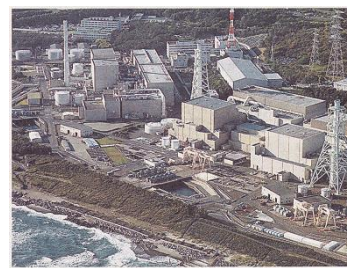


※ 2011年東日本大震災後の活断層、日本全体のエネルギー政策は未確定の部分が多く、停止状態の原子力発電所の今後の動向は流動的(2013年8月現在)。本資料では特に修正は加えていない。関係部分※に印を付してある



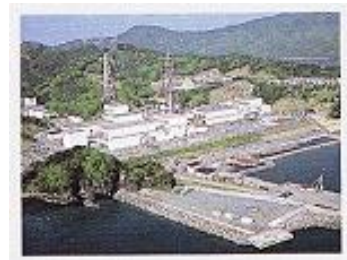
東京電力 柏崎刈羽



中部電力 浜岡



空冷式原発 フランス



東北電力 女川

# 原子力発電

原子力発電プラント

# 原子力発電とは

**原子力発電**(以下「**原発**」): 原子核が**核分裂**または**核融合**するときに膨大なエネルギーを発生する。  
**ウラン235**の核分裂による熱エネルギーで蒸気を作りタービンを回して発電する

表47-1 火力と原子力の発電の仕組み

	熱源	電力発生
火力発電	ボイラ: 化石燃料燃焼→水蒸気発生→	蒸気タービン →発電機
原発	原子炉: 核分裂反応→水蒸気発生→	

世界中の電力需要の急増に伴い、原発の設置拡大が必須。福島第一原発事故で、世界的に導入促進見直しの動き。放射能被爆防止のために同事故の徹底検証と安全確保の向上対策

**特長:** ●化石燃料埋蔵量への対応、●世界的な電力需要の急増対応、●地球温暖化防止、●燃料供給の安定性(高エネルギー密度など)

**課題:** ●安全性に対する不安、●放射性廃棄物の処理、●核兵器不拡散への対応

100万kW級原発を太陽光・風力発電で代替するのは非現実的。広大な敷地が必要

**核分裂:** ウラン(U)やプルトニウム(Pu)等の重い原子核が複数の原子核に分裂する現象。通常、ガンマ線等の放射線や中性子の放出を伴う ①

**核融合:** 水素、重水素、トリチウム等の軽い原子核が核反応の結果、より重い原子核になる現象。反応前後の質量和の減少がエネルギーとして放出される①

**参考:**

**原子爆弾**と**原発**—いずれも核分裂を利用。

**原爆:** 一瞬のうちにウランを核分裂させ爆発的にエネルギーを放出。燃料は100%近いU235。

**原発**は燃料中のウランを少しずつ核分裂させて一定の規模で核分裂連鎖反応が継続。燃料中のU235の割合は3~5%

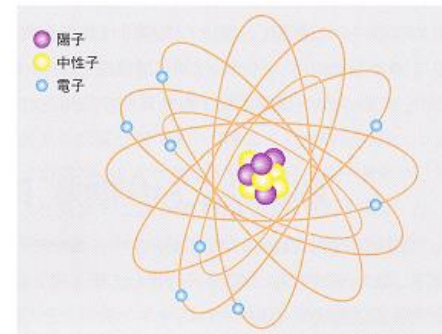


図47-1 原子の構成 ①

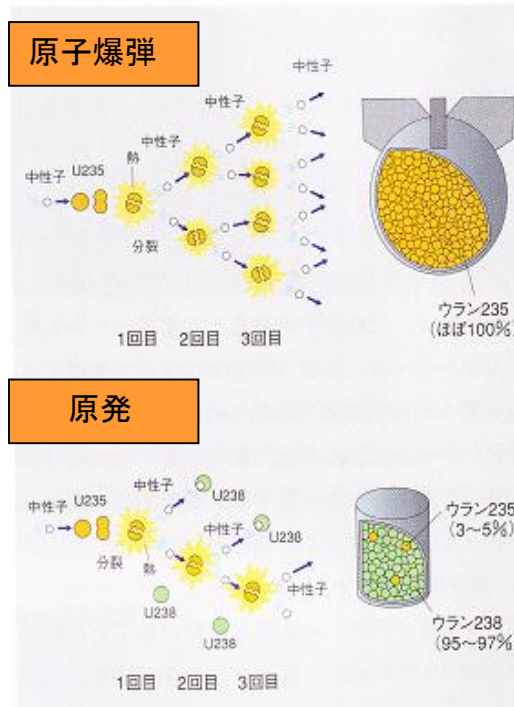


図47-3 原発と原子爆弾 ①

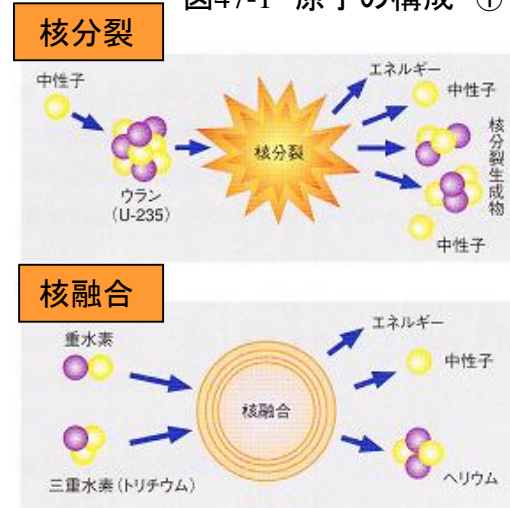


図47-2 核分裂と核融合 ①

# 原子力発電システム

日本では主として**BWR(沸騰水型)**と**PWR(加圧水型)**の2種類の**軽水炉**原発がある。東北、東京、中部、北陸、中国各電力会社はBWR、北海道、関西、四国、九州各電力会社はPWR

BWRは原子炉の中で直接蒸気を発生させるが、PWRでは炉内の圧力を高め冷却水が高温でも沸騰しないようにして、蒸気発生器を使って炉心を通れるのは別の水で間接的に蒸気を発生させる。世界の軽水炉原発の3/4はPWR型

軽水 = 普通のH<sub>2</sub>O

## ABWR(改良型BWR) 従来型BWRに対する改良点 (東芝)

- ・出力増大 - 1350MWe ← 1100MWe
  - ・建屋容積の低減 - 57m x 60m ← 80m x 80m
  - ・建設工期の短縮 - ★48ヶ月 ← 58ヶ月
  - ・定検工程の短縮 - ★55日(将来40日) ← 60日
  - ・熱効率の向上 - ★35% ← 33%
  - ・稼働率の向上 - ★87% ← 75%
  - ・被曝量の低減 - ★0.36人・sv/年
  - ・起動時間を約1/3に短縮
  - ・廃棄物発生量半減
- (★は目標値)

