

仏国提案の新固化方式による廃棄体の 処理処分に関する技術的評価について

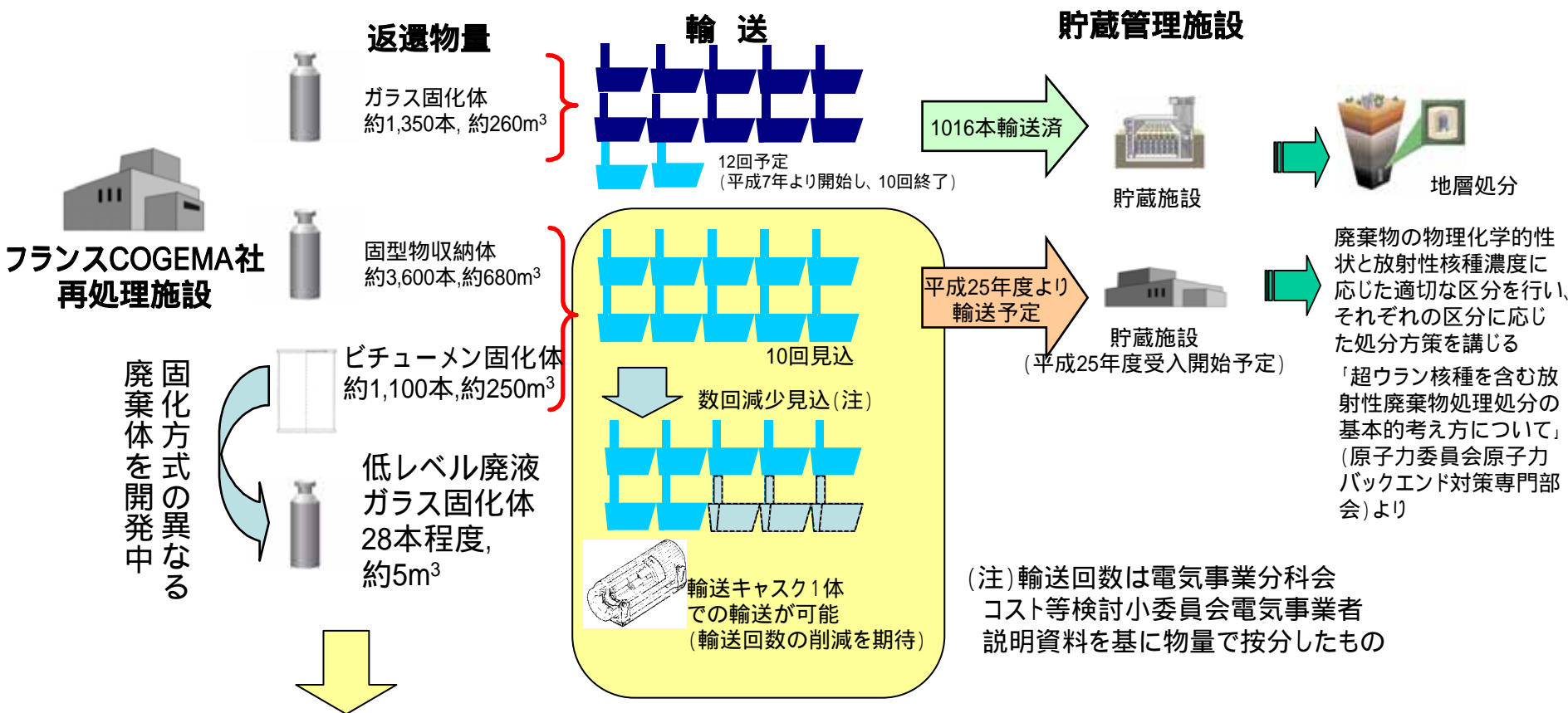
平成17年11月28日

電気事業連合会

内容

1. 仏国再処理廃棄物の返還方法の概要
2. 仏国再処理工場の低レベル廃液の概要
 - 2 - 1. 低レベル廃液の処理の概要
 - 2 - 2. 低レベル廃液ガラス固化体の廃液起源
 - 2 - 3. 低レベル廃液を固化した廃棄体の形状等
3. 低レベル廃液ガラス固化体の処分の概要
 - 3 - 1. ビチューメン固化体とガラス固化体の比較
 - 3 - 2. 低レベル廃液ガラス固化体の処分概念
 - 3 - 3. 低レベル廃液ガラス固化体の線量評価
4. まとめ

