

安全対策について

1 安全対策

(1) 落下防止対策内容

キャスク水平吊具及びフック、ワイヤロープ等クレーンの揚重装置の構造を図 1-1～4 に示す。

1) ワイヤロープの二重化

一端をイコライザに固定し、他端をドラムに固定したワイヤロープによりフックブロックを吊る。図 1-2 のようにワイヤロープは 2 系列設けることで二重化する。

2) ブレーキの二重化

ワイヤロープの巻上げ、巻下げを行うドラム減速機のブレーキを図 1-3 のように 2 基設置し、ブレーキを二重化する。

3) キャスク水平吊具の二重化

図 1-4 のようにキャスク水平吊具をフックで吊上げると共に安全板を揚重機フックブロックのシーブピンに掛けることで吊上げ方法を二重化する。

4) その他の落下防止対策

- ・電源喪失時には直ちにブレーキが作動し、ドラムの空転による荷の落下を防止する。
- ・主巻減速機に過速検出器を設け、一定の回転速度以上になった場合にブレーキが作動するようにし、荷の落下を防止する。

(2) その他の安全対策

- ・主巻きの巻下げ速度を 1.5m/min に制限し、荷が着床した時の衝撃を緩和する。
- ・コンクリートモジュールに乾式キャスクが衝突しないように、クレーンの横行装置にリミットスイッチを取付け、横行範囲を制限する。

