

# 原子力発電の特性について - 他電源との比較 -

地球環境保全・エネルギー安定供給のための  
原子力のビジョンを考える懇談会

第2回

平成19年10月12日

日本原子力研究開発機構  
経営企画部戦略調査室

# この資料の目的について

1

原子力発電の特性を把握するために、特徴的な項目について他電源との定量的な比較例\*を紹介する

経済性

(発電原価、外部コスト、投資コスト、設備利用率等)

供給安定性

(資源入手、備蓄性、技術的信頼性等)

持続性

(資源量、廃棄物による環境負荷等)

安全性

(通常運転時の健康影響、重大事故の実績等)

温暖化対策としての有効性

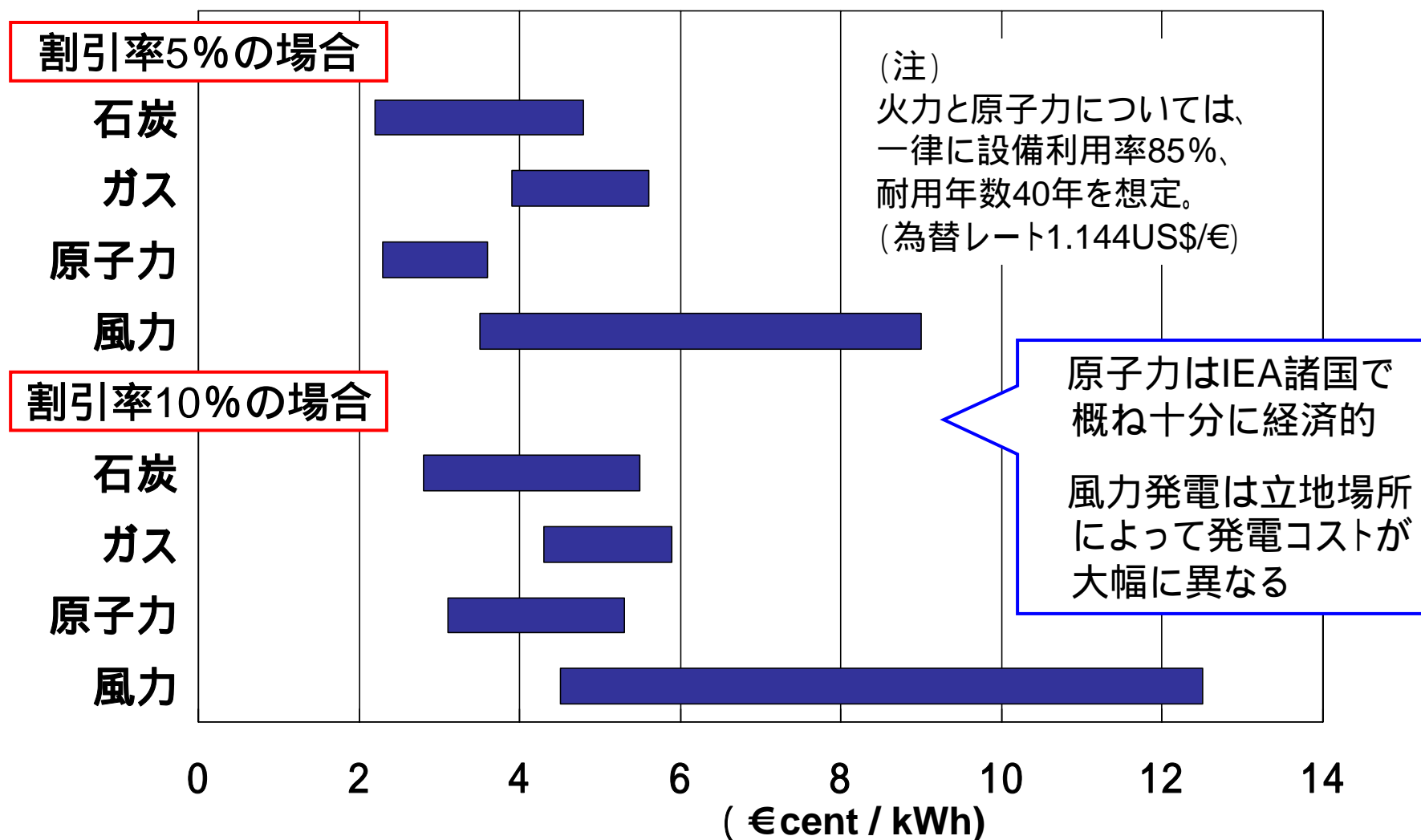
(温室効果ガス排出量、将来的ポテンシャル)

\* この種の比較分析では、前提条件の設定値、計算上の仮定(何をどこまで計算に組み込むか)等に応じて結果が変動するので、それらに基づく不確かさがあることに十分留意して、幅を持って結果を解釈することが必要である。

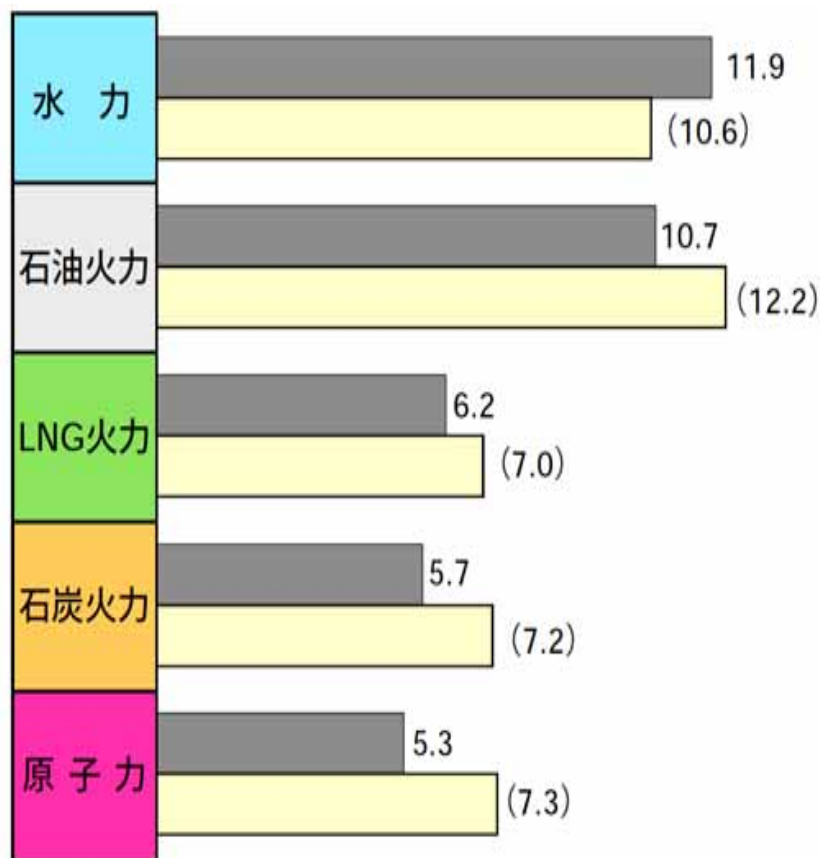
# 経済性

## 耐用年数均等化発電原価

(IEA-NEA 2005年評価に基づく)



データの出所: Risks and Benefits of Nuclear Energy, OECD/NEA (2007) (注: "Projected Costs of Generating Electricity, IEA and NEA (2005)" における国別コスト評価結果の分布幅のうち、5% ~ 95%の範囲を示したもの)



上段 ■ 運転年数を各電源とも40年とした場合  
・割引率は各電源とも3%とした。

下段 ■ 運転年数を各電源の法定耐用年数(水力40年、石油15年、LNG15年、石炭15年、原子力16年)に置き換えた場合  
・割引率は各電源とも2%とした。

### <試算の前提>

電源別諸元	運転年数	設備利用率	1基当たりの出力
水力	40年	45%	1.5万kW
石油火力	40年	80%	40万kW
LNG火力	40年	80%	150万kW
石炭火力	40年	80%	90万kW
原子力	40年	80%	130万kW

