

2050年脱炭素社会実現に向けた排出経路分析

2023年4月28日

国立環境研究所 AIMプロジェクトチーム

はじめに

- ・ 地球温暖化対策計画(令和3年10月22日閣議決定)は、2050年カーボンニュートラル(CN)実現に向けて策定されたもので、その目標と統合的で野心的な目標として、2030年度に温室効果ガスを2013年度から46%削減することを目指し、さらに50%の高みに向けて挑戦を続けていくとしている。
- ・ 同計画ではCNの実現に向けて、普及段階にある技術については着実な普及を目指し、また、実証及び導入初期の段階にある技術については2030年以降の大規模展開に向けて、必要な制度・基準の検討、研究開発の強化、基金を活用した支援などを行うとしている。
- ・ CNの実現には、現状において実証及び導入初期の段階にある脱炭素技術の2030年以降の大規模な実装が不可欠であり、2050年までにその実装が十分に進まなかった場合には、2050年CNの実現はなしえない。
- ・ そこで、本分析は、2030年以降に革新的な脱炭素技術の展開が十分に進展しなかった場合と、CNを実現する経路とのギャップに対する分析を行うことで、2030年以降に注力すべき対策について考察したものである。

(今回の分析は、「2050年脱炭素社会実現に向けたシナリオに関する一分析」として、2021年6月30日の総合資源エネルギー調査会 基本政策分科会(第44回)において国立環境研究所AIMプロジェクトチームが提示した分析のフレームワークを用いつつ、その後に決まったNDCや温暖化対策計画を反映し、新たなシナリオを追加して分析を行ったものである。)

- ・ CN実現に向けて、現状において実証及び導入初期の段階にある脱炭素技術は、2030年以降に大規模で加速度的な展開が求められる。

【2030年以降に加速度的な展開が求められる対策】

| | | 2030年※1 | 2030年以降※2 |
|------|-------------------|--------------------------|-------------------------------------|
| 産業 | 鉄鋼・水素還元製鉄 | (COURSE50 1基) | 2040年代 実装 |
| | セメント・CCUS | — | 2030年代 実装 |
| | 化学・CO2原料化 | — | 2030年代 実装 |
| 運輸 | 貨物車(8トン以下)・電動車 | 新車 20~30% | 2040年 電動車+脱炭素燃料 新車100% |
| | 航空・持続可能な航空燃料(SAF) | (国内航空会社 SAF10%) | (国際航空分野CN) |
| | 内航船舶・電気推進船等 | — | 2030年代 普及 |
| | 鉄道・燃料電池車両 | — | 2030年代 実装 |
| 新燃料 | 水素・アンモニア | 計 300万トン (水素換算) | 2050年 水素 2,000万トン アンモニア 3,000万トン |
| | 合成メタン・既存インフラへの注入 | 1% | 2050年 90% |
| 再エネ | 洋上風力 | 2030年 5.7GW 10GWの案件形成 | 2040年: 30~45GW案件形成 |
| CCUS | 地下貯留 | — | 2050年 1.2~2.4億トン(目安) |

※1: 地球温暖化対策計画, 第6次エネルギー基本計画、SAF官民協議会

※2: GX実現に向けた基本方針, 「トランジション・ファイナンス」に関する技術ロードマップ

- ・本分析では、3つのシナリオを想定し、それぞれについて2050年までの排出経路を推計した。A) 効率改善、再エネ普及は進展するものの、2030年以降、革新的技術の実装が十分に進展しないことを前提とした「脱炭素技術普及進展シナリオ」、B) A)に対して、2030年以降に革新的な脱炭素技術の大規模展開が進展することを前提とした「革新的技術普及シナリオ」、C) B)に加えて、社会変容による財や輸送の需要の低減を織り込んだ「社会変容シナリオ」を設定。

A「脱炭素技術進展シナリオ」(技術進展)

エネルギー効率改善、再生可能エネルギー技術について2030年まで計画通りに普及が進み、2030年以降もその速度で普及が進展。一方で、2030年以降に加速度的に大規模展開されることが期待される革新的脱炭素技術については、その展開が十分に進まないことを想定。

<GHGネットゼロシナリオ>

B「革新的技術普及シナリオ」(革新技術)

A)に対して、2030年以降に加速度的に大規模展開されることが期待される革新的な脱炭素技術の展開も十分に進展し、2050年GHG排出ネットゼロを実現するシナリオ。

C「社会変容シナリオ」(社会変容)

B)に加えて、デジタル化・循環経済の進展などの社会変容に伴って、人々の効用等を維持または向上させつつ財や輸送の需要が低減することを織り込んだシナリオ。2050年GHG排出ネットゼロを実現。

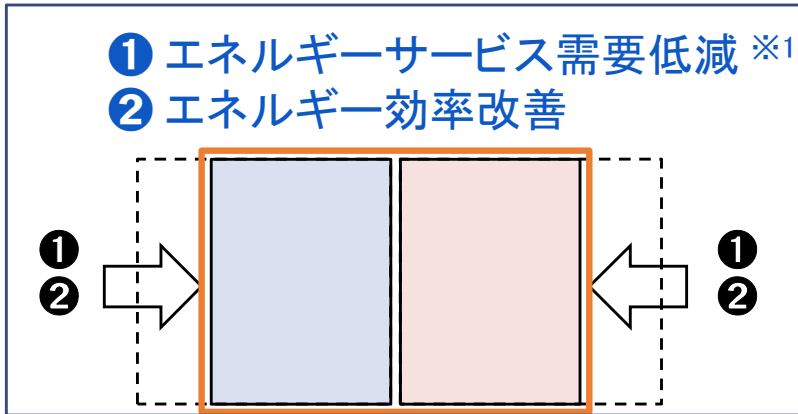
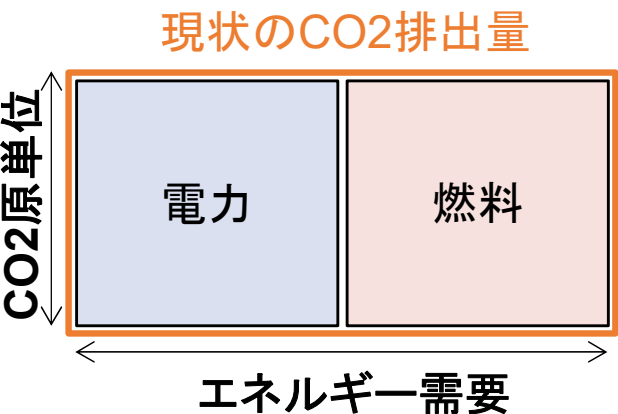
2030年以降の大規模展開を想定した革新的な脱炭素技術

- ・新燃料(水素、合成燃料、アンモニア)・バイオ燃料の利用拡大
- ・PV・洋上風力の更なる大量普及
- ・貨物自動車の電動化の進展
- ・HP機器の更なる普及
- ・発電・産業におけるCCUS実装
- ・ネガティブエミッション技術

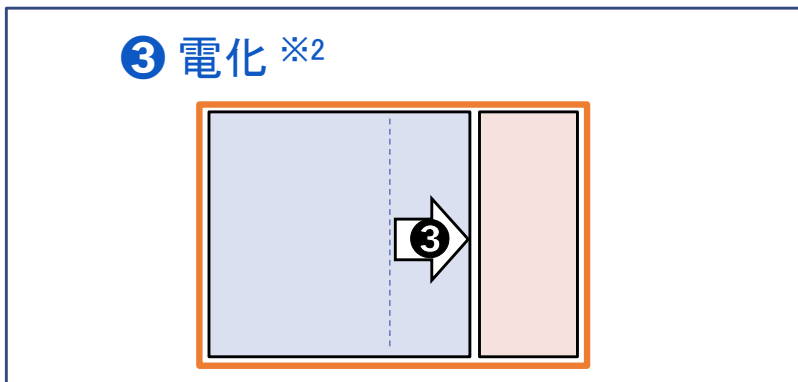
想定した社会変容

- ・マテリアルの効率的利用:シェアリング、長寿命化、循環利用、省資源設計など
- ・業務・通勤移動の低減: ICTによる移動需要の代替など
- ・貨物輸送の低減: マテリアルの効率的な利用による貨物輸送の低減など

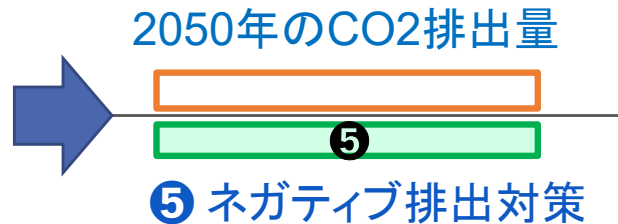
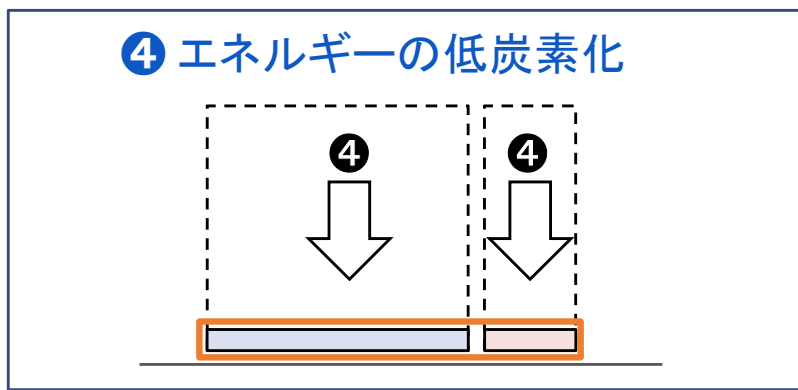
【削減対策とCO2排出量の関係】



※1人々の効用等を維持または向上させつつ、エネルギー消費に繋がるような財やサービス需要を低減させること。本分析での扱いについてはスライド7参照。



※2 内燃機関自動車から電気自動車、ボイラ・ストーブから電気ヒートポンプなどの電化はエネルギー効率改善の効果も持つ。



【削減対策の柱ごとの本分析で対象した対策】

| | 家庭・業務 | 運輸 | 産業 |
|----------------------------|--|---------------------------------|------------------------------|
| ① エネルギーサービス 需要低減 | 断熱強化、エネルギー管理 | (エネルギー機器による) 移動・輸送需要の低減 ※1 | 財の需要低減 ※1 電炉利用拡大、クリンカ率の低減 |
| ② エネルギー効率改善 | 家電機器、情報機器、業務機器のエネルギー効率改善 | 輸送機器のエネルギー効率の改善 | 生産機器のエネルギー効率の改善 |
| ③ 電化 | 空調、給湯、厨房の電化 | 自動車のBEV、FCV化 船舶、航空の電化 | 電炉利用拡大(再掲)、産業用ヒートポンプ利用拡大 |
| | 電力 | 燃料 | CCUS |
| ④ エネルギーの 脱炭素化 | 再生可能エネルギー、原子力、火力発電CCUS、アンモニア・水素発電、系統対策(送配電強化、蓄電) | 新燃料(水素、アンモニア、合成燃料) バイオマス由来燃料 | 産業CCUS 火力発電CCUS BECCS |
| | 土地 | 海洋 | その他※2 |
| ⑤ ネガティブ排出対策 (NETs, CDR) | 森林吸収源強化、農地 土壌吸収、BECCS(再掲)、バイオ炭等 | ブルーカーボン | コンクリートCO2吸収 |

※1: 詳細はスライド7「社会変容シナリオ」における財や運輸サービスの低減に関する想定 参照

※2: 本分析ではDACCS(大気中からのCO2を強制的に除去する技術)は含めていない。

- ・「脱炭素技術進展シナリオ」では2030年以降、新燃料利用技術やCCUSの展開が進まないこと、また、電化や再エネ発電も加速的な展開は行われないことを前提とし、「革新的技術普及シナリオ」ではそれらの加速的な大規模展開が進むことを前提とした。

【脱炭素技術進展シナリオと革新的技術普及シナリオの技術導入見込み】

| 部門・用途 | | 脱炭素技術進展シナリオ (技術進展) | 革新的技術普及シナリオ (革新技術) |
|-------|---------------|-----------------------|-----------------------|
| 2030年 | 対策水準 | 地球温暖化対策計画 | |
| 2050年 | 既に普及段階の技術 | 2030年までのペースで着実に進展 | |
| 産業 | エネルギー多消費 | BAT | 水素利用の拡大・電化加速 |
| 民生 | 給湯・厨房 | 電化漸増 | 電化加速 |
| 運輸 | 貨物自動車 | FCV・BEV漸増 | FCV・BEV推進 |
| 新燃料 | 水素・合成燃料・アンモニア | (社会実装に至らず) | 利用拡大 |
| 再エネ | 太陽光・洋上風力 | 漸増 | 加速 |
| CCUS | 発電・エネ多消費 | (社会実装に至らず) | 利用拡大 |

