

2050年脱炭素社会実現に向けたシナリオに関する一分析

2021年6月30日

国立環境研究所 AIMプロジェクトチーム

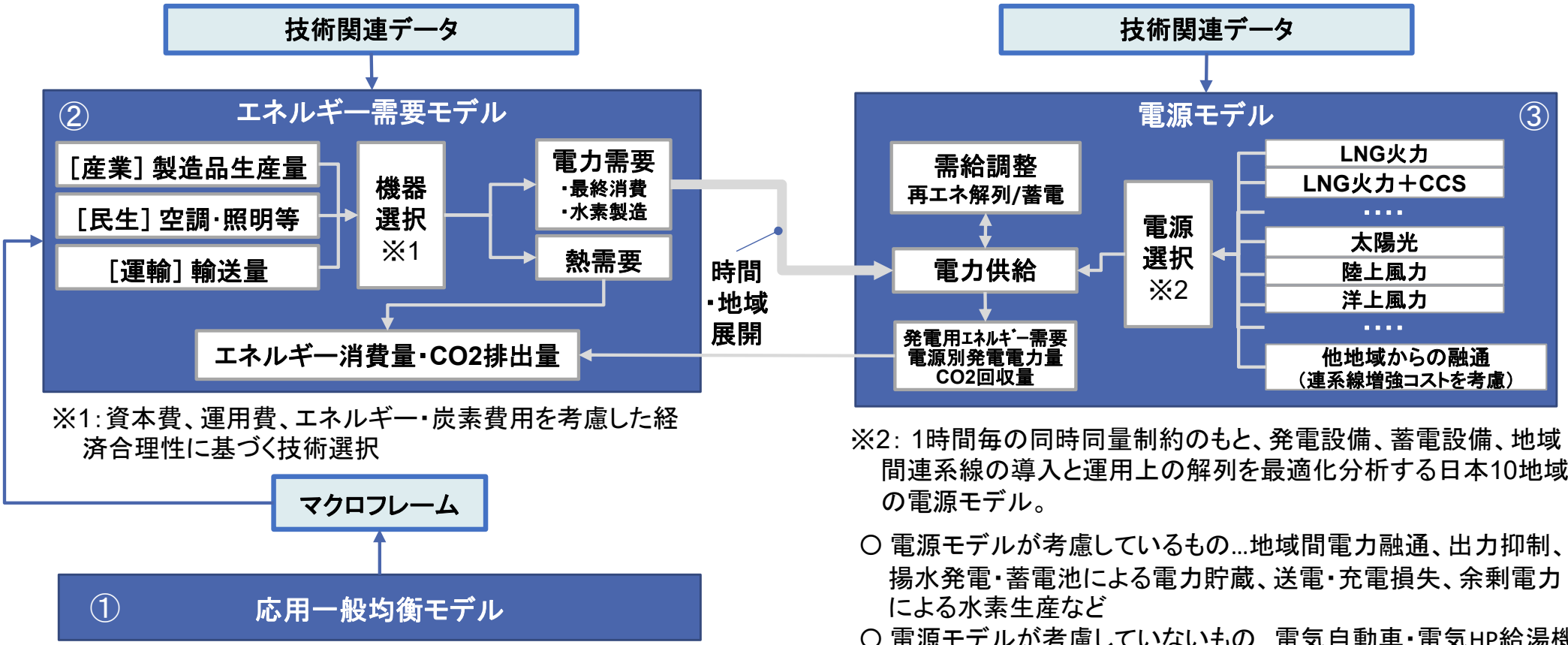
本研究は、(独)環境再生保全機構の環境研究総合推進費(1-2002)により実施された。

- 本資料は、2050年脱炭素社会を実現した絵姿を定量的に具体化し、その実現に向けた課題・道筋について示唆を得るための技術的な資料である。シナリオ分析の手法に基づき、起こりうる可能性が高い未来を予想するものではなく、複数のシナリオにより将来の可能性について部門間、時点間の整合性を持って示したものである。
- モデル開発時に参照するのは過去から現在の事象であり、将来分析ではそれを将来に拡張している。通常の将来予測は、開発したモデルをもとに将来に向けて外挿するものであり、将来における様々な不確実性を考慮する必要がある。不確実性の対象は技術だけでなく、人々の考え方や社会構造も対象となる。今後の社会経済の変化・国際関係・技術開発・普及過程・制度設計により、一層の脱炭素化が進展することもありうる。
- モデルは、客観的な面と主観的な面の両面を併せ持つ。モデルを用いて計算する過程は客観的ではあるが、どのようなモデルを開発するか、モデル内の係数の値をどのように設定するかは主観的な作業である。このため、計算された結果だけに注目するのではなく、モデルの構造、分析の前提や境界条件等の入力情報とあわせて評価することが重要である。

- マクロフレームの推計にあたり、日本を対象とした逐次均衡型の応用一般均衡モデル (AIM/CGE) を用いた。予め想定された経済見通しを達成するように、価格メカニズムによって経済全体の相互関係を整合させつつ、経済活動を定量的に描写する。推計された財・サービス別の生産額をもとに、各部門の活動量を推計した。
- エネルギー需要部門については、外生的に付与されたサービス量を満たすように、逐年での費用最小化の条件でエネルギー機器の選択を決定するロジックを有するモデル (AIM/Enduse) を用いた。2050年までの日本全体の部門別エネルギー種別に技術を積み上げ、エネルギー消費量を推計した。ガス種についてはGHG全体を対象としている。
- 発電部門については、地域間融通、蓄電利用などの手段を利用しつつ、地域毎 (10地域) に電力の1時間単位の同時同量を確保し、発電機器の費用だけでなく、蓄電費用や連系線増強コスト、再エネについてはその出力抑制量 (解列量) などを考慮して分析する電源モデルを用い、発電構成や発電に必要なエネルギー消費量などを推計した。電源モデルでは、技術積上モデルによって推計された電力需要を地域毎1時間単位にダウンスケールし、その需要を満たすための電源構成を逐年での費用最小化の条件でのコスト最適によって推計した。
- なお、AIMによる分析結果は、これまでもIPCCや国内の削減検討の議論の際にも活用されている。
 - ・ IPCCへの貢献 AR5 <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg3/> (第7・9・10章他)
 - SRES <https://www.ipcc.ch/report/emissions-scenarios/>
 - ・ 日本の削減目標検討への貢献 https://www-iam.nies.go.jp/aim/projects_activities/prov/index_j.html

分析に用いたモデル群

・ 経済成長率や人口の想定を所与として、応用一般均衡モデルを用いて、将来におけるマクロフレームを設定 (①)。続いて、エネルギー需要モデルにより、将来のエネルギー需要量を推計 (②)。②で推計した年間電力需要量を1時間毎の地域別需要量に展開し、同時同量制約や地域間連系線制約を考慮できる費用最適化型電源モデルで発電設備構成及び供給構成を推計 (③)。その結果をエネルギー需要モデルにフィードバックし、日本の全体のエネルギー需給量、CO2排出量を算定。



- ・本分析では、省エネ、再エネ、電化など脱炭素技術の普及によって、ネットゼロ排出を実現する「技術」シナリオと、脱炭素技術の普及に加えて、デジタル化・サーキュラーエコノミーの進展などを前提とする「技術＋社会変容」シナリオ、2つのシナリオについて将来排出量などの分析を実施。
- ・「社会変容」シナリオについては、IPCC 1.5°C特別報告書において採用されたLEDシナリオを参考にしている。

技術

×

社会変容

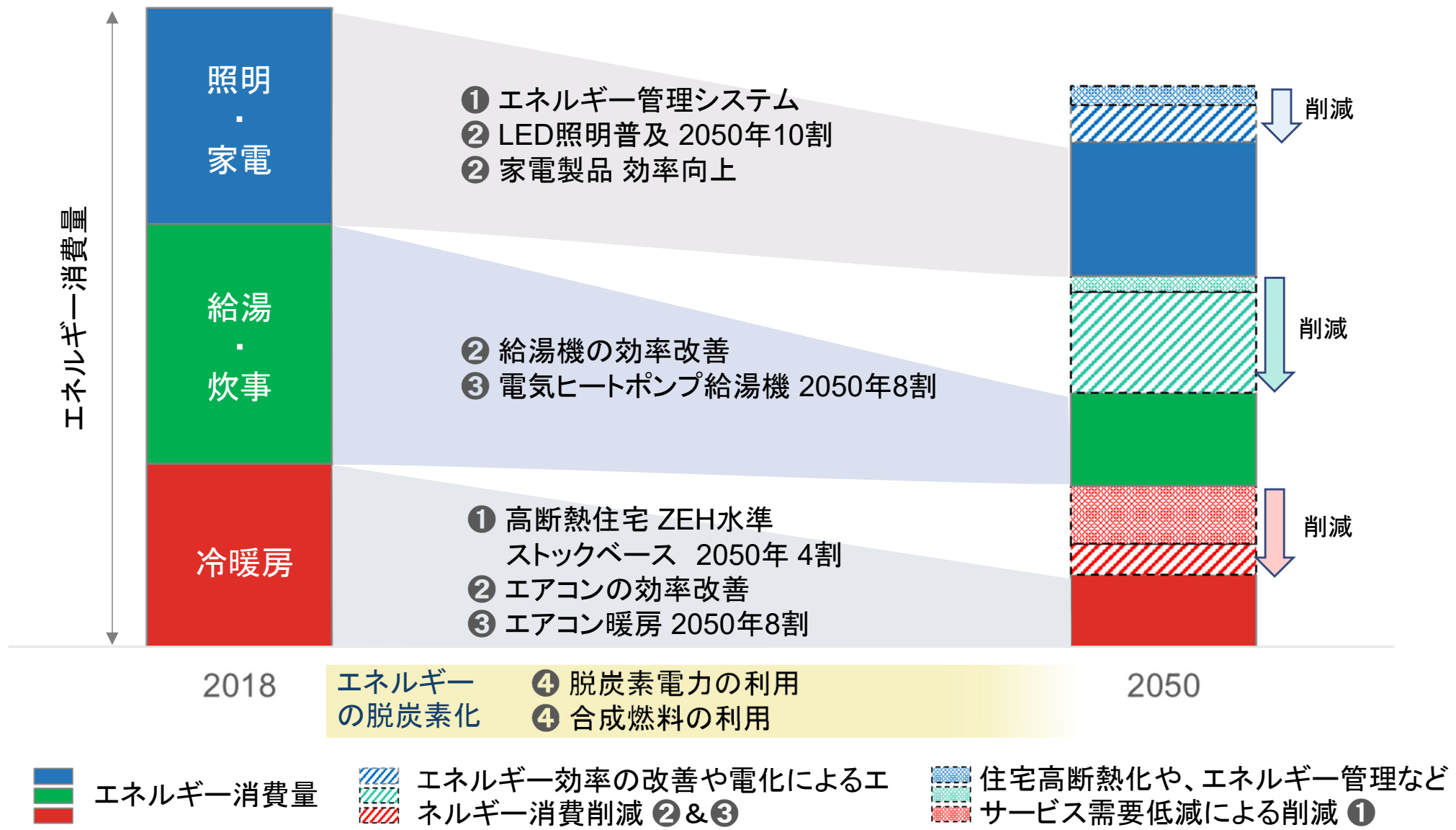
- エネルギー効率改善技術
- 再生可能エネルギー大量普及
- 電化（電動自動車、ヒートポンプなど）
- 新燃料（水素、合成燃料、アンモニアなど）
- CCUS
- ネガティブエミッション技術

- マテリアルの効率的利用
 - ・シェアリング、循環利用による製品・素材利用率の向上
 - ・長寿命化、省資源設計、木材利用による鉱物資源由来製品（鉄・セメントなど）の生産低減
 - ・デジタル化による紙生産の低減 など
- ⇒ 産業部門 財生産量 2050年▲15%
- 業務・通勤移動の低減
 - ・バーチャルリアリティによる移動代替 など
- 貨物輸送の低減・物流効率の改善
 - ・マテリアルの効率的な利用による貨物輸送の低減
 - ・高度ICT利用や3Dプリンタによる物流効率の改善 など
- ⇒ 運輸部門 旅客・貨物輸送量 2050年▲20%

分析結果

【家庭部門】 排出削減対策とエネルギー消費量・削減量

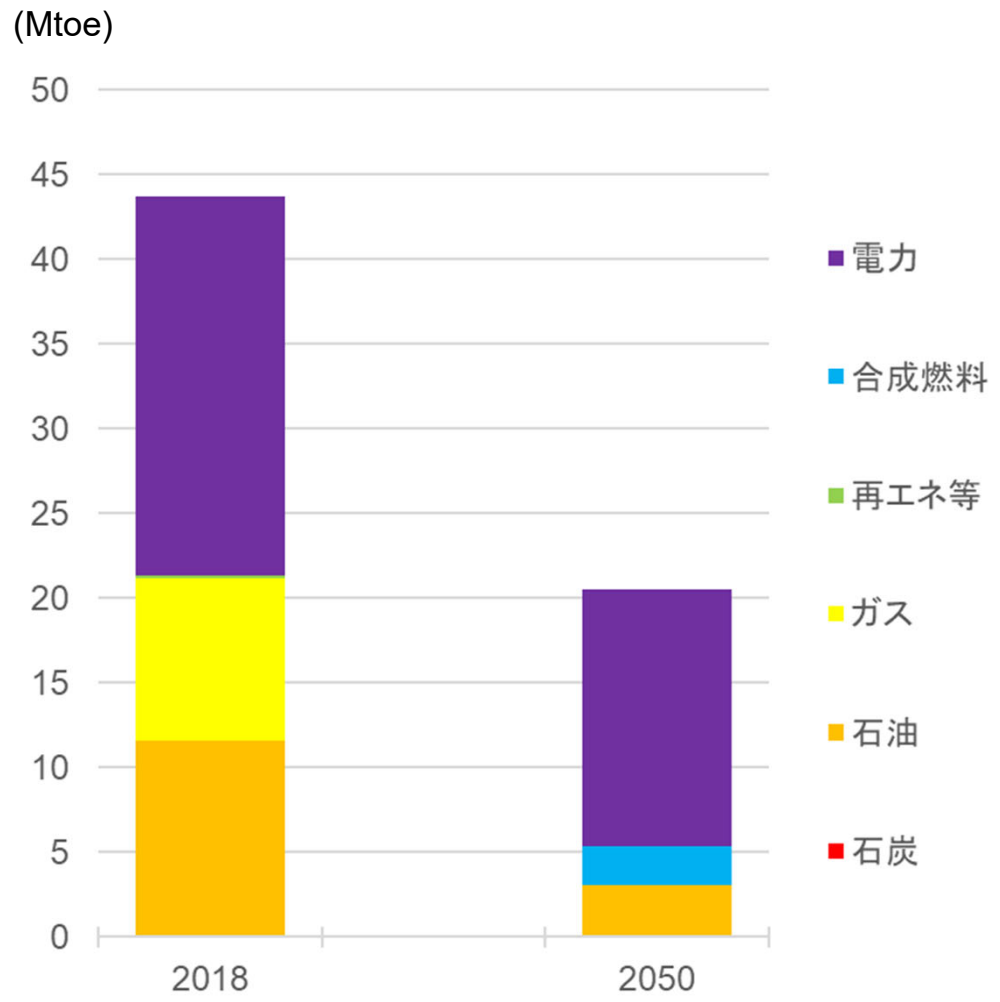
・ 家庭部門では脱炭素社会の実現に向けて、**①サービス需要の低減**、**②エネルギー効率の改善**、**③電化の推進**、**④エネルギーの脱炭素化**(脱炭素電力・新燃焼の利用拡大)を各エネルギー使用用途において実施。



