

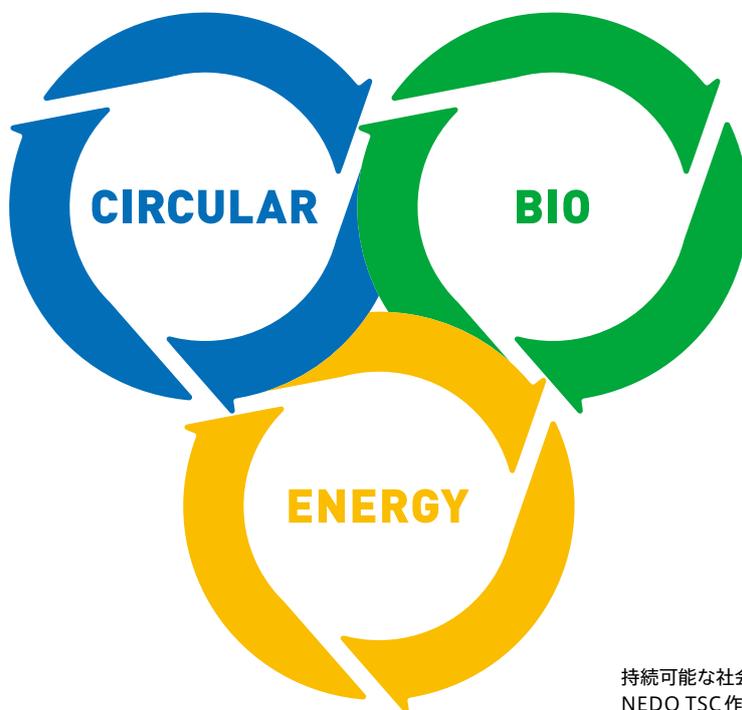


技術戦略研究センターレポート

TSC Foresight

持続可能な社会の実現に向けた
技術開発総合指針2020

2020年2月



持続可能な社会を実現する3つの社会システム
NEDO TSC作成(2020)

TSCとはTechnology Strategy Center(技術戦略研究センター)の略称です。

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構
技術戦略研究センター(TSC)

エグゼクティブサマリー

1章 持続可能な社会の実現に向けて

・目指す未来像

我々の目指す未来像は、将来にわたり、世界が経済的に豊かで、環境に優しく、自然と共生し、自然界・生態系の多様性が維持、発展され、現世代の社会的ニーズを満たしつつ、将来世代により良い社会である。そのためには、気候変動問題は克服しなくてはならない課題であり、持続的に発展し続ける社会の実現を目指すことが求められている。

・脱炭素社会の実現に向けた動き

2015年の「パリ協定」では、世界の平均気温上昇を2℃より十分低く保つ（2℃目標）とともに、1.5℃に抑える努力を継続（1.5℃努力目標）し、21世紀後半に「脱炭素社会」の達成が必要であるとしている。

「パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略（2019年6月閣議決定）」に基づき、「革新的環境イノベーション戦略」が2020年1月に策定され、世界のカーボンニュートラル、更には、過去のストックベースでのCO₂削減（ビヨンド・ゼロ）を可能とする革新的技術を2050年までに確立することを目指している。

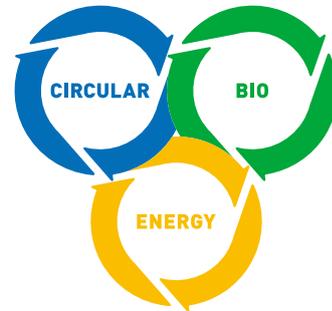
脱炭素社会を実現する技術開発や社会実装に取り組むことは、気候変動問題の解決に向け極めて重要である。

・持続可能な社会を実現する3つの社会システム

持続可能な社会の実現に向けては、「3つの社会システム」、すなわち

- ◆サーキュラーエコノミー
- ◆バイオエコノミー
- ◆持続可能なエネルギー

の一体的かつ有機的な推進が鍵であり、如何にこの3つを統合的に捉え、非連続なイノベーションにつなげ、経済合理性をもって社会実装を実現させていくかが重要である。



<持続可能な社会を実現する3つの社会システム>

・本総合指針策定のねらい

「3つの社会システム」の一体的かつ有機的な推進を実現し、気候変動問題の解決に資する革新技術を特定していくため、2050年を見据え、CO₂削減に効果のある技術を総合的、客観的に評価することを提唱し、また、いくつかの革新技術について具体的な試算を提供することにより、技術開発・実証に取り組むべき革新技術の評価の一助となることを目的としている。なお、本総合指針では、温室効果ガスの内、最も排出量の多いCO₂の排出削減から検討を開始している。

2章

温室効果ガス排出量
及び対策費用

温室効果ガス排出量を約400億トン削減するための限界削減コストは、従来技術の延長だけでは、\$1,000/tCO₂を上回る水準となる。このことは、400億トンのCO₂排出削減を達成するだけでも、世界で毎年約1,000兆円規模の対策費用が必要となり、カーボンニュートラルの達成には更なる対策費用が必要となることを意味する。

この巨額の年間対策費用を世界が受容できるレベルにまで引き下げるには、従来技術の延長だけでは不可能であり、非連続なイノベーションが不可欠である。

3章

革新技术の評価について

2050年を見据え、CO₂削減に効果のある技術を総合的、客観的に評価することを提唱し、そのために必要な「CO₂削減ポテンシャル」「CO₂削減コスト」をいくつかの具体的な革新技术について試算した結果およびその試算根拠を示す。

この試算は、技術進展の速度や非連続なイノベーション等の技術的な要因に加えて、導入政策や社会的な受容性などの社会環境の変化によって増減し得ることから、関係者の知見を持ち寄り継続的な検証が不可欠である。

4章

イノベーションを促す
仕組み作りへの期待

持続可能な社会の実現には、気候変動問題の解決へ向けた技術分野でのイノベーションを促進し、また社会実装を加速する仕組み作りも欠かせない。

このため、我が国をあげて、重要な技術テーマに対して産学の英知が集中して注入されるような魅力的な研究制度・研究環境の整備や、技術開発に係る国際的連携の推進、革新技术の実装に対する支援策など、制度的・システム的な環境整備についても継続的に議論がなされ、随時改善が図られていくことが重要である。

5章

まとめ

「脱炭素社会」の実現には、非連続なイノベーションが必要不可欠である。持続可能な社会の実現に向けた「3つの社会システム」の一体的かつ有機的推進に向け、技術開発・実証に取り組むべき革新技术の評価において、「CO₂削減ポテンシャル」など定量的な評価に基づいた議論をすることが重要である。

今後の取り組みとして、本総合指針で未試算の項目の検討や、異なる技術の融合・統合によるCO₂削減効果の向上の可能性について検討を行う。また、本総合指針が政策等に活用されるよう努めていく。

NEDOは、政府、関係機関と連携して、この一連の取り組みの一翼を担い、また、「イノベーション・アクセラレーター」として革新技术を生み出すべく挑戦し続けることで、世界の温室効果ガス排出量削減の実現に向けて貢献していく。

目次

はじめに	5
1 章 持続可能な社会の実現に向けて	6
1-1 目指す未来像	6
1-2 脱炭素社会の実現に向けた動き	6
1-3 炭素循環から見た社会システム	7
1-4 持続可能な社会を実現する3つの社会システム	8
1-5 本総合指針策定のねらい	11
2 章 温室効果ガス排出量及び対策費用	12
2-1 温室効果ガス排出量の現状	12
2-2 温室効果ガス排出量の見通し	13
2-3 限界削減コストと対策費用の推定	14
3 章 革新技术の評価について	16
3-1 革新技术の考え方	16
3-2 CO ₂ 削減ポテンシャルとCO ₂ 削減コストの試算の考え方	17
3-3 CO ₂ 削減ポテンシャルの試算例	18
3-4 CO ₂ 削減コストの試算例	20
3-5 戦略的な革新技术開発の推進に向けて	25
4 章 イノベーションを促す仕組み作りへの期待	26
5 章 まとめ	27
付録	28

はじめに

世界の平均地上気温は、産業革命が始まった18世紀後半から上昇し続けており、1880年から2012年に至っては、約0.85℃上昇している（図1）。

気候変動に関する政府間パネル（IPCC）によると、こうした気温上昇は、人為起源で排出された温室効果ガス（GHG）の影響である可能性が極めて高く、このまま温室効果ガスが増え続ければ21世紀末には最大4.8℃上昇する可能性が指摘されている^{*1}。更に、このような気温上昇は世界各地で深刻な影響をもたらしている大雨・熱波等の増大化・長期化を誘発し、21世紀末にはより深刻になると考えられている。

人類が排出する温室効果ガスによる気候変動問題は世界共通の課題であり、世界が一致協力して、世界の温室効果ガス排出量を大幅に削減し、カーボンニュートラルの実現を目指すことが必要である。また、気候変動問題に限らず、2015年には国連サミットで「持続可能な開発目標（SDGs）」が全会一致で採択され、2030年に向けた国際社会共通の目標が定められるなど、国際社会では世界の持続可能性を重視する考え方が浸透してきている。

我が国は、こうした環境問題に対する世界の潮流を的確に捉え、気候変動問題以外のSDGsの要素とも整合を図りながら、地球環境問題の解決に貢献する非連続なイノベーションの創出を推進し、自国のみならず世界の温室効果ガスの削減に積極的に貢献していくことが求められている。

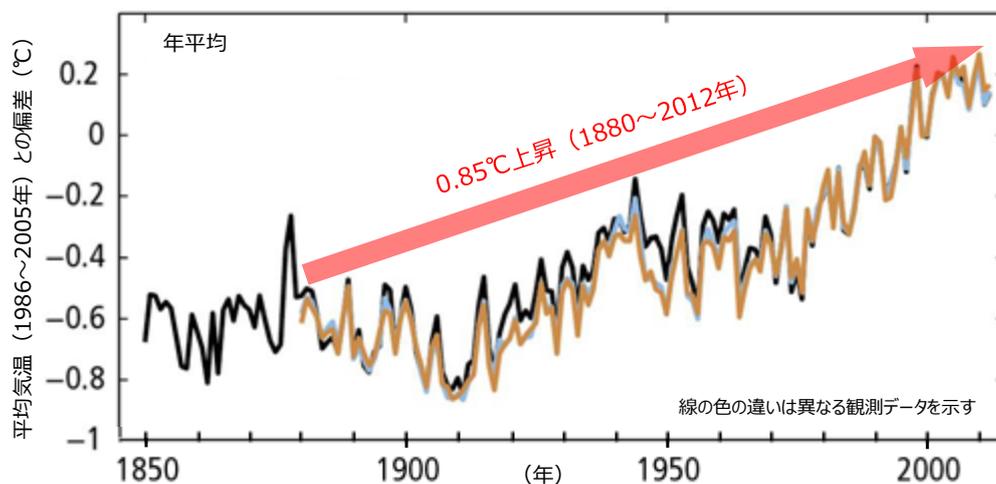


図1 世界平均地上観測気温（陸域+海域）の偏差（1850～2012年）

出典：Climate Change 2014 Synthesis Report Figure SPM.1 (a) (IPCC, 2014) を基に NEDO 技術戦略研究センター作成（2020）

*1 Climate Change 2014 Synthesis Report (IPCC, 2014)

1章 持続可能な社会の実現に向けて

- 2050年までに世界のビヨンド・ゼロを可能とする革新技術を確立するなど「脱炭素社会」を実現する技術開発や社会実装に取り組むことは、気候変動問題の解決に向け極めて重要であり、温室効果ガスのうち、最も排出量の多いCO₂の排出削減から検討を開始する。
- 持続可能な社会の実現には、「サーキュラーエコノミー」、「バイオエコノミー」、「持続可能なエネルギー」の3つの社会システムの一体的かつ有機的な推進が不可欠である。

1-1 目指す未来像

我々の未来には無限の広がりがある。

- ・100年後も、200年後も、その先も、世界が経済的に豊かで、環境に優しく、自然と共生した社会であり続けるために；
- ・将来にわたり、自然界、生態系の多様性が維持、発展され続けることを担保するために；
- ・現世代の社会的ニーズを満たしつつ、将来世代の社会的ニーズを損なわず、むしろ将来世代により良い社会として引き継ぐために；

気候変動問題は克服しなくてはいけない課題である。たとえ大きな困難が伴ったとしても、我々には、この気候変動問題を乗り越え、環境、経済、社会が調和を形成し、新しい価値が創造され続け、持続的に発展し続ける社会、すなわち、「持続可能な社会」の実現を目指していくことが求められている。

1-2 脱炭素社会の実現に向けた動き

2015年にパリで開催された国連気候変動枠組条約第21回締約国会議（COP21）では、気候変動に関する政府間パネル（IPCC）が提供する気候変動に関する科

学的知見も踏まえ、「パリ協定」が採択された。パリ協定は、世界の平均気温上昇を産業革命以前に比べて2℃高い水準を十分に下回るものに抑える（2℃目標）とともに、1.5℃高い水準までに制限するための努力（1.5℃努力目標）を継続すること、このために、今世紀後半に温室効果ガスの人為的な発生源による排出量と吸収源による除去量との均衡（世界全体でのカーボンニュートラル）を達成することを目指すこと等を定めている。

我が国では2016年に内閣府総合科学技術・イノベーション会議（CSTI）により、「エネルギー・環境イノベーション戦略（NESTI 2050）」が策定され、2050年頃という長期的視点に立ち、世界全体で温室効果ガスの抜本的排出削減を実現するために、研究開発をより重点的・集中的に進めるべき技術とその課題が示された。このNESTI 2050では、2℃目標との整合を図るため2050年までに世界の温室効果ガス排出量を240億トン程度水準にする必要があるとしている。

その後2018年には、IPCCにより、気温が1.5℃上昇した場合に予測される影響とその関連リスク等に関する特別報告書が公表された。この報告書では、健康・生計・食料安全保障等に対する気候関連リスクは、1.5℃の地球温暖化で増加し、2℃では更に増加すると予測している。また、1.5℃上昇に抑えるために例示された温室効果ガスの排出経路では、人為起源のCO₂排出量が2050年前後には正味ゼロに達する必要があると予測している。

こうした気候変動に関する将来リスク予測がより厳しくなる中、我が国では2019年6月に「パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略」が閣議決定された。この長期戦略では、最終到達点としての「脱炭素社会」を掲げ、それを野心的に今世紀後半のできるだけ早期に実現していくことを目指し、それに向けて2050年までに80%の温室効果ガスの排出削減という長期的目標を掲げている。また、この長期戦略などに基づき、我が国が強みを有するエネルギー・環境分野において非連続なイノベーションを創出し、社会実装可能なコストを実現し、これを世界に広めていくために「革新的環境イノベーション戦略」が2020年1月に策定された。この「革新的環境イノベーション戦略」では、世界のカーボンニュートラル、更には、過去のストックベースでのCO₂削減（ビヨンド・ゼロ）を可能とする革新的技術を2050年までに確立することを目指し、長期戦略に掲げた目標に向けて社会実装を目指していくことが打ち出されている。

