

Discussion Paper Series

Social Systems Division, NIES

No. 2024-03

日本における2050年脱炭素社会実現に向けた排出経路の追加分析

日比野剛*・芦名秀一・増井利彦

国立環境研究所 社会システム領域

〒305-8506 茨城県つくば市小野川16-2

*hibino.go@nies.go.jp

要旨：日本において2050年までに温室効果ガス排出量を実質ゼロにする脱炭素社会（GHGネットゼロ）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る。2023年4月に公表した「2050年脱炭素社会実現に向けた排出経路分析」では、2030年以降に注力すべき対策について考察した。本報告では、2050年GHGネットゼロの実現に向けた対策の検討のために、脱炭素技術の組み合わせと経路について、追加的な分析を実施した。2050年GHGネットゼロの実現のためには、再生可能エネルギーの導入や、水素や合成燃料に代表される新燃料の普及が不可欠であるが、諸条件の不確実性も大きく、その効果や影響を幅広にとらえておくことが必要である。そこで、発電電力量に対する再生可能エネルギーの比率や水素や合成燃料に代表される新燃料の国産・輸入比率について、複数の想定を行い、対策の組み合わせの差異がもたらすエネルギーシステムへの影響について分析した。加えて、2050年に向けて削減経路を直線的に推移させていくために必要となる経過年における対策の導入程度を示し、日本においてGHGネットゼロに向けて2050年までに取り得る政策の方向性について考察を行った。

キーワード：脱炭素社会、GHGネットゼロ、再生可能エネルギー、新燃料、モデル分析

2024年 4月



Discussion Paper Series

Social Systems Division, NIES

No. 2024-03

Additional analysis of emission routes towards realizing a decarbonized society in 2050 in Japan

Go HIBINO* · Shuichi ASHINA · Toshihiko MASUI

Social Systems Division, National Institute for Environmental Studies

〒305-8506 16-2 Onogawa, Tsukuba, Ibaraki

*hibino.go@nies.go.jp

Abstract:

In order to achieve a decarbonized society aiming for net-zero greenhouse gas emissions (GHG Net Zero) in Japan by 2050, it is essential to undertake large-scale implementation of decarbonization technologies that are currently in the demonstration and early deployment stages, particularly beyond 2030. The "Emission Pathway Analysis for Achieving a Decarbonized Society by 2050," published in April 2023, examined measures to be focused on post-2030.

This report conducted additional analysis on the combination and pathways of decarbonization technologies to examine measures for achieving GHG Net Zero by 2050. While the introduction of renewable energy and the dissemination of new fuels such as hydrogen and synthetic fuels are essential, uncertainties in various conditions are significant, necessitating a broad understanding of their effects and impacts. Therefore, in this analysis, multiple scenarios were considered regarding the proportion of renewable energy in electricity generation and the ratio of domestically produced to imported new fuels, and the impacts on the energy system resulting from the differences in combinations of measures were analyzed.

Furthermore, the report discussed the degree of introduction of measures in interim years necessary to linearly transition reduction pathways toward 2050, and deliberated on the direction of policies that Japan could adopt by 2050 to achieve GHG Net Zero.

Keyword: decarbonized society, GHG net zero, renewable energy, hydrogen-based fuel, model analysis

April 2024



1. 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年までにわが国の温室効果ガス（GHG）の排出を実質ゼロにすること（吸収量の分だけ排出が可能で差し引きゼロにすること）を目指して策定されたもので、その目標と整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。また、同計画では2050年GHGネットゼロの実現に向けて、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。

2050年GHGネットゼロの実現には、現状において実証及び導入初期の段階にある革新的な脱炭素技術の2030年以降の大規模な実装が不可欠である。2050年までにそれらの実装が十分に進まなかった場合にはGHGネットゼロの実現はなしえない。そこで、我々が2023年4月に公表した「2050年脱炭素社会実現に向けた排出経路分析」では、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、2050年GHGネットゼロ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。

分析の結果、2050年GHGネットゼロの実現のためには、再生可能エネルギーの普及や新燃料の導入が不可欠であることが明らかとなったが、これらの実現には諸条件の不確実性も大きく、その効果や影響を幅広にとらえておくことが必要である。そこで、脱炭素社会の実現に向けて重要な役割を担う対策の1つである発電電力量に対する再生可能エネルギーの比率や、水素や合成燃料に代表される新燃料の国産・輸入比率について、複数の想定を行い、対策の組み合わせの差異がもたらすエネルギーシステムへの影響について分析した。加えて、2050年に向けてGHG排出量を直線的に削減させていくことを想定した場合に、必要となる対策の導入程度を示し、GHGネットゼロに向けて2050年までに取り得る政策の方向性について考察を行った。

2. 手法

2.1 分析モデル

本研究では、前述の2023年4月の分析と同様、図2-1に示すようにAIM/CGE、AIM/Enduse (Ver1.0)、AIM/MOGPMの3つのモデルを活用した。

まず、AIM/CGEを用いて、予め想定した経済見通しや、価格メカニズムを通じた経済全体の相互関係の整合を確保しつつ、将来の産業構造を推計した。それを元に最終エネルギー消費部門における素材生産量、業務床面積、貨物輸送量など様々な活動量を設定し、将来のエネルギーサービス需要量を推計した。分析において想定した活動量については表 A-1に示している。

続いて、技術選択モデルであるAIM/Enduse (Ver1.0) モデルを用いて、将来のエネルギー需要量を推計した。AIM/Enduseモデルは、外生的に付与されたエネルギーサービス需要量を満たすように、逐年での初期費用の年価と運転費用の合計費用を最小化するようにエネルギー機器の選択を決定し、それらの機器によるエネルギー需要量を計算するロジックを有する。エネルギーサービス需要量はAIM/CGEの推計を元に推計されたものを用い、AIM/Enduseモデルが有するロジックを用いて、2050年までの部門別のエネルギー需要量を推計した。

発電部門については、多部門電源計画モデルであるAIM/MOGPMを用いた。このモデルは、日本を10地域に分割し、地域間融通、蓄電利用などの手段を利用しつつ、地域毎における電力の1時間単位の需要量に対して、同時同量の発電電力量を確保し、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、発電構成や発電に必要なエネルギー消費量などを推計する。AIM/Enduseモデルによって推計された年単位の電力需要量を、地域毎に1時間単位にダウンスケールしたものを電力需要量として用いた。

AIM/MOGPMにおいて推計された発電のためのエネルギー需給量を前提に、改めてAIM/Enduseモデルを用いて、日本の全体のエネルギー需給量、CO₂排出量を算定した。エネルギー起源CO₂以外のGHG排出量については、潜在的な排出量と対策による削減率の組み合わせをガス種別・排出源別に作成し、両要素の掛け算によって削減量・排出量を算定した。3つのモデルの詳細については、それぞれにMasui(2005)¹、AIM/Enduse(Ver1.0) Kaninuma et al.(2003)²、Gao et al.(2020)³に記述されているのでそちらを参照されたい。

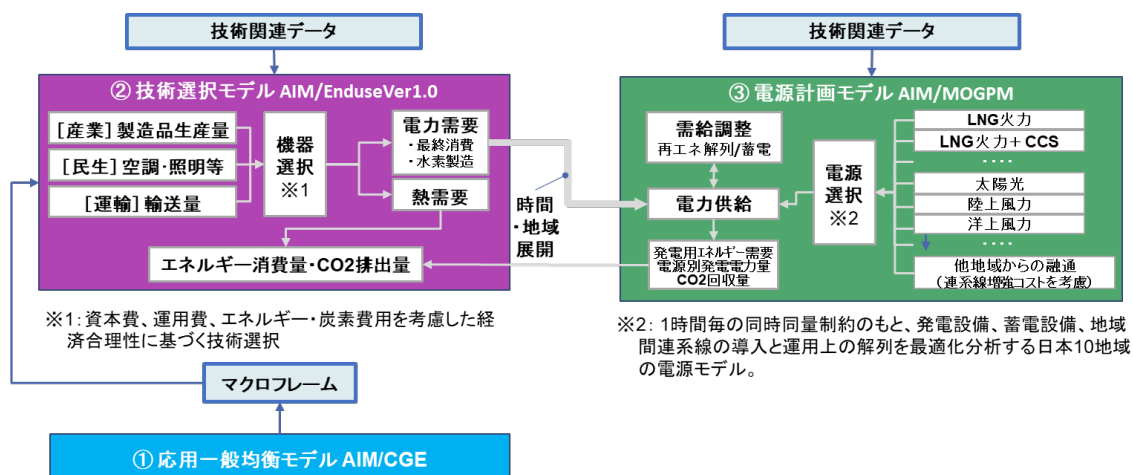


図2-1 分析におけるモデル構成

2.2 分析のフレームワーク

(1) 対策の進展に関する3つのシナリオ

対策の進展に関して以下に示す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。なお、再生可能エネルギー発電や新燃料の国内生産については、(2)に示すように複数のケース設定を行った。

① 「脱炭素技術普及進展シナリオ」 (技術進展シナリオ)

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年まで地球温暖化対策計画の想定通りに普及が進むが、2030年以降もその速度で普及進展することを想定した。一方で、脱炭素社会の実現に向けて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脱炭素技術、例えば、新燃料の生産・利用、CCUS (炭素隔離利用貯留技術) などについては、その展開が十分に進まないことを想定した。

② 「革新的技術普及シナリオ」 (革新技術シナリオ)

2030年までは①と同様の対策が進み、2030年以降には革新的な脱炭素技術が加速度的に大規模展開し、2050年GHGネットゼロを実現するシナリオである。2030年以降の大規模展開を想定した対策技術は新燃料 (水素、合成燃料、アンモニア)、バイオ燃料の利用拡大、PV (太陽光発電)・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 (ヒートポンプ) 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などである。

③ 「社会変容シナリオ」

②に加えて、2030年以降にデジタル化・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であり、2050年GHGネットゼロを実現するシナリオである。具体的には、素材の効率的利用として、シェアリング、長寿命化、循環利用、省資源設計などを想定し、また、業務・通

勤移動の低減として、ICT（情報技術）による移動需要の代替、貨物輸送の低減として素材製品の効率的な利用による貨物輸送量の低減を考慮した。

各部門の活動量は、①と②については共通のものを用いる。活動量の想定の詳細は表 A-1を参照のこと。③については表 2-1に示す低減率を②の想定に乗じたものを用いる。

表 2-1「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

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103億人km追加。
	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	7%	・2050年 鉄道へのモーダルシフト59億トンkm、船舶へのモーダルシフト80億トンkmを追加。

表中の引用文献: IEA (2020) Energy Technology Perspective 2020, 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

(2) エネルギー供給部門に関するケース設定

前項で定義した革新技术シナリオと社会変容シナリオについて、表 2-2に示すように発電電力量に対する再生可能エネルギー発電の比率と、新燃料の国産比率について複数のケース設定を行った。具体的には、革新技术シナリオについては、2050年における総発電電力量における再生可能エネルギー発電の割合を60%程度または75%程度とし、それぞれの新燃料の国産比率を10%程度と25%程度とした組み合わせを設定した。一方、社会変容シナリオについては、再生可能エネルギー発電の割合を75%程度とし、新燃料国産比率を25%程度と45%とした組み合わせを設定した。

