

六ヶ所再処理工場の概要



2022年8月23日



日本原燃株式会社

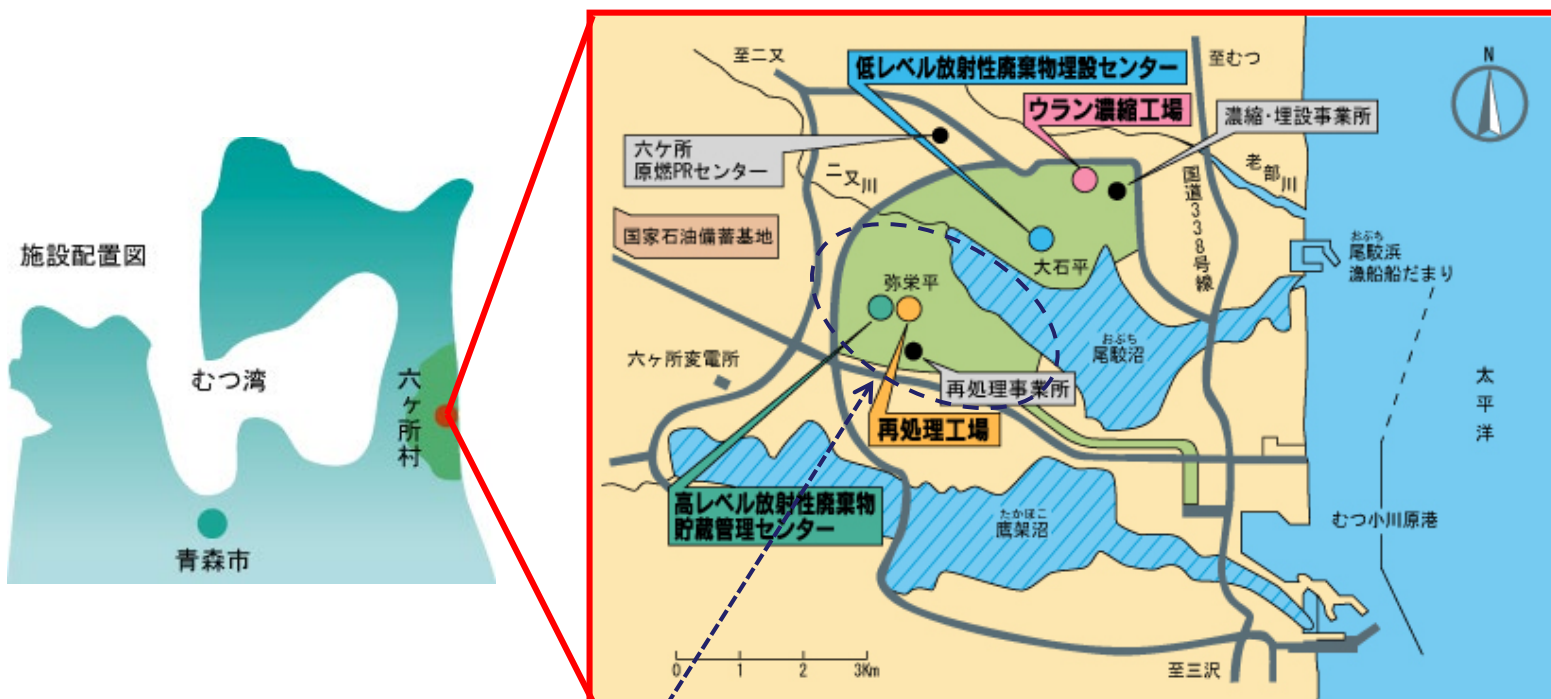
目次



1. 再処理工場の概要
2. 再処理工場の試験運転

1. 再処理工場の概要

1-1. 六ヶ所再処理工場の立地場所



[再処理事業所]

所在地: 青森県上北郡六ヶ所村弥栄平地区
敷地面積: 約380万㎡(東京ドーム約80個分)
施設: 再処理工場 及び
高レベル放射性廃棄物貯蔵管理センター

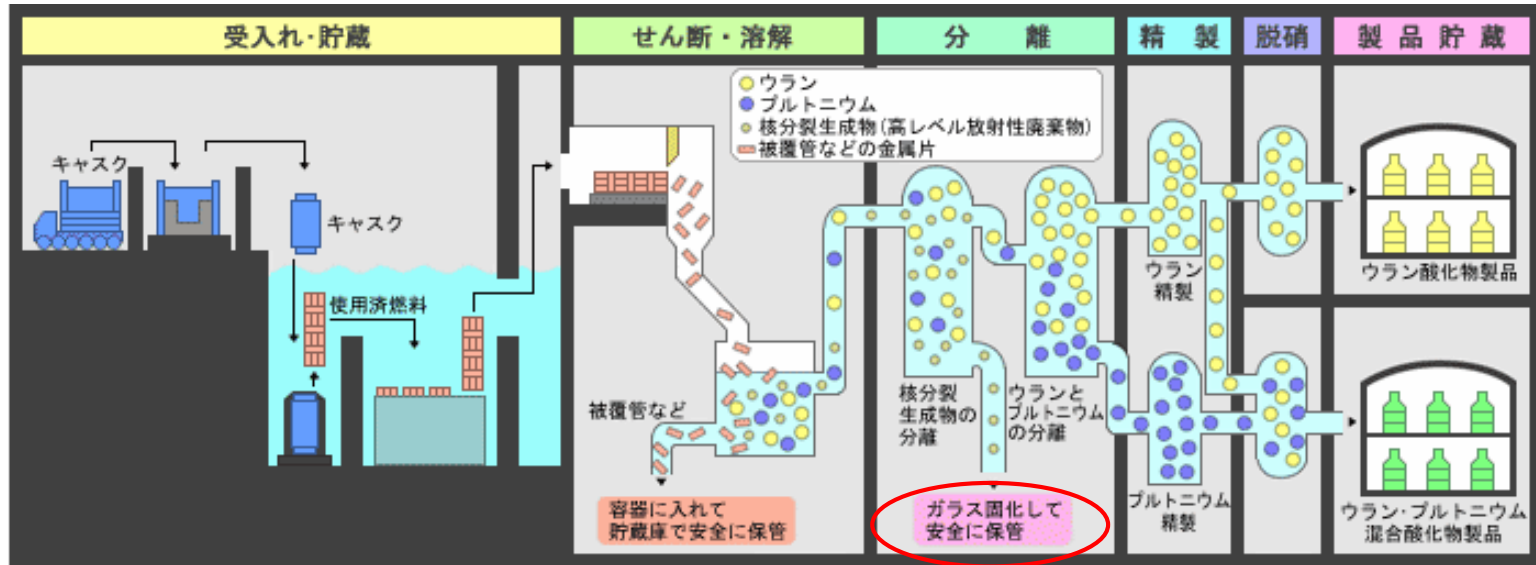


1-2. 六ヶ所再処理工場のあゆみ



1980/03/01	日本原燃サービス株式会社発足
1989/03/30	再処理事業指定申請
1992/07/01	日本原燃サービスと日本原燃産業が合併し、日本原燃が発足
1992/12/24	再処理事業指定
1993/04/28	再処理工場着工
1998/07/29	校正試験用使用済燃料搬入に係る安全協定を締結
10/02	第1回試験用使用済燃料の搬入
1999/12/03	再処理事業の開始
2000/10/12	使用済燃料受入・貯蔵に係る安全協定を締結
12/19	第1回使用済燃料搬入
2001/04/20	通水作動試験開始
2002/11/01	化学試験を開始
2004/12/21	ウラン試験開始
2006/03/31	アクティブ試験開始

1-3. 六ヶ所再処理工場の主な工程



①受入れ・貯蔵工程

原子力発電所から受入れた使用済燃料を再処理工場のプールで貯蔵。

②せん断・溶解工程

使用済燃料を3～4cmのせん断片に切断し、溶解槽で硝酸にウラン、プルトニウム、核分裂生成物を溶解。

③分離工程

③-1 ウラン、プルトニウムと核分裂生成物を分離。
③-2 ウランとプルトニウムを分離

⑤脱硝

ウラン溶液とウラン・プルトニウム混合溶液から、硝酸を取り除く。

⑥製品貯蔵

ステンレス製容器に封入し、建物内の専用貯蔵庫に貯蔵する。

⑦ガラス固化工程

分離した核分裂生成物(高レベル廃液)をガラス原料とともに溶融し、ガラス固化体容器に注入・固化、一時貯蔵。

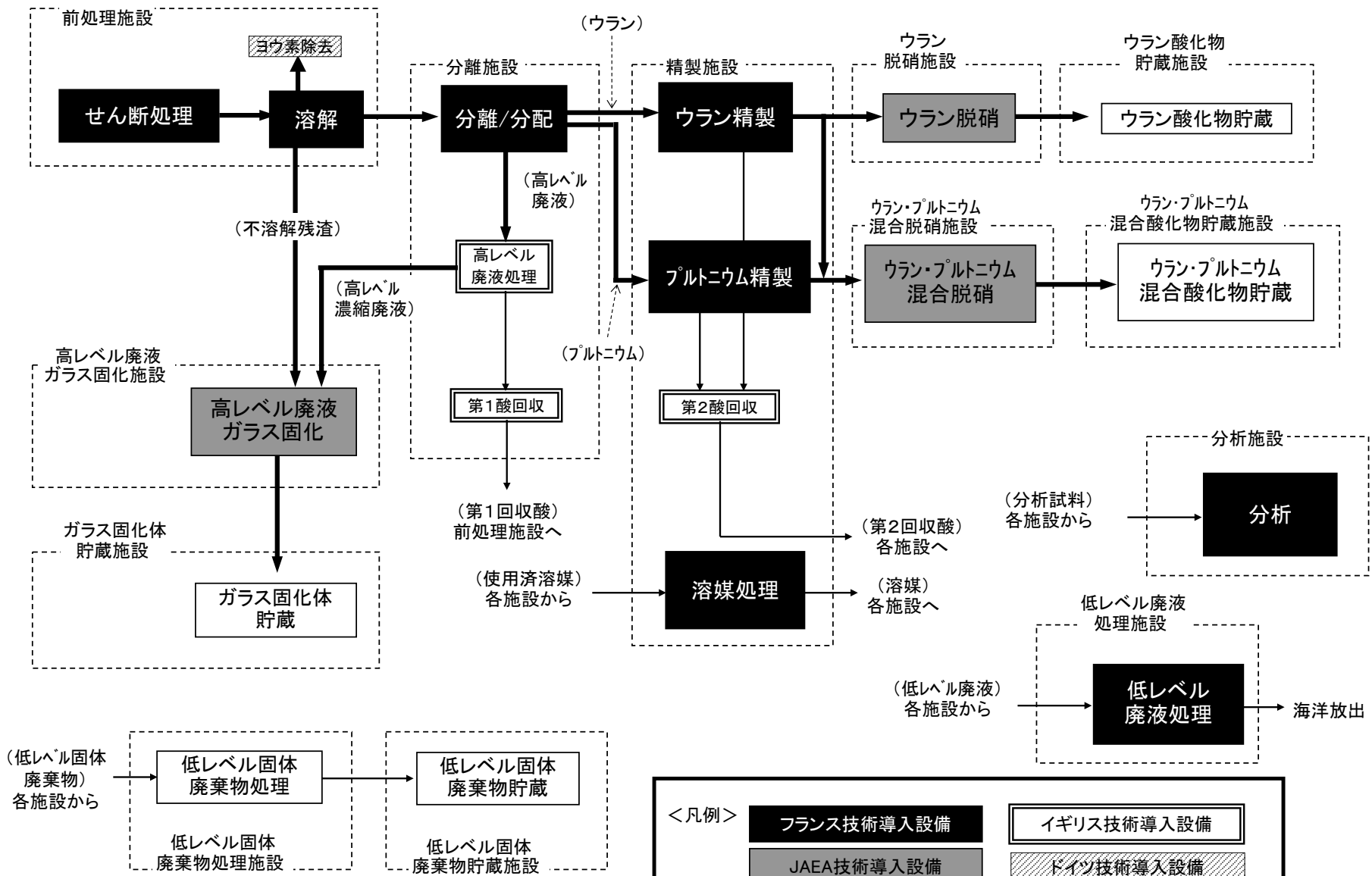
新基準前	新基準後
使用済燃料の受け入れまで1年以上	4年以上 ただし、燃料貯蔵プールの容量3,000t・UPrのうち、冷却期間4年以上12年未満の使用済燃料の貯蔵量が600t・UPr未満、それ以外は冷却期間12年以上となるよう受け入れを管理する。
せん断処理まで4年以上	15年以上

1-4. 再処理工場の施設と導入技術(1)

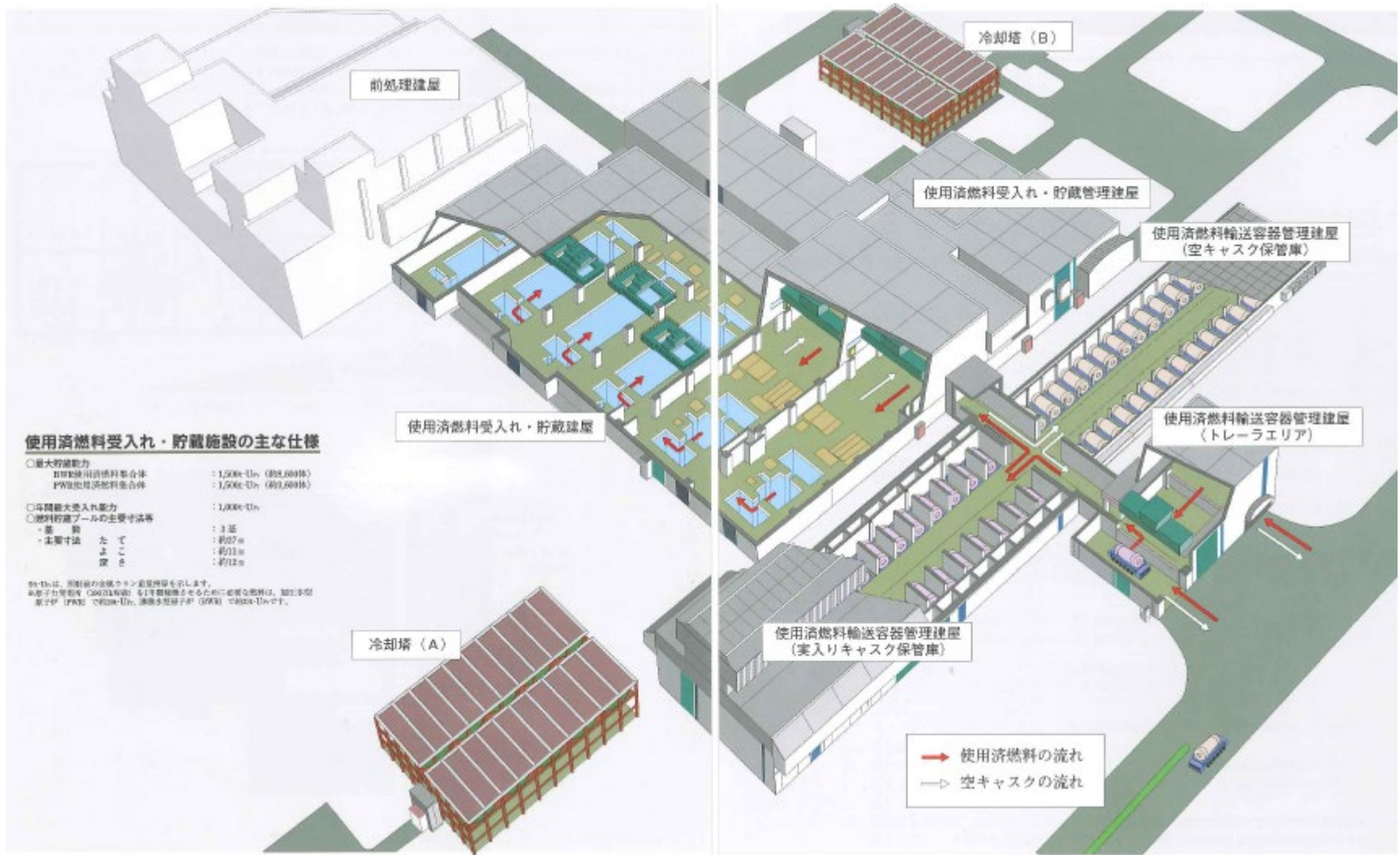


- 六ヶ所再処理工場は、実績と安全性を考慮し、実用可能な最良技術を国内外から選び構成している。
- 具体的には、再処理工程の主要部分であるせん断、溶解、抽出等をフランス(ORANO)より技術導入し、周辺工程のウラン脱硝、ウラン・プルトニウム混合脱硝、高レベル放射性廃液のガラス固化についてはJAEAによる国内技術を採用した。
- また、放射性廃液の減圧蒸発処理技術をイギリス(NDA)より、溶解オフガス中のヨウ素除去技術をドイツ(KEWA)より技術導入した。