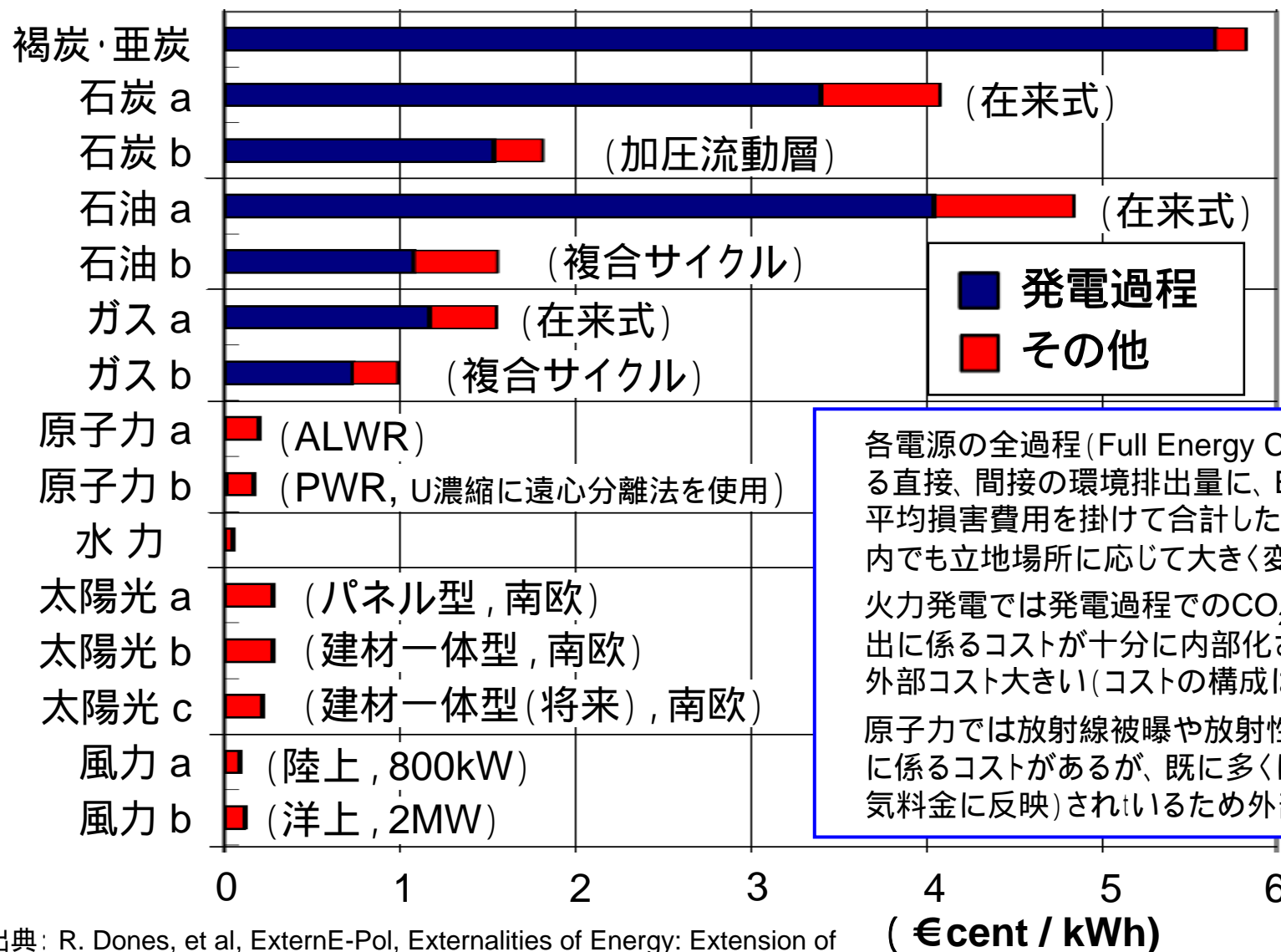
- ・平成14年度運転開始ベース
- ・為替レート(平成14年度平均値): 121.98円/\$
- ・燃料価格(平成14年度平均値):
  - 石油 27.41 \$/bbl
  - 石炭 35.5 \$/t
  - LNG 28,090円/t
- ・石油、石炭、LNGの燃料上昇率: IEA「World Energy Outlook」

### <原子燃料サイクルコストの内訳>

原子燃料サイクルコスト計	1.47円/kWh
フロントエンド計	0.66円/kWh
バックエンド計	0.81円/kWh
再処理(輸送込み)	0.50円/kWh
中間貯蔵(輸送込み)	0.04円/kWh
HLW貯蔵・輸送・処分	0.15円/kWh
TRU処理・貯蔵・処分	0.09円/kWh
再処理デコミ	0.03円/kWh

出典: 電気事業分科会コスト等検討小委員会資料(平成16年1月)

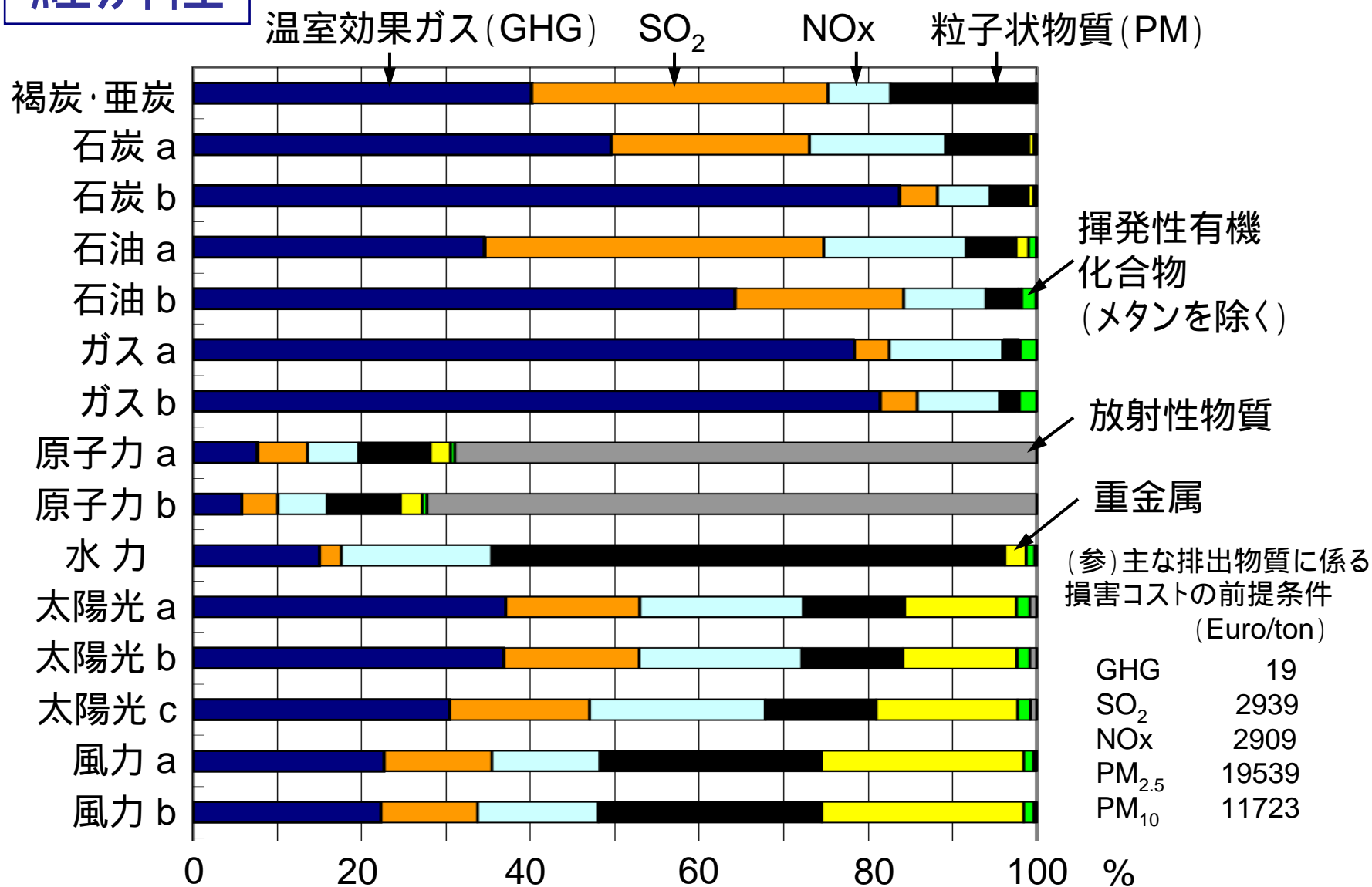
### < 既存技術に関する欧州の分析事例 >



各電源の全過程 (Full Energy Chain) にわたる直接、間接の環境排出量に、EU-15地域の平均損害費用を掛けて合計したもの(注: EU内でも立地場所に応じて大きく変化する)

火力発電では発電過程でのCO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub>等の排出に係るコストが十分に内部化されておらず、外部コスト大きい(コストの構成は次頁)。

