

# 長期地球温暖化対策におけるイノベーションの役割

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

## 革新的環境技術シンポジウム2017

～温暖化対策の長期戦略を支える革新的技術の開発推進～

2017年12月6日

@伊藤謝恩ホール、東京大学

# 最近の我が国のエネルギー環境政策の動向

## 電力・ガス システム改革

広域機関創設  
(電力、2015年)

電力の小売り  
全面自由化  
(2016年)

ガスの小売り  
全面自由化  
(2017年)

送配電部門の  
法的分離  
(2020年)

導管部門の法的  
分離  
(2022年、ガス  
大手3社)

総合資源エネルギー調査会:

**第4次エネルギー基本計画**(2014年4月閣議決定)

2017年夏より改定に向けて始動

長期エネルギー需給見通し小委員会(2015年7月)

COP21に向けた  
約束草案決定  
(2030年の温暖  
化対策目標)

**エネルギー革新戦略**(2016年4月)

第5期科学技術基本計画

パリ協定採択  
(2015年12月)

2016年11月発効

ガスの小売り  
全面自由化  
(2017年)

**エネルギー・環境イノベーション戦略**  
(NESTI2050, 2016年4月)

**地球温暖化対策計画**(2016年5月)  
(中環審・産構審合同会議)

送配電部門の  
法的分離  
(2020年)

(内閣府:総合科学技術・イノベーション会議)

**NESTI2050推進WG中間報告**  
(ロードマップ、2017年9月)

**長期温暖化対策  
プラットフォーム**  
(2017年4月)

**長期低炭素  
ビジョン**  
(2017年3月)

パリ協定の詳細制度決定  
(COP24, 2018年)?

長期低排出発展戦略の策定・報告  
(2019年)?

# 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

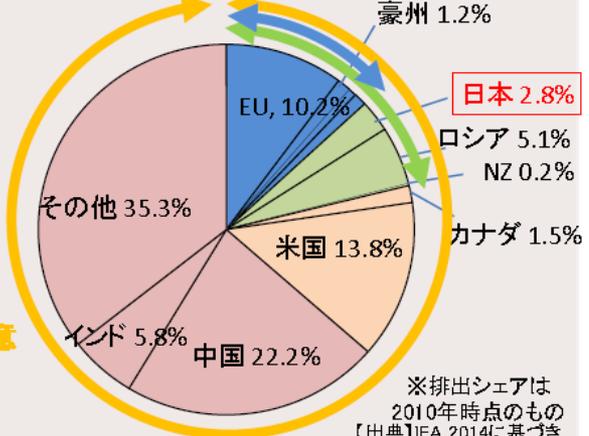
【京都議定書】



【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)

