

今後のエネルギー政策を考える

茅 陽一

地球環境産業技術研究機構

2013. 6. 11

今後のエネルギー政策の諸課題

1. 個別のエネルギーの問題

1) 原子力をどうするか

2) 輸入化石燃料の供給を如何に安定化するか

3) 再生可能エネルギーをどう進めるか

2. エネルギーシステムの問題

1) 電力の自由化をどう進めるか

2) 温暖化へどう対応するか

エネルギー源の特性

- 3E+S 基準での評価 -

	原子力	化石燃料	再生可能エネルギー
安全保障	○	×	○
経済効率性	○	○	×
環境保全	○~△	×	○
安全	×	○~△	○

× : 問題点を有する

表. 諸電源の発電コスト(円/kWh)

電源種類	電源コスト(2010年)	推定電源コスト(2030年)
原子力	8.9~	8.9~
石炭火力	9.5	10.8
LNG火力	10.7	10.9
石油火力	22.1	25.1
地上風力	9.9~17.3	8.8~17.3
洋上風力	9.4~23.1	8.8~23.1
太陽光(住宅用)	33.4~38.3	9.9~20.0
地熱	9.2~11.6	9.2~11.6
小水力	19.1~22.0	19.1~22.0
バイオマス	17.4~32.2	17.4~32.2

出所: エネルギー環境会議、コスト等検証委員会報告書、平23. 12. 19

福島原発事故の対応費用

—コスト等検証委員会報告より—

1. 委員会推定値

追加的廃炉費用

損害賠償費用 計 5兆8千億円

2. 委員会推定値に含まれないコスト

高濃度汚染対策費用

除染により生ずる廃棄物等の処分費用

地方公共団体等の財産的損害等

3. kWhあたりコストへの換算

福島第一規模の事故は、全日本を通じて40年に1回程度と仮定。

(東海第一運転開始以来現在までにほぼ47年)

それによると、上記損害費用はほぼ0.6円/kWh

損害1兆円追加 → 発電コスト 0.1円/kWh

新規対策のコスト — 浜岡原発の例 —

1. 対策コスト

津波対策 1. 3kmの防波壁等合計 1,500億円

severe accident対策 数百億円

他対策を含み 最大3,000億円？

2. 対象 原発3基、350万kW

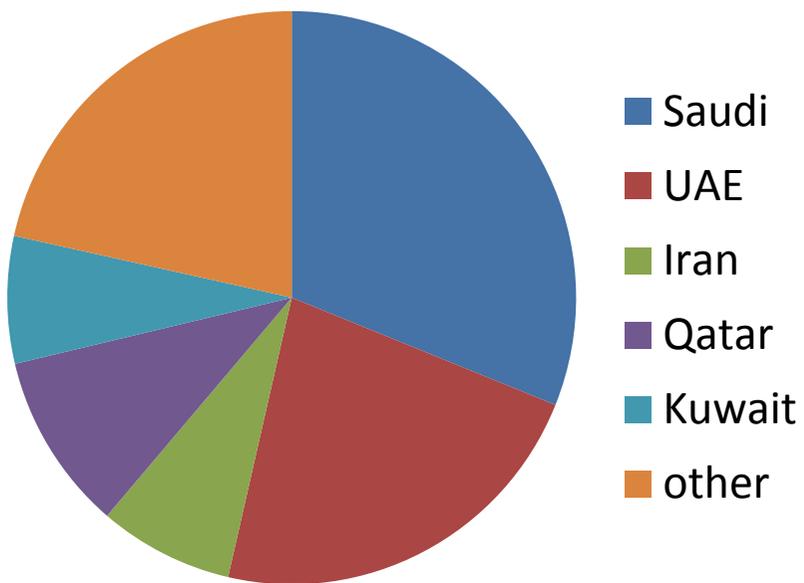
3. kWhあたりコスト

平均稼働率85%として

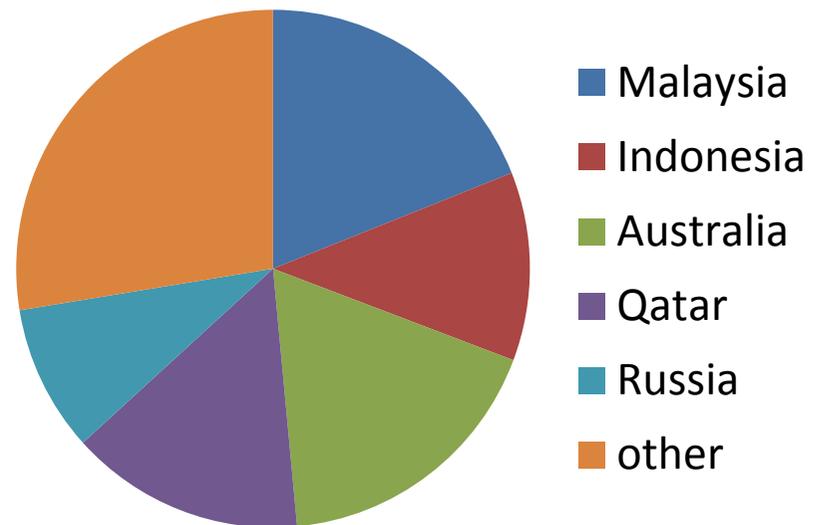
	合計残存寿命	kWhあたりコスト
寿命40年	60年	0.6円/kWh
60年	120年	0.3円/kWh

図：日本の石油・天然ガス輸入先 —2011実績—

petroleum



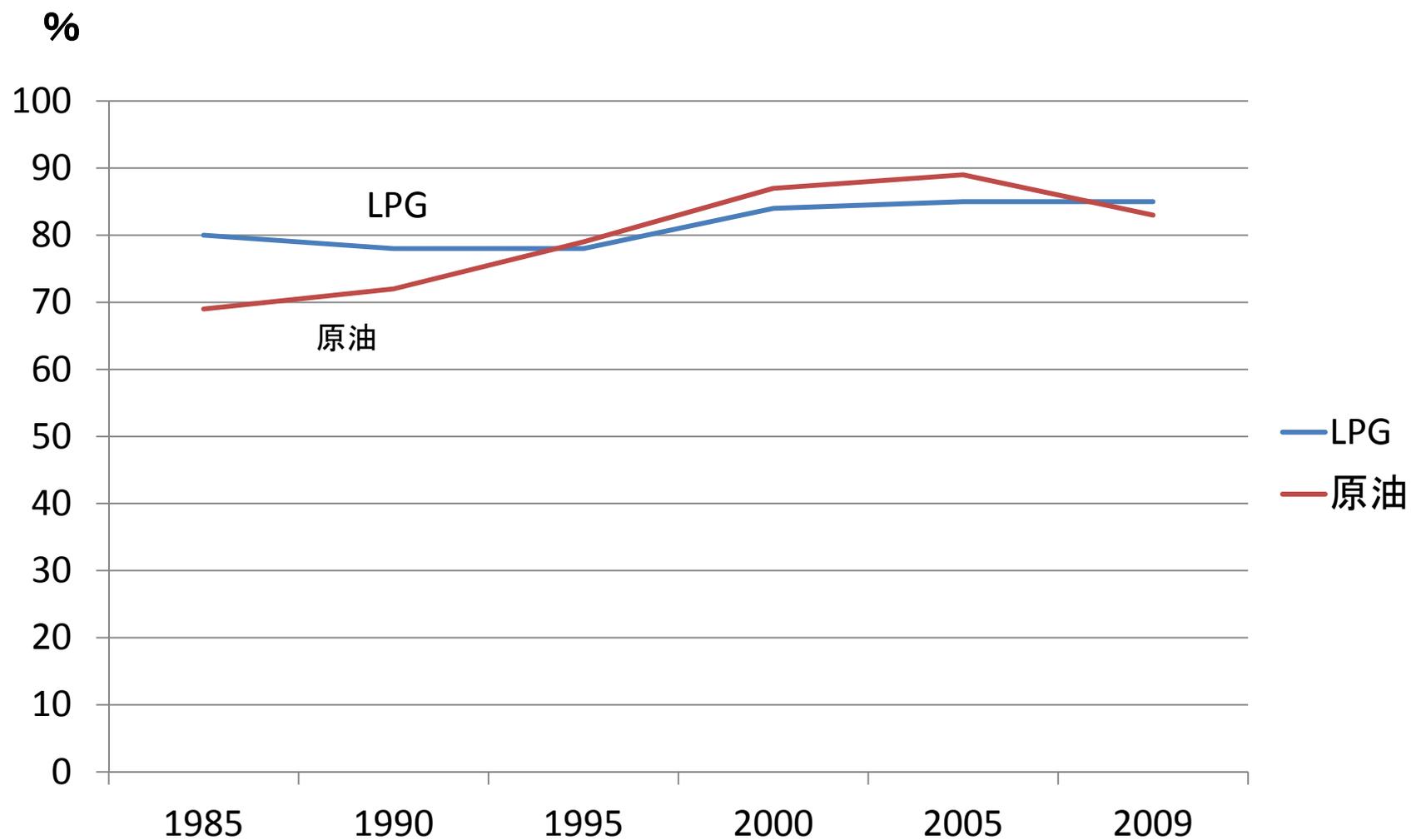
NG



石油系燃料供給安定化の方策

1. 中東への依存の低減
Hormuz海峡のあまりの重要性
アジア地域での供給を増やせるか
2. 他燃料への転換
天然ガスへの転換 発電
電力への転換 輸送燃料
バイオ燃料への転換 輸送燃料
3. LPGの特異性 → 長期の対応？

