

地球環境科学(第1回)

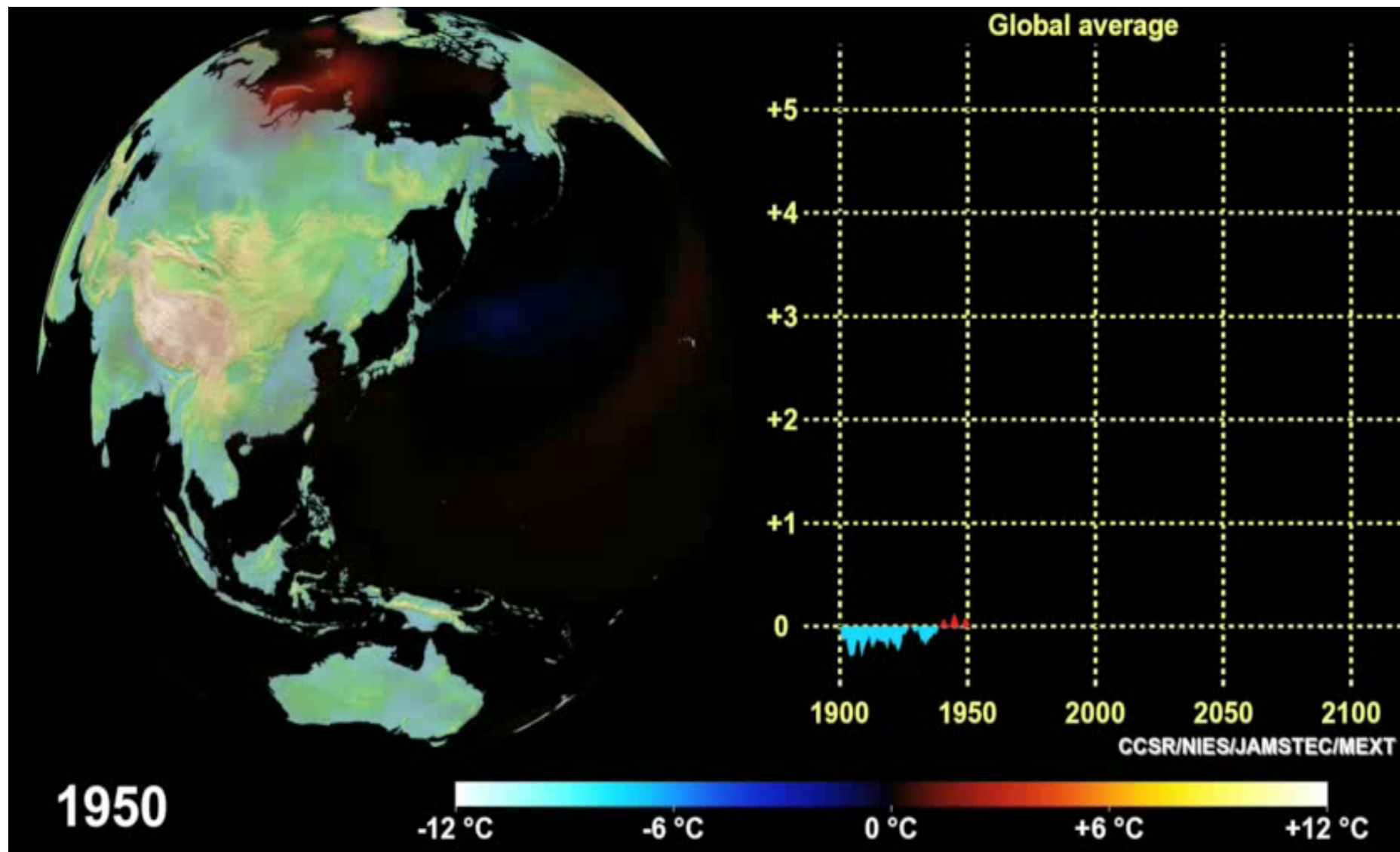
地球温暖化問題の本質と対策の視点 最近の国際動向

岡崎 健
機械制御システム専攻
(機械科学科)

2010年10月7日(木)

1





Result of Earth Simulator

シミュレーション図出典: 東京大学気候システム研究センター(CCSR)と国立環境研究所(NIES) 2



加速する地球温暖化 (緊急対策への期待: 2007年10月 ノーベル平和賞)

IPCC(気候変動枠組み条約) 第4次レポート (2007年2月2日)

- ・ 過去100年間

平均温度上昇 : 0.74°C ($> 0.6^{\circ}\text{C}$ (3次レポート))

- ・ 21世紀末 (現状のエネルギー消費形態のままの場合)

平均温度上昇 : 6.4°C

海面上昇 : 59 cm

“地球温暖化を止める” : 緊急の課題、しかし容易でない。

- ・ 地球温暖化は、異常なまでの大量CO₂放出に起因。
- ・ 正味かつ量的なCO₂削減寄与が最も重要。
- ・ 再生可能エネルギーによるCO₂削減寄与は、現状では、極微小。
- ・ 当面は、化石燃料に依存しながらCO₂を出さない技術開発が急務。
- ・ 省エネルギーや高効率化だけでは、CO₂削減は全く不十分。

持続可能社会実現のための論点

如何にして、地球温暖化防止と脱化石燃料に十分な量的寄与が出るシステム技術を開発するか？ (時間的、空間的)

3

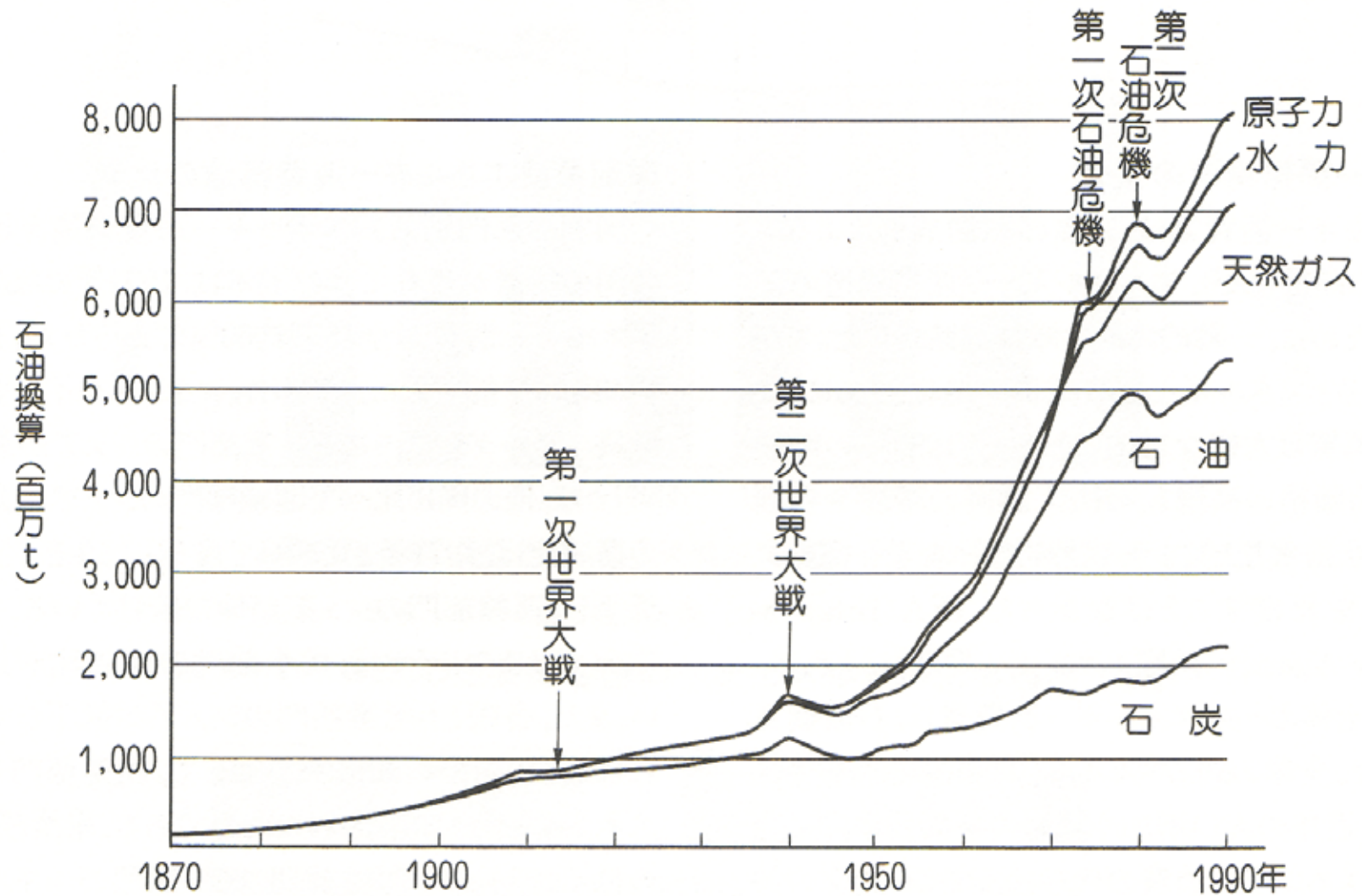


地球温暖化問題の本質

地球温暖化防止、脱化石燃料

- ◎大量の化石燃料消費→大量のCO₂排出→地球温暖化
- ◎CO₂削減量として、**量的寄与**が必須
- ◎綺麗ごとだけでは全く対処できないところに、本質的な難しさ
 - ・効率向上、省エネルギー
 - 当然重要だが、CO₂削減への量的寄与は全く不十分
(水素FCVでも、総合効率だけでなく、**CO₂フリー水素製造**も必要)
 - ・再生可能エネルギー(風力、太陽光、バイオマス)→水素
 - 長期将来は必須だが、当面は、CO₂削減への量的寄与は極微小
- ◎異なる個別技術の統合
 - (空間スケール、時間スケール、現実的中間シナリオ)
 - ・水素の製造・貯蔵・輸送・利用の個別技術の格段の進歩
 - ・当面は化石燃料依存(副生水素を含む)、**CO₂対策**が必須
 - ・異分野研究者間の相互理解と相互連携(民間の理解・教育以前の問題)
 - (「水素＝燃料電池」ではない。水素の本質的理解。他技術の理解)
 - (温暖化対策としてのCO₂回収・貯留と、微量のCO₂有効利用と混同はダメ)



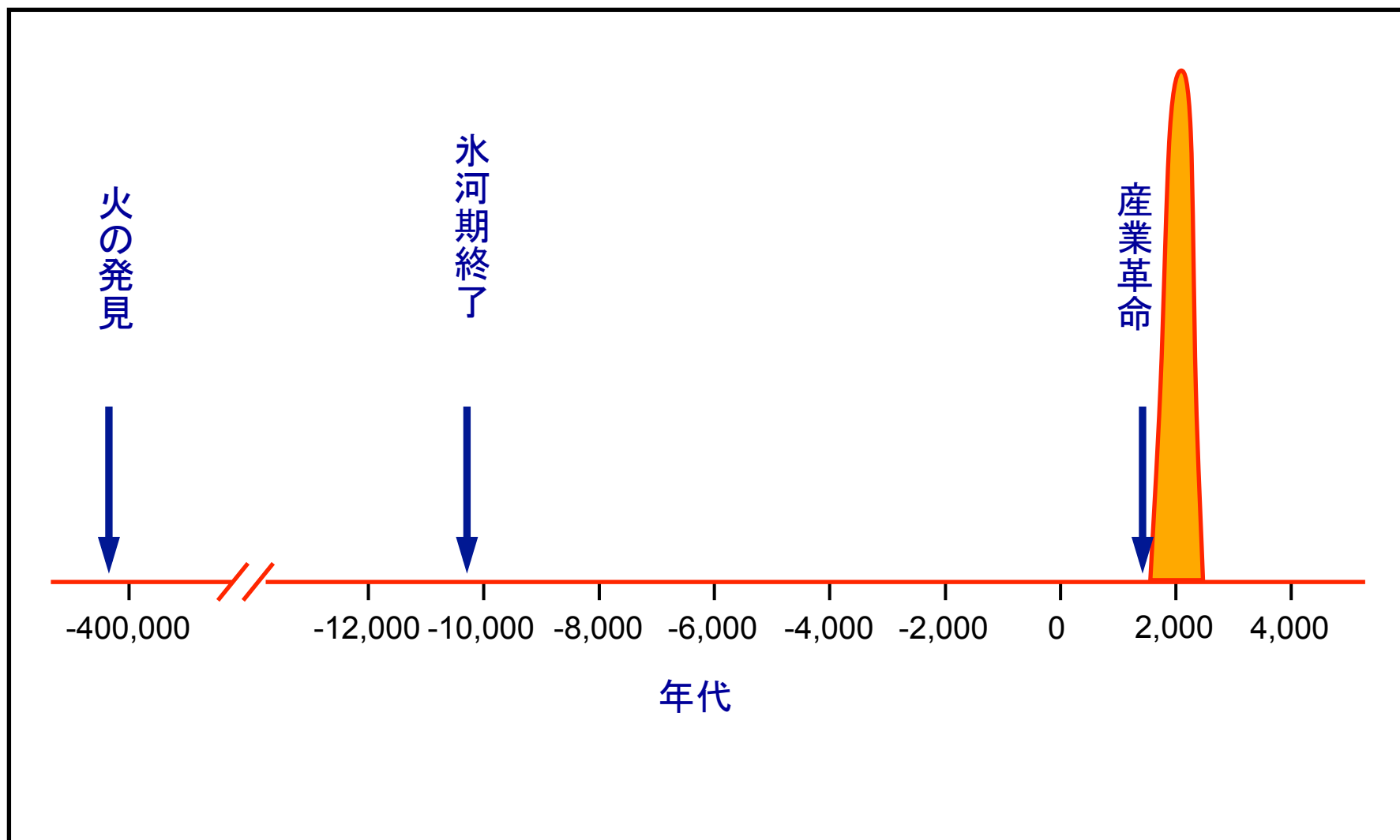


[出典：国連エネルギー統計、BP統計等による]

