

国立国会図書館 調査及び立法考査局

Research and Legislative Reference Bureau
National Diet Library

論題 Title	カーボンニュートラルの実現に向けて—技術開発の現状・課題と技術評価の視点—
他言語論題 Title in other language	Toward the Realization of Carbon Neutrality: Current State and Issues of Technology Development and Viewpoints of Technology Evaluation
著者 / 所属 Author(s)	矢部 彰 (YABE Akira) / 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サステナブルエネルギーユニット フェロー
書名 Title of Book	2050年カーボンニュートラルの実現に向けた脱炭素技術の課題と展望 科学技術に関する調査プロジェクト報告書 (Issues and Prospects of Decarbonization Technology to Achieve Carbon Neutrality by 2050)
シリーズ Series	調査資料 2022-4 (Research Materials 2022-4)
編集 Editor	国立国会図書館 調査及び立法考査局
発行 Publisher	国立国会図書館
刊行日 Issue Date	2023-02-27
ページ Pages	—
ISBN	978-4-87582-903-4
本文の言語 Language	日本語 (Japanese)
摘要 Abstract	—

* この記事は、調査及び立法考査局内において、国政審議に係る有用性、記述の中立性、客観性及び正確性、論旨の明晰（めいせき）性等の観点からの審査を経たものです。

* 本文中の意見にわたる部分は、筆者の個人的見解です。

国立国会図書館 科学技術に関する調査プロジェクト
2022シンポジウム 「2050年カーボンニュートラルの
実現に向けた脱炭素技術の課題と展望」



カーボンニュートラルの実現に向けて —技術開発の現状・課題と技術評価の視点—

2022年9月30日
国立研究開発法人
新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）
技術戦略研究センター（TSC）
サステナブルエネルギーユニット
フェロー 矢部 彰



