

スライド



第448回 定例研究報告会

IEEJ Outlook 2025

エネルギー・環境・経済

エネルギー転換を巡る不確実性にどう向き合うか

2024年10月18日, 東京

日本エネルギー経済研究所

IEE Outlook 2025

IEE © 2024年10月 禁無断転載

第448回定例研究報告会 2024年10月18日



IEEJ Outlook 2025

–エネルギー転換を巡る不確実性にどう向き合うか–

2050年までの世界エネルギー需給見通し

一般財団法人 日本エネルギー経済研究所

計量分析ユニット 主任研究員
遠藤 聖也

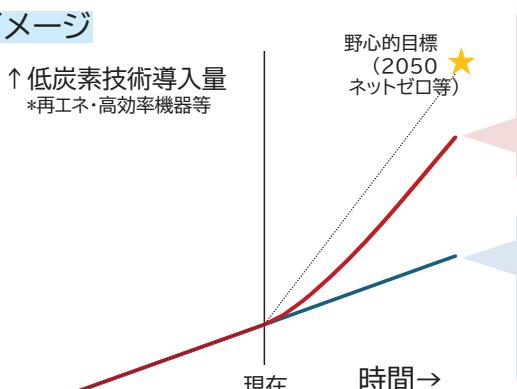
本報告のポイント

- ✓ 2050年まで、世界のエネルギー需給見通しを定量的に評価。
2つのシナリオを設けた。(レファレンス:趨勢維持 & 技術進展:最大限の気候変動対策)
- ✓ CO₂削減には、各部門の課題に応じてあらゆる技術を総動員する必要がある。中でも①省エネと②再エネ(特に太陽光、風力)、長期的には③CCUSは特に大幅な寄与。
それぞれの導入見通しと、効果発現に向けた課題を整理。
- ✓ 化石燃料需要には大きな不確実性がある。安定供給の確保は、今後数十年にわたり欠かせない取り組み。

エネルギー需給シナリオの設定

- 2050年まで、世界全体のエネルギー需給見通しを作成。
 - ・ 最新のエネルギー・社会経済データを集積してモデル分析を実施。世界44地域+国際バンカーのエネルギー別需要、CO₂排出量などを推計。
- 2つのシナリオを設け、異なる技術や政策の進展度合いを想定。
 - ・ いざれも「●●であればどうなるか?」を推計するフォアキャスト型シナリオ。バックキャスト型シナリオ(目標達成のためには「どうすべきか?」を逆算)とは違い、削減目標などは必ずしも達成されるとは限らない。

技術導入イメージ



【技術進展シナリオ】

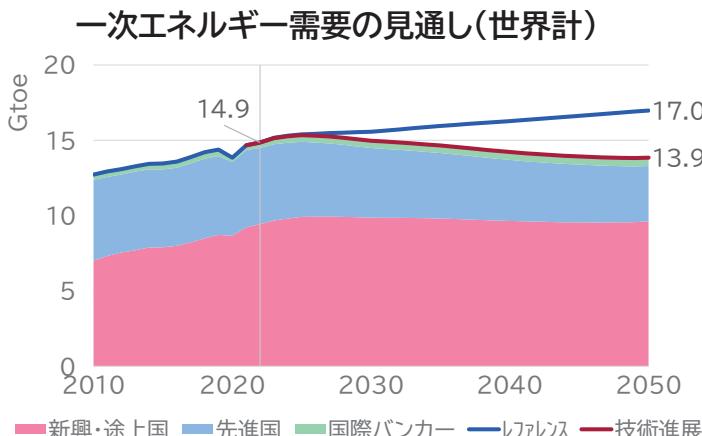
エネルギー安定供給の確保や気候変動対策の強化に向けた政策等が強力に実施され、(適用機会や受容性を踏まえ)**最大限に導入**。

【レファレンスシナリオ】

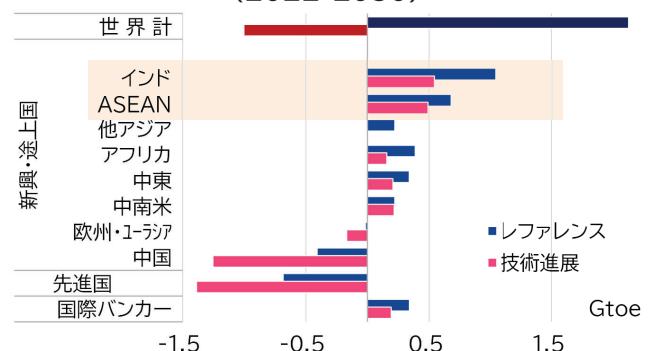
今までのエネルギー・環境政策等を背景とし、これまでの**趨勢的な変化**が継続。
※政策・技術等の現状固定を意味するものではない。

一次エネルギー需要:インド・ASEANが需要増加の中心に

- **レファレンス:** 2050年の一次エネルギー需要は、2022年から14%増加。
 - ・ 他方、実質GDPは現在の約2倍に成長。エネルギー効率の改善や産業構造の転換が需要増を抑制。
- **技術進展:** エネルギー効率の改善が加速し、一次需要は2030年までにピークを迎える。
- 需要増加の中心はインド・ASEAN。両シナリオで世界の需要を押し上げる。
 - ・ 地球規模の排出削減にはこの2地域、さらに他の新興・途上国を巻き込むことが欠かせない。

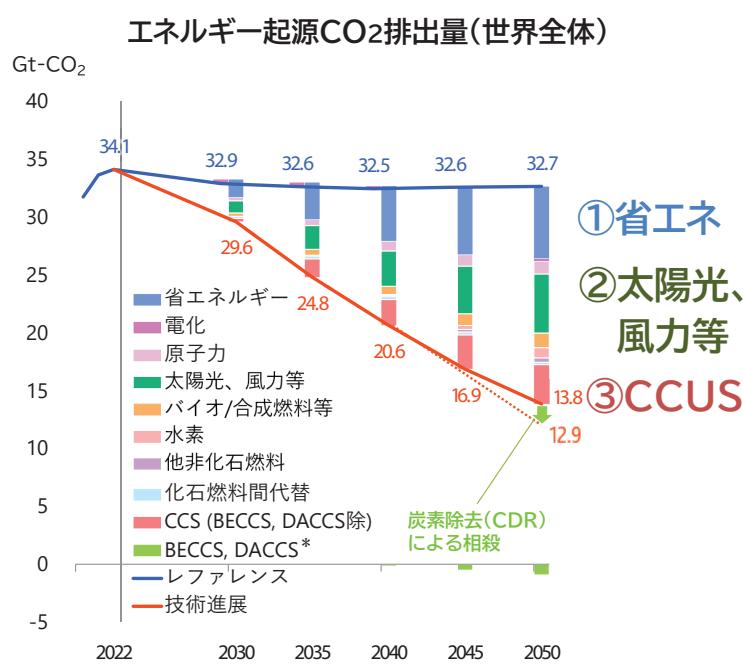


地域別内訳:一次エネルギー需要の増減
(2022-2050)



4

CO₂削減:短期的には省エネと再エネ、長期的にはCCUSも寄与



● レファレンス

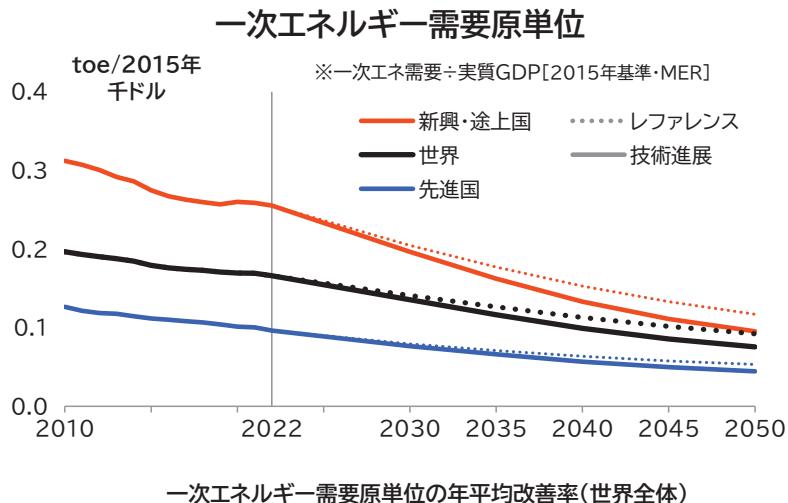
- ・ エネルギー需要の増加が続く一方、再エネ拡大、各需要部門の天然ガス利用・電化が排出を抑制。

● 技術進展

- ・ 主に①省エネ、②太陽光、風力等、③CCUSがCO₂排出削減に大きく寄与。
 - ・ 前者2つは2030年から大幅に貢献、CCUSは2040年以降に導入拡大。
 - ・ 炭素除去(BECCS,DACCS)により、残余排出の一部を相殺。
- ・ 「2050年ネットゼロ」との間にはなお排出量の隔たり。特に新興・途上国、非発電部門の排出削減が難題として残る。

5

①省エネルギー: 2030年以降・特に新興途上国で大きく加速



レファレンス

- 一次エネルギー需要原単位は、過去実績を超えるペース(2.0%/年以上)で改善が進む。

- 需要側では直近数年の進展(ハイブリッド車など)が原単位改善を推し進める。

※ 需要側の効率改善に加え、再エネ導入や産業構造転換(製造業からサービス業のシフト)も一次需要ベースの原単位改善の要因。

技術進展

- 2050年には、現在(2022年)から原単位が半減。特に2030~2040年の省エネが大きく加速。

- 政策強化から機器導入、効率改善にはタイムラグがある。2030年までの改善率はそれ以降と比べ限定的。

- 新興・途上国で特に大幅な改善。(2022年比-63%)

- 比較的安価な削減が可能。ただし法制度や基準の整備、先進国からの技術移転が前提。

一次エネルギー需要原単位の年平均改善率(世界全体)

	2010-2022	2022-2030	2030-2040	2040-2050	
一次需要/GDP	レファレンス 技術進展	-1.4% (実績)	-2.0% -2.5%	-2.2% -3.1% -2.7%	-2.0%
(参考) 最終需要/GDP	レファレンス 技術進展	-1.5% (実績)	-1.7% -2.2%	-2.1% -3.3%	-2.0% -2.8%

6

①省エネルギー: 地域・経済水準により異なる重点

世界規模では、運輸・産業・民生他のいずれの部門にも大幅な節減ポテンシャルが存在。特に効果の大きい部門は地域によって異なる。

● 先進国では幅広い分野で省エネ。

中でも運輸の節減がやや大きい。次世代車(電気自動車・ハイブリッド車等)の燃費が従来車に比べ大きく優ることから、導入進展による省エネ効果が大きい。

● 新興国(特に中国・インド・ASEAN)は産業を中心に節減。

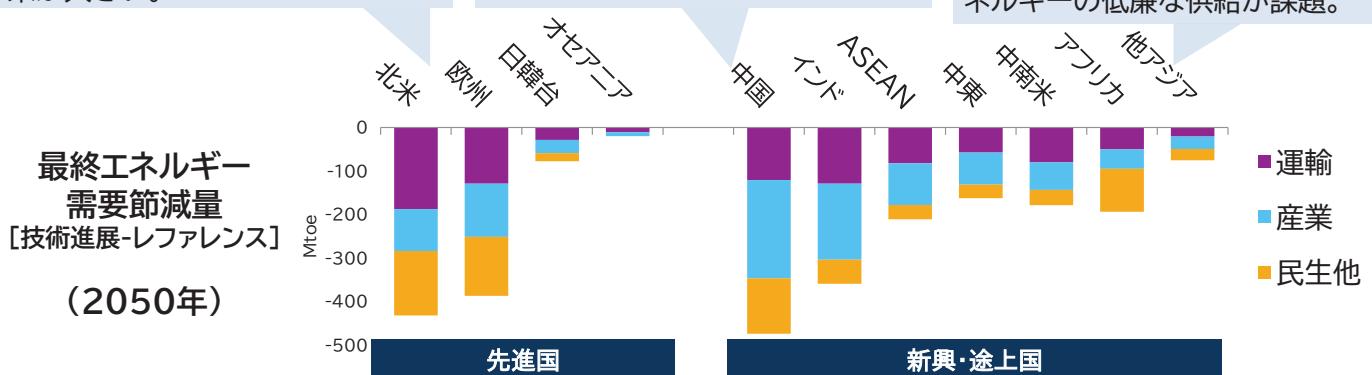
産業生産が既に大きい中国、今後拡大が見込まれるインドやASEANは特に産業の効率改善が有効。

例)鉄鋼生産における次世代型コークス炉・副生ガス活用等、セメント生産における廃熱利用、焼成温度低減等。

● 途上国(アフリカ・他アジアの一部)は民生他で大幅な節減。

主に家庭で従来型バイオマス(薪など)からLPGや都市ガス、長期的には電力等へ燃料転換。

機器普及に向けた資金や近代的エネルギーの低廉な供給が課題。



7

①省エネルギー：効率改善は遅れて発現する

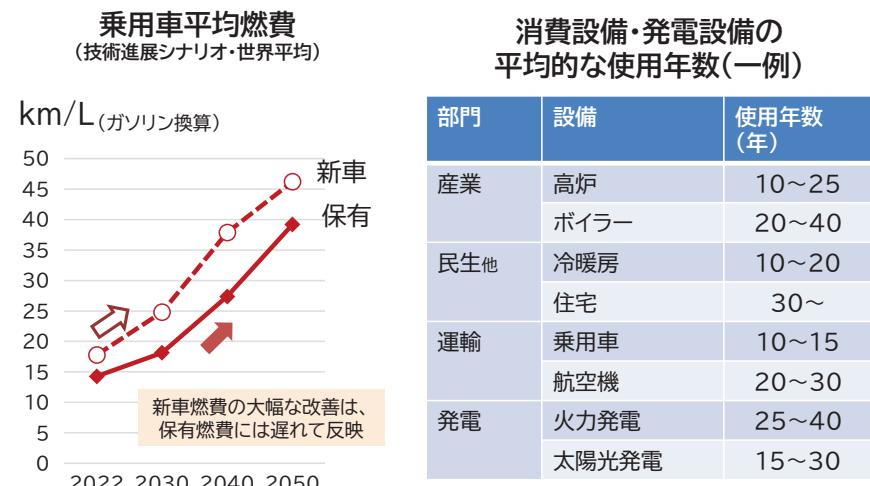
- 省エネ施策の実行から、効果の発現にはタイムラグがある。

- 技術進展の政策強化による原単位の改善は、特に2030年以降に色濃く表れる。

- フロー効率(新規設備)の改善はストック効率(保有設備)には遅れて反映される。

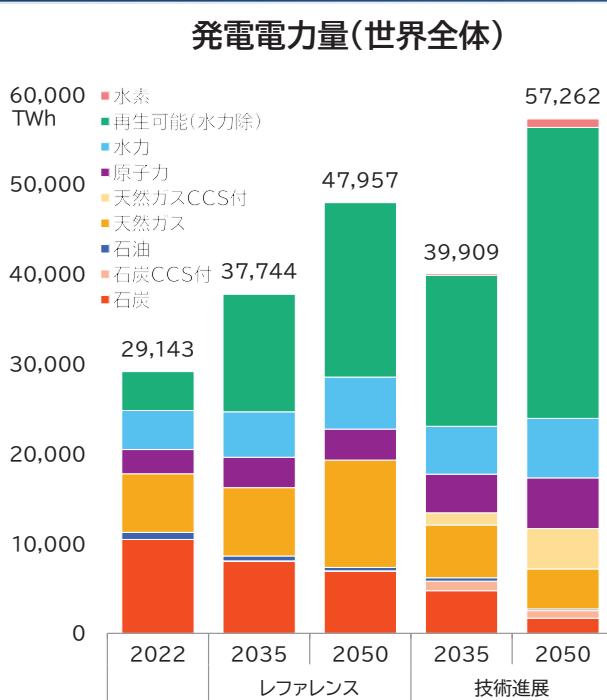
- 特に、設備の使用年数が長い産業部門ではこの傾向が強い。
- 2050年までに大幅な省エネを目指すのであれば、早期の取り組みが必要となる。

一次エネルギー需要原単位の年平均改善率(世界全体)					
	2010-2022	2022-2030	2030-2040	2040-2050	
一次需要/GDP [2015年基準・MER]	レファレンス	-1.4%	-2.0%	-2.2%	
	技術進展	(実績)	-2.5%	-3.1%	-2.7%



8

②再エネ：技術進展で全体の約6割。発電量全体が大きく増加



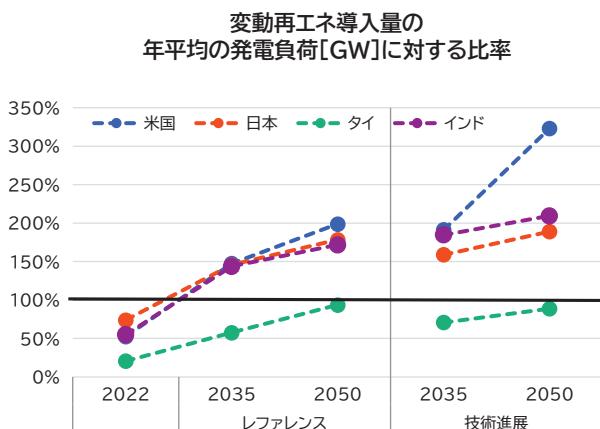
- レファレンスで2022年の1.6倍、
技術進展で2.0倍の発電量が必要(2050年)。
 - いずれの場合でも電力需要の大幅な増加は避けられない。
 - 特に新興途上国において大きく増加。発電設備、送電網の拡張が急務。
- 技術進展**では「再生可能(水力除)」が大きく増加し電源の6割近くを占める。
 - この大部分は太陽光・風力。この規模の導入は、抜本的な出力変動への対策が前提。
- 原子力は特に新興・途上国で利用拡大。この実現には、技術協力、法整備、人材育成を要する。

9

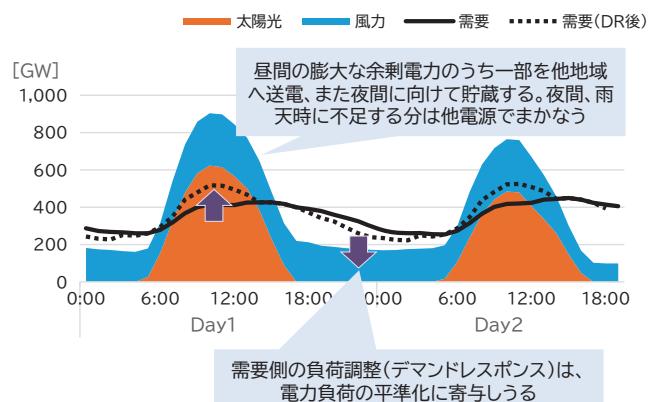
②再エネ:大量導入によって、大幅な電力需給ギャップが発生

- **技術進展**のような大幅な変動再エネ(太陽光、風力)の導入が進んだ場合、多くの地域では変動再エネ導入量が年平均負荷の2倍かそれ以上となり、時間によって出力の大規模な超過や不足が生じる。

・ 地域によっては既存の揚水や火力に加え、大規模な蓄電設備の増設、送電網の拡張、デマンドレスポンスの活用やCO₂排出対策を施した火力などの需給調整手段が必要になる可能性がある。



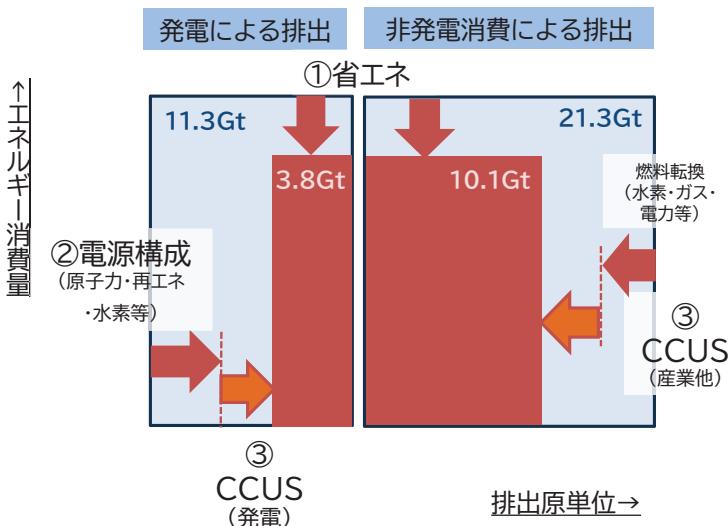
太陽光、風力の出力と電力需要のギャップ(対策イメージ)
[技術進展・インド・2050年(8月)]



10

③CCUS:削減難易度の高い非発電消費からの排出を抑制

CO₂排出量削減のイメージ



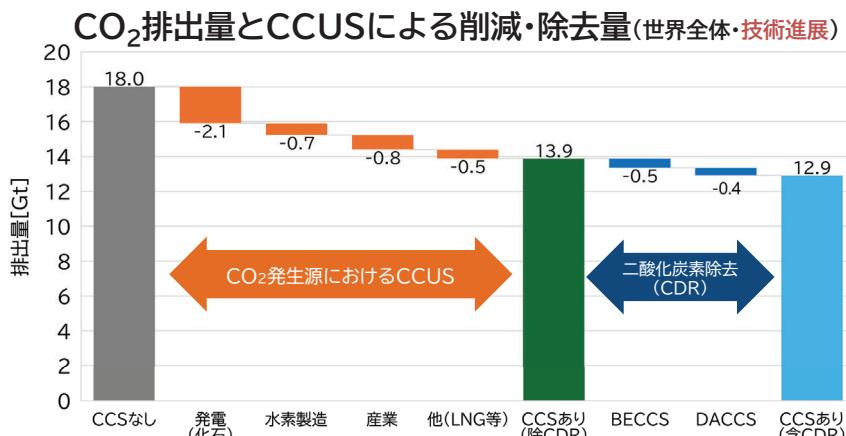
- エネルギー消費量(縦軸)は、発電・非発電消費ともに**①省エネ**で節減する余地がある。
- 排出原単位(横軸)について、発電では**②電源構成の変更**で大幅に抑制可能だが、非発電消費で軽減する難易度は高い。
- **③CCUS**は発電のみならず、非発電消費からの排出の削減に効力を発揮。

※排出削減の概略を模式的に示したものであり、矢印や四角形の幅は各シナリオにおける数値とは厳密には一致しない。

11

③CCUS:産業・発電で大きな導入可能性[技術進展シナリオ]

- 技術進展において、CCUSは2050年時点で合計5.1Gt-CO₂の導入が見込まれる。
 - CO₂発生源におけるCCUSについては、発電部門の削減ポテンシャルが大きい。
 - 産業部門の中で、製鉄やセメントなど電化による排出削減の余地が限定的な分野において、今後の主要な脱炭素化手段となる。
 - 炭素除去(本アウトロックではBECCS,DACCS*)はそれらに比べ高コストが見込まれるが、CCUSを組み込めない分野(民生他・運輸等)の残余排出に対する相殺効果が期待される。



追加的削減、除去オプション

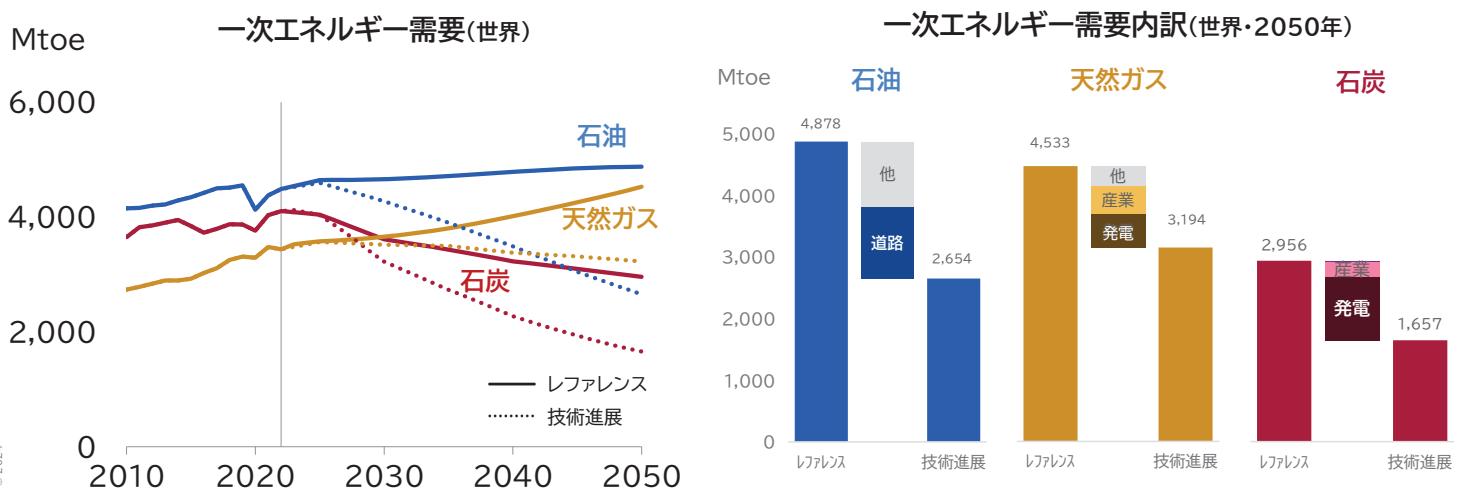
- 各種CCUSの深掘り
- 自然ベースの炭素除去
例)森林・農地等の土地利用
ブルーカーボン等

*BECCS:バイオマスエネルギーとCCSの併用。DACCs:大気中CO₂の直接回収。いずれも大気中CO₂を直接減少させるネガティブエミッション技術に該当。

12

化石燃料需要は不確実:シナリオ間で大きな幅

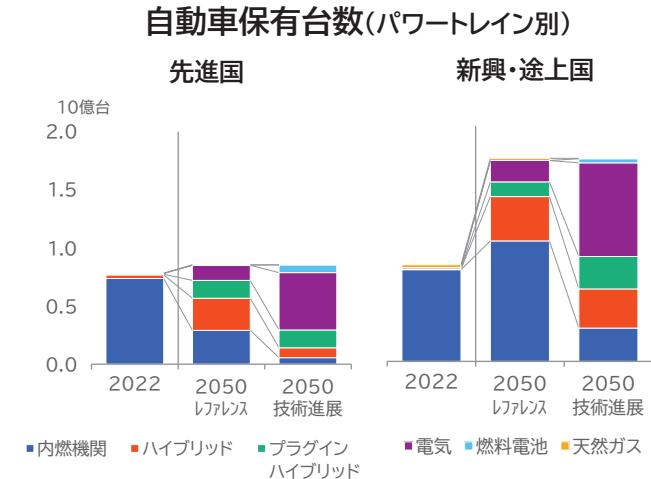
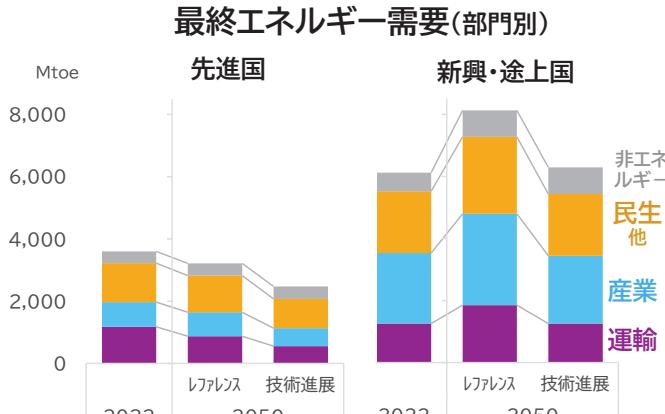
- レファレンス、技術進展の間に世界の化石燃料需要は大きな差が生じる。エネルギー転換に向けた取り組みを進めつつも、化石燃料安定供給への備えが必要。
 - 石油は最も需要差が大きい燃料であり、その過半が道路に起因。電気自動車シフトに加え、ハイブリッド車の導入や内燃機関車の効率改善に不確実性。
 - 天然ガスと石炭需要の差は、いずれも発電と産業が主要因。



13

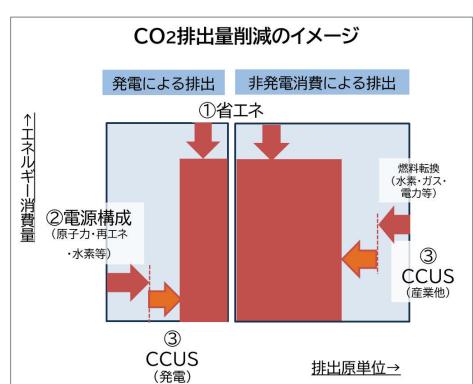
最終需要: 運輸(中でも道路)の趨勢は大きく分かれる

- [レファレンス] 運輸部門の需要は先進国で減少する一方、新興・途上国では大きく伸びる。
 - 新興・途上国では所得増加による乗用車の普及が大きく進み、2050年の自動車保有台数は2022年の倍以上となる。この燃費改善とパワートレイン選択によって、石油の最終需要は大きく異なる。
- [技術進展] 新興・途上国の需要は足元横ばい。運輸、中でも道路で効率改善が進む。
 - 電気自動車が大量導入される一方、内燃機関車やハイブリッド車も特に新興・途上国では一定数存在。電源構成や航続距離、乗車頻度等に応じた車種選択が重要。



まとめ

- ✓ CO₂削減には、主に①省エネと②再エネ、長期的には③CCUSが特に大幅な寄与。**[技術進展シナリオ]**
 - 省エネの深掘りにより6.2Gt-CO₂に相当する削減効果が見込まれる。効果発現にはタイムラグがあり早期取組みが必須。
 - 再エネ(水力除く)は**技術進展**で総発電量の60%程度を占め、変動再エネ導入量が年平均負荷の2倍以上となる。
 - CCUSは発電や産業など大規模排出源からの排出を削減する有望な手段。**技術進展**で5.1Gt-CO₂/年の回収。(炭素除去含む)
- ✓ **一次需要、発電量の動向**[両シナリオ共通]
 - インド、ASEANでは一次エネルギー需要が著しく増加。国際的な気候変動対策は、これらの地域を巻き込んで進めることが不可欠。
 - 発電量(世界全体・2050年)は2022年の1.6倍(レファレンス)、2.0倍(技術進展)でいずれも大きく増加する。
- ✓ **化石燃料需要には大きな不確実性。**
 - エネルギー需給に関する現状の趨勢が継続した場合、ガスや石油の需要は2050年まで増え続ける可能性。
 - 石油需要は道路、ガスや石炭は産業、発電におけるエネルギー転換が不確実性の主要因。
 - 燃料の安定供給確保は、2050年まで重要な取り組み。必要十分な投資の継続が欠かせない。



IEEJ Outlook 2025 エネルギー安全保障のリスクシナリオ

一般財団法人日本エネルギー経済研究所

資源・燃料・エネルギー安全保障ユニット

久谷 一朗

- 化石燃料過少投資のリスク
- 深刻化・多様化する地政学リスク
- 電力供給不安定化のリスク
- 重要鉱物供給のリスク
- エネルギー転換に伴うサイバー攻撃リスクの増大

資料作成

資源・燃料・エネルギー安全保障ユニット 研究主幹 森川哲男（1）

研究戦略ユニット 研究主幹 小林良和（2）（5）

電力ユニット 研究主幹 大西健一（3）

本報告のポイント

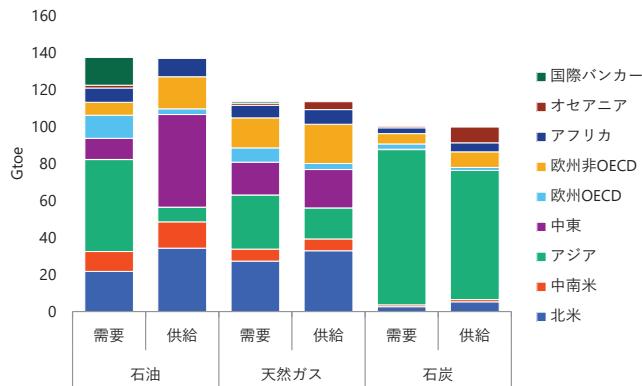
- 化石燃料過少投資のリスク
 - ✓ IEEJアウトロックのレファレンスシナリオでは、2050年時点でも化石燃料は世界のエネルギー需要の73%を賄う。追加投資がなければ2050年の石油・天然ガス生産量は現状の約10分の1にまで激減する。現実の世界における化石燃料需要とは大きなギャップが生じる。
- 深刻化・多様化する地政学リスク
 - ✓ 日本の原油輸入の中東依存度が高まるなか、日本にとっての中東地域の地政学的リスクはさらに深刻なものとなっている。
近年は先進国の政策変更もリスク要因になっている。
- 電力供給不安定化のリスク
 - ✓ 電力供給には需給両面で様々なリスクがある。安定供給に向けては、火力燃料調達や原子力などベースロード電源の確保等、供給力の確保、電力系統の最適化という方向で対応を進める必要がある。
また、安定供給のためのベストミックスの追求も不可欠。
- 重要鉱物供給のリスク
 - ✓ 脱炭素技術の製造能力やクリーンエネルギー投資のための原材料として不可欠な重要鉱物のなかには市場集中度の高いものがあり、エネルギー転換を進めるうえでの新たなリスクとなっている。
リスクの所在や程度の異なる様々な技術を組み合わせることによって、リスクの軽減が可能。
- エネルギー転換に伴うサイバー攻撃リスクの増大
 - ✓ 世界では重大なサイバー攻撃事象の数が大きく増えている。基盤インフラであるエネルギーに対するサイバー攻撃はエネルギー安全保障における重要課題となる。

化石燃料過少投資のリスク

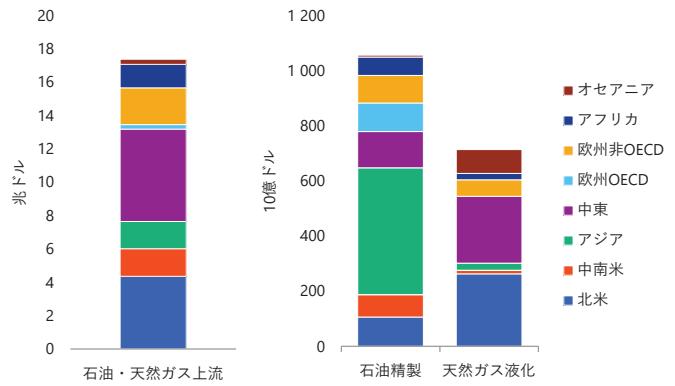
化石燃料過少投資：需給と投資額

- レファレンスシナリオにおいて、2050年時点でも化石燃料は世界のエネルギー需要の73%を賄う。
- 需要地域ではアジア、供給地域では中東・北米（石油・天然ガス）、アジア（石炭）のシェアが高い。
- これらの地域を中心として、安定的な投資が化石燃料の安定供給にとって死活的に重要。
- 省エネの深堀等による化石燃料需要抑制効果はあるが、気候変動対策の余波等で投資が進まなければ化石燃料需給は逼迫する可能性が高い。

化石燃料需給



主要な化石燃料投資額



いずれも2022-2050年累計・レファレンスシナリオ
Source: IEEJ

20

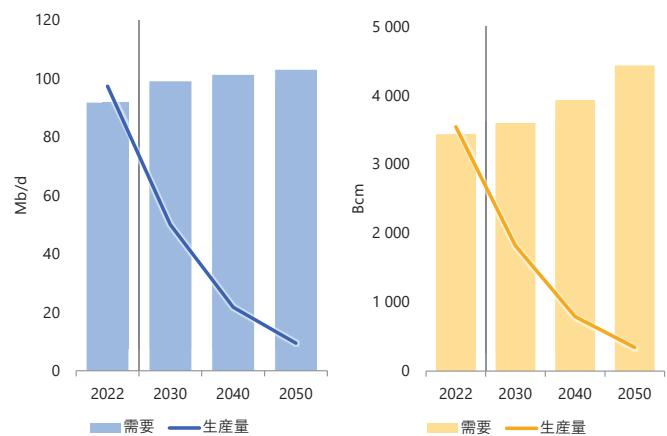
化石燃料過少投資：高まるプロジェクト投資へのハードル

- 現在のところ過少投資は深刻ではないが、気候変動懸念・脱炭素政策が影響し投資が進まないリスクが顕在化。
- 追加投資をしなければ、2050年の石油・天然ガス生産量は約1/10に。

化石燃料プロジェクトへの逆風

石油	天然ガス	石炭
金融機関・年金基金等による化石燃料開発・石炭火力プロジェクト投資制限		
IOCによる上流資産売却 (2015-2023年で2,900億ドル)	石炭メジャー一般炭資産売却	
欧州：2030年までに 精製能力が100-150 万b/d減少する可能性	環境負荷が高い LNGプロジェクト開発 の頓挫 (例：尼Natuna)	OECD諸国での実質的な新規石炭火力禁止

**追加投資がない場合の石油・天然ガス生産量と
レファレンスシナリオでの需要見通し**



Source: IEEJ, IEA, Bloomberg

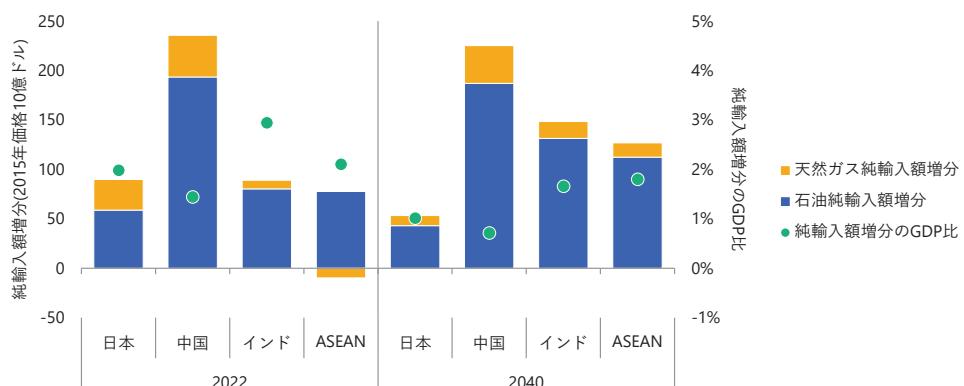
Source: IEEJ

21

化石燃料過少投資：価格高騰による経済への影響

- 需給逼迫は価格上昇につながる。2021年平均のBrent価格は前年比で7割上昇したが、パンデミック収束による需要回復だけではなくパンデミック期における上流投資不足も価格上昇をもたらしたとされている。
- 価格50%上昇の場合、アジア輸入国のGDPに占める石油・天然ガス輸入額のシェアは1~3%ポイント上昇。インドやASEANでの上昇が相対的に大きく、経済への影響がより懸念される。

原油および天然ガス価格上昇が輸入額に与える影響



過少投資による需給逼迫で、石油・天然ガス輸入価格が実績（2022年）あるいは想定（2040年）より50%上昇すると想定
Source: IEEJ

深刻化・多様化する地政学リスク

多様化するエネルギー安全保障上の地政学的リスク

- 地政学的リスクは、引き続きエネルギー安全保障における大きな懸念材料であり続ける。
- 資源輸出国・地域の政情不安定化リスクに加えて、近年は先進国の政策変更もリスク要因に。

日本のエネルギー供給をめぐる主な地政学的リスク要因



深刻さを増す中東地域における地政学的リスク

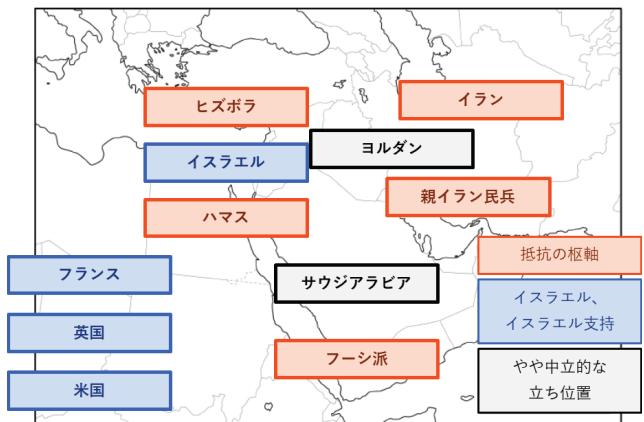
- 原油輸入の中東依存度が高まるなか、ガザ情勢の深刻化やイラン・イスラエル間の対立の深化等によって、日本にとっての中東地域の地政学的リスクはさらに深刻なものとなっている。
- 特にイラン・イスラエル関係の悪化は、パレスチナ情勢とペルシャ湾岸におけるエネルギー供給を連動させる要因となりうるため、その動向がもたらす影響は非常に大きい。

