

# 課題提起：温暖化対策の長期戦略

山地憲治

(公財)地球環境産業技術研究機構(RITE)理事・研究所長

## 日本学術会議公開シンポジウム

「パリ協定の下での長期温室効果ガス排出削減戦略を考える」

2017年9月27日

@日本学術会議講堂、東京

# パリ協定（+COP21決定）における排出削減目標

- ◆ 全球平均気温上昇を産業革命前に比べ **2°C未満に十分に抑える**。また 1.5°Cに抑えるような努力を追求。（協定第2条）
- ◆ 協定第2条の長期目標を達成するため、世界の温室効果ガス排出をできる限り早期にピークにする。その後、急速に削減し、今世紀後半には、温室効果ガスについて人為的起源排出とシンクによる吸収をバランス(**グローバルネットゼロエミッション**)させる。（協定第4条1項）
- ◆ すべての国が**自主的に目標と達成方法を決め、5年ごとに提出する**（協定第4条2項、9項）。なお、目標見直しにあたっては、その時点の目標に比べて前進させるよう求めている（第4条3項）。ただし、パリ協定の中には各国の温室効果ガス削減目標は明記されていない（京都議定書とは大きく異なる点）。
- ◆ すべての国は、**長期の低排出発展戦略を策定**するよう努力すべき（協定第4条19項）。（COP21決定には2020年までにと時期も明示されている）。
- ◆ **グローバルストックテイク**: 世界全体の達成状況を把握するために、緩和、適応、支援を対象に評価。第1回を2023年に開始し、5年ごとに行う（協定第14条）。

# エネルギーミックス実現による世界最高水準の排出量原単位への挑戦

- 全ての主要国が参加するパリ協定が合意。各国が目標を宣言した。
- 日本は、欧米と比べても野心的な▲26%目標を宣言。世界最高水準の原単位(0.16kg/米ドル)への挑戦。

## 主要排出国を含む全ての国が目標を宣言 ＜パリ協定と京都議定書の違い＞

	パリ協定	京都議定書
カバー範囲	主要排出国を含む 全ての国が目標を設定	一部の先進国のみの目標設定(2割程度)
アプローチ	各国が目標を宣言	国際交渉で目標決定

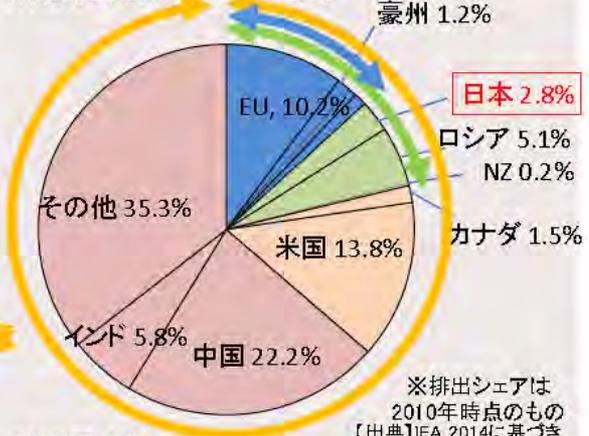
【京都議定書】



【パリ協定】  
全ての主要国が参加する合意  
(2020年以降の枠組み)

※3月10日時点での目標提出国・地域：160か国・1地域  
(世界の温室効果ガス排出量の約99%、189か国・地域をカバー)

## ＜削減目標のカバー率＞



※排出シェアは2010年時点のもの  
【出典】IEA 2014に基づき  
経済産業省作成。

## 日本の野心的な挑戦

### ＜削減目標の国際比較＞

国名	1990年比	2005年比	2013年比
日本	▲18.0% (2030年)	▲25.4% (2030年)	▲26.0% (2030年)
米国	▲14~16% (2025年)	▲26~28% (2025年)	▲18~21% (2025年)
EU	▲40% (2030年)	▲35% (2030年)	▲24% (2030年)

### ＜GDP1ドルあたりの排出量(原単位)＞

国名	2013年	2030年/2025年
日本	0.29kg-CO2	0.16kg-CO2 (2030年)
米国	0.47kg-CO2	0.28-0.29kg-CO2 (2025年)
EU	0.29kg-CO2	0.17kg-CO2 (2030年)