1. 仏国再処理廃棄物の返還方法の概要



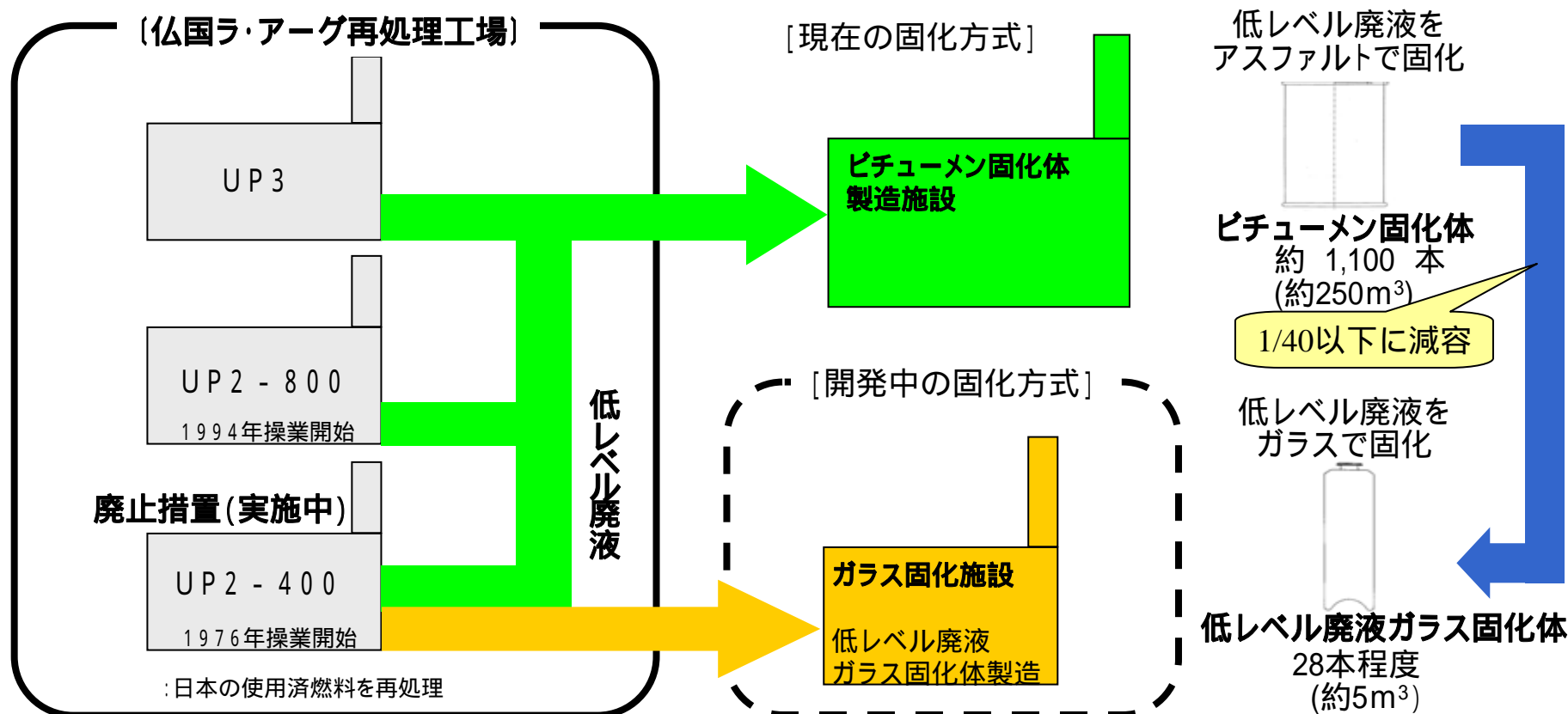
低レベル廃液の新固化方式(ガラス固化)に対する処理・処分の安全性の技術的評価を検討
(TRU廃棄物処分技術検討書-第2次TRU廃棄物処分研究開発取りまとめ-)の中で検討)

固型物収納体及びビチューメン固化体は「超ウラン核種を含む放射性廃棄物処理処分の基本的考え方について」(原子力委員会原子力バックエンド対策専門部会、平成12年3月)におけるハル・エンドピースの圧縮収納体 及びアスファルト固化体に該当する

