

エネルギーの現状と将来

有馬朗人

2011年6月10日

エネルギーと環境

I 人類が直面している三つの大きな危機

I -0 人口爆発、エネルギー不足、食料不足、水不足

I -1 化石燃料が涸渇する

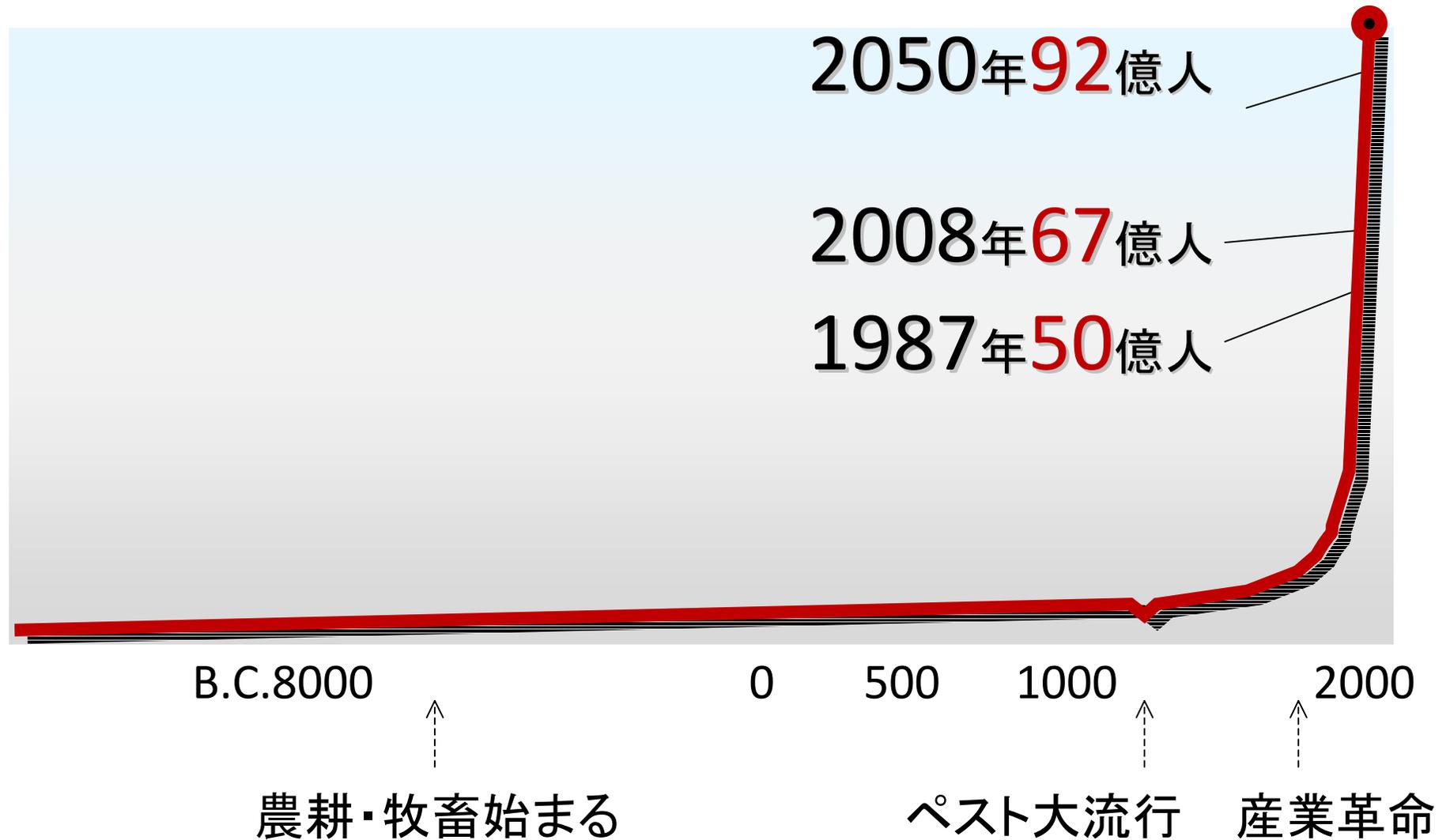
石油、天然ガスは 50年以内 } なくなる

石炭は 130年以内 }

I -2 化石燃料を燃やせば空気中の二酸化炭素が増え地球温暖化が進む

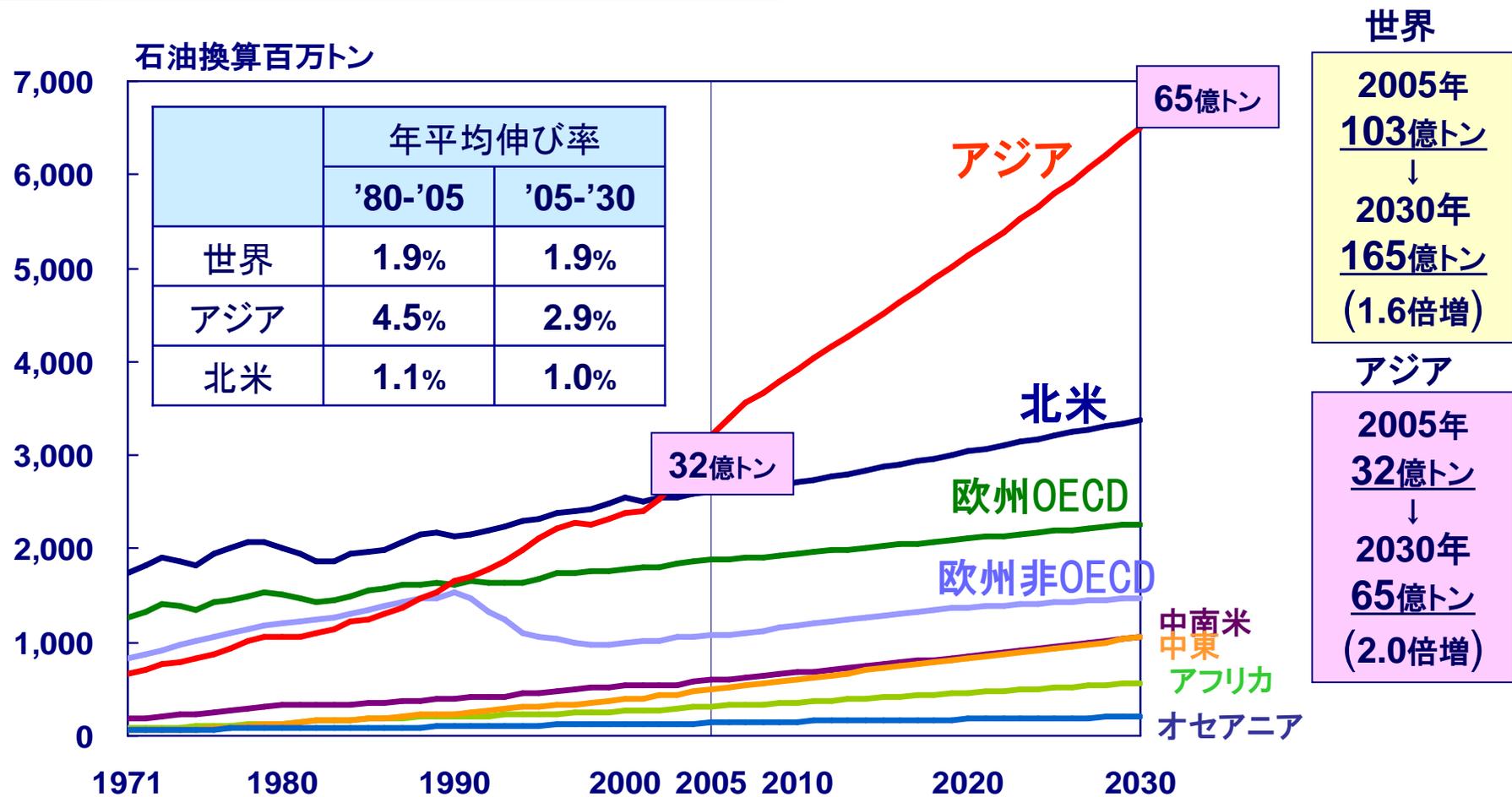
食料不足、海面の上昇、伝染病の流行等

人口の爆発



※2006年版世界人口推計(中位推計)より

世界の一次エネルギー消費(地域別)