世界のエネルギー消費の推移



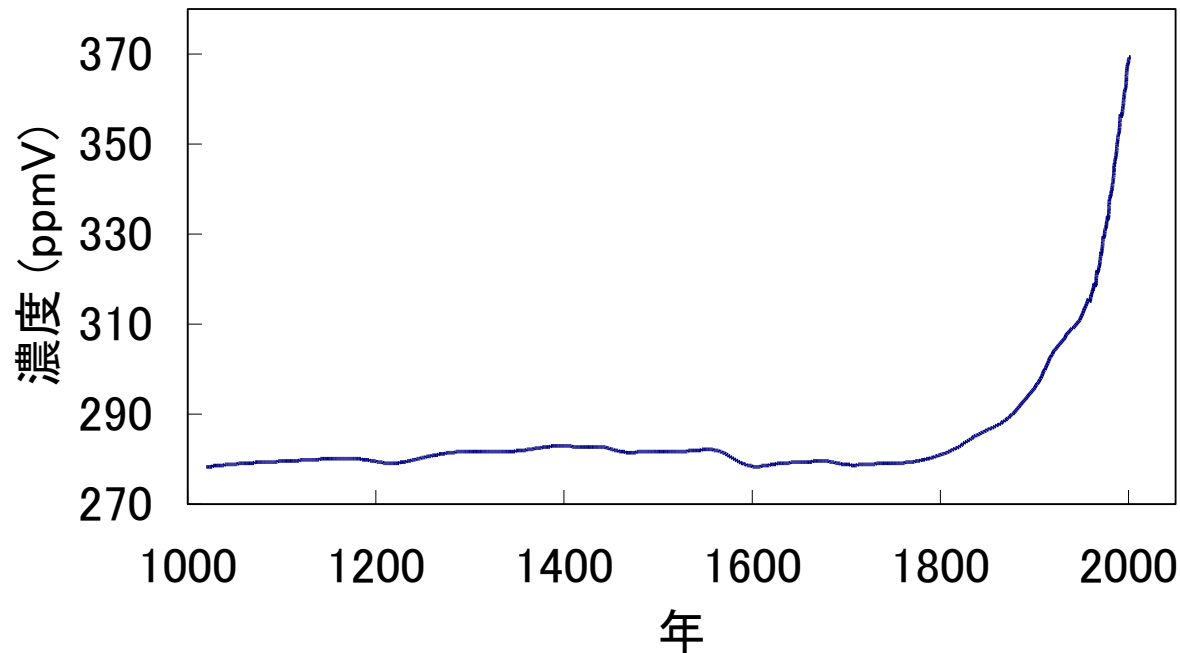
人類による化石燃料の消費



(横浜国大 太田健一郎教授による)



二酸化炭素濃度の変遷



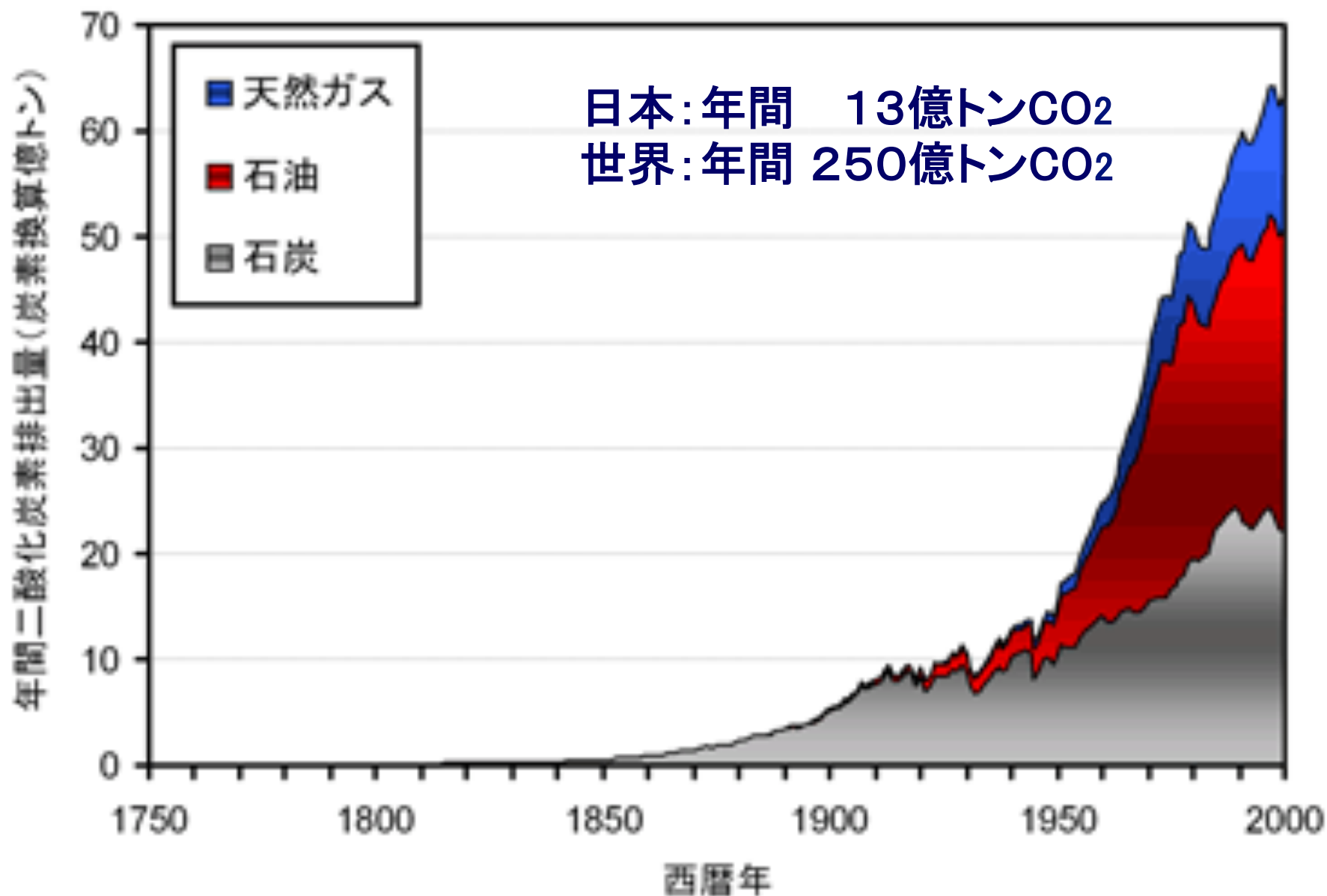
近年の急速な増大

→ 地球温暖化問題

→ 化石エネルギー多消費への警告

(横浜国大 太田健一郎教授による)

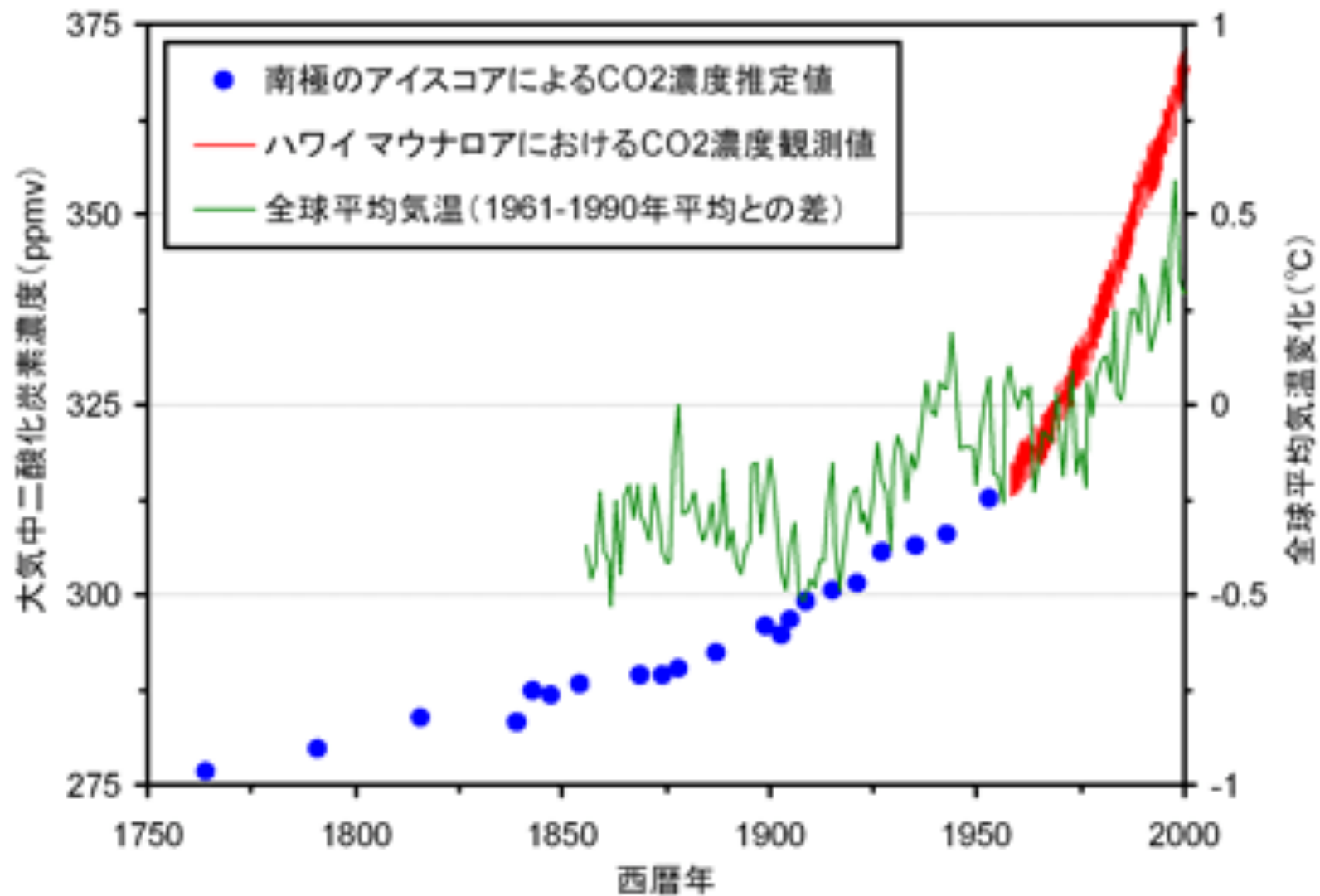




世界のCO₂排出量の推移

8





CO₂濃度と平均気温の変化

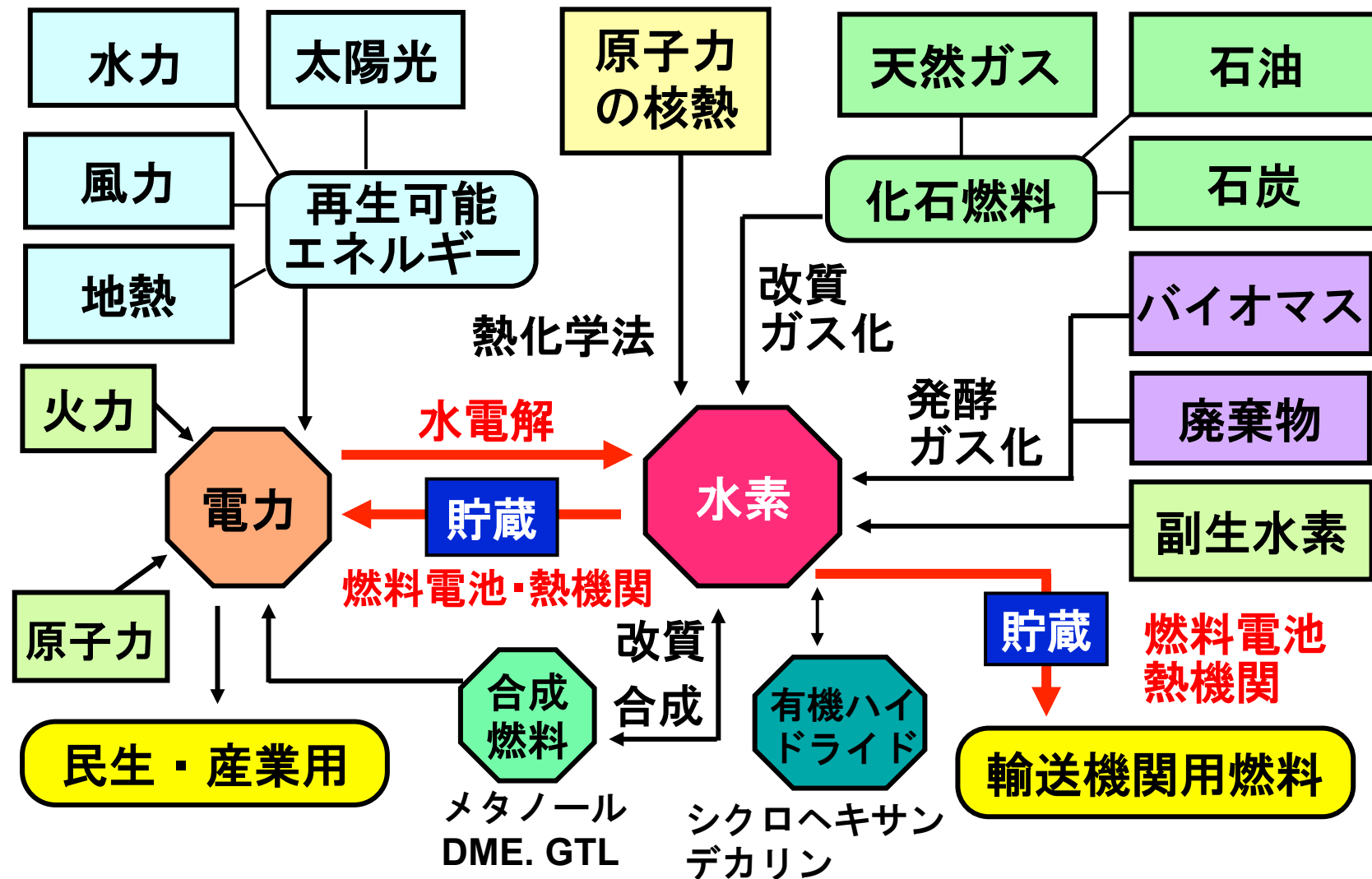


地球温暖化問題を取り巻く最近の情勢

- ◎ 京都議定書(2004年秋、ロシアが批准、2005.2/16 発効)
第1期約束期間2008-2012年にCO₂排出量6%削減(1990年基準)
- ◎ 原油価格の高騰 ◎ 原子力安全性への懸念
- ◎ 石炭火力の増加(エネルギーセキュリティ)
(石炭: 低価格、長期安定調達、産地偏在なし、日本の高度なCCT)
- ◎ 新エネルギー導入促進(地域の努力、マイクログリッド)
- ◎ 水素利用技術の急速な進展
(燃料電池自動車、水素供給ステーション、燃料電池コジェネ)
- ◎ CO₂隔離技術(海洋、地中)への取り組みの展開
- ◎ CO₂回収・隔離型石炭火力の建設開始 2008~
(IHI, CCUJ – Australia, Queensland, CS Energy, 30 MW)
- ◎ 石炭・水素・CO₂隔離の統合化(CO₂-free CCT)への展開
再生可能エネルギー時代(2030-2050)までの中間シナリオの切り札?
化石燃料に依存しつつCO₂を排出しないエネルギーシステム