表 2-2 再エネ発電比率・新燃料国産比率に関するケース設定

ケース	最終エネルギー消費	再生可能エネルギー発電電力量比率 ^{*1}	新燃料国産比率 ^{*2}	2050年GHG排出量	
1	技術進展	技術進展シナリオ	発電容量 2030年延長	新燃料ゼロ	
2	革新技術 再エネ60 新燃料国産10	革新技術シナリオ	発電電力量比率 60%程度	10%程度	GHG ネットゼロ
3	革新技術 再エネ75 新燃料国産25	〃	発電電力量比率 75%程度	25%程度	〃
4	社会変容 再エネ75 新燃料国産25	社会変容シナリオ	〃	〃	〃
5	社会変容 再エネ75 新燃料国産45	〃	〃	45%程度	〃

- *1 発電比率を制約条件としているのではなく、この比率を目安に再エネ導入量の上限值を設定している。そのため、発電比率は発電電力総量や他電源との比較で値が変化しうる。
- *2 新燃料の対象は、水素、アンモニア、合成燃料であり、それらの熱量ベースでの合計値の国産比率をここでは示している。2023年4月における分析では、水素・合成燃料の国産比率を70%、アンモニアの国産比率を0%としたが、この想定は新燃料全体での国産比率に換算すると45%程度となる。

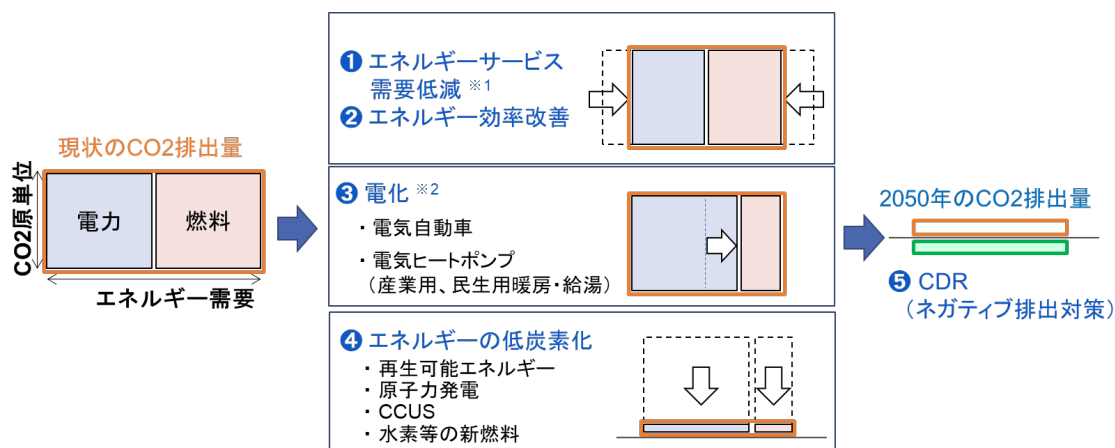
(3) 経過年における排出経路

全てのシナリオ・ケースにおいて、2030年については2021年10月にNDC（Nationally Determined Contributions, 国が決定する貢献）⁴に示された目標である2013年度比46%削減を達成することを前提としている。また、2050年については「革新技術シナリオ」と「社会変容シナリオ」においてGHGネットゼロを達成することを前提とした。両シナリオにおける2030年と2050年との間の排出経路については、両年を直線で結んだ経路を仮定し、概ねその経路を通るような対策の組み合わせを推計した。対策普及に対する経済面、社会面、技術面等の様々な検討によって、GHG排出経路は異なってくるものであり、経過年におけるGHG排出量については、各年の目標の目安を示すものではないことに留意する必要がある。

(4) 最終エネルギー消費部門の削減対策

脱炭素社会の実現に向けて、エネルギー起源CO₂排出の削減対策については、1) エネルギーサービス需要量の低減、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の4つを柱とし、詳細な対策技術群を設定した。一つ目のエネルギーサービス需要量の低減は、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の需要を低減させることであり、具体的には製品の長寿命化や構造の最適化などによる素材需要の低減、デジタル化の進展による人やモノの移動の低減、建物の断熱向上に伴う暖房機器利用の低減などがこれにあたる。二つ目のエネルギー効率の改善は、燃料燃焼機器、電気機器、輸送機器のエネルギー消費効率の向上が対象である。三つ目の電化の推進は、燃料消費機器の利用から電力消費機器の利用にシフトすることを指す。再生

可能エネルギー発電の導入ポテンシャルが大きいこともあり、電力消費の方が燃料消費よりも脱炭素化が容易であるため、電化の推進は脱炭素化の蓋然性を高めることになる。また、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有する。四つ目のエネルギーの脱炭素化は電力や燃料の消費に伴うCO₂排出を低減することである。電力については、再生可能エネルギー発電、原子力発電、CCUS付き火力発電などの脱炭素電源の比率を高めることである。燃料については、化石燃料利用から、水素・アンモニアなどの新燃料やバイオマス燃料の利用にシフトさせることである。そして、この4つの柱を最大限に導入しても残余してしまう排出量に対して、森林吸収など大気中のCO₂を直接除去する対策（Carbon Dioxide Reduction, CDR）を講じて、排出量をオフセットすることでカーボンニュートラルを実現するのである。各部門の対策導入見通しについては表 A-2~表 A-5に示す。また、エネルギー起源CO₂以外のGHG削減対策については表 A-6~表 A-8に示す。



※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。
 ※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。
 上図は環境省(2015)温室効果ガス削減中長期ビジョン検討会とりまとめを参考に作成

図2-2 ネットゼロ排出に向けた対策

(5) 発電部門の削減対策の前提

各シナリオ・ケースにおける発電部門の規模について、表2-3のような上限値を設定した。各発電規模の低位、高位の想定は、以下のような考え方に基づいている。

① 2030年の再生可能エネルギー発電

発電のうち、再生可能エネルギー発電については種類別に容量ベースでの上限値を設定した。2030年はどのシナリオ・ケースも「2030年度におけるエネルギー需給の見通し」（資源エネルギー庁，2021年10月）⁵に示された2030年度の導入量を達成することを前提とした。

表2-3 再生可能エネルギー発電容量の上限値の設定

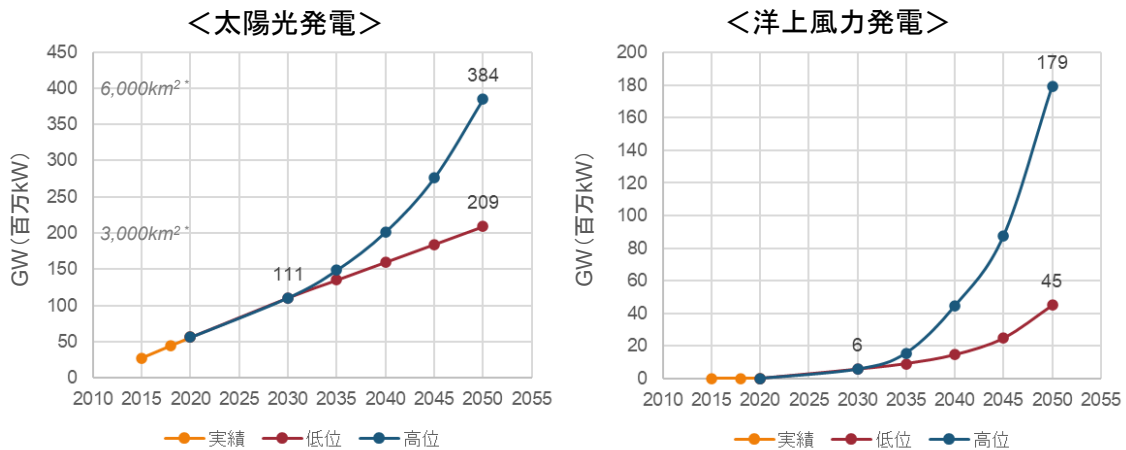
ケース	太陽光	洋上風力	陸上風力	水力(除揚水)	地熱	バイオマス
2030 全てのケース	111GW	6GW	18GW	23GW	2GW	8GW
技術進展	209GW (低位)	45GW (低位)		25GW (低位)		
革新技術 再エネ60 新燃料国産10			46GW		3GW	14GW
2050 革新技術 再エネ75 新燃料国産25	384GW (高位)	179GW (高位)		27GW (高位)		
社会変容 再エネ75 新燃料国産25						
社会変容 再エネ75 新燃料国産45						

② 太陽光発電（2030年以降）

太陽光発電の2030年以降の導入量については、低位と高位の2種類を想定した。低位では、現状から2030年にかけての導入量の変化を2050年にかけて線形外挿したものを、2050年の導入量の上限値は209GWとした。高位は、環境省のREPOS（再生可能エネルギー情報提供システム）⁶が算定・公表している再生可能エネルギー発電の地域ごとの導入ポテンシャル量を参照した。2050年には北海道・東北の土地系については導入ポテンシャル量の17.5%が顕在するとし、その他については導入ポテンシャルの35%相当分が顕在化すると想定した。その結果、2050年における全国の導入量の上限値は384GWで、低位の2倍程度に相当する。高位における2030年から2050年までの導入見込み量の推移については、図2-4に示すように等比で増加すると仮定した。

③ 洋上風力発電（2030年以降）

洋上風力発電の2030年以降の導入量についても、低位と高位の2種類を想定した。低位では、洋上風力の産業競争力強化に向けた官民協議会「洋上風力産業ビジョン(第一次)」(2020年)⁷において2040年までに30~45GWの案件形成を目標としていることを参考に、2050年の導入量の上限値を45GWとした。一方、高位では、環境省REPOSが算定・公表している再生可能エネルギー発電の地域ごとのポテンシャル量を参照した。2050年には各地域の導入ポテンシャルのうち、着床は30%、浮体は10%に相当する量が顕在化すると想定した。その結果、2050年における高位の全国の洋上風力発電の導入量の上限値は179GWで、低位の4倍程度に相当する。2040年は45GWとし、経過年は等比補間した。



* グラフ中のkm²の値は該当する発電容量に対して、15m²/kWで換算した場合の太陽光発電パネルが占める面積を示す。

図2-3 太陽光発電・洋上風力発電の導入見込み量の想定

④ 水力発電

水力発電の2030年以降の導入量の上限については、低位と高位の2種類を想定した。低位では、現状から2030年にかけての導入量変化を2030年以降、線形外挿したものを用い、2050年における導入量は25.3GWとした。高位では、環境省REPOSが算定・公表している中小水力発電の地域ごとのポテンシャル量を参照した。2050年には各地域の導入ポテンシャルの50%に相当する量が顕在化すると想定し、2050年の導入量を26.6GWとした。経過年は線形内挿した。揚水発電については、現状横這いを想定した。

⑤ 陸上風力・地熱・バイオマス発電

陸上風力発電、地熱発電、バイオマス発電の上限については、各シナリオ・ケースについて共通の想定とし、現状から2030年にかけての導入量変化を2030年以降、線形外挿したものを用いた。2050年の導入量は陸上風力46GW、地熱3GW、バイオマス14GWとした。

⑥ 原子力発電

各シナリオ・ケースについて共通の想定とし、2050年の総発電電力量に占める原子力発電の割合を1割程度とした。2050年の総発電電力量は、比較的高位の場合には1.4兆kWh前後となることから、2050年の原子力発電の発電電力量はどのケースについても0.14兆kWhとし、経過年については2030年値との間で線形補間した。

⑦ CCUS付き火力発電

CO₂地下貯留量について上限値を設定する。想定については(6)を参照のこと。合成燃料の国内生産には国内で回収されたCO₂が利用されると想定した。CO₂貯留量とCO₂利用量の合計値は、CO₂回収量に一致する。CO₂回収量は、産業部門（鉄鋼、セメント、石油化学）の製造プロセスにおける回収量とCCUS火力発電（化石燃料、バイオマス発電）の合計になる。バイオマスCCUSはバイオマス発電の発電電力量の40%を上限と想定した。