原油・LPGの中東依存度



German solar PV in percent of yearly electricity consumption

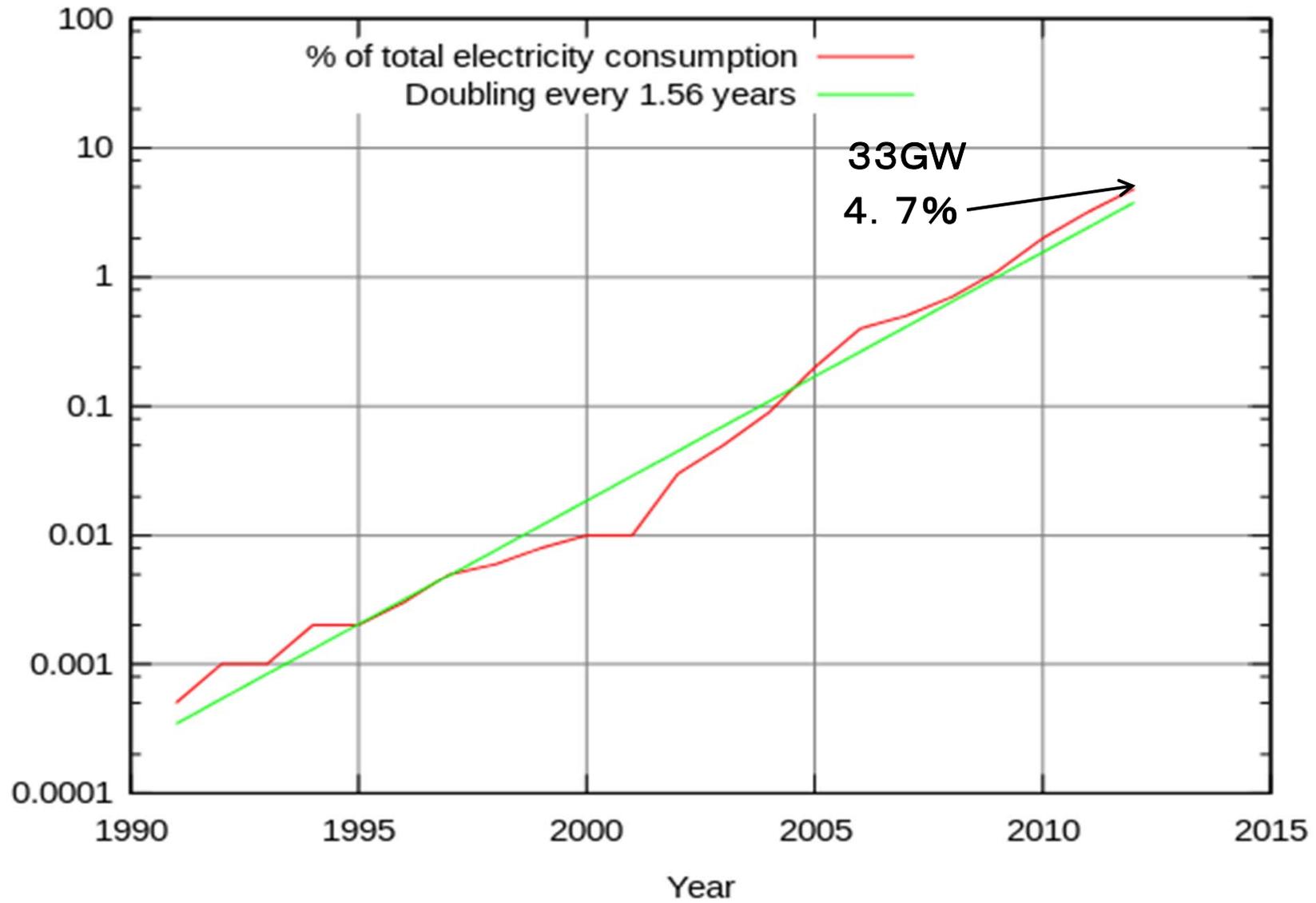
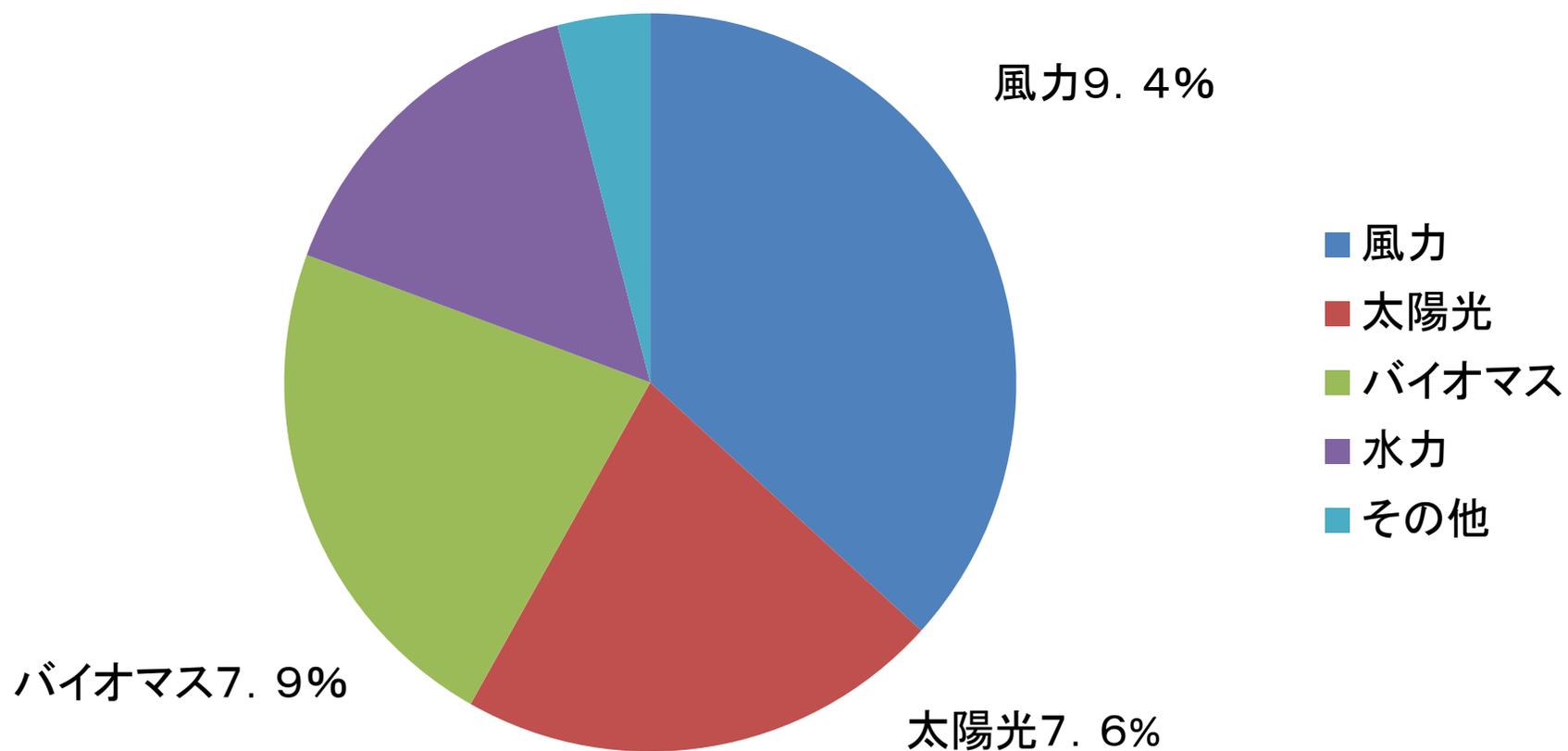


図:ドイツの太陽光発電の電力比率

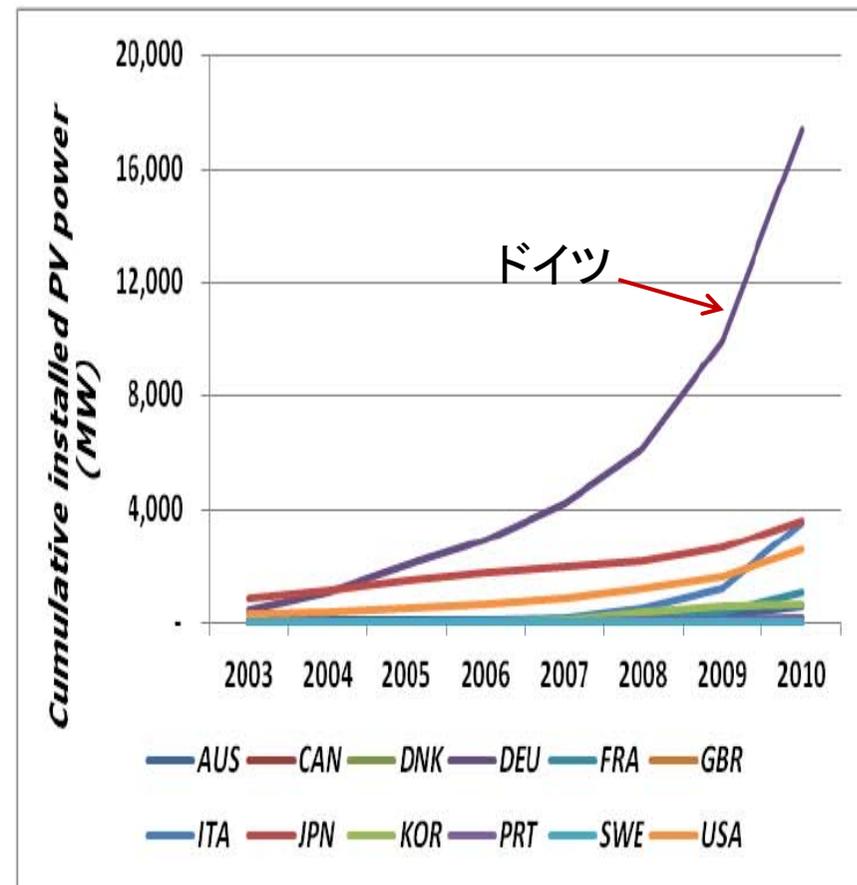
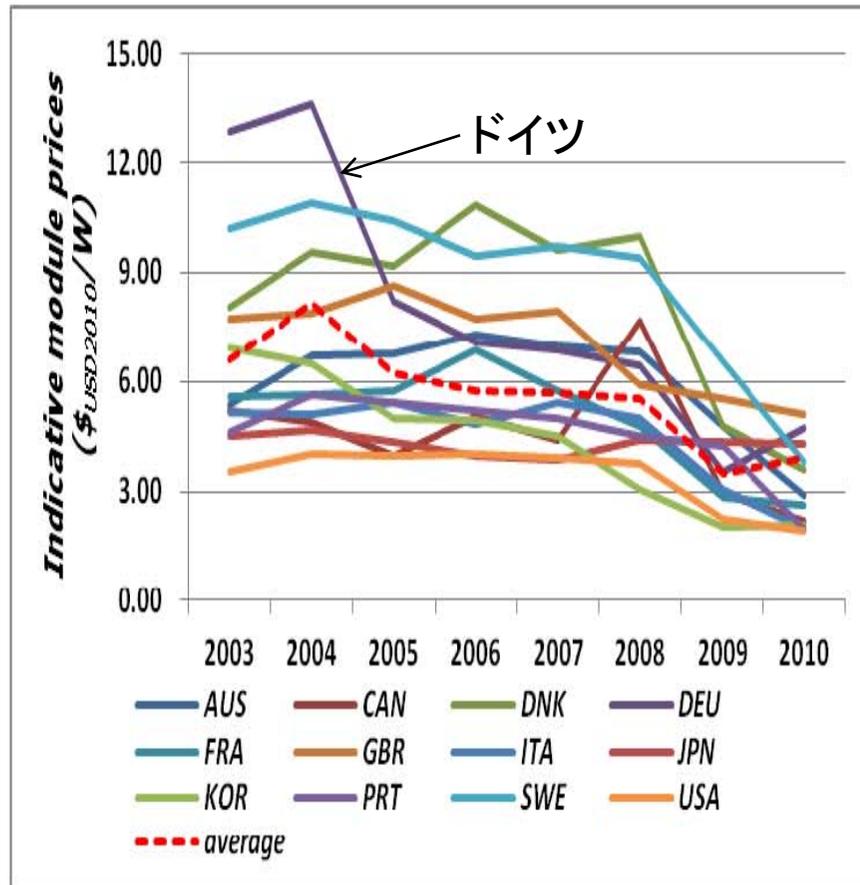
ドイツの電力用再生可能エネルギー