水素は多種多様の水素源から作れる二次エネルギー



米国の500MW水素タービン発電所

HESS 岡野一清氏
のご厚意による

事業者： BP、Edison Mission Gr.
設置場所： カリフォルニア州ロス近郊 Carson
発電設備： 500MW水素タービン（250MW×2）
水素製造： ペトロコーク5,000t/dayをガス化
CO₂処理： CO₂削減年間400万t（車100万台の
排出量相当。Occidentalの油



設置場所のBP製油所

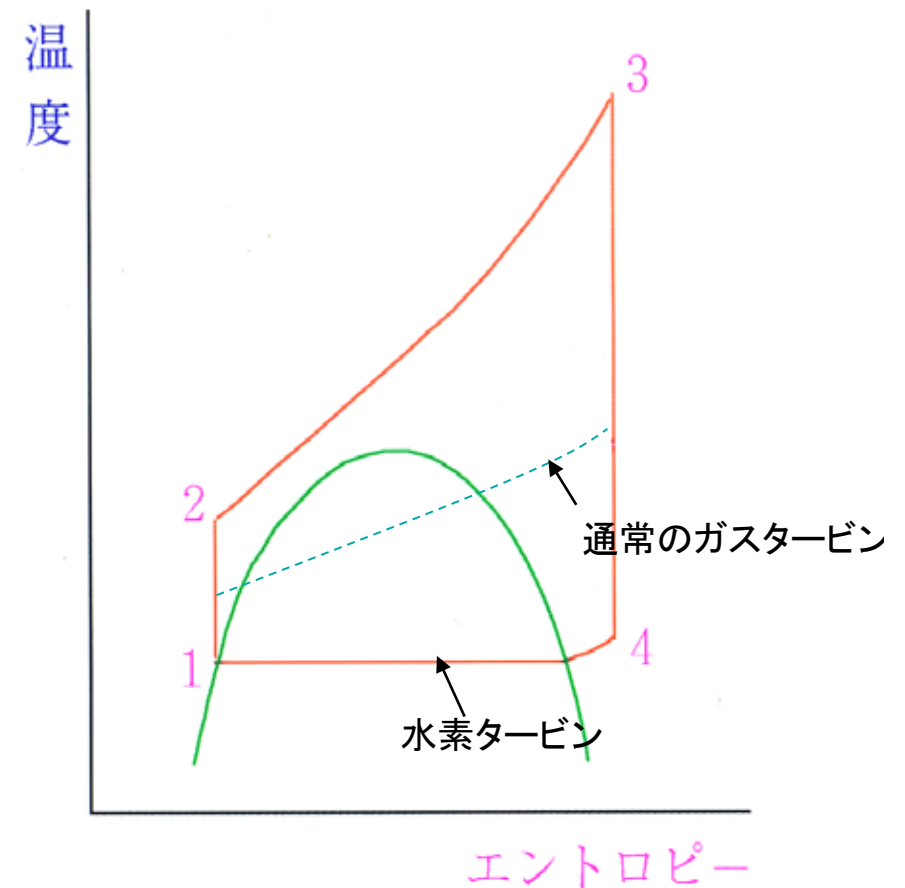
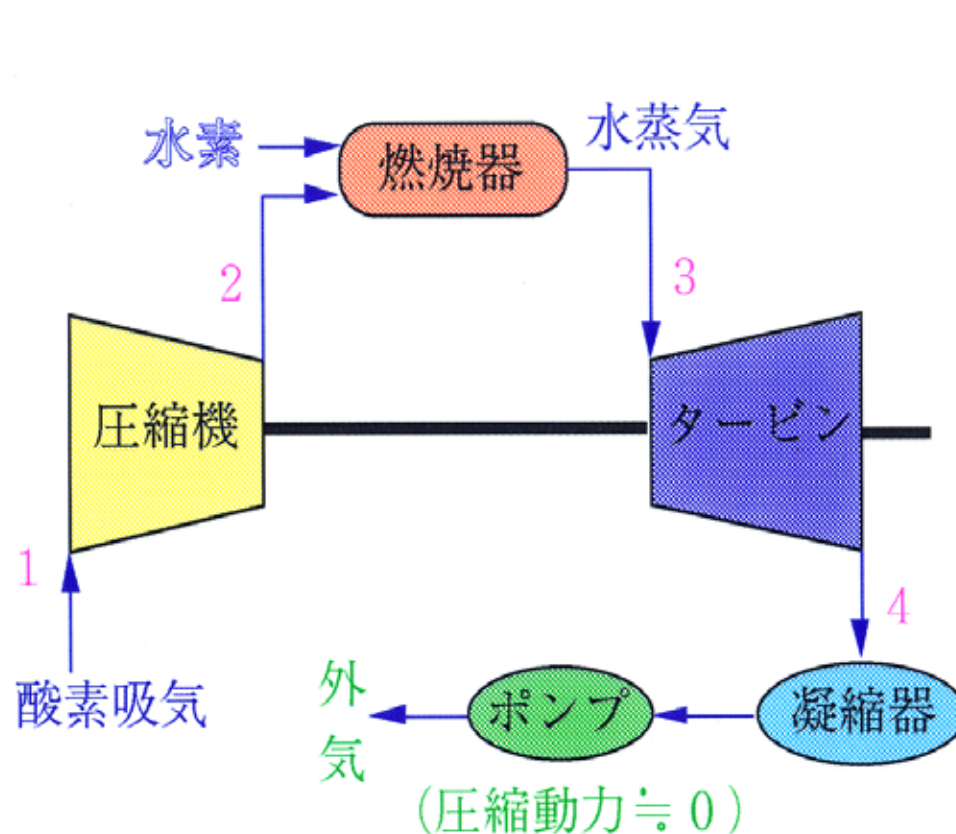
入)

運転開始： 2011年 投資額： 10億ドル



水素の酸素燃焼による新サイクル

- ・ 燃焼生成物: 水蒸気のみ (希釈ガスが水蒸気の場合)
- ・ ガスタービンと蒸気タービンの長所を兼ね備えた複合サイクル以上の性能 (ブレイトンサイクル+ランキンサイクルの自動複合化)



京都議定書

1997年12月の京都会議(COP3)で採択

○先進国の温室効果ガス排出量

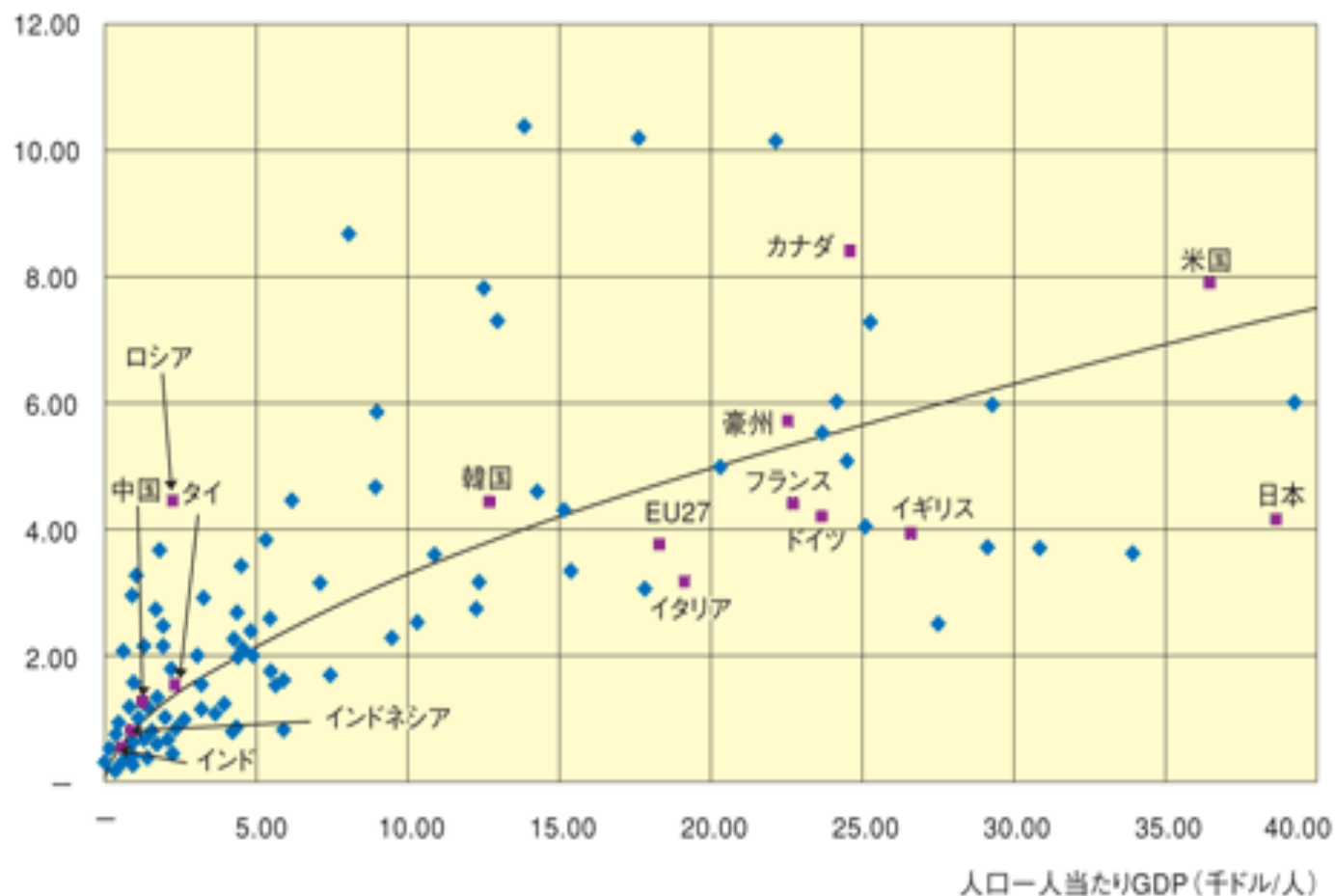
先進国全体で少なくとも5%の削減を目標
各国毎に法的拘束力のある数値目標設定

対象ガス	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O, HFC, PFC, SF ₆
吸収源	森林等の吸収源によるCO ₂ 吸収量を算入
基準年	1990年(HFC、PFC、SF ₆ は1995年)
目標期間	2008年～2012年
数値目標	日本－6%，米国－7%，EU－8%等



人口一人当たりのGDP、一次エネルギー供給量の相関図（2004 年）

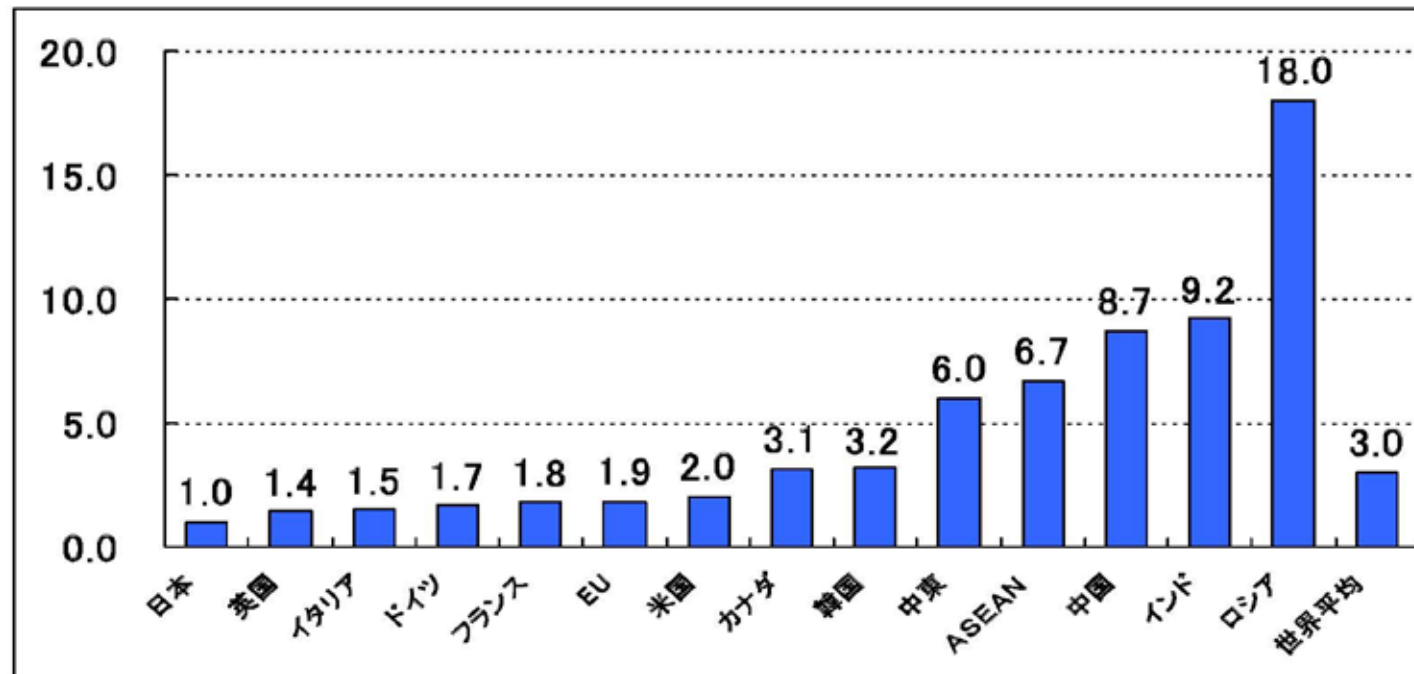
人口一人当たり
一次エネルギー供給量
(原油換算トン/人)