一方、気候変動問題に限らず、国際社会では世界の持続可能性を重視する考え方が浸透してきている。2015年には国連サミットで持続可能な開発目標（SDGs）が全会一致で採択され、2030年に向けた国際社会共通の目標が定められた。こうした中、気候変動以外のSDGsの要素と整合的に気候変動対策を進めていくことが求められている。更に、英国・フランス・ドイツ等による内燃機関自動車販売禁止の方針が発表される等、世界各国による気候変動問題を中心とする環境問題に対する取り組みが活発化しており、企業への投資においても環境・社会・企業統治に配慮している企業を重視する「ESG投資」が拡大している。また、シェアリングエコノミーの進展、再生可能エネルギーの大量導入に伴う問題や海洋プラスチックごみ問題などの世界的な潮流も重要な観点である。

上記の状況を踏まえ、「脱炭素社会」を実現する技術開発や社会実装に取り組むことは、気候変動問題の解

決に向け極めて重要であり、「持続可能な社会」の実現に向けて、この分野のイノベーションを加速することはNEDOの責務であると考えている。

1-3 炭素循環から見た社会システム

GHG排出量の大部分を占めるCO₂について、排出削減、貯蔵・固定化、再利用を全て考慮する炭素循環という観点から、社会システム全体で持続可能な社会を目指すことが重要である。

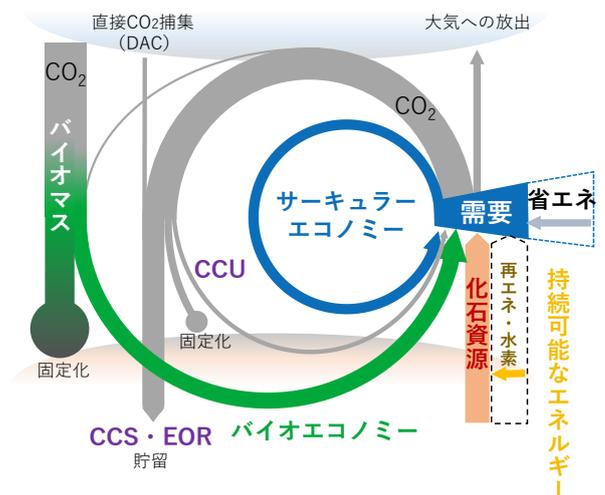


図2 炭素循環から見た社会システムの概念図

出典：NEDO技術戦略研究センター作成（2019）

図2のように炭素循環から見た社会システムの概念図を策定し、この概念図から、持続可能な社会を実現していくための道筋の検討を行った。青色のエネルギー需要部分でのCO₂排出量は、省エネルギーの進展により削減され、再エネや水素、また、バイオマス利用により、化石燃料使用が削減できることから、CO₂排出量を低減できることを示している。このように省エネルギーの推進を含めて、持続可能なエネルギーの利用を最大限実現する持続可能なエネルギーを推進する社会システムを実現していくことが、CO₂の排出量の低減に必須である。

次に、エネルギー利用により排出されるCO₂は、最大限分離回収し、CCS^{※2}及びEOR^{※3}により地中に貯留させるとともに、CCU^{※4}により化学物質等に利用することが重要となる。さらに、Direct Air Capture、鉱物化等によりCO₂の分離・貯蔵をすることができる。これにより、大気に排出されるCO₂を大幅に低減することができると共に、リサイクルやシェアリングによりエネルギーや物質の需要を削減することが可能となる。このように、物質資源の循環利用を最大化するサーキュラーエコノミーを推進する社会システムを実現していくことが、CO₂の排出量の低減に必須である。

更に、大気中のCO₂は、光合成により、植物に固定化させることができる。さらに、カーボンニュートラルなバイオマスエネルギーや物質生産に活用することにより、CO₂の排出量を削減することが可能となる。このように、バイオマスを最大限活用し、大気中のCO₂量を低減させ、バイオエコノミーを推進する社会システムを実現していくことが、CO₂の排出量の低減に必須である。

このように、炭素循環の観点から社会システムの全体像を検討すると、「持続可能なエネルギーを推進する社会システム」、「サーキュラーエコノミーを推進する社会システム」、そして、「バイオエコノミーを推進する社会システム」の3つの社会システムを実現していくことが、CO₂の排出量の低減に必須である。

1-4 持続可能な社会を実現する3つの社会システム

前節で述べたように、脱炭素社会の実現に向けた動きを踏まえて、持続可能な社会を実現していくには、「3つの社会システム」、すなわち、(1) サーキュラーエコノミー、(2) バイオエコノミー、(3) 持続可能なエネルギー、が継続的に発展していくことが不可欠であり、この「3つの社会システム」を統合的に捉え、非連続なイノベーションにつなげ、経済合理性をもって社会へ実装させていくことが重要である。図3は、持続可能な社会の実現に不可欠な「3つの社会システム」が継続的に発展し、互いに関連し合い、影響し合い、最適な調和が図られている状態を表現したものである。以下、「3つの社会システム」について説明する。

※2 CO₂回収貯留技術 (Carbon dioxide Capture and Storage)

※3 石油増進回収法 (Enhanced Oil Recovery)

※4 CO₂回収利用技術 (Carbon dioxide Capture and Utilization)

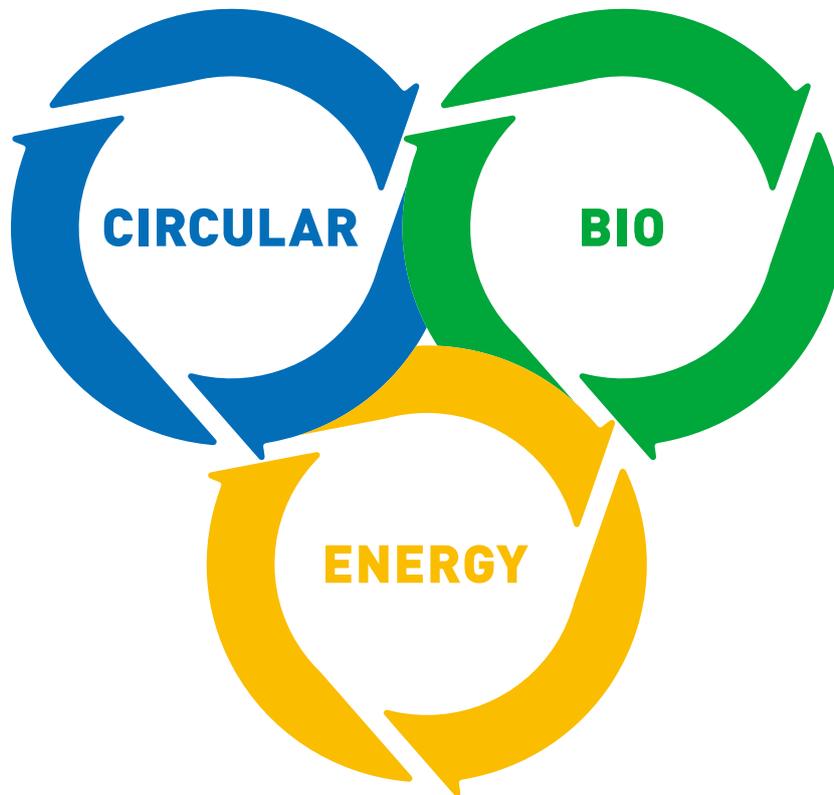


図3 持続可能な社会を実現する3つの社会システム

出典：NEDO 技術戦略研究センター作成（2020）

(1) サーキュラーエコノミー（ブルー）

我々は、地球上に存在する様々な物質資源を利用して、経済社会活動を営んでいる。サーキュラーエコノミーとは、これらの物質資源が、最大限循環され、かつ、新たな消費が最小化された社会システムのことであり、シェアリングエコノミーの推進などの概念をも含み、地球から産出される物質資源の利活用を最大化させることを目標としている。図では地球の象徴であるブルーで表現している。

代表的な施策が3R (Reduce, Reuse, Recycle) であり、元々は省資源・資源安全保障や廃棄物削減の目的が強かったが、近年は電力分野に比べて抜本的なCO₂排出削減が困難な産業分野における有望な削減策として3Rやシェアリングが注目されている。例えばマテリアルリサイクルでは、プラスチックで80%程度、アルミニウ

ムで90%程度のCO₂削減が可能と試算^{※5}されている。このように、3Rは素材や製品の生産量を削減することで、CO₂排出量の多い鉄鋼・セメント・化学・非鉄金属の生産における有効なCO₂排出削減策となることが期待されている。更にはCO₂を炭素資源と捉えてこれを回収し、多様な炭素化合物として再利用する「カーボンリサイクル」についても将来の有望なCO₂削減策として期待されている。そのほか、シェアリングなど需要サイドの新たなビジネスモデルによるCO₂削減効果に関する研究も進められており、物品・製品の生産時のCO₂削減に加え、輸送システム等の最適化による利用時のCO₂削減も期待されている^{※6}。

※5 The Circular Economy - A Powerful Force for Climate Mitigation Transformative (SITRA, 2018)

※6 ITF Transport Outlook 2017 (OECD, 2017)

(2) バイオエコノミー（グリーン）

地球上には、ヒト以外にも様々な生物が息づいており、これらの生物はそれぞれの生命維持活動の中で、他の生物にとって有用な食料等の物質を生み出す共存関係にある。バイオエコノミーとは、これらの生物が生み出す物質が最大限活用され、かつ、生物が形成している生態系への負荷が最小化された社会システムのことであり、生態系機能の最大限の発揮や生物資源の貢献を最大化させることを目標としている。図では、生物の象徴であるグリーンで表現している。

2009年に経済協力開発機構(OECD)が報告書「The Bioeconomy to 2030」で、OECD加盟国における2030年のバイオ産業市場は全GDPの2.7%（約200兆円規模）に拡大する（2000年代は1%未満）と予測したことを契機に、各国が自国のバイオエコノミー戦略を立案している。我が国でも、2019年6月に「バイオ戦略2019」が統合イノベーション戦略推進会議で決定され、持続可能な新たな社会経済システムの要素として欠かすことのできないバイオエコノミーをいかに実現するかという戦略を描いている。

石油由来からバイオ由来の原料・製品への代替によるCO₂削減と、大気中のCO₂を光合成によって固定したバイオマス（カーボンニュートラルとみなせる）の利用によって、バイオエコノミーはCO₂削減に貢献する。また、バイオ技術は、革新的な手法を生み出す可能性があり、非連続的なイノベーションを期待できる。更に、バイオマス利用の過程で排出されたCO₂を回収・貯留できれば、ネガティブエミッション^{*7}に寄与できる。

(3) 持続可能なエネルギー（オレンジ）

地球上には、化石燃料以外にも、太陽の地球への放射や地球内部の熱などに基づく太陽光、風力、地熱、海洋など多くの自然由来のエネルギー源が存在している。社会システムとしての持続可能なエネルギーとは、これらの自然由来のエネルギー源の利用が最大化され、かつ、地球環境への負荷が最小化された社会システムのことであり、長期にわたり安定的なエネルギーの供給と利用を実現することを目標としている。図では、エネルギーの象徴であるオレンジで表現している。

産業革命以降、急速に拡大したエネルギー需要のほとんどが石炭や石油・天然ガス等の化石燃料によって賄われてきた。一方、これらは枯渇性の資源であることに加え、資源採掘や燃焼時に大量の温室効果ガスを排出する。したがって、持続可能な社会の実現には、従来の化石燃料によるエネルギー供給システムから持続可能なエネルギーシステムへの転換が必要となる。具体的には、一次エネルギーとしての「再生可能エネルギー利用技術」、それらを転換・輸送・貯蔵するための「二次エネルギー関連技術」、それらの技術を統合しエネルギーの利活用の最適化を目指す「エネルギーマネジメント技術」、そしてエネルギーを可能な限り効率的に利用する「省エネルギー関連技術」の開発を進めることで低コスト化を実現し、できる限り早期に社会実装に結び付けることが重要である。

^{*7} 大気中に排出・蓄積されたCO₂を回収し、固定化または貯留する技術。具体的には、植林などの固定化やバイオ発電時のCO₂を回収し貯留する技術（BECCS: Bio-Energy with Carbon dioxide Capture and Storage）、大気中から直接CO₂を回収し（DAC: Direct Air Capture）固定化または貯留する技術などがある。

1-5 本総合指針策定のねらい

「サーキュラーエコノミー」「バイオエコノミー」「持続可能なエネルギー」の「3つの社会システム」の一体的かつ有機的な推進を実現し、世界での「カーボンニュートラルの実現」を目指す技術開発や社会実装に取り組むことは、気候変動問題の解決に向け極めて重要であると考へ、本総合指針を策定した。

気候変動問題の解決に資する革新技術を特定していくには、「サーキュラーエコノミー」「バイオエコノミー」「持続可能なエネルギー」に関わる技術を全体的に俯瞰し、どの技術がどれだけのCO₂削減を、どのくらいの費用で、いつ実現できるのかを定量的に評価していくことが必要である。特に、将来を見据え、CO₂削減に貢献する技術の「CO₂削減ポテンシャル」と「CO₂削減コスト」を見積もり、定量的な議論をすることが重要である。

このため本総合指針は、2050年を見据え、CO₂削減に効果のある技術を総合的、客観的に評価することを提唱し、また、いくつかの革新技術について具体的な試算と試算根拠を提供することにより、開発・実証に取り組むべ

き革新技術の評価の一助となることを目的としている。なお、本総合指針では、温室効果ガスの内最も排出量の多いCO₂の排出削減から検討を開始している。

「革新的環境イノベーション戦略」が掲げているように、世界のカーボンニュートラル、更には、過去のストックベースでのCO₂削減（ビヨンド・ゼロ）を可能とする革新技術を2050年までに確立するためには、本総合指針で検討した技術以外にも、更に多くの技術を検討する必要がある。また、本総合指針に基づき、気候変動問題の解決に資する技術にCO₂削減ポテンシャルなど定量的な評価をすることにより、革新技術の更なる特定を進めていくとともに、我が国で開発された技術が世界中で活用され広く普及することで、気候変動問題の解決に貢献することが期待される。