ABWR1号機は東電  
柏崎6号機/1996年

**HP-ABWR/次世代BWR**  
(次世代軽水炉開発プロジェクト)  
- 2030年頃からの既設原発のリプレース、出力170~180万kW級  
(PWRも同じ)

### 狙い

- 使用燃料の大幅削減
- 世界最高の稼働率
- 建設工期の大幅短縮
- 80年寿命
- メンテナンス時被曝線量削減
- 立地条件によらない免震技術

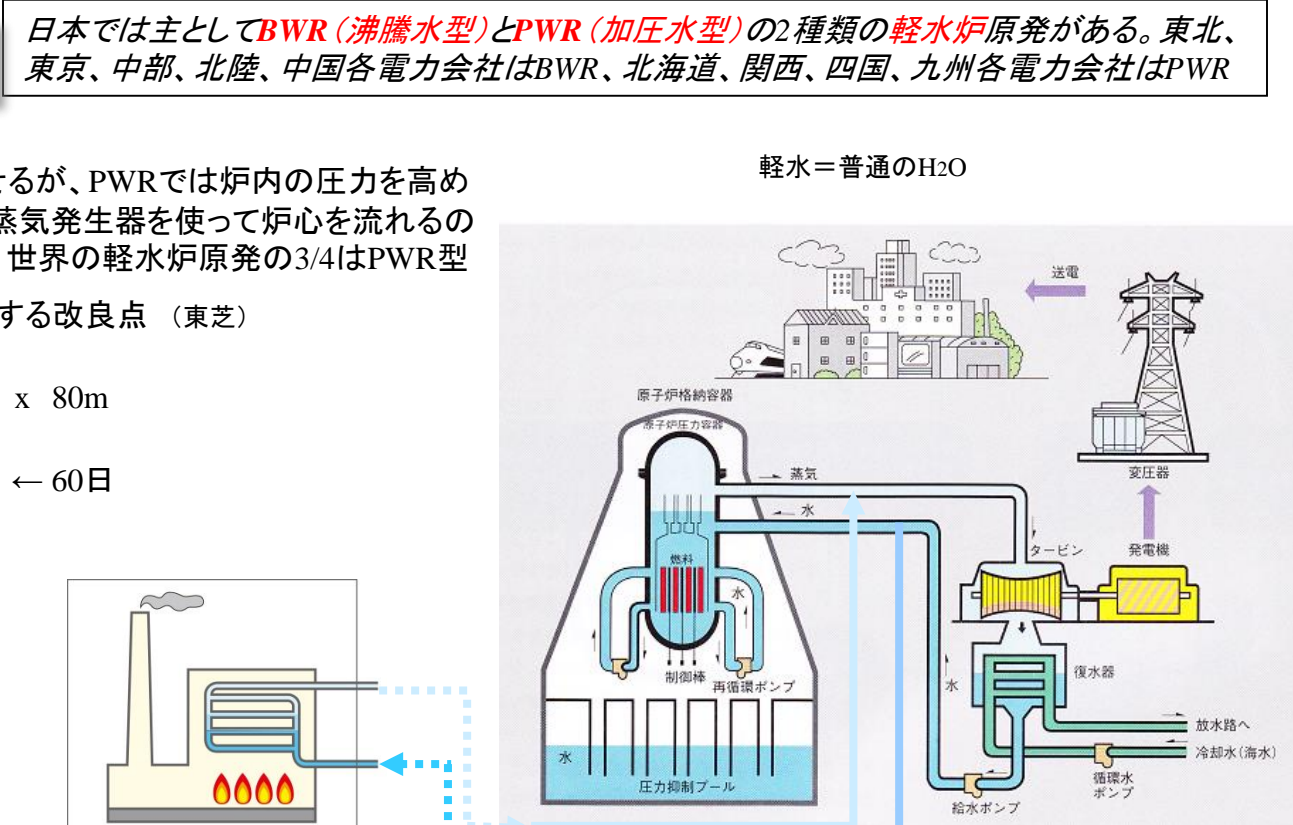


図47-4 BWR原発の仕組み ①

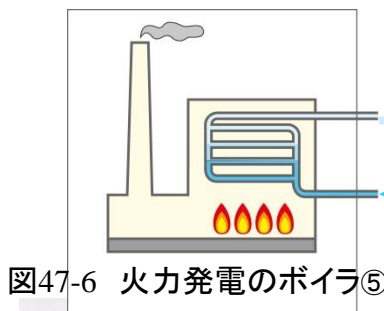


図47-6 火力発電のボイラ⑤

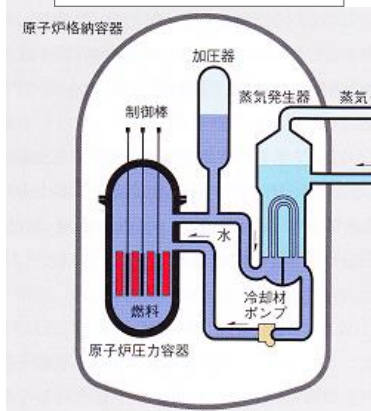


図47-5 PWR原子炉の仕組み①

タービン、復水器、  
発電機の部分は  
BWRと同じ

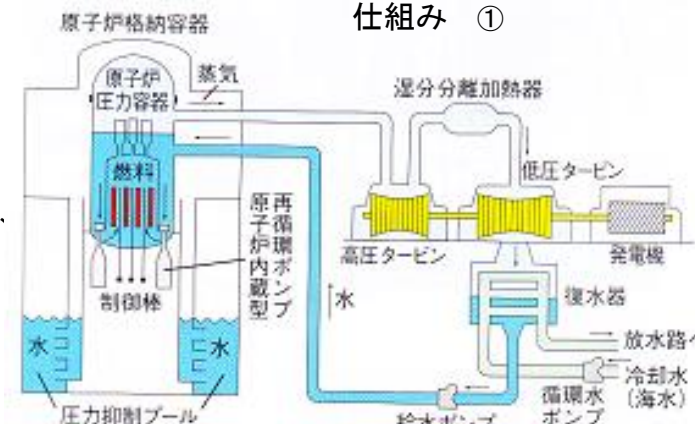


図47-7 ABWR サイクル図 ⑤



# 燃料

**燃料棒**:核分裂反応で熱エネルギーを発生する原子炉の燃料本体。Uを焼き固めた直径約1cmのペレットを3000℃に耐えるジルコニウム合金製の筒に装着。**燃料集合体**は燃料棒を複数本束ねて装着

**使用済み核燃料**:原子炉で燃料として使用した後の核燃料。U(ウラン)やPu(プルトニウム)などの核反応で生じた放射性物質を多く含み、核兵器への転用もできるため厳重な管理が必要。使用後もまだ発熱を続け、3~5年間原子炉内の貯蔵プール水の中で冷却を続ける。その後再処理工場で一部を燃料として再利用、残りは長期間保存。日本では年間1000トンの使用済み核燃料が生じており、処理が問題