スライド 1



目次

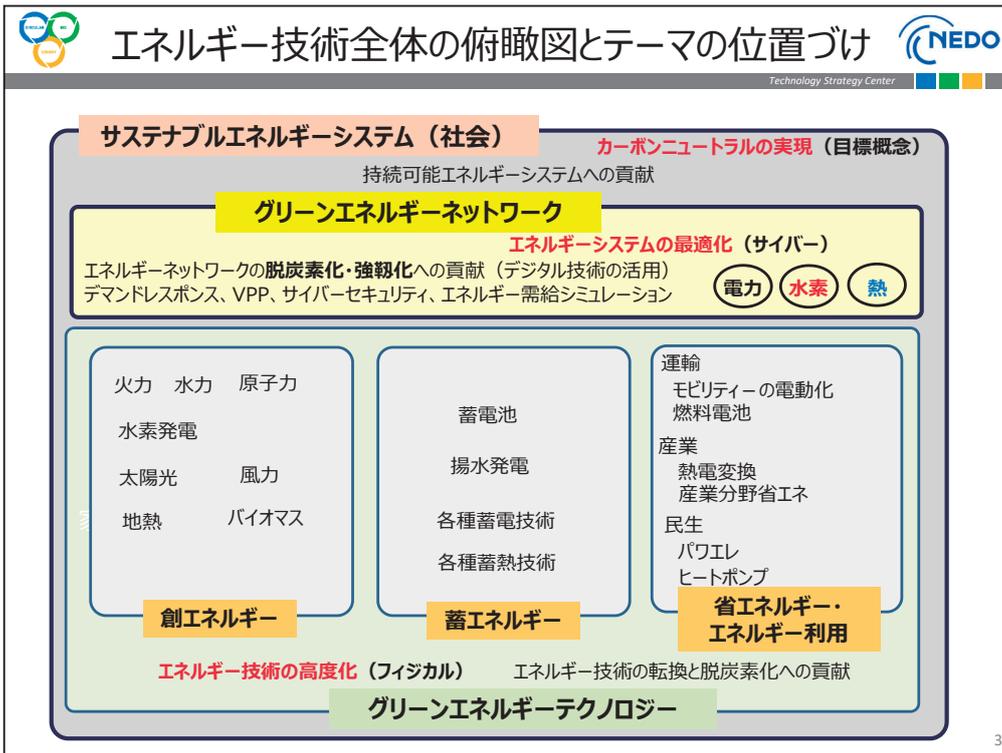


Technology Strategy Center

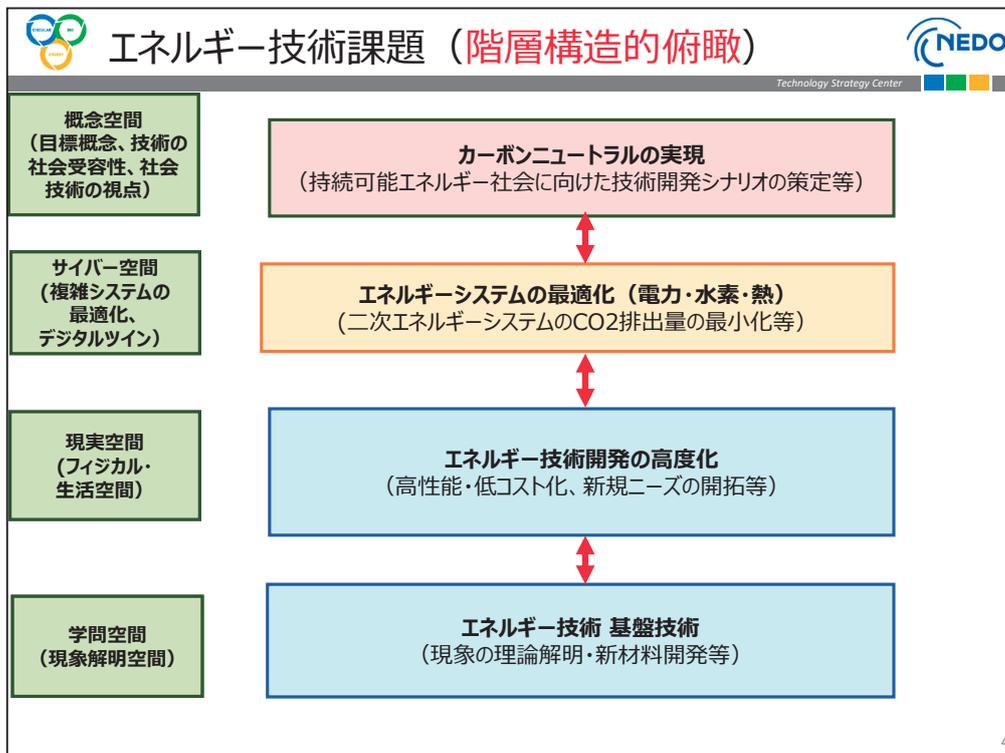
1. エネルギー技術の全体俯瞰
2. カーボンニュートラルを目指した地球温暖化対策計画、グリーンイノベーション基金での研究開発とその特徴
3. NEDOの技術開発評価とエネルギー・環境分野の技術開発の社会実装への実績
4. 温室効果ガス（GHG）排出量削減及び対策費用、経済性と、革新的イノベーション技術開発の必要性

2

スライド 2



スライド 3



スライド 4

炭素循環から見た社会システム

Technology Strategy Center 

- 青色で示す「需要」部分でのCO₂排出量は、省エネや再エネ・水素・バイオマスにより削減されるほか、リサイクルやシェアリングによりエネルギーや物質自体の需要を削減。
- 排出されたCO₂は分離回収され、CCS・EORにより貯留され、CCUにより利用。
- 大気中のCO₂は、植林によるバイオマスへの固定化、DACによる分離回収。

持続可能なエネルギー、サーキュラーエコノミー、バイオエコノミーの「3つの社会システム」が、持続可能な社会の実現に不可欠であり、有機的に結び付き、炭素循環社会を形成

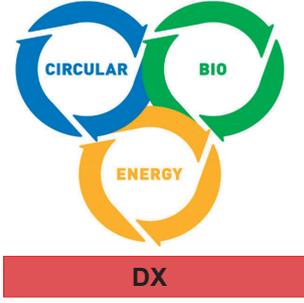
出典：NEDO技術戦略研究センター作成(2019)

スライド 5

持続可能な社会を実現する3つの社会システム

Technology Strategy Center 

- 「革新的環境イノベーション戦略」(内閣府)を踏まえ、「持続可能な社会の実現に向けた技術開発総合指針 (NEDO 総合指針)」を策定。(2020年2月)
- 持続可能な社会を実現するためには、3つの社会システム (3 Essential Social Systems for Sustainable Society) を連携させながら継続的に発展させていくことが不可欠。これを、NEDOは、「ESSマーク」としてシンボルマーク化し、広く皆様と共に取り組みを推進します。

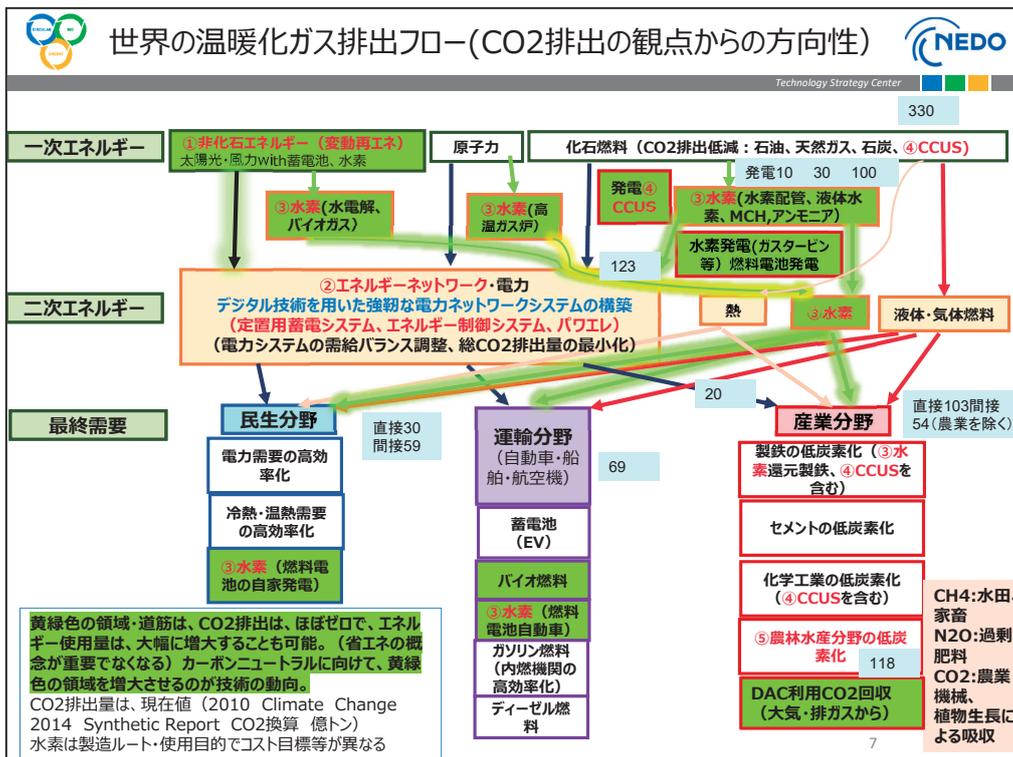


「ESSマーク」とそれを支えるDX (デジタルトランスフォーメーション)

