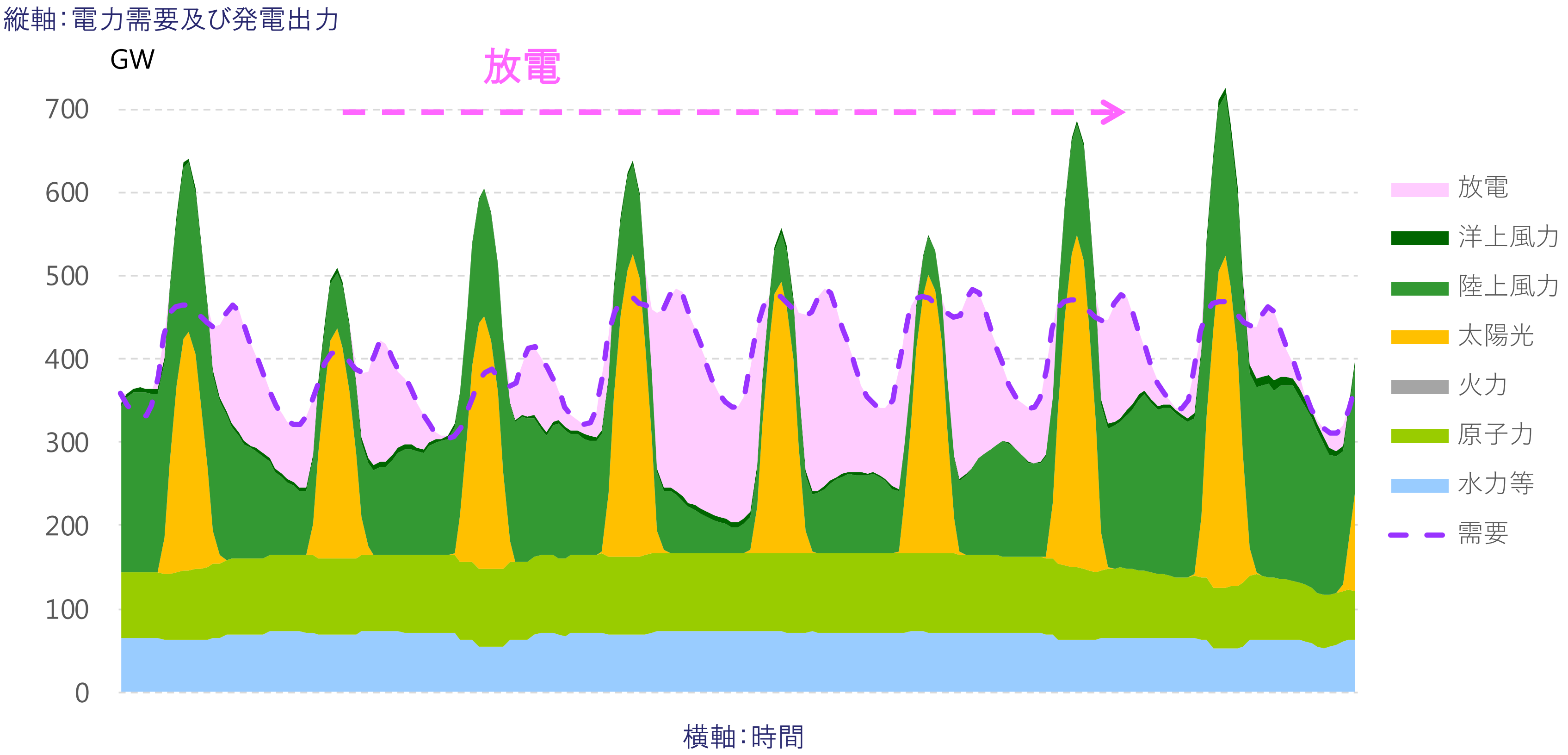


- VRE比率が高まるにつれ、共食い効果により太陽光・風力の価値は低下する。特に風力に比べ、太陽光の価値低下が著しい。
- この効果により、仮に将来太陽光・風力発電の発電単価（LCOE）が大幅に低下したとしても、**持続的な導入拡大のためには何らかの政策的支援が不可欠であり続ける**可能性が高い。

IEEJ Outlook 2020　IEEJ © 2019

IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

再生可能エネルギー大量導入に伴う課題(2) 電力供給途絶リスク
①「無風期間」の電力需給



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

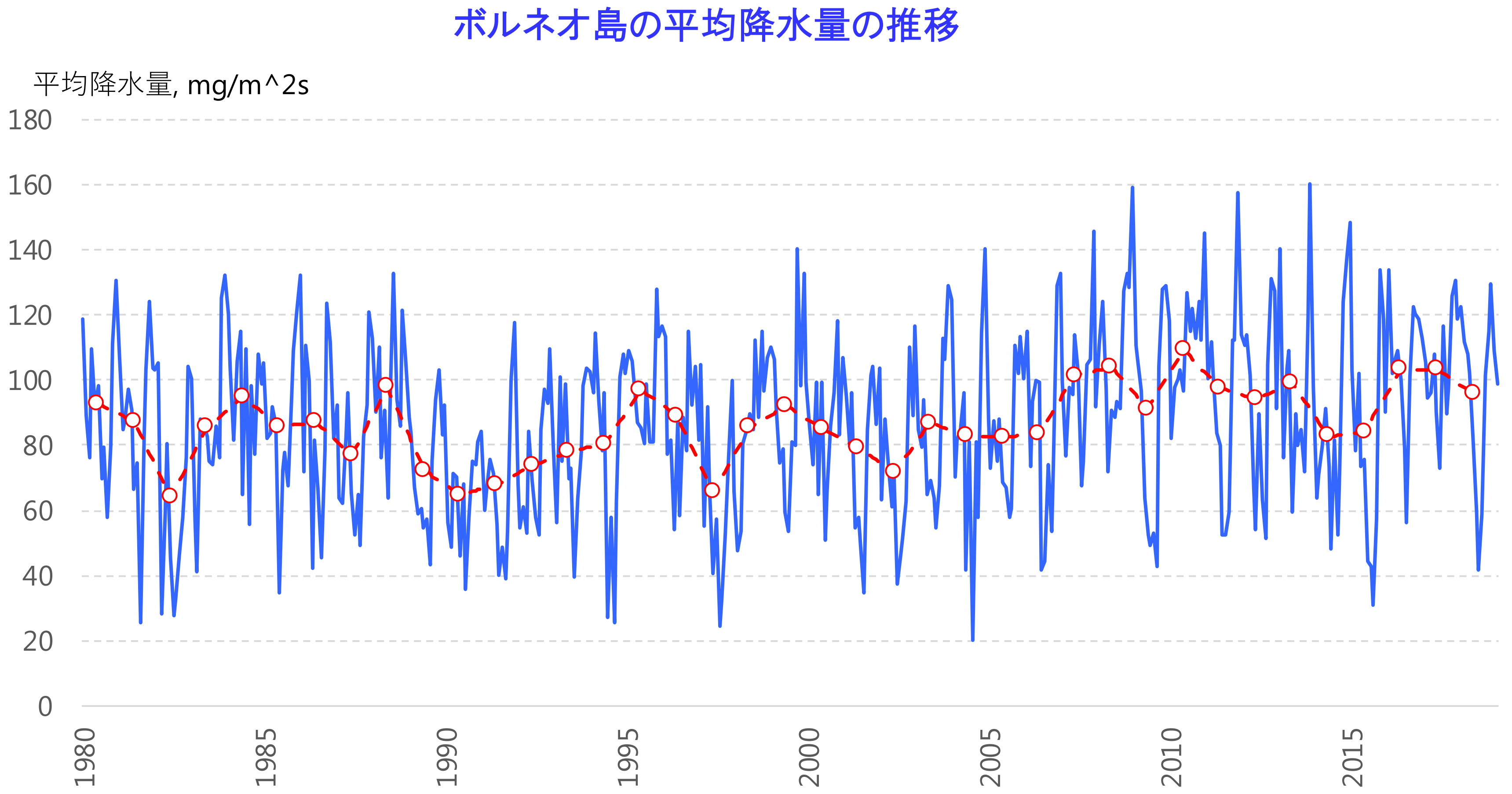
・この「**無風期間」の電力需要を賄うために必要な電力量が、蓄電池の必要量となる**。

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

IEEJ Outlook 2020　IEEJ © 2019

IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

再生可能エネルギー大量導入に伴う課題(2) 電力供給途絶リスク
② 渇水リスク



（出所）NASA"MERRA-2"より作成

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

IEEJ Outlook 2020　IEEJ © 2019

IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

まとめ

・変動性再生可能エネルギー（VRE）のコスト低減に伴い、今後、2050年にかけてその普及が急速に進むことが予想される。但しVRE資源の賦存量には差も大きく、地域ごとに異なる導入比率を示す可能性が高い。

・VREの大量導入には、出力の間歇性に伴う特有の費用（統合コスト）の増加が予想され、近年、多くの研究でその評価が試みられている。但し現状では評価の幅が大きく、今後、評価方法を確立するとともに、より正確な評価を目指して検討を続けることが必要。

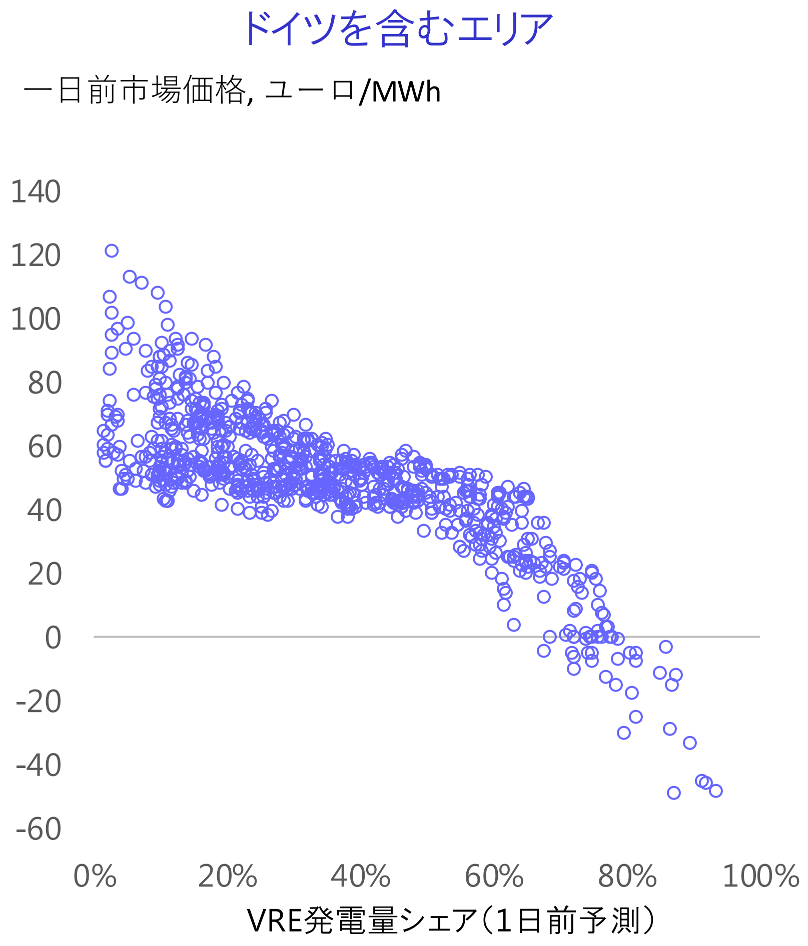
・短中期的には、「共食い効果」によるVRE自身の価値低下が大きな課題。この問題のため、VREの導入を持続的に拡大するためには、適切な政策的支援を長期に継続することが必要となる。

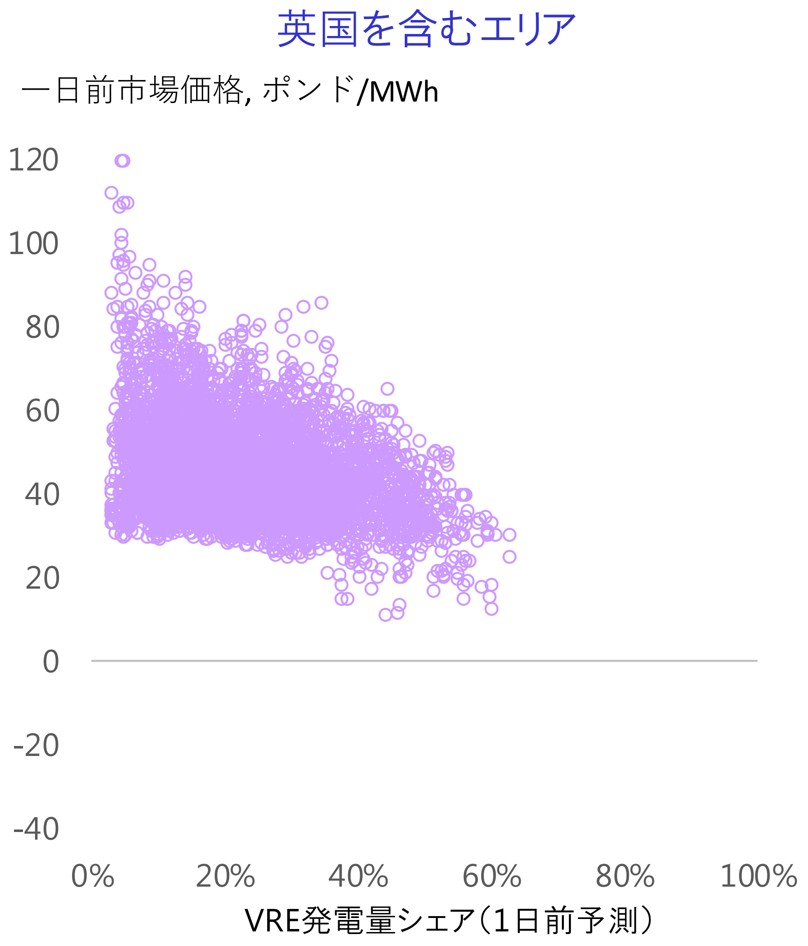
・より長期的にVRE比率が極度に上昇した場合には、「無風期間」における供給途絶リスクが大きな課題となり得る。また、大規模な土地の利用による社会的受容性も大きな課題となる可能性があり、慎重な考慮が必要。

・特定のエネルギー源のみに依存することは、コスト上昇や供給途絶のリスクを高める。
今後、長期的な低炭素化・脱炭素化に向けて、新たなエネルギーミックスを目指すことが求められる。

IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

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





(出所)Entso-E

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

IEEJ Outlook 2020 IEEJ © 2019

IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

付属資料

IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

地域区分

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

IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

モデルの構造

主要前提条件

GDP、原油価格、為替レート
人口、電源計画、世界貿易など

マクロ経済モデル

GDP関連指標、物価指数、各種活動指標(素材生産量など)、輸送関連指標等を整合的に推計。

技術評価モデル

自動車及び民生機器等の現状及び将来の効率を、ストック及び代替の積み上げに基づいて評価。

電源構成モデル

発電設備の実績値及び電力需要想定に基づき、将来のコスト最適な電源構成を線形計画法によって評価。

エネルギー需給モデル

国際エネルギー機関(IEA)の詳細なエネルギーバランスデータ(実績値)を回帰分析することにより、将来見通しを行う計量経済モデル。

エネルギー需要の他、エネルギー転換部門や一次エネルギー消費の分析も実施。

さらに、CO_2排出量やCO_2原単位、エネルギー自給率等の各種指標も推計。

当所各部署の担当者による専門的な知見

世界貿易モデル

エネルギー需要量及び生産量を前提に、線形計画法を用いて石油・天然ガス貿易フローを推計。

応用一般均衡モデル

エネルギーの需給の変化が各国・地域に与える経済的インパクトを産業連関データに基づいて分析。

気候変動モジュール

温室効果ガス(GHG)排出パスに対して大気中GHG濃度、気温上昇等を計算し、気候変動による被害額を概算。

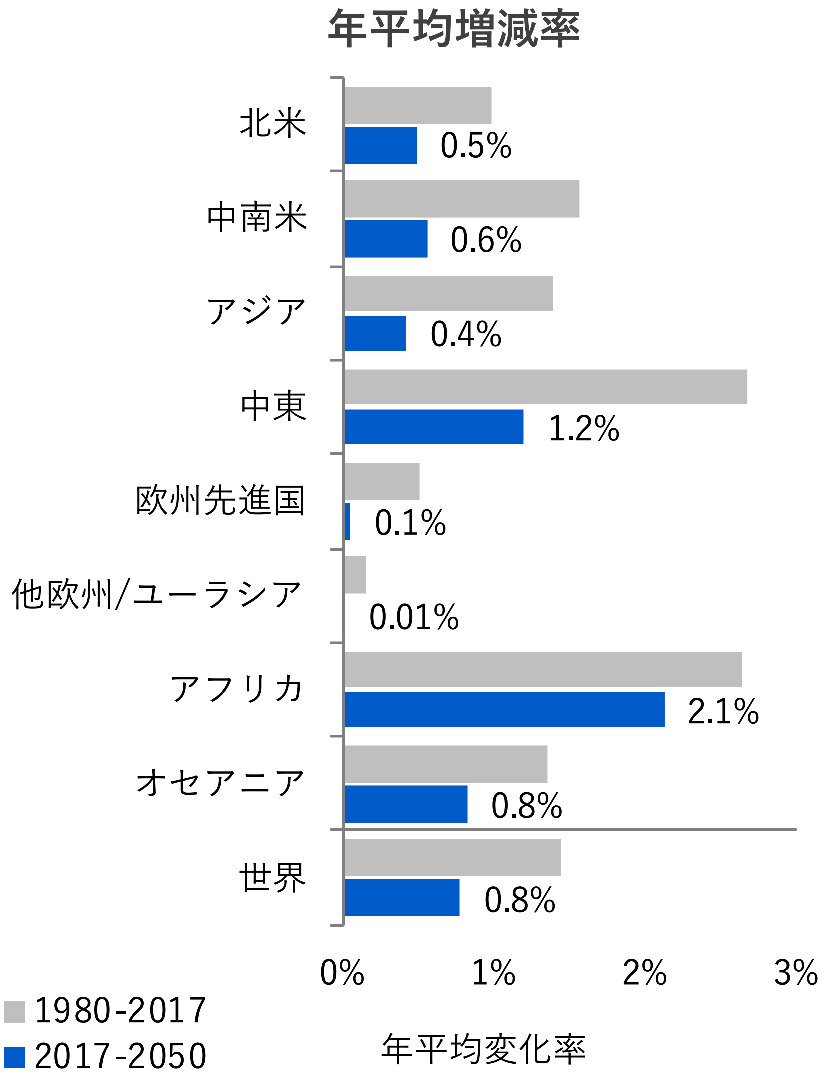
IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

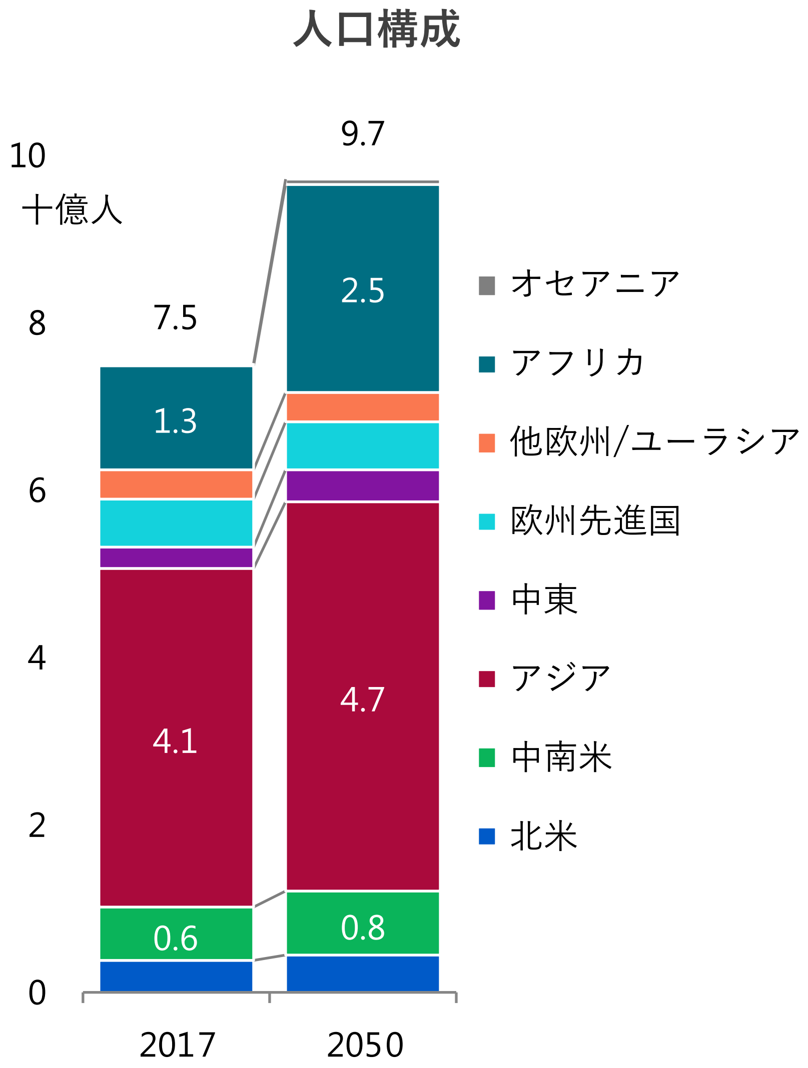
IEEJ Outlook の基本シナリオ

	レファレンスシナリオ	技術進展シナリオ
	現在までのエネルギー・環境政策等を背景とし、これまでの趨勢的な変化が継続するシナリオ。急進的な省エネルギー・低炭素化政策は打ち出されない	各国がエネルギー安定供給の確保や気候変動対策の強化のため、強力なエネルギー・環境政策を打ち出し、それが最大限奏功するシナリオ
社会経済構造	人口増加率は低下するものの、新興・途上国を中心に安定した経済成長 経済構造の変化は連続的、産業のサービス化が進展 所得水準の向上により、家電、自動車等のエネルギー消費機器が大きく普及	
国際エネルギー価格	原油：需要増に伴い、生産費用が上昇 ガス：欧米亜市場の価格差が縮小 石炭：現状と同程度の水準を維持	需要増抑制のため価格上昇は限定的 (石炭価格は低下)
エネルギー・環境政策	過去の動向と同様に低炭素化政策を漸進的に強化 ・規制措置(省エネ基準、排出規制等) ・経済的誘導措置(補助金、税金等)	国内政策強化とともに国際連携を推進 ・エネルギー安定供給の確保 ・気候変動問題への対処 ・低開発農村地域のエネルギー近代化
エネルギー・環境技術	現行技術について ・過去の趨勢と同程度の効率進展 ・過去の趨勢と同程度の価格低下 ・規制・誘導による低炭素技術の普及	現行技術及び商業化の見込みが高い技術について ・技術進展により価格低下が加速 ・規制・誘導強化により普及が加速

IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

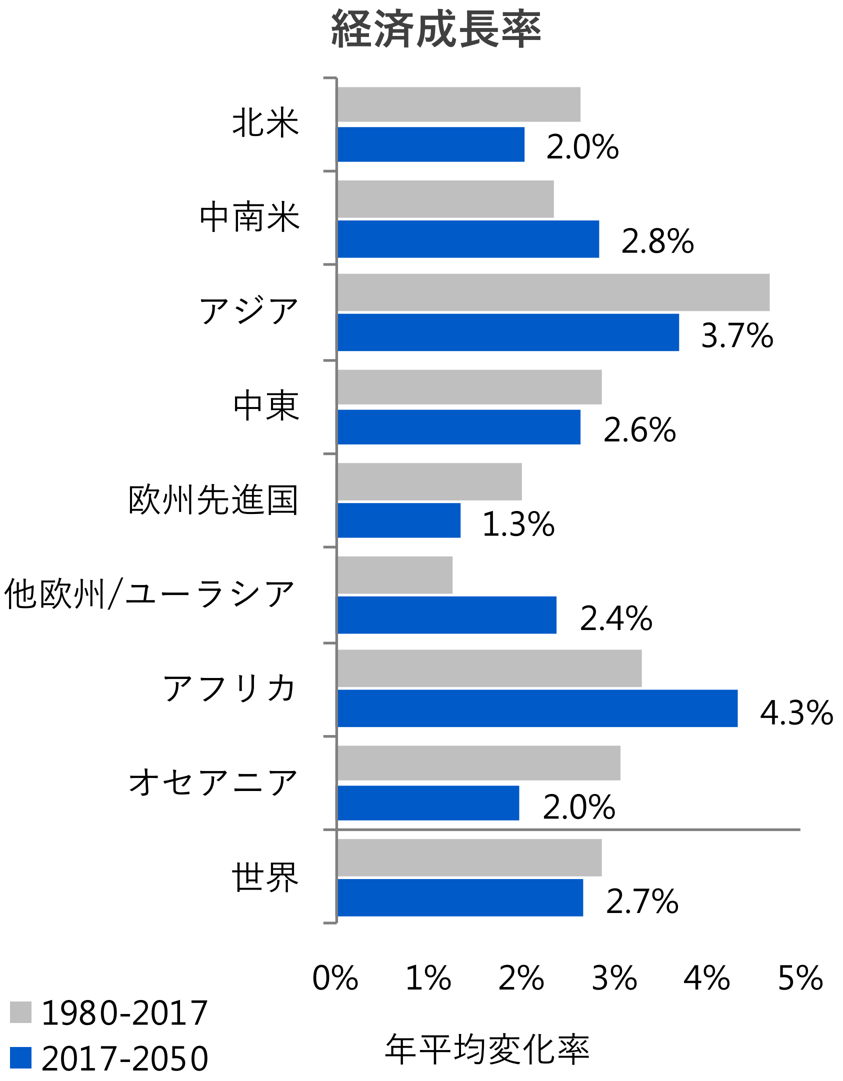
人口

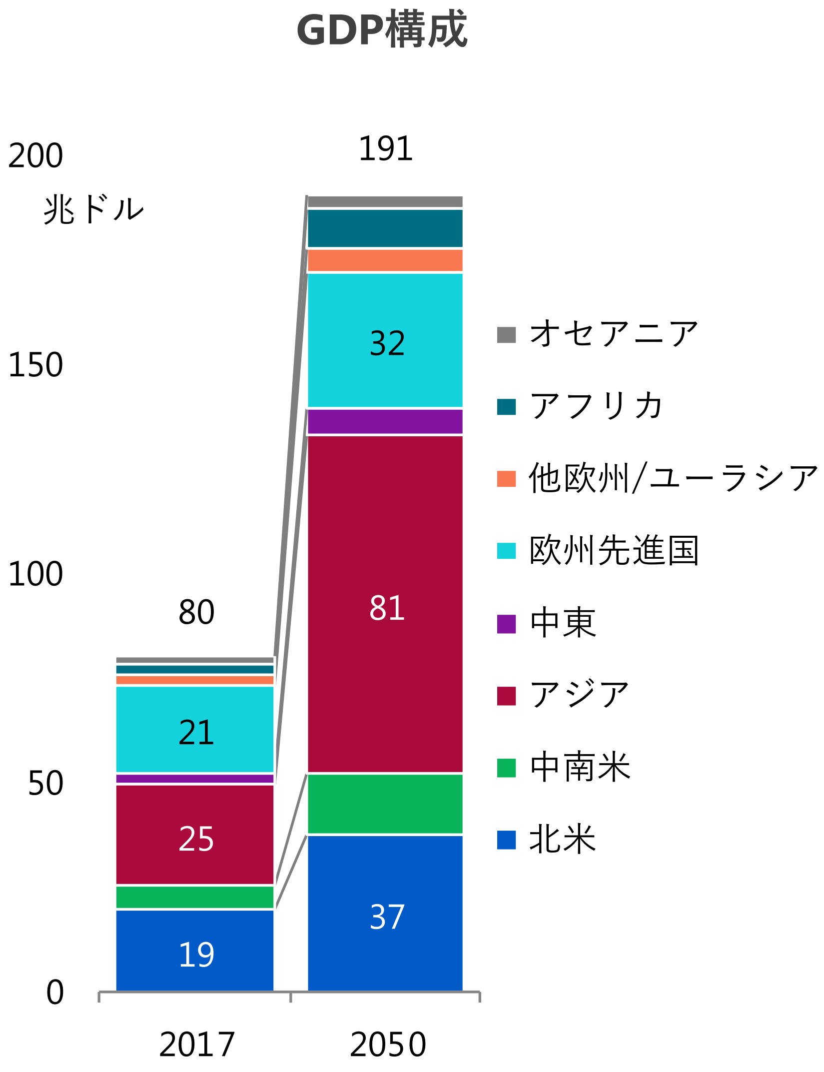




IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

実質GDP





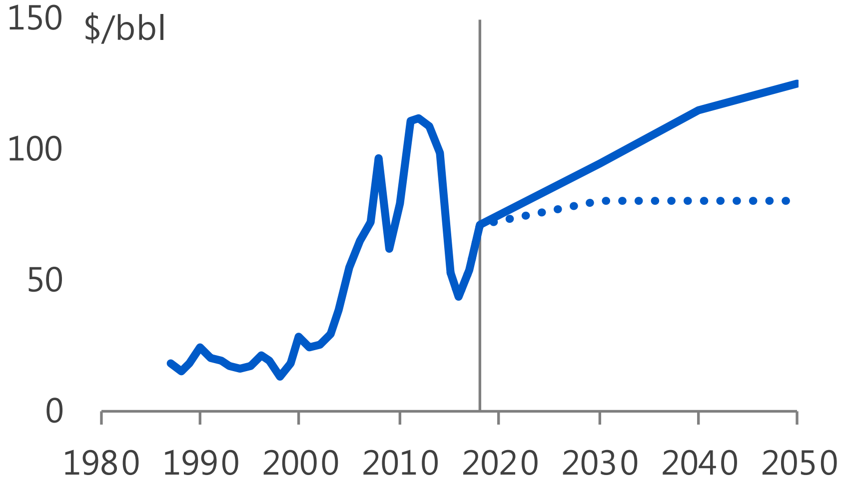
前提条件

IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

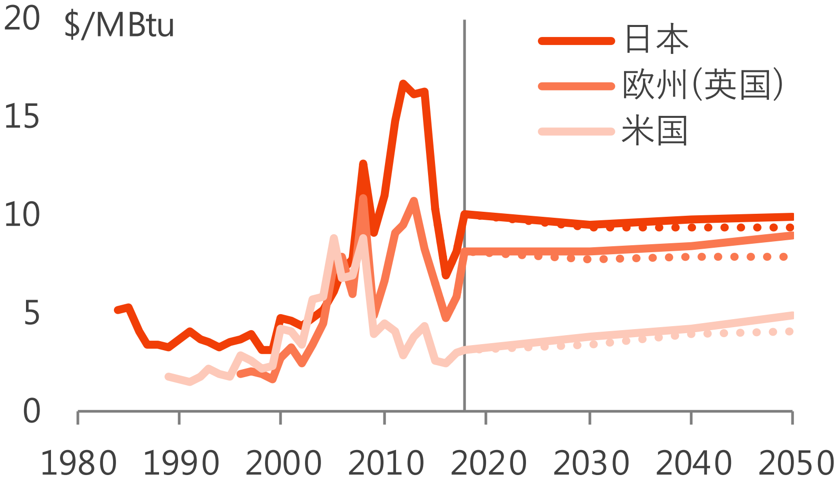
国際化石燃料価格

レファレンス：実線
技術進展：破線

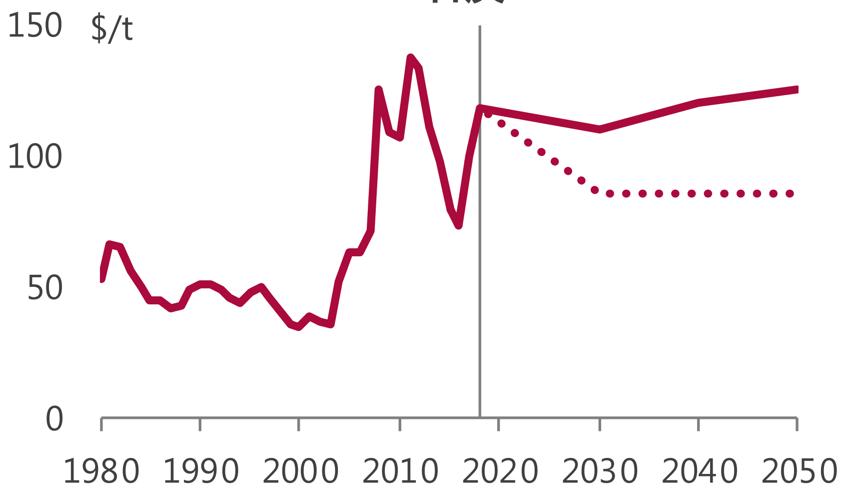
原油



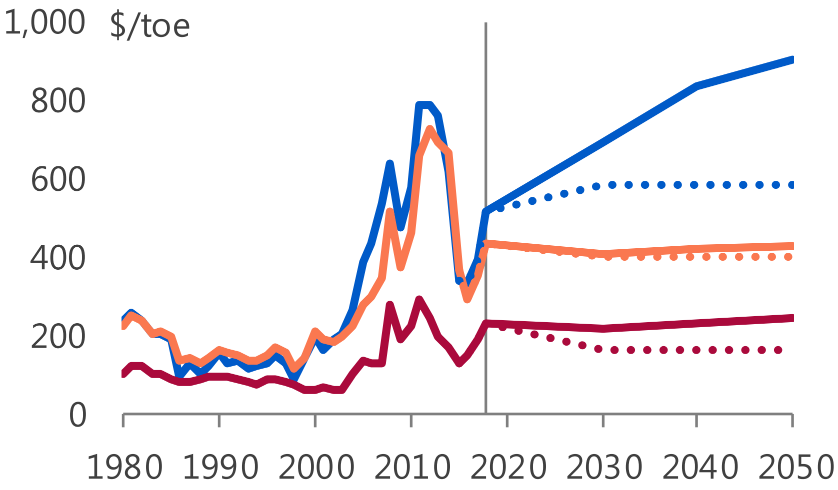
天然ガス



石炭



日本の輸入CIF価格



(注)実績値は名目価格、見通しは2018年価格

IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

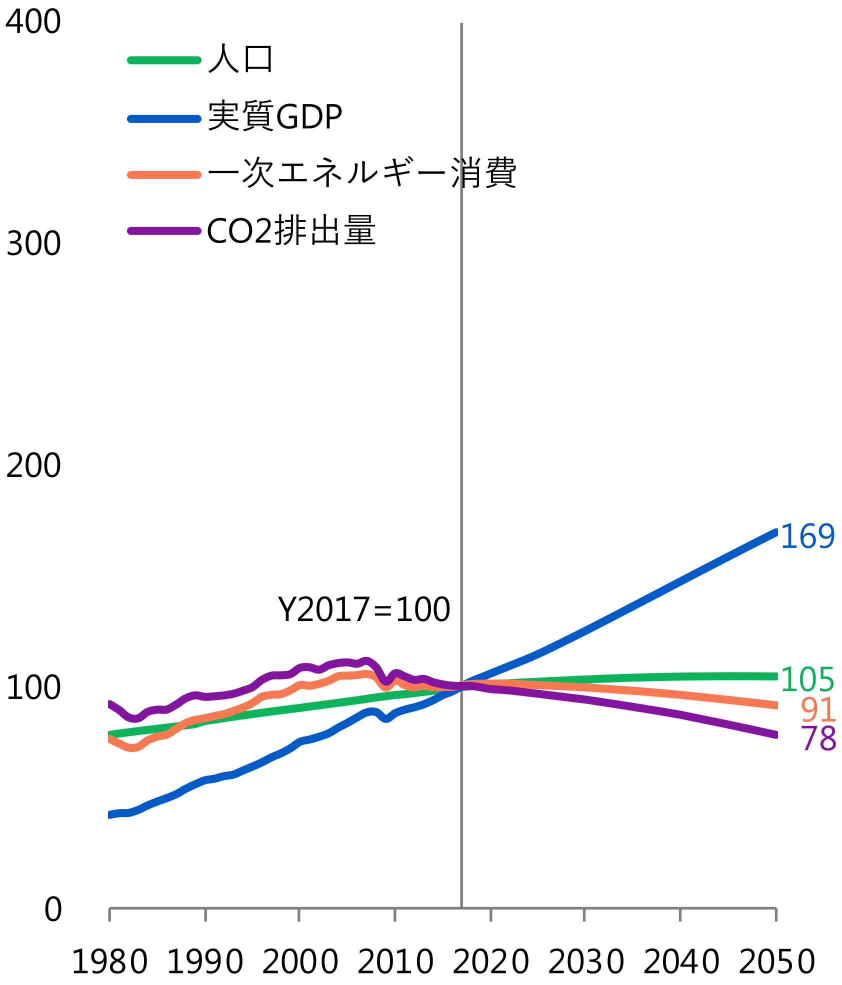
エネルギー・環境技術の前提

		2017	2050 レファレンス	2050 技術進展	技術進展シナリオにおける前提
エネルギー効率の改善					
産業部門	鉄鋼業の原単位 (ktoe/kt)	0.284	0.250	0.220	2050年までにBest Available Technologyが100%普及
	窯業土石業の原単位	0.092	0.066	0.058	
運輸部門	電動乗用車販売比率	3%	56%	86%	電動自動車のコスト低下。燃料インフラを含む普及促進策の強化 ※電動自動車:ハイブリッド車、プラグインハイブリッド車、電気自動車、燃料電池車
	乗用車新車燃費 (km/L)	14.1	23.9	33.8	
民生部門	家庭の総合効率 (Y2017=100)	100	154	188	新規、新設の家電・機器効率及び断熱効率の改善スピードが約2倍に 暖房・給湯・厨房用途における電化。クリーンクッキング化(途上国)
	業務の総合効率	100	186	220	
発電部門	火力発電効率(発電端)	38%	46%	47%	高効率火力発電導入のための初期投資ファイナンススキーム整備
低炭素エネルギーの導入					
運輸用バイオ燃料消費量 (Mtoe)		84	128	253	次世代バイオ燃料の開発・コスト低下。農業政策としての位置づけ(途上国)
原子力発電設備容量 (GW)		409	480	717	適切な卸電力市場価格の維持。初期投資の融資枠組み整備(途上国)
風力発電設備容量 (GW)		515	1,810	3,671	発電コストのさらなる低下 系統安定化技術のコスト低減 、系統システムの効率的運用
太陽光発電設備容量 (GW)		386	2,954	4,815	
CCS付設火力発電設備容量 (GW)		0	0	1,256	2030年以降の新設火力はCCS付設(帯水層を除く貯留ポテンシャルがある国)
ゼロエミッション発電比率 (CCS含む)		35%	41%	79%	国際連系を含む系統システムの効率的運用

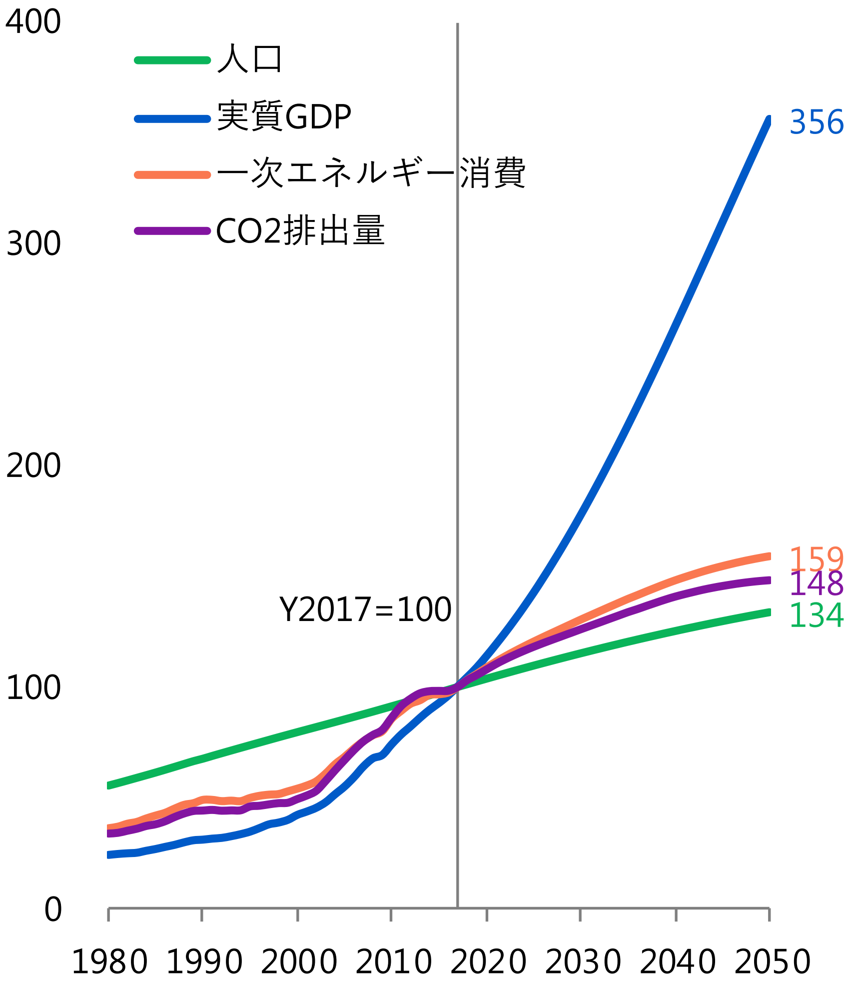
IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