比率



再生可能エネルギーの電力比率=26%(2012)

Figure 1. Indicative module price and cumulative installed solar PV capacity (2003-2010)



図：世界各国でのPV単価（\$/W）

図：世界各国のPV容量（MW）

Source: Lee, Y.; Learning by doing effect from solar PV RD&D, Seoul National Univ.

ドイツにおける再生可能エネルギーの FITとその消費者負担コスト

1. 電力用再生可能エネルギー比率

2012前半 26%

2050目標 80%

2. FITによる負担総額現状

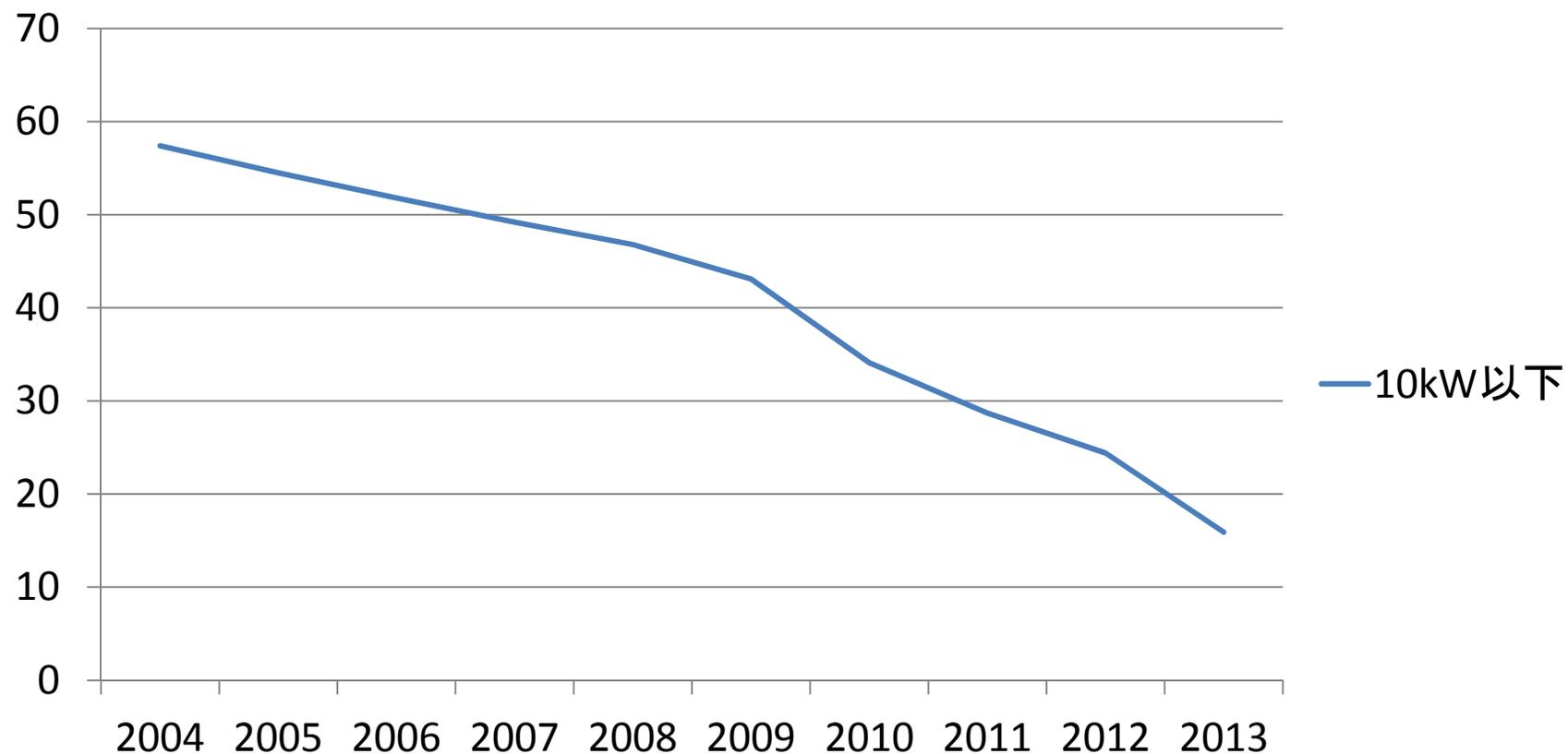
170億ユーロ/年(2兆2,000億円)

4円/kWh程度・・世帯あたり月2,000円

ドイツにおける太陽光発電買取価格 —屋根置き、10kW以下—

ユーロセント/kWh

10kW以下



Promising but barrier of time-changeability

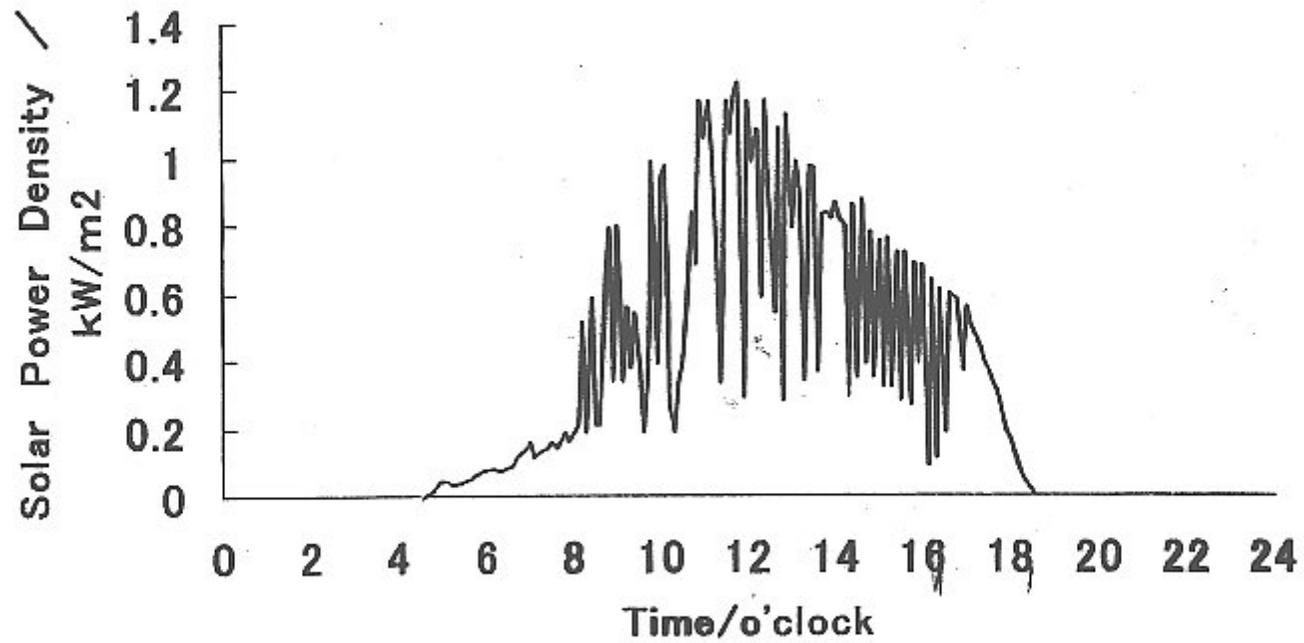


図:太陽光発電の一日の出力変動

ドイツの電力における再生可能 エネルギーの出力変動問題

1. 出力変動による系統安定性の阻害
停電回数 3分以上の停電 20万回(2011)?
2. 出力調整によるガス火力稼働率低下
A.ONは、ヨーロッパ内ガス火力数基の停止を発表(1013. 1)
理由:再生可能エネルギー出力変動対応の調整で稼働率低下
採算があわなくなった
3. 出力調整用storageの不足
従来:揚水発電 → 新しい揚水場所が不足
今後:P2G(再生可能E→メタン)の開発などに努力
しかし、P2Gは電気→メタン→電気のため、効率が低い
(20%台?)
4. 出力変動による影響(国外)
ポーランド、オランダなど隣接国電源に大きな動揺を与えている

太陽光発電と必要バッテリーコスト

1. エネルギー環境会議コスト等検討委員会報告

系統側設置： 2円/kWh

需要側設置： 9円/kWh

2. 経産省研究会報告

53GW太陽光発電 → 4.6兆～6.7兆円

バッテリー寿命10年、太陽光発電稼働率12%として

8.3～12円/kWh

資料：経産省、低炭素電力供給システムに関する研究会報告、2009.7

すなわち 住宅等の太陽光発電に対しては 従来電源コストと同程度のバッテリーコストがかかることになる。

太陽光発電とならし効果

$$J_i \frac{df}{dt} = P_i - D_i + \sum \delta_{ji} \quad (1)$$

δ_{ji} : j番目のPVからi番目の電源への潮流

$$\rightarrow \sum J_i \frac{df}{dt} = \sum P_i - \sum D_i + \sum \delta_{ji} \quad (2)$$

系統内PVの和

$$\begin{aligned} & \text{連系系統内の発電機駆動タービン回転数} \\ & = \text{系統周波数} \end{aligned} \quad (3)$$