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

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構

スライド 6



スライド7

目次

Technology Strategy Center

1. エネルギー技術の全体俯瞰

2. カーボンニュートラルを目指した地球温暖化対策計画、グリーンイノベーション基金での研究開発とその特徴

3. NEDOの技術開発評価とエネルギー・環境分野の技術開発の社会実装への実績

4. 温室効果ガス（GHG）排出量削減及び対策費用、経済性と、革新的イノベーション技術開発の必要性

8

スライド8



2050年カーボンニュートラルに向けて
① 2030年日本のCO2排出量46%削減の内容 (1/2)



Technology Strategy Center

(2021年8月地球温暖化対策計画(案)、および、第6次エネルギー基本計画(案)に基づき、NEDO技術戦略研究センター作成)

2013年度の1,408百万トン-CO2排出を、2030年に760百万トン-CO2排出に低減削減量648百万トン-CO2の排出削減(46%に相当)

主な削減項目と削減量 (百万トン) および削減割合:

産業部門

高効率工業炉 8(1%)、モータ・インバータ 7(1%)、コージェネ 10(1%)

業務その他部門

建物(新築) 10(1%)、トップランナー省エネ機器 8(1%)

家庭部門

家庭用給湯器 9(1%)

運輸部門

次世代自動車普及、燃費改善 25(2%)、トラック輸送改善 12(1%)

エネルギー転換部門

再エネ熱 36(3%)

9

スライド 9



2050年カーボンニュートラルに向けて
① 2030年日本のCO2排出量46%削減の内容 (2/2)



Technology Strategy Center

電源の脱炭素化

火力発電の高効率化 11(1%)

再エネ発電 193 (最大14%程度)

原子力発電 120(最大9%程度)

代替フロン等4ガス

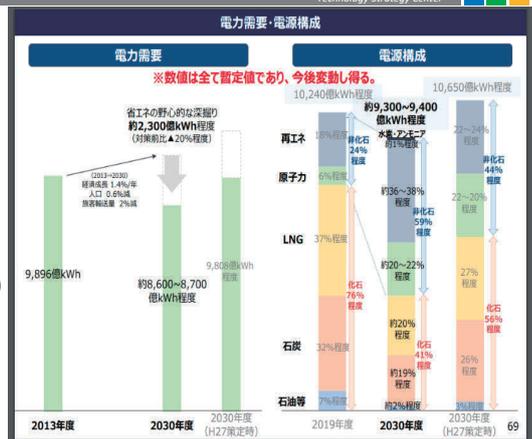
(HFCs、PFCs、SF6、NF3)

代替物質への移行推進等 15(1%)

温室効果ガス吸収源

森林吸収 38(2%)

農地炭素吸収源対策 9(1%)



2030年の電力需要・電源構成

上記の削減項目で、40%削減となる。

残りの6%は、1%未満の多くの削減技術の積み重ねで、実現する。

なお、カウントされていないが、J-クレジット 15 (1%相当)、二国間クレジット 100 (7%相当) も、試算されている。

10

スライド 10

2050年カーボンニュートラルに向けて
②グリーンイノベーション基金事業と関連する技術開発等のキーワード

Technology Strategy Unit | NEDO

14の重点分野において、野心的な2030年目標を目指すイノベーションプロジェクトを実施

- ①洋上風力・太陽光・地熱産業: 次世代型太陽電池、洋上風力発電の低コスト化
- ②水素・燃料アンモニア産業: 水素サプライチェーンの構築、再生電力を活用した水電解水素製造、燃料アンモニアサプライチェーンの構築、製鉄プロセスにおける水素活用
- ③次世代熱エネルギー産業: バイオ燃料、合成燃料、省エネ関連
- ④原子力産業: 小型原子炉、高温ガス炉水素製造
- ⑤自動車・蓄電池産業: 次世代蓄電池・モータ、スマートモビリティ社会、車載計算機
- ⑥半導体・情報通信産業: 次世代デジタルインフラ、パワー半導体、データセンター
- ⑦船舶産業: 次世代船舶（ゼロエミッション船）の開発
- ⑧物流・人流・土木インフラ産業: 廃棄物処理のCO2削減、港湾の脱炭素化
- ⑨食料・農林水産業: エリートツリー、早生樹、CO2削減・吸収
- ⑩航空機産業: 次世代航空機（ハイブリッド航空機、水素航空機）の開発
- ⑪カーボンサイクル・マテリアル産業: CO2の分離・回収、地中貯留、ゼロカーボンスチール
- ⑫住宅・建築物・次世代電力マネジメント産業: 高層建築木造化、FCV・EV建機、ZEB
- ⑬資源循環関連産業: CO2を用いたコンクリート等製造、プラスチック原料製造
- ⑭ライフスタイル関連産業: ライフサイクルの転換、カーボンニュートラルかつレジリエント

11

スライド 11

グリーンイノベーション基金の特徴

Technology Strategy Unit | NEDO

グリーンイノベーション基金 (Green Innovation Fund)
Social implementation of ambitious technology with **2 trillion-yen fund**.