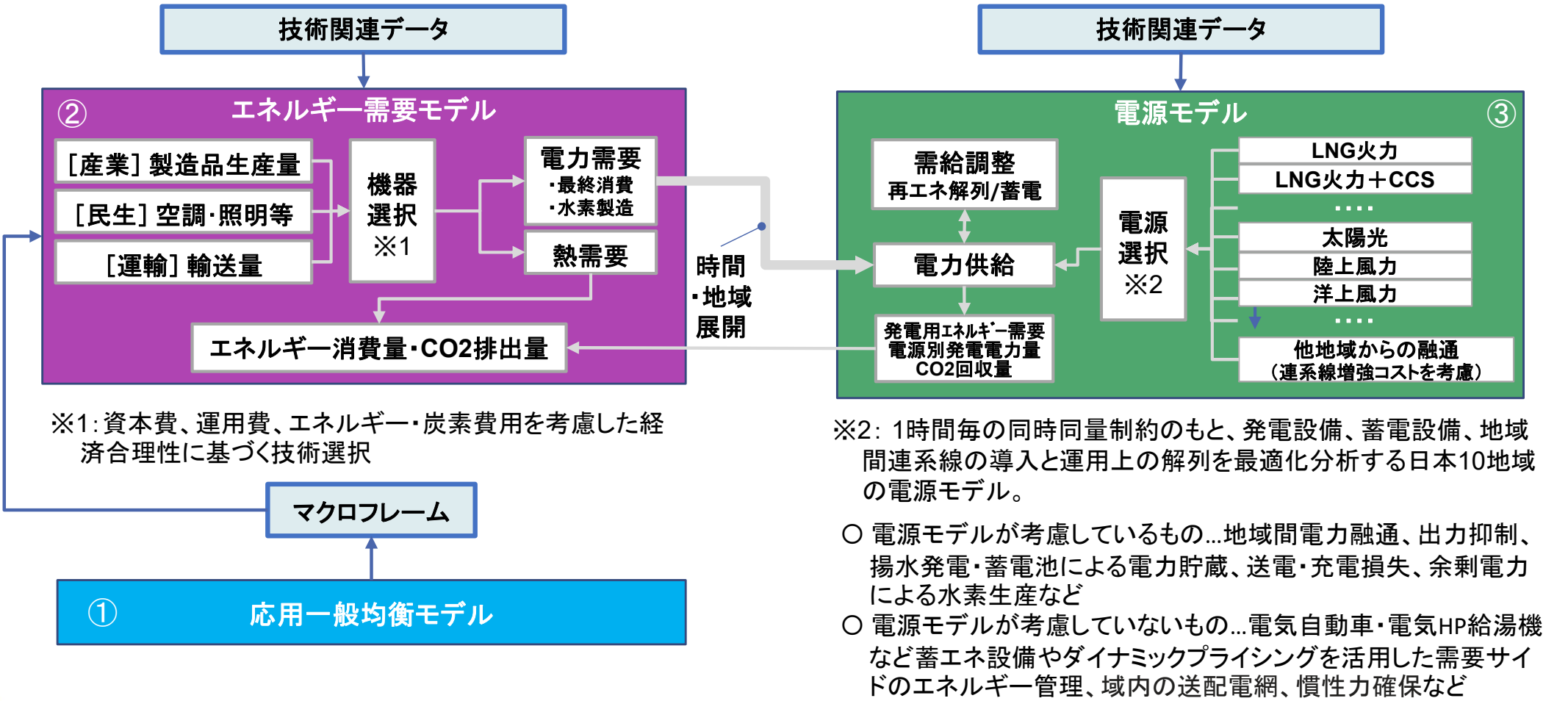
対策 | 「社会変容シナリオ」におけるの財や運輸サービスの低減に関する想定

| 部門 | 対象 | 対策 | 低減率 | 出典等 |
|----|----------|--------------|-----|--|
| 産業 | 鉄鋼 | 寿命延長、最適構造等 | 17% | ・ IEA(2020)によると物質効率改善対策(寿命延長、構造最適化、再利用など)によって、2070年には29%の鉄鋼の需要が低減。これを参考に2050年に17%低減と想定。 |
| | セメント | 寿命延長、最適構造等 | 16% | ・ IEA(2020)によると物質効率改善対策(寿命延長、構造最適化、再利用など)によって、2070年には26%のセメントの需要が低減。これを参考に2050年に16%低減と想定。 |
| | 紙 | DX進展 | 30% | ・ 国内紙・板紙生産量のうち、印刷用途は4割程度。DX進展によりこれらの需要が大幅に低減と想定。 |
| | 有機化学 | 循環利用、脱物質化 | 15% | ・ IEA(2020)によると物質効率改善対策(リサイクル、再利用など)によって、2070年までに25%の一次化学物質の需要が低減。これを参考に2050年に15%低減と想定。 |
| | 自動車 | カーシェア | 15% | ・ 国内販売台数の8割が乗用車。年間走行距離が4,000km未満の世帯が22%、4,000~8,000kmが26%(2020年度、環境省)。前者のほぼ80%、後者の50%がカーシェアに移行(1台を平均2~3世帯利用相当)と想定。 |
| | 衣類 | 退蔵衣類の活用、長期使用 | 10% | ・ 国内衣類の新規供給量82万トン、廃棄量51万トン、リユース量15万トン、家庭における未着用衣類 139万トン(環境省・日本総研(2022))。左記対策により新規供給量の2050年1割程度の低減を想定。 |
| | 食料品、農水産品 | 食ロス低減 | 5% | ・ 2019年度 食品ロス570万t(A)、摂取量5,658万t(B), $A/(A+B)=9\%$ (農林水産省統計値より引用・推計)。これを最大ポテンシャルとし、その半分程度の達成を想定。 |
| 運輸 | 旅客輸送 | DX進展 | 20% | ・ 通勤による移動の3割程度の低減、かつ、私事による移動の2割程度の低減された場合に相当。 |
| | | 公共交通機関 | 2% | ・ 2050年 自家用交通から乗換量 206億人km(温対計画 2030年目標の2倍, 自動車貨物輸送の1割程度相当)。 |
| | 貨物輸送 | 脱物質化 | 7% | ・ 上記脱物質化対策による輸送量低減効果。財別輸送量データから推計。 |
| | | モーダルシフト | 10% | ・ 2050年 鉄道へのモーダルシフト 119億トンkm, 船舶へのモーダルシフト 160億トンkmを想定(温対計画 2030年目標の2倍, 自動車貨物輸送の1割程度相当)。 |

出典: IEA (2020) Energy Technology Perspective 2020

環境省・日本総研 (2022) 環境省 令和2年度 ファッションと環境に関する調査業務

・ 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。



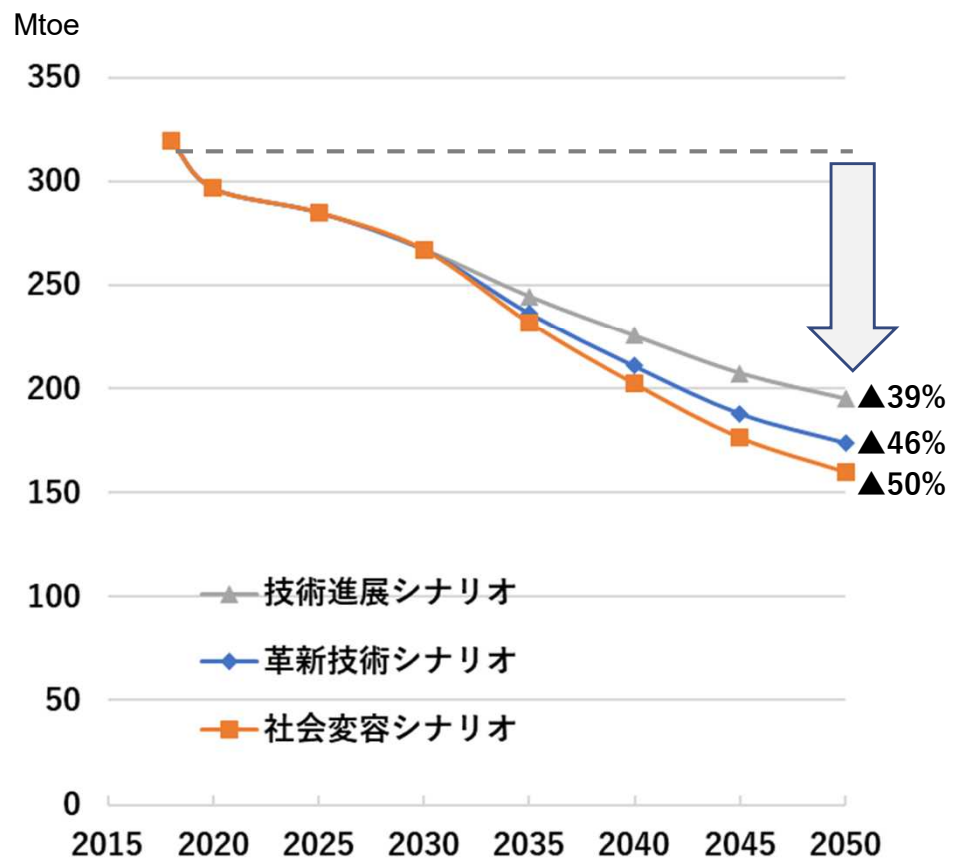
【技術進展シナリオと革新技術・社会変容シナリオで対策導入量の違いが生じる主な対策】

| 部門・用途 | | | 2030年 | 2050年 技術進展 | 2050年 革新技術・社会変容 |
|-------|----------|-------------|---------|---------------|--------------------|
| 産業 | エネルギー多消費 | 水素還元製鉄 | 0% | 0% | 50% |
| | | 鉄鋼・セメントCCUS | 0% | 0% | 100% |
| 民生 | 給湯・厨房 | 電気HP給湯機(家庭) | 38% | 75% | 80% |
| 運輸 | 貨物自動車 | BEV・FCV | 6% | 41% | 76~78% |
| バイオマス | | | 19Mtoe | 23Mtoe | 38~44Mtoe |
| 新燃料 | | 水素需要 | 0 | 1Mtoe | 43~47Mtoe |
| 再エネ | 太陽光発電 | | 111百万kW | 202百万kW | 357百万kW |
| | 洋上風力 | | 6百万kW | 45百万kW | 115~147 百万kW |
| CCUS | 地下貯留 | | 0 | 0 | 99~104 百万tCO2 |

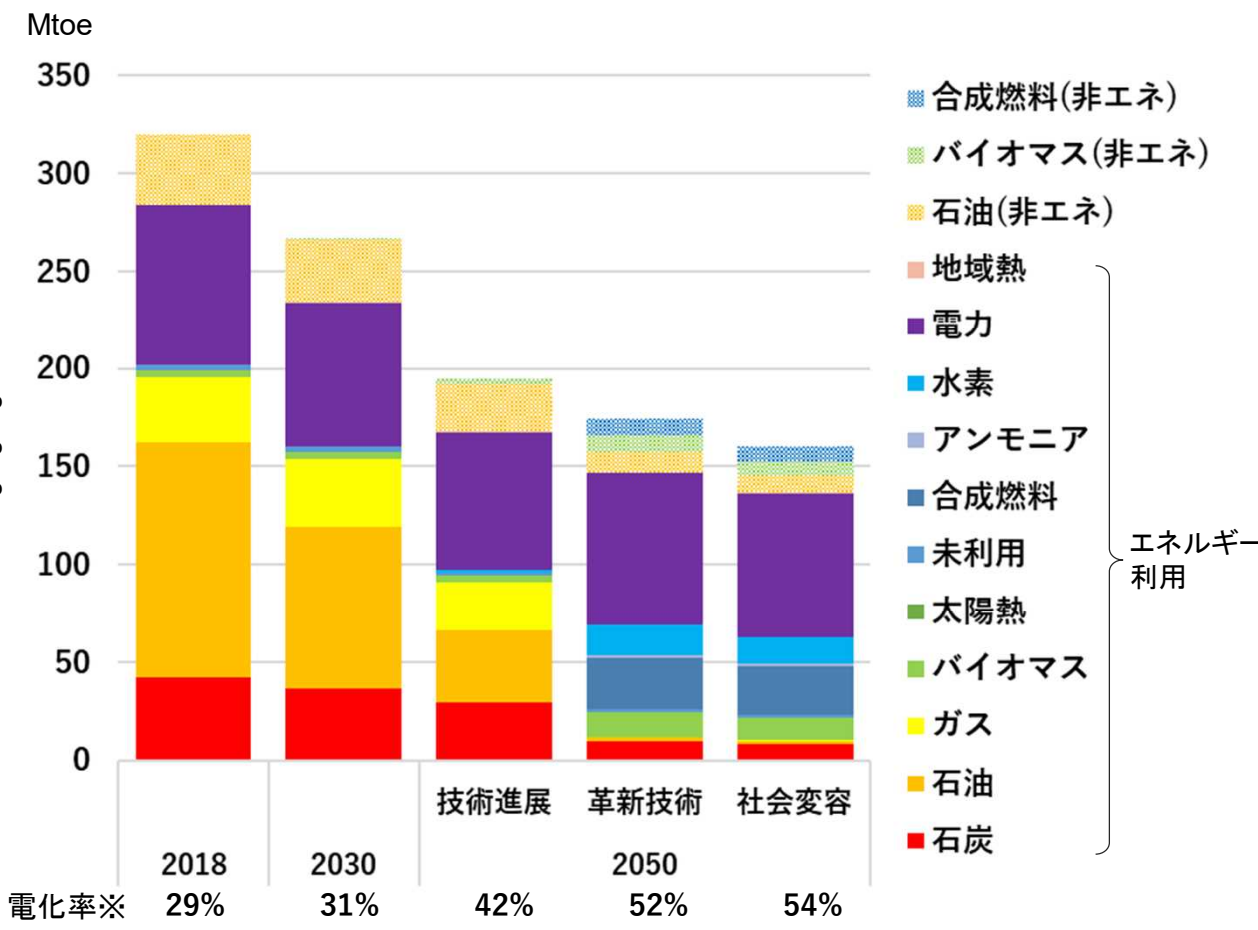
将来見通し | 最終エネルギー消費量 (最終エネルギー消費部門: 産業+業務+家庭+運輸)

- 2050年最終エネルギー消費量はシナリオによって、39%、46%、50%低減(2018年度比)。
- 2050年のエネルギー種構成については、技術進展シナリオでは化石燃料が現状の半分程度の量が残存している。一方、革新技術・社会変容シナリオでは、電化率の増加、合成燃料や水素の利用拡大によって化石燃料の消費は一部の用途に限られる。2050年の電化率は技術進展シナリオで42%、革新技術・社会変容シナリオで52%、54%である。

【最終エネルギー消費量の推移】



【最終エネルギー消費量・シナリオ別×エネルギー種別】

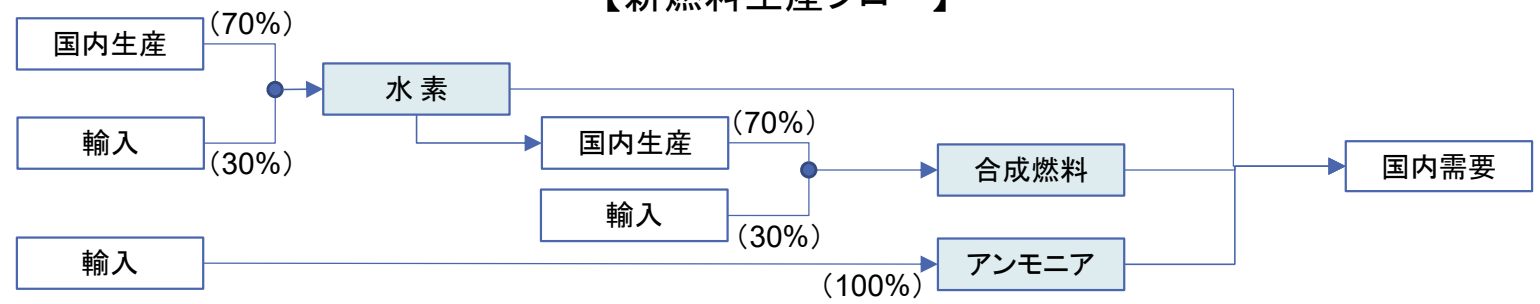


※非エネ利用除く最終エネルギー消費量に占める電力消費量の割合

(部門別の最終エネルギー消費量は参考資料に掲載)