(3)のために系統周波数に対するPVの影響は系統内の合計値の形で影響する

太陽光・風力発電の系統対策コスト —2030経産省シナリオでの試算—

	再生可能E 35%ケース	再生可能E 25%ケース
需要・出力変動対策費 * 1	0.3 兆円	0
余剰電力対策費	4.0	2.0 兆円
系統増強対策費	16.3	4.3
電圧対策費	0.5	0.5
合計	21.1 兆円	6.8 兆円
kWhあたりコスト * 2	7.3 円/kWh	4.6 円/kWh

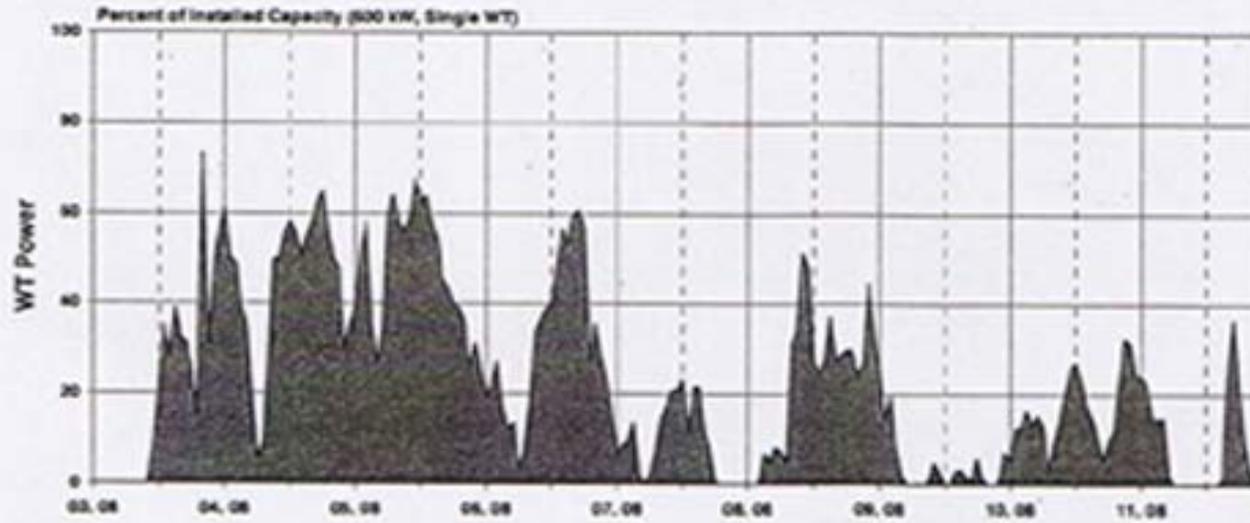
資料:経産省基本問題委第20回資料6(2012.4.26)

* 1:太陽光発電の全国ベースのならし効果が理想的に起こるとの前提。

* 2:茅による算定

図：北部ドイツの風車出力例

(1)
1基



(2)
1500基

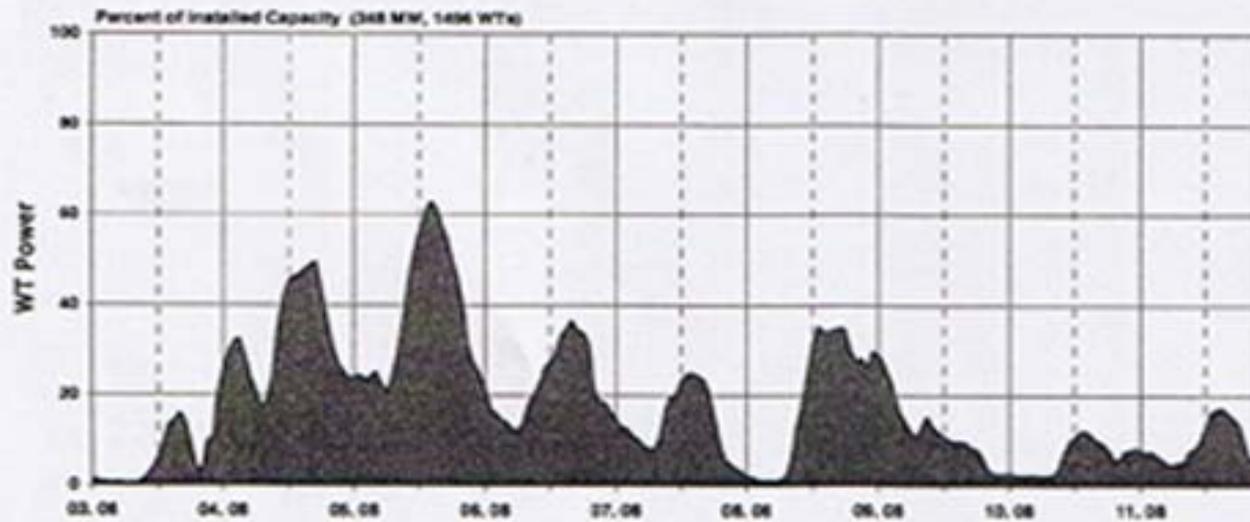


Fig. 9: Comparison of WT Individual and Cumulative Power [3]

再生可能Eへの対応

1. 太陽光発電・風力発電など出力変動電源の
ならし効果はある程度期待できるが、やはり
相当程度のバッテリーバックアップは考慮す
べき。
2. 出力変動電源の系統連携にかかわるコスト
分はFITでも対応すべき。
3. 出力変動電源の系統電力比率は一定値以
下とすべき。(20~30%以下?)

電力自由化への方向

—(1)改革の流れ—

1. 2013. 4. 2 閣議決定
電力システムに関する改革方針
2. 2013. 6. X~2013. 9臨時国会？
電気事業法改正法案 国会通過
3. 改革の実行 2015~2018？

電力自由化の方向

—(2)改革の目的—

1. 電力の安定供給確保
2. 電気料金の最大限抑制
3. 需要家選択肢の拡大
事業家の事業機会の拡大

電力自由化の方向

—(3) 実行内容—

1. 広域系統運用の拡大(2015)
電力の質と安定性の向上
2. 電気の小売全面自由化(2016)
供給—需要を通じての市場完全自由化
3. 送配電部門の中立性の一層の確保
小売料金全面自由化(2018~2020)

電力自由化

—(4)問題点—

1. 小売自由化と電力システム総合最適化は一致するか？
自由化の中に総合最適化のインセンティブはあるか？
2. 電力の脱炭素化と自由化は一致するか？
完全自由化は化石燃料火力の増大を促す危険はないか？
3. 再生可能エネルギーのFITは自由化と矛盾しないか？

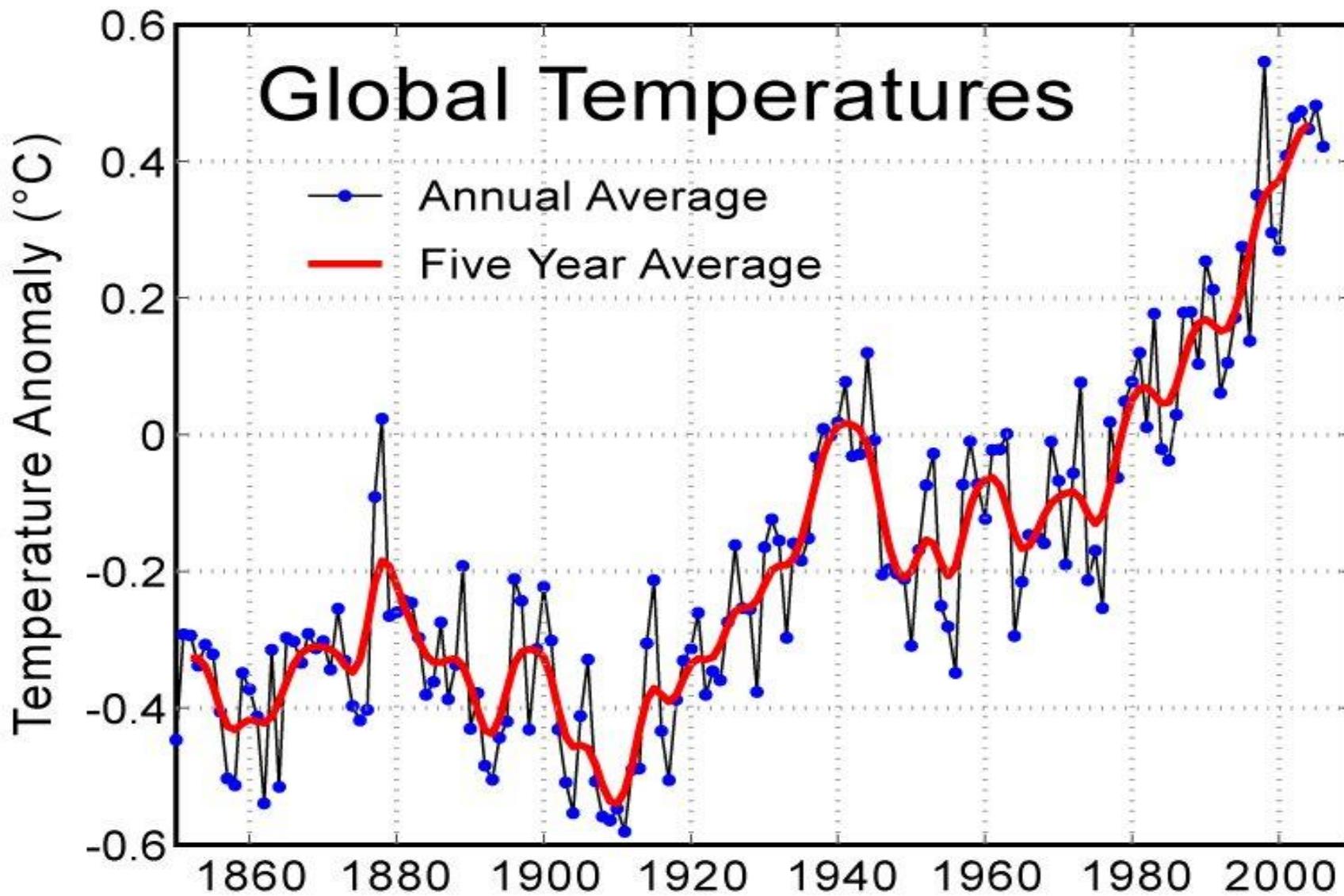
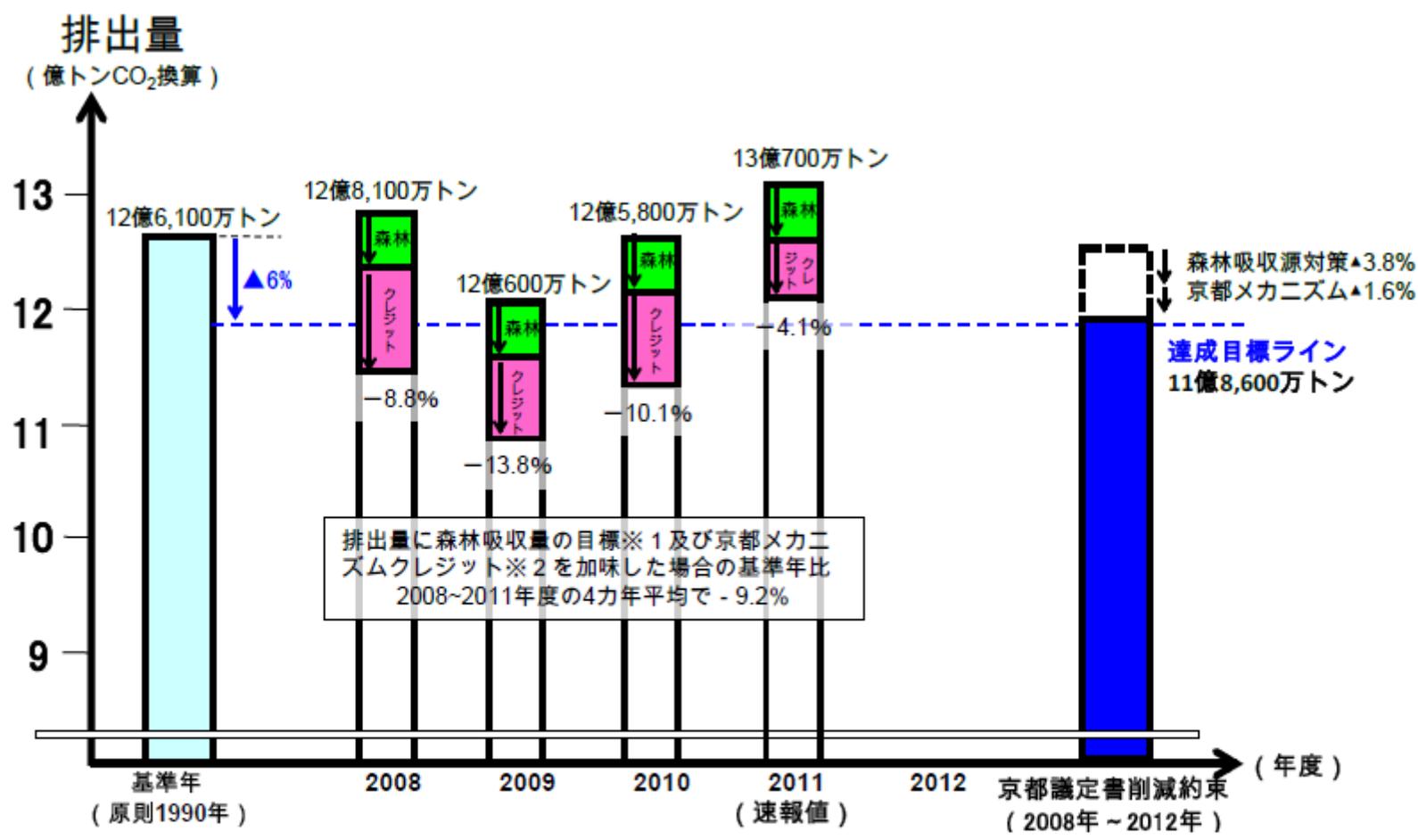


