

2018年6月20日(水)
易しい科学の話

原発から出る核のごみとは？

吉岡 芳夫

本資料の作成には、インターネット上に公開されている資料を利用させていただきました。

核のゴミについてのイメージは？

- 恐ろしい
- 汚い、くさい
- 多い
- どんどんたまる
- 燃やせない
- 捨て場所がない

原発から出るごみはどれ？

- 雑巾、衣類、プラスチック
- 金物、コンクリート、アスファルト、土、ガラス
- 水、油、ガス
- 壊れた部品（ガラクタ）
- 電機・機械装置、タンク、ポンプ、構造物
- 外見ではごみとわからないもの

原発から出るごみのいろいろ

- 放射能について
 - 放射能の強いゴミ
 - 放射能がなかなか減らないゴミ
 - 放射能がすぐ減ってしまうゴミ
- 量(体積)が多いゴミ
 - 放射能は弱いが多いゴミ
 - 放射能は強いが少ないゴミ

核のゴミは、なぜ問題になる？

- 放射能があるから
 - どのごみに放射能がある？
 - 放射能は、どのごみも同じ強さ？
 - 放射線とは？
 - 放射能との関係か？
 - 人体に影響するのは、
 - 放射能？それとも放射線？
- 量が多いから
- 発熱するので冷却が必要だから
- 捨てられないから

核のゴミは、なぜ問題になる？ (つづき)

- 量が多いから
 - どれくらいの量？
 - 放射能の弱いゴミの量
 - 放射能の強いゴミの量
- 減らす方法はないの？
 - 燃やしてしまえばいいのでは？
 - 圧縮して嵩(かさ傘)を小さくすればいい？
 - 薄めてばらまけばいい？
 - 放射能だけを分離すればいい？

核のゴミは、なぜ問題になる？ (つづき2)

- 捨てられないのか？
 - それは、なぜ？
- では、人が放射線を浴びないようにすればよいのでは？
 - 人に影響がないように、薄めて捨てればよいのでは？
 - 人が近づかないようにしておけばよいのでは？
 - 放射能を閉じ込めておけばよいのでは？

放射性廃棄物の種類

廃棄物の種類		廃棄物の例	発生場所	処分の方法(例)	
低レベル放射性廃棄物	発電所廃棄物	放射能レベルの極めて低い廃棄物	原子力発電所	トレンチ処分	
		放射能レベルの比較的低い廃棄物		廃液、フィルター、廃器材、消耗品等を固形化	ピット処分
		放射能レベルの比較的高い廃棄物		制御棒、炉内構造物	中深度処分
	ウラン廃棄物		消耗品、スラッジ、廃器材	ウラン濃縮・燃料加工施設	中深度処分、ピット処分、トレンチ処分、場合によっては地層処分
	超ウラン核種を含む放射性廃棄物 (TRU廃棄物)		燃料棒の部品、廃液、フィルター	再処理施設、MOX燃料加工施設	地層処分、中深度処分、ピット処分
高レベル放射性廃棄物		ガラス固化体	再処理施設	地層処分	

クリアランスレベル以下の廃棄物	原子力発電所解体廃棄物の大部分	上に示した全ての発生場所	再利用/一般の物品としての処分
-----------------	-----------------	--------------	-----------------

気体状の廃棄物

- 気体状のものは、放射性物質を減衰させ、フィルターにかけて粒子状物質を除く
- そのあと、放射性物質の濃度を測定し、安全を確認し排気筒から放出される。
- その後は排気筒モニターで排気中の放射線量を測定、測定値はリアルタイム情報として各電力会社のホームページ上で公開される。

固体廃棄物

- 使用済みの制御棒などの比較的放射能レベルの濃度が高いもの
- 発電所の貯蔵プールに貯蔵保管したあと、容器に封入し、施設内に安全に保管。
- その後、地下70メートルより深い地中に埋設処分します。

液体状の廃棄物

- 液体状のものは、ろ過し、脱塩され、あるいは蒸発濃縮されます。
- 濃縮液はセメント、アスファルトなどで固化し、ドラム缶(200リットル)に詰められ発電所内の放射性固体廃棄物貯蔵庫に安全に保管されます。
- また、蒸留水は再利用するか、放射性物質の濃度を測定し安全を確認したうえで海へ放出しています。

低レベルのゴミの処分

- 使用済みのペーパータオルや作業衣など放射能濃度の低い雑固体廃棄物は、焼却、圧縮などによって容積を減らしてからドラム缶に詰め、原子力発電所敷地内の固体廃棄物貯蔵庫に安全に保管されます。
- ドラム缶に詰められた廃棄物は、その後、青森県六ヶ所村にある日本原燃の「低レベル放射性廃棄物埋設センター」に運ばれ、コンクリートピットに埋設処分されます。



(写真1)「低レベル放射性廃棄物のドラム缶(敦賀原発)」





図6 低レベル放射性廃棄物埋設センター
(青森県上北郡六ヶ所村)

[出所] 日本原燃ホームページ

http://www.jnfl.co.jp/business-cycle/images/2_maisetsu/09_maisetsu-zu.jpg

原子炉建屋

天井クレーン

6号機の原子炉建屋にある天井クレーン(Bランク)の継ぎ手が破損。修理は終了。

使用済み燃料プール

原子炉格納容器

制御棒

燃料

原子炉圧力容器

再循環ポンプ

耐震重要度
As(最重要)

