

地球温暖化と原子力 — 2つの廃棄物問題 —

2014-10-9

エネルギーシンクタンク(株)

田下正宣

用語

MA/LLFP含めた再処理名称: **分別処理** (俗称**ゴミ処理**) 英語 Advanced Separation Process (ASP)

炉関係名称: **FFR** (Fast Flexible Reactor: MA/LLFP専用にも増殖炉にもできる、柔軟性) (俗称:**ゴミ処理炉**)

1. 文明の歴史 △

1-1 近代社会

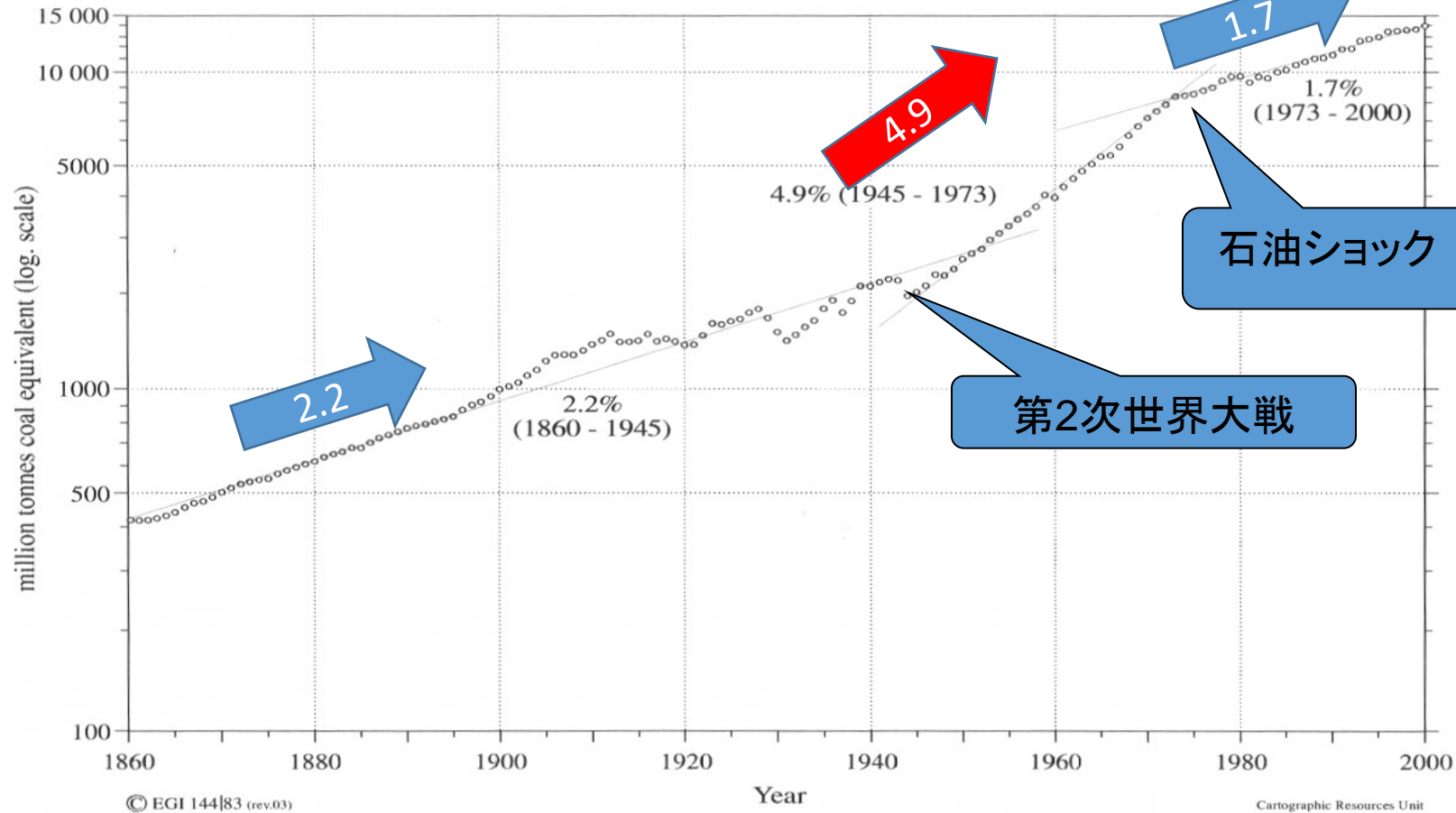
- ・ルネッサンス: 人間性の復活(ギリシャ・ローマ時代へ)
- ・社会契約(「神と人との契約」から「人と社会」の契約へ)
 - ・個人の尊厳、権利、自由など近代社会の基盤
この限り人間性(理性と欲望・努力)を確立した。
- ・第2次産業革命
 - ・生産性の大幅な改善⇒苦役からの解放、欲望の増大
 - ・エネルギー革命(石炭、石油、原子力など)
 - ・公害問題(NOX,SOXなど化石燃料の**廃棄物問題**)
 - ・1970年ローマクラブ「成長の限界」 石油危機
 - ・1990年代 地球温暖化問題(**化石燃料の廃棄物問題**)
- ・2001年 同時多発テロ
 - ・途上国経済成長期
- ・「社会契約」から「自然と人の調和」「自然契約」1991年



1-2 世界の歴史的エネルギー △

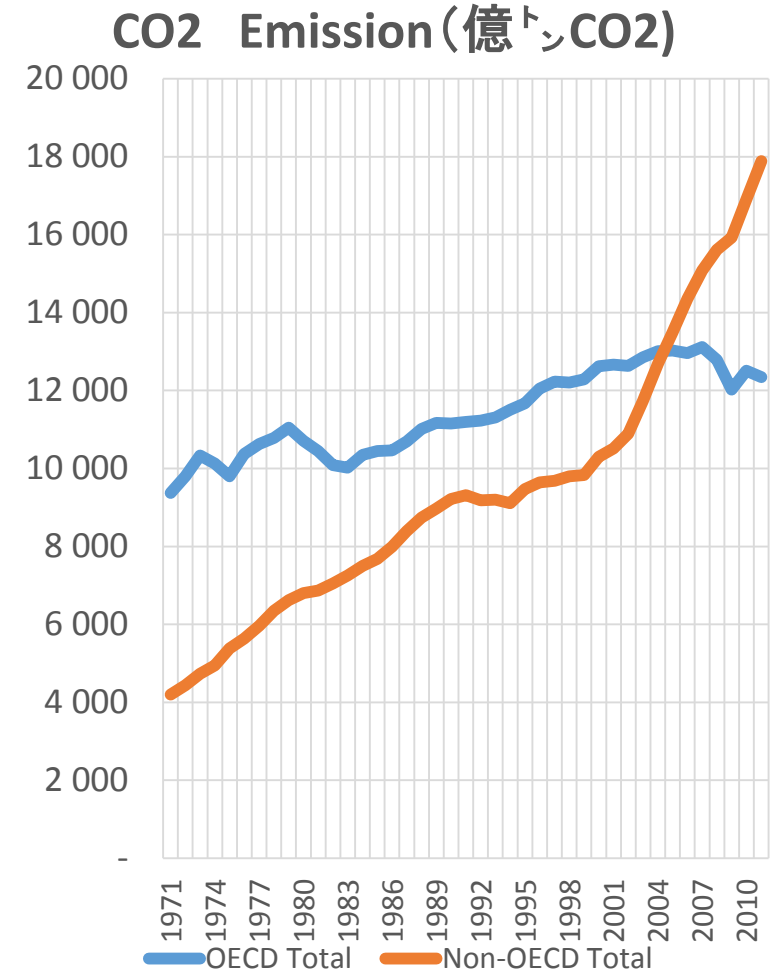
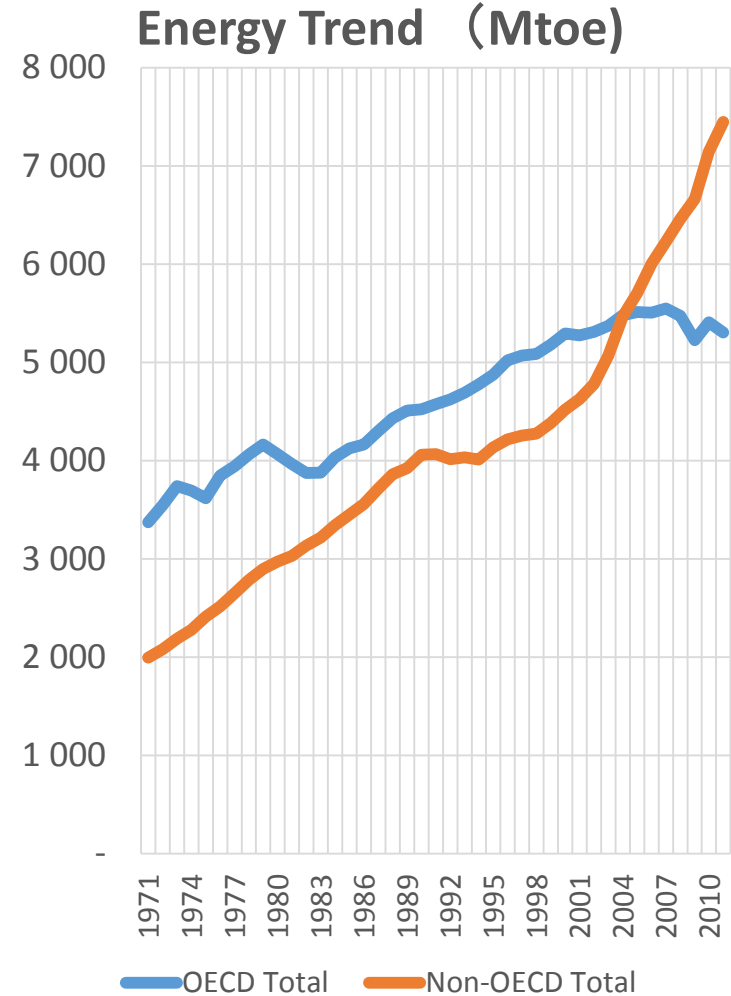
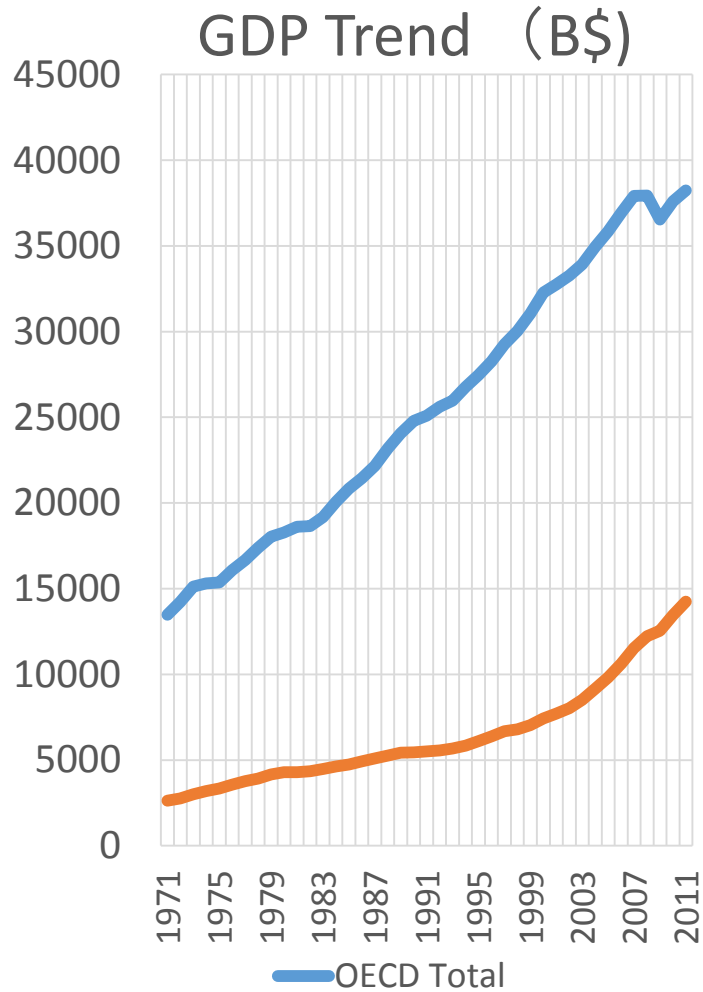
Trends in the Evolution of World Energy Use (1860-2000)

