

ALPS国際シンポジウム

東京国際フォーラム

2014年2月4日

---

# 不確実性を踏まえた 気候変動対応の総合戦略

---

(公財)地球環境産業技術研究機構(RITE)

システム研究グループ グループリーダー

秋元 圭吾



1. はじめに
2. 気候変動リスク管理戦略のあり方
  - 気候変動影響とその不確実性
  - 気候変動緩和費用とその不確実性
  - 気候変動リスク管理戦略のパッケージ例
3. グリーン成長実現に向けた革新的技術開発
  - 環境エネルギー革新技術計画
  - 水素の分析例ー未利用褐炭の活用とグリーン化ー
4. まとめ



- ◆ 京都議定書は事実上終焉
- ◆ 2015年のCOP21に向けて、すべての国が参加する2020年以降に関する新たな枠組み構築：COP21前までに、すべての国に排出削減案の提出を要請
- ◆ 気候変動による損失、被害、適応、そのための資金といった課題への対処も議論されてきている。



- ◆ 京都議定書の排出削減効果は極めて乏しかった。これを政治的意思が欠如していたとか、産業界の努力不足やロビー活動といった理由にしてはいけない。そもそも根本的な問題点を有していたと考えるべき。さもなければ、同じ過ちを繰り返し、温暖化抑制に寄与しない。
- ◆ 世界全体の排出許容量を定め、それを各国に割り振るような方法は、気候変動問題への対処方法として良いやり方なのか。
- ◆ 気候変動への適応も含めた総合的なリスク管理をいかに考えるべきか。

持続的に温暖化対策を行うには成長を阻害しないことが重要であり、グリーン成長が追求されなければならない。

## A. 市場の失敗への対応による成長の可能性

- ① 環境外部費用(温暖化影響被害費用)の内部化。適正レベルを見極めることが重要
- ② 技術普及: 技術導入・普及への障壁の除去による省エネ促進。ただし、スマートメーターはじめとして、多くは技術の革新とも関連
- ③ 研究開発: グリーン技術革新への公的支援。新技術の芽を摘まない公的支援策が重要

## B. 政府の失敗への対応による成長の可能性

- ④ 既存制度の見直し: 環境破壊的な補助金の除去。不適當な規制、非効率な環境政策補助金の除去など

## C. 未利用資源の活用による成長の可能性

- ⑤ 未利用資源の活用: シェールガスや褐炭の水素化など、未利用資源(人的資源も含めて)の有効利用。ただし、多くは技術の革新とも関連

## **2. 気候変動リスク管理戦略のあり方**

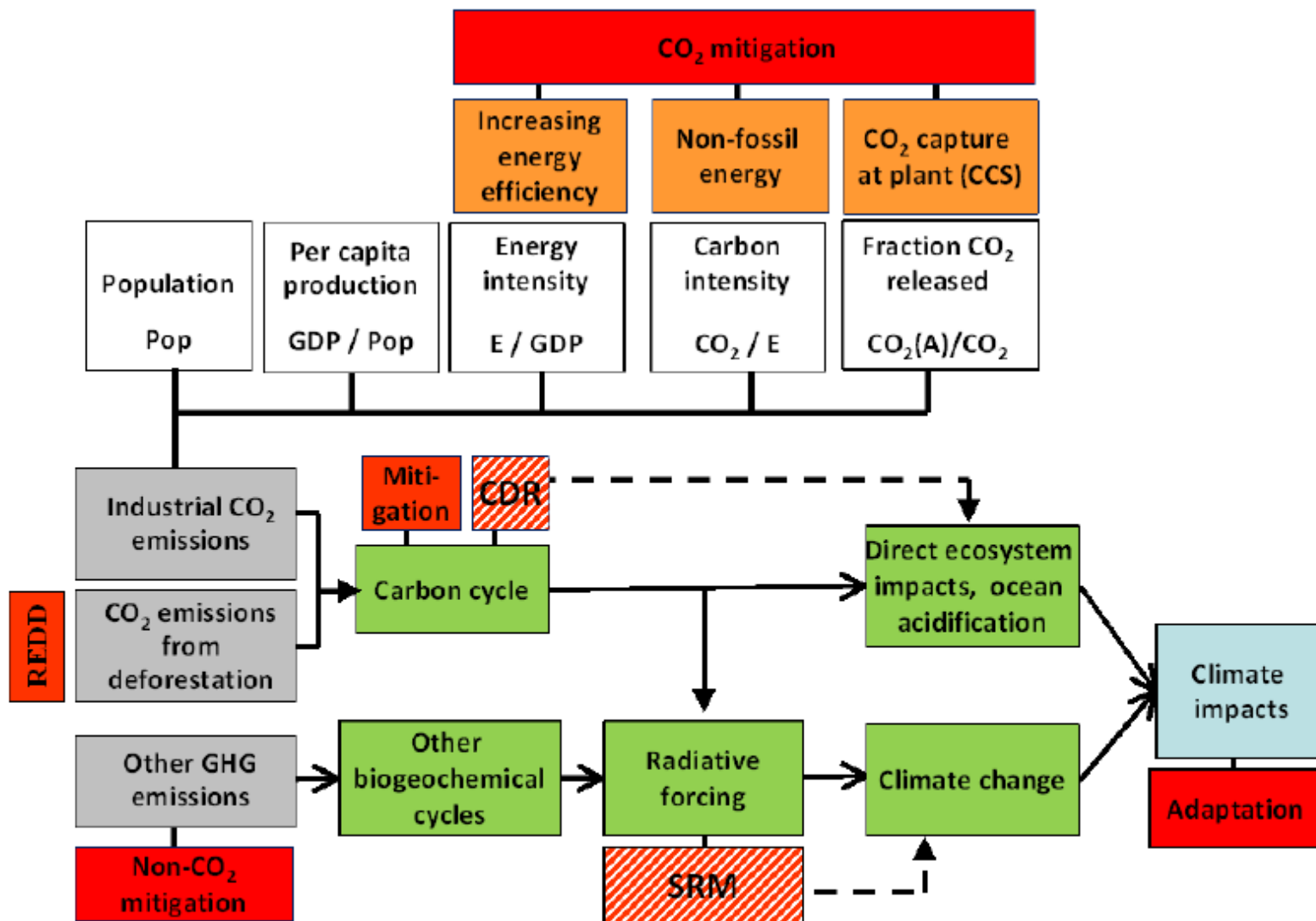
# 気候変動リスク管理に関する論点

- ◆ 温暖化緩和策をとり過ぎても、またとらなさ過ぎても、リスクは増大すると考えられ、地球温暖化に対する適切な対応方針が求められている。
- ◆ 緩和策のみならず、適応策、またジオエンジニアリングも議論に上ってきており、総合的な対応策の検討が重要
- ◆ 地球温暖化関連の不確実性は様々で大変大きく、不確実性下での意思決定が重要
- ◆ 不確実性を定量的に評価することも困難な面があり、しかしながら、そのような状況下でも、より妥当と考えられる対応戦略の立案が必要



- ◆ 不確実性下の地球温暖化戦略を考える上での論点を整理。いくつかの戦略パッケージの候補も整理

# 気候変動対応の方策



出典: IPCC (2012) geoengineering expert meeting report

ただし、適応についても社会  
経済環境は大きく影響



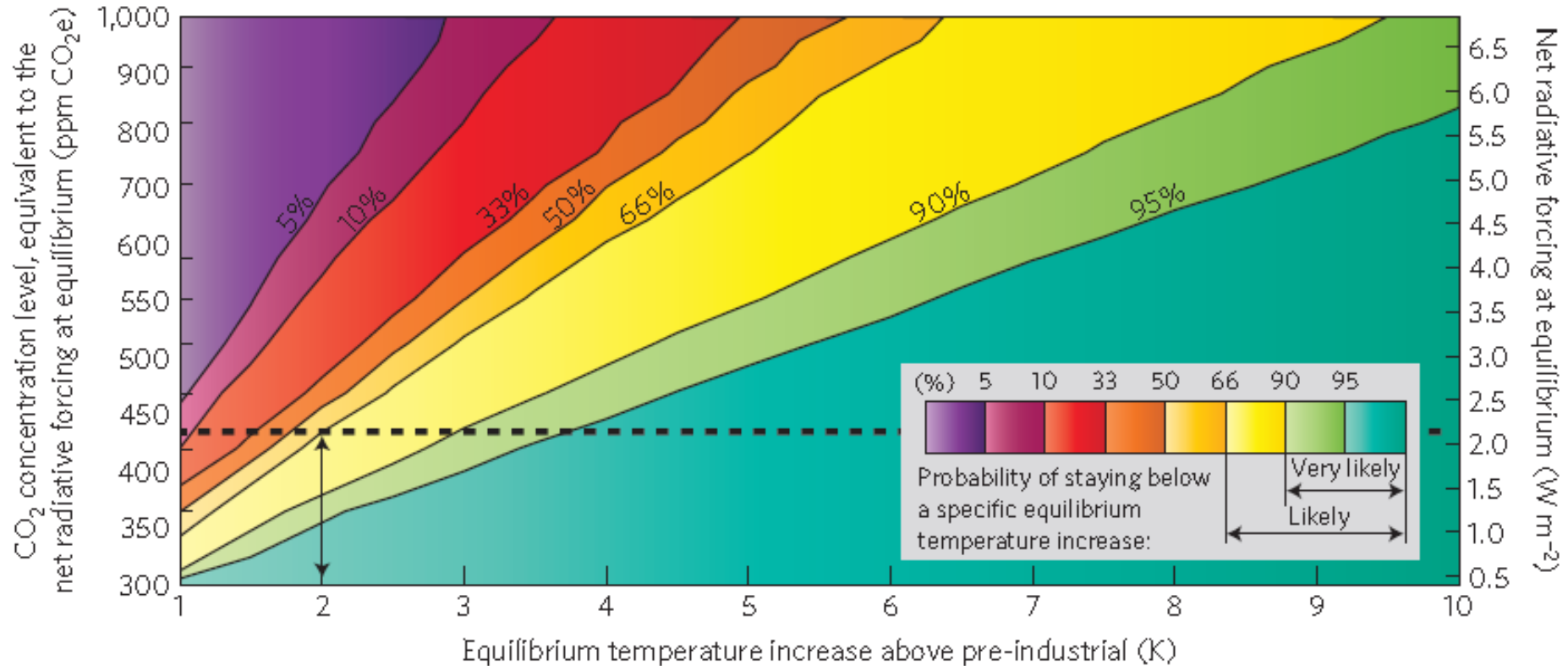
# 地球温暖化問題の留意事項(1/2)

