

温暖化対策についての考え方

(財)電力中央研究所 今中健雄

2009年10月16日

環境パートナーシップ・CLUB (EPOC)

第1回温暖化・省エネ分科会セミナー

目次

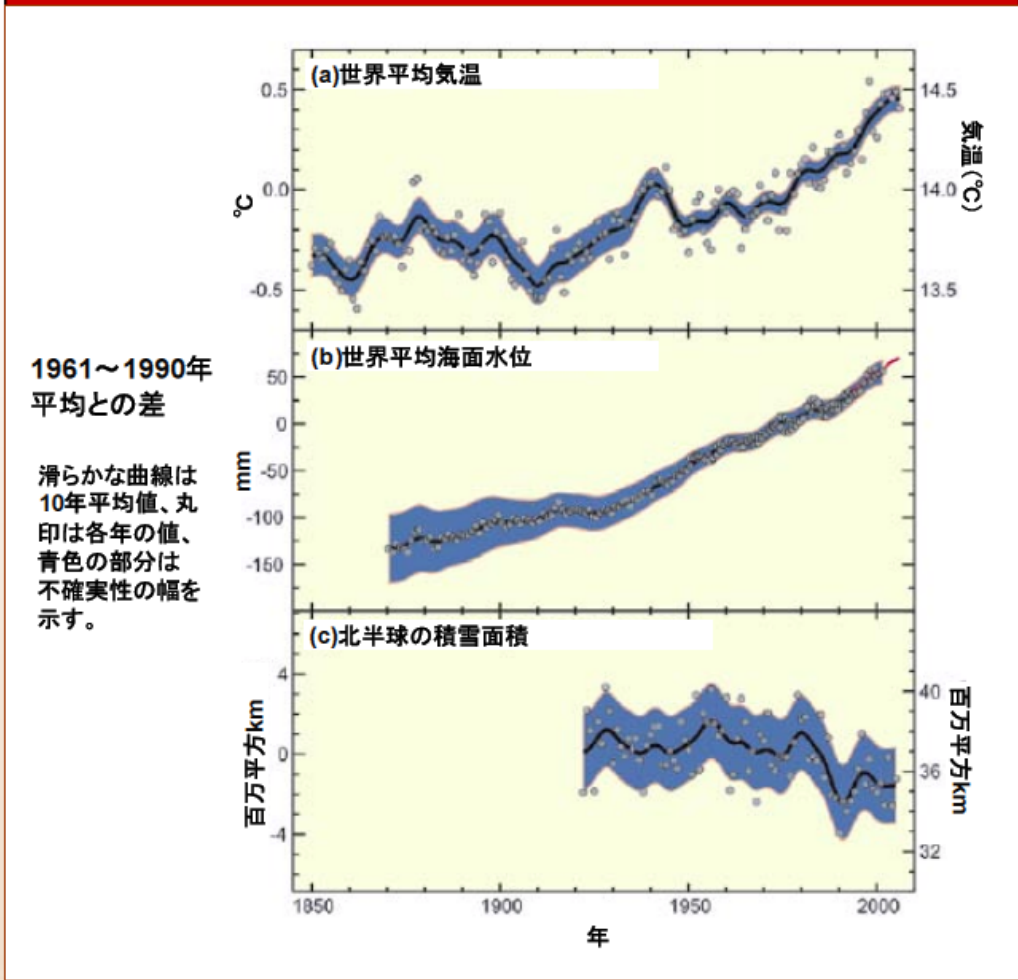
1. 温暖化の事実－大幅なCO2削減が必要
2. 大幅削減に向けて－削減目標の意味
3. 大幅削減に向けて－何をすべきか
4. まとめ
5. 日本の役割

温暖化には疑う余地がない。

- 気候システムの温暖化には疑う余地がない。
- このことは、大気や海洋の世界平均温度の上昇、雪氷の広範囲にわたる融解、世界平均海面水位の上昇が観測されていることから、今や明白である。

出典：AR4 SPM

世界平均地上気温、世界平均海面水位、北半球の積雪面積



出典：AR4 SPM 図3

人為起源による可能性がかなり高い

- 過去50年にわたって、南極大陸を除く各大陸において、平均すると、人為起源の顕著な温暖化が起こった可能性が高い。

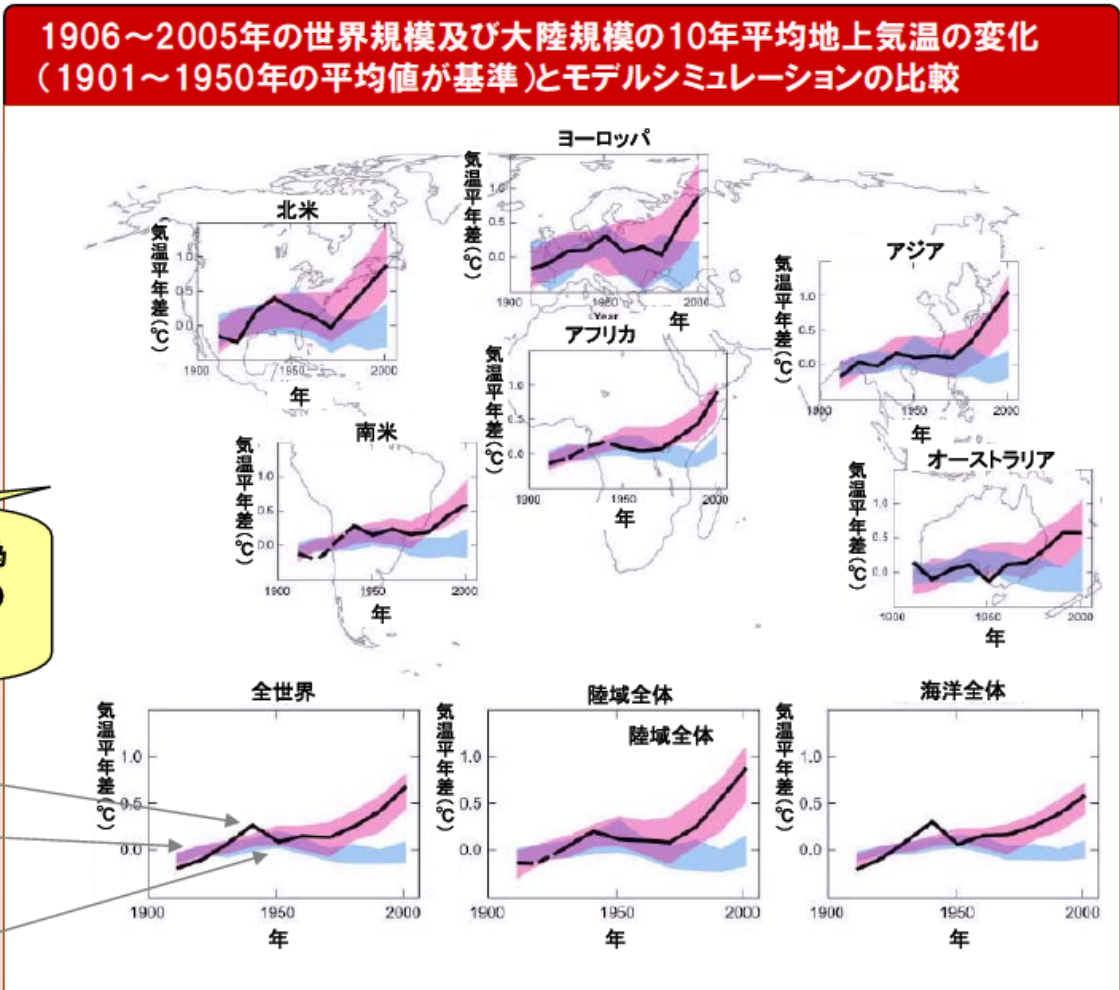
出典:AR4 SPM

自然の影響だけでなく人為影響を含むほうが、実際の観測結果と合致する。

黒:観測結果
(破線は観測面積が全体の50%未満)

赤帯:自然と人為の強制力※
によるシミュレーション

青帯:自然の強制力のみ
によるシミュレーション



出典:AR4 SPM 図4

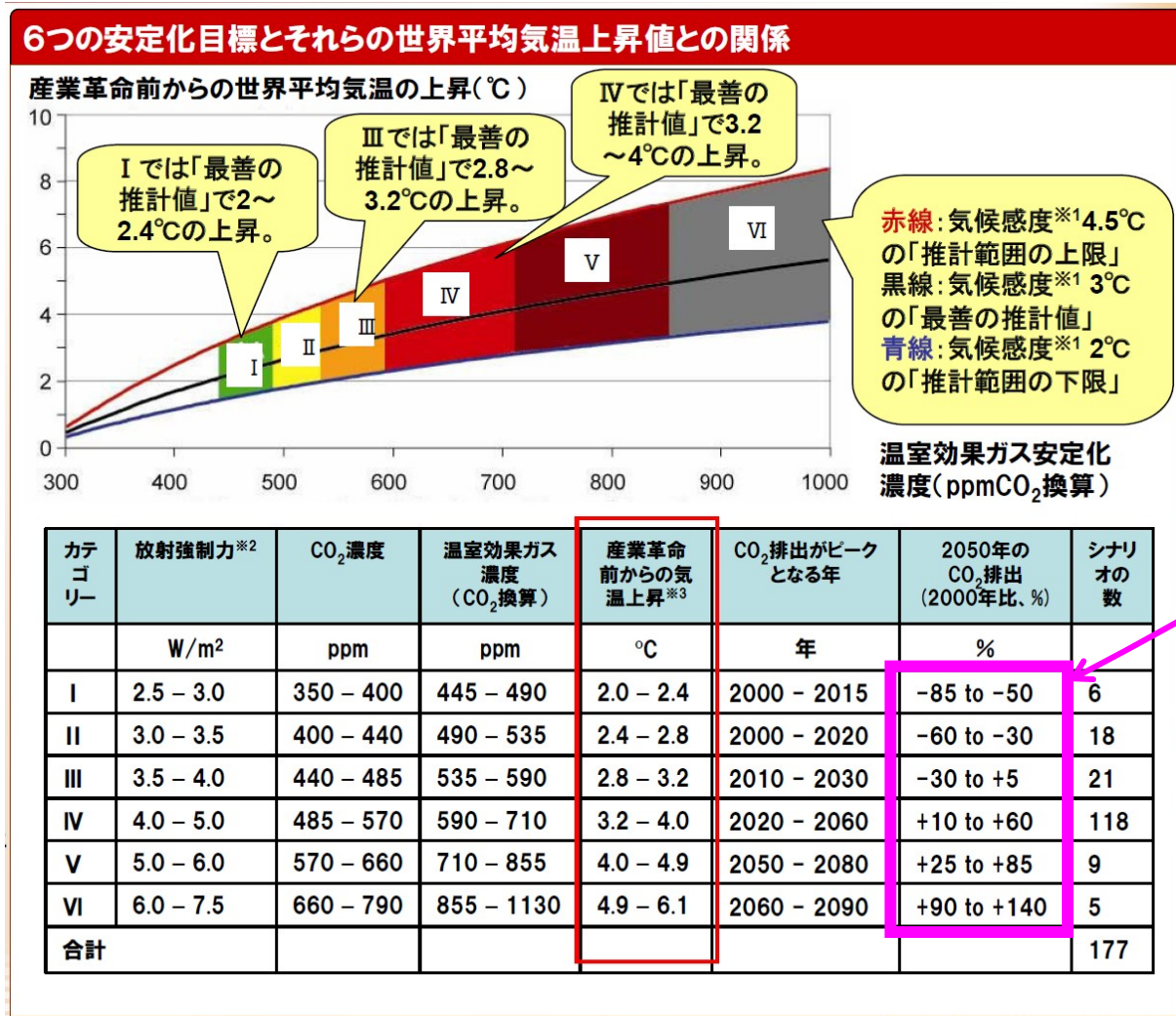
※ 正の放射強制力は地表面を暖め、負の放射強制力は地表面を冷やす。地球に出入りするエネルギーのバランスを変化させる影響力のことで、1平方メートルあたりワット数で表される。

温暖化は大きな問題である。

2. 気温2～3℃以上でどの地域も恩恵が減るか損失が増える

- 将来の気候変化の影響は、地域によってまちまちである。
- 世界平均気温の上昇が1990年レベルから1～3℃未満である場合、便益とコストが地域・分野で混在する。
- 気温の上昇が約2～3℃以上である場合には、すべての地域は正味の便益の減少か正味のコストの増加のいずれかを被る可能性が非常に高い。★
- これらの報告は「4℃の温暖化が起こると、途上国はより多くのパーセントの損失を経験すると予想される一方、世界平均損失はGDPの1～5%となり得るであろう」との第3次評価の結論を再認識するもの。ただし、世界で合算した数値は、多くの定量化できない影響を含めることができないため、過小評価である可能性が非常に高い。★

温暖化を抑えるには一 大幅な温室効果ガスの削減が必要



出典: AR4 SPM 表5および図8

2. 大幅削減に向けて一 削減目標の意味

大幅削減にとって 短中期的な目標は重要か？

- 政治的には意義がある。
- 温暖化の科学においては、重要ではない。

温度上昇の不確実性は大きい

安定化レベルの範囲におけるCO₂排出量と平衡気温の上昇量

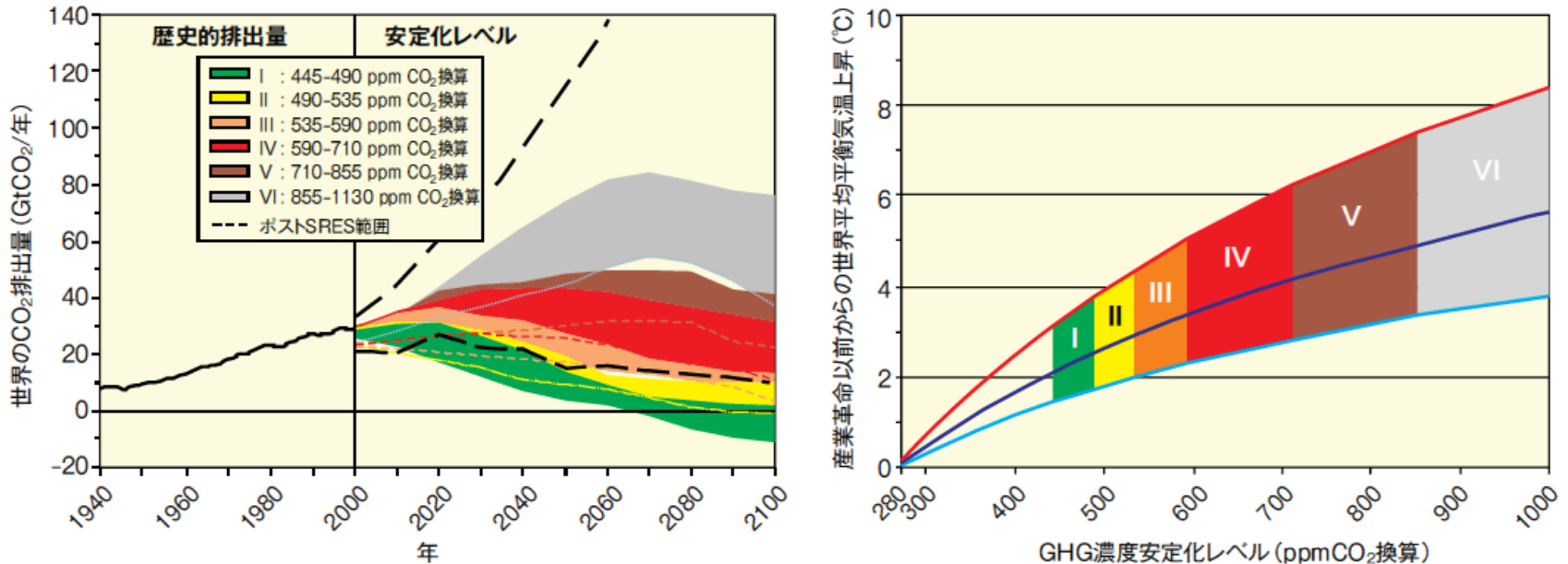
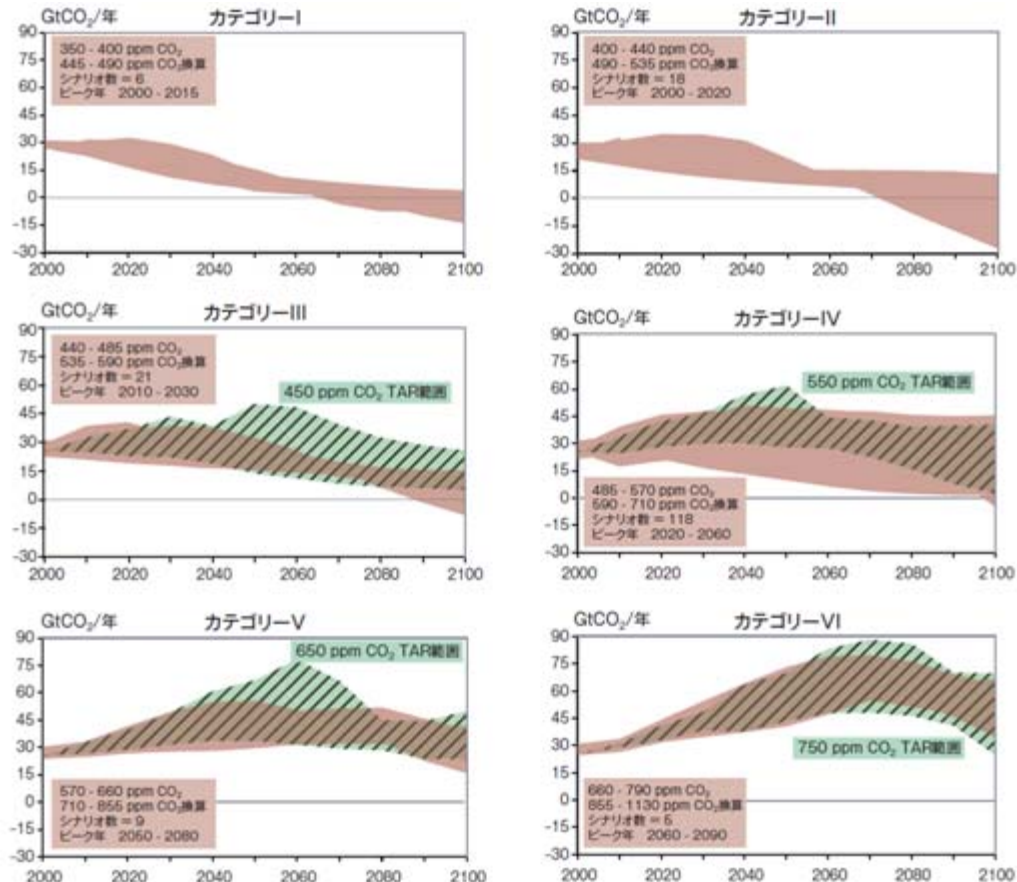