⑧ 水素・アンモニア発電

アンモニアの需要は、船舶と発電に限定した。アンモニアの総供給量の上限値を設定（(7)参照）するため、その範囲内においてアンモニア火力発電が稼働する。また、水素については特に上限を設定せず、また、発電用の水素は全て輸入と想定した。

(6) CO₂地下貯留

経済産業省「CCS 長期ロードマップ検討会 最終とりまとめ」(2023年)⁸では、「2050年時点で年間約1.2～2.4億tのCO₂貯留を可能とすることを目安」としている。この値を参考にして、2050年時点でのCO₂貯留の上限値を1.2億tCO₂と設定した。また、同とりまとめにおいて「2030年までに年間貯留量 600～1,200万tの確保に目途を付けることを目指す」としていることから、2030年の導入量600万tCO₂とし、経過年については等比補間した。

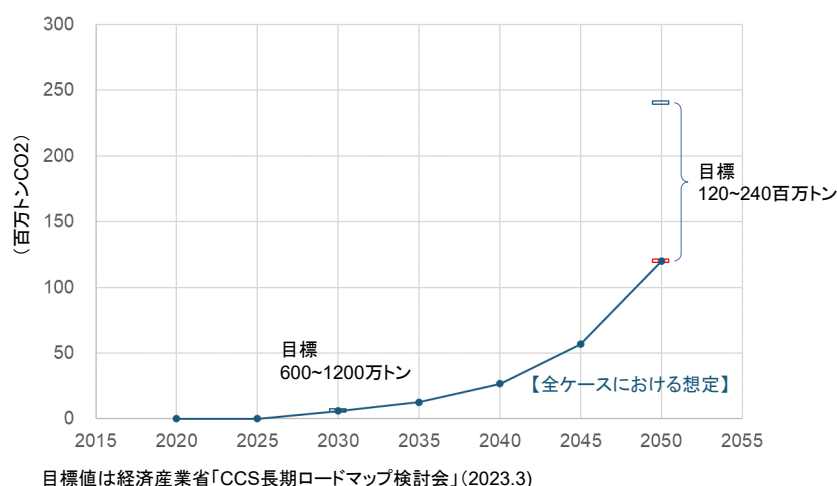


図2-4 CO₂地下貯留量の想定

(7) 新燃料（水素・アンモニア・合成燃料）

2023年6月に公表された水素基本戦略⁹における2050年度の水素導入量目標は2,000万トンである。この重量ベースの目標値をエネルギー量に換算すると6,800万toe（高位発熱量換算）となる。これは、2021年度の日本における化石燃料消費量（3.71億toe）と比べると、その2割程度に相当する。分析では水素の供給量について、水素基本戦略の供給目標を参照しつつも、これを上限とはしていない。

一方、アンモニアについては、燃料アンモニア導入官民協議会（2021年）¹⁰において「2030年には国内で年間300万トン（水素換算で約50万トン）、2050年には国内で年間3000万トン（水素換算で約500万トン）のアンモニア需要を想定する」としている。分析においてアンモニアについて、この需要見通しを上限とした。

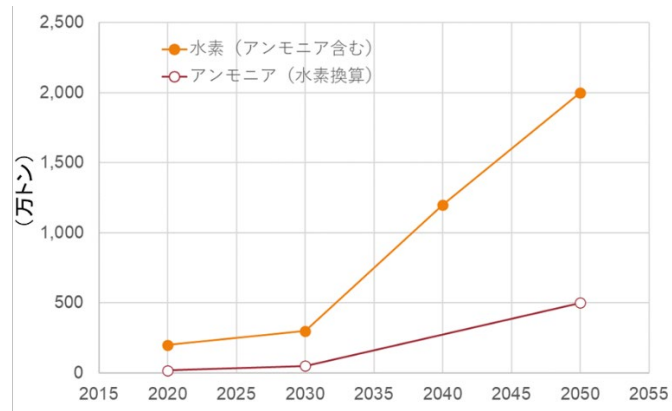


図2-5 水素需要量の目安・アンモニア需要量の上限

3. シミュレーション結果

3.1 温室効果ガス排出量・削減量

革新的技術の加速度的展開がないとGHG削減率は2013年度比7割程度に留まる

全てのシナリオ・ケースの2050年エネルギー起源CO₂排出量、及びGHG排出量の内訳を図3-1に示す。技術進展シナリオでは、2030年以降の革新的脱炭素技術の加速度的な展開を見込んでいないため、2050年におけるGHG排出量の削減率は2013年度比7割程度に留まる。

CDR（大気中CO₂除去）によって残存するGHG排出量は相殺されネットゼロ排出（2050年）

革新技術・社会変容シナリオのエネルギー起源CO₂排出量は、BECCSによって残存するCO₂排出量が概ねオフセットされる。また、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CDR対策によってオフセットされ、ネットゼロ排出を実現している。

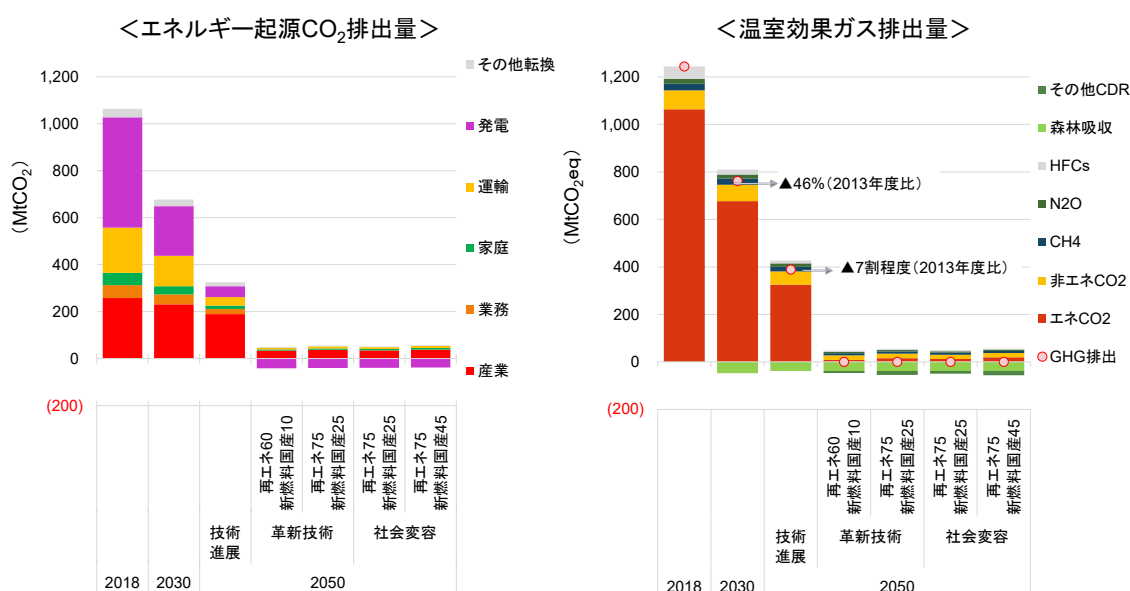


図3-1 シナリオ・ケース別の2050年エネルギー起源CO₂排出量・温室効果ガス排出量

技術進展シナリオによる2030年排出からの削減要因は主に省エネ・電化の進展と再エネの普及

技術進展シナリオの2030年GHG排出量との比較による削減量を、削減要素別に算定したものを図3-2に示す。技術進展シナリオにおけるGHG排出量の削減要因は、電力の脱炭素化と最終エネルギー消費部門の省エネ・電化が大きな割合を占めている。2050年において総削減量に対して占める割合は、それぞれ46%及び37%である。また、人口減少や素材生産量低下などの影響から、最終エネルギー消費部門の活動量が低減することも排出量の削減要因となっていて、総削減量の10%を占めている。

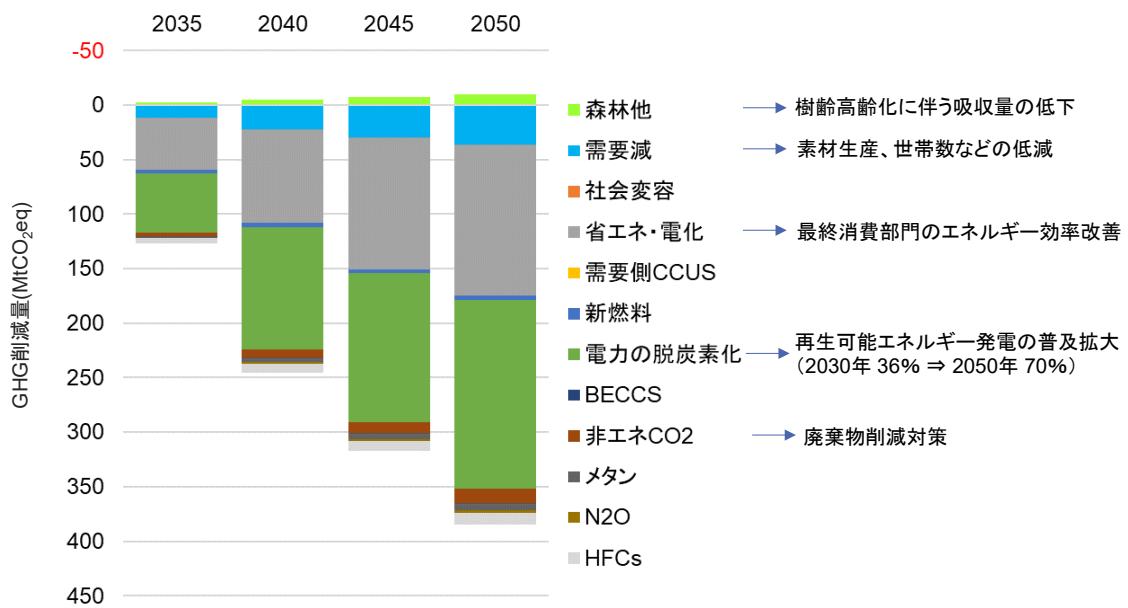


図3-2 2030年排出量と技術進展シナリオの排出量の比較

2050年GHGネットゼロの実現のためには省エネ・電化の進展と再エネの普及のみならず革新的技術の普及や社会変容などが必要

技術進展シナリオと比較した社会変容シナリオのGHG排出量の削減を要素別に算定したものを図3-3に示す。比較に用いた社会変容シナリオは、再エネ75 | 新燃料国内45のケースである。技術進展シナリオと比較した社会変容シナリオにおけるGHG排出量の削減要因は、電力の脱炭素化と最終エネルギー消費部門の省エネ・電化に加えて、新燃料、BECCS、需要側CCS、社会変容など様々な対策が削減に貢献している。総削減量に対する割合は電力の脱炭素化が14%、最終エネルギー消費部門の省エネ・電化が19%、新燃料利用が21%、BECCSが12%、社会変容が7%である。こうした結果は、2050年GHGネットゼロの実現に向けて、革新的な技術を含む様々な対策を総動員しなければ、その達成は困難であることを示している。