- ◆ 温暖化影響被害の費用算定が容易ではなく、完全な費用便益分析が困難（IPCCでは第3次評価報告書以降、あまり大きく取り上げられていない）
- ◆ エンドポイントが不明瞭（価値判断不可避。専門家、一般市民ともに考え方に大きな差が）。ただしtipping pointの指摘もあり。Type 1 (abrupt climate change)とType 2 (連続的な事象)とに区分する考え方の提案もなされてきたこともある。
- ◆ ただし、仮にエンドポイントを決められたとしても、不確実性の幅が大きく（確率密度関数もわからない：気温上昇と温暖化影響被害の関係のみならず、濃度と気温上昇の関係でさえ不確実）、そこから逆算して求められる許容排出量には大きな幅が生じる。
- ◆ イナーシャが大きく、影響が予想以上に大きく顕在化したときに、緩和策での対応が困難な可能性も。一方、適応の余地が大きい可能性も。また、ジオエンジニアリング（SRM）のオプションを有することによって、ある程度対応できる可能性も。

- ◆ 世界1国政府を仮定したときの望ましい気候変動対応戦略と、各国の望ましい気候変動対応戦略が通常合致しないため、それを前提としたときの対応戦略のあり方も検討課題
- ◆ 温暖化影響被害（気候感度を含む）の不確実性については強調がなされ、安全サイドで考えるべきとの主張がなされることも多いが、世界協調しての排出削減への取り組み度合い、技術の利用可能性やコストの見通し、必ずしも効率的な政策がとれないこともあり、温暖化緩和費用についても不確実性が大きい。こういったときに、排出上限を決めて、費用効率性分析に頼った政策立案方法は良い戦略と言えるのか？
- ◆ また、温暖化影響被害の非可逆性が指摘されることも多い。しかしながら、現実には、温暖化緩和政策の非可逆性もある（一旦導入された制度は、費用対効果が現実には良くないとわかったとしても、なかなか止めることができない）。

# 気候変動影響とその不確実性

# CO<sub>2</sub>濃度と平衡気温の関係の推計



出典) Rogelj et al., Nature Climate Change, 2012

## CO<sub>2</sub>濃度の「安定」を想定したときの平衡気温との関係

このとき、50%程度の確率の場合(ただし実際には相当不確実)、450 ppm CO<sub>2</sub>-e≒産業革命以前比2°C上昇。しかし、90%程度の確率を求めれば、350 ppm CO<sub>2</sub>-e程度が必要に。

# 気候感度の評価

- ◆ 平衡気候感度（温室効果ガス濃度が倍増（例えば産業革命以前の275 ppm CO<sub>2</sub>eqから550 ppm CO<sub>2</sub>eqに）し、その濃度で安定化したとき、最終的に到達する気温上昇幅）の修正

第3次評価報告書まで 1.5~4.5°C（最良推定値：2.5°C）



第4次評価報告書 2.0~4.5°C（最良推定値：3.0°C）



第5次評価報告書 1.5~4.5°C（最良推定値：合意なし）

1°C以下：extremely unlikely、6°C以上：very unlikely

**【第4次報告書よりも下方に修正】**

**気候感度だけをとっても簡単には不確実性が小さくならない！**

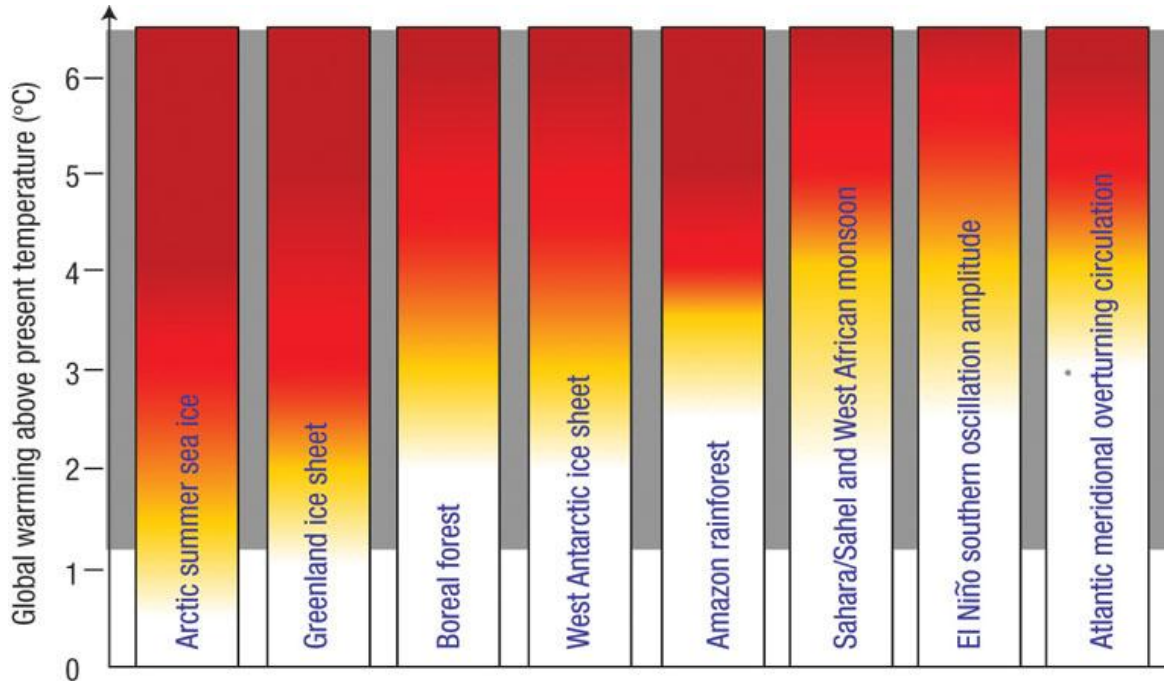
- ◆ 過渡的気候応答（Transient Climate Response: TCR、温室効果ガス濃度を年率1%ずつ上昇させ、濃度が2倍になったとき（約70年後に550 ppm CO<sub>2</sub>eq）の気温上昇幅推計）の強調

TCR 1.0~2.5°C      3°C以上：extremely unlikely

**【平衡気候感度よりもかなり低い】**

# Tipping elementからのアプローチ

- ◆ T.M. Lenton, H.J. Schellnhuber, Tipping the scales, nature reports climate change (commentary), 2007
  - ある閾値を超えると、不連続的で大規模な影響を引き起す可能性があると考えられる地球システム要素 ‘Tipping element’ と、その閾値を提示。
  - 気候政策の観点から、(i)今世紀中に閾値に到達する、(ii)その後千年以内に異なる性質の状態になる、(iii)影響が百万人単位の人に及ぶ、可能性のあるものを抽出



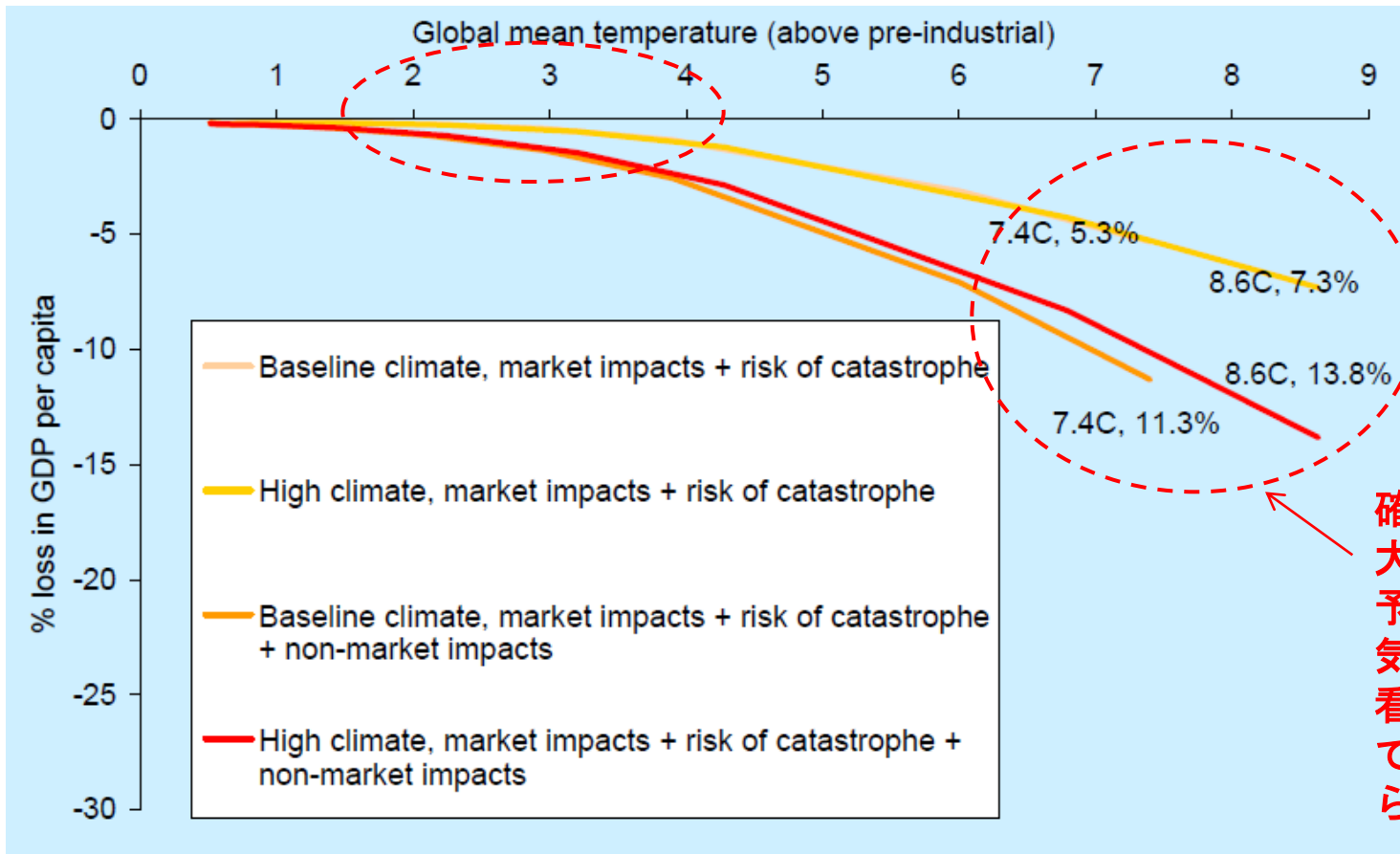
\* 図左から、  
北極の夏季海氷(損失)  
グリーンランド氷床(融解)  
北方林(植生割合減少)  
西南極氷床(融解)  
アマゾン熱帯雨林(植生割合減少)  
サハラ/サヘル、西アフリカモンスーン地域  
(植生割合増大)  
エルニーニョ・南方振動(振幅増大)  
大西洋熱塩循環(減速)

\* 黄～赤: 閾値の上限  
白～黄: 閾値の下限

仮に、個別要素について、全球平均気温上昇の閾値がおおよそ推計できたとしても、その影響の大きさについては分かっていないものも多い。ゆえに、Tipping elementとしてこれらを特定し、トリガーとなる気温の閾値を基に、気候リスクマネージメント戦略を立案するのが適しているのか、疑問が生じる。

