日本原子力学会 2015年秋の大会
標準委員会セッション1

余裕深度処分対象廃棄体の製作要件及び検査方法に関する標準
―標準の概要について―

2015年 9月9日

原子燃料サイクル専門部会
ＬＬＷ廃棄体等製作・管理分科会
柏木　誠
（日　揮）

余裕深度処分廃棄体の一例（溶接容器のイメージ）

■ 構　　造

廃棄体容器は、本体、蓋及び吊上げのための把持ガイドからなる。
蓋は、溶接（溶接規格あり）によって取り付ける。

■ 材　　料

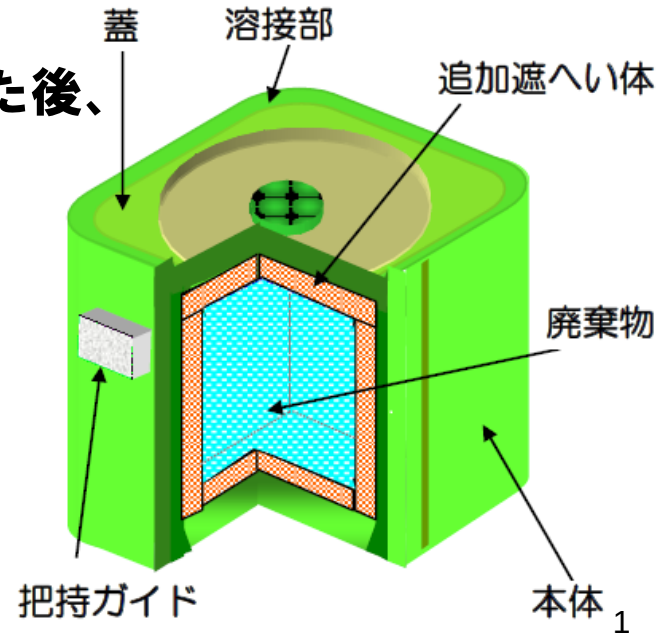
JIS G 3106：2008「溶接構造用圧延鋼材」：SM490相当

■ 廃棄体重量

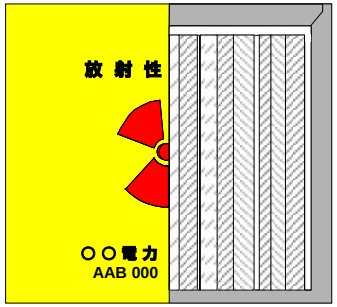
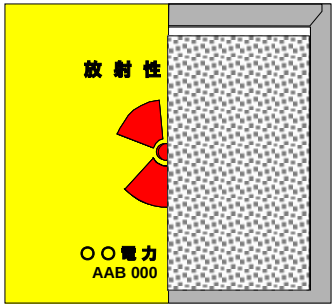
最大　約２８トン（内部遮蔽材、廃棄物含む）

■ 製 作 方 法

- 容器本体　：本体は板状の鋼材を適切に成型した後、溶接によって接合されたもの。
- 把持ガイド：溶接によって本体に取り付ける。
- 容器上蓋　：板状の鋼材から成型したもの、溶接によって取り付ける。
- 廃　棄　物：容器に、封入又は固型化する。
- 内部遮蔽材：廃棄体表面の線量当量率に応じて、廃棄体容器の内側に設置する。



想定される余裕深度処分対象廃棄体種類の概要

廃棄体種類	容器に封入	容器に固型化	
		均質又は均一固化	充填固化
想定される放射性廃棄物	放射化金属（制御棒など）	使用済樹脂，溶離廃液などの液体，粉体状の廃棄物	固体状の廃棄物
概　念			同左 （ただし，内容物は，固体状の廃棄物の間隙に，モルタルを注入した固型化物）
製作方法	強度及び密閉性のある角型容器へ、放射性廃棄物を収納し、封入	固型化材料等と放射性廃棄物を一緒に練り混ぜ、角型容器内で、均質又は均一に固める固型化	放射性廃棄物を詰めた角型容器に、あらかじめ練り混ぜた固型化材料等を充填し、容器内で一体化する固型化
使用材料への要求事項	ー容器： 強度及び密閉性を持つもの	ー固型化材料： JIS R 5210等に定められるセメント（品質・強度） ー容器： 固型化廃棄体全体として強度	ー固型化材料： JIS R 5210等に定められるセメント（品質・強度） ー容器： 固型化廃棄体全体として強度
主な管理項目	自由水の除去（放射線分解対策），本体と蓋との溶接の品質	固型化材料と放射性廃棄物との配合条件など（固型化物の強度の発現のため）	放射性廃棄物の形状制限，固型化材料の流動性（注入性確保のため）

本　標　準　の　目　次　構　成

【本　体】

1　適用範囲
2　引用規格
3　用語及び定義
4　廃棄体製作上の要求
　4.1 要求事項
　4.2 容器に封入する場合
　　4.2.1 自由水の除去
　　4.2.2 汚染拡大防止措置
　4.3 容器に固型化する場合
　　4.3.1固型化
　　4.3.2汚染拡大防止措置
　4.4 健全性を損なうおそれのある物質
　4.5 耐荷重強度
　　4.5.1容器に封入する場合
　　4.5.2容器に固型化する場合
　4.6 放射性廃棄物を示す標識
　4.7 廃棄体と記録との照合措置
5　廃棄体の検査方法
　5.1　検査
　5.2　廃棄体製作の各段階における検査方法
　　5.2.1 廃棄体製作の各段階における検査
　　5.2.2 製作準備段階の検査
　　5.2.3 製作の段階の検査
　　5.2.4 製作終了後の検査
6　記録
7　品質マネジメントシステム