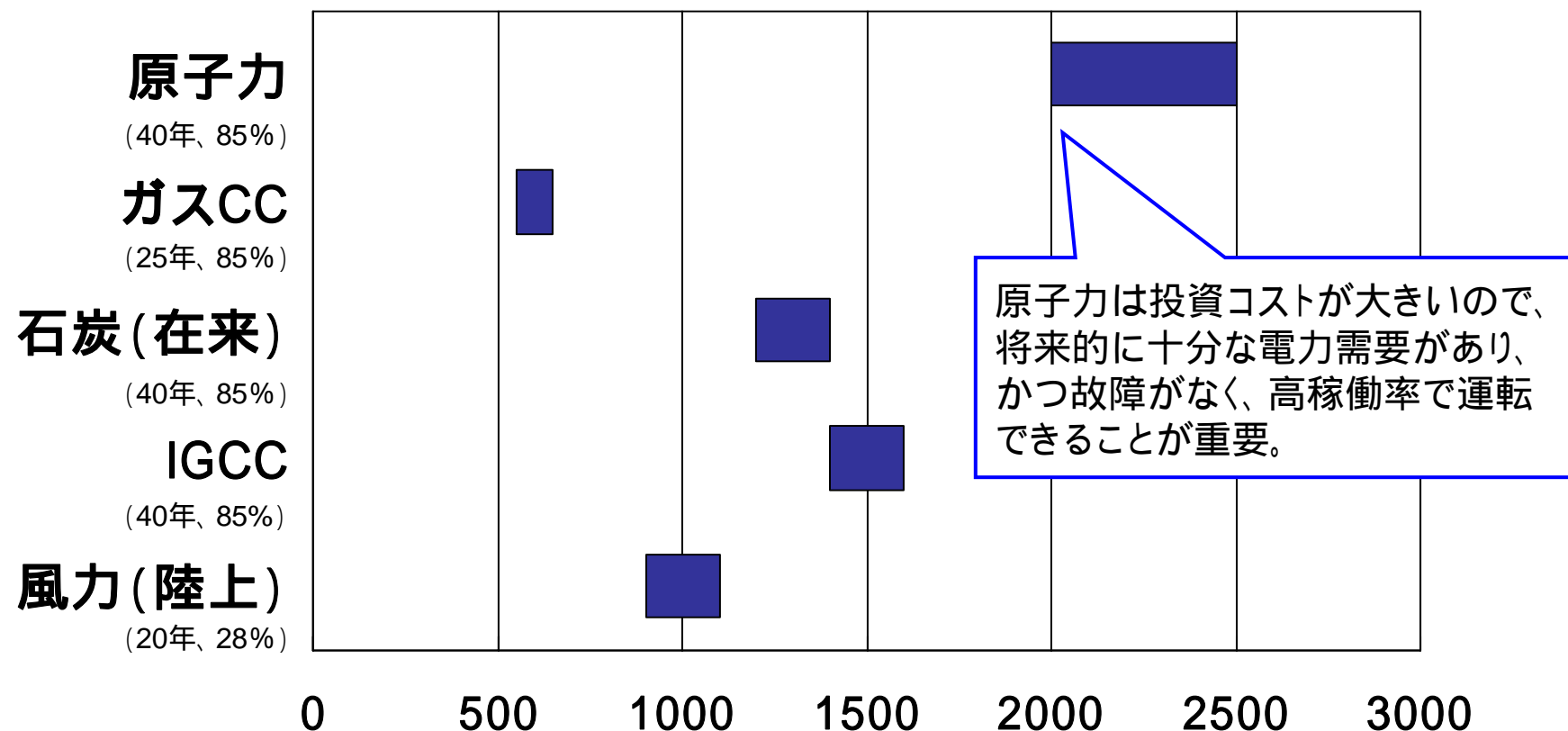
原子力では放射線被曝や放射性廃棄物処分に係るコストがあるが、既に多くは内部化(電気料金に反映)されているため外部コストは小。



出典: R. Dones, et al, ExternE-Pol, Externalities of Energy: Extension of Accounting Framework and Policy Applications (July 2005) に基づく

# 経済性

## 初期投資コスト (IEAの検討に基づく)



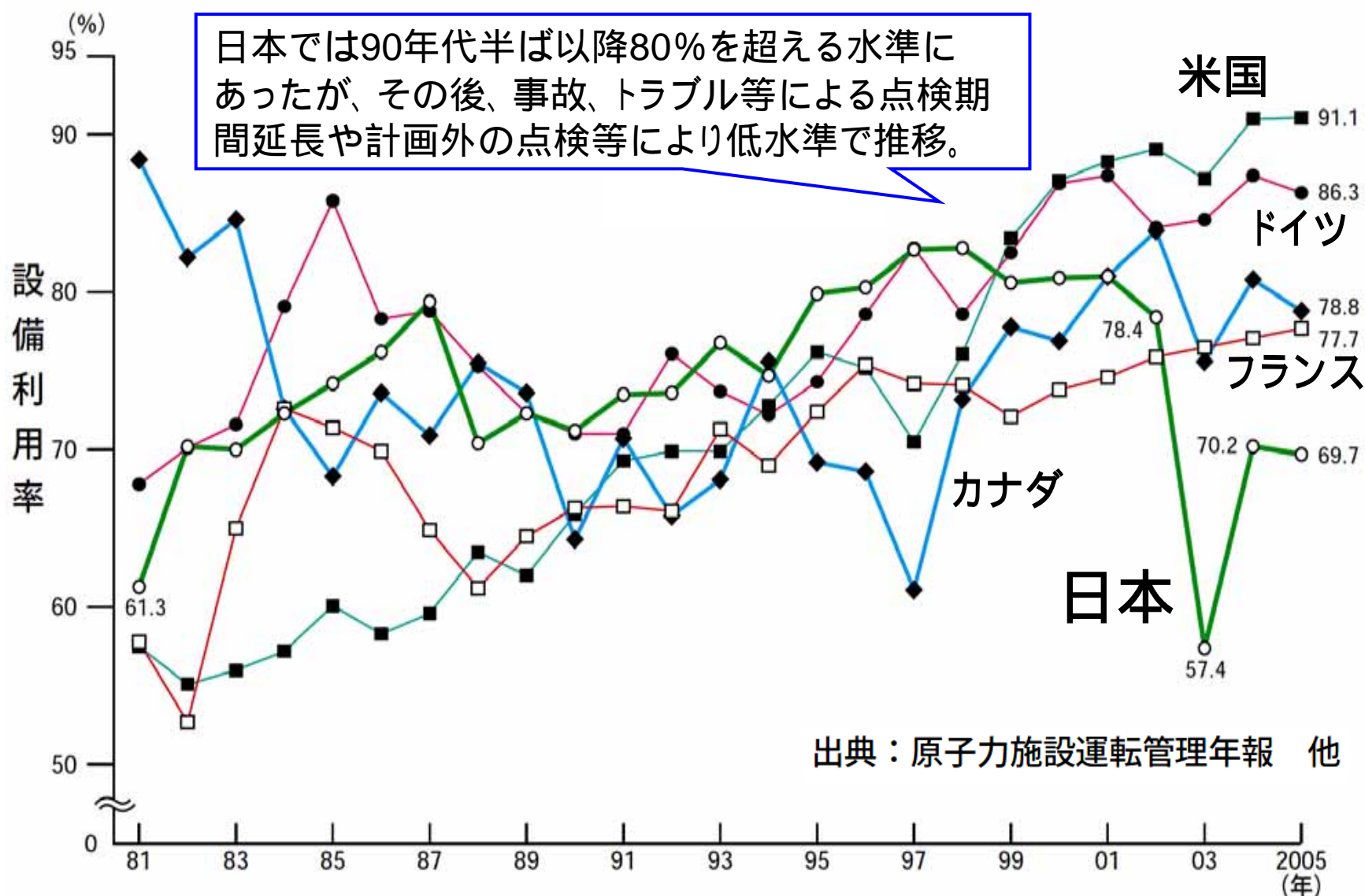
- (注) ・ ガスCC: 天然ガス複合サイクル発電  
 ・ IGCC : 石炭ガス化複合サイクル発電  
 ・ 建中利子等の金融コストを除く  
 ・ コストの幅は地域による違いに基づく  
 ・ 各電源のカッコ内は(耐用年数、設備利用率)

米国 \$ / kWe

データの出所: World Energy Outlook 2006, OECD/IEA (2006)

