

原子力発電の基礎と安全確保について

令和2年12月3日

金氏 顯

(かねうじ あきら)

原子力学会シニアネットワーク連絡会
元三菱重工業代表取締役常務

(注)この講演と共に、下記の3つの資料も副読本としますので自習して下さい。

- ①資源エネルギー庁資料「日本のエネルギー2019、日本のエネルギーを知る10の質問」
- ②文科省「中高生の為の放射線教育副読本」
- ③河田東海夫「解決できる、トイレなきマンション問題」

講師のプロフィール

2

【学歴】1962年小倉高校卒、1968年九州大学動力機械工学修士

【企業歴】

- 1968年三菱重工入社、1998年まで30年間、加圧水型軽水炉(PWR)23基の基本設計、詳細設計、トラブル対策、APWR開発、原子力船むつ起動試験など
- 1999年取締役・神戸造船所長、
- 2001年代表取締役常務・機械事業本部長、台湾新幹線プロジェクト責任者、2004年役員退任、特別顧問2012年退任。

【社会活動歴】

- 2006年原子力学会シニアネットワーク連絡会(SNW)を設立し初代代表幹事、全国大学・高専にて学生と対話会、大学非常勤講師、各地で講演、現在に至る。
- 2010年北九州に里帰り、2012年北九州イノベーションギャラリー館長、2016年退任。
- 2012年に藤田哲也博士記念会入会、2020年会長

【現在】

エネルギー問題研究所・代表、日本原子力学会フェロー、SNW九州・副会長、九州のエネルギーを考える会副会長、藤田哲也博士記念会会長など。

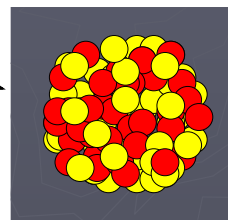
核分裂と放射線について

ウランの同位体

原子番号が同じでも中性子の数の異なる原子がある。
これを同位体という。化学的性質は同じ

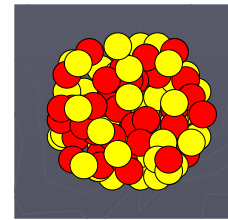
- 原子番号92のウランは放射線を出す元素、
- 質量数235(中性子の数143)と、
- 質量数238(中性子の数146)の同位体がある。

原子炉の中では主としてウラン235が核分裂をする



235

U



238

U

▶ 元素記号で表すとき質量数は左肩に付ける。

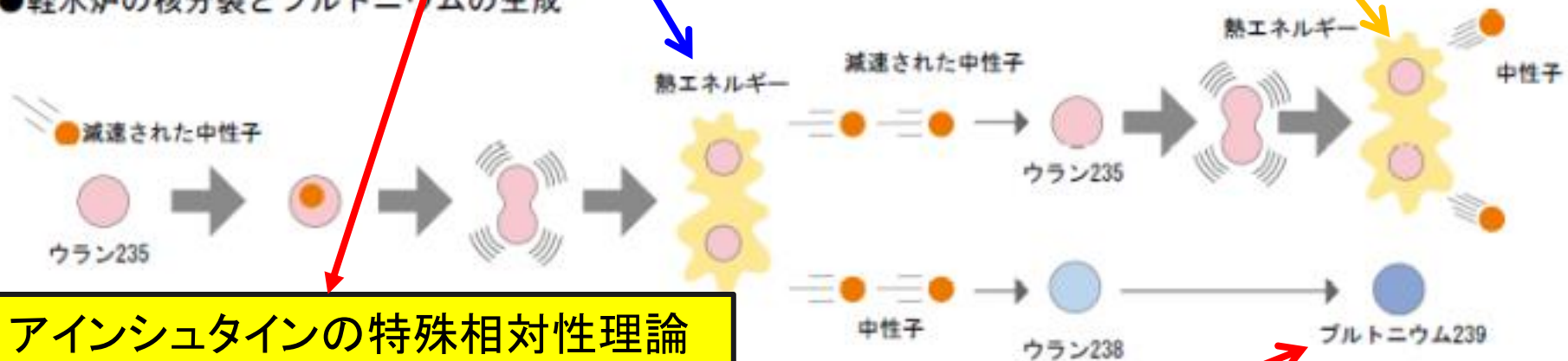
ウラン235とプルトニウム239の核分裂

4

ウラン235が核分裂した時に発生する**熱エネルギー**により蒸気を発生し電気を作る

核分裂の結果、ウラン235は2つのより小さい物質になり、これが**高レベル放射線廃棄物**となる

●軽水炉の核分裂とプルトニウムの生成



アインシュタインの特殊相対性理論
「質量がエネルギーに変換する。」

$$E=mc^2$$

E:熱エネルギー (cal=4.18J、
J=kgm²/s²)、m:消失質量 (g)、
C:光の速度=3 × 10⁸m/s

一部のウラン238は中性子を吸収し、プルトニウム239になる。この一部は核分裂し熱エネルギーを発生、一部が残る。このプルトニウム239を再利用するのが**核燃料サイクル**である。

化石燃料に比べ極少量で同じエネルギーを出す

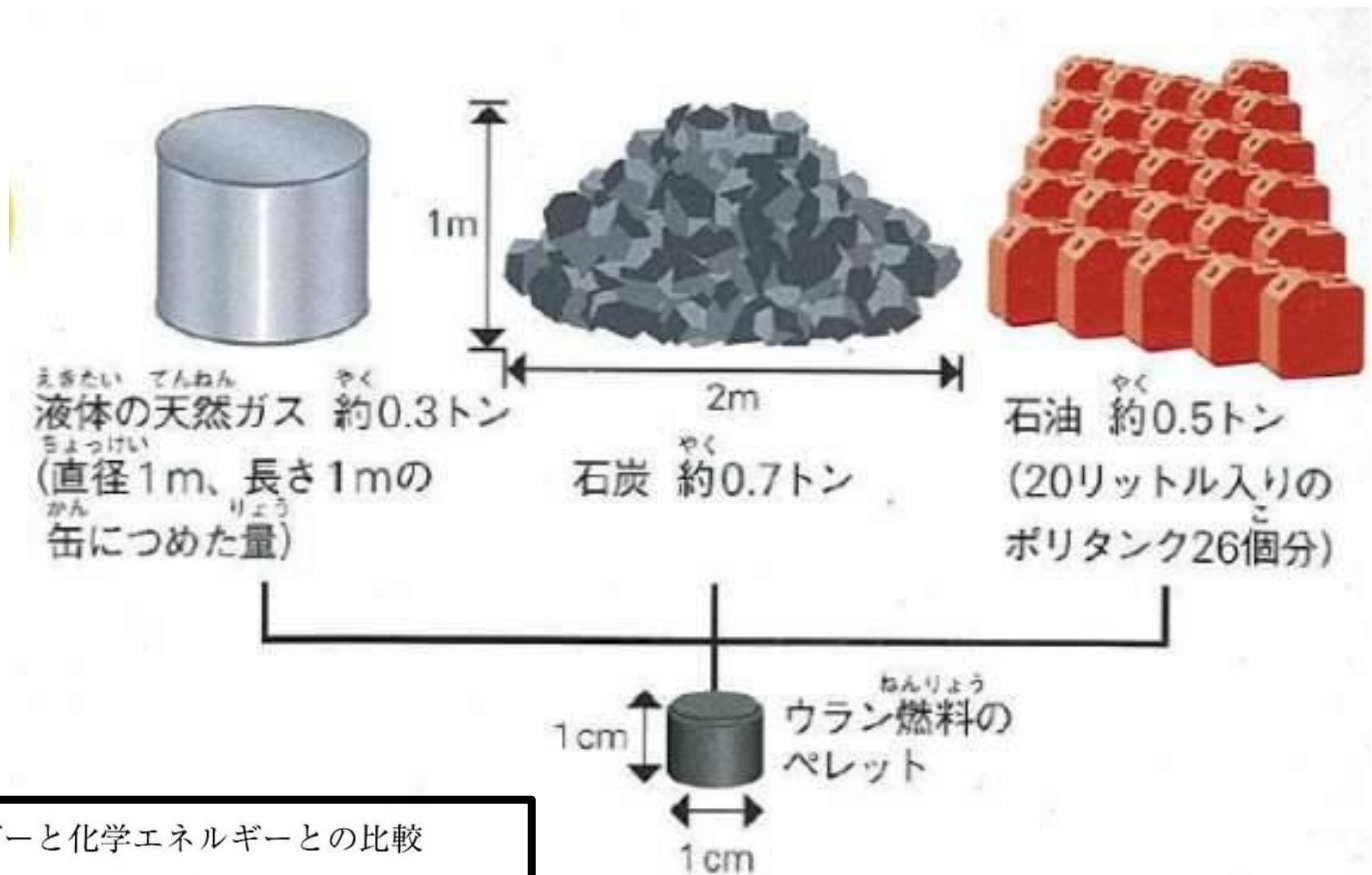


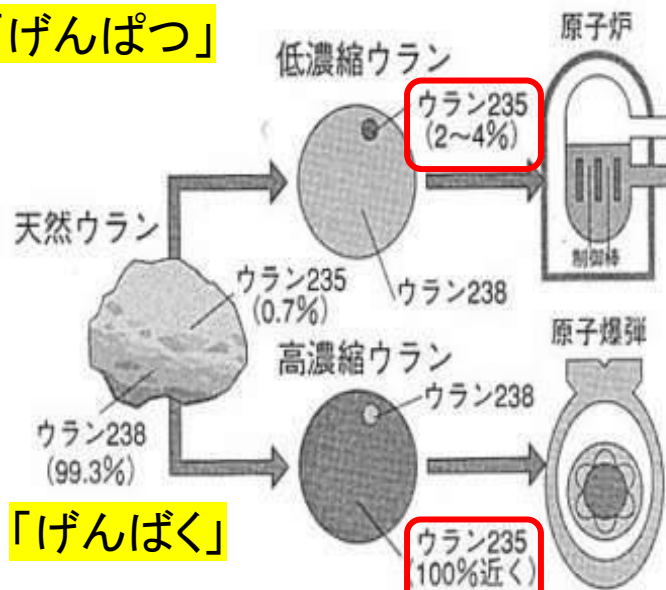
表 28.6 核エネルギーと化学エネルギーとの比較
(1kg 当り)

物質	反応	放出エネルギー	消失する質量
水素	核融合	$1.5 \times 10^{14} \text{ cal}$	約 7 g
ウラン	核分裂	2.0×10^{13}	約 0.9 g
石油	燃焼	11×10^6	0.00000...
石炭	燃焼	$(3 \sim 8) \times 10^6$	0.00000...

