

温暖化問題とその対応

茅 陽一

(地球環境産業技術研究機構)

目次

1. 温暖化問題の不確定性
 - 1) 原因; 何が支配的か
 - 2) 温室効果ガスの影響の大きさ
climate sensitivityとその幅の大きさ
2. 温暖化問題への長期的対応
 - 1) EU提案とその意味
 - 2) 温室効果ガス安定化シナリオ
3. 長期的対応の諸論点
 - 1) 省エネルギー: どこまで出来るか?
 - 2) 再生可能エネルギー: どのような形でどの程度まで?
 - 3) 原子力の今後
 - 4) 水素エネルギーの持つ意義と問題点
4. おわりに: 持続可能な文明への努力

温暖化に対する米国政府の姿勢

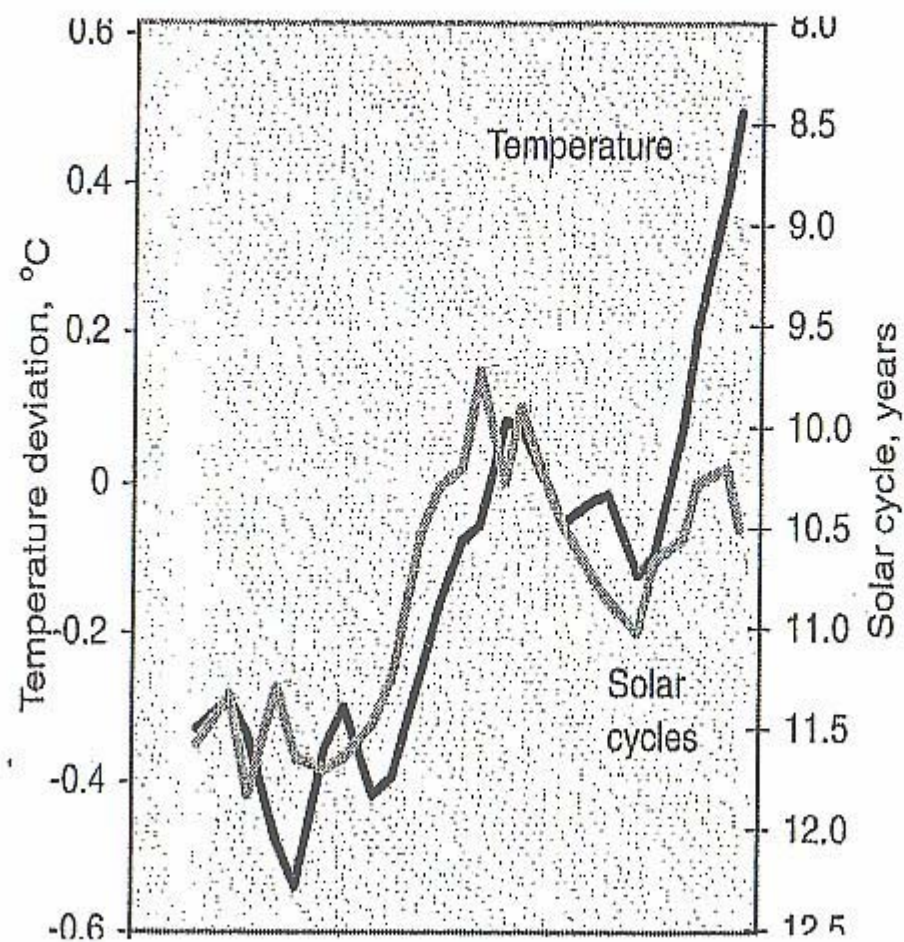
1. 従来の姿勢

- 1) 温暖化と二酸化炭素排出の因果関係は科学的に証明されていない
- 2) その状況下で経済影響の著しい温暖化対策をとることは好ましくない

2. 2005年7月のG8

- 温暖化への対応の必要性を認識
- 科学的因果関係を認めたのかどうかは不分明

図：太陽黒点周期変化と地球気温上昇



1940

2000

温暖化は太陽活動変化による？

Source: Lomborg, B., the skeptical environmentalist, Cambridge Univ. Press, p.277, 2001

(原典: Fris-Christensen and Lassen)

1. 太陽黒点周期の変化と大気温度変化の並行性

疑問: 過去の温度上昇の大部分は太陽活動の変化ではないか？

2. 反論1: Lomborg

1975年までは上記のとおり

それ以後の2曲線の乖離は人為的温暖化のせい

3. 反論2: 気候モデルによるシミュレーション(東大気候システム他)

太陽放射の変化はさほど大きくない

1975年頃までは人為的温室効果の影響は 殆どなし

1975年頃までの温度変化は火山活動の影響が支配的

1975年以降、温室効果ガス増加による温度上昇が支配的

気候モデルの問題点の例

ー衛星計測大気温データとモデルシミュレーションの比較ー

1980年以降のデータ

1) 地表温度: モデルとデータはほぼ一致

2) 対流圏平均温度 * :

NASA衛星データと

モデル結果とは大きく乖離

* 200, 500, 850ヘクトパスカルの高度での平均

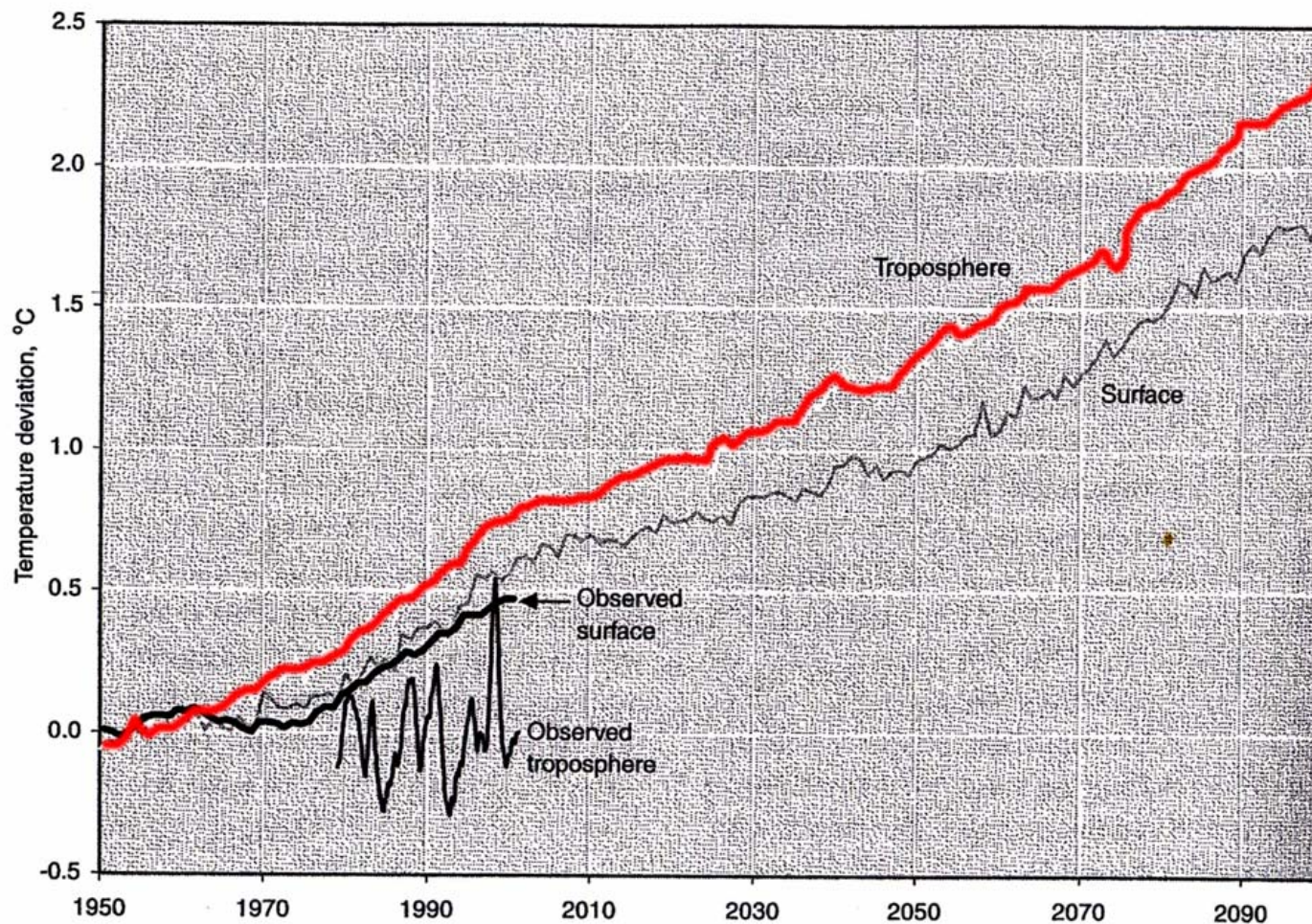


Figure 140 Temperature deviations of the NASA/Goddard AOGCM for the surface and the troposphere, 1950–2099. Averages of two runs, anomalies for 1950–60 mean, with CO₂ observed concentrations till 1990 and 0.5 percent compounded annual increase thereafter; sulfate aerosols from Mitchell *et al.* 1995. The troposphere temperature is an average of anomalies from 200, 500 and 850mb. Observed surface temperature 1856–1999, observed troposphere from satellite-based microwave sounding units (MSU 2LT), 1979–April 2001. Source: NASA/GISS 2000, Jones *et al.* 2000, Christy *et al.* 2000, 2000a, 2001.

source: B.Lomborg, the Skeptical Environmentalist, Cambridge University Press, 2001

気候感度の不確定性

1. 気候感度の定義

大気中の温室効果ガス濃度→ 2倍

対応する地表大気温度上昇→ X度

X度:気候感度 (climate sensitivity)