人口、GDP、エネルギー消費、CO_2排出量

先進国

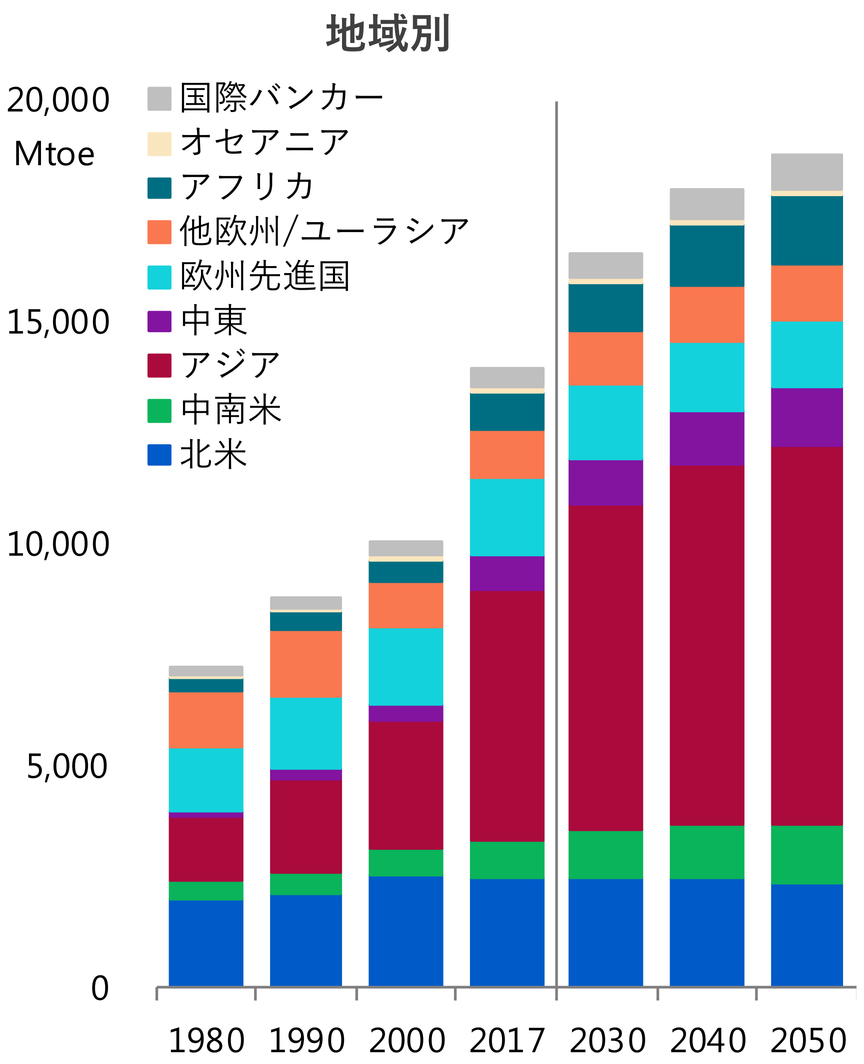


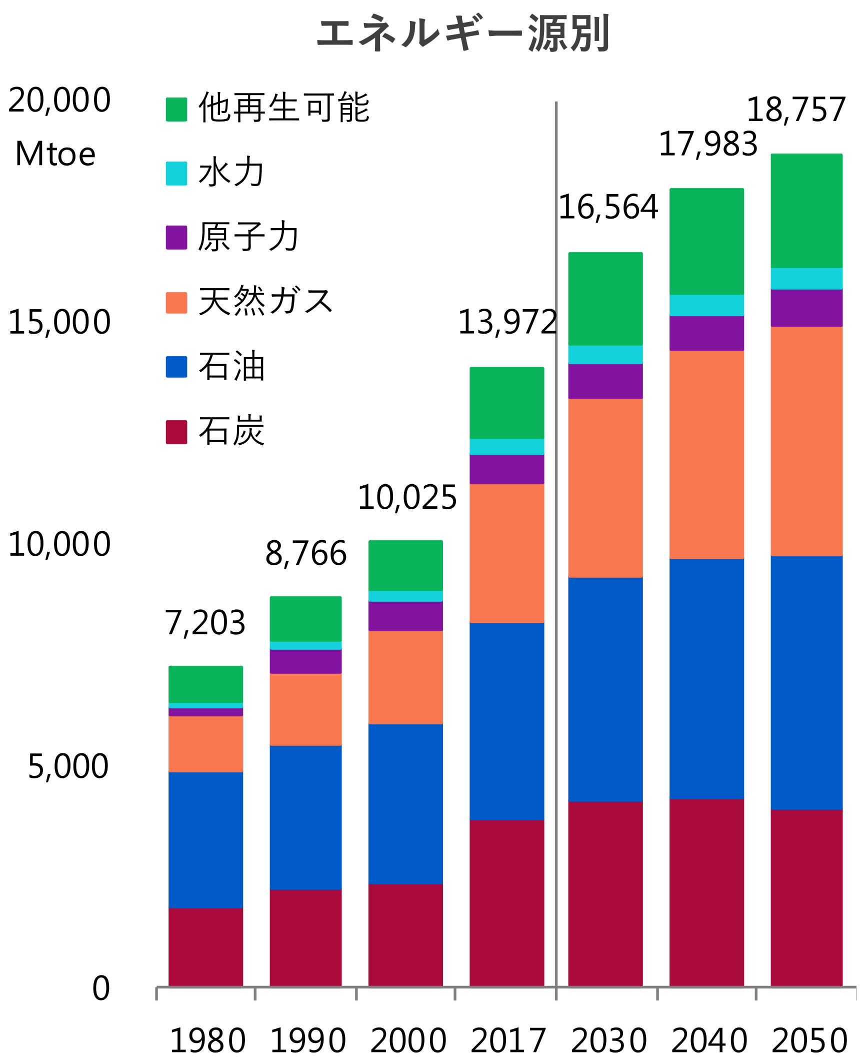
新興・途上国



IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

一次エネルギー消費

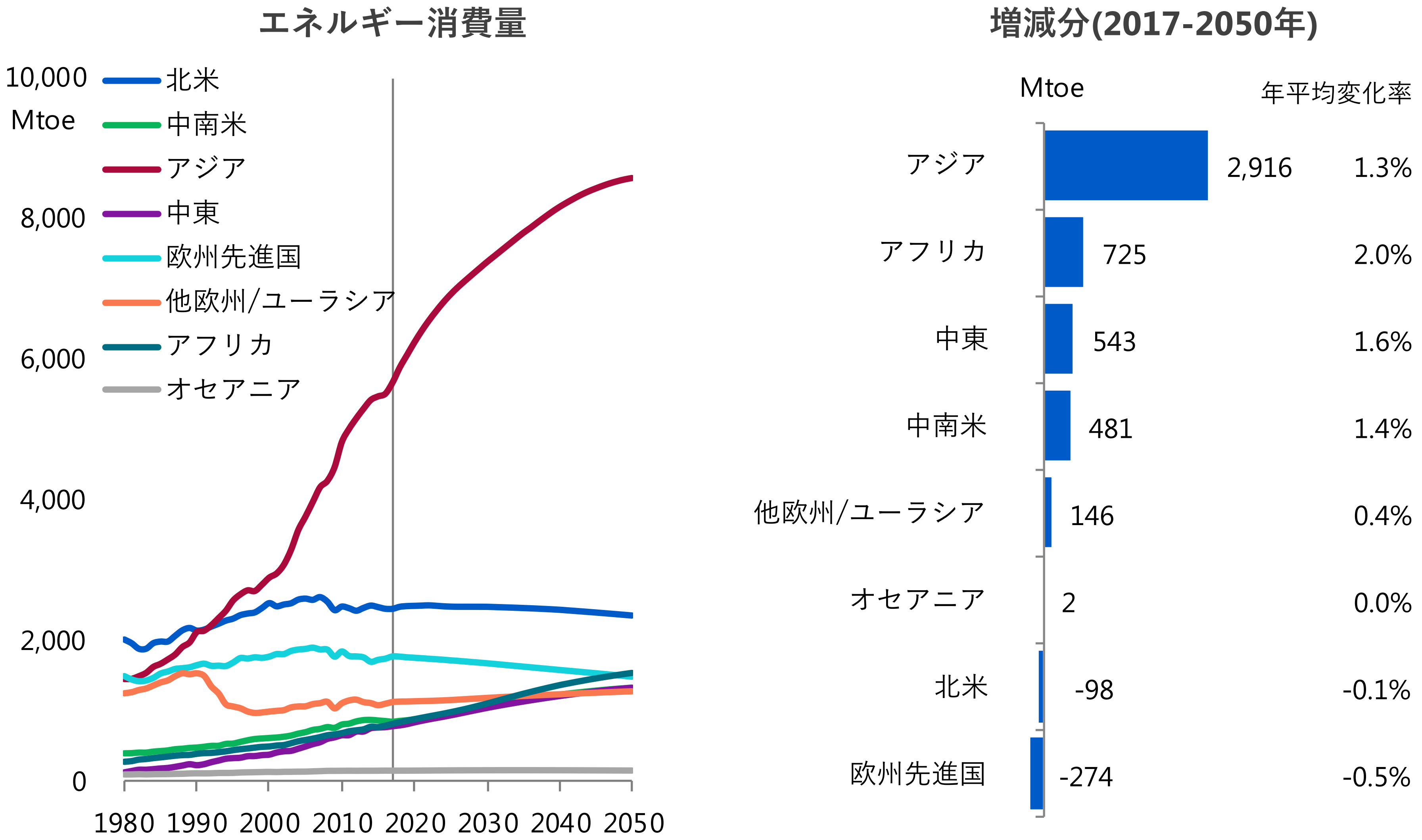




レファレンスシナリオ

IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

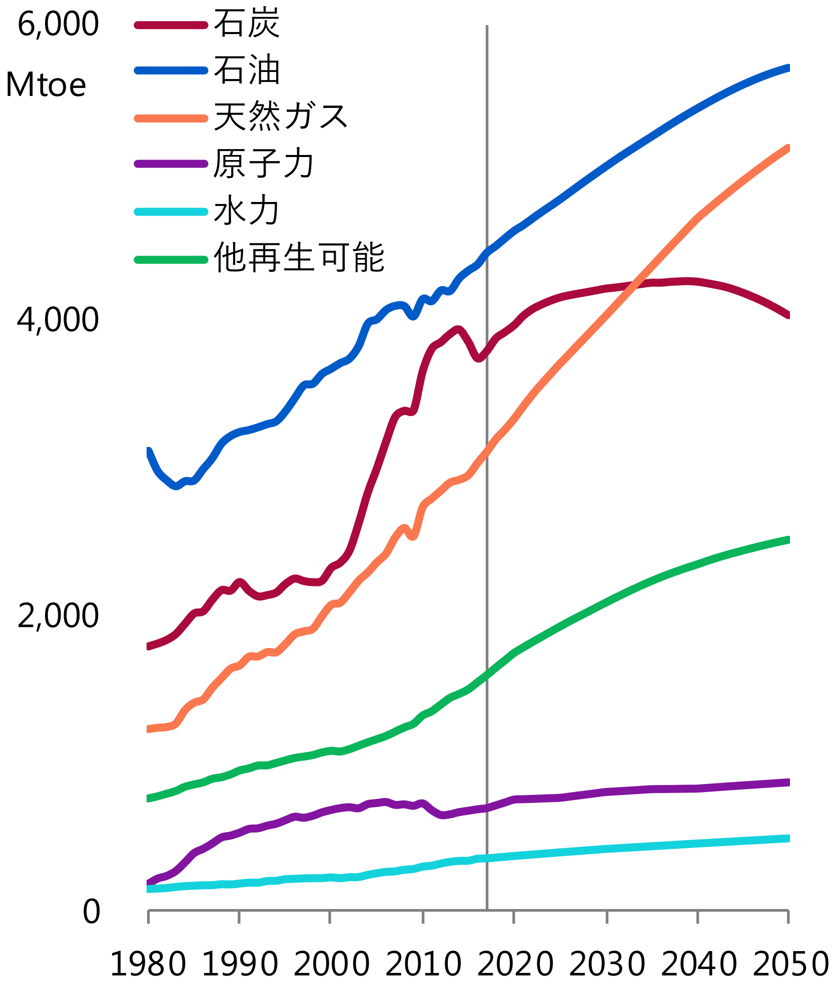
一次エネルギー消費(地域別)



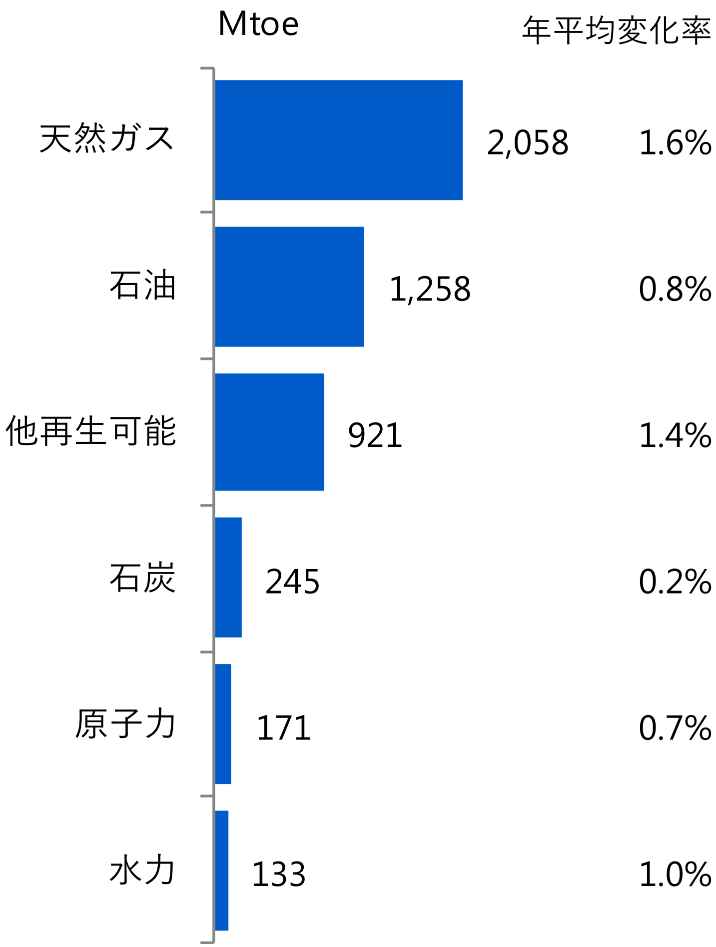
IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

一次エネルギー消費(エネルギー別)

エネルギー消費量



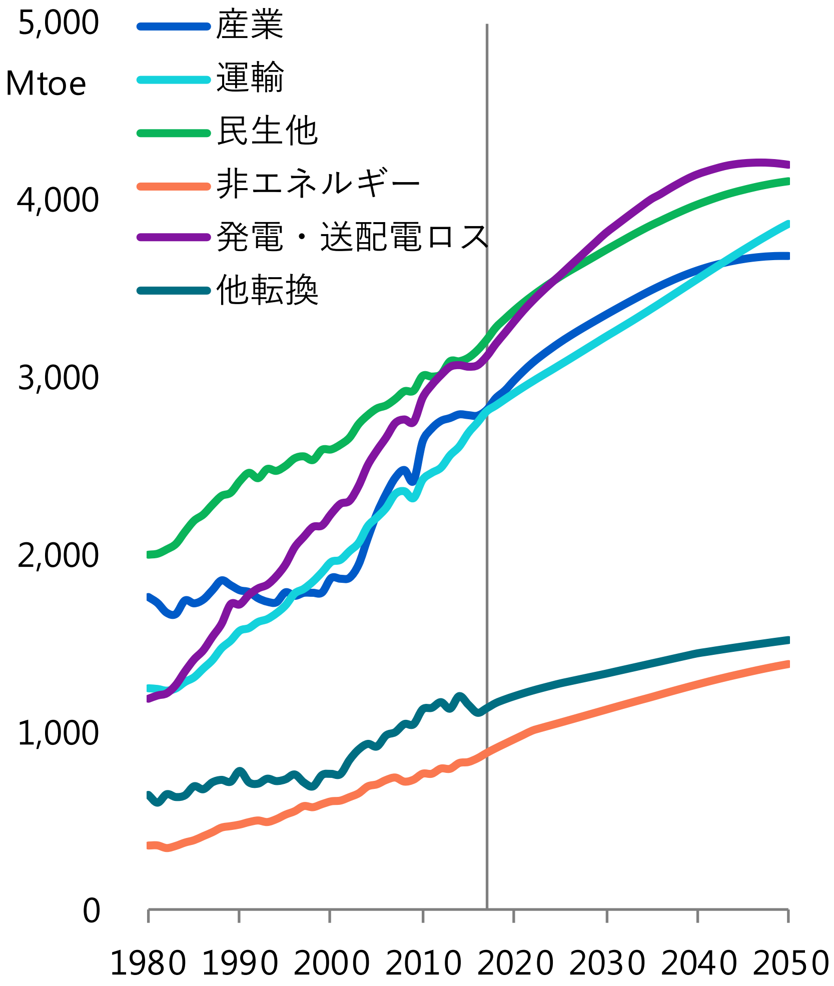
増減分(2017-2050年)



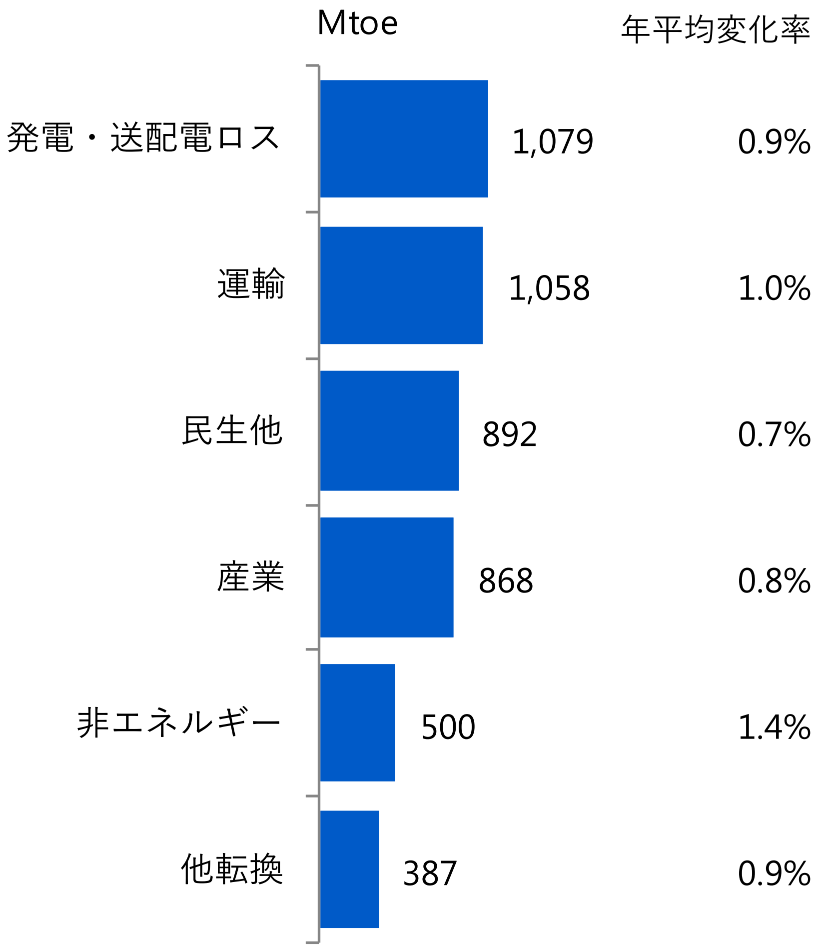
IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

一次エネルギー消費(部門別)

エネルギー消費量

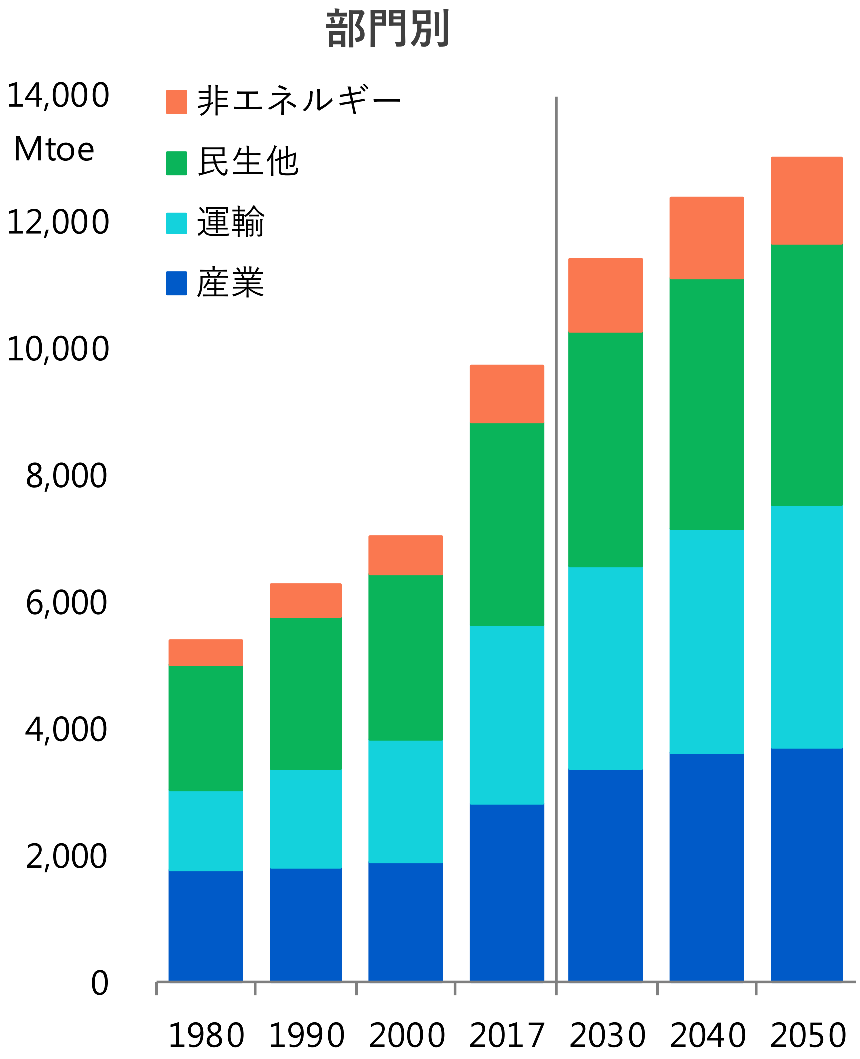


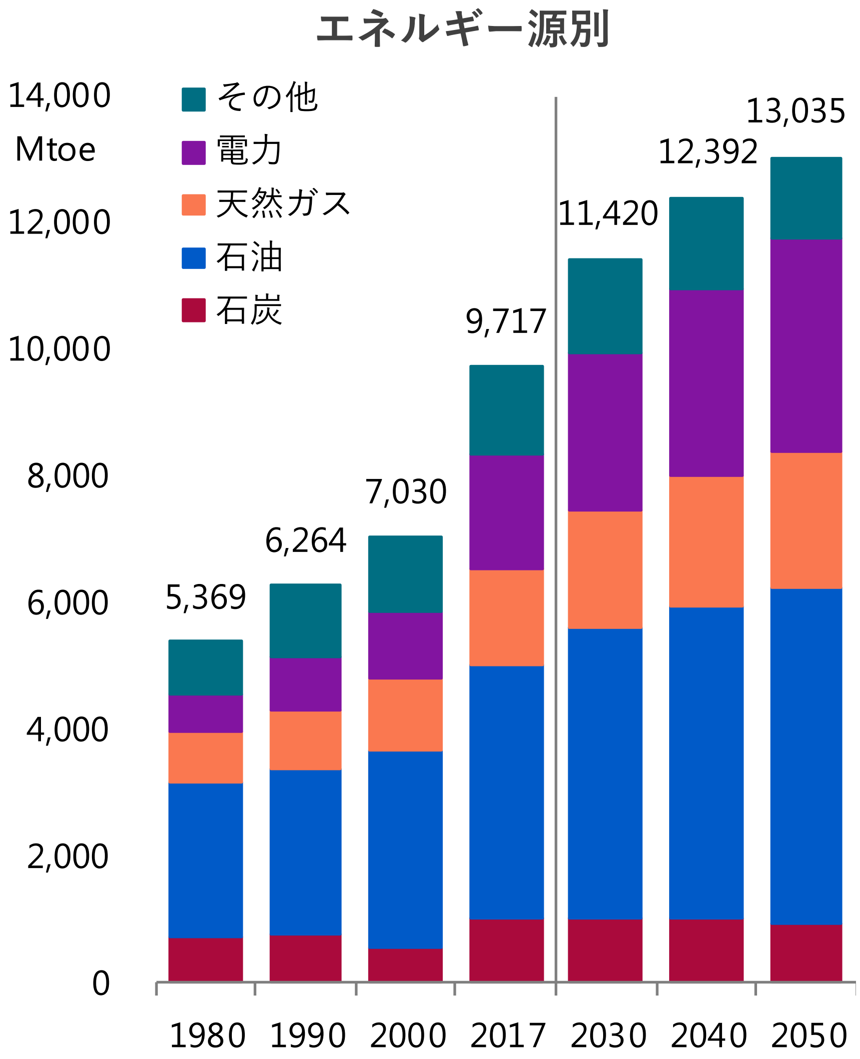
増減分(2017-2050年)



IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

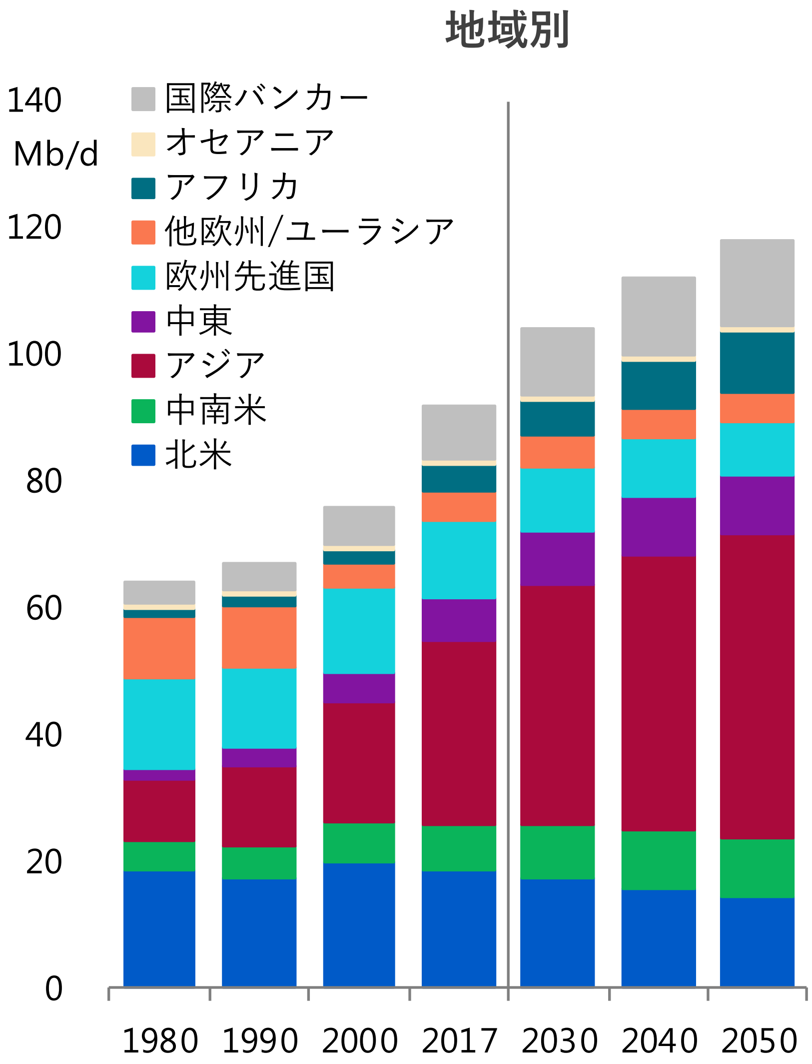
最終エネルギー消費

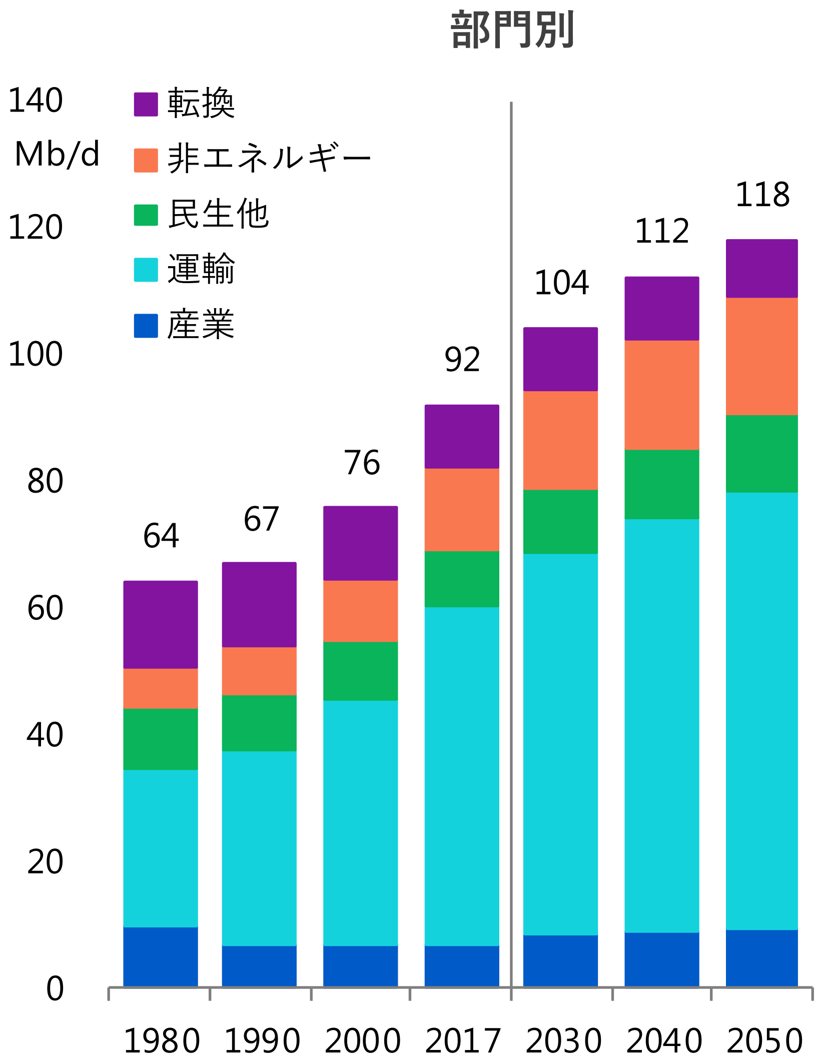




IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

石油消費

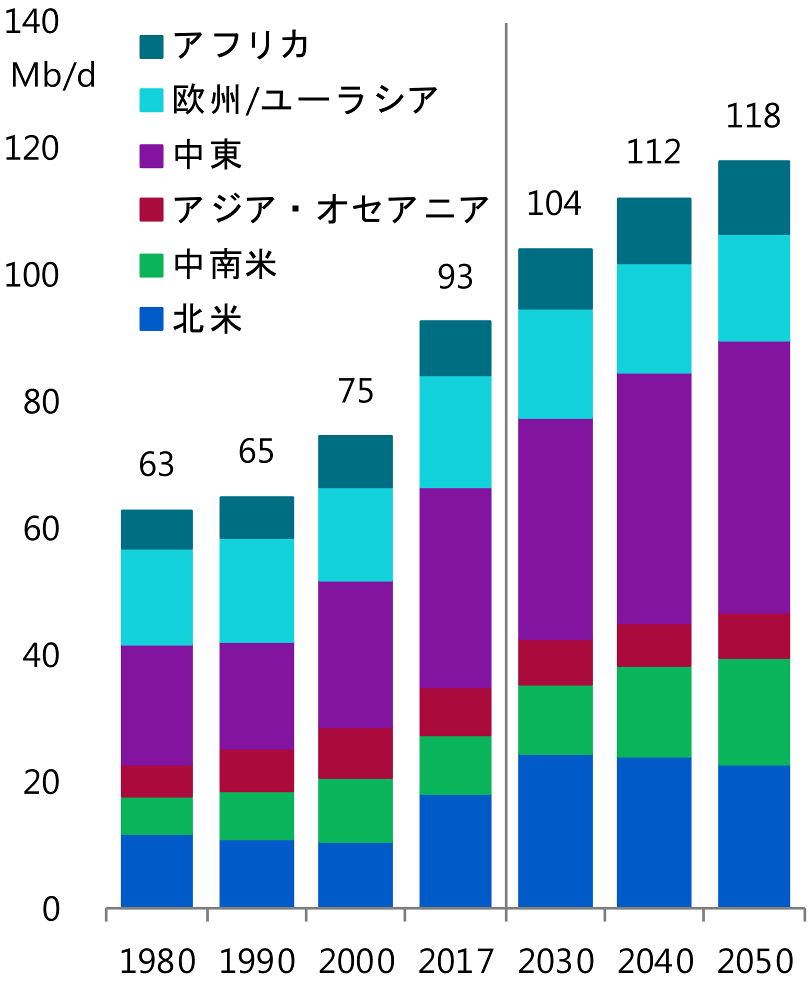




IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

原油生産

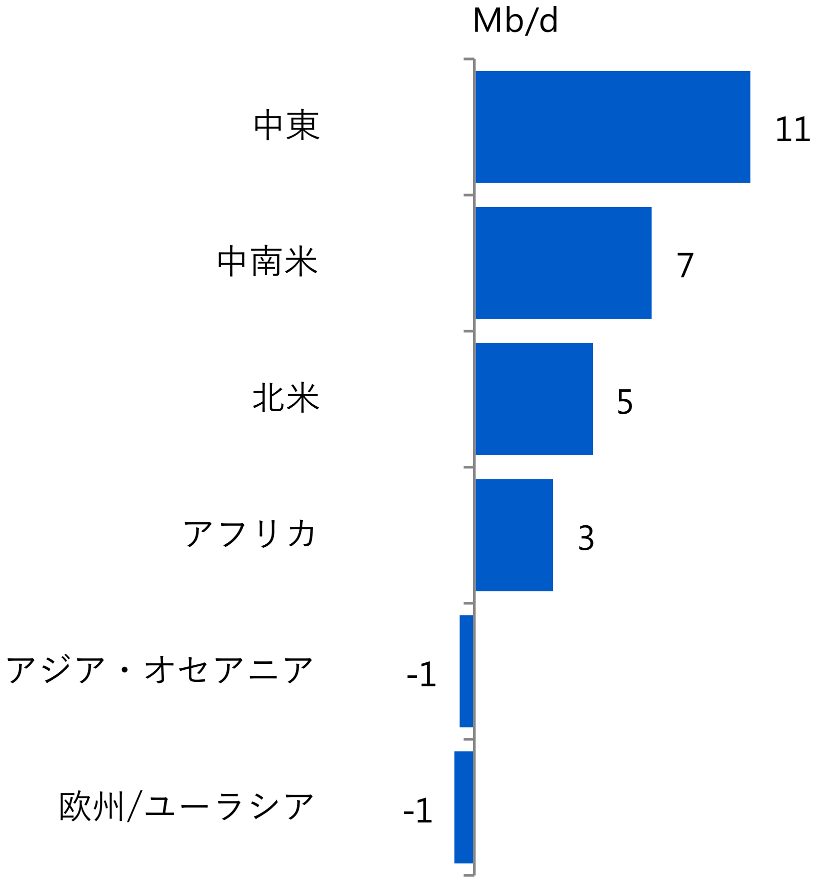
地域別



OPEC生産シェア

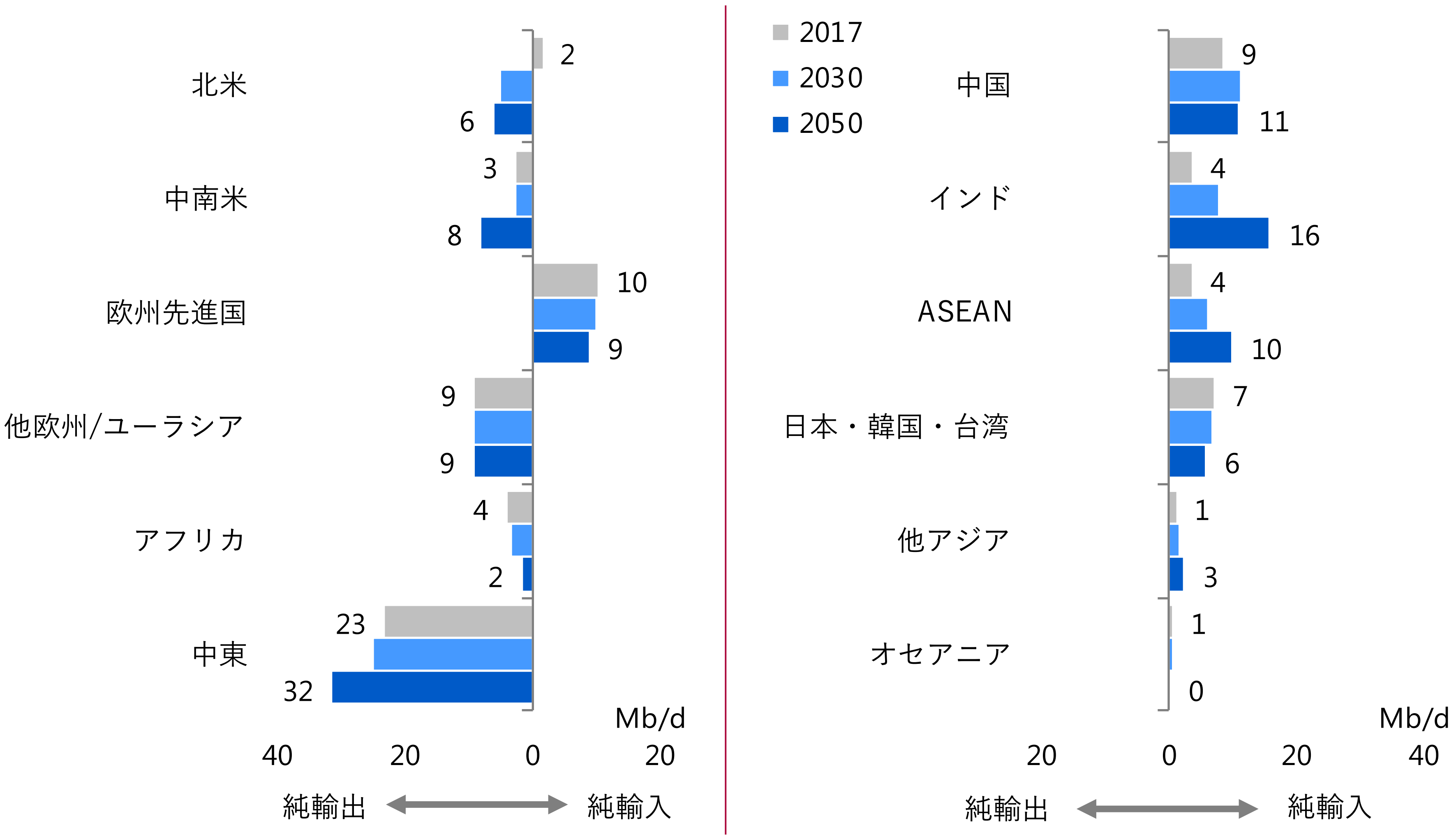
1980	1990	2000	2017	2030	2040	2050
41%	36%	41%	41%	40%	42%	44%

増減分(2017-2050)



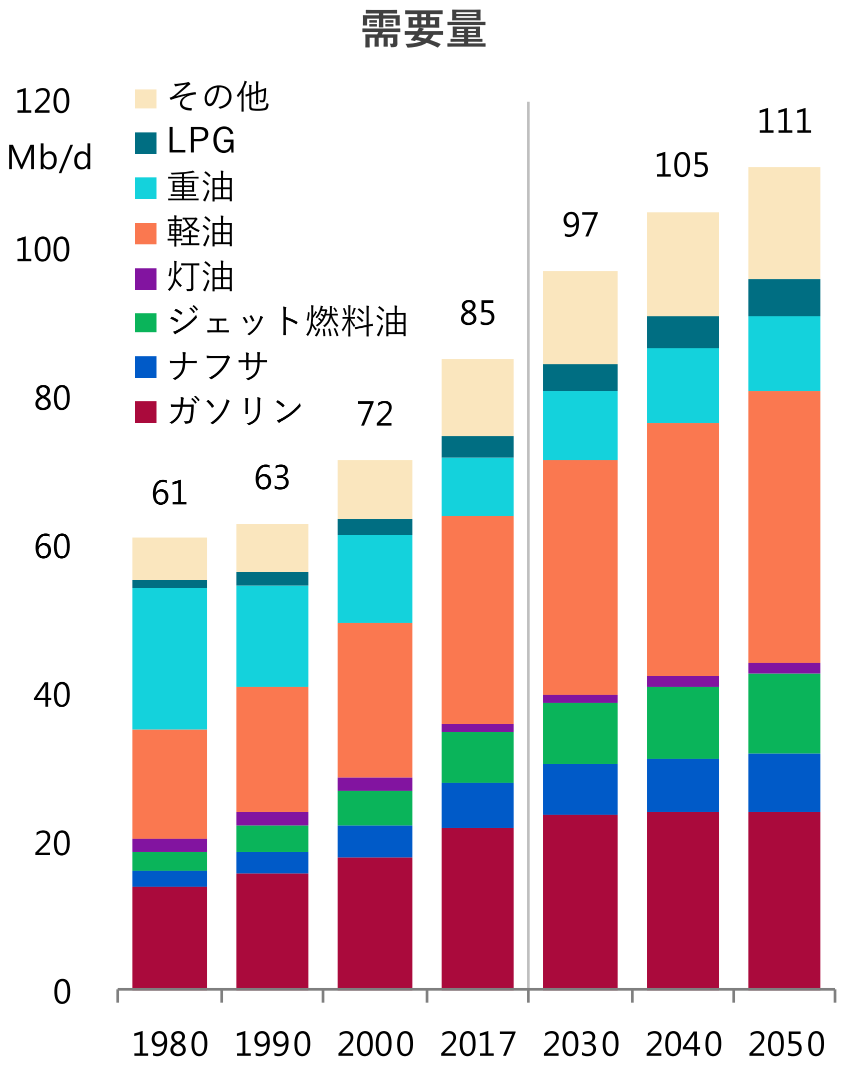
IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

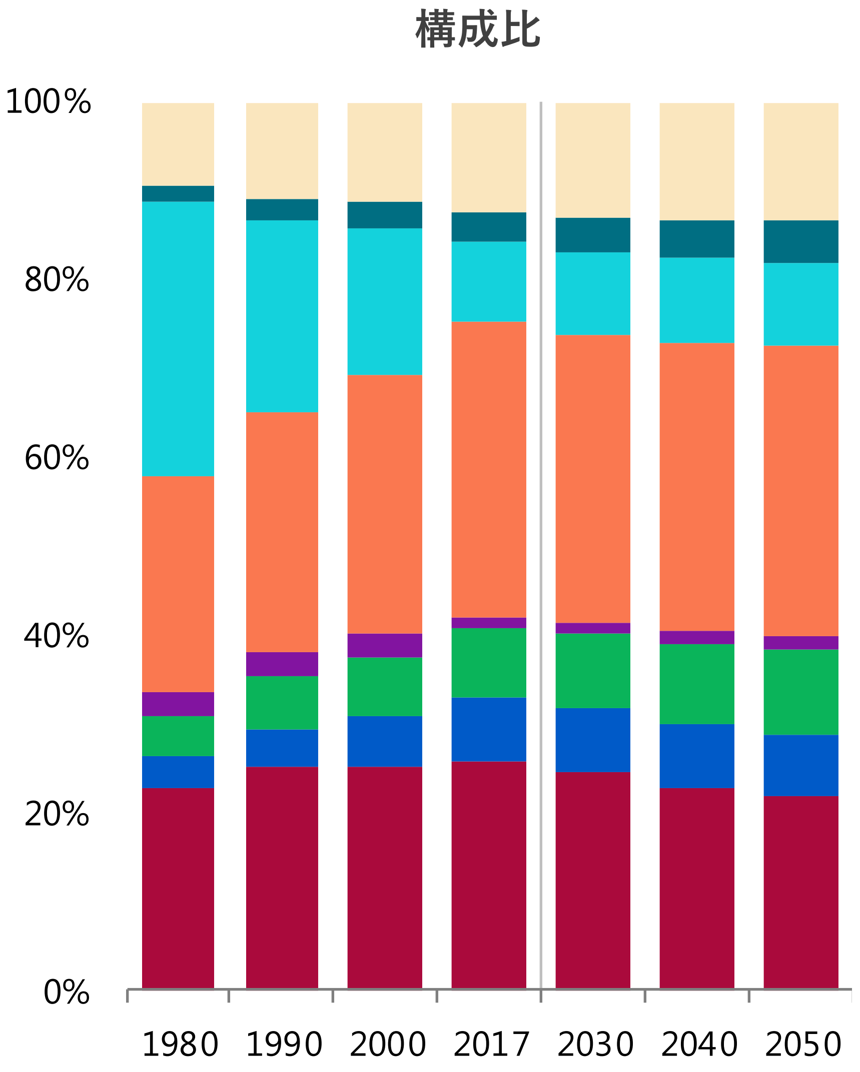
石油純輸出入量



IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

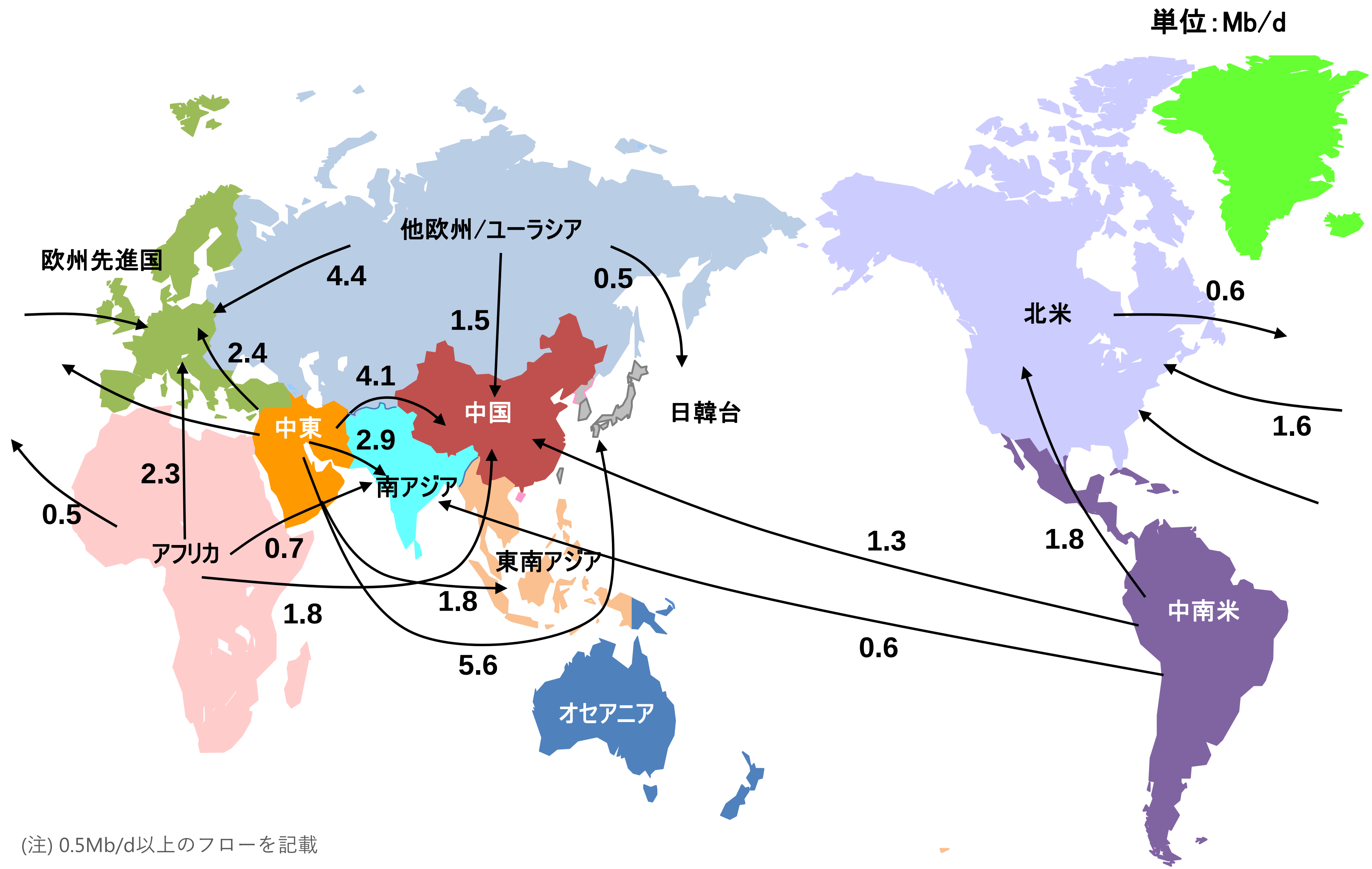
石油製品需要





IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

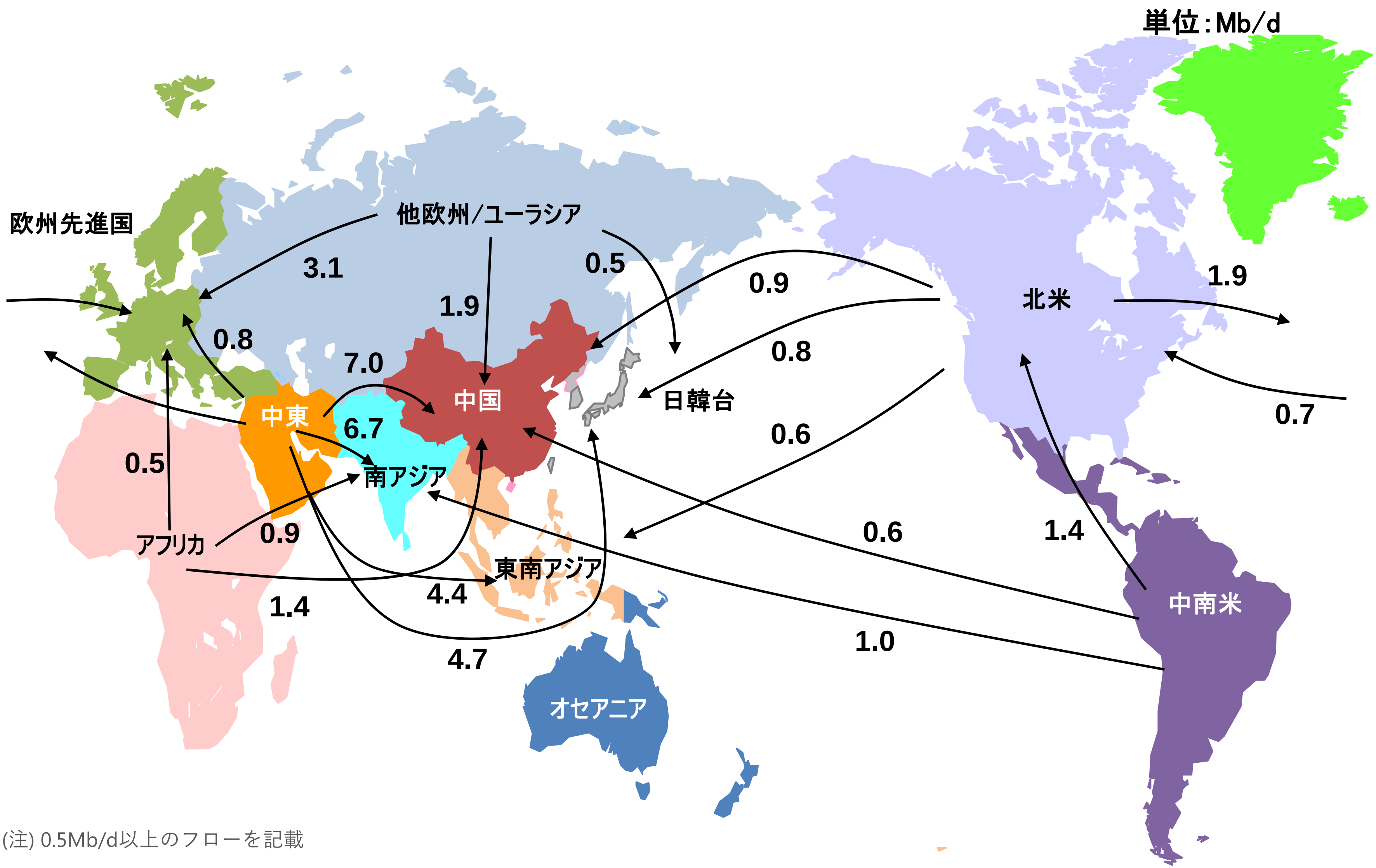
主要な原油貿易フロー(2018年)



