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

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）

目次

1. 持続可能な社会の実現に向けて

2. 温室効果ガス排出量及び対策費用

3. 革新技術の評価について

4. イノベーションを促す仕組み作りへの期待

5. まとめ

目次

1. 持続可能な社会の実現に向けて

2. 温室効果ガス排出量及び対策費用

3. 革新技術の評価について

4. イノベーションを促す仕組み作りへの期待

5. まとめ

目指す未来像

- 気候変動問題は人類共通の課題である。たとえ大きな困難が伴ったとしても、我々は、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」を目指す必要がある。

目指す未来像

||

気候変動問題を乗り越え、持続可能な社会を目指す

- 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
- 将来にわたり、自然界、生態系の多様性が維持、発展され続ける社会
- 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、むしろ将来世代のほうがより良い社会

国連の持続可能な開発目標（SDGs）の要素と整合的に気候変動対策を進める

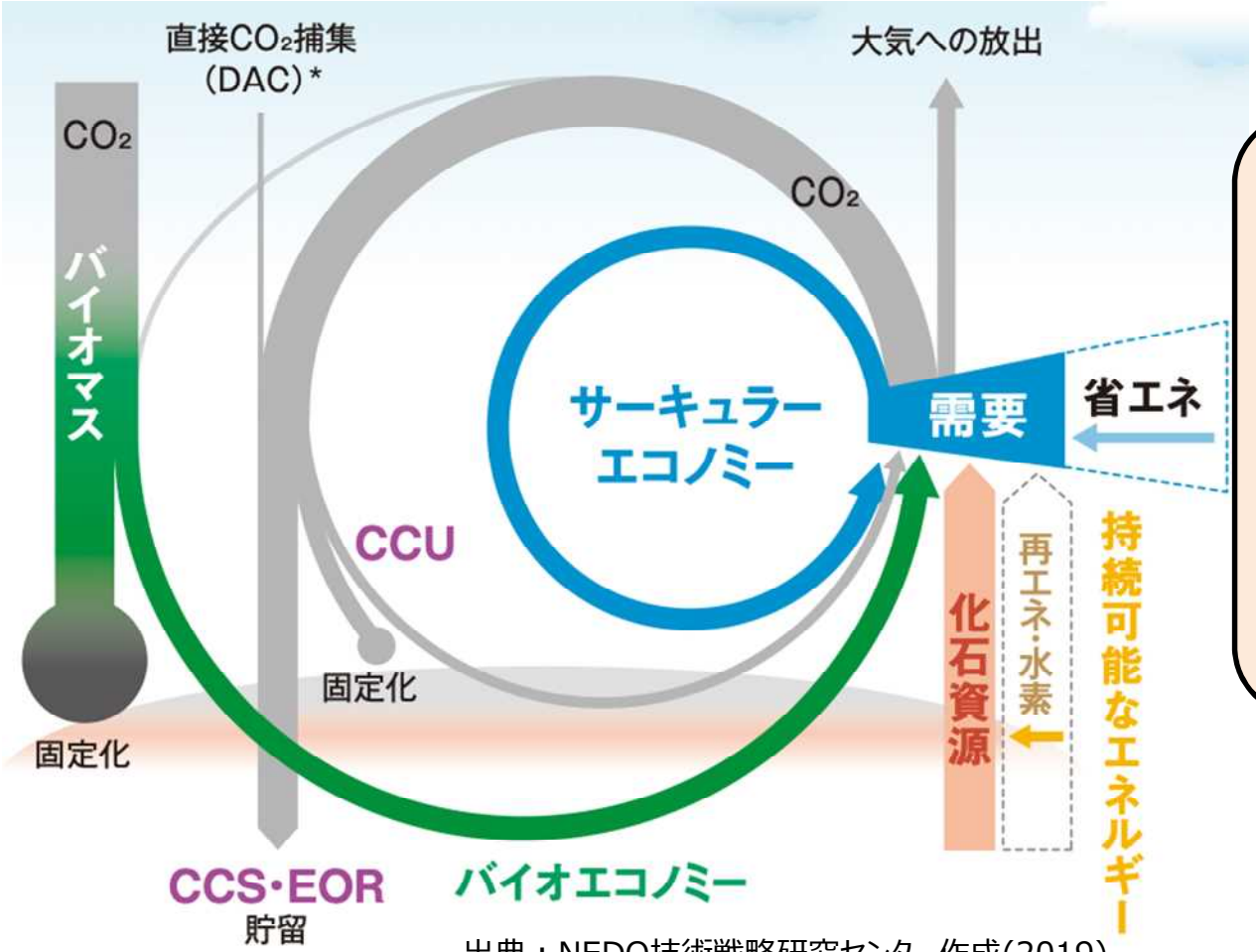
脱炭素社会の実現に向けた動き

- **2015年 「パリ協定」の採択**
  ・世界平均気温上昇を産業革命以前より2℃高い水準より下回る（2℃目標）
  ・1.5℃高い水準までに制限する努力を継続（1.5℃努力目標）
  ・今世紀後半に人為起源GHG排出量と除去量の均衡達成（カーボンニュートラル）
- **2016年 「エネルギー・環境イノベーション戦略(NESTI2050)」の策定**
  ・世界のGHG排出量の抜本的排出削減のために進めるべき技術課題の提示
- **2018年 IPCC1.5℃特別報告書の公表**
  ・人為起源CO_2排出量を2050年前後に正味ゼロにする必要
- **2019年「パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略」の閣議決定**
  ・「脱炭素社会」を今世紀後半のできるだけ早期に実現
  ・2050年までに温室効果ガス排出量80%削減を目指す
- **2020年「革新的環境イノベーション戦略」の策定**
  ・世界のカーボンニュートラル、更には過去の蓄積CO_2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
- **近年の動き**として、SDGs活動の進展やESG投資の拡大。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、海洋プラスチックごみ問題、内燃機関自動車の販売禁止の方針などの世界的な潮流も重要な観点

脱炭素社会を目指し技術開発・社会実装に取組むことは極めて重要

炭素循環から見た社会システム

- 青色で示す「需要」部分でのCO_2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CO_2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CO_2は、植林によるバイオマスへの固定化、DACによる分離回収。

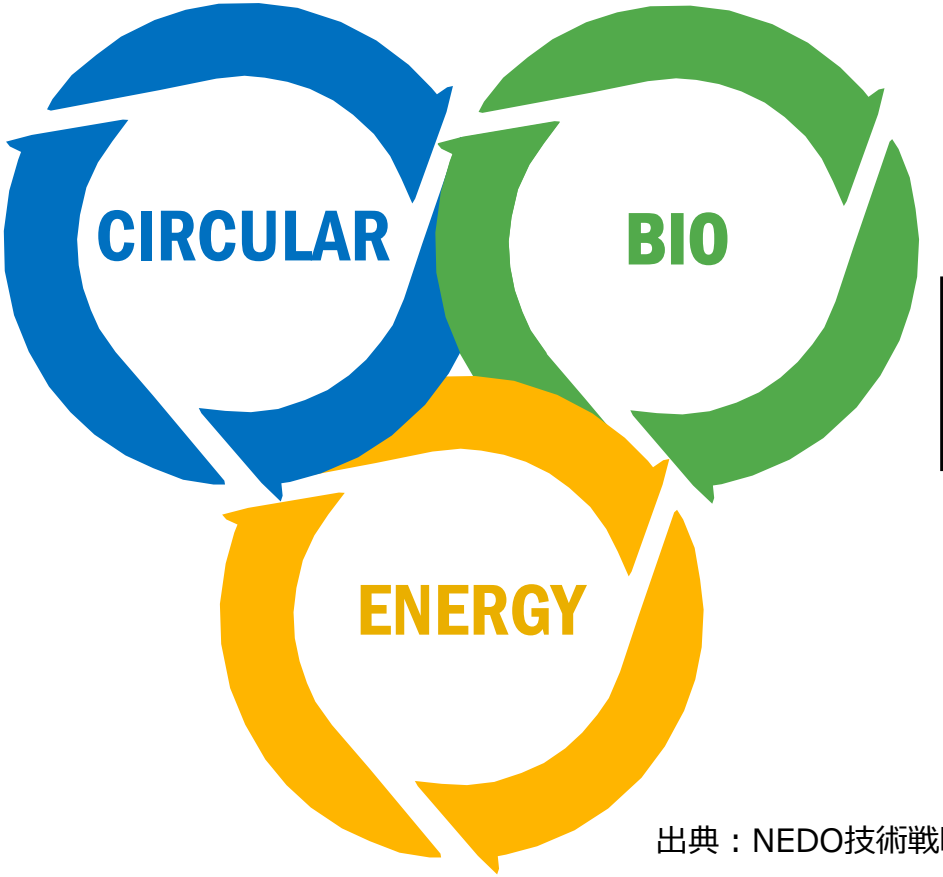


出典：NEDO技術戦略研究センター作成(2019)