ウラン235の核分裂エネルギーは石油の200万倍、石炭の250万～700万倍という膨大なエネルギーを発生

「げんぱつ」と「げんばく」の違い

「げんぱつ」



「げんばく」

ウラン235が100%近く濃縮されなければ、原子爆弾のような爆発は決して起こらない。

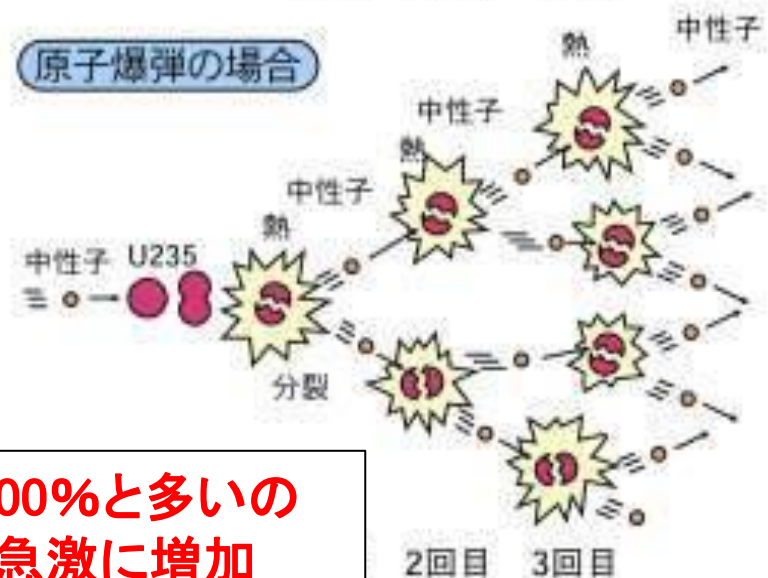
U235 がほぼ100%と多いので核分裂数が急激に増加

原子力発電の場合



核分裂数が増加しないよう制御

原子爆弾の場合



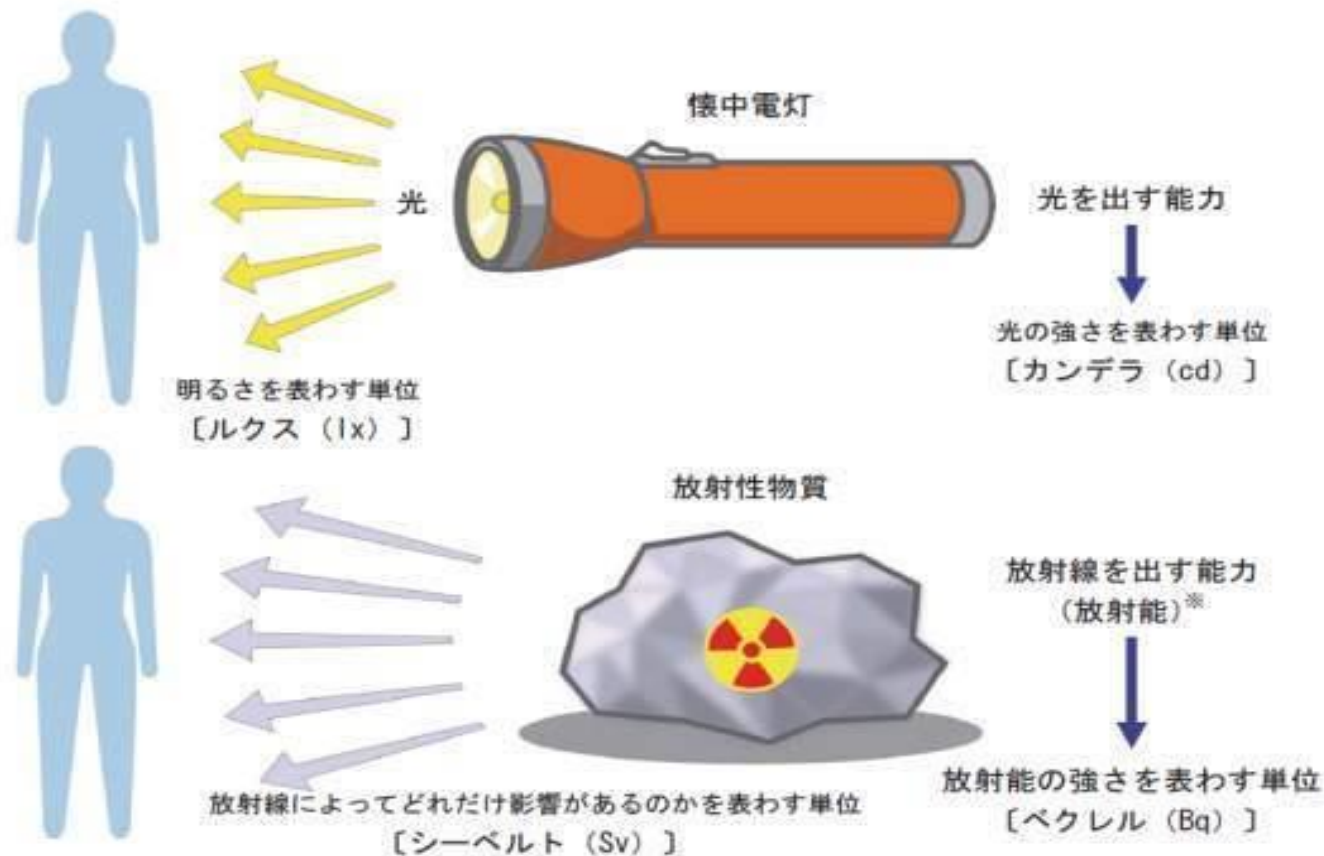
放射線、放射性物質、放射能の違い

7

＜放射線＞

＜放射性物質＞

＜放射能＞



＜シーベルトとベクレルの違い＞

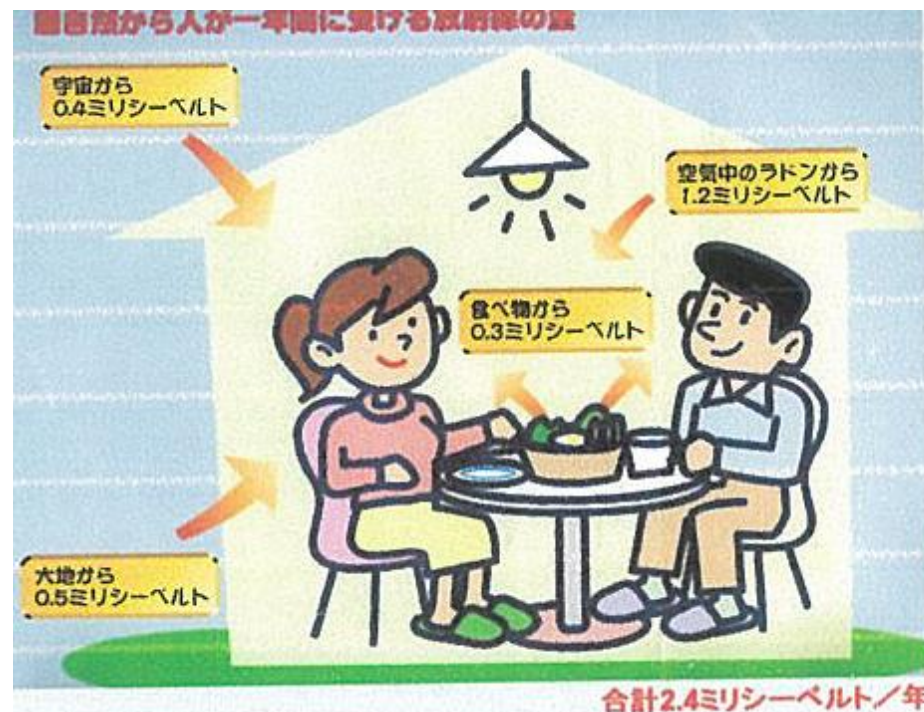
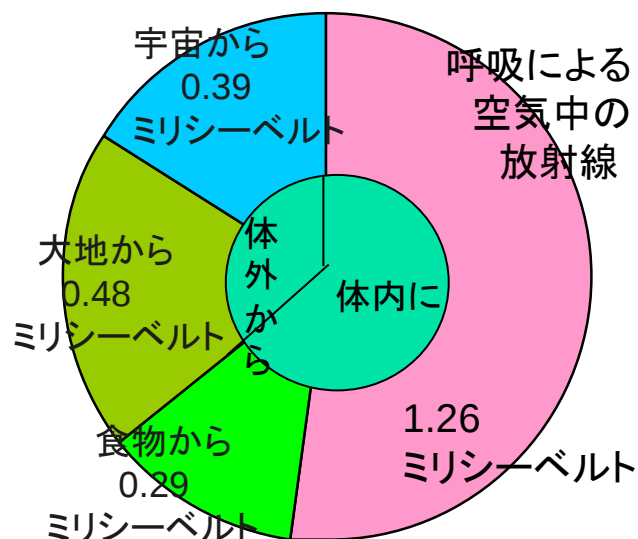
◇シーベルト(Sv)は人間が放射線を受けた時の影響を表す。

◇ベクレル(Bq)は放射性物質から発生する放射能の強さを表す。

1年間に自然界から受ける放射線被曝量

8

合計すると1年間に2.4ミリシーベルトの放射線を受けている。



インド・ケララ、イラン・ラムサールやブラジル・ガラパリは大地からの放射線量が10ミリシーベルト以上あるが、健康影響は見られない。

日本人は1年間に2.1ミリシーベルトの自然放射線と3.9ミリシーベルトの医療放射線、合計6ミリシーベルトの放射線を受けている。

放射線の人体への影響

9

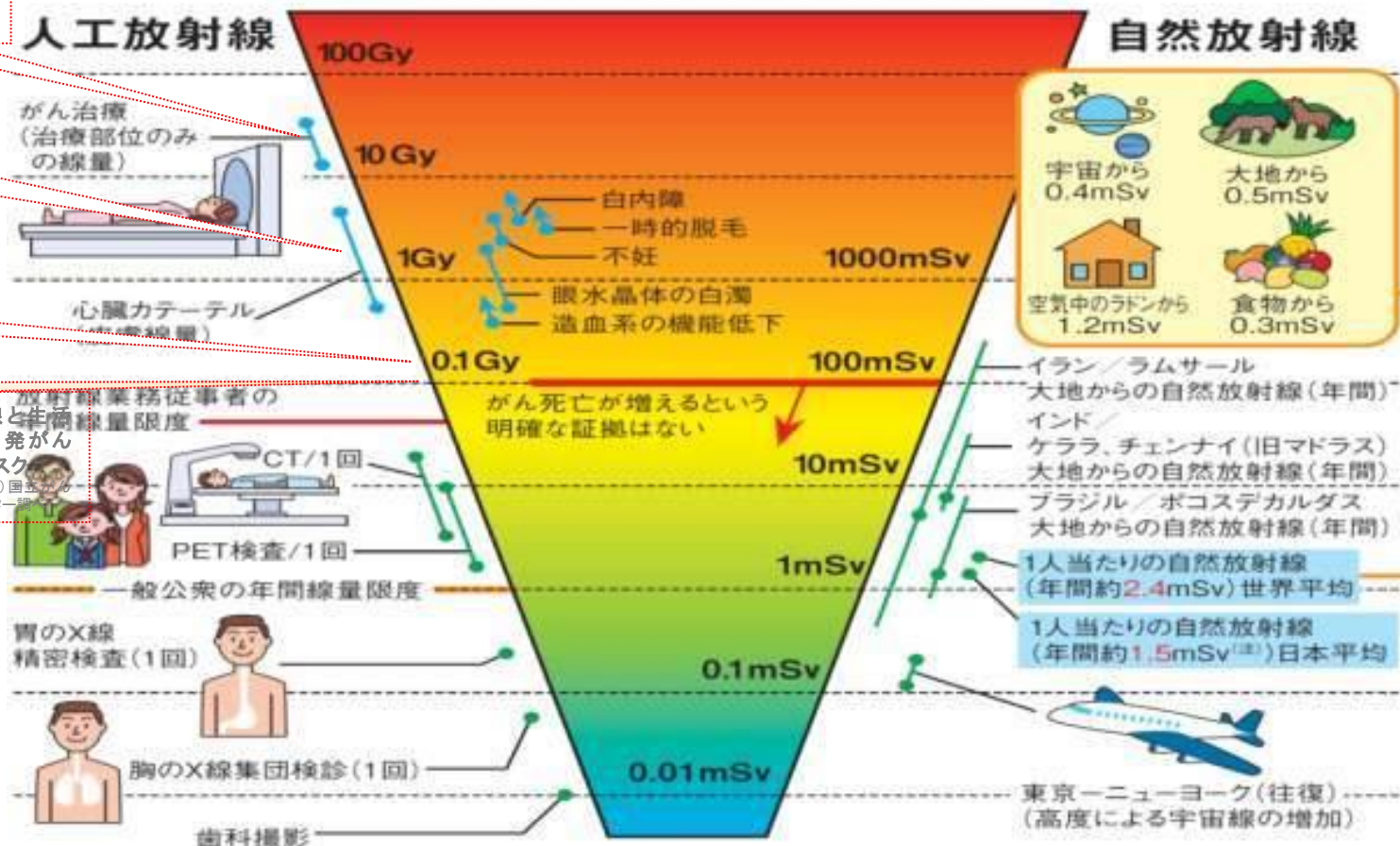
◆身の回りの放射線被ばく

グレイ(Gy)

放射線がものや人に当たった時に、どれくらいのエネルギーを与えたのかを表す単位

人工放射線

自然放射線



1000~2000mSv
喫煙、飲酒3合以上/日
やせ過ぎ・肥満

200~500mSv
運動不足
塩分取り過ぎ

100~200mSv
野菜不足

100mSv

放射線と生活習慣の発がん
相対リスク
出典: (独) 国立がん
研究センター

放射線が人に対して、がんや遺伝性影響のリスクをどれくらい与えるのかを評価するための単位

出典: (独) 放射線医学総合研究所資料などより作成

(注) 2005年に日本分析センターから2.2ミリシーベルトという数値が公表されている。

放射線利用は色々な分野で社会の役に立っている

10

<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



ボタン型電池

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
ウリミバエを根絶

食品照射

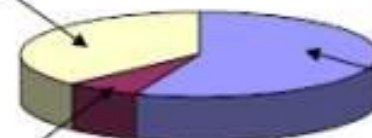


(左) 通商産業省のホームページより (右) 農研機構のホームページより

放射線照射によるジャガイモ芽止め

医学・医療応用
15,379億円
37%

放射線利用の経済規模
合計 約4兆円



なお、エネルギー利用
の経済規模は
約4兆7千億円

工業利用
22,952億円
56%

農業利用
2,786億円
7%

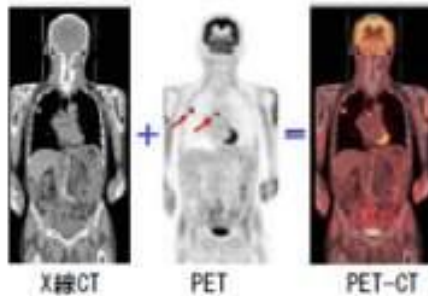
(注) 日本原子力研究開発機構、内閣府委託事業
「放射線利用の経済規模に関する調査」報告書より (2007)

<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)

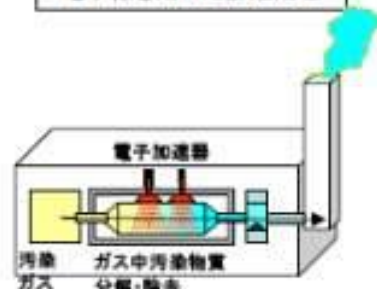


X線CT

PET

PET-CT

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

<環境・資源分野の利用の現状>

有用金属捕集材の開発



- 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

世界における原子力開発の歴史(1)

12

◆物質の核への探求

1895 ドイツ: **レントゲン**、物質を透過する能力を持つ「未知のもの」発見、**X線**と命名。

1898 ポーランド: **マリー&ピエールキュリー**、放射性元素ポロニウム、ラジウム発見、放射線を出す能力を「**放射線**」と命名

◆20世紀の新しい物理学

1905 ドイツ: **アインシュタイン**、特殊相対性理論発表、 $E=mc^2$
原子力の理論的基礎。

1935 湯川秀樹、中間子発見

1939 核分裂反応を発見



◆**第2次大戦**のさなかに欧州のユダヤ系科学者約100人が自由の地を求めアメリカに亡命

1939 米国ルーズベルト大統領に、ナチスドイツが原子爆弾を作る可能性あり、自国防衛のため原子爆弾の研究開発を促す手紙にアインシュタイン署名

1942 **アメリカ政府、極秘の原子爆弾開発「マンハッタン計画」開始。**

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投下！**

8.9. **長崎にプルトニウム型原爆投下！**



世界における原子力開発の歴史(2)

13

◆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、
ウエスチングハウス社製加圧水型原子炉採用
- 1957 国際原子力機関 (IAEA) 発足、
平和利用の国際協力と核不拡散管理
- 1957 米国で初の商業用原子力発電炉、 SHIPPINGポート
60MW運転、加圧水型原子炉
- 1959 米国イリノイ州ドレスデンにて沸騰水型原子炉
200MW運転



◆世界各国で商用原子力発電所を続々と建設

- 1960 フランス、原爆実験、
- 1964 中国、原爆実験、
- 1974 インドも原爆実験
- 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、被害者無し
- 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、放射能汚染欧
州に拡大



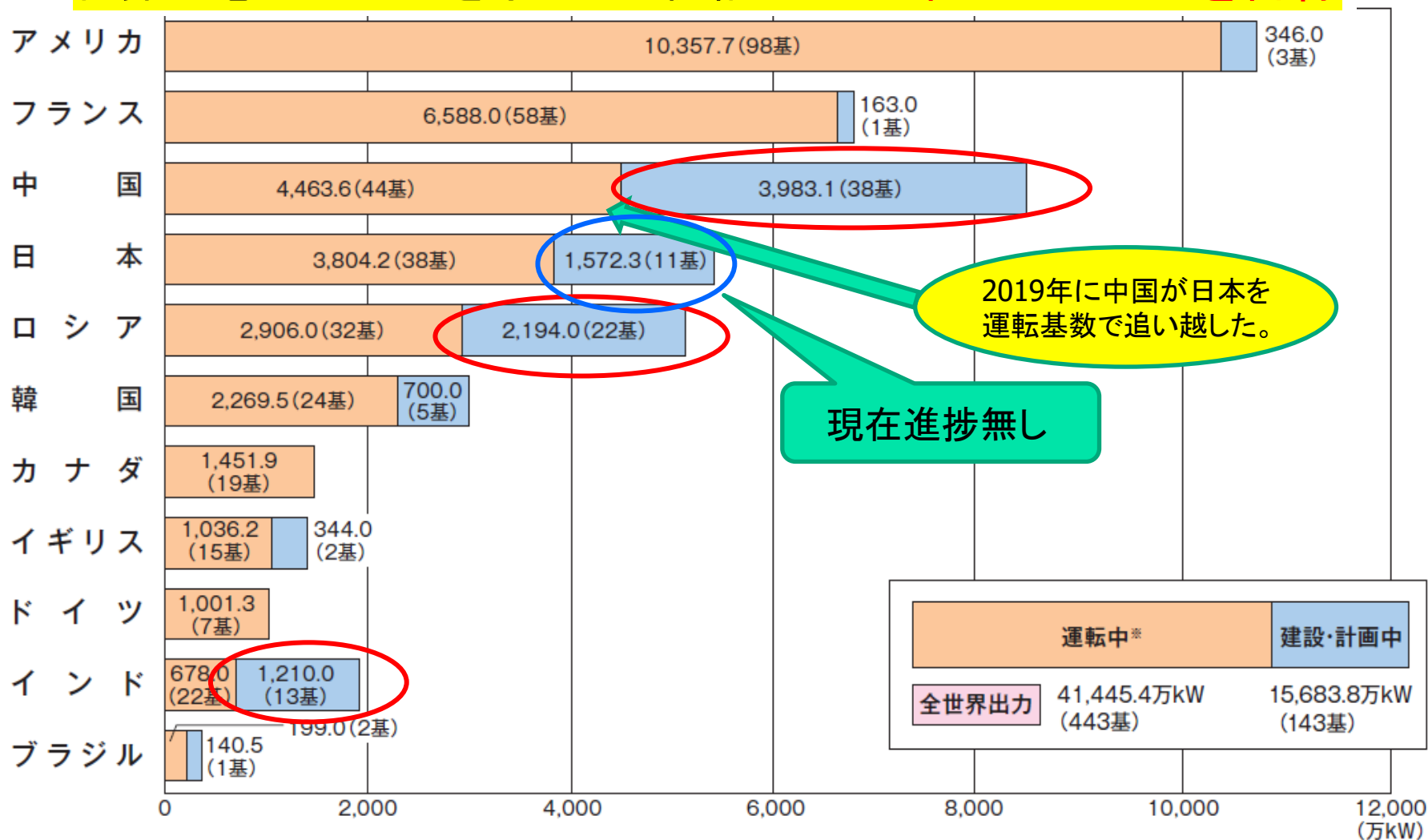
チェルノブイリ事故直後と石棺

主要国の原子力発電(運転中、建設中)