圧力抑制プール

タービン建屋

中の原子炉4基は安全に1停止。変圧器がたが、原子力発電所の安全に大きな影響た。現在、東京電力が詳細点検を実施

蒸気

タービン

発電機

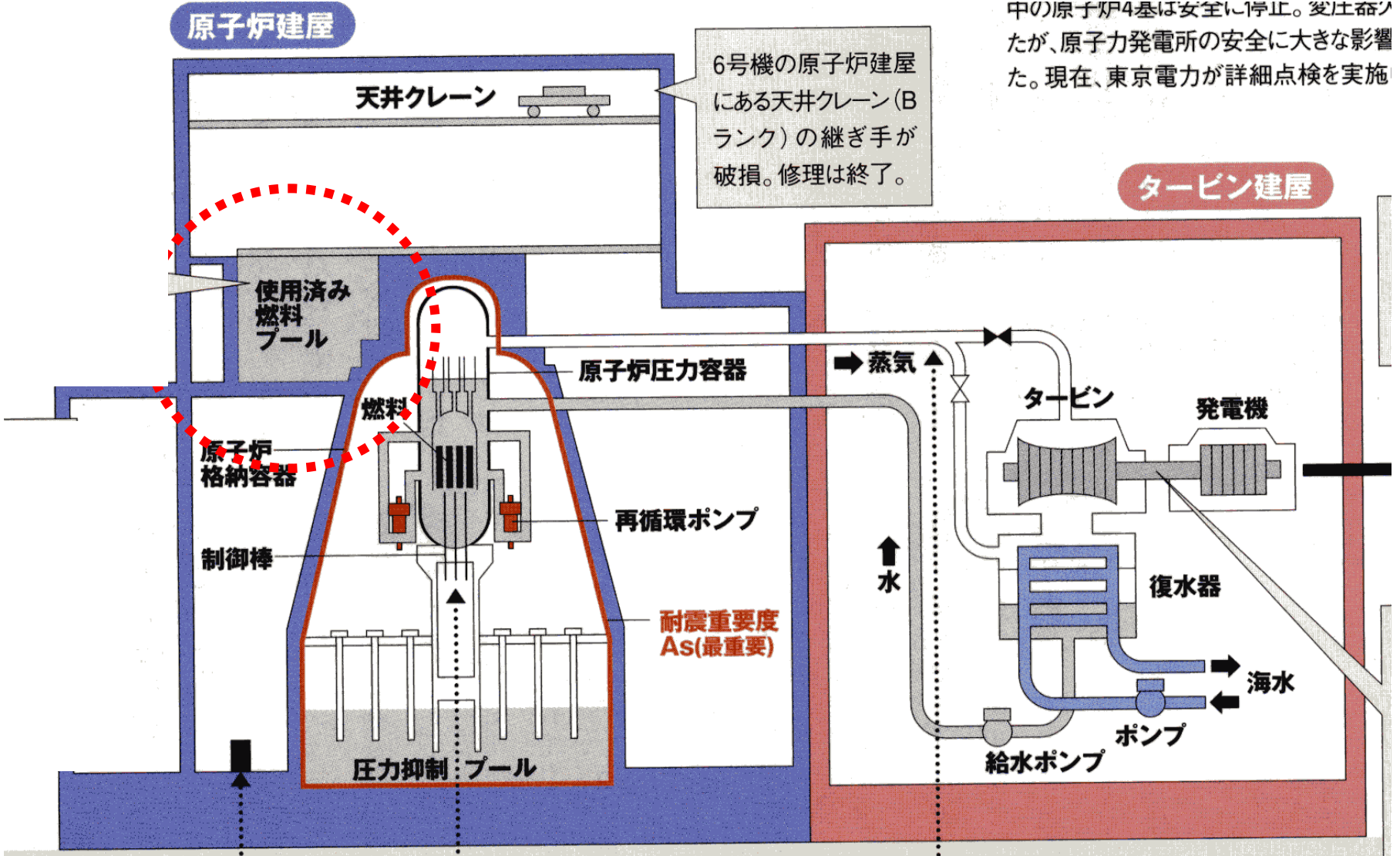
水

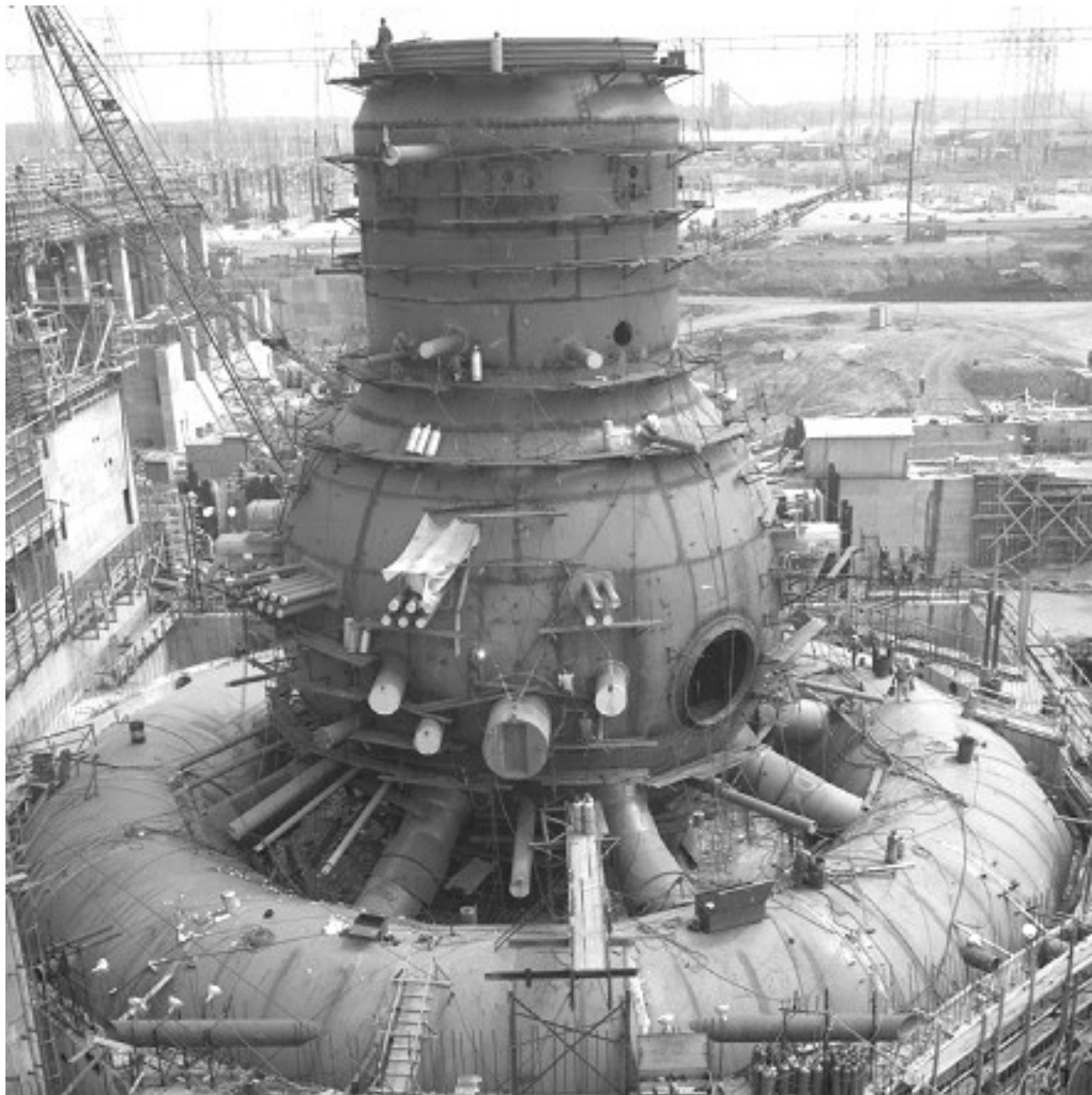
復水器

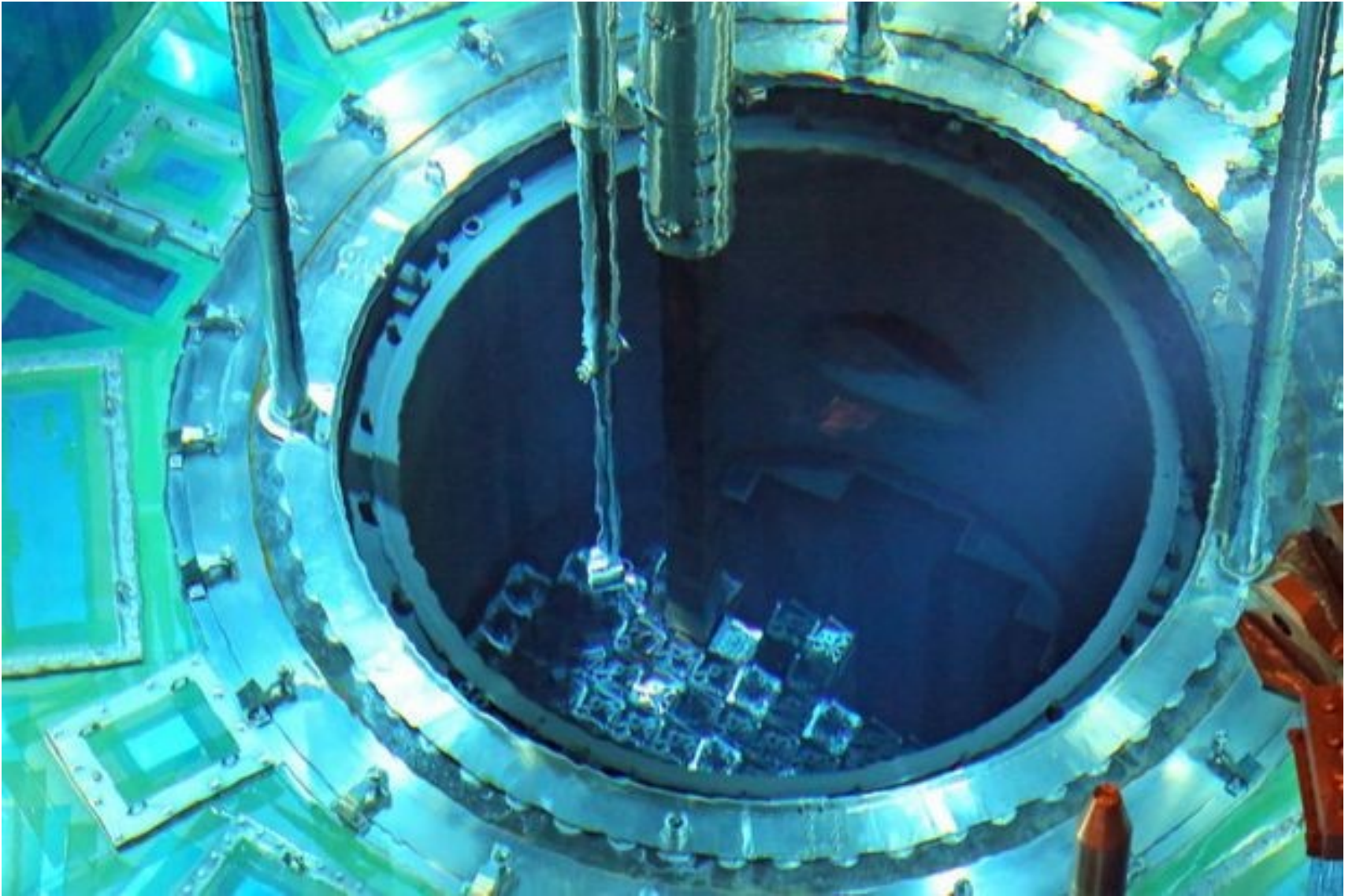
海水

ポンプ

給水ポンプ







燃料集合体

- 細くて長い棒（直径約1cm、長さ約4m）がいくつも束になっているのが、原子燃料集合体。
- 1つ1つの棒（燃料棒）の中に、ウランをしっかりとジルコニウム性の被覆管で密封し、原子炉の中で核分裂という特殊な反応をさせて出てくる熱を利用する。
- この燃料棒を格子状の固定枠で束ねたものが原子燃料集合体で、110万kW級では、60本束ねた燃料集合体が、使用されている。
- 原子炉全体では、764体の燃料集合体が装荷されているので、燃料棒本数は、45,840本となる。
- 各燃料集合体は、3年間発電に使用される。

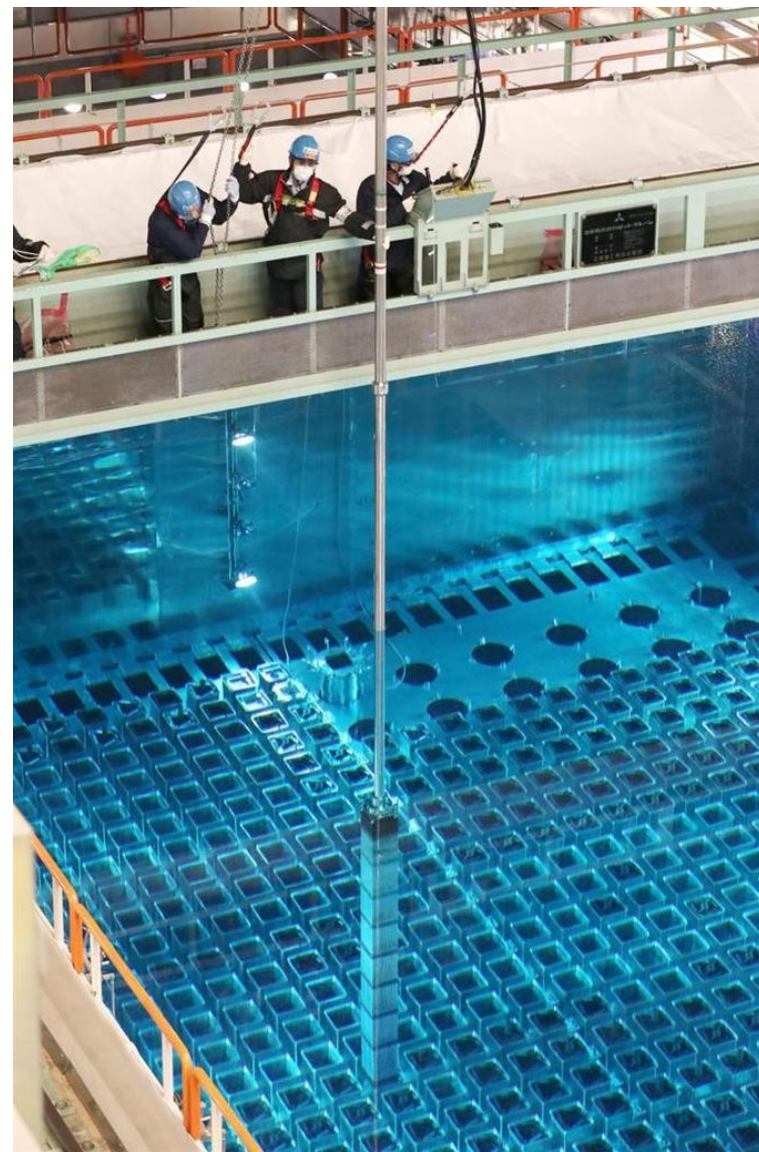
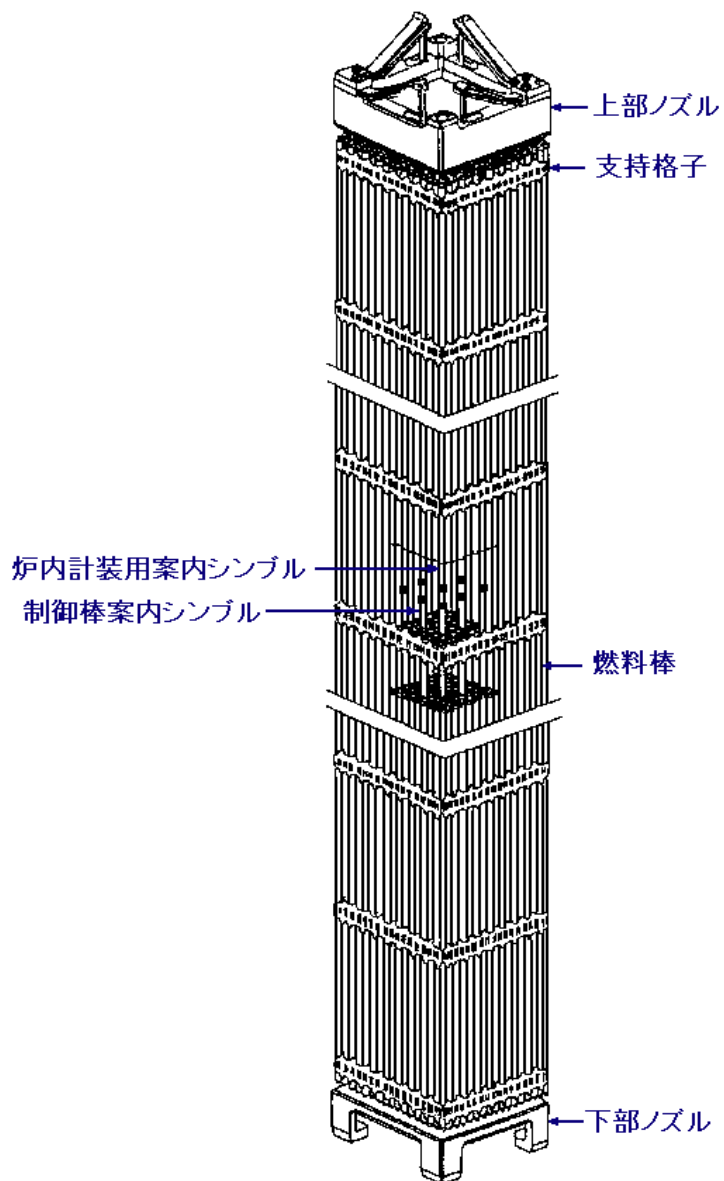


図1 PWR燃料集合体の構成図

[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)