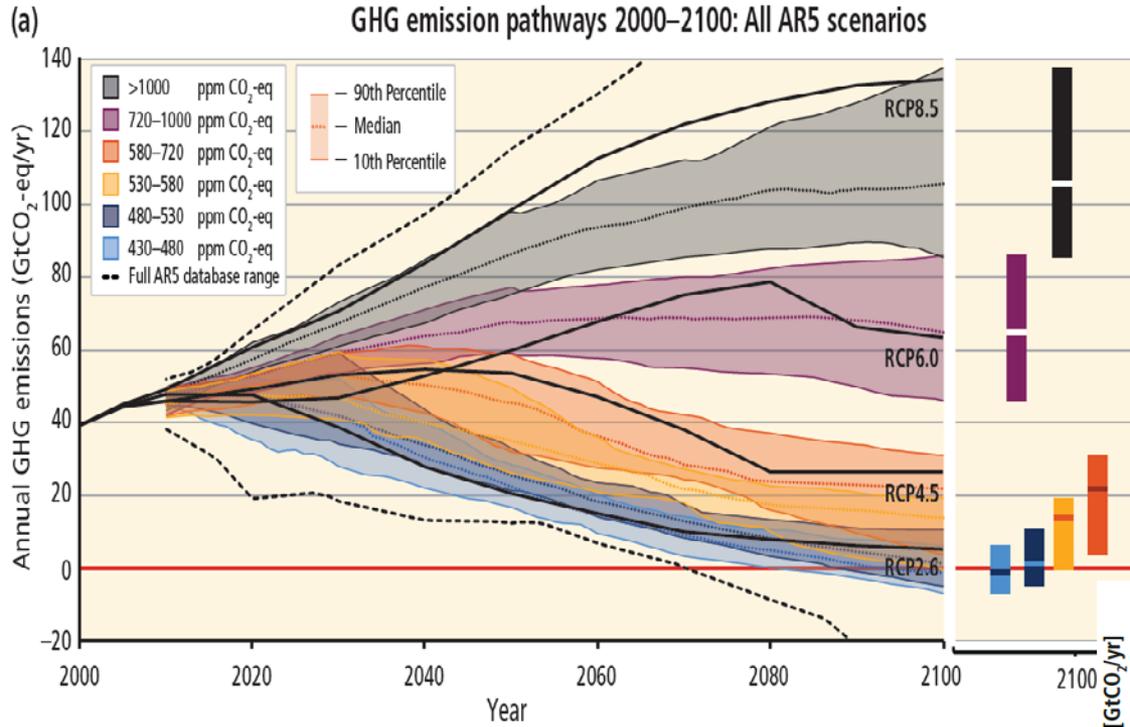
<GDP1ドルあたりの排出量(原単位)>

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。

# IPCC WG3 AR5における長期排出シナリオ評価



出典) IPCC AR5 統合報告書

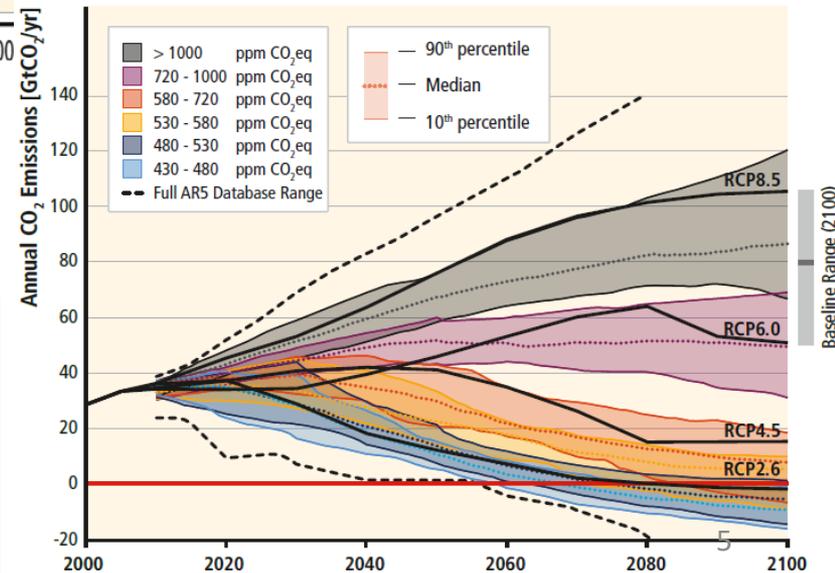
+2°C (>66%) ≙ 450 ppm CO<sub>2</sub>eq  
 +2°C (>50%) ≙ 500 ppm CO<sub>2</sub>eq

(いずれも2100年時点での気温、実現確率、濃度。なお、気候感度が2.0~4.5°Cがlikely、最良推定値が3.0°C程度の場合)

出典) IPCC WG3 AR5

450 ppm CO<sub>2</sub>eq (430-480)および500 ppm CO<sub>2</sub>eq (480-520)シナリオでは、CO<sub>2</sub>排出量は2100年に負の排出、GHGはほぼゼロ。550 ppm CO<sub>2</sub>eq (520-580)シナリオでは、CO<sub>2</sub>排出量は2100年にゼロ前後、GHG排出量は0~20 GtCO<sub>2</sub>eq/yr程度が求められる。