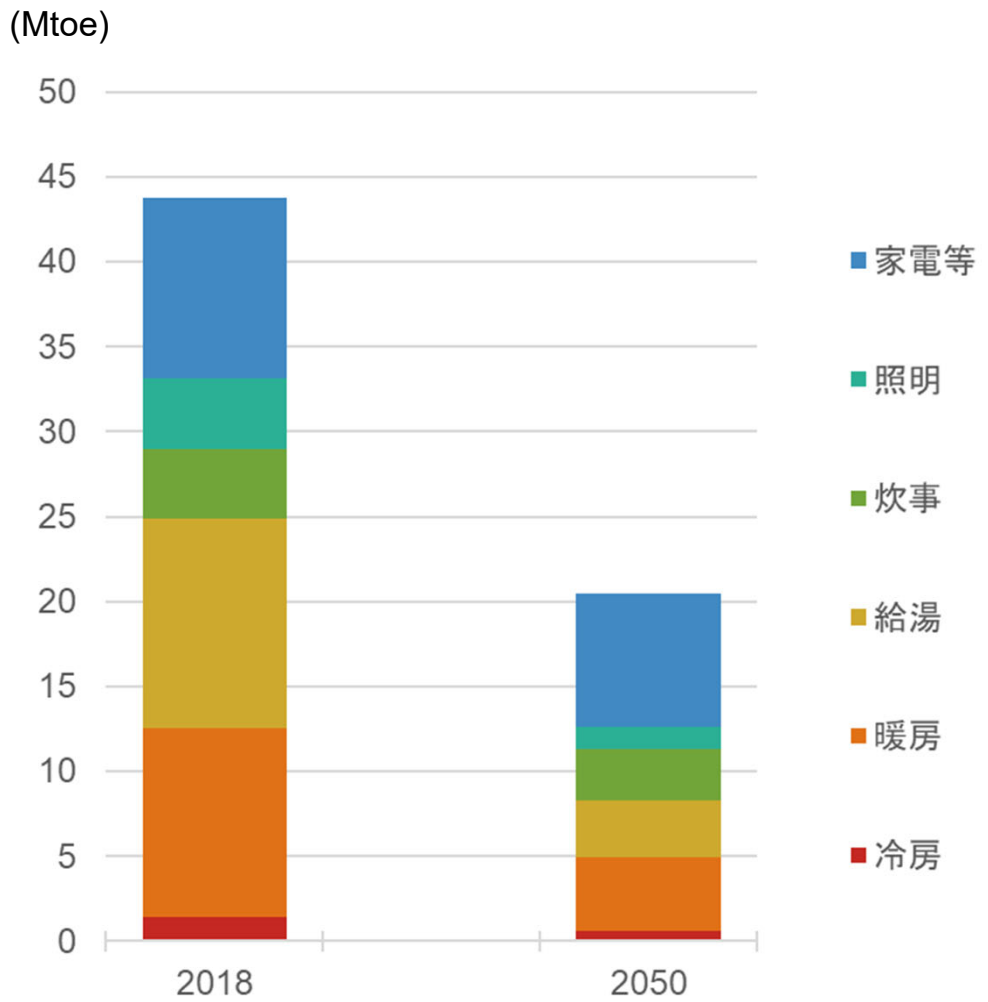
【家庭部門】エネルギー消費量の推移

- ・ 2050年における家庭部門のエネルギー消費量は2018年比 53%減。電力が占める割合は、空調、給湯の電化促進により、2018年51%から2050年74%と大幅に増加。
- ・ 用途別では暖房、給湯、照明用のエネルギー消費量が大幅に低減。

＜エネルギー種別エネルギー消費量＞

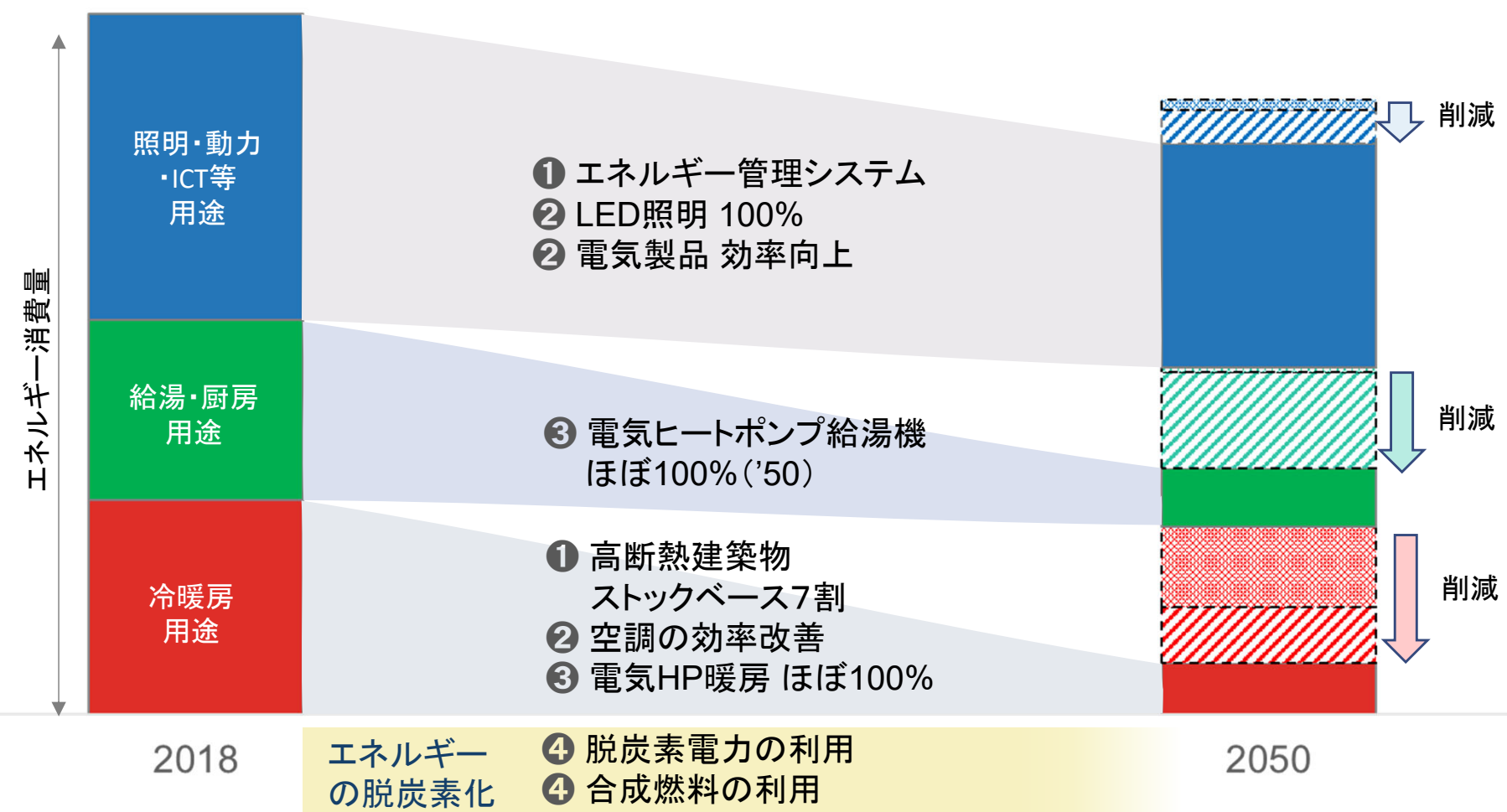


＜用途別エネルギー消費量＞



【業務部門】 排出削減対策とエネルギー消費量・削減量

・ 業務部門では脱炭素社会の実現に向けて、**①サービス需要の低減**、**②エネルギー効率の改善**、**③電化の推進**、**④エネルギーの脱炭素化**(脱炭素電力・新燃料の利用拡大)を各エネルギー使用用途において実施。



■ エネルギー消費量
■ エネルギー消費量
■ エネルギー消費量

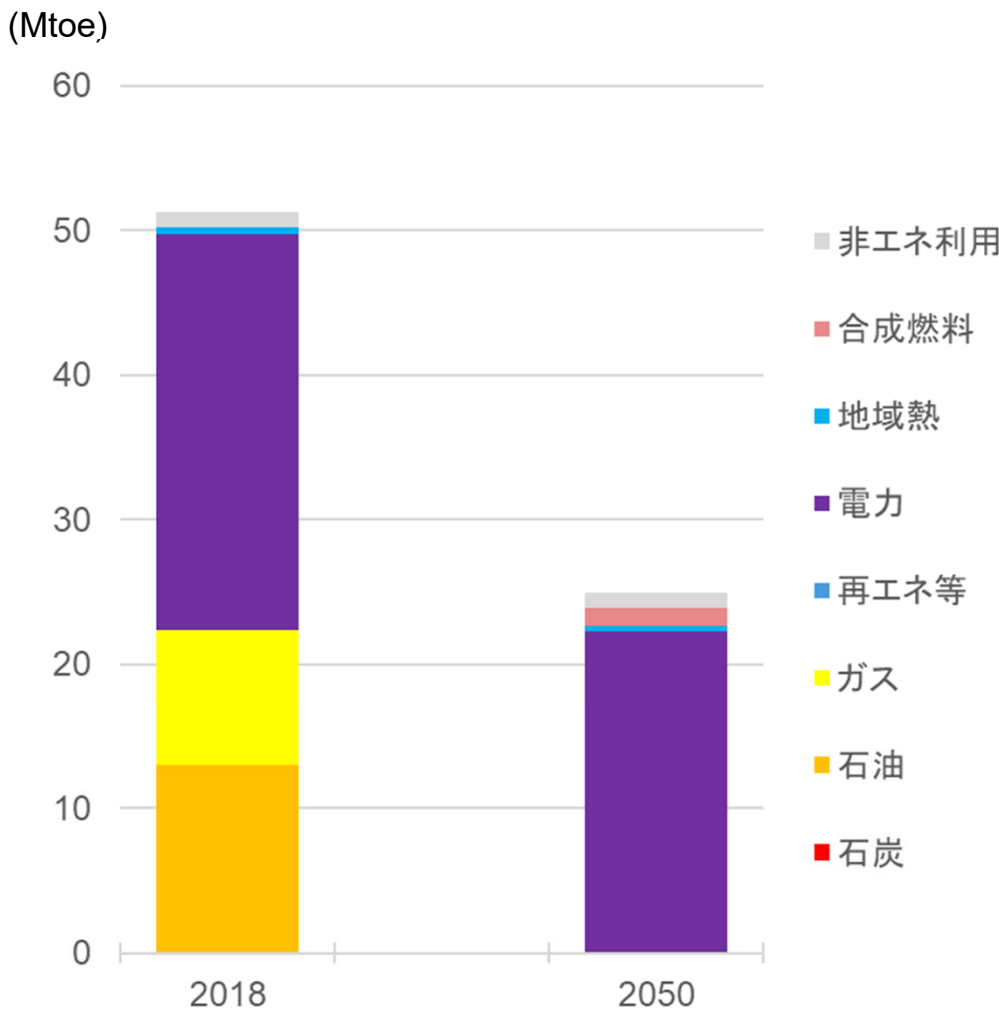
■ エネルギー効率の改善や電化によるエネルギー消費削減 ② & ③
■ 建築物の高断熱化や、エネルギー管理などサービス需要低減による削減 ①

【業務部門】エネルギー消費量の推移

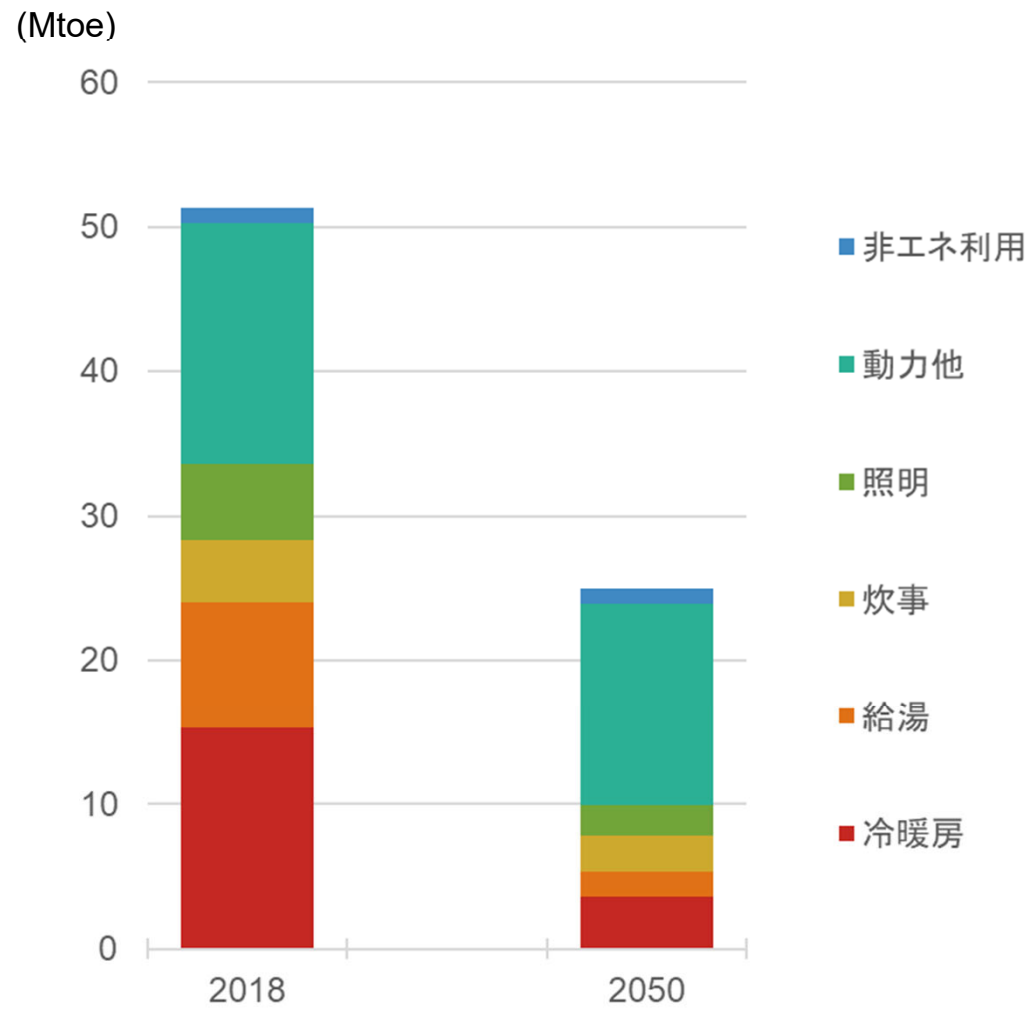
- ・ 2050年における業務部門のエネルギー消費量は2018年比 51%減。電力が占める割合は、空調、給湯の電化促進により、2018年54%から2050年93%と大幅に増加*。
- ・ 用途別では冷暖房、給湯、照明用のエネルギー消費量が大幅に低減。

* 非エネルギー利用を除く、エネルギー利用のためのエネルギー消費量に占める電力の割合。

<エネルギー種別エネルギー消費量>

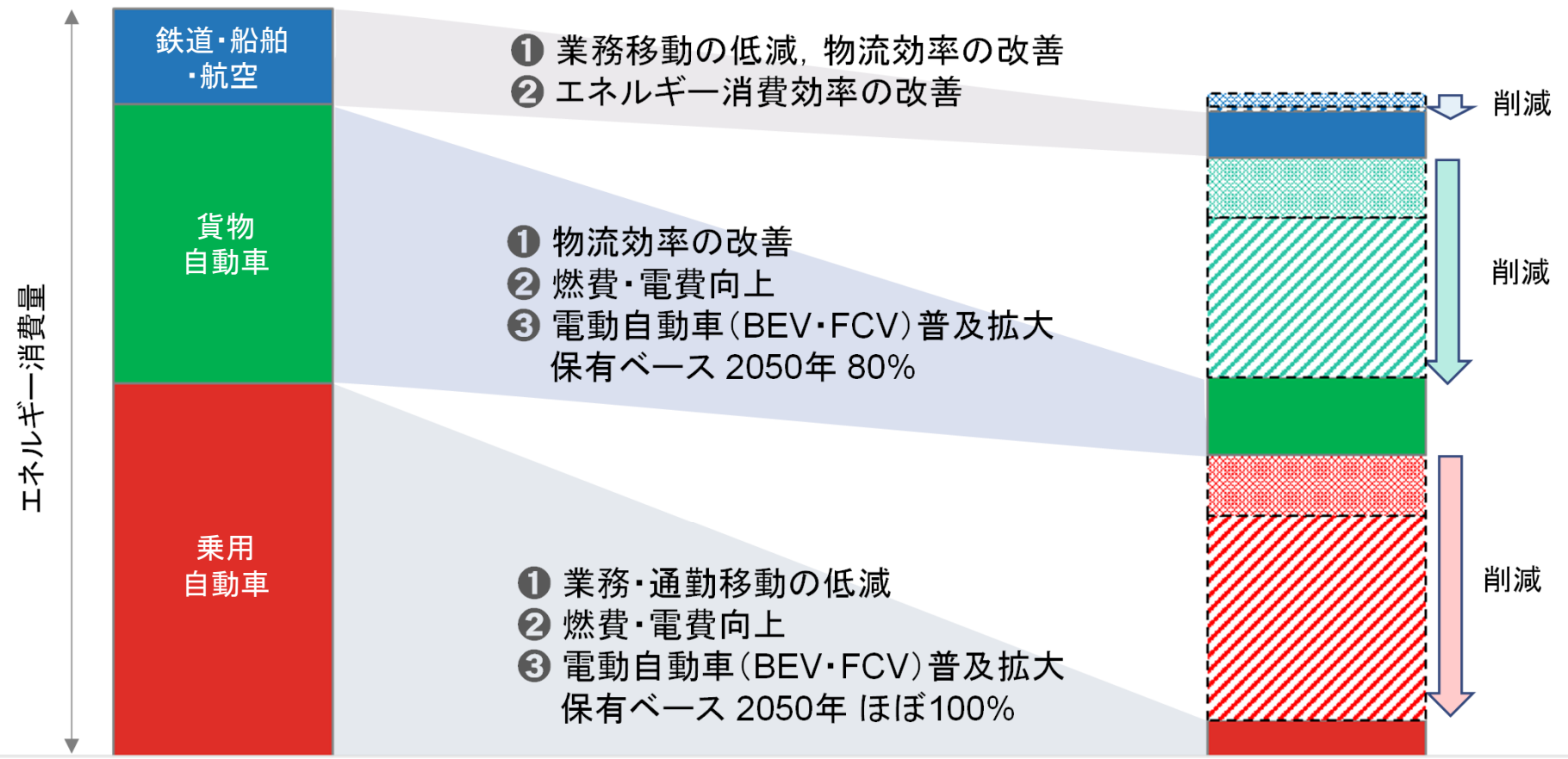


<用途別エネルギー消費量>



【運輸部門】排出削減対策とエネルギー消費量・削減量

・ 運輸部門では脱炭素社会の実現に向けて、①サービス需要の低減、②エネルギー効率の改善、③電化の推進、④エネルギーの脱炭素化(脱炭素電力・新燃料の利用拡大)を各輸送手段において実施。