NEDOは、これまでも様々な技術開発・実証プロジェクトを通じてイノベーションを創出してきたが、今回、地球環境問題の解決に向けたイノベーションに係る我が国の取り組みの検討の際の「指針」となるべきものを新たに提供・発信することにより、「イノベーション・アクセラレーター」としての役割を強化し、世界的な課題の解決に一層貢献していく。

2章

温室効果ガス排出量 及び対策費用

- 温室効果ガス削減対策と経済性の関係において、年間約400億トンのCO₂削減を想定した場合には、CO₂削減量1トンあたりに要するコストは10万円を上回る水準となる。
- このことは、400億トンのCO₂削減で、毎年約1,000兆円規模の対策費用が世界で必要となることを意味する。
- この巨額の対策費用を世界が受容できるレベルにまで引き下げるには、非連続なイノベーションが不可欠である。

2-1 温室効果ガス排出量の現状

2010年における世界の温室効果ガス（GHG）排出量はCO₂換算で約490億トンであり、そのうちCO₂が76%を占め、残りはCH₄（16%）、N₂O（6%）、フロン等のフッ素系ガス^{※8}（2%）となっている（図4）。年次は異なるが^{※9}、2013年度における日本のGHG排出量を図5に示

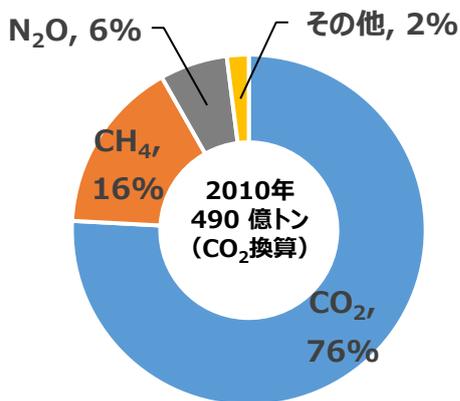


図4 世界の温室効果ガス排出量

出典：Climate Change 2014 Synthesis Report (IPCC, 2014) を基に NEDO 技術戦略研究センター作成 (2020)

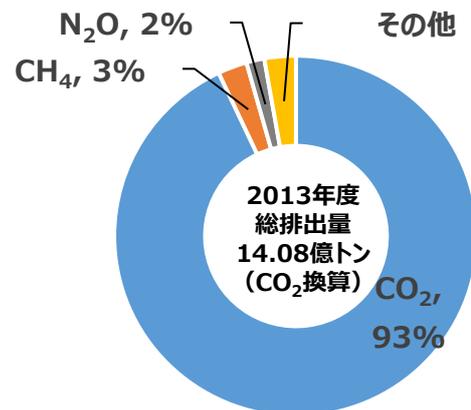


図5 日本の温室効果ガス排出量^{※11}

出典：環境省 平成27年版環境・循環型社会・生物多様性白書を基に NEDO 技術戦略研究センター作成 (2020)

※8 代替フロンを含むフッ素系ガスの多くは、モントリオール議定書の規制対象であり、地球温暖化係数（GWP）の低い冷媒の開発等が進むことで、GHG削減に寄与する。

※9 IPCCは2010年を、日本は2013年を2030年目標の基準年としている。世界のGHG排出量は2010年比、2013年は106%、2016年は107%と増加した（CLIMATEWATCH、<https://www.climatewatchdata.org/>）。

※10 ある国のCO₂削減または排出によって、世界がその影響を受ける性質の問題であること。

※11 日本のGHG排出量は減少しており、2017年度実績でGHG総排出量は12.92億トン（環境省、令和元年版環境白書・循環型社会白書・生物多様性白書）（出典：2013年度JPECレポート「世界のGTLプロジェクトの最新状況」）

2-2 温室効果ガス排出量の見通し

今後のGHG排出量と地球の平均気温との間には気候感度の不確実性から、その予測に幅があることに留意する必要があり、世界の研究機関では複数のGHG排出経路に基づくシナリオが想定され、シナリオ毎にエネルギー消費、CO₂排出、削減コスト等様々な分析がなされている。

本総合指針においては、国際エネルギー機関（IEA）によるETP2017^{※12}のシナリオを中心に解析を行っている。ETP2017では、CO₂に限定してRTS（Reference

Technology Scenario）、2DS（2°C Scenario）、B2DS（Beyond 2°C Scenario）の3つのシナリオが示されている。この中でRTSは、再生可能エネルギーや省エネルギー技術の向上・普及により、CO₂削減が進むシナリオである。このシナリオでは2050年のCO₂排出量は約400億トンであり、特別な対策がなされない場合のシナリオである6DS（6°C Scenario）^{※13}に比べ、2050年想定で150億トン程度の削減が従来技術の普及によって達成されている。また、2DSやB2DSでは、技術進展により経済合理性を有しながら、さらなるCO₂排出量の削減が進むシナリオを示している。これらを図6に示す。

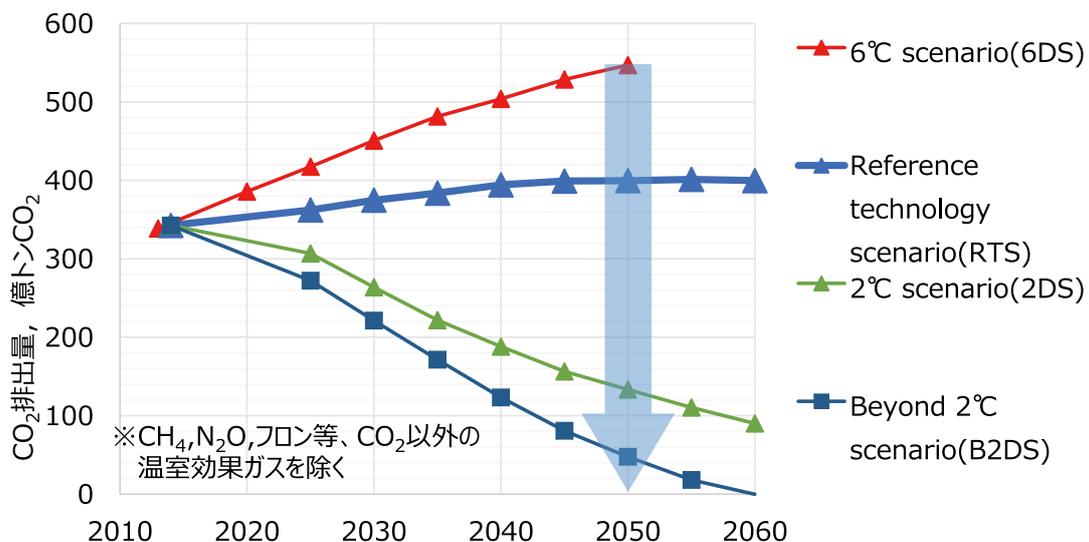


図6 IEAによる代表的なシナリオ

出典：Energy Technology Perspectives 2016およびEnergy Technology Perspectives 2017)を基に
NEDO 技術戦略研究センター作成 (2020)

※12 Energy Technology Perspectives 2017

※13 Energy Technology Perspectives 2016で示されているBAU (Business As Usual) シナリオ

2-3 限界削減コストと対策費用の推定

気候変動に関する世界の研究機関が複数のシナリオに基づいたシミュレーションを行い、CO₂排出量（またはGHG排出量）と限界削減コストとの関係を示している。なお、限界削減コストとは、CO₂排出を追加的に1トン削減するために要する費用を意味し、単位は円/tCO₂（もしくは\$/tCO₂）で表される。この限界削減コストは、ある排出量におけるCO₂削減に係る経済合理性という観点でのハードルの高さに相当し、今後のCO₂削減に関する技術

開発の目標となる重要な指標である（詳細は3章）。

世界全体の平均的な限界削減コストを俯瞰するために、ここでは、国際的な研究機関である国連気候変動に関する政府間パネル（IPCC）、国際エネルギー機関（IEA）及び日本の地球環境産業技術研究機構（RITE）による世界全体のGHG排出量と限界削減コストとの推計値を基にした回帰分析結果を図7に示す^{※14}。青の線の近似値が示すように、GHG排出量の低下に伴い限界削減コストは指数関数的に増加し400億トンのCO₂削減までに限界削減コストは10万円/tCO₂（\$1=100円）を上回る水準となる。

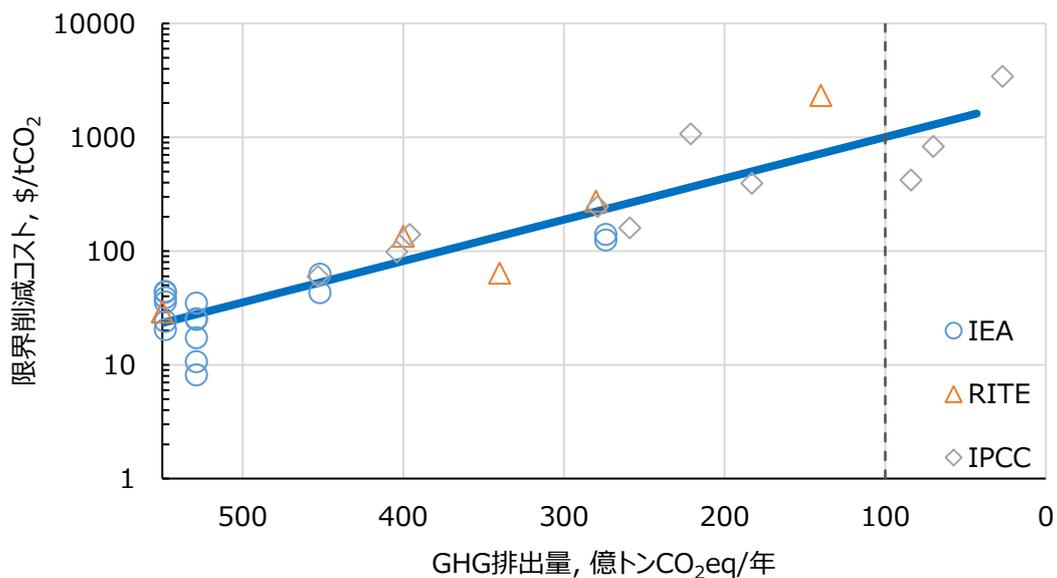


図7 GHG排出量と限界削減コストとの関係

出典：Global warming of 1.5°C (IPCC, 2018), World Energy Outlook 2018 (IEA, 2018), パリ協定2°C目標から見た我が国の2050年排出削減目標に関する分析 (RITE, 2017) を基に NEDO 技術戦略研究センター作成 (2020)

※14 各研究機関のコストに関する基準年が異なる場合はインフレ率で補正した。また、CO₂に限定しているIEAのデータはIPCCが示す複数の排出経路から推定したCO₂以外のGHGの値を加算している。

限界削減コストとGHG排出量との関係を示す近似式は、下記の通りである。

限界削減コスト [\$/tCO₂] = exp(-0.008363G+7.748)、G:GHG排出量[億tCO₂]

持続可能な社会の実現に向けた技術開発総合指針 2020

削減対策のために世界全体で負担する費用（以後、対策費用と呼び、単位は円/年）は、限界削減コストの線の下部の面積として得られる。図8はこの対策費用とGHG排出量との関係を示す。400億トンのCO₂排出量削減で、その対策費用は、世界全体で毎年約1,000兆円の規模となる。また、排出量ゼロまで外挿した場合の対策費用は、毎年2,700兆円と見積もられる。

なお、対策費用1,000兆円/年の規模は世界のGDPの12%に相当^{※15}するものである。このことは、社会が受容できる費用という観点において、対策実現のハードルが極めて高いことを示している。したがって、この巨額の費用を世界が受容できるレベルにまで引き下げるための非連続なイノベーションが不可欠である。

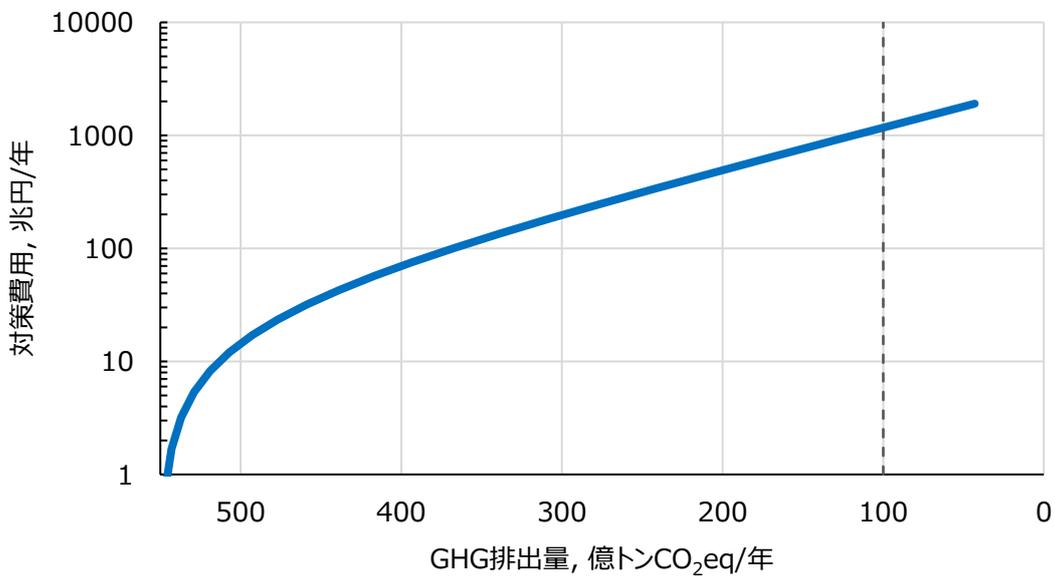


図8 GHG排出量と対策費用との関係

出典：図7の解析結果を基にNEDO技術戦略研究センター作成（2020）

※15 世界のGDPの848,256億ドル（2018年実績）を\$1=100円で換算した。IMF, World Economic Outlook Databaseより。

3章 革新技术の評価について

- 分野を超えて客観的に技術を判断するための「評価の考え方」として、「CO₂削減ポテンシャル」、「CO₂削減コスト」は重要な要素である。
- CO₂削減に資する革新技术のうち、NEDOで効果の試算が可能な技術を中心に、いくつかの革新技术について、CO₂削減ポテンシャルとCO₂削減コストの試算を行った。
- このような試算は、技術的な要因に加えて、導入政策や社会受容性などの環境の変化によって増減し得ることから、関係者の知見を持ち寄り継続的な検証が重要である。

3-1 革新技术の考え方

CO₂排出量の削減という視点から技術の評価する際には、「CO₂削減ポテンシャル」と「CO₂削減コスト」を定量的に把握する必要がある。

本章では、NEDOが技術開発内容を把握でき、その効果を試算できる技術を中心に、いくつかの革新技术を選定し、CO₂削減ポテンシャルとCO₂削減コストの試算を行った。この試算結果は「革新的環境イノベーション戦