# Stern Reviewにおける温暖化影響被害推計

実際の気候マネージメント  
はせいぜいこの範囲



確かにこのような  
大きな経済影響が  
予想されるような  
気温上昇はとても  
看過できず、断じ  
て避けなければなら  
ないが・・・

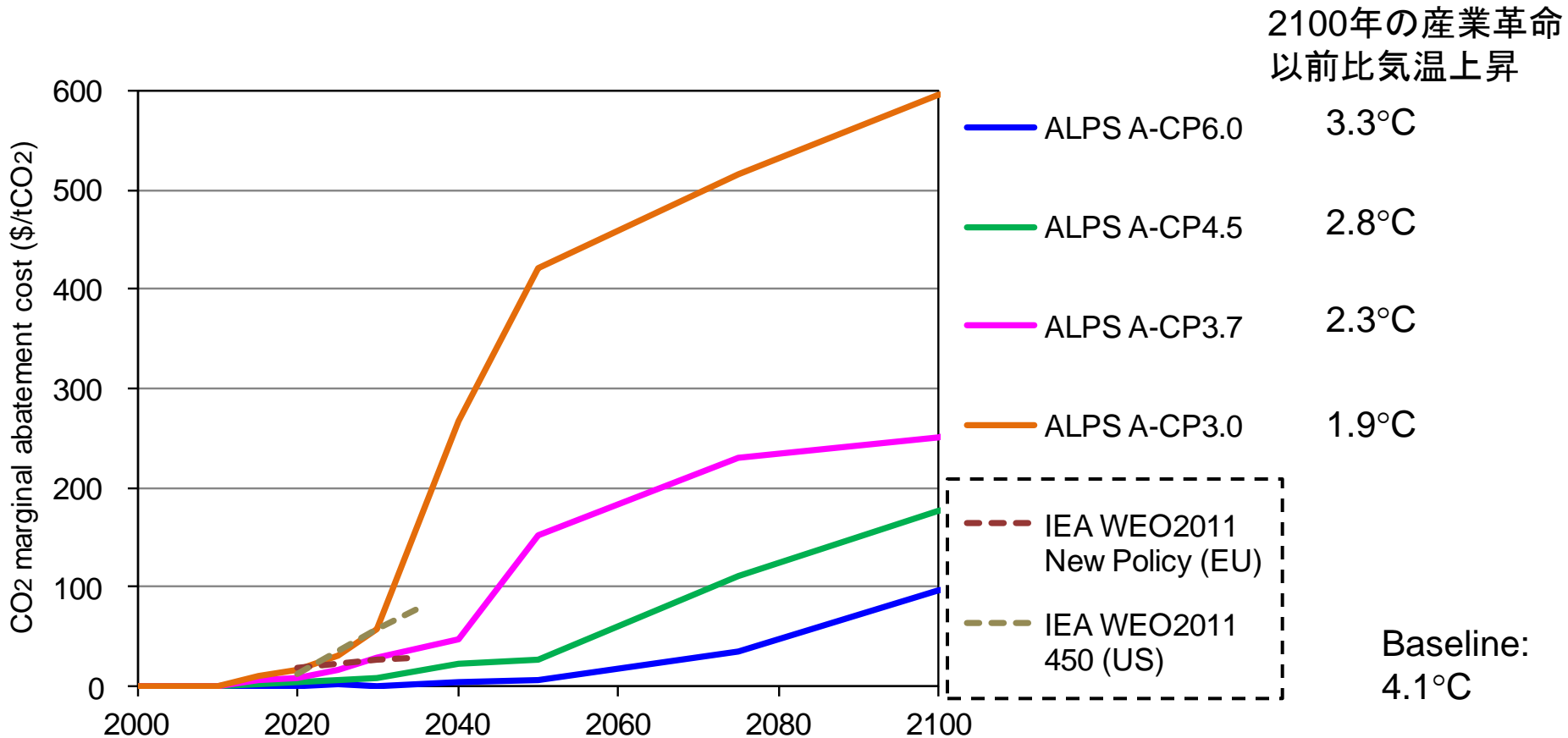
出典：N. Stern, The Economics of Climate Change - The Stern Review, 2006

Sternは非市場の温暖化影響被害までかなり大きく推計しているが(図中赤線)、それでも1°Cの気  
温変化でGDP影響を緩和できたときの便益はGDP比で1%程度

# 気候変動緩和費用とその不確実性

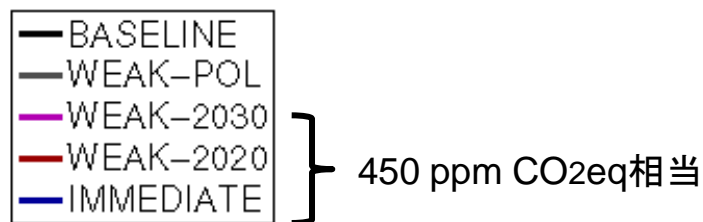
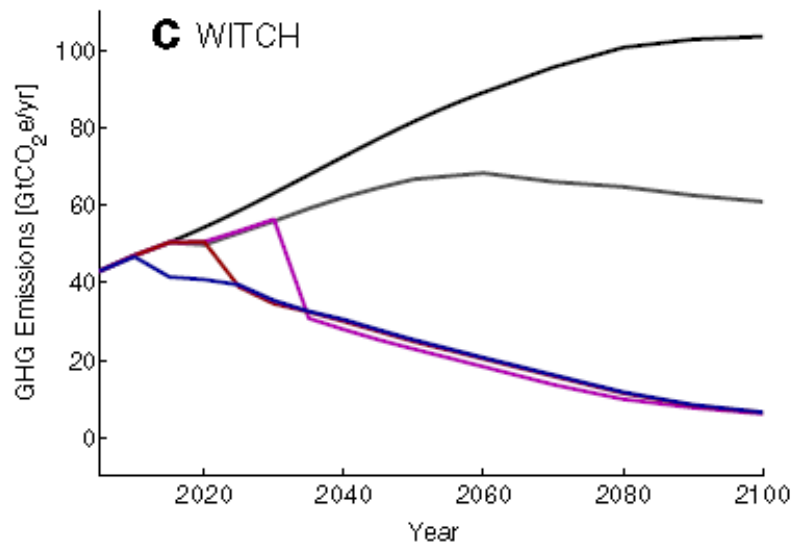
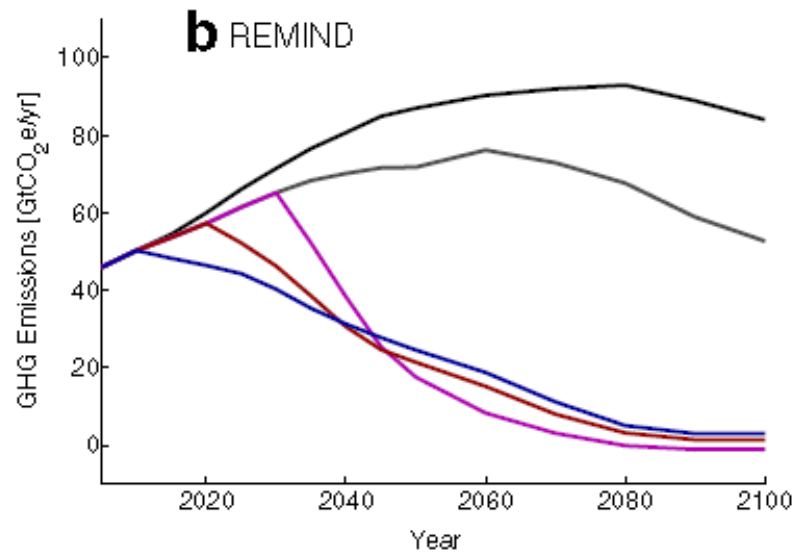
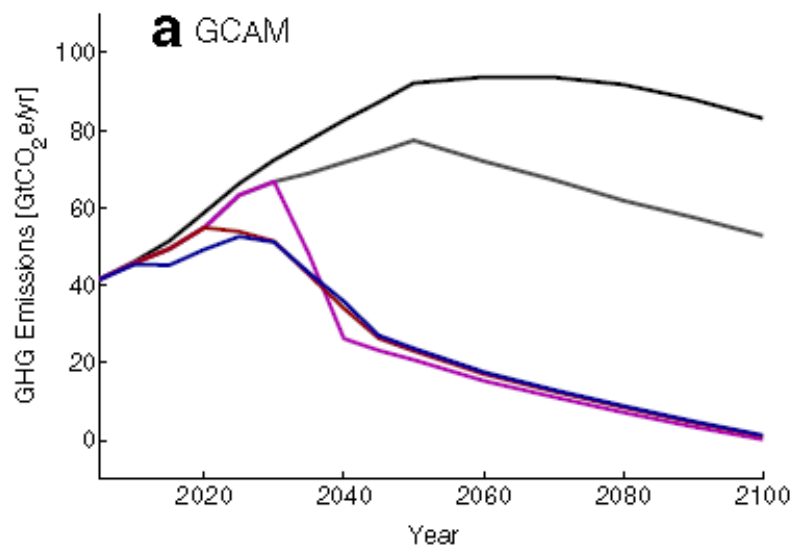


# 排出削減レベル別のCO<sub>2</sub>限界削減費用



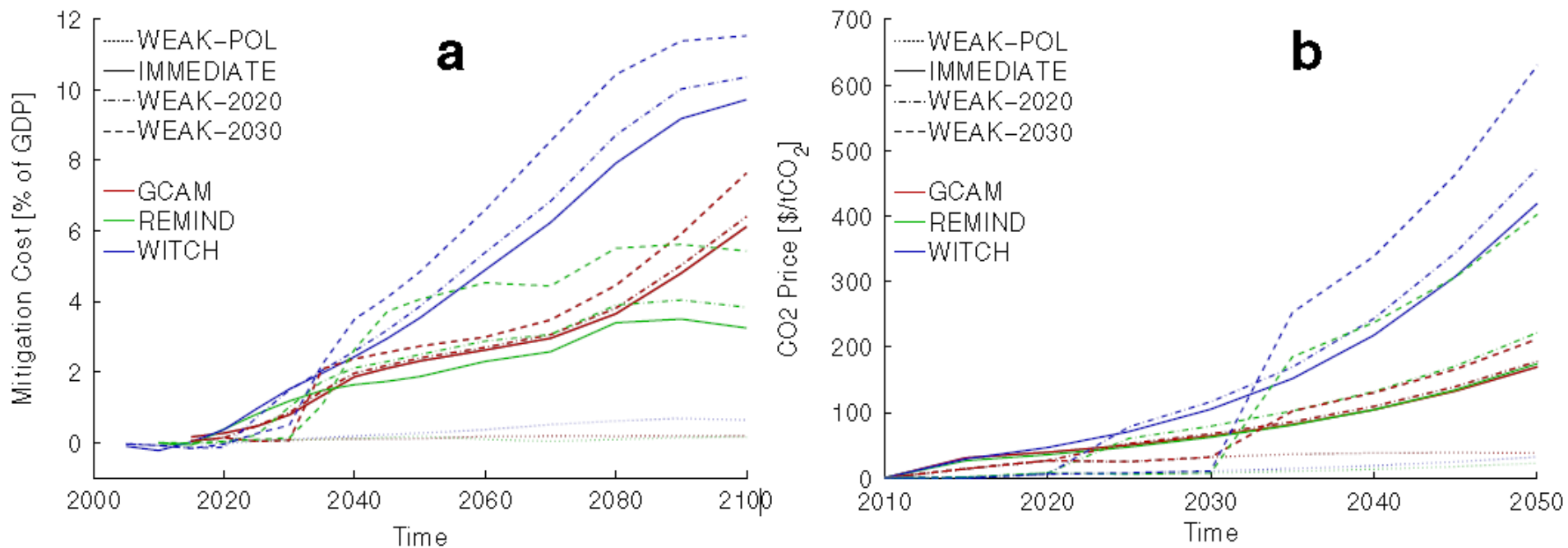
**RITE ALPS CP3.0 (450 ppm CO<sub>2</sub>eq.、産業革命以前比2°C以内に抑制)シナリオでは相当な技術進展、革新的技術のコスト低減を見込んではいるものの、それでも、特に2040年以降、相当高い限界削減費用が必要と推計される。**