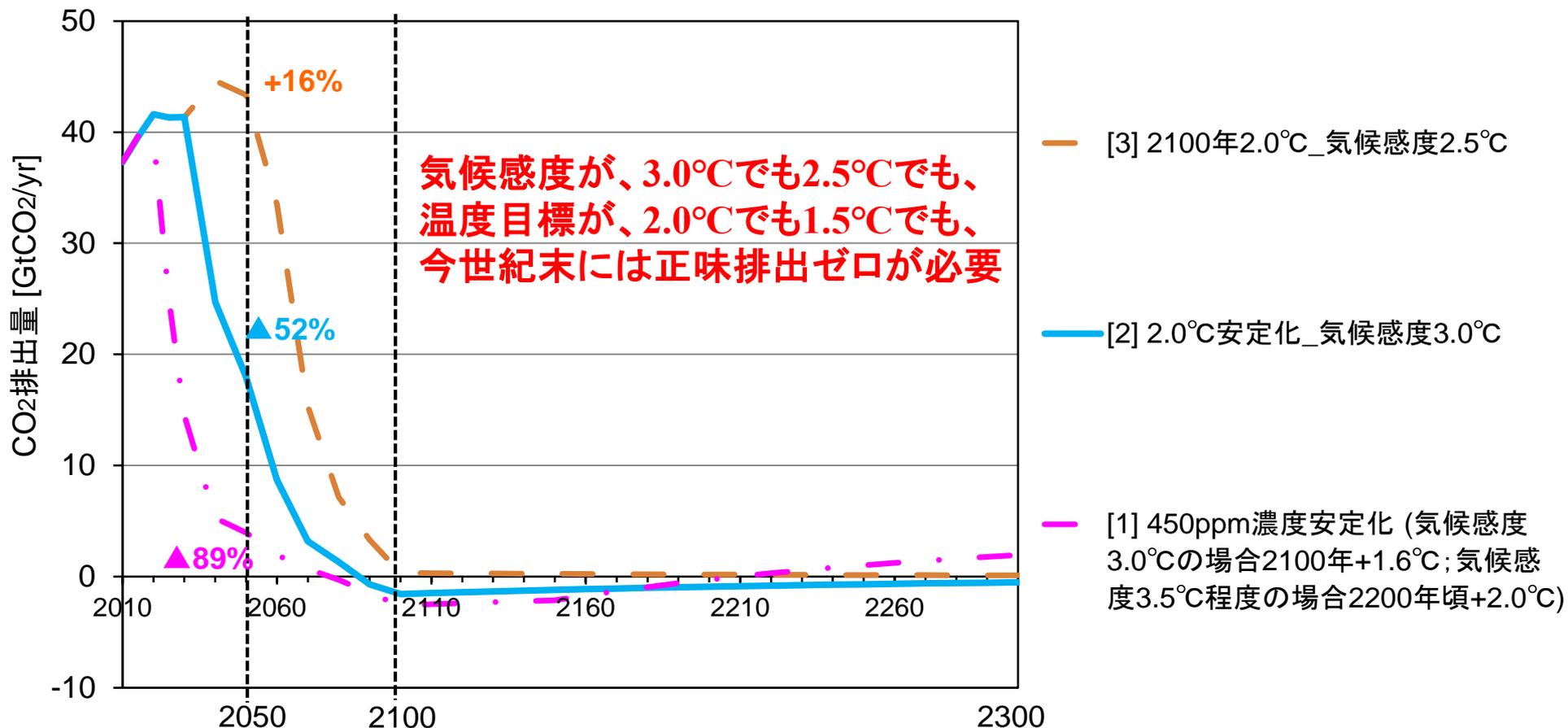
【出典】IEA 2015、各国統計、INDC等に基づき経済産業省作成。

温室効果ガス排出量の約9割がエネルギー起源CO2。▲26%の前提となるエネルギーミックス実現が鍵。

# 地球温暖化リスクの構造 : Structure of the Climate Risk

- ・地球温暖化懐疑論 : Skepticism on Climate Change  
科学 (e.g. 太陽活動論) から政治 (e.g. トランプ政権) まで  
: from science (e.g. solar activity) to political arena (e.g. Trump Administration)
- ・2°C目標(地球温暖化の損害) : 2 Degree C Goal/Target (Damage of Climate Change)
- ・気候安定化への排出経路 Pathways of Emission Reduction to Climate Stability  
e.g. 気候感度の影響 : e.g. effects of climate sensitivity
- ・排出削減コスト : Cost of GHG Emissions Reduction  
e.g. イノベーションの効果 : e.g. effects of innovations
- ・国際枠組みの有効性と安定性 : Functions and Stability of International Framework  
e.g. 炭素漏洩と囚人のジレンマ : e.g. carbon leakage and prisoners' dilemma
- ・リスクの選択 : Risk Trade-Off  
e.g. 持続可能な発展における温暖化リスク : e.g. climate risk in 17 SDGs
- ・気候正義 : Climate Justice

