

2021/5/26 (水)
易しい科学の話

原発はまた事故を起こすのだろうか？

この資料は、インターネット上の情報「エネ百科 | きみと未来と。」を利用して作りました。

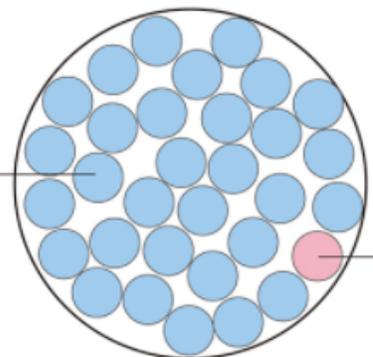
WEBサイト「エネ百科」では、エネルギーのこれからについてみなさんと一緒に考えるため、エネルギーにまつわるさまざまな情報を配信しています。一般財団法人日本原子力文化財団が運営しています。

吉岡 芳夫

天然ウランと濃縮ウラン

天然ウラン

ウラン238
99.3%

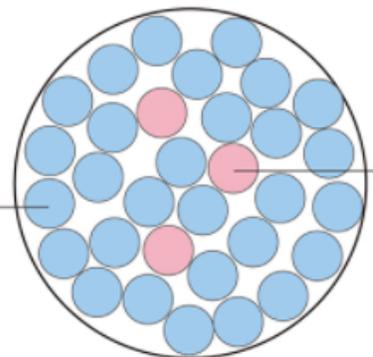


天然ウランは、
普通の原子炉では
使えない

濃縮

低濃縮ウラン

ウラン238
95~97%



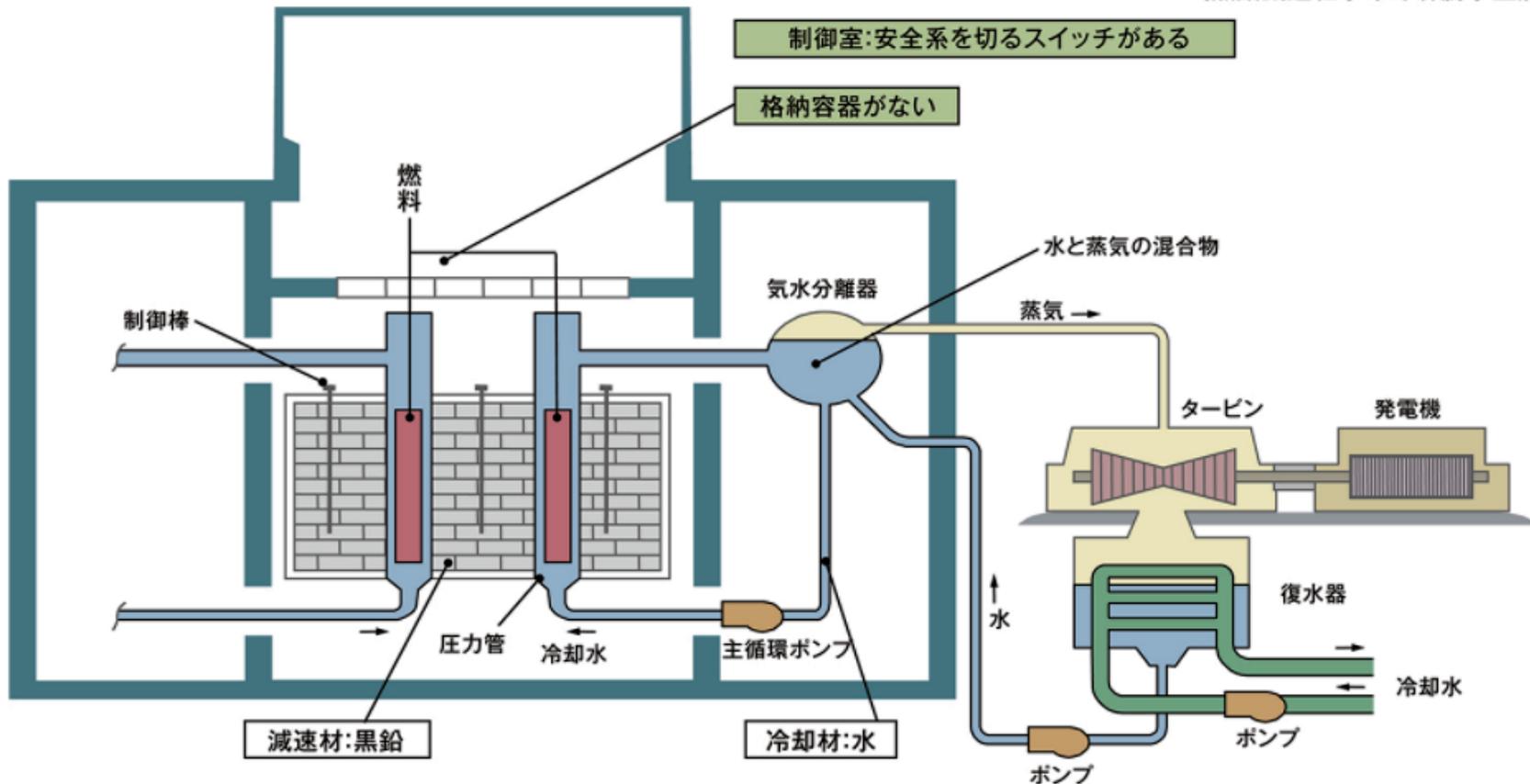
ウラン235
3~5%

原発は、
ウラン235が
5%以下のものを使う

原子爆弾は、
ウラン235が
ほぼ100%の
濃縮ウランを使
う。

チェルノブイリ原子力発電所の構造

(黒鉛減速軽水冷却沸騰水型炉RBMK)



制御室:安全系を切るスイッチがある

格納容器がない

減速材:黒鉛

冷却材:水

	日本の原子炉	チェルノブイリの原子炉
自己制御性	あり	なくなる場合がある
冷却材	水	水
中性子の減速材	水	黒鉛
安全装置	インターロックにより危険操作の防止	容易に外せる
原子炉をカバーする丈夫な格納容器	あり	なし

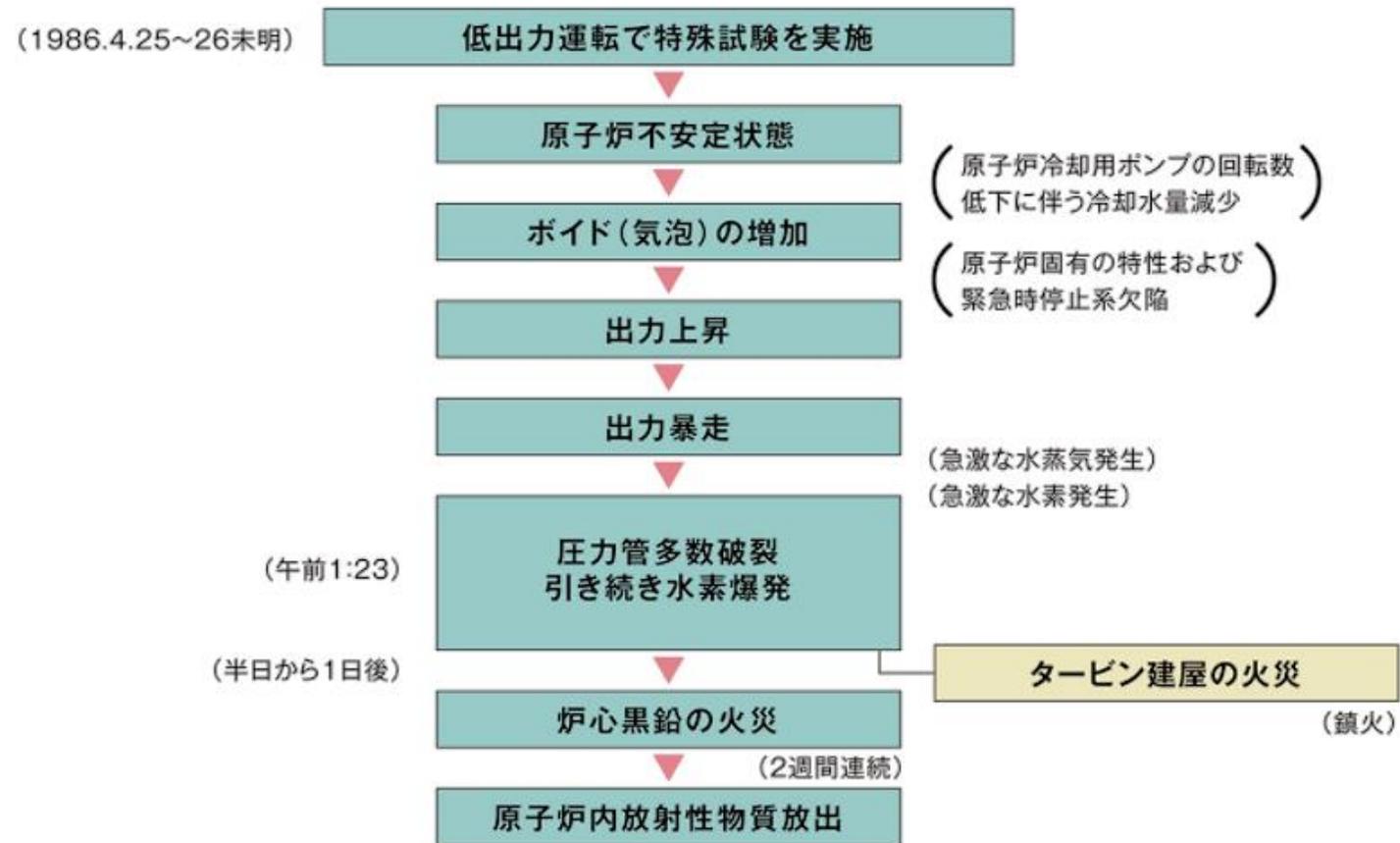
チェルノブイリ原発には、格納容器がない。

核分裂を起こさせるための中性子の減速を黒鉛で行わせている。燃える！

国内の原子炉は水を中性子の減速に使う。燃えない。

チェルノブイリ原発の事故は、安全装置を止めて、低出力で発電実験をして起こった。核分裂の暴走事故だった。放射性物質は、ほとんどすべてが大気中に放出された。

チェルノブイリ原子力発電所事故の経過



チェルノブイリ原子力発電所事故の原因

セイフティーカルチャーの欠如

設計上の問題点

- 格納容器がない
- 安全装置が簡単に切れる設計
- 低出力時に、冷却水中のボイド(気泡)が増えると出力が上昇するという特性(正のボイド係数)等

運転員の規則違反

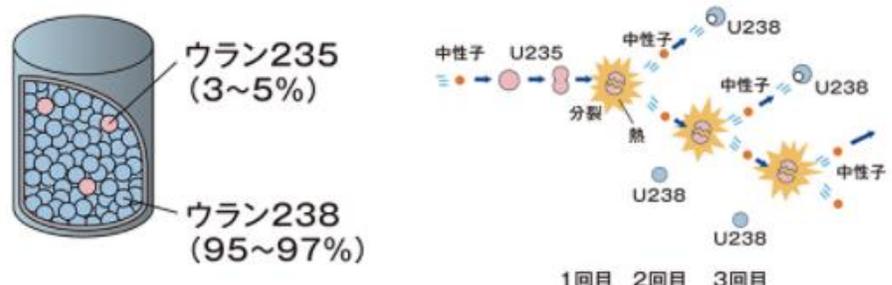
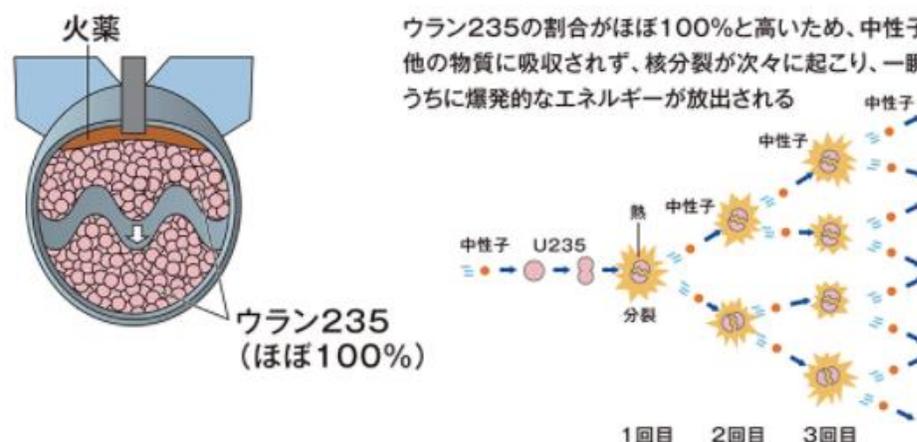
- 制御棒の規定以上の引き抜き
- 非常用炉心冷却装置(ECCS)を切って運転を実施
- 計画を下回る低出力での特殊試験 等