14

世界の電力の16%を原子力で供給⇒2050年までに25%を目標

(在)



※運転中の出力は建設・計画中以外の原子炉で、停止中・検査中の原子炉の出力も含む

我が国における原子力開発の歴史(1)

15

◆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「我が国における原子力の研究、開発及び利用は、厳に平和の目的に限り、安全の確保を前提」とし、「原子力の利用は、動力としての利用と放射線の利用を行う。」

1957 研究用原子炉1号機(JRR-1)初臨界

この前後より、民間企業大手5社、電力会社9社も原子力の利用開発活動を開始。電力は、原子力振興会社(日本原子力発電株式会社)設立。



JRR-1 (日本初の原子炉)

◆原子力発電、原子力船開発開始

1963.10.26: 動力試験炉(JPDR)により我が国初の原子力発電に成功(原子力の日)

1966: 東海1号炉による初の商業発電(ガス冷却炉)

1963: 海洋観測船“むつ”(6,000トン)建造開始。

1974年出力上昇試験で放射線漏れ。

1985年実験航海を成功。



JPDR (日本初の原子力発電)



原子力船“むつ”

我が国における原子力開発の歴史(2)

16

◆米国の軽水炉技術導入、国産化

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、日本原子力発電で原子力発電プラントを建設。
これまで約30年間に57基が建設され、
一時は電力の約30%を賄った。



昭和45年8月8日 大阪万博

◆20世紀末から原子力の動向

- 1995 動燃「もんじゅ」2次系Na漏洩事故発生
- 1999 JCOウラン燃料工場で臨界事故、2名死亡
- 2002 東電シュラウド自主点検記録改竄発覚
- 2004 関電美浜3号復水配管破損、5名死亡
- 2005 最高裁もんじゅ設置許可無効二審判決破棄
- 2006 原子力部会、「原子力立国計画」報告
- 2006 九電玄海3号プルサーマル地元事前了承
- 2007 東洋町高レベル廃棄物地層処分調査取下げ
- 2007 中越沖地震発生、東電柏崎刈羽発電所運転停止
- 2011 東日本大震災に伴い、東電福島第一1~4号機が
水素爆発、炉心溶融事故



東電福島第一原子力発電所事故

石油危機後に原子力発電所建設推進

17

我が国の原子力発電建設の歴史



軽水炉の炉型は2種類(BWR,PWR)ある

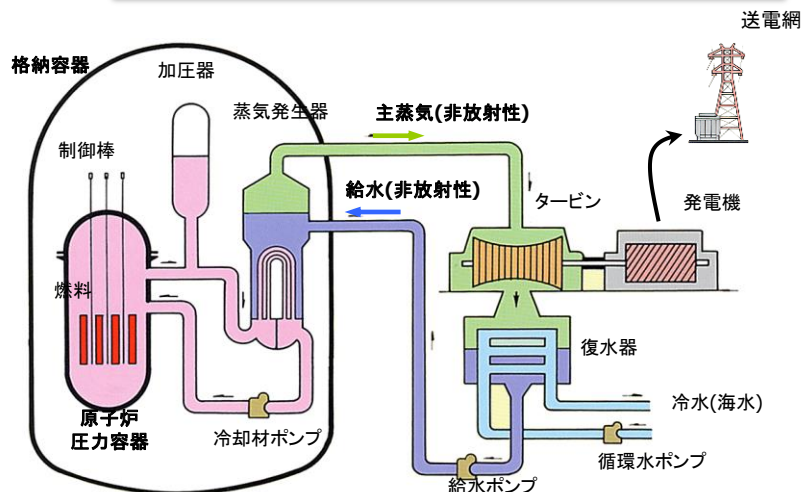
BWR: 沸騰水型軽水炉(Boiling Water Reactor): 直接サイクル

PWR: 加圧水型軽水炉(Pressurized Water Reactor): 間接サイクル

- いずれも低濃縮ウラン(3~5%)を燃料とし、軽水(H₂O)を冷却材、減速材、遮蔽材として使用。主として米国で開発され世界各国で実用化、原子力発電所の約90%を占める。残り10%はガス炉、重水炉、液体金属ナトリウム炉など。
- PWRのメーカーは三菱重工、電力会社は関西電力、九州電力、四国電力、北海道電力、日本原電が採用。
- BWRのメーカーは日立、東芝、電力会社は東京電力、中部電力、東北電力、中国電力、北陸電力、日本原電、電源開発が採用。
- BWRとPWRのシェアは、国内はほぼ半々だが、世界ではBWRが1/5、PWRが4/5であり、現在建設中の軽水炉は全てPWRである。

PWRとBWRの原理と特徴比較

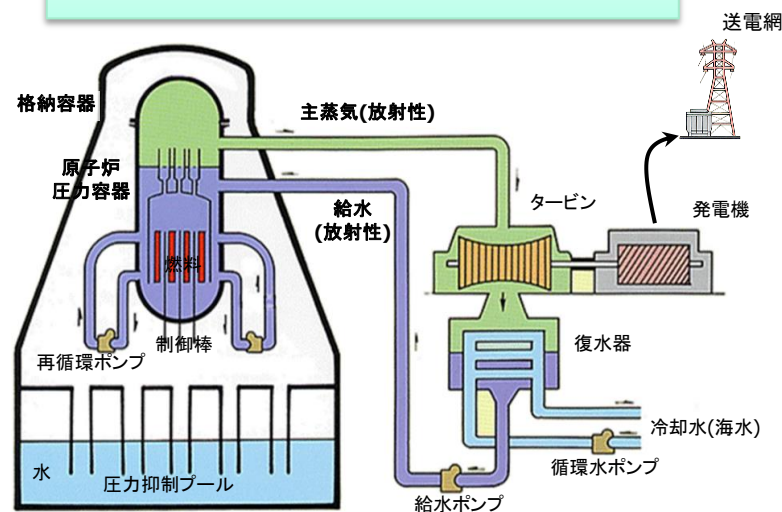
加圧水型軽水炉
PWR: Pressurized Water Reactor



冷却系 : 間接サイクル
原子炉内 : 加圧水
タービン側 : 非放射線管理
制御棒挿入 : 上部から(緊急時重力落下)

炉心で加熱した水を蒸気発生器に循環して間接に2次系水を加熱し、発生させた蒸気でタービンを回し発電

沸騰水型軽水炉
BWR: Boiling Water Reactor



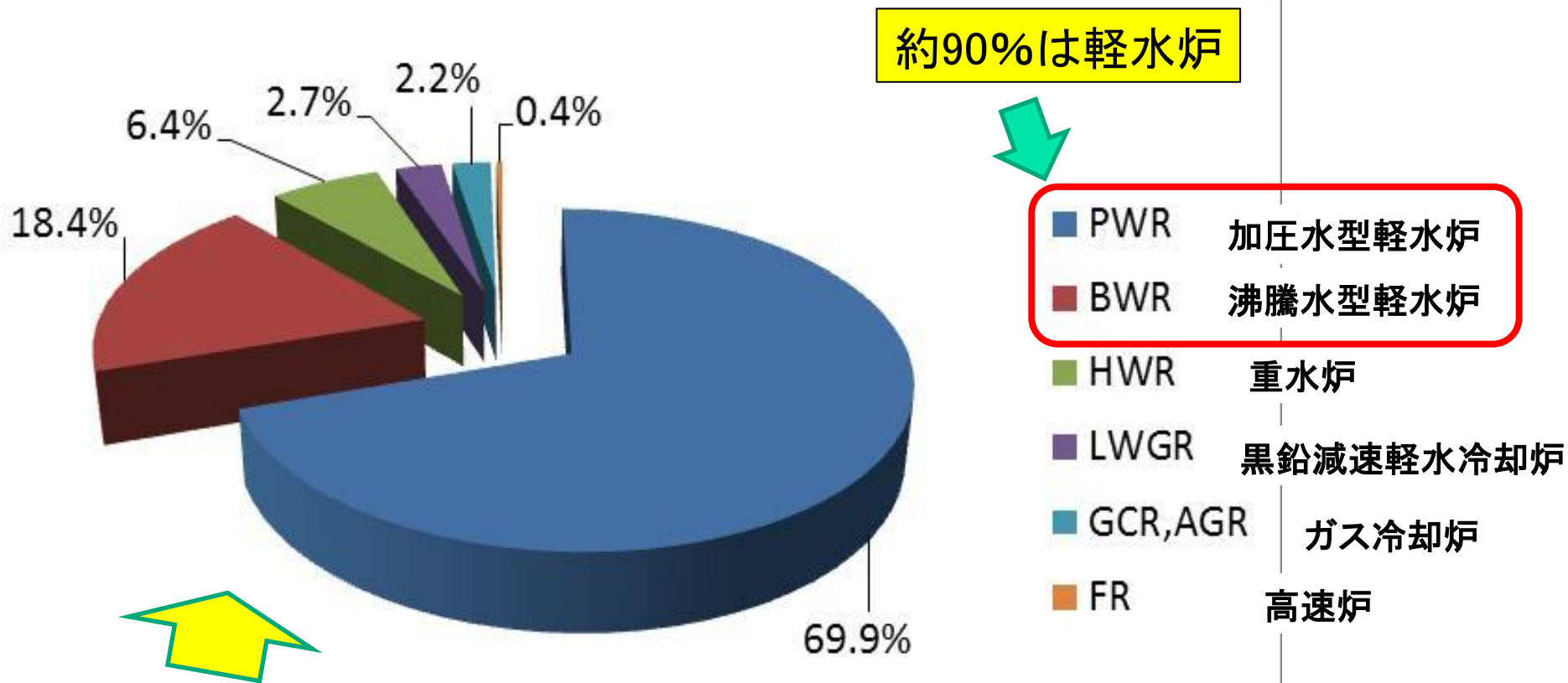
冷却系 : 直接サイクル
原子炉内 : 沸騰水
タービン側 : 放射線管理区域
制御棒挿入 : 下部から(緊急時水压挿入)

