

Vital Sparkセミナー(京都大学)

2013年10月10日

地球温暖化対応の長期技術戦略

(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



グリーン成長の基本的な条件

- ◆ 基本的に、環境外部費用を内部化することにより、そうしなかった場合よりも長期的にはより経済が成長することが「グリーン成長」と言える。
- ◆ 地球温暖化に限定すれば、長期的に予想される温暖化影響によるダメージと緩和費用・適応費用の和が最小になるようなレベルの対策を行うべきである。

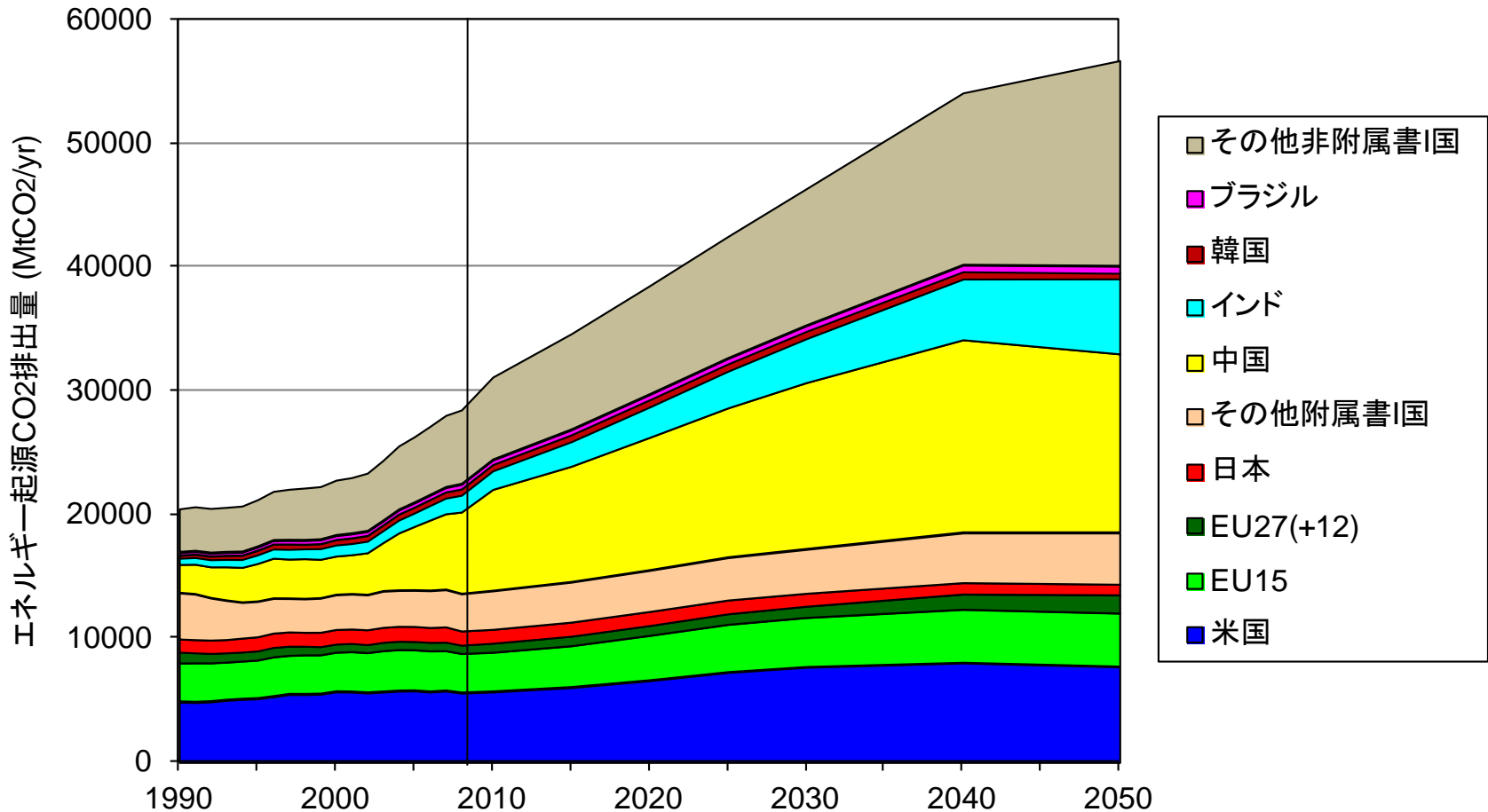
ただし、

- 温暖化影響は非常に広範であり、また不確実性が大きく、温暖化影響ダメージコストの推計が難しい。また、市場価値化されていない部門への影響もあり、推計が難しい。
- 省エネ対策の一部は、正味で負の費用が見込まれるものも一見多いが、機会費用の損失などを考慮すると、非合理的な判断と見られるのはどの範囲なのか、推計が難しい。

2°C目標もしくは世界排出量半減目標がこれに合致しているのかは引き続き要検討事項

- ◆ ある一国としてのグリーン成長としては、国際衡平性が確保された排出削減目標の下で、環境効果に優位性を有する製品、技術、運用にあたってのスキル等の海外展開することによって実現する可能性もあり

世界のエネルギー起源CO₂排出量と半減目標



注) RITE2010年推計。国際航空・国際海運からのCO₂排出は含めていない。

2050年頃には、世界のCO₂排出量は潜在的に現在の2倍程度。世界排出量を2050年までに半減とするG8目標は、事実上、排出量を1/4に抑制しなければならないような極めて厳しい目標

