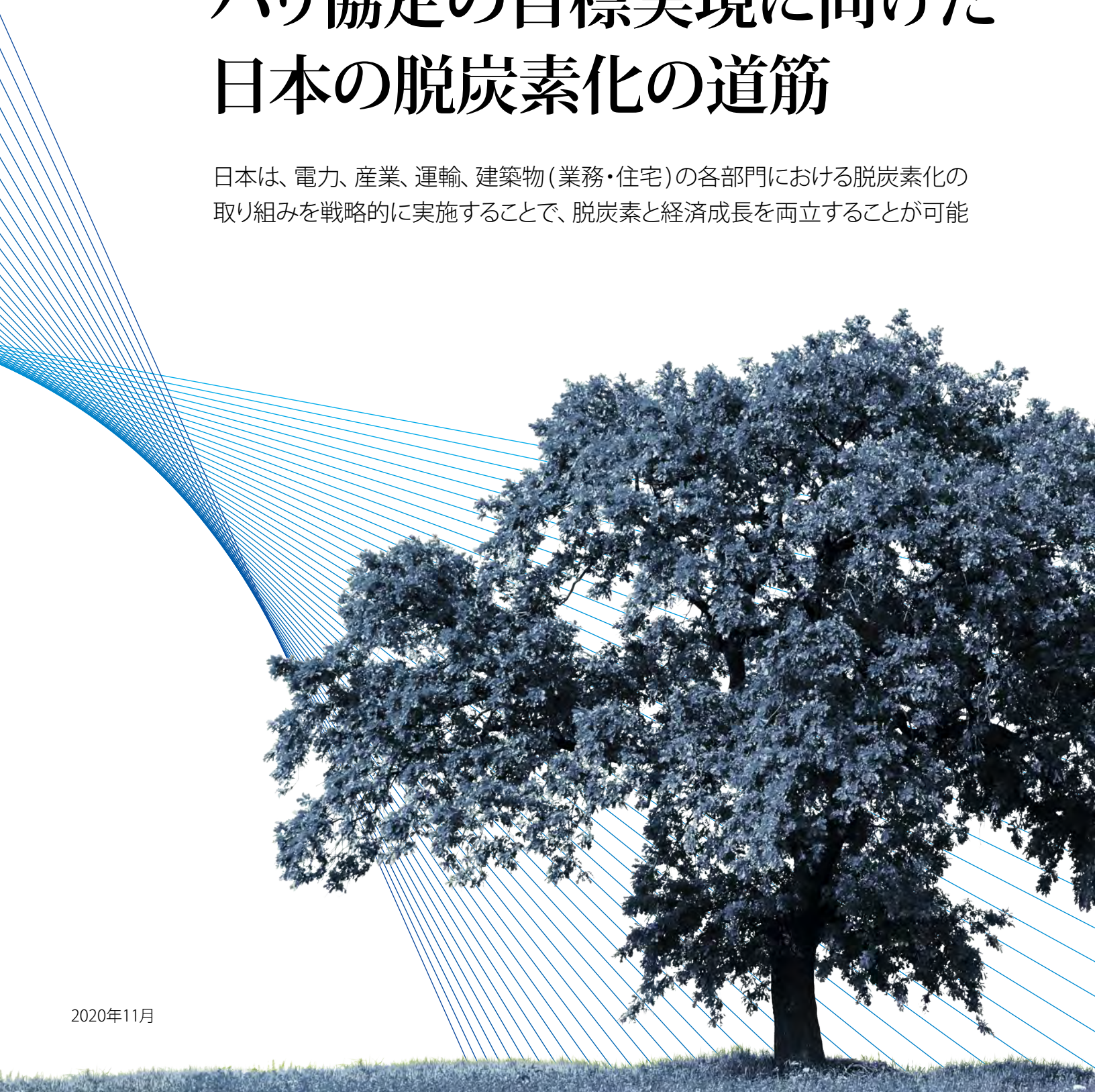


パリ協定の目標実現に向けた 日本の脱炭素化の道筋

日本は、電力、産業、運輸、建築物(業務・住宅)の各部門における脱炭素化の取り組みを戦略的に実施することで、脱炭素と経済成長を両立することが可能



Cover image:
© Narupon Promvichai/Getty Images

Copyright © 2020 McKinsey &
Company. All rights reserved.

This publication is not intended to be used as the basis for trading in the shares of any company or for undertaking any other complex or significant financial transaction without consulting appropriate professional advisers.

No part of this publication may be copied or redistributed in any form without the prior written consent of McKinsey & Company.

要 旨

日本は、パリ協定に基づき、温室効果ガスの排出量を対2013年度比で2030年(中期)までに26%削減し、2050年(長期)までに80%削減する目標を掲げ、さらに、2020年10月には菅義偉首相が所信表明演説において2050年で実質ゼロを目指すという、より一層踏み込んだ目標を掲げた。本レポートでは、この目標を達成するために、日本全体で必要となる脱炭素に対する投資コストが最適となるには「いつ、どのような脱炭素技術への導入を進めるべきか」を最初のマイルストーンとなる2030年を中心に、2050年に向けた示唆とともに分析した。この分析により、2030年の排出量削減目標のうち95%は総保有コスト減につながる施策により達成できること、さらにそれらの取り組みは、排出量の削減だけでなくGDP増加に寄与し、経済成長を促進しうることが明らかになった。また、2050年に向けては水素、CCS/CCU等の実用化を含め求められる抜本的な変革の方向性を示した。



はじめに

温室効果ガスの排出量の急激な増加により、地球の平均気温は、産業革命前と比較して1°C以上も上昇しており、日本でも、1900～2017年と比較して、平均気温は1.19°C上昇している¹。地球の平均気温の上昇は、海面を上昇させ、人間の健康や、農業、社会インフラ、経済活動などに深刻な被害を及ぼす異常気象をもたらす²。こうした異常気象は、地球温暖化が止まらない限り、悪化の一途を辿ることになる。

気候変動問題に対する最も大規模な取り組みとして、パリ協定において、地球の平均気温上昇を産業革命前と比較して2°C未満に抑え、さらには努力目標として気温上昇を1.5°Cに抑えるという世界共通の目標が掲げられた。現在のペースで温室効果ガスの排出が続けば2100年までに気温は3.5°C上昇すると予測される³ことから、この目標は非常に野心的と言える。

世界共通の温暖化抑制の努力の一環として、日本は、温室効果ガスの排出を、2030年に対2013年度比26%、2050年に80%削減することを目標として定めた。この目標は、年間排出量を2030年までに365MtCO₂e(CO₂換算百万トン)削減し、2050年までに、さらに760MtCO₂e削減することを意味する(年間総排出量は、2013年度の1,407MtCO₂eから2030年度には1,042MtCO₂e、2050年度には282MtCO₂eまで削減)。日本は、産業界におけるエネルギー効率の改善や活動量の減少、再生可能エネルギーの普及により、2016年度末時点で⁴、2013年度比ですでに年間102MtCO₂eの削減に成功しており、今後は、2030年までに年間263MtCO₂eの削減を実現する必要がある(図表 1)。

¹ 気象庁「気候変動監視レポート2017」(2018年10月、jma.go.jp)、閣議決定「気候変動の影響への適応計画」(2015年11月27日)、env.go.jp)

² US National Climate Assessment 2018, Volume II: Impacts, risks, and adaptations in the United States, US Global Change Research Program, nca2018.globalchange.gov.

³ Emission Gap Report 2019, United Nations Environment Program, unep.org.

⁴ 本分析では2016年を基準年とする。これは、2019年4月時点で本分析が開始された当時、最新の日本国温室効果ガスインベントリ報告書が2016年度のものであったため。現在2018年度の報告書も公開されており、2018年度の日本の総排出量は1,240MtCO₂e

2020年初頭からCOVID-19の猛威に見舞われ、気候変動リスクに対する危機意識が一時その陰に隠れた時期もあったが、中長期的にみれば依然としてより多くの人命やインフラ・経済に甚大な影響を及ぼすリスクであり続ける。直近ではそのCOVID-19に対する景気浮揚策として欧州を中心に脱炭素分野への投資が加速する傾向も見られ、気候変動対策の重要性は増していると言える。このような中、日本はどのような措置を講じればよいのか。本レポートでは、日本にとって最も経済合理的な需要・供給における技術オプションを提示し、脱炭素化技術を普及させるために必要となる投資を概算し、実行に必要な施策や条件について詳述する。

本レポートでは、日本の2016年度温室効果ガス排出量の79%を占める電力、産業⁵、運輸および建築物(業務・住宅)部門からの排出量を対象として分析を実施した⁶。これらの部門の多くは、2030年までに活動量が増加することが見込まれており⁷、その活動量の増加に伴い、2016年から2030年までに温室効果ガス排出量は年間37MtCO₂e増加する。したがって、2030年の削減目標を達成するためには、前述の4つの部門において、合計で年間365MtCO₂e削減する必要がある。本分析の結果、日本は適切な脱炭素化技術への投資によって、この削減量を達成できるとともに、国全体として利益を享受できる世界的にも珍しい国であることが示された。

今回シミュレーションを実施した分析モデルでは、各部門における既存活動量と活動量予測、既存の技術ミックス、技術コスト動向を基に、排出量目標制限を達成できる前提で1年ごとに技術の切り替えをシミュレーションし、2016年から2030年かけてのシステムコストを最小化するよう、低炭素技術のミックスを最適化した。また、電力部門においては、日本の電力需要曲線、再生可能エネルギーの賦存量・供給状況、および各部門における電化による電力需要増加の予測を考慮し、電力システムの需給バランスと安定性を担保した上で、1時間ごとのシミュレーションを行った。

⁵ 産業には、鉄鋼、セメント、精錬、製紙が含まれる

⁶ 残りの対象外の排出量は、農業、廃棄物、土地利用、土地利用変化および林業(LULUCF)によるものである

⁷ 産業活動量、経済産業省(METI)の「長期エネルギー需給見通し」に使用される活動量予測を使用。活動量が増加すると見込まれる産業に関して、その上昇分の排出量増を、2030年までに必要な削減量(300MtCO₂e)に織り込み。活動量が減少すると見込まれる産業に関しては、その減少を排出量削減施策として扱い、以下の分析で詳述する



脱炭素化に向けた日本の現在の 努力と課題

日本の温室効果ガス排出量は、過去30年にわたり年間0.1%程度の微増で推移してきた⁸。2008年から2011年にかけては世界金融危機により排出量は減少したが、2011年に発生した東日本大震災による原子力発電所の運転停止により火力発電が増加し、排出量も大幅に増加した。その結果、電源構成に占める火力発電の割合は、2010年の65%から、2012年には89%にまで増大した⁹。2016年の日本の排出量は1,305MtCO₂eであり、これは中国、米国、インド、ロシアに次ぎ世界第5位となる¹⁰。

パリ協定の署名にあたり、日本は、温室効果ガスの排出量を2030年までに26%、2050年までに80%削減するという目標を掲げた(いずれも2013年度の1,407MtCO₂e比)。2030年の目標を実現するには、今後10年にわたり年間1.8%の削減が必要となる。より野心的な2050年の目標達成には、2030年から2050年にかけて年間平均6.3%の削減が必要となる。