1-4. 再処理工場の施設と導入技術(2)



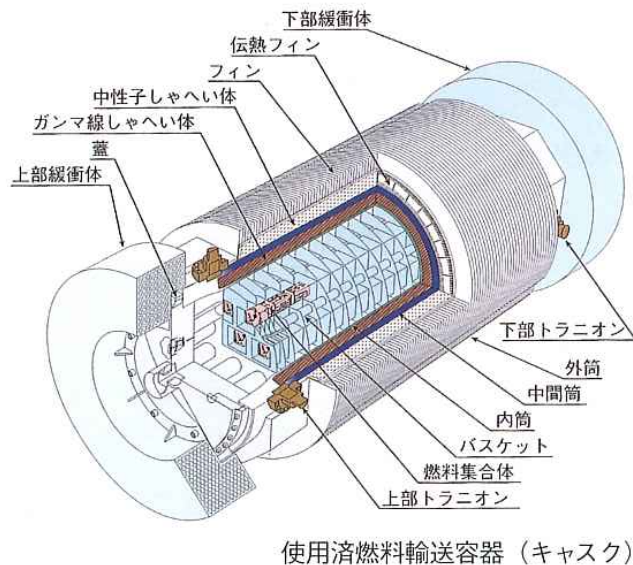
1-5. 受入れ・貯蔵工程(1)



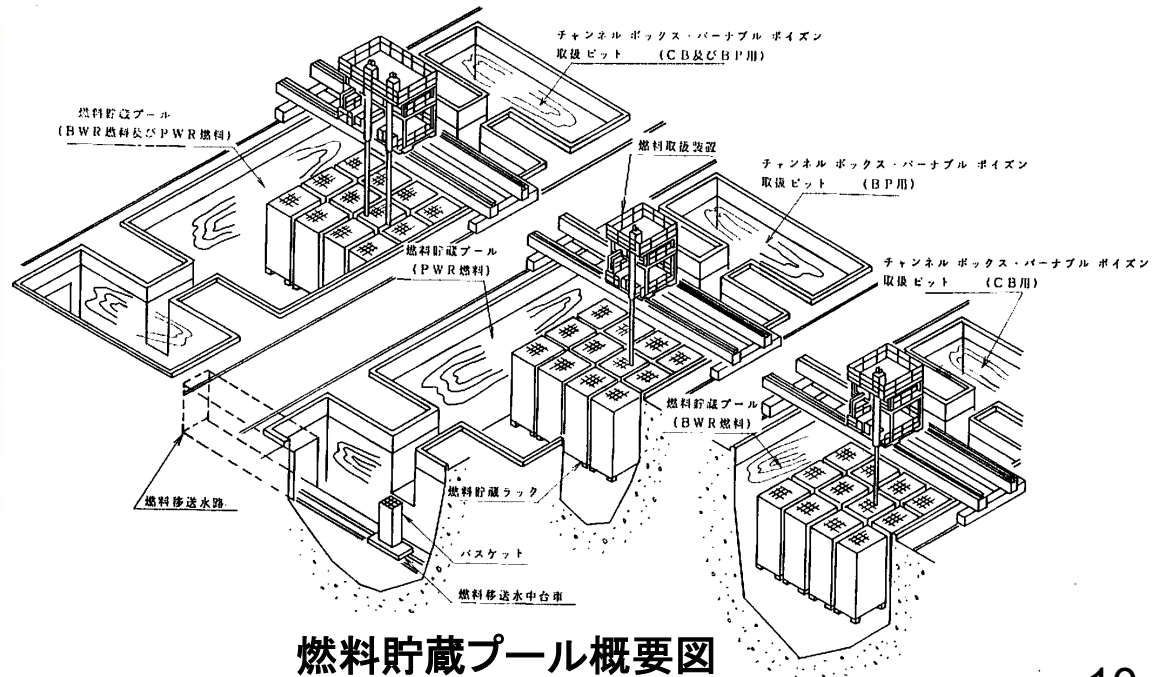
使用済燃料受入れ・貯蔵施設概要図

1-5. 受入れ・貯蔵工程(2)

- 全国の原子力発電所で発生した使用済燃料は使用済燃料輸送容器(キャスク)で再処理工場に受入れる。
 - ⇒ 約3,393トン・Uの受入れ実績(2022年5月現在)
- 使用済燃料は再処理工場でせん断されるまでの期間、受入れ・貯蔵工程の燃料貯蔵プールで貯蔵し、冷却する。(せん断時には15年以上の冷却が必要)
 - ⇒ 使用済燃料の最大貯蔵能力は 3,000トン・U
 - ⇒ 約2,968トン・Uを貯蔵(2022年5月現在)

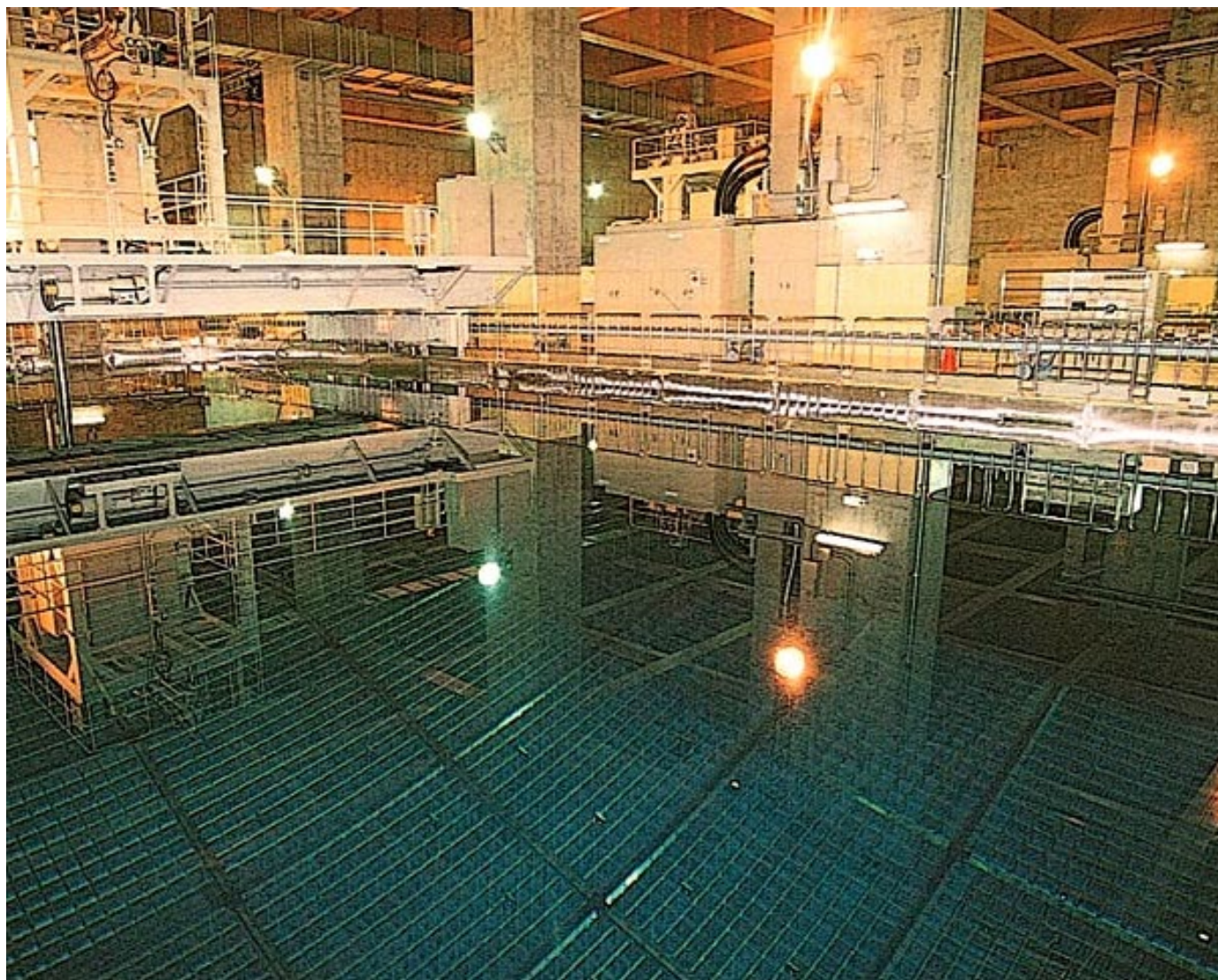


使用済燃料輸送容器 (キャスク)



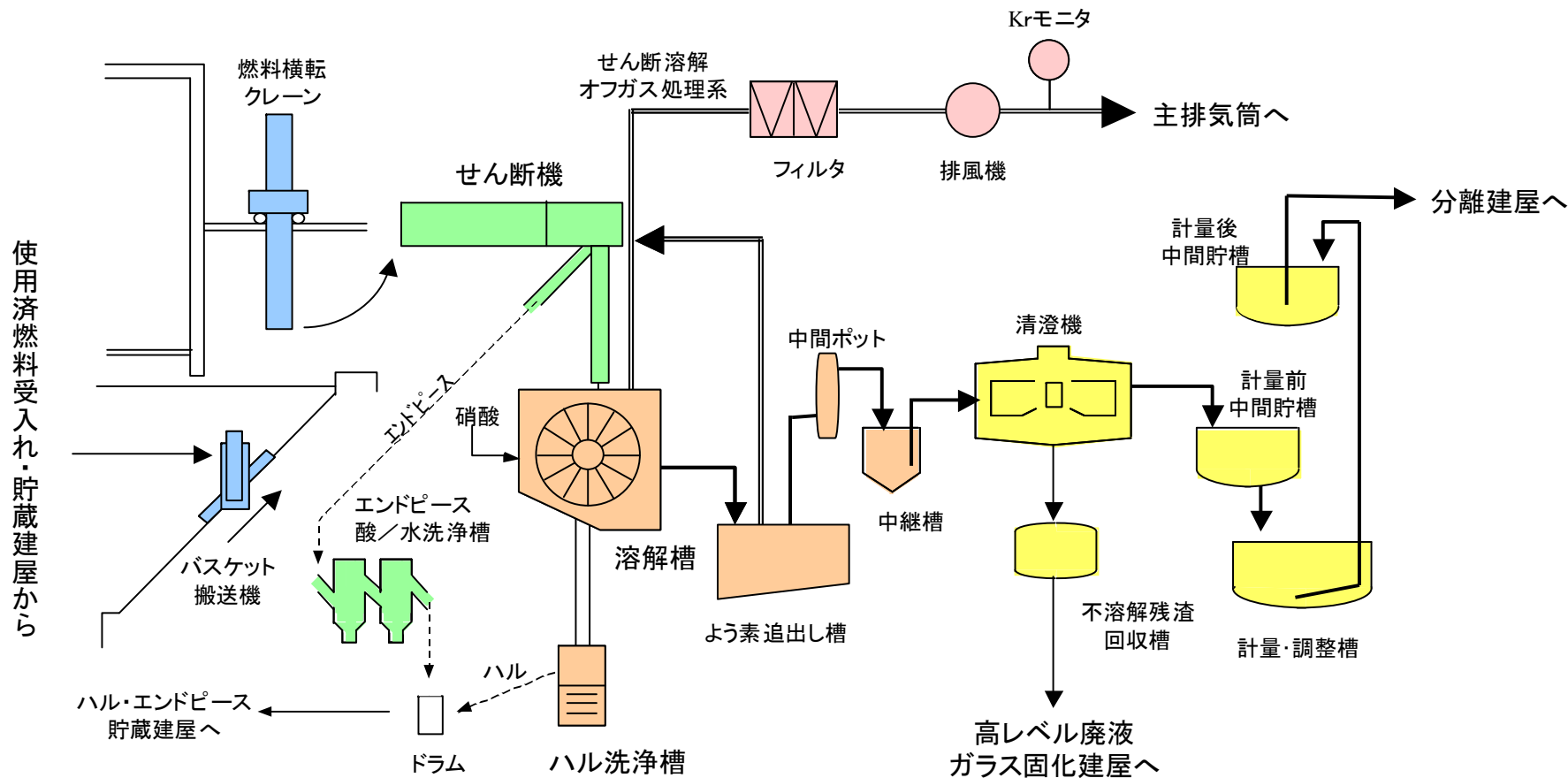
燃料貯蔵プール概要図

1-5. 受入れ・貯蔵工程(3)



使用済み燃料貯蔵プール(容量:3,000トン・U)

1-6. せん断・溶解工程(1)

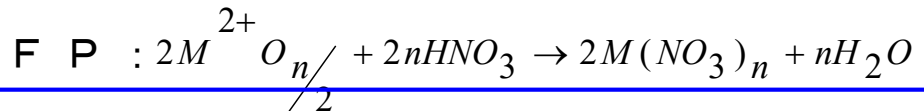
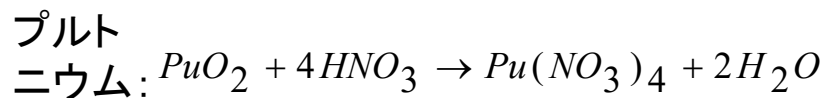
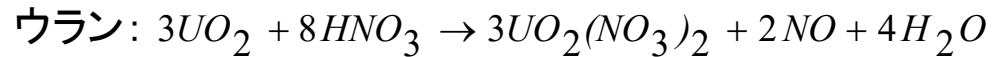
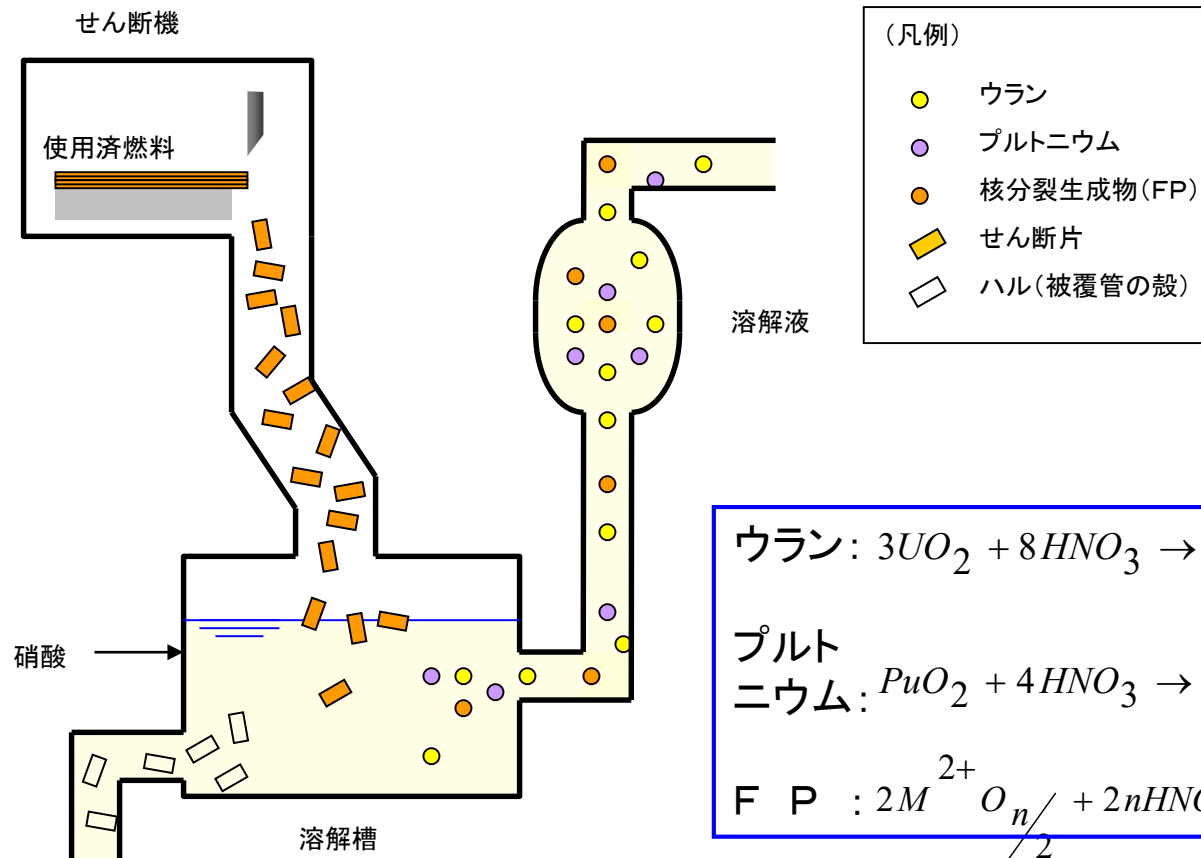