# 経済性

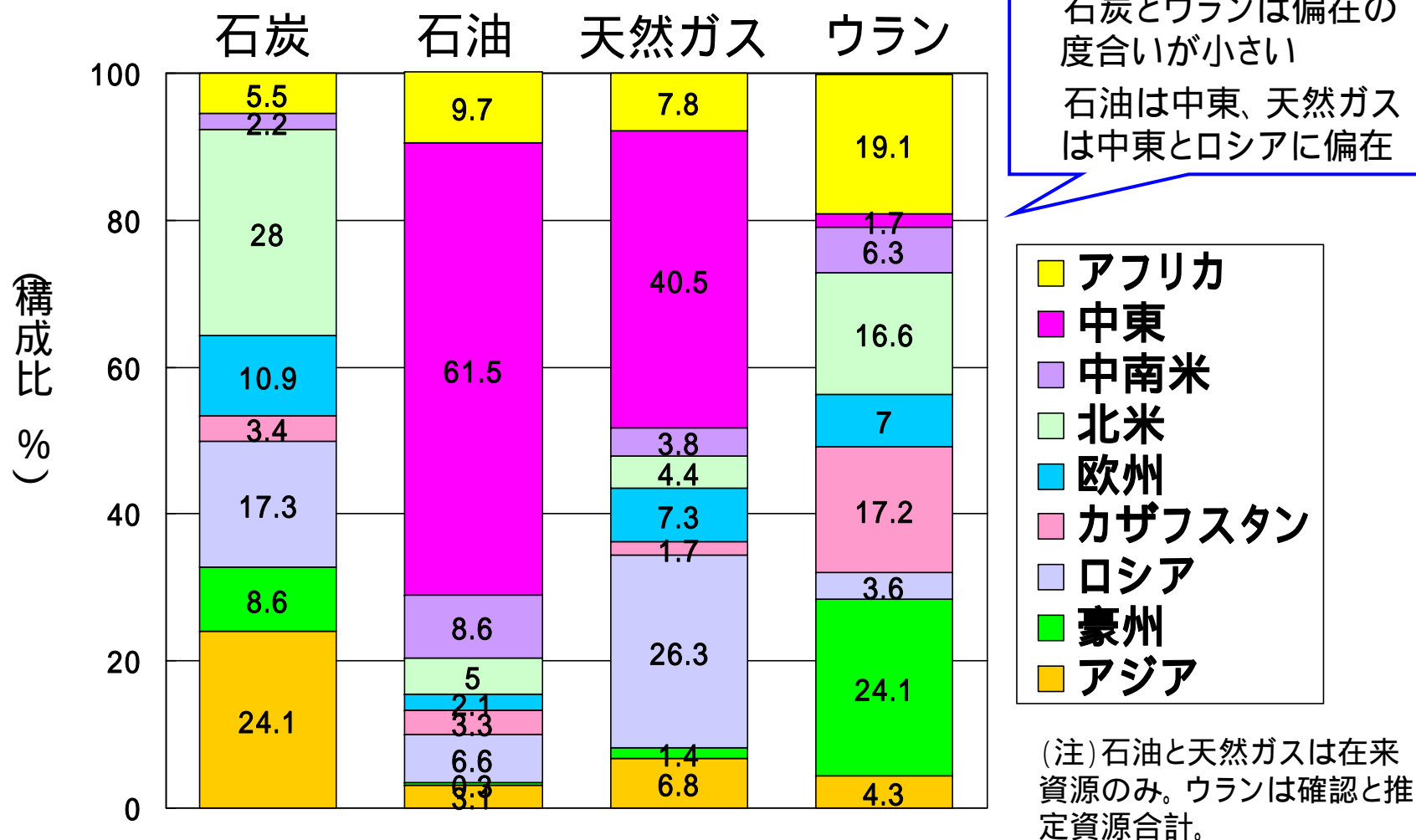
## 原子力発電所の設備利用率





# 供給安定性

## 化石燃料とウラン資源 の地域分布



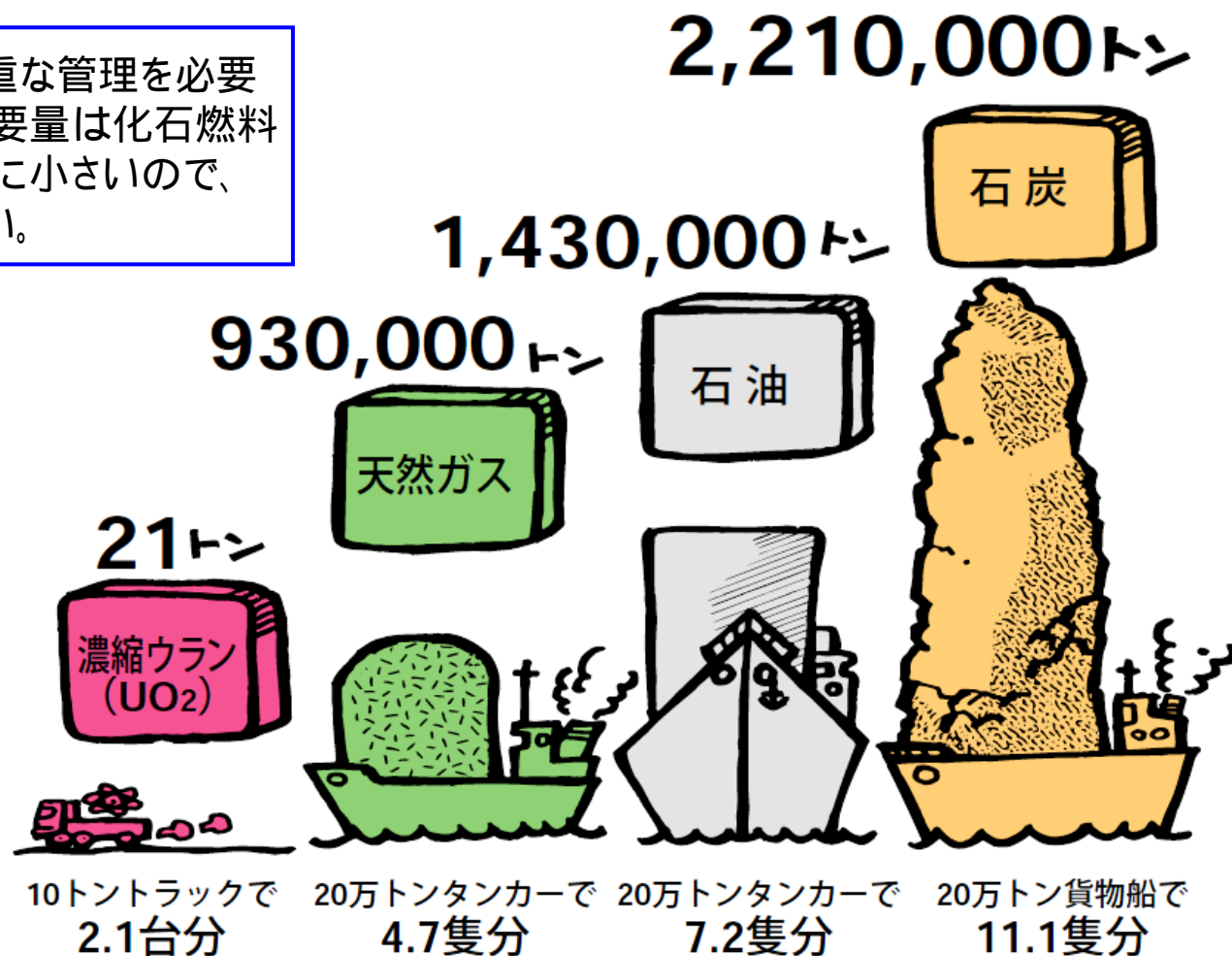
データ出所: 化石燃料資源はStatistical Review of World Energy 2007 (BP) による

ウラン資源はUranium 2005: Resources, Production and Demand (OECD/NEA, IAEA) による

## 供給安定性

### 各種電源の燃料消費量 (100万kW当たり年間量)

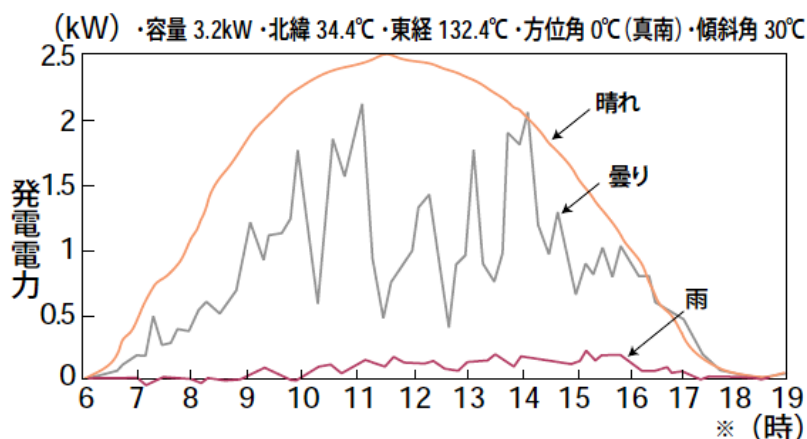
核燃料は厳重な管理を必要とするが、必要量は化石燃料よりもはるかに小さいので、備蓄性は高い。



原子力・水力(流込式):一定の出力水準で運転  
火力発電:電力需要に応じて柔軟な出力水準で運転

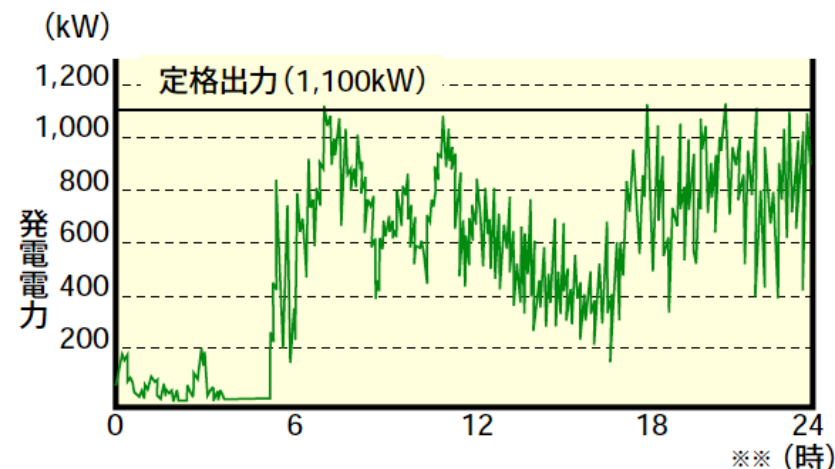
太陽光・風力:自然要因による出力変動が大きい  
(需給バランスが崩れると周波数に影響)

太陽光発電の出力変動(春季)



時間と天気で出力が変わる

風力発電の出力変動(冬季)



風の強さで出力が変わる

※電気事業連合会資料  
※※北海道電力ほりかつぶ発電所

出所:原子力図面集2007(電気事業連合会)