2. 現在までの専門家意見 (IPCC3次報告)

$X = 1.5 - 4.5$ 度

中央値 = 2.5 度

最近の気候感度をめぐる動き

Murphyのモデル実験(2004、Nature)

29の不確定パラメータを変化させ、20世紀の
データへの適合性をウェイトに入れて

気候感度の分布を求める

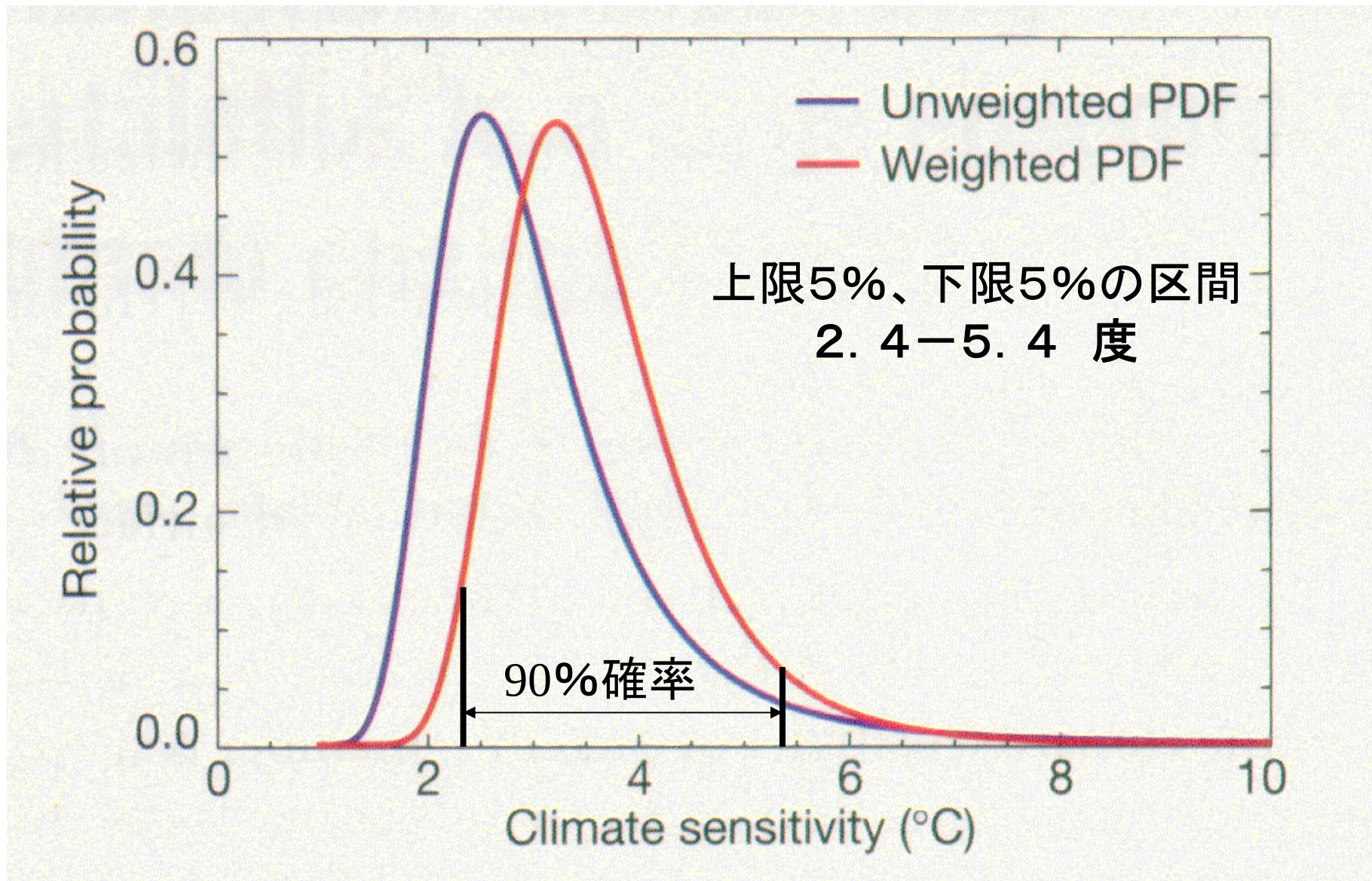
結果

中央値 3.3－3.4度

下限5% 2.4度

上限5% 5.4度

表: Murphyによる気候感度の確率分布
source: Murphy, J.M. et al, Nature 430, 2004



温暖化の影響の主な例

1. タイプI: 連続変化型

1) 温度上昇による病気の増加

熱中症、マラリアなど

2) 気候変化(気温、降雨等)の農業影響

小麦収穫減少、その他

3) 海面の上昇による居住域の侵蝕

2. タイプII: 突発変化型

1) 大洋熱塩循環の停止

2) 南極西北氷棚の崩壊

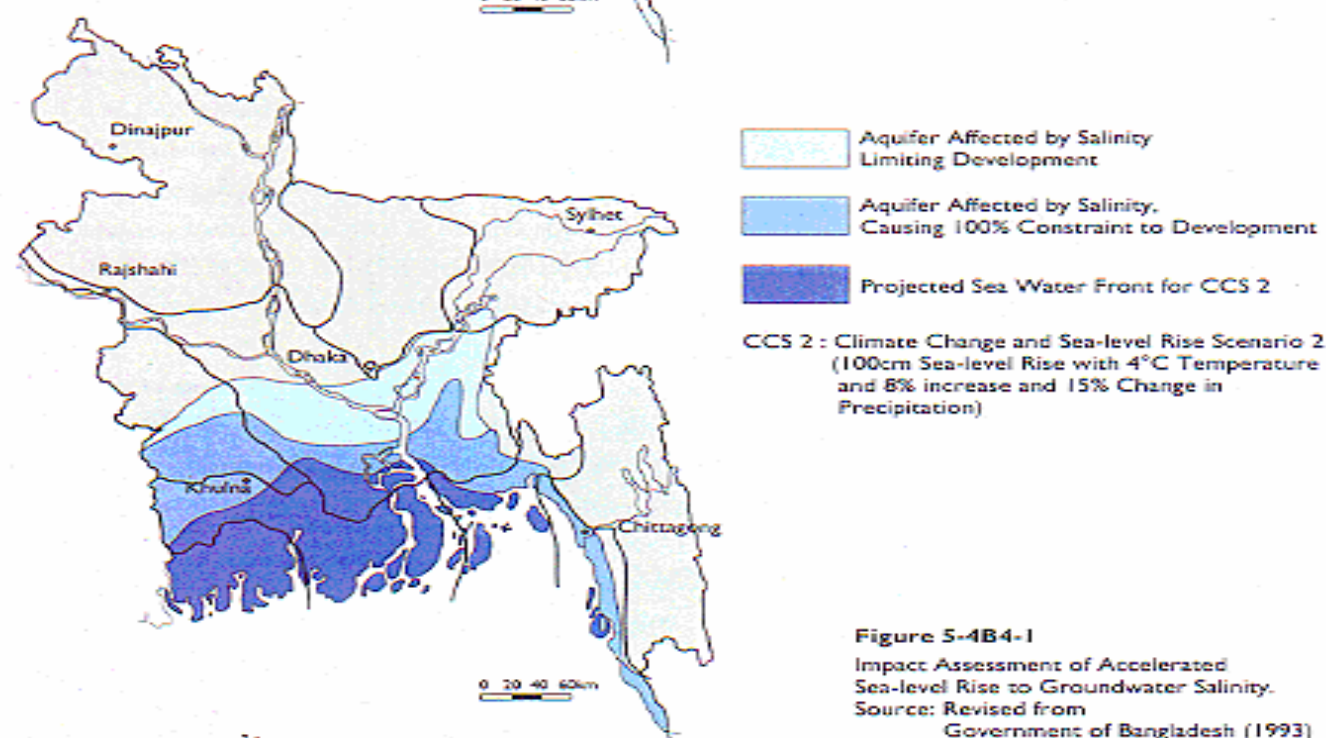
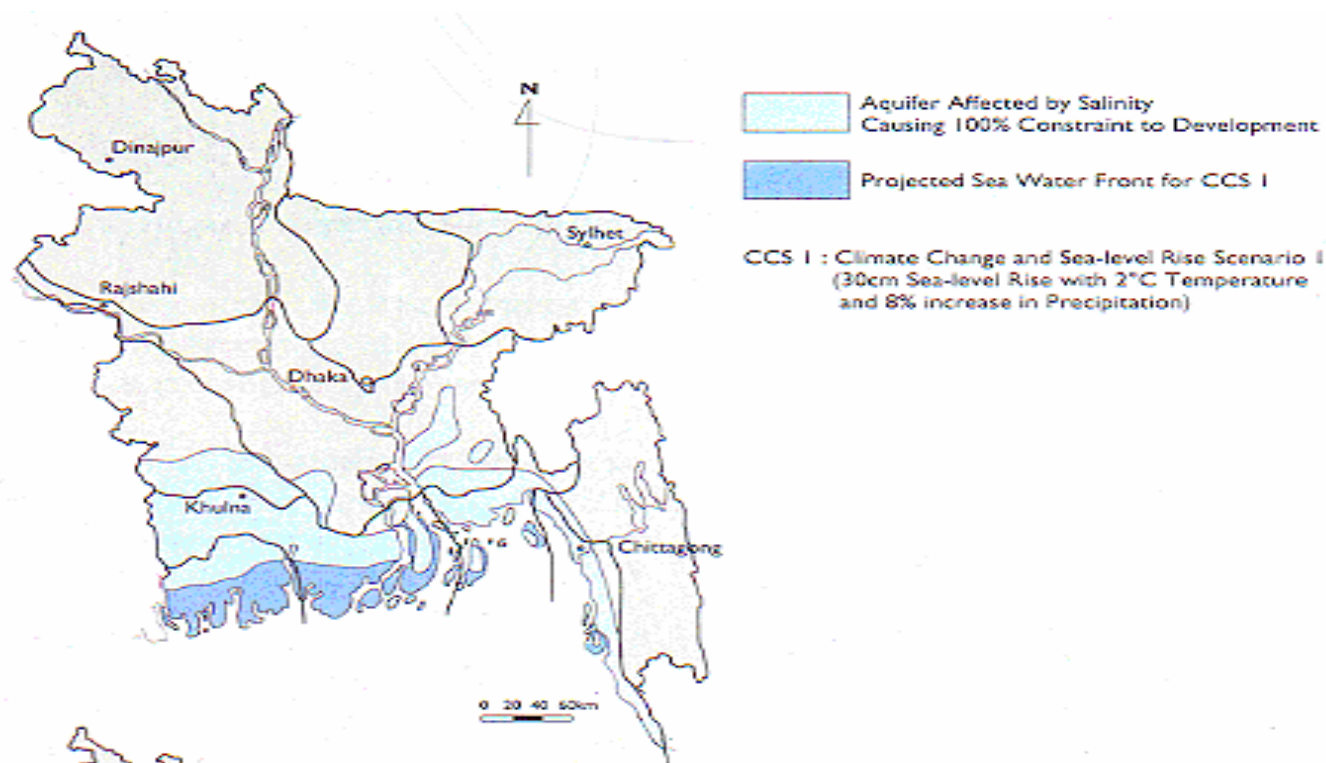