# 国際モデル比較プロジェクトRoSEにおける 排出経路の想定



Source: G. Luderer, et al. Climatic Change, 2013  
(国際モデル比較プロジェクトRoSE特別号論文)

# 国際モデル比較プロジェクトRoSEにおける 温暖化緩和コスト推計



Source: G. Luderer, et al. Climatic Change, 2013 (国際モデル比較プロジェクトRoSE特別号論文)

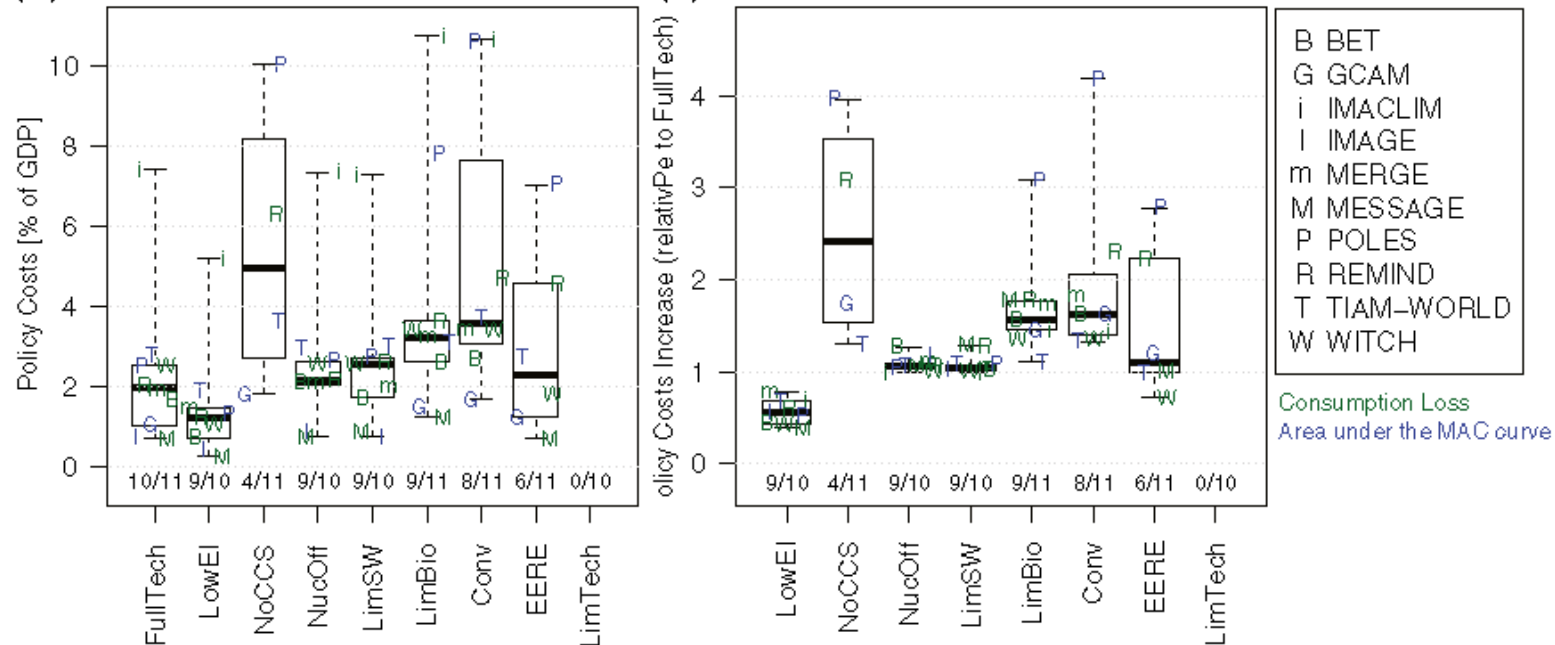
**450 ppm CO<sub>2</sub>eqのための排出削減の場合、WITCH (FEEMのモデル)の2050年限界削減費用推計は400 \$/tCO<sub>2</sub>以上、GCAM (PNNLのモデル)とREMIND (PIKのモデル)では150\$/tCO<sub>2</sub>程度と推計されている。対GDP比の削減コストは、2050年に2～5%程度、2100年では3～12%程度と大きな幅がある。**

# 技術利用制約による緩和策コストの変化 —EMF27—

(a) Feasibility matrix of technology variation scenarios for different climate targets

|          | FullTech | LowEI | NoCCS | NucOff | LimSW | LimBio | Conv  | EERE  | LimTech |
|----------|----------|-------|-------|--------|-------|--------|-------|-------|---------|
| Baseline | 13/13    | 13/13 |       | 11/11  | 11/11 | 13/13  | 13/13 | 13/13 | 11/11   |
| 550 ppm  | 13/13    | 13/13 | 12/12 | 11/11  | 11/11 | 13/13  | 13/13 | 12/12 | 6/9     |
| 450 ppm  | 10/11    | 9/10  | 4/11  | 9/10   | 9/10  | 9/11   | 8/11  | 6/11  | 0/10    |

(b) Policy Costs as fraction of GDP (2010-2100) (c) Policy Costs rel. to 450 FullTech (2010-2100)



Source: V. Krey et al., Climatic Change, 2013 (国際モデル比較プロジェクトEMF27特別号論文)

**AMPEREの分析同様、EMF27の分析においても、温暖化対策技術の利用制約次第では、緩和費用が大きく増大する可能性が示されている。**

# 政策の非効率性

## 一家電エコポイント制度による排出削減効果

|      | 環境省による評価<br>(千tCO <sub>2</sub> /年) | 会計検査院による<br>評価<br>(千tCO <sub>2</sub> /年) | 荒川、秋元による評価<br>(査読論文として採択済)                     |  |
|------|------------------------------------|--|--|--|
|      |                                    |  | CO <sub>2</sub> 削減効果<br>(千tCO <sub>2</sub> /年) | CO <sub>2</sub> 1トン削減あたりの<br>補助金額(円/tCO <sub>2</sub> ) |
| 3種類計 | 2730                               | 210                                      | 71   | 687,960  |
| エアコン | 793                                | 77                                       | 65   | 52,063   |
| 冷蔵庫  | 1285                               | 53                                       | 54   | 60,241   |
| テレビ  | 652                                | 80                                       | -48  | -449,950   |

- 環境省のCO<sub>2</sub>排出削減効果の評価に対し、会計検査院は、環境省の評価ではエコポイントがなくても買い替えが起こった効果までもCO<sub>2</sub>削減効果に含めており、評価が不適切と指摘。1/10未満の効果しかなかったとしている。

- 更に、テレビはエコポイント制度終了直後に大幅なエネルギー効率改善が起こっており、それを考慮に入れて評価すると、会計検査院の評価さえも過大に削減ポテンシャルを見込んでいる可能性が高い。

- これは一例であるが、実際の政策では、非効率な政策は多く見られ、モデル分析のコスト推計は楽観的にすぎると指摘することもできる。(なお、エコポイントは短期の経済効果を目的にしていると見ることが出来るが、テレビの場合、需要の変動が激しかったため、長期的に見た経済効果に対しても疑問がある。)

# 気候変動リスク管理戦略の パッケージ例

# 温暖化リスク対応戦略の具体例(1/2)

| 緩和戦略  |   | 適応戦略   | SRM(ジオエンジニアリング)戦略              | 総合的なリスクに関する留意点   |
|---|---|--|--------------------------------|--|
| 温暖化緩和目標   | 革新的技術開発戦略                                 |  |                                |  |
| 1.5°Cや2°C目標(1.5°Cや2°C達成を安全サイドで排出経路を考える)         | △(短期の排出削減に注力するあまり、長期技術開発への投資資金の懸念が生じる場合も) | —  | —                              | 緩和策の経済的負担の大きさから、地球温暖化以外の持続可能な発展においてリスクの増大がもたらされる懸念もあり  |
| 2°C目標(2°C達成を安全サイドで排出経路を考える)                     | ↑   | 2°C時想定 of 適応策                                      | —                              | ↑  |
| 2°C目標(2°C達成を期待値として排出経路を考える)                     | ○(長期技術開発にも過不足なく投資)                        | 実際には2°Cを実現できない時のことや気候感度が高かったときのことを考えて3°C想定 of 適応戦略 | —                              | 温暖化が期待値よりもより大きく進んだ場合には、大きなダメージになり得る。期待値どおりかあまり進まない場合には適応策のコスト増が経済的リスクになり得る。緩和策の経済的負担の大きさの懸念も |
| ↑   | ↑   | ↑  | 適応で対応できなかったときのことを考え、SRMも準備しておく | 温暖化が期待値よりもより大きく進む場合に良い戦略となる可能性も。一方、期待値どおりかあまり進まない場合には適応策のコスト増が経済的リスクになり得る。緩和策の経済的負担の大きさの懸念も  |
| 2.5°Cや3°C目標(そもそも2°Cの現実性は乏しい可能性が高いのでより緩やかな目標を志向) | ↑   | 2.5°Cや3°C時想定 of 適応策                                | —                              | 温暖化が期待値よりもより大きく進んだ場合には、大きなダメージになり得る  |