低出力領域
(全出力の20%以下)
では不安定なため連続
運転は禁止されていた

運転管理上の問題

- 原子炉の専門家でないものが指揮
- 正規の手続や発電所全体の合意なしに特殊試験を実施
- 安全対策の検討が不十分 等

原子力発電と原子爆弾の違い

	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
原子力発電の場合	<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>ウラン235 (3~5%) ウラン238 (95~97%)</p> <p>1回目 2回目 3回目</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>
原子爆弾の場合	<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、核分裂が次々に起こり、一瞬のうちに爆発的なエネルギーが放出される</p>  <p>火薬</p> <p>ウラン235 (ほぼ100%)</p> <p>1回目 2回目 3回目</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ことはできない</p>

質問 2

- 福島第1のような大事故は、また起こる Yes or NO
- それは、なぜ？

科学技術は、事故を契機に進歩する

- 飛行機の事故
- JALの御巣鷹山の事故、
- 自動車の事故
 - アクセルとブレーキの踏み違い事故
 - 4輪駆動車
 - 冬タイヤ
 - 自動運転
- エレベータの事故
- 電車の事故

質問 3

- 福島第 1 の事故は、地震動が原因だった Yes or NO
- それは、 津波が原因だった Yes or NO

質問 4

- 次のうち、正しいのはどれか？
 - 地震動で、核分裂を止められなかったから
 - 地震動で、原子炉の中が壊れてしまったから
 - 地震動で、原子炉の中の水が漏れてしまったから
 - 送電線から電気をもらえず、制御装置が動かなかったから
 - 自家発電装置が、作動しなかったから
 - 電源盤が地震動で壊れてしまったから
 - 津波で自家発電装置が故障したから
 - 津波で電源盤が故障してしまったから
 - 燃料棒を冷却できなくなったから
 - 冷却のためのポンプが故障してしまったから
 - 停電で、原子炉の状態や制御装置の作動を確認できなくなったから
 - 制御装置を動かすバッテリーが電池切れを起こしたから

エネ百科
きみと、未来と。

ふくしま
～きみと、未来と。～

原子力発電に関する詳しい資料が、掲載されている。

- 原子力・エネルギー図面集
- 原子力防災
- 解説
- コラム
- 教材・セミナー
- 福島第一事故情報
- エネ百科とは

サイト内検索

メルマガ登録

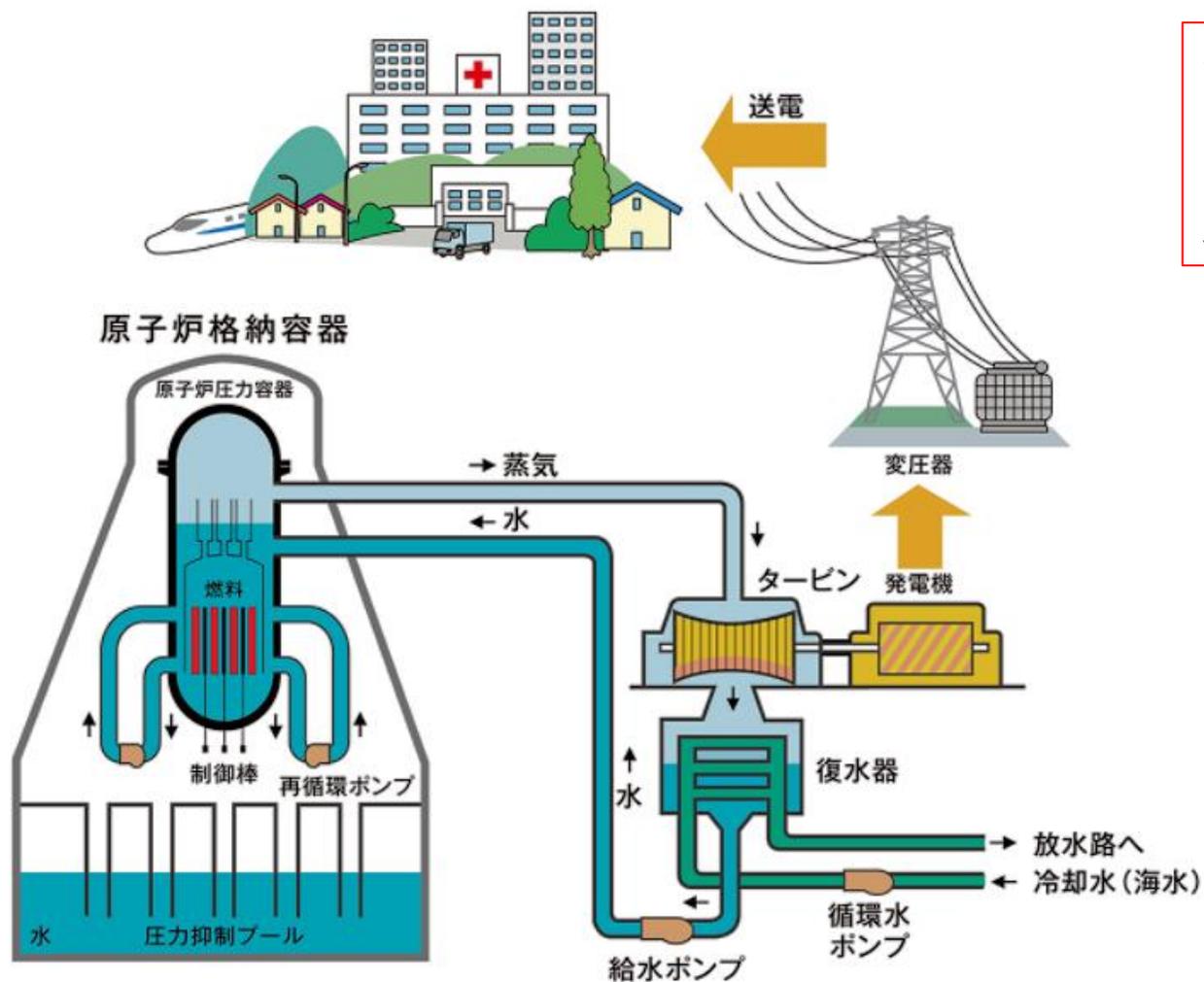
お問い合わせ

スペシャルコンテンツ
きみと、未来と。

原子力・エネルギー図面集

福島第一原子力発電所事故情報

沸騰水型炉 (BWR) 原子力発電のしくみ



事故を起こした原子炉のタイプ

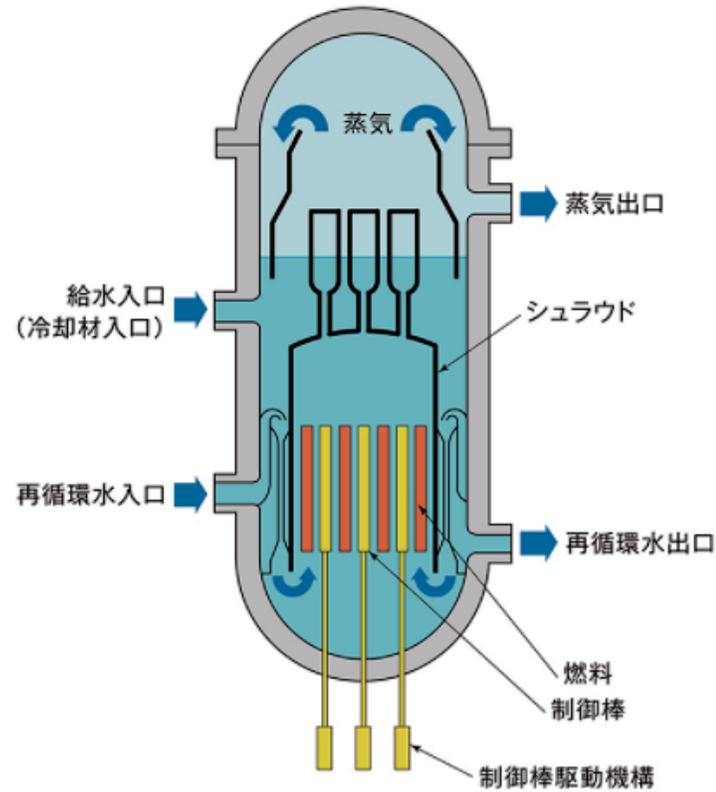
関電、九電の原子炉は、
加圧水型と言って、ちょっと違う。

原子炉でつくった高温高圧の蒸気を、タービンに吹き付けて、発電機を回す。

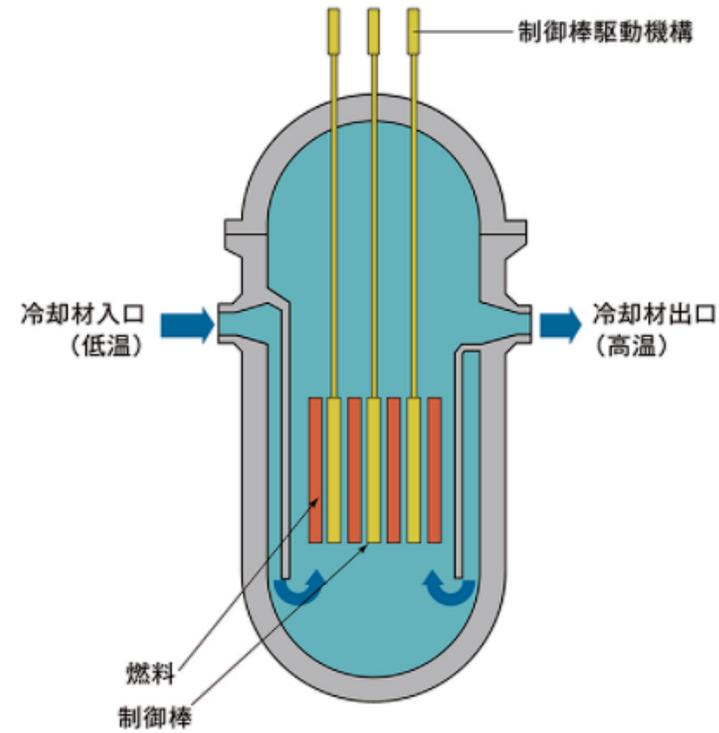
加圧水型は、原子炉で熱湯を作り、熱交換器を使って、蒸気を作る。

原子炉压力容器断面図

沸騰水型原子炉 (BWR)