【解　説】

【附　属　書】

A（参考）　対象廃棄物の範囲及びその性状
B（参考）　廃棄体輸送に係る基準
C（参考）　廃棄体の製作手順の例
D（参考）　廃棄体に要求される技術要素と技術的要件
E（規定）　廃棄体の製作要件
F（参考）　放射能濃度決定方法に必要な廃棄体製作時の管理項目の考え方
G（参考）　廃棄体の製作仕様に関する検討例
H（参考）　汚染拡大防止措置の例
I（規定）　廃棄体容器の仕様
J（参考）　健全性を損なうおそれのある物質を含まないことの判断
K（参考）　耐荷重強度の検討例
L（参考）　放射性廃棄物を示す標識の大きさ
M（参考）　廃棄体整理番号と記録との照合措置の例
N（規定）　廃棄体の検査項目及び検査方法
O（参考）　廃棄体及び上蓋溶接部の検査の方法
P（参考）　廃棄体の製作及び検査に係る記録の例
Q（規定）　廃棄体の製作及び検査に係る品質マネジメント

「附属書（参考）」は、将来の実運用における技術的成果を、今後の改定の際に取り込み、規定化を進める。

技術基準等から求められている廃棄体製作条件

■ 廃棄体は、下記の要件を満たす必要がある。
- 「第二種埋設事業規則」から求められる廃棄体の「技術基準」
- 「埋設施設の安全審査」の前提条件、審査結果から求められる「受入要件」
- 「外運搬規則」から求められる「輸送基準」（輸送容器との機能分担あり）

■ 本標準は、現在までに定まっている廃棄体の「技術基準」を満たす製作方法、及び適合性を確認するための検査方法を示している。

前提条件	対象とする廃棄体が取り扱われ、埋設する環境条件などは、「余裕深度処分」で、次の条件下での埋設であり、かつ覆土完了後から緩やかな劣化が始まることを前提としている。 ・ 埋設処分深度 ： 50m以深（100m程度の深度）の地下空間での埋設 ・ 環境雰囲気 ： 常温、常圧、閉鎖完了後には早期に還元性雰囲気となる。 ・ 地下環境 ： 埋設後、地下水による浸漬が想定される。 ・ 工学的条件 ： 地下空間に設置されたコンクリートピット内への廃棄体の定置及び廃棄体とピット間のモルタル充填による一体化が図られる。 ・ 性能保持期間 ： 基本性能は、廃棄体の埋設／埋戻し完了までの短期間の性能保持

技術基準（一例）	廃棄物安全小委で示された解釈	廃棄体の性能規定の内容（廃棄体の設計要求条件）	仕様の本標準記載部
埋設された場合において受けるおそれのある荷重に耐える強度をもつこと	具体的目標性能： 廃棄体が容易に損壊・腐食すること等により人工バリア等の安全機能を損なわないような性状であること。	○ 廃棄体は耐埋設荷重強度をもつ。 【具体な荷重条件】 取扱い時に廃棄体に掛かる次の荷重に耐える強度をもつ廃棄体（容器）とする。 ・ つり上げ荷重（例：廃棄体自重＋加速度） ・ 積重ね荷重 （例：保管、定置時の廃棄体4段積み） ・ 埋戻し荷重 （例：廃棄体4段積み＋モルタル充填時の圧力）	4.5 耐荷重強度 4.5.1 容器で強度を担保する場合

標準の概要－4.2 容器に封入する場合

		標準化の内容	
		4.2.1 自由水の除去 **（固体状の廃棄物のみ）**	**4.2.2 汚染拡大防止措置** **（容器の密閉による汚染拡大防止）**
4.1	要求事項	**a）対象廃棄物の分別** 適用する乾燥方法に応じた廃棄物の分別 （乾燥の難易度／形状、水分付着状態） **b）自由水の除去方法** － 真空乾燥による方法 － 真空乾燥以外の方法 **c）自由水への除去方法の評価及び管理すべき要件** 1） 除去方法の評価 廃棄物条件（乾燥の難易度）などを踏まえた乾燥方法の評価（判断基準の指標の選定） 2） 管理すべき要件 2.1） 対象廃棄物の分別 2.2） 運転管理指標 （乾燥処理のプロセス条件（圧力、温度など）、保持時間の管理範囲） 3） 自由水除去時の管理 － 廃棄物条件 （乾燥の難易形状、水分付着状態） － 運転条件（乾燥処理の運転条件） － 記録	**a）対象廃棄物の制限** 固体状の廃棄物のみ（分別管理） **b）容器の設計仕様及び蓋の取付け方法** 1） 容器の設計仕様 1.1） 使用材料の品質 1.2） 容器の構造 2） 容器の蓋と容器本体の接合部の仕様 接合部は、変形しにくく、取り付けが容易な構造など 3） 容器の蓋の容器本体への取付け方法 － ボルト締結による取り付け方法 － 溶接による取り付け方法 － その他蓋を取り付けできる方法 **c）容器及び廃棄体製作時の管理すべき要件** 次の各段階で管理すべき要件を設定し、検査を行い、記録する。 1） 容器製作段階 2） 蓋の取付け段階
4.2	**容器に封入する場合**		
4.3	容器に固型化する場合		
4.4	健全性を損なうおそれのある物質		
4.5	耐荷重強度		
4.6	放射性廃棄物を示す標識		
4.7	廃棄物整理番号と記録との照合措置		