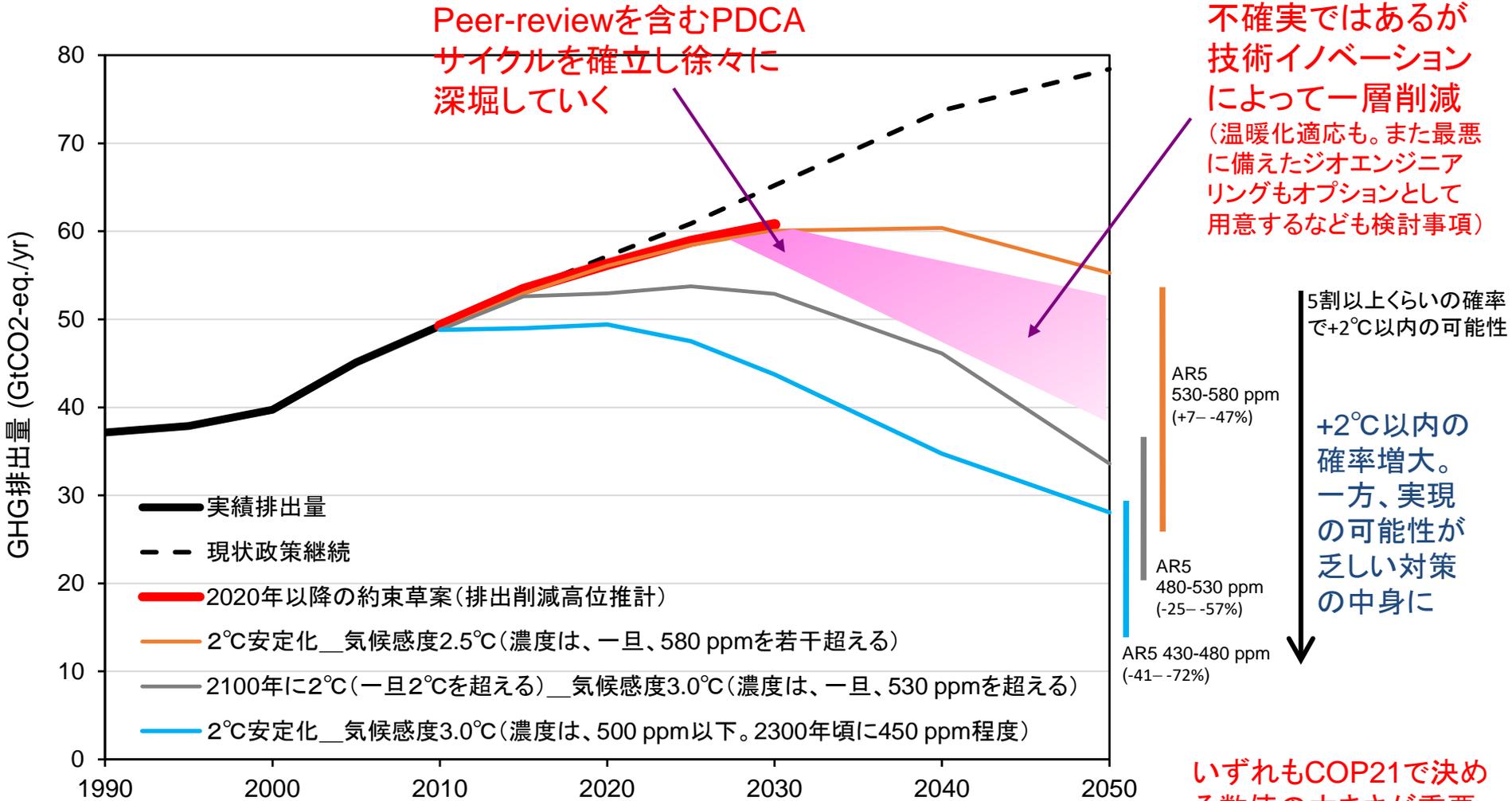
Total CO<sub>2</sub> Emissions in all AR5 Scenarios