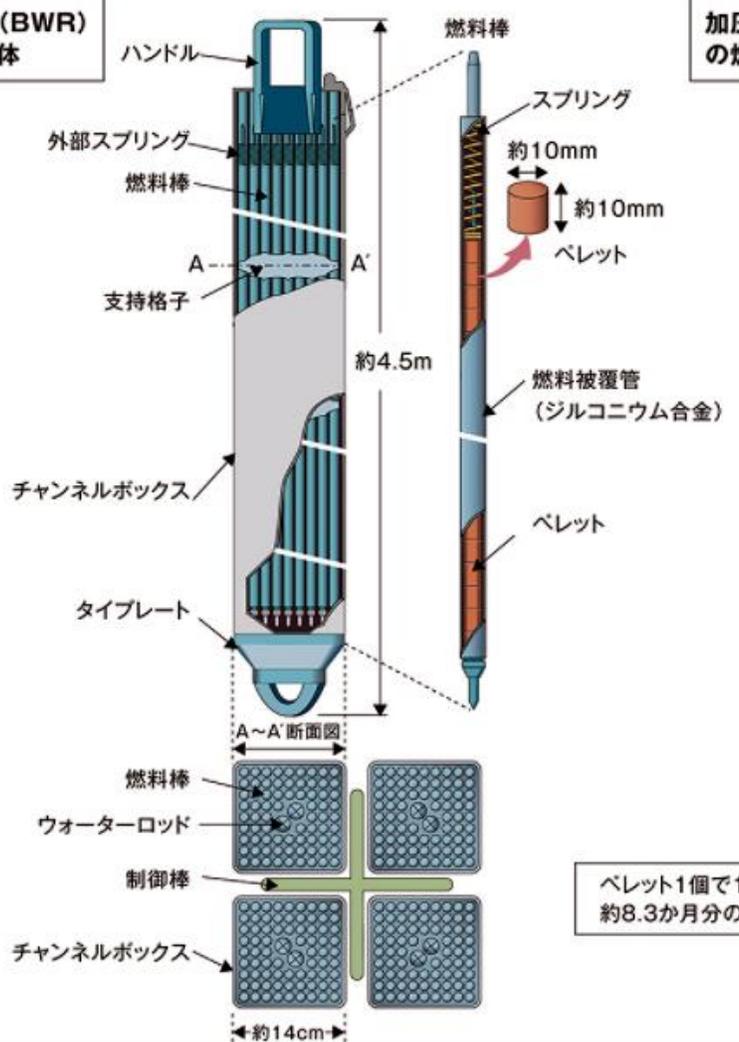
加圧水型原子炉 (PWR)



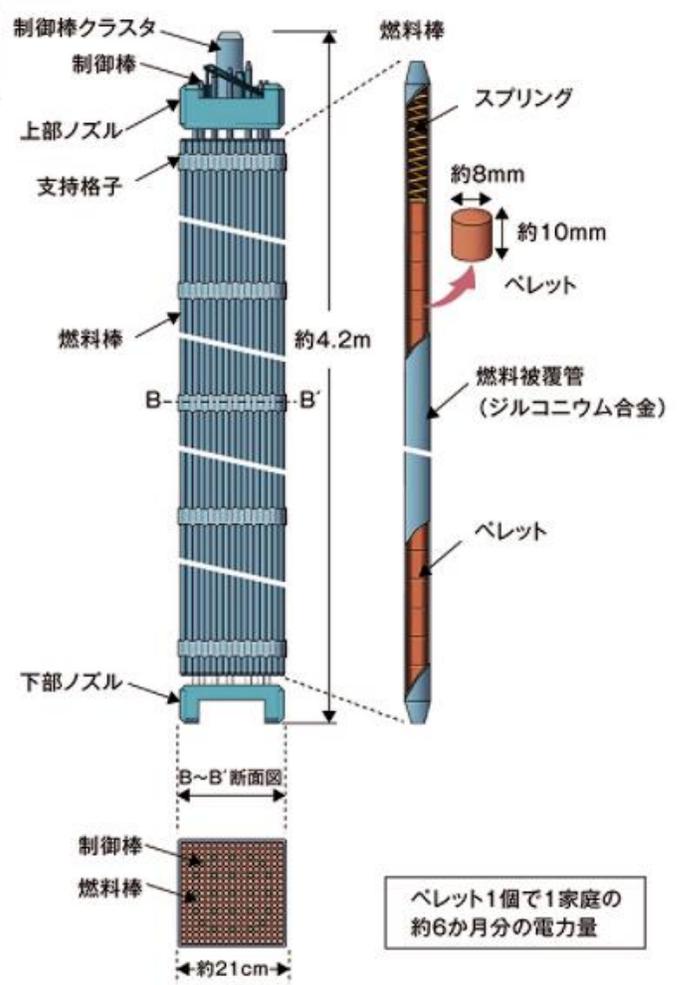
原子炉の中は、加圧水型がシンプル

燃料集合体の構造と制御棒

沸騰水型炉 (BWR) の燃料集合体



加圧水型炉 (PWR) の燃料集合体



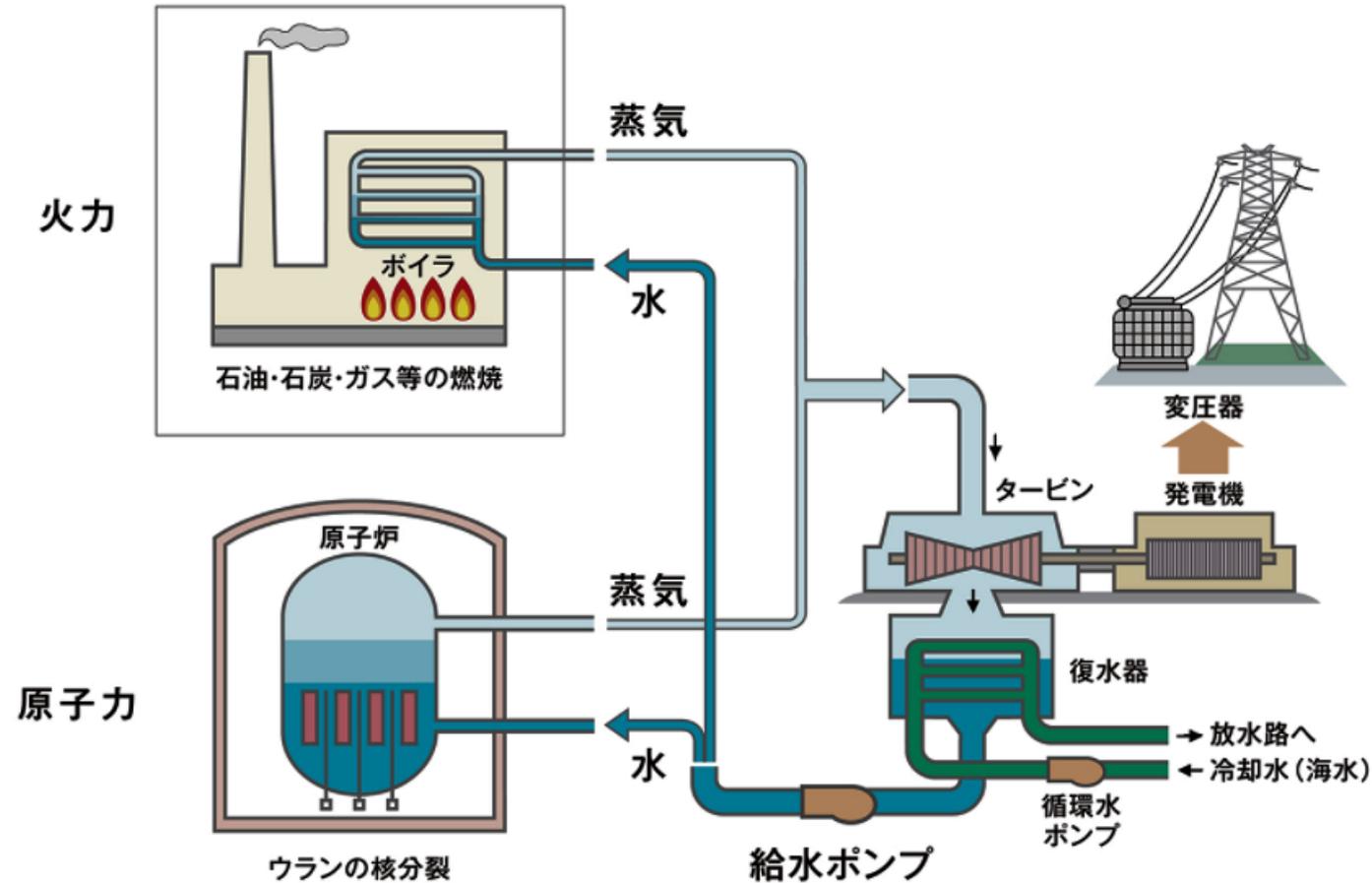
ペレット1個で1家庭の約8.3か月分の電力量

ペレット1個で1家庭の約6か月分の電力量

ウラン燃料は、ジルコニウム合金で作ったパイプの中に密閉して入れておく。

燃料の入ったパイプを束にして原始炉内に入れる。燃料集合体という。

火力発電と原子力発電の違い



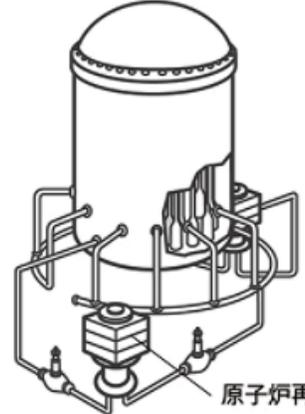
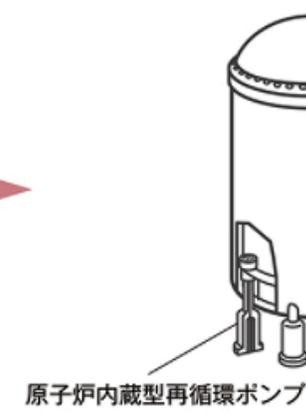
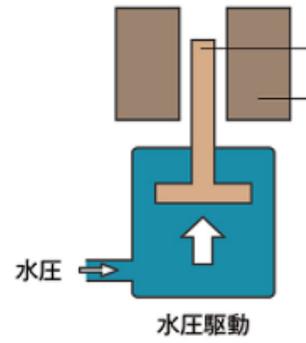
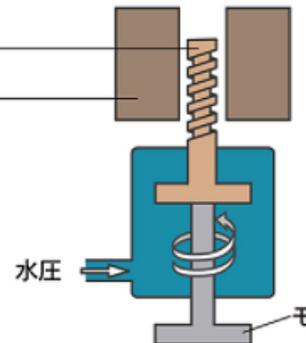
普通の火力発電との違いは、

石炭、ガス、石油などを燃やして蒸気を作るのが、火力発電

核分裂で出る燃料棒の中の熱で、蒸気を作るのが原発

タービンと発電機は、原理的に同じもの。

改良型沸騰水型炉 (ABWR) の構造上の特長

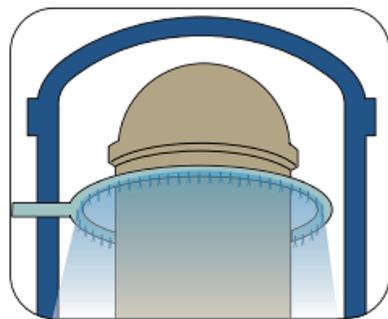
	BWR	ABWR
格納容器の小型化 原子炉系の単純化	 <p>原子炉再循環ポンプ</p>	 <p>原子炉内蔵型再循環ポンプ (インターナルポンプ)</p>
制御棒駆動機構の多様化	 <p>水圧 水圧駆動</p>	 <p>制御棒 燃料 水圧 電動駆動+水圧駆動 モータ</p>

事故を起こしたのは、
左側の原子炉。

原子炉の中の水を効率よく
上記にするため、
原子炉の外に置いたポンプで、
お湯を循環させる。

改良型は、原子炉の内部に
ポンプを入れた。
お湯を回すためのパイプが
ないので、パイプ破損による、
水漏れがない。

非常用炉心冷却装置等の例 (BWR)

