

バックエンド週末基礎講座

於 京都大学原子炉実験所

概論2：再処理リサイクルと地層処分

13:00～14:30

京都大学大学院工学研究科
原子核工学専攻
佐々木隆之

熊取谷檀尻

檀尻 天保十一年正月廿五日

因 天保七年正月廿五日

因 天保十一年正月廿五日

因 天保七年正月廿五日

檀尻 天保七年正月廿五日

檀尻 天保七年正月廿五日

因 天保七年正月廿五日

檀尻

檀尻

檀尻 天保七年正月廿五日

右、熊取谷檀尻

天保十一年正月

熊取谷檀尻

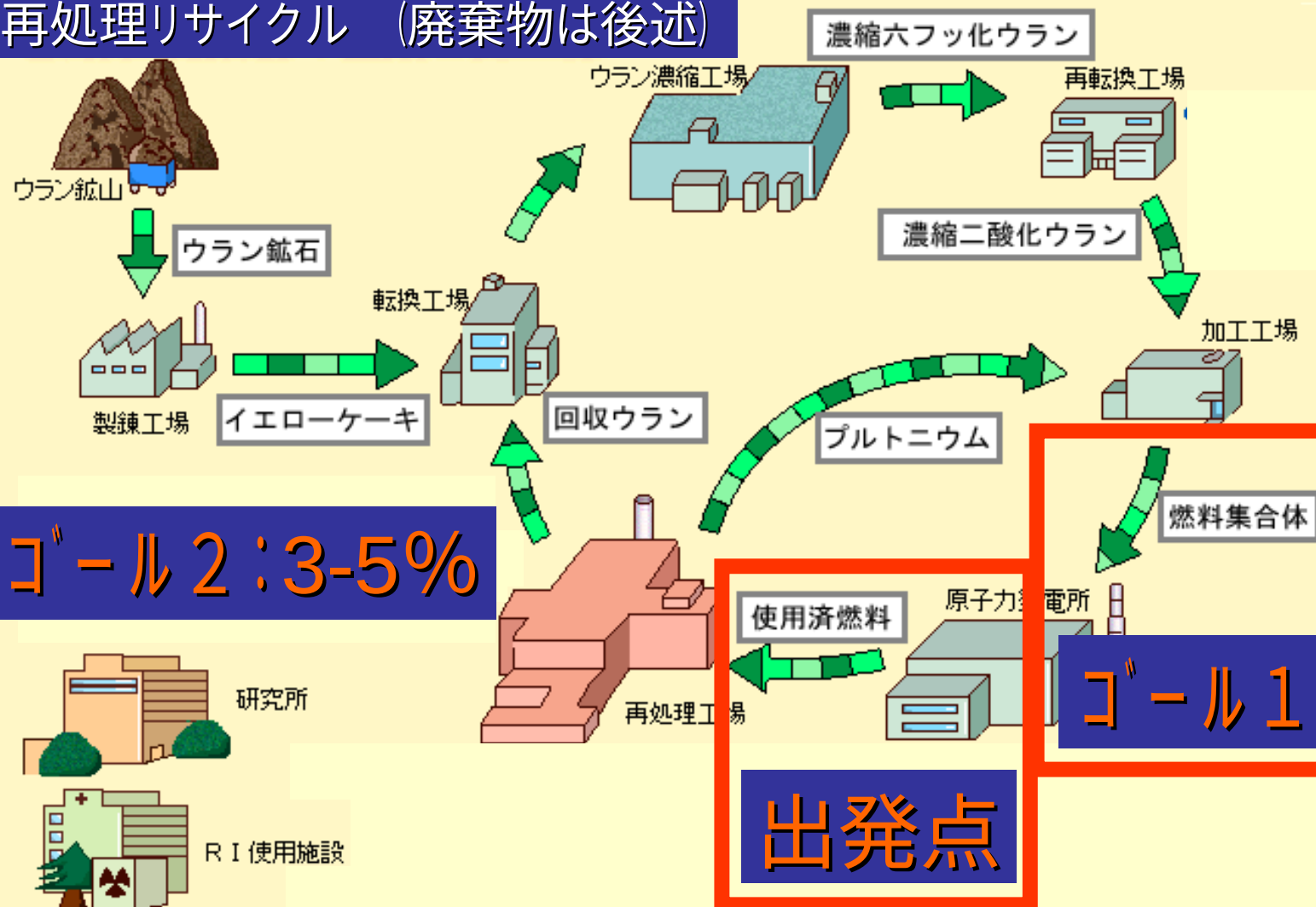
1841年（天保12）の熊取谷檀尻（地車）書上げ（中）



1: 处理

2: 区分

再処理リサイクル (廃棄物は後述)



使用済燃料受入れの概要

出発点

せん断・溶解技術

チョップ・アンド・
リーチ法

溶媒抽出技術

ピューレックス法

脱硝技術

・流動層脱硝法
・マイクロ波加熱法

受入貯蔵

キャスク

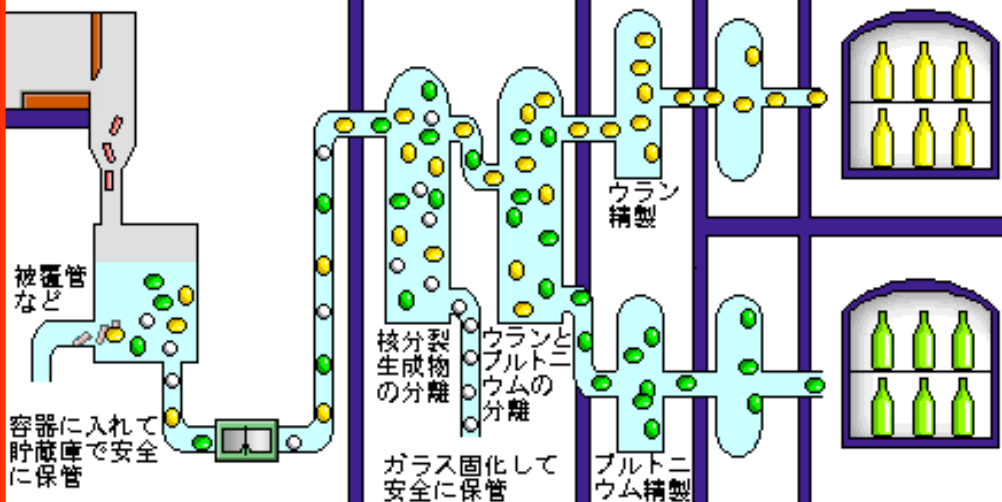
せん断・溶解・清澄

分離

精製

脱硝

製品貯蔵



キャスクの種類

概要

特徴等

湿式

キャスク内部は水雰囲気

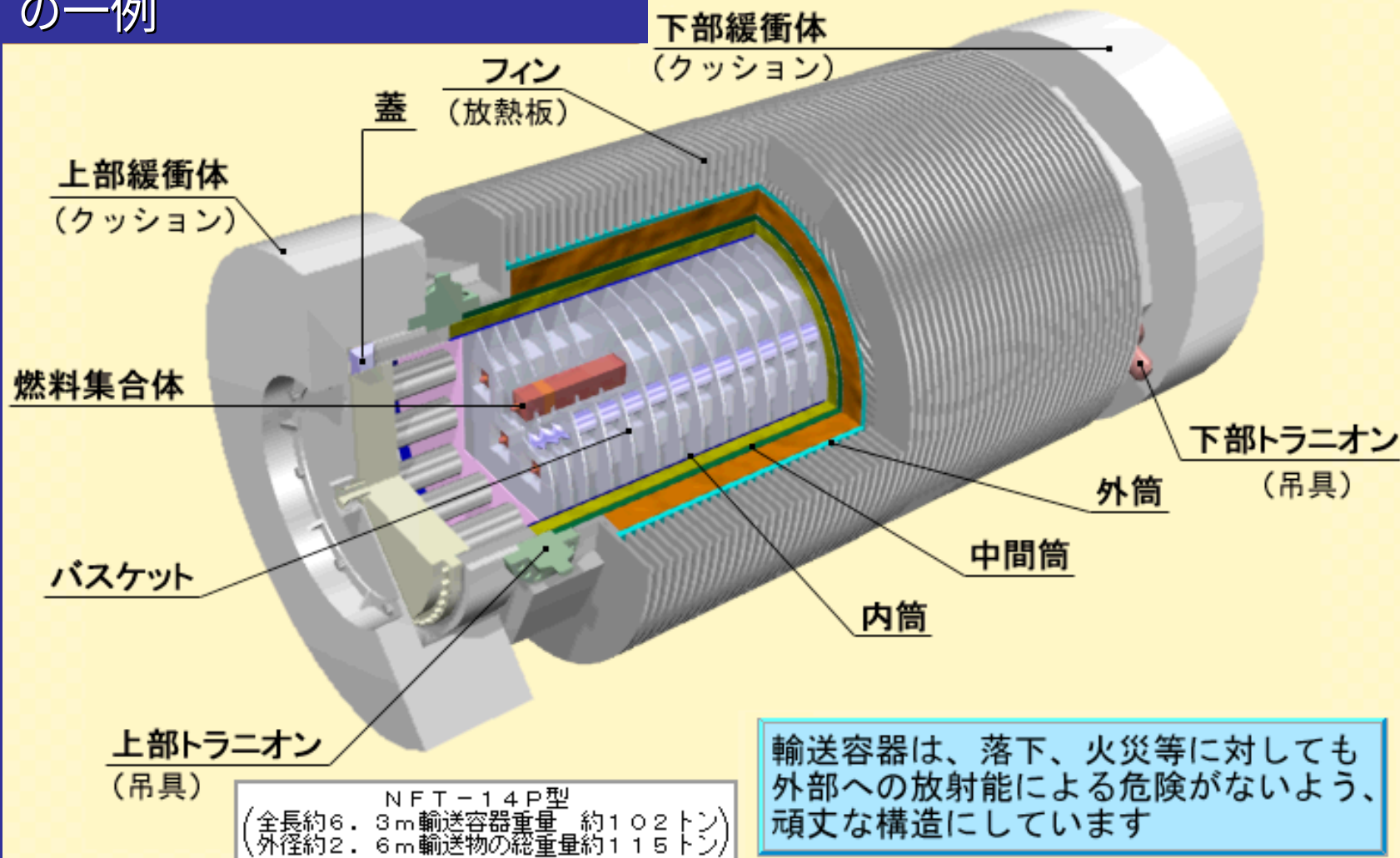
・放熱効率が大きい
・燃料取出し時、内部の水の処理が必要

乾式

キャスク内部はヘリウム
雰囲気

・放熱効率が小さい
・燃料取出し時、内部の水の処理が不要

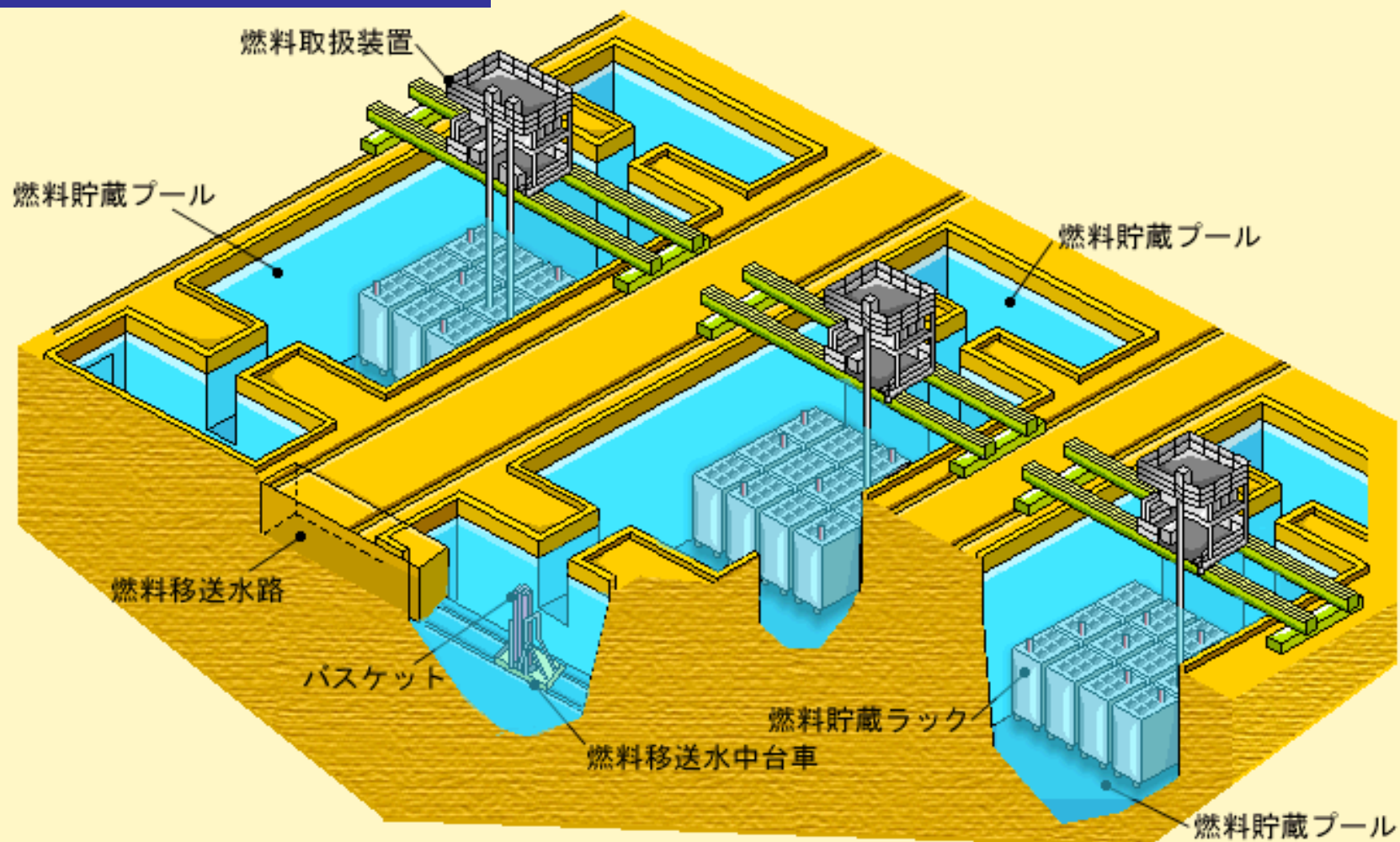
使用済燃料輸送容器 (キャスク) の一例



貯蔵方式

貯蔵方式	概 要
湿 式	・ 原子力発電所を始め、再処理工場でも広く採用 ・ 使用済燃料の崩壊熱を水で除去 ・ 放射線の遮へいとして水を使用
乾 式	・ 近年、大量の使用済燃料を抱えた国で、発電所の敷地内、外貯蔵施設として採用 ・ 使用済燃料の崩壊熱を空気、不活性ガス、構造体(コンクリート、金属)等を介して除去 ・ 放射性物質の閉じ込めバリアとして、使用済み燃料をキャニスタ(貯蔵管)、キャスクといった密閉容器に入れ建屋内に貯蔵

湿式貯蔵プールの一例



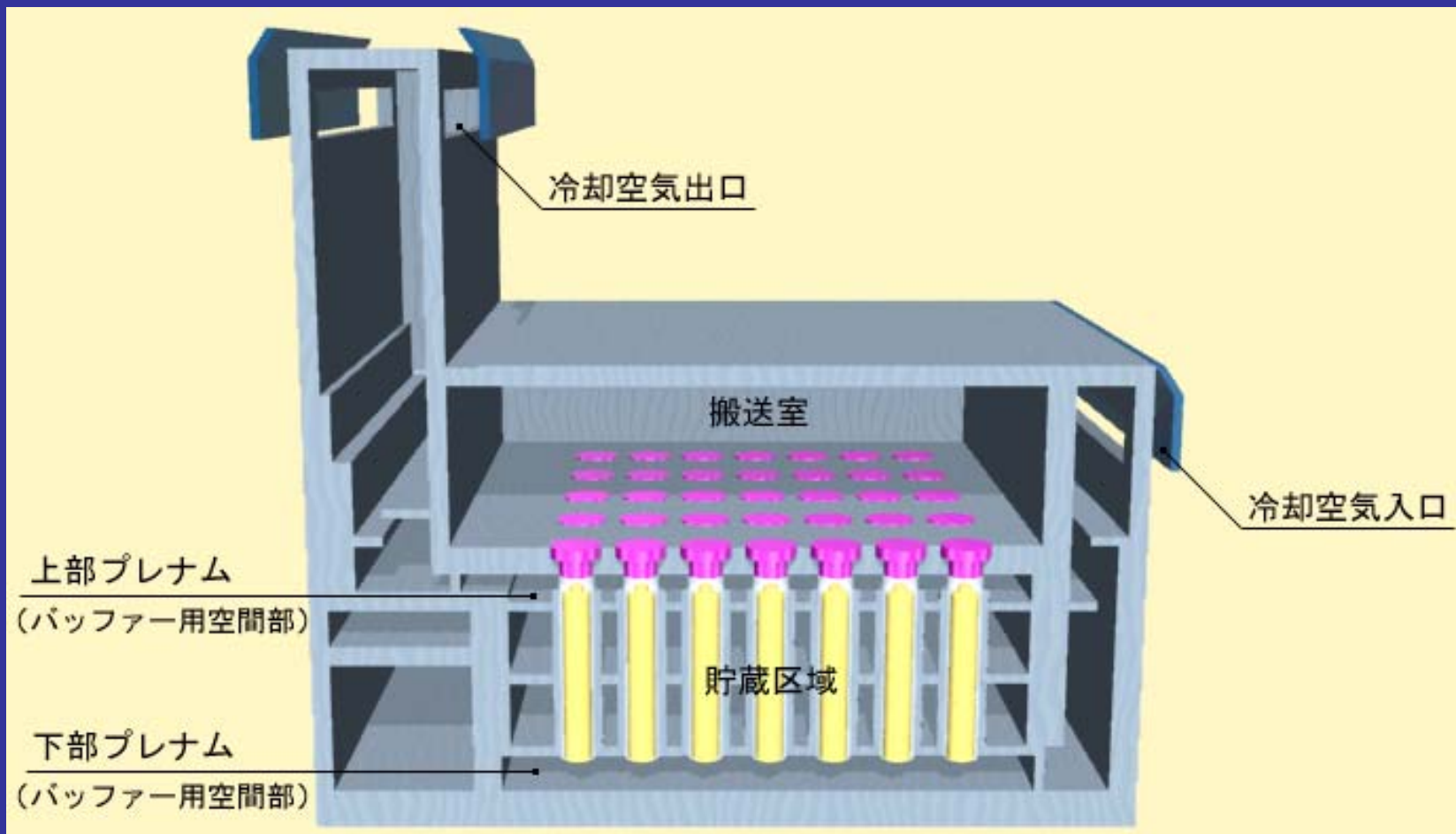
湿式貯蔵

湿式貯蔵法	概 要	特 徴 等
ラック式 (日本原燃 六ヶ所 再処理工場)	キャスクから取出された燃料を貯蔵プールのラックに一体ずつ貯蔵する方式	・燃料集合体単位で取扱うのでハンドリングが容易 ・ラックが床固定なので耐震性に優れる ・燃料取扱装置が小型にできる
バスケット式 (フランス UP2-800、UP3)	キャスクから取出された燃料を複数体まとめてバスケットに入れ、貯蔵プールへ移送貯蔵する方式	燃料を取扱う時間が短縮でき、貯蔵位置で燃料を垂直に取扱う必要がない為、貯蔵プールの水深をラック式より浅くできる
ボトル式 (動燃 東海 再処理工場)	キャスクから取出された燃料を一体ずつ密封容器(ボトル)に入れ、ボトル単位又は複数個組み合わせたバスケットを貯蔵プールへ移送貯蔵する方式	・密封容器を利用することにより、貯蔵プール水質を清浄に保てる ・貯蔵プールの水深をラック式より浅くできる
マルチ エレメント ボトル式 (イギリス THORP)	キャスクから内部に組み込まれ着脱式内部密封容器を取出し、そのまま、貯蔵プールに移送貯蔵する方式	・燃料取扱い時間を短縮でき、貯蔵プール水質を清浄に保てる ・貯蔵プールの水深をラック式より浅くできる

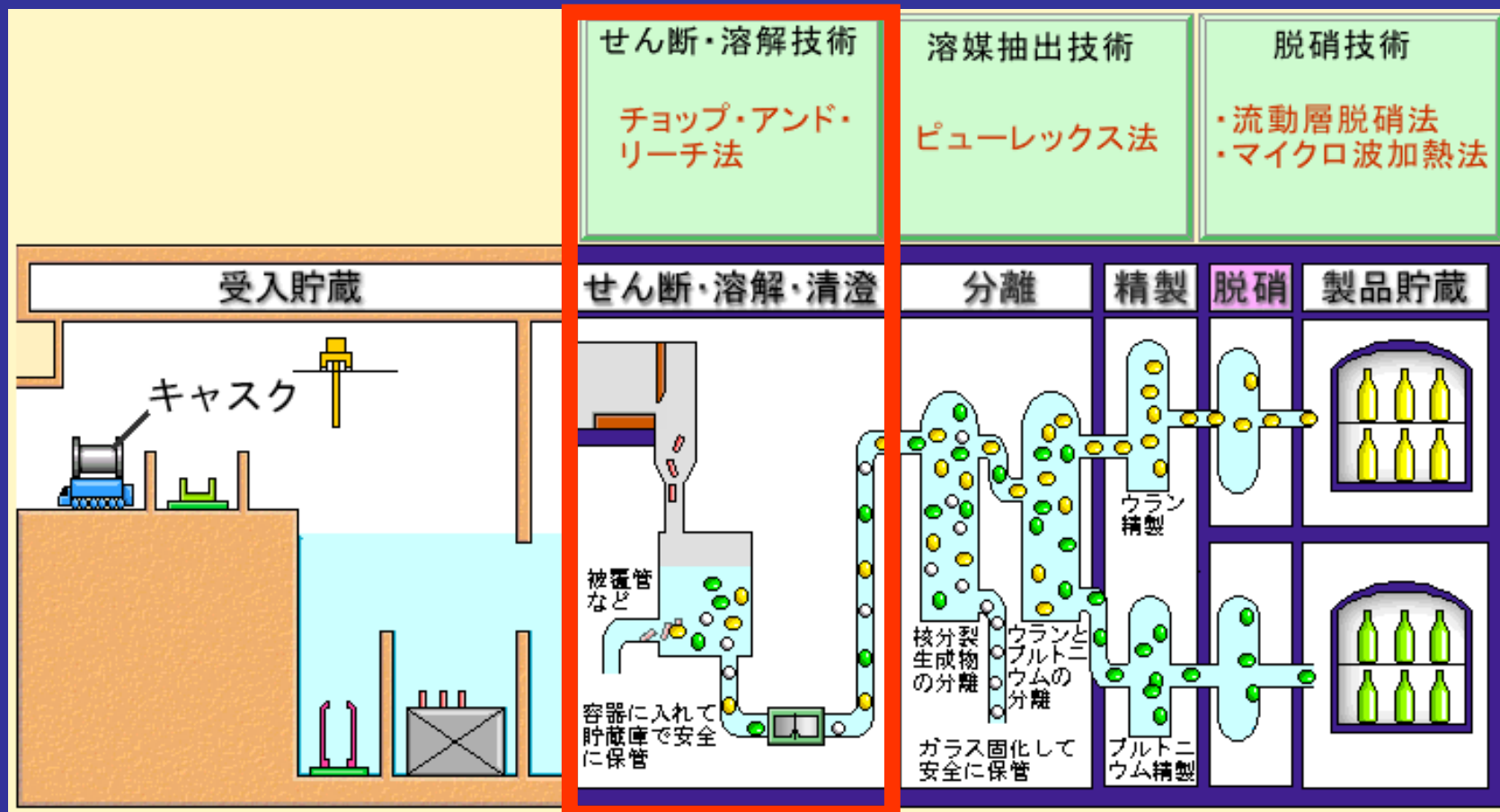
乾式貯蔵

乾式貯蔵法	概 要	特 徴 等
ボルト方式	使用済燃料を構造物内に配列したキャニスタ内に収納し、自然循環空冷保管する方式	高密度貯蔵が可能で、貯蔵コストが安いが一度に大型の設備投資が必要
サイロ方式	使用済燃料をコンクリート・サイロに収納し、自然循環空冷保管する方式で縦型と横型がある	コンクリート・サイロの製作は容易で安価なものの、貯蔵は低密度で広いスペースが必要
キャスク方式	使用済燃料を貯蔵キャスク(輸送・貯蔵兼用キャスクも可能)に収納し、空冷保管する方法	貯蔵施設建屋が簡易で、貯蔵量に応じて貯蔵容量の増加が可能なものの大容量貯蔵時の貯蔵コストは高い

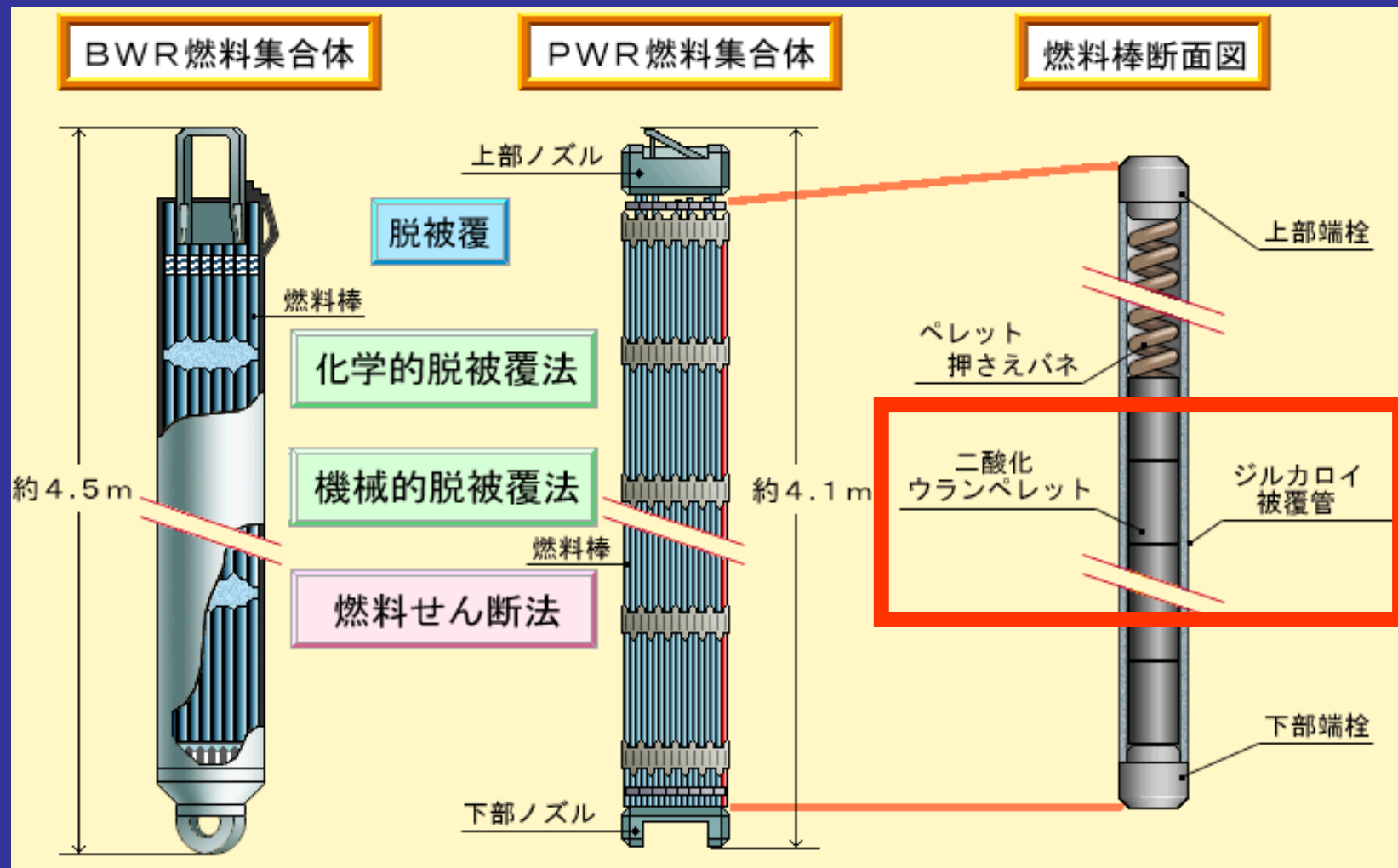
乾式貯蔵の一例：ボルト貯蔵施設



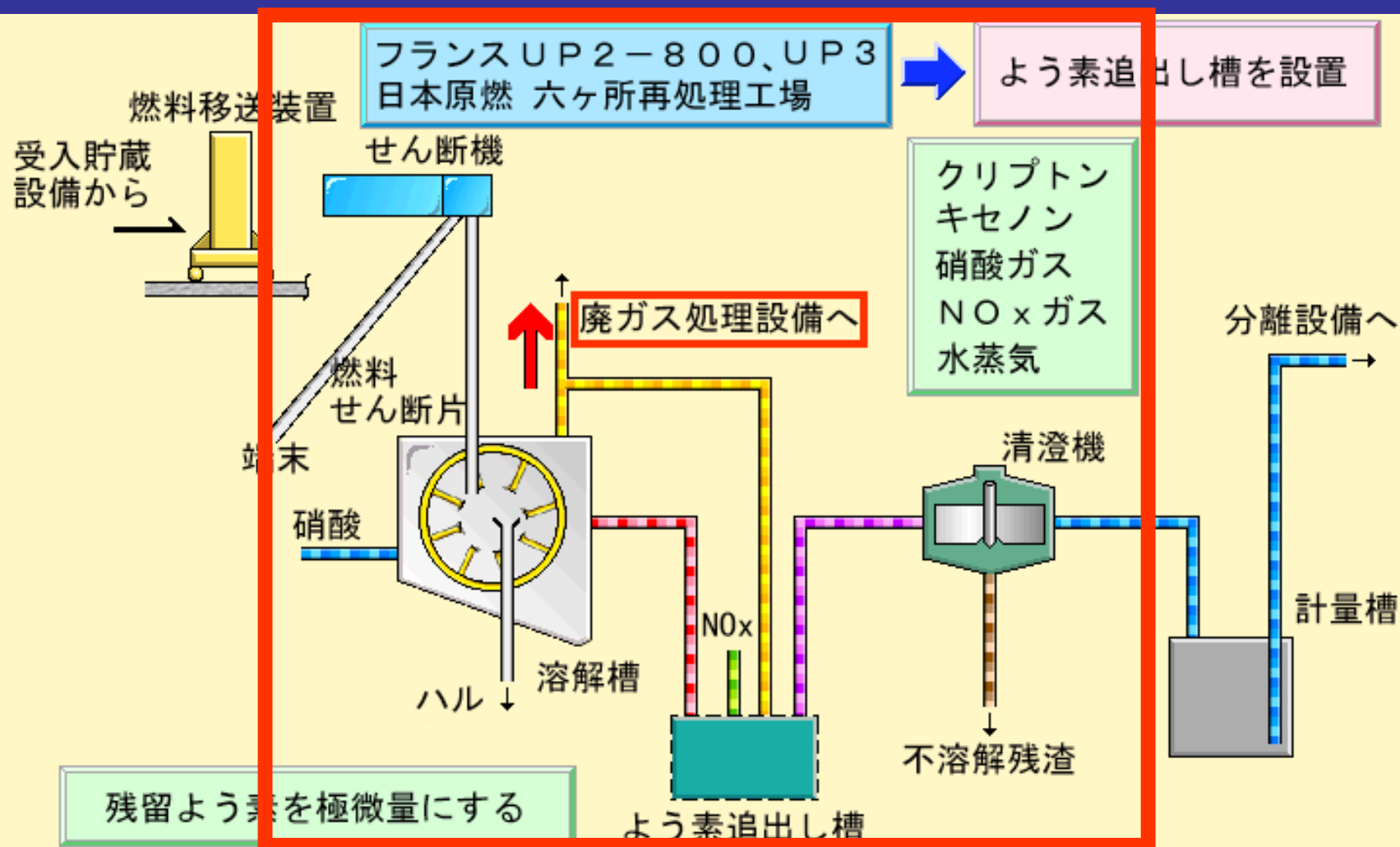
使用済燃料受入れの概要



燃料集合体と燃料棒



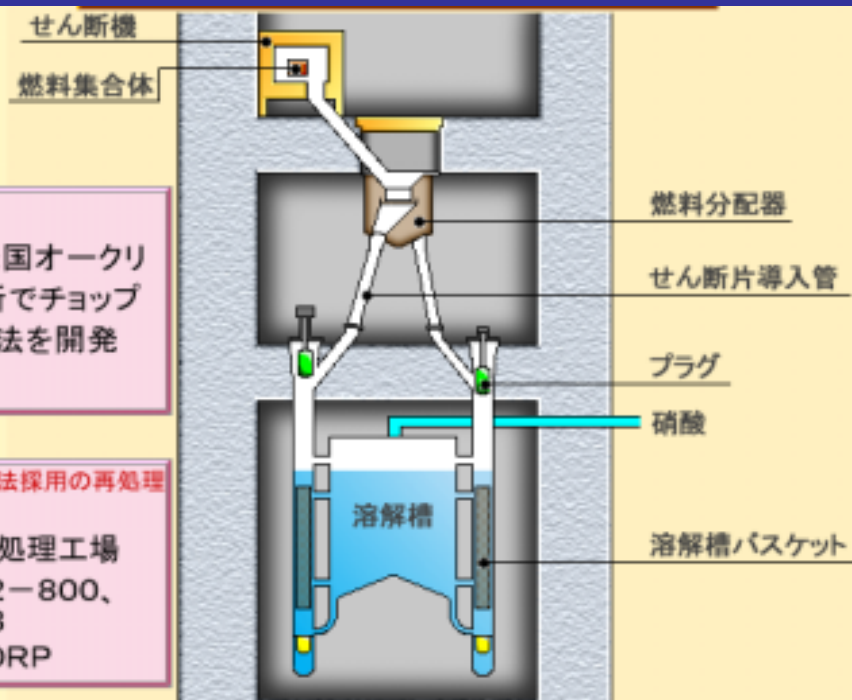
せん断から溶解までの流れ



燃料溶解方式

溶解方式	概 要	特 徴 等
バッチ式	一定量の燃料が、必要とされる硝酸とともにまとめて槽内に供給され、一回の溶解が終了すると、溶解槽は空にされ、次の燃料バッチが供給され、溶解が行われる。これを繰り返し行うものである	・燃料供給、燃料被覆片（ハル）取り出しが容易である ・運転操作が複雑 ・処理量が小さい
連続式	燃料、硝酸ともに連続して供給され、溶解液と不溶解残渣も連続して取り出されるものである	・燃料供給、燃料被覆片（ハル）取り出し機構が複雑になる ・運転が簡便 ・処理量大きい