# 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目標の排出経路（気候感度の不確実性含む） と約束草案見通し

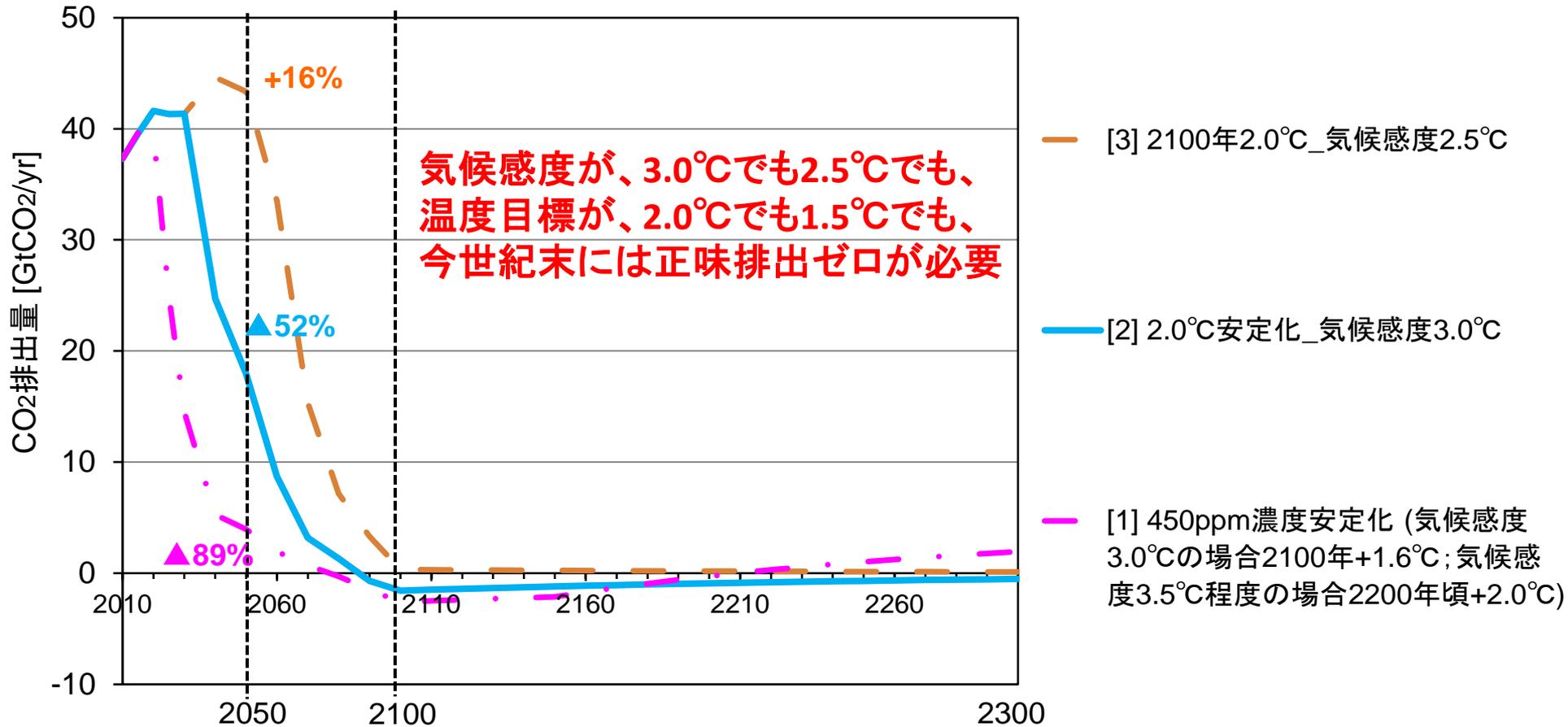


RITEによる推計。約束草案は、日、米、EU、露、中国、メキシコ、ノルウェー、スイス、カナダを考慮

約束草案は、気候感度3°Cを想定した場合、2°C目標と大きなギャップ有。  