日本の原油輸入における中東依存度



Source : 日本貿易月表

イスラエルとイランを中心とする「抵抗の枢軸」

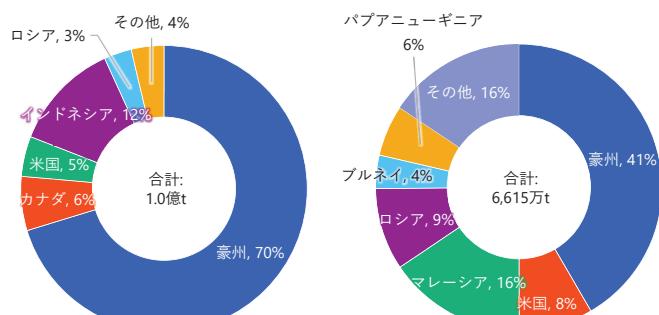


Source : 中東研究センター

先進国の政策変更リスク

- 石炭やLNGの輸入は先進国への依存度が高い（石炭で81%、LNGで50%：2023年）。
- 米国や豪州では、国内の気候変動問題への関心を反映して、国内資源の開発や輸出に制限を加えるような政策が導入されており、市場安定化にとっての課題となる懸念がある。

日本の石炭（左）・LNG（右）の輸入源（2023年）



最近の米国・豪州によるLNG輸出に影響を及ぼす可能性のある政策

国	政策内容
米国	<ul style="list-style-type: none"> 2024年1月、米国バイデン政権が、世界的な気候危機への対応策の一環として、非FTA締結国向けの新規LNGプロジェクトに対する輸出認可申請の審査と承認を一時停止することを発表。
豪州	<ul style="list-style-type: none"> 2022年10月、国内ガス需給ひっ迫時にガス輸出を制限する豪州国内長期ガスセキュリティマニフェスト（ADGSM）を改正。モニタリング頻度を増加。 2023年7月、LNG液化施設や石炭生産施設を含む指定大規模排出源からのGHG排出量を同月から毎年4.9%ずつ削減することを義務付け。新規LNG施設は稼働開始時からネットゼロ排出とするよう要求。

Source : 日本貿易月表

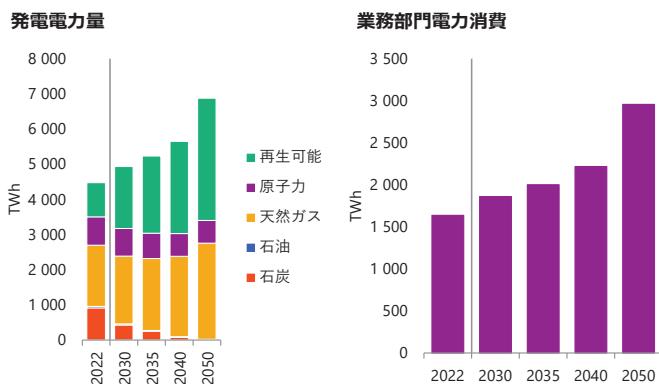
26

電力供給不安定化のリスク

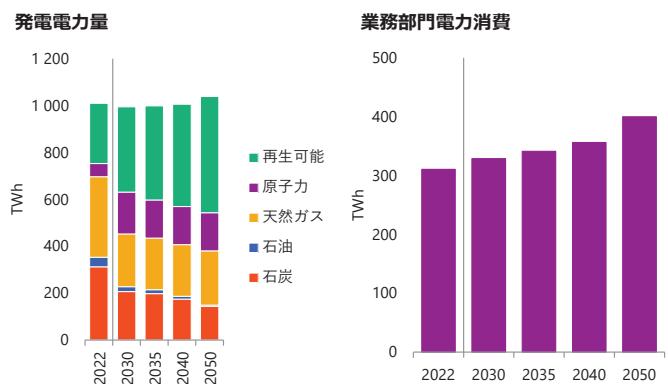
電力需要の増加や自然変動再エネの導入拡大

- デジタル化と電力化の進展で、社会の電力依存度が飛躍的に高まっている。特に電気自動車の普及やデータセンターの拡大により、電力需要が増加している。
- カーボンニュートラルへの移行で、再エネ電源の導入が進んでいる。太陽光や風力などの自然変動再エネ電源は、天候や季節で発電出力が変動する特性がある。

米国の電力需給（レファレンスシナリオ）



日本の電力需給（レファレンスシナリオ）



Source : IEEJ

Source : IEEJ

28

電力安定供給に係るリスクとその課題・対策

- 電力安定供給を維持していくために考慮しておくべきリスクとしては、電力供給面では、化石燃料の供給減少リスク、化石燃料の価格変動リスク、地政学リスク、再エネ電源の出力変動リスク等が考えられる。電力需要面では、電力需要の増加リスク、電力需要施設の偏在化リスク等が考えられる。
- これらのリスクに対しては、化石燃料調達やベースロード電源の確保、供給力の確保、電力系統の最適化という方向で対応が可能である。

電力安定供給に係るリスクとその課題・対策

リスク	課題	対策
<ul style="list-style-type: none"> 化石燃料の供給減少リスク 化石燃料の価格変動リスク 地政学的リスク 再エネ電源の出力変動リスク 	<ul style="list-style-type: none"> 化石燃料調達 ベースロード電源の確保 	<ul style="list-style-type: none"> 発電事業者と需要家とのPPA締結時の長期燃料調達の付記 需要施設による原子力や地熱等の安定電源の調達
<ul style="list-style-type: none"> 電力需要の増加リスク 	<ul style="list-style-type: none"> 供給力の確保 	<ul style="list-style-type: none"> 電源新設の支援制度の導入 需要施設側でのバックアップ発電設備の保有
<ul style="list-style-type: none"> 電力需要施設の偏在化リスク 	<ul style="list-style-type: none"> 電力系統の最適化 	<ul style="list-style-type: none"> 需要施設の電源近接立地 需要施設へのウェルカムゾーンの公表 送電線のダイナミック・ライン・レーティングの導入

Source : IEEJ

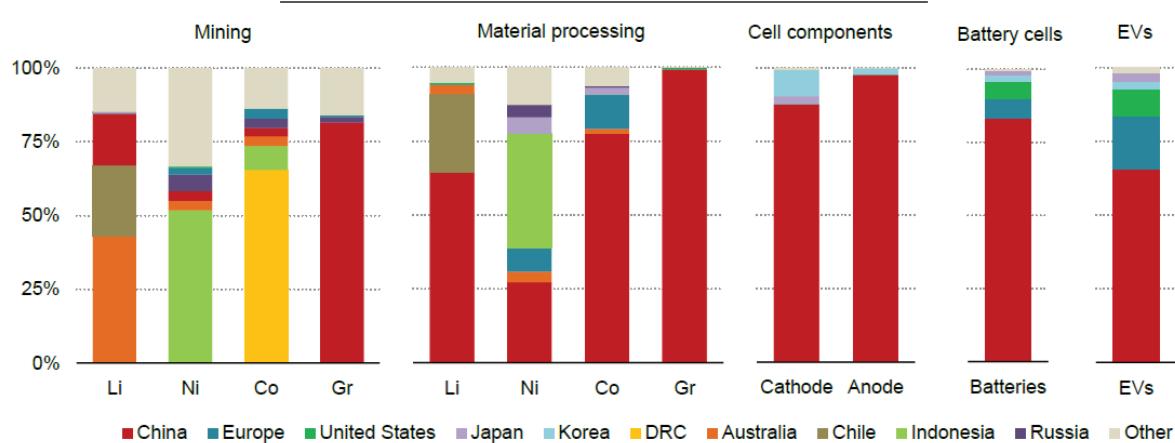
29

重要鉱物供給のリスク

クリーン投資のリスク

- 脱炭素技術の製造能力やクリーンエネルギー投資の原材料として不可欠な重要鉱物の供給には市場集中度の高いものがあり、エネルギー転換を進めるうえでの新たなリスクとして認識されるようになっている。
- 脱炭素対策の進展によって脱炭素技術や重要鉱物の需要が今後増していくと考えられ、従って供給支障が起こった場合の影響（供給不足のリスク、価格高騰のリスク）も大きくなる。

電気自動車用蓄電池サプライチェーンの国別シェア

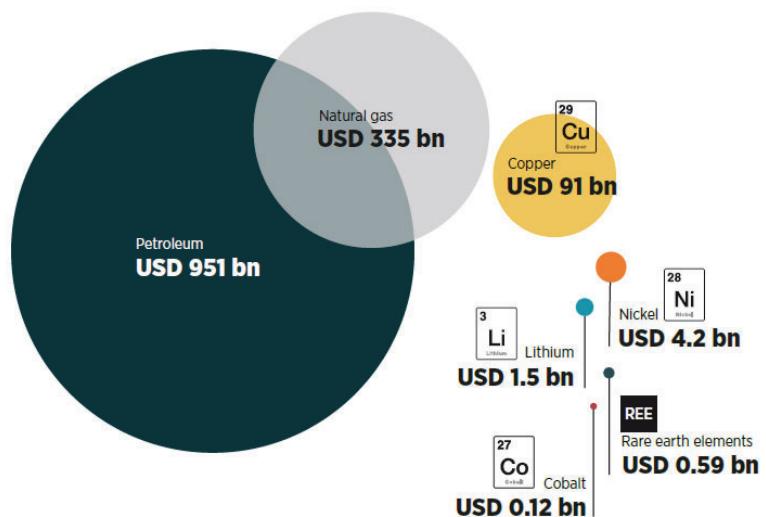


Li = lithium, Ni = nickel, Co = cobalt, Gr = graphite
Source: IEA (2024) "Global Critical Minerals Outlook 2024"

重要鉱物安定供給の課題

- 重要鉱物の市場は小さく未成熟なため、市場支配力の行使や需給の不均衡、それらに伴う価格の乱高下が起こり易い。
- 製錬はエネルギー多消費かつ高環境負荷であることから、先進国が競争力を維持するのは容易でない。
- 戦略物資である重要鉱物の安定供給確保を巡る国際競争が激化していることや、資源ナショナリズムの高揚にも留意する必要。
- 技術革新の可能性から、クリーン技術の将来需要には高い不確実性。
- 新たな資源開発には長いリードタイムを要することが、供給源多角化に向けた投資を難しくしている。
- こうした課題を乗り越えて安定供給を実現するためには、1) 政策の一貫性と、
2) 需給が歩調を合わせた開発、が必要。

代表的な資源の輸出額（2021年）



Source: (UN COMTRADE database).

Note: Numbers represent trade in raw, unprocessed fuels and ores only.

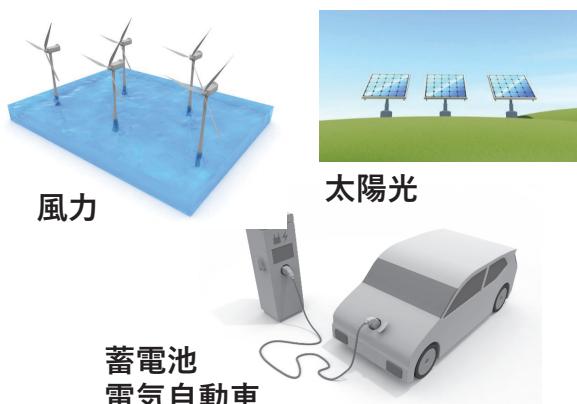
Source: IRENA (2023) "Geopolitics of energy transition, Critical Minerals"

32

リスクを踏まえた技術のミックス

- 供給国の集中度が高い脱炭素技術だけでなく、リスクの所在や程度の異なる様々な技術を組み合わせることによって、リスクの軽減が可能。
- それら技術の開発と市場創出が必要。

供給国の集中度が高い脱炭素技術



供給国の集中度が低い脱炭素技術

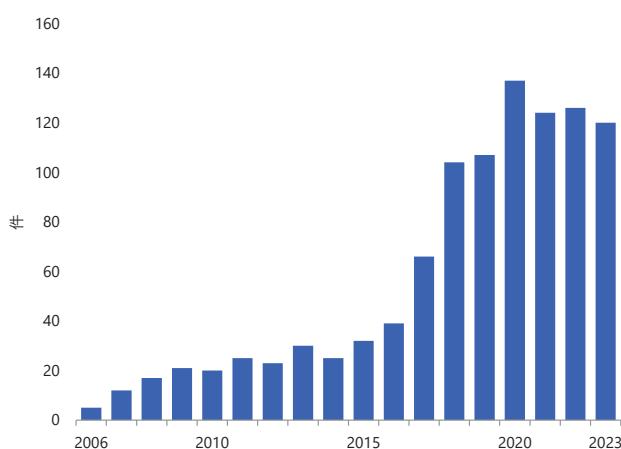
- CCS火力
- 水素、アンモニア火力
- 原子力発電
- 合成メタンの都市ガス利用
- カーボンニュートラル燃料(バイオ燃料、合成燃料)を利用したICEV、HEV、PHEV

エネルギー転換に伴うサイバー攻撃リスクの増大

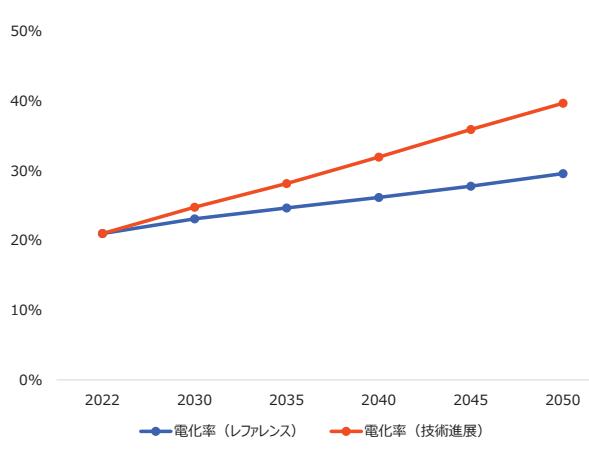
高まるエネルギー供給に対するサイバーリスク

- 2010年半ば以降、重大なサイバー攻撃事象の数が大きく増加。
- エネルギー転換に伴う電力化やデジタル化、ネットワーク接続の進展が、サイバー攻撃の機会を創出する結果となっており、今後もその傾向が続くことが予想される。

世界の重大サイバー攻撃事象数の推移



世界の最終エネルギー需要の電力化率の見通し



*政府、防衛、ハイテク部門を対象としているか被害額が100万ドルを超える攻撃
Source : IEA (2020), CSIS (2024) を基にIEEJ作成

Source : IEEJ

エネルギー転換に伴うサイバー脆弱性の増大

- エネルギー転換の進展に伴い、エネルギー供給・貯蔵・利用の各部門においてサイバー攻撃への脆弱性が高まり、潜在的なリスク要因としての重大性が高まる。

エネルギー転換に伴うサイバー脆弱性の増大

エネルギー供給部門	エネルギー貯蔵部門	エネルギー利用部門
<ul style="list-style-type: none"> 操業管理システムの高度化 <ul style="list-style-type: none"> エネルギー関連設備における操業管理システム(OT)が情報システム(IT)と統合されインターネットに接続 クラウドサービスの利用増加や操業管理機能の自動化により攻撃時の影響が増大 分散型電源の普及に伴う事業者の増加とその多様化 <ul style="list-style-type: none"> 電力サプライチェーン全体における攻撃ポイントの増加と防御体制構築の難化 	<ul style="list-style-type: none"> 蓄電池への依存度の増大 <ul style="list-style-type: none"> インターネットに接続された蓄電池の管理システム(BMS)の採用により、サイバー攻撃による蓄電池の運用(蓄電・放電)に影響が生じる可能性 	<ul style="list-style-type: none"> EVの増加 <ul style="list-style-type: none"> EVは多様なサービス提供のため相互にインターネットに接続 充電ポイントを介して住居のエネルギー利用機器を制御するシステムに侵入される可能性 スマート住居と建物のIoT化 <ul style="list-style-type: none"> 住居内の電力使用や温度管理などのデータ収集とエネルギー利用機器を制御するシステムの導入によりサイバー攻撃の攻撃ポイントとなる可能性

BMS = battery management system, IoT = internet of things

Source : Dawda, Herath, and Maccall (2022) を基にIEEJ作成

サイバー攻撃のシナリオ

- サイバー攻撃には多様なパターンが存在し、その実施主体や目的、攻撃対象も様々。
- ウクライナの情勢などを鑑みると、地政学リスクとの関わりも見逃せず、エネルギー供給への脅威という形でのサイバー攻撃の武器化の可能性にも留意。

エネルギー資産に対するサイバー攻撃のパターン

攻撃のパターン	攻撃の手法	具体的な事例
マルウェアによる遠隔操作やシステム機能不全	マルウェア(悪意のあるソフトウェア)を攻撃対象の社内ネットワークに送り込むことで、外部から 攻撃対象のエネルギー供給施設を遠隔操作 し、実際のエネルギー供給に影響を及ぼしたり、 攻撃対象のPCやネットワークの機能不全 を引き起こす。国家主体による攻撃のパターンあり。	2022年のドイツ風力発電企業、2022年のイタリアエネルギー庁への攻撃、2015年のウクライナ電力網への攻撃など
ランサムウェアによる身代金の確保	マルウェアを攻撃対象の社内ネットワークに送り込むまでは上記と一緒に。その後、攻撃対象の 内部データを暗号化 し、攻撃対象によるシステム運用に影響を及ぼす(右記米国のケースは攻撃対象の企業が予防的にパイプラインの操業を1週間停止)。民間主体による攻撃であることが多い。	2021年の米国石油製品パイプライン会社への攻撃など
大量アクセスによるシステムダウン	攻撃対象に対し大量のアクセスを集中的に行うことで対象の システムをダウン させることでエネルギー供給に影響を及ぼす。	2022年のリトアニアのエネルギー企業に対する攻撃など

サイバー攻撃への対応策

- 多様なパターンが存在するサイバー攻撃に対し、100%の防御を行うことは難しいが、下記の対応策をとることで、攻撃によるダメージを抑え、早期の復旧を図ることができる。

主なサイバー攻撃への対応策

対応策の種類	政府による対応	政府・企業双方による対応	企業による対応
制度面での整備	<ul style="list-style-type: none"> 各主体の責任明確化と対応を促すための政策整備 関係者間の協力枠組整備 	<ul style="list-style-type: none"> サイバーセキュリティに関する認知の向上 	-
リスクの特定	<ul style="list-style-type: none"> 事業者に対するサプライチェーン上のサイバー脆弱性の特定とリスク分析の懇意 	<ul style="list-style-type: none"> 官民間での情報共有 	<ul style="list-style-type: none"> リスクの洗い出しと評価 攻撃対象資産の特定とリスク水準に応じた区分
リスクの管理と最小化	<ul style="list-style-type: none"> リスク管理手順の整備 攻撃時の対応策における優先順位付け 	<ul style="list-style-type: none"> 強韌性確保のための手法の開発とその共有 担当者の能力開発 	<ul style="list-style-type: none"> リスク管理手順の整備 攻撃時の対応策における優先順位付け
リスクのモニタリング	<ul style="list-style-type: none"> リスク監視手順の整備 国家情報部門と連携 	-	<ul style="list-style-type: none"> 特定されたリスクや脆弱性に対する恒常的な監視
攻撃時の復旧	<ul style="list-style-type: none"> 復旧計画・手順の作成と定期的な訓練 	<ul style="list-style-type: none"> 過去の攻撃事例の共有とその教訓による学習・準備 	<ul style="list-style-type: none"> 復旧計画・手順の作成と定期的な訓練

Source : Ecofys (2018); IEA (2021), World Energy Council (2022); 経済産業省・IPA (2022)を基にIEEJ作成

IEEJ Outlook 2025

LNG・天然ガスの役割発揮に向けて

2024年10月18日
一般財団法人日本エネルギー経済研究所

資源・燃料・エネルギー安全保障ユニット
上級スペシャリスト 橋本 裕

本報告のポイント

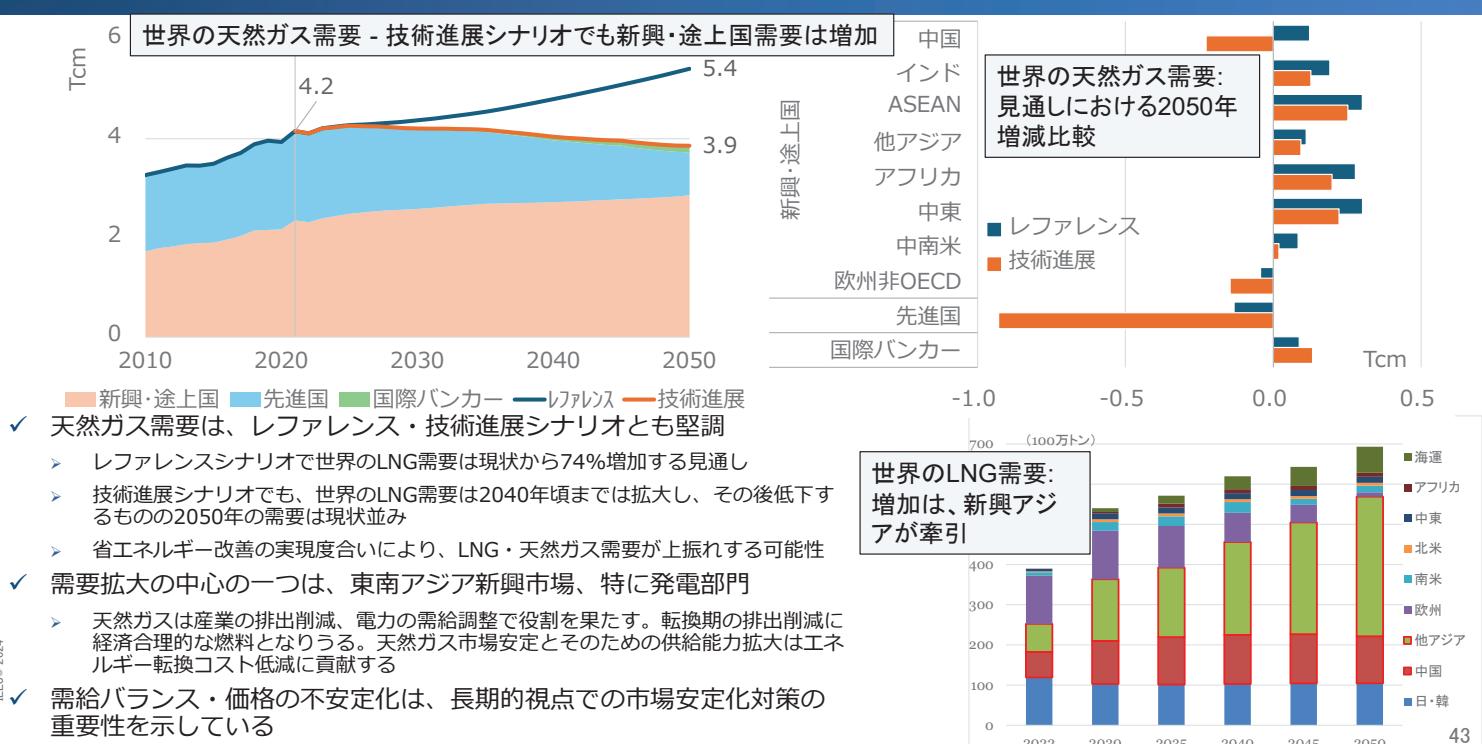
- ✓ **今後もLNGは重要な役割を果たす - LNG需要は増加する見通し**
 - トランジッションへの不確実性の中、エネルギー安全保障と脱炭素化の両立にとって現実的ソリューションとしてLNG・天然ガスは重要な役割を果たすことが期待される
 - 東南アジアを中心に、LNG需要は堅調に増加する見通し（レファレンスシナリオでは世界のLNG需要は現状から74%増加する）
- ✓ **LNG・天然ガス安定供給に継続的な投資が必要**
 - LNG生産部門に毎年1000万トン - 2000万トン/年分の継続的な追加投資が必要
 - 過去3年間のFID状況はこれを上回る。しかし既建設決定分の実現にも不確実性
- ✓ **LNG市場安定化への長期的課題**
 - 役割期待を果たすためLNG市場および関連プレイヤー側の取り組みが必要
 - LNG生産拡大維持には、消費国側からも働きかけ、開発参加・支援が重要
 - 新興市場含めた需要アグリゲーション、市場開発支援が市場拡大・生産開発を支援
- ✓ **[長期的インプリケーションを持つLNG市場の個別課題]**
- ✓ **LNG生産プロジェクトの開発課題**
 - LNG生産プロジェクト開発コストは上昇。浮体LNG生産、小・中規模液化設備の進展
 - 北米西海岸LNG輸出開始は、LNG海上輸送面でゲームチェンジャー
 - 米国輸出キャパシティは堅調に拡大するが、長期開発が「ポーズ」により不確実化
- ✓ **LNG輸送ボトルネック、生産設備トラブルが市場バランスに影響**
 - LNG輸送長距離化に加え、運河・航路のボトルネック発生、長期的なLNG輸送戦略構築が必要
 - LNG生産設備の計画外停止が増加し、需給バランス逼迫時には状況を深刻化する可能性

トランジッションめぐる不確実性対応に、LNGの役割が重要

- LNGは過去60年間の成長の中で、その時々の位置付に応じエネルギーセキュリティ向上に役割發揮
- 役割拡大に伴い、LNG供給強靭性向上が課題だが、リザーブ・バックアップ手段・方策は多面的
- セキュリティ向上のため供給源多様化・国際パートナーシップの取り組みは進展

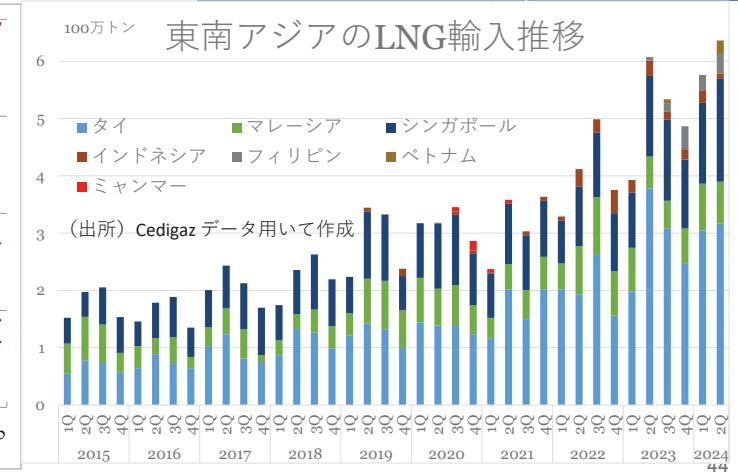
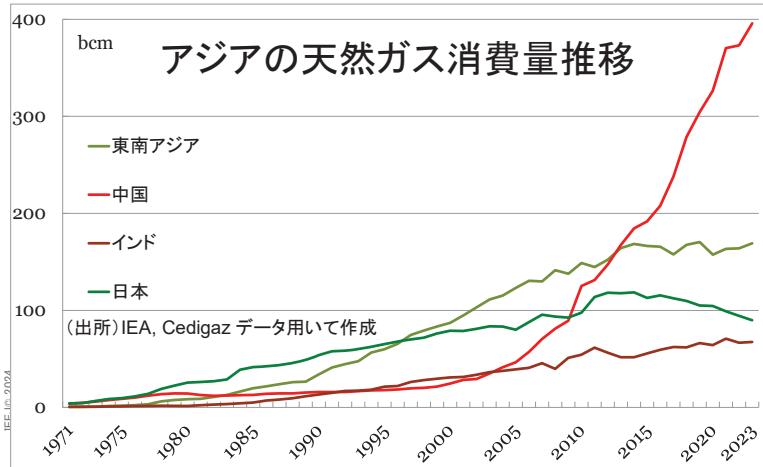
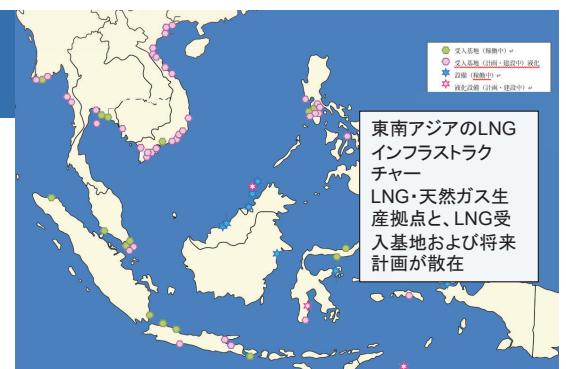
時代と対応事象	LNGの役割発揮振りおよび期待
20世紀後半 ✓ 石油危機 ✓ 大気汚染	✓ 代替エネルギー源、クリーンエネルギー源として拡大（日本、韓国） ✓ パイプラインガスに対する代替ガス供給源（欧州） ✓ 一次エネルギー中でシェア拡大し、石油危機影響緩和にも貢献
2010年代 ✓ 原発停止分補完対応 ✓ エネルギー需要増	✓ ベース電源不足時に迅速対応可能な柔軟性を実証 ✓ LNGバリューチェーン各段階で参加企業が多様化したこと、液化・海上輸送・気化はロジ上の負担でなくなり、緊急時に柔軟性が際立つことになった
2021-2022年 ✓ パンデミック後エネルギー需要増 ✓ ロシア戦争・ガス不足	✓ 欧州でウクライナ侵攻以前よりロシア産パイプラインガス供給減少分をLNG輸入増加が相殺 ✓ ウクライナ侵攻・ドイツ向けパイpline爆破によるロシア産パイplineガス輸入減少分を、米国産を中心とするLNG輸入増加で充足
将来に向けて ✓ トランジッションの不確実性に現実的ソリューション	✓ エネルギートランジッションに向けて、エネルギー安全保障と脱炭素化の両立にとって現実的なソリューション ➢ 新興市場の経済成長・成熟市場の安定供給を支える ➢ 新エネルギー源との組み合わせ・トランジッション貢献 ➢ LNG自身のクリーン化を条件として、長期利用の可能性

天然ガス需要は堅調、LNG需要はアジア比重が増加



東南アジアにはLNG利用増加のポテンシャル大

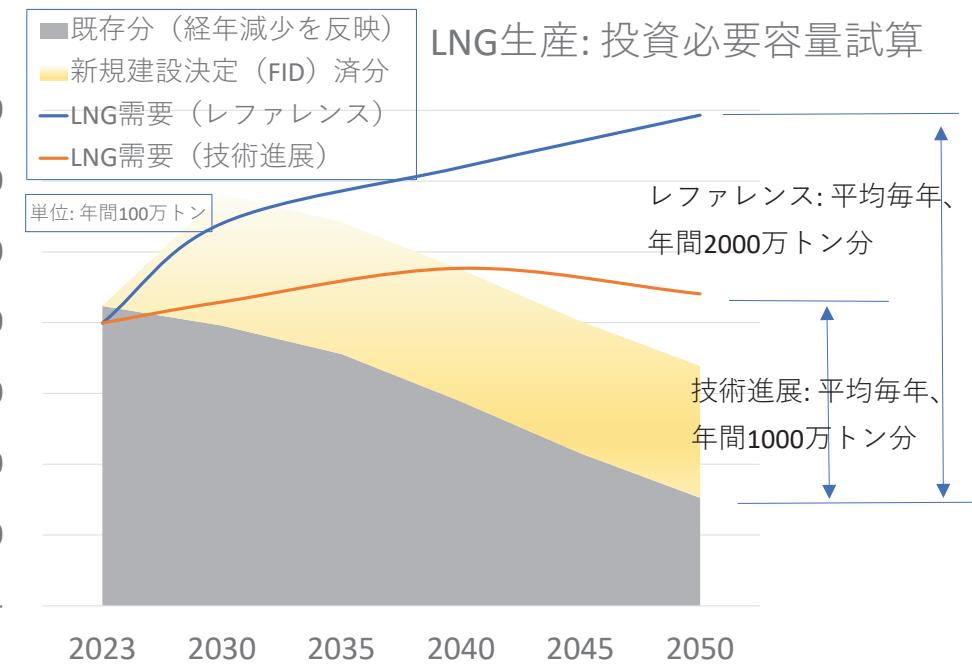
- ✓ 東南アジアでは、1970年代以降、LNG輸出プロジェクト開発と並行して、域内天然ガス消費も増加
- ✓ 伝統的ガス生産国で今後も利用が継続・拡大する
- ✓ 2011年以降、7ヶ国でLNG輸入を実現、域内の物流に加え、域外からのLNG輸入も増加
- ✓ 東南アジアの天然ガス消費量中のLNG比重は、現状の全体の6分の1から、3分の1程度へと高まる見通し
- ✓ 沿岸地域・島嶼地域にLNG利用インフラストラクチャー拡大のポテンシャル



LNG需要純増分、既存LNG生産設備・原料ガス田老朽化代替で投資必要

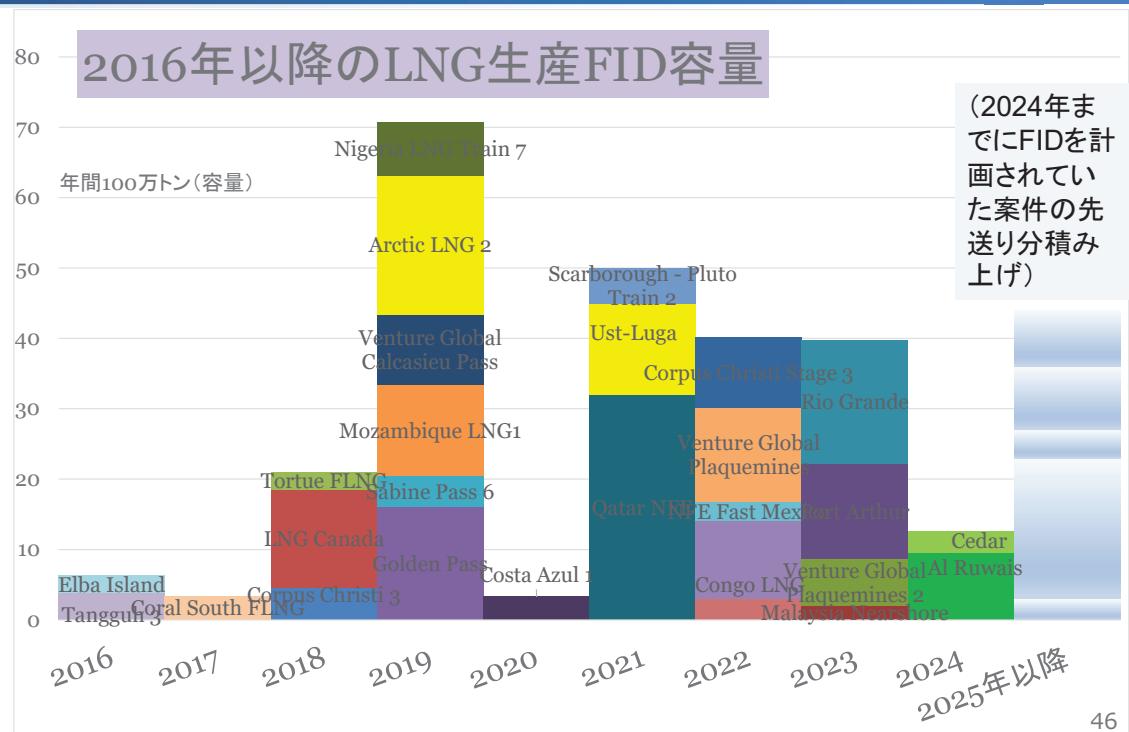
2050年まで、毎年1000～2000万トン/年分のLNG生産部門投資が必要

- ✓ 見通し上のLNG需要量と、経年により減少する既存生産容量の差。需要増加対応、既存ガス田・設備減耗分補完のための投資は、以下を含む
 - 新規プロジェクト投資
 - 代替供給（バックフィル）ガス田投資（1-2中、黄色部分は既建設決定分）
 - 原料ガス田生産減少分補完
 - 既存LNG液化等の設備若返り改修
- ✓ 既建設決定分（黄色部分）の実現にも、遅延可能性
- ✓ 2030年前後にLNG供給力に余剰が生じるとの見方もあるが、余剰という予想に刺激され、追加需要が喚起される可能性もある



2021-2023年に多数のFID、同時にそれ以降のFIDと建設進展に不確実性

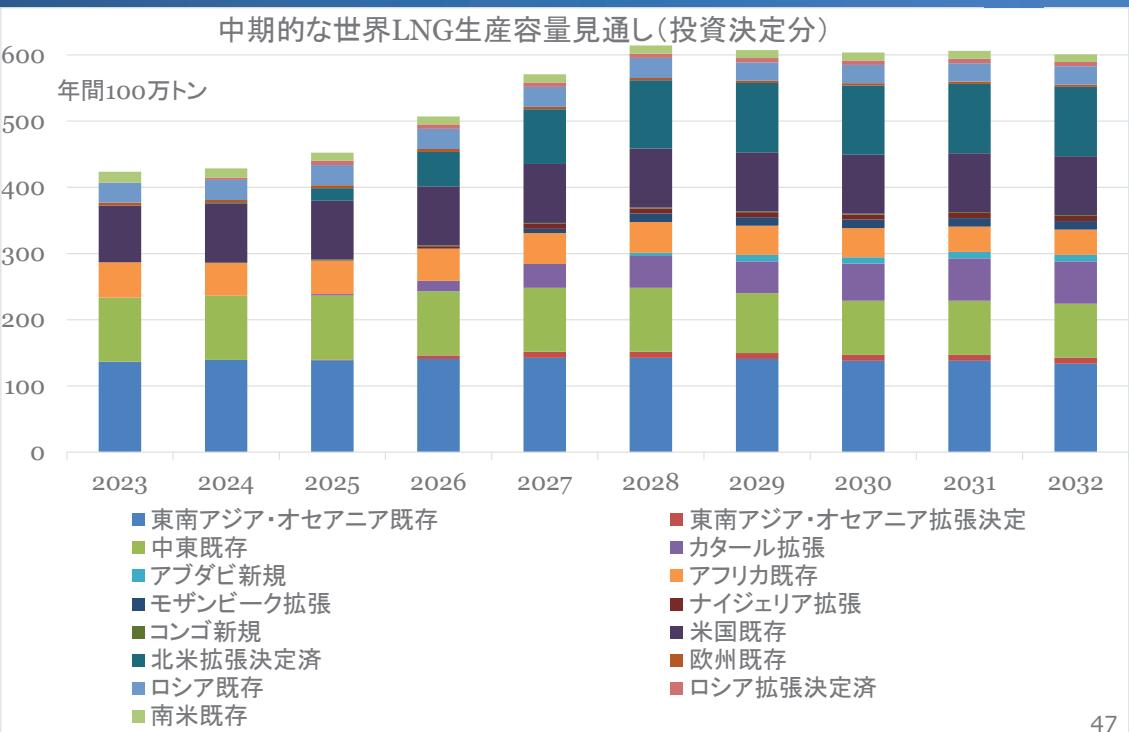
- ✓ 2022年ウクライナ危機、米国を中心にLNG開発活動活発化
- ✓ 2021 - 2023年時点でのFID状況は、前記の必要なキャパシティを満たす規模だが、同様のペースが持続されることが課題
- ✓ 米輸出許可一時停止などの環境政策不確実性により、2024年FIDに足踏み
- ✓ FID済案件にも建設進捗に難題が顕在化
- ✓ 実現しない・遅延の可能性にも留意すべき



(2024年までにFIDを計画されていた案件の先送り分積み上げ)

中期的LNG生産キャパシティ追加に不確実性

- ✓ 現在建設中のLNG生産プロジェクトが予定通り稼働すれば、2030年前後で需要量を上回る見通しとなる
- ✓ しかし建設中の生産プロジェクトに不確実性散見
 - ✓ ロシア新規プロジェクトの不確実化
 - ✓ アフリカで政情不安による建設停止状態の継続
 - ✓ 米国でEPCコストアップによるプロジェクトオーナー・コントラクター間の交渉不調による遅延
 - ✓ 米国で環境訴訟を契機とする建設許可差し止め判決
- ✓ 他方、余剰分を見越した需要喚起により、価格感応性高い市場による引き取り増加
- ✓ 2030年頃といわれる「供給過剰」は現実化しない可能性



■ 東南アジア・オセアニア既存
 ■ 中東既存
 ■ アブダビ新規
 ■ モザンビーク拡張
 ■ コング新規
 ■ 北米拡張決定済
 ■ ロシア既存
 ■ 南米既存
 ■ 東南アジア・オセアニア拡張決定
 ■ カタール拡張
 ■ アフリカ既存
 ■ ナイジェリア拡張
 ■ 米国既存
 ■ 欧州既存
 ■ ロシア拡張決定済