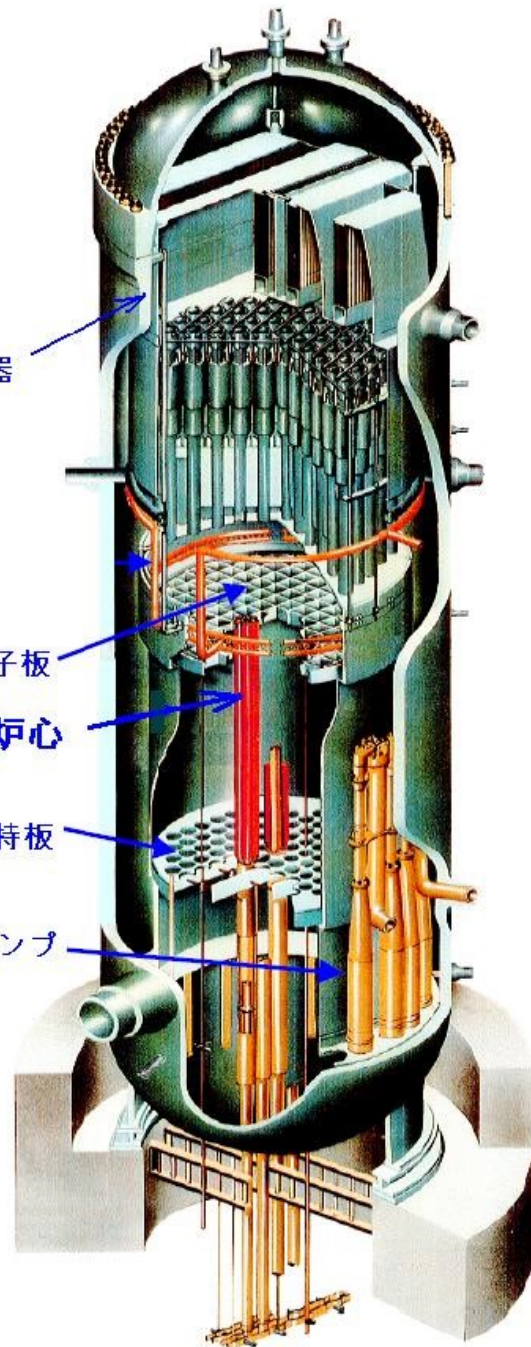
原子炉压力容器

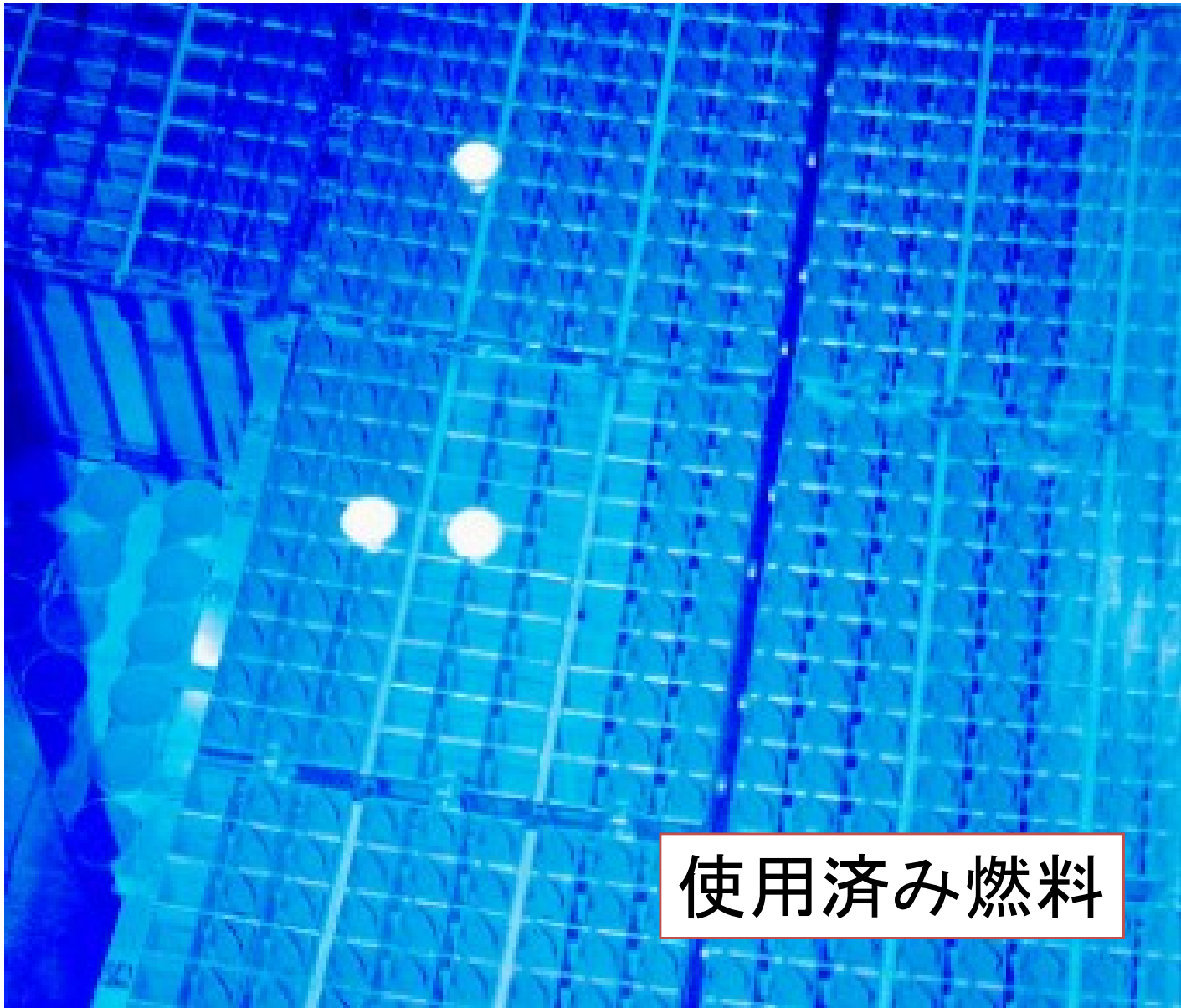
上部格子板

炉心

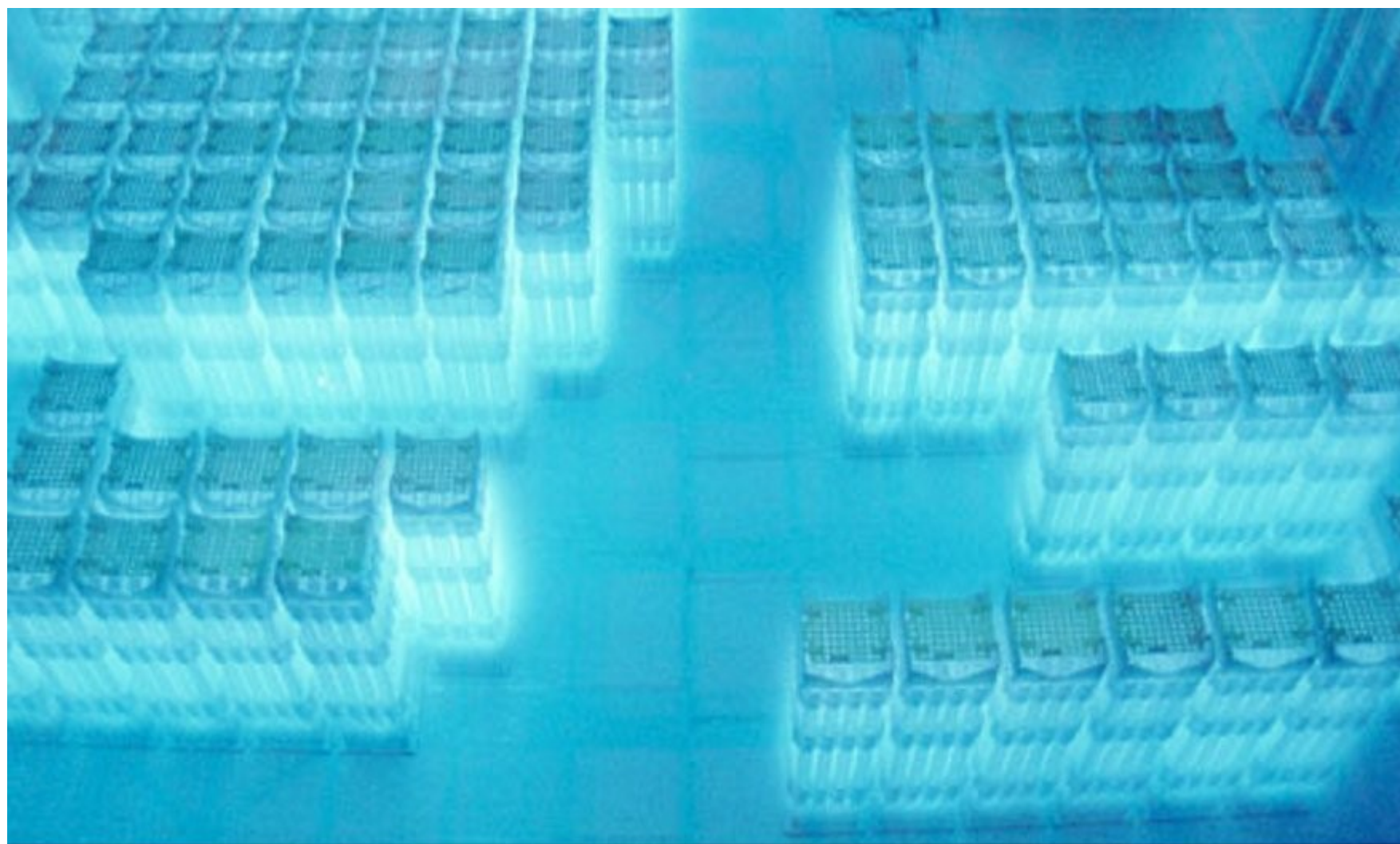
炉心支持板

ジェットポンプ





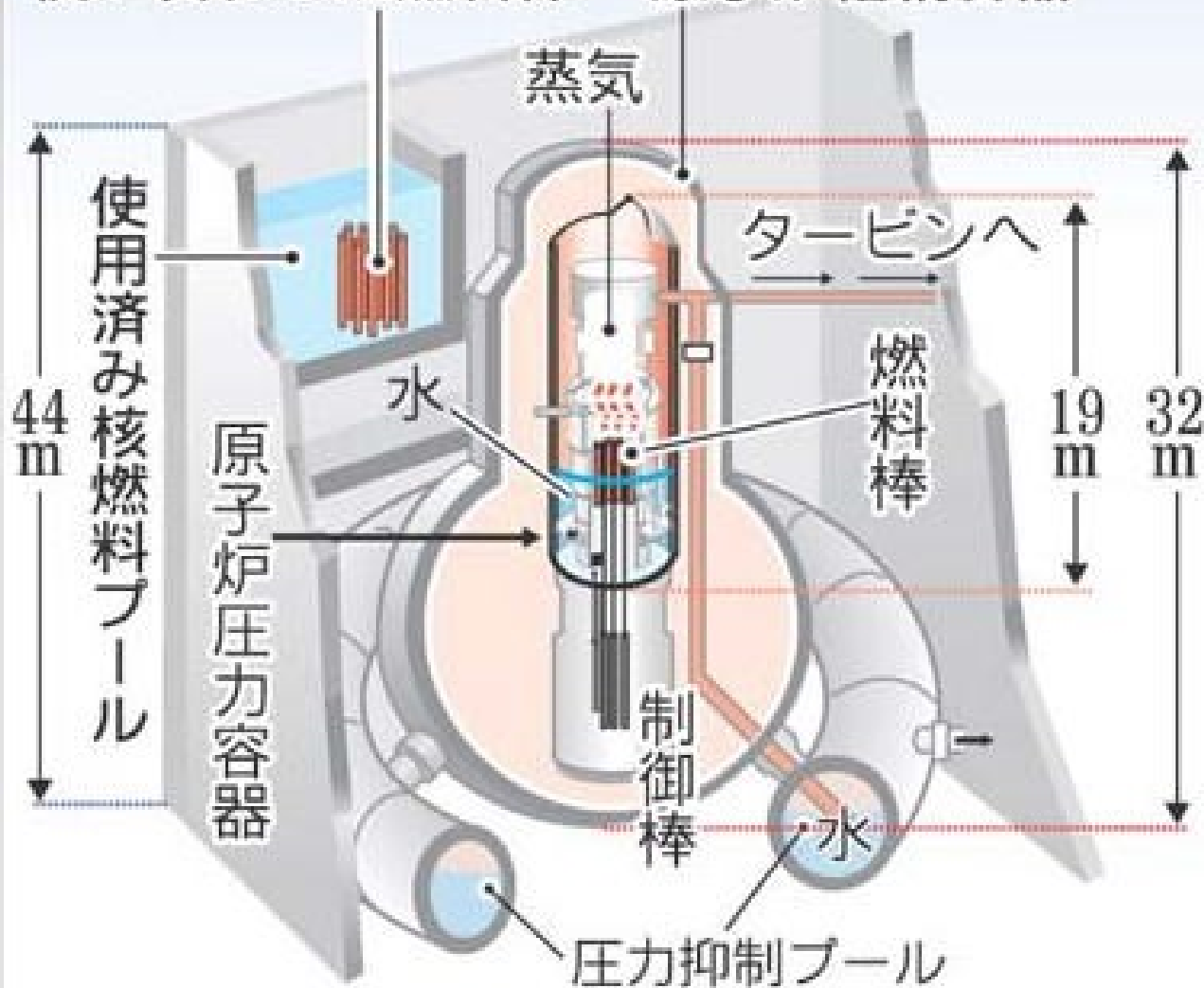
使用済み燃料



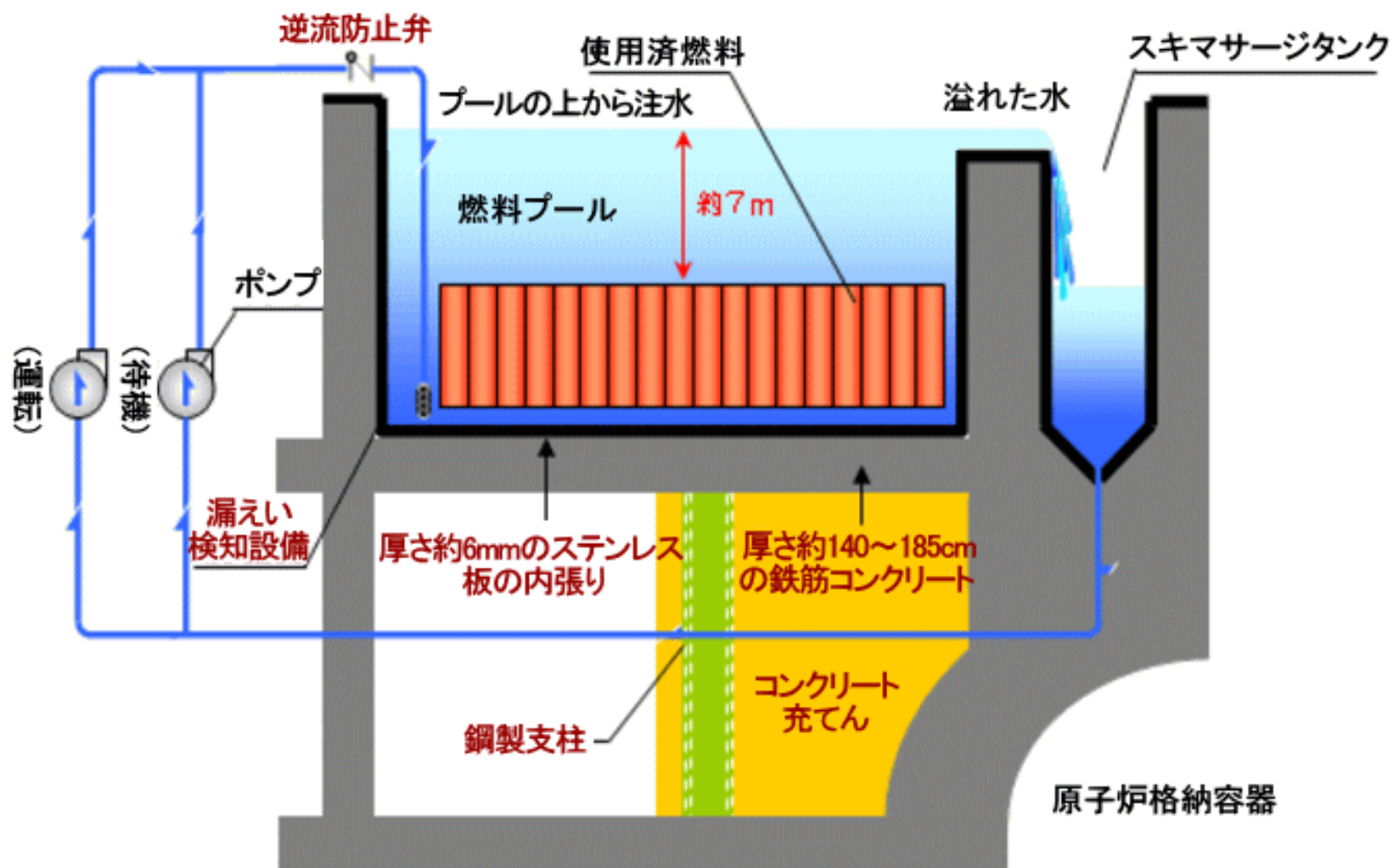
使用済み燃料プールの使用済み燃料ラック
チェレンコフ放射光

福島第1原発原子炉建屋の構造 (1号機の場合)