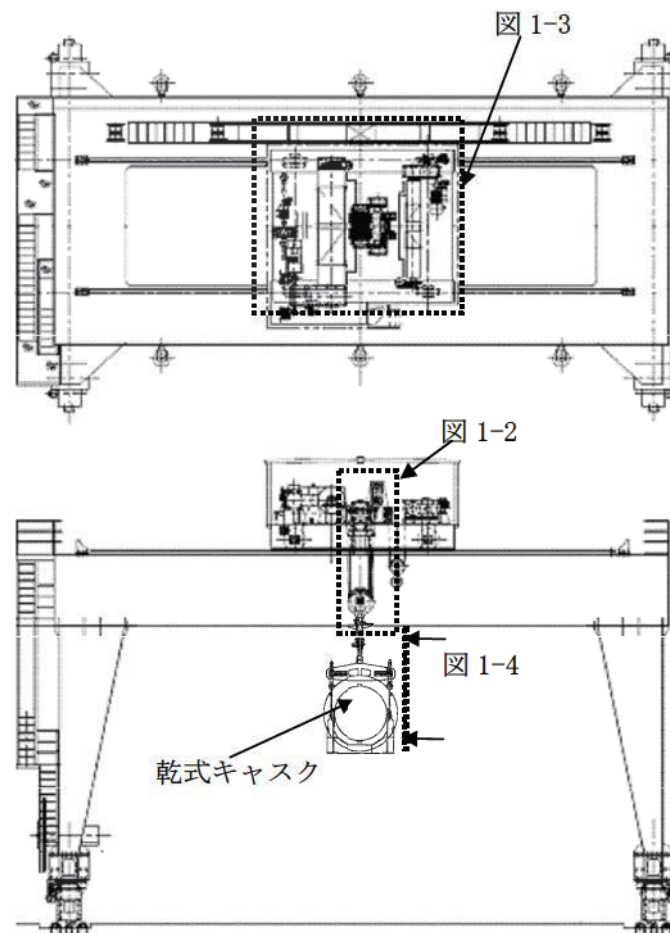


図 1-1 クレーン全体図

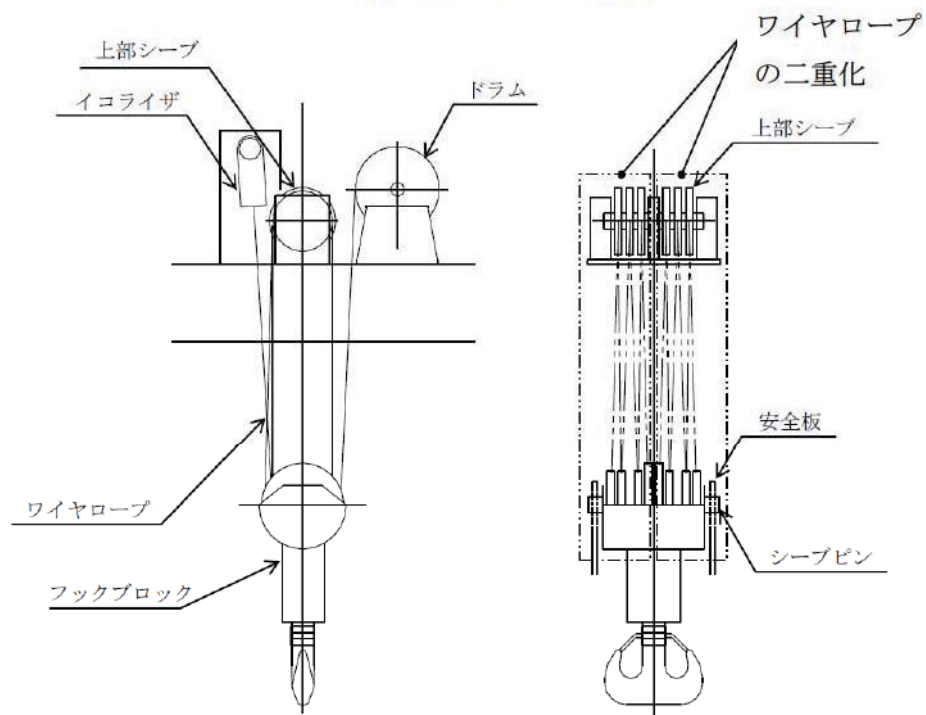


図 1-2 主巻シーブ詳細

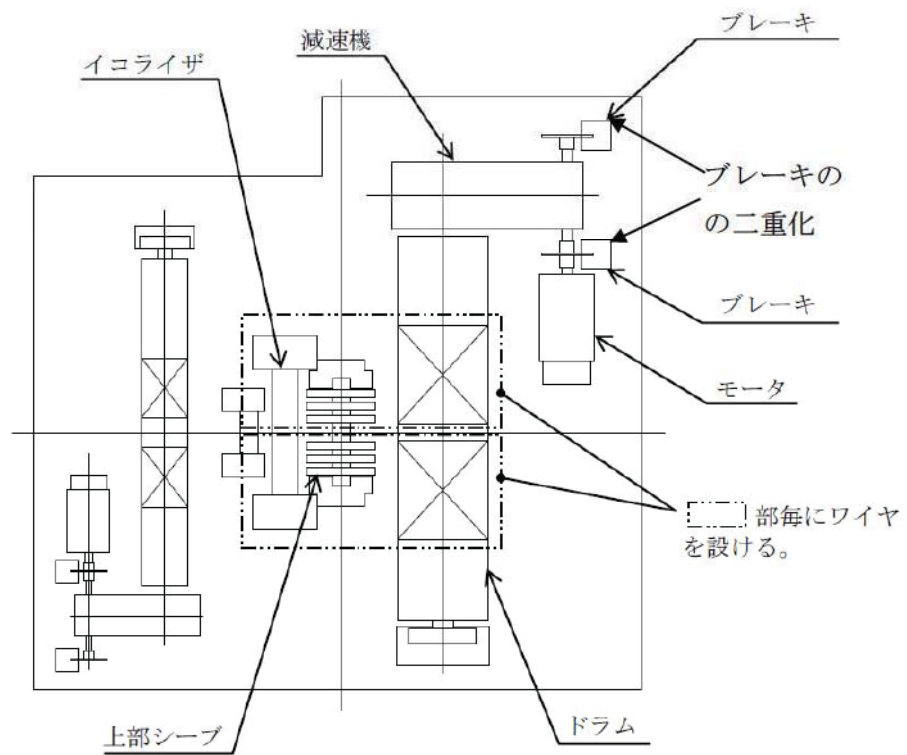


図 1-3 トロリ平面図

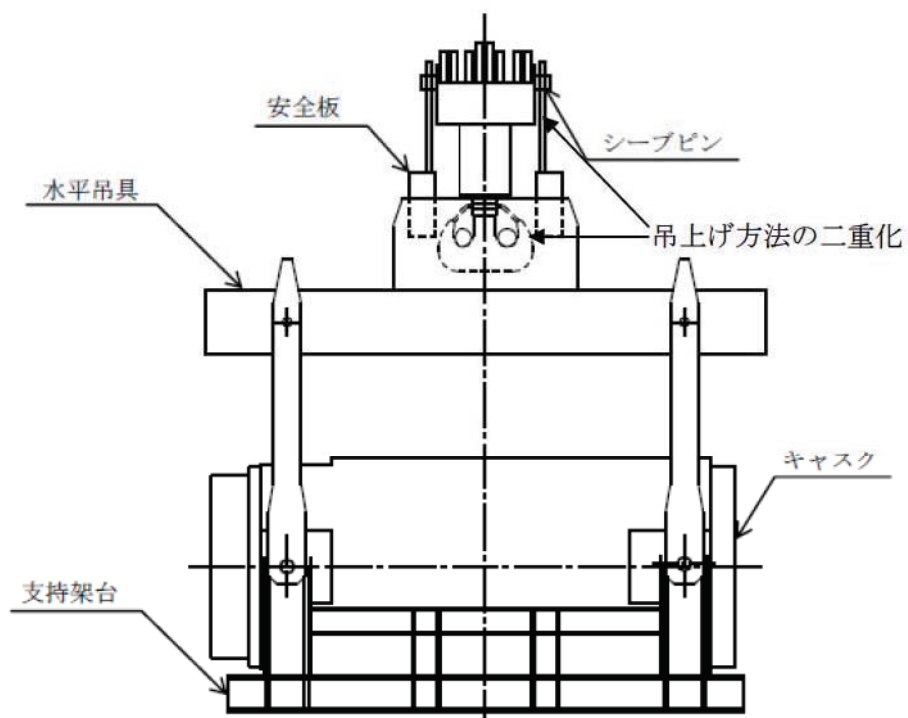


図 1-4 水平吊具

管理・運用について

1. 二重蓋間圧力及び表面温度の監視

キャスク仮保管設備には、乾式キャスクの一次蓋、二次蓋間の圧力を監視することにより密封機能を監視する密封監視装置と、乾式キャスク表面の温度を監視することにより乾式キャスクの除熱機能を監視する表面温度監視装置を設置する。

監視装置の概要を図 1-1 に示す。

密封監視装置は各乾式キャスクに圧力センサ 2 個をそれぞれ系統分離し 2 系統として設置され、万一、蓋間圧力が設定値まで低下した場合には免震重要棟に設置した監視装置(PC)にて警報が確認でき、指示値も確認できる。

表面温度監視装置は各乾式キャスクに温度センサ 1 個を設置し、万一、表面温度が設定値まで上昇した場合には免震重要棟に設置した監視装置(PC)にて警報が確認でき、指示値も確認できる。

なお、温度センサの接続ケーブルが断線によりデータが採取されない場合にも免震重要棟に設置した監視装置(PC)に警報が発生する。

また、密封監視装置および表面温度監視装置のデータは記録される。

監視装置の仕様を表 1-1 に示す。

2. 放射線量の監視

キャスク仮保管設備内に設置するエリア放射線モニタにより放射線量の監視を行うとともに、モニタリングポストにより周辺公衆に対する影響を確認する。また、巡視点検時にキャスク仮保管設備の線量測定を行う。エリア放射線モニタおよびモニタリングポストの測定値は免震重要棟に表示する。

エリア放射線モニタの仕様を表 2-1 に示す。また、モニタリングポストの位置を図 2-1 に、エリア放射線モニタの配置図を図 2-2 に示す。エリア放射線モニタは、乾式キャスクからの放射線量が大幅に変動する事象が発生した場合に放射線量の監視ができるよう、図 2-2 に示す第 1 レーンから第 4 レーンの中央付近に各 1 基ずつ設置する。各エリア放射線モニタの監視範囲である乾式キャスクは、図 2-2 の青枠で示す、対応する各レーン毎の乾式キャスクである。各レーン毎に乾式キャスクを搬入する前までに、対応するエリア放射線モニタを監視可能にする。なお、エリア放射線モニタの検出位置は乾式キャスクの設置高さおよび作業員の身長を考慮した位置に設置する。

3. 巡視点検

キャスク仮保管設備に対しては定期的に巡視点検を行い、キャスク仮保管設備の状態の異常の有無を確認する。

また、地震発生時には適宜、巡視点検を行い、コンクリートモジュール及び乾式キャスク

の外観などを確認する。

4. 運搬時の運用

「Ⅲ. 3. 3. 1 放射線防護及び管理」において、管理区域と同等の管理を要する区域として管理対象区域を定義しており、「Ⅲ. 特定原子力施設の保安」により作業場所も管理対象区域に設定される。

運搬に関しては、「実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則の第 13 条（工場又は事業所において行われる運搬）」に準じて実施するが、周辺の雰囲気線量や汚染密度が高いことから、周辺環境によっては運搬物の表面及び表面から 1 メートルの距離における線量当量率及び運搬物の表面の放射性物質の密度に関しては法令に適合していることを確認できない可能性がある。このため、運搬物の表面及び表面から 1 メートルの距離における線量当量率および運搬物の表面の放射性物質の密度に関しては、作業実施時の最新の社内マニュアル等に基づき管理する。

5. 留意事項

乾式キャスクに収納する燃料は原子炉の運転中のデータや SHIPPING 検査により健全であることが確認された燃料とする。キャスク仕立て作業では真空乾燥を確実にしない、残留水の除去を徹底するとともに、気密漏えい等の必要な確認を実施する。

また、仮保管中の二重蓋間圧力データ等の記録の保存については、「Ⅲ. 特定原子力施設の保安」等にて定めるものとする。

表 1-1 監視装置の仕様

項目	仕様	
名称	蓋間圧力検出器	温度検出器
検出器の個数	2 個/基	1 個/基
計測対象	蓋間圧力	外筒表面温度
取付箇所	二次蓋	外筒表面
計測範囲	50～500kPa abs	-20～160℃
警報動作範囲	50～500kPa abs 注 1)	-20～160℃ 注 2)

注1) 警報設定値は別途定める。

注2) 警報設定値は別途定める。

表 2-1 エリア放射線モニタの仕様

項目	仕様
基数	4 基 ^{注 1)} ^{注 2)}
種類	半導体検出器
計測対象	ガンマ線量率
取付箇所	設備敷地内
検出高さ	基礎から 600mm 以上 1800mm 以下
計測範囲	$10^{-1} \mu\text{Sv/h} \sim 10^5 \mu\text{Sv/h}$ ^{注 3)}