LNGが現実的なソリューションとして機能するための課題

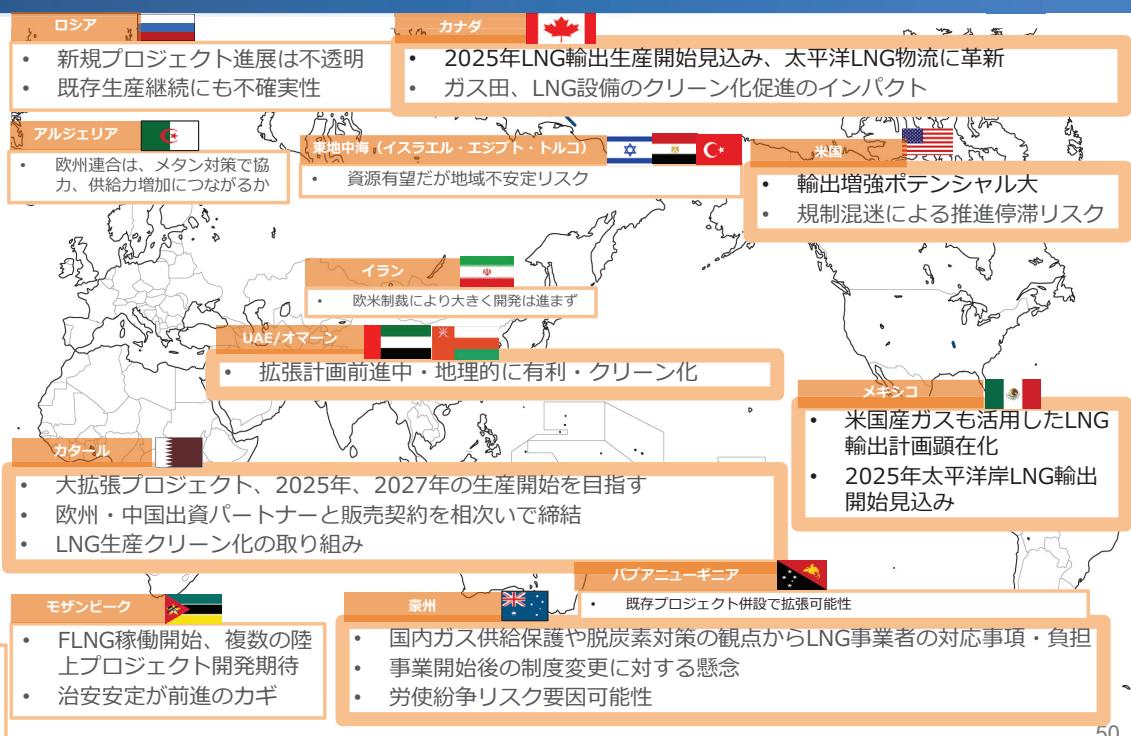
1. エネルギートランジッション、セキュリティにおけるLNGの役割は重要
 - i. LNGの役割期待を果たすためLNG市場・関連プレイヤー側の安定供給・LNGクリーン化の取り組みが必要
 - ii. その目的に適合するLNGの基準の明確化が必要
 - iii. 企業レベルでは、メタン・GHG排出対策強化・目標設定および的確・タイムリーな情報公開がカギ。LNG供給チェーン全体でのクリーン化が重要
 - iv. 投融資対象としてLNGの優位性をアピールする必要
2. LNG生産拡大・維持には、消費国側からも働きかけ、開発参加・支援が重要
 - i. LNG生産国での制度・規制面の安定・開発推進を消費国側から働きかける
 - ii. 開発への参加と開発への支援が重要
3. 新興市場含め需要アグリゲーション、市場開発支援が市場拡大・生産開発を支援
 - i. 東南アジア新興市場を巻き込む中長期的な需要アグリゲーション
 - ii. 市場開発支援がグローバルLNG市場の規模拡大、生産開発の支援につながる

主要生産地域のLNG生産プロジェクト開発動向の推移

	各時期の特徴	コストダウンや開発促進取り組み
2010-2014	• 北東アジアLNG需要急増、豪LNG開発ブーム、建設活動集中に伴う高コスト化	• 豪州の高コスト傾向が、他地域でのLNG開発を覚醒
2015-2020	• LNG生産設備開発の中心地が米国へ • LNG原料向けの上流部門、液化部門ともコスト増加は抑制 • 米国産LNGの原料ガスコストは、絶対的に安価ではないが、長期的安定性を期待	• 米国LNG輸入設備利用低迷後、LNG輸出設備の開発に転用 • 米国ガス生産・原料ガス輸送部門が分離 • 他地域含め、浮体液化(FLNG)方式がオプションとして台頭
2021-	• パンデミックによるロジスティックス障害に伴い、建設遅延、コスト上昇 • 戦争影響の制約でコスト上昇 • ホスト国政情不安定による建設遅延 • コスト上昇の吸収困難な事例も発生 • 米国で輸出許可、建設許可手続き面での不確実性高まる	• 小・中規模液化設備技術革新 • LNG生産プロジェクト裾野・全体規模拡大に伴う、モジュラー方式(同一設計の繰り返し適用) • ロシア産ガスからのフェーズアウトにより、他地域でのLNG生産プロジェクト開発促進
	• 鋼材・コンクリート等の素材コスト上昇 • 資金調達コスト上昇 • CCS・電化(再生可能エネルギー)コスト	• LNG生産プロジェクト各社は、コストダウンおよびLNGクリーン化に取り組む

世界各地のLNG生産には、有望な将来性とともに課題

- ✓ 中期的拡大を米国が牽引する一方、非FTA向け LNG輸出許可の一時停止、建設許可取り消し案件で規制不透明性拡大
- ✓ カナダなど新規LNG供給源に期待（物量増加に加え、輸送経路の回避、輸送経路短縮化・多様化）
- ✓ カタールのLNGマーケティングが進展しており、出資パートナー外への販売を中心に次のステップが注目される
- ✓ 豪LNGの安定供給維持策・リスク軽減が急務



50

米国LNG輸出許可「一時停止」に加え、建設許可手続きも法廷取り消し発生

- 2024年1月末、米政府はLNG輸出許可手続きを一時停止し、経済・環境影響をスタディ
- 一部のLNG生産設備に遅延と不確実性、米国の長期的、安定的な供給者としての信頼性に疑問符
- 7月2日、米連邦地方裁「一時停止」差し止め判決、8月31日、メキシコ案件に非FTA承認
- 8月6日、米連邦地方裁、FERC建設許可済LNGプロジェクト2件の許可無効判断
- 9月13日、FERCが前記2件の環境審査再実施日程示す（一方でプロジェクト側は上訴検討中）
- LNG輸出許可手続き、LNG生産設備建設許可手続きともに不透明化、その不透明感払拭・制度安定化が課題

許可「一時停止」における論点	それぞれの留意事項
「一時停止」直接のインパクト	2022-23年合意の売買取引年間1.5億トン中3000万トン
「年間3.5億トン生産に輸出許可済み」	許可分の半分近くは、未FIDのため実現は不透明
商談の進展と規制手続き進展にズレ	規制当局は商談に直接関与せず、すべきでもないが、今後の検討材料となる
米当局は「許可延長手続きに影響せず」と明言	許可済み案件の延長手続きが円滑に進むか要注目
厳密な審査手続き再開タイミングは依然不明	11月選挙後、と推定されるが、具体的には不明瞭
パブリックコメント期間	LNG買主、開発参加企業は、コメントの準備に着手すべき
他LNGプロジェクトが、米「一時停止」により有利に	米国内、米国外の一部LNGプロジェクトに追い風
DOEスタディの可能性ある帰結	LNG輸出の上限、期限（調整余地ある上限・期限） 許可期間延長手続きの厳格化（調整余地ある厳格化）

51

米シェール革命が国際LNG市場にインパクト - 長期的LNG供給力として期待

- 米国のシェール革命は、国際LNG市場と相互作用しながら段階的に進展
- 直近で米国は世界最大のLNG輸出国となり、欧州の脱ロシアにも貢献
- 米国の今後の追加LNG生産プロジェクト開発が新興市場含めたLNG市場発展を支えることを期待 - 不透明化解消が課題

米国内天然ガス市場		国際LNG市場	米国と国際市場の相互関係
~2007	米国内天然ガス価格上昇、米国内開発促進	世界的な天然ガス・原油価格上昇	LNG生産諸国、米国向け販売めざし投資
2008~	シェール革命は天然ガスから開始 天然ガス・原油価格差の拡大	カタール、ロシアLNG輸出増	LNG価格アジアプレミアム顕著 (特に日本の原発危機以降)
2014~	LNG輸出プロジェクト進展、輸出開始と拡大 原油生産増加とともに、随伴ガス增加加速	豪州中心にLNG輸出プロジェクト大拡張進展	米国産LNG登場、国際LNG取引柔軟化
2019	LNG輸出設備への投資決定、世界年間7000万トン中、米国分が年間3000万トン分	供給増加によるLNG・ガス価格低下	米国内・国際市場価格差が、米国での追加投資決定を促進
2020	北半球夏季にLNG輸出キャンセル多発	世界LNG・天然ガス価格史上最低水準、市場間の天然ガス価格融合	世界天然ガス価格低迷、北半球夏季に米国産LNGキャンセル多発
2021	世界LNG供給増加分を米国産が独占	2021年下半期以降、価格上昇・高価格常態化(LNG生産設備障害も価格上昇に影響)	国際LNG・天然ガス価格高水準も、先行き不透明感によりLNG投資決定が足踏み
2022~	2023年、米がLNG輸出世界筆頭 LNG生産プロジェクト開発加速の中で、 輸出許可ポーズ・建設許可の法廷による停止によって、先行き不透明 世界市場影響も受け、米国でもほんの一時、天然ガス価格上昇	ロシア産パイプライン天然ガス供給の激減 欧洲LNG輸入急増・米国産LNGが増分を充足 天然ガス価格変動が激化	ロシア以外の世界各地でLNG生産開発加速 長期的にも米国は安定的・巨大な国際LNG市場への供給力である期待、LNG輸入国側からの働きかけが重要

52

日本企業のLNG調達対応 - 調達提携、ポートフォリオプレイヤー依存の拡大

- 現時点でターム契約確保量は、2025年頃までの年間6000万トン強から、2030年時点で5000万トンまで低下

- レファレンスシナリオでは、LNG需要は2050年で4500万トン程度

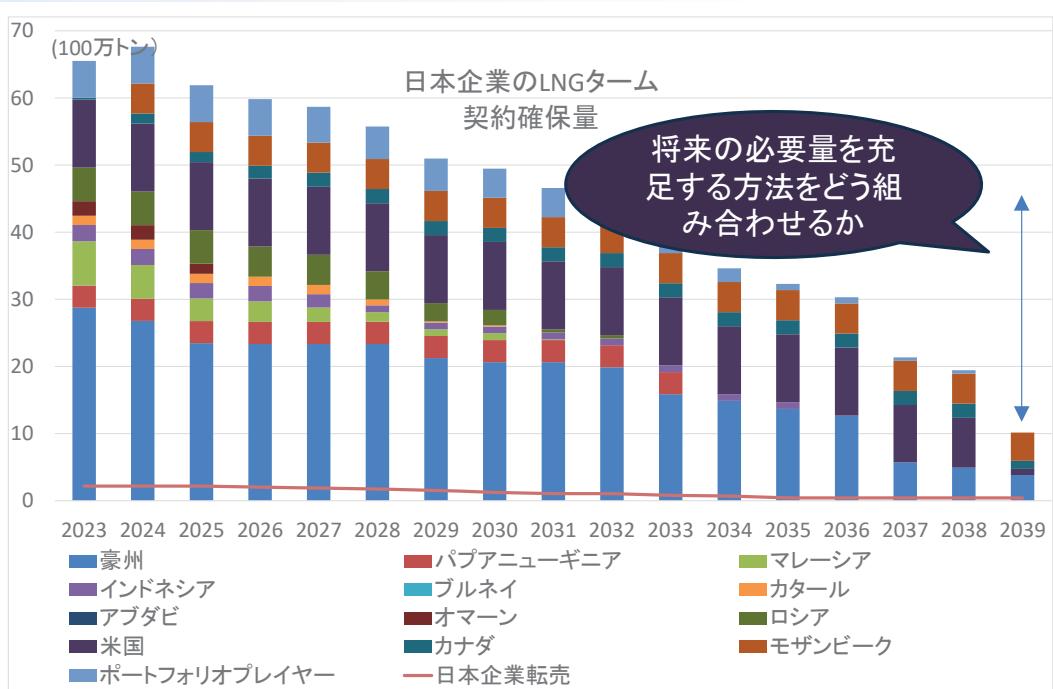
長期的な将来の調達に関して

- 個社(特に電力会社)での単独大規模・長期ターム契約は困難に
- 取り扱い減少は交渉力相対的低下につながる
- 短中期・スポット調達比率拡大



官民協力や政策的支援が重要

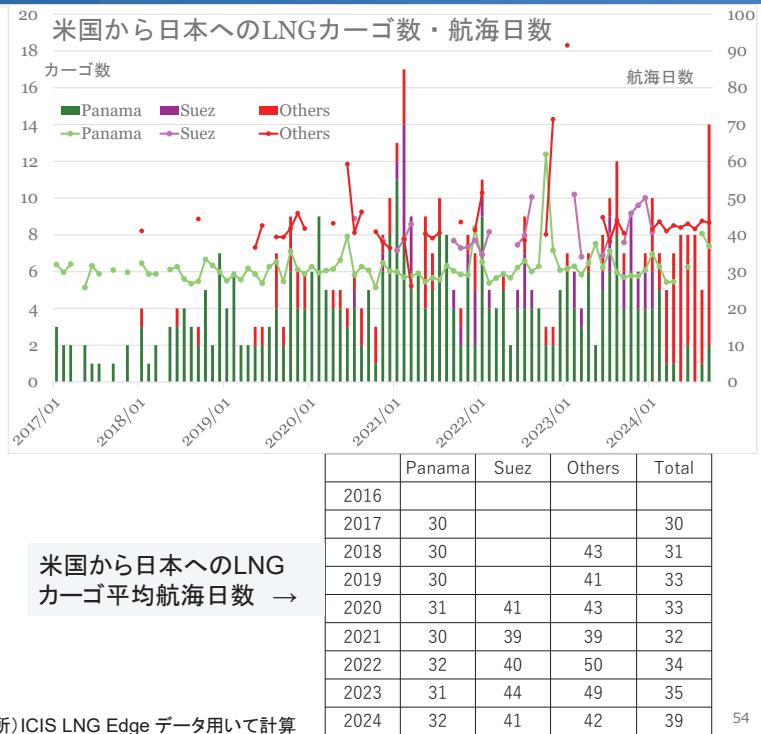
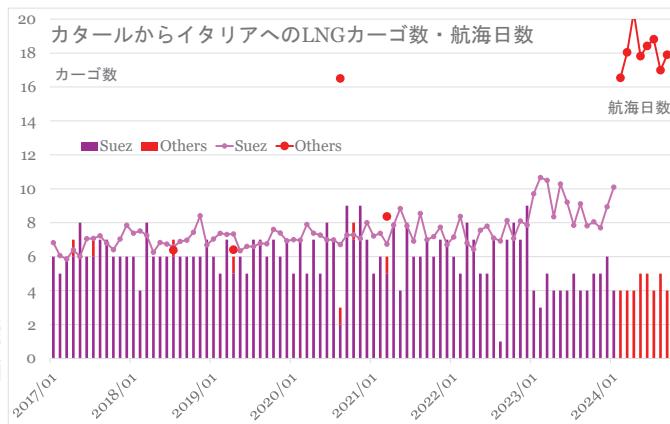
- 内外ポートフォリオプレイヤー活用
- 大手買主・商社などの準ポートフォリオプレイヤー化
- 海外企業との共同購入・融通
- 国内主要企業間共同購入検討



53

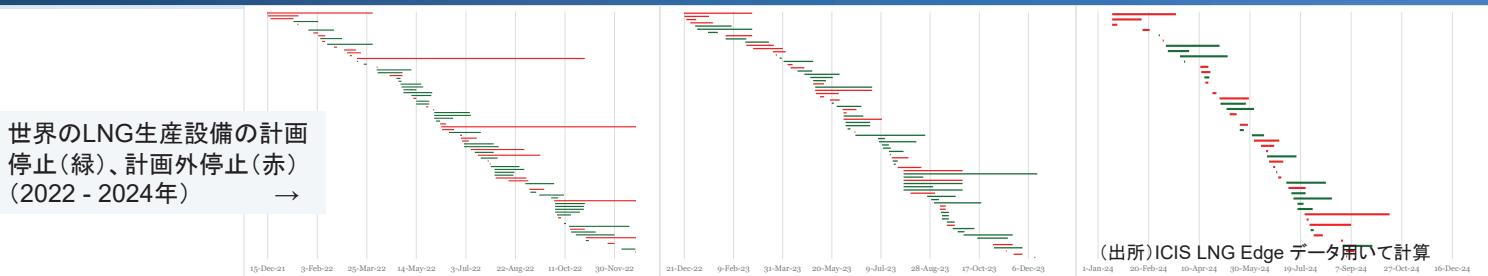
LNG輸送量増加・供給源多様化の一方で、輸送重要航路にボトルネックも発生

- ✓ 重要航路にボトルネックが発生し、需給逼迫時には大きな障害要因となる可能性
- ✓ 2016年パナマ運河拡張完成以降、大型LNG輸送船舶の通航が可能となった
- ✓ 通航キャパシティの上限に加え、渇水による通航制限、2024年は喜望峰周りが常態化
- ✓ 中東情勢により紅海・スエズ航路も事実上遮断
- ✓ 長期的なLNG輸送戦略構築が必要



54

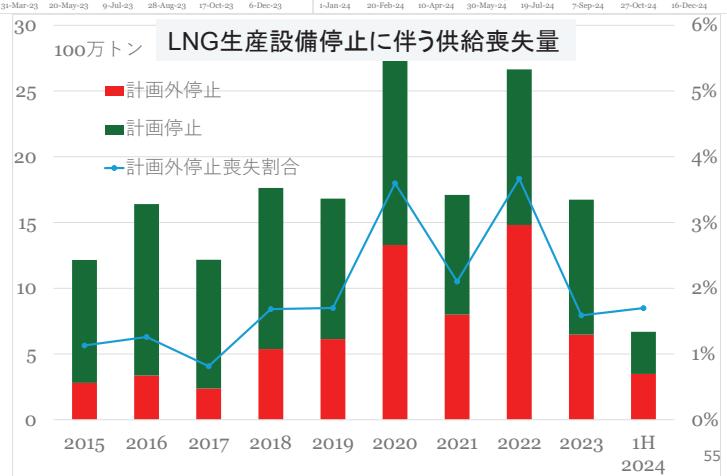
LNG生産設備の計画外停止、需給バランス逼迫時には状況を深刻化する可能性



- ✓ 2022年、米国で大型LNG輸出設備1件につき、火災事故で長期間の停止、他生産諸国でも比較的長期間の計画外停止があった
- ✓ 特に市場バランスが厳しい時期に当たったことから、スポットLNG、ガス価格をさらに押し上げる要因となった
- ✓ 2023年、市場バランスが比較的安定化したところに、計画外停止による喪失量も前年比で減少した

スポットLNG・ガス価格の営業日毎の変動値、年平均

推移	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
TTF	0.12	0.13	0.09	0.07	0.13	0.07	0.09
北東アジア 向けスポット	0.09	0.12	0.12	0.11	0.15	0.11	0.12
2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
0.08	0.13	0.13	0.09	0.85	2.42	0.61	0.26
0.10	0.16	0.11	0.19	1.01	2.37	0.52	0.25



55

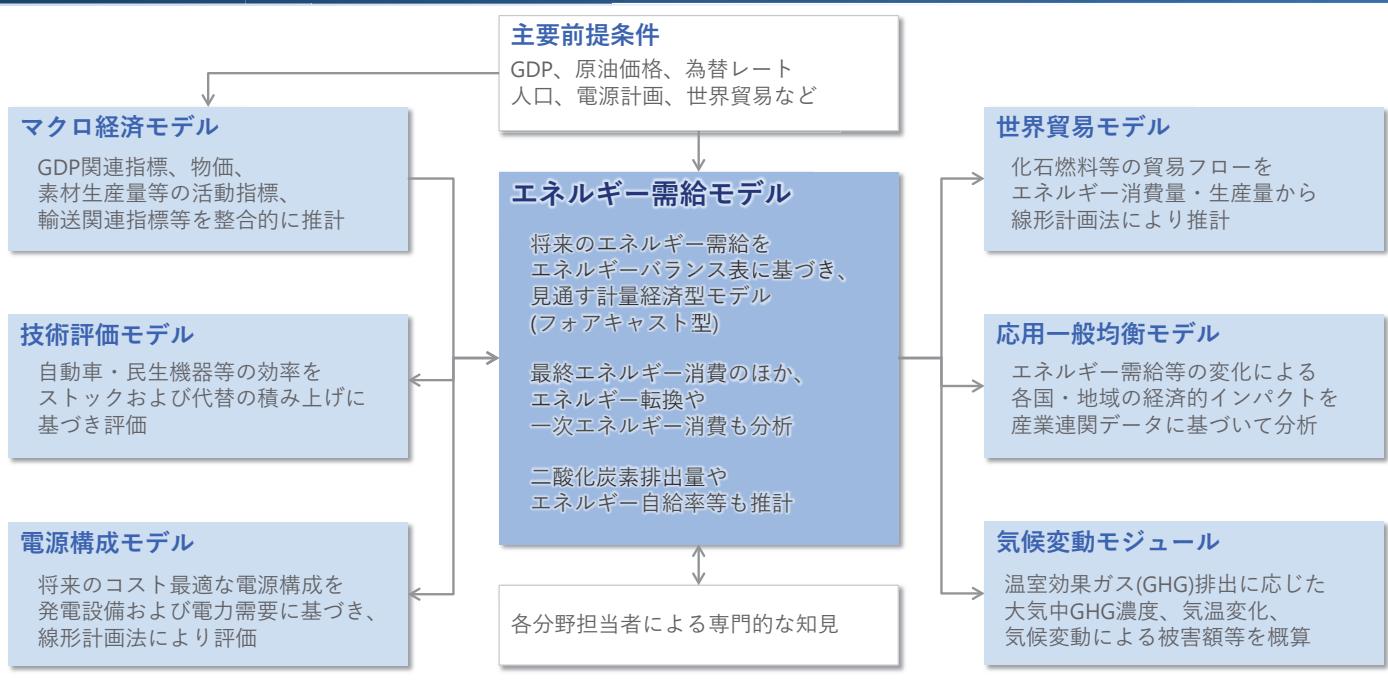
付属資料

地域区分

- 世界を44か国・地域および国際バンカーに区分
- アジアは17か国・地域、中東は8か国・地域に区分し、特に詳細な分析を可能に

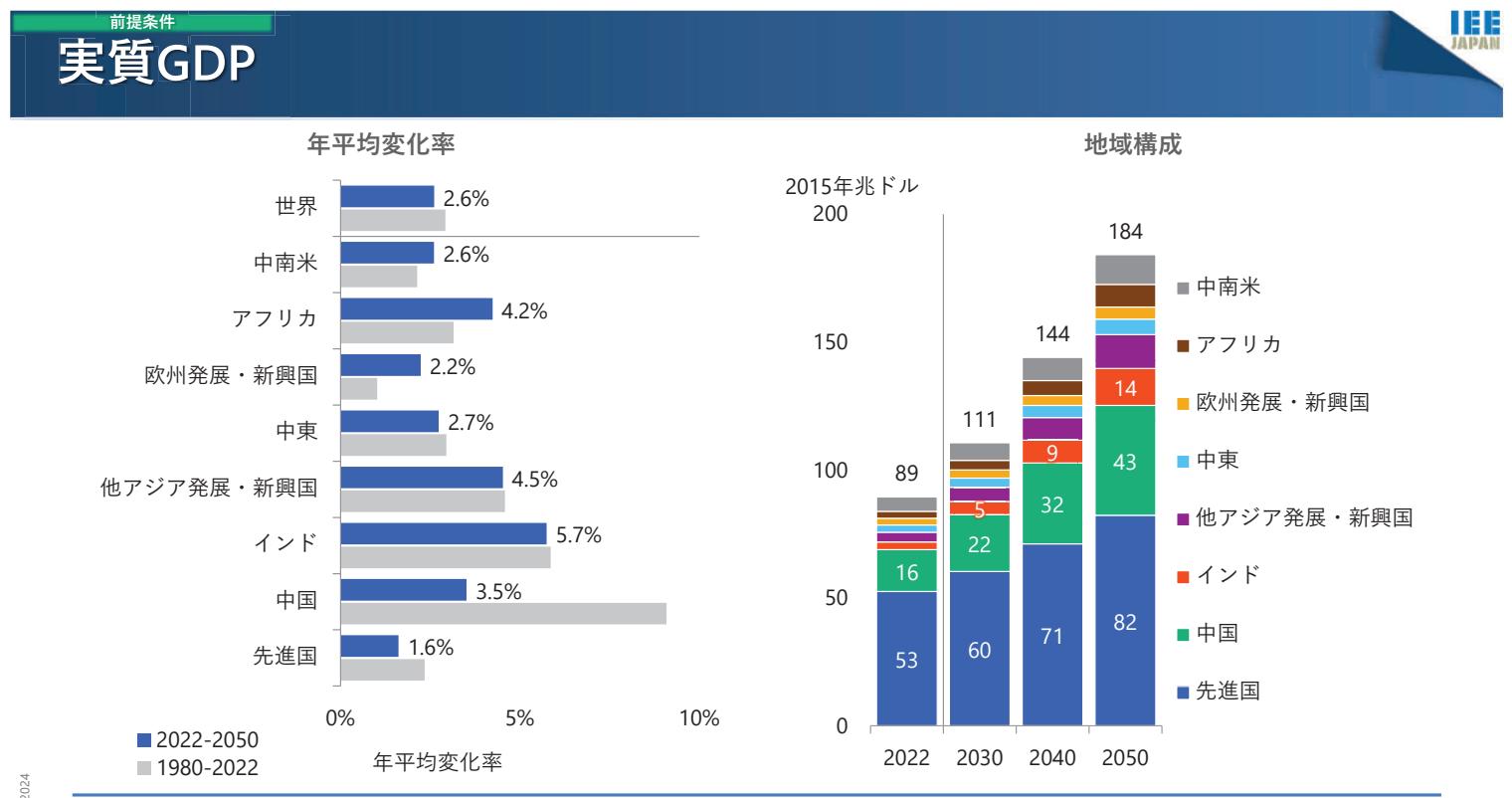
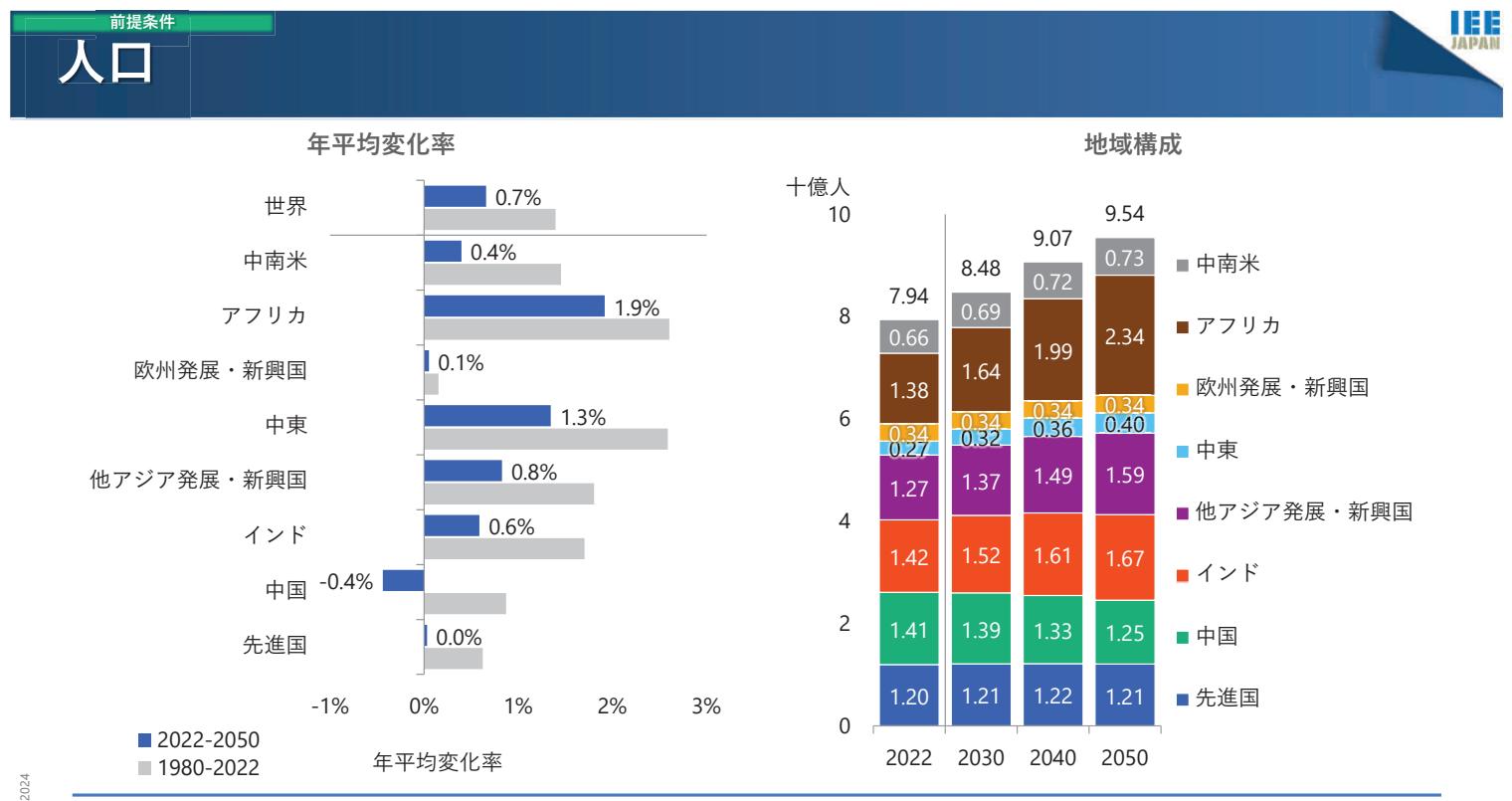


IEE Outlookモデルの構造

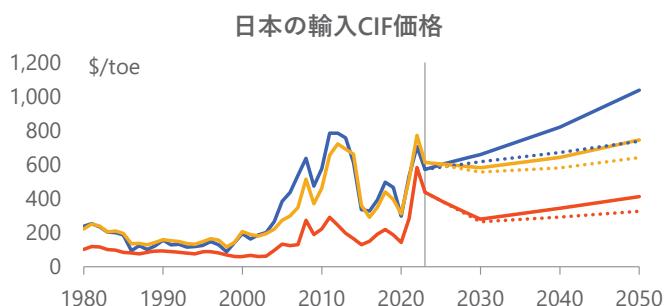
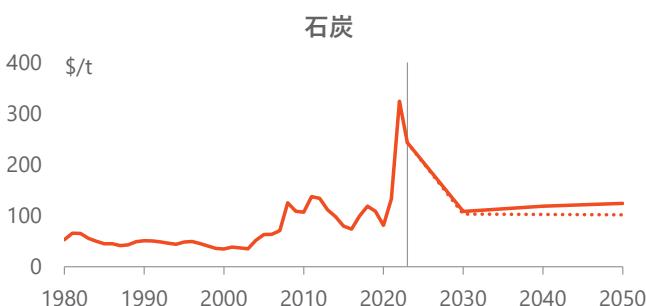
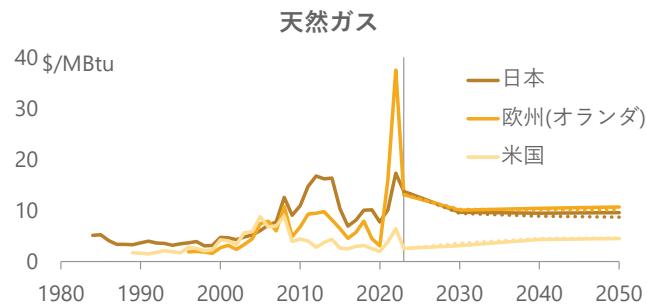
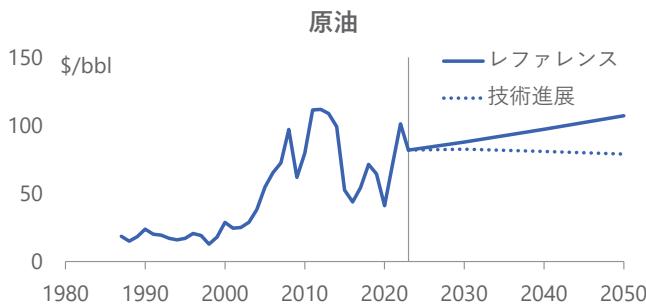


IEE Outlookの基本シナリオ

	レファレンスシナリオ	技術進展シナリオ
	今までのエネルギー・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: ヨーロッパ、米国、アジア市場の価格差が縮小 石炭: 脱炭素による需要減により低下	省エネルギーの進展や脱炭素による需要減により低下
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(省エネルギー基準、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



国際化石燃料価格



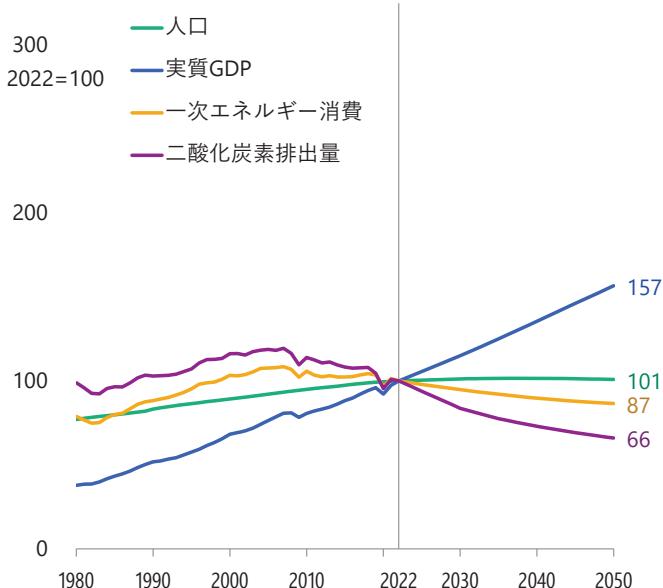
注: 実績値は名目価格、見通しは2023年価格。実線: 技術進展、点線: レファレンス

エネルギー・環境技術の前提

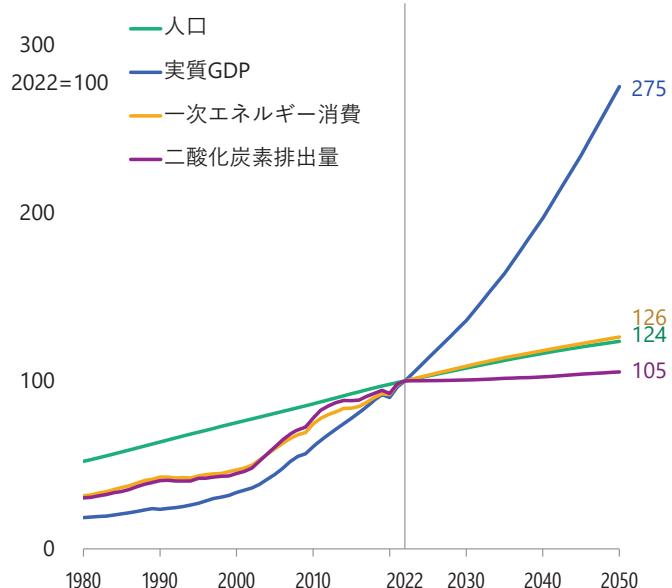
	2022	2050		技術進展シナリオにおける前提
		レファレンス	技術進展	
エネルギー効率の改善	産業部門 鉄鋼業の原単位 (ktOE/kt)	0.270	0.260	0.201 2050年までにBest available technologyが100%普及
	窯業土石業の原単位	0.095	0.074	0.065
	運輸部門 電動乗用車販売比率	17%	60%	96% 電動自動車のコスト低下。燃料インフラを含む普及促進策の強化
	乗用車新車燃費 (km/L)	17.8	27.2	46.2 ※電動自動車:ハイブリッド車、プラグインハイブリッド車、電気自動車、燃料電池車
	民生部門 家庭の総合効率 (Y2022=100)	100	141	175 ストックベースでの家電・機器効率及び断熱効率の改善スピードが約1.7倍に
	業務の総合効率	100	131	172 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)
低炭素エネルギーの導入	発電部門 火力発電効率(発電端)	37%	45%	48% 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
	運輸用バイオ燃料消費量 (Mtoe)	99	178	303 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)	387	498	814 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)	962	3,548	5,156 発電コストのさらなる低下
	太陽光発電設備容量 (GW)	1,107	8,214	10,693 系統安定化技術のコスト低減、系統システムの効率的運用
	CCS付設火力発電設備容量 (GW)	0	0	1,137 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)	39%	60%	87% 国際連系を含む系統システムの効率的運用

人口、GDP、エネルギー消費、二酸化炭素排出量

先進国

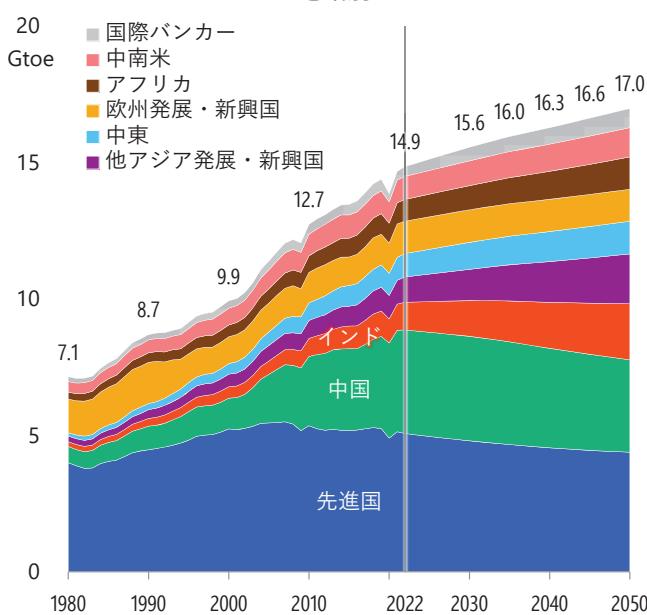


新興・途上国

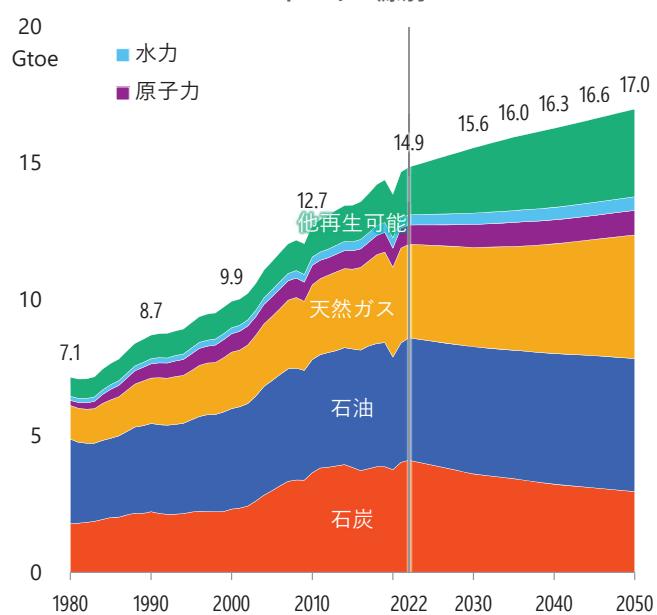


一次エネルギー消費

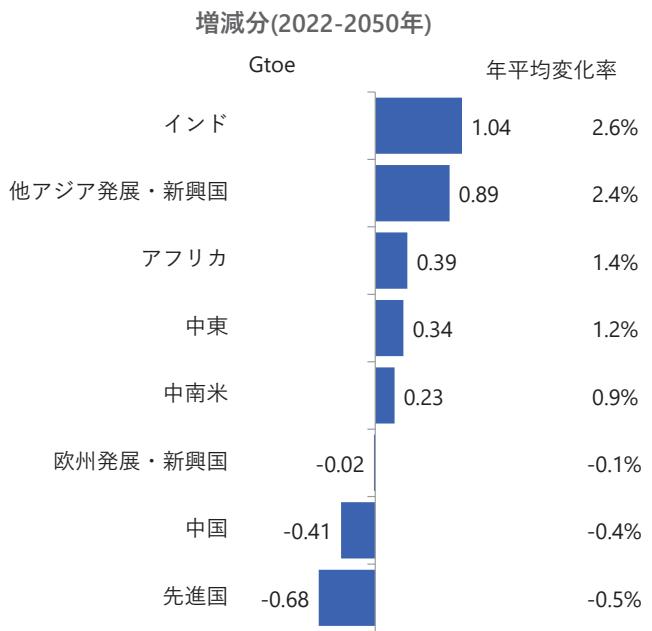
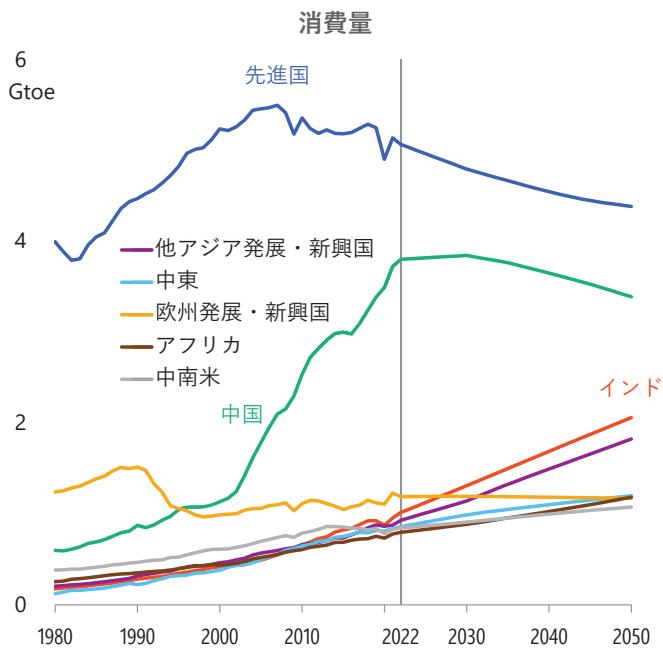
地域別