使い終わった燃料棒 原子炉格納容器



使用済燃料プールのイメージ



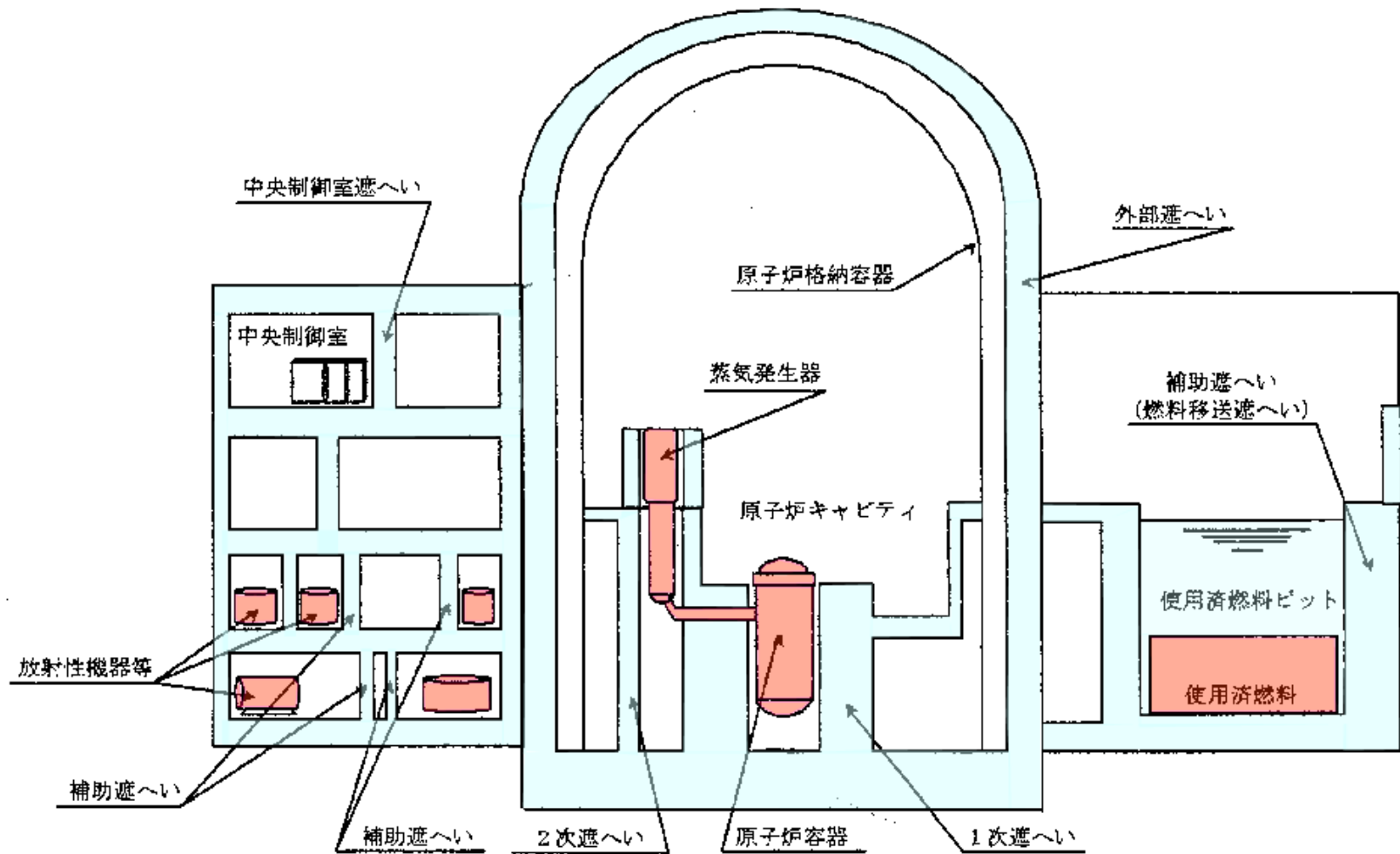


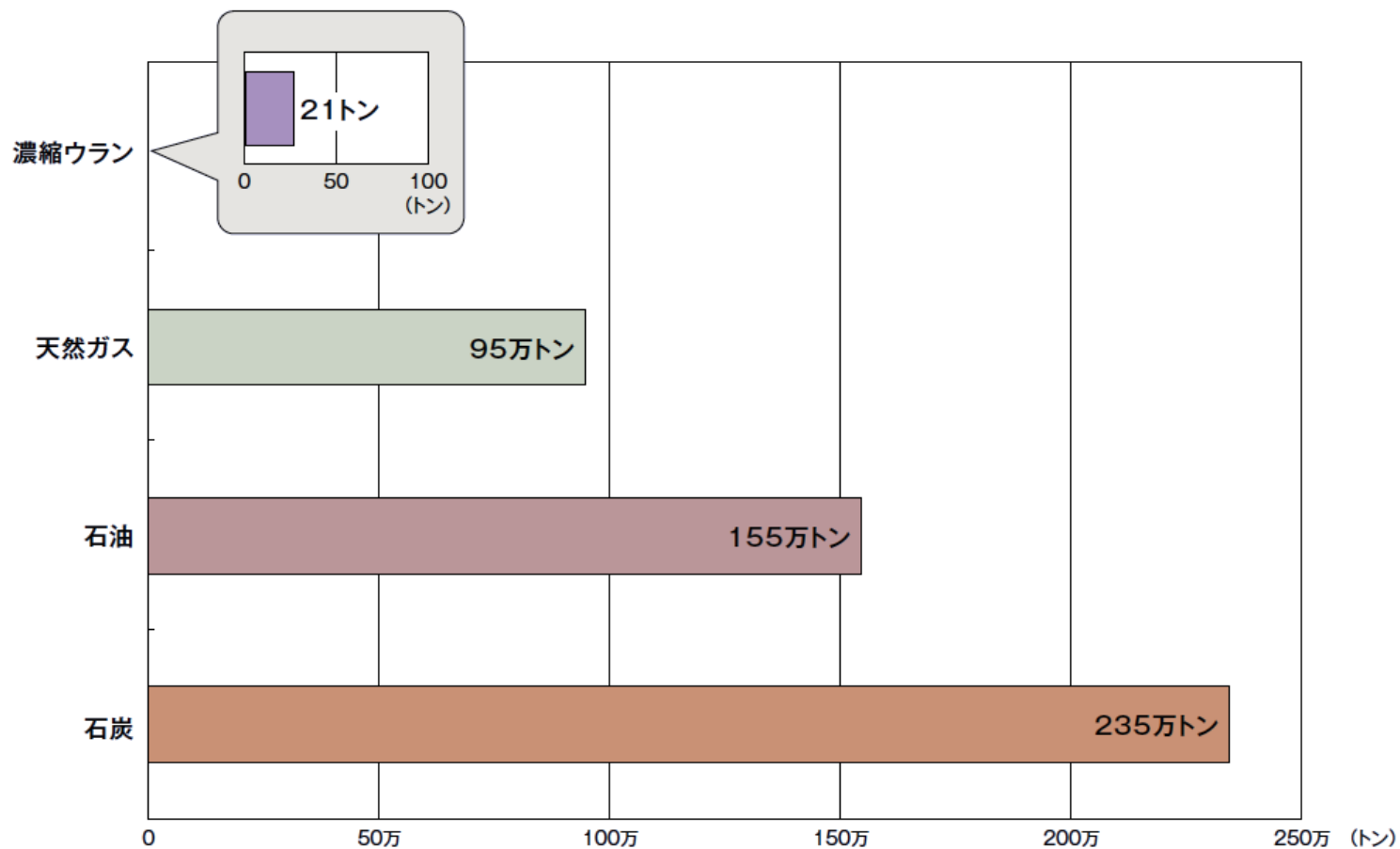
図1 PWRの遮へい設備の構成

[出典]原子力規格委員会(編):原子力発電所放射線遮へい設計規程JEAC4615-2008,
 (社)日本電気協会(平成20年8月31日)、p.11

リラッキング

- 玄海原発には1～4号機のプールで計3278体の燃料が保管できるが、すでに2075体が入っており、「4～5サイクル(1サイクルは13カ月)の運転で保管容量を超える状況」なのだ
- リラッキングを計画しているのは玄海3号機の燃料貯蔵プール。現在は36・5センチ間隔で並べられている燃料を28・2センチ間隔に並べ直し、プールの保管容量を1050体から2084体にまで増やすことを考えているという。

100万kWの発電所を1年間運転するために必要な燃料



石炭火力からの石炭灰発生量

- 100万kW規模の石炭火力発電所において、使用される石炭の量は、年間約200万トン(稼働率70%)である。
- これに対する石炭灰量は、年間約20～30万トン発生する(灰分は10～15%)。
- 従って、我が国全体の石炭火力からの石炭灰発生量は、現状(1992年度)で約400万トン、2000年時点で約800万トンと倍増すると想定される。

原発で出る使用済み燃料の量

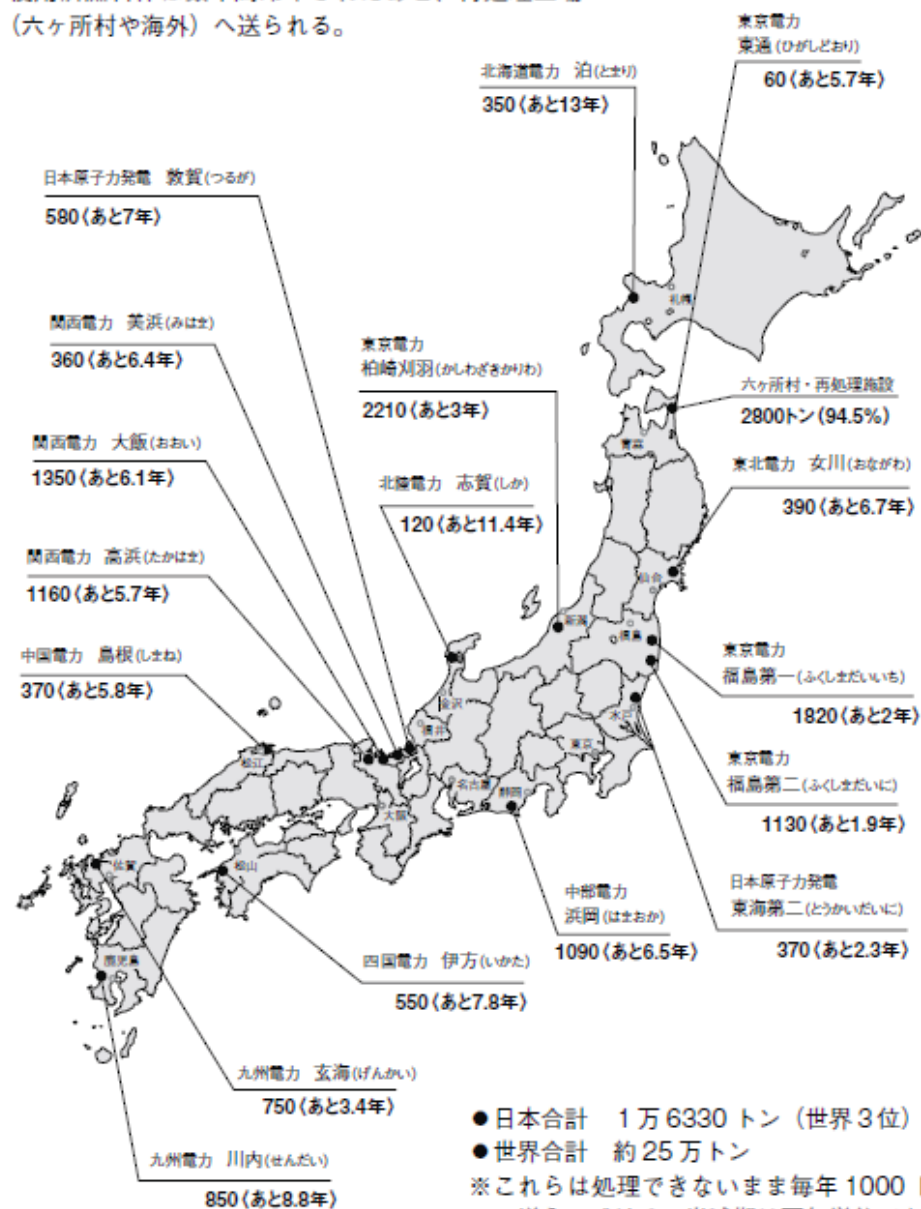
- 100万KWの原発で、一年間の燃料集合体の使用量は、1万5000体。
- 日本全体では、全原発の稼働で重さにすると、毎年約1,000トン
- これまでに溜まっているのは、1万6330トン

比較

100万kWの石炭火力発電所で
発生する灰の量は、年間200万トン

●たまりつづける使用済燃料棒地図

ウラン換算トン、〈 〉内はあと何年で満杯になるか。
 使用済燃料棒は数年間冷やされたあと、再処理工場
 (六ヶ所村や海外)へ送られる。



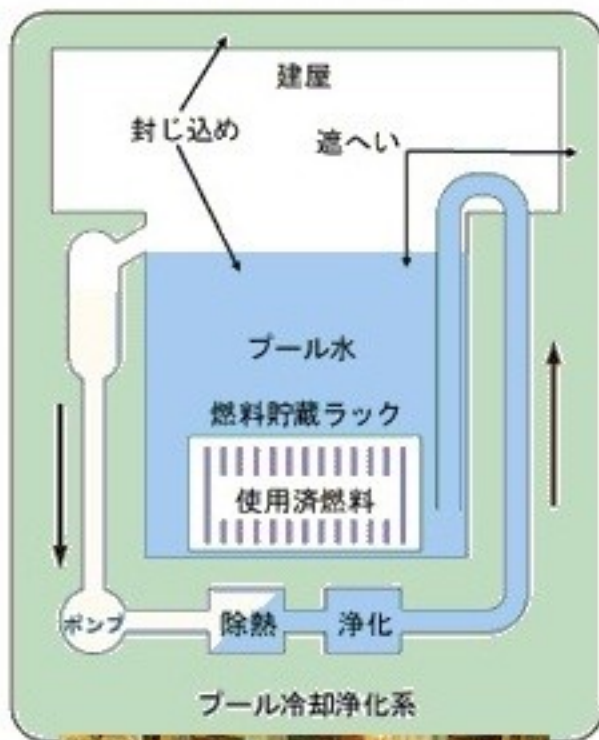
●日本合計 1万6330トン (世界3位)

●世界合計 約25万トン

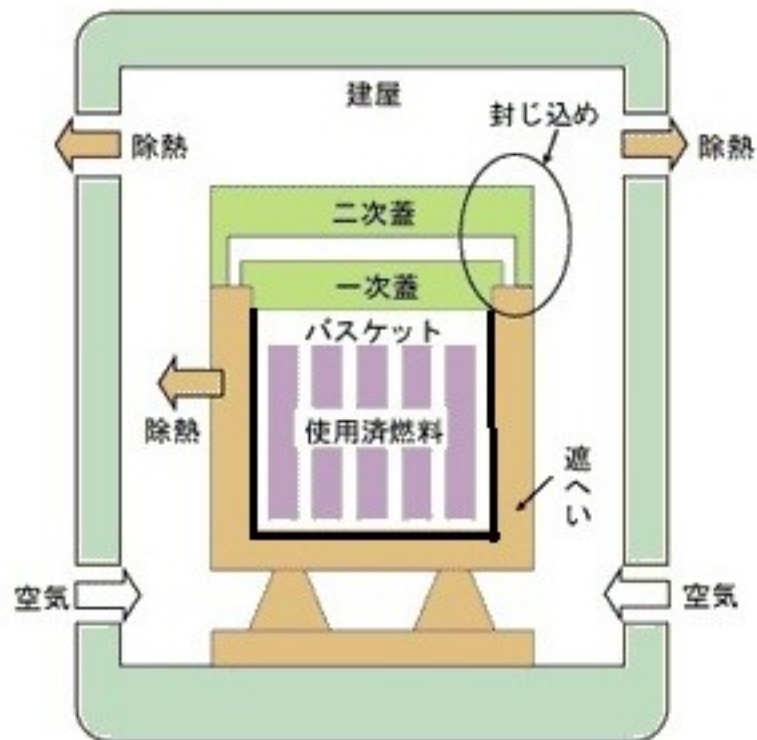
※これらは処理できないまま毎年1000トンずつ増えつづける。半減期は万年単位である。