せん断と溶解の工程



1960年代、米国オークリッジ国立研究所でチョップ・アンド・リーチ法を開発

チョップ・アンド・リーチ法採用の再処理工場

動燃：東海再処理工場
フランス：UP2-800、UP3
イギリス：THORP

比表面積

温度

攪拌条件

硝酸濃度

燃焼度

細
高
早
高
高

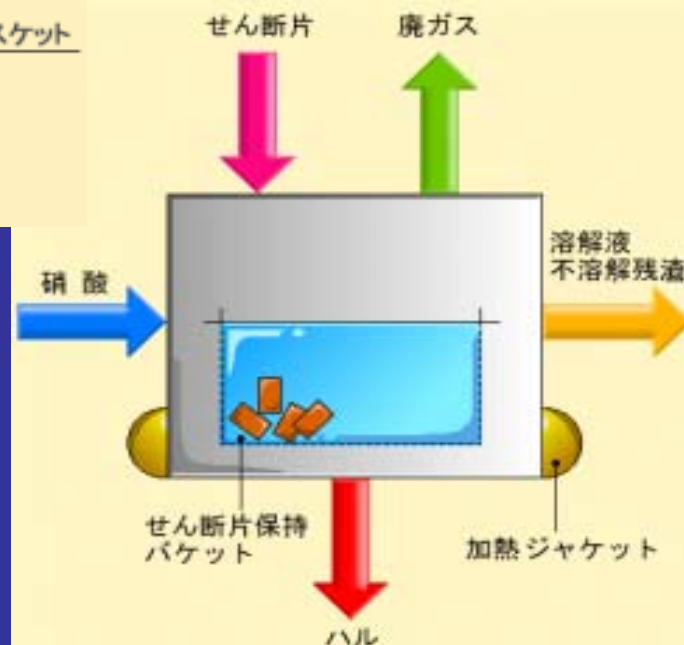
燃料が供給できる

硝酸が供給できる

燃料と硝酸の接触時間が適度に維持できる

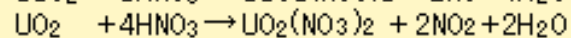
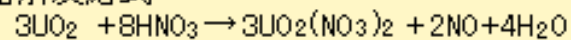
十分な溶解速度が得られる

溶解液、不溶解残渣、燃料被覆片（ハル）及び、発生する廃ガスを分離して取り出せる。



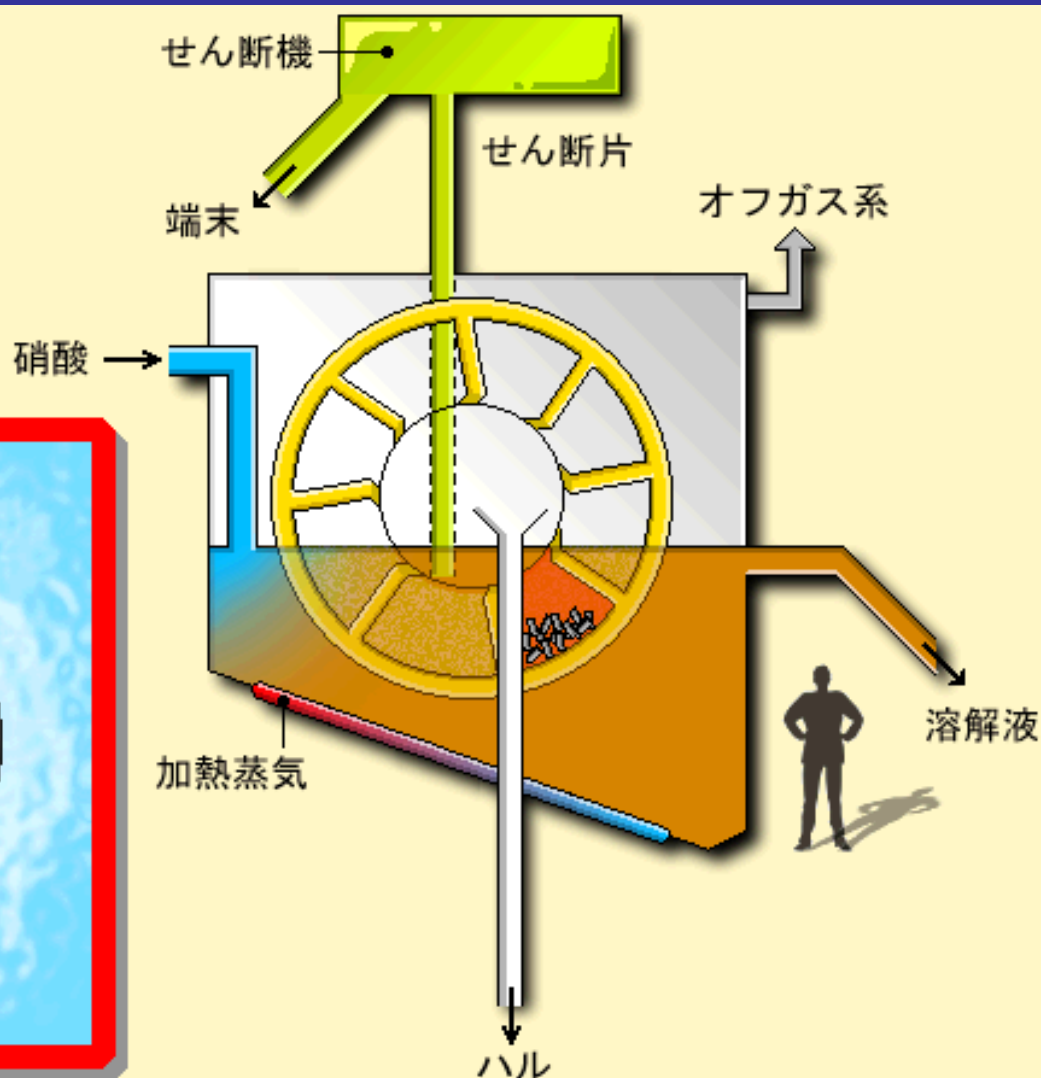
回転バケット型溶解槽

溶解反応式



溶解のイメージ図

燃料被覆片(ハル)

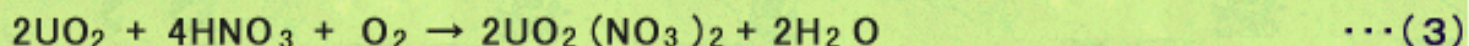


溶解反応式

Uの溶解

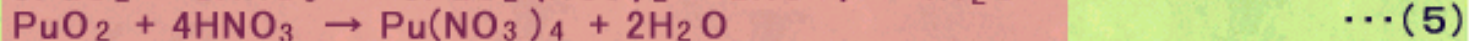
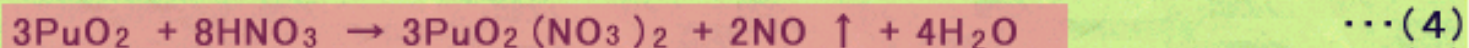


酸化ウランは、通常(1)と(2)の反応により、6価の硝酸ウラニルとして溶解する。



NO_xガスの発生を抑える目的で酸素を吹き込んでいる。(無フューム溶解)

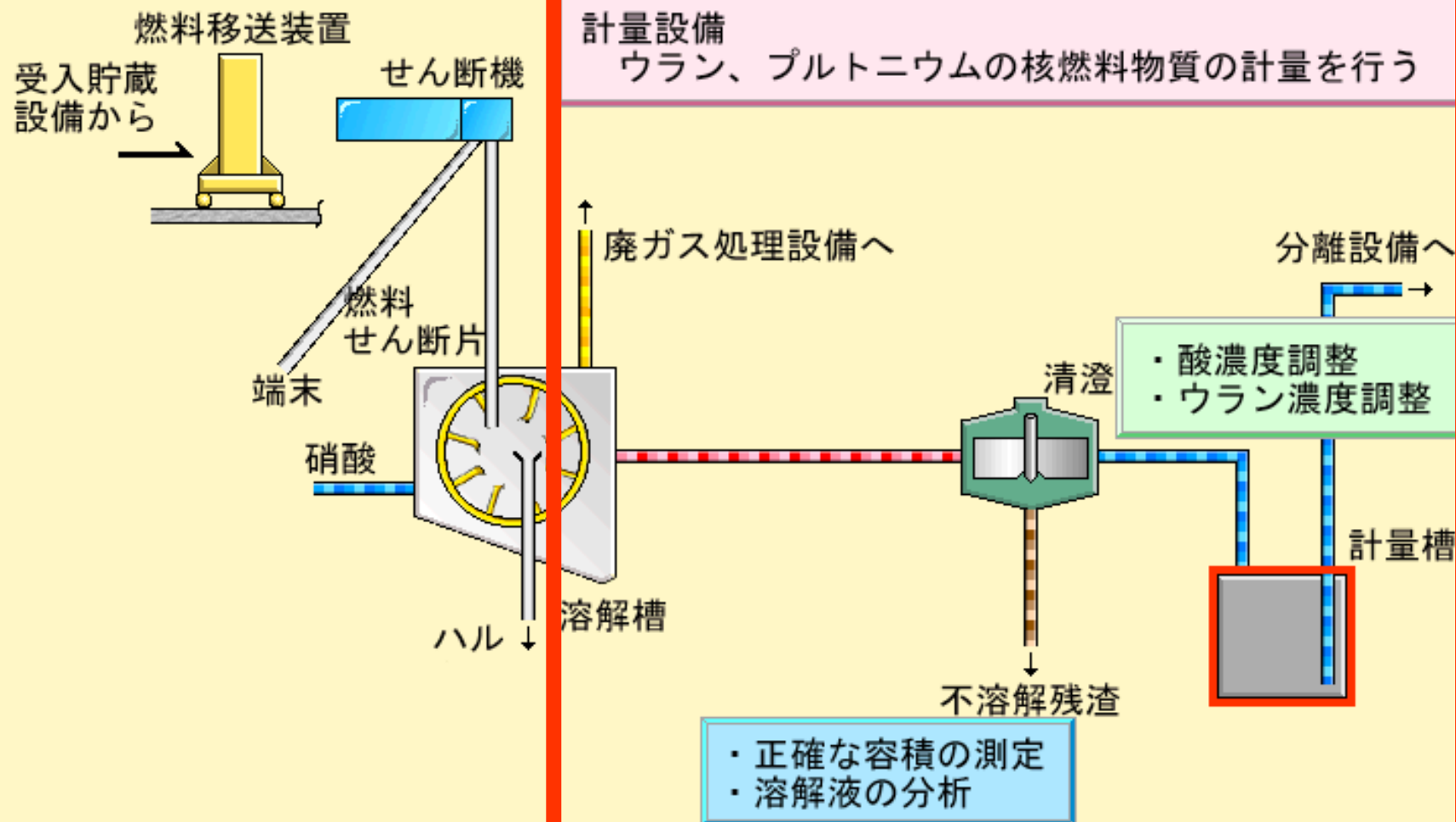
Puの溶解



酸化プルトニウムは(4)と(5)の反応により、6価と4価の硝酸プルトニウムとして溶解する。

(5)の反応が支配的なため、ほとんど4価の硝酸プルトニウムとして存在する

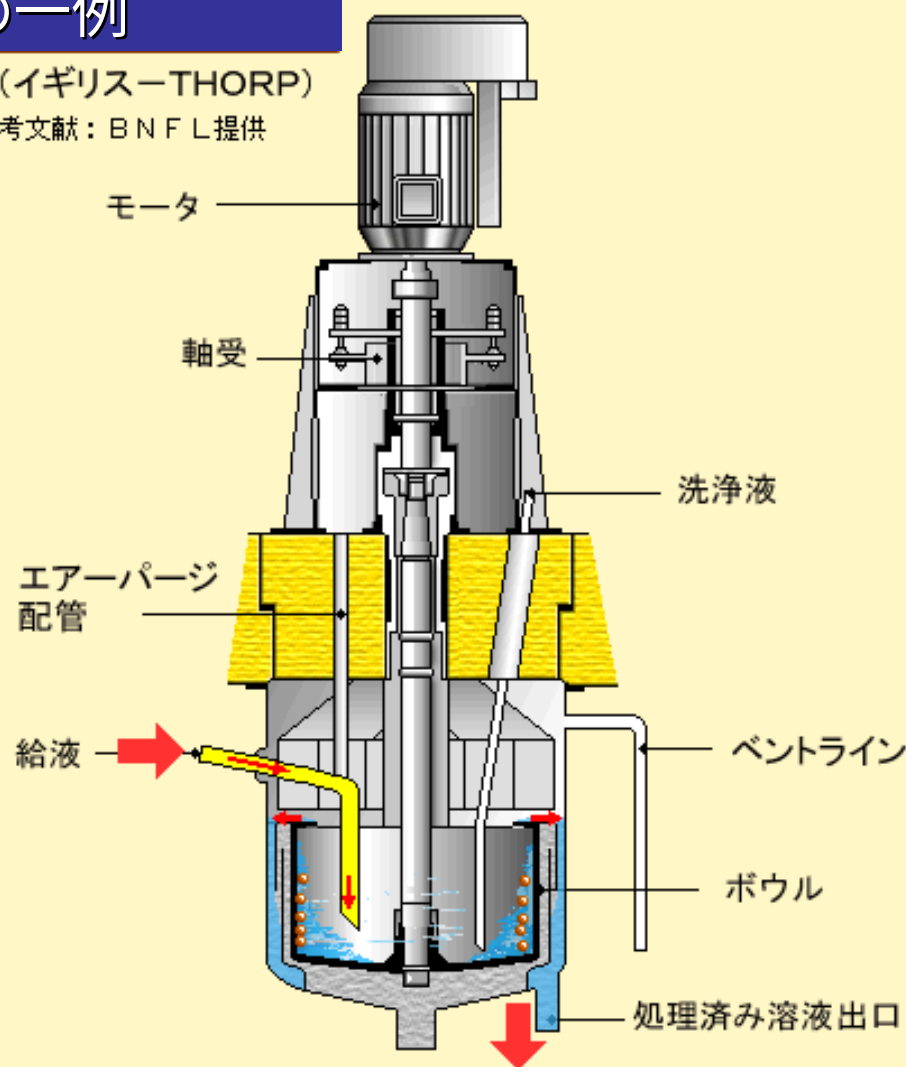
せん断から溶解までの流れ



遠心精澄機 の一例

(イギリス-THORP)

参考文献：BNFL提供



六ヶ所再処理工場

清澄機

種類

遠心式

主要材料

チタン (ボウル)

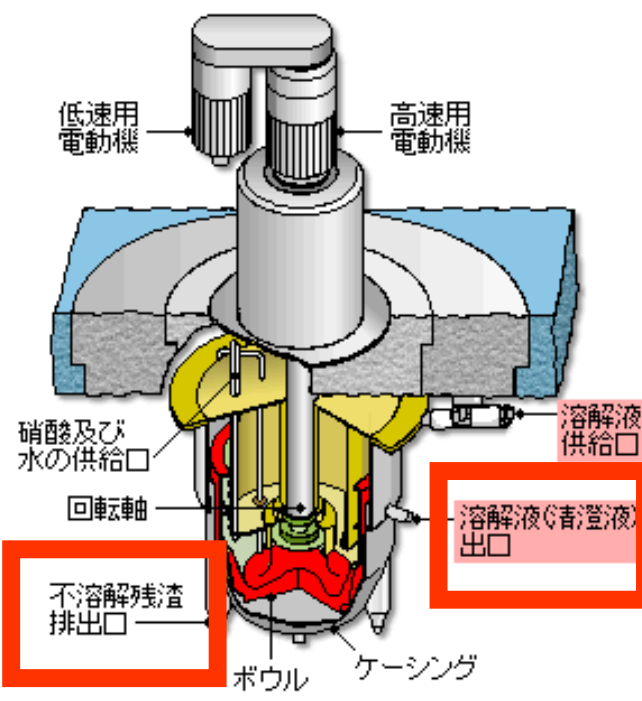
ステンレス鋼 (固定部)

回転数

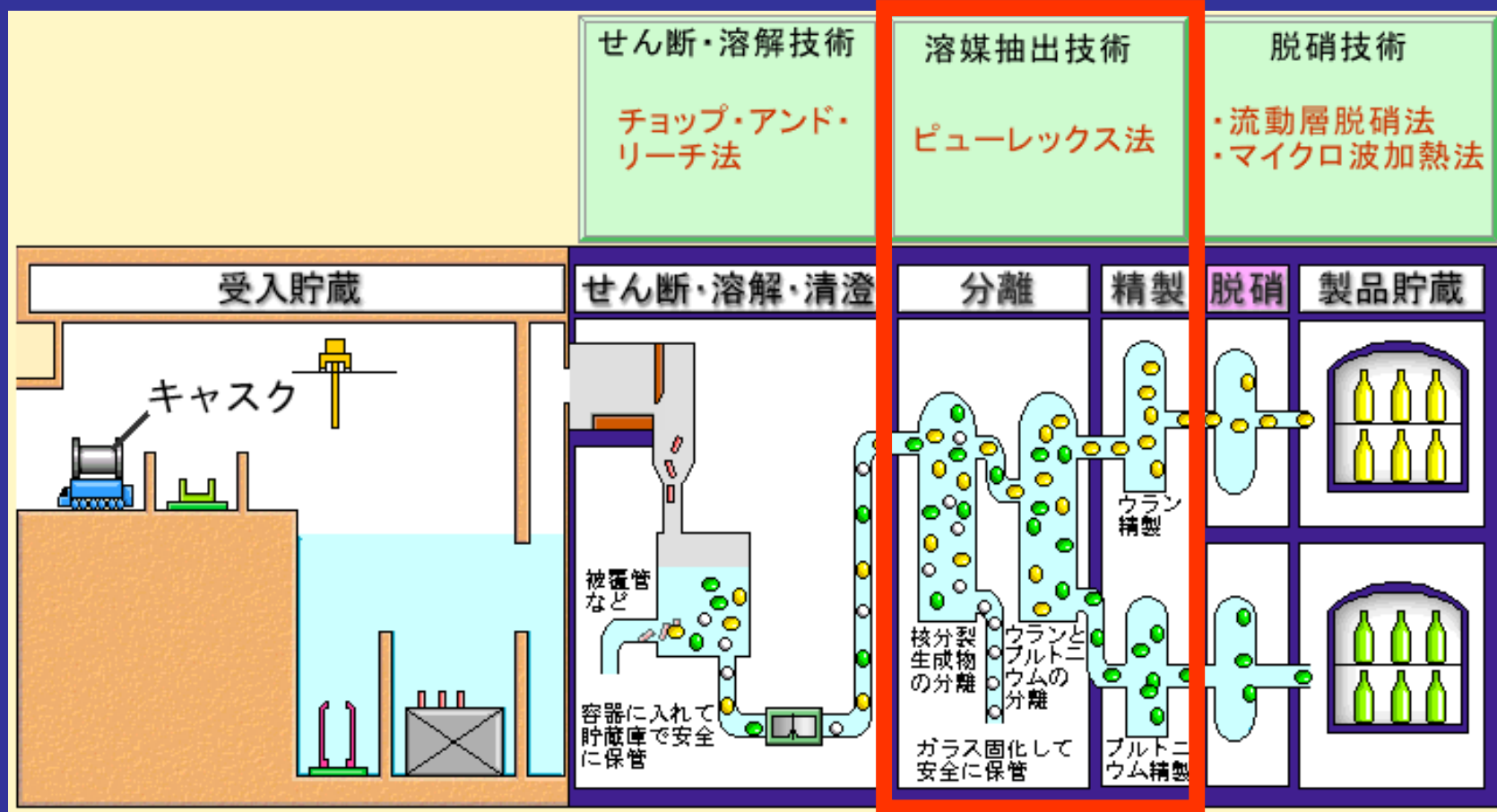
高速 約2000rpm

低速 約 5rpm

参考文献：再処理事業指定申請書 添付書類六



使用済燃料受入れの概要



U, Pu回収のための湿式再処理法の歴史

開発年度／場所	再処理法	概 要	特 徴
1944年 米、ハンフォード	リン酸ビスマス法	使用済燃料の硝酸溶液にリン酸ビスマス(BiPO_4)とフッ化ランタンを用いてプルトニウムを分別沈澱により精製、回収する湿式再処理法。	・多量の処理用薬品を必要とする。 ・ウランを回収できない。 ・ウランと核分裂生成物が分離されないため、廃棄物量が多い。
1952年 米、ハンフォード	レドックス法	ヘキソン(メチルイソブチルケトン)を溶媒として用いる湿式再処理法。	・ヘキシソンの揮発性、引火性が高い。 ・大量の添加剤を使用するため、廃棄物量が多い。
1952年 英、ウィンズケール	ブテックス法	DBC(ジブチルカルビトール)を溶媒として用いる湿式再処理法。	・廃液の発生量が少ない。 ・火災事故が発生したため、採用されなくなった。
1954年 米、サバンナリバー	ピューレックス法	リン酸トリブチル(Tributyl Phosphate, TBP)を溶媒とし、希釈剤にケロシン、ドデカンなどの炭化水素を用いる湿式再処理法。	・比較的廃液発生量が少ない。 ・溶媒の揮発性、引火性が低い。 ・溶媒が硝酸に対し化学的に安定である。 ・運転費が安い。

乾式法の概要と特徴

乾式法 (高温冶金法、熔融塩電解法など) についても再処理工程の削減などの先進的核燃料リサイクルの要件を満たす再処理技術の一つとして研究が進められている

種 類	概 要
フッ化物揮発法	ウランおよびプルトニウムの六フッ化物の揮発性を利用して、核分裂生成物から分離精製する方法。
電解精製法	ウラン、プルトニウムと核分裂生成物が、酸化および還元される時の電位差を利用して精製する方法。

利 点	・有機溶媒を使用しないので、放射線劣化の問題が少ない。 ・化学処理工程の数を減らすことができ、装置の小型化が可能である。 ・水を使用しないので臨界制約を緩和できる。
問 題 点	・核分裂生成物の分離性能が低い。 ・高温操作のため装置材料の適応性、装置の保守性が難しい。

世界の再処理工場

国名	運転者	工場所在地(工場名)	処理能力	操業開始年
イギリス	BNFL (イギリス原子 燃料会社)	セラフィールド (B-205)	天然ウラン 5トン/日 1,500トン/年	1964年
		セラフィールド (THORP)	濃縮ウラン 5トン/日 1,200トン/年	1994年
フランス	COGEMA (フランス核燃料 公社)	ラ・アーグ (UP2-800)	濃縮ウラン 4トン/日 800トン/年	1994年
		ラ・アーグ (UP3)	濃縮ウラン 4トン/日 800トン/年	1989年
日本	動力炉・核燃料 開発事業団	茨城県東海村 (東海再処理工場)	濃縮ウラン 0.7トン/日	1981年
	日本原燃(株)	青森県六ヶ所村 (六ヶ所再処理工場)	濃縮ウラン 4.8トン/日 800トン/年	2003年

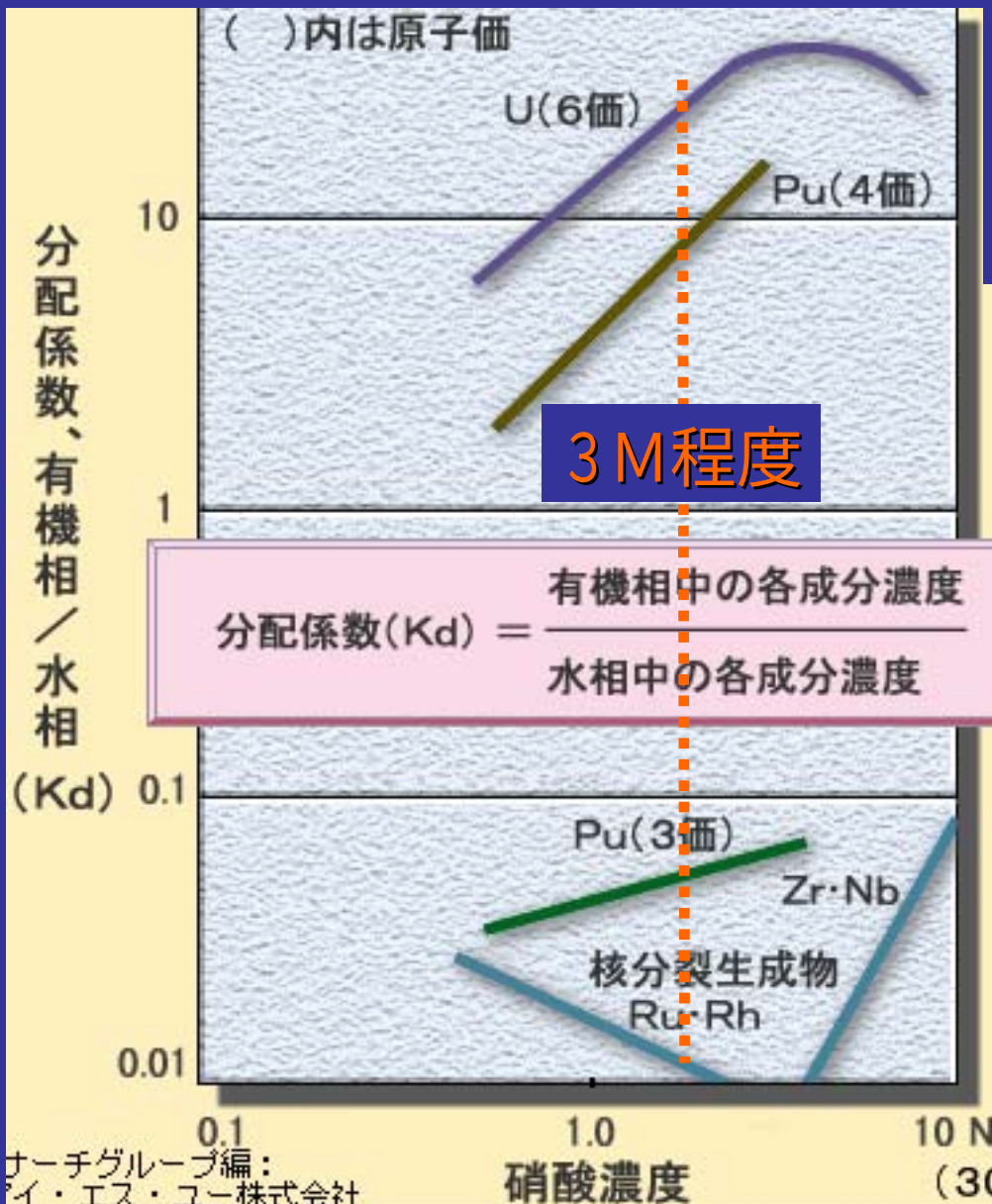
PUREX法

使用済燃料を硝酸溶解 (水相)
ドデカン-TBP (有機相)



PUREX法

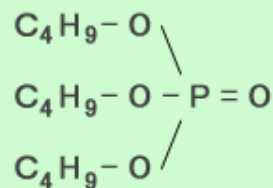
TBP-硝酸系における
分配係数 K_d



分配係数の値が大きいことはその成分が有機相へ移行しやすい

分配係数が酸濃度や原子価によって異なる

TBP・ドデカンの物性



TBPの特徴

- ・ 抽出性能が優れている。
- ・ 化学的に安定で、耐放射線が良い。
- ・ 水への溶解度が小さい。
- ・ 引火点が高い。

化学式	$(\text{C}_4\text{H}_9)_3\text{PO}_4$
分子量	266
色	水に似た白色
臭気	やや甘い
粘度 20℃	$3.32 \times 10^{-3} \text{ Pas}$
85℃	$0.8 \times 10^{-3} \text{ Pas}$
沸点 760Torr	289℃
密度 (25℃)	0.9724
引火点	145℃
水に対する溶解度(25℃)	0.39g/l
TBPに対する水の溶解度(25℃)	64g/l

ノルマルドデカン: $\text{C}_{12}\text{H}_{26}$ (直鎖のドデカン)