注 1) 4 基の内 1 基は将来増設予定。

注 2) 監視可能とする基数は乾式キャスクの保管状況による。

注 3) 警報設定値はバックグラウンドレベルを鑑み設定する。

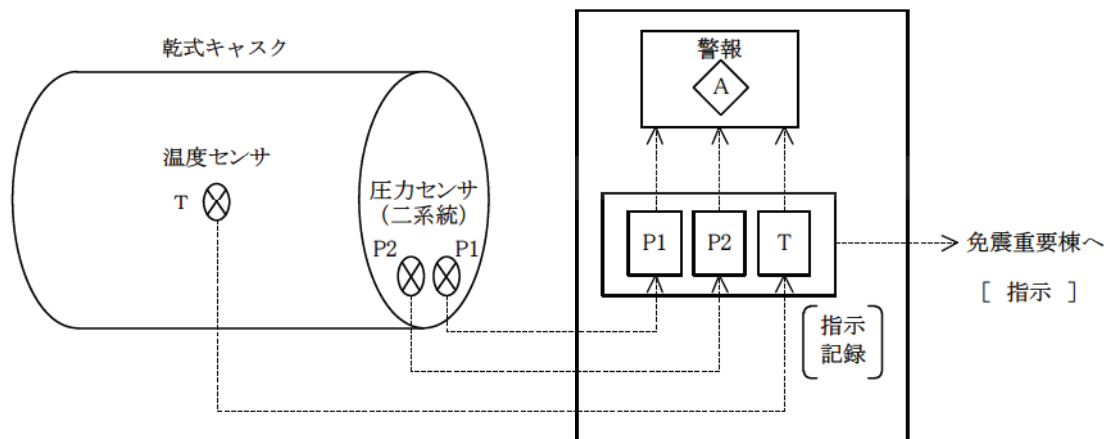


図 1-1 監視装置の概要



図 2-1 モニタリングポスト位置図

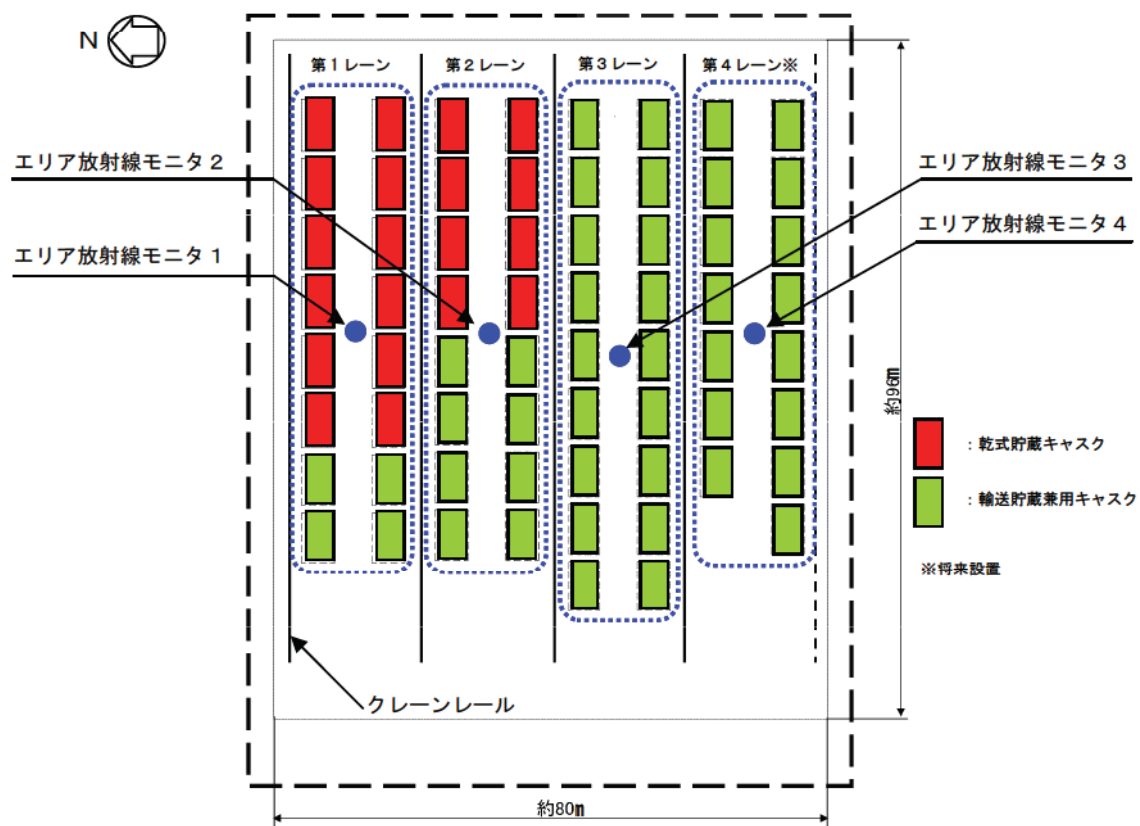


図 2-2 エリア放射線モニタ配置図

キャスク保管建屋及び既設 9 基乾式貯蔵キャスクの現在の設備状況
並びに既設 9 基乾式貯蔵キャスクの健全性について

1. キャスク保管建屋

津波により、トレーラー出入口シャッター及び空気取入口のルーバーが破損し、海水が侵入したものと考えられる。水の痕跡からは、貯蔵棟 1 階天井付近まで冠水したとみられる。

現在も、検査棟地下階には海水が滞留し、また、建屋内の天井クレーン等の設備は津波による被害が大きく使用できない状況である。

2. 乾式貯蔵キャスク

キャスク保管建屋貯蔵棟 1 階の天井付近まで冠水した痕跡が確認されており、貯蔵中の乾式貯蔵キャスクは全数が一時的に水没したとみられる。また、現在、常設の監視計装系は破損していることから監視不能となっている。

2.1. 外観（構造強度、臨界防止機能）

乾式貯蔵キャスク及び支持構造物の外観観察において、乾式貯蔵キャスク表面には冠水時のゴミの付着や汚れの他に、擦り傷が確認されたが、地震による変形等の構造に影響を及ぼすような異常はみられなかった。

2.2. 表面温度（除熱機能）

空気取入口ルーバーの破損・脱落がみられるが、給排気の流路の妨げとはなっていないものとみられる。棒温度計にて乾式貯蔵キャスクの胴部表面の温度を測定した結果、 $31.0\sim 35.0^{\circ}\text{C}$ ^{※1} 程度（周囲温度 21.0°C ）と震災前の周囲温度が同程度のときの表面温度と同程度であり、また警報値^{※2}を十分下回っていることから、異常はみられなかった。

なお、現在 1 週間に 1 回の頻度で確認を行っているが、乾式貯蔵キャスクの胴部の表面温度と周囲温度の差に有意な変化はみられない。

※1：H24/10/23 測定。なお、H23 夏場の最大値は、 $39.0\sim 43.0^{\circ}\text{C}$ （周囲温度 27.5°C ）、H24 夏場の最大値は、 $39.0\sim 42.0^{\circ}\text{C}$ （周囲温度 27.0°C ）

※2：常設の監視計装系に設定されていた値「 102°C （中型）、 113°C （大型）」

2.3. 雰囲気線量（遮へい機能、臨界防止機能）

震災前に可搬式線量計にて測定した乾式貯蔵キャスクの線量当量率^{※3}は、表面の線量当量率は $3.1\mu\text{Sv/h}$ 、表面から 1m 位置での線量当量率は $1.2\mu\text{Sv/h}$ であった。一方、震災後、可搬式線量計にて測定した乾式貯蔵キャスクの線量当量率^{※4}は、胴部の表面の線量当量率が $2.8\sim 4.9\mu\text{Sv/h}$ 程度、表面から 1m 位置での線量当量率が $2.8\sim 4.2\mu\text{Sv/h}$ 程度と設計基準^{※5}を十分に下回っており、異常はみられなかった。また、中性子線のみ^{※6}では、胴部の表面の線量当量率が $0.3\sim 0.9\mu\text{Sv/h}$ 程度、表面

から 1m 位置での線量当量率が 0.3～0.7 μ Sv/h 程度の低い値であり、臨界の兆候はみられなかった。

なお、現在 1 週間に 1 回の頻度で確認を行っているが、有意な変化はみられない。

※3：H17/8/17 に抜き取り調査（電力自主調査）として大型 1 基について測定した γ 線と中性子線の合計値の震災後測定箇所と同位置の値。

※4：H24/10/23 に測定した γ 線と中性子線の合計値。

※5：表面の線量当量率 2mSv/h 以下、表面から 1m 位置での線量当量率 100 μ Sv/h 以下

※6：H24/10/23 に測定した中性子線の値。

2.4. 密封構造（密封機能）

津波により、二次蓋フランジ隙間部に海水が浸入している形跡があり、二次蓋金属ガスケットが被塩している可能性があるが、一次蓋にも金属ガスケットを使用していることから、乾式貯蔵キャスク内部と環境は隔てられていると考える。

以上より、現時点では常設の監視計装系が使用できない状況ではあるが、乾式貯蔵キャスクは堅牢であり、かつ二重蓋構造の設計となっており、現場での点検結果からも放射性物質の外部への影響の兆候はなく、安全上問題ないと考える。

3. 既設 9 基乾式貯蔵キャスクの健全性確認

貯蔵中の乾式貯蔵キャスクは、今後、キャスク保管建屋から搬出し共用プールに移動させた後、点検及び必要な部材取り替えを行うことを計画している。また、点検結果に基づき、除熱、遮へい、密封及び臨界防止の安全機能を有していることを確認した後に、キャスク仮保管設備に移動・保管する。なお、先行して点検を行う 1 基については、点検結果の如何を問わず、共用プールに沈めて、一次蓋を取り外し、貯蔵燃料 3 体及びバスケット（上部から全体外観）の外観点検を実施する。乾式貯蔵キャスクの点検フローを図 3-1～3 に示す。

3.1. 除熱機能

2.2. に示すとおり、現状、除熱機能は維持されていると判断できる。点検後、キャスク仮保管設備へ移動する前に、乾式貯蔵キャスクの胴部表面の温度を測定し、キャスク仮保管設備の警報値未満であることを再確認する。

3.2. 遮へい機能

2.3. に示すとおり、現状、遮へい機能は維持されていると判断できる。点検後、キャスク仮保管設備へ移動する前に、乾式貯蔵キャスクの胴部表面の線量率及び表面から 1m 位置での線量率を測定し、設計基準以下であることを再確認する。

3.3. 密封機能

2.4. に示すとおり、津波により、二次蓋フランジ隙間部に海水が浸入している形跡があることから、全 9 基の乾式貯蔵キャスクの二次蓋金属ガスケットを交換する。

一方、一次蓋金属ガスケットは、二次蓋金属ガスケットが腐食貫通していない限り、外部環境と隔てられており、被塩していない。このため、二次蓋金属ガスケットが腐食貫通していた場合又は一次蓋気密漏えい検査により基準漏えい率 (1×10^{-6} (Pa・m³/s)) ※7 を超えた漏えいが確認された場合は、一次蓋金属ガスケットを交換する。また、先行点検する 1 基の一次蓋金属ガスケットを点検し、密封機能に影響を及ぼすシール面の有意な損傷が見つかった場合は、他の乾式貯蔵キャスクの一次蓋金属ガスケットを交換する。一次蓋金属ガスケット健全性確認フローを図 3-4 に示す。

蓋間圧力検出器は、破損が確認されていることから、全 9 基の乾式貯蔵キャスクにおいて交換し（蓋間圧力検出器は、増設の乾式貯蔵キャスクと同じ設計とする）、キャスク仮保管設備において二重蓋間の圧力を監視できるようにする。なお、密封機能に影響を及ぼすフランジ部のひび等が見つかった場合は、密封機能を回復するよう修理を行う。

点検後、キャスク仮保管設備へ移動する前に、気密漏えい検査を行い、基準漏えい率 (1×10^{-6} (Pa・m³/s)) ※7 以下であることを確認する。また、蓋間圧力を測定し、キャスク仮保管設備の警報値を超えていることを確認する。