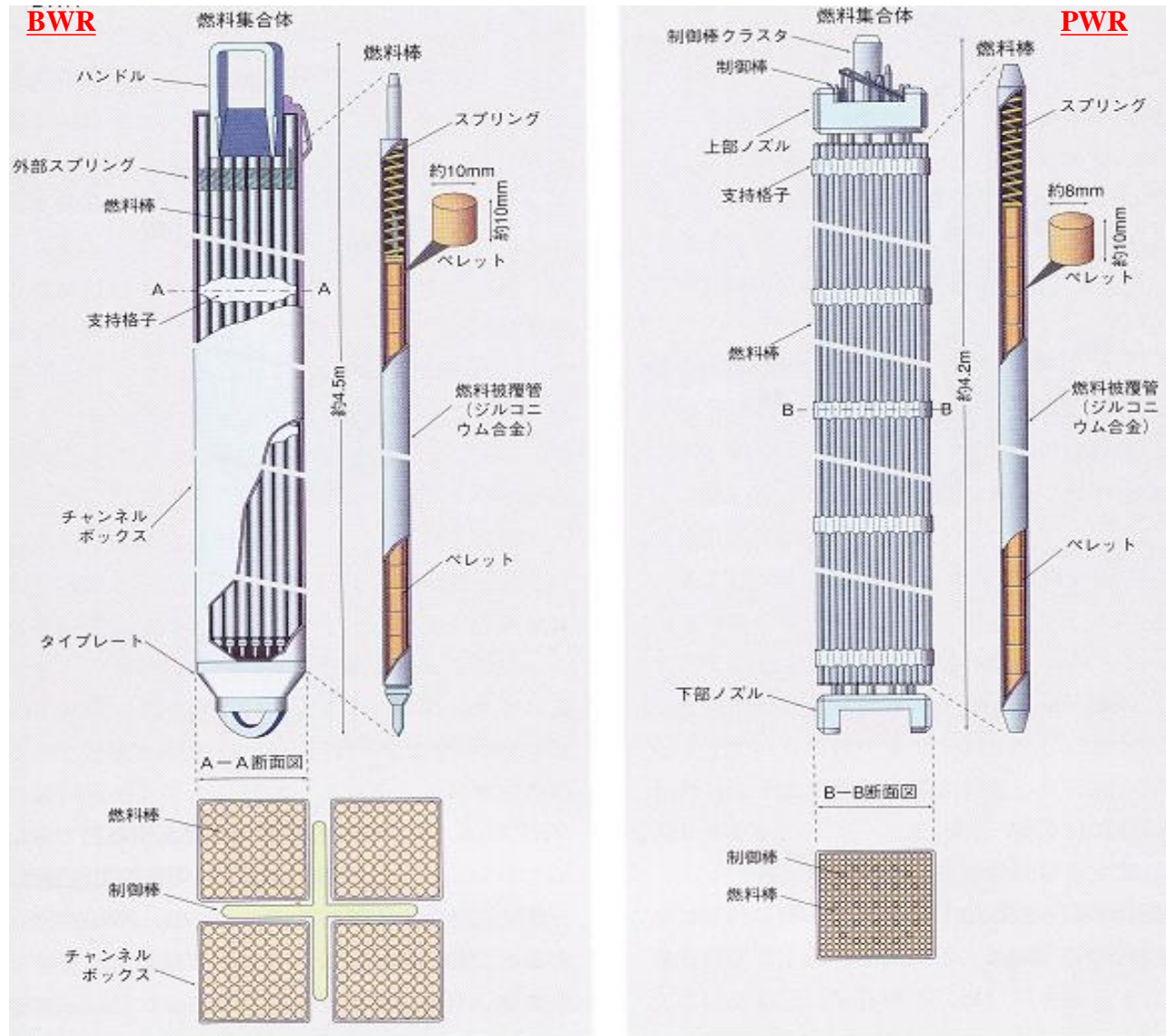


図47-9 BWR燃料集合体と制御棒 ②

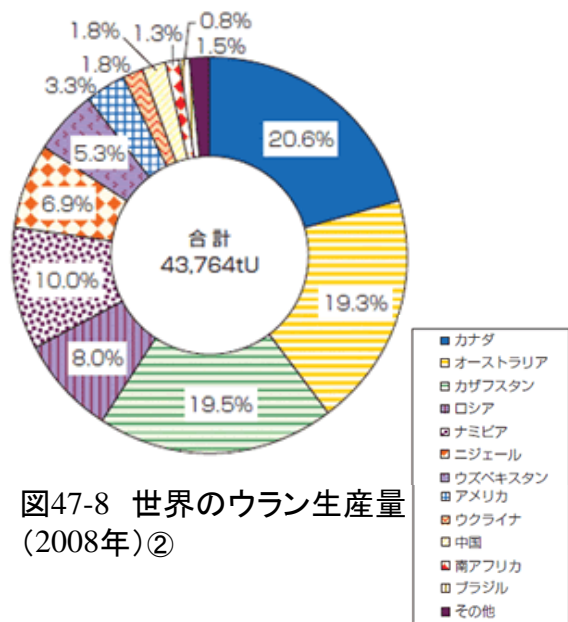


図47-8 世界のウラン生産量 (2008年)②

# 出力制御

原発はベースロードを担う中核的な電源と位置づけられており(※)、所定の出力に合わせて炉内の核分裂の量を一定にするように制御する

**炉心の出力制御:** BWRでは制御棒の出し入れ調整による核分裂の数と、炉心を流れる冷却材の流量(再循環流量)の調節により制御。次第にU235が消費され濃度が低くなると制御棒を若干引き抜いて調節する。

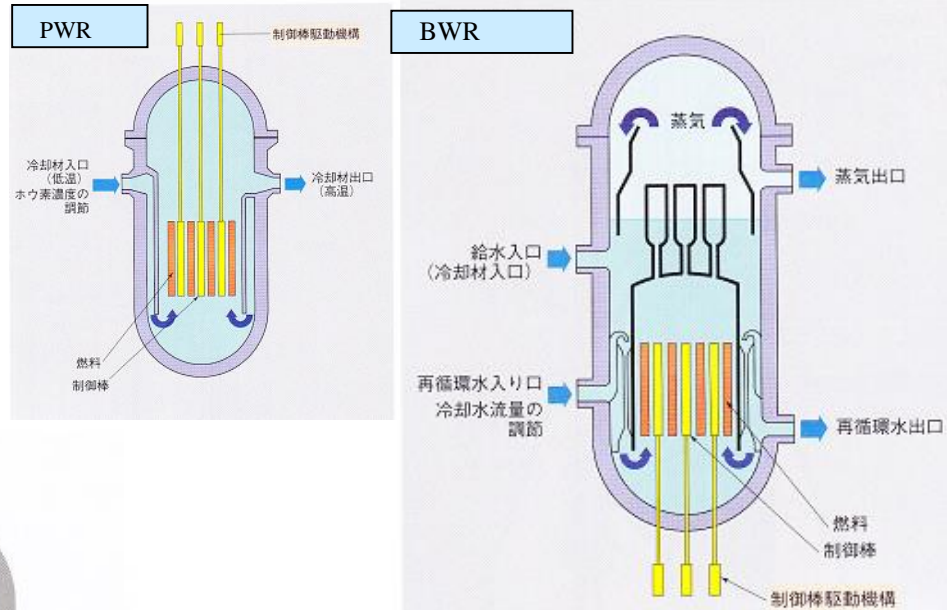
PWRでは冷却材に混ぜるホウ素濃度による調整

BWRは沸騰して発生する泡の影響を避けるため制御棒を下から入れる。PWRは炉内で高い圧力により冷却水が沸騰しないため制御棒を上から入れる

**減速材**—核分裂により発生した中性子を減速して次の核分裂を起こさせる。軽水炉では水が使われる

**冷却材**—核分裂で発生した熱を炉から外部に取り出すもの。軽水炉では水が減速材 兼 冷却材となる

**制御材**—ホウ素やカドミウムなど中性子を吸収しやすい物質で核分裂量を調節。軽水炉では制御棒として燃料棒の間に挿入



原子炉の起動・停止など急速な反応変化を制御 → 制御棒の操作で

燃料の燃焼変化など緩慢な反応度変化を制御 → BWR: 冷却水流量(再循環流量)で  
PWR: ホウ素濃度の調節で

図47-11 原発の運転 ①

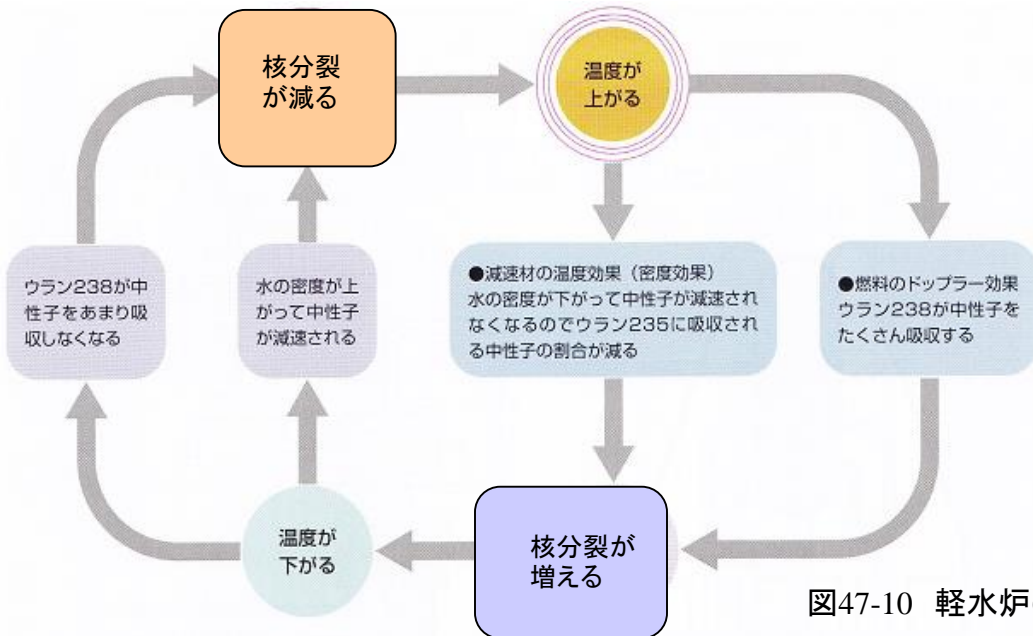


図47-10 軽水炉の自己制御性 ①

# 設備の運用

原発の利用効率向上のためには、**定期検査による停止期間の短縮－稼働率の向上**が大きな課題

定期検査間隔 ー 蒸気タービン: 2年±1ヶ月  
 ー 原子炉と付属設備: 1年±1ヶ月を超えない時期  
 (電気事業法 第54条)