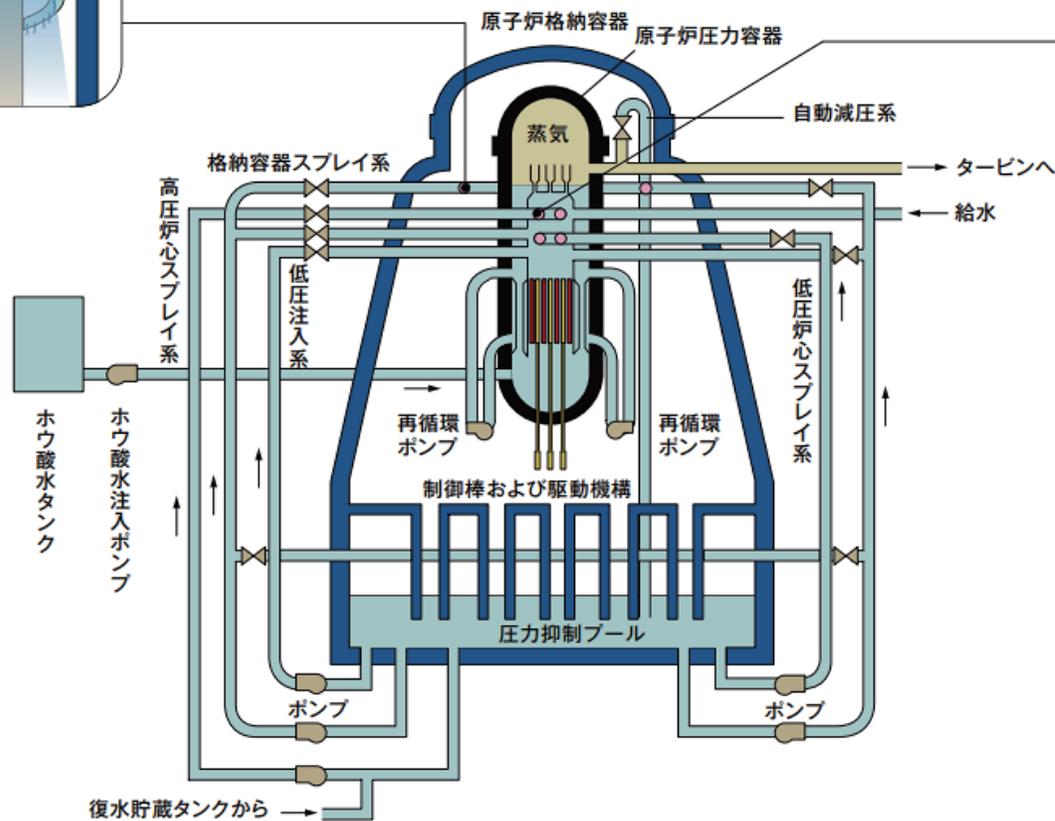
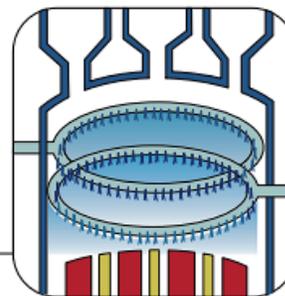


格納容器スプレイ装置

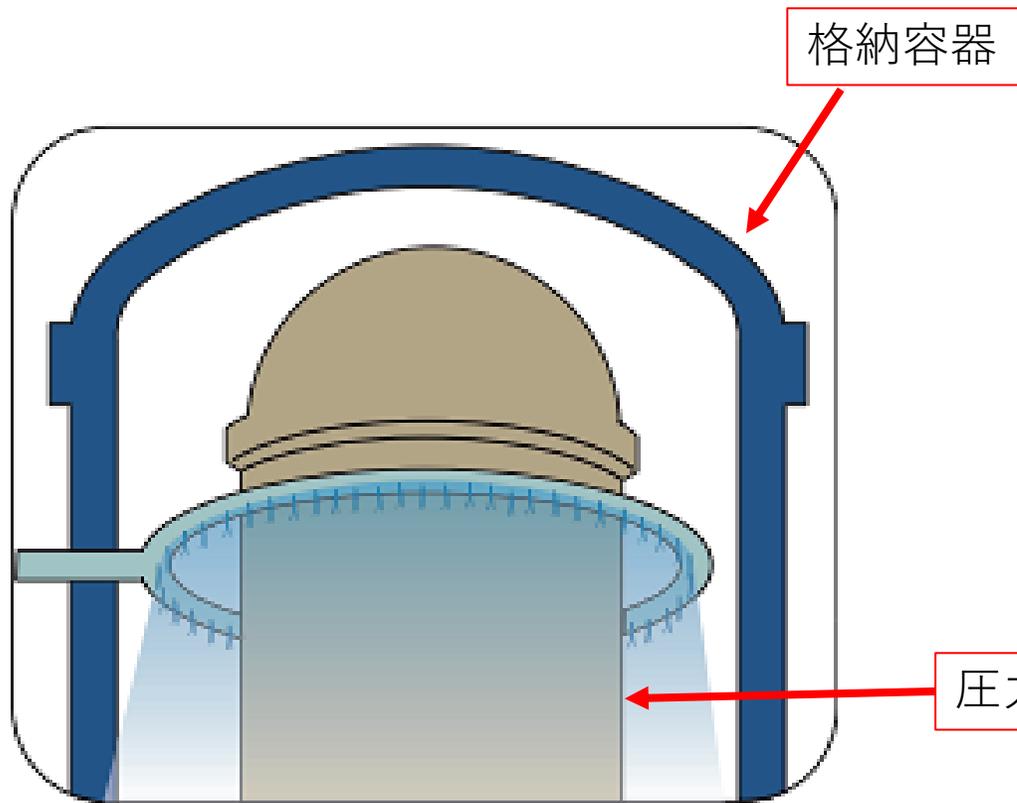
格納容器の内壁に取り付けたドーナツ型の水管からも、水がシャワーのように流れて格納容器の内部を冷却。これが格納容器スプレイである。

非常用炉心冷却装置

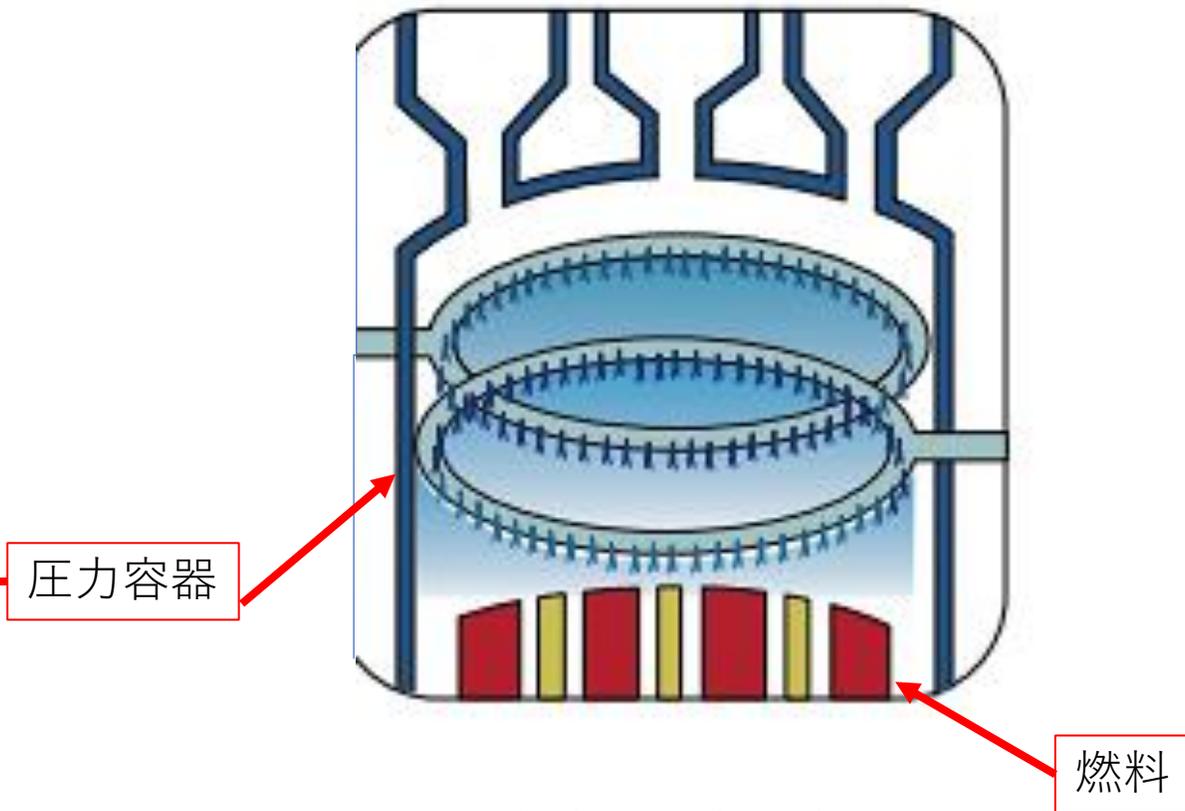
ドーナツ型の穴のあいた水管があって炉心の水が減ると、自動的にスプレイのように放水され燃料を冷却。これが炉心スプレイ系の冷却装置である。



原子炉から、水が大きく漏れるようなときに、原子炉の外から、冷却用の水を原子炉内に放水する。



压力容器を外から冷やす



压力容器の中を冷やす
(燃料に水を吹きかける)

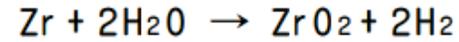
原発で怖い事故とは

- ウラン燃料（ペレット）を入れたパイプが破れること
- 核分裂で生じた放射性物質が、蒸気の中に混じってくる

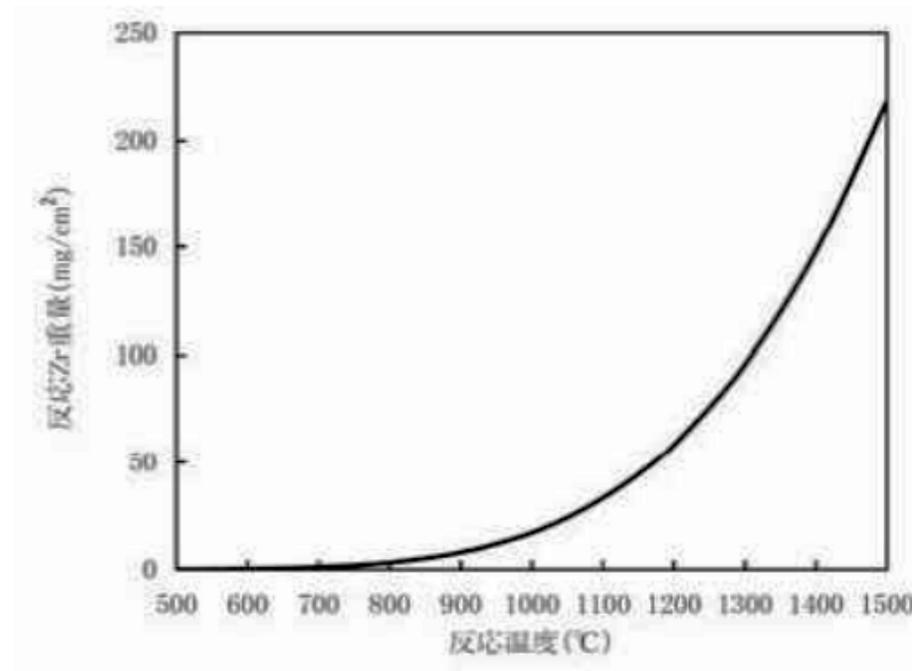
- パイプが破れる原因は、パイプを冷やすみっずがなくなったとき。
- ジルコニウム合金でできたパイプが熱で溶けると、水と反応して水素ガスが発生する。
- 空気中に水素ガスが4%ほどたまると、ちょっとした火種で水素爆発を起こす。