系統に連系して大規模利用するためには蓄電池の開発等が必要

## 供給安定性

# 地震国日本の課題

社会インフラ全般にかかわる課題

11

### 中越沖地震(平成19年7月)

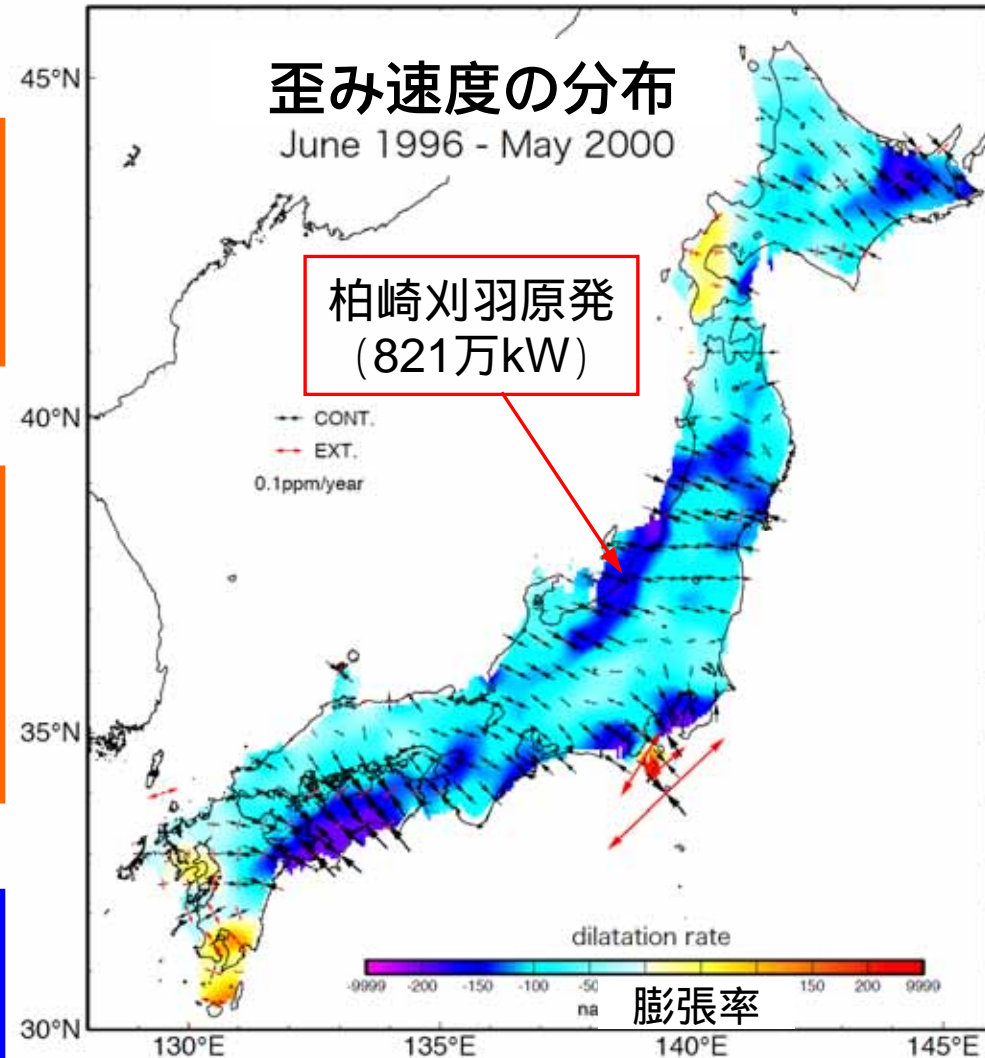
原子炉の安全(停止、冷却、閉じ込め)は実証された。しかし、周辺設備等の損傷・不具合のため、運転再開時期は未だ不透明。



耐震性向上策等のコスト発生  
安定供給の不安、CO2排出増の懸念が増大  
将来の投資リスク増大を抑制することが肝要



将来的には、免震設計の導入、  
詳細な調査に基づく立地点の  
選定



膨張率の単位 nanostrain/year は2点間の距離が年率10°分の1の速度で膨張したことを示す。

出所: 名古屋大学環境学研究科地震火山・防災研究センター

## 化石燃料(在来資源)の埋蔵量 と可採年数

	石炭 (億トン)	石油 (億トン)	天然 ガス (兆m <sup>3</sup> )
埋蔵量	9090	1650	181
生産量	62.0	39.1	2.87
可採年数	147年	41年	63年
備考	無煙炭と瀝青炭が全体の約半分。残りは亜瀝青炭と褐炭・亜炭。 米国地質調査所は2000年報告書の中で、石油、天然ガスともに、未発見資源も含めると、この約2倍の規模の在来資源があると推定。		

(注)生産量は2006年値

データ出所:BP統計2007年版(2006年末データ)

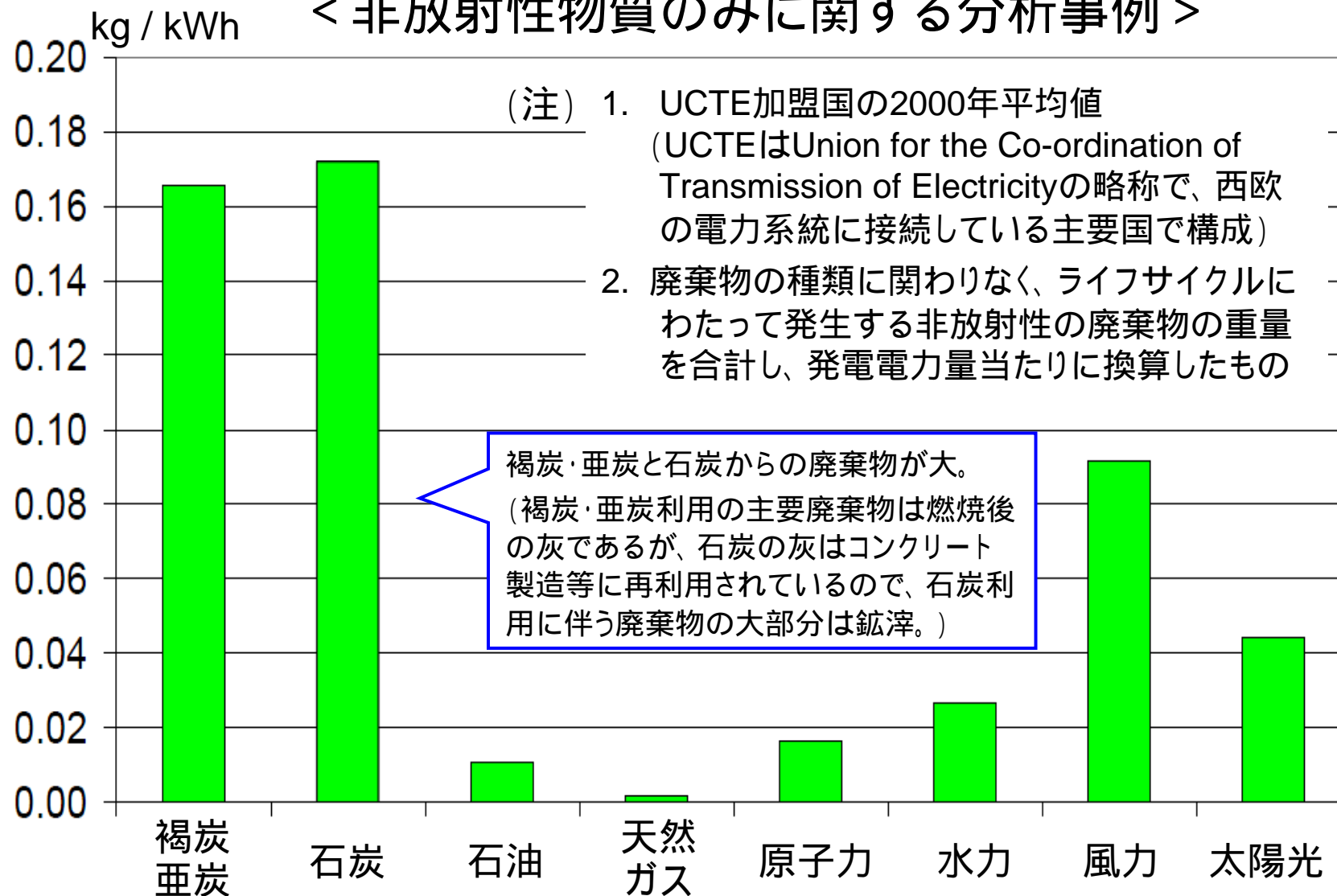
## ウラン資源量と利用 可能年数

	発見資源 (万トン)	資源総量 (万トン)
資源量	474	1480
利用可能年数		
軽水炉でのワ ンス・スルー	85年	270年
高速炉での全 量リサイクル	2570年	8015年