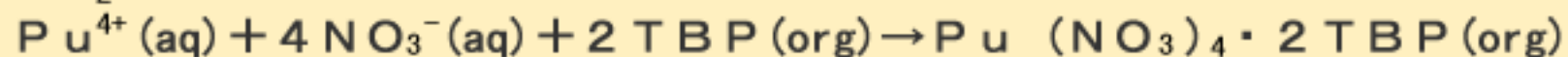
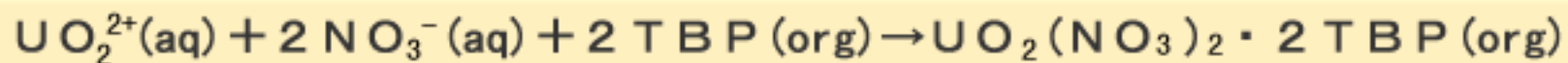


(Cの総数が12コ)

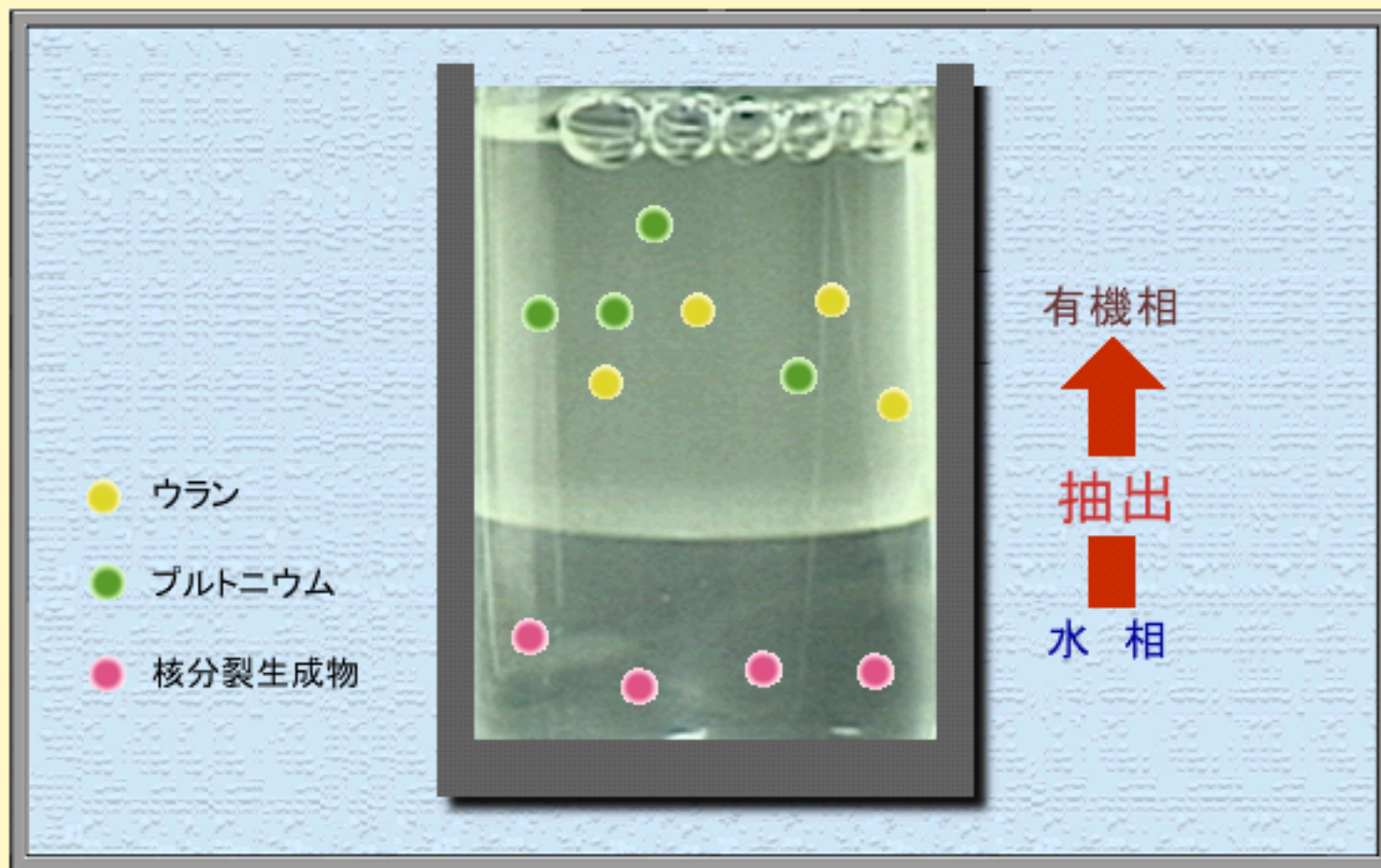
	n - ドデカン	ドデカン中 30v/oTBP
分子量	170.34	
25℃における密度(g/ml)	0.749	0.814
25℃における粘度(Pas)	0.00140	0.00173
引火点	74	78(計算値)

再処理工場	イギリス THORP	フランス UP2-800, UP3	動燃 東海再処理工場	日本原燃 六ヶ所再処理工場
希釈剤	オーダレス ーケロシン (白灯油)	ブランチードデカン	ノルマル ードデカン	ノルマル ードデカン

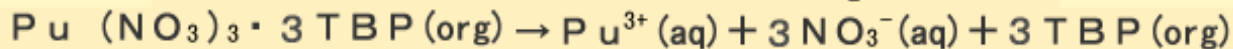
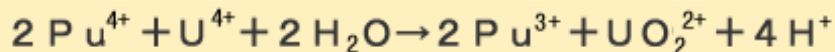
U, PuとFPの分離



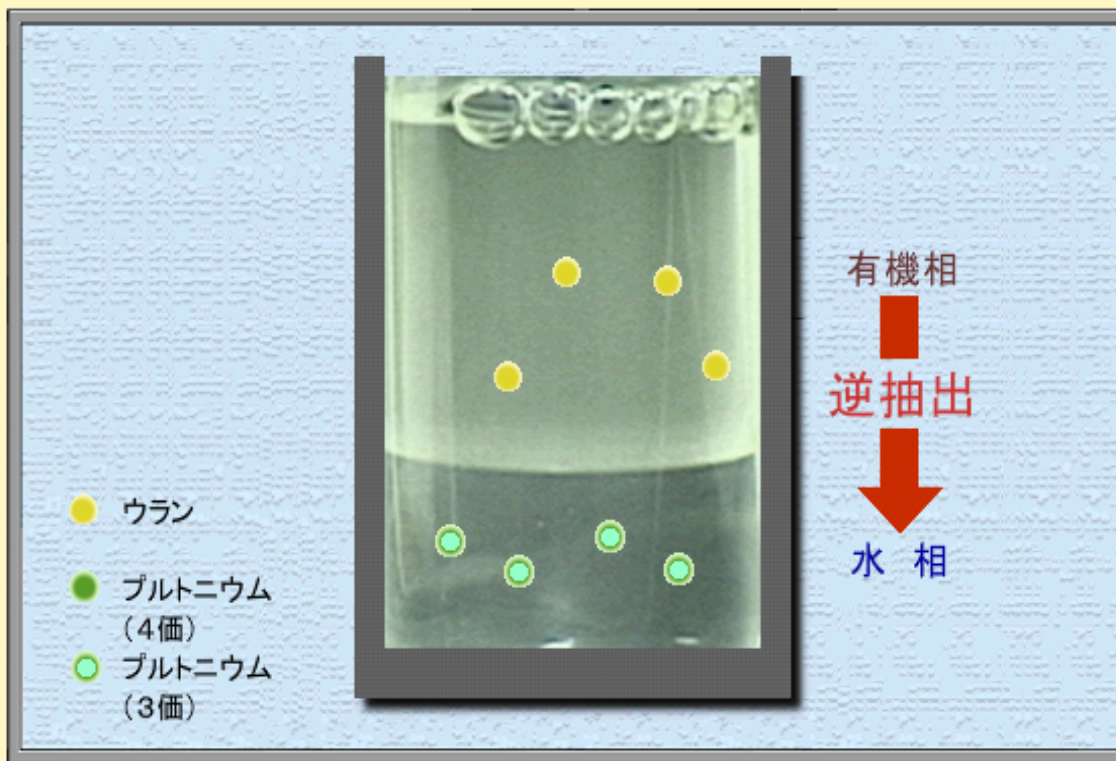
aq: aqueous 水相 org: organic 有機相



Puの還元およびUとPuの分離



aq:aqueous 水相 org:organic 有機相

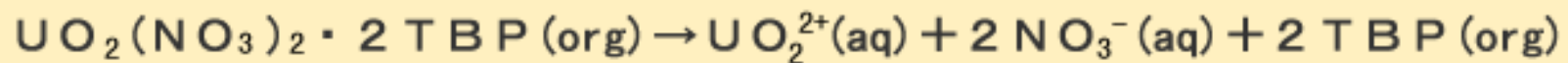


Pu還元剤

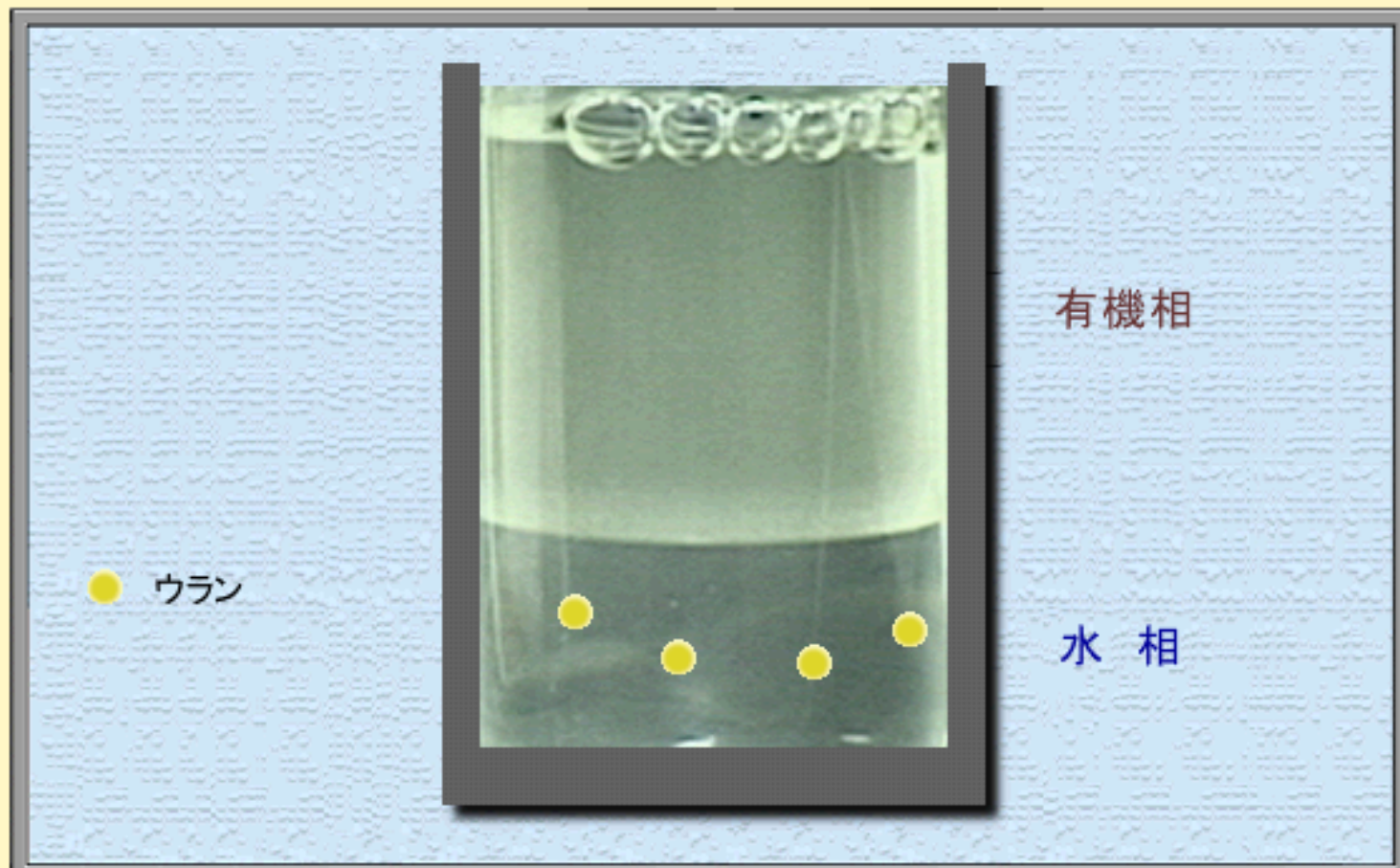
ウラナス:硝酸ウラナス $\text{U}(\text{NO}_3)_4$
HAN :硝酸ヒドロキシルアミン NH_3OHNO_3

工場名	フランス UP2-800	フランス UP3	イギリス THORP	勸業 東海再処理工場	日本原燃 六ヶ所再処理工場
還元剤	ウラナス	ウラナス HAN	ウラナス HAN	ウラナス	ウラナス HAN

Uの逆抽出



aq: aqueous 水相 org: organic 有機相



分離プロセスとして要求されること

抽出装置の特徴

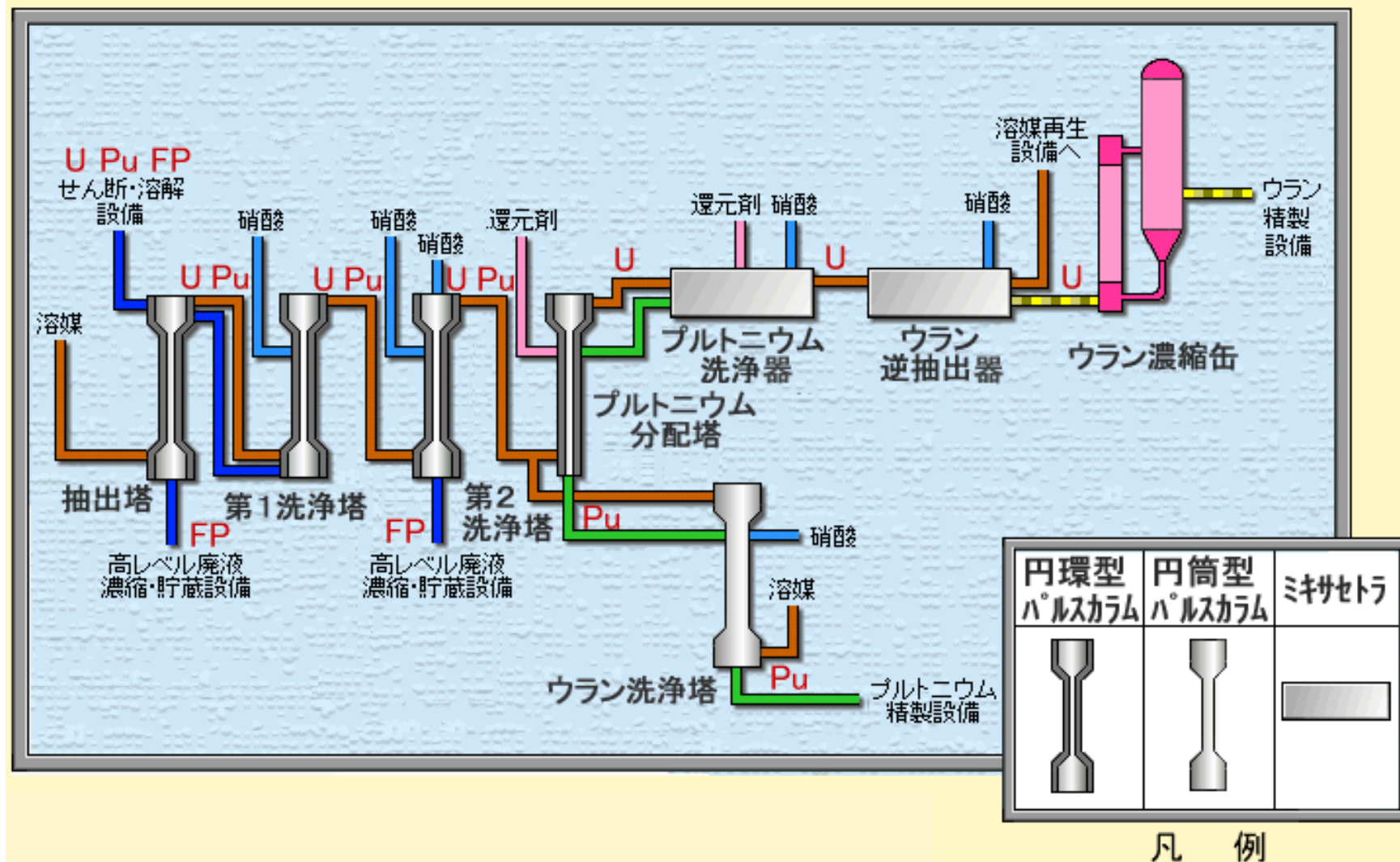
- ・臨界安全上の制限を受けた形状寸法
- ・高性能、高信頼性

有機溶媒は多量の放射性物質と接触するため放射線による損傷を受ける



有機溶媒と燃料溶解液との接触時間を可能な限り短くする

分離設備の一例：日本原燃六ヶ所



溶媒抽出装置の特徴

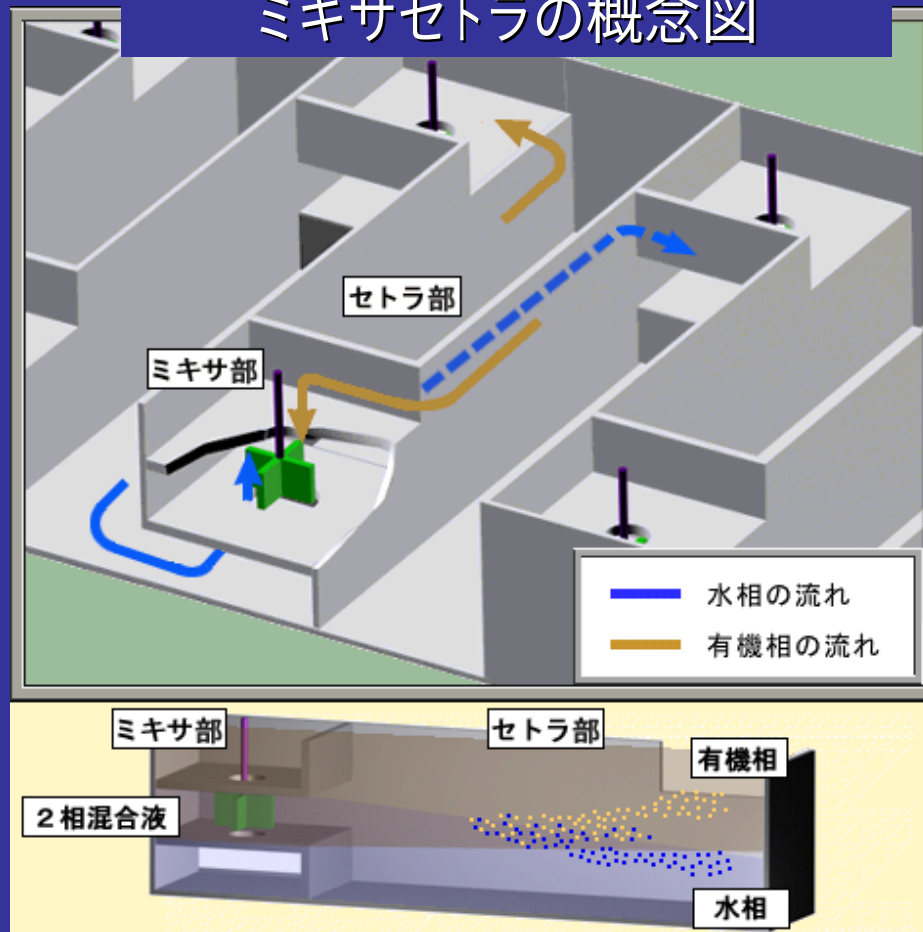
	概 要	特 徴
ミキサセトラ	水相と有機相を混合攪拌するミキサ部と、混合後の両相を静置するセトラ部から構成される。 混合攪拌し、静置することにより、比重の違いにより目的成分を分離させ抽出する。	・再処理工場で豊富な使用実績があり、技術的に高い信頼性がある。 ・抽出器内の滞留時間が長いため、放射線による溶媒の損傷を受けやすい。 ・多段式の場合、広い設置床面積を必要とする。
パルスカラム	カラム(塔)内部に分散板又は多孔板を何段も並べた円塔型の機器。 下部にパルス発生器からのパルス(脈動)を伝えるパルス伝達管を有している。 カラム内の溶液にパルスを与えることにより、分散板又は多孔板にて水相と有機相を混合し、目的成分を効率よく抽出する。	・抽出器内の滞留時間が短く、有機溶媒の放射線損傷が少ない。 ・ホールドアップが少なく、処理能力が大きくできるので臨界安全管理が容易。 ・塔高が高くなる。
遠心抽出器	水相と有機相を混合攪拌する回転羽根と、混合後、両相を分離させる回転筒から構成させる。 ミキサセトラやパルスカラムとの大きな違いは、水相と有機相の混合・分離に比重の違いに加え、更に遠心力を利用することである。	・分離に要する時間が短い。 ・抽出器内の滞留時間が短く、溶媒の放射線損傷が少ない。 ・ホールドアップ量が少なく、臨界安全管理が容易。 ・機械的駆動部が多く、構造が複雑である。 ・製作コストが高い。

溶媒抽出装置の採用実績

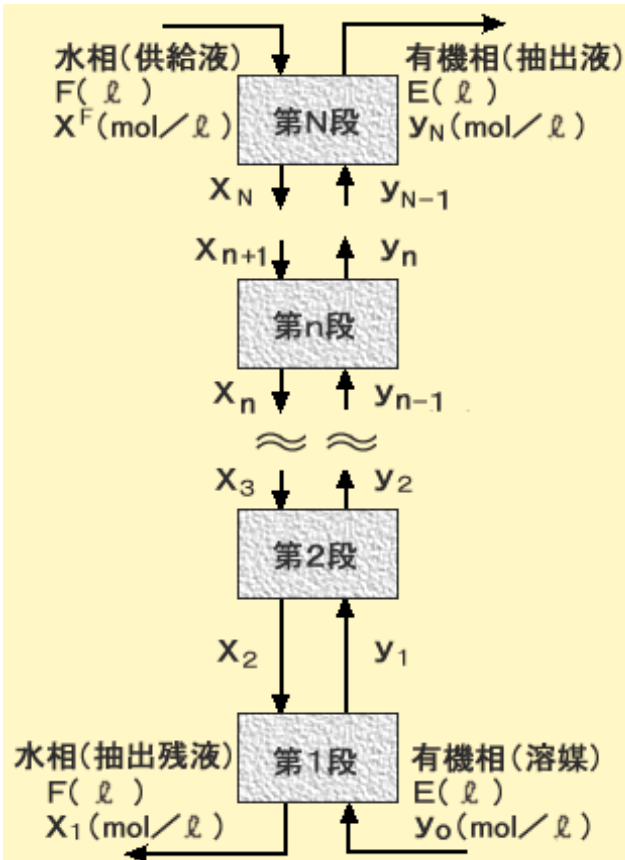
工場名	抽出装置		
	分離	ウラン精製	プルトニウム精製
イギリス THORP	パルスカラム	ミキサセトラ	パルスカラム
フランス UP3	パルスカラム	ミキサセトラ	パルスカラム
動燃 東海再処理工場	ミキサセトラ	ミキサセトラ	ミキサセトラ
日本原燃 六ヶ所再処理工場	パルスカラム	ミキサセトラ	パルスカラム

※遠心抽出器は構造が複雑で製作コストが高いため、一般に採用されていない。

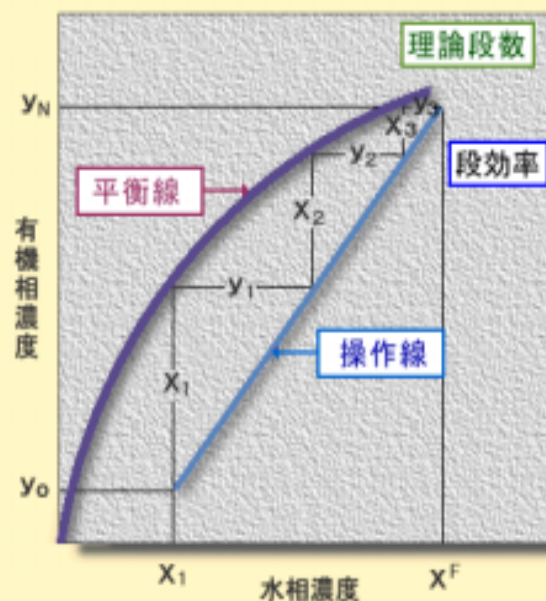
ミキサセトラの概念図



有機相と水相を攪拌羽根によって攪拌・混合する**ミキサ部**と、両相を静置して分離する**セトラ部**で**1段が構成**され、これを水平方向に複数段並べることによりひとつの装置となる。有機相と水相はミキサセトラの**内部を逆方向に流れ**、ミキサ部で溶媒抽出する。



プロセス理論の考え方: 多段向流方式



McCabe-Thiele線図

物質収支

操作線

$$Ey_0 + Fx_n = Ey_{n-1} + Fx_1$$

$$y_{n-1} - y_0 = \frac{F}{E} (x_n - x_1) \cdots (1)$$

E : 溶媒の流量
F : 水相の流量

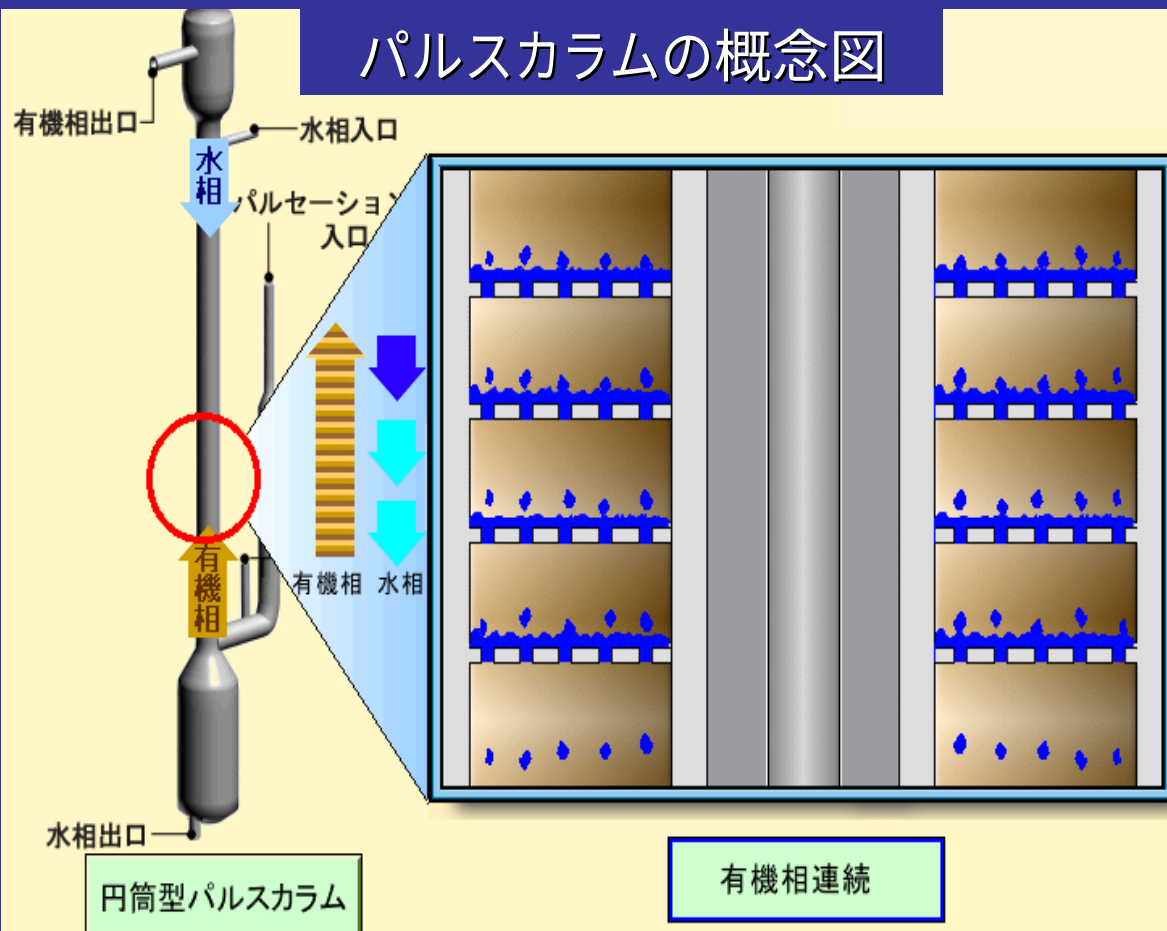
平衡関係

平衡線

$$y_n = K_{d_n} x_n \cdots (2)$$

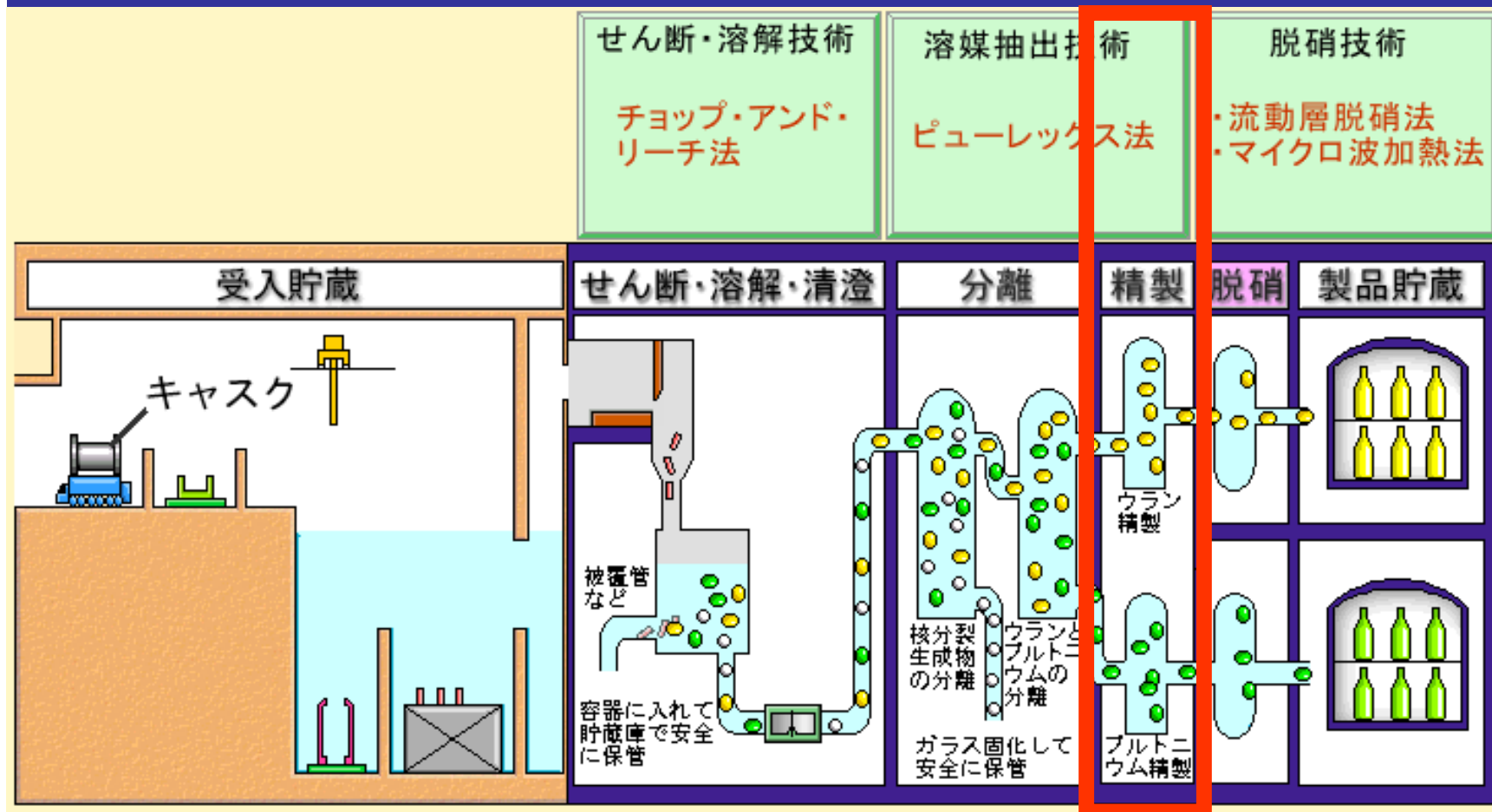
K_{d_n} : 第n段の条件における分配係数

パルスカラムの概念図

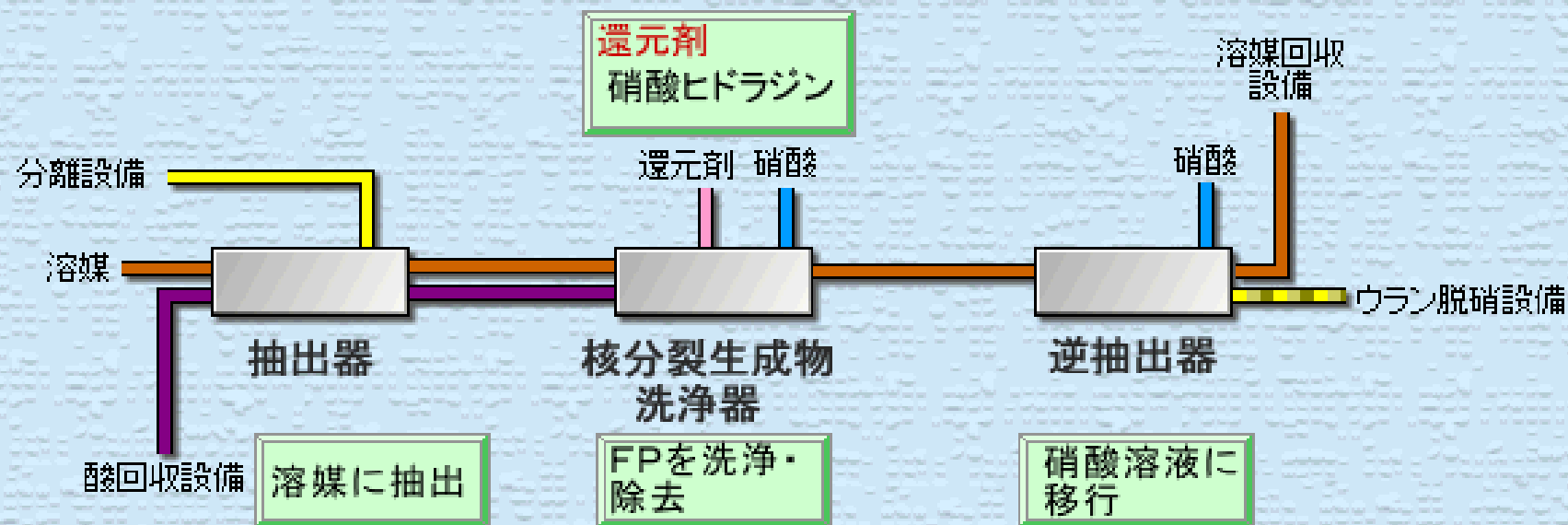


内部は小孔の開いた目皿などを水平に配置することによって区切れ、上部から供給された水相は下方へ、下部から供給された有機相は上方へ移動。
このときポンプなどで脈動を与えて両相の分散混合を図る。