図 SPM.11. 1940年から2000年の世界のCO₂排出量と、2000年から2100年に関する安定化シナリオカテゴリーのそれぞれに応じた排出量の範囲(左図)及び、安定化目標と、可能性の高い平衡時の世界平均気温の工業化以降からの上昇との関係(右図)。平衡状態に近付くには数世紀かかり得、より高い安定化レベルのシナリオについては特にそうである。彩色された領域は、異なる目標(安定化カテゴリーIからVI)に従って分類された安定化シナリオを示す。右の図は、工業化前からの世界平均気温の上昇値との関係、次のものを用いた：(i) 気候感度3°Cという「最良の推定値」(彩色された領域の中心にある黒い線)、(ii) 気候感度4.5°Cで可能性が高い範囲の上限(彩色された領域の上にある赤い線)、(iii) 気候感度2°Cで可能性が高い範囲の下限(彩色された領域の下部にある青い線)。左図の黒の破線はSRES(2000)以降に発表された最近のベースラインシナリオの排出量の幅を示す。CO₂のみの、及び複数の温室効果ガスに関する安定化シナリオの排出量の、すべてのシナリオ分布の中の10パーセントから90パーセントの幅を示す。注)ほとんどのモデルのCO₂排出量には、伐採と森林減少後に残るバイオマスの腐朽、泥炭火災及び干上がった泥炭土から発生する排出量は含まない。[図5.1]

削減経路には柔軟性がある



図TS.8: 安定化目標の各カテゴリーにおける緩和シナリオの排出量動向(各パネル内のボックスに定義するカテゴリーIからIV)。薄茶の範囲はポストTARに作成された最近の緩和シナリオにおける二酸化炭素排出量を示す。緑の斜線入りの範囲は80以上のTAR安定化シナリオの範囲を示す(Morita, et al. 2000)。カテゴリーIとIIのシナリオは、TARでの最も低い安定化シナリオ以下のものを研究。モデルにより対象となる部門や産業が異なることから、基準年の排出量は、モデルにより異なる可能性がある。低いレベルでの安定化を達成するため、シナリオの中には、炭素回収貯留を使ったバイオマス生産技術を用い、大気中の二酸化炭素除去(マイナスの排出量)を展開するものもある[図3.17]。

短中期的には影響を回避できない。

- 適応策と緩和策を組み合わせることにより、気候変化に伴うリスクをさらに低減することができる。
- 最も厳しい緩和努力でも、今後数十年間は、気候変化のさらなる影響を回避できない。適応は、特に短期的な影響への対処において不可欠となる。**
- 気候変化が緩和されない場合、長期的には、自然環境、人間社会の適応能力の限界を超える。

適応策の具体例：モルディブ・マレ島護岸建設計画



マレ島

1987年のサイクロンによる高潮災害の際は、マレ島の1/3が冠水し、甚大な被害を受けるとともに、同国の首都機能が麻痺した経緯がある。

護岸

2004年12月の津波の後、護岸のおかげで多くの命が救われ、首都は無事だった。



短中期的に壊滅的な影響が予測されているわけでもない。

6.グリーンランドと南極の氷床〈予測〉

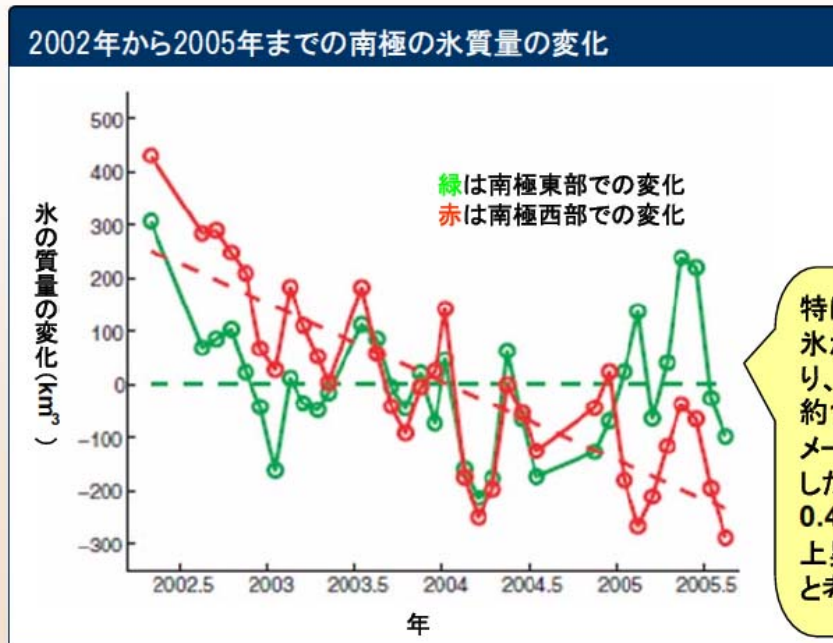
46

- 氷床表面の負の質量収支※が数千年続くとすると、グリーンランドの氷床がほぼ完全に消失し、7mの海面上昇を引き起こすと予測されている。

※ ある期間の氷河の増加量と減少量の差し引きのこと。

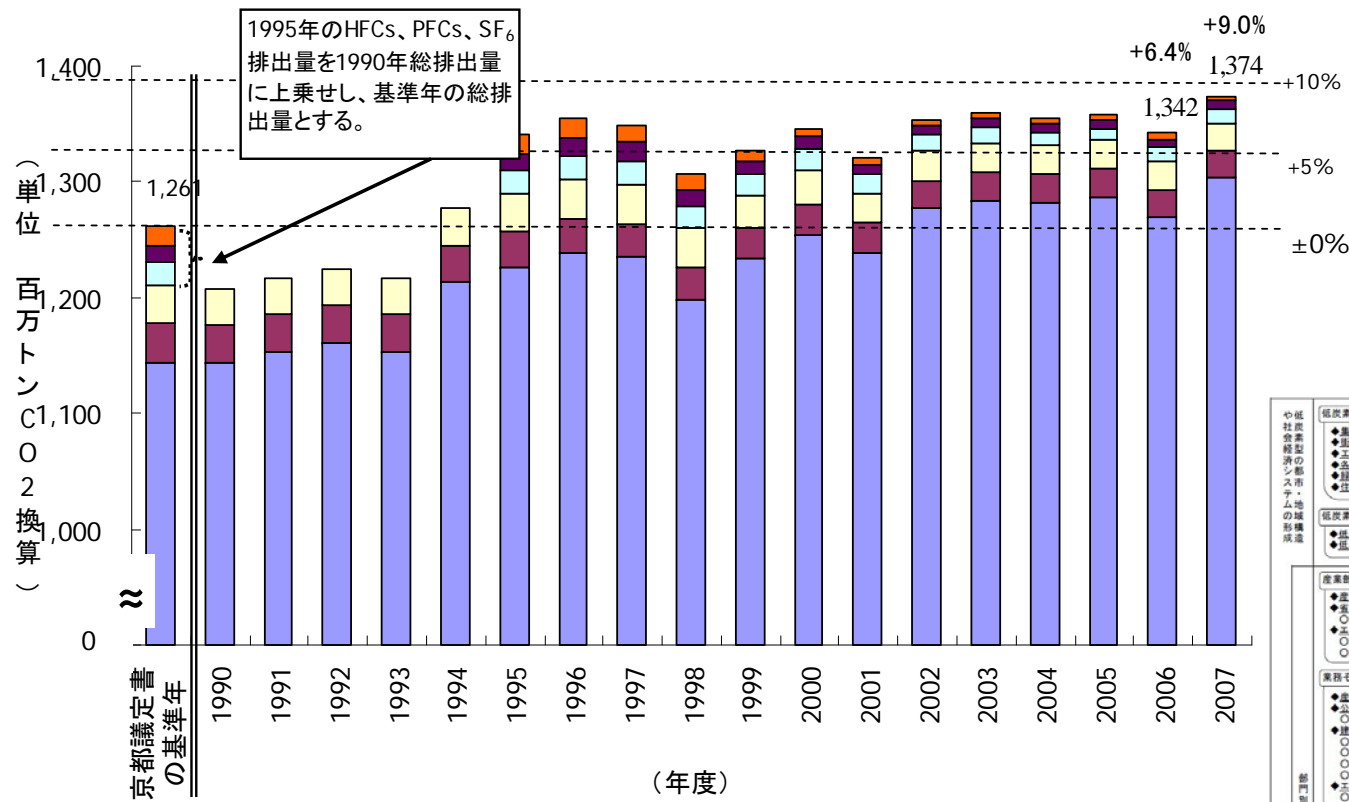
- 南極の氷床は、寒冷であるため広範囲に表面が溶けることはなく、むしろ降雪の増加により、質量の増加が予測される。
- しかし、力学的な氷の流出が氷床の質量収支を左右しているとすれば、氷床の質量の減少が生じるかもしれない。

出典：AR4 SPM



出典：Vekucigba, I. and Wahr, J., 2006. Measurements of Time-Variable Gravity Show Mass Loss in Antarctica, Science 311, 1754-1756. Reprinted with permission from AAAS. Readers may view, browse, and/or download material for temporary copying purposes only, provided these use are for noncommercial personal purposes. Except as provided by law, this material may not be further reproduced, distributed, transmitted, modified, adapted, performed, displayed, published, or sold in whole or in part, without written permission from the publisher.

削減達成が容易ならともかく



- SF₆
- PFCs
- HFCs
- N₂O
- CH₄
- CO₂

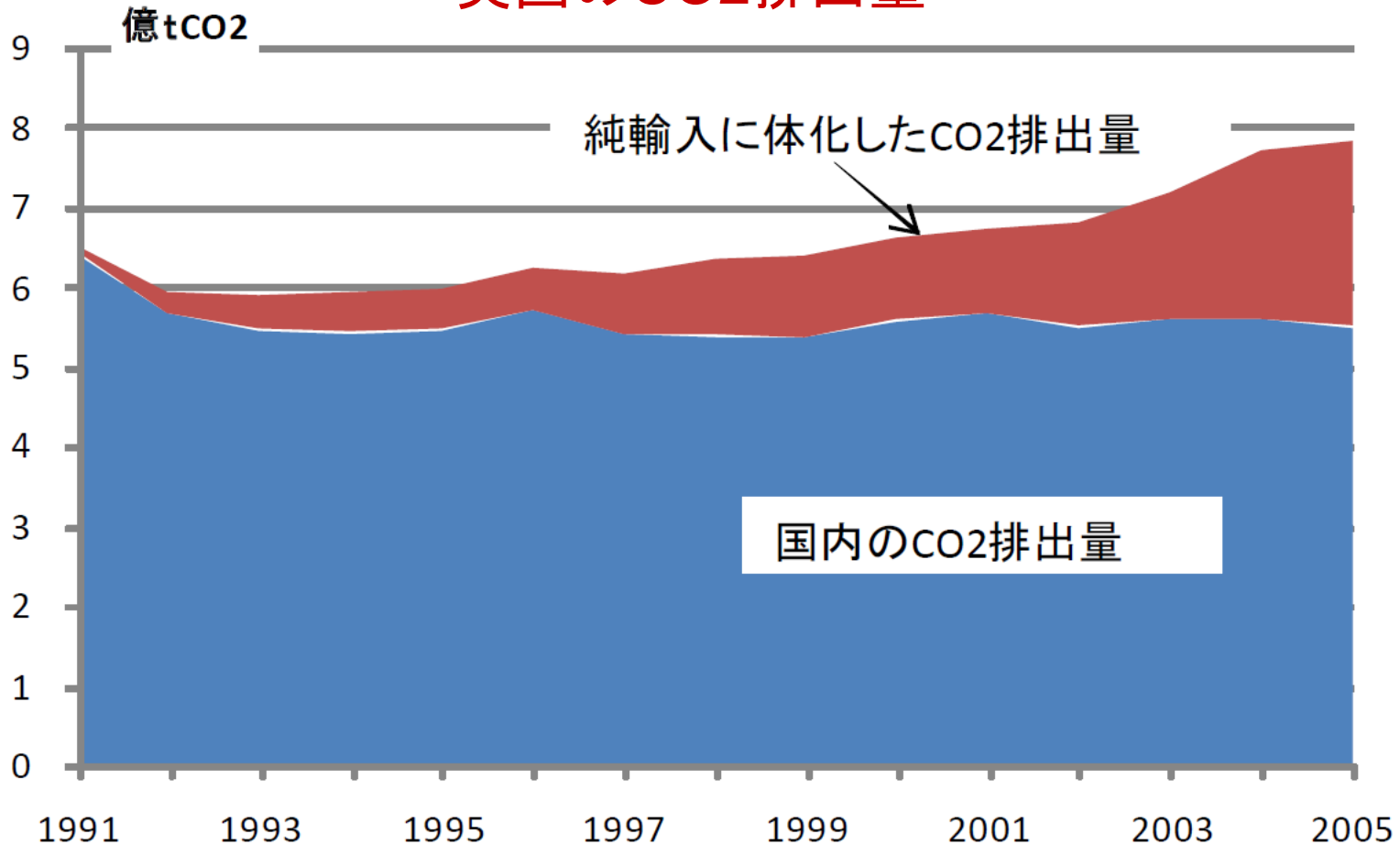
表6 エネルギー起源二酸化炭素に関する対策の全体像

部門別(産業、民生、運輸等)の対策、政策	低炭素型の都市・地域デザイン ●集約型・低炭素型都市構造の実現 ●街区・地区レベルにおける対策 ●エネルギーの効率的利用の促進 ●全体の緑化の取組を推進する取組 ●熱化ヒートアイランド対策による熱環境改善を通じた都市の低炭素化 ●住宅の長寿命化の取組
	低炭素型交通・物流体系のデザイン ●低炭素型交通システムの構築 ●低炭素型物流体系の形成
	産業部門(製造事業者等)の取組 ●産業界における自主行動計画の推進・強化 ●省エネルギー性能の高い設備・機器の導入促進 ●製造分野における省エネルギー機器の普及 ●エネルギー管理システムの普及 ●工場・事業場におけるエネルギー管理の徹底 ●農林水産業における取組
	業務その他の部門の取組 ●産業界における自主行動計画の推進・強化 ●公共機関の省エネルギー取組 ●地方公共団体の省エネルギー取組 ●地方公共団体以外の公共機関の省エネルギー取組 ●建築物、設備・機器等の省CO ₂ 化 ●建築物の省エネルギー性能の向上 ●緑化等ヒートアイランド対策による熱環境改善を通じた都市の低炭素化 ●エネルギー管理システムの普及 ●トッパンナー基準に基づく機器の効率向上 ●高効率な省エネルギー機器の開発、普及支援 ●工場・事業場におけるエネルギー管理の徹底 ●中小企業の排出削減対策の推進 ●省民運動の展開
家庭部門の取組 ●省民運動の展開 ●住宅・設備・機器等の省CO ₂ 化 ●住宅の省エネルギー性能の向上 ●トッパンナー基準に基づく機器の効率向上 ●エネルギー管理システムの普及 ●高効率な省エネルギー機器の開発、普及支援	
運輸部門の取組 ●自動車・道路交通対策 ●自動車単体対策の推進 ●交通流対策の推進 ●環境に配慮した自動車使用の促進 ●省民運動の展開 ●公共交通機関の活用促進 ●公共交通機関の活用促進 ●エネルギー効率の良い鉄道・船舶・航空機の開発、導入促進 ●ネットワーク等情報通信技術を活用した交通代替の推進 ●高効率な省エネルギー機器の開発、普及支援 ●物流の効率化 ●両主と物流事業者の協働による省CO ₂ 化の推進 ●モーダルシフト、トラック輸送の効率化等の推進 ●グリーン経営認証制度の普及促進	
エネルギー転換部門の取組 ●産業界における自主行動計画の推進・強化 ●電力分野の二酸化炭素排出原単位の低減 ●再生エネルギーの取組 ●天然ガスの導入及び利用拡大 ●石油の効率的利用の促進 ●LPガスの効率的利用の促進 ●水素社会の実現 ●船エネルギー対策 ●新エネルギー等の導入促進 ●バイオマス利用の推進 ●上下水道・廃棄物処理における取組	