(注) 0.5Mb/d以上のフローを記載

IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

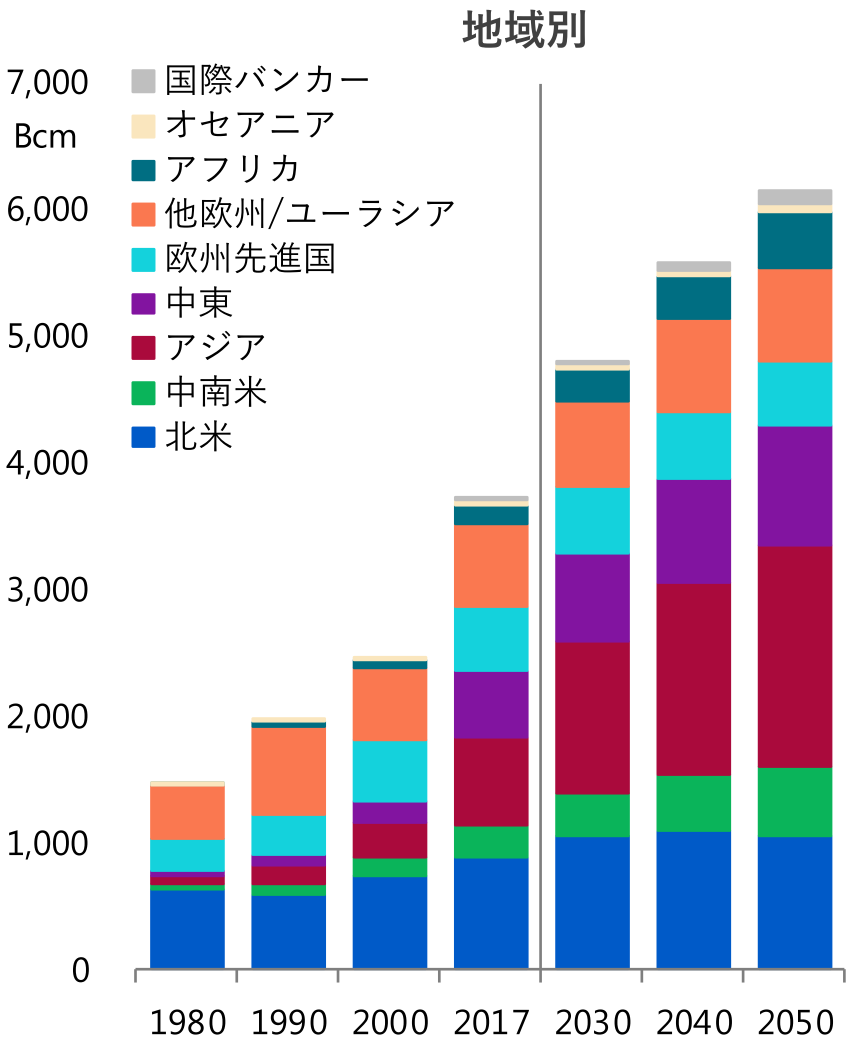
主要な原油貿易フロー(2030年)

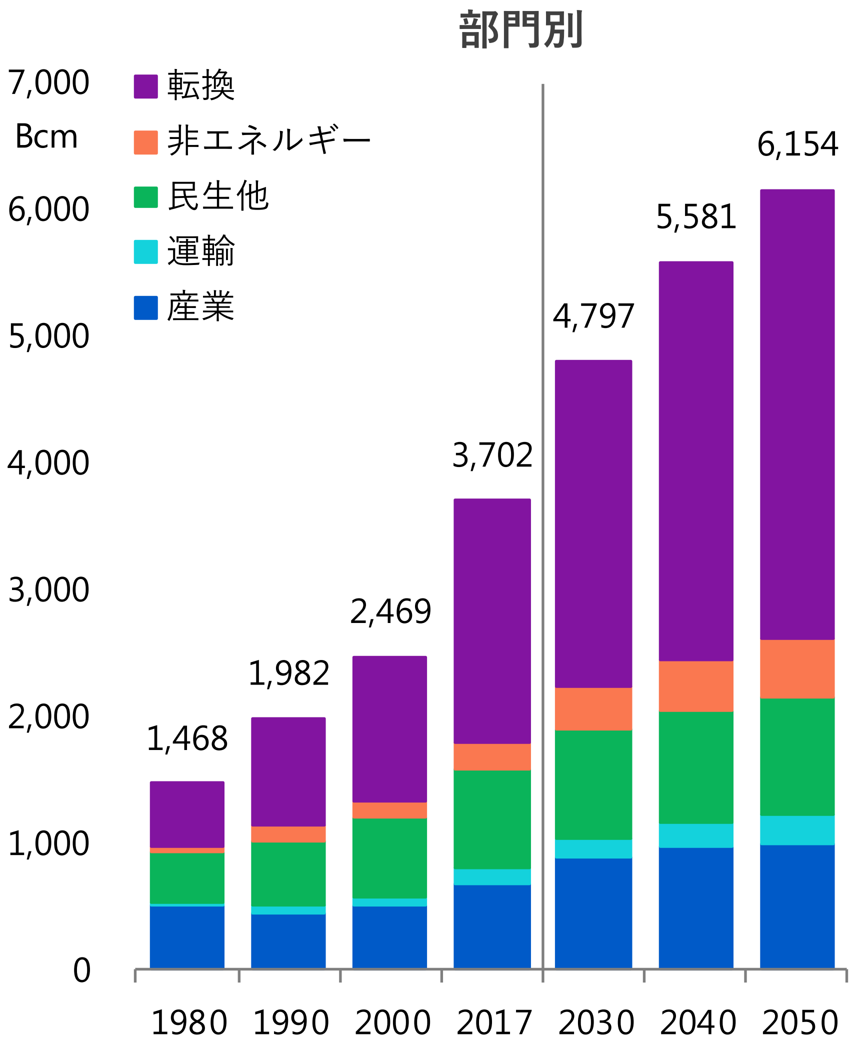


(注) 0.5Mb/d以上のフローを記載

レファレンスシナリオ

天然ガス消費

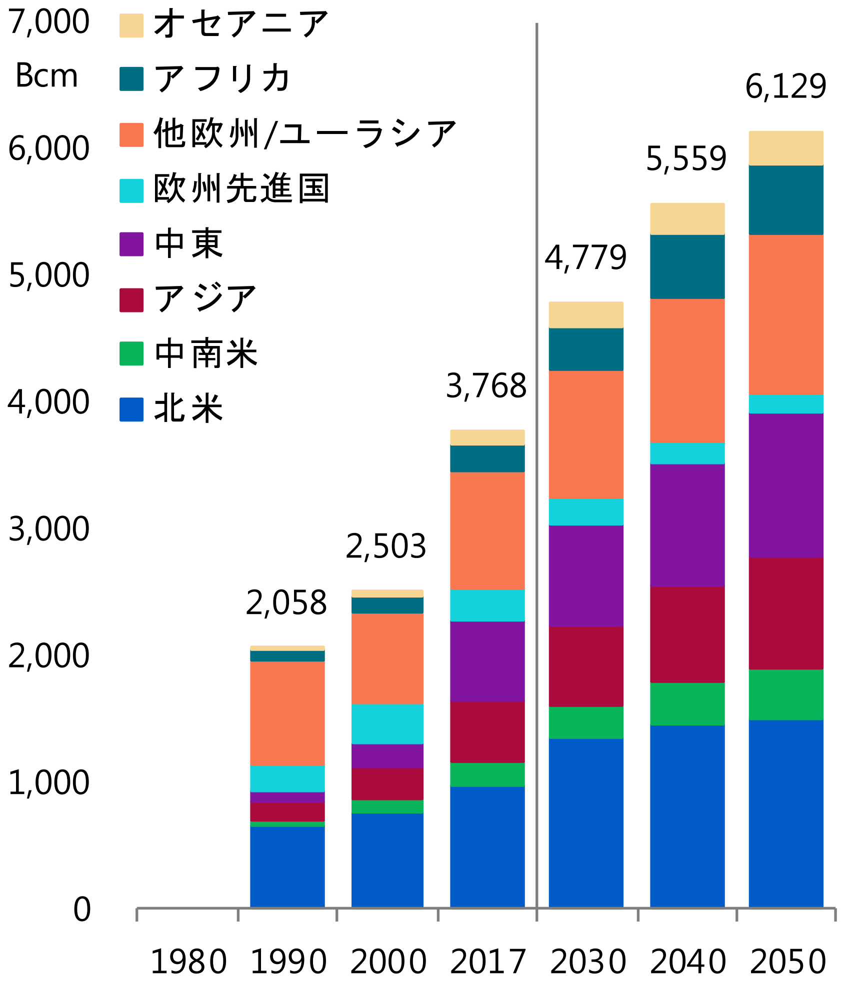




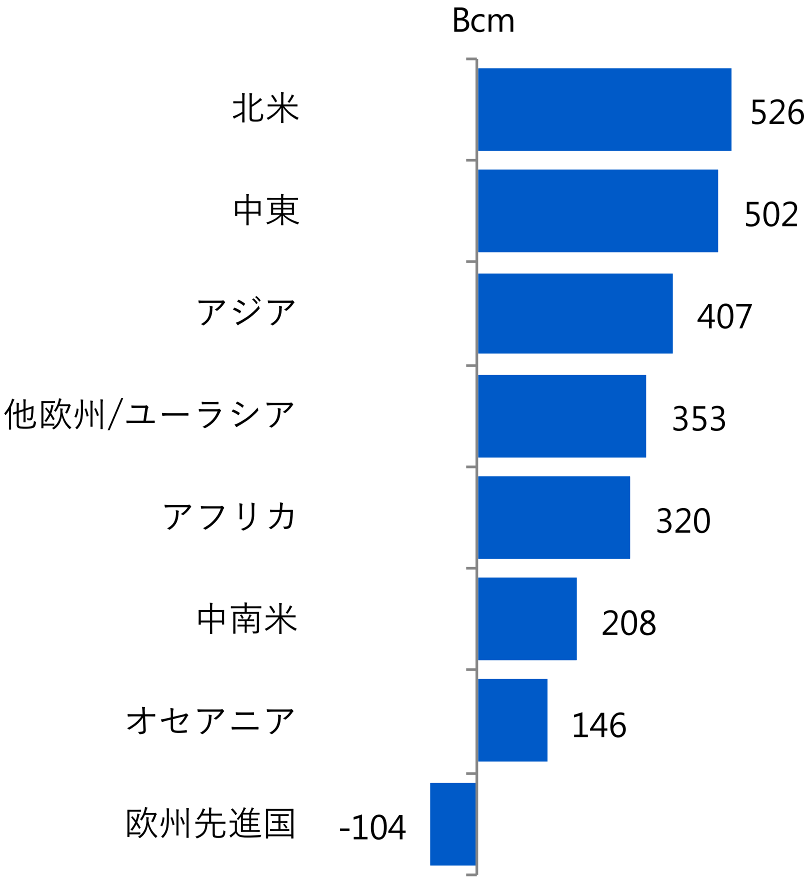
IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

天然ガス生産

地域別

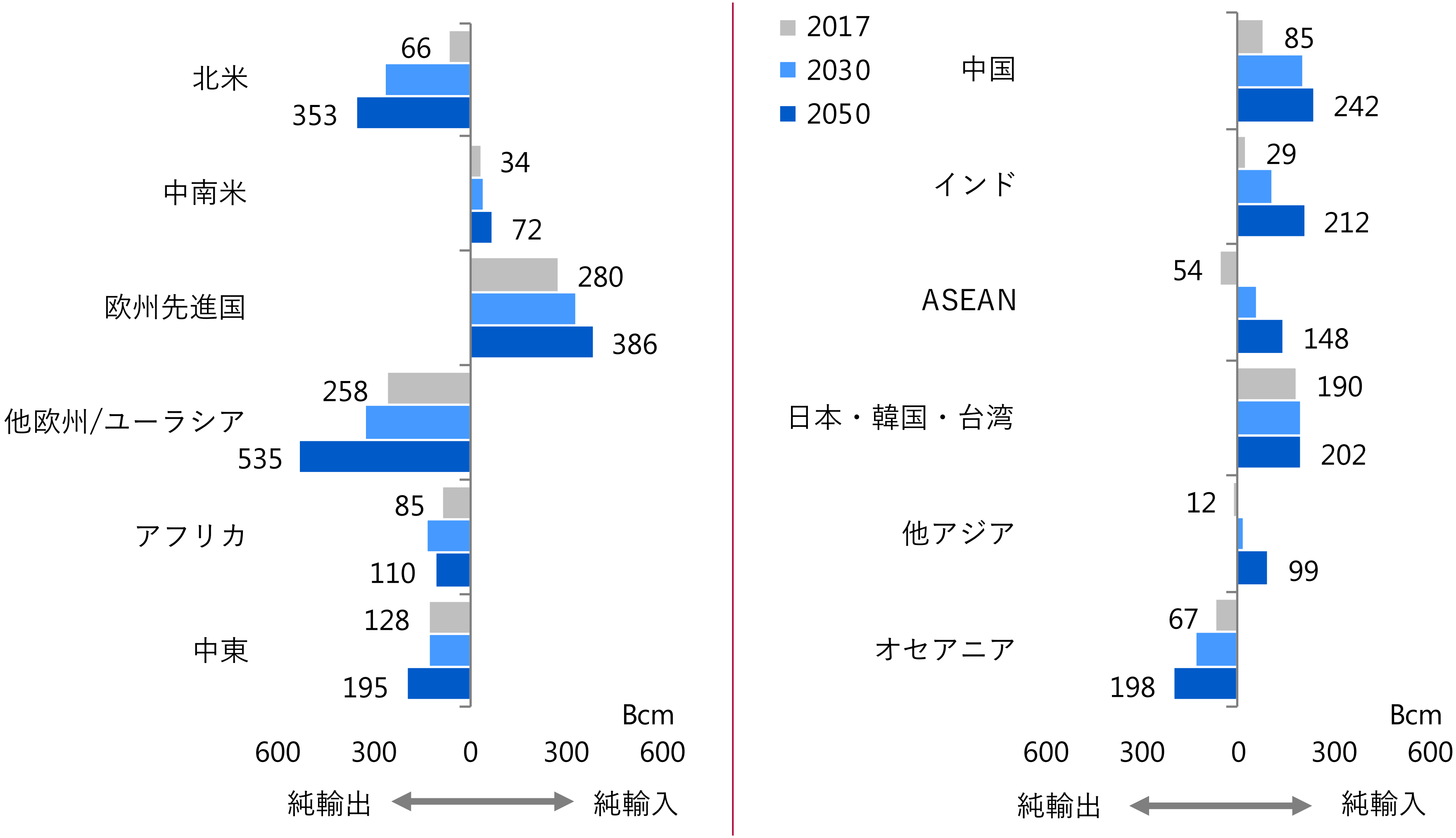


増減分(2017-2050)



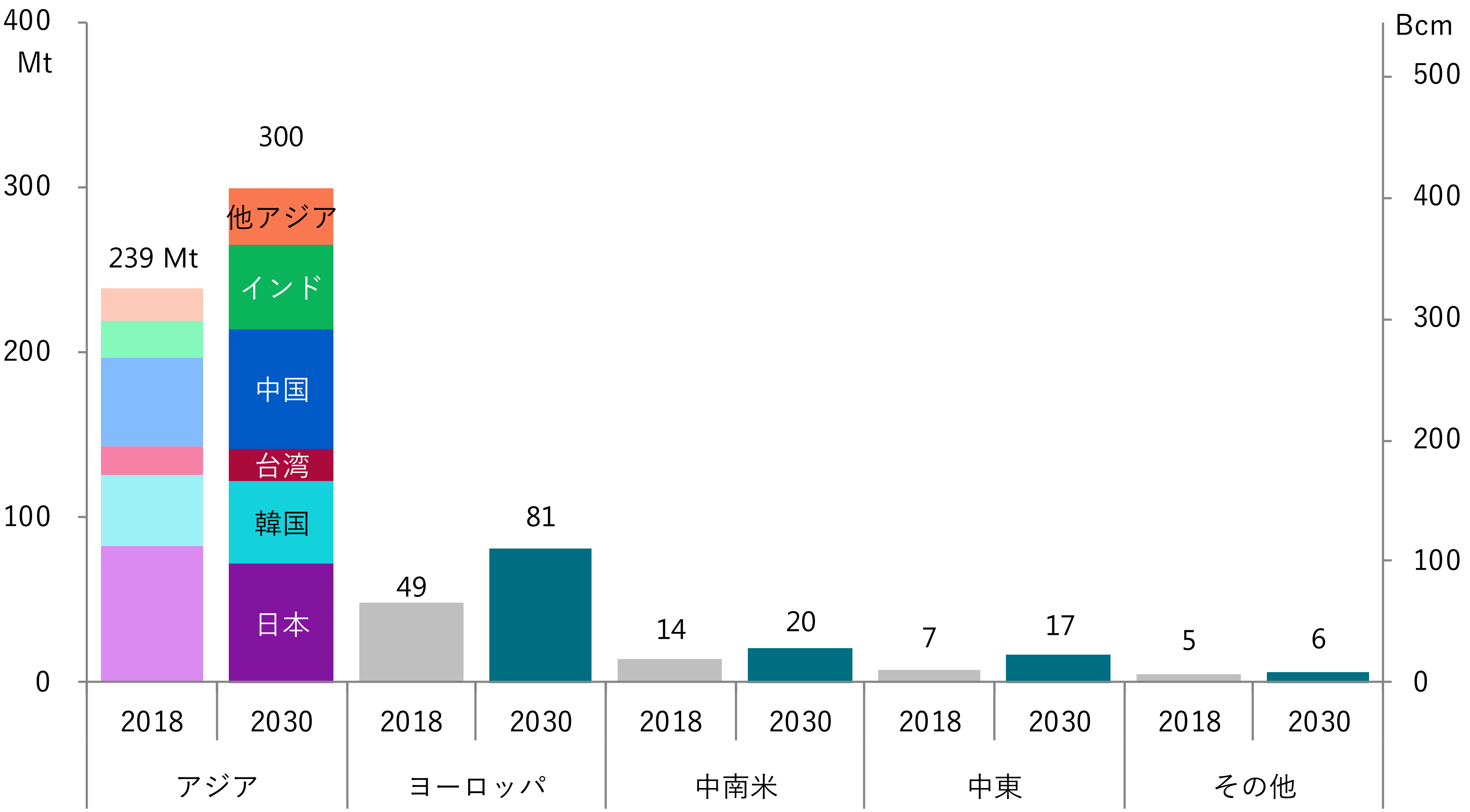
IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

天然ガス純輸出入量



IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

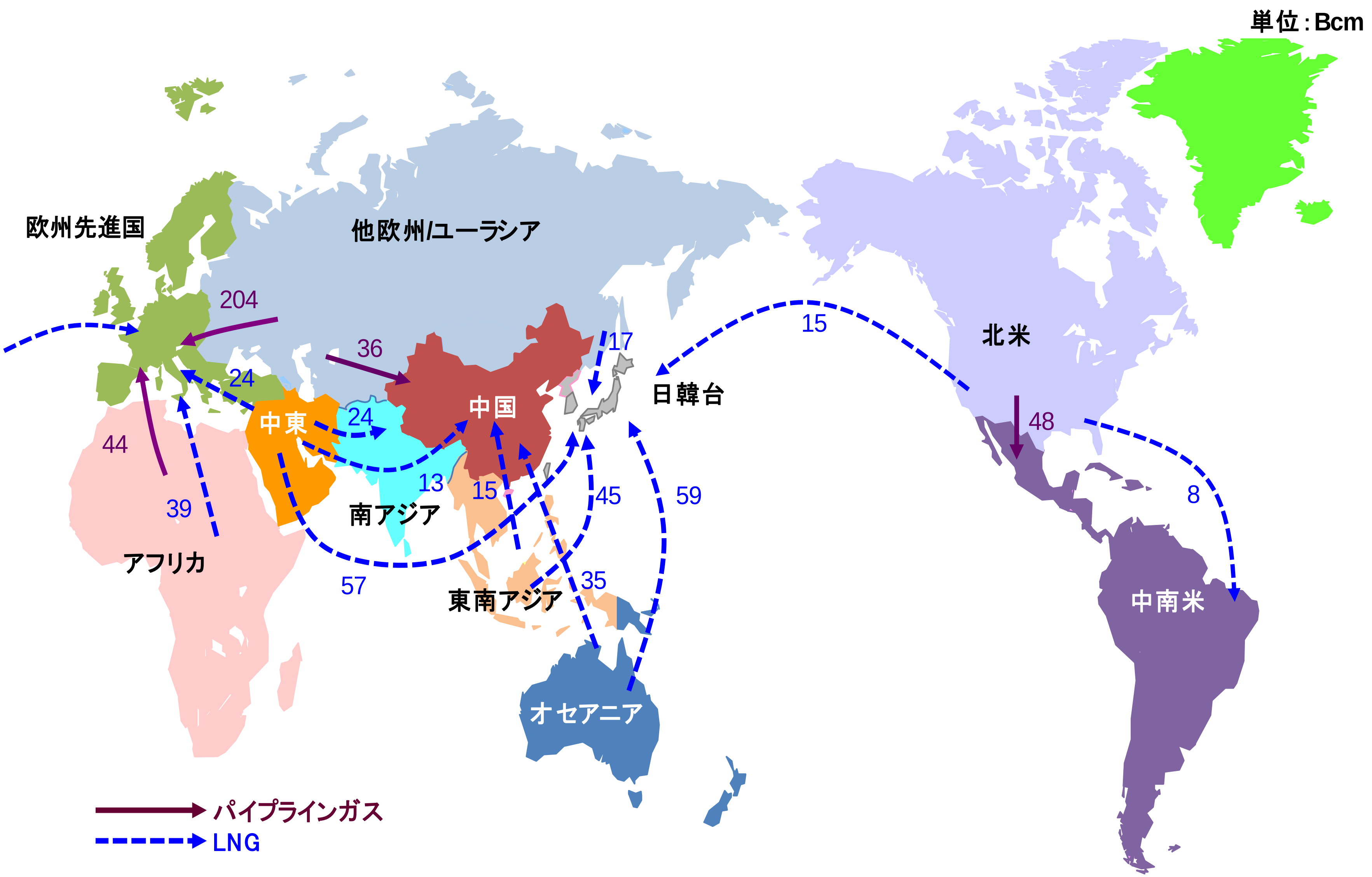
LNG輸入量



レファレンスシナリオ

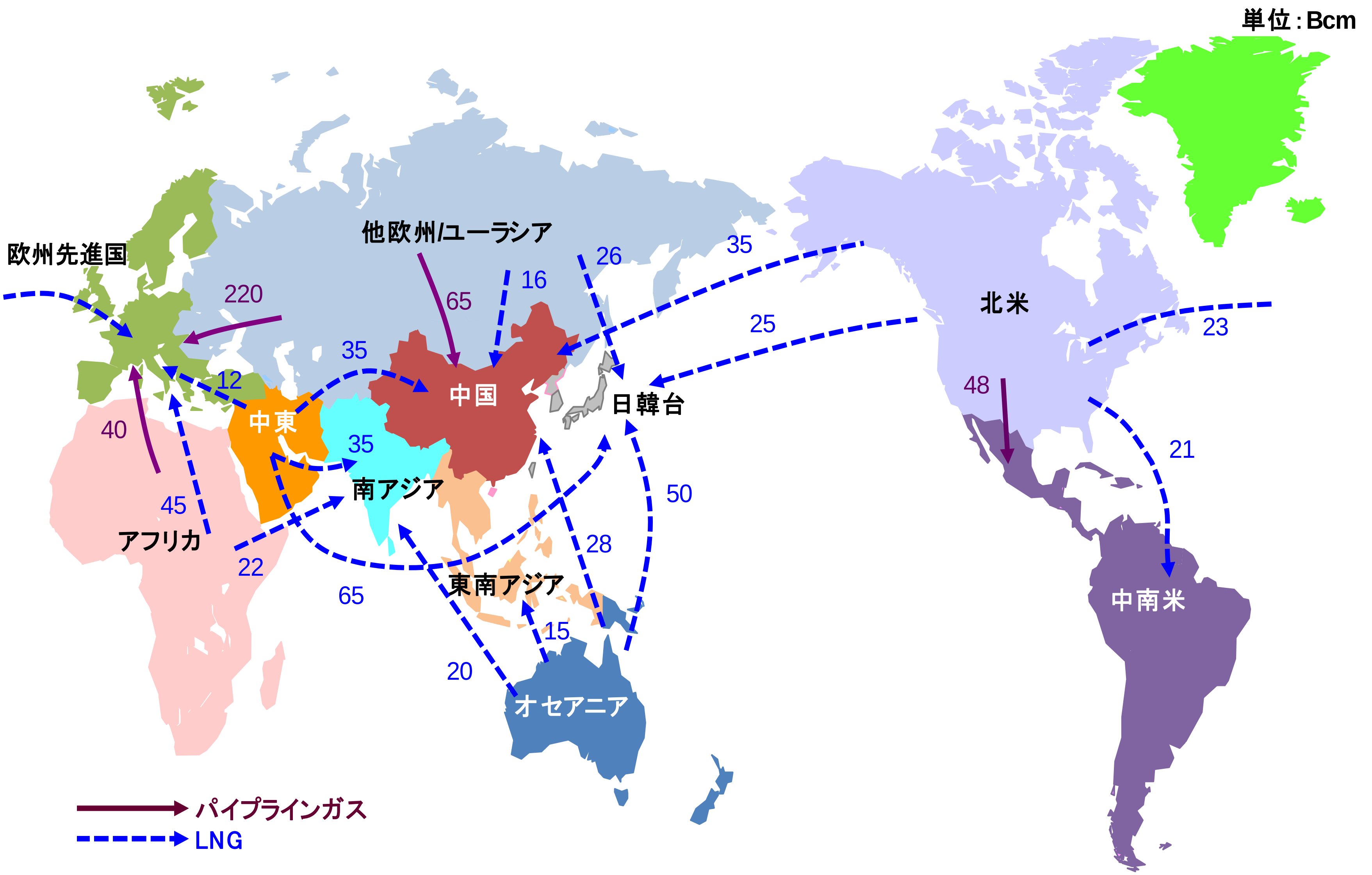
IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

主要な天然ガス貿易フロー(2018年)



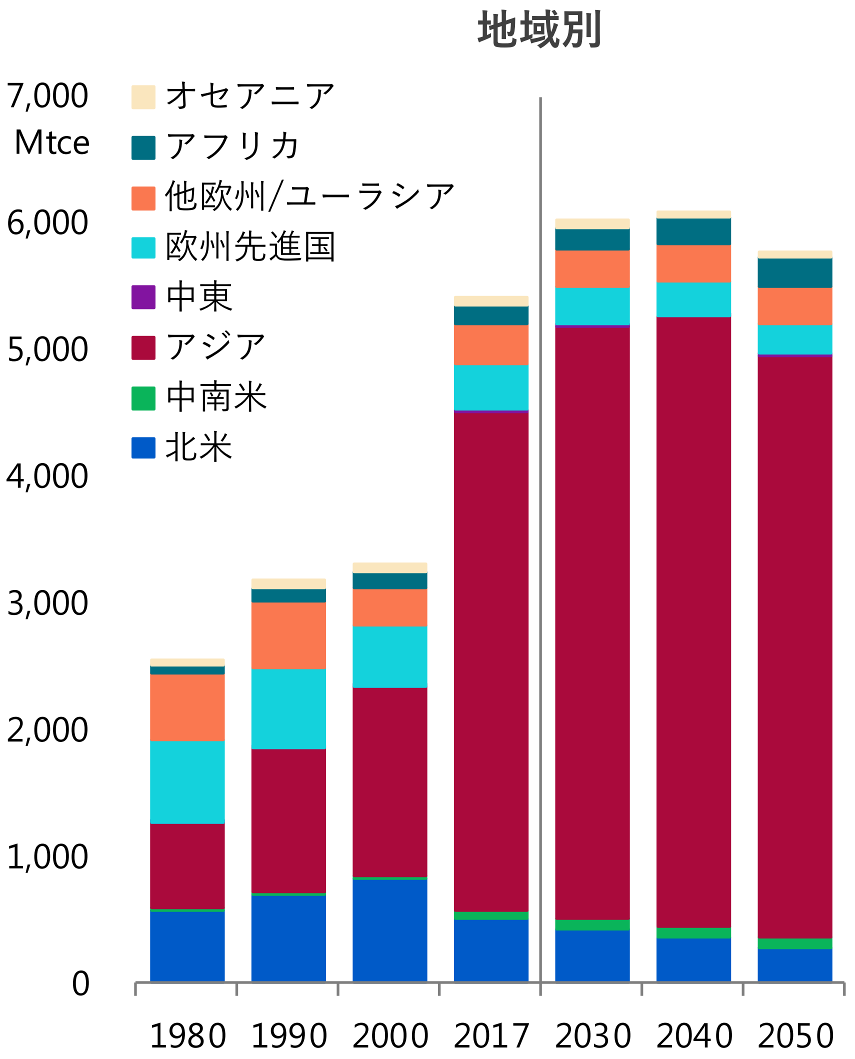
IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

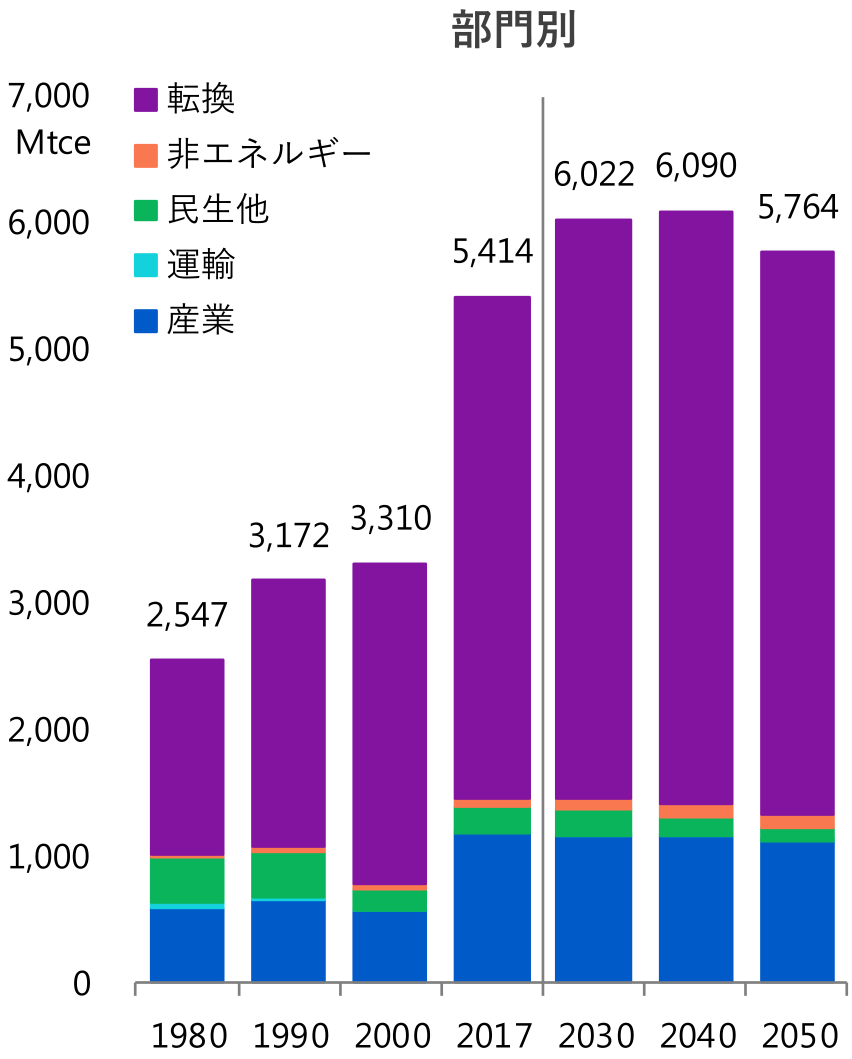
主要な天然ガス貿易フロー(2030年)



IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

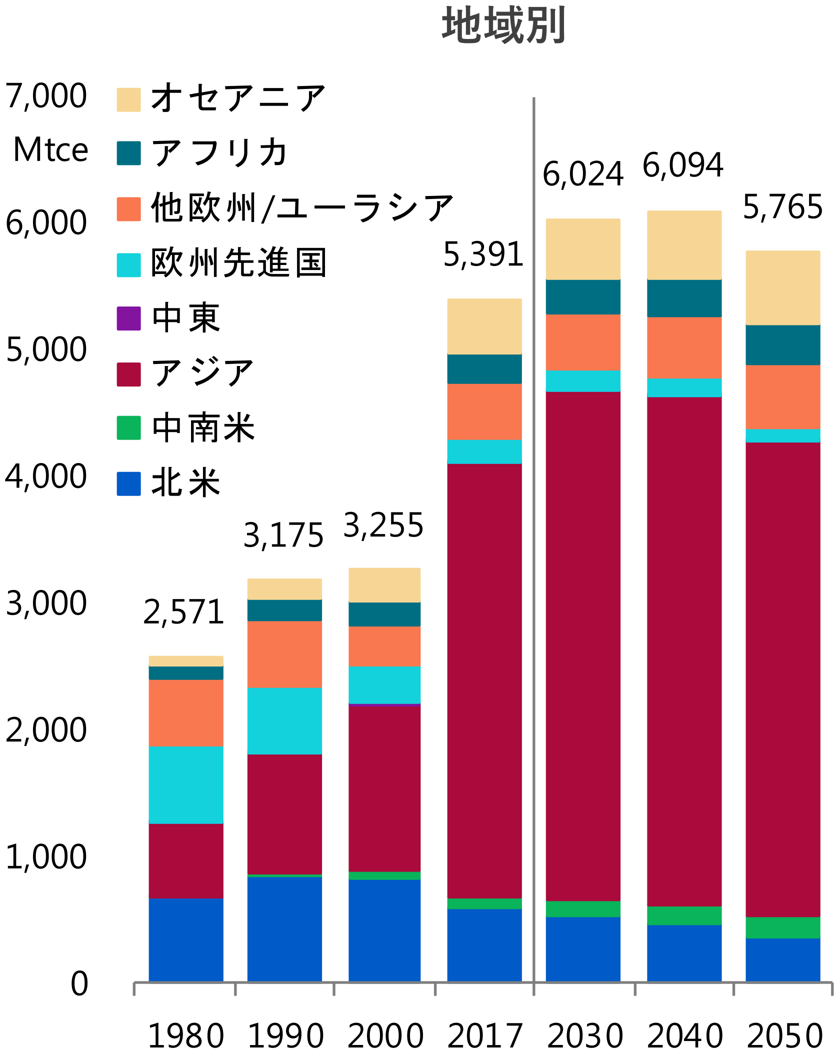
石炭消費

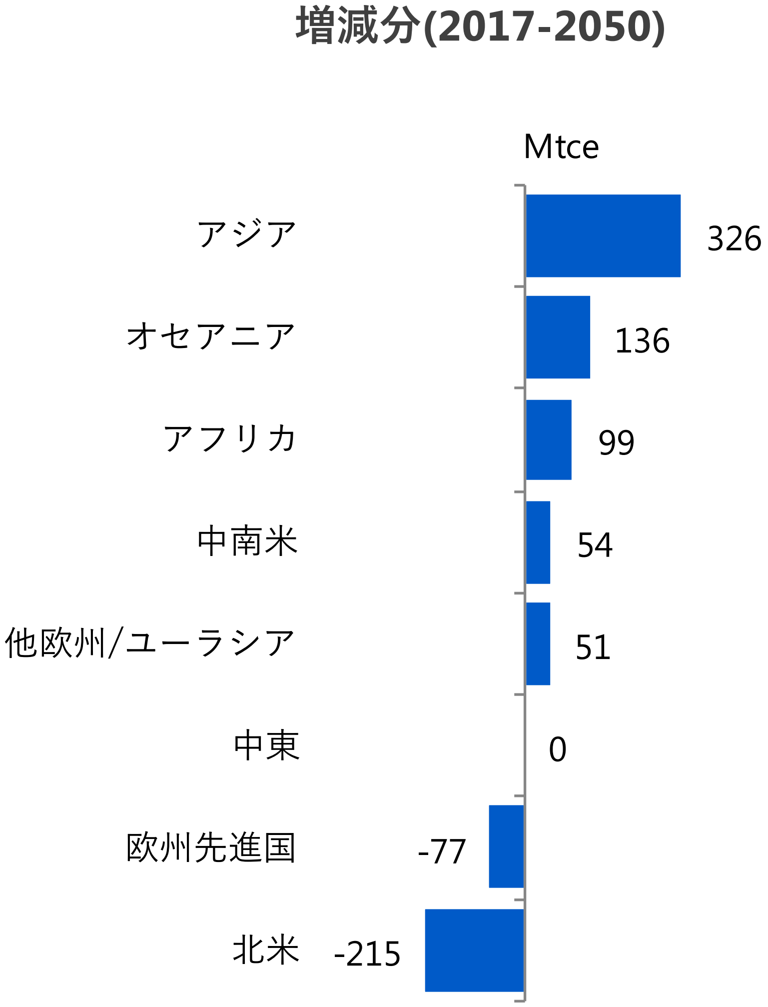




石炭生産

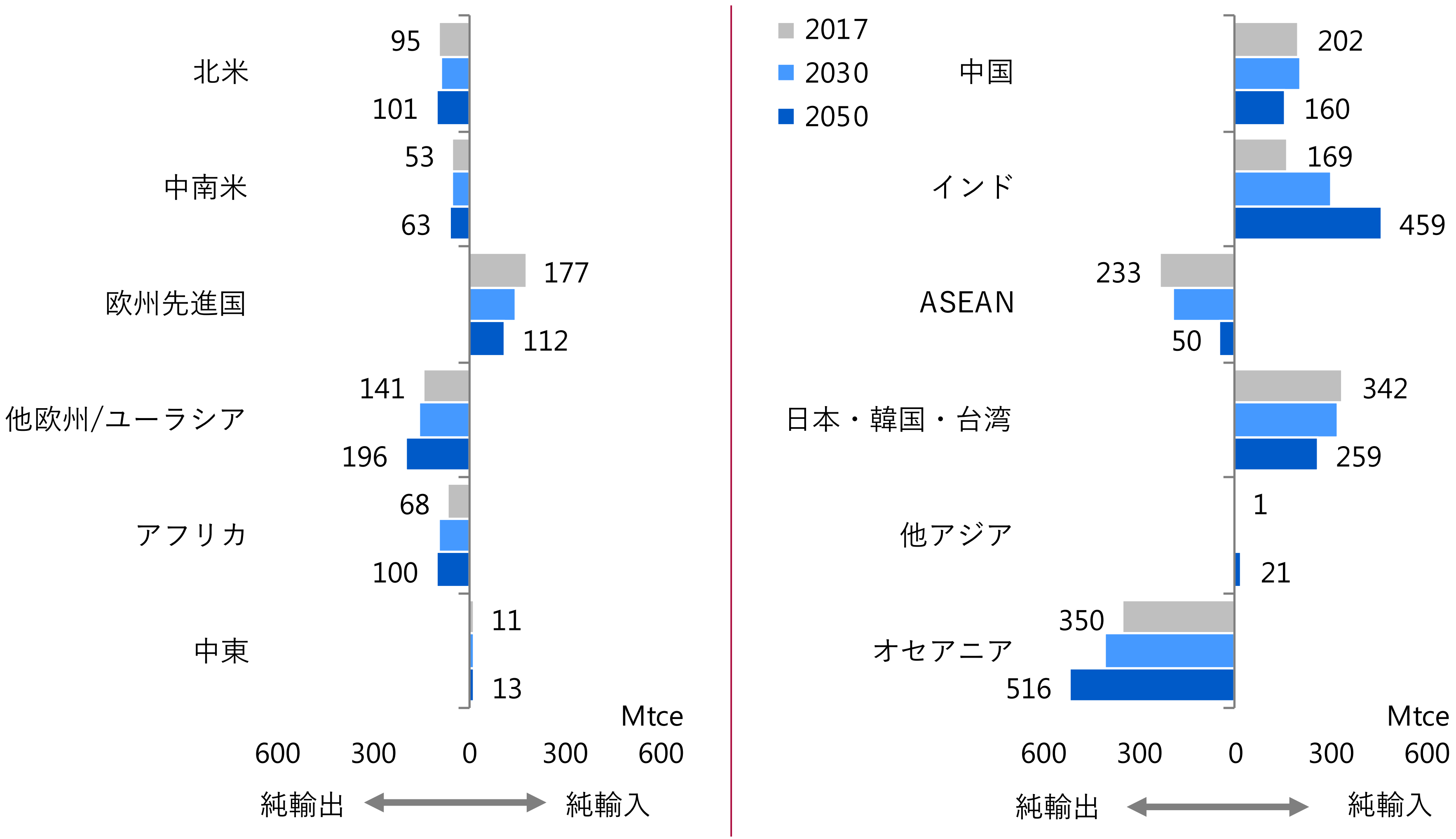
IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載





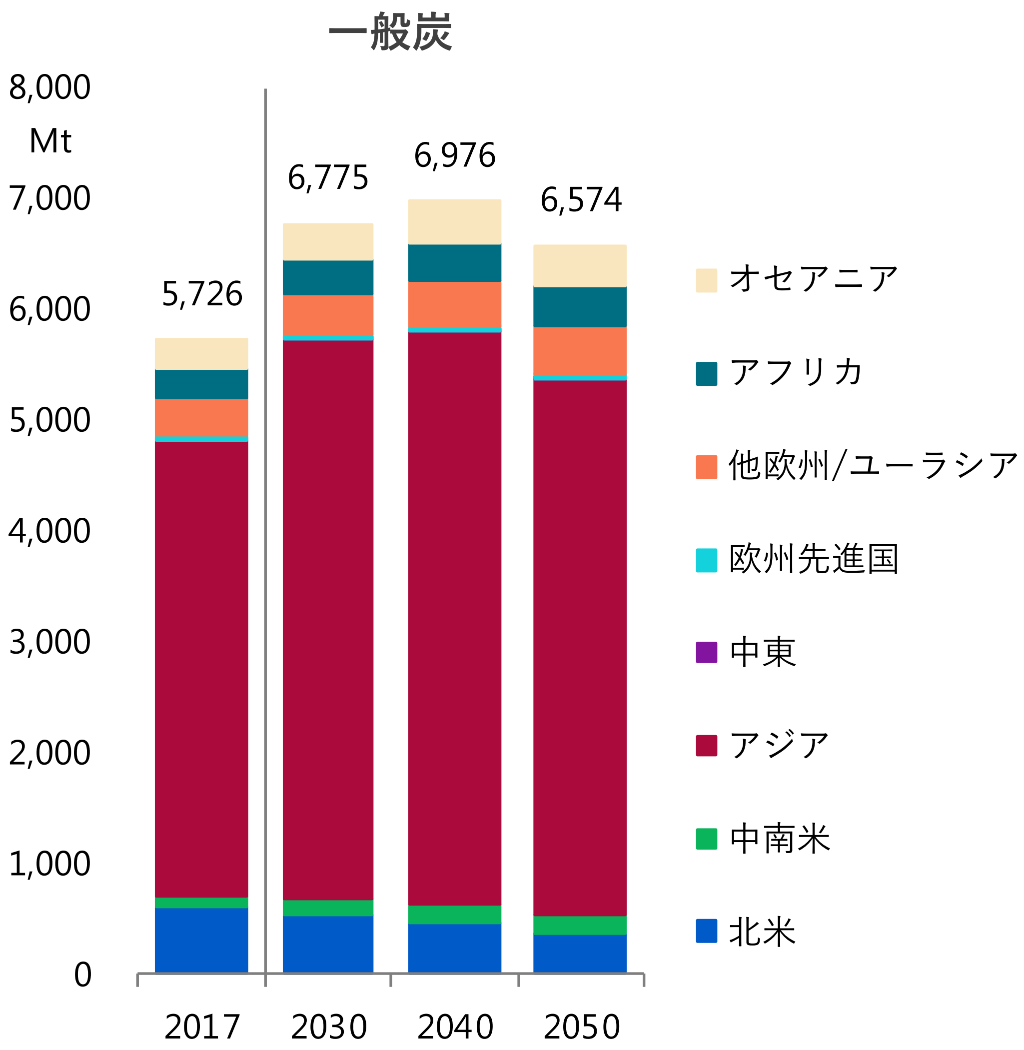
IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

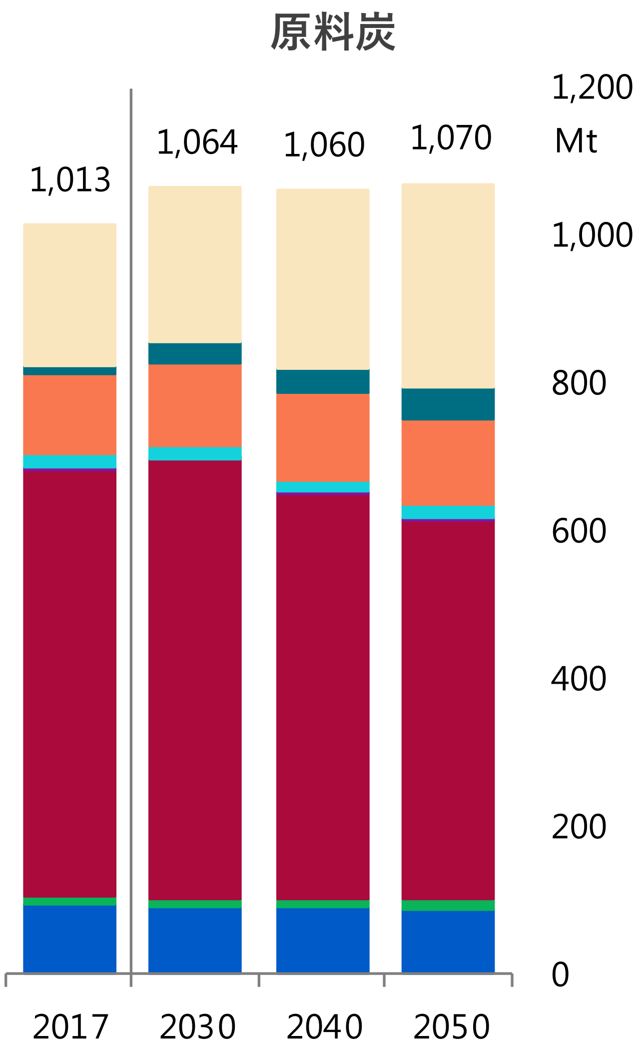
石炭純輸出入量



IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

石炭生産（一般炭・原料炭）

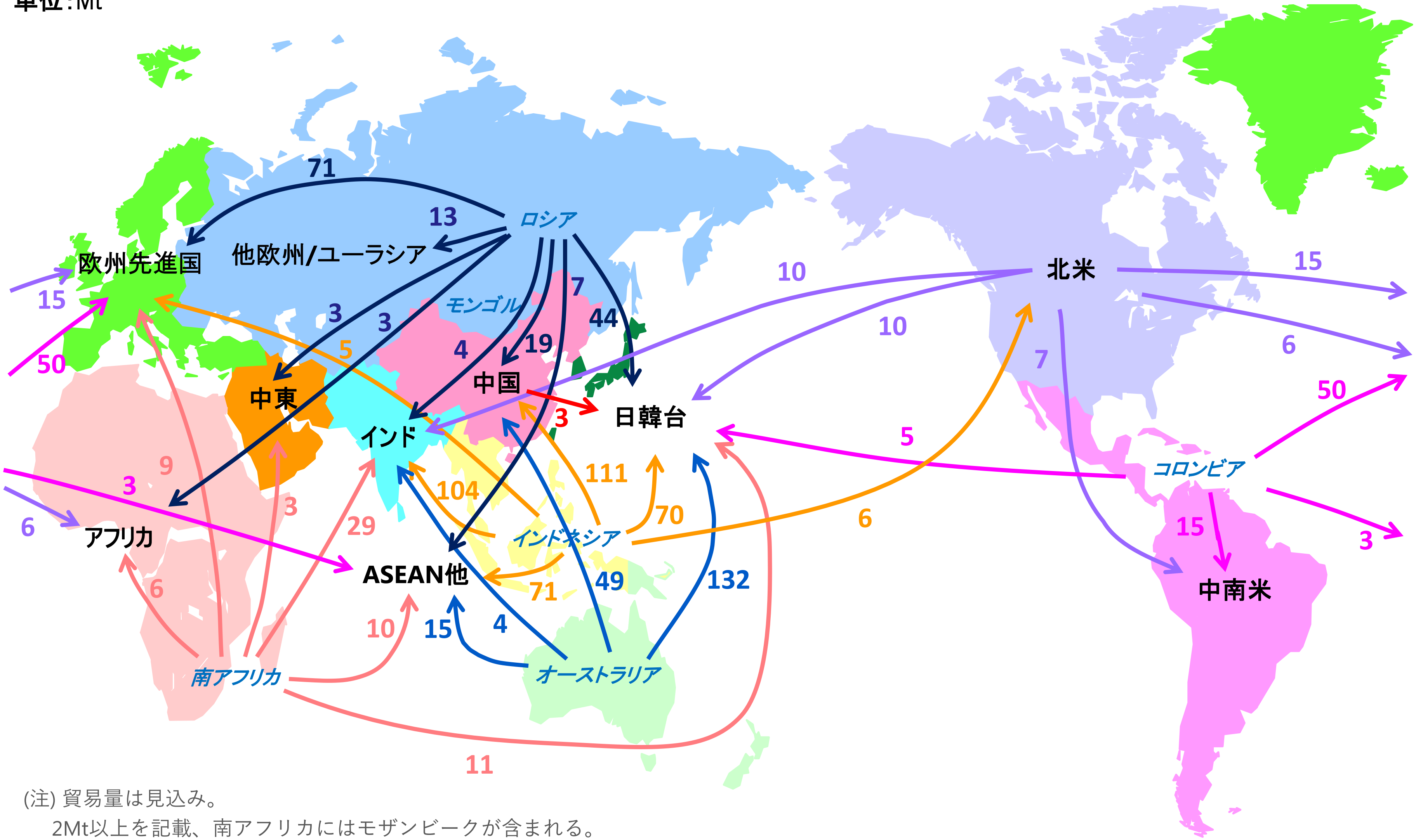




IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

主要な一般炭貿易フロー(2018年)