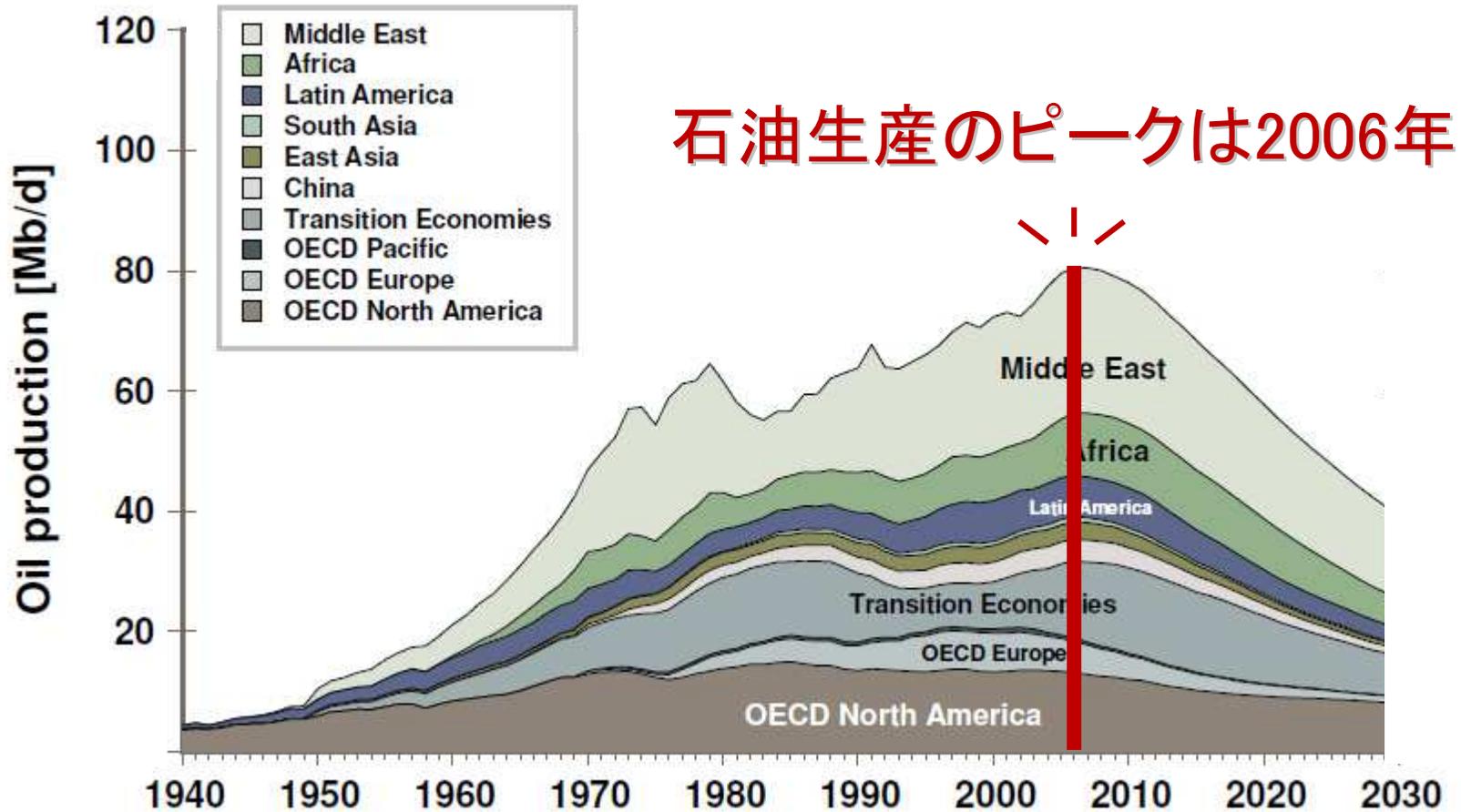
2030年のアジアのエネルギー消費量は着実な経済成長の下、現在の約2倍へ拡大(2005年32億トン→2030年65億トン)。

世界のエネルギー資源はいつまでもつか？

	石 油	天然ガス	石 炭	ウラン
確認可採埋蔵量(R)	2007年末 1兆2,379億バーレル	2007年末 177兆m ³	2007年末 8,475億トン	2007年1月 547万トン
年生産量(P)	2007年 298億バーレル	2007年 2兆9,400億m ³	2007年 64.0億トン	2006年消費量 4.0万トン 2006年需要量 6.65万トン
可採年数(R/P)	2007年 41.6年	2007年 60.3年	2007年 133年	2006年 81.6年 (注)
出 所	BP統計2008	BP統計2008	BP統計2008	URANIUM2007 (OECD/NEA/IAEA)

(注)ウランについては在庫があるため年生産量は需要を下回る。このためウランの可採年数は確認可採埋蔵量を年需要量で除した値。

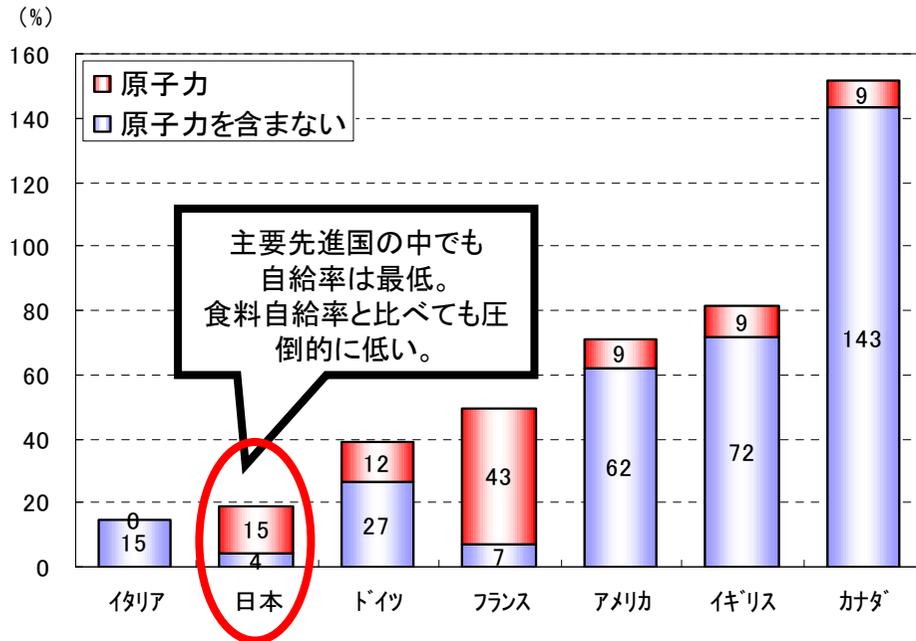
資源の枯渇



わが国のエネルギー自給率

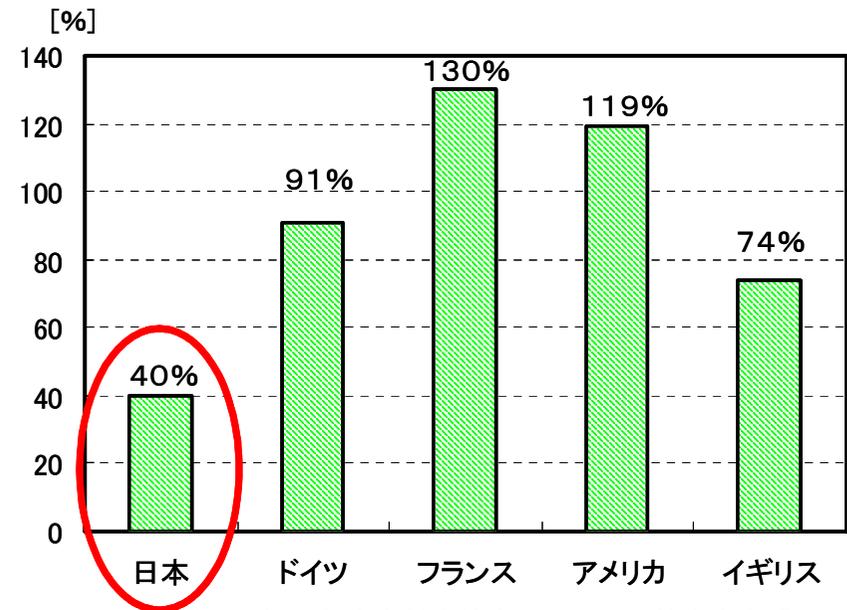
○わが国のエネルギー自給率はわずか4%であり、主要先進国中最低。
食料自給率(40%)よりも一ケタ低い。