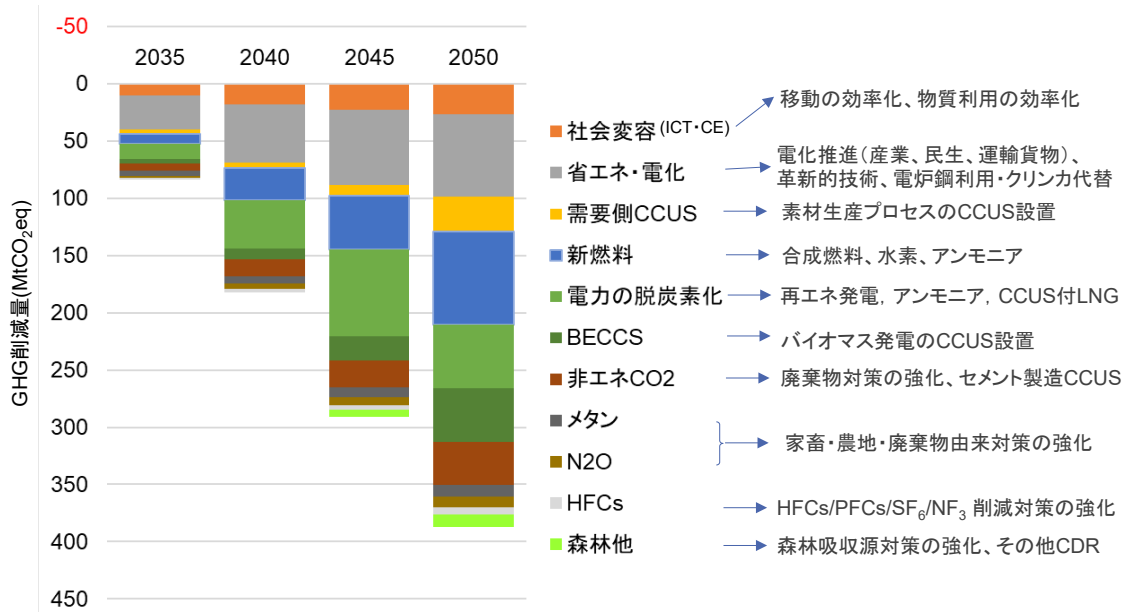


図3-3 技術進展シナリオと社会変容シナリオの排出量の比較

3.2 最終エネルギー消費量

GHGネットゼロの実現に向けてエネルギー需要の低減、電化率の増加、新燃料需要の増加

2050年までのシナリオ別の最終エネルギー消費量を図3-4に示す。最終エネルギー消費量は2050年にかけて全てのシナリオにおいて着実に低減している。中でも社会変容シナリオが最も低減し、2050年に2018年度比半減となっている。電化率も年々上昇し、革新技術・社会変容シナリオでは2050年には55~56%となっている。技術進展シナリオでは2050年においても化石燃料の消費が5割程度残存しているが、革新技術・社会変容シナリオでは電化率の増加と、2040年以降の合成燃料や水素の利用拡大によって、2050年における化石燃料の消費は残存しているものの一部の用途に限られる。なお、2050年に残存する石炭の消費は粗鋼、及びセメント生産のCO₂回収装置の設置された工程でのものである。

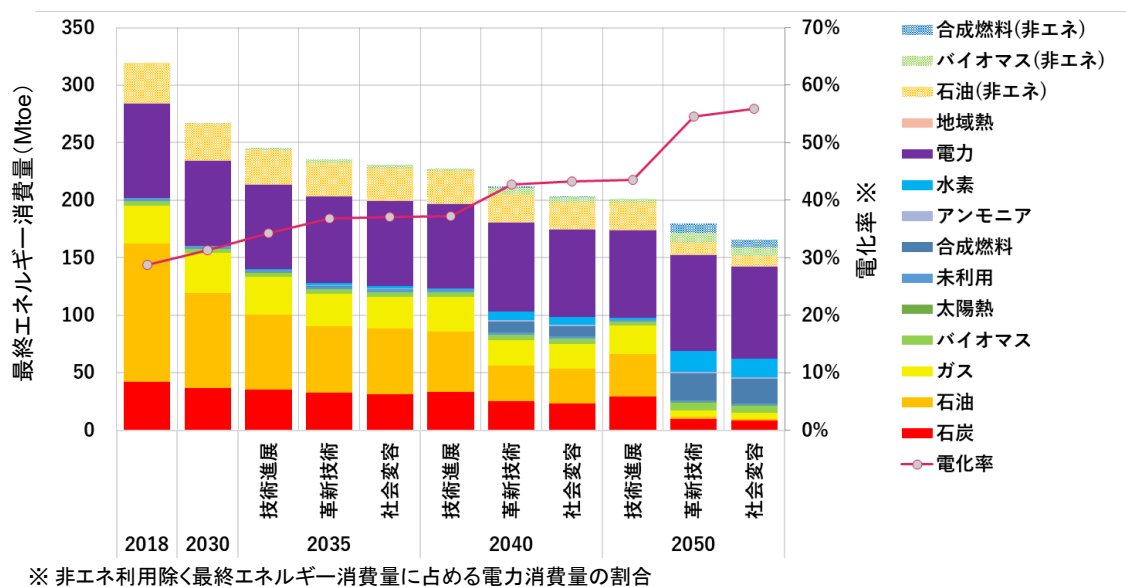


図3-4 各シナリオの最終エネルギー消費量

3.3 電力需要量

新燃料生産のために増加する電力需要量

2050年のシナリオ・ケース別の電力需要量を図3-5に示す。2050年の最終エネルギー消費部門の電力需要は、電化進展といった増加要因を、サービス需要量の低減、省エネによる電力需要量の低減といった減少要因が相殺し、現状程度となっている。一方、新燃料の生産のための電力需要が2050年には大きくなっており、革新技術シナリオ、及び社会変容シナリオでは新燃料の国内生産量に応じて1,260～4,060億kWhの電力需要が発生している。そのため、両シナリオにおける2050年の電力需要は1兆960億～1兆3,300億kWhとなっている。

新燃料の海外依存が高い場合、2050年の海外での発電電力量は現状の電力需要の8割に匹敵（輸入する新燃料が全てグリーン水素由来と想定した場合）

日本に輸入される新燃料は、海外において生産されるが、その生産段階において、グリーン水素の場合には再生可能エネルギーによる発電が行われ、また、ブルー水素の場合にはその生産のために発生するCO₂が地下等に貯留される。海外で生産される国内向け新燃料を全てグリーン水素と想定した場合、その生産のために必要な電力量は2050年GHGネットゼロを実現する4つのケースにおいて、3,470～7,080億kWh（輸送分除く）と推計された。7,080億kWhは2018年度の電力需要量の8割に匹敵する。また、全ての新燃料がブルー水素である場合には、CO₂貯留量は66～136 MtCO₂と計算された。

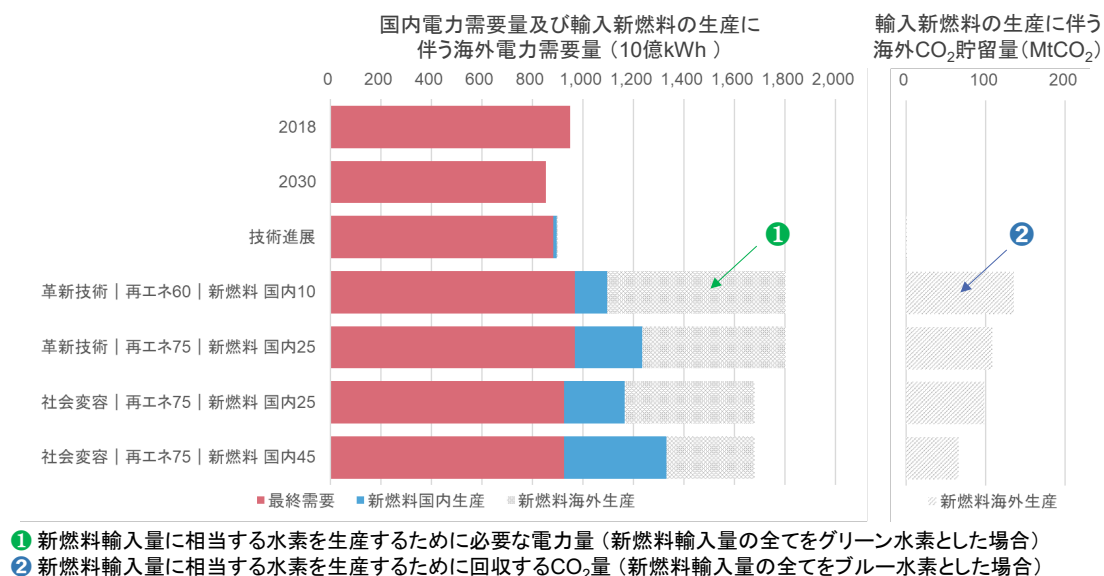


図3-5 各シナリオ・ケースの電力需要量

電化が遅れるとGHGネットゼロ実現のためには逆に電力需要が増大

民生部門、産業部門において主にヒートポンプ機器の普及が遅れた場合の電力需要量について推計した。表3-1に示すような水準に電力技術の普及が留まった場合における電力需要量を図3-6に示す。2030年以降に電化が遅れた場合には、最終エネルギー需要部門における電力需要は低下するが、新燃料の生産のための電力需要が増加し、電力需要の合計は電化が遅れた場合の方が大きくなることが示された。

表3-1 技術普及見込み量(電化進展と電化遅れの場合)

部門	対策	普及見込み量 (保有ベース)		
		2030年	2050年A	2050年B
家庭	暖房の電化：エアコン	78%	95%	78%
	給湯の電化：電気HP給湯機	38%	80%	38%
	炊事の電化：電気調理器	23%	70%	23%
	新燃料	0%	100%	100%
業務	空調の電化	76%	96%	76%
	給湯の電化：電気HP給湯機	8%	100%	8%
	炊事の電化：電気調理器	19%	70%	19%
	新燃料	0%	100%	100%
産業	熱供給の電化：産業用HP	4%	62%	4%

A：社会変容 | 再エネ 75 | 新燃料国内 45 ケース

B：電化が遅れた場合

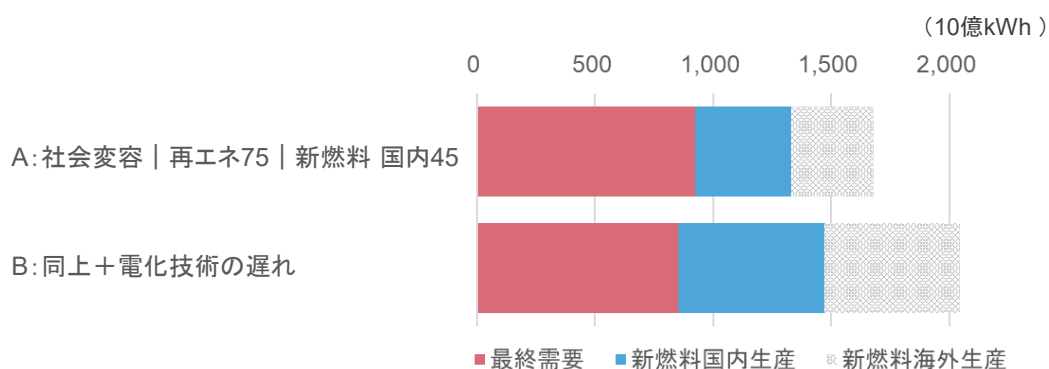


図3-6 電化が遅れた場合の電力需要量

3.4 発電電力量

増加する発電電力量、GHGネットゼロ実現に向けて脱炭素電源の構成比は2050年100%

2050年における各シナリオ・ケースの電源別総発電電力量を図3-7に示す。技術進展シナリオでは、水素需要が少ないこともあり、2050年の発電電力量は現状程度である。CCUS付き火力発電、水素・アンモニア発電の導入が進まず、さらに再生可能エネルギー発電の導入も相対的に少ないため、2050年においても脱炭素対策を行っていない火力発電が残存する。