※ 15：標準的な水準とは、第 122-2-10 における、回帰曲線（累乗近似）のことを示しています。



GDPあたりの一次エネルギー消費量の各国比較



※一次エネルギー消費量(石油換算トン／実質GDPを日本=1として換算)

* ASEAN (カンボジアとラオスを除く)

Source: IEA Energy Balances of OECD Countries 2003-2004 (2006)

IEA Energy Balances of non-OECD Countries 2003-2004 (2006)

外務省資料



地球環境問題の本質と対策の視点

(水素を例にして考えてみよう)

- 環境問題の危機的状況

(グローバル および ローカル)

日本 13 億ton-CO₂/year

世界 250 億ton-CO₂/year

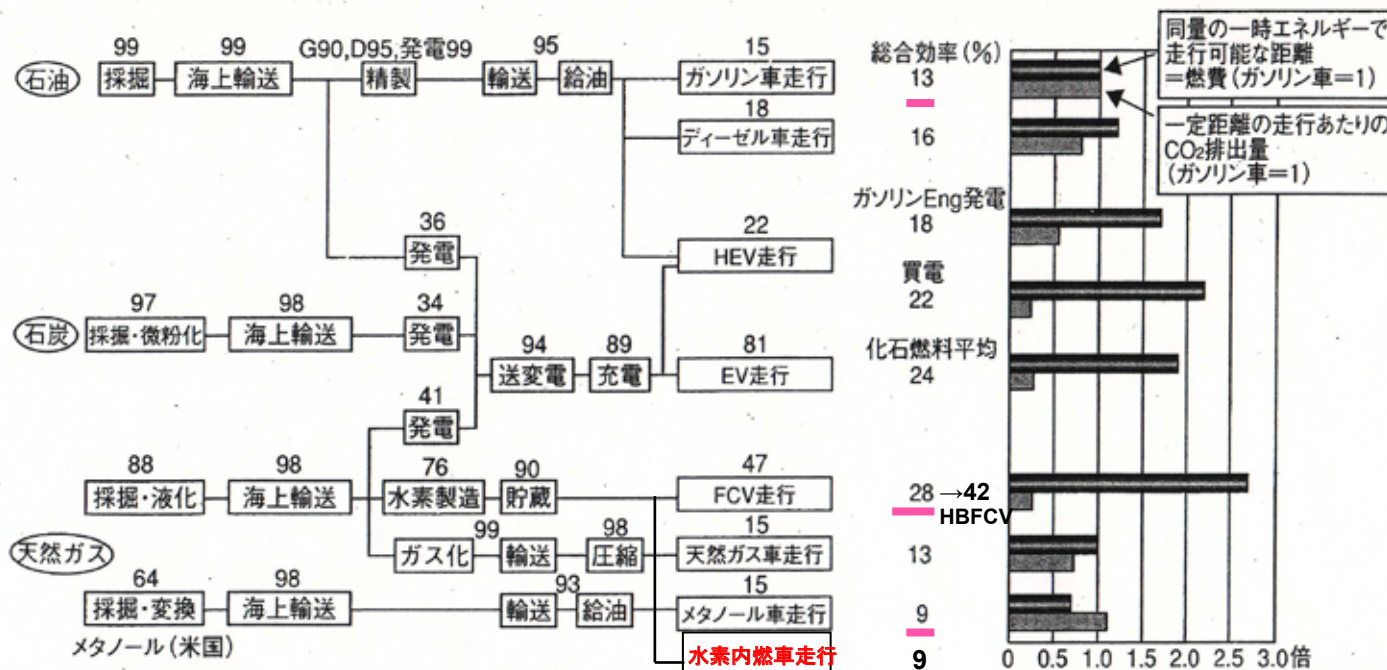
- 化石燃料エネルギー資源の枯渇

(限られた埋蔵量)

水素導入は、水素エネルギーシステム全体として、これらの問題に対して、正味の寄与、量的寄与を有しなくてはならない。あるいは、短期的にはこれらの寄与が小さくても、中・長期的には大きな寄与が期待できるシナリオが描けなくてはならない。→ 水素社会へのソフトランディングシナリオ

17





注): 1.ガソリン車走行、ディーゼル車走行の効率は自動車工業会の推定による。
 2.□の上の数値は各段階でのエネルギー効率で、右表の総合効率は各段階の数値の積。
 3.EVのCO₂排出量は日本の電源構成による。
 4.HEVはシリーズタイプとする。

5.EV, HEV, FCVはエネルギー回生を20%とした。
 6.EVの重量増加は300kgとし、自動車の燃費悪化は20%とした。
 HEV, FCVについては重量増加による影響は考慮していない。

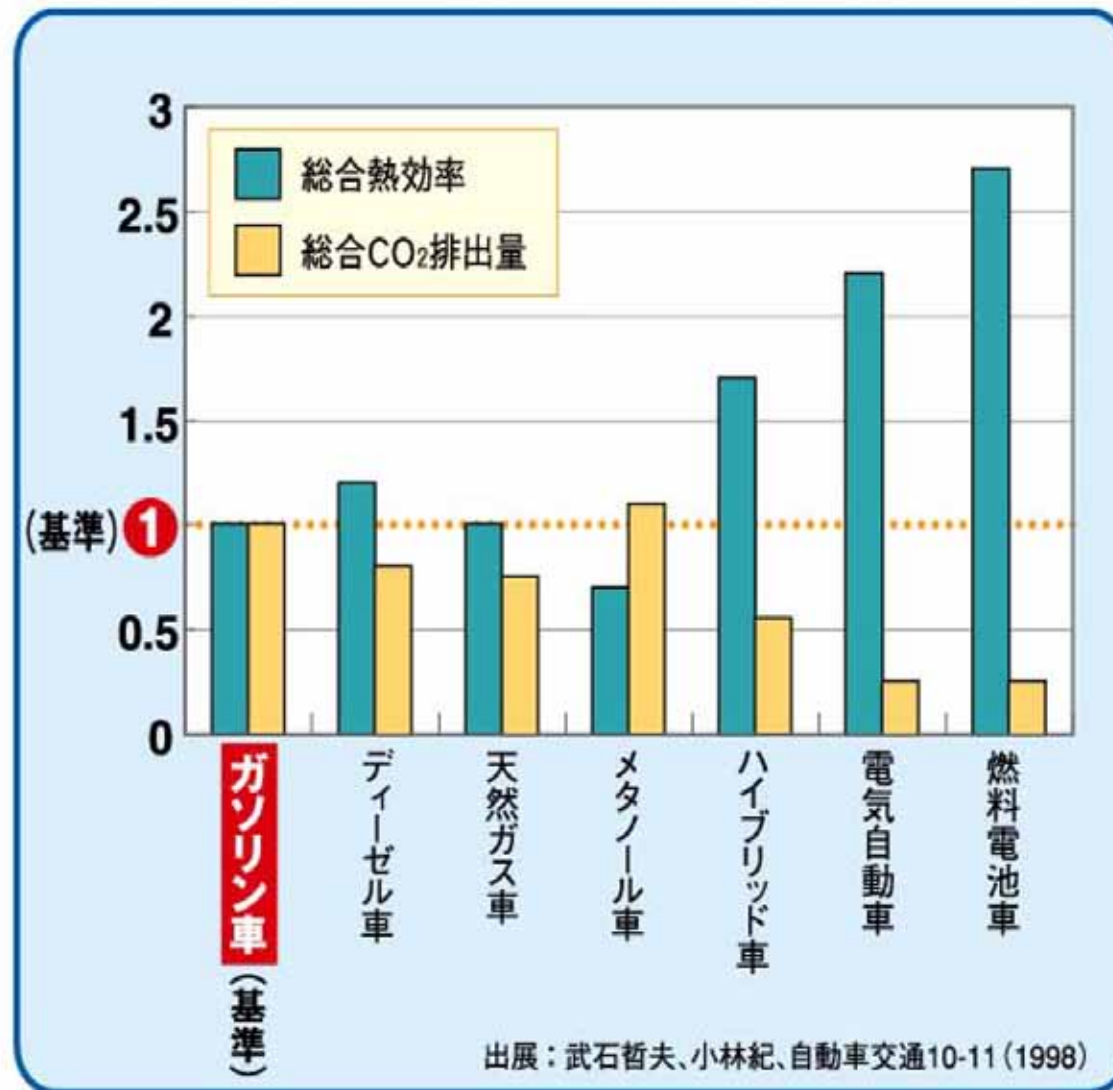
エネルギーフロー、総合効率、燃費、CO₂ (現在～近未来)



(Source: Takeishi, Kobayashi, Jidosha-kotsu, 1998, NISSAN)

Energy flow and overall net efficiency for various types of vehicles (Well to Wheel Efficiency)





各種自動車の総合効率・CO₂排出量



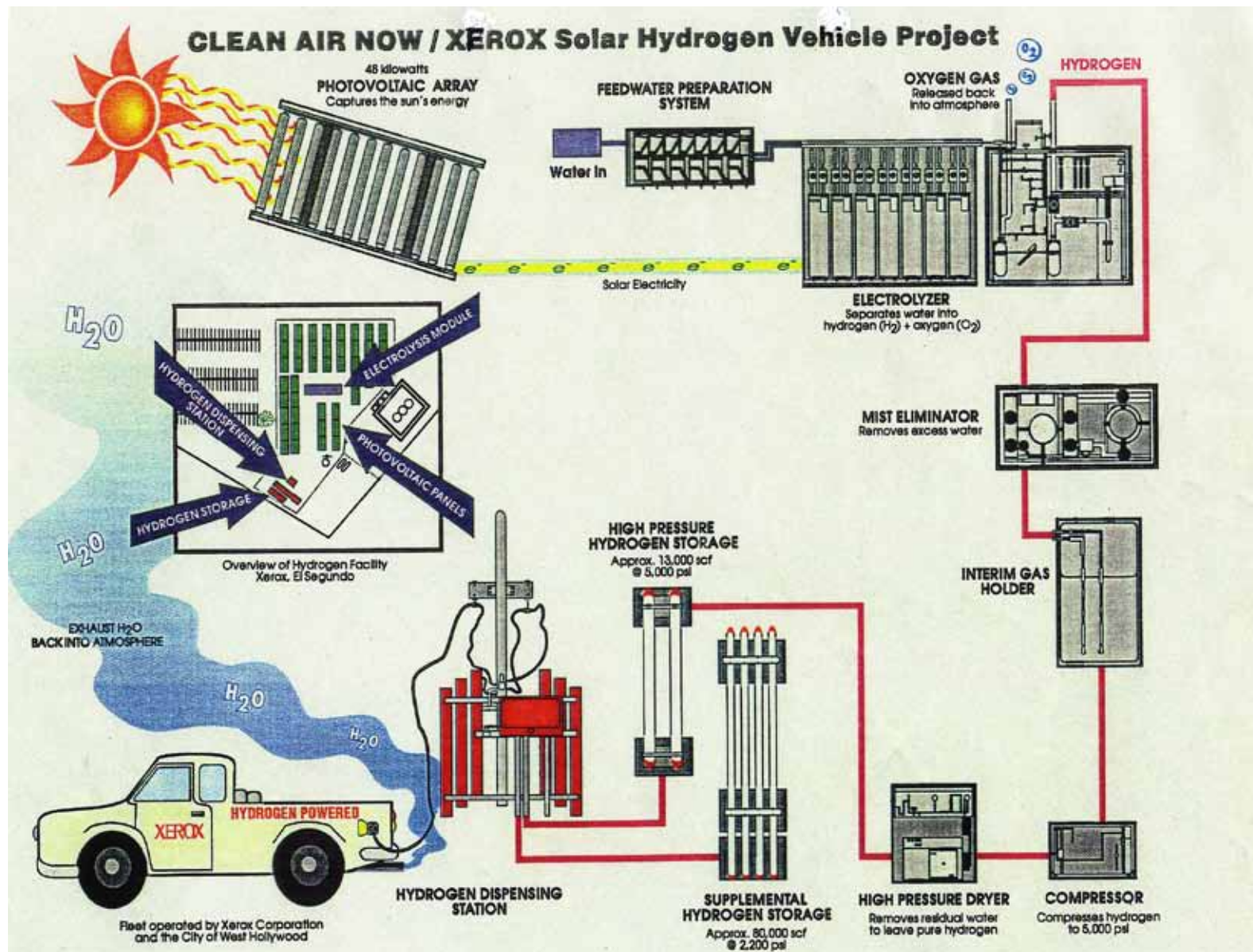
19





BMW 7 Series 水素内燃エンジン自動車
(水素・ガソリン バイフューエル)