パリ協定の署名に加え、日本政府は、2030年に焦点を絞った「地球温暖化対策計画」や「長期エネルギー需給見通し」、および2050年に向けての戦略的方向性を示した「パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略」など、脱炭素化に向けたロードマップを策定した。民間企業も、脱炭素化において自らが果たすべき重要な役割を認識しており、各業界団体も「低炭素社会実行計画」を推進している。

⁸ 国立環境研究所温室効果ガスインベントリオフィスによると、温室効果ガス排出量は1990年度の1,275MtCO₂eから2017年度の1,292MtCO₂eにまで上昇した

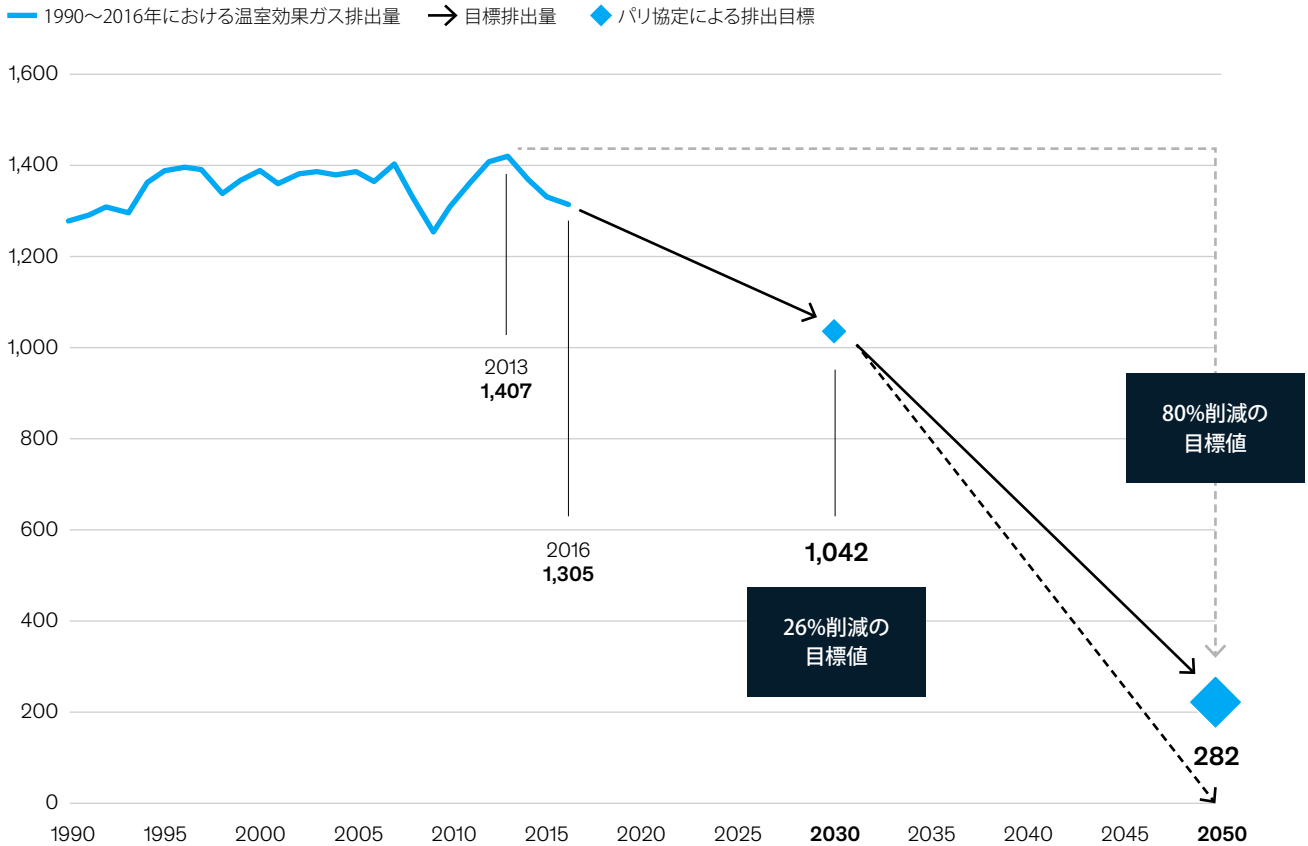
⁹ METI 資源エネルギー庁「総合エネルギー統計」(2019年6月27日、enecho.meti.go.jp)

¹⁰ Fossil CO₂ & GHG emissions of all world countries, 2017, EDGAR—Emissions Database for Global Atmospheric Research, October 30, 2017, edgar.jrc.ec.europa.eu.

図表 1

日本は温室効果ガス排出量を対2013年比で2030年までに26%削減し、2050年までに80%、または実質ゼロとする削減目標を掲げている

日本の二酸化炭素排出量の推移(1990~2016年) および2050年に向けての削減目標
二酸化炭素換算値(MtCO₂e)



資料: UNFCCC 国家インベントリ報告書 2018年、国立環境研究所

日本の産業界は、排出量削減において過去に著しい実績をあげており、例えばエネルギー消費のGDP原単位は、1970年代から2010年代にかけて40%も大幅に改善されている¹¹。これは主に、電力、鉄鋼および化学工業部門におけるエネルギー効率が50%改善したことが大きな要因と見られる¹²。また、日本においては、人口減少やそれに伴う経済活動の減速による排出量の低減も予想される。

しかしながら、日本にとって、脱炭素化の目標は容易に達成できるとは言えない側面があることも事実だ。日本の排出量の33%が、脱炭素化技術が現時点ではまだ成熟していない「削減困難」とされている産業部門で占められており、また、発電部門でも高い火力発電比率により、日本のエネルギー消費のCO₂排出原単位はOECD諸国の中でも最も高い¹³。

¹¹ DataBank, World Bank, June 27, 2019, databank.worldbank.org.

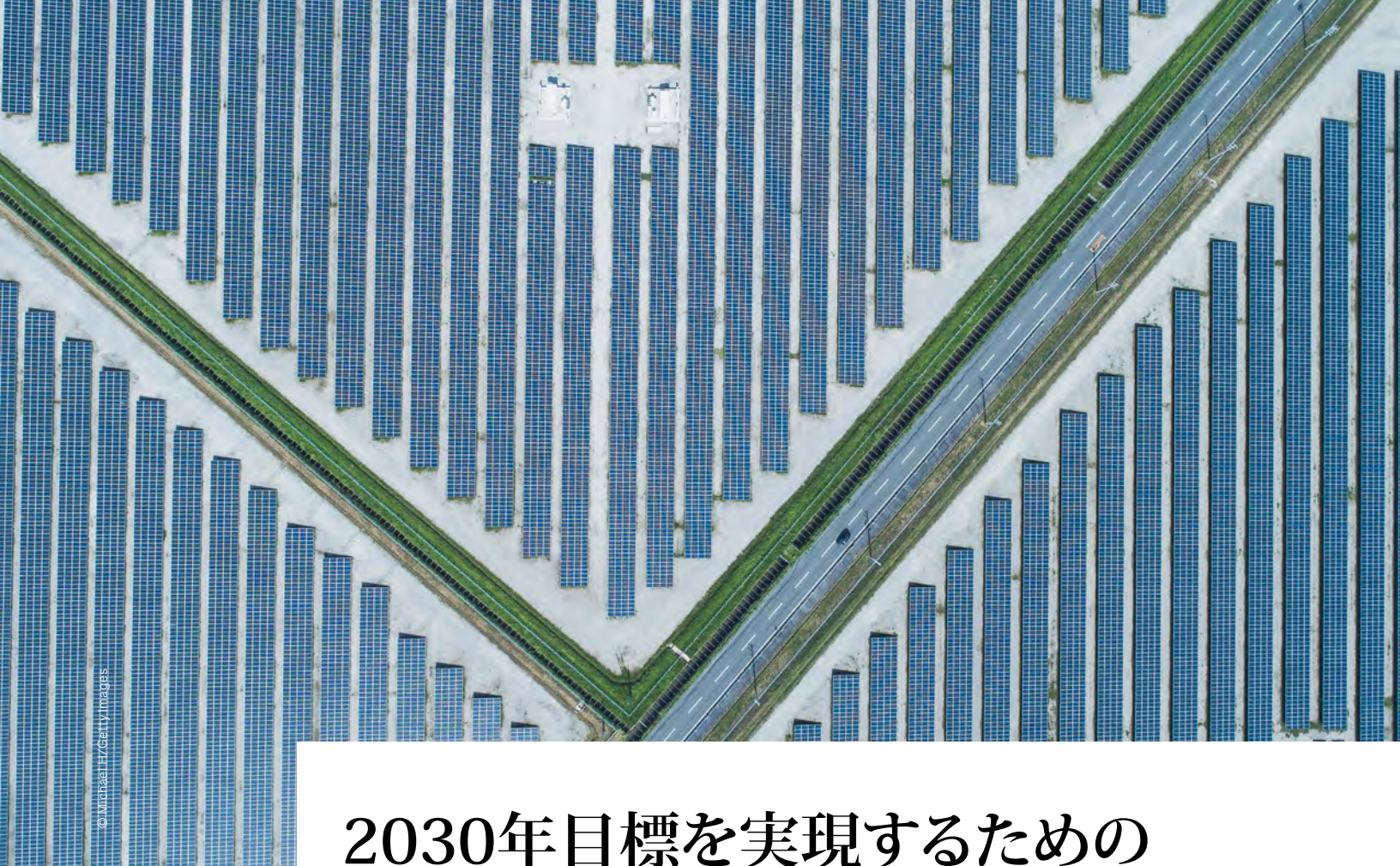
¹² 各工業会が報告した部門ごとの生産量、および温室効果ガスインベントリオフィスが報告した部門ごとの排出量に基づき算出

¹³ Investing in climate, investing in growth, first edition, Paris, France: OECD Publishing, 2017

本分析により、日本の2030年の排出量削減目標のうち、95%が総保有コスト(初期投資コストおよびライフタイム使用コスト)減につながる施策により達成可能であることが明らかとなった。

政府の「地球温暖化対策計画」において、削減量のうち最も大きな割合を占める原子力発電の再稼働の見通しも、いまだに不透明である。日本政府の「長期エネルギー需給見通し」では、電源構成に占める原子力発電の割合を2017年の3%から2030年までに20~22%とすることを目標している。しかしながら、追加安全対策、テロ対策などの安全基準の厳格化により原発の再稼働の進捗も遅れており、また世論も半数以上が現時点で反対している¹⁴。これらの事情を踏まえ、本分析では、日本の電源構成における原子力発電の割合について、2つのシナリオを検討し感度分析を実施した。「原発の再稼働を想定したシナリオ」では、「長期エネルギー需給見通し」の通り、原子力発電が2030年までに日本の電源構成の20~22%を占めると仮定する。また「原発停止シナリオ」では、2030年までに原子力発電がゼロとなると仮定する。

¹⁴ 世論調査によると、2017~2018年に20~35%の回答者は原発再稼働に賛成し、50~75%は反対(電力・ガス事業分科会 原子力小委員会.第17回会議(2018年3月20日))



