

2022/10/13 (木)
易しい科学の話

安全な原子力発電

[原子力にいま起こっているイノベーション（前編）～次世代の原子炉はどんな姿？ | スペシャルコンテンツ | 資源エネルギー庁 \(meti.go.jp\)](#)

[脱炭素社会の発電「小型原子炉」は選択肢か | NHK | WEB特集 | 環境](#)

吉岡 芳夫

ちょっと考えてみよう

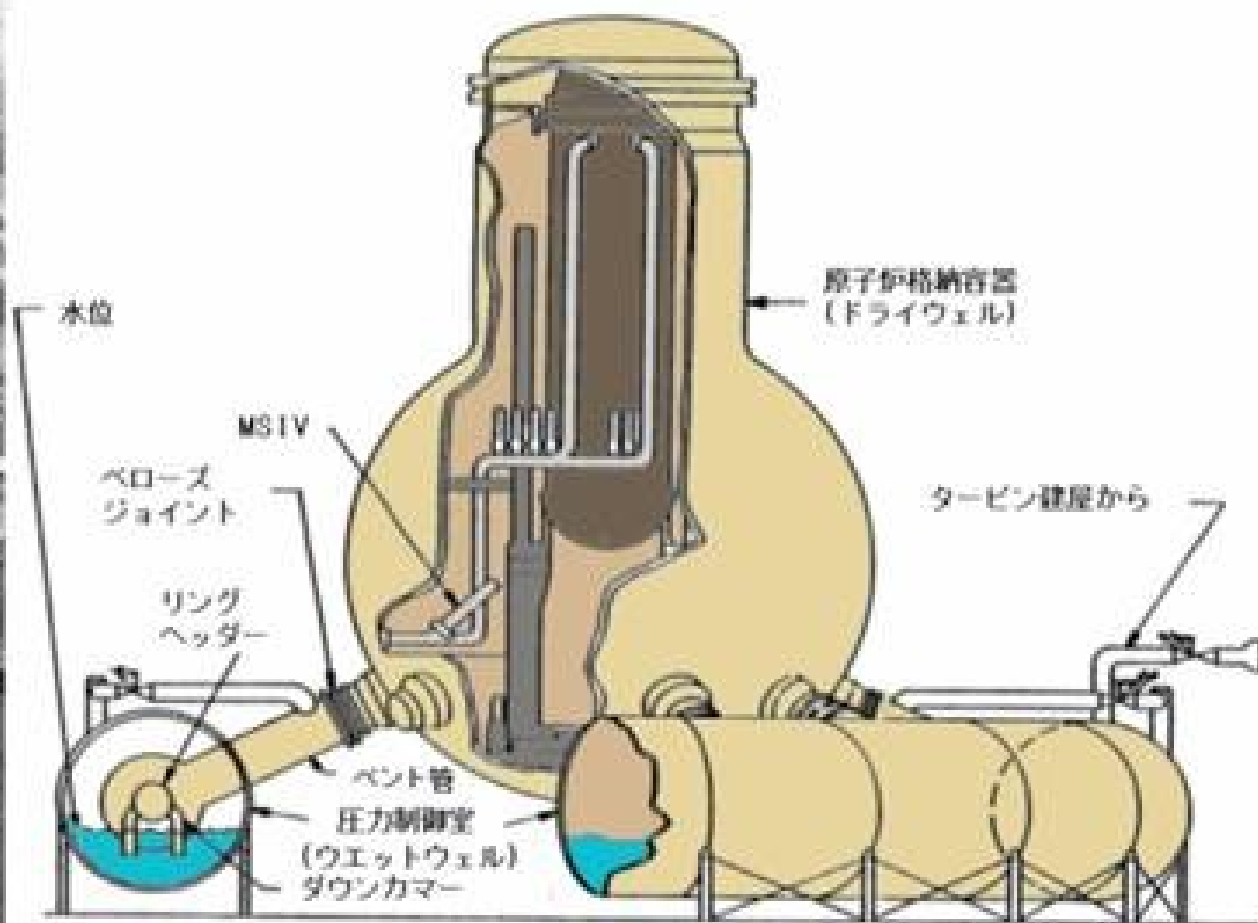
- 今、東日本の原発が止まっているのは何故だろうか？
- 原発が安全なら、何がいいのだろうか？
- 太陽光発電の発電容量が、120万KWになったとき、それは120万KWの原発と同じだろうか？
- 火力発電と原子力発電、発電のコストはどちらが高い？
- すでに稼働している原子力発電と、火力発電の発電単価はどちらが高い？

次の質問の答えは？

- 福島第 1 原発は、核爆発を起こした Yes or NO
- チェルノブイリ原発は、核爆発を起こした Yes or NO
- 福島第 1 原発のような大事故は、
かなりの数発生している Yes or NO
- 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



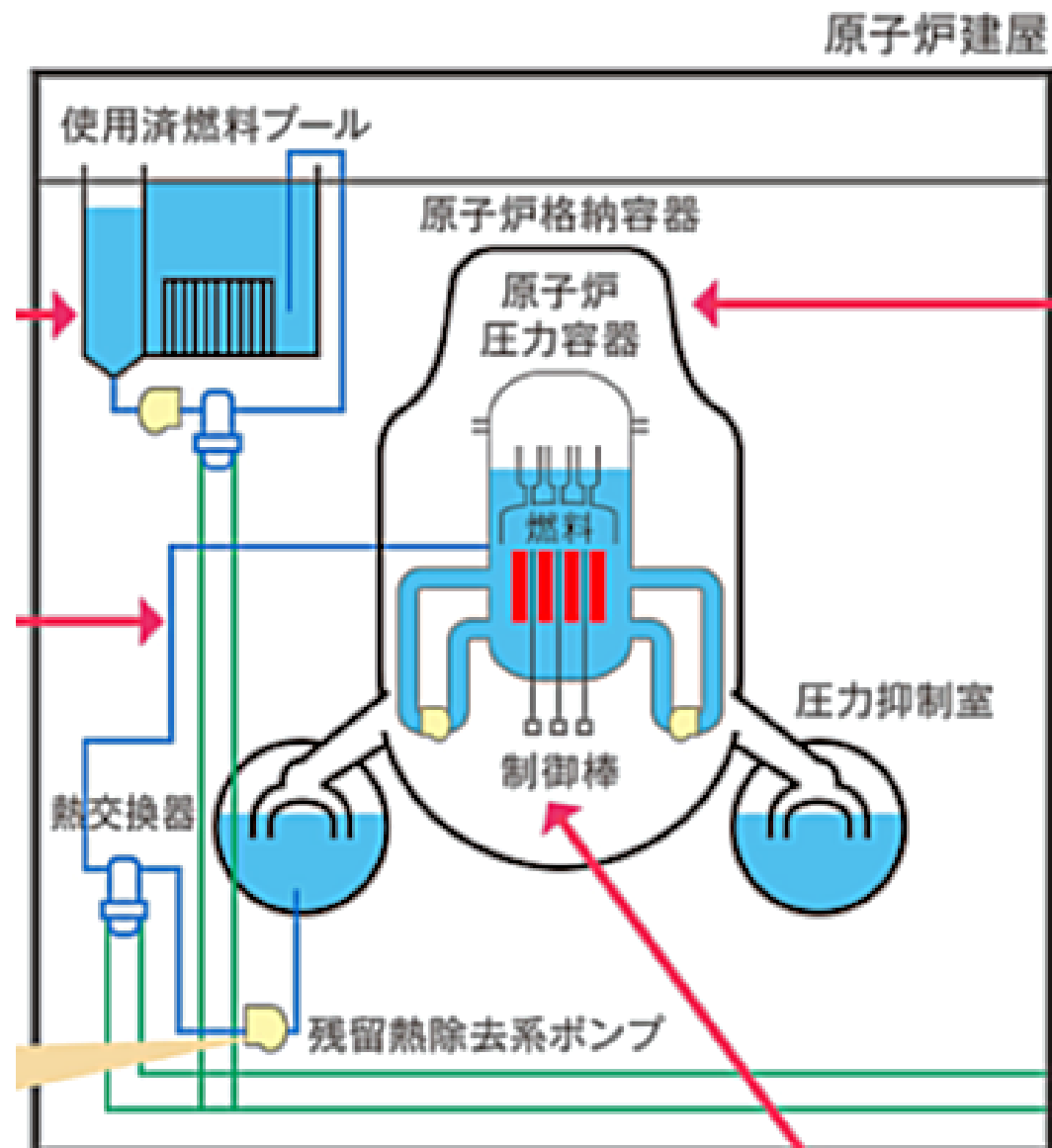
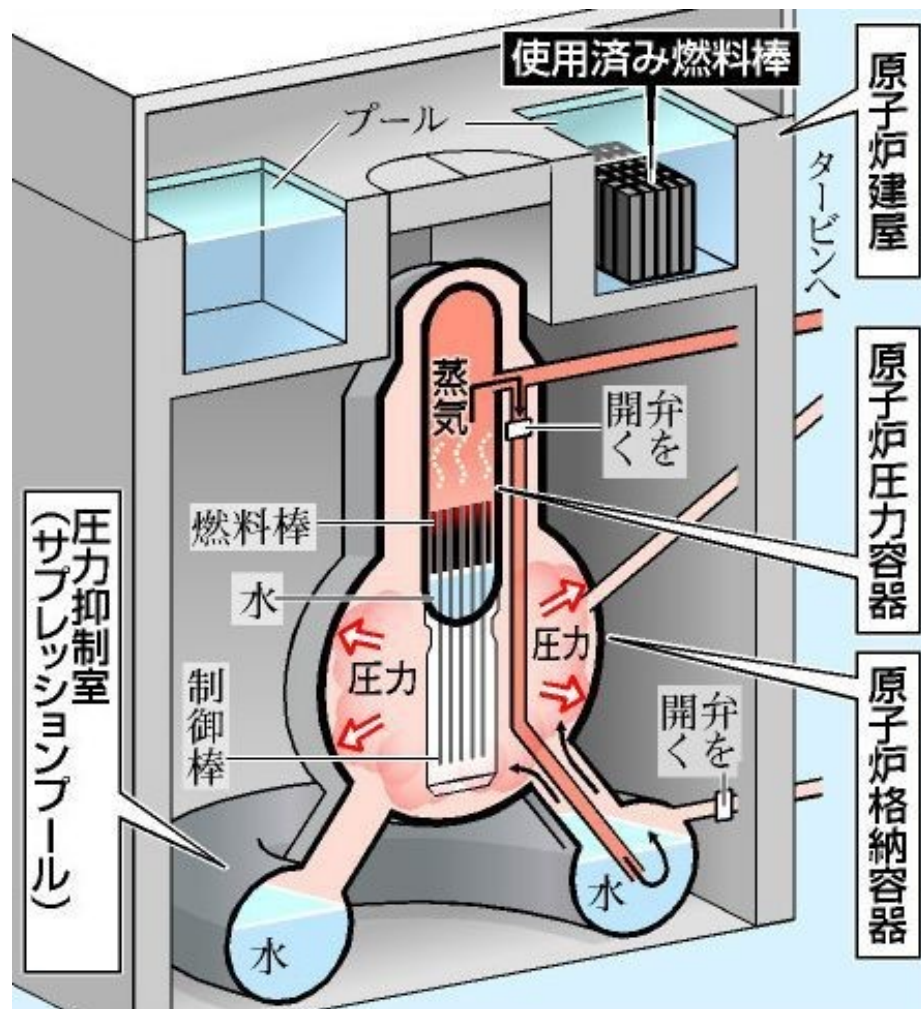
(a) 建設中の写真



(b) 構造図

図2. 米国ブラウンスフェリー原子炉

福島原発で、壊れた部分はどこ？



原子炉建屋カバー
(1号機のみ完成)

使用済み
核燃料プール

汚浄
化水
した

圧力
容器

格納
容器

核溶
融した
燃料

?