# 2°C目標の各シナリオのCO<sub>2</sub>排出量推移(～2300年)



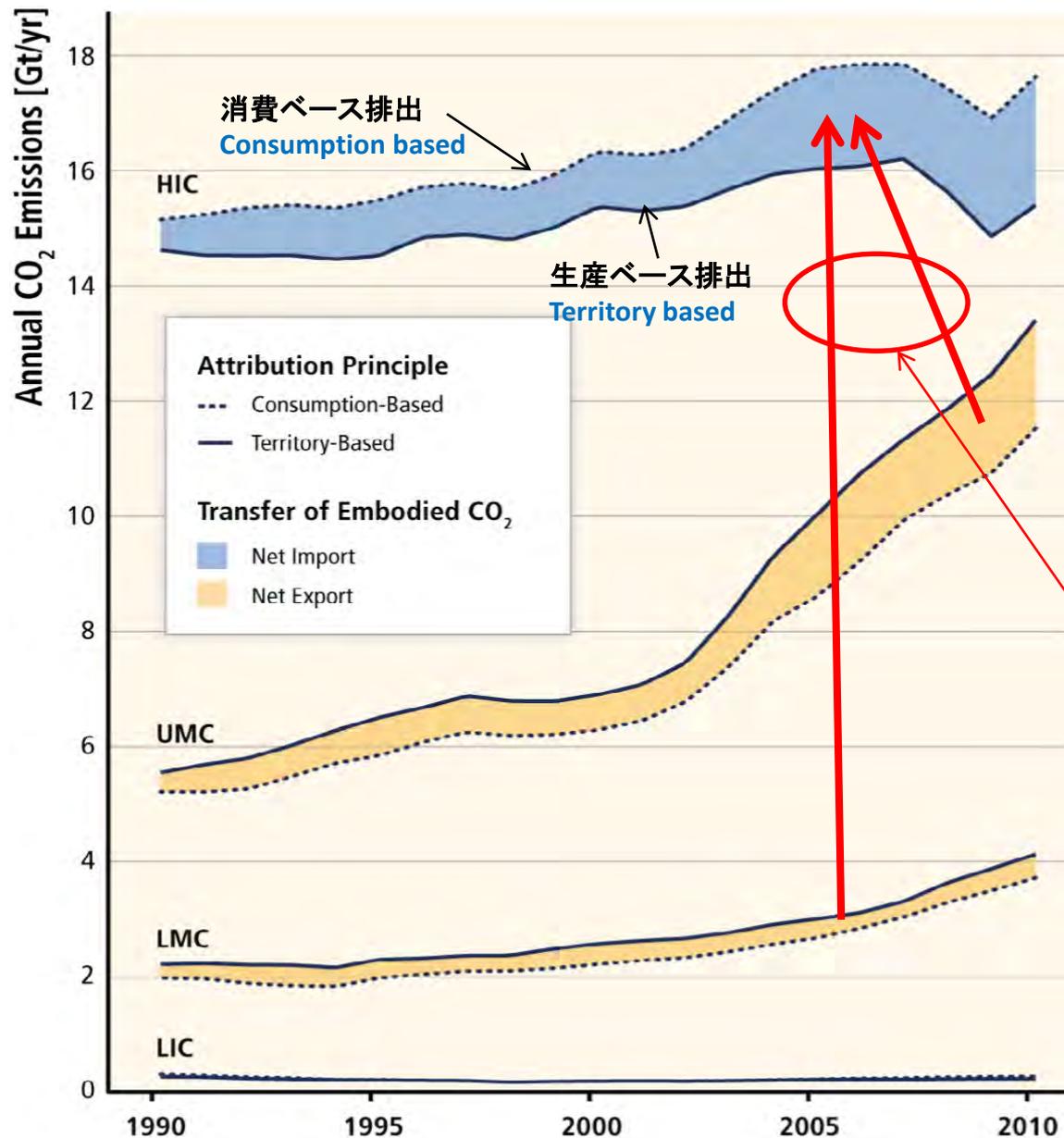
出典)MAGICC、DNE21+を用いてRITEにて試算

注1) グラフ中の削減率の数字は2010年比

注2) エネルギー起源CO<sub>2</sub>以外のCO<sub>2</sub>排出を含む

# 製品に体化されたCO<sub>2</sub>排出量の国際移動: Transfer of Embodied CO<sub>2</sub>

Source: IPCC WG3 AR5, Figure TS.5



**高所得国 (HIC)**  
(more than \$12,616)

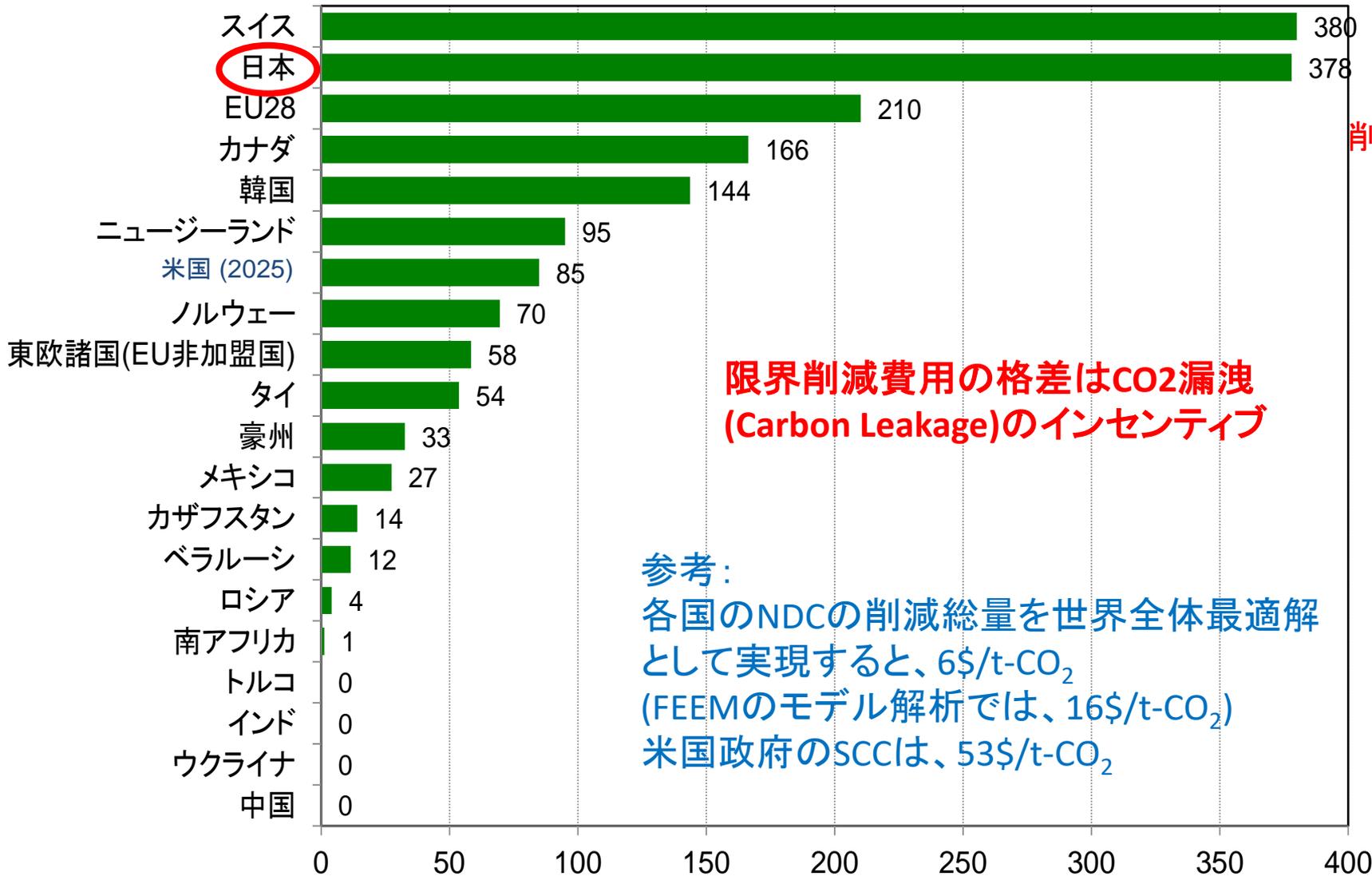
**高中位所得国 (UMC)**  
(\$4,086 to \$12,615)  
(中国、ブラジル、イラン、マレーシア、南アなど)

製品に体化されたCO<sub>2</sub>排出移転  
(逆転すれば炭素漏洩):  
Transfer of Embodied CO<sub>2</sub>(inverse  
flow of carbon leakage)

**低中位所得国(LMC)**  
(\$1,036 to \$4,085)  
(インド、インドネシア、フィリピン、エジプトなど)

**低所得国(LIC)**  
(less than \$1,035)

# 2030年における約束草案のCO<sub>2</sub>限界削減費用の国際比較



限界削減費用の格差はCO<sub>2</sub>漏洩  
(Carbon Leakage)のインセンティブ

参考:  
各国のNDCの削減総量を世界全体最適解  
として実現すると、6\$/t-CO<sub>2</sub>  
(FEEMのモデル解析では、16\$/t-CO<sub>2</sub>)  
米国政府のSCCは、53\$/t-CO<sub>2</sub>

CO<sub>2</sub>限界削減費用(\$/tCO<sub>2</sub>)