注)ここに示したのはあくまで例示であり、このほかにも様々な組み合わせ等がある。

# 温暖化リスク対応戦略の具体例(2/2)

| 緩和戦略  |                                | 適応戦略  | SRM(ジオエンジニアリング)戦略                         | 総合的なリスクに関する留意点  |
|---|--------------------------------|---|---|---|
| 温暖化緩和目標                                     | 革新的技術開発戦略                      |   |   |   |
| 2.5°Cや3°C目標(同上)                             | ○(長期技術開発にも過不足なく投資)             | 2.5°Cや3°C時想定 of 適応策                                       | 適応で対応できなかったときのことを考え、SRMも準備                | 温暖化が期待値よりもより大きく進んだ場合には、大きなダメージになり得る。ただし、万が一の際のリスク対処としてのSRMIによりリスクを低減できる可能性も。                                      |
| ↑   | ↑                              | 実際には2.5°Cや3°Cを実現できない時のことや気候感度が高かったときのことを考え、3.5°Cや4°C時の適応策 | ↑   | 温暖化が期待値よりもより大きく進む場合には有効。一方、期待値どおりかあまり進まない場合には、適応策のコスト増が経済的リスクになり得る。   |
| 3.5°Cや4°C目標                                 | ◎(短期での厳しい緩和を避け、その分を長期の技術開発に投資) | 4°C時想定 of 適応策   | 適応で対応できなかったときのことを考え、SRMも準備しておく。実施も組み込んだ戦略 | 長期的な革新的技術の開発が意図したように実現しなかった場合。気候変動の影響被害が大きなものに。そのとき適応策では多くの気候変動リスクを取り除くことが不可能な可能性も。SRMIは実施した場合、別の大きなリスクを引き起こす可能性も |
| 特段の長期目標は置かず、緩和コストが妥当なレベルで収まる範囲で、できることを着実に実施 | ↑                              | 4°C時想定 of 適応策   | ↑   | ↑   |

注)ここに示したのはあくまで例示であり、このほかにも様々な組み合わせ等がある。



- ◆ 気温上昇推計や温暖化影響被害の不確実性は大きい。また、簡単には不確実性の幅が小さくならないと考えられ、不確実性下での意思決定が求められる。
- ◆ 温暖化影響被害の大きさに関する不確実性が強調されることが多いが、実際には、緩和費用の不確実性も相当大きい。しかも、通常の推計は、モデルを使って費用効率的な対策をとったときの費用が示されているが、現実にはより大きな費用を要する可能性も高く、両者の不確実性を十分踏まえる必要あり。
- ◆ このような状況下にあって、温暖化影響面のみ、安全サイドで考え、リスク回避的な戦略を立てることの妥当性には疑問が生じる。
- ◆ 温暖化対応では、費用便益評価が困難とはいえ、費用便益的な考えに基づく戦略は重要
- ◆ このような状況を踏まえると、いずれにしても長期の目標は「ターゲット」ではなく「ゴール」程度と考えるべきであり、そこからバックキャスト的に中期の排出削減目標を考えることは総合的なリスクの管理において適当と考えにくい。
- ◆ 中期の排出削減は、でき得る対策をボトムアップ的に実施しつつ、長期の技術開発に注力し、それと同時に緩和策だけでなく、適応策などを含めた総合的なパッケージとしてのリスク管理を行うことが重要

### **3. グリーン成長実現に向けた 革新的技術開発**

# 環境エネルギー革新技術計画

- 本年1月に安倍総理より、「技術で世界に貢献していく、攻めの地球温暖化外交戦略を組み立てること。」との指示があった。
- 我が国は、2050年に世界の温室効果ガス排出量半減(先進国は8割)の目標を達成するとともに、途上国で経済成長の制約となっている環境・エネルギー問題の克服に貢献するため、革新的技術の着実な開発と普及により、世界の温暖化問題やエネルギー需給の逼迫等の課題の解決に貢献する。
- 本計画の改訂は、革新的技術の着実な開発と普及の具体化を図るため、①短中期・中長期に開発を進めるべき革新的技術の特定、②技術開発を推進するための施策の強化、③革新的技術の国際展開・普及に必要な方策についてまとめた。

## ①革新的技術の特定

「革新的技術」として37の技術を特定。こうした技術を相手国ニーズに即した技術開発や製品の最適化、複数技術の組み合わせによる海外展開を行うことが重要。

### 短中期(2030年頃まで)に開発する技術

- 生産・供給分野  
・高効率石炭火力、高効率天然ガス発電、風力発電、太陽エネルギー、地熱発電、海洋エネルギー、原子力 等
- 消費・需要分野  
・次世代自動車、革新的構造材料、革新的デバイス、エネルギーマネジメント、省エネ住宅・ビル 等
- 流通・需給統合分野  
・燃料電池、高性能電力貯蔵、蓄熱・断熱等技術 等

### 中長期(2030年頃以降)の実用化を目指す技術

- ・二酸化炭素回収・貯留(CCS)、人工光合成  
バイオマス利活用、水素製造・輸送・貯蔵 等

## ②技術開発推進の施策強化

### 研究開発投資促進・革新技術のシーズ発掘

研究開発税制の活用促進等による民間の投資環境整備等を行う。また、ハイリスクだが効果の大きい技術開発を政府主導で実施。

## ③国際展開・普及に必要な方策

### 二国間クレジット制度の推進

関係省庁とJICA、JBIC等が連携し、プロジェクトを促進。  
※JICA:国際協力機構、JBIC:国際協力銀行

### 国際標準化の活用促進

新興国の省エネ対策や再生可能エネルギー導入に関する制度構築と人材育成等の実施体制整備を支援。

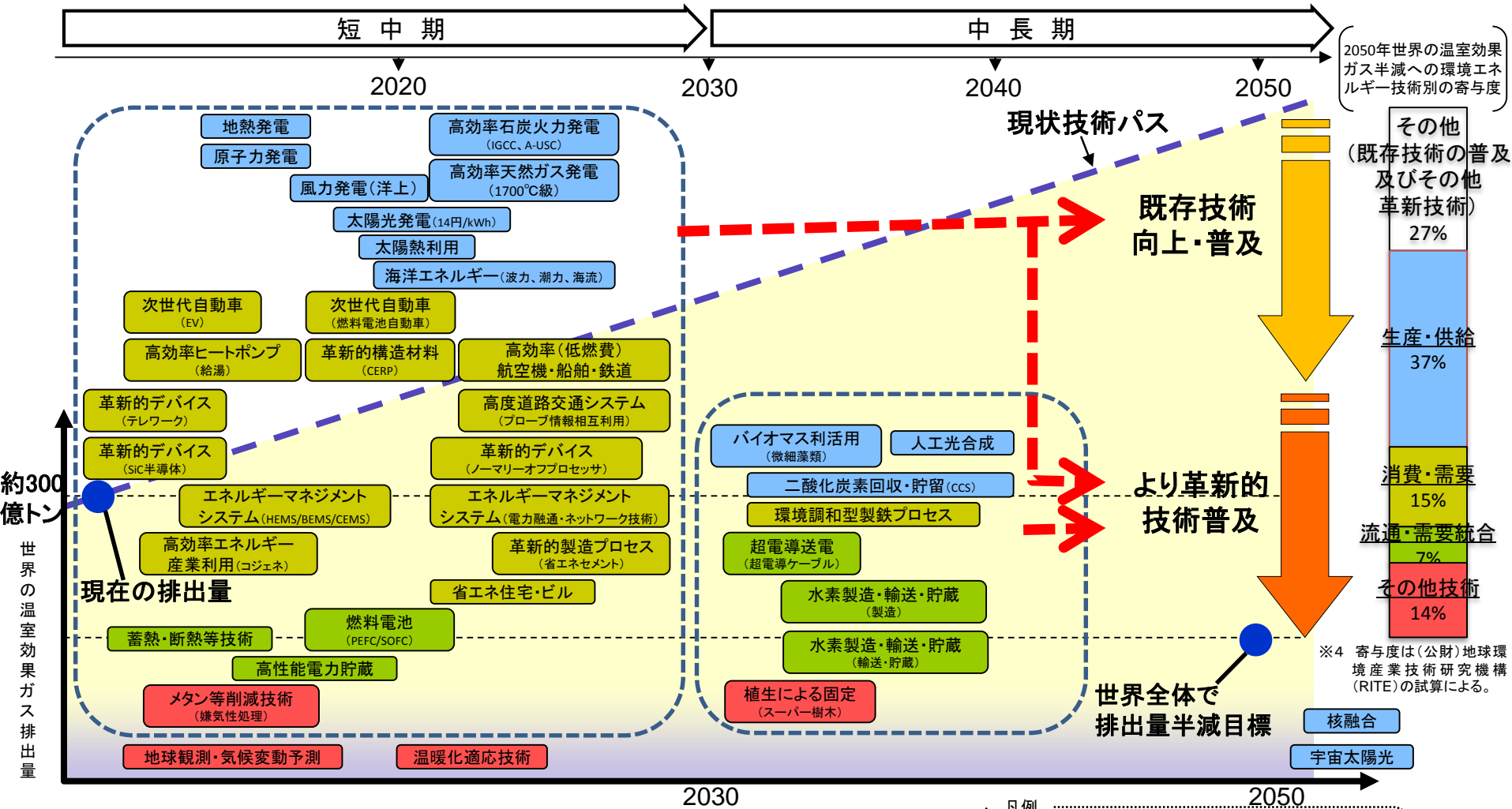
### 公的資金の戦略的活用

高効率火力発電、原子力発電や低炭素都市づくり等の海外移転に公的資金を活用し促進。

# 環境エネルギー革新技術リスト

|           |             |   |  |
|-----------|-------------|---|--|
| 生産・供給     | 火力発電        | 1. 高効率石炭火力発電<br>2. 高効率天然ガス発電  |  |
|           | 再生可能エネルギー利用 | 3. 風力発電<br>4、5. 太陽エネルギー利用<br>6. 海洋エネルギー利用<br>7. 地熱発電<br>8. バイオマス利活用       |  |
|           |             | 原子力発電   | 9. 原子力発電   |
|           |             | 二酸化炭素回収・貯蔵・利用 (CCUS)  | 10. 二酸化炭素回収・貯留 (CCS)<br>11. 人工光合成                      |
|           |             |   | 12、13. 次世代自動車<br>14、15、16. 航空機・船舶・鉄道<br>17. 高度道路交通システム |
|           | 消費・需要       | 運輸  | 18、19、20. 革新的デバイス<br>21. 革新的構造材料                       |
| デバイス      |             | 22. エネルギーマネジメントシステム<br>23. 省エネ住宅・ビル<br>24. 高効率エネルギー産業利用<br>25. 高効率ヒートポンプ  |  |
| 材料        |             | 26. 環境調和型製鉄プロセス<br>27. 革新的製造プロセス  |  |
| エネルギー利用技術 |             | 28、29. 水素製造・輸送・貯蔵<br>30. 燃料電池<br>31. 高性能電力貯蔵<br>32. 蓄熱・断熱等技術<br>33. 超電導送電 |  |
|           |             | 生産プロセス  | 34. メタン等削減技術<br>35. 植生による固定<br>36. 温暖化適応技術             |
| 需給統合・流通   |             | エネルギー変換・貯蔵・輸送   | 37. 地球観測・気候変動予測  |
|           | その他 温暖化対策技術 |   |  |