2. 仏国再処理工場の低レベル廃液の概要

3

2 - 1. 低レベル廃液の処理の概要



低レベル廃液の固化方式変更(ビチューメン固化 ガラス固化)により、廃棄体を40分の1以下に減容可能。

【開発目標】

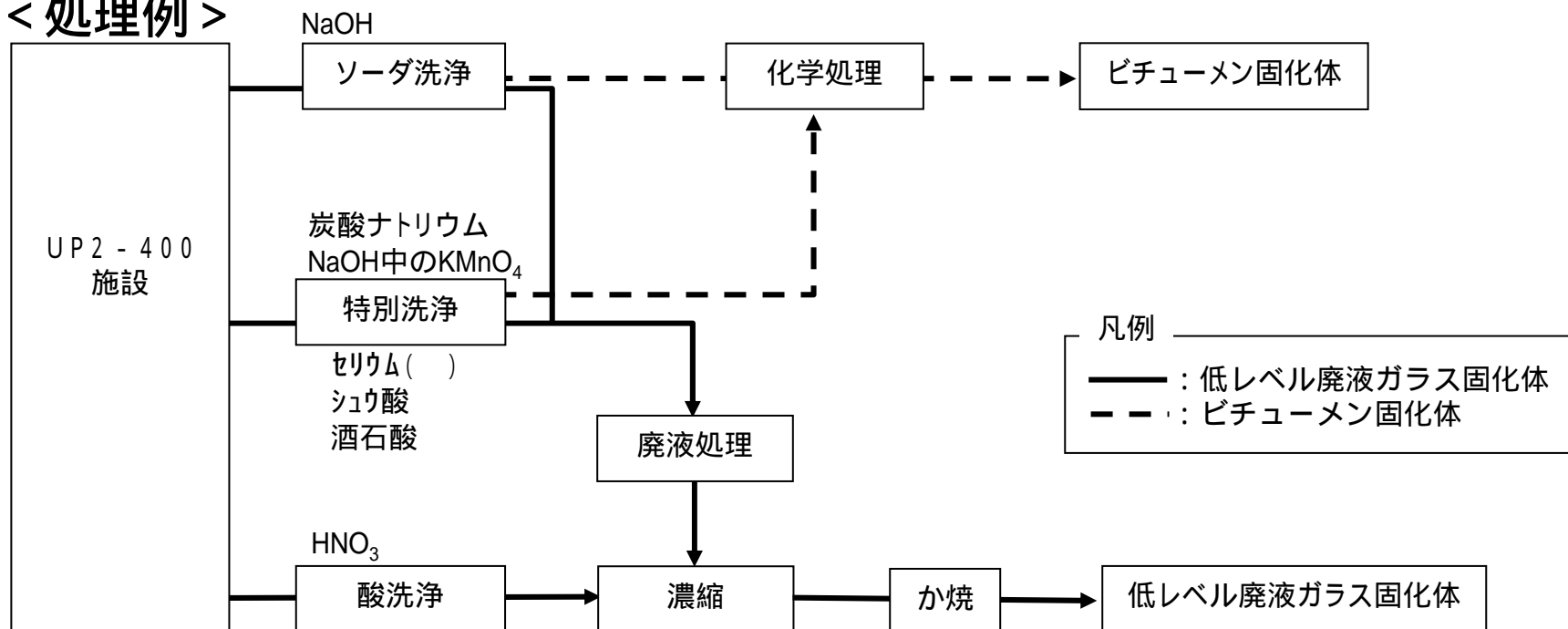
廃液の組成を加味しながら、一定の浸出性能を維持しつつ、高い廃棄物充填率が得られるよう、最適なガラス固化方法を開発する。

2 - 2 . 低レベル廃液ガラス固化体の廃液起源

低レベル廃液の起源は、UP2 - 400施設の廃止措置に伴う洗浄廃液であり、比較的高いNa濃度となることが想定される。

COGEMAは、洗浄廃液の特性に応じて廃液処理の後、低レベル廃液ガラス固化体に処理される。(仏国での初期試験では、Naを比較的多く含む廃液であっても、化学的耐性(浸出性能)が安定したガラスが製造できることを確認済)

< 処理例 >


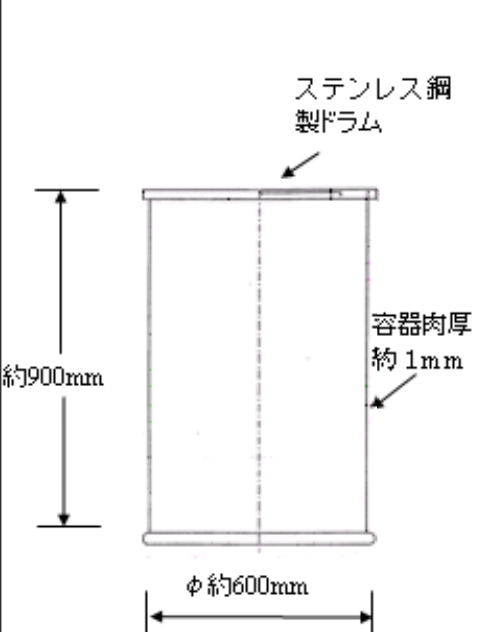



ソーダ洗浄 : NaOHにより洗浄。廃液処理され、濃縮し、か焼の後ガラス固化される。ただし、ガラス固化のNa含有量の制限を越えるものはビチューメン固化される。

酸洗浄 : HNO₃により洗浄。濃縮し、か焼の後ガラス固化される。

特別洗浄 : 炭酸ナトリウム、KMnO₄、セリウム、シュウ酸、酒石酸等による洗浄を想定。それぞれ廃液処理され、濃縮し、か焼の後ガラス固化される。ガラス固化のNa含有量の制限を越えるものはビチューメン固化される。