- ① 業務移動の低減, 物流効率の改善
- ② エネルギー消費効率の改善
- ① 物流効率の改善
- ② 燃費・電費向上
- ③ 電動自動車 (BEV・FCV) 普及拡大
保有ベース 2050年 80%
- ① 業務・通勤移動の低減
- ② 燃費・電費向上
- ③ 電動自動車 (BEV・FCV) 普及拡大
保有ベース 2050年 ほぼ100%

エネルギー ④ 脱炭素電力の利用(自動車・鉄道)
の脱炭素化 ④ 合成・バイオ燃料の利用(// ・船舶・航空)

エネルギー消費量

エネルギー効率の改善や電化によるエネルギー消費削減 ② & ③

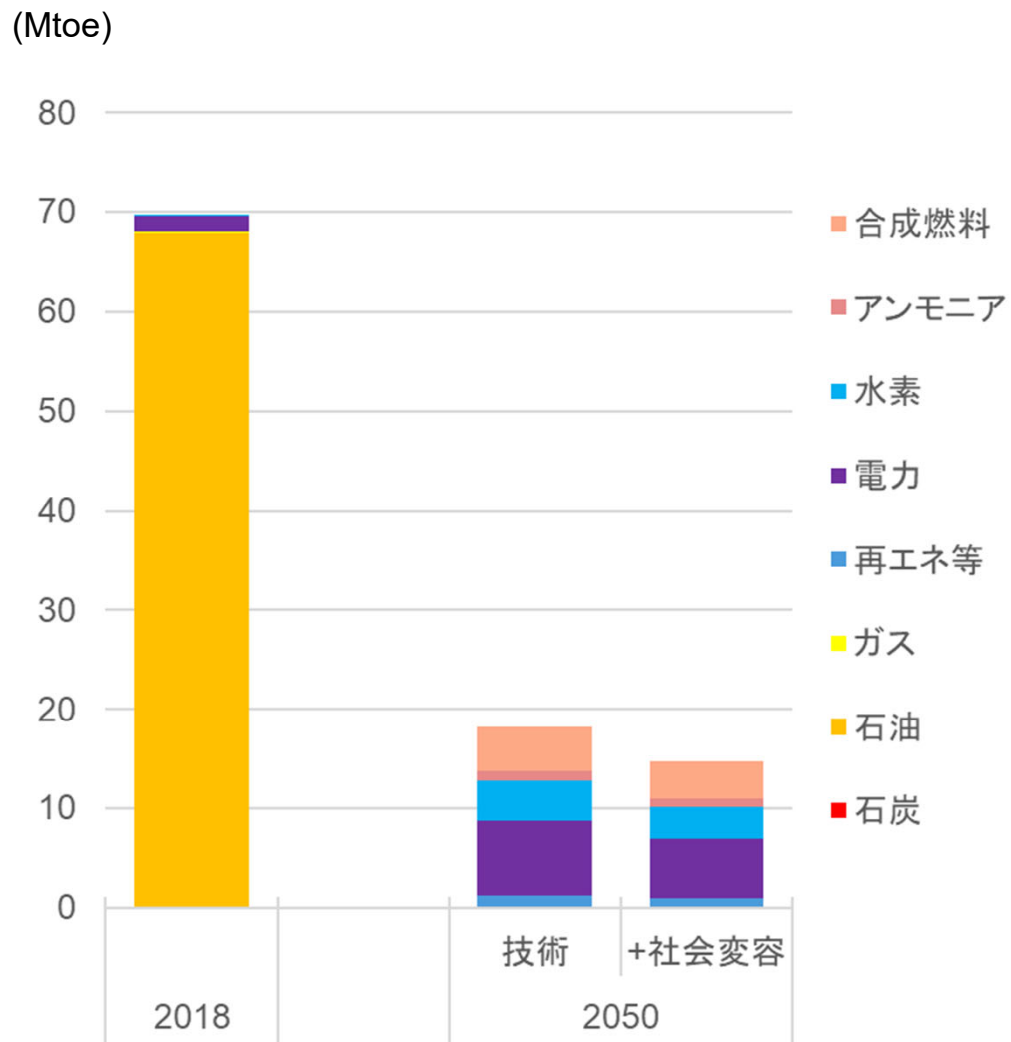
業務・通勤移動の低減、物流効率化などサービス需要低減による削減 ①

【運輸部門】エネルギー消費量の推移

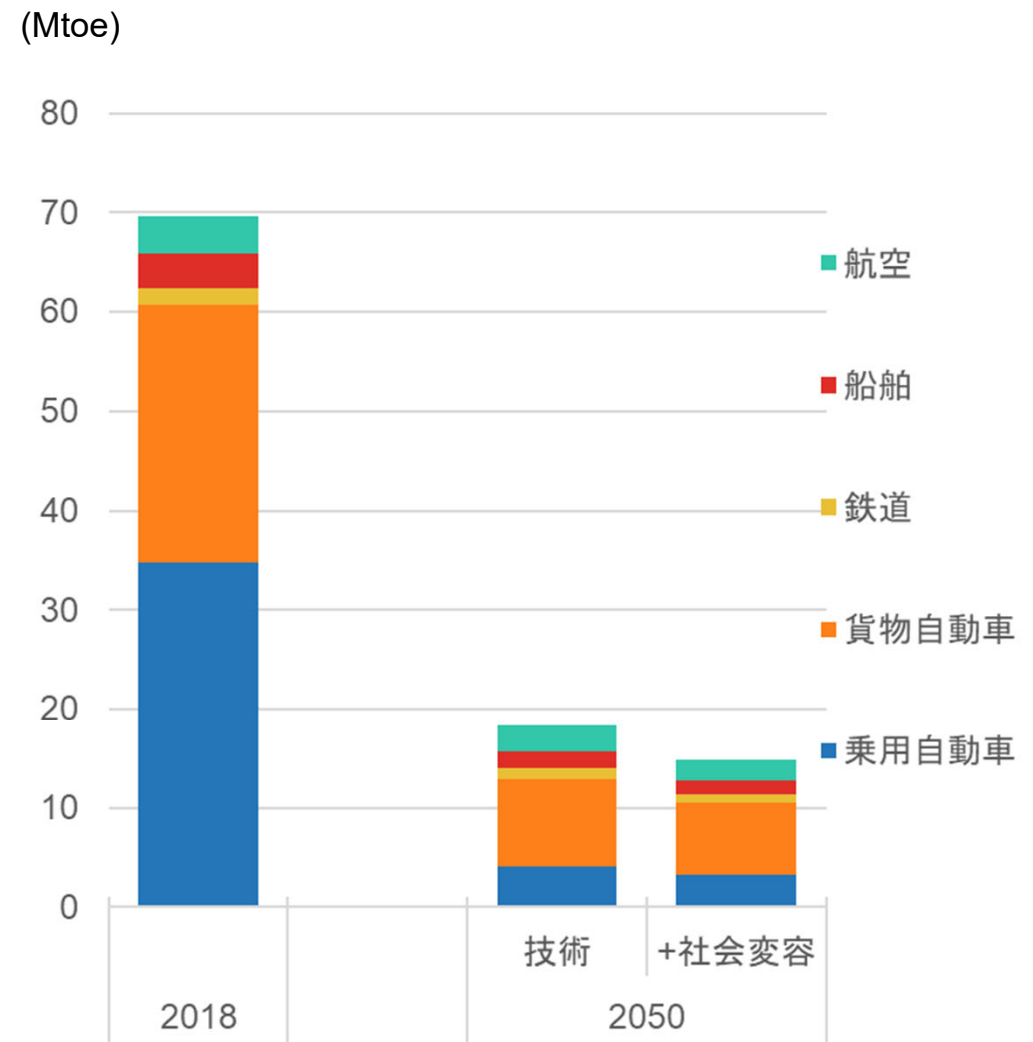
・ 2050年における運輸部門のエネルギー消費量は2018年比 ▲74～▲79%。電力・水素が占める割合は、電気自動車、燃料電池自動車の大幅な普及拡大に伴い、2018年2%から2050年62～63%と大幅に増加※。

※ 非エネルギー利用を除く、エネルギー利用のためのエネルギー消費量に占める電力の割合。

<エネルギー種別エネルギー消費量>

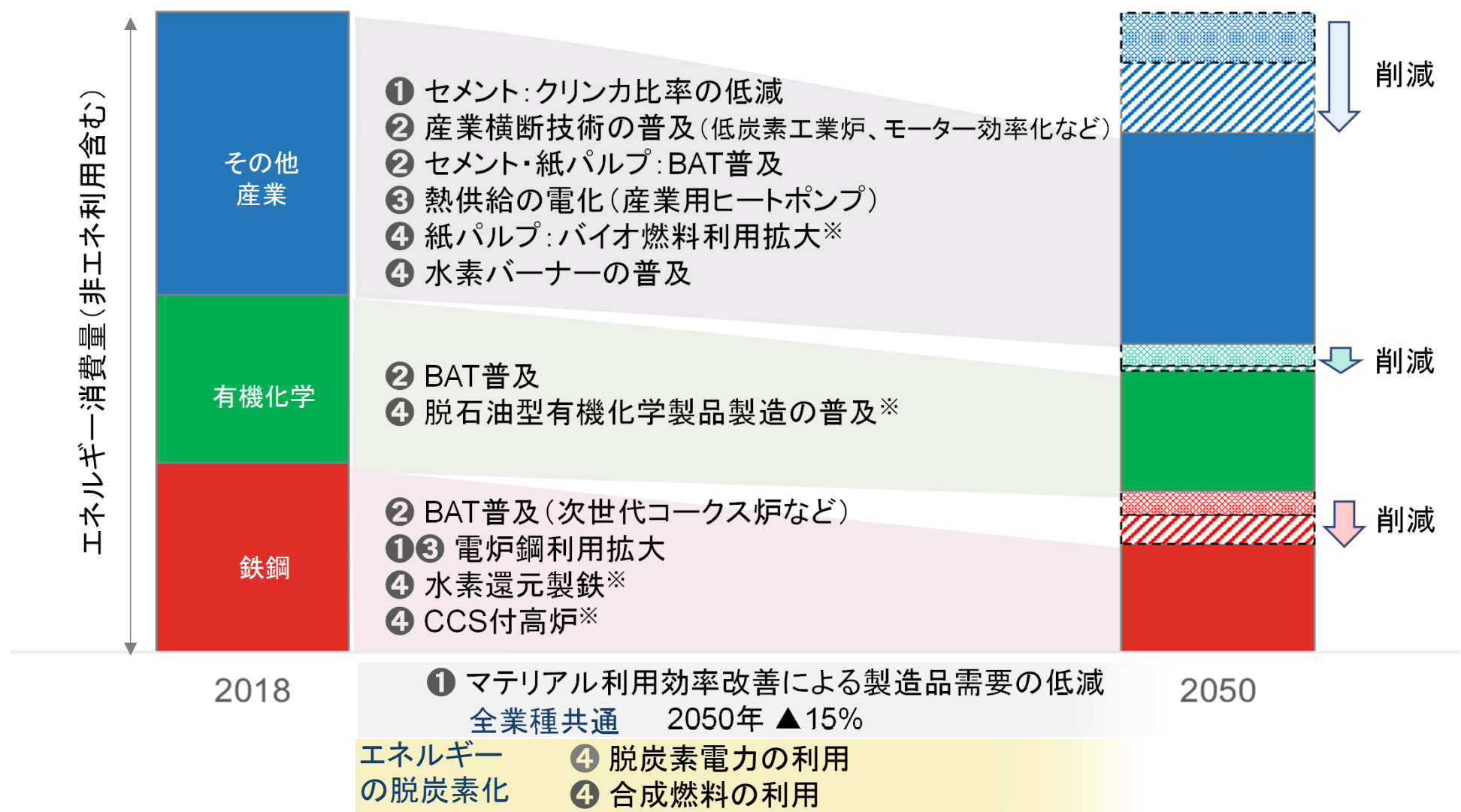


<輸送手段別エネルギー消費量>



【産業部門】 排出削減対策とエネルギー消費量・削減量

産業部門では脱炭素社会の実現に向けて、①サービス需要の低減、②エネルギー効率の改善、③電化の推進、④エネルギーの脱炭素化(脱炭素電力・新燃料の利用拡大)を各業種において実施。



■ エネルギー消費量
 ■ エネルギー消費削減 ② & ③
 ■ エネルギー消費削減 ①

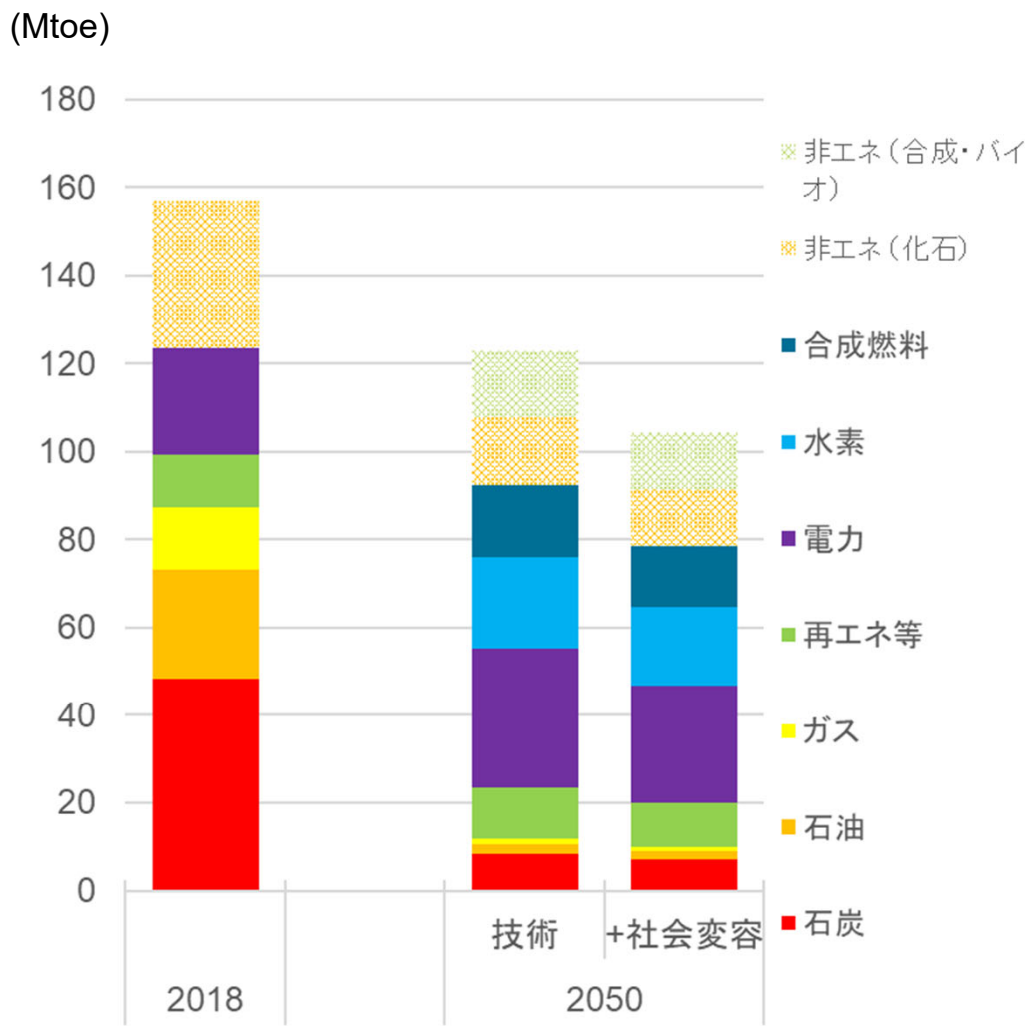
注※ これらの技術はCO2排出を削減する技術であるが、省エネ技術ではないため、エネルギー消費の削減には寄与していない。