# 環境エネルギー革新技術の世界排出量削減への貢献



※1 環境エネルギー技術の横軸上の位置は、各技術のロードマップを踏まえ、本格的な普及のおおよその時期を示すものである。  
 ※2 「現状技術パス」は、各種技術の効率(例えば、石炭火力発電の発電効率)が変化しない場合の世界全体のおおよその排出量を示すものである。  
 ※3 「既存技術向上・普及」及び「より革新的な技術普及」の矢印は、世界全体で排出量半減の目標を達成するためには、既存技術の向上・普及だけでなく、より革新的な技術の普及による削減が必要であることを示すものであり、それぞれの技術による削減幅を示すものではない。

凡例

- 生産・供給分野
- 消費・需要分野
- 流通・需要統合分野
- その他の技術

※1 枠の横幅の中ほどが本格的な普及のおおよその時期を示す  
 ※2 括弧の中は、各項目における技術の一例を、本文の短中期、中長期の分類に合わせて抜き出したもの

# 環境エネルギー技術革新計画のロードマップ等： 二酸化炭素回収・貯留（CCS）

## 10. 二酸化炭素回収・貯留（CCS）

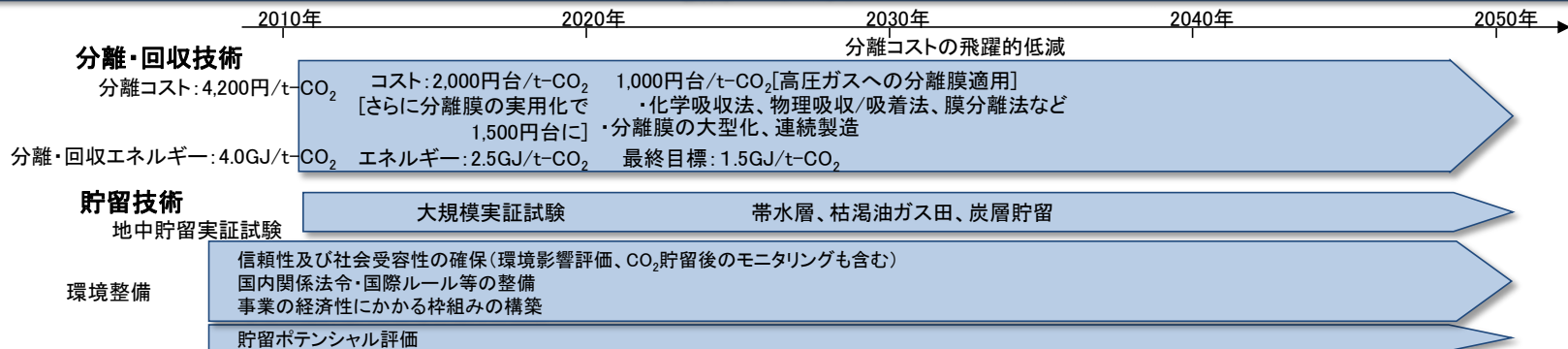
### 技術の概要

- 二酸化炭素回収・貯留（CCS: Carbon Dioxide Capture and Storage）は、火力発電等の大規模排出源の排ガスからCO<sub>2</sub>を分離・回収し、それを地中または海洋に長期間にわたり貯留または隔離することにより、大気中へのCO<sub>2</sub>放出を抑制し、世界のCO<sub>2</sub>排出大幅削減に貢献する技術。
- CCSは、分離・回収、輸送、圧入及び貯留という4つの機能から構成され、技術開発の中核となるのは、分離・回収技術と貯留技術。
- 分離・回収には、化学吸収法、物理吸収法、膜分離法、物理吸着法及び深冷分離法がある。貯留には地中貯留と海洋隔離があり、地中貯留には、帯水層貯留、石油・ガス増進回収、枯渇油・ガス層貯留及び炭層固定がある。
- IEAのEnergy Technology Perspectives 2012では、CCS技術の開発・普及により、2050年に、世界全体で約71億トンのCO<sub>2</sub>排出削減ポテンシャルを試算。

### 我が国の技術開発の動向・課題

- 我が国では、化学吸収液をベースにした新規固体吸収材の開発や化学吸収法のプロセスシミュレーション技術の高度化、地質実情に適した安全性評価技術の確立に関する研究開発等を行っている。
- 炭素隔離リーダーシップフォーラム（CSLF）における技術連携や、海外の大型プロジェクトへの参加等、国際連携も推進している。
- CCSの実施に係るコストは、回収、圧縮、輸送、圧入すべてに係るコストを計算すると、二酸化炭素1トンあたり3,000～7,000円。また、分離・回収エネルギーの現状は4.0GJ/t-CO<sub>2</sub>。今後、全コストの約6割を占めるCO<sub>2</sub>分離・回収技術の低コスト化、低エネルギー化が課題。また、火力発電システムとCO<sub>2</sub>分離・回収技術とのインターフェース確保や、高圧下でのCO<sub>2</sub>分離・回収に有利な膜分離材料の開発も重要。
- CCSの実用化にあたっては、貯留地点（候補地点を含む）と貯留可能量の適切な把握・評価方法や、輸送方法・ルート確立、貯留層へ注入したCO<sub>2</sub>の地中での移動挙動の検討、国際標準化や関連条約への適切な対応等が課題。

### 技術ロードマップ



（※関連技術ロードマップ: 26. 環境調和型製鉄プロセス）

### 国際動向

#### 普及の現状

- 米国内では数ヶ所で商業プロジェクトや実証事業が継続中で、向こう数年間で10ヶ所程度の大規模実証、商業化事業が実施される予定となっている。
- 欧州内ではノルウェー、英国、オランダ、スペイン等がCCSに積極的に取り組んでいるが、発電を対象とした大規模実証プロジェクトは、予想より停滞している。
- カナダや豪州、中国でも計画・実施されており、世界の大規模プロジェクトの開発状況は、計画中のもも含めて計72件となっている。
- 回収されたCO<sub>2</sub>はEORに使用されているものが多い。

#### 技術開発の動向

- 米国エネルギー省の炭素貯留プログラムでは、米国再生・再投資法（ARRA）を用いて過去数年間は平均約1.5億ドルの研究開発資金を拠出している。また、エネルギー先端研究局（ARPA-E）

の公募型研究でも、関連研究分野が数件採択されている。DOEプログラムでは、CO<sub>2</sub>の炭化水素への変換、ケミカル合成等の研究が進められている。民間企業で、大気中CO<sub>2</sub>回収（ジオエンジニアリング）の研究も行われている。

- EUでは、第7次研究枠組計画（FP7）の公募型研究の一環として、地中貯留CO<sub>2</sub>の長期変動の予測及びモニタリング等に対する研究開発補助が実施されている。

#### 我が国の国際競争力

- 我が国ではCCSの中核となる低コスト・低エネルギーのCO<sub>2</sub>回収技術について、エネルギー効率の高い吸収液が開発されるなど、優れた技術を有している。
- 地中貯留に関しては、一般に日本の地層は構造的に複雑であるため、地域特性に合わせた探査技術やノウハウを蓄積している。



# 環境エネルギー技術革新計画のロードマップ等： 水素輸送・貯蔵

## 29. 水素製造・輸送・貯蔵（水素輸送・貯蔵）

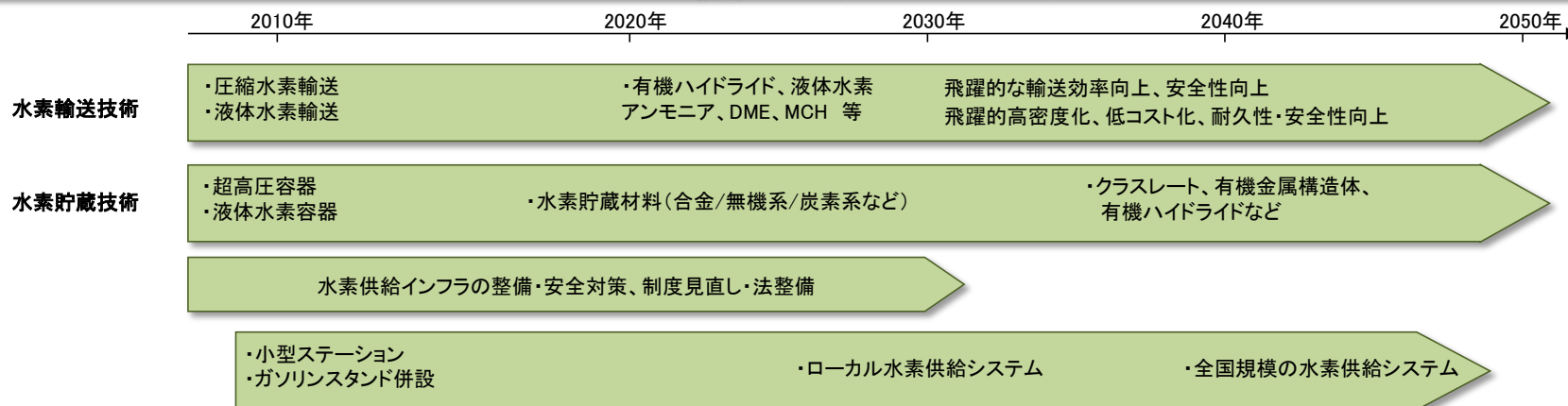
### 技術の概要

- 燃料電池自動車や定置用燃料電池に利用する水素を輸送・貯蔵するための技術。
- 水素輸送では、圧縮水素輸送、液体水素輸送、有機ハイドライド輸送、アンモニアを合成して輸送、パイプラインによる輸送等の手法がある。また、鋼製容器を用いた圧縮水素による輸送は既実績がある。
- 再生可能エネルギーを大量に導入する際にも有用な技術として期待されている。

### 我が国の技術開発の動向・課題

- NEDOでは、2015年の普及開始に向けて、実使用に近い条件でFCV・水素供給インフラに関する技術実証を行うと共に、ユーザー利便性、事業成立性、社会受容性等を検証する「地域水素供給インフラ技術・社会実証」が開始されている。
- 有機ハイドライドについては、トルエンの水素化及び脱水素の実証プラントが民間ベースで建設されている。
- 環境省では、水素吸蔵合金を用いた独立型の高効率水素精製・貯蔵システムの実用化開発を行った。

### 技術ロードマップ



(※関連技術ロードマップ: 13. 次世代自動車(燃料電池自動車)、28. 水素製造・輸送・貯蔵(水素製造)、30. 燃料電池)