NEDO Green Japan, Green Innovation

Feature 1

Continuous and flexible support over the long-term period with unprecedented huge scale fund

Feature 2

Aspirational and concrete 2030 target setting in line with Green Growth Strategy

Feature 3

Requesting commitment by management board of project performer

(1) Budget (2) Tax system (3) Finance (4) Regulatory reform /standardization (5) International collaboration (6) R&D in Universities for 2050 (7) Japan Association for the 2025 World Exposition (8) Junior researchers for WG of Green Growth

12

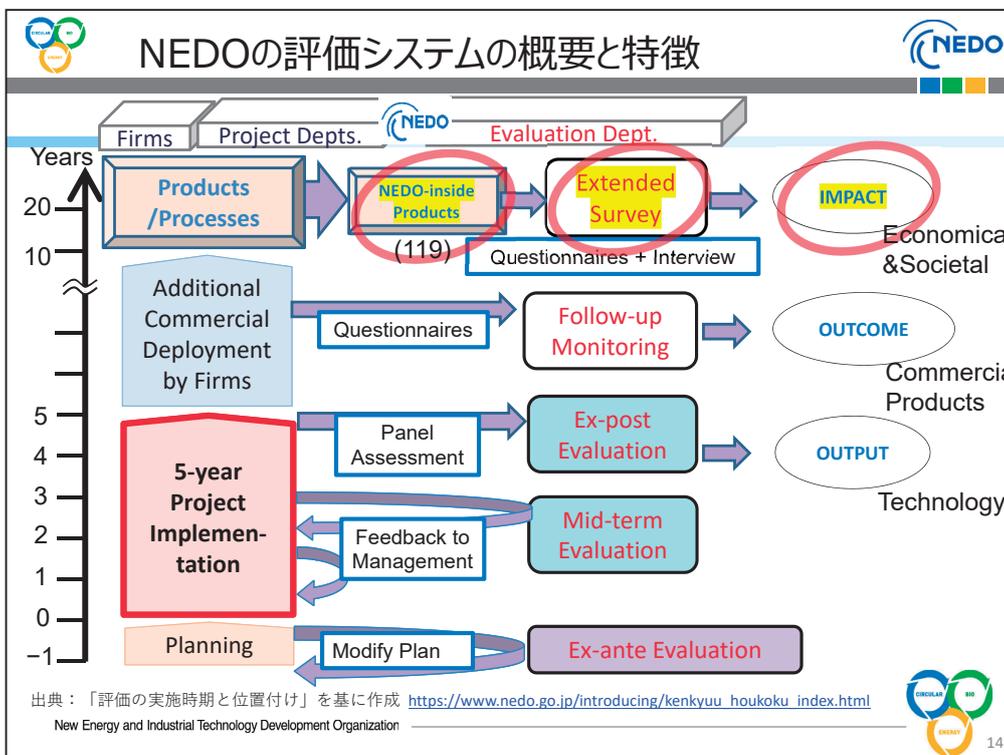
スライド 12

目次

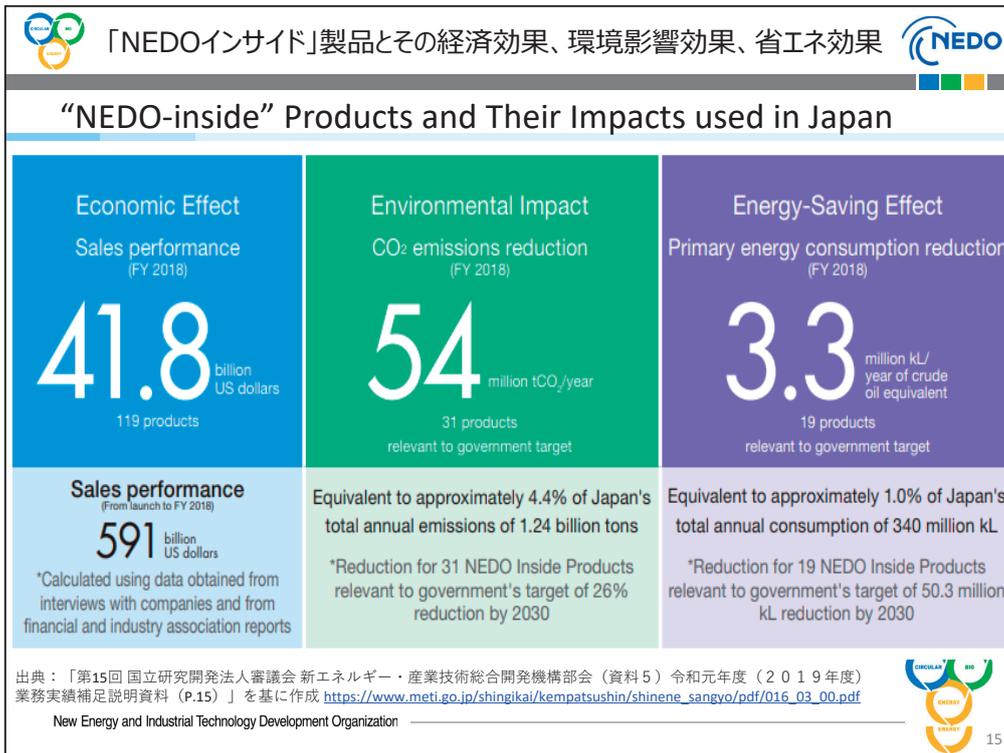
1. エネルギー技術の全体俯瞰
2. カーボンニュートラルを目指した地球温暖化対策計画、グリーンイノベーション基金での研究開発とその特徴
3. NEDOの技術開発評価とエネルギー・環境分野の技術開発の社会実装への実績
4. 温室効果ガス（GHG）排出量削減及び対策費用、経済性と、革新的イノベーション技術開発の必要性