水-ジルコニウム反応について

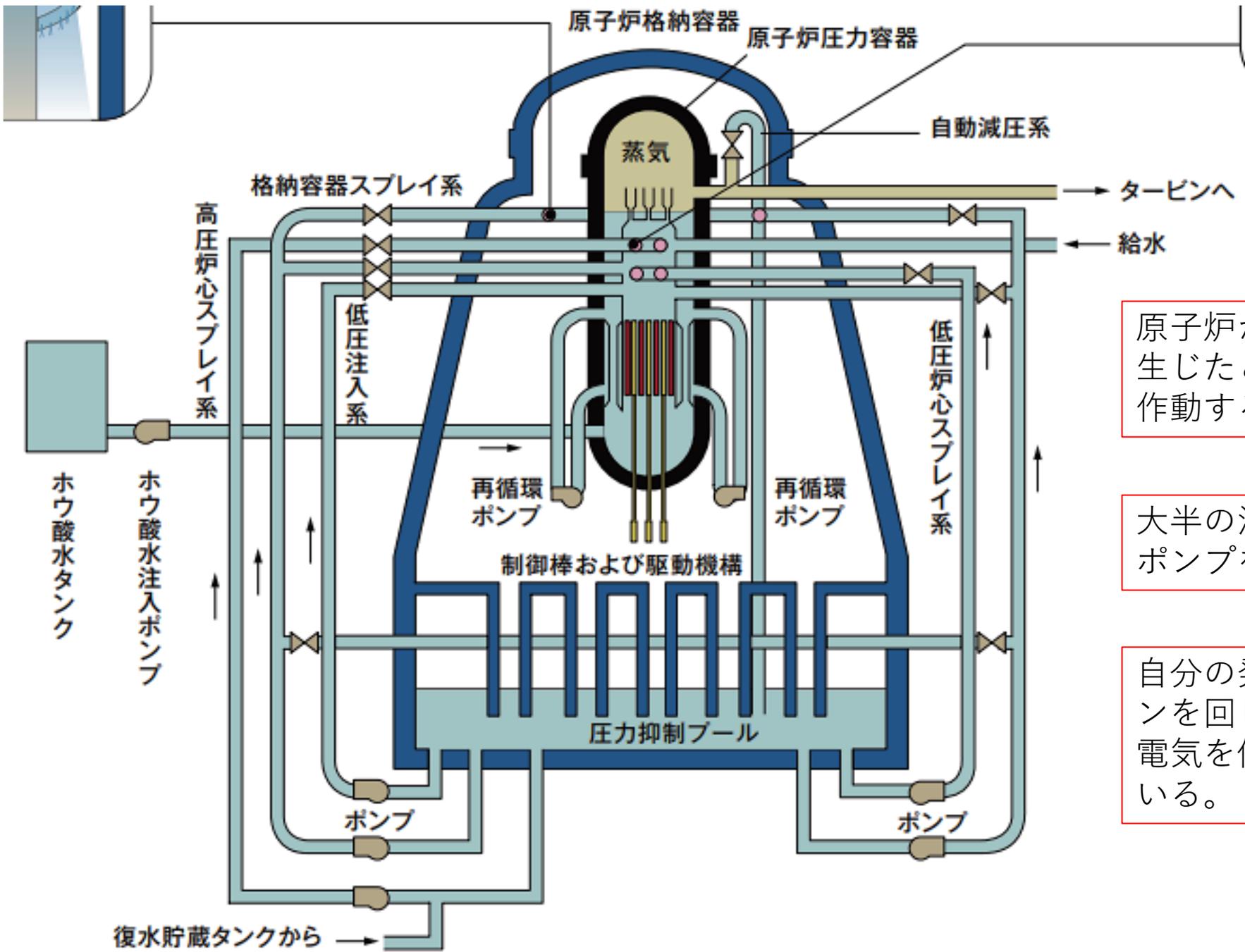
燃料被覆管が高温になると、被覆管中のジルコニウムが冷却材（水）と反応し、水素が発生する。



この反応は、被覆管温度が高温（約 900°C以上）になると反応割合が大きくなる。



Baker-Justの式による酸化量計算例 (反応時間600秒仮定)



原子炉から大量の水漏れが生じたときに作動する冷却系統

大半の注水は、電気で作動するポンプを使う。

自分の発生した蒸気でタービンを回し、ポンプを動かす電気を使わない装置も備えている。

福島第1原子力発電所の 事故について

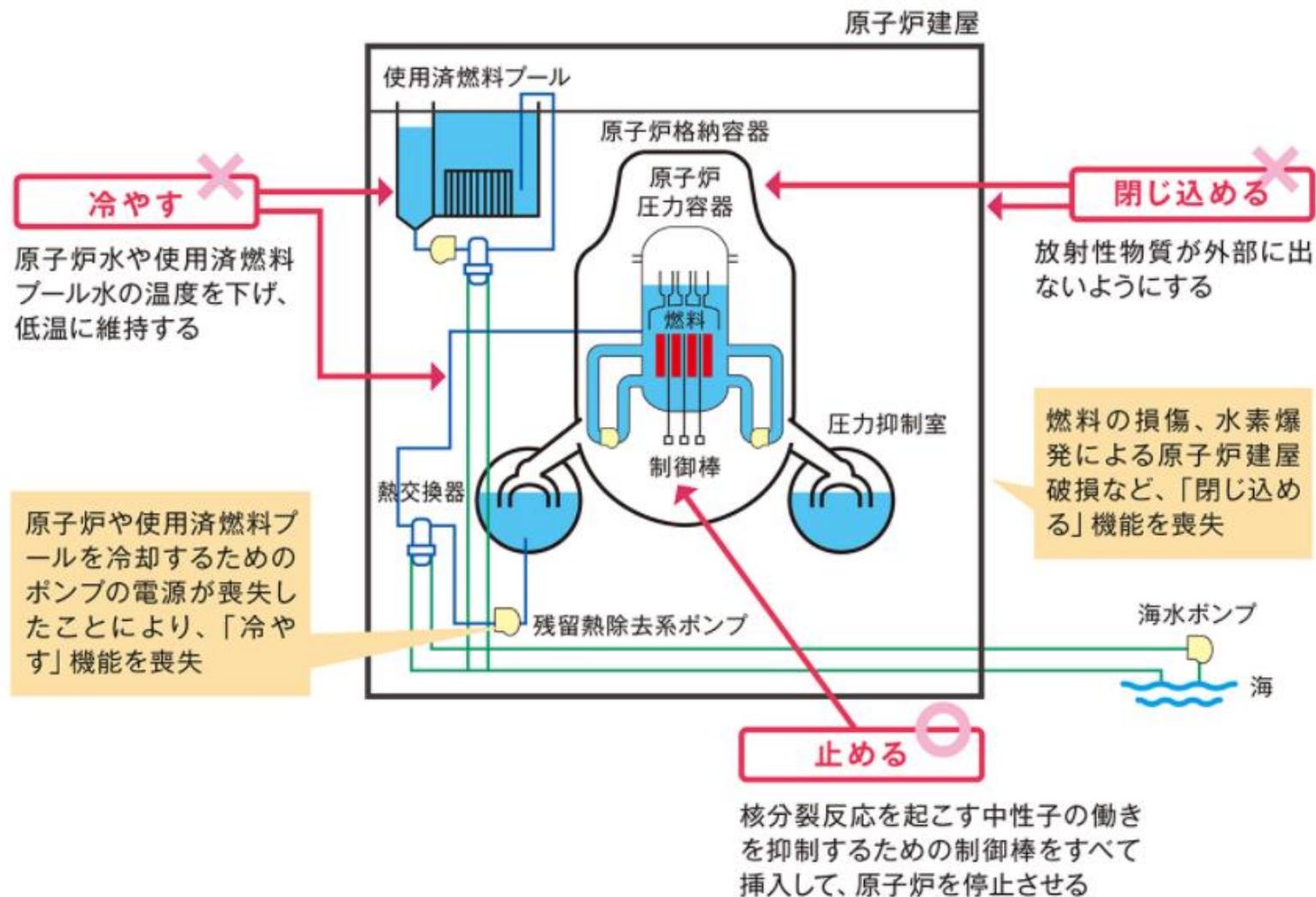
[1. 福島第一原子力発電所の事故の概要 | 東京電力 \(tepco.co.jp\)](https://www.tepco.co.jp)

[2. 福島第一原子力発電所の現状とこれまでに実施してきた対策 | 東京電力 \(tepco.co.jp\)](https://www.tepco.co.jp)

福島第1原発の事故

- 1号機、2号機、3号機では、地震の揺れが大きいことを検知し、全[制御棒](#)が自動的に挿入され、原子炉は安全に停止しました。
- 地震の影響で福島第一原子力発電所は全ての[外部電源](#)が喪失しましたが、[非常用ディーゼル発電機](#)が自動起動したことで発電所内の電源は確保され、原子炉は冷却されていました。
- その後、地震により発生した巨大な津波が来襲し、非常用ディーゼル発電機などの電源設備や冷却用海水ポンプなどが浸水して使用不能となりました。
- 今回の事故対応をさらに困難にしたのは、外部電源や非常用ディーゼル発電機からの電気が供給できなくなったことだけでなく、[中央制御室](#)で原子炉内の水位や圧力を監視したり、原子炉を冷やすために最低限必要な[直流電源](#)のバッテリーまでもが、津波による浸水やバッテリー切れにより使用できなくなり、監視や冷却の操作ができなくなったことでした。

福島第一原子力発電所の事故概要



所内電源設備の挙動に基づく被害の分析について

地震発生時におけるプラントデータからの所内電源設備の挙動に基づき、各電気設備が被害を受ける状況に至った原因について、以下にて分析する。

なお、電気設備が健全であることを、当該電気設備が受電又は負荷へ給電出来ていることをもって確認することとした。

① 1号機について

ディーゼル発電機の電源は、非常用高圧配電盤で受電し、その下流側の電源盤として非常用パワーセンターが接続され、プラント内の各負荷へ給電されている。

地震発生後、外部電源の喪失によりディーゼル発電機（DG 1 A, 1 B）が起動し、その電源が非常用高圧配電盤（M/C 1 C, 1 D）へ給電され、電圧が正常に復帰していることから、これら電気設備は地震後健全であったことが確認できる。

また、ディーゼル発電機の運転継続に必要な周辺設備の給電元となる非常用パワーセンター（P/C 1 C, 1 D）についても、ディーゼル発電機が運転継続していることから地震後健全であったことが確認できる。

さらに、非常用パワーセンターの負荷として、格納容器スプレイ系（A）系及び（B）系ポンプが地震後に起動していること、中央操作室の制御盤に設置

原子炉内の燃料が十分に冷却できなくなった結果、各号機の[原子炉压力容器](#)内の水位が低下し、燃料が水に覆われずに露出しました。

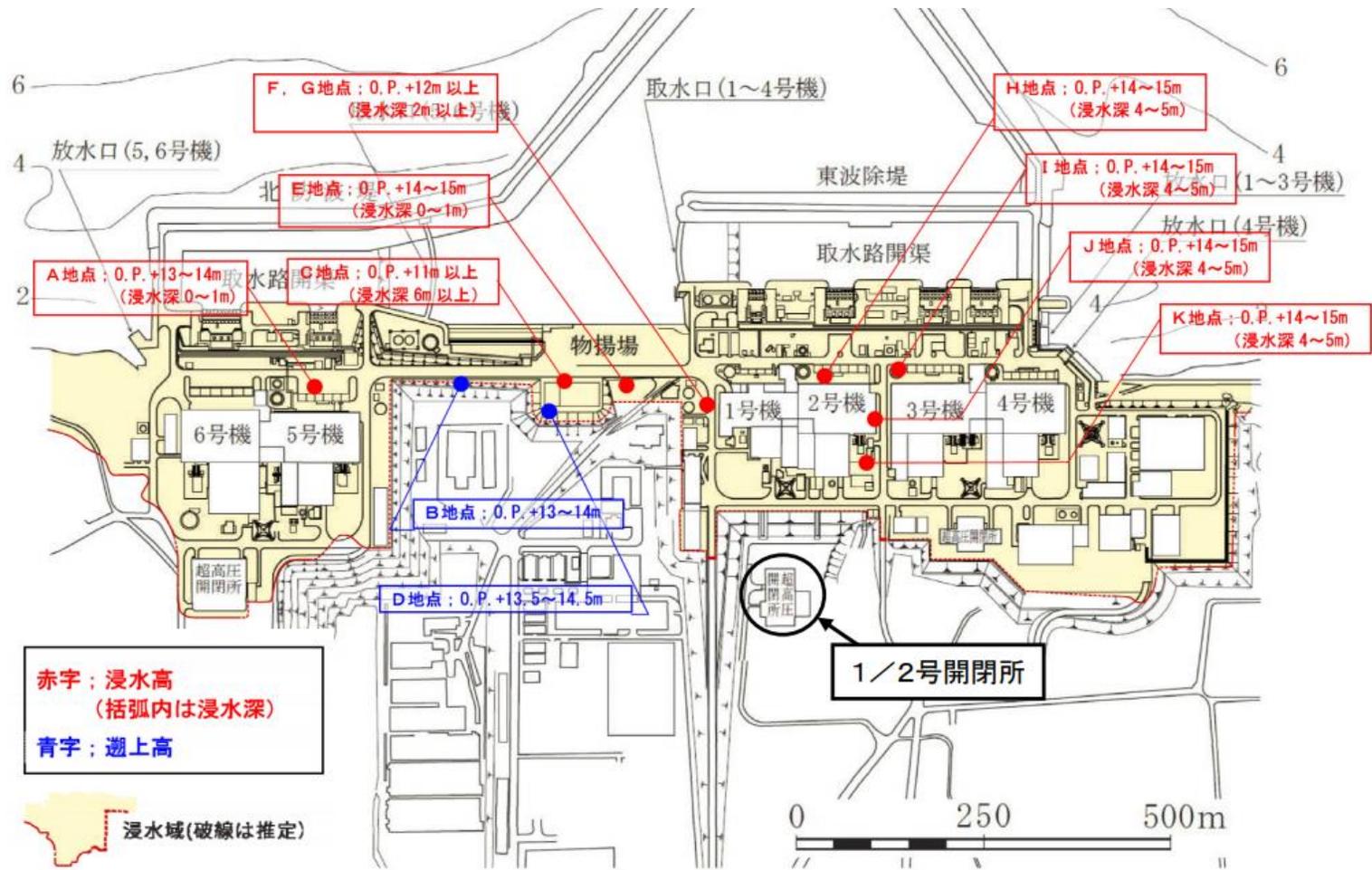
そのため、燃料の外側を覆っている[燃料被覆管](#)という金属製の管が高温により損傷し、閉じこめられていた放射性物質が放出されました。