炉心で沸騰させた蒸気で直接にタービンを回し発電

世界に原子力発電所は442基運転中

20

世界の炉型別原子力発電設備容量



PWRが70%、BWRは19%

エネルギー資源としての要件は3E+S

21

“3E+S”の同時実現が世界共通の重要目標

エネルギー安定供給
Energy Security

環境保全
Environment Protection

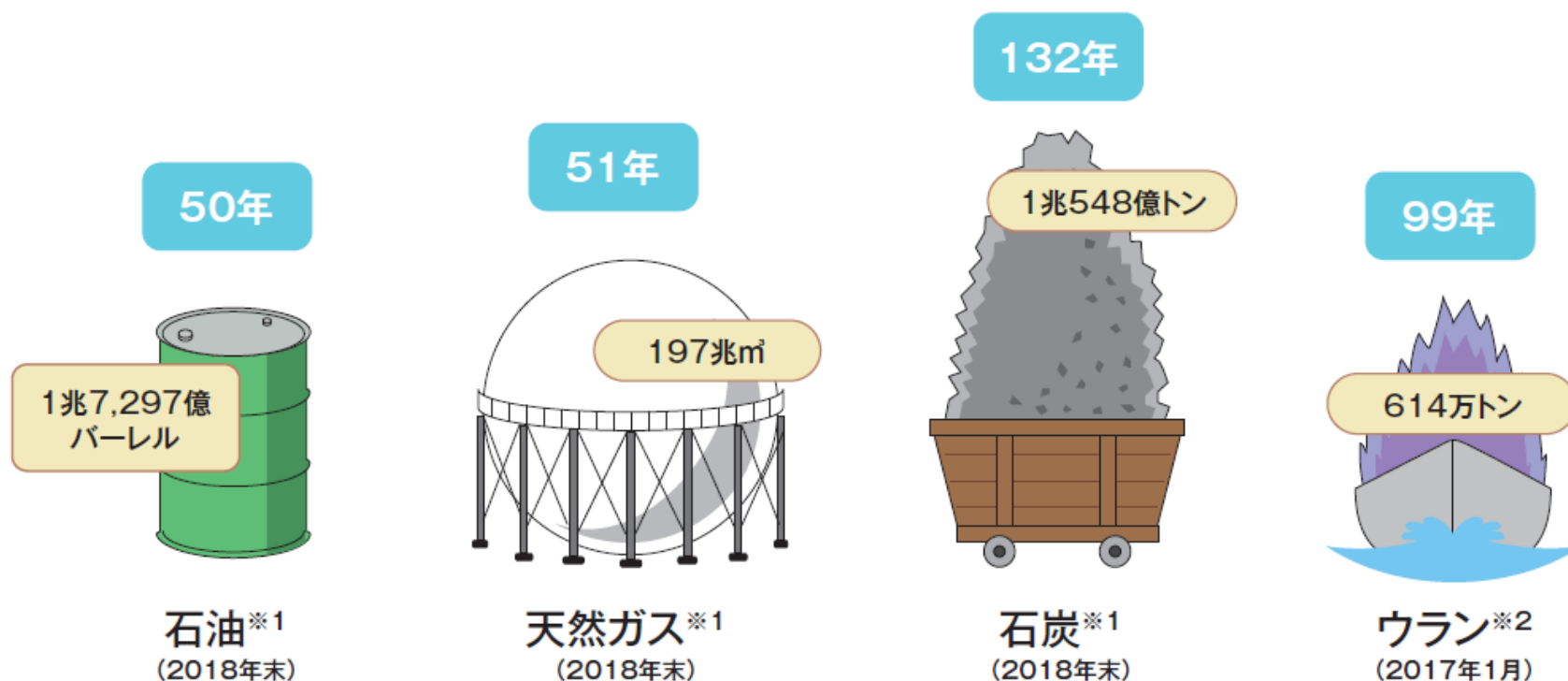
安全
Safety

持続的経済発展
E conomic Sustainable Growth

世界のエネルギー資源確認埋蔵量

化石燃料資源には限りがあり、今後のエネルギー消費の増大を考慮すると、その確保が厳しい。

なお、ウランは使用済み燃料を再処理し得られたプルトニウムを高速増殖炉により更にプルトニウムが増殖され約3000年分の燃料にすることが出来る。

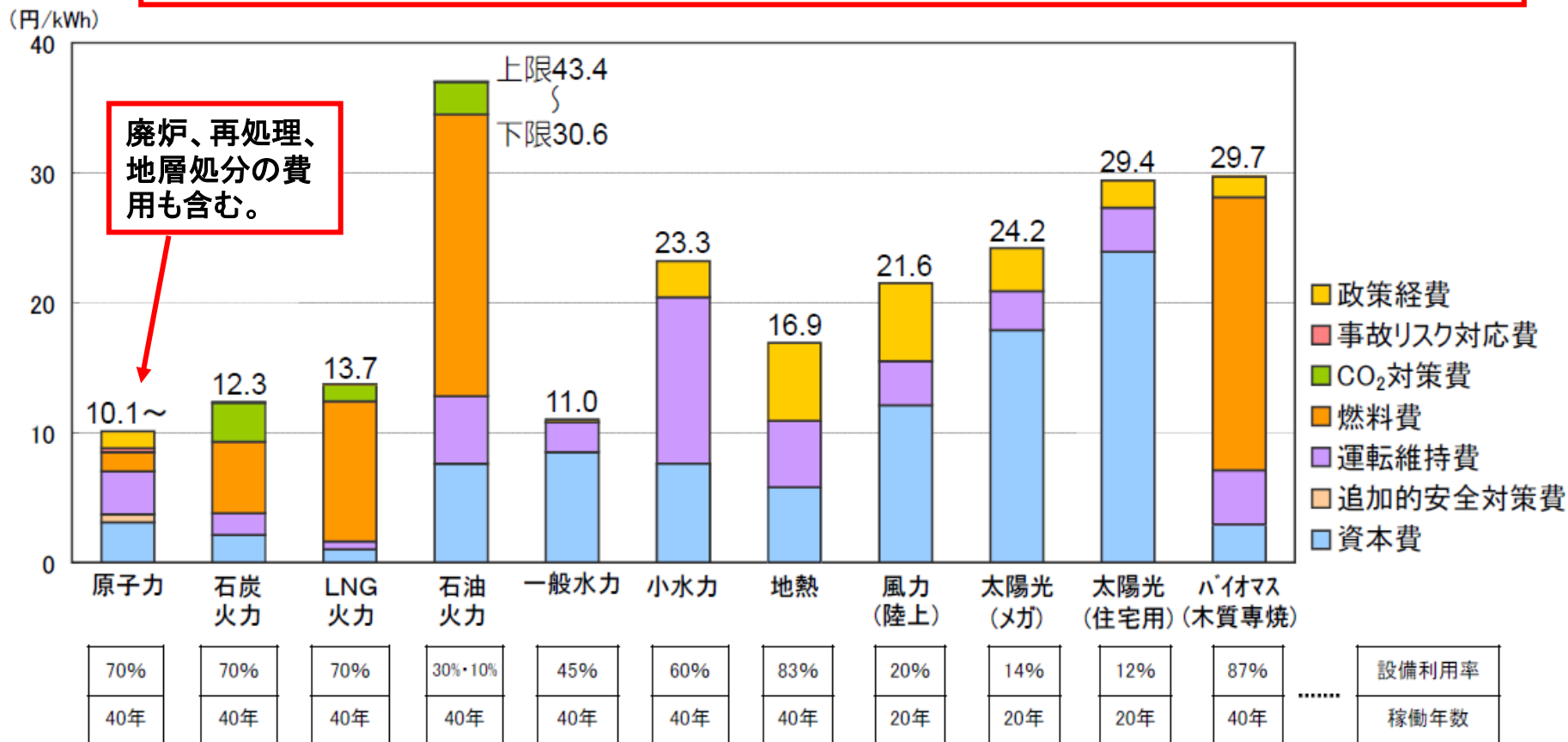


(注) 可採年数＝確認可採埋蔵量／年間生産量
ウランの確認可採埋蔵量は費用130ドル/kgU未満

日本の電源別発電コスト(円/kWh)

23

社会的費用を考慮しても原子力の経済性は優位で、かつ不確実性が少ない。



出典: 長期エネルギー需給見通し小委員会発電コスト検証WG「長期エネルギー需給見通し小委員会に対する発電コスト等の検証に関する報告」(2015年5月)をもとに作成

九州電力データブック2018 36

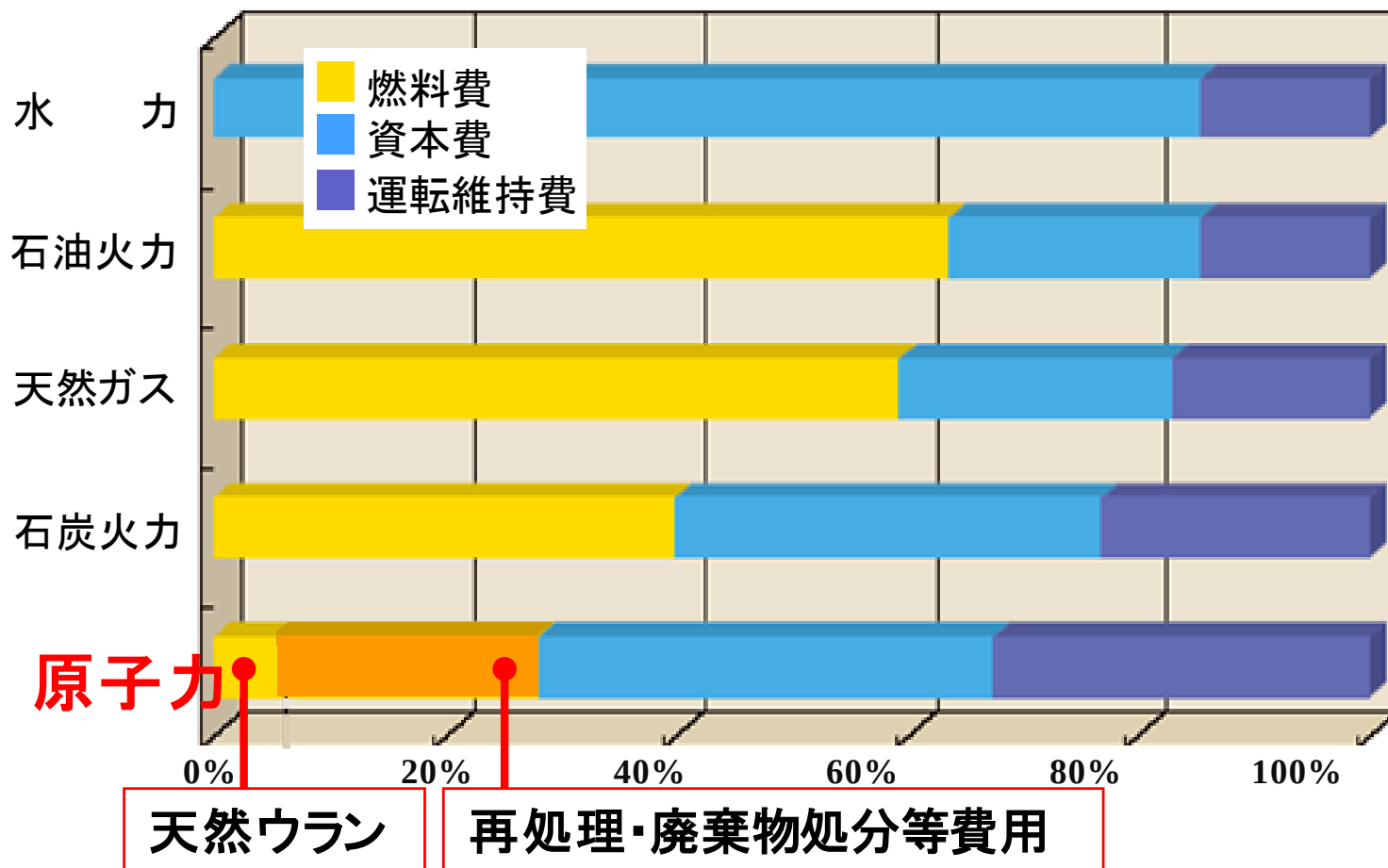
- 原子力の発電コストは、石炭火力やLNG火力などの他の主要電源と比較して、経済性に遜色はなく、また、火力発電に比べて発電コストに占める燃料費の割合が小さいため、燃料価格に左右されにくいという特徴があります
- 再生可能エネルギーの中では、一般水力と地熱の発電コストが比較的低くなっています

電源別発電コスト構成

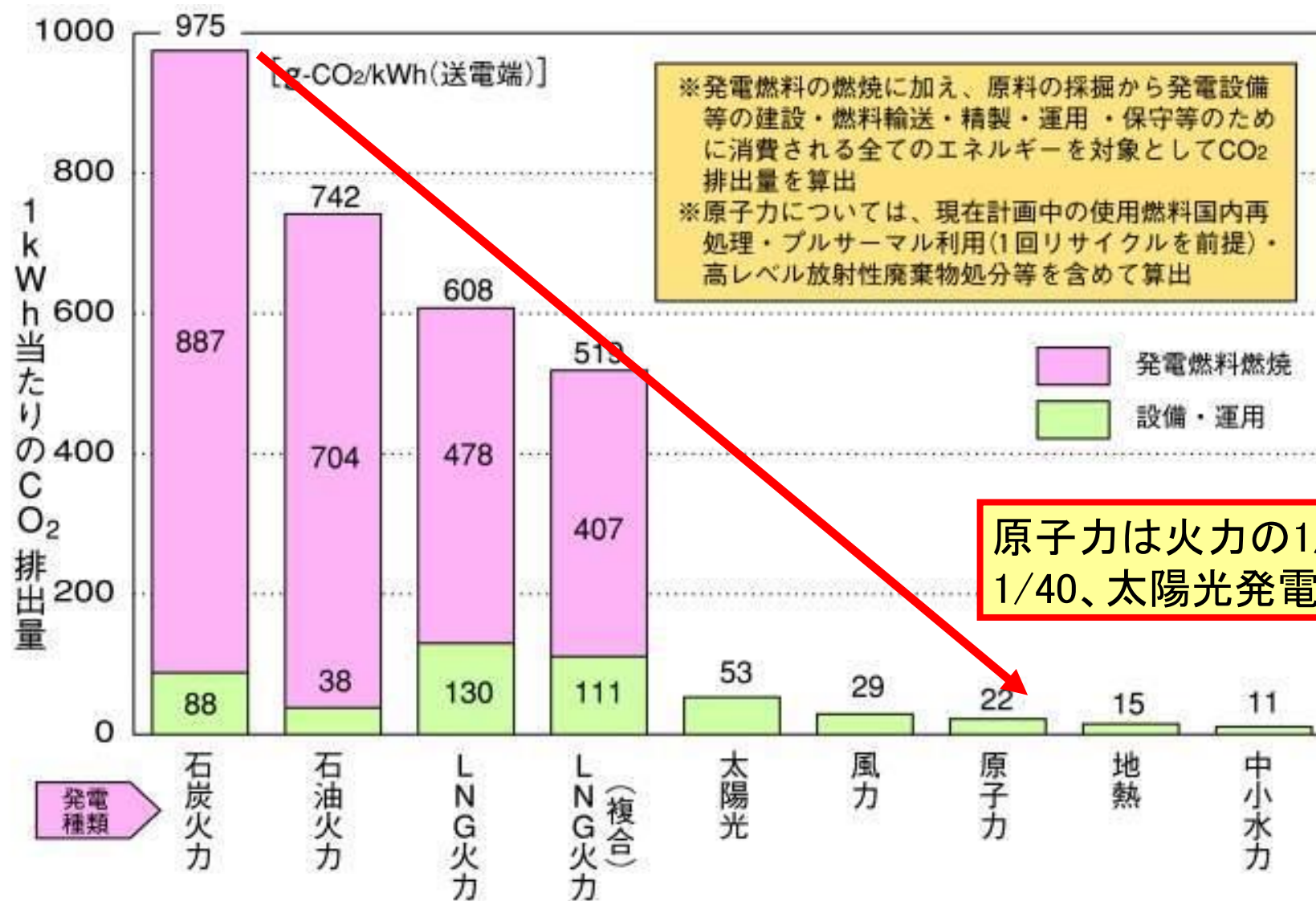
24

火力発電は燃料費の割合が大きいですが、原子力は燃料費はコストの10%以下

電源別発電コスト構成比(モデル試算)



各エネルギーのCO₂排出量比較



(注) 四捨五入の関係で合計値が合わない場合がある。

【出典:電力中央研究所報告書 他】

出典:電力中央研究所報告書 他

PWR燃料集合体と制御棒の構造

PWR fuel assembly and control rod assembly

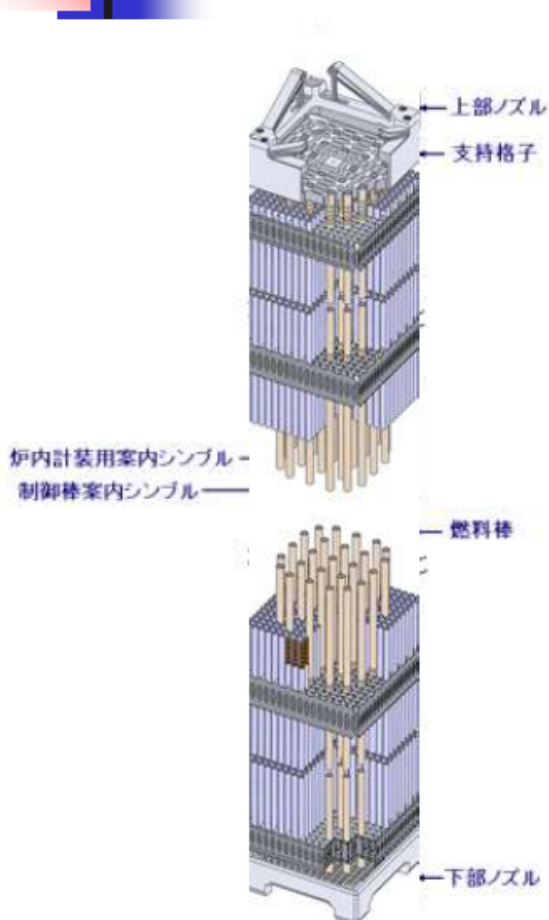


図1 PWR燃料集合体の構成図

[出典]関西電力:大飯発電所原子炉設置変更許可申請書(1号、2号、3号及び4号原子炉施設の変更)(平成元年4月)

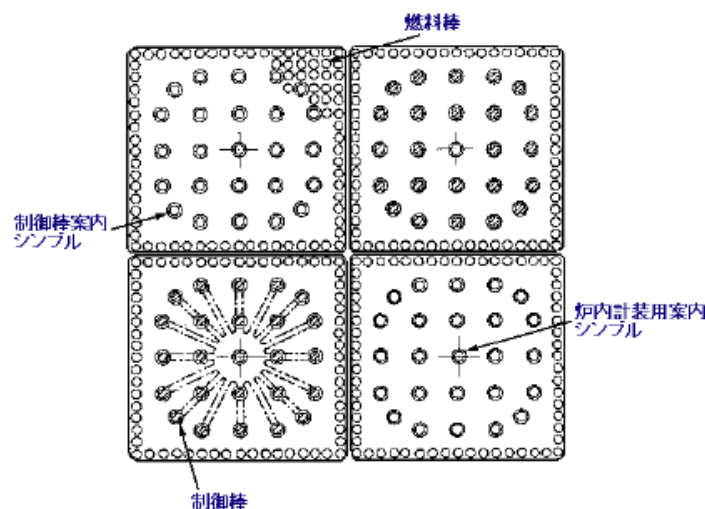


図2 PWR燃料集合体の横断面図

[出典]関西電力:大飯発電所原子炉設置変更許可申請書(1号、2号、3号及び4号原子炉施設の変更)(平成元年4月)