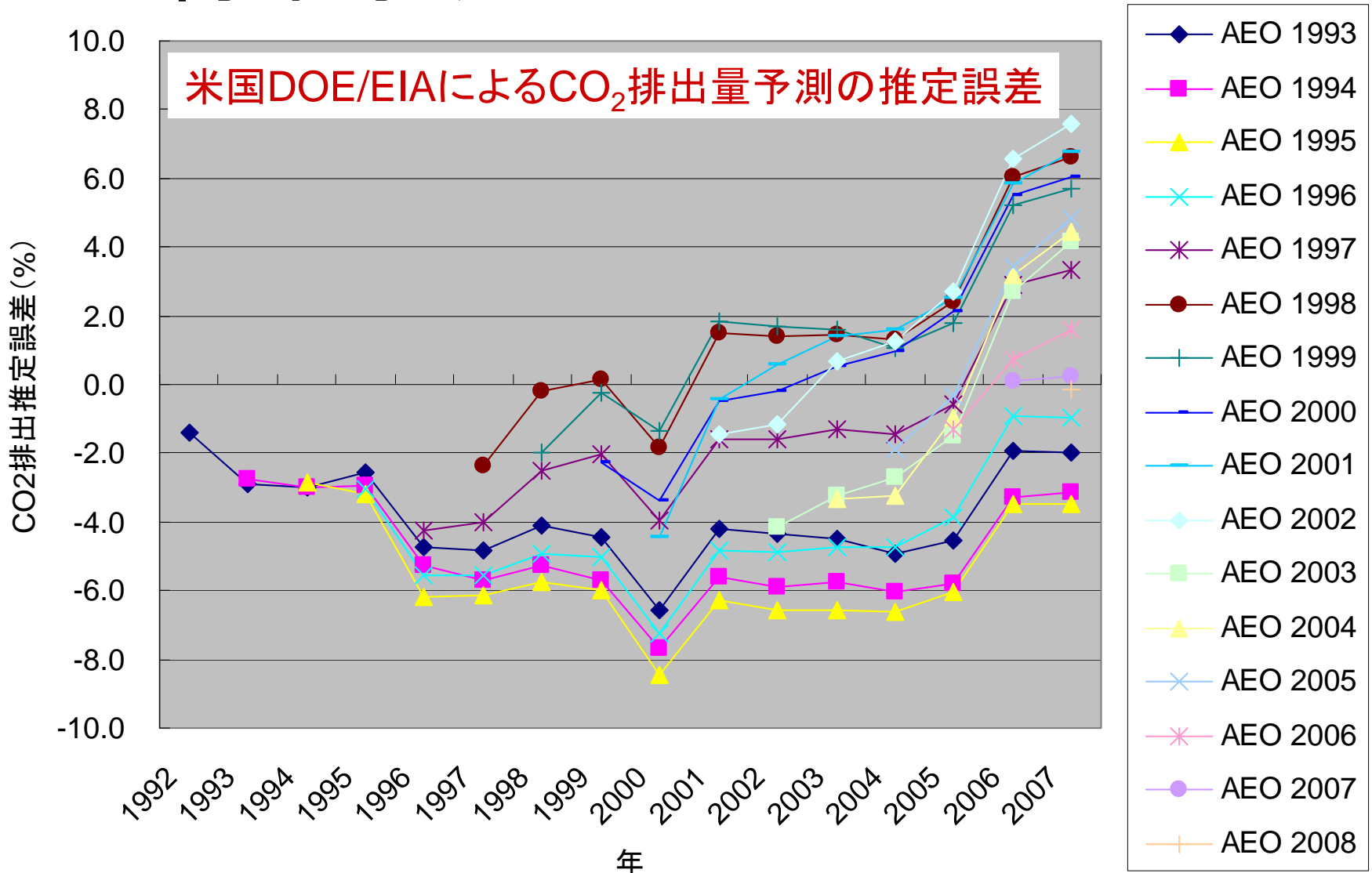
環境省、2007年度(平成19年度) 温室効果ガス排出量について

削減達成は容易ではない

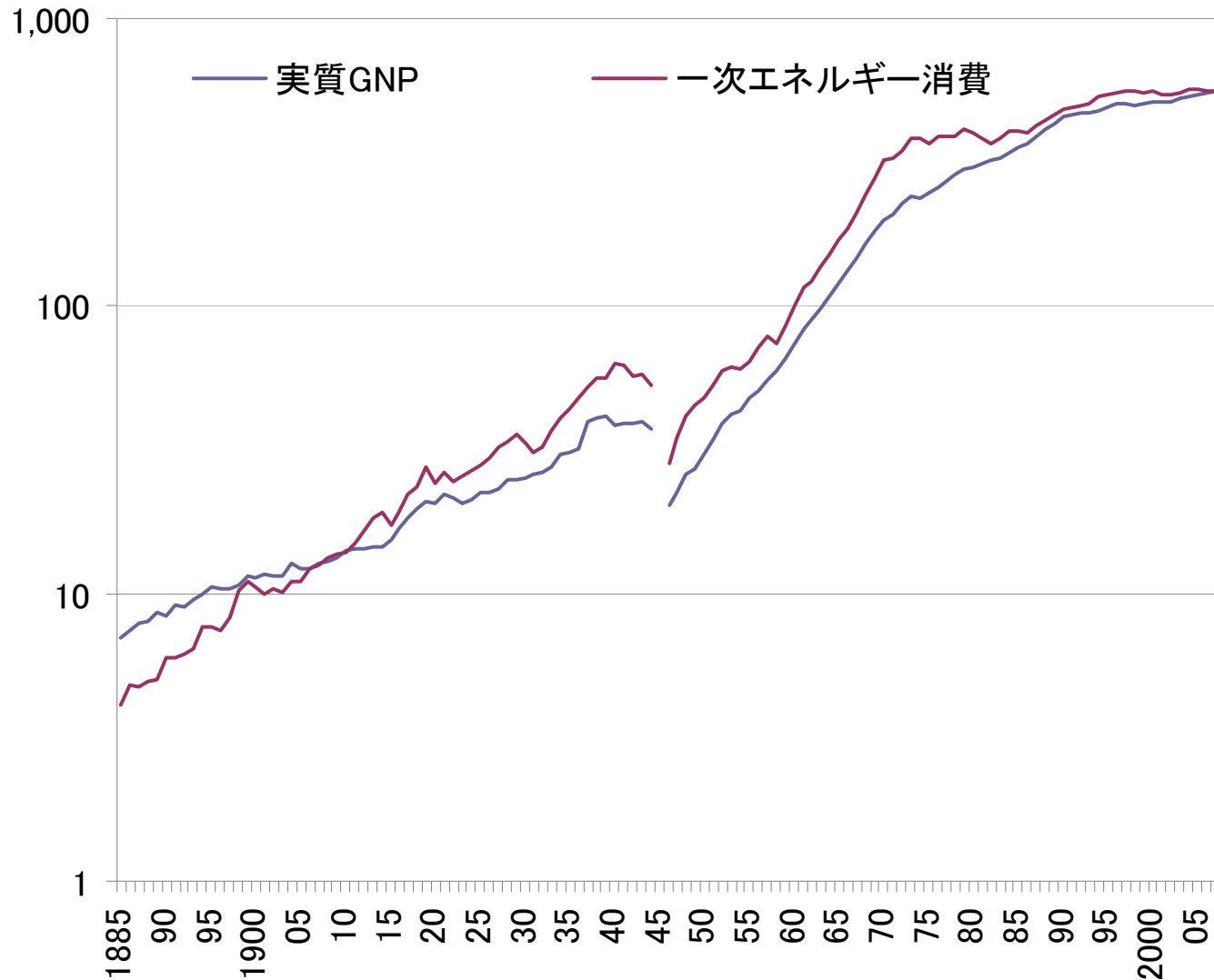
英国のCO2排出量



将来予測は当たらなかつた



経済活動とエネルギー消費の関係は密接



出所:EDMC、エネルギー・経済統計要覧より作成

新規エネルギー需要は予測困難

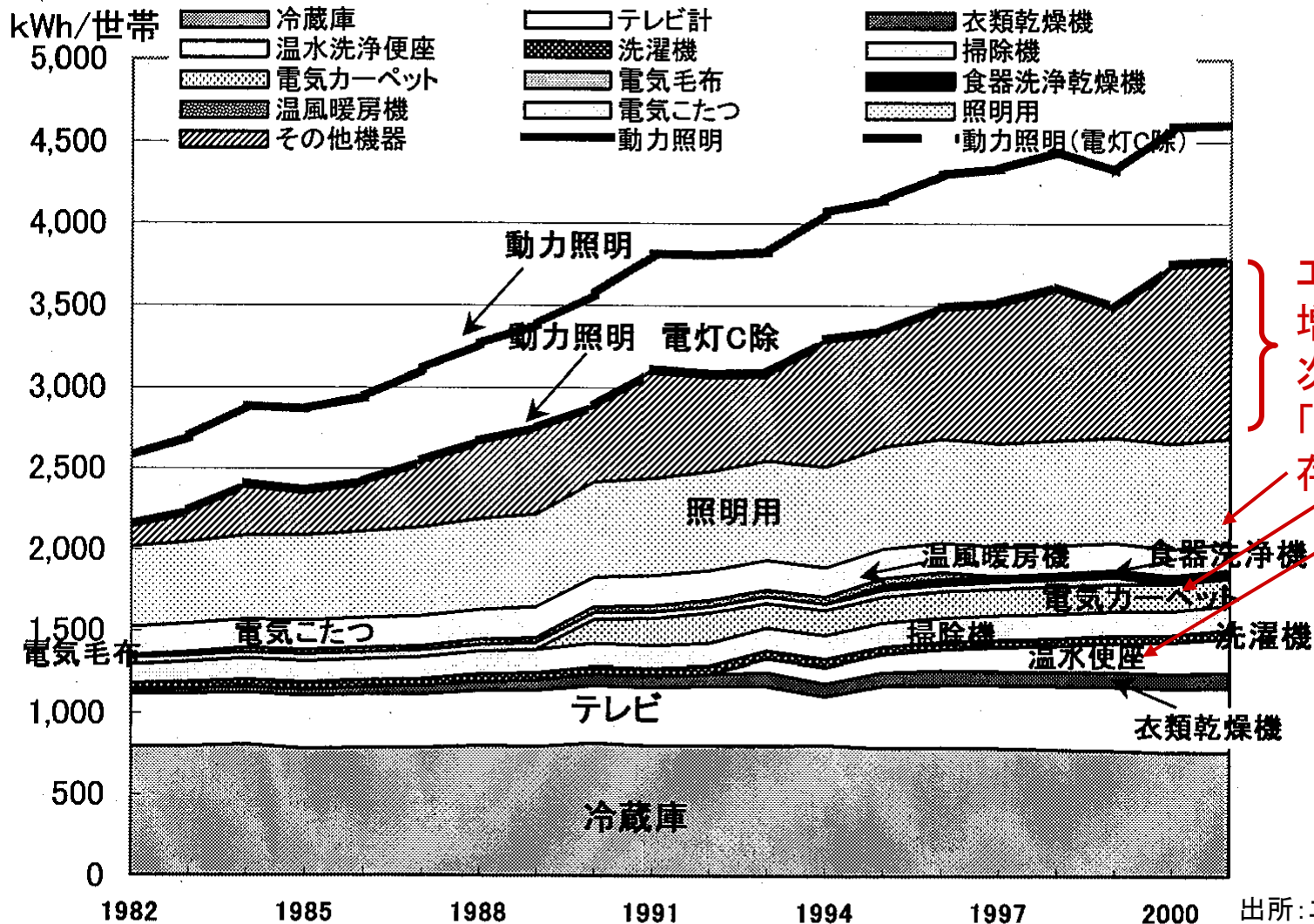
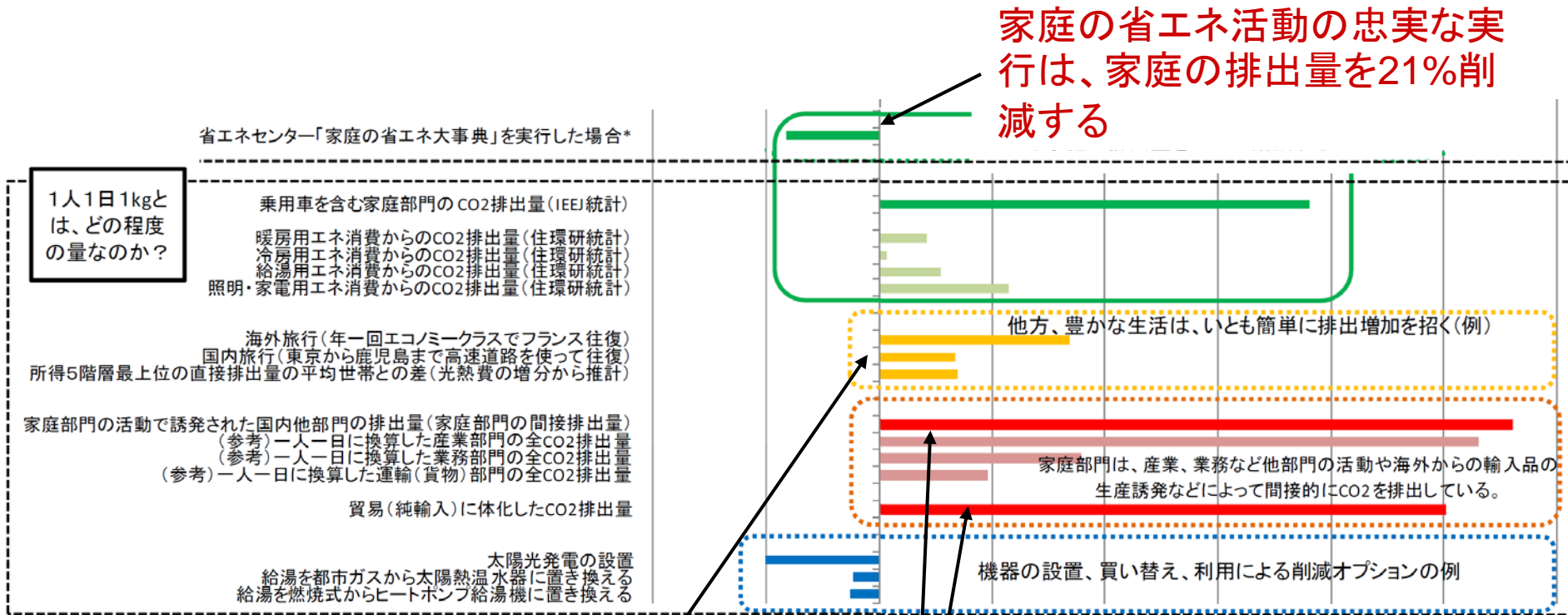