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

持続可能な社会を実現する「3つの社会システム」

- 近年の動きも総合的に考慮すると、持続可能な社会の実現に向けては、
  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**
  の一体的かつ有機的な推進が不可欠。
- 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、経済合理性を持って社会へ実装させていくことが重要。

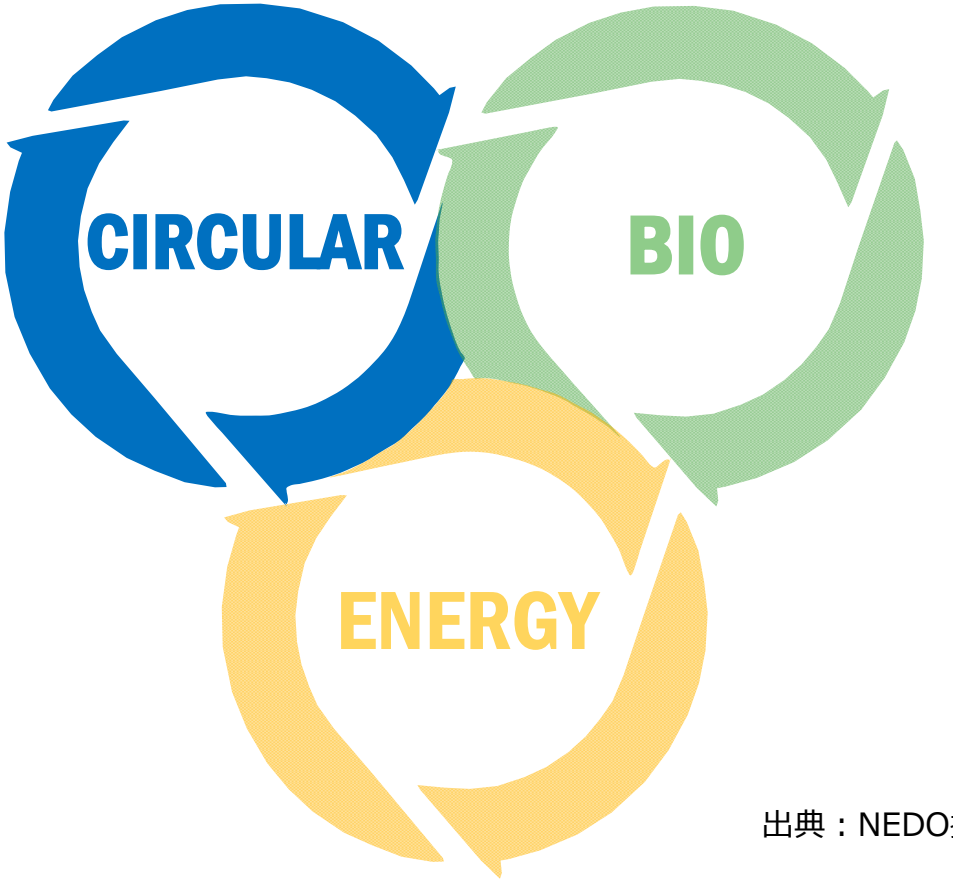


ブルー、**グリーン**、**オレンジ**の
３つの重なり合う円と矢印は、
「３つの社会システム」が
ボーダレスに関連・調和
している様子を表現

出典：NEDO技術戦略研究センター作成(2020)

サーキュラーエコノミー

- サーキュラーエコノミーとは、地球上に存在する様々な物質資源が、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。
- 3R(Reduce, Reuse, Recycle)の産業分野への適用。「カーボンリサイクル」など。
- 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。

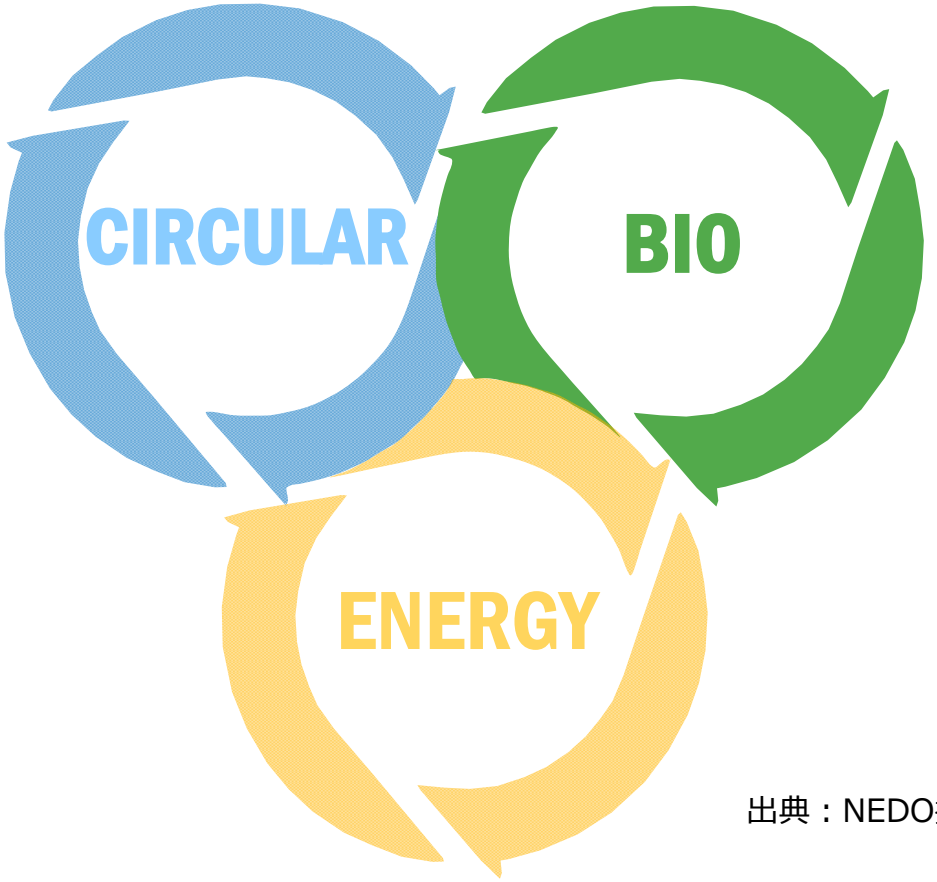


地球の象徴である
ブルーで表現

出典：NEDO技術戦略研究センター作成(2020)

バイオエコノミー

- バイオエコノミーとは、ヒトを含む様々な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。
- 石油由来からバイオ由来の原料・製品への代替。光合成利用バイオマスの利用等。
- 生態系の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。

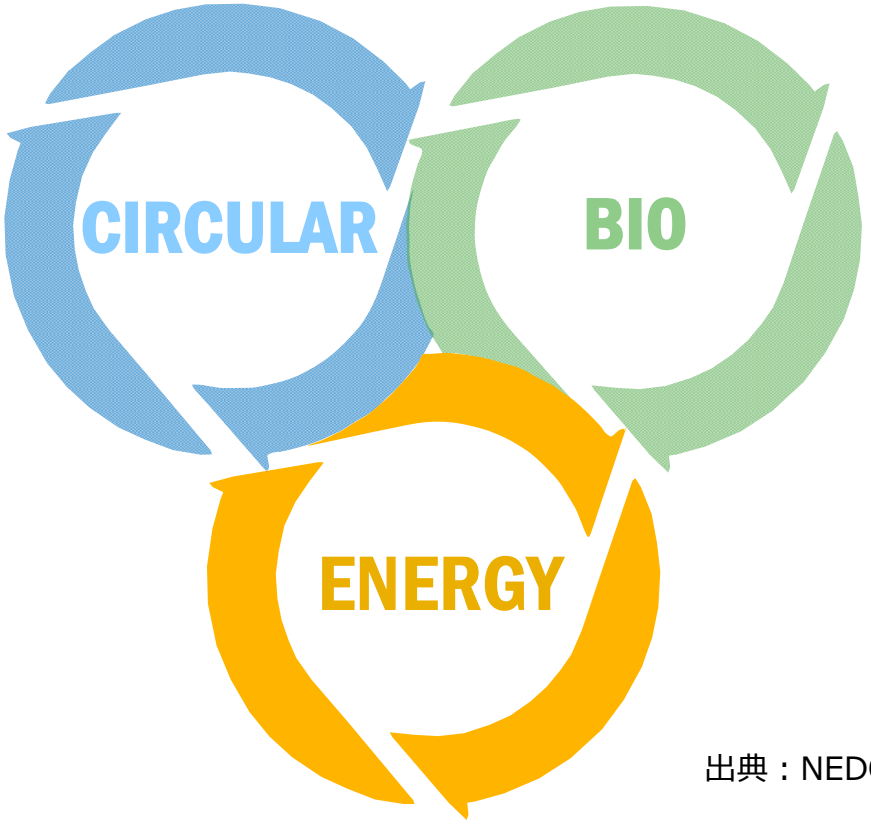


生物の象徴である
グリーンで表現

出典：NEDO技術戦略研究センター作成(2020)