建屋からの放射性
セシウムの放出量

約0.6億ベクレル
(1時間)

圧力容器底部温度

1号機 37℃

2号機 68℃ (11/17)

3号機 68℃ (時点)

格納容器内温度

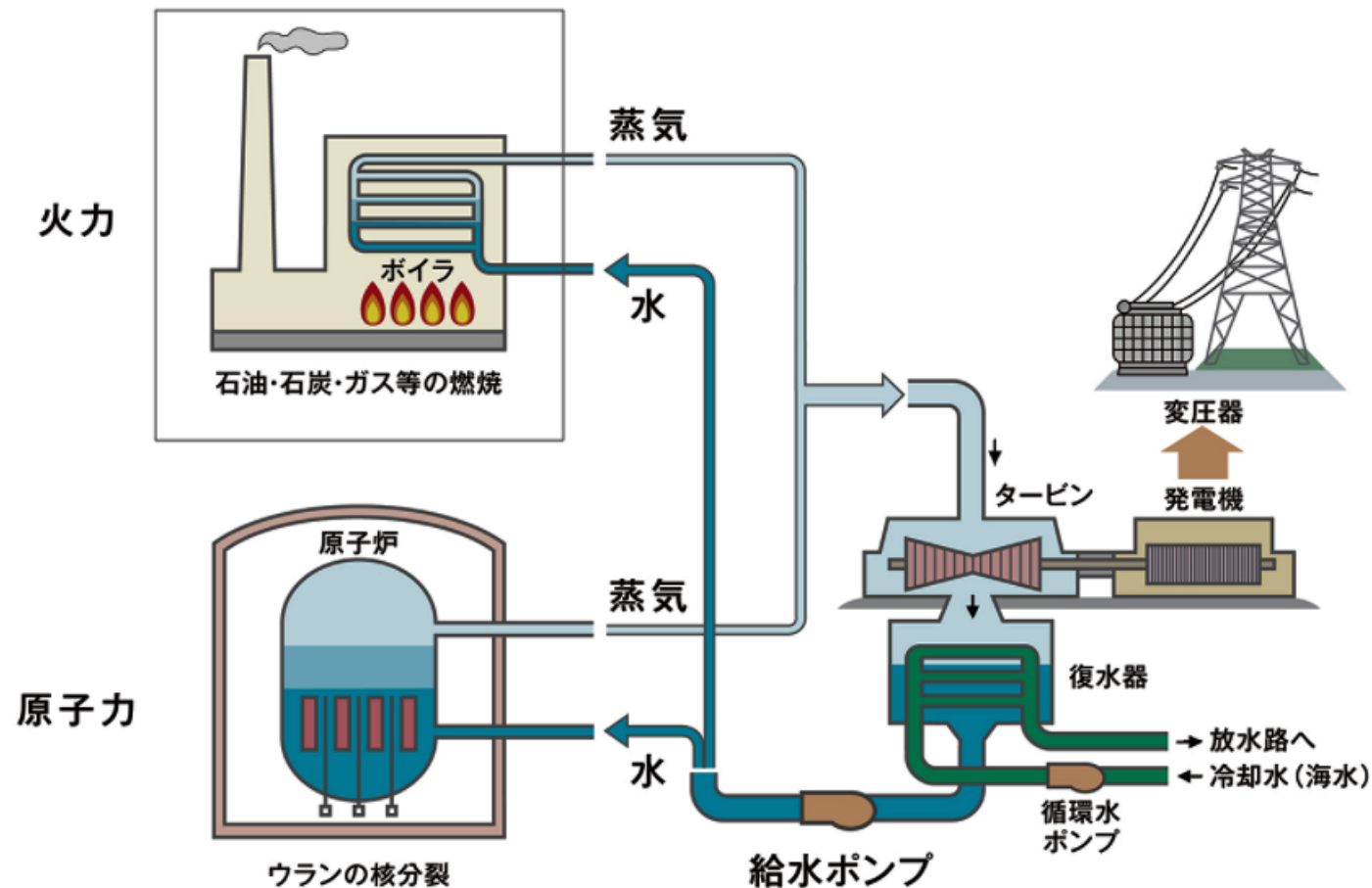
1号機 38℃

2号機 70℃ (11/17)

冷温停止の条件を
数字上は満たした

「原子炉全体も
きている」と今

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、

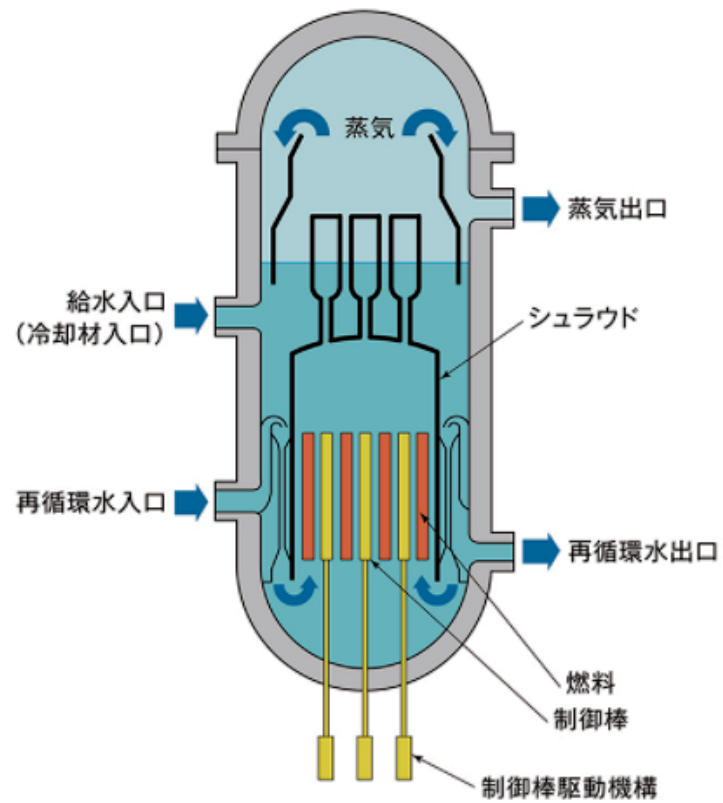
石炭、ガス、石油などを燃やして蒸気を作るのが、火力発電

核分裂で出る燃料棒の中の熱で、蒸気を作るのが原発

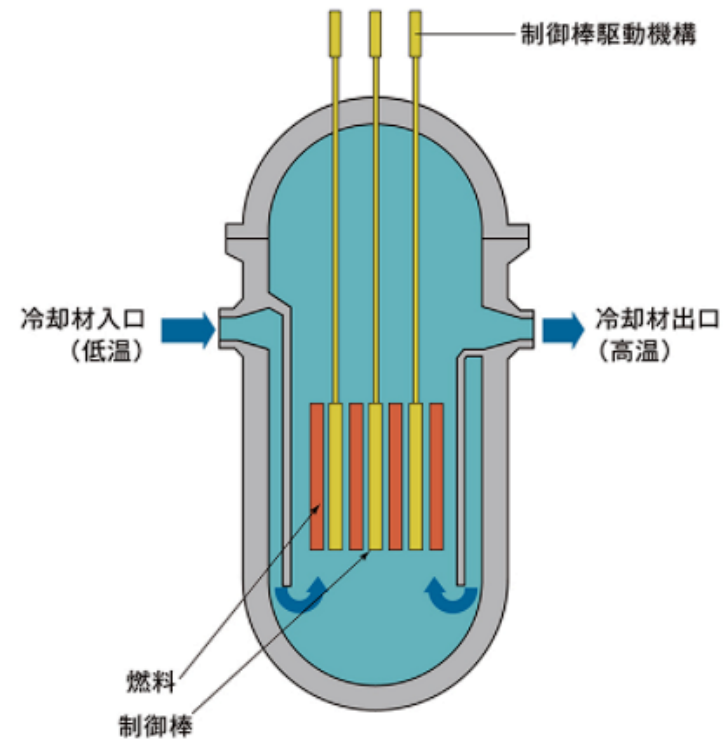
タービンと発電機は、原理的に同じもの。

原子炉压力容器断面図

沸騰水型原子炉 (BWR)



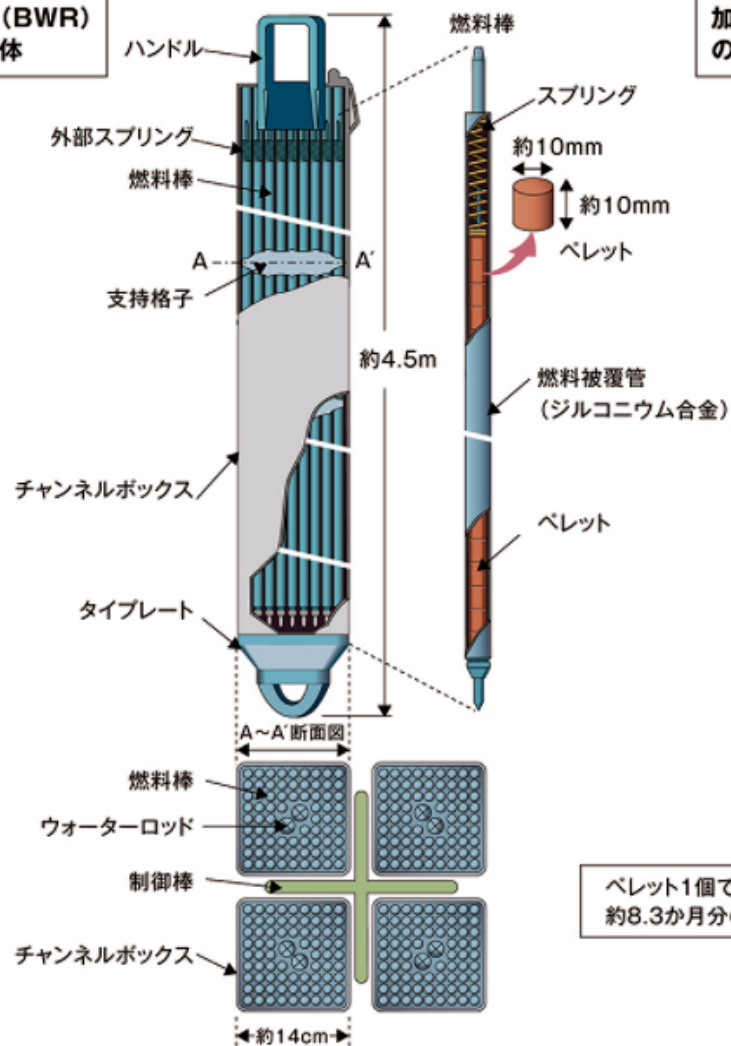
加圧水型原子炉 (PWR)



