

福岡教育大学学生とシニアの対話
—学生の疑問・質問に答え、意見交換する—

基調講演 原子力発電の役割と今後の展開

2011年2月16日

金氏 顯(かねうじ あきら)

原子力有識者

三菱重工業・特別顧問

日本原子力学会シニアネットワーク連絡会代表幹事

原子力開発の歴史(1)

◆物質の核への探求

- 1895 独レントゲン、X線を発見、「未知のもの:X」と命名。
 1898 仏マリー&ピエールキュリー、放射性元素発見、「放射線、放射能」と命名

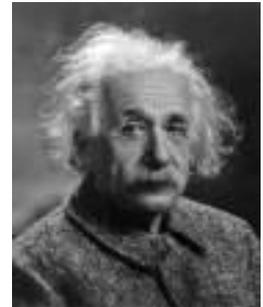


◆20世紀の新しい物理学

- 1905 アインシュタイン、特殊相対性理論発表、 $E=mc^2$
 1936 独オットーハーン、核分裂反応を発見

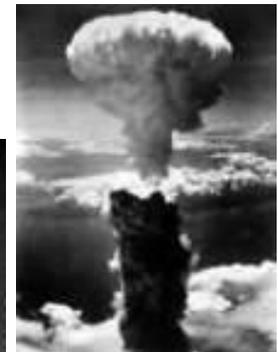
◆第2次大戦中に原子力の不幸な歴史の始まり

- 1939 アインシュタイン、米大統領宛て原爆開発の手紙に署名
 1942 アメリカ政府、極秘の原子爆弾開発「マンハッタン計画」
 1942 初めての原子炉臨界実験(シカゴパイルNO.1)
 1945.5.7. ドイツ無条件降伏
 1945.7.16 ニューメキシコの砂漠で最初の原子爆弾実験
 1945.8.6. 広島にウラン型原子爆弾！
 8.9. 長崎にプルトニウム型原爆投下！



◆平和利用への努力

- 1953 国連におけるアイゼンハワー米国大統領の演説
 “原子力を平和利用に”(Atoms for Peace)
 1955 原子力潜水艦ノーチラス号初航行
 1957 国際原子力機関(IAEA)発足
 1957 米国で初の商業用原子力発電炉 Shipping
 ポート 10万kWe(PWR)



原子力開発の歴史(2)

◆我が国の原子力の研究開発解禁

1954 初の原子力予算2.35億円認められる。

1956 原子力委員会、日本原子力研究所の設立。

原子力基本法施行「原子力の利用は、厳に平和の目的に限り、動力と放射線の利用を行う。」

1963 我が国初の動力炉(JPDR) 10月26日発送電⇒「原子力の日」

1966 我が国初の商業炉東海1号(英国ガス炉導入)

◆米国の軽水炉技術導入

GE社沸騰水型軽水炉(東芝、日立)

W社加圧水型軽水炉(三菱)