しかし、気候感度2.5°Cの場合は、2°C目標とかなり整合的。

いずれもCOP21で決め  
る数値の大きさが重要  
ではなく、将来排出削減  
を誘発できるような枠組  
みを作ることの方が重要

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



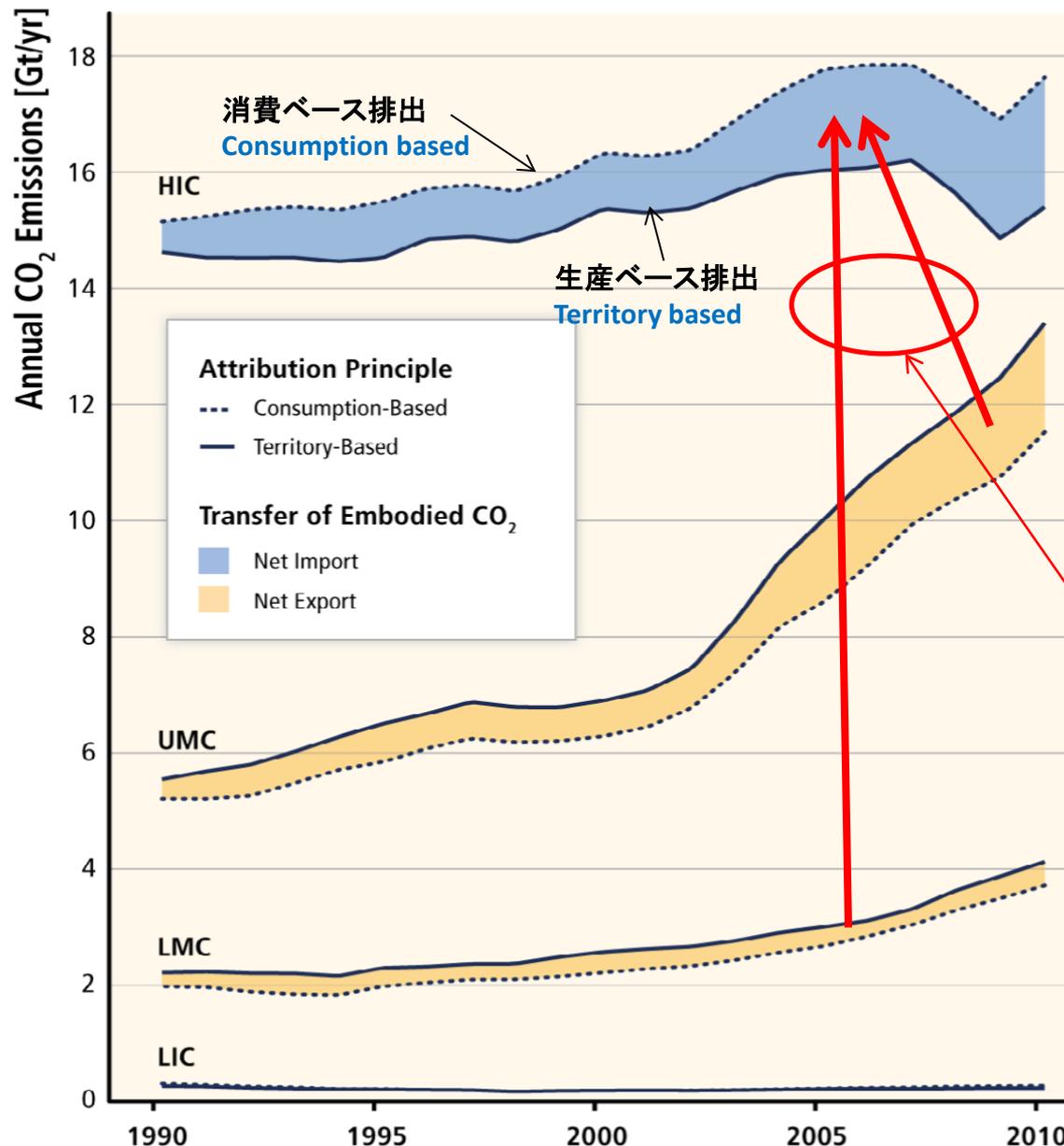