単位：Mt



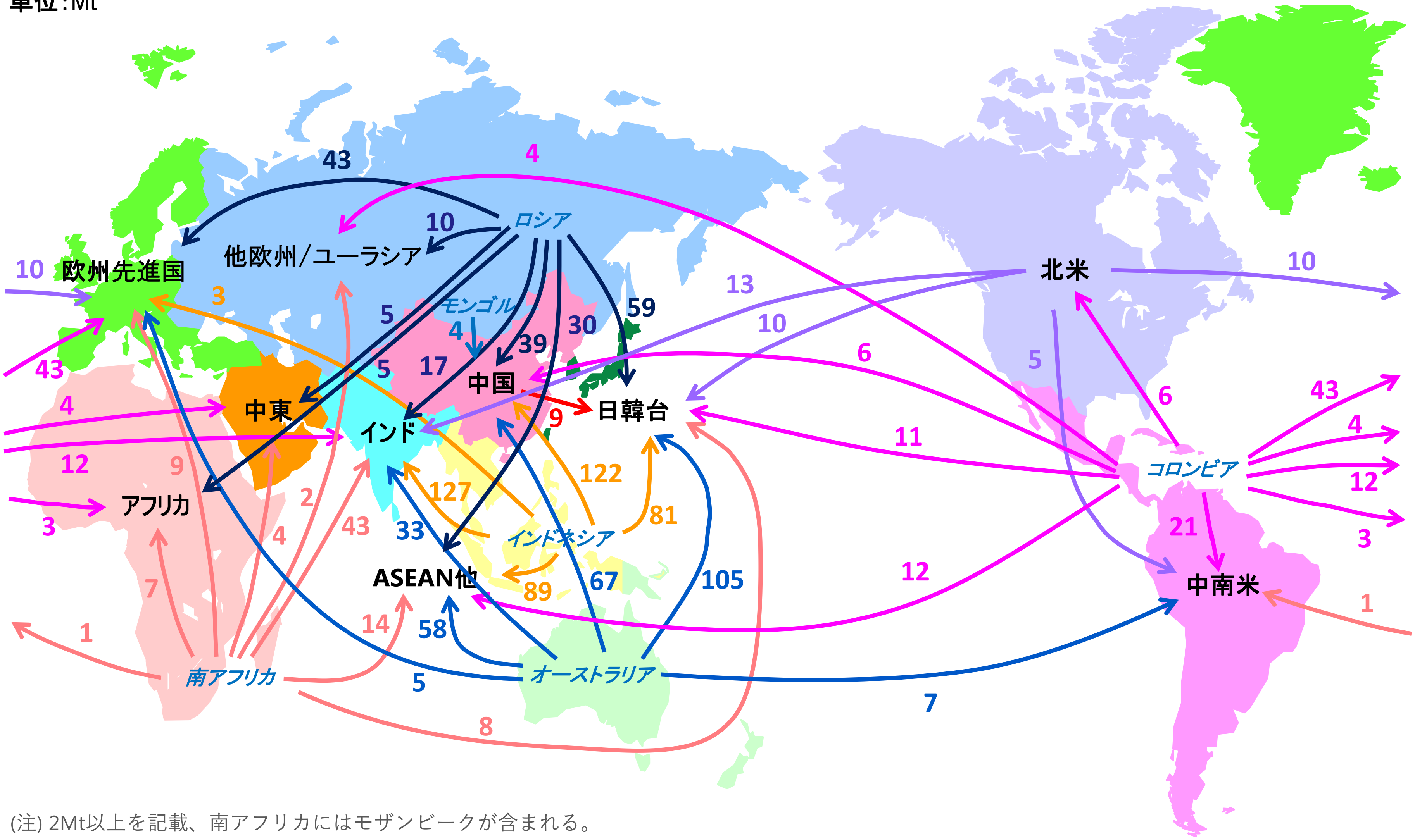
(注) 貿易量は見込み。
2Mt以上を記載、南アフリカにはモザンビークが含まれる。

レファレンスシナリオ

IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

主要な一般炭貿易フロー(2030年)

単位：Mt

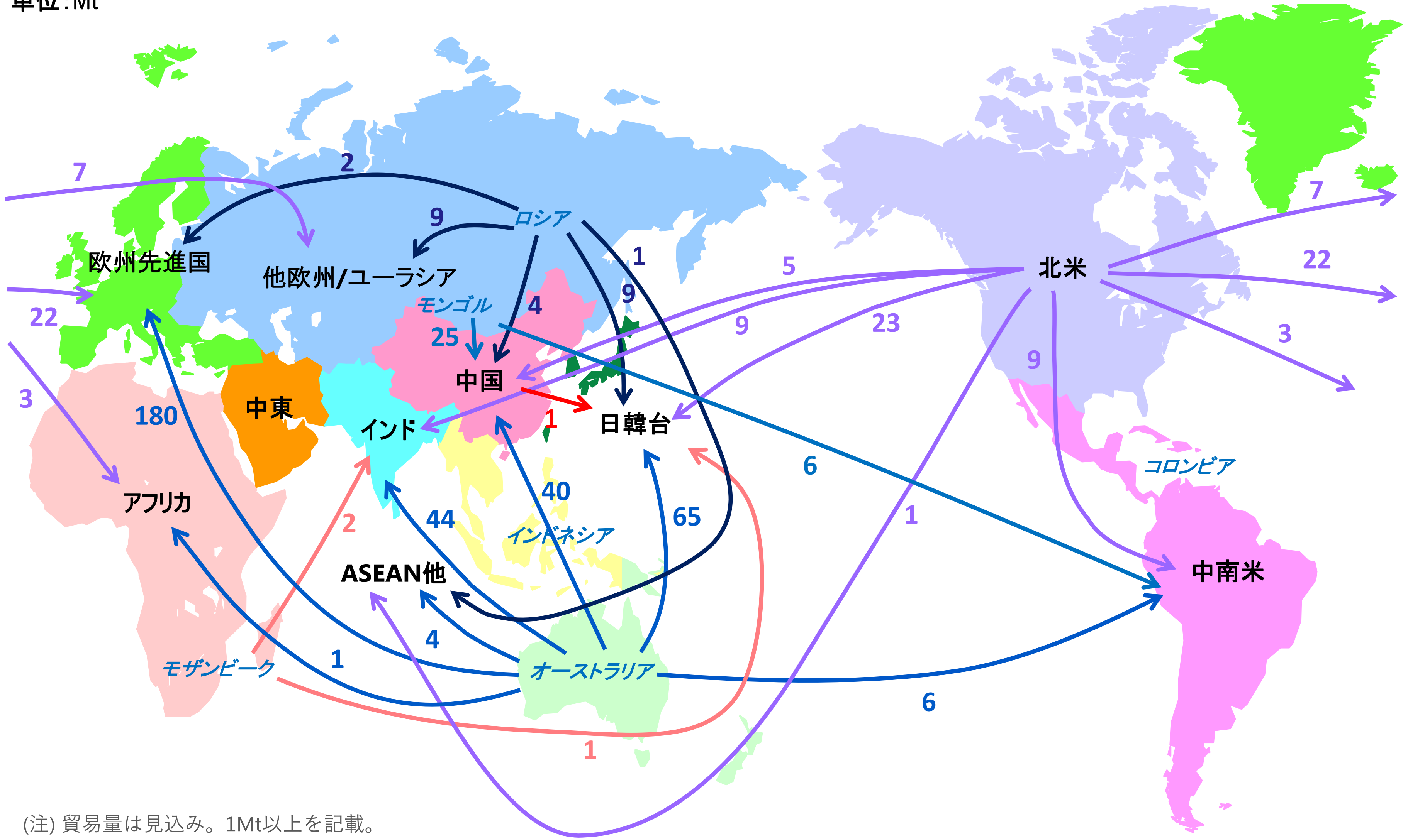


(注) 2Mt以上を記載、南アフリカにはモザンビークが含まれる。

IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

主要な原料炭貿易フロー(2018年)

単位：Mt



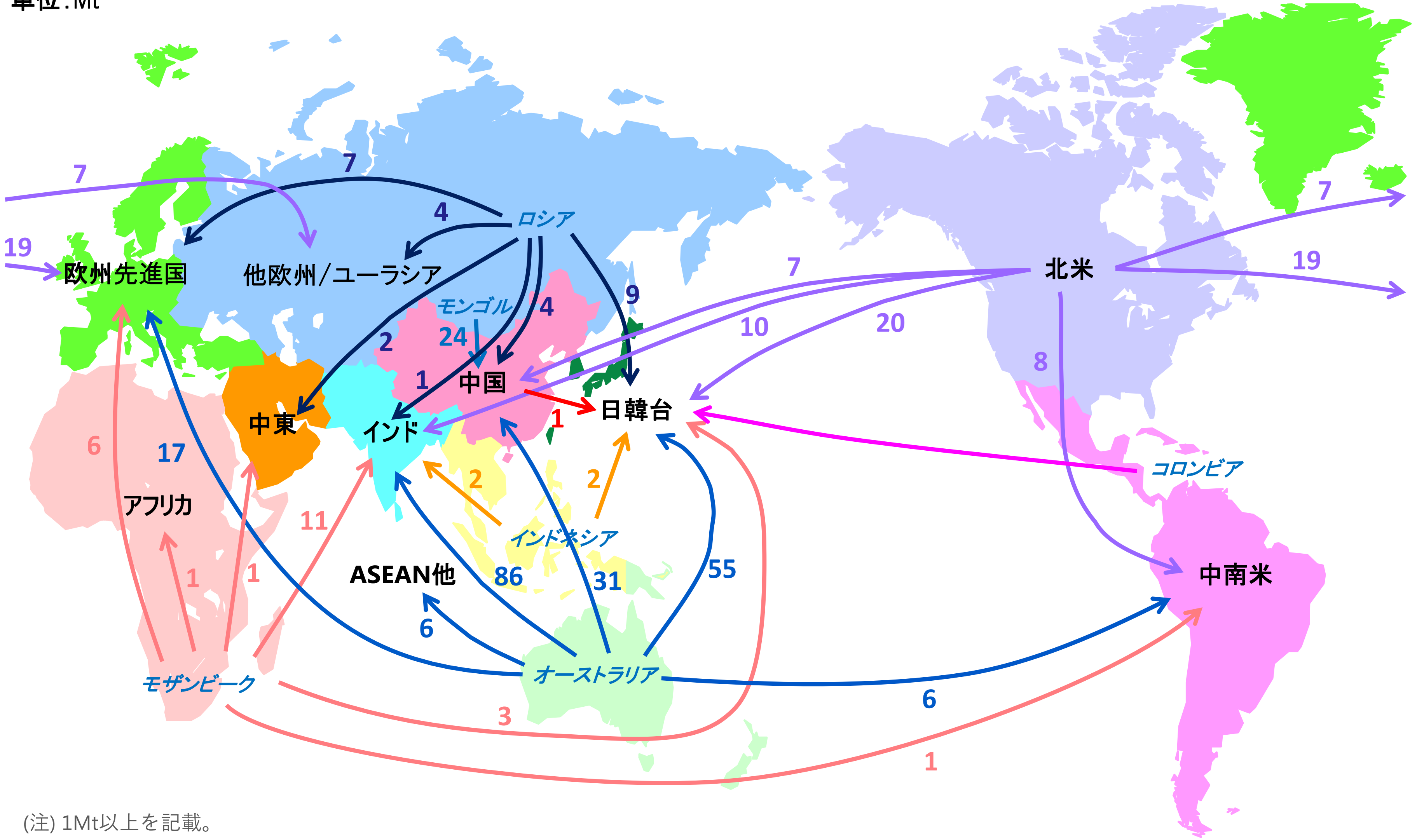
(注) 貿易量は見込み。1Mt以上を記載。

レファレンスシナリオ

IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

主要な原料炭貿易フロー(2030年)

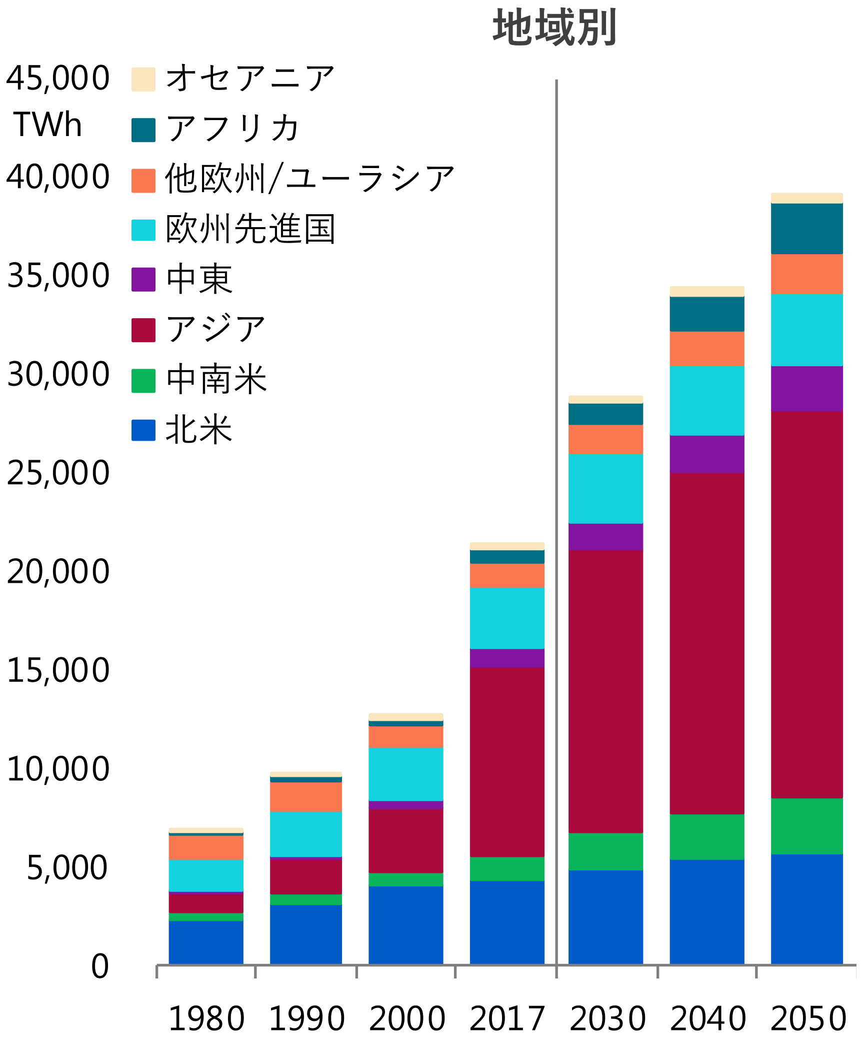
単位：Mt

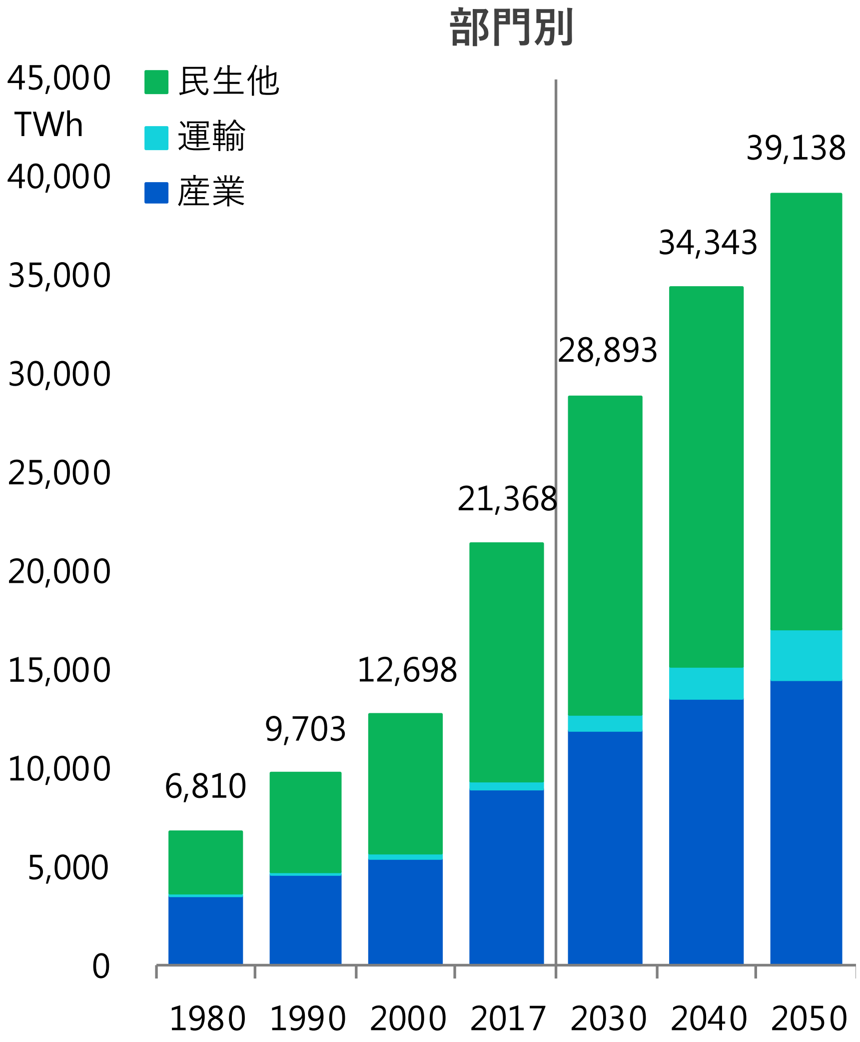


(注) 1Mt以上を記載。

IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

電力最終消費

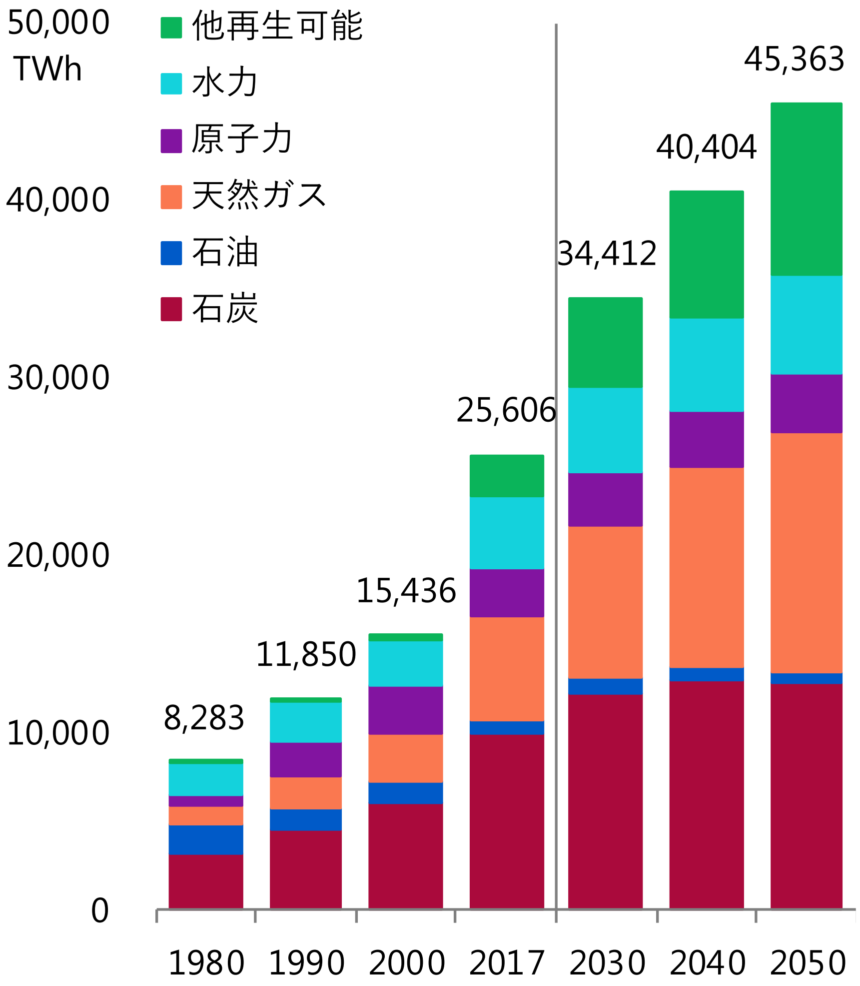




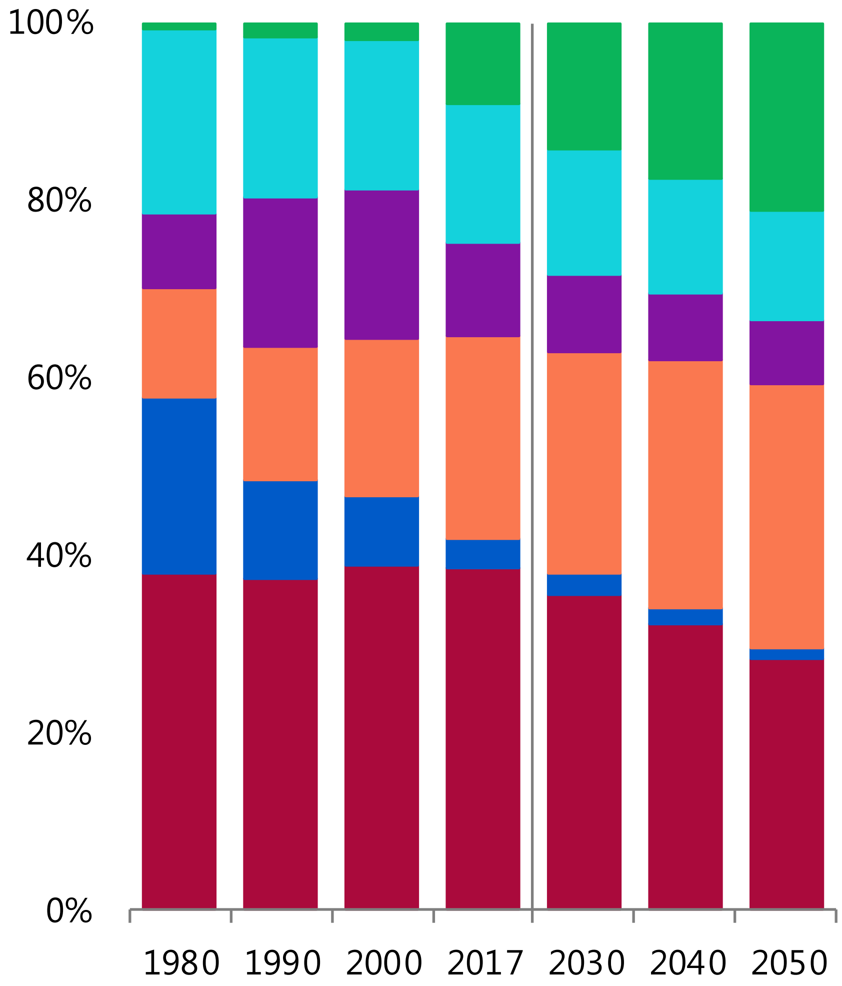
IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

発電構成

発電量



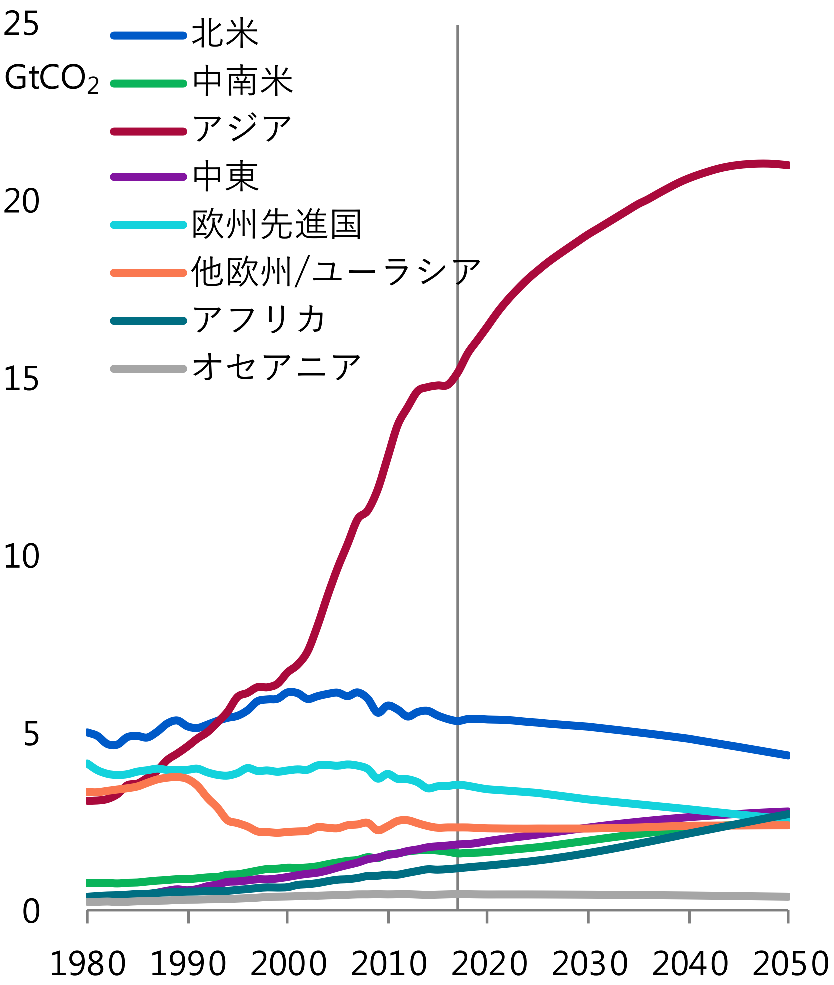
発電量シェア



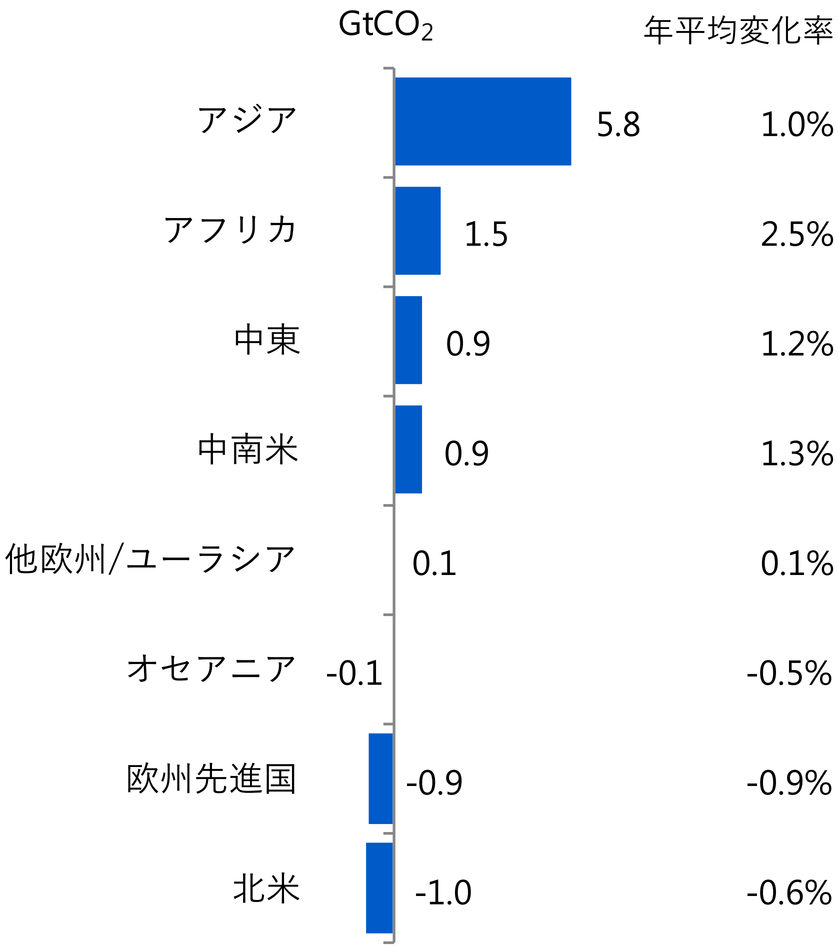
IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

CO_2排出量

エネルギー起源CO_2排出量



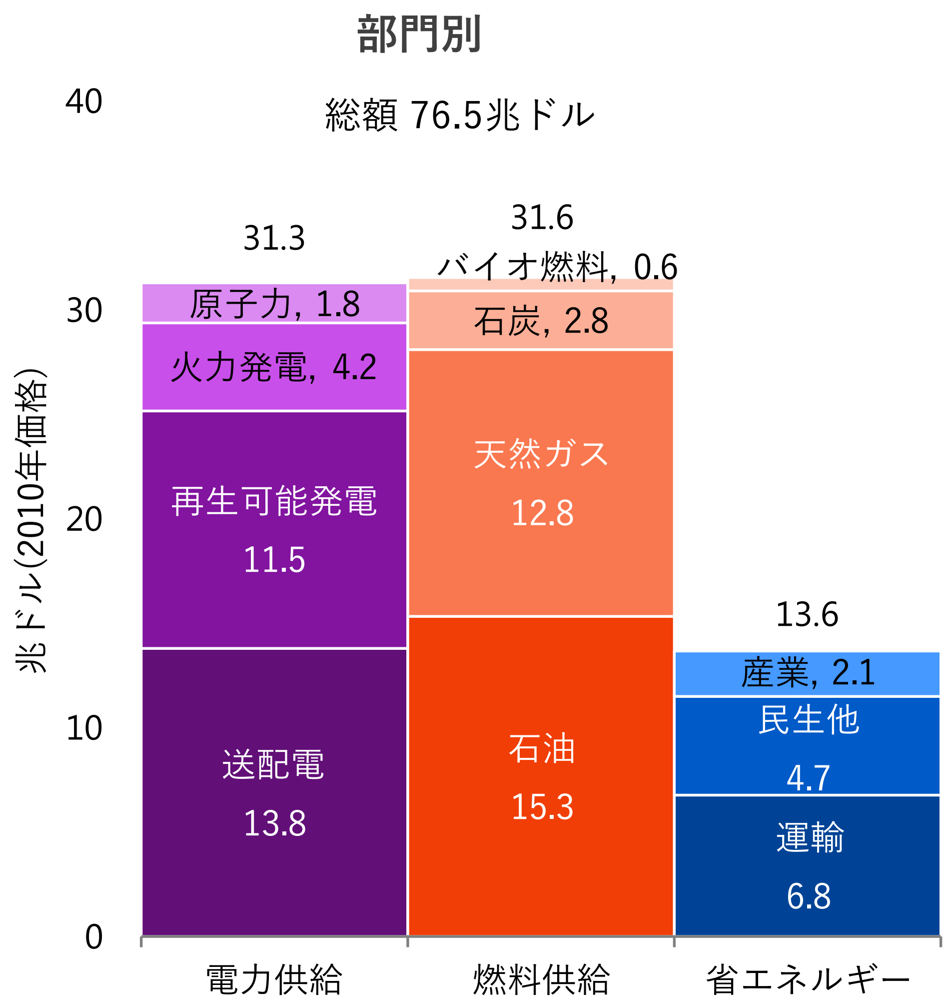
増減分(2017-2050年)

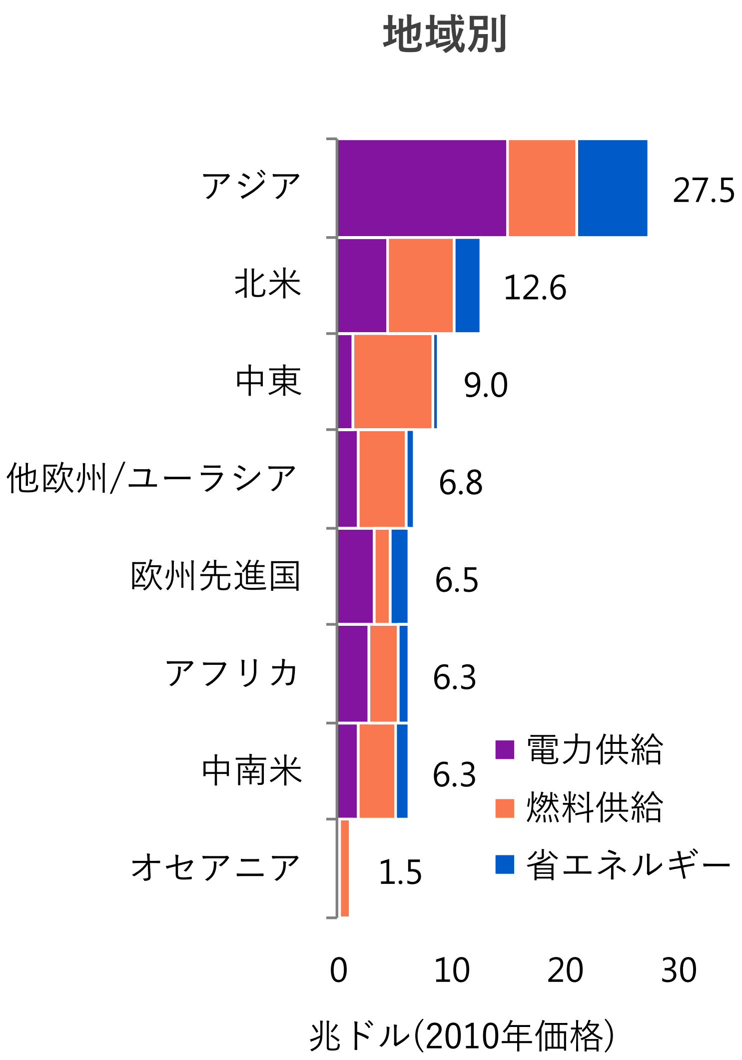


レファレンスシナリオ

IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

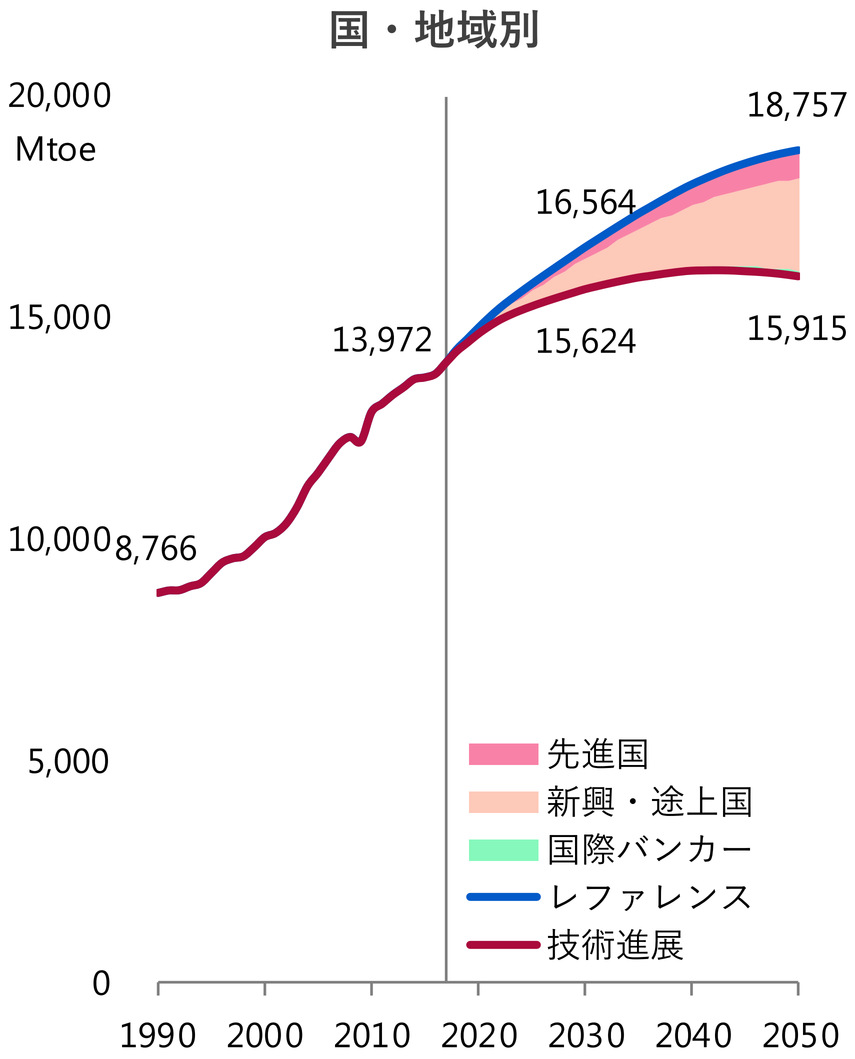
エネルギー関連投資額 (2018年～2050年 累積投資額)

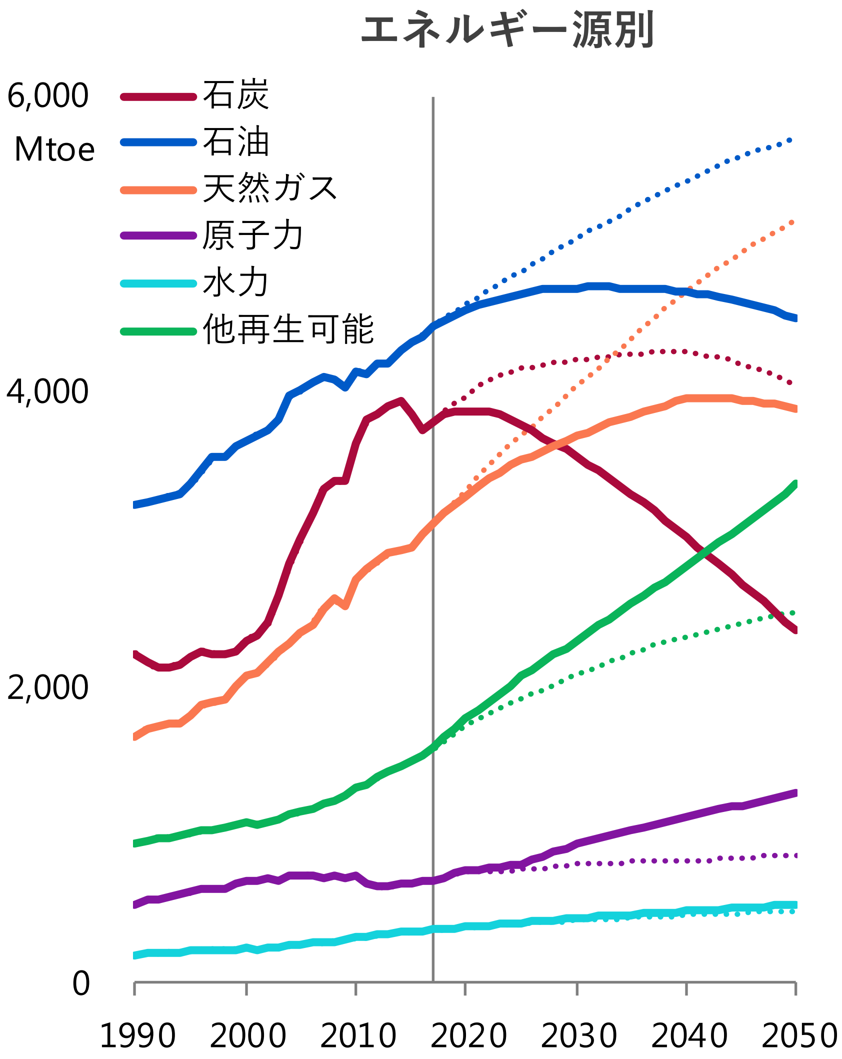




IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

一次エネルギー消費

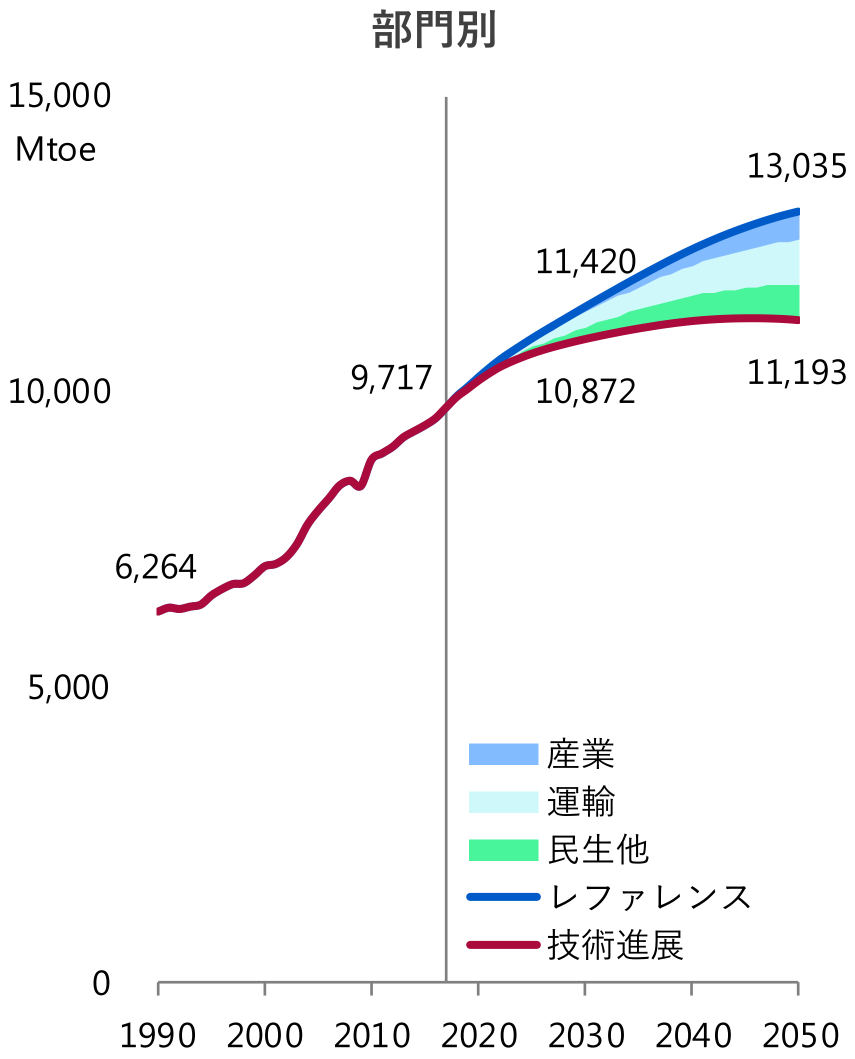


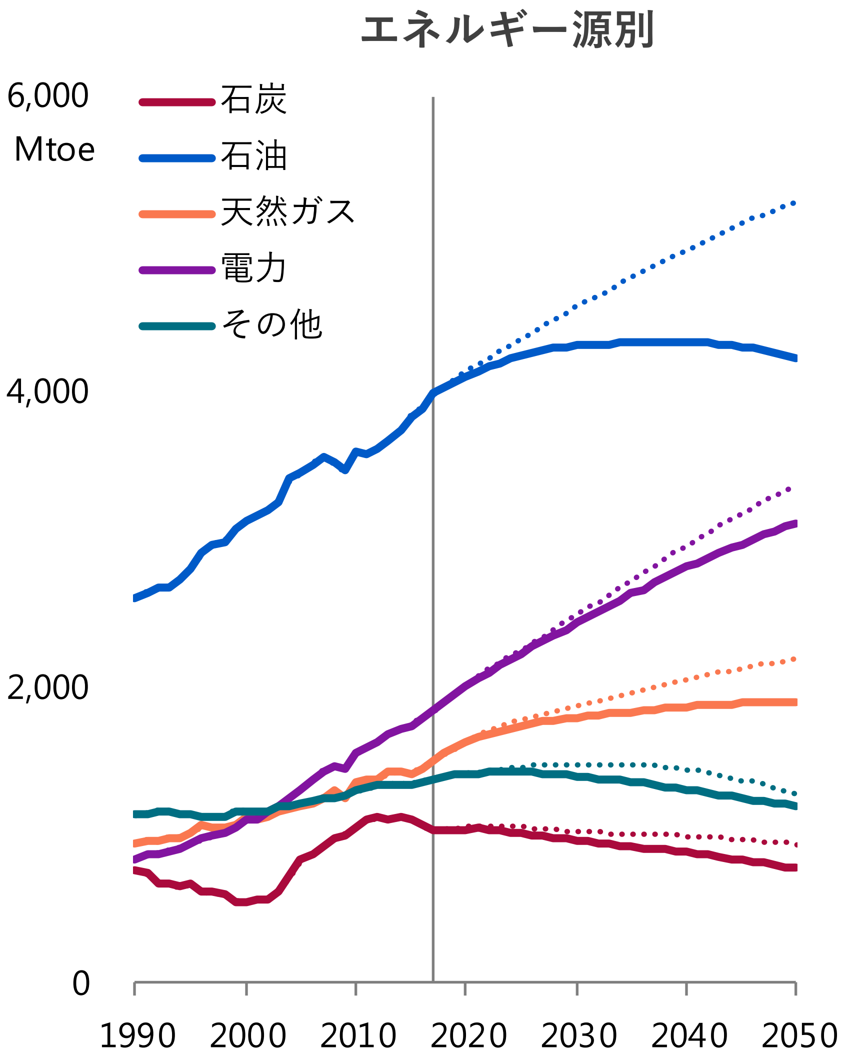


(注)実線：技術進展、破線：レファレンス

IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

最終エネルギー消費

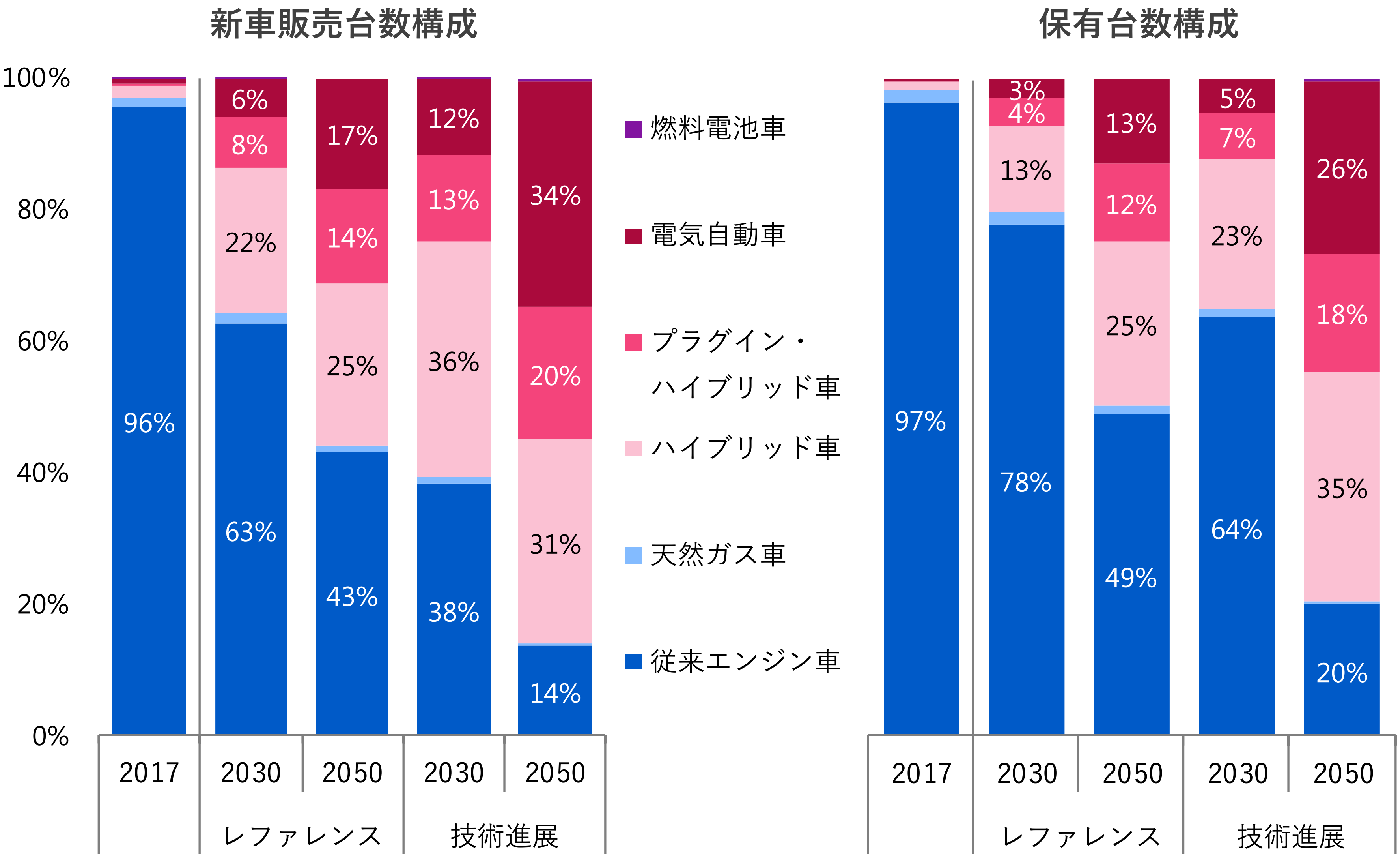




(注)実線：技術進展、破線：レファレンス

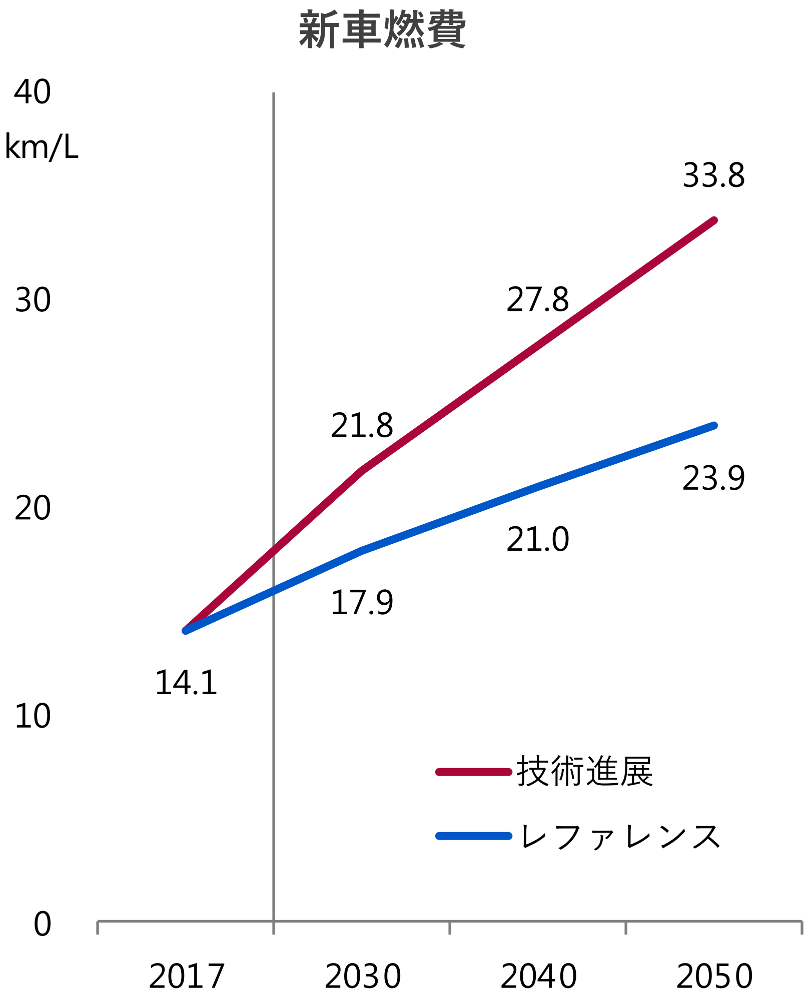
IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