2050年GHGネットゼロを実現する4つのケースは全て脱炭素電源の構成比が100%であり、そして、現状よりも発電電力量が増加している。中でも新燃料 国内45ケースは高い電力需要（図3-5参照）に応じるために発電電力量が他よりも高く、1.4兆kWhを超えている。

ケースによっては2050年 水素・アンモニア発電 約3,000億kWh

電力の総需要に対して再生可能エネルギー発電の導入が相対的に低位に留まる革新技术 | 再エネ60 | 新燃料国産10ケースでは、水素・アンモニア発電の導入量が増加する。革新技术 | 再エネ60 | 新燃料国産10ケースでは、水素・アンモニア発電に対する依存が大きく、2050年におけるその発電電力量は2,720億kWhである。このために必要となる水素・アンモニアは合計で1,400万トン（水素重量換算）であり、発電用だけで2050年の水素供給目標の4分の3を占めることになる。

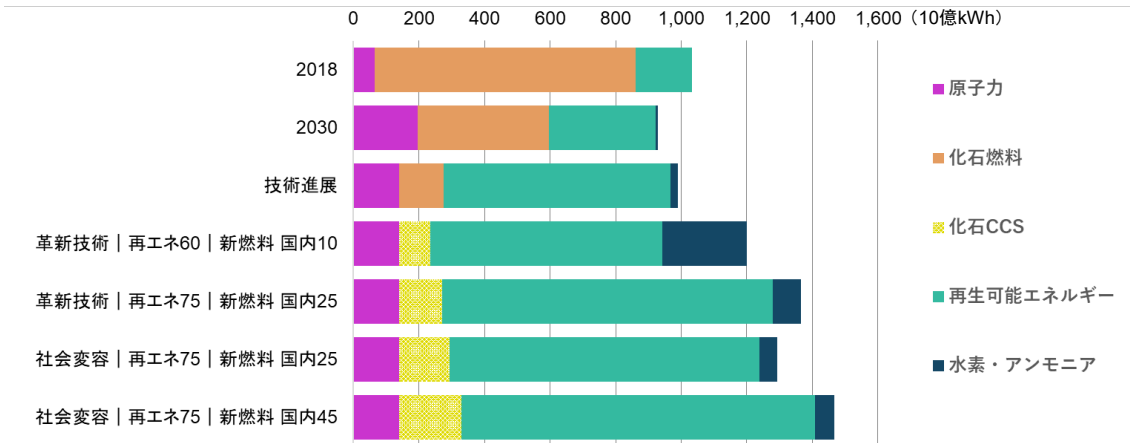


図3-7 2050年 各シナリオ・ケースの電源別発電電力量

ケースによっては2050年 洋上風力発電約100GW、社会変容によって抑制される洋上風力

2050年における各シナリオ・ケースの電源別再生可能エネルギー発電電力量を図3-8に示す。2050年においては、太陽光発電と洋上風力が大きな割合を占めている。太陽光発電は洋上風力よりも価格が安く優先的に導入され、想定した上限値まで導入が進む。再エネ75 | 新燃料 国内45ケースにおける洋上風力・太陽光発電の発電容量は、太陽光発電は2030年目標（111GW）の3倍以上、洋上風力は2040年案件化目標（45GW）の2倍以上の導入が必要となる。

社会変容シナリオと革新技术シナリオにおける電力需要の違いの影響は、洋上風力の導入量に表われ、両シナリオの「再エネ75 | 新燃料 国内45ケース」における洋上風力の導入量を比較すると、59GWと75GWであり、3割程度の違いが生じている。

変動性の高い発電の増加に伴い蓄電池需要の増加

蓄電池については、2050年GHGネットゼロを実現するどのシナリオ・ケースにおいても、2050年において140GW程度が必要となっている。但し、この分析では、電気自動車や電気ヒートポンプ給湯機の蓄エネルギー機能の活用、最終エネルギー消費部門の電力消費時間のシフトなど、変動性の高い発電に対するデマンドサイドレスポンス対策を考慮していないことを留意する必要がある。

また、電力需要と発電量とのギャップについては、蓄電池の普及や水素生産によって解消が行われ、年平均では系統解列・出力制御される電力量は数%程度となっている。

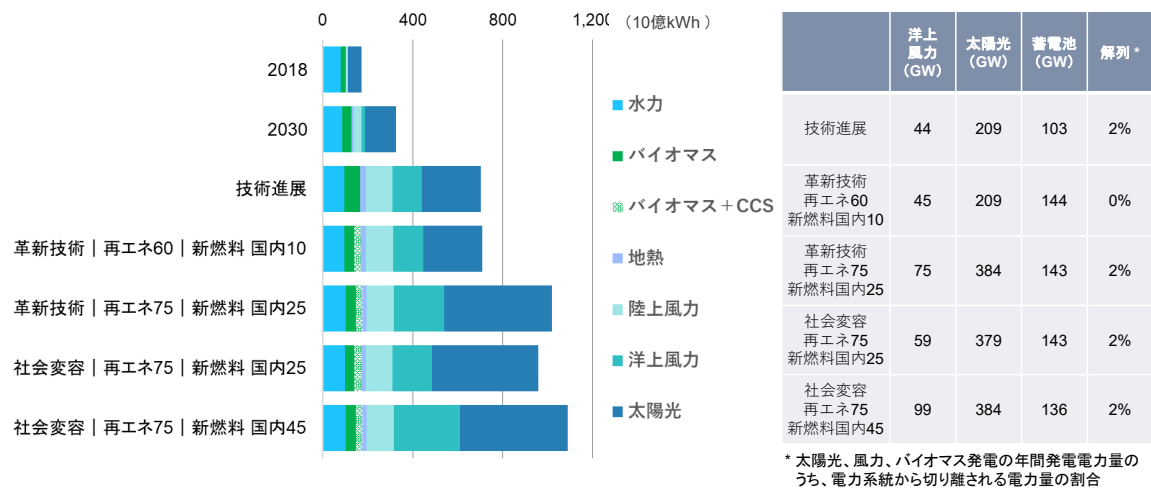


図3-8 2050年 各シナリオ・ケースの再生可能エネルギー発電電力量

合成燃料生産量や産業プロセスでのCO₂回収量などの影響も受けるガス火力CCUS導入量

2050年におけるCO₂地下貯留量は全てのケースにおいて、上限値の120MtCO₂としている。合成燃料向けのCO₂利用量は、合成燃料の国内生産量に応じて変化し、2050年に20~42MtCO₂となっている。

化石燃料利用の回避が難しい素材生産におけるCO₂回収、ネガティブ排出の確保のためのBECCSのためのCO₂回収が優先される。CCS付きLNG火力発電は、再生可能エネルギー発電や水素・アンモニア発電など他にも脱炭素電源の代替手段は存在するため、CO₂回収の優先度が低くなっている。

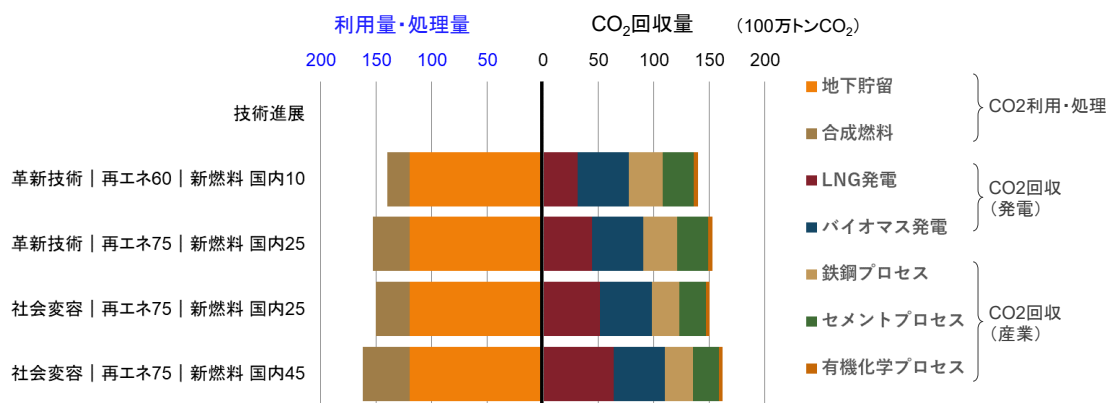


図3-9 2050年 各シナリオ・ケースのCO₂回収量・利用量・処理量

電力需要は2035年以降に急増

新燃料の需要が2035年以降に急速に増加するため、その生産に必要な電力需要量が急増し、発電電力量も2035年以降に急速に増加する。その需要を満たすために、特に、新燃料

の国内生産率が高いケースでは、図3-10に示すように2035年以降に再生可能エネルギーの導入量を急速に増加させる必要がある。

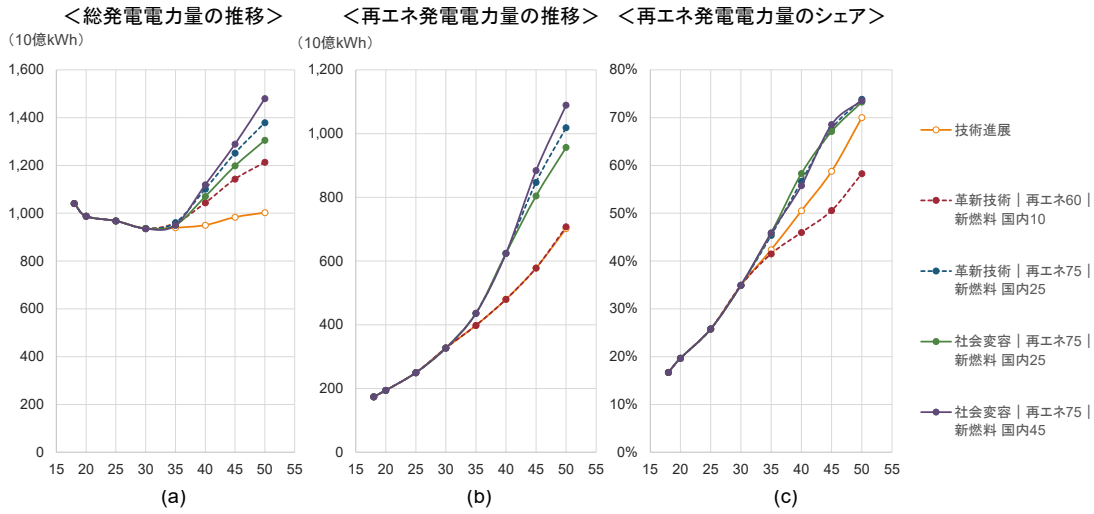


図3-10 2050年 各シナリオ・ケースの再生可能エネルギー発電電力量

3.5 新燃料需要量

発電における水素需要が高まると水素基本戦略の目標を上回る水素需要が発生

2050年における各シナリオ・ケースの水素重量換算の新燃料需要量を図3-11に示す。社会変容シナリオの2つのケースにおける2050年の新燃料需要量は2,000万トン（水素重量換算）であり、2023年6月に公表された水素基本戦略における2050年度の水素導入目標と同水準である。一方、「革新技術 | 再エネ60 | 新燃料国内10」ケースにおける2050年の新燃料需要量は3,200万トン（水素重量換算）となり、水素基本戦略の導入目標を大きく上回っている。