図 5.3.2 動力照明用途原単位の推移

出所: エネルギー経済研究所、民生部門エネルギー消費実態調査(総括編)、2003年

省エネ運動だけでは解決しない

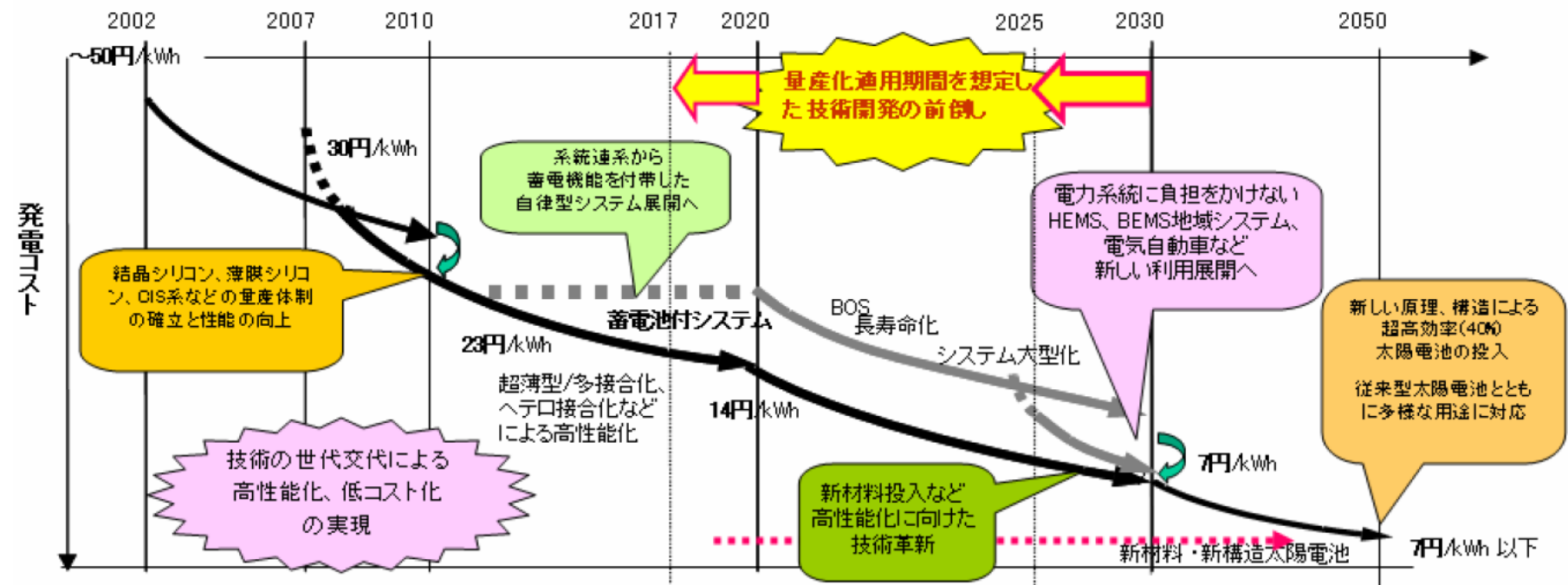


他方、豊かな生活は簡単に排出増加を招き、消費活動によって間接的に大幅な排出をもたらしている。

技術開発は大きな不確実性を伴う

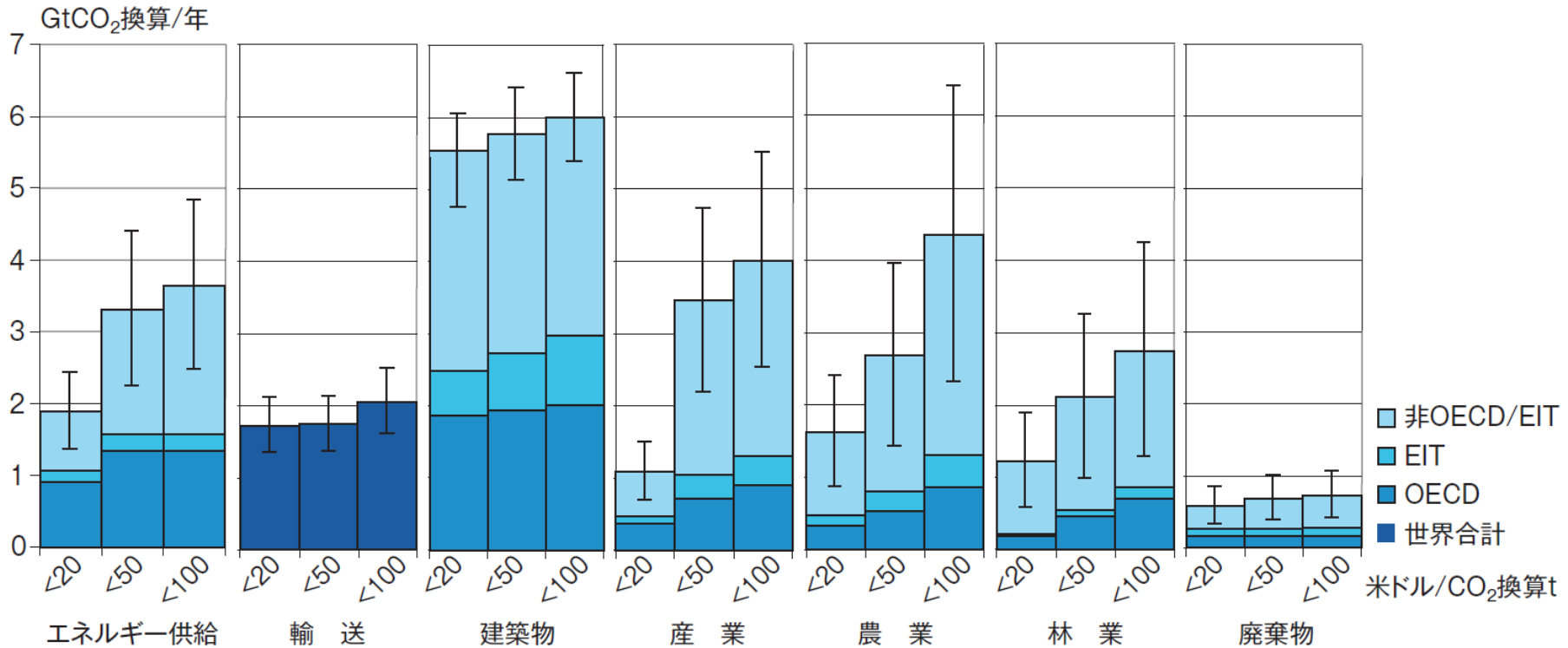
- 多くのロードマップは「目標」に過ぎない

● 低コスト化シナリオと太陽光発電の展開



出所: NEDO、太陽光発電ロードマップ(PV2030+)、2009年

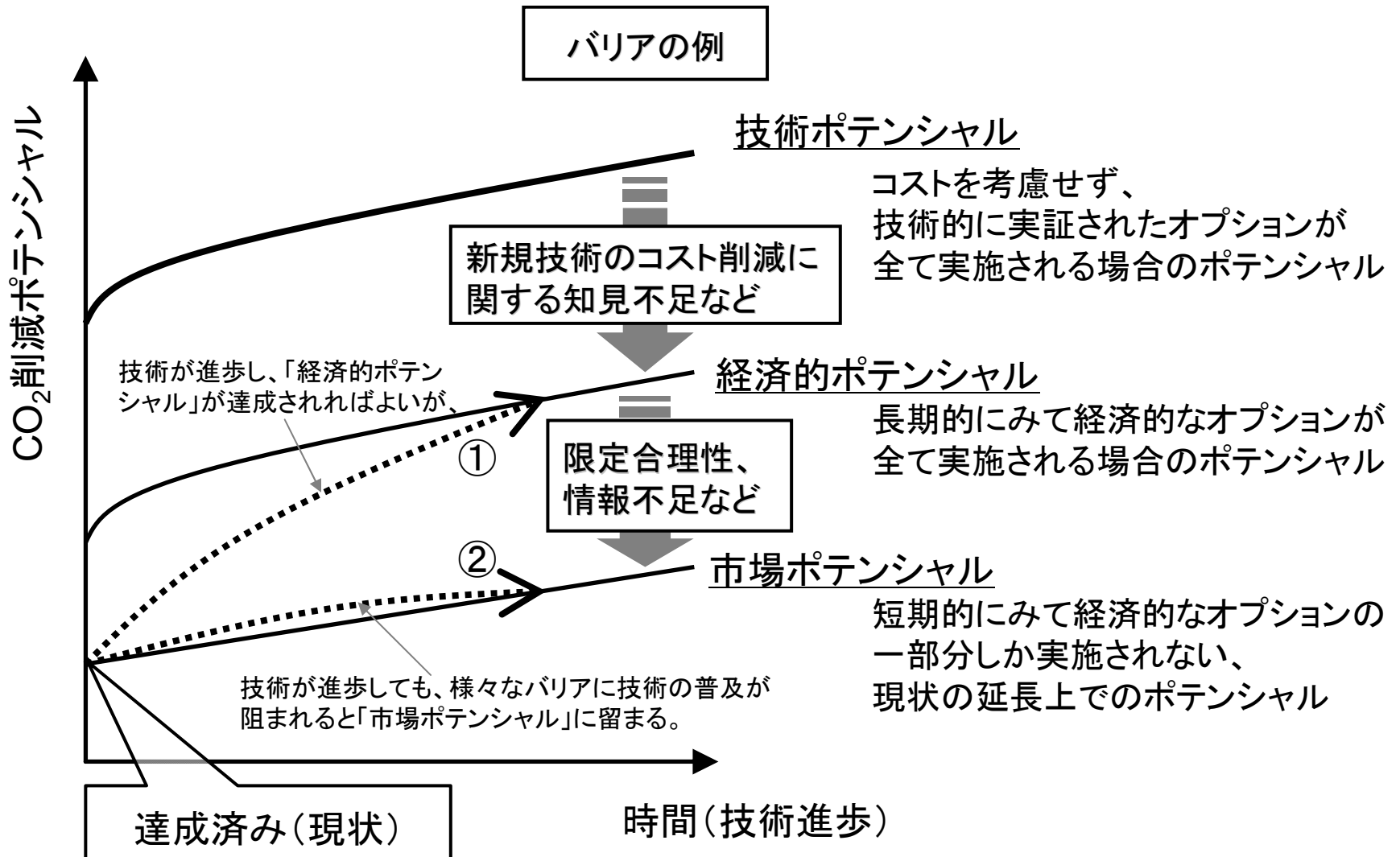
経済的な削減対策は多いとされるが、



図TS.27: ボトムアップ研究による2030年の世界の緩和における部門別の経済的ポテンシャルの推計値。各部門の評価で仮定されたそれぞれのベースラインと比較した値であり、炭素価格に応じて地域別に示した。この図の説明の詳細はセクション11.3に示す。

経済的ポテンシャル、とは？

実現には様々なバリア(障壁)がある



目標は目安でしかなく、達成は不確実

- **目標は目安でしかない。**
 - 排出削減と温度上昇の関係には不確実性が存在
 - 排出削減パスには様々な可能性がある

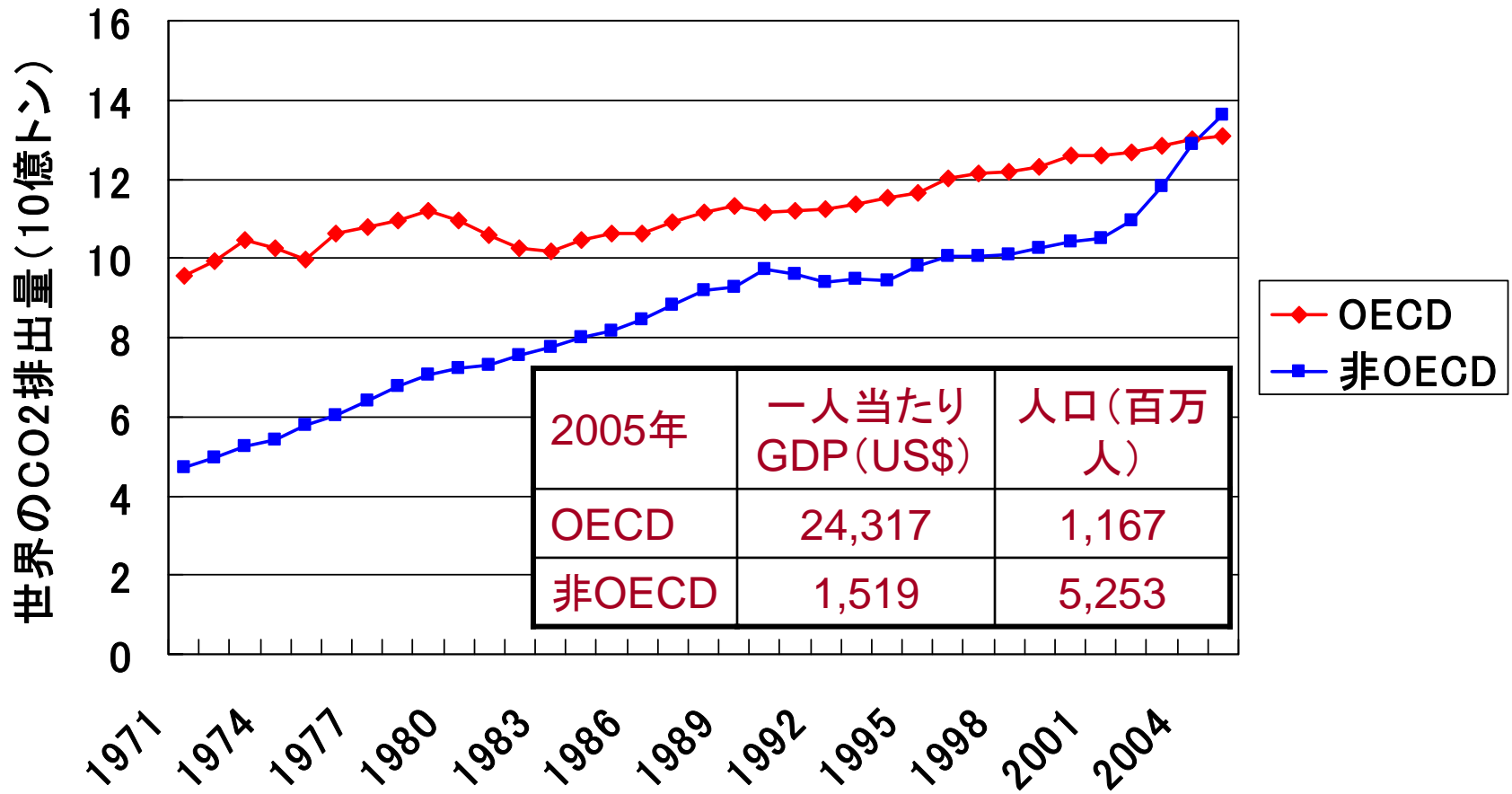
- **達成も不確実**
 - 簡単な目標ではなく
 - 長期の問題である(正確な予測ができない)
 - 生活型環境問題である(排出主体全てを制御できない)
 - 民主主義における意思決定の不確実性
 - 技術普及を妨げる「バリア」の存在

数値目標の意義と限界

- **意義**: 環境問題に政治的注目を集め、各国の政策実施を促す効果がある。
 - 短中期的な目標: 早期の取り組みに対するメッセージ。
- **限界**: 数値目標の達成には大きな不確実性
 - あらゆる不確実性にも関わらず、確実に目標を達成しようとすると...費用は無限大に。
 - 科学的にも、目安でしかない。
- **重要なことは長期的に大幅削減を目指すこと。**
 - 短中期の目標達成で疲弊してはいけない。
 - 政治的枠組みの進展に期待

3. 大幅削減に向けて一 何をなすべきか

先進国はニア・ゼロエミッション相当



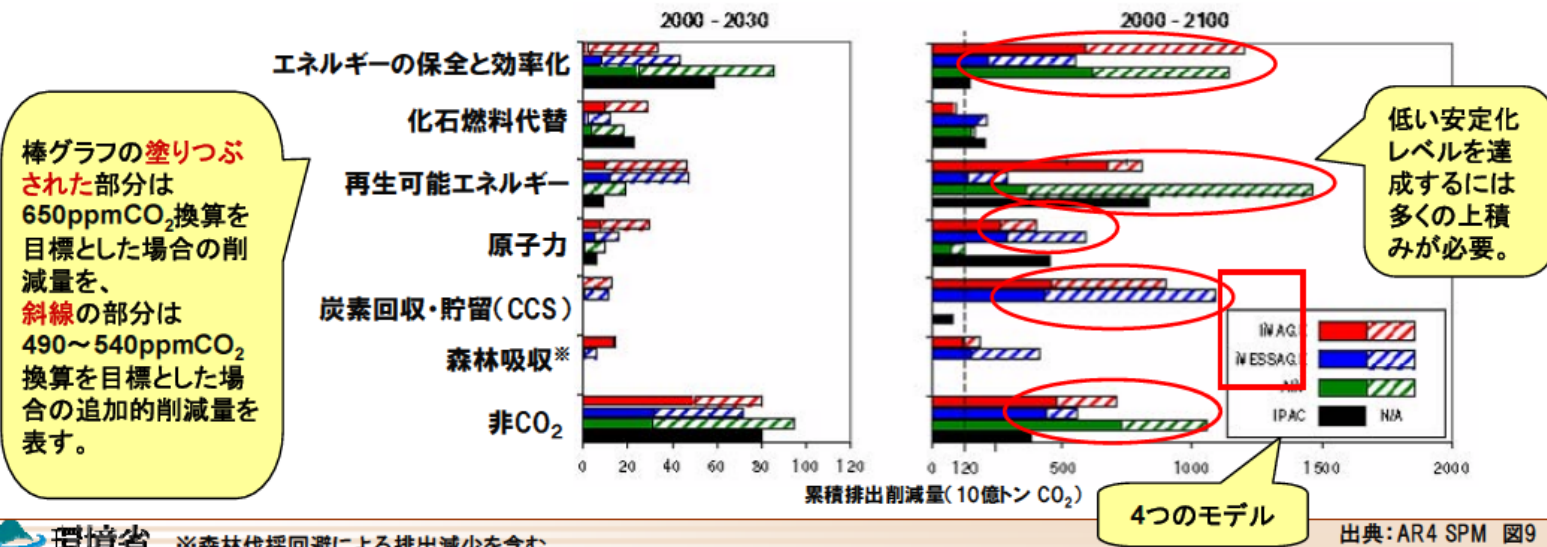
出所:EDMC エネルギー・経済統計要覧より作成

技術の開発と普及が不可欠

- 安定化レベルの範囲は、現在利用可能もしくは、数十年のうちに商品化されると予測される技術の組合せによって達成されうる。これは、技術の開発、獲得、導入や普及、あるいは関連した障壁に取り組むことに対して、適切で効果的なインセンティブが与えられることを前提としている。 ■ ★★★★★
- エネルギー効率の向上は、安定化シナリオが取り扱う多くの地域及びさまざまな時間スケールにおいて、重要な役割を果たす。
- 安定化レベルを低く設定した場合、シナリオの技術的オプションは、再生可能エネルギーや原子力などの低炭素エネルギーの活用、そしてCO₂回収・貯留 (CCS) の利用に重点を置くことになる。
- バイオエネルギーに関する最新技術は、再生可能エネルギーのシェアに大きく貢献する。