2 - 3 . 低レベル廃液を固化した廃棄体の形状等

名称	低レベル廃液ガラス固化体	ビチューメン固化体	(参考) HLWガラス固化体
概要図			
対象廃棄物	低レベル廃液（洗浄廃液）	低レベル廃液（化学工程廃液等）	高レベル廃液（核分裂生成物）
放射能濃度	$\alpha : < 6.2 \times 10^{12} \text{ Bq/本}$ $\beta\gamma : < 7.4 \times 10^{14} \text{ Bq/本}$	$\beta\gamma + 80\alpha < 5.2 \times 10^{12} \text{ Bq/本}$ $\left(\begin{array}{l} \alpha < 1.3 \times 10^{11} \text{ Bq/本} \\ \beta\gamma < 5.2 \times 10^{12} \text{ Bq/本} \end{array} \right)$	$\alpha : < 3.5 \times 10^{14} \text{ Bq/本}$ $\beta\gamma : < 4.5 \times 10^{15} \text{ Bq/本}$
発熱量	$< 90 \text{ W/本}$	-	$< 2,000 \text{ W/本}$
重量	$< 550 \text{ kg}$	$< 250 \text{ kg}$	$< 550 \text{ kg}$
返還本数	約28本	約1,100本	約1,350本 (1,016本返還済：平成17年10月末実績)

3. 低レベル廃液ガラス固化体の処分の概要

3 - 1. ビチューメン固化体とガラス固化体の比較

項目		ビチューメン固化体	ガラス(ホウケイ酸ガラス)固化体
耐性	温度	軟化点:38～53 (照射されると高温側に移動) 高温では形状が変化	失透化温度:500 前後 処分環境で想定される程度の温度であれば良好な耐性を有する
	水理	マトリクス・固化体そのものは不透水性	マトリクス・固化体そのものは不透水性
	力学	針入度:7～10mm(照射されると硬化する) 塑性変形(レオロジー的)	曲げ強度:75MPa 脆性破壊
	水化学	有酸素条件、強酸、強アルカリ条件以外では溶解性は安定。	強酸、強アルカリ条件以外では溶解性安定。
	放射線	照射によって特性変化が生じる(例:硬化等)	良好な耐放射線性を有する
閉じ込め性	容器	密封性なし 材質:JIS SUS316L又はSUS430LX相当 肉厚:約1mm	密封性あり 材質:JIS SUH 309 相当 肉厚:約5mm
	核種保持	廃棄体周囲を不透水マトリクスが覆うことで核種と水との接触を防止(可視スケール)	ガラスの網目構造中に核種を保持(微視スケール)
	核種放出モデル	瞬時放出モデル(保守的)	浸出率モデル(定常的な長期溶解速度)
	特記事項	廃棄物として含有される硝酸塩は、多重バリアの性能に影響を及ぼす可能性がある。	高温での固化プロセスとなるため、硝酸塩は分解されている可能性があると同時に、一部の核種は揮発する可能性がある。