2030年目標を実現するための 取り組み

本分析では、2030年までに365MtCO₂eの排出量削減を達成できる技術ミックスを、2015年から2030年にかけて総投資コストを最小化するように最適化し、分析結果を、左から右に施策のコスト効率の高い順に並べ、限界削減費用曲線で表した(図表 2)。限界削減費用曲線の各ブロックは一つの排出量削減施策を示す。各ブロックの横幅は、対2016年度比で見た2030年までの年間温室ガス削減ポテンシャルを示す。各ブロックの高さは、二酸化炭素1トンの排出削減に必要な限界削減費用(脱炭素化技術と既存技術の二酸化炭素1トン当たりのTCOの差)を示す。仮に原子力発電所が2030年エネルギーミックスの目標通りに「原発の再稼働を想定したシナリオ」での脱炭素技術のポートフォリオ(図表 3)、および、及びそのうち大きく寄与する技術は下記となる¹⁵。

ゼロエミッション電源の導入拡大(174MtCO₂eの年間排出量削減)は、2030年目標の達成に最も重要である。日本での原子力発電の将来の方向性はいまだに不透明で議論が続けられているが、単純に脱炭素化の観点から見た場合、原発の再稼働(112MtCO₂e)は、経済合理性が高く、かつ排出量削減規模の大きい施策と言える。また、原発の再稼働の次に、太陽光や陸上風力などの再生可能エネルギーの大規模導入(62MtCO₂e)も、他のどの部門の施策よりも高い排出量削減のポテンシャルを有している。

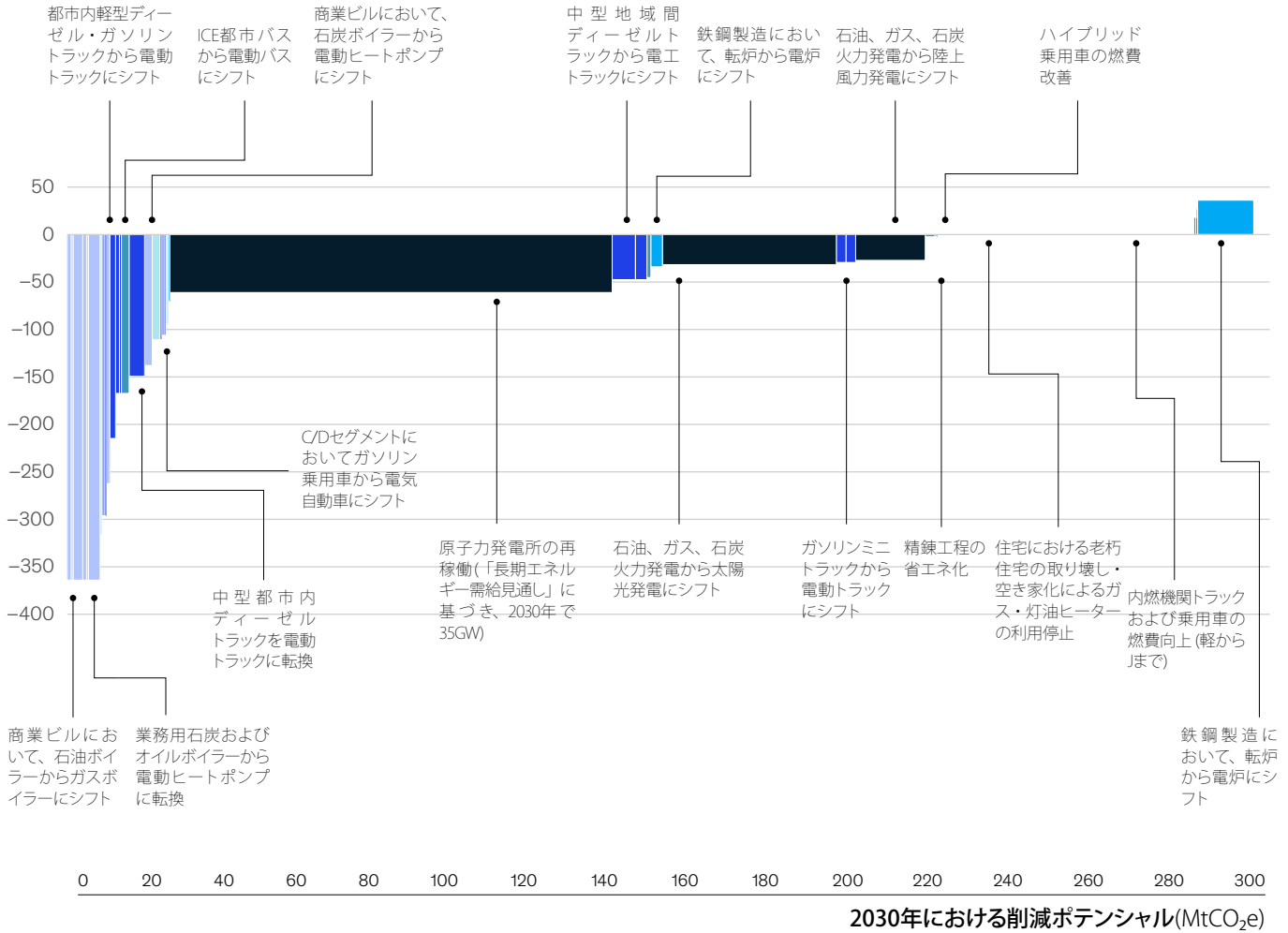
¹⁵ 四捨五入のため合計値は合わない

図表 2

日本の2030年の排出量削減目標のうち、95%が総保有コスト減につながる施策により達成可能
「原発の再稼働を想定した場合のシナリオ」

限界削減費用(ドル/tCO₂e)

■ 電力 ■ 産業 ■ 運輸(トラック) ■ 運輸(乗用車) ■ 運輸(バス) ■ 建築物(業務・住宅)

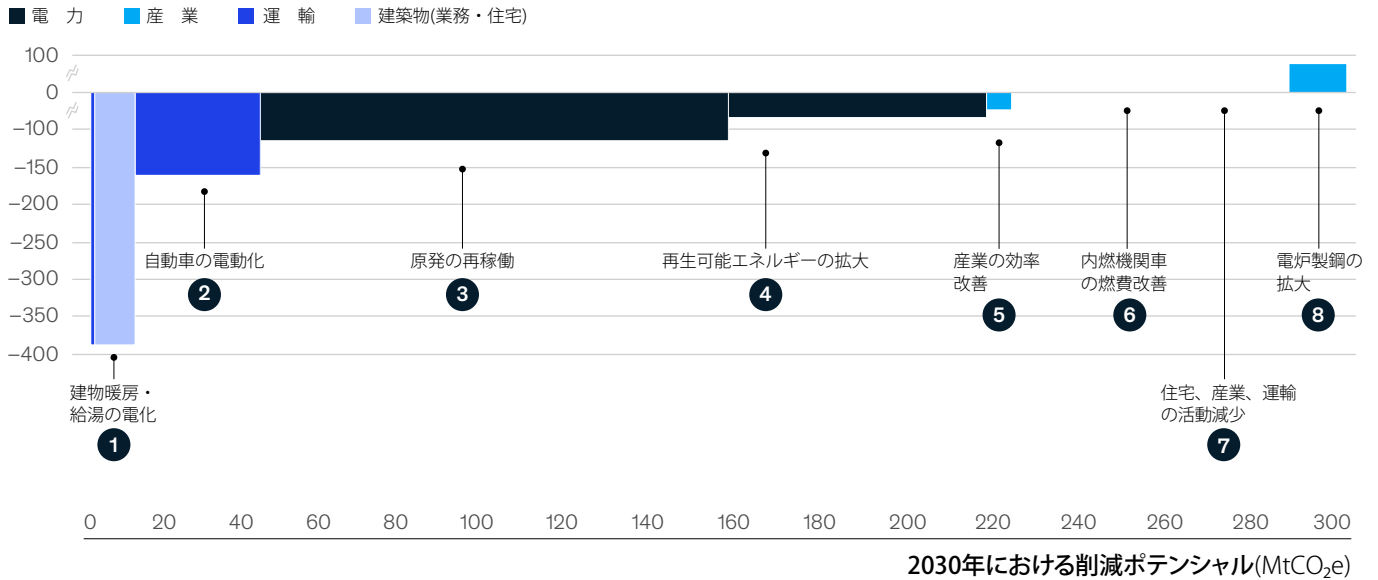


資料: Decarbonization Pathway Optimizer by McKinsey Sustainability Insights

図表 3

2030年の排出量削減目標は、8種類の施策で達成可能 「原発の再稼働を想定した場合のシナリオ」

限界削減費用(USD/tCO₂e)



資料: Decarbonization Pathway Optimizer by McKinsey Sustainability Insights

建築物(住宅)(15MtCO₂e)、産業(10MtCO₂e)、運輸(内乗用車)(6MtCO₂e)部門における活動量減も、電力の次に2030年の目標達成に大きく寄与する。このような人口減少による排出量の「自然減」は、脱炭素化の追い風となる。

運輸(30MtCO₂e)、産業(15MtCO₂e)、建築物(11MtCO₂e)部門におけるエネルギー需要機器の電化、および電化以外での運輸(34MtCO₂e)と産業(6MtCO₂e)における既存技術上効率改善も重要な施策となる。

最も注目すべきは、本分析により、日本の2030年の排出量削減目標に対し、95%は総保有コスト(初期投資コストおよびライフタイム使用コスト)減につながる施策により達成可能であることが明らかとなったことである。これには、電気自動車やヒートポンプ、再生可能エネルギーなどの脱炭素化技術のコストの急激な低減が牽引力となる。また、生産活動の減速も排出削減という点では追い風となる。

部門ごとで見ると、電力、運輸、建築物(住宅)部門で、2030年までに2016年度比で25%以上の排出量が削減されることになる(図表 4)。工業および商用建築物部門では、鉄鋼の生産量や商業施設の床面積の増加が見込まれるため、排出量削減の割合は比較的小さい。