出典:AR4 SPM

安定化目標達成のための、4つのモデルによる代替緩和措置での温室効果ガス累積排出削減量予測



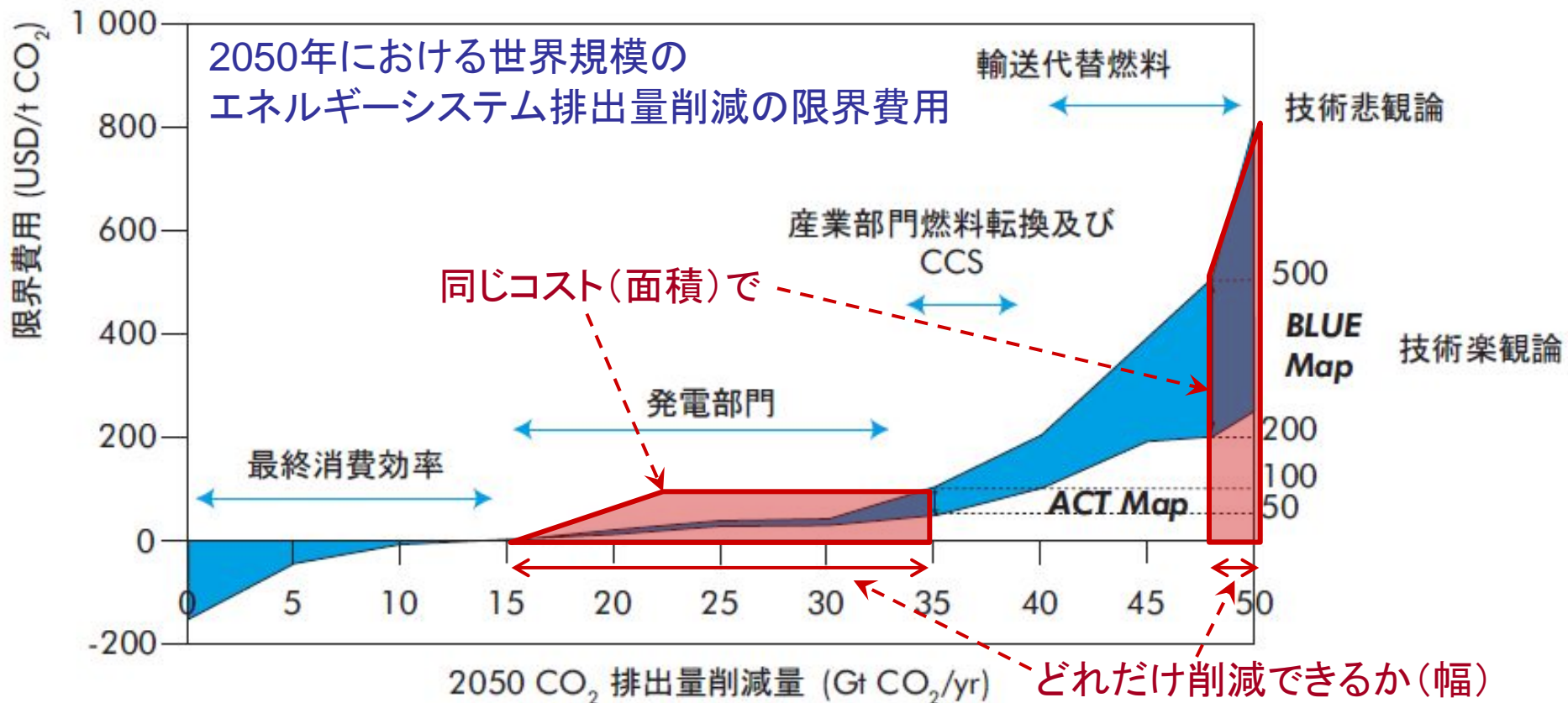
環境省

※森林伐採回避による排出減少を含む。

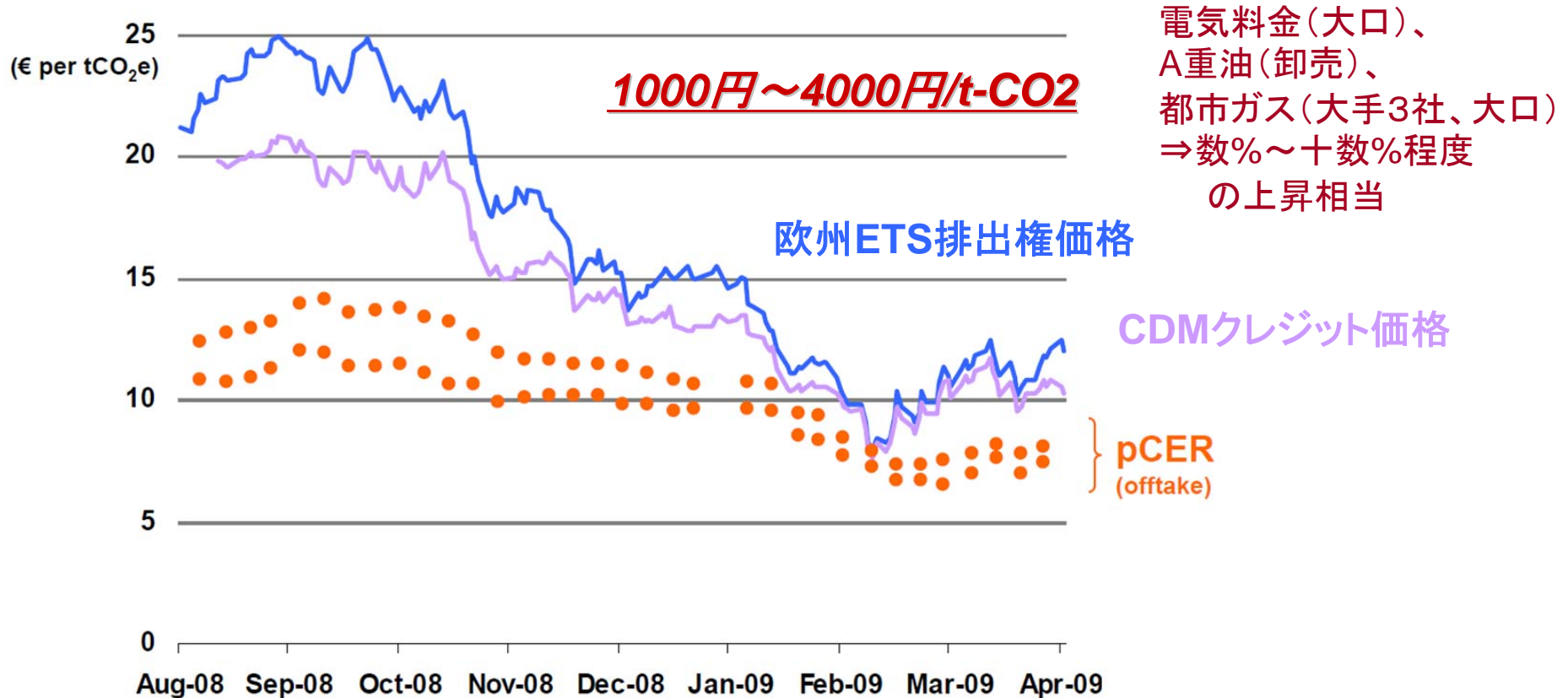
出典:AR4 SPM 図9

技術普及の要点

- コストの低いものから実施＝最大限の削減

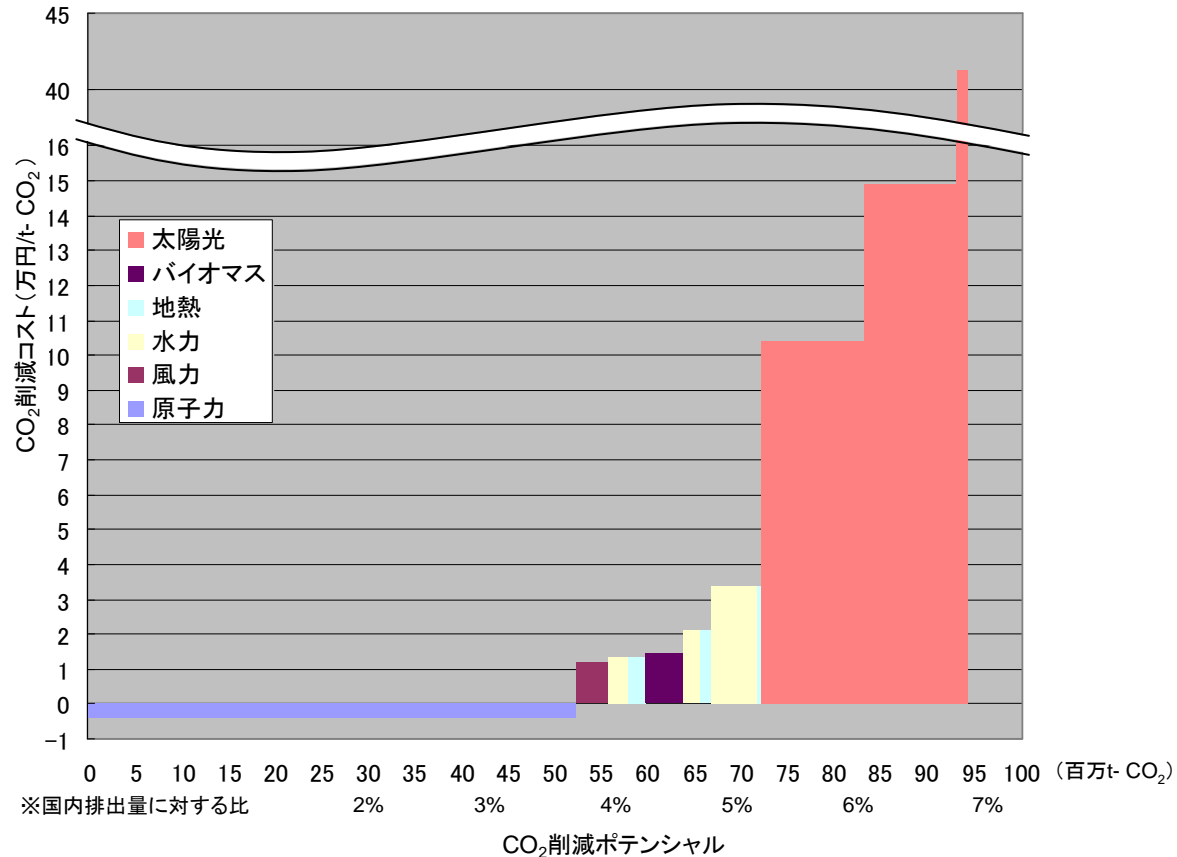


現在のCO2削減費用の相場



出所: The World Bank State and Trends of the Carbon Market 2009 Washington, D.C. ... May 2009

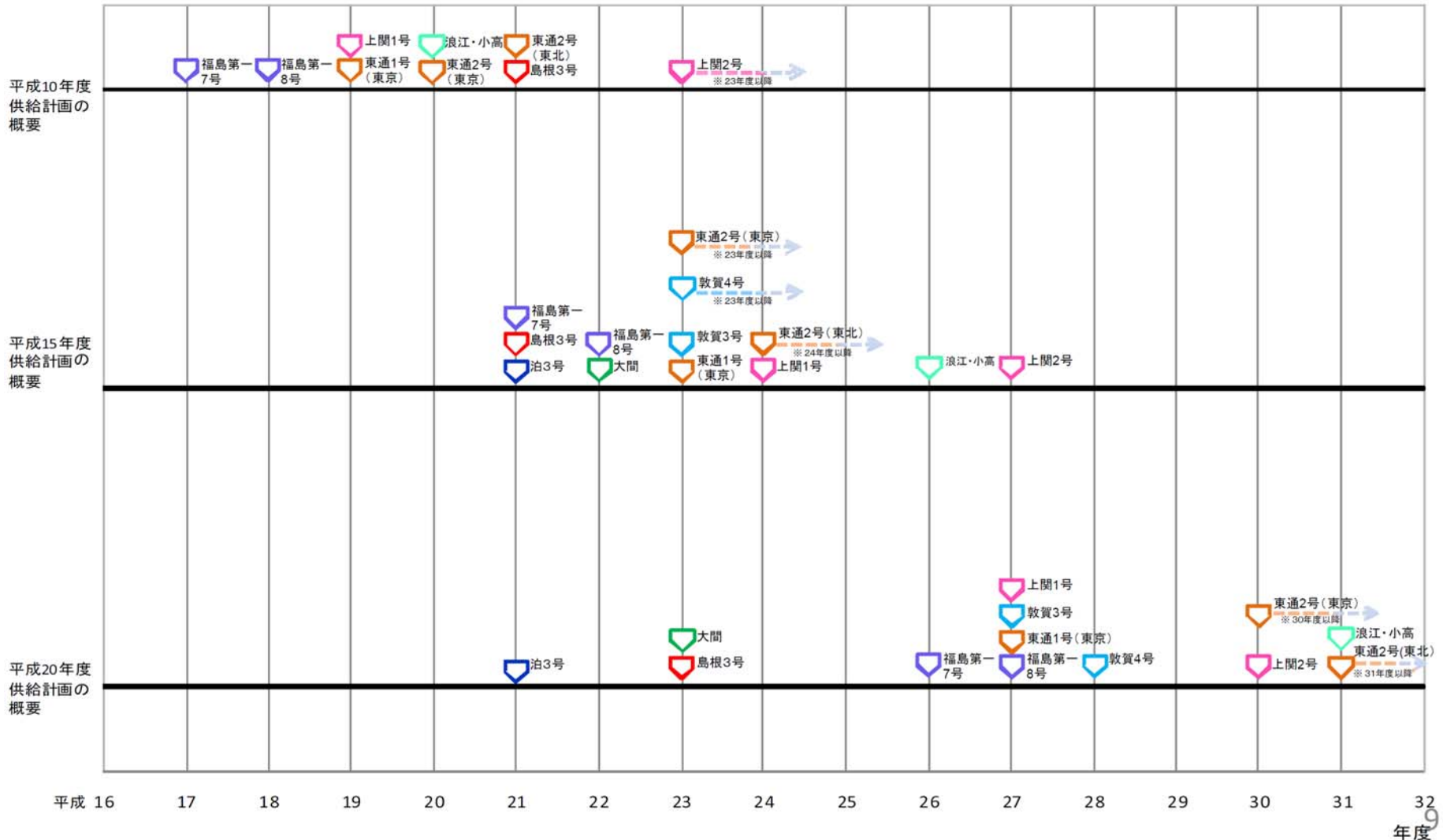
ゼロ・エミッション電源の CO₂削減ポテンシャルと現状の削減コスト



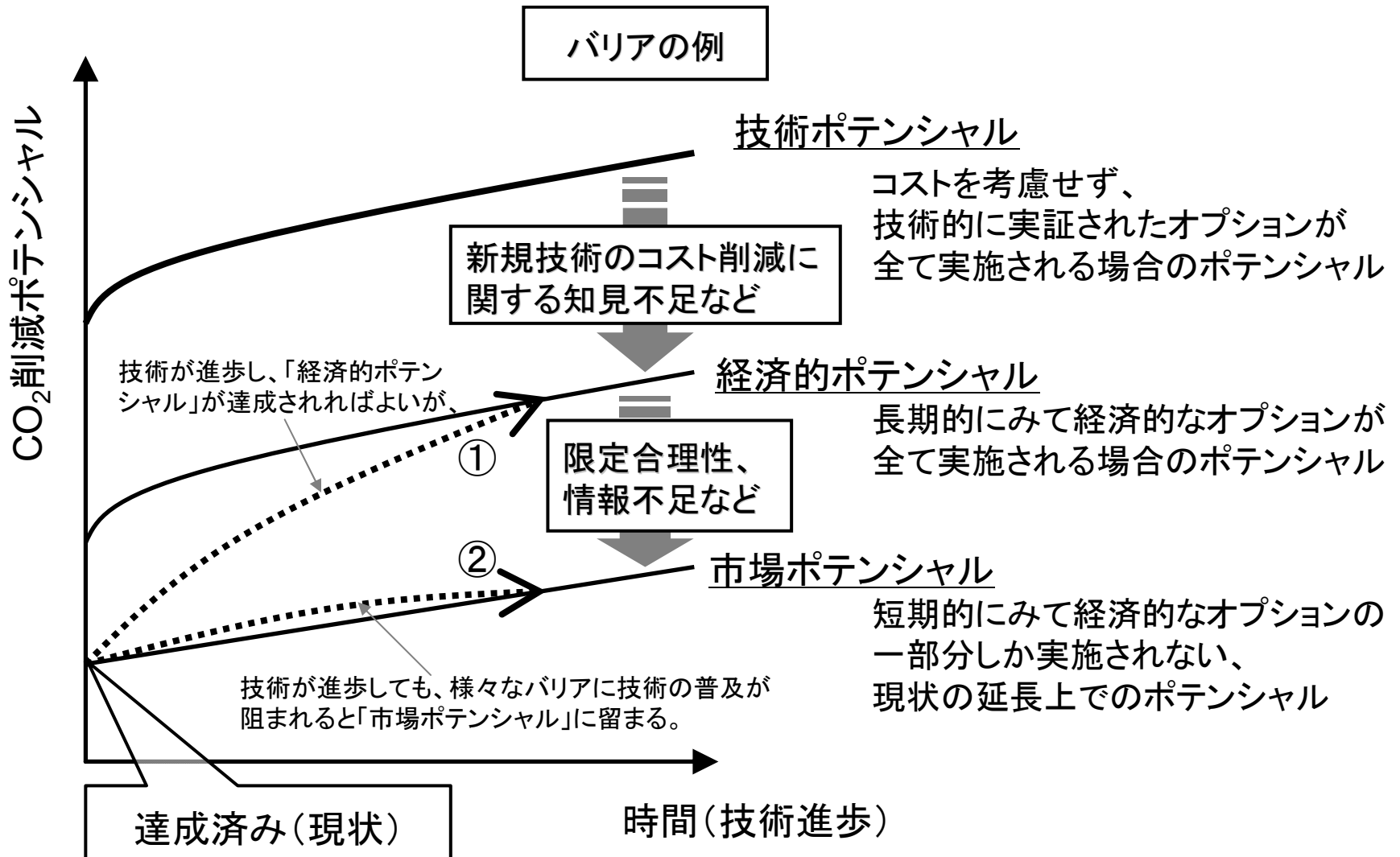
図注：長期エネルギー需給見通し(2008年5月)などの政府審議会資料に基づき、ゼロ・エミッション電源に期待されるCO₂ポテンシャルと、現状の発電コストに基づくCO₂削減コストをまとめた。