図: 過去150年の地球気温の推移



※1 森林吸収量の目標 京都議定書目標達成計画に掲げる基準年総排出量比約3.8% (4,767万トン/年)
 ※2 京都メカニズムクレジット
 政府取得 平成23年度までの京都メカニズムクレジット取得事業によるクレジットの総契約量(9,755.9万トン)を5か年で割った値
 民間取得 電気事業連合会のクレジット量(「電気事業における環境行動計画(2009年度版～2012年度版)」より)

図1 我が国の温室効果ガス排出量の推移
 (出典: 環境省資料を基に作成)

京都議定書目標の達成可能性

—2008～2012—

1. 基準年GHG排出 12億6、100万t

2. 京都目標(2008～2011年合計)

基準年排出 $\times 5 \times 0.94 = 59$ 億2,700万t

GHG排出 50億5,200万t (4年分)

森林吸収 Δ 2億4,000 (5年分)

クレジット (5年分)

政府購入 Δ 9,800

電事連等 Δ 2億 t

計 45億1,400万t

2012年分

GHG排出上限14億1,300万t = 基準年排出 $\times 1.12$

なお、従来の最大;2012年の3.6%増。したがって達成可能性大。

温暖化問題の国際的情勢(1)

1. 2度～1.5度目標への指向

工業化以前に比して2度～1.5度上昇以内

最近のCOP, G8summitでの宣言にみられる

例: 2012Doha でのdecision

各国は地球平均温度を工業化以前に比して

2度上昇に保つために必要な温室効果ガス

排出の大きな削減に向けて緊急に努力する

ことを決定する。

2. 関連する2050年目標

1) 世界: 排出半減

2) 先進国: 80%削減

温暖化問題の国際情勢(2)

3. 2050年目標とその達成困難性

1) 世界排出半減目標

日本のかつての安倍・福田政権の提唱ぶり

G8に続くMajor Economic Leaders Meeting

では発展途上国が合意せず

2) 先進国80%削減目標

先進国の多くが同意

例: 英国 目標を法制化

日本

2012年環境基本計画(閣議決定)に目標を含む

温暖化問題の国際情勢(3)

1. 2015年までに2020年以降の国際目標を定める(COP)
2. 現状での情勢
 - 1) 米国は自主的目標設定を提案
カナダ・オーストラリアなどは賛成姿勢
 - 2) Copenhagen 合意の2020目標は、
2度目標のパスからはかなり乖離
 - 3) 2度目標の修正、Pledge and Review方式
が現実的方向？

日本の2020目標 —簡単な検討例(1)—

1. 一般的情勢

鳩山目標: 1990比25%減

政府は本年中に目標を修正する意向

2. 電力需要の動向(一般電気事業者)

		GDP成長率	電力需要
2009年度	Leeman shock	△5.6%	△3.1%
2010年度	経済回復	+ 4.7	+ 5.6
2011年度	福島事故	△0.6	△ 5.1
2012年度	回復途上	+ 2.0	△1.0

日本の2020目標

—簡単な検討例(2)—

3. 電力における2020想定(1)

1) 電力需要

ケースA 需要=現状 1.15 兆kWh

ケースB =一割減 1.00 兆kWh

節電意識が続くことが前提

2) 原子力

既設原発 2020に40歳以下、8割稼働

大間、島根3号 運開

合計 27.1 GW 稼働

設備利用率 85%(1990代後半)