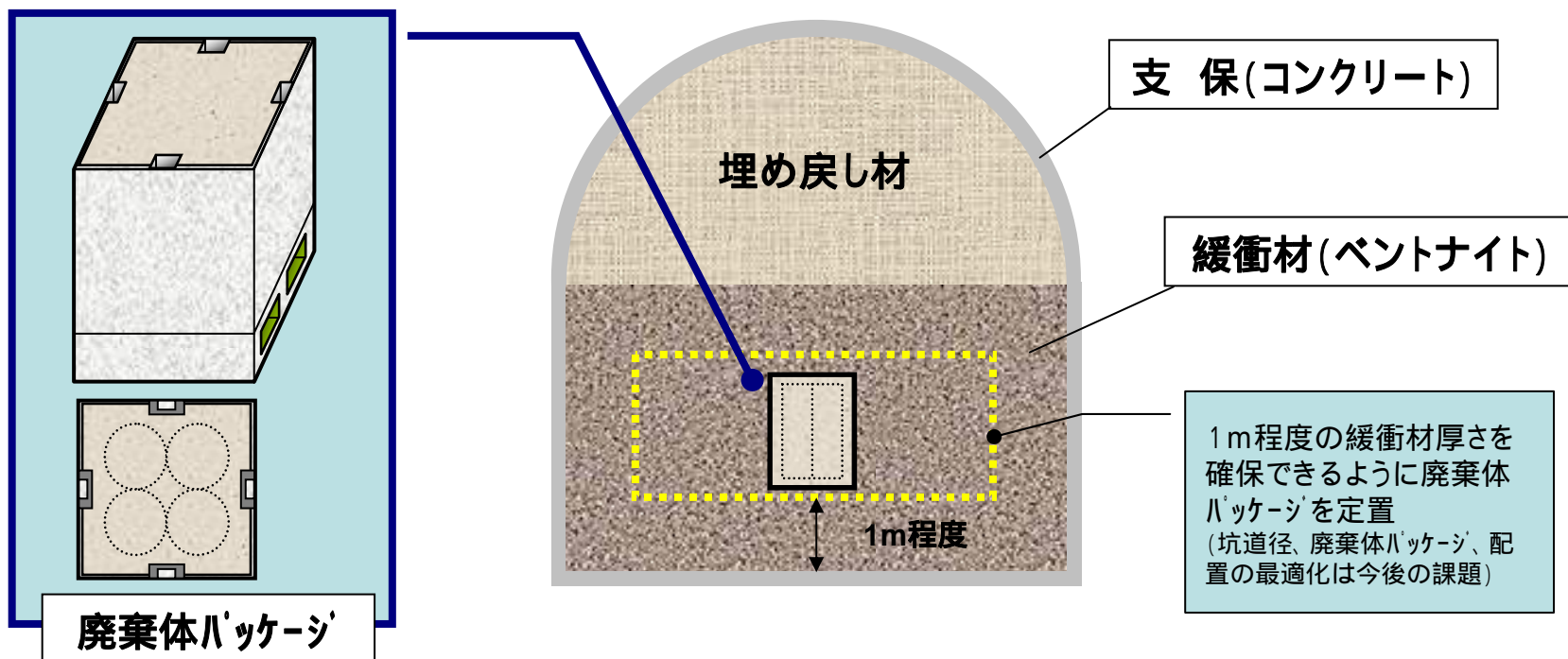
：非常に良好な耐性を有する ：良好な耐性を有する

処分に関する種々の耐性及び核種の閉じ込め性から判断して、ビチューメン固化体に比較してガラス(ホウケイ酸ガラス)固化体の方が優れていると考えられる。

更に、3 - 2. 低レベル廃液ガラス固化体の処分概念, 3 - 3. 低レベル廃液ガラス固化体の線量評価にて低レベル廃液ガラス固化体のTRU地層処分全体に対しての影響がないことを確認。