1970 関西電力美浜発電所1号機(加圧水型)、

日本原子力発電敦賀1号機、東京電力福島1号機(沸騰水型)
が運転開始

以後、電力9社、日本原電で原子力発電プラントを建設。

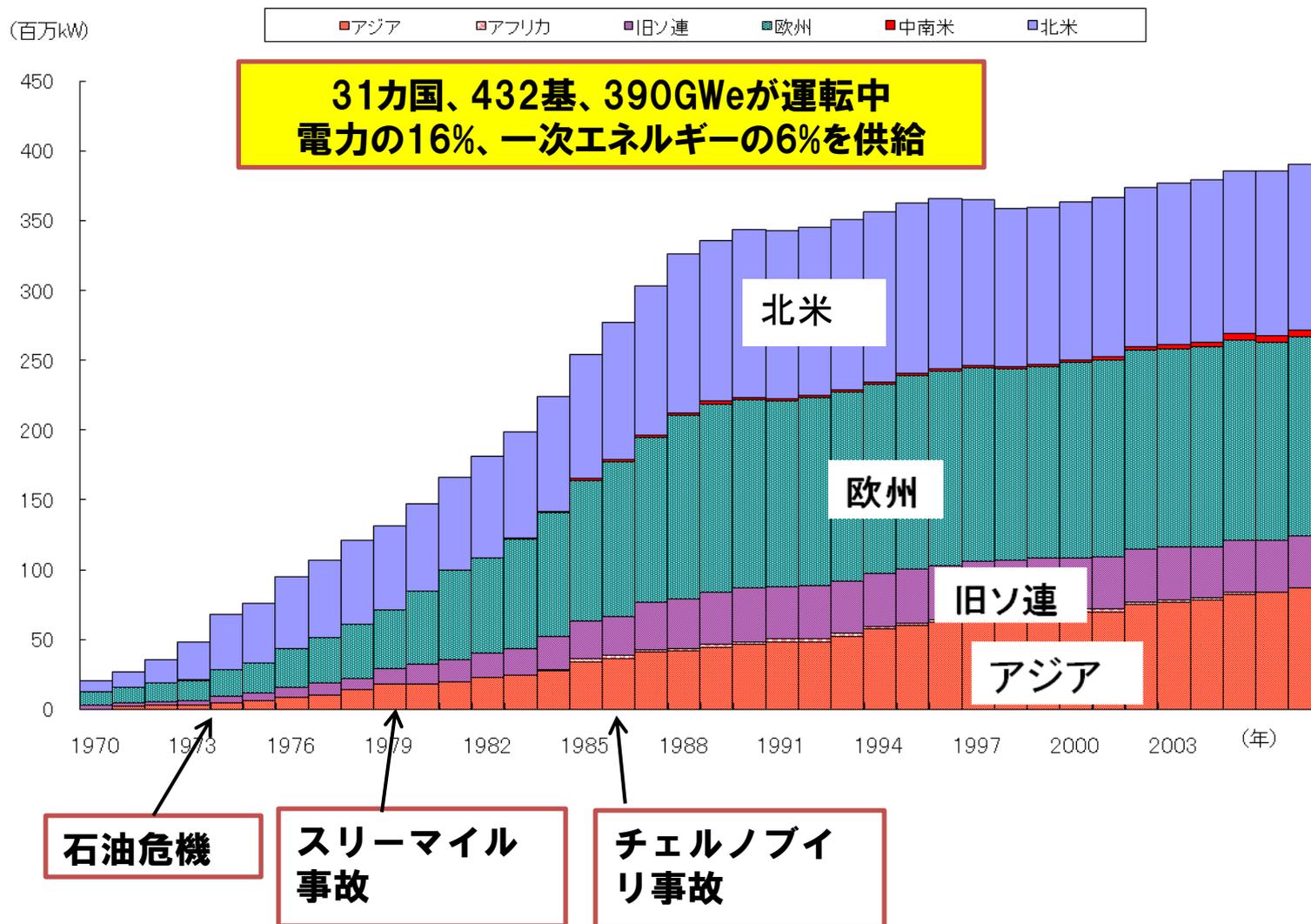


◆海外での原子力事故

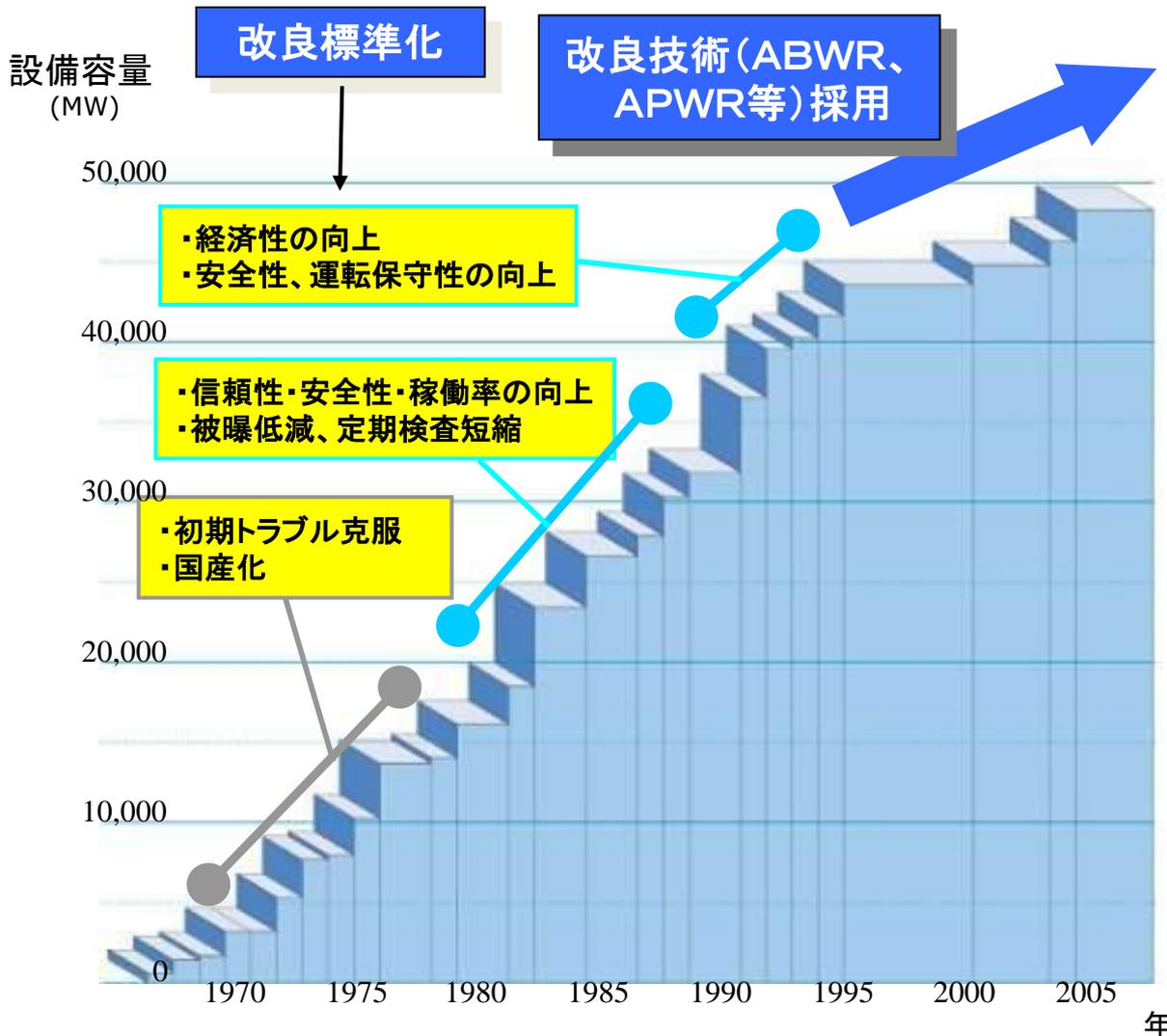
1979 米国スリーマイル原子力発電所で原子炉溶融事故発生、被害ゼロ

1986 ソ連チェルノブイリ原子力発電所で原子炉暴走、水蒸気爆発
大気圏に放射能放出、消防士など31名死亡、放射能汚染拡大

世界の原子力発電の建設動向



軽水炉技術向上の推移と原子力発電設備容量の増加 SNW



ABWR・APWR

ABWR



- ✓ 安全性と経済性の向上を追求した世界最新のBWR
- ✓ 1996年以降豊富な運転実績を保有

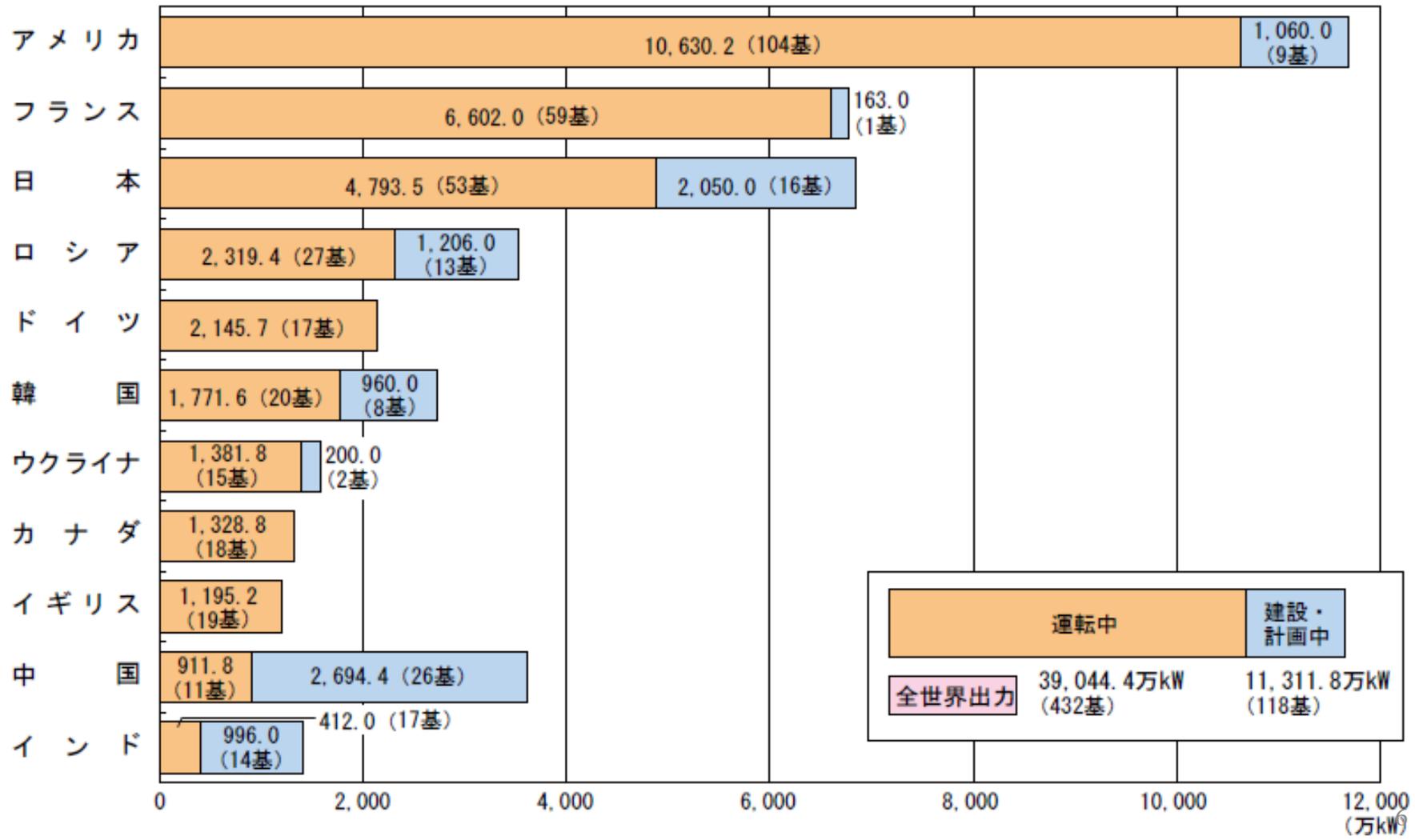
APWR



- ✓ スケールメリットによる経済性の向上を図った世界最大級の軽水炉 (1538MW)
- ✓ 新技術の採用により安全性、信頼性、運転保守性、経済性を向上

世界には432基の原子力発電が運転中、 電力の16%を供給

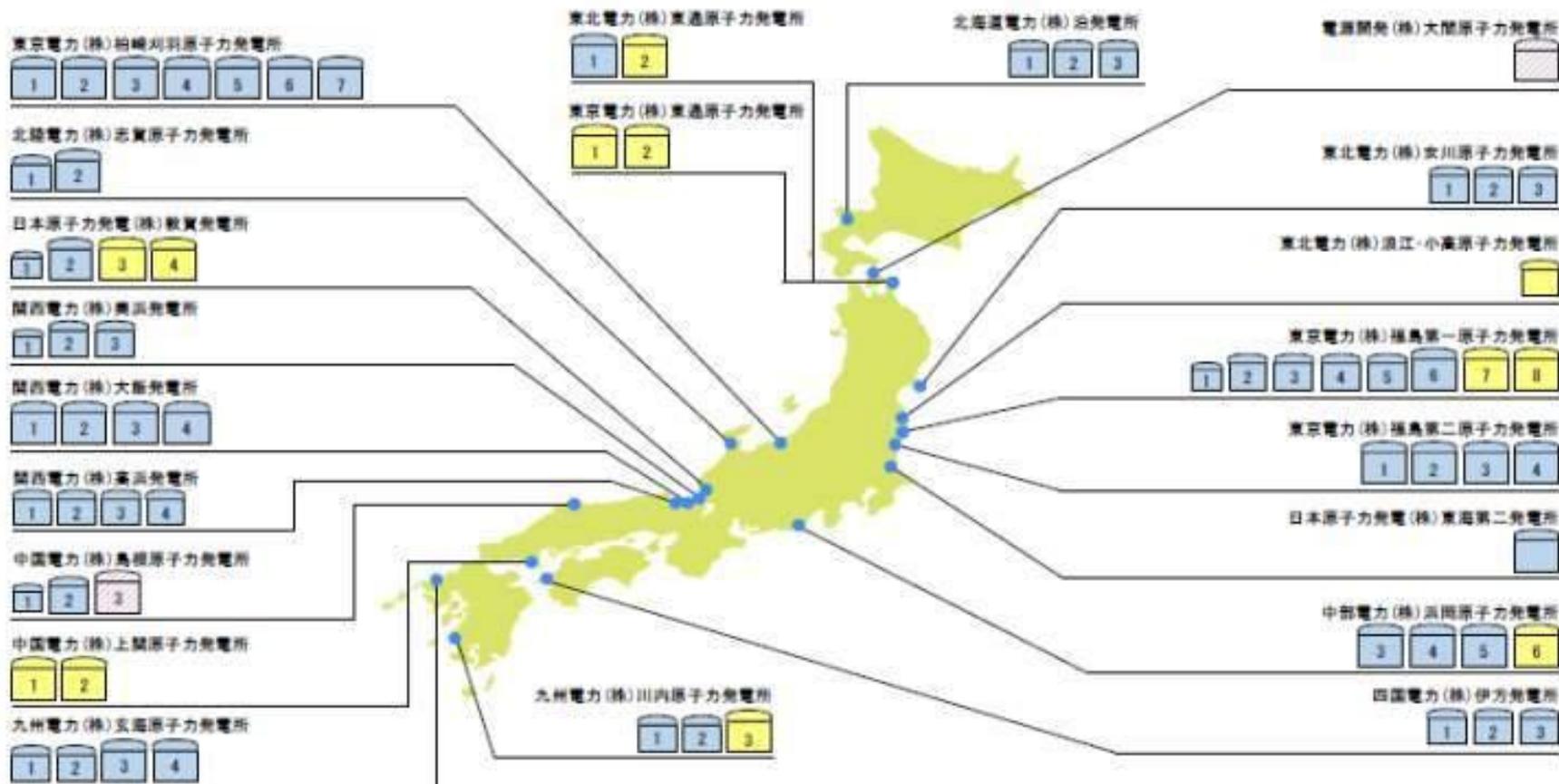
(2009年1月1日現在)



我が国の原子力発電所は現在54基運転中、 3基建設中、11基計画中



(商業用・2009年12月末現在)



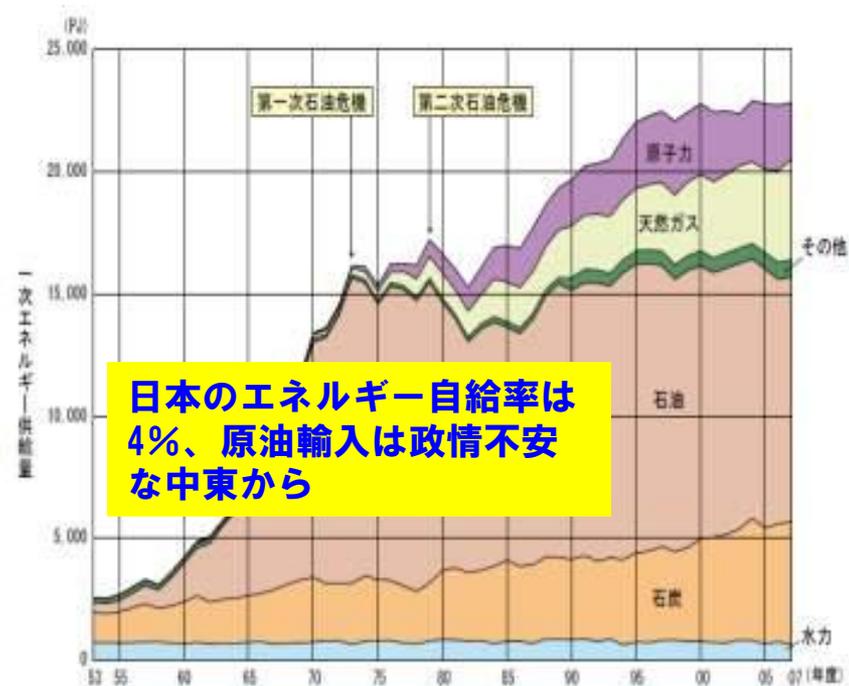
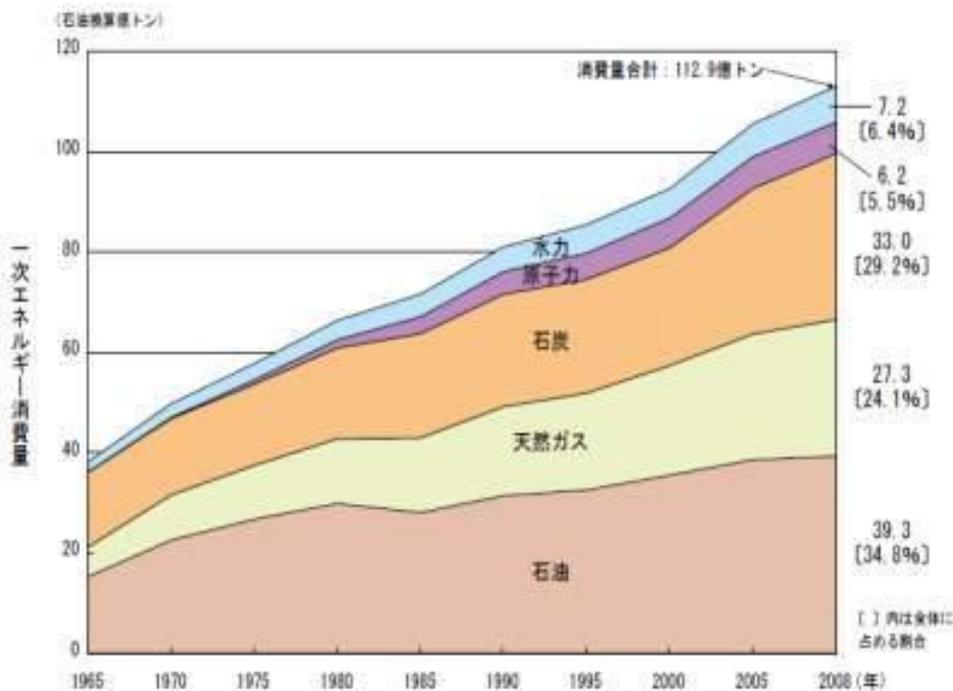
	基 数	合計出力(万kW)
運 転 中	54	4884.7
建 設 中	2	275.6
着工準備中	12	1,855.2
合 計	68	6,815.5

運転終了：日本原子力発電(株)東海発電所 1998.3.31 / 中部電力(株)浜岡原子力発電所1、2号機 2009.1.30

世界的にエネルギー危機、資源争奪となる！

世界の一次エネルギーの88%は化石燃料

日本の一次エネルギーの約80%が化石燃料、約半分が石油



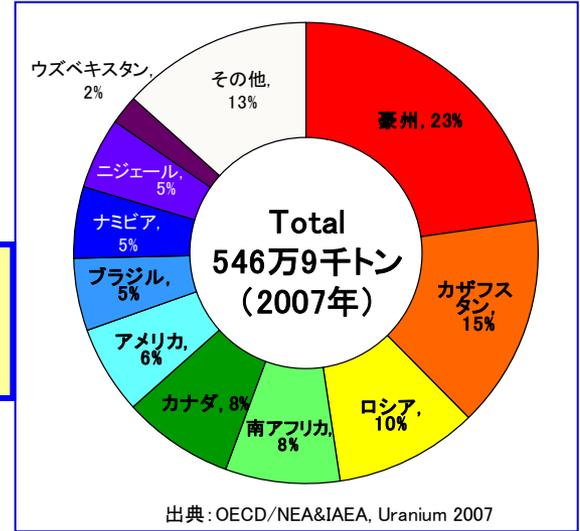
今後中国、インドなどアジア、アフリカ諸国が人口増大、生活向上/経済成長しエネルギー消費は膨大に増加

国際エネルギー機関（IEA）予想、2030年190ドル/バレル

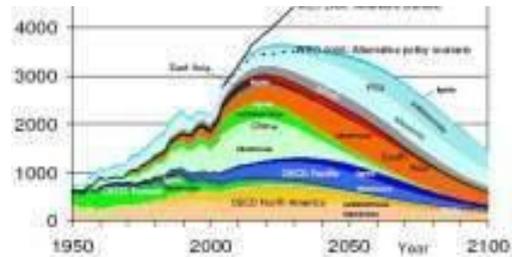
石油はあと40年、天然ガス、石炭もいずれ枯渇、 ウラン資源は広く分布し、数千年の可能性あり