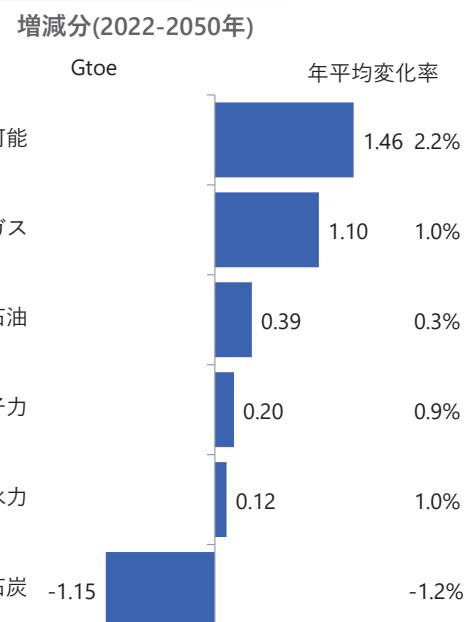
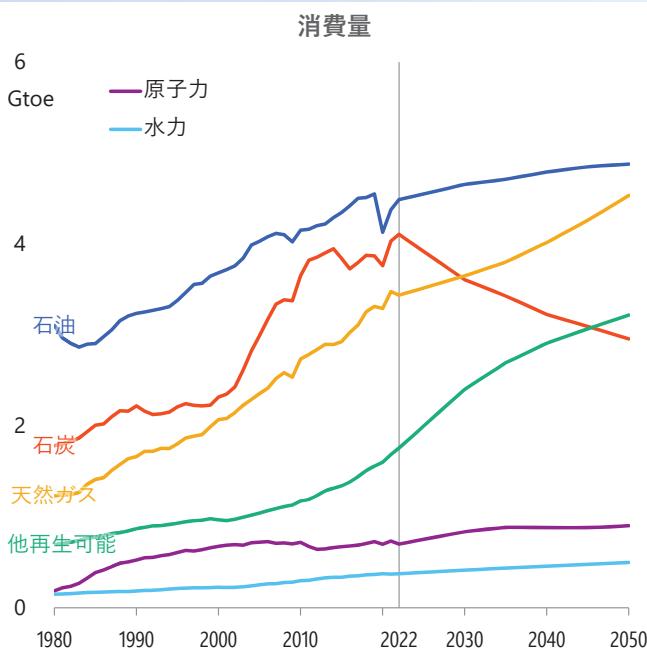
エネルギー源別



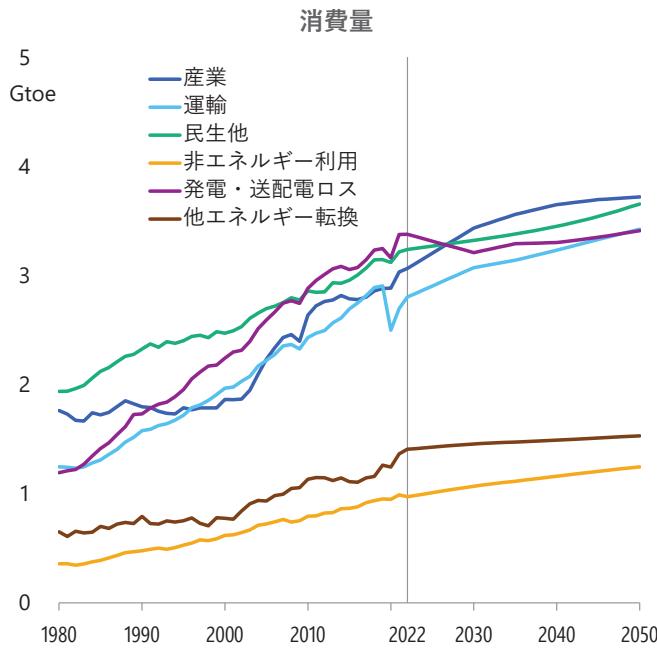
一次エネルギー消費(地域別)



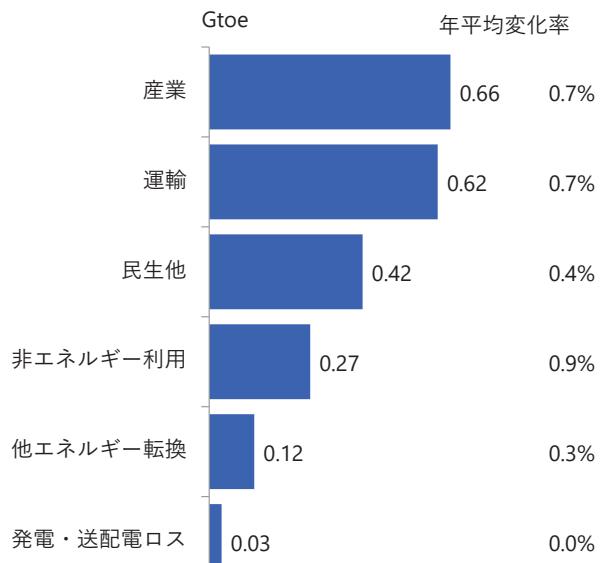
一次エネルギー消費(エネルギー源別)



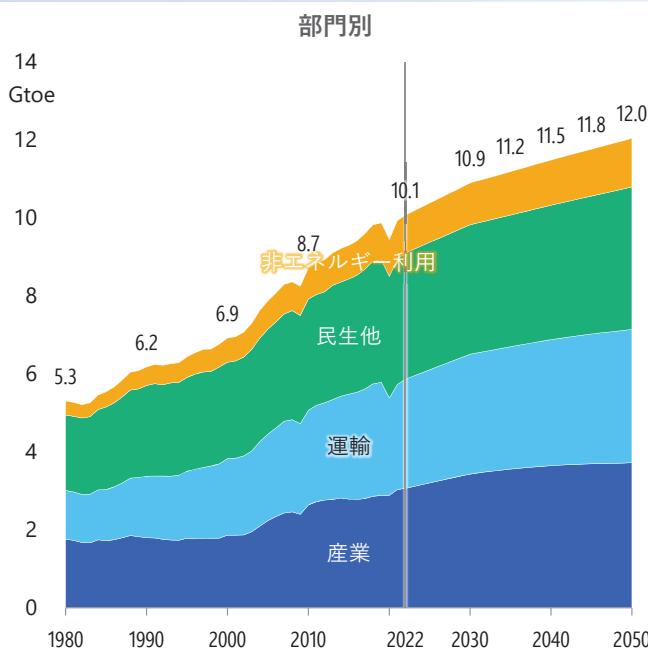
一次エネルギー消費(部門別)



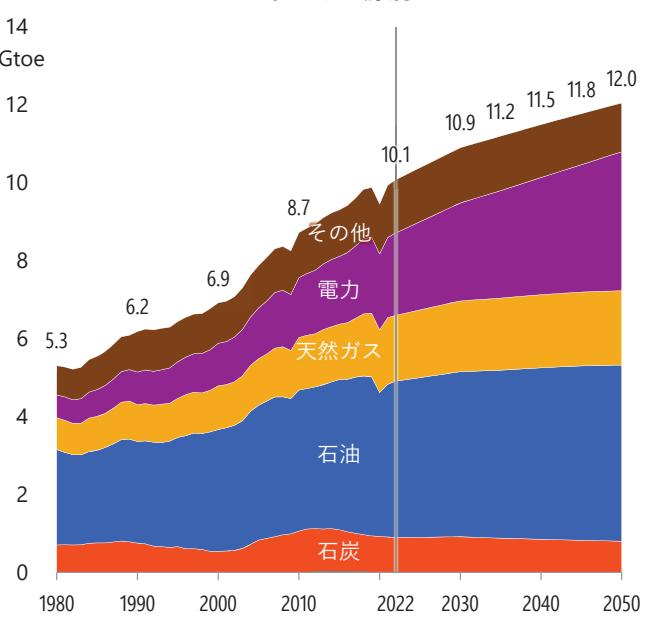
増減分(2022-2050年)



最終エネルギー消費

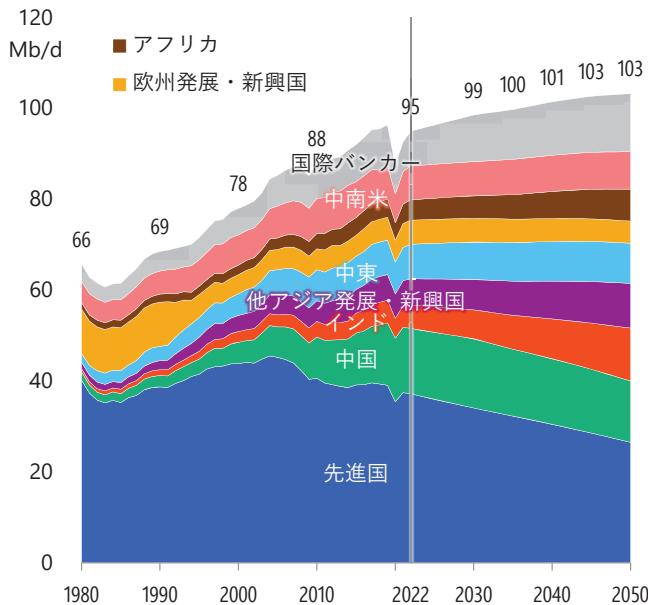


エネルギー源別

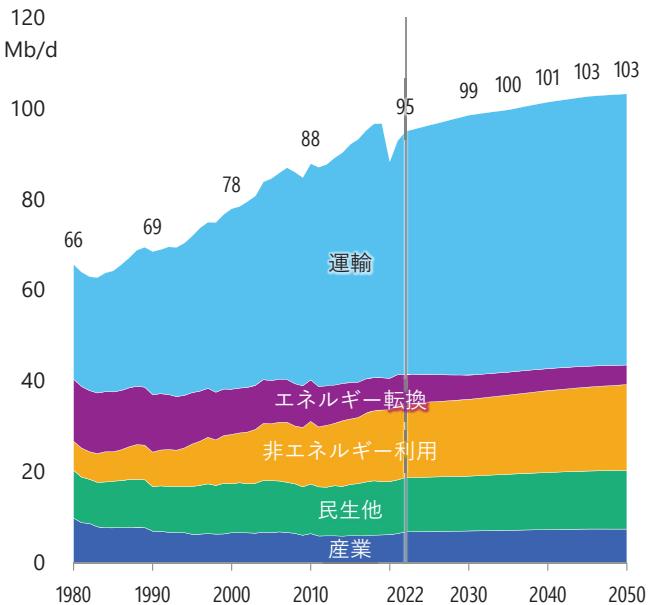


レファレンスシナリオ 石油消費

地域別

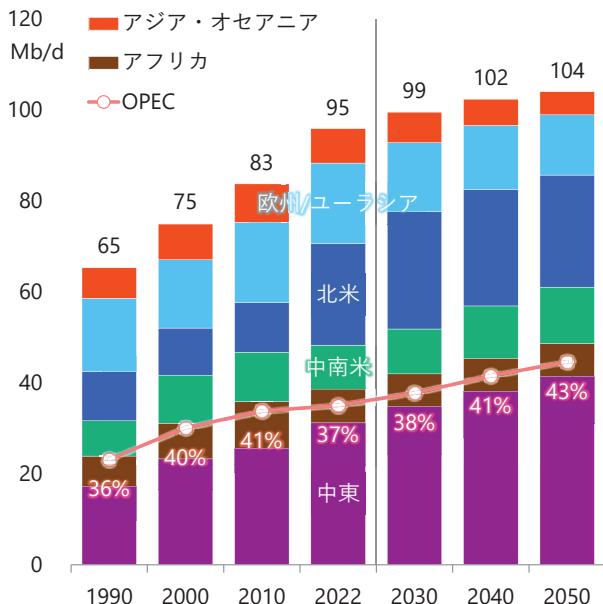


エネルギー源別

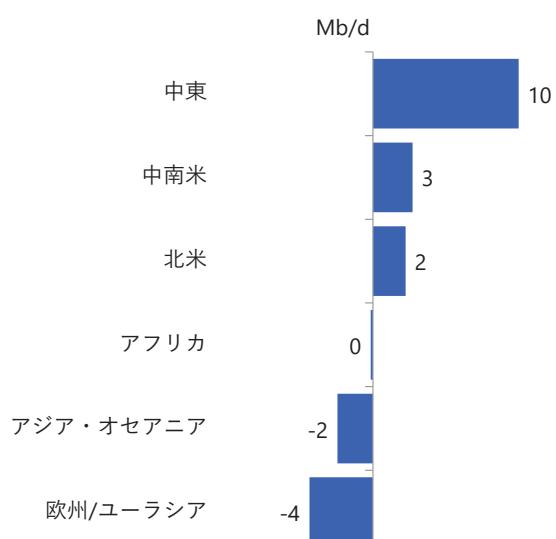


レファレンスシナリオ 原油生産

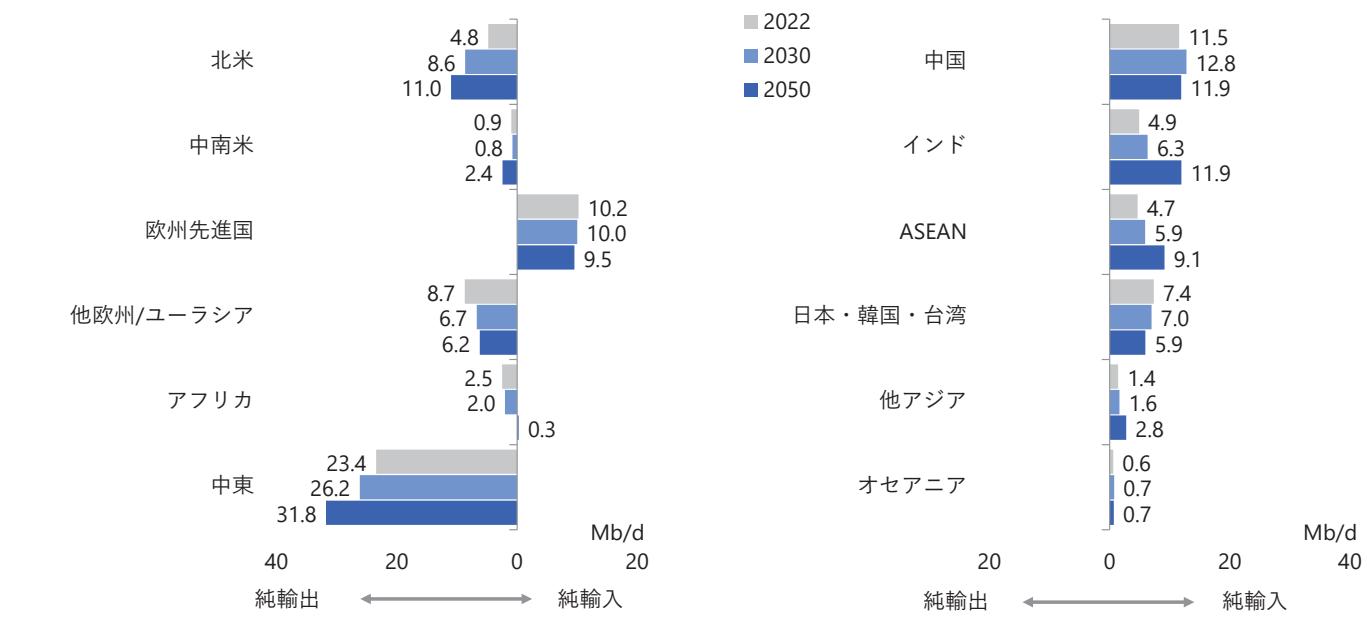
地域別



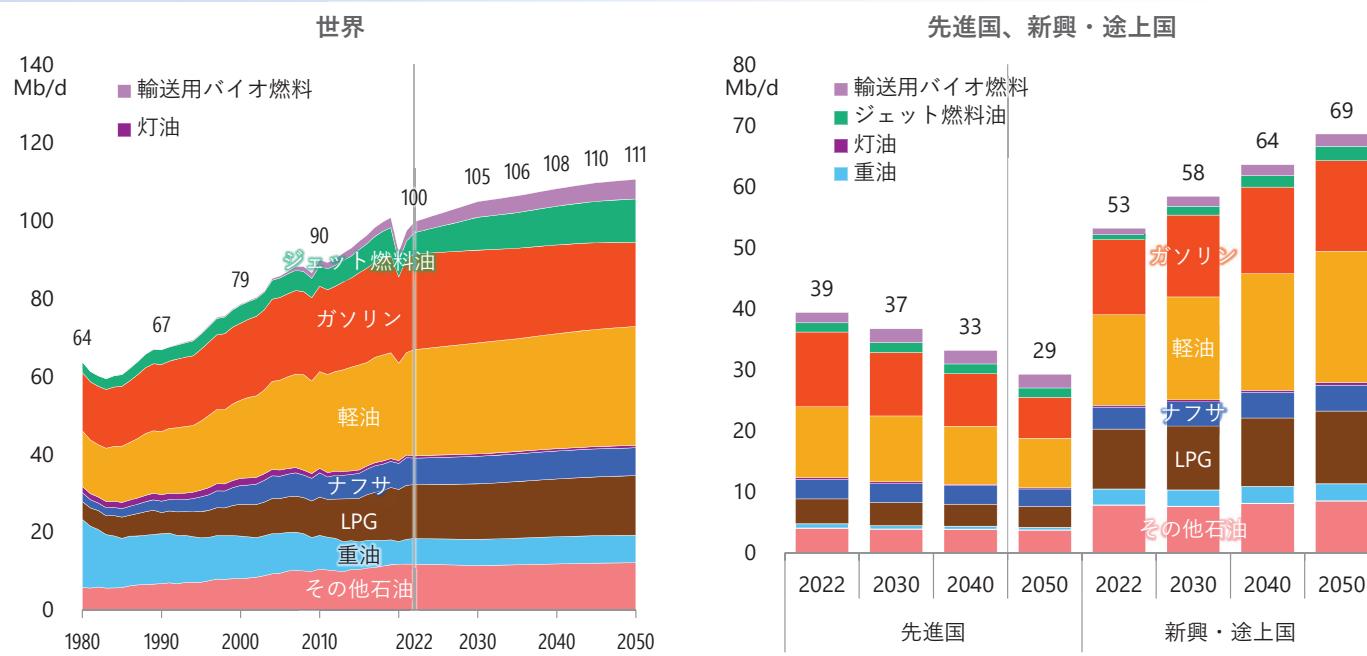
増減分(2022-2050年)



石油純輸出入

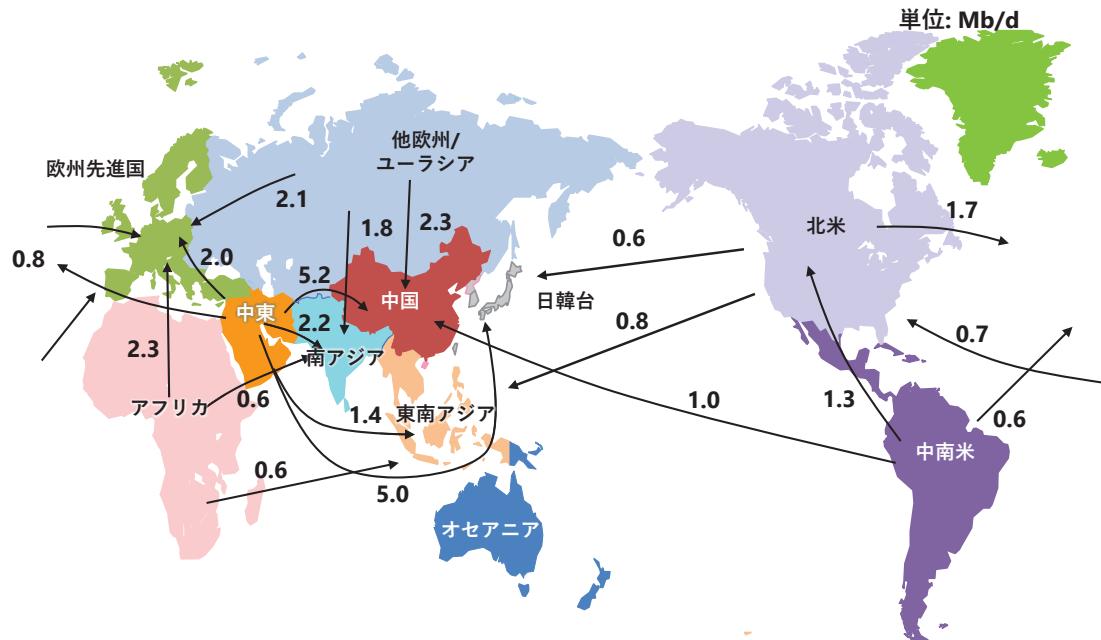


液体燃料需要



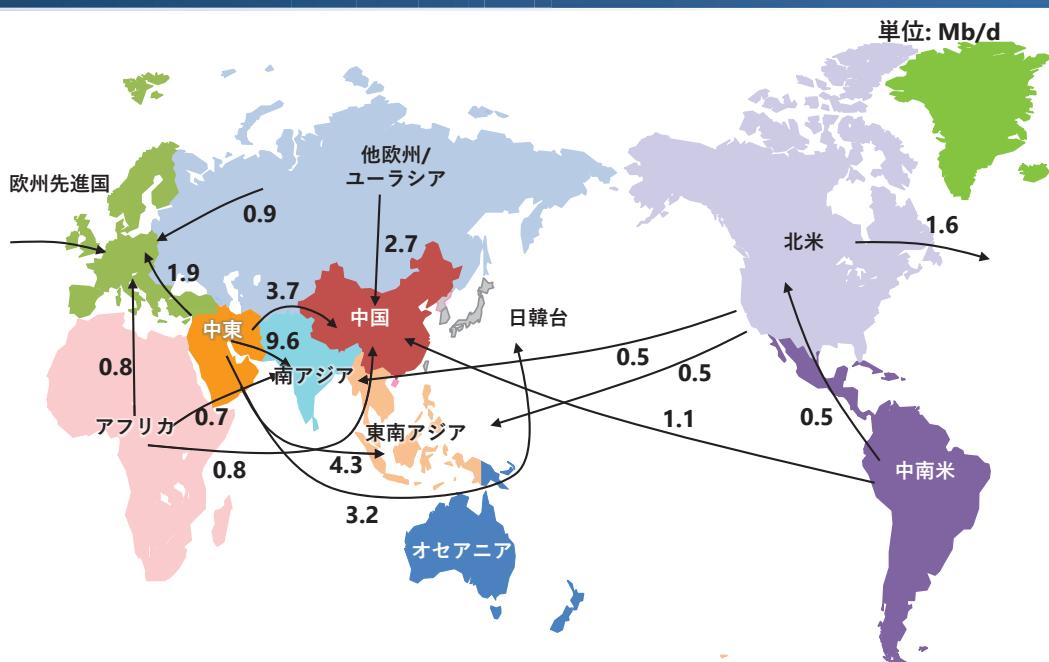
注: その他石油は、原油(直接消費分)、アスファルト、製油所ガス、ガス液化油[GTL]などを含む

主要な原油貿易フロー(2023年)



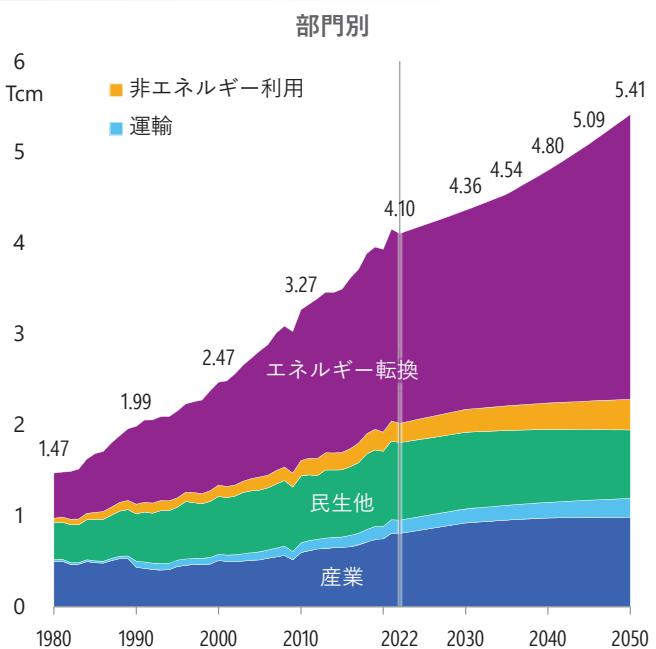
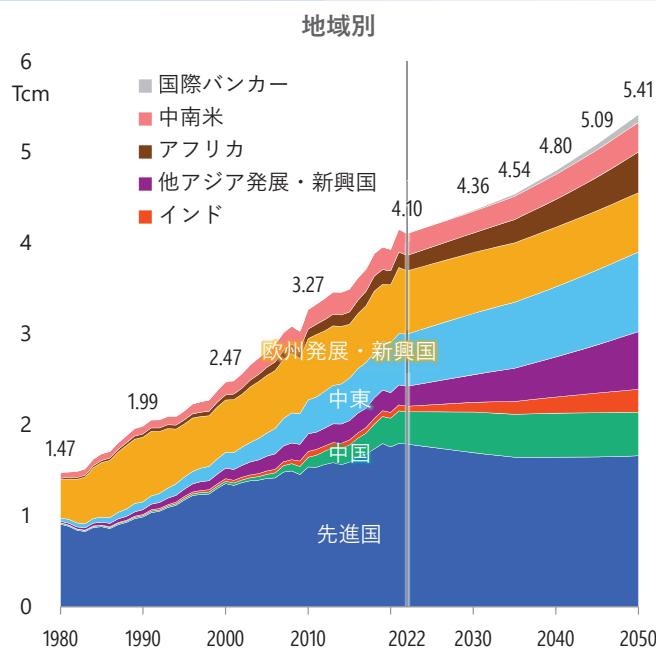
注: 0.5Mb/d以上のフローを記載

主要な原油貿易フロー(2050年)

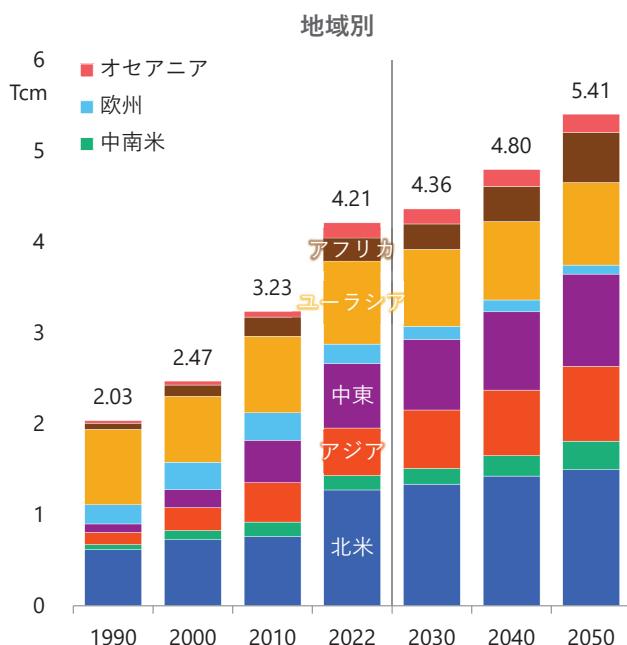


注: 0.5Mb/d以上のフローを記載

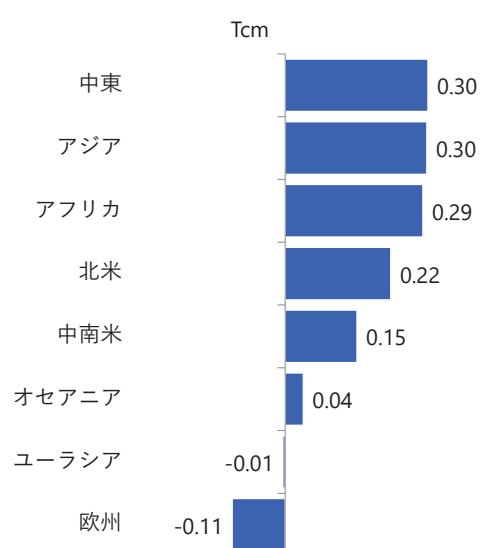
レファレンスシナリオ
天然ガス消費



レファレンスシナリオ
天然ガス生産

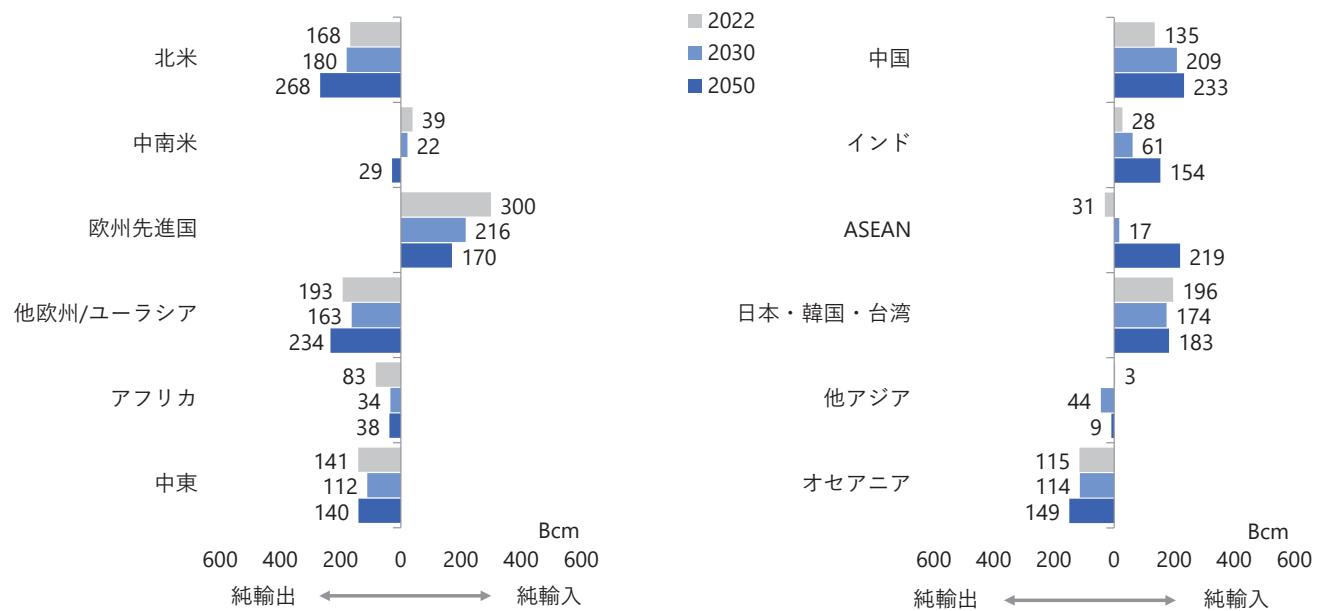


増減分(2022-2050)



レファレンスシナリオ

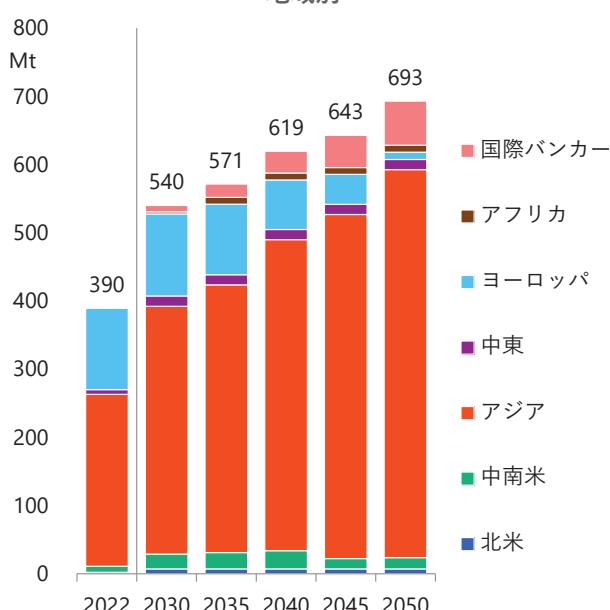
天然ガス純輸出入量



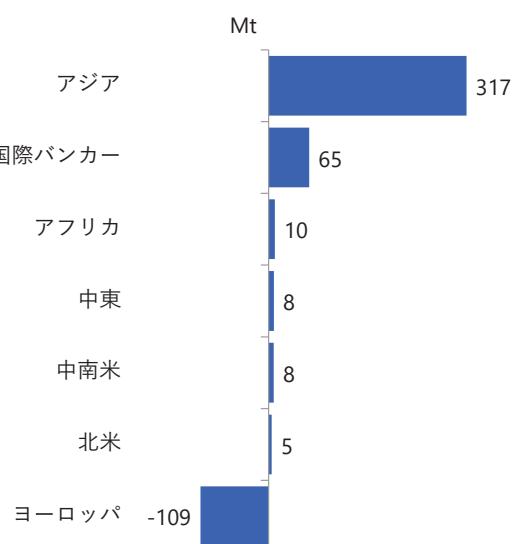
レファレンスシナリオ

LNG需要量

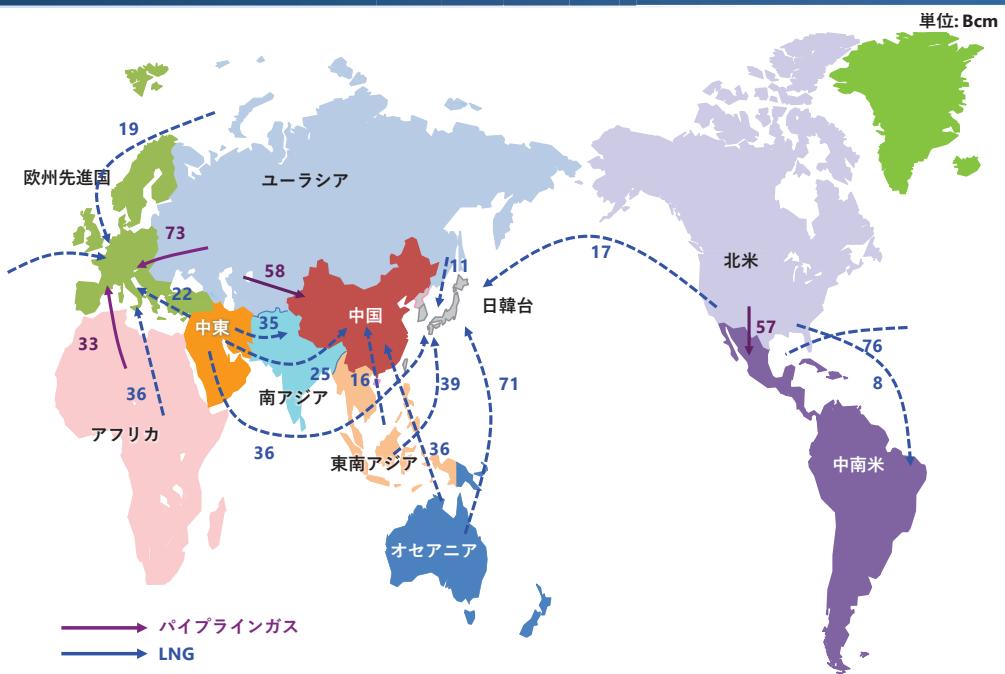
地域別



増減分(2022-2050)

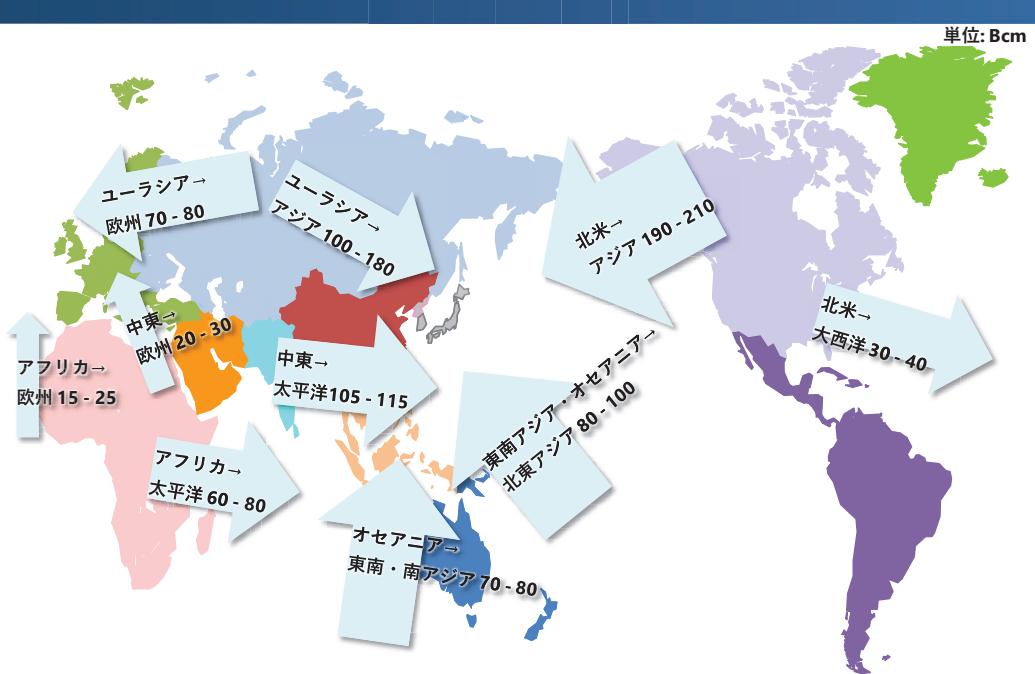


主要な天然ガス貿易フロー(2023年)



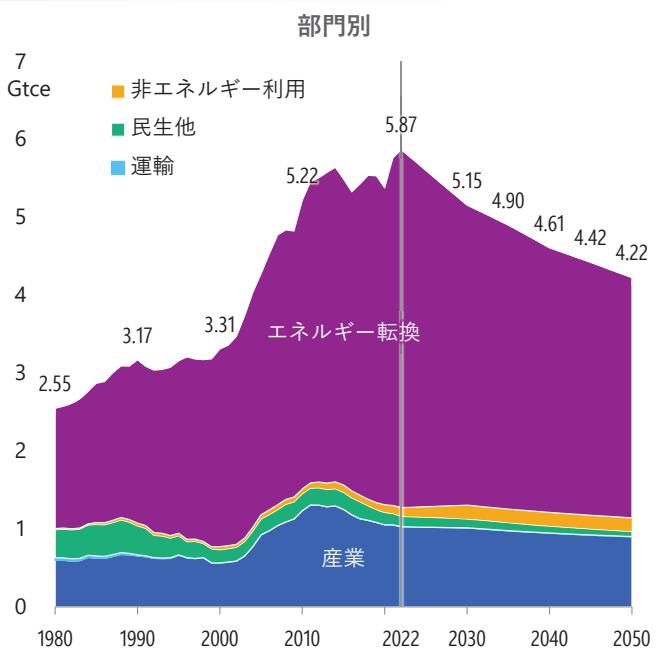
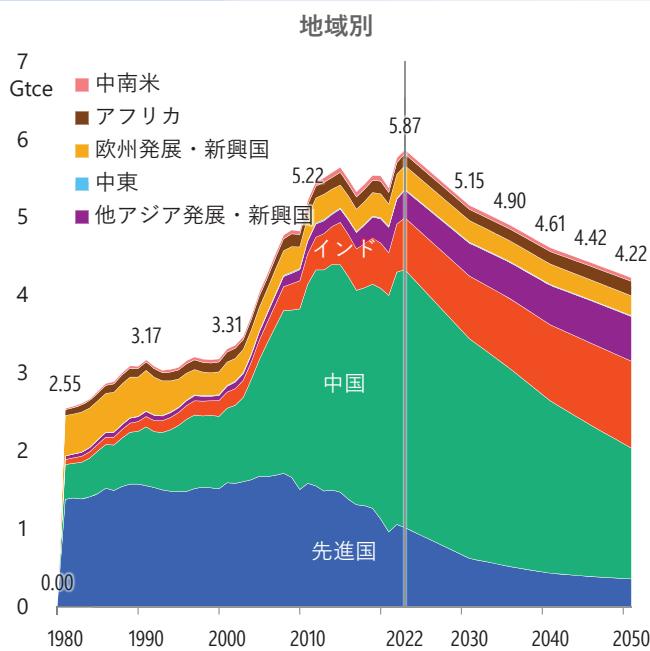
注: 主な地域間貿易を記載しており、全貿易量を包含するものではない。

主要な天然ガス貿易フロー(2050年)