# 地球温暖化リスクへの基本戦略

## Principles of Responses to the Climate Risk

- **多様な選択肢 : Diversified Response Options**  
排出削減、気候変動適応からジオエンジニアリングまで  
: mitigation/adaptation + geoengineering(緊急事態への備え)  
→イノベーションの創出と国際展開 : global deployment of innovations
- **システム全体を俯瞰する視点 : Holistic Systems View**  
ライフサイクル評価、グローバルな貢献  
: assessment of global life cycle effects of countermeasures
- **総合的アプローチ : Integrated Approach**  
SDGsの複数のゴールの同時達成 : co-benefits in achieving SDGs
- **客観的な科学データの共有 : Shared Scientific Data Base**  
→世界共通リスクの認識 : shared understanding of global risks
- **多様な価値観の容認 : Acceptance of Diversified Value Systems**  
→国際フレームワークの維持 : maintain international framework

# 多様な対策を活用できるクリーンなエネルギー媒体(電気、水素等)の重要性

## Key Role of Clean and Efficient Energy Carrier (Electricity, H<sub>2</sub> etc.)

電化とスマート化による大規模省エネ

Revolutionary Energy Saving through  
Electrification and Digitalization of Energy/Society

クリーンで効率的な利用ができる  
エネルギー媒体(電気・水素等)

Clean and Efficient Energy Carrier  
(Electricity, Hydrogen etc.)