【産業部門】エネルギー消費量の推移

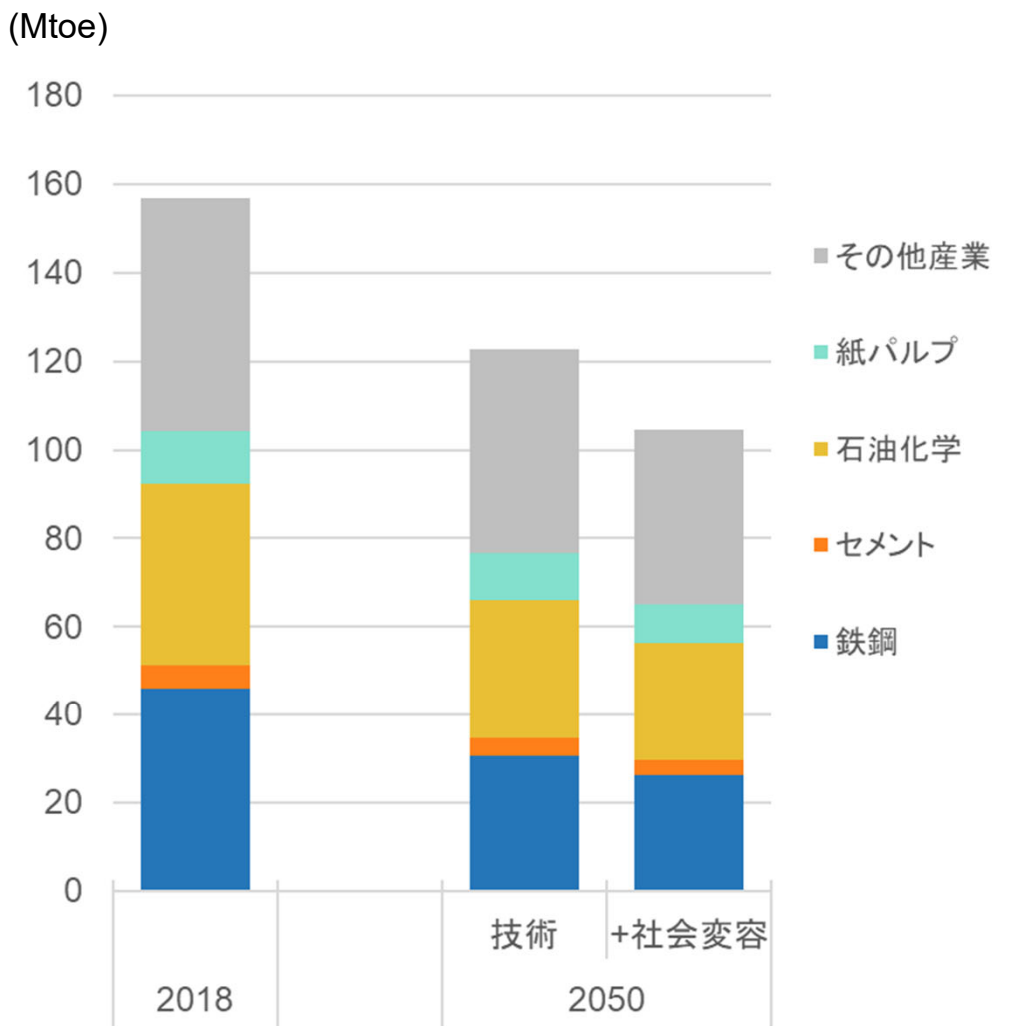
・ 2050年における産業部門のエネルギー消費量は2018年比 22~33%減。電力が占める割合は2018年20%から2050年34%と大幅に増加※。

※ 非エネルギー利用を除く、エネルギー利用のためのエネルギー消費量に占める電力の割合。

<エネルギー種別エネルギー消費量>



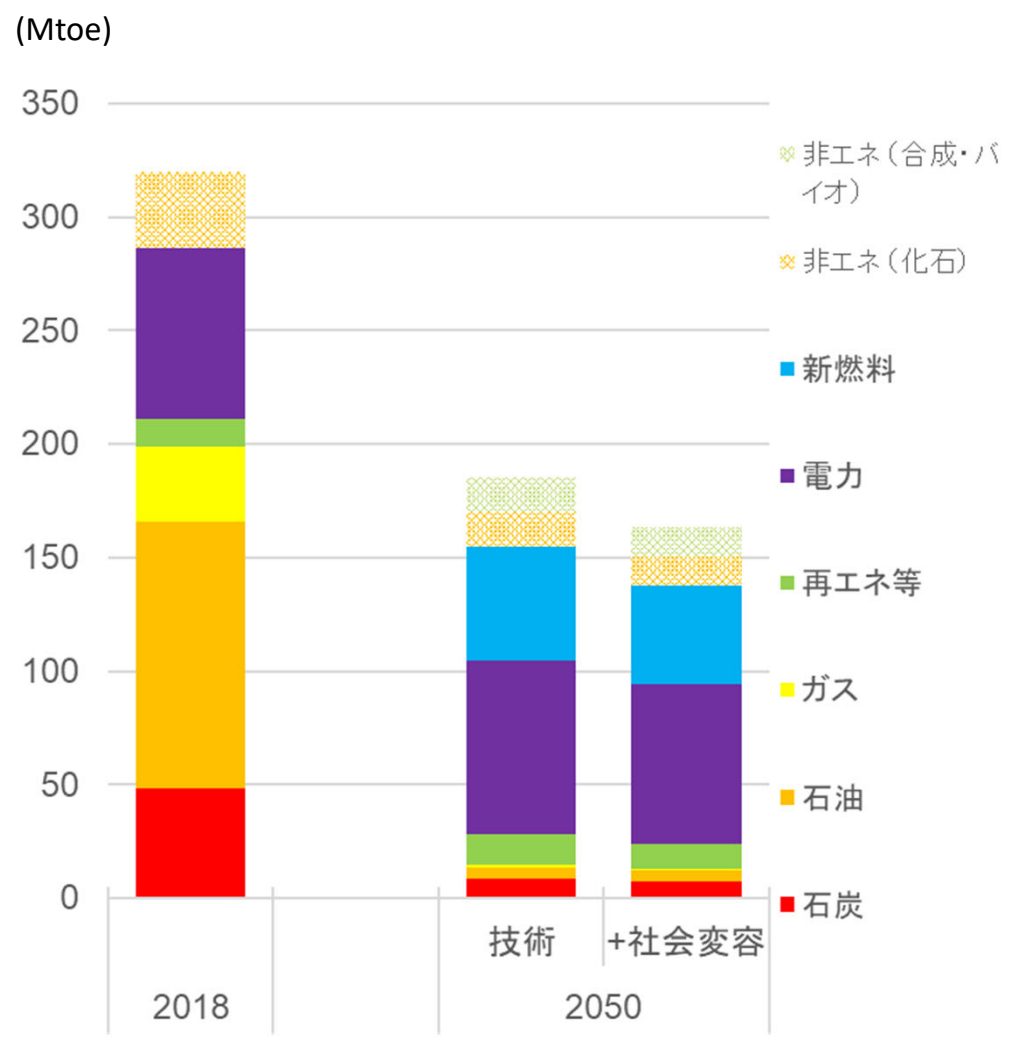
<部門別エネルギー消費量>



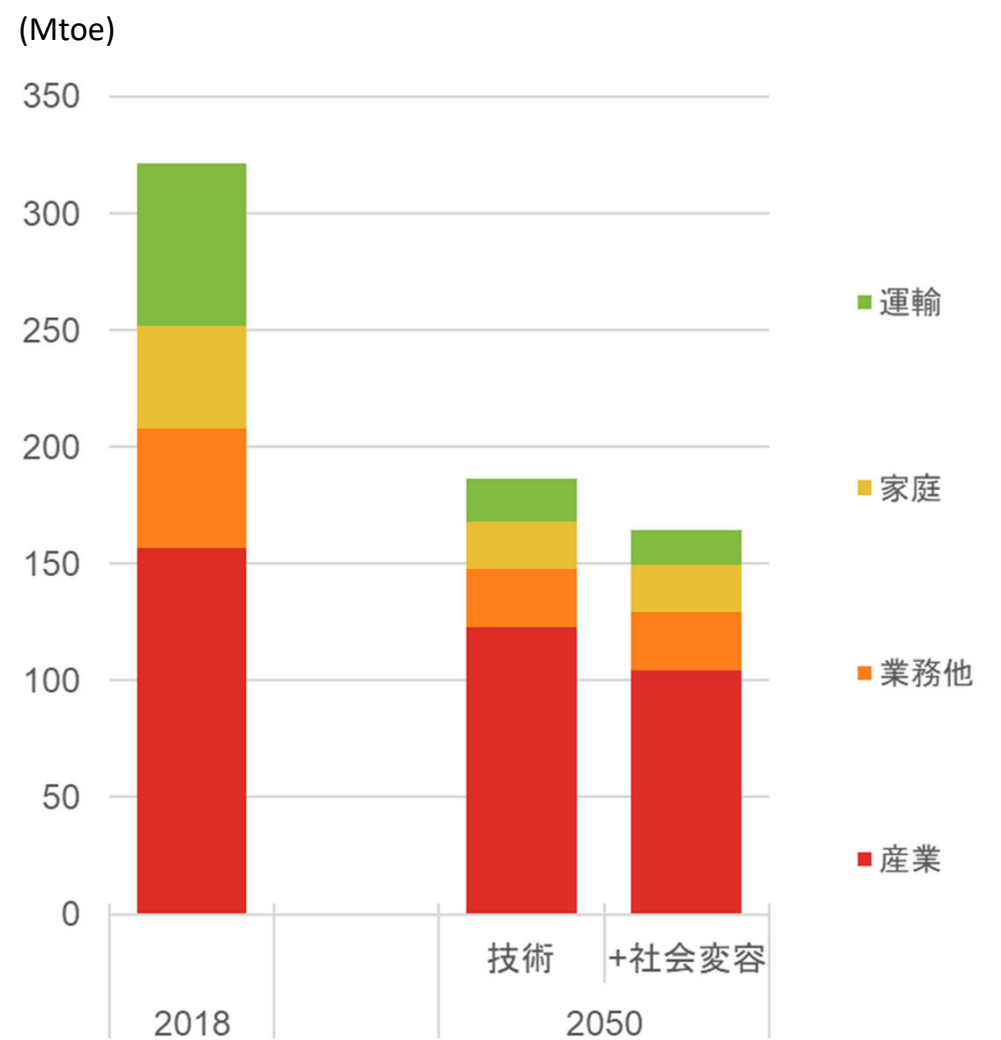
【最終エネルギー消費部門※】エネルギー消費量の推移

・ 2050年における最終エネルギー消費量は2018年比 ▲42～▲49%。電力が占める割合は2018年26%から2050年49～51%と大幅に増加。(非エネ用除く)

＜エネルギー種別エネルギー消費量＞

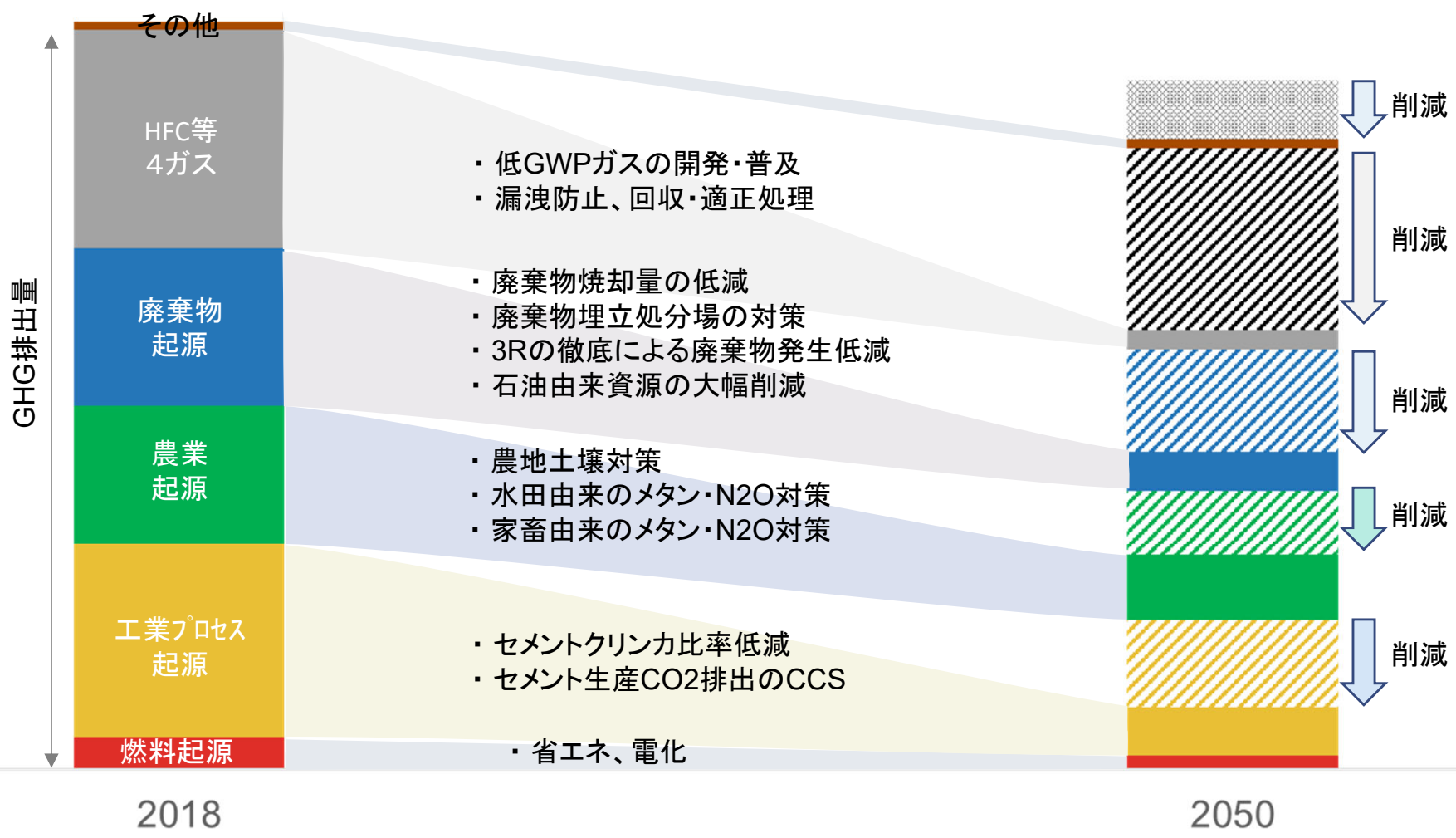


＜部門別エネルギー消費量＞



※ 産業部門+業務部門+家庭部門+運輸部門
 なお、業務部門と家庭部門は、技術シナリオと社会変容シナリオでの違いはない。

＜5.5ガス排出量・削減量＞
 (非エネ起源CO2、CH4、N2O、HFCs4ガス)

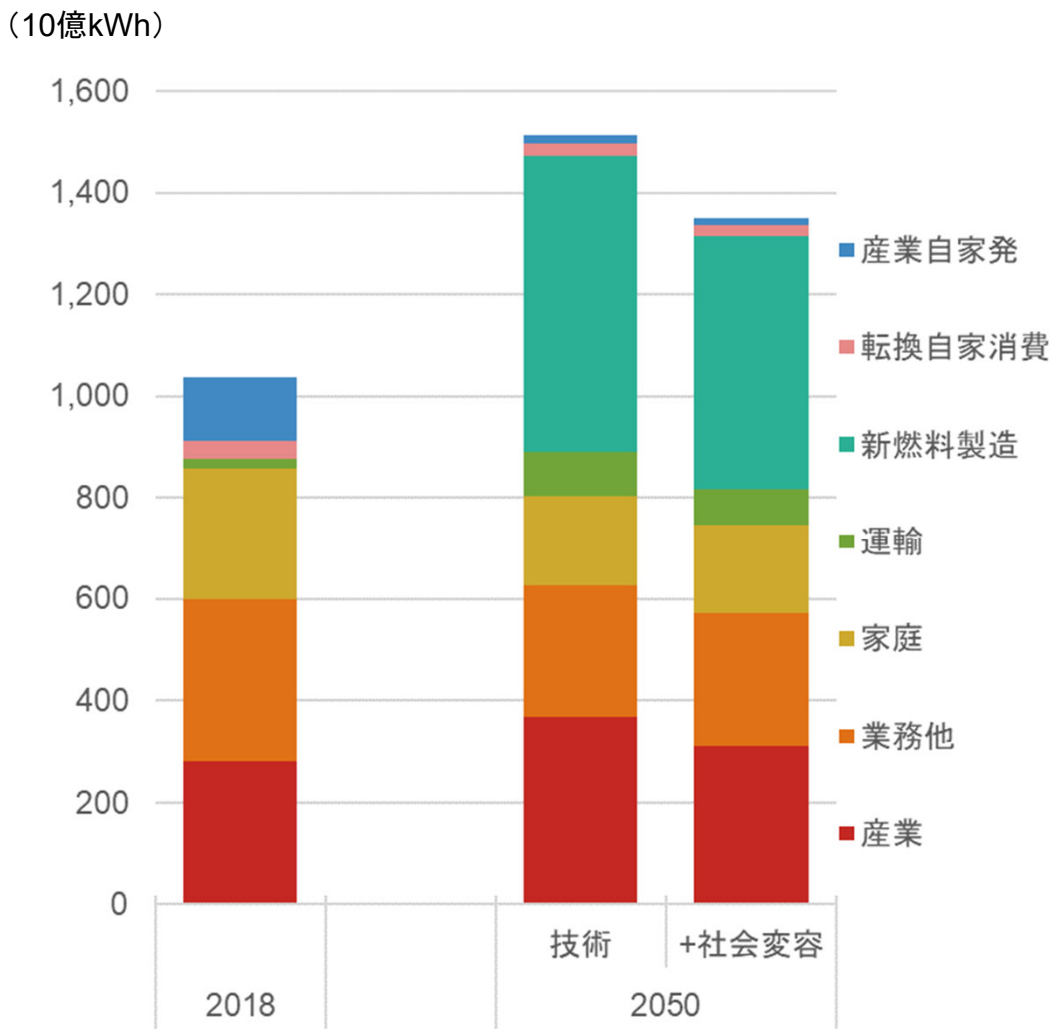


エネルギー消費量
 5.5ガス排出削減対策による削減
 物質効率改善による5.5ガス排出削減

【発電部門】電力需要量

・ 電力需要量は2030年以降は大幅に増加し、2050年は30～46%増(2018年比)。最終消費部門(産業+業務他+家庭+運輸)の需要量は横這もしくは減少するが、新燃料生産用(主に水素生産のための電気分解用途)の需要が急増。