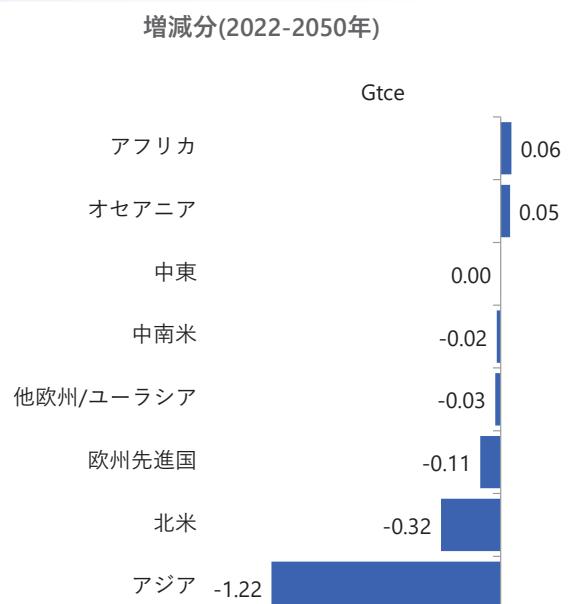
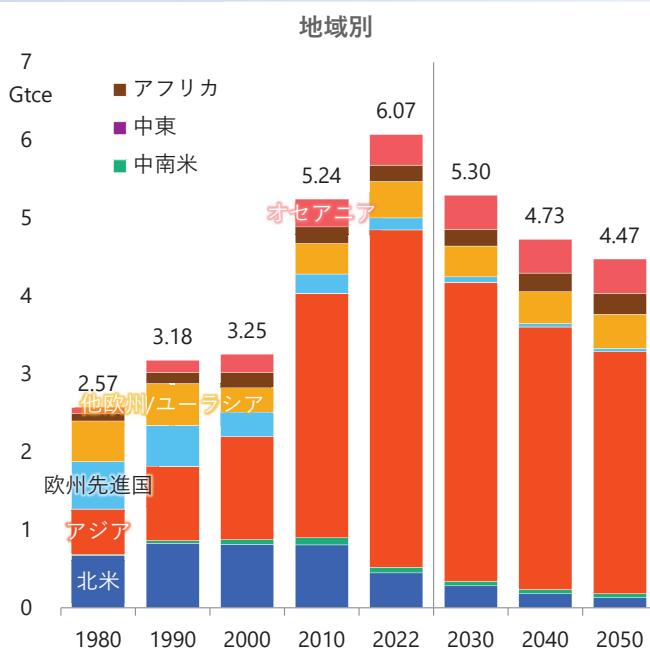


注: 主な地域間貿易を記載しており、全貿易量を包含するものではない。

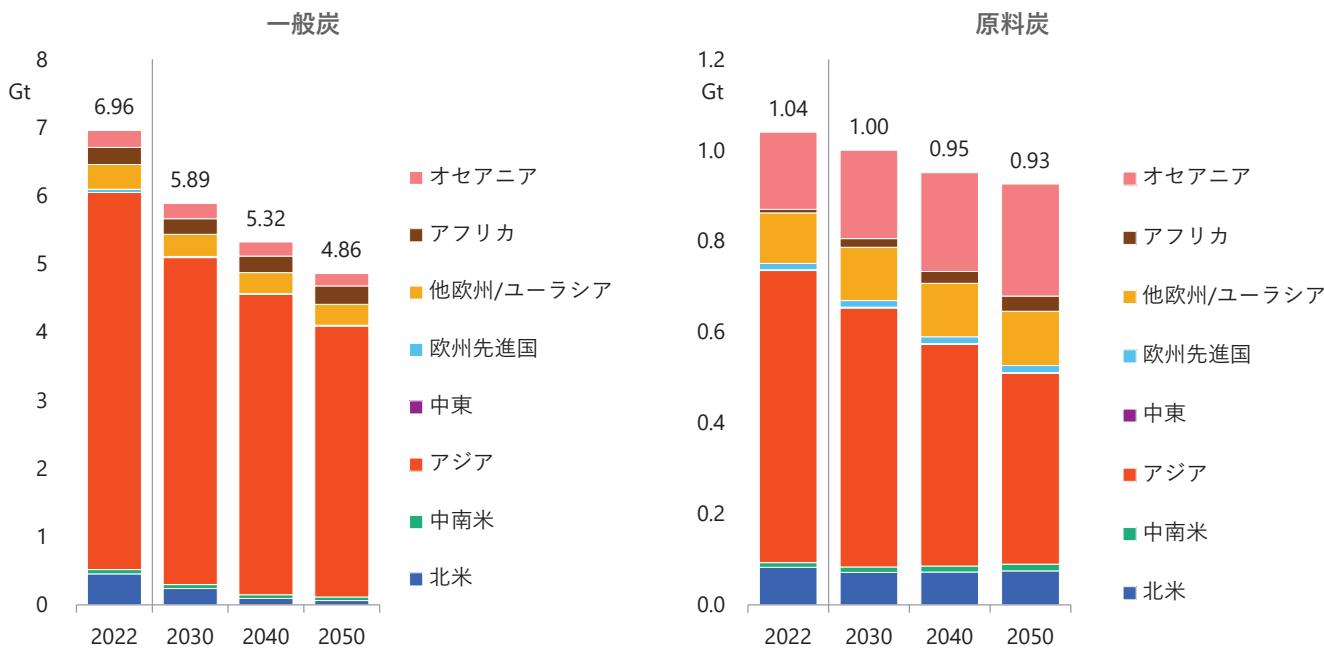
レファレンスシナリオ
石炭消費



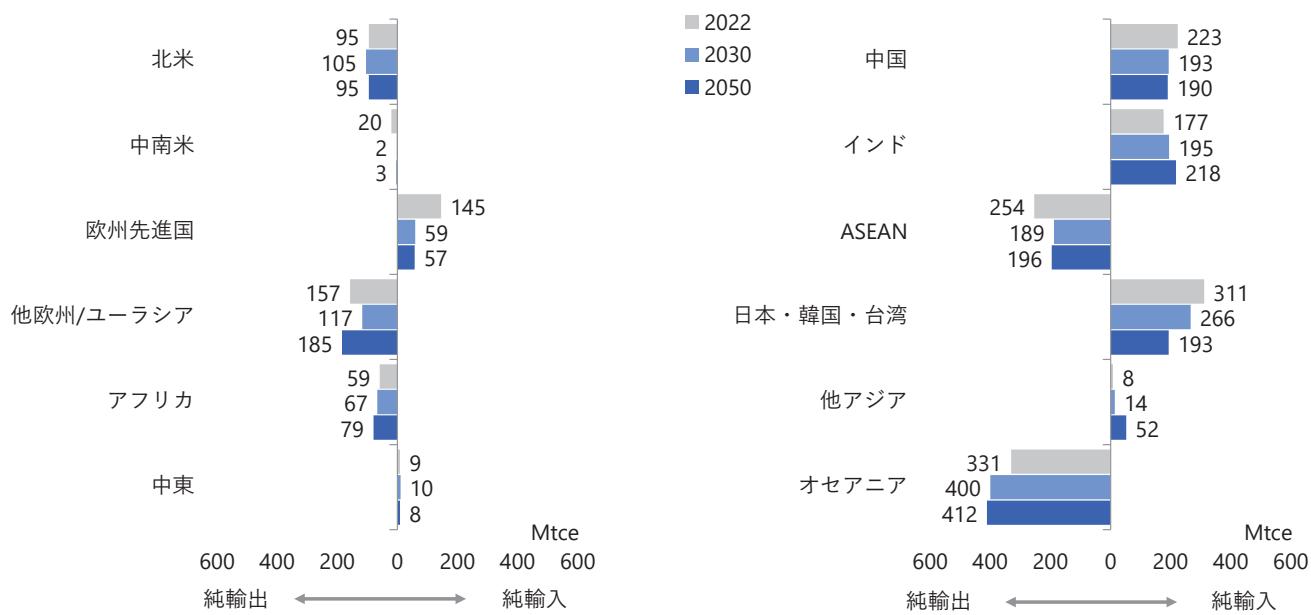
レファレンスシナリオ
石炭生産



石炭生産(一般炭・原料炭)

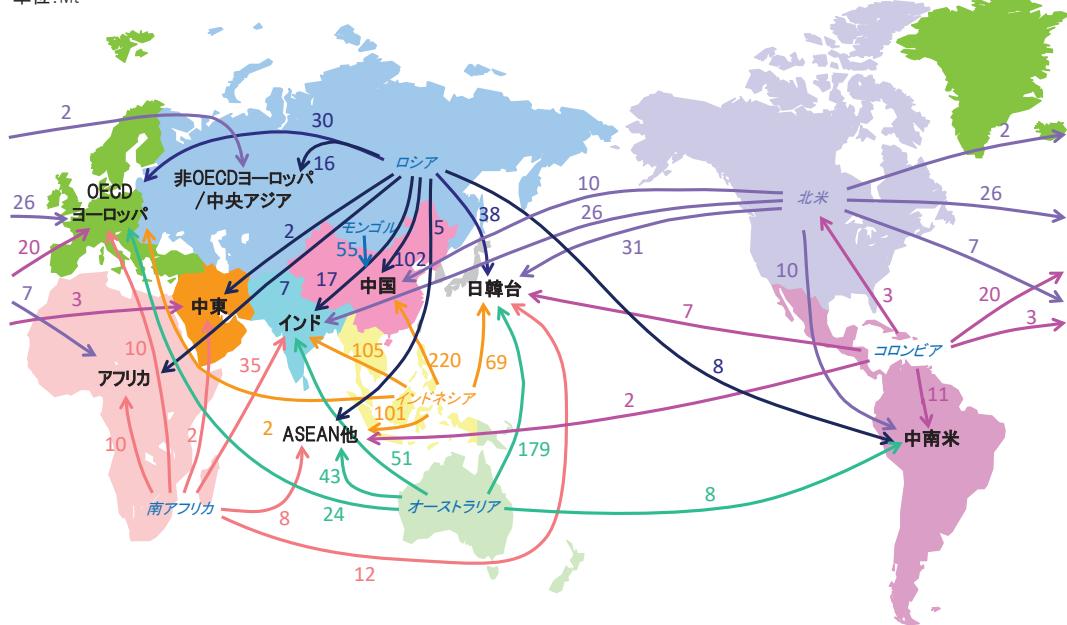


石炭純輸出入量



主要な石炭貿易フロー(2023年)

单位: Mt

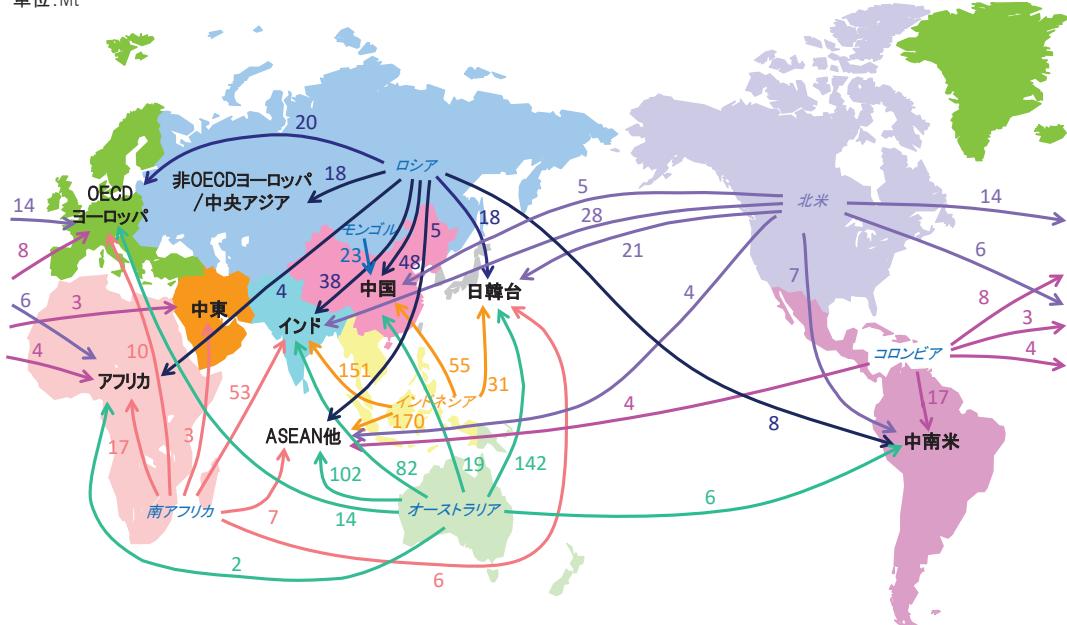


注:一般炭と原料炭の合計。2 Mt以上を記載、南アフリカにはモザンビークが含まれる。出所:IEA "Coal Information 2023"、TEXレポート等をもとに推定

レファレンスシナリオ

主要な石炭貿易フロー(2050年)

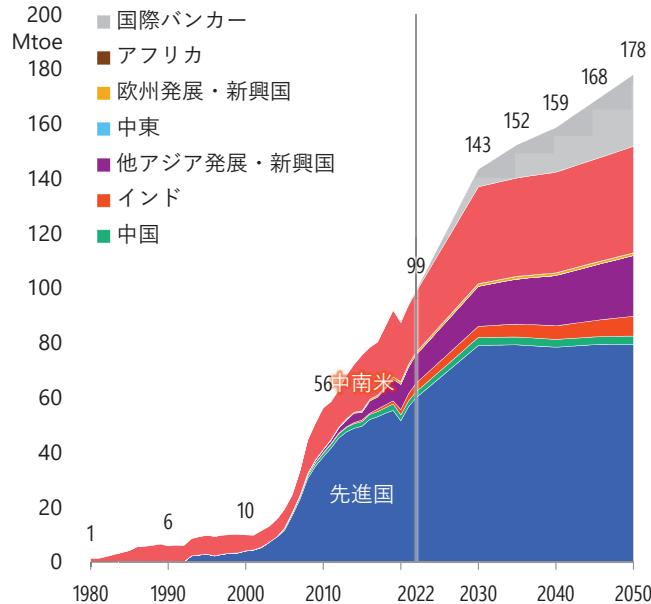
单位: Mt



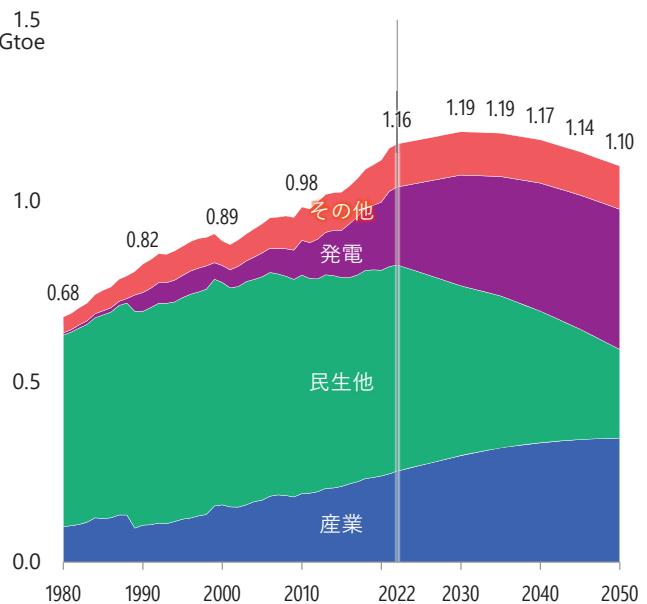
注:一般炭と原料炭の合計。2 Mt以上を記載、南アフリカにはモザンビークが含まれる。

バイオエネルギー消費

輸送用バイオ燃料

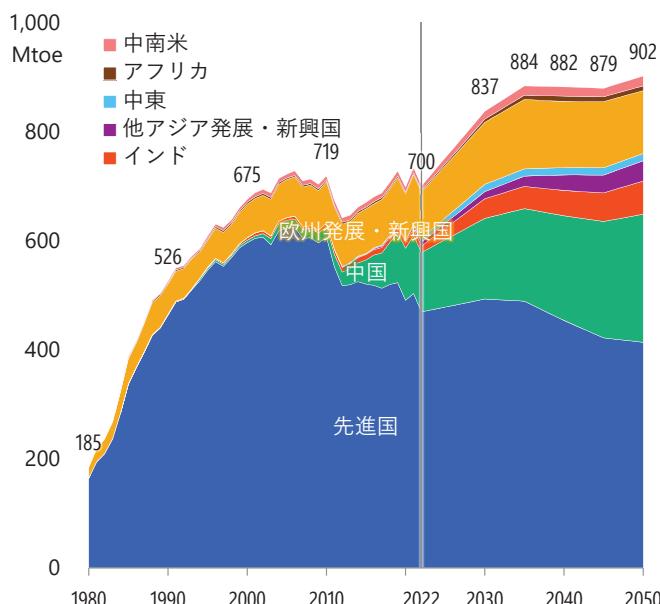


固形バイオマス

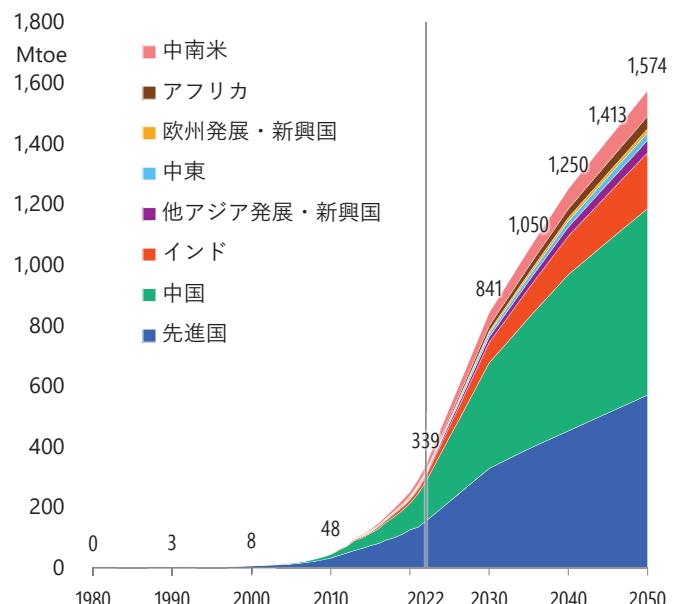


原子力、太陽・風力等消費

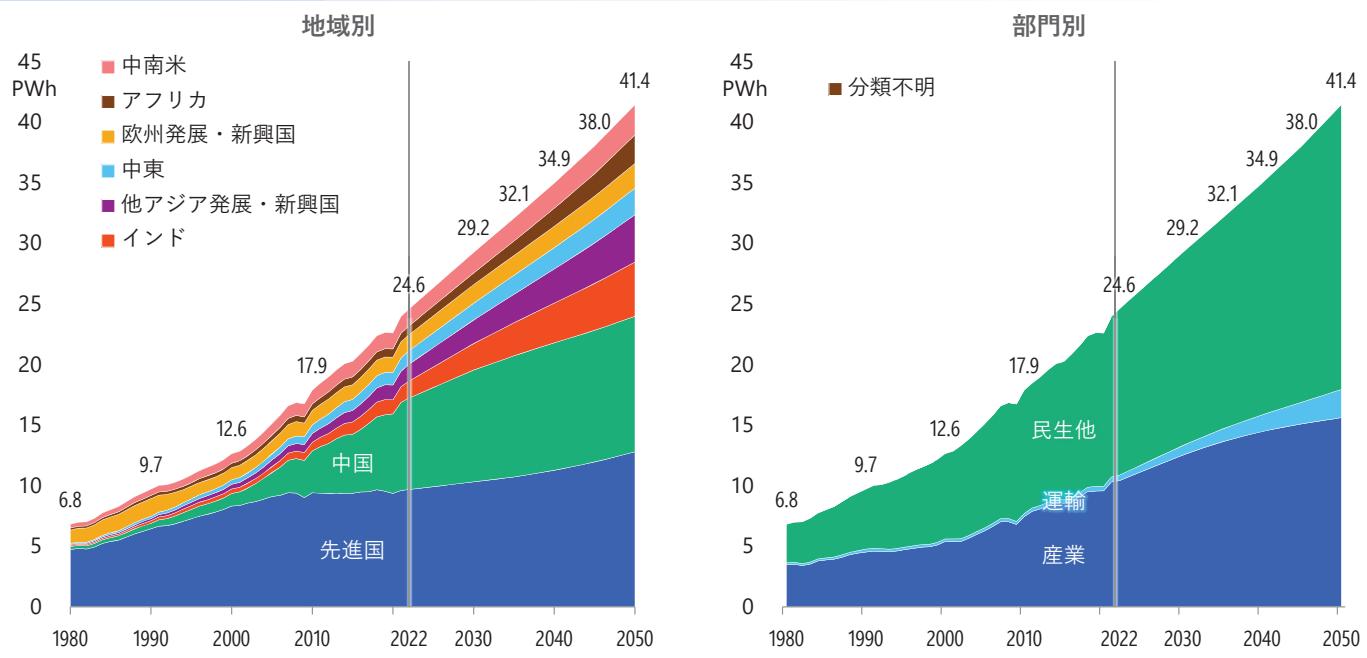
原子力



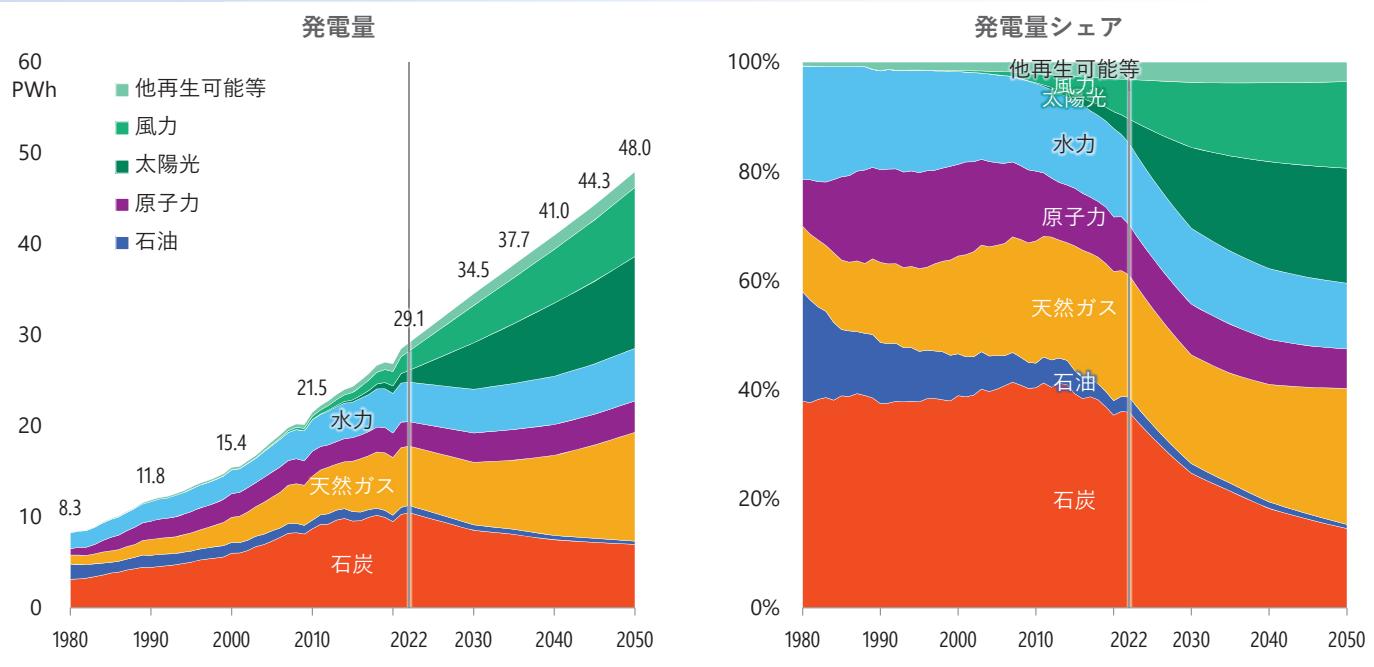
太陽・風力等



レファレンスシナリオ 電力最終消費

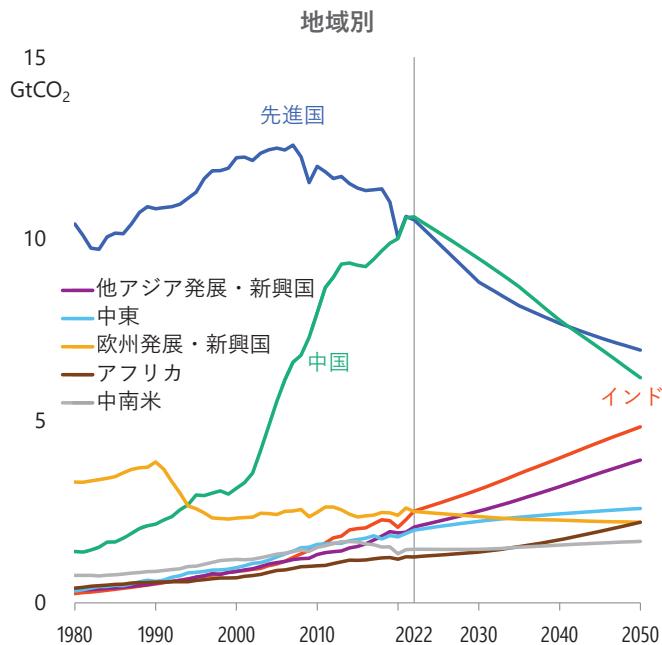


レファレンスシナリオ 発電構成

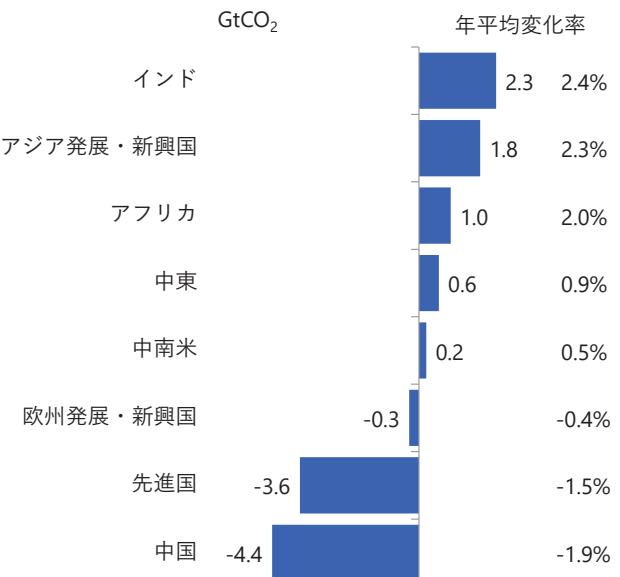


レファレンスシナリオ

エネルギー起源二酸化炭素排出量

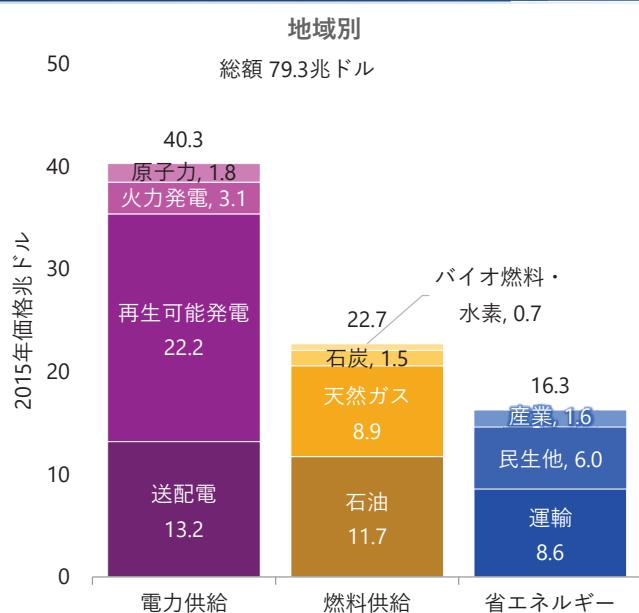


増減分(2022-2050年)

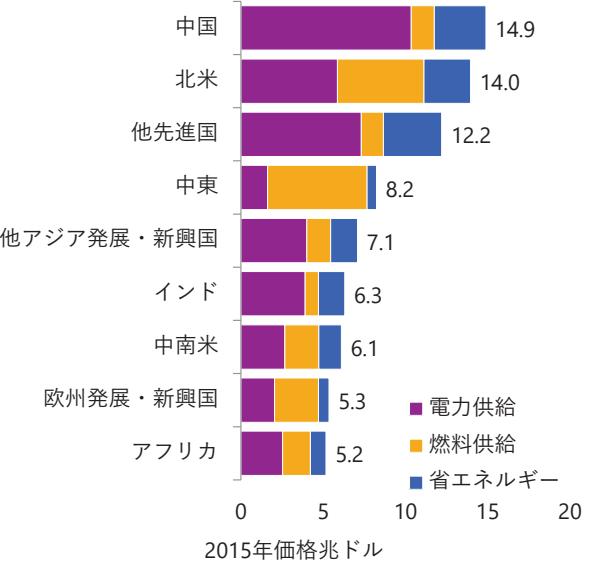


レファレンスシナリオ

エネルギー関連投資額(2023年～2050年 累積投資額)

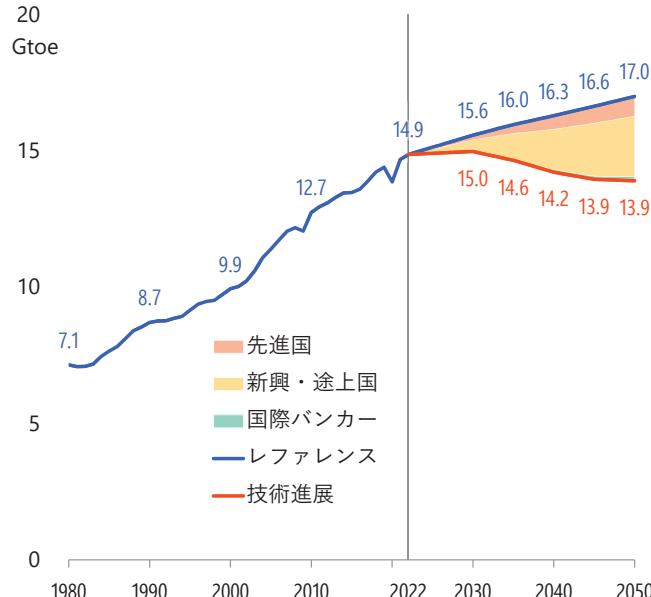


部門別

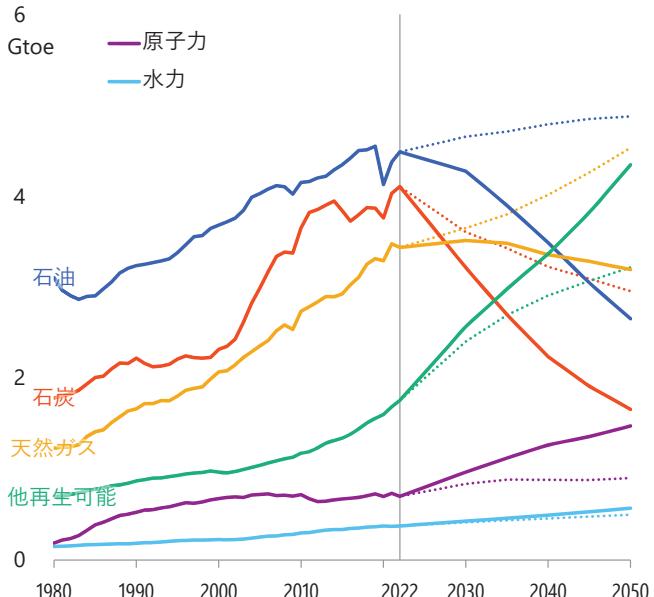


一次エネルギー消費

地域別



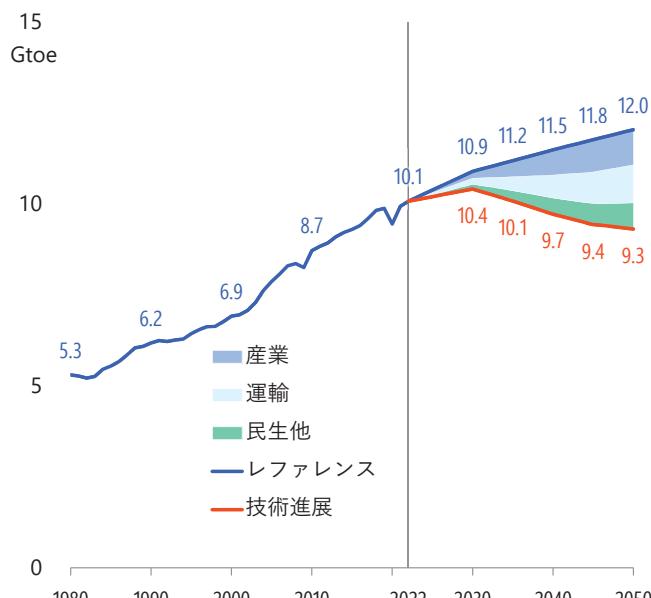
エネルギー源別



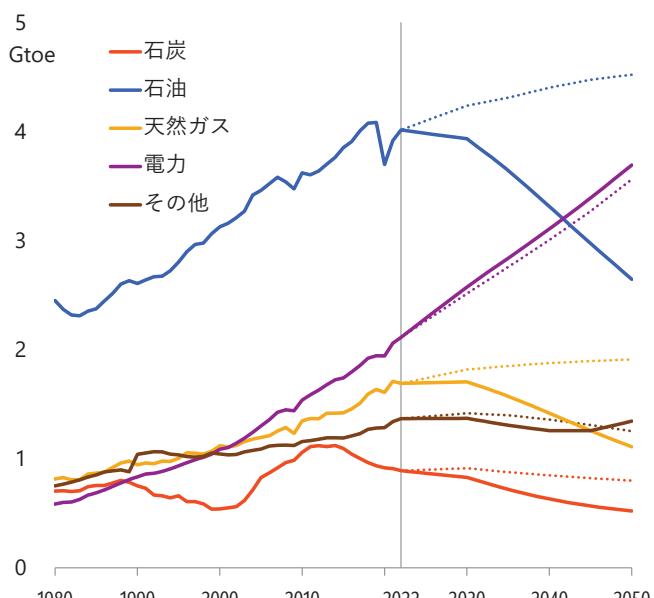
(注)実線: 技術進展、点線: レファレンス

最終エネルギー消費

部門別

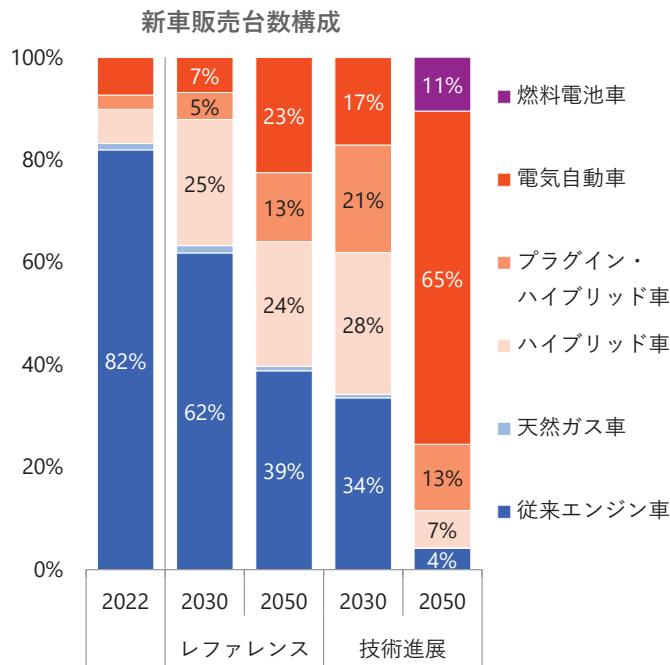


エネルギー源別

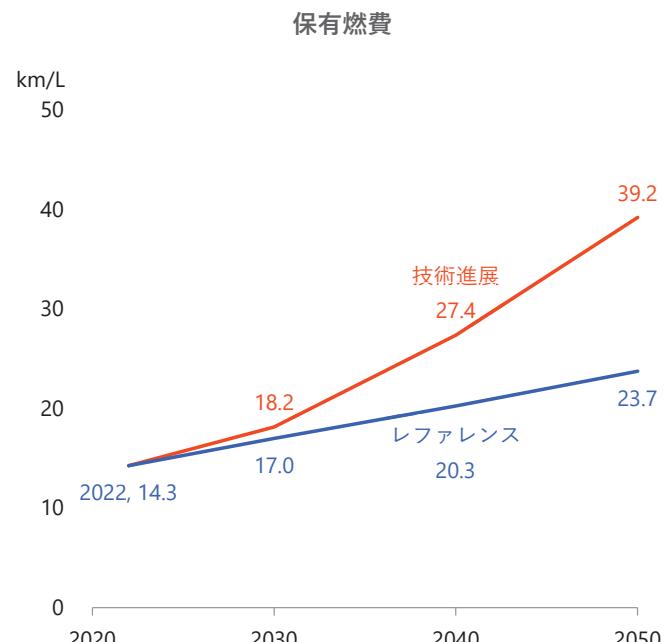
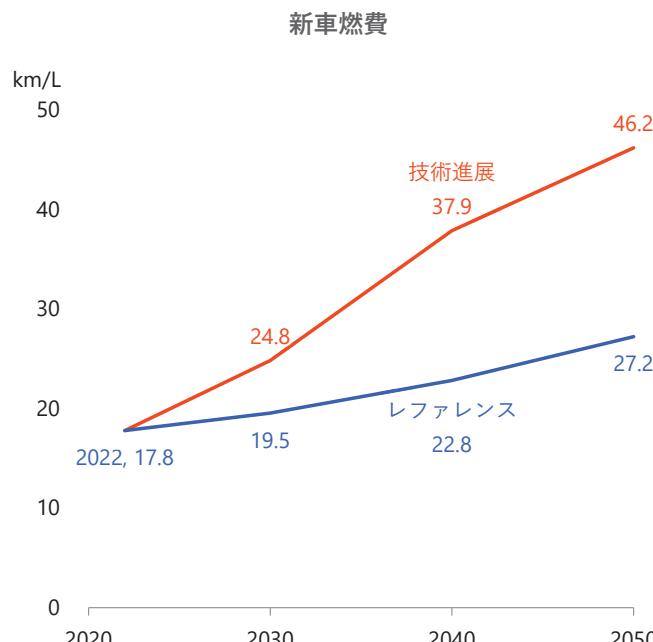


(注)実線: 技術進展、点線: レファレンス

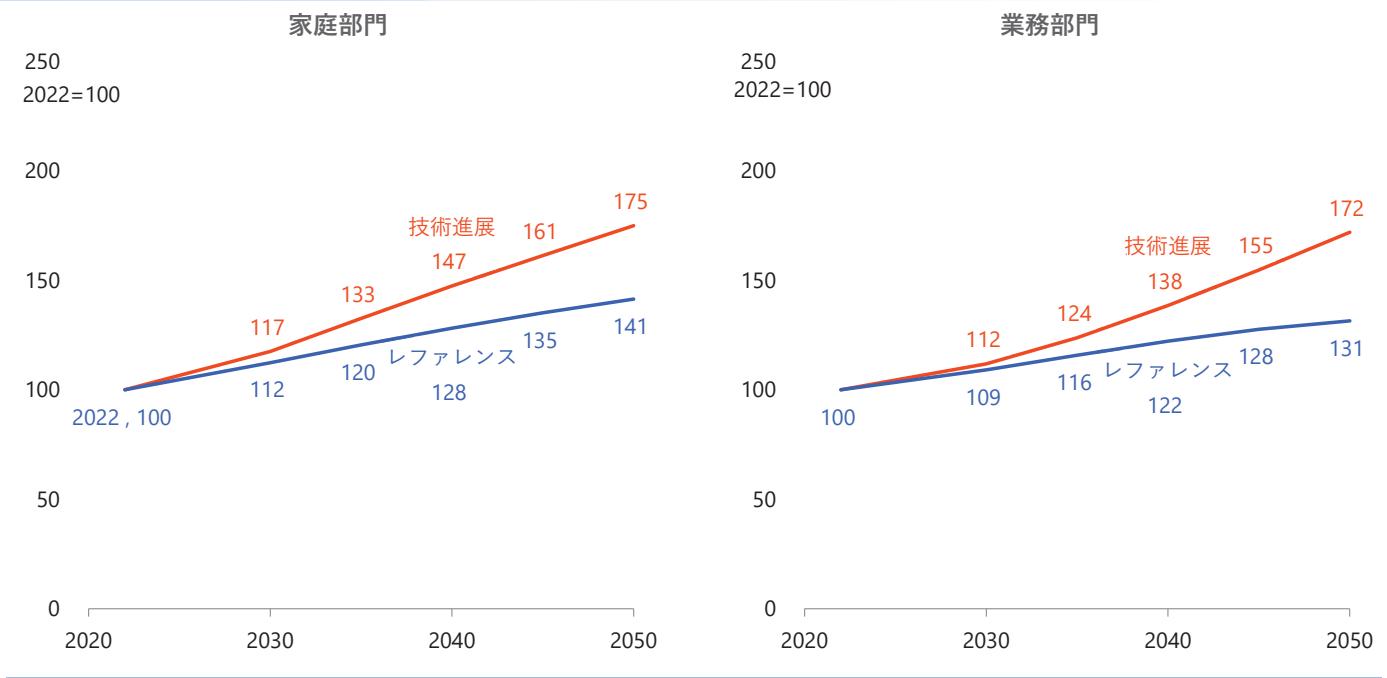
自動車駆動タイプ構成(乗用車)