使用済燃料受入れの概要

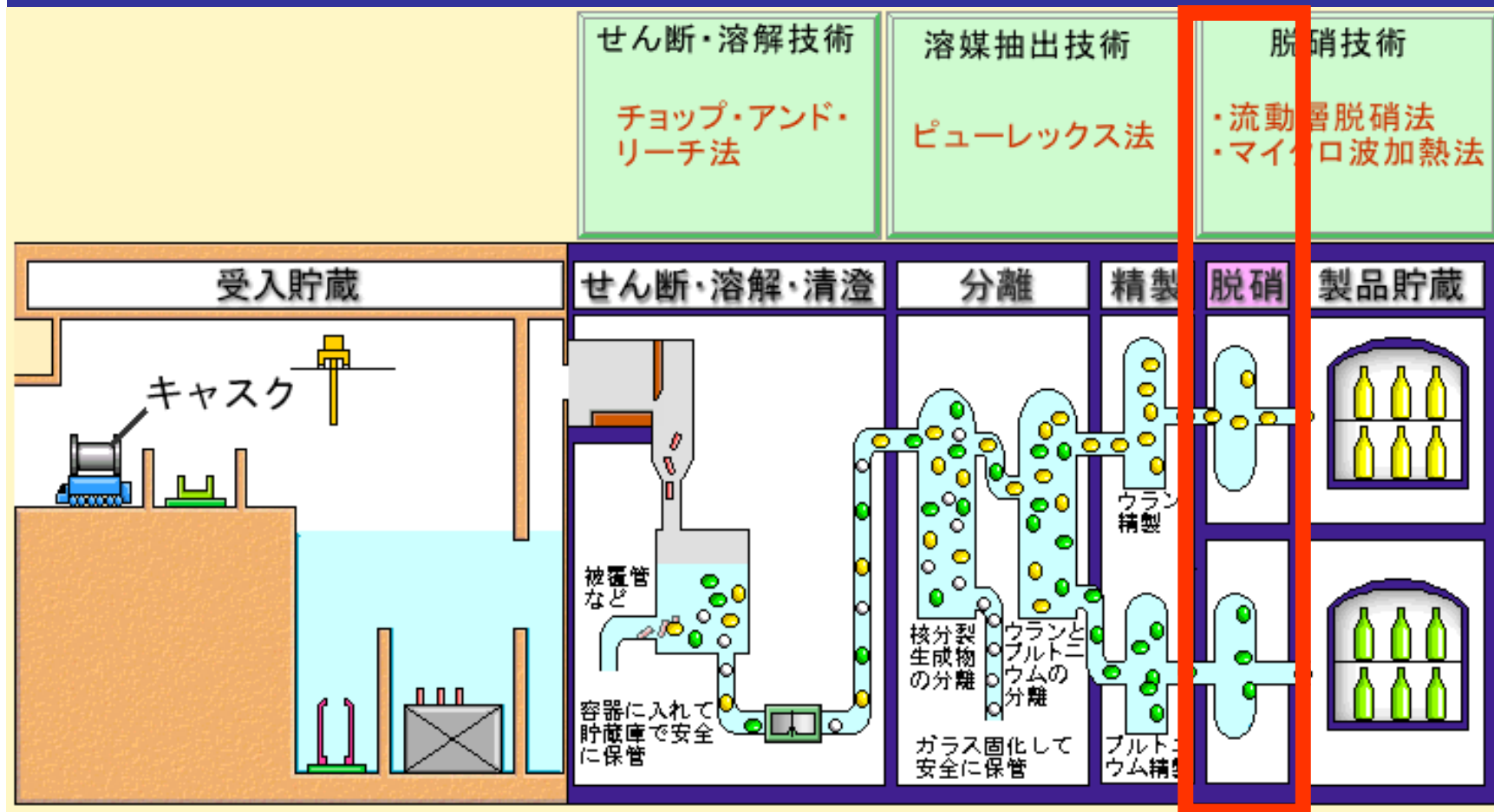


ウラン精製設備の一例：日本原燃六ヶ所



●従来の再処理はウラン、プルトニウムを高純度に分離回収するものであるが、高速増殖炉に利用する場合は、必ずしもその必要はないことから回収するウラン、プルトニウムの精製工程の削除などを取り込んだ新湿式再処理法の研究がピューレックス法による従来法をベースに進められている。

使用済燃料受入れの概要



U脱硝法

		概 要	特 徴	備 考
熱分解法	流動層脱硝法	加熱した三酸化ウラン粉末の流動層の中へ硝酸ウラニル溶液を吹き込み、硝酸分と水分を蒸発させて、 UO_3 (三酸化ウラン) 粉末にする。	得られるウラン酸化物は球状粒子なので、取扱いが容易で貯蔵密度が高い。	イギリス THORP 動燃 東海再処理工場 日本原燃 六ヶ所再処理工場採用
	ADU法	硝酸ウラニル溶液に水酸化アンモニウムを加えて、ADU(重ウラン酸アンモニウム)の沈澱を作りろ過する。ろ過ケーキを焙焼して U_3O_8 (八酸化三ウラン) 粉末にする。	得られる U_3O_8 粉末は、比表面積が大きく反応度は高い。	フランス コミュレックス社のピエールラット工場採用
沈澱法	AUC法	硝酸ウラニル溶液にアンモニアガスと炭酸ガスを吹き込んでAUC (炭酸ウラニルアンモニウム)の沈澱を作りろ過する。ろ過ケーキを焙焼して U_3O_8 (八酸化三ウラン) 粉末にする。	得られる U_3O_8 粉末は、ADU法と比べて粒径が大きい。	

- ・ 設備が簡単である。
- ・ 反応容器として駆動部が少ない。
- ・ 熱の伝達が良く、熱供給能力などの点から、一基当りの処理能力が大きい。
- ・ 廃液などの発生廃棄物量が少ない。

Pu脱硝法

概要

特徴

備考

しゅう酸 沈澱法

プルトニウム溶液にしゅう酸を加えて生成する沈澱物をろ過・焙焼して酸化物粉末にする。

ろ過工程において不純物をかなり除去できる。

イギリス THORP
フランス UP3で採用。

アンモニア 共沈澱法

ウラン・プルトニウム溶液にアンモニアを加え生成する沈澱物をろ過・乾燥・焙焼し酸化物粉末にする。

プロセス上、連続沈澱、連続ろ過が可能である。

BNFL、動燃などで研究開発を実施。

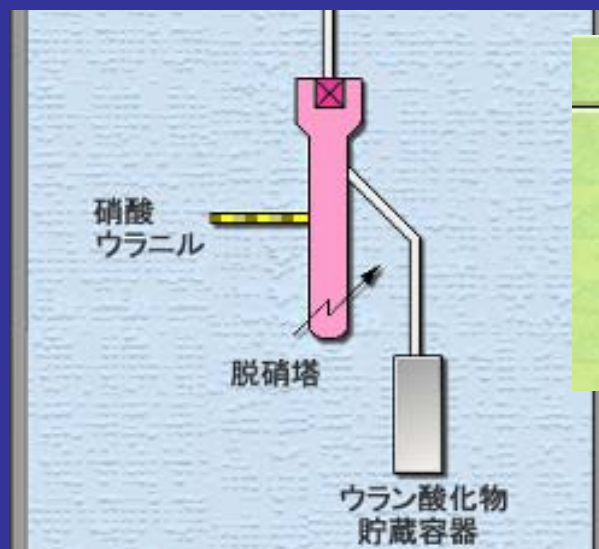
マイクロ波 加熱法

ウラン・プルトニウム溶液をマイクロ波により加熱・脱硝したのち焙焼して酸化物粉末にする。

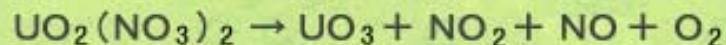
工程が単純で運転操作も容易。廃液発生量が少ない。粉末特性に優れている。

動燃 東海再処理工場
日本原燃 六ヶ所再処理工場採用。

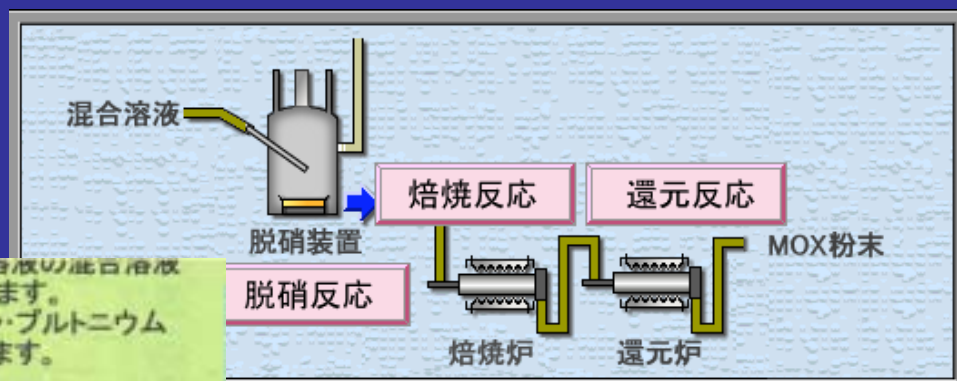
U・Pu脱硝の化学反応



脱硝塔における化学反応



硝酸ウラニル溶液を熱分解し、ウラン酸化物(UO_3)粉末を生成します。



脱硝反応

硝酸ウラニル溶液と硝酸プルトニウム溶液の混合溶液を脱硝装置に送り、マイクロ波を照射します。混合溶液が蒸発濃縮・脱硝され、ウラン・プルトニウム混合脱硝粉末($\text{PuO}_2 \cdot \text{UO}_3$)を生成します。

焙焼反応

ウラン・プルトニウム混合脱硝粉末($\text{PuO}_2 \cdot \text{UO}_3$)を焙焼炉に送り、空気雰囲気中で加熱します。 UO_3 が U_3O_8 に還元され、 $\text{PuO}_2 \cdot \text{U}_3\text{O}_8$ 混合酸化物粉末を生成します。

還元反応

$\text{PuO}_2 \cdot \text{U}_3\text{O}_8$ 混合酸化物粉末を還元炉に送り、窒素・水素混合ガス雰囲気中で加熱します。 U_3O_8 が UO_2 に還元され、MOX($\text{PuO}_2 \cdot \text{UO}_2$)粉末を生成します。

せん断・溶解技術

チョップ・アンド・
リーチ法

溶媒抽出技術

ピューレックス法

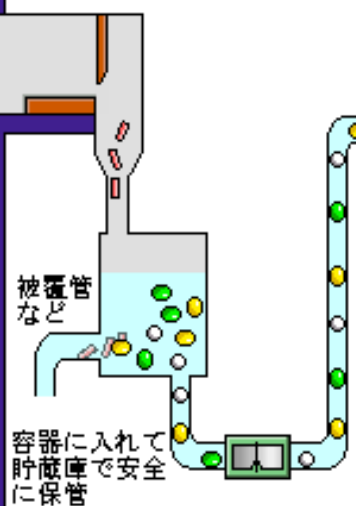
脱硝技術

・流動層脱硝法
・マイクロ波加熱法

受入貯蔵

キャスク

せん断・溶解・清澄



分離



精製



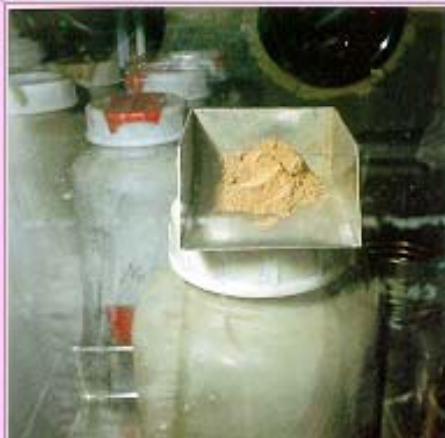
脱硝

製品貯蔵



再処理工場の最終製品

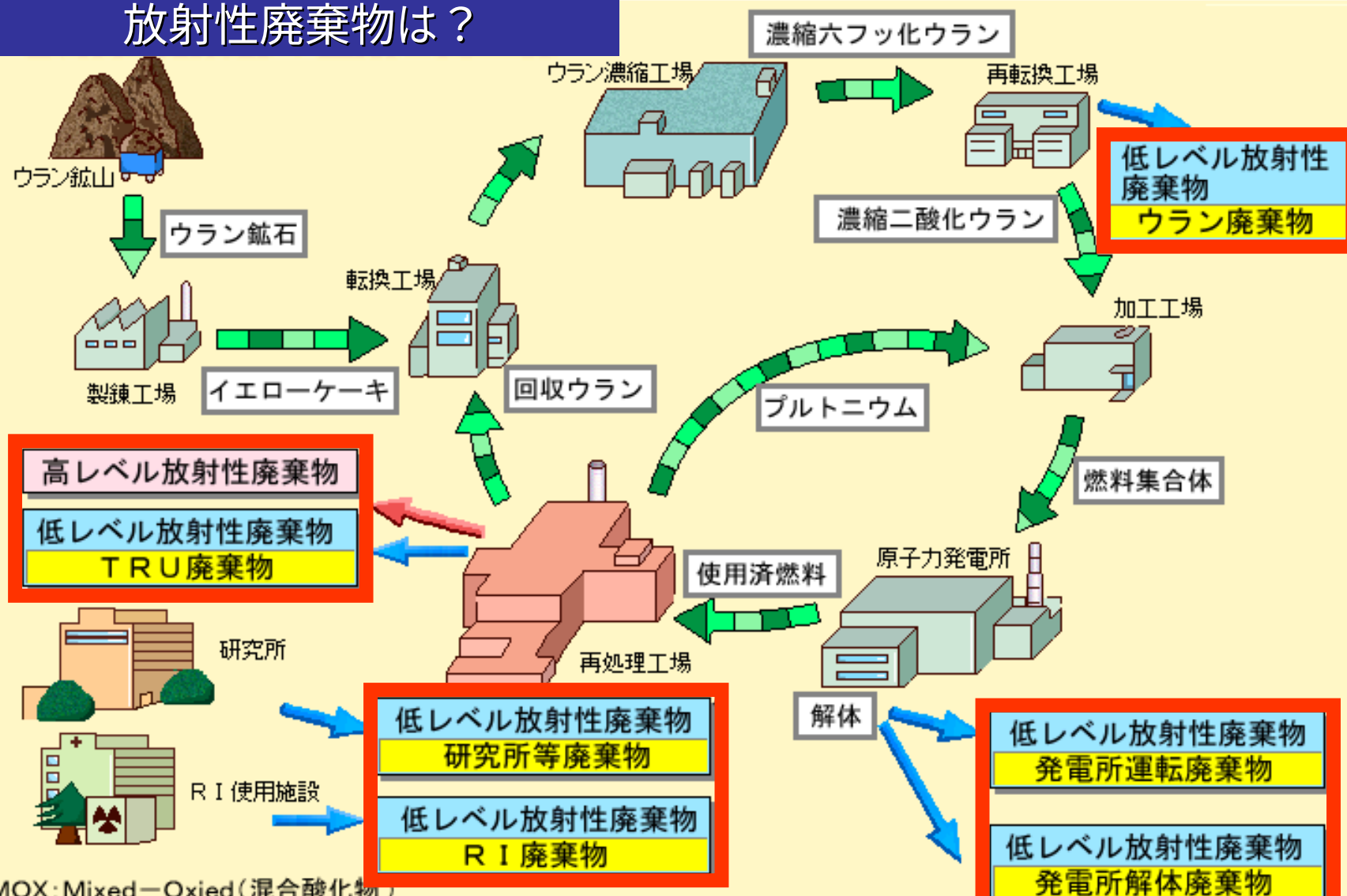
	フランス UP2-800, UP3	イギリス THORP	動燃 東海再処理工場	日本原燃 六ヶ所再処理工場
ウラン製品	硝酸ウラニル	三酸化ウラン	三酸化ウラン	三酸化ウラン
プルトニウム製品	酸化プルトニウム	酸化プルトニウム	混合酸化物 (MOX)	混合酸化物 (MOX)



MOX

二酸化ウラン(UO_2)と二酸化プルトニウム(PuO_2)の混合物で、混合酸化物(Mixed-Oxide)の略からMOXという。
MOX燃料は、軽水炉、高速増殖炉(FBR)で利用されています。

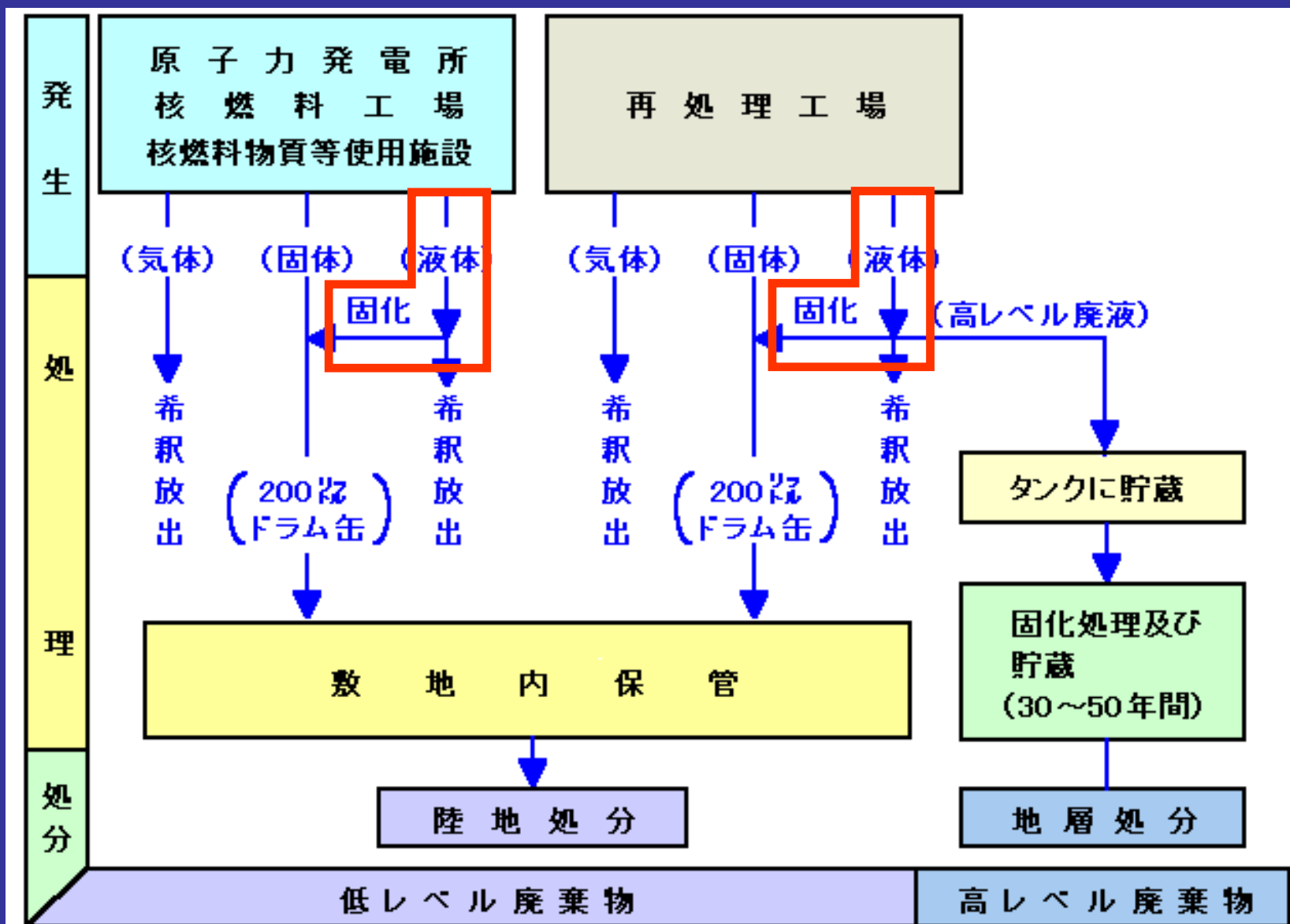
放射性廃棄物は？



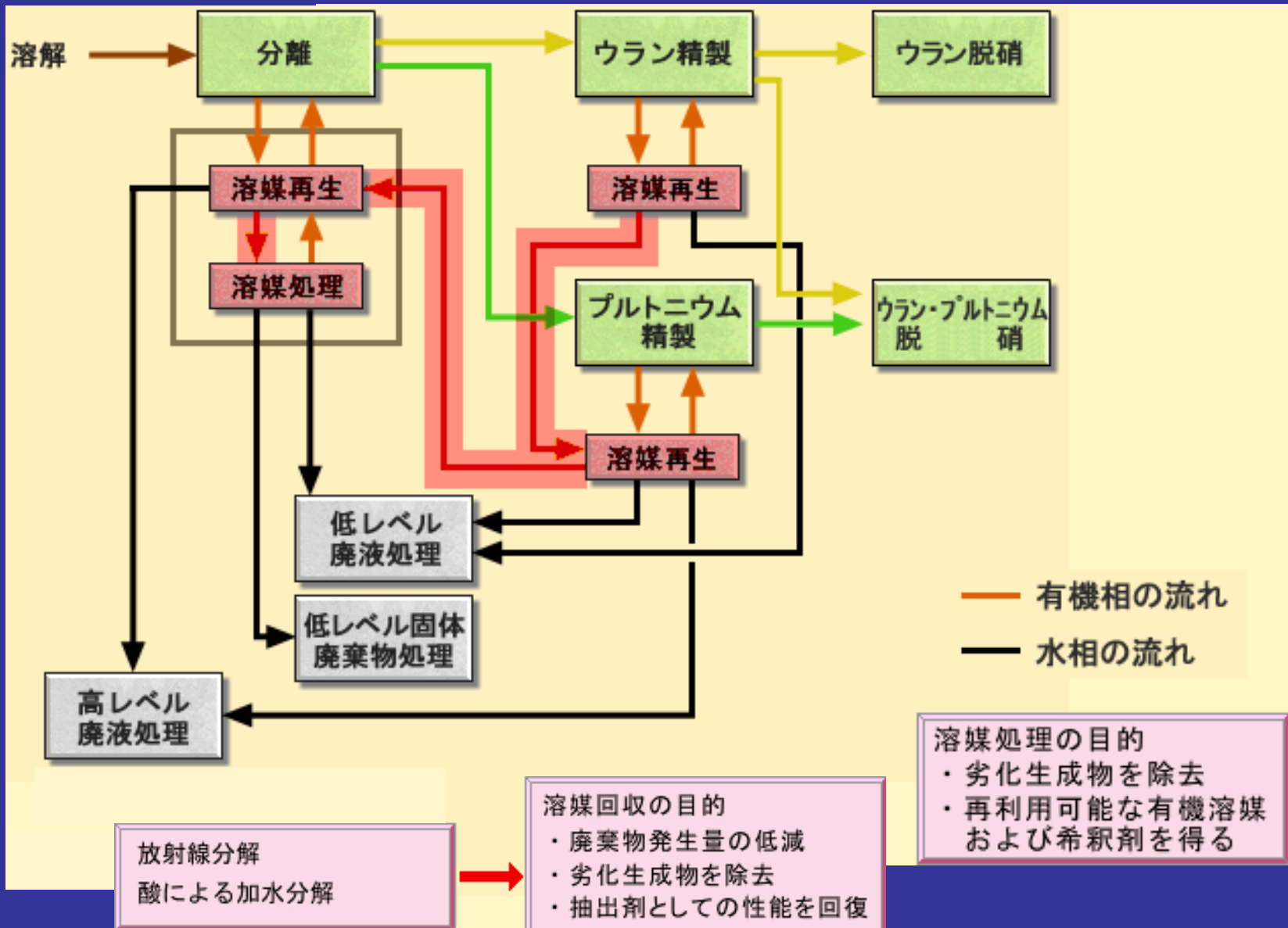
MOX: Mixed-Oxide (混合酸化物)
TRU: Transuranic elements (超ウラン元素)