持続可能なエネルギー

- 社会システムとしての持続可能なエネルギーとは、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。
- 再生可能エネルギー利用・転換・輸送・貯蔵技術、エネルギーマネージメント技術、省エネルギー関連技術等
- 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。



エネルギーの
象徴である
オレンジで表現

出典：NEDO技術戦略研究センター作成(2020)

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。

- 気候変動問題の解決に資する革新技術の特定には、「3つの社会システム」に関わる技術を全体的に俯瞰し、どの技術が、どれだけのCO_2削減を、どのくらいの費用で、いつ実現できるのか、定量的に評価していくことが必要。（特に、2050年を見据え、CO_2削減に貢献する技術の「CO_2削減ポテンシャル」と「CO_2削減コスト」を見積もり、定量的な議論をすることが重要）

- 本総合指針は、2050年を見据え、CO_2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、開発・実証に取組むべき革新技術の評価の一助となることが目的。

- 本総合指針では、温室効果ガスのうち、最も排出量の多いCO_2の排出削減から検討を開始。

目次

1. 持続可能な社会の実現に向けて

2. 温室効果ガス排出量及び対策費用

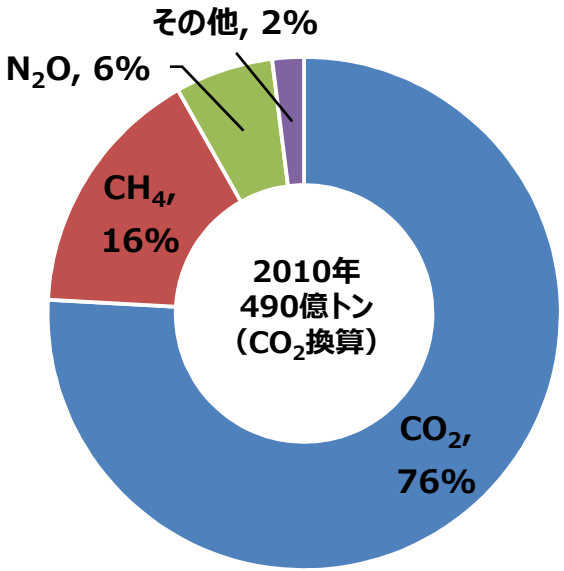
3. 革新技術の評価について

4. イノベーションを促す仕組み作りへの期待

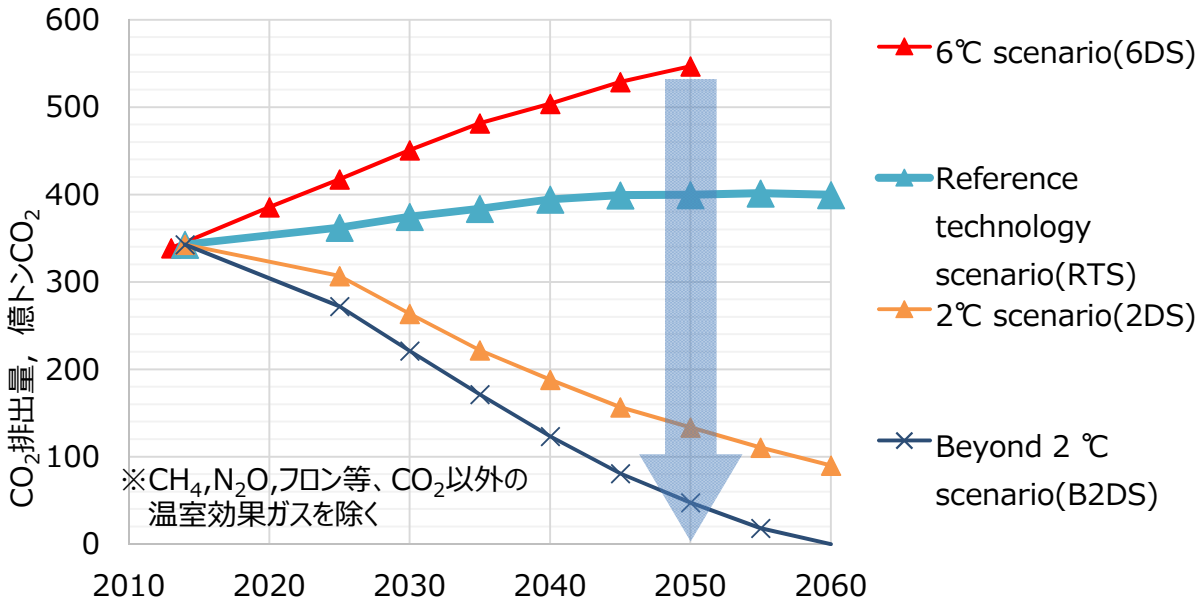
5. まとめ

温室効果ガス(GHG)排出の現状と見通し

- 現状のGHG排出は2010年実績で490億トンCO_2換算、内CO_2は370億トン(76%)
- BAUでは、2050年のCO_2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CO_2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



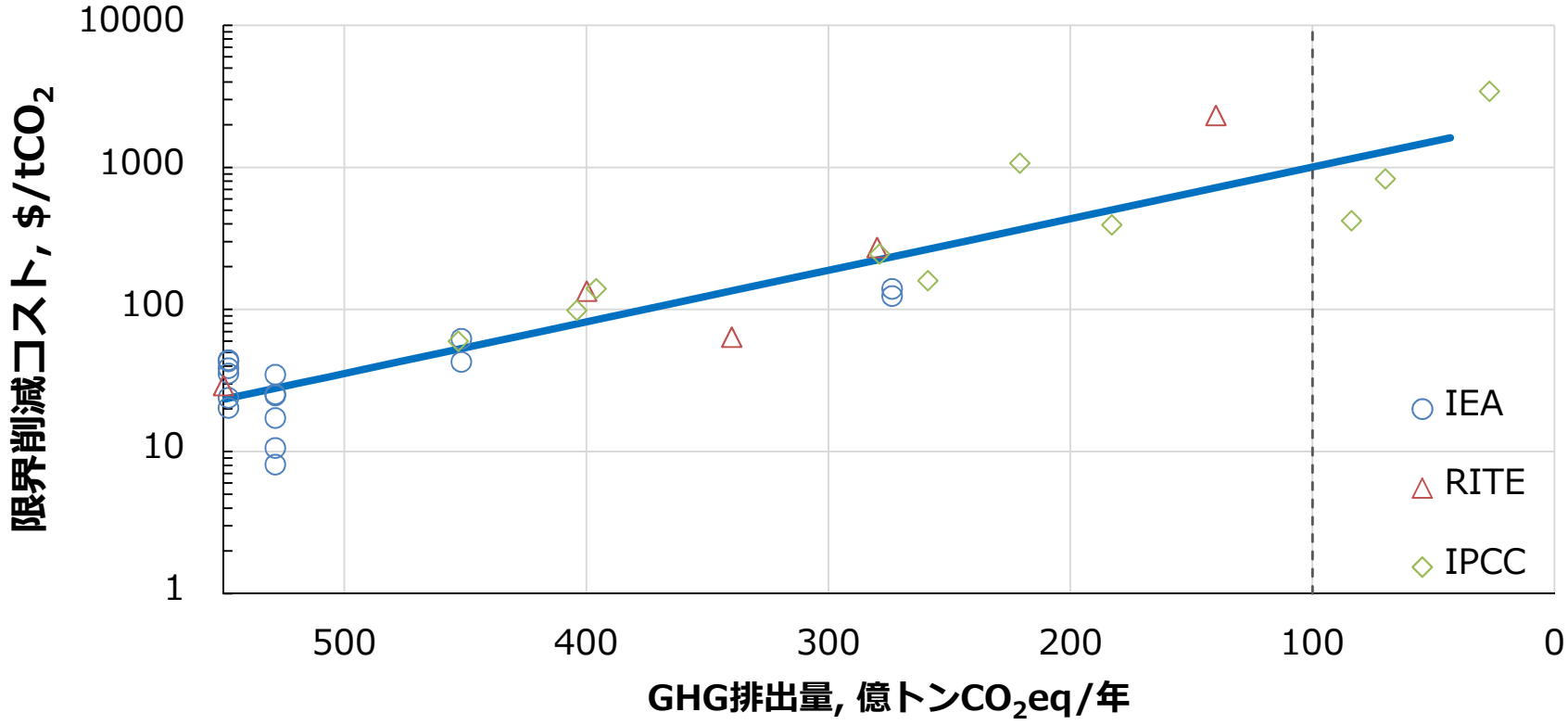
出典：Climate Change 2014 Synthesis Report(IPCC2014)を基にNEDO技術戦略研究センター作成(2020)