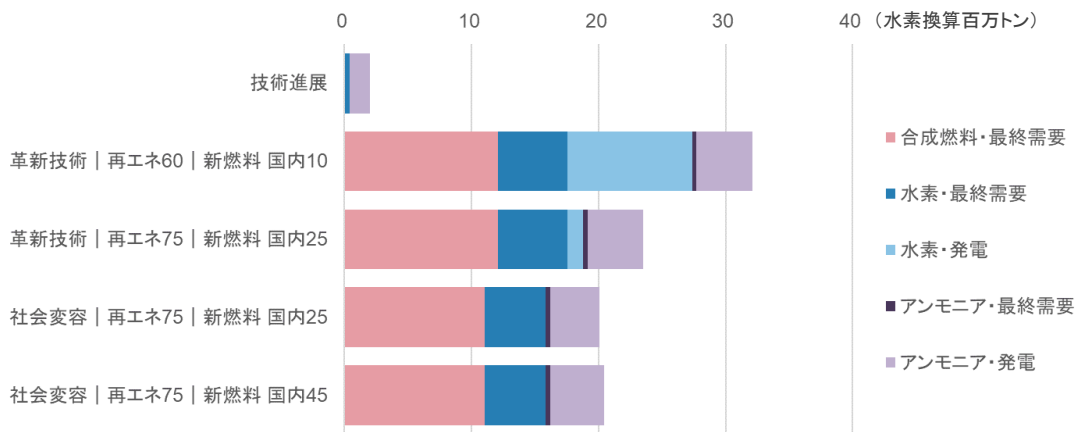


図3-11 2050年 各シナリオ・ケースの新燃料需要量

3.6 エネルギー自給

化石燃料消費量は現状の1割

化石燃料消費量の推移を図3-12(a)に示す。再生可能エネルギーの普及拡大に伴い、化石燃料消費量は2050年にかけて減少し、革新技術・社会変容シナリオでは、2030年には2018年3分の2、2050年には1割程度となっている。2050年に石炭が残存しているが、これは鉄鋼とセメントの生産プロセスでの需要であり、全てCCUSによるCO₂回収が行われている。

化石燃料消費に大幅な低減に伴いエネルギー輸入額も大幅に低減

エネルギー輸入額の推移を図3-12(b)に示す。新燃料やバイオマスの海外からの調達が増加するが、化石燃料消費量の低減に伴い、エネルギー輸入額は大幅に低減する。2050年のエネルギー輸入額は、技術進展シナリオでは7.1兆円、革新技術・社会変容シナリオでは5.9～7.0兆円である。

化石燃料消費に大幅な低減に伴いエネルギー自給率も大幅に改善

エネルギー自給率の推移を図3-12(c)に示す。エネルギー輸入額の低減とともにエネルギー自給率が向上する。2050年のエネルギー自給率は、技術進展シナリオでは51%、革新技術・社会変容シナリオでは58～64%である。

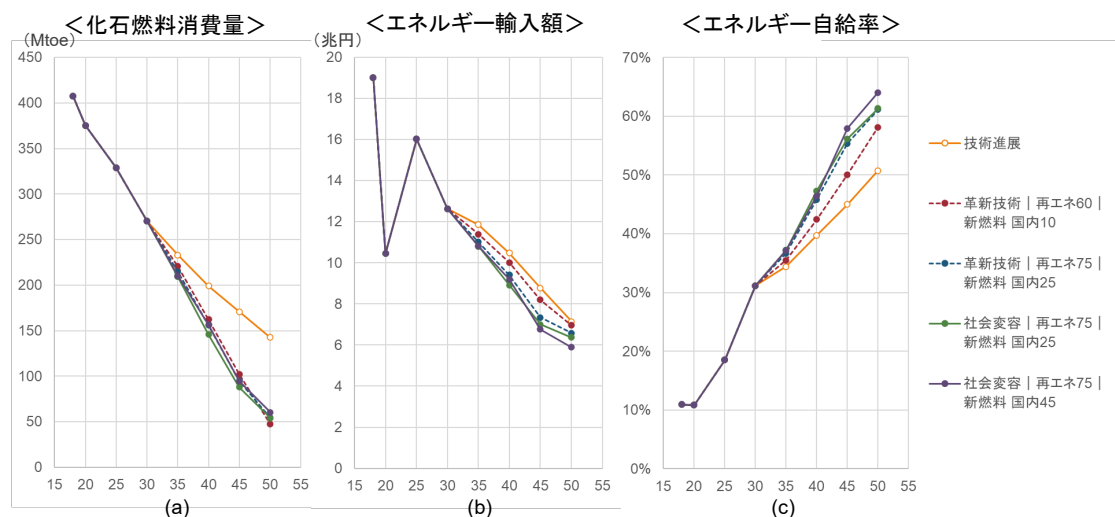


図3-12 各シナリオ・ケースの化石燃料消費量・エネルギー輸入額・エネルギー自給率

3.7 エネルギーシステム費用

再エネ発電の比率が高いと機器導入費用が高く、新燃料発電の比率が高いとエネルギー費用が高くなる

エネルギー供給に関わる費用として、2026年~2050年に必要となる発電、新燃料、CCUSに関わる機器導入費用、維持管理費用、エネルギー費用の累積額を図3-13に示す。技術進展と比較すると、どの2050年GHGネットゼロシナリオにおいても2035年以降の総費用は大きく増加し、2050年までの累計額については技術進展シナリオの1.5倍程度の費用がかかる。再エネ比率や新燃料の国内生産比率が相対的に小さい再エネ60 | 新燃料国内10ケースは、資本費が抑えられるが、一方でエネルギー費用が増大する。一方で、再エネ比率や新燃料の国内生産比率が相対的に大きい再エネ75 | 新燃料25/45のシナリオは、その逆で、エネルギー費用が抑えられるが、資本費は増大する。

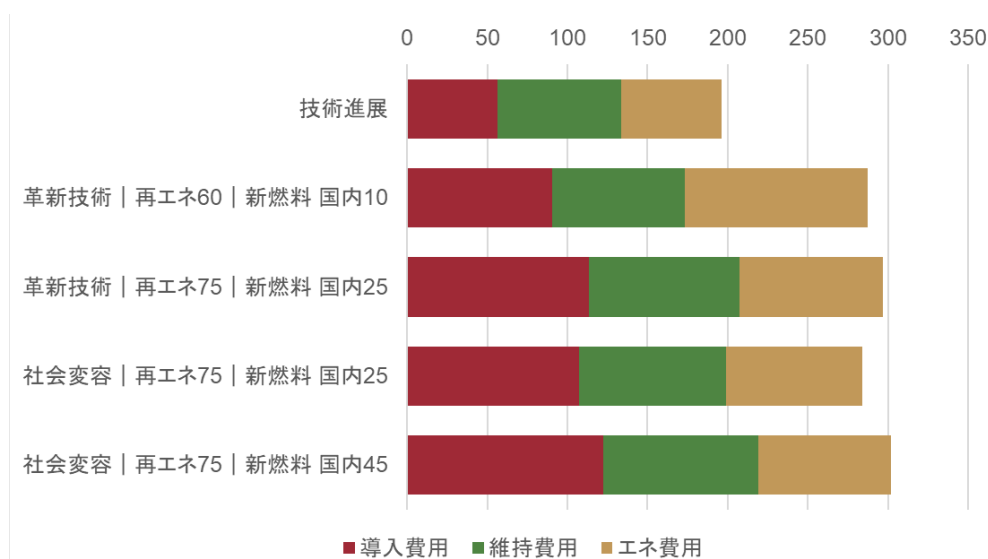


図3-13 エネルギーシステム(供給側)費用(2026~2050年の累積, 兆円)

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

2050年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となる。特に、太陽光、風力、CCUS、新燃料の供給に関する投資額が大きくなっている。一方、社会変容はエネルギー需要側における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、2050年GHGネットゼロの実現性を高めることにつながるといえる。

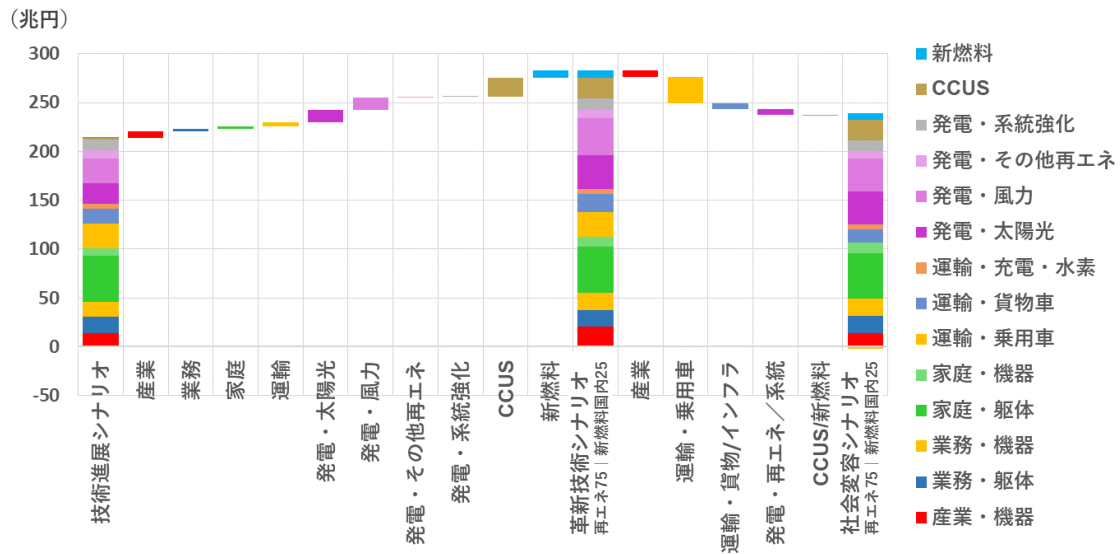


図3-14 総投資額:2050年までの累積(兆円)

4. GHGネットゼロを実現するための政策

IPCC 第6次報告書 第3作業部会報告書¹¹の政策に関する章（13章）において、表4-1に示すように気候政策が分類・概観されている。政策を分類する上で、2つの分類軸が用いられている。一つは、政策に期待されるアウトカムが単一か、複数かである。すなわち、緩和そのものに焦点を当てたものか、多面的な目的への対処を狙ったものかである。もう一つは、個別の政策を通じてインセンティブをシフトさせることに重きをおくアプローチなのか、トランジションを可能にすることを重きをおいた政策・対策なのかである。

緩和策そのものに焦点を当てて、インセンティブをシフトさせる政策は、炭素税、排出量取引、情報開示などが該当する。分配やその他の懸念に配慮して、政策手段を如何にデザインし、実施するかが課題とされる。インセンティブをシフトさせて、多面的な目標への対処を行い、コベネフィットに着目した政策としては、機器基準の設定、森林管理、大気汚染や交通総合計画などが該当する。気候変動と開発の目標間の相乗効果を実現し、トレードオフを回避するための政策とその範囲が課題とされる。緩和策そのものに焦点を当てて、トランジションを可能にする政策は、再生可能エネルギーの普及と石炭の段階的廃止、電動自動車の普及などが該当する。社会技術的な移行プロセスを理解し、技術の「S字カーブ」のさまざまな段階に対する統合政策を理解し、移行の構造的、社会的、政治的要素を探求することが課題とされる。多面的な目標への対象を行いつつ、トランジションを可能にする政策としては、持続可能な都市化のためのパッケージ、土地・エネルギー・水のネクサス・アプローチ、グリーン産業政策、地域の公正な移行計画などが該当する。構造的な開発パターンと、部門横断的かつ経済全体にわたる広範な対策が、統合政策と実