表47-2 定期点検の主な作業概要

設備名	定期点検の内容		
	分解・開放点検 (*)	機能検査	調整運転等
原子炉本体	・原子炉圧力容器開放点検、非破壊検査 ・燃料交換、燃料検査	・漏えい検査	・調整運転 ・総合負荷検査
原子炉冷却系統設備	・ポンプ・弁等の分解点検 ・非破壊検査	・単体の作動試験 ・系統全体として機能が発揮できることを確認する機能試験	
計測制御系統設備	・制御棒駆動機構の点検 ・出力領域計装の取替	・単体の作動試験 ・原子炉制御・保護装置の計器の較正、単体機能試験 ・総合的な機能試験	
燃料設備	・燃料設備機器の点検	・燃料取扱各部の作動試験 ・燃料設備の機能試験	
放射線管理設備	・放射線モニターの点検 ・換気設備の分解点検	・放射線モニターの較正 ・換気設備の単体作動試験 ・総合的な機能試験	
廃棄設備	・濃縮器等の開放点検 ・ポンプ等の分解点検	・単体の作動試験 ・系統全体として機能が発揮できることを確認する機能試験	
原子炉格納設備	・原子炉格納容器の(開放)点検 ・原子炉格納容器隔離弁の分解点検	・単体作動試験 ・原子炉格納容器の漏えい率測定試験	
非常用予備発電装置	・非常用ディーゼル発電機の分解点検	・ディーゼルの単体作動試験 ・系統全体として機能が発揮できることを確認する機能試験	
蒸気タービン	・蒸気タービン開放点検	(調整運転にて実施)	

(\*) 消耗品、部品の取替を含む

【出典】火力原子力発電技術協会：原子力発電所の定期点検の概要、1990年10月、p.10

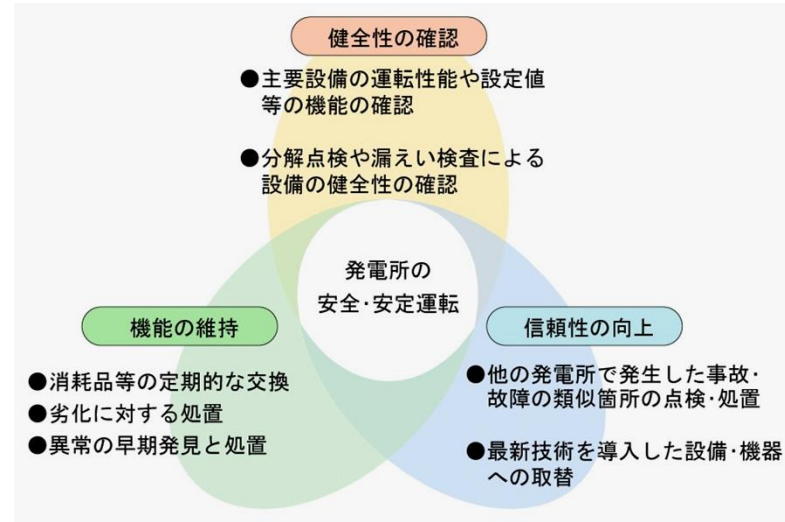


図47-12 原発の定期検査の目的 ⑤

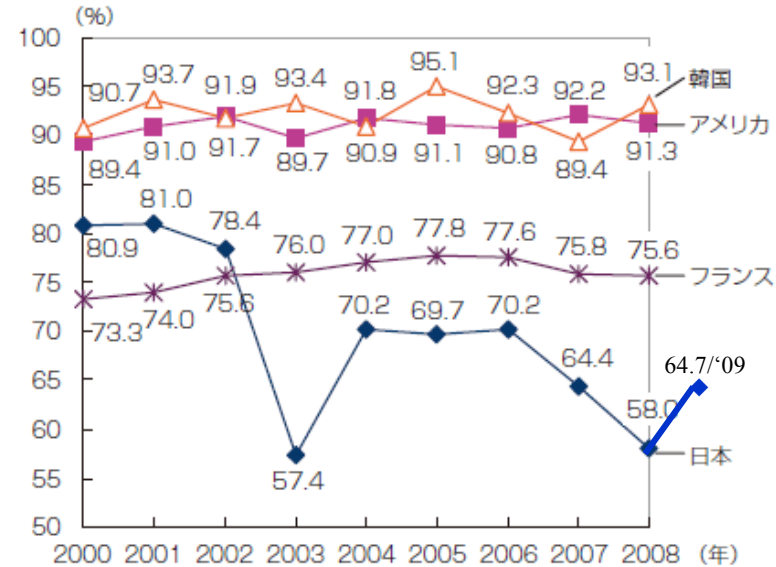


図47-13 世界の原子力発電設備の利用率 ②



# 放射能

放射線は原子核が壊変するときなどに放射される高エネルギーの流れのこと。  
 放射能は放射線を出す能力。放射性物質は放射能を持つ物質。  
 被曝(ひばく)は放射線を浴びること