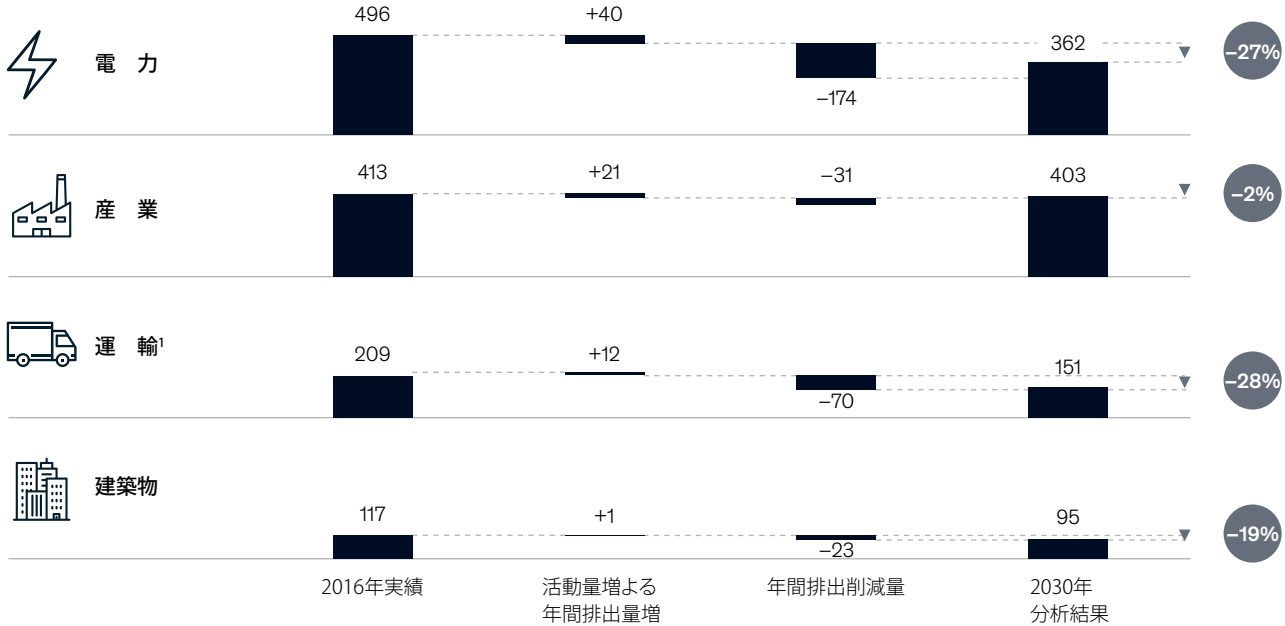
電力

電力部門は、2016年には496MtCO₂eの温室効果ガスを排出しており、全排出量の38%と最大の割合を占める。2016年の総発電量は1,053TWhであり、そのうち、天然ガスが41%、石炭が33%、再生可能エネルギーが15%、石油が10%、原子力発電が2%を占めていた。本分析においては、電力需要セクターにおける電化の導入拡

図表 4

2030年の運輸、電力部門は、現在排出量比で排出削減量最も大きい

年間温室効果ガス排出量(MtCO₂e)



¹ 乗用車および商用車のみを対象
資料: Decarbonization Pathway Optimizer by McKinsey Sustainability Insights

大により、電力需要は2030年までに8%増加し、2030年の総発電量は1,139TWhまで伸びると想定する¹⁶(本分析では政策要因を除いた経済要素のみでの計算を目的としているため、老朽石炭火力の休止は考慮に入れていない)。

コスト最適化分析の結果、電力部門の排出量削減は、2030年目標の365MtCO₂eのうち174MtCO₂e(48%)を占め、これは全部門の中で最大となる。一方、電力需要セクターでの電化導入拡大(後で詳述)により電力需要は8%増加し、ベースライン排出量も8%(40MtCO₂e)伸びることが見込まれる。これらを合わせると、電力部門の2030年の排出量は362MtCO₂eとなり、対2016年度比で27%(134MtCO₂e)の削減となる(図表 4)。

この174MtCO₂eの削減は、石油、石炭およびガスによる発電から、ゼロエミッション電源である風力、太陽光、原子力発電へのシフトで達成可能となるが(図表 5)、これには変動性のある再生可能エネルギーを電力系統接続させるための蓄電池や系統増強等のインフラ整備も不可欠である。

不確実性の高い原子力発電については、前述の通り2つのシナリオを用いて感度分析を行った。政府の「長期エネルギー需給見通し」にそって再稼働をおりこんだ「原発の再稼働を想定したシナリオ」においては、再稼働のみで112MtCO₂eの排出量削減が見込まれ、限界削減費用は-64ドル/トンとなる。また、陸上風力および太陽光発電により、さらに62MtCO₂eの排出量削減が可能となり、限界削減費用は-33ドル/トンとなる。こ

¹⁶ 本分析では、電力系統運用者の観点からの電力需要を満たすための電源構成を最適化するため、大規模集中電源のみを考慮する。分散型電源の導入は、需要家の経済的メリットに基づくものであるため、ここでは考慮していない

れには、陸上風力発電の電源構成に占めるシェアを2016年の1%未満(発電設備容量4GW)から4%(15GW)に増やし、太陽光発電のシェアを4%(39GW)から12%(84GW)にまで引き上げる必要がある。

一方で、仮に原子力発電が全て稼働しない「原発停止シナリオ」においては、前述の原発再稼働による112MtCO₂eの削減を主に太陽光および陸上風力発電で賄う必要があり、太陽光と陸上風力発電で合計174MtCO₂eの排出量削減をカバーすることで限界削減費用は-25ドル/トンとなるが、「原発の再稼働を想定したシナリオ」における限界削減費用の-53ドル/トン¹⁷に比べると若干高くなる。この場合、電源構成に占める陸上風力の割合を13%(47GW)、太陽光発電の割合を17%(120GW)にまで引き上げる必要がある。

両シナリオとも火力発電の割合は減少するが、「原発停止シナリオ」においては、ガスが電源構成に占める割合は2030年も依然として38%程度であり、ガス火力の減少スピードはより緩やかになる。これは、原発の発電量をカバーするため、および変動性のある再生可能エネルギーの増加に対する調整力を確保するために必要となる。

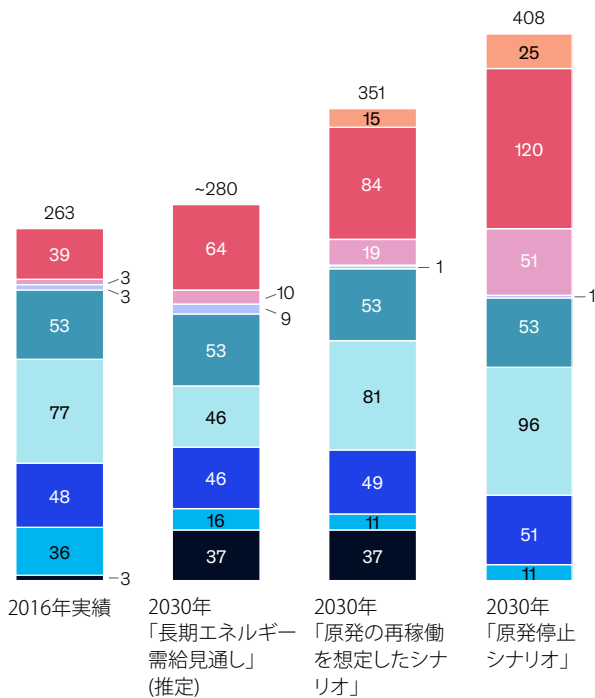
¹⁷ これは、原発のフル再稼働による112MtCO₂e(-64ドル/トンの限界削減費用)と、太陽光および陸上風力発電による62MtCO₂e(-33ドル/トンの限界削減費用)の加重平均である

図表 5

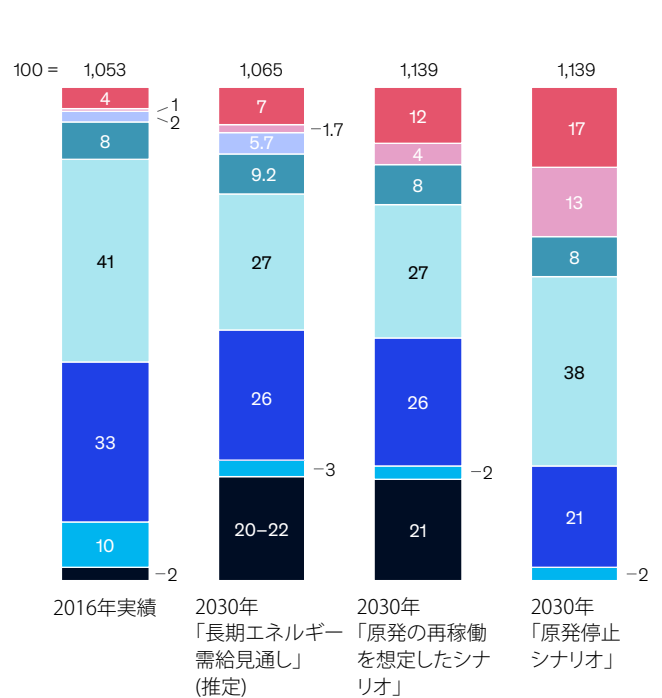
原子力発電の再稼働状況によらず、太陽光・風力・蓄電池の導入により脱炭素が実現される

■ 原子力 ■ 石油 ■ 石炭 ■ LNG ■ 水力 ■ 風力(陸上・洋上) ■ 太陽光 ■ バイオマス、地熱 ■ 蓄電池

発電容量(GW¹)



電源構成(TWh、%²)



¹ ギガワット = 100万キロワット

² テラワットアワー = 100百万キロワットアワー

資料: 総合エネルギー統計、「長期エネルギー需給見通し」、Decarbonization Pathway Optimizer by McKinsey Sustainability Insights

グローバルでの脱炭素化技術のコストが急速に低減する中で、再生可能エネルギーの発電コストは火力発電のコストより安価となり、前述の電源構成において電力システムのコストは低減する。2016年の年間発電コストの850億ドル(81ドル/MWh)に対し、両シナリオとも2030年の年間発電コストは730億ドル(64ドル/MWh)まで減少すると見込まれる。2016年から2030年にかけての合計の発電コスト削減額は、「原発の再稼働を想定したシナリオ」においては約1,000億ドル、「原発停止シナリオ」においては680億ドルに達する。

このようなコスト削減ポテンシャルの実現には、陸上風力および太陽光発電の大規模拡大(それぞれ現在の発電容量の2.3倍、3.9倍に拡大)が必要となるが、それらは系統増強対策など国によるリーダーシップが必要となる課題はあるものの、達成可能な規模であると考えられる。

- **日本には十分な再生可能エネルギー導入ポテンシャルが存在。**「原発停止シナリオ」においても、2030年に必要となる陸上風力発電の導入容量は総導入ポテンシャルの28%(169GW)程度、太陽光発電の導入容量は総導入ポテンシャルの26%(455GW)程度となっている¹⁸。
- **需給の柔軟性の確保が可能。**本分析では、2030年までに変動性再生可能エネルギーなどが占める電源構成の割合は15～30%となる。予備力8%を想定するうえで、2030年までに15～25GWの蓄電池(日本の最大電力需要の10～15%相当¹⁹)および4～18GWの新規ガス発電容量の導入に加え、広域的調整力や需給調整市場の整備活用により、変動性電源の電力系統への接続が可能となる。
- **風力および太陽光発電のコスト削減ポテンシャルは大きい。**日本の再生可能エネルギーの発電コストは、グローバル水準の2～3倍高く、このコストのギャップのほとんどは、規制対応などの負担、未整備のサプライチェーン、設置・工事費等の規模の経済に欠けることによるものである。地理的な制約(例えば、地震、台風、水深など)への対策費用も存在するが最終的にはコストへの影響は比較的小さい²⁰。このコスト削減ポテンシャルの顕在化を捉えるためには、官民を挙げた再生可能エネルギー導入のための制度設計やインフラ整備が必要となる。
- **日本には高スピードで再生可能エネルギーを導入した実績がある。**本分析における2030年での太陽光・風力発電容量を達成するには、2030年までに毎年4～9GWの新設容量の導入が必要となる。2017年末時点で、日本には合計53GWの太陽光・風力発電容量があり²¹。そのほとんどが過去10年間で導入されていることから、過去毎年平均して約5GWの新設容量を導入した実績を有し非現実的ではない。時間を要するインフラ整備を加速させるための施策の後押しも含め、導入スピードを回復させる必要がある。