また、燃料被覆管と水蒸気の化学反応により大量の水素が発生しました。

これらの放射性物質や水素は、蒸気とともに[主蒸気逃し安全弁](#)等を経て[原子炉格納容器](#)へ放出され、さらに、高温にさらされた格納容器上蓋の結合部分等のシール部分から[原子炉建屋](#)内に漏えいしたと推定されます。

1号機と3号機は、漏えいした水素が原子炉建屋上部に蓄積し、原子炉建屋が爆発するという事態に至りました。4号機は3号機の[格納容器ベント](#)の際に、排気筒合流部を通じて原子炉建屋内に水素が流入し蓄積したと推定されており、その結果、爆発するという事態に至りました。

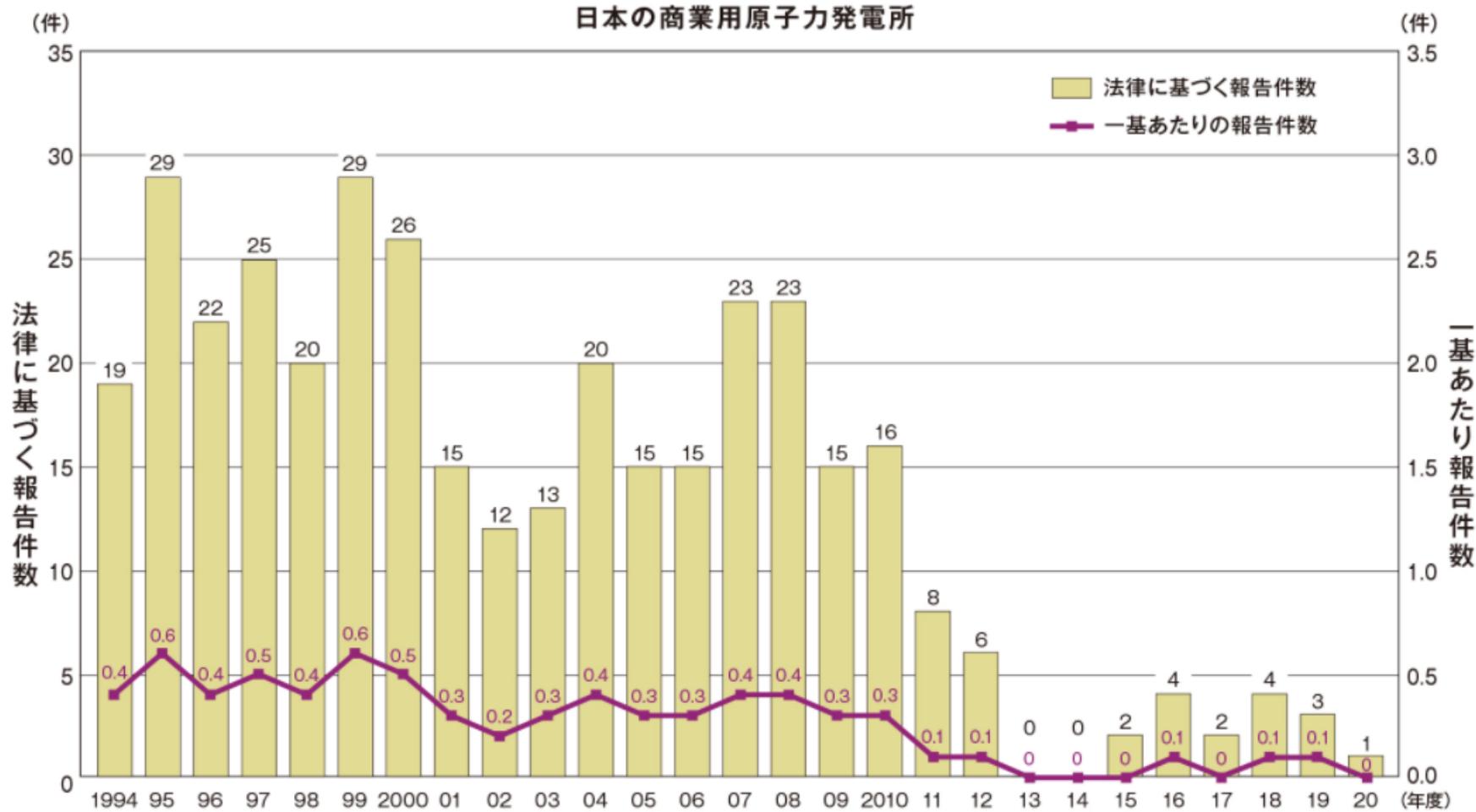
一方、1号機から6号機の各原子炉建屋内の[使用済燃料プール](#)と[運用補助共用施設](#)内の使用済燃料共用プールの冷却機能も、全交流電源の喪失等により失われました。



福島第一原子力発電所の浸水高、浸水域及び遡上高

(「福島第一原子力発電所、福島第二原子力発電所における津波の調査結果について」で示した津波の調査結果より抜粋)

原子力発電所のトラブル件数の推移



運転実績を積みながら、小さいトラブルを減らしてきた。

原子炉のパイプが破断し、緊急冷却装置が作動した事故は、関電の1件だけだった。

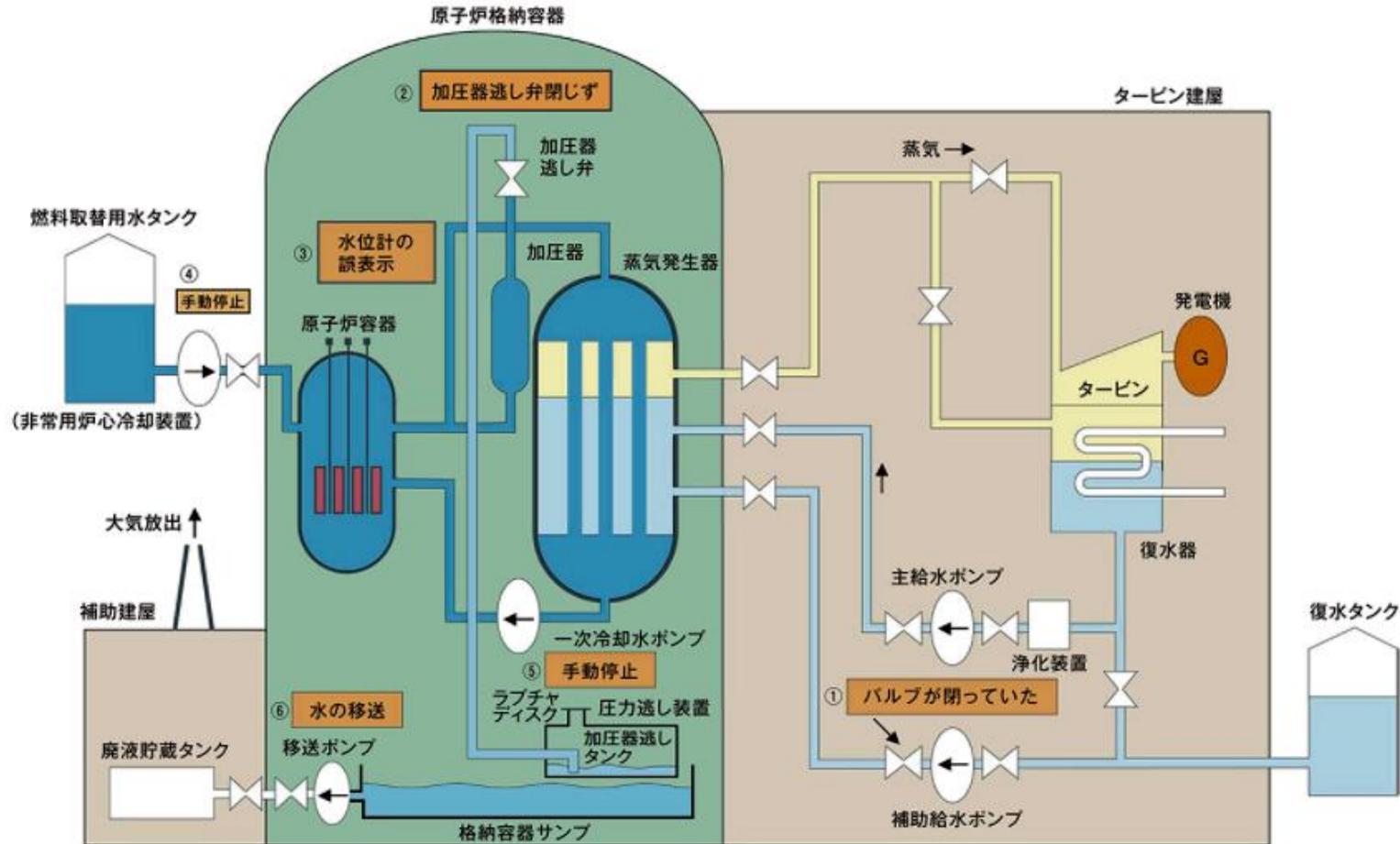
スリーマイルアイランド原子力発電所事故の概要

○事故の主な経緯

1979年3月28日、アメリカのペンシルバニア州スリーマイルアイランド(TMI)原子力発電所2号機で主給水ポンプが停止。補助給水ポンプが自動起動したものの、ポンプ出口弁全閉で二次冷却水循環水が循環せず、また、自動起動した非常用炉心冷却装置(ECCS)を運転員が誤判断し、手動で停止した等、機器の故障や誤操作の結果、炉内構造物が一部溶解した。