出典)MAGICC、DNE21+を用いてRITEにて試算

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)

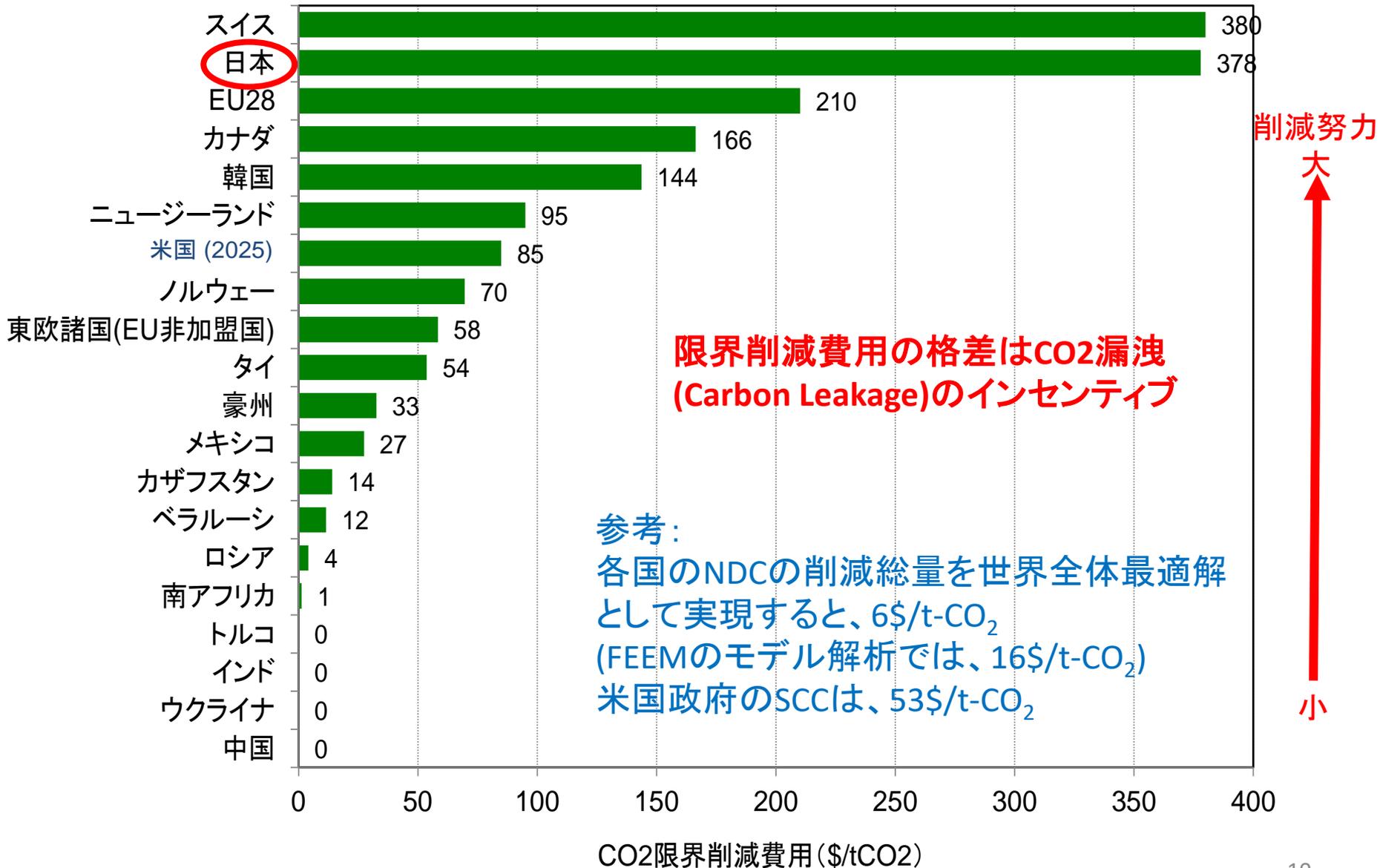
**高中位所得国 (UMC)**  
(\$4,086 to \$12,615)  
(中国、ブラジル、イラン、マレーシア、南アなど)