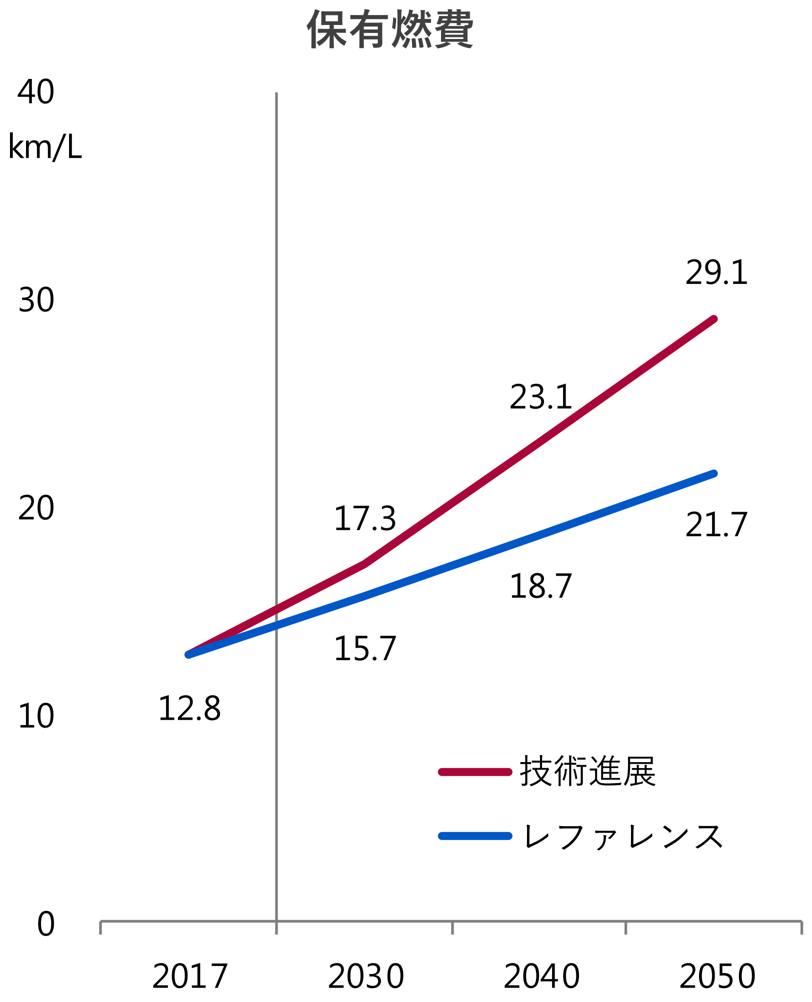
自動車駆動タイプ構成(乗用車)



IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

自動車燃費(乗用車)

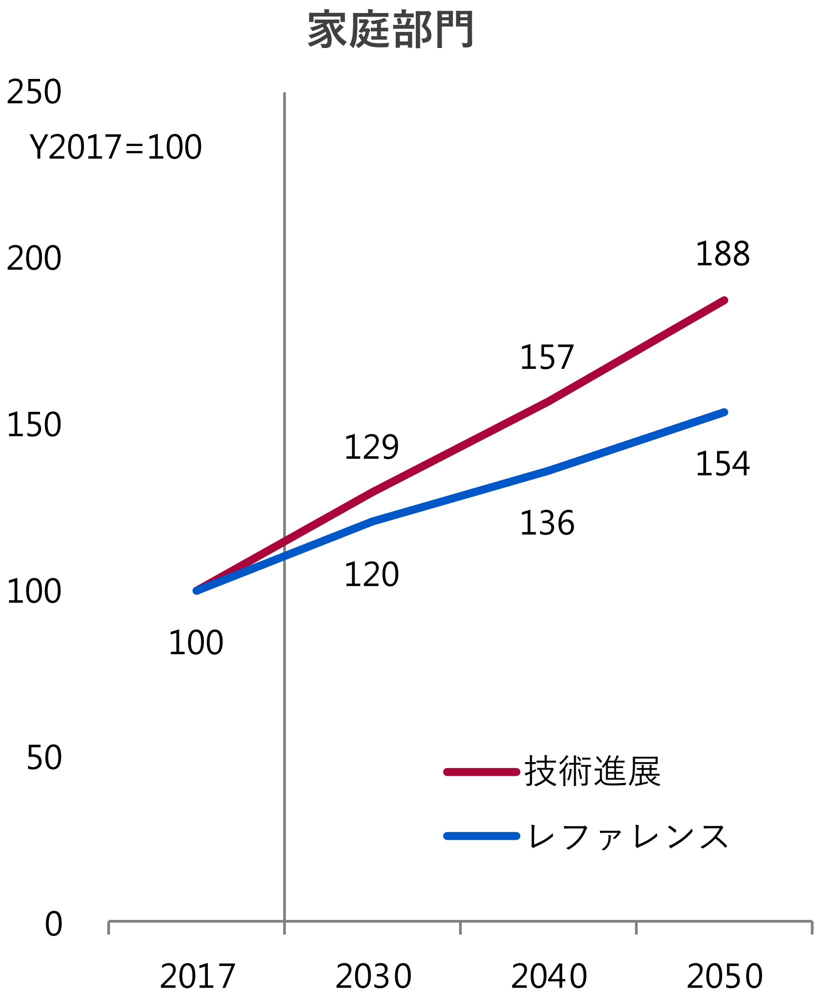


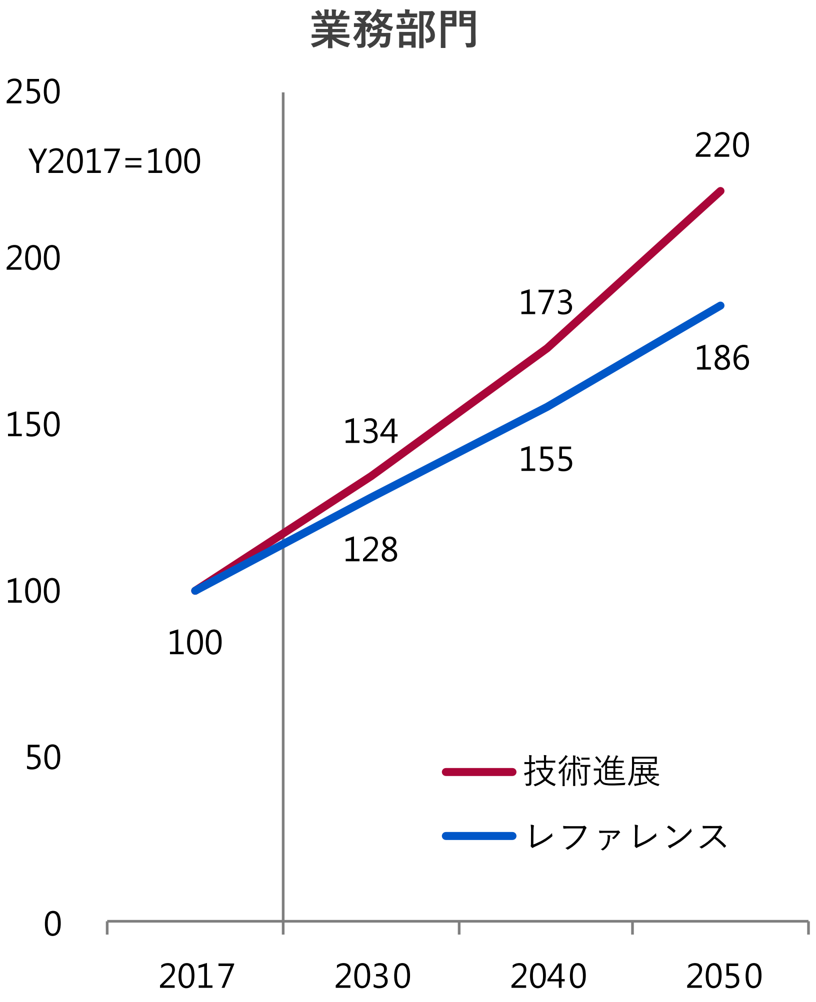


(注)km/L: ガソリン換算 1 L当たり走行距離

IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

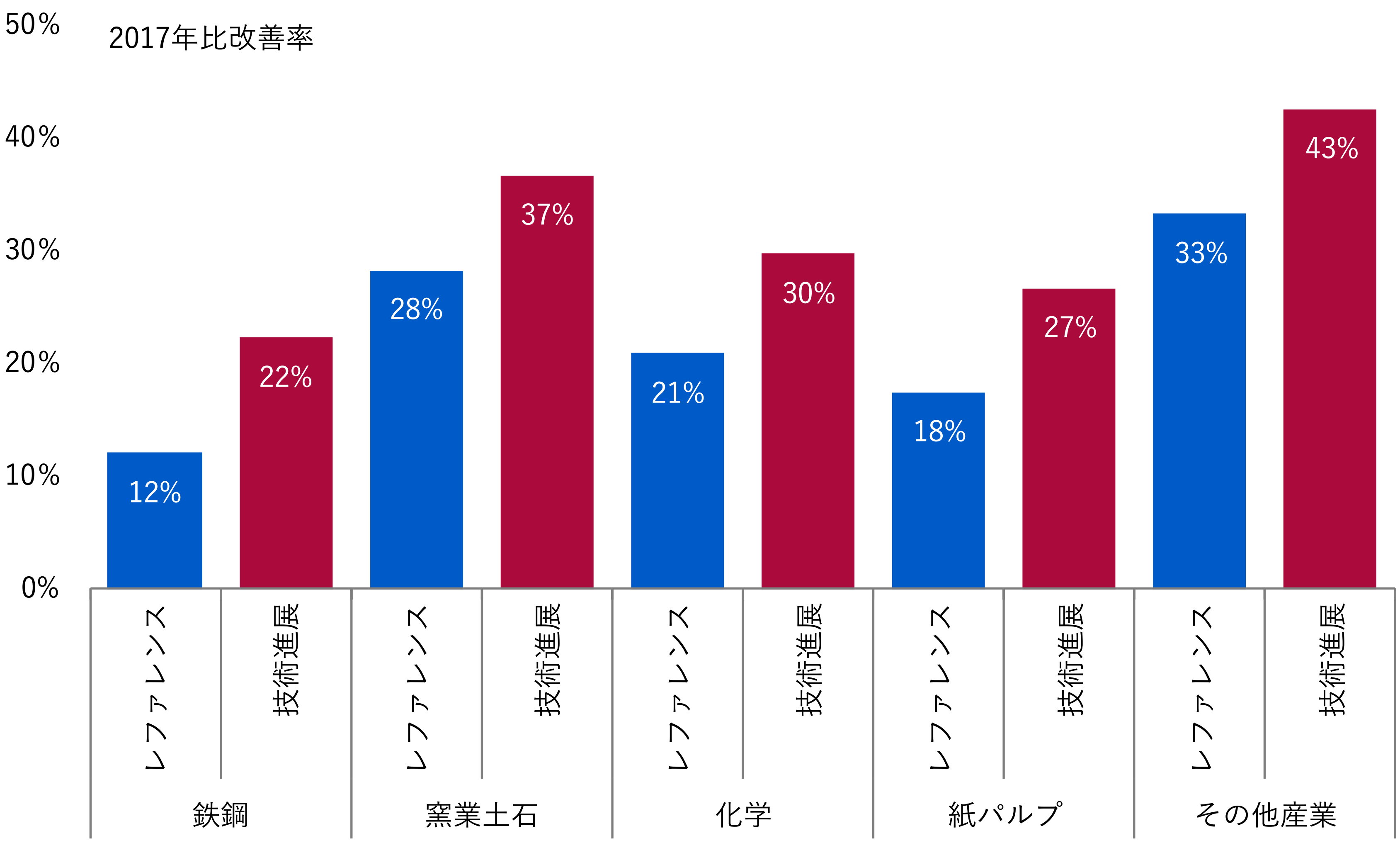
民生部門総合効率





IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

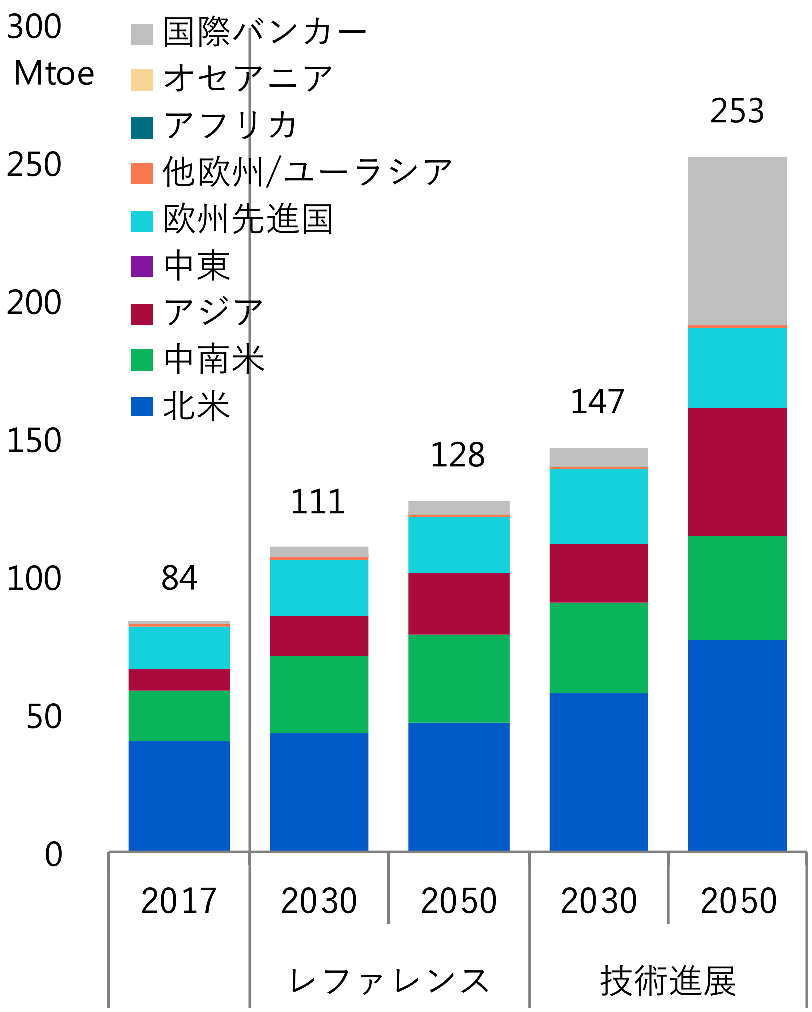
産業部門原単位改善率



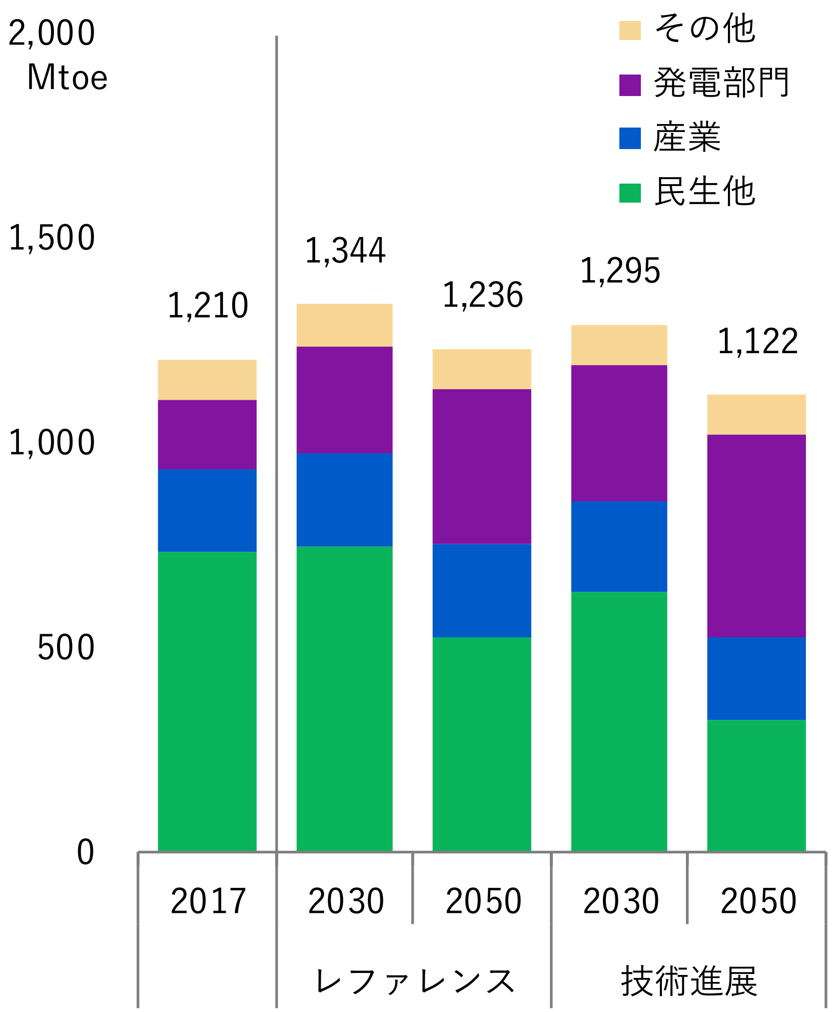
IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

バイオマスエネルギー

輸送用バイオ燃料

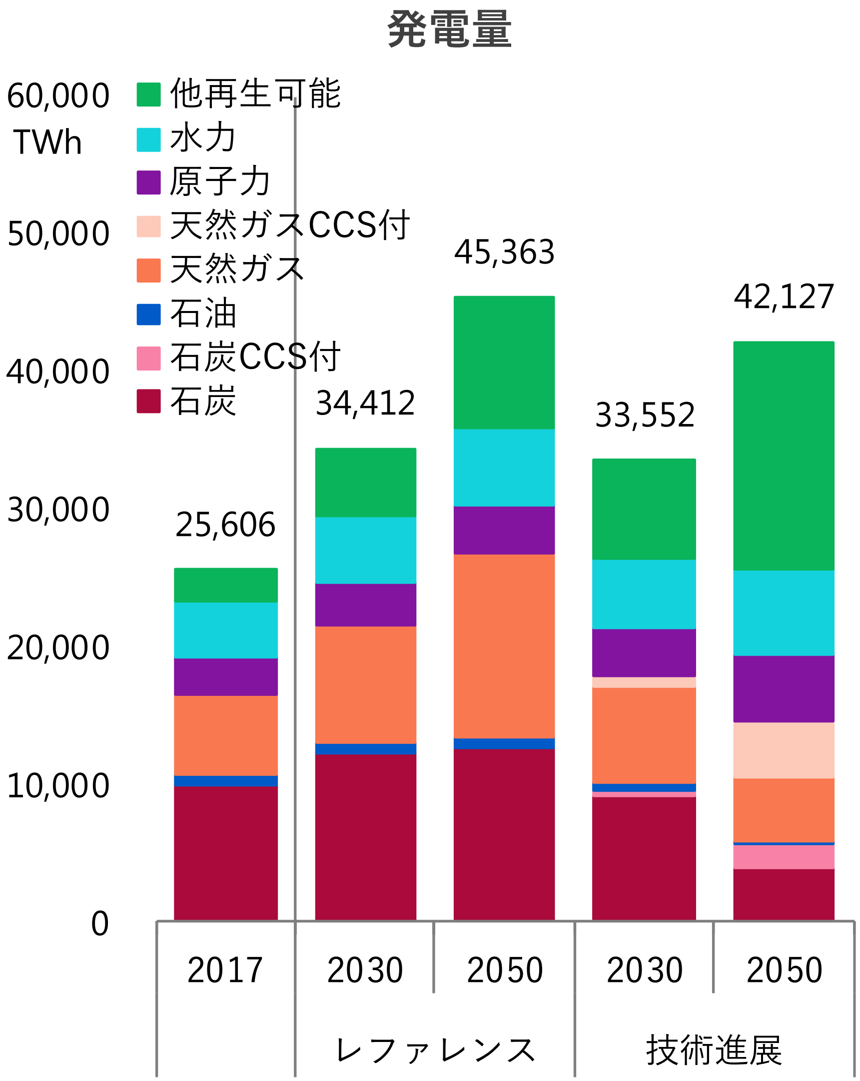


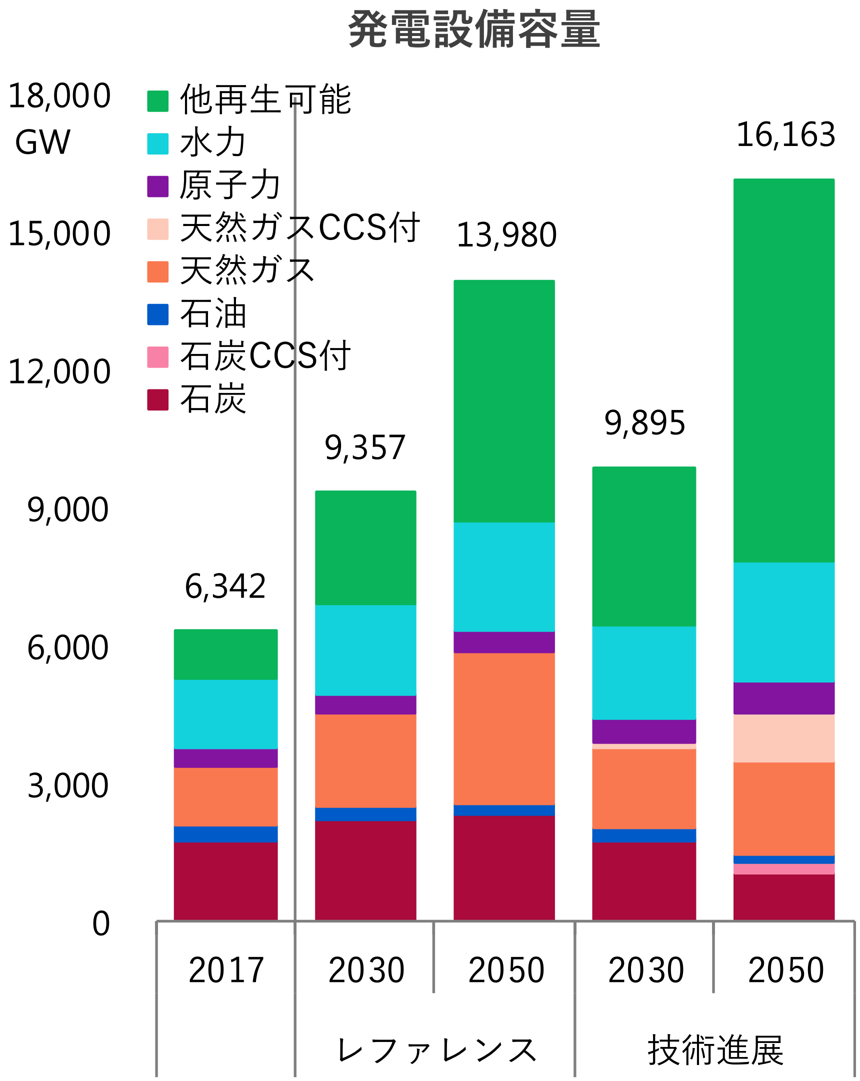
固形バイオマス利用量



IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

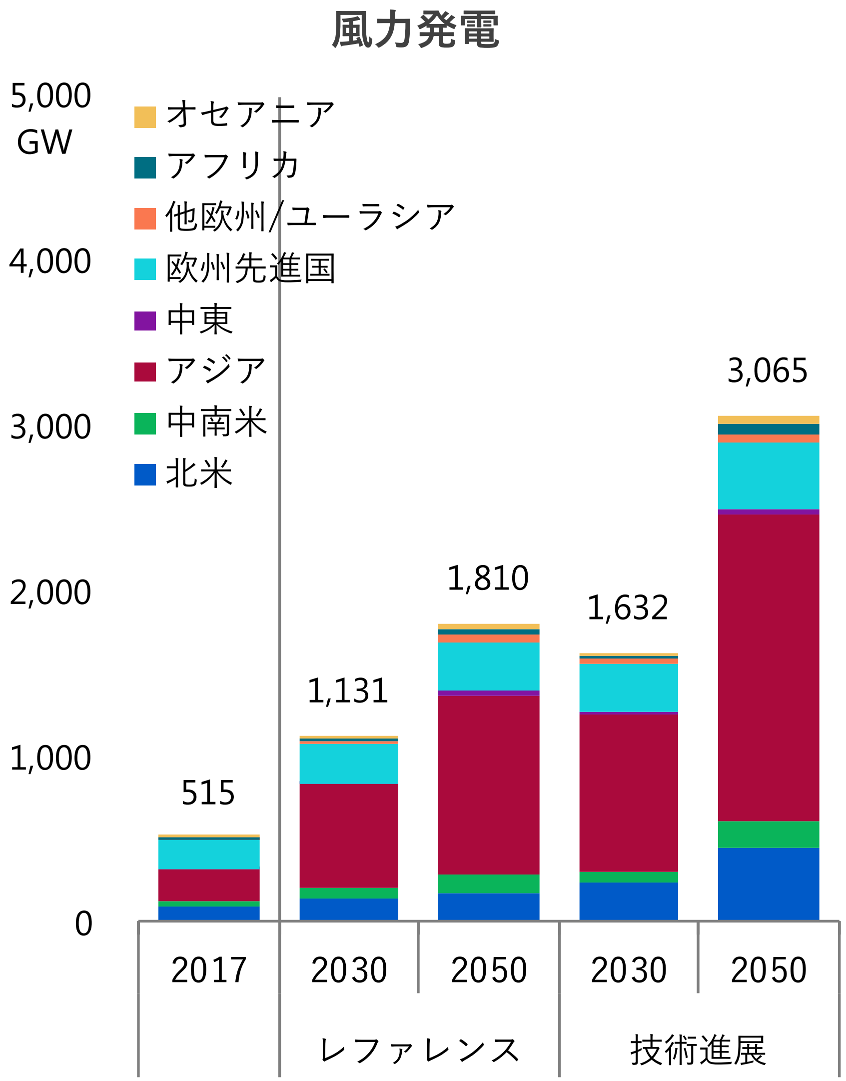
発電構成

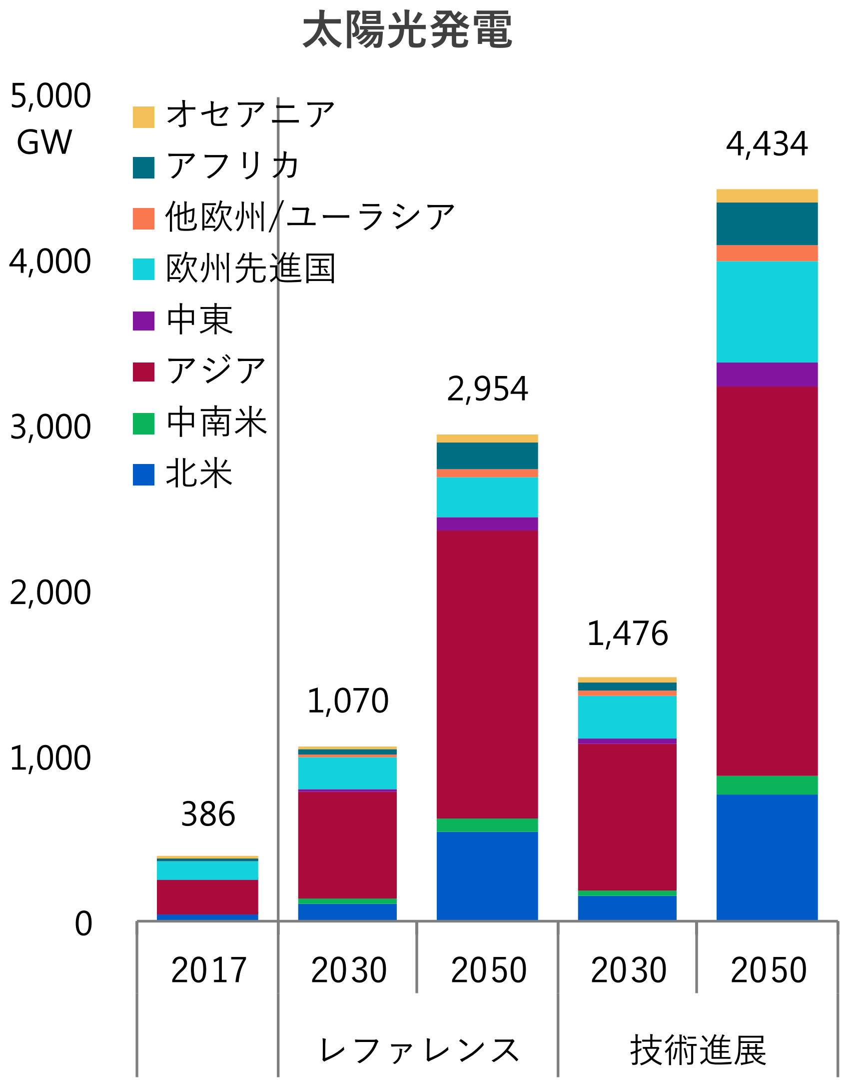




IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

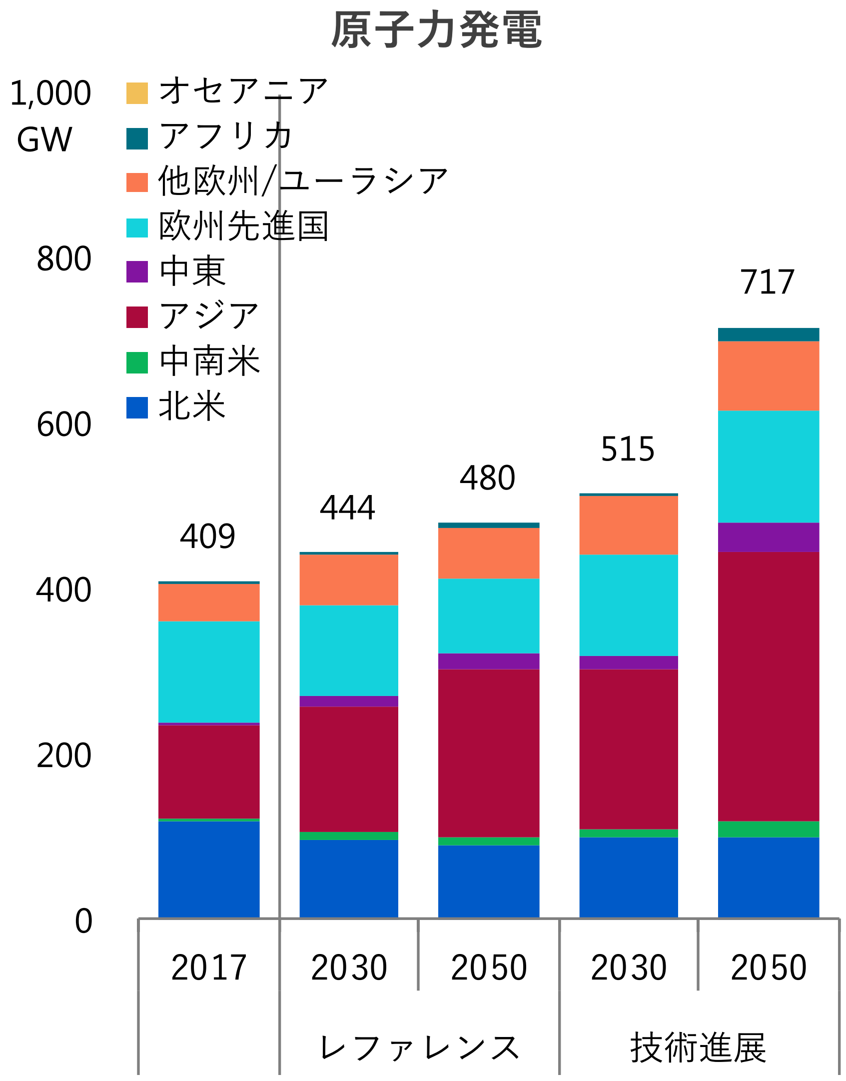
風力・太陽光発電設備容量

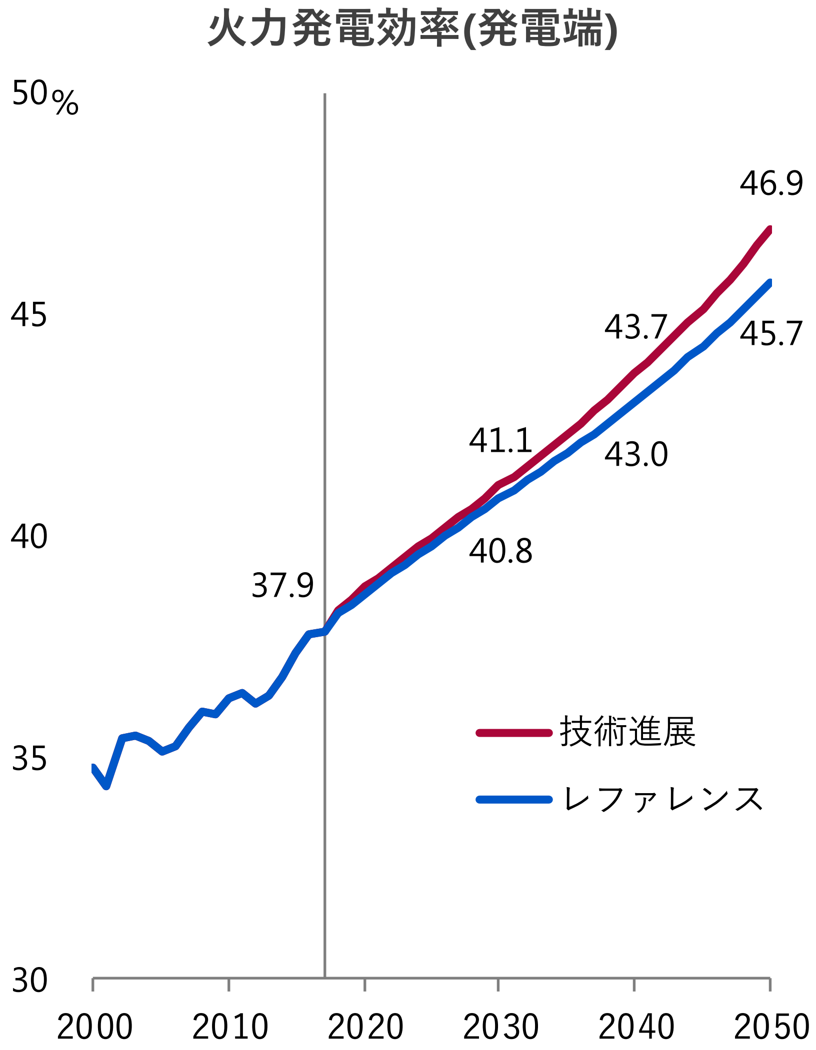




IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

原子力発電設備容量・火力発電効率

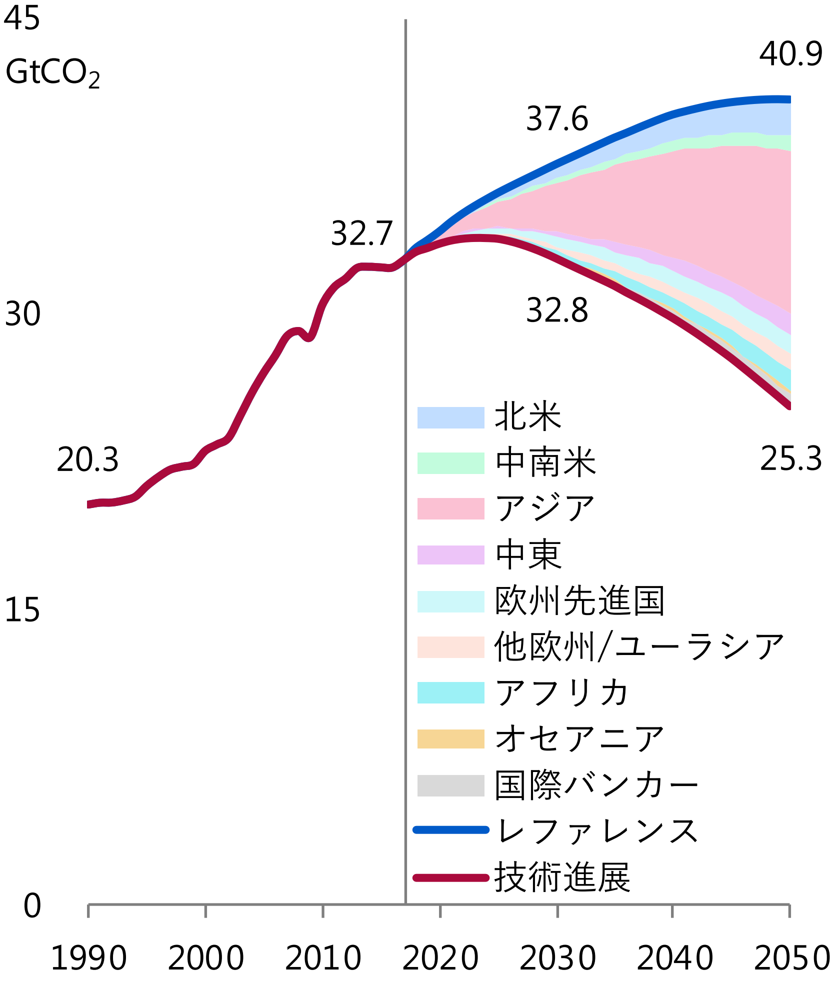




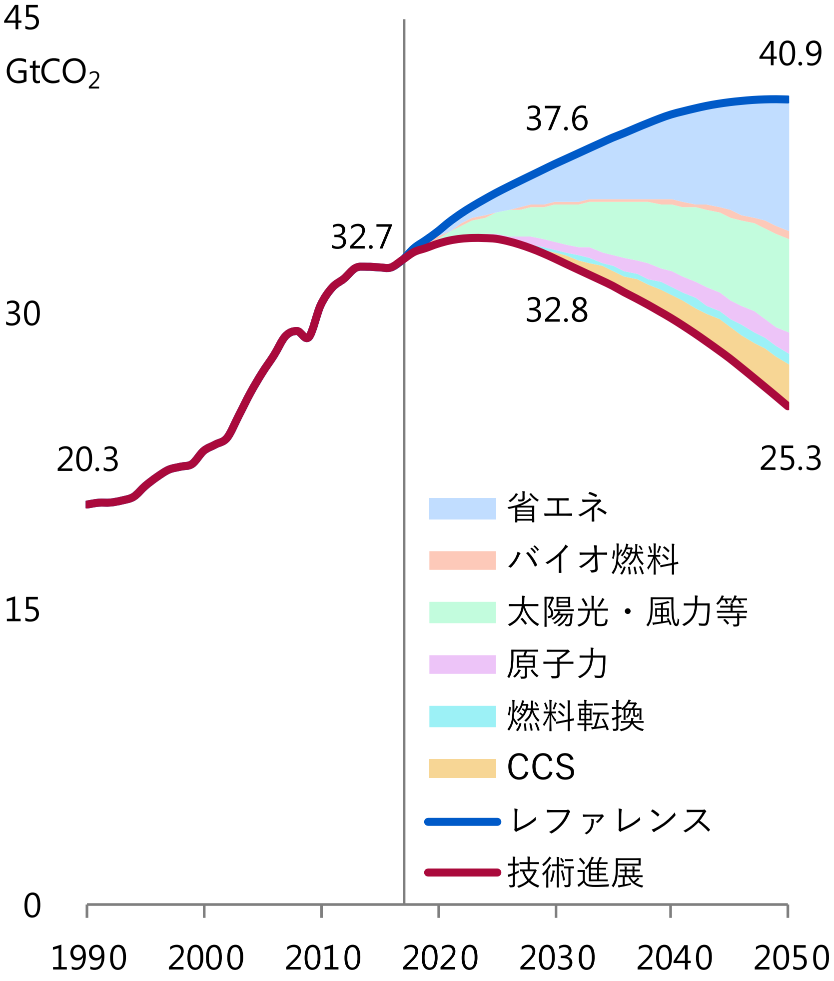
IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