ゼロエミッション電源:

再生可能エネルギー,  
原子力, 化石燃料+CCS  
Carbon Free Power Source:  
Renewables, Nuclear,  
Fossil Fuel with CCS

ゼロエミッション燃料  
(バイオマス等)

Carbon Free Fuel:  
Biomass, etc.

ゼロエミッション熱源:

太陽熱、地(中)熱、未利用  
熱等

Carbon Free Heat Source:  
Solar Heat, Geothermal, etc.

+ Global Net Zero Emission には更なる工夫が必要:  
BECCS(Bioenergy+CCS)、CO<sub>2</sub>吸収増大(植林等)など  
Negative Emission such as BECCS and Afforestation for  
Global Net Zero Emission

# 超スマート社会 (Society 5.0) のインパクト

**超スマート社会**とは: 必要なモノ・サービスを、必要な人に、必要な時に、必要なだけ提供し、社会のニーズにきめ細かく対応でき、あらゆる人が質の高いサービスを受けられ、年齢、性別、地域、言語といった様々な違いを乗り越え、生き活きと快適に暮らすことができる社会。

**影響は単なる省エネに留まらない:  
シェアリングエコノミーを推進し、  
モノの生産からサービス提供へと産業を変える  
+ 情報タグで究極のリサイクル社会へ**

**例えば、**自動運転+カーシェア → 自動車利用率(現状4%)の向上 → 自動車保有台数の減少 → 自動車生産量の低下 → 鉄鋼等素材生産量の低下 → CO<sub>2</sub>削減

**例えば、**IoTでスマートメンテナンス → 部品・製品寿命の延伸 → 部品・製品需要の低下 → CO<sub>2</sub>削減

**例えば、**すべての材料・部品にICタグ → 再利用率・素材ごとの分別回収率向上 → 素材・部品生産量の低下 → CO<sub>2</sub>削減

## 2. 「エネルギー・環境イノベーション戦略（案）」の概要

### I. 戦略の位置付け

○ COP21で言及された「2℃目標」の実現には、世界の温室効果ガス排出量を2050年までに240億トンを程度に抑えることが必要。現在、世界全体で500億トンを程度排出されている温室効果ガスは、各国の約束草案の積上げをベースに試算すると、2030年に570億トンを程度と見込まれており、約300億トンの追加削減が必要。これには、世界全体で抜本的な排出削減のイノベーションを進めることが不可欠。

○ 「超スマート社会」（Society 5.0）の到来によって、エネルギー・システム全体が最適化されることを前提に、2050年を見据え、削減ポテンシャル・インパクトが大きい有望な革新技術を特定。技術課題を抽出し、中長期的に開発を推進。

⇒ 2℃目標達成に必要な約300億トン超のCO<sub>2</sub>削減量のうち、本戦略で**数10億～100億トンを超の削減**を期待。

※ IEAの試算を基に、設定した技術分野において既に開発・実用が進んでいる技術の削減と合わせた数字

### II. 有望分野の特定

- ① これまでの延長線の技術ではなく、非連続的でインパクトの大きい革新的な技術
- ② 大規模に導入することが可能で、大きな排出削減ポテンシャルが期待できる技術
- ③ 実用化まで中長期を要し、且つ産学官の総力を結集すべき技術
- ④ 日本が先導し得る技術、日本が優位性を発揮し得る技術

#### エネルギーシステム統合技術

○ 革新技術を個別に開発・導入するだけでなく、ICTによりエネルギーの生産・流通・消費を互いにネットワーク化し、デマンドレスポンス（DR）を含めてシステム全体を最適化。AI、ビッグデータ、IoT等を活用。

#### システムを構成するコア技術

- 次世代パワエレ：電力損失の大幅削減と、新たなシステムの創造
- 革新的センサー：高耐環境性、超低電力、高寿命でメンテナンスフリー
- 多目的超電導：モーターや送電等への適用で、電力損失を大幅減

#### 省エネルギー



1 革新的生産プロセス

○ 高温高压プロセスの無い、革新的な素材技術  
 > 分凝膜や触媒を使い、20～50%の省エネ

2 超軽量・耐熱構造材料

○ 材料の軽量化・耐熱化によるエネルギー効率向上  
 > 自動車重量を半減、1800℃以上に安定適用

#### 蓄エネルギー



3 次世代蓄電池

○ リチウム電池の限界を超える革新的蓄電池  
 > 電気自動車が、1回の充電で700km以上走行

4 水素等製造・貯蔵・利用

○ 水素等の効率的なエネルギーキャリアを開発  
 > CO<sub>2</sub>を出さずに水素等製造、水素で発電

#### 創エネルギー



5 次世代太陽光発電

○ 新材料・新構造の、全く新しい太陽光発電  
 > 発電効率2倍、基幹電源並みの価格

6 次世代地熱発電

○ 現在は利用困難な新しい地熱資源を利用  
 > 地熱発電の導入可能性を数倍以上拡大

7 CO<sub>2</sub>固定化・有効利用

○ 排ガス等からCO<sub>2</sub>を分離回収し、化学品や炭化水素燃料の原料へ転換・利用  
 > 分離回収エネルギー半減、CO<sub>2</sub>削減量や効率の格段の向上