13

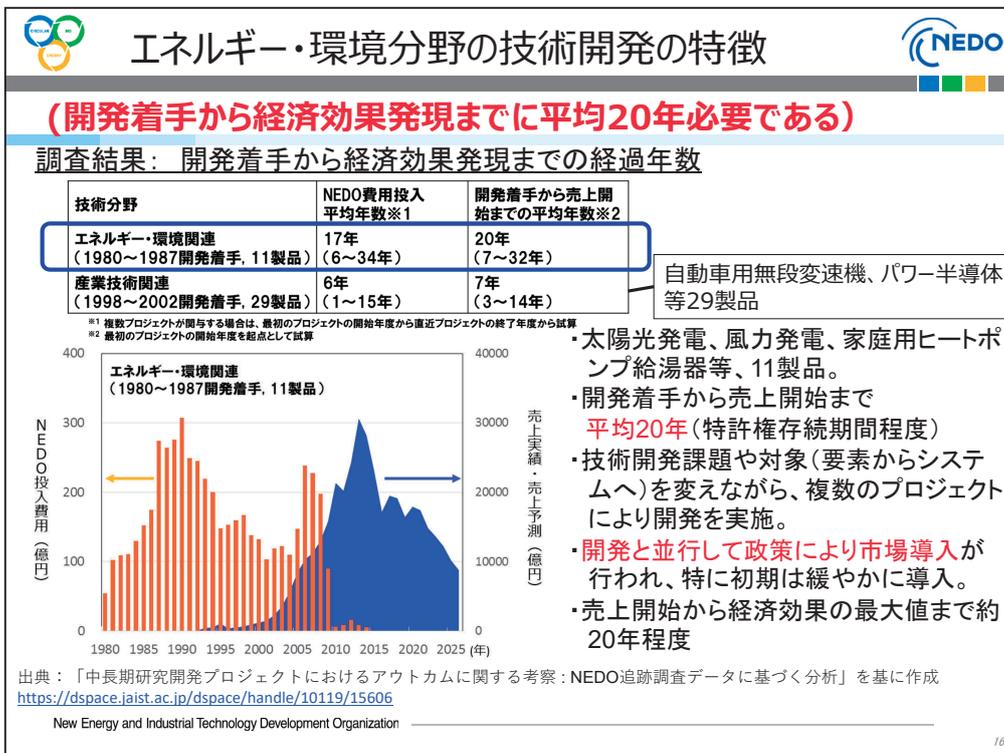
スライド 13



スライド 14



スライド 15



スライド 16

目次

Technology Strategy Center 

1. エネルギー技術の全体俯瞰
2. カーボンニュートラルを目指した地球温暖化対策計画、グリーンイノベーション基金での研究開発とその特徴
3. NEDOの技術開発評価とエネルギー・環境分野の技術開発の社会実装への実績
4. 温室効果ガス（GHG）排出量削減及び対策費用、経済性と、革新的イノベーション技術開発の必要性

17

スライド 17

代表的な革新技术のCO₂削減ポテンシャル

Technology Strategy Center 

■ 技術ごとに成熟度の違いがあり、また技術間で競合する部分もあるため、合計値の扱いには注意が必要であるが、以下の技術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、温室効果ガス排出量（CO₂換算で約500億トン）の大幅削減に寄与する。**

技術分野	CO ₂ 削減ポテンシャル 億トン/年	技術分野	CO ₂ 削減ポテンシャル 億トン/年
アルミニウムリサイクル	0.7～1.0	燃料電池自動車	0.6～12.0
プラスチックリサイクル	1.1～3.2	次世代蓄電池-EV	2.7～9.1
EOR・CCS	80	次世代パワエレ	14
次世代太陽光発電	70	次世代蓄電池-航空機	0.72～1.7
次世代風力発電	65	バイオジェット燃料-航空機	6.4～15.0
次世代地熱発電	7	セルロースナノファイバー	2.2～2.7
海洋エネルギー発電	2.5～3.8	バイオプラスチック	4.5～6.7
高効率火力発電	8.6～13.2	植林	36～38
水素発電	1.9～5.8		

出典：「持続可能な社会の実現のための技術開発総合指針2020」(付録) より抜粋 [<https://www.nedo.go.jp/content/100903678.pdf>]

18

スライド 18

■ IEAのシナリオから革新技術の普及拡大によって3,345TWhの太陽光発電の導入が進み、CO₂原単位から2050年時点でのCO₂削減ポテンシャルを約22億トンと試算。

■ **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の実現によって設置制約が解消され、PVの導入量が大幅に増加。**
次世代PVの導入量を試算すると、2050年時点で**水上、建物壁面、農地、車載**によるCO₂削減ポテンシャルは約48億トン。



太陽電池パネルを搭載した「アリアスPHV」実証車
<https://global.toyota.jp/newsroom/corporate/28781301.html>

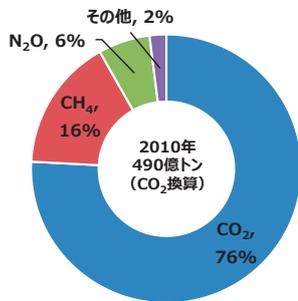


さんぼーと港南
提供：株式会社資源総合システム

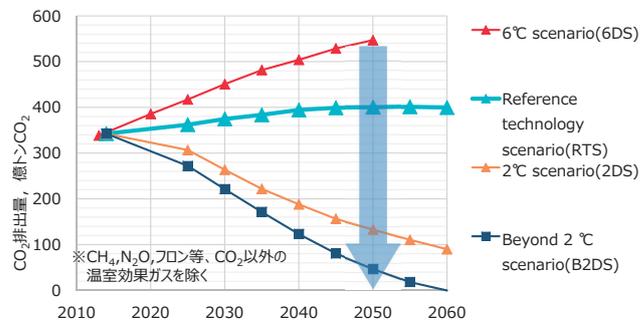
次世代太陽光発電によるCO₂削減ポテンシャル：70億トン

スライド 19

- 現状のGHG排出は2010年実績で490億トンCO₂換算、内CO₂は370億トン(76%)
- BAUでは、2050年のCO₂排出が550億トンまで増加(6DS)
- **2050年、150億トン程度の削減が革新技術の普及・拡大により進む見通し(RTS)、この時のCO₂排出量は約400億トン**
- さらなる削減のために革新技術が必要