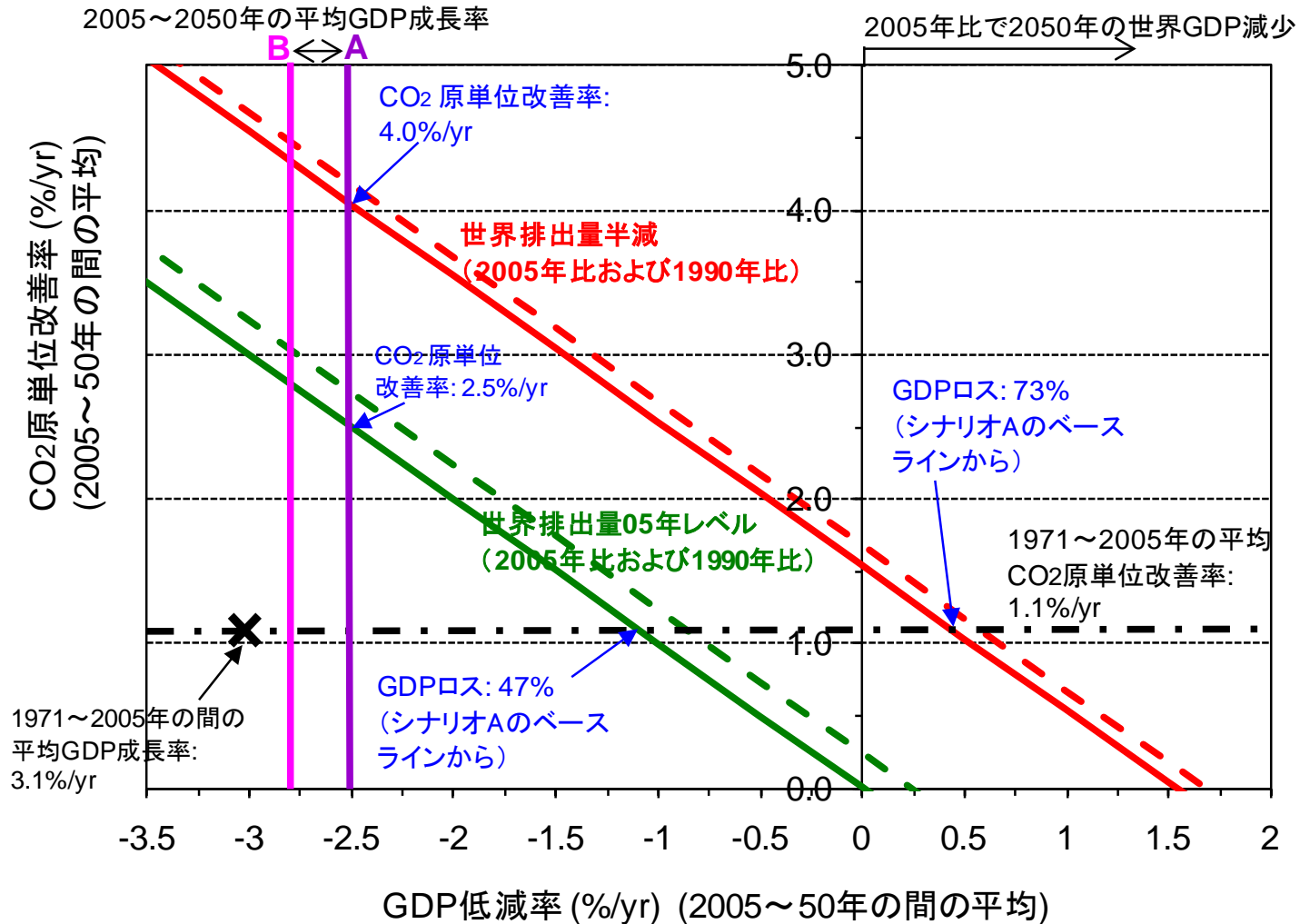
2050年世界排出量半減に必要な排出原単位改善レベル

$$\text{Emission} = \text{Emission} / \text{GDP} \times \text{GDP}$$

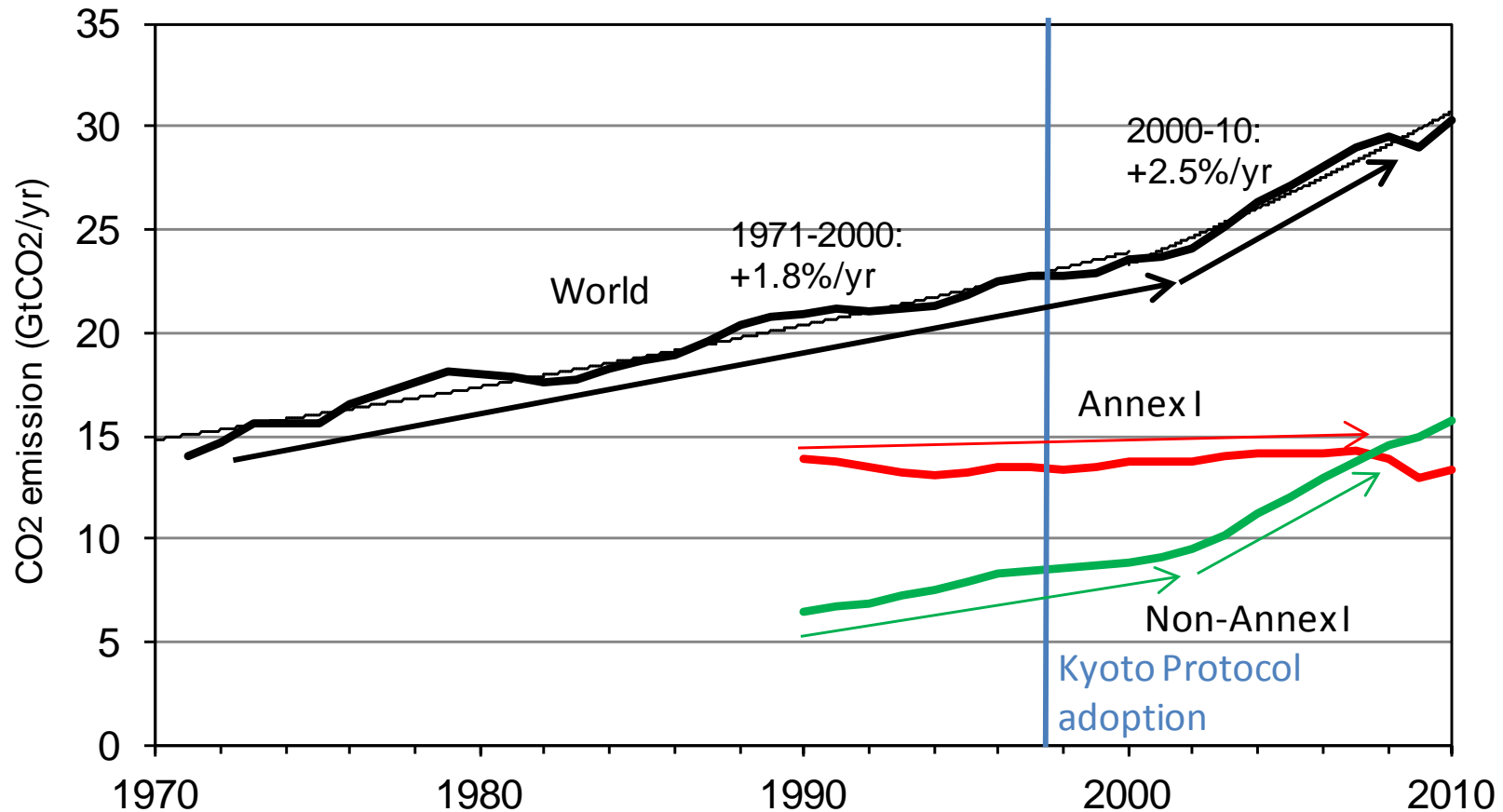
$$\Delta \text{Emission} = \Delta(\text{Emission} / \text{GDP}) + \Delta \text{GDP}$$

CO₂原単位改善率(技術進歩率) GDP上昇率(GDPロス)