略」の議論にも貢献している。具体的には、「革新的環境イノベーション戦略」で示されている技術テーマごとのCO₂削減量の試算において、革新技术の社会実装に加えて次世代革新技术の開発及び社会実装を考慮した試算を行った。なお、NEDOは技術開発の推進を通じて社会課題の解決などを目指していることから、さらなる技術開発が必要とされる次世代革新技术の寄与分にフォーカスした「CO₂削減ポテンシャル」の試算も行っている。図9に本総合指針で試算した技術に関連する技術テーマのCO₂削減量の試算を抜粋したものを示す。

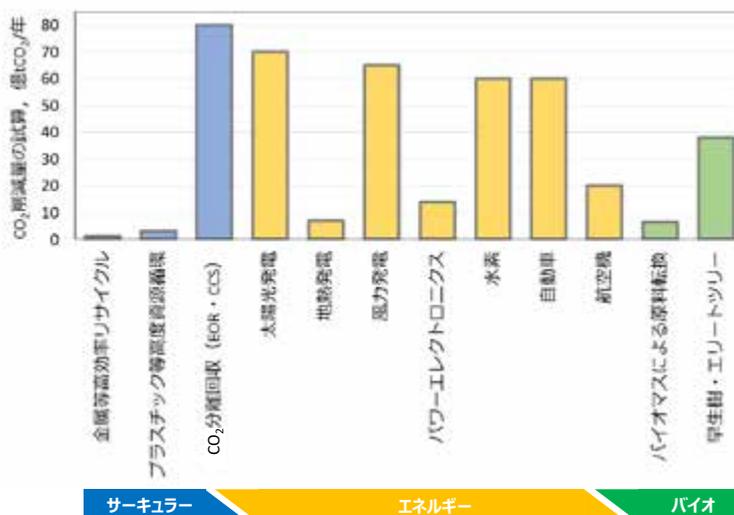


図9 「革新的環境イノベーション戦略」における技術テーマのCO₂削減ポテンシャル（一部抜粋）
出典：「革新的環境イノベーション戦略」（内閣府，2020）を基にNEDO技術戦略研究センター作成（2020）

3 CO₂削減ポテンシャルと -2 CO₂削減コストの試算の考え方

本総合指針でとりあげたいいくつかの革新技术に関しては、それぞれ技術の成熟度や社会的な背景が異なっている。ここでは、この異なる背景を考慮し、これらの技術を以下の4つの考え方に基づきCO₂削減ポテンシャルを試算した。

- A) 技術の普及率を仮定して試算したケース
- B) 専門機関の試算を参考にしたケース
- C) 政府や業界の目標もしくは見通しに基づいて試算したケース
- D) 最大の技術の普及または設備設置を想定したケース

CO₂削減ポテンシャルは、技術進展の速度や非連続なイノベーション等の技術的な要因に加えて、導入政策や社会的な受容性などの社会環境の変化によって増減する可能性がある。このような不確かさを考慮できる場合には、技術毎に普及率等複数のシナリオを想定し、以下の算出式1を用い、2050年におけるCO₂削減ポテンシャルの試算を行った。

なお、付録には本総合指針で検討した革新技术のCO₂削減ポテンシャルの試算結果と諸元の一覧を記載している。

本総合指針のCO₂削減ポテンシャルの試算においては、各技術の成熟度に違いがあり、技術間で競合する部分もあるため、これらの合計値の扱いには注意が必要である。また、前述のように今回の試算はNEDOが技術開発内容を把握でき、その効果を試算できた技術のみを対

象にしており、CO₂削減に資するすべての技術を含んでいるわけではない。

しかしながら、ここで挙げた技術のCO₂削減ポテンシャルは数億トンから数十億トンと高いレベルにあり、技術開発の推進によって、CO₂排出量の大幅削減に寄与することが期待される。

CO₂削減コストは、CO₂排出量を1トン削減するために要する費用であり、単位は円/tCO₂で表される。本総合指針では、将来開発される革新的なCO₂削減技術の社会実装によるCO₂削減コストを、以下の算出式2を用い、試算を行った。

技術開発によって革新技术のコストを十分に低減できれば、社会実装が加速されその結果CO₂排出量の大幅な削減が可能になる。

また、今回とりあげた革新技术に関しては、CO₂削減ポテンシャルと同様に、それぞれ技術の成熟度や社会的な背景が異なっているため、ここでは以下の4つの考え方に基づき、CO₂削減コストの試算を行った。

- A) 学習曲線等の実績から想定されるケース：次世代太陽光発電
- B) 政府や業界の目標もしくは見通しに基づいて試算したケース：水素発電
- C) 専門機関の試算を参考にしたケース：CCS、プラスチック循環
- D) その他のケース：次世代蓄電池-EV

式1 CO₂削減ポテンシャル [tCO₂]

CO₂削減ポテンシャル[tCO₂]=導入量[固有単位※]×(従来技術の排出原単位-革新技术の排出原単位)[tCO₂/固有単位※]

※固有単位：Wh,J,t等

式2 CO₂削減コスト [円/tCO₂]

CO₂削減コスト[円/tCO₂]=
$$\frac{\text{革新技术の単価}-\text{従来技術の単価}[\text{円}/\text{固有単位}※]}{\text{従来技術のCO}_2\text{排出原単位}-\text{革新技术のCO}_2\text{排出原単位}[\text{tCO}_2/\text{固有単位}※]}$$

※固有単位：kWh, GJ, t製品等

3 -3 CO₂削減ポテンシャルの試算例

① 次世代太陽光発電

革新太陽光発電技術による2050年のCO₂削減ポテンシャルは約70億トンと試算され、この数字は「革新的環境イノベーション戦略」にも引用されている。

IEA ETP2017によれば、革新技術の普及拡大によりまず2050年には3,345TWhまでの太陽光導入が進み、この導入量と2050年時点のCO₂原単位からCO₂削減ポテンシャル22億トンを算出した。

またIEA ETP2017の2DS等^{※16}を参考にして、2050年の次世代革新技術を含む太陽光発電(PV)の総発電量を8,000TWhと見積もった。また、この8,000TWhと3,345TWhの差分である4,655TWhを次世代PV技術による発電量増加分と仮定し、次世代PV技術によるCO₂削減ポテンシャルを30億トンと試算した。

さらなる技術開発を考慮すると、超軽量、超高効率、高い意匠性などを備えた次世代太陽電池モジュールが実現できれば、建物側壁、工場屋根など従来技術では困難と考えられていた場所にも設置が可能になる。また、設置技術が向上することで水上、農地などに太陽電池モジュールを設置することも可能になる。今後これらの技術革新によって、PVの導入量が大幅に増加することが予想される。技術ごとに次世代PVの導入量を試算してみると、2050年で水上は2.02TW、建物壁面は1.68TW、農地は3.01TW、車載(自動車へのPVシステム搭載)は0.56TWとなり、CO₂削減量は合計で約48億トンとなる。この試算と22億トンを合計すると、革新技術全体で70億トンとなる。洋上、ソーラーロード、電動航空機などの用途への新展開や、ZEB(Net Zero Energy Building)の規制化等の政策によってCO₂削減ポテンシャルはさらに拡大する可能性がある。

② 水素発電

水素は利用段階でCO₂を排出しないため、理論的には化石燃料を水素に置き換えることでCO₂排出量を大きく削減できる技術である。ただし、水素製造方法によってはCO₂を生成することから、製造から利用までトータルでCO₂排出を低く抑える技術開発が求められる。「Hydrogen scaling up」(Hydrogen Council、2017)によると、将来的に、電力、運輸、産業用等への水素利用が拡大すると60億トンのCO₂排出削減が可能であるとされている。水素を利用する技術のうち、個別の技術例として、ここでは水素発電について検討する。

IEAによると2050年における天然ガス火力発電の発電量(世界)は10,586TWh/年である。このうち5～15%を水素発電で置き換えると仮定した場合、CO₂削減ポテンシャルは約1.9～5.8億トンとなる。なお、この数値は利用段階のみの試算結果であり、水素製造、輸送・貯蔵、供給におけるCO₂排出量は今回試算していない。

③ 次世代蓄電池-EV

次世代蓄電池はCO₂排出原単位の低い電力を貯蔵し、その電力の利用を広げることで、CO₂排出量の大幅削減へ貢献する。革新的環境イノベーション戦略においては、自動車及び航空機から排出されるCO₂に対し、電動化や燃料の低炭素化等のあらゆる対策を講じた際のCO₂削減量はそれぞれ60億トン、20億トンと試算されており、CO₂排出量の大幅削減への貢献が期待されている。次世代蓄電池は、重量エネルギー密度が大きく、次世代蓄電池を100kg程度搭載した電気自動車(EV)は、一充電で、500km程度のガソリン車並みの走行が可能になると期待される。次世代蓄電池の活用例としては、モビリティの駆動用ばかりでなく、電力の調整用等が挙げられるが、ここでは、EV(乗用車)の駆動用蓄電池として活用したときのCO₂削減ポテンシャルを試算した。

※16 IEA World Energy Outlook 2018

IEA ETP2017のRTSにおける2050年のLight Duty Vehicles (LDV) ストックの年間走行距離の合計は63.9兆kmであり、排出されるCO₂は54.7億トンとされる。また、RTSにおける乗用車のストック割合は、電動車（ここではEV、PHEV、FCEV）が12%であり、内燃機関自動車（ここではHVも含む、以下ICEV）の割合は88%である。技術革新により、ICEVから次世代蓄電池が搭載されたEVへ40～60%が代替されると仮定し試算すると、CO₂削減ポテンシャルは2.7～9.1億トンとなる。

④ EOR・CCS

発電所、セメント、鉄鋼等、比較的高濃度のCO₂が排出されるセクターを対象として、CO₂を分離回収し貯留する技術である。単なる貯留であるCCSに比べ経済的に有利なEORは、既に各地で商業プラントが稼働している。現状、比較的条件の良い（高いCO₂濃度、地理的条件等）サイトにおいて社会実装が進むが、濃度や地理的条件の悪いサイトであっても受け入れ可能なコストで実現するために分離回収、輸送、貯留において革新的技術開発がその普及に不可欠である。

本総合指針では、IEAが示す複数のシナリオから見積もられる最大の削減寄与として、80億トンをCO₂削減ポテンシャルとして試算した。

⑤ プラスチックリサイクル

プラスチックは、使用後に焼却処分された場合、原料採掘から製品製造までの工程と同程度のCO₂を排出するため、リサイクルによる大きなCO₂削減効果が期待でき

る素材である。現在でもプラスチックリサイクルは実施されているが、CO₂削減の観点からは効果の低いリサイクルプロセスも多い。選別、マテリアルリサイクル、ケミカルリサイクル、エネルギー回収の各プロセスにおける革新的技術開発によって、大きなCO₂削減ポテンシャルが期待される。

2050年のプラスチック生産量（PE、PP、PET、PS）4億t/年^{*17}の内、0.4～1.2億t（比率10%～30%）に革新技術によるリサイクルが適用されると仮定し、CO₂削減ポテンシャルを1.1～3.2億トンと試算した。なお、この値は、プラスチック製造時のみならず焼却まで考慮したものである。

⑥ バイオプラスチック

バイオマスプラスチックは、バイオマスを原料に製造されることから、焼却処分した場合でも、大気中のCO₂の増減に影響を与えないカーボンニュートラル性を持つという特徴がある。エレンマッカーサー財団の新プラスチック・エコノミーに関する報告書（The New Plastics Economy: Rethinking the future of plastics）によれば、2050年のプラスチック生産量は11.24億トンと予測されている。また、プラスチックの原料を石油からバイオマスに置き換えた場合のCO₂削減効果は、重量の1.4～2倍とされている。

2050年に世界で生産される全プラスチックの20～30%をバイオマス由来に置き換え、CO₂削減効果が重量の2倍と仮定すると、CO₂削減ポテンシャルは4.5～6.7億トンとなる。

*17 The future of Petrochemicals (IEA, 2018)

3-4 CO₂削減コストの試算例

① 次世代太陽光発電

国内ではメガソーラー（事業用）やルーフトップ（屋根用）のPVの導入が進んでいる。政府の発電コスト目標である2020年に14円/kWh、2030年に7円/kWhに向けてコストが着実に低下しており、2030年以降発電コストはジェネレーションパリティ（基幹電源並：7円/kWh）を達成する見通しである。一方、今後新たに研究開発を進める超高効率、軽量、フレキシブル等の次世代PV技術については、例えばZEBを目指した建物側壁設置、車載等への応用が期待されている。図10に事業用および建物側壁と車載に関するCO₂削減コストの試算例を示す。建物側壁と車載については2030年に市場への導入が開始され、技術開発の進展や量産効果によって発電コスト（CO₂削減コスト）が着実に低下していくことが予想される。建物側壁のケースでは、発電コストは2030年129円/kWhから2050年には14円/kWhまで下がり、これによりCO₂削減コストは33.6万円/tCO₂から-0.4万円/tCO₂に、車載のケースでは、発電コストは2030年98円

/kWhから2050年には14円/kWhまで下がり、これによりCO₂削減コストは21.7万円/tCO₂から-3.3万円/tCO₂まで低下する。試算結果は導入条件等に依存するため数値の扱いには注意が必要である。

本節では、国内を例にとってPVに関するCO₂削減コストの試算を行った。海外におけるCO₂削減コストについては、国ごとに発電コストやエネルギー構成、CO₂排出原単位等が異なるために画一的に扱うことはできない。しかしながら、我が国と同様の傾向をたどり、2030年にはほぼ世界全域で事業用、屋根用のPVがジェネレーションパリティを達成することが予想される。ZEB、水上、農地、車載等の革新技術が求められる分野においても、2050年までにはグリッドパリティの達成が想定される。このため2050年に向けたコスト目標はkWhあたりの既存電源のコスト水準以下とすることが妥当である。PVはCO₂削減に関して大きなポテンシャルを有しており、技術革新による次世代PV技術の低コスト化によってPVの役割は大幅に拡大する。なお、世界各地に導入されるPVの設置環境や用途は同じでないため、本節における試算にはPVの導入に伴う系統費用や蓄電費用等は含まれていない。