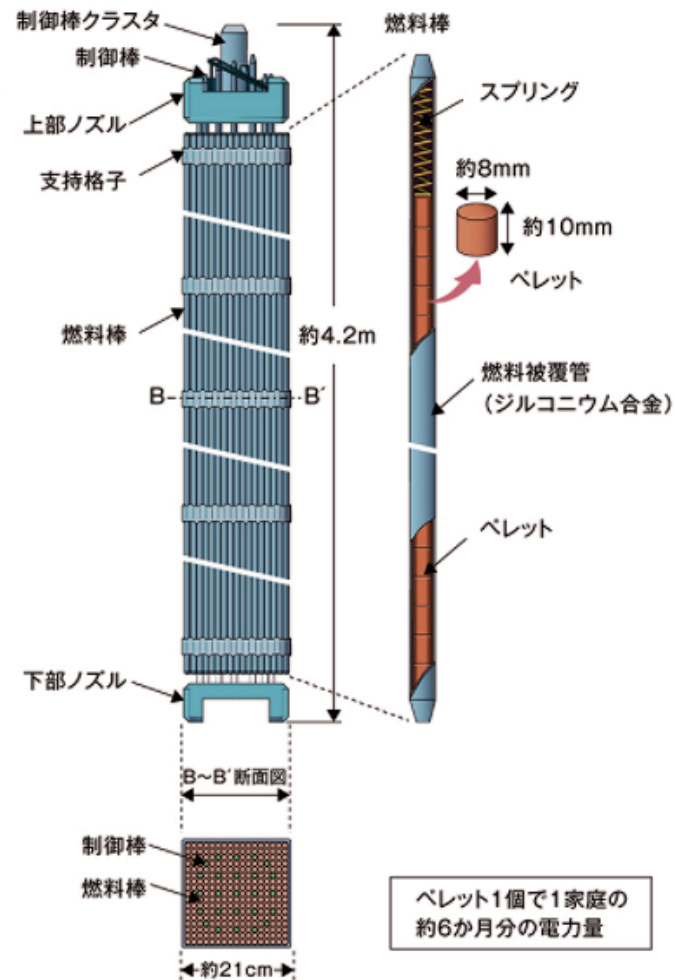
原子炉の中は、加圧水型がシンプル

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



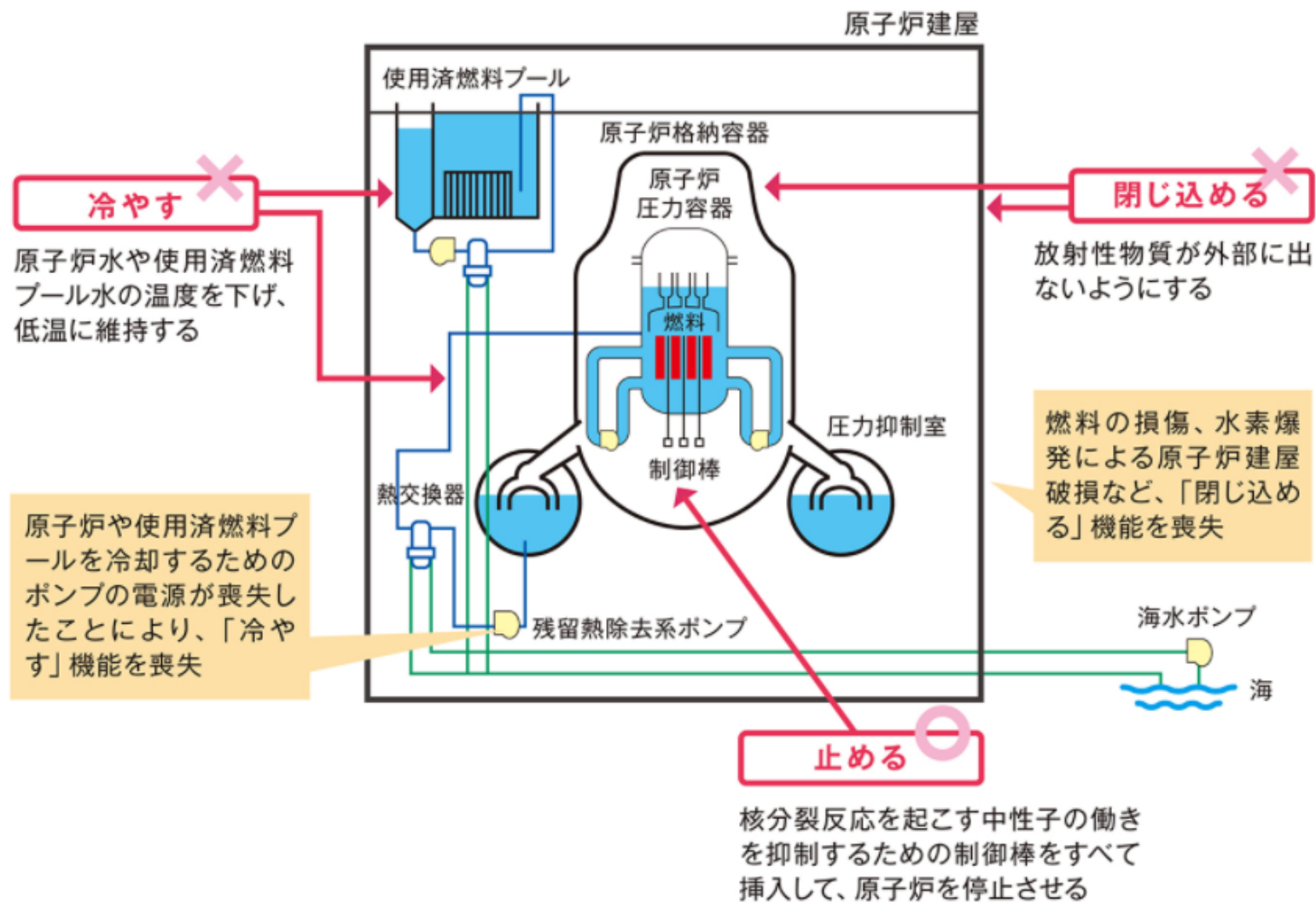
ウラン燃料は、ジルコニウム合金で作ったパイプの中に密閉して入れておく。

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。

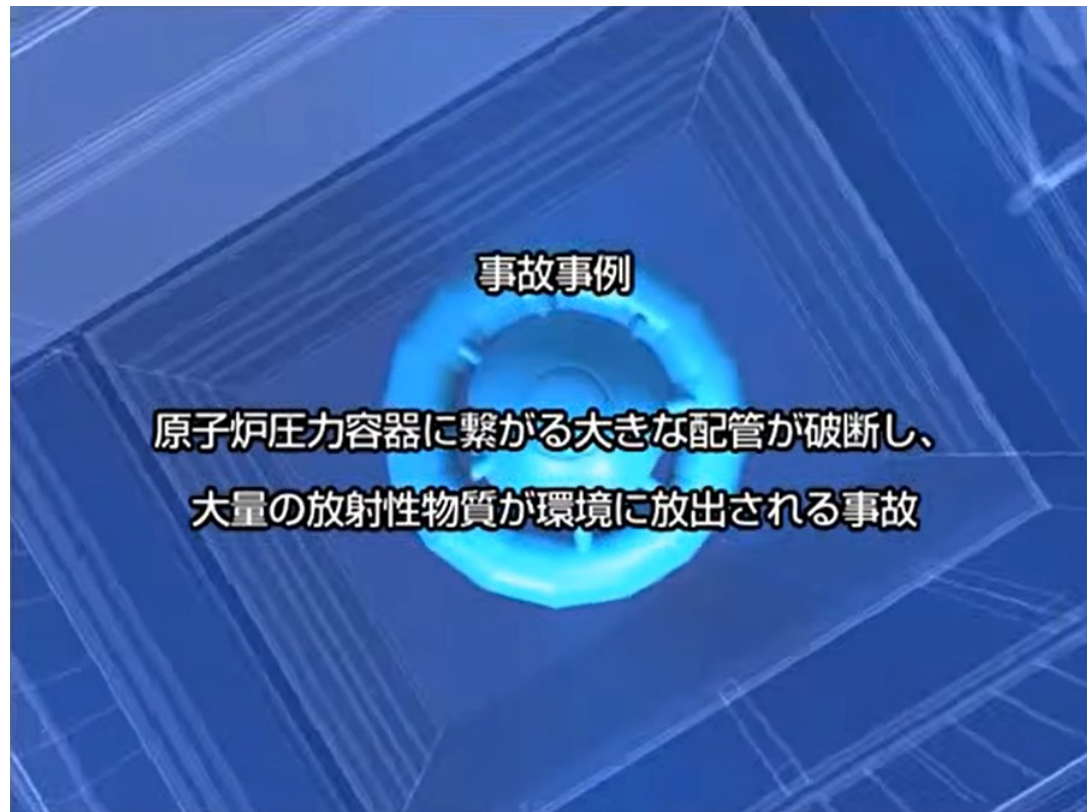
ペレット1個で1家庭の
約8.3か月分の電力量

ペレット1個で1家庭の
約6か月分の電力量

福島第一原子力発電所の事故概要



福島原発事故 炉心溶融のシミュレーション



はじめに

- 原子力発電は、脱炭素化の選択肢として貴重です。
 - 安全性の向上はもちろんのこと
 - 再生可能エネルギーとの共存や
 - 水素の製造
 - 熱エネルギーの利用といった
- 多様なニーズにこたえる原子力の技術革新が進められています。