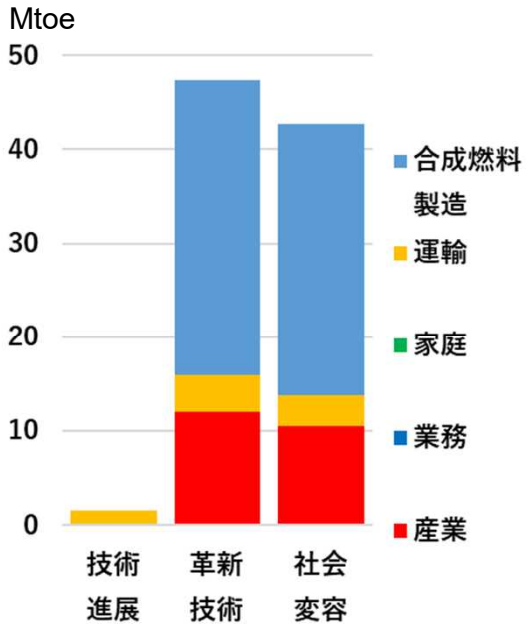
- ・ 2030年以降、CNに向けて新燃料の需要が増加。主な需要先は以下の通り。
 - 水素：産業部門 製鉄及び高温熱、運輸部門 FCV、合成燃料製造用
 - 合成燃料：産業部門 高温熱、家庭部門 都市ガス、運輸部門 貨物自動車・船舶・航空
 - アンモニア：運輸部門 船舶、火力発電用燃料

【新燃料生産フロー】

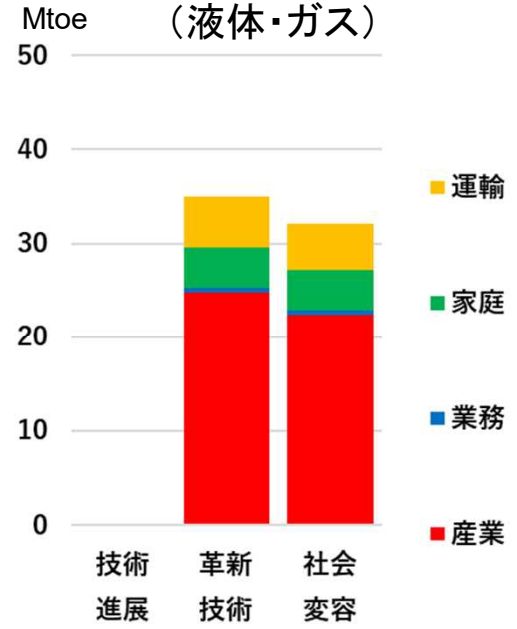


()内の数字は本分析における新燃料の輸入率依存率の想定。また、本分析では海外における新燃料生産はカーボンニュートラルな方法が採用されていること、また、海外で生産される合成燃料の炭素分は化石燃料起源ではないことを前提とし、その日本国内での消費に伴うCO2排出量はゼロとする。

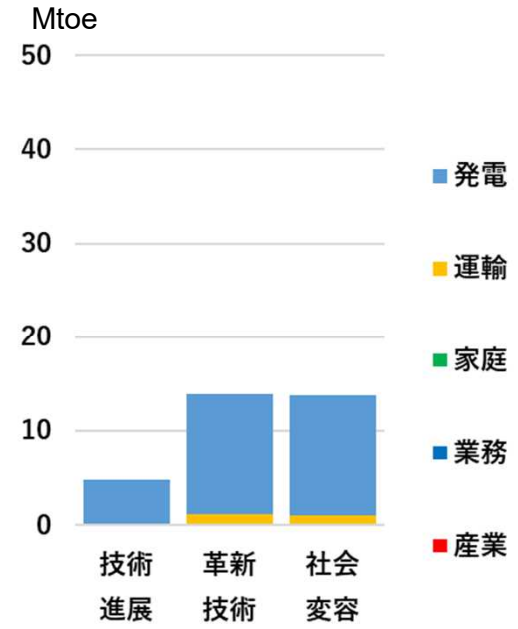
【水素需要】



【合成燃料需要 (液体・ガス)】

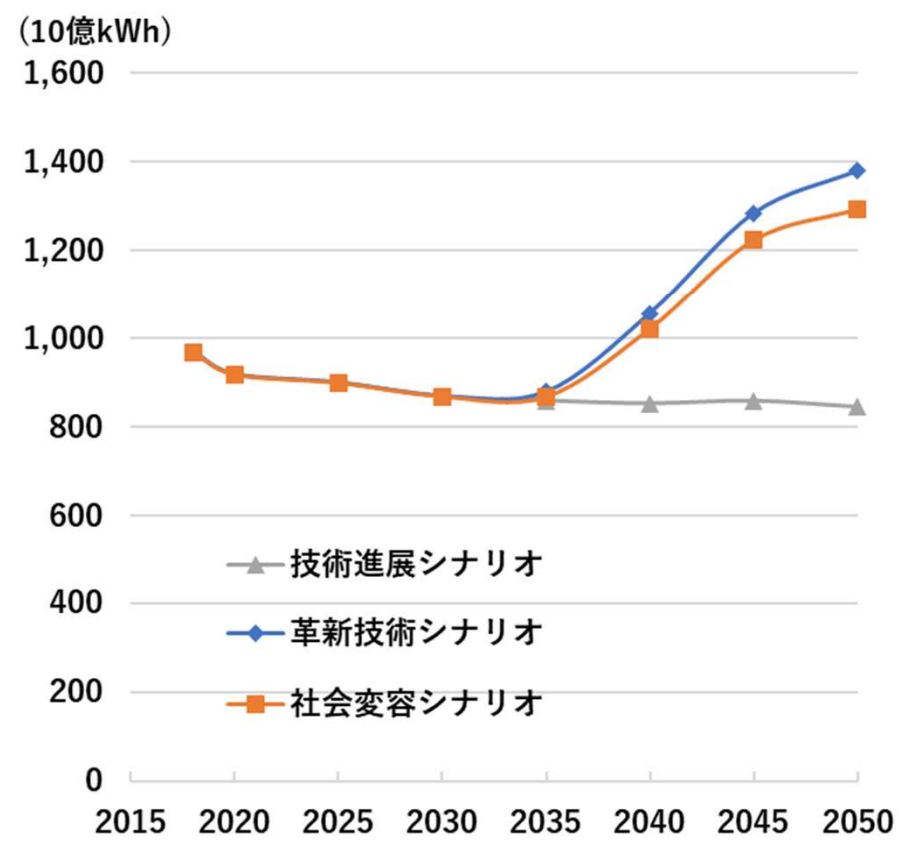


【アンモニア需要】

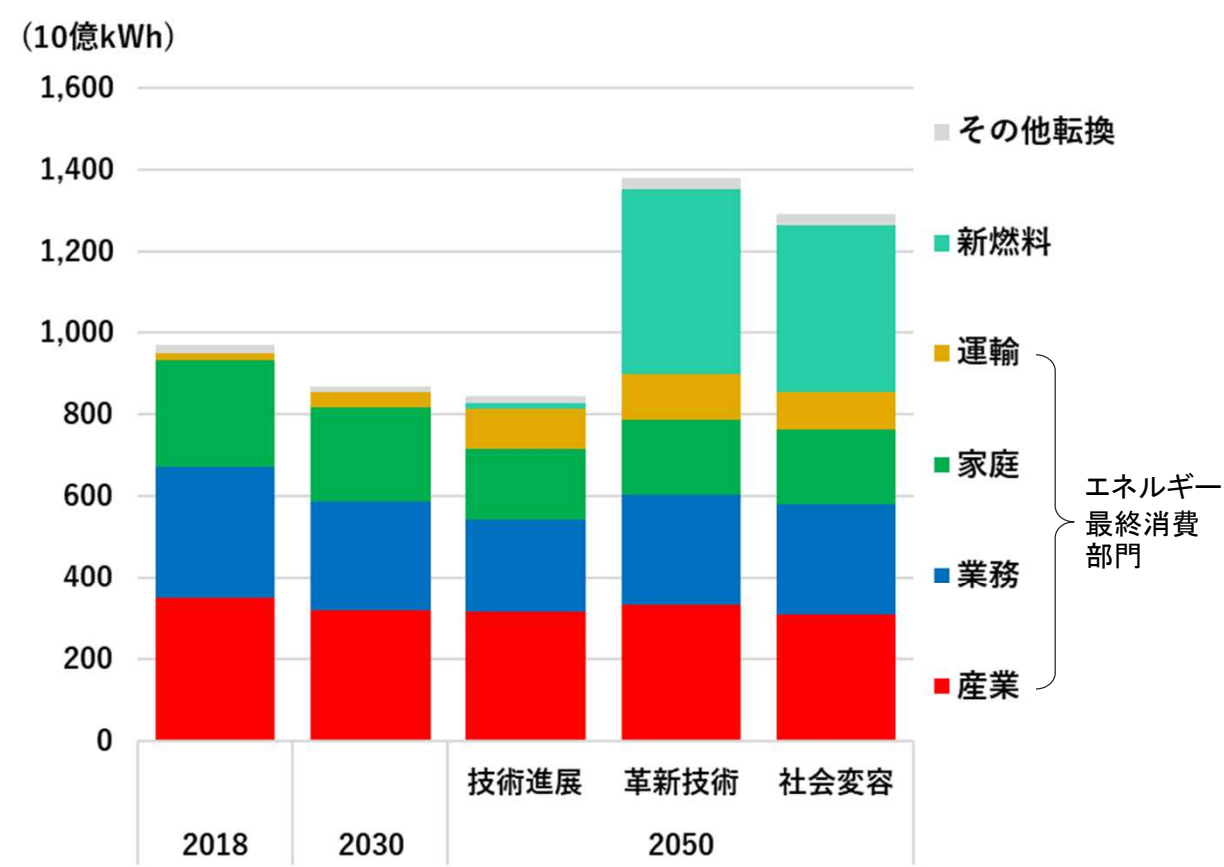


・ 最終エネルギー消費部門の電力需要は2030年以降、概ね横這いで推移。GHGネットゼロを実現する革新技術・社会変容シナリオでは、新燃料生産用の電力需要の増加に伴い、2050年の電力需要全体が4割程度増加する見込み。