by Peter R.Odell Erasmus University Rotterdam

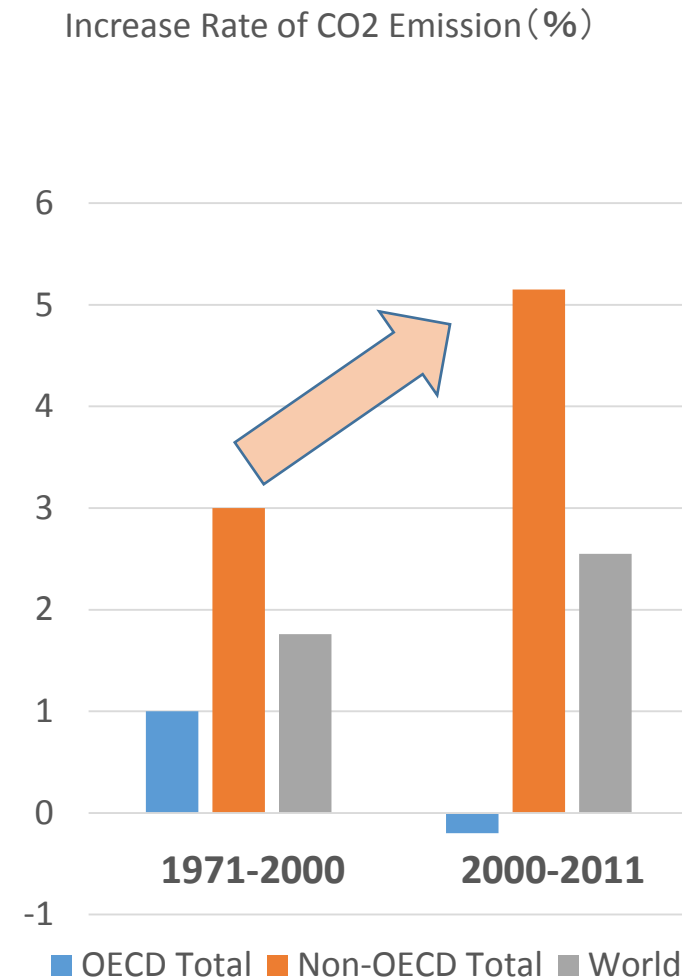
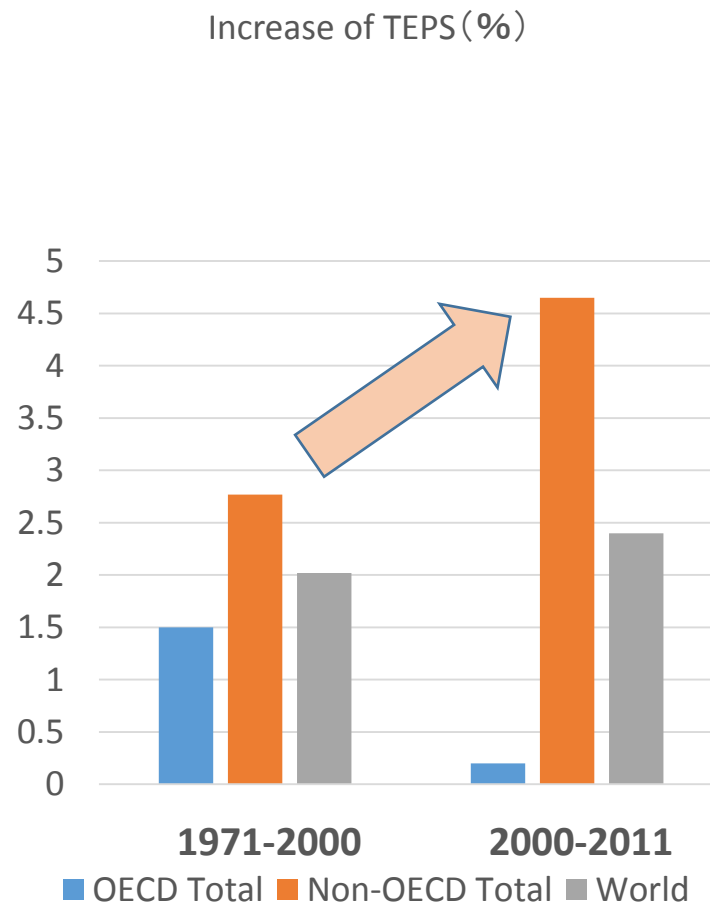
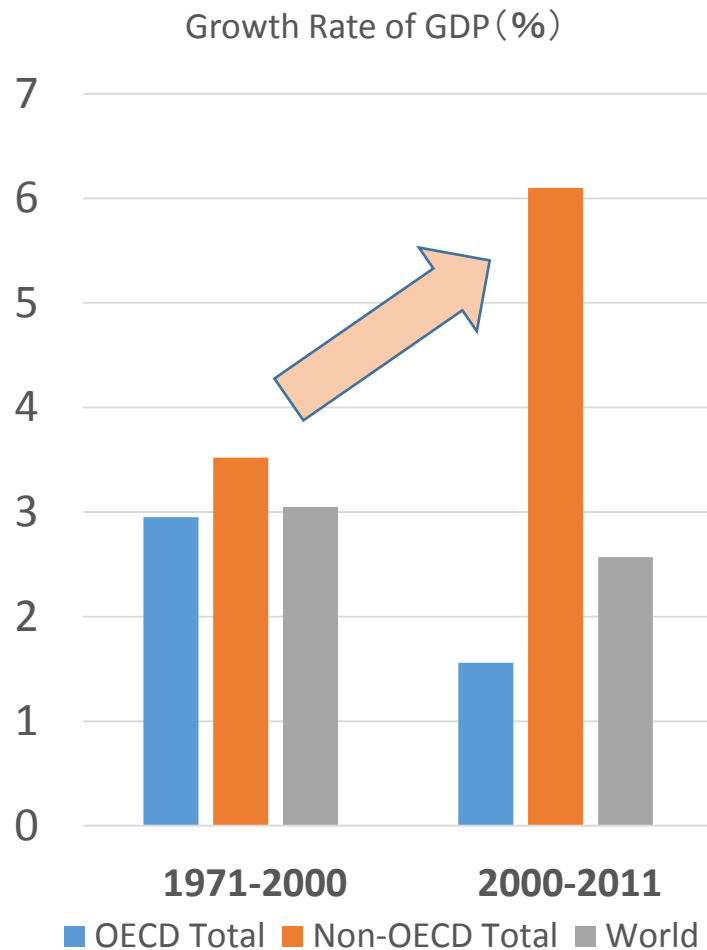