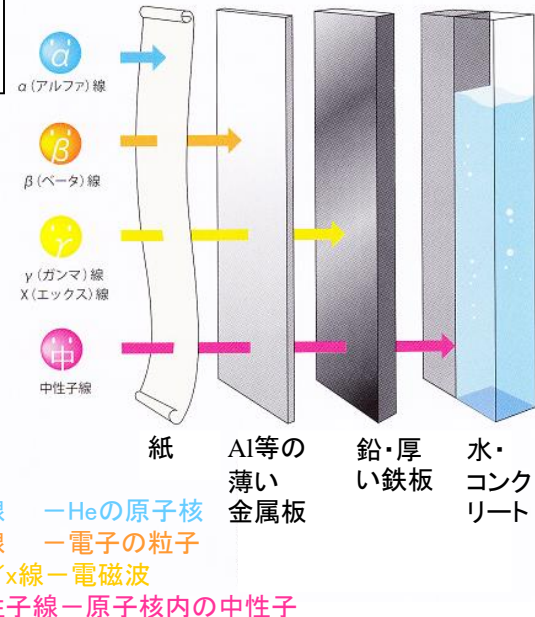


図47-14 放射線の種類と透過力 ⑤

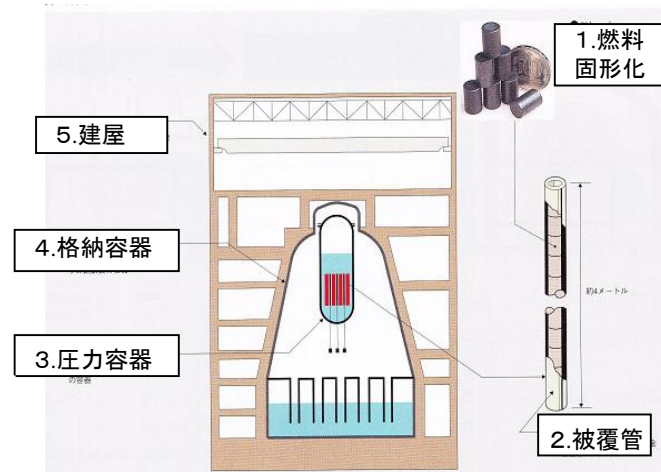


図47-16 放射性物質に対する多重防壁 (BWRの例) ①

原子力施設の安全確保の基本は、放射線の多重防護と放射線・放射性物質の厳しい管理

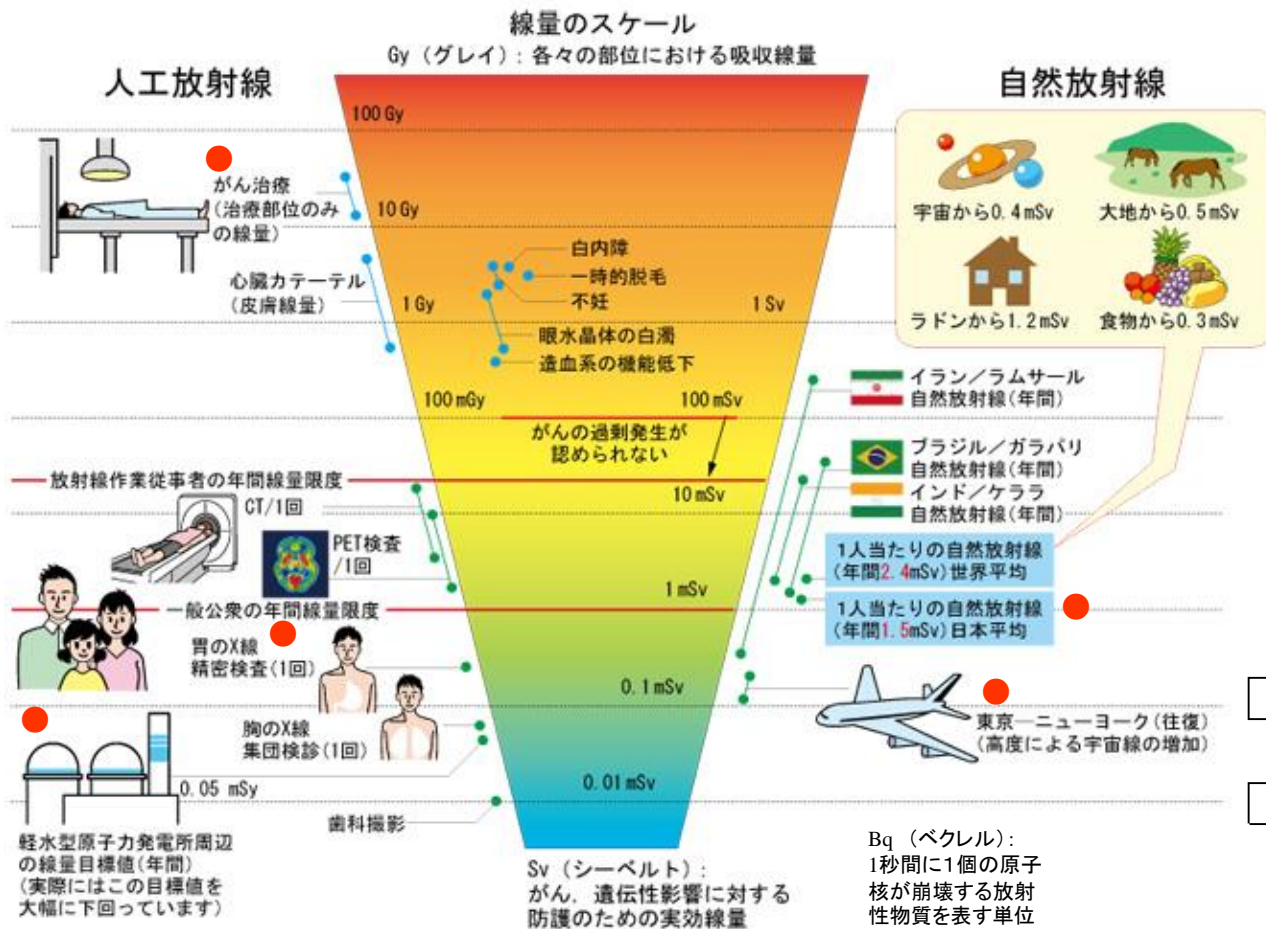


図47-15 放射線の線量と影響 (放射線医学総合研究所)