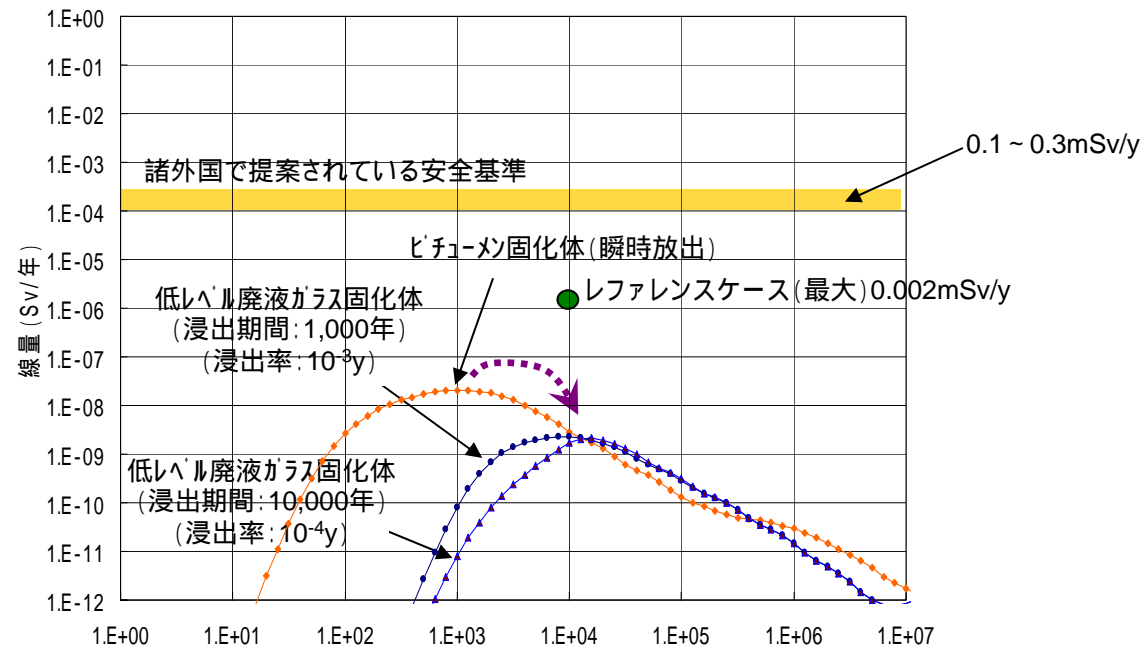
3 - 2 . 低レベル廃液ガラス固化体の処分概念

- 低レベル廃液ガラス固化体は固型化材料がガラスであることから、廃棄体の長期的な閉じ込め性能を発揮させるためには、HLWガラス固化体の処分施設と同様に高pH環境を避け、廃棄体の周囲を低透水場に維持し、岩盤等からの物理的な影響を緩和するために、廃棄体の周囲にベントナイトを敷設することが想定される。
- 上述の考え方に基づけば、下図に示すような比較的小断面の坑道に廃棄体パッケージに収納し、その周囲に緩衝材を敷設する概念となる。
- 低レベル廃液ガラス固化体はわずか7パッケージ程度(約28本)であることを考えると、適用可能な小断面坑道は十分に成立する。



3 - 3 . 低レベル廃液ガラス固化体の線量評価

- 低レベル廃液ガラス固化体単体の寄与による線量評価の条件
 - 放射エネルギー
 - ビチューメン固化体の放射エネルギーと同量と仮定
 - 浸出率
 - 固化体中のNa成分が比較的高いことからHLWガラス固化体($10^{-5}/y$)よりも浸出率を10～100倍程度高いと仮定
 - 浸出期間(浸出率)は、1,000年($10^{-3}/y$)と10,000年($10^{-4}/y$)の2ケースを想定
- 評価結果(レファレンスケース全体に対する線量評価)
 - ビチューメン固化体処分時の線量は、レファレンスケースにおけるTRU地層処分の線量評価(最大)約0.002mSv/yの100分の1程度。
 - 低レベル廃液ガラス固化体の場合、ビチューメン固化体の線量評価に比べ1桁減少する。ただし、全体に対する影響は変化なし。



【ビチューメン固化体及び低レベル廃液ガラス固化体の線量評価結果】

4. まとめ

- 低レベル廃液の固化方式変更(ビチューメン固化 ガラス固化)により、廃棄体を40分の1以下に減容可能であり、輸送回数も低減することができる。
- 処分に関する種々の耐性及び核種の閉じ込め性から判断して、放射性廃棄物の固化方式としてはビチューメン固化に比較してガラス(ホウケイ酸ガラス)固化の方が優れていると考えられる。
- 低レベル廃液ガラス固化体は、以下のとおりTRU地層処分全体に対しての影響はない。
 - 低レベル廃液ガラス固化体の処分概念としては、廃棄体を緩衝材で巻くなどの概念が想定され、量がわずかであることを考慮すると坑道は十分に成立する。
 - 低レベル廃液ガラス固化体の場合、上記の処分概念における線量評価結果はビチューメン固化体に比べ1桁減少する。ただし、全体に対する線量は変化なし。