1860~1945年:2.2% 1945~1973年:4.9% 1973~2000年1.7% 2000~2010年2.6%

2-2 1971-2011年・世界のGDP・エネルギー・CO2排出



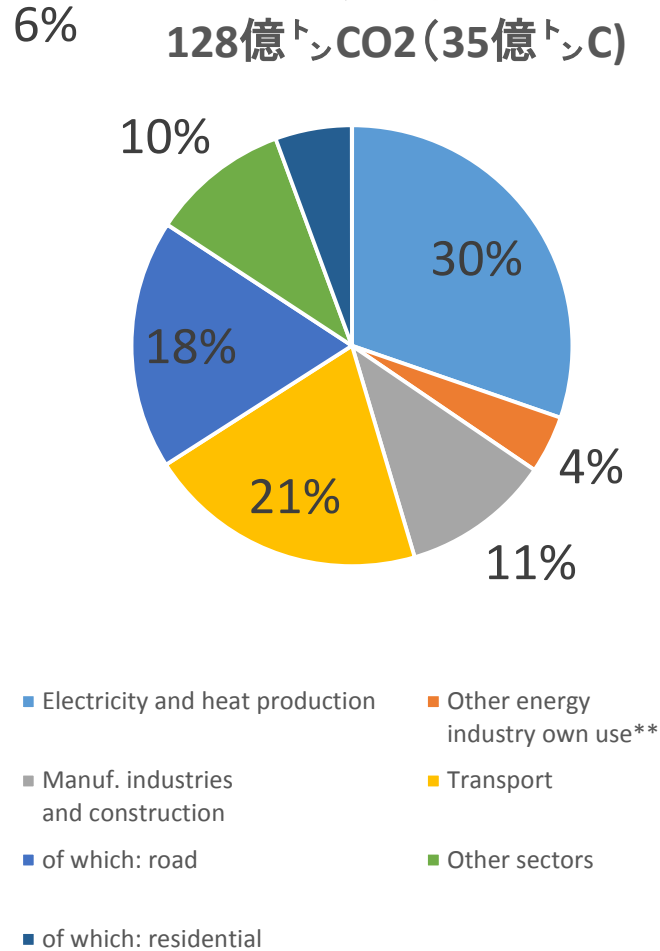
2-3 世界のGDP・エネルギー・CO2排出



2-4 CO2排出 2011年 (IEA Data) ©

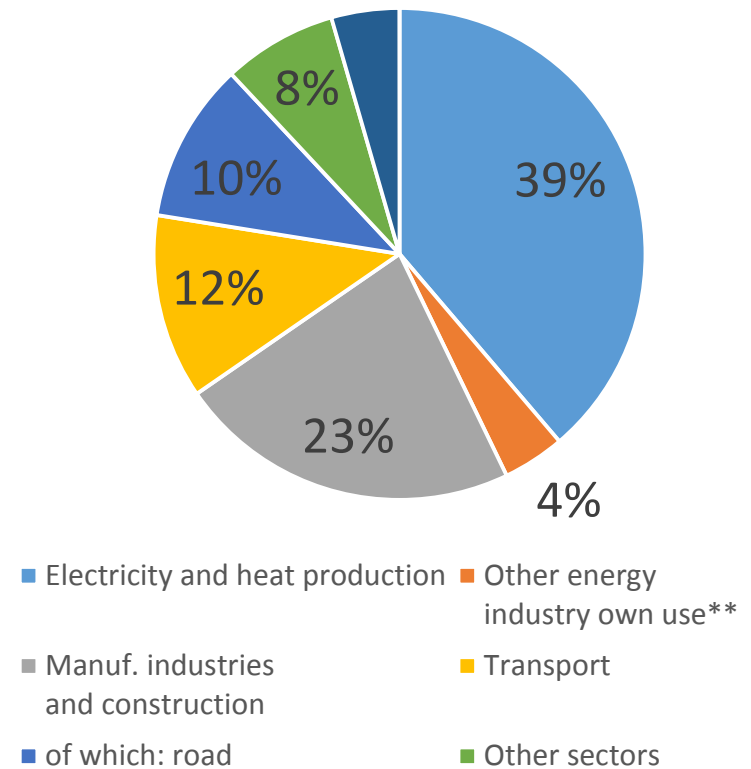
化石燃料の廃棄物問題

OECD CO2排出構成 2011年
128億トンCO2 (35億トンC)

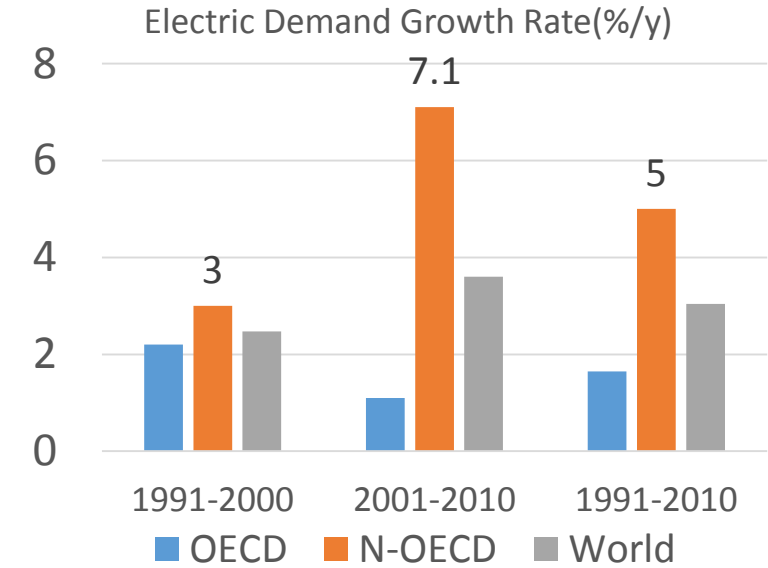
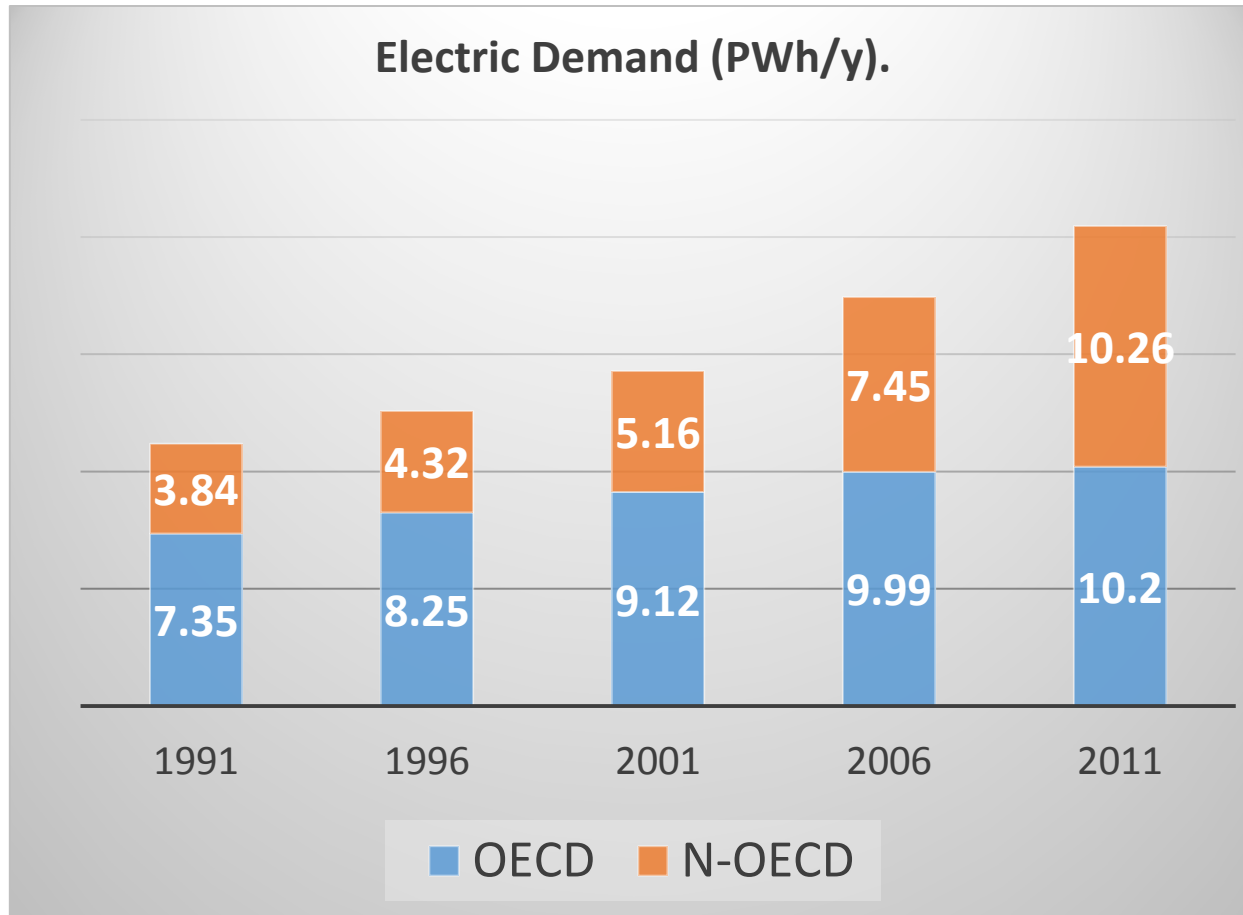


- ・発電が30~40%を占める
- ・輸送関連も同程度
先進国では40%、今後途上国での自動車普及により大幅増加(現在22%)
- ➡輸送用エネルギー問題
石油+CO2
- ➡HC (Hybrid Car)、EV車、FCV (Fuel Cell Vehicle)