出典：Climate Change 2014 Synthesis Report(IPCC2014)を基に NEDO技術戦略研究センター作成(2020)



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)

スライド 20

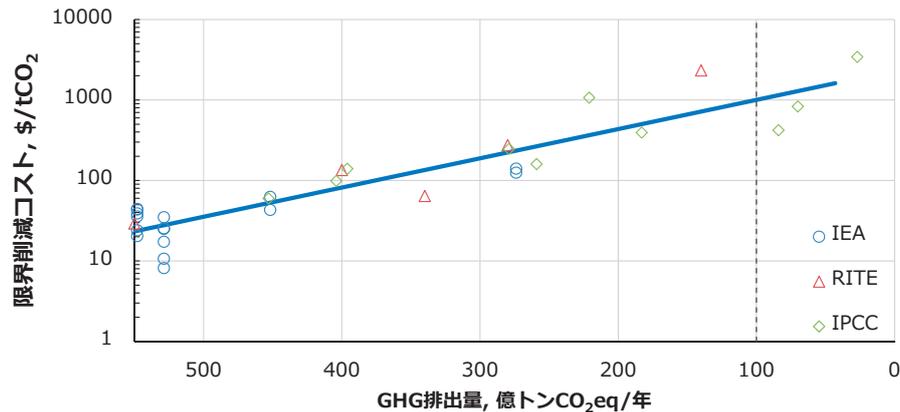


限界削減コストの推定



Technology Strategy Center

- IPCC、IEA、RITEによる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から世界全体の平均的な限界削減コストを俯瞰
- 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
- 限界削減コストは400億トンのCO₂削減までに、10万円/tCO₂(\$1=¥100で換算)を上回る水準となる。このコストを低減するためには、革新的技術開発が不可欠



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(RITE2017)を基にNEDO技術戦略研究センター作成(2020)

21

スライド 21

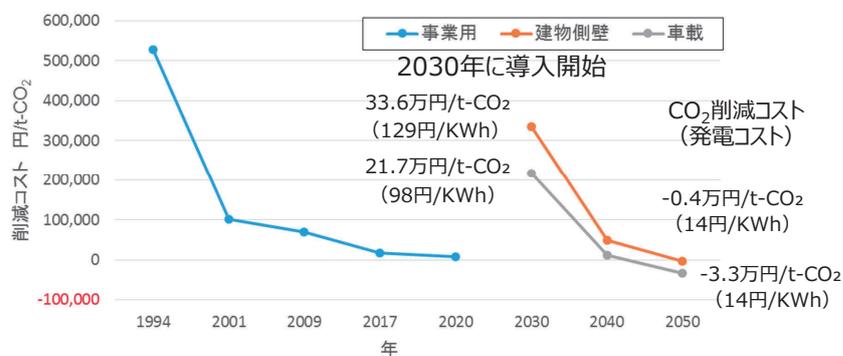


CO₂削減コスト試算例：次世代太陽光発電



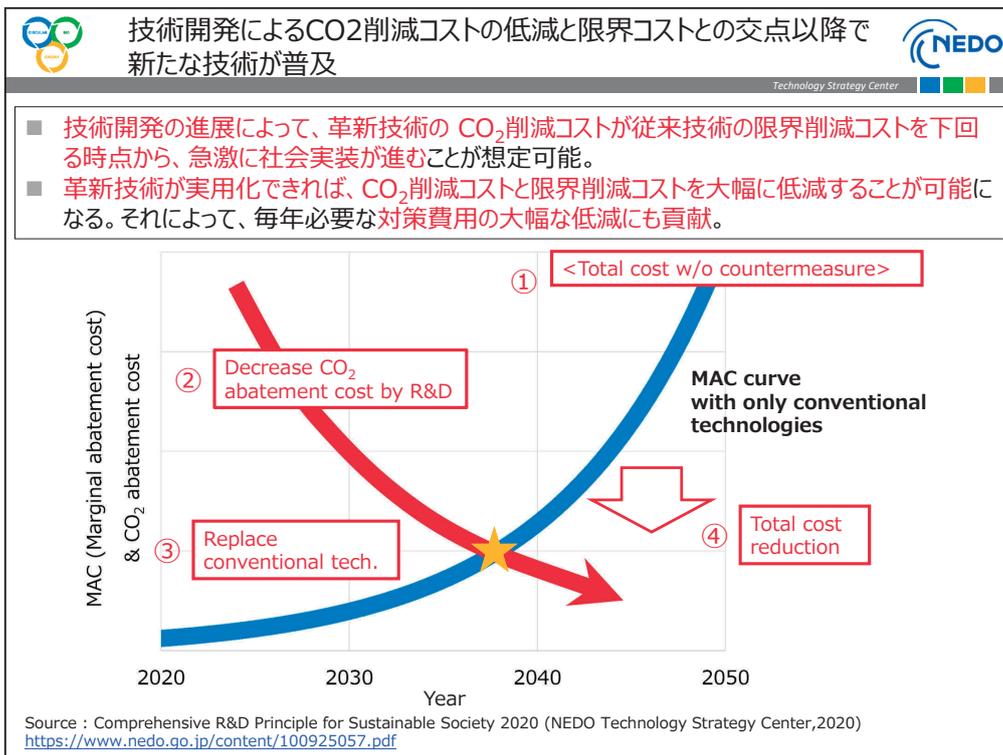
Technology Strategy Center

- 国内ではPVの導入が進み、政府の発電コスト目標2020年14円/kWh、2030年7円/kWh（基幹電源並）を達成する見通しである。
- 次世代PV技術の応用例として建物側壁設置、車載を試算。
- 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、CO₂排出量の大幅削減への貢献を期待。