<電力需要量>

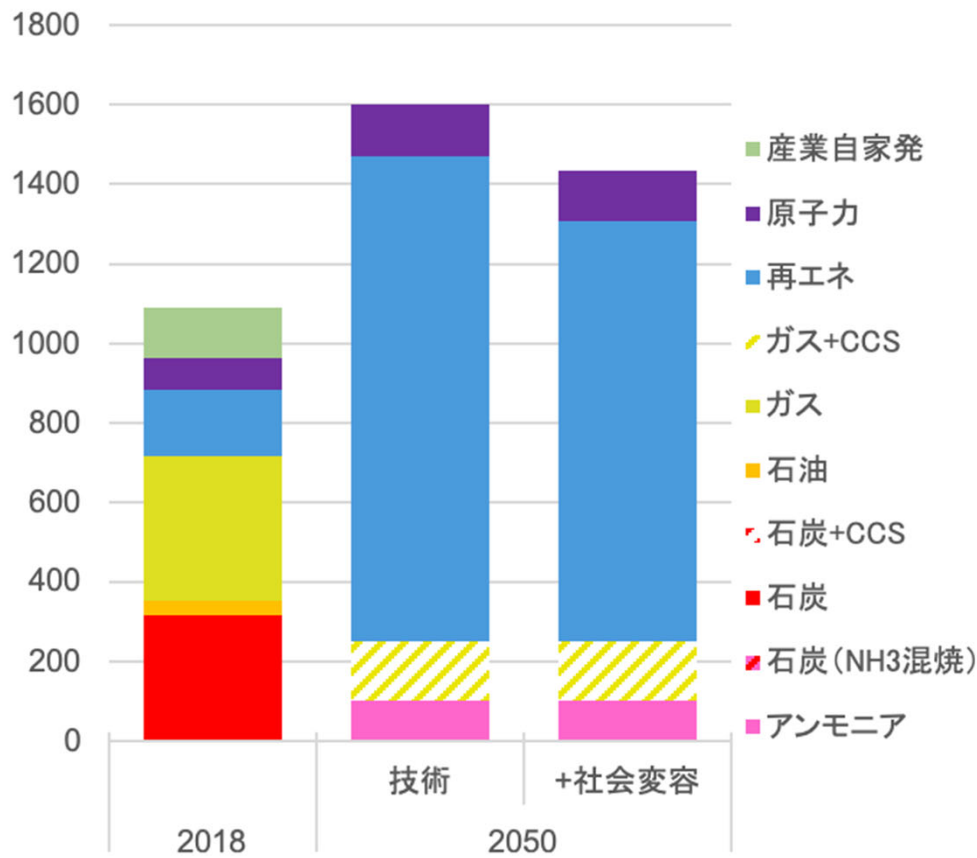


【発電部門】発電電力量

- ・ 発電電力量に占める脱炭素電源の割合は、2018年25%から2050年には100%に達している。
- ・ 発電電力量に占める再生可能エネルギー発電の割合は、2018年17%から2050年には73～76%に達している。太陽光、風力の発電の割合が大きく、太陽光は2050年4,030～4,050億kWh、陸上風力は2050年1,330～2,260億kWh、洋上風力は2050年2,050～2,760億kWh。

＜発電電力量＞

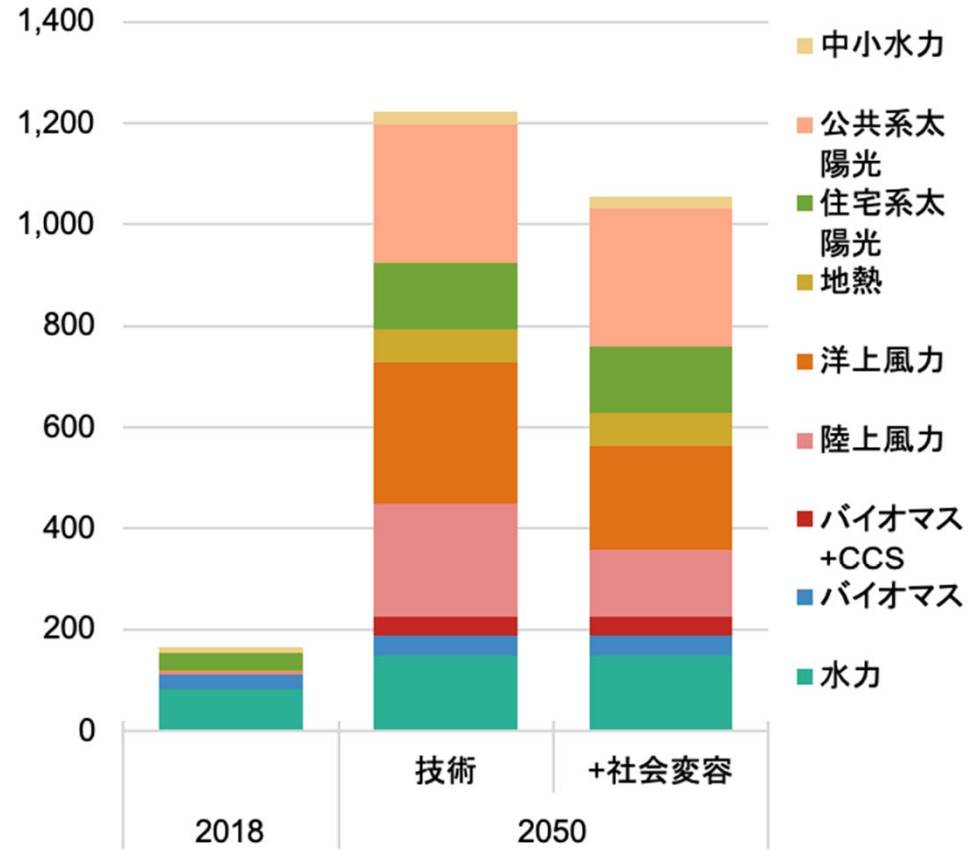
(10億kWh)



＜再生可能エネルギー発電電力量＞

(10億kWh)

(左図の ■ の内訳)



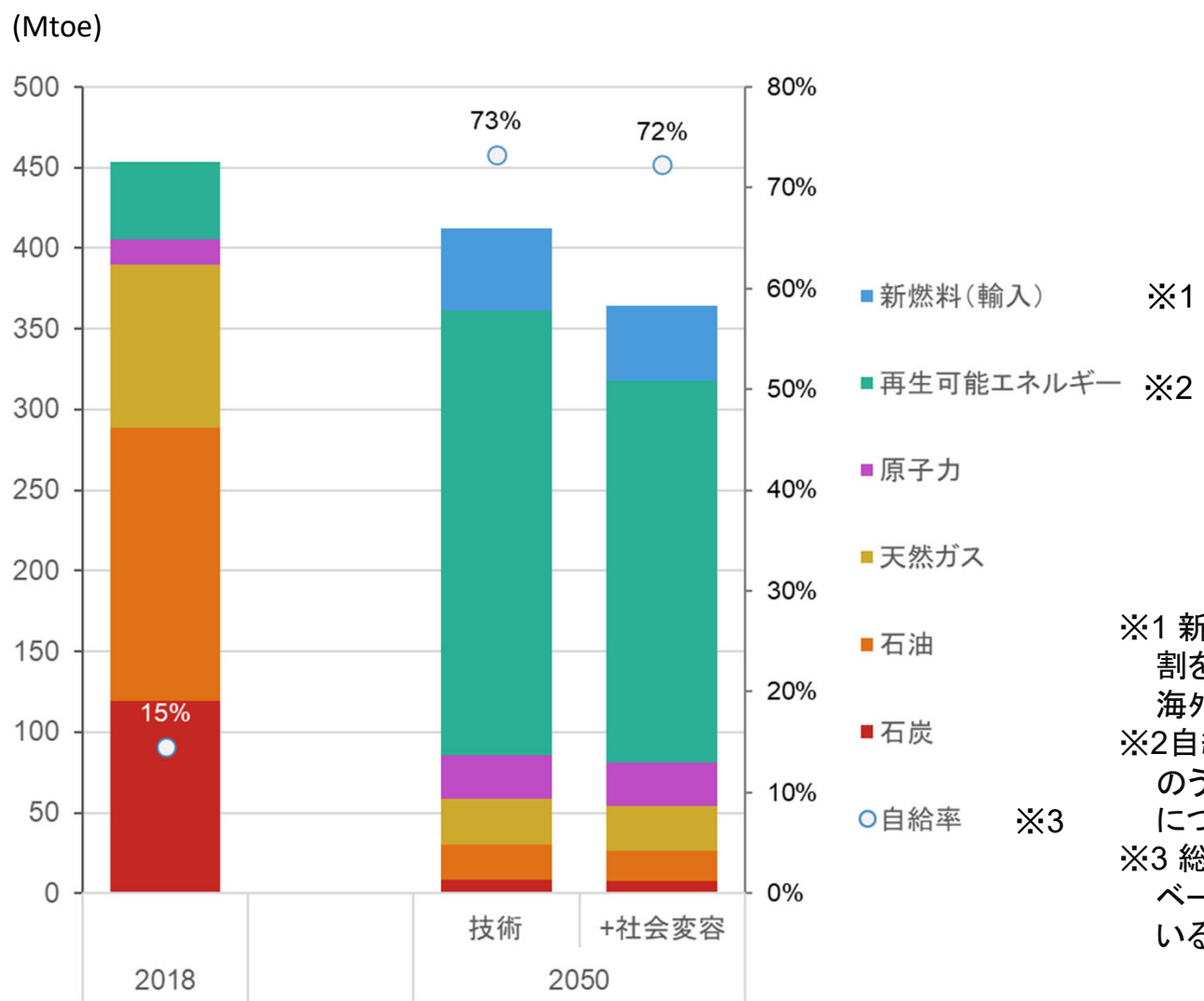
- ・ 2050年の平均発電コストは現状とほぼ同水準。

	平均発電コスト※	
2050年 技術	11.9～12.3 円/kWh	資本費 7.4兆円 維持費 7.8兆円 燃料費 2.2～2.7兆円 発電電力量 1.5兆kWh
2050年 技術＋社会変容	11.8～12.2 円/kWh	資本費 6.5兆円 維持費 6.6兆円 燃料費 2.2～2.7兆円 発電電力量 1.3兆kWh
2018年(参考)	11.5 円/kWh	資本費 3.3兆円 維持費 1.4兆円 燃料費 6.0兆円 発電電力量 0.9兆kWh

- ※ 2050年に稼働している発電施設(予備電源も含む)、蓄電施設の資本費(年価)、維持費、燃料費の合計を発電電力量で割った値。
- ※ 2050年の下限は燃料費の想定がIEA WEO2020 持続可能な発展シナリオに基づくもの、上限は2018年度の実績値に基づくものである。
- ※ 2018年の石炭・ガス火力については、それぞれの発電量に対して、70%の設備利用率に相当する容量について資本費を計上した。石油火力は資本費を計上していない。
- ※ 両年ともに原子力発電所を除いた平均発電コストを推計している。

・一次エネルギー国内供給は、現状は化石燃料が8割以上を占めるが、2050年には再生可能エネルギーが7割程度を占める。エネルギー自給率は2018年15%であるが、2050年には70%以上と大幅に改善。

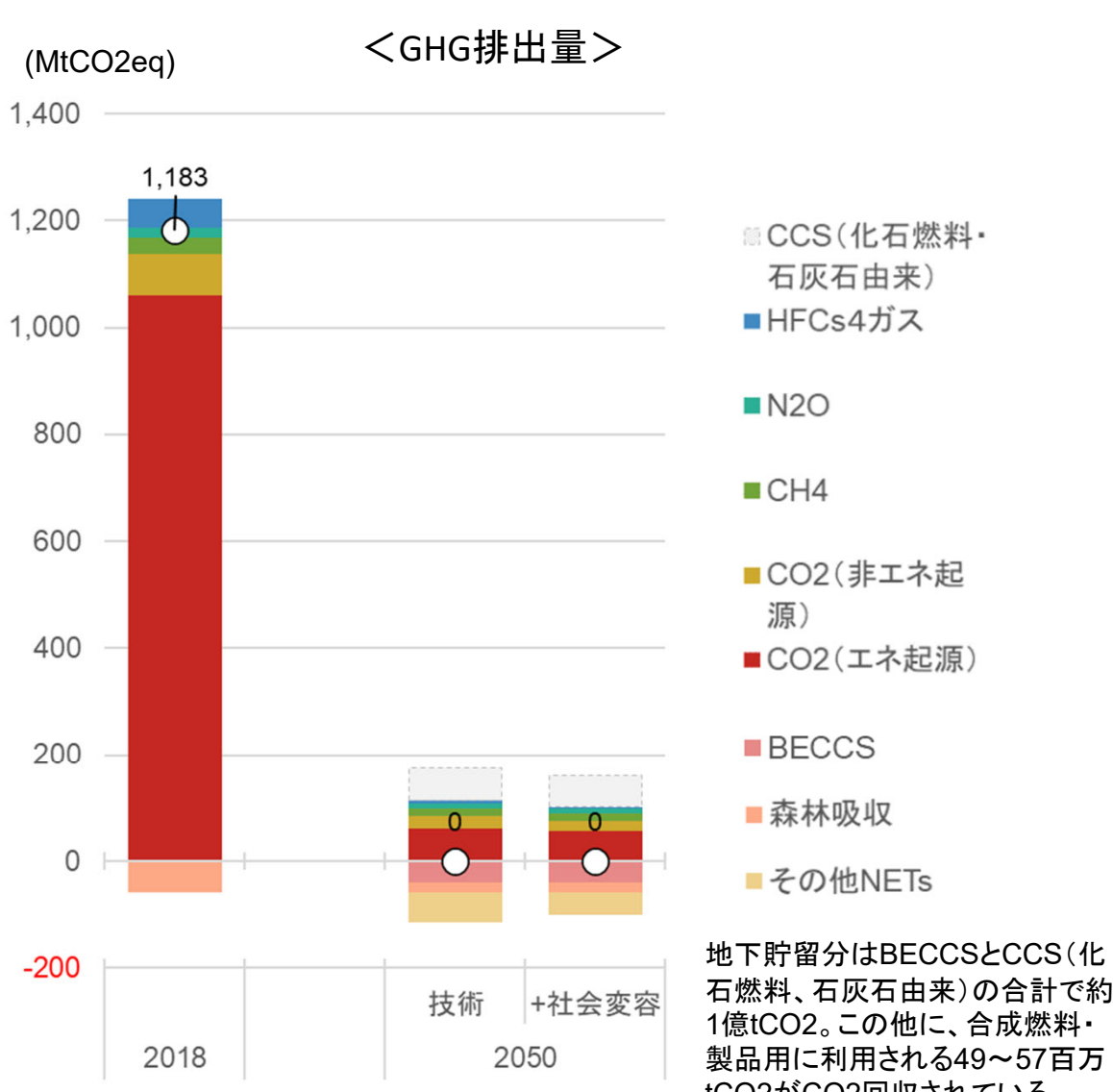
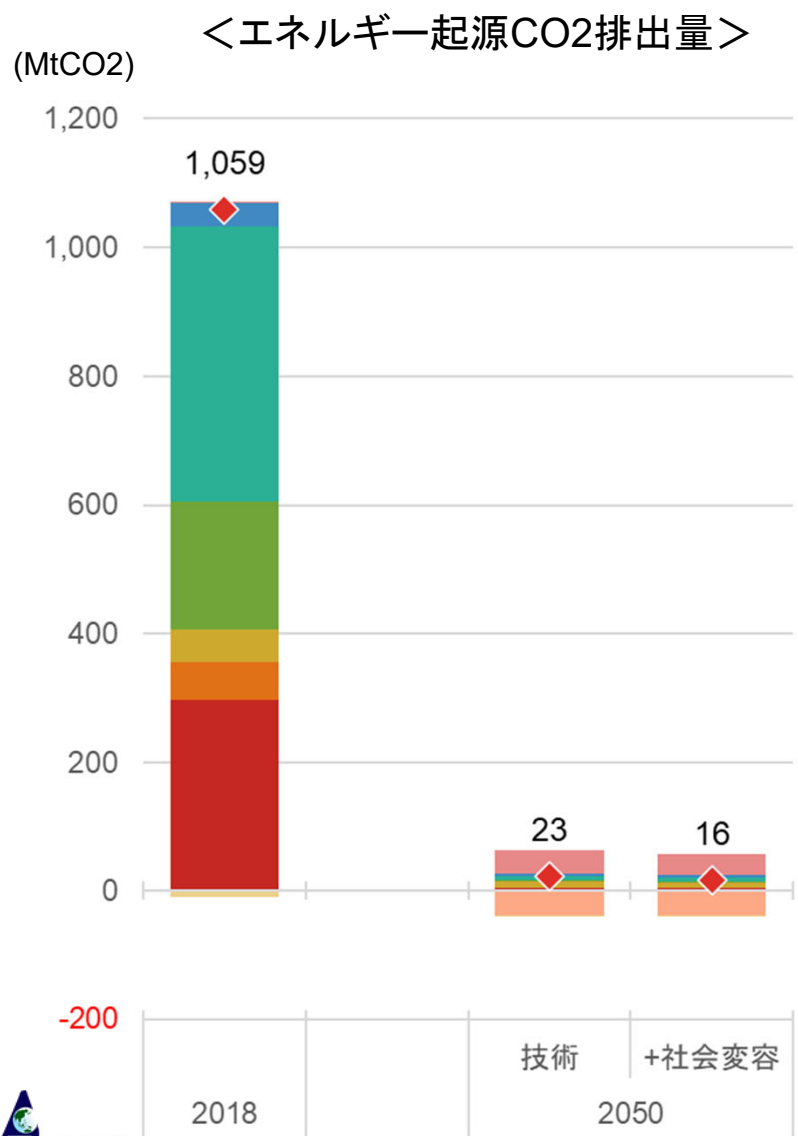
＜一次エネルギー国内供給・エネルギー自給率＞