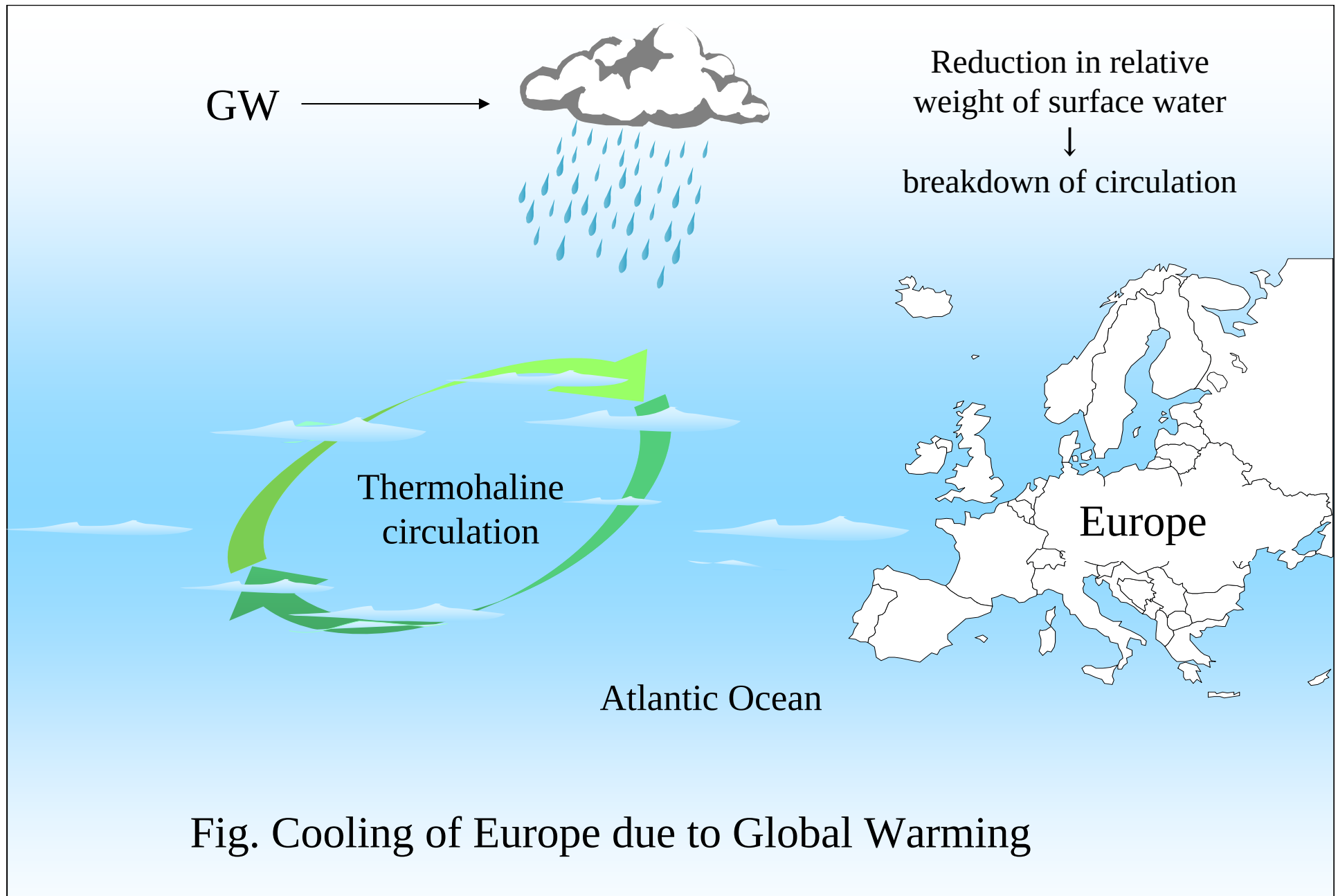


Figure 5-4B4-1

Impact Assessment of Accelerated Sea-level Rise to Groundwater Salinity.

Source: Revised from Government of Bangladesh (1993)



温室効果ガス濃度安定化と EU提案

1. 気候変動枠組条約の究極目標

大気中の温室効果ガス濃度を
「危険のない」レベルで安定化

2. EU提案 1996、2005

産業革命以前に比し

大気温度上昇を 2度 に抑える

参考：東京－宮崎の年間平均温度差 1. 4度

東京－アテネ 2. 1度

大気温2度上昇とCO2排出

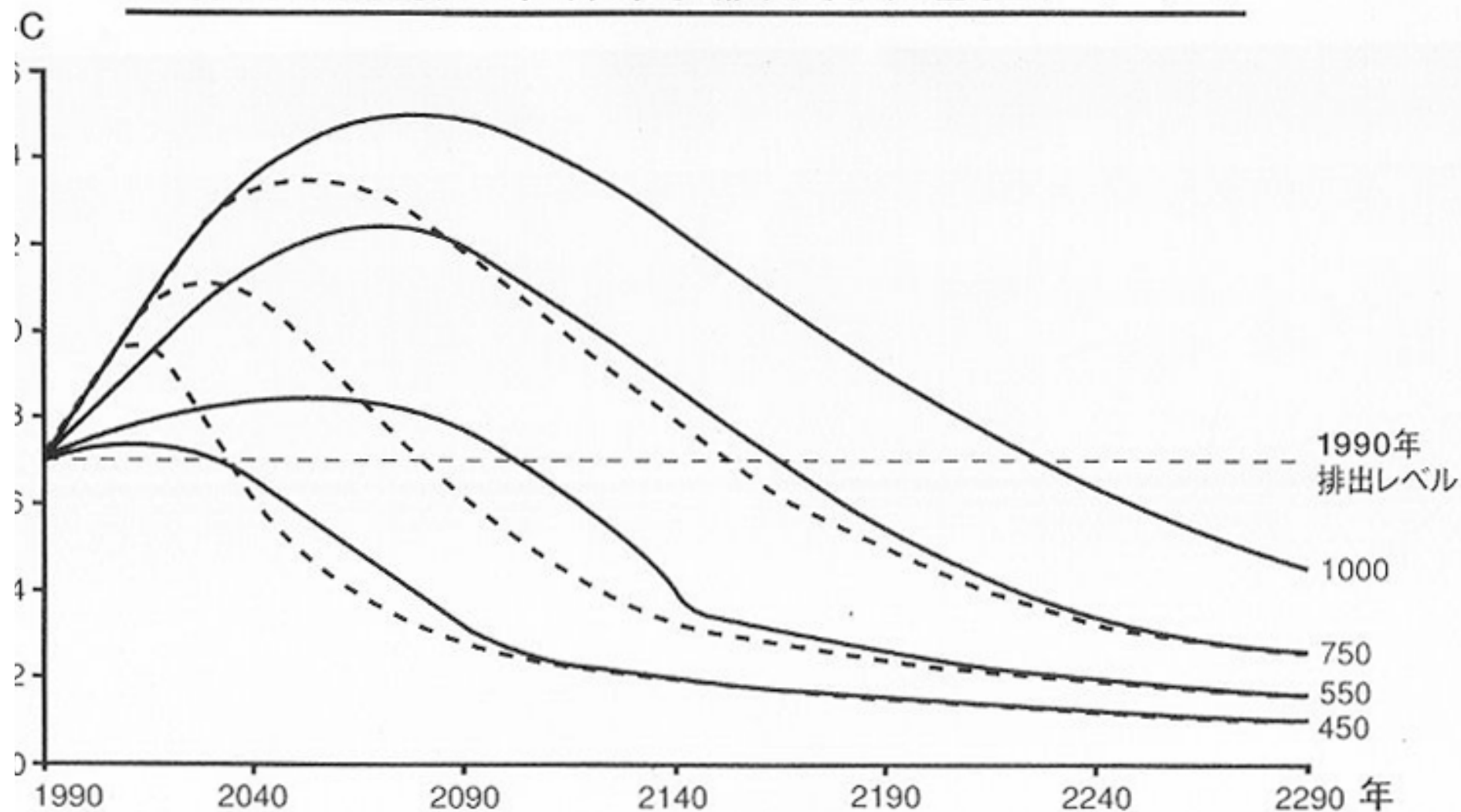
Source: Weiss, M. Towards Long term emission reduction targets, Sym. on low-carbon society scenario toward 2050,
Tokyo, 24 March, 2005