日本の2020目標

—簡単な検討例(3)—

3. 再生可能エネルギー—2020: かなりの拡大

水力 現状維持

太陽光 25GW 設備利用率0.12

風力 15GW 0.20

4. 火力 2020: 思い切った天然ガス移行

	現状	2020
--	----	------

石炭	40%	→ 20%
----	-----	-------

石油	14%	7%
----	-----	----

NG	46%	73%
----	-----	-----

日本の2020目標 —簡単な検討例(4)—

5. 電力におけるCO₂排出低減 2020
非電力のCO₂排出現状維持と仮定
2020 日本の低減率

需要現状維持	△ 5 %
需要1割減	△11 %

日本の2020目標 —検討例からの提案—

1. 可能なGHG低減量

検討例での想定の楽観性を考慮すれば

現状比 $\Delta 5 \sim \Delta 10\%$ が上限？

したがって1990年比 Δ 数% 程度

2. 森林吸収 3. 8% は保存

3. 海外クレジット

政府民間含めて年間2%程度がせいぜい？

4. 京都目標(6%減)を超えないと他国の了承が得られない

基本: 基準年比 10%減

最大 15%減(麻生内閣目標)？

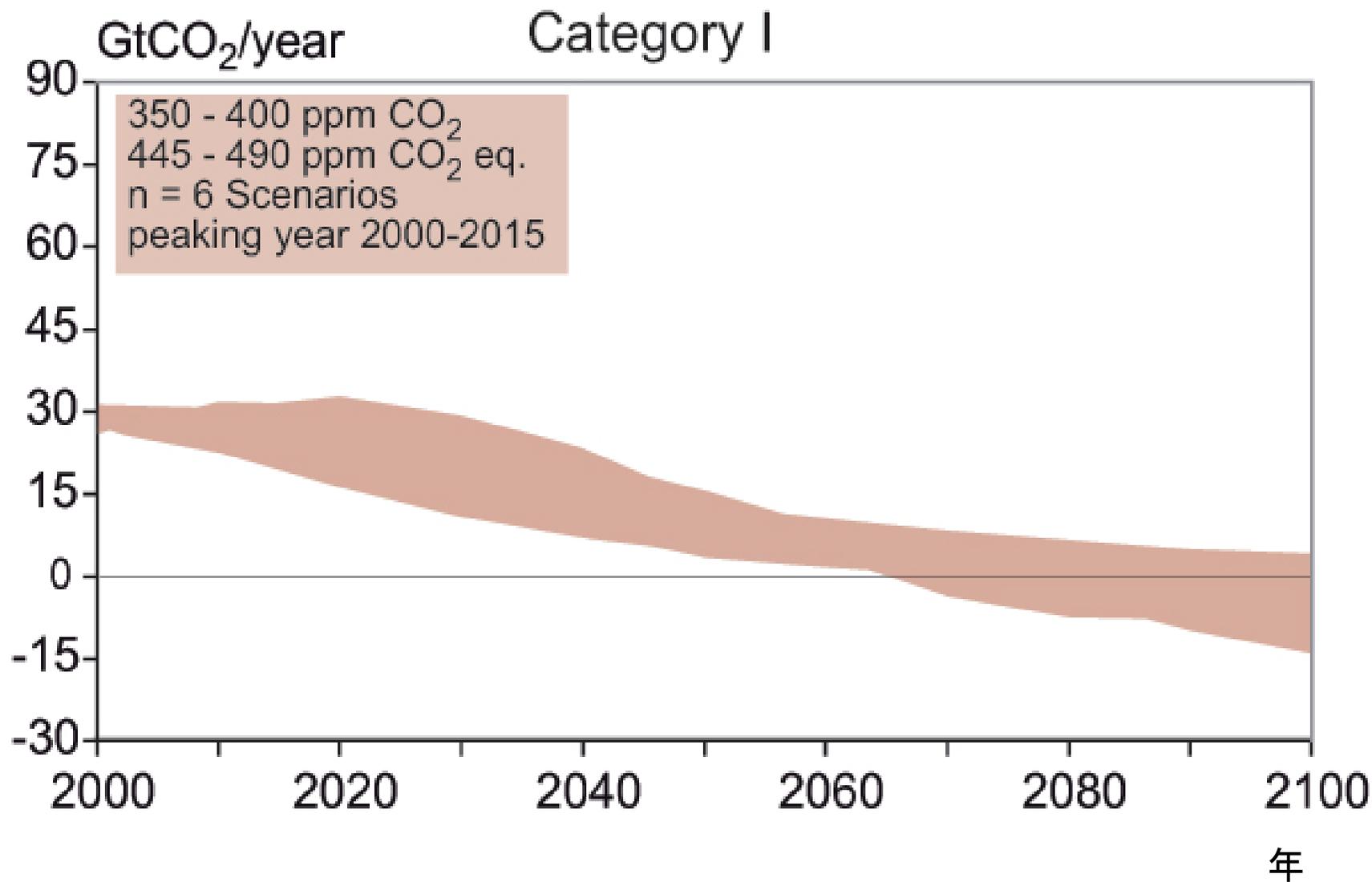
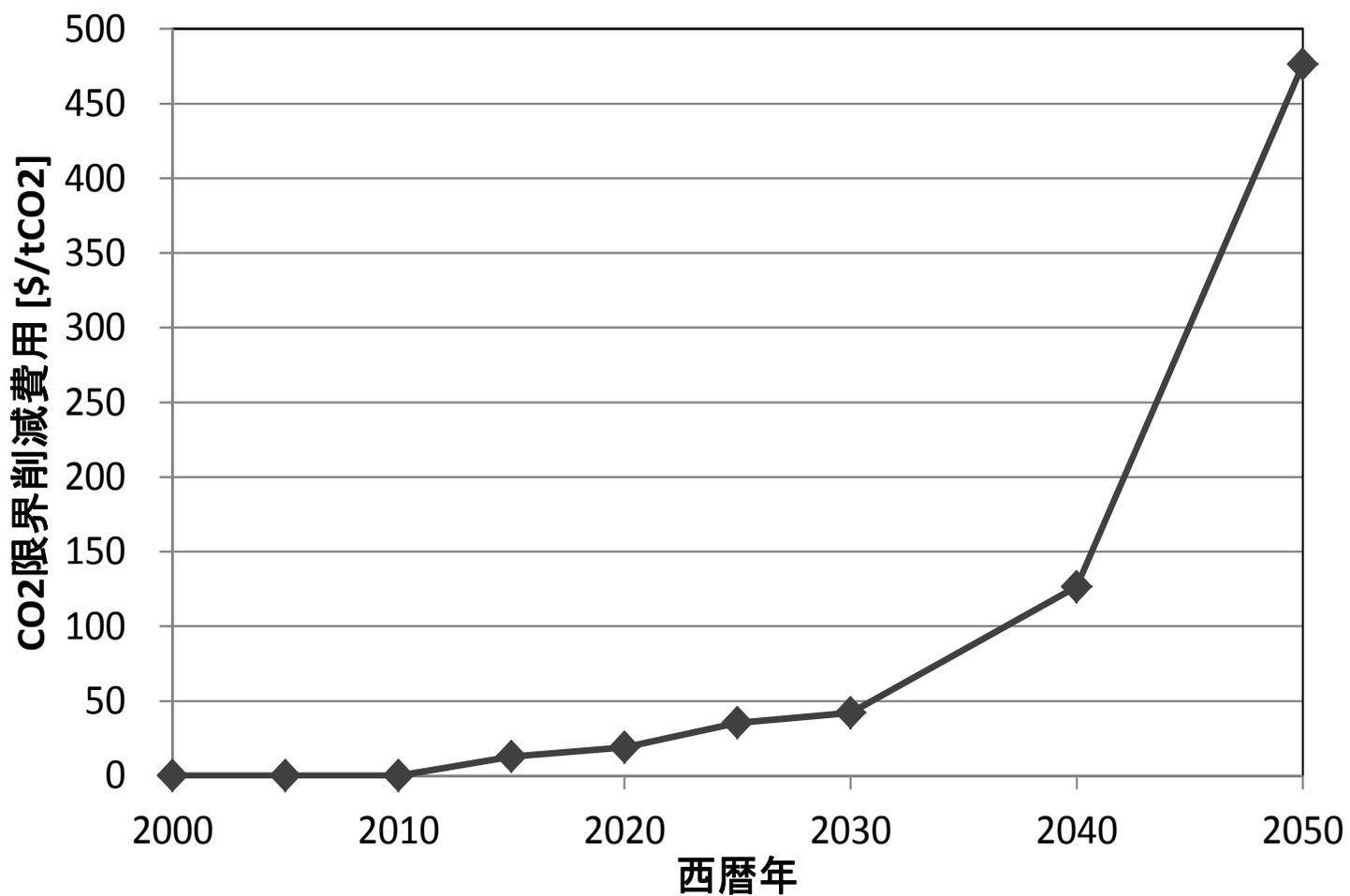


図3. 1 2度目標達成のためのCO2排出曲線

資料: IPCC第4次報告書、WG3、SPMより

2度目標の実現性 —関連2050年目標—

1. 2050世界の排出半減
対応の技術シナリオ (IEA, RITE)
削減の限界費用の高さ
2. 2050先進国の排出80%減
脱炭素、エネルギー絶対量削減の
困難性



図。世界二酸化炭素排出半減時の限界費用(RITE試算)
—2度目標への対応—

CO2の要素分解

$$C = \frac{C}{E} E \quad (1)$$

$$\Delta C = \Delta \frac{C}{E} + \Delta E \quad (2)$$

ここで $\Delta X = \frac{1}{X} \frac{dX}{dt}$: Xの変化率

C : CO2

E: 一次エネルギー

$\frac{C}{E}$: エネルギーの炭素依存率

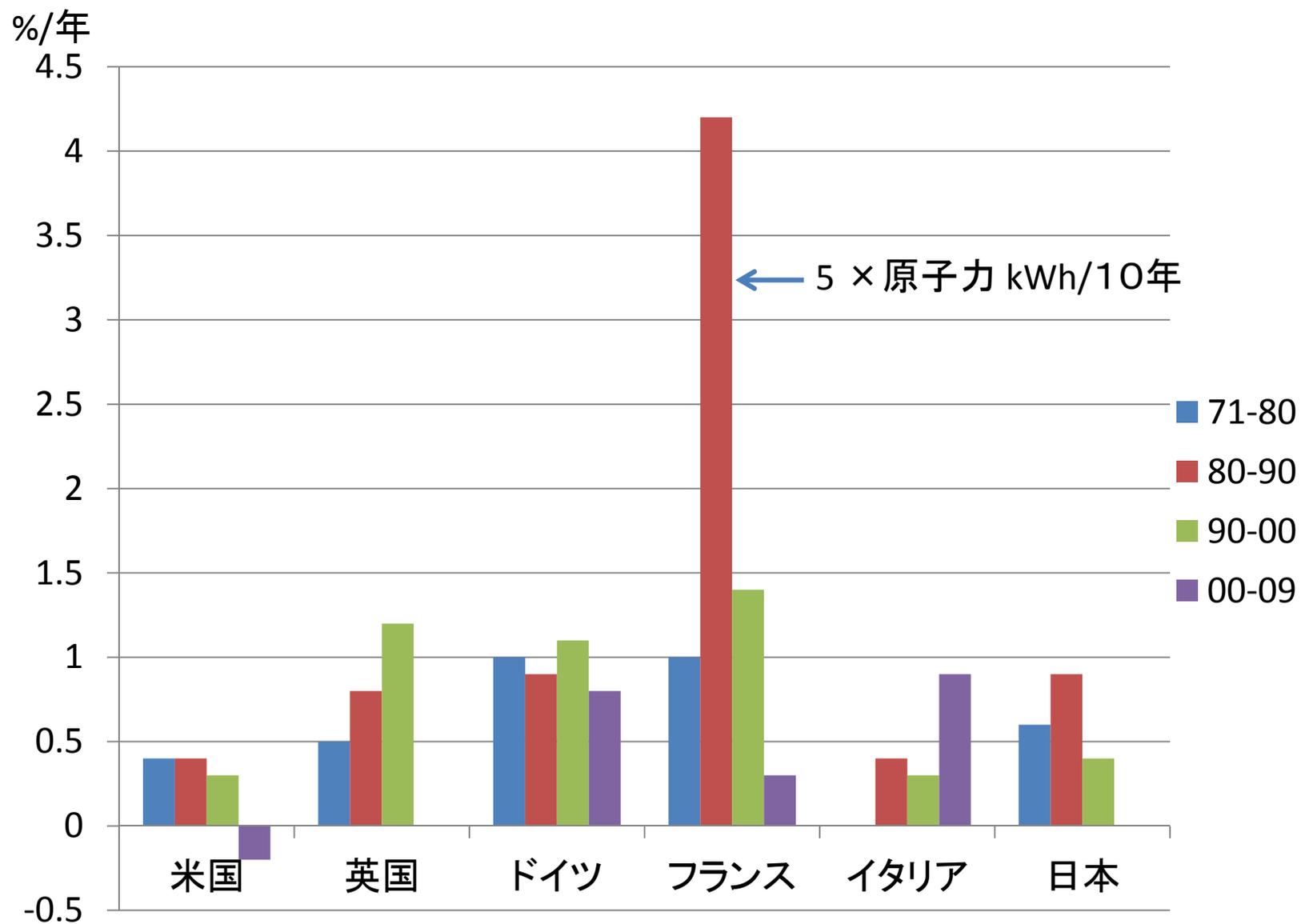


図4. 1先進国の過去30年の脱炭素率(−C/E変化率)