○環境への影響

周辺の公衆が受けた放射線の量は最大で1ミリシーベルト、平均0.01ミリシーベルトと健康上影響のない極めて低いレベルであった。



美浜発電所2号機事故の概要

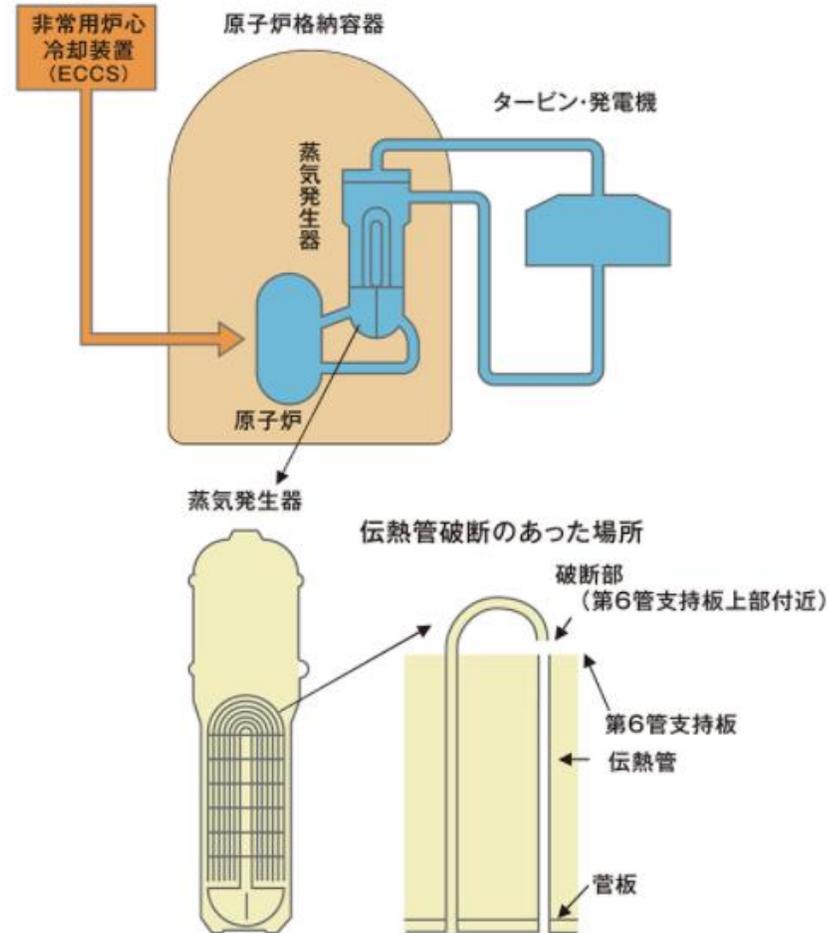
○事故の主な経緯

1991年2月9日、関西電力(株)美浜発電所2号機で、蒸気発生器の伝熱管の1本が破断し、このため原子炉が自動停止し、非常用炉心冷却装置(ECCS)が働くという事象が発生した。

調査の結果、原因は、伝熱管の振動を抑制するための揺れ止め金具が設計どおりの範囲まで挿入されておらず、大幅に挿入不足であったため、伝熱管に異常な振動が発生した。その結果、高サイクル疲労(力が繰り返し(10万回以上)加わることで材料が力に耐えられなくなる現象)により破断に至ったものと判明した。

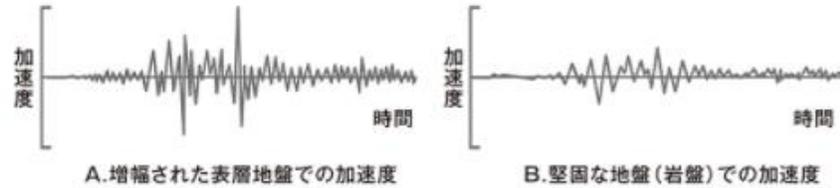
○環境への影響

わが国において初めて一次冷却水の流出により非常用炉心冷却装置(ECCS)が実作動したが、事象発生に伴う放射性物質の放出はごくわずかであり、周辺環境への影響は認められなかった。

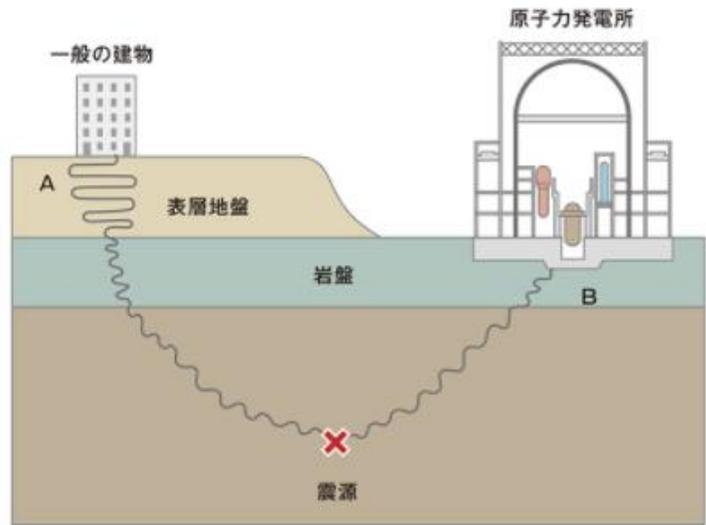


原子力発電所と一般建築物の揺れの差

堅固な地盤(岩盤)上に設置した原子力発電所と一般の建物の揺れの伝わり方

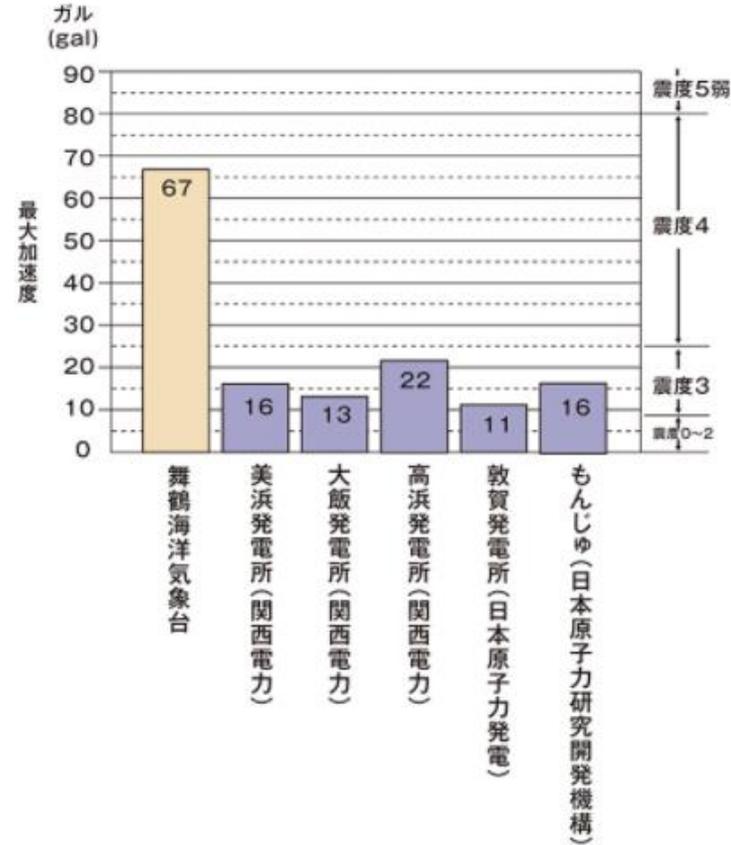


(注)地震波形は模式図



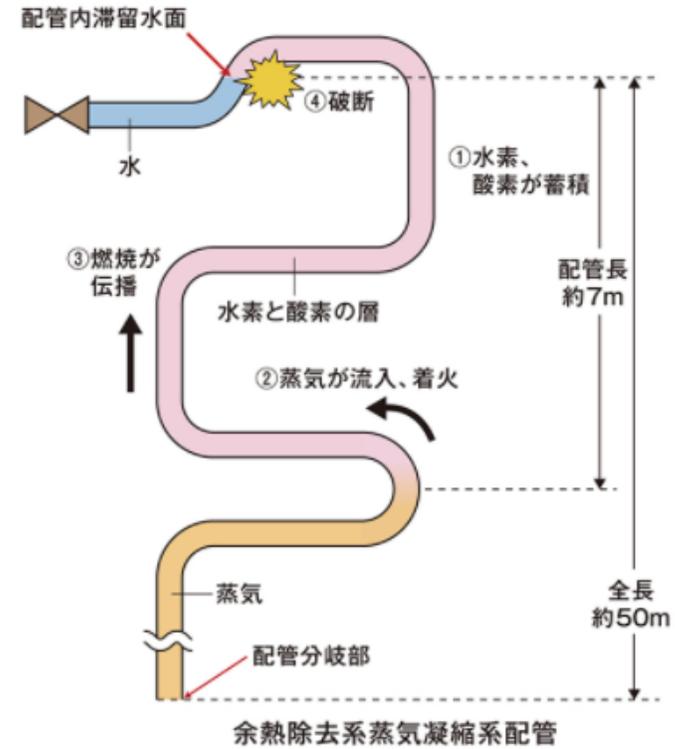
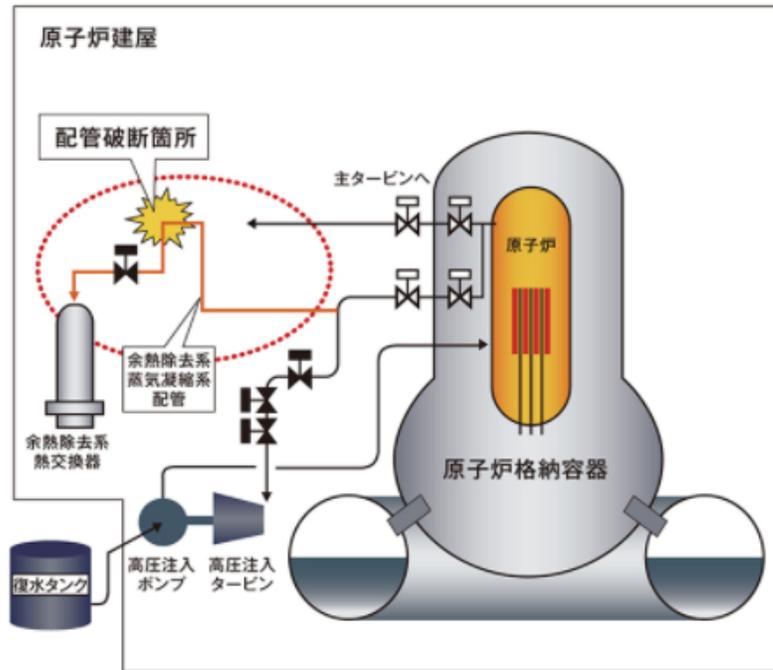
堅固な地盤(岩盤)での揺れは表層地盤に比べ1/2~1/3程度