自由水の除去方法（真空乾燥処理と廃棄物の分類）

1．自由水の処理方法の実証

ー 対象廃棄物の適切なパターン分類を設定

板状、密着収納、粉体層等の廃棄物への付着水分の状態を考慮し、対象である廃棄物の適切な分類を設定。

廃棄物パターン	A	B	C
形状等の例	板状／塊状等	板状＋密着等	内部に粉体等
廃棄物例	シュラウド片	チャンネルボックス等	BWR制御棒
乾燥特徴	乾燥容易	乾燥が比較的容易	乾燥が比較的難しい

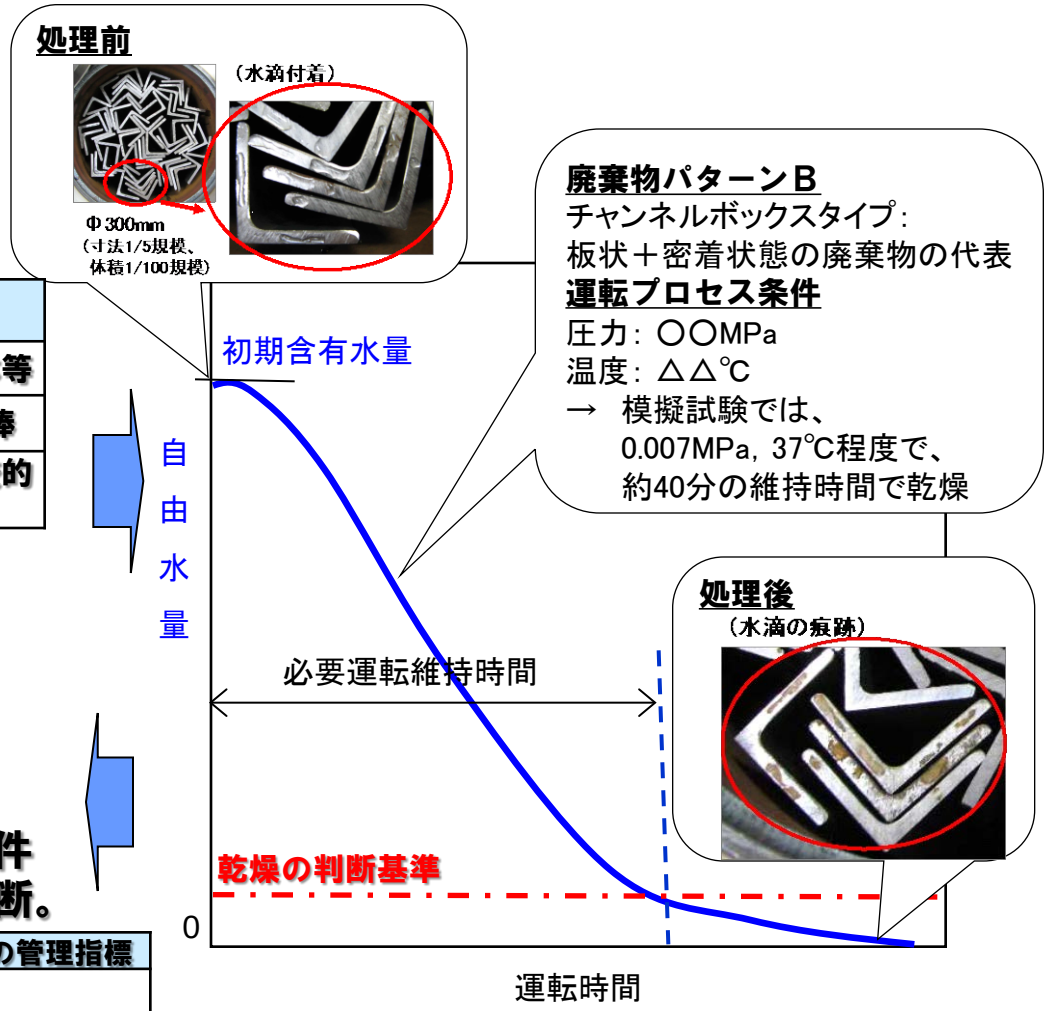
ー 廃棄体容器内の含有水量の設定

表面付着水、粉体層への含浸水、容器内残留水等を適切に設定。

2．自由水乾燥の判断／管理

対象廃棄物のパターン分類（分別管理実施）を踏まえた実証試験結果から導き出された運転条件に関する指標を管理して自由水の除去状態を判断。

該当する廃棄物管理区分			管理条件の管理指標		運転時間の管理指標	
Ⅰ	板状／棒状／塊状等（パターンA,B）	CB, シュラウド等	判断基準	真空度：100Pa以下	不要	
			補助管理項目	温度：0℃以上 排気量：設計排気量		
Ⅱ	廃棄物内部に自由水が含浸する可能性ある廃棄物（パターンC）	BWR制御棒, BP	判断基準	真空度：100Pa以下	判断基準	乾燥系を考慮した試験等で決定した保持時間以上
			補助管理項目	温度：0℃以上 排気量：設計排気量		