産業

産業部門は、2016年において、日本の温室効果ガス排出量の32%(413MtCO₂e)を占めており、電力部門に次ぐ最大の割合となる。そのうち、鉄鋼が36%、セメントが10%、精錬が9%、製紙が5%を占める。残りは、フッ素系ガスやその他の工業セグメントが占める。

¹⁸ 日本風力発電協会の陸上風力の導入ポテンシャル試算では、上空80メートルで6.5m/秒の風力を前提としている。太陽光発電の導入ポテンシャルは、電力中央研究所の試算を基に、耕地の10%、不作付地の100%、荒廃農地の100%を太陽光発電の用地として使用できるという仮定を用いている

¹⁹ 電気事業連合会によると、日本の2017年度の最大電力需要は156GW。fepc.or.jp

²⁰ METI、自然エネルギー財団、日本風力発電協会、太陽光発電協会の分析による

²¹ 2017年度末の日本の太陽光発電容量は49.5GW、陸上風力発電容量は3.66GWである。経済産業省「エネルギー白書」。enecho.meti.go.jp

本分析では、産業部門は、2030年までの365MtCO₂eの削減目標の8%(31MtCO₂e)に寄与し、そのうちの50%は鉄鋼業界における削減によるものである。一方、鉄鋼の生産量は2030年までに15%伸びると予想され²²、21MtCO₂eのベースライン排出量増となる。これらを合わせると、2030年の産業部門の排出量は403MtCO₂eとなり、対2016年度比で2%(10MtCO₂e)程度のみ減少にとどまることになる(図表 4)。

2016年の日本の鉄鋼生産量の80%は高炉-転炉(BF-BOF)経路で生産されており、直接還元鉄電炉(DRI-EAF)経路の排出量はBF-BOF経路の半分である。EAF経路の普及率を、2016年の20%から2030年までに29%まで伸ばすことができれば、37ドル/トンの限界削減費用で14MtCO₂eの温室効果ガス削減が可能となる。また、既存のBF-BOF設備の5%の効率性改善で、-36ドル/トンの限界削減費用で3MtCO₂eの温室効果ガス削減が達成可能となる。

鉄鋼部門以外では、精錬における電化および効率改善により、-4ドル/トンの限界削減費用で3MtCO₂eの削減が達成可能となる。

残りの産業部門における11MtCO₂eの削減のうち、10MtCO₂eは、精錬、セメント製造、製紙、エチレン製造における生産量低減が主な要因となるが、業界動向を細かく監督・管理し、効率性の低い設備を確実に廃止・交換できるようにすることが非常に重要となってくる。

本分析の結果では業界の全体で必要な365MtCO₂eの削減量に対する寄与分は10%のみとなるが、これは産業部門に求められる脱炭素技術(水素還元製鉄や高温熱源の電化、CCU等)が2030年時点においては既存技術に対しまだ大幅にコスト高となっていることに起因する。

運輸

2016年には、運輸部門の温室効果ガス排出量は日本全体の16%を占めていた(209MtCO₂e)。本分析では、そのうちの80%(167MtCO₂e)を占めている道路上の運輸を対象とする。道路運輸においては、乗用車の排出量が100MtCO₂e、バンやトラックが62MtCO₂e、バスが6MtCO₂eとなっている。

本分析では、運輸部門は、2030年までの365MtCO₂eの削減目標の19%(70MtCO₂e)に寄与する。一方、トラック運輸の需要の伸びにより、2030年までに12MtCO₂eのベースライン排出量の増加が予想されている。これを合わせると、運輸部門の2030年の排出量は151MtCO₂eとなり、対2016年度比で28%(58MtCO₂e)の削減となる(図表 4)。

運輸部門において最もコスト効率が高い施策は、内燃機関車から電気自動車への転換であり、これにより30MtCO₂eの排出量削減が、限界削減費用-113ドル/トンで可能となる。電気自動車用蓄電池の価格は、2011年の1,000ドル/kWhから2017年末には209ドル/kWhと、わずか7年で急激に79%低下した²³。これにより、電気自動車への転換が促進され、全体としてのコスト削減につながる。

道路運輸のセグメントにおいては、内燃機関自動車から電気自動車への転換が行われる(図表 6)。

- **乗用車**: 2030年には、電気自動車の走行台数は260万台に達し、年間新車販売台数の18%を占める見込みである。日本の乗用車の平均年間走行距離は欧米より短く、電気自動車の燃費節約の優位性が発現しにくいいため、コストパリティ²⁴の達成時期は欧米諸国よりも遅くなる²⁵。電気自動車のコストパリティは、軽・中型車両セグメントにおいては2020年代後半、その他のセグメントにおいては2030年以降となる見通しである。

²² 鉄鋼製造の予測値の出所はMETIの「長期エネルギー需給見通し」 enecho.meti.go.jp

²³ Mark Chediak, "The latest bull case for electric cars: The cheapest batteries ever," Bloomberg, December 5, 2017, bloomberg.com.

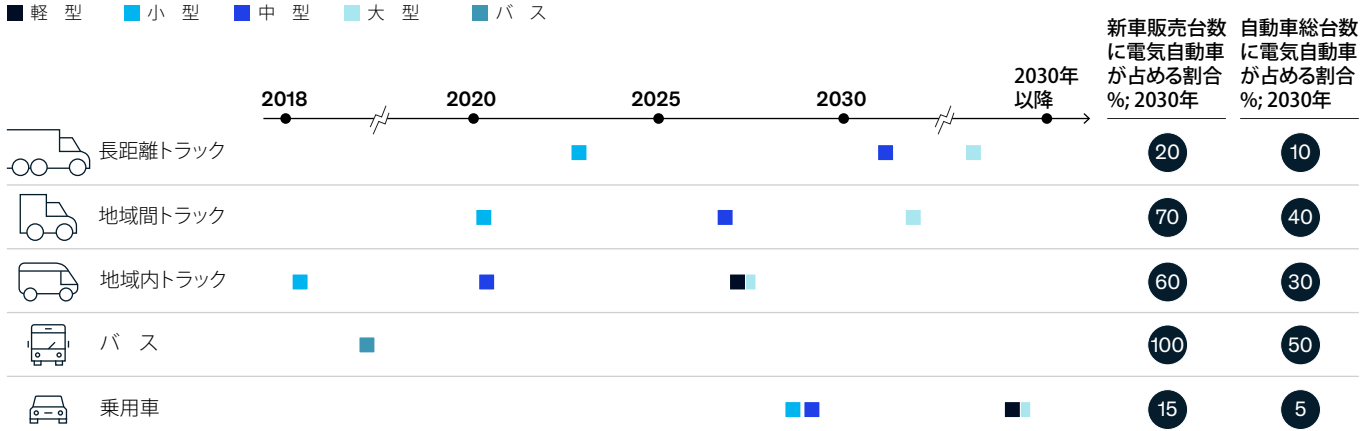
²⁴ 総保有コストが同等となる時期

²⁵ Nathaniel Bullard, "Electric car price tag shrinks along with battery cost," Bloomberg, April 12, 2019, bloomberg.com.

図表 6

ほとんどのセグメントにおいて、2030年までにコストパリティを達成し、電気自動車の新車販売台数に占める割合が増加

日本におけるコストパリティの達成時期



資料: Decarbonization Pathway Optimizer by McKinsey Sustainability Insights

- **トラック:** 2030年には、電動トラックの走行台数は270万台に達し、年間新車販売台数の49%を占める見込みである。ほとんどのトラックセグメントにおいて、コストパリティは2030年より前に達成できる見通しである。
- **バス:** 2030年には、電気バスの走行台数は4万8,000台に達し、年間新車販売台数の87%を占める見込みである。これは、世界各国でなされた電動化のコミットメントと同等レベルである。東京を含む世界の27都市が「化石燃料フリー道路宣言」に署名しており、2025年以降は温室効果ガスを排出しないバスのみを購入することを約束している²⁶。

電動化に加えて、燃費効率の更なる改善(新車のキロメートル当たりの燃料消費量を2025年までに年率2%で改善していく仮定)により、34MtCO₂eの削減が見込まれる。また、乗用車部門においては、2030年までに合計年間走行距離が3%減少することで、ベースライン温室効果ガス排出量は6MtCO₂e削減される。

自動車の電動化の実現には、車の所有者一人ひとりが、購買における判断基準を変えていく必要がある。しかし、電気自動車の高い初期コストが、個人の購買決定の大きな障壁となっている。政府や自動車メーカーが、電気自動車の購入インセンティブ(例えば、助成金、税制上の優遇措置、ナンバープレートの割り当てなど)や、革新的なファイナンススキームの導入を通じて、こうした障壁を乗り越える支援を行うことが望ましい。

一方で電気自動車(EV)や水素燃料電池車(FCV)の価格低下の速度は加速している。内燃機関エンジンを有する自動車に対し、中小型のセグメントではEVが、大型・長距離の商用車ではFCVが既に経済的な優位性を持

²⁶ "Fossil Fuel Free Streets Declaration," C40, accessed July 7, 2019, c40.org

ち始めている。特にFCVについては商用車大手が2020年代後半での量産を宣言するなど、パワートレインのシフトが加速していくことが考えられる(日本の水素戦略においては1,200台のバス、800,000台の自動車・商用車がFCVに置き換えられることを目標としている)。

建築物

建築物部門における2016年の温室効果ガス排出量は117MtCO₂eであり、そのうち、商業向けが61MtCO₂e、住宅向けが56MtCO₂eを占めた。日本では、建築物の暖房や給湯のエネルギー消費は化石燃料に大きく依存しており、住宅においては、暖房の54%、給湯用エネルギーの65%²⁷、商業施設においては、暖房の95%、給湯用エネルギーの70%が化石燃料によるものである²⁸。

本分析では、主に化石燃料の暖房や給湯の電化により、建築物部門は2030年までに365MtCO₂eの削減目標の6%(23MtCO₂e)に寄与できると推計している。一方で、2030年までに床面積が増加すると見込まれる商業向けでの1MtCO₂eのベースライン排出量増を合わせると、建築物部門の2030年の排出量は95MtCO₂eとなり、対2016年度比で19%(22MtCO₂e)の削減となる(図表4)。

住宅は、温室効果ガス削減ポテンシャルのうちの14MtCO₂eを占める。2030年までに1,300万戸の古い住宅が取り壊される、あるいは空き家になる想定で、それにより灯油暖房器具1,400万台とLPG暖房器具950万台が使用されなくなることから²⁹、115MtCO₂eの排出量削減が期待できる。また、300万戸の住宅において断熱改修工事を実施し、同時に電気・ヒートポンプ式暖房器具に切り替えることにより、限界削減費用-272ドル/トンにて、約1MtCO₂eの排出量削減が実現できる。

日本では、エネルギー効率基準に適合している住宅の割合は6%にとどまっているが³⁰、上記の老朽化住宅の取り壊しや空き家化、省エネ改修、および基準に適合する住宅の新規建設により、この割合は2030年までに34%にまで上昇することが見込まれる。

住宅の改修の実施は個々の住宅所有者に委ねられているため、住宅における排出量削減は一般的には実現困難と考えられている。しかし、日本人は新築住宅を好む傾向にあり³¹、住宅の平均使用年数が他の先進諸国と比較して短い³²ため、住宅ストックの自然交代により省エネ暖房・給湯機器の導入が促進される。また、本分析の結果、住宅の改修による排出量削減ポテンシャルは比較的小さいため、実現困難となったとしても、他の部門の代替策でカバーできると考えられる。