※1 新燃料のうち、合成燃料と水素については、3割を海外依存とし、アンモニアについては10割を海外依存と想定した。
 ※2 自給率の推計にあたり、再生可能エネルギーのうち、バイオマスについては、現状からの増分について、3割を海外依存と想定した。
 ※3 総合エネルギー統計で採用している発熱量ベースで計算した自給率であり、IEAが採用している方法とは異なる。

GHG排出量・エネルギー起源CO2排出量

- 2050年におけるエネルギー起源CO2排出量は合成燃料(化石燃料起源の炭素分)からの排出が多くを占める。
- 2050年には脱炭素対策を推し進めてもある程度の排出は不可避となる。そのため、GHG排出量をネットゼロとするためにはネガティブ排出技術が必要となる。

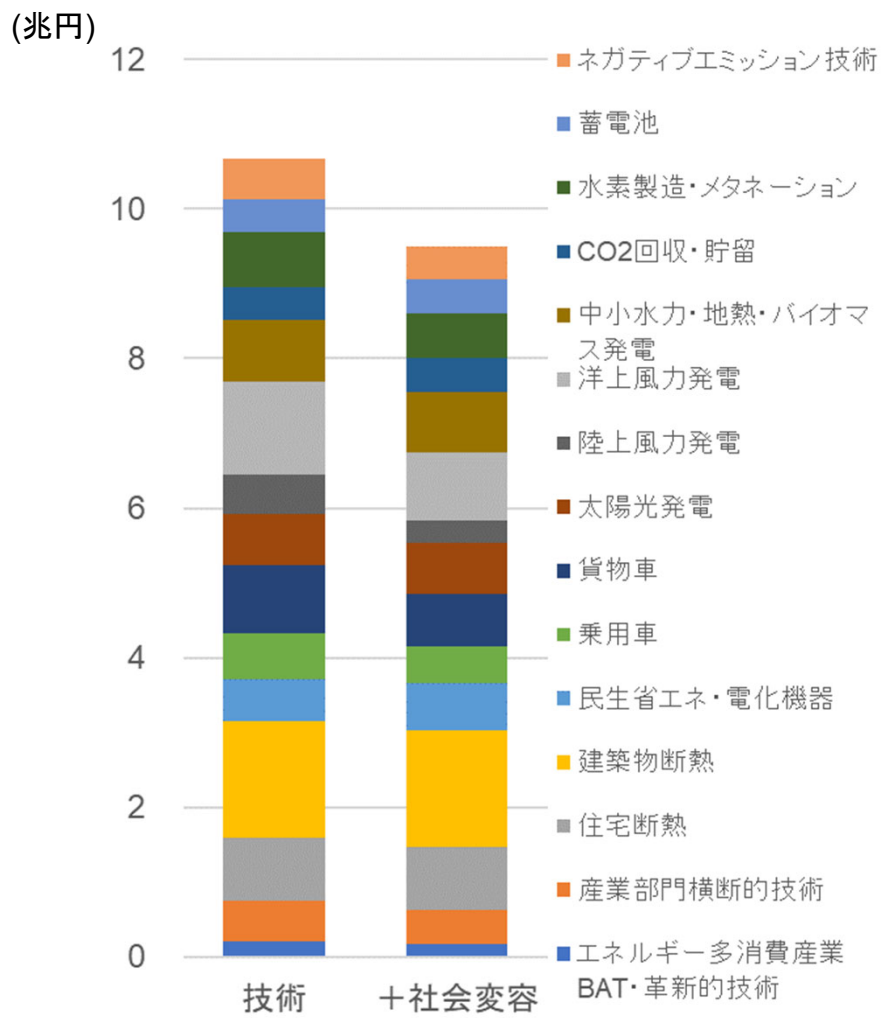


地下貯留分はBECCSとCCS(化石燃料、石灰石由来)の合計で約1億tCO2。この他に、合成燃料・製品用に利用される49~57百万tCO2がCO2回収されている。

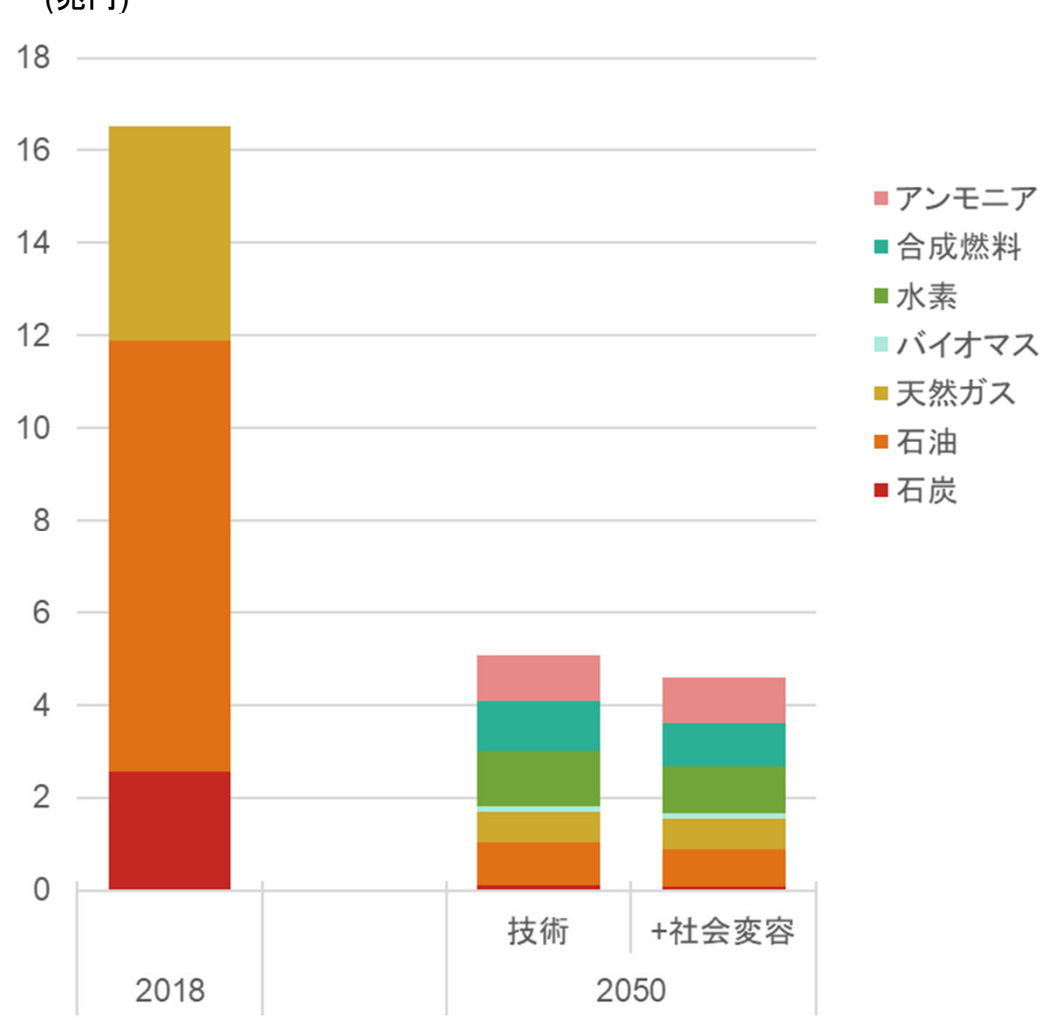
脱炭素投資額

- 脱炭素社会実現のために必要な追加投資額については、住宅・建築物の断熱、再生可能エネルギーに対する投資額が大きな割合を占めている。
- 2018年のエネルギー純輸入額は16兆円程度であるが、化石燃料に対する依存の低下によって輸入額は2050年には約12兆円低下する。

＜脱炭素追加投資額※(年平均:2041～50年)＞



＜エネルギー純輸入額(2050年)＞



※需要側の機器については在来型の機器の価格との差分を計上。再エネ発電については、資本費を全て計上。人件費等の維持管理は含めていない。

【分析結果からの主な示唆①】

- 本分析では、必要投資額は燃料輸入額削減の範囲内であった。脱炭素化は国富流出を抑制するプラスの影響をもたらす可能性が示唆された。

必要な投資額は年平均約10~11兆円程度と積算された。この投資は海外依存が高い化石燃料に対する需要量を大幅に低減するものであり、結果として、2050年におけるエネルギー純輸入額の約12兆円の程度の抑制に繋がると推計された。

- 本分析では、毎時の同時同量を確保しつつ、コスト最適で電源構成を分析した結果、再エネ比率は70~80%程度となった。この際の平均発電コストは現状と同程度となった。

将来において主力電源となる太陽光発電と風力発電は変動性の高い電源であるが、多様な電源の組み合わせと蓄電、地域間融通の実施によって、柔軟性を確保。さらに、気象条件などが良好で電力需要を上回る時間帯も多く存在するが、その電力を活用して、水素や合成燃料が生産され、Power to Xも含めエネルギーシステム全体で活用を図る。平均発電コストは、電力安定化のための投資が増大するものの、太陽光発電や風力発電のコスト低下とその利用シェアの拡大が価格上昇をある程度相殺し、現状から1割増未満となった。

- 社会変容を起こせば、脱炭素社会実現の確実性を高める可能性が示唆された。社会変容シナリオの利点と課題をさらに検討することが重要。

ネットゼロ排出を実現するための手段である新たなネガティブエミッション技術の開発・普及、新燃料の海外依存などについては、技術的・社会的な制約・不確実性がある。そのため、脱炭素社会の実現性を高めるためには、デジタル化やサーキュラーエコノミーの推進などにより、より少ない環境負荷でより高い便益・効用を得られる社会へと変容させていく取組が脱炭素社会の実現には重要になってくる。

(社会変容シナリオによる違い)

- ・新たなネガティブエミッション技術の活用量 55MtCO₂ → 43MtCO₂ (約22%減)
- ・新燃料輸入量 47Mtoe → 42Mtoe (約10%減)
- ・エネルギー純輸入削減額と追加投資額の差分 約1兆円/年 → 約2兆円/年

【分析結果からの主な示唆②】

● 2050年ネットゼロ排出を実現している各部門の姿

○ 家庭部門・業務他部門

- ・ 暖房、給湯の電化が進むが、住宅・建築物の高断熱化や機器の省エネ進展により、電力消費の増加には繋がらない。
- ・ 燃料消費が残存する需要については、合成燃料が供給され、排出はほぼゼロに近づいている※。

○ 運輸部門

- ・ 電動自動車(バッテリー電気自動車、燃料電池自動車)の早期の普及が必要となる。
- ・ 残存する内燃機関を有する自動車、非電化区域の鉄道、船舶、航空は、合成燃料、水素、バイオ燃料などが利用されている。排出はほぼゼロに近づいている※。

○ 産業部門

- ・ 鉄鋼では水素還元製鉄、セメント製造ではクリンカ代替素材、有機化学ではCO₂原料化などの革新的技術が開発・普及している。また、残存する化石燃料の消費については、CO₂回収がなされ、合成燃料・製品利用、地中隔離などが行われている。
- ・ どの部門においても、BAT技術は普及し、また、熱利用については産業用HP利用が普及し、電化進んでいる。高温の熱需要については、合成燃料が利用されている。

○ 新燃料製造

- ・ 民生、運輸、産業における水素や合成燃料の需要に対して、電気分解による水素生産によって国内生産を行っている。そのため、電力需要は大幅に増加するが、水素生産のための電力需要は時間に対して比較的制約は緩いものであるため、電力供給に余裕がある時間帯での生産が可能である。

※ 更なる省エネ対策の推進(断熱基準の強化、機器の省エネ基準の強化など)は、ネットゼロ排出実現の不確実性を低減することにつながる。

※ 合成燃料の炭素分には、化石燃料起源のものを一部含まれるために、その利用についてはCO₂が排出されることに留意する必要がある。

參考資料

参考1：本分析に用いたマクロフレーム

- 人口は社人研中位推計、GDPは2030年までは内閣府成長実現ケース、2030年以降はIPCCで用いられている社会シナリオのうち中庸シナリオ(SSP2)における日本の成長率を適用。それらの前提を用いて、応用一般均衡モデルから部門別生産額などを推計し、さらに部門別の活動量を設定した。

将来見通し		
人口	126,440千人(2018) → 101,923千人(2050)	社人研見通し
世帯数	53,889千世帯(2018) → 47,241千世帯(2050)	社人研見通しをもとに40年以降推計
GDP成長率	2020～2030 1.7%/年 2031～2050 0.5%/年	2030年まで 内閣府 成長実現ケース 2030年以降 SSP2
粗鋼生産量	10,289万トン(2018) → 8,570万トン(2050)	
セメント生産量	6,023万トン(2018) → 6.039万トン(2050)	
エチレン生産量	618万トン(2018) → 541万トン(2050)	上記GDPの想定をもとにAIM/CGEによって推計された産業構造より推計
紙板紙生産量	2,603万トン(2018) → 2,348万トン(2050)	
機械製品生産量	100(2015) → 141(2050)	
業務床面積	1,903百万m ² (2018) → 1,671百万m ² (2018)	同上、学校・病院については人口構造などより推計
運輸旅客	1,459 (2018) → 1,179 10億人km(2050)	人口推移より推計
運輸貨物	411 (2018) → 419 10億tkm(2050)	上記GDPの想定をもとにAIM/CGEによって推計された産業構造より推計

参考2: IPCC 1.5°C特別報告書における低エネルギー需要(LED)シナリオ

- IPCCが2018年に発表した1.5°C特別報告書では、気温上昇1.5°C水準までに抑制する複数の排出経路を提示しているが、そのうち一つが、需要側の社会、ビジネス、技術の変革に伴って、エネルギーシステムの脱炭素化が誘引されていることを前提とした低エネルギー需要(LED)シナリオである。
- 本分析ではこのシナリオのコンセプトを適用し、マテリアルや移動・輸送の効率向上・需要低減を社会変容シナリオとして織り込んだ。