日本でも

- 原子力の技術革新に向けた取り組みが進められています
 - 革新的な原子力技術とはどんなもの？
 - どんなことを可能にするの？
 - 研究の現状は？
- 求められているのは、「使いやすく安全な原子炉」です。

原子力には、発電以外の用途がある？

- 実は、医療、工業、農業、科学などさまざまな用途があります。
- これらの用途において求められている「革新的な原子力技術」のひとつが、「小型モジュール炉」です。SMR (Small Modular Reactor) 。
- 小型炉は体積の割に大きな表面積をもっているために大型の原子炉よりも冷えやすくなります。
- このため、原子炉に水をポンプで入れて冷やさなくても自然に冷えてくれる、といったことも可能になります。
- 実現すれば、安全性が高まるうえに、原子炉全体を簡単な構造にすることができ、メンテナンスもしやすくなります。
- その結果、コストの削減ができ、経済性も向上する可能性があります。

モジュール炉とは？

- ユニットを工場で生産し、現場で組み立てる方式の原子炉です。
- プレハブ住宅をイメージするとわかりやすいでしょう。規格化された部材一式を工場で生産し、さらに部分的に組み立てたユニットを作ってしまいます。
- 現地ではこのユニットを、ブロックを積み立てるように設置します。工場で生産・管理するので、高い品質や短い工期、コスト低減を実現することができます。
- 小型原子炉も、このような方法で作ってしまうのが、モジュール炉です。

モジュールは、輸送できるサイズにする

- まず第1に、モジュールは輸送できるサイズ（米国なら鉄道や高速道路、欧州なら内陸運河）まで「小型化」し、それから原子炉の出力を決めるという流れになるでしょう。
- 「型式認証」という方法で設計認可を取得しておき、全体を一括で「工場生産＋組み立て＋輸送＋設置」します。
- こういった手法とれるのは、「小型」の原子炉だからです。

安全な原子炉の 開発状況

小型原子炉（モジュール炉）

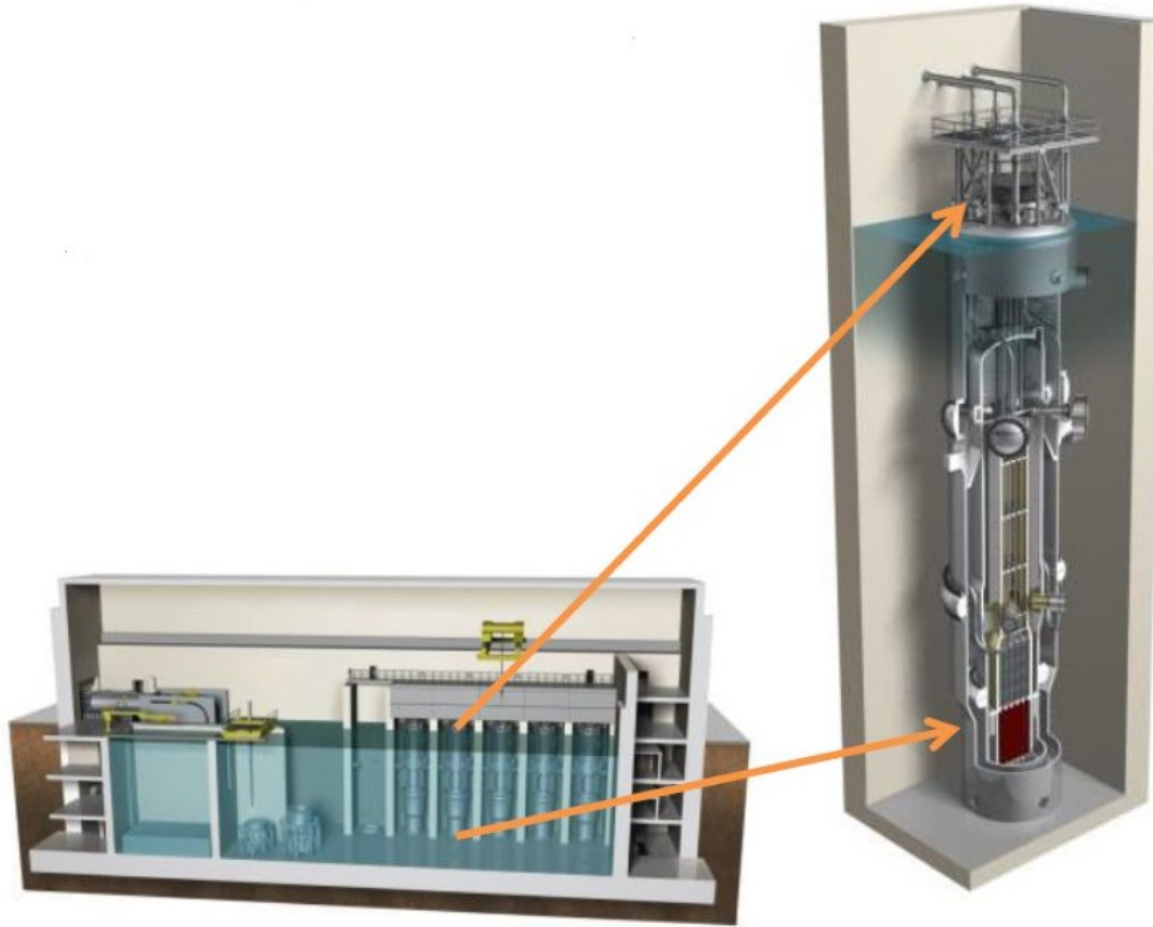
冷却に水ではなく、ナトリウムを使う原子炉

マイクロ原子炉（コンテナ原子力発電所）

高温ガス炉（水素製造も可能）

小型モジュール炉

NuScale SMR。



(提供) NuScale Power社

米国NuScale社はSMR開発の先駆者の1つで、これまで米国エネルギー省からの支援を得ながら開発を進めています。初号機の建設はアイダホ国立研究所(INL)の敷地内に計画されており、米国の原子力規制委員会での審査も最終段階にあります。

特徴は

- 1 モジュールの出力は6万kW、通常の「加圧水型」原子炉の1/20程度
- 最大12個のモジュールを大きなプールの中に設置
- 1 モジュールは、「圧力容器」「蒸気発生器」「加圧器」「格納容器」をふくむ一体型パッケージで、大型の冷却水ポンプや大口径配管が不要
- 各モジュールは、それぞれ独立したタービン発電機と復水器に接続
- 小型化と一体化を図ることにより、大規模な冷却材喪失事故のリスクを回避

小型原子炉【日立・GE】

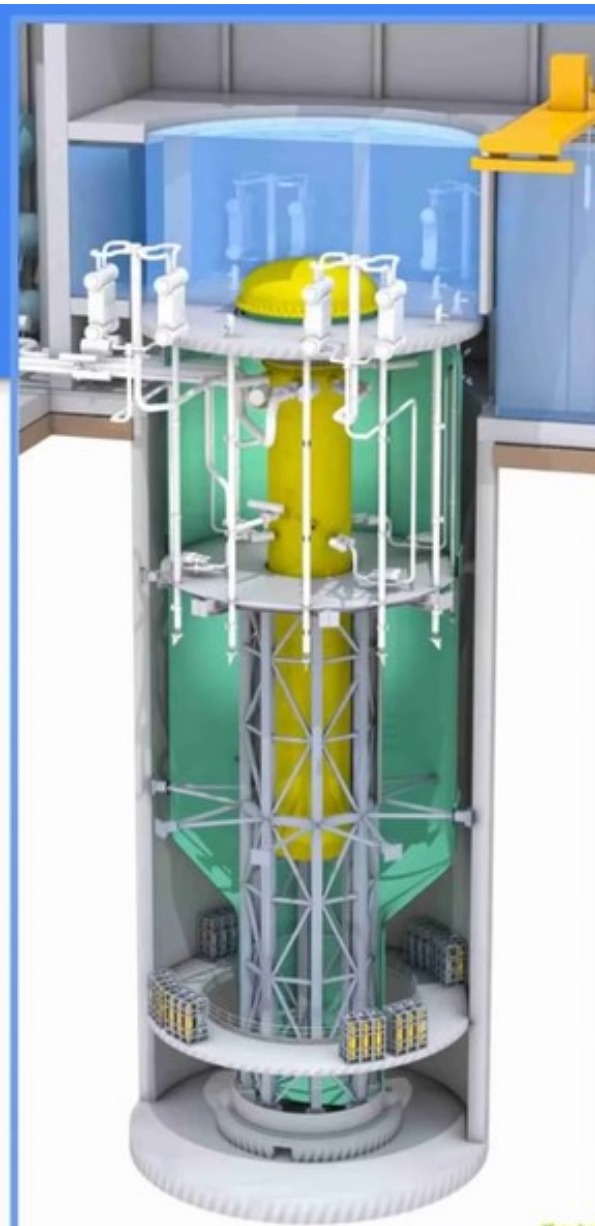
日立が小型の原子炉を
カナダの電力会社から受注しました。
小型モジュール炉について。