CO_2排出量

国・地域別



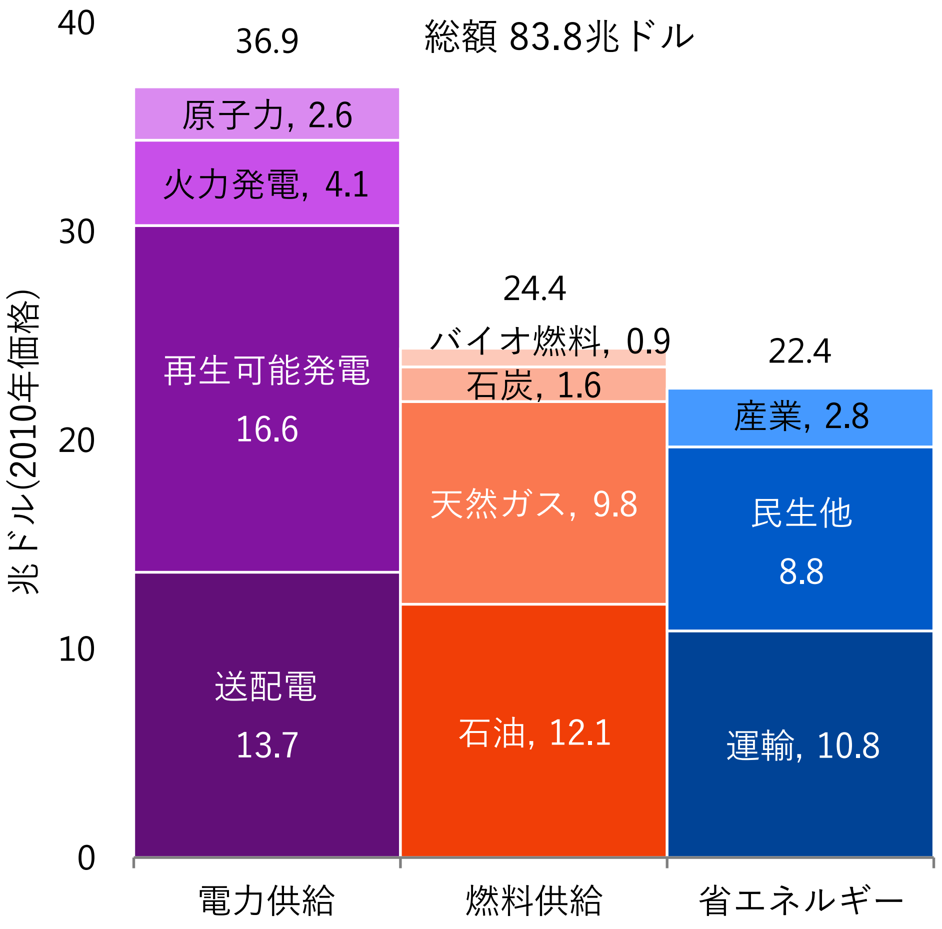
技術別



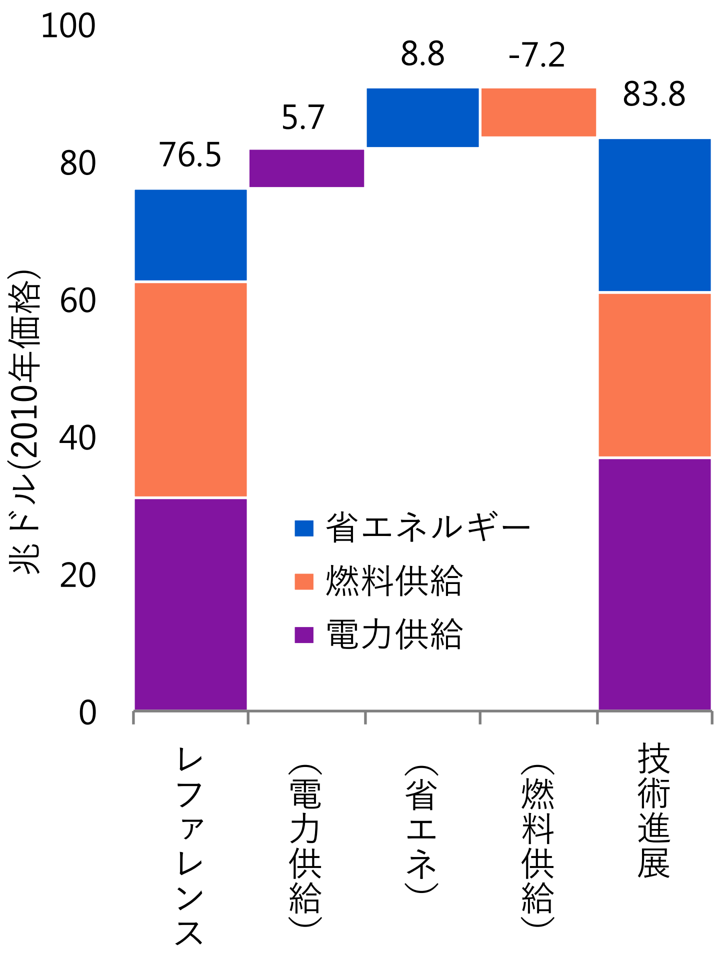
IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

エネルギー関連投資額 （2018年～2050年 累積投資額）

部門別投資額



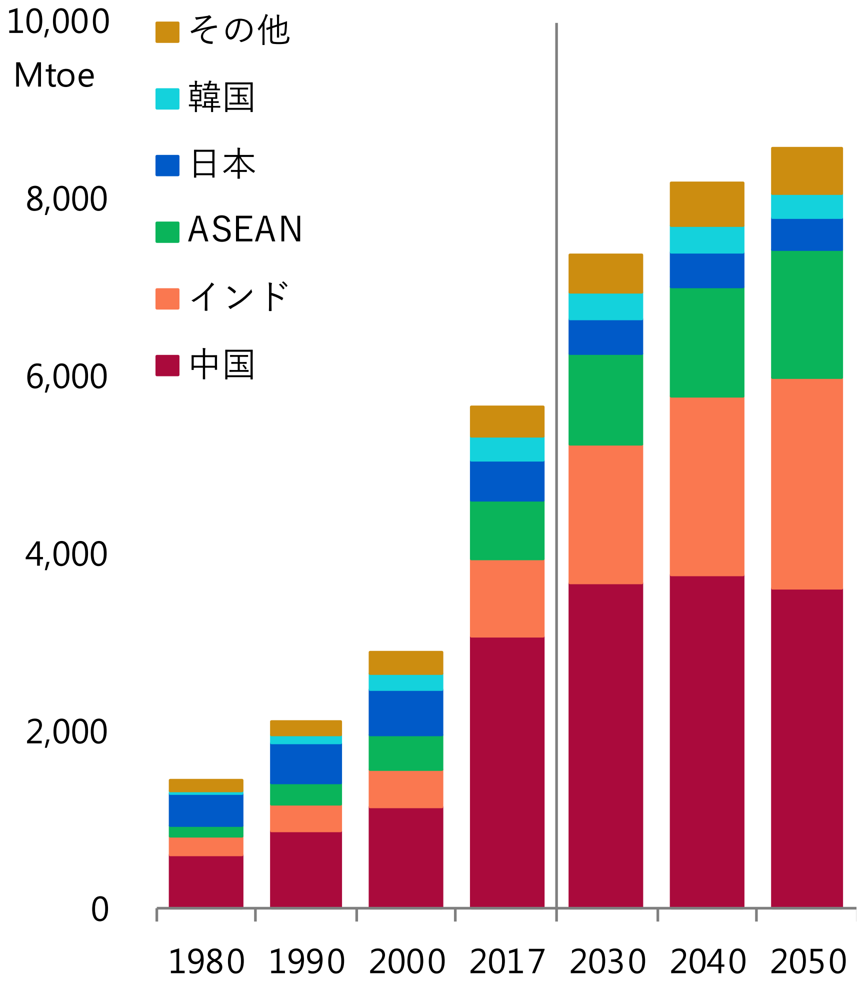
レファレンスシナリオとの比較



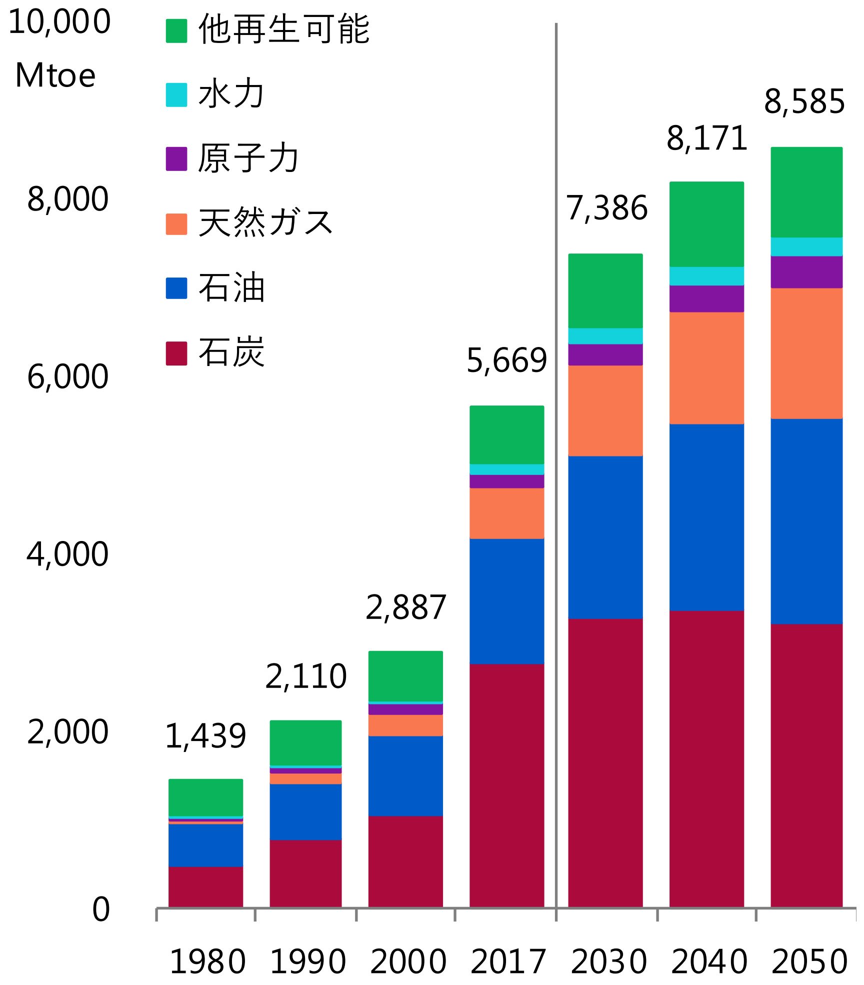
IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

一次エネルギー消費

地域別



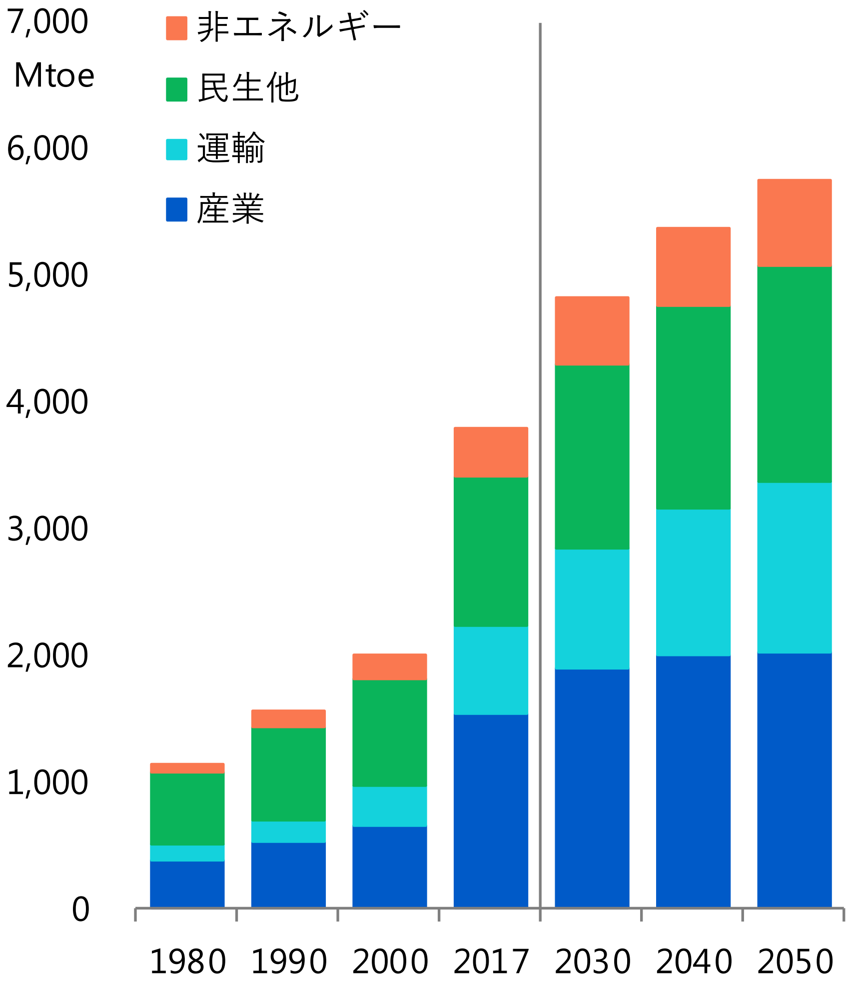
エネルギー源別



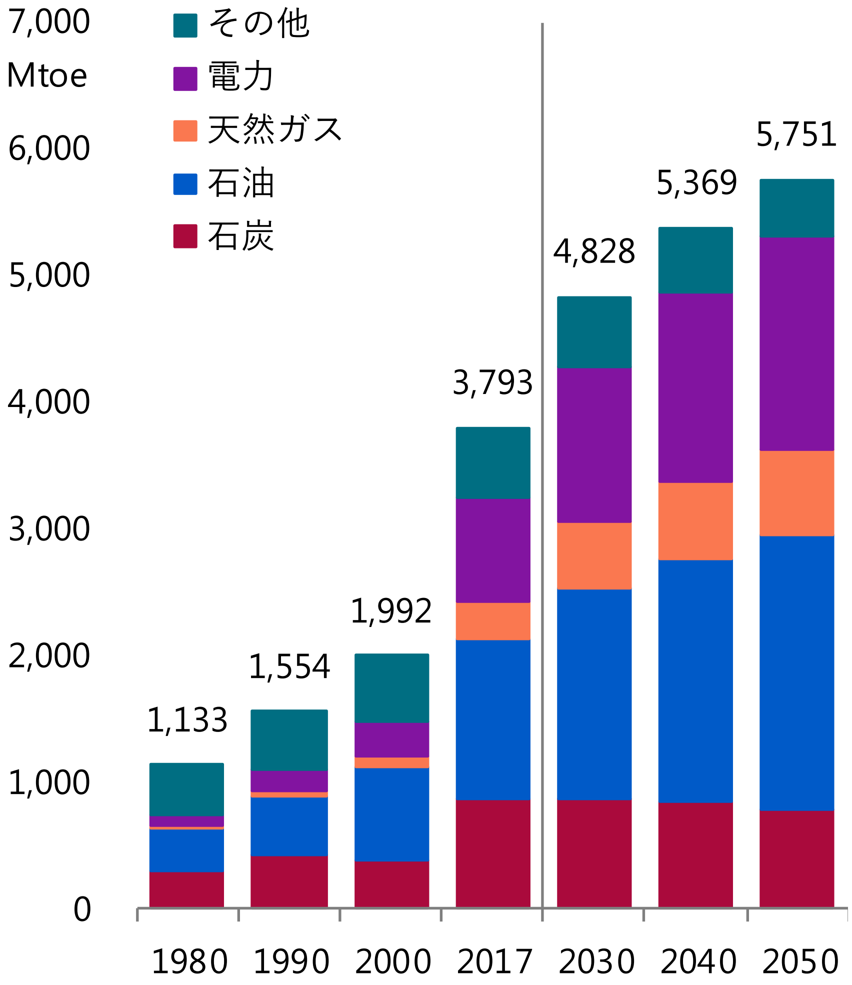
IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

最終エネルギー消費

部門別



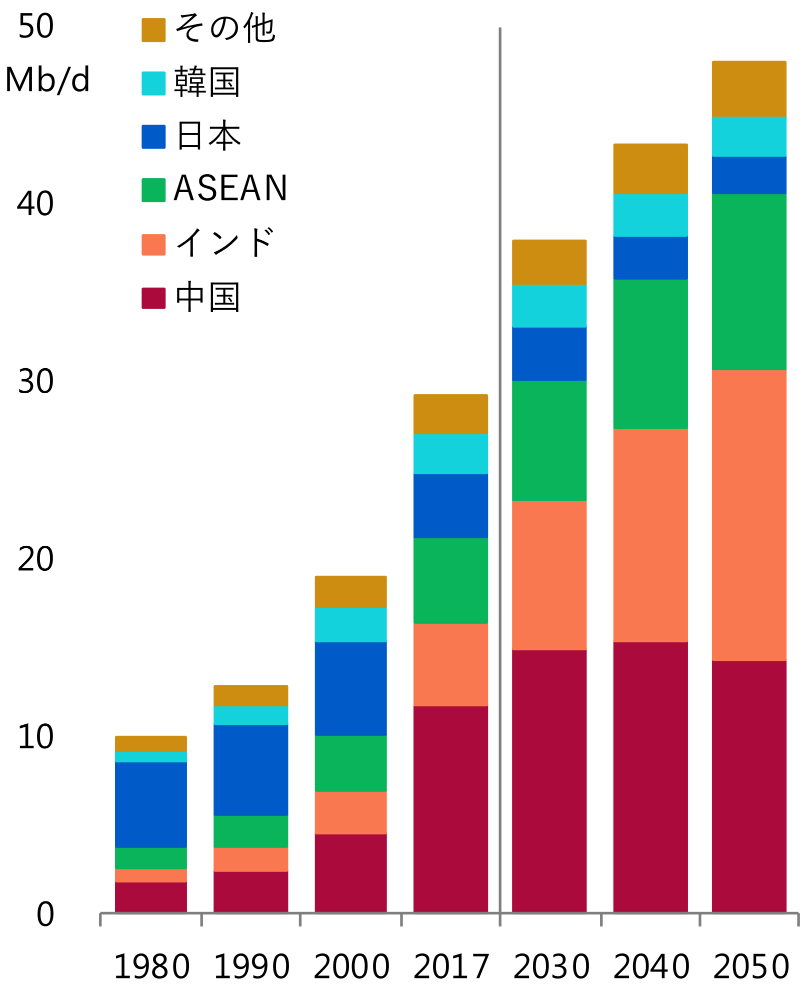
エネルギー別



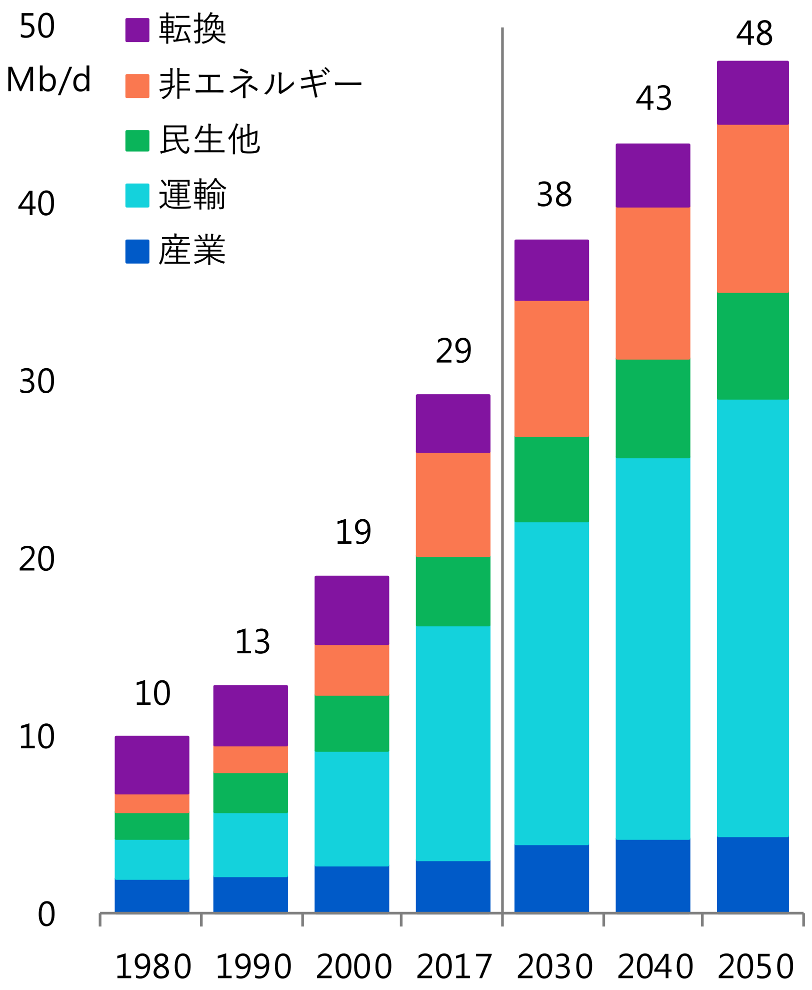
IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

石油消費

地域別

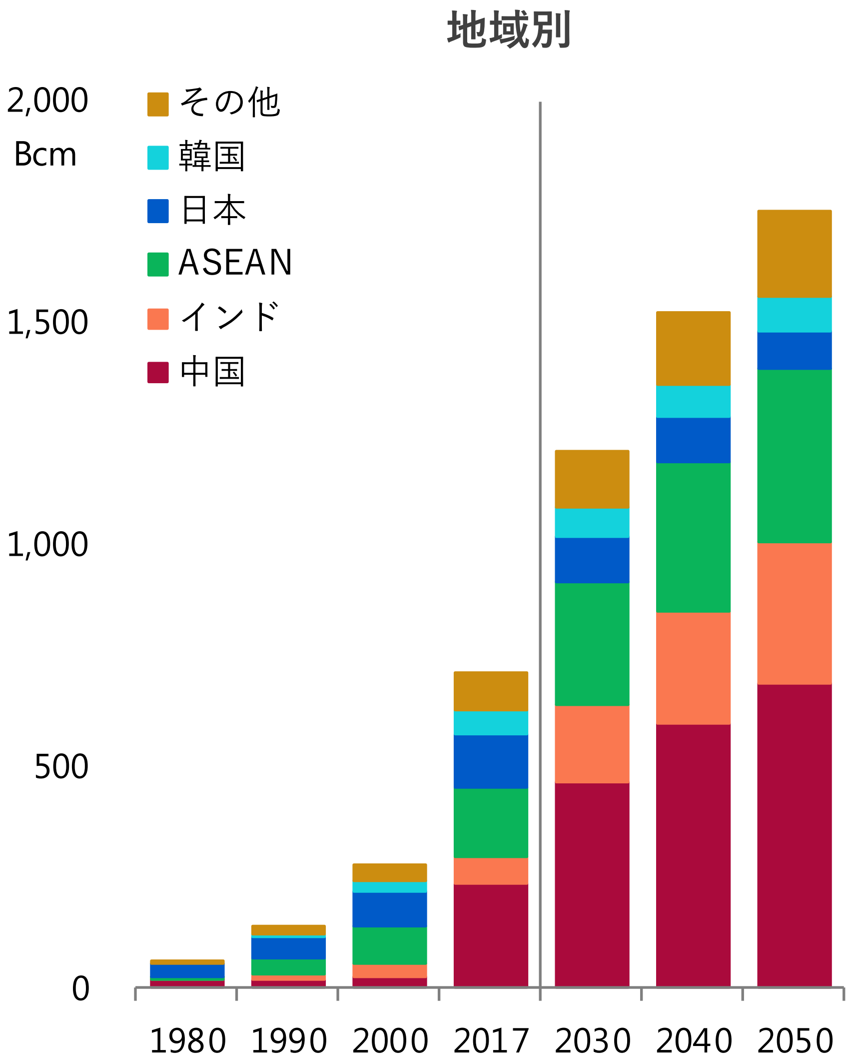


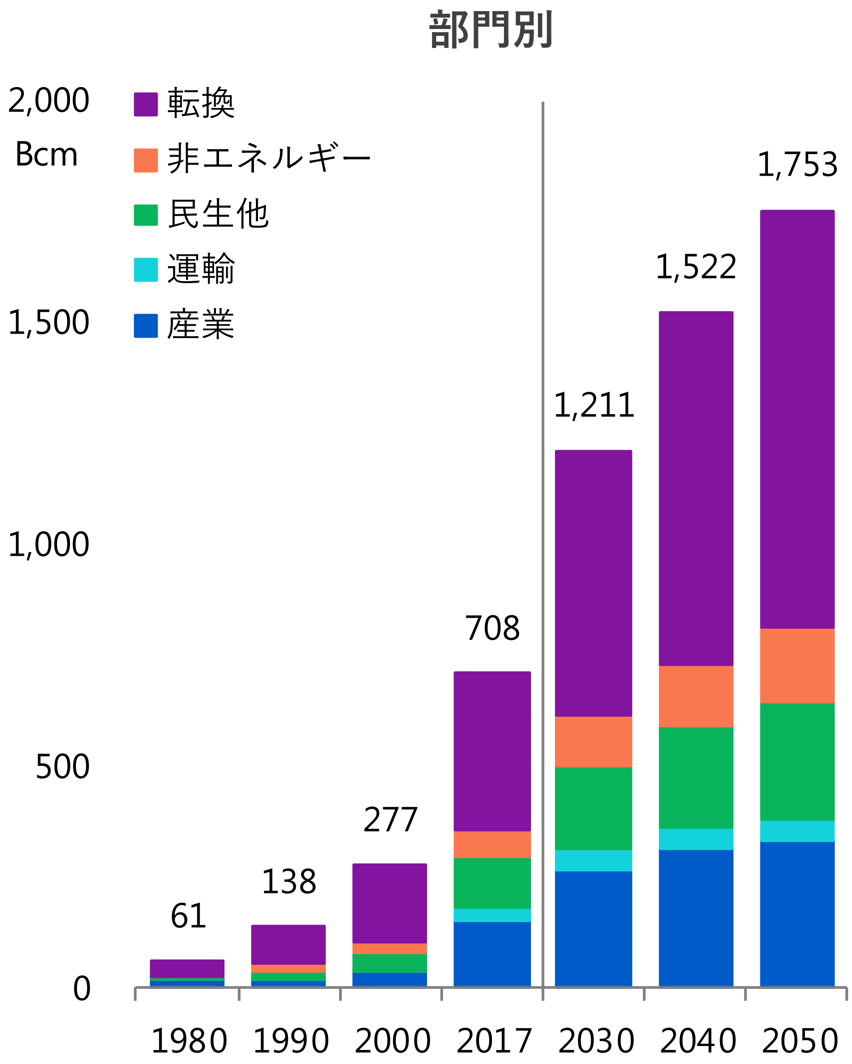
部門別



IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

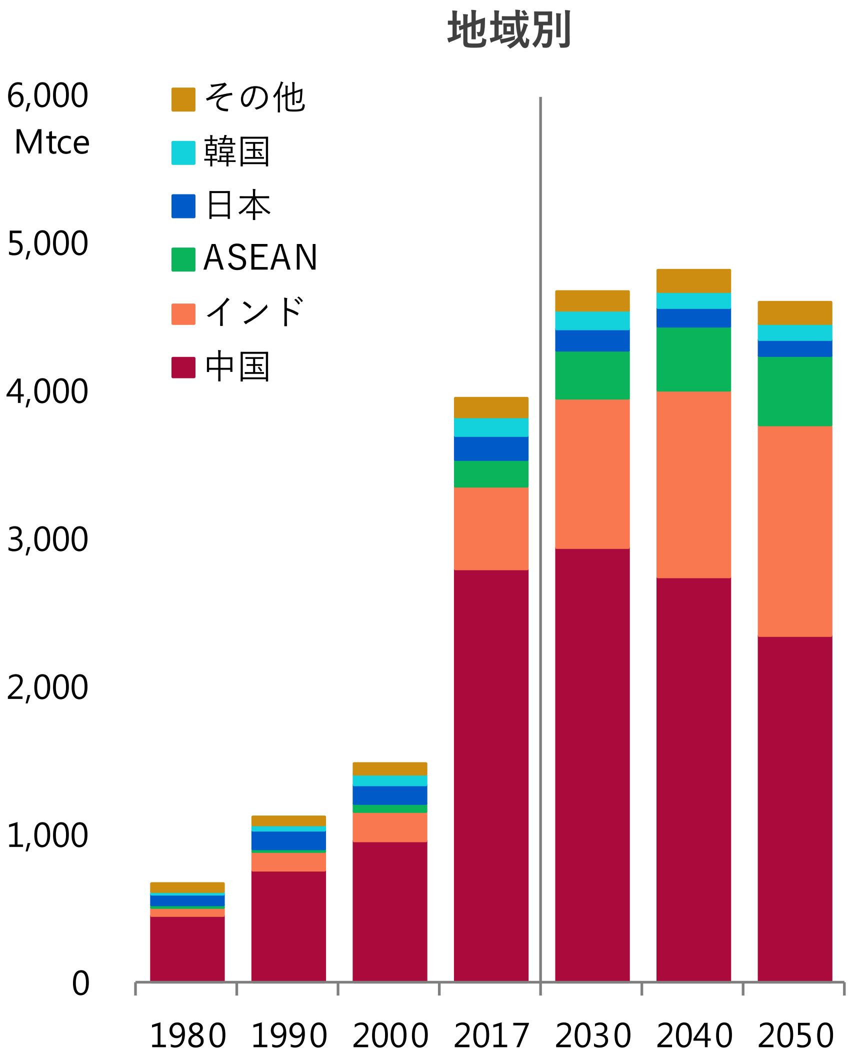
天然ガス消費

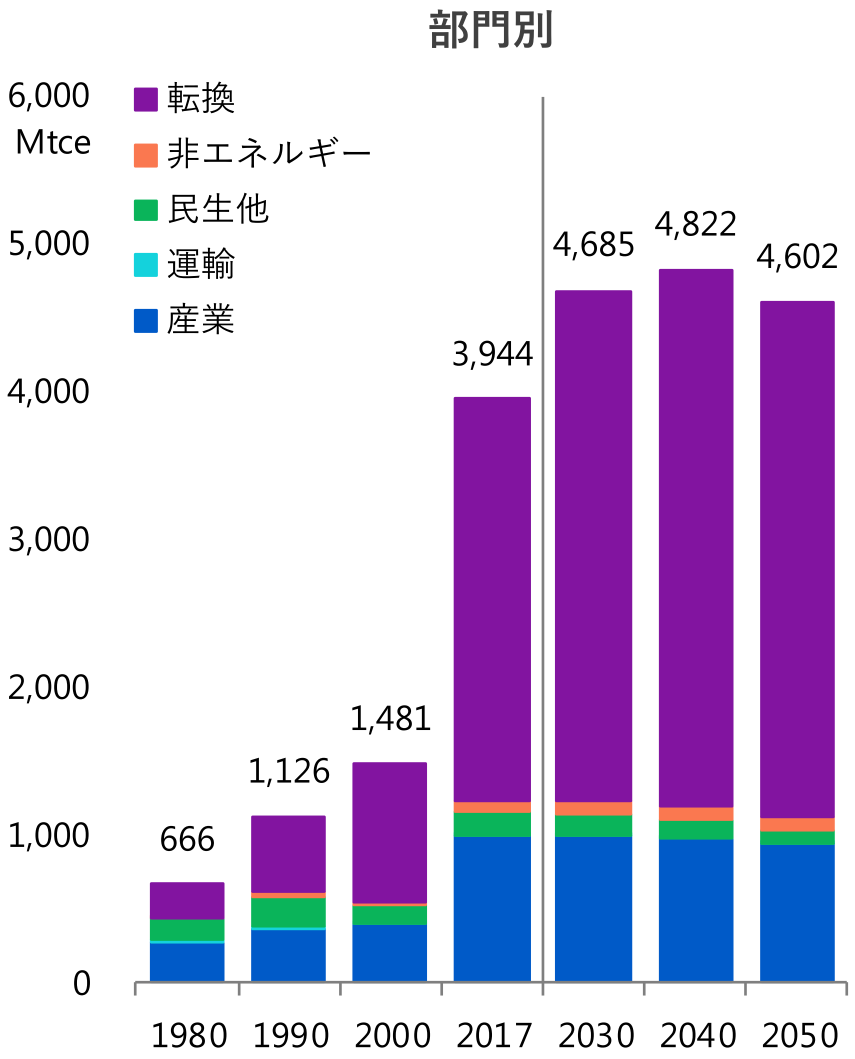




IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

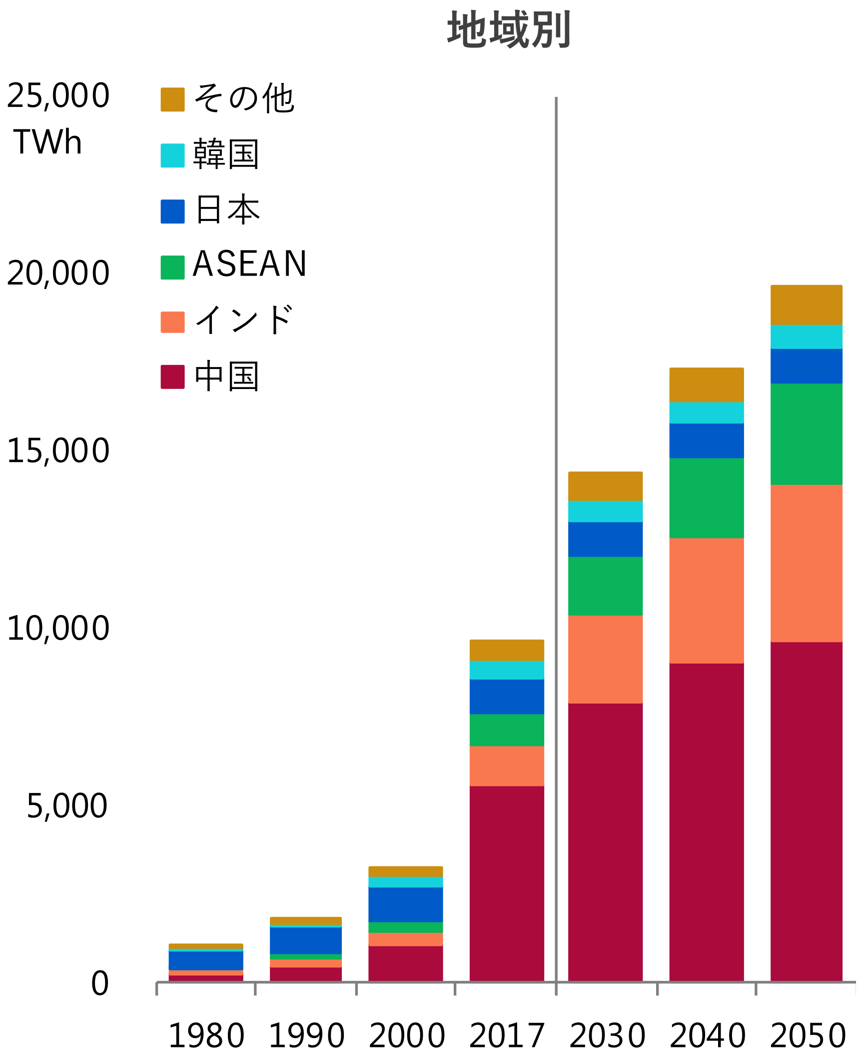
石炭消費

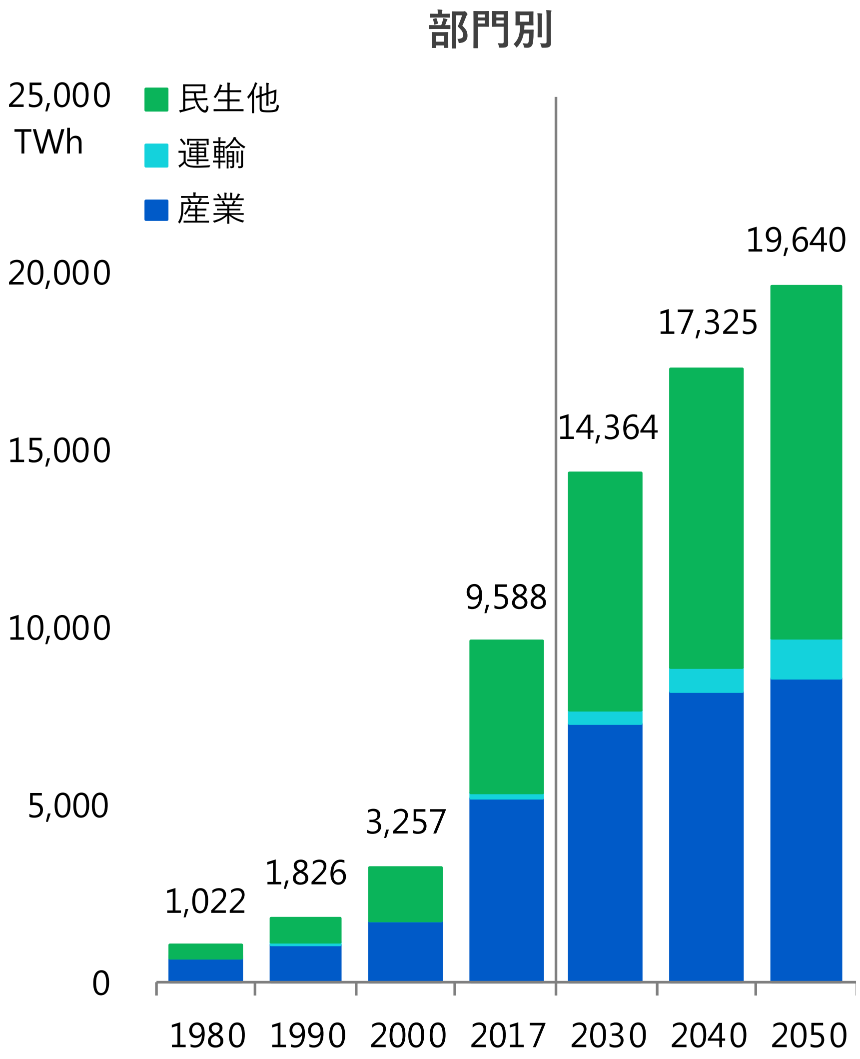




IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

電力最終消費

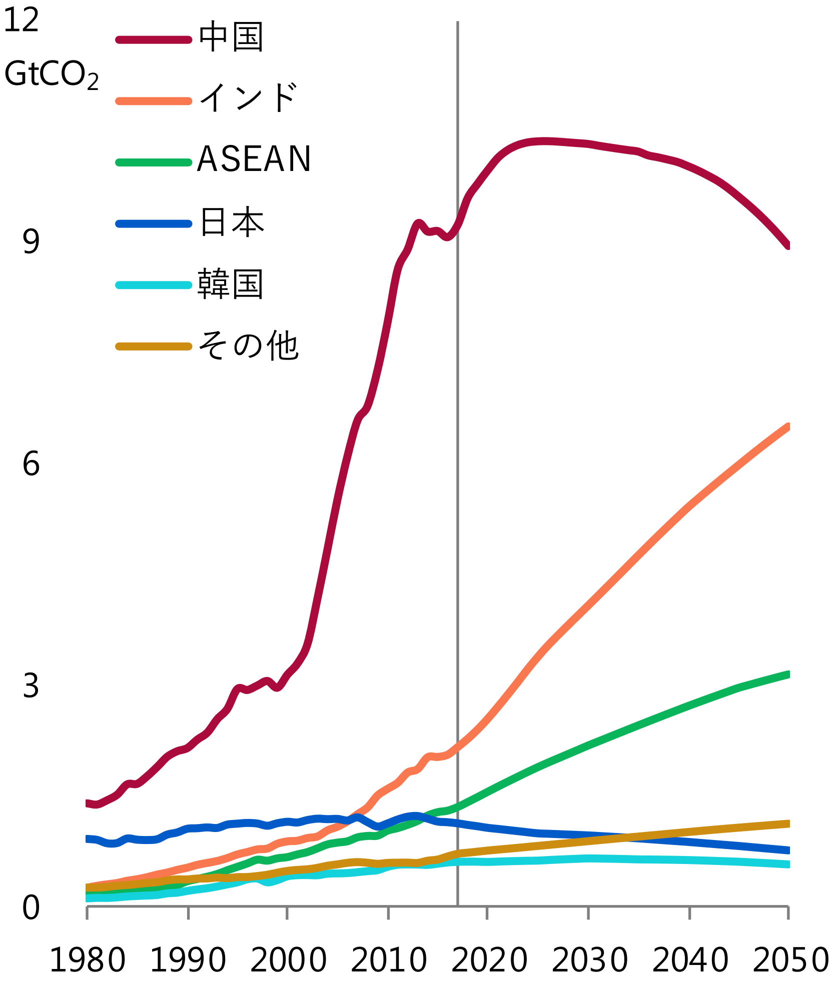




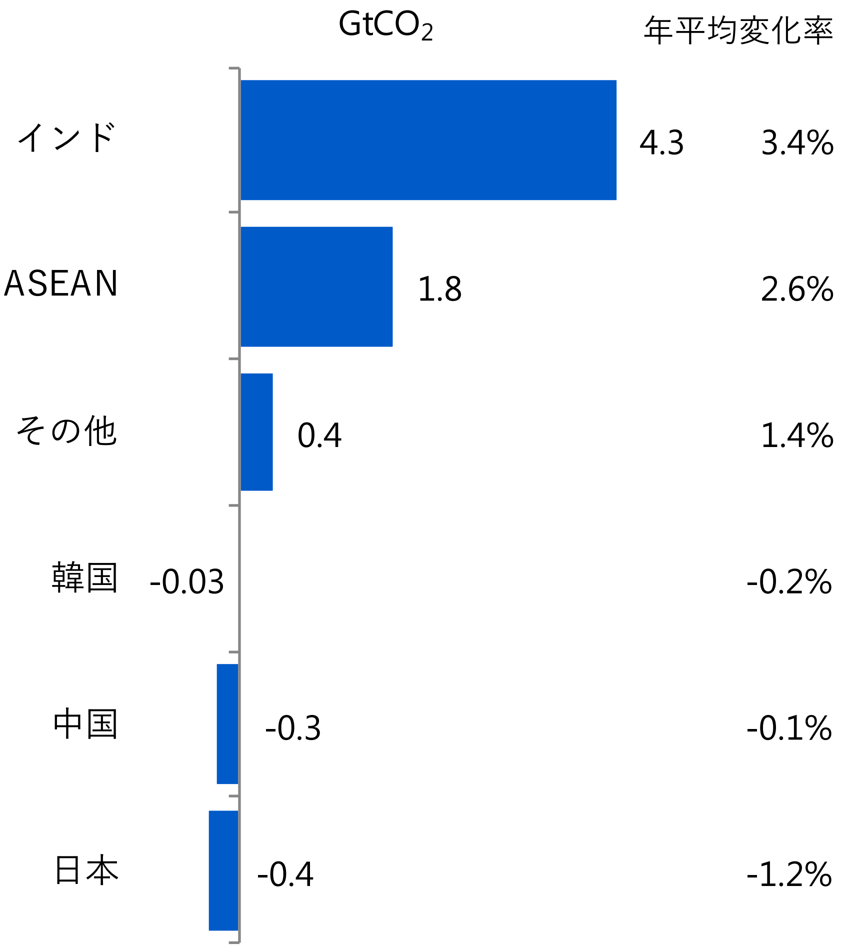
IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

CO_2排出量

エネルギー起源CO_2排出量



増減分(2017-2050年)