これまでは新たな大規模油田、ガス田、炭鉱が発見されたが、近年は小規模ばかり。過去の確認埋蔵を消費。いよいよ枯渇に向かっている！

特定地域への強い偏在がない



石炭もいずれ生産ピーク

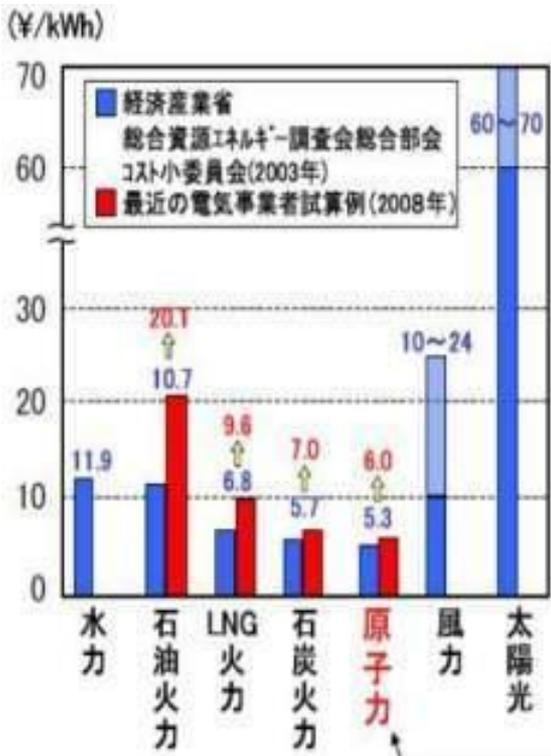


高速増殖炉リサイクル実用化によるプルトニウム利用によりウランの利用年数は約2500年に。

海水中ウラン (3mg/t) の回収が実用化するとほぼ無尽蔵

原子力は最も経済的なエネルギー

各エネルギー源の1kWh当たり発電単価比較



条件

耐用年数 : 40年

設備利用率 : 80% (水力45%)

燃料価格 :

石油 = 27.4 → 90.7 \$/バレル

石炭 = 35.5 → 76.5 \$/トン

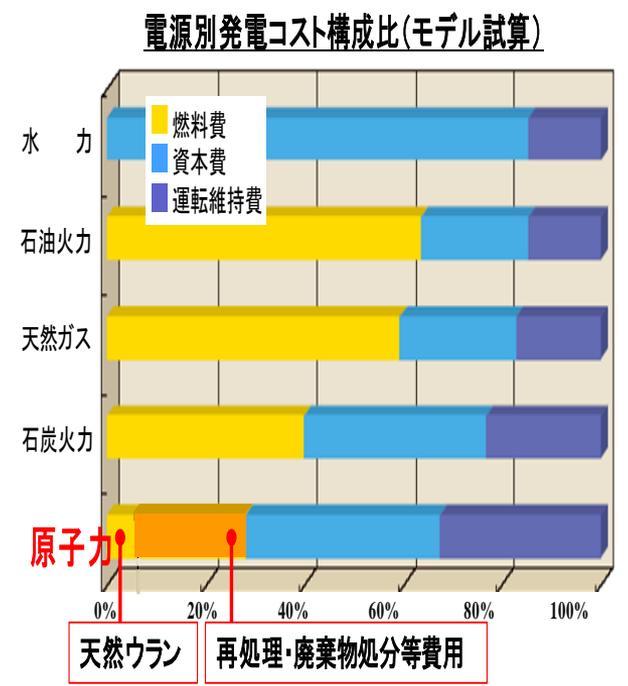
LNG = 2.8 → 5.3 万円/トン

ウラン = 10.1 → 95.0 \$/lbU308 (鉱石)

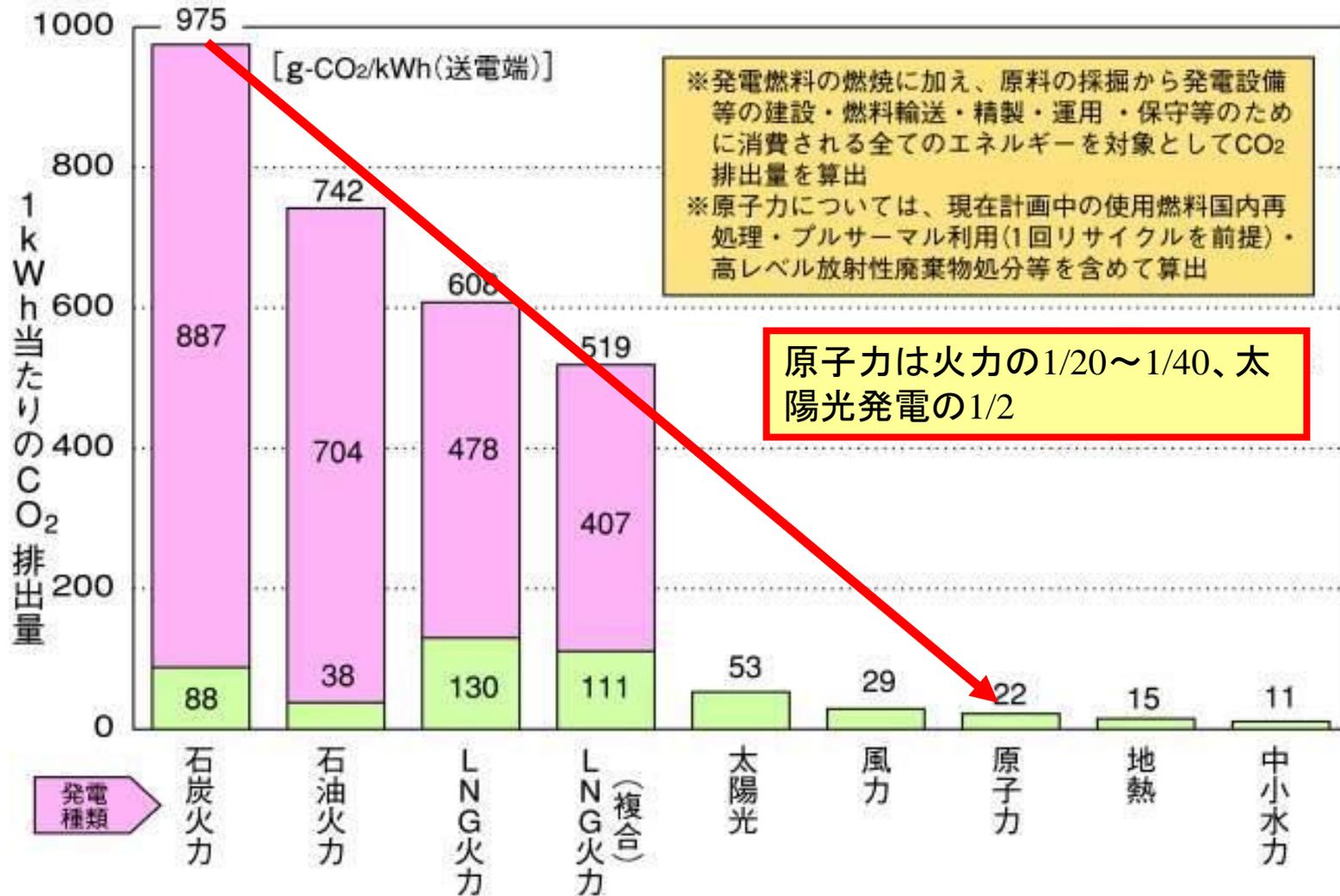
2002年度平均
(コスト小委のベース)

2008年2月
(試算例のベース)

原子力: 再処理費用、再処理設備廃止費用、高レベル廃棄物処理・処分費、廃炉等含む



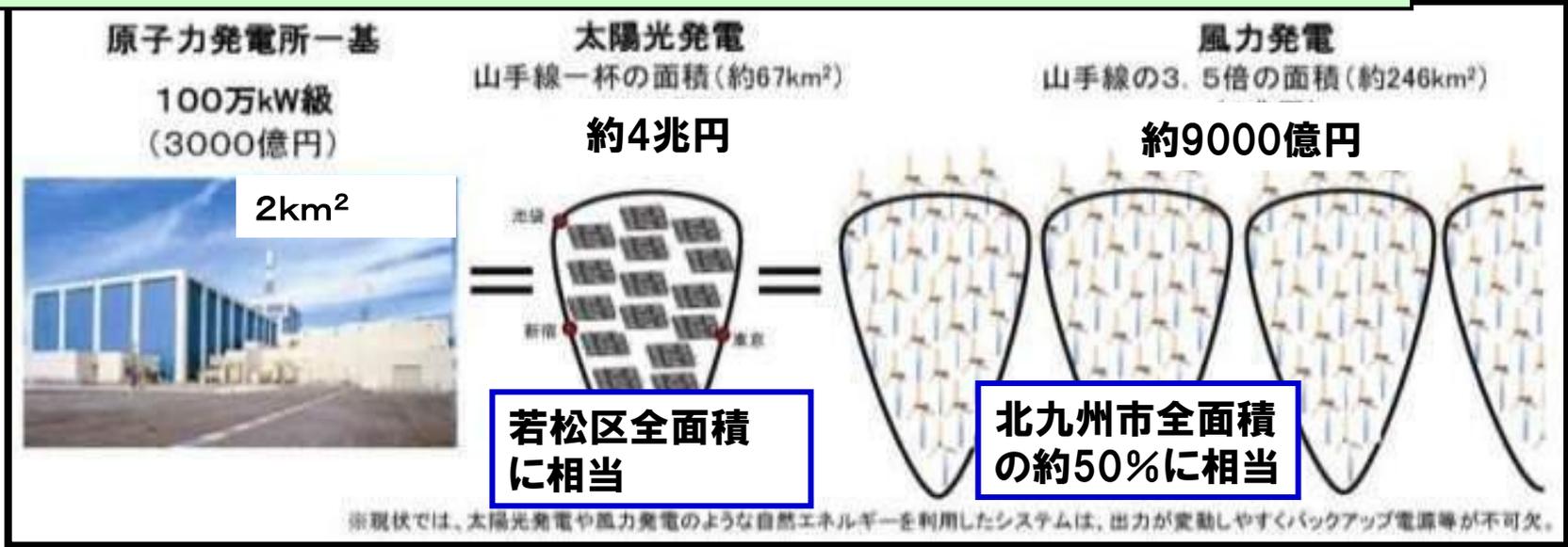
原子力発電はCO₂排出が最少



(注) 四捨五入の関係で合計値が合わない場合がある。

太陽光発電、風力発電と原子力発電の比較

発電に要する土地面積、設備投資額が原子力に比べ膨大



稼働率が悪く、出力が不安定である

太陽光は天候と時間の影響大で平均10%程度しか発電できない
 風力は風況に左右され平均20%程度しか発電しない

⇒電気を蓄えるか、代替りの発電設備が必要

各エネルギーの中長期的な方向性

1. 量：安定供給の確保 — 必要な時に必要な量
2. 質：地球環境への適合性、安全性など
3. 経済性：ライフサイクルコスト

1. **石油、天然ガス**は供給不安（オイルピーク、政情不安定な国々）、地球温暖化問題、経済性などから、熱エネルギー源としては今後大幅に削減。航空機や船舶輸送用、化学材料用に長期確保することが重要。

2. **石炭**は資源量は豊富、経済性もあるが、地球環境適合性が問題。発電効率向上、クリーンガス化などの開発、実用化促進が重要。

3. **再生可能エネルギー**、特にバイオマス、太陽光、風力、地熱は地球環境に適合し、国産エネルギーとなるので、RPSや余剰電力買い取り、補助金などの制度で積極推進中。ただし、経済性、出力不安定性、資源量などの課題克服と、小容量分散電源として認識要。

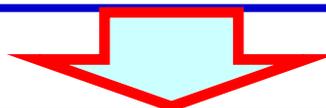
4. **原子力**は質、量、経済性の全てを満たし、長期備蓄と燃料リサイクルにより準国産エネルギーであり、今後も基幹エネルギーと位置づけられる。課題は、高レベル廃棄物地層処分問題、社会受容性などで、国、地方、事業者、教育、国民理解などに一層の努力が必要。

世界は原子力ネットワーク

TMIやチェルノブイリ事故のあと、安価で豊富な石油に頼り、欧米では原子力発電建設が途絶えたが、近年復活。

<背景>

1. 原子力発電の安全性に対する信頼性が回復した
2. エネルギー需要（オイルピーク対策）が重視されてきた
3. エネルギー資源価格が高騰、原子力発電の経済性が高まった
4. 地球温暖化対策として原子力発電が大規模供給力の低炭素エネルギー源として評価