※7：設計貯蔵期間中にキャスク内部の負圧が維持できる漏えい率。（添付資料-4「2 密封機能」参照）

3. 4. 臨界防止機能

2. 1. に示すとおり、現状、外観観察において擦り傷が確認されたが、変形等の構造に影響を及ぼすような異常はみられていない。また、2. 3. に示すとおり、現状、臨界の兆候はないと判断できる。しかしながら、上述のとおり、念のため、先行点検する 1 基について、3 体の貯蔵燃料及びバスケット（上部から全体外観）の外観点検を実施する。先行点検する乾式貯蔵キャスクと点検する貯蔵燃料の選定の考え方を表 3-1 に示す。

3. 5. 貯蔵燃料の健全性確認

全 9 基の乾式貯蔵キャスク内部のガスサンプリングを行い、クリプトンガス検出の有無により、貯蔵燃料の被覆管健全性確認を行うとともに、上述のとおり、先行点検する 1 基について 3 体の貯蔵燃料の外観点検を実施する。貯蔵燃料健全性確認フローを図 3-5 に示す。

なお、クリプトンガスが検出された場合は、当該乾式貯蔵キャスク内の貯蔵燃料を全て共用プールに取り出し、共用プール内に保管されている他の収納可能燃料（8×8 燃料、新型 8×8 燃料、新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料）を装填する。また、内部ガスの回収用タンクを準備しておく。

共用プールは、設置許可申請書において、健全燃料のみ保管することになっているが、参考-1 に示すとおり、現状に照らして周辺公衆及び放射線業務従事者の放射線被ばくが問題とならないように運用する。

4. 参考

参考-1 被覆管損傷が確認された貯蔵燃料を共用プールに取り出す場合の
放射線被ばく影響について

参考-2 既設乾式貯蔵キャスクの海水影響による SCC に対する考え方について

表 3-1 先行点検する乾式貯蔵キャスクと点検する貯蔵燃料の選定の考え方

地震による影響	- 全 9 基の乾式貯蔵キャスクは、同一建屋内に同一構造で貯蔵。 - 大型キャスクと中型キャスクはほぼ同一構造であり、耐震設計裕度に大きな違いはない。(表 3-2)
海水による影響	全 9 基の乾式貯蔵キャスクは同様に一時的に水没したとみられており、海水による影響はキャスク間に大きな違いはない。
建屋内侵入ガレキによる影響	- 全 9 基の乾式貯蔵キャスクは、胴部は外筒（厚さ 2cm）、蓋部及び底部はレジンカバー（それぞれ 2.5cm、5cm）で覆われ、その下はゴム状のレジン配した構造となっている。更に、貯蔵燃料は、胴部は 26cm、一次蓋は 29.5cm、底部は 30.5cm の炭素鋼で覆われている。 - いずれの乾式貯蔵キャスクも変形等の構造に影響を及ぼす異常はみられてなく、侵入ガレキによる影響は十分小さい。
乾式貯蔵キャスク間に大きな違いはないことから、下記の燃料を貯蔵する乾式貯蔵キャスク 1 基について先行点検を実施する。	
燃料タイプによる影響	貯蔵燃料は、8×8 燃料と新型 8×8 燃料の 2 タイプあるが、寸法、形状及び材料は同等であり、大きな違いはない。(表 3-3)
水素脆化による影響	燃料被覆管及び構造材の水素吸収量は照射期間と相関があることが示されている。貯蔵燃料の照射期間は、水素吸収量が大きく増加する領域にないが、相関を考慮して照射期間が最も長かったものから選定する。 (当該燃料が貯蔵されているのは、中型キャスク)
乾式貯蔵キャスク内貯蔵位置による影響	バスケットは、縦横中央の十字ラインの振れ幅が相対的に大きくなる。(図 3-6) そのため、当該位置に貯蔵されている燃料から選定する。
照射期間が最も長かった燃料の内、縦横中央の十字ラインに貯蔵されている燃料 2 体に加えて、縦横中央の真ん中に貯蔵されている燃料 1 体の計 3 体を選定する。	

表 3-2 乾式貯蔵キャスクの耐震設計裕度

	部位	設計裕度※1	
		大型キャスク	中型キャスク
		S2（工認値※2）	S2（工認値※2）
1. 乾式貯蔵キャスク本体	胴板	30.2～47.1	36.2～53.9
	一次蓋	14.0～251.0	17.1～251.0
	底板	53.9～125.5	62.8～125.5
	貫通孔蓋板	8.4～200.5	8.3～200.5
	密封シール部	16.5～36.2	12.9～36.2
	ボス溶接部※3 バスケットサポート取付けボルト 溶接部※4	18.7～37.6	6.0～12.5
	γ 遮へい体取付けボルト溶接部	25.9～62.7	30.2～62.7
	一次蓋締付けボルト	6.1～8.0	6.6～8.3
	貫通孔蓋板締付けボルト	2.4～3.3	2.5～3.3
2. バスケット	バスケットプレート	32.5～32.7	32.5～32.7
	バスケットサポート	133.0～200.0	133.0～200.0
	バスケットサポート取付けボルト	14.8～22.2	12.7～19.0
3. トラニオン	トラニオン	16.7～97.7	19.5～117.2
	トラニオン締付けボルト	6.8～16.0	8.1～18.7
4. 二次蓋	二次蓋	14.9～37.6	19.6～43.0
	二次蓋締付けボルト	2.2	2.3

※1 設計裕度：許容応力／（基準地震動 S2 での発生応力計算値）。応力の種類に対するそれぞれの許容応力との比（最小値と最大値）を範囲として記載している。

※2 既設分と増設分の乾式貯蔵キャスク設計は同一であるため、最新（乾式貯蔵キャスク増設分）の工事計画認可申請書（表中、工認）の値を示す。

※3 大型キャスク

※4 中型キャスク

表 3-3 貯蔵燃料の仕様概要

		8×8 燃料	新型 8×8 燃料
燃料棒本数		63 本	62 本
ウォータロッド本数		1 本	2 本
燃焼度	集合体平均	約 27.5GWd/t	約 29.5GWd/t
	集合体最高	40.0GWd/t	40.0GWd/t
被覆管外径		約 1.25cm	約 1.23cm
被覆管厚さ		約 0.86mm（ライナなし）	約 0.86mm（ライナなし）
被覆管材料		ジルカロイ-2	ジルカロイ-2
スペーサ形状		格子型	格子型
スペーサ厚さ		約 0.76mm	約 0.76mm
スペーサ材料		ジルカロイ-4	ジルカロイ-4

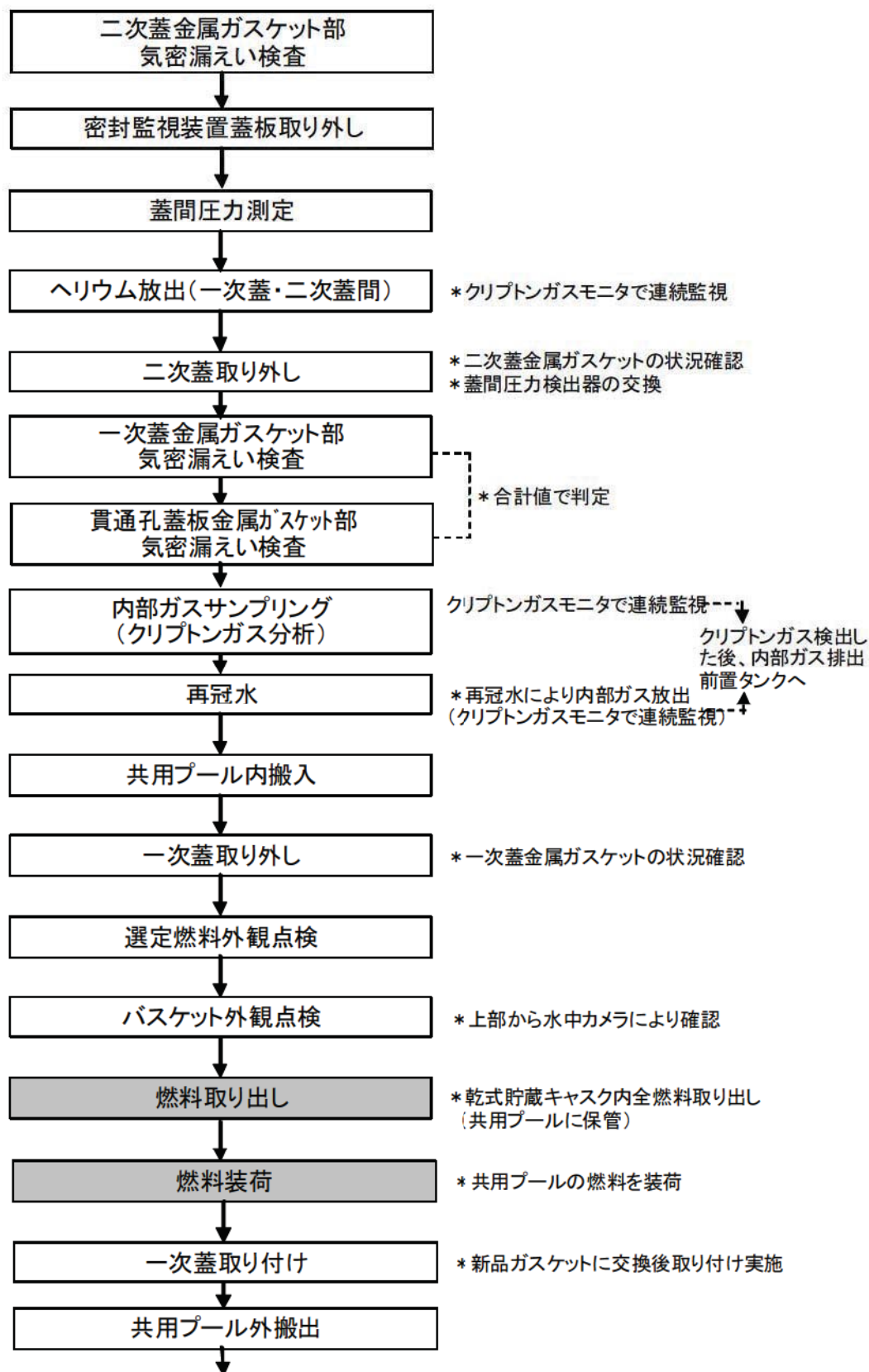


図 3-1 先行 1 基の点検フロー(1/2)