＜主要国のエネルギー自給率＞



【出典】 OECD/IEA, 「EnergyBalancesofOECDCountries,2008Edition」

＜主要国の食料自給率＞



【出典:平成15年度食料自給率レポート(農林水産省)】

I 人類が直面している三つの大きな危機

I -0 人口爆発

I -1 化石燃料が涸渇する

石油、天然ガスは 50年以内 } なくなる

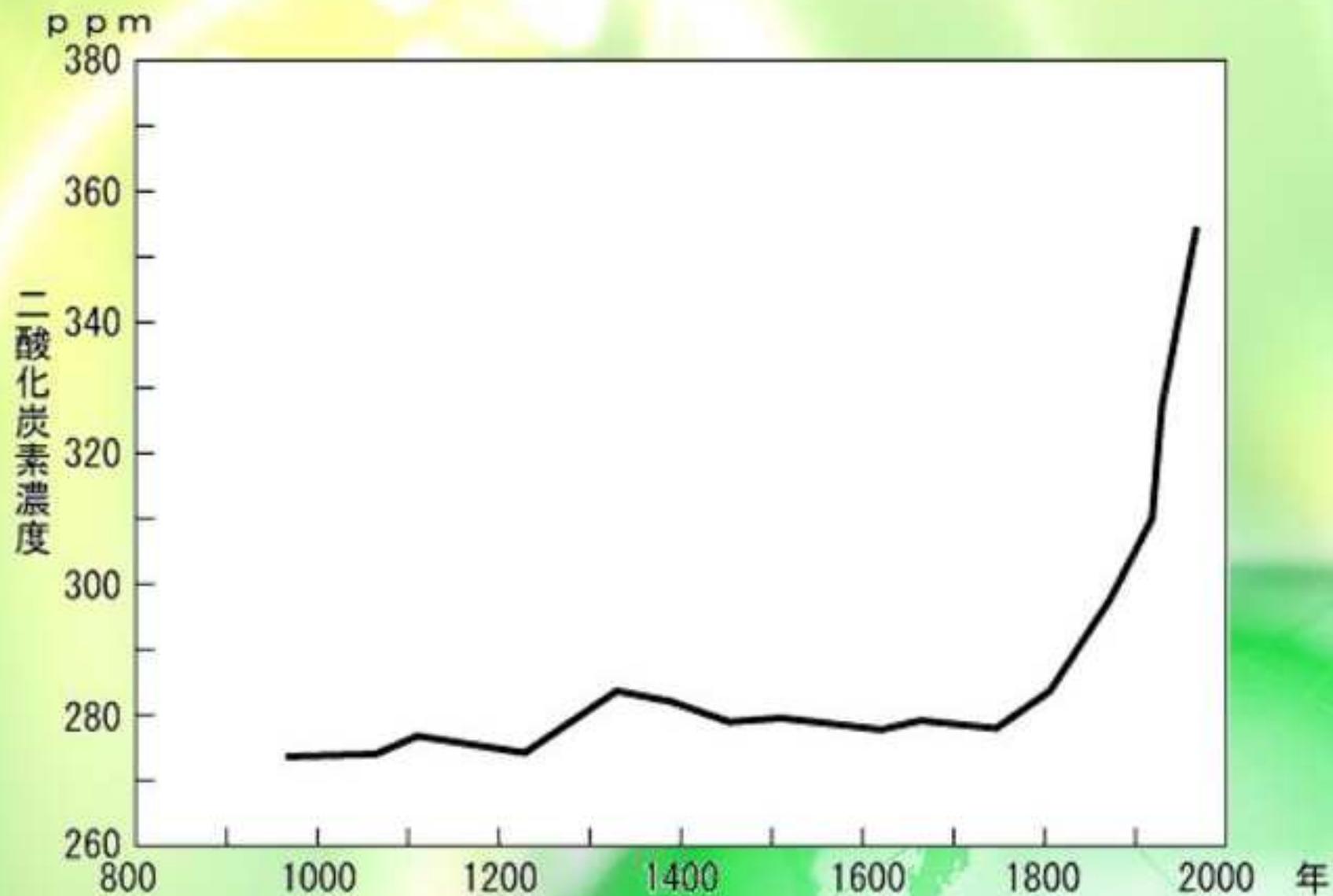
石炭は 130年以内

I -2 化石燃料を燃やせば空気中の二酸化炭素が

増え地球温暖化が進む

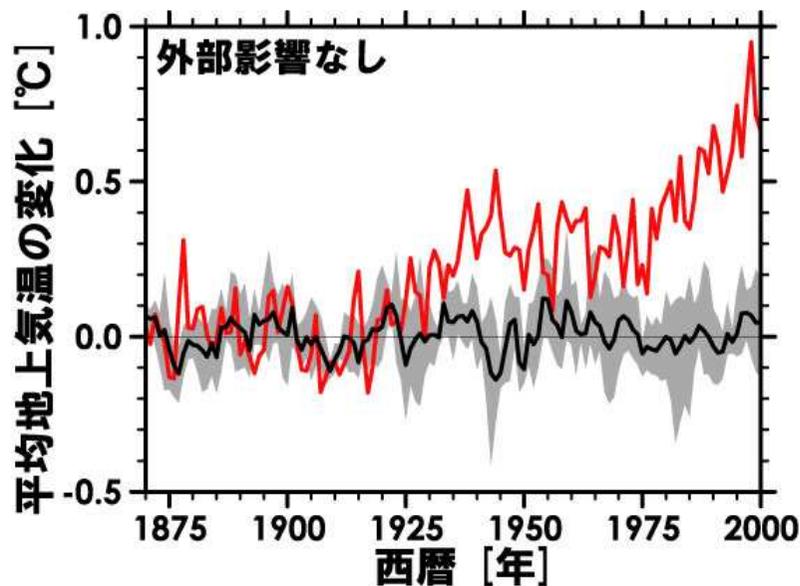
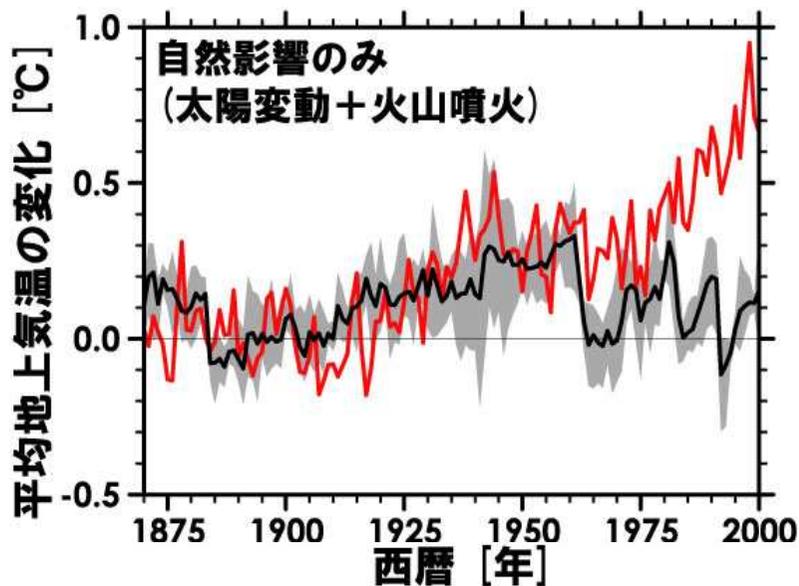
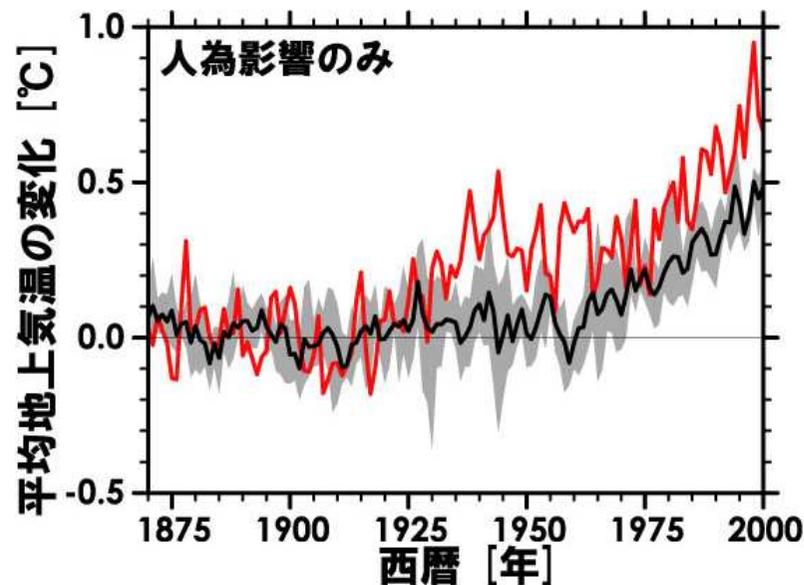
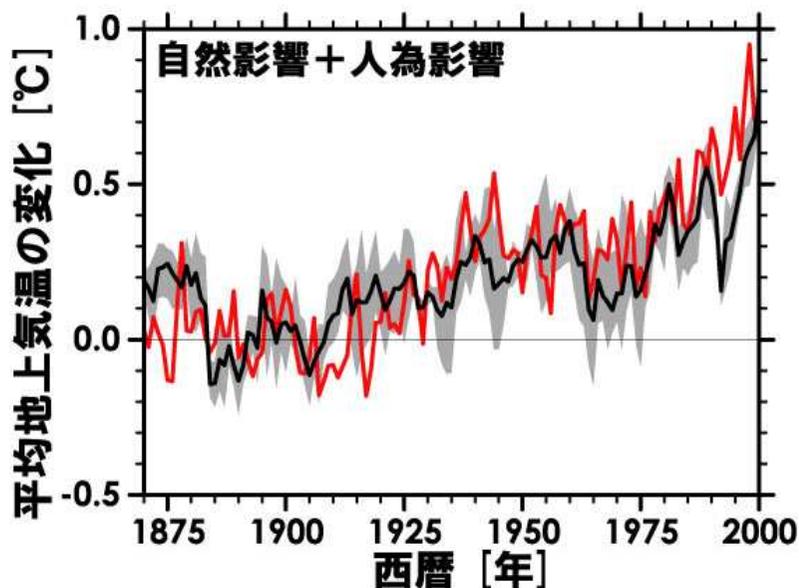
食料不足、海面の上昇、伝染病の流行等

図5 二酸化炭素濃度の経年変化(南極氷床コアの分析結果などから)



20世紀気候再現実験

全球平均地表気温—18世紀末からの変化



世界の表面温度が4°C上昇した世界(4°C World)

4°C世界では世界の50%が
居住不能に

沿岸部は海面水位上昇で居住が制限され、
砂漠が拡大、森林が枯死、海洋は生物の
住まぬ死の海へ

生存可能な人口は10億人以下

➤+4°Cの世界では世界人口の10%以下
が生存可能、人類にとっては生きるか死ぬかの問題

英国・気候変化に関するTyndall Centre所長
Kevin Anderson教授(2009年9月)

4°C世界の収容可能な人口は
10億人以下

ドイツ・Potsdam研究所長
Hans Joachim Schellnhuber教授
(2009年3月)