せん断・溶解工程フローシート

1-6. せん断・溶解工程(2)

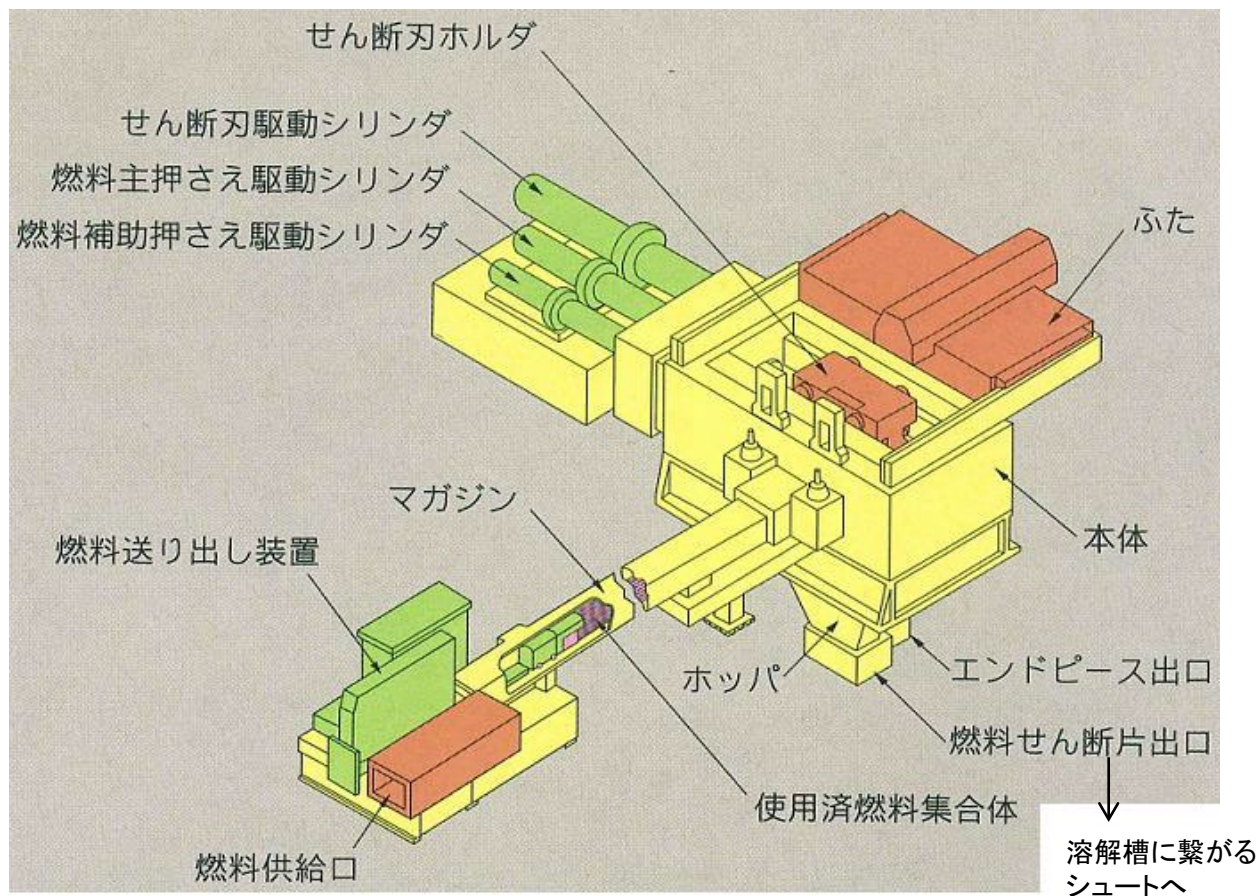
➤ プロセス(チョップ&リーチ法)

使用済燃料をせん断機で3~4cmの小片にせん断した後、溶解槽で硝酸により溶解する



1-6. せん断・溶解工程(3)

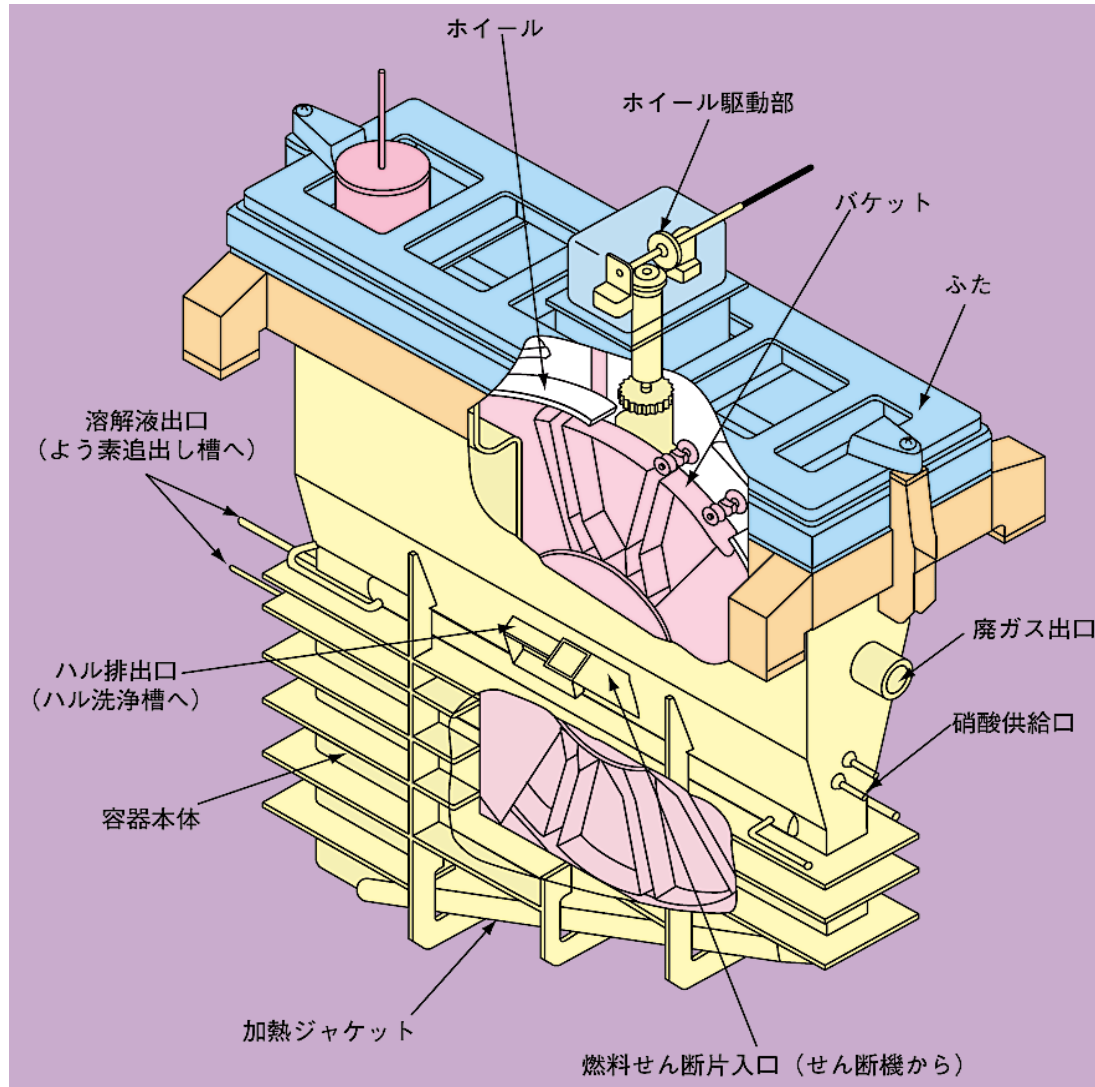
◆ せん断機



- ✓ 使用済燃料はせん断機のせん断刃により3~4cmに切断される。
- ✓ せん断片はシュートを伝って重力で溶解槽へ移送される。

1-6. せん断・溶解工程(4)

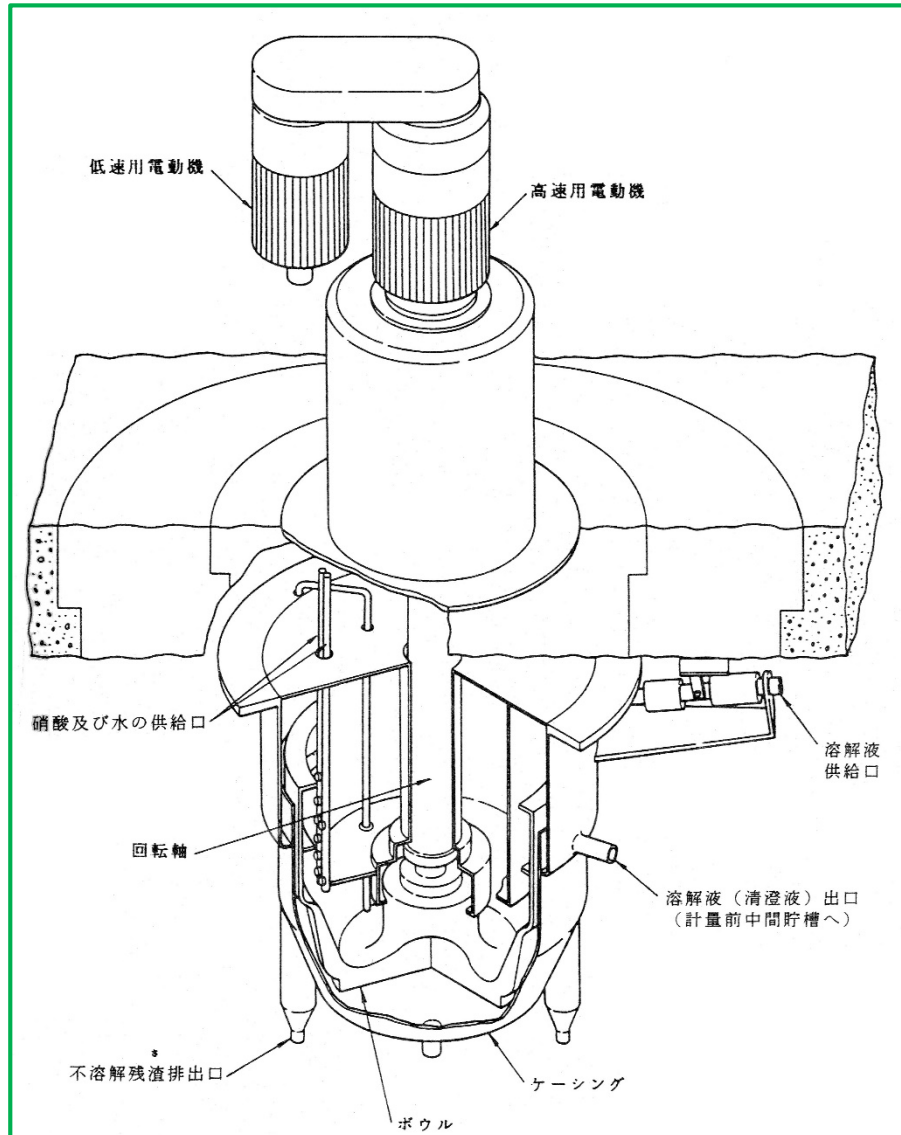
◆ 溶解槽



- ✓ 溶解槽において、せん断片中の使用済み燃料成分(U, Pu、FP等)は硝酸により溶解され、溶解液はオーバーフロー(重力流)でよう素追出し槽へ移送される。
- ✓ せん断片のジルカロイ製被覆管部分は硝酸に溶けず、溶け残った部分(ハルと呼ぶ)はシュートを伝って重力でハル洗浄槽へ移送され、固体廃棄物として処理される。
- ✓ 処理能力を大きくできる設計(12個のバケットが半連続で回転する連続式溶解槽)

1-6. せん断・溶解工程(5)

◆ 遠心清澄機



- ✓ 遠心清澄機のボウル部を高速回転させ生じる遠心力で、比重の重い溶解液中の不溶解残渣(溶解操作で溶けきらなかった粒子状の成分及び被覆管の微粉)を分離する。⇒次の分離工程において抽出性能を劣化させる不溶解残渣を事前に除去
- ✓ 不溶解残渣が除去された溶液(清澄液)は、次ステップでのU, Puの計量を経て、分離工程へ移送される。
- ✓ ボウル部側面に蓄積した不溶解残渣は、定期的に低回転モードにて硝酸溶液で回収され、さらに廃棄物処理工程に送られ高レベル廃液とともにガラス固化される。

1-7. 分離工程・精製工程(1)