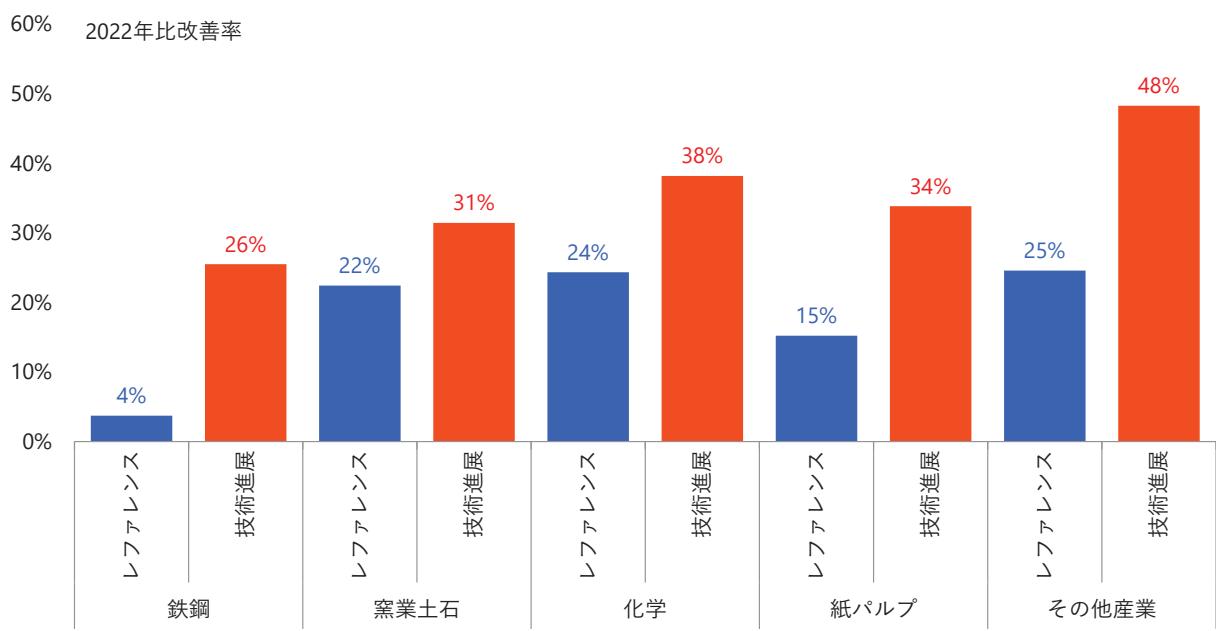
自動車燃費(乗用車)



民生部門総合効率

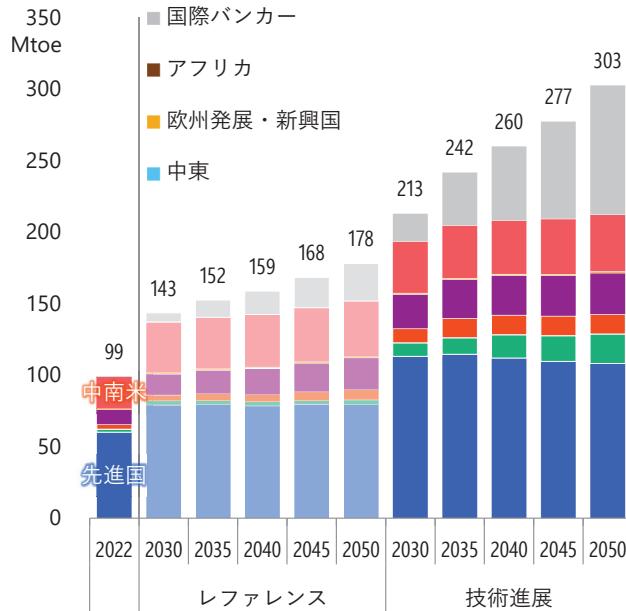


産業部門原単位改善率(2050年)

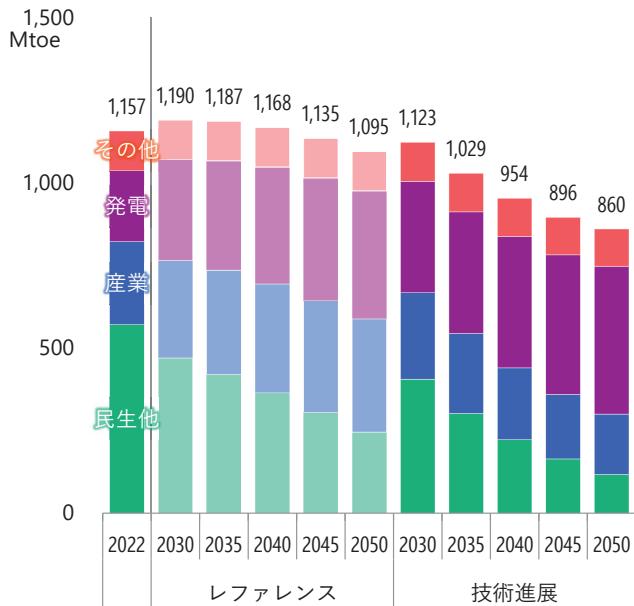


バイオエネルギー消費

輸送用バイオ燃料

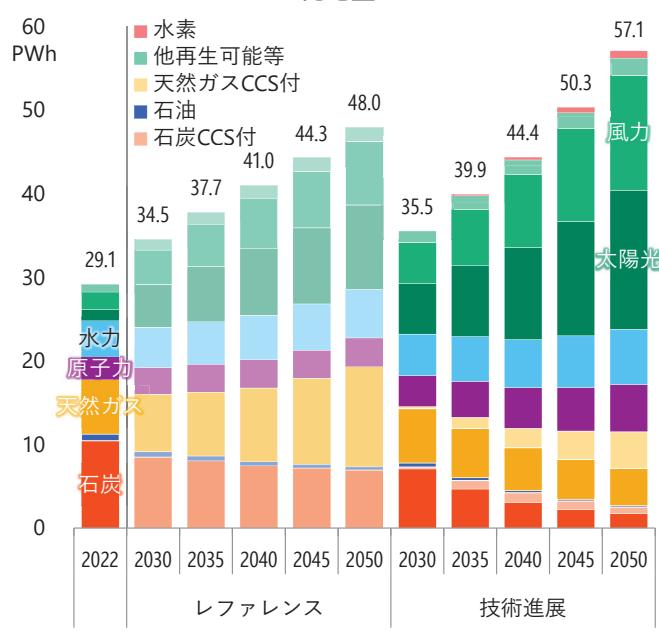


固形バイオマス

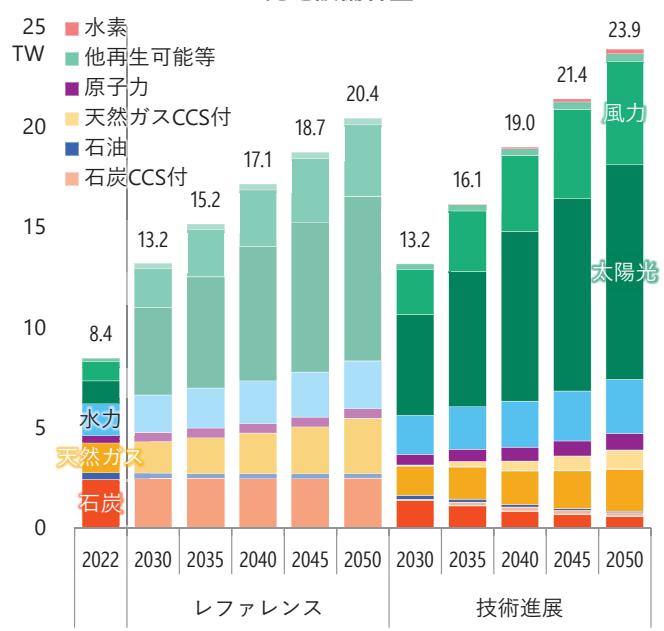


発電構成

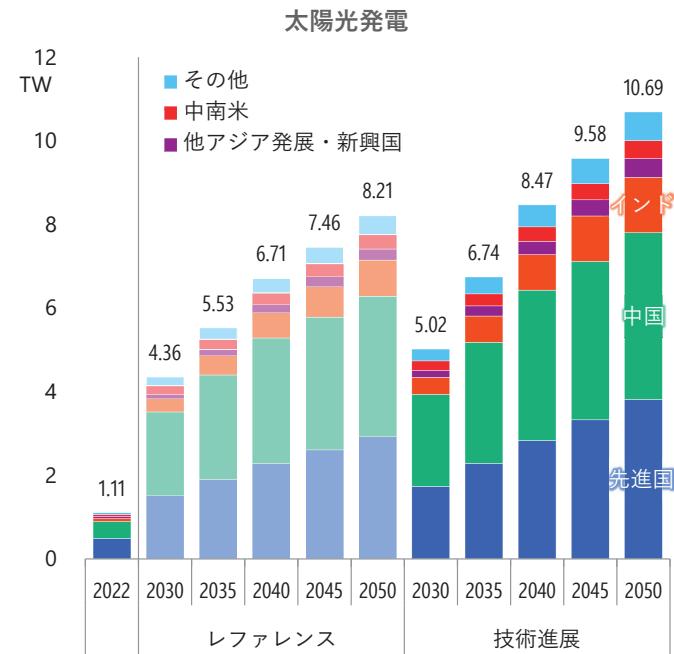
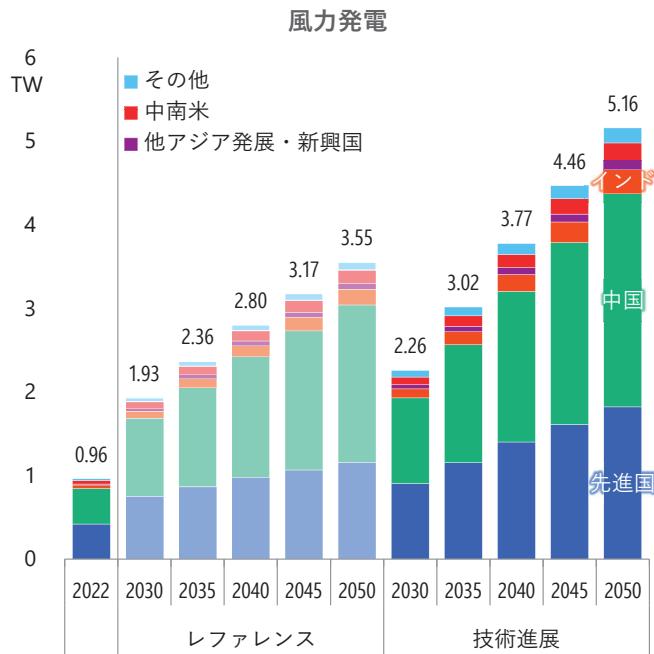
発電量



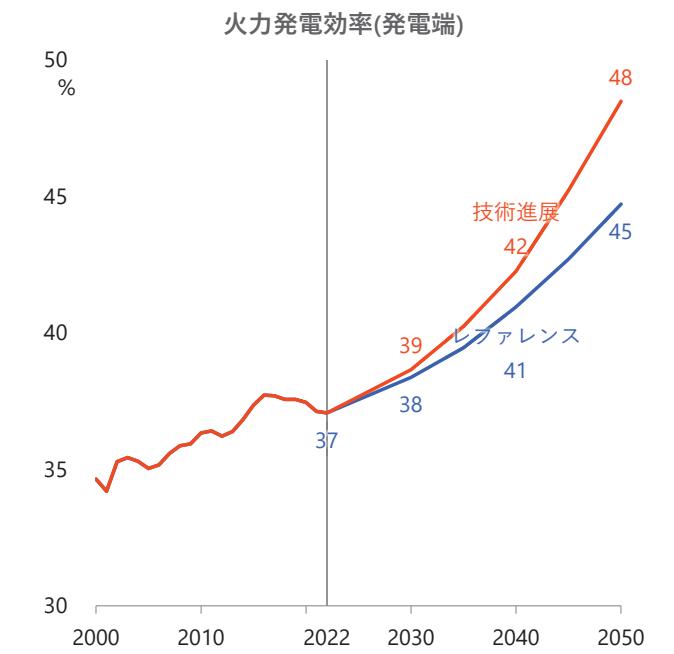
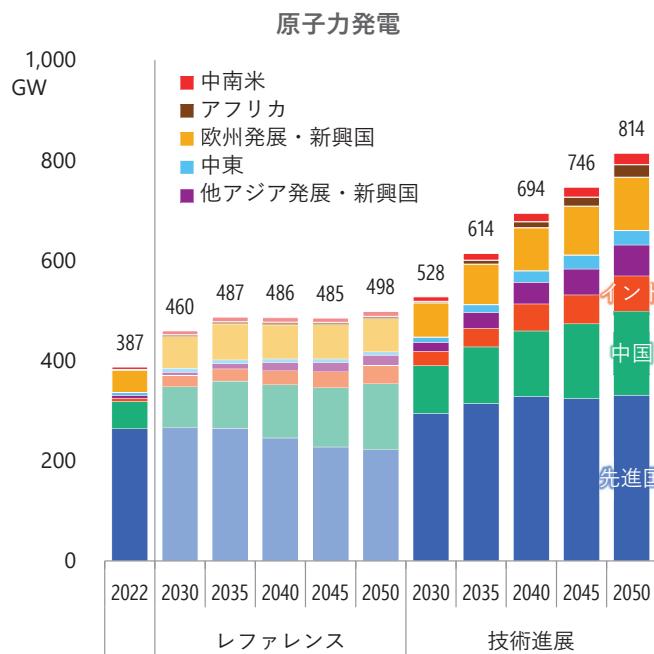
発電設備容量



風力・太陽光発電設備容量

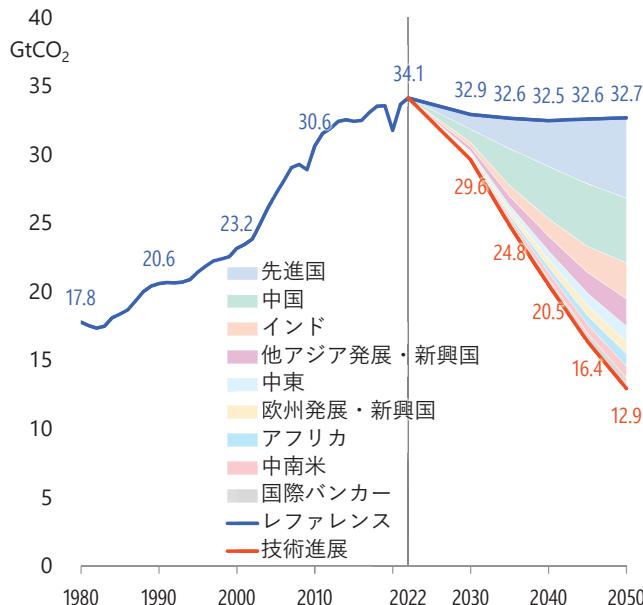


原子力発電設備容量・火力発電効率

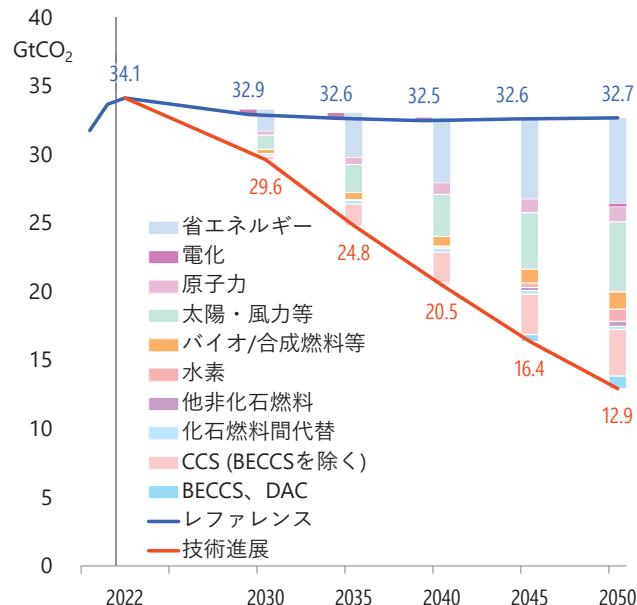


エネルギー起源二酸化炭素排出量

国・地域別

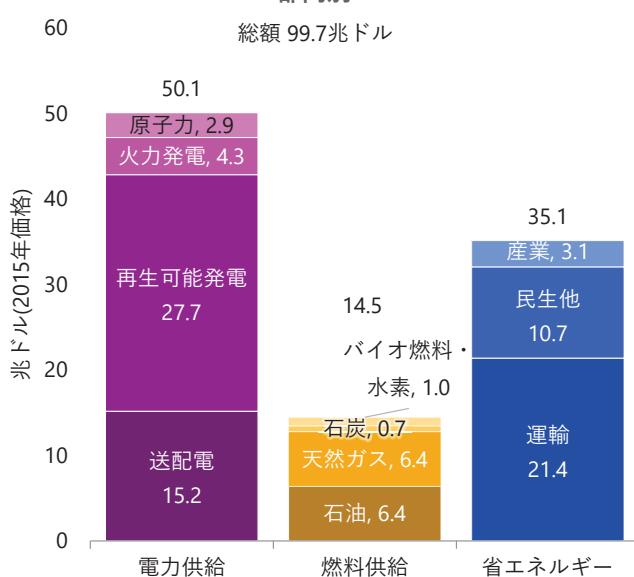


技術別削減量

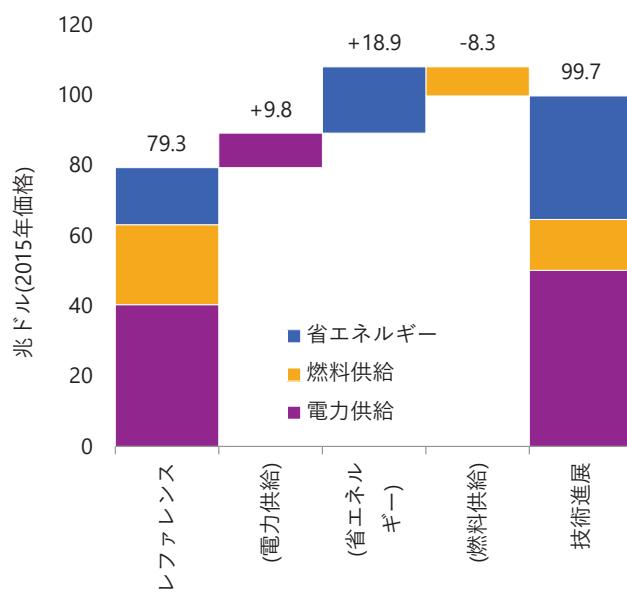


エネルギー関連投資額(2023年～2050年 累積投資額)

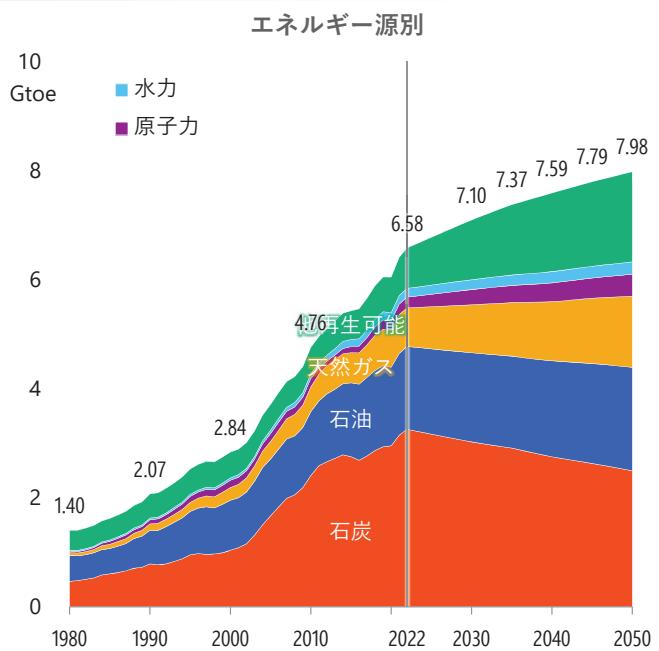
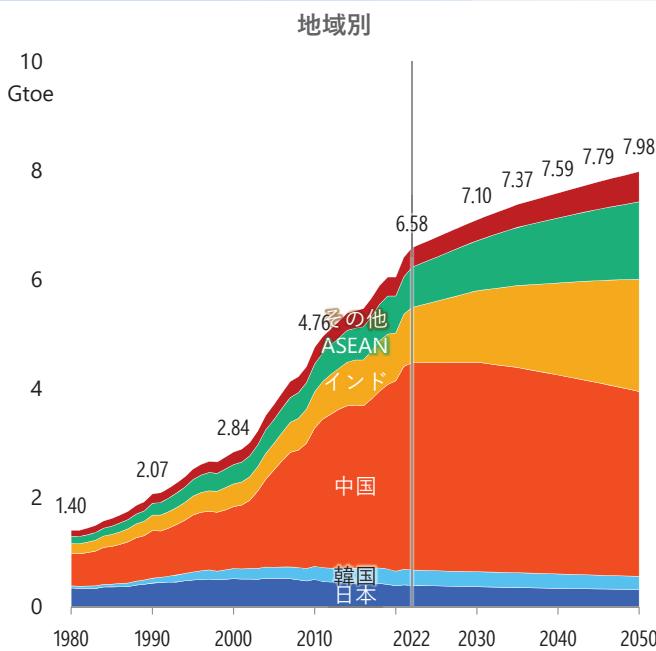
部門別



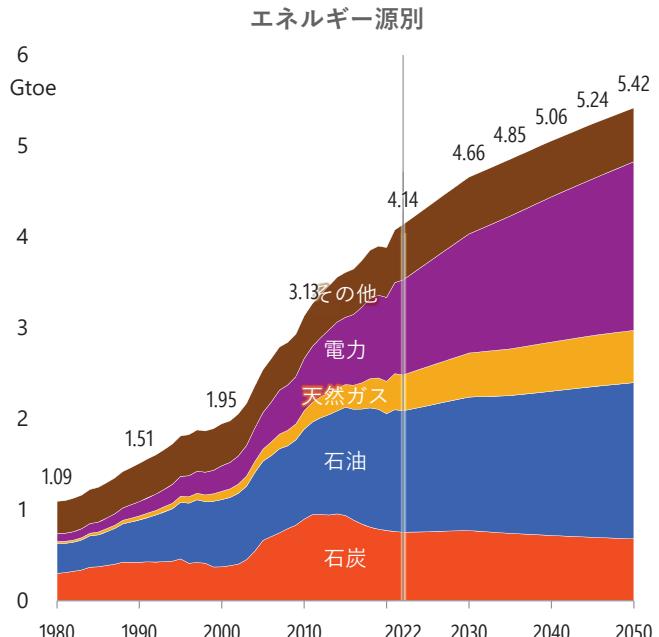
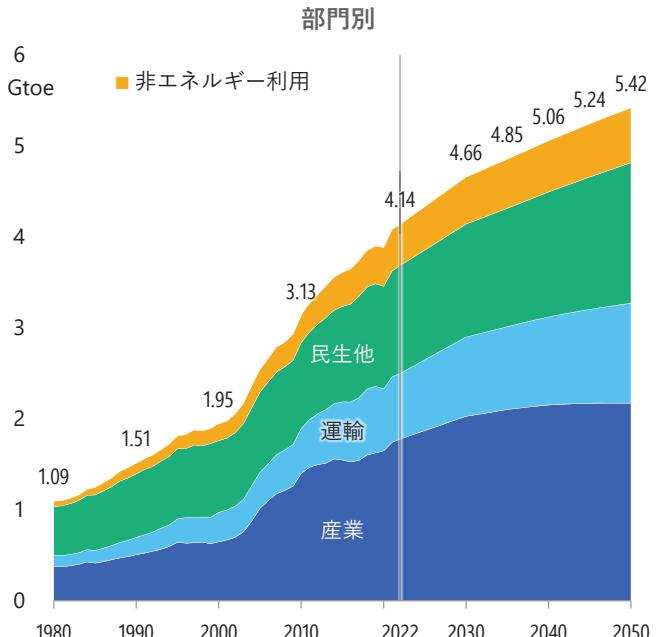
部門別増減



アジア レファレンスシナリオ
一次エネルギー消費

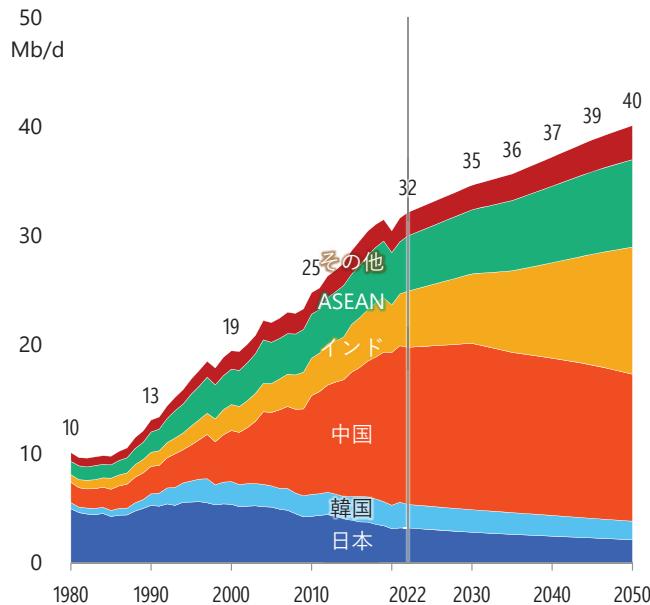


アジア レファレンスシナリオ
最終エネルギー消費

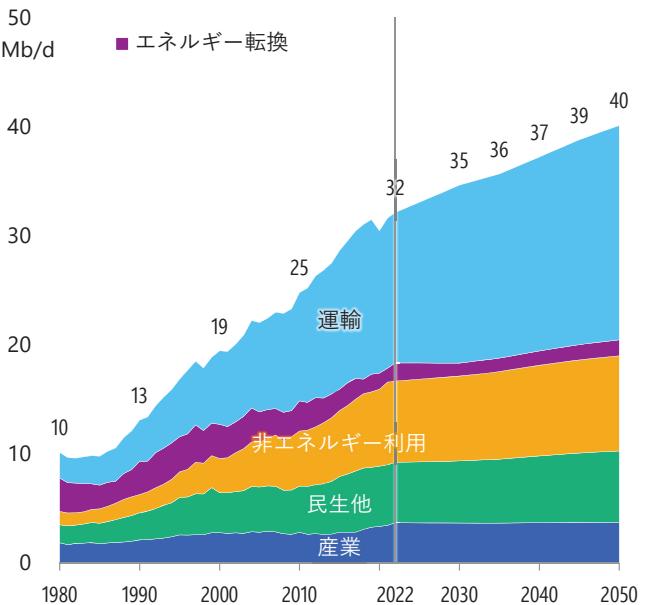


石油消費

地域別

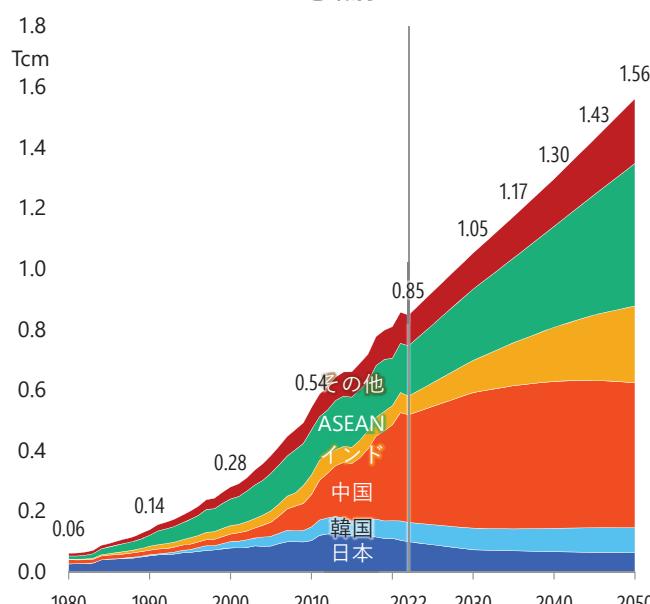


部門別

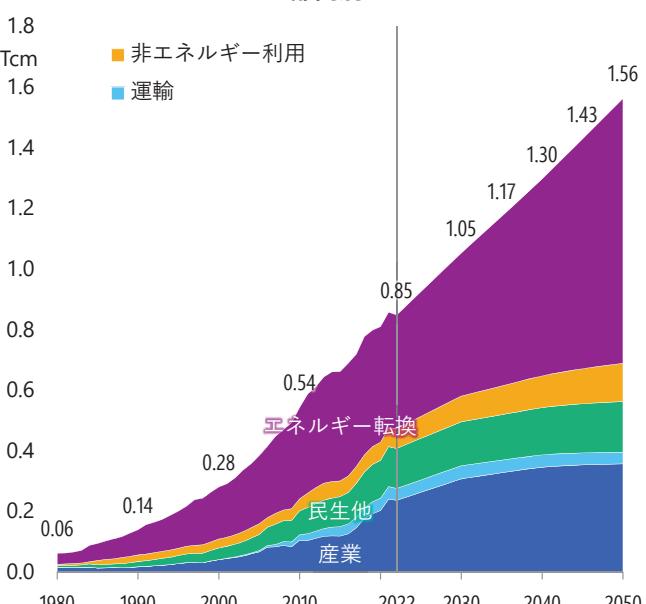


天然ガス消費

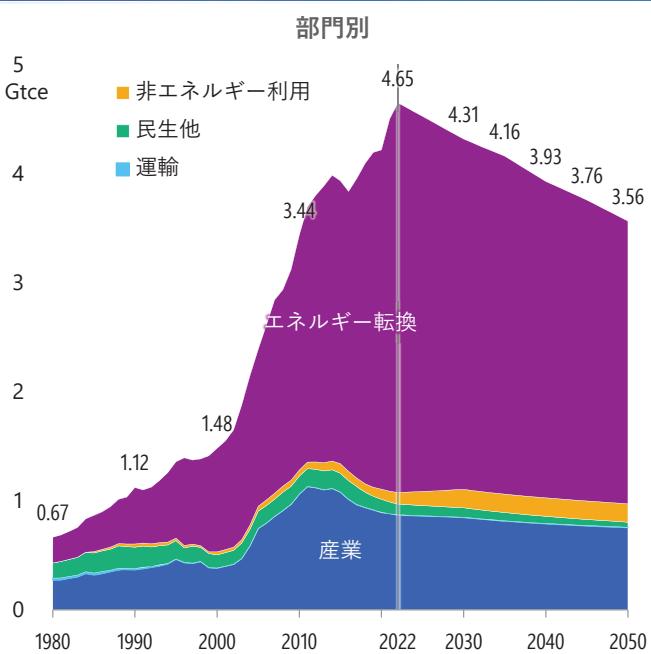
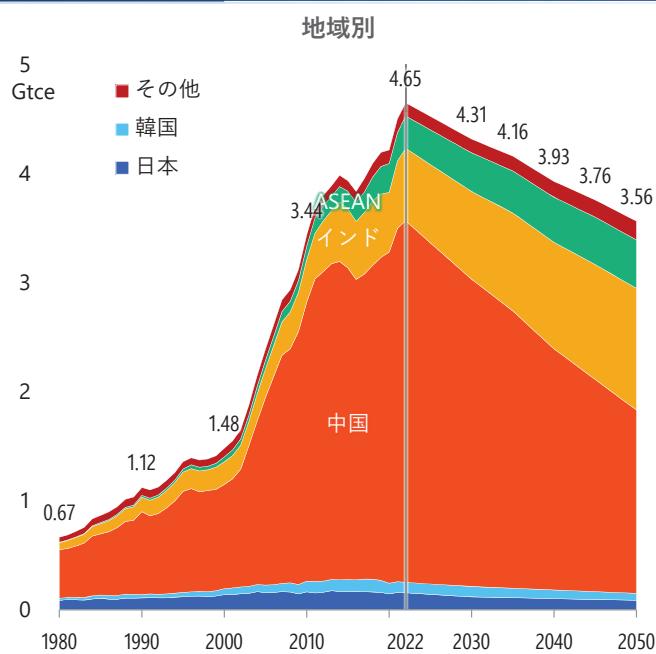
地域別



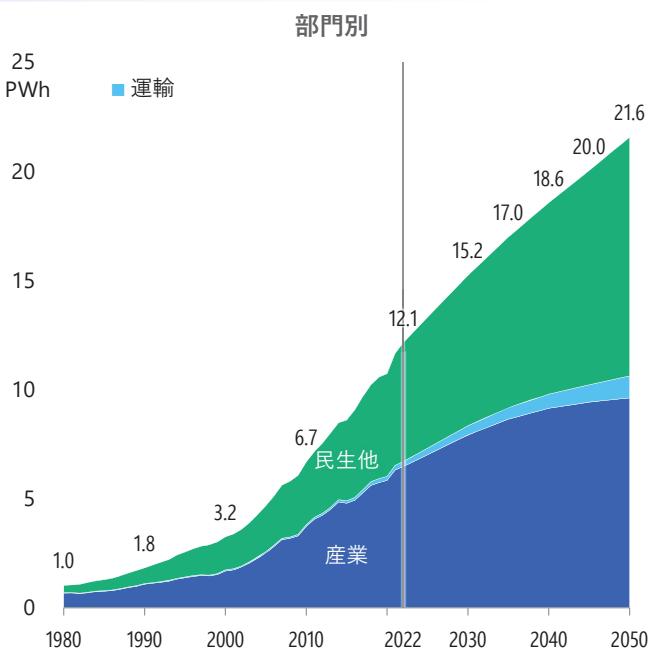
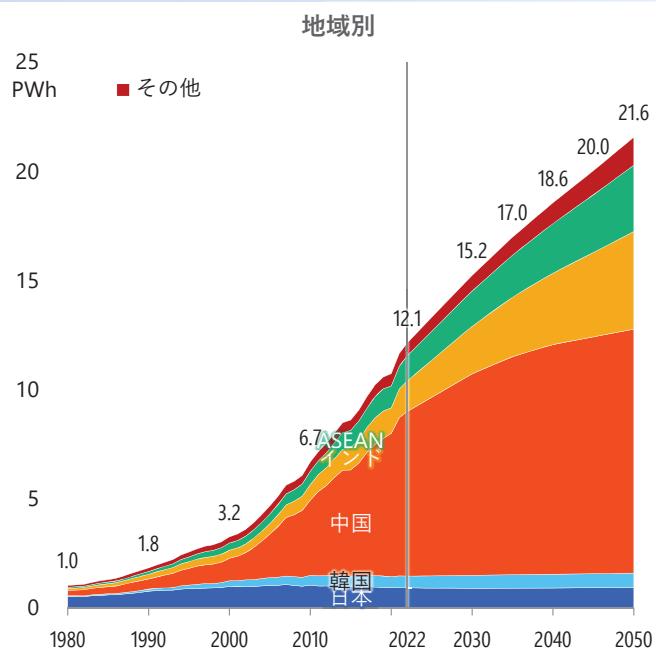
部門別



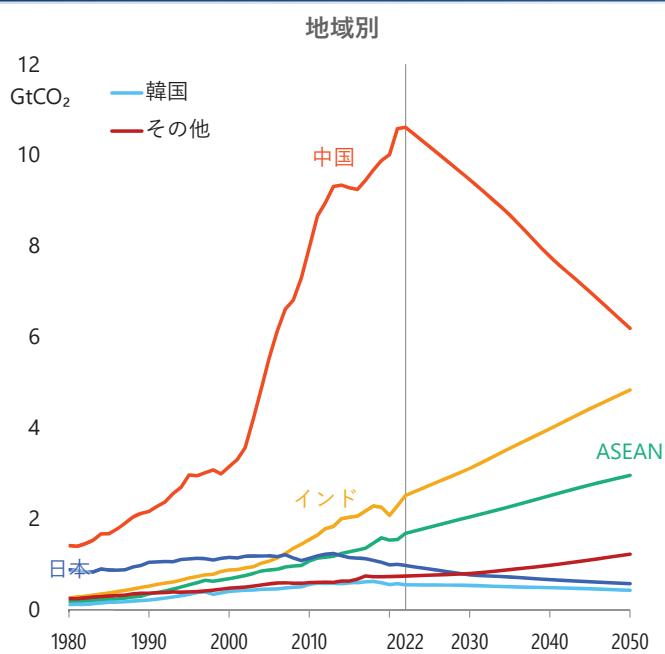
石炭消費



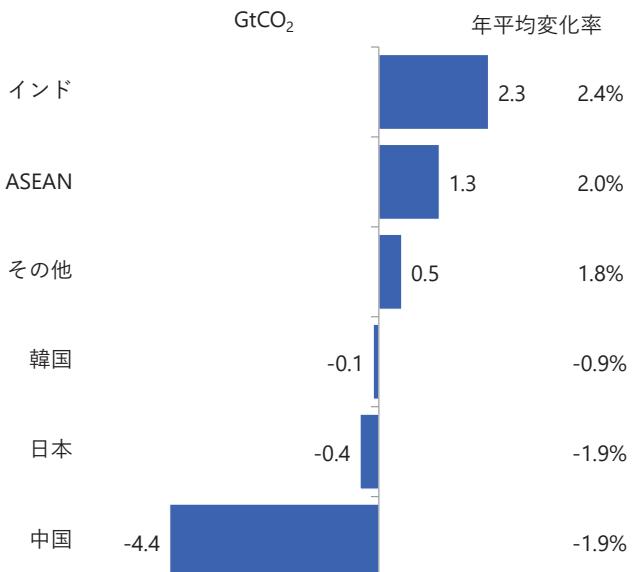
電力最終消費



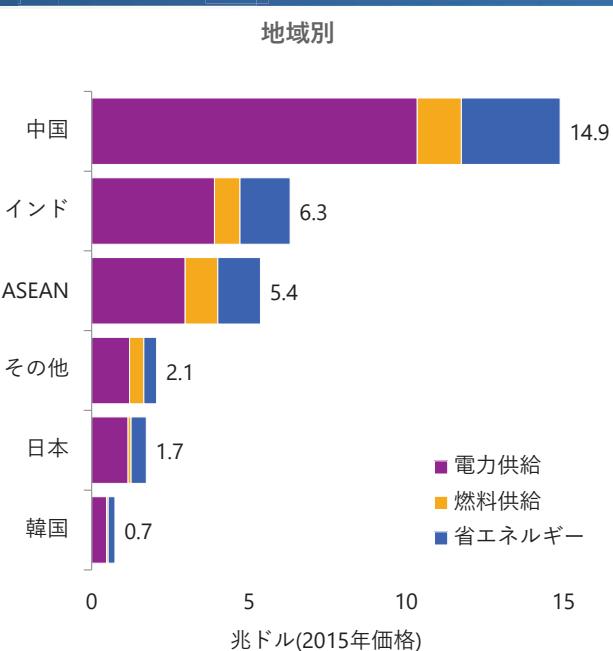
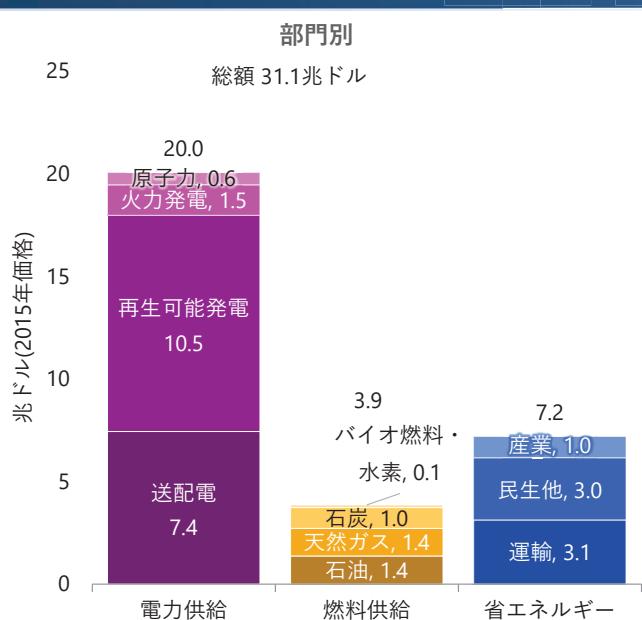
アジア レファレンスシナリオ エネルギー起源二酸化炭素排出量



増減分(2022-2050年)