IPCC 1.5°C特別報告書における低エネルギー需要(LED)シナリオ

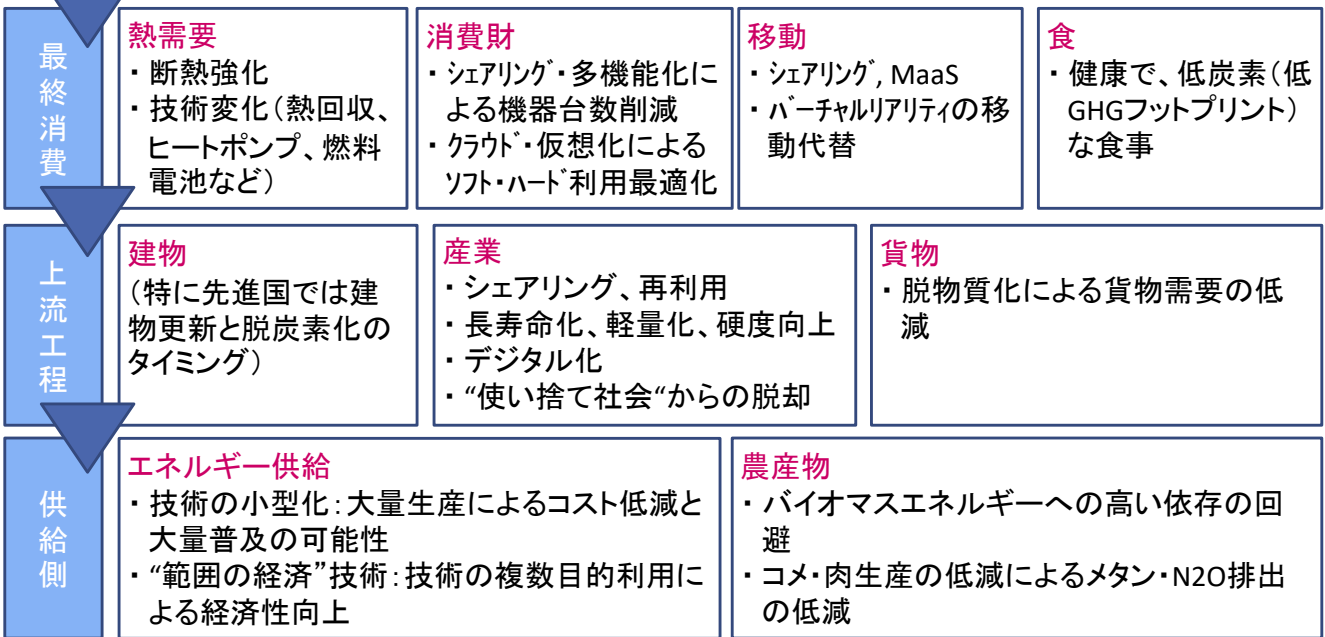
<エネルギーシステムを脱炭素化させる相互作用>

エネルギー最終消費者を長期的に変化させるドライバー

- 生活の質
- 都市化
- 新しいエネルギーサービス
- エンドユーザーの役割:
- 情報のイノベーション:

上記のドライバーが生み出す5つの付加的な要素

- 技術の小型化
- 分散型サービスの提供
- サービスの「価値」の使用
- 日常生活のデジタル化
- 急速な変化



<交通・産業の需要に関する想定>

	活動量
産業	脱物質化と材料効率改善により、鉄・アルミ・セメント・紙・石油化学等の財に対する世界の需要が15%減少
交通	先進国の輸送量(人km):道路交通が20%減少し、鉄道・航空が増加 電気自動車、カーシェア、柔軟な公共交通等の普及拡大

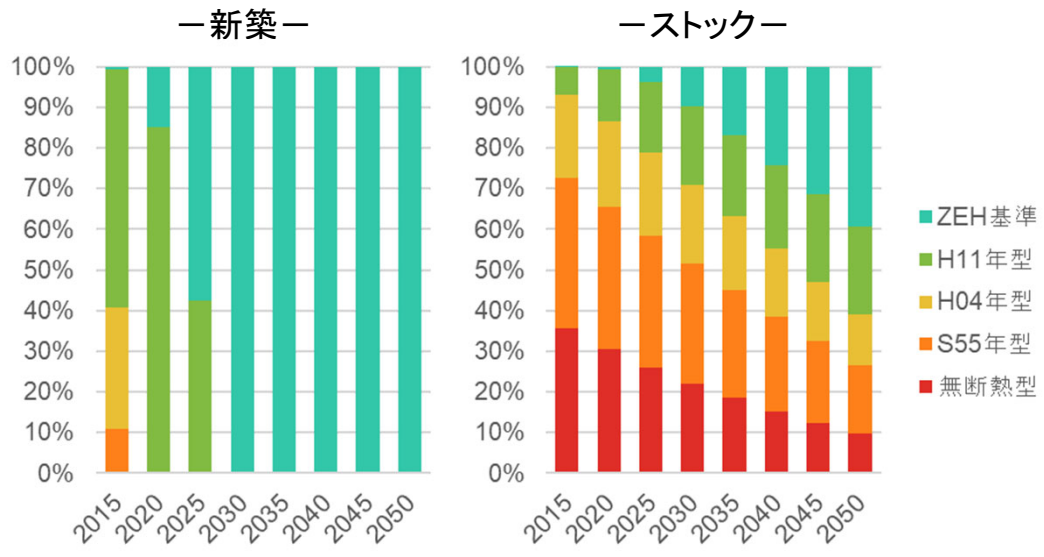
(出典) 両表とも A Grublerら(2018) A Low Energy Demand Scenario for Meeting the 1.5°C Target and Sustainable Development Goals without Negative Emission Technologies より作成

参考3-1:【家庭部門】将来における対策導入量

① エネルギーサービス需要の低減...断熱や管理徹底により無駄を削減

		2018	2050
高断熱化	—	(下グラフ参照)	
エネルギー管理	2018年比	—	▲10%

<断熱住宅の普及>



② 効率改善...弛まなき技術開発と製品実装により長期にわたる効率改善を実施

		2050
冷房:エアコン	2018年比	▲30%
暖房:エアコン	〃	▲25%
給湯:電気ヒートポンプ	〃	▲37%
調理:ガスコンロ	〃	▲11%
調理:炊飯器	〃	▲9%
照明:LED	〃	▲18~39%
家電:テレビ・レコーダー	〃	▲28~47%
ルーター	〃	▲37%
温水便座	〃	▲65%
乾燥機付洗濯機	〃	▲40%

③ 電化の促進...電力のゼロエミッション化に向けた進展に合わせて弛まなく取組を促進

		2018	2050
空調	電力機器による暖房量の比率	31%	80%
給湯	電力機器のよる給湯量の比率	13%	78%

④ 新燃料...電化シフトが未達の燃料燃焼については、合成燃料の利用により低炭素化を実現

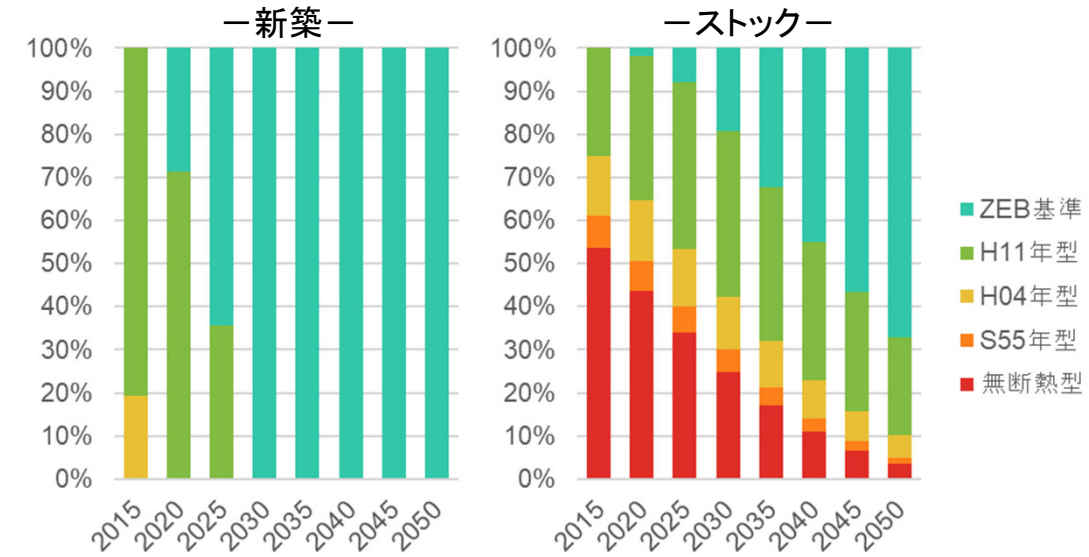
		2018	2050
合成燃料	燃料燃焼に占める合成燃料の比率	0%	43%

参考3-2:【業務部門】将来における対策導入量

① エネルギーサービス需要の低減...断熱や管理徹底により無駄を削減

		2018	2050
高断熱化	—	(下グラフ参照)	
エネルギー管理	2018年比	—	▲4%

＜断熱建築物の普及＞



※ 高断熱住宅の普及については、新築だけでなく、断熱改修についても現状水準の実施率を見込んでいる

③ 電化の促進...電力のゼロエミッション化に向けた進展に合わせて弛まなく取組を促進

		2018	2050
空調	電力機器による冷暖房量の比率	56%	97%
給湯	電力機器による給湯量の比率	7%	92%

② 効率改善...弛まなき技術開発と製品実装により長期にわたる効率改善を実施

		2050
空調:電気	2018年比	▲26%
空調:ガス	〃	▲23%
給湯:電気ヒートポンプ	〃	▲30%
照明:LED	〃	▲28~36%
複写機・プリンタ	〃	▲48~50%
サーバー・ストレージ	〃	▲46~59%
冷凍冷蔵庫	〃	▲18%
自動販売機	〃	▲44%
変圧器	〃	▲9%

④ 新燃料...電化シフトが未達の燃料燃焼については、合成燃料の利用により低炭素化を実現

		2018	2050
合成燃料	燃料燃焼に占める合成燃料の比率	0%	98%

参考3-3:【運輸部門】将来における対策導入量

①エネルギーサービス需要の低減...断熱や管理徹底により無駄を削減

		2018	2050
旅客輸送の低減	2018年比	—	▲20%
貨物輸送の低減	2018年比	—	▲20%

③電化の促進...電力のゼロエミッション化に向けた進展に合わせて弛まなく取組を促進

		2018	2050
乗用車	電動自動車*シェア・販売ベース	1%	100%
	電動自動車シェア・保有ベース	0%	98%
貨物車	電動自動車シェア・販売ベース	1%	100%
	電動自動車シェア・保有ベース	0%	84%
鉄道	非電化区域のFC鉄道シェア	0%	100%
旅客船舶	電動船舶	0%	100%
貨物船舶	電動船舶	0%	50%

* 電動自動車:電気自動車+燃料電池自動車

②効率改善...弛まなき技術開発と製品実装により長期にわたる効率改善を実施

		2050
乗用車:内燃機関	2018年比	▲17%
乗用車:ハイブリッド		▲14%
乗用車:BEV		▲23%
大型貨物車:内燃	2018年比	▲18%
中小貨物車:内燃軽油	2018年比	▲22%
中小貨物車:内燃ガソリン	2018年比	▲16%
貨物車:BEV		▲23%
貨物車:FCV		▲22%
鉄道		▲20%
船舶		▲18%
航空		▲11%

④新燃料...電化シフトが未達の燃料燃焼については、合成燃料の利用により低炭素化を実現

			2018	2050
自動車	合成燃料	燃料燃焼に占める 合成燃料の比率	0%	100%
貨物船舶	アンモニア		0%	100%
航空	バイオ燃料		0%	50%
	合成燃料		0%	50%

参考3-4:【産業部門】将来における対策導入量

① マテリアル効率の改善...物質依存の低下、循環利用の促進に向けて社会システムを弛まなく変容

		2018	2050
鉄鋼	電炉鋼の利用拡大	25%	50%
セメント	クリンカ比率の低減	84%	70%
横断	マテリアル効率の改善による物質需要の低減	—	▲15%

② BATの普及促進...早期普及に向けて取組を実施

		2018	2050
鉄鋼業	次世代コークス炉	4%	100%
	従来型省エネ技術	68-90%	100%
セメント	廃棄物利用技術 ※1	100%	100%
	従来型省エネ技術 ※1	43%	100%
化学	従来型省エネ技術 ※1	12%	100%
横断技術	低炭素工業炉	33%	100%
	産業用モーター	4%	100%
	インバータ制御	27%	48%
	高性能ボイラ	37%	100%
	産業用ヒートポンプ	1%	100%

※1:2030年目標に対する進捗

③ 電化の促進...電力のゼロエミッション化に向けた進展に合わせて弛まなく取組を促進

		2018	2050
鉄鋼	電炉鋼の利用拡大(再掲)	25%	50%
横断技術	産業用ヒートポンプ	1%	100%

(②~④) 革新的技術の開発・普及...2030年以降の本格導入に向けて研究開発を促進

		2050
鉄鋼業	COURSE50、フェロコークス+CCS	17%
	水素還元製鉄	33%
セメント	キルン+CCS	100%
有機化学	ナフサ分解+CCS	50%
	CO2原料化	50%
横断技術	水素バーナー(直接加熱用途)	50%
	合成燃料(化石燃料の熱利用の代替)	100%

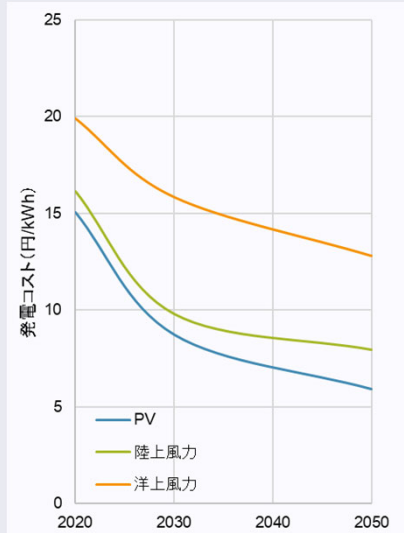
参考4-1:分析に際しての制約条件

		上限値
発電	太陽光	34,992万kW（環境省REPOS※ 導入可能量シナリオ3参照。ただし、農家のうち大規模経営体への農地集約を8割を目指していることを踏まえ、農地分は8割と想定）
	陸上風力	11,829万kW（環境省REPOS 導入可能量シナリオ1参照）
	洋上風力	17,785万kW（環境省REPOS 導入可能量シナリオ1参照）
	地熱	1,219万kW（環境省REPOS 導入可能量を参照し、上記フラッシュについては条件2・現行FIT維持、バイナリー発電は条件1・現行FIT維持を想定）
	中小水力	411万kW（環境省REPOS導入可能量シナリオ3参照）、一般水力・揚水は現状横這
	バイオマス	1,456万kW（長期エネルギー見通し(2015)の2倍程度）
	原子力	発電電力量の1割程度
その他	新燃料輸入依存率	水素・合成燃料 3割、アンモニア 10割
	国内CCS貯留量	約1億tCO ₂ /年
	スクラップ鉄供給	鉄屑調達量 4,386万トン（現状3,586万トン）（将来の鉄蓄積量、産業構造、鉄屑輸出量の想定などより推計）

※ 環境省 REPOS 再生可能エネルギー情報提供システム

<http://www.renewable-energy-potential.env.go.jp/RenewableEnergy/>

参考4-2: 分析に際してのコストに関する想定

	コスト関連の想定	参照資料
太陽光	固定費 現状 208~301千円/kW 2030年 88千円/kW 2050年 34千円/kW 維持費 4.8千円/kW/年	調達価格等算定委員会, IRENA (2019) Future of EV, IRENA (2019) Future of Wind より算定 
陸上風力	固定費 現状 347千円/kW 2030年 149千円/kW 2050年 91千円/kW 維持費 10.4千円/kW/年	
洋上風力	固定費 現状 515千円/kW 2030年 353千円/kW 2050年 232千円/kW 維持費 10.4千円/kW/年	
一般水力	固定費 640千円/kW 運転維持費 9千円/kW/年	
中小水力	固定費 900千円/kW 運転維持費 71千円/kW/年	
地熱	固定費 790千円/kW 運転維持費 33千円/kW/年	
バイオマス	固定費 398千円/kW 運転維持費 27千円/kW/年 熱効率 30%	
石炭火力	資本費 250千円/kW 運転維持 10千円/kW/年 熱効率 現状 39% 2050年 55%	
石油火力	資本費 200千円/kW 運転維持費 6千円/kW/年 熱効率 37%	
ガス火力	資本費 120千円/kW 運転維持 4千円/kW/年 熱効率 現状 51% 2050年 57%	
アンモニア 火力	資本費 現状 460千円/kW 2040年 120 千円/kW 運転維持費 4千円/kW/年 熱効率 57%	燃料アンモニア導入官民協議会(2021) 2040年頃には現状LNG火力水準のコスト、効率を達成と想定
CO2回収	現状 4.7千円/tCO2 2030年以降 1.4~2.7千円/tCO2	現状: 苫小牧におけるCCS大規模実証試験 30万トン圧入時点 報告書(2020), 将来: カーボンリサイクル技術ロードマップ 2030年目標値 参照
蓄電池	建設費150ドル/kWh	米国国立再生可能エネルギー研究所(NREL) (NREL/TP 6A20 75385) より設定
地域間連系線	連系線に応じて、3万円/kW~20万円/kW	電力広域的運営推進機関資料等をもとに設定
化石燃料	輸入価格 一般炭 84('19) -61('40) USD/t, 原油 63('19) -53('40) USD/バレル, LNG 10.1('19) -5.7('40) USD/Mbtu, 2040年以降横這	IEA WEO2020 持続可能な開発シナリオ
水素	現状 100円/Nm ³ 2050年 20円/Nm ³	水素・燃料電池戦略協議会(2019)「水素・燃料電池戦略ロード マップ」
NETs	200USD/tCO2程度	Royal Society (2018) Greenhouse gas removal