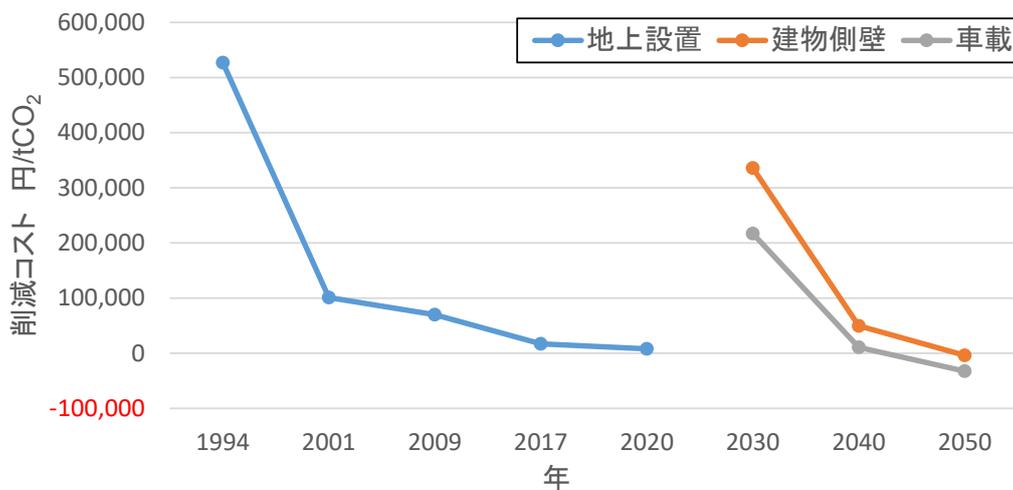


図10 太陽光発電のCO₂削減コストの推移（試算）
出典：NEDO技術戦略研究センター作成（2019）

② 水素発電

水素は「水素・燃料電池戦略ロードマップ」（経済産業省、2019年3月改訂）において、「水素コスト（プラント引渡しコスト）の低減については、2030年頃に30円/Nm³程度、将来的に20円/Nm³程度まで水素コストを低減することを目標」とすることとされており、これらを発電コストに換算するとそれぞれ17円/kWh、12円/kWhとなる。この政策目標をもとに、国内における水素発電のCO₂削減コストを整理した（表1）。2030年時点では約14.7千円/tCO₂程度となる。将来的に（ここでは2050年と仮定）、従来技術であるLNG火力発電を水素発電に

より置き換えるとなると、LNG火力と同等の発電コストとなる必要がある。水素コスト20円/Nm³（発電コスト12円/kWh）を達成する段階ではCO₂削減コストは0円/tCO₂まで低減することを意味している。

このためには水素発電技術（燃焼器や更なる効率向上）の開発はもとより、水素調達（製造、輸送・貯蔵等）に係る技術開発も重要である。また、再生可能エネルギー由来の電力から水電解により水素製造を行う場合等においては、その再エネ電力コストが水素コストに大きく影響を与えることにも留意が必要である。

表1 水素発電のCO₂削減コスト試算例

種類	水素発電		LNG火力 (比較対象の従来技術)
	30円/Nm ³ ※1 (2030年目標値)	20円/Nm ³ ※1 (将来的な目標値)	
発電コスト (円/kWh)	17.0 ※2,3	12.0 ※2,3	12.0
水素コスト (円/Nm ³)	30	20	-
CO ₂ 排出量 (g/kWh)	0 ※4	0 ※4	340 ※5
CO ₂ 削減コスト (千円/tCO ₂)	14.7	0	-

※1：「水素・燃料電池戦略ロードマップ」（経済産業省、2019）

※2：水素発電のコストには港湾等のインフラ・土地代や技術開発にかかる費用等は含まれていない。

※3：水素発電は発電効率59%（LHV）、燃料費以外の費用はLNG火力と同じ（発電コスト検証WG）

※4：水素発電のCO₂排出量は国内CO₂排出量のみを考慮し0で計上しており、水素製造、輸送・貯蔵におけるCO₂排出量は含めていない。

※5：総合資源エネルギー調査会基本政策分科会第18回会合資料「火力発電の高効率化」（経済産業省、2015）

出典：NEDO 技術戦略研究センター作成（2020）

③ 次世代蓄電池-EV

ここでは、従来の自動車がEVにより代替されることを想定して、EVのCO₂削減コストを試算した。EVのCO₂削減コストは従来の自動車がEVにより代替された時に追加で発生する料金をCO₂排出削減量で除したものと定義した。従来の自動車を内燃機関自動車（ここではHVも含める、以下ICEV）としてEVのCO₂削減コストを考えると以下の式3となる。

ICEVがEVにより代替された時に追加で発生する費用を示す分子は、「総走行距離を走行するために必要なEVの電力料金から内燃機関走行の燃料料金（税金を除く）を引いたもの」と「EV車両価格からICEV車両価格を引いたもの」との和からなる。ICEVがEVにより代替された時のCO₂排出削減量を示す分母は、「総走行距離を走行した

時点でのICEVの総CO₂排出量からEVの総CO₂排出量を引いたもの」と「ICEVの生産時のCO₂排出量からEV車両生産時のCO₂排出量から引いたもの」の和からなる。

表2にはこの試算に用いた仮定をまとめた。ICEVの燃費とEVの燃費に相当する電力使用量は、将来の平均値として、それぞれIEAから報告^{*18}されている、2018年のHVの値19.6km/LとEVの値として報告がある5.3km/kWh（充電効率95%が加味）、燃料のコストはIEA RTSの値86円/L^{*19}（\$1=100円換算）、電力料金は電力中央研究所が報告した2016年の主要10か国の電力料金（10～35円）の中央値付近である日本の電力料金24円/kWh^{*20}と総走行距離はVolkswagenが計算で用いている総走行距離の最大値である200,000km^{*21}と仮定した。

式3 CO₂削減コスト

$$\begin{aligned}
 \text{CO}_2 \text{削減コスト} &= \frac{(\text{総走行距離における電動走行と内燃機関走行の電気・燃料等のエネルギーコストの差}) + (\text{EVとICEVの車両価格の差})}{(\text{総走行距離における電動走行と内燃機関走行のCO}_2\text{排出量の差}) + (\text{EVとICEVの車両生産時のCO}_2\text{排出量の差})} \\
 &= \frac{\text{総走行距離} \times \left\{ \left(\frac{\text{燃費に相当する電力使用量}}{\text{充電効率}} \times \text{電気料金} \right) - (\text{燃費} \times \text{燃料料金 (税金は除く)}) \right\} + (\text{EV車両価格} - \text{ICEV車両価格})}{\text{総走行距離} \times \left\{ (\text{燃費} \times \text{燃料のCO}_2\text{排出係数}) - \left(\frac{\text{燃費に相当する電力使用量}}{\text{充電効率}} \times \text{電力のCO}_2\text{排出係数} \right) \right\} + (\text{ICEV生産時のCO}_2\text{排出量} - \text{EV生産時のCO}_2\text{排出量})}
 \end{aligned}$$

表2 EVのCO₂削減コストの試算に用いた仮定

仮定した項目	値	備考
ICEVの燃費	19.6 km/L	IEAの報告にある、2018年のHVの値 ^{*18} を将来の平均値とした。
EVの燃費に相当する電力使用量	5.3 km/kWh	IEAの報告にある充放電効率95%が加味された2018年のEVの値 ^{*18} とした。
燃料のコスト	86 円/L	IEAのRTSモデルの値 ^{*19} を1\$=100円で換算した。
電力料金	24 円/kWh	電力中央研究所が報告した2016年の主要10か国の電力料金（10～35円）の中央値付近である日本の電力料金 ^{*20} とした。
総走行距離	200,000 km	Volkswagenが計算で用いている総走行距離の最大値である200,000 km ^{*21} とした。
EV車両価格-ICEV車両価格	0～100 万円	車両価格がEVの方がICEVより高い現状と、蓄電池価格が急速に低減し両者の価格が近づいている状況を踏まえて仮定した。
ICEV生産時のCO ₂ 排出量- EV車両生産時のCO ₂ 排出量	-5～+5 t	Volkswagenの報告にあるEVのCO ₂ 排出量が内燃機関車より5 t/台 ^{*21} 多いことを参考に仮定した。

出典：NEDO技術戦略研究センター作成（2020）

*18 Global EV Outlook 2019 (2019)

*19 Energy Technology Perspectives 2017 (2017)

*20 電気料金の国際比較 (2018)

*21 Volkswagen ホームページ (<https://www.volkswagenag.com/en/news/stories/2019/04/from-the-well-to-the-wheel.html>)

式中の (EV 車両価格 - ICEV 車両価格) は、車両価格が EV の方が ICEV より高い現状と、蓄電池価格が急速に低減し両者の価格が近づいている状況を踏まえ、0 ~ 100 万円までを仮定した。また、式中の (ICEV 生産時の CO₂ 排出量 - EV 車両生産時の CO₂ 排出量) は、蓄電池製造時の CO₂ 排出量が主要因となり、ICEV と比べ EV の車両生産時の CO₂ 排出量が多い現状を反映させ、Volkswagen の報告にある EV の CO₂ 排出量が ICEV

より 5t/台^{*21}多い場合と、将来、蓄電池製造時の CO₂ 排出量が低減し、EV の方が ICEV より、車両生産時の CO₂ 排出量が 5t 少なくなる場合を考え、-5t から 5t の範囲で試算した。

図 11 に試算結果を示すが、CO₂ 削減コストは、車両価格差と車両生産時の CO₂ 排出量の差に依存し、0.2 万円/tCO₂ から 14.6 万円/tCO₂ の範囲である。

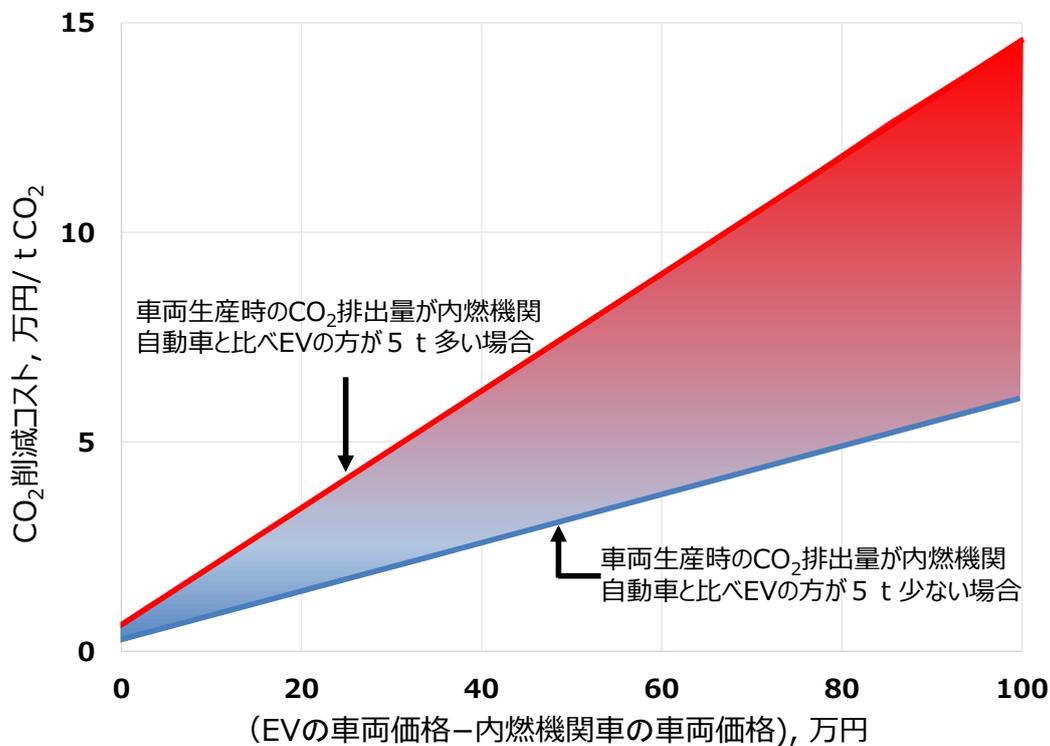


図 11 内燃機関自動車から電気自動車 (EV) への代替時の CO₂ 削減コストの試算例
出典：NEDO 技術戦略研究センター作成 (2020)

④ CCS

CCSのCO₂削減コストについてGlobal CCS Instituteが詳細に分析したレポートからの抜粋を表3に示す。CO₂濃度が極端に高いアンモニア製造および随伴

ガスを除き、現状は7,050～12,400円/tCO₂（\$1=100円で換算）のCO₂削減コスト^{※22}であり、将来技術開発により20～30%のコストダウンが期待されている。

表3 CO₂排出原毎の削減コスト^{※23}（\$/tCO₂）

	発電				製造業			随伴ガス
	微粉炭 超臨界	酸素燃焼 超臨界	IGCC	NGCC	鉄鋼	セメント	アンモニア	
従来技術	78.5	70.5	97.0	89.0	77.0	124.0	25.4	21.5
将来	55.0	52.0	46.0	43.0	65.0	103.0	23.8	20.4

出典：Global costs of carbon capture and storage 2017を基にNEDO技術戦略研究センター作成（2020）

⑤ プラスチック循環（リサイクル・リユース）

EUの試算^{※24}によるとプラスチック循環に関する様々な対策の削減コストは比較的安く、-10,000～5,700円/tCO₂（\$1=100円で換算）の範囲である。この中でそのまま利用する農業分野のラッピングのリユースは最も低く-10,000円/tCO₂、ケミカルリサイクル5,500円/tCO₂、容器包装のパッケージングのリユース5,700円/tCO₂などと

試算されている。なお、回収したプラスチック製品をそのまま利用するリユースは、化学合成や成形加工プロセスが不要なため、バージンプラスチックからの製造品（従来技術）より安価となる。したがって、削減コストはその定義式からマイナスの値となる。このことは、経済合理性を有しつつ、CO₂の削減が可能であることを意味している。

※22 カーボンリサイクル技術ロードマップにおいては、CO₂分離回収のみで、2050年以降に1,000円以下/tCO₂をターゲットとしている。

※23 米国内、パイプライン輸送、CCSを前提としている。

※24 The Circular Economy, A Powerful Force for Climate Mitigation (SITRA, 2018)

3-5 戦略的な革新技术開発の推進に向けて

前章に示されたように、従来技術だけでCO₂排出量400億トンの削減を実現するためには、CO₂限界削減コストは10万円/tCO₂を上回る水準となり、世界で約1,000兆円規模の膨大な費用が必要となる。CO₂削減コストの大幅な削減が急務である。

図12に対象となる革新技术のCO₂削減コスト（赤線）と従来技術によるCO₂限界削減コスト（青線）との関係を模式的に示す。革新技术が実用化できればCO₂削減コストとCO₂限界削減コストを大幅に低減することが可能である。それによって社会実装時期の前倒しが可能になり、対策費用の大幅な低減にも貢献する。図12は1つの革新技术の例であるが、2050年にCO₂排出量400億トン