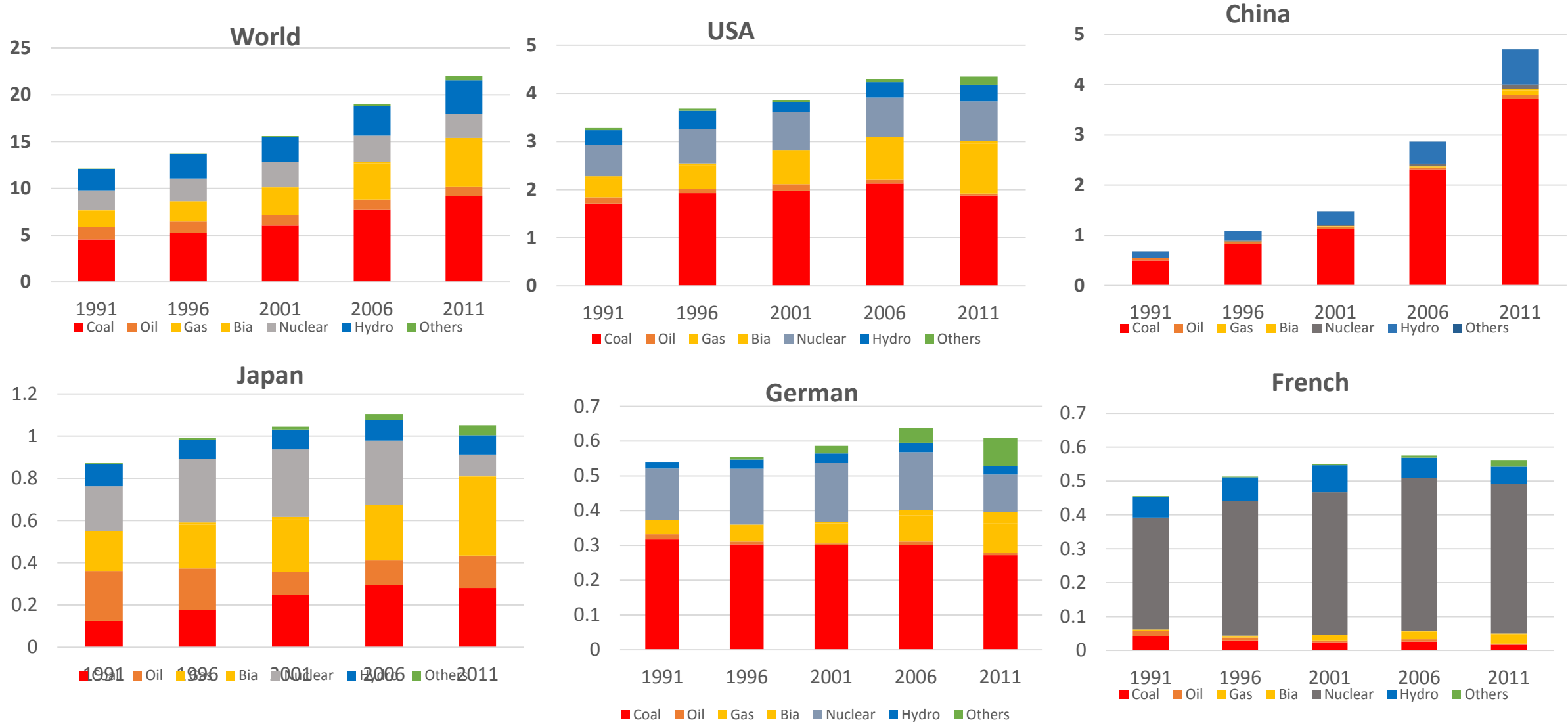
Non-OECD CO2排出構成 2011年
179億トンCO2



2-5 増大する電力需要



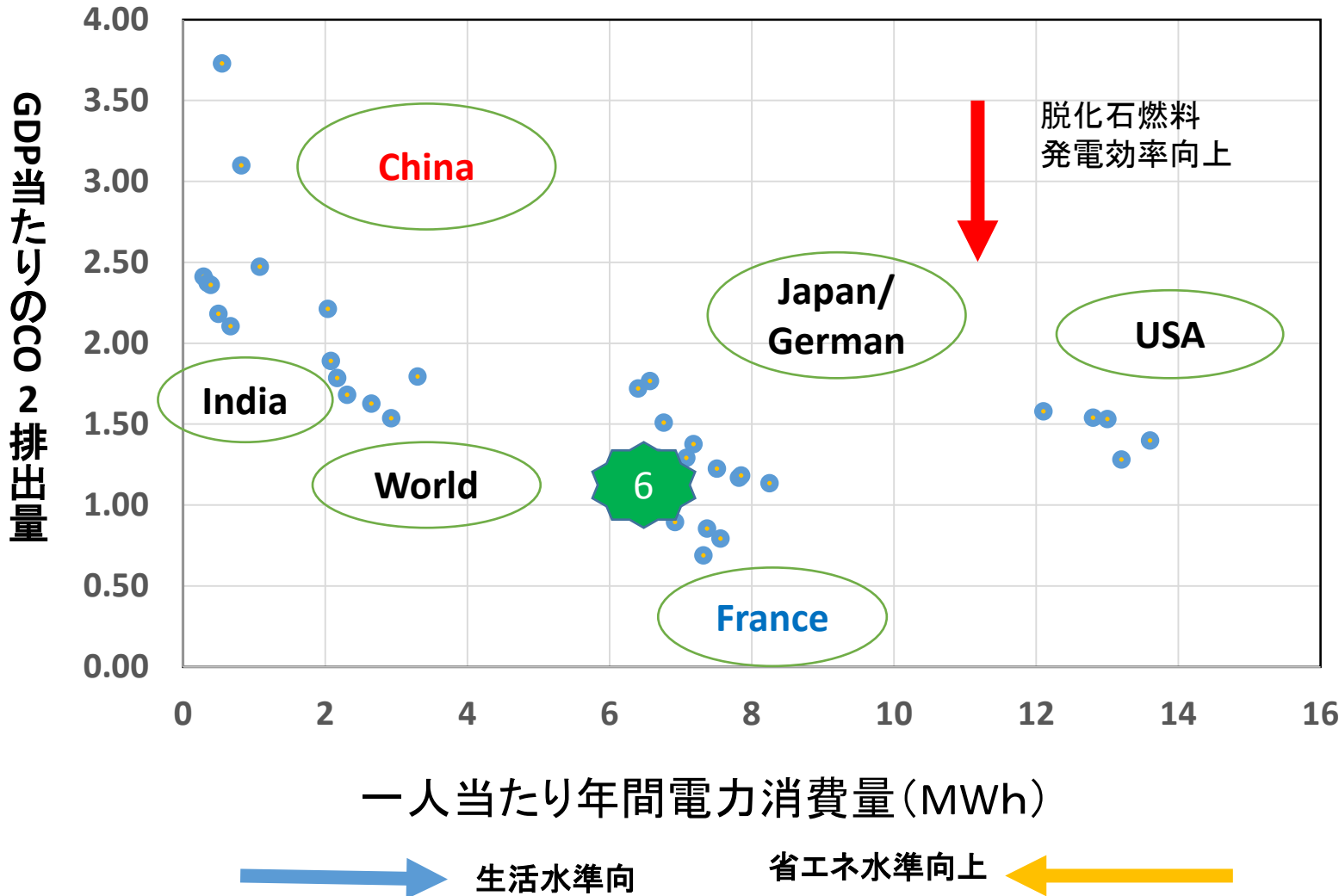
2-6 世界主要国の発電構成推移(兆KWh、PWh)◎



注:火力発電の熱効率(09-11年平均):中国35%、米国41%、日本45%、インド約30%、世界37%

2-7 電力消費とCO2排出量の傾向 ○

主要国の電力消費 (Mwh/C)とCO2排出量 (t-C/M\$)相関(91-11)

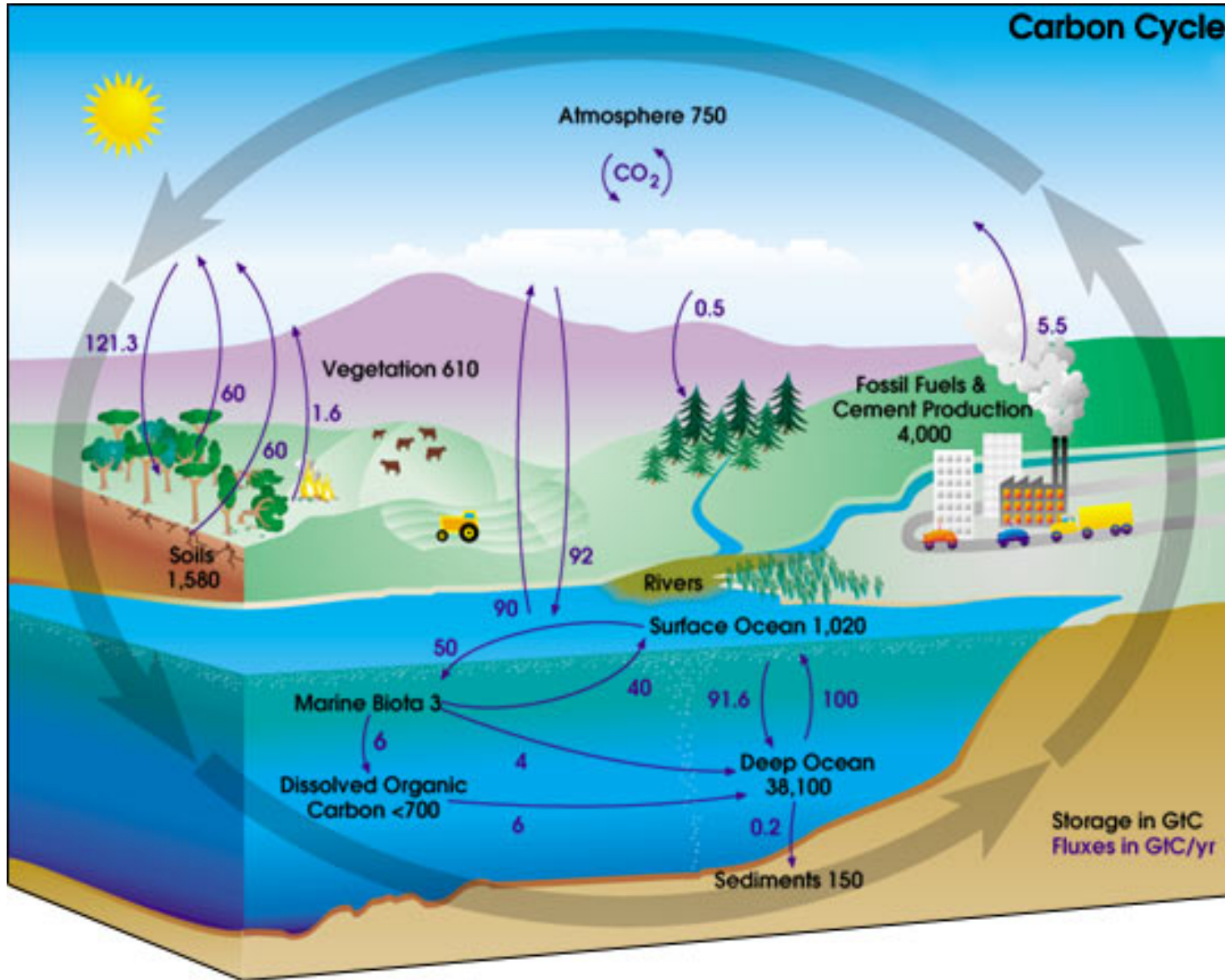


1. 先進国は電力消費量は多いが発電効率が高く、相対的排出CO2排出量は低い。
殊にフランスは原発シェア高いで先進国でも際立って低い。
2. 途上国は電力消費量は先進国の半分以下であるが、発電効率が低く、CO2排出量が大きい。
特に**中国**は90年代は酷かったが2000年代からかなり改善された。しかし発電量の大幅に増加によりCO2排出量は大幅に増加。
3. 今後途上国の発電量の増加が見込まれ、発電効率の向上と天然ガスへの燃料転換、原発利用拡大が望まれる。

4. エネルギー経済 → CO2経済 (縦軸)

3-1 温暖化問題

炭素循環



1980-1990年の人為的CO2排出量に対し大気中のCO2濃度上昇は約60%である。約40%は陸、海水中に吸収される。

55億トに対して22億ト吸収

収支(フロー)の例 億トC

- ・人為的排出 **55**
 - ・自然界
 - 海(排出900-吸収920) **-20**
 - 森 **-5**
 - 地面(排出1216-吸収1213) **3**
 - 自然界収支 **-22**
 - ・総収支 **55-22 = +33**
- 海が20億トCを吸収し続けるか？