參考資料

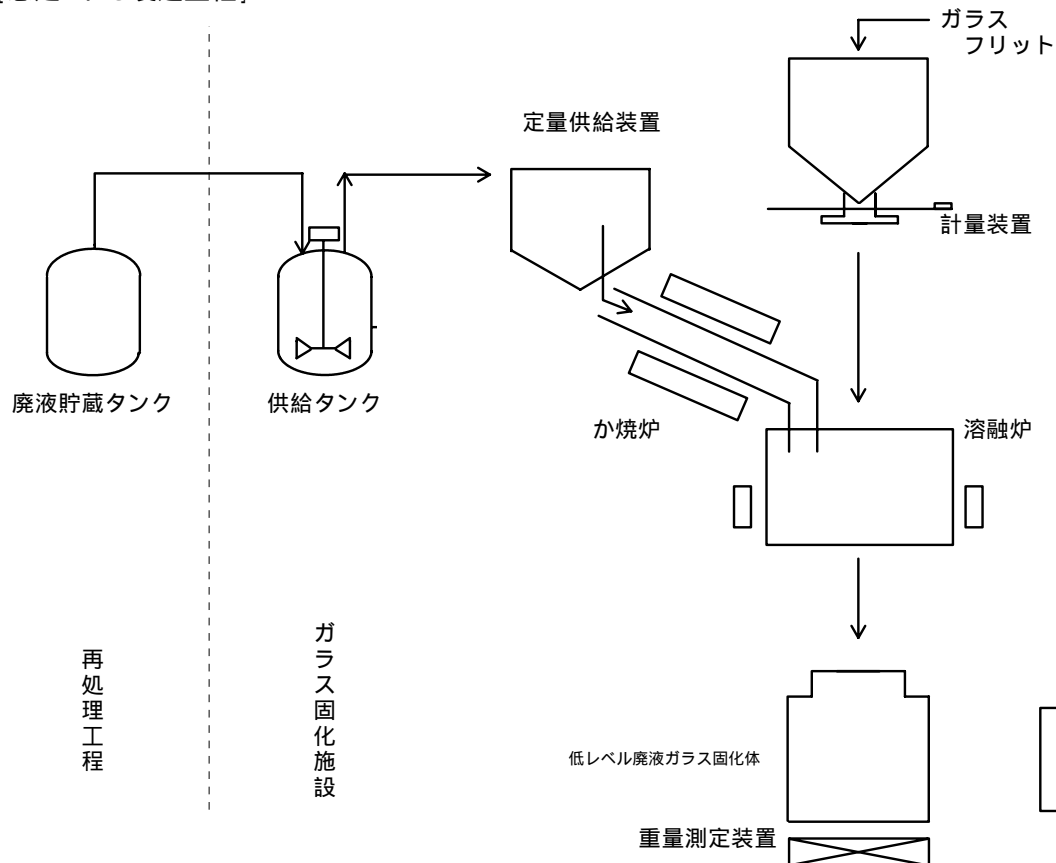
低レベル廃液ガラス固化体の製造工程

HLWガラス固化体と同様に、低レベル廃液をガラス成分と共に溶融した後、ステンレス鋼製容器に注入。

仏国ではCEAが中心となって、AVM法 と呼ばれるガラス固化技術(か焼およびガラス固化技術)を開発しており、この方法に改良を加えることにより、低レベル廃液ガラス固化体を製造する計画。

(: Atelier de Vitrification Marcoule: マルクール商用廃棄物ガラス固化施設)

[想定される製造工程]



[製造工程の説明]

廃液移送

UP2 - 400施設の廃止措置に伴う洗浄廃液は、UP2施設のガラス固化施設(R7)の供給タンクに移送される。

廃液調整

廃液組成の調整のため、調整溶液が供給タンクに注入される。

か焼(か焼炉採用の場合)

定量供給装置から、か焼炉へ廃液が供給され、廃液は強熱され灰状の物質となる。

溶融

か焼物はガラスフリットとともに溶融炉で混合される。

注入

溶融されたガラスはステンレス鋼製容器に注入される。注入されたガラスは冷却の後、蓋の溶接が実施される。

冷却
蓋溶接
表面汚染検査

貯
蔵

諸外国におけるガラス固化技術開発

	ハンフォードの 低レベル廃液ガラス固化	ハンフォードの 高レベル廃棄物ガラス固化	韓国KHNP-SGN ^{*4} の 低レベル廃棄物ガラス固化
研究目的	高濃度Na含有低レベル廃液に適したガラス固化組成の検討	高レベル廃棄物に対するコールドクルーシブル溶融を採用した場合による予備的なガラス組成の検討	原子力発電所から発生する低レベル廃棄物に対するガラス固化の開発
廃棄物	高濃度Na含有低レベル廃液 (地下タンク中のアルカリ溶液中に濃縮された硝酸ナトリウム及びその他硝酸塩)	Hanford C-106/AY高レベル廃棄物 ^{*2}	原子力発電所から発生する低レベル廃棄物 (可燃物、イオン交換樹脂、ダスト及びスラッジ)
固化方式	・プラズマガラス溶融 (1,150)	・コールドクルーシブル溶融 (1,100 ~ 1,400)	・コールドクルーシブル溶融 (1,150 ~ 1,200)
性能	粉碎ガラスから浸漬液に溶出した化学種の濃度を測定することによりガラスの化学的耐性(PCT : Product Consistency Test) ^{*1} を確認し、組成を決定。	ガラスの化学的耐性の試験結果は、EAガラス ^{*3} よりも優れている。	化学的耐性の試験結果では、製作したガラス固化体はSavannah研究所のSRL-EAガラス ^{*5} よりも優れている。