出典:「原子力」図面集 1999年度版 電気事業連合会

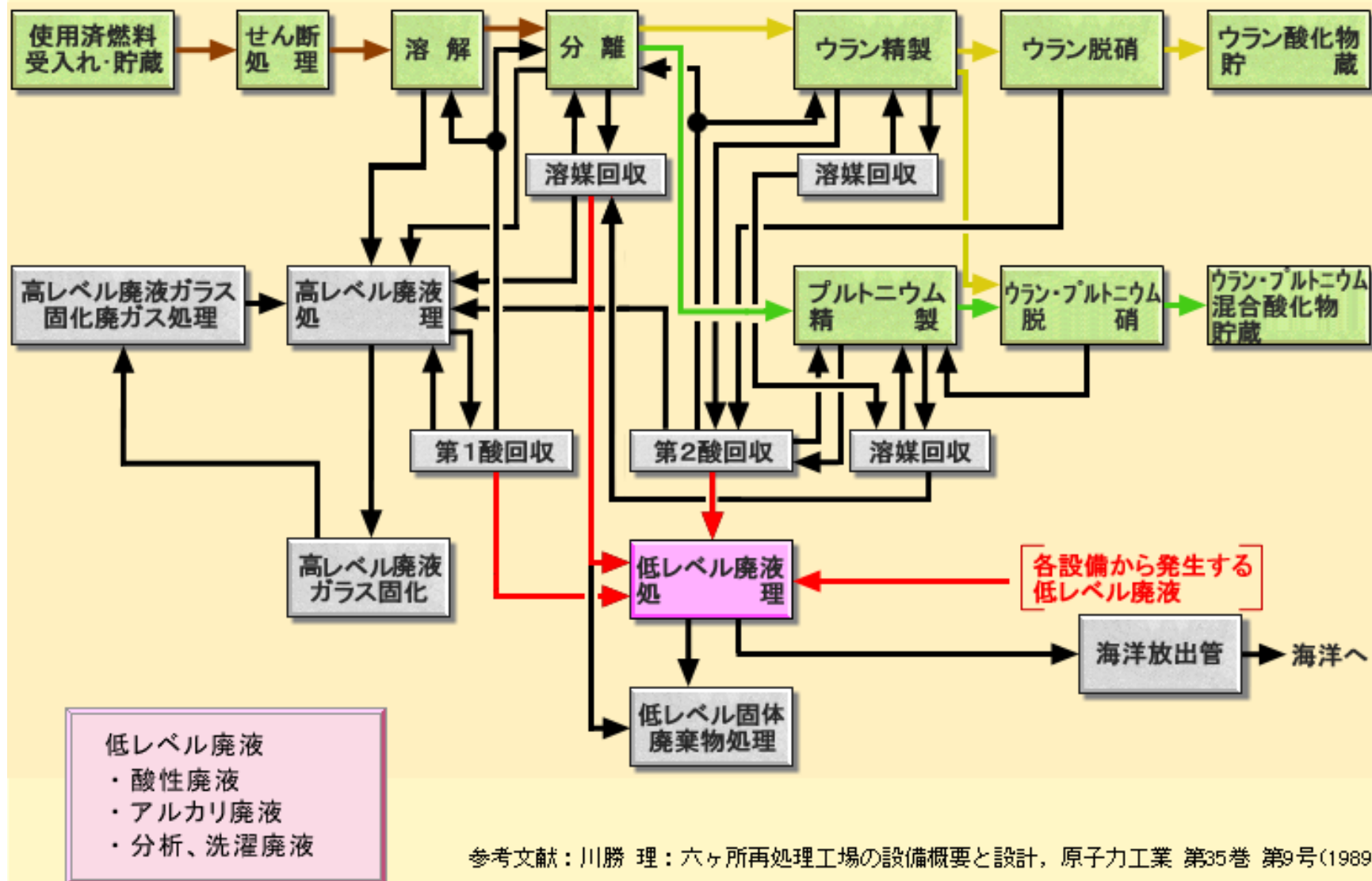
廃棄物発生後の行方



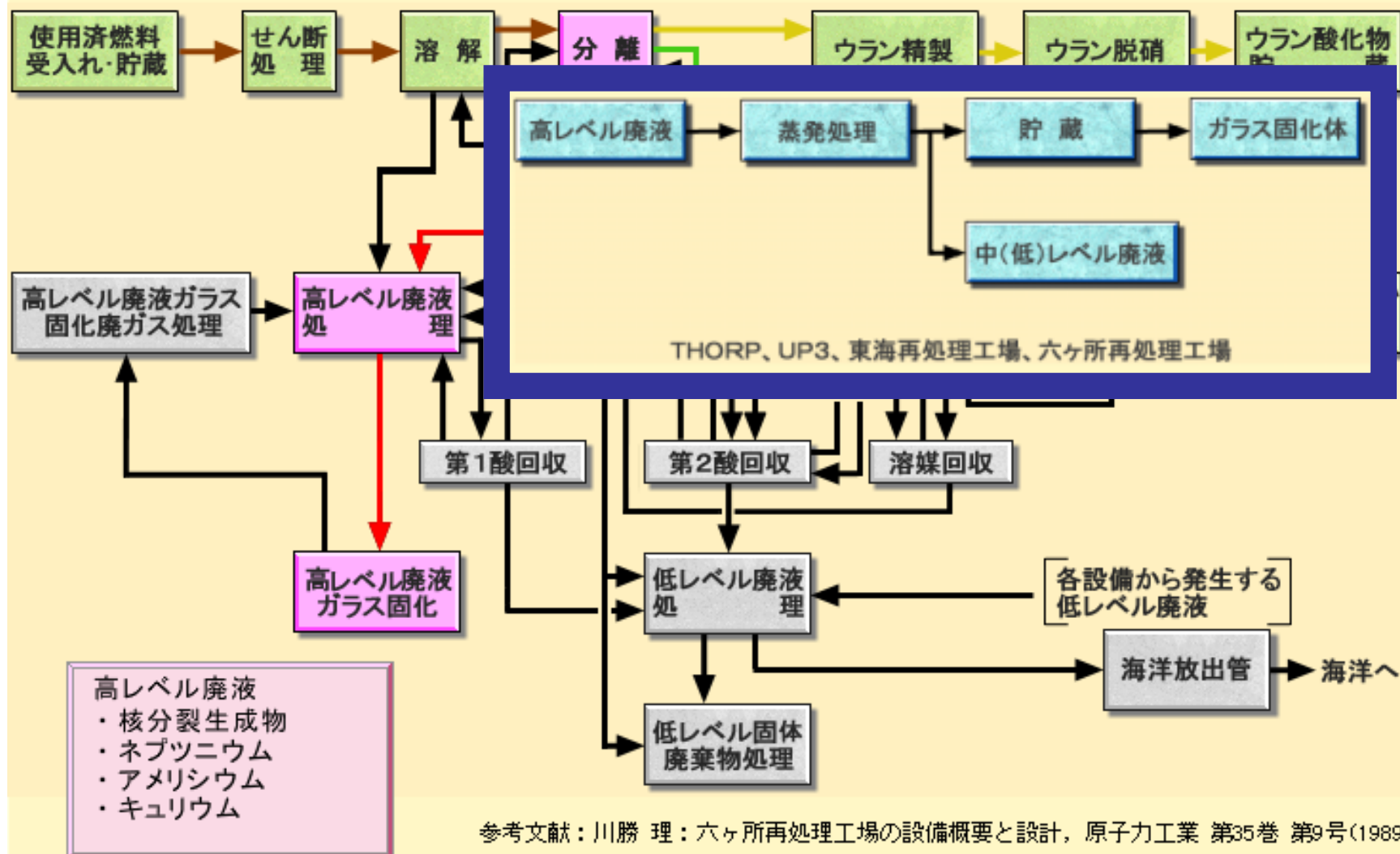
溶媒回収・再生



廃液の発生：低レベル



廃液の発生：高レベル



廃液の処理方法

処理方法	特 徴
蒸発法	廃液を蒸発缶に送り加熱、蒸発して放射能を含む不揮発性の成分を濃縮する方法。 ・不揮発性の核種に対して優れた濃縮方法であり、現在広く用いられている。 ・除染係数が高い。 ・処理量が少なく、装置コストが高い。
凝集沈澱法 (化学処理)	放射性廃液に化学薬品を加え沈澱物を作り、この沈澱物中に放射性核種を吸着や吸蔵によって取り込み、廃液を処理する方法。 ・低レベル廃液が多量に発生する場合、安価に処理できる。 ・除染係数が放射性核種、加える沈澱剤や運転時の水素イオン濃度(pH)により左右される。 ・一般的に除染係数が低い。 ・薬品の量が多い場合、発生するスラッジの量が多くなり処理が問題となる。
イオン交換法	イオン交換樹脂中に含まれるイオン交換器の対立イオン(H^+あるいはOH^-)と、水中に含まれているイオンとを交換させてイオン性の物質を除去する方法。 ・溶存イオンの少ない廃液の処理には適している。 ・非放射性のイオンや不純物の多い廃液の処理には適さない。

廃液蒸発の方式

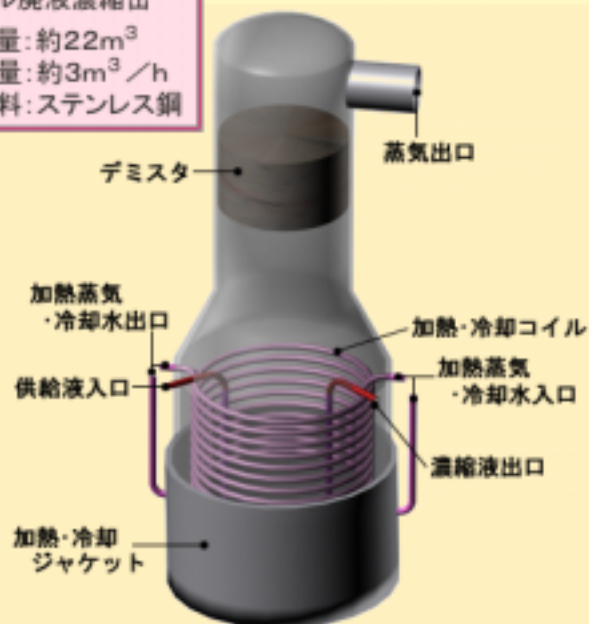
種 類	概 要	備 考
常圧方式	缶内あるいは塔内の圧力を変化させないで蒸発を行う方式。 液体の蒸発温度が高く、非常に厳しい腐食環境になる。 このため、耐食性の優れた材料の使用により設備の信頼性を確保している。	フランス UP3 動燃 東海再処理工場で採用
減圧方式	缶内あるいは塔内の圧力を下げて蒸発を行う方式。 圧力を下げることにより、液体の蒸発温度が低下し、腐食環境が大きく緩和される。 これにより、設備の信頼性を確保している。	イギリス THORP 日本原燃 六ヶ所再処理工場で採用

廃液蒸発

フランス ラ・アーグ	イギリス セラフィールド	動燃 東海再処理工場	日本原燃 六ヶ所再処理工場
蒸発法 (凝集沈澱法から 変更)	凝集沈澱法 イオン交換法 (吸着)	蒸発法	蒸発法

ケトル型蒸発缶

六ヶ所再処理工場
高レベル廃液濃縮設備
高レベル廃液濃縮缶
容 量: 約22m³
処理容量: 約3m³/h
主要材料: ステンレス鋼



長 所

除染係数が高い

低蒸発速度での運転が可能

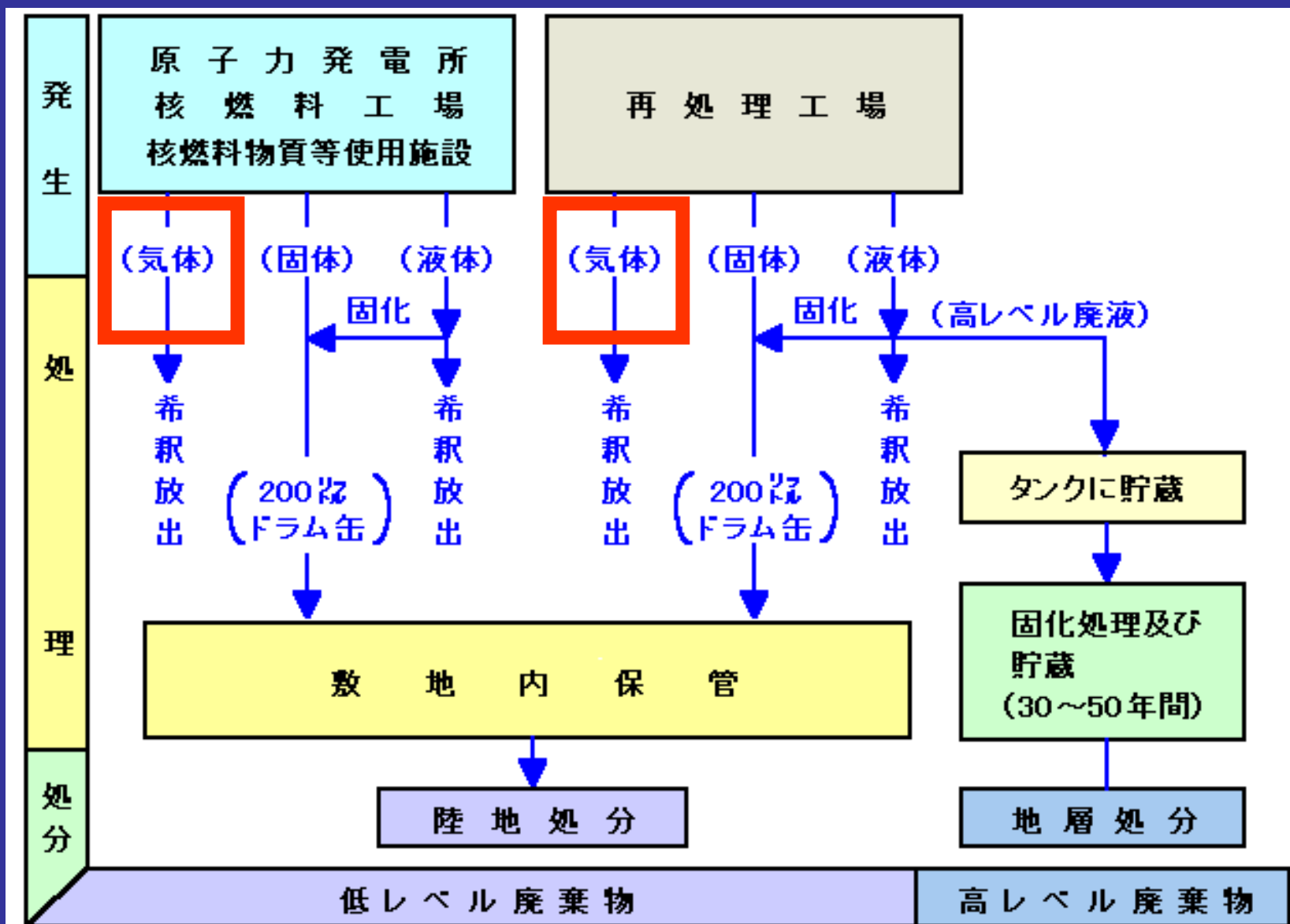
内部構造が簡単

高粘性液体の処理が可能

短 所

装置の大型化

廃棄物発生後の行方

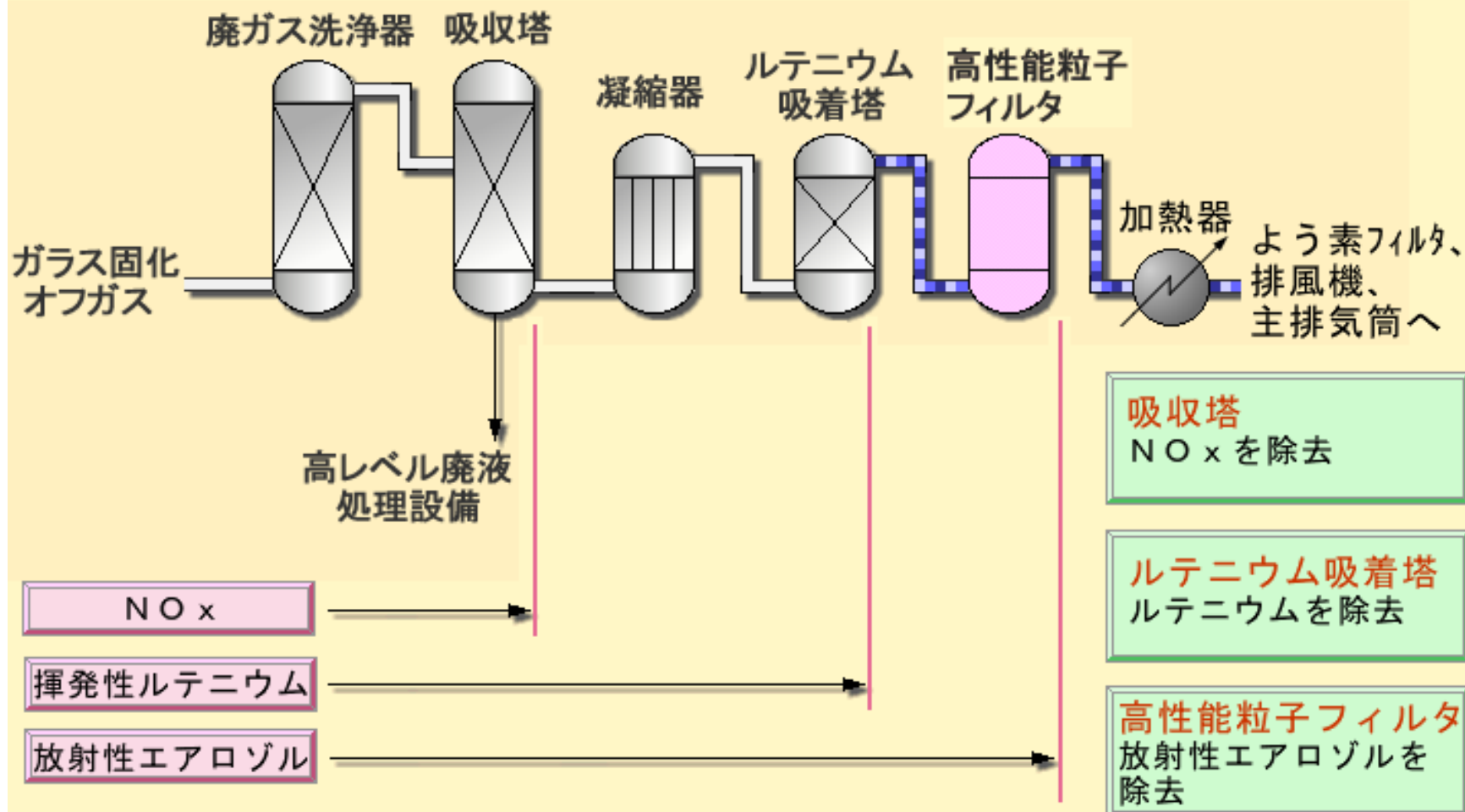


オフガスの概要

オフガスの種類	発生源および発生する放射性物質
せん断処理・溶解オフガス (DOG: Dissolver Off-Gas)	せん断処理設備のせん断機、溶解設備の溶解槽 などから発生する廃ガス NO _x 、放射性エアロゾル、よう素
塔槽類オフガス (VOG: Vessel Off-Gas)	各設備の塔槽類から発生する廃ガス NO _x 、硝酸ミスト、ミスト、よう素、放射性エアロゾル
ガラス固化オフガス (MOG: Melter Off-Gas)	ガラス固化設備のガラス溶融炉から発生するオフガス NO _x 、揮発性ルテニウム、放射性エアロゾル

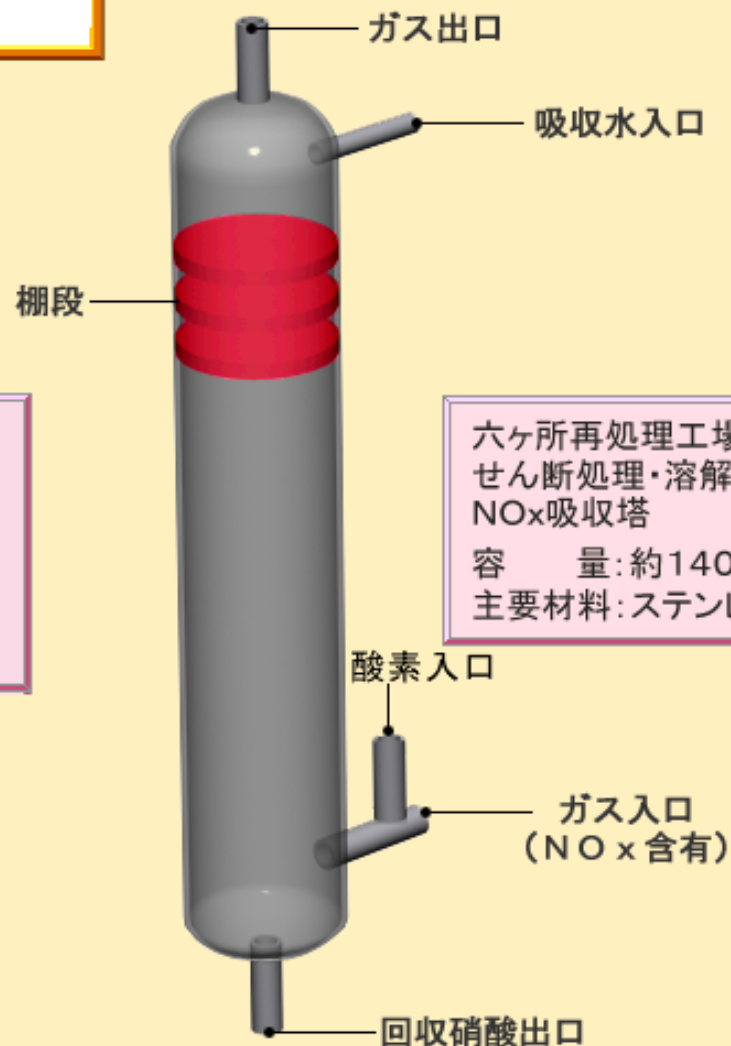
さらに、クリプトン85、炭素14、トリチウム等の回収法を検討中

ガラス固化オフガス処理設備の一例



NO_x吸収塔の構造例

NO_xガスを水に反応吸収
↓
硝酸として回収

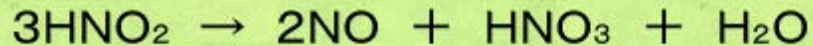
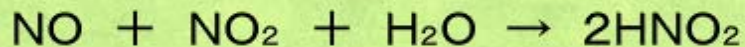
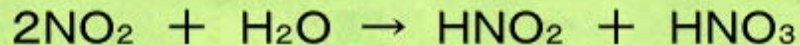
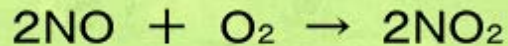


六ヶ所再処理工場
せん断処理・溶解廃ガス処理設備
NO_x吸収塔
容 量: 約140Nm³/h
主要材料: ステンレス鋼

NO_x吸収塔の構造例

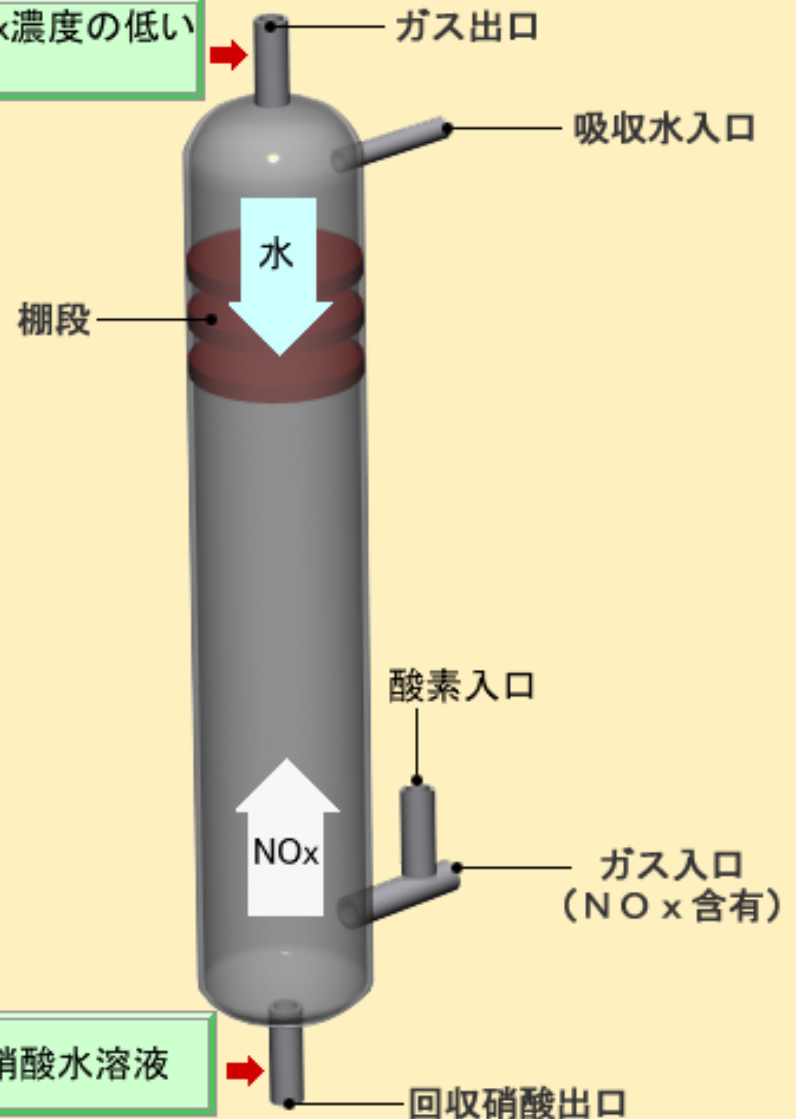
特徴

NO₂吸収とNOの酸化を同時に行う



- ・NO₂は水に吸収されやすい
- ・NOは水にほとんど吸収されないため、NO₂に酸化させる

NO_x濃度の低い
ガス



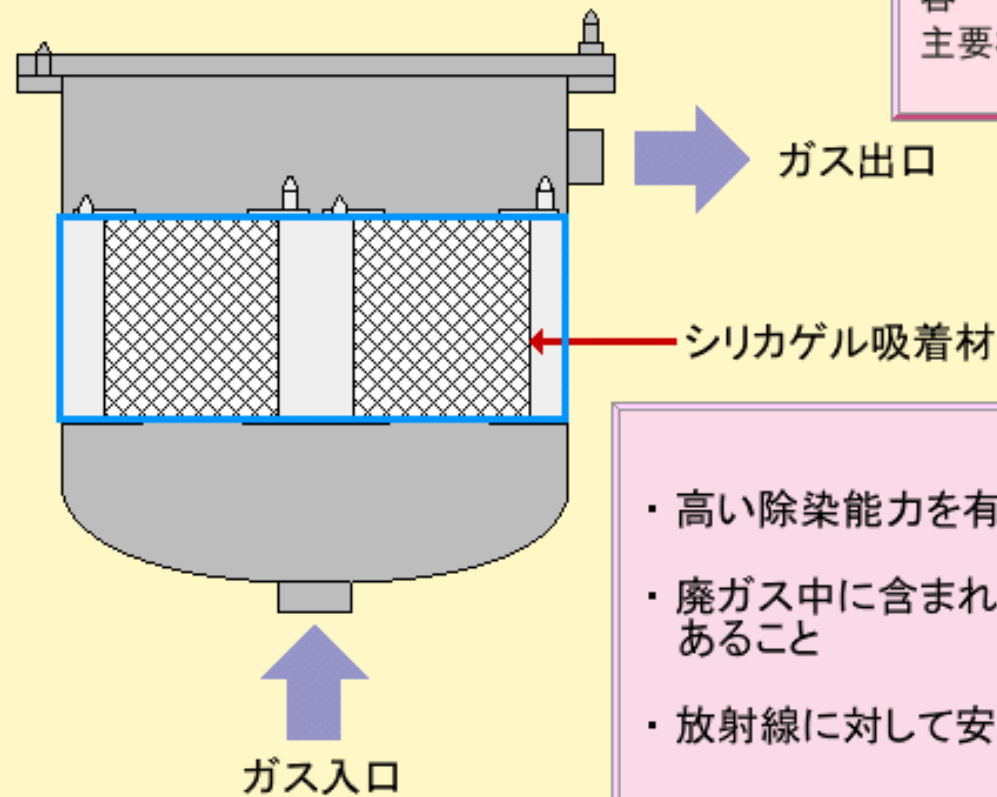
硝酸水溶液

回収硝酸出口

ルテニウム吸着塔

参考文献：再処理事業指定申請書 添付書類六

六ヶ所再処理工場
高レベル廃液ガラス固化廃ガス処理設備
ルテニウム吸着塔
容 量：約680m³/h
主要材料：ステンレス鋼(枠材)
シリカゲル吸着材(ろ材)

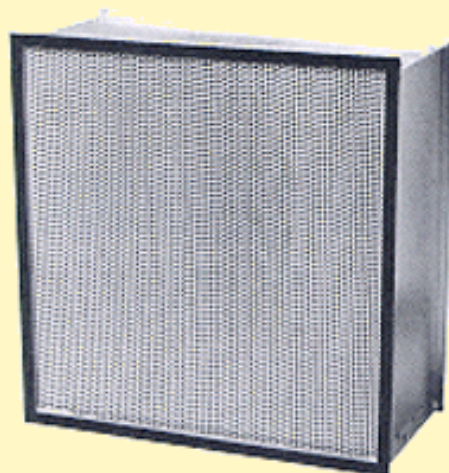


- ・ 高い除染能力を有すること
- ・ 廃ガス中に含まれる成分に対し化学的に安定であること
- ・ 放射線に対して安定であること

高性能粒子フィルタ

放射性ダストの除去用
として開発

写真提供：近藤工業株式会社



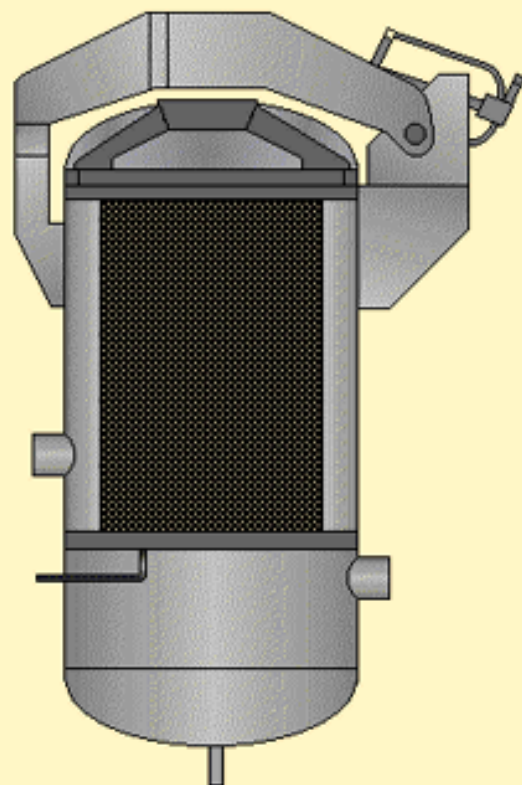
HEPAフィルタ

High Efficiency Particulate Air Filter

特徴

- ・0.15 μm DOP粒子に対して99.97%以上の効率
- ・圧力損失が25mmH₂O

よう素フィルタ



特 徴

吸着材は活性炭もしくは添着活性炭が主体だが
最近では銀系の化学吸着材を採用

銀系の化学吸着材

硝酸銀をゼオライト、シリカゲル、またはアルミナ
などにコーティング、または含浸させたよう素吸着材

硝酸銀の性質

よう素と強く結合する

1:処理 のオプション

分離・核変換処理 (旧称 消滅処理)

核反応により短半減期に核種に変換する

1. 地層処分による環境への長期影響を緩和
2. 核不拡散の向上 (特にPu)
3. 再処理、燃料製造設備のコンパクト化
4. 燃焼によるエネルギー源としての利用

見合わせている理由

1. 技術が未成熟、不経済
2. 廃棄物が余計に発生、不経済
3. 従事者の被曝
4. TRUはそもそも移行しにくいものが多いので、
環境影響はこの手法の採否によらない

現行処理サイクルの完全な代替案になっていない。
将来技術としての期待は残っている。

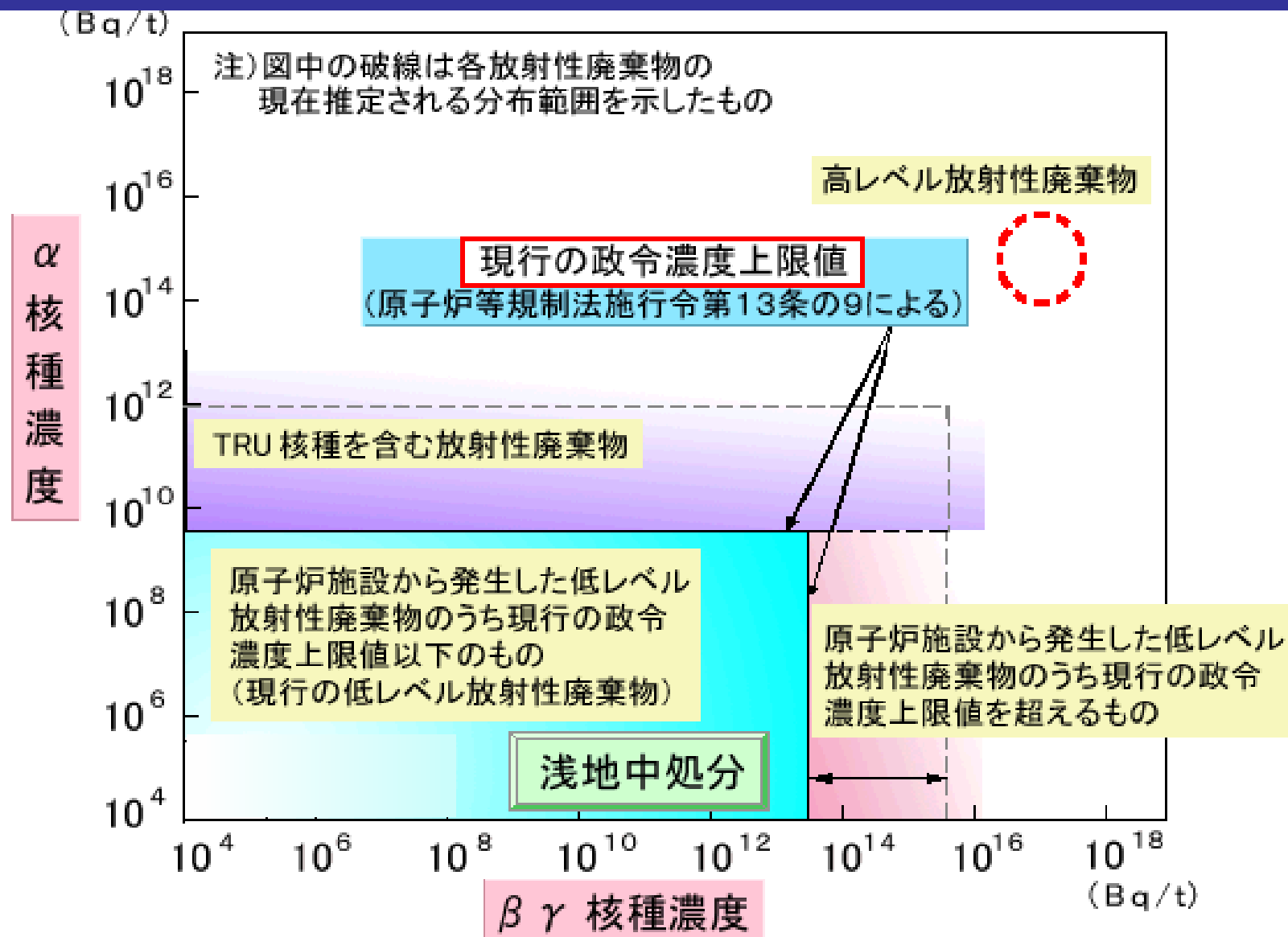
1 : 処理

2 : 処分

放射性廃棄物の種類と発生源：液体・気体の他に、固体がある

廃棄物の種類		発 生 源	主な廃棄物(処理前の形態)
高レベル 放射性廃棄物		再処理施設	再処理により使用済燃料から分離された 高レベル放射性廃液
低 レ ベ ル 放 射 性 廃 棄 物	TRU 廃棄物	再処理施設及び MOX 燃料 加工施設	濃縮廃液、雑固体廃棄物、被覆管、イオン 交換樹脂、フィルタ、等
	発電所廃棄物	原子力発電所の運転及び解体	(運転廃棄物) 濃縮廃液、雑固体廃棄物、制御棒、イオン 交換樹脂、等 (解体廃棄物) コンクリート、原子炉容器、炉内構造物、 配管等の金属、等
	ウラン廃棄物	ウランの転換・成型加工・濃縮等	焼却灰、雑固体廃棄物、フィルタ、等
	RI・研究所等 廃棄物	試験研究炉を設置、核燃料物質 等を使用している研究所等及び 放射性同位元素等の使用施設等	(RI廃棄物) プラスチック、紙、フィルタ、金属、 コンクリート、密封線源、等 (研究所等廃棄物) 廃液、雑固体廃棄物