海洋中蓄積量 = 36.1兆トC

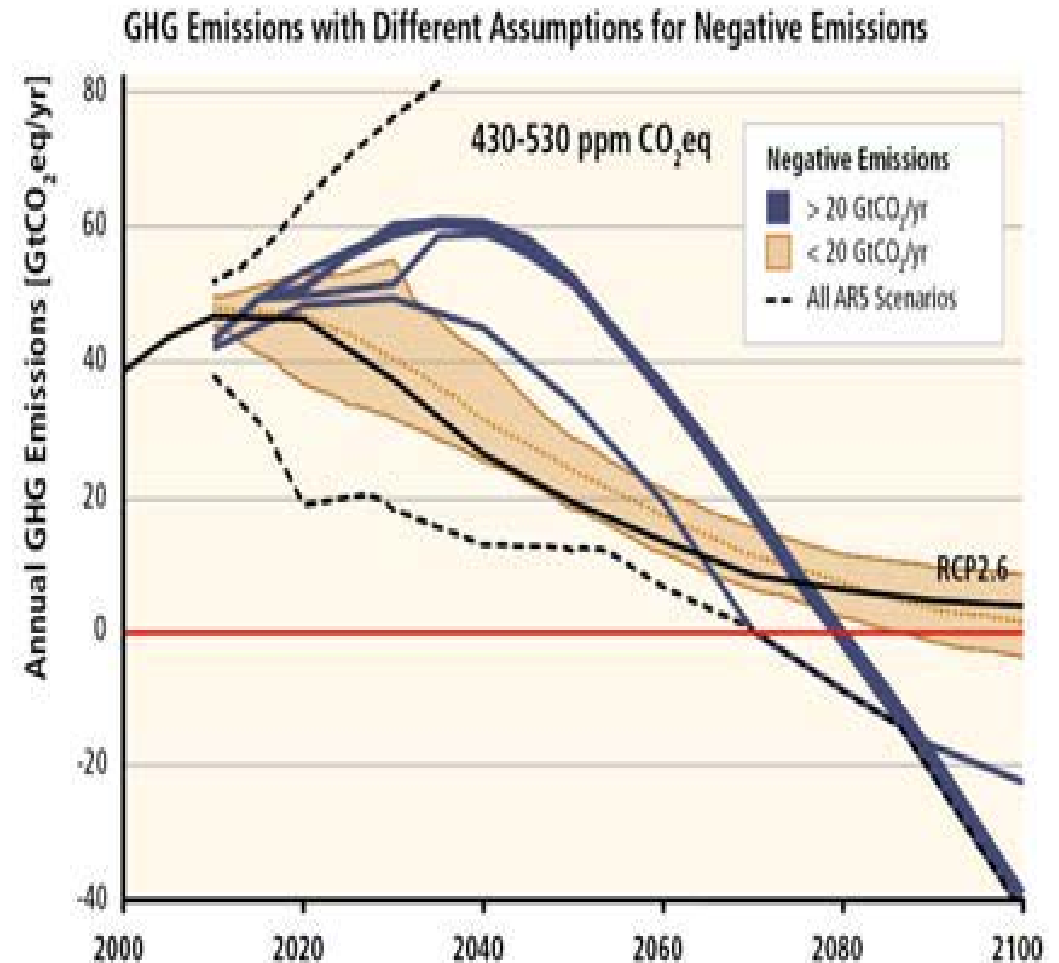
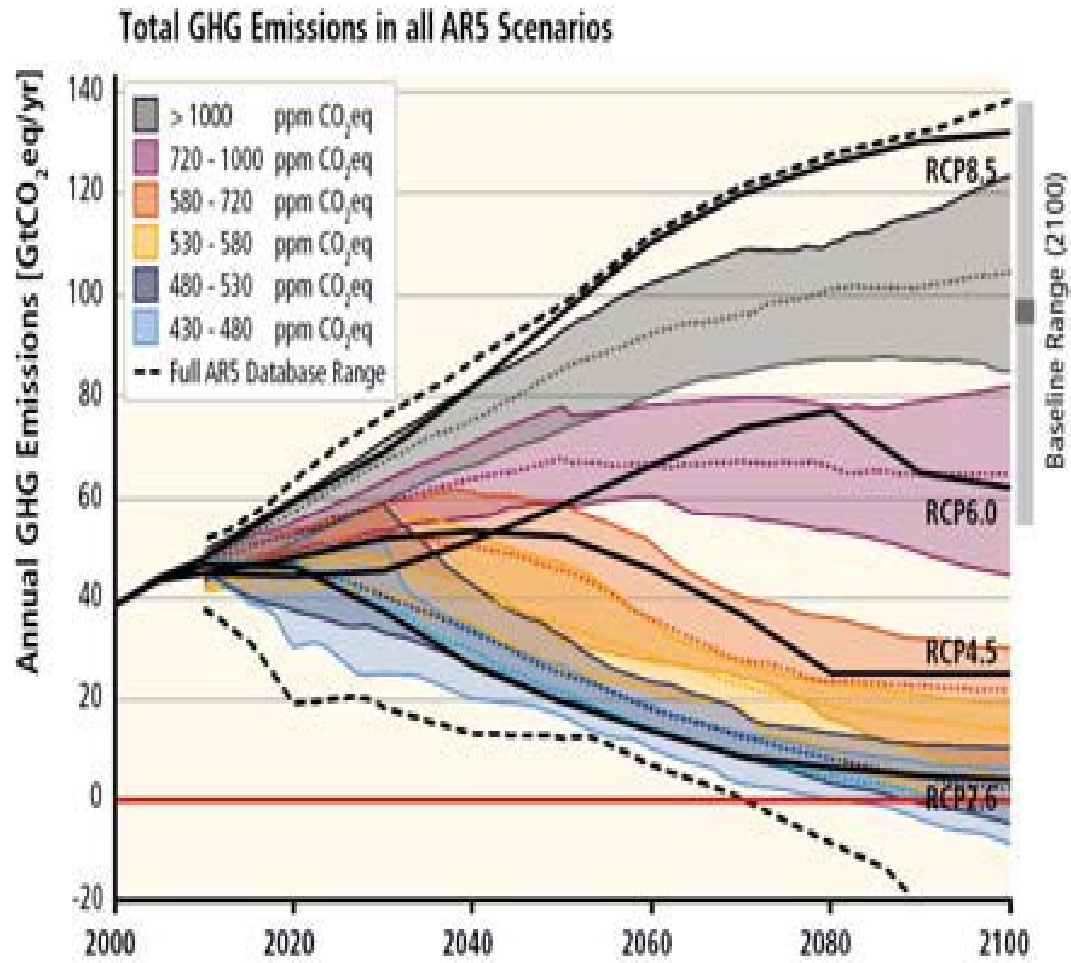
地上・化石燃料・化合物 = 4兆トC

大気中蓄積量 = 5000億トC (現在7500億トC)

地球蓄積量 ≒ 40兆トC

18~20C人為排出量 = 2500億トC 10

3-2 IPCC第5次報告 GHG Emission



IPCC提言: 2050年で2010年の排出量の40~70%削減を提言
 注) GHG (CO₂eq)にはメタン等を含む、人為的CO₂は全体の65%。

3-3 温暖化の制約—IPCCの動向 ◎

2014・3 IPCC第5次報告が提示

- * 2050年排出目標値 (450ppm目標、2°C程度目標)
2050年CO2排出目標27~53億トンC
- ←2010年の40~70%削減:2010年のCO2排出量は325億トンC (88.6億トンC)
- * 提案累積CO2排出量(2010-2050) 約2800億トンC (40%削減)