技術開発・普及なくして
大幅削減はあり得ない



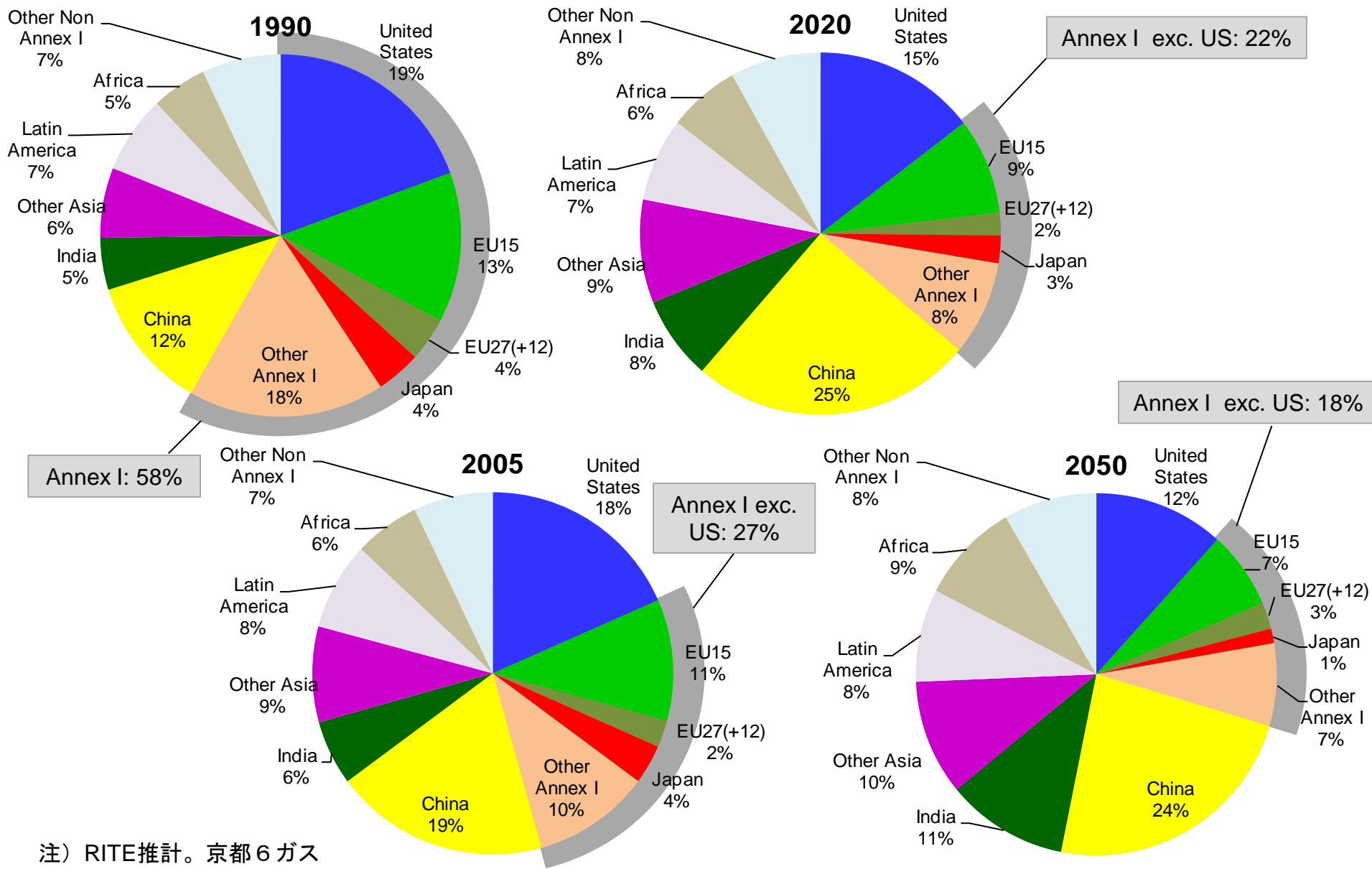
エネルギー起源CO₂排出量の実績



Source) IEA, CO₂ emissions from fuel combustion, 2012

1971-2000年の間、世界のCO₂排出量は平均 +1.8%/yrで増大していたが、2000年以降は+2.5%/yrに加速。非附属書I国の排出量は、とりわけ2000年以降は大きく増大傾向にあり。

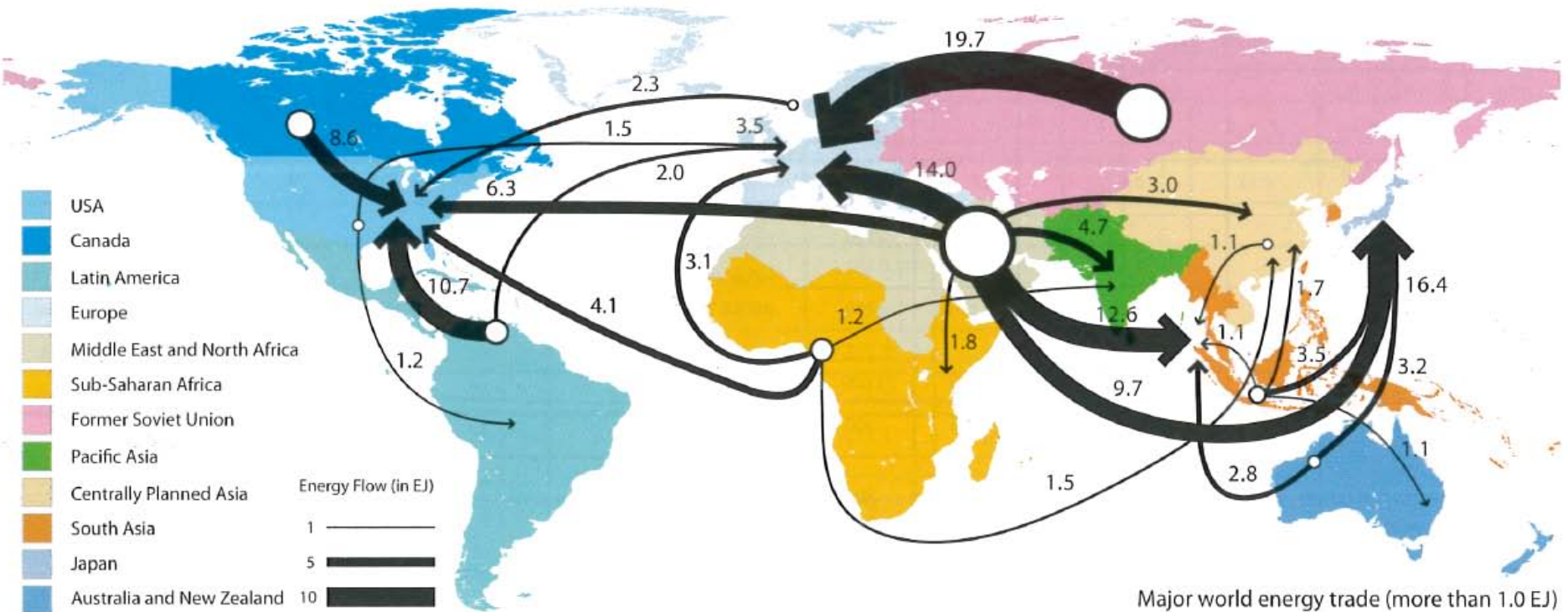
温室効果ガス排出量の各国シェア



注) RITE推計。京都6ガス

エネルギーの輸出入 (2004年)