### 国際動向

#### 普及の現状

- 水素供給事業者により2015年までにFCV量産車の販売台数の見通しに応じて、100箇所程度の水素供給インフラの先行整備を目指すことが示された。

#### 技術開発の動向

- 米国において、水素輸送については、低コストパイプライン等による気体輸送や、パイプラインによる液体輸送を挙げている。水素貯蔵については、高圧気体貯蔵や吸着材料・カーボン材料、水素吸蔵合金、有機ハイドライドなどの液体キャリア材料・再生方法を挙げている。
- EUIにおいて、大規模地下貯蔵サイトを用いた負荷追従可能な電源燃料としての水素

活用の実証や、価格競争力を有する固体材料による代替貯蔵手法の開発、既存の天然ガス供給網での水素5%混合の実現性の実証等を挙げている。

#### 我が国の国際競争力

- 輸送に必要な要素技術では、性能として世界レベルに到達見込み。経済的にいずれの方法が有利か、具体的な輸送区間で評価が必要。



# 水素の分析例

## —未利用褐炭の活用とグリーン化—

## 【長所】

- ◆ エネルギー消費段階で炭素フリー
- ◆ 電気よりも貯蔵に適する可能性大
- ◆ 再生可能エネルギー：高価（かつ間欠性あり）  
原子力：リスクとリスク受容の問題  
褐炭から製造の水素（CCS付）：相対的に安全で安定的