真空乾燥の運転パターンの実証例

写真は、模擬試験の状況

汚染拡大防止措置に係る要求機能の定義
（固体状の廃棄物を容器に封入する場合）

汚染拡大防止を容器の機能で担保

1．汚染拡大防止の要求レベル

- 内容物が固体状の廃棄物の場合、容器の『密閉性』で、汚染拡大の防止が可能。
- 密閉性の定義：
  通常の取扱い、運搬又は保管状態において、内部の固体廃棄物を閉じ込めることができること。

2．容器の密閉性の確保

容器製作、蓋の取付け段階で下記の管理を行うことで、容器の密閉性を確保。

取付け方法	製作段階の検査及び管理内容	
	容器製作段階	蓋の取付け段階
ボルト締結	- 容器の寸法 - 突き合わせ面の構造条件 - 事前試験での密閉性の確認 - 鋳造条件の検査　など	- ガスケットの品質記録 - トルクレンチでの締め付け管理
溶　接	- 容器の寸法 - 開先面の構造条件 - 開先面の保護 - 事前試験等での溶接パラメータ（溶接電流，溶接速度等）試験評価 - 溶接部の非破壊試験 - 事前試験での密閉性の評価	- 溶接材料の管理 - 溶接パラメータの管理 - 溶接部の検査（外観目視、継手面、超音波探傷試験等）

固体状の物質用の容器の汚染拡大防止機能のレベル

（各種の規制における容器への要求レベルの例）

	汚染拡大防止等の要求レベル
国連勧告 危険物輸送に関する国連勧告	内包する物質が、固体状物質で、加圧状態にならない容器の場合は、容器に「気密性」の試験を求めていない。
日本工業規格 鋼製オープンヘッドドラム (JISZ1600:2006)	ドラム缶の性能として要求される「気密性」は、液体危険物用ドラムについてのみ要求されている。
日本薬局方 第十六改正版 2006年4月1日	密閉容器： 通常の取扱い、運搬又は保存状態において、固形の異物が混入することを防ぎ、内容医薬品の損失を防ぐことができる容器をいう。 気密容器： 通常の取扱い、運搬又は保存状態において、固形又は液状の異物が侵入せず、内容医薬品の損失、風解、潮解又は蒸発を防ぐことができる容器をいう。

標準の概要－4.4健全性を損なうおそれのある物質

		標準化内容
4.1	要求事項	
4.2	容器に封入する場合	
4.3	容器に固型化する場合	
4.4	**健全性を損なうおそれのある物質**	
4.5	耐荷重強度	
4.6	放射性廃棄物を示す標識	
4.7	廃棄物整理番号と記録との照合措置	

a）制限物質

1）廃棄体の**腐食を著しく促進**させる物質

2）**ガスを著しく発生**し、廃棄体の密閉性に大きな影響を与える物質

基　準	物 質	条件範囲
著しい腐食性を有するものとして、環境省令で定める基準	廃 酸	水素イオン濃度指数：2.0以下のもの
	廃アルカリ	水素イオン濃度指数：12.5以上のもの
放射性廃棄物自体、又は、水との接触によって、著しい化学反応（ガス発生）を示す物質（消防法で定める物質）	自然発火性物質	第三類に区分された“自然発火性物質”
	禁水性物質	第三類に区分された“禁水性物質”