米国：30年ぶりに新設計画30基以上。

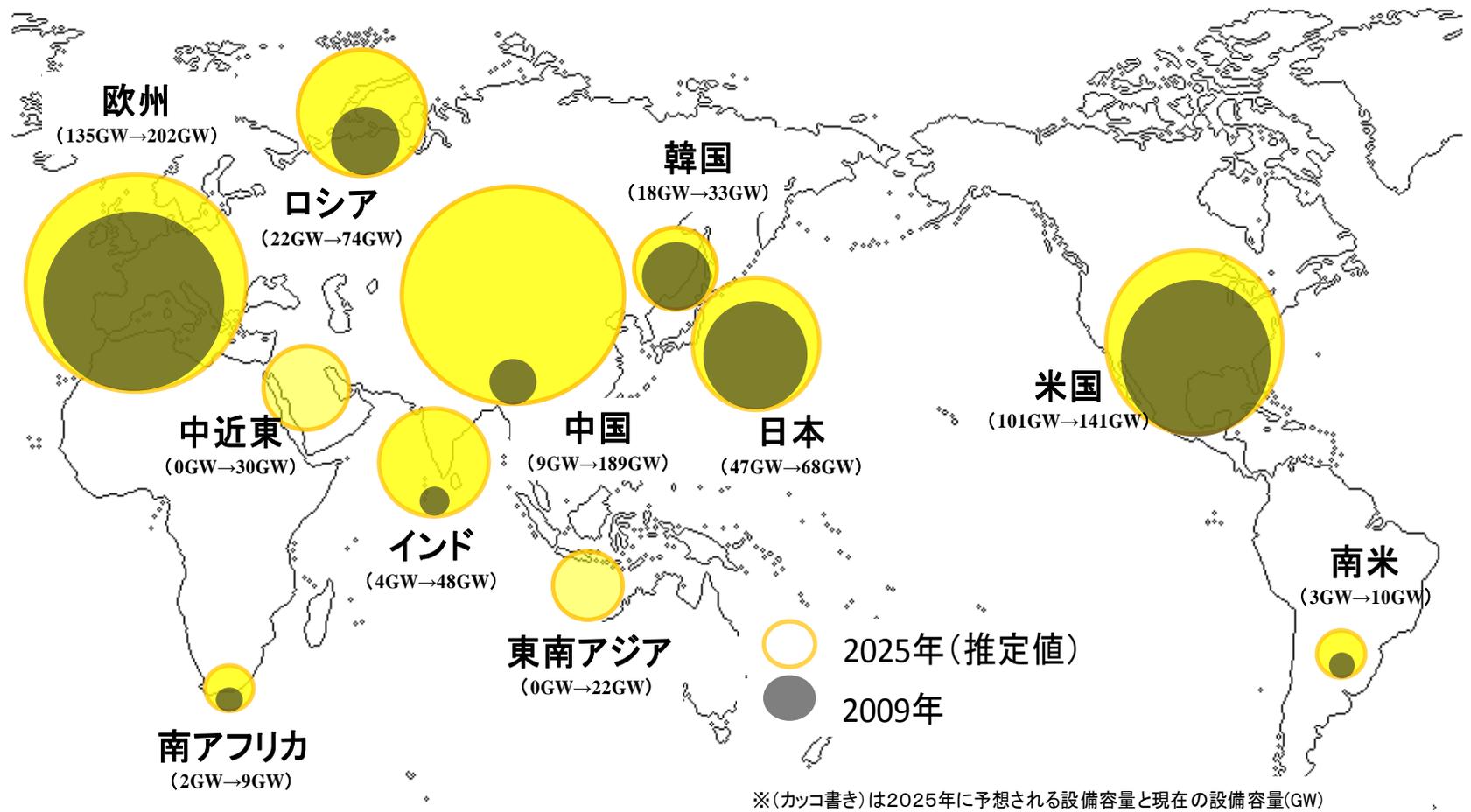
英国、スウェーデン、イタリア：脱原子力政策を破棄し、建設へ政策変更、ドイツも政権連立変更により脱原子力政策見直しの方向

中国、インド：数10基の建設計画。

中東、東南アジア、南米など：原子力導入への動き活発

日本企業の原子力技術力で世界に貢献し、
企業の技術力維持向上と外貨獲得の機会

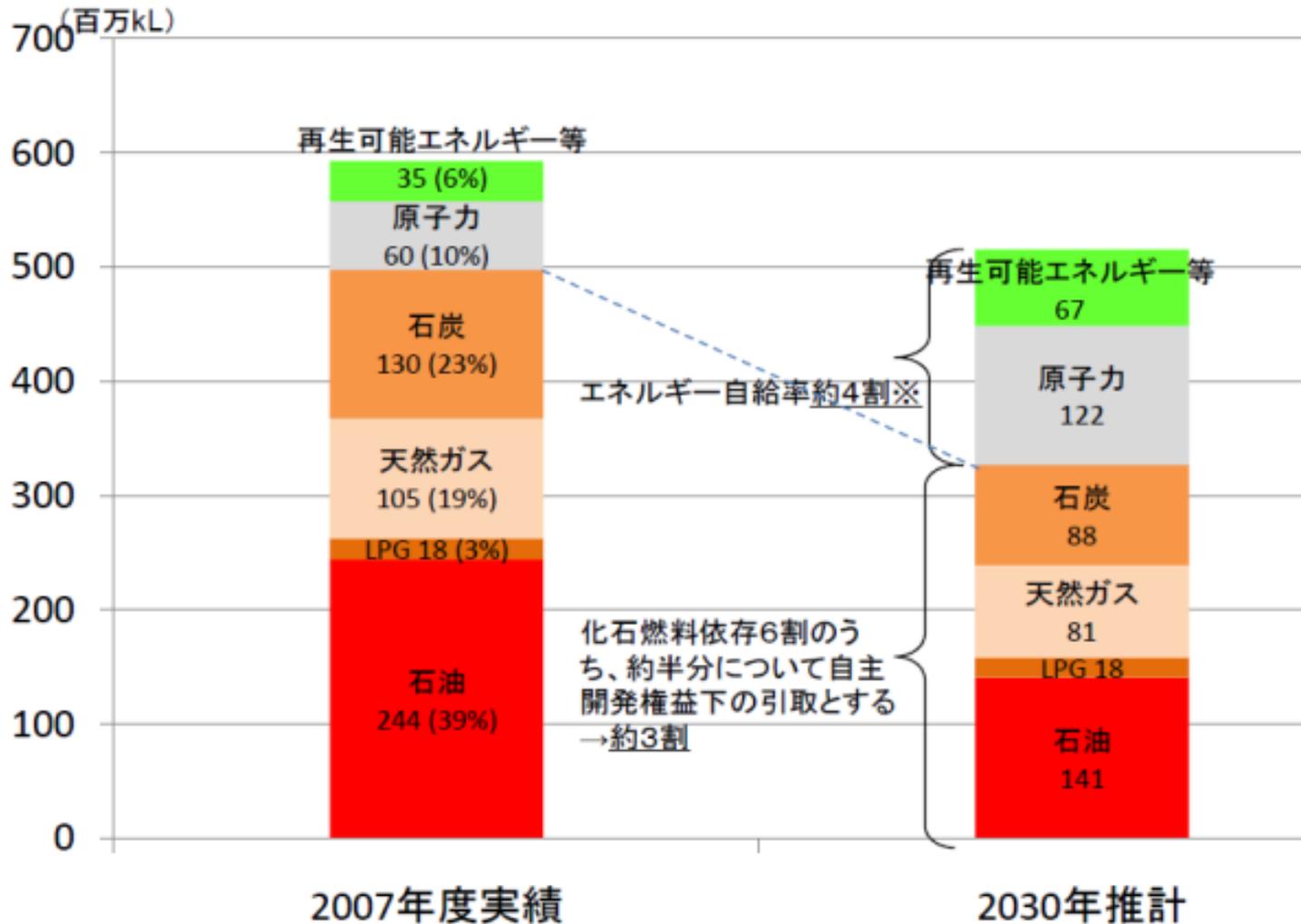
世界各国は原子力建設へ



※(カッコ書き)は2025年に予想される設備容量と現在の設備容量(GW)

世界原子力協会(WNA)2010年1月のデータを基に作成

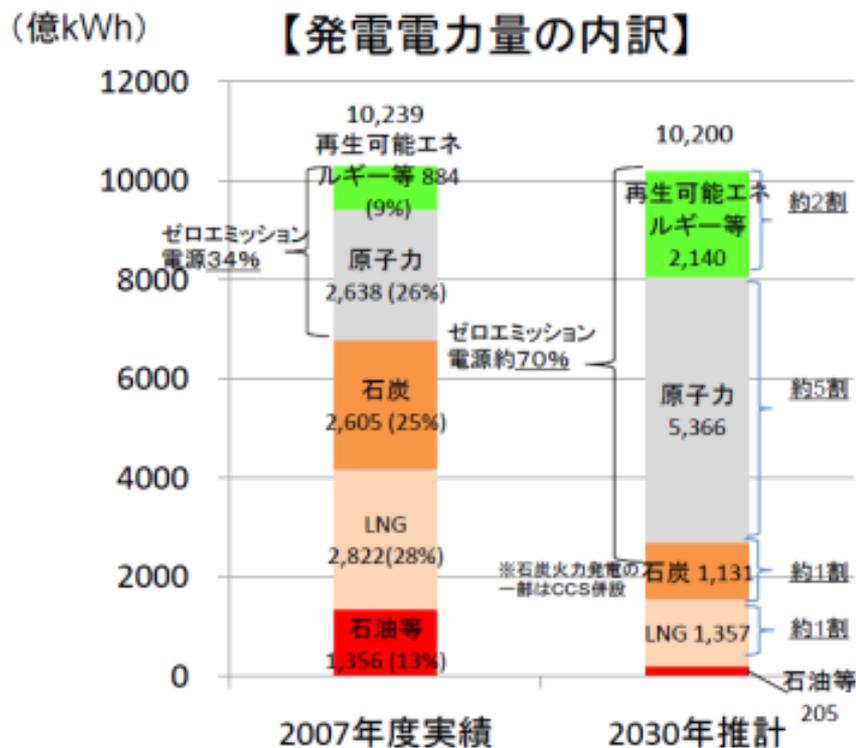
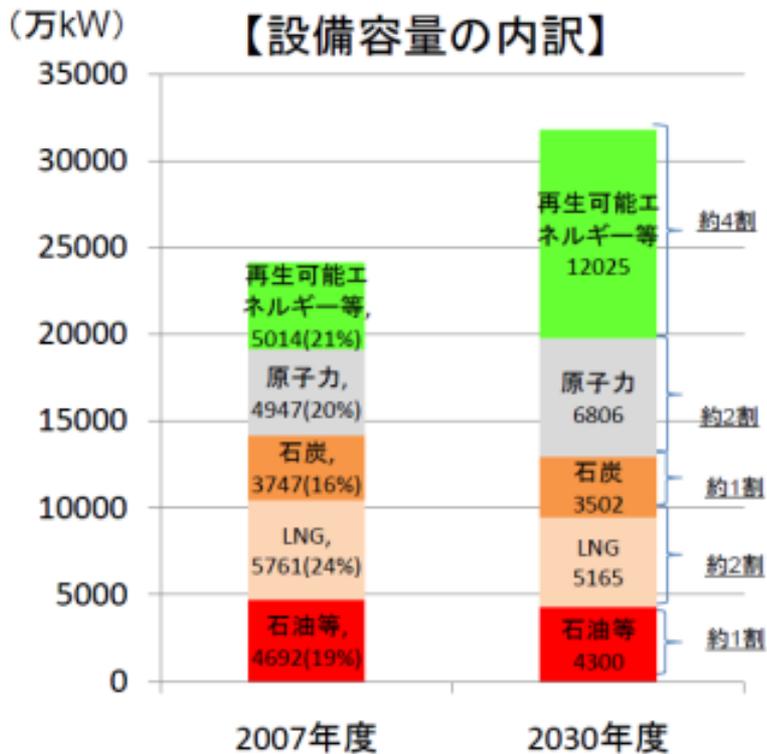
我が国の2030年の1次エネルギー供給の姿