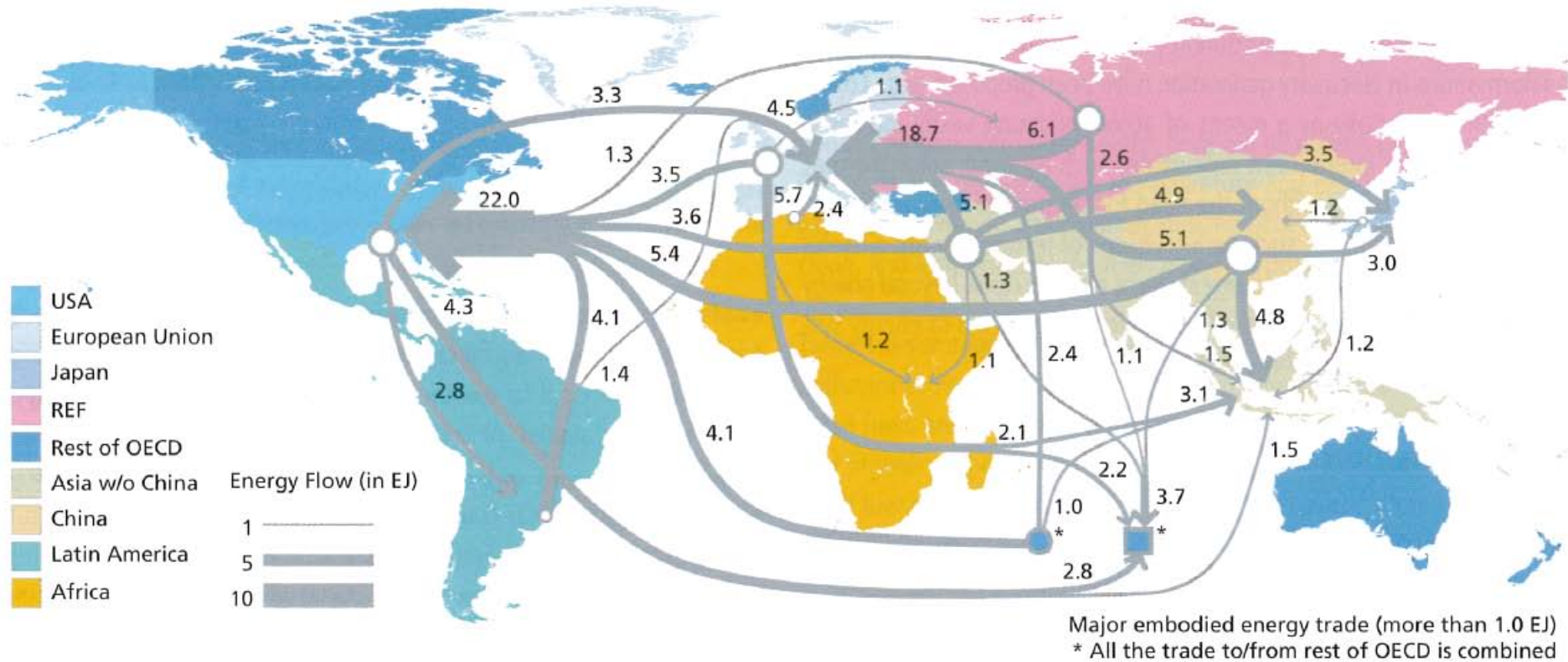
Direct energy trade



出典) Global Energy Assessment, 2012

体化されたエネルギーの輸出入（2004年）

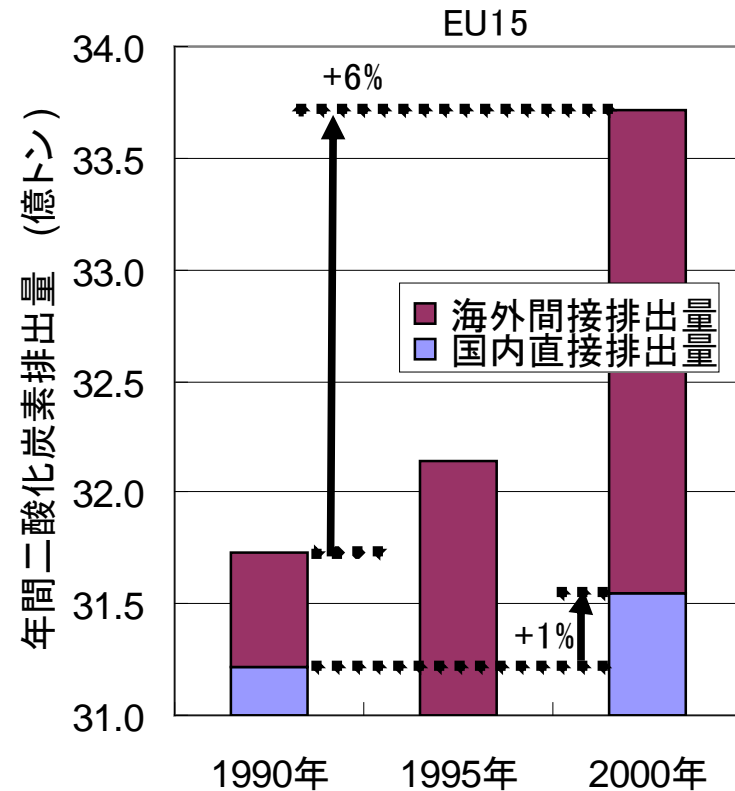
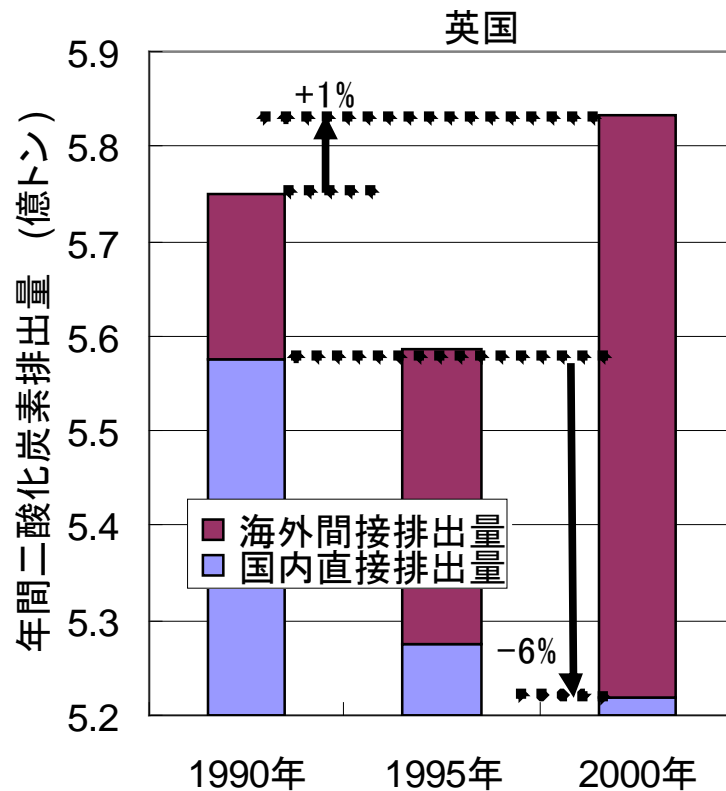
Embodied energy trade



出典) Global Energy Assessment, 2012

エネルギー直接の輸出入に匹敵するような規模で、エネルギーは製品等に体化され、輸出入がなされている。

欧州における消費ベースのCO2排出量



出典：本間他 (RITE), 2008

- ◆ 欧州は単純な排出量の数値を見ると、排出削減に成功しているようにも見えるが、実際には、ものづくりを海外に依存し、見かけ上、排出を減らしている部分が多い。世界全体で見れば、排出削減に貢献していない部分が多い。
- ◆ 超長期的に脱物質化を進めることは重要であるが、産業構造を変化させ、サービス産業へ移行するだけでは実質的な排出削減にはならない。