出所：今中、杉山、「温暖化対策費用からみたゼロ・エミッション電源の技術戦略」、SERC Discussion Paper 09015、2009

原子力の計画繰り延べ状況



実現には様々なバリア(障壁)がある



エアコン暖房の 利用や普及を妨げる「バリア」

エアコン暖房のコストに対する消費者イメージと実際

実際

暖房負荷あたりの光熱費
(2006年)

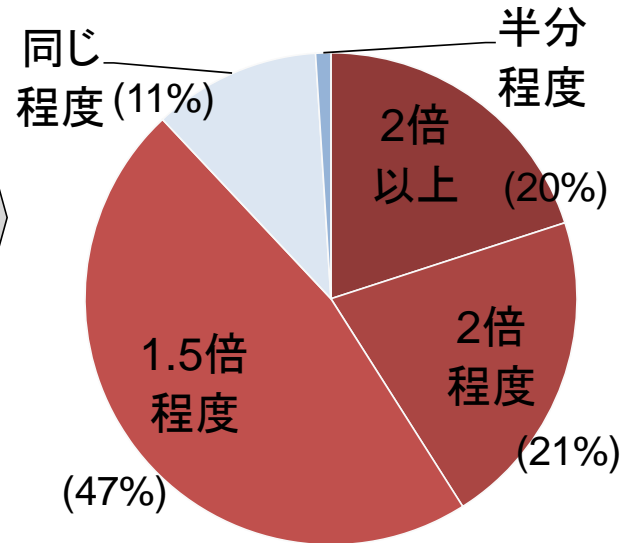
灯油暖房	約2円/MJ
都市ガス暖房	約4円/MJ
LPG暖房	約6円/MJ
電気ヒーター	約6円/MJ

エアコン 約1~2円/MJ

(家庭用エネルギー統計年報などより作成)

消費者のイメージ

居間でエアコンを利用するとしたら、
光熱費が現在のスタイルと比べて
どの程度高くなりそうか？



(出所: 電力中央研究所研究報告Y08026)

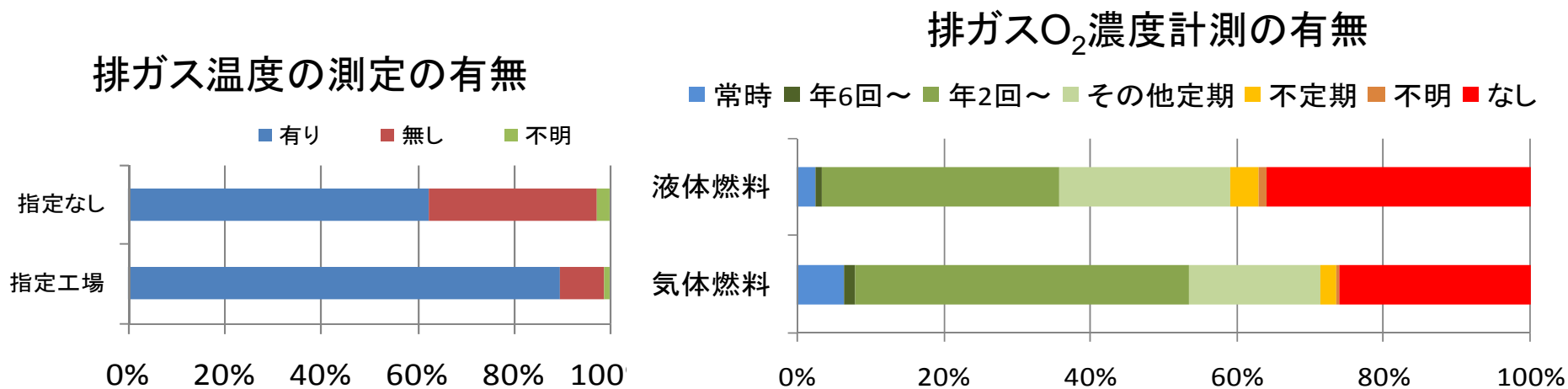
主な省エネルギーバリア

省エネバリア	内容
情報不足	何が省エネかについての情報が不足している。
動機の不一致	関係する主体間で省エネの利害が一致しないため、省エネが進まない。典型例は「オーナー・テナント問題」。
限定合理性	時間や気持ちの余裕がなく、検討能力にも限りがあるため、最適な選択ができない。
資金調達力	省エネのための初期投資が調達できない。
隠れた費用	省エネには機器代や光熱費の他にも、余分な手間や利便性の低下といった様々な「費用」が生じることがある。
リスク	先のことはよくわからないため、短期間に投資回収できる省エネしか実施しない。

ボイラの省エネ対策へのバリア ～計測体制・現状把握が不十分

「ユーザーが指示しない限り、給水流量計や燃料計といった計測器がついていないのが一般的...ボイラは定格負荷の時は効率が良くても負荷が下がると大きく効率が落ちるが、その状況も計測しないとわからない...効率がわからないと、対策検討ができない」

(省エネ診断士F氏コメント)



(出典: 日本ボイラ協会, 2005)

インバータ導入へのバリア ～検討能力の不足、インセンティブの不一致

「導入余地はまだあると考えられるが、需要側の利用実態を把握しなければ導入効果はわからない。このような実態把握は...導入する工場側でないとできないが、自社内の人間で対応できないことが多い」

(省エネ診断士E氏コメント)

「建設時のコストだけが考慮される場合が多い。細かな設計は設備業者が担当することが多いが、オーナーと設備業者との契約は工事一式であり、ポンプ等の設備については設備業者が値切れるだけ値切るというのが実態。オーナーにこちらの方が良い製品ですよと勧めて納得してもらっても...設備業者が押し返して導入に至らない場合もある」

(大手ポンプメーカーのコメント)

- ▶ 検討能力の不足、設備納入の際の初期費用の偏重、インセンティブの不一致 が障壁となっている

工業炉の省エネ対策へのバリア ～機会費用、品質影響、他の優先すべき投資対象

「景気が良く設備稼働率が高い時期には、省エネルギー対策のために操業を止めることは難しい。特に景気が良く受注が多い時期に操業を止めるということは、利益をみすみす捨てていることになる」

（工業炉保有事業者のコメント；NEDOによるインタビュー調査）

「現在の炉の品質が安定している。また、現在の炉の操業条件を把握するため、数年と多大な労力・費用を掛けており、炉変更に伴うリスクを負いたくない」

（工業炉保有事業者のコメント；NEDO・日本工業炉協会，2005）

「生産性の向上を重視する経営者が注目するのは、第一に鍛造プレスマシンなどの設備能力の向上であり、加熱炉の省エネ対応、環境対応については二の次の観がある」

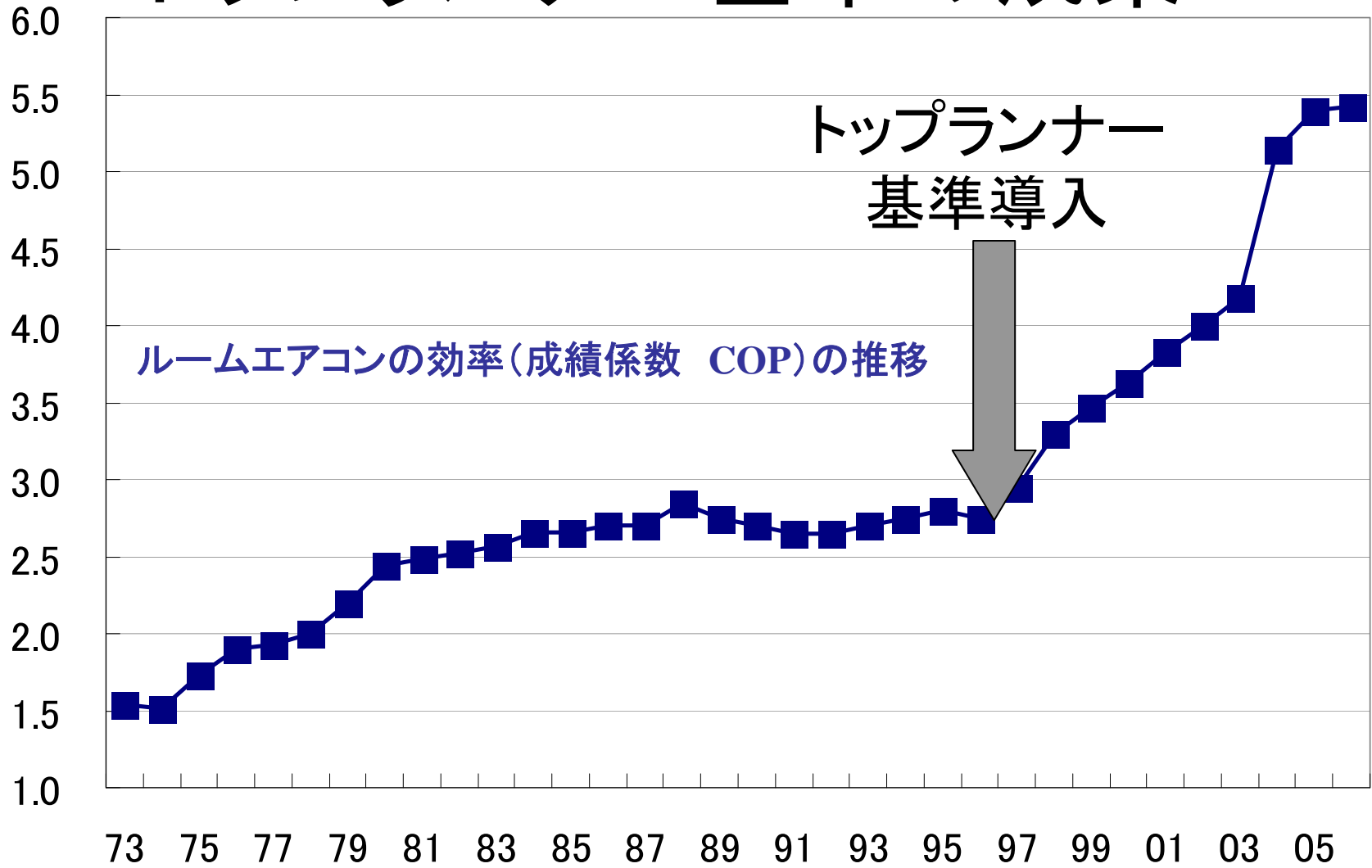
（鍛造業界団体のコメント；NEDO・日本工業炉協会，2005）

▶ 機会費用、品質影響などの「隠れた費用」が障壁となっている

政府による省エネ政策

- 効率基準の設定
 - トップランナー法
- 情報の提供
 - 省エネラベリング
- 管理基準の設定
 - 工場省エネ法
 - エネルギー管理士制度
 - 技術的指針など

トップランナー基準の成果



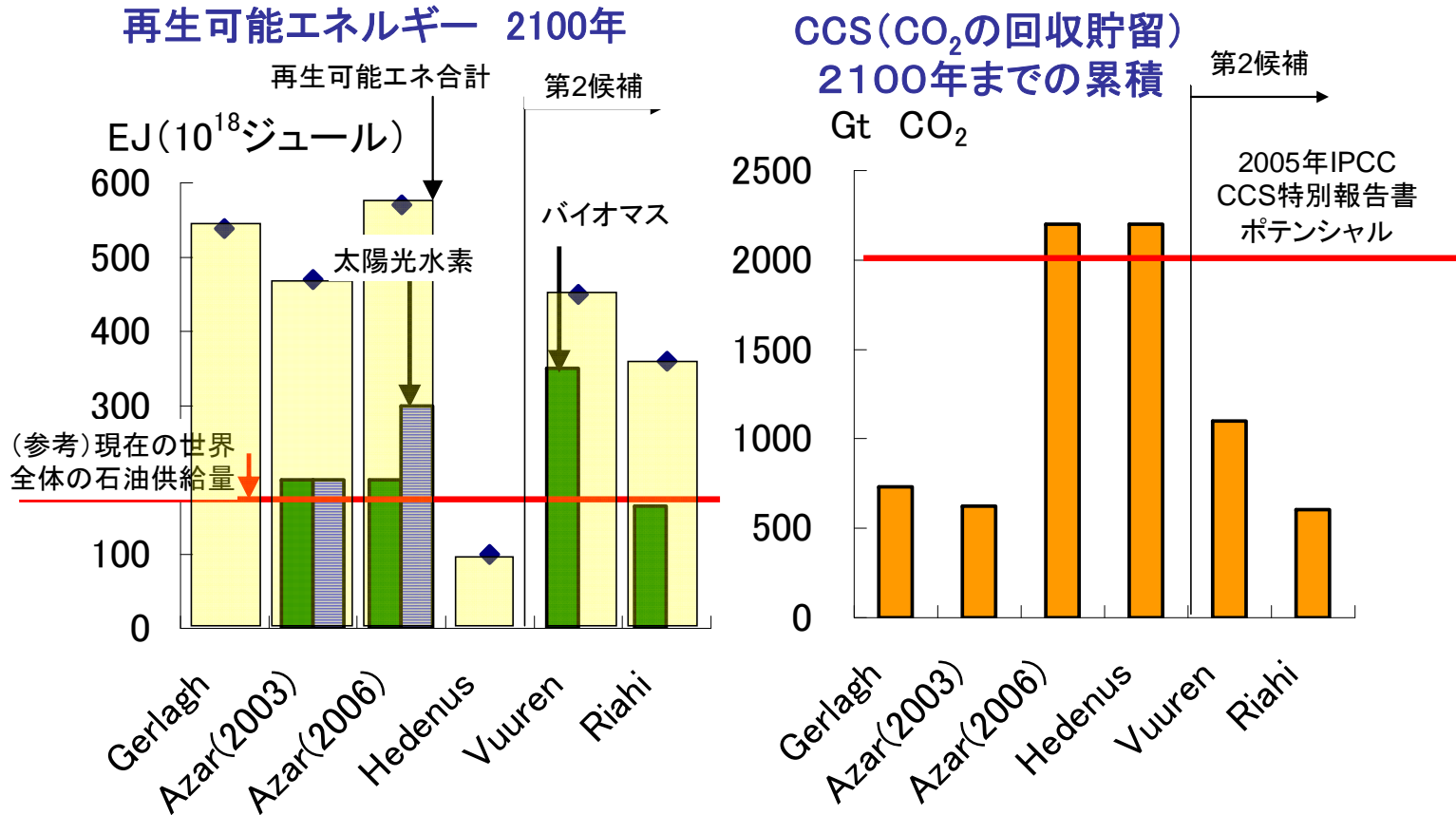
(2. 8kWクラス。出典：家電製品協会(1995)、中上(2005)等より作成)

効果的な技術普及に向けて

- コストの低いものから実施＝最大限の削減
- 政策：費用を最も小さくする選択が普通に行われる手助けをする。
 - － 技術ごと、受け手ごとに、きめ細やかな対策を計画－実施－点検－改善 (PDCA)
 - － 原子力：安全規制や技術基準の一層の合理化
 - － 省エネ：情報提供、効率基準、管理標準、、
- 市民、企業：普段の生活・生産活動の延長で
 - － エネルギーコストを程よく意識しつつ
 - － 「普段」の活動のレベルアップ

技術開発—大幅削減に不可欠

IPCC低排出シナリオ(カテゴリーI)で想定された技術



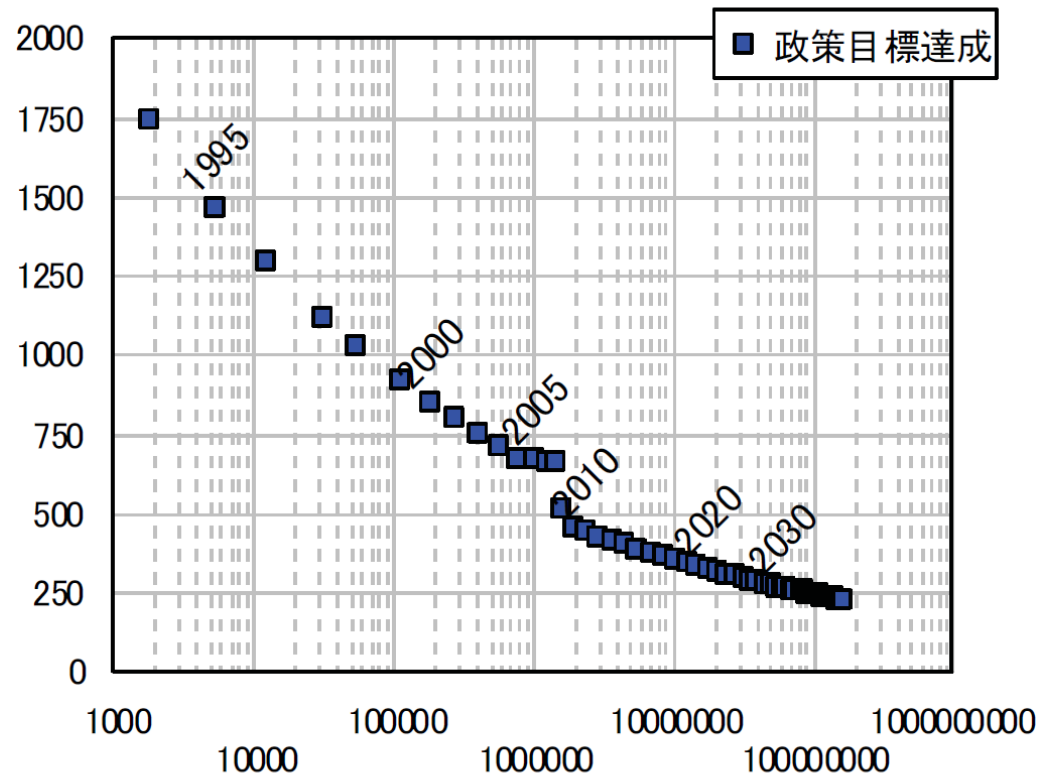
出所:星野、杉山、上野、IPCC第4次評価報告書の低排出シナリオについての分析、電力中央研究所報告Y08008、2009年4月

技術開発の特性

太陽光発電システム将来価格見通し (政策目標達成ケース)

- 技術変化の源泉
 - 研究開発
 - 学習
 - スピルオーバー
- 不確実性が大きい
 - 水素社会?
 - 太陽電池の将来?