削減を実現するためには、多くの革新技术においてイノベーションを実現することが求められる。

今後の技術開発においては、産業競争力の基本となる高性能化、低コスト化、信頼性・安全性向上等の視点に、CO₂削減ポテンシャル、CO₂削減コスト、実用化時期、技術開発の有効性等の分析も加えて総合的に判断し、重点化した戦略的取り組みが行われていくことが重要である。

一方、脱炭素社会の実現は、我が国だけで達成できるものではない。実用化された革新技术については、日本国内で速やかに社会実装を進めるとともに、それらの技術が必要とされる世界各地に普及させていくことが重要である。日本が技術開発で世界全体の持続可能な社会の実現に貢献していくことが期待される。

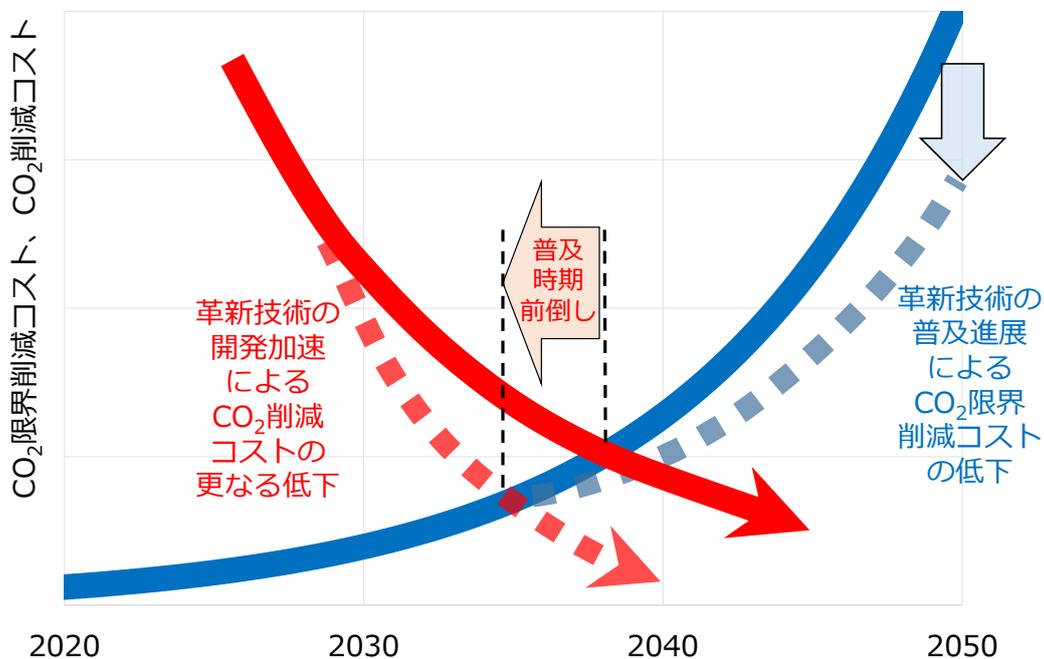


図12 技術開発によるコスト低減との関係
出典：NEDO 技術戦略研究センター作成 (2019)

4章 イノベーションを促す 仕組み作りへの期待

- 持続可能な社会の実現には、気候変動問題の解決へ向けた技術分野でのイノベーションを促進し、また社会実装を加速する仕組み作りも欠かせない。
- 我が国をあげて、革新技術テーマに対して産学の英知が集中して注入されるような魅力的な研究制度・研究環境の整備や、技術開発に係る国際連携の推進、革新技術の実装に対する支援策など、制度的・システムの環境整備についても継続的に議論がなされ、随時改善が図られていくことが重要である。

気候変動問題の解決をはじめとする持続可能な社会の実現には、非連続なイノベーションの創出とその社会実装が必要不可欠である。そのためには、総合的・客観的な評価の下で、気候変動問題の解決に資する有望技術を特定するなどイノベーションの創出を加速する仕組みが極めて重要である。また、創出された非連続なイノベーションを確実に社会実装するためには、革新技術の社会実装に対する支援策など制度面・システム面の仕組み作りも必要である。

気候変動問題のように世界共通でかつ早急に取り組むべき技術テーマに対しては、産学の英知が集中して注入されるような魅力的な研究制度・研究環境の整備に継続的に取り組むことが期待される。

また、気候変動問題は地球規模の課題であるため、創出された革新技術が世界で活用・普及されることが望まれる。そのためには、世界の技術動向や開発状況を継続して把握することが必要であり、我が国が国際社会で果たすべき役割を踏まえながら、国際連携を図ることが重要である。

こうした一連の課題に対しては、産学官が各々の立場で果たすべき役割を着実に実行していくことが重要である。また、持続可能な社会の実現には、気候変動問題に代表される社会的な要請が非常に強い課題への対応が必要となることから、産学官が一丸となった取り組みを促すことも重要である。社会全体で一体的な取り組みを推進していくため、政府及びその関係機関が大きな役割を担うことが期待されている。

日本政府では「パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略」及び「統合イノベーション戦略2019」に基づき、我が国が強みを有するエネルギー・環境分野において非連続なイノベーションを創出し、社会実装可能なコストを実現し、これを世界に広めていくために、「革新的環境イノベーション戦略」が2020年1月に策定された。この戦略を関係者が一丸となって着実に進めていくとともに、非連続なイノベーションを促す仕組み作りについても継続的に議論がなされ、必要な改善が随時図られていくことが重要である。

5章 まとめ

「持続可能な社会の実現に向けた技術開発総合指針 2020」の目的は、CO₂削減に効果のある技術を総合的、客観的に評価することを提唱し、そのために必要な「CO₂削減ポテンシャル」および「CO₂削減コスト」をいくつかの革新技术について試算し、その結果と試算根拠を提供することにより、開発・実証に取り組むべき革新技术の評価の一助となることにある。

世界が経済的に豊かで、環境に優しく、自然と共生した社会であり続けるためには、温室効果ガスによる気候変動問題は解決しなければならない世界共通の課題である。そして、2015年に国連サミットで採択された持続可能な開発目標 (SDGs) が示すように、国際社会では持続可能性を重視する考え方が主流となっている。気候変動問題以外のSDGsの要素とも整合を図りながら、地球環境問題を解決するために、我が国には、非連続なイノベーションを創出する技術開発を推進し、持続可能な社会を率先して構築していくことが期待されている。

持続可能な社会の実現に向けては、「3つの社会システム (サーキュラーエコノミー、バイオエコノミー、持続可能なエネルギー)」の一体的かつ有機的な推進を実現し、これらの技術を統合的に捉え、経済合理性の観点から勘案して社会実装していくことが重要である。

CO₂削減対策費用についての推計によると、400億トンのCO₂排出量削減を従来技術の活用だけで実施する場合でも毎年1,000兆円規模の莫大なコストがかかる。このコストの低減にはイノベーションを創出する革新技术の開発が必要である。

持続可能な社会の実現には、イノベーションを加速し、

社会実装を進める仕組み作りも欠かせない要素である。我が国をあげて、重要な技術テーマに対して産学の英知が集中して注入されるような研究制度・研究環境の整備や技術開発に係る国際的連携の推進、革新技术の実装に対する支援策など、制度的・システム的な環境整備についても継続的に議論がなされ、随時改善が図られていくことが重要である。

今後の取り組みとして、まず、未試算の項目の評価を行うとともに、試算済の評価項目についても順次更新をしていく。そのために、国内外の最新技術動向の把握とともに、外部機関との連携を図りながら、評価手法の向上や客観性の確保に努めていく。また、異なる技術の融合・統合によるCO₂削減効果の向上の可能性についても検討していくことが重要である。さらに、本総合指針では、温室効果ガスの約8割を占めるCO₂の削減を中心に試算を行ったが、CH₄やN₂O等の削減についても試算をしていく必要がある。

こうして得られた結果や手法が、各方面の様々な評価に活用されるよう、NEDOが策定する技術戦略等において、当該評価項目に基づき定量的な評価を行っていく。また、早期の社会実装を見据えた研究開発から萌芽的な研究開発に至る、様々なNEDOの研究開発支援制度に本総合指針が活用されるよう努めていく。

最後に、NEDOは、これからもイノベーションを真に社会実装する「イノベーション・アクセラレーター」として、「世界の気候変動問題の解決」、「持続可能な社会の実現への貢献」を目指し、挑戦を続けていく。

付録

表 CO₂削減ポテンシャルの例示とその諸元

(※) 試算の種類

- A：技術の普及率を仮定して試算したケース、B：専門機関の試算を参考にしたケース
- C：政府や業界の目標もしくは見通しに基づいて試算したケース
- D：最大の技術の普及または設備設置を想定したケース

技術分野	CO ₂ 削減ポテンシャル 億tCO ₂ /年	試算 種類 (※)	CO ₂ 削減ポテンシャルの計算根拠 a) 革新技術の排出原単位, b) 従来技術の排出原単位 (tCO ₂ /固有単位) c) 導入量 (固有単位), 固有単位: kWh, GJ, kg, t 等, d) 補足説明
アルミニウムリサイクル	0.7 ~ 1.0	A	$(7.2-0.3 \text{ tCO}_2/\text{t-アルミニウム}) \times (0.106 \sim 0.147 \text{ 億t/年}) = 0.7 \sim 1.0 \text{ 億tCO}_2/\text{年}$ a) 0.3 tCO ₂ /t-アルミニウム b) 7.2 tCO ₂ /t-アルミニウム c) 0.106 ~ 0.147 億t/年 d) 排出原単位は電力配布後の値で、従来技術の排出原単位は効率向上および電力の低炭素化の影響を含む (現状: 12 tCO ₂ /t → 2050年: 7.2 tCO ₂ /t、排出原単位の出典: SITRA, The Circular Economy 2018)。 2050年アルミ需要は、World-Aluminium (http://www.world-aluminium.org/) による2017年実績と2040年予測から得られる成長率2.41%を用い2.11億トンと仮定した。 導入量は革新技術による二次材使用の増加量が5~7%であると仮定した。
プラスチックリサイクル	1.1 ~ 3.2	A	$(4.48-1.85 \text{ tCO}_2/\text{t-プラスチック}) \times (0.4 \sim 1.2 \text{ 億t/年}) = 1.1 \sim 3.2 \text{ 億tCO}_2/\text{年}$ a) 1.85 tCO ₂ /t-プラスチック b) 4.48 tCO ₂ /t-プラスチック c) 0.4 ~ 1.2 億t/年 d) 回収プラスチックの25%がマテリアルリサイクル、25%がケミカルリサイクル、残りの50%がエネルギー回収により処理されると仮定した。 革新技術の排出原単位 (1.27, 0.48, 2.83 tCO ₂ /t) は各技術の前記比率による加重平均とし、同様に従来技術も排出原単位 (3.72, 3.28, 5.46 tCO ₂ /t) に基づき試算した (各技術の排出原単位はNEDO/TSCによる試算値)。 導入可能量は2050年のプラスチック生産量 (PE,PP,PET,PS) は4億t/年 (IEA, The future of Petrochemicals, 2018) に対し、0.4 ~ 1.2 億t (比率10 ~ 30%) を範囲と設定した。
FOR・CCS	80	B	d) 文献で試算されている削減ポテンシャルを採用した。 IEA ETP2017の2050年の削減寄与から、IEAが示す複数のシナリオから見積もられる最大の削減寄与として、80億トン/年をCO ₂ 削減ポテンシャルとして試算した。また、積算最大貯留量に関しては、IEA, Storing CO ₂ through enhanced oil recoveryのMaximum storageの3,600億tCO ₂ となっており、この量は70億tCO ₂ /年で貯留した場合、51年分に相当する。

持続可能な社会の実現に向けた技術開発総合指針 2020

表 CO₂削減ポテンシャルの例示とその諸元 (続き)

(※) 試算の類型

A：技術の普及率を仮定して試算したケース、B：専門機関の試算を参考にしたケース

C：政府や業界の目標もしくは見通しに基づいて試算したケース

D：最大の技術の普及または設備設置を想定したケース

技術分野	CO ₂ 削減ポテンシャル 億tCO ₂ /年	試算 類型 (※)	CO ₂ 削減ポテンシャルの計算根拠 a) 革新技術の排出原単位, b) 従来技術の排出原単位 (tCO ₂ /固有単位) c) 導入量 (固有単位), 固有単位: kWh, GJ, kg, t等, d) 補足説明
次世代太陽光発電	70	A,B	$644.7 \text{ gCO}_2/\text{kWh} \times 3,345 \text{ TWh}/\text{年} = 22 \text{ 億tCO}_2/\text{年}$ $644.7 \text{ gCO}_2/\text{kWh} \times 4,655 \text{ TWh}/\text{年} = 30 \text{ 億tCO}_2/\text{年}$ $644.7 \text{ gCO}_2/\text{kWh} \times 6,700 \text{ TWh}/\text{年} + 300 \text{ gCO}_2/\text{kWh} \times 1,620 \text{ TWh}/\text{年} = 48 \text{ 億tCO}_2/\text{年}$ a) 0 gCO ₂ /kWh b) 644.7 gCO ₂ /kWh (水上・農地)、300 gCO ₂ /kWh (壁面・車載) c) 11,665TWh/年 d) ・22億t：ETP2017 RTSの太陽光発電による発電量は3,345TWh ・30~48億t 30億t：ETP2017 2DS等を参考に、2050年の次世代革新技術を含む太陽光発電による発電量を8,000TWhと仮定した。RTSでの3,345TWhとの差4,655TWhが次世代革新技術のポテンシャルと仮定した。 48億t：さらなる技術開発による次世代太陽電池モジュールの導入を想定した場合、水上で2.02TW、農地で3.01TW、建物壁面で1.68TW、車載で0.56TWが見込まれる、また、設備利用率は、それぞれ15.2% (水上・農地)、9.6% (壁面)、8.7% (車載)と仮定した。
次世代風力発電	65	B	$644.7 \text{ gCO}_2/\text{kWh} \times 10,123 \text{ TWh}/\text{年} = 65 \text{ 億tCO}_2/\text{年}$ a) 0 gCO ₂ /kWh b) 644.7 gCO ₂ /kWh c) 10,123 TWh/年 d) ・34億t：ETP2017 RTSの風力発電による発電量は5,252TWh ・19~31億t 19億t：2050年の風力発電による発電量8,179TWh (ETP2017 2DS) と5,252TWh (RTS) との差2,927TWhが次世代革新技術のポテンシャルと仮定した。 31億t：Floating Offshore Wind: Market and Technology Review, 2015における日欧米の浮体式洋上風力発電の導入ポテンシャル6950GWの内、20%に導入されると仮定した。また、設備利用率は40%と仮定した。
次世代地熱発電	7	B	$644.7 \text{ gCO}_2/\text{kWh} \times 1,094 \text{ TWh}/\text{年} = 7 \text{ 億tCO}_2/\text{年}$ a) 0 gCO ₂ /kWh b) 644.7 gCO ₂ /kWh c) 1,094 TWh/年 d) ・4億t：ETP2017 RTSの地熱発電による発電量は621TWh ・2~3億t 2億t：2050年の地熱発電による発電量931TWh (ETP2017 2DS) と、621TWh (RTS) との差310TWhが次世代革新技術のポテンシャルと仮定した。 3億t：GeoVision, 2019 (https://www.energy.gov/sites/prod/files/2019/06/f63/GeoVision-full-report-opt.pdf) で検討されているDeep EGSの見通し355TWhに加えて、日本や欧州等で超臨界地熱やDeep EGSの30万kW級の発電所が50か所程度導入されると想定した。