- 0. Murphy他の多くの気候感度分布推定結果を集め、その平均的分布を利用
- 1. 大気温度2度上昇の確率を50%以下にするためには、CO2濃度を450ppm以下に抑制する必要がある
- 2. そのために2050年までに1990比で次のように削減する必要
 - 世界全体 25%
 - Annex I 諸国 70－90%

注: Murphyの分布を用いた場合

抑制すべきCO2濃度	450	→	510ppm
上記削減の期限	2050	→	2080 年

二酸化炭素の大気中濃度安定化シナリオ



550、750及び1000ppmvで大気中の二酸化炭素濃度を安定化させることに対応する排出量の推移の。縦軸は二酸化炭素の年間人為排出量(GtC)、横軸は西暦を表す。450～750ppmvのシナリオについて2種類の経路(実線と点線)が示されている。

表：過去性向と京都目標・2度目標の比較(年変化率%)

	実質GDP	炭素依存度 CO2/GDP	CO2排出
20世紀/世界	+3.0%	△1.2%	+1.8%
‘90－2000 OECD	+2.4	△1.2	+1.8
京都目標 ‘90－2010 OECD	+2	△2.3	△0.3
2度目標 ‘90－2050 OECD	+2	Weiss △4.7 Murphy △3.8	Weiss △2.7 Murphy △1.8

気候感度に関する2つの対応姿勢

1. 予防的対応

確率は低くとも危険な可能性を避ける

→ 高い気候感度を採択

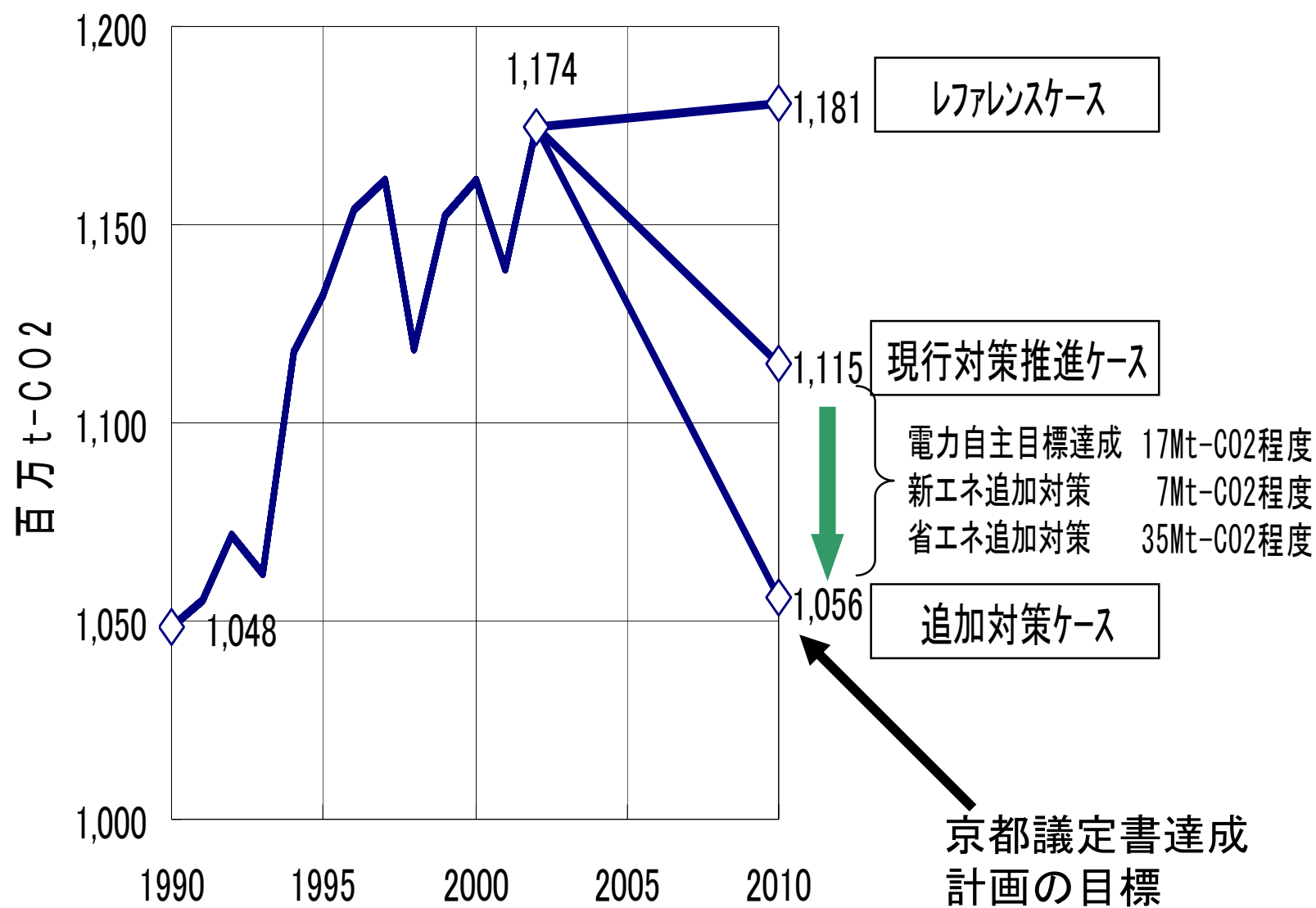
2. 総合的対応

危険のダメージと対策コストの双方を勘案、出来るだけコストが小さくなる対応を選択する

→ 平均に近い気候感度を採択

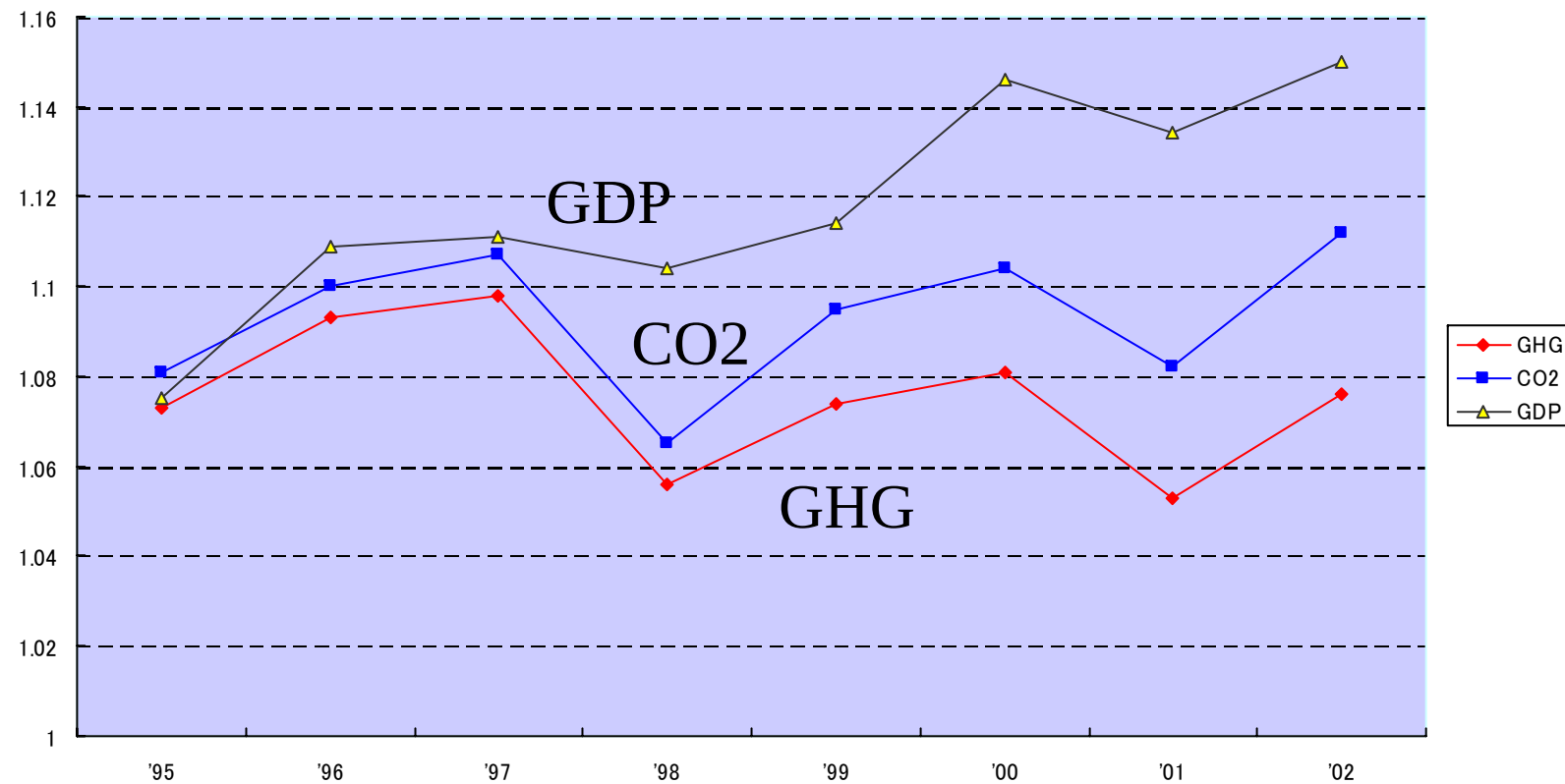
表：京都議定書目標の項目分解（基準年よりの増加％）

	2002	2010目標
CO2排出	+ 10. 2 %	+ 0. 6
メタン・亜酸化窒素	△ 0. 9	△ 1. 2
代替フロン3ガス	△ 1. 8	+ 0. 1
森林吸収	—	△ 3. 9
京都メカニズム	—	△ 1. 6
合計	+ 7. 5	△ 6. 0