b）制限物質の管理方法

制限物質を多量に含んでいないことを確認する方法は、次のいずれかの方法。

1）処分対象とする放射性**廃棄物の特定**（内容物が明確な廃棄物のみ）

2）処分対象とする放射性**廃棄物の処理**（廃棄物の無害化）

3）容器への放射性廃棄物の**収納時の分別**（対象物質の除去）

4）その他制限ができる対処方法

c）管理すべき要件

1）処分対象となる放射性廃棄物の管理指標

2）制限方法の管理指標

なお、管理指標に係る記録を採取。

標準の概要－ 4.5 耐荷重強度

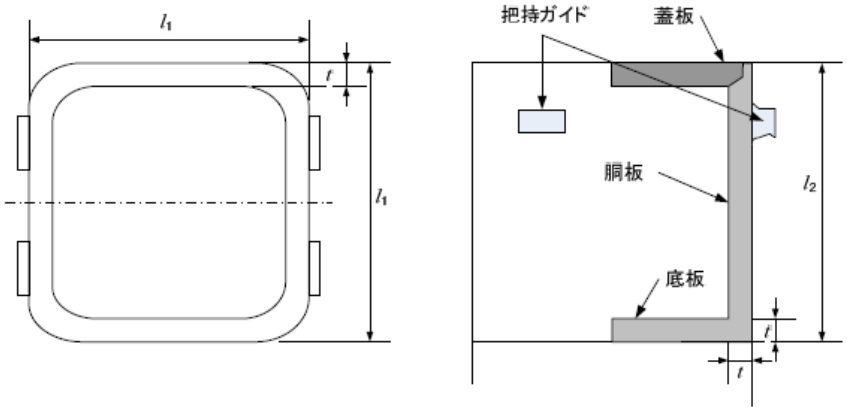
		標準化内容	
		4.5.1 容器に封入する場合 （容器で強度を担保する場合）	4.5.2 容器に固型化する場合 （廃棄体全体で強度を担保する場合）
4.1	要求事項	**a）評価上考慮すべき荷重条件** 1） 廃棄体条件 （容器、廃棄物の質量、容器の材料物性） 2） 荷重条件 通常の取扱いで廃棄体が受ける荷重（吊上げ、積重ね、ピット内部充填時）を評価条件 **b）容器の設計仕様及び強度評価方法** 1） 容器の設計仕様 使用材料の品質、容器の構造 （溶接容器、鋳造容器ごと） 2） 強度評価方法 廃棄体の適切なモデル化と構造解析コードなどによる強度解析又は模擬試験体の試験 **c）荷重に対する裕度** 容器に発生する応力が、弾性範囲であること。また、吊上げ時の加速度を考慮した割り増し評価 **d）容器製作時の管理** 使用材料の品質、製作時の管理、及び記録	**a）評価上考慮すべき荷重条件** 同　左 （荷重条件は、廃棄体形態によって変わらない） **b）強度評価方法** 同　左 **c）荷重に対する裕度** 廃棄体の4.5.1a)に示す荷重に対して裕度を持ったもの **d）廃棄体製作時の管理** 同　左＋　固型化時の管理 注）耐埋設荷重を得るための固型化方法は、4.3に準拠することを規定
4.2	容器に封入する場合		
4.3	容器に固型化する場合		
4.4	健全性を損なう物質を含まないこと		
4.5	**耐荷重強度**		
4.6	放射性廃棄物を示す標識		
4.7	廃棄物整理番号と記録との照合措置		

廃棄体の耐荷重強度の評価の概要

■ 容器強度の評価条件

通常の廃棄体のハンドリング条件で、想定される下記の荷重を考慮する。

①吊上げ時	廃棄体（容器 + 内容物）の自重 × 割り増し係数（1.32） （割り増しには、同様のハンドリング形態が想定される使用済燃料貯蔵容器の評価で用いられている加速度1.32Gを適用）
②積重ね時	廃棄体（容器 + 内容物）の自重
③埋戻し時	廃棄体（容器 + 内容物）の自重 + 充填材による静圧