現条件の調整を通じて、開発目標を達成しながら緩和する能力をどのように促進するかを検証することが課題となる。

表4-1 気候政策の分類

		アウトカムのフレーミング	
		緩和の強化	緩和・開発など多面的な目的への対処
政策立案 に対するア プローチ	インセンティブ をシフトさせる	<p>『緩和策そのものに焦点をあてる』</p> <p>〔目的〕 現状のGHGの削減</p> <p>〔課題〕 分配やその他の懸念に配慮して、政策手段を如何にデザインし、実施するか。</p> <p>〔例〕 炭素税、キャップ・アンド・トレード、国境炭素調整、情報開示政策</p>	<p>『コベネフィット』</p> <p>〔目的〕 緩和と開発のシナジー</p> <p>〔課題〕 気候変動と開発の目標間の相乗効果を実現し、トレードオフを回避するための政策とその範囲</p> <p>〔例〕 電気機器基準、燃料税、地域森林管理、持続可能な食生活ガイドライン、グリーン建築基準、大気汚染対策パッケージ、公共交通パッケージ</p>
	トランジション を可能にする	<p>『社会・技術的移行』</p> <p>〔目的〕 社会技術システムにおける低炭素シフトを加速する。</p> <p>〔課題〕 社会技術的な移行プロセスを理解し、技術の「S字カーブ」のさまざまな段階に対する統合政策を理解し、移行の構造的、社会的、政治的要素を探求する。</p> <p>〔例〕 再生可能エネルギー移行と石炭の段階的廃止のためのパッケージ、電気自動車の普及、主要産業におけるプロセスと燃料の転換</p>	<p>『発展経路をシフトするためのシステム移行』</p> <p>〔目的〕 緩和オプションを上げるとともに、その他の開発目標を達成するために、システムの移行を加速し、開発経路を転換する。</p> <p>〔課題〕 構造的な開発パターンと、部門横断的かつ経済全体にわたる広範な対策が、統合政策と実現条件の調整を通じて、開発目標を達成しながら緩和する能力をどのように促進するかを検証。</p> <p>〔例〕 持続可能な都市化のためのパッケージ、土地・エネルギー・水のネクサス・アプローチ、グリーン産業政策、地域の公正な移行計画</p>

出典：IPCC AR6 WG3 Figure 13.6 Mapping the landscape of climate policy

日本の2050年GHGネットゼロの実現に向けて必要となる政策について、表4-1のIPCCにおける分類に即して整理したものを表4-2に示す。既にある程度の導入が進んでいて、将来に向けて継続的な普及拡大が望まれる緩和策については、排出・削減の見える化とカーボンプライシングに基づくインセンティブによって普及の進展を確実なものにする。大気汚染の低減、暮らしの快適性の向上、生物多様性の保全など、気候変動の緩和の面以外にも、効果を発揮する対策については、コベネフィットを有することを活かし、多面的な政策展開を実施する。

現状において研究開発段階や普及初期段階である対策については、今後、普及のS字カーブの段階に応じた政策を講じることが必要となる。持続可能な開発に向けて目的横断的な対応が必要とされるものについては、統合的な戦略を策定して対策が推進される。2050年GHGネットゼロの実現を確実なものにしていくためには、政策の対象・特徴・範囲を十分に考慮して、それぞれに適したものを設計していくことが必要である。

表4-2 日本の2050年GHGネットゼロ実現に向けて必要とされる気候政策の分類

		アウトカムのフレーミング	
		緩和の強化	緩和・開発など多面的な目的への対処
政策立案 に対するア プローチ	インセンティブ をシフトさせる	『緩和策そのものに焦点をあてる』 対策 ○ BATの普及 ○ エネルギーの低炭素化 政策 ○ カーボンプライシング ○ 排出の見える化	『コベネフィット』 対策 ○ 住宅・建築物の断熱性の向上 ○ 脱炭素交通・物流システム ○ 森林吸収源 政策 ○ グリーン建築基準 ○ 総合交通・物流計画 ○ 総合森林計画
	トランジション を可能にする	『社会・技術的移行』 対策 ○ 再生可能エネルギー ○ 新燃料・CCUS ○ 家庭・業務の電化 ○ 電動自動車 ○ 素材生産 革新的技術 政策 ○ 技術の「S字カーブ」のさまざまな 段階に対する統合政策	『発展経路をシフトするためのシステム移行』 対策 ○ 気候レジリエンスな開発 (SDGs/緩和/適応) ○ 脱物質・循環型社会への移行 ○ バイオマス資源 政策 ○ サプライチェーン・産業グリーン化 ○ CN/CE/NP統合戦略 ○ CN実現に向けたガバナンス・政策・ファイナ ンス・国際協力の強化

5. まとめ

本研究では、日本において2050年に脱炭素社会を実現する取り組みについて定量的な分析を行った。特に、脱炭素社会の実現において重要な再生可能エネルギーの導入の比率と、化石燃料の代替となる新燃料の国内生産の比率が変わることで、どのような影響が生じるかについて分析を行った。結果は、以下の通りである。

(1) 2050年GHGネットゼロの実現に向けて強化すべき対策

- ・ 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、2050年GHGネットゼロの達成は難しくなり、2050年における削減量は7割程度（2013年度比）に留まる結果となった。一方で、革新技術の普及や脱炭素社会に資する社会変容に向けた取り組みを2030年以降に大規模に推進することで、2050年GHGネットゼロに向けた道筋を描くことができるようになる。
- ・ 2050年GHGネットゼロに向けて、2030年までに展開する対策は2030年以降も弛まなき政策的後押しをすることは言うまでもないが、それに加えて2030年以降、下記のような取組を大規模展開させていくための後押しが今から必要である。
 - － 省エネ・電化：産業、民生、運輸貨物の電化推進、電炉鋼利用・クリンカ代替推進
 - － 電力の脱炭素化：再生可能エネルギー発電、LNG・バイオマス火力のCCUS付与
 - － 産業プロセスのCCUS
 - － 新燃料利用・供給の拡大
 - － 廃棄物、農業、冷媒対策
 - － 社会変容

- ・ 2050年GHGネットゼロの実現には社会、経済、エネルギーシステムの抜本的なトランジションが必要となる。インセンティブの付与によって緩和を強化するのみでなく、トランジションを可能にすること、多面的な目的も同時達成することも考慮して政策を検討することが必要である。

(2)新燃料利用の普及拡大に伴う電力需要の増加

- ・ 最終エネルギー消費部門の電化の進展により、電力比率は現状よりも大幅に増加するが、産業部門や運輸貨物部門など電化が容易ではない領域が存在する。その領域において、脱炭素化を実現するためには、新燃料利用の推進は必須となる。本研究では2050年の国内生産比率を10~45%で想定したが、そのために、1,260~4,060億kWhの新たな需要が生じると試算された。
- ・ 電化の進展を停滞させることは最終エネルギー消費部門の電力需要の低減に繋がる、しかし、2050年GHGネットゼロに向けて新燃料の追加需要が生じ、この需要を賄うために更なる電力需要の増加を招くことになる。
- ・ 新燃料を海外に依存することは、海外での再生可能エネルギー発電またはCO2貯留の増加を誘発する。本研究では2050年の新燃料輸入比率を55~90%で想定したが、全てグリーン水素と仮定した場合、その生産のために必要な電力量は3,470~7,080億kWhと試算された。海外での再生可能エネルギー開発も視野に入れた戦略が重要となる。

(3) 脱炭素電源100%に向けて

- ・ 電力需要のうち、最終エネルギー消費部門の需要については、省エネの進展と電化の進展が相殺し、2050年も現状程度である。しかし、新燃料の生産に伴う電力需要が新たに加わり、2050年GHGネットゼロを実現するケースにおける2050年の発電電力量は1.2~1.5兆kWhとなり、2018年度の1.2~1.4倍程度に相当する。しかもその全てが脱炭素電源（再生可能エネルギー発電、原子力発電、CCUS付き火力発電、水素・アンモニア発電）による電力供給が必要となる。
- ・ 再生可能エネルギー発電の構成比や新燃料の国産比率に問わず、2050年GHGネットゼロを実現するどのケースにおいても、化石燃料の輸入額は大幅に低減し、エネルギー自給率は大幅に向上する。また、エネルギー供給システムの構築・運用のために必要な費用は、ケース間においてそれほど大きな差は生じない。
- ・ 脱炭素発電システムの実現に向けて、本推計では再生可能エネルギー発電が少ないケースでも、その発電量は2050年に2030年の2倍を超える。再生可能エネルギー発電、及び新燃料の国内自給率を高めた場合には、太陽光発電は2030年目標（111GW）の3倍以上、洋上風力は2040年案件化目標（45GW）の2倍以上の導入が必要となる。加えて、変動性の高い太陽光発電、風力発電の導入拡大に向けて、蓄電の増強など電力システムの強靱性を強化させる必要がある。

- ・再生可能エネルギー発電の割合が低位になると、脱炭素対策を施した火力発電の割合が高くなる。CCUS付き火力発電はCO₂利用量・処分量からその導入量に制約がかかるため、水素・アンモニア発電に期待がかかる。本推計では2050年の水素・アンモニア発電の発電電力量が最も大きいケースでは発電量は約0.3兆kWhとなる。そのために必要な水素・アンモニアは水素換算で14百万トンとなり、発電だけで2050年水素供給目標の4分の3に達する。
- ・どの電源であれ、脱炭素電源の拡大は容易ではない。電力需要が急増するのは、2035年以降、新燃料の需要量が増加するためである。2035年までの期間は、将来的に大量導入が必要とされる再生可能エネルギー発電とCCUSの普及を進めつつ、その他の発電についても、技術開発の進展、国際状況、国内立地制約などを勘案しつつ、将来の経路を検討していくことが必要となる。

(4) 2050年GHGネットゼロに向けたデジタル化・循環経済の進展を前提とした社会変容

- ・2050年GHGネットゼロの実現のためには再生可能エネルギーや新燃料に対する需要が増大するが、その需要に見合う供給を行うことは容易ではない。デジタル化・循環経済の進展を前提とした社会変容は、エネルギーを必要とするサービス需要量を低減させるため、エネルギー需要の低減につながる。また、エネルギーシステムに対する投資額を低減する。今回の分析では、社会変容によって、例えば、2050年の洋上風力発電の発電容量が73万kWから59万kWに、2050年の新燃料需要量が水素換算で24百万トンから20百万トンに低減し、30年間の総投資額については283兆円から237兆円に低減している。デジタル化・循環経済の進展を前提とした社会変容は脱炭素社会の実現性を高めることに繋がることが示唆された。（文中の数字は、「革新技術 | 再エネ75 | 新燃料 国内25」ケースと「社会変容 | 再エネ75 | 新燃料 国内25」ケースとの比較）

今後の課題としては、2030年から2050年の排出経路について詳細な分析を行い、2035年、2040年の削減可能性を検討することが挙げられる。2050年までにはGHGネットゼロを達成する排出経路において、2035年、2040年にフォーカスをあてて、対策技術的の削減の組み合わせとそれぞれの排出量・削減量、それぞれの組み合わせの経済性評価、対策導入の障壁・トレードオフ・コベネフィットなどの検討などを通じて、各年における削減可能性を多面的に評価する予定である。