・諸外国においても高濃度Naを含有する低レベル廃液のガラス固化及びコールドクルーシブル溶融によるガラス固化等について技術開発が実施されている。

* 1 (PCT) : 粉碎したガラスの浸出率を測定するガラスの試験方法

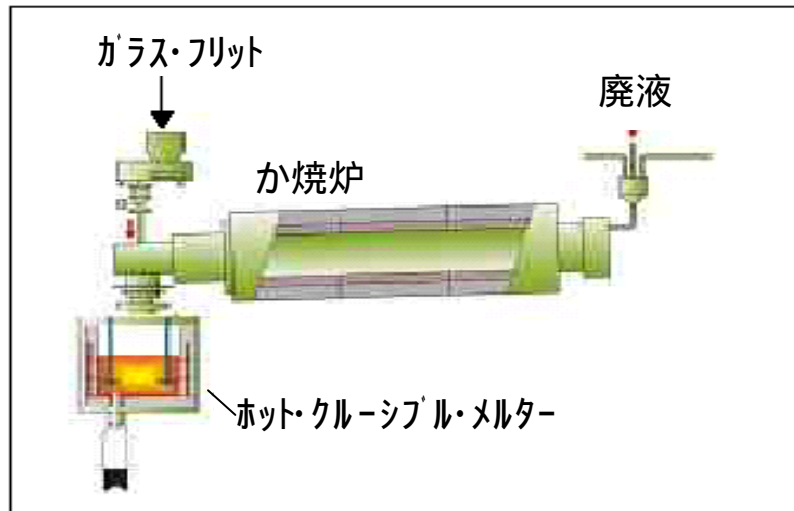
* 2 (Hanford C-106/AY高レベル廃棄物) : DOE Hanford サイトの高アルカリ廃液を代表する模擬廃棄物

* 3 (EAガラス) : 環境評価用の標準ガラス (Environmental Assessment Glass)

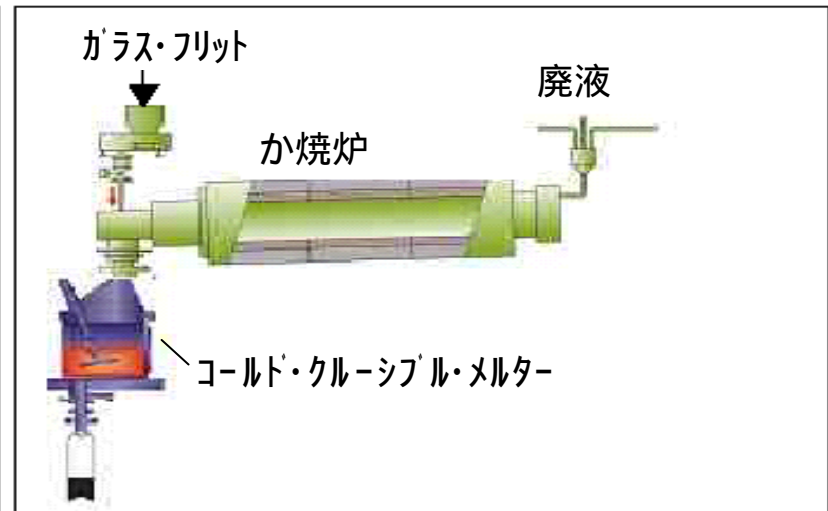
* 4 (KHNP-SGN) : 韓国 水力・原子力発電会社 – 仏国のエンジニアリング会社

* 5 (SRL-EAガラス) : Savannah River研究所において開発された高レベル廃棄物用の標準ガラス

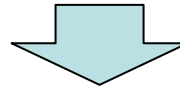
固化プロセス



(例1) か焼炉 + ホット・クルーシブル・メルター



(例2) か焼炉 + コールド・クルーシブル・メルター



コールド・クルーシブル・メルターの採用により、従来よりも高い溶融温度(約1200～1300℃)での溶融が可能となり、廃棄物充填率の向上が期待できる。(ホット・クルーシブル・メルター:約1100℃)

固化ガラス組成の選定

-COGEMAのHLWガラス固化体開発の場合-

HLWガラス固化体の開発では、CEAは浸出率の試験結果に基づき浸出率の組成依存性モデルを開発し、最適なガラス組成範囲を決定。低レベル廃液ガラス固化体においても同様に開発予定。

HLWガラス固化体開発

試験点数25点の初期浸出率により統計的手法(実験計画法)を用いて、15のパラメータを有するガラスの主要な成分の関数とした初期浸出モデルを作成。

主要な成分とその範囲(重量%) (SON68*の許容範囲)

$42.40 < \text{SiO}_2 < 51.68$
 $12.40 < \text{B}_2\text{O}_3 < 16.50$
 $8.10 < \text{Na}_2\text{O} < 11.00$
 $3.60 < \text{Al}_2\text{O}_3 < 6.60$
 $0.40 < \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{NiO} + \text{Cr}_2\text{O}_3 < 5.60$
 $0.01 < \text{ファイン} < 6.85$
 $3.53 < \text{FP} + \text{Act} < 17.95$

試験点数

25点
(各試験の組成は実験計画法に基づいて選定)

測定項目

初期浸出率(100 及び50)
長期浸出率(50)

試験結果

浸出率の経時的減少挙動に及ぼす元素及び元素群の影響を把握し、ガラスの挙動研究に根拠を与える。

COGEMAのHLWガラス固化体のガラス組成範囲の妥当性

* (SON68) : COGEMAが開発した
標準的なガラス組成