システム価格 ¥1000/kW@2000年実質



(太陽光発電システム価格)

2000年度実質価格(¥/W)	現 状	2020年	2030年
太陽光発電(現状生産継続)	763~500	453	474
(政策目標達成)	763~500	330	273

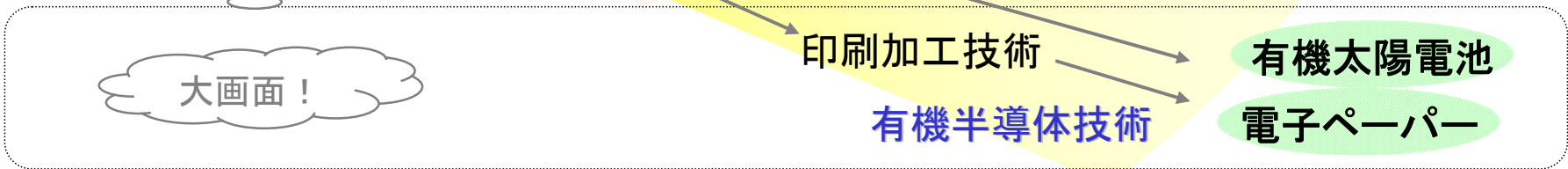
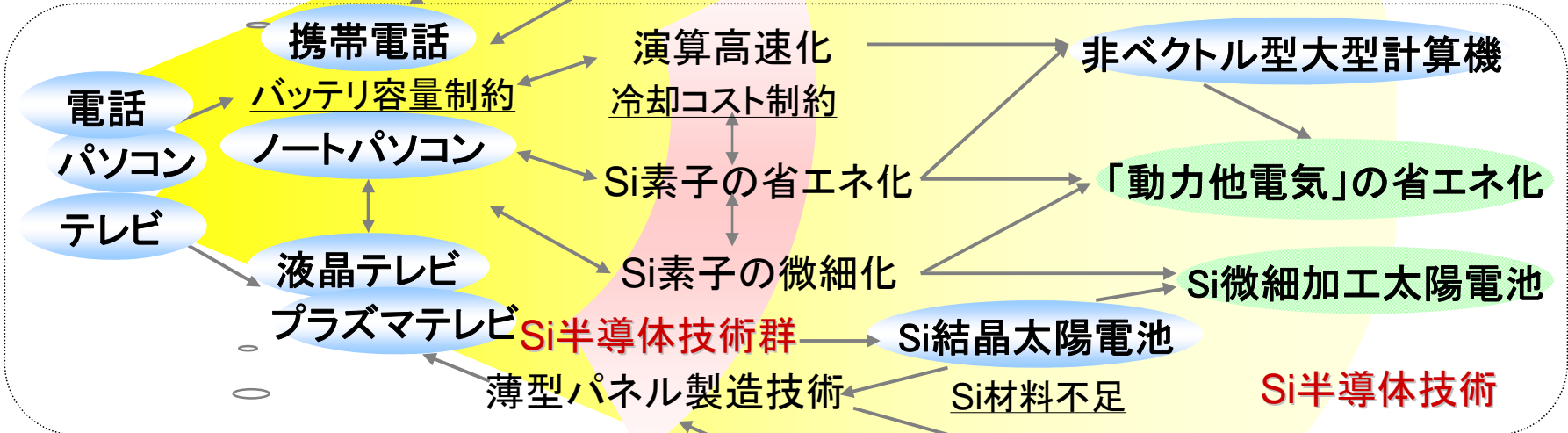
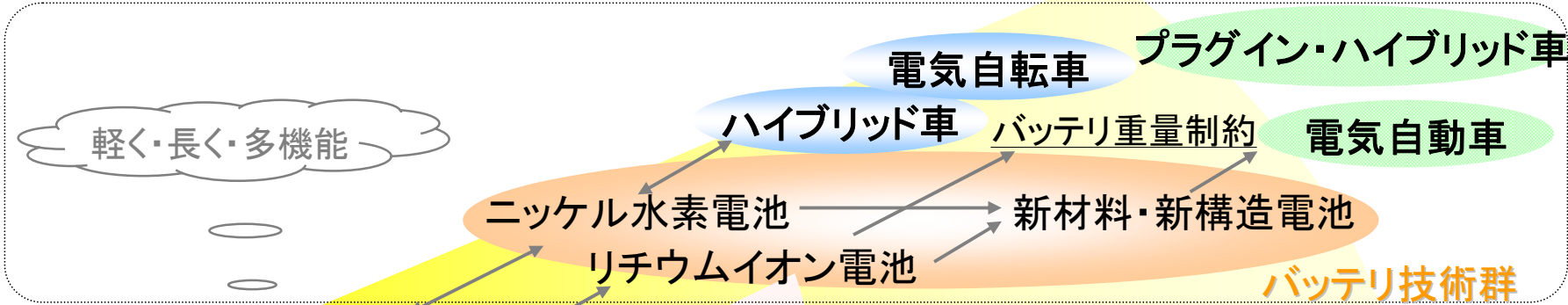
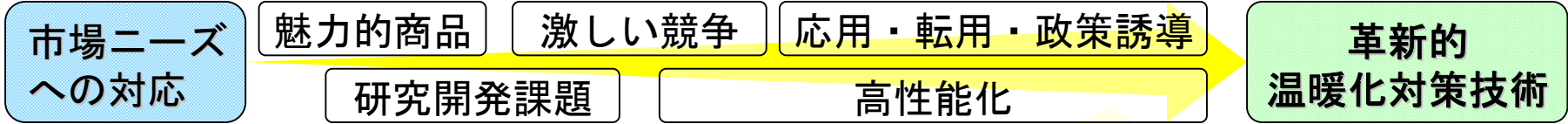
(参考: 発電単価(稼働率12%・耐用年数15年)

2000年度実質価格(¥/kWh)	現 状	2020年	2030年
太陽光発電(現状生産継続)	42~ 33	28.7	27.0
(政策目標達成)	42~ 33	20.9	17.3

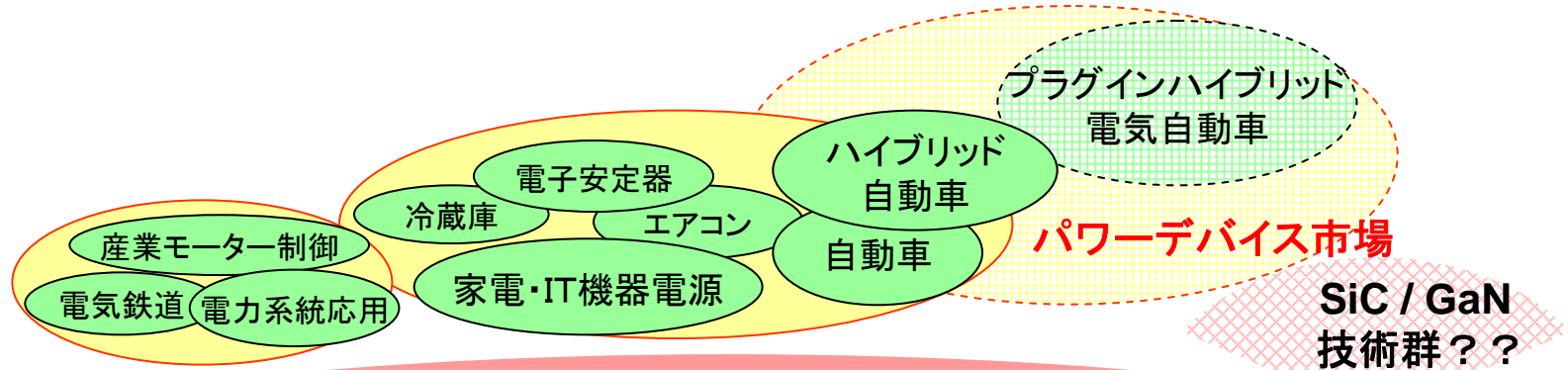
累積生産量 1000kW

出所: 新エネルギー大量導入に伴う系統安定化対策・コスト負担検討小委員会、太陽光発電・蓄電池の容量当費用の将来推計について、第3回資料3、平成20年11月28日

スピルオーバー！

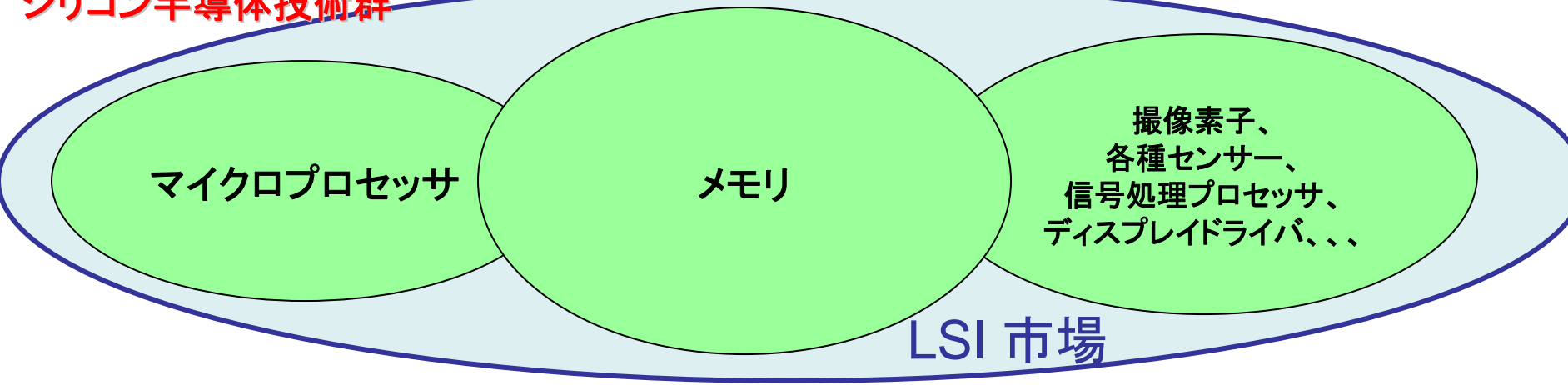


スピルオーバー！！



シリコン製造技術 プロセス技術、新構造 微細加工技術

シリコン半導体技術群



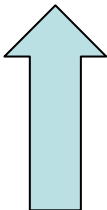
出所: 今中、米国における温暖化対策技術の開発動向と将来シナリオ、SERC Discussion Paper 08005、2008年

技術開発：健全で広範な技術基盤を

- 他部門からのスピルオーバーがエネルギー部門の技術革新に重大な影響を与えていることを考えると、**健全で広範な技術基盤は、明らかに気候変動又はエネルギーに関連する研究と同等に、気候変動対策のための技術開発において重要となりうる。**
- 実際に役立つ技術と役に立たずに終わる技術を事前に知ることは不可能なため、**研究の広範なポートフォリオが必要である。**

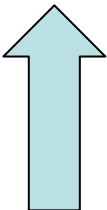
大幅削減に向けた戦略

$$\text{CO2 排出量} = \frac{\text{CO2 排出量}}{\text{エネルギー消費量}} \times \frac{\text{エネルギー消費量}}{\text{エネルギーサービス量}} \times \text{エネルギーサービス量}$$