日立・GE、小型原子炉を受注 カナダで3000億円規模

エレクトロニクス

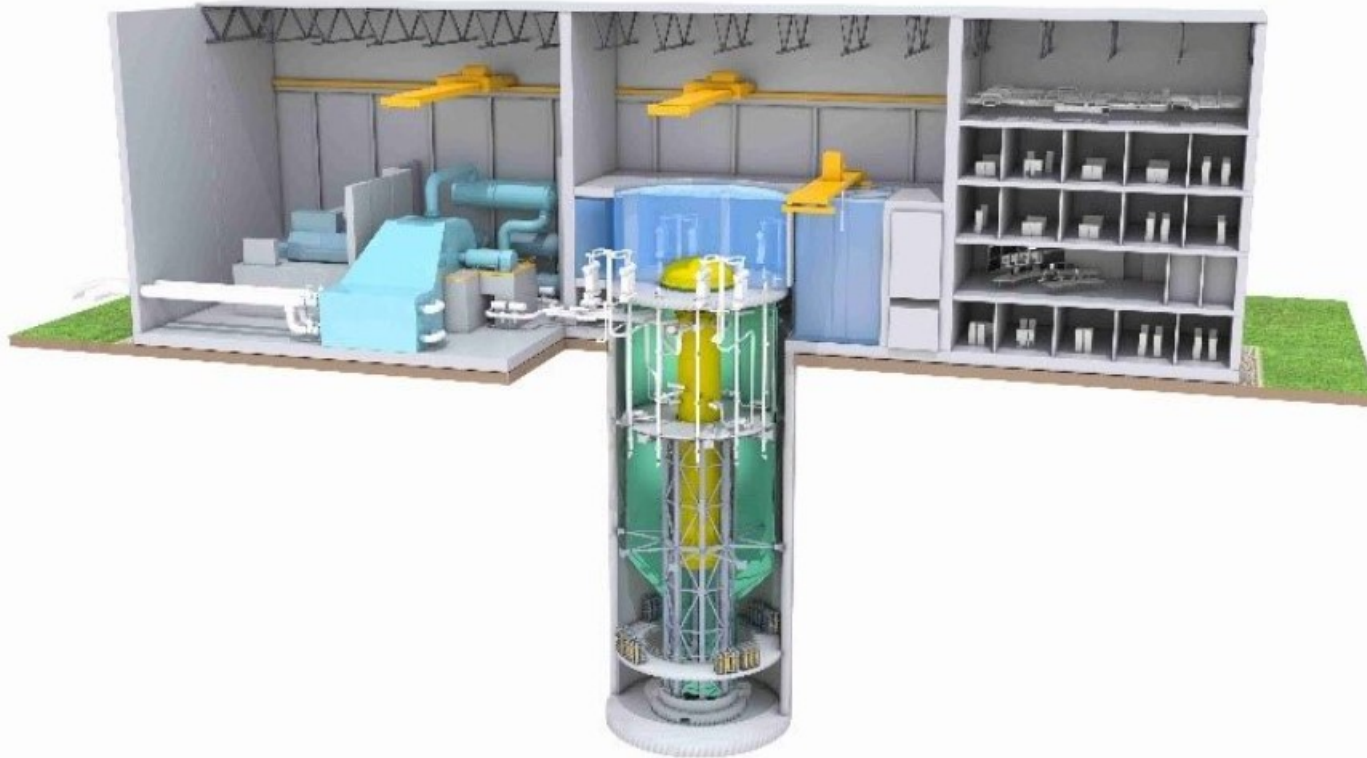
+ フォローする

2021年12月3日 12:38 (2021年12月3日 21:48更新)



[【日立】カナダの『次世代原子炉』を受注！【小型モジュール炉】 - YouTube](#)

BWRX-300



(提供) [GE Hitachi Nuclear Energy社](#)

日立GEニュークリア・エナジー社と米国GE Hitachi Nuclear Energy社はSMRであるBWRX-300を開発中です。同社は、原子力発電所の設計・製造経験と、さまざまな製品のモジュール製造経験が豊富で、その経験を活かした原子力イノベーションを進めています。米国でBWRX-300初号機の建設をめざして、米国原子力規制委員会にはすでに安全審査項目に関する技術レポートを提出しています。また、カナダでの建設も視野に入れ、カナダ原子力安全委員会でも審査を開始しています。

全電源喪失事故

全電源喪失事故が発生しても
安全に冷却できます。

蒸発して水は無くなりますが
給水車などで補充が可能です。



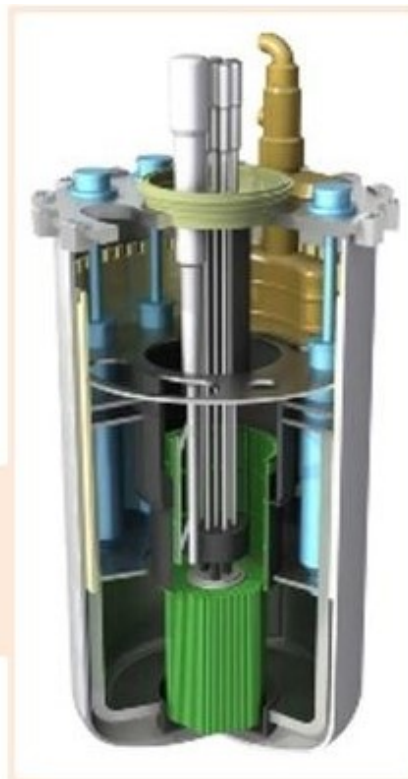
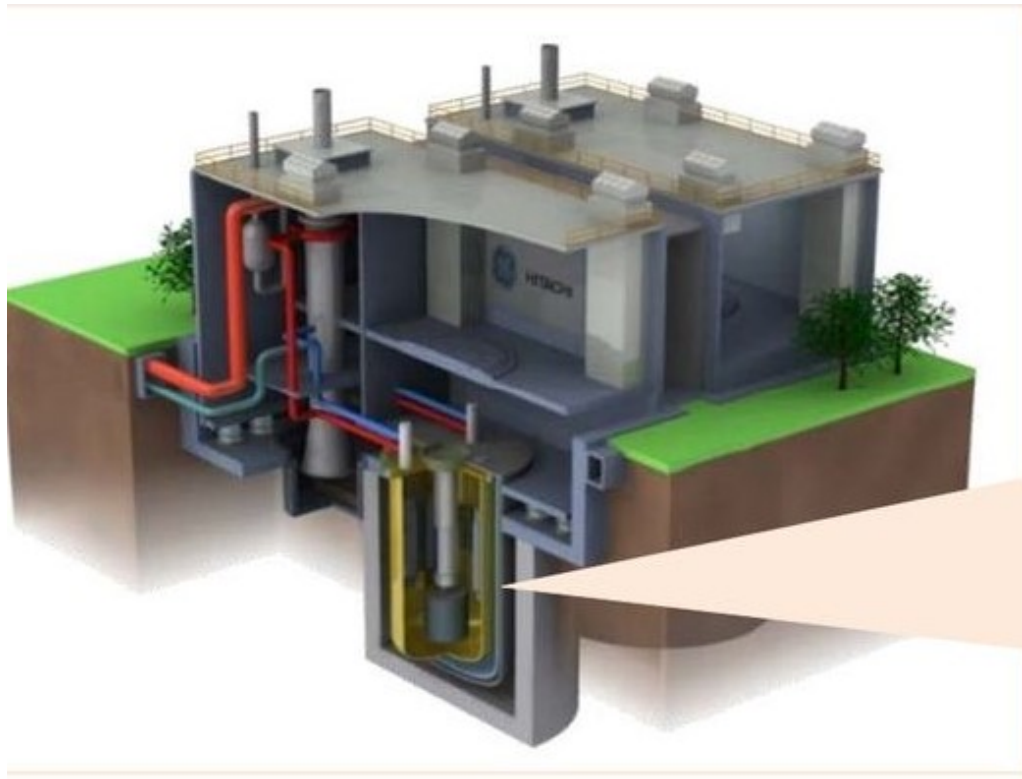
特徴

- 従来の「沸騰水型」よりもさらに構造が単純で、建設コスト、運転コストの低減が可能
- SMRのメリットである低い総建設費、工場完成一体据付、建設工期短縮のメリットを生かして資本リスク、建設リスクの低減が可能
- ガス火力並みの価格競争力を持ち、米国のガス火力発電プラントの建て替え需要も視野に
- 圧力容器と一体になった弁を採用し、大規模な冷却材喪失事故のリスクを実質的に回避

ナトリウムを
冷却材に使う原子炉

PRISM

PRISM (Power Reactor Innovative Small Module) も米国GE Hitachi Nuclear Energy社が開発するSMR



こちらは原子炉の冷却に水ではなく**ナトリウムを使った原子炉**です。

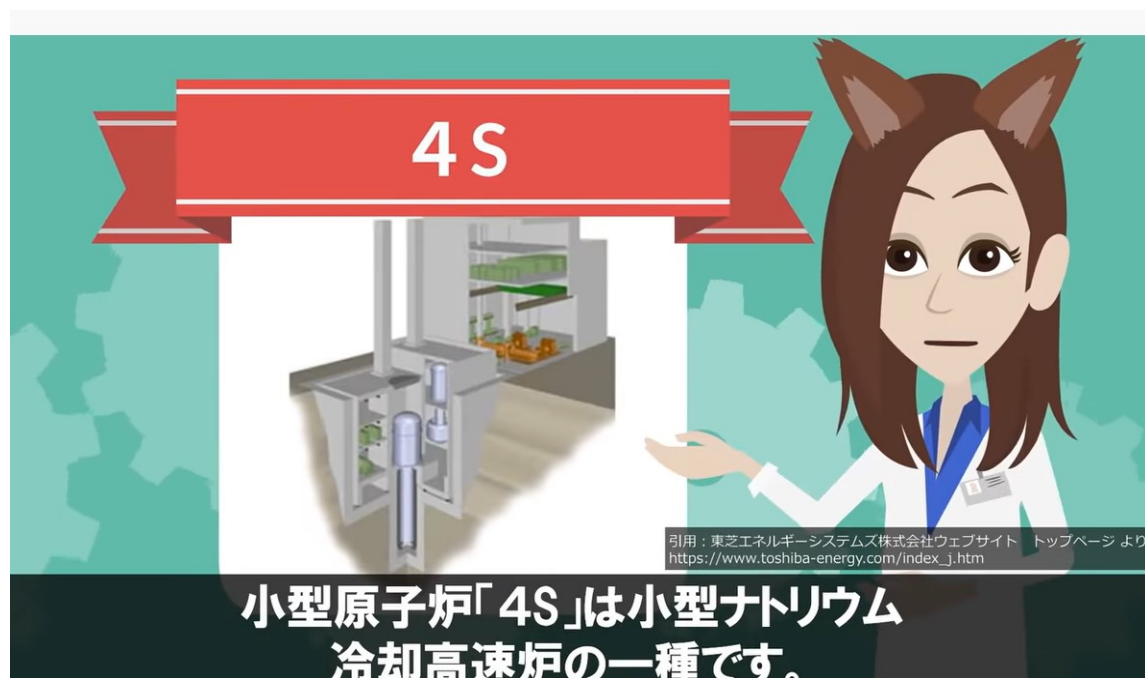
「高速炉」と呼ばれるタイプの原子炉で、従来の原子炉と比べて廃棄物の有害度が低く、量も少ない、ウラン資源を有効活用できるといった特徴があります。

米国エネルギー省は、PRISMをベースとした熱出力30万kWの多目的試験炉（VTR）を、アイダホ国立研究所に建設し、2030年までに運転開始する計画を推進しており、これがPRISM型の原子炉の第1号になると見られています。

特徴

- 空気の自然循環を利用して熱を冷やす方式を採用し、高い安全性・信頼性をもつ
- 高速炉は大気の大気圧（大気圧）と同程度の圧力で運転されることから、冷却材喪失事故やそれにもなう格納容器内の圧力上昇が発生しない
- 出力あたりの原子炉建屋の大きさは、「加圧水型」や「沸騰水型」のSMRよりもさらに小さい
- 高レベル放射性廃棄物の体積を減らすことが効率的にできる
- 炉心温度が高く、軽水炉型にくらべて熱効率を飛躍的に向上できる

【衝撃】 東芝が開発した「小型高速炉4S」に世界が震えた！ - YouTube



An illustration of a woman with long brown hair and fox-like ears, wearing a white lab coat with a blue collar. She has a surprised expression with wide eyes and an open mouth. In the background is a stylized nuclear power plant with two large blue cooling towers and various pipes and structures. The sky is blue with some clouds, and there are green trees on the right side.