- 17×17燃料棒集合体 17×17
- 燃料棒有効長さ 3.6m
- 直径 9.5mm (Zircalloy-4)
- 最大線出力密度 59.1 kW/m
- 燃料ペレットの最高温度 1870℃
- 最高表面温度 350℃

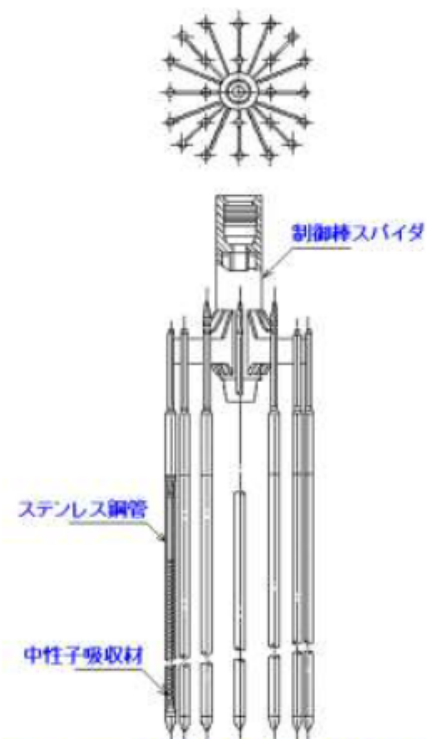


図3 PWR制御棒クラスタ構造説明図

[出典]九州電力:玄海原子力発電所原子炉設置変更許可申請書、(1982年10月)、p.8-3-101

24本の制御棒をまとめたクラスタ構造
193体の燃料集合体のうち53体に制御棒クラスタが挿入される

PWR原子炉内構造と一次冷却系設備

Structure of reactor vessel and primary cooling system in PWR

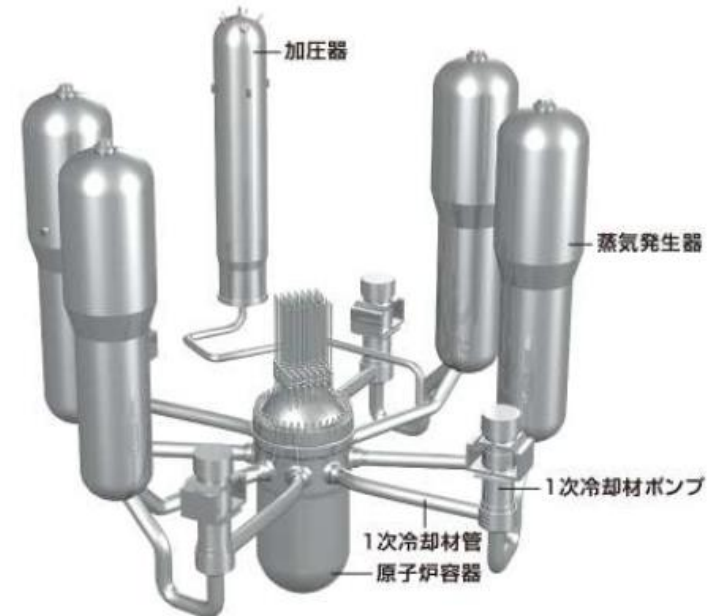
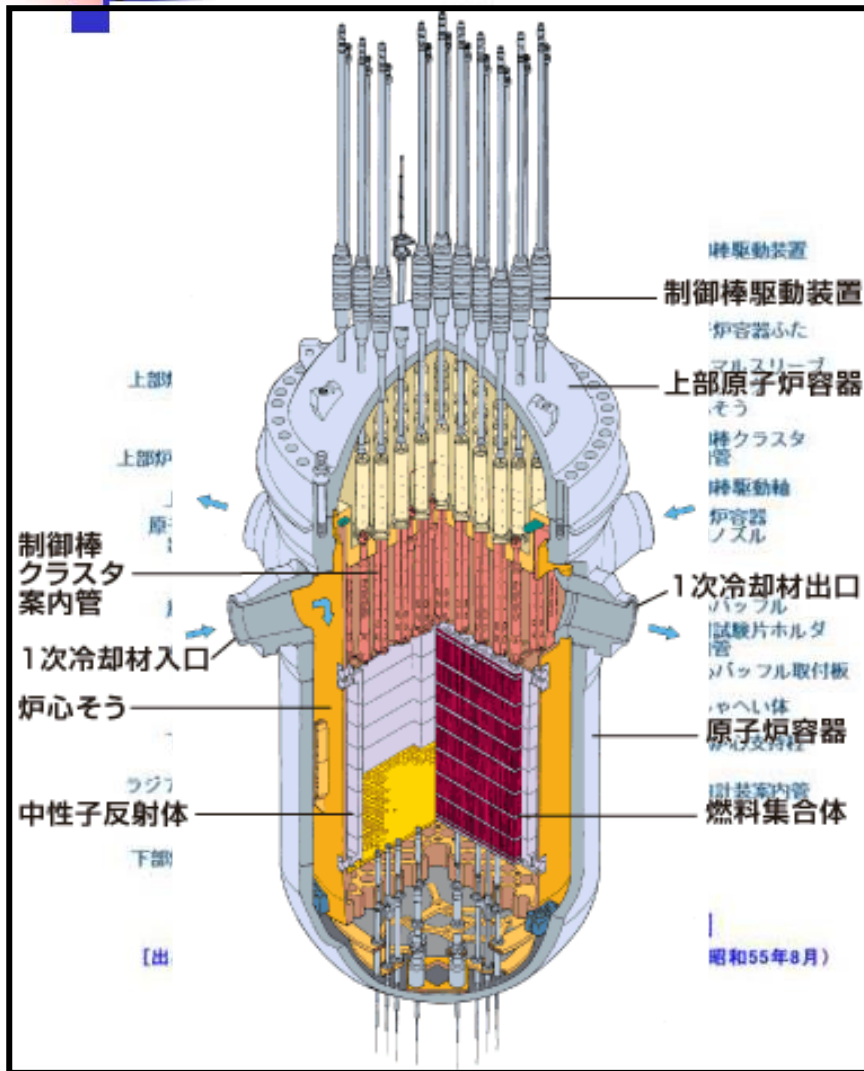
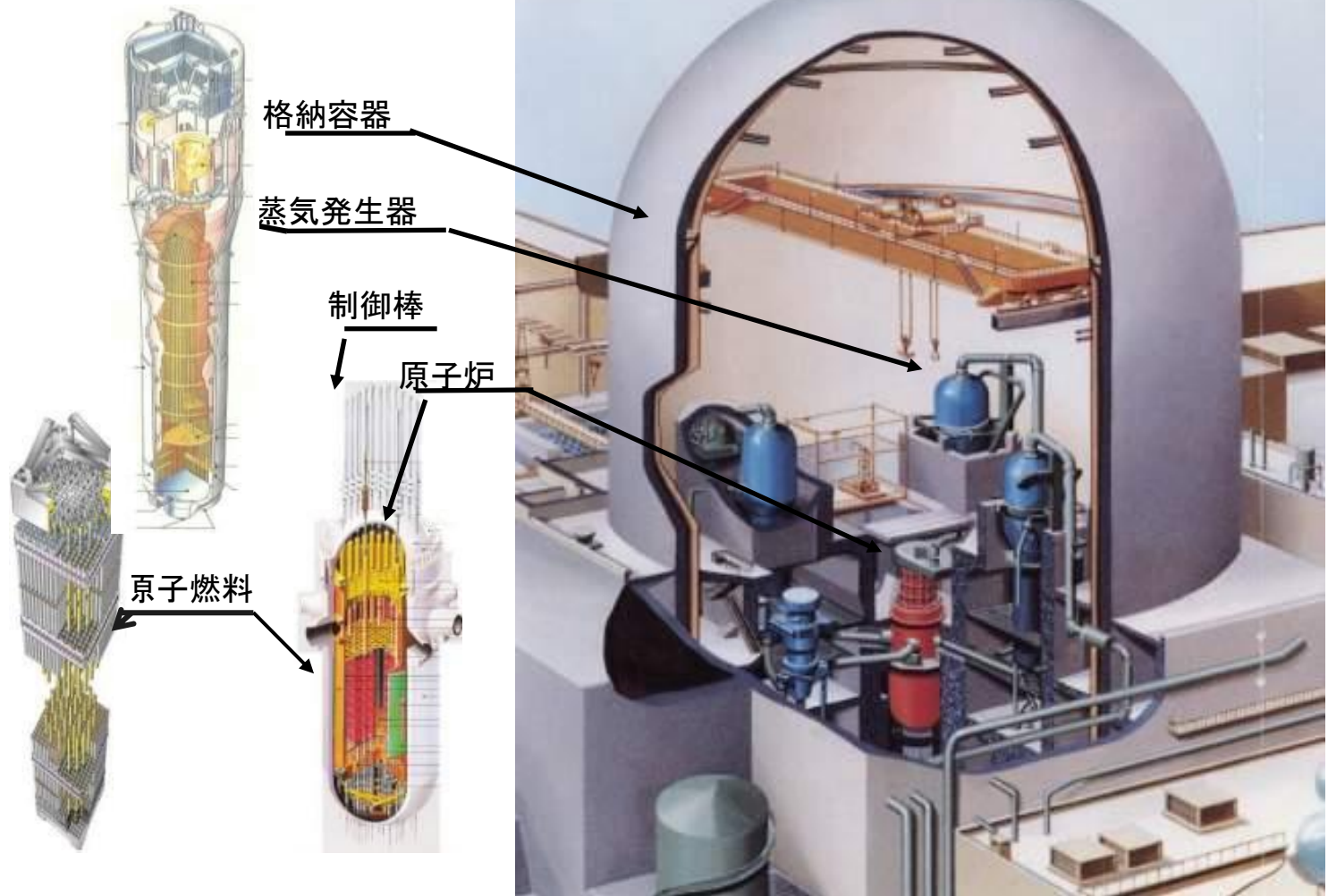


図1 PWRの一次冷却系主要設備の配置

原子炉の熱出力に応じて一次冷却系は
2～4ループで構成される

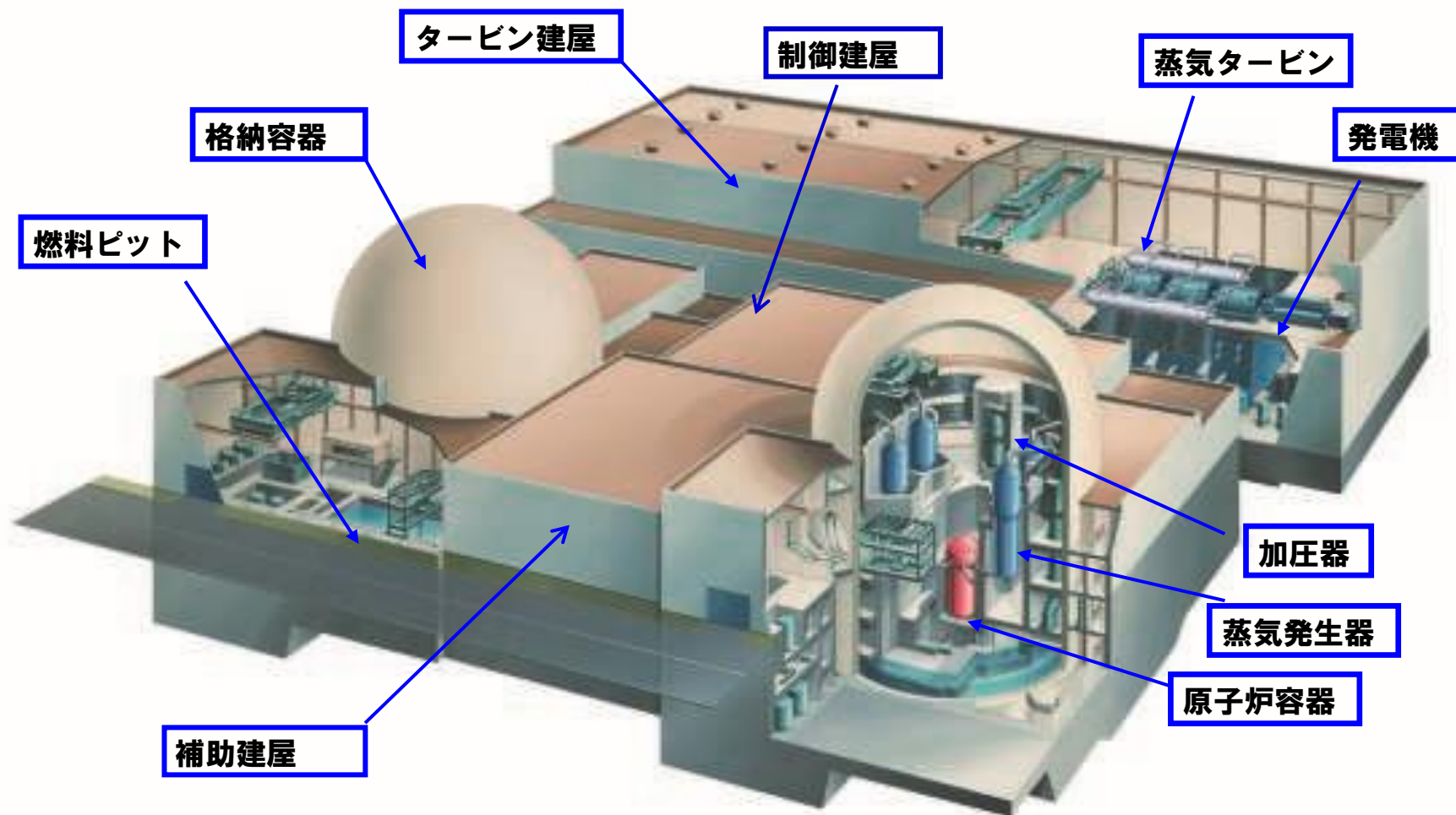
原子力発電所の内部(PWR)

28



原子力発電所の構成(PWR)

29



PWR原子力発電プラントの全景

Panoramic views of PWR NPPs.