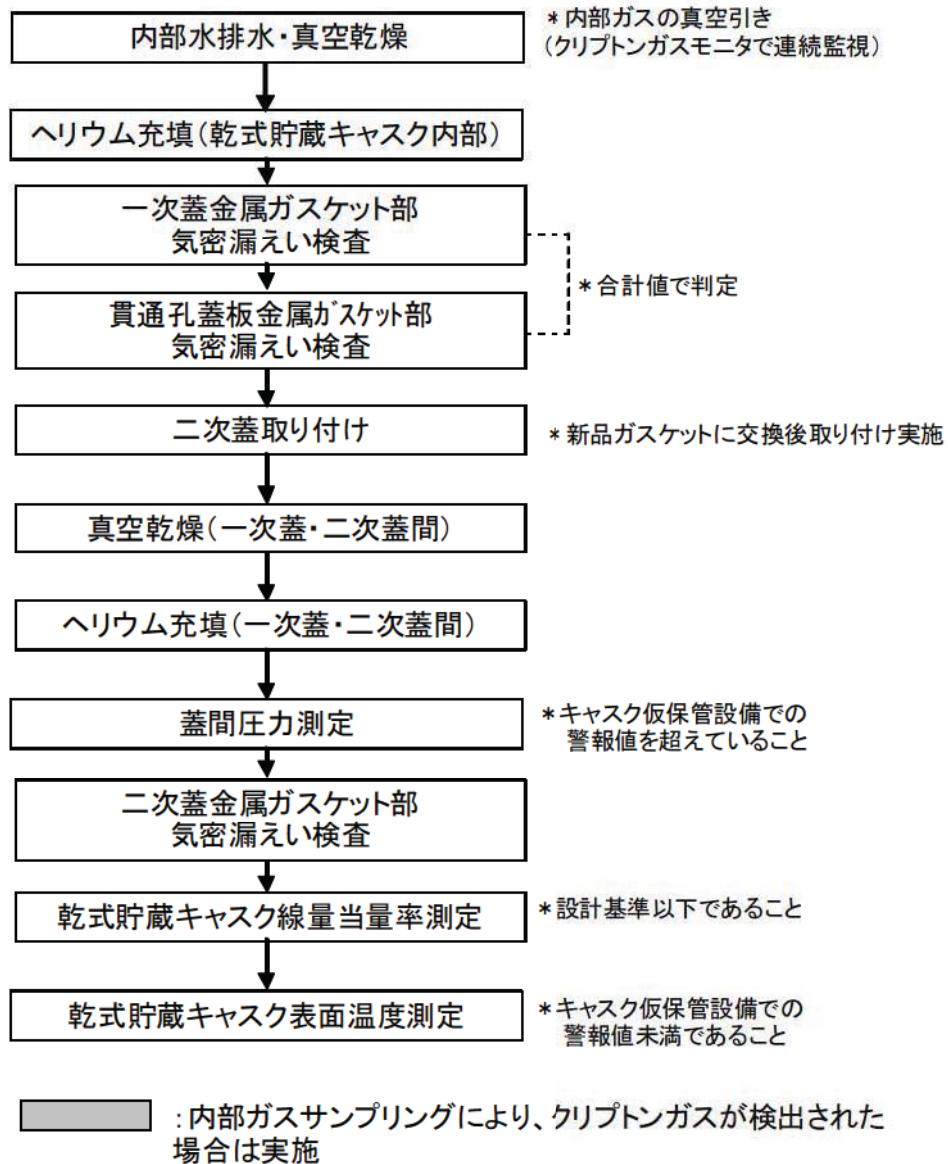


図 3-1 先行 1 基の点検フロー(2/2)

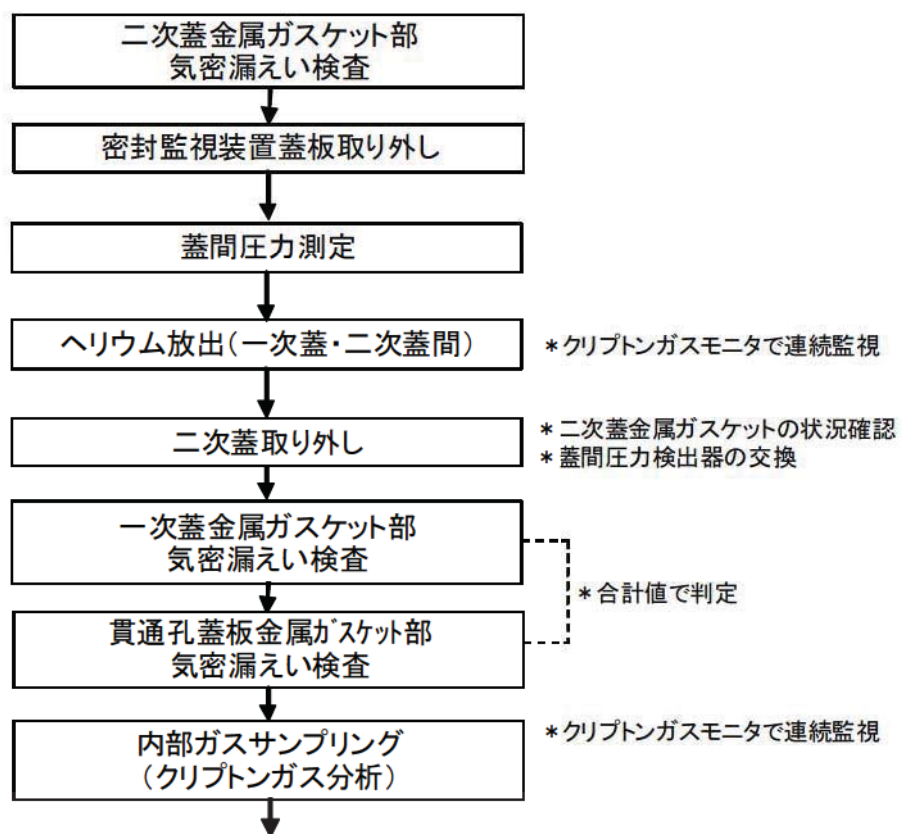


図 3-2 残り 8 基の点検フロー（共用プールに沈めない場合）(1/2)