住宅部門に加え、商業設備の暖房・給湯の電化により、建築物部門において限界削減費用-413ドル/トンにて10MtCO₂eの排出量削減が可能となる。具体的には、20%の商業用施設において、ガス・石油ガスボイラーを110万台の業務用ヒートポンプ式暖房に切り替える必要がある。

建築物は特に耐用年数の長い資産である。現在の新築物件のエネルギー効率は、今後40~50年にわたり建築物部門の温室効果ガスの排出量に影響するため、最新の技術を前提とした厳格なエネルギー効率規制の義務づけが非常に重要となる。

²⁷ 暖房の内訳は、灯油が40%、ガスが12%、LPGが2%、ヒートポンプが45%。給湯の内訳は、ガスが34%、LPGが19%、灯油が12%、ヒートポンプが31%、電気温水器が5%。四捨五入のため、合計値は100%に合わない

²⁸ 暖房の内訳は、ガスが69%、灯油が19%、石炭が6%、ヒートポンプが4%、地域暖房が1%。給湯の内訳は、灯油が42%、ガスが23%、石炭が5%、ヒートポンプが26%、地域給湯が4%。四捨五入のため、合計値は100%に合わない

²⁹ 日本の住宅においては、一般的に部屋ごとに暖房器具が設置されているため、使用されなくなる暖房器具の数が、取り壊される、あるいは空き家化の住宅数を上回る

³⁰ 「地球温暖化対策計画」、総理府、2016年5月13日、kantei.go.jp

³¹ "Why Japanese houses have such limited lifespans," the Economist, March 15, 2018, economist.com.

³² 国土交通省によると、日本の住宅の取り壊されるまでの平均寿命(滅失住宅の平均築後年数)は約32年、アメリカでは約67年、イギリスでは約81年である。mlit.go.jp

技術普及のためのインフラ整備

上記の技術導入施策は、適切なインフラを整備することなしには実現できない。こうしたインフラ投資は、社会全体で行うものであり、各家庭や企業が電気自動車や再生可能エネルギーに切り替える上での意思決定に依存するものではない。そのため、インフラ投資のコストは、ここでは分けて考慮しており、前述の温室効果ガス削減のためのコストには含まれていない。試算結果によれば、必要なインフラ投資の規模は合理的な範囲にとどまっており、電動化や電化、再生可能エネルギー導入のビジネスケースを覆すレベルには至らない。

最も重要なインフラ投資は主に以下の通りとなる：

電気自動車の充電設備：2030年までに、540万台の電気自動車に対し約330万台の充電器を整備するためには、90億ドルの投資が必要となる³³。これは、540万台の電気自動車の合計車両購入コスト(2,250億ドル)の4%に過ぎない。

電力需要の増加に対応するための系統増強：電力需要分野の電化によるピーク電力需要の増加に対応するために、主に配電系統において約70億ドルの系統増強投資が必要となる³⁴。

変動性電源の増加に対応するための系統増強：2016年から2030年にかけて、系統増強のために必要となる追加投資は、「原発の再稼働を想定したシナリオ」においては270～690億ドル、「原発停止シナリオ」においては640億ドルと試算される³⁵。そのうち、地域間連系線補強に約20～160億ドル³⁶、地域内送配電線補強に250～530億ドル³⁷の投資が必要となる。

電力需給バランス維持のための蓄電システム：約40億～80億ドル

上記の系統増強投資を、2016年から2030年の間に予想される風力と太陽光の合計発電量で平均すると、0.03ドル/kWh程度の平均コストとなる。また、2016年から2030年にかけての合計発電コストは、「原発の再稼働を想定したシナリオ」で1,000億ドル、「原発停止シナリオ」で680億ドルの削減が実現可能と見込まれる。上記の系統増強投資も、この発電コストの削減額を下回る。また、デマンドレスポンスなどの新しいエネルギーマネジメント手法により系統増強投資を抑えることも可能となる。

系統増強コストは増強地域の系統状況や電源構成によって大きく異なるため、上記の投資額試算は規模感のみを示すものである。

総合的に見ると、インフラ整備の投資は、脱炭素化技術のビジネスケースを覆すことにならない。しかし、インフラ整備は実際のテクノロジー導入に先立って行われる必要があることから、より短期間で大規模な投資を行う必要があり、官民一体となって、投資のメカニズムやコストの分担の在り方について決めていく必要がある。

³³ 乗用の電気自動車について、1台あたり自宅用充電器1台、100台あたり公共普通充電器10台および急速充電器1台を設置すると仮定

³⁴ 変電所の種類および電圧レベルごとの資本コストを基に算出。最大電力需要が8%増加すると仮定

³⁵ 四捨五入のため合計値は合わない

³⁶ 幅の下限値は、欧州における国間連係線補強プロジェクト(スペイン-イギリス、スペイン-フランス、フランス-イギリス、ノルウェー-ドイツ、フランス-イタリア、ドイツ-イギリス、イタリア-チュニジア、ベルギー-イギリス)の平均コストの約300円/kW/kmを使用して算出。幅の上限値は、経済産業省の2015年発電コスト検証ワーキンググループが北海道-東北間の系統増強の例で出した数値1,396円/kW/kmを使用して算出。地域ごとの風力・太陽光発電の新規導入容量を基に、合計18～23GWの地域間系統増強が必要と試算

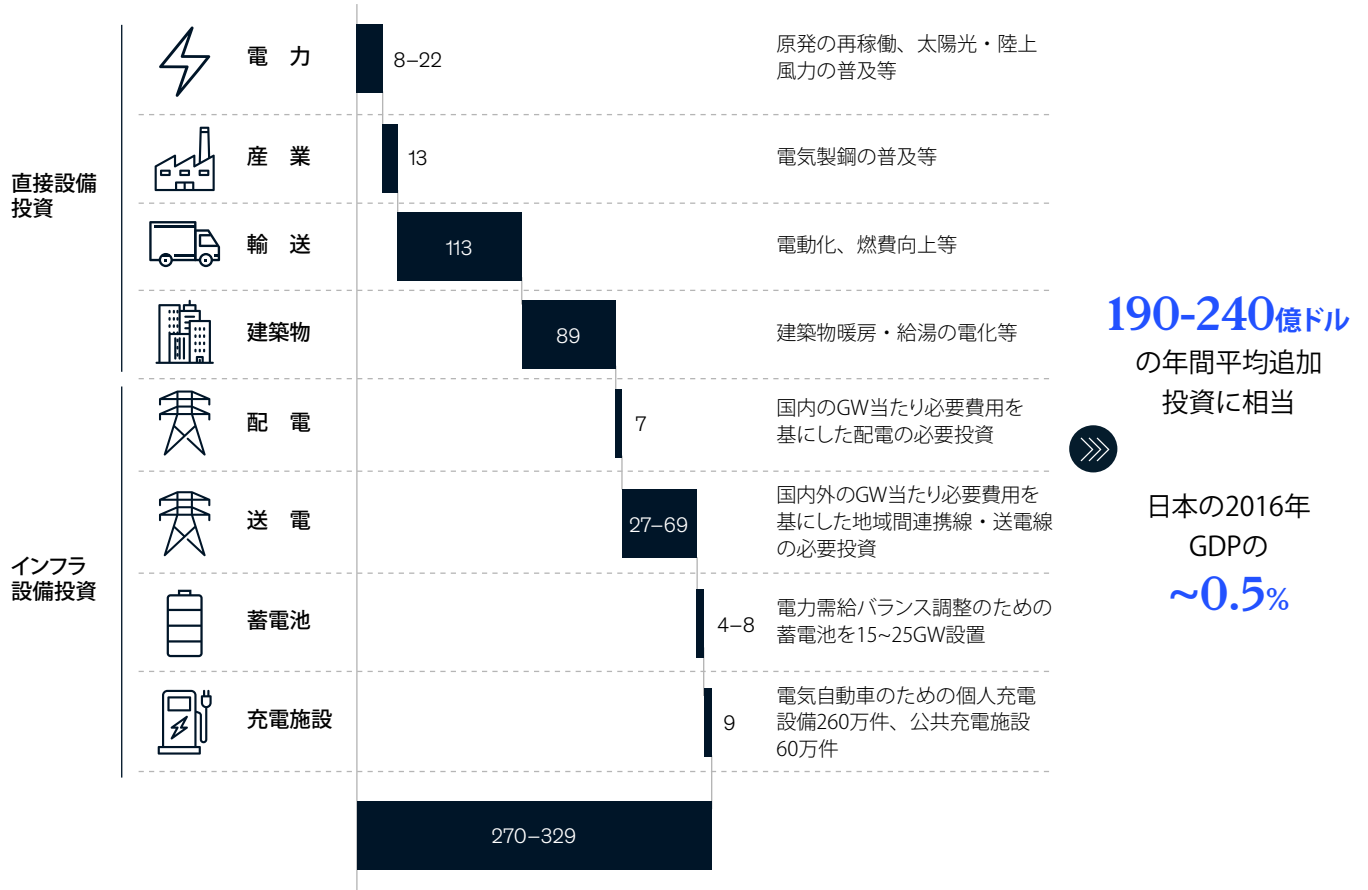
³⁷ 経済産業省の2015年発電コスト検証ワーキンググループが北海道、東北地域の評価例で出した数値に基づき、1kWの新規太陽光・風力発電容量当たりの地域内送配電網の補強コストが平均45,540円であると仮定。上記の250～350億ドルの幅は、「原発の再稼働を想定したシナリオ」と「原発停止シナリオ」における太陽光・風力発電の導入容量の違いによるものである

図表 7

これらの施策の実行に、現技術シェアを維持するのに対し、年間190～240億ドル規模の追加での設備投資が必要

必要となる追加投資

十億ドル



注: 数値のレンジは、「原発の再稼働を想定したシナリオ」と「原発停止シナリオ」の数値をそれぞれ示す
 資料: 経済産業省・資源エネルギー庁発電コスト検証ワーキンググループ、Decarbonization Pathway Optimizer by McKinsey Sustainability Insights

必要となる投資と経済的インパクト

脱炭素化技術は、一般的に従来の技術と比べ総保有コストの観点でコスト削減になるが、より高い初期投資が必要となる。例えば、電気自動車は、内燃機関車に比べ使用寿命期間の燃料コストとメンテナンスコストは低い、初期購入コストは高い。この初期コストの高さは、技術導入の障壁となり得るが、投資効果により経済成長の促進にもなり得る。

本分析では、実際の技術導入投資とインフラ投資を合わせると、脱炭素化の場合、現状の技術ミックスを維持する場合の投資額に比べ、2016年から2030年にかけて2,700～3,290億ドルの追加の投資が必要と試算(図表 7)される。これは、年間平均で190～240億ドルの追加の投資となり、日本の年間GDP比で0.5%に相当する。

一方でこれら脱炭素化により、下記の3つの側面から、2030年までにGDPに年間1.6%の増加がもたらされる。

追加投資: 脱炭素化技術の導入に、年間GDPの0.5%に相当する追加投資が必要となる。

追加投資による経済活動の促進: 関連サプライチェーン産業の経済活動や雇用者の消費活動により、GDPに年間0.6%の増加をもたらすことが可能となる。これは、日本の各産業のGDP乗数(1ドルの投資当たりの追加経済効果)を基に試算した³⁸。