出典 asahi.com ニュース写真, Google map



玄海原子力発電所 佐賀県東松浦郡玄海町
1号機559MWe 廃炉決定
2号機559MWe 3・4号機1180MWe



大飯原子力発電所
福井県大飯郡おおい町
1・2号機1175MWe 廃炉決定
3・4号機1180MWe



美浜原子力発電所
福井県三方郡美浜町丹生
1号機 340 MWe ・2号機500 MWe 廃炉決定
3号機 826 MWe

BWR炉心構造

Structure of reactor core in BWR

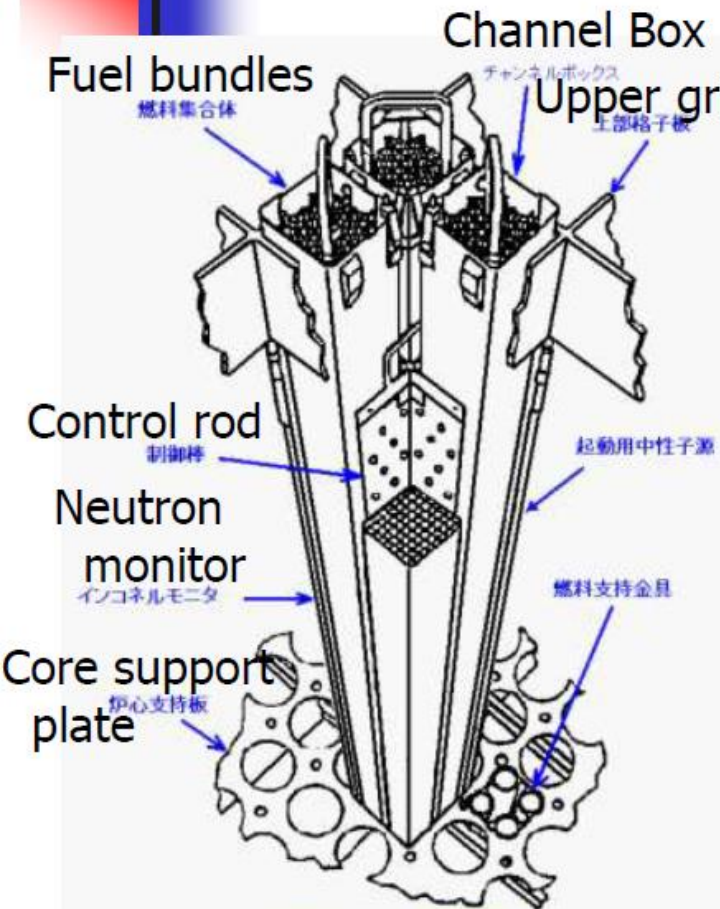
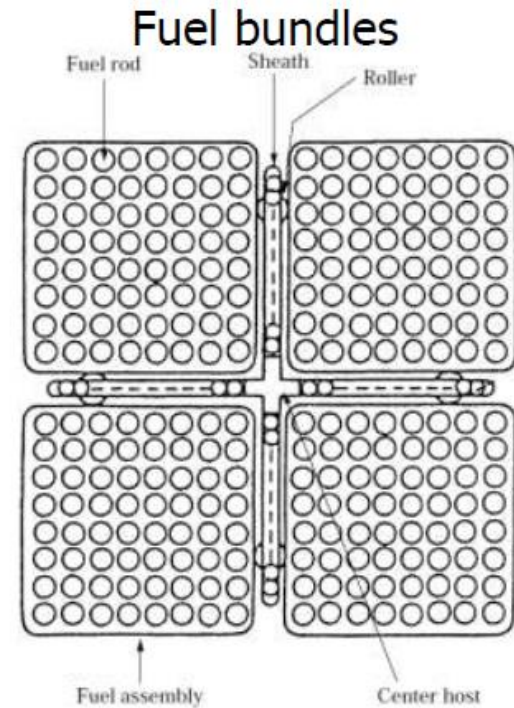
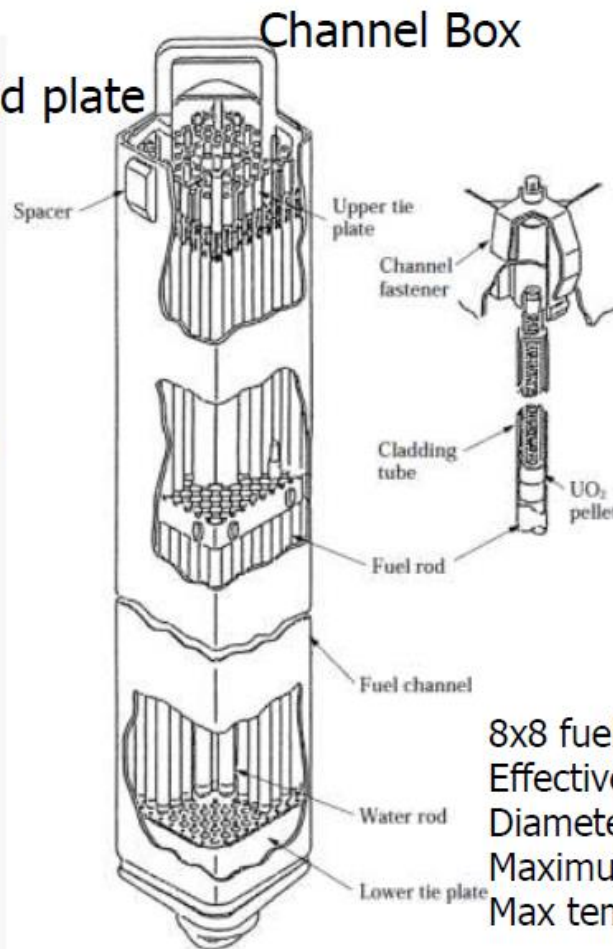


図2 炉心の構造図

[出典]原子力安全研究協会(編):軽水炉燃料のふるまい 第4版(平成15年7月)p.47



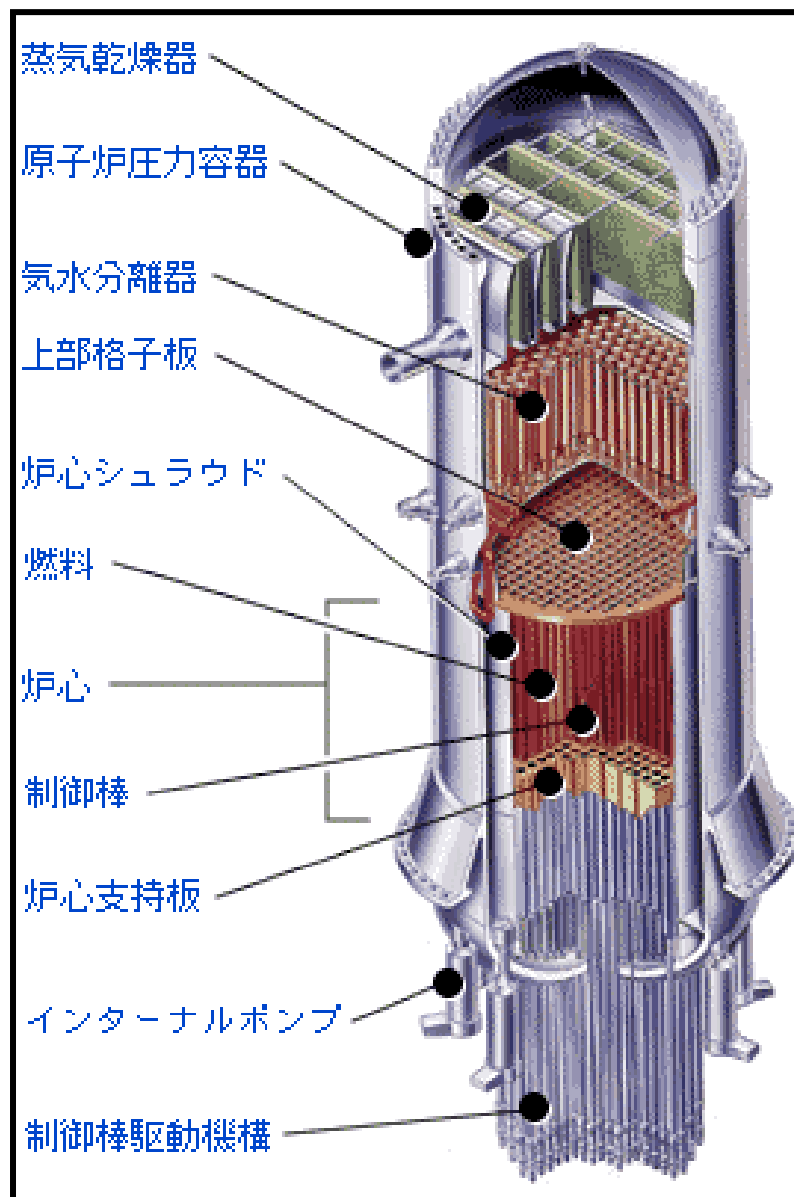
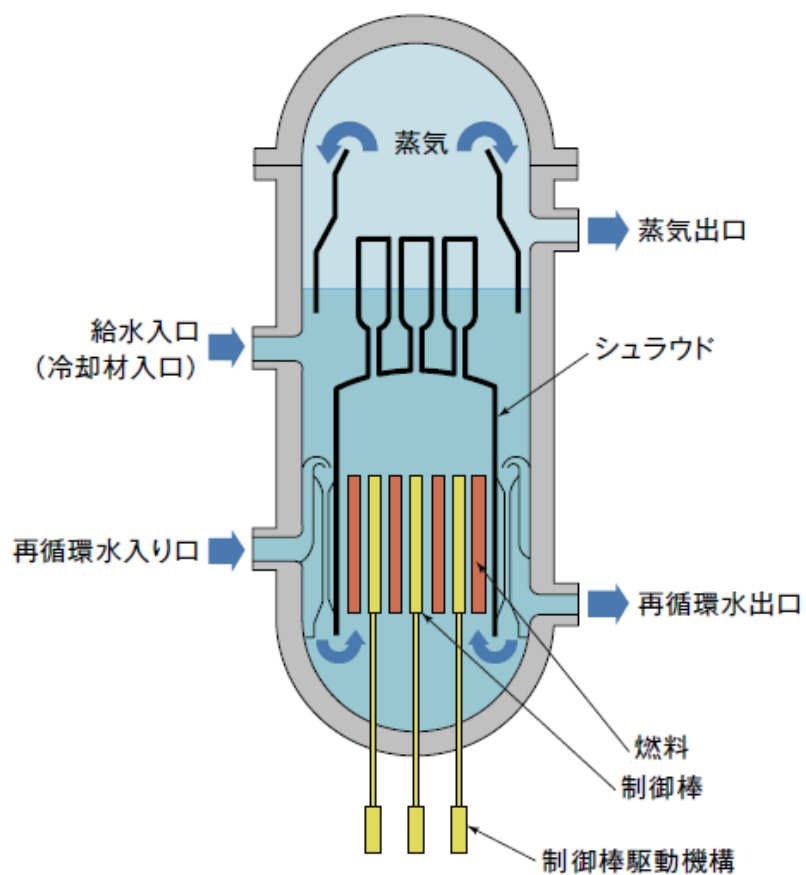
8x8 fuel rod bundle
 Effective length of fuel rod 3.7m
 Diameter of fuel 1cm
 Maximum linear power density 44kW/m
 Max temperature of fuel pellet 1550°C

Length 4.2m, Inner size of channel box 133x133mm

原子炉压力容器内部の構造 (BWR)

32

沸騰水型原子炉 (BWR)



33



BWR原子力発電プラントの全景

Panoramic views of TEPCO's NPPs.



東北電力
女川原子力発電所
宮城県女川町

静岡県御前崎市



中部電力
浜岡原子力発電所

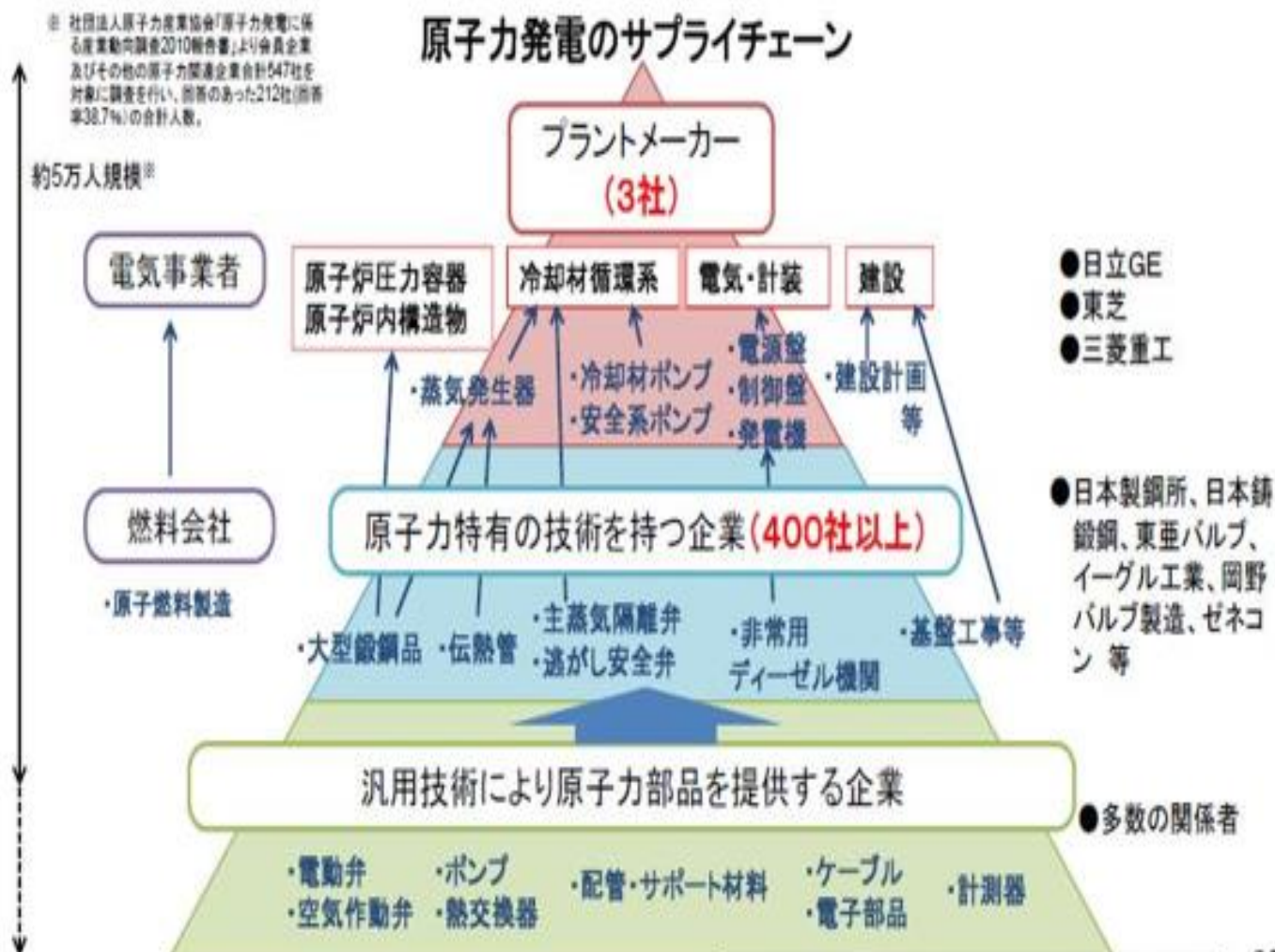


中国電力
島根原子力発電所
島根県松江市



東京電力
柏崎刈羽原子力発電所
Kashiwazaki-Kariwa NPP
新潟県柏崎市/刈羽村

原子力発電は高度技術・産業の総合



福島第一原子力発電所事故

36

- ・午後2時46分地震発生、運転中の1, 2, 3号機は制御棒が燃料に自動挿入され核分裂反応停止。非常用ディーゼル発電機起動し、非常用炉心冷却系が作動。
- ・午後3時27分頃に津波第1波、3時35分頃に第2波が襲来し、1～4号機は被水。非常用全電源（交流、直流）喪失。炉心冷却不能となり、炉心溶融（1, 2, 3号機）、水素発生（1, 2, 3号機）、格納容器漏洩により原子炉建屋水素爆発（1, 3, 4号機）。多くの住民が避難した。