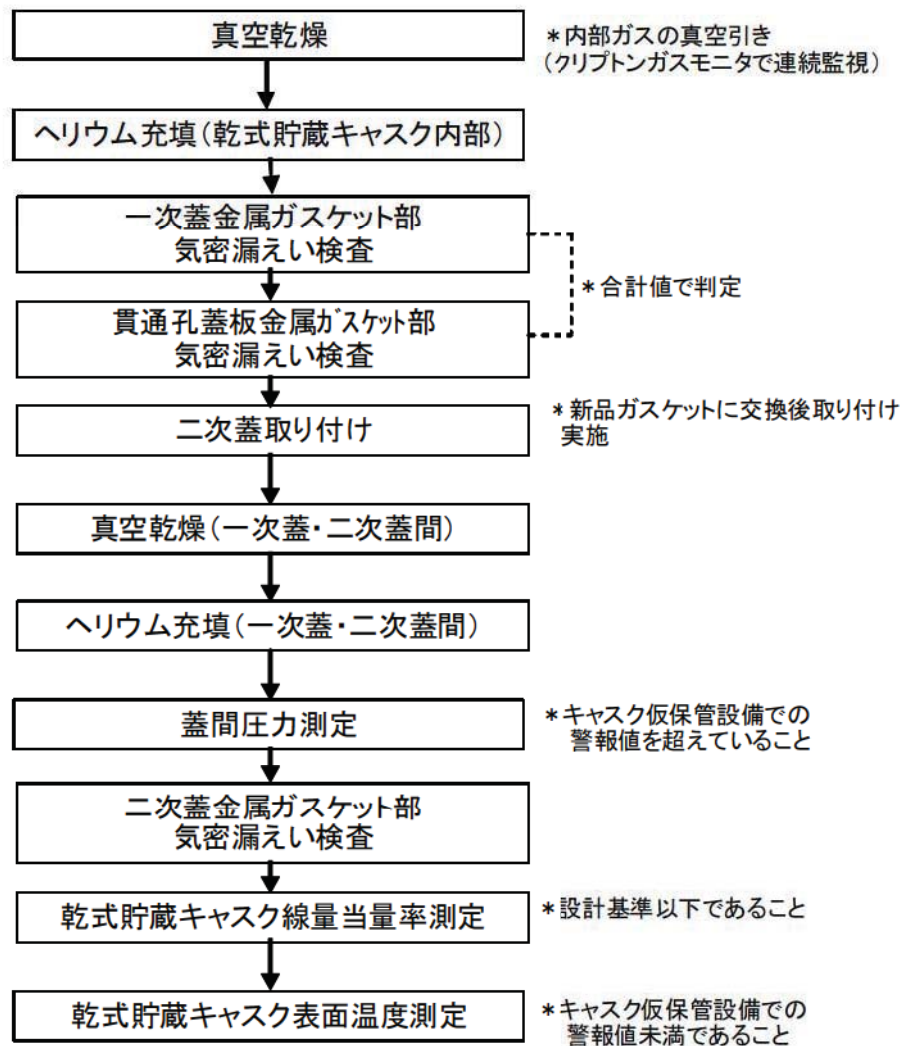


図 3-2 残り 8 基の点検フロー (共用プールに沈めない場合) (2/2)

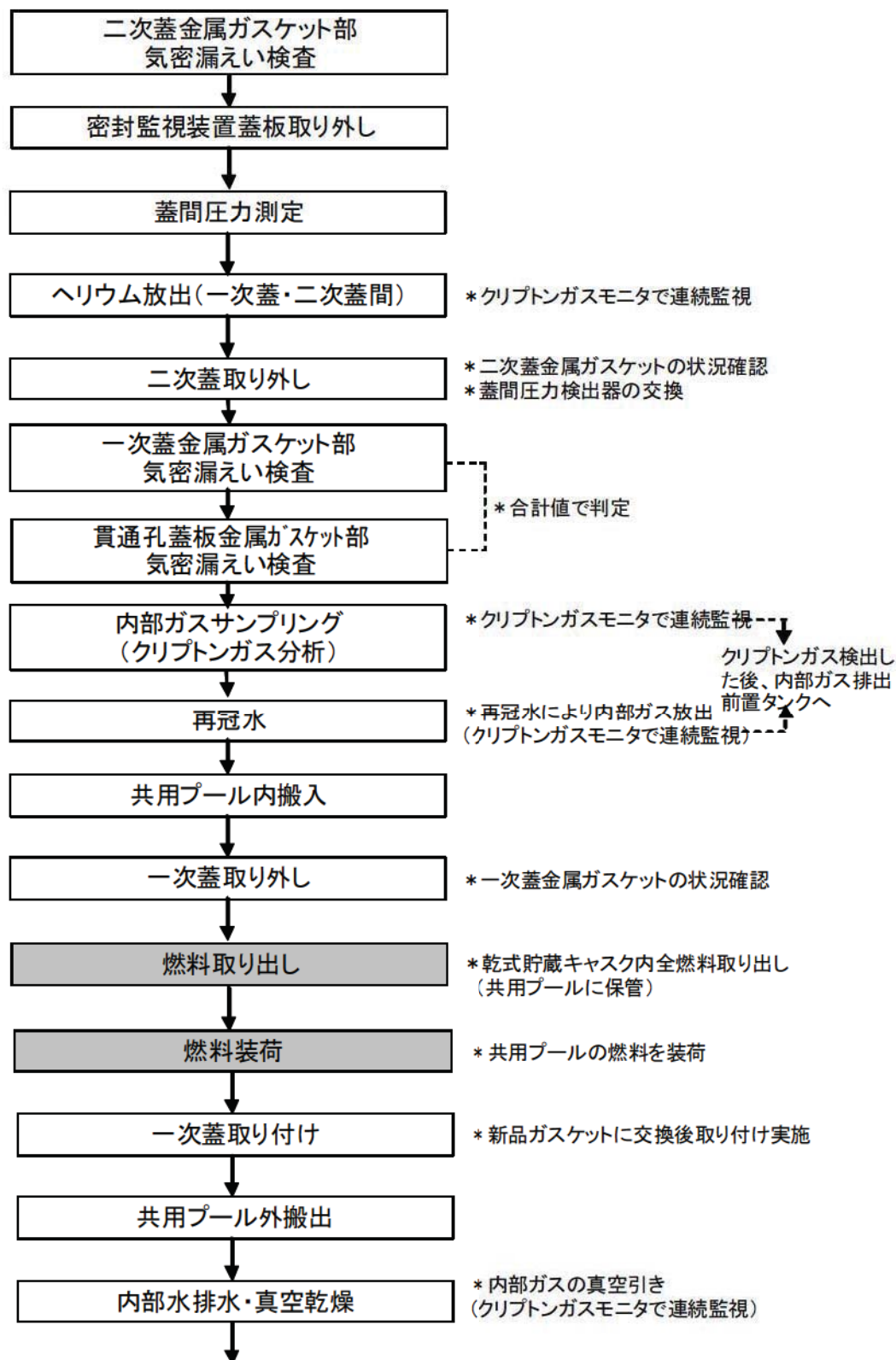


図 3-3 残り 8 基の点検フロー (共用プールに沈める場合) (1/2)