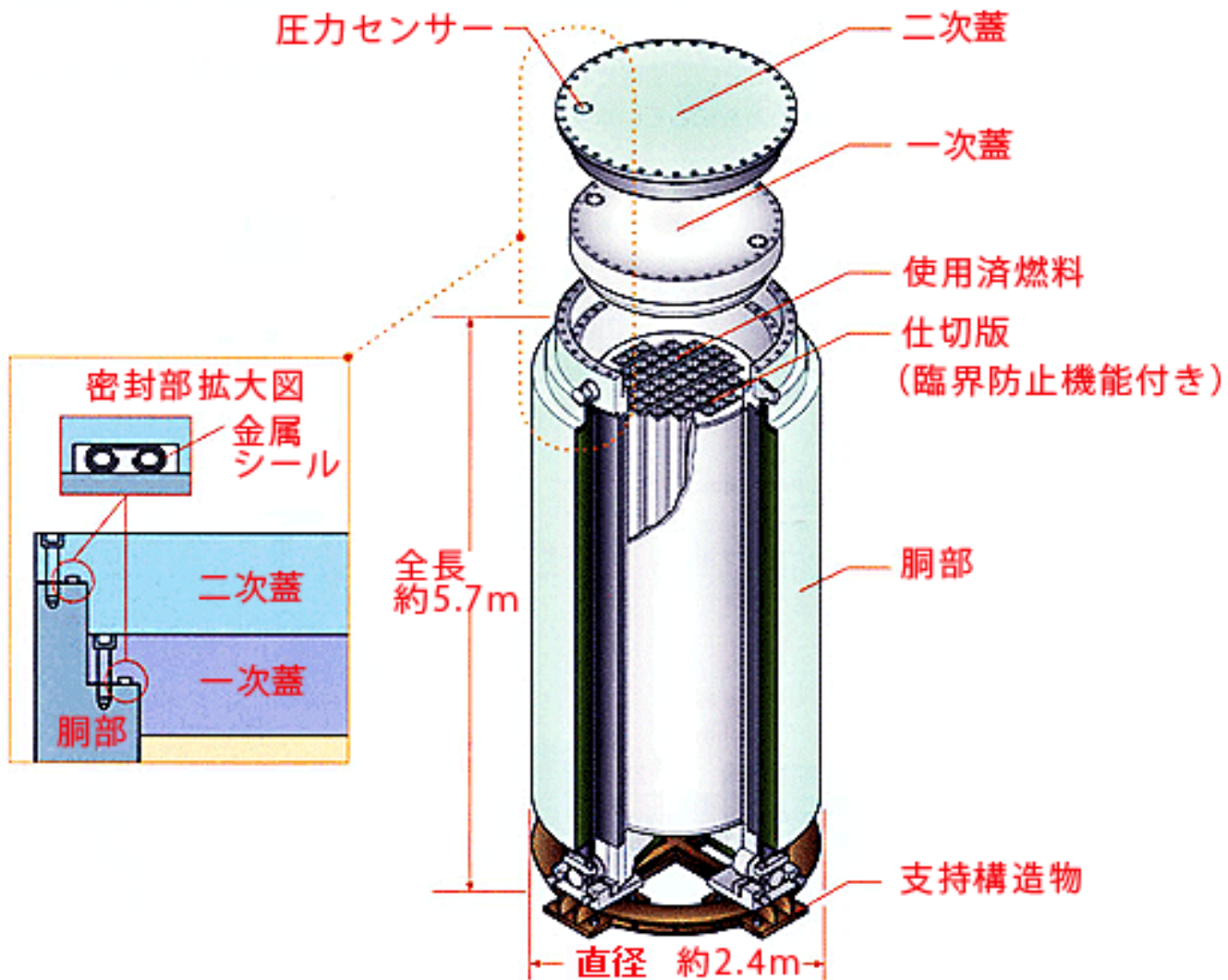
使用済燃料の中間貯蔵方式（例）

[湿式] プール貯蔵方式

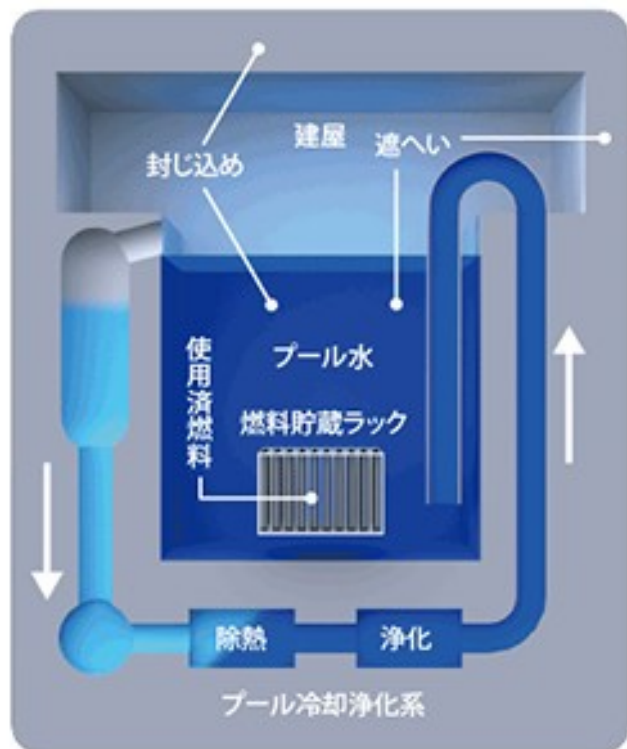


[乾式] 金属キャスク貯蔵方式



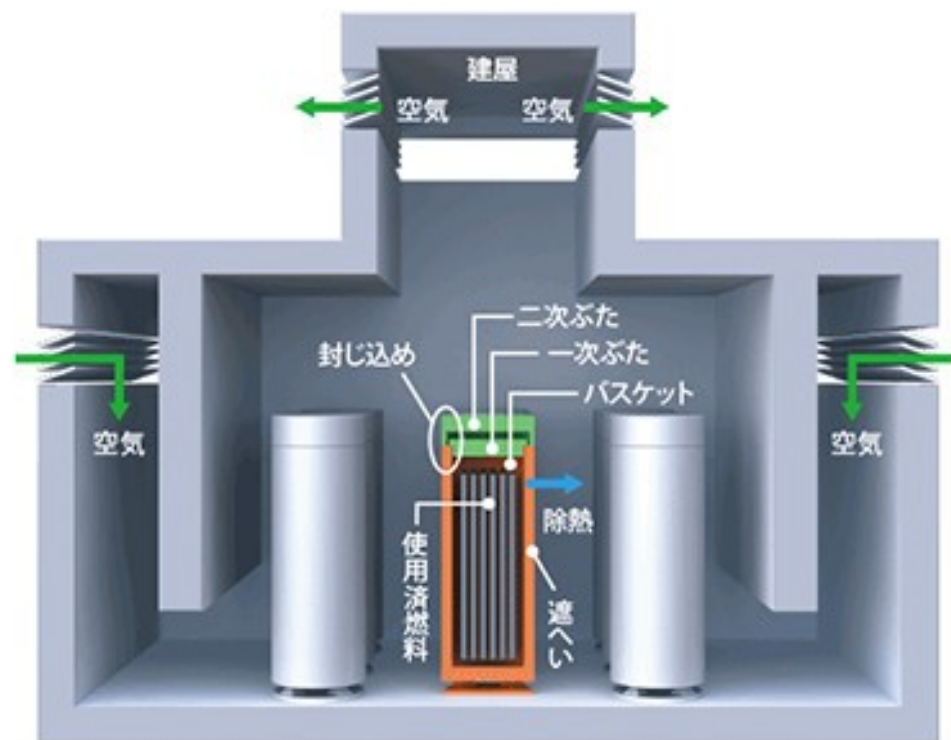


湿式貯蔵(使用済燃料プール)



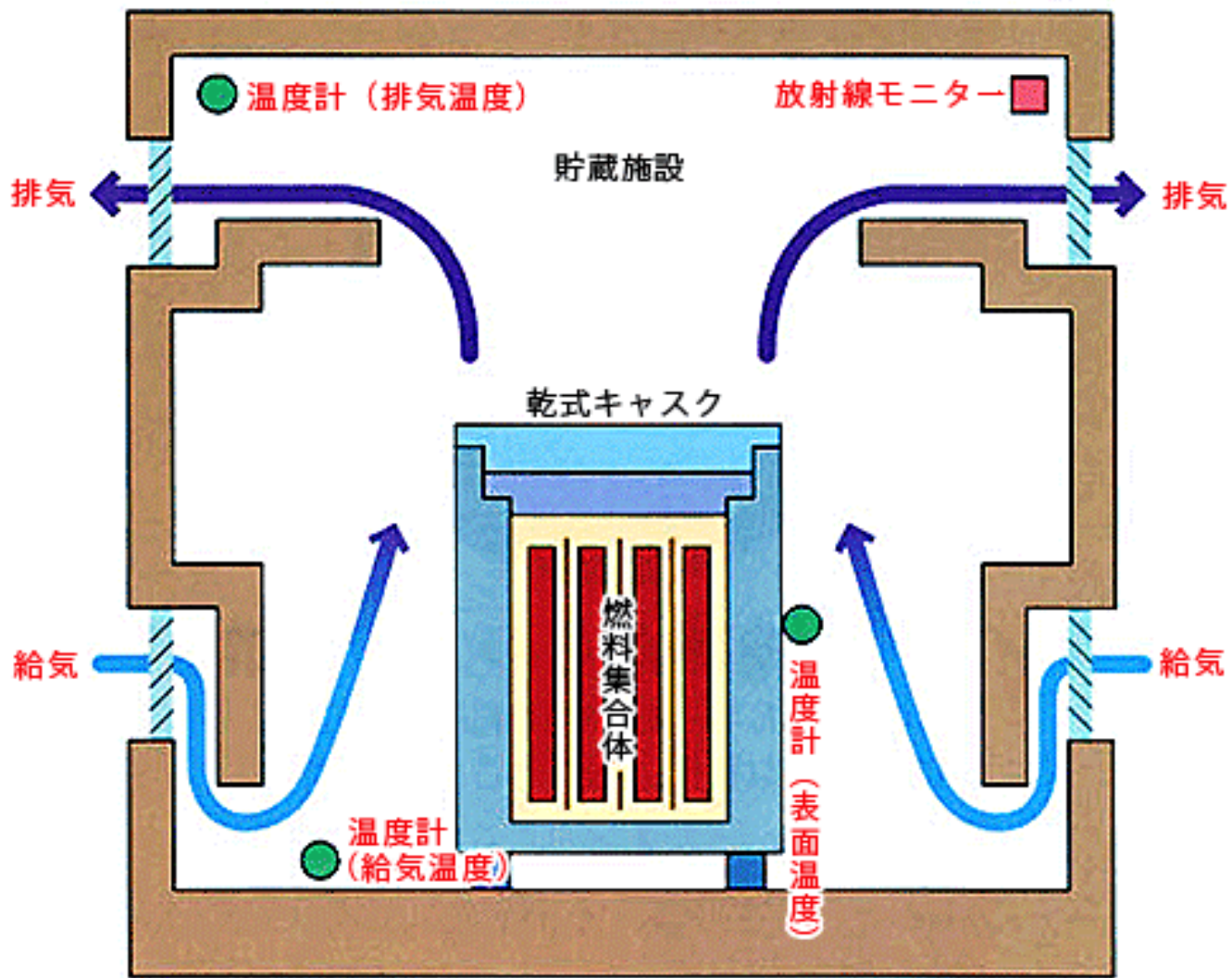
使用済燃料から出る放射線の遮へいを水とコンクリートで行い、熱を除去する水を循環させます。

乾式貯蔵(キャスク)