22

スライド 22



スライド 23

Technology Strategy Center

NEDO

まとめ

カーボンニュートラルは不可欠であり、2050年までに温室効果ガスの排出量をゼロにする必要があり、これを多くの技術を総動員して、技術開発を推進し実現することが必須。これを実現するため、あらゆる学問分野が連携して、英知を結集することが不可欠である。

エネルギー・環境分野の技術開発は、研究開発着手から社会実装までの時間が20年程度と長かかることから、早期の研究開発着手が、2050年のカーボンニュートラル化には重要である。

温室効果ガス排出量を80%低減に相当するCO₂400億トン削減するだけでも、現在までに開発された技術の活用だけでは、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術の開発による低コスト化が不可欠であり、経済性の向上を含めたあらゆる分野の連携が必須である。

24

スライド 24

報告 (2) 脱炭素社会の実現

カーボンニュートラルの実現に向けて —技術開発の現状・課題と技術評価の視点—

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
サステナブルエネルギーユニットフェロー
矢部 彰

最初にエネルギー技術の全体を俯瞰し、次にグリーンイノベーション基金の事業や、技術開発の必要性について御説明させていただきます（スライド2）。

スライド3はエネルギー技術の全体を俯瞰したものです。エネルギー技術には創エネルギー、蓄エネルギー、省エネルギー・エネルギー利用があります。また、現在は二次エネルギーの電力、水素、熱を入れた大きなグリーンエネルギーネットワークを形成しております。これら全体をカーボンニュートラルという観点で俯瞰する必要があるという状況で、動いております。

これを階層的に見てみます（スライド4）。根底には様々な現象の学問的な解明があり、それを基にした様々な技術が、現実空間における我々の生活の身近にあります。そしてサイバー空間において、二次エネルギーである電力や水素などが全て複雑に絡み合うエネルギーシステムを最適化し、停電しないようにしています。それを更にカーボンニュートラルという概念にまで持っていく必要があるという、複雑な世界で解を求めていると考えていただければと思います。

そのような中で社会を見たとき、スライド5の図の青色部分がCO₂の排出量だとすると、これは、省エネ、再エネ、水素、バイオマスによって削減されます。また、大気中に排出される量が減る一方、排出されたものはリサイクル、あるいはCCSのような形で可能な限り回収して貯留するサーキュラーエコノミーを実現します。さらに、バイオマスは大気中のCO₂を回収するので、回収したCO₂を様々な形で物質として使うといったバイオエコノミーも推進していきます。持続可能なエネルギー、バイオエコノミー、サーキュラーエコノミーの3つの社会システムをいかにうまく働かせていくかが、2050年のカーボンニュートラルにとって非常に重要です。そのためには、サーキュラーエコノミーとバイオエコノミー、持続可能なエネルギー、さらに、それを支えるデジタルトランスフォーメーションをいかに連携させながら継続的に発展させていくかが重要です。それゆえ、我々はESSマークをシンボルマーク化して広く皆さんと共に推進していきたいと考えております（スライド6）。

スライド7は、エネルギーフローを一次エネルギー、二次エネルギー、最終需要と分け、CO₂排出の観点から、その方向性を示したものです。従来であれば、どのエネルギー源が、どのくらい使用されているかというエネルギーバランスを考えることが多いのですが、これからのカーボンニュートラルの時代には、今までの省エネの概念が変わっていきます。というのも、非化石エネルギーである、変動する再エネ、水素、バイオ燃料などはいくら使ってもCO₂が排出されないことから、フローの中での割合がいくら大きくなって構わないからです。

次に、2030年の日本のCO₂排出量を46%削減していきます。これは小泉進次郎環境大臣が「46%です」と言った印象的な数値ですが、昨年出された地球温暖化対策計画には、様々な部

門での削減目標が示されています（スライド9、10）。その中で削減量が1%以上のものを挙げると、工業炉、モータ・インバータ、コージェネ、新築建物、トップラナー省エネ機器、家庭用給湯器、次世代自動車とあります。また、火力発電の高効率化で1%、再エネは14%と結構大きく、原子力も9%にすることを掲げています。さらに、代替フロンで1%、森林吸収2%、農地の吸収源対策1%といったものが、主な削減対象として挙げられます。これだけ多くのものを全て削減して初めて46%が実現します。

ところが、削減量が1%以上の項目を全て足しても実際には40%にしかありません。1%未満の、より多くの削減技術の一つ一つ積み重ねて、やっと46%を達成できるのが現状です。身近な技術の性能の一つ一つ上げていきCO₂排出量を削減していくことが、非常に大事であることを実感していただけるかと思います。なお、二国間クレジット⁽¹⁾(7%)もいろいろと試算されていますが、カウントはされていません。

そのような中で、日本では今、グリーンイノベーション基金事業に取り組んでいます。これには14分野あり、その中でスライド11に黄緑色で示したキーワードになる技術が動いています。次世代型太陽電池、洋上風力発電、水素、それからアンモニア、バイオ燃料、合成燃料といった技術開発などです。