2010年 経産省「エネルギー基本計画」より

我が国の2030年の発電設備容量と電力量の姿

※2030年の「再生可能エネルギー等」には、家庭等での発電量も含む

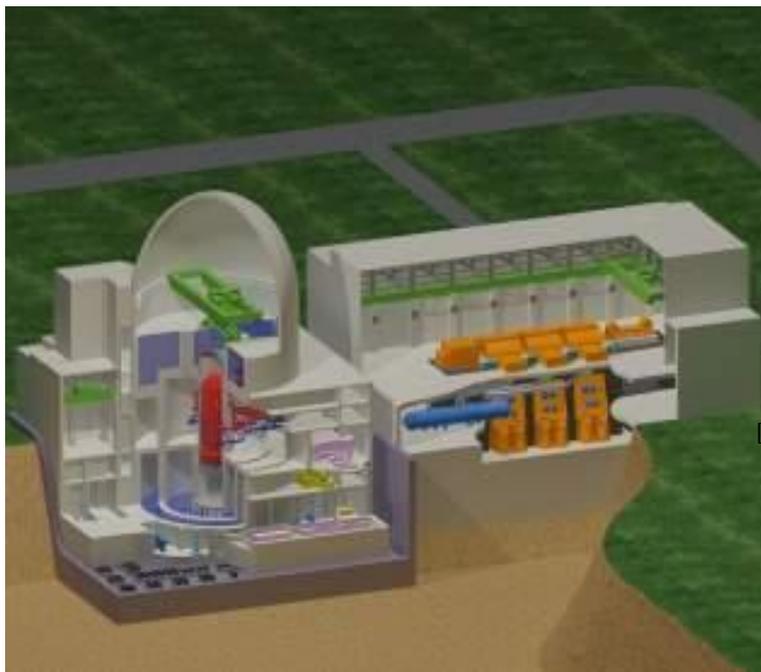


2010年 経産省「エネルギー基本計画」より

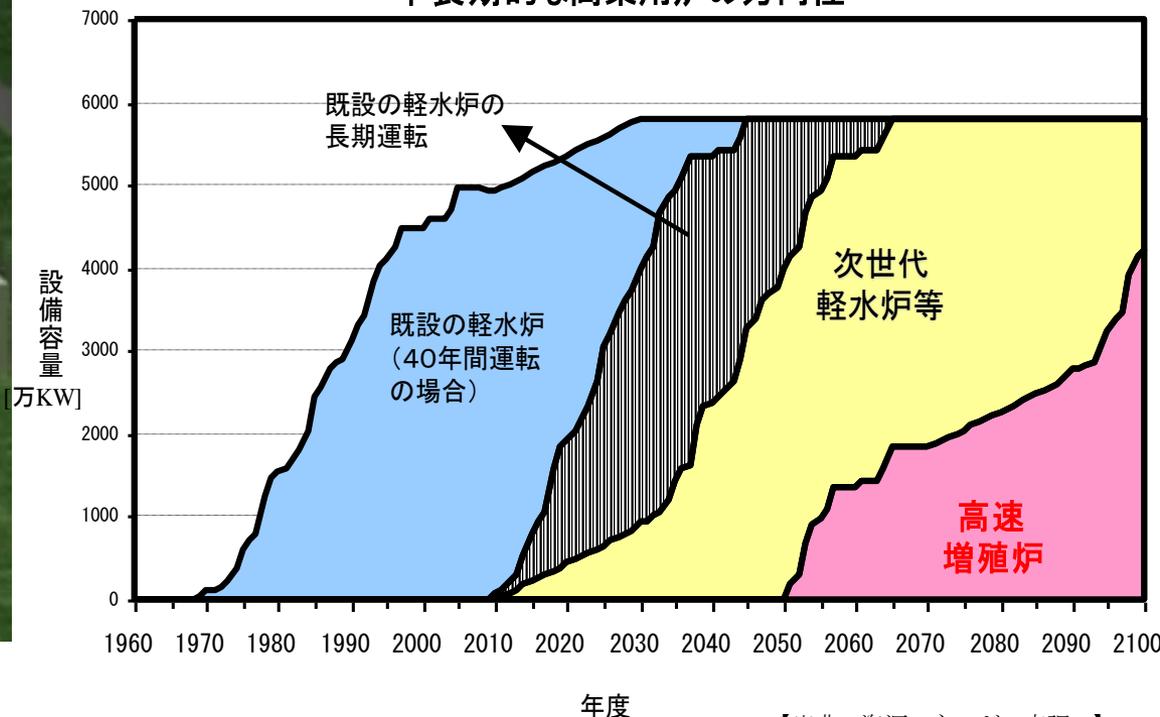
我が国の中長期的な原子力発電計画

次世代軽水炉のイメージ図

2015年基本設計完了
2030年頃からのリプレースに対応



中長期的な商業用炉の方向性



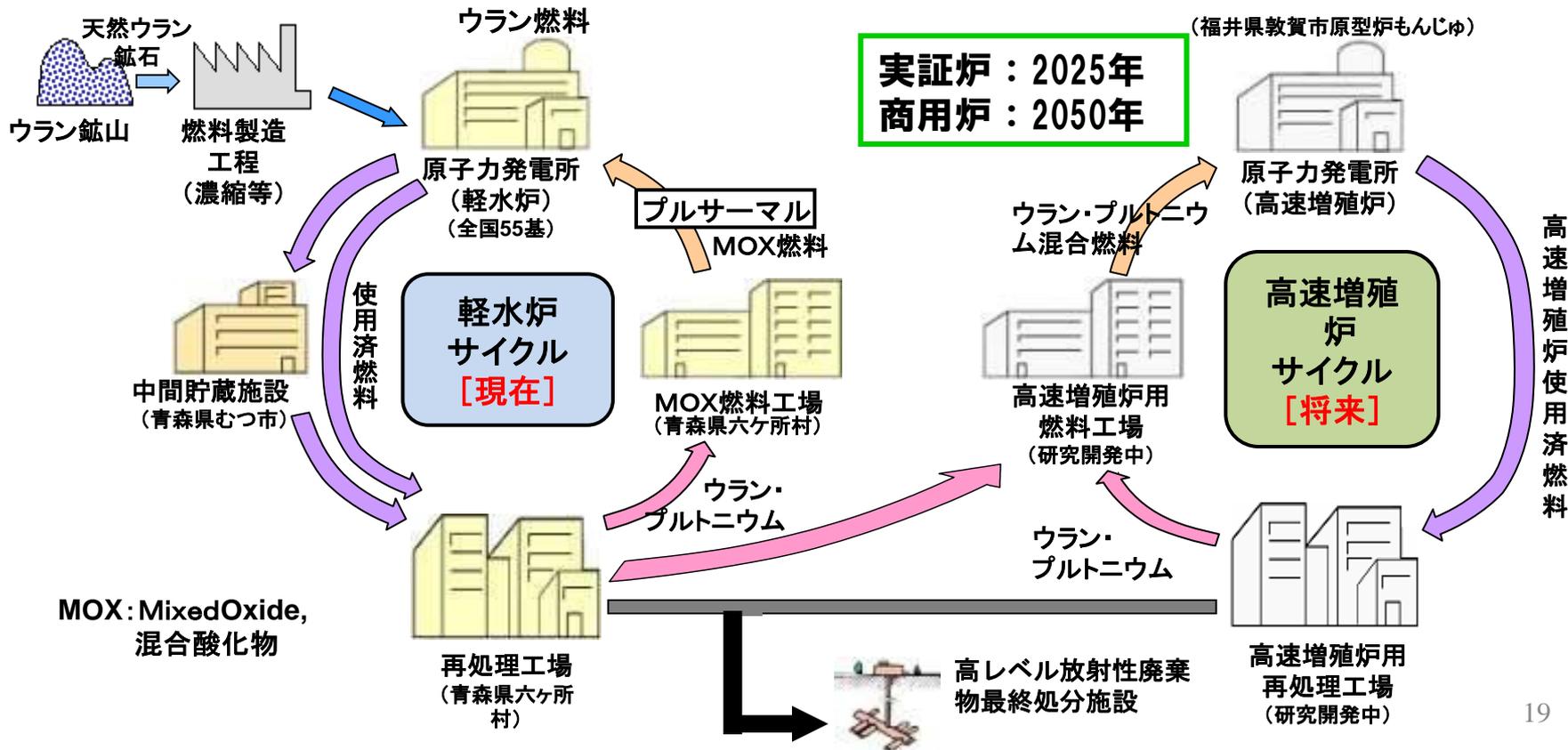
【出典：資源エネルギー庁調べ】

【開発目標】

- ・180万kW級の単基出力(世界最大)
- ・使用済み燃料の発生量を約3割低減
- ・免震設計による立地自由度向上
- ・設計寿命80年、建設工期約30ヶ月
- ・被ばく線量を現状の1割以下に低減

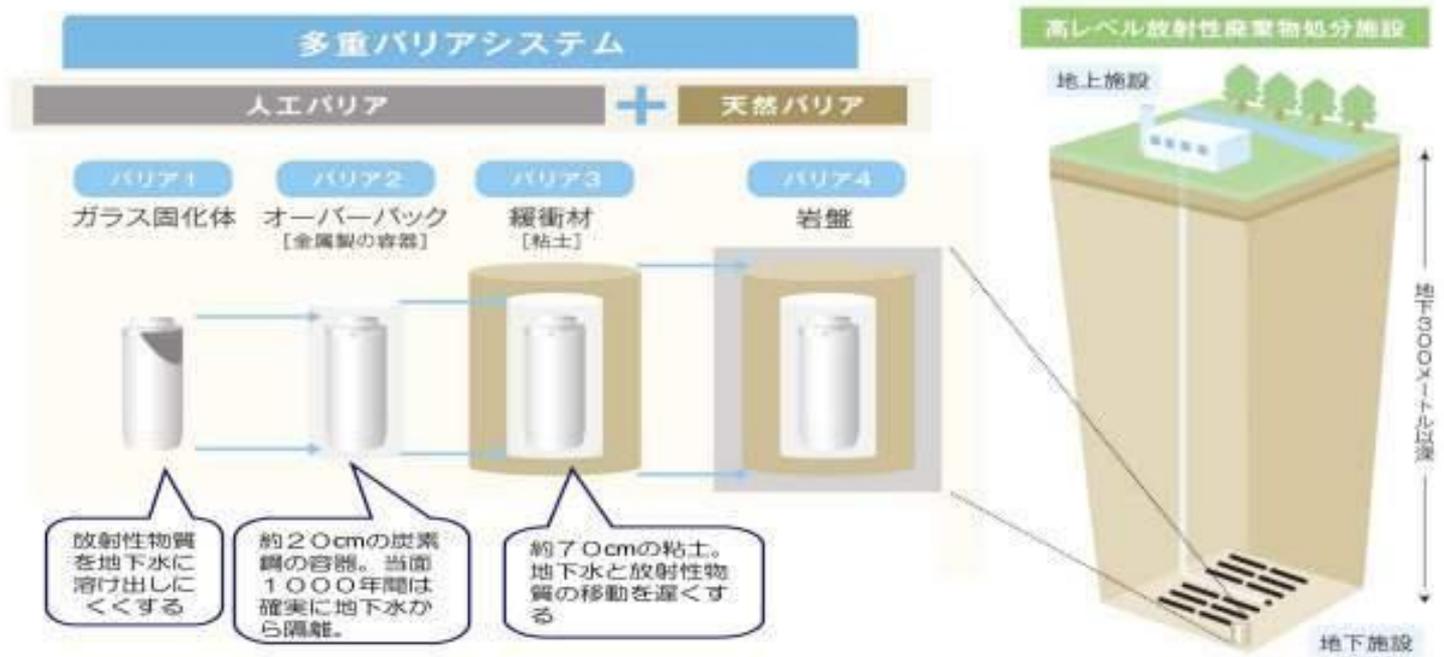
核燃料サイクルによりウラン資源国産化

- 「核燃料サイクル」とは、原子力発電所の使用済燃料を再処理することにより取り出したウランとプルトニウムを再利用すること。
- 限りあるウラン資源利用年数の増大、国産エネルギー確保に貢献。
- 放射性廃棄物の量を減少。



高レベル放射性廃棄物地層処分

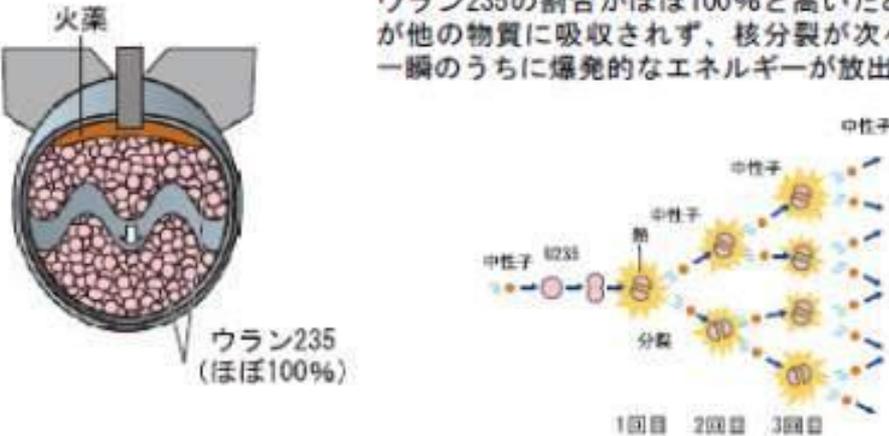
○ 放射性廃棄物は、原子力発電所の燃料のように連鎖的に核分裂反応を起こすことはなく、長い時間をかけて減衰していく性質を有している。この間、人間環境から隔離することが安全性確保のポイント。