太陽エネルギーと水素によるゼロエミッションシステム

21



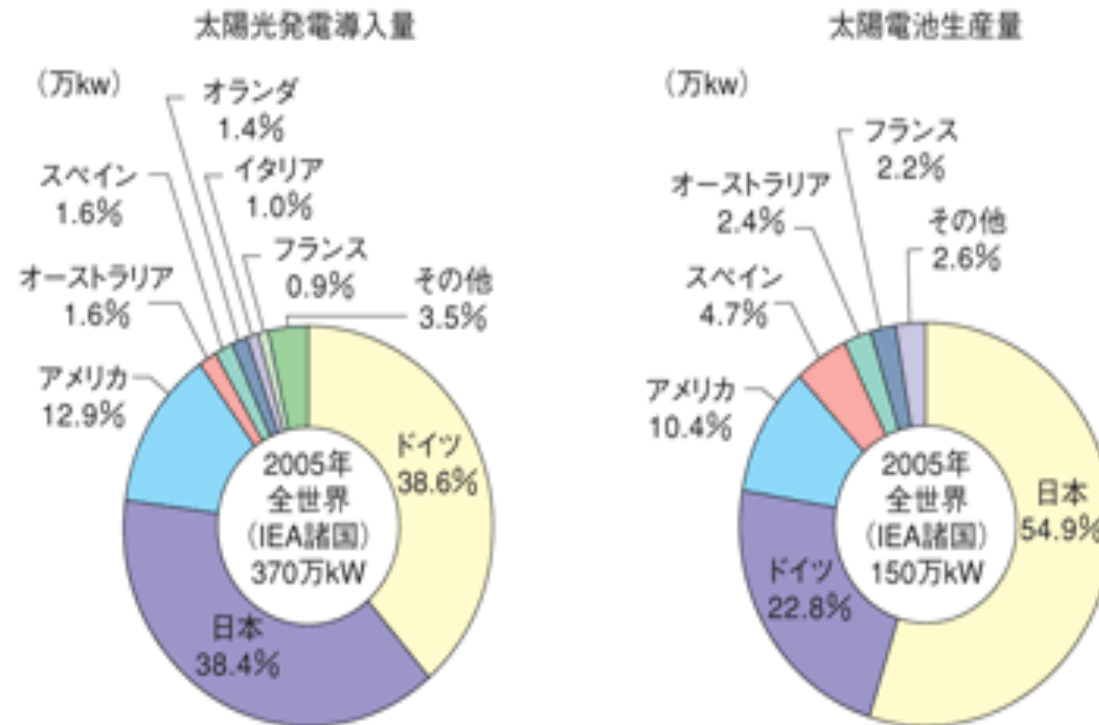
新エネルギー導入見通し

○供給サイドの新エネルギー

	1999年度(実績)		2010年度				
			現行対策維持ケース		目標ケース		
	原油換算 (万kl)	設備規模 (万kW)	原油換算 (万kl)	設備規模 (万kW)	原油換算 (万kl)	設備規模 (万kW)	2010/1999
太陽光発電	5.3	20.9	62	254	118	482	約23倍
風力発電	3.5	8.3	32	78	134	300	約38倍
廃棄物発電	115	90	208	175	552	417	約5倍
バイオマス発電	5.4	8.0	13	16	34	33	約6倍
太陽熱利用	98	—	72	—	439	—	約4倍
未利用エネルギー (雪氷冷熱を含む)	4.1	—	9.3	—	58	—	約14倍
廃棄物熱利用	4.4	—	4.4	—	14	—	約3倍
バイオマス熱利用	—	—	—	—	67	—	—
黒液・廃材等	457	—	479	—	494	—	約1.1倍
新エネルギー供給計	693	—	878	—	1910	—	約3倍

↑ 一次エネルギー全体の 1.1 %

太陽光発電導入量および生産量の国際比較

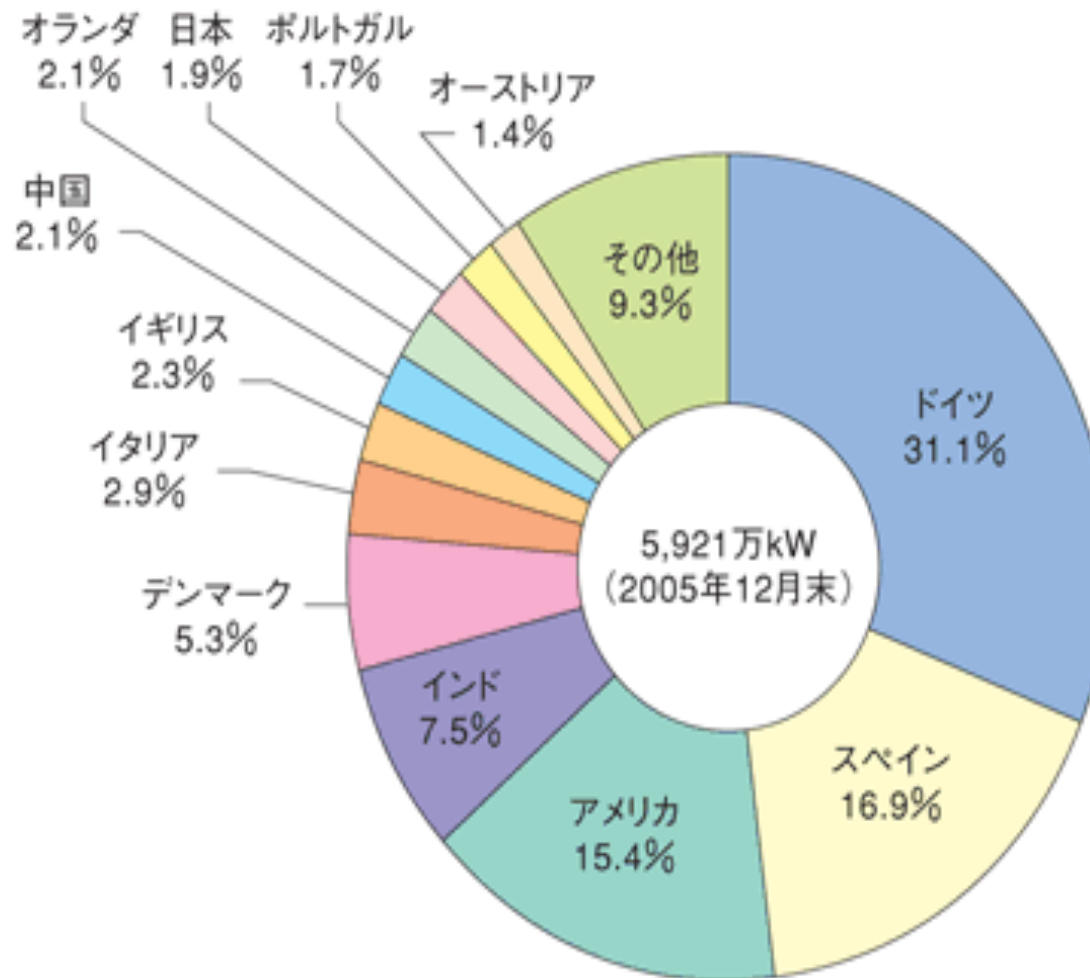


資料：IEA 「Trends in Photovoltaic Applications (2006)」



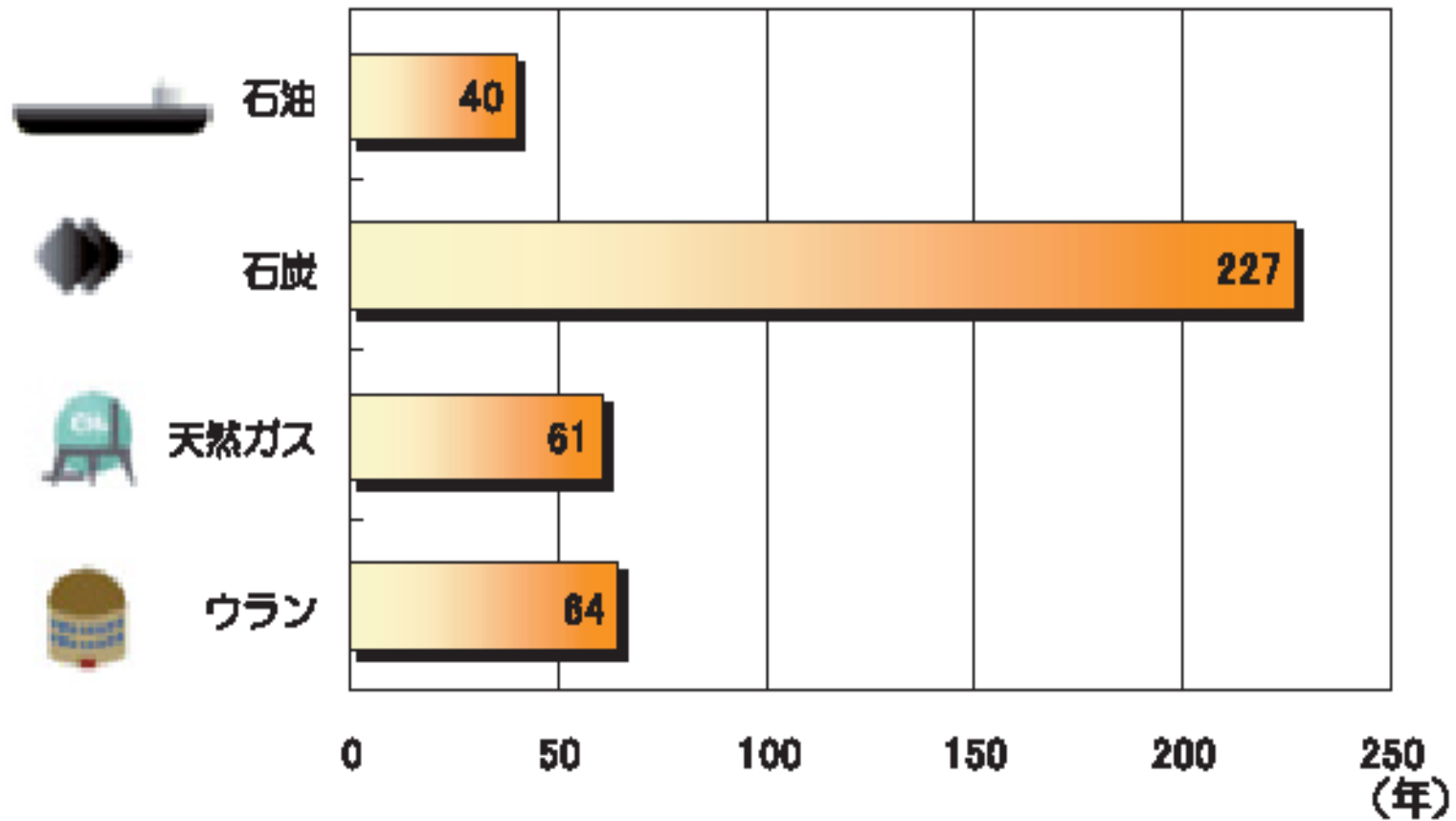
【第 213-5-6】

風力発電導入量の国際比較 (2005 年 12 月末)



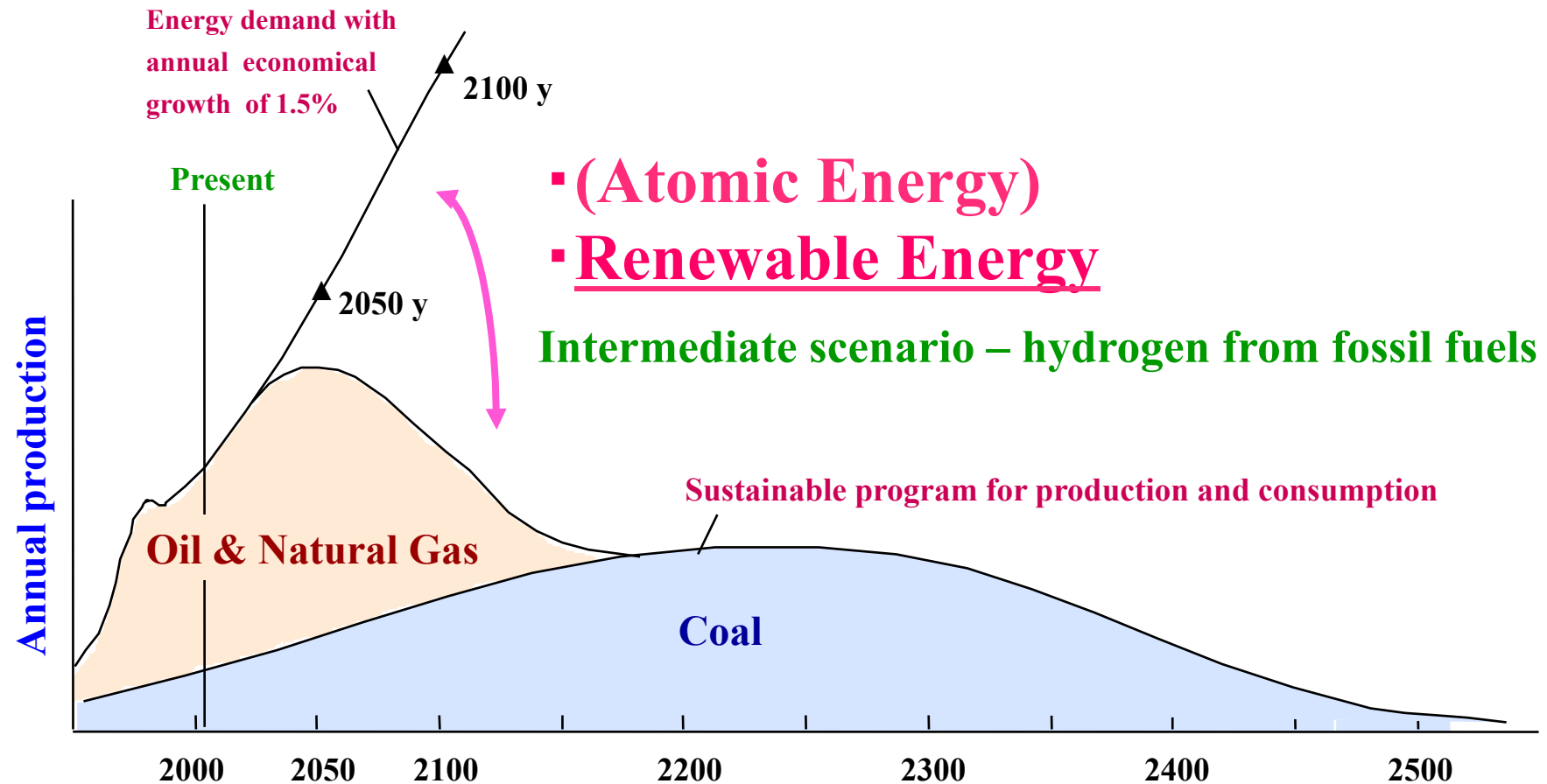
資料：「Wind Power Monthly (Windicator)」





化石燃料の可採年数（出典：資源エネルギー庁）





Long term prospect of fossil fuel consumption

(Source: Clean Coal Science Handbook, 1996 CCUJ)