このグリーンイノベーション基金の特徴を簡単に説明させていただきます（スライド12）。一つは、2兆円ファンドであることです。我々NEDOが2兆円を執行しております。これほどの金額をかけてでも、2050年までに削減するのだという意欲で動いていると見ていただければと思います。次に、長いプロジェクトであるということです。従来は5年ほどであったプロジェクトを、10年間かけてしっかり行います。また、2030年に46%削減という明確な目標値を実現することを掲げています。最後は、最も特徴的なものですが、プロジェクトを行うときに、携わってくれている会社の社長さんに、この技術を社会実装しますというコミットメントをしてもらうことです。社長が言うと、会社全体が従来よりも真剣に取り組んでくれるだろうという考えの下に行っています。以上を特徴としたプロジェクトになっています。

様々な技術開発を進めてきましたので、これまでの特徴と評価について少し御説明させていただきます。スライド14は、縦軸に年限をとっていますが、プロジェクトを行った5年後、10年後、20年後と、そのプロジェクトを追跡調査しています。そうして、NEDOの技術が入った製品が、どのくらい社会実装されているか、またそれによりCO₂削減効果や経済性がどの程度発揮されているかの評価を調べた結果がスライド15です。2018年の段階で、日本円にして4.5兆円の製品が、NEDOのプロジェクトで社会に出ています。CO₂に関して言えば、日本の4.4%、5400万tほどの削減が技術開発の成果として得られています。さらに、省エネ効果も1%ほどになっています。

エネルギー環境分野を全て調べていくと、スライド16に示すように、売上実績額や予測額は、研究開発への投資額の100倍ほどに達しています。それだけ売上げに効果が出ています。ここで、研究費用のピークから実際の売上額のピークを見ていただくと、エネルギー環境分野では、研究開発着手から売上げ開始まで平均で20年ほどかかっていることが見て取れます。研究開発にも社会実装にも時間がかかります。半導体などは7年ほどで効果が得られますから、エネ

(1) パートナー国への優れた脱炭素技術、製品、システム、サービス、インフラ等の普及や対策実施を通じ、パートナー国での温室効果ガス排出削減・吸収や持続可能な発展に貢献し、その貢献分を定量的に評価し、相当のクレジットを我が国が獲得することで、双方の国が決定する貢献（NDC）の達成に貢献する仕組み。

ルギー技術は時間がかかることが分かります。その意味で、社会実装して2050年にゼロに持っていくためには、早い時期からしっかり取り組んでいくことが大事になります。

我々は、NEDOで各種取り組んでいる技術に、どれだけのCO₂削減ポテンシャルがあるか、試算をオープンにしながら議論しています。スライド18は一つの例で、CO₂削減量は、合わせても300億tほどにしかありません。現在、世界中で500億tが排出されていますから、もっと新しい技術も必要であることを感じています。

スライド19は太陽光発電の例です。次世代、技術開発の革新によって、どんどん新しい太陽光発電の導入が進むと、CO₂原単位から、2050年時点でCO₂削減ポテンシャルは約22億tになると試算しています。これに加えて、新たに開発される革新技術によって製造される次世代太陽電池を導入することでCO₂削減ポテンシャルは更に大きくなります。超軽量化により、自動車の屋根への搭載、建物壁面への設置、水上や農地への導入が可能になると、削減量は合計約48億tになり、合わせて約70億tに達すると試算して、皆さんと議論していこうとしています。

現在までに開発された技術を普及させていくだけでは、2050年に約400億t残ってしまいます。それをいかに削減するかが非常に大事です（スライド20）。メタンなどのCO₂以外の排出量が残り100億t分あり、CO₂関連と合わせて約500億tをいかに削減するかが重要になります。そのとき、CO₂を1t削減させるのにかかるコストを、IEA、IPCC、RITE（地球環境産業技術研究機構）によるGHG排出量と限界削減コストの関係から試算すると、400億tのCO₂削減までに、最初は比較的安い技術で可能ですが、徐々にコストが高くなります（スライド21）。このままでいくとCO₂を1t削減するために10万円程度までかかると試算されています。この費用を低減させるためには、革新的な技術開発が不可欠であります。

スライド22は太陽光発電のCO₂削減コストの試算例です。太陽光発電ではCO₂を1t削減するために、最初は50万円ほど必要でしたが、サンシャイン計画で40年頑張ると、今ではほとんどゼロにまで持ってくることができました。その意味では、技術開発でCO₂削減コストを下げられたことは非常によいことだと思っています。実際には、最後の商業化で中国に持っていかれましたが、技術開発はとても大事です。同じように、車載や建物壁面への導入によって削減することができます。技術開発でCO₂削減コストをどんどん下げていくのは極めて重要です。

その概念図をスライド23に示します。技術開発によってCO₂削減コストを下げる一方で、400億tまで削減していこうとすると、次第に費用の高い技術を使うようになります。しかし、その交点で新しい技術が入ってくると、コストを下げるのが可能になります。革新技術を適切に導入することにより、CO₂削減を経済的に推進することができると思っています。

最後にまとめです（スライド24）。カーボンニュートラルは不可欠です。そのためには、多くの技術を総動員する必要があると、多くの学問分野が連携して英知を結集させることが不可欠だと思っています。また、エネルギー環境分野の研究開発は社会実装までかなり時間がかかるため、早期に研究開発を開始し、実現させていくことが非常に大事です。さらに、コスト低減のためにはイノベーションの創出が不可欠で、経済性向上を含めたあらゆる分野の連携が必須です。

以上でございます。

（やべ あきら）