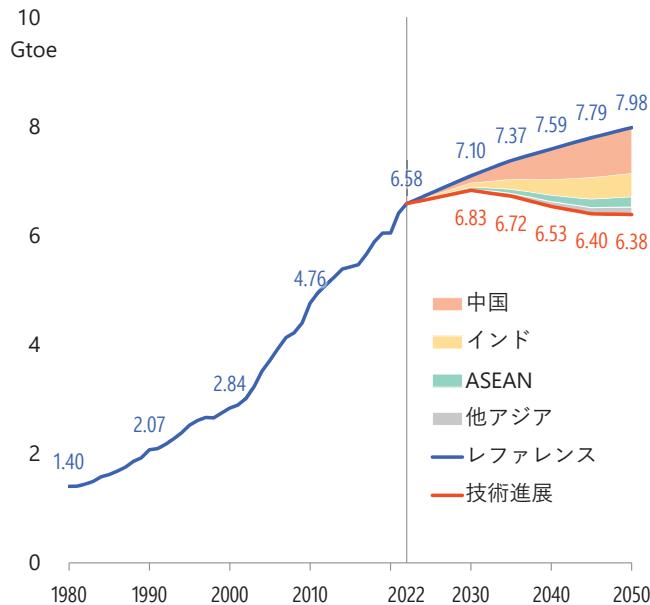
エネルギー関連投資額(2023年～2050年 累積投資額)



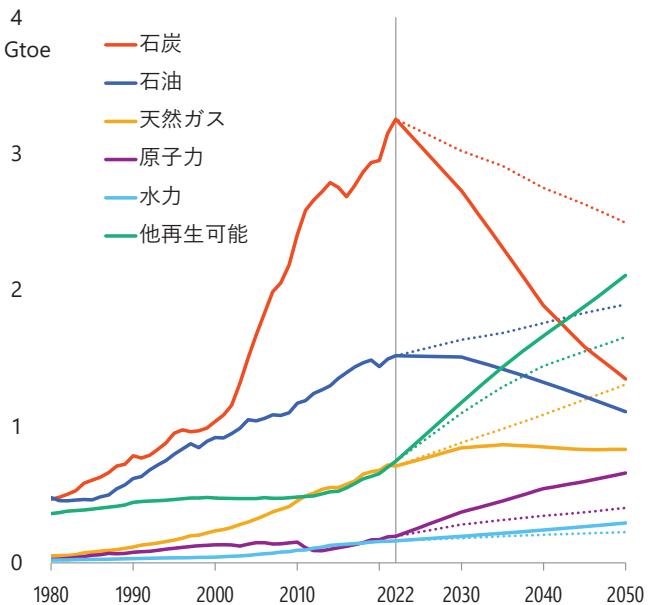
アジア ■ 技術進展シナリオ

一次エネルギー消費

国・地域別



エネルギー源別

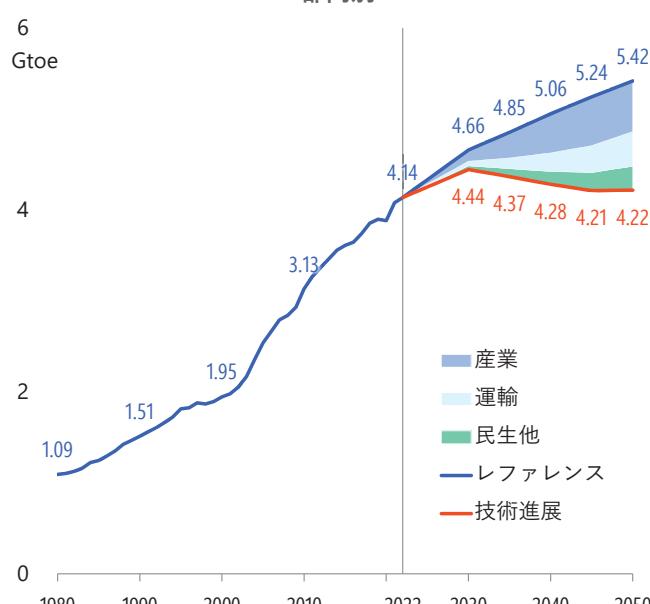


(注)実線: 技術進展、点線: レファレンス

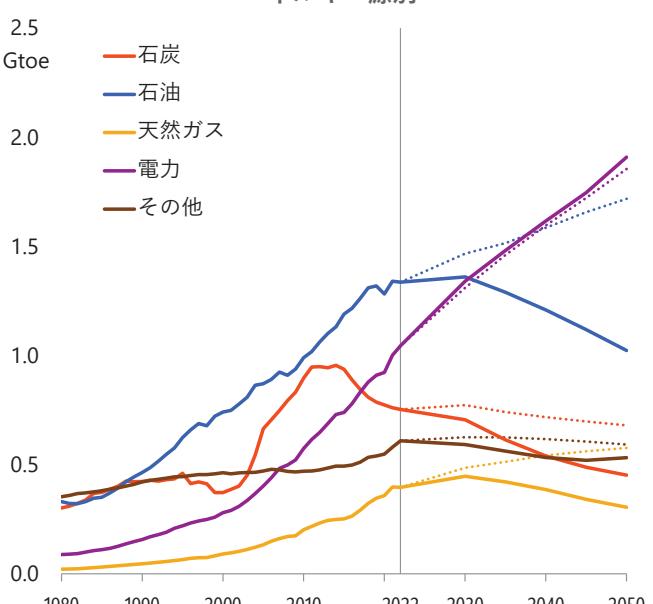
アジア ■ 技術進展シナリオ

最終エネルギー消費

部門別

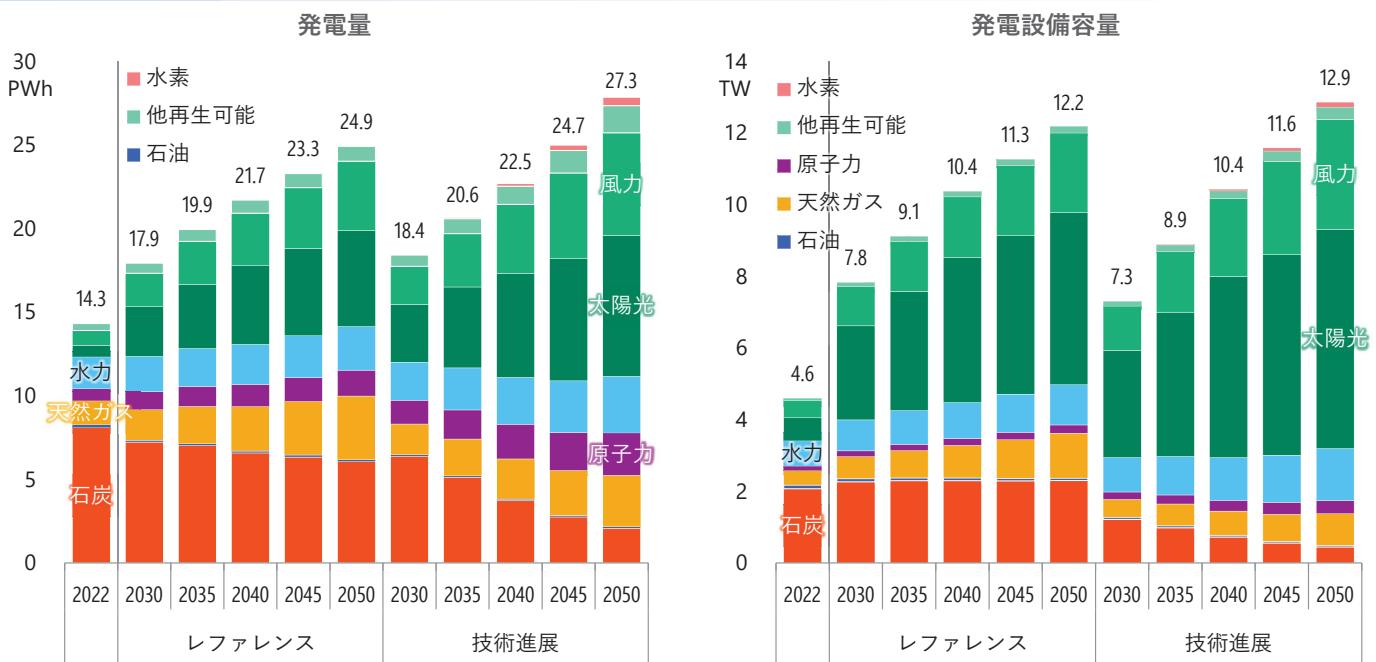


エネルギー源別

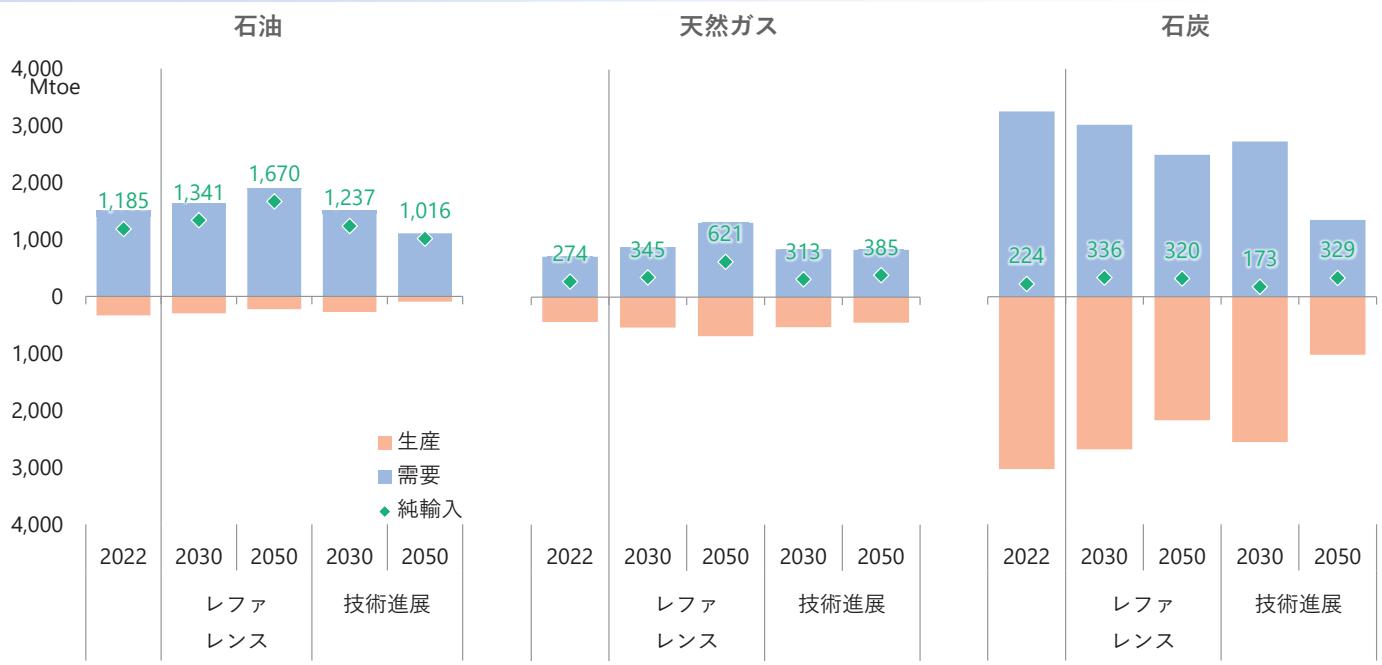


(注)実線: 技術進展、点線: レファレンス

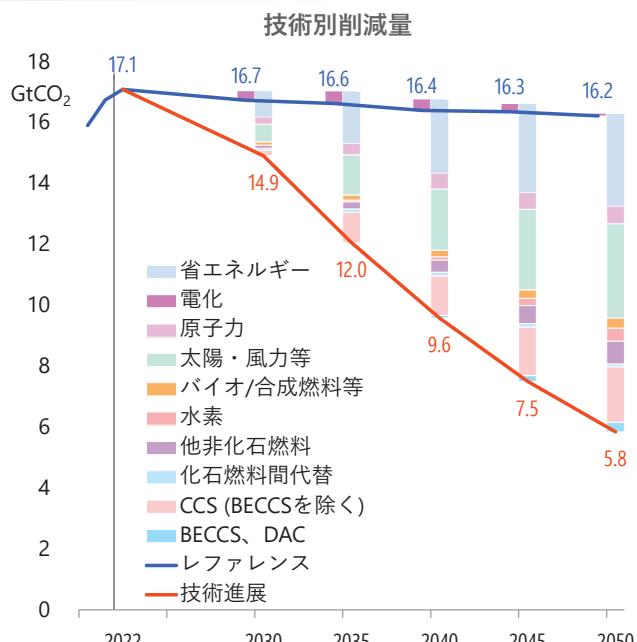
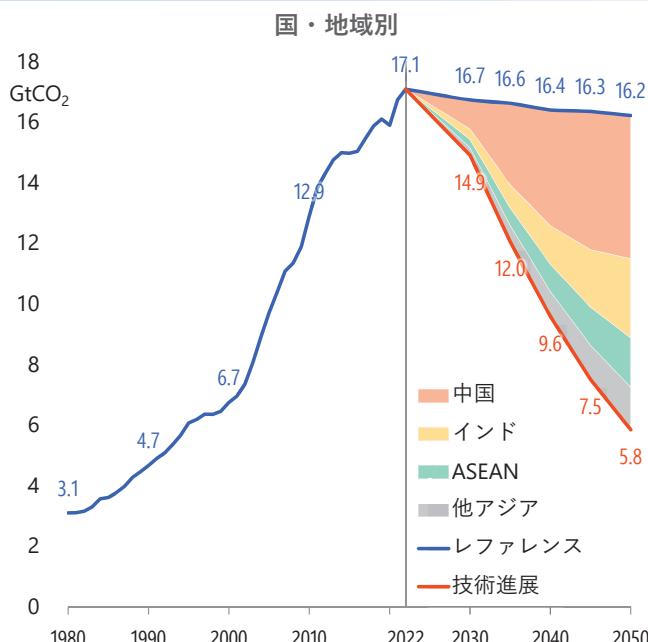
アジア 発電構成



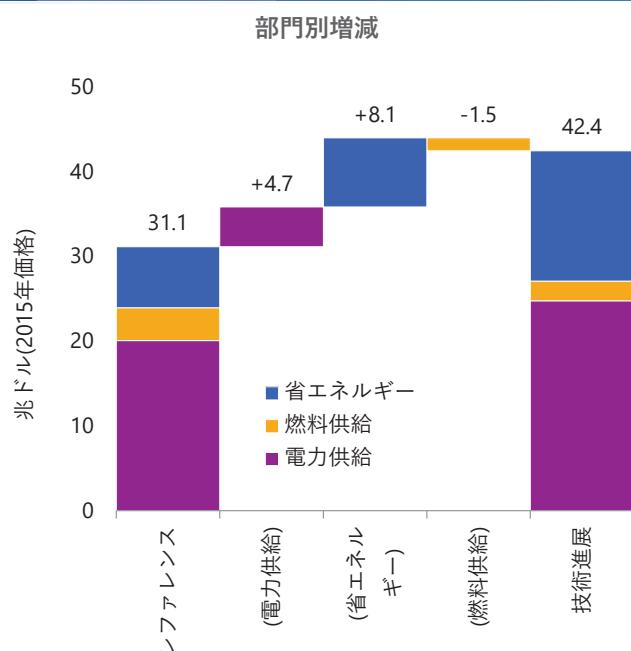
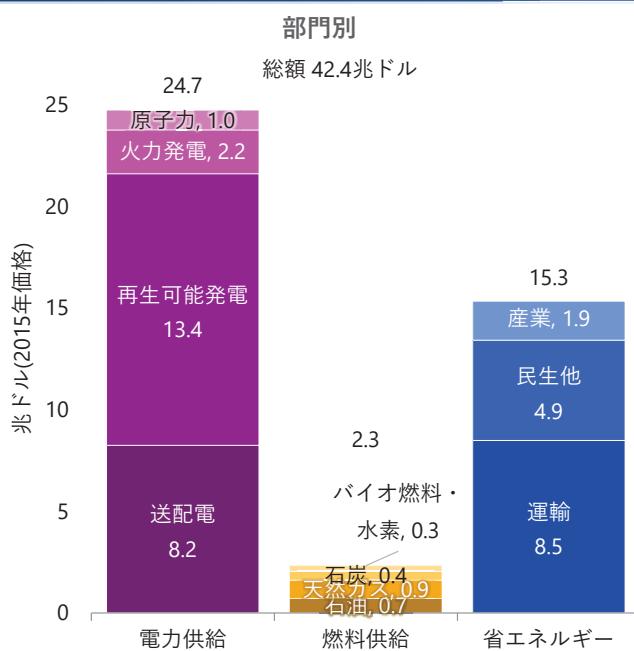
アジア 化石燃料需給バランス



アジア 標準化シナリオ エネルギー起源二酸化炭素排出量

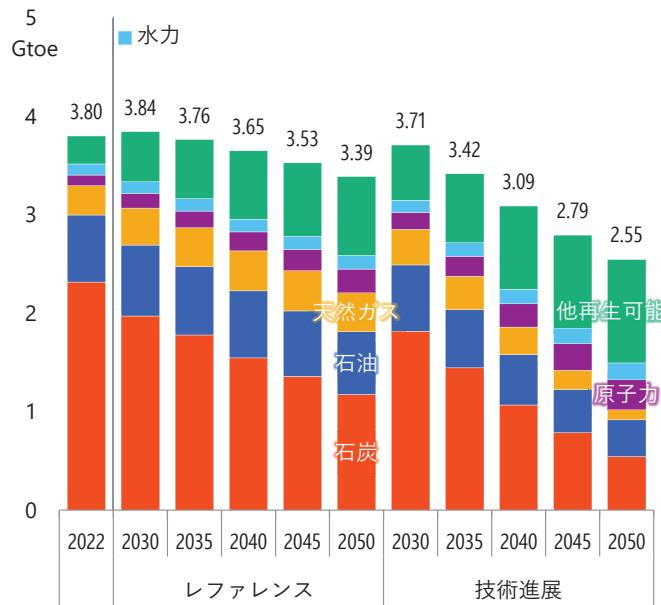


エネルギー関連投資額(2023年～2050年 累積投資額)

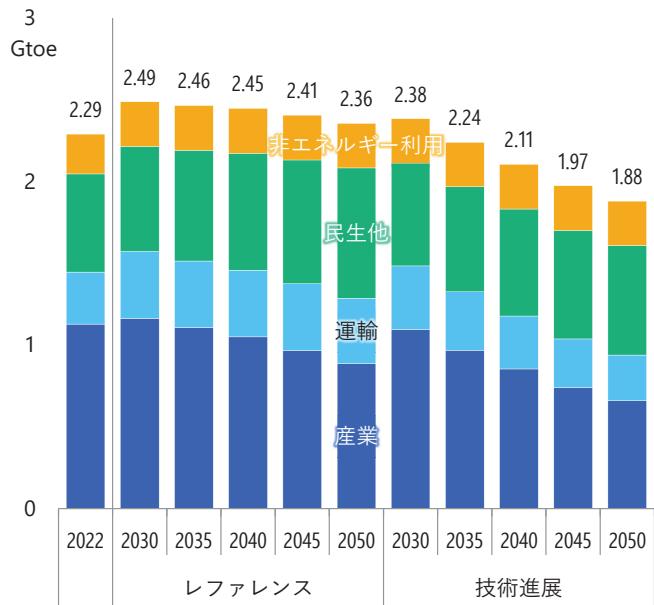


中国 エネルギー消費

一次エネルギー消費

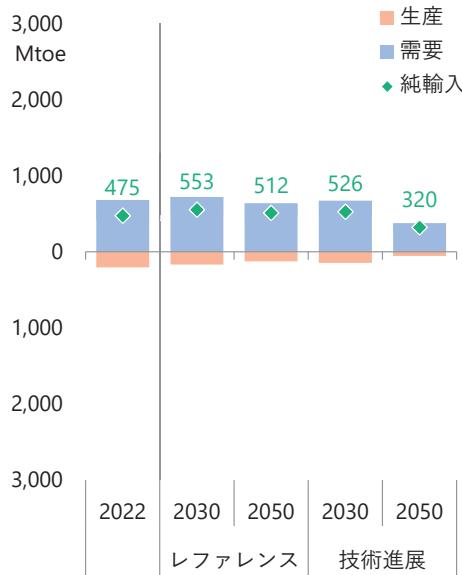


最終エネルギー消費

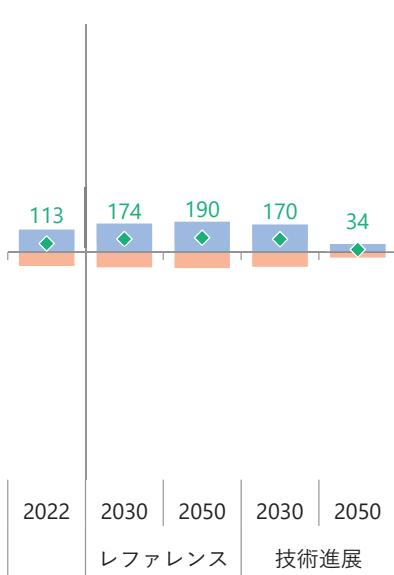


中国 化石燃料需給バランス

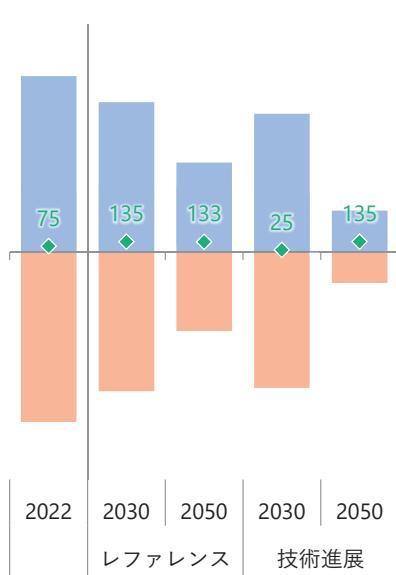
石油



天然ガス

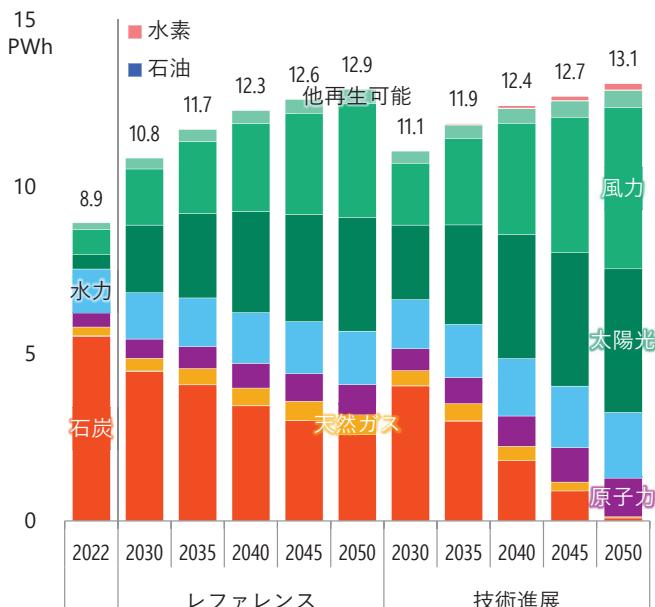


石炭

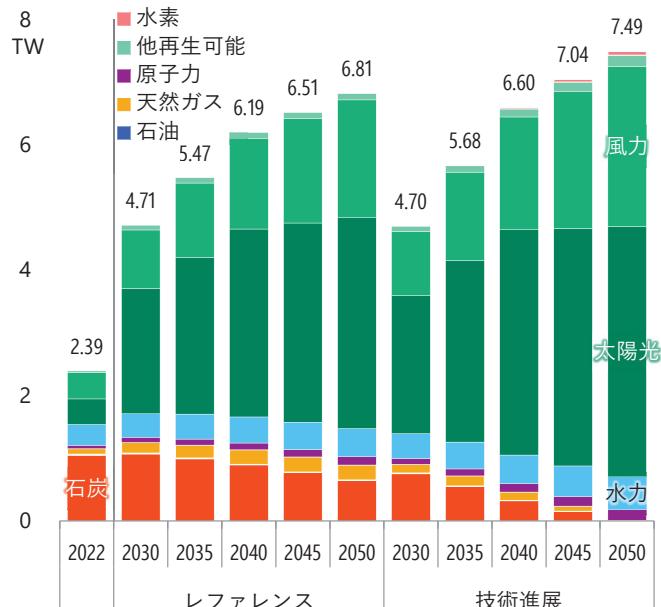


発電構成

発電量

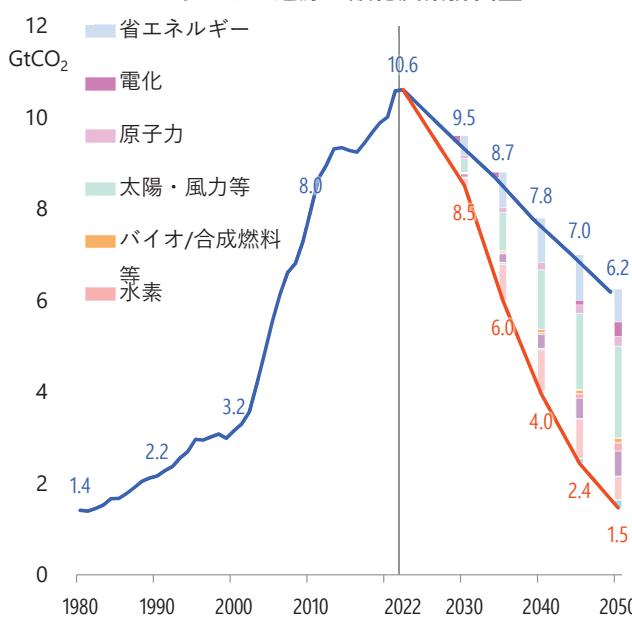


発電設備容量

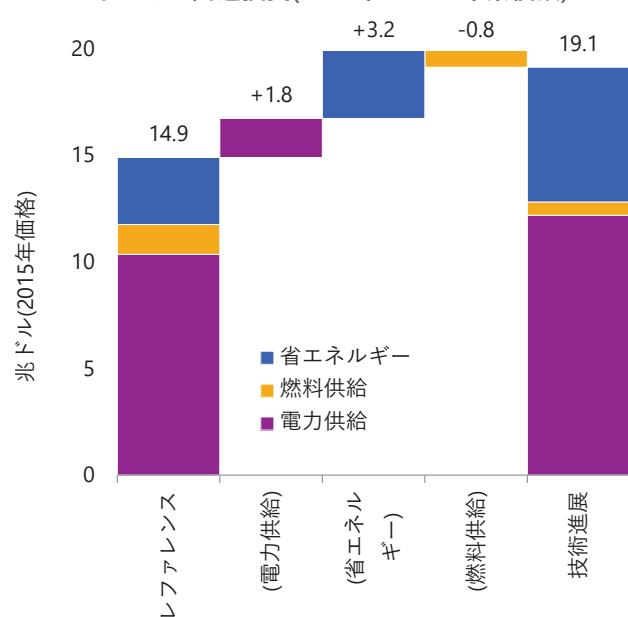


エネルギー起源二酸化炭素排出量・エネルギー関連投資

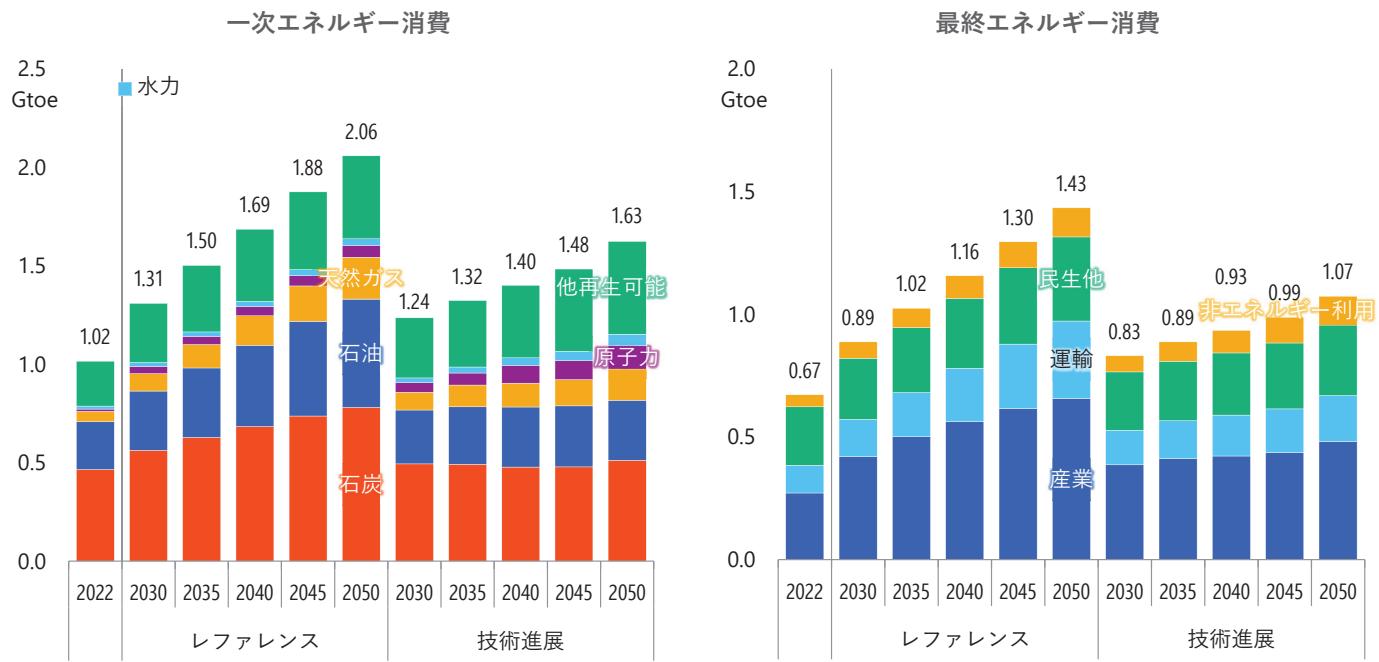
エネルギー起源二酸化炭素排出量



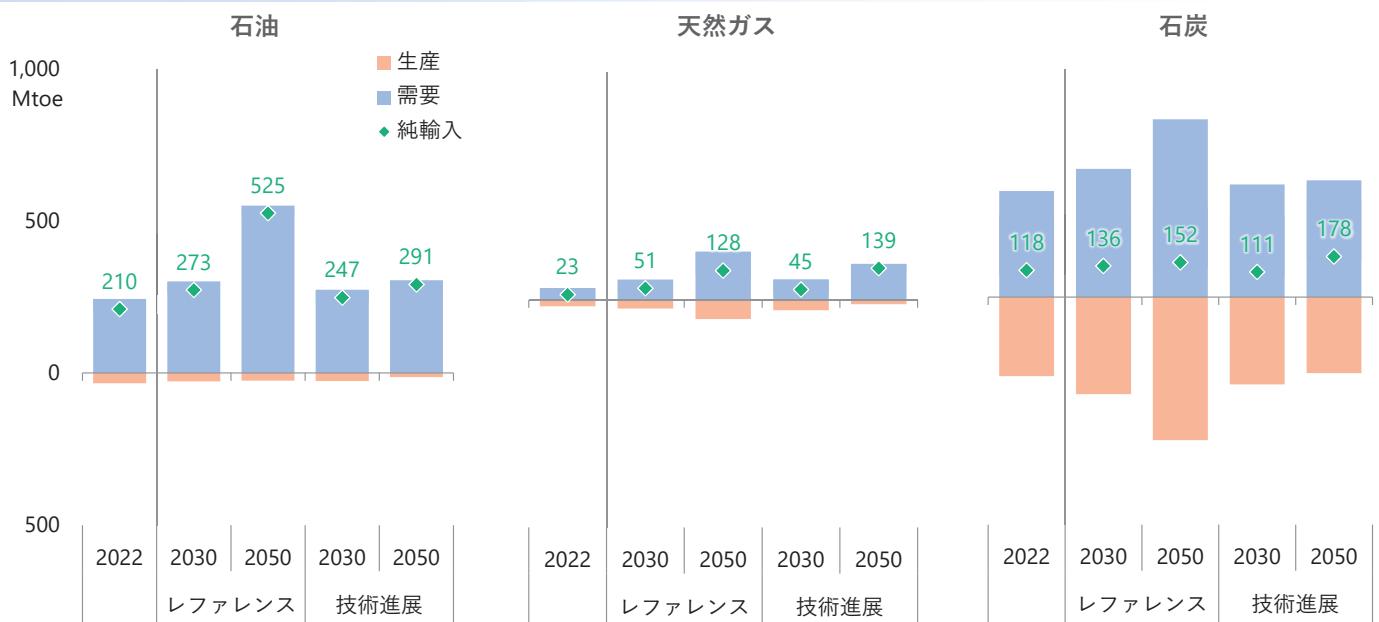
エネルギー関連投資(2023年～2050年累積額)