**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



# 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

**Integration of Energy and ICT** ← **Super Smart Society (Society 5.0)**  
IoT, AI, Big Data, Blockchain, Smart sensor, ...

Mobilize demand side **DR, V2G, VPP, etc.**      Social system reform: material producer → service provider, etc.  
→ utilization rate up, recycle up, long life, etc.  
Reduced material demands, Behavior change, etc.

**Revolutionary Energy Saving** through  
Electrification and Digitalization of Energy  
(EV, PHEV, FCV, Heat Pump, .....

**Carbon Free Power Source:**  
Renewables, Nuclear,  
Fossil Fuel with CCS

**Energy Storage**  
Battery, PtX...

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

**Carbon Free Fuel:**  
Biomass, Fossil Fuel  
with CCS, etc.

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

Power sector will be requested to be **negative emission** in Global Net Zero Emission Scenarios:  
**BECCS**(Bioenergy+CCS) should be comparatively evaluated with other options such as **afforestation**, **CO<sub>2</sub> use**, **geoengineering** (DAC, (SRM) ...), etc.

↔ **SDGs**

**Keep Options as many as Possible!**

# エネルギー・環境イノベーション戦略(NESTI2050)で特定した有望分野

- ①これまでの延長線の取組ではなく、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日本が先導できる技術、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て、デマンドレスポンス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

分野別革新技術

### 省エネルギー



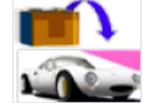
1 革新的生産プロセス

○高温高圧プロセスの無い、革新的な素材技術  
 > 分離膜や触媒を使い、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

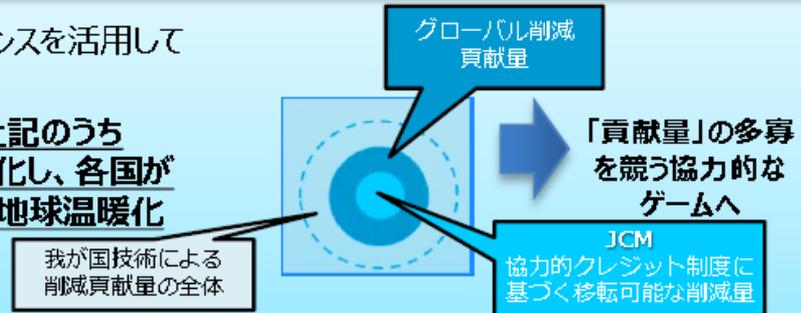
7 CO<sub>2</sub>固定化・有効利用

○排出されるCO<sub>2</sub>を分離し、CO<sub>2</sub>利用産業を実現  
 > 分離コスト半減、有効利用する量や効率の飛躍的向上

# 長期地球温暖化対策プラットフォームの要点(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。
- ②しかし、日本の貢献量として見える化されているのは上記のうちJCMのみ。今後、日本の世界の削減貢献量を見える化し、各国が貢献量の多寡を競うことで、世界の削減を最大化し、地球温暖化問題の本質的な解決に結びつけていくべき。