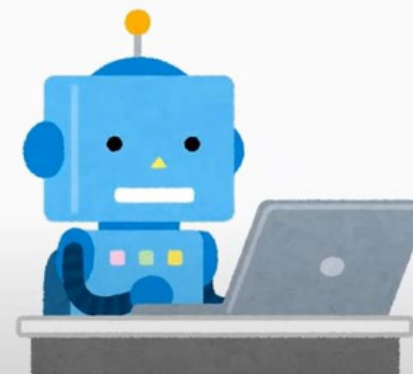
小型高速炉 4 S

みなさんは東芝の
小型高速炉4Sについてご存じでしょうか？

冷却に水ではなく、ナトリウムを使う原子炉

小型高速炉【東芝】

コメントで頂いた
東芝の小型高速炉【4S】について。
運転員は不要とされています。



小型高速炉4Sと高速炉技術

4S Small Fast Reactor and Fast Reactor Technologies

一時停止 (k)



0:01 / 7:40 • 小型高速炉【東芝】 >



マイクロ原子炉

【1000kW】超小型原子炉『マイクロ炉』を三菱重工が開発！ - YouTube

マイクロ炉【三菱重工】

三菱重工が超小型原子炉

マイクロ炉

2030年代に商用化する。



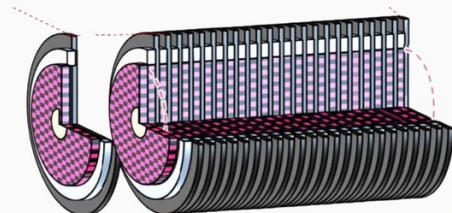
チャンネル登録

原子炉の内部

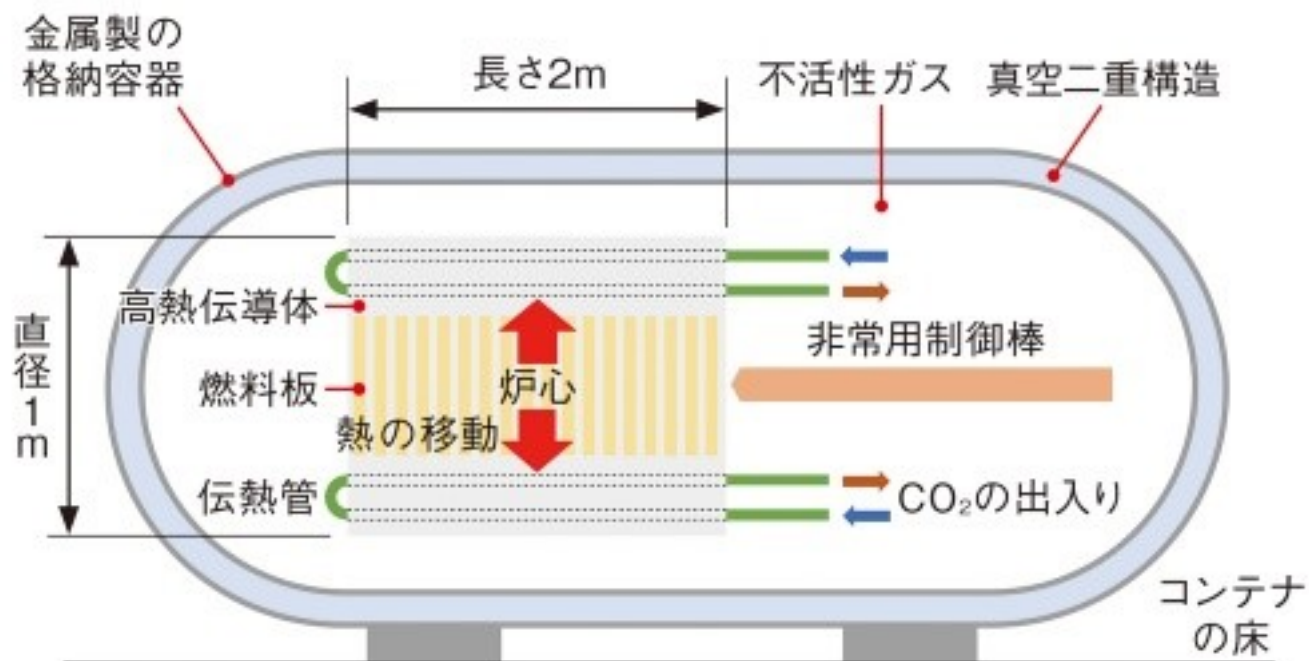
原子炉の炉心部は円盤状の部品が

複数枚、積層されています。

ユニークな構造です。



チャンネル登録



コンテナ原子力発電所

発電装置は原子炉とは別になります。

ひとつの**コンテナ**に収納できます。

トレーラートラックで移動可能。



コンテナ内に原子炉＋
2次系発電設備を収納

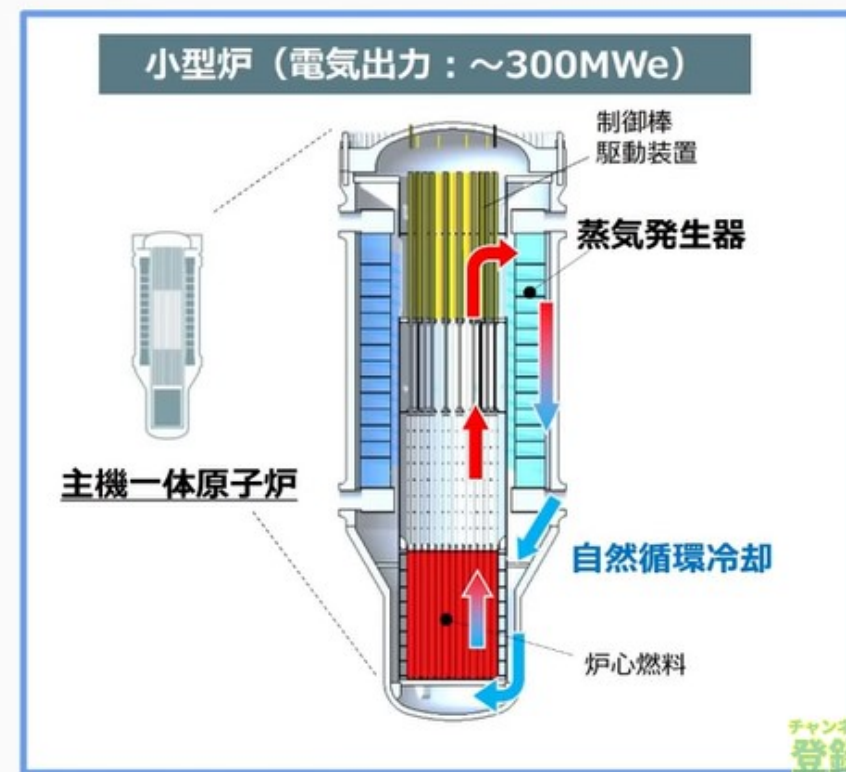


チャンネル
登録

三菱重工の小型炉

三菱重工が提案する小型炉は
原子炉と蒸気発生器を一体化。
再循環ポンプに頼らない。
自然循環冷却による原子炉。

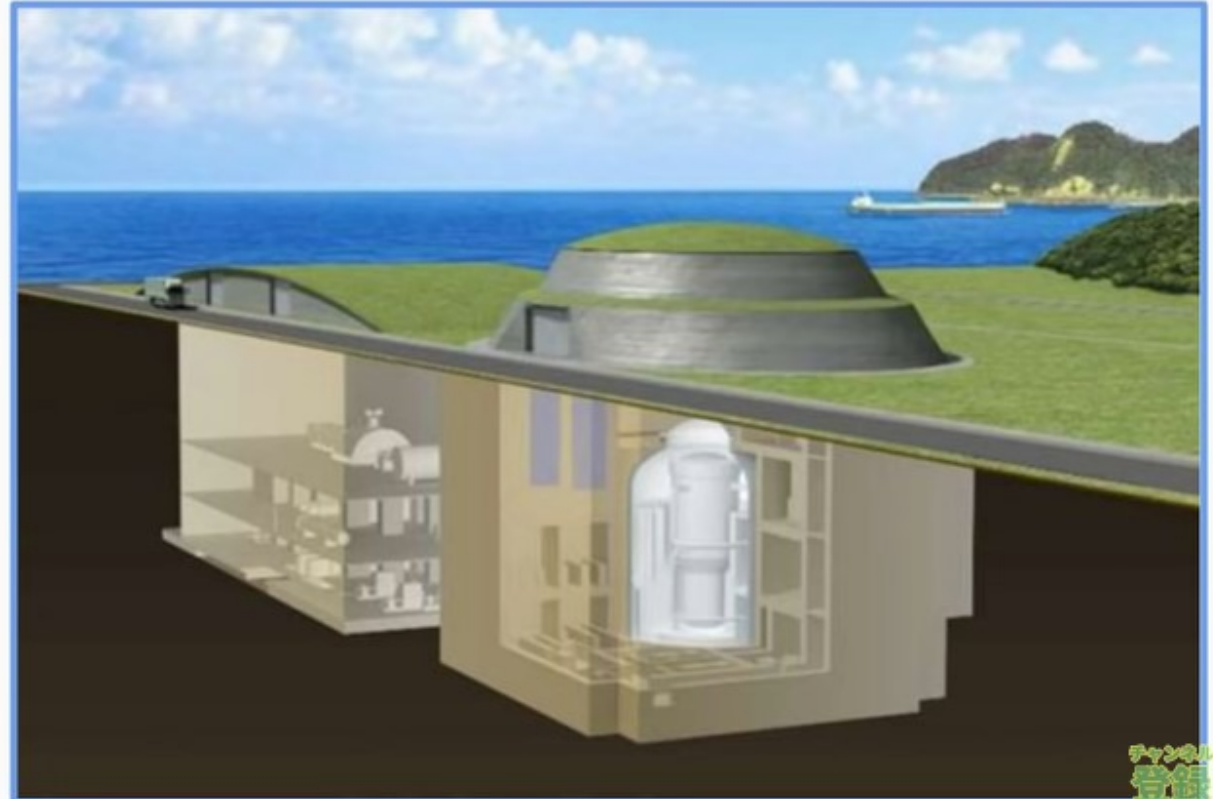
一時停止 (k)



[三菱重工 安全性高めた「革新軽水炉」の研究進める
\(2022年9月29日\) - YouTube](#)