現実的な制限値の意味

2010~2050年人為排出量=5000~6000億トンC

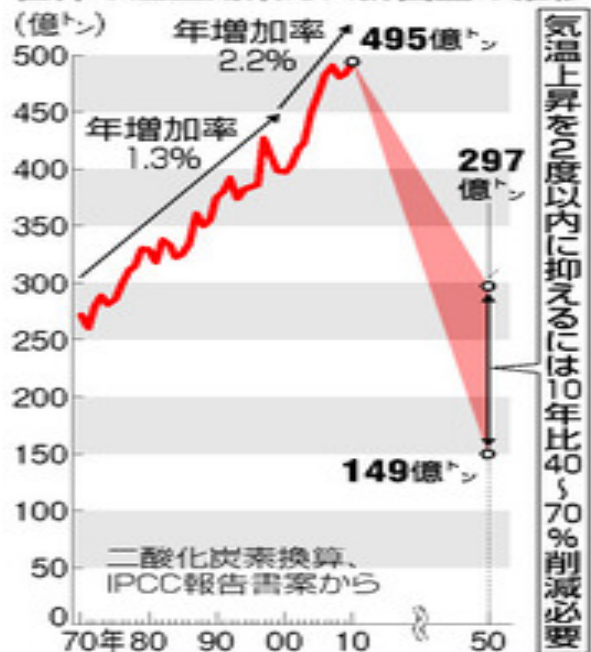
IPCC5次報告提言 制限値=約2800億トンC

550ppm制限曲線 制限値=約3600億トンC

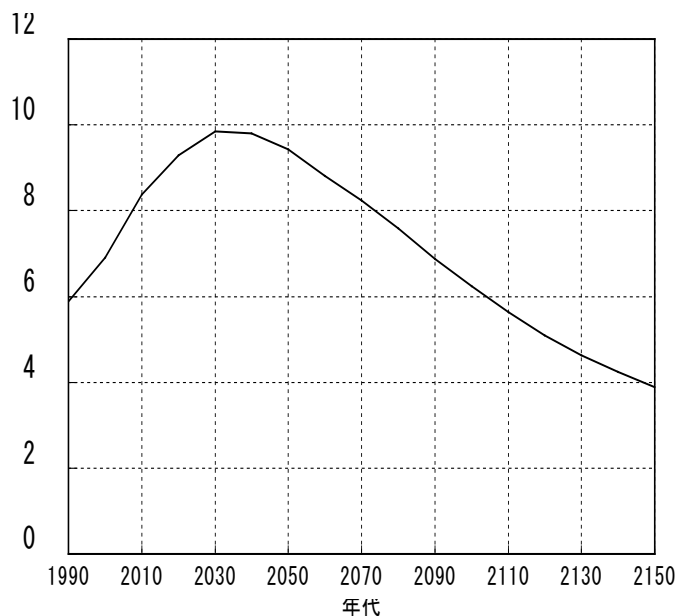
40年間累積削減目標量約1400~2200億トンC

半分以上は発電部門か？

世界の温室効果ガス排出量の推移



代表的550ppm制限カーブ



なお21世紀後半は550ppm制限でも

許容CO2排出量は50年間で3800億トンC

電力需要は2倍程度に増加？

更に厳しい対策が予測される。

CO2削減(概算)の一例

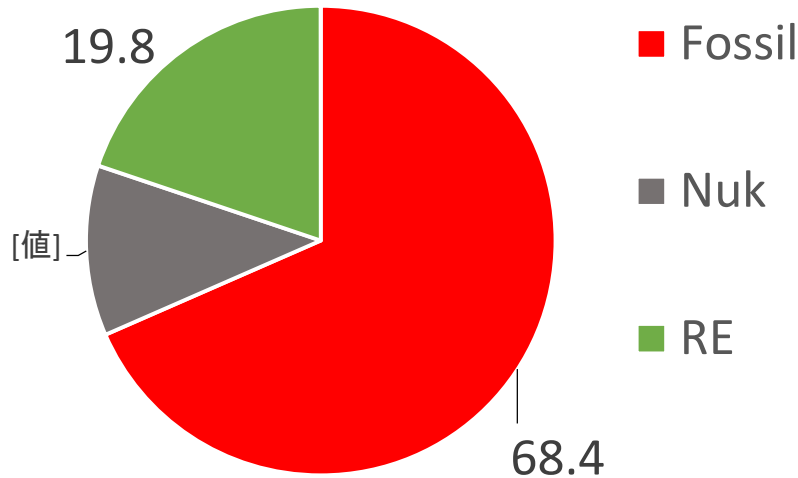
・石炭火力:年間70億KWh/160万トンC 40年6400万トンC

1000基 40年で640億トンC→NG転換で320億トン

・原発を2050年迄~1000基 削減量=420億トンC

4-1 電力の現状と2050年 需要と構成 ◎ 原発への期待 (Demand)

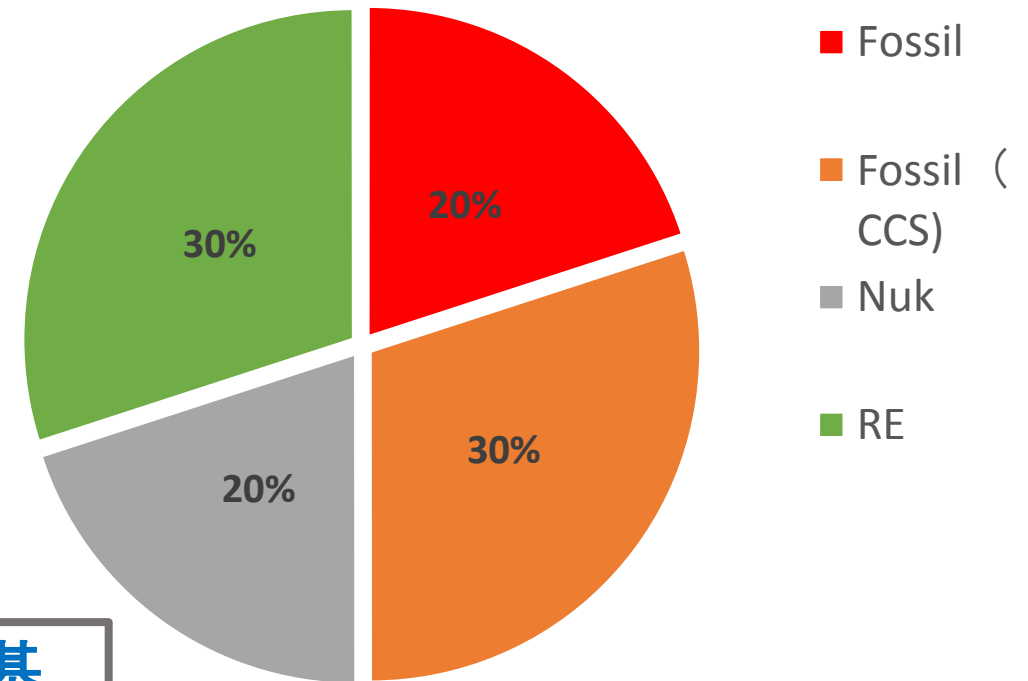
世界の発電構成 2011
22PWh



1. IPCCは**最大80%**を低CO2排出方式を提言
2. CO2排出量削減は石炭から天然ガスへのシフト(約半減)
3. 排出CO2を回収・貯蔵するCCS方式
4. 原子力発電の多用。
5. 再生可能利用エネルギーの利用

世界の発電構成の概念 (2050)

44~66PWh (IEA ブルーシナリオ42PWh)



原発約 2000基
現実: ~1000基?

2011年電力のCO2排出量=30億トンのC

2050年電力需要は2~3倍

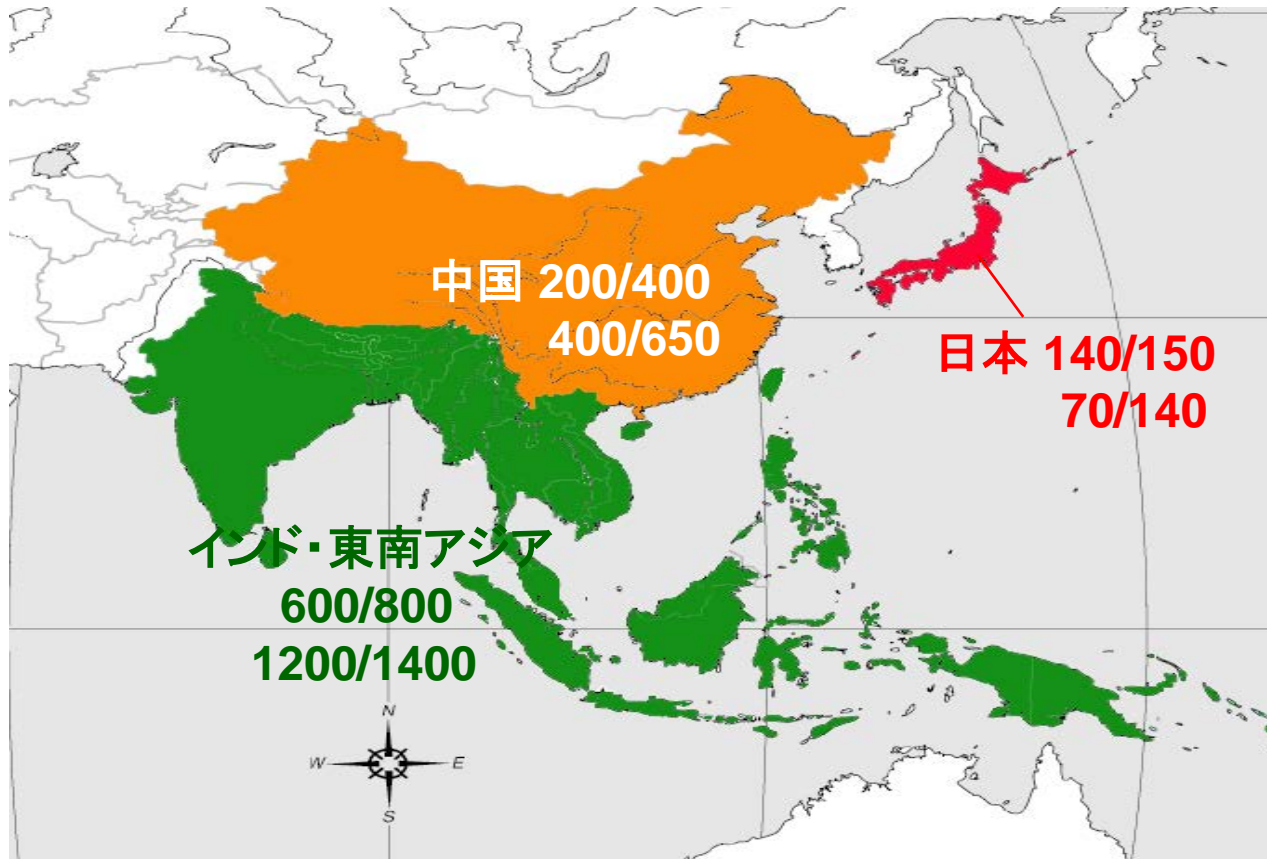
推定CO2排出量=60~90億トンのC

80%削減が出来れば、48~72億トンのC削減

原発2000基で約28億トンのCの削減

4-2 温暖化対策としての原子力への期待

アジアの予測例(100年最適化、550ppm制限予測 by GRAPE)



※2050年/2100年
上段: 現実ケース
下段: アジアエネルギー拡大ケース

* 世界政府+100年の計画経済

予測解析は100年間の
エネルギーコスト最小化
与えられた条件下では最も
経済的に合理的な解を提示する
450ppm制限(2050年)

* RITE*の解析例2050年15~17PWh
(約100万Kwe級2000基強)

* IPCC第5次報告関連解析では平均
1400GWe, 最大2200GWe (21Cases)

* EUの「WETO-2」: 100万Kwe級
約2000~2500基は必要

* RITE: 地球環境産業技術研究機構

IAEA予測(2050年)

世界 440~1113

アジア地域 240~574

国の計画(2050年頃)

中国 300~400

インド ~300

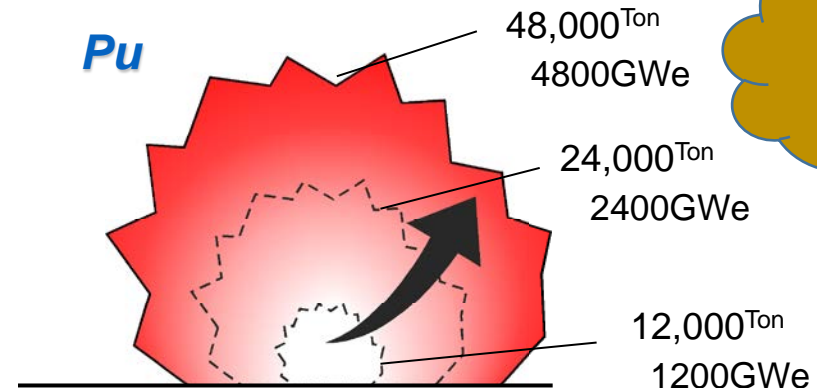
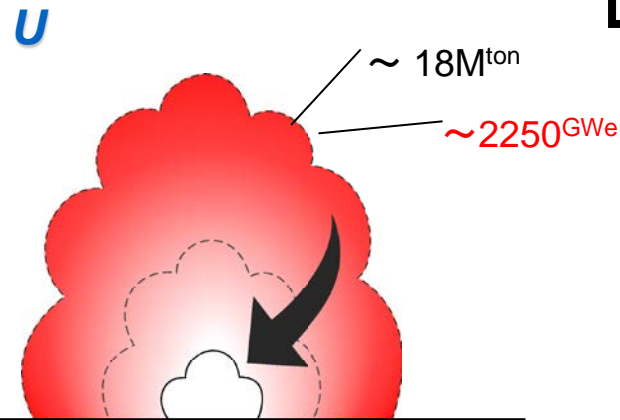
4-3 原子力の資源と原発供給 (Supply Side) ○

(1) 資源

ウラン資源	
確認埋蔵量	~750万トン
究極埋蔵量	~1800万トン
非在来型	~300万トン
海水中ウラン	~40億トン

1950~2010原発運転	
運転実績	1万GWy
発電量	70PWh
消費ウラン	~160万トン
生産Puf	~1600トン
日本はこれらの約1/10	

プルトニウム (Pu) 燃料資源	
原産地	LWR
2010年 確認埋蔵量	
	Puf資源1600トン + MA資源160トン
燃料特性	
高速炉 (FR) で燃やすと消費以上の 新燃料の生産が可能 (35年で倍)	



直接処分
では廃棄
物(ゴミ)

(2) 原発供給等

* 原発建設 (重機器製造、技術者など人材、...)