さまざまなエネルギー・環境対策を評価する上での 本質的に重要な座標軸と視点

1. 大型・集中・定置型 ↔ 小型・分散型
[システム特性とサイズ] (定置型・移動型)
2. ローカルクリーン ↔ グローバルクリーン
[空間スケール]
3. 短期 → 中期 → 長期
[タイムスケール]
4. 要素技術 → システム技術
(combined, integrated, local and global network)

- LCA (Life Cycle Assessment) 的に見た正味の寄与
- 地球環境問題に対する十分な量的寄与
- エネルギーの質 [熱 (温度) – 化学 – 電気]



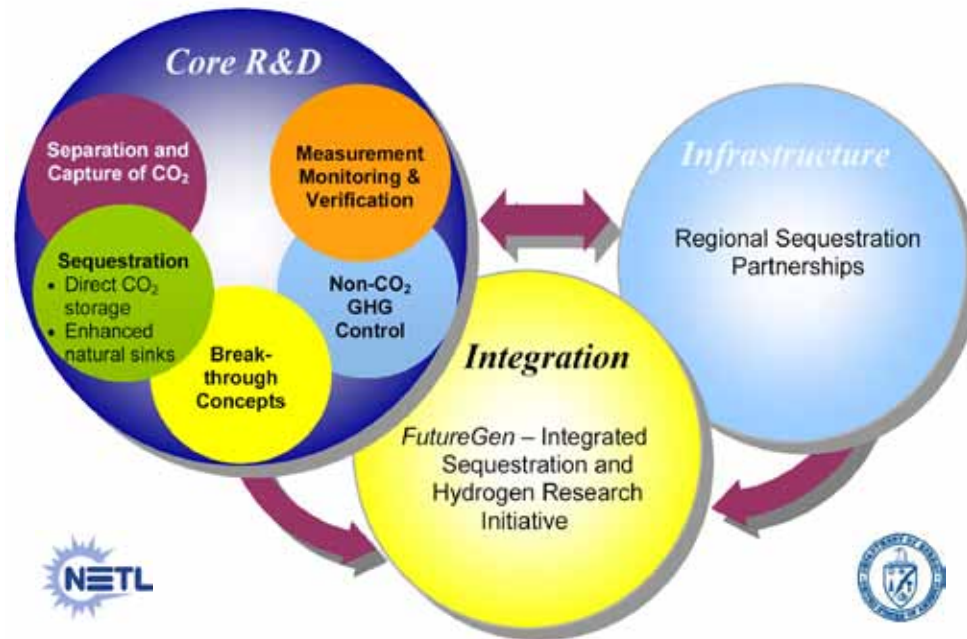
大量水素エネルギー導入への課題

- 自然エネルギー（太陽光、風力）
（短中期では導入割合は極少）
- 副生水素の利用
- 化石燃料からの水素製造（現実的な中間シナリオ）
（高効率、高速、大量）
正味のCO₂大幅削減とリンクしなければ意味が無い



CO₂ Sequestration (US strategy)

Technology Roadmap and Program Plan (March, 2003)



US's Share of Fossil Fuel Reserves

- **Coal** : 25 %
 - **Oil** : 3 %
 - **Natural Gas** : 3 %
- (Russia : 30 %)

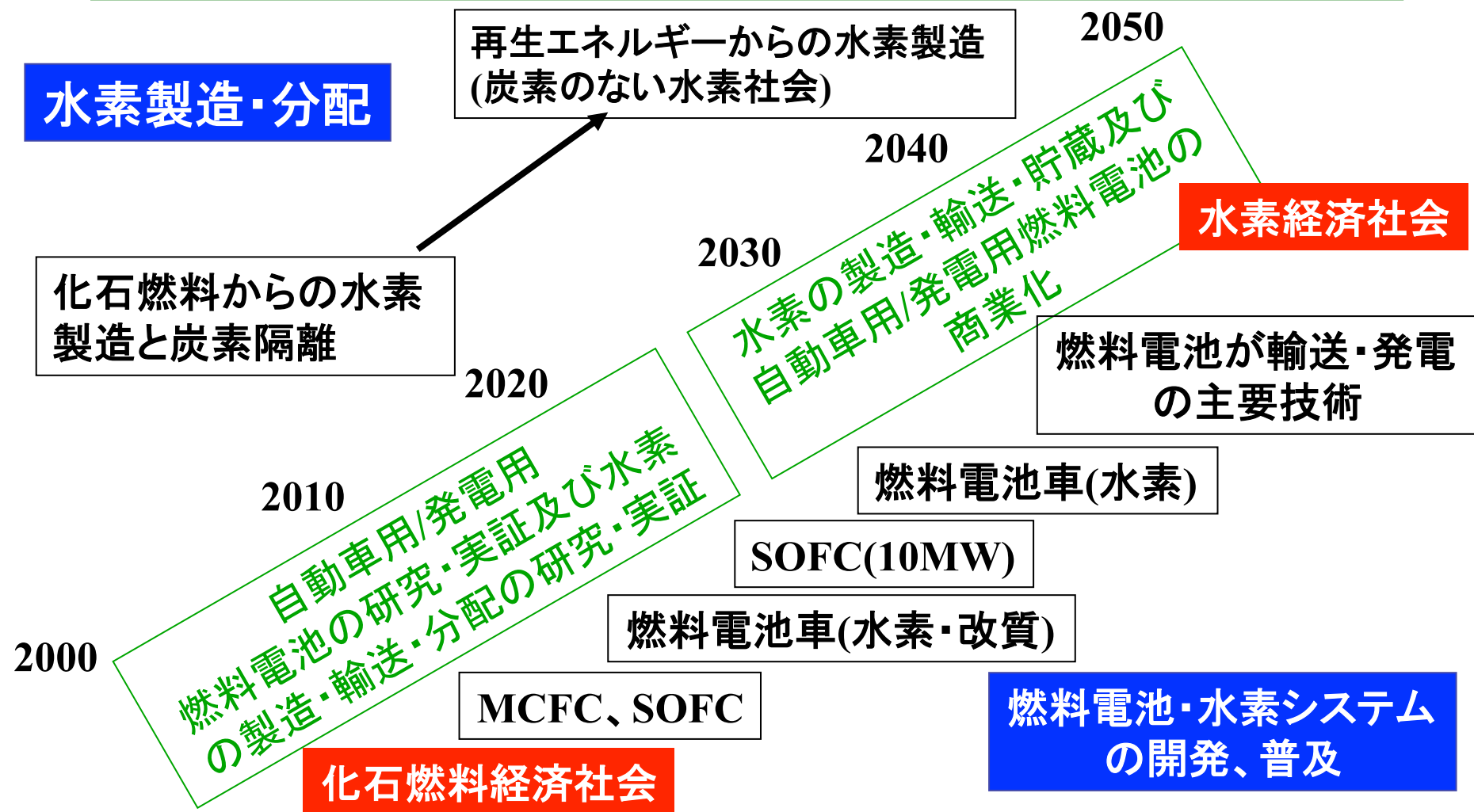
US's Energy Consumption/head

- five times of world average

- **The Vision 21 Program** : The President Clinton, 1999
(gasification, CO₂ separation-recovery-sequestration, production of hydrogen alcohol, etc.)
- **Climate Change, Hydrogen Initiative** : 1.2 B\$/5years, The President Bush, Jan. 28, 2003
- **FutureGen Project** : 1.0 B\$/10years, DOE, Feb. 27, 2003
(prototype coal plant combined with CO₂ recovery-sequestration and hydrogen (275MW))
- **International Carbon Sequestration Leadership Forum** : signed, June 25, 2003
(14 countries : USA, China, Russia, Japan, India (main 5) and others)



A Challenging European Hydrogen Vision



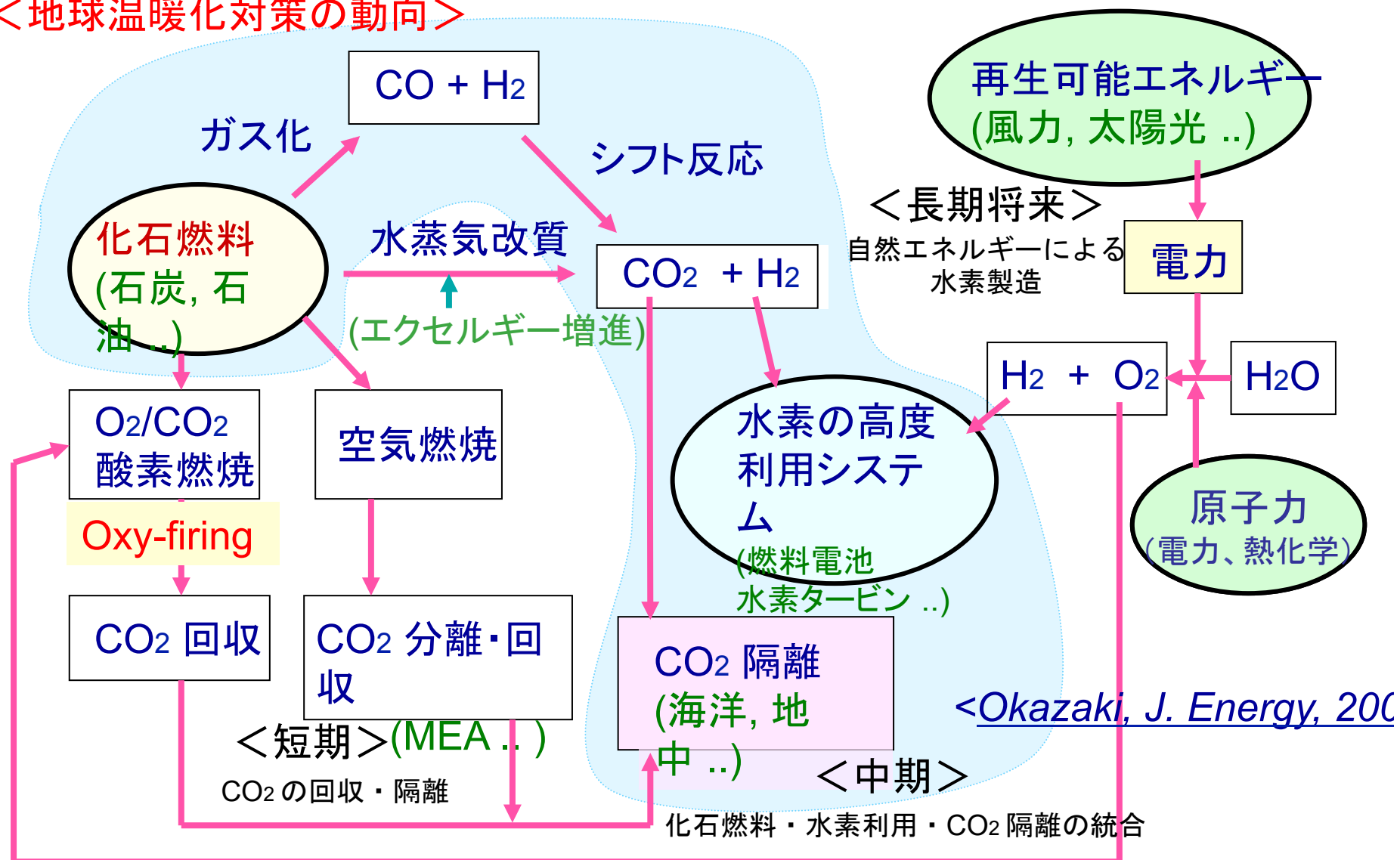
(IEA CCCレポート(2003)より作成)

[CCUJ 原田による]

30



<地球温暖化対策の動向>



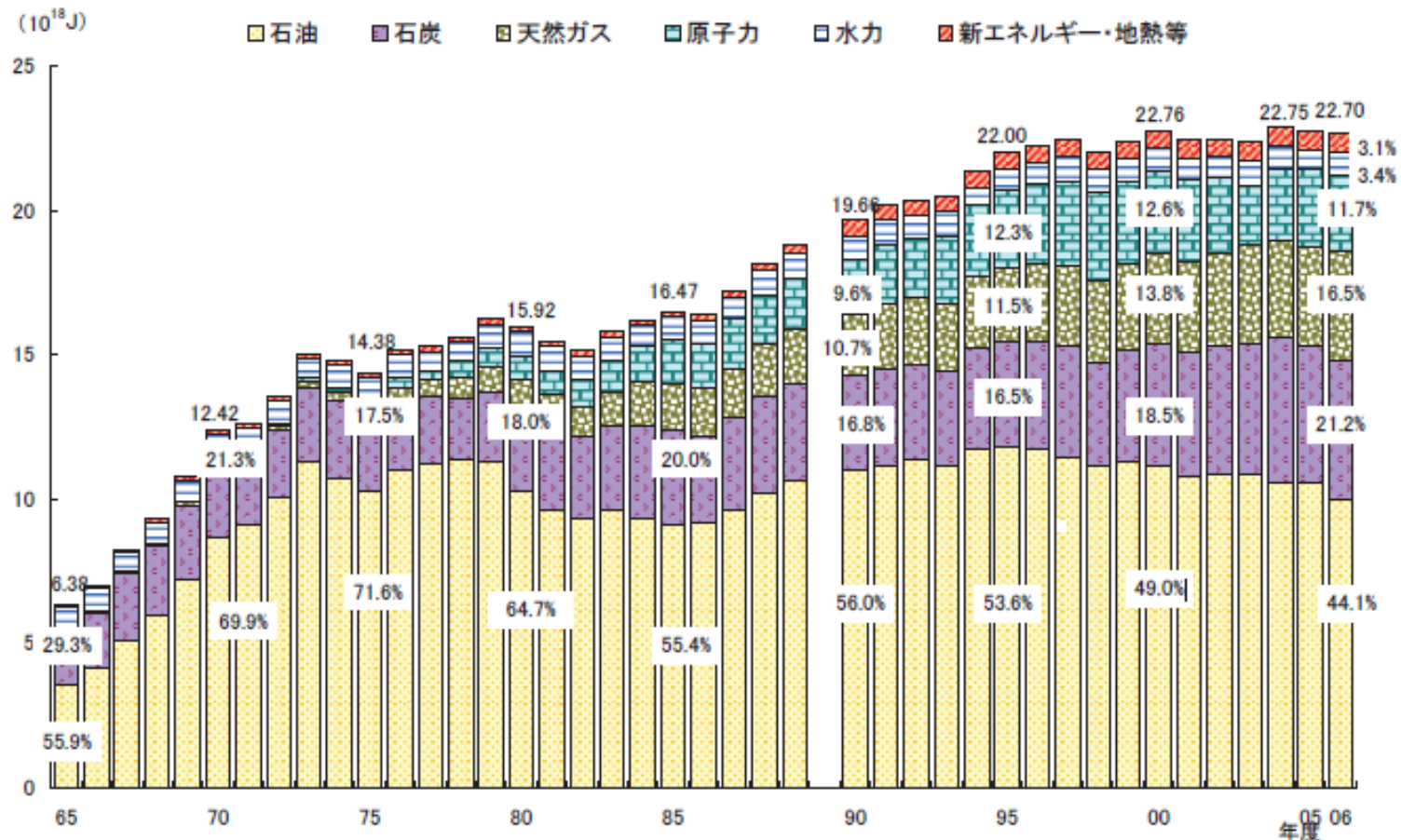
化石燃料・水素・再生可能エネルギー・CO₂ 隔離の統合 エネルギー・地球環境戦略
「再生可能エネルギー + 水素」時代へのソフトランディングシナリオ