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）

限界削減コストの推定

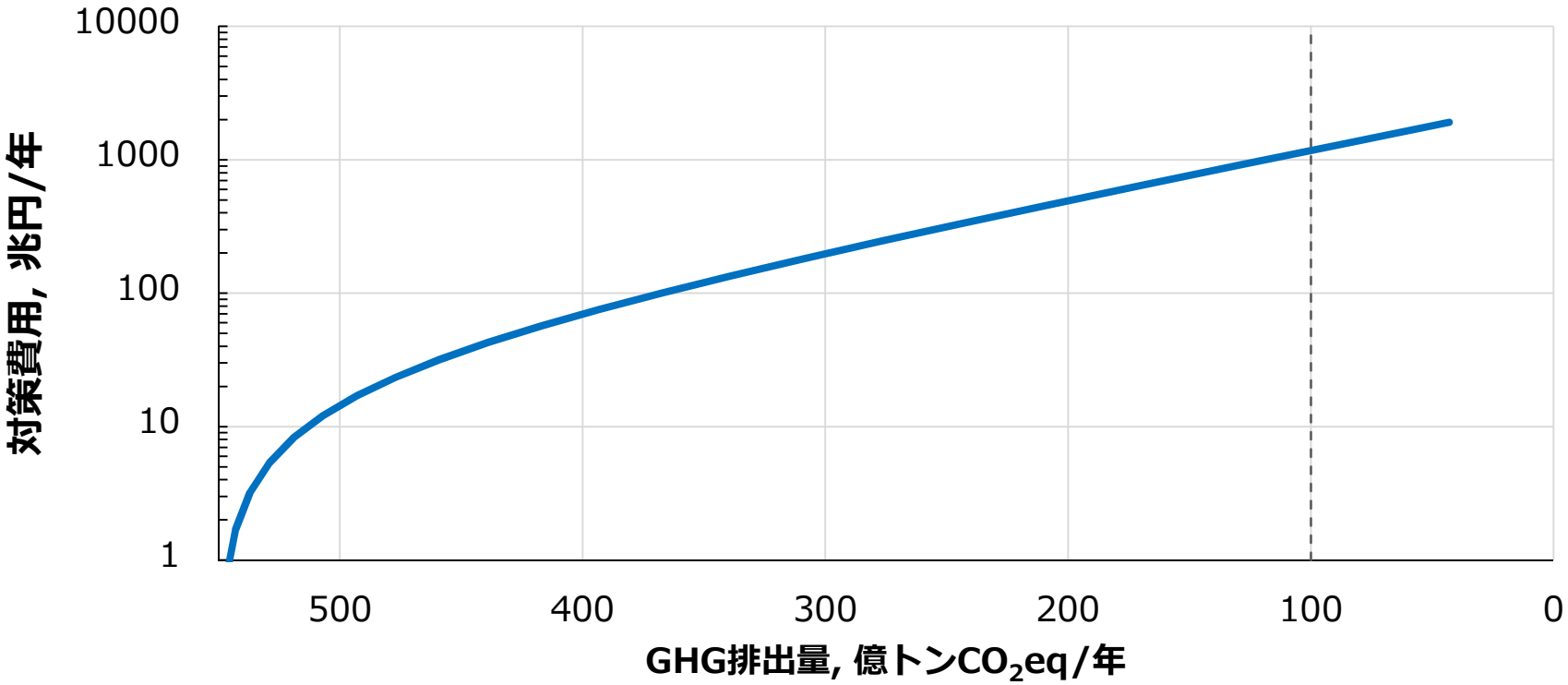
- IPCC、IEA、RITEによるGHG排出量と限界削減コストとの推計値を基にした回帰分析から世界全体の平均的な限界削減コストを俯瞰
- GHG排出量の低下に伴い限界削減コストは指数関数的に増加
- 限界削減コストは400億トンのCO_2削減までに、10万円/tCO_2($1=¥100で換算)を上回る水準となる



出典：Global warming of 1.5ºC（IPCC,2018）World Energy Outlook 2018（IEA,2018）,パリ協定2ºC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)

対策費用の推定

- CO_2削減のために負担する対策費用は、400億トンのCO_2削減までに、世界全体で毎年約1,000兆円の規模となる
- 1,000兆円は世界のGDPの12%に相当し，既存の技術による削減の積み上げでは、社会が受容できる費用という観点からは、極めて高いハードル
- 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に、非連続なイノベーションが不可欠



出典：限界削減コストの解析結果を基にNEDO技術戦略研究センター作成(2020)

目次

1. 持続可能な社会の実現に向けて

2. 温室効果ガス排出量及び対策費用

3. 革新技術の評価について

4. イノベーションを促す仕組み作りへの期待

5. まとめ

革新技術の評価について

- 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、「CO_2削減ポテンシャル」、「CO_2削減コスト」は重要な要素。
- 本総合指針では、CO_2削減に資する革新技術のうち、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術を選定し、CO_2削減ポテンシャルとCO_2削減コストを試算。
- 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、継続的に検証していくことが重要。

削減ポテンシャルの試算の考え方

- 本指針でとりあげた革新技術に関しては、それぞれ技術の成熟度や社会的な背景の違いを考慮し、以下の４つの考え方に基づき試算。
  - 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

- 技術進展の速度や非連続的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し、普及率等複数のシナリオを想定し、以下の算出式を用い、2050年における削減ポテンシャルを技術ごとに試算。

CO_2削減ポテンシャル[tCO_2]

＝　導入量　×（従来技術の排出原単位 － 革新技術の排出原単位）

[固有単位※]　[tCO_2/固有単位※]

※固有単位：Wh、J、t等

CO_2削減ポテンシャル試算例：次世代太陽光発電

- 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、CO_2原単位から2050年時点でのCO_2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CO_2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「プリウスPHV」実証車
https://global.toyota/jp/newsroom/corporate/28781301.html

さんぽーと港南
提供：株式会社資源総合システム

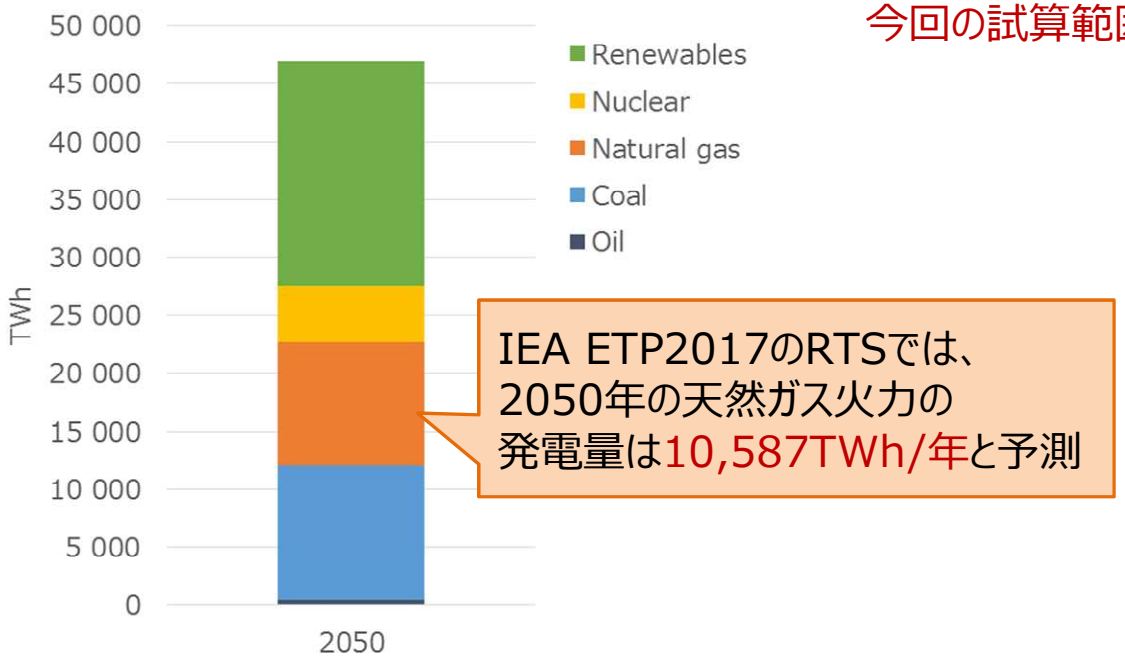
次世代太陽光発電によるCO_2削減ポテンシャル：70億トン

CO_2削減ポテンシャル試算例：水素発電

- 水素製造、輸送・貯蔵、利用全体のCO_2削減量は60億トン
  出典：「Hydrogen scaling up」（Hydrogen Council, 2017）
- 2050年における天然ガス火力発電の発電量（世界）のうち、5～15%を水素発電で置き換えると仮定した場合、CO_2削減ポテンシャルは約1.9～5.8億トンと試算。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・貯蔵におけるCO_2排出量は今回試算していない。