地下設置

小型炉は**地下**に設置します。
航空機の衝突や攻撃に対する
耐久性を強化しています。



全固体原子炉

全固体原子炉

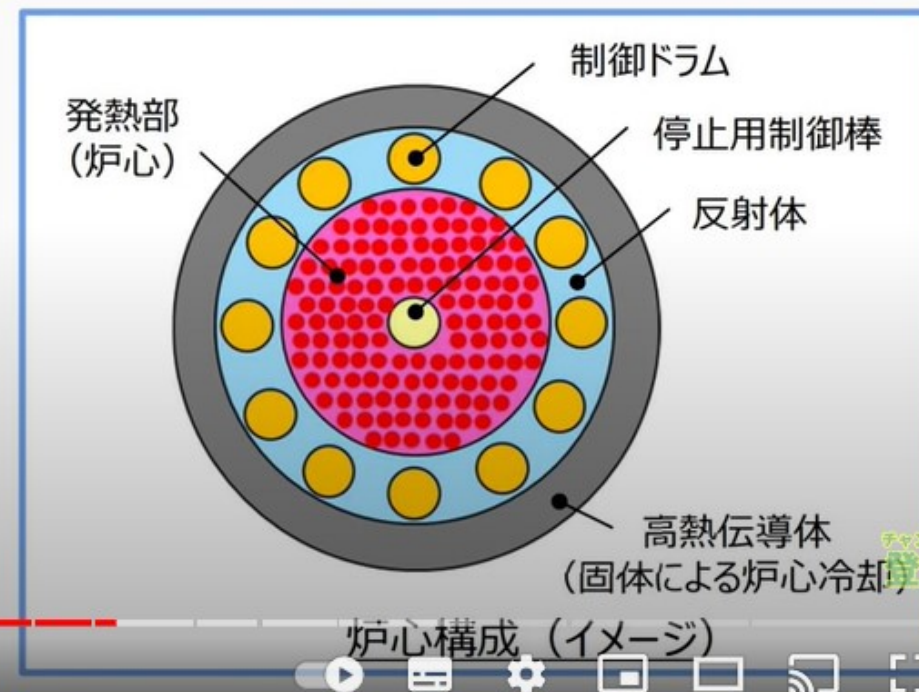
冷却材に液体を使用しません。

固体の熱伝導体を用いた

【**全固体原子炉**】を提案しています。

冷却材を循環させるポンプなど

可動部品を削減しています。



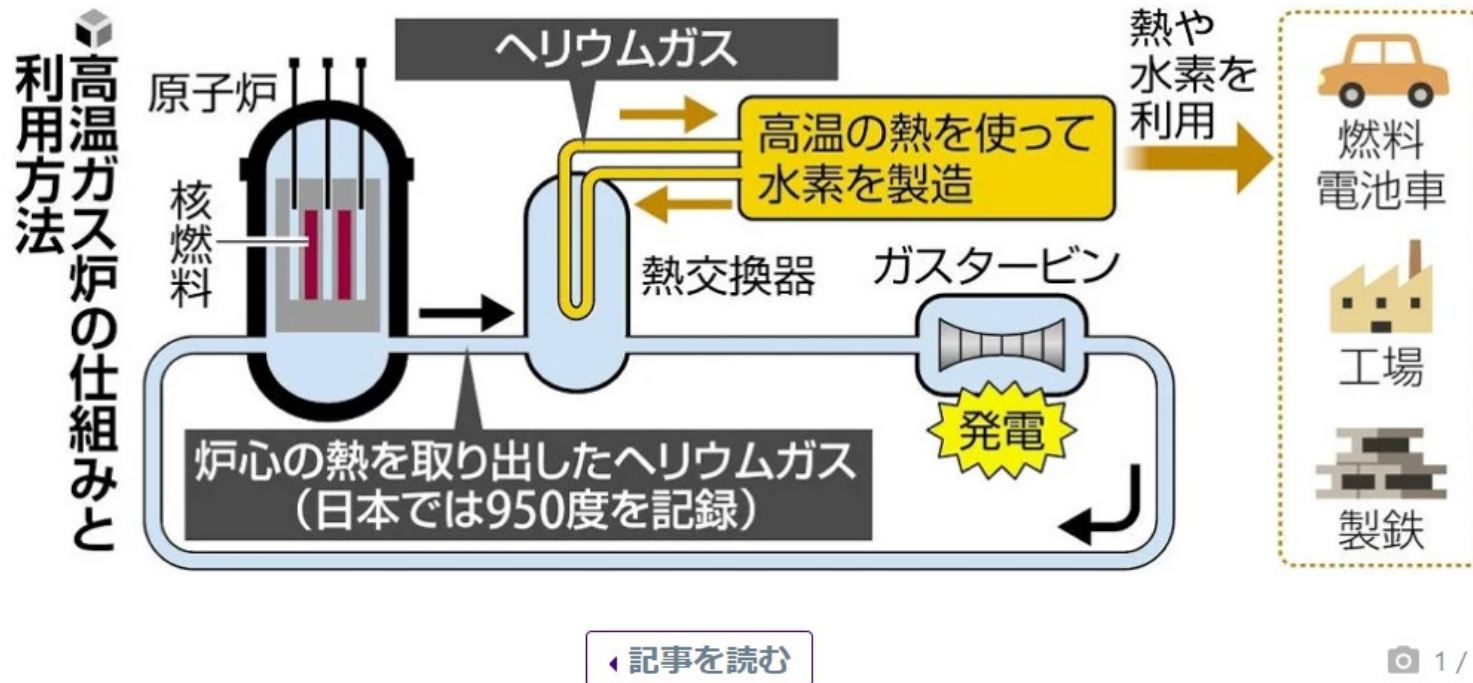
生 (k)

4:52 / 8:00 • 全固体原子炉 >

高温ガス炉

高温ガス炉

2022/09/03 05:00



高温ガス炉は、炉心の核燃料から出る熱をヘリウムガスで取り出す原子炉。高

温・高圧になったガスの力などでタービンを回して発電する。発電のほか、熱を使って燃料電池に用いる水素を製造できるため、米英やカナダ、ポーランド、中国、韓国が開発に力を入れる。大量の水で熱を取り出す従来の軽水炉とは異なり、立地の制約も少ない。これらの利点から、軽水炉に続く次世代炉の一つとして注目を集める。

[英の新型原子炉計画に日本が参加へ…ヘリウムガスで熱取り出し、30年代の稼働目標：読売新聞オンライン \(yomiuri.co.jp\)](https://yomiuri.co.jp)

[三菱重工 安全性高めた「革新軽水炉」の研究進める](#)
(2022年9月29日) - YouTube

ABEMA morning / **三菱重工 次世代の原子力発電設備を研究**

三菱重工のYouTubeから

超安全

コアキャッチャで
溶融炉心を保持・冷却

新型原子炉
特殊設備 コアキャッチャーなどを備える
⇒放射性物質の流失を防ぐ



発電以外にも使われている原子力関連技術

- 放射性物質や放射線は、医療、工業、農業、科学、日用品など、意外と身近なところで利用されています。
- たとえば、健康診断でおなじみのX線を使った胸部レントゲン撮影も、放射線を活用したものです。
- そして今、さらなる高度な利用方法や、新しい利用方法の開発も進められています。

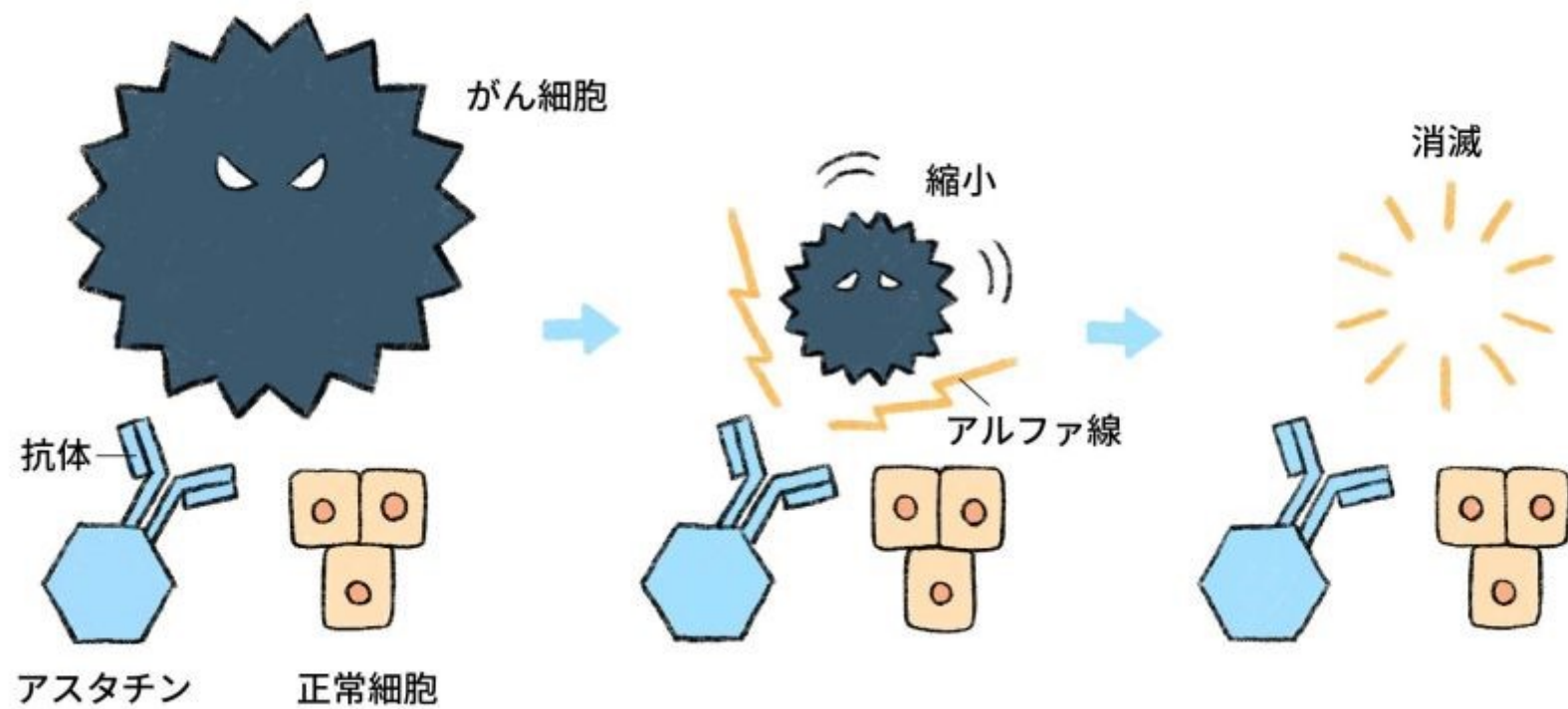
[原子力にいま起こっているイノベーション（後編）～実は身近でも使われている原子力技術 | スペシャルコンテンツ | 資源エネルギー庁 \(meti.go.jp\)](#)