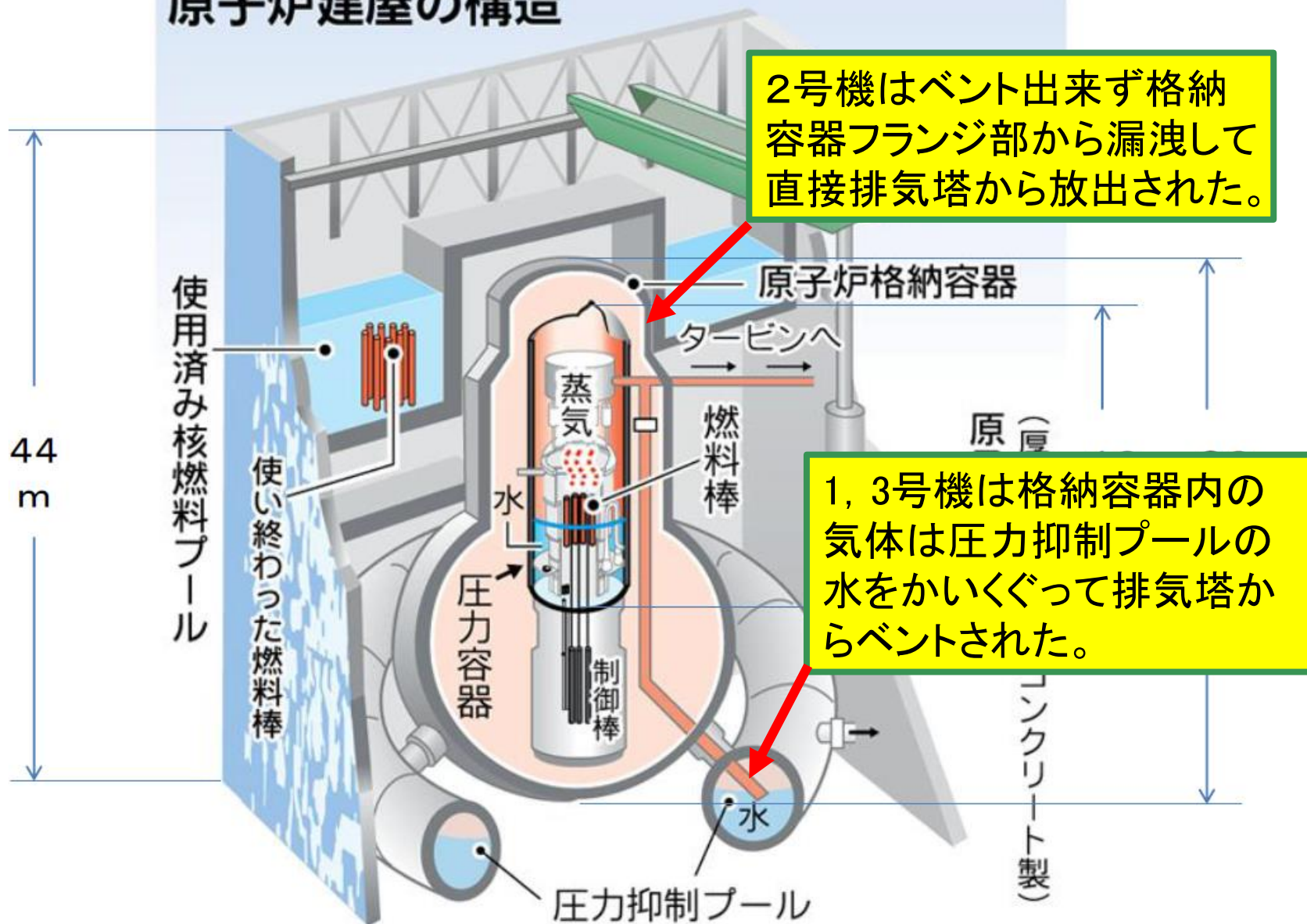
福島第一原子力発電所1～4号機の被害状況 2011年3月19日



東電福島第一の原子炉構造

37

原子炉建屋の構造



①残留熱（崩壊熱）

- 核分裂後の物質（原子核）が時間と共に崩壊し他の物質に転換する過程で発生する熱。
- 原子炉停止後も炉心（燃料）冷却を継続する必要がある
1時間後に1%（34,000kW）、1日後でも0.4%（14,000kW）

②ジルコニウム—水反応熱（化学反応）

- 燃料被覆管の主材料であるジルコニウム（Zr）が水（H₂O）と化学反応を起こして、水素（H₂）と熱が発生。ジルコニウムの融点は1852℃である。
- $\text{Zr} + 2\text{H}_2\text{O} = \text{ZrO}_2 + 2\text{H}_2 + 586\text{kJ/mol}$

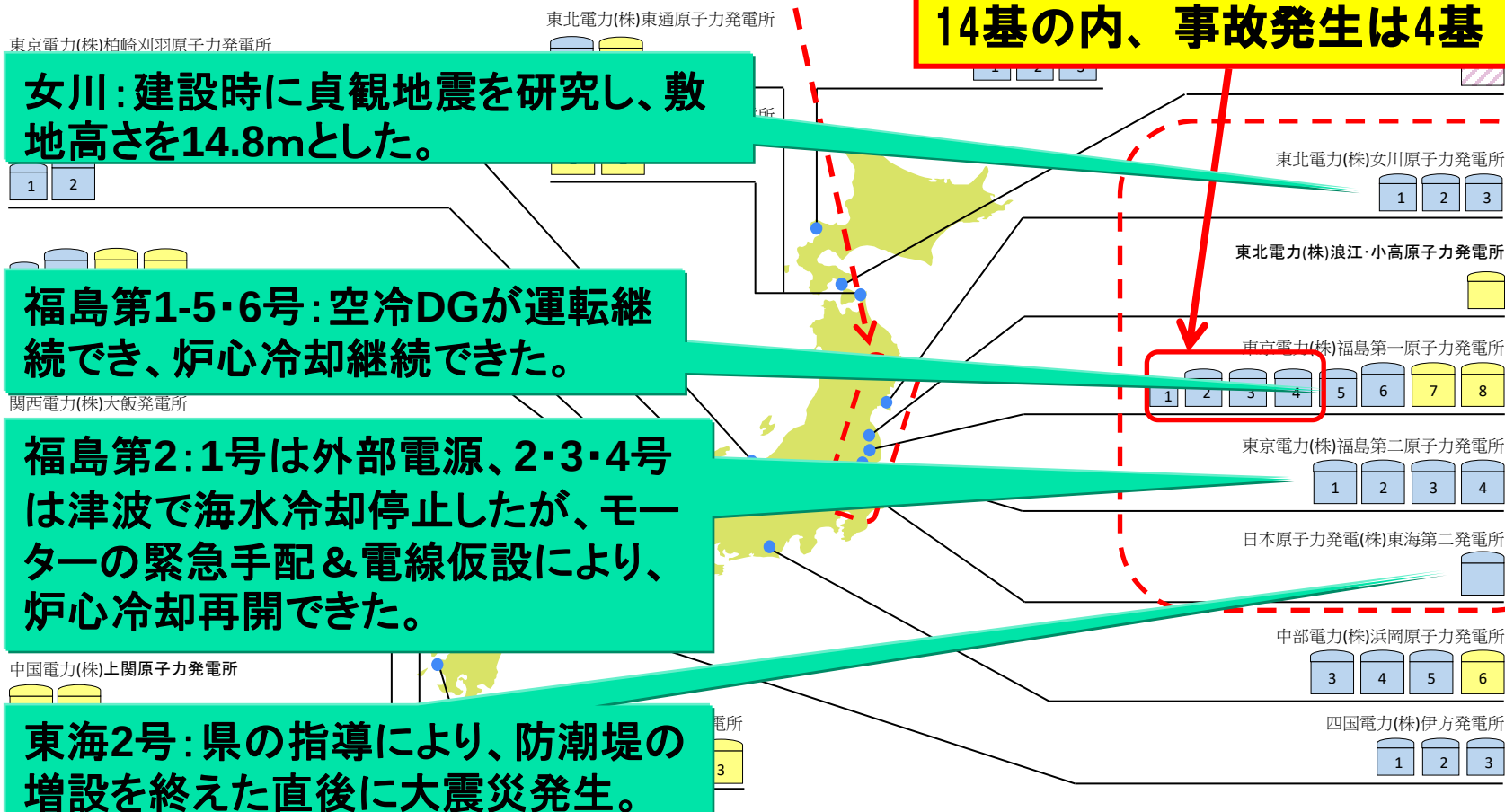
Q

東日本大震災に遭遇した他の原子力発電所10基は？

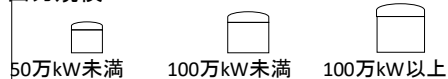
39

(商業用・2010年3月末現在)

14基の内、事故発生は4基



出力規模



運転中
 建設中
 着工準備中

	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	1,655.2
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

出典: 資源エネルギー庁「原子力2010」

事故の直接要因

● 不十分であった津波対策

事前に得られていた2つの重要な警鐘を対策に活かせなかった。
(869年貞観三陸沖地震津波、1938年福島県東方沖地震。)

● 不十分であった過酷事故対策

- 2002年以降、過酷事故対策の強化が行われなかった。
- 地震、津波等外的事象起因の過酷事故対策が行われず。
- 2001.9.11米国同時多発テロ後に海外で強化されたテロ対策が行われなかった。

● 不十分な緊急時対策, 事故後対策や種々の緩和・回復策

- 10km以内と想定していた緊急時の避難範囲が不十分。
- オフサイトセンターが地震により使用できなかった。
- ヨウ素の服用指示の連絡が徹底せず、ほとんど服用されず。

- (1) 専門家の自らの役割に関する認識の不足
- (2) 事業者の安全意識と安全に関する取組の不足
- (3) 規制当局の安全に対する意識の不足
- (4) 国際的な取組みや共同作業から謙虚に学ぶ取組みの不足
- (5) 安全を確保するための人材および組織運営基盤の不足

事故後の原子力の安全強化対策

42

1. 政府の原子力規制組織を抜本的改革(2012年9月)

「原子力安全・保安院」と「原子力安全委員会」を廃止し、新たに内閣(総理大臣)からの干渉を受けない独立した組織「原子力規制委員会」を設置。原子力規制行政を一元化、専門家多数配置。

2. 福島事故の教訓を盛り込み「新規制基準」を2013年7月制定

非常用電源多重化、多様化、長時間電力供給、過酷事故対策、低頻度大規模災害(竜巻、火山、大火事)、テロ対策などへの対処出来るよう安全性を強化。

既設原子力はこの新基準に適合しないと再稼動できない。

3. 地震と津波に対しては過去最大を超える規模を「基準地震動」、「基準津波」

活断層検査と耐震解析、防潮堤・機密扉など設置。

4. 過酷事故後の放射能放出抑制策

事故時の緊急制御室(免震、放射能対策)を設置、格納容器機能強化、ベントフィルター設置など

5. 周辺自治体の避難計画

等々の安全性強化により、炉心溶融事故の起こる確率、放射能汚染拡大の惧れは福島事故以前より格段に減少。

「新規制基準」を2013年7月制定

43

＜従来の規制基準＞

シビアアクシデントを防止するための
基準（いわゆる設計基準）
（単一の機器の故障を想定しても炉心
損傷に至らないことを確認）

自然現象に対する考慮
火災に対する考慮
電源の信頼性
その他の設備の性能
耐震・耐津波性能

＜新規制基準＞

意図的な航空機衝突への対応
放射性物質の拡散抑制対策
格納容器破損防止対策
炉心損傷防止対策 （複数の機器の故障を想定）
内部溢水に対する考慮（新設）
自然現象に対する考慮 （火山・竜巻・森林火災を新設）
火災に対する考慮
電源の信頼性
その他の設備の性能
耐震・耐津波性能

（テロ対策）
（シビアアクシデント対策）

新設

新設

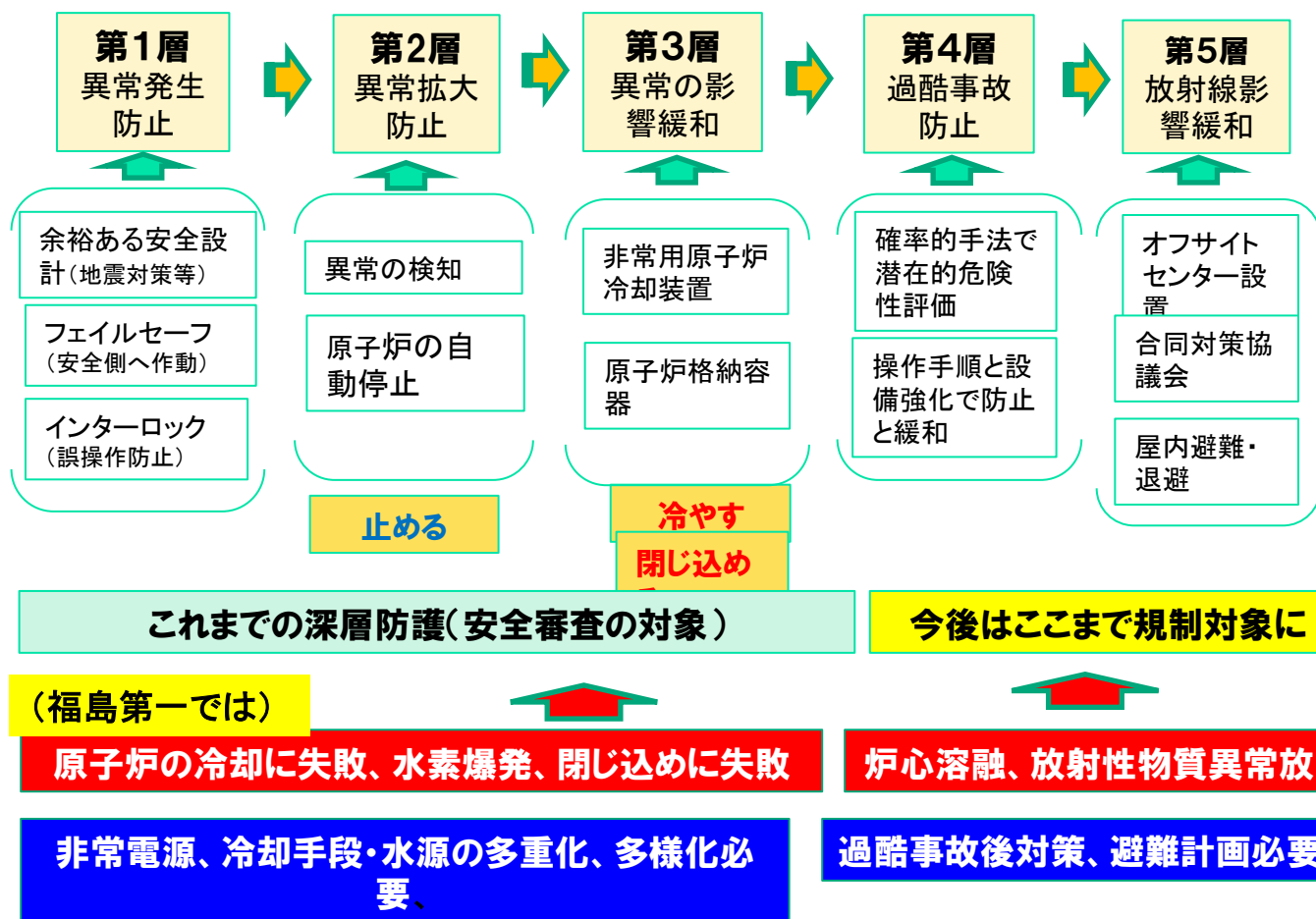
強化又は新設

強化

8

深層防護のこれから: 3層から5層へ

44



事故時住民避難計画

45

「防災計画」：自然災害を含め内閣府
「原子力防災対策指針」：原子力規制委員会



「原子力防災計画」：県
「避難行動計画」：立地市町村



「県防災会議」で審査、承認



判断基準：福島第一事故時避難の教訓反映
（線量基準、屋内退避、病院・介護施設等）

原子力の安全性はどれだけ高まったか？

46

炉心損傷確率： $<10^{-4}$ ／炉年

格納容器機能喪失確率： $<10^{-5}$ ／炉年

放射能放出量100TBqを超える事故： $<10^{-6}$ ／炉年
(福島事故の1／100以下)