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 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 4、5. 太陽エネルギー利用 6. 海洋エネルギー利用 7. 地熱発電 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) 11. 人工光合成
			12、13. 次世代自動車 14、15、16. 航空機・船舶・鉄道 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 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 23. 省エネ住宅・ビル 24. 高効率エネルギー産業利用 25. 高効率ヒートポンプ	
材料		26. 環境調和型製鉄プロセス 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 30. 燃料電池 31. 高性能電力貯蔵 32. 蓄熱・断熱等技術 33. 超電導送電	
		生産プロセス	34. メタン等削減技術 35. 植生による固定 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）

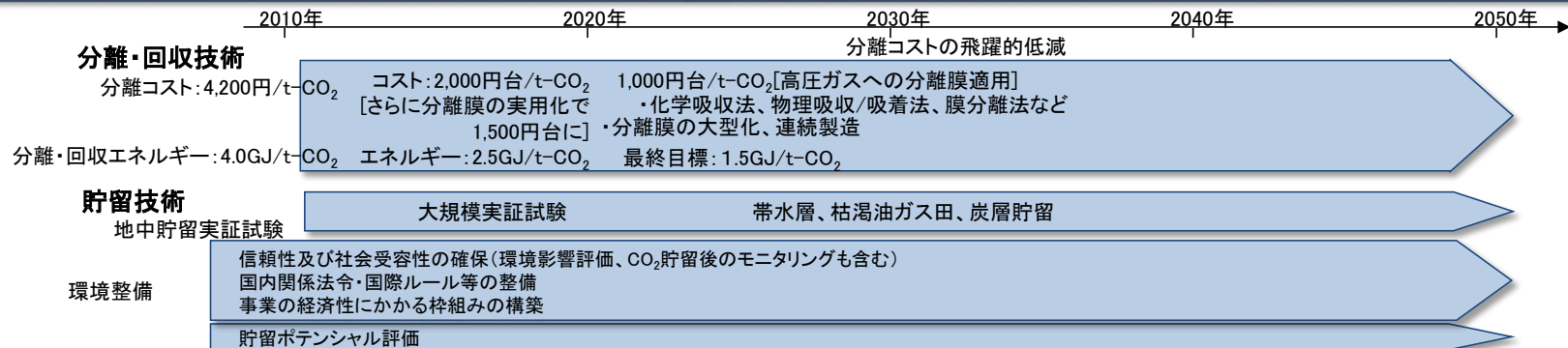
技術の概要

- 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CO₂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CO₂放出を抑制し、世界のCO₂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CO₂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-CO₂。今後、全コストの約6割を占めるCO₂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CO₂分離・回収技術とのインターフェース確保や、高圧下でのCO₂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CO₂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、計画中のものも含めて計72件となっている。
- 回収されたCO₂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、CO₂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CO₂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CO₂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CO₂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）

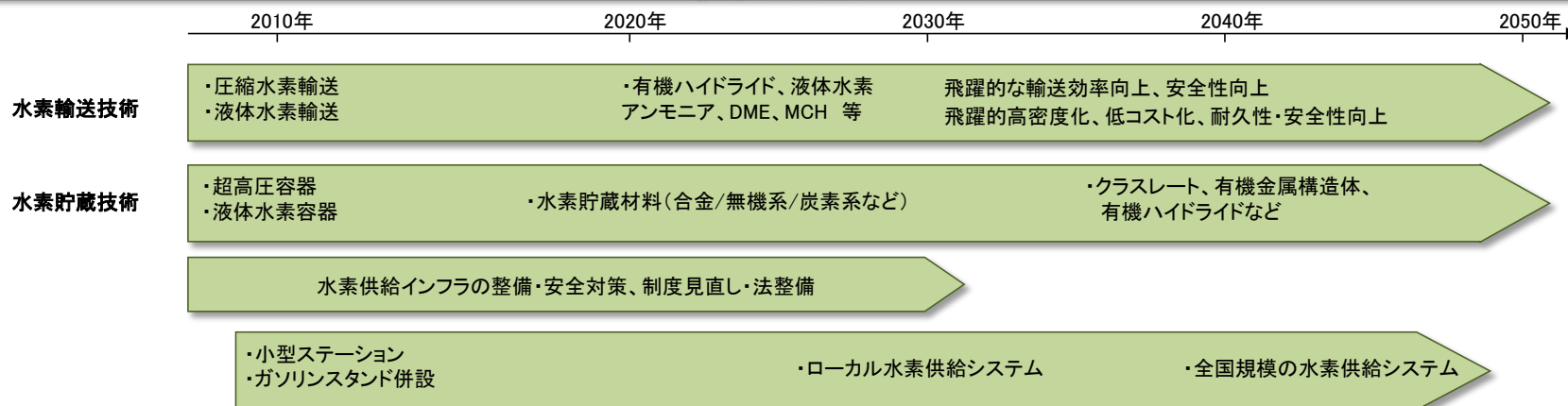
技術の概要

- 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

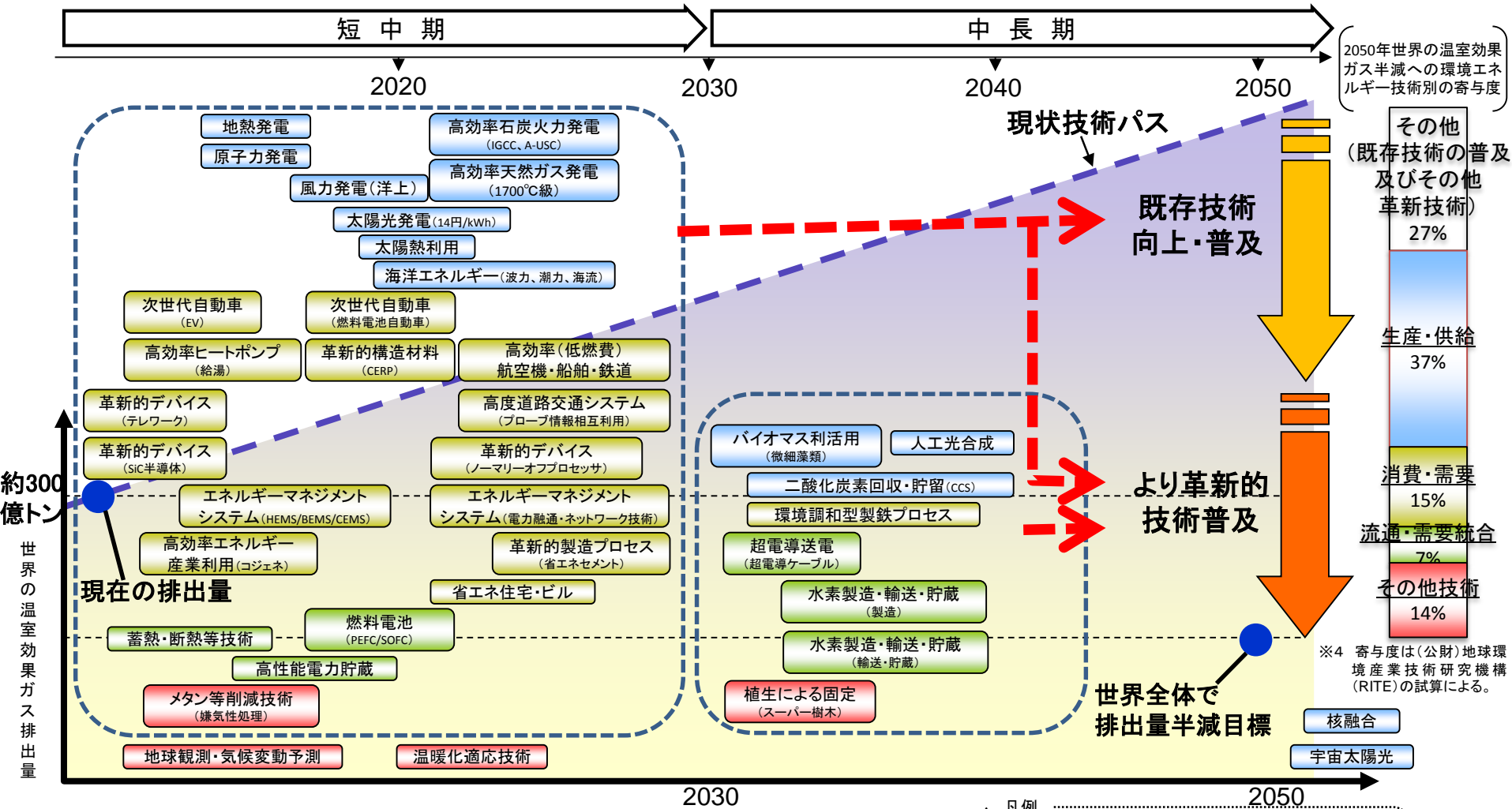
- 米国において、水素輸送については、低コストパイプライン等による気体輸送や、パイプラインによる液体輸送を挙げている。水素貯蔵については、高圧気体貯蔵や吸着材料・カーボン材料、水素吸蔵合金、有機ハイドライドなどの液体キャリア材料・再生方法を挙げている。
- EUIにおいて、大規模地下貯蔵サイトを用いた負荷追従可能な電源燃料としての水素