図：CO₂排出の今後：趨勢と京都目標

日本の温室効果ガス排出傾向 1995－2002(対基準年比)



表：京都議定書達成計画における省エネルギー

	旧大綱目標	レファレンス ケース	目標達成ケー ス(対レファレ ンス%)	大綱よりの 目標変化
産業自主行 動計画	2, 010万kl	1, 190万kl	100%	大幅低下 (特に電気)
産業その他	90	40	250	
民生トップラ ンナー	660	430	126	
建物断熱	860	490	160	
省E機器	100	20	350	大幅上昇
BEMS・ HEMS	250	120	183	
運輸トップラ ンナー	590	800	101	大幅上昇
クリーン自 動車	130	20	450	
運輸システ ム合理化	980	400	275	
合計	5, 710万kl	3, 550万kl	5, 630万kl	多少低下

長期の温暖化対応

1. 原子力のシェアの拡大
2. 自然エネルギー利用の拡大
 - 1) 水力、風力、太陽光発電等既存方式の拡大
 - 2) 周辺自然エネルギー利用の拡大
貯水池、地下等：建物への利用
 - 3) 未利用大規模空間の利用
海面、砂漠、宇宙空間
3. CO₂の貯留
EOR、地中貯留など

当面する原子力の問題

1. 原子力発電所新規立地の障害
 - 1) 需要ののびの低下
 - 2) public acceptance
2. 稼働率の改善の限界
3. 現存発電所の高経年化
4. バックエンド整備・リサイクルの停滞

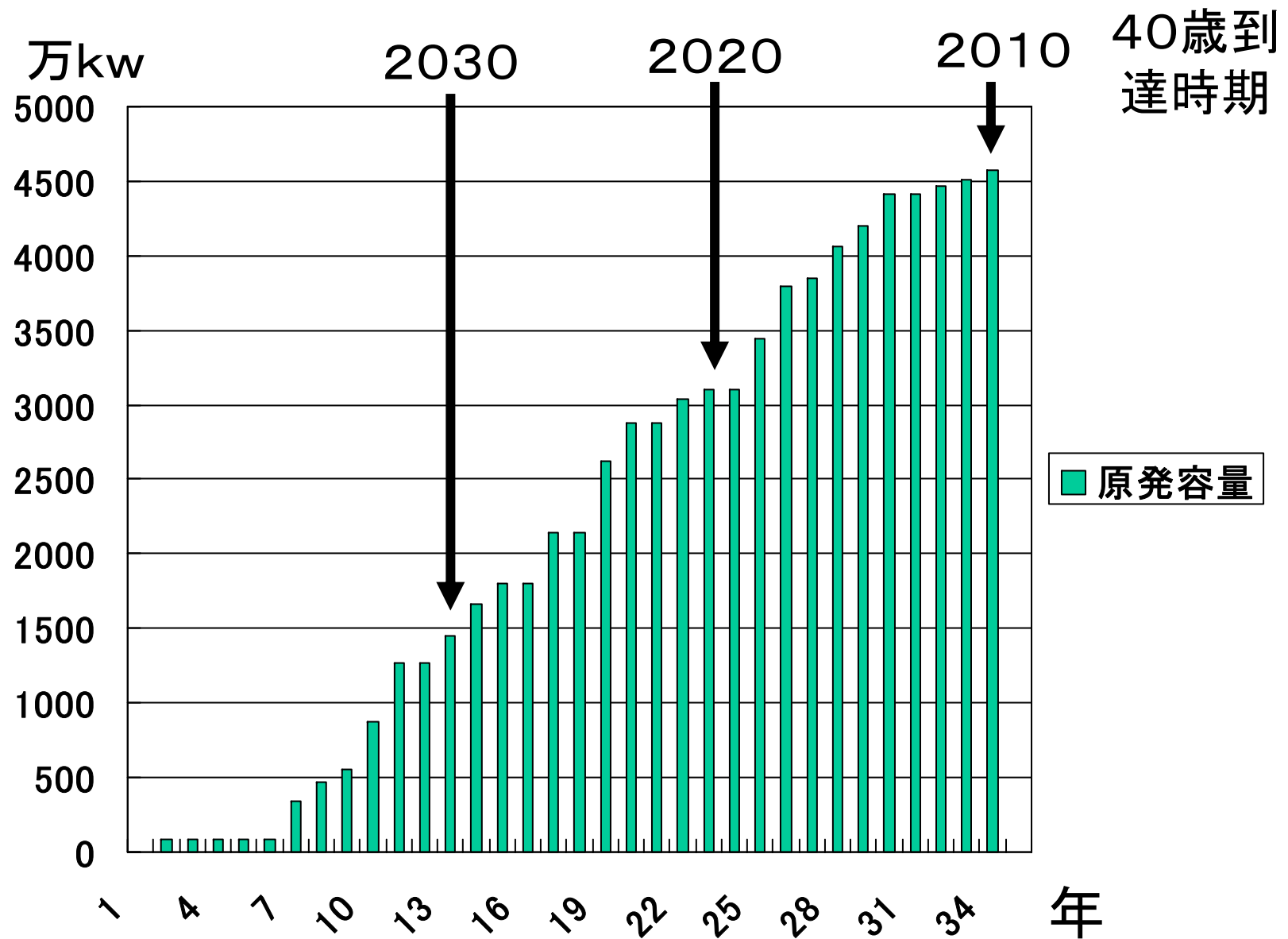
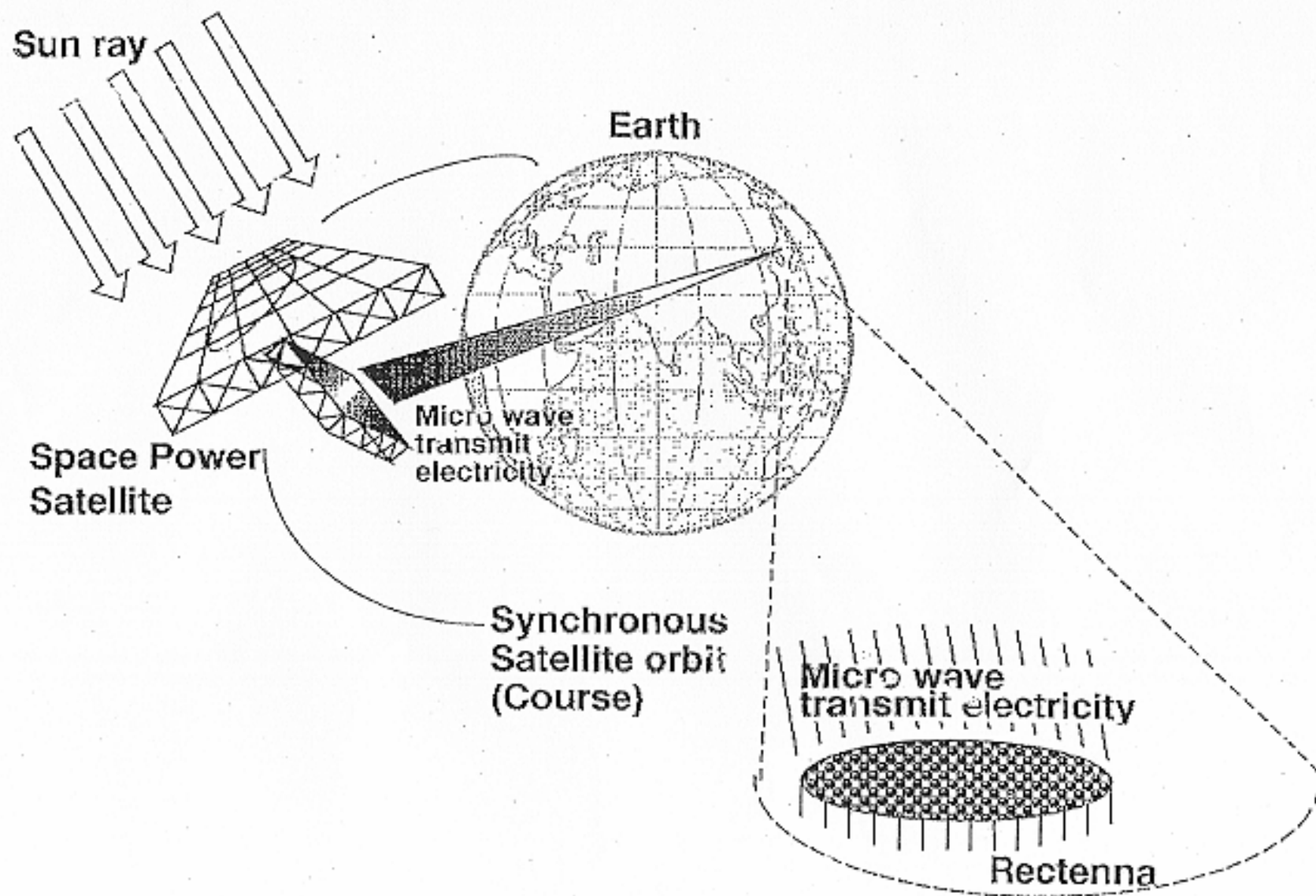


図4. 日本の原発の累積年齢構造(容量ベース、2004年現在)

原子力：長期の問題

1. 核燃料サイクルの確立
2. 高温ガス炉等による非電力利用
 - 1) 産業・民生熱需要への対応
小型炉の開発普及は可能か
 - 2) 水素需要への対応
どこまで効率を改善出来るか
3. 核融合とFBRの競合：どう対応するか