放射性物質でガンを見つける、治療する

- 「骨シンチグラフィ」と呼ばれる検査があります。
- ガン細胞は、活発に細胞分裂をおこなう、代謝が盛んななどの性質があります。
- そこで、骨の代謝が盛んなところに集まる性質をもつ物質と放射性物質を化合させたものを注射して、ガン細胞に取り込ませます。
- この放射性物質はごくわずかな放射線を発していますから、体の外からその位置を追跡することができます。
- こうして、ガンがどの部位にどの程度転移しているかを診断するわけです。この技術

この治療法は、「 α 線」という放射線を使う

- α 線は、2個の「陽子」と2個の「中性子」からできており、放射性物質の「自然崩壊」という現象が起こることによって発生します。
- この α 線は、水中では短い距離（1mm未満）しか進むことができません。
- 放射線の飛ぶ距離が短いため、エネルギーを集中してガン細胞に与えることができる、
- 逆に周りにあるほかの細胞には悪影響が少ないという特長を持ちます。
- この α 線を放出する放射性物質をガン細胞に選択的に取り込ませて、ガン細胞を直接攻撃し、消滅させるのです。



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

2022/10/13 (木)

易しい科学の話

安全な原子力発電

おわり

吉岡 芳夫

参考資料

[英の新型原子炉計画に日本が参加へ…ヘリウムガスで熱取り出し、30年代の稼働目標：読売新聞オンライン \(yomiuri.co.jp\)](http://yomiuri.co.jp)

[【衝撃】日本が開発する「次世代原子炉」に世界が震えた！【2030年に実用化！】 - YouTube](#)

三菱重工が新型原子炉 電力4社と共同開発【WBS】
(2022年9月29日) - YouTube

[【日立】カナダの『次世代原子炉』を受注！【小型モジュール炉】 - YouTube](#)

[【1000kW】超小型原子炉『マイクロ炉』を三菱重工が開発！ - YouTube](#)

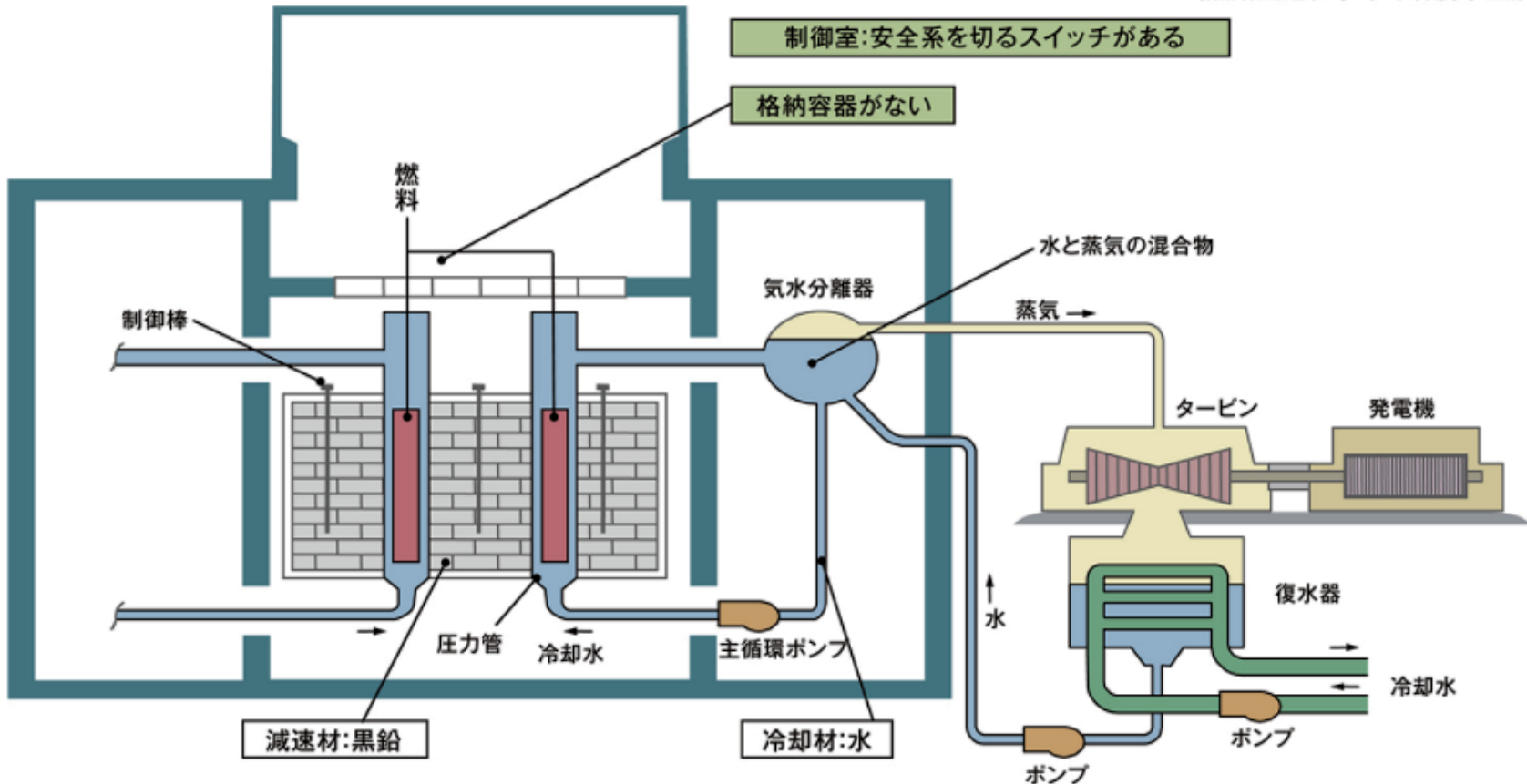
[【衝撃】東芝が開発した「小型高速炉4S」に世界が震えた！ - YouTube](#)

[次世代技術“核融合”の可能性【日経プラス9】（2022年6月3日） - YouTube](#)

[小型原子炉SMR徹底解説 - YouTube](#)

チェルノブイリ原子力発電所の構造

(黑鉛減速輕水冷却沸騰水型炉RBMK)



	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。



格納容器の中
真上が、圧力容器。
制御棒の駆動部が見えてい
る。

原子炉建屋カバー
(1号機のみ完成)

使用済み
核燃料プール

浄化
汚染水した

圧力
容器

格納
容器

核燃
料融
した

?

建屋からの放射性
セシウムの放出量

約0.6億ベクレル
(1時間)

圧力容器底部温度

1号機 37℃

2号機 68℃ (11/17)

3号機 68℃ (時点)

格納容器内温度

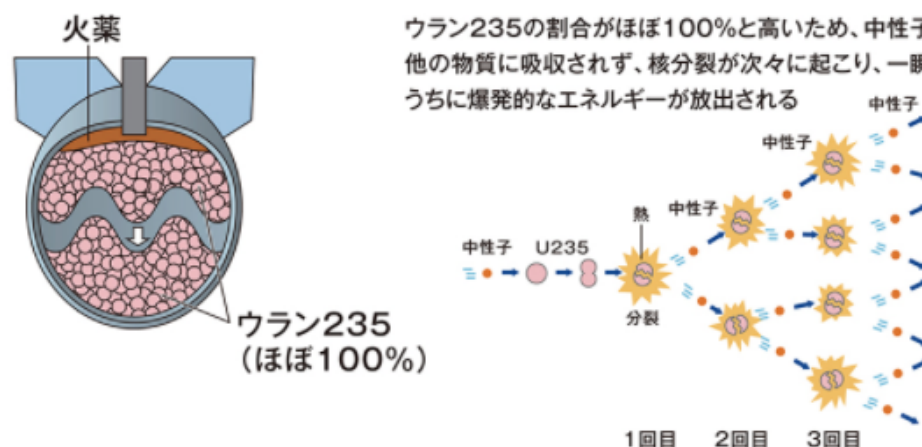
1号機 38℃

2号機 70℃ (11/17)

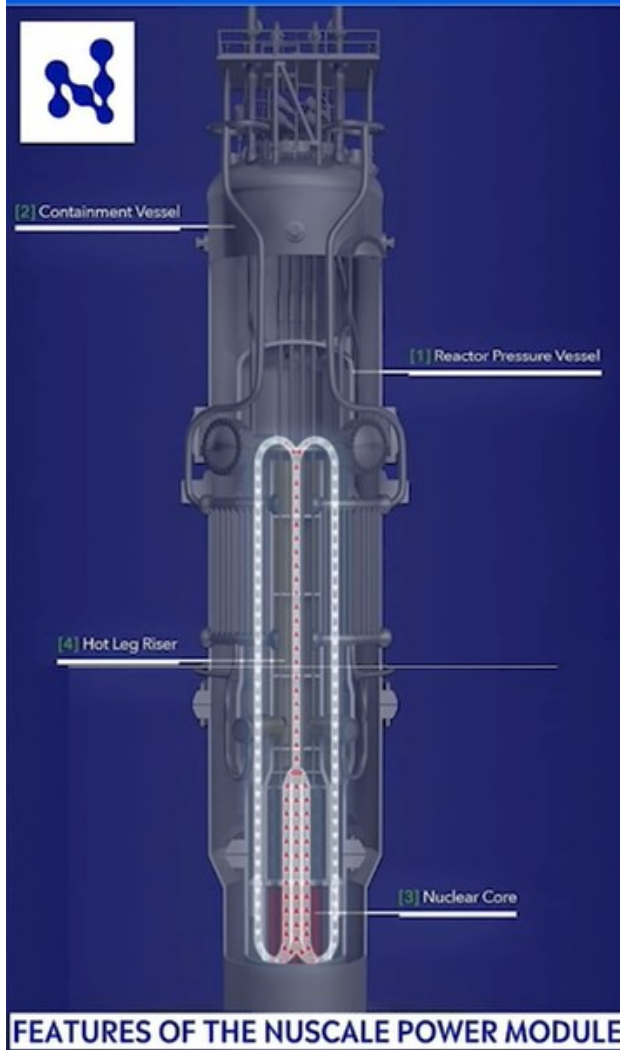
冷温停止の条件を
数字上は満たした

「原子炉全体も
きている」と今

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	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  ウラン235 (3~5%) ウラン238 (95~97%) 1回目 2回目 3回目	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
原子爆弾の場合	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  火薬 ウラン235 (ほぼ100%) 1回目 2回目 3回目	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

米国NUSCALEの原子炉本体



自然循環による冷却材(水)の循環