温暖化した地球(8°C以上)の
収容可能な人口は5億人以下

英国・James Lovelock博士(2006年)

2°C/CO₂・450ppm気候ターゲットは災害のための処方箋
(prescriptions for disaster)あるいは保証された災害(guaranteed
disaster)

➤これまでの0.8°Cの平均気温の上昇で危険な気候変化が起こりかねない。
CO₂濃度を350ppmに引き下げる必要がある(現在のCO₂濃度は390ppm)

米国・NASAゴダード研究所長 James Hansen博士

二酸化炭素排出量削減目標

- 京都議定書；2005年2月発効
- 2008年、日本におけるG8サミット
 - －2050年までに世界で50%削減（深刻な気候変動を回避するために不可欠）
- 2009年7月、イタリアのラクイラにおけるG8サミット
 - －2050年までに世界で50%削減を達成するために、先進国で80%を削減
- 2020年までの中期削減目標
 - 日本;1990年比25% (2005年比30%)削減(鳩山前首相)
 - EU ; 1990年比20-30%(2005年比14-25%)削減
 - 米国;1990年比3%(2005年比17%)削減

地球温暖化についてIPCCの不正行為以後、
市民に不信感がある

科学者は学問的知見について今日の状況を
市民に正しく伝えるべきである

学術会議で科学者の議論を行い、その結果を
公開すべきである

2 新エネルギーは有望

しかし負の面もあることに注意 食料への影響、
環境破壊等。税金を取ってでも促進せよ

- 2-1 新エネルギーの現状 バイオエネルギーを
もっと ただし食料は用いない
休耕田を再開発せよ、コスモスより菜の花を
- 2-2 日本の場合10年かけて一次エネルギーの
1%から3%へ、たった2%増
- 2-3 世界でも今の所2,3%程度
- 2-4 新エネルギーは高い、価格を下げる努力が必要

新エネルギーは理想的だが十分ではない

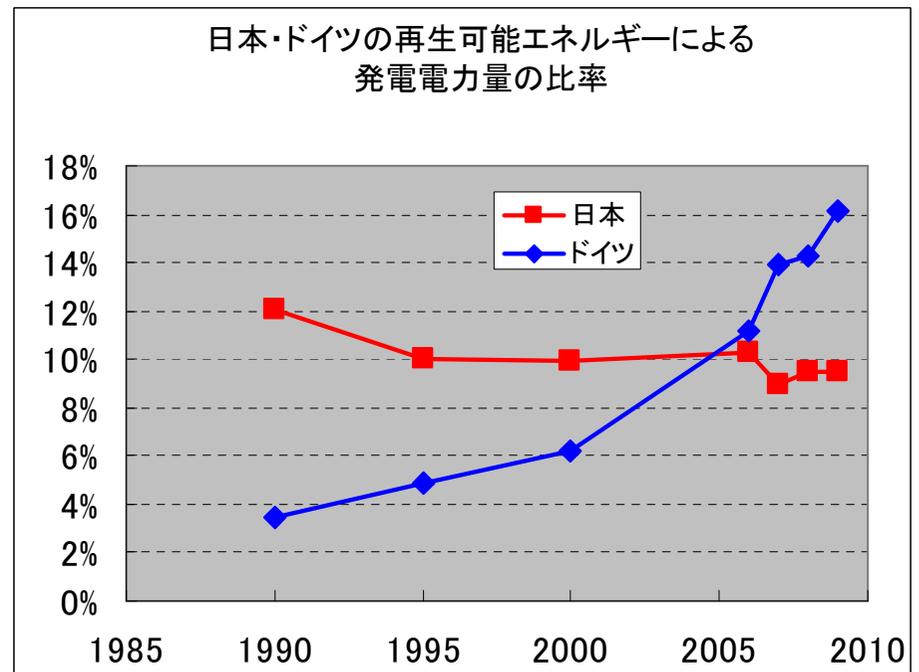
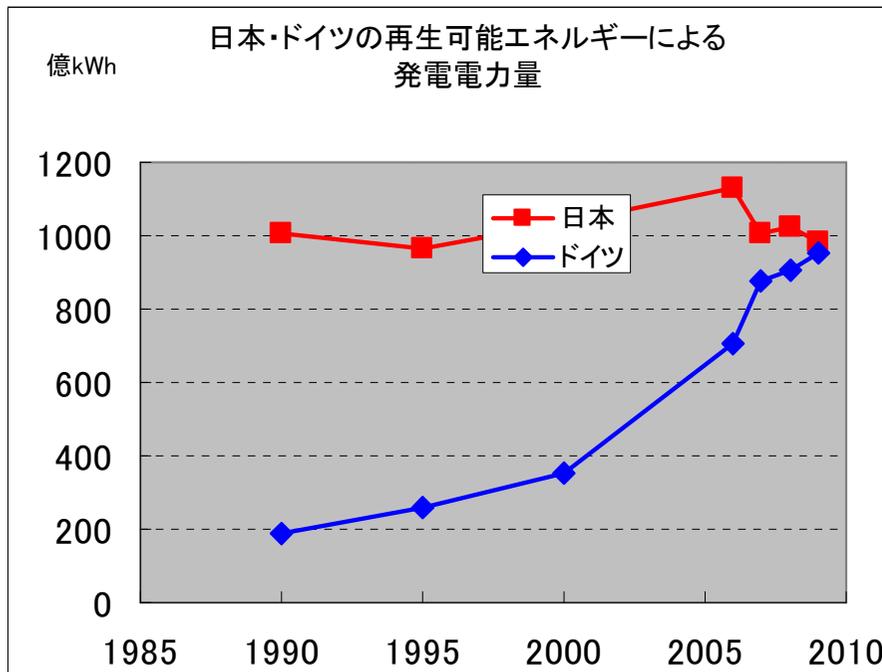
全電力供給に対する新エネルギーからの電力の割合(2008年)

国名	新エネルギーからの電力/ 全電力(%)
日本	2.4
アメリカ	3.1
イギリス	4.3
フランス	1.8
ドイツ	11.0
イタリア	5.3
スペイン	12.2
スウェーデン	8.2

注:新エネルギーは、再生可能エネルギーから水力を除いたものとした

再生可能エネルギーの発電電力量比

○ ドイツは風力発電だけで総発電電力量の約6.4%を占めるなど再生可能エネルギーの比率は高い



注: IEAの統計は日本の太陽光発電量、風力発電量が過小評価されているが、他の再生可能エネルギー（地熱、バイオマス、廃棄物発電等）の発電量に比べて値が小さいため、影響は小さいと考えられる

ドイツは新エネルギーで努力
しかし石炭を沢山燃して発電中(49%)
そのためCO₂の放出量は
フランスに比べてずっと多い(2倍)
しかも
フランスから輸入する電力は総発電量の3%
ヨーロッパの人々は現実主義者である

表4 新エネルギー導入目標

万kℓ(石油換算)

	2000年度 実績	2002年度 実績	2010年度			現行大綱 目標 (2002年)
			レファレンス	現行 対策推進	追加対策	
太陽光発電	8.1	15.6	62	118	118	118
風力発電	5.9	18.9	32	134	134	134
太陽熱利用	89	74	74	74	90	439
未利用エネルギー	4.5	4.6	5	5	5	58
廃棄物+ バイオマス発電	119.7	174.6	230.6	586	586	586
廃棄物熱利用	4.5	164	164	186	186	14
バイオマス熱利用	-	-	-	67	308	67
黒液・廃材等	490	471	483	483	483	494
バイオマス系小計	614.2	809.6	877.6	1322	1563	1161
総計(総供給比%)	722 (1.2)	923 (1.6)	1051 (1.7)	1653 (2.7)	1910 (3程度)	1910 (3程度)

地球温暖化大綱作成時の目標と、需給部会が見積もった現行対策を推進した際の予想値、および追加対策を行った場合の予想値
太陽熱利用依存からバイオマス熱利用依存に変更している

平成17年3月

総合資源エネルギー調査会需給部会

2000年度 実績

新エネルギーの総一次エネルギー

に対する比

= 1,2%

再生可能エネルギーの導入実績と見通し

「長期エネルギー需給見通し（再計算）」（2009年8月）

		2005年度 実績	2020年度	
			現状固定ケース	最大導入ケース
発電設備容量 (万kW)	太陽光発電	143	573	2,864
	風力発電	99	403	491
	廃棄物・バイオマス発電	194	324	363

（参考）新エネルギー導入の見通し（原油換算百万kL）

発電分野	太陽光発電	0.35	1.40	7.00
	風力発電	0.44	1.64	2.00
	廃棄物・バイオマス発電	2.52	3.64	4.08
熱利用分野	バイオマス熱利用	1.42	2.90	3.35
	その他	6.87	7.07	8.12
新エネルギー計		11.60	16.65	24.55
一次エネルギーに占める割合		2.0%	2.7%	4.4%

発電設備容量は一次エネルギー供給の値から計算（前回公表の長期エネルギー需給見通しにおける一次エネルギー供給と設備容量の比から求めた）

「その他」には、「太陽熱利用」、「廃棄物熱利用」、「未利用エネルギー」、「黒液・廃材等」が含まれる。「黒液・廃材等」の導入量は、エネルギー需給モデルにおける紙パルプ生産主意順に依存するため、モデルで内生的に試算された。