# 発電量

日本では、2010年3月末で、54基、4884.7万kWの商業用原子力発電所が運用中。国内全発電電力量の約30%、将来も30~40%維持の予定 ※

原発の新設計画(原子力発電推進行動計画/2010年) ※

2020年までに9基以上  
2030年までに+5基以上  
設備利用率の向上を目指す

—ただし Fukushima 事故前の計画

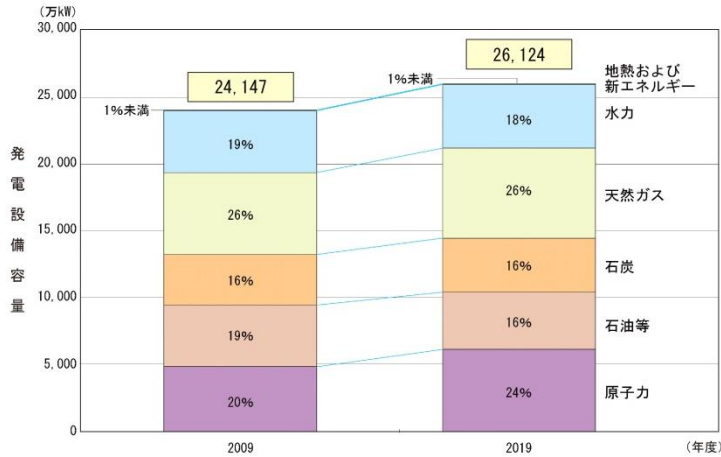


図47-17 電力供給計画(発電設備容量) ⑤ ※

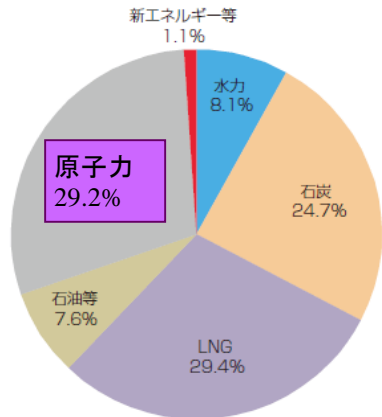


図47-18 日本の発電電力量の構成(2009年) ※

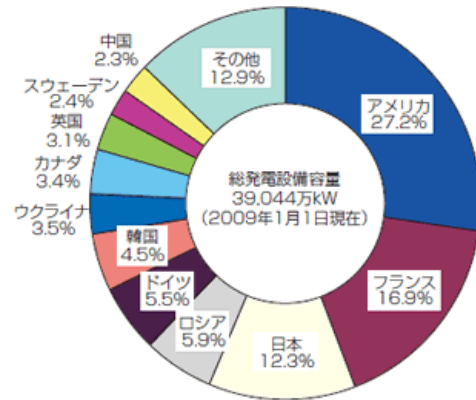


図47-19 世界の原子力発電設備容量②

実用発電用原子炉		
●計画段階	12基	1,655.2万kW
▲建設段階	2基	275.6万kW
■運転段階	54基	4,884.7万kW
×廃止段階	3基	154.6万kW
計	71基	6,970.1万kW
研究開発段階原子炉		
△建設段階	1基	28.0万kW
×廃止段階	1基	16.5万kW
計	2基	44.5万kW

関西電力(株)		日本原子力研究開発機構	
■1号	82.6	×ふげん	16.5
■2号	82.6	△もんじゅ	28.0
■3号	87.0		
■4号	87.0		
美浜		日本原電(株)	
■1号	34.0	■1号	35.7
■2号	50.0	■2号	116.0
■3号	82.6	■3号	153.8
■4号	87.0	■4号	153.8
大飯			
■1号	117.5		
■2号	117.5		
■3号	118.0		
■4号	118.0		

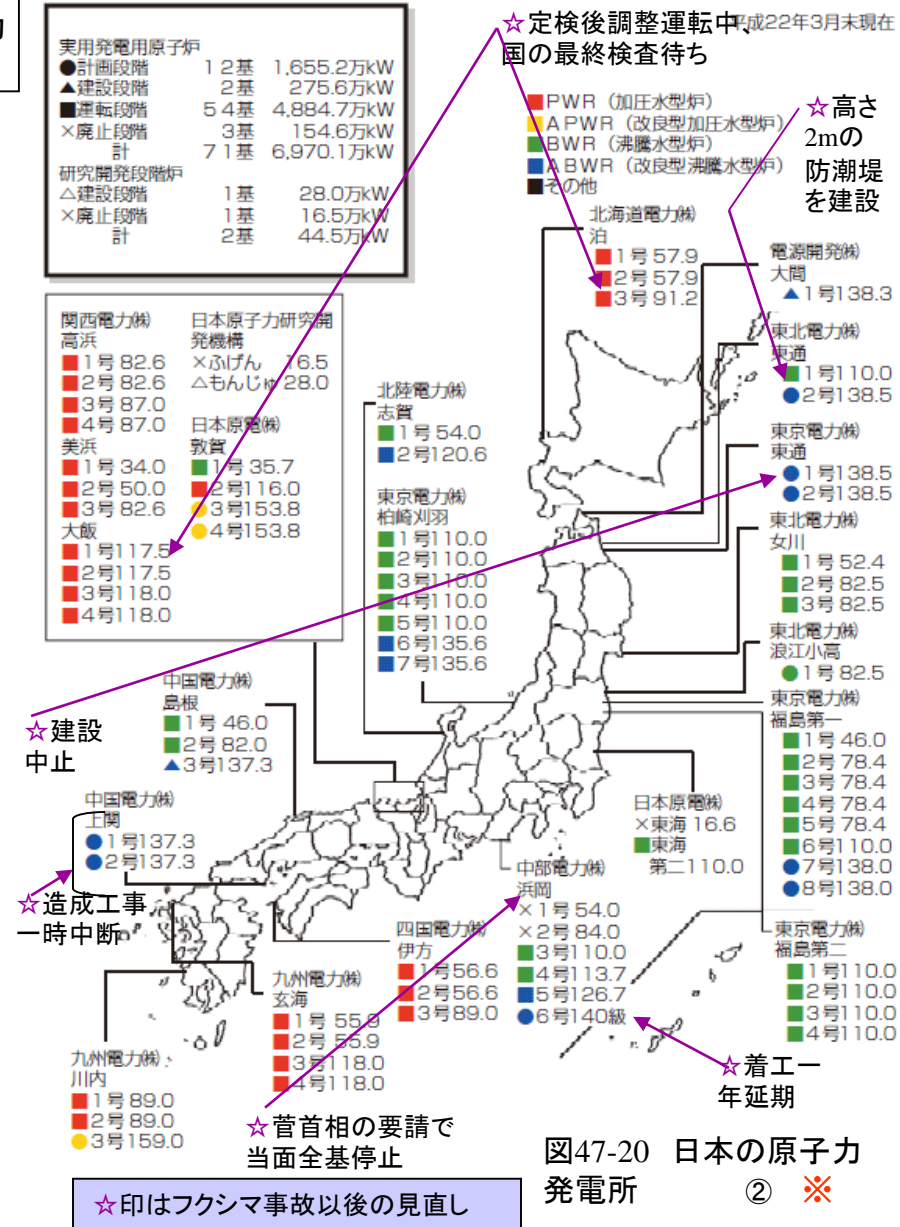


図47-20 日本の原子力発電所 ② ※



# 事故

原発事故による放射能漏れは周辺社会に甚大な被害を及ぼす恐れがあり、厳重な安全管理が要求される。事故の国際評価尺度 (INES) は、レベル0~7の8段階。福島第一原発事故では、放射能漏れの範囲、収束の長期化をみて当初のレベル5からレベル7に引き上げられた

**チェルノブイリ事故:** 旧ソ連が独自に開発した原子炉で、設計ミスに運転員の規則違反が重なって運転中に暴走、原子炉建屋内で水素爆発が起きて半径30km圏内の住民12万人が強制避難、約50人が死亡

**福島第一原発の放射能漏れ:** 2011年東日本大震災の地震・大津波で浸水、非常停止となり大気、海水への放射能流出。住民の強制避難など事故後の管理・対応に非難。現在未収束

**スリーマイル島原発事故:** PWR型炉で冷却水ポンプの事故から運転員がECCSを止めるなど人為的なミスが重なり、炉内構造物の一部溶融につながり格納容器内で水素が急激に燃えた。半径80km圏内の住民が被爆

## おもな国内原発関連異常事象・事故

高速増殖原型炉「もんじゅ」2次主冷却系ナトリウム漏洩事故 (1995年)  
 JCOウラン加工施設の臨界事故 (1999年) < INESレベル4事故 >  
 中部電力浜岡発電所余熱除去系蒸気凝縮系配管破断事故 (2001年)  
 関西電力美浜発電所2次系配管破断事故 (2004年)

表47-3 原発事故例とINES事象評価尺度

レベル	意味	事例
7	深刻な事故	チェルノブイリ原発事故 (旧ソ連、1986年)
6	大事故	—
5	所外へのリスクを伴う事故	スリーマイル島原発事故 (米国、1979年)
4	所外への大きなリスクを伴わない事故	JCO臨界事故 (茨城県東海村、1999年)
3	重大な異常事象	バンドロス発電所火災事故 (スペイン、1989年)
2	異常事象	美浜原発2号機蒸気発生器伝熱管損傷 (福井県美浜町、1991年)
1	逸脱	高速増殖炉「もんじゅ」ナトリウム漏洩事故 (福井県敦賀市、1995年)
0	尺度以下	—