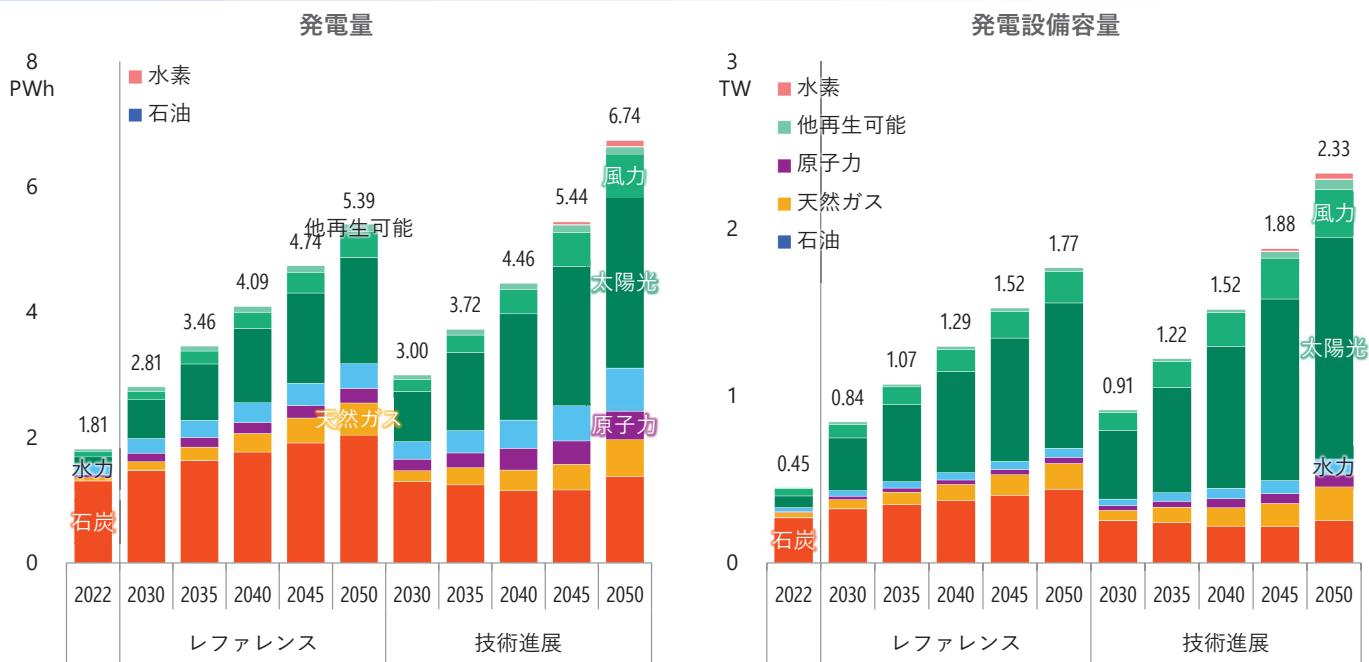
エネルギー消費



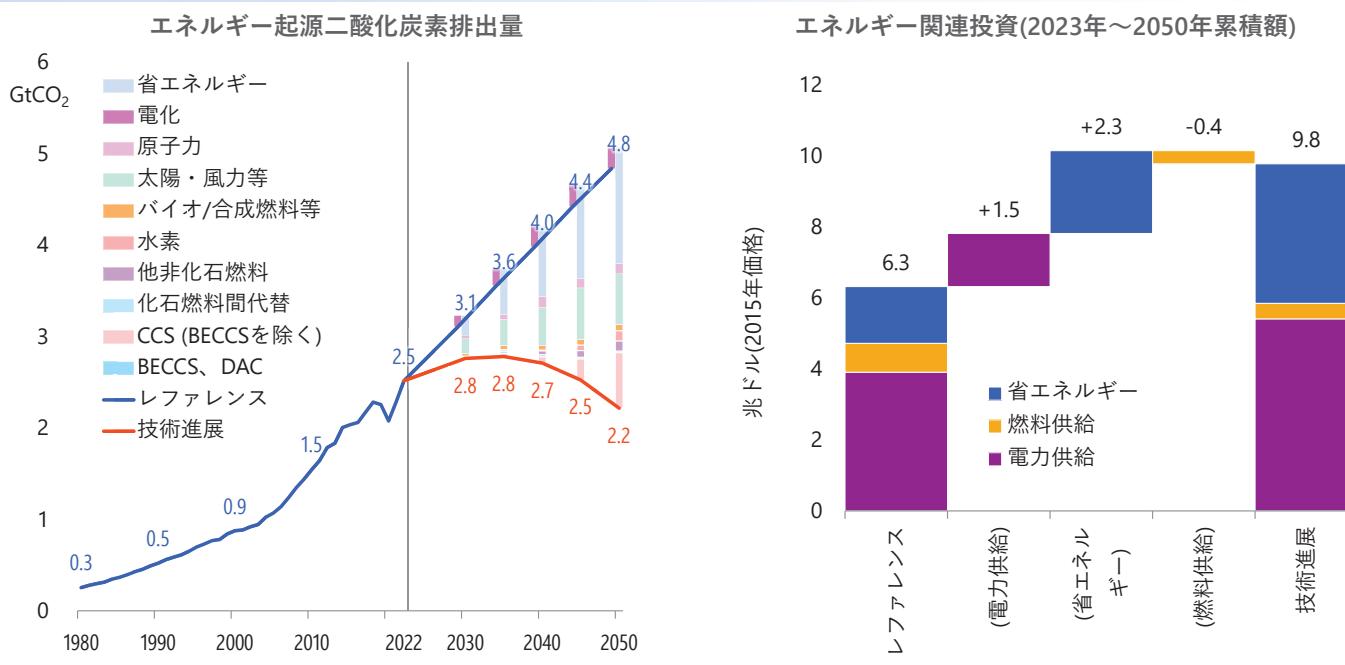
化石燃料需給バランス



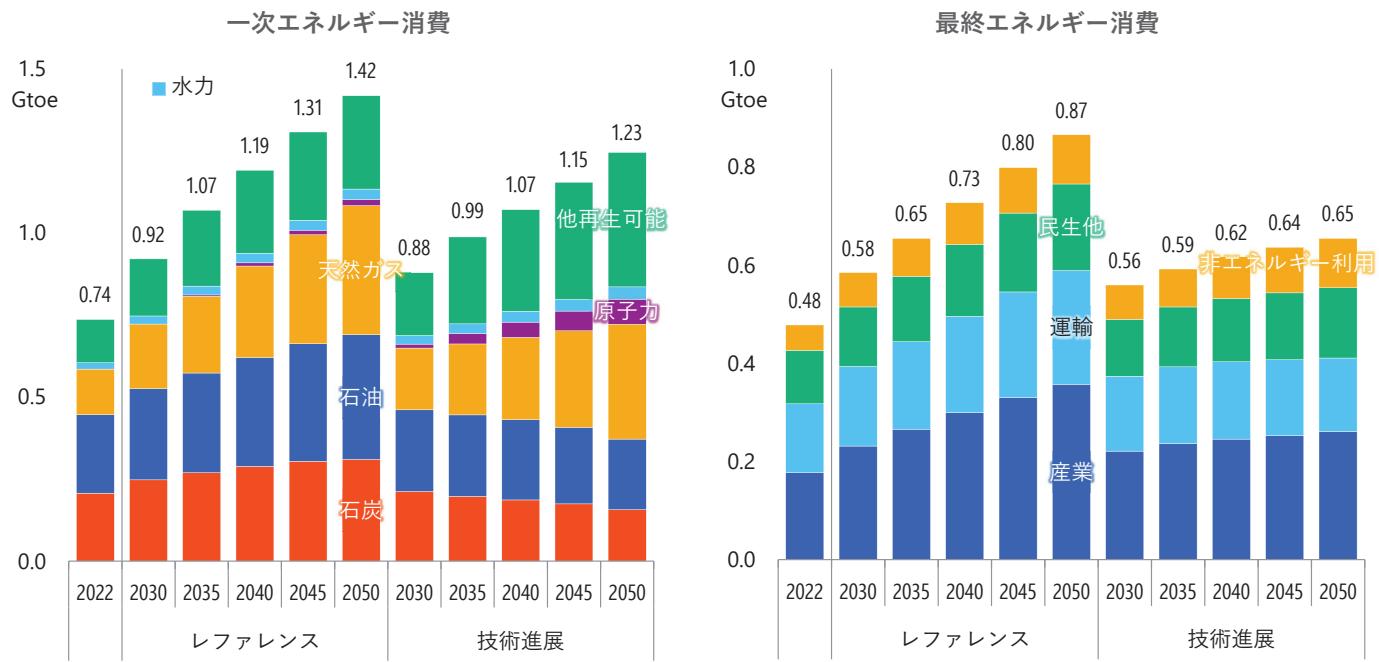
インド 発電構成



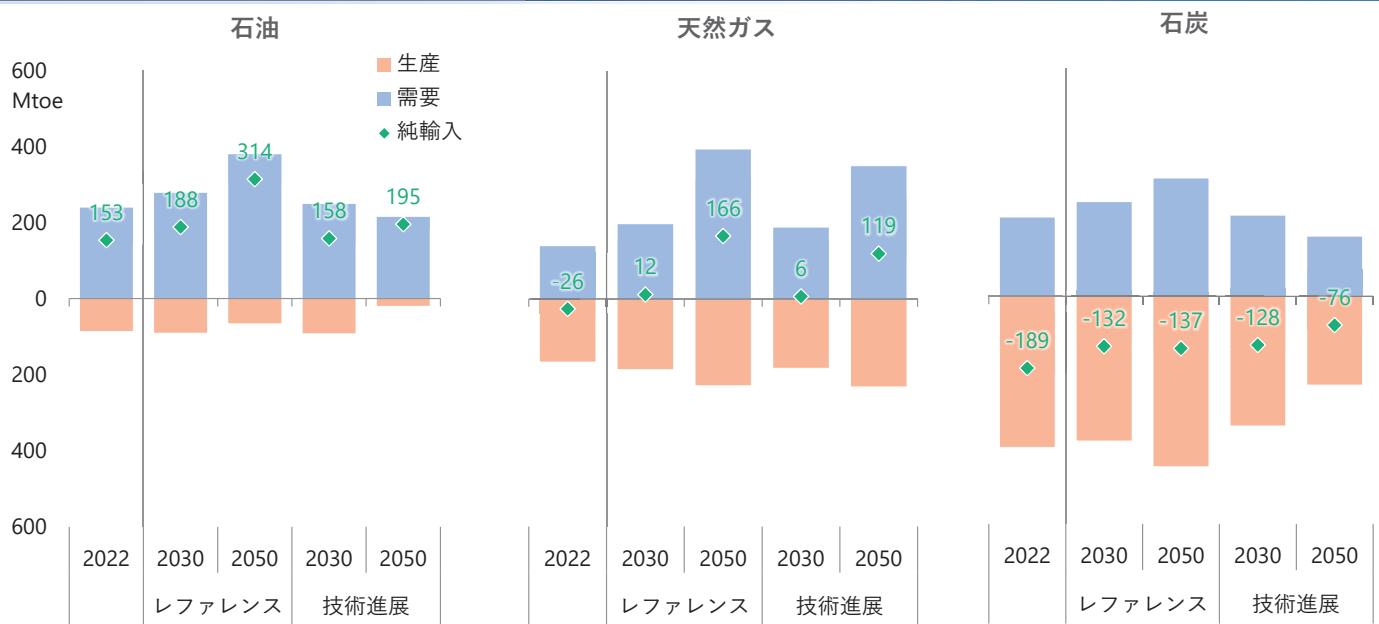
インド エネルギー起源二酸化炭素排出量・エネルギー関連投資



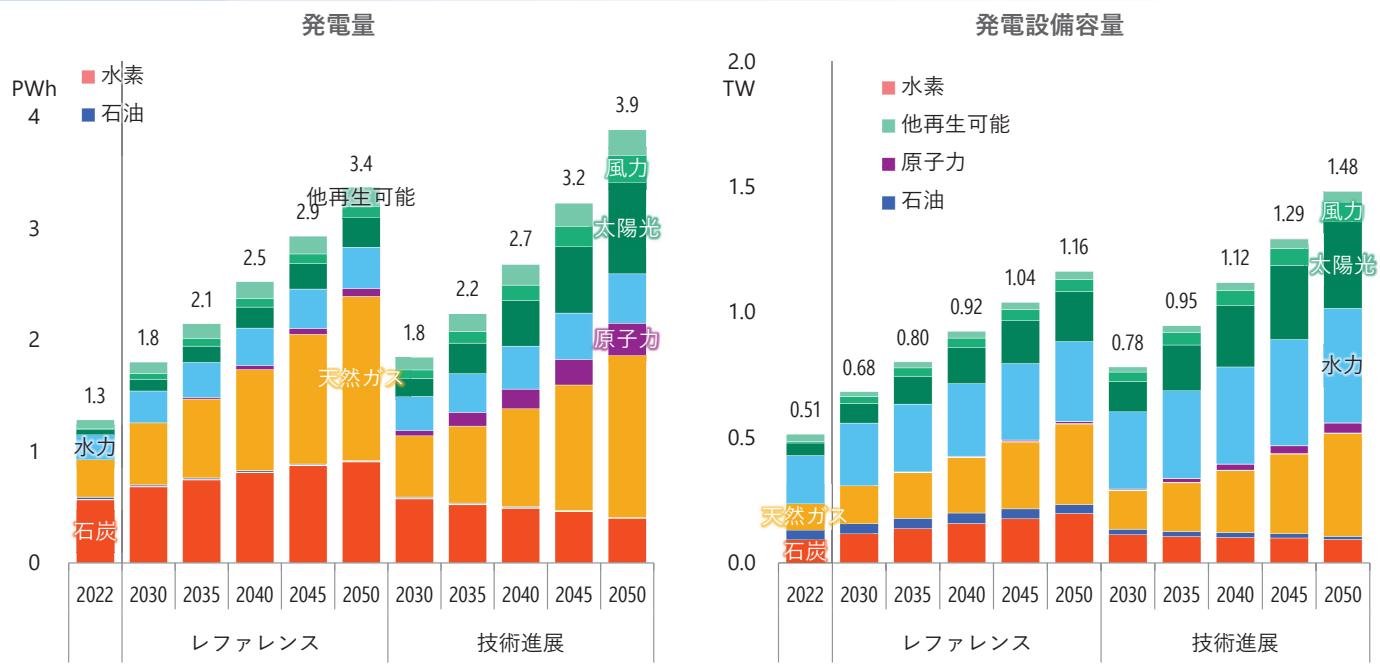
ASEAN エネルギー消費



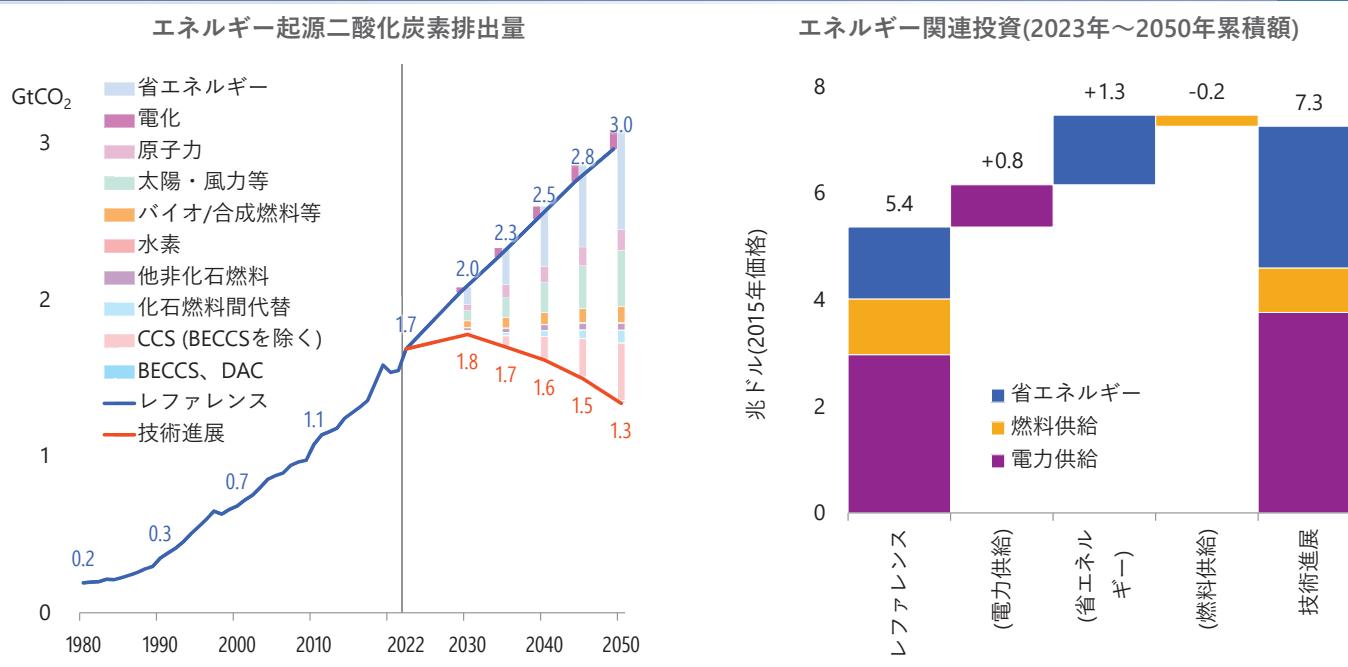
ASEAN 化石燃料需給バランス



ASEAN 発電構成



ASEAN エネルギー起源二酸化炭素排出量・エネルギー関連投資



IEEJ Outlook 2025

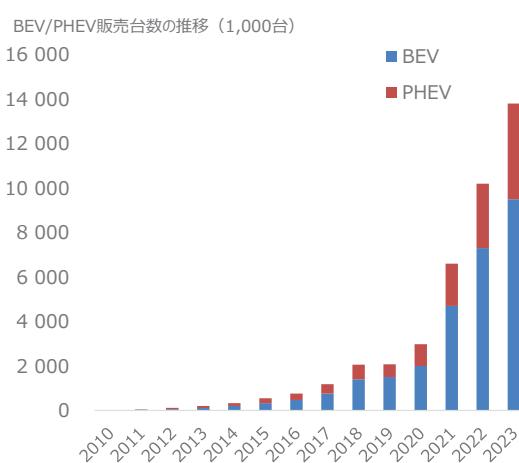
自動車のライフサイクル分析:国や地域に応じたパワートレインの選択を

一般財団法人 日本エネルギー経済研究所

江藤 諒、永富 悠、土井 菜保子、坂本 敏幸

電気自動車販売スピードの低減

2010-2023年の電気自動車販売動向



主要国の販売動向・見通し

- EU: 2024年8月段階でBEV販売台数は前年同期比43.9%減。

背景要因

- ドイツ: EV補助金を2023年12月に停止
- フランス: 中国生産のEVを補助金の対象外に

- 米国: 2024年の販売見通しは前年比20%増。2023年の約40%増からペースダウン。

- 米国: 「Early Adopter」と呼ばれる新しい財・サービスを初期段階で採用する消費者の購入が一巡

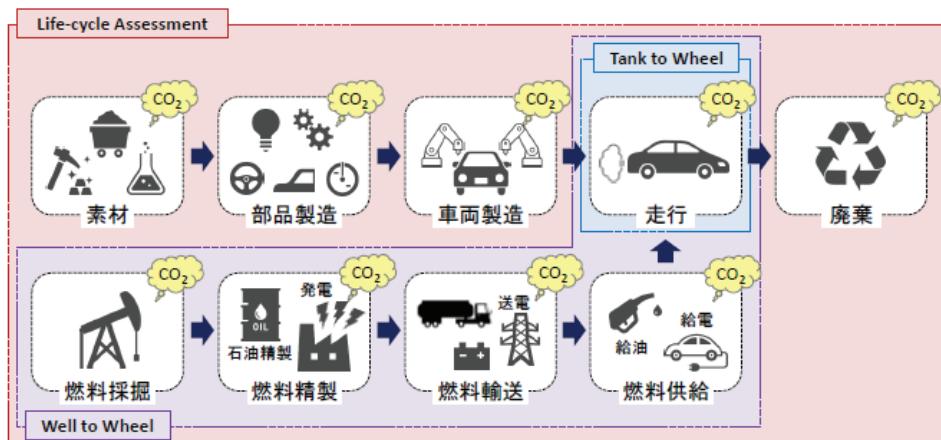
- 中国: 2024年のBEV/PHEV販売台数は前年比25%増。2022年の82%増、2023年の35%増から減速。

- 中国: 消費者の節約志向が進展

出所:IEA Global EV Data Explorer、及び各種資料より作成

自動車のLCA分析

- 自動車のGHG排出の推計においては、「Well to Wheel」(WtW)として、自動車に使用されるエネルギーの供給(Well to Tank)から消費(Tank to Wheel)に加え、自動車の製造と廃棄を含んだライフサイクルアセスメント(LCA)を行うことが公正な評価として求められる。
- 国や地域によってCN燃料(カーボンニュートラル燃料)の供給可能性や電源構成、エネルギーインフラや社会情勢は大きく異なることから、国、地域毎のLCA分析が必要である。



出所:環境省、税制全体のグリーン化推進検討会 第2回 (2020年11月) 134

乗用車のLCA分析のためのケース

- 世界におけるバッテリー電気自動車(BEV: Battery Electric Vehicle)の販売は、2024年10月の時点で、そのスピードがこれまでの急拡大と比較し低減する傾向が見受けられる。
- 自動車由来のGHG排出削減に向け、液体燃料のカーボンニュートラル化の議論も進んでいる。

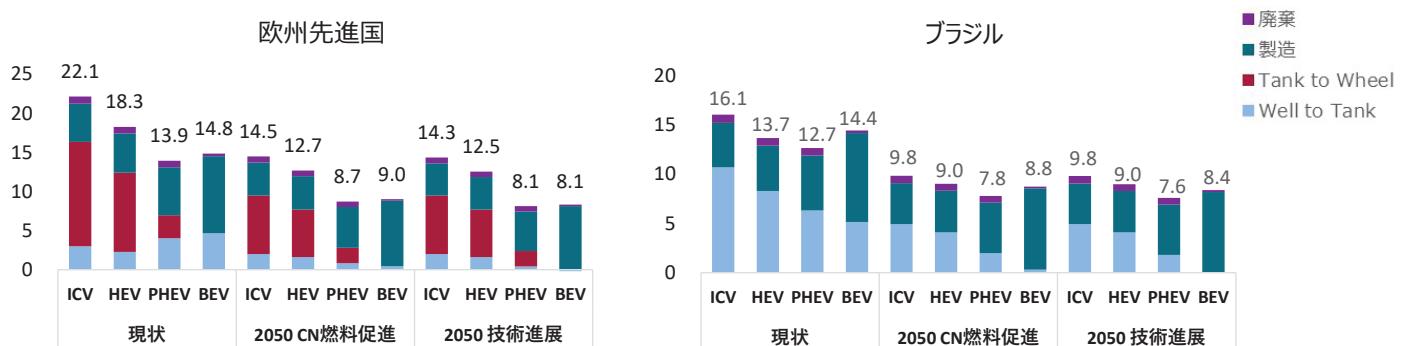
→レファレンスに技術進展のCN燃料比率を組み合わせたCN燃料促進ケースを作成し、CN燃料促進と技術進展のLCAベースのGHG排出量を推計。

	CN燃料比率 (バイオ燃料+合成燃料)	電源構成等転換、燃料価格、燃費等
CN燃料促進	技術進展	レファレンス
技術進展	技術進展	技術進展

国・地域により、GHG排出量の多寡は異なる

- 欧州先進国は現状ではPHEVのGHG排出が最も小さく、BEVがこれとほぼ同等。2050年時点では両ケースともにこの関係は変わらない。
- ブラジルはE100では現状でも、BEVよりもHEV、PHEVのLCAベースのGHG排出量が小さい。2050年でも、CN燃料とHEV、PHEVの組み合わせ、BEVがカーボンニュートラルに向けた対策として有力。

乗用車のLCAベースの台当たりのGHG排出量(tCO₂eq/Vehicle Lifetime)

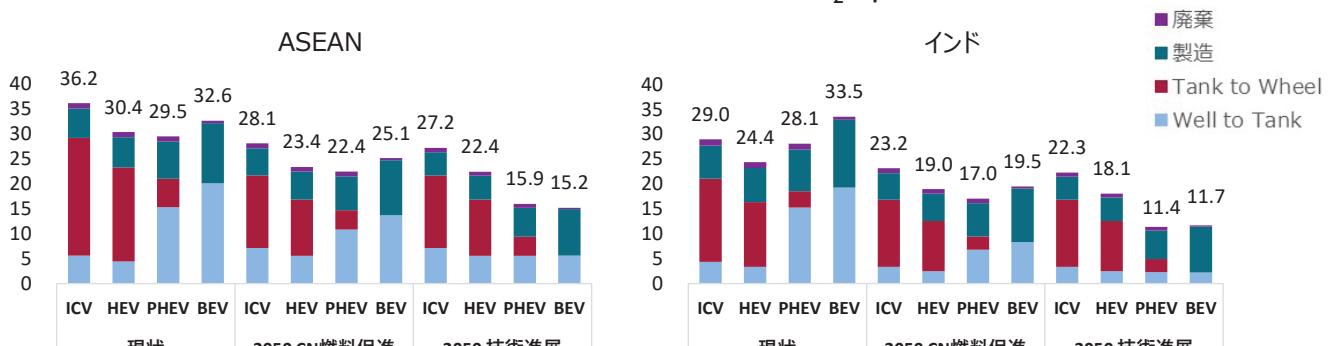


※Well to Tankは燃料輸送時のCO₂排出は除く。乗用車の製造・廃棄は全て国内または域内で行われるものと想定 [136](#)

ASEANやインドではHEV、PHEVとCN燃料の組み合わせが有力な選択肢

- 電源構成の低炭素化が相対的に遅れているASEANでは現状においてHEVとPHEVは同等でBEVより小さく、インドではHEVが最も小さい。
- CN燃料促進では、2050年時点でも、ASEAN、インドとも、HEV、PHEVとCN燃料の組み合わせが、BEVより低い。
- 電源の低炭素化が進む技術進展においては、2050年時点でPHEVとBEVがほぼ同等。

乗用車のLCAベースの台当たりのGHG排出量(tCO₂eq/Vehicle Lifetime)

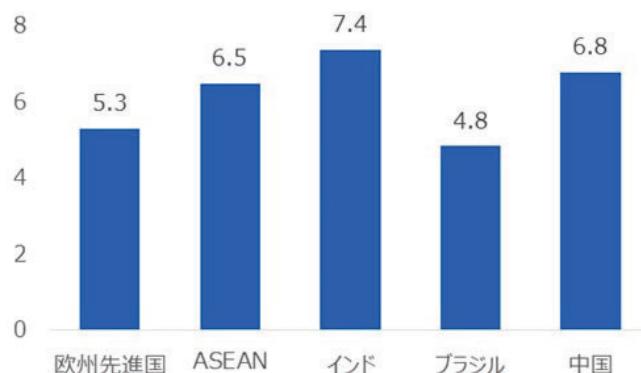


※Well to Tankは燃料輸送時のCO₂排出は除く。乗用車の製造・廃棄は全て国内または域内で行われるものと想定 [136](#)

BEVのバッテリーを製造する国により排出量は大きく異なる

- 製造時の排出量が他の部品に比して大きいバッテリーが他国で生産され輸入される場合は、LCAベースのGHG排出量が変化することにも留意が必要。
- 特に、ブラジルは、電源の脱炭素化が既に進んでおり、バッテリーにおいて、中国から輸入する場合は、現状においてバッテリーに係る排出量が1.4倍に。

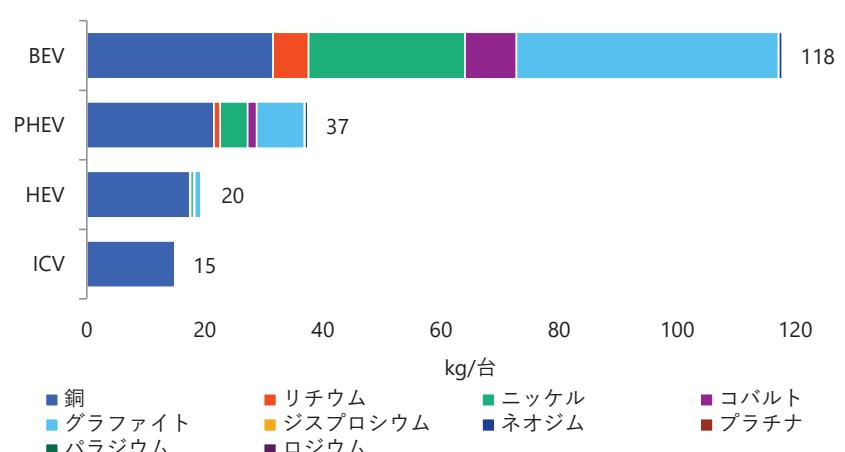
現状の台当たりのBEVのバッテリー製造時のGHG排出量(tCO₂eq)



BEVにおける重要鉱物使用量はHEVの約6倍、PHEVの約3倍

- HEVやPHEVをバイオ燃料やe-fuel等のCN燃料と組み合わせることの利点として、潜在的にBEVと比べて重要鉱物(クリティカルミネラル)の使用量が少なくなる。
- BEVが大量に普及した場合、鉱物資源の需給バランスに支障をきたす可能性もあり、BEVの車体費用が高まるリスクも。

乗用車の台当たり重要鉱物使用量(kg/台)

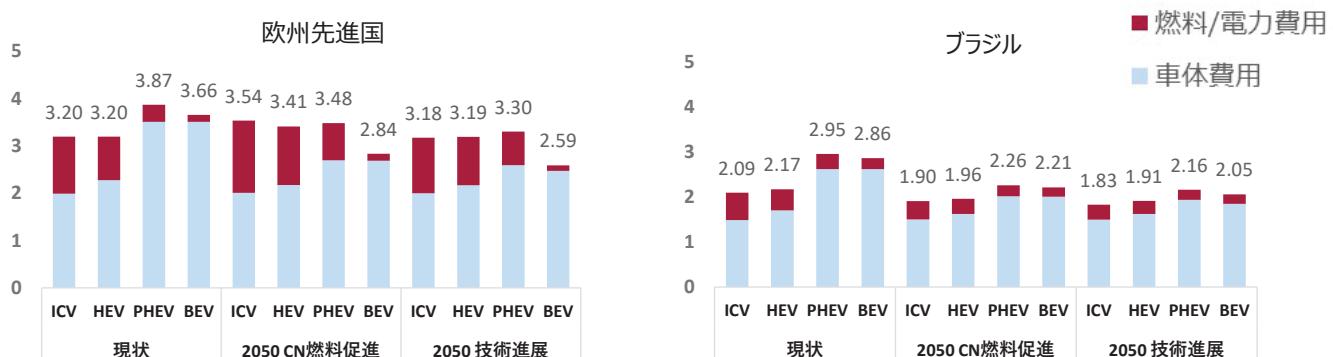


出所:独立行政法人 エネルギー・金属鉱物資源機構(2022)
『令和4年度カーボンニュートラル実現に向けた鉱物資源需給調査報告書』

使用費用も国・地域により、多寡は異なる

- 欧州先進国は現状ではICV、HEVがPHEV、BEVよりも使用費用が安価。これが、2050年ではBEVの車体費用が低下することに加え、石油価格が電力価格に比して高くなることから、BEVが最も安価。
- ブラジルは欧州先進国と比較してバイオ燃料価格が低いことから、パワートレイン別の使用費用でHEVはBEVを下回る。

乗用車の台当たりの使用費用(USD 1,000/年)

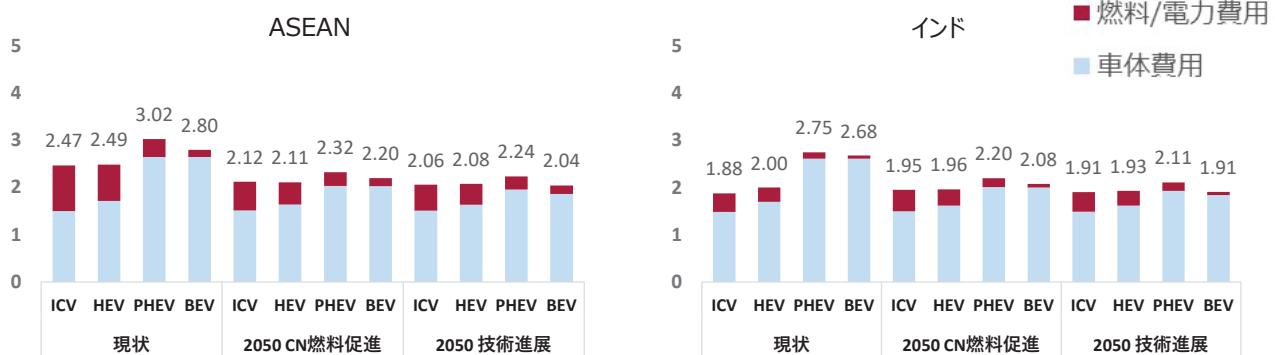


140

使用費用も国・地域により、多寡は異なる

- ASEANやインド等非OECD諸国でも現状においては同様に、ICV、HEVがPHEV、BEVよりも安価。
- 2050年でPHEVやBEVの車体費用が低下するものの、ASEANやインドは欧州先進国と比較して石油価格が低いことから、CN燃料促進ケースではパワートレイン別の使用費用でHEVはBEVのそれを下回り、技術進展シナリオでは同等。

乗用車の台当たりの使用費用(USD 1,000/年)



141

インプリケーション

- 世界の気温上昇を1.5度上昇に抑制するためには、全体的(holistic)で、柔軟性(flexible)のあるアプローチが求められる。
- その際、自動車のカーボンニュートラル化に向けては、資源の賦存や国の発展段階と消費者の購買力、自動車利用にかかる燃料・電力価格、そして電源の脱炭素化など様々な地域性を考慮する必要がある。
- LCA分析の結果が示すように、パワートレインの使用時のみならず、エネルギーの生産や乗用車の製造・廃棄にかかるGHG排出も考慮する場合、地域性によってその評価が大きく異なる。
- BEV販売のペースが減速化している現在において、将来の自動車由来のGHG排出削減にかかる多様な道筋を検討するにあたり、「現実的な解」としてCN燃料の使用可能性や発展段階を考慮したパワートレインの「Affordability:手頃な価格での入手しやすさ」等、地域性の考慮が求められる。
- 将來の自動車のGHG排出削減において、地域性を考慮するなど現実的な解を検討することが重要である。

Box 4-3

データセンター等の電力需要増加 に伴い発生する問題に対する解決策

2024年10月18日

アウトルック2025

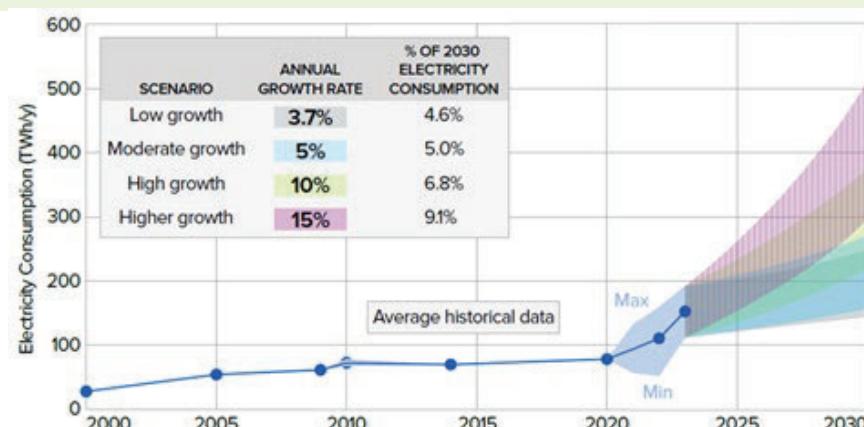
一般財団法人 日本エネルギー経済研究所
大西健一

データセンターの電力消費予測（米国の事例）

145

- 米国電力中央研究所（EPRI）は2024年5月に発表した報告書で、2030年時点のデータセンターの電力消費シェアを4つの成長シナリオで試算。
- 低成長シナリオではデータセンターの年間消費電力量の増加率を3.7%、中成長シナリオでは5.0%、高成長シナリオでは10%、そしてより高成長シナリオでは15%と仮定。
- McKinsey & Companyの2023年1月の報告書でも、米国のデータセンターにおける年間消費電力量の増加率が2030年まで約10%に達すると予測。

- AI技術の進展はデータセンターの電力需要を加速させ、将来的に米国全体のエネルギー消費において重要な位置を占めることが予測されている。



- EPRIの試算によれば、2030年時点での米国全体のデータセンター消費電力量の約80%が、バージニア州、テキサス州、カリフォルニア州等の特定の15州に集中。
- バージニア州北部、特に「データセンターアレー」と呼ばれる地域にデータセンターが集中している理由には、いくつかの歴史的・地理的要因が存在。

<理由>

- ① 1990年代初頭に世界初のネットワーク接続地点である「MAE-East」（Metropolitan Area Exchange, East）が設置され、このポイントを通じて世界中のインターネットトラフィックが流れるようになり、データセンターの集積が進んだ。
- ② AOL（大手インターネットサービスプロバイダ）が1990年代にバージニア州に拠点を設置した際に、光ファイバーケーブルや電力インフラの整備が進んだ。
- ③ 2009年にバージニア州でデータセンター向けの税制優遇措置が導入されたことや、電力料金が米国平均よりも低いこともデータセンターの集積を促進した。

米国の事例を踏まえた電力需要増加に伴う主な課題

(1) 供給力の確保

- データセンターなどの電力需要が今後どれほどのスピードで増加するか不透明である中、対応できる供給力を短期的に確保することが課題。
- 一般的にデータセンターの建設期間よりも発電設備の建設期間のほうが長期。

(2) 火力燃料調達/ベースロード電源の確保

- データセンターは、安定した電力を常時消費するベース負荷であるため、太陽光発電や風力発電などの再生可能エネルギー発電が急速に増加している現在、これらの間欠性を補う形でガス火力発電が必要。
- ガス火力発電に依存する場合、燃料である天然ガスの安定的な調達が求められるが、燃料供給に問題が生じた場合、電力供給に深刻な影響を及ぼす可能性。

(3) 電力系統の最適化

- データセンターが局所的に集中して建設される場合、その地域における送配電容量が不足し、系統増強が必要。
- 送電系統の増強には多額の費用がかかり、またそのための時間も長期間を要するため、データセンターの計画と整合性を取ることが難しい場合も。

(1) 供給力の確保

- 需要の増加に対して迅速に対応できるよう、供給力を確保する制度が必要。
- 容量市場や容量追加オークションだけでは不十分であるため、電源の新設を促進する制度や、休止中の電源を予備として維持する制度が求められる。
- 需要施設がバックアップ発電設備を所有し、需要反応リソースとして活用することも重要であり、そのためのベストプラクティスを広く共有することも一案。

(2) 火力燃料調達/ベースロード電源の確保

- PPAに燃料調達に関する長期的な内容を盛り込むことが重要。
- クリーンなベース電源である地熱発電などの開発や、小型モジュール炉（SMR）などの新しい原子力発電技術の導入を検討することが求められる。

(3) 電力系統の最適化

- 需要施設を電源に近い場所に立地させることや、送電可能量が十分にある地域を選ぶ（ウェルカムゾーン）ことが重要。
- 送配電事業者との調整を進めることで無駄な系統増強を避けることが必要。
- ダイナミック・ライン・レーティングの活用が進められており、これも送電容量拡大に寄与する対策として注目すべき。

まとめ

問題

課題

対策

- 需要施設よりも電源新設に時間を要する

- 供給力の確保

- 電源新設を促進する制度の導入
➤ 需要施設によるバックアップ電源の所有・運用

- 再エネ発電の間欠性を補う火力発電が必要
➤ 火力燃料調達の困難化、価格高騰のリスク

- 火力燃料調達
➤ ベースロード電源の確保

- PPAに燃料確保条項の付記
➤ 地熱電源や原子力電源の開発

- 需要施設が局所的に建設
➤ 送配電容量が不足
➤ 系統増強コストが増大

- 電力系統の最適化

- ウェルカムゾーンの公開
➤ 共立地負荷の促進
➤ ダイナミック・ライン・レーティングの活用

Box 5-1

1.5°C目標の達成可能性と NDCに向けた進捗状況

2024年10月18日

アウトルック2025 論説懇

一般財団法人 日本エネルギー経済研究所
森本壯一、田上貴彦

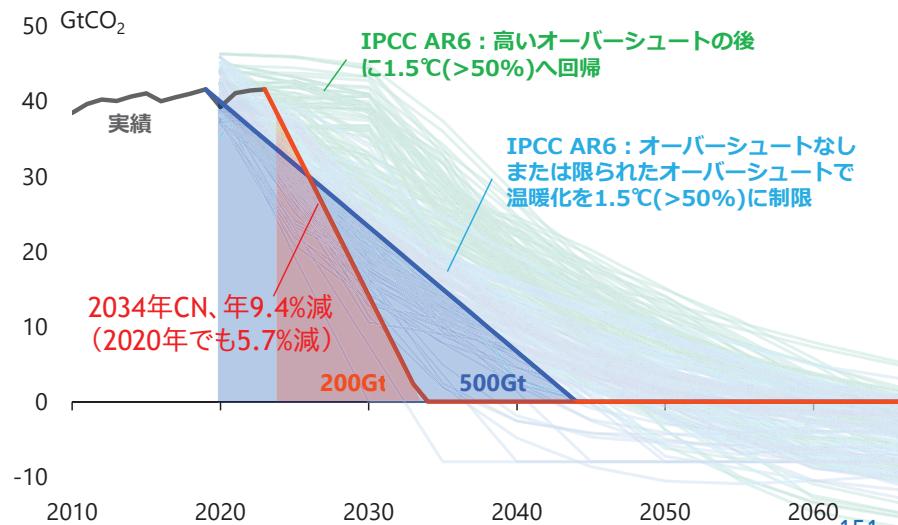
求められる排出削減水準：最新の評価

- 1.5°Cに向けて今後許容されるCO₂排出量の累積値(残余カーボンバジェット)はIPCC AR6時点の評価から急速に縮小。
- 1.5°Cの達成には、高いオーバーシュートシナリオの想定が必要か。削減目標をより野心的にすることでは問題の解決にはならない。適応とCDR（二酸化炭素除去）への取組強化が不可欠。

1.5°C (オーバーシュートなしまたは限られたオーバーシュート)に向けた残余カーボンバジェットの推計値

文献	推計値
従来評価 IPCC AR6	2020年以降 500 GtCO₂
最新評価 IGCC 2023	2024年以降 200 GtCO₂

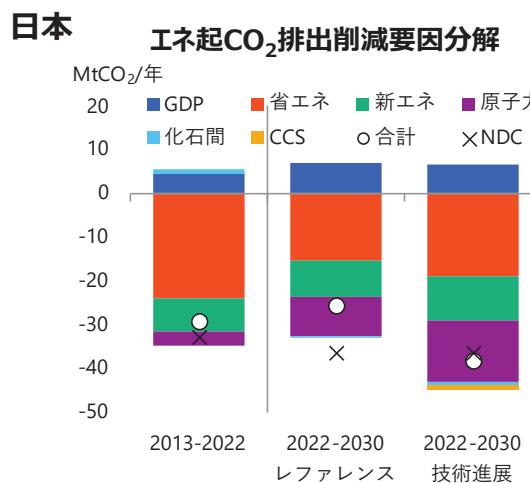
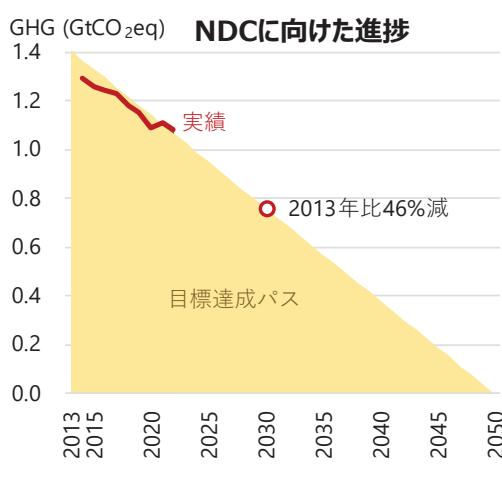
1.5°C目標と整合的なCO₂排出パス



資料 : IGCC 2023、Global Carbon Budget 2023、AR6 Scenarios Database hosted by IIASA

日本のGHG排出量と2030年NDC目標

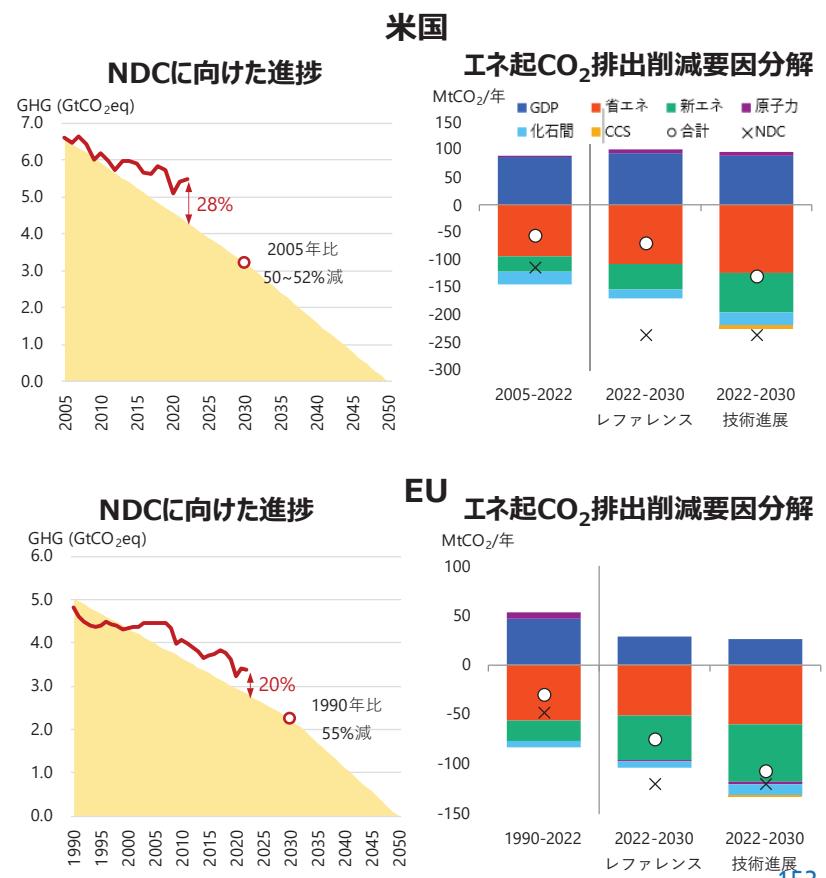
- 日本は概ね2030年目標達成の経路上にある。レファレンスシナリオでは目標に届かないが、技術進展シナリオでは目標達成。
- 日本は米国および欧州連合と比べて基準年以降の経済成長が低かったこと(基準年から2022年にかけてのGDPの年平均成長率は、米国1.7%、欧州連合1.6%に対し、日本は0.4%)が排出削減に大きく貢献していることに要留意。
- 基準年以降の排出削減に最も貢献したのは省エネ(エネルギー産業構造の変化要因含む)。今後も、省エネが過去と同等以上の貢献を果たさなければ2030年目標の達成は危うい(他の国・地域も同様)。日本の場合、原子力の貢献も重要。



152

米欧のGHG排出量と2030年NDC目標

- 米国および欧州連合は目標達成パスと比べ上振れ。
- 日本と同様、米国・欧州連合いずれも、基準年以降の排出削減に最も貢献したのは省エネ。
- 米国は、技術進展シナリオでも目標に届かないが、欧州連合は、技術進展シナリオで目標に近接。
- 米国政府は、IRA等を含む現行政策の下では、2030年におけるGHG排出削減率は2005年比で33%~41%減と評価(NDC目標は50%~52%減)。
- 欧州委員会は、現行政策では2030年目標(1990年比55%減)に15%ポイント不足し、追加政策を考慮した場合でも5%ポイント不足すると評価。



153

中印のCO₂/GHG排出原単位と2030年NDC目標

- 対GDP原単位目標を採用する中国およびインドについては、いずれも実績の推移は目標達成の経路内。
- 図の排出量は国家インベントリに基づいており、最新年は中国が2018年、インドが2019年とやや古い。直近では、中国・インドとともに、対GDP原単位の改善は鈍化傾向。また、排出量の絶対値は基準年以降で大きく増加。
- 中国はレファレンスシナリオでも目標達成、NDCの目標設定がそもそも甘かったという見方。
- インドは、レファレンスシナリオでは目標に届かないが、技術進展シナリオでは目標に近接。

注：中国およびインドの排出量は、NDCに記載がないものの、ここではLULUCFを含まないと整理。右図のNDCはGHG/CO₂削減率をエネ起CO₂削減率とみなしたもの

資料：国家インベントリ(排出量)、世銀(GDP)