放射性廃棄物の核種濃度区分



低レベル放射性廃棄物処分の概要

放射能レベルの極めて低い
廃棄物

(例)



コンクリート、金属

放射能レベルの比較的低い
廃棄物の

(例)



廃液、フィルター、廃器材、
消耗品

放射能レベルの比較的高い
廃棄物

(例)



チャンネルボックス、
制御棒

放射能レベルが高く長寿命
核種が比較的多く含まれて
いる廃棄物

(例)



使用済燃料の燃料棒の部品
など

地表

100m

200m

300m

素掘り処分

人工建築物を設
けない素掘り処分

コンクリートピット処分

コンクリートピットを設
けて廃棄物を処分

一般的な地下利用に十分
余裕を持った深度への処分

地下50～100mにコンクリ
ートピットと同等の人工構築
物設けて廃棄物を処分

具体的な処分方法や処
分深度の検討が進めら
れている段階

日本原子力研究所が動力炉
JPDRの解体によって発生
した放射能レベルの極めて
低いコンクリート等廃棄物
の埋設処分方法として採用
しました。

現在、六ヶ所村で操作中の
「低レベル放射性廃棄物埋
設センター」で進められて
いる処分方法です。

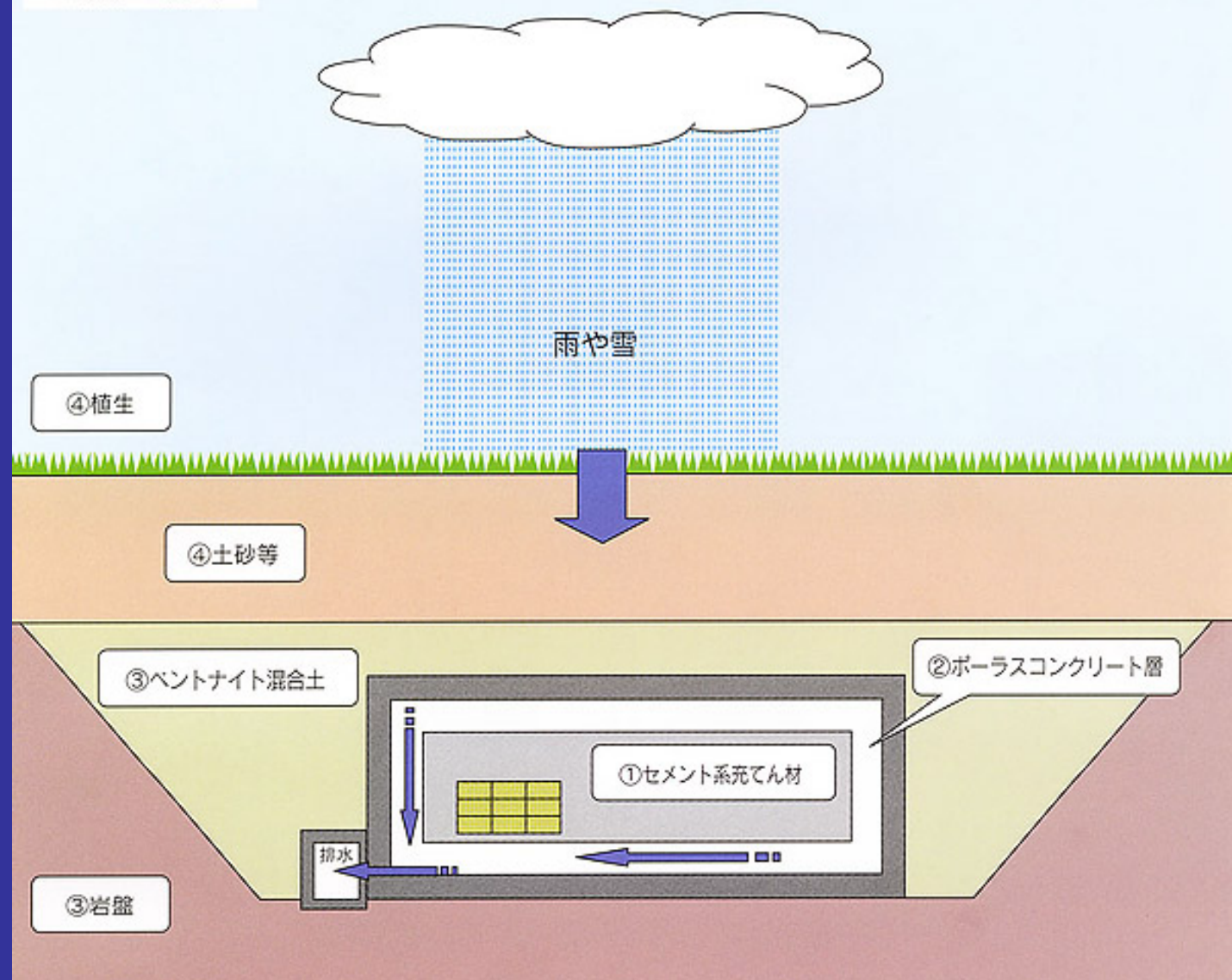
(1992/12から
埋設事業開始)

現在操作している1号およ
び2号埋設施設に続く「次
期埋設施設」として、低レ
ベル放射性廃棄物埋設セ
ンターにおいて埋設が可能
かどうか確認するため、調
査検討を進めています。

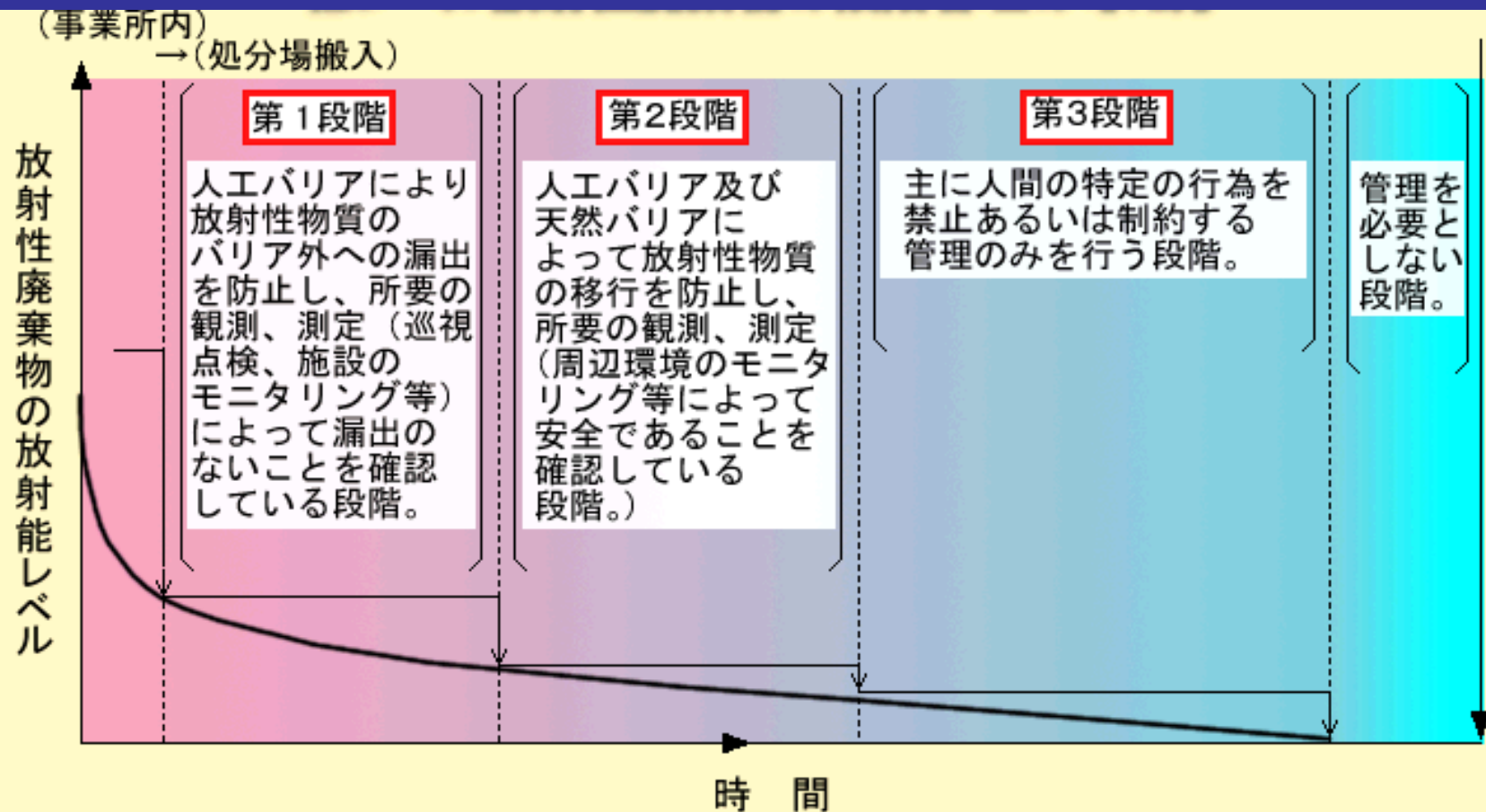
原子力委員会で処分の基
本的考え方が示されてい
ます。国は安全確保に関
する法令の整備をするこ
ととなっています。

低レベル放射性廃棄物埋設概念

埋設地略図



低レベル放射性廃棄物の段階管理の考え方



段階管理：一般公衆の線量当量を低く抑えるため、浅地中に埋設し、放射能レベルが安全上支障のないレベル以下になるまでの間、廃棄物の種類、放射能レベル等に応じて廃棄物埋設地の管理を行うこと

ドラム缶に要求される技術基準

外 観

- ・著しい破損がないこと

標 識

- ・放射性廃棄物を示す標識
(JIS Z 9103に準拠)
- ・色帯
(表面線量当量率0.5mSv/h以上
の場合必要)

表 示

- ・整理番号
(受入先より交付の書類との照合用)

容 器

- ・JIS Z 1600「鋼製オープンドラム」と
同等以上の「強度」「密封性」

表面汚染密度

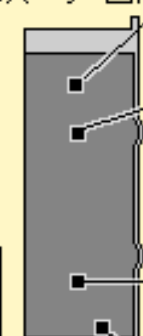
- ・ β ・ γ 物質:4Bq/cm²以下
- ・ α 物質:0.4Bq/cm²以下

放射性核種濃度

- ・申請書等に記載した最大放射性核
種濃度を超えないこと

申請書等:廃棄物埋設事業
許可申請

[均質・均一固化体]



[充填固化体]



有 害 な 空 隙

- ・良好な固型化
- ・上部空間の規制

固 型 化 材 料

- ・セメント :JIS R 5210,5211規格又は
同等以上の「品質」
- ・アスファルト:JIS K 2207規格又は同等
以上の「品質」
針入度100以下
- ・プラスチック:不飽和ポリエステル

廃 棄 体 の 強 度

- ・セメント :一軸圧縮強度
15kg/cm²以上
- ・プラスチック:硬さ値25以上
(デュロメータ法にて)
- ・廃棄体として耐埋設荷重強度を有すること

固 化 体 の 性 状

- ・均質又は均一な固化体であること
- ・アスファルト:アスファルトが重量で50%以上
- ・プラスチック:プラスチックが重量で30%以上
- ・健全性を損なう物質を含まないこと

固 型 化 材 料

- ・セメント :JIS R 5210,5211規格又は
同等以上の「品質」

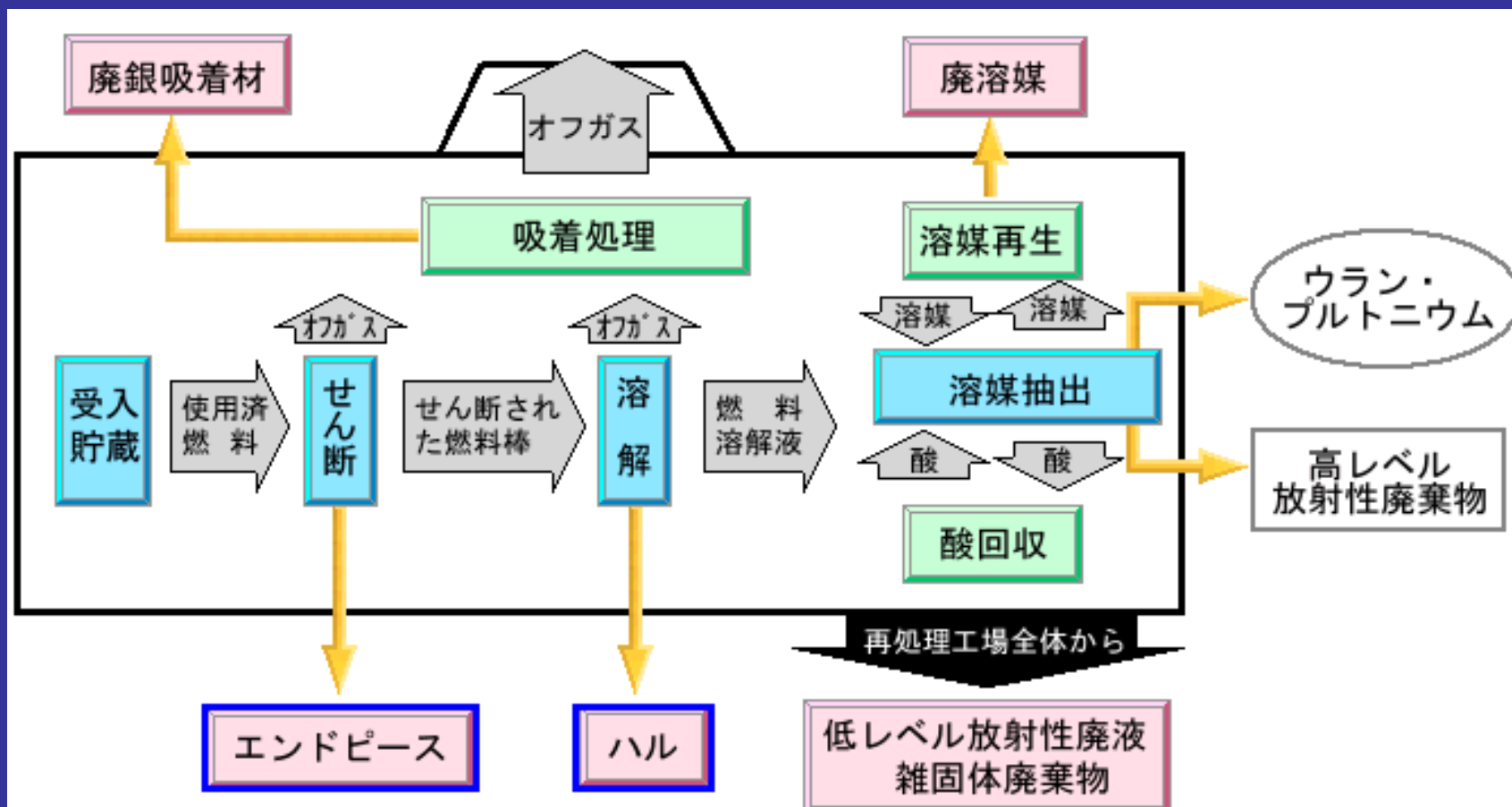
対 象 廃 棄 物 の 性 状

- ・固体状の放射性廃棄物に限定
金属、コンクリート、塩ビ、ゴム、保温材、フィル
ター、その他の雑固及び廃棄物の溶融体 等
- ・健全性を損なう物質を含まないこと

製 作 方 法

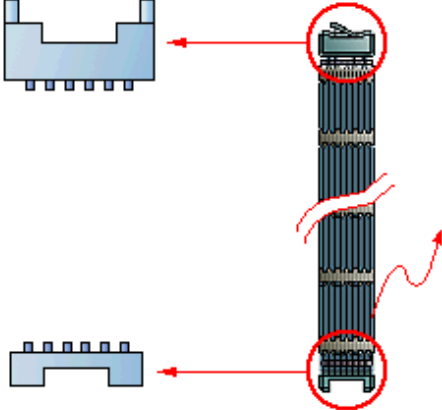
- ・あらかじめ均質に練り混ぜた固型化材料を
容器内の放射性廃棄物と一体になるよう
充填すること(製作管理)

再処理施設から発生する放射性廃棄物



*再処理施設及びMOX燃料加工施設の運転・解体に伴ない発生する放射性廃棄物で高レベル廃棄物以外のものを「TRU廃棄物」と称す。

エンドピースとハル

エンドピース	ハル
 燃料集合体の末端部分 (材質: SUS, インコネル)	 数cmにせん断された 燃料被覆管 (材質: ジルカロイ)
圧縮処理の後、キャニスタに収納を想定	

SUS: Stainless Used Steelの頭文字をとったもので、**12%以上のクロム**を含んだ錆びにくい金属のこと。(主成分は鉄)
「不動態化被膜」 **クロム**や**ニッケル**の酸化膜により安定化。Cr、Niの量が多いほど錆びにくくなる。
中性子を吸収しやすい(制御棒被覆)。

ジルカロイ: **ジルコニウム系金属**。(主成分がZr) 中性子が吸収されにくい。

インコネル・ハステロイ: **ニッケル系金属**。(主成分がNi) Specialmetals社の商品名。

再利用も考えられている

放射性廃棄物の区分と現状

放射性廃棄物の種類			廃棄物の例	発生源	廃棄物の量
高レベル放射性廃棄物 ^(注1)			ガラス固化体	再処理施設	ガラス固化体にして約15,500本分相当 ^(注2) のうちガラス固化体になって貯蔵されているもの740本 ^(注3)
低レベル放射性廃棄物	発電所廃棄物	放射能レベルの比較的高い廃棄物	制御棒炉内構造物	原子力発電所	3,000トン ^(注4)
		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		ドラム缶500,000 ^(注5)
		放射能レベルの極めて低い廃棄物	コンクリート金属等		
	RI・研究所等廃棄物			放射性同意元素等の使用施設及び試験研究炉、核燃料等使用する研究所等	ドラム缶426,000 ^(注7)
	超ウラン核種を含む放射性廃棄物		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	ドラム缶87,000 ^(注4)
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		ドラム缶81,000 ^(注4)
クリアランスレベル ^(注6) 以下の廃棄物				上に示した全ての発生源	

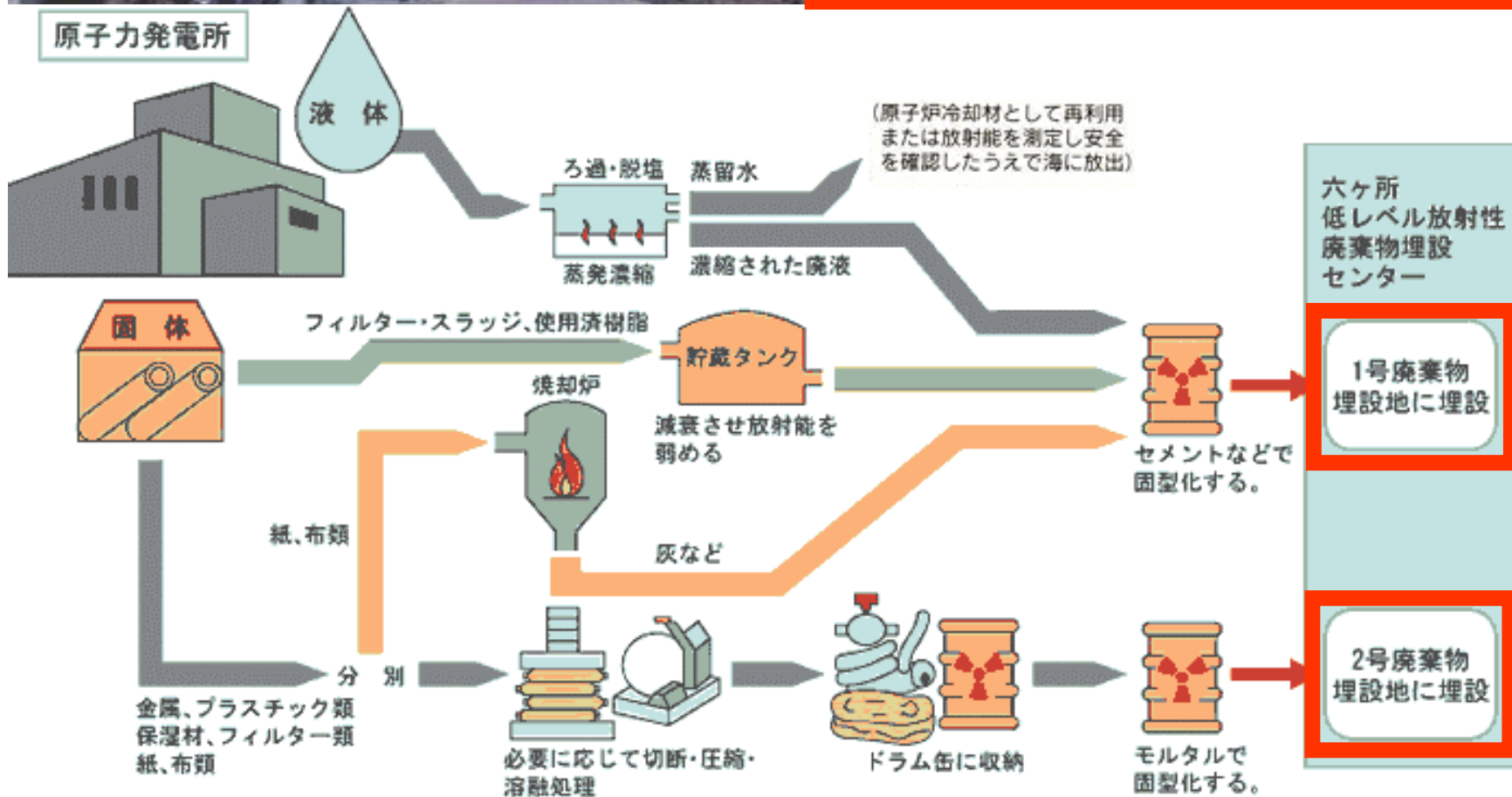
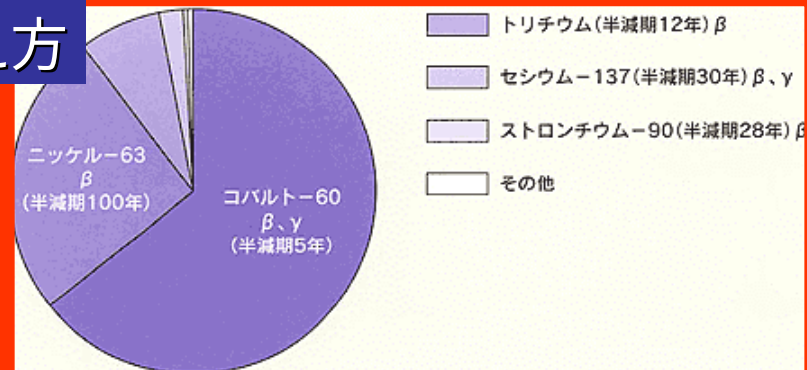
(注1)100万kwの原子力発電所1基で約100万人分の電力量をまかなうことができます。

その結果として1年間に約30本(1人当たり0.00003本)の高レベル放射性廃棄物(ガラス固化体)が残ります。

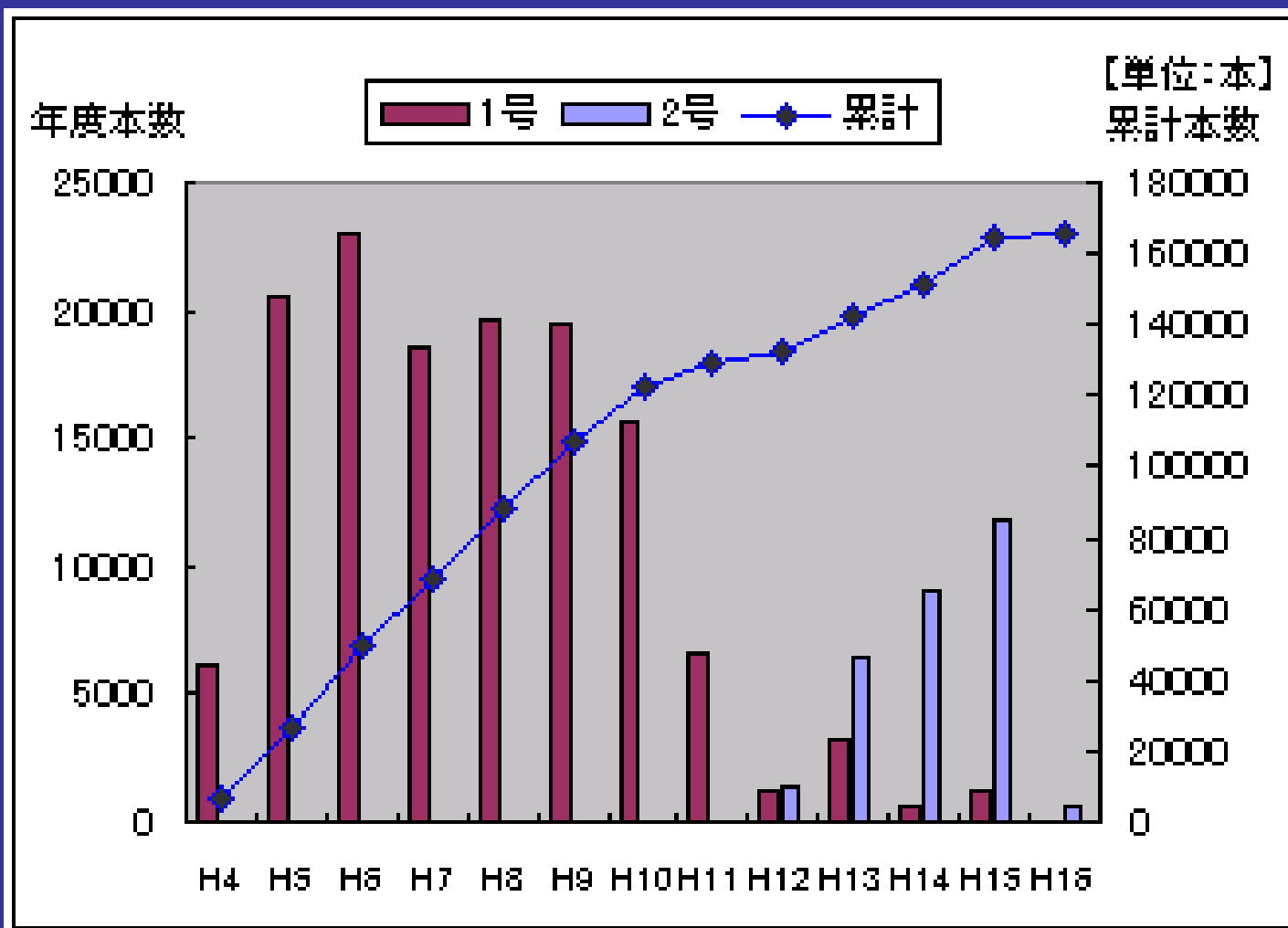
(注2)2001年12月末現在、(注3)2002年1月末現在、(注4)1998年3月末現在

(注5)2000年3月末現在、(注6)クリアランスレベルの制度化については、現在検討中です。

発電所廃棄物処理処分の基本的考え方



低レベル放射性廃棄物の受入れ状況 (平成16年9月末現在)



放射性廃棄物の区分と現状

放射性廃棄物の種類				廃棄物の例	発生源	廃棄物の量
高レベル放射性 廃棄物 ^(注1)				ガラス固化体	再処理施設	ガラス固化体にして 約15,500本分相当 ^(注2) うちガラス固化体にな って貯蔵されてい るもの740本 ^(注3)
低 レ ベ ル 放 射 性 廃 棄 物	発 電 所 廃 棄 物	放 射 能 レ ベ ル 高 ↑ ↓ 低	放射能レベル の比較的高い 廃棄物	制御棒 炉内構造物	原子力発電所	8,000トン ^(注4)
			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		ドラム缶500,000 ^(注5)
			放射能レベル の極めて低い 廃棄物	コンクリート 金属等		
	RI・研究所等廃棄物				放射性同意元素等 の使用施設及び 試験研究炉、核燃料等 使用する研究所等	ドラム缶426,000 ^(注7)
	超ウラン核種を含む 放射性廃棄物			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	ドラム缶87,000 ^(注4)
	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	ドラム缶81,000 ^(注4)
クリアランスレベル ^(注6) 以下の廃棄物					上に示した全ての発生 源	

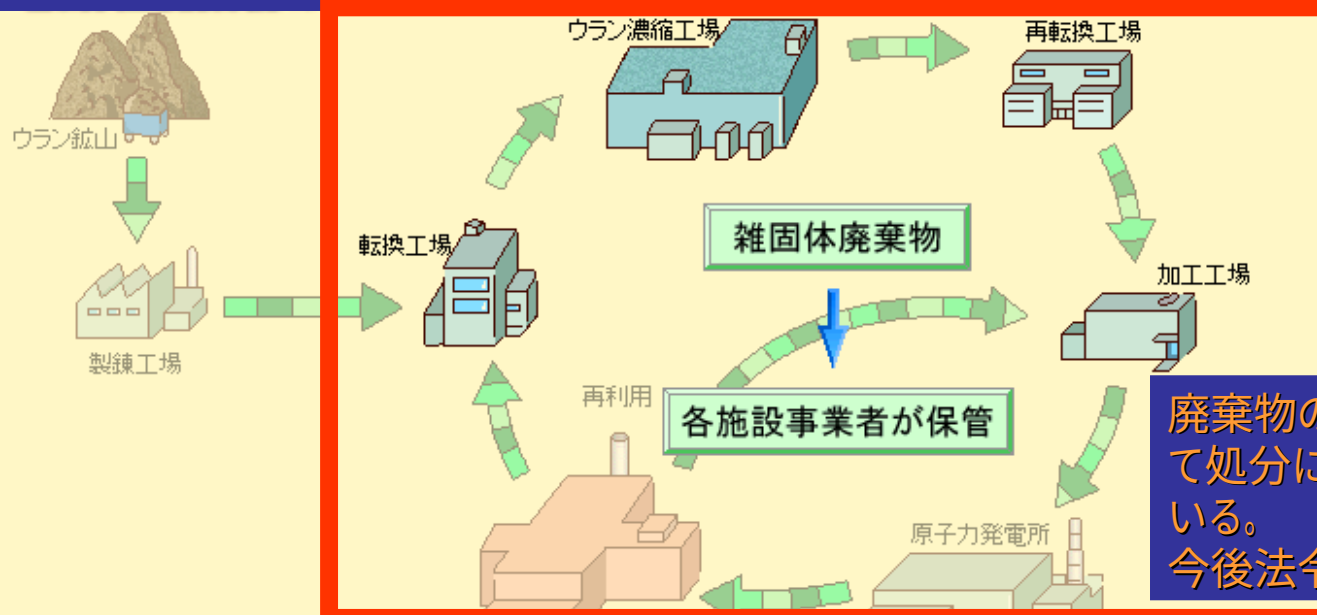
(注1)100万kwの原子力発電所1基で約100万人分の電力量をまかなうことができます。