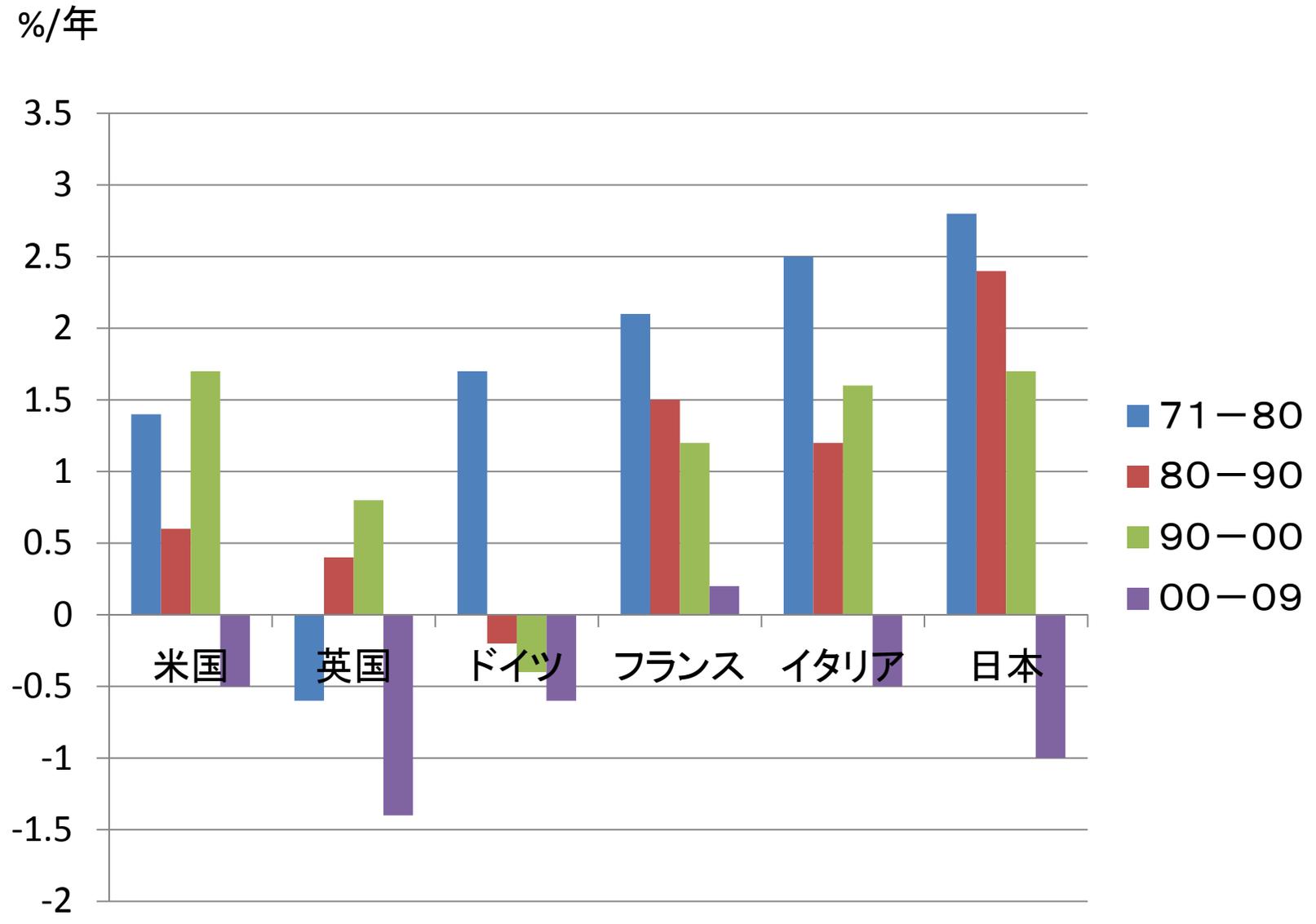


図5 先進国の一次エネルギー(E)変化率

先進国2050年80%減の非現実性

1. 必要な条件

CO₂平均削減率 ΔC : マイナス4%/年

2. 従来状況

$\Delta C/E$: マイナス1%/年程度

ΔE : 多くの場合 プラス

2000-2010 せいぜいマイナス1%/年

3. したがって

ΔC : 従来傾向の最小値マイナス2%/年

目標: マイナス4%/年

このギャップを40年に亘り埋め続けるのは
殆ど不可能

2度目標の修正と気候影響

具体的な対策：目標温度の引き上げ
のぞましい条件1.

2度目標に比して新しいリスクが発生
しないこと(IPCC図の縦軸)

のぞましい条件2.

2度目標で直面しているリスクの大きな
悪化がないこと(IPCC図の横軸)

→ 2度を2.5度に引き上げ

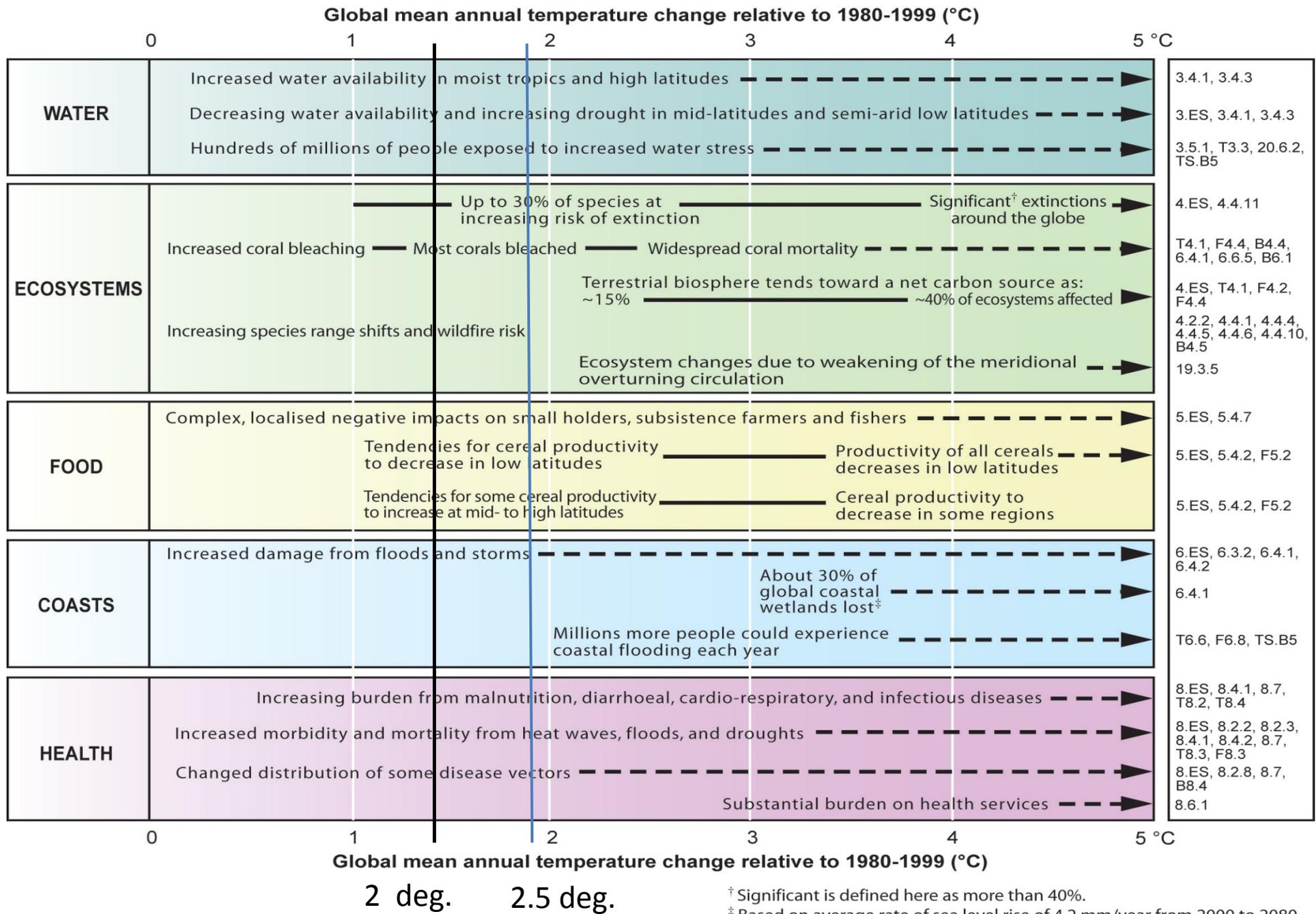
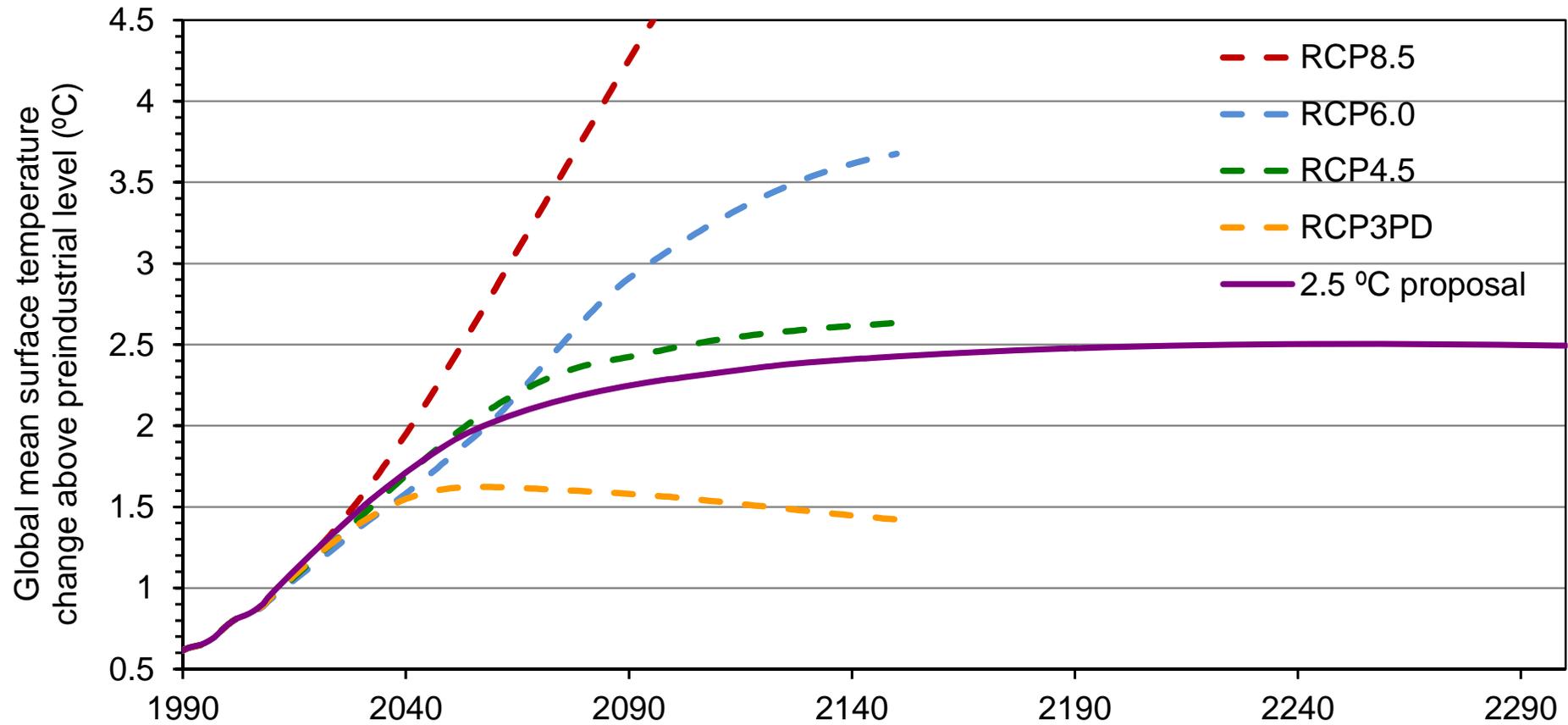