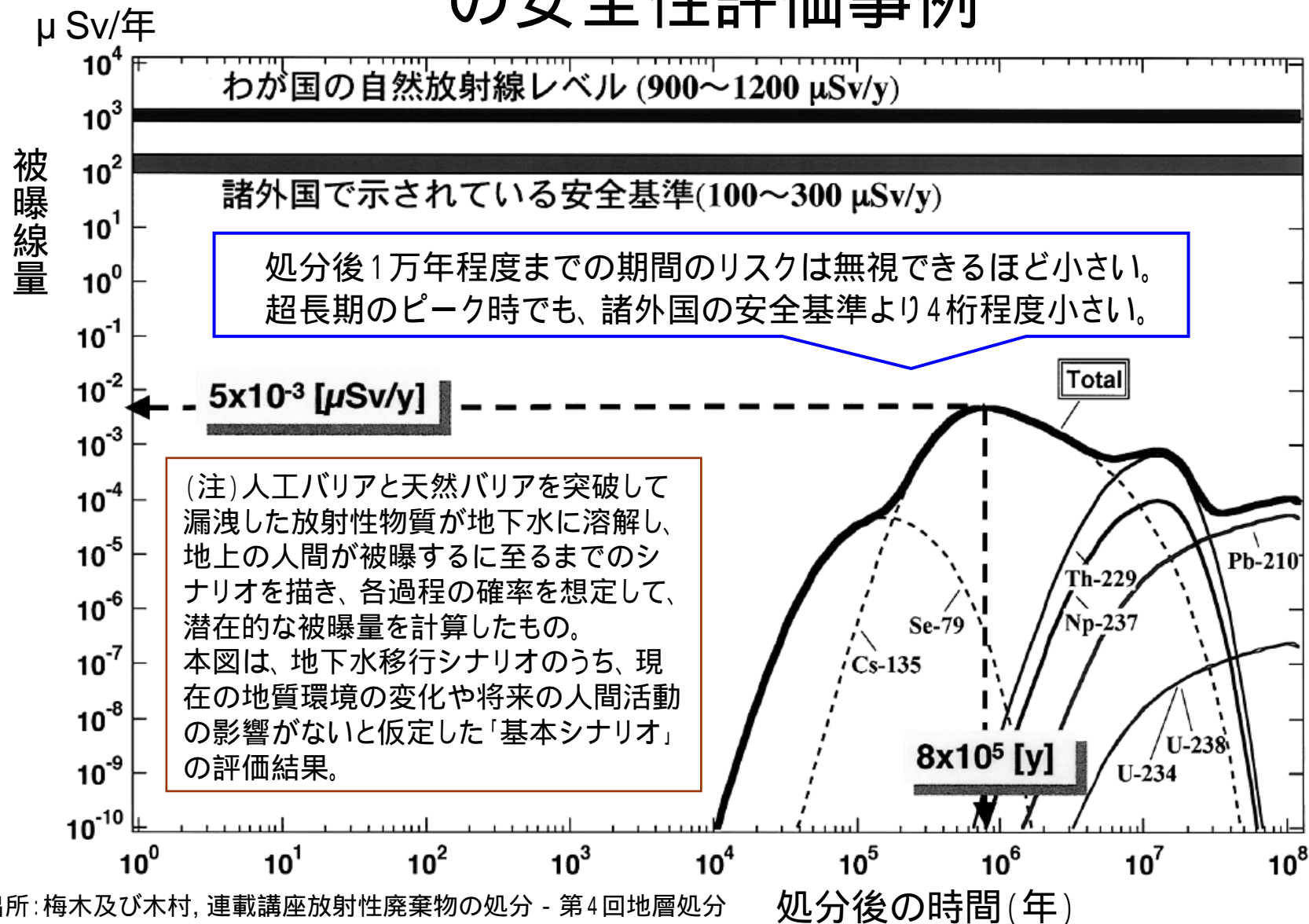
(注)利用可能年数は2004年における  
原子力発電量に基づいて計算

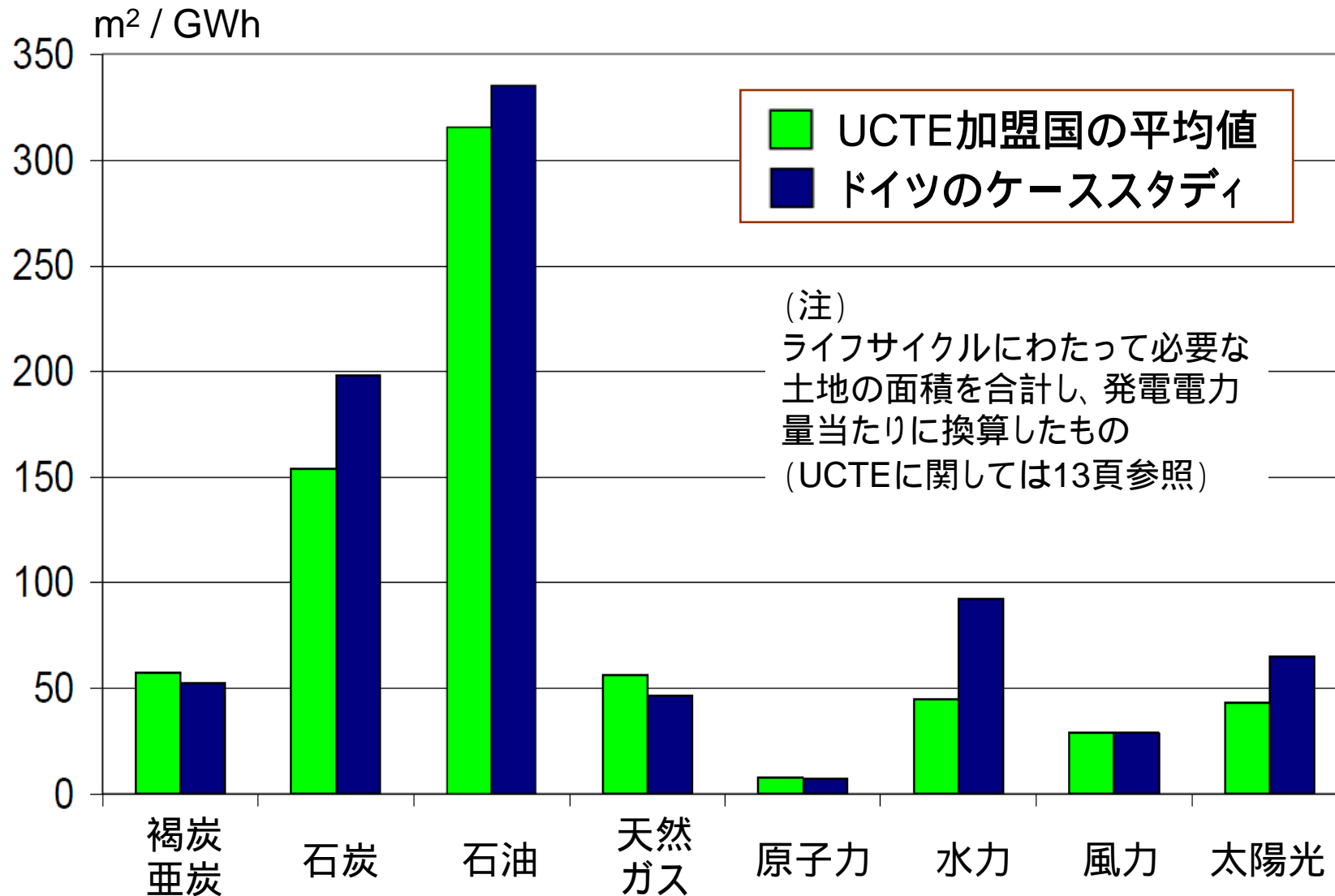
データ出所:OECD/NEA-IAEA,2006 ( レッドブック 2005)