その結果として1年間に約30本(1人当たり0.00003本)の高レベル放射性廃棄物(ガラス固化体)が残ります。

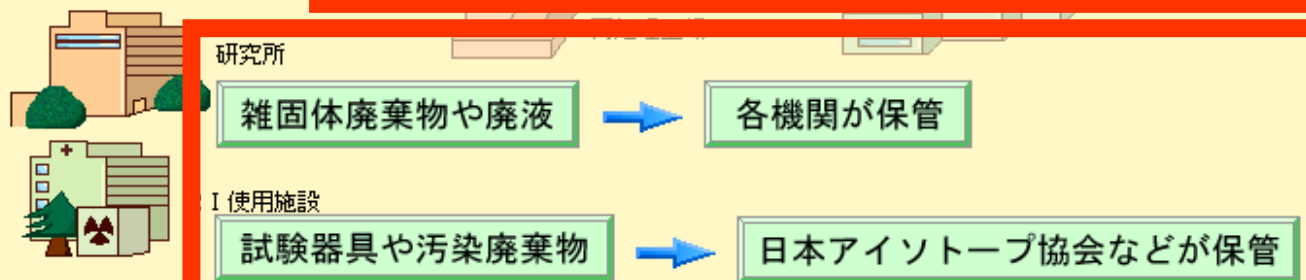
(注2)2001年12月末現在、(注3)2002年1月末現在、(注4)1998年3月末現在

(注5)2000年3月末現在、(注6)クリアランスレベルの制度化については、現在検討中です。

発電所・再処理工場以外の放射性廃棄物



廃棄物の発生者が責任をもって処分に取り組むこととなっている。
今後法令が整備される予定。



(財) 原子力研究バックエンド推進センター
が処分地の立地等事業に関する調査等
を開始している。
今後必要な法令が整備される予定。

放射性廃棄物の 区分と現状

放射性廃棄物の種類	廃棄物の例	発生源	廃棄物の量
			ガラス固化体(注5)

ある**固体状物質**に含まれる微量の放射性物質に起因する線量が、**自然界の放射線レベルに比較して十分小さく**、また、**人の健康に対するリスクが無視できるものであるならば**、当該物質を「**放射性物質として扱う必要がない**」と考えられる。国際原子力機関 (IAEA) は、96年の文書等でクリアランスレベルの概念を「**放射線防護に係る規制の体系から外してよい物を区分するレベル**」と定義している。

わが国の主な**原子炉施設**におけるクリアランスレベルについては、原子力安全委員会、放射性廃棄物安全基準専門部会が、具体的な基準値の導出について、報告書(99年)を出している。

放射性廃棄物	廃液、フィルター	MOX燃料加工施設	
ウラン廃棄物	消耗品、スラッジ、廃棄材	ウラン濃縮・燃料加工施設	ドラム缶81,000(注4)
クリアランスレベル(注6)・以下の廃棄物		上に示した全ての発生源	

(注1)100万kWの原子力発電所1基で約100万kWhの電力量をまかなうことができます。

その結果として1年間に約30本(1人当たり0.00003本)の高レベル放射性廃棄物(ガラス固化体)が残ります。

(注2)2001年12月末現在、(注3)2002年1月末現在、(注4)1998年3月末現在

(注5)2000年3月末現在、(注6)クリアランスレベルの制度化については、現在検討中です。

主な原子力施設における放射性廃棄物の保管量

[単位:200リットルドラム缶換算(本)]

機関	1996年度末	1997年度末	1998年度末	1999年度末	2000年度末
年度					
実用発電用原子炉施設	約501,700	約494,200	約488,300	約501,400	約519,800
日本原子力研究所	約138,400	約140,700	約145,300	約148,800	約153,800
核燃料サイクル開発機構	約140,100	約147,500	約154,200	約158,900	約166,300
核燃料加工施設 (サイクル機構の保有する施設を除く)	約36,600	約38,500	約40,500	約41,900	—
(社)日本アイソトープ協会	約72,300	約74,600	約72,300	約69,800	約76,200
計	約889,100	約895,500	約900,600	約920,800	約916,100

四捨五入の関係により、合計が一致しない場合がある。

(2) 高レベル放射性廃棄物の保管量

年度	1996年度末	1997年度末	1998年度末	1999年度末	2000年度末
固体廃棄物(ガラス固化体)	累計(本)	累計(本)	累計(本)	累計(本)	累計(本)
核燃料サイクル開発機構	62	62	62	62	97
日本原燃(株)	*28	*68	128	*272	300

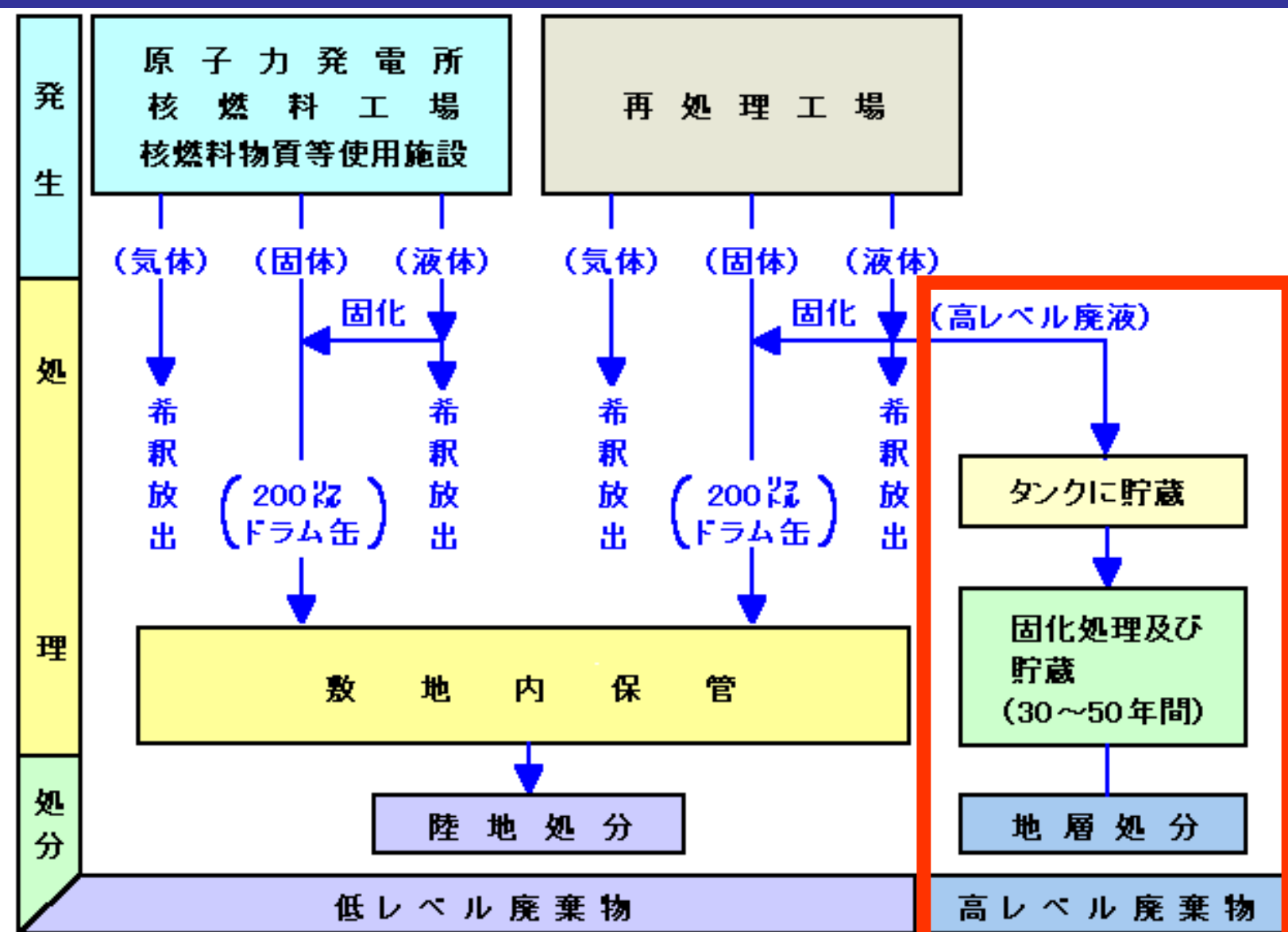
年度	1996年度末	1997年度末	1998年度末	1999年度末	2000年度末
液体廃棄物	累計(m ³)	累計(m ³)	累計(m ³)	累計(m ³)	累計(m ³)
核燃料サイクル開発機構	513	480	453	438	432

* このほかに、1996年末に40本、1997年度末に60本、1999年度末に104本が搬入貯蔵ピットへの収納まえであったため各年度末の保管量の累計には含めていない。

[出典](社)日本原子力産業会議:原子力ポケットブック2002年版、(2002年11月8日現在)

2020年
4万本

高レベル放射性廃棄物の発生と考え方



地層処分の概念

高レベル放射性廃棄物が、将来のいかなる時点においても人間とその環境に影響を与えないようにする



廃棄物自体が、直接人間に影響を与えないように、人間との距離を将来とも保つ



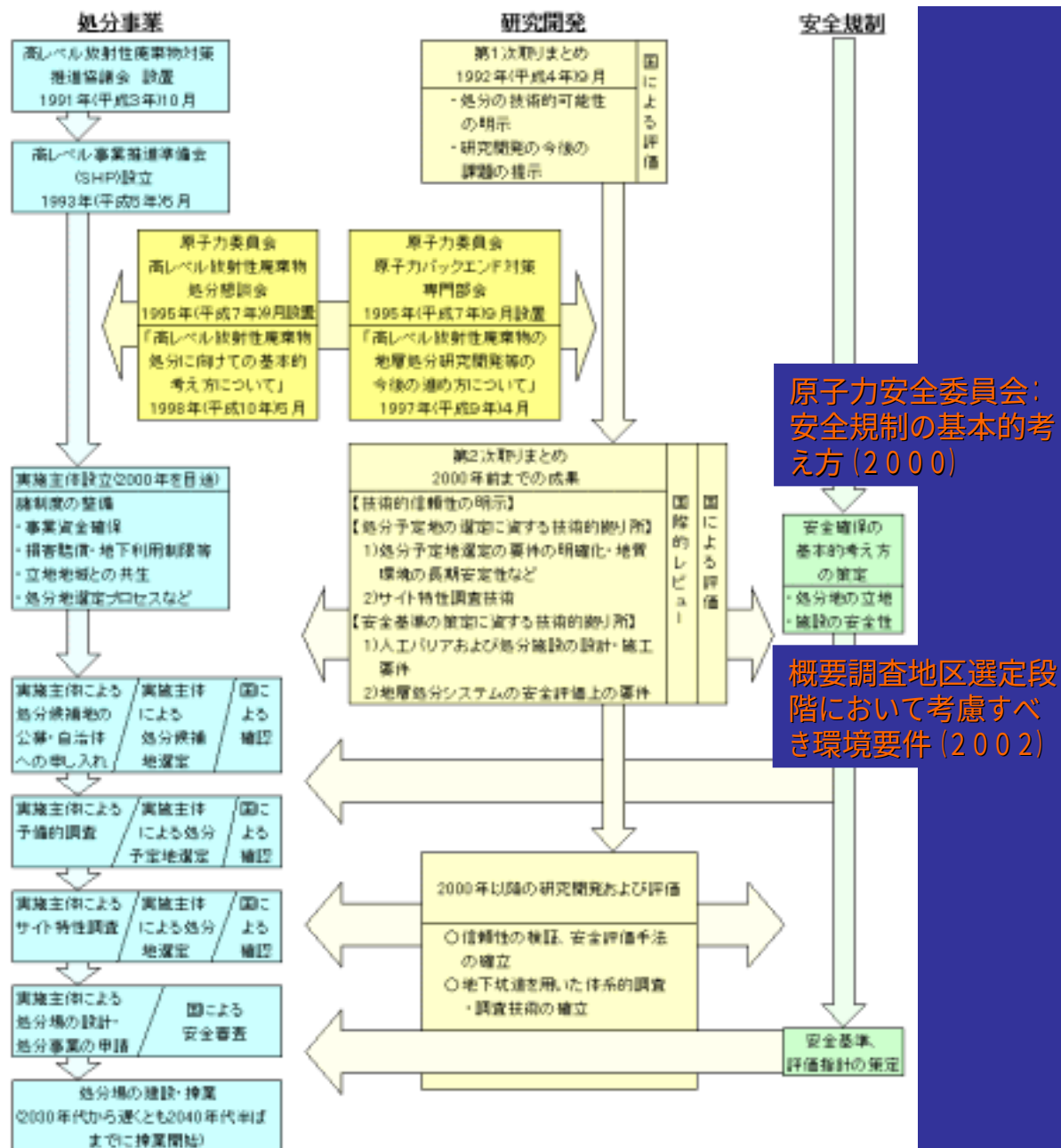
適切な条件を持つ地層（「安定な地層」）を埋設場所とする

- 地殻変動等の影響が小さい
- 地下資源の存在可能性が低い
- 適切な埋設深度が確保できる

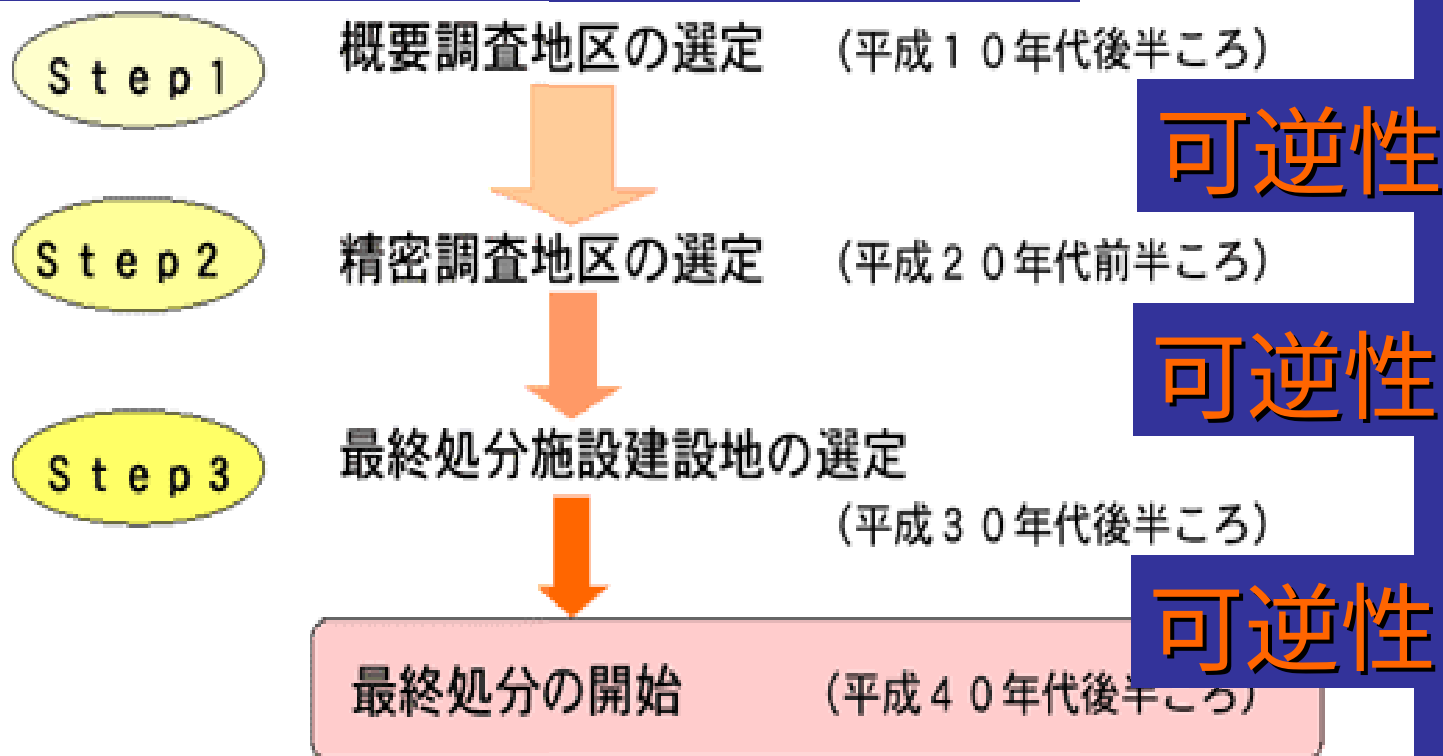
国の地層処分計画 に沿った研究開発・ 処分事業・安全規制 の展開

原子力発電環境整備
機構 NUMO 設立

HLW最終処分施設の
設置可能性を調査す
る区域の公募開始
(2002・12)



公募後の予定



Step 1

概要調査地区の選定

調査対象

公募による応募の地域
過去の記録

文献その他の資料
によって調べます。

概要調査地区



調査項目

過去の地震等の自然現象
活断層の状態
地層の状態
鉱物資源



概要調査 地区選定 での 評価事項

項目	全国一律に評価する事項	個別地区ごとに評価する事項
地震	陸域では空中写真判読等、海域では海上音波探査等に基づいて全国的に調査された文献に示されている活断層がある場所は含めないように、概要調査地区を選定する。	くり返し活動し、変位の規模が大きい活断層等について、次の事項に該当すると明確に判断される場所、範囲は含めないように、概要調査地区を選定する。 ① 全国一律に評価する事項で用いた以外の文献によって認められる活断層がある場所 ② 活断層の幅（断層破砕帯）及びその外側の変形帯に含まれる範囲 ③ 活断層の分岐等の発生の可能性が高い範囲 ④ 顕著な活動を継続している活褶曲（かつしゅうきよく）や活撓曲（かつとうきよく）の分布範囲
噴火	将来数万年にわたるマグマの活動範囲の拡がりの可能性を考慮し、第四紀火山の中心から半径 15km の範囲内にある地域は含めないように、概要調査地区を選定する。	第四紀火山の中心から半径 15km の円の外側の地域でも、将来数万年にわたりマグマの地殻への貫入や地表への噴出が明確に判断される地域は含めないように、概要調査地区を選定する。 また、将来も含め、マグマによる著しい熱の影響、強酸性の熱水、あるいは著しい熱水対流が存在すると明確に判断される地域は含めないように、概要調査地区を選定する。
隆起・侵食	_____	過去 10 万年間の隆起の総量が 300m を超えていることが明らかな地域は含めないように、概要調査地区を選定する。
第四紀の未固結堆積物	_____	最終処分を行おうとする地層が、第四紀の未固結堆積物である地域は含めないように、概要調査地区を選定する。
鉱物資源	_____	最終処分を行おうとする地層において、その採掘が経済的に価値が高い鉱物資源が存在する地域は含めないように、概要調査地区を選定する。

概要調査地区選定での付加的な評価事項

① 地層の物性・性状に関する事項	岩盤の強度，変形・割れ目・風化・変質の状況，地温勾配，岩体の形状・規模，隆起・侵食の速度，異常間隙水圧・膨張性地山・ガス突出・山はね・大出水の可能性
② 地下水の特性に関する事項	地下水の流量・流速，水温，pH，酸化還元性
③ 地質環境の調査・評価に関する事項	調査の範囲・規模・期間，調査技術・評価手法等の適用性，火成活動・断層活動等の地質環境の評価・モデル化の容易性，調査に対する土地利用等の制約
④ 建設・操業時における自然災害に関する事項	地震・地すべり・洪水等の重大な自然災害の発生可能性
⑤ 土地の確保に関する事項	土地の確保の容易性
⑥ 輸送に関する事項	利用可能な港湾又は港湾候補地からの距離等の輸送の容易性

Step 2

精密調査地区の選定

調査対象

概要調査地区

地表踏査、物理探査、
ボーリング、トレンチの掘削
等の方法によって調べます

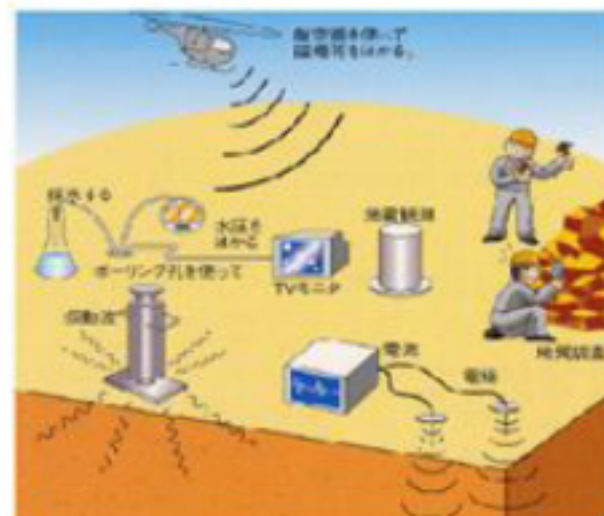
精密調査地区



(スイスNAGRAのボーリング調査)

調査項目

地震等の自然現象
岩石の性質と状態
活断層の状態
破碎帯、地下水の概要



Step 3

最終処分施設建設地の選定

調査対象

精密調査地区
地下施設を設置し
地層を直接調べます

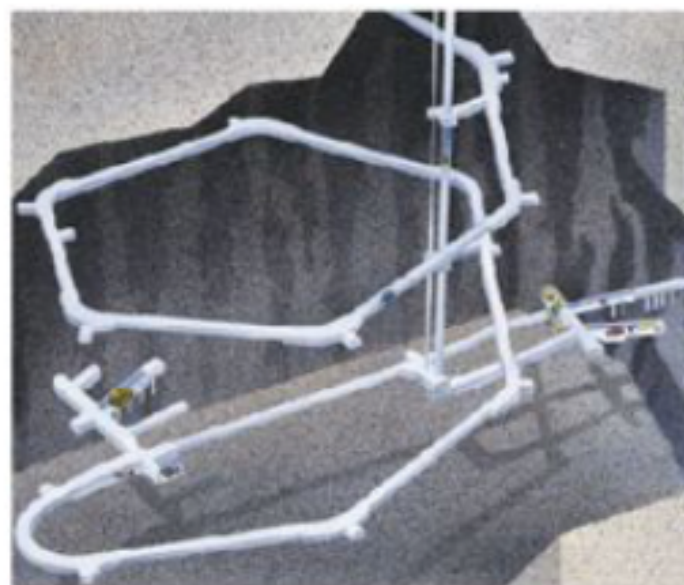
最終処分施設建設地



(スウェーデンの地下研究施設)

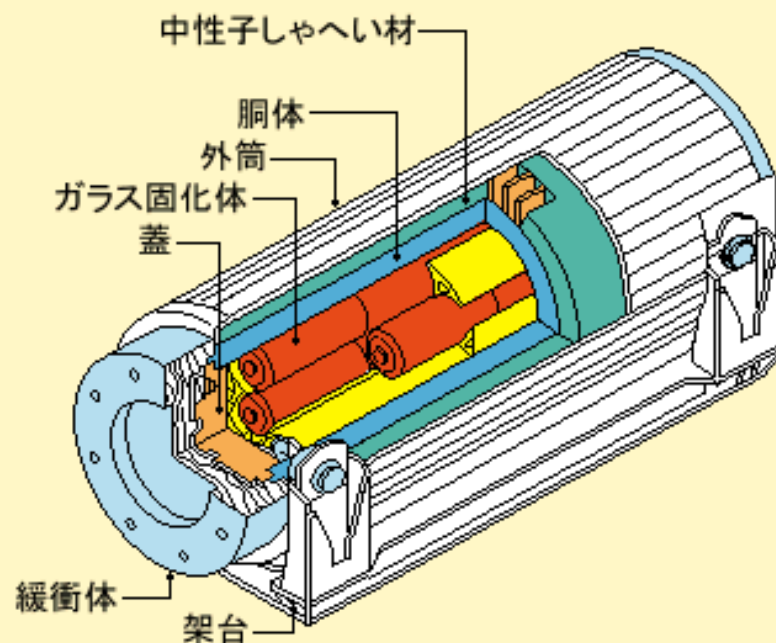
調査項目

岩石の物理的性質
地層の化学的性質
地下水の詳細



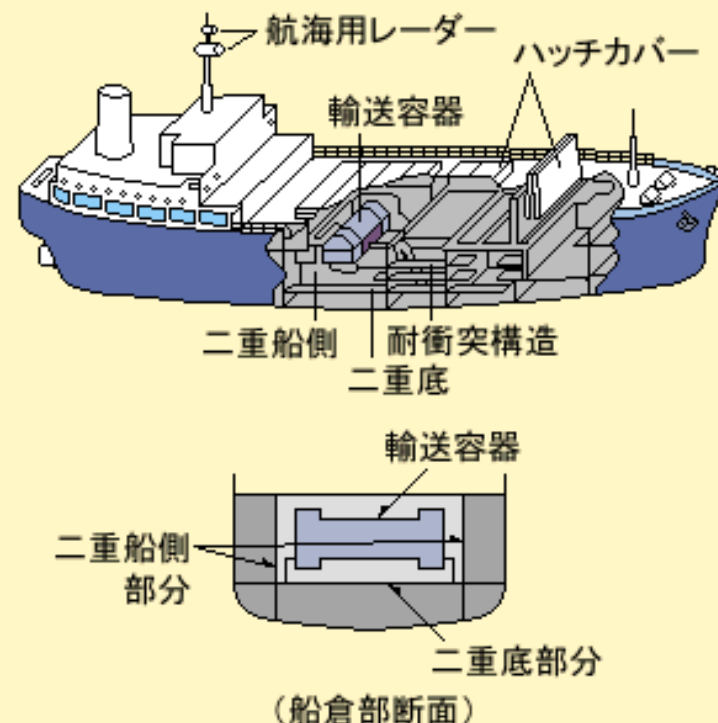
海外から返還される高レベル放射性廃棄物の輸送容器

輸送容器



特徴：強度、遮へい、放熱性、閉じ込め性、耐熱性を有している

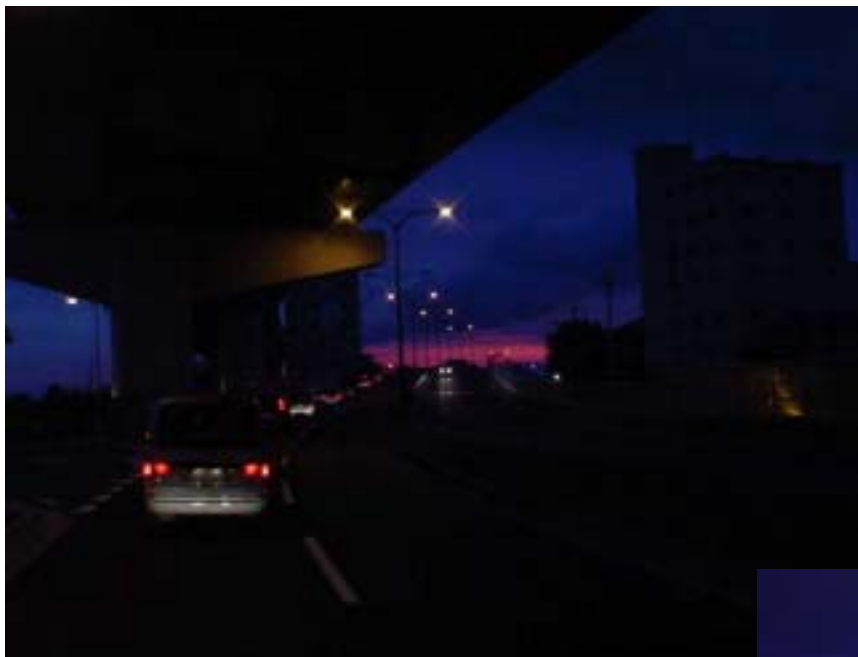
輸送船の構造



HLW 返還ガラス固化体の輸送実績

返還輸送回数	第1回	第2回	第3回	第4回
輸送船名	パシフィック・ピンテール号(輸送容器1基)	パシフィック・テール号(輸送容器2基)	パシフィック・スワン号(輸送容器3基)	パシフィック・スワン号(輸送容器2基)
ルート	南米/ホーン岬経由	喜望峰/南西太平洋経由	パナマ運河経由	パナマ運河経由
返還ガラス固化体数	(28本/累計28本)	(40本/累計68本)	(60本/累計128本)	(40本/累計168本)
出発地	仏国・シェルブール港	仏国・シェルブール港	仏国・シェルブール港	仏国・シェルブール港
年月	1995年2月23日	1997年1月13日	1998年1月21日	1999年2月25日
到着地	むつ小川原港	むつ小川原港	むつ小川原港	むつ小川原港
年月	1995年4月26日	1997年3月18日	1998年3月13日	1999年4月15日
収納完了	1995年10月12日	1997年7月29日	1998年9月15日	1999年7月26日
(ガラス固化体内訳)	(ガラス固化体28本: 東京、関西、四国、九州電力各7本)	(ガラス固化体40本: 東京、関西、四国、九州電力各10本)	(ガラス固化体60本: 東京、関西電力各20本、中部、九州電力各10本)	(ガラス固化体40本: 関西電力20本、中部電力、日本原電各10本)

返還輸送回数	第5回	第6回	第7回	第8回
輸送船名	パシフィック・スワン号(輸送容器4基)	パシフィック・スワン号(輸送容器8基)	パシフィック・サンドパイパー号(輸送容器6基)	パシフィック・スワン号(輸送容器6基)
ルート	パナマ運河経由	南米/ホーン岬経由	パナマ運河経由	パナマ運河経由
返還ガラス固化体数	(104本/累計272本)	(192本/累計464本)	(152本/累計616本)	(144本/累計760本)
出発地	仏国・シェルブール港	仏国・シェルブール港	仏国・シェルブール港	仏国・シェルブール港
年月	1999年12月29日	2000年12月19日	2001年12月5日	2003年6月4日
到着地	むつ小川原港	むつ小川原港	むつ小川原港	むつ小川原港
年月	2000年2月23日	2001年2月20日	2002年1月22日	2003年7月23日
収納完了	2000年8月21日	2002年5月17日	2003年6月11日	
(ガラス固化体内訳)	(ガラス固化体104本: 関西電力46本、東京電力28本、中部電力10本、中国電力10本、九州電力10本)	(ガラス固化体192本: 関西電力76本、東京電力40本、東京・関西電力28本、中部電力20本、九州電力10本)	(ガラス固化体152本: 関西電力48本、中部電力28本、中国・四国電力20本、東京、九州電力各28本、東	受入検査中
	第9回	パシフィック・サンドパイパー号	パナマ運河経由	5基
				132本
				同上
				2004.1.19
				同上
				2004.3.4