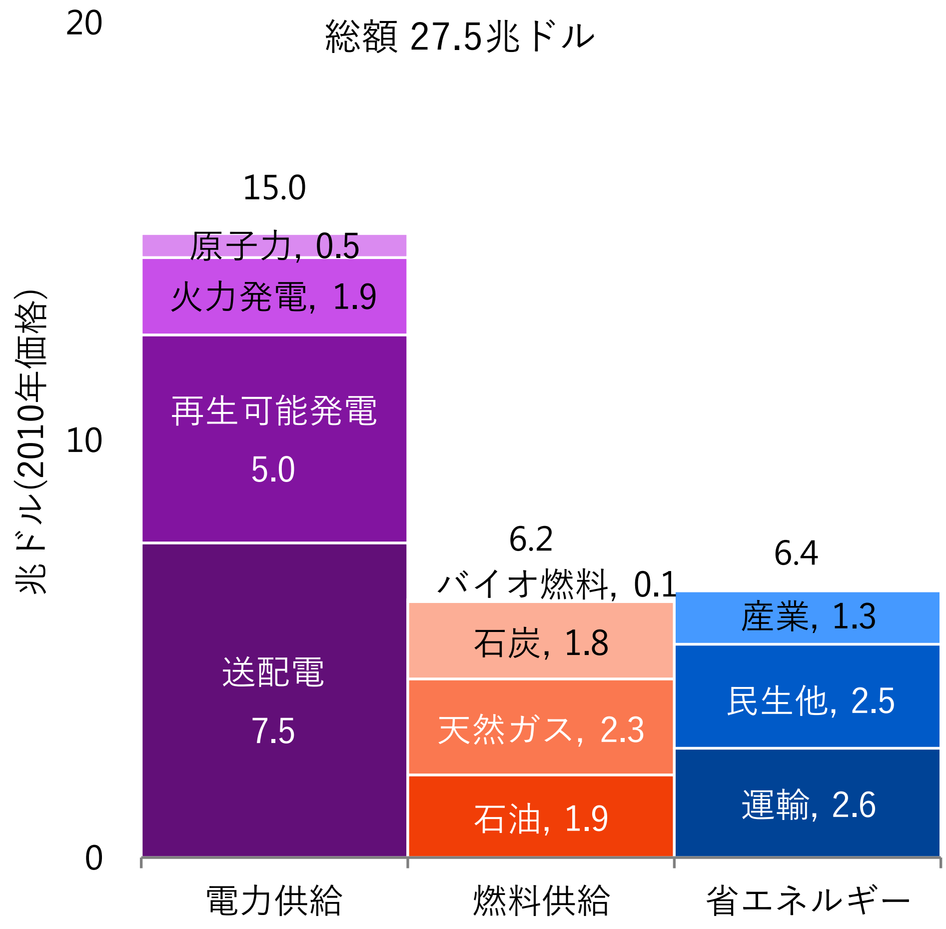
アジア　レファレンスシナリオ

IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

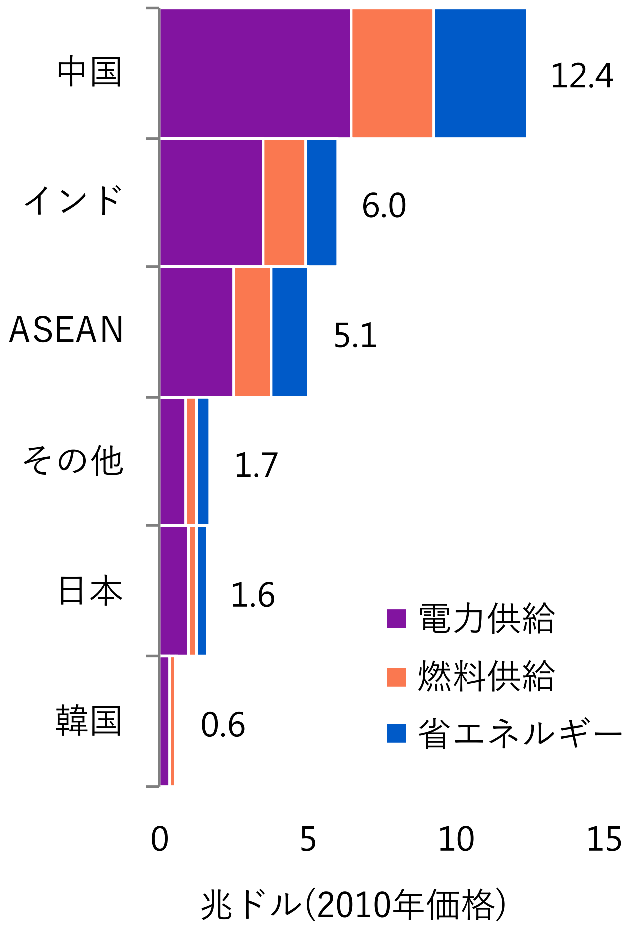
エネルギー関連投資額

（2018年～2050年 累積投資額）

部門別



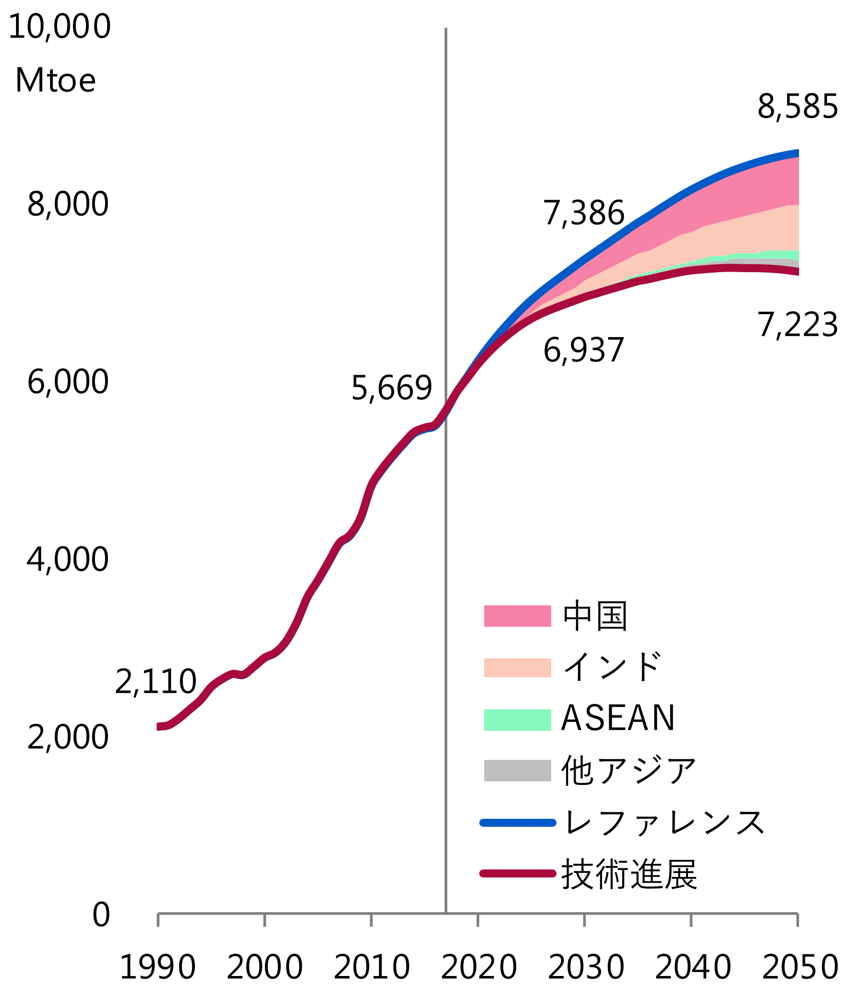
地域別



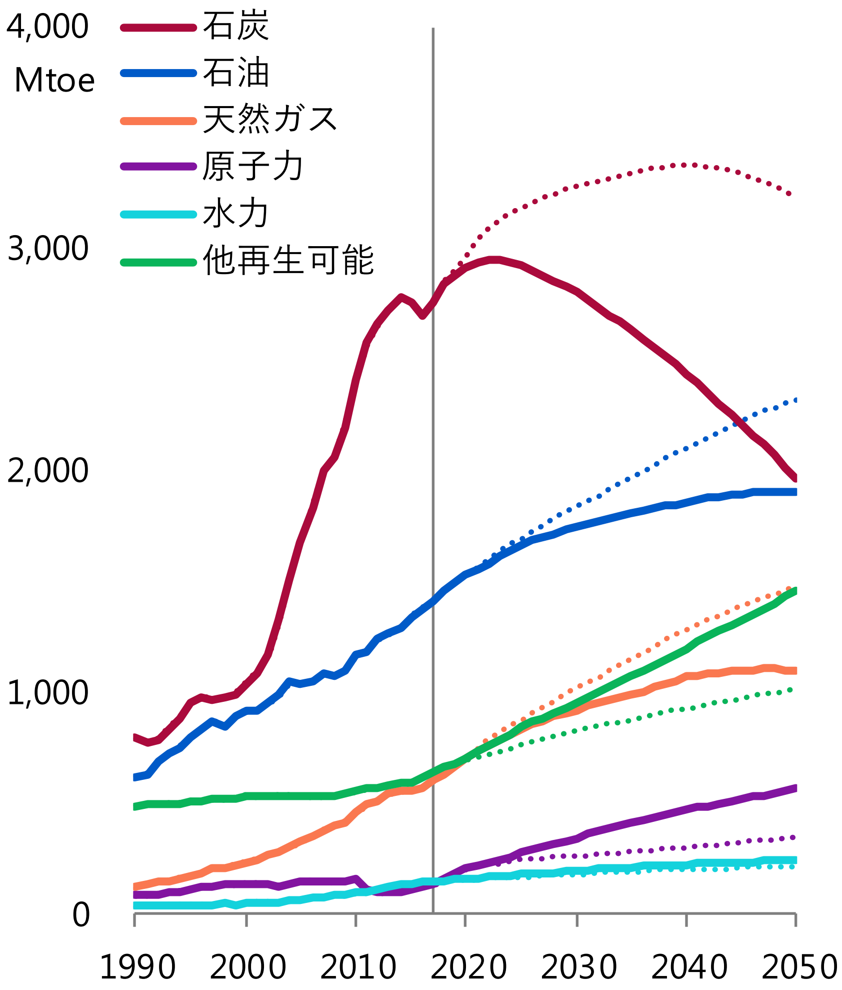
IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

一次エネルギー消費

国・地域別



エネルギー源別

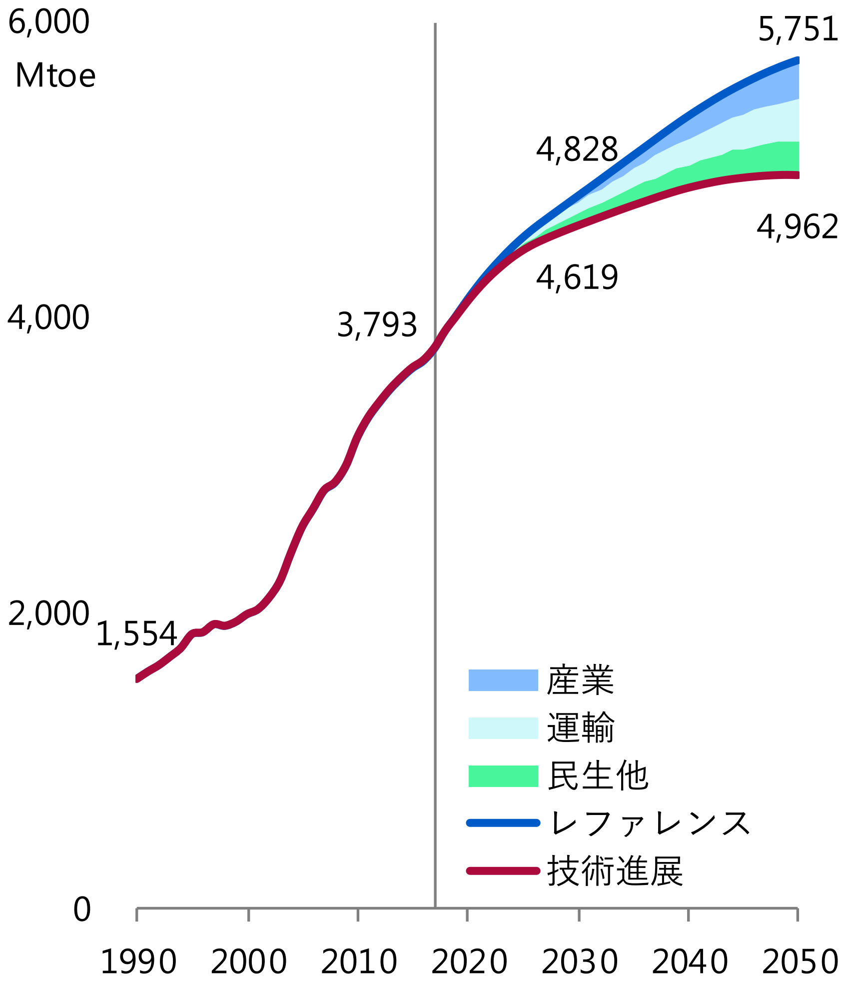


(注)実線：技術進展、破線：レファレンス

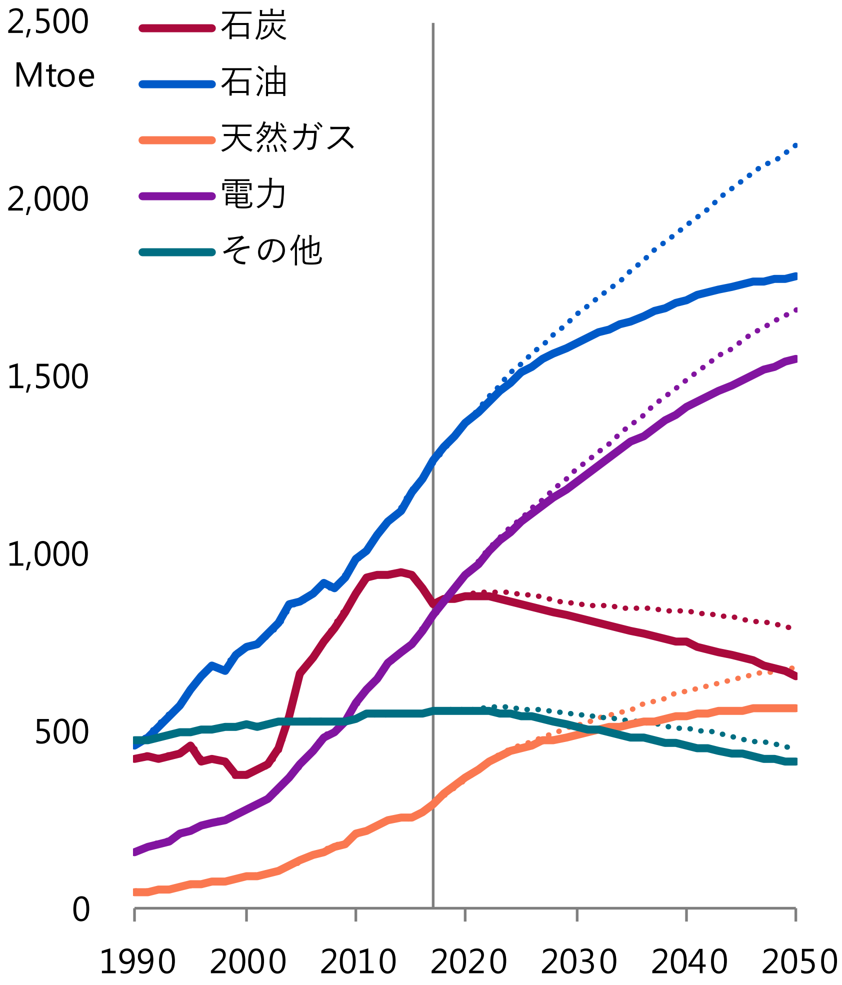
IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

最終エネルギー消費

部門別



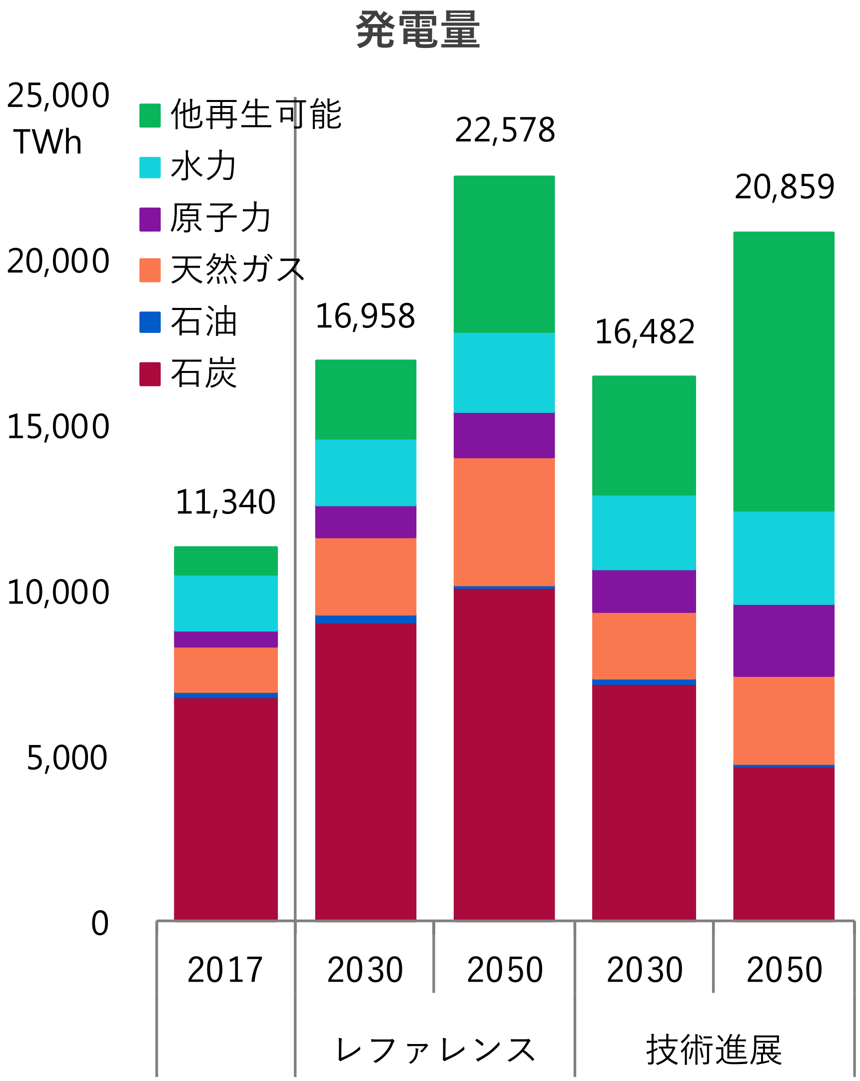
エネルギー源別

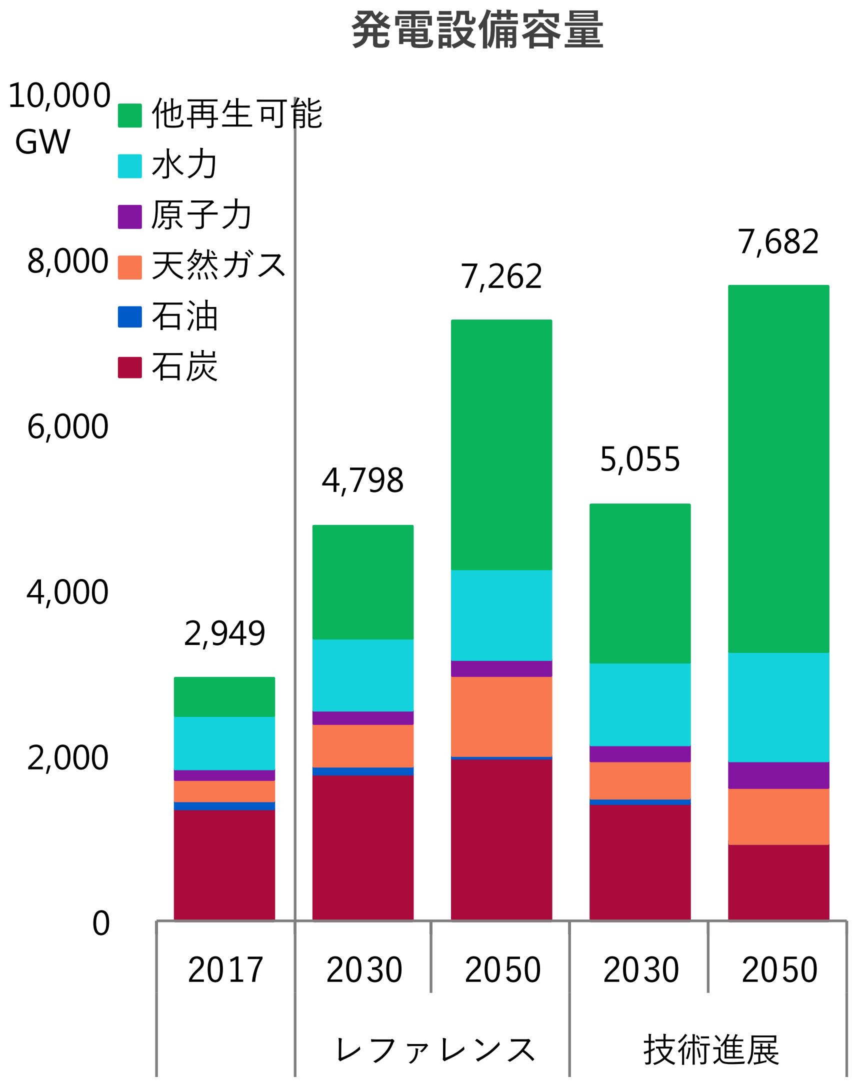


(注)実線：技術進展、破線：レファレンス

IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

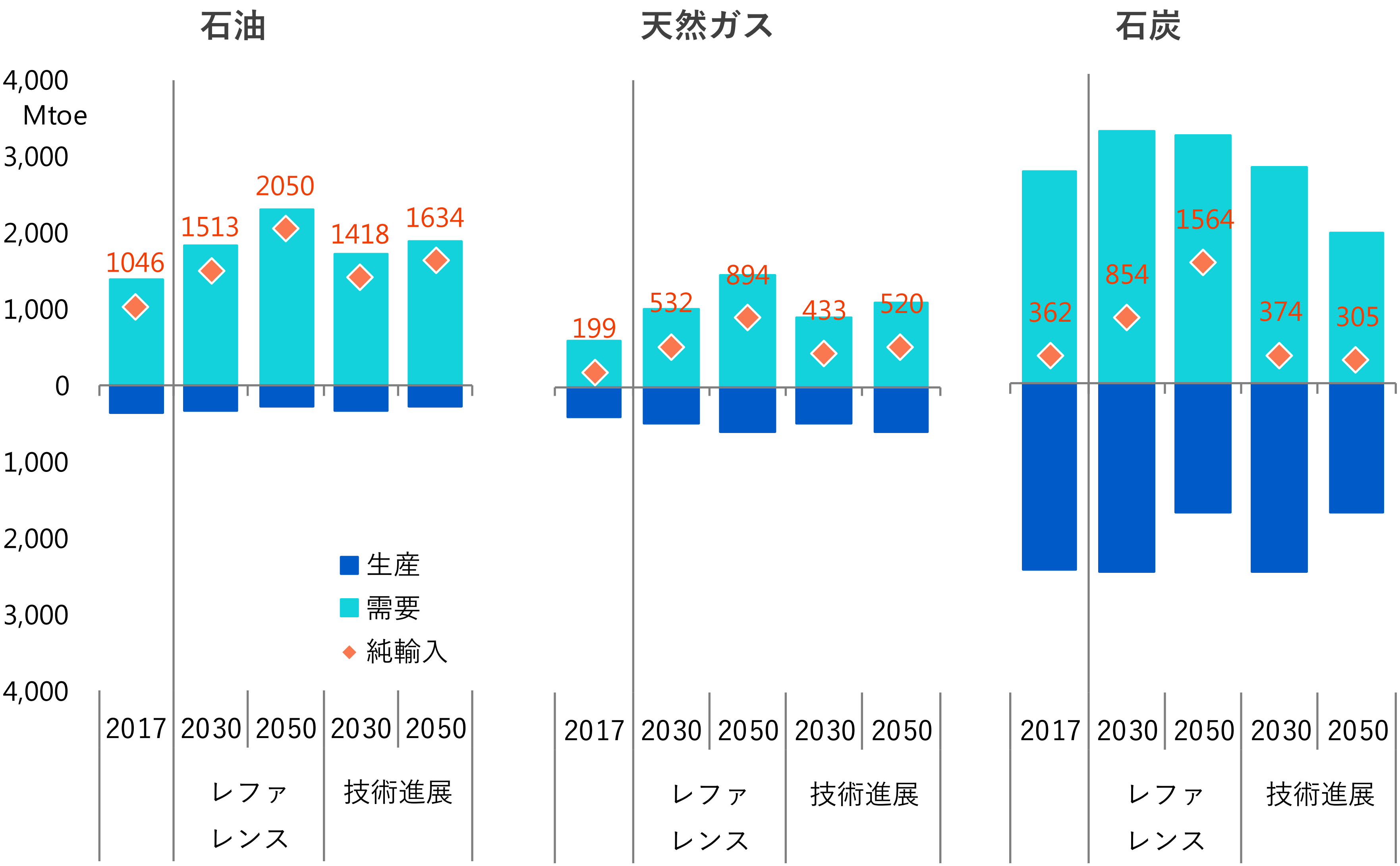
発電構成





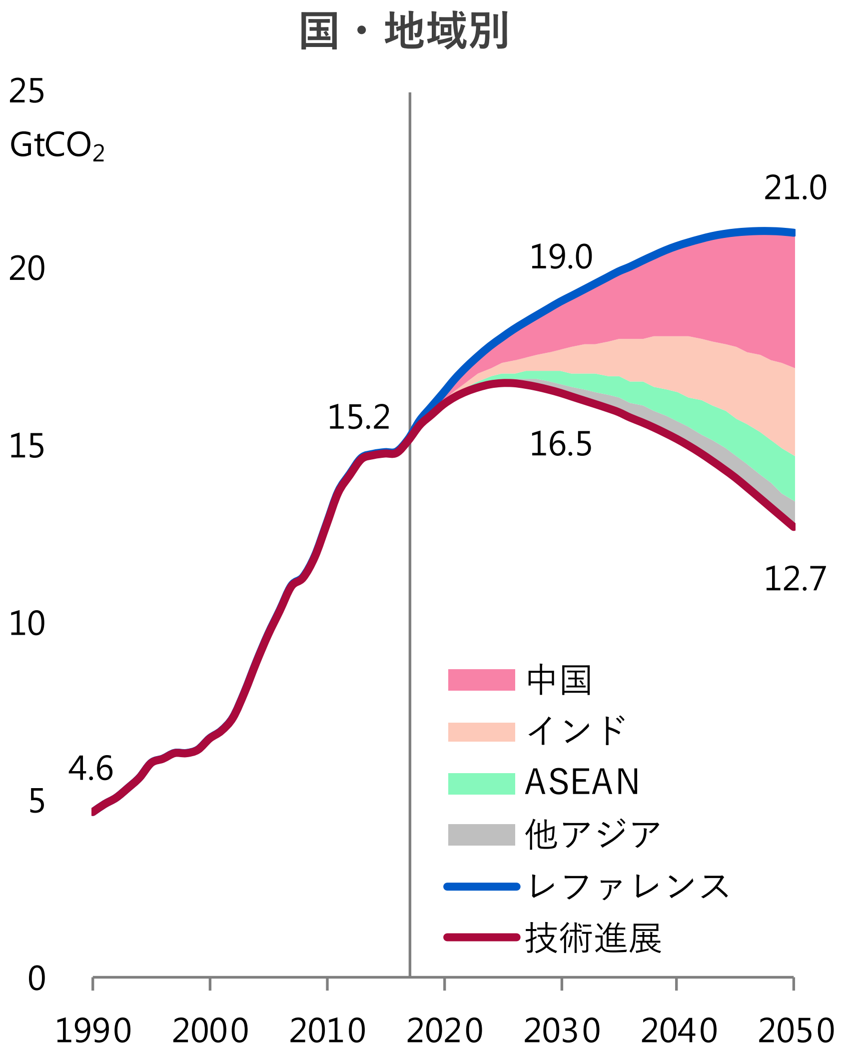
IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

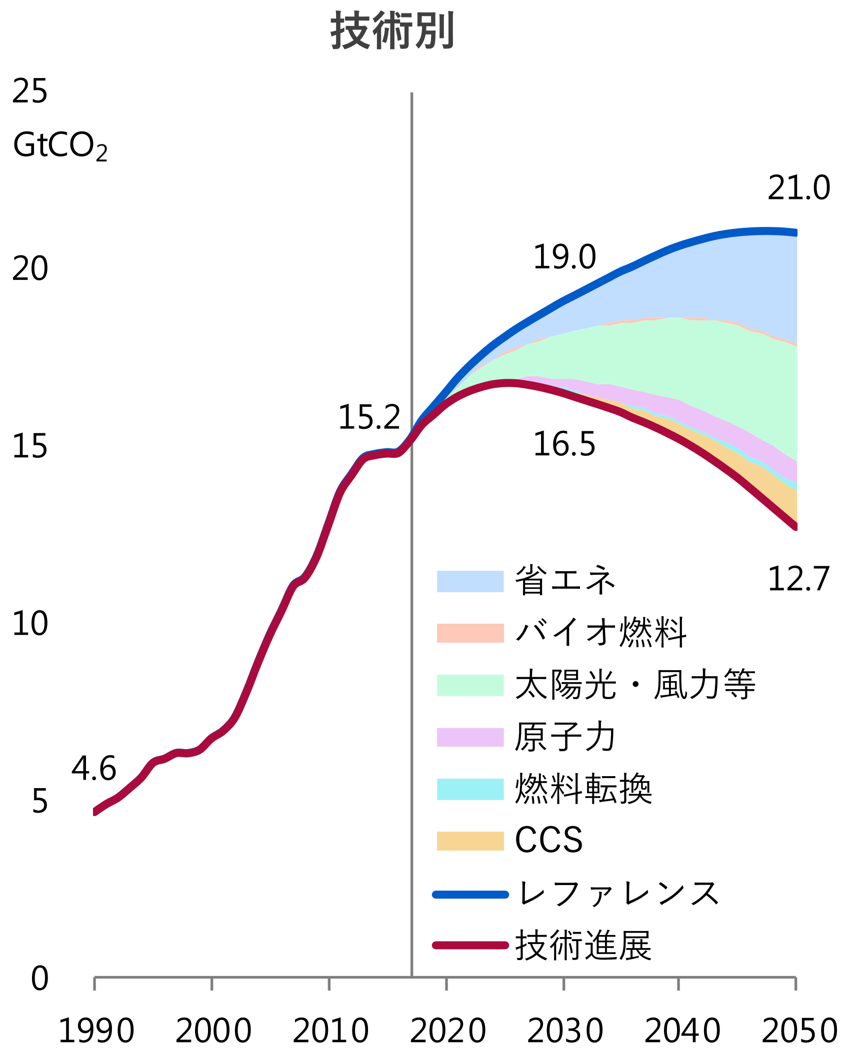
化石燃料需給バランス



IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

CO_2排出量

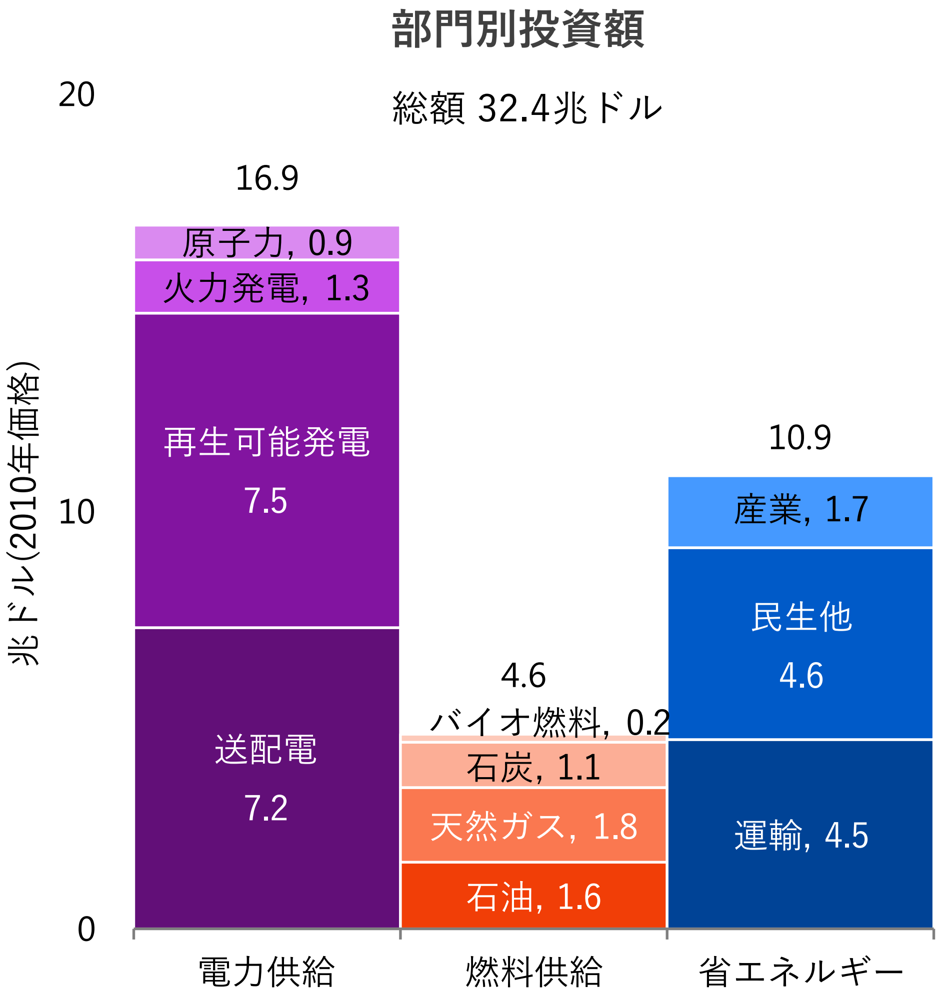


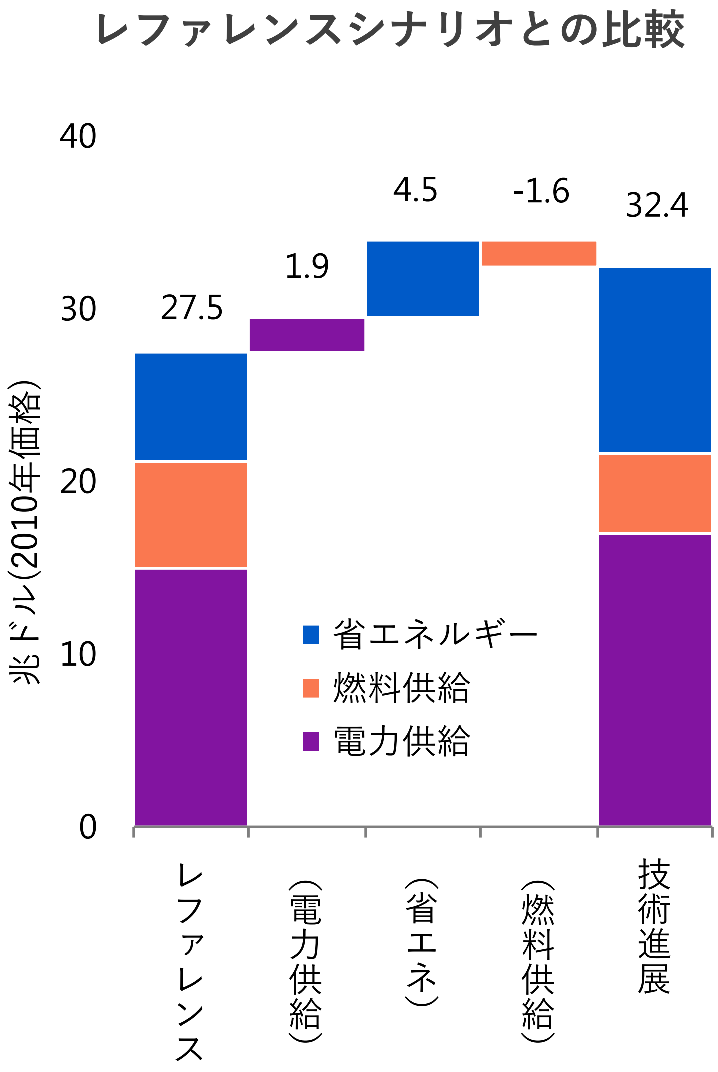


アジア　技術進展シナリオ

IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

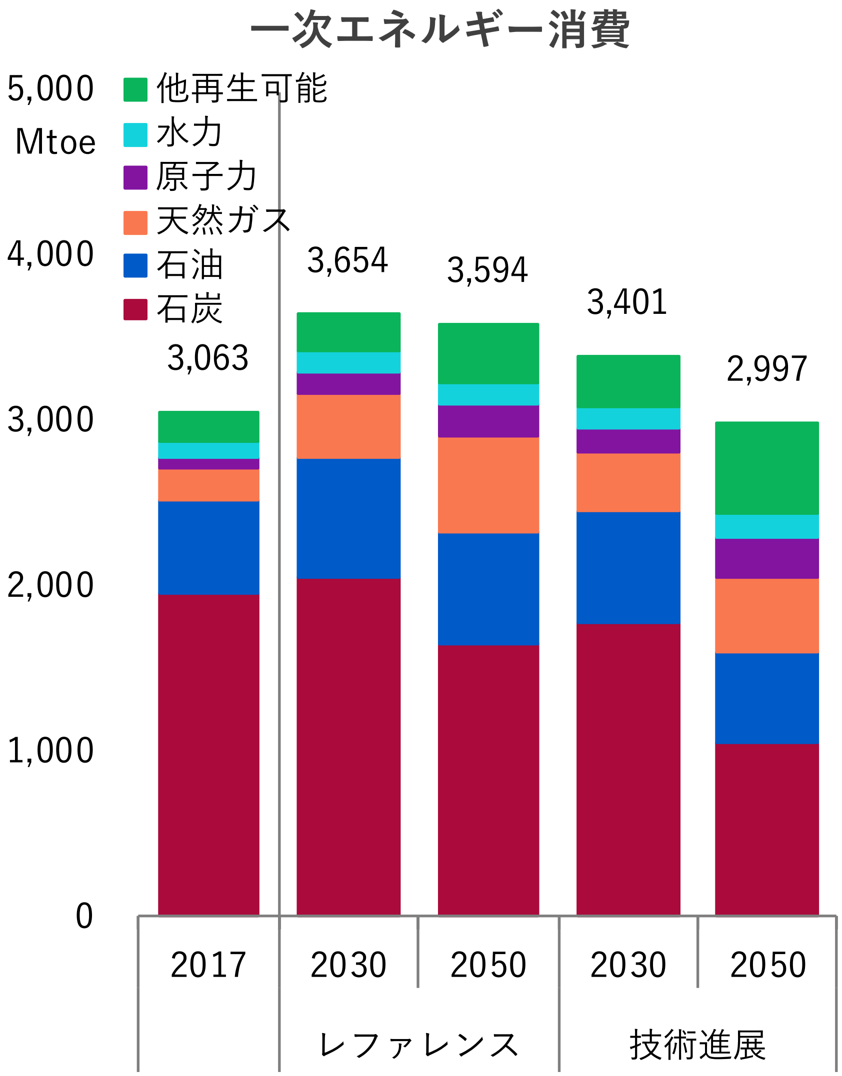
エネルギー関連投資額（2018年～2050年）

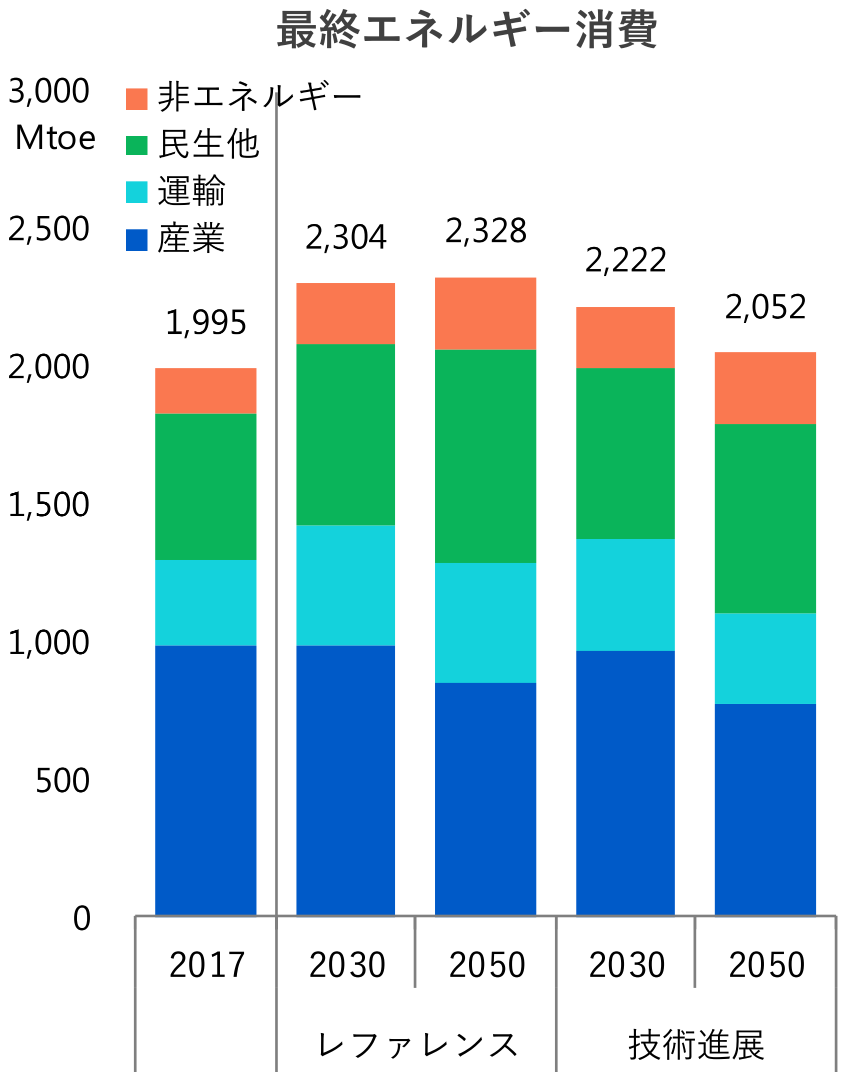




IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

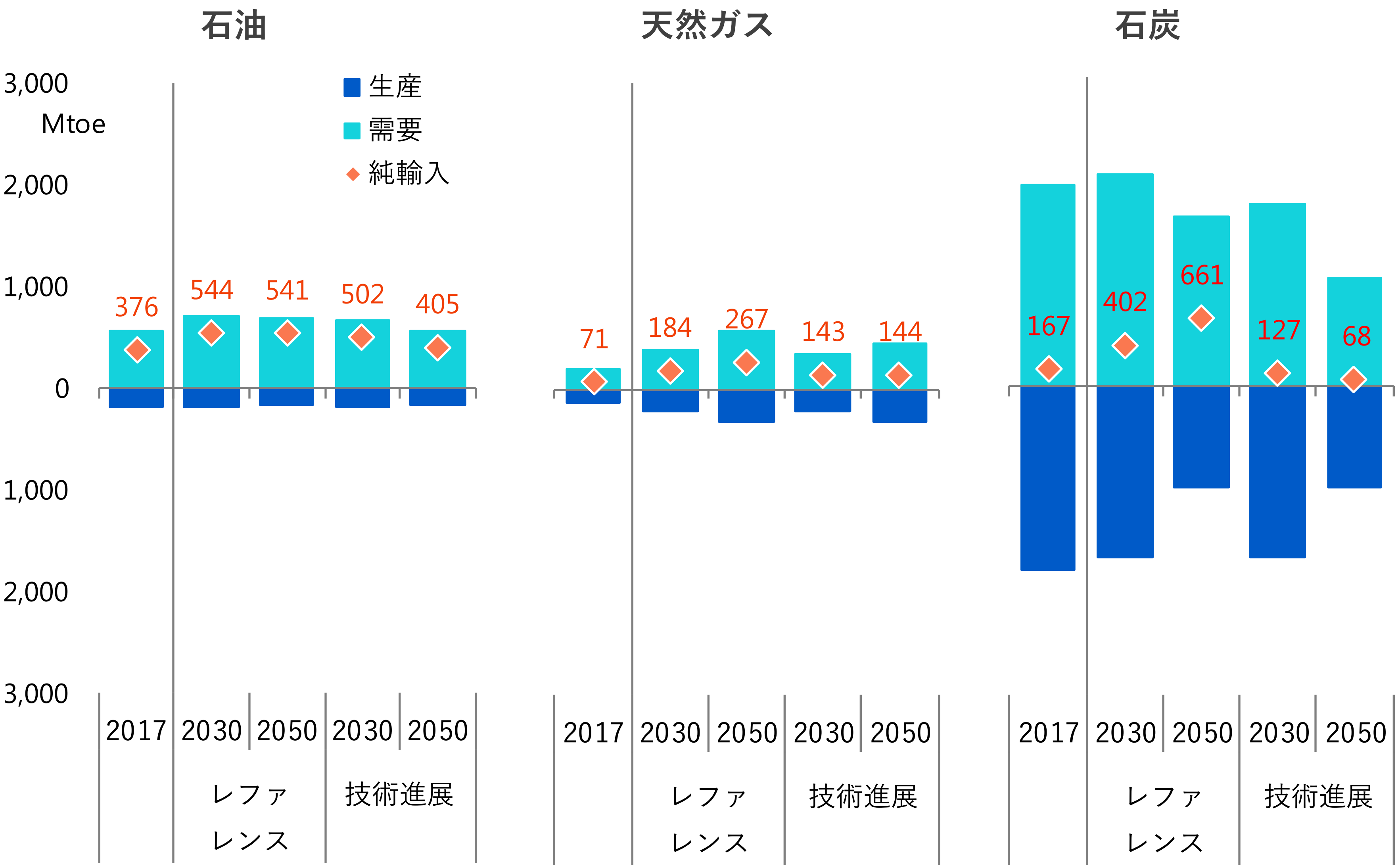
エネルギー消費





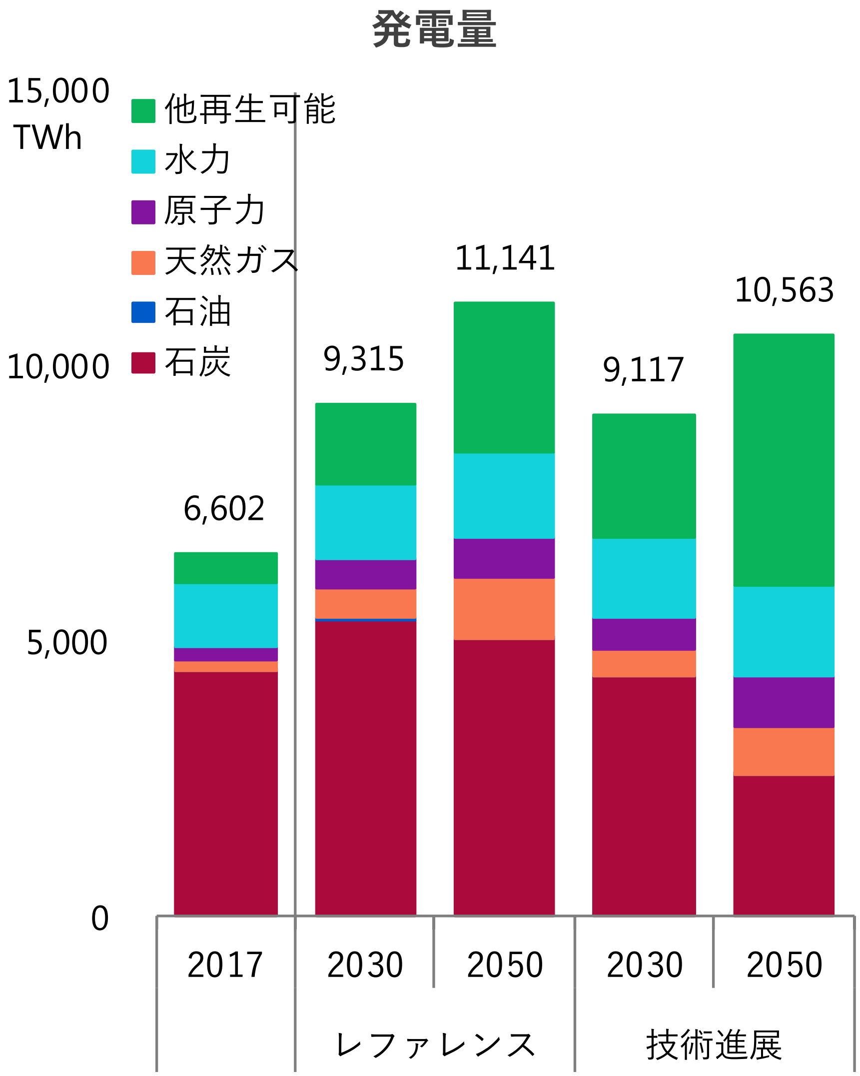
IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