Fig.3 Rise in temperature by 2100 and its impacts(from IPCC AR4)

Global mean surface temperature change



Equilibrium climate sensitivity: 3.0 °C

図: 2. 5度目標時の温度上昇曲線

2. 5度目標に対する排出パス

基盤：諸国の経済発展条件の差を考慮して
排出パスに差を設ける

提案：

先進国 2050年排出半減

$\Delta C = -2\%/年$ に対応

途上国A (BRICs, ロシア除く) 2030年ピーク

途上国B (他の途上国) 2050年ピーク

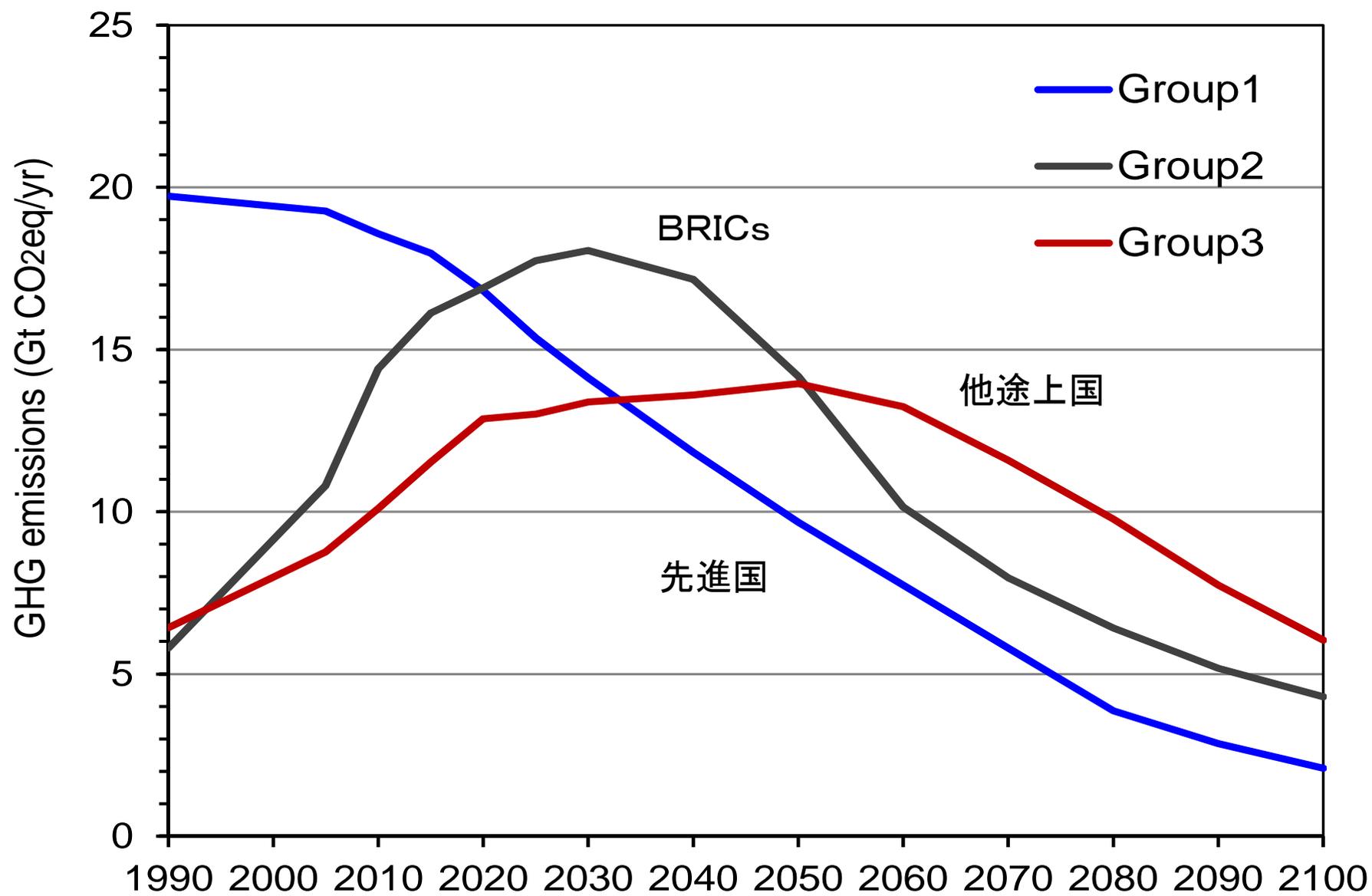


図:2. 5度目標に対する排出曲線

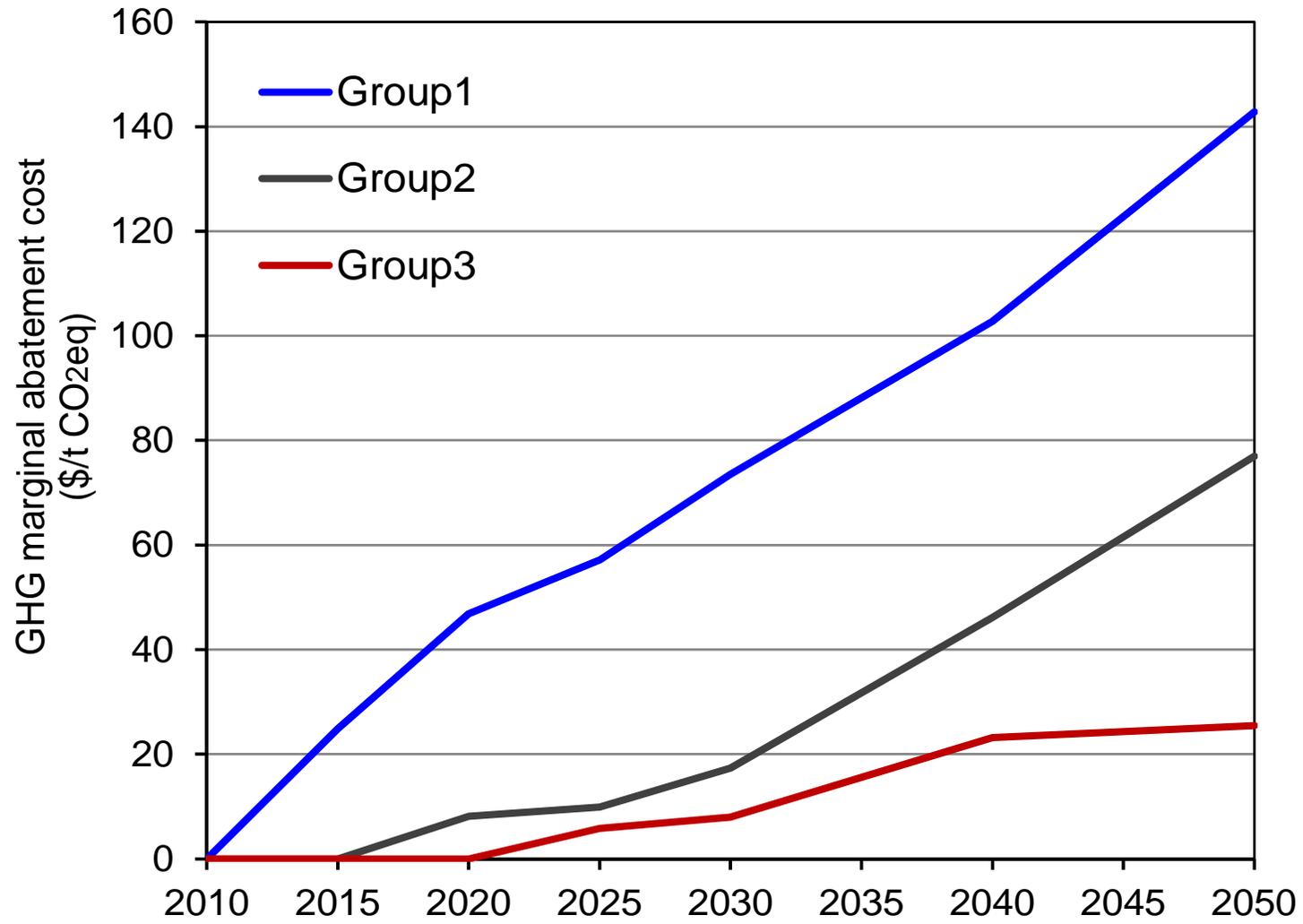


図:2. 5度目標時の排出削減限界費用

まとめ

1. 原発の再稼働はコスト的にもきわめて有効
2. LPGを含めて石油系燃料の中東依存は依然として大きな課題
3. 再生可能エネルギーはその出力変動対応を十分考慮することが発展の鍵
4. 電力自由化の推進は、総合システムとしての電力システムの効率性・環境性の推進と両立すべき
5. 温暖化対策は重要であるが、排出削減目標の設定においては実現性に十分配慮すべき
2度→2.5度 2050年先進国80%減→50%減