再エネ 未利用エネ等 → 水素製造 → 輸送・貯蔵 → 水素発電

今回の試算範囲



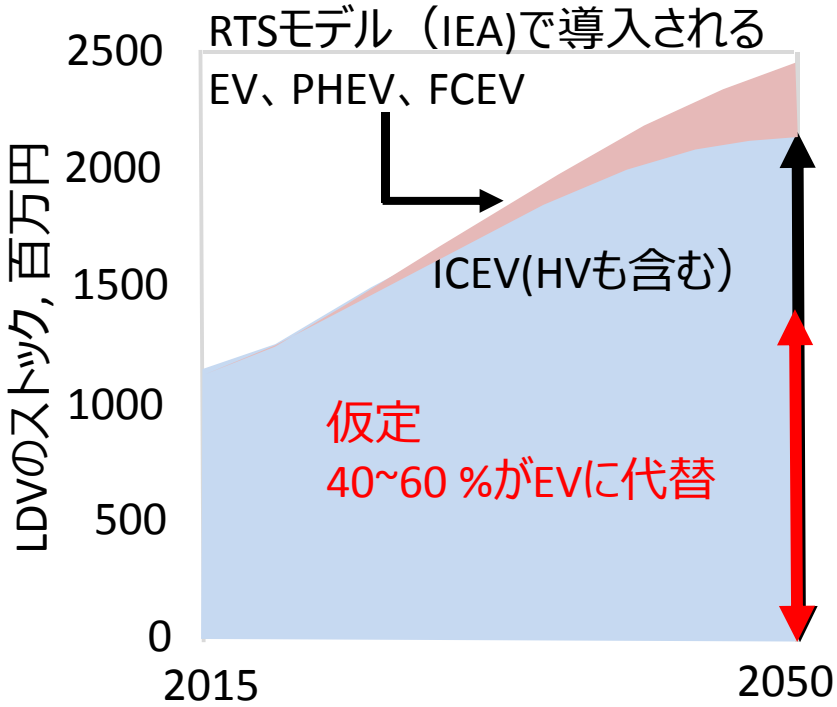
IEA ETP2017のRTSでは、2050年の天然ガス火力の発電量は10,587TWh/年と予測

出典：Energy Technology Perspectives 2017（IEA, 2017）をもとにNEDO技術戦略研究センター作成（2020）

CO_2削減ポテンシャル試算例：次世代蓄電池-EV

Technology Strategy Center

- 次世代蓄電池は、CO_2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、CO_2排出量の大幅削減へ貢献。
- 2050年に、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、CO_2排出削減ポテンシャルは2.7～9.1億トン。
- なお、「革新的環境イノベーション戦略」において、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。

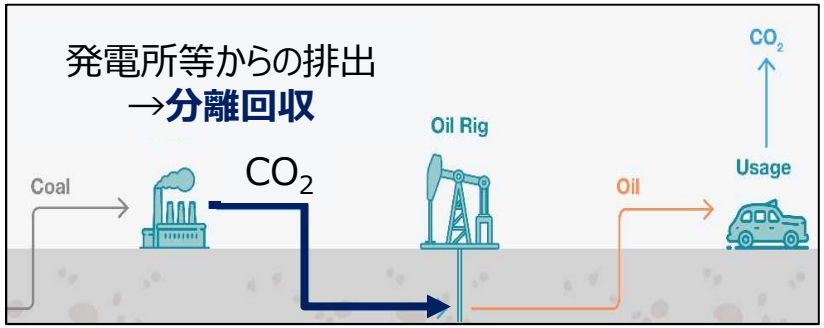


出典：IEA ETP 2017のRTSを基にNEDO技術戦略研究センター作成（2020）

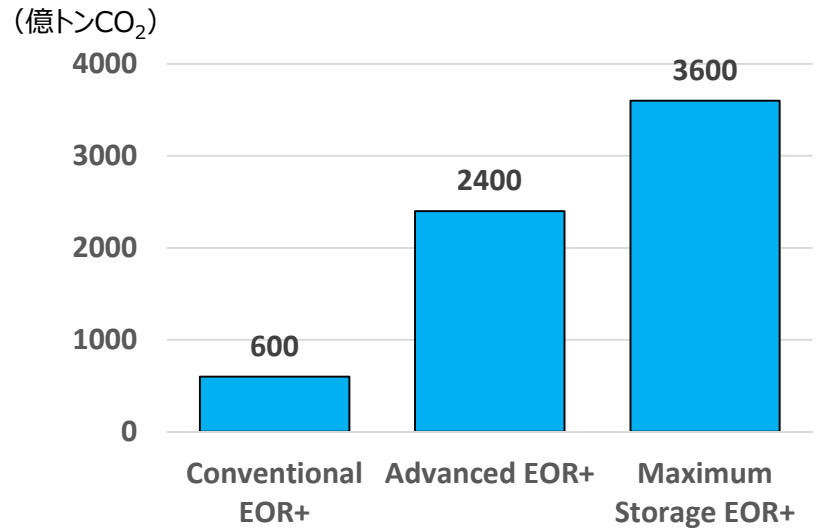
CO_2削減ポテンシャル試算例：EOR・CCS

- 北米を中心にインセンティブ付与に動機付けされるEOR・CCS
- 地質学的に大規模なCO_2貯留可能量が示されるものの、本指針ではETP2017の6DSからB2DSに至るEOR・CCSの削減寄与を削減ポテンシャルとして採用（80億トン）

✓ EOR(石油増進回収)と貯留ポテンシャル

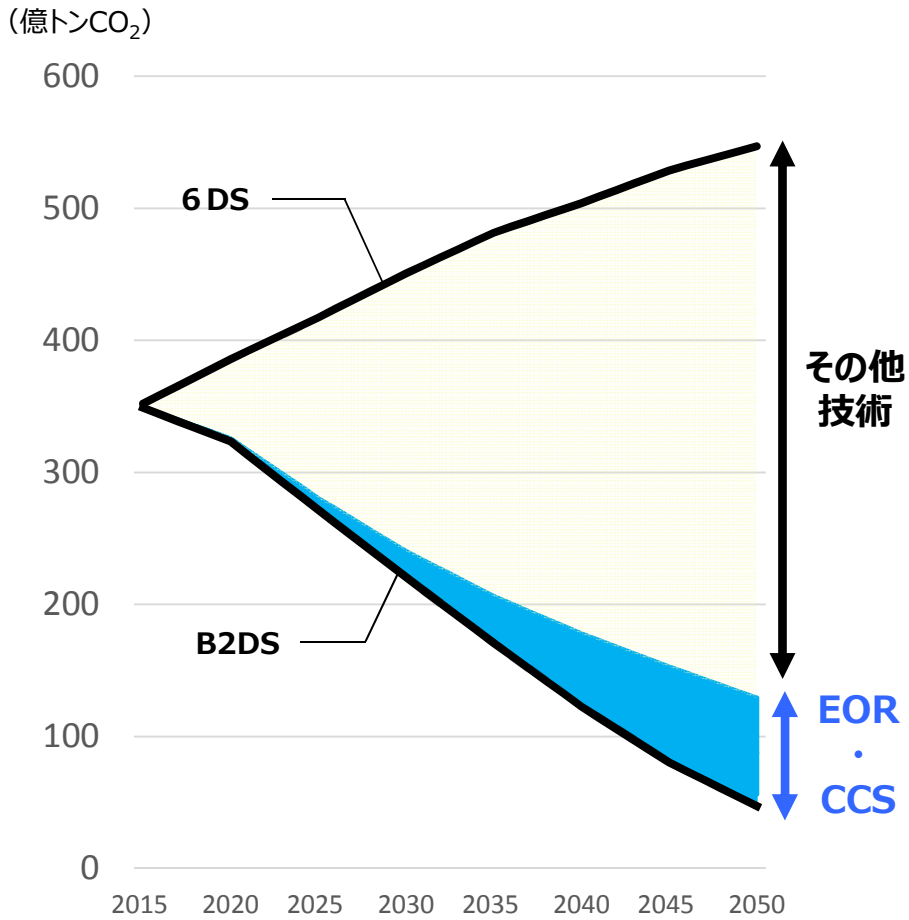


出典：IEA. Carbon capture, utilisation and storageを基にNEDO技術戦略研究センター加筆
https://www.iea.org/topics/carbon-capture-and-storage/