◆ パルスカラム

目的: 水相と有機相を接触させて、溶媒抽出(抽出もしくは逆抽出をする)を行う装置。

原理: 水相と有機相の比重差を利用して、水相を上から、有機相を下から供給し向流接触させる。

パルセーション(周期的脈動)を与えることによって、内部の液に振動を与え、一方の相を液滴として分散させる。

⇒接触面積を大きくし、抽出効率を上げる

構造: 主要な抽出を行うシャフト部、パルスを生産させるパルスレグ、有機相と水相を分離して抜き出しを行う上下の分相部で構成。

シャフト部の内部には、パルスにより有機相/水相を効率的に分散させるために、リング状及び円盤状の分散版が交互に等間隔で多数設置されている。

タイプ: 環状型と円筒型の2種類があるが、臨界安全の観点で厳しい管理が必要とされる工程では主に環状型。

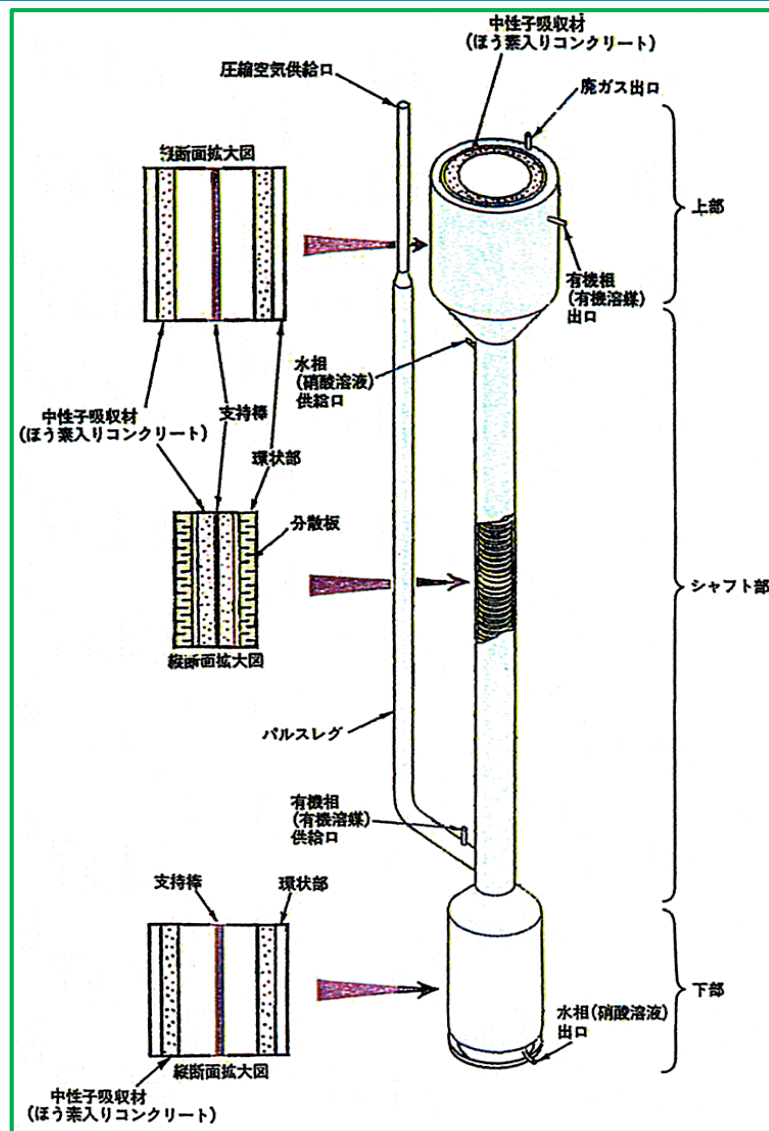
長所: 本体部分に稼働部がないためメンテナンスが不要。

装置の大きさの割りに処理能力が大きく、臨界安全上の寸法制限に対応しやすい(主にPuのラインで使い易い)。

滞留時間が短く、放射線による溶媒の劣化が少ない。

短所: 上下に長い機器であり、設置するセルの高さが必要。

変動条件に敏感で、ミキサセトラと比較して安定運転領域が狭い。



抽出塔(環状形パルスカラム)概要図

1-7. 分離工程・精製工程(2)

◆ミキサセトラ

目的:水相と有機相を接触させて、溶媒抽出(抽出もしくは逆抽出をする)を行う装置。

原理:有機相と水相を攪拌・混合するミキサ室で溶媒抽出を行ない、両相を静置するセトラ室で各相の分離を行う。

構造:箱型のバンクが水平方向に複数段、向きを互い違いに並べることで1つの装置となる。(多段向流)

各バンク(1段)は、モーター駆動の攪拌機を備えるミキサ室と、両相を静置するためのセトラ部で構成される。

有機相と水相はミキサセトラの各段の出口部で、それぞれ反対の段のミキサ部に流れる。

セトラ部には、界面調節を行うための真空堰や整流板が設置され、インターナル・リサイクル用のノズル等が設置されるタイプもあり、かなり複雑な構造。

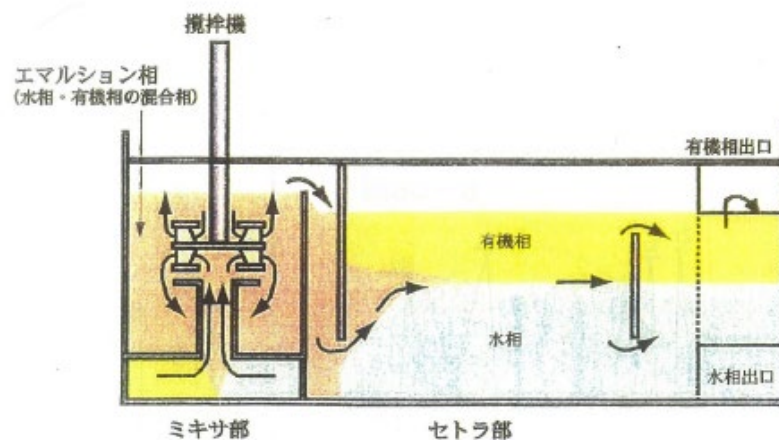
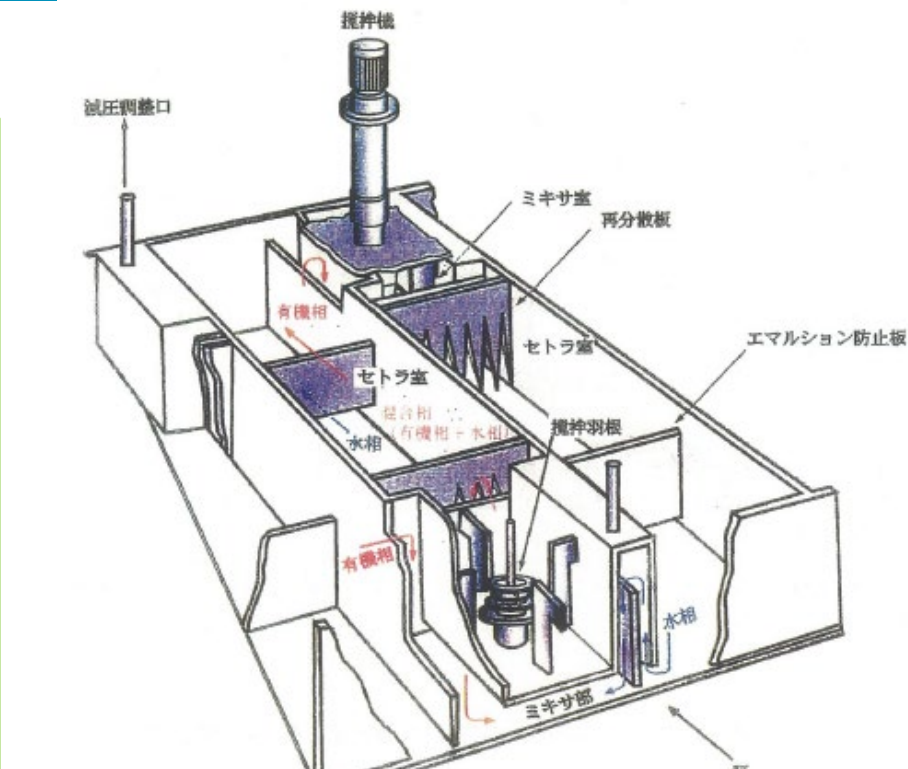
長所:攪拌機で混合するので抽出操作が安定。

有機相と水相の流量比が大きい場合でもインターナル・リサイクルにより両者の流量を見かけ上同程度にでき、安定した抽出特性を得やすい。

短所:攪拌機など可動箇所が多いことから保守点数が多く、また放射線環境下での保守がデメリット。

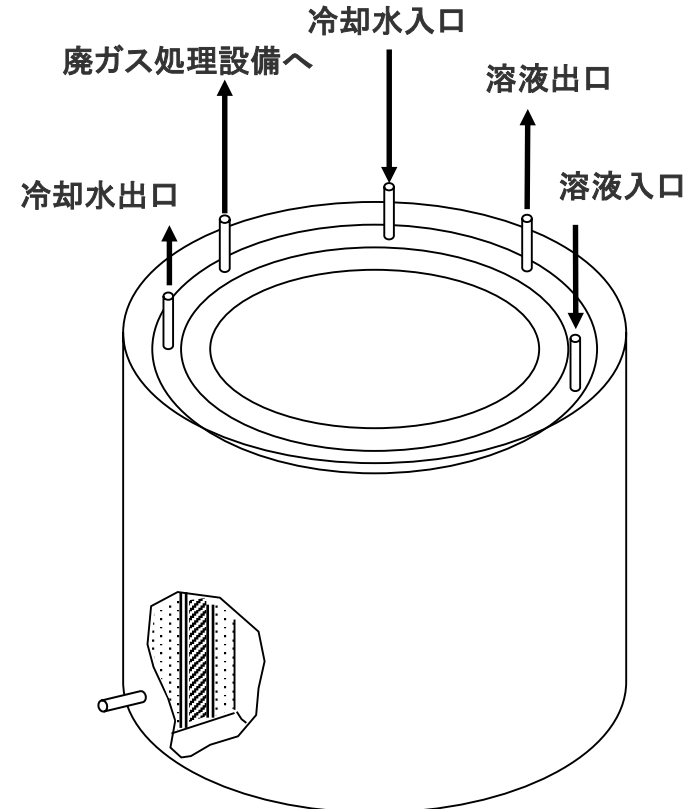
液の滞留量が多い(滞留時間が長い)ため、溶媒の放射線劣化が進みやすい。⇒界面に第三相が生成しセトラ部に蓄積

必要処理能力に対して装置が比較的大きくなり、臨界安全上の寸法制限に対応しにくい。



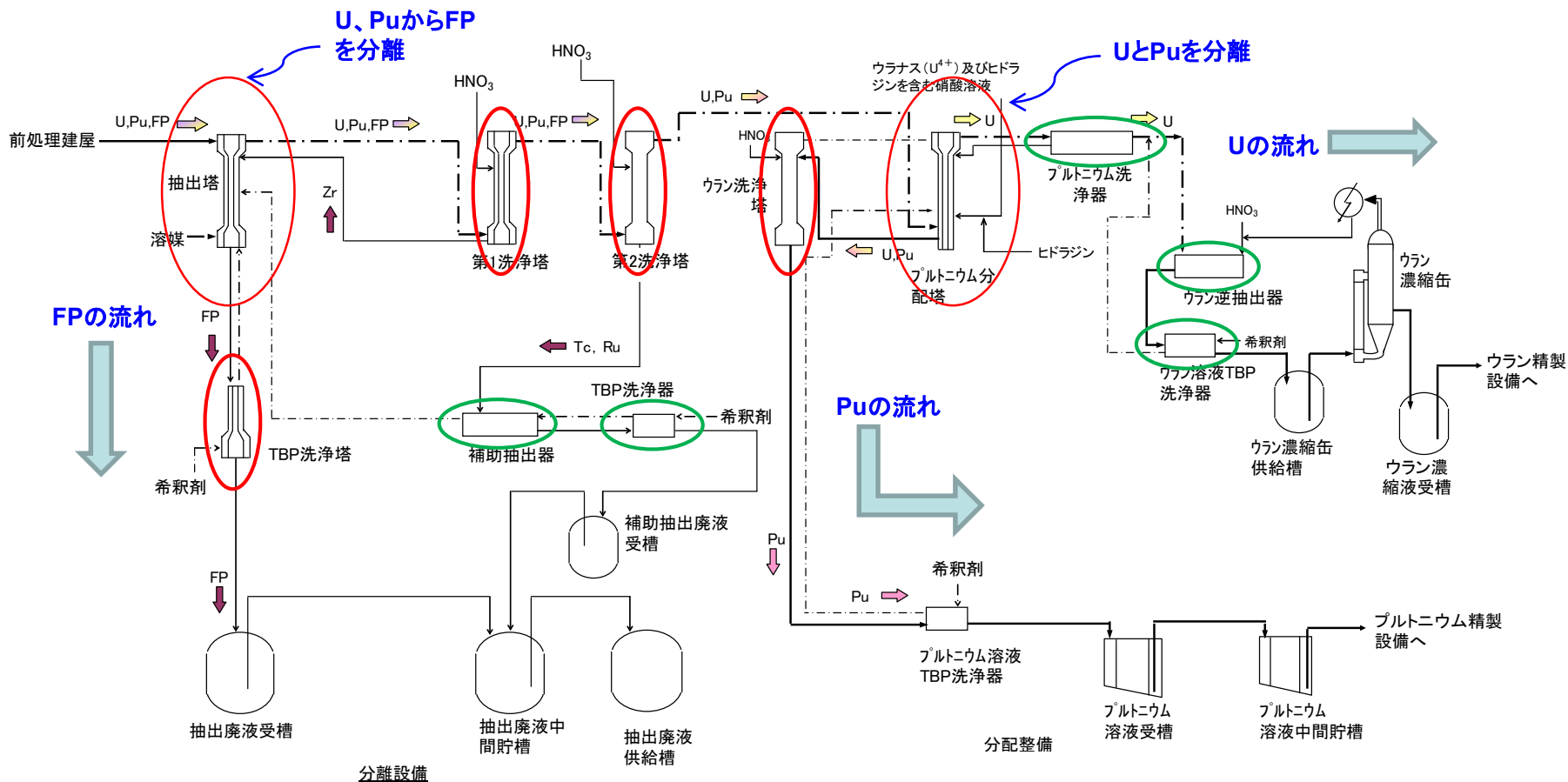
1-7. 分離工程・精製工程(3)

- 分離工程で分離したU(硝酸ウラニル溶液)及びPu(硝酸プルトニウム溶液)を、それぞれウラン精製工程とプルトニウム精製工程に受け入れ、**PUREX法**(分離工程と同様)を用いて溶液中に存在する**微量の核分裂生成物をさらに除去(精製)**し、脱硝工程に移送する
- 抽出機としては、分離工程と同様、パルスカラムやミキサセトラを使用する
 - ・ウラン精製:ミキサセトラ
 - ・プルトニウム精製:主にパルスカラム
- Puの原子価数は亜硝酸吹込み(酸化塔)やHAN(逆抽出塔)による酸化・還元反応でコントロール[前述]
- 分離工程、精製工程においてPuが主流となるラインの貯槽には、**臨界安全**(どのようなPu濃度でも臨界にならない)の観点で液厚を薄く制限するために**アニュラーベッセル***を用いる
 - * 中性子減速材(ポリエチレン)と中性子吸収材(Cd)で液部を挟み込む構造



アニュラーベッセル(環状型槽)
概要図

1-7. 分離工程・精製工程(4)



FPの流れ

U、PuからFPを分離

UとPuを分離

Uの流れ

Puの流れ

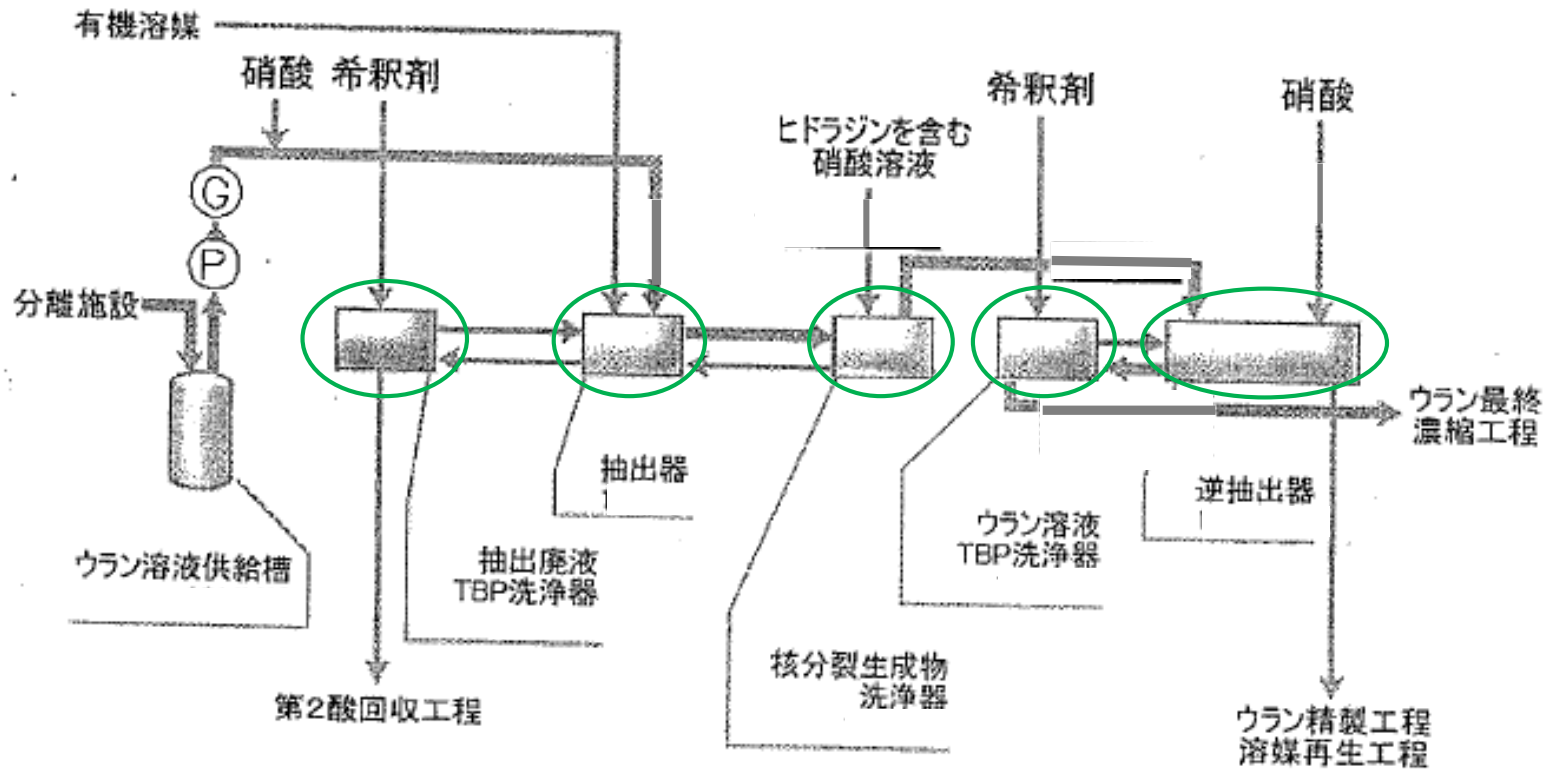
分離工程フローシート

- 硝酸の流れ
- - - - -→ 溶媒の流れ

凡例: パルスカラム

凡例: ミキサセトラ

1-7. 分離工程・精製工程(5)