単位　mm

長さ		許容差
l_1	1 600	±3.0
l_2	1 600	±1.2
t	50	プラス公差指定

評価に用いた容器形状及び寸法

■ 適用した解析コード

- 有限要素法汎用解析コードABAQUS

■ 適用する判断基準

- 解析した発生応力は、使用材料の「降伏応力」に比べ十分小さいこと。
（使用材料のJIS G 3106のSM490の降伏応力は295MPa）

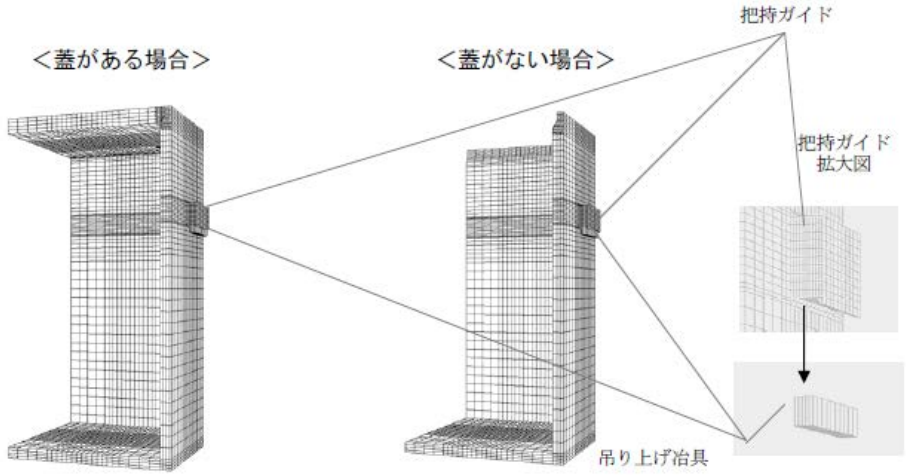
解析結果（廃棄体吊り上げ時）の一例

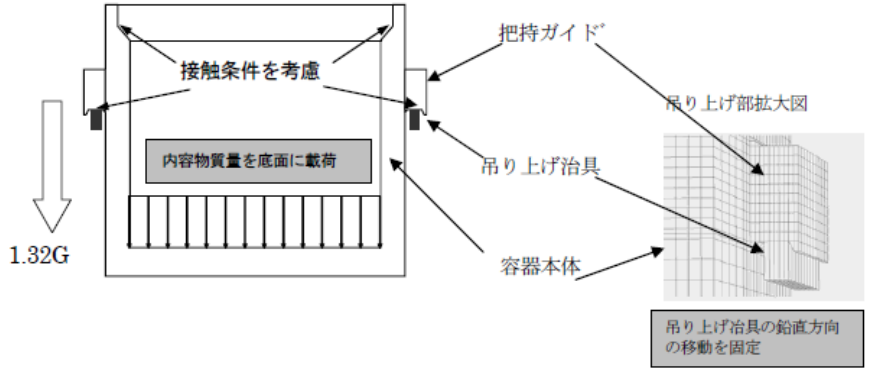
■吊上げ時の評価

廃棄体（廃棄体容器 + 内容物）自重×割り増し係数（1.32）

■発生応力の評価

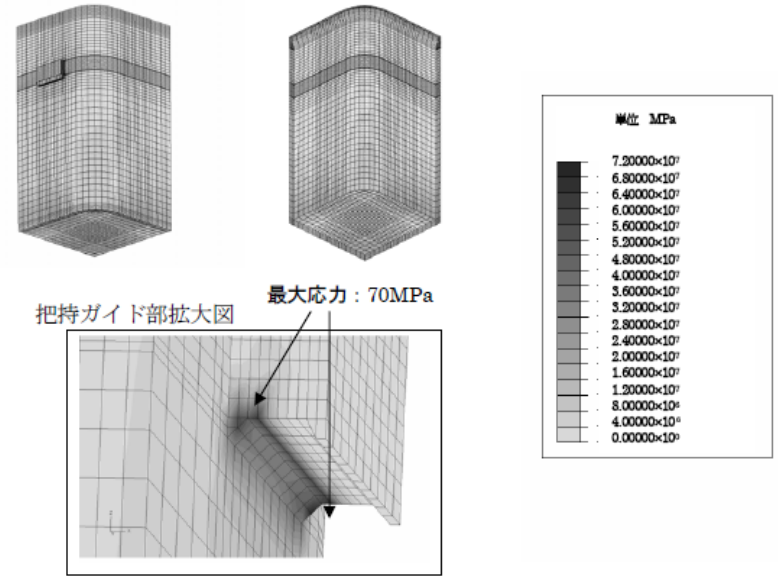
容器に発生する応力の解析モデルなどは、下記の通り。





■ 評価結果

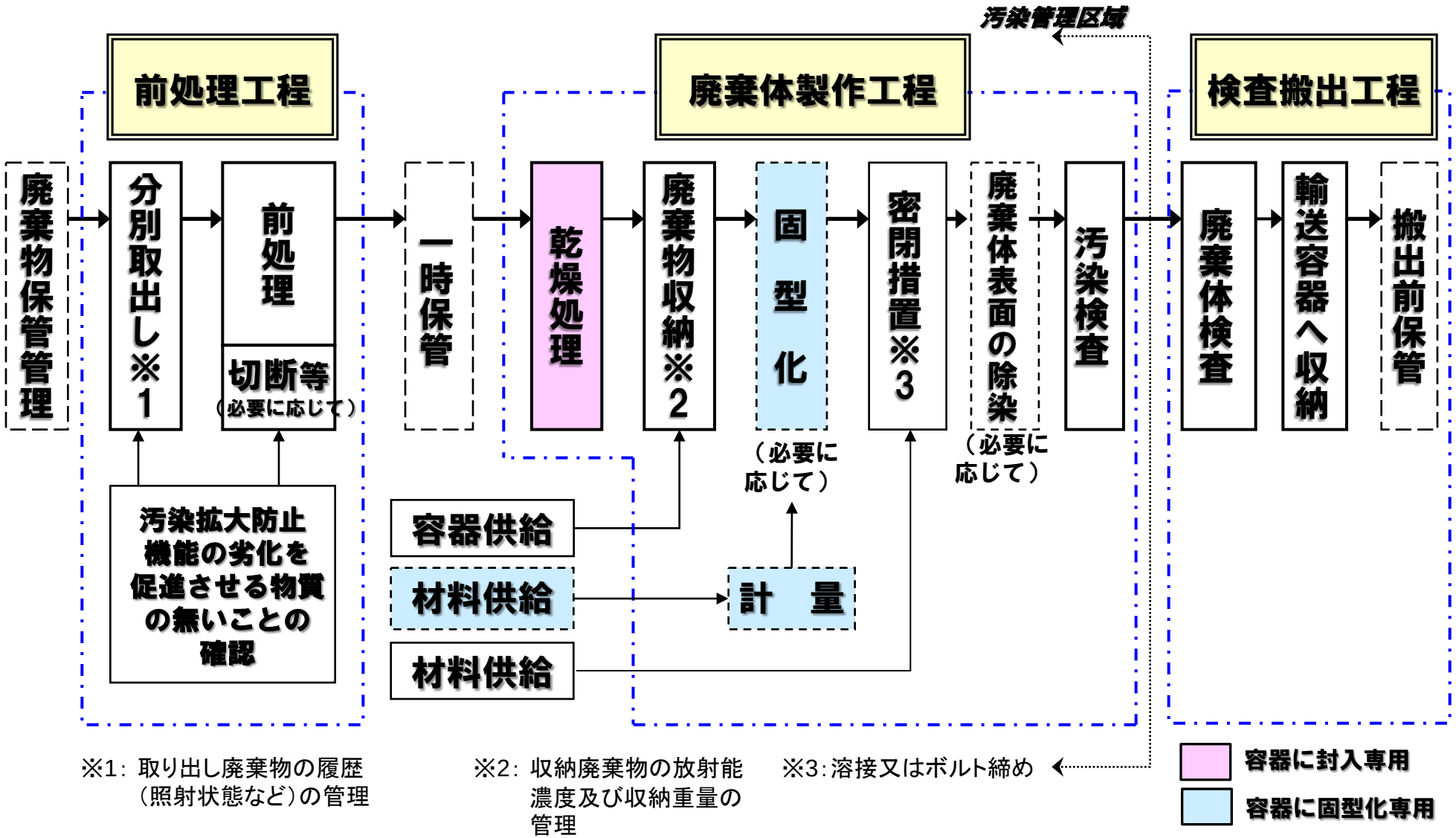
発生応力（70MPa）は、使用材料の降伏応力（295MPa）に比べ、十分小さく、廃棄体容器は健全。