持続可能な社会の実現に向けた技術開発総合指針 2020

表 CO₂削減ポテンシャルの例示とその諸元 (続き)

(※) 試算の類型

A：技術の普及率を仮定して試算したケース、B：専門機関の試算を参考にしたケース

C：政府や業界の目標もしくは見通しに基づいて試算したケース

D：最大の技術の普及または設備設置を想定したケース

技術分野	CO ₂ 削減ポテンシャル 億tCO ₂ /年	試算類型 (※)	CO ₂ 削減ポテンシャルの計算根拠 a) 革新技術の排出原単位, b) 従来技術の排出原単位 (tCO ₂ /固有単位) c) 導入量 (固有単位), 固有単位: kWh, GJ, kg, t 等, d) 補足説明
海洋エネルギー発電	2.5 ~ 3.8	B	$644.7 \text{ gCO}_2/\text{kWh} \times (381 \sim 590 \text{ TWh}/\text{年}) = 2.5 \sim 3.8 \text{ 億tCO}_2/\text{年}$ a) 0 gCO ₂ /kWh b) 644.7 gCO ₂ /kWh c) 381 ~ 590 TWh/年 d) 2.5億t: 2050年の海洋エネルギー発電による発電量478TWh (ETP2017 2DS) と、97TWh (RTS) との差381TWhが本技術によるポテンシャルと仮定した。 3.8億t: Powering Homes Today, Powering Nations Tomorrow, 2018における2050年までに世界で設置可能とみられる海洋エネルギー発電量は1,181TWhでこのうち50%が導入されると仮定した。
高効率火力発電	8.6 ~ 13.2	A	$((0.363 - 0.295 \text{ kgCO}_2/\text{kWh}) \times (3,176 \sim 5,082 \text{ TWh}/\text{年})) + ((0.835 - 0.650 \text{ kgCO}_2/\text{kWh}) \times (3,481 \sim 5,293 \text{ TWh}/\text{年})) = 8.6 \sim 13.2 \text{ 億tCO}_2/\text{年}$ a) 0.295 kgCO ₂ /kWh (天然ガス)、0.650kgCO ₂ /kWh (石炭) b) 0.363 kgCO ₂ /kWh (天然ガス)、0.835kgCO ₂ /kWh (石炭) c) 3,176 ~ 5,082 TWh/年 (天然ガス)、3,481 ~ 5,293 TWh/年 (石炭) d) 再生可能エネルギーの大量導入に伴い、今後の火力発電には、高効率化のみならず、機動性、部分負荷、最低稼働などの特性向上が求められるため、革新技術開発が必要である。革新技術の排出原単位は、「次世代火力発電に係る技術ロードマップ」想定天然ガス火力ではGTCCとGTFCの平均値(効率60%相当)、石炭火力ではIGCCとIGFCの平均値(効率50%相当)を採用した。 従来技術の排出原単位はETP2017 RTSに記載の値を採用した。 導入量はETP2017 RTSで想定している天然ガス火力で10,586 TWh、石炭火力で11,604 TWhの30 ~ 50%が革新技術に置き換わると仮定した。 なお、機動性、部分負荷、最低稼働などの特性向上は、結果として太陽光発電等の変動性再生可能エネルギーの導入量を増やすことになるが、それらの効果は本試算に含まない。
水素発電	1.9~5.8	A,C	$(0.363 \text{ kgCO}_2/\text{kWh}) \times (529.3 \sim 1,587.9 \text{ TWh}/\text{年}) = 1.9 \sim 5.8 \text{ 億tCO}_2/\text{年}$ a) 0 kgCO ₂ /kWh (利用段階のみとして仮定) b) 0.363 kgCO ₂ /kWh c) 529.3 ~ 1,587.9TWh/年 d) 「革新的環境イノベーション戦略」において、水素製造・輸送・貯蔵・利用・発電全体としてのCO ₂ 削減ポテンシャルは、約60億トン(「Hydrogen scaling up」(Hydrogen Council, 2017))とされている。ここでは、水素発電について試算した。 水素発電の排出原単位を0 kgCO ₂ /kWhと仮定し、従来技術の排出原単位はETP2017 RTSに記載の天然ガス火力発電の値を採用した。 2050年の天然ガス火力(CCSなし)による発電量は10,586 TWh/年(RTS)と試算されている。このうち、5~15% (529.3 ~ 1,587.9 TWh/年) が水素発電に置き換わると仮定した。なお、水素製造・輸送・貯蔵におけるCO ₂ 排出量については今回の試算には含めていない。

表 CO₂削減ポテンシャルの例示とその諸元 (続き)

(※) 試算の類型

A：技術の普及率を仮定して試算したケース、B：専門機関の試算を参考にしたケース

C：政府や業界の目標もしくは見通しに基づいて試算したケース

D：最大の技術の普及または設備設置を想定したケース

技術分野	CO ₂ 削減ポテンシャル 億 tCO ₂ /年	試算 類型 (※)	CO ₂ 削減ポテンシャルの計算根拠 a) 革新技術の排出原単位, b) 従来技術の排出原単位 (tCO ₂ /固有単位) c) 導入量 (固有単位), 固有単位: kWh, GJ, kg, t 等, d) 補足説明
燃料電池自動車	0.6 ~ 12.0	A,C	$(86 - 15 \sim 75 \text{ gCO}_2/\text{km}) \times (5.62 \sim 16.9 \text{ 兆 km}/\text{年}) = 0.6 \sim 12.0 \text{ 億 tCO}_2/\text{年}$ a) 15 ~ 75 gCO ₂ /km b) 86 gCO ₂ /km c) 5.62 ~ 16.9兆 km/年 (燃料電池自動車の合計走行距離) d) 「革新的環境イノベーション戦略」において、水素製造、輸送・貯蔵、利用・発電全体としてのCO ₂ 削減ポテンシャルは、約60億トン(「Hydrogen scaling up」(Hydrogen Council, 2017))とされている。燃料電池自動車のうち、乗用車のみを対象とし、試算を行った。燃料電池自動車の排出原単位は、「Hydrogen scaling up」(Hydrogen Council, 2017)より、グリーン/クリーン(再生可能エネルギー由来等)水素を用いるケース: 15 gCO ₂ /kmと天然ガス改質水素を用いるケース: 75 gCO ₂ /kmを引用した。 従来技術の排出原単位は、ETP2017 RTSにおけるLight Duty Vehicles (LDV)からのCO ₂ 排出量54.7億t/年と年間走行距離の合計値63.9兆km/年から平均の排出原単位を求めた。 なお、LDVのストック(24億台)の内訳は、内燃機関車(HVも含む)と電動車(EV, PHEV, FCEV)で、それぞれ88%と12%となっている。本試算では、内燃機関車を燃料電池自動車に代替するとした。したがって、置き換え対象である内燃機関車の年間走行距離の合計は56.2兆km/年となる。更に、燃料電池自動車の普及比率は内燃機関車の10~30%と仮定し、燃料電池自動車の合計走行距離を試算した。 (燃料電池自動車の全台数の合計走行距離) $= (\text{内燃機関車の年間走行距離の合計}) \times (\text{燃料電池自動車の普及率})$ $5.62 \sim 16.9 \text{ 兆 km}/\text{年} = 56.2 \text{ 兆 km} \times 10 \sim 30\%$

表 CO₂削減ポテンシャルの例示とその諸元 (続き)

(※) 試算の類型

A：技術の普及率を仮定して試算したケース、B：専門機関の試算を参考にしたケース

C：政府や業界の目標もしくは見通しに基づいて試算したケース

D：最大の技術の普及または設備設置を想定したケース

技術分野	CO ₂ 削減ポテンシャル 億tCO ₂ /年	試算 類型 (※)	CO ₂ 削減ポテンシャルの計算根拠 a) 革新技術の排出原単位, b) 従来技術の排出原単位 (tCO ₂ /固有単位) c) 導入量 (固有単位), 固有単位: kWh, GJ, kg, t等, d) 補足説明
次世代蓄電池 EV	2.7 ~ 9.1	A	$(86 - 59 \sim 74 \text{ gCO}_2/\text{km}) \times (22.5 \sim 33.7 \text{ 兆 km}/\text{年}) = 2.7 \sim 9.1 \text{ 億 tCO}_2/\text{年}$ a) 59 ~ 74 gCO ₂ /km b) 86 gCO ₂ /km c) 22.5 ~ 33.7兆 km/年 (次世代蓄電池搭載のEVの合計走行距離) d) 「革新的環境イノベーション戦略」においては、自動車から排出されるCO ₂ に対し、電動化や燃料の低炭素化等のあらゆる対策を講じた際のCO ₂ 削減量は60億トンと試算されている。ここでは、家庭での充電を想定したEV (乗用車) を対象に次世代蓄電池のCO ₂ 削減ポテンシャルを試算した。 EVの排出原単位は、2018年時点のEVの単位走行距離当たりの電力使用量0.19 ~ 0.24 kWh/km (5%の充電ロスを含む、IEA Global EV Outlook 2019) と、電力の排出原単位である0.309 kgCO ₂ /kWh (ETP2017 RTS) から求めた。 (EVの排出原単位) = (EVの単位走行距離当たりの電力使用量) × (電力の排出原単位) 従来技術の排出原単位は、ETP2017 RTSにおけるLight Duty Vehicles (LDV) からのCO ₂ 排出量54.7億t/年と年間走行距離の合計値63.9兆km/年から平均の排出原単位を求めた。 なお、LDVのストック(24億台)の内訳は、内燃機関車(HVも含む)と電動車(EV, PHEV, FCEV)で、それぞれ88%と12%となっている。本試算では、内燃機関車を次世代蓄電池搭載のEVに代替するとした。したがって、置き換え対象である内燃機関車の年間走行距離の合計は56.2兆km/年となる。更に、次世代蓄電池搭載のEVの普及比率は内燃機関車の40 ~ 60%と仮定し、次世代蓄電池搭載のEVの合計走行距離を算出した。 (次世代蓄電池搭載のEVの合計走行距離) $= (\text{内燃機関車の年間走行距離の合計}) \times (\text{次世代蓄電池搭載のEVの普及比率})$ $22.5 \sim 33.7 \text{ 兆 km}/\text{年} = 56.2 \text{ 兆 km}/\text{年} \times 40 \sim 60\%$

表 CO₂削減ポテンシャルの例示とその諸元 (続き)

(※) 試算の類型

A：技術の普及率を仮定して試算したケース、B：専門機関の試算を参考にしたケース

C：政府や業界の目標もしくは見通しに基づいて試算したケース

D：最大の技術の普及または設備設置を想定したケース

<p style="writing-mode: vertical-rl; text-orientation: upright;">次世代 パワエ レ</p>	<p>14</p>	<p>A</p>	<p>0.309 kgCO₂/kWh × 4,602TWh/年 = 14億 t/年</p> <p>c) 電力削減量 (世界) 4,602TWh/年</p> <p>d) 電力のCO₂排出原単位として、0.309 kgCO₂/kWhを採用した。 2050年電力削減量 (世界) は、電力削減量 (国内) から推算した。 電力削減量 (世界) = 電力削減量 (国内) × (2050年のRTSにおける世界の発電量) ÷ (2050年の国内発電量) = 74.36TWh/年 × 45,000TWh/年 ÷ 727TWh/年 = 4,602TWh/年</p> <p>電力削減量 (国内)</p> <p>(1) 家電 (エアコン、冷蔵庫) 3.16TWh (2) ハイブリッド自動車/電気自動車 64.86TWh (3) 産業機器インバータ代替 1.1TWh (4) コンピュータ関連 0.91TWh (5) 無停電電源装置 0.1TWh (6) 分散電源用インバータ 0.58TWh (7) インバータ化率向上 3.65TWh</p> <p>(1) 家電 (エアコン、冷蔵庫) 2050年時でのエアコン、冷蔵庫一台あたりの年間電力消費量をそれぞれ950kWh、520kWh、各機器のストック台数を100百万台、60百万台と仮定した。更に、SiからSiCへの置換による効率改善を2.5% ((財)新機能素子研究開発協会、次世代省エネデバイス技術調査報告書、平成20年3月)、2050年時点でのSiCへの置換率を100%と仮定し、消費電力削減量を試算した。 3.16TWh = (950kWh × 100百万台 + 520kWh × 60百万台) × 2.5% × 100%</p> <p>(2) ハイブリッド自動車/電気自動車 モーターの最大出力60kW (トヨタHP、プリウス搭載バッテリー容量) に対し平均出力40% (24kW) を仮定し、年間500時間運転 ((財)新機能素子研究開発協会、平成16年度成果報告書 SiCパワーエレクトロニクス実用化・導入普及戦略に係る調査研究, NEDO, 2005年)、自動車ストック79百万台 ((財)自動車検査登録情報協会HP、自動車保有車両数、平成24年4月末現在) のうち、2050年での次世代自動車のストックを60% (総合資源エネルギー調査会需給部会 (平成20年8月の再計算の結果含む)、長期エネルギー需給見通し、平成20年5月) の47百万台とした。次世代自動車うち、SiからSiCへの置換による効率改善を11.5% ((財)新機能素子研究開発協会、次世代省エネデバイス技術調査報告書、平成20年3月)、2050年時点でのSiCへの置換率を100%と仮定し、消費電力削減量を試算した。 64.86TWh = 24kW × 500h × 47百万台 × 11.5% × 100%</p> <p>(3) 産業機器インバータ代替 産業用電力需要が約3,500億kWh、業務用電力需要が約2,000億kWh (電気事業連合会、2010年度分電力需要実績、平成24年4月) に対し、モーターでの電力使用比率がそれぞれ約</p>
--	-----------	----------	---