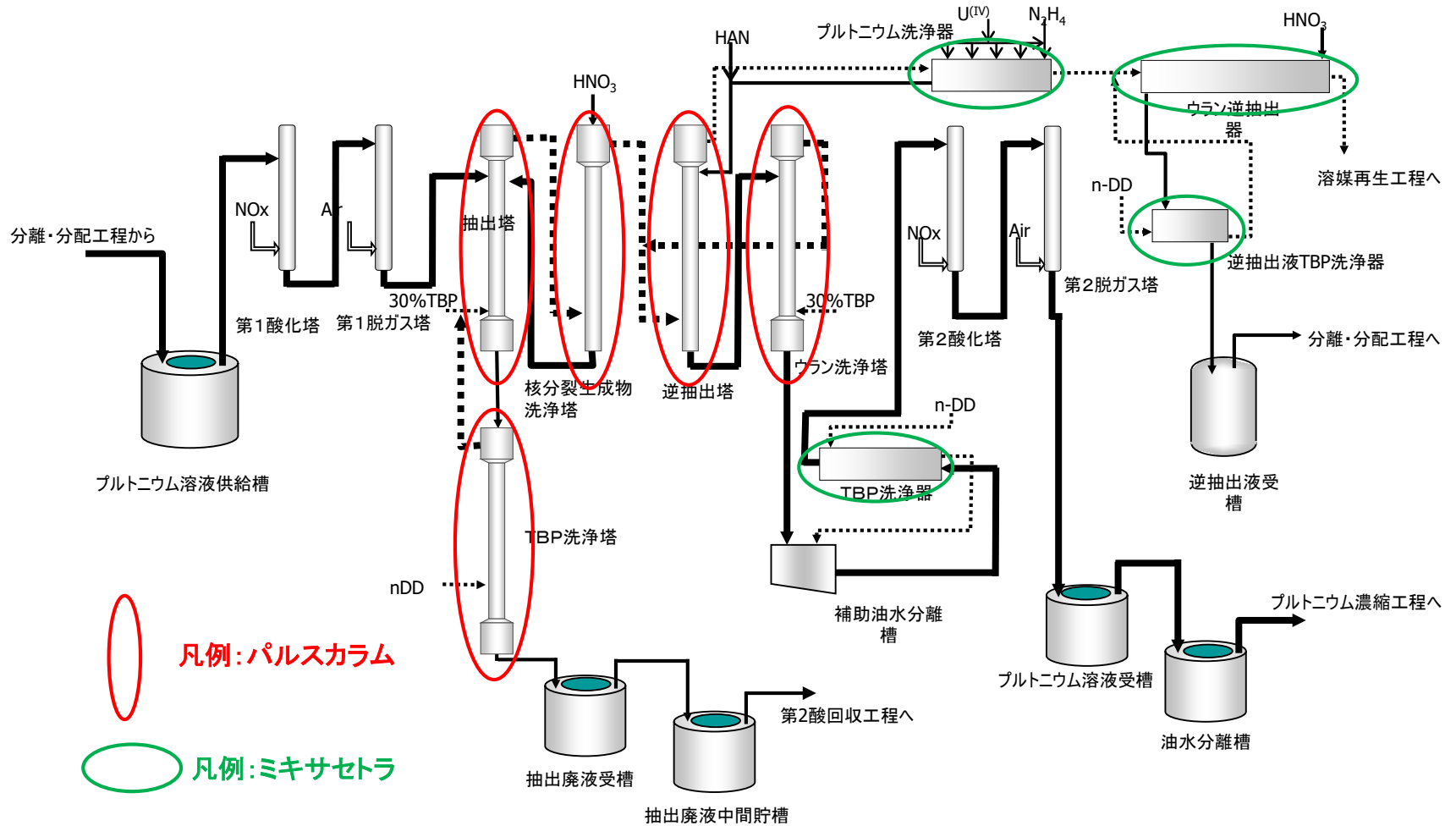


○ 凡例: ミキサセトラ

凡例
 (G) ゲデオン → 水相
 (P) ポンプ → 有機相
 → 気相

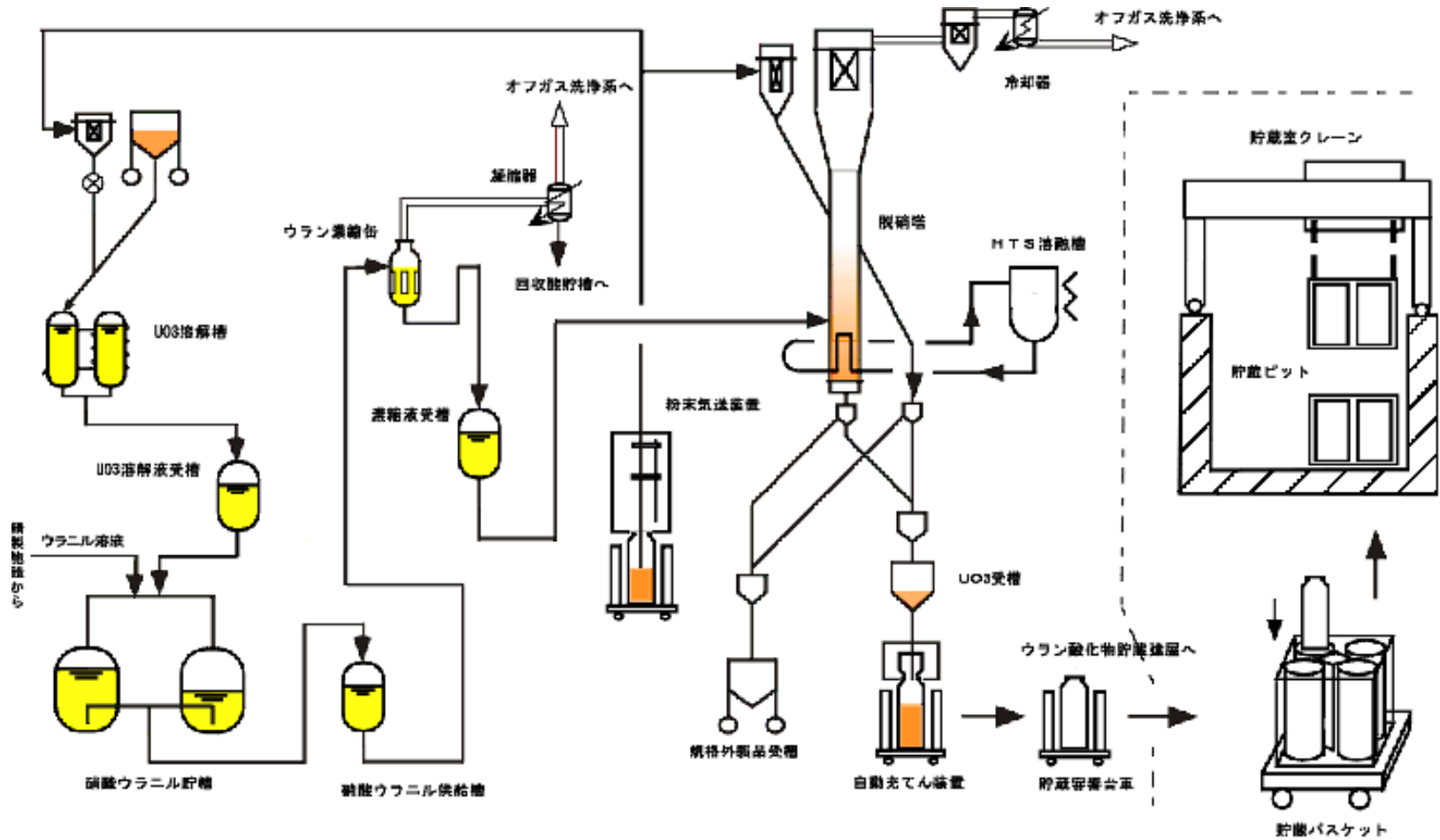
ウラン精製工程フローシート

1-7. 分離工程・精製工程(6)



プルトリウム精製工程フローシート

1-8. ウラン脱硝工程(1)

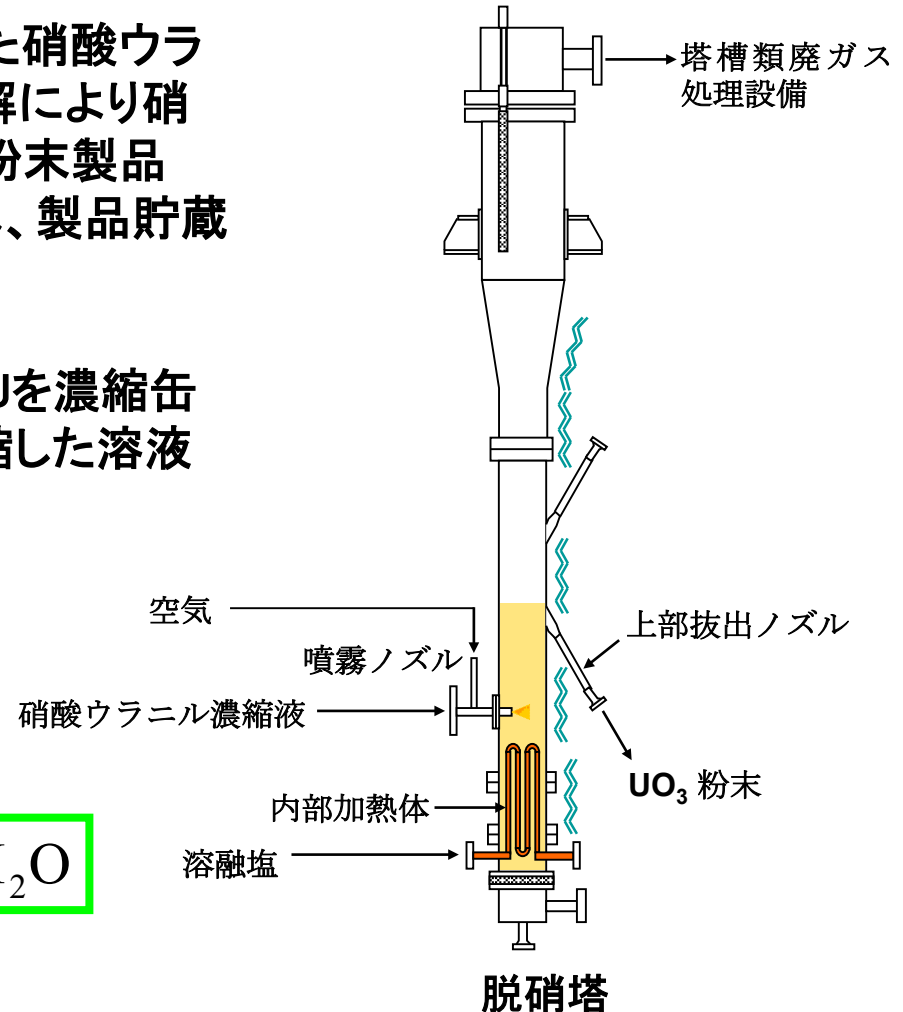
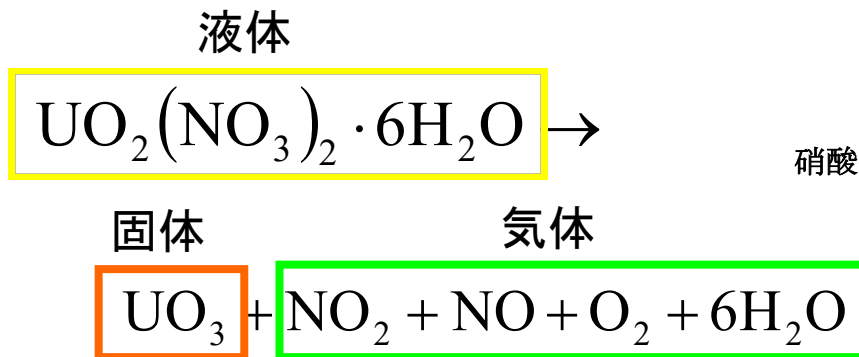


ウラン脱硝工程フローシート

1-8. ウラン脱硝工程(2)

➤ ウラン脱硝のプロセス

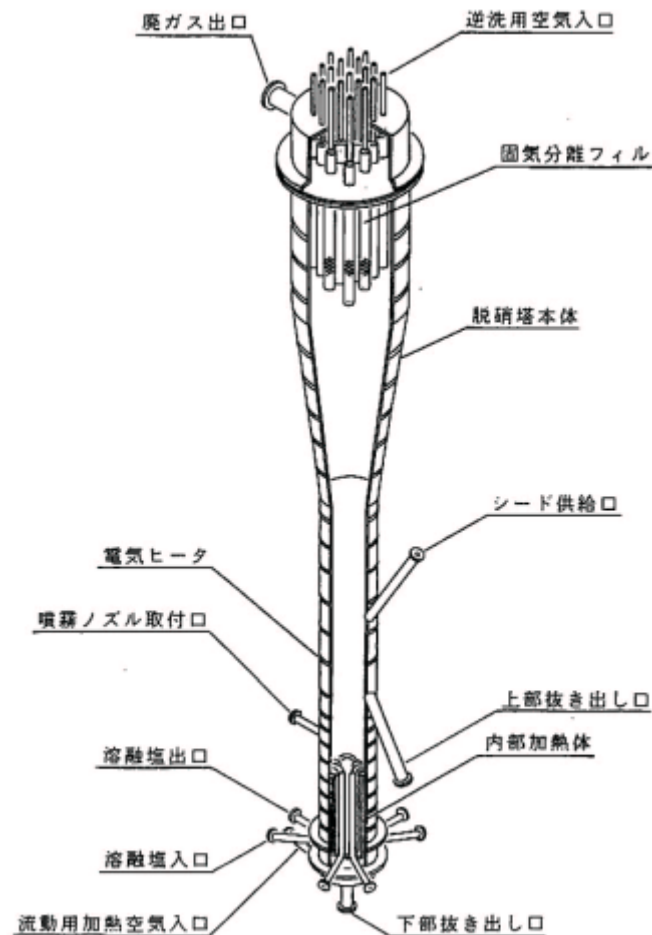
- ✓ ウラン精製工程でFPが除去された硝酸ウラニル溶液は本工程で脱硝(熱分解により硝酸分を除去)され、ウラン酸化物粉末製品(UO₃)として貯蔵容器に封入され、製品貯蔵工程に移送される
- ✓ 脱硝プロセスとしては、まず硝酸Uを濃縮缶で濃縮し(400g/l→1000g/l)、濃縮した溶液が脱硝塔に送られる