火山や活断層を避け、地層処分に適した地質環境条件を選択する。

人工バリア2までで1000年間は安全、後は自然界の隔離機能により安全性を確保

原発と原爆の違い

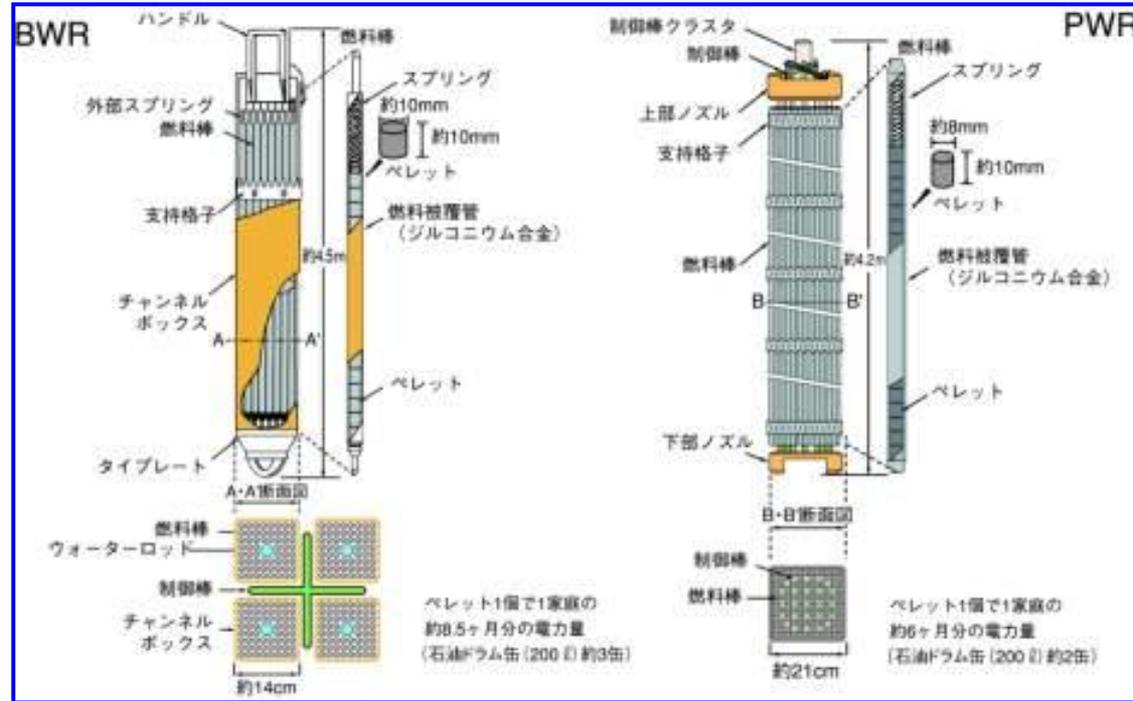
	ウラン235とウラン238の割合と核分裂連鎖反応	核分裂数の制御の方法
<p style="writing-mode: vertical-rl; text-orientation: upright;">原子力発電の場合</p>	<p>ウラン235の割合が低く、中性子がウラン238に吸収される等の理由により核分裂が一定の規模で継続する。</p> 	<p>制御棒が多数設置されており、また自己制御性があるため急激に核分裂数が増加することはない。</p>
<p style="writing-mode: vertical-rl; text-orientation: upright;">原子爆弾の場合</p>	<p>ウラン235の割合がほぼ100%と高いため、中性子が他の物質に吸収されず、核分裂が次々起こり、一瞬のうちに爆発的なエネルギーが放出される。</p> 	<p>制御棒が設置されておらず、自己制御性がないため、急激に増加する核分裂を止める事は出来ない。</p>

原子力発電の燃料

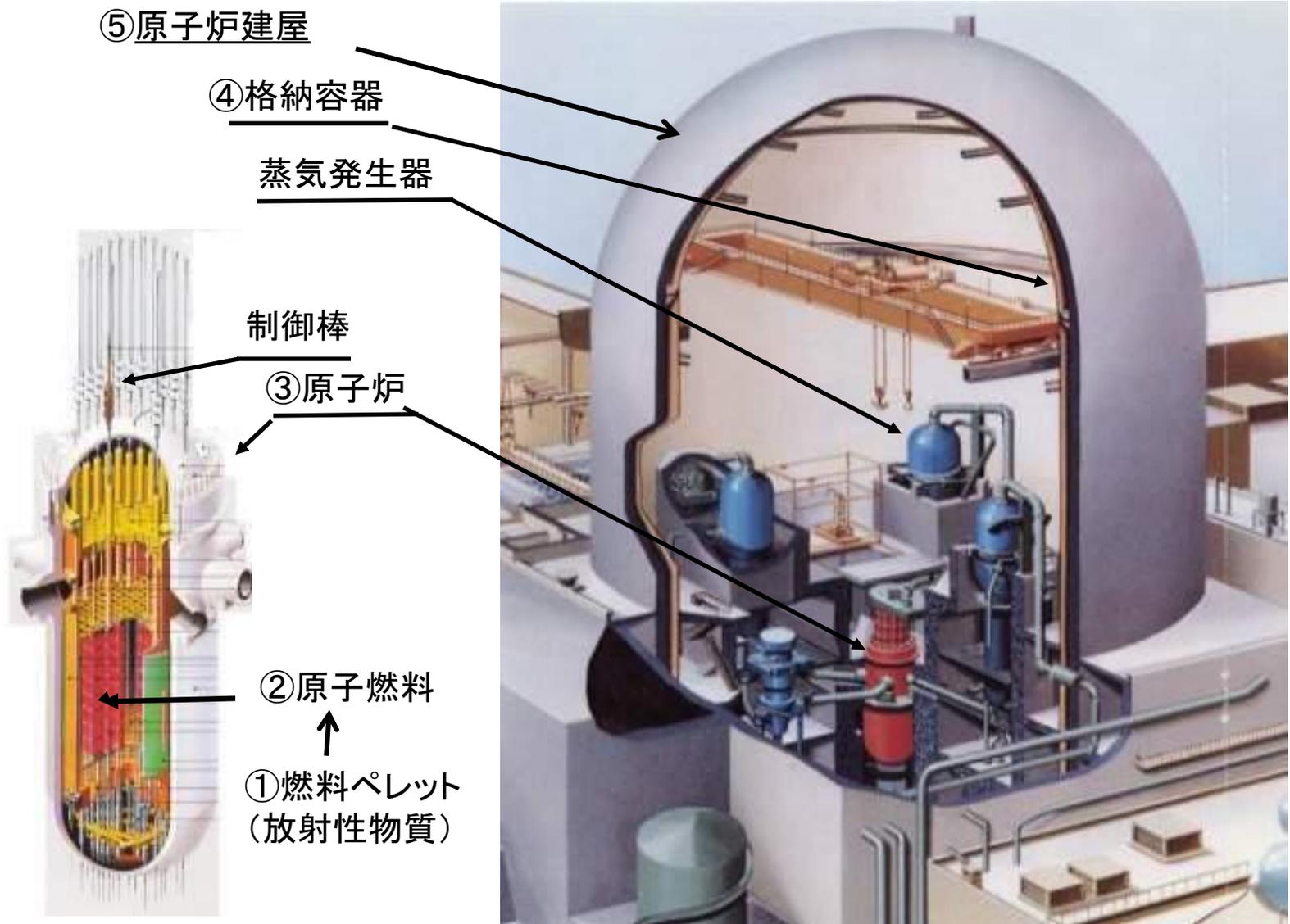
ウラン燃料棒の模型
実物は直径約8mmウラン
ペレット(U235は3~5%)
が長さ約4.2mの管の中
に360個挿入。



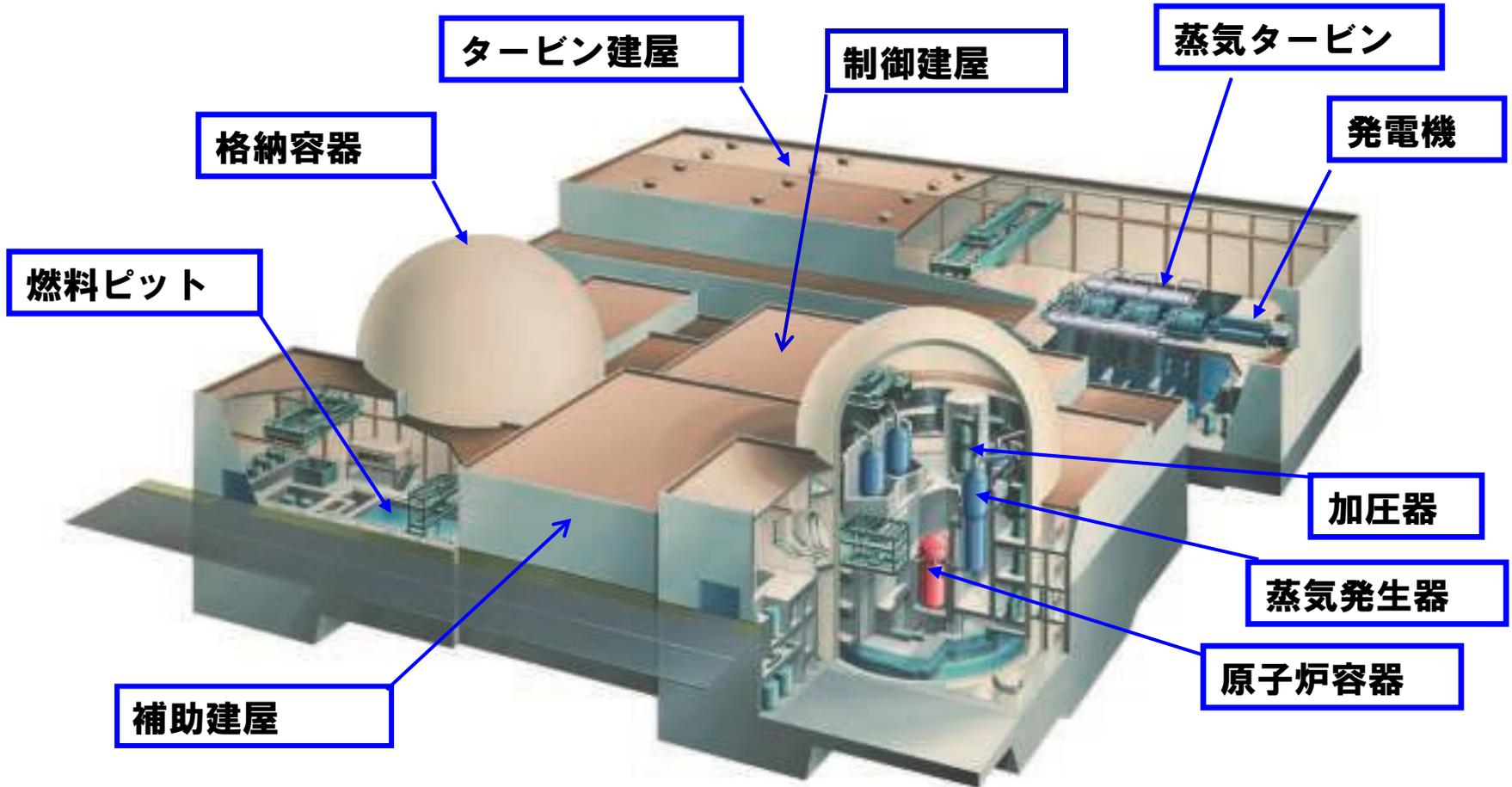
ペレット1個で1家庭の約半年分の
電力を発生



5重の壁



原子力発電所の構成 (PWR)