31



日本の燃料別エネルギー構成

○オイルショック以降は、脱石油を推進。海外炭、LNG、原子力で、エネルギー消費増に



資料：資源エネルギー庁「総合エネルギー統計」

(注)「総合エネルギー統計」は、1990年度以降の数値について算出方法が変更されている。

＜我が国一次エネルギー供給の推移＞

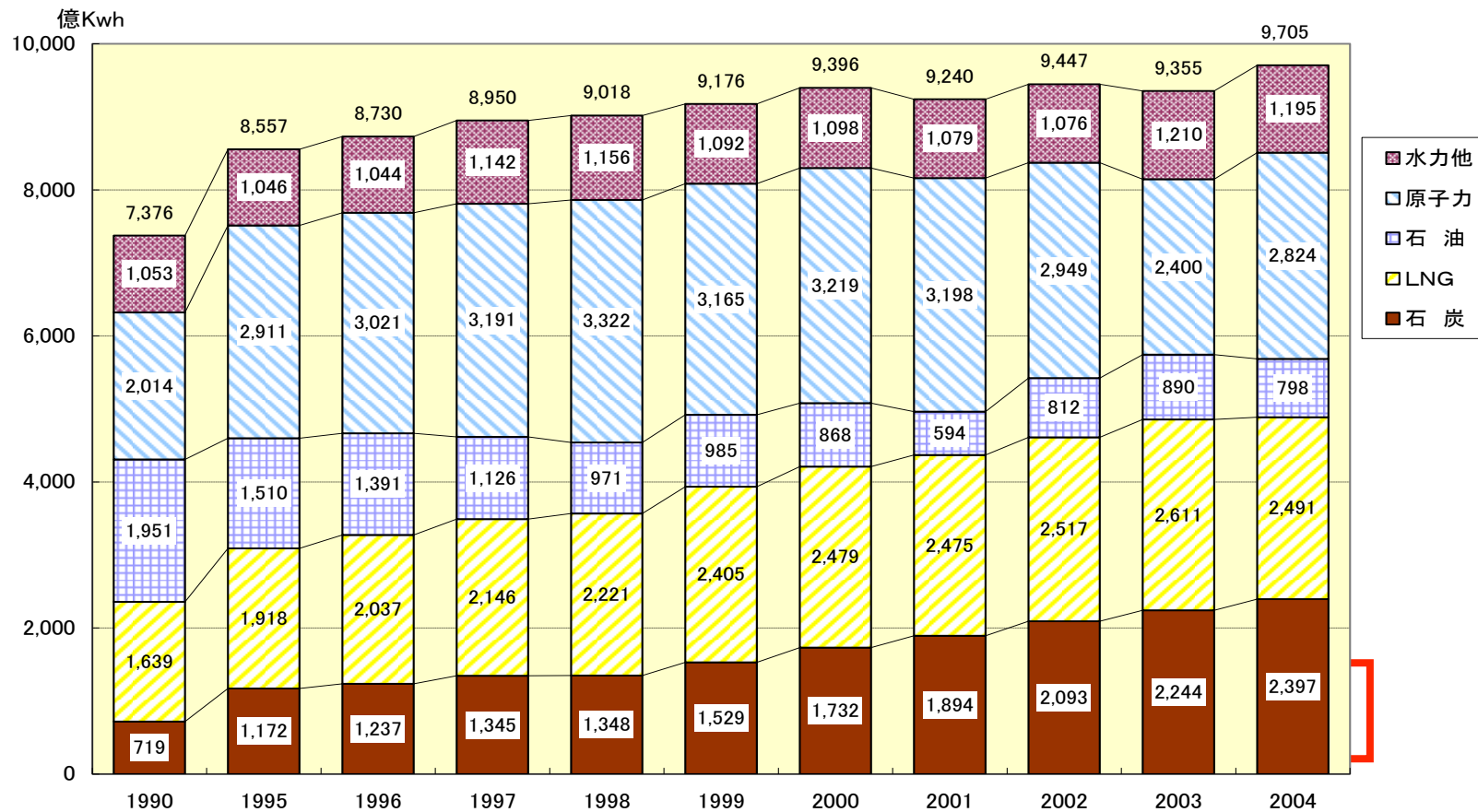
JCOAL CCT-WS, 2008.8

32



最近の電源別比率推移

○日本の電源構成を見ると、石炭火力発電(25%)は、原子力(29%)、LNG火力(26%)に次ぐ重要なエネルギー源である。



出典：エネルギー・経済統計要覧2006年版

JCOAL CCT-WS, 2008.8

33



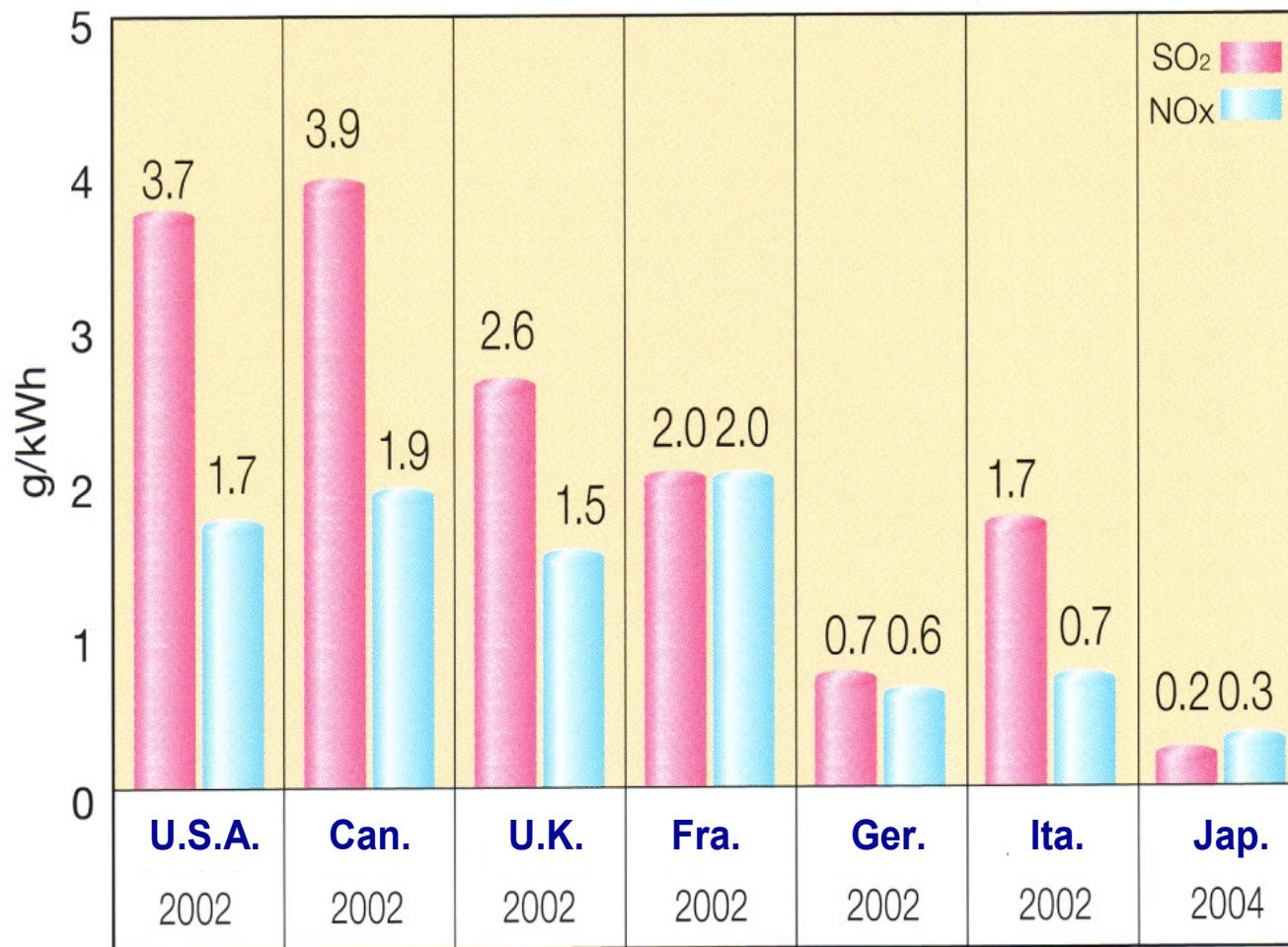
重点的に取り組むべきエネルギー革新技術

エネルギー革新技術の選定要件に基づき、エネルギー源毎に、供給側から需要側に至る流れを俯瞰しつつ、効率の向上と低炭素化の両面から、CO₂大幅削減を可能とする「21」技術を選定

経済産業省「Cool Earth - エネルギー革新技術計画」平成20年3月5日 による



日本のクリーンコールテクノロジー(CCT)の実際



In Japan

1 GW P.C. Stations

Net eff. > 40 %

NO_x < 100 ppm

Acid Rain

*technology transfer
from Japan*

CO₂ Problems

*only increase of eff.
is not enough, and
new strategies are
definitely necessary.*

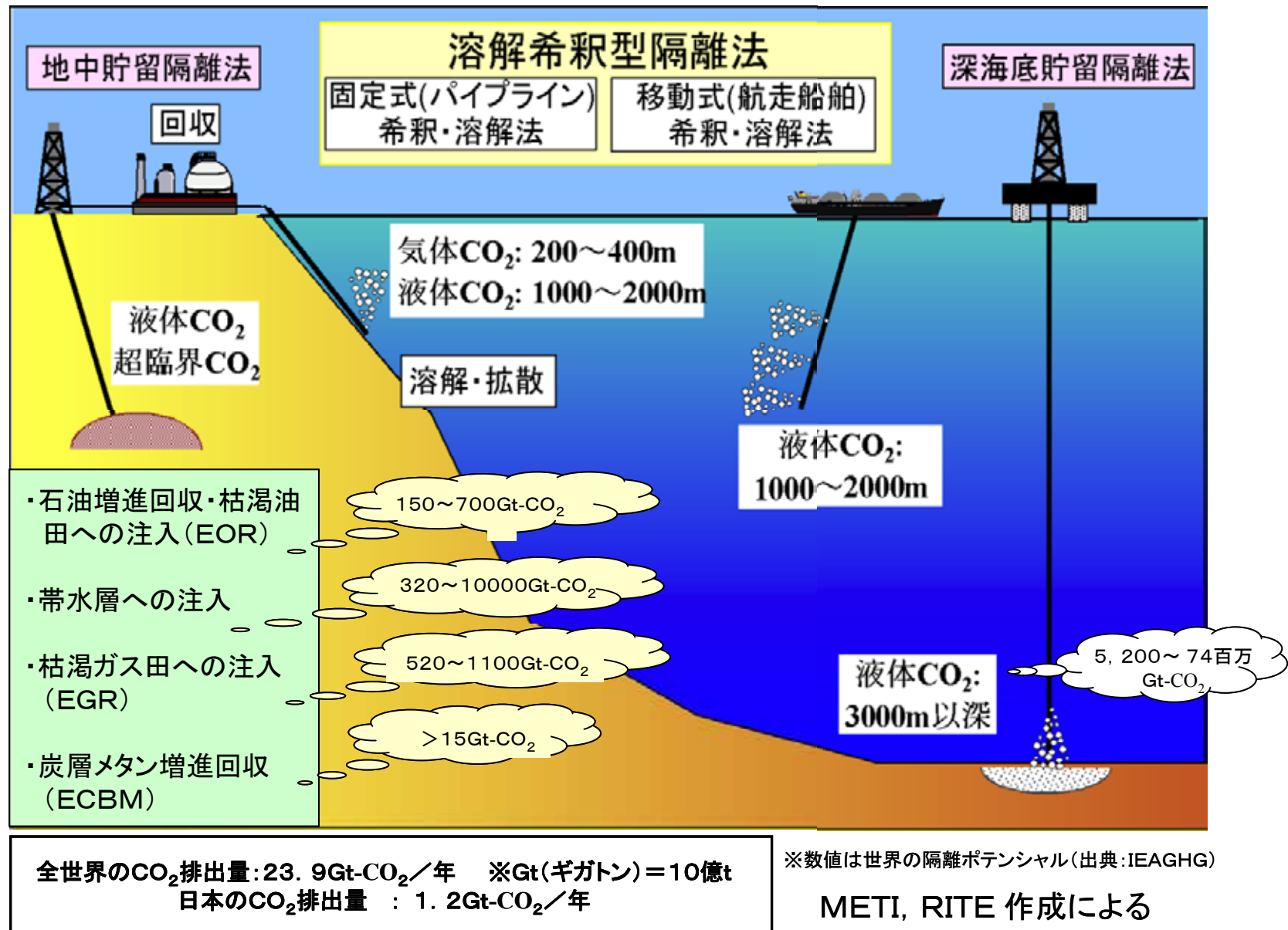
NO_x and SO_x emissions from fossil fuel fired power stations