1-8. ウラン脱硝工程(3)

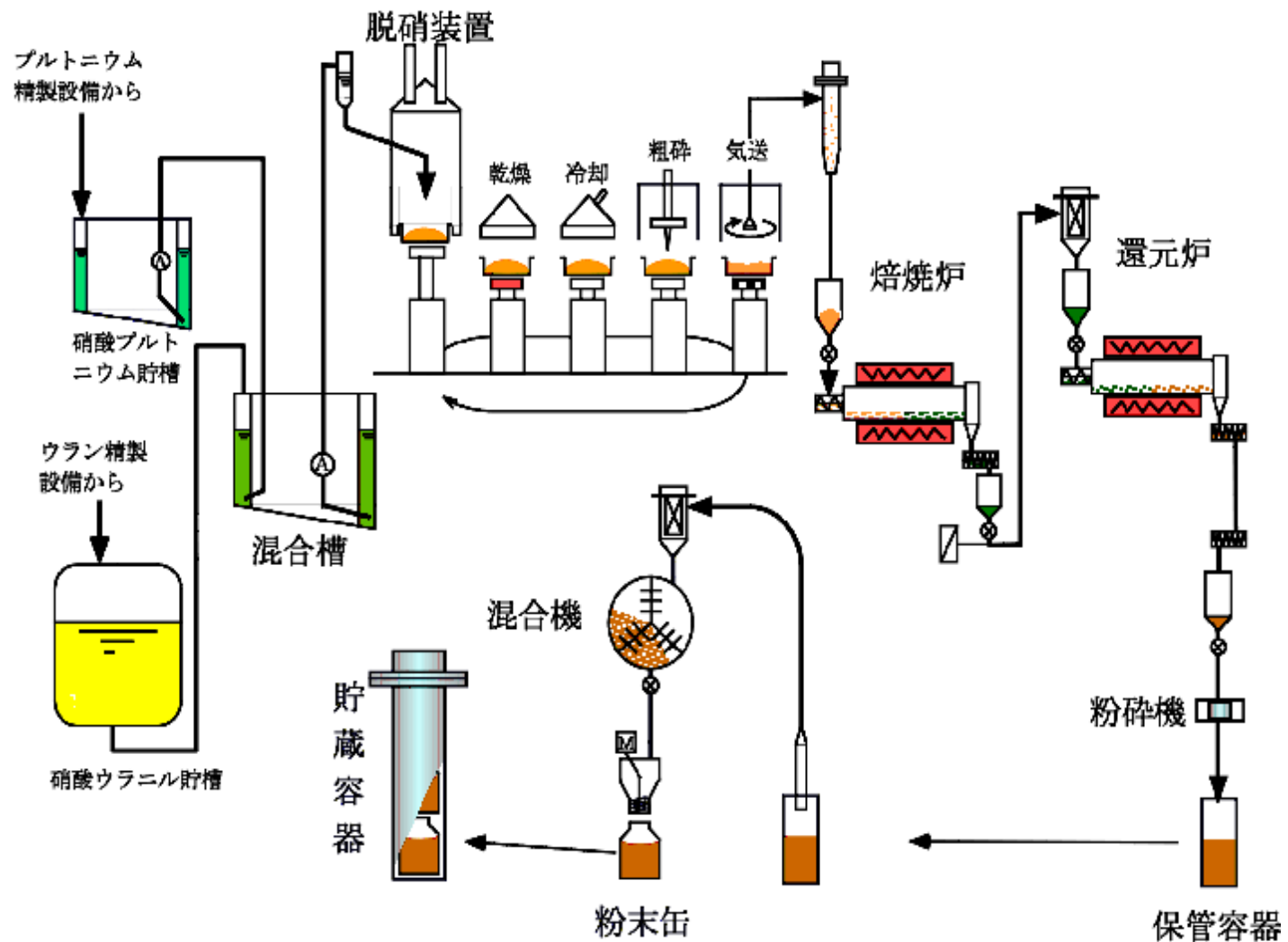
◆ 脱硝塔

- ✓ 流動層式の反応塔で、JAEA(東海村)からの技術導入
- ✓ 塔内下部から噴霧ノズルを介して硝酸ウラニルを供給
- ✓ 加熱された溶融塩及び電気ヒーターで硝酸ウラニルを約300°Cに加熱し、熱分解
- ✓ 下部から加熱空気を吹き込み、生成したUO₃粉末を流動化
- ✓ 上部の抜き出しノズルからオーバーフローさせて貯蔵容器に充填
- ✓ 連続供給、連続抜き出し方式
- ✓ 臨界安全の観点から形状(直径)を制限



脱硝塔概要図

1-9. ウラン・プルトニウム混合脱硝工程(1)

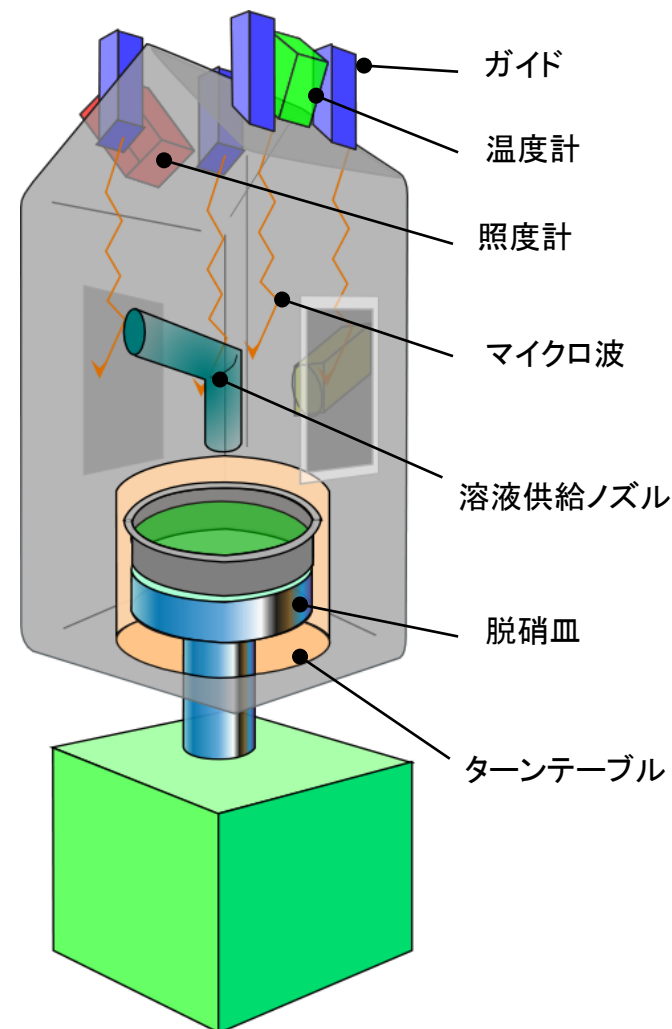


ウラン・プルトニウム混合脱硝工程フローシート

1-9. ウラン・プルトニウム混合脱硝工程(2)

➤ ウラン・プルトニウム混合脱硝のプロセス

- ✓ 精製工程でFPが除去された硝酸ウラニル溶液と硝酸プルトニウム溶液を、本工程で1:1に混合して、マイクロ波加熱装置で脱硝(熱分解により硝酸分を除去)する ⇒ **核不拡散の観点から単体のプルトニウム粉末は保有しない**
- ✓ 脱硝体は焙焼炉、還元炉でウランの酸化数を調整され、ウラン・プルトニウム混合酸化物粉末製品(UO_2 、 PuO_2)として貯蔵容器に封入され、製品貯蔵工程へ移送される

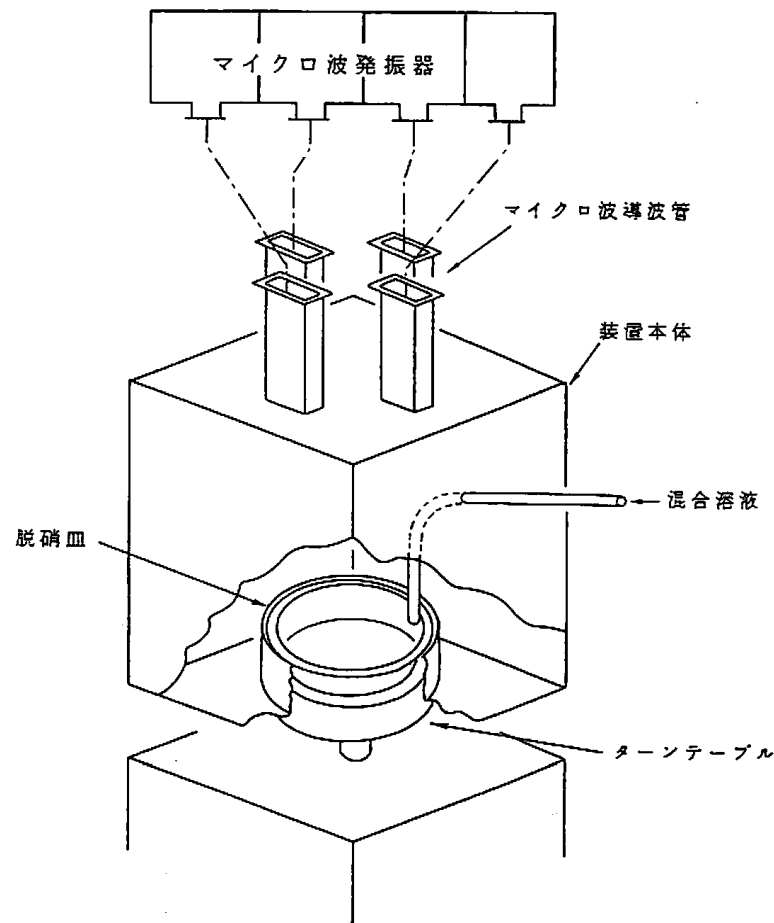


マイクロ波加熱装置

1-9. ウラン・プルトニウム混合脱硝工程(3)

◆ マイクロ波加熱(脱硝)装置

- ✓ マイクロ波によって加熱する脱硝装置で、JAEA(東海村)からの技術導入
- ✓ 1:1に調整されたU/Pu混合溶液を一定量脱硝皿に供給し、マイクロ波発振器からマイクロ波を照射(基本的に電子レンジと同様)
- ✓ バッチ供給、バッチ抜き出し方式
- ✓ 脱硝皿は臨界安全の観点から直径と高さを制限
- ✓ Puの粉末を扱うので、装置全体をグローブボックスの中に設置

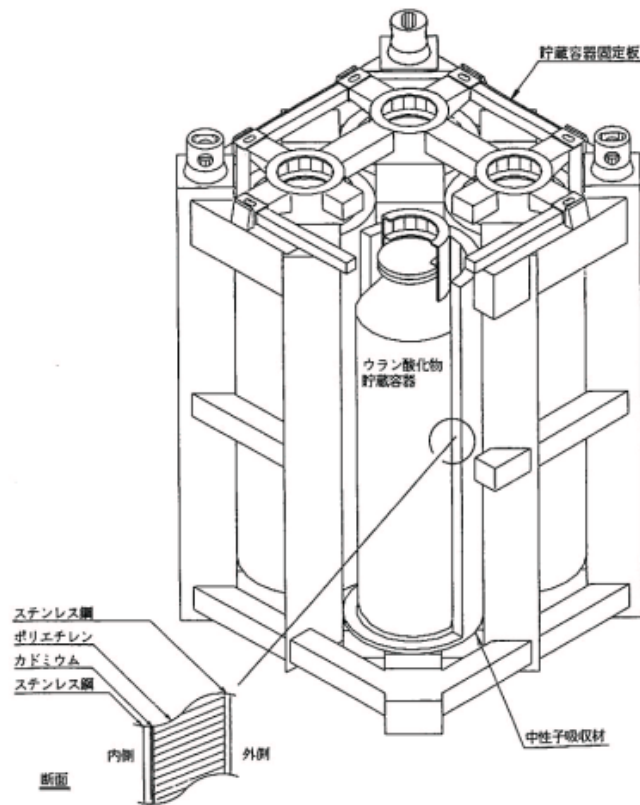


マイクロ波加熱装置概要図

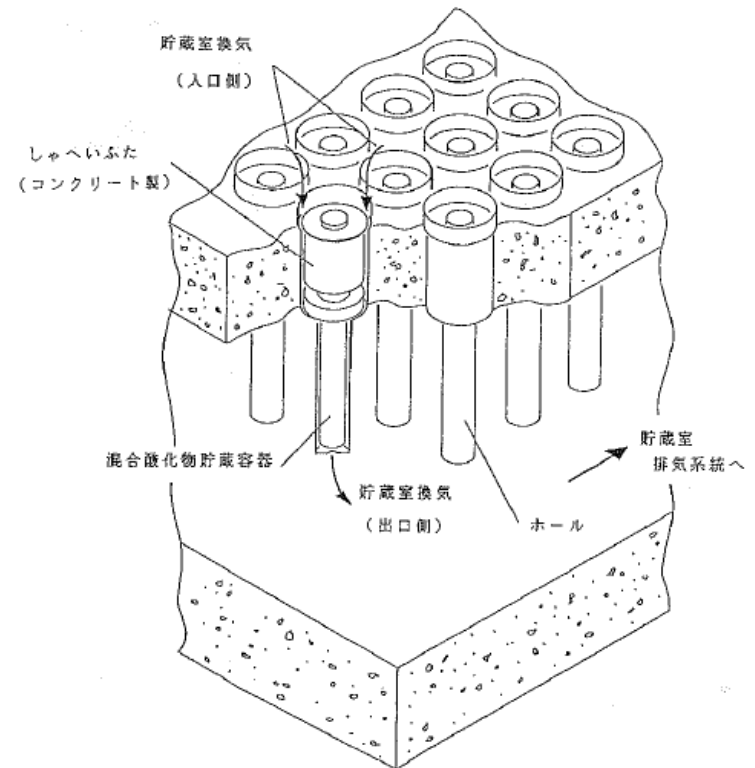
1-10. 製品貯蔵工程

製品貯蔵のプロセス

脱硝工程で生成した製品であるウラン酸化物粉末及びウラン・プルトニウム混合酸化物粉末を封入した貯蔵容器を受入れ、貯蔵する。



ウラン酸化物貯蔵容器
貯蔵バスケット概要図



貯蔵ホール概要図
(MOX粉末)

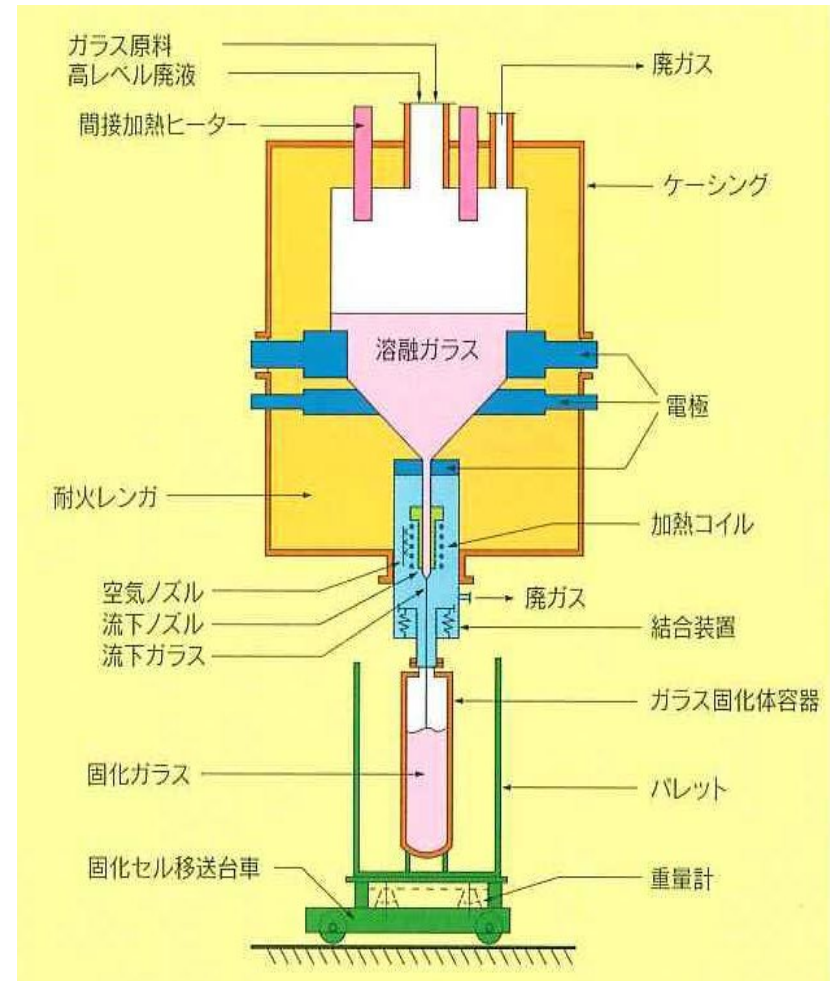
1-11. ガラス固化工程(1)