【電力需要量の推移】



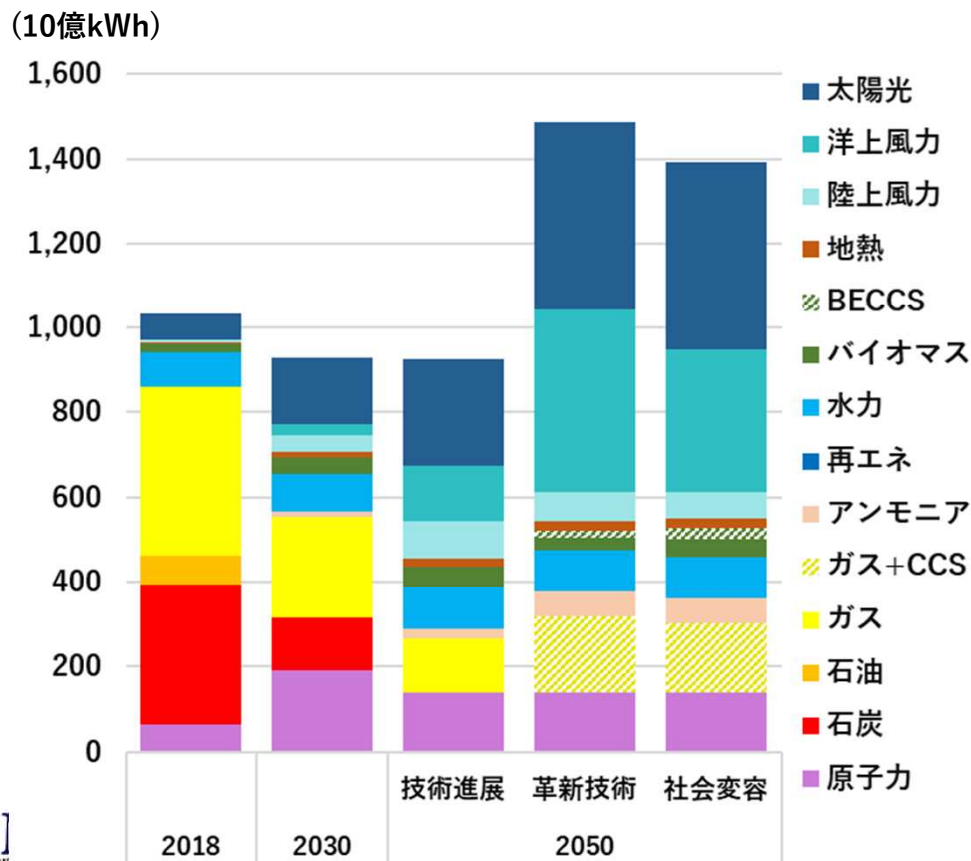
【電力需要量・シナリオ別×部門別】



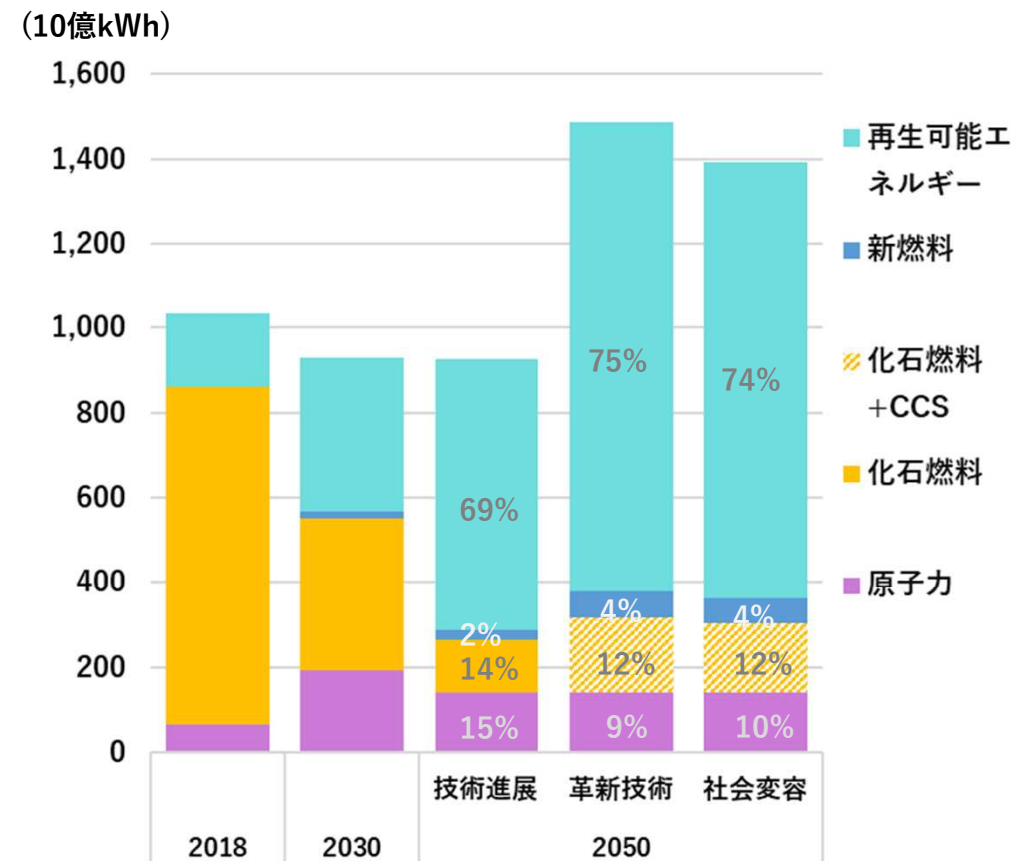
- 革新技術・社会変容シナリオでは、新燃料生産用の電力需要の増加に伴い、発電電力量も増加。また、その両シナリオでは、原子力、CCS付き火力発電、新燃料火力発電、再生可能エネルギー発電で構成され、脱炭素電源が100%を占めている。中でも洋上風力発電、太陽光発電の発電電力量は大きく、それぞれ3,380~4,320億kWh、4,440億kWhとなっている。

注) 本分析はバイオマス火力を除く再生可能エネルギー発電の比率の上限を7割として推計したものである。また、再生可能エネルギー発電の上限については、技術進展シナリオでは2030年までの傾向を延長し、革新技術と社会変容シナリオについては、環境省における再生可能エネルギーポテンシャル調査を参考にして設定(設定の詳細は参考資料参照)。

【電源別発電電力量(詳細分類)】

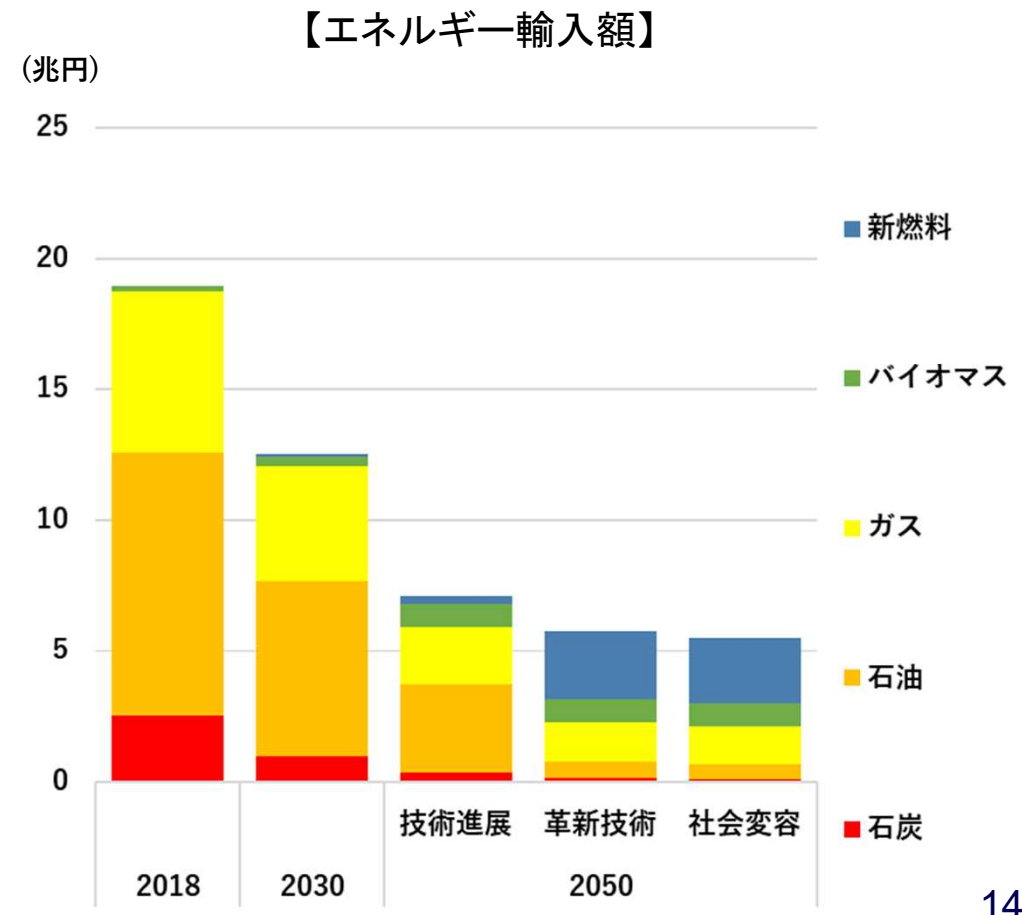
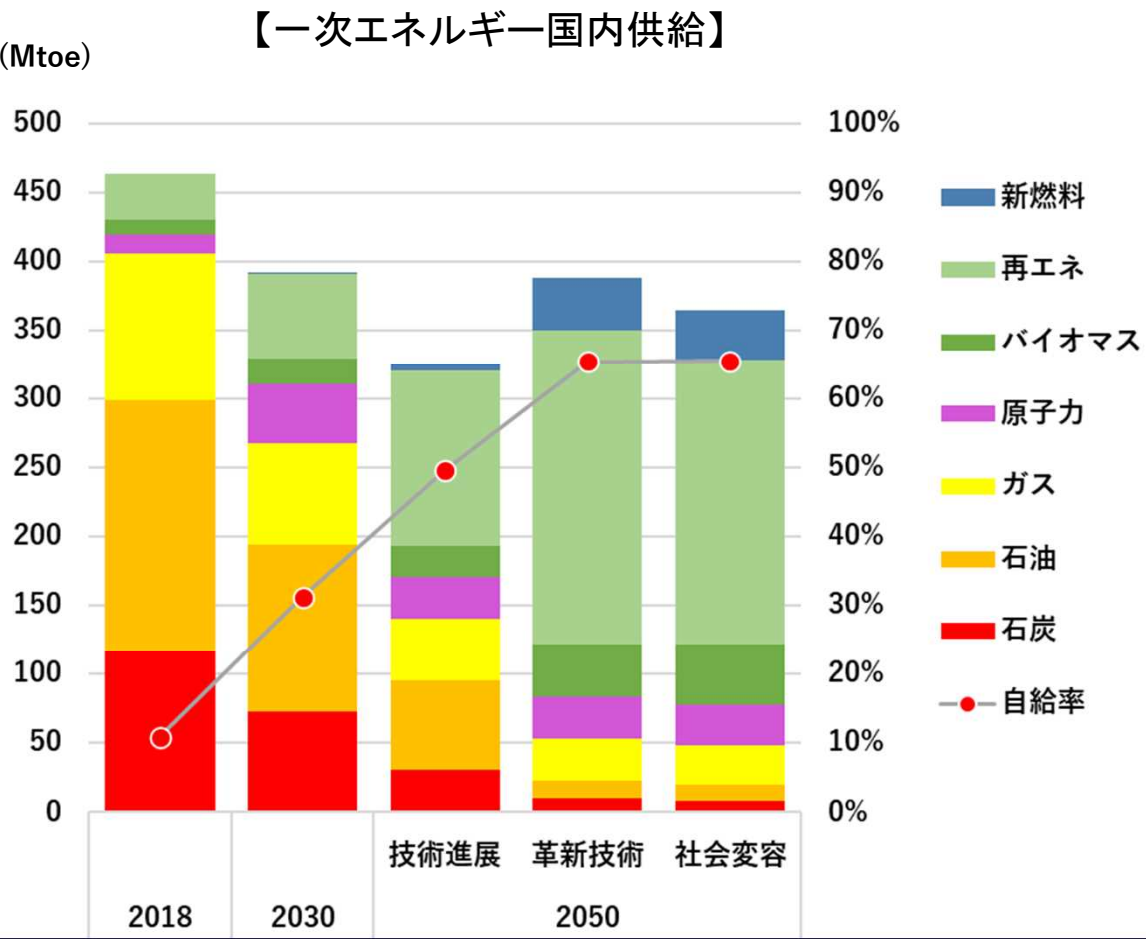


【電源別発電電力量(粗分類)】



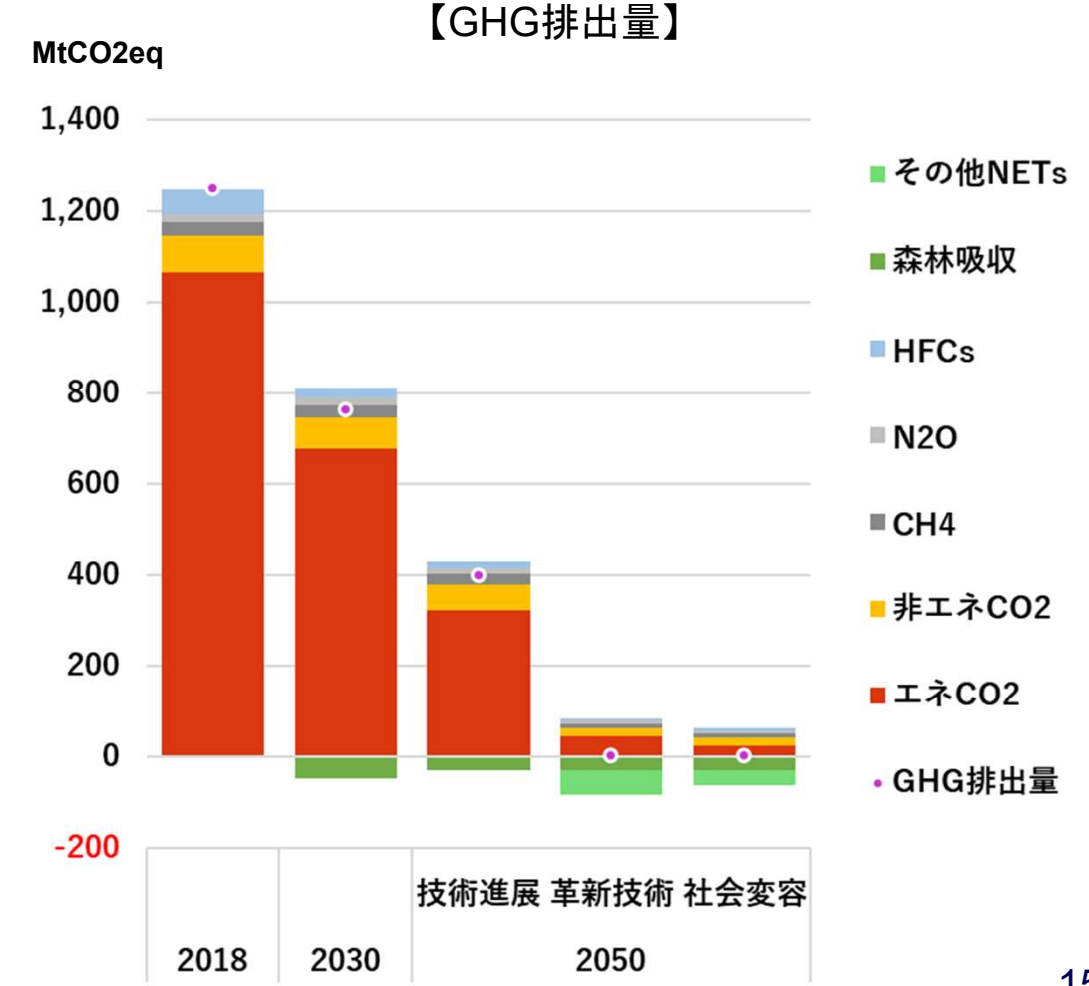
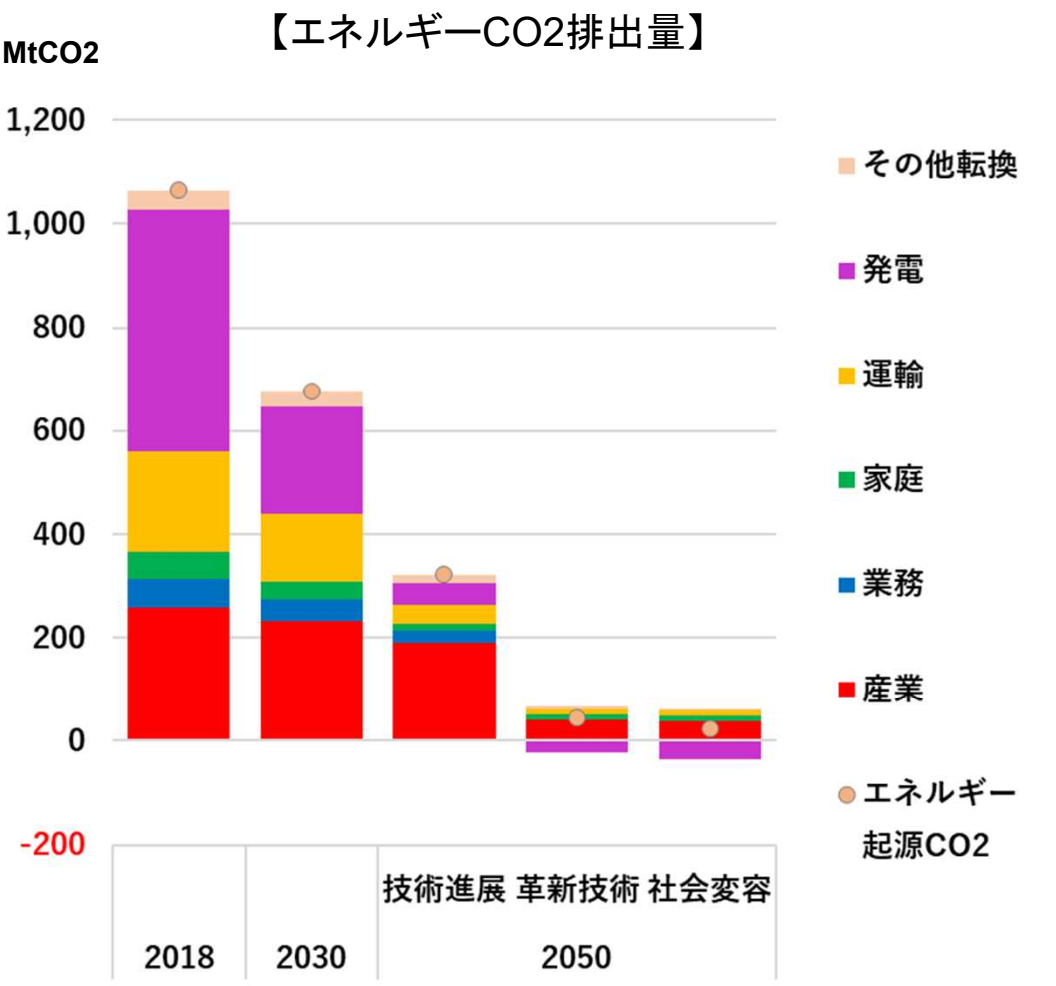
将来見通し | 一次エネルギー国内供給