持続可能な社会の実現に向けた技術開発総合指針 2020

表 CO₂削減ポテンシャルの例示とその諸元 (続き)

(※) 試算の類型

A：技術の普及率を仮定して試算したケース、B：専門機関の試算を参考にしたケース

C：政府や業界の目標もしくは見通しに基づいて試算したケース

D：最大の技術の普及または設備設置を想定したケース

技術分野	CO ₂ 削減ポテンシャル 億 tCO ₂ /年	試算類型 (※)	CO ₂ 削減ポテンシャルの計算根拠 a) 革新技術の排出原単位, b) 従来技術の排出原単位 (tCO ₂ /固有単位) c) 導入量 (固有単位), 固有単位: kWh, GJ, kg, t 等, d) 補足説明
次世代パワエ (続き)			<p>70%と約60%と推計される(富士経済、電力使用機器の消費電力量に関する現状と近未来の動向調査、平成21年3月)ため、モーターの電力使用量は3,650億kWhと予想される。また、汎用三相モーターのインバータ化率は約15%と推計される(富士経済、電力使用機器の消費電力量に関する現状と近未来の動向調査、平成21年3月)ため、インバータ化されたモーターの電力使用量は約550億kWhとした。SiからSiCへの置換による効率改善を2%((財)新機能素子研究開発協会、次世代省エネデバイス技術調査報告書、平成20年3月)、2050年時点でのSiCへの置換率を100%と仮定し、消費電力削減量を試算した。</p> <p>$1.1TWh=550億kWh \times 2\% \times 100\%$</p> <p>(4) コンピュータ関連 予想生産量21.5百万台、ライフサイクルを3年としてストック量65百万台、消費150W、年間使用時間2,000時間とした。更に、SiからSiCへの置換による効率改善を4.7%((財)新機能素子研究開発協会、次世代省エネデバイス技術調査報告書、平成20年3月)、2050年時点でのSiCへの置換率を100%と仮定し、消費電力削減量を試算した。</p> <p>$0.91TWh=0.15kW \times 2000h \times 65百万台 \times 4.7\% \times 100\%$</p> <p>(5) 無停電電源装置 無停電電源装置の消費電力を300W、年間使用時間8,760時間、年間生産台数が約20万台(経済産業省生産動態統計)、耐用年数5年とするとストックは100万台と推計される。更に、SiからSiCへの置換による効率改善を4.1%((財)新機能素子研究開発協会、次世代省エネデバイス技術調査報告書、平成20年3月)、2050年時点でのSiCへの置換率を100%と仮定し、消費電力削減量を試算した。</p> <p>$0.1TWh=0.3kW \times 8,760h \times 1百万台 \times 4.1\% \times 100\%$</p> <p>(6) 分散電源用インバータ 太陽光発電の設備容量を2,800万kW、設備利用率を12%と仮定して試算した。更に、SiからSiCへの置換による効率改善を2%((財)新機能素子研究開発協会、次世代省エネデバイス技術調査報告書、平成20年3月)、2050年時点でのSiCへの置換率を100%と仮定し、消費電力削減量を試算した。</p> <p>$0.58TWh=2,800万kW \times 365日 \times 24h \times 12\% \times 100\% \times 2\%$</p> <p>(7) インバータ化率向上 (3) 産業機器インバータ代替で推計したのと同様にモーターの電力使用量は3,650億kWhと予想される。SiからSiCへの置換による小型化で、小型ポンプなどでもインバータ化が進むことが期待される。現在のインバータ化率15%の段階で、更なるインバータ化のポテンシャルが20%と推計(富士経済、電力使用機器の消費電力量に関する現状と近未来の動向調査、平成21年3月)されている。2050年時にはそのうちの5%がSiCインバータ化されると仮定した。</p> <p>$3.65TWh=3,650億kWh \times 20\% \times 5\%$</p>

表 CO₂削減ポテンシャルの例示とその諸元 (続き)

(※) 試算の類型

A：技術の普及率を仮定して試算したケース、B：専門機関の試算を参考にしたケース

C：政府や業界の目標もしくは見通しに基づいて試算したケース

D：最大の技術の普及または設備設置を想定したケース

技術分野	CO ₂ 削減ポテンシャル 億tCO ₂ /年	試算 類型 (※)	CO ₂ 削減ポテンシャルの計算根拠 a) 革新技術の排出原単位, b) 従来技術の排出原単位 (tCO ₂ /固有単位) c) 導入量 (固有単位), 固有単位: kWh, GJ, kg, t 等, d) 補足説明
次世代蓄電池 / 航空機	0.72 ~ 1.7	A	<p>(1.95~4.55億tCO₂/年) × (1 - (381 gCO₂/kWh ÷ 603 gCO₂/kWh)) = 0.72 ~ 1.7億tCO₂/年</p> <p>a) 381 gCO₂/kWh b) 603 gCO₂/kWh c) 1.95~4.55億tCO₂/年 d) 「革新的環境イノベーション戦略」においては、IATAの長期目標に基づき、航空産業分野での電動化や燃料の低炭素化等の対策を講じた際のCO₂削減ポテンシャルは20億トン(経済産業省試算)となっている。ここでは、電動航空機の寄与分を試算する。次世代蓄電池を用いた国内線向け電動航空機として、系統電力から充電した次世代蓄電池のみで1,000 km程度飛行できると仮定した。なお、本試算では航空機の飛行に使われるエネルギー量までを考え、航空機と電動航空機の飛行に使われるエネルギー量を同じとした。</p> <p>電動航空機の排出原単位は、電力の排出原単位の0.309 kgCO₂/kWh (ETP2017 RTS) に、電動航空機のエネルギー効率を81% (モーター効率95%、エネルギー変換効率95%、蓄電池の充放電効率90%として試算) と仮定して求めた。</p> <p>(電動航空機の排出原単位) = (電力の排出原単位) × (電動航空機の効率)</p> <p>従来技術の排出原単位は、ジェット燃料のカーボン排出原単位0.0183 tC/GJ (環境省資料, https://www.env.go.jp/council/16pol-ear/y164-04/mat04.pdf) に基づき、0.0671 tCO₂/GJとした。更に、航空機のジェットエンジン効率を40%と仮定し、0.278 Wh/kJの変換係数を用いて試算した。</p> <p>(従来技術の排出原単位) = (ジェット燃料の排出原単位) / (ジェットエンジンの効率) / 0.278 Wh/kJ</p> <p>2050年のジェット燃料によるCO₂排出量は、2019年9月欧州議会の公式見解(欧州議会の見解: https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/ATAG/2019/640169/EPRS_ATA(2019)640169_EN.pdf) で引用されているICAO合意のCO₂予測増加率(2016年)「2005年比で300%~700%増加と予測」とIATAの報告書にある2005年のジェット燃料のCO₂排出量6.5億トン(IATA Airline Industry Economic Performance, https://www.iata.org/publications/economics/Reports/Industry-Econ-Performance/Central-forecast-mid-year-2018-tables-v1.0.pdf, 2018) から試算した。</p> <p>2050年のジェット燃料によるCO₂排出量は、2005年から300%増加率で19.5億CO₂t/年~700%増加率で45.5億CO₂t/年。エネルギー消費量の割合は、国内線でのみ電動航空機が普及するとし、かつその普及率を国内線の1/4と仮定し10%とした。なお、国内線でのエネルギー消費量の比率は、総消費量の40%(IATA報告書, 2017, https://www.iata.org/pressroom/pr/Pages/2017-09-06-01.aspx) とした。</p> <p>(代替対象となるジェット燃料のCO₂排出量) = (2050年のジェット燃料によるCO₂排出量) × (電動航空機の普及率)</p> <p>1.95~4.55億tCO₂/年 = 6.5億tCO₂/年 × (300~700%) × 10%</p>

表 CO₂削減ポテンシャルの例示とその諸元 (続き)

(※) 試算の類型

- A : 技術の普及率を仮定して試算したケース、B : 専門機関の試算を参考にしたケース
- C : 政府や業界の目標もしくは見通しに基づいて試算したケース
- D : 最大の技術の普及または設備設置を想定したケース

技術分野	CO ₂ 削減ポテンシャル 億 tCO ₂ /年	試算類型 (※)	CO ₂ 削減ポテンシャルの計算根拠 a) 革新技術の排出原単位, b) 従来技術の排出原単位 (tCO ₂ /固有単位) c) 導入量 (固有単位), 固有単位: kWh, GJ, kg, t 等, d) 補足説明
バイオジェット燃料・航空機	6.4 ~ 15.0	A	<p>(0.0671-0.0302 tCO₂/GJ) × 17.5~40.7 EJ/年 = 6.4~15.0億 tCO₂/年</p> <p>a) 0.0302tCO₂/GJ b) 0.0671tCO₂/GJ c) 17.5~40.7 EJ/年</p> <p>d) 「革新的環境イノベーション戦略」においては、IATAの長期目標に基づき、航空産業分野での電動化や燃料の低炭素化等の対策を講じた際のCO₂削減ポテンシャルは20億トン(経済産業省試算)となっている。ここでは、バイオジェット燃料の寄与分を試算する。2050年にバイオジェット燃料が普及し、国際線の消費量(60%: IATA (2017) https://www.iata.org/contentassets/9faa9f69011d46c484d93e6dd97a7f52/passenger-analysis-jul-2017.pdf)の全量を占める(混合比100%)と仮定した。</p> <p>バイオジェット燃料のCO₂排出原単位は、現状のジェット燃料のCO₂排出原単位の0.0671 tCO₂/GJに係数0.45を乗ずることで試算した。なお、我が国のバイオジェット燃料のCO₂排出削減量の規制値はまだ決まっていないため、バイオエタノールの最大CO₂排出量、化石由来燃料比45%を適用した。</p> <p>現状のジェット燃料のCO₂排出原単位は、ジェット燃料のカーボン排出原単位0.0183 tC/GJ(環境省資料, https://www.env.go.jp/council/16pol-ear/y164-04/mat04.pdf)に基づき、0.0671 tCO₂/GJとしている。</p> <p>2050年のジェット燃料の使用量については、CO₂排出量の予測を基に試算した。具体的には、2019年9月欧州議会の公式見解(https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/ATAG/2019/640169/EPRS_ATA(2019)640169_EN.pdf)で引用されているICAO合意のCO₂予測増加率(2016年)「2005年比で300%~700%増加と予測」にある300%~700%の増加率を用いた。なお、2005年のジェット燃料のCO₂排出量は6.5億tCO₂/年である(https://www.iata.org/en/iata-repository/publications/economic-reports/airline-industry-economic-performance---2018-mid-year---table/)。したがって、2050年の国際線でのジェット燃料によるCO₂排出量は、300%増加率で11.7億CO₂t/年、700%増加率で27.3億CO₂t/年となる。CO₂排出原単位の0.0671tCO₂/GJを用いると、エネルギー消費量は17.5EJ/年~40.7EJ/年となる。</p>
セルロースナノファイバー	2.2 ~ 2.7	A	<p>1.5 tCO₂/台 × (18 ~ 22億台) ÷ 12.44年 = 2.2 ~ 2.7億 tCO₂/年</p> <p>d) 「革新的環境イノベーション戦略」においては、自動車から排出されるCO₂に対し、電動化や燃料の低炭素化等のあらゆる対策を講じた際のCO₂削減量は60億トンと試算されている。</p> <p>ここでは、セルロースナノファイバー(CNF)とプラスチックの複合材料による軽量化によるCO₂削減ポテンシャルを試算した。自動車のライフサイクル全体でのCO₂排出削減量は1台あたり1.5tCO₂との試算(J. Jpn. Inst. Energy, 95, 8, 2016)があり、かつ、自動車の耐用年数は12.44年と仮定されている。</p> <p>PricewaterhouseCoopers社によれば、2050年の世界の自動車保有台数は20.1億台と予測されている。2億台の振れ幅を仮定し、自動車保有台数を18~22億台と設定した。</p>

持続可能な社会の実現に向けた技術開発総合指針 2020

表 CO₂削減ポテンシャルの例示とその諸元 (続き)

(※) 試算の種類

- A : 技術の普及率を仮定して試算したケース、B : 専門機関の試算を参考にしたケース
- C : 政府や業界の目標もしくは見通しに基づいて試算したケース
- D : 最大の技術の普及または設備設置を想定したケース

技術分野	CO ₂ 削減ポテンシャル 億 tCO ₂ /年	試算 種類 (※)	CO ₂ 削減ポテンシャルの計算根拠 a) 革新技術の排出原単位, b) 従来技術の排出原単位 (tCO ₂ /固有単位) c) 導入量 (固有単位), 固有単位 : kWh, GJ, kg, t 等, d) 補足説明
バイオプラスチック	4.5 ~ 6.7	A	11.24億 t/年 × (20 ~ 30%) × 2 tCO ₂ /t-プラスチック = 4.5 ~ 6.7億 tCO ₂ /年 c) 20~30% d) エレンマッカーサー財団の報告書 (The New Plastics Economy: Rethinking the future of plastics) によれば、2050年のプラスチック生産量は11.24億 t/年と予測されている。一方、有機資源協会によれば、プラスチック原料を石油からバイオマスに置き換えた場合のCO ₂ 排出削減量はプラスチック重量の1.4 ~ 2倍程度とされている。 2050年に全プラスチックの20 ~ 30%をバイオマス由来に置き換え、CO ₂ 排出削減量をプラスチック重量の2倍と仮定し、CO ₂ 削減ポテンシャルを4.5 ~ 6.7億 tCO ₂ と試算した。
植林	36 ~ 38	B	d) ドイツのメルカトル研究所ほかによる試算値 (Environ. Res. Lett., 13, 2018) と国連環境計画 (UNEP) による試算値 (The Emissions Gap Report 2015) を引用した。

技術戦略研究センターレポート

TSC Foresight

持続可能な社会の実現に向けた
技術開発総合指針 2020

2020年2月14日発行

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構
技術戦略研究センター(TSC)

- センター長 三島 良直
- センター次長 西村 秀隆
- 総合指針チーム

家村 正三、上野 伸子、江川 光、大窪 宏明
川上 博司、瓦田 研介、土肥 英幸、長嶋 正紀
仁木 栄、長谷川 真美、波多野 淳一、林 直之
増田 美幸、森 則之、柳田 泰宏、矢部 彰
(五十音順)

- 本書に関する問い合わせ先
電話 044-520-5150 (技術戦略研究センター)
- 本書は以下 URL よりダウンロードできます。
<https://www.nedo.go.jp/library/foresight.html>

本資料は技術戦略研究センターの解釈によるものです。
掲載されているコンテンツの無断複製、転送、改変、修正、追加などの行為を禁止します。
引用を行う際は、必ず出典を明記願います。