出典：IEA. Storing CO_2 through Enhanced Oil Recoveryを基にNEDO技術戦略研究センター作成（2020）

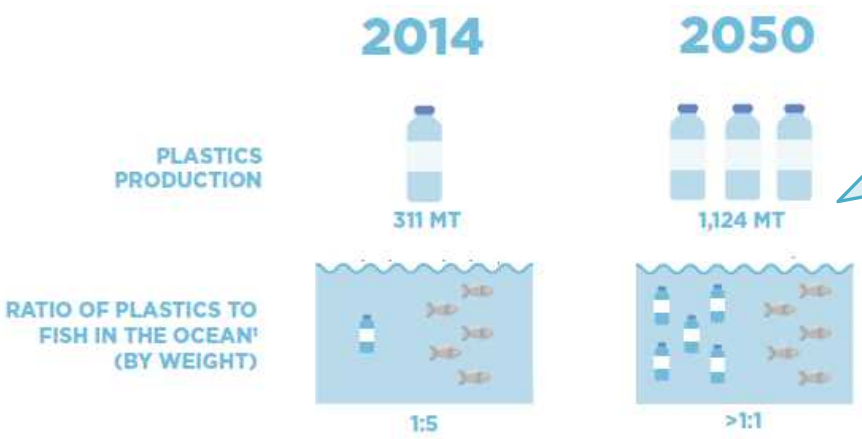
✓ IEAが想定するEOR-CCSによるCO_2削減寄与



出典：IEA　ETP2017を基にNEDO技術戦略研究センター作成（2020）

CO_2削減ポテンシャル試算例：バイオプラスチック

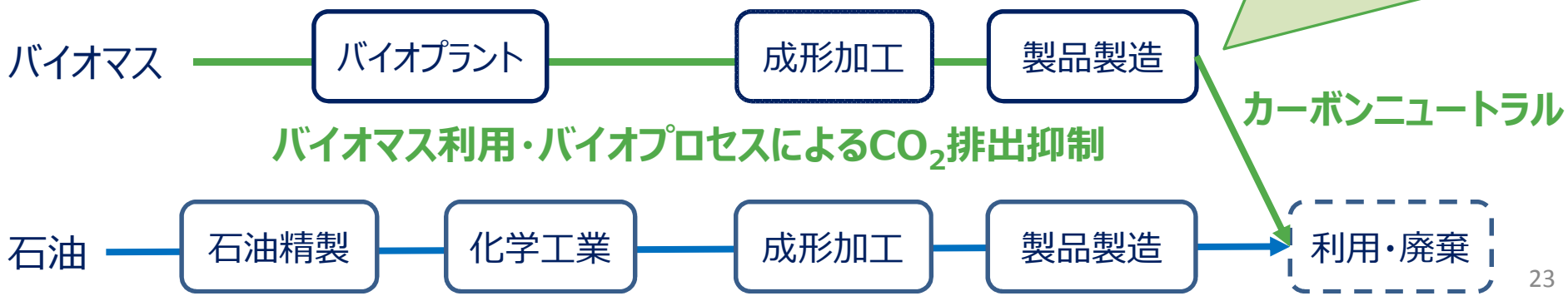
- バイオマスプラスチックは、バイオマスを原料に製造されることから、焼却処分した場合でも、大気中のCO_2の増減に影響を与えないカーボンニュートラル性を持つという点が特徴。
- 2050年に全プラスチックの20～30%をバイオマス由来に置き換え、CO_2排出削減量をプラスチック重量の2倍と仮定することで、CO_2削減ポテンシャルを4.5-6.7億トンと試算。



エレンマッカーサー財団の報告書によれば、
・2050年のプラスチック生産量は11.24億トンと予測
・2050年には海洋中のプラスチック量が魚の量以上に増加

出典：The New Plastics Economy Rethinking the future of plastics（Ellen MacArthur Foundation）

バイオマス製品によるCO_2の削減効果はプラスチック重量の1.4～2倍とされている（有機資源協会）



CO_2削減コストの試算の考え方

- 技術開発によって革新技術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CO_2排出量の大幅な削減が可能。

- 今回とりあげた革新技術に関しては、CO_2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、CO_2削減コストの試算。

  A） 学習曲線等の実績から想定されるケース
  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
  C） 専門機関の試算を参考にしたケース
  D） その他のケース

CO_2削減コストの試算方法

- CO_2削減コストは、CO_2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/tCO_2で表される。将来開発される革新的なCO_2削減技術の社会実装によるCO_2削減コストを、以下の算出式を用いて試算。

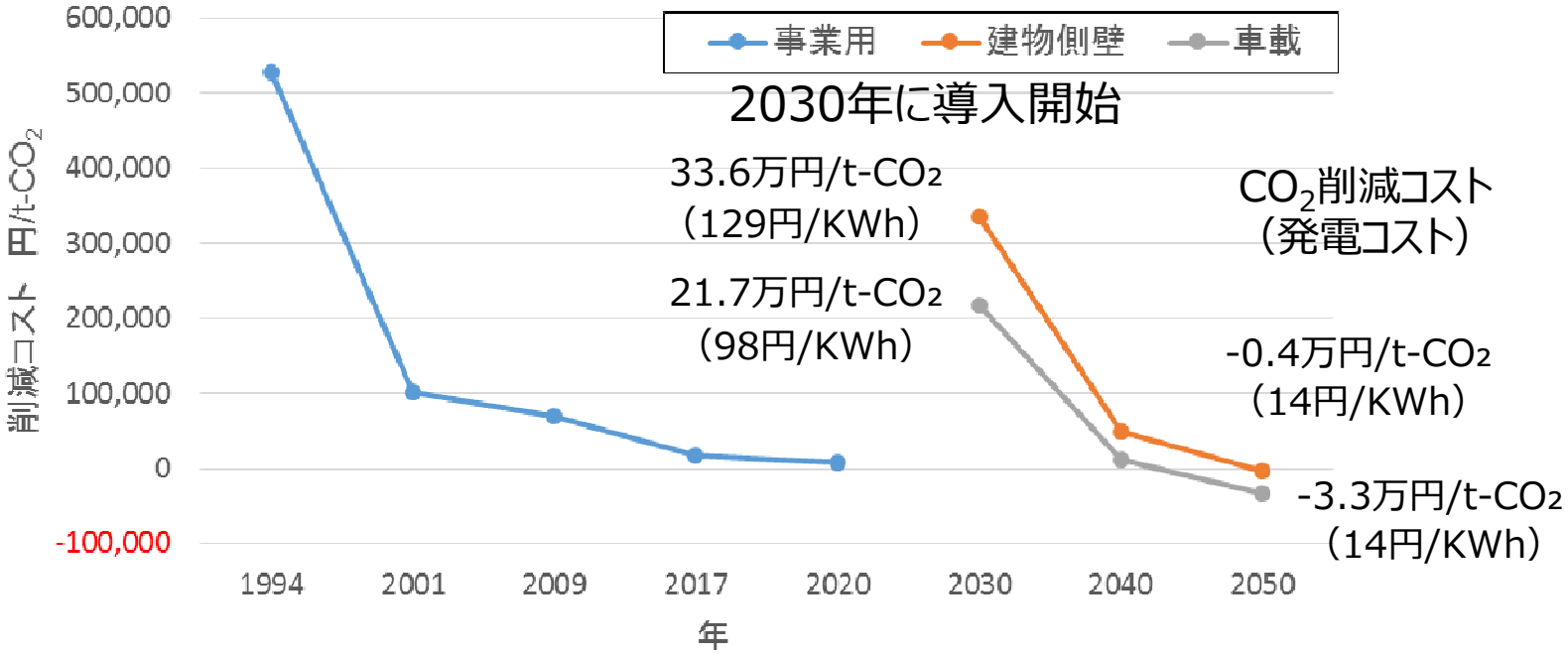
$$CO_2\text{削減コスト}[\text{円}/t\text{CO}_2] = \frac{\text{革新技術の単価} - \text{従来技術の単価}[\text{円}/\text{固有単位※}]}{\text{従来技術の}CO_2\text{排出原単位} - \text{革新技術の}CO_2\text{排出原単位}[t\text{CO}_2/\text{固有単位※}]}$$