新エネルギー／一次エネルギー総供給量＝

2000年

2020年

1,2

2,7

現状ケース

4,4

最大導入

最大導入を計っても 20年間で 3,2%

10年間で 1,6%

20%にするには 100年かかる

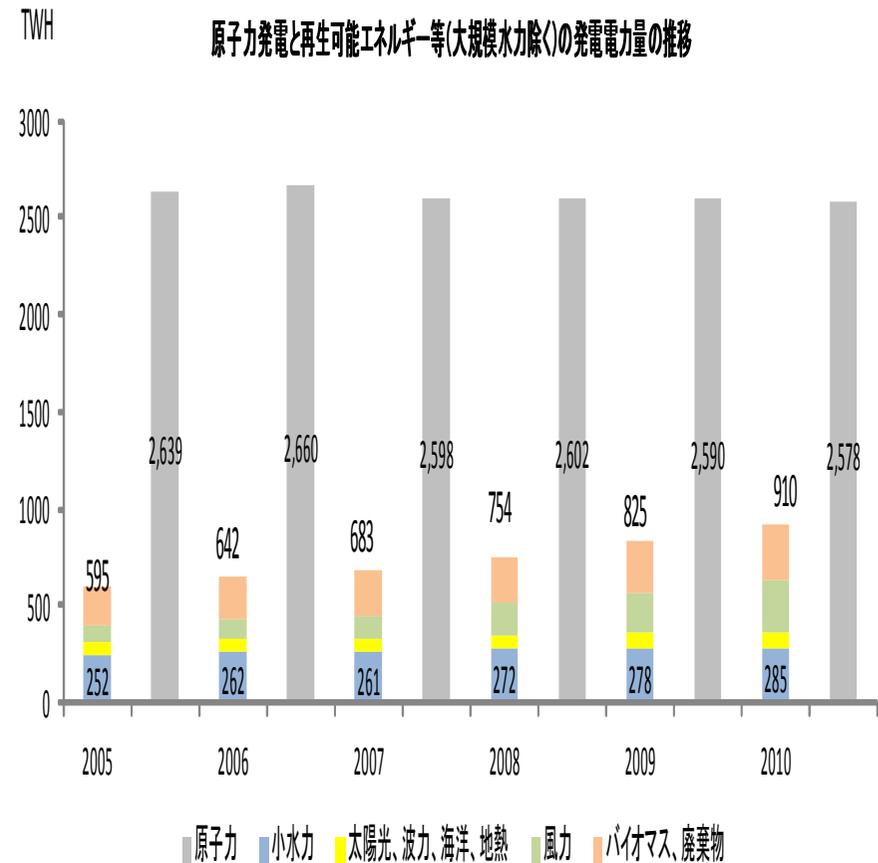
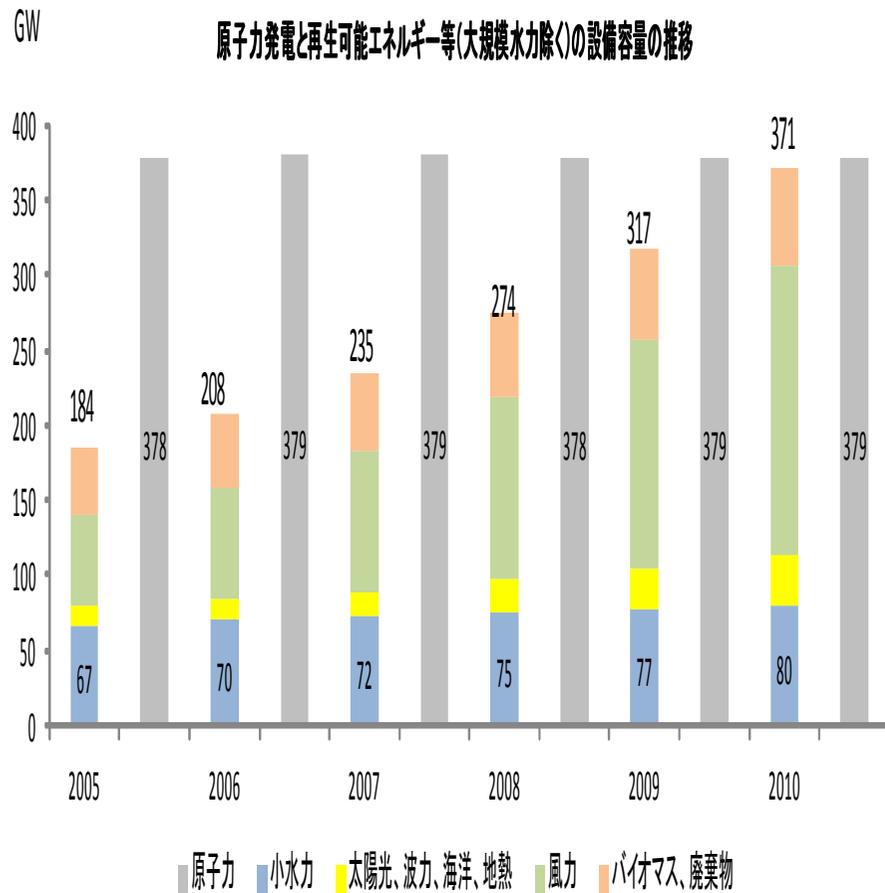
現在既に自然エネルギーによる発電は

原子力発電と同じくらいという説は本当か

世界の再生可能エネルギー等と原子力発電所の設備容量と発電電力量の比較

○ワールドウォッチのデータをもとに小水力の値を推計(※)すると、設備容量ベースではワールドウォッチ同様、2010年度には、再生可能エネルギー等が原子力発電とほぼ同程度になるまで増加している。

○一方、再生可能エネルギー等は稼働率が低いことから、**発電電力量**で見ると、再生可能エネルギー等は原子力発電の1/3低度に留まっている。



※)EIAのデータでは、08年度までしか公表していないため、09年、10年に関しては以下の方法で推計

・小水力(設備容量)の推計方法:05年→08年の水力発電(大規模含む)と同じ増加率で小水力も増加していると仮定し、10年の小水力の値から05年～09年の小水力の値を推計。

・小水力(発電電力量)の推計方法:設備容量ベースでの小水力/水力(大規模含む)比率を、水力(大規模含む)の発電電力量に掛けて、小水力の発電電力量を推計

・09年、10年の各電源毎の設備容量、発電電力量の推計方法:05年→08年の各電源の設備容量、発電電力量の伸び率が09年、10年にも適用して推計。

原子力発電50基と同じ量の発電を風力で

行うためにはどの位の面積と費用がいるか

風力発電で原発50基分の電力をつくるには

<発電電力量>

- 原子力発電(100万kW)50基分の年間発電電力量(設備利用率85%とする)

$$100\text{万kW} \times 8760\text{h} \times 85\% \times 50\text{基} = 3700\text{億kWh}$$

- 風力発電1万kWあたりの年間発電電力量(設備利用率18%※とする)

$$1\text{万kW} \times 8760\text{h} \times 18\% = 1600\text{万kWh}$$

⇒ **原発50基分の電力をつくるには、風力発電2.3億kWが必要**

※ 全国平均レベルの設備利用率

出典:再生可能エネルギーの全量買取に関するプロジェクトチーム第6回ヒアリング資料(H22.6.9)

【必要面積】

複数の風車を設置する場合は、風車間の干渉により風下側の風車の発電量が低減するため、一定の離隔※を確保する必要があり、**1万kWの風車設置には1km²の土地面積が必要**

※ 風力発電導入ガイドブック(2008年2月改訂第9版)

風車の風下に形成される風況の乱れた領域はウェーク領域と呼ばれ、この領域に風車を設置した場合、エネルギー取得量は大きく減少する。**ウェーク領域は風向と直角方向に3D(D:ロータ直径)、風下方向に約10D程度**であることが、実験や実測により確かめられている。したがって、複数台の風車設置を対象とするときには、これらのウェーク領域に設置地点が入らないようにすべきである。

※2,000kW級の風車のロータ直径は80m程度。

⇒ **風力発電2.3億kWの設置には、2.3万km²の土地面積(四国の面積の1.2倍)が必要**

【費用】

日本における風力発電システム価格は、約30万円/kW程度である。

⇒ **風力発電2.3億kWの設置には、約70兆円の費用が必要**

現在の原子力発電をとめ、それを天然ガスに
よる火力発電に替えたときの費用とCO₂の
発生量はどうか

原子力発電をLNGが代替？

原子力設備4885万kW、発電量2800億kWhをLNGで代替できるか

日本全国の既存LNG火力の稼働を仮に上げても（53%*⇒80%）、発電電力量は1400億kWh程度の増にとどまり、原子力2800億kWhの代替は困難。

（※平成20年度実績）

- 追加LNG21百万ト、燃料費約9000億円、CO2は年間56百万ト・日本の総排出量の11.5億トンの5%増。
- 生産能力・LNG基地の増強、輸送船の新造、ガス生産能力増強が必要で即効性に乏しい。

原子力2800億kWhを新設LNG火力で代替：

- 年間40百万トンの追加LNGが必要で、燃料費だけでも約1兆8000億円。
- 4885万kWの新設に要する建設費は約8兆円。
- CO2排出量は最も効率の良いケースで年間約1億トン増加。
- そして、ガス探査が必要。