(参考) 生活における身近なリスク

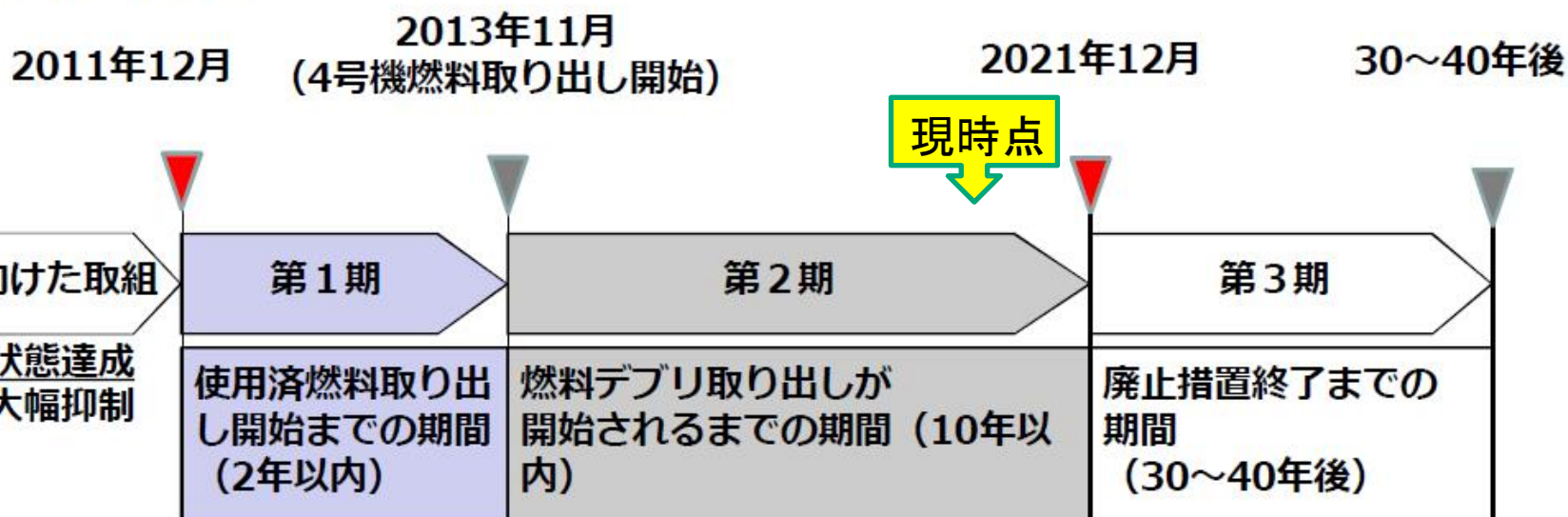
全死亡	1.0×10^{-2}
悪性新生物(がん)	8.0×10^{-3}
交通事故	4.5×10^{-5}
転倒・転落	6.4×10^{-5}

- 先の震災後原子力発電は全面的に運転停止されており、その代替として火力発電を炊き増し、そのため化石燃料を緊急輸入して対応している
- その結果LNGを主体として2011年度は2.3兆円、2012年度3.1兆円、2013年度には実に**3.6兆円の貴重な外貨が国外流失**している
- これは **1日当たり100億円**に相当し、**国民一人当たり年間3万円**の負担、ムダ使いになる
- その後化石燃料の値下がりの動きもあり、幾分減少しているものの現在までに**累計40兆円以上の国富が流出**している

東電福島第一の廃炉の全体工程

48

中長期ロードマップ



現在のステータス



汚染処理水(トリチウム水)問題

49

1. 地下水が原子炉建屋に侵入し汚染、浄化装置で処理水は既に約110万トン、タンク敷地面積は来年末に限界。
2. トリチウムは水素の仲間で3重水素のこと。自然界でも生成、水道水にも含む。
3. トリチウムは β 線を出す、弱い放射線で人体にも魚にも何ら影響ない。
4. 処理水は希釈して海へ放出するのが最も合理的。原子力規制委員会も推奨。
5. 原発の通常運転でも海水に放出。猛反対している韓国の重水炉からは福島第一の約6倍のトリチウムを毎年放出。
6. 2020年2月に有識者小委員会は17回の審議の結果、下記を結論として、政府の最終決定に委ねた。

- ①原子力施設周辺でトリチウムが原因と考えられる影響は見つかっていない。
- ②実績のある水蒸気放出及び海洋放出が現実的な選択肢である。
- ③福島県及び近隣県の産業が、安心して事業を継続することができるよう、徹底的に風評被害への対策を講じるべきである。

【構内に広がるALPS処理水タンク】



7. 2020年10月、政府は海洋放出とし風評被害対策を万全にする方針。

日本の原子力発電所の現状

50

原子力発電所の現状

2020年8月31日時点

再稼働
9基

稼働中 4基、停止中 5基 (起動日)

設置変更許可
7基

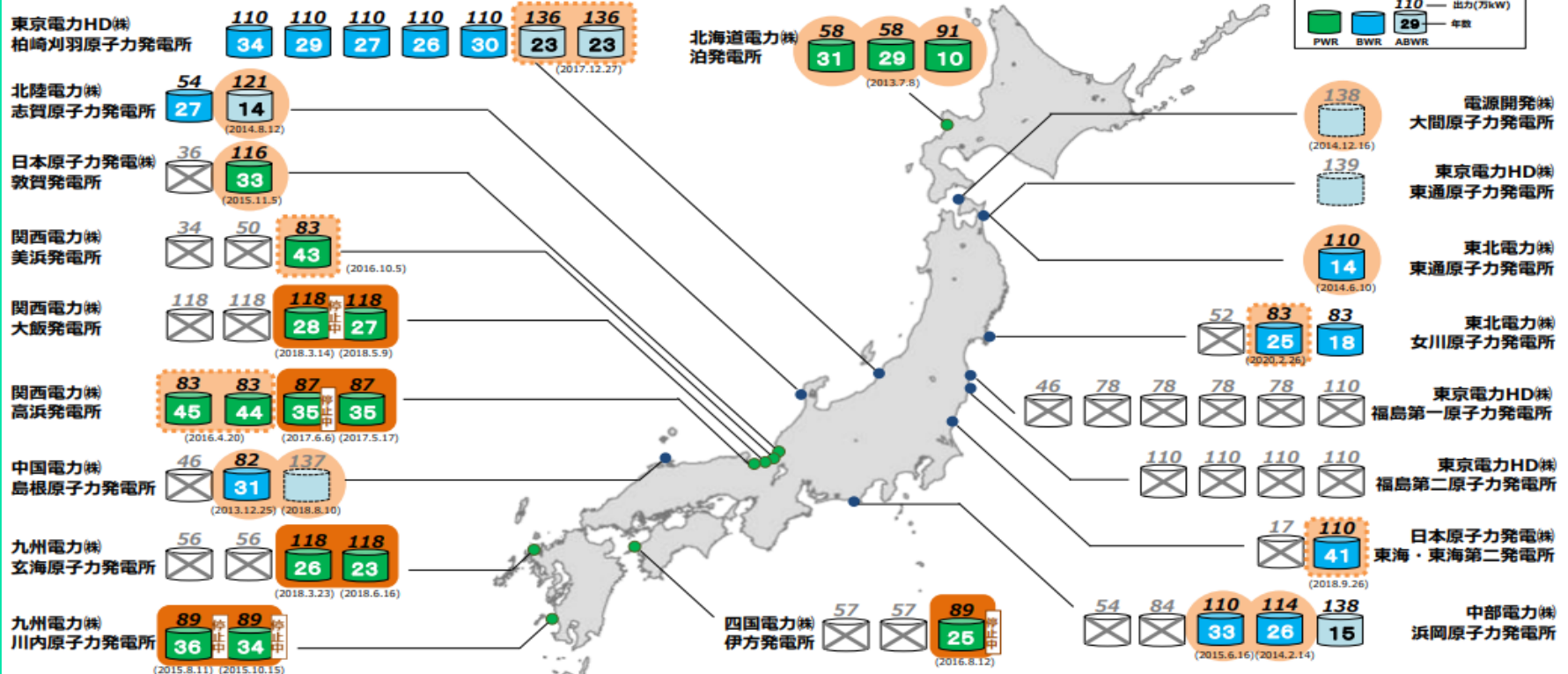
(許可日)

新規制基準
審査中
11基

(申請日)

未申請
9基

廃炉
24基



1基再稼働により、燃料コスト350～630億円／年、CO₂排出量260～490万トン／年削減
(100万kWe 稼働率80%、LNGもしくは石炭火力代替)

建設中3基と新增設計画8基

51

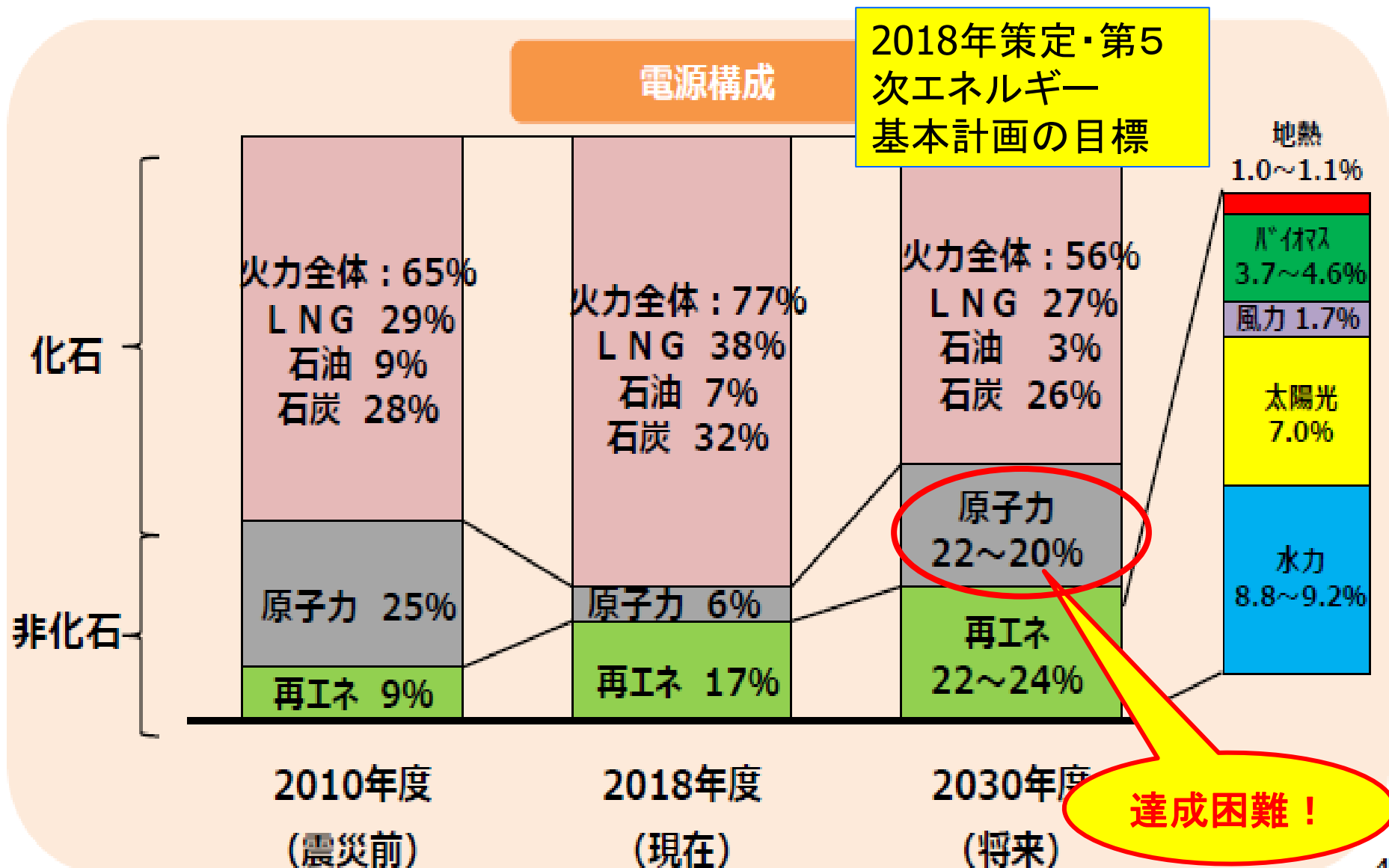
事業者名	発電所名称・設備番号	所在地	出力 (万kW)	運転開始年月	炉型
東北電力	浪江・小高	福島	82.5	平成33年度 (2021年度)	BWR——×
	東通2号	青森	138.5	平成33年度以降 (2021年度以降)	ABWR
東京電力	福島第一7号	福島	138.0	平成29年10月 (2016年10月)	ABWR
	福島第一8号	福島	138.0	平成29年10月 (2017年10月)	ABWR
	東通1号	青森	138.5	平成29年3月 (2017年3月)	ABWR
	東通2号	青森	138.5	平成32年度以降 (2020年度以降)	ABWR
中部電力	浜岡6号	静岡	140級	平成32年度以降 (2020年度以降)	ABWR
中国電力	島根3号	島根	137.3	平成23年12月 (2011年12月)	ABWR
	上関1号	山口	137.3	平成30年度 (2018年度)	ABWR
	上関2号	山口	137.3	平成34年度 (2022年度)	ABWR
九州電力	川内3号	鹿児島	159.0	平成31年度 (2019年度)	APWR
電源開発	大間原子力	青森	138.3	平成26年11月 (2014年11月)	ABWR
日本原子力発電	敦賀3号	福井	153.8	平成28年3月 (2016年3月)	51 APWR
	敦賀4号	福井	153.8	平成29年3月 (2017年3月)	APWR
合 計			1,930.8万kW		

建設は中断、
規制委員会
審査待ち。

他は全く審議
もされていない。
サイトは整地
済みのまま。

震災前、現在、2030年目標の電源構成

52



ご清聴ありがとうございました！

12月26日の基調講演ー2では「世界と日本のエネルギー状況と日本の2050年ベストミックス」についてお話する予定です。