蓋がない場合の変形状態・応力分布

“有限要素法による余裕深度処分用処分容器の構造健全性評価”，N08071，（財）電力中央研究所，平成21年7月より

廃棄体製作方法の基本フローの例（放射化金属）



※1: 取り出し廃棄物の履歴（照射状態など）の管理

※2: 収納廃棄物の放射能濃度及び収納重量の管理

※3: 溶接又はボルト締め

廃棄体の製作と品質確認のための検査

■ 廃棄体製作要件に従った、適切な廃棄体製作が実施され、一定品質の廃棄体が製作できること、及び製作できていることを、確認するための自主保安検査の内容を「５．廃棄体の検査方法」に規定している。

製作上の基本要件（一例）	基本的要件	管理項目	廃棄体製作の各段階の管理		
			製作準備段階	製作段階	製作終了段階（検査段階）
固体廃棄物であること	廃棄物区分（乾燥用）の確認	廃棄物種類	●製作手順書等の文書化 ●調達時の仕様書等による品質の確認 ●事前の廃棄体の試験評価 などによる管理	● 取扱い作業、運転の記録（履歴情報等） ● 廃棄体製作時の測定 ● 目視検査 などによる管理	● 廃棄体の検査 などによる管理
	乾燥圧力（温度管理も）の確認	乾燥状態（圧力及び温度）			
	乾燥保持時間の確認（廃棄物区分Ⅱ用）	乾燥保持時間			
化学的安定性 健全性を損なう恐れのある物質を含まないこと	廃棄物特定による制限	廃棄物種類			
	容器収納時の管理による制限	廃棄物種類（混入防止）			
汚染拡大防止措置 （溶接による上蓋取り付けの場合）	容器の開先面の保護状態の確認	開先面の状態			
	溶接材料の品質の確認	材料品質／保管状態			
	溶接パラメータの確認	溶接電流、電圧など			
	溶接部の検査（外観、非破壊検査）	溶接部の品質			
トレーサビリティ 整理番号と記録の照合	整理番号等の確認	記録の追跡可能性			
最大放射能濃度を超えない	廃棄物の履歴及び収納量の確認	廃棄物履歴／評価			

廃 棄 体 製 作 の 各 段 階 で の 管 理 必 要 項 目（例）

■ 廃棄体製作の管理必要項目と検査必要時期（製作段階ごと）を検討し、その詳細を「附属書」に規定した。

製作上の基本要件の一例	廃棄体製作の各段階		製作準備段階	製作段階							製作終了段階
				廃棄物取り出し／前処理段階		乾燥処理段階		容器に封入段階（収納/蓋締め）			
	基本的要件	管理項目	計画/調達等	廃棄物取出し	切断等前処理	廃棄物収納	乾燥処理	廃棄物の容器投入	溶接材料の準備	溶接処理	廃棄体検査
汚染拡大防止措置（溶接による上蓋取り付けの場合）	容器の開先面の保護状態の確認	開先面の状態	仕様書/受取検査	－	－	－	－	目視等による確認	－	－	－
	溶接材料の品質の確認	材料品質／保管状態	仕様書/受取検査	－	－	－	－	－	記録及び目視等による確認	－	－
	溶接パラメータの確認	溶接電流、電圧など	計画書	－	－	－	－	－	－	始業前点検及び溶接管理	－
	溶接部の検査（外観、非破壊検査）	溶接部の品質	計画書	－	－	－	－	－	－	－	溶接検査
トレーサビリティ 整理番号と記録の照合	整理番号等の確認	記録の追跡可能性	計画書	整理番号の照合	整理番号の照合	整理番号の照合	整理番号の照合	整理番号の照合	－	整理番号の照合	整理番号の照合
最大放射能濃度を超えない	廃棄物の履歴及び収納量の確認	廃棄物履歴／評価	計画書	履歴情報の確認	履歴情報の確認	履歴情報の確認	－	履歴情報の確認／収納物量の確認／γ測定	－	－	検査／評価

注記　「製作準備段階」時に用意する「計画書」とは、運転要領書、調達仕様書などの文書を言う。

容器の密閉措置（溶接規格順守）確認用の検査

規定の内容	容器本体部分 の溶接に係る規定	上蓋と容器本体部分 との溶接に係る規定
実施場所／実施者	・容器製作工場にて実施 ・容器製作者が実施	・廃棄体を製作する事業所で実施 ・廃棄体製作者が実施
規定の順守方法	容器の調達仕様書に、WESの規定を取り込み、「容器製作者」に順守させ、記録を提出させる。	L1製作要件、検査方法の標準の規定を取り込み、「廃棄体製作者」が順守する。
事業者の検査	容器製作記録の確認	上蓋の「溶接検査の実施」