※固有単位：kWh, GJ, t製品等

CO_2削減コスト試算例：次世代太陽光発電

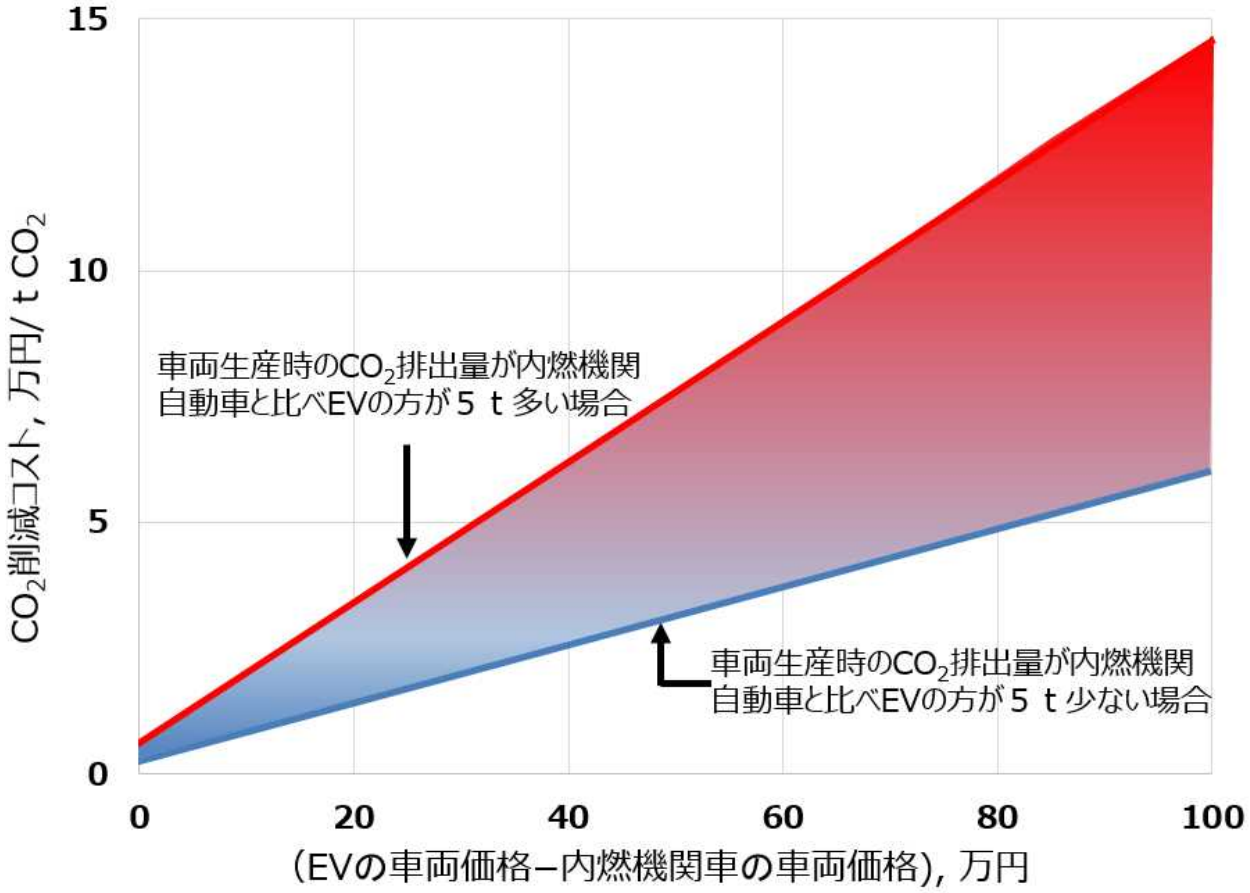
Technology Strategy Center

- 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（CO_2削減コスト）が着実に低下し、CO_2排出量の大幅削減への貢献を期待。



CO_2削減コスト試算例：次世代蓄電池-EV

- EVのCO_2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CO_2排出削減量で割ったものと定義。
- 車両価格差と車両生産時のCO_2排出量の差に依存し、本仮定では0.2万円/tCO_2から14.6万円/tCO_2の範囲。

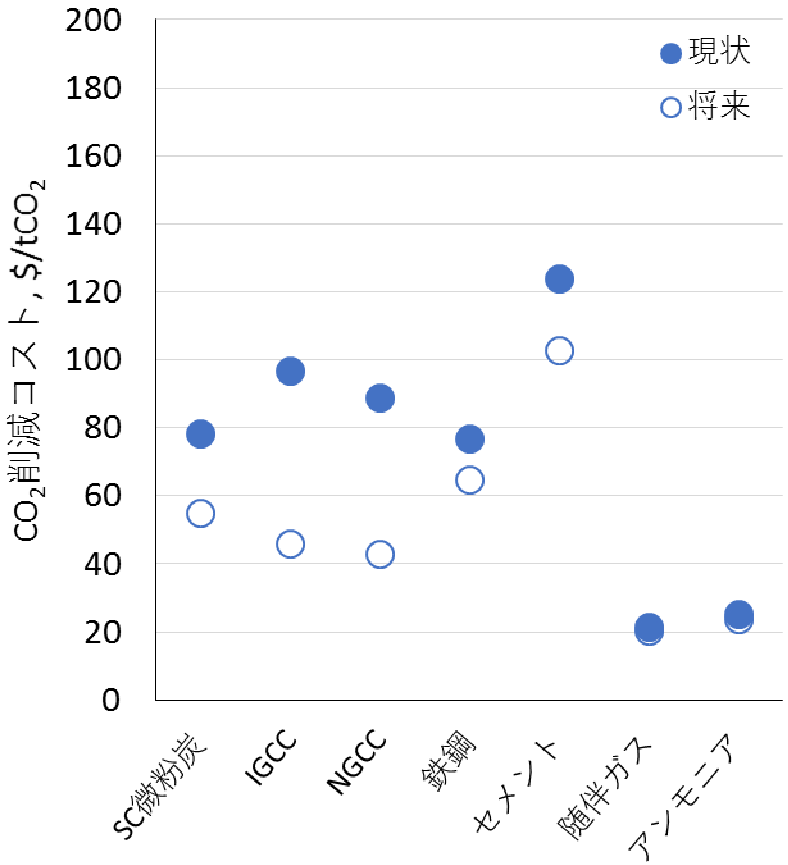


出典：NEDO 技術戦略研究センター作成（2020）

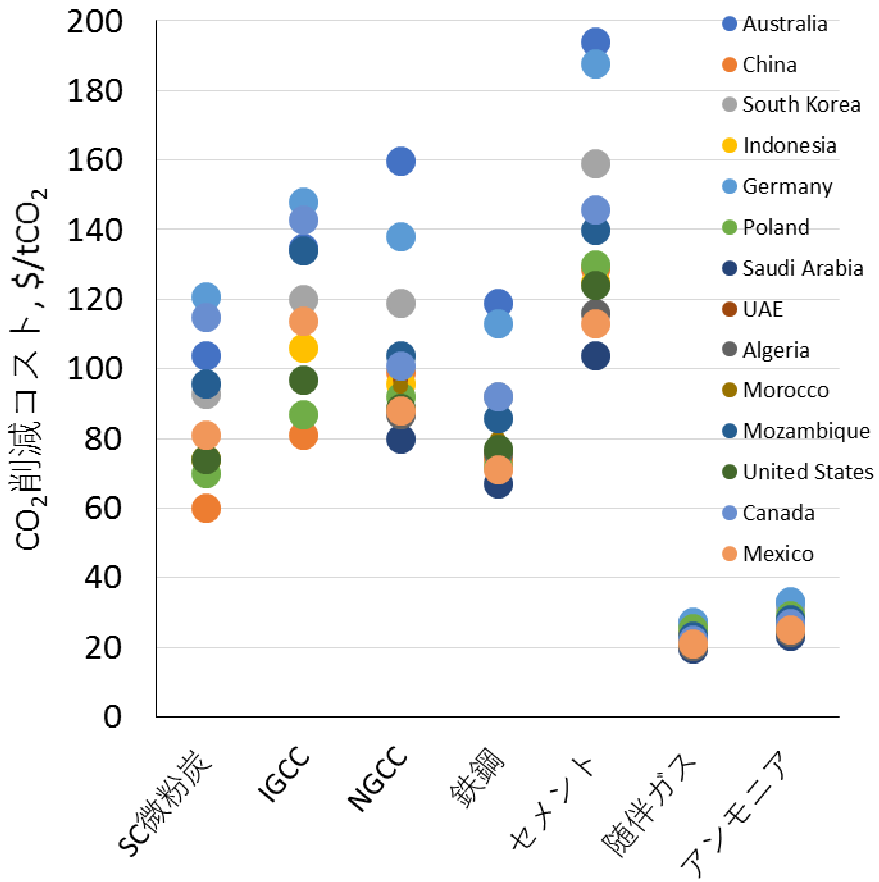
CO_2削減コスト試算例：CCS

- 現状で7,050～12,400円/tCO_2(1$=100円で換算)の$CO_2$削減コスト、将来技術開発により20～30%のコストダウンを期待
- 同じ発生源であっても地域によって，6,000～9,000円/tCO_2のコスト差