新エネルギーの問題

太陽や風力は発電が止まることがある

そのため定常的に発電する必要がある

そのため火力発電を増したのではかえってCO₂が増す

エネルギー密度が低い 大きい面積が必要

仮に、総発電量を太陽光で全量賄うとすれば、16,172km²必要で、東京都、神奈川県、埼玉県、千葉県を合計した面積より大きい。

$$1.19兆kWh \div 73.58kWh/m^2 = 16,172km^2$$

*ただし、蓄電池のロスは考慮していない。

安定電力供給のため原子力発電が役立つ

バイオエネルギーを増すために水が多量にいるのが問題

世帯数ではマンションも入るため、一戸建てすべての屋根に
太陽電池を載せると仮定

【前提条件】

日本の一戸建て住宅数...2650万戸(総務省「日本の統計」

H15年より)

太陽電池の出力(一戸建て)...およそ3kW程度(東電内聞き取り)

太陽電池の設備利用率...12%

(総合資源エネルギー調査会 新エネルギー一部会

第6回RPS法小委員会資料2007)

日本の電力の総発電量 ...1. 19兆kWh(生産量) H19年

日本の一次エネルギー消費量 ...5. 3億t(原油換算)H18年

(電気エネルギー換算→6. 1兆kWh)

【計算】

$$\begin{aligned} \text{全太陽電池総発電量(年間)} & 3(\text{kW}) \times 8760(\text{h/Y}) \times 0.12 \times 26500000 \\ & = 836 \text{億kWh/Y} \end{aligned}$$

日本の電力総発電量に占める割合 ...7%といったところ(約7.0%)

$$836 \text{億kWh} \div 1.19 \text{兆kWh} = 0.07$$

日本の一次エネルギー消費量に占める割合...1%は越えるが2%にも満たないレベル(約1.4%)

$$836 \text{億kWh} \div 6.1 \text{兆kWh} = 0.014$$

仮に、総発電量を太陽光で全量賄うとすれば、16,172km²必要で、東京都、神奈川県、埼玉県、千葉県を合計した面積より大きい。

$$1.19 \text{兆kWh} \div 73.58 \text{kWh/m}^2 = 16,172 \text{km}^2$$

*ただし、蓄電池のロスは考慮していない。

寒冷期であろうと、温暖化が進もうと
エネルギー、燃料が十分にあれば
何とか対策が立てられる。

化石燃料が全くななくなったらどうするか
→ 石油文明の崩壊

短期的にエネルギー不足、電力不足により

経済的不安や危機を起してはならない

3 再生可能エネルギーが十分になるまで原子力の

安全性を確保した上で原子力も使わざるを得ない
地震対策はかなり進んだが更に強化せよ

しかし津波は対策が不十分であった

地震だけでも冷却用の非常電源に問題があった
その安全対策を根本的に考えなおし、
安全を確保せよ

22世紀には原子力と新エネルギーしかない

Ⅱ 石油文明の滅亡に対処せよ

- Ⅱ-1 新エネルギーは総力をあげて増やせ
税金をとってでも推進せよ
国や自治体、電力関係企業だけに頼るな
- Ⅱ-2 しかし新エネルギーだけでは間に合わない
ユートピアを描きすぎるな
もっと現実をよく認識せよ
- Ⅱ-3 科学技術を進めよ
省エネルギーを推進せよ
二酸化炭素を閉じ込めよ

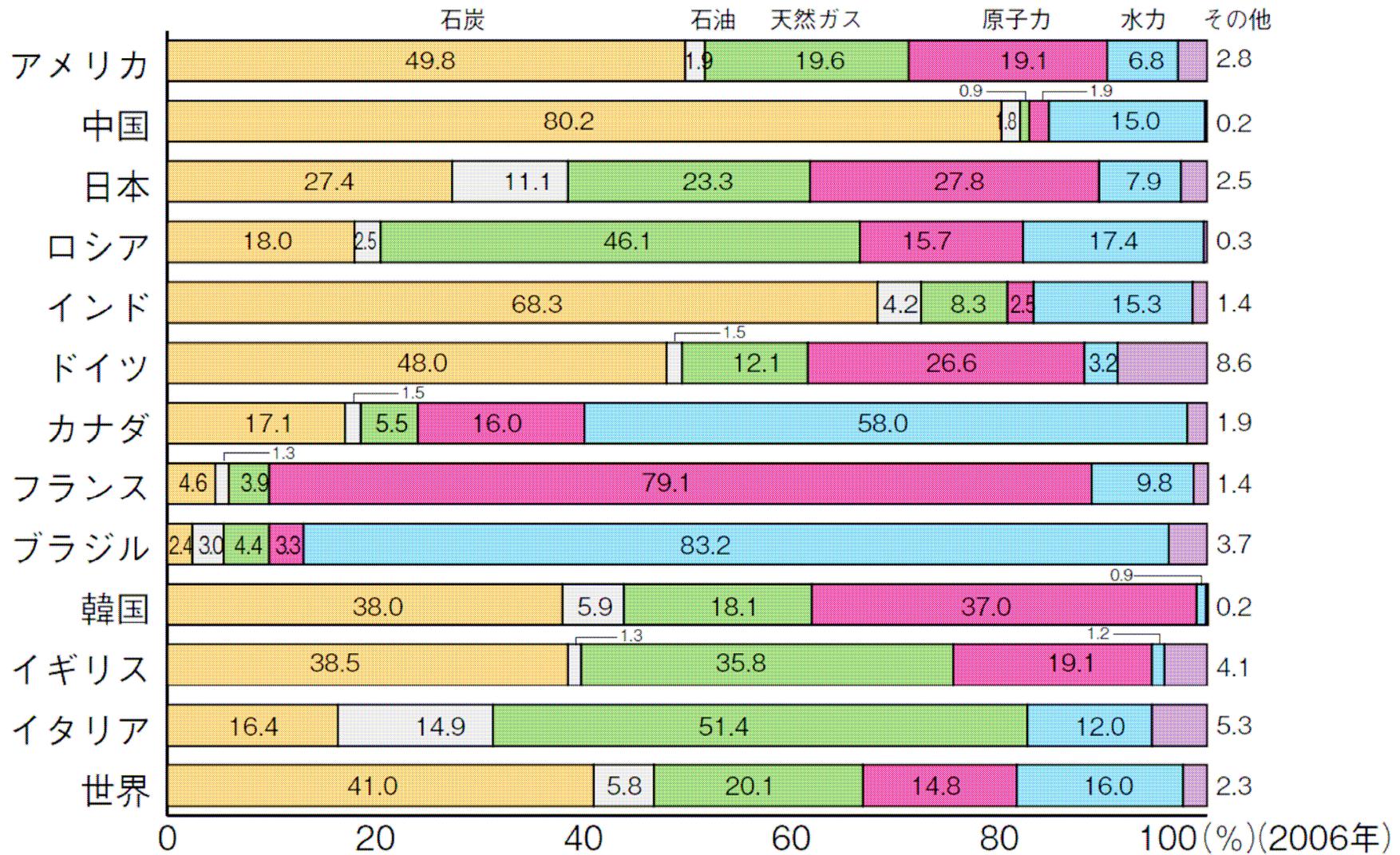
Ⅱ-4 再生可能エネルギーが十分使えるようになる迄は安全性を十分確保した上で原子力も活用するか方法がない化石燃料を節約するにもCO₂の排出量を減らすにも