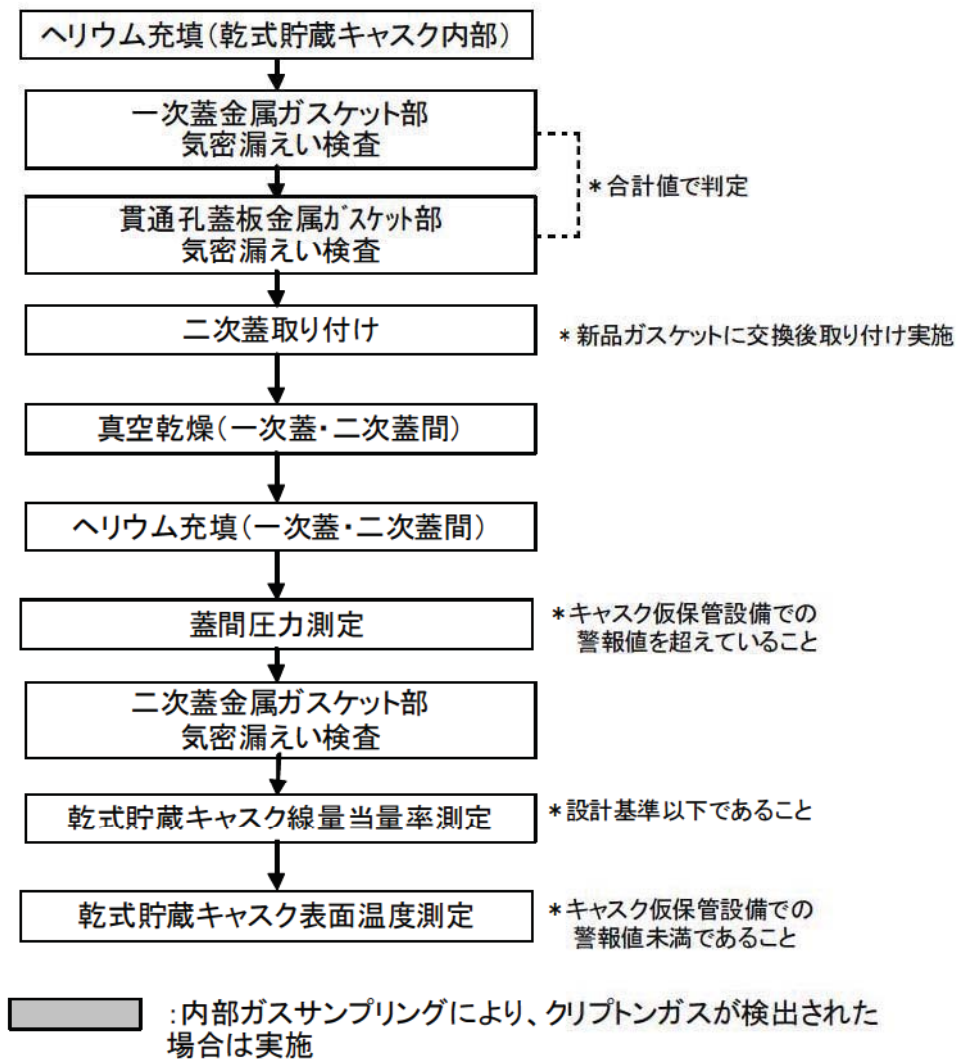
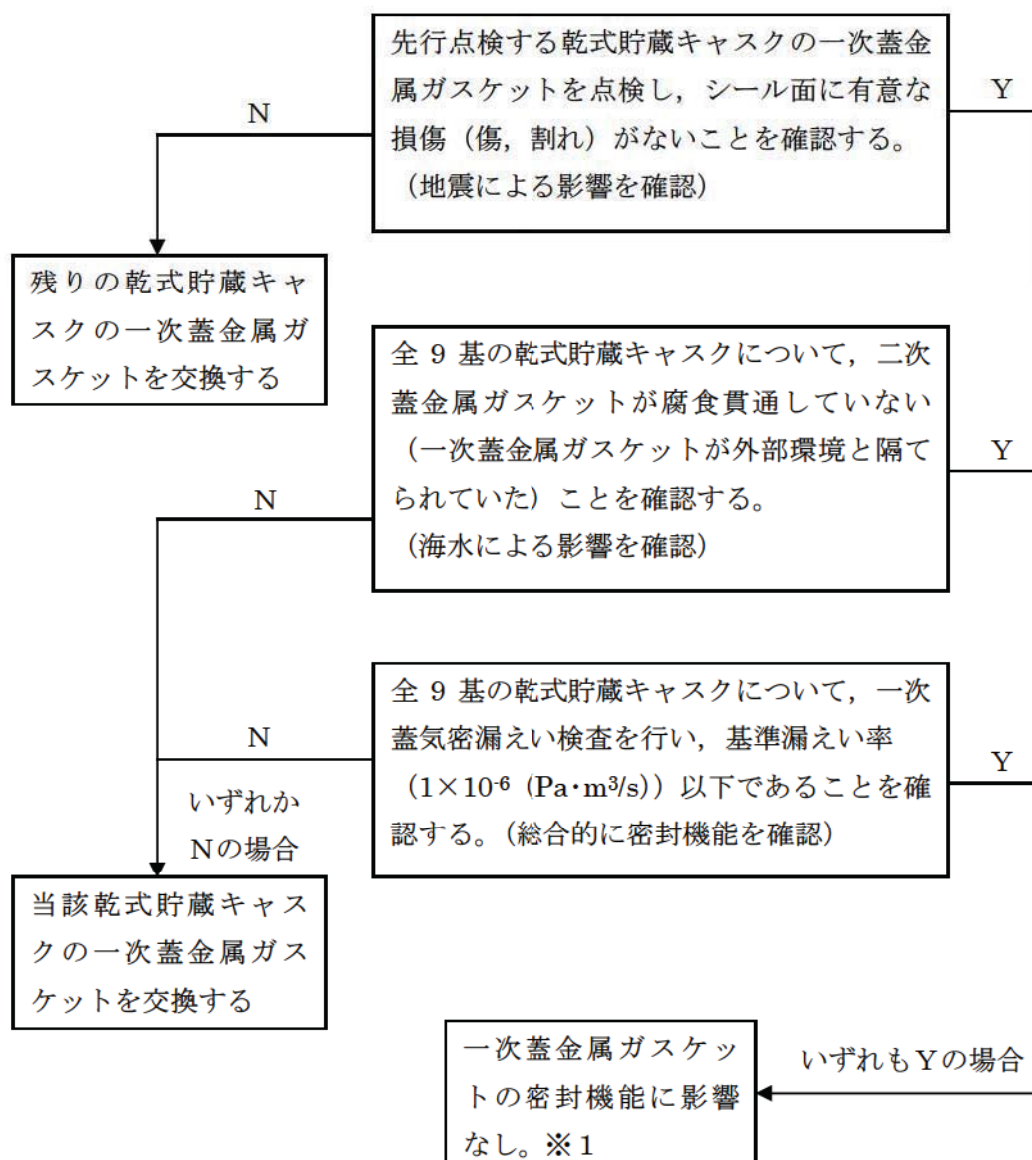


図 3-3 残り 8 基の点検フロー（共用プールに沈める場合）（2/2）



※1 万一、キャスク仮保管設備で保管中に一次蓋金属ガスケットの密封機能に異常が生じた場合でも、キャスク仮保管設備では蓋間圧力が低下することで警報が発せられる設計としており、早期検知が可能である。その場合は、速やかに共用プールに移動して、一次蓋金属ガスケットを交換することが可能である。

図 3-4 一次蓋金属ガスケット健全性確認フロー

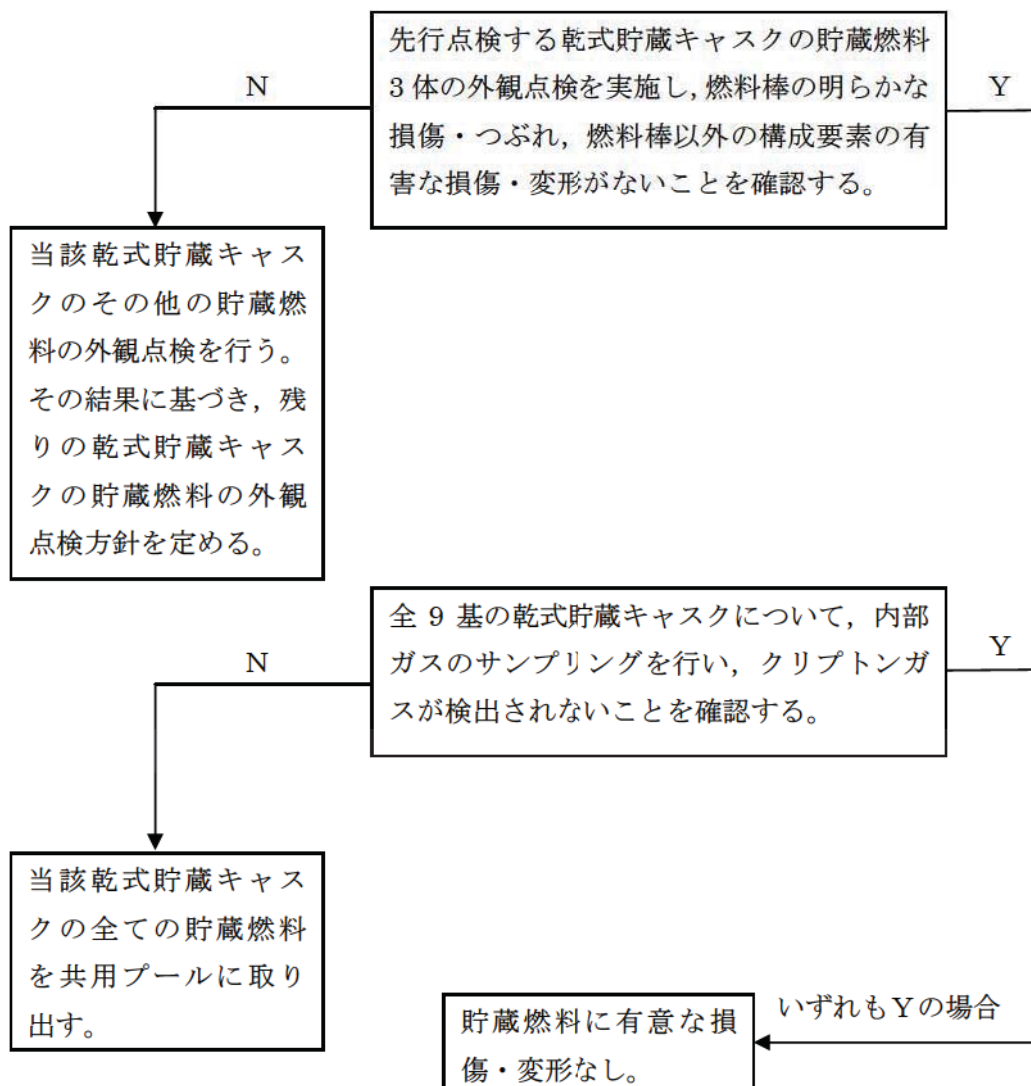
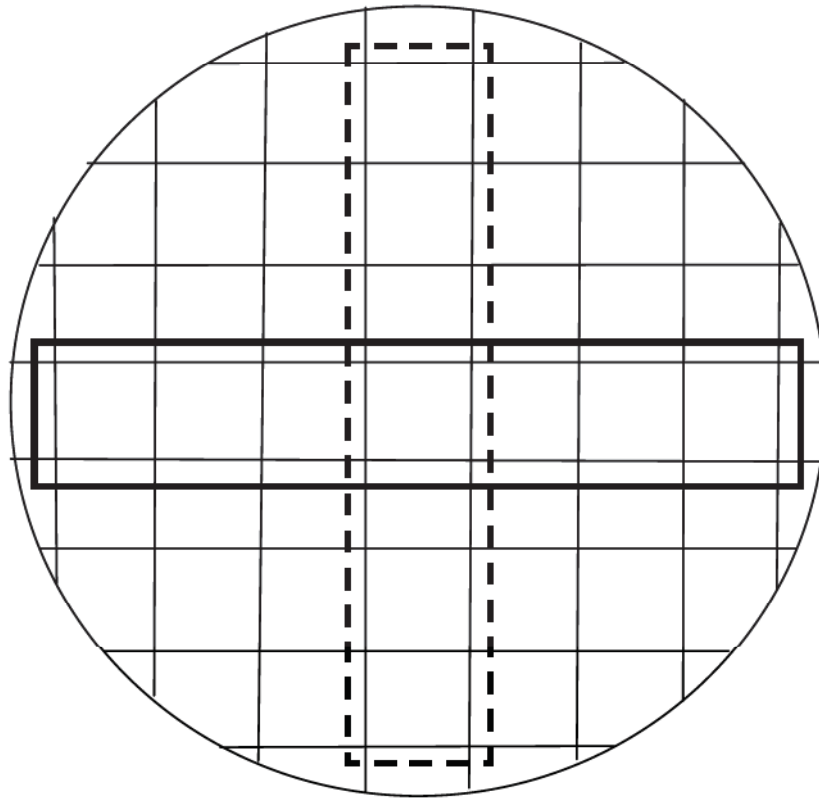