分野別革新技術

### III. 研究開発体制の強化

#### 1. 政府一体となった研究開発体制構築

・ 総合科学技術・イノベーション会議(CSTI)が全体を統括し、関係省庁の協力を得て、一体的に本戦略を推進する体制を強化

#### 2. 新たなシーズの創出と戦略への位置づけ

・ 先導的な研究情報の共有等により政府一体となって新たな技術シーズを創出・発掘し、戦略に柔軟に位置づけ  
 ・ ステージゲートを設け戦略的に推進

#### 3. 産業界の研究開発投資を誘発

・ 政府の長期的コミットメントの明示、産業界と研究開発ビジョンを共有  
 ・ 産学官研究体制の構築と、研究成果を切り出して事業化促進  
 ・ 産学官が協力し国際標準化・認証体制を整備

#### 4. 国際連携・国際共同開発の推進

・ G7関連会合やICEF等を活用し、国際連携を主導  
 ・ 国際共同研究開発を推進  
 ・ 途上国、新興国への導入を見据え、国際標準化等の共同作業を模索

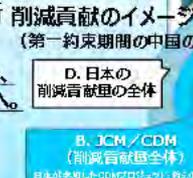
イノベーションで世界をリードし、気候変動対策と経済成長を両立

- ◆ **持続可能な発展**が地球温暖化対策の大目的。地球温暖化防止のためには、**地球全体の温室効果ガス削減**が必要。
- ◆ **2050年80%削減**は、現状及び近い将来に導入が見通せる技術\*をすべて導入したとしても、**農林水産業と2~3の産業しか許容されない水準**。これまでの閉じた対策（国内、業種内、既存技術）で**地球温暖化問題に立ち向かうには限界**。\* 民生：オール電化又は水素利用、運輸：ゼロエミ又はバイオマス燃料への転換、エネルギー転換：再エネ・原子力・CO<sub>2</sub>付火力による電力の100%非化石化等
- ◆ そこで、「国際貢献」、「グローバル・バリューチェーン」、「イノベーション」で**我が国全体の排出量を超える地球全体の排出削減（カーボンニュートラル）に貢献する『3つのゲームチェンジ（『地球温暖化対策3本の矢』）』**を基礎とした『**地球儀を俯瞰した温暖化対策**』を長期戦略の核としていく必要。

## <1> 3つのゲームチェンジ（地球温暖化対策『3本の矢』）

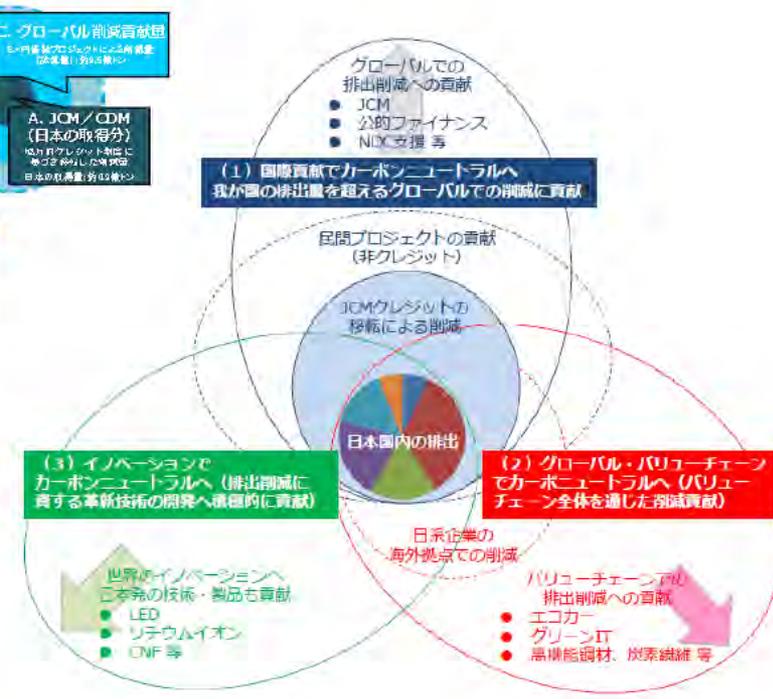
### （1）国際貢献でカーボンニュートラルへ

- ① 我が国は、JCMに加え、ODA、JBIC等の公的ファイナンスを活用して日本の優れた低炭素技術で世界の削減に貢献。しかし、**日本の貢献として定量化されているのは上記のうちJCMのみ**。
- ② 今後、**日本による世界の削減量を定量化し、我が国全体の排出量を超える国際貢献を行い、これを積極的に発信**する。こうした取組を通じて、**各国が貢献量の多寡を競い合う新たなゲーム**へ。
- ③ **中長期の削減ポテンシャル**は、JCMパートナー国を中心とした**アジア、中南米、中東地域の主要排出国10か国を対象とした試算**で、**2030年に約29億トン、2050年に97億トン**。