* 運転・保守・管理技術者等

により現状年間30~40基程度か

➡2050年までで高経年化対策による寿命延長を考慮した**レプレース**と**新設**とで1000基程度?

5-1 人の時間感覚は

- 10～20万年前：旧石器時代（クロマニオン人、ネアンデルタール人）
- 4500年前：エジプト古王朝時代、ギザの大ピラミッド
- 2000年前：ローマの水道、コロッセオ等遺跡（セメント利用構造物）
- 1200年前：奈良時代、東大寺（木造建築）AD725年、天皇陵（築山）
- 500年前：足利時代、桂離宮（柱目建築）
- 300年間：徳川幕府の統治期間（政府責任）
- 200年間：近代国民国家

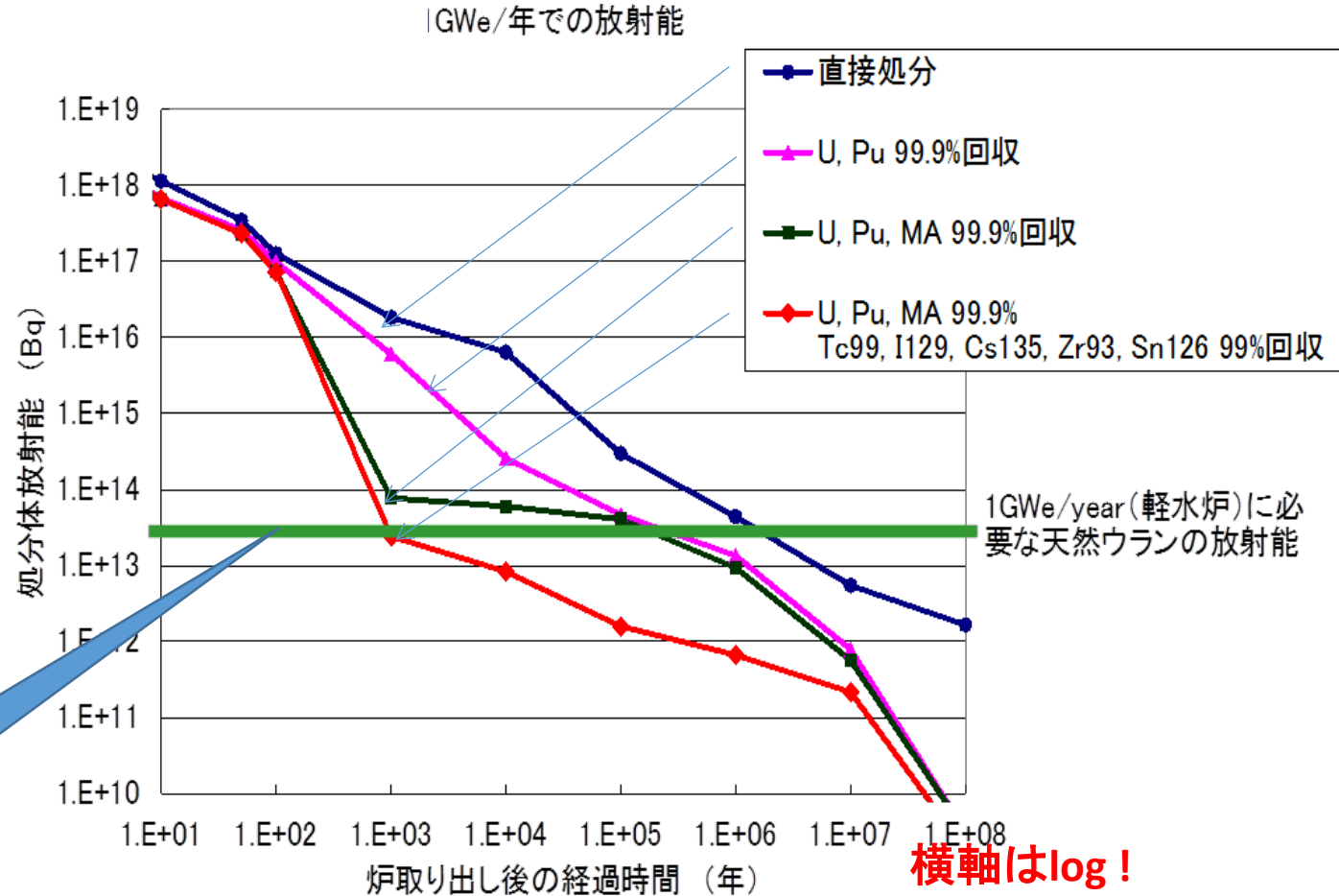


5-2 放射能の減衰(例) △

■ LWR100万Kwe
1年稼働に必要なNUの
持っている放射能量
=2.3e13Bq

■ NU放射能レベルまで
減衰に要する期間
直接処分 100万年
再処理(FBR)30万年
MA燃焼(FBR) 30万年
MA+LLFP 1000年

MA燃焼のみで
も判断基準によ
りOK

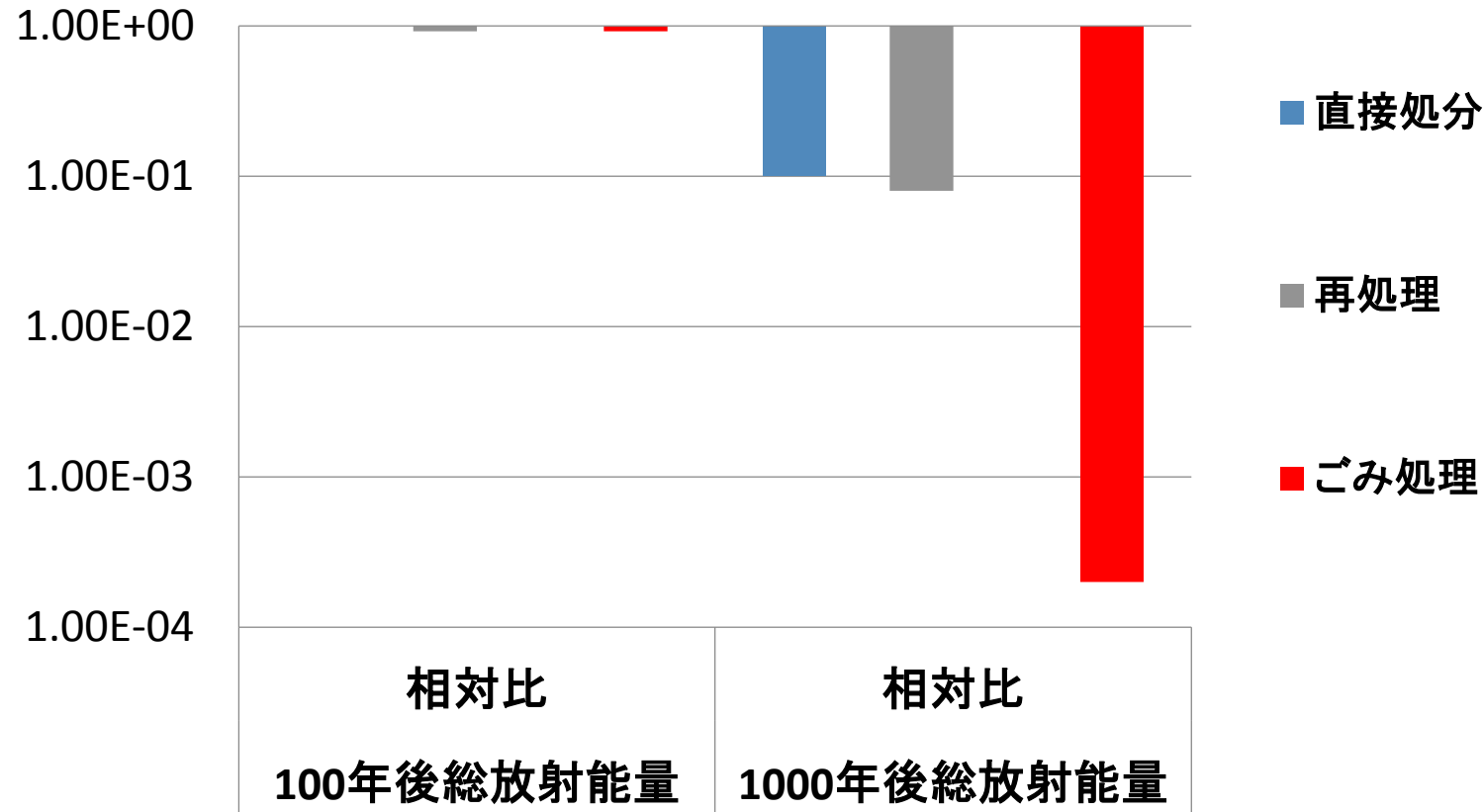


1GWe/year(軽水炉)の使用済み燃料処分法の違いによる放射能比較

核廃棄物処理問題は放射能が減衰するには数十万年と言う超長期要することが不安の原因。
改善の最善策と考えられるMA/LLFP消滅により1000年程度に短縮すれば(Tail) Riskは大幅に減る。