化石燃料の輸入コスト削減: 日本の化石燃料は、ほぼ100%輸入に依存しているため³⁹、エネルギー消費産業の電化および再生可能エネルギーの導入拡大により化石燃料への依存度を低減し輸入コストを削減することで、GDPの年間0.6%増加に寄与することが可能となる。

³⁸ 産業ごとのGDP乗数は、McKinsey Global InstituteがWorld Input Output Database 2014で発表された日本の投入産出表を基に計算

³⁹ 経済産業省「Japan's Energy 2018」、enecho.meti.go.jp

2050年のパリ協定目標実現に向けて

日本がパリ協定に基づき掲げる、2050年までに2013年度比での排出量80%削減や、菅首相による2050年排出実質ゼロという目標を達成するためには、2030年目標とは異なり抜本的な施策が必要となり、電力、運輸、建築物部門においては、エネルギー需要機器のほぼ完全な電化、再生可能エネルギーの大規模導入、および再生可能エネルギーをサポートする蓄電技術が不可欠となる。

技術進歩のスピードを踏まえると、現時点で2050年までの脱炭素化施策を同様の粒度で定量的に予測することは不確実性の高さから困難であるが、日本の部門別の排出量や資源賦存量、グローバル的な技術開発トレンドを基に、2050年の目標を達成するうえで重要となる主要な技術領域を特定することができる。

中・大型自動車の電動化: 2030年までに、これらのセグメント、特に長距離セグメントにおいて、燃料電池自動車や電気自動車がコスト競争力を有してくる。これからの10年間で、バッテリー及び燃料電池性能の改善、コスト削減、およびサプライチェーン強化の進捗が、長期的な電動化のポテンシャルを左右する。

洋上風力発電: 日本の洋上風力発電の導入ポテンシャルは、着床式と浮体式を合わせて600GWほどある。本分析では、2050年までに100GW以上の洋上風力発電容量が必要という結果になっているが、2018年末の時点での日本の導入済み容量は20MW、計画中容量は5.2GW⁴⁰のみである。今後、導入を拡大していくためには、更なるコスト削減、パイロットプロジェクトおよびサプライチェーンの大幅な拡大が必要となる。

⁴⁰ 経済産業省「日本でも、海の上の風力発電を拡大するために」(2018年12月6日)、enecho.meti.go.jp

電力の長期貯蔵: 2050年までに経済全体で80%の脱炭素化を達成するには、発電システムのほぼ100%の脱炭素化が求められる。そのうち、変動性再生可能エネルギーが電源構成の約80%を占める可能性が高い。長期的な天候不順の状況においても電力の安定供給が確保されるよう、数日間から数週間にわたり電力を貯蔵できる技術が必要となる。長期間にわたり充放電できる様々な種類の蓄電池の開発と共に、変動性再生可能エネルギーが50%を越えると水素を利用した電力貯蔵が有望となる(詳細は以下の水素の項目を参照)。

また、日本は、「削減困難」と言われる産業部門の排出量割合も高い。電力、運輸、建築物に比べ、産業部門において80%ほどの排出量削減を実現できる経路は定かではない。そのため、下記の重要技術分野における更なる研究開発が必要となる。

水素関連技術: 水素は発電や産業、運輸、建築物という複数部門において不可欠な脱炭素ソリューションとなる。発電における水素燃焼・燃料電池活用、産業における熱需要への水素利用や鉄鋼における水素直接還元製鉄の実用化、運輸部門における長距離・大型トラックセグメント等の需要で水素利用が有望であり、経済性のある水素供給サプライチェーンをいかに構築するかが挑戦となる。欧州と異なり、安価な再生可能エネルギー由来の競争力あるグリーン水素の生産に時間を要する日本においては、沿岸産業部の大規模で安定的な水素需要に基づく海外輸入サプライチェーン(水素運搬船、液化・気化/水素化・脱水素化設備)構築や、そこを起点とした都市・運輸への浸透に向け、業界バリューチェーンの垣根をまたいだ、短中長期の時間軸を持った全体戦略が必要となる。

二酸化炭素固定化・貯留/再利用(CCS/CCU): セメント、鉄鋼、石油化学などの部門においては、二酸化炭素の貯留(CCS)が必要となるが、日本におけるCCSの将来の拡大のペースや経済性は不透明である。日本では、地中の貯留適地が少ないため、海底下貯留を行う場合、高コストの長距離海上運輸が伴う可能性が高い⁴¹。一方、日本は、二酸化炭素の利用(CCU)に高く期待を寄せており、二酸化炭素を燃料や工業プロセスの原料などの炭素化合物に転換する「カーボンリサイクル」に力を入れている。しかし、CCUの応用例では、水素と二酸化炭素を反応させることが多いため、CCUの将来性は水素の商用化に依存することになる。

高温熱の電化: 石油化学、金属産業では、高温熱の電動化により排出量削減が可能となる。熱分解炉の電化、鉄鉱石の電気分解などの当該部門の技術は、まだ研究あるいはパイロット段階にあるが、実用化されれば、石炭やガスなどの工業燃料の代替として非常に有望な技術となる。

これらの技術は、開発途中にあり、技術面での実現可能性や経済性については、検証の余地はまだまだ大きい。今後10年間で技術開発のブレイクスルーを実現し、技術・ビジネスモデルをテストするためのパイロットプロジェクトを推進し、2050年よりも前に実用化できるようにすることが非常に重要となる。

脱炭素化に向けてどれほど高い目標を設定したとしても、厳格で拘束力のある実施体制がなければ無意味になってしまう。欧州諸国の多くが脱炭素化の実施体制を導入しており、これらの体制の共通要素は、日本が独自の実施体制を構築するにあたり参考となる。

⁴¹ On current condition of CCS, METI Global Environment Partnership Office, June 11, 2018, meti.go.jp.



脱炭素化に向けた実施体制

排出量削減目標には法的根拠があるべき。排出量削減目標を法律で定めることにより、政府は目標の達成に法的責任を負い、政策協議において優先させるべき方針の基盤とすることができる。英国、ドイツ、フランス、オランダ、デンマーク、ノルウェーなど、欧州の主要諸国が、2050年の排出量削減目標を引き上げた際には、気候変動対策に関する新たな法律を導入している。

長期的な経済全体の削減目標を、より具体的なサブ目標で詳細化すべき。長期目標および支援政策の透明性と安定性は、特にアセット寿命の長い産業において、企業の脱炭素化投資の意思決定に非常に重要である。短期の投資決定で、将来の何十年間の排出量が決まる。一方、長期目標に加え、実行計画の立案、進捗管理、是正措置、アカウンタビリティの実現を可能にするような詳細な目標設定も必要となる。欧州諸国で導入された気候変動対策関連の法律は、長期目標を基に5年ごとの排出量バジェットを設定することを政府に義務づけるものが多い(例えば、英国⁴²、デンマーク⁴³、アイルランド⁴⁴、ドイツ⁴⁵などで実施)。さらに、一部の国(アイルランド、ドイツ)では、5年ごとの排出量バジェットを、部門ごとかつ1年ごとに配分することが求められている。

⁴² "UK regulations: the Climate Change Act," Committee on Climate Change, accessed January 28, 2020, theccc.org.uk.

⁴³ "Danish climate policies," the Danish Energy Agency, accessed January 28, 2020, ens.dk.

⁴⁴ Climate action plan, Department of Communications, Climate Action & Environment, accessed January 28, 2020, dccae.gov.ie.

⁴⁵ "Climate action plan 2050: Germany's long-term emission development strategy," Federal ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety, accessed January 28, 2020, bmu.de.

明白なアカウンタビリティ体制を構築する必要がある。アカウンタビリティには2通りの形があり得る：

- **責任の所在の明確化**: ドイツやアイルランドのように、国全体の排出量削減目標が部門ごとに割り当てられ、それぞれの産業を所管する省庁が目標に対する責任を負う。各省庁が、政府・国会への定期的な進捗報告、実績が目標を下回る場合のその差の説明と次期における対応策の提言を行う義務を負う。
- **金銭面でのインセンティブ**: 欧州連合の排出量削減目標と排出量取引制度を導入している欧州諸国では、目標を達成できない国は、他国から排出枠を購入しなければならない決まりとなっている。例えばドイツは、EU法に基づく拘束力のある排出目標を達成できる見込みがないため、2018年から2020年にわたり、毎年1億ユーロを排出枠の購入に充てている⁴⁶。

脱炭素化に向けた経済全体の改革を統制するには、**産業横断型の「トランスフォーメーションオフィス」が必要となる**。アイルランドで設置されているClimate Action Delivery Board(気候変動対策アクションデリバリー委員会、CADB)がその例として挙げられる。CADBは、内閣の直下に設置されており、各政府省庁内の脱炭素化対策に関する部署や外部関係者との間で、週次の進捗確認や問題解決に向けた合同セッションを行っている。実務レベルのセッションで挙げられた重要な問題は、各省庁の大臣・長官が参加する週次の進捗報告会にエスカレーションする。それでも解決されない問題は、月次の進捗確認会議で、直接内閣にエスカレーションする。このような綿密な体制をとることで、

- 産業横断型および官民連携による取り組みにより、**効果的な問題解決を実現する**
- 政府の最上層部への直接報告義務、および全閣僚の関与により、**強力な意思決定権を実現する**
- 実務およびリーダーシップレベル両方で頻繁な進捗確認・問題解決セッションを持つことで、**迅速な意思決定を促進する**

独立した、権威ある諮問機関が合意形成をサポートする。気候変動に関するガバナンスにおいて、目標設定の提言、進捗状況のモニタリング、政策提言などの権限を持つ、独立した諮問機関の設置が一般的となっている⁴⁷。このような機関の中で最も実績を残したのは、英国の気候変動委員会(Committee on Climate Change, CCC)である。2050年までに排出量をネットゼロにする法的拘束力のある目標が、CCCが提言したわずか1ヵ月後に採用された。CCCに関する研究によると、CCCは、法律で定められた権限、CCCの提言に対する政府の対

⁴⁶ Kerstine Appunn, "Germany's climate obligations under the EU effort sharing scheme," Clean Energy Wire, May 6, 2019, [cleanenergywire.org](https://www.cleanenergywire.org).

⁴⁷ Alina Averchenkova, et al., The role of independent bodies in climate governance: the UK's Committee on Climate Change, October 2018, [lse.ac.uk](https://www.lse.ac.uk).