## 『地球儀を俯瞰した地球温暖化対策』

— 全ての主体（国、企業、個人）がカーボンニュートラルに向け貢献 —



### （2）グローバル・バリューチェーンでカーボンニュートラルへ

- ① 我が国には、**素材、機械、電機・電子、自動車、インフラ等、高度な技術に裏打ちされた高性能（高効率）な製品・サービスを生み出す産業・知的基盤が存在**。
- ② **製品ライフサイクルで見ると、使用段階での排出が大半**を占めており、**素材・製品・サービスの生産部門での削減から、グローバル・バリューチェーンでの削減へと視野を広げることが重要**。
- ③ 我が国の産業界は、既に世界トップクラスのエネルギー効率を実現しているが、**更に低炭素製品・インフラを国内外に普及させることで、2020年度に約10億トン以上、2030年度に約16億トン以上の地球規模の削減に貢献**する。

### （3）イノベーションでカーボンニュートラルへ

- ① 「エネルギー・環境イノベーション戦略」で特定した技術分野を合わせると、全世界で**数10~100億トン規模の削減ポテンシャルが期待される**。
- ② **有望10分野に関するロードマップを作成し、政府一体となった研究開発体制を構築**。
- ③ 新たなプロジェクトの立ち上げの検討や産業界主体の取組を促すべく、産学官連携の下、研究者・技術者間でボトルネック課題の特定を目指すための**新たな場（「ボトルネック課題フォーラム（仮称）」）**を設置。

## <2> 3つのゲームチェンジ（3本の矢を効果的に打つ）にあたっての論点・ファクトの整理、方向性

不確実性（科学、将来社会、国際情勢）と共存する戦略	気候変動をめぐる金融・投資の動き	カーボンプライシング（諸外国の教訓、暗示的コスト）	海外展開のための環境整備
<ul style="list-style-type: none"> <li>● <b>大目的の明確化</b>「持続可能な発展」</li> <li>● <b>強さ</b>「後悔しようのない必須アクションの実施」「将来を見据えた戦略的オプションの追求」</li> <li>● <b>しなやかさ</b>「柔軟性とマイルストーン」「継続的PDCAによるその時々最善策」</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 投資家等の気候変動への関心が向上。気候変動をリスク・機会と捉え、関与する動き（エンゲージメント、グリーンファイナンス）。</li> <li>● 情報開示や対話を通じた<b>企業と投資家等の間での好循環のため、日本の実態に即した取組の検討が必要</b>。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● <b>カーボンプライス</b>：エネルギー本体価格やエネルギー諸税等を合算すると、<b>日本は既に高額なカーボンプライスを負担</b>。</li> <li>● 国際水準との比較や既存施策による措置を考慮すると、現時点では<b>カーボンプライシング施策の追加的措置は必要</b>な状況にない。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● <b>低炭素技術の国際競争力強化</b>：海外実証・制度整備等による切れ目ない支援、IoTを活用した排出削減プロジェクト</li> <li>● <b>官民でのグローバル市場獲得</b>：CCSを軸とした産油国等との二国間協力、途上国のNDC達成支援</li> </ul>

# 長期低炭素ビジョン(全体概要)

現状

## 気候変動問題

気候変動は科学的事実。パリ協定において今世紀後半までに世界全体で排出量実質ゼロに合意。我が国は2030年度に26%削減を達成し、2050年までに80%削減を目指す。

## 経済・社会的諸課題

人口減少・過疎化、高齢社会、経済再生、地方の課題、国際社会における課題といった諸課題への対応

理念を持って取組む必要

## 我が国の役割

気候変動対策をとおして、人類の存続の基盤である環境を**将来世代へ引き継ぐ**とともに、国際社会の**持続可能な成長に寄与し、国際社会から期待され、信頼される国**となる。

## 我が国が目指すべき将来像

気候変動問題と経済・社会的諸課題の**同時解決に取り組む**、**世界に先駆けて**大幅削減と豊かさを同時に実現する**課題解決先進国**となる。

## 気候変動問題をきっかけとした経済・社会的諸課題の「同時解決」

国内対策に加え世界全体の排出削減へ貢献する日本

長期大幅削減の鍵はイノベーション  
(技術、経済社会システム、ライフスタイル)

取組むべきときは「今」

目指す到達点

パリ協定を踏まえ、2050年80%削減を目指す

①省エネ、②エネルギーの低炭素化、③利用エネルギーの転換(電化、水素等)