5-3 使用済み燃料の処理方式の意義 △

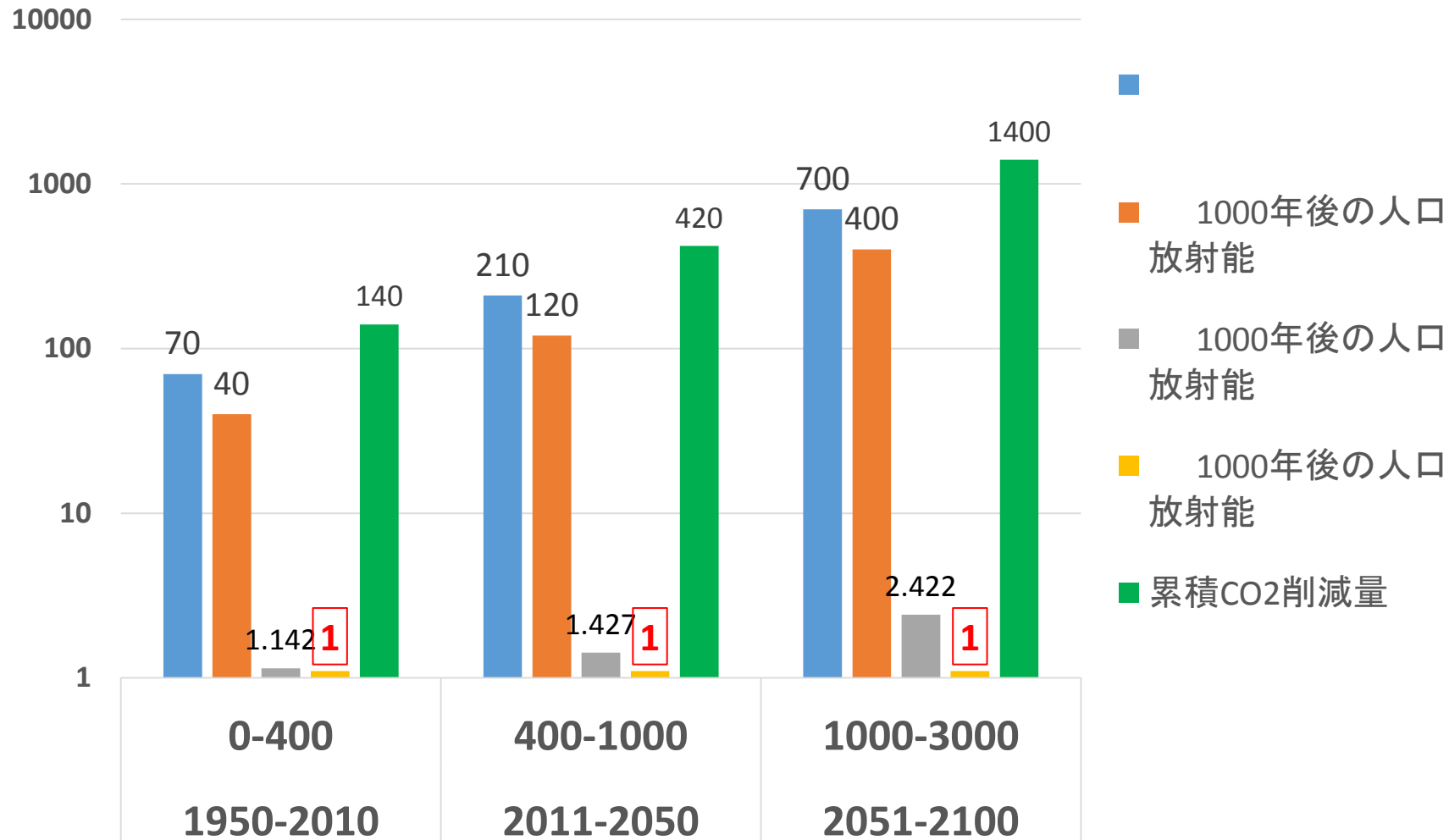
100年、1000年後の放射エネルギー(100年後の直接処分比)¹
使用済み燃料処理方式別



- 使用済み燃料の処理方式による残留放射エネルギーは

 - ・100年後は殆ど方式の差異はない。
 - ・1000年後は直接処分、再処理方式は約1/10に低下。分別処理方式は約1/4000に低下し使用した**天然ウランと同等の放射能レベル**になる。
 - ・即ち**原発利用に伴う人口放射能と言うゴミ(借金)を1000年後には返済完了できる。**
- 言い換えると、1000年後の人工放射能を同じとした場合、直接処分の**400倍の原発利用が可能**であり温暖化対策、エネルギー安全保障としても役立つ。

5-4 原発の影響と効果 ○



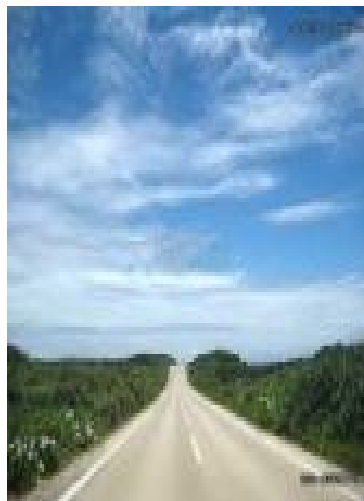
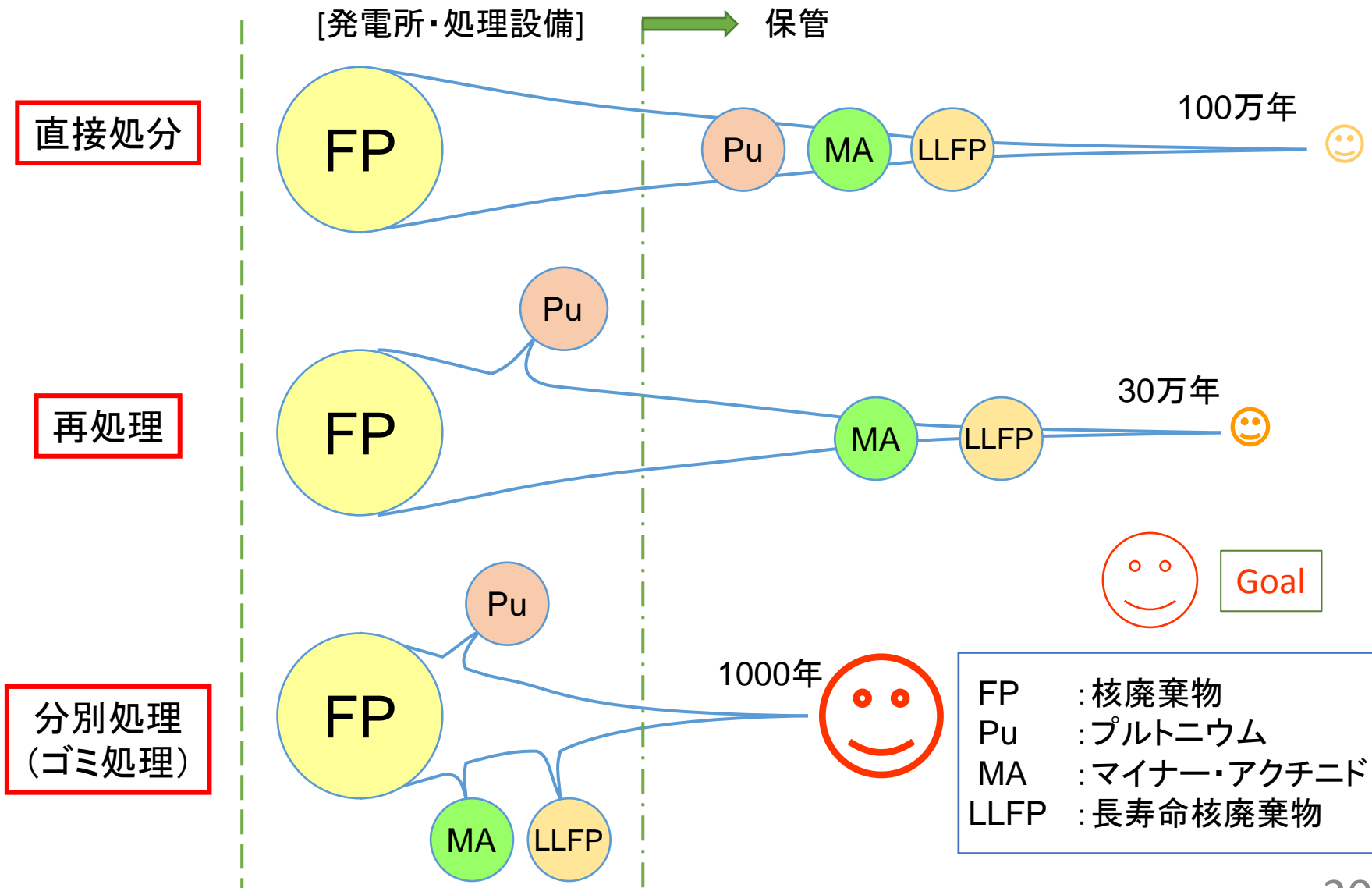
1000年後の人為放射能は直接処分では天然ウランの約40～400倍

しかしゴミ処理方式の採用により人為放射能は天然ウラン並に低減(左図) **1**。

今世紀中のCO2排出削減は約2000億トンの程度期待され効果は大きい

2050年までの削減量の15%
2100年までの20%程度

5-5 人々の核廃棄物処理の感じ方



纏め ◎

1. 温暖化問題と原子力(廃棄物)問題
 - ・共に近代文明のツケ
 - ・社会の反応:温暖化には鈍い(欲望が勝つ) :原子力には厳しい
 - ・温暖化問題は21世紀前半以上に後半は増大する需要と厳しい排出制限。
2. 原子力 :唯一の安定且つCO2排出しないエネルギー源
 - ➡温暖化問題解決の有力な手段(長期的視点)
3. 福島第一事故を踏まえ、先ずは、
 - ・LWRの安全性向上(ハード、ソフト(運転管理・現場主義)、制度整備)
 - ・ **社会との調和**
4. 核廃棄物負担低減の**研究開発**と**早期事業化(具体的な実績が重要)**
 - (高レベル廃棄物短寿命化、減容 ➡**社会との調和**)
5. 核燃料サイクルの事業確立とアジア地域との連携
 - (温暖化対策・エネルギー安全保障)
6. 国際協力の推進(技術、管理、制度等)

ご清聴有難うございました。

Thank You !!

We should be Prudent,
but should not be Pessimistic !