➤ ガラス固化のプロセス

- ✓ 分離工程の抽出廃液(FP)は高レベル濃縮缶で濃縮された後、せん断・溶解工程で回収された不溶解残渣とともに、本工程においてガラス固化される
- ✓ 製造されたガラス固化体はガラス固化体貯蔵施設にて、一時貯蔵される

◆ ガラス溶融炉

- ✓ 高レベル廃液をガラス原料(ホウケイ酸ガラス)とともにガラス溶融炉に供給し、約1200°Cで溶融。
 - ⇒ 炉内に設置された電極を介してガラスに直流電流を流し、それにより発生するジュール熱でガラスを加熱溶融する(LFCM法)
 - ⇒ JAEA(東海村)からの技術導入
- ✓ 抜き出し時には加熱コイルで固体化している下部のガラスを溶融し、重力で下に設置した固化体容器(キャニスタ)に抜き出す
- ✓ 抜き出し後、容器の蓋を溶接し、ガラス固化体とする



ガラス溶融炉概要図

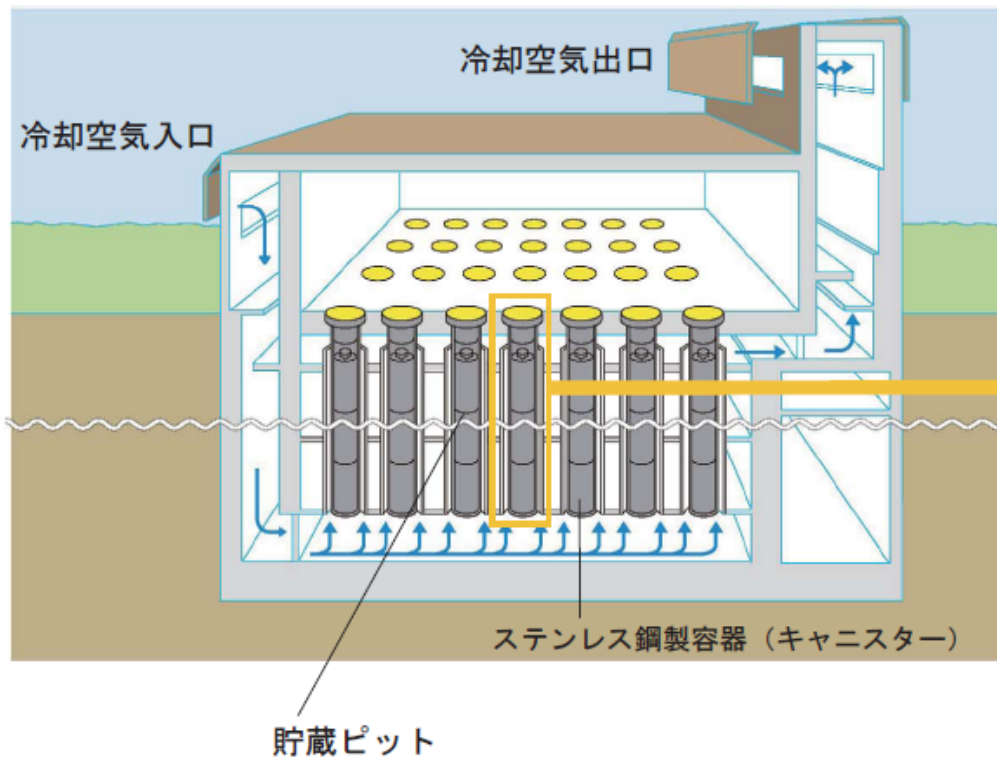
1-11. ガラス固化工程(2)

●高レベル放射性廃棄物(ガラス固化体)●

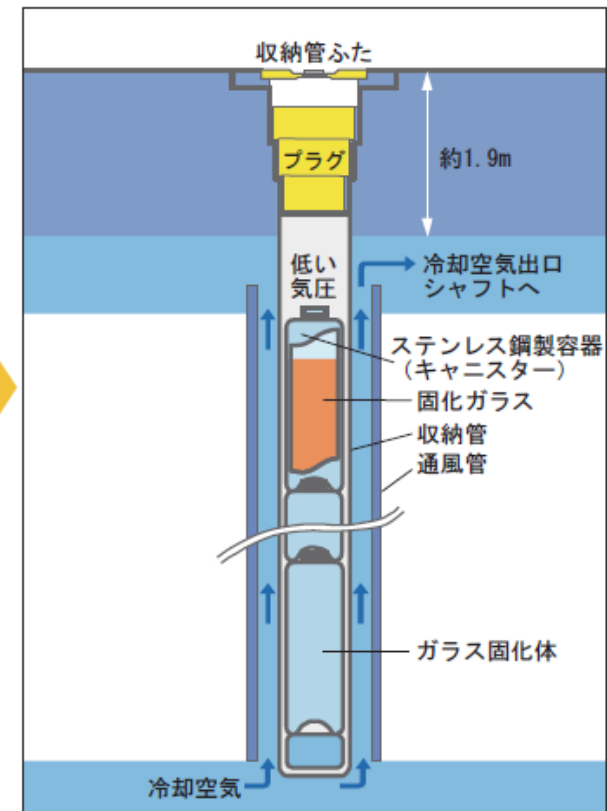


1-11. ガラス固化工程(3)

◆ガラス固化体貯蔵施設



貯蔵ピット拡大図

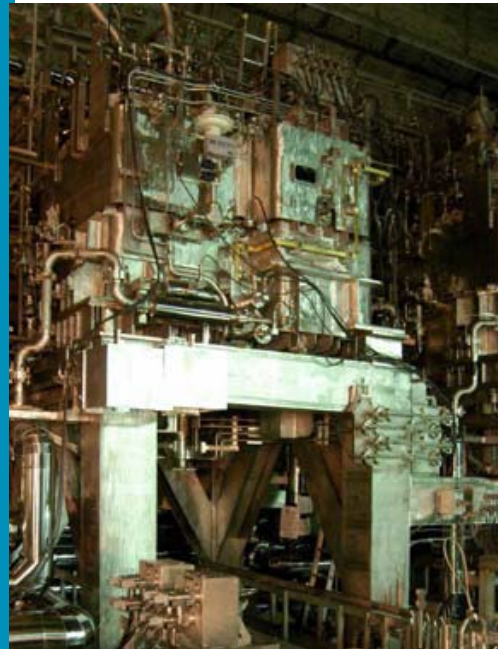


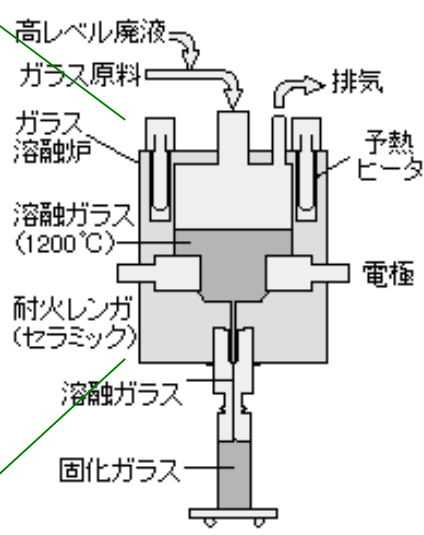
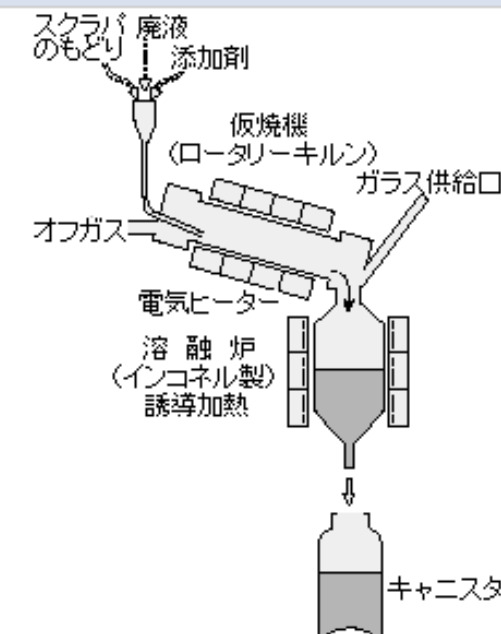
- ✓ 冷却: ・ガラス固化体の発熱量に応じて生じる通風力(ドラフト効果)により冷却空気を駆動し自らの崩壊熱を除去する
 ・間接自然空冷方式なので、電気や機械等のシステムは不要
- ✓ 放射線遮蔽: ・ガラス固化体のハンドリングは全て遠隔操作
 ・十分な厚さのコンクリート壁やプラグで遮蔽するので、貯蔵区域の上部エリアは人が立入り可能(管理区域)

1-11. ガラス固化工程(4)

➤ ガラス固化の主な方式

(動燃技報 No85より)



方式	LFCM法	AVM(AVH)法
ガラス溶融プロセス	 <p>高レベル廃液 ガラス原料 ガラス溶融炉 溶融ガラス (1200°C) 耐火レンガ (セラミック) 溶融ガラス 固化ガラス</p> <p>排気 予熱ヒーター 電極</p>	 <p>スクラップの廃液 のもどりの添加剤 仮焼機 (ロータリーキルン) ガラス供給口 オフガス 電気ヒーター 溶融炉 (インコネル製) 誘導加熱 キャニスタ</p>
特徴	<p>プロセス構成: ガラス溶融炉 溶融炉加熱方式: 直接通電ジュール熱加熱 溶融炉材料: セラミックス 廃液供給: 液体供給方式 処理容量: 大容量化が容易</p>	<p>プロセス構成: ロータリー仮焼装置、ガラス溶融炉 溶融炉加熱方式: 高周波加熱 溶融炉材料: 金属(インコネル製) 廃液供給: 廃液仮焼のち粉粒状態で供給 処理容量: 大容量化が困難(複雑システムで対応)</p>

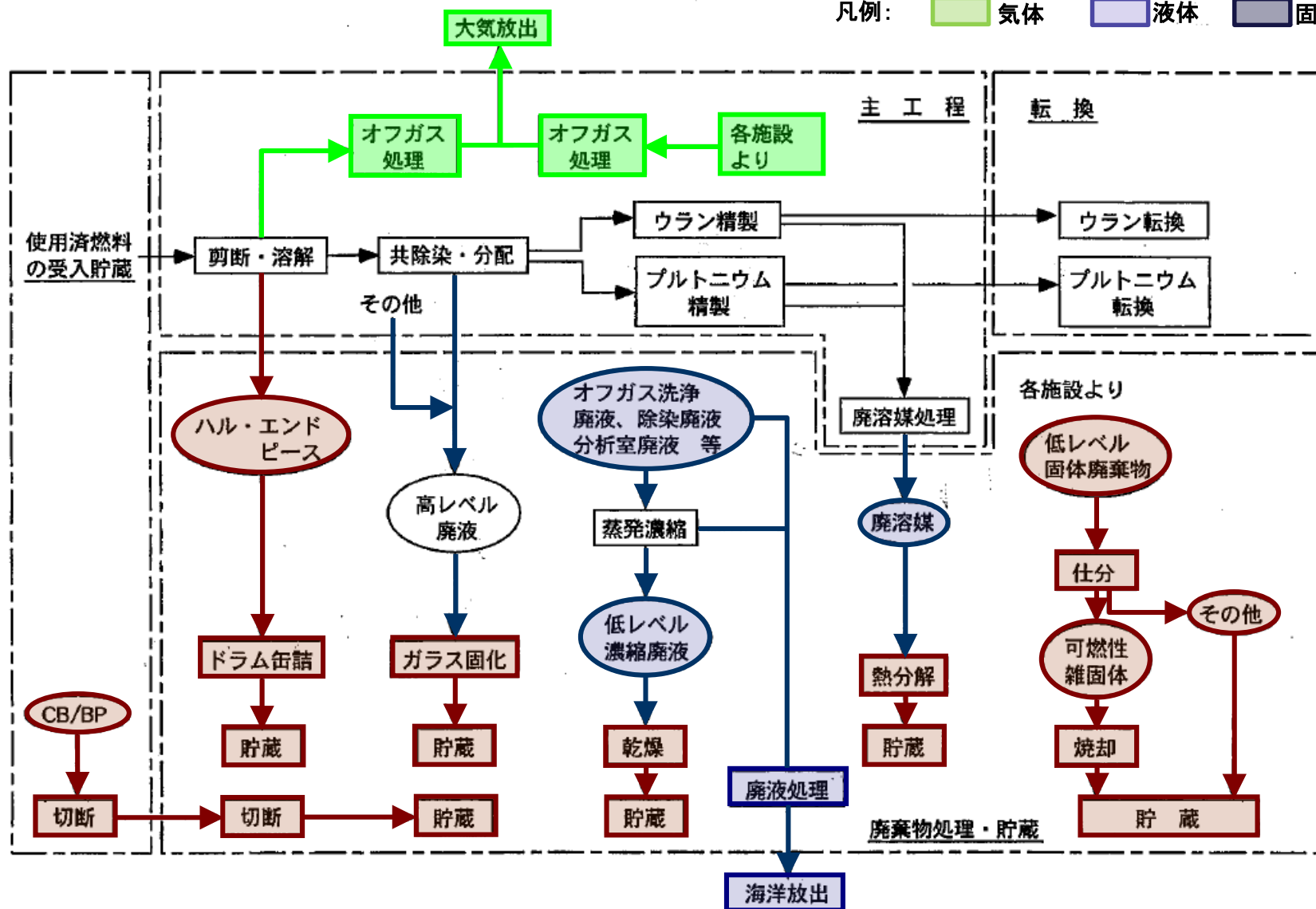
LFCM法とAVM(AVH)法の特徴比較

LFCM: Liquid Fed Joule-heated Ceramic Melter

AVM: Atelier Vitrification de Marcoule

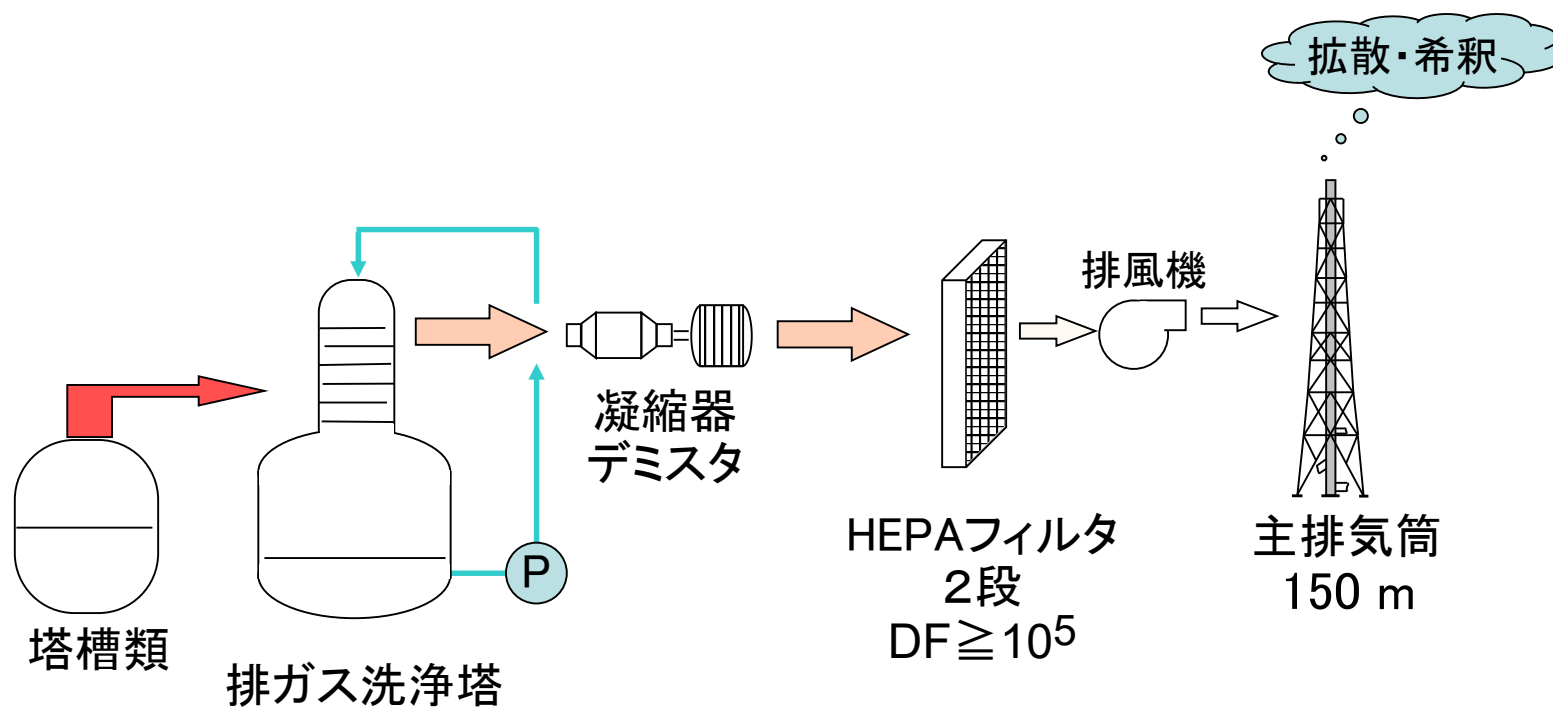
1-12. 廃棄物処理工程(1)