Space Power Generation System



CO2貯留の意義と現状

1. 意義

比較的低コスト／現状で可能な技術
化石燃料依存の現状へ対応出来る
世界的に貯留ポテンシャルは大きい

2. 現状

地中貯留はすでに現実化

石油増収の手段(EOR) : Weyburn

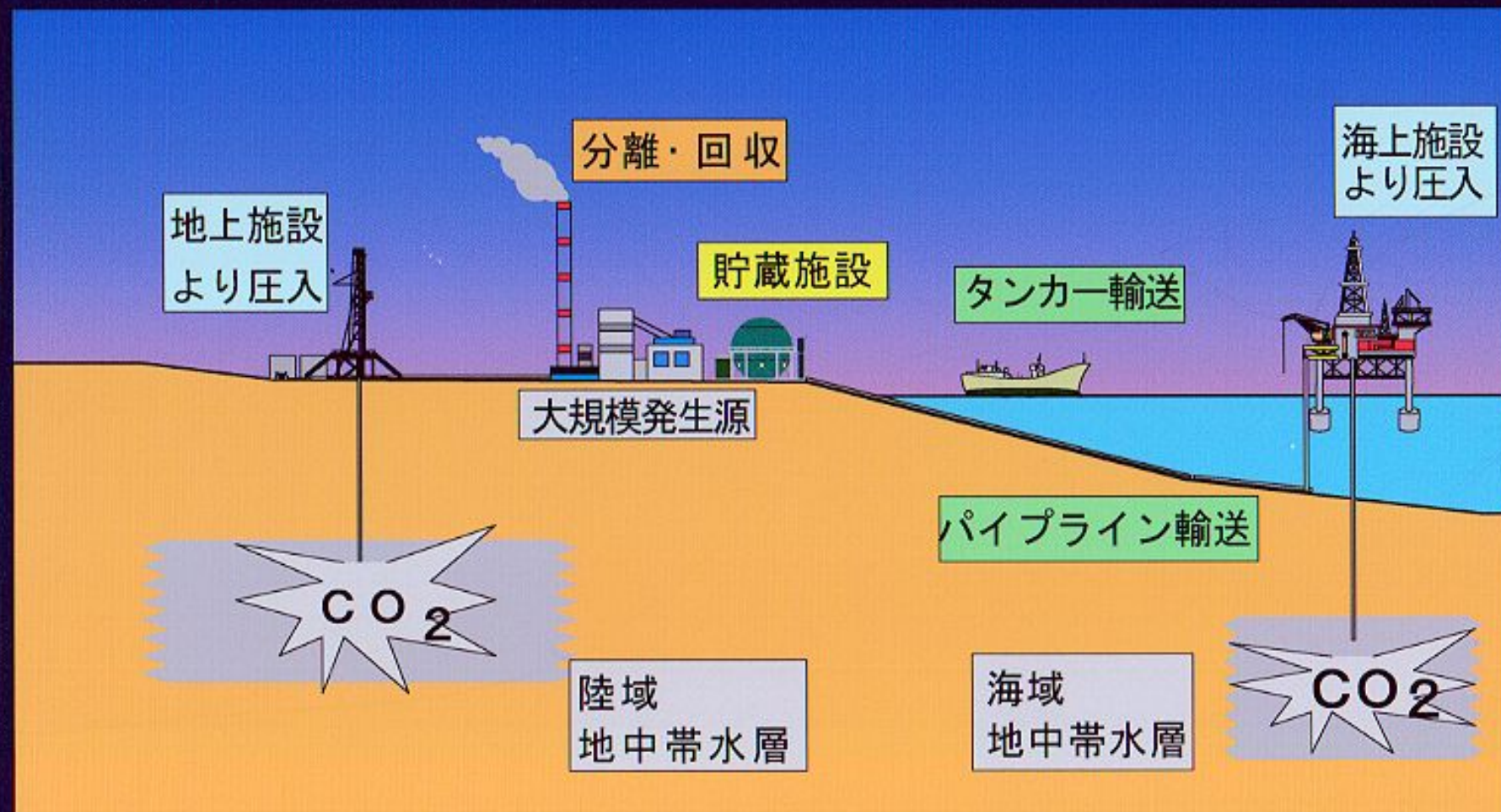
帯水層貯留 : Sleipner

その他、Norway, Australia, Algeriaで大型計画進行中

3. 今後 : 発電所からのCO2回収貯留の実用化

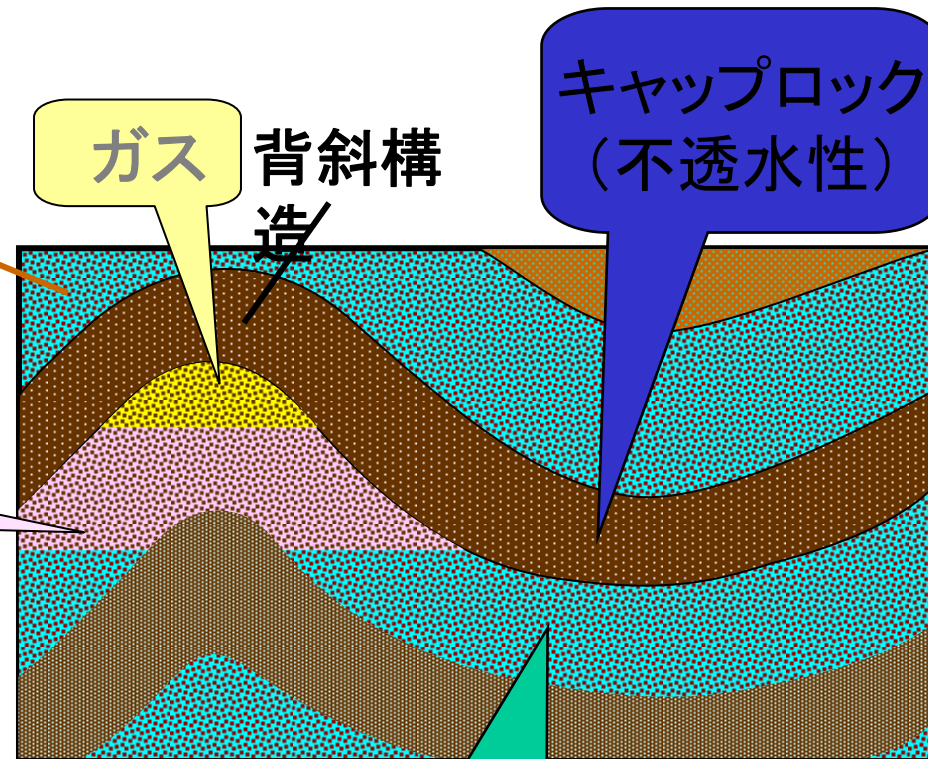
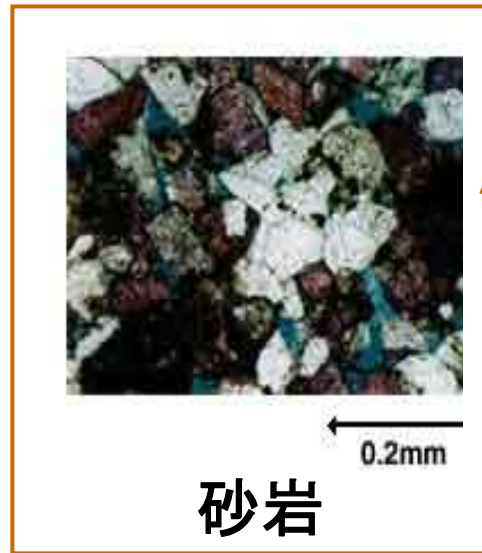
二酸化炭素地中貯留 概念

分離・回収 → 貯蔵 → 輸送 → 圧入



NEDO's Project for 2000FY—2004FY with about ¥4B.