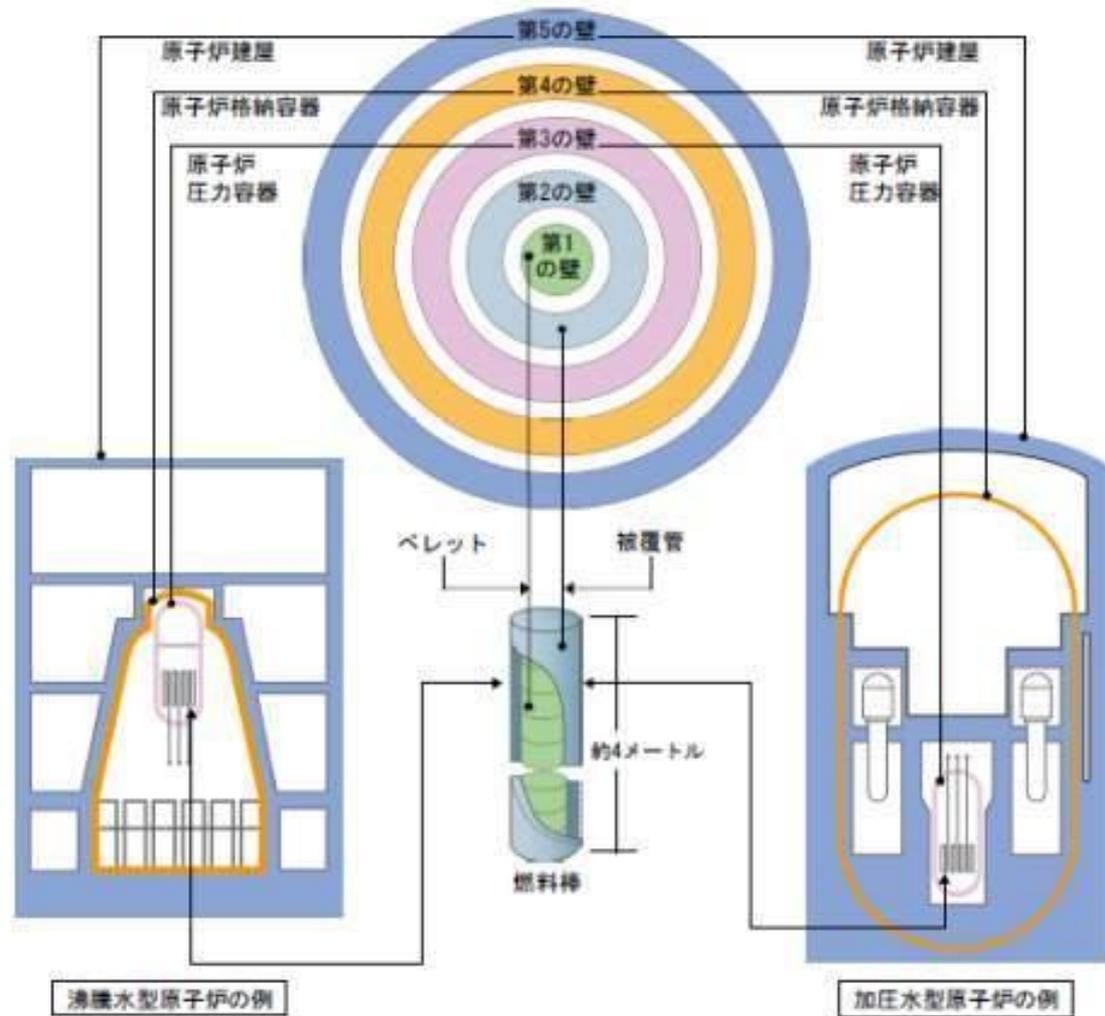
九州電力玄海原子力発電所

美しい海と雄大な自然に囲まれた
玄海原子力発電所にようこそ



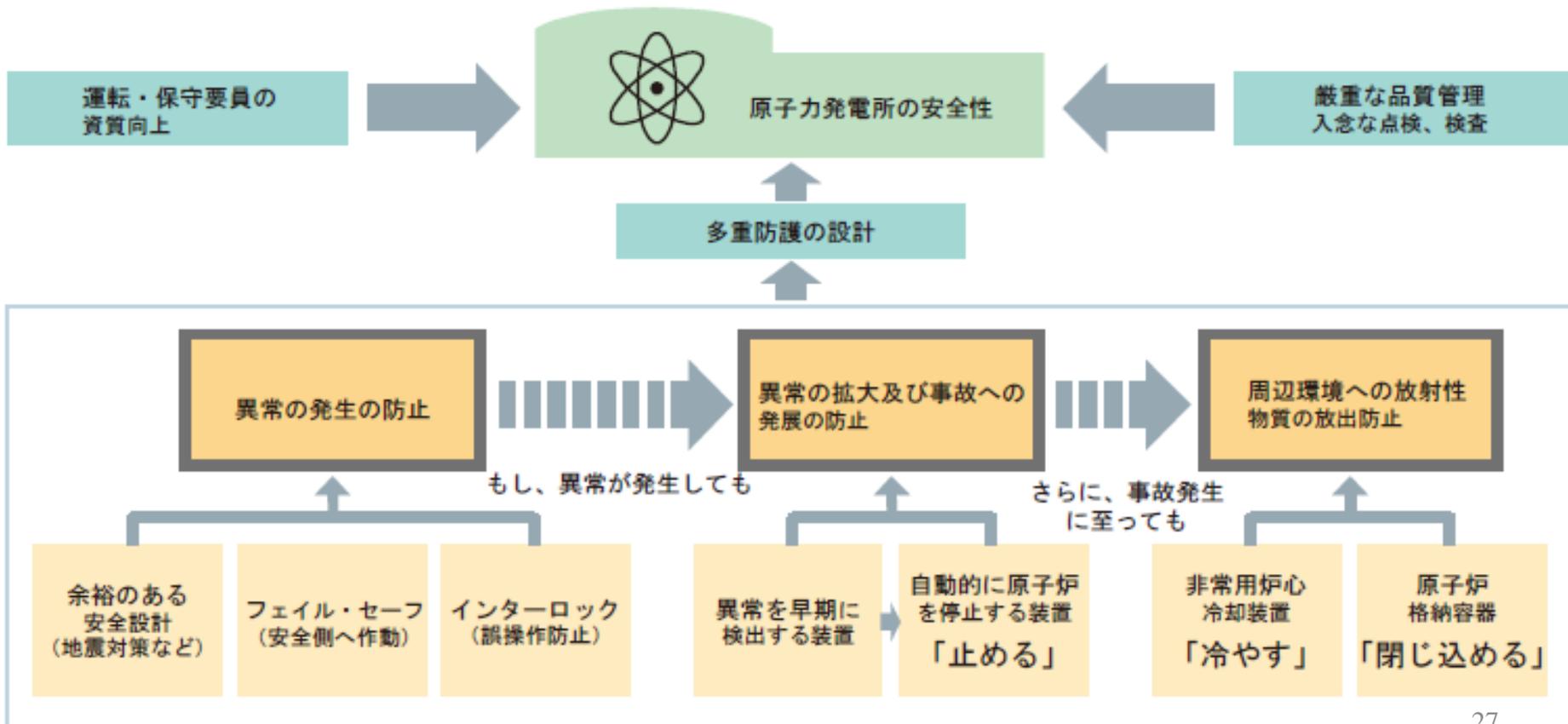
放射能を閉じ込める5重の壁

原子力発電所の放射能の99%は燃料にあり、5重の壁で外部へ漏れないようになっている



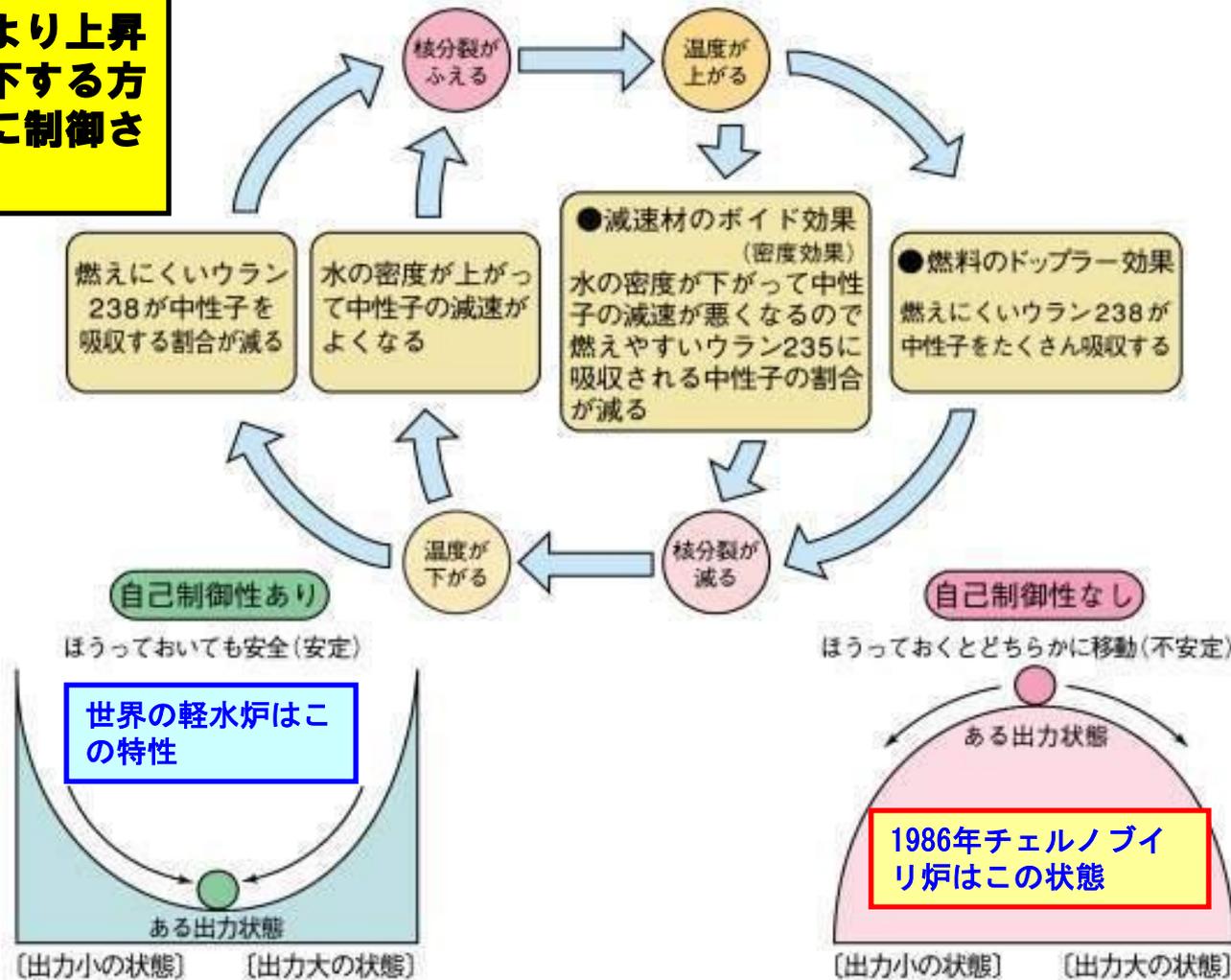
安全確保の仕組み

「機械は故障する」、「人間はミスをする」、ことを前提に、そうなっても事故が拡大し放射能を外部に出さないように多重防護の設計をし、要員の資質向上、機器の点検検査を行い、安全を確保している。



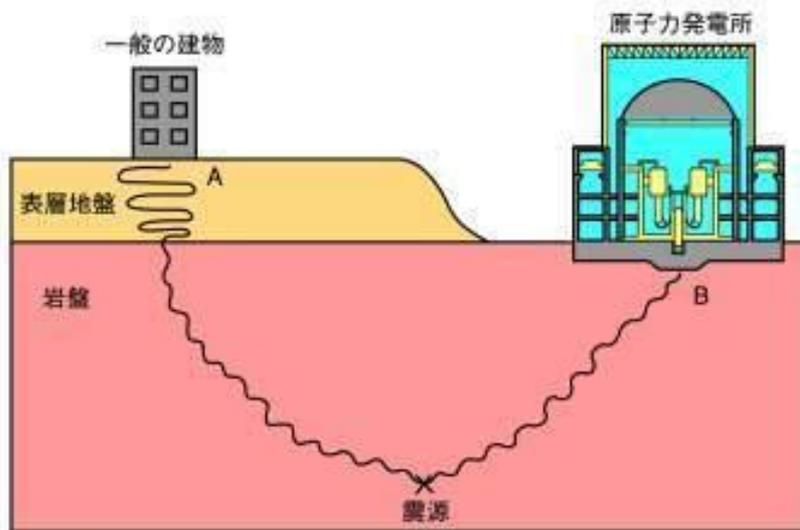
原子炉は自己制御性があり暴走することは無い

出力が設定より上昇すると、低下する方向に自動的に制御される



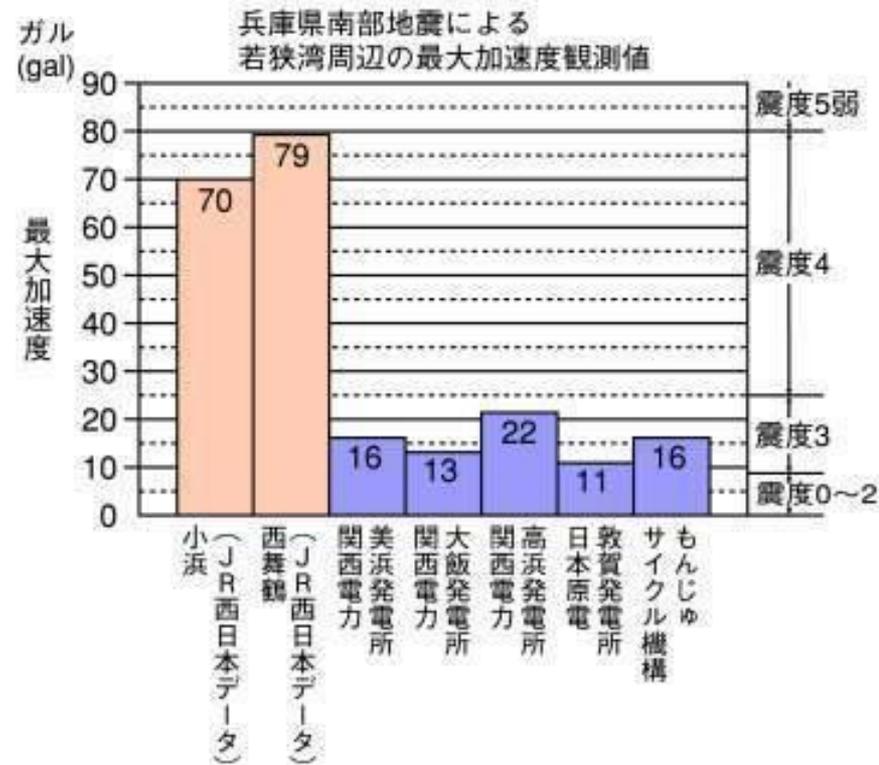
原子力発電所の耐震設計の7つのポイント

- ①活断層の上には建設しない
- ②岩盤の上に直に建設する
- ③最大の地震を考慮して設計
- ④信頼性の高い解析プログラムで設計評価
- ⑤大型振動台により実証試験
- ⑥大きな地震には自動的に運転を停止
- ⑦津波に対しても対策する