- 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。2018年11%のエネルギー自給率は2050年の革新技术・社会変容シナリオでは66%となり、大幅に改善。
- 2018年のエネルギー純輸入額は19兆円程度であるが、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10兆円以上低下する。
- 技術進展シナリオと革新技术・社会変容シナリオを比較すると、更なるCO2の削減は自給率の向上につながる。一方で、輸入額については、新燃料を一定程度輸入に依存することもあって両者に大きな差はない。



将来見通し | エネルギー起源CO2排出量・GHG排出量

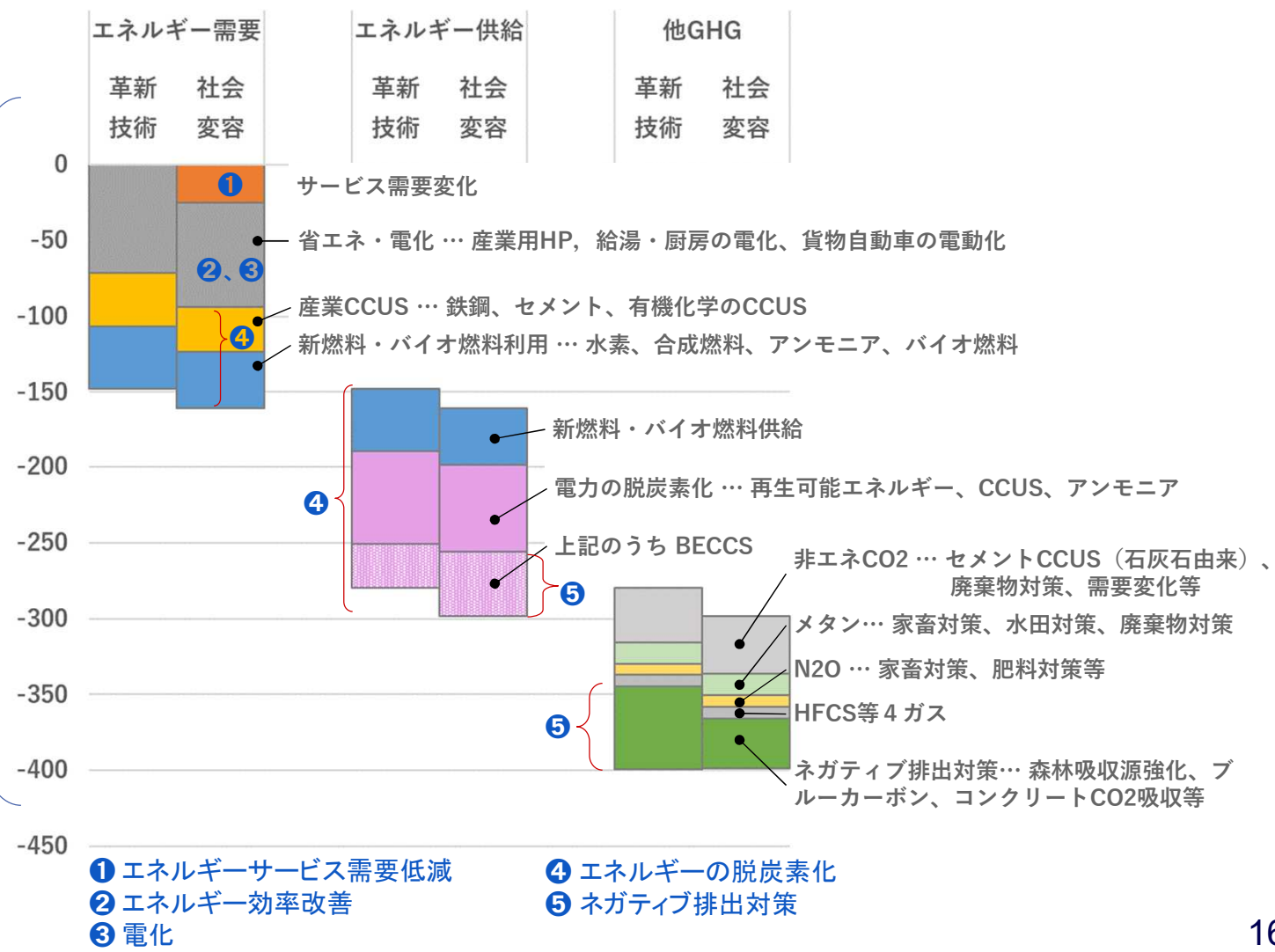
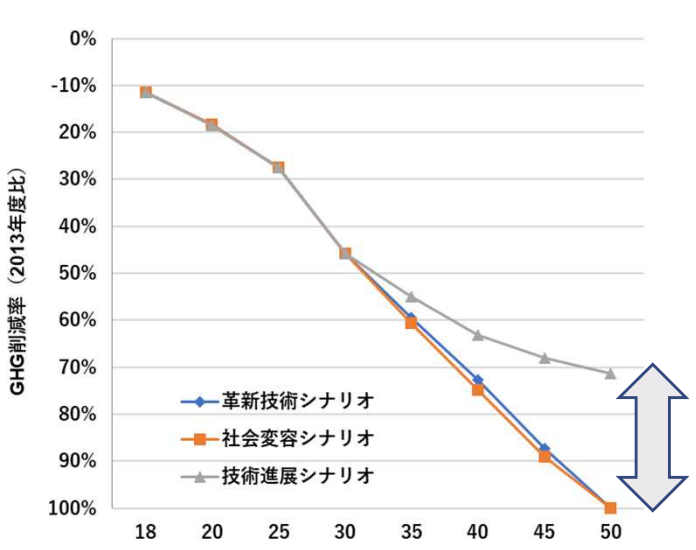
- エネルギー起源CO2排出量は2050年の技術進展シナリオでは全ての部門において化石燃料消費が残存し、300MtCO2を超える排出がある。革新技術・社会変容シナリオにおいてはBECCSの導入もあり、発電部門における排出はマイナスに転じるが、化石燃料由来の炭素を含む合成燃料の消費もあり、全体としてCO2排出量が残存する。
- GHG排出量においてはエネルギー起源CO2以外のガスにおいても排出量が残存するが、森林吸収などのネガティブ排出対策によってオフセットされ、ネットゼロ排出となっている。



将来見通し | GHG削減量(シナリオ間比較)

革新技術・社会変容シナリオでは前述の削減の5つの柱による削減を更に顕在化させ、ネットゼロを実現。エネルギー需要側で148~161MtCO₂、エネルギー供給側で131~137MtCO₂、エネルギー起源CO₂以外で100~120 MtCO₂。特にエネルギーの脱炭素化(④)による削減量が大きな量を占めている。

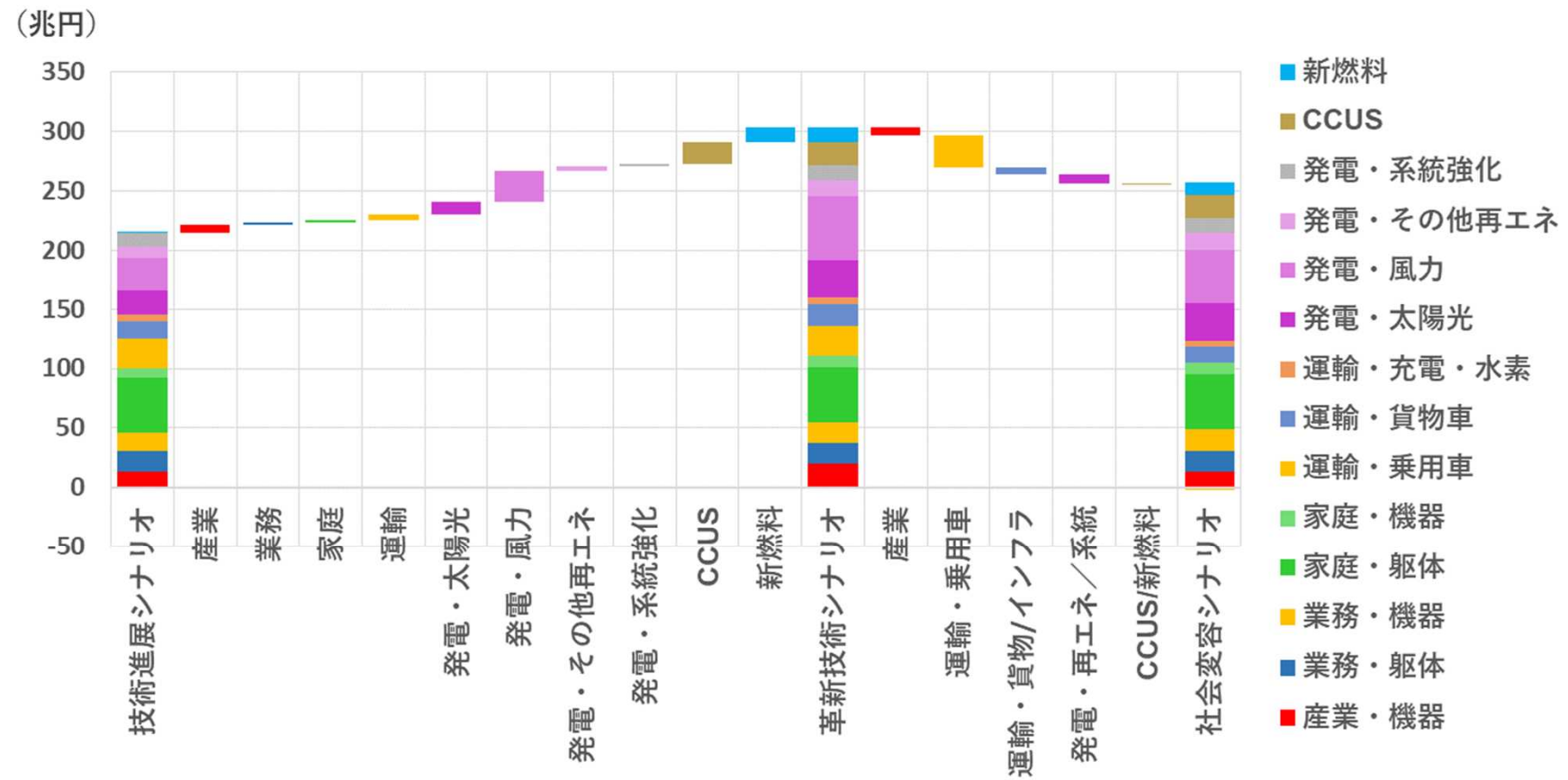
【削減要素別の削減量】



将来見通し | 2050年ネットゼロ排出に向けた総投資額

- ・ GHGネットゼロの実現に向けては、2030年以降に大規模に加速度的な展開が期待される技術に対して、投資額を増加させていくことが必要。特に、太陽光、風力、CCUS、新燃料の金額が大きくなっている。
- ・ 一方、社会変容はGHG低減効果だけでなく、エネルギーシステムに対する投資額を低減させる効果を有する。そのため、社会変容の実現は、GHGネットゼロの実現性を高めることにつながる。

【総投資額（2021～2050年）※】



※・ 技術・対策導入率を現状水準で固定した場合(固定シナリオ)における投資額との比較。期間における投資額を単純に累積した値。機器固定費用に対する投資額であり、維持管理費用、研究開発費用、政策費用は含まれていない。
 ・ エネルギー起源CO2排出量の削減及びセメント生産プロセスのCO2回収のための費用が対象で、その他GHG削減やBECCSを除くネガティブ排出対策のための費用は含まれていない。

- 2030年以降に加速度的な普及が期待される脱炭素技術について、その社会実装が十分に進まなかった場合には、GHGネットゼロの達成は難しくなる。 GHGネットゼロの実現に向けては、既に普及段階にある対策技術を着実に普及させていくとともに、以下に示すような革新的な対策技術を2030年以降、大規模展開させてしていくための後押しが今から必要である。

- 1) 需要側:
 - ① 社会変容 (脱物質・輸送低減)
 - ② 素材生産の革新的技術
 - ③ 電化技術 (産業用HP、電動貨物自動車)
 - ④ エネルギーの脱炭素化 (産業CCUS、新燃料・バイオ燃料利用拡大)
- 2) 供給側:
 - ① 新燃料供給
 - ② 再生可能エネルギー発電
- 3) 非エネルギー
 - ① セメント石灰石由来CO₂のCCUS
 - ② メタン・N₂O・HFCs等4ガス対策
 - ③ 森林吸収強化等

- エネルギー由来のCO₂削減に向けて、上記対策を後押しを進めていくために投資が必要となるが、特に再生可能エネルギー発電、CCUS、新燃料の普及に対する投資額を増加させる必要がある。 ネットゼロに向けた投資によって、エネルギー自給率は大幅に向上し、また、輸入額も現状よりも年間10兆円以上低減される見込みである。

- 一方で、デジタル化・循環経済の進展を前提とした社会変容は、エネルギーシステムに対する投資額を低減させる効果を有するために、脱炭素の推進に向けて合わせて実施すべき対策となろう。さらに、技術的・社会的な制約・不確実性が高い、新燃料、変動性の高い電力、ネガティブ排出対策などに対する依存を低減することにつながり、脱炭素社会の実現性を高めることに繋がる。