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。

環境エネルギー革新技術の世界排出量削減への貢献



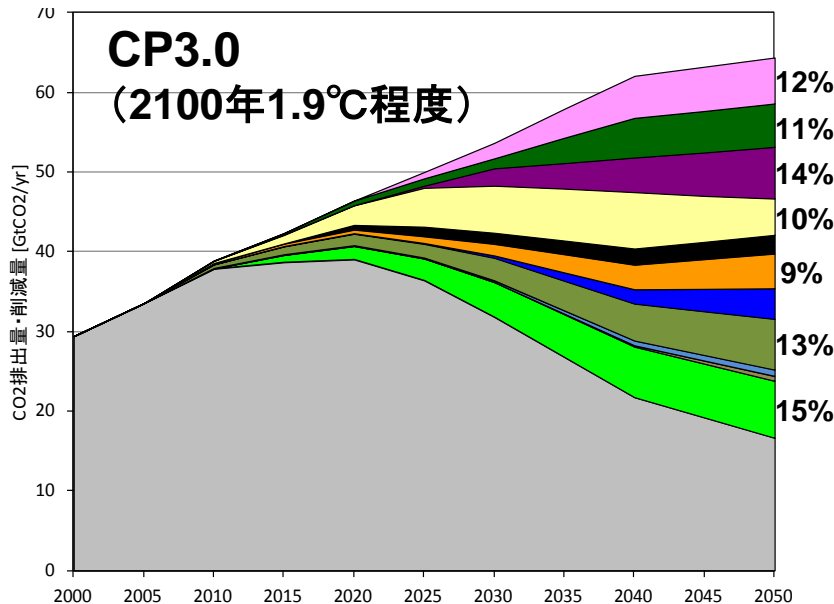
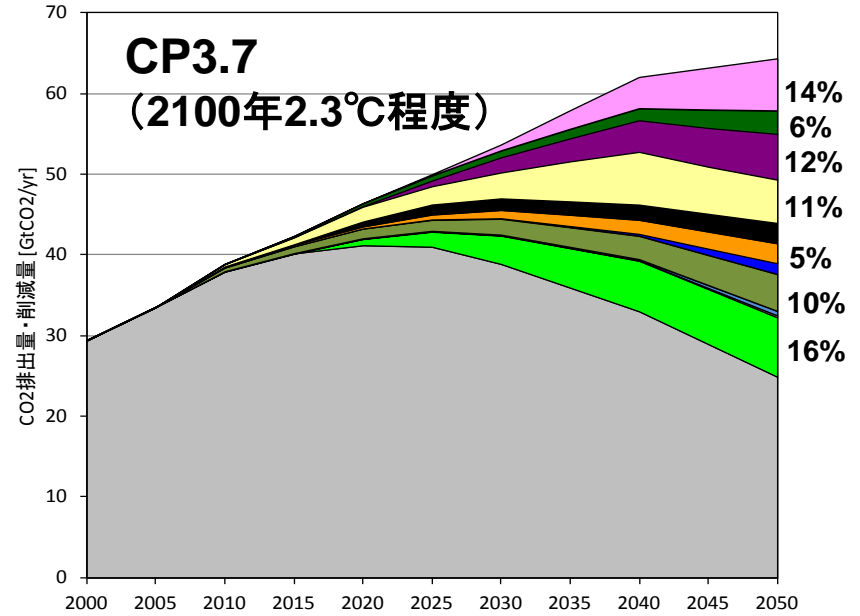
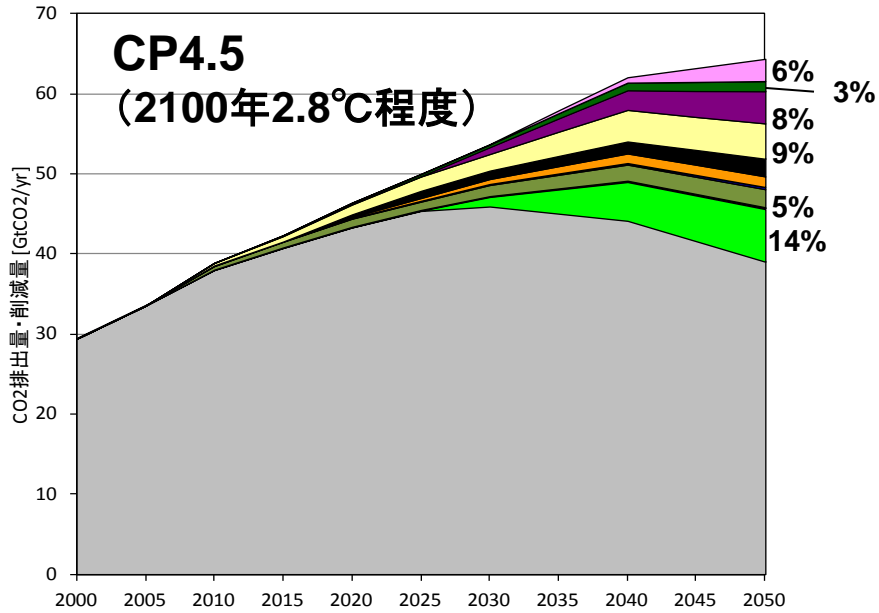
※1 環境エネルギー技術の横軸上の位置は、各技術のロードマップを踏まえ、本格的な普及のおおよその時期を示すものである。
 ※2 「現状技術パス」は、各種技術の効率(例えば、石炭火力発電の発電効率)が変化しない場合の世界全体のおおよその排出量を示すものである。
 ※3 「既存技術向上・普及」及び「より革新的な技術普及」の矢印は、世界全体で排出量半減の目標を達成するためには、既存技術の向上・普及だけでなく、より革新的な技術の普及による削減が必要であることを示すものであり、それぞれの技術による削減幅を示すものではない。