帯水層とは



● **孔隙率** : 岩石内の孔隙容積

の割合

● **浸透率** : 岩石中の流体の流れやすさ

水資源に向かない水(塩水)
で飽和されている

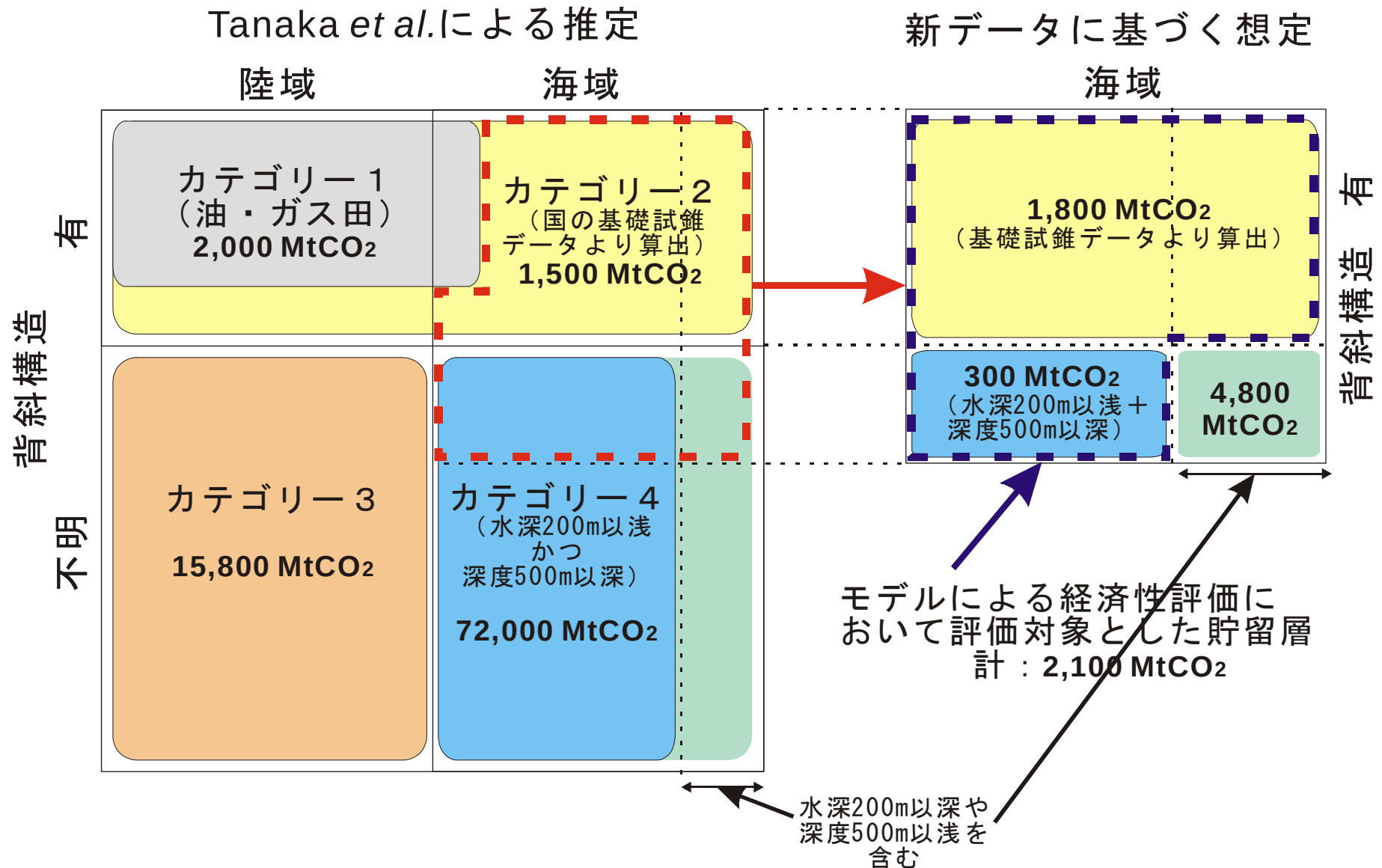
世界での地中貯留容量

帯水層:	8兆トン程度
枯渇石油・ガス田:	1兆トン程度
採掘不可能な石炭層への吸着:	0.3兆トン程度

世界のCO₂排出量: 毎年 240億トン

<550ppm安定化シナリオのために21世紀中に必要な
総削減量: 1~3兆トン>

日本での地中貯留容量



水素システムへの期待

1. 水素システムの利点

1) ゼロエミッション

2) 一次エネルギー源が広い

化石燃料 → 非化石燃料

2. 水素システムエレメントの開発気運

1) 燃料電池

2) 諸種改質器、高温ガス炉

水素システムの問題点

1. 水分解プロセスの低効率性は解決できるか？

一次エネルギー源が熱源：

熱化学法、電気分解 は熱力学的効率制約にしたがう

→ 全体システムの非効率性

→ どのようにして効率性を回復するか？

2. 全体システム的大幅な変革は可能か？

現状の水素システム：現状インフラを利用した分散型

如何にして 分散型→集中型 へ転換するか？

水素エネルギーへの転換

—変換効率の制約—

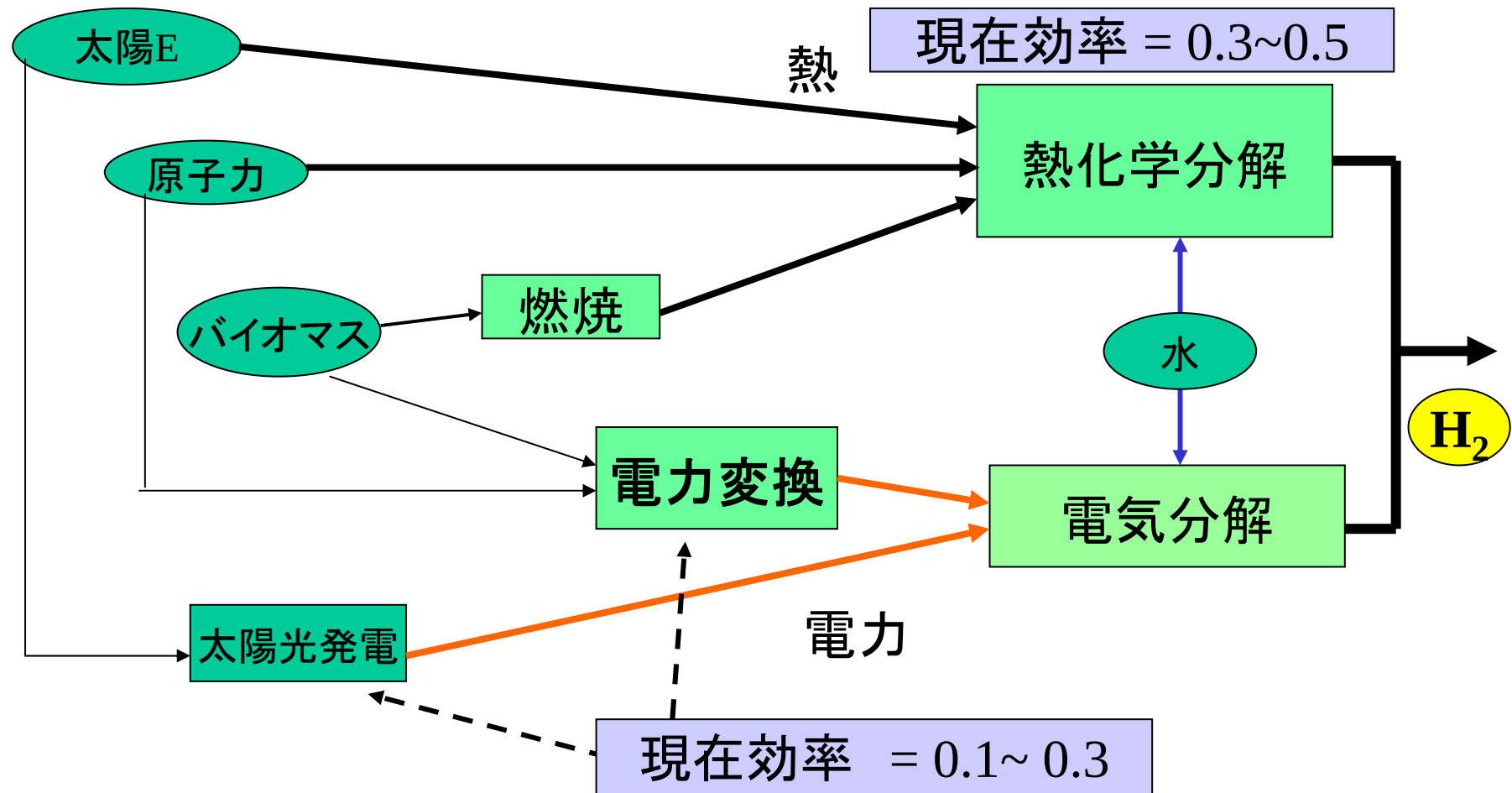
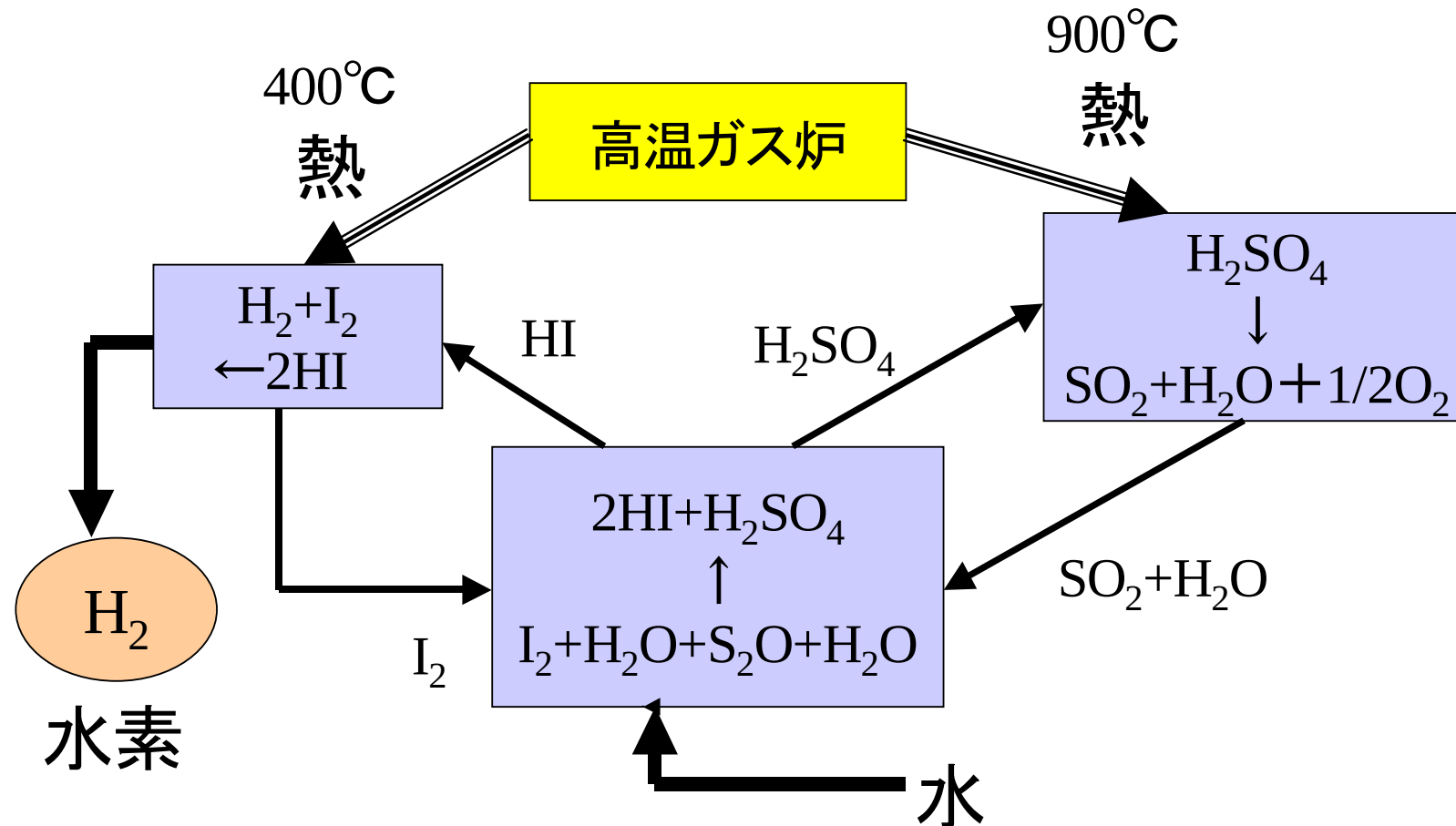