4-1 世界の原子力の利用度

4-2 これ程利用している現実に着目せよ

4-3 2050年にはもう少し新エネルギーそして核融合が使えるようになるかも知れない
そうなる努力をせよ

各国の総発電電力量における原子力発電の割合



(注) 四捨五入の関係で合計値が合わない場合がある。

出典：ENERGY BALANCES OF OECD COUNTRIES 2008 Edition
ENERGY BALANCES OF NON-OECD COUNTRIES 2008 Edition

Ⅱ-5 原子力の良い点、問題点

良い点 CO₂を出さない

問題点

核燃料使用済廃棄物の処理

2国のみ処理場決定

フィンランド オルキルオト

スウェーデン フォルスマルク

処理方法の安全性は研究済み

更に安全の確保の研究を開発中

国の責任で使用済核燃料のリサイクルや廃棄物の処理を行え。民間企業にまかせるな。

II-6 使用済核燃料の処理法を開発せよ

ウラン235も現在の使い方では80年で涸渇

リサイクルを確立せよ

トリウムの利用も必要になる

トリウム炉の開発研究を

小型原子炉、高温ガス炉等の開発研究を

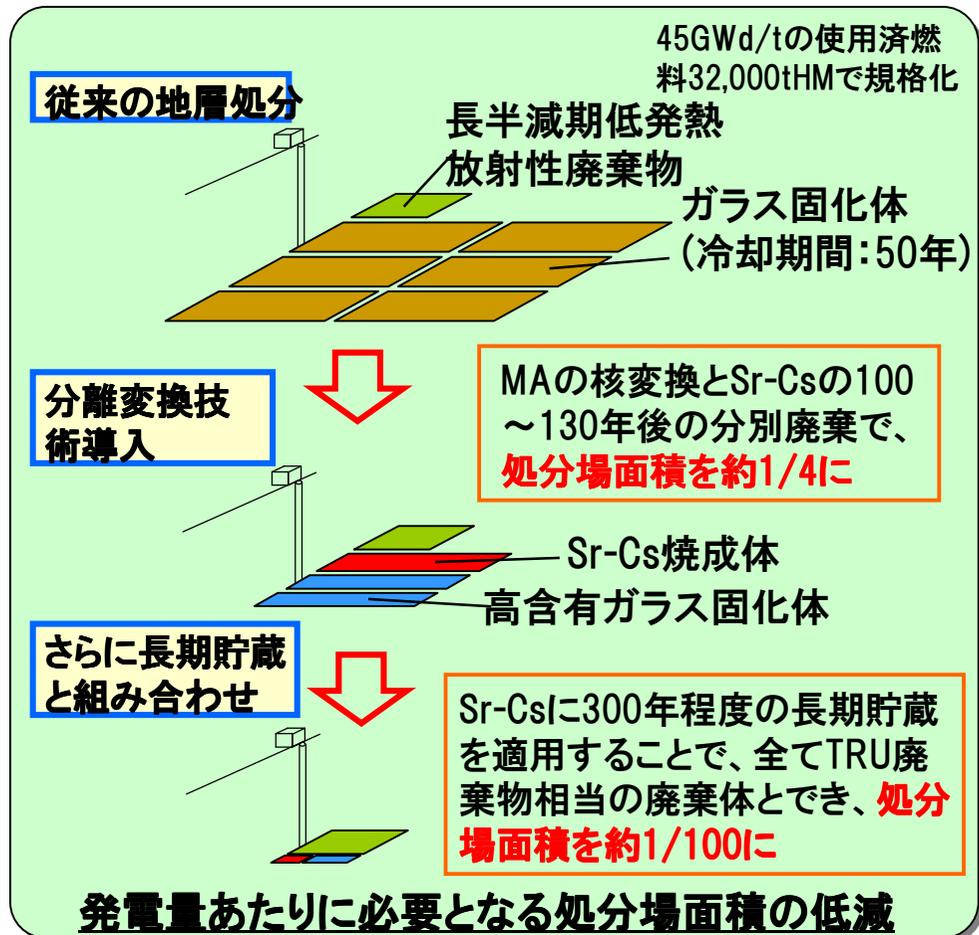
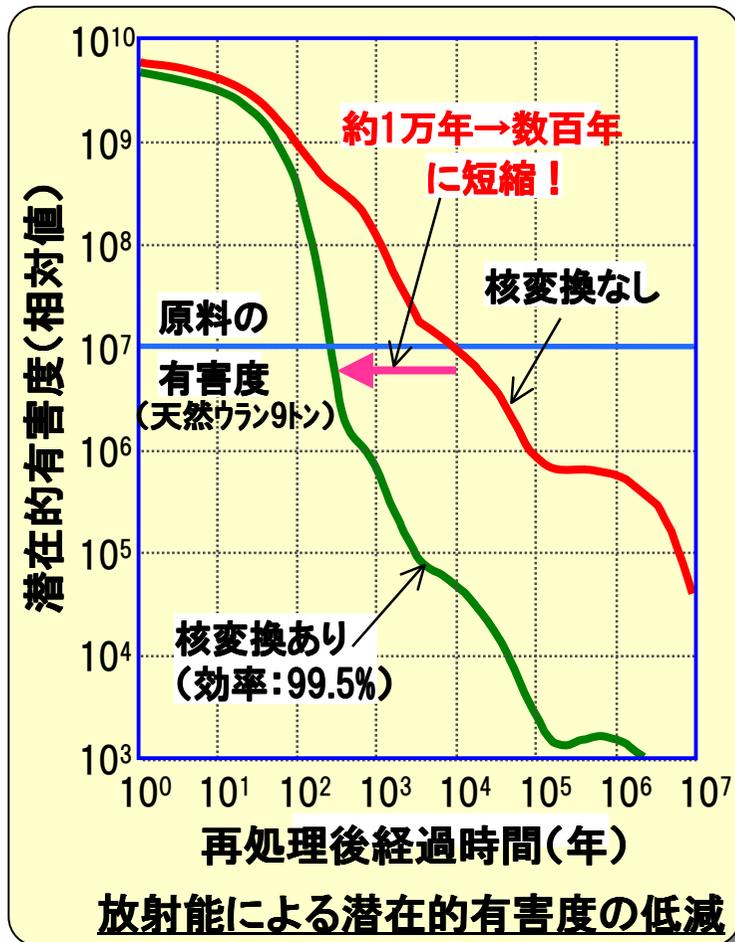
Nucleartransmutation を開発せよ

使用済核燃料の中にある貴重な資源を
取り出せ

分離変換技術の導入効果

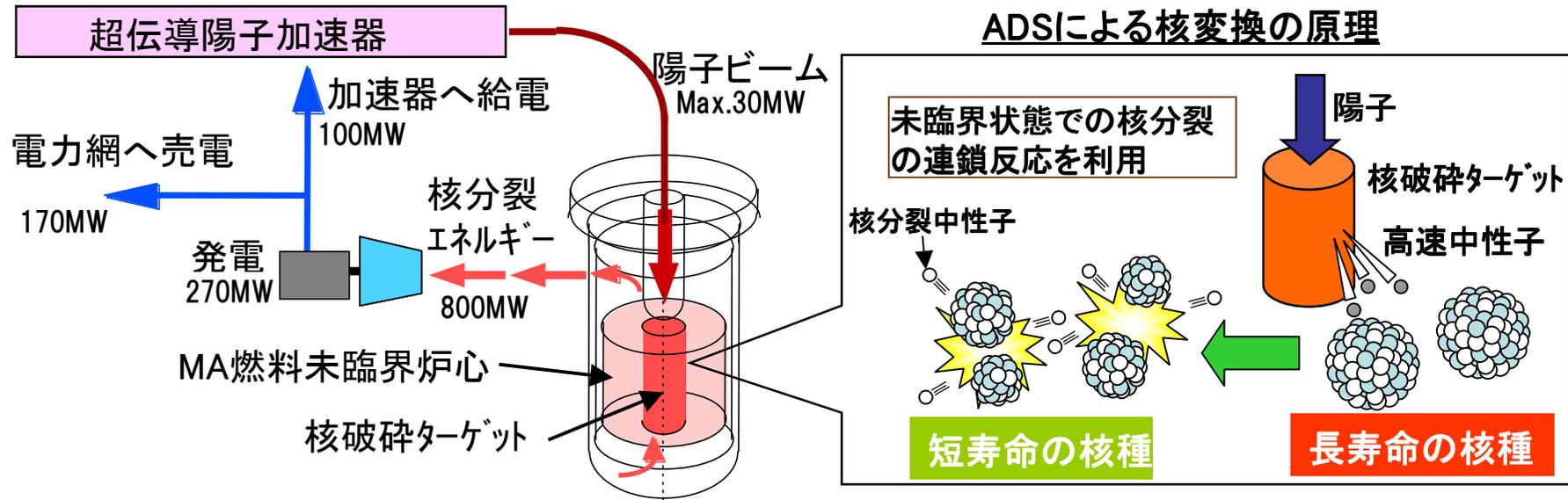
高レベル放射性廃棄物の

- ◆ 放射能(特に α 崩壊核種)を → **短寿命化** (1万年から数百年に)
- ◆ 発熱を減らして処分場を → **コンパクト化** (究極的には千年に1箇所)



MA: マイナーアクチノイド、Sr: ストロンチウム、Cs: セシウム

加速器駆動システム(ADS)を用いた核変換



ADSの仕組み:

- ・超伝導加速器で大強度の陽子を高効率で加速。
- ・陽子はビームダクト・ビーム窓を通過して鉛・ビスマス(Pb-Bi)に入射。
- ・Pb-Biは核破碎ターゲットと炉心冷却材を兼ねる。
- ・燃料の主成分はマイナーアクチノイド(MA)。
- ・陽子はPb-Biとの核破碎反応で大量の中性子を発生。
- ・その中性子によりMAを核分裂反応で核変換。
- ・さらに核分裂で発生した中性子も核変換に使用。
→核分裂の連鎖反応で、1個の中性子を20個に増倍。
- ・核分裂で発生する熱で発電し、加速器に供給。

ADSの特徴:

- ・加速器を止めれば核分裂の連鎖反応は停止
→ 安全性が高い。
- ・通常の原子炉(臨界炉)でMA燃料を用いると安全上の問題が生じるが、ADSでは影響が小さいため使用可能。
- ・Pb-Biは化学的に不活性。

分離変換技術に関する世界の動向

□ 米国

- オバマ政権は、ヤッカマウンテン処分場見直しを表明。
- ブルー・リボン・パネルを設けて、今後の政策を検討中。

□ フランス

- 2006年の「廃棄物管理研究法」に基づき、ADSとFBRの両方を並行して研究
- 但し、ADSは下記の欧州の枠組みが中心。

□ ベルギー

- 老朽化した照射炉(BR2)の代替として、50MW程度の出力を持つ照射用ADSであるMYRRHAの2015年着工を目指して研究・開発・設計を精力的に実施中
- 核変換実験、鉛合金高速炉開発、燃料・材料照射、RI製造等が目的。