一定期間、使用済燃料プールで冷却されたものは、キャスクに入れて貯蔵できます。放射線の遮へいや除熱はキャスクで行います。

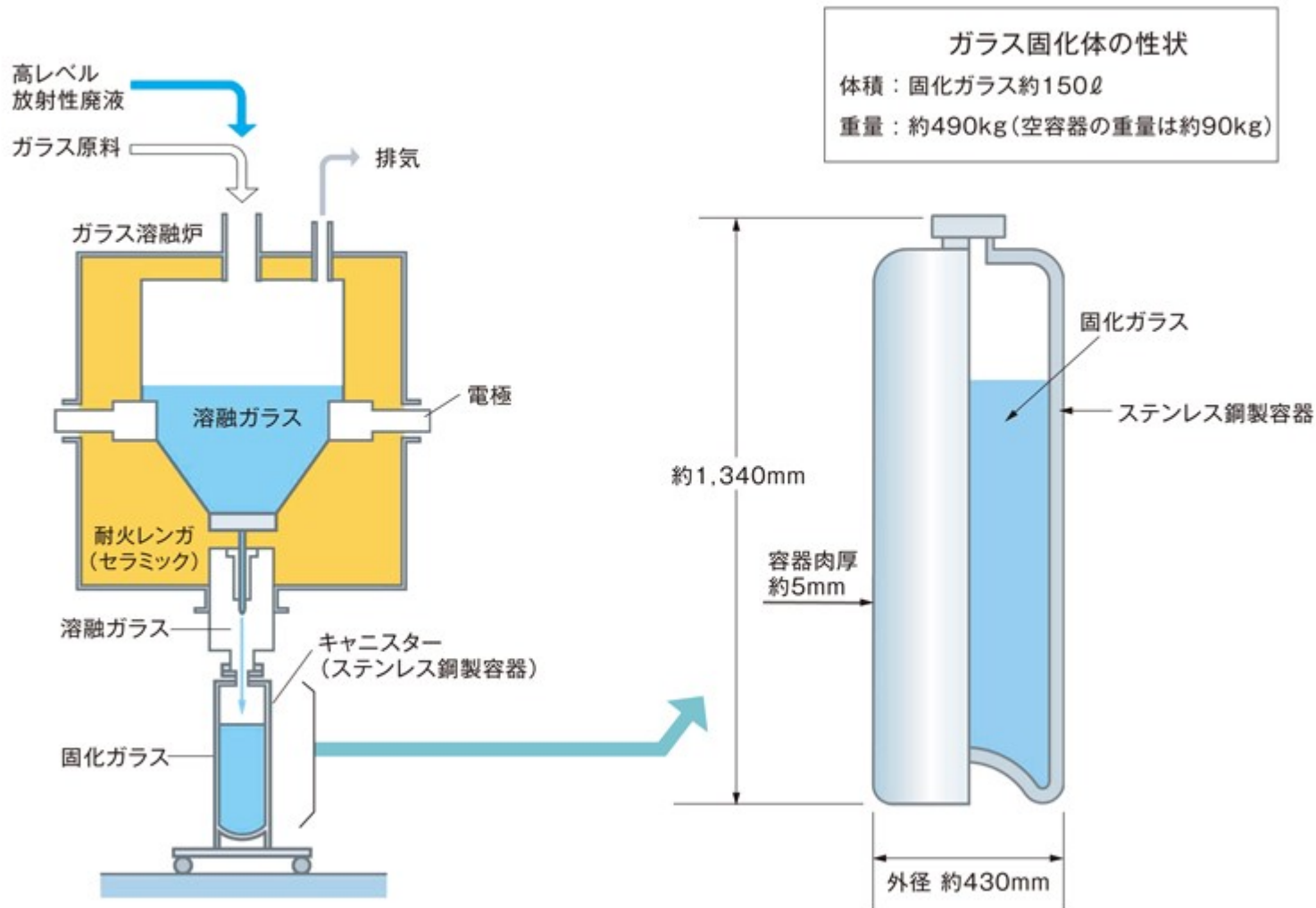
<https://youtu.be/9659rOfHY20>



強い放射能をもった廃棄物

- 使用済み燃料を切断、硝酸に溶かす。
- まだ使えるウラン燃料と、プルトニウムを分離する。
- 残るのは、強い放射能を持つ核のゴミ(液体)。
- 容積は少ない。
- 放射性物質が散らばらないように、ガラスに混ぜて固める
- これがガラス固化体

ガラス固化体ができるまで

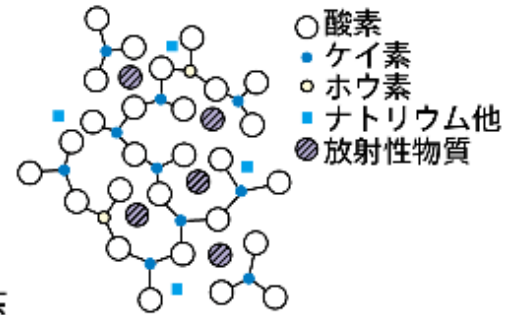


ガラスの性質

ガラス固化体



色ガラスの管玉 割れた色ガラスの管玉



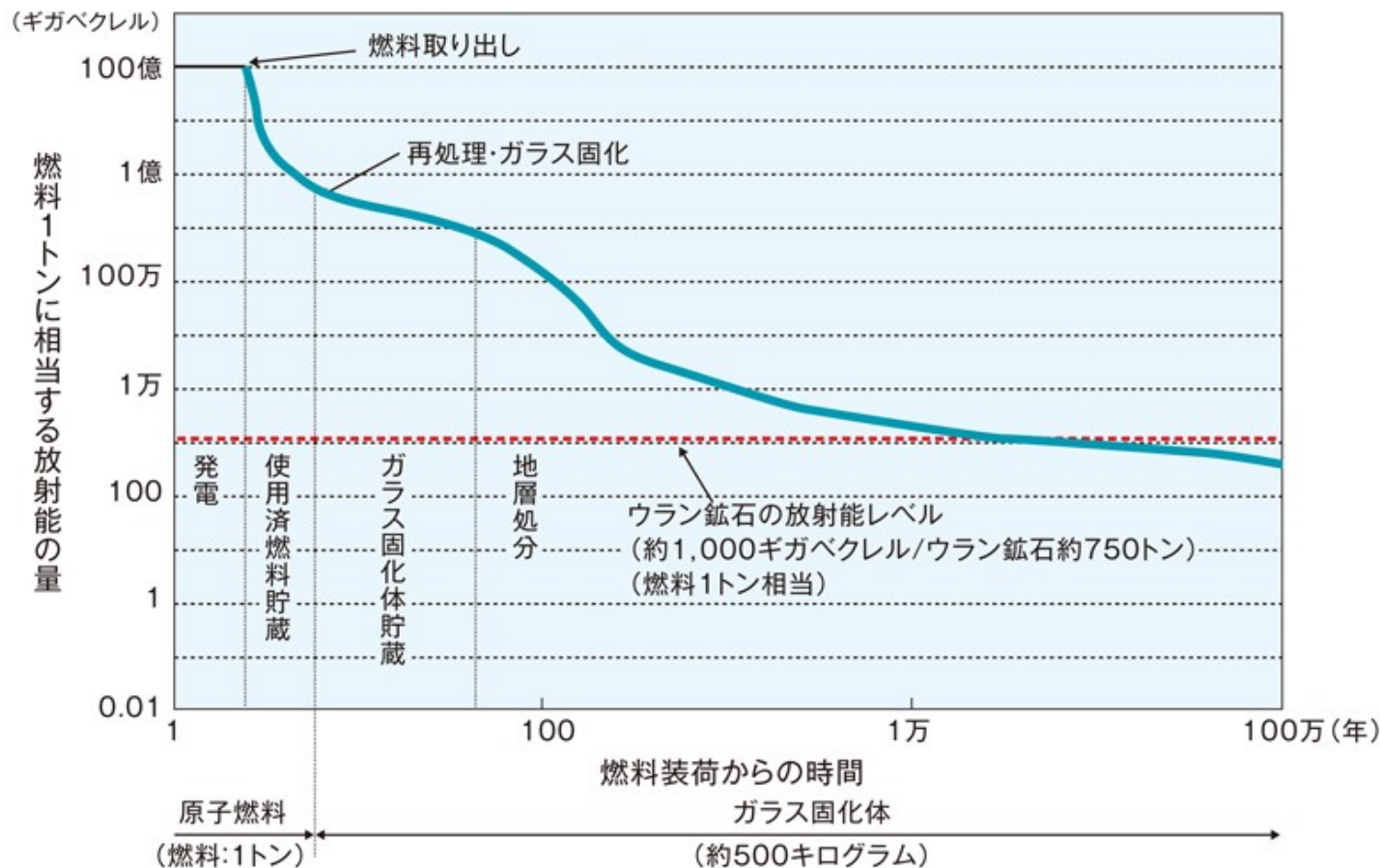
ガラス固化体が全て溶けるまで**7万年以上かかる**と考えられています。

発掘された古代エジプト時代のガラス工芸品



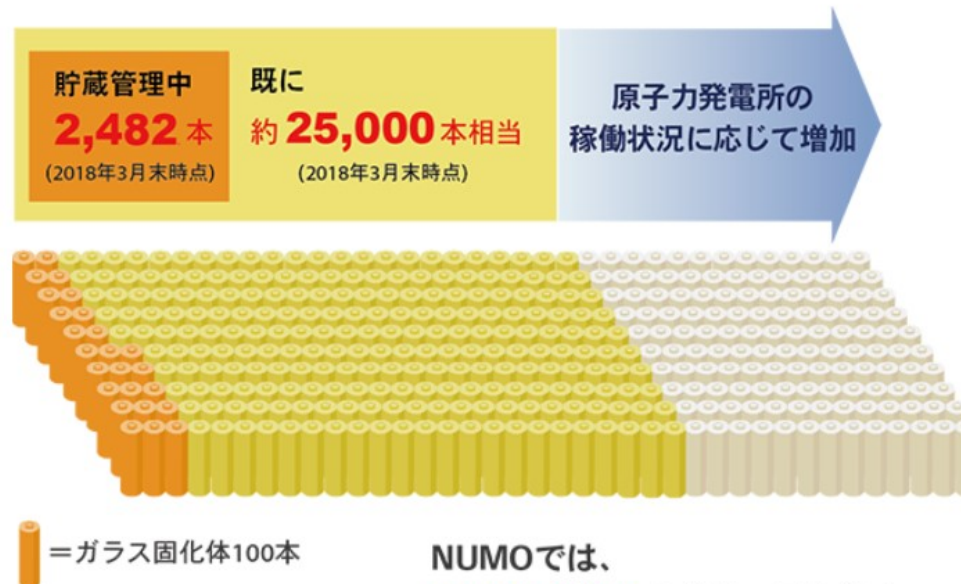
B.C.2900年頃～B.C.300年頃に製造された
ガラス工芸品が色鮮やかなまま発掘された例
(写真提供：PPS通信社)

高レベル放射性廃棄物の放射能の減衰



ガラス固化体の数

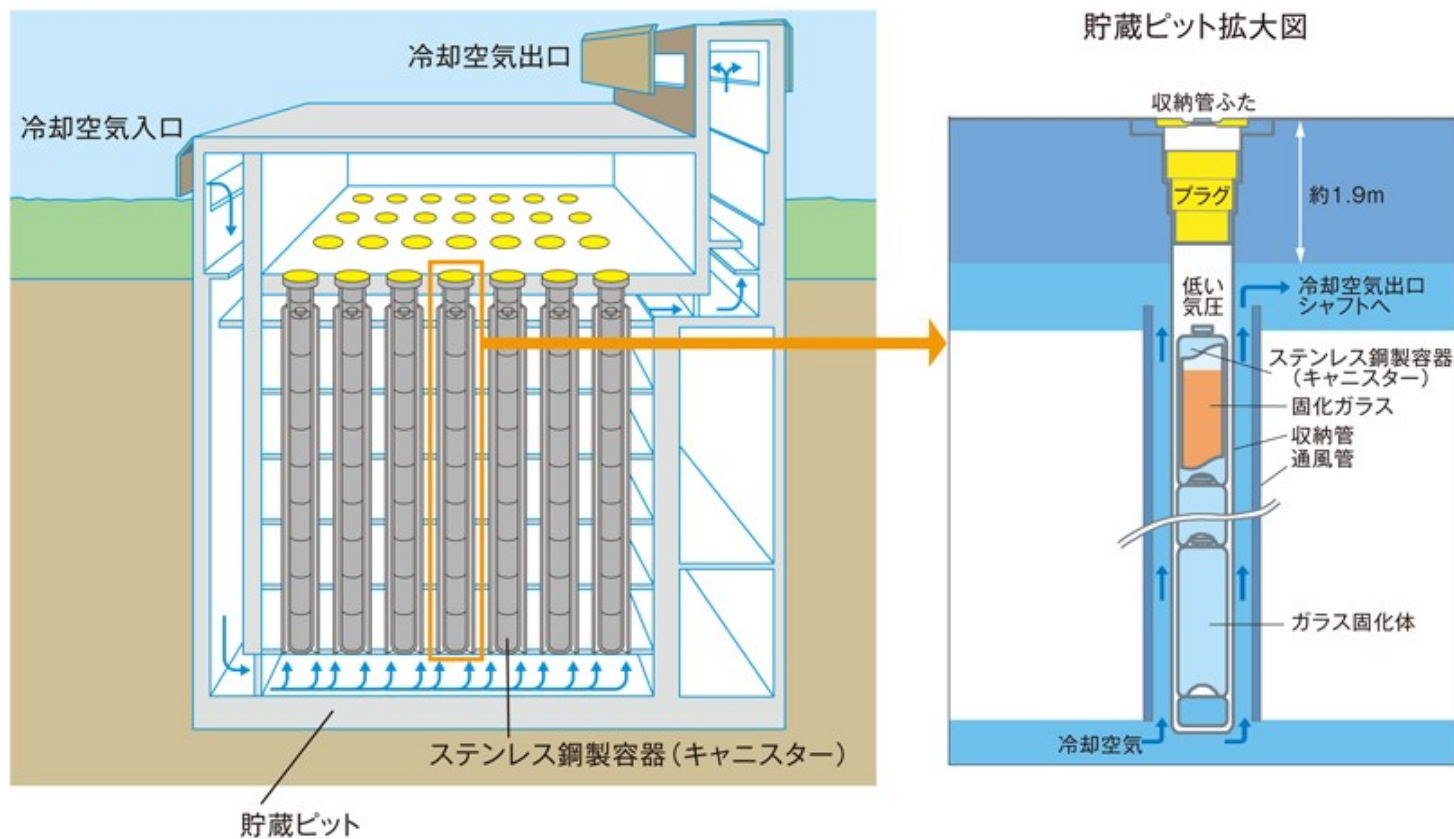
国内の原子力発電で使い終わった使用済燃料を再処理した後に、高レベル放射性廃棄物（ガラス固化体）が残りまの再処理は、国内や海外（イギリス、フランス）の工場で行われており、これまでに2,482本のガラス固化体が存また、これまで原子力発電で使われた燃料を全て再処理し、ガラス固化体にしたと仮定すると、その量は、すでになっているものとの合計で、約25,000本になります（2018年3月末時点）。