凡例: 気体 液体 固体



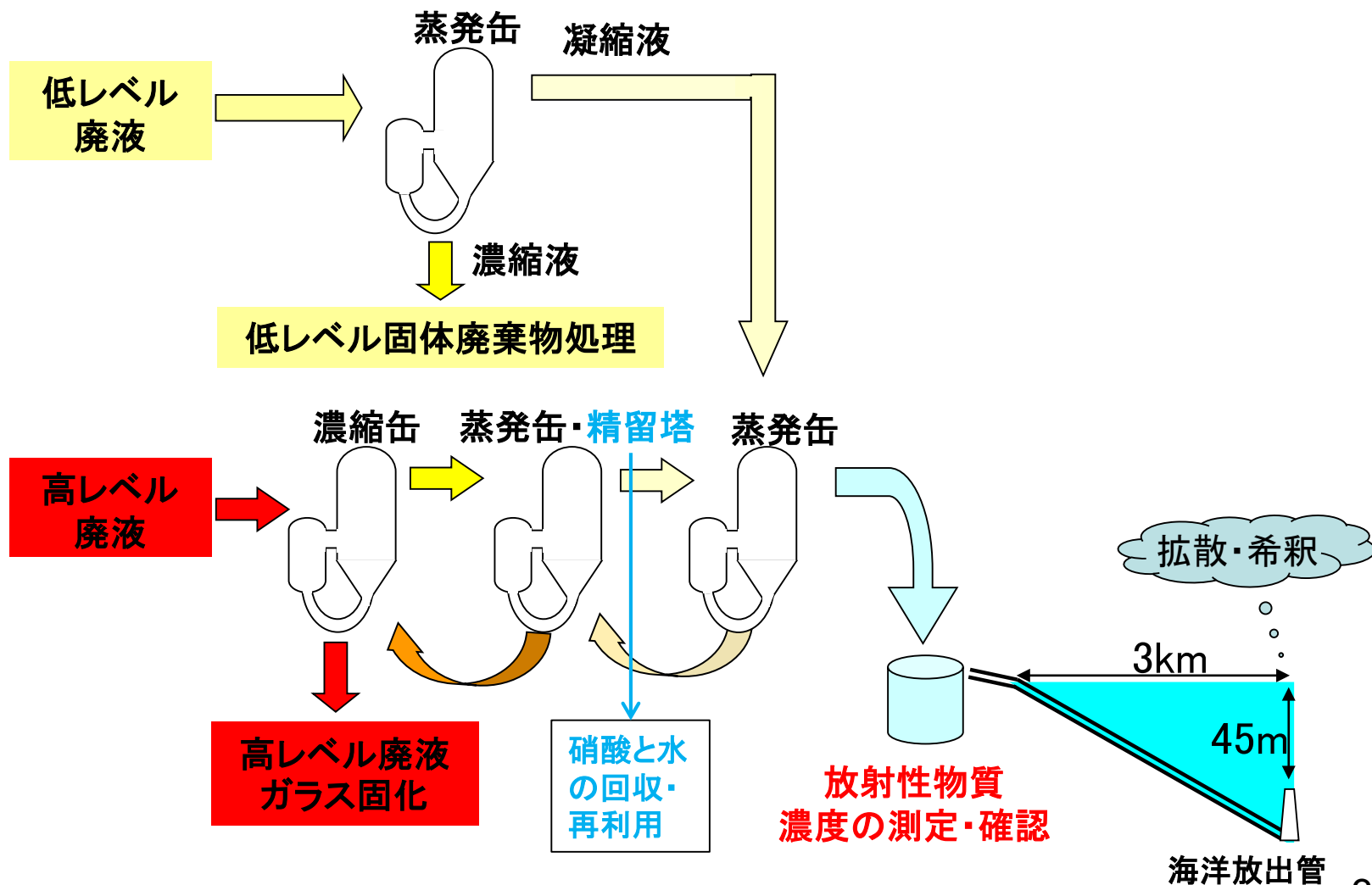
1-12. 廃棄物処理工程(2)

➤ 気体廃棄物処理 (塔槽類廃ガス処理系の例)

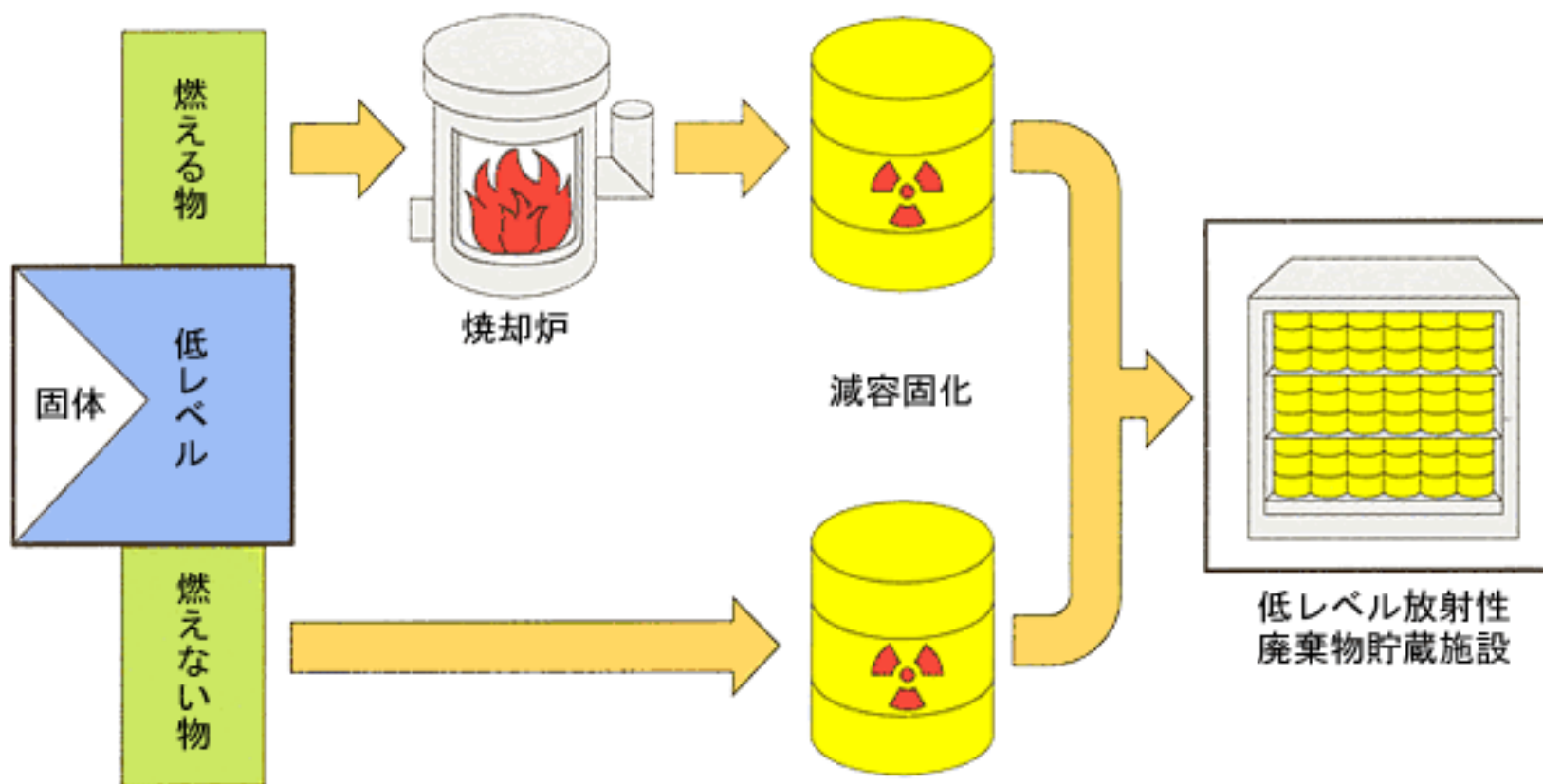


1-12. 廃棄物処理工程(3)

➤ 液体廃棄物処理



➤ 固体廃棄物処理



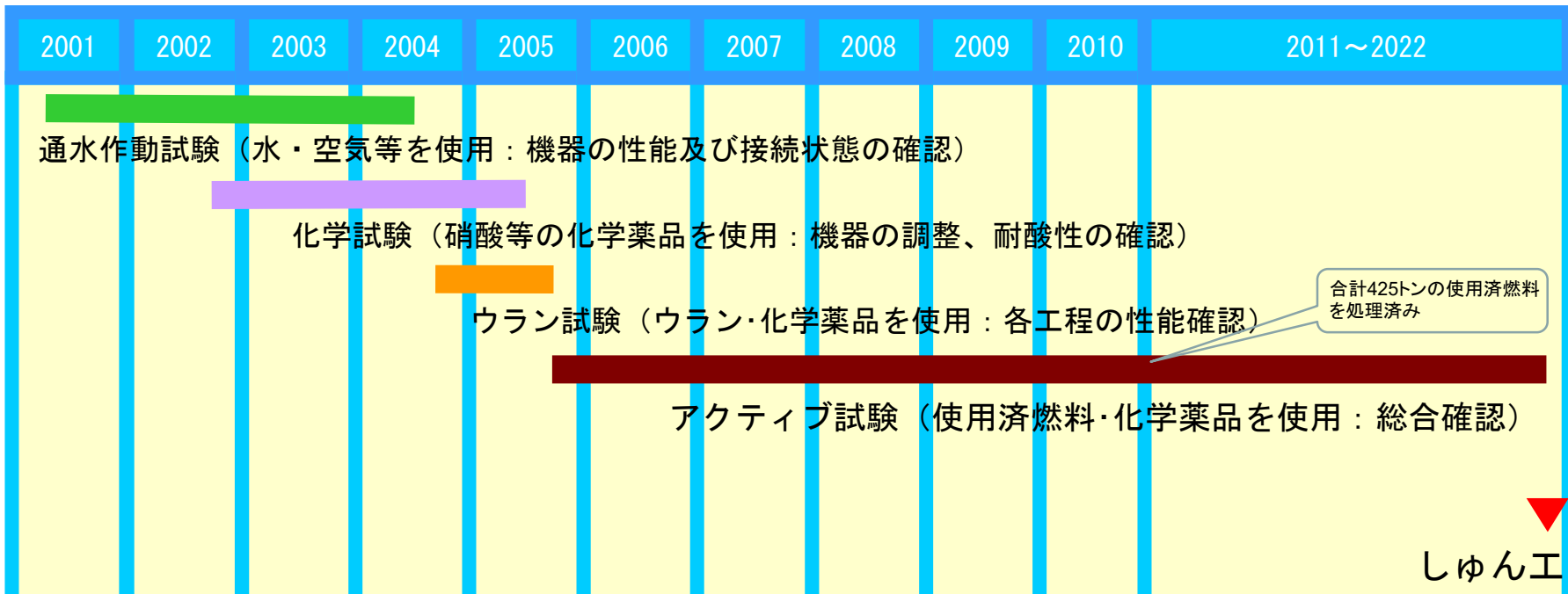
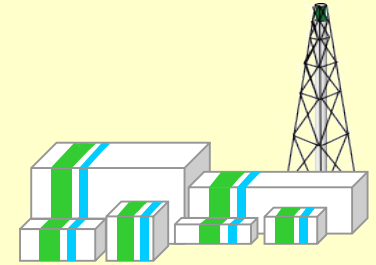
2. 再処理工場の試験運転

2-1. 試験運転の目的とスケジュール



試験運転の目的

- 機器の動作や性能の確認
- 機器等の不具合や故障を操業前に早期に見つけ出し、手直しを実施
- 運転要員や保修要員等の技術的能力の向上、運転手順書等の充実



再処理工場の試験は、操業状態に段階的に近づけながら実施

2-2. アクティブ試験の各ステップ



■施設の安全機能及び機器・設備の性能確認

第1ステップ	■せん断・溶解施設のA系列でPWR燃料により確認	■燃焼度 低～中 ■冷却期間 長～中	2006年6月終了 再処理量 約30トン
	■ホールドポイント1※		
第2ステップ	■引き続き、A系列でPWR燃料により確認後、BWR燃料についても確認	■燃焼度 低～中 ■冷却期間 長～短	2006年12月終了 再処理量 約60トン
	■ホールドポイント2※		
第3ステップ	■第1、第2ステップで確認した事項を中心にB系列で確認	■燃焼度 低～高 ■冷却期間 長～短	2007年4月終了 再処理量 約70トン
	■工場全体の安全機能及び運転性能確認		
第4ステップ	■工場全体の処理性能等をPWR燃料により確認	■燃焼度 高 ■冷却期間 中～短	2008年2月終了 再処理量 約160トン
	第5ステップ 実施中	■工場全体の処理性能等をBWR燃料により確認	■燃焼度 低～高 ■冷却期間 長～短

- ・ホールドポイントでは、線量当量率、空気中の放射性物質濃度、溶解性能、核分裂生成物の分離性能、ウランとプルトニウムの分配性能、プルトニウム逆抽出性能、環境への放出放射エネルギーを評価
- ・これらの評価は、アクティブ試験の早い段階で実施することとし、第1ステップ及び第2ステップで一通り確認できることから、同ステップ後にホールドポイントを設定

2-3. 再処理工場の現在の状況

- 現在、新規制基準への対応を実施中
- しゅん工までに下記を実施
 - ◆ 安全性向上対策工事
 - ◆ 新規制基準への適合確認
 - ◆ 長期にわたり停止していた設備の起動前確認
 - ◆ 中断していたアクティブ試験の再開
 - ◆ ガラス固化設備の使用前検査
 - ◆ 全ての設備の機能確認
- しゅん工後は地元自治体の理解を得て、操業運転を開始