事故  
異常事象

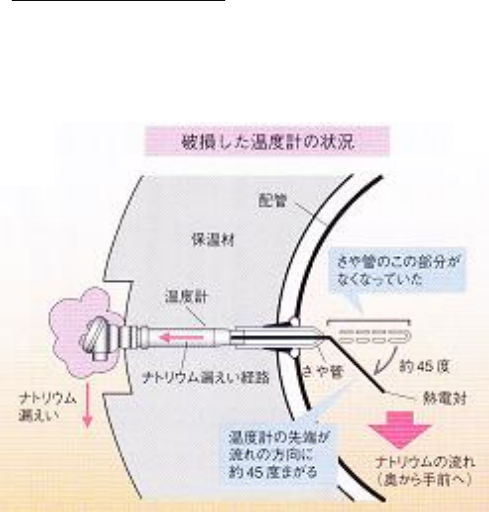


図47-23 「もんじゅ」事故 ①

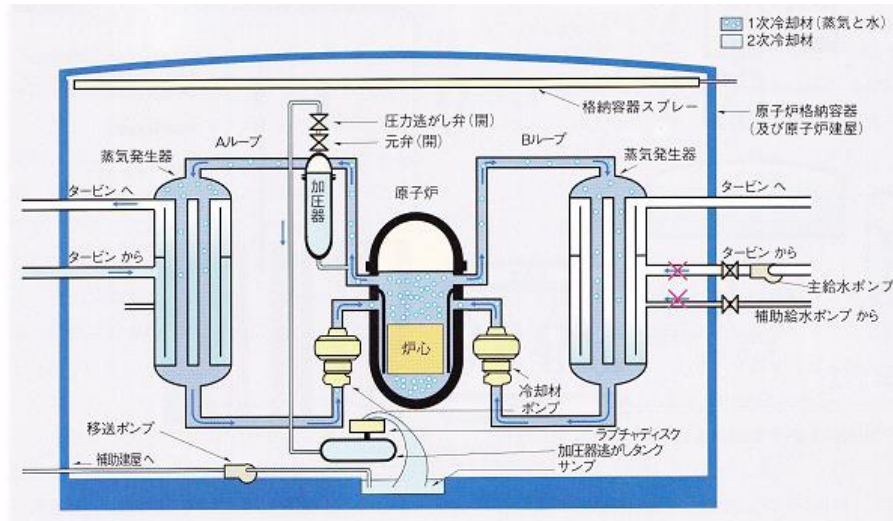


図47-22 スリーマイル島事故 ①

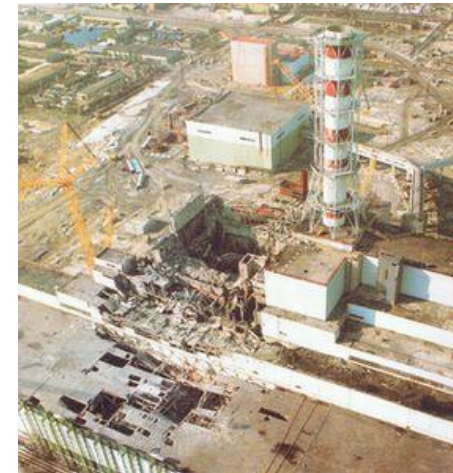


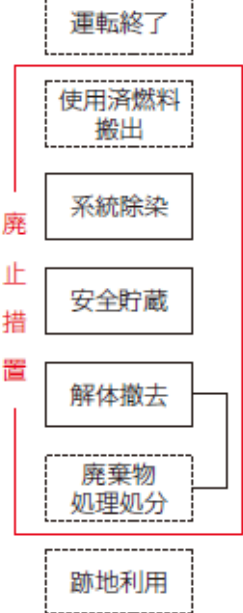
図47-21 チェルノブイリ事故

# 廃止措置

原子力発電が運転を終えた後の取り扱い(廃止措置)について、安全を確保しつつ、設備からの放射能を除去し、最終的には解体撤去。(一般的に40年使用)。廃止措置は21世紀に新しい産業となる。多量の放射性廃棄物が発生、その最大限の再利用が将来の課題

日本では「系統除染」「安全貯蔵」「解体撤去」の3段階方式—1985年に策定。  
 廃止措置費用は発電所建設費の約10%で、大形BWR原発で565億円/2004年

世界全体／日本： 運用中438基／54基 — 閉鎖124基／5基  
 (2010年4月IAEA／国際原子力機関)



使用済燃料などを原子力発電施設から再処理施設などに搬出。

主な配管・容器内の放射性物質を化学薬品などで除去。

解体撤去作業時の線量低減。放射性廃棄物発生量低減のため、放射能の減衰を待つ期間。系統除染終了後5~10年行う。

安全貯蔵期間を経て、放射性物質の量が減衰したところで実施。放射性物質を飛散させないよう、原子炉格納容器や原子炉建屋内部の配管、容器等を解体撤去。内部の配管等を解体後、原子炉容器内や原子炉建屋内部の放射性物質の除去作業を行い、除去確認後、建屋の解体を実施。

図47-24 原子力発電所廃止措置の流れ ②

表47-4 日本の原発廃止措置の現状 ④

事業者名	名称	電気出力	状況
日本原子力研究所	動力試験炉JPDR	1.3万kW	解体撤去済(1996)
日本原子力発電(株)	東海発電所	16.6万kW	2001~廃止措置中
日本原子力研究開発機構	新型転換炉ふげん	16.5万kW	2008~廃止措置中
中部電力(株)	浜岡1号機	54万kW	2009~廃止措置中
中部電力(株)	浜岡2号機	84万kW	2009~廃止措置中

※上表の他、試験研究用原子炉が6基廃止措置済、8基廃止措置中

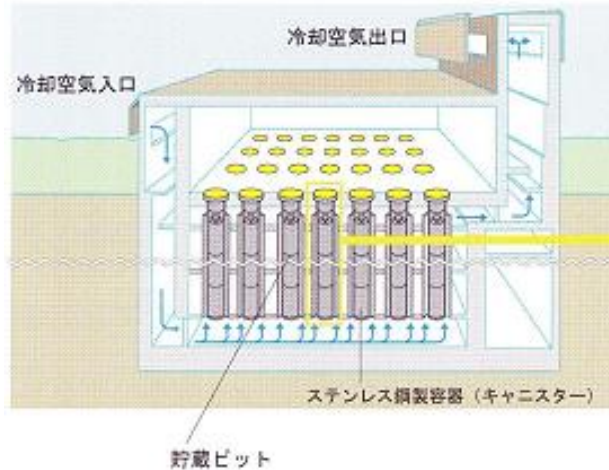
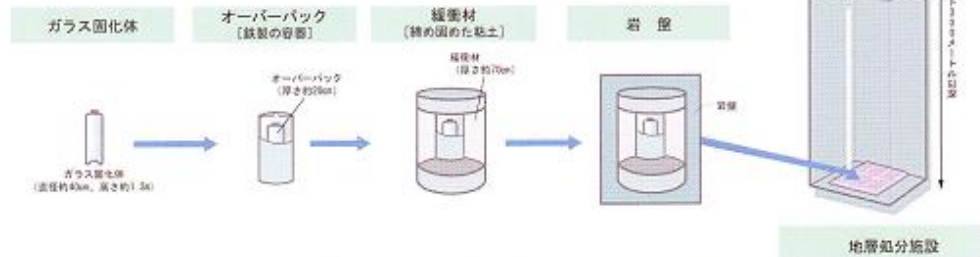
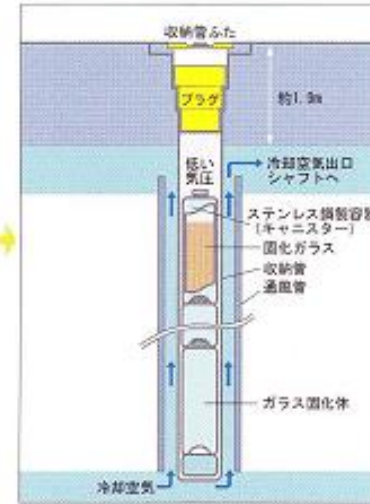