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

ベースラインからの部門別・技術別CO2排出削減量

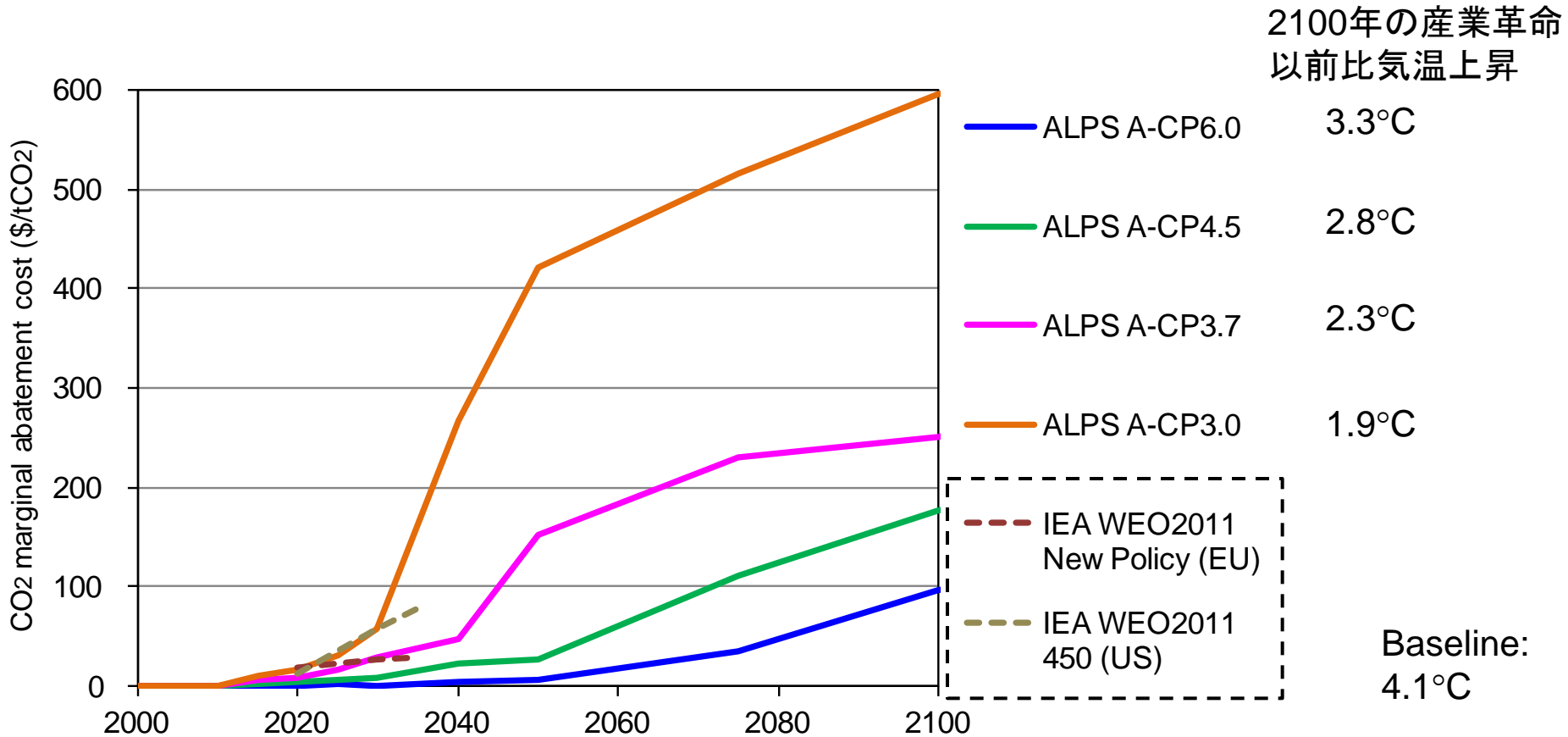


- 発電部門: CCS
- 発電部門: 再生可能
- 発電部門: 原子力
- 発電部門: 効率向上・化石燃料間転換
- 発電以外のエネルギー転換部門
- 民生部門
- 運輸部門
- 産業部門
- 国際海運・国際航空
- 産業プロセス起源CO2
- 土地利用起源CO2
- CO2排出量

注1) グラフ横の数値は2050年の削減率(すべてのシナリオでCP3.0における総削減量に対する比で表示)

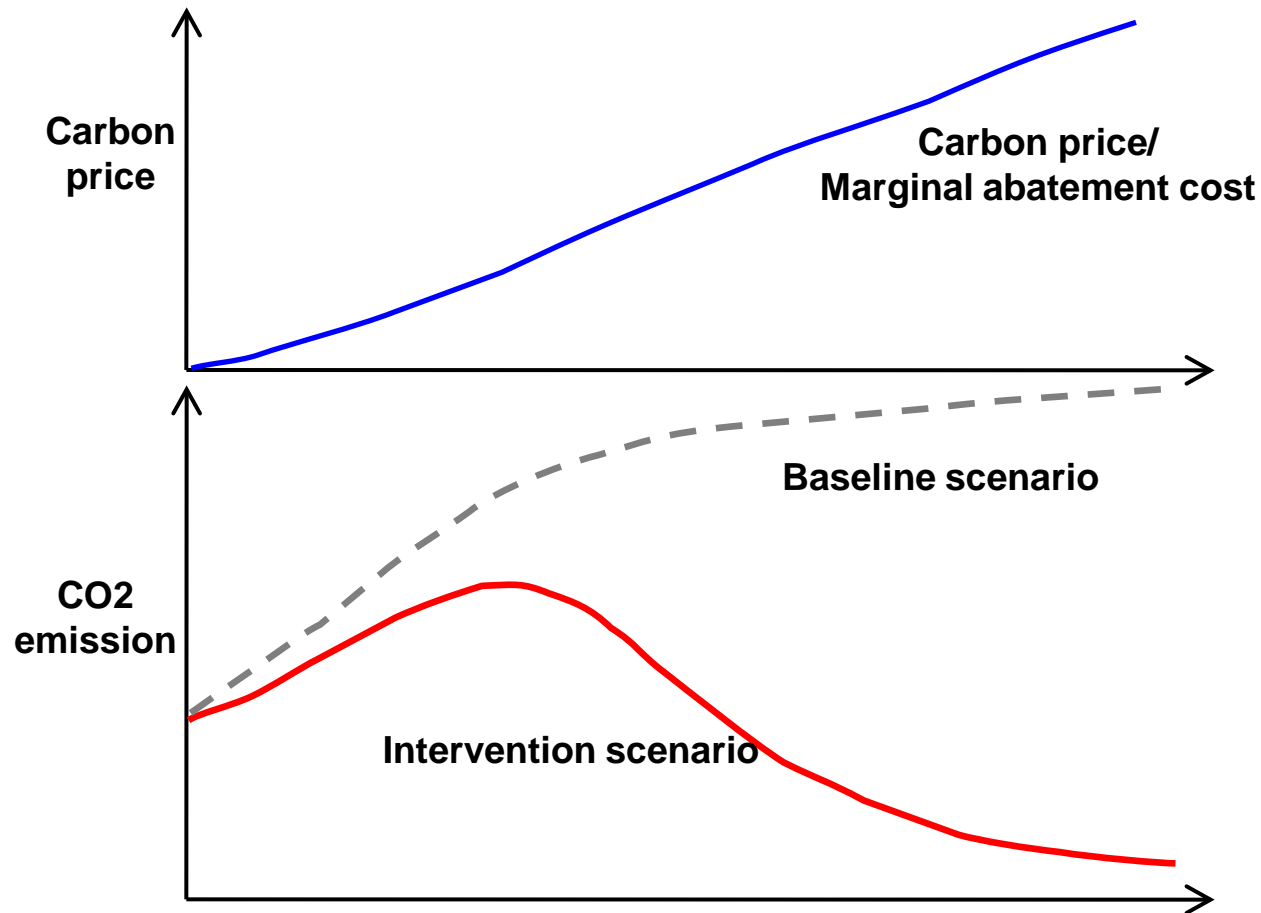
注2) ベースラインからの削減効果であり、ベースラインで比較的削減が大きく進む部門もある(運輸部門が代表的)。