図3. 1 高温ガス炉による水の熱化学分解
—IS cycle—



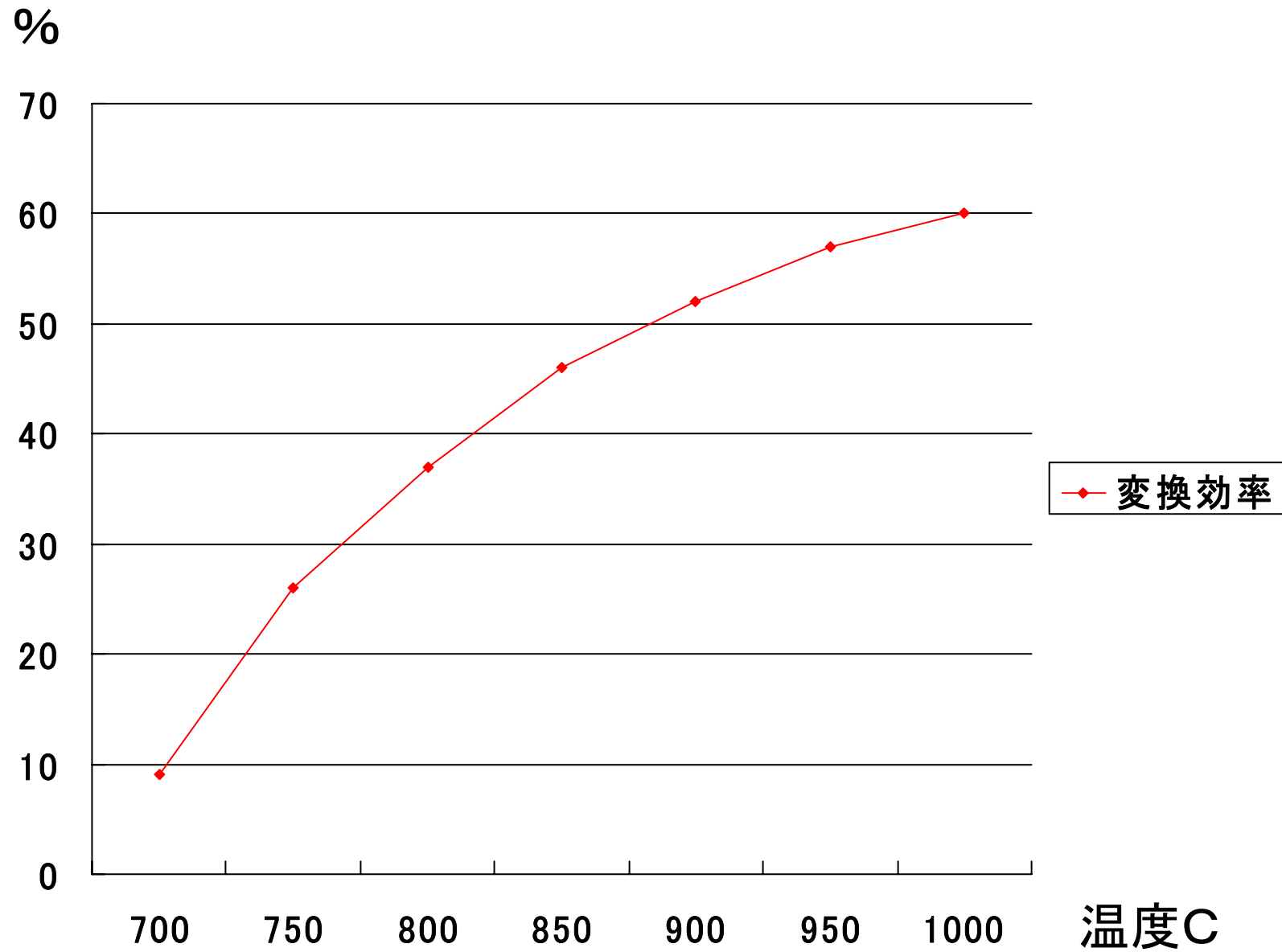
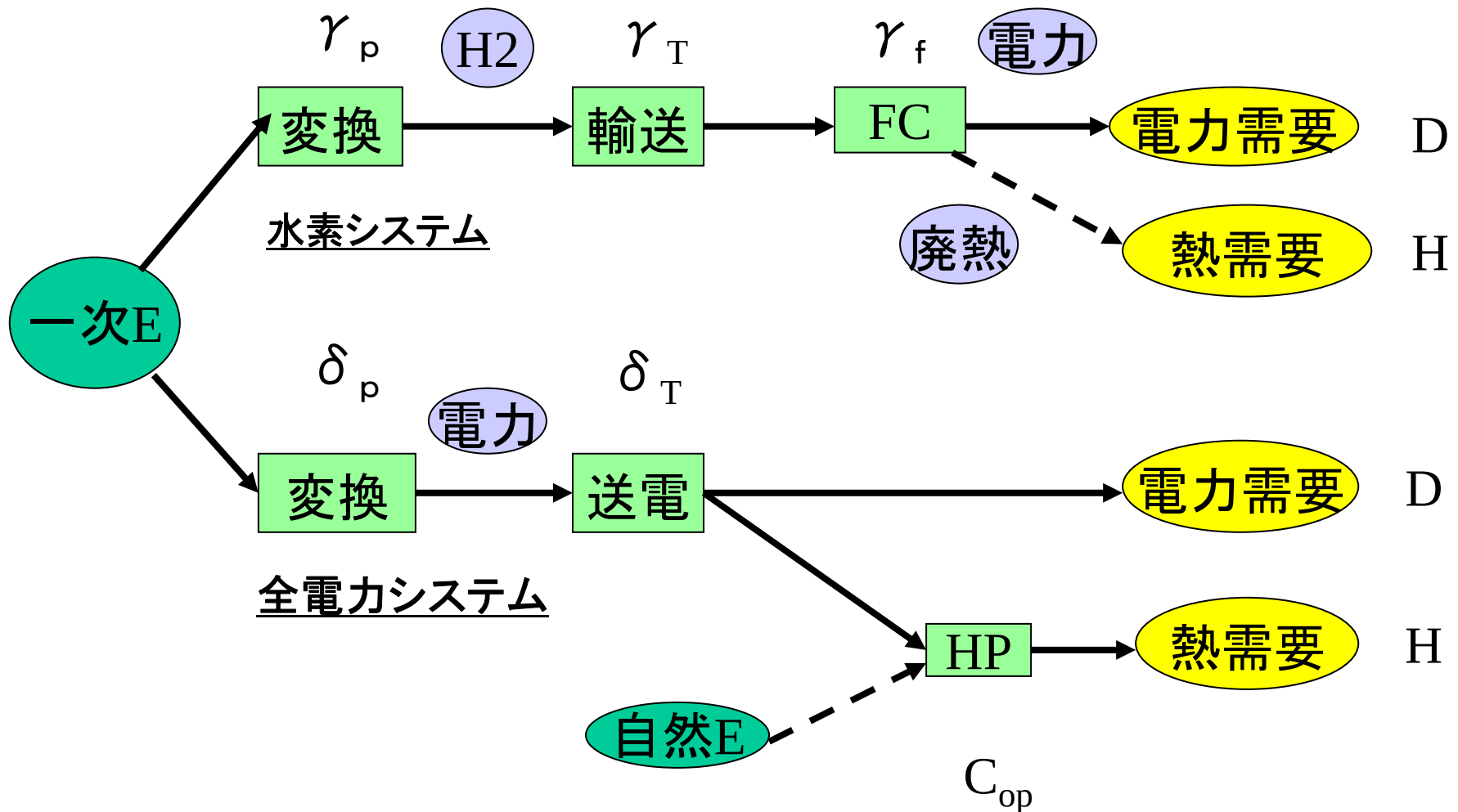


図3. 4 IS法の熱変換効率

出所: USA national academies press, Hydrogen Economy 2004,p.215

水素システム vs. 全電力システム

一定置需要の場合



まとめ

1. 温暖化の科学の不確定性は簡単には解消しない。常に不確定性を考慮した対応姿勢を持つ必要がある。(柔軟で即応的対応)
2. 温暖化対応姿勢は、現実的には温暖化の危険と対策コストの双方のバランスで考えるべきである。
3. 脱炭素へ向けての長期的技術開発努力が重要である。Almighty的な技術は存在せず、原子力・自然エネルギーのactive/passiveな利用・省エネルギーの諸技術の組み合わせが必須である。
4. 水素技術が現実化するには、システム各要素の効率の抜本的改善が前提となる。