## < 非放射性物質のみに関する分析事例 >



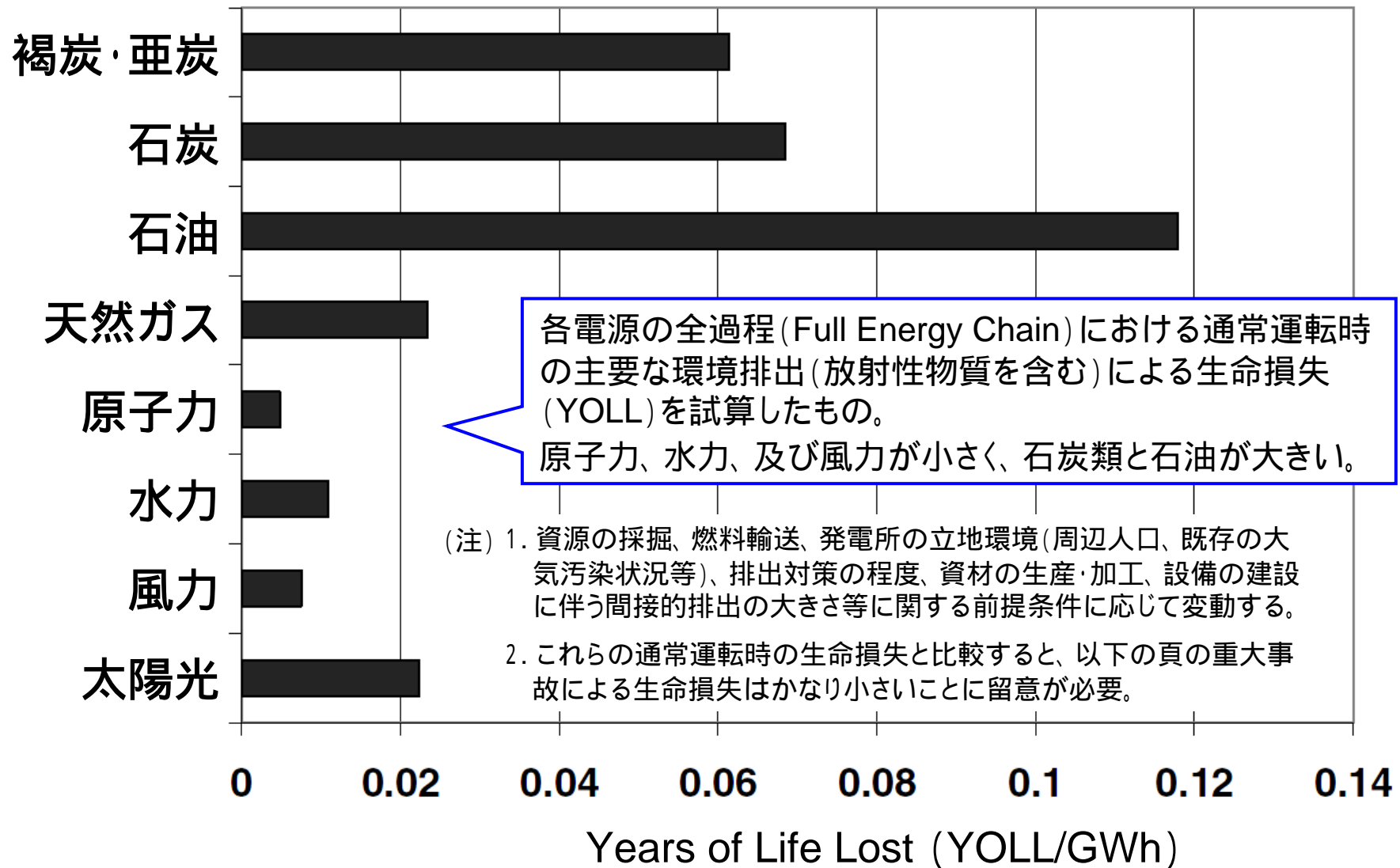




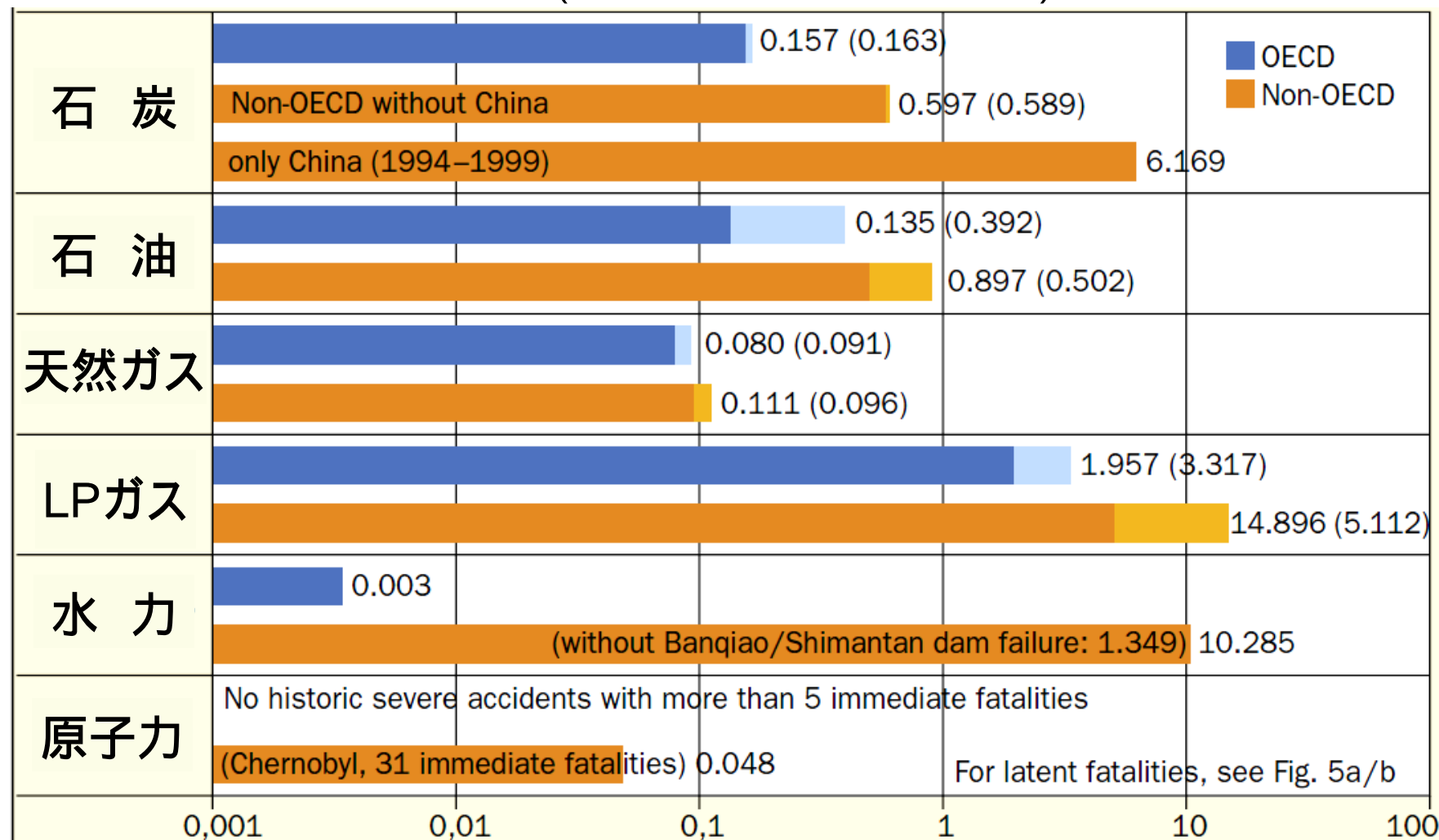




# 通常運転時の生命損失 <ドイツの分析例>



## 重大事故による生命損失 (晩発性死亡を除く)



紺色はOECD国内での死亡者。水色は輸入に伴う非OECDでの死亡者。橙色は非OECDの消費分に関する死亡者。黄色はOECDへの輸出分に関する死亡者。

死亡者数/GWe年

	OECD		EU-15		Non-OECD	
エネルギー	事故数	死亡者数	事故数	死亡者数	事故数	死亡者数
石 炭	75	2259	11	234	102 1044 (a)	4831 18'017 (a)
石 油	165	3789	58	1141	232	16'494
天然ガス	80	978	24	229	45	1000
LPガス	59	1905	19	515	46	2016
水 力	1	14	0	0	10	29'924 (b)
原子力	-	-	-	-	1	31 (c)

(a) 1行目は中国を除く非OECD、2行目は中国

Source: Burgherr et al., 2004

(b) Banqiaoダム及びShimantanダム(いずれも中国)の決壊では合計26,000人が死亡

(c) 晩発性の死亡を除く\*

\* Burgherr and Hirschberg (2004)は、チェルノブイリ事故の被曝による晩発性の死亡が10000人を超える可能性があると推定。

出所: S. Hirschberg, Accidents in the Energy Sector: Comparison of Damage Indicators and External Costs, Workshop on Approaches to Comparative Risk Assessment, Warsaw, October 2004 に基づく

国際原子力事象評価尺度 (INES)

	レベル	基準 (最も高いレベルが当該事象の評価結果となる)			参考事例 (INESの公式評価でないものが含まれている)
		基準1：所外への影響	基準2：所内への影響	基準3：深層防護の劣化	
事故	7 (深刻な事故)	放射性物質の重大な外部放出 〔ヨウ素131等価で数万テラベクレル相当以上の放射性物質の外部放出〕			チェルノブイリ事故 (1986年)
	6 (大事故)	放射性物質のかなりの外部放出 〔ヨウ素131等価で数千から数万テラベクレル相当の放射性物質の外部放出〕			
	5 (所外へのリスクを伴う事故)	放射性物質の限られた外部放出 〔ヨウ素131等価で数百から数千テラベクレル相当の放射性物質の外部放出〕	原子炉の炉心の重大な損傷		スリーマイルアイランド事故 (1979年)
	4 (所外への大きなリスクを伴わない事故)	放射性物質の少量の外部放出 〔公衆の個人の数ミリシーベルト程度の被ばく〕	原子炉の炉心のかなりの損傷／従業員の致死量被ばく		JCO臨界事故 (1999年)
異常な事象	3 (重大な異常事象)	放射性物質の極めて少量の外部放出 〔公衆の個人の十分の数ミリシーベルト程度の被ばく〕	所内の重大な放射性物質による汚染／急性の放射線障害を生じる従業員の被ばく	深層防護の喪失	
	2 (異常事象)		所内のかなりの放射性物質による汚染／法定の年間線量限度を超える従業員の被ばく	深層防護のかなりの劣化	美浜発電所2号機蒸気発生器伝熱管損傷 (1991年)
	1 (逸脱)	安全上重要ではない事象		運転制限範囲からの逸脱	もんじゅナトリウム漏えい (1995年)
尺度以下	0 (尺度以下)			0+ 安全に影響を与え得る事象 0- 安全に影響を与えない事象	
評価対象外		安全に関係しない事象			

シーベルト(Sv)は、放射線が人体に与える影響を表す単位。(ミリは1,000分の1)  
ベクレル(Bq)は、放射性物質の量を表す単位。(テラは $10^{12}$ =1兆)

出所：原子力図面集2007(電気事業連合会)