本標準に規定する上蓋溶接に関わる溶接検査の例

溶接段階	検査する部位	検査項目 （要求内容）	検査方法
タック溶接 （事前溶接）	溶接部	目視試験	外観目視試験
本溶接 （蓋板＋胴板の溶接部）	溶接部の外観	割れなどがない	外観目視試験
		過度な溶接ビードの凹凸，不ぞろいがない	外観目視試験　又は 溶接ゲージによる測定
		有害なアンダカットなどがない	外観目視試験　又は アンダカットゲージによる測定
	溶接部の 継手面の食違い	許容値以下	チェックゲージによる確認　又は 溶接ゲージによる測定
	溶接部の 余盛高さ	許容値以下	チェックゲージによる確認　又は 溶接ゲージによる測定
	溶接部内部	溶接内部のきずなどがない	超音波探傷試験

技術基準からの要求される廃棄体の検査

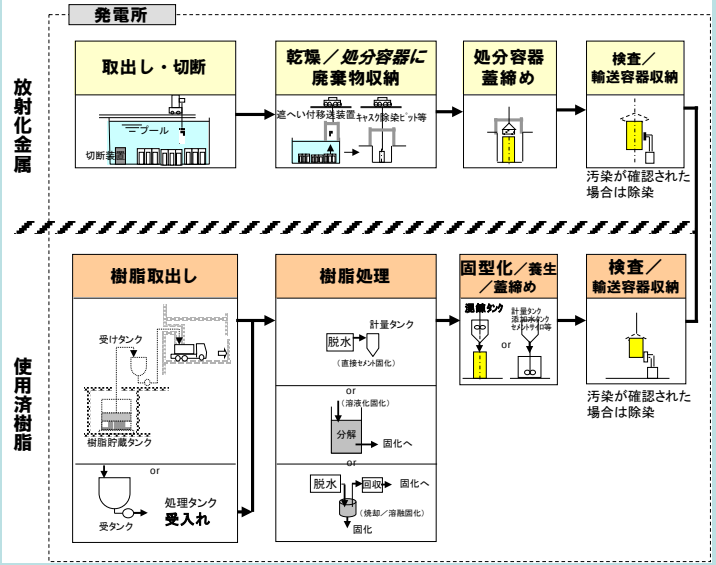
■ 廃棄体製作後に、事業者が検査によって確認する項目

技術基準から要求される検査項目	検査方法の例	判断基準
評価対象核種ごとの放射能濃度 及び放射能量	核種ごとに， AESJ-SC-F015（理論計算法） 又は AESJ-SC-F022（SF法等） に準じて決定された「放射能濃度」を検査し、「廃棄物収納量」を測定する。	放射性物質の種類ごとの最大放射能濃度を超えない。注 （対象廃棄物を埋設する施設の放射性廃棄物埋設事業（変更）許可申請書等に記載された値）
表面汚染密度	廃棄体表面のスミア測定 （拭き取り式） JIS Z 4504に準じる。	次の汚染密度を超えない ・α線を放出しない放射性物質の表面汚染密度が4 Bq/cm^2 ・α線を放出する放射性物質の表面汚染密度が0.4 Bq/cm^2
廃棄体の外観	目視検査	著しい破損が生じていない。 （埋設地への廃棄体の定置段階まで，適切な廃棄体の取り扱いが実施され，確認した性能が維持できていることの確認のため）

注：廃棄体の放射能量は、廃棄物埋設施設等の技術基準から求められている。

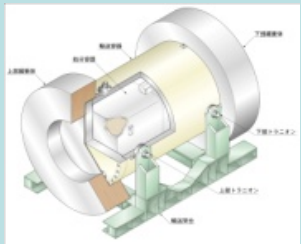
まとめ：余裕深度処分対象廃棄体の標準と今後

発電所における廃棄体の製作



廃棄体の製作方法及び検査方法

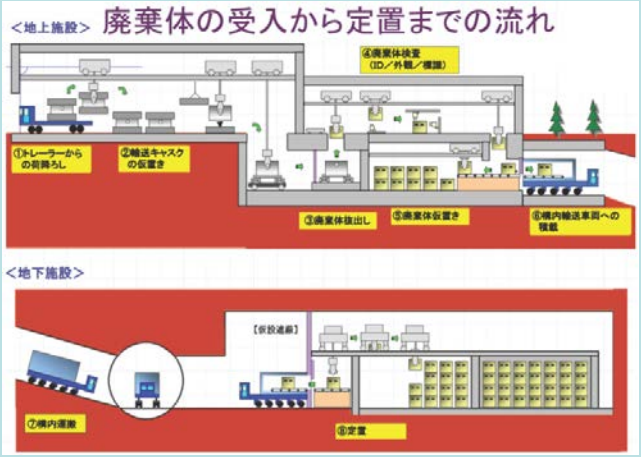
廃棄体の輸送



＜輸送容器の例＞

輸送側の要件

余裕深度処分施設での埋設



埋設施設側の受入要件

標準「余裕深度処分対象廃棄体の製作要件及び検査方法」として制定

→ 廃棄体製作・検査が可能

輸送、埋設施設からの要件が明確になった時点で、今回紹介した「余裕深度処分対象廃棄体の製作要件及び検査方法」の標準に、各要件とその対応方法を反映する。