(岩盤での揺れは表層地盤に比べ $\frac{1}{2}$ ~ $\frac{1}{3}$ 程度)

<阪神淡路大地震時の揺れの比較>



何故、大都会に原子力発電所を建設しないのか？

原子力発電所の立地で考慮すること

1. 十分な敷地、内部に住民が居住していないこと
2. 地盤が強固であること
3. 十分な冷却水が確保できること
4. 津波、高潮、洪水など
5. 気象条件(雨、雪、風など)に対し適切な設計となっていること



我が国の大都会（電力消費地）は1、2の確保が困難
火力発電は1、2の考慮が不要

我が国の原子力発電所の安全確保

1. 原子力発電は厳重な環境審査で設置場所を厳選
2. 周辺に放射線・放射能の漏洩を防止する安全の仕組み
 - ① 自己制御性：原子炉は自然にブレーキがかかる設計☆
 - ② 放射能漏洩防止の5重の壁☆
 - ③ 多重防護の安全確保のしくみ
 - 異常発生防止 ☆
 - ⇒ 異常拡大防止 ☆
 - ⇒ 周辺への放射能異常放出防止 ☆
 - ④ 地震対策
3. 国が安全審査、工事認可
4. 運転中も定期検査により遵守状況や健全性をチェック
5. 運転員や保守員、検査員の教育・訓練、資格認定制度 ☆
6. 万一の故障やトラブル発生時の地方自治体・電力会社・医療施設等の緊急体制、定期的に原子力総合防災訓練 ☆

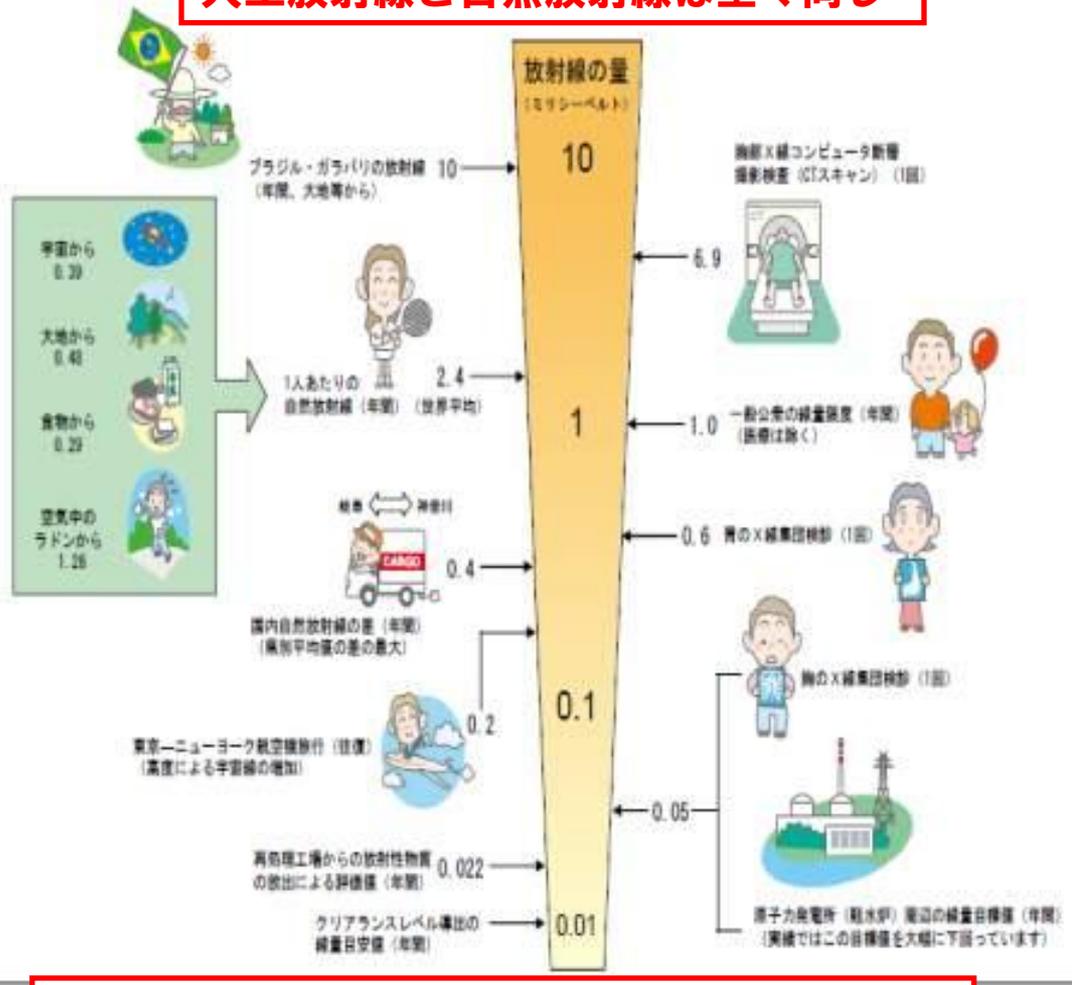
☆ソ連のチェルノブイリの欠陥⇒チェルノブイリ原発は欠陥原子炉。しかも、運転員が規則違反、運転管理も問題

放射線は正しく怖がることが大事

- 自然界には放射線が満ちている
- 放射線は五感では分からないが、精度良く測定できる。
- 人体への悪影響のあるレベルを超えない厳格な管理をしている
- 放射線の性質(距離、遮蔽、時間)を活用して、被曝防護が出来る
- 放射線は日常生活で利用され役に立っている
- 薬は適量で効果を発揮、度を越すと毒になる
放射線も同じ

放射線の安全性について

人工放射線と自然放射線は全く同じ



原子力発電所からの放射線量は自然の5%以下

mSv (ミリシーベルト) : 放射線が人体に当てる影響を表す単位

100mSvまでは疫学的影響は無い

職業人の年間被ばく線量 < 50mSv

人間の体内には7,000ベクレルの放射能を持っている



放射線利用は色々な分野で 社会の役に立っている

<工業分野の主な放射線利用>

半導体の製造

半導体

ラジアルタイヤの製造

電池用隔膜の製造

ポタン型電池

燃料電池用膜の開発

ナノデバイスの開発

<農業分野の利用の現状>

放射線育種

放射線照射による突然変異を利用して新品種を開発
→188品種を開発(2008年現在)

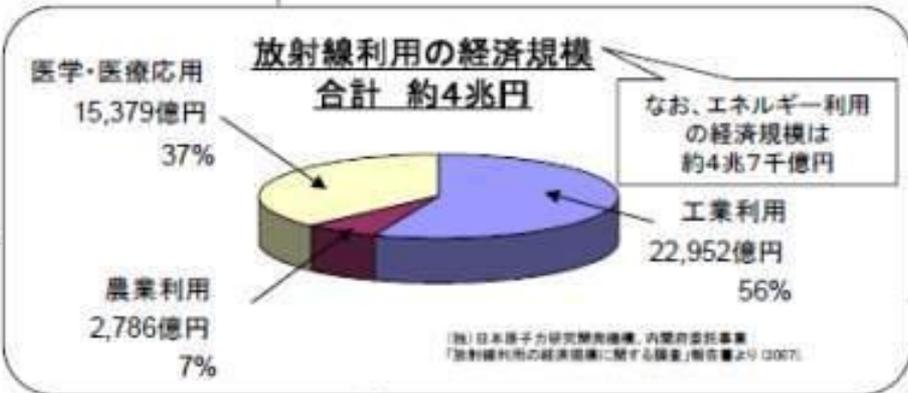
害虫防除

放射線による不妊化で
ウリムバエを根絶

食品照射

(未照射) (照射済み)

放射線照射によるジャガイモ芽止め



<医療分野の主な放射線利用>

CT機能とPET機能を有する
PET-CT装置

肺がんの診断画像
(X線CT, PET, PET-CT)

X線CT PET PET-CT

<環境・資源分野の利用の現状>

電子線を用いた排煙処理

電子加速器
汚染ガス ガス中汚染物質
分解・除去

有用金属捕集材の開発

原子力の特徴

<原子力発電の特徴>

- 優れた供給安定性
 - ウランは地球上、比較的広範囲に分布
 - 化石燃料に比べごく少ない量で発電が可能
 - 燃料の備蓄が容易
 - 少ない燃料取替頻度
- CO₂抑制: 発電燃料の燃焼時にCO₂を出さない
- リサイクル可能
- 放射線や放射性物質の管理が必要

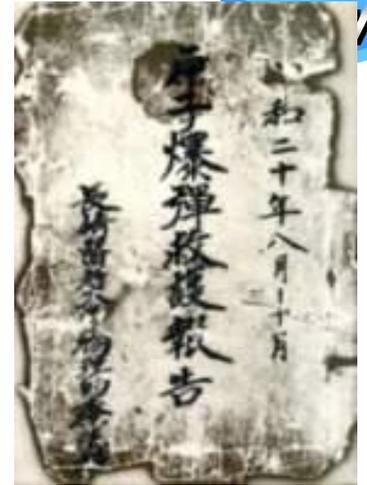
<原子力技術の特徴>

- 巨大科学技術
- 放射線のリスクを有するために、安全に対する要求が高い
法により強く規制される(認可事業)
- 国のエネルギー政策の一部
- 携わる国や事業者に高い倫理が要求される

まとめ

1. これからのエネルギー資源問題、地球温暖化対策を考えると化石燃料に代わるエネルギーの活用は欠かせません。その必要条件である量、質、経済性全てを満足するのは再生可能エネルギーではなく、原子力エネルギーです。
2. 世界は原子力に回帰し（ルネッサンス）、先進国だけでなく途上国も原子力発電推進の方向です。我が国ではこれまでも一貫して原子力を基幹エネルギーとして推進してきた、今後も政権に関係なく更に活用拡大する方針です。
3. 我が国の原子力は安全を深く考えた設計・機器設備であり、安全第一の運転管理であり、安全な実績があります。
4. しかしこれから更に原子力エネルギーの利用を拡大していくには、十分条件として国民（特に立地地域）に安心していただく必要があります。その為には原子力・放射線教育の普及、広聴広報、情報の一層の透明性、国民のメディアリテラシーなどに努めることが重要で、我々原子力関係者にもその責任があります。
5. 自然と人間が共生する住みよい社会を創造するには、エネルギー問題・環境問題、その解決策の柱としての原子力の正しい認識が必須であり、そのための教育は益々重要になります。皆様の今後のご活躍に大いに期待します。

エピローグ



最後に、長崎の原爆被災者の救護活動に全精力を傾注された当時の長崎医大永井隆博士の「原子爆弾救護報告」にある永井博士の深い洞察と先見性ある一文を引用する。

「スベテハ終ツタ。祖国ハ敗レタ。吾大学ハ潰滅シ吾教室ハ烏有ニ帰シタ。余等亦人々傷ツキ倒レタ。住ムベキ家ハ焼ケ、着ル物モ失ハレ、家族ハ死傷シタ。今更何ヲ云ハンヤデアル。唯願フ処ハカカル悲劇ヲ再ビ人類ガ演ジタクナイ。原子爆弾ノ原理ヲ利用シ、コレヲ動力源トシテ文化ニ貢献出来ル如ク更ニ一層ノ研究ヲ進メタイ。転禍為福。世界ノ文明形態ハ原子エネルギーノ利用ニヨリ一変スルニキマツテキル。サウシテ新シイ幸禍ナ世界ガ作ラレルナラバ、多数犠牲者ノ霊モ亦慰メラレルデアラウ。」