応義務、トップレベルの技術エキスパートにより構成される委員会の専門性および中立性への信頼感、提言を作成する上での厳格なモデリングとステークホルダー協議プロセスにより、有効性を実現している。

日本においては、国際協定でコミットした排出量削減目標を国内の法律で再確認しているが、その目標は拘束力のある法的義務ではなく、「努力目標」として設定されている。また、産業ごとのサブ目標も、拘束力のない「排出量の目安」として割り当てられている。したがって、目標を達成できなかった場合の確実な責任体制は整備されておらず、省エネ法による燃費基準等が間接的にCO₂排出量を制約している。

2016年に閣議決定された「地球温暖化対策計画」で、日本の排出量削減に関する実施体制について述べられており、内閣に設置された地球温暖化対策推進本部が実施体制を主導することとしている。

実務レベルでは、国全体の削減目標は産業ごとに割り当てられ、各産業団体は、各省庁の監督のもと、自主的に設定した行動計画を推進する。各産業団体は、経済的に利用可能な最善の技術に基づいて2020年と2030年の自主的削減目標を設定し、年次で進捗報告を行い、必要な場合は進捗と技術の進展を基に計画を見直す。削減目標は、各業界の判断により、エネルギー消費原単位、エネルギー消費量、二酸化炭素排出原単位、二酸化炭素排出量、BAUからの削減量のいずれかで設定することが可能である。環境省および各業種を所管している省庁の審議会は、各産業界の「低炭素社会実行計画」と進捗報告を検証する。この審議会は、主に大学やシンクタンクの研究者を中心として構成されているが、NPOおよび各業界団体のステークホルダーが参加する場合もある。

リーダーシップレベルでは、地球温暖化対策推進本部が各省庁からの進捗報告について毎年評価を行い、必要に応じて次期の政策措置を提出する。すべての国務大臣が地球温暖化対策推進本部の本部員となり、内閣総理大臣が本部長を務める。



将来に向けて

パリ協定に基づいた2030年の排出量削減目標の95%を、総保有コスト減につながる施策で達成できることは、世界各国と比較して日本固有のユニークな機会である。日本は、現在の脱炭素化技術のコスト水準が他の先進諸国より高く、化石燃料への依存度も高い。したがって、グローバルで成熟している脱炭素化技術を日本で大規模に導入する場合、他の先進諸国より、現状に比べたコスト削減のポテンシャルは高い。また、日本の人口減少とそれに伴う産業活動の減速も脱炭素の観点からは追い風となる。

さらに、脱炭素化技術への投資、それによる関連経済活動の促進、および輸入化石燃料に対する依存度の低減により、GDPの年間1.6%の増加に寄与することが可能となる。水素技術やカーボンリサイクル、高効率電動機器など、脱炭素化に大規模に求められる技術領域において日本がリーダーシップを発揮し、新たな技術輸出国となる機会も存在する。

しかし、95%の削減が総保有コスト減につながる施策で達成可能とはいえ、必要となる変化が自動的に実現されるというわけではない。2050年に向けては抜本的な変革が求められる。再生可能エネルギーの大幅なコスト削減、原子力の役割の明確化、各産業の国際競争力の維持、開発中技術のコスト推移の不透明性、対策実行体制の確立、気候変動に対する世間一般の不関心など、さまざまな課題がある。

これらの課題について、直ちに以下の取り組みを講じることが重要である。

気候変動対策を国の優先事項として確立し拘束力のあるガバナンス体制を導入: 気候変動対策を国家的課題として優先的に取り組むには、政府の最高レベルからのメッセージ発信が不可欠である。例えば、デンマーク政

府は2019年6月に発表した政策公約の中で、気候変動対策を他のすべての社会計画よりも上位に掲げた⁴⁸。さらに、前章で述べたように、確固たる実施体制の構築も必要である。

政府と産業ステークホルダーとの間で施策の優先順位に関する合意を形成: 全体排出量に特に影響力が強い部門、例えば電源構成などに関して、方向性の明確化と合意が重要となる。

日本では、電力システムにおける原子力、再生可能エネルギー、化石燃料の将来の役割が曖昧で意見の相違が見られる。これが、脱炭素化目標の達成の大きな脅威となっている。政府および業界団体は、各技術の現実的な導入規模や、再生可能エネルギーの導入拡大のための規制障壁の撤廃について、合意を形成する必要がある。

本分析では、原子力および再生可能エネルギーの次に最も経済合理性のある施策が、運輸、住宅、鉄鋼部門の電化となっている。各部門の達成可能なポテンシャルに関して、政府と各業界ステークホルダー間で合意を図る必要がある。ある部門での達成が困難と考えられる場合は、あらかじめ代替案を用意する必要がある。

日本の鉄鋼業において2030年までに予測される生産量の増加は、排出量増加の最大の要因となることが予想され、その他の産業部門の排出量削減施策への影響も大きい。政府と鉄鋼業界は、目指すべき成長軌道について、またその成長が全体的な排出量削減や他の産業に割り当てられる削減目標に与える影響を考慮し、合意を図る必要がある。

脱炭素化技術の促進に向けたインセンティブを実施: 2030年での脱炭素化目標は、再生可能エネルギーや電気自動車など、グローバルレベルで成熟した、または急速に成熟しつつある技術により達成可能であるが、日本ではこれらの技術の商用化が遅れている。政府と各業界のステークホルダーは、協力して重要性の高い技術を絞り込み、大規模展開にかかるコストと投資のギャップを特定し、必要な対策について合意する必要がある。政府によるインセンティブ体制の導入、および規制の変更も重要となる。

建築物などの部門では、資産の耐用年数が長いため、長期的な排出量が短期的な投資判断により決まることになる。これらの部門に関しては、規制に利用可能な最善の技術基準を反映させることが重要である。

また、長期的に大幅な脱炭素化を実現させるには、現在まだ成熟していない技術も必要となる(詳細は、上記の「2050年のパリ協定目標実現に向けて」のセクションを参照)。大規模な投資が必要な基幹技術に関して、商用化に向けたロードマップを官民連携で作成し共有することが重要となる。

国民の気候変動対策の重要性に対する認識を醸成: 国民のサポートは、気候変動への取り組みを国家的優先事項として掲げる政治的な方向性を確固たるものとし、消費者の行動変化を促す施策(家庭用暖房の電化など)を実施するうえで不可欠である。投資家は、気候変動リスクに関する情報をより頻繁に国民に開示するよう、政府や企業に対し圧力をかける必要がある。気候変動が生活やビジネスに与える影響を明確化し、個人の意思・行動が確実にプラスの変化につながるという認識を醸成することが重要である。

長期的には、以下のような取り組みが2050年の脱炭素化目標の実現に寄与できると考えられる。

グローバルの技術開発の進展を注視し、それに応じて産業政策を調整: 長期的に大幅な脱炭素化を実現するには、水素、CCUSなどまだ研究開発やコストの推移が不透明な技術が必要となる。政府および各業界は、研究開発の進捗を注視し、必要に応じて脱炭素化に最適な技術に関する見方を見直し(例えば、電気自動車と燃

⁴⁸ Chloé Farand, "Denmark's new government raises climate change to highest priority," June 26, 2019, Climate Home News, [climatechangenews.com](https://www.climatechangenews.com).

料電池車の相対的優位性、水素発電や洋上風力発電の可能な展開規模)、インセンティブの水準を調整し、産業別の排出量削減目標を適切に再配分すべきである。

グローバルな競争性と輸出入に依存する産業へのインセンティブを実施: 産業部門の脱炭素化は、2030年の目標達成にはそれほど大きくは寄与しないが、2050年の目標達成では必須となる。鉄鋼や化学品などグローバルで取引されているコモディティについて、もし日本の企業が国の規制により排出量削減のための投資を行った際に、他国の規制が緩ければ、日本企業は競争力を失う可能性があるため、これらの業界における脱炭素化のインセンティブは難しい。したがって、脱炭素化を推進すると同時に、公平な競争環境をサポートする枠組みを策定する必要がある。例えば、輸入品に対するカーボンアカウンティングの規則を導入したり、競争力維持のために国内産業の脱炭素化を直接サポートしたりすることなどが考えられる。

技術の輸出および知識の共有を通じて世界の脱炭素化に貢献: 可能性のある部門として、日本が技術開発において世界をリードしている水素技術、カーボンリサイクル、高効率電動機器などが挙げられる。

日本は、成熟した脱炭素化技術により、2030年の温室効果ガス排出量の削減目標を達成するだけでなく、コスト削減や経済成長の促進を実現することも可能である。ただし、これらを実現するには、政府および各業界のリーダーシップ、国民の認知向上・行動変容が必要となる。脱炭素化を優先課題として確立し、将来ありたい国・社会の姿を明確に描いた上で、各ステークホルダー間で目標とギャップの共通認識を持ち、インセンティブ体制を導入し、信頼性のある実行体制を構築することが、今後日本が脱炭素化の機会を捉えるうえで重要となる。

著者

Lorenzo Moavero Milanesi: パートナー、ミラノ

瓜生田 義貴(Yoshitaka Uriuda): アソシエイト・パートナー、東京

山田 唯人(Yuito Yamada): パートナー、東京

Copyright © 2020 McKinsey & Company. All rights reserved.

付属資料: 分析の手法

脱炭素化に向けた意思決定は非常に複雑な問題であり、多数の要素を考慮する必要がある。本レポートはコスト最適化を中心としているが、脱炭素化の最適施策を決めるうえで、コスト以外にも、原子力など特定の技術の受容、「nimbyism」(「我が家の裏庭にはお断り」)、政策変更の実行可能性、技術導入へのインセンティブづけのコスト、施策の付加価値など、さまざまな要素を考慮しなければならない。

本分析では、これらを念頭に置き、350個以上の脱炭素化技術の総保有コストを基に、排出量目標制限を達成できる前提で、2016年から2030年かけてのシステムコストを最小化するよう、2030年までの技術ミックスを最適化した。さまざまな技術の客観的な比較を可能にするために、ここでの総保有コストは、システムの観点から見るコスト、すなわち、日本国全体にとってのコストとし、消費者や企業に対する税金は考慮していない。公共機関が公共事業の費用便益分析において使用する4%の社会的割引率を使用する⁴⁹。総保有コストは、各技術の単体コストのみを考慮し、関連するインフラ整備のコストについては別途評価している。各技術の今後10年で予想される技術の進歩(例えばコストおよび効率性の改善など)も考慮している。

この本分析では、4つの部門(電力、産業、運輸および建設物)が排出する温室効果ガスに焦点を絞っている。これらの数値は、一次的エネルギー消費に基づくものであり、これらの4つの部門が日本の全二酸化炭素排出量の75%を占めている。

コスト最適化分析では、各部門における既存活動量と活動量予測、既存の技術ミックス、技術の耐用年数、技術コスト動向を基に、技術の切り替えを1年ごとにシミュレーションする。また、電力部門において、日本の電力需要曲線、再生可能エネルギーの賦存量・供給状況、および各産業における電化による電力需要増加の予測を考慮し、電力システムの需給バランスと安定性を担保できるように、1時間ごとのシミュレーションを行った。

エネルギー需要産業に関しては、2030年までの活動量は、経済産業省が「長期エネルギー需給見通し」に使用した活動量予測、もしくは各産業団体の活動量予測を使用している。節電やデマンドレスポンスなど、機器の効率改善以外のエネルギー需要削減施策については効果の定量化が困難であるため、ここでは考慮していない。

最後に、本分析は、現状の政策などの制約に基づいた将来の予測ではなく、パリ協定を基に設定された脱炭素化目標の達成にどのような変化を起こす必要があるかについての分析である。本分析での技術ミックス・技術コストを実現するには、いずれも脱炭素化を優先課題と位置づけ、ビジネス・政策両面でのリーダーシップが必要となると考えられる。

⁴⁹ 財務省「令和元年度分析の概要」、mof.co.jp