国民の生活(家庭、自家用車)  
炭素排出ほぼゼロ

産業・ビジネス  
脱炭素投資、低炭素型製品・サービス  
による国内外の市場獲得

エネルギー需給  
低炭素電源9割以上

地域・都市  
コンパクト化、  
自立分散型エネルギー

目指す姿の実現へ

①既存技術、ノウハウ、知見の最大限の活用、②新たなイノベーション創出・普及 ← ③有効なあらゆる施策の総動員

政策の方向性

カーボンプライシング(炭素の価格付け)

市場の活力を最大限活用。低炭素の技術、製品、サービス等の市場競争力の強化。イノベーションの加速化に向けた市場環境を整備。

環境情報の整備・開示、規制的手法、革新的な技術開発の推進・普及、土地利用、世界全体の排出削減への貢献等

長期大幅削減に向けた  
着実な取組の推進

累積排出量の観点も含めて  
進捗状況を点検

※カーボンプライシングをはじめ、いくつかの施策の方向性については異なる意見もあった。

基本的な考え方

絵姿

政策の方向性

# Carbon Pricingについて

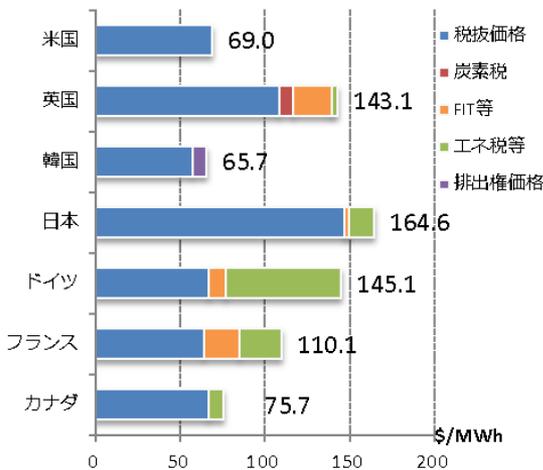
## ・ビジョン(環境省)の考え方:

市場活力を最大限活用、低炭素技術・製品・サービスの競争力強化、イノベーションの加速

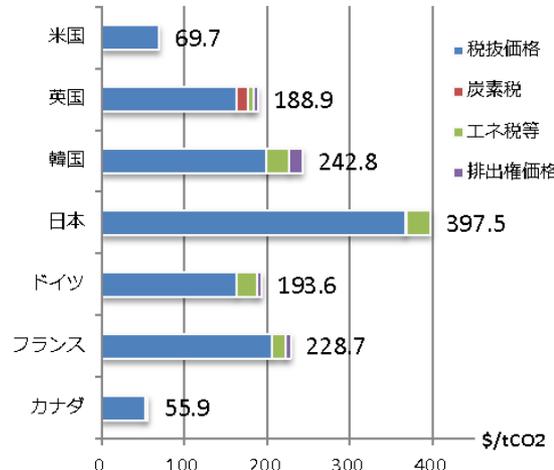
## ・プラットフォーム(経産省)の考え方:

エネルギー諸税等を合算すると既に相当なカーボンプライスを負担済、国際協調が不可欠

<各国間のカーボンプライス比較>  
産業用電力



産業用天然ガス



地球温暖化対策税(2016年度以降):  
289円/t-CO<sub>2</sub> (税込:約2600億円)

エネルギー諸税合計:約4000円/t-CO<sub>2</sub>

FIT賦課金(販売電力分)(2017年度):  
約4800円/t-CO<sub>2</sub> (賦課金総額:2.1兆円)  
(左図は(おそらく)2013年度のFIT賦課金)

**Carbon pricing:** 炭素税、排出権取引、+ implicit、internal;  
相対価格変化、財源; MAC

注:電力については、各国で電源構成が大きく異なるため、MWhあたりの負担を比較している。

出所:長期地球温暖化対策プラットフォーム報告書(概要版)

# 長期削減戦略の課題

山地憲治 by Kenji YAMAJI

## 不確実性への対応

- ・気候変動の科学的な不確実性は解消されていくのか？
- ・国際政治状況の不確実性の下でどう国際枠組みを維持していくのか？
- ・CO<sub>2</sub>の環境コスト(米国のSCC)は政策に使えるほど信頼できるものか？

## イノベーションの推進と普及

- ・長期的な技術開発の展開・維持(資金、人材)の戦略は？
- ・社会イノベーション(超スマート社会)の推進をどう進めるのか？
- ・イノベーションの国際展開の仕組みは？

## グローバルな実効性確保

- ・SDGsの中での地球温暖化対策の位置づけは？
- ・炭素漏洩にどのように対処すべきか？
- ・わが国の国際貢献(技術・製品等)をどのように評価すればよいのか？
- ・理論的に優れるカーボンプライシングの国際展開はどうすればよいのか？

**ご清聴ありがとうございました**

**Thanks for your attention**



**公益財団法人 地球環境産業技術研究機構 (RITE)**  
**Research Institute of Innovative Technology for the Earth**