革新技術シナリオと社会変容シナリオとの比較

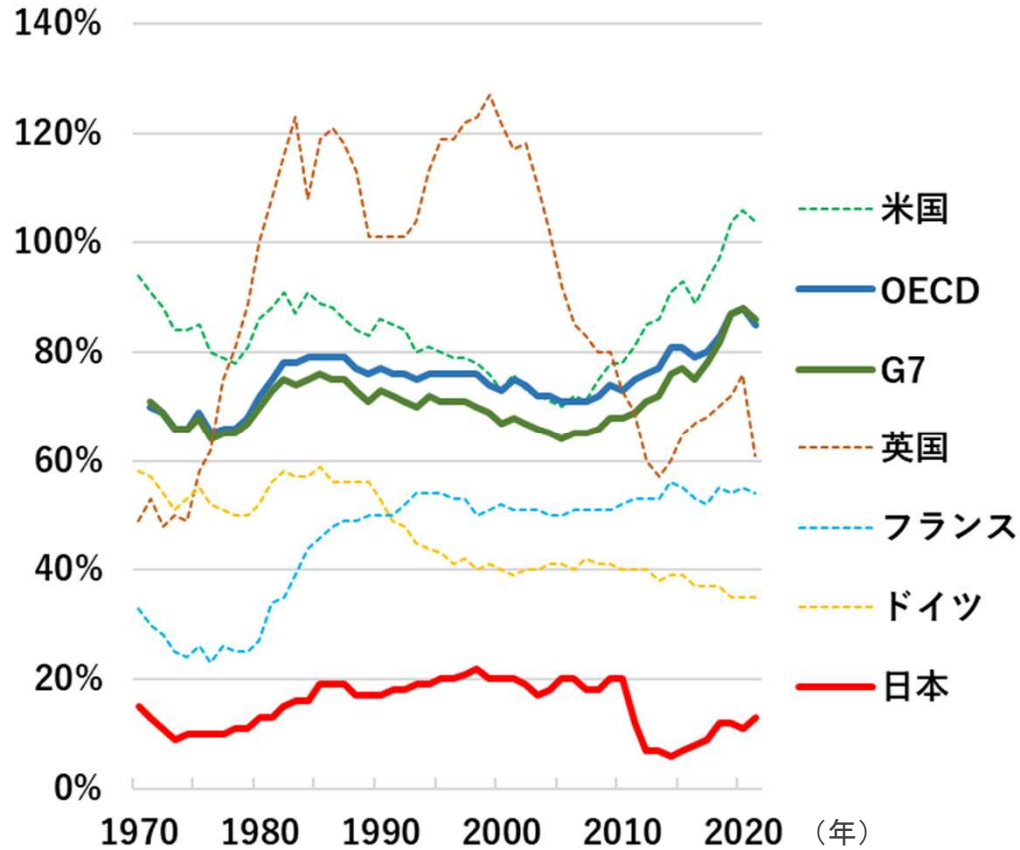
| | | |
|----------------------|-----------|---|
| ・ 投資額の低減 | 30年間の総投資額 | 303兆円 → 255兆円 |
| ・ 新燃料需要量の低減 | 水素需要量 | 47 Mtoe → 43Mtoe |
| ・ 発電電力量の低減 | PV・風力発電量 | 943億kWh → 843億kWh |
| ・ ネガティブ排出対策に対する依存の低減 | | 84MtCO ₂ → 77MtCO ₂ |

- GHGネットゼロの実現のためには、革新的技術の社会実装と、(人々の効用等を維持または向上させつつ)エネルギー需要を低減させるような方向への需要側対策への社会変容を両輪して推進していくことの重要性が示された。一方で将来の技術開発や社会動向は不確実性が高いため、今後更に様々な可能性を視野に入れて検討を行っていく所存である。

- ・ 経時的及び詳細セグメント毎の緩和策の障壁・導入可能性の分析
- ・ 新燃料、バイオ燃料、CO₂貯留に関する海外依存に関する複数シナリオによる分析
- ・ 再生可能エネルギー発電の導入可能量とその影響に関する複数シナリオによる分析
- ・ 更なる社会変容の可能性及びその効果分析

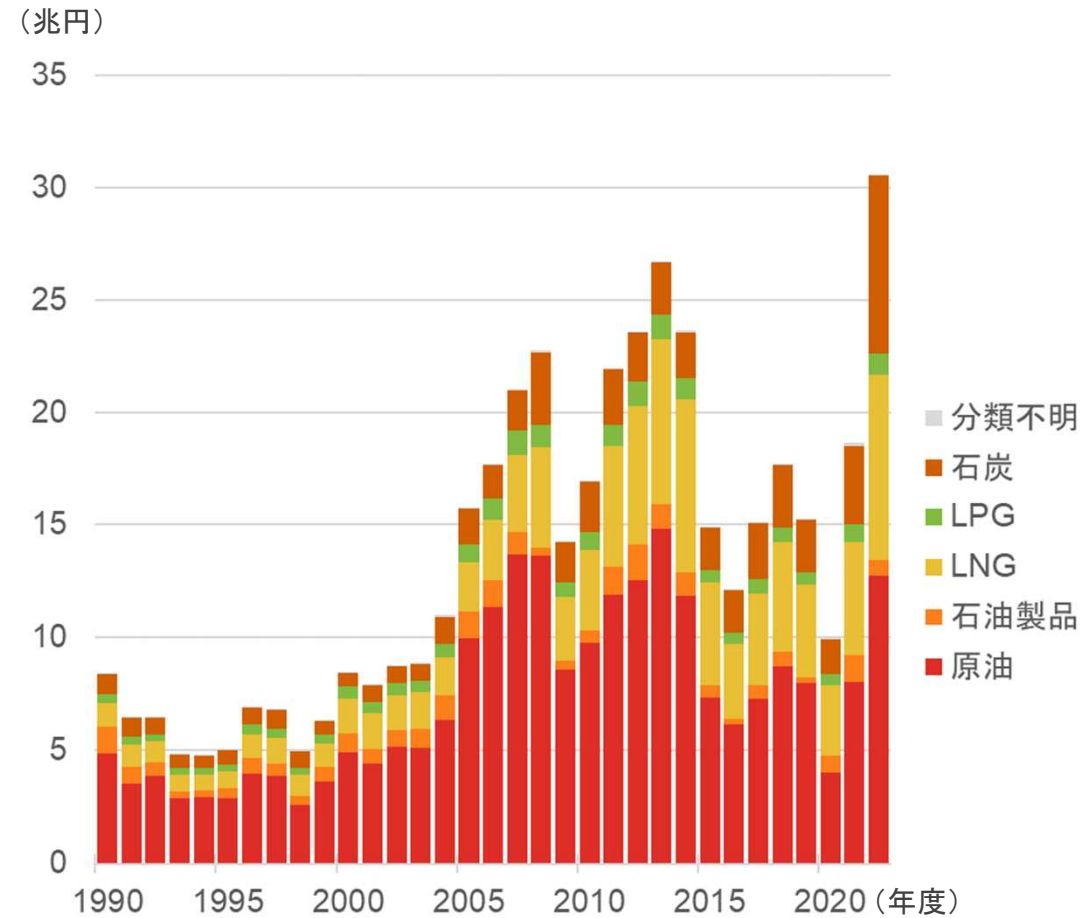
参考資料

【エネルギー自給率】



(出典) IEA World Energy Balances より作成

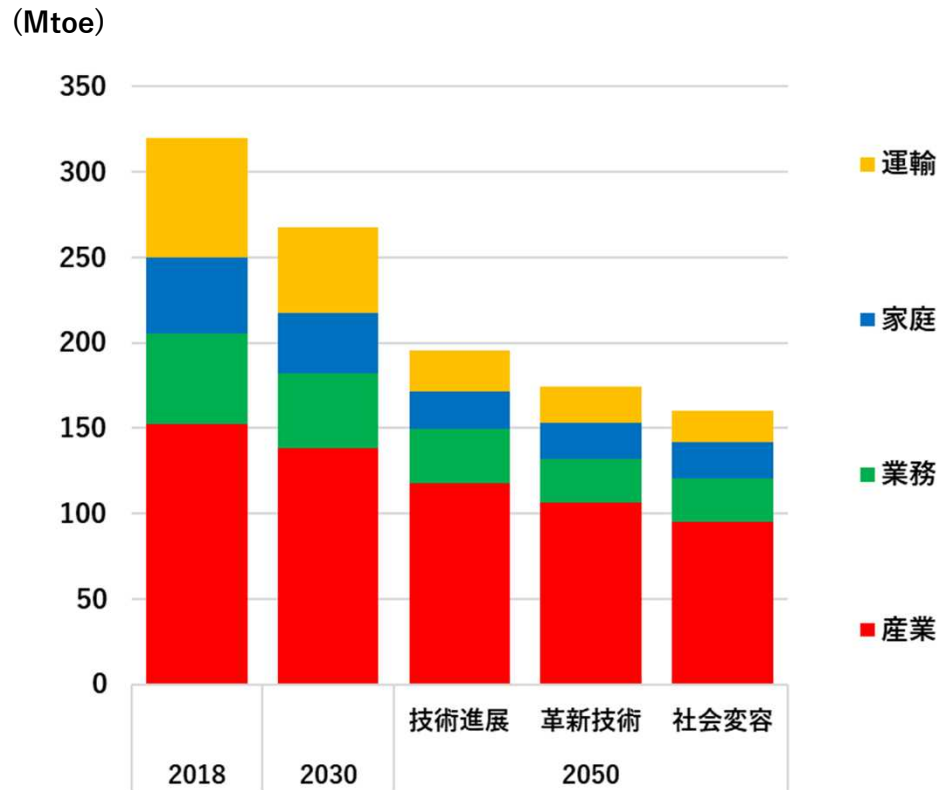
【化石燃料 純輸入額】



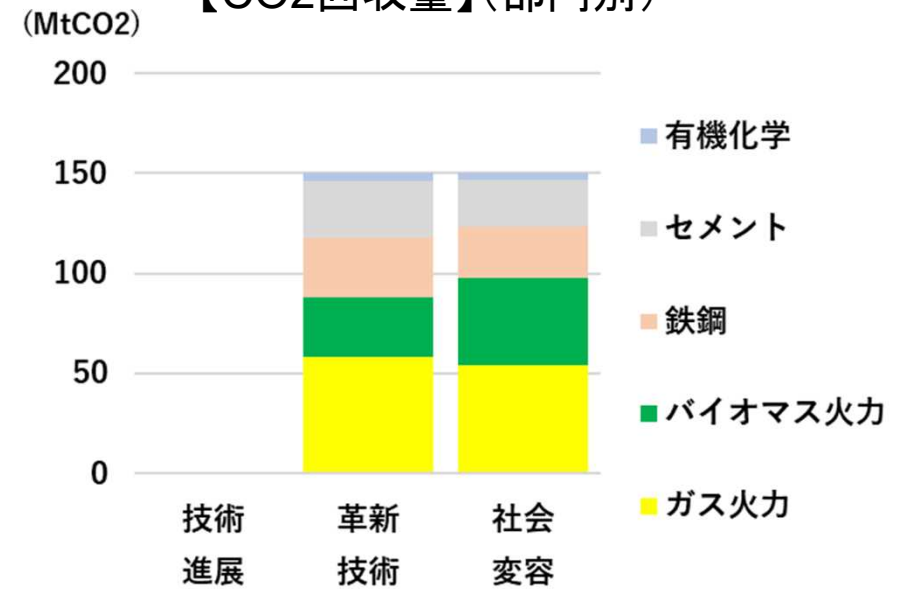
注) 2022年度は2023年2月までの値

(出典) 財務省 貿易統計より作成

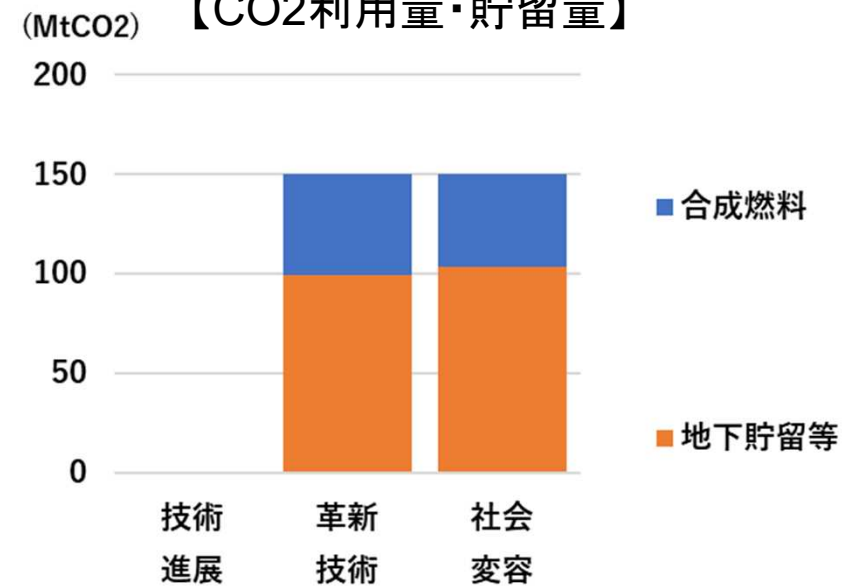
【最終エネルギー消費量】(シナリオ別×部門別)



【CO2回収量】(部門別)