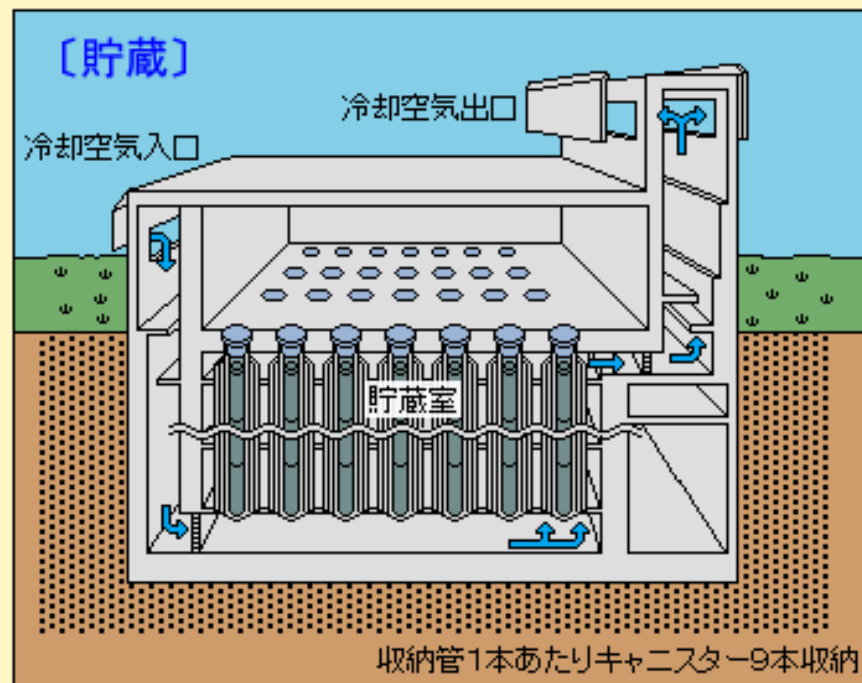
高レベル放射性廃棄物の貯蔵

ガラス固化体は高い熱と放射能を持っているので、地下の処分場に運ぶ前に、冷却のため30～50年程度貯蔵することになっています。ガラス固化体貯蔵施設には、丈夫な厚いコンクリートで作られた貯蔵棟があり、その内部の貯蔵室の中にガラス固化体を入れて貯蔵する仕組みになっています。



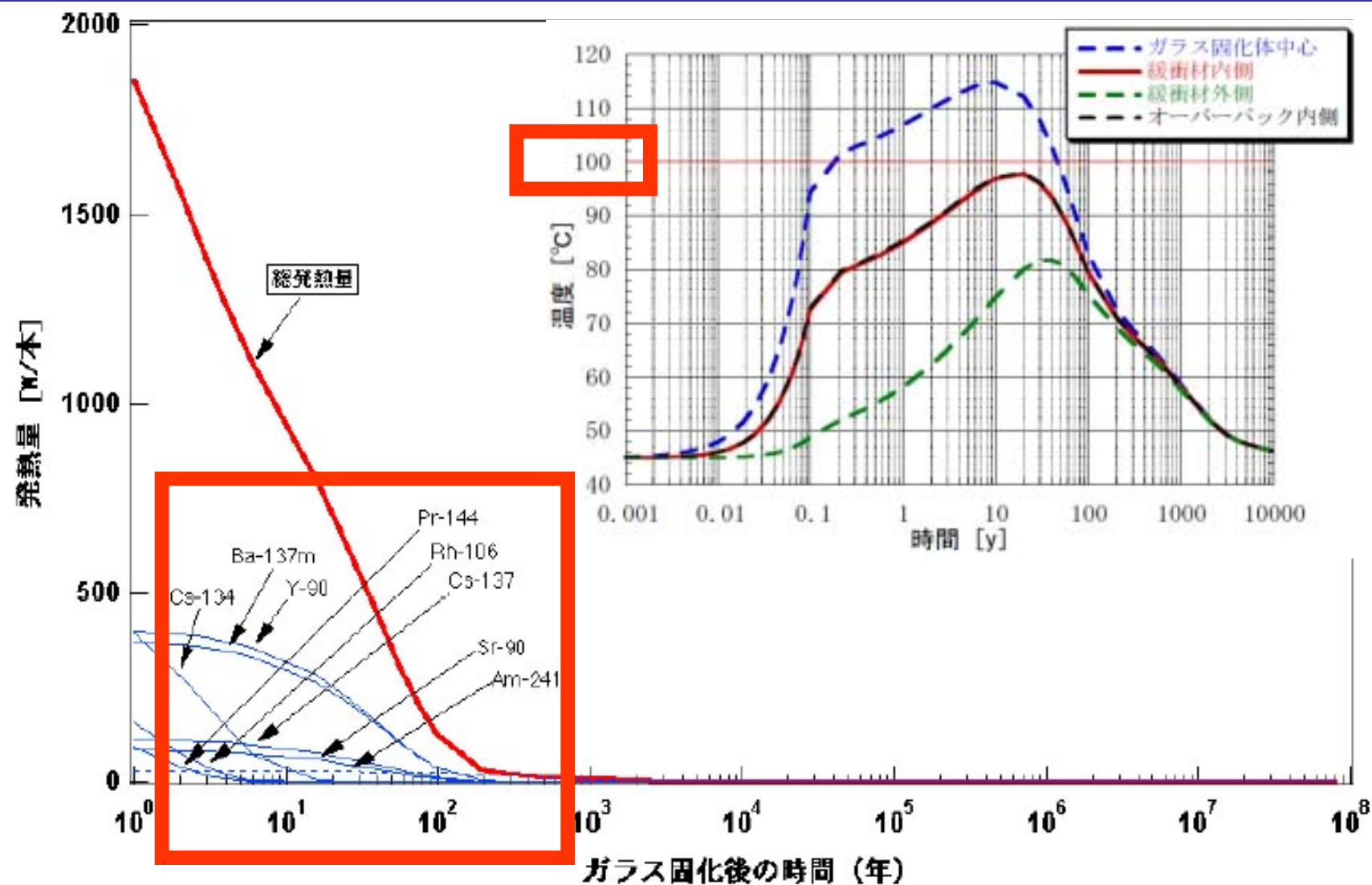
高レベル放射性廃棄物貯蔵管理センターの内部

日本原燃(株)



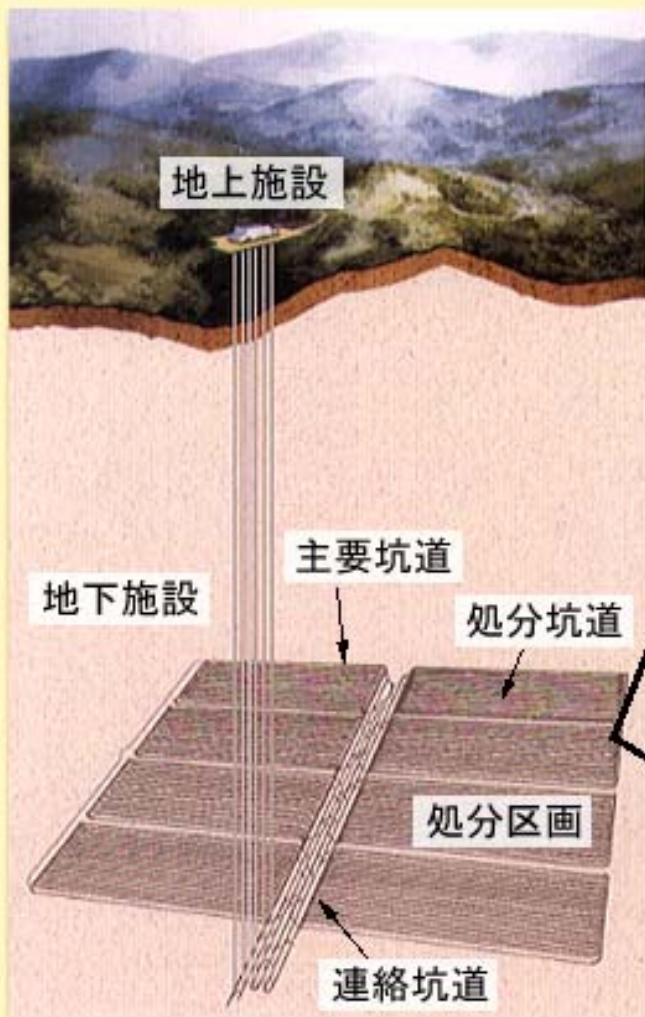
出典:原子力白書(平成10年版)

高レベル放射性廃棄物の発熱量



高レベル放射性廃棄物地層処分場概念図

数百m～千m



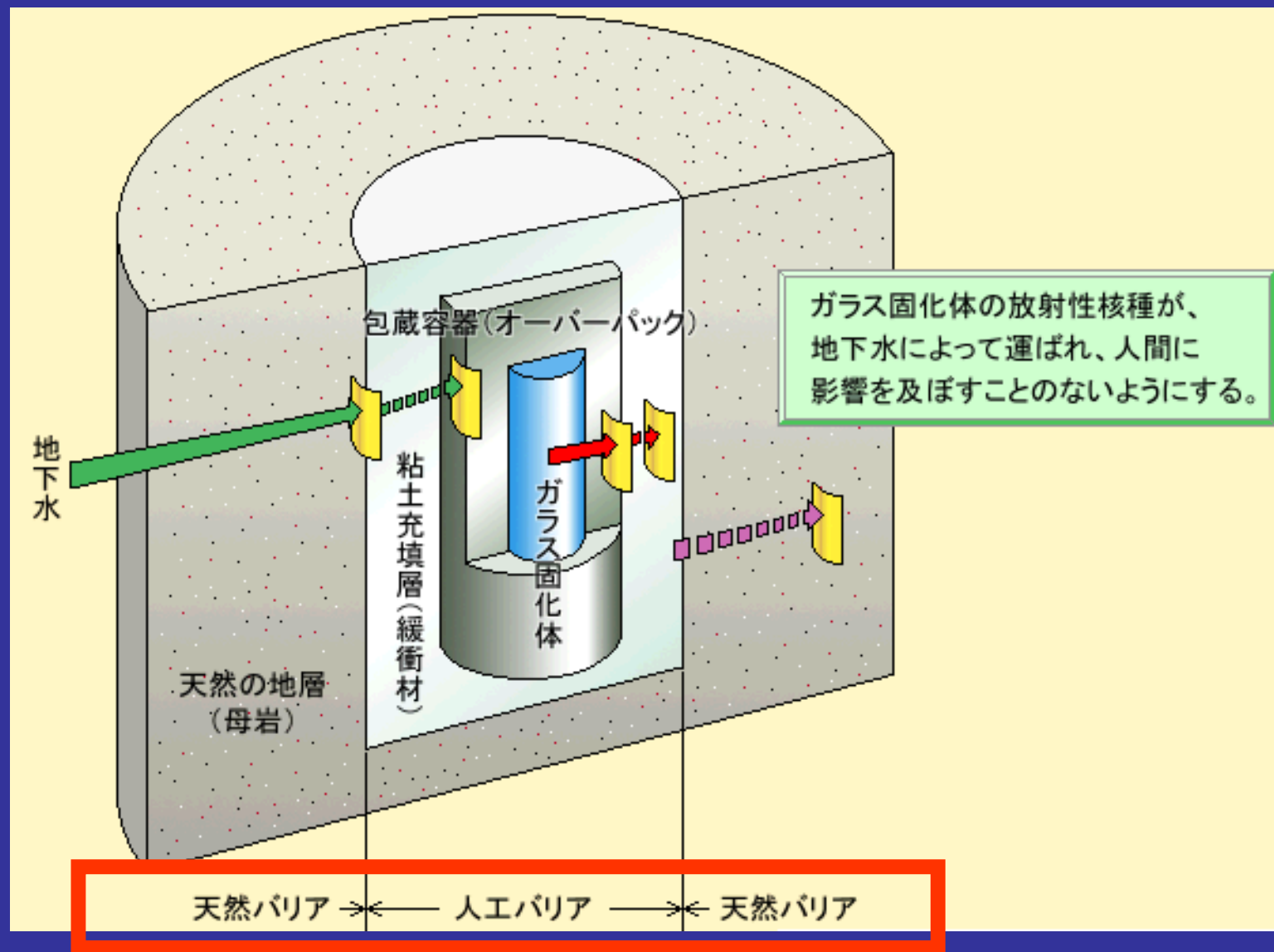
安定な地層に、性能に余裕を持たせた人工バリアを含む多重バリアシステムを構築



オーバーパック
(金属製の容器)

ガラス固化された
高レベル放射性廃棄物

地層処分における多重バリアシステム



バリアシステムと 期待される安全機能

地質環境

長期的な安定性

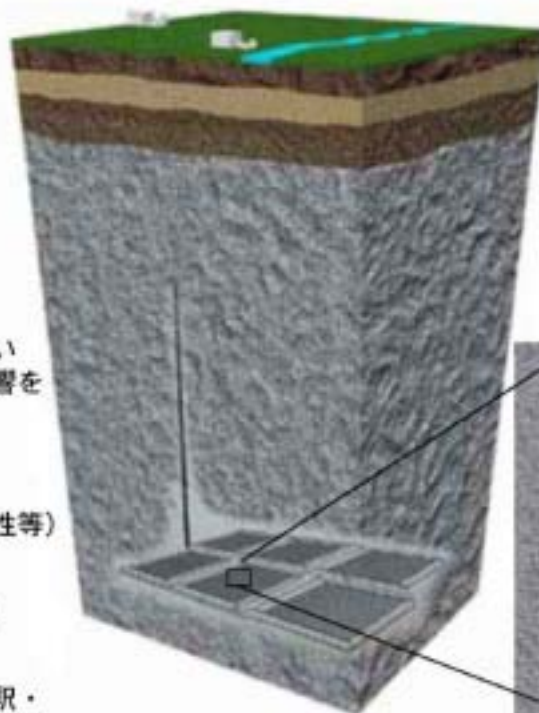
- ・火山活動がない
- ・活断層が存在しない
- ・著しい隆起・侵食が生じない
- ・気候変動によって著しい影響を受けない
- ・資源が存在しない

人工バリアの設置環境

- ・好ましい地下水化学（還元性等）
- ・小さな地下水流動
- ・力学的安定性
- ・人間環境からの物理的障壁

天然バリアとしての機能

- ・放射性核種の移行抑制と希釈・分散



人工バリア

ガラス固化体

（ステンレス製キャニスタに充填されたもの）

- ・放射性核種を均一かつ安定に固定
- ・高い化学的耐久性により地下水への放射性核種の溶出を抑制
- ・熱や放射線に対する安定性

オーバーバック

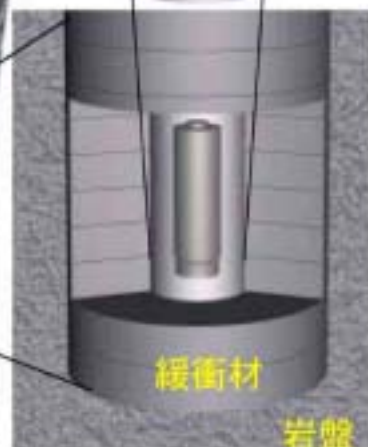
（炭素鋼）

- ・ガラス固化体の発熱や放射能が高い期間、地下水とガラス固化体の接触を阻止
- ・地下水との反応によりガラス固化体近傍の還元性を維持
- ・放射性核種の腐食生成物への収着

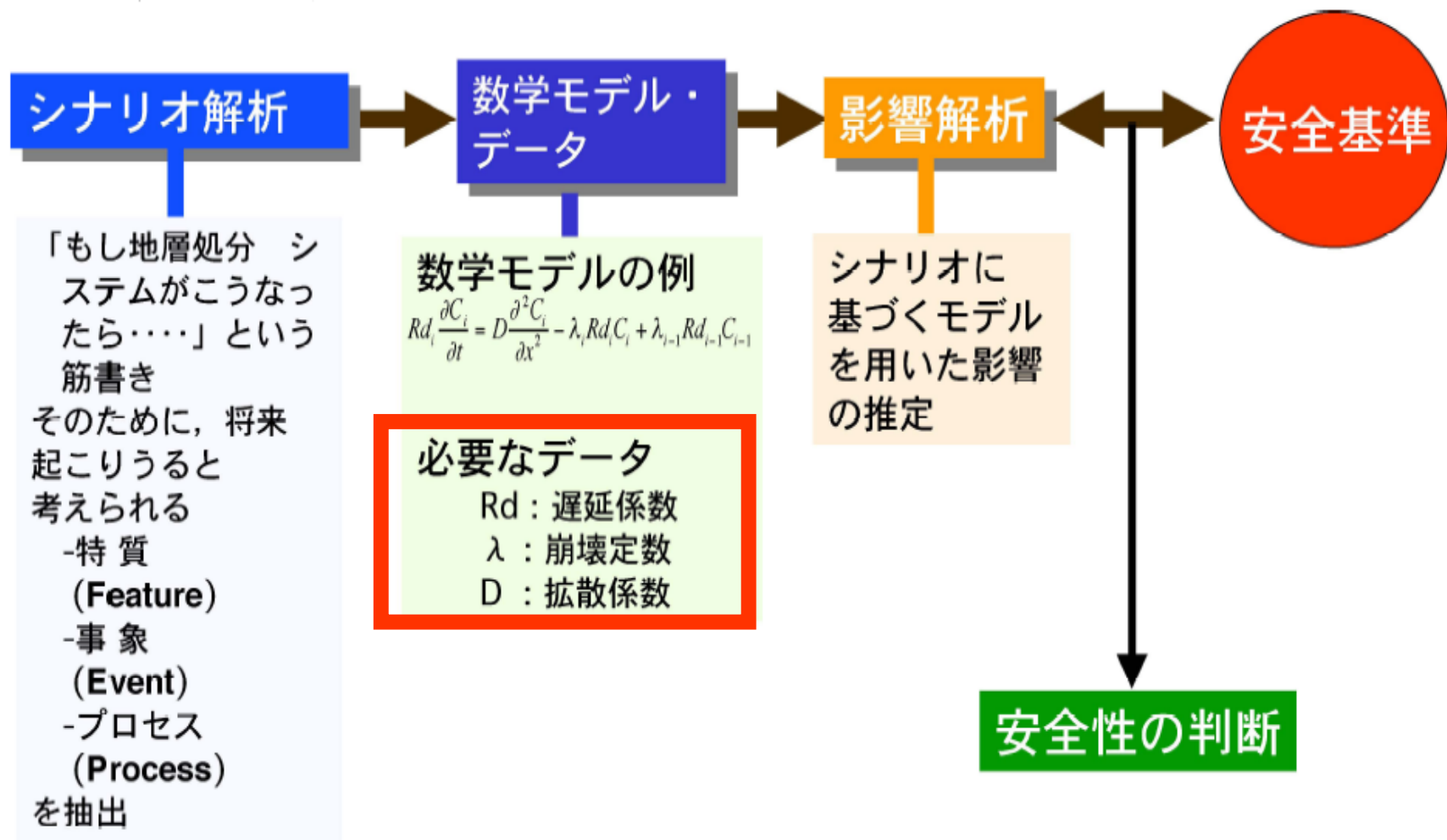
緩衝材

（ベントナイトを主成分）

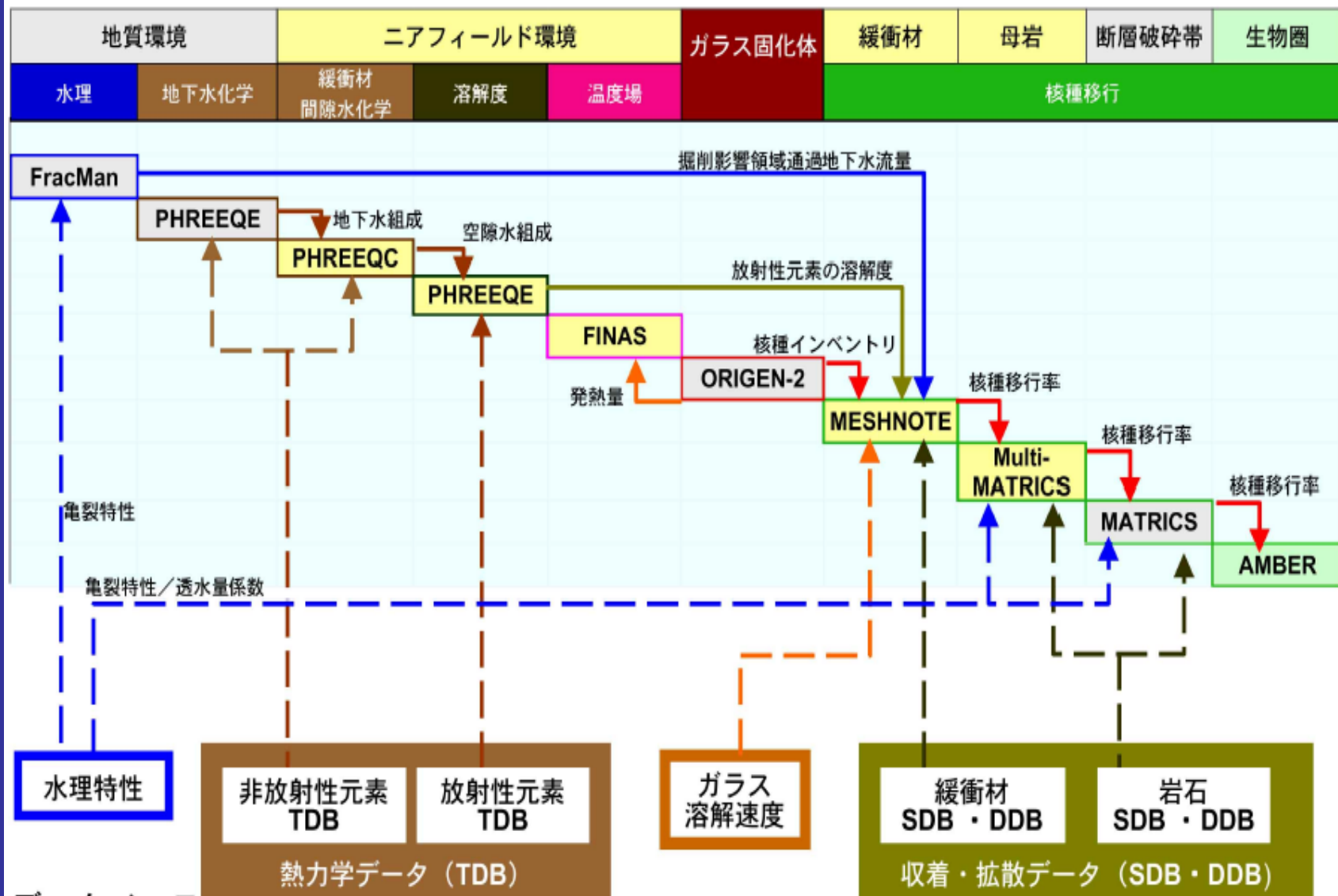
- ・低透水性（オーバーバックと地下水の接触抑制）
- ・小さな物質移動速度
- ・放射性核種の移行遅延（収着）
- ・膨潤性と可塑性
- ・化学的緩衝性
- ・空隙水中での低い溶解度
- ・コロイド、微生物、有機物の移動に対するフィルター効果



安全評価の基本的手順



安全評価で用いる計算コードとデータベース：JNC



	G. ガラス固化体とその近傍	OP. オーバーバック（腐食生成物含む）	B. 緩衝材	D. プラグ/グラウト、支保、埋め戻し材	H. 母岩（掘削影響領域、断層域等を含む）
1. 熱的現象・特性	G-1.1 ガラス固化体の熱物性 G-1.2 ガラス固化体の温度 G-1.3 ガラス固化体の熱膨張 G-1.4 崩壊熱の発生	OP-1.1 オーバーバックの熱物性 OP-1.2 オーバーバックの温度 OP-1.3 オーバーバックの熱膨張	B-1.1 緩衝材の熱物性 B-1.2 緩衝材の温度 B-1.3 緩衝材の熱膨張	D-1.1 プラグ/グラウト、支保、埋め戻し材の熱物性 D-1.2 プラグ/グラウト、支保、埋め戻し材の温度 D-1.3 プラグ/グラウト、支保、埋め戻し材の熱膨張	H-1.1 母岩の熱物性 H-1.2 母岩の温度 H-1.3 母岩の熱膨張
2. 水理学的現象・特性			B-2.1 緩衝材の水理特性 B-2.2 緩衝材の飽和 B-2.3 緩衝材中での地下水流動	D-2.1 プラグ/グラウト、支保、埋め戻し材の水理特性 D-2.2 プラグ/グラウト、支保、埋め戻し材の飽和 D-2.3 プラグ/グラウト、支保、埋め戻し材中での地下水流動	H-2.1 母岩の水理特性 H-2.2 母岩の飽和 H-2.3 母岩中での地下水流動
3. 力学的現象・特性	G-3.1 ガラス固化体の力学特性 G-3.2 ガラス固化体の応力 G-3.3 ガラス固化体の割れ	OP-3.1 オーバーバックの力学特性 OP-3.2 オーバーバックの応力 OP-3.3 オーバーバックの破壊 OP-3.4 オーバーバックの腐食膨張 OP-3.5 オーバーバックの沈下	B-3.1 緩衝材の力学特性 B-3.2 緩衝材の応力 B-3.3 緩衝材の膨潤 B-3.4 緩衝材の変形 B-3.5 緩衝材の流出	D-3.1 プラグ/グラウト、支保、埋め戻し材の力学特性 D-3.2 プラグ/グラウト、支保、埋め戻し材の応力 D-3.3 プラグ/グラウト、支保、埋め戻し材の膨潤 D-3.4 プラグ、支保、埋め戻し材の変形 D-3.5 プラグ/グラウト、埋め戻し材の流出	H-3.1 母岩の力学特性 H-3.2 母岩の応力 H-3.3 母岩のクリープ
4. 化学的現象・特性	G-4.1 ガラス固化体の化学特性	OP-4.1 オーバーバックの化学特性	B-4.1 緩衝材の化学特性	D-4.1 プラグ/グラウト、支保、埋め戻し材の化学特性	H-4.1 母岩の化学特性
包括的FEPリスト (黄色の網かけしたFEP： 安全評価で考慮するものとして現在選択されている事象)					
5. 放射線学的現象・特性	G-5.1 ガラス固化体中での核種の放射性崩壊 G-5.2 ガラス固化体周囲の地下水の放射線分解 G-5.3 ガラス固化体の放射線損傷	OP-5.1 腐食生成物中での核種の放射性崩壊 OP-5.2 腐食生成物中の間隙水の放射線分解 OP-5.3 腐食生成物の放射線損傷	B-5.1 緩衝材中での核種の放射性崩壊 B-5.2 緩衝材中での間隙水の放射線分解 B-5.3 緩衝材の放射線損傷	D-5.1 プラグ/グラウト、支保、埋め戻し材中での核種の放射性崩壊 D-5.2 プラグ/グラウト、支保、埋め戻し材中の地下水の放射線分解 D-5.3 プラグ/グラウト、支保、埋め戻し材の放射線損傷	H-5.1 母岩中での核種の放射性崩壊 H-5.2 母岩中の間隙水の放射線分解 H-5.3 母岩の放射線損傷
6. 物質（核種）移動現象・特性	G-6.1 ガラス固化体周囲の物質移動特性 G-6.2 ガラス固化体からの核種の漏出 G-6.2.1 核種のコンクリートな漏出 G-6.2.2 沈着/溶解	OP-6.1 腐食生成物の物質移動特性 OP-6.2 幾何形状/間隙構造 OP-6.3 腐食生成物中の核種の移行 OP-6.3.1 移流/分散 OP-6.3.2 拡散 OP-6.3.3 収着 OP-6.3.4 沈着/溶解 OP-6.3.5 コロイドによる移行 OP-6.3.6 ガスによる移行	B-6.1 緩衝材の物質移動特性 B-6.2 幾何形状/間隙構造 B-6.3 緩衝材中の核種の移行 B-6.3.1 移流/分散 B-6.3.2 拡散 B-6.3.3 収着 B-6.3.4 沈着/溶解 B-6.3.5 コロイドによる移行 B-6.3.6 ガスによる移行	D-6.1 プラグ/グラウト、支保、埋め戻し材の物質移動特性 D-6.2 幾何形状/間隙構造 D-6.3 プラグ/グラウト、支保、埋め戻し材中の核種の移行 D-6.3.1 移流/分散 D-6.3.2 拡散 D-6.3.3 収着 D-6.3.4 沈着/溶解 D-6.3.5 コロイドによる移行 D-6.3.6 ガスによる移行	H-6.1 母岩の物質移動特性 H-6.2 幾何形状、間隙/亀裂の構造 H-6.3 母岩中の核種の移行 H-6.3.1 移流/分散 H-6.3.2 拡散 H-6.3.3 収着 H-6.3.4 沈着/溶解 H-6.3.5 コロイドによる移行 H-6.3.6 ガスによる移行 H-6.4 境界
7. システムの擾乱となり得る現象	G-7.1 ガラス固化体の組成不良	OP-7.1 オーバーバックの製作不良	B-7.1 緩衝材の製作不良 B-7.2 緩衝材の施工不良	D-7.1 プラグ/グラウト、支保、埋め戻し材の製作不良 D-7.2 プラグ/グラウト、支保、埋め戻し材の施工不良	
天然現象（NP-1 地震・断層活動、NP-2 隆起・侵食、NP-3 火山・火成活動、NP-4 気候・海水準変動、NP-5 隕石の落下）					
HA-1 ボーリング、HA-2 井戸の掘削・探水（捜査、探鉱、地下空間利用、土木工事）					

包括的FEPリストのごく一例

4. 化学的現象・特性	G. ガラス固化体とその近傍		OP. オーバーバック（腐食生成物含む）	
	G-4.1	ガラス固化体の化学特性	OP-4.1	オーバーバックの化学特性
	G-4.2	ガラス固化体周囲の地下水化学	OP-4.2	オーバーバックの地下水化学
	G-4.3	ガラス固化体の溶解	OP-4.3	オーバーバックと地下水の反応
	G-4.4	ガスの発生／影響	OP-4.4	オーバーバックの腐食
	G-4.5	微生物の影響		OP-4.4.1 全面腐食
	G-4.6	有機物の影響		OP-4.4.2 孔食
	G-4.7	コロイドの形成		OP-4.4.3 すきま腐食
	G-4.8	ガラス固化体の化学的変質		OP-4.4.4 応力腐食割れ
			OP-4.5	腐食生成物の生成
6. 物質（核種）移動現象・特性	H. 母岩（掘削影響領域、断層破碎帯含む）		OP-4.6	ガスの発生／影響
	H-6.1	母岩の物質移動特性	OP-4.7	微生物の影響
	H-6.2	幾何形状、間隙／亀裂の構造	OP-4.8	有機物の影響
	H-6.3	母岩中の核種の移行	OP-4.9	コロイドの形成
		H-6.3.1 移流／分散		
		H-6.3.2 拡散		
		H-6.3.3 収着		
		H-6.3.4 沈澱／溶解		
		H-6.3.5 コロイドによる移行		
		H-6.3.6 ガスによる移行		
	H-6.4	臨界		
3. 力学的現象・特性			D-3.1	プラグ／グラウト、支保、埋め戻し材の力学特性
			D-3.2	プラグ／グラウト、支保、埋め戻し材の応力
			D-3.3	プラグ／グラウト、支保、埋め戻し材の膨潤
			D-3.4	プラグ、支保、埋め戻し材の変形
			D-3.5	プラグ／グラウト、埋め戻し材の流出