図47-25 高レベル放射性廃棄物処分 ①



**除染**—機器・構造物から放射能汚染した物質を取り除くこと。金属表面・コンクリートの除染方法として、表面を削る方法、化学反応などがある。除染技術と併せて放射線測定技術が重要



# 安全・保安・法規

原子力施設(原発ほか)の安全確保の基本は人々に放射線による悪影響をおよぼさないこと

## 安全確保の3原則:

管理責任の一元化、  
多重防護の採用、  
一般化された技術原則の採用

**安全の基本:**  
止める、  
閉じ込める、  
冷やす

原子力施設の運用—平和利用に限定

原子力事業者/電力会社など—施設の第一の責任

国—施設の設置や運転に関する公共の安全確保規制 ①

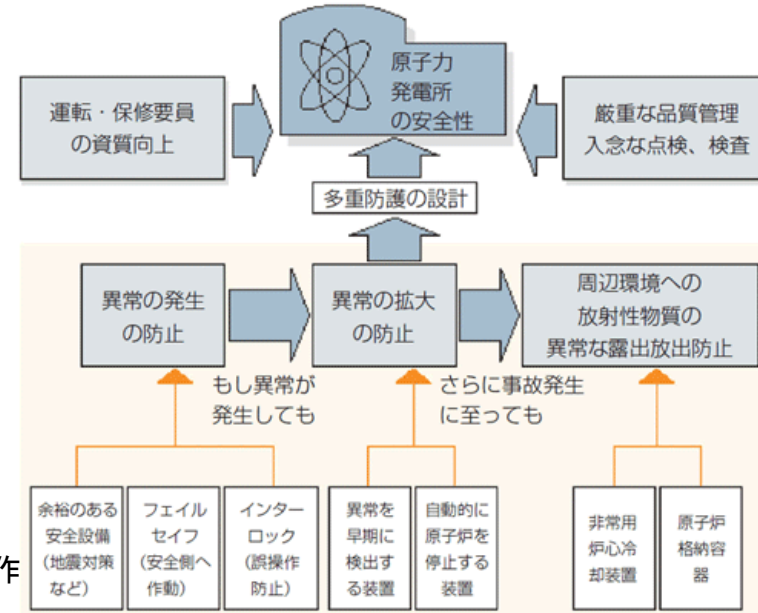


図47-26 原子力発電所の安全確保に対する考え方 ②



図47-27 放射線のモニタリング ①

## 関連法規: ※

原子力基本法(1955)—日本の原子力の研究、開発、利用の基本方針、基本体制

原子炉等規制法(1957)—核原料物質、核燃料物質、原子炉の利用目的。

電気事業法(1964)—電気事業の運営、公共安全確保、発電用原子炉の設置

原子力災害対策特別措置法(1999)—東海村臨界事故による法律。迅速な初期動作

## 日本の原子力政策 ① ※

原子力政策大綱(2005年/原子力委員会)、

新国家エネルギー戦略(2006年/政府)、

原子力立国計画(2006年/総合資源エネルギー調査会原子力部会報告)、

エネルギー基本計画(2007年/政府)、

原子力発電推進強化策(2009年/政府)、

原子力発電推進行動計画(2010年/原子力部会)

フクシマ原発事故の後、エネルギー政策の見直しは必至 ※

## 関連組織・団体: ※

原子力委員会—原子力の研究、開発、利用の基本方針策定(内閣府)、

原子力安全委員会—国による安全規制についての基本的な考え方の決定など(内閣府)、

原子力安全・保安院/NISA—各分野のエネルギーに係る安全および産業安全の確保(経済産業省)、

(財)原子力安全技術センター—国の安全規制業務の代行業務、SPEEDI(緊急時放射能影響予測)、

(財)原子力発電技術機構/NUPEC—原子力発電機器の安全性、信頼性実証の試験、解析など、

(独)原子力安全基盤機構/JNES—原子力施設の安全確保のための検査業務など、

(社)日本原子力産業協会/JAIF、

原子力発電環境整備機構/NUMO、

(独)日本原子力研究開発機構(HTGR開発)、

(一般社団法人)日本原子力技術協会、

(財)原子力安全研究協会、

(財)日本原子力文化振興財団/JAERO、

以下は株式会社:日本原燃、三菱原子燃料、リサイクル燃料貯蔵、国際原子力開発



## 課題

原発の可否	フクシマ大事故により世界中で脱原発論が沸騰。日本では被災の大きさを見れば脱原発は当然であるが、安全技術の向上、節電の限界、長期的な代替エネルギーの輸入制約、電力不足による電力価格上昇と産業空洞化・輸出力の低下の問題等を十分検討した上で選択することが肝要。単に脱原発のみの賛否論議は日本の前途を誤る恐れがある
定検間隔の延長	現在の検査制度では13ヶ月以内に運転停止、定期検査が義務付けられており、日本の原子力発電設備稼働率の低さにつながっている。2009年に導入された新検査制度では16ヶ月にして、停止期間も60日に短縮して稼働率を90%近くにする動きがある（ENECO誌2011年3月）
原子カルネサンス	世界的なエネルギー需要急増、地球温暖化への対処として浮上した、2002年以降の欧州・米国での原発の見直し、凍結していた建設計画の動きを指す。フィンランドの原発増設決定、米国の原発新設計画、フランスの欧州型PWR(EPR)などが対象。福島原発事故はこの流れに対して、安全性についての大規模な議論が復活

## キーワード

①

臨界	ウラン235が核分裂すると複数個の新しい中性子が飛び出し、この中性子が次の核分裂を起こす。このようにして、連続的に核分裂が連鎖反応で続いて、その反応が同じ割合で持続する状態を臨界という。原発では原子炉を臨界状態に保つことにより発電を行う
MOX燃料 (Mixed Oxide)	ウラン燃料に含まれるU235に代わり、プルトニウムPuを混合させて用いるもの。核燃料サイクルのなかで、使用済み燃料再処理工場の後工程として専用のMOX燃料加工工場において精製される。従来炉でMOX燃料の割合が1/3の場合、同じ運転範囲で使用できる
半減期	放射性物質の原子は放射線を出すことにより安定した状態へと変化する。このため放射性物質の量は時間が経つとともに減少する。放射性物質の量が半分になるまでの時間を半減期という
外部被曝と 内部被曝	<b>外部被曝</b> は外部の放射線物質から放射線を受けること。一般に宇宙線、大地の中の放射線物質などからの放射線、X線診断などがある。 <b>内部被曝</b> は放射線物質を含む飲食物、気体を体内に取り入れたとき身体の内部から放射線を受けること。人は普通での年間約0.29ミリシーベルトの内部被曝を受けている