謝辞

本研究は、環境省・（独）環境再生保全機構の環境研究総合推進費（JPMEERF20231002）により実施した。

参考文献

- 1 Masui, T. (2005) Policy Evaluations under Environmental Constraints Using a Computable General Equilibrium Model, European Journal of Operational Research, Vol.166, No.3, pp.843-855. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2004.07.002>
- 2 Kainuma M, Matsuoka Y, Morita T. (2003) Climate Policy Assessment: Asia-Pacific Integrated Modeling. Springer, Tokyo, New York. <https://doi.org/10.1007/978-4-431-53985-8>
- 3 Gao L, Ashina S (2020) Willingness-to-pay promoted renewable energy diffusion: The case of Japan's electricity market, Journal of Cleaner Production Vol.330 (2022).
- 4 環境省 日本のNDC（国が決定する貢献）
<https://www.env.go.jp/earth/earth/ondanka/ndc.html>
- 5 資源エネルギー庁 (2021) 2030年度におけるエネルギー需給の見通し（関連資料）
https://www.enecho.meti.go.jp/category/others/basic_plan/
- 6 環境省 再生可能エネルギー情報提供システム（REPOS）ポテンシャル情報
<https://www.renewable-energy-potential.env.go.jp/RenewableEnergy/42.html>
- 7 洋上風力の産業競争力強化に向けた官民協議会 (2020) 洋上風力産業ビジョン(第1次)
<https://www.mlit.go.jp/kowan/content/001382705.pdf>
- 8 経済産業省 (2023) CCS 長期ロードマップ検討会 最終とりまとめ
https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/ccs_choki_roadmap/20230310_report.html
- 9 再生可能エネルギー・水素等関係閣僚会議 (2023) 水素基本戦略
https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/saisei_energy/pdf/hydrogen_basic_strategy_kaitei.pdf
- 10 燃料アンモニア導入官民協議会 (2021) 燃料アンモニア導入官民協議会中間取りまとめ
https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/nenryo_anmonia/20200208_report.html
- 11 IPCC (2022) Mitigation of Climate Change, Working Group III Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change
<https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/>

付録A

表 A- 1 活動量の想定

部門	項目	単位	2018	2030	2035	2040	2050
家庭部門	世帯数	(千世帯)	54,801	55,064	53,860	52,256	49,743
業務部門	業務床面積	(百万m ²)	1,903	1,965	1,931	1,881	1,757
産業部門	鉄鋼 粗鋼生産量	(百万トン)	102.9	90.0	87.0	84.0	78.0
	セメント セメント生産量	(百万トン)	60.2	56.0	54.6	53.2	54.9
	有機化学 エチレン生産量	(百万トン)	6.2	5.7	5.5	5.3	4.7
	紙パルプ 紙板紙生産量	(百万トン)	26.0	22.0	21.3	20.6	19.8
	生活関連財 生産指数	('18=1.00)	1.00	1.05	1.07	1.06	0.94
	機械 生産指数	('18=1.00)	1.00	1.17	1.18	1.18	1.33
運輸部門	その他製造業 生産指数	('18=1.00)	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99
	旅客輸送量	(十億人km)	1,459	1,375	1,330	1,280	1,176
	貨物輸送量	(十億t-km)	411	423	412	406	399

表 A-2 家庭部門の対策普及見通し

削減	対策		単位	2018	2030	2035	2040	2050
①サービス需要低減	・住宅高断熱化	ZEH水準以上	普及率 新築	10%	100%	100%	100%	100%
		ZEH+水準	普及率 新築	0%	50%	63%	75%	100%
		断熱改修	年間実施戸数		40万戸	40万戸	40万戸	40万戸
	・エネルギー管理 (10%改善)		普及率	1%	80%	90%	100%	100%
②エネルギー効率改善	・エアコンの効率改善		効率 販売	6.0	6.8	7.1	7.4	8.0
	・電気HP給湯機の効率改善		効率 販売	3.3	3.9	4.1	4.4	5.0
	・LED普及拡大	LED電球	普及率 保有	46%	96%	100%	100%	100%
		LED照明器具		30%	59%	87%	99%	100%
	・家電機器・情報機器の効率改善		—	トップランナー制度における見込みの着実な進展				
③電化	・暖房の電化: エアコン		普及率 保有	67%	78%	83%	88%	95%
	・給湯の電化: 電気HP給湯機		普及率 保有	15%	38%	48% 60%	59% 70%	75% 80%
	・炊事の電化: 電気調理器		普及率 保有	23%	23%	23% 37%	23% 52%	23% 58%
④エネルギーの脱炭素化	・合成燃料の普及		燃料消費量比	0%	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。

表 A-3 業務部門の対策普及見通し

削減	対策		単位	2018	2030	2035	2040	2050
①サービス需要低減	・高断熱化	ZEH水準以上	普及率 新築	24%	100%	100%	100%	100%
		断熱改修	実施率 保有		0.5%/年	0.5%/年	0.5%/年	0.5%/年
	・エネルギー管理 (5%改善)			普及率	16%	48%	64%	80%
②エネルギー効率改善	・空調の効率改善		効率※ 販売	4.6~5.1	5.1~5.7	5.4~6.0	5.7~6.3	6.2~6.9
	・電気HP給湯機の効率改善		効率 販売	3.9	4.6	4.9	5.2	5.7
	・LED普及拡大	LED電球	普及率 保有	73%	98%	100%	100%	100%
		LED照明器具		37%	100%	100%	100%	100%
	・家電機器・情報機器の効率改善		—	トップランナー制度における見込みの着実な進展				
③電化	・暖房の電化: 空調		普及率 保有	59%	76%	88%	94%	96%
	・給湯の電化: 電気HP給湯機		普及率 保有	2%	8%	11% 55%	13% 74%	18% 100%
	・炊事の電化: 電気調理器		普及率 保有	19%	19%	19% 25%	19% 38%	19% 100%
④エネルギーの脱炭素化	・合成燃料の普及		燃料消費量比	0%	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。

表 A-4 運輸部門の対策普及見通し

削減	対策	単位	2018	2030	2035	2040	2050
①サービス需要低減	・DX進展による移動低減(旅客)	10億人km	-	-	※	※	※
	・公共交通機関の利用促進	-	-	10	13 16	16 21	21 31
	・脱物質化進展による輸送低減	10億トンkm	-	-	※	※	※
	・貨物輸送モーダルシフト	-	-	14	17 21	21 28	28 42
②エネルギー効率改善	・乗用自動車の効率改善	販売 18=1.0	1.00	0.92~0.93	0.84~0.87	0.80~0.81	0.79~0.81
	・貨物自動車の効率改善	販売 18=1.0	1.00	0.89~0.91	0.81~0.86	0.76~0.81	0.73~0.81
	・鉄道・船舶・航空の効率改善	販売 18=1.0	1.00	0.91	0.87~0.89	0.82~0.87	0.73~0.83
③電化	・乗用自動車の電化:BEV・FCV	普及率 保有	0%	16%	40% 39~41%	62% 63~65%	90% 93%
	・貨物自動車の電化:BEV・FCV	普及率 保有	0%	6%	12% 15~16%	21% 33~34%	41% 76~78%
④エネルギーの脱炭素化	・自動車 合成・バイオ燃料	普及率	0%	0%	0% 0%	0% 13%	0% 100%
	・鉄道 合成・バイオ燃料	普及率	0%	0%	0% 6%	0% 25%	0% 100%
	・船舶 アンモニア	普及率	0%	0%	0% 25%	0% 50%	0% 100%
	・航空 合成・バイオ燃料	普及率	0%	10%	0% 15%	20% 20%	30% 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。

表 A-5 産業部門の対策普及見通し

削減	対策	単位	2018	2030	2035	2040	2050
①サービス需要低減	・電炉鋼の利用拡大	粗鋼生産比	25%	25%	25% 31%	25% 37%	25% 50%
	・クリンカ比率の低減	クリンカ比率	84%	82%	82% 79%	82% 76%	82% 70%
	・物質需要の低減	普及率 保有	-	-	※	※	※
②エネルギー効率改善	・在来型横断的技術の効率改善 - 低炭素工業炉 - 高効率モーター	普及率 保有	31~37% 6%	51~53% 51~54% 59%	58~60% 58~65% 79%	64~66% 64~77% 100%	79~82% 100% 100%
	・革新的技術 - 水素還元製鉄 - 革新的製紙技術	普及率 保有	0% 0%	0% 0%	0% 0% 0% 13%	0% 20% 0% 25%	0% 50% 0% 50%
③電化	・熱需要の電化 産業用HP	普及率 保有	0%	4%	4% 33%	8% 62%	11% 62%
④エネルギーの脱炭素化	・CCUS 鉄鋼・セメント・石化	普及率	0%	0%	0% 0~5%	0% 0~17%	0% 100%
	・プラスチックの脱石油化	普及率	0%	4%	6% 15%	8% 27%	12% 67%
	・新燃料・バイオ燃料	普及率	2%	3%	4% 8%	5% 22~23%	5% 66%

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。

表 A-6 農業・廃棄物部門の対策普及見通し

	対策	対象ガス	排出削減率(2018年度比)			
			2030	2035	2040	2050
●農業						
消化管内発酵	・ルーメンマイクロバイーム完全制御等	CH ₄	0%	0% -18%	0% -35%	0% -67%
家畜排せつ物管理	・発酵方法転換等 ・高度処理、飼料改良等	CH ₄	0%	-5% -19%	-10% -37%	-20% -71%
		N ₂ O	0%	0% -25%	0% -47%	0% -81%
稲作	・すき込み・中干期間・品種の改善・改良、	CH ₄	-8%	-21% -28%	-33% -44%	-47% -71%
農用地の土壌	・施肥方法転換、土壌微生物制御	N ₂ O	-7%	-7% -10%	-8% -41%	-10% -72%
●廃棄物						
固形廃棄物の処分	・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	CH ₄	-17%	-24% -30%	-31% -44%	-45% -72%
廃棄物の焼却	・プラスチック類排出抑制・再利用促進 ・廃油の焼却量の低減 ・下水汚泥焼却施設の燃焼高度化	CO ₂	-20%	-28% -36%	-37% -52%	-54% -84%
		N ₂ O	-52%	-52% -60%	-52% -68%	-52% -84%
排水処理	・CH ₄ ・N ₂ O発生抑制対策の開発・普及	CH ₄ ・N ₂ O	0%	-9% -15%	-17% -30%	-34% -61%

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。

表 A-7 HFCS部門の対策普及見通し

	対策	単位	排出削減率(2018年度比)				
			2018	2030	2035	2040	2050
●HFCs等4ガス							
冷蔵庫・空調機器	低GWPガス普及 稼働時漏洩低減 廃棄回収率向上	・冷媒GWP(出荷ベース)	2,283	450	450 338	450 225	450 0
		・業務用 使用時 漏洩低減率(18年比)	—	80%	80% 85%	80% 85%	80% 85%
		・業務用 廃棄時 回収率	39%	75%	75% 81%	75% 87%	75% 99%
		・その他 漏洩低減率(18年比)	—	50%	50% 62%	50% 75%	50% 99%
電子機器	低GWPガス普及 使用時漏洩低減	・GWP低減率(18年比)	—	—	25% —	50% —	99% —
		・漏洩低減率(18年比)	—	—	22% —	45% —	89% —
発泡剤	ノンフロン発泡剤への切り替え	・ウレタンフォーム用HFCs出荷量	3,109 t	450 t	450 t 0 t	450 t 0 t	450 t 0 t

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。

表 A-8 温室効果ガス吸収源の対策普及見通し

対策	CO ₂ 吸収量(MtCO ₂)			
	2030	2035	2040	2050
●温室効果ガス吸収源				
森林吸収 *1	-38	-36	-34	-30
農地土壌吸収 *2	-8.5	-6.5	-6.5	-6.5
都市緑化 *2	-1.2	-1.6	-1.6	-1.6

*1 2030年以降は近年の減少傾向を勘案して想定した目安の値

*2 2030年以降は2030年目標値や2021年の値をもとに想定