## (2) 製品ライフサイクル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・製品の製造部門での削減から、製品ライフサイクル（バリューチェーン）全体を通じた削減へと視野を広げることが重要。
- ③競争力ある産業の業種を超えた連携は、革新的な技術・解決策を生み、社会的課題解決の原動力となる。

(製品ライフサイクルでの排出量イメージ)



## (3) イノベーションでカーボンニュートラルへ

- 「エネルギー・環境イノベーション戦略」における海外削減ポテンシャル
- 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として、「エネルギー・環境イノベーション戦略」で選定された革新技术分野に関して、我が国としても積極的に技術開発を進め実用化を図り、ODA等による海外での普及や民間企業による製品ライフサイクル等を通じた排出削減を目指す。

# 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

# 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

# Carbon Pricingについて

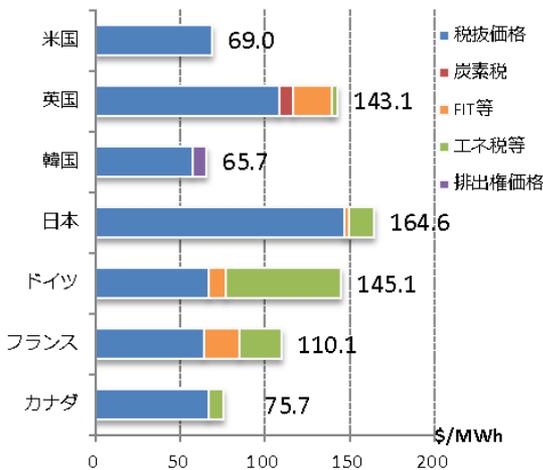
## ・ビジョン(環境省)の考え方:

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

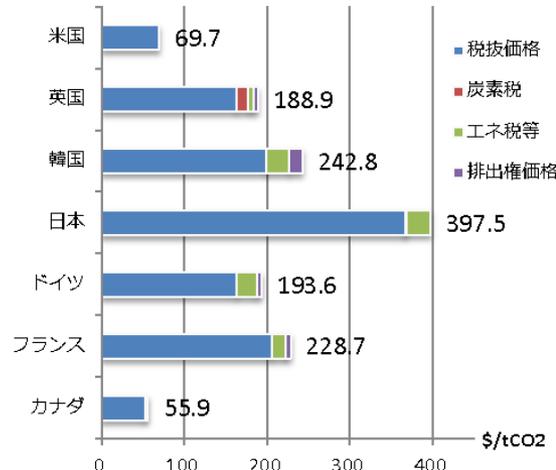
## ・プラットフォーム(経産省)の考え方:

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)

# イノベーション創出に向けての課題

(NESTI2050推進WG中間報告より)

## ・政府一体となった研究開発体制の構築:

- ー 共通基盤技術 (IoT、AIなど) を活用する体制の構築
- ー 中長期的な研究に特化した予算の確保

## ・新たなシーズの創出:

- ー オープンイノベーション (シーズ、社会実装、人材開発・活用) の展開
- ー チャレンジの支援とPDCA

## ・産業界の研究開発投資の誘発:

- ー 時間軸に応じた官民役割分担
- ー ビジョンの共有 (ソサエティ5.0など)
- ー 比較的短期で企業が活用可能な派生技術の展開
- ー ボトルネック課題の明確化

## ・国際連携・国際共同開発の推進: ICEF、ミッションイノベーション等

## ・具体的な動き:

- ー SIP (戦略的イノベーション創造プログラム): 次世代パワエレ、革新材料、エネキャリア
- ー PRISM (官民研究開発投資拡大プログラム): サイバー空間基盤、センサーなど
- ー NEDO未踏チャレンジ2050とJST未来社会創造事業の連携 → 新たなシーズの創出

気候変動問題のリスクを受け止め、  
グローバルで長期的な視点から、  
CCSやバイオリファイナリー等の技術開発、  
さらには、政策分析などを通して、  
正味ゼロエミッションを目指し、**RITE**は、  
技術と社会のイノベーションを推進します。

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