1995年兵庫県南部地震による若狭湾周辺の最大加速度観測値



原子炉は、岩盤の上に作るのので、地震動が弱い。

浜岡原子力発電所1号機配管破断事故の概要



○事故の概要

2001年11月7日17時2分、中部電力(株)浜岡原子力発電所1号機で、高圧注入系の手動試験を実施したところ、余熱除去系蒸気凝縮系配管が破断

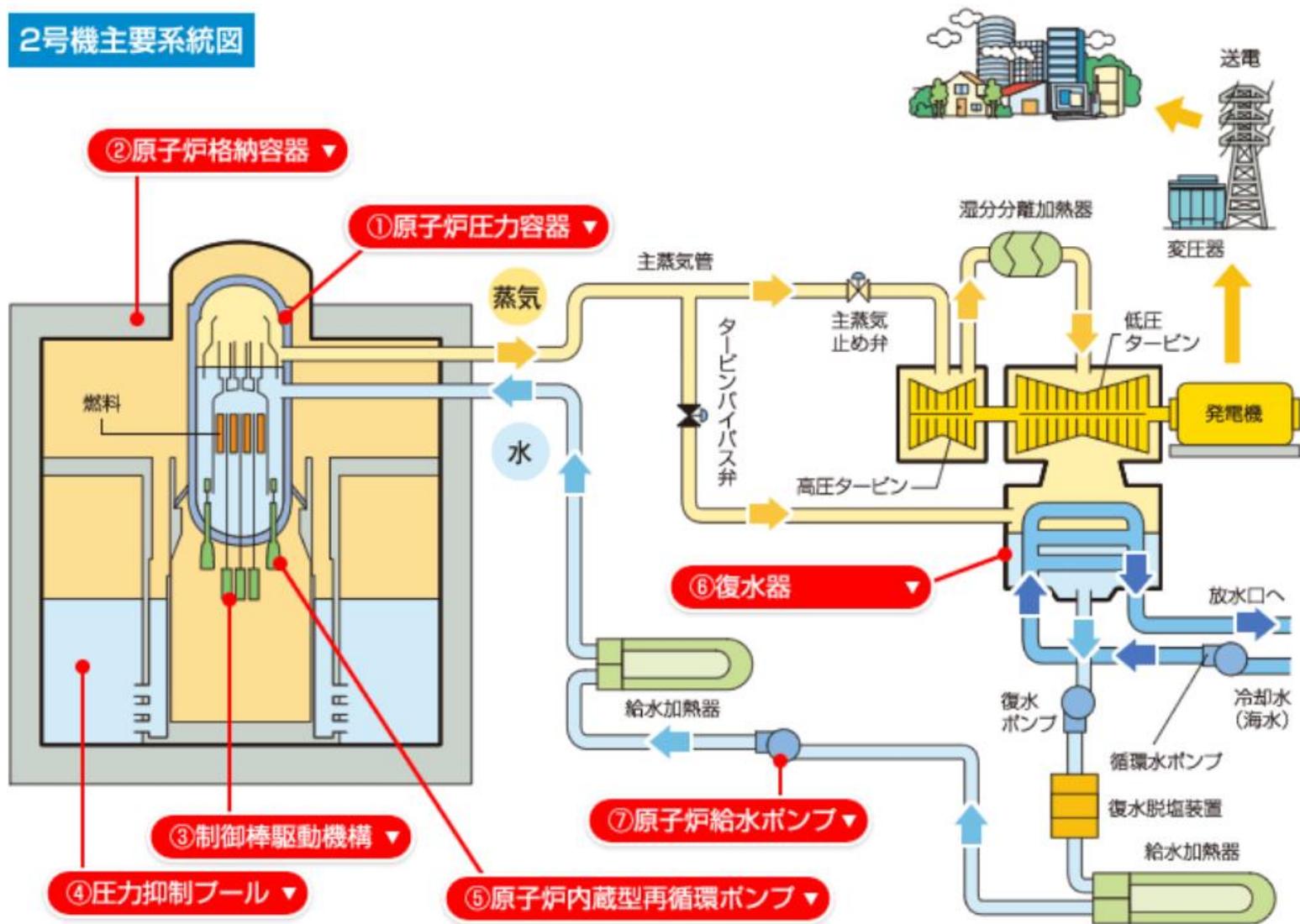
○事故の原因

- ①配管上部で、蒸気が凝縮。濃度の高い水素と酸素が、水面から約7mの位置まで蓄積
- ②高圧注入系手動起動試験による圧力変動で、高温の蒸気が水素と酸素の層に流入し、着火。貴金属が触媒として作用した可能性がある
- ③着火後、燃焼が水素と酸素の層の中を伝播(燃焼状態:爆燃→爆轟)
- ④配管内の圧力が急激に上昇、水面近くのエルボ部が破断(約3,000気圧)。また、他の配管部が変形

北陸電力
志賀原子力発電所

万が一の発生に備えて設置されています。

2号機主要系統図



福島第一のような 重大事故に至らせないために

福島第一の事故を教訓に、地震と津波への対策をはじめ、
自然災害や電源対策など、さまざまな安全対策を講じています。

▶ 地震に備える

▶ 津波に備える

▶ 電源を確保する

▶ 水を確保し冷やす

▶ 放射性物質の
拡散を防ぐ

▶ 緊急時対策棟の
設置

▶ その他の安全対策

▶ 動画紹介

もしもを追求し、
もしもに備える安全対策

最初にもどる

しか
志賀 の取組み
志賀原子力発電所

地震に備える

地震の揺れの基準を600ガルから**1,000ガル**に引き上げました。



- 建物や機器・配管などの耐震設計に使用する基準地震動を、600ガル（従来）から1000ガルに引き上げました。

[参考]ガルは地震の揺れの強さを表す単位
能登半島地震(平成19年3月25日発生)は、マグニチュード6.9、志賀町で震度6弱、志賀原子力発電所で観測された揺れの強さは292ガル

2011年3月
福島 の場合

福島第一原子力発電所の
事故では…

- 地震の発生(震度6強)
550ガルを観測

福島第一のような 重大事故に至らせないために

福島第一の事故を教訓に、地震と津波への対策をはじめ、自然災害や電源対策など、さまざまな安全対策を講じています。

▶ 地震に備える

▶ 津波に備える

▶ 電源を確保する

▶ 水を確保し冷やす

▶ 放射性物質の
拡散を防ぐ

▶ 緊急時対策棟の
設置

▶ その他の安全対策

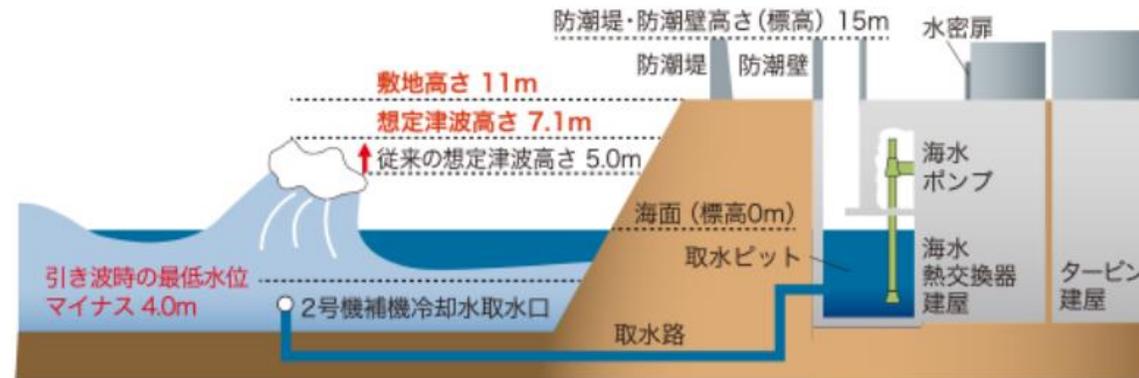
▶ 動画紹介
もしもを追求し、
もしもに備える安全対策

最初にもどる

しか
志賀 の取組み
志賀原子力発電所

津波に備える

敷地に最も影響のある津波のシミュレーションから
想定津波高さを5.0mから**7.1m**に変更。
標高11mの敷地高さを越えないことを確認しました。



津波に備える対策(イメージ)

2011年3月
福島 の場合

福島第一原子力発電所
の事故では…

- 津波の発生
- 福島第一原子力発電所1-4号機
・敷地高さ 10m
・浸水高 11.5~15.5m
- 福島第一原子力発電所5,6号機
・敷地高さ 13m
・浸水高 13~14.5m

福島第一のような 重大事故に至らせないために

福島第一の事故を教訓に、地震と津波への対策をはじめ、
自然災害や電源対策など、さまざまな安全対策を講じています。

▶ 地震に備える

▶ 津波に備える

▶ 電源を確保する

▶ 水を確保し冷やす

▶ 放射性物質の
拡散を防ぐ

▶ 緊急時対策棟の
設置

▶ その他の安全対策

 動画紹介
もしもを追求し、
もしもに備える安全対策

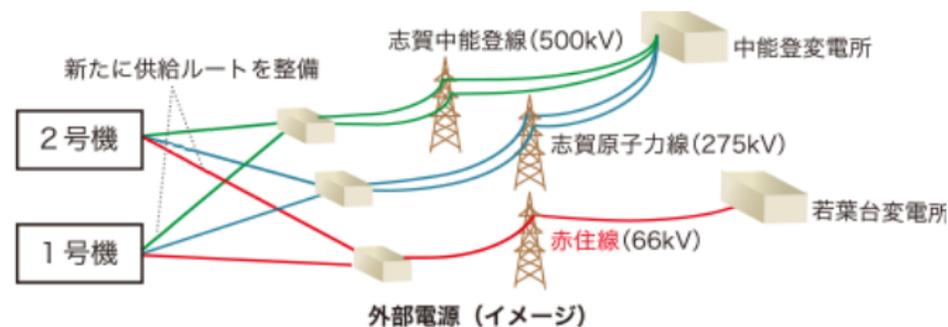
最初にもどる

しか
志賀 の取組み
志賀原子力発電所

電源を確保する

すべての送電線から発電所に
直接電気が送れるよう外部電源を強化しました。

- すべての送電線(志賀中能登線・志賀原子力線・赤住線)から1・2号機へ直接電気を供給できるよう整備済
- 2箇所の変電所から電気を供給
- 規模が小さく、より早く復旧可能な赤住線から受電できるよう、資機材・作業手順を整備済



2011年3月
福島 の場合

福島第一原子力発電所
の事故では…

- 地震によって
送電鉄塔等が倒壊
- 外部電源が喪失

福島第一のような 重大事故に至らせないために

福島第一の事故を教訓に、地震と津波への対策をはじめ、
自然災害や電源対策など、さまざまな安全対策を講じています。

- ▶ 地震に備える
- ▶ 津波に備える
- ▶ 電源を確保する
- ▶ 水を確保し冷やす
- ▶ 放射性物質の
拡散を防ぐ
- ▶ 緊急時対策棟の
設置
- ▶ その他の安全対策

▶ 動画紹介
もしもを追求し、
もしもに備える安全対策

最初にもどる

しか
志賀 の取組み
志賀原子力発電所

水を確保し冷やす

長時間、原子炉を冷やし続けるための水源を確保しました。

- 原子炉や使用済燃料貯蔵プールへの注水
水源の一つとして、敷地内にある大坪川ダム
(有効貯水量36万 m^3)の大容量水源も利用



大坪川ダム

- 原子炉や使用済燃料貯蔵プールへの
注水時の水源として耐震性の高い
大容量淡水貯水槽を設置済



大容量淡水貯水槽

2011年3月
福島 の場合

福島第一原子力発電所
の事故では…

- 原子炉などへの注水が
停止
- 原子炉等の冷却機能
喪失

福島第一のような 重大事故に至らせないために

福島第一の事故を教訓に、地震と津波への対策をはじめ、
自然災害や電源対策など、さまざまな安全対策を講じています。

- ▶ 地震に備える
- ▶ 津波に備える
- ▶ 電源を確保する
- ▶ 水を確保し冷やす

▶ 放射性物質の 拡散を防ぐ

- ▶ 緊急時対策棟の
設置

- ▶ その他の安全対策

 **動画紹介**
もしもを追求し、
もしもに備える安全対策

最初にもどる

しか
志賀

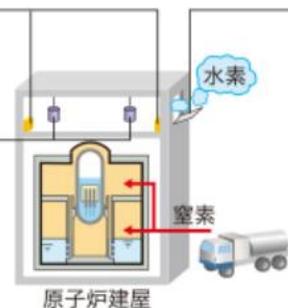
の取組み
志賀原子力発電所

放射性物質の拡散を防ぐ

水素爆発を防ぐ設備を設置します。

原子炉建屋内に
水素が発生しても
濃度上昇を抑制する
可燃性ガス結合機を設置

原子炉建屋上部に
水素濃度を監視する
水素濃度計を設置済



原子炉建屋
水素爆発防止設備 (イメージ)

水素を排出するため、
ブローアウトパネルを
手動開放する手順と資機材を整備済

原子炉格納容器内での
水素爆発による火災防止のため
窒素ガスを補給する
可搬型窒素供給装置を追加配備済



可搬型窒素供給装置 2台配備済

2011年3月
福島の場合

福島第一原子力発電所
の事故では…

- 原子炉格納容器破損
- 原子炉建屋への漏えい
- 原子炉建屋の水素爆発

福島第一のような 重大事故に至らせないために

福島第一の事故を教訓に、地震と津波への対策をはじめ、
自然災害や電源対策など、さまざまな安全対策を講じています。

- ▶ 地震に備える
- ▶ 津波に備える
- ▶ 電源を確保する
- ▶ 水を確保し冷やす
- ▶ 放射性物質の
拡散を防ぐ
- ▶ **緊急時対策棟の
設置**
- ▶ その他の安全対策

 **動画紹介**
もしもを追求し、
もしもに備える安全対策

最初にもどる

しか
志賀 の取組み
志賀原子力発電所

緊急時対策棟の設置

緊急時対策棟を設置、さらに増設緊急時対策所(指揮エリア)を
設置しました。

- ・ 重大事故等発生時の対応拠点として、独立した電源や除染設備等を備えた免震構造の
緊急時対策棟を設置済
- ・ 緊急時対策棟よりも更に遮へい機能及び耐震性確保、火災防護対策を高めた
増設緊急時対策所(指揮エリア)を緊急時対策棟の隣りに設置済



緊急時対策棟・増設緊急時対策所(指揮エリア)

2011年3月
福島 の場合

福島第一原子力発電所
の事故では…

- 原子炉格納容器破損
- 原子炉建屋への漏えい
- 原子炉建屋の水素爆発

2021/5/26 (水)
易しい科学の話

原発はまた事故を起こすのだろうか？

おわり

吉岡 芳夫