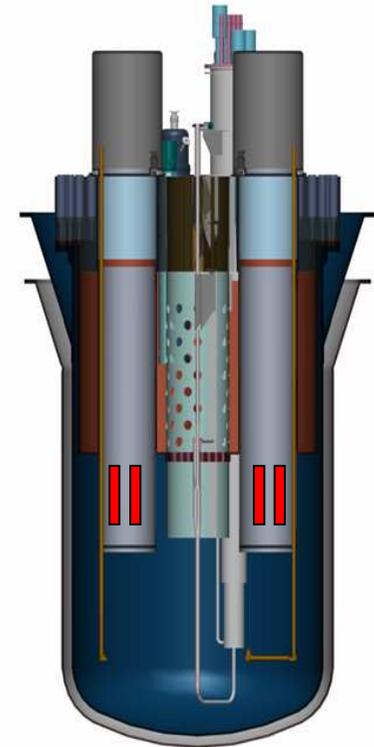
□ 欧州

- 様々な原子力政策の国が集まるが、廃棄物処分の負担軽減のニーズは一致。このため、分離変換技術の研究開発を精力的に展開
- 欧州枠組みプログラム(FP6、FP7等)においてEUROPART、EUROTRANS等の多様なプロジェクトを展開し、研究者・技術者の教育・育成にも活用。

□ 中国： DT中性子源と未臨界体系を組み合わせたADS模擬実験装置VENUSを設置

□ インド： トリウム資源の利用を狙ったADSの研究を実施中

□ OECD/NEA、IAEA： 分離変換技術に関する情報交換会議やベンチマーク活動を主催

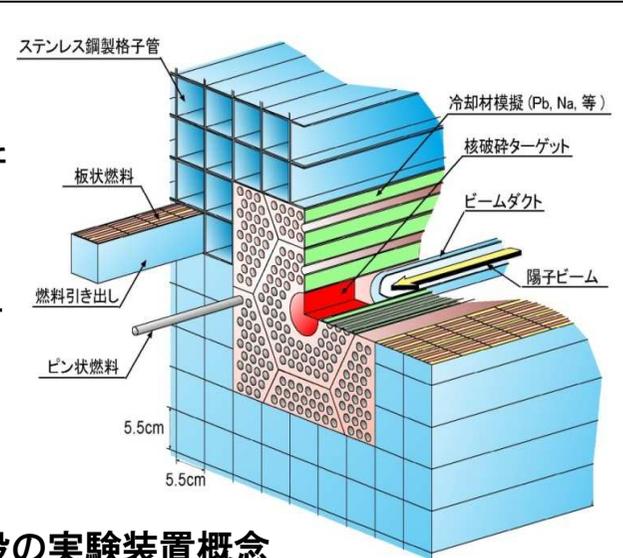


ベルギー原子力研究センターで建設が計画されてる照射用ADS:MYRRHA

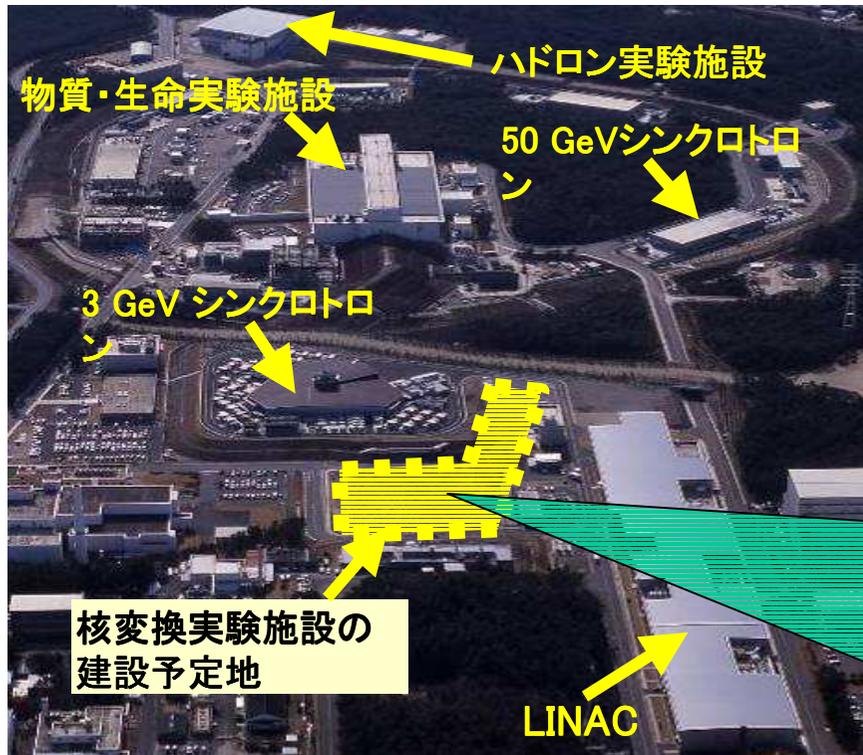
J-PARC第Ⅱ期 核変換実験施設

- J-PARCの第Ⅱ期として、「**核変換実験施設**」の建設を計画。
- マイナーアクチノイド(MA)含有燃料を扱い、ADSとFBRの模擬実験を行う「**核変換物理実験施設**」と、ADS用核破碎ターゲットの開発を行う「**ADSターゲット試験施設**」で構成。
- 「核変換物理実験施設」を優先して整備する予定。

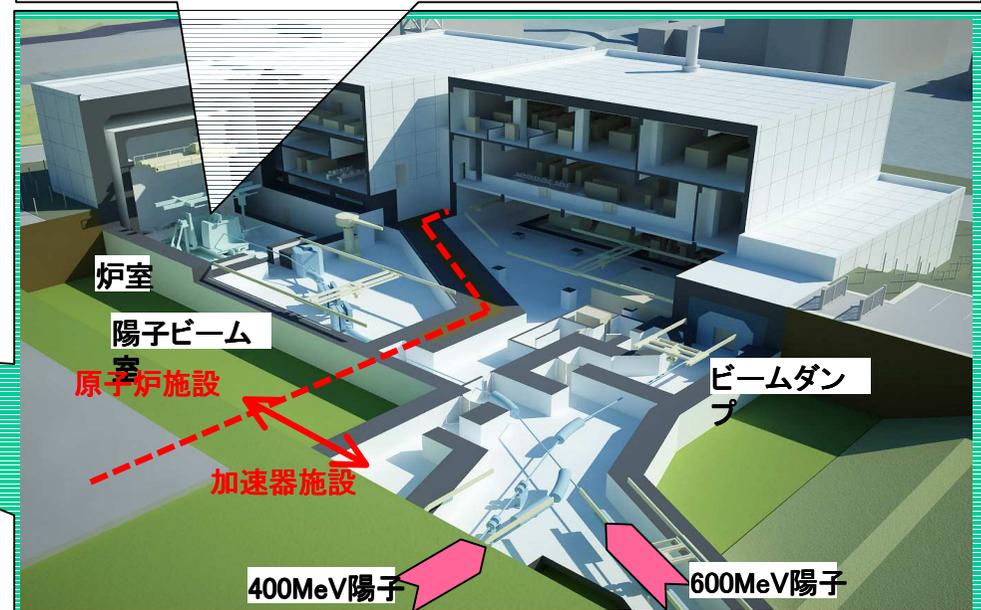
- 出力500W程度の低出力運転で核変換システムの物理特性を研究
- MA含有ピン状燃料のために、冷却設備、遠隔取扱設備等を整備
- ADSの模擬実験時は、10W程度の低出力陽子ビームを導入
- FBRの模擬実験時は、核破碎ターゲットを取り外し、臨界状態で運転



核変換物理実験施設の実験装置概念



J-PARCの加速器及び施設の全景



核変換物理実験施設の構想図

核融合発電の実現を急げ

分裂型原子力に不安を感じる人が多い今日こそ
もっと努力せよ

高速中性子炉の研究をしっかりと進めよ

安全な小型原子炉や高速ガス炉などの開発研究
を進めよ

東日本大震災の経験を踏まえて根本的に原子力発電の
安全性確保の研究を行え

さまざまな新たな事故の想定を進め、それへの対策を確立せよ

地震研究者、防災工学者の役割が重要

津波への警告は殆どなかった。土木工学会は検討していた

地震、特に断層は随分議論された

5 原子核研究者の責任

原子核物理学者は核分裂・核融合を発見し原子力の基礎を作った

しかし原子爆弾の利用を許してしまった

原子核研究者の原罪とも言える

平和利用のためにこそ努力をしよう

そのため使用済核燃料の処理の研究をしよう

そして人々にエネルギーの危機の現状を真剣に語ろう

結 論

- 1、 私たちは人類が直面している一次エネルギー資源の涸渇、人間によるCO₂放出が起す可能性の高い地球温暖化の危機を克服するため総力を挙げて科学・技術の研究開発を進めなければなりません。
- 2、 化石燃料が早晚無くなった時、人類が使えるものは、太陽、風力、バイオ・マス、水力などの自然エネルギーと核分裂と核融合による原子力しかないと言えます。

そのうち太陽光や風力による発電は、不規則ですから、どうしても水力やバイオによる液体燃料そして原子力のように恒常的に発電できるものとの組合せが必要です。

又電力を貯蔵する方法を確立することが大要です

スマート・グリッドのような方法を早く確立させることが必要です

一方で核融合の実現へ努力し、更に原子炉の安全安心を確保して運転しながら、使用済の核燃料の処理問題を解決しなければなりません。それには使用済核燃料を再処理し、一つにはPUを取り出して使うことにより、エネルギーの自給率を上げ、U238を活用すること、そして又SrやCs, Tc, Pdなどの貴重な資源を取り出すことが必要です。そして加速器駆動システムを実現して、MAなどを核分裂させて電力を発生させると同時に寿命の短い核種に変換させることが望まれます。