NUMOでは、**40,000本以上**のガラス固化体を処分できる施設を計画中です。

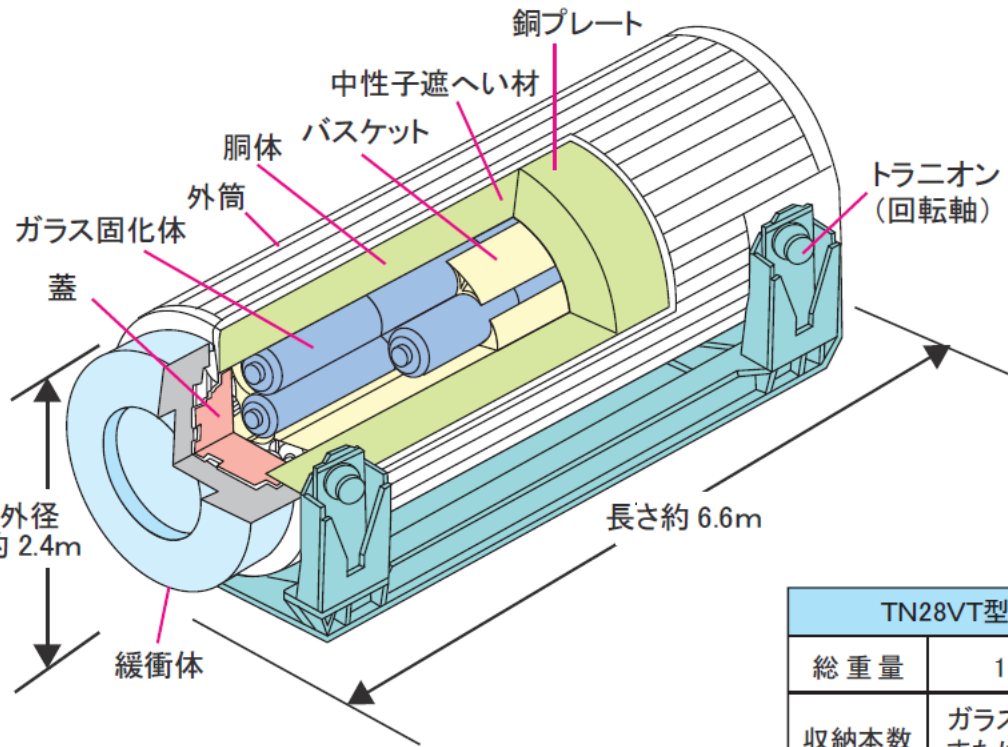
次の世代に負担を残さないためにも、原子力発電による電気を利用してきた私たちの世代で、**できるだけ早く処分**

高レベル放射性廃棄物（ガラス固化体）の貯蔵概念図



実績があります。

▼ ガラス固化体の輸送容器 (文献1を編集)

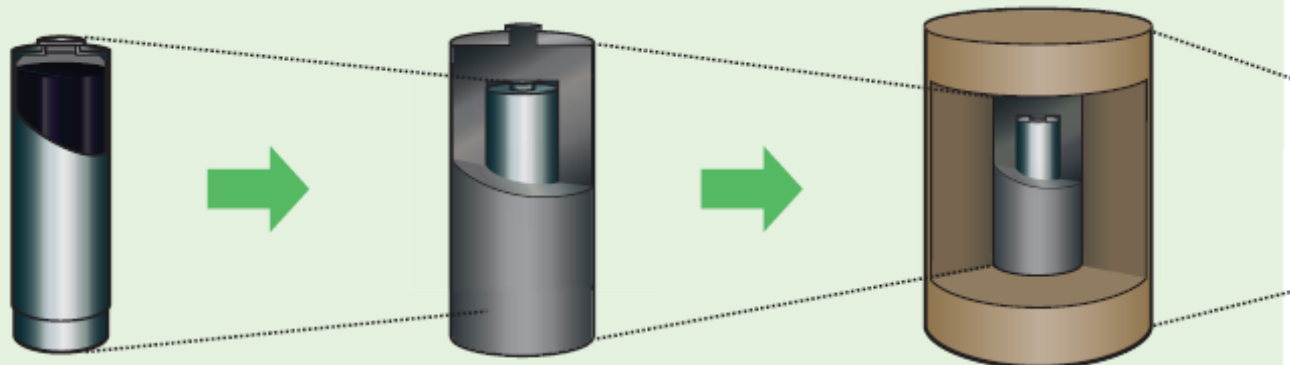


輸送容器は、放射線を遮へいする能力に加え、輸送中に事故(衝突、火災、沈没等)が発生しても放射性物質が漏れ出ないよう国が定めた基準に基づいて造られています。したがって、仮に津波の影響を受けたとしても、直ちに放射性物質が漏れ出ることはありません。

TN28VT型輸送容器	
総重量	113.5トン以下
収納本数	ガラス固化体 28本以下 または 20本以下



高レベル放射性廃棄物の人工バリア



ガラス固化体

放射性物質をガラスの分子の網目構造に取り込み、さらにステンレス容器に密封しています。ガラス自体が水に非常に溶けにくいので、地下水と接触しても放射性物質が溶けるには、非常に長い時間がかかります。

仕様例

材質：放射性物質とガラス原料（ホウケイ酸ガラス）とを均一化して固化したもの

寸法：高さ約130cm

直径約40cm

重量：約500kg

オーバーパック

現在、鉄（炭素鋼）製容器を考えています。周囲の地下水が酸素をほとんど含まない還元性の環境であるため、腐食の進行が遅く、少なくともガラス固化体の放射能が高く、発熱量が大きい初期の間、地下水とガラス固化体の接触を防ぎ、放射性物質を閉じ込めます。

仕様例

材質：鉄（炭素鋼）

寸法：高さ約170cm

直径約80cm

厚さ約20cm

重量：約6t

緩衝材

ベントナイトという天然の粘土を用います。ベントナイトは水を吸うと膨らんで粒子の隙間などを埋め、水を通しにくい性質を持ちます。また、ベントナイトは物質を吸着する性質があります。したがって地下水がガラス固化体に接触するのを遅らせ、放射性物質が地下水に溶け出しても、その移動を遅らせることができます。

仕様例

材質：ベントナイト70%、ケイ砂30%

寸法：高さ約310cm

外径約220cm

内径約80cm

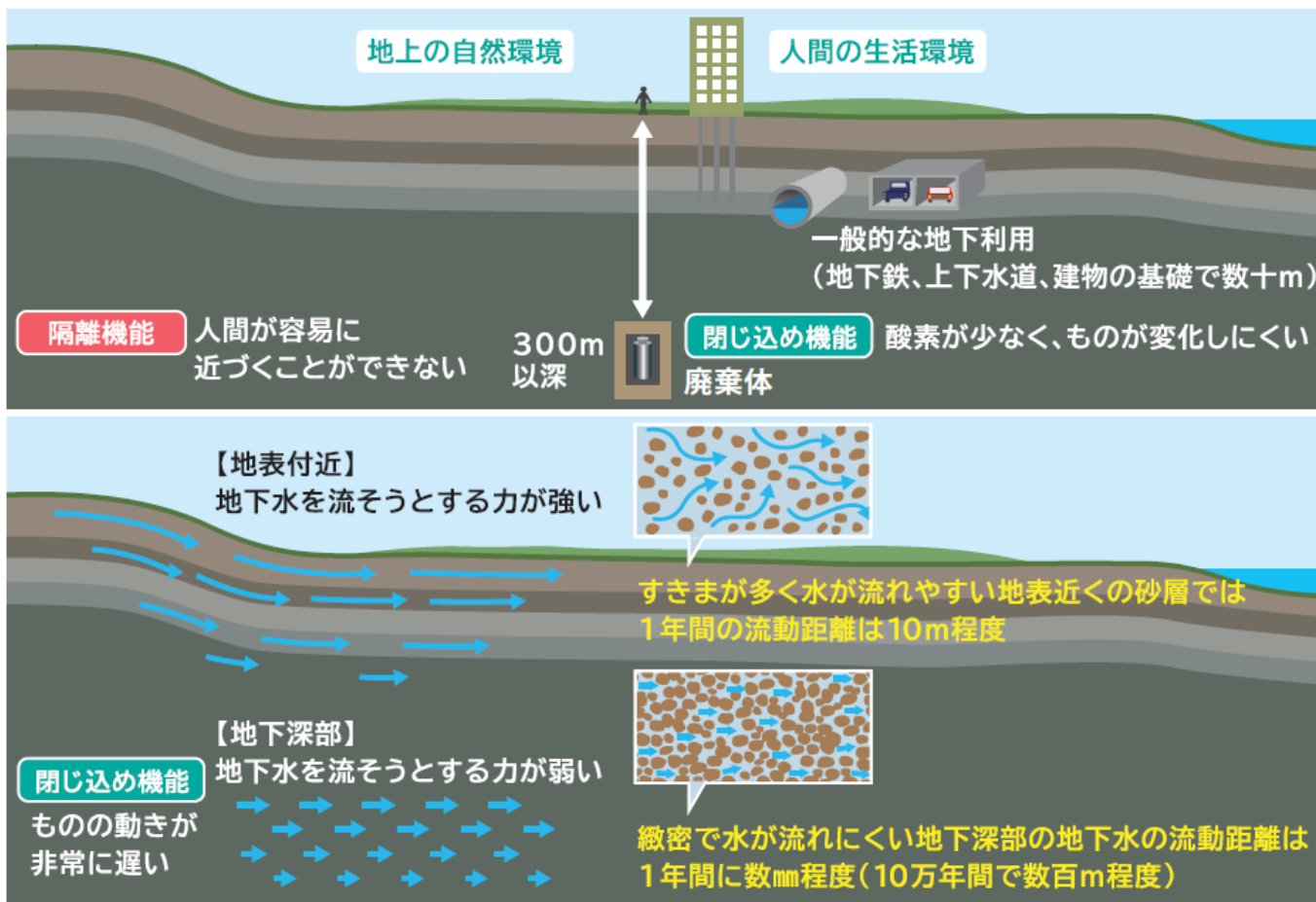
厚さ約70cm

重量：約17.5t

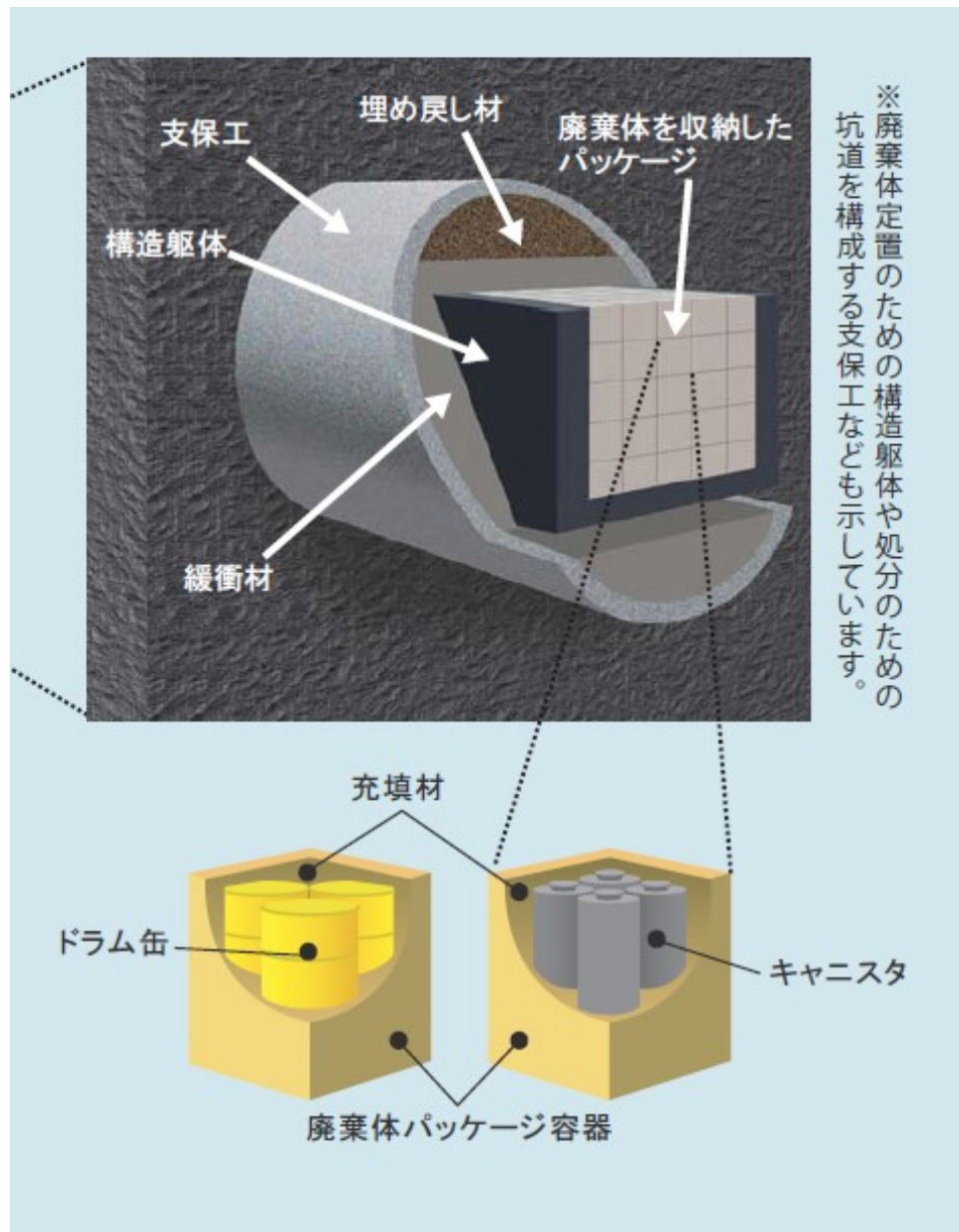
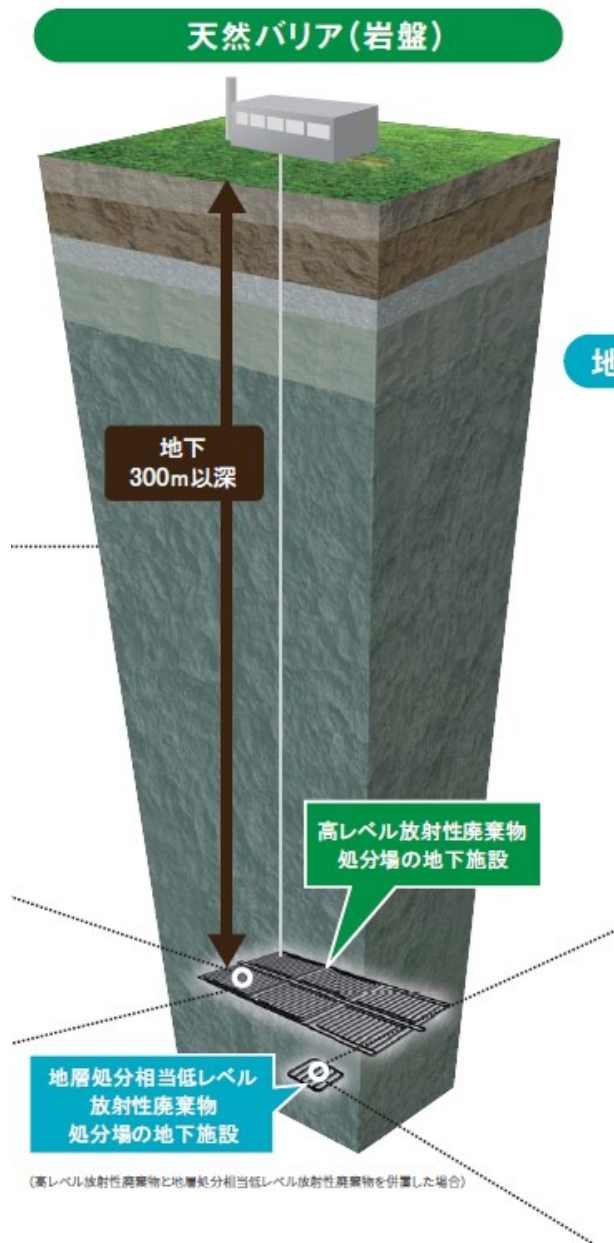