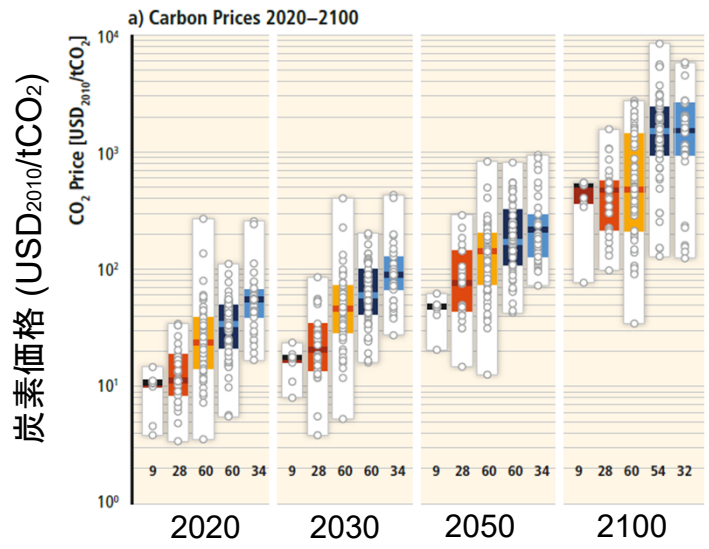
参考5-1: IPCC第5次報告書における緩和費用に関する評価(1)

・ IPCC 第5次報告書では、世界の緩和費用について、a) 年毎の炭素価格、b) 期間内の平均炭素価格、c) 年毎の消費損失、e) 年毎のGDP損失、f) 年毎の削減費用、d) c・e・fの期間内の総額、それぞれの観点から分析を行っている。

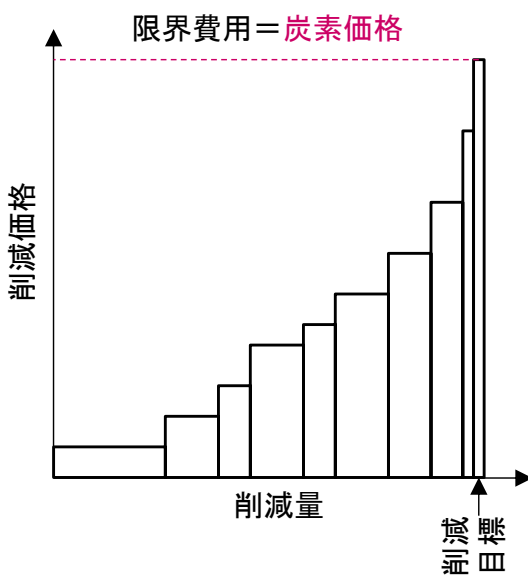
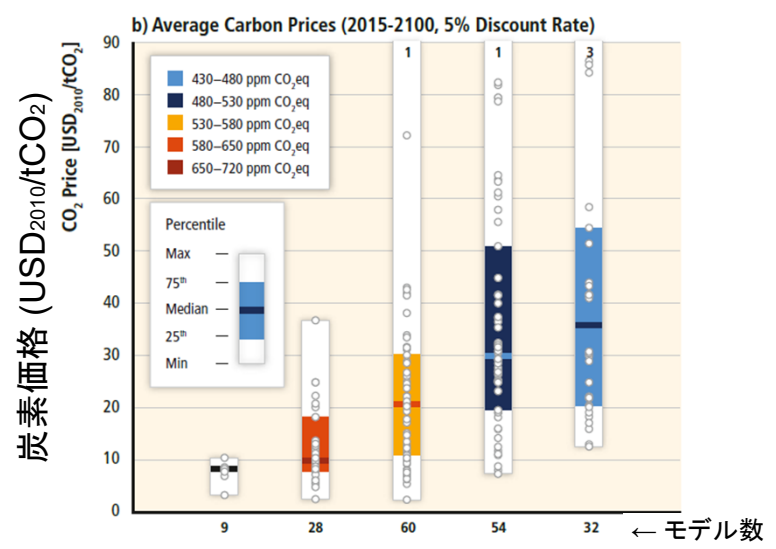
【地球規模の緩和費用(1) IPCC AR5 WG3より】

【削減量と削減価格の関係における炭素価格】

a) 炭素価格 2020-2100



b) 平均炭素価格 (2015-2100, 割引率5%)



(出典) a), b) IPCC 第5次報告書 WGIII 図6.21より作成

炭素価格に関する留意点

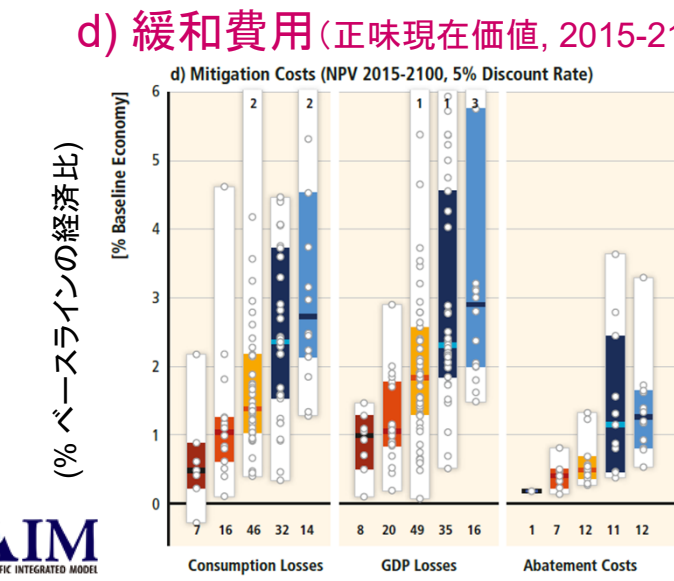
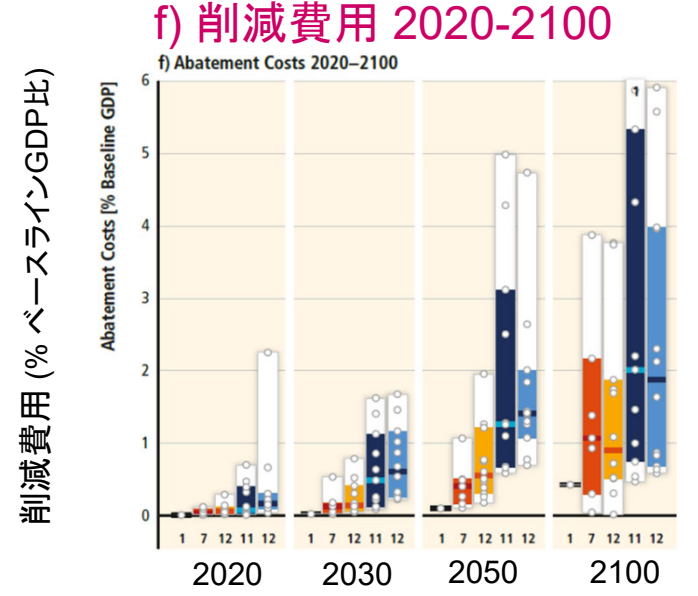
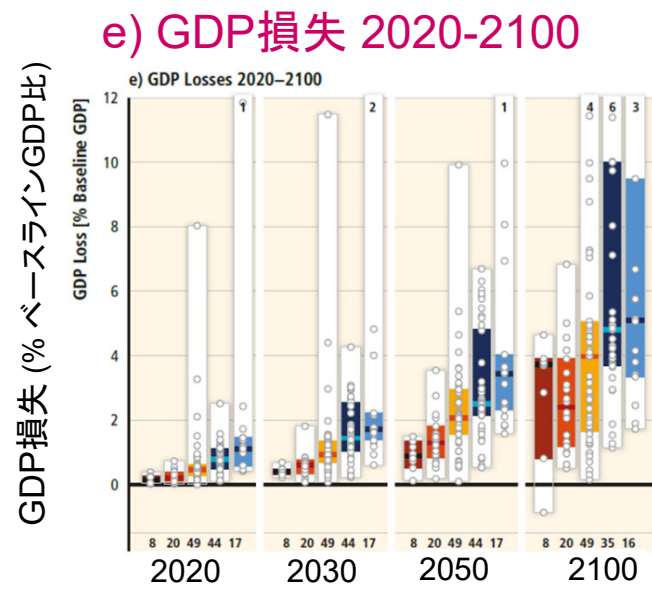
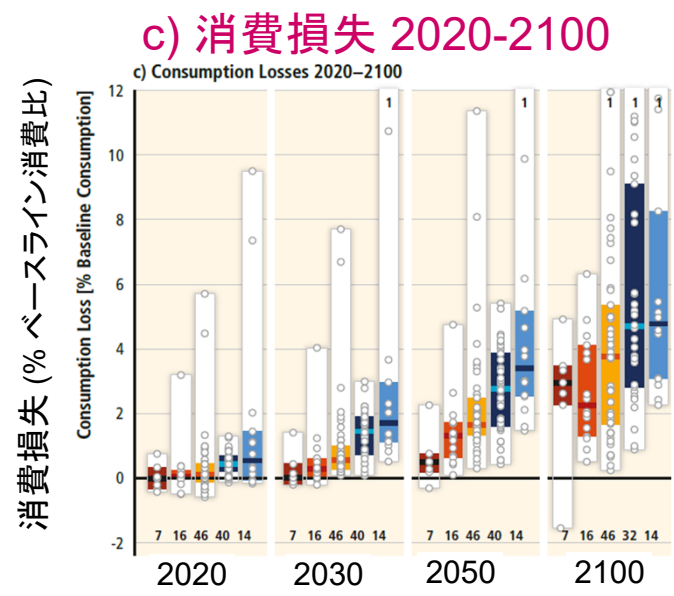
- ・ 炭素価格は追加的に単位量の排出を削減するためのコスト(限界費用)。その一方で、総費用は、排出価格よりも低い価格で実施される全ての緩和策の費用を示す。
- ・ 炭素価格は低炭素技術に向けた規制や補助金など他の政策や対策の影響を受ける。それゆえに、これらの対策を部分的にも実施した場合には、現に根拠づけられた値よりも低い値を示すことになる。

(出典) IPCC 第5次報告書 WGIII 第6章

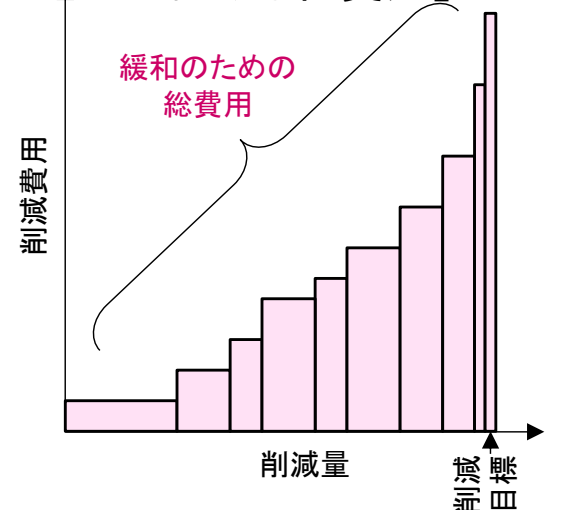
参考5-2: IPCC第5次報告書における緩和費用に関する評価(2)

・ IPCC 第5次報告書では、世界の緩和費用について、a) 年毎の炭素価格、b) 期間内の平均炭素価格、c) 年毎の消費損失、e) 年毎のGDP損失、f) 年毎の削減費用、d) c・e・fの期間内の総額、それぞれの観点から分析を行っている。

【地球規模の緩和費用(2) IPCC AR5 WG3より】



【削減量と削減価格の関係における総費用】

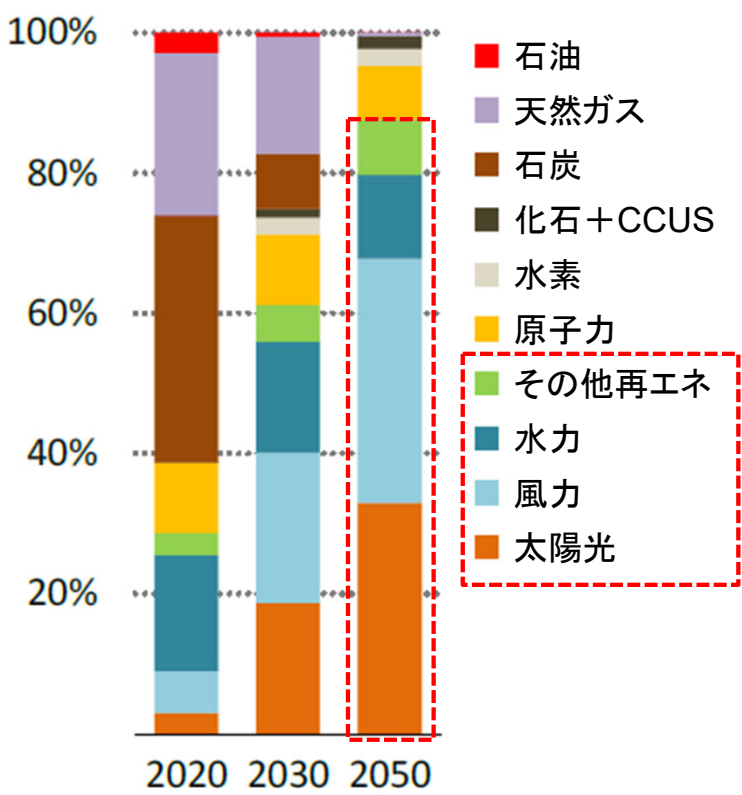


(出典) e-f) IPCC 第5次報告書 WGIII 図6.21より作成
 各グラフのタイトルのアルファベットは出典の
 グラフの表記に合わせている

参考6:世界の将来における発電構成

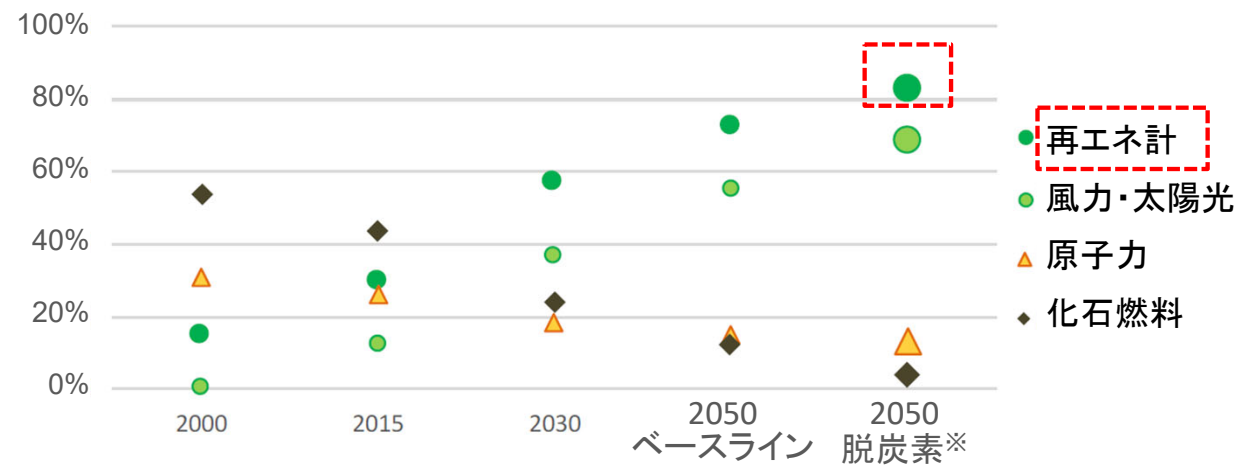
・ IEA、EU、英国のネットゼロに向けた2050年電源構成は8割～9割が再生可能エネルギー発電が占めている。

【世界の発電電力構成】
IEA Net Zero by 2050より



(出典) IEA (2021) Net Zero by 2050
A Roadmap for the Global Energy Sector

【EUの発電電力構成】EU長期戦略ビジョンより



※ 8つのシナリオ (2050年▲80%-5、▲90%-2、▲100%-1) の平均、再エネ計のシナリオの幅は81~85%。

(出典) European Commission (2018) In-depth Analysis in Support of the Commission Communication COM (2018)

【英国の発電電力構成】英国第6次炭素予算より

シナリオ名	バランス	向かい風	広範なエンゲージメント	広範なイノベーション	追い風
再エネの割合	80%	75%	85%	90%	90%

(出典) 英国 Committee on Climate Change (2020.12) The Sixth Carbon Budget The UK's path to Net Zero