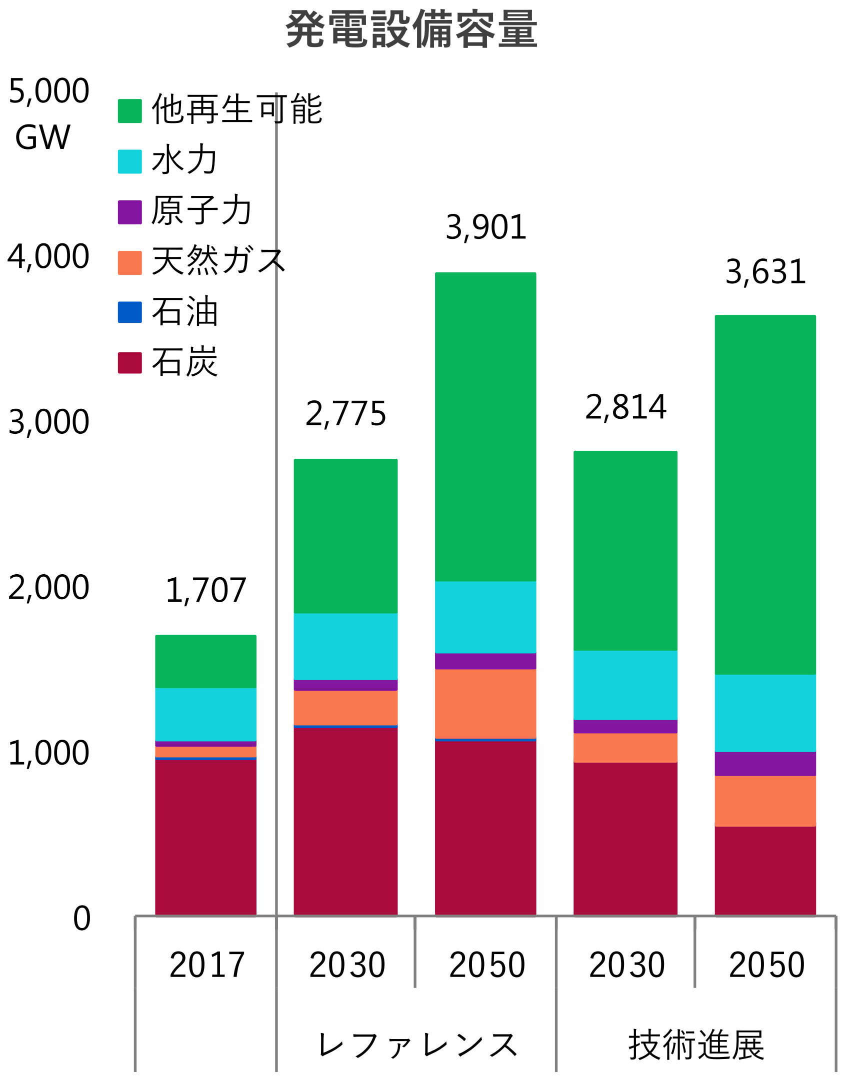
化石燃料需給バランス



IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

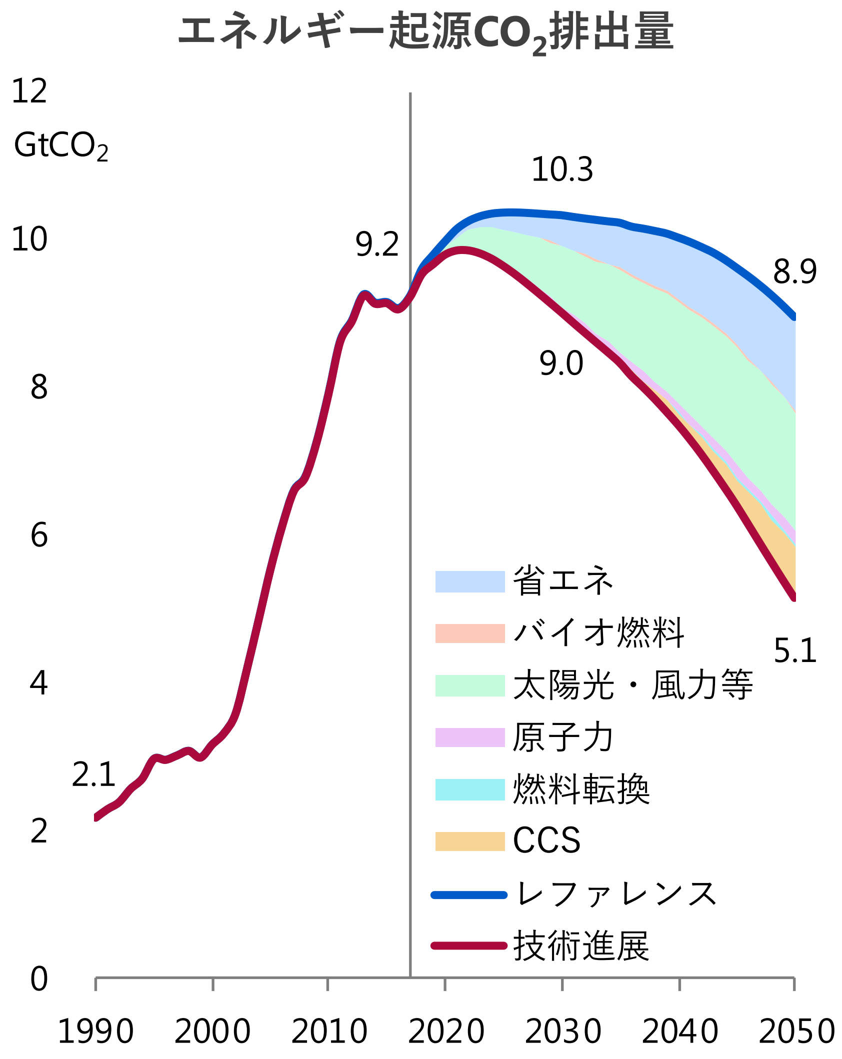
発電構成

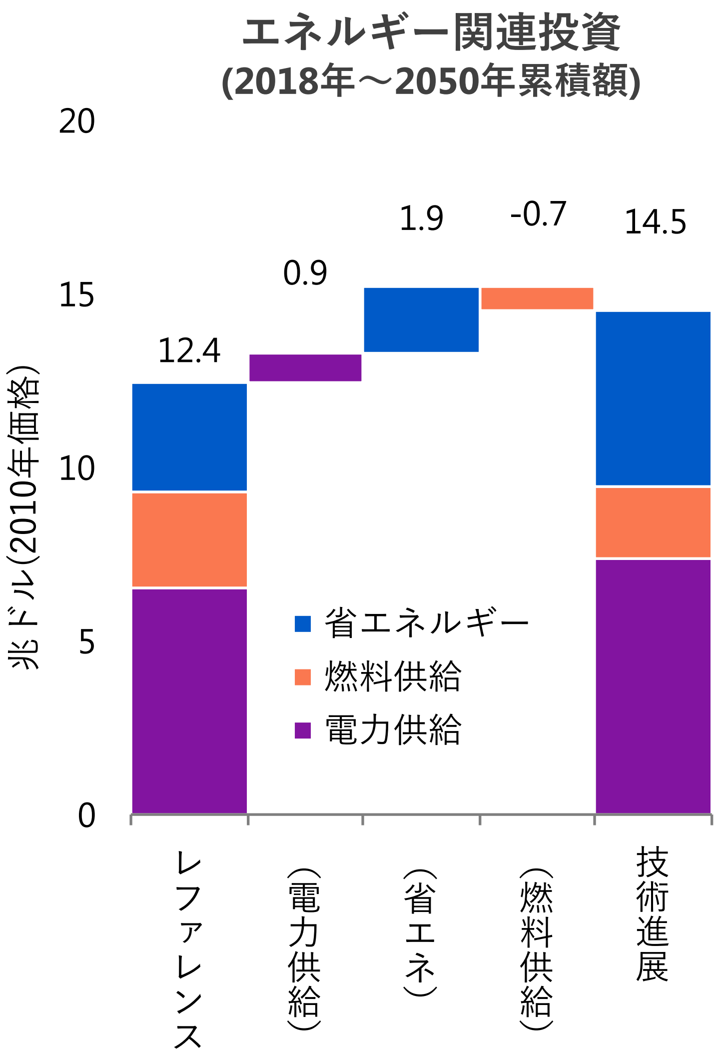




IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

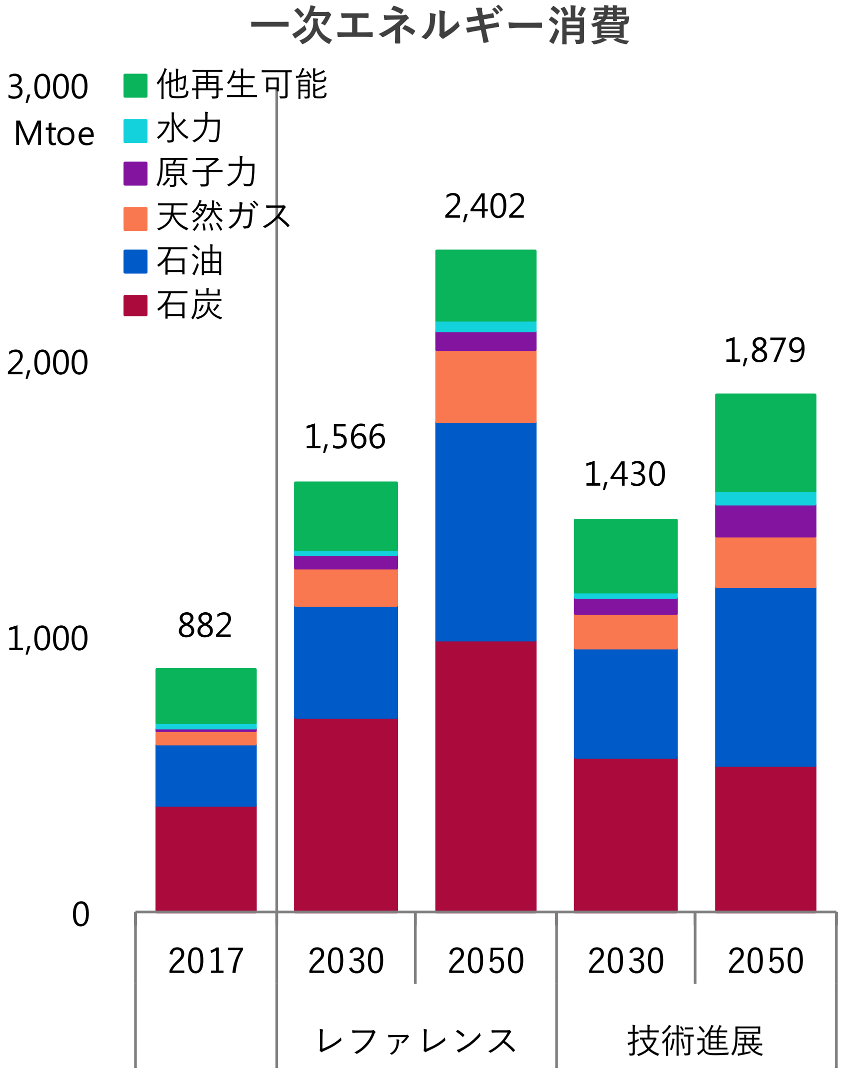
CO_2排出量・エネルギー関連投資

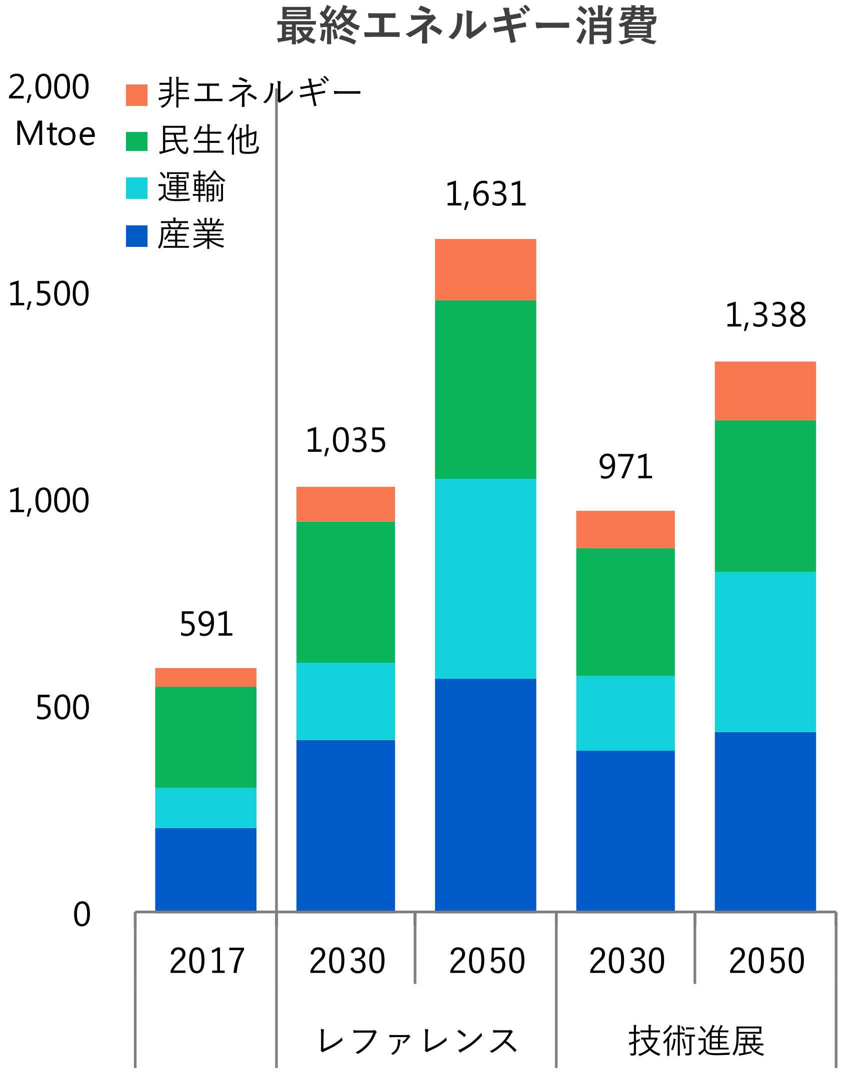




IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

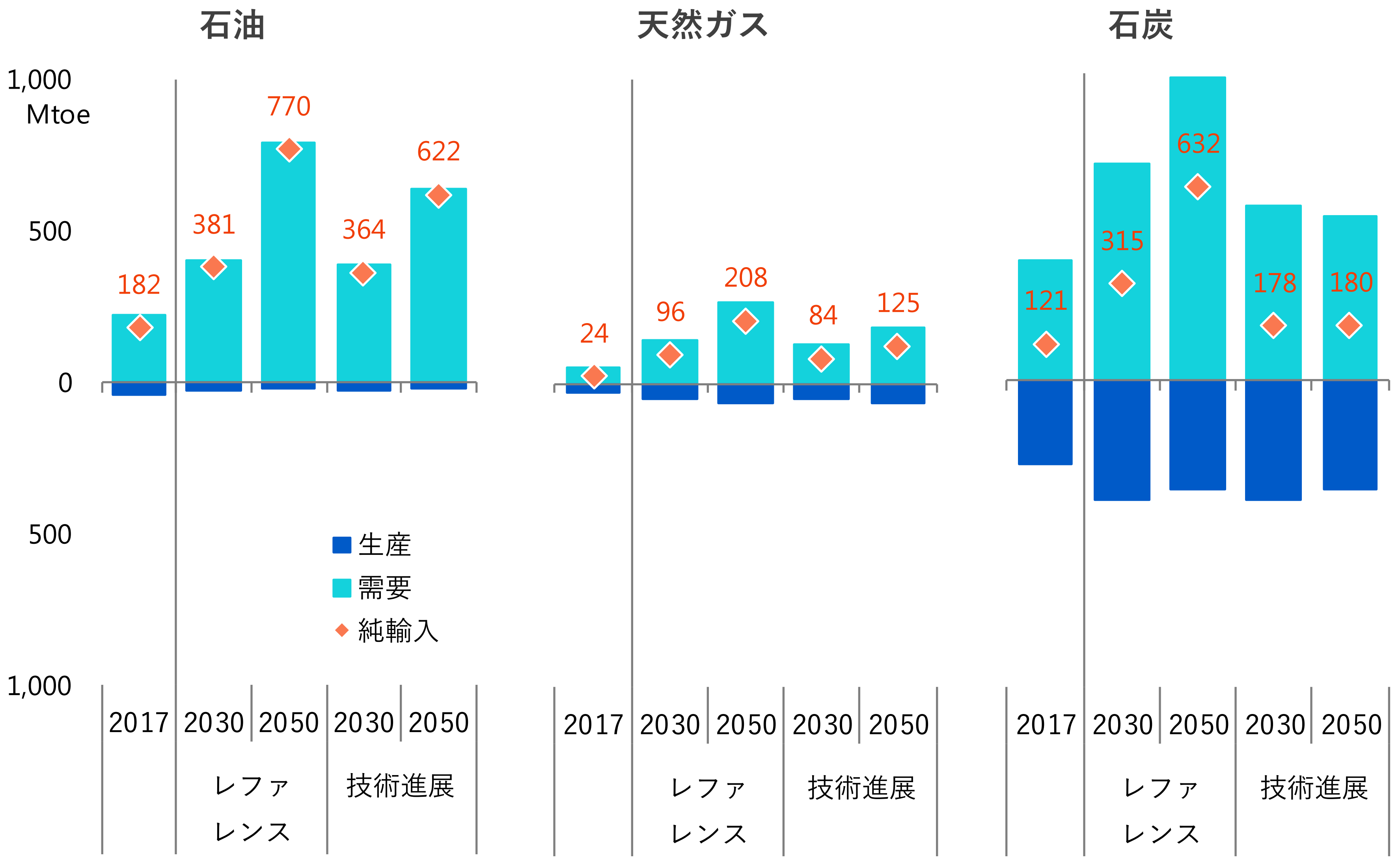
エネルギー消費





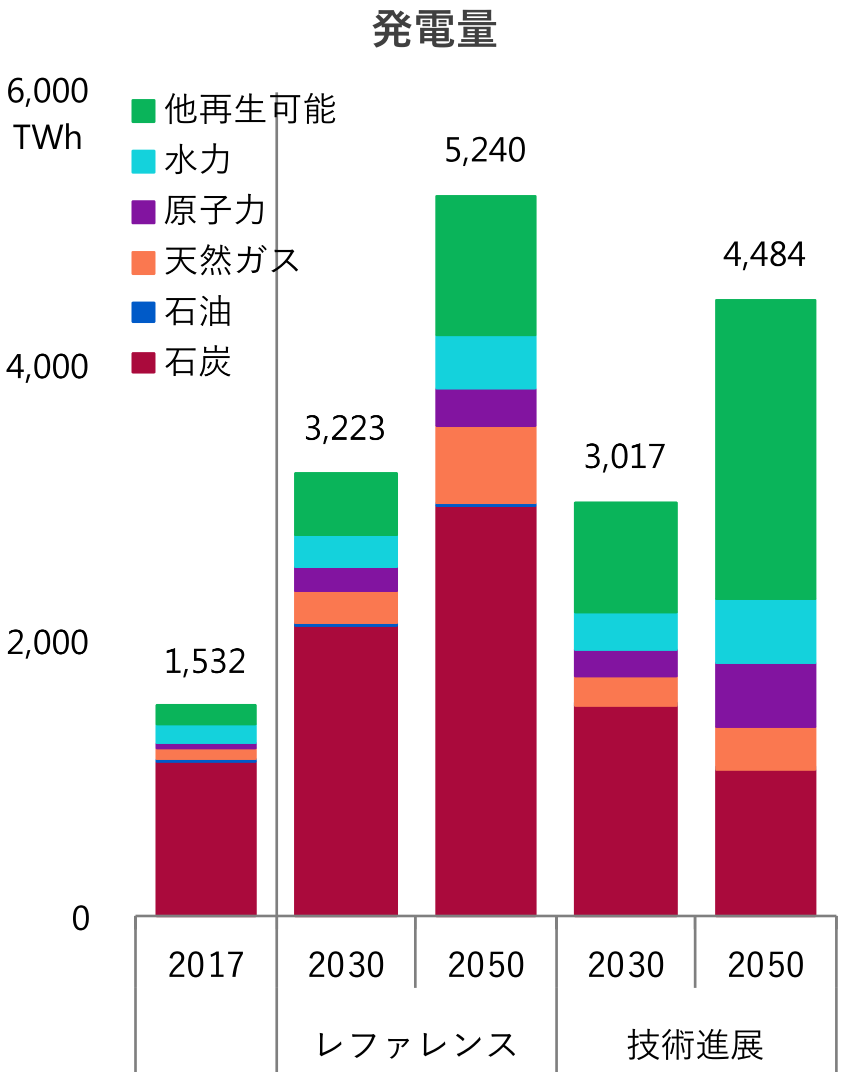
IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

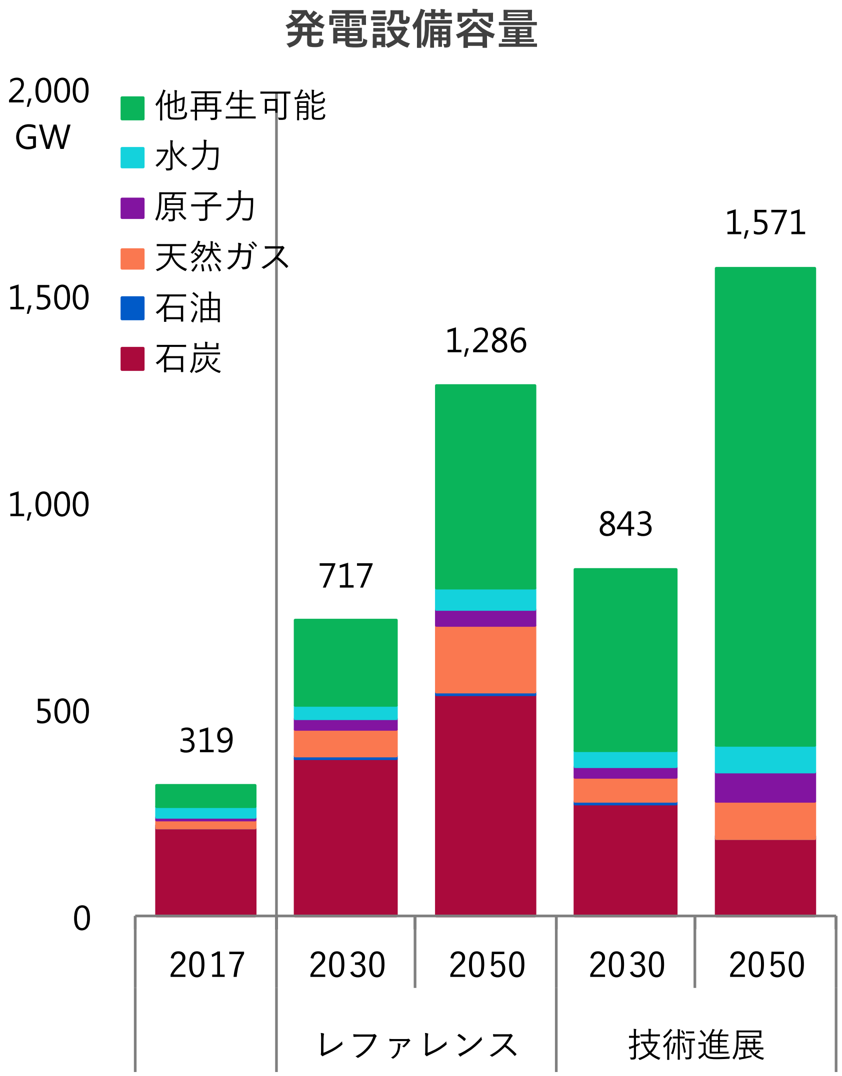
化石燃料需給バランス



IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

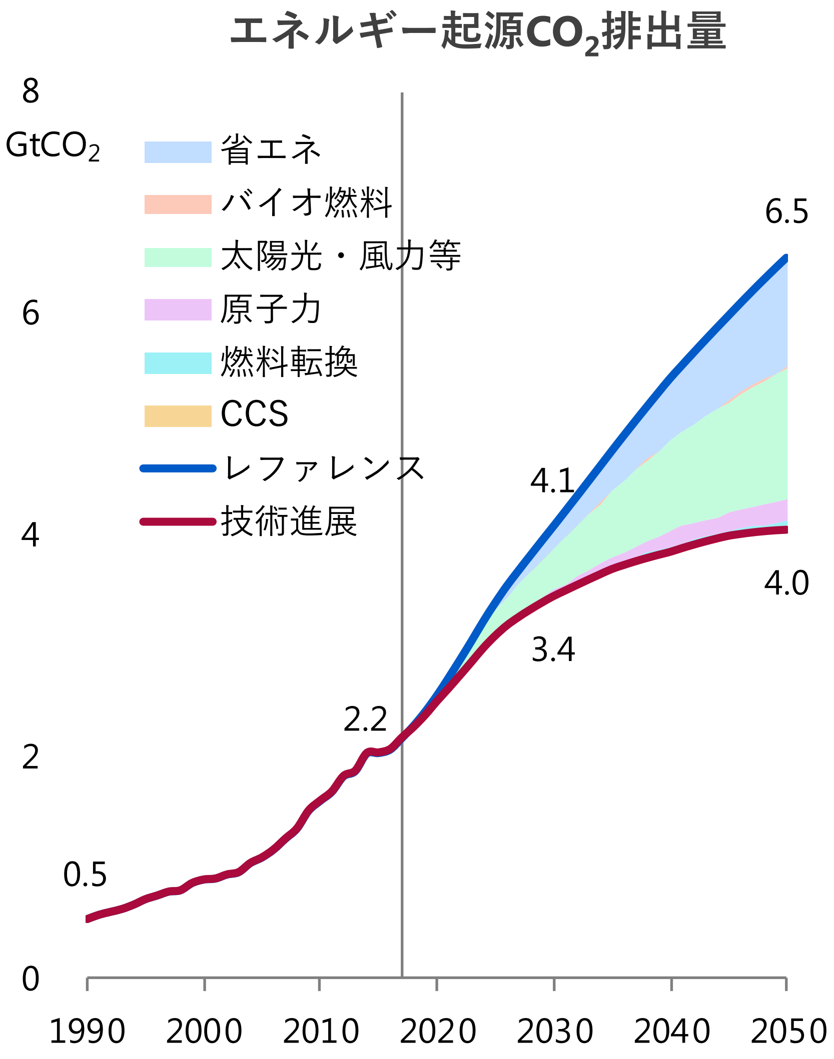
発電構成

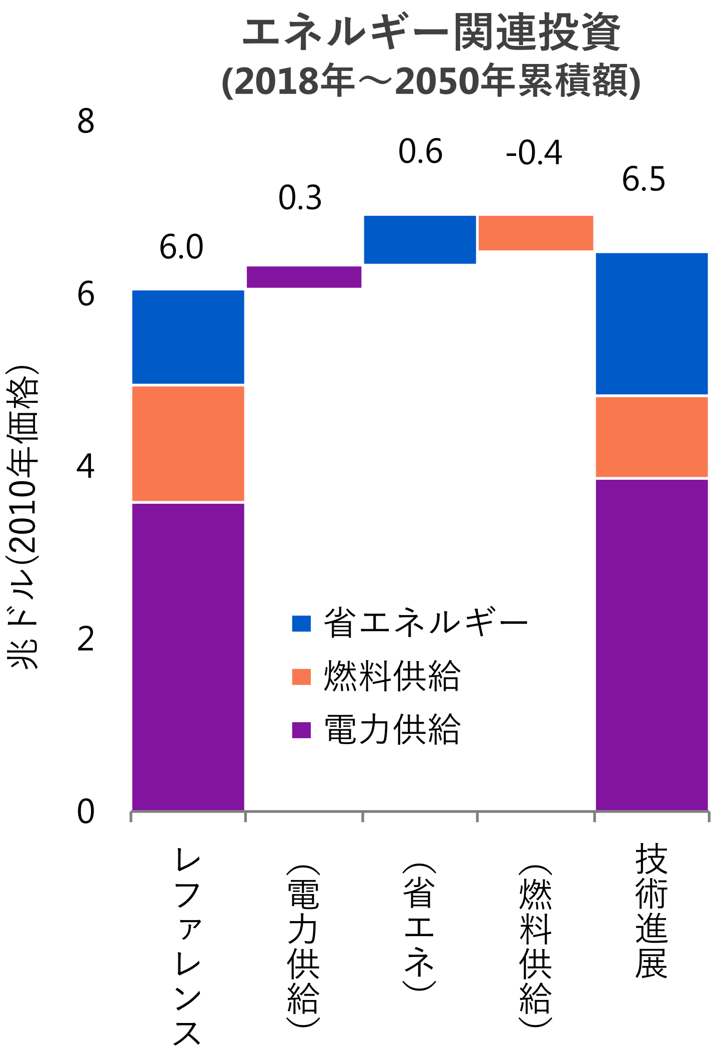




IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

CO_2排出量・エネルギー関連投資

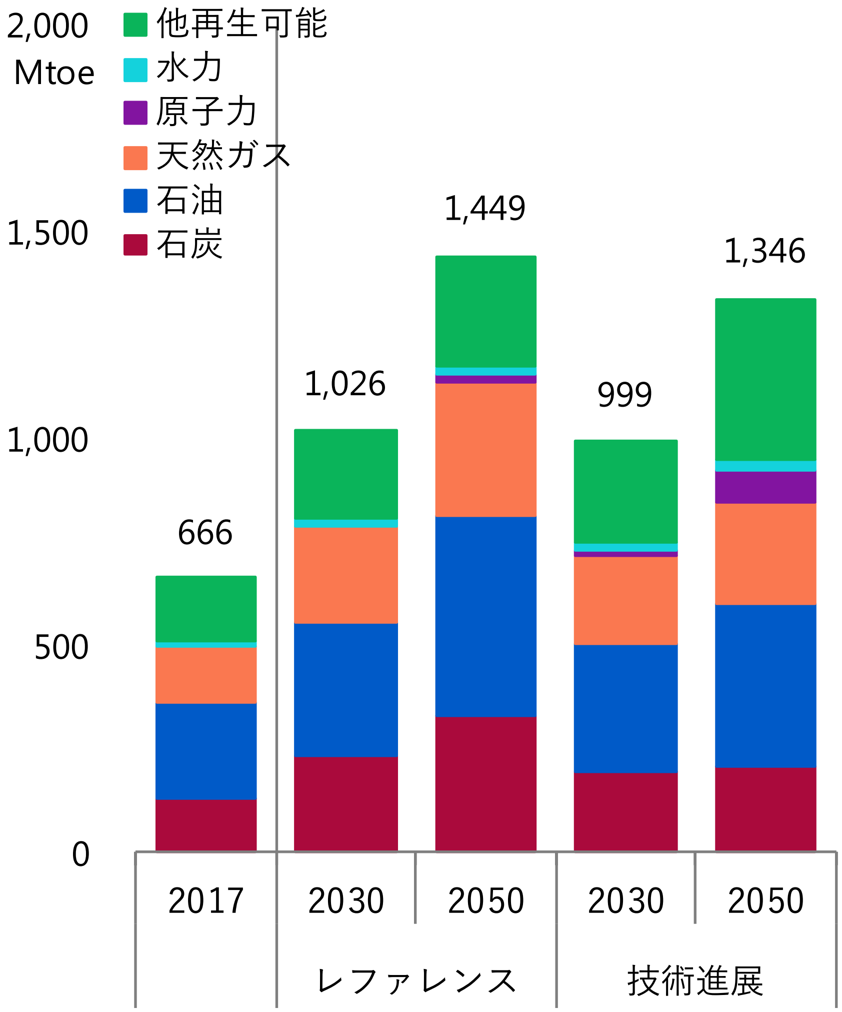




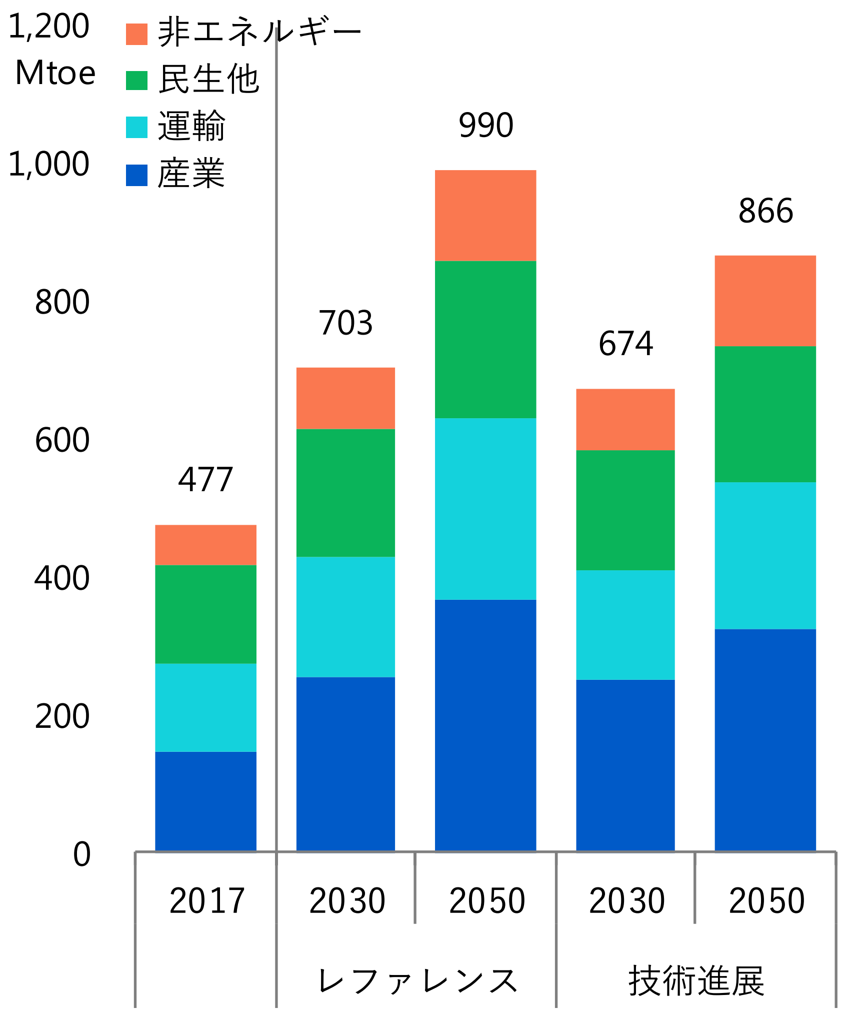
IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

エネルギー消費

一次エネルギー消費

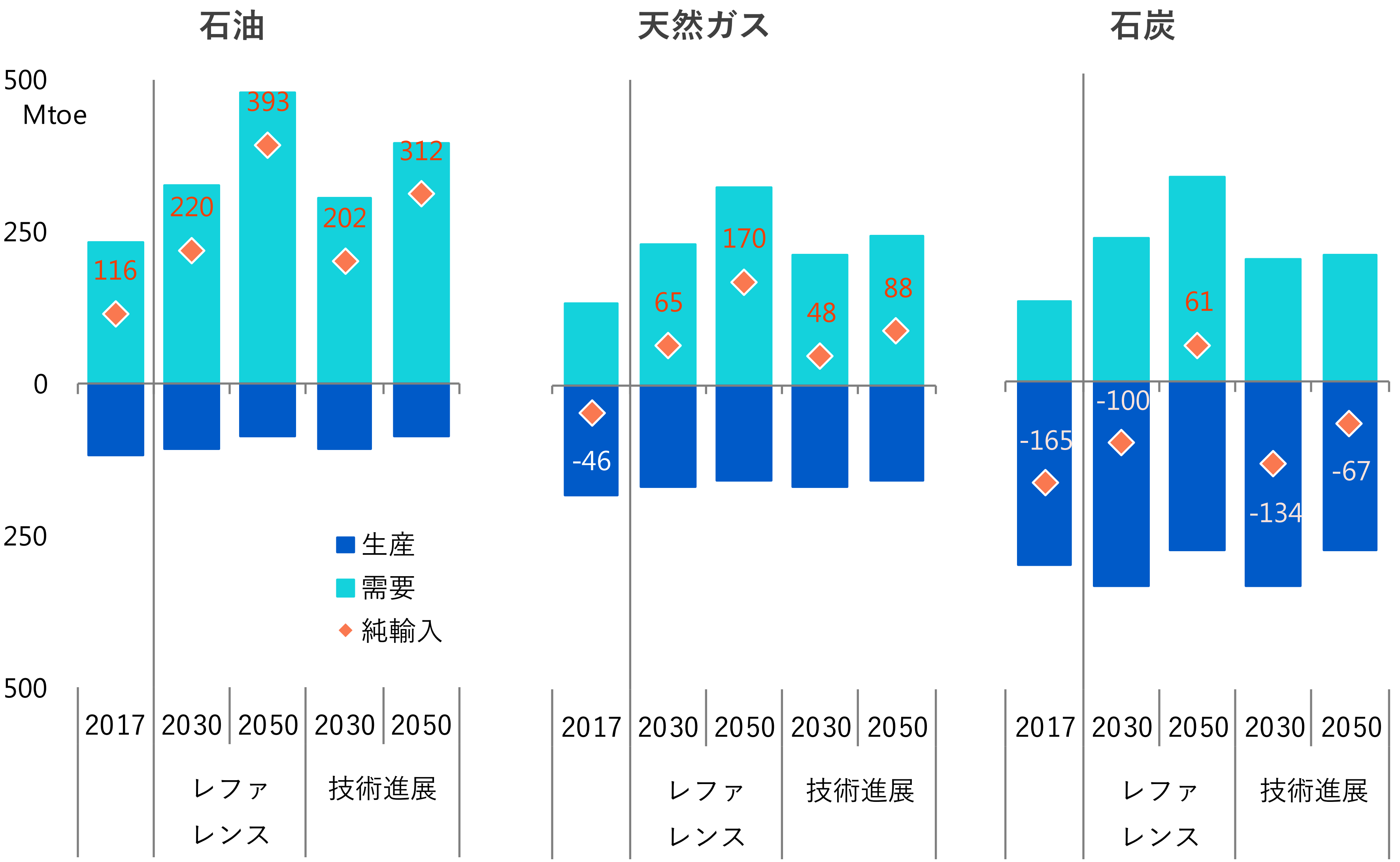


最終エネルギー消費



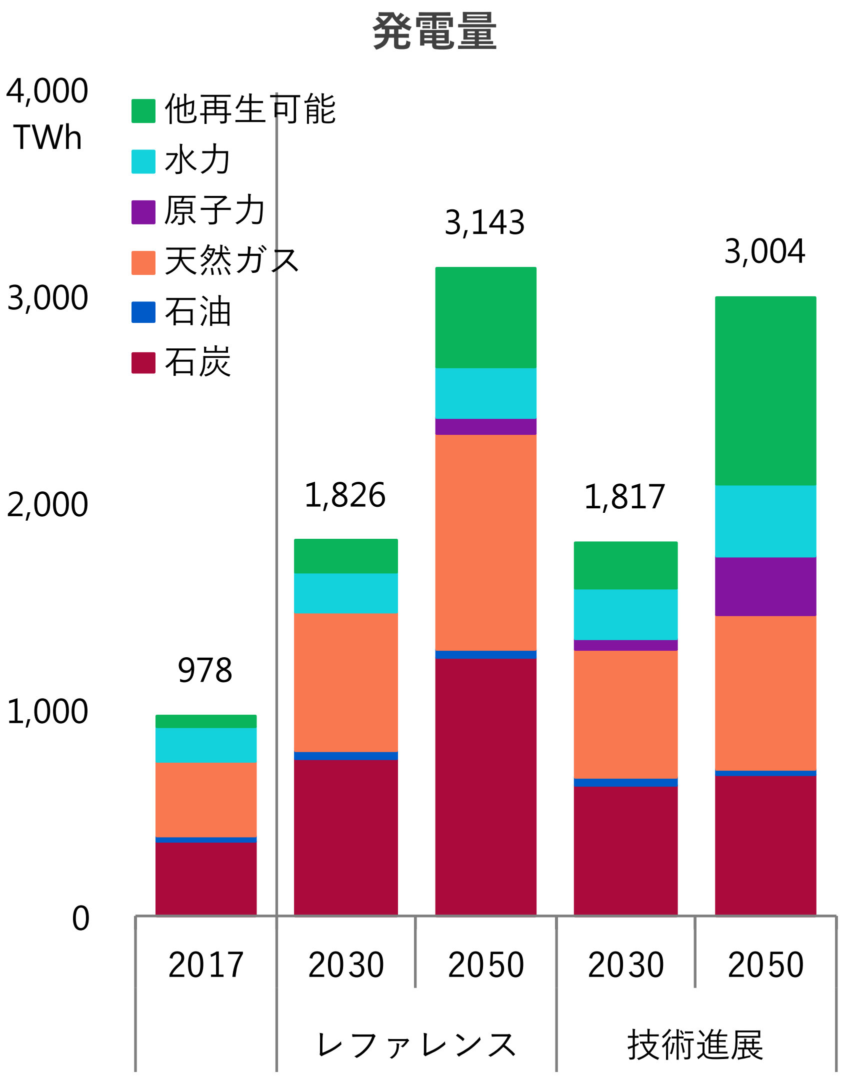
IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

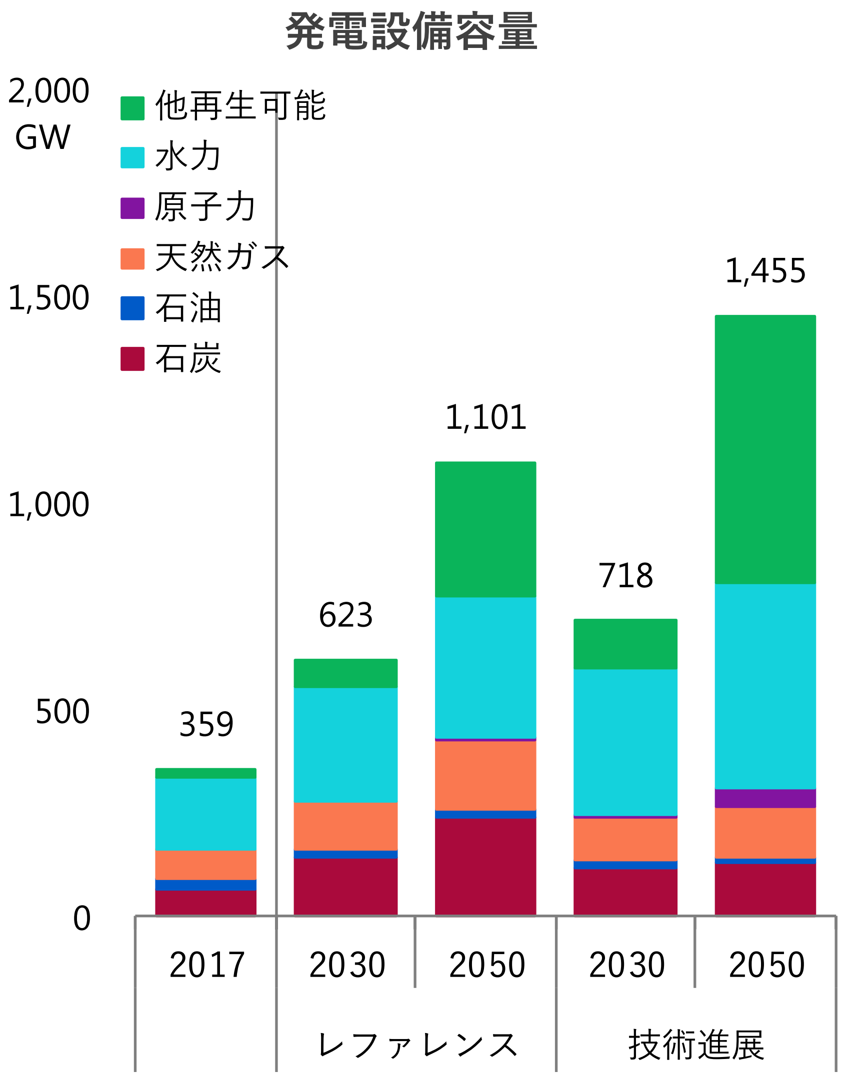
化石燃料需給バランス



IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

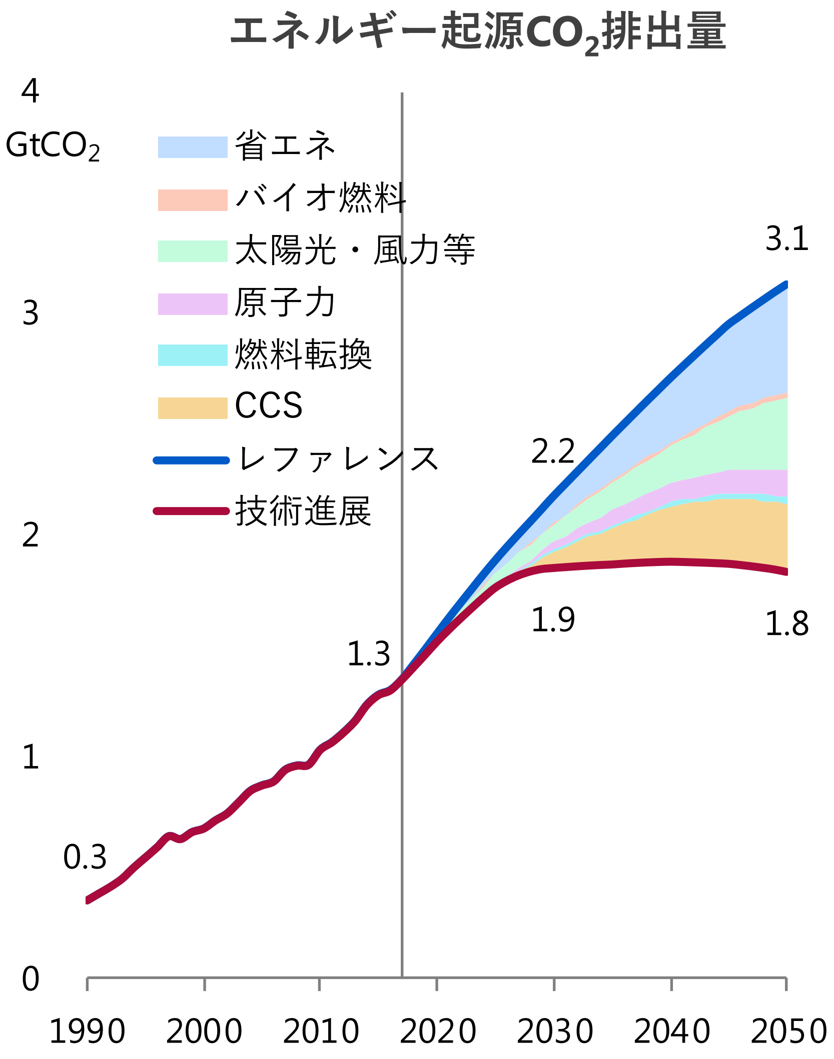
発電構成

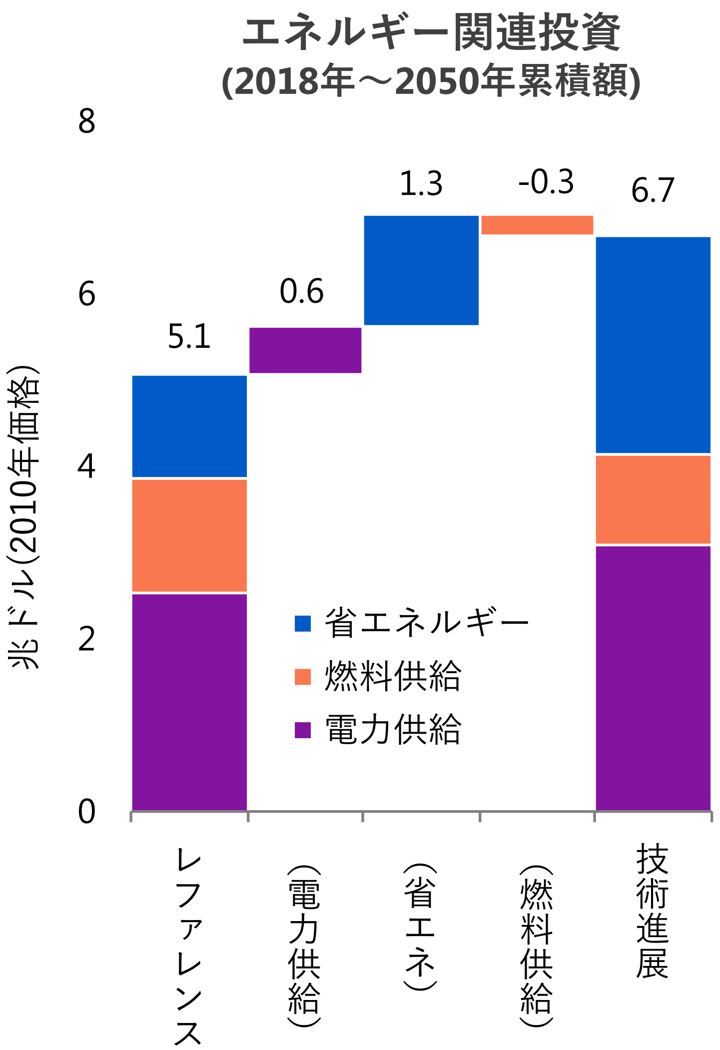




IEEJ：2019年10月掲載 禁無断転載

CO_2排出量・エネルギー関連投資





お問い合わせ: report@tky.ieej.or.jp