【CO2利用量・貯留量】



参考 | 本分析におけるGHG削減量の算定方法

| 削減項目 | 削減量の算定方法（技術進展シナリオと革新技術・社会変容シナリオとの比較） |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> 活動量変化 省エネ電化 | <ul style="list-style-type: none"> CO2を燃料由来と電力由来に分ける $C=C^f+C^{el}$ 燃料由来と電力由来、それぞれ技術進展シナリオのCO2原単位(C_0^f/E_0^f), (C_0^{el}/E_0^{el})で固定して算定した排出量を比較 $\Delta C^f = C_1^{f'} - C_0^f = D_1 \times (E_1^f/D_1) \times (C_0^f/E_0^f) - D_0 \times (E_0^f/D_0) \times (C_0^f/E_0^f)$ $\Delta C^{el} = C_1^{el'} - C_0^{el} = D_1 \times (E_1^{el}/D_1) \times (C_0^{el}/E_0^{el}) - D_0 \times (E_0^{el}/D_0) \times (C_0^{el}/E_0^{el})$ ΔDの削減寄与を活動量変化、$\Delta(E/D)$の削減寄与を省エネ・電化による削減とした。それぞれ、燃料由来と電力由来分を合計。 |
| <ul style="list-style-type: none"> 燃料転換 需要側CCS | <ul style="list-style-type: none"> 燃料由来の排出量C^fを化石燃料由来$C^{f,f}$と新燃料由来$C^{f,n}$に分ける $C^f = C^{f,f} + C^{f,n}$ 化石燃料由来について、需要側のCCSによる効果と燃料転換（主にバイオ燃料利用）に分ける $\Delta C^{f,f} = C_1^{f,f'} - C_1^{f,f} = \Delta C^{f,f}(CCS) + \Delta C^{f,f}(燃料転換)$ |
| <ul style="list-style-type: none"> 新燃料 | <ul style="list-style-type: none"> 新燃料消費量$E_1^{f,n}$に技術進展シナリオの原単位を乗じたものと新燃料の消費に伴う排出量$C_1^{f,n}$との比較 $\Delta C = C_1^{f,n'} - C_1^{f,n}, \quad C_1^{f,n'} = E_1^{f,n} \times (C_0^f/E_0^f)$ 新燃料の消費に伴う排出量$C_1^{f,n}$は新燃料の消費に伴う排出量と新燃料の生産に伴う排出量の合計。後者は主に電力由来となり、その計算には技術進展シナリオの原単位を用いる。 輸入される新燃料については燃焼、生産ともに排出量はゼロとして計上。 $C_1^{f,n} = C_1^{f,n}(新燃料燃焼) + C_1^{f,n}(新燃料生産)$ $C_1^{f,n}(新燃料燃焼) = E_1^{f,n} \times (C_1^{f,n}/E_1^{f,n})$ $C_1^{f,n}(新燃料生産) = [新燃料の生産のための電力消費量] \times (C_0^{el}/E_0^{el})$ |
| <ul style="list-style-type: none"> 電力の脱炭素化 | <ul style="list-style-type: none"> $\Delta C = (E_1^{el} + [新燃料の生産のための電力消費量]) \times \{(C_0^{el}/E_0^{el}) - (C_1^{el}/E_1^{el})\}$ $= \Delta C(BECCSによるCO2回収) + \Delta C(脱炭素電源)$ $\Delta C_i(脱炭素電源) = \Delta C(脱炭素電源) \times \Delta EL_i / \sum \Delta EL_i$ |

参考 | 活動量・削減対策導入量【家庭部門】

| | 削減 | 項目 | 対策 | 単位 | 2018 | 2030 | 2040 | 2050 |
|--------|---------------|--------|----------------|------------------------|--------|-----------|------------|--------|
| 活動量 | | 世帯数 | — | 千世帯 | 54,801 | 55,064 | 52,256 | 49,743 |
| 削減対策 | サービス 需要低減 | 暖房 | 住宅高断熱化／ZEH水準以上 | 普及率(新築) | 10% | 100% | 100% | 100% |
| | | | (うちZEH+水準) | 普及率(新築) | 0% | 50% | 75% | 100% |
| | | | 既築住宅の断熱改修 | 年間実施戸数 | | 40万戸 | 40万戸 | 40万戸 |
| | | 照明・家電等 | エネルギー管理(10%改善) | 普及率 | 1% | 80% | 100% | 100% |
| | エネルギー 効率改善 | 冷暖房 | エアコン | 効率 (販売ベース) | 6.0 | 6.8 | 7.4 | 8.0 |
| | | | 給湯 | 電気ヒートポンプ | 3.3 | 3.9 | 4.4 | 5.0 |
| | | 照明 | LED電球 | 普及率 (保有ベース) | 46% | 96% | 100% | 100% |
| | | | LED照明器具 | 30% | 59% | 99% | 100% | |
| | | 家電機器等 | 冷蔵庫 | 効率 (販売ベース, '18=1.0) | 1.00 | 0.79 | 0.58 | 0.46 |
| | | | テレビ | | 1.00 | 0.45 | 0.33 | 0.21 |
| | | | DVDレコーダー | | 1.00 | 0.91 | 0.85 | 0.79 |
| | | | 電子計算機 | | 1.00 | 0.44 | 0.26 | 0.15 |
| | | | 磁気ディスク装置 | | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| | | | ルータ | | 1.00 | 0.89 | 0.81 | 0.73 |
| | | | 電子レンジ | | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| ジャー炊飯器 | | | 1.00 | | 0.96 | 0.93 | 0.90 | |
| 温水洗浄便座 | 1.00 | | 0.80 | | 0.68 | 0.57 | | |
| 電化促進 | 空調 | エアコン暖房 | 暖房量における比率 | 67% | 78% | 88% | 95% | |
| | 給湯 | 電気HP機器 | 給湯量における比率 | 15% | 38% | 38% 70% | 75% 80% | |
| | 厨房 | 電力厨房機器 | 厨房サービスにおける比率 | 23% | 23% | 23% 52% | 23% 100% | |
| 新燃料 | 合成燃料 | - | 燃料消費量比 | 0% | 0% | 0% 0% | 0% 100% | |



注) 同一セル内に2つの数字を示している場合、左は「技術進展」シナリオ、右は「革新技術」「社会変容」シナリオ。

参考 | 活動量・削減対策導入量【業務部門】

| | 削減 | 項目 | 対策 | 単位 | 2018 | 2030 | 2040 | 2050 |
|---------------|--------------|---------|------------------------|---------------|----------|-----------|------------|---------|
| 活動量 | | 業務延床面積 | — | 百万m2 | 1,903 | 1,965 | 1,881 | 1,757 |
| 削減対策 | サービス 需要低減 | 暖房 | 新築住宅の高断熱化 ZEB水準 | 普及率(新築) | 24% | 100% | 100% | 100% |
| | | | 既築建築物の断熱改修 | ストック比 | | 0.5%/年 | 0.5%/年 | 0.5%/年 |
| | | 照明・動力等 | エネルギー管理(10%改善) | 普及率 | 16% | 48% | 80% | 100% |
| エネルギー 効率改善 | 冷暖房 | 給湯 | 電気ヒートポンプ | 効率 (販売ベース) | 4.6~5.1※ | 5.1~5.7 | 5.7~6.3 | 6.2~6.9 |
| | | | 電気ヒートポンプ | | 3.9 | 4.6 | 5.2 | 5.7 |
| | 照明 | LED電球 | 普及率 (保有ベース) | 73% | 98% | 100% | 100% | |
| | | LED照明器具 | | 37% | 100% | 100% | 100% | |
| | 家電機器等 | 複写機 | 効率 (販売ベース, '18=1.0) | 1.00 | 0.73 | 0.57 | 0.44 | |
| | | プリンタ | | 1.00 | 0.75 | 0.59 | 0.46 | |
| | | ルータ | | 1.00 | 1.17 | 1.33 | 1.51 | |
| | | サーバ | | 1.00 | 0.77 | 0.61 | 0.49 | |
| | | ストレージ | | 1.00 | 0.62 | 0.42 | 0.28 | |
| | | 冷凍冷蔵機器 | | 1.00 | 0.86 | 0.76 | 0.67 | |
| | | ショーケース | | 1.00 | 0.71 | 0.54 | 0.40 | |
| | | 自動販売機 | | 1.00 | 0.65 | 0.45 | 0.31 | |
| | 変圧器 | 1.00 | 0.89 | 0.80 | 0.73 | | | |
| | 電化促進 | 空調 | ヒートポンプ暖房 | 暖房量における比率 | 59% | 76% | 94% | 96% |
| 給湯 | | 電気HP機器 | 給湯量における比率 | 2% | 8% | 13% 74% | 18% 100% | |
| 厨房 | | 電力厨房機器 | 厨房サービスにおける比率 | 19% | 19% | 19% 38% | 19% 100% | |
| 新燃料 | 合成燃料 | 燃料消費量比 | | 0% | 0% | 0% 0% | 0% 100% | |

※ 冷暖房の効率は、個別式、中央式、冷房専用、冷暖房兼用などによる違いを幅で示している。

注) 同一セル内に2つの数字を示している場合、左は「技術進展」シナリオ、右は「革新技術」「社会変容」シナリオ。

参考 | 活動量・削減対策導入量【産業部門 1/2】

| | 削減 | 項目 | 対策 | 単位 | 2018 | 2030 | 2040 | 2050 | |
|------|---------------|--------|----------------|-----------------|------------|------|------|------|------|
| 活動量 | 生産量 | 鉄鋼 | — | 粗鋼生産量 (百万トン) | 102.9 | 90.0 | 84.0 | 78.0 | |
| | | セメント | — | セメント生産量 (百万トン) | 60.2 | 56.0 | 53.2 | 54.9 | |
| | | 有機化学 | — | エチレン生産量 (百万トン) | 6.2 | 5.7 | 5.3 | 4.7 | |
| | | 紙パルプ | — | 紙板紙生産量 (百万トン) | 26.0 | 22.0 | 20.6 | 19.8 | |
| | | 生活関連財 | — | 生産指数 ('18=1.00) | 1.00 | 1.08 | 1.06 | 0.94 | |
| | | 機械 | — | 生産指数 ('18=1.00) | 1.00 | 1.17 | 1.18 | 1.33 | |
| | | その他製造業 | — | 生産指数 ('18=1.00) | 1.00 | 1.00 | 0.99 | 0.99 | |
| 削減対策 | サービス 需要低減 | 鉄鋼 | 電炉鋼の利用拡大 | 粗鋼生産比 | 25% | 25% | 37% | 50% | |
| | | セメント | クリンカ比率の低減 | クリンカ比率 | 84% | 82% | 76% | 70% | |
| | | 横断 | 物質需要の低減 | | — | — | ※ | ※ | |
| | エネルギー 効率改善 | 鉄鋼 | 在来省エネ技術 | | 粗鋼製品比 | 91% | 100% | 100% | 100% |
| | | | 水素還元製鉄 | | 鉄鉱石由来粗鋼比 | 0% | 0% | 20% | 50% |
| | | | 高炉+CCUS | | 鉄鉱石由来粗鋼比 | 0% | 0% | 10% | 50% |
| | | セメント | 在来省エネ技術 | | クリンカ生産比 | 40% | 100% | 100% | 100% |
| | | | キルン+CCUS | | クリンカ生産比 | 0% | 0% | 3% | 100% |
| | | 有機化学 | 在来省エネ技術 | | エチレン生産比 | 40% | 100% | 100% | 100% |
| | | | バイオ由来原料 | | エチレン生産比 | 0% | 4% | 19% | 33% |
| | | | 合成燃料由来原料 | | エチレン生産比 | 0% | 0% | 17% | 33% |
| | | | 化石由来CO2排出+CCUS | | 化石由来CO2発生比 | 0% | 0% | 0% | 100% |
| | | 紙パルプ | 在来省エネ技術 | | 紙板紙生産比 | — | 37% | 100% | 100% |
| | | | 革新的技術 | | 紙板紙生産比 | | 0% | 100% | 100% |

※ スライド7「社会変容シナリオ」における財や運輸サービスの低減に関する想定 参照

参考 | 活動量・削減対策導入量【産業部門 2/2】

| | 削減 | 項目 | 対策 | 単位 | 2018 | 2030 | 2040 | 2050 |
|--|-----|-------|-----------|--------------|----------|----------|----------|-----------|
| | | 家電機器等 | 低炭素工業炉 | 普及率 ※ | 31 ~ 37% | 51 ~ 54% | 64 ~ 77% | 100% |
| | | | 産業用モーター | 普及率 | 6% | 59% | 100% | 100% |
| | | | インバータ制御 | 普及率 | 37% | 73% | 73% | 73% |
| | | | 高性能ボイラ | 普及率 | 56% | 17% | 100% | 100% |
| | | | 産業用ヒートポンプ | 普及率 | 0% | 4% | 8% 49% | 11% 62% |
| | | | 空調の高効率化 | 効率(2018=1.0) | 1.00 | 1.13 | 1.26 | 1.36 |
| | | | 照明の高効率化 | 普及率(LED比率) | 41% | 100% | 100% | 100% |
| | 新燃料 | 合成燃料 | 燃料消費量比 | | 0% | 0% | 0% 0% | 0% 100% |

※ 低炭素工業炉の普及率の幅は、エネルギー源が電力と燃料のものの違いによる。

注) 同一セル内に2つの数字を示している場合、左は「技術進展」シナリオ、右は「革新技術」「社会変容」シナリオ。

参考 | 活動量・削減対策導入量【運輸部門】

| | 削減 | 項目 | 対策 | 単位 | 2018 | 2030 | 2040 | 2050 |
|------|---------------|------------|--------------------|------------|-------|-----------|------------|-----------|
| 活動量 | 生産量 | 旅客輸送量 | — | 10億人km | 1,459 | 1,375 | 1,280 | 1,176 |
| | | 貨物輸送量 | | 10億トンkm | 411 | 423 | 406 | 399 |
| 削減対策 | サービス 需要低減 | 旅客輸送 | 公共交通機関の利用促進 | 10億人km | | 10 | 16 20 | 21 31 |
| | | | デジタル化 | — | | | ※ | ※ |
| | | 貨物輸送 | モーダルシフト | 10億トンkm | | 14 | 21 28 | 28 42 |
| | | | 脱物質化 | — | | | ※ | ※ |
| | エネルギー 効率改善 | 乗用車 | ICV・HEV 効率改善 | (’18=1.00) | 1.00 | 0.92~0.93 | 0.80~0.83 | 0.79~0.83 |
| | | | BEV・FCV 効率改善 | (’18=1.00) | 1.00 | 0.92~0.93 | 0.80~0.81 | 0.79~0.81 |
| | | 貨物車 | ICV・HEV 効率改善 | (’18=1.00) | 1.00 | 0.89~0.93 | 0.76~0.82 | 0.73~0.82 |
| | | | BEV・FCV 効率改善 | (’18=1.00) | 1.00 | 0.89~0.91 | 0.76~0.81 | 0.73~0.81 |
| | | | トラック輸送効率改善 | (’18=1.00) | 1.00 | 0.91 | 0.87 | 0.83 |
| | | 鉄道 | エネルギー効率改善 | (’18=1.00) | 1.00 | 0.91 | 0.86 | 0.82 |
| | | 船舶 | エネルギー効率改善 | (’18=1.00) | 1.00 | 0.91 | 0.82 | 0.73 |
| | | 航空 | エネルギー効率改善 | (’18=1.00) | 1.00 | 0.94 | 0.83 | 0.73 |
| | 電化 | 乗用車 | 電動車 (BEV/FCV) 普及拡大 | 乗用車輸送量比 | 0% | 16% | 63% | 93% |
| | | 貨物車 | 電動車 (BEV/FCV) 普及拡大 | 貨物車輸送量比 | 0% | 6% | 21% 34% | 41% 77% |
| | 新燃料 | 自動車 | 合成燃料・バイオ燃料 | 燃料消費量比 | 0% | 0% | 0% 13% | 0% 100% |
| | | 鉄道 | 合成燃料・バイオ燃料 | 燃料消費量比 | 0% | 0% | 0% 25% | 0% 100% |
| 船舶 | | アンモニア | 燃料消費量比 | 0% | 0% | 0% 50% | 0% 100% | |
| 航空 | | 合成燃料・バイオ燃料 | 燃料消費量比 | 0% | 10% | 20% 20% | 30% 100% | |