排出削減レベル別のCO2限界削減費用



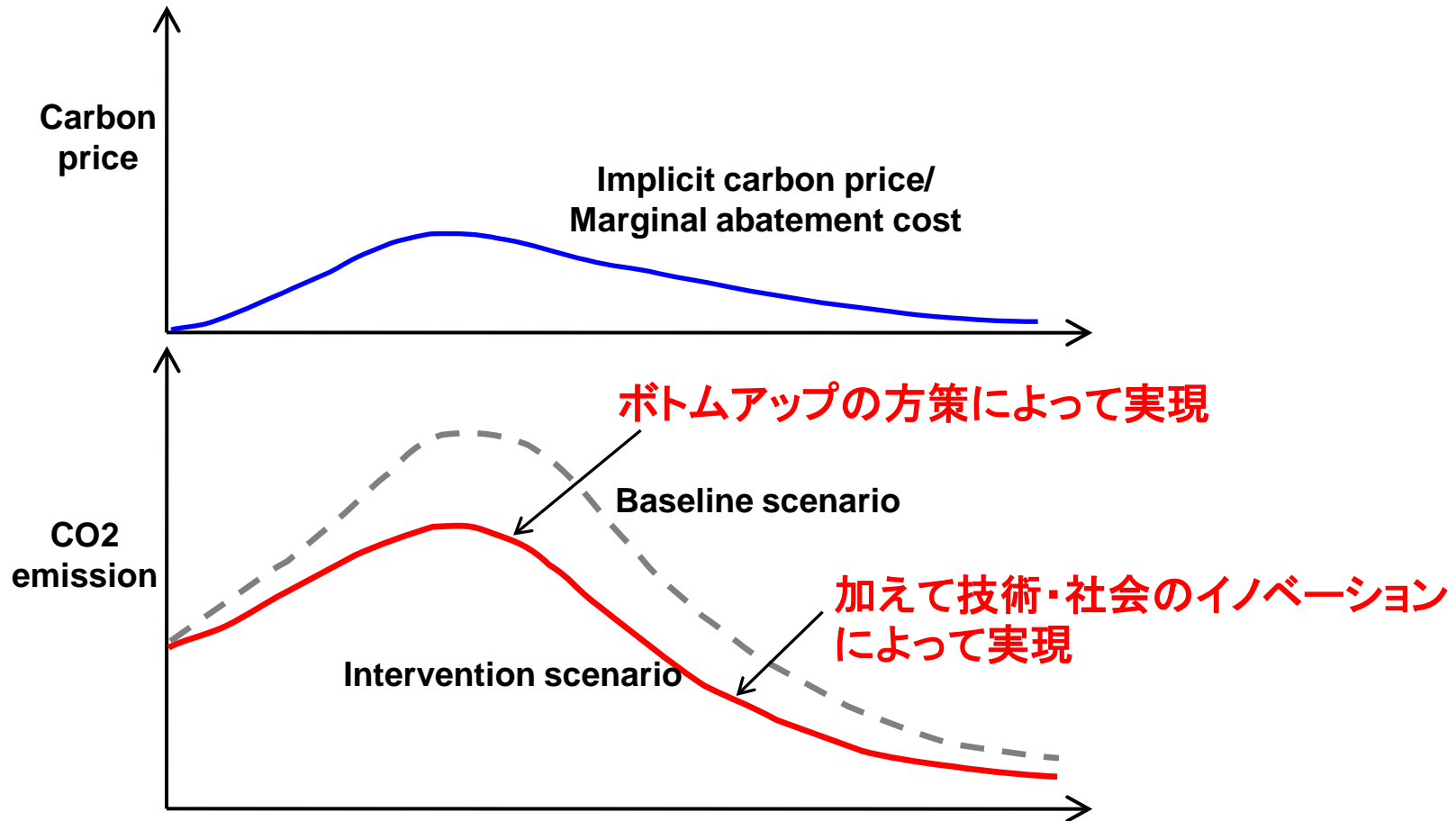
RITE ALPS CP3.0 (450 ppm CO₂eq.、産業革命以前比2°C以内に抑制)シナリオでは相当な技術進展、革新的技術のコスト低減を見込んではいるものの、それでも、特に2040年以降、相当高い限界削減費用が必要と推計される。

通常イメージされる大幅削減シナリオ



しかし、現実社会でこれが実現することは期待薄。特に明示的な炭素価格が $100\$/tCO_2$ 以上といったレベルで実現することはほとんど不可能

実現可能性のある大幅削減シナリオ



社会の変革、コベネフィットの追求によって低い炭素価格で排出が減るような社会を実現すること、そして、明示的に炭素に価格をつける方法ではないボトムアップ的な対策によって削減を行うことが重要

- ◆ 世界の温室効果ガスは、途上国を中心に今後も大きく増加が予想
- ◆ 産業革命以前比で 2°C 以内にするとといった目標や世界排出量半減といった目標は、劇的な排出削減、劇的な技術イノベーションが不可欠で、相当困難な目標
- ◆ グローバル化の中で、体化された CO_2 の移動が大きく起きている。国際協調のない国別の排出キャップのような方法では、グローバルな CO_2 排出削減に寄与せず、むしろ世界の排出量を増大させる可能性すらある。
- ◆ 経済成長を大きく阻害する温暖化対策は継続不可能。グリーン成長を追求すべき。しかし、現在の議論は論拠の乏しい夢だけのグリーン成長が語られることも多いので注意が必要。高コストな再エネの急激な導入は持続的ではなく、注意が必要
- ◆ あまり高い限界削減費用の対策は持続可能ではない。高いエネルギーではグリーン成長は実現しない。そして、エンドユースにおいて、社会の効用を高めるような技術イノベーションが、結果として低エネルギー利用がもたらされるような波及こそが重要であり、エネルギー・環境制約的な政策に注力し過ぎることなく、社会経済の発展に注力した政策が大変重要