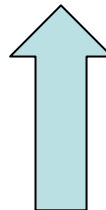
CO2原単位

原子力、太陽光、CCS、、、



エネルギー効率

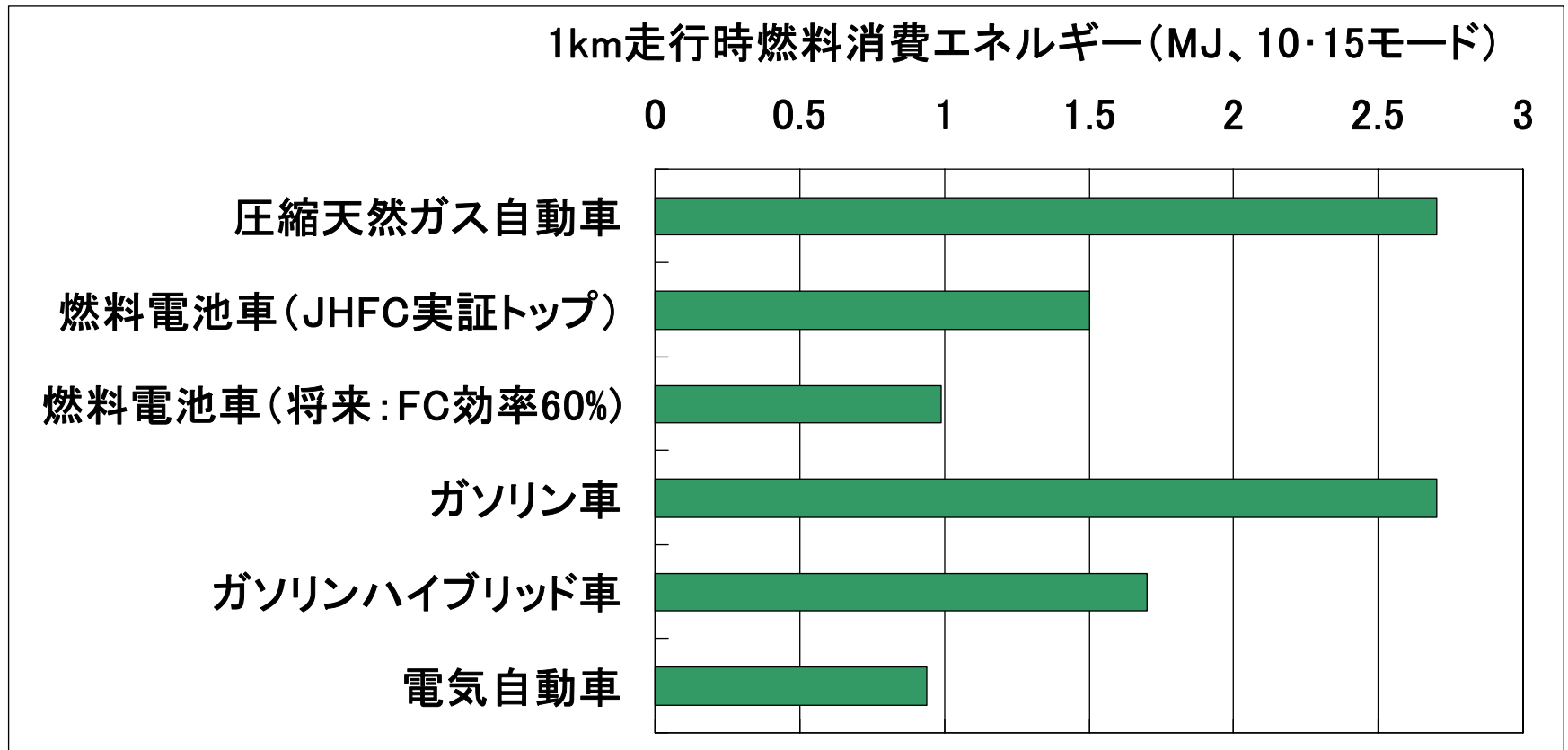
ヒートポンプ、電気自動車、、、



エネルギーを
使って得る効用

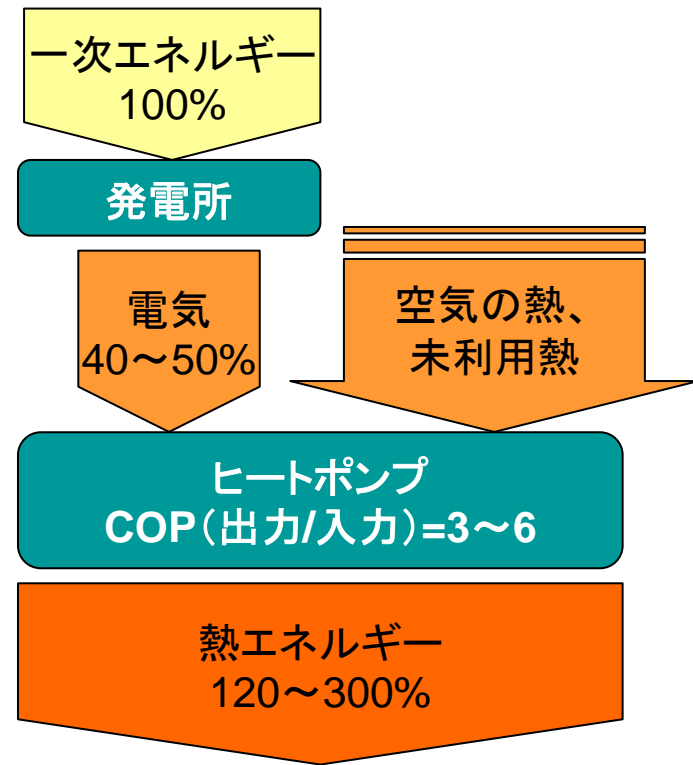
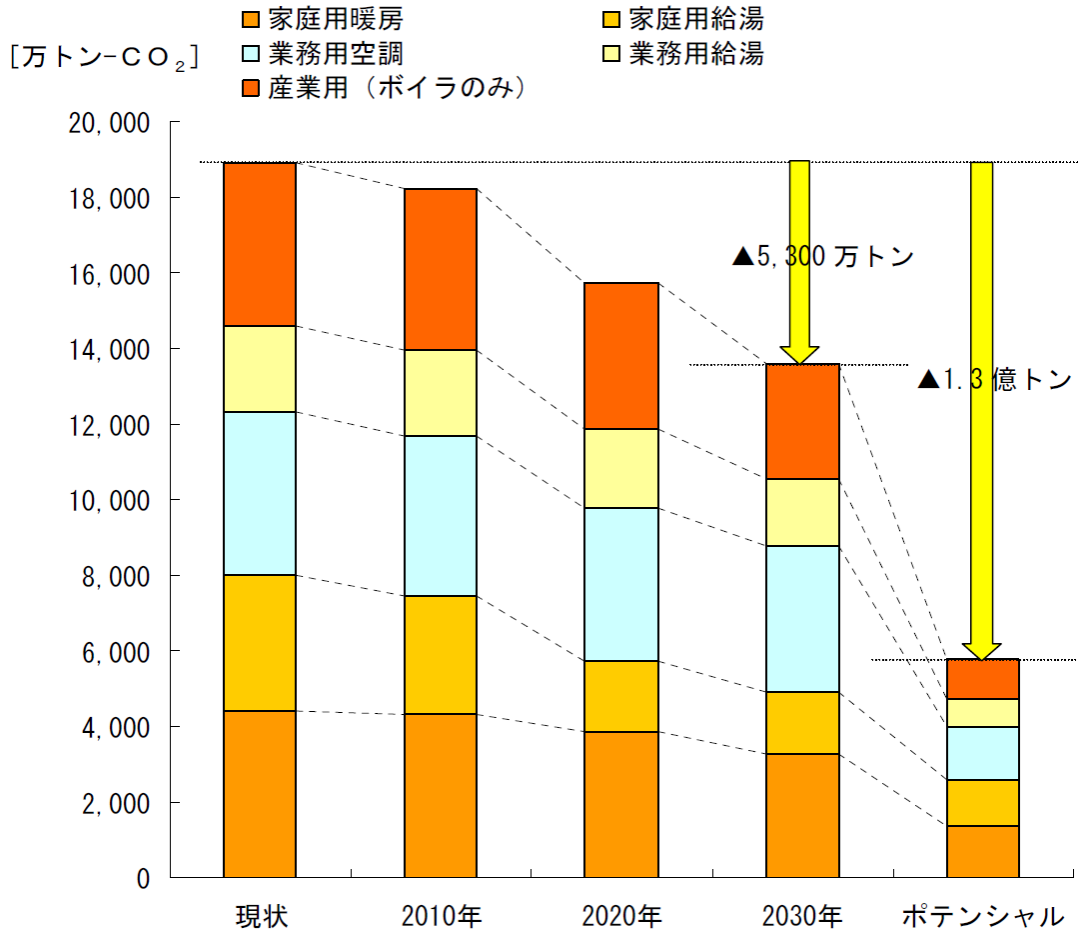
車の省エネポテンシャル

総合効率 (Well to Wheel効率)



出所: プラグインハイブリッド車を除き、日本自動車研究所「JHFC総合効率検討結果」平成18年3月
 燃料電池車の将来想定以外は、現在の技術水準で達成される値。

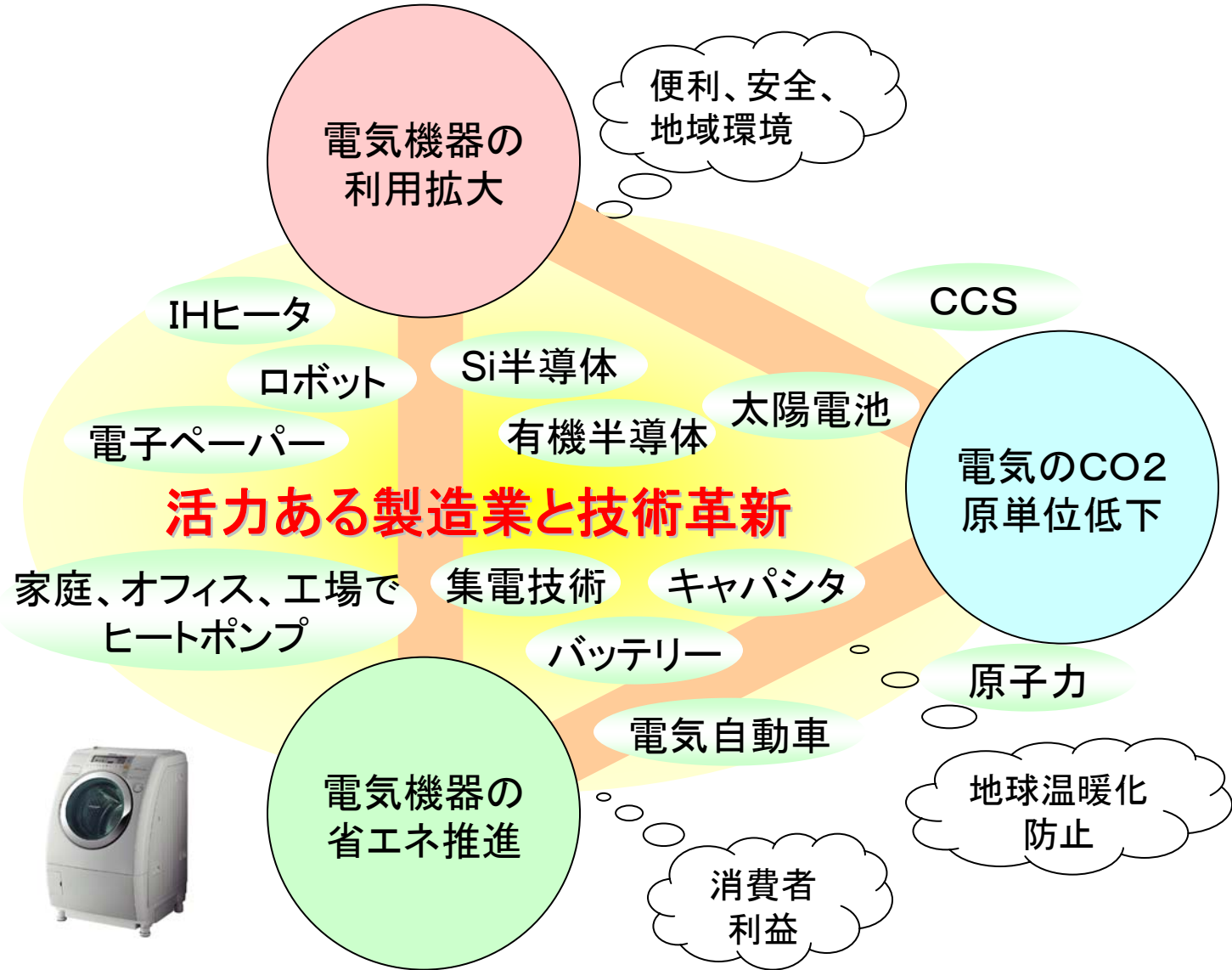
ヒートポンプによる省エネ



出所:ヒートポンプ・蓄熱センター、ヒートポンプ・蓄熱システム普及によるCO2排出削減見通し 中間とりまとめ、2007年

電気利用を通じたニア・ゼロエミッション

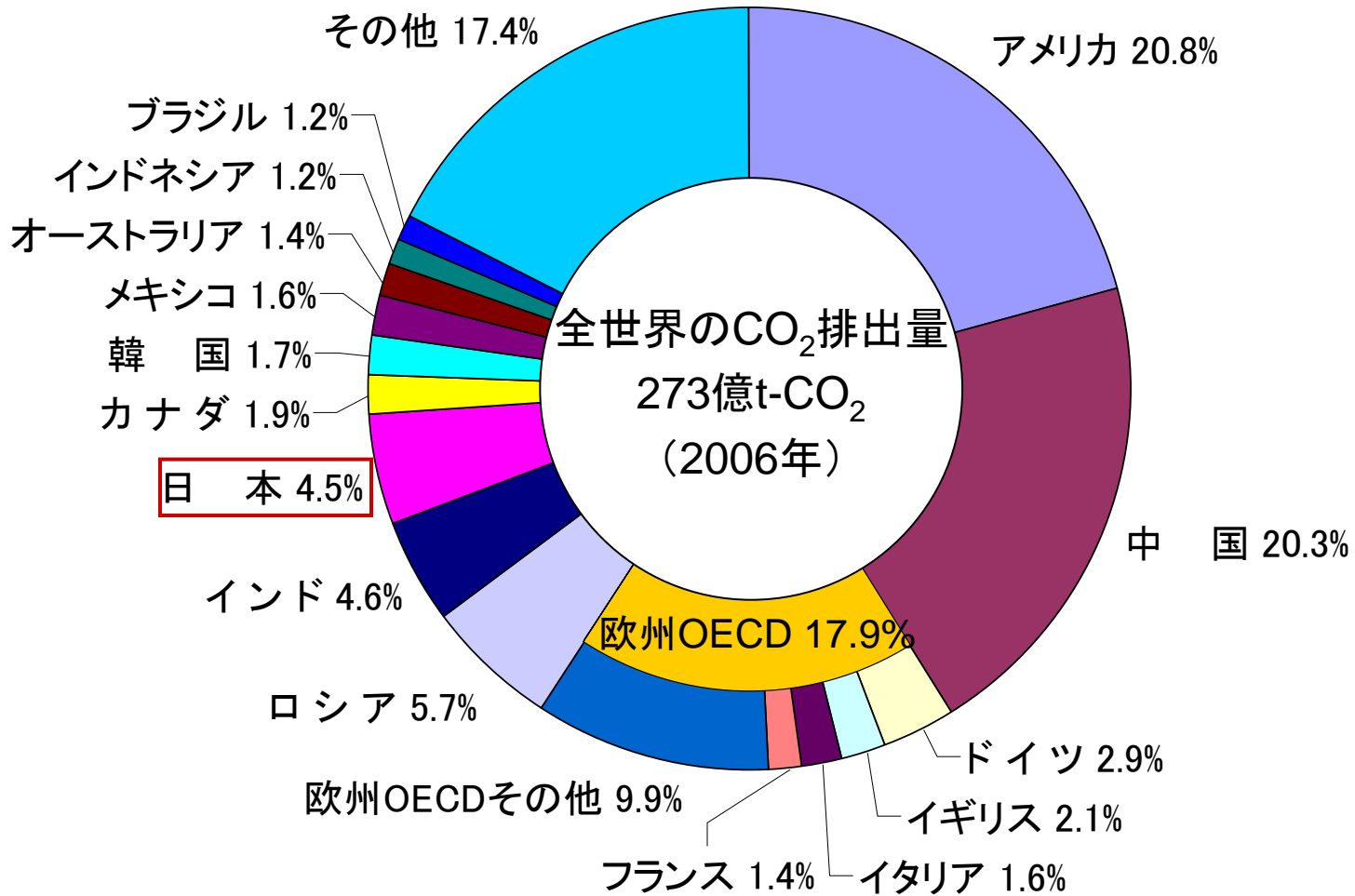
電化拡大 & 電気機器省エネ & CO2原単位削減 ⇒ 温暖化防止



4. まとめ

- 温暖化は長期的な問題
 - 温暖化を抑制するには大幅削減が必要
- 短中期的な目標は目安、メッセージ
- 技術普及：費用対効果の高い方策から着実に
 - これを妨げるバリアの除去が重要：政策のPDCAを
- 技術開発：健全で広範な技術基盤を
- ニア・ゼロエミッションに向けた電気利用

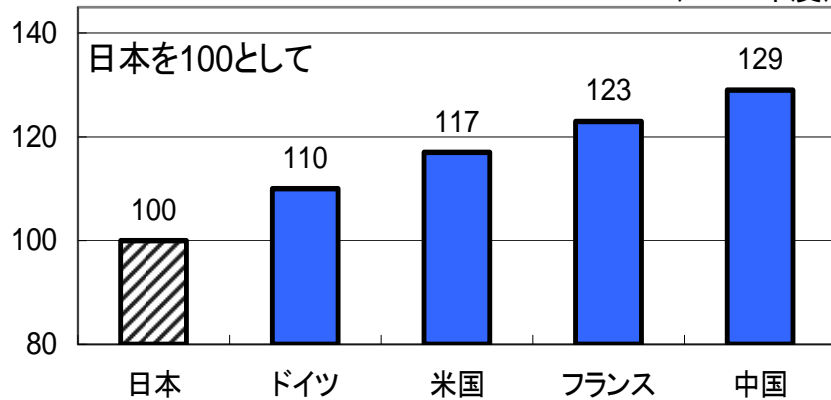
5. 日本の役割: 量より質



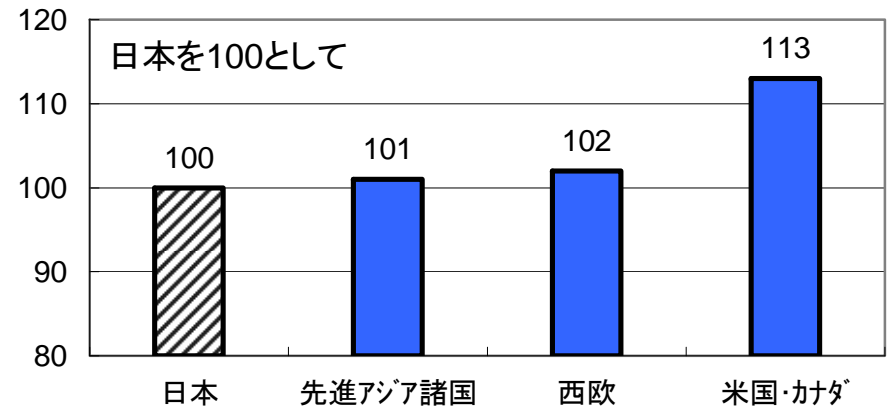
5. 日本の役割：質の高い政策の発信

【エネルギー転換部門】

電力を火力発電で1kWh作るのに必要なエネルギー指数比較
(2003年度)



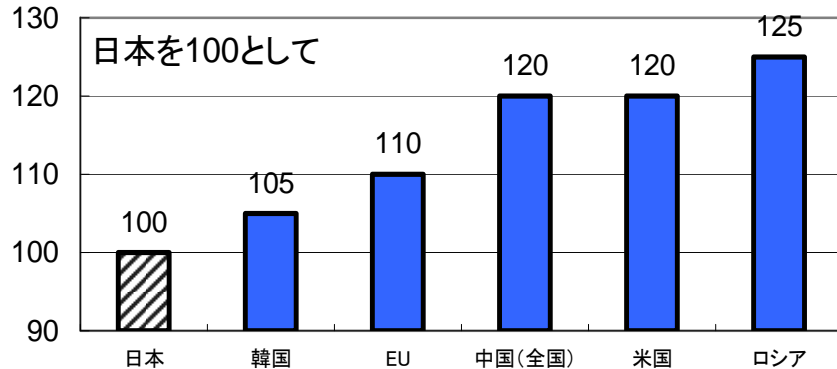
石油製品1klを作るのに必要なエネルギー指数比較(2002年度)



【産業部門】

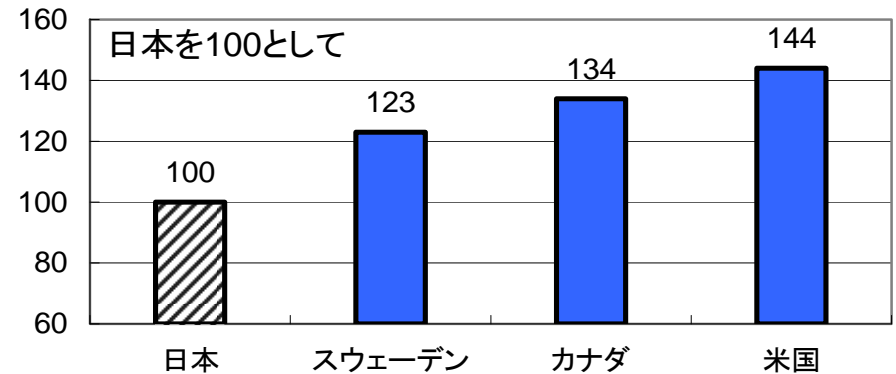
(出典: ECOFYS社(オランダ))

鉄1トンを作るのに必要なエネルギー指数比較(2003年度)



(出典: 日本鉄鋼連盟)

紙・板紙1トンを作るのに必要なエネルギー指数比較(2003年度)



(出典: 資源エネルギー庁、統計年報(米国)、環境報告書(カナダ)ほか)