※ スライド7「社会変容シナリオ」における財や運輸サービスの低減に関する想定 参照

注) 同一セル内に2つの数字を示している場合、左は「技術進展」シナリオ、右は「革新技術」「社会変容」シナリオ。

参考 | 削減対策導入量【CH4/N2O/HFCs他4ガス】

| 削減 | 項目 | 対策 | 2030 | 2040 | 2050 | |
|----------|--------------|--------------|---|--------------------|--|--|
| 削減 対策 | 農畜産業 | 消化管内発酵 | 0% | 0% ▲40% | 0% ▲80% | |
| | | 家畜排せつ物管理 | 0% | 0% ▲15% | 0% ▲30% | |
| | | 稲作 | ▲9% | ▲18% ▲45% | ▲45% ▲80% | |
| | | 農用地の土壌 | ▲5% | ▲10% ▲42% | ▲15% ▲80% | |
| | 廃棄物 | 固形廃棄物の処分 | ・有機性一般廃棄物の直接埋立削減 ・産業廃棄物の最終処分量削減 | ▲17% | ▲35% ▲44% | ▲54% ▲72% |
| | | 廃棄物の焼却と野焼き | ・一廃・プラスチック類排出抑制・再利用促進 ・産廃・プラスチック類、廃油の焼却量の低減 ・下水汚泥焼却施設の燃焼高度化 | CO2▲20% N2O▲52% | CO2 ▲37% N2O ▲52% GHG ▲42 ~▲68% | CO2 ▲54% N2O ▲52% GHG ▲84% |
| | | 廃棄物のエネルギー利用 | ・一廃・プラスチック類の排出抑制・再利用促進 ・産廃・プラスチック類、廃油の焼却量の低減 | CO2▲20% | CO2 ▲37% GHG ▲42 ~▲53% | CO2 ▲54% GHG ▲85% |
| | | 排水の処理と放出 | | 0% | ▲17% ▲34% | ▲30% ▲61% |
| | HFCs等 4ガス | HFCs | | ▲70% | ▲80% ▲90% | ▲80% ▲90% |
| | | PFCs/SF6/NF3 | | ▲30% | ▲60% ▲90% | ▲60% ▲90% |

注) 同一セル内に2つの数字を示している場合、左は「技術進展」シナリオ、右は「革新技術」「社会変容」シナリオ。

■ 再生可能エネルギー最大導入量の想定

| | 発電容量(万kW) 最大導入量 | | | | 備考: 2050年想定値の設定方法・参照元など (A=技術進展, B=革新技術・社会変容) |
|---------|-----------------|--------|--------------|--------------------|--|
| | 2018 | 2030 | 2050 技術進展 | 2050 革新技 術・社会変容 | |
| 太陽光発電 | 5,337 | 11,053 | 20,207 | 35,670 | A: 2020~30年の増加傾向を延長 B: 環境省REPOS(2020) 導入可能量シナリオ3(農地分のみ8割を計上) |
| 陸上風力 | 374 | 1,790 | 4,456 | 4,456 | A・B: 2020~30年の増加傾向を延長 |
| 洋上風力 | — | 570 | 4,500 | 17,785 | A: 洋上風力産業ビジョン(2020)における2040年案件形成目標の最大値 B: 環境省REPOS(2020) 導入可能量シナリオ1 |
| 地熱発電 | 53 | 150 | 332 | 332 | A・B: 2020~30年の増加傾向を延長 |
| 水力発電 | 2,211 | 2,320 | 2,460 | 2,623 | A: 2020~30年の増加傾向を延長 B: 中小水力 環境省REPOS(2020) 導入可能量シナリオ3、大規模は現状維持 |
| バイオマス発電 | 403 | 800 | 1,594 | 1,594 | A・B: 2020~30年の増加傾向を延長 |

■ その他発電に関わる想定

| | 2018 | 2030 | 2050 技術進展 | 2050 革新技 術・社会変容 | |
|---------|---------|-----------|--------------|--------------------|--|
| 原子力発電 | 649億kWh | 1,970億kWh | 1,400億kWh | 1,400億kWh | 2021年6月総合資源エネルギー調査会 基本政策分科会に提出した分析における想定を踏襲して、2050年発電電力量の1割程度と想定。3シナリオとともに同一の発電電力量とし、社会変容シナリオの電力量を基準にこの値を設定。 |
| 国内炭素貯留量 | 0 | 0 | 1億t-CO2 | 1億t-CO2 | GX実現に向けた基本方針に記された見込みの範囲内で想定。 |

■ 脱炭素エネルギーの生産機器の費用

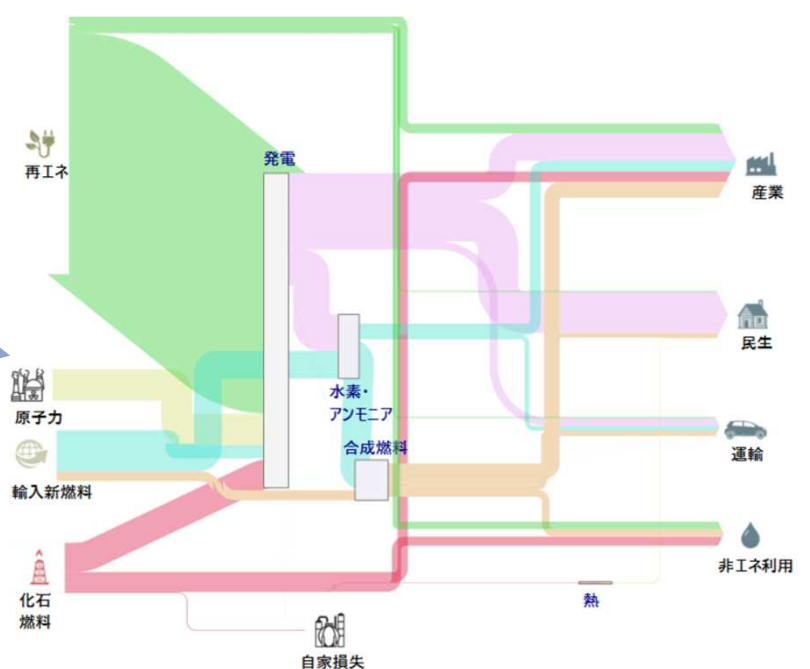
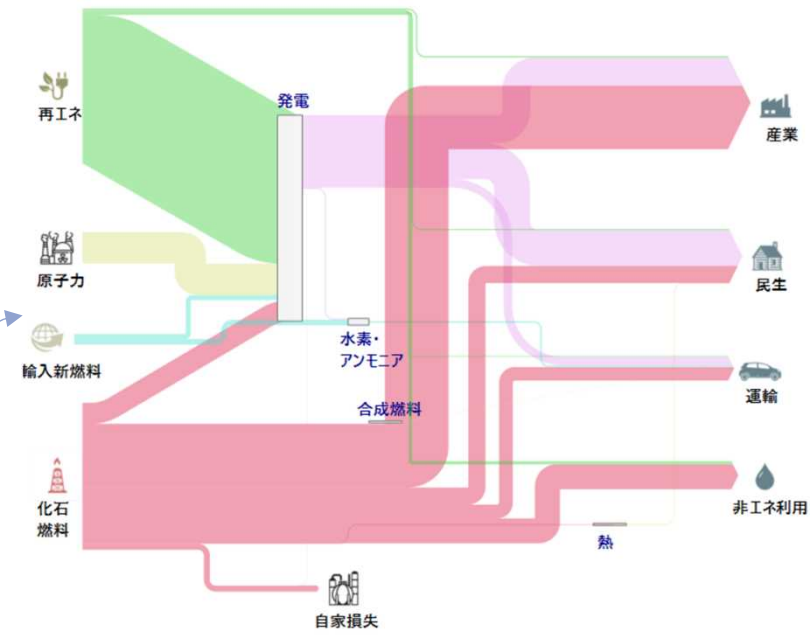
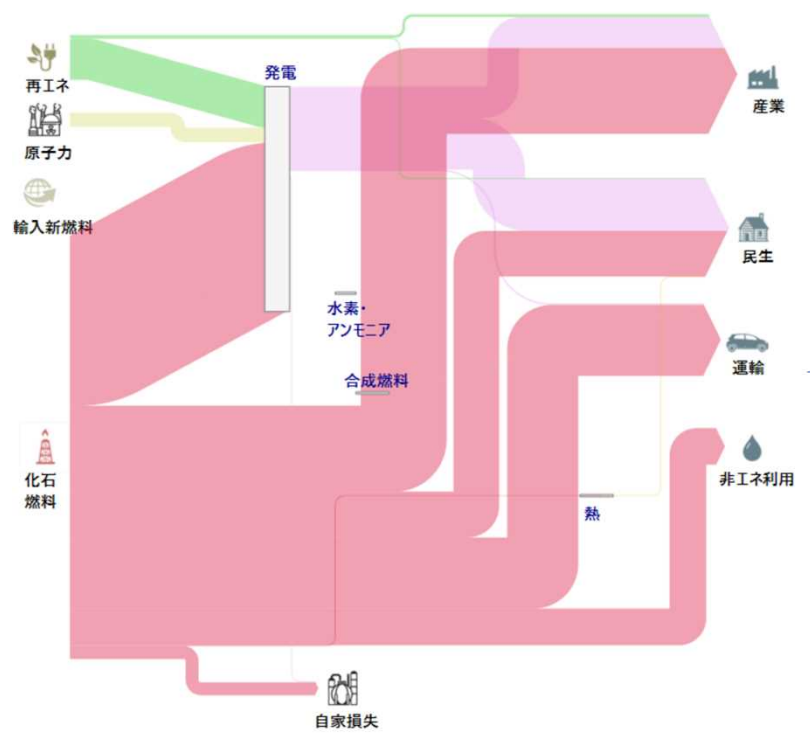
| | | 2018 | 2030 | 2050 | 出典等 |
|--------------------|------------------|---------|---------|---------|--|
| 太陽光発電 (事業用～住宅用) | 固定費(千円/kW) | 256~333 | 111~137 | 55 | 2030年 発電コスト検証WG(2021) IEA SDS習熟率をもとに想定 2050年 IEA WEO 2022 欧米における2050年の見通しをもとに想定 |
| | 維持費(千円/kW/年) | 3.0~4.8 | 3.0~4.8 | 3.0~4.8 | 発電コスト検証WG(2021) |
| 陸上風力 | 固定費(千円/kW) | 376 | 248 | 162 | 2030年 発電コスト検証WG(2021) 2050年 IEA WEO 2022 欧米における2050年の見通しをもとに想定 |
| | 維持費(千円/kW/年) | 10.4 | 10.4 | 10.4 | 発電コスト検証WG(2021) |
| 洋上風力 | 固定費(千円/kW) | 515 | 507 | 199 | 2030年 発電コスト検証WG(2021) 2050年 IEA WEO 2022 欧米における2050年の見通しをもとに想定 |
| | 維持費(千円/kW/年) | 22.5 | 18.4 | 13.5 | 2030年 発電コスト検証WG(2021) 2050年 IEA (2019) Offshore Wind Outlook 2019の見通しをもとに想定 |
| CO2回収 | 固定費(千円/tCO2) | 15 | 7 | 7 | カーボンリサイクルロードマップ(2021) 2030年コスト目標(低圧 2,000円台/tCO2)を満たすように想定 |
| | 維持費(千円/tCO2/年) | 0.8 | 0.4 | 0.4 | |
| CO2貯留 | 固定費(千円/tCO2) | — | 252 | 142 | CCS長期ロードマップ検討会 最終とりまとめ(2023)をもとに想定 |
| | 維持費(千円/tCO2/年) | — | 1.0 | 0.4 | |
| 水分解装置 | 固定費(千円/toe-H2) | 472 | 341 | 204 | IEA (2019) The Future of Hydrogen |
| | 維持費(千円/toe-H2/年) | 7 | 5 | 3 | |

■ エネルギー価格

| | | 2018 | 2021 | 2030 | 2050 | 出典等 |
|-------|----------|---------|---------|-------|------|--|
| 石炭 | (円/kgoe) | 25.5 | 33.0 | 16.0 | 12.7 | 実績値:財務省 通関統計の輸入価格から消費税、エネルギー税を考慮して算定 2030年、2050年:IEA World Energy Outlook (2022) Announced Pledges Scenario (APS)の想定値をもとに算定 |
| 原油 | (円/kgoe) | 62.9 | 68.6 | 63.6 | 59.7 | |
| LNG | (円/kgoe) | 51.2 | 59.0 | 52.7 | 42.8 | |
| アンモニア | (円/kgoe) | (75.2) | (75.2) | 58.9 | 58.9 | 燃料アンモニア導入官民協議会 中間とりまとめ(2021)より想定 |
| 水素 | (円/kgoe) | (327.0) | (327.0) | 134.5 | 65.4 | 水素・燃料電池戦略ロードマップ(2019)より想定 |

2050年「技術進展」シナリオ

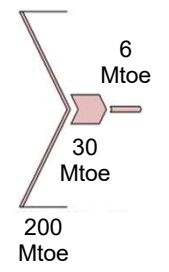
2018年



エネルギー種

- 化石燃料
- 原子力
- 再生可能エネルギー
- 合成燃料
- 電力
- 水素・アンモニア
- 熱

矢印幅とエネルギー量の関係



2050年「社会変容」シナリオ