✓ **CCS(北米)のCO_2削減コストの現状と見通し**



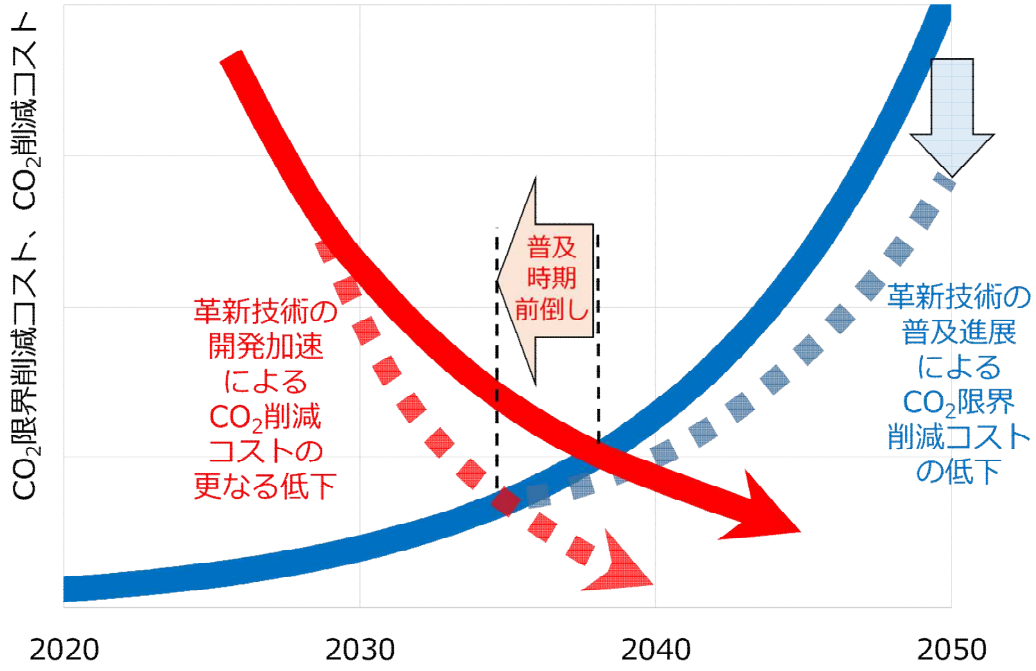
✓ **現状のCO_2削減コストの地域差**



出典：GSSCI. Global Cost of Carbon Capture and Storage 2017 updateを基にNEDO技術戦略研究センター作成（2020）

限界コストの交点以降で新たな技術が普及

- 技術開発の進展によって、革新技術の CO_2削減コストが従来技術の限界削減コストを下回る時点から、急激に社会実装が進むことが想定可能。
- 革新技術が実用化できれば、CO_2削減コストと限界削減コストを大幅に低減することが可能になる。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。



戦略的な革新技術開発の推進に向けて

- 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、CO_2削減ポテンシャル、CO_2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。

- 世界のカーボンニュートラルは、我が国だけで達成できるものではない。実用化された革新的技術については、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順次導入を進めることが重要である。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を期待。

目次

1. 持続可能な社会の実現に向けて

2. 温室効果ガス排出量及び対策費用

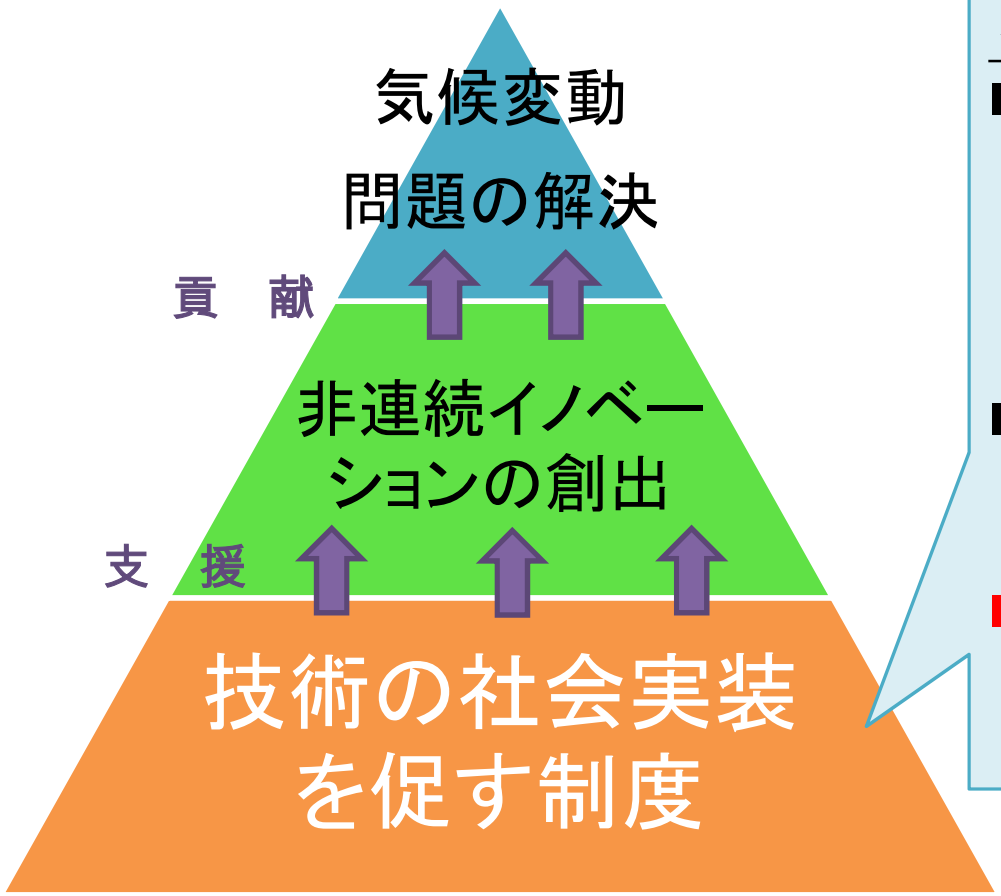
3. 革新技術の評価について

4. イノベーションを促す仕組み作りへの期待

5. まとめ

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、技術の社会実装を加速する制度面の仕組み作りも不可欠。



＜仕組み作りに必要な視点＞

■ 気候変動問題のような、中長期に亘る課題解決に向けては、関連する技術テーマに対する研究制度・研究環境の整備は継続的に行うことが必要。

■ 創出された革新技術が世界で活用・普及されるために、国際連携を図ることが必要

■ 社会全体で一体的な取り組みを推進するため、随時改善することが重要。

目次

1. 持続可能な社会の実現に向けて

2. 温室効果ガス排出量及び対策費用

3. 革新技術の評価について

4. イノベーションを促す仕組み作りへの期待

5. まとめ

持続可能な社会の実現に向けて

- 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、これらに係る技術を統合的に捉え、経済合理性の観点を勘案して社会実装を目指すことが重要。
- CO_2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、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、開発・実証に取組むべき革新技術の評価の一助となることを目的。
- 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極めて重要であり、温室効果ガスの内、最も排出量の多いCO_2の排出削減から検討を開始。

まとめ②

温室効果ガス排出量及び対策費用

- CO_2排出量を400億トン削減する場合に、従来技術の活用だけでは、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術の開発が不可欠。

革新技術の評価について

- 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、「CO_2削減ポテンシャル」、「CO_2削減コスト」を基礎に定量的な議論を行うことが重要。
- 技術の実現時期・必要な投資額等、評価に必要な他の項目についても検討。

イノベーションを促す仕組み作りへの期待

- 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、革新技術の社会実装に対する支援策などについても継続的に議論、改善が重要。