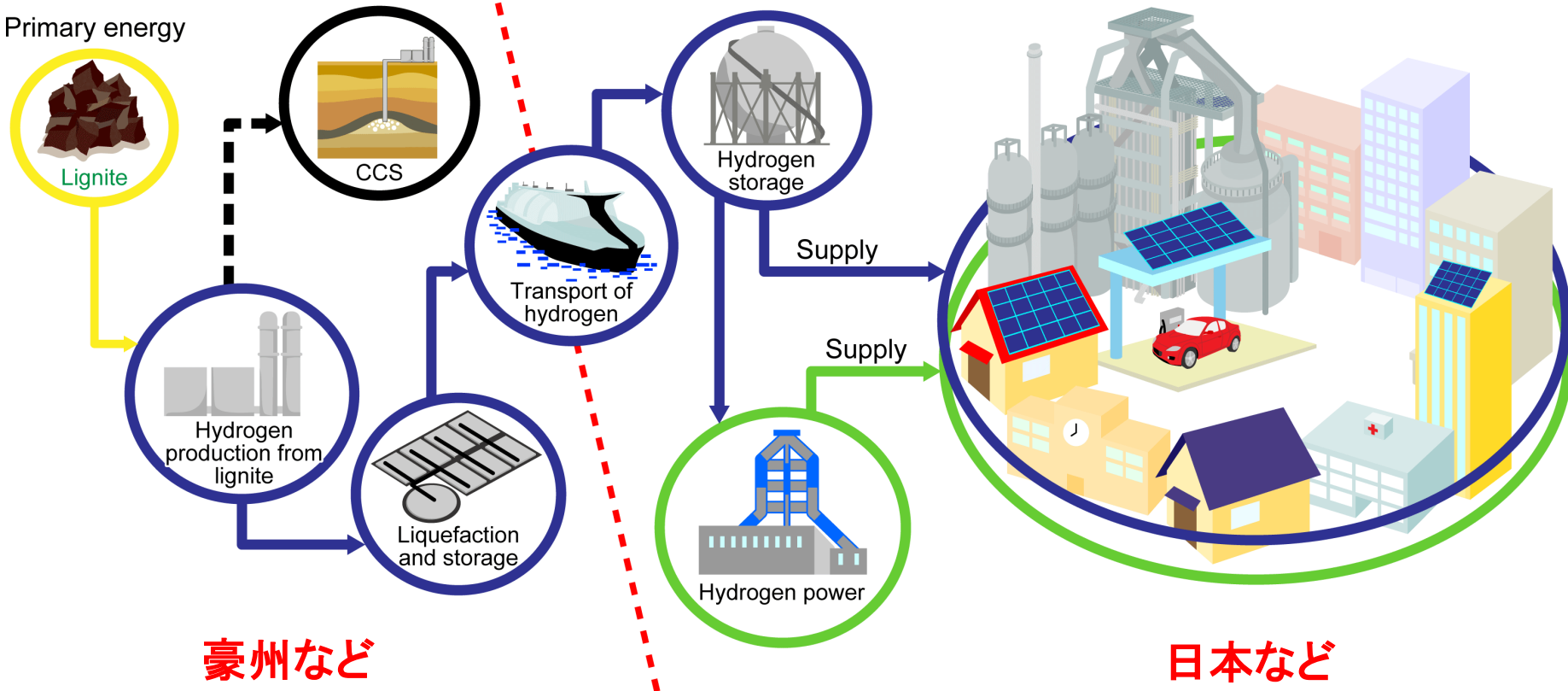
## 【課題】

- ◆ 供給、輸送、配送、最終消費に至る全体システムの開発が必要。また、水素システム構築を適正に進めることができるような制度改正も必要

# 褐炭からの水素製造システム例



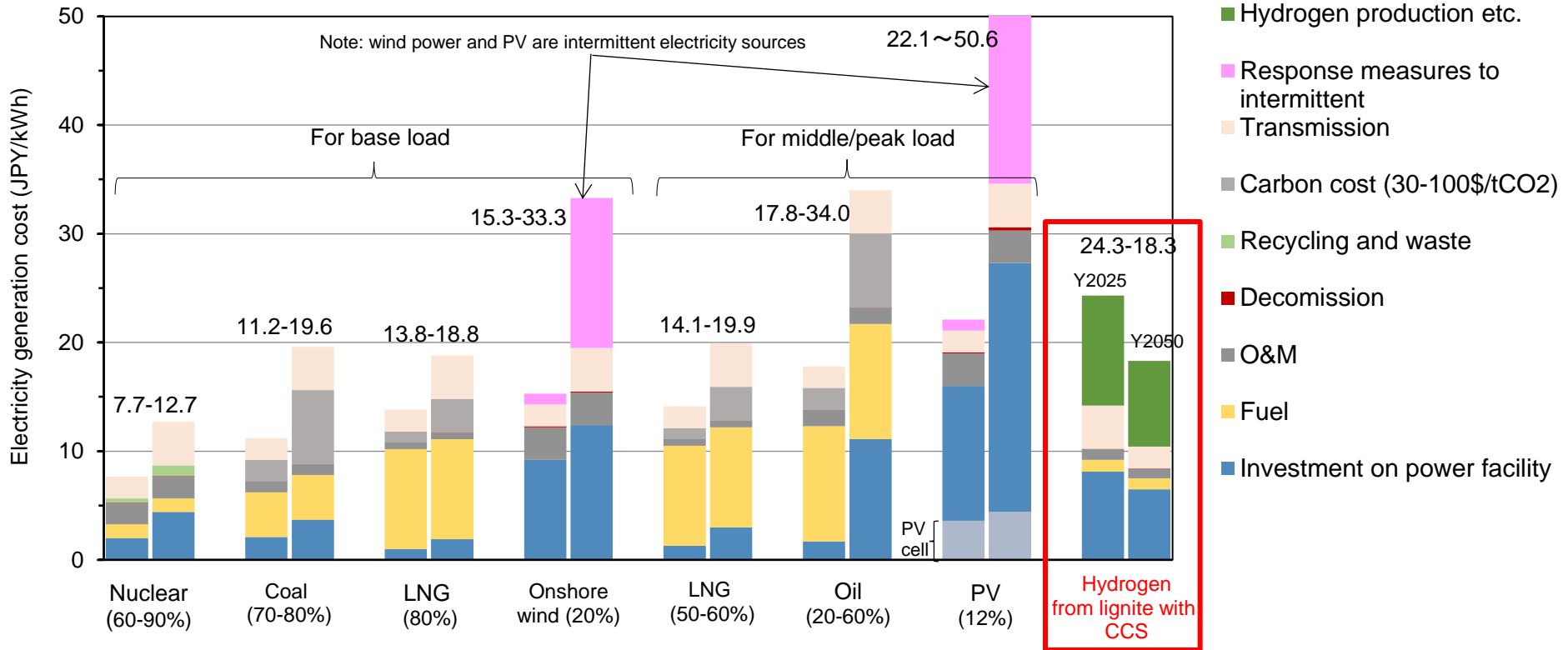
Primary energy



豪州など

日本など

# 日本における発電コスト：褐炭水素利用発電



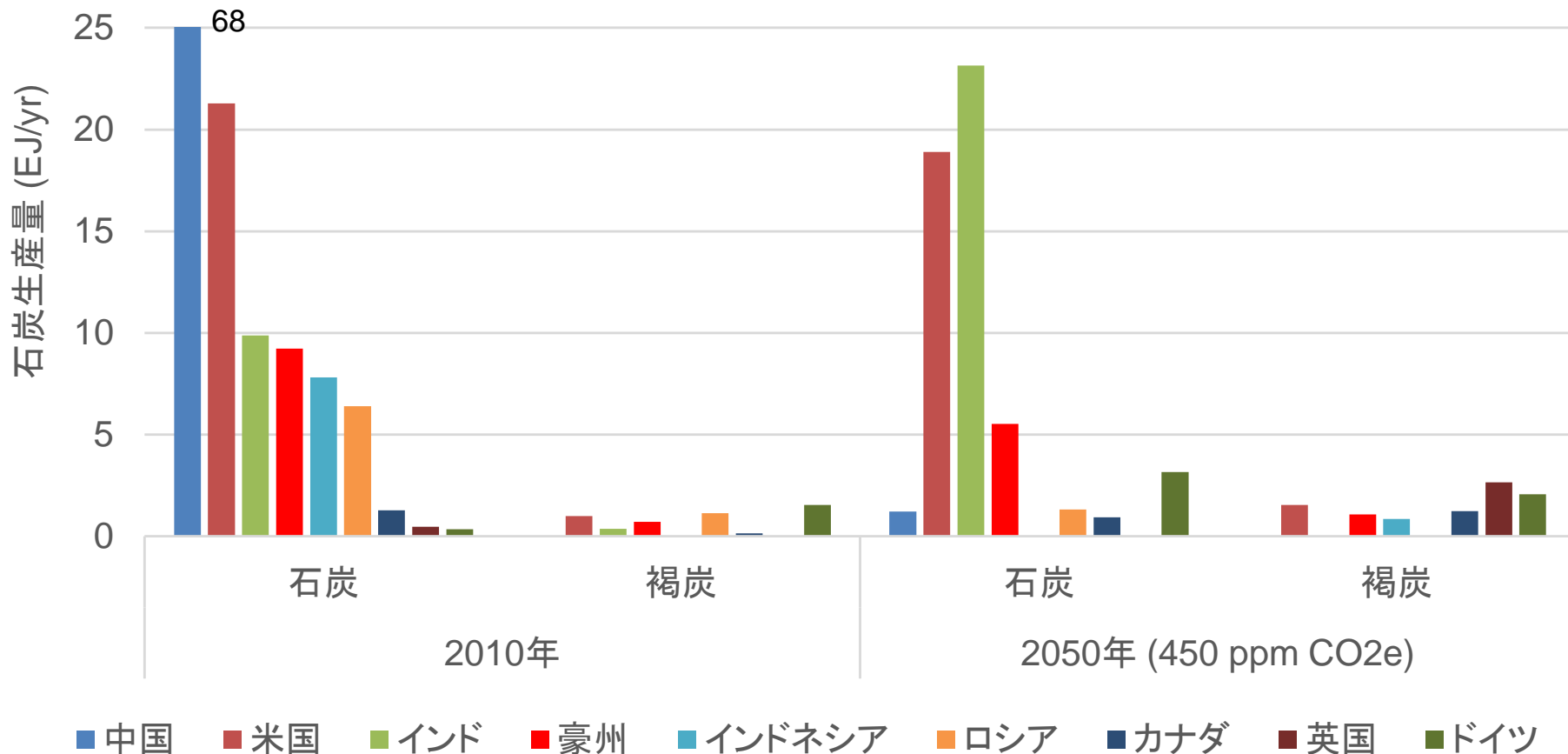
注1) それぞれ2つの棒グラフはコストの下限値と上限値推計

注2) 電源種表示下の括弧内は、稼働率の想定値

出典) 水素発電については川崎重工の試算をベースにしつつも、送電費はRITE試算分を追加。他の電源のコストはRITE試算値

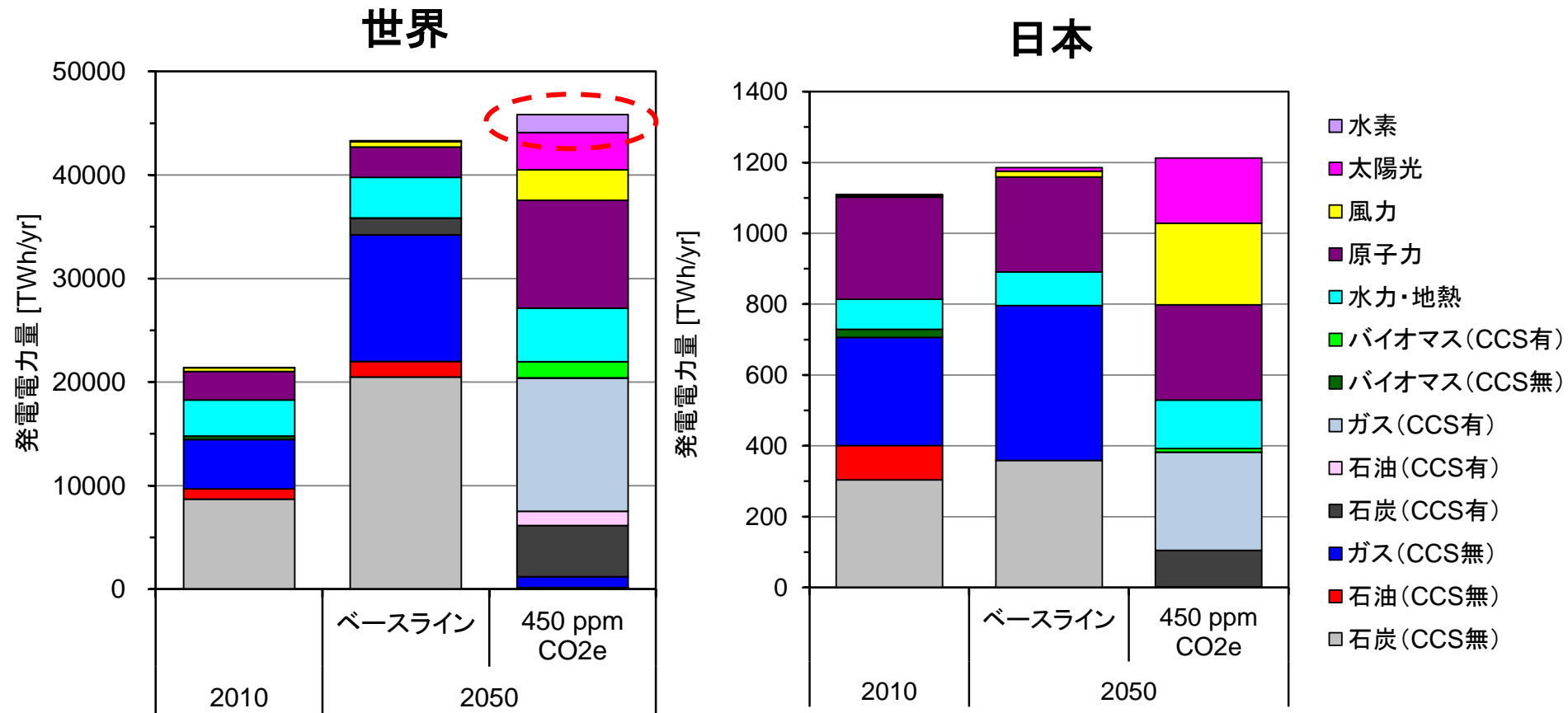
100 \$/tCO<sub>2</sub>程度の炭素価格の下では、水素発電は、石炭やLNGと競合的なレベルになる可能性あり

# 450 ppm CO<sub>2</sub>e時の2050年における石炭生産 (RITEモデルによる暫定的な分析)



石炭生産は450 ppm安定化シナリオの下では2050年にかけて、ほとんどの国で低下が見られるが、褐炭生産は水素製造のため、多くの国で増加傾向が見られる。

# 2050年における発電構成 (RITEモデルによる暫定的な分析)

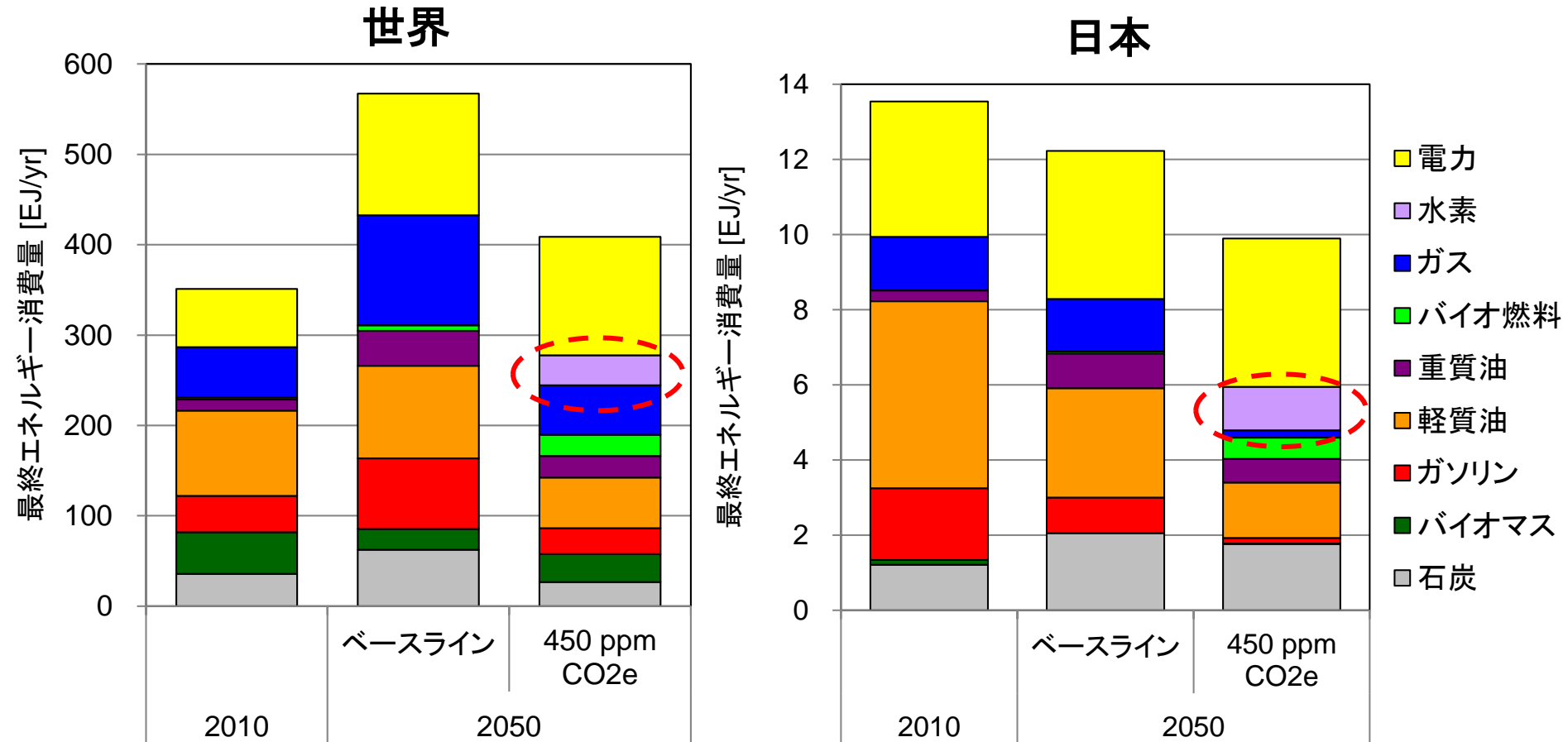


注) 日本における原子力発電電力は国際エネルギー機関(IEA)の世界エネルギー見通し(WEO)2012に従って分析

- 450 ppm CO2e 安定化シナリオにおいて、水素は世界の発電に寄与し得る。
- この分析の条件では、日本においては水素発電の選択が見られないが、日本の排出削減目標や、原子力、CCS、太陽光、風力などの条件などによっては水素発電も費用効率的な対策の一つとなり得る。

# 2050年における最終エネルギー消費

(RITEモデルによる暫定的な分析)



水素は、最終エネルギー消費においても、450 ppm CO2e 安定化においては、世界においても日本においても重要な役割となり得る。





- ◆ 2020年以降の新たな気候変動対策の枠組みの構築を2015年の合意目指して議論が進められている。
- ◆ 京都議定書の失敗の反省に立ち、新たな枠組みを志向することが必要
- ◆ グリーン成長の追求が重要（ただし狭いパスである）。そのためには適切な水準の温暖化対策目標が重要（ただし、いずれにしても絶対不可侵的な目標に固定化しないことは重要）。また様々な分野において革新的技術の開発が不可欠
- ◆ 一方で、温暖化影響、緩和策など、気候変動対応に関する多くの部分で大きな不確実性が存在している。また、エネルギー安全保障・安定供給などのリスクも同時に考えることも必要
- ◆ 気候変動リスク管理の総合的な戦略の構築が必要であり、それは短中期のボトムアップ的な対策、長期の技術開発戦略とも深く関係するものであり、一体的な戦略立案が重要である