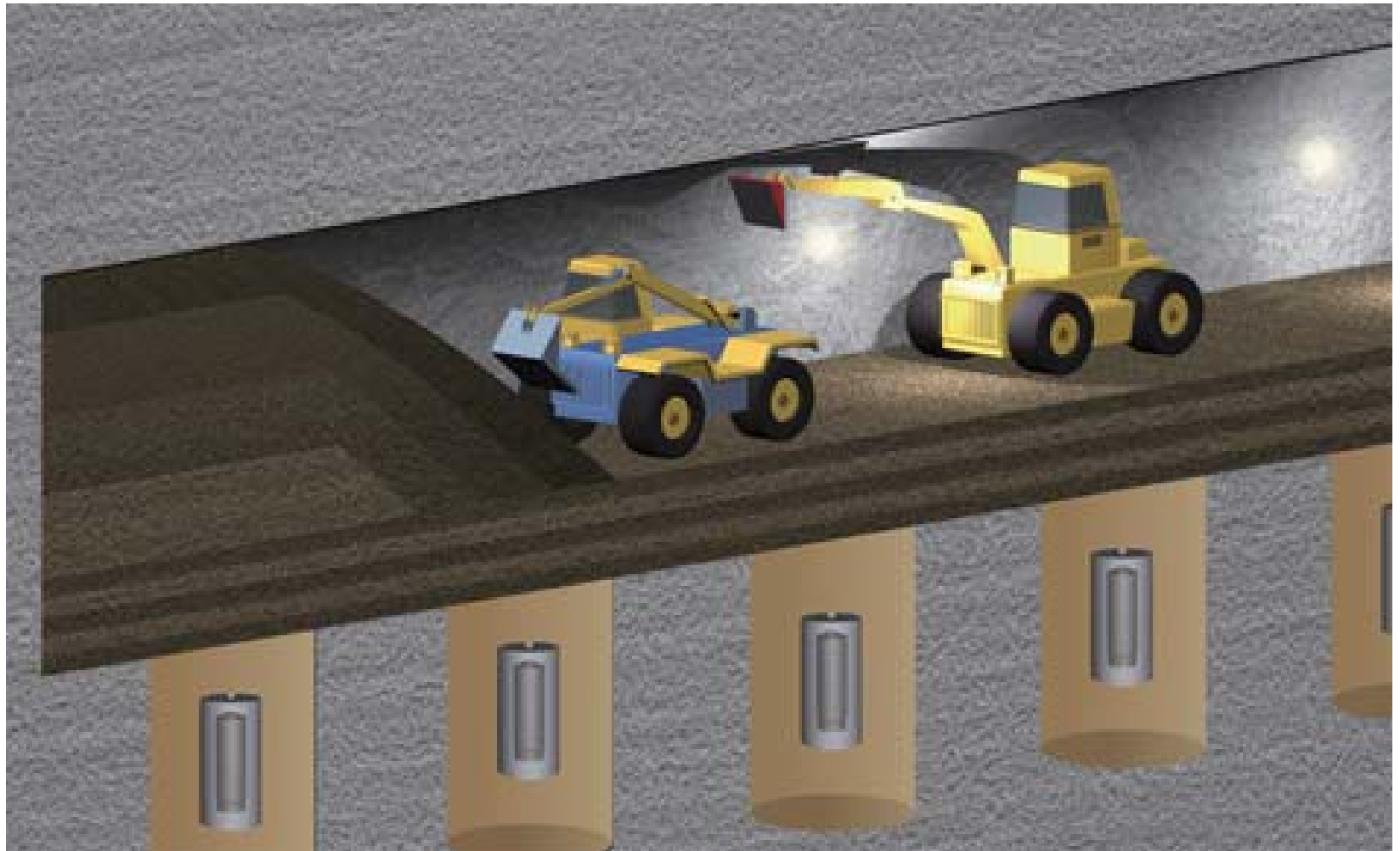


このような地下水は、還元性で金属を腐食させにくく、ものを溶かしにくいという特徴があります。

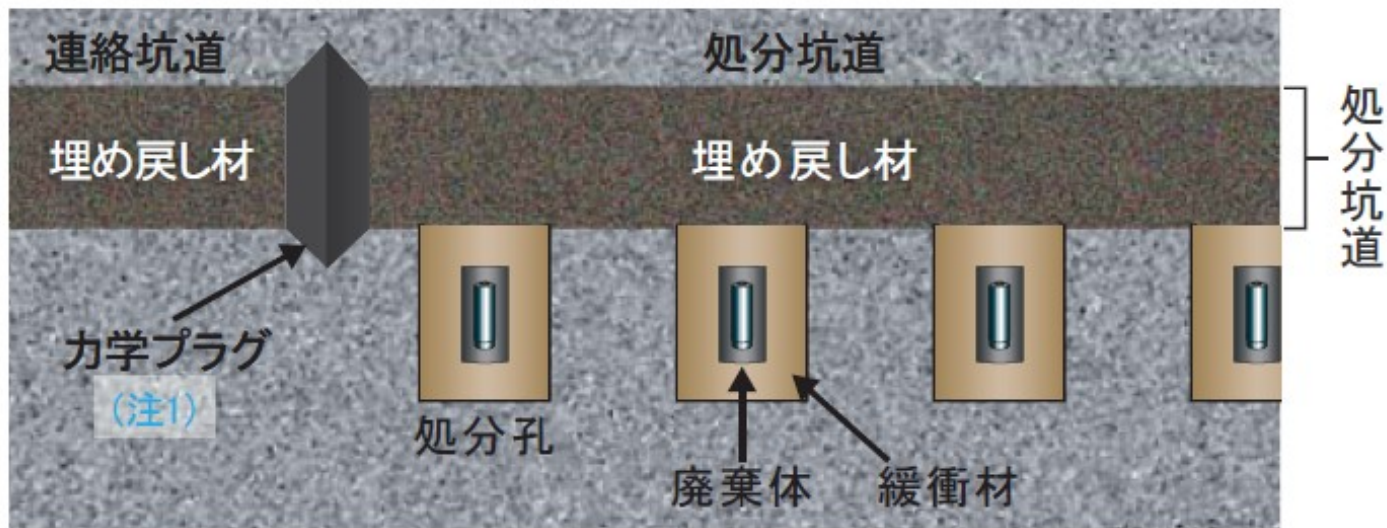


▲ 地下深部の特徴(隔離機能と閉じ込め機能)

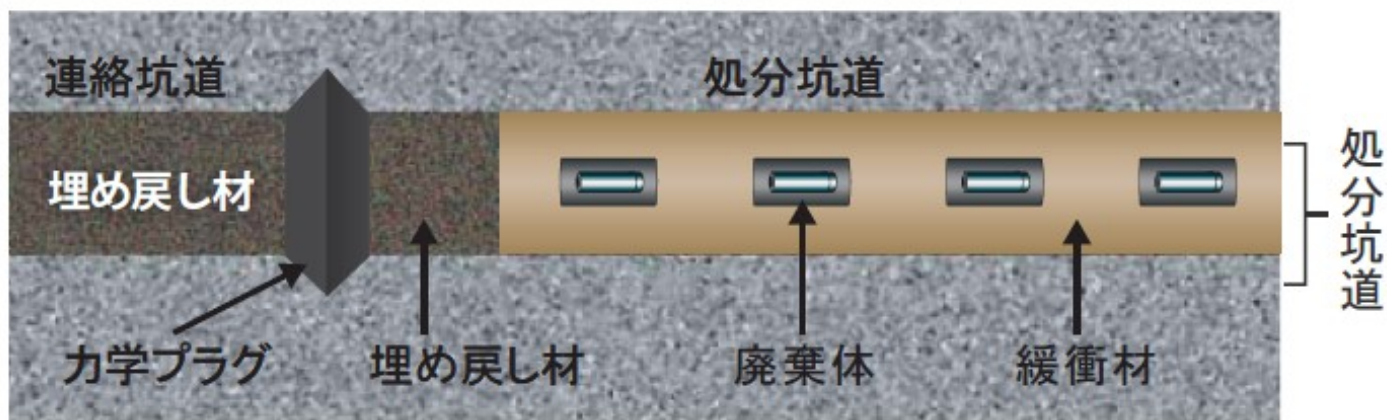




▼高レベル放射性廃棄物の廃棄体・人工バリアを埋設する
処分坑道や処分孔の例



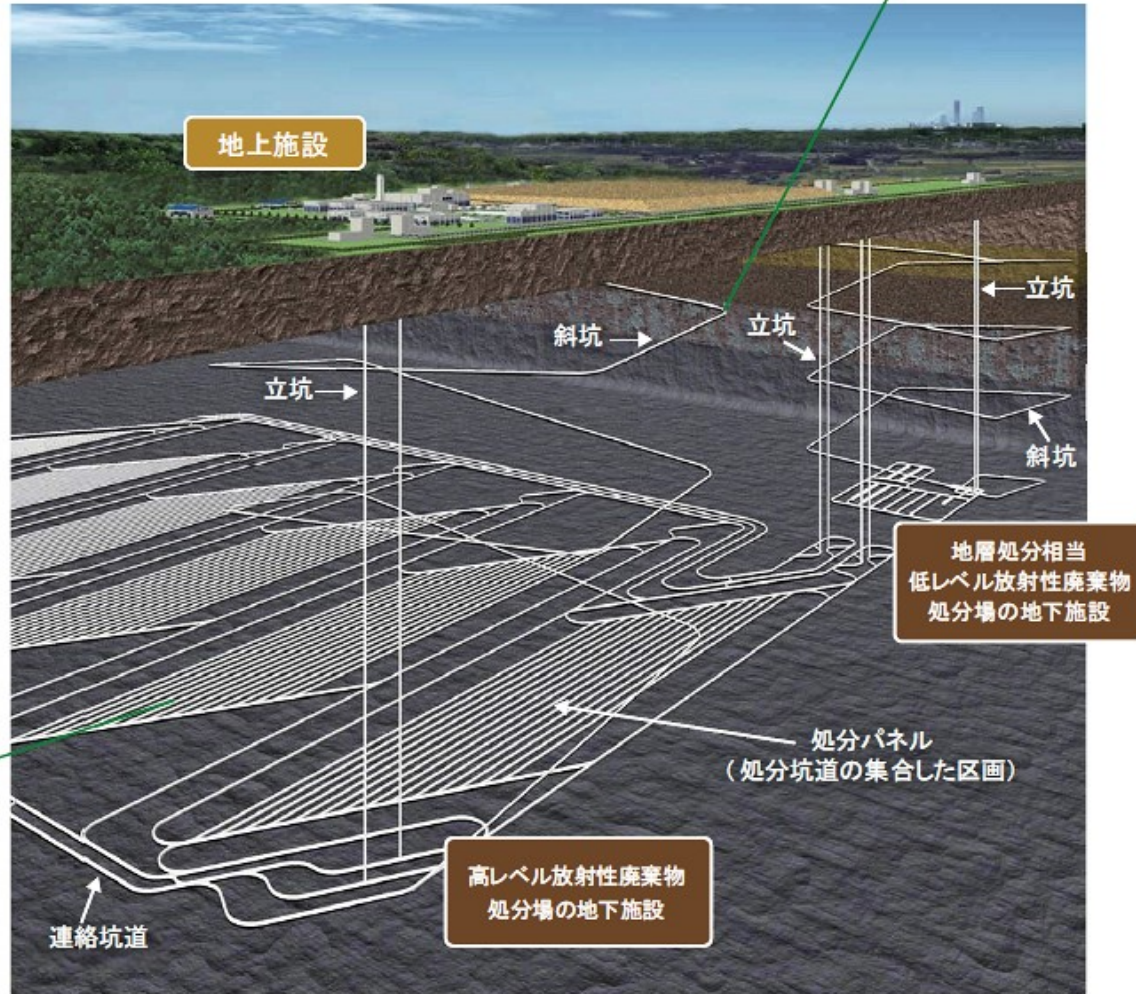
廃棄体を処分孔に縦置きする方式の場合



廃棄体を処分坑道に横置きする方式の場合

廃棄物の搬送や定置のための坑道や処分孔などを配置します。

廃棄体埋設後の安全確保の観点に加えて、廃棄体などの搬送や定置作業の観点から、処分坑道、アクセス坑道（立坑や斜坑）、連絡坑道などを配置します。地下施設のレイアウトは、地質環境の特徴に応じて、柔軟に設計します。



▲ 地下施設のイメージ

(高レベル放射性廃棄物と地層処分相当低レベル放射性廃棄物を併置した場合)



▼ 地上施設のイメージ



正門から見たイメージ



管理棟内のイメージ

2018年6月20日
易しい科学の話

原発から出る核のごみとは

おわり