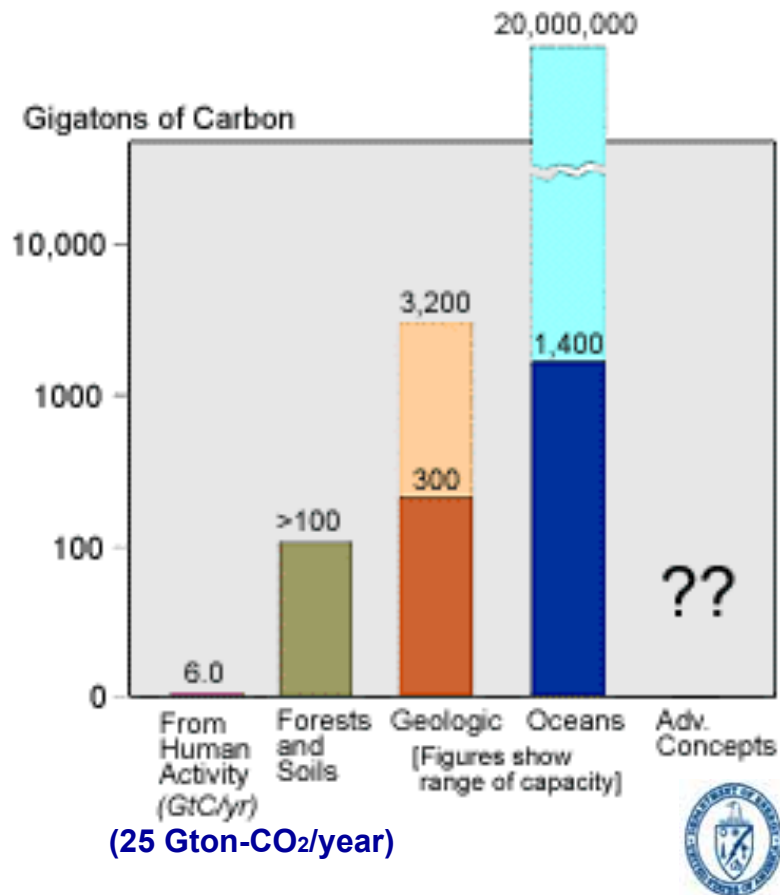
**NO_x: 0.017, SO_x: 0.070 (Isogo
No.1)**

35



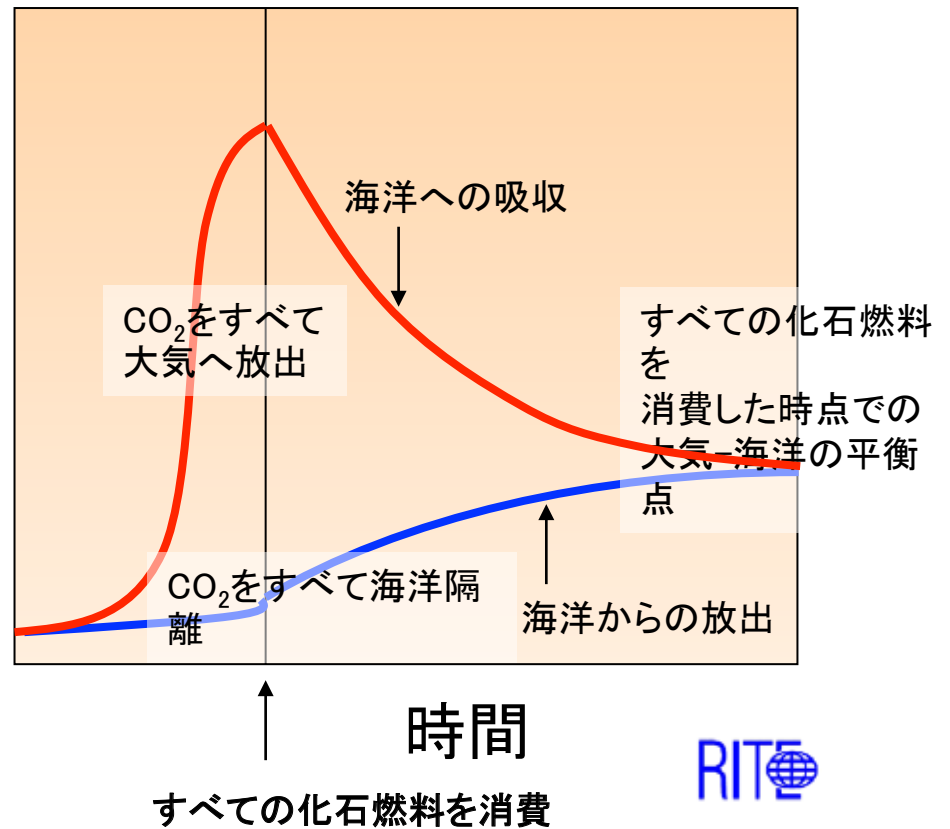
二酸化炭素隔離技術の概要





Huge Capacity of Ocean for CO₂ Sequestration

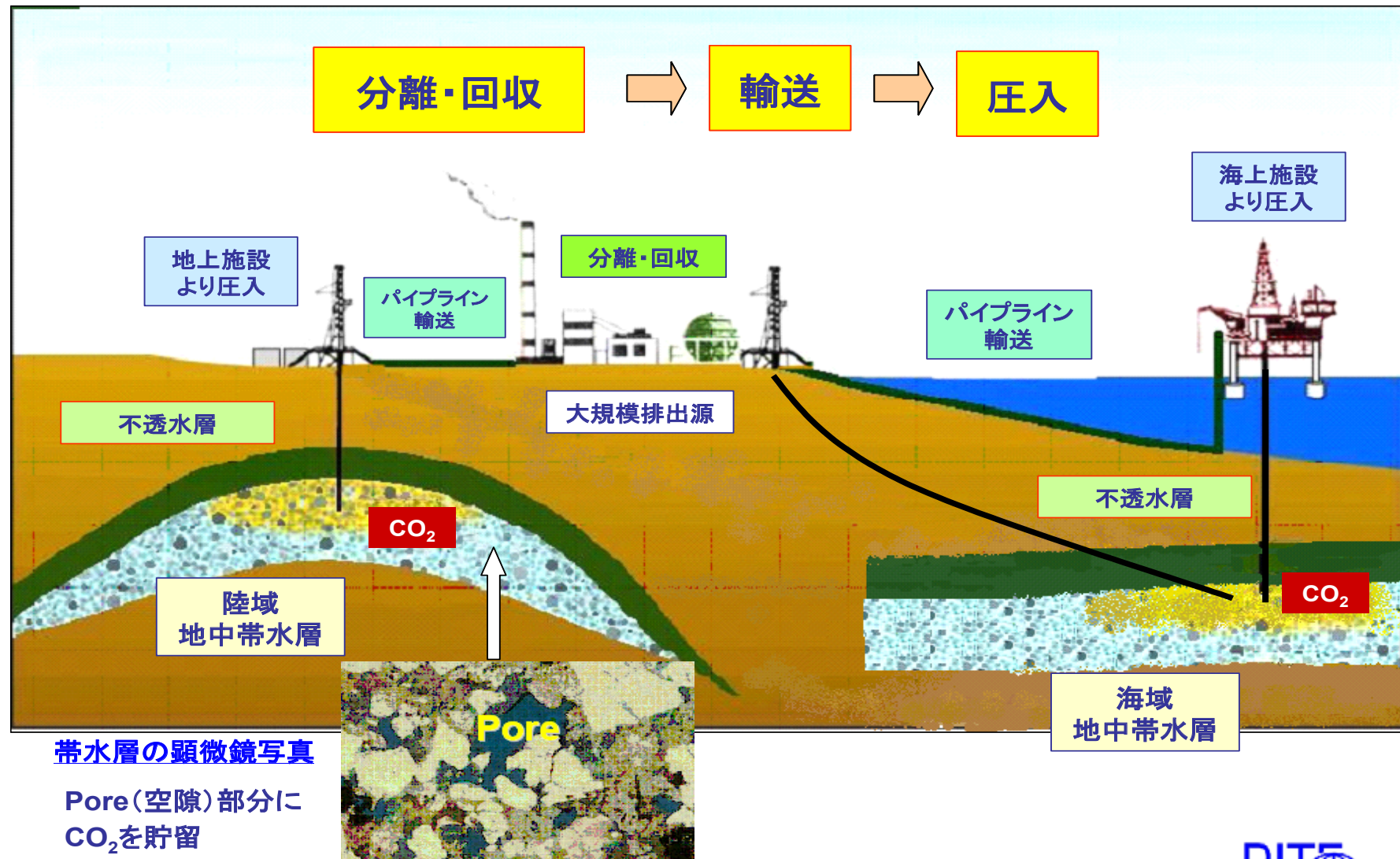
大気中のCO₂濃度



The Essential Meaning of Ocean Sequestration of CO₂



CO₂地中貯留の概念



我が国における関連プロジェクト

・CO₂回収型石炭利用技術開発

環境調和型石炭燃焼技術(酸素燃焼技術)

NEDO-CCUJ: 1996年度 ~ 1999年度

CO₂/O₂燃焼、IGCC+CO₂回収・水素リッチ化

日本-オーストラリア共同プロジェクト 2008.11~

・CO₂海洋隔離技術開発

二酸化炭素の海洋隔離に伴う環境影響予測技術研究開発

NEDO-RITE I: 1997年度~2001年度、II: 2002年度~

中層溶解、深海底隔離、海洋環境影響、国際共同実験

・水素利用技術開発

WE-NET(水素利用国際クリーンエネルギーシステム技術)

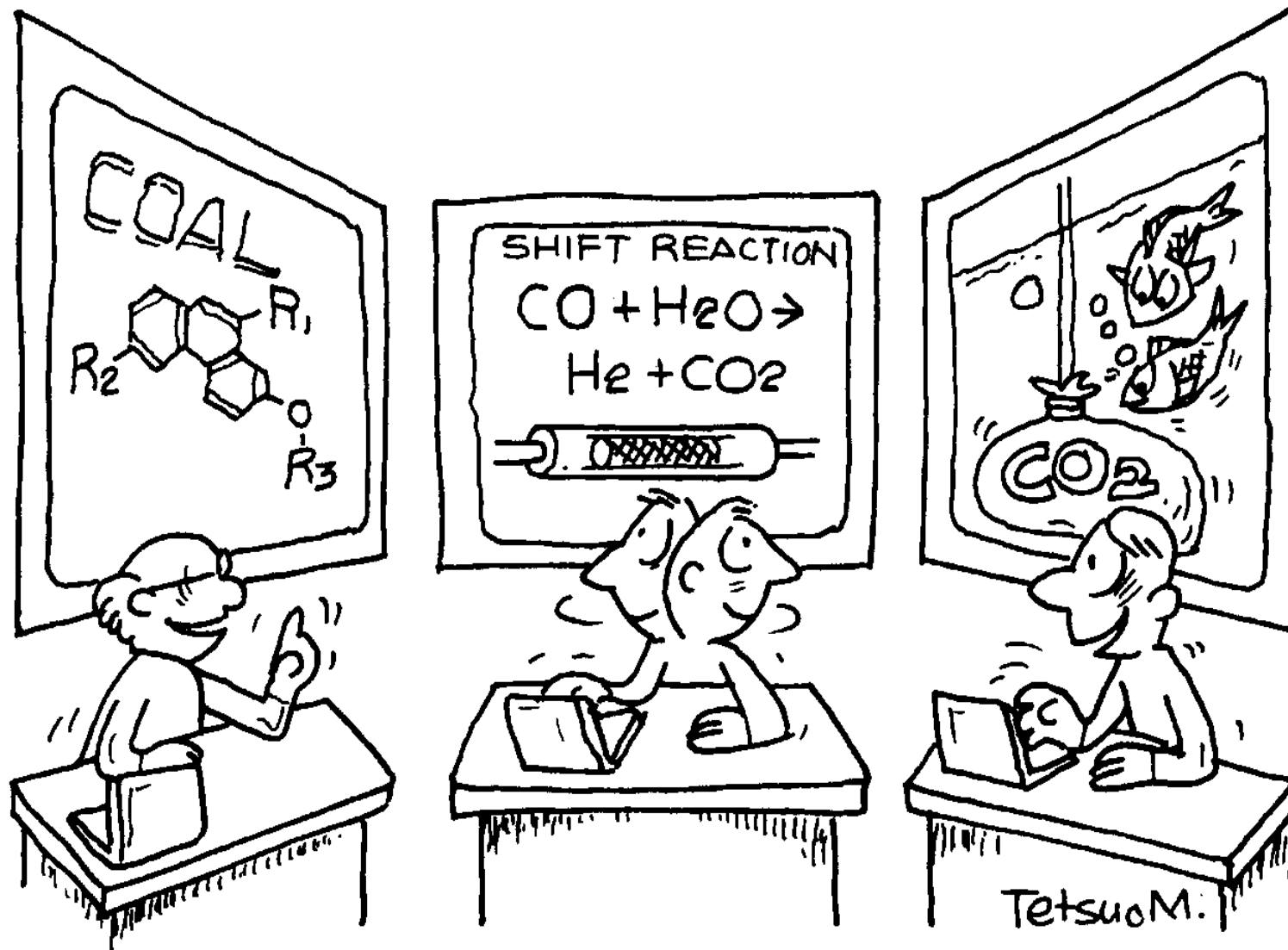
NEDO-IAE・ENAA I: 1993年度~1998年度、II: 1999年度~2002年度

・水素燃料電池自動車・水素ステーション実証試験

JHFC (Japan Hydrogen and Fuel Cell Demonstration Project)

METI-JARI: 2002年度~2010年度





研究者サイドがもう少しコラボレーションを