チェルノブイリ事故の長期影響  
< IAEAの予測 (1997年) >

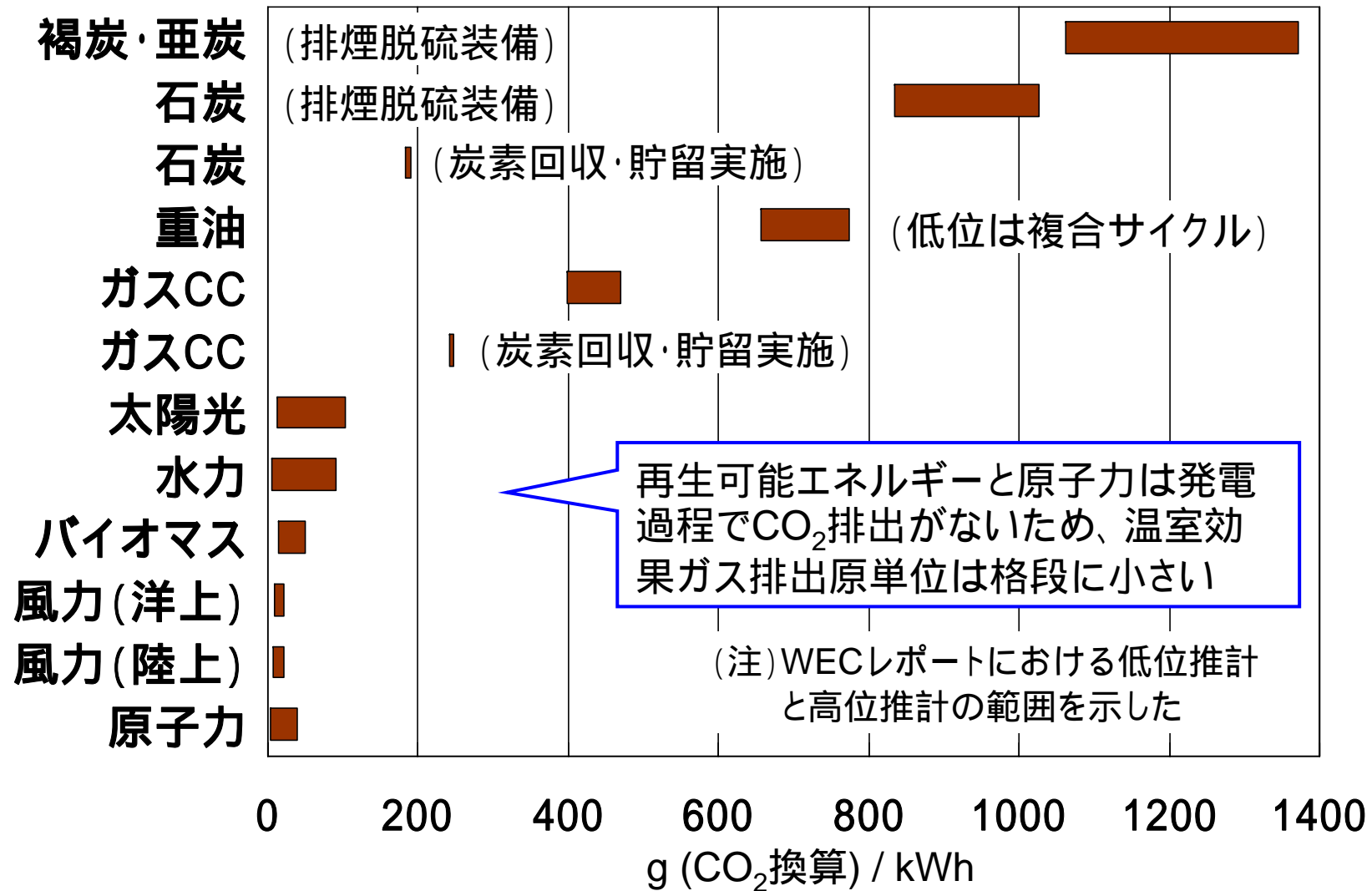
	関係者数	他の原因による癌死亡	被曝による癌死亡 (関係者に占める比率)
事故直後作業員	1 000	180	20 (2.0%)
後処理作業員	650,000	90,000	2,000 (0.3%)
避難住民-1986年	115,000	17,000	400 (0.3%)
幼児-1986年 (4才まで)	1,000,000	a	b

(注) 短期の死亡者は31名

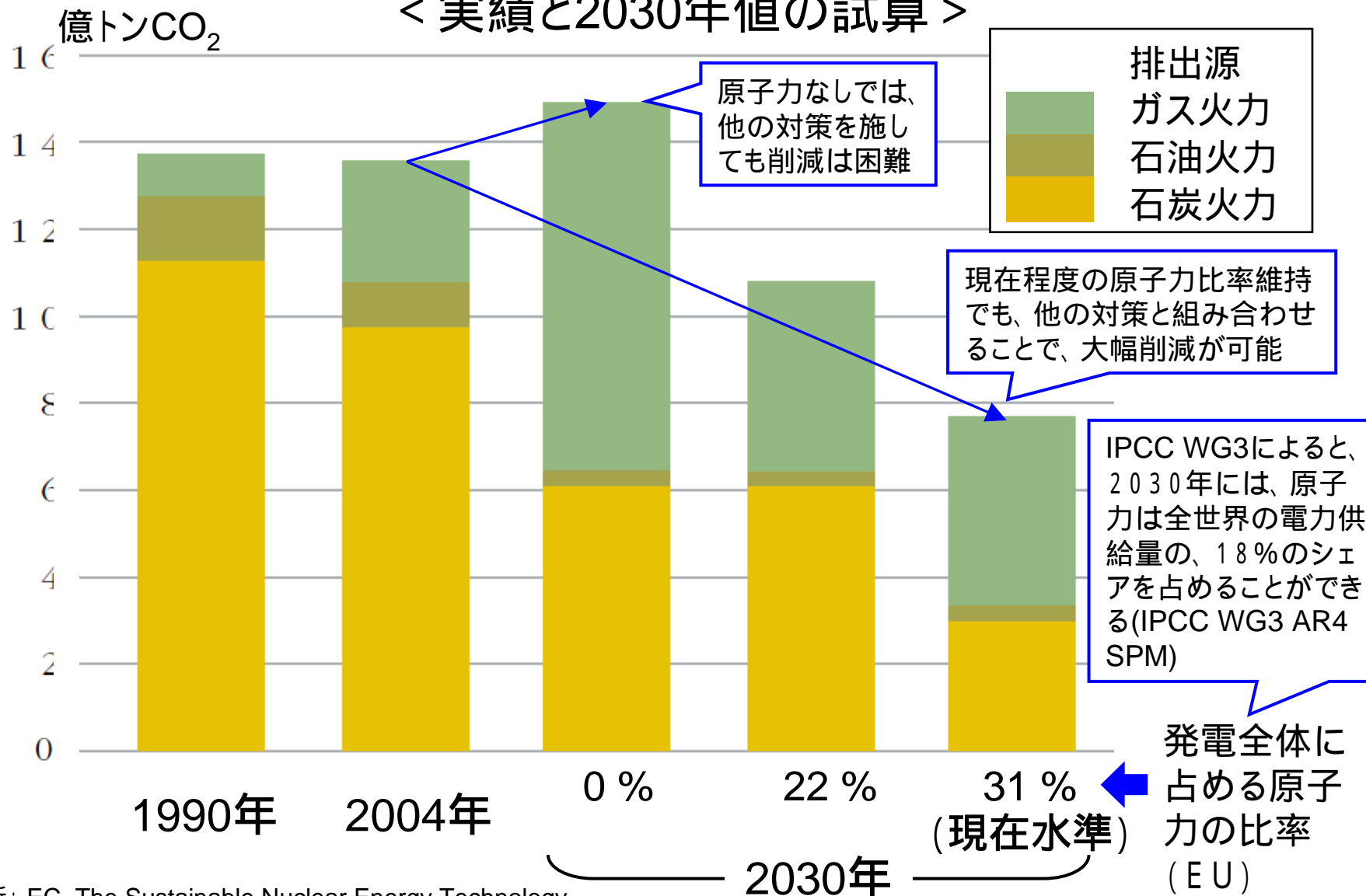
a - 甲状腺癌患者50名 (治癒可能)

b - 甲状腺癌患者数千名 (治癒可能)

2005年のIAEA主催会合 (Chernobyl Forum報告会) では、甲状腺癌の患者数が明確に増加しているが、白血病及び臓器癌の発生率にはまだ有意な増加が見られていないことが報告されている。被曝による最終的な死亡数は4000名との推定 (事務局長挨拶) がなされているが、これよりさらに多いとの専門家の見解 (Cardis et al. (1996), Burgherr et al. (2004)) もある。汚染地域が広範囲で住民数がきわめて多いため、チェルノブイリ事故の最終影響の規模はまだ十分に分かっていない。



### < 実績と2030年値の試算 >



他電源との比較において、原子力は以下の特性を有する。  
十分な経済性を達成できる。

＜ただし、初期コストが高いため高稼働率の維持が要件＞

資源の分布、燃料備蓄の観点から供給安定性が高い。

潜在的持続性が高い。＜資源、廃棄物問題の解決が前提＞

これまでの通常運転及び事故に関する実績を見る限り、  
リスクは一般に懸念されているほど大きくはない。

＜ただし、重大事故による大量の放射能漏洩は広範な、かつ  
長期にわたる影響をもたらすので、その防止は絶対的要件＞

温室効果ガス排出量はきわめて小さく、基幹電源として世界的に利用を維持、拡大できれば温暖化抑制に役立つ。

世界全体として「持続可能な発展」に向けて短期間に大きな方向転換が必要な切迫した状況下で、省エネルギー、再生可能エネルギーとともに、原子力は重要な選択肢