図 3-5 貯蔵燃料健全性確認フロー



- : 水平振動に対して、振れ幅が相対的に大きくなる貯蔵位置
 : 垂直振動に対して、振れ幅が相対的に大きくなる貯蔵位置

図 3-6 振れ幅が相対的に大きくなる貯蔵位置 (中型キャスクの場合)

被覆管損傷が確認された貯蔵燃料を共用プールに取り出す場合の 放射線被ばく影響について

設置許可申請書において、共用プールは健全燃料のみ保管することになっている。

ここでは、乾式貯蔵キャスクの貯蔵燃料の被覆管に損傷が確認された場合、共用プールに破損燃料を取り出す場合の放射線被ばく影響について説明する。

なお、添付資料-8 3.5. に示すとおり、全 9 基の乾式貯蔵キャスク内部のガスサンプリングを行い、クリプトンガス検出の有無を確認することから、貯蔵燃料を共用プールに取り出す前に、被覆管の損傷有無を認識できる。

1. 放射線被ばく影響

1.1. 放射線業務従事者への放射線被ばく影響

(1) 液相

乾式貯蔵キャスクから貯蔵燃料を共用プールに取り出すにあたっては、除染ピットにて乾式貯蔵キャスク内に水を注入した後、共用プールに沈め、一次蓋を開放する。貯蔵燃料の被覆管に損傷があった場合、水溶性の核分裂生成物が乾式貯蔵キャスク内に溶出するが、共用プール冷却浄化系により次第に除去される。このため、一次蓋を開放後に、共用プール水面上で線量率が一時的に上昇する場合でも、時間の経過とともに線量率は低下する（一次蓋を閉止し、共用プールから除染ピットに取り出した後の乾燥工程で、乾式貯蔵キャスク内の水を共用プールに排出する場合も同様）。仮に共用プール水面上での線量率が予想より高くなったとしても、エリア放射線モニタで検知でき、検知した場合は退避、線量率が十分下がった後に作業を再開する運用により、放射線業務従事者の放射線被ばくを低く抑えることが可能である。

(2) 気相

キャスク内部ガスのサンプリングの結果、クリプトンガスが検出された場合、図 1-1 に示すとおり、キャスク内部ガスを一旦タンクに回収し、屋外に徐々に放出する運用とする。そのため、建屋内へのガス状核分裂生成物の放出は無視できる。

1.2. 公衆への放射線被ばく影響

上述のとおり、貯蔵燃料の被覆管に損傷があった場合、キャスク内部ガスを一旦タンクに回収し、放出量を管理して、屋外に徐々に放出する。既設 9 基の乾式貯蔵キャスクの貯蔵燃料は 20 年以上冷却されているため、短半減期の核種は無視できる。

図 1-1 に示すとおり、キャスク内部ガスをタンクに回収した後、サンプリングをして対象核種の濃度（単位体積あたりのベクレル数）を測定することができる。放

出ラインには、流量計とバルブを設置することから、放出風量（単位時間あたりの体積放出量）を調整することで、放出率（単位時間あたりのベクレル数）を管理して屋外放出ができる。上記運用により、公衆への放射線被ばく影響を十分に小さくすることが可能である。

なお、仮に大型キャスクの全ての貯蔵燃料の被覆管が損傷して、ガス状核分裂生成物が短時間（1 時間）で共用プール建屋から全て放出されたとしても、貯蔵燃料は20年以上冷却されているため、敷地境界線量は、約 $2.8 \times 10^{-3} \text{mSv}$ 程度※¹である。

※1：よう素の内部被ばく及び希ガスの γ 線外部被ばくの和（評価条件は、添付資料-9 参考-1 表 2-1 参照）

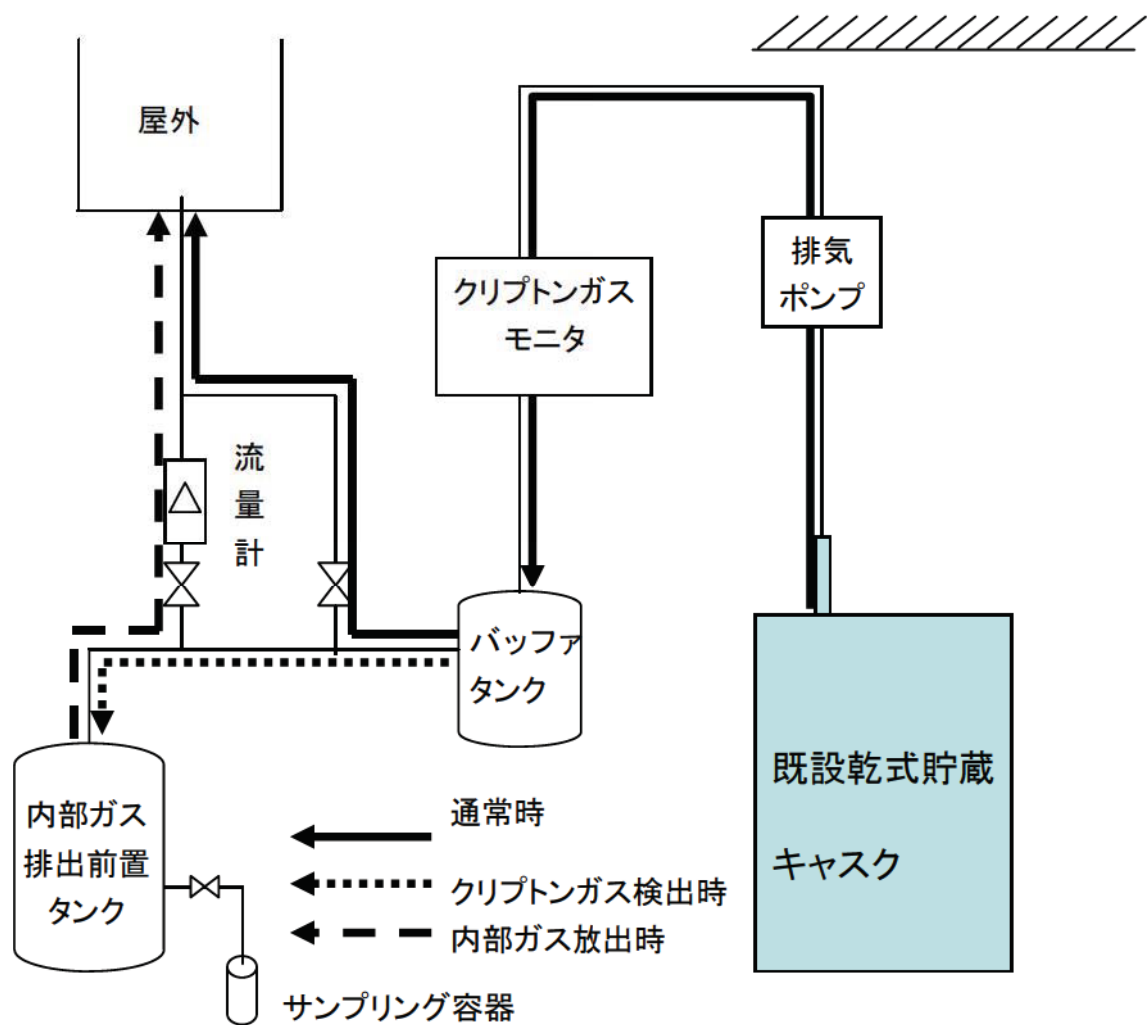


図 1-1 貯蔵燃料の被覆管に損傷があった場合の内部ガス放出の概略図

既設乾式貯蔵キャスクの海水影響による SCC に対する考え方について

SCC はオーステナイト系ステンレス等の感受性が高い材料に、引張応力が作用した状態で、特に塩化物が存在している腐食環境下にある場合、発生しやすい傾向にある。乾式貯蔵キャスクにも同様に当てはまり、深刻な SCC が発生した場合、密封機能に影響を及ぼす可能性があることが、NRC INFORMATION NOTICE 2012-20^{*}に示されている。

乾式貯蔵キャスクの一次蓋と本体フランジ部は、図 1-1 に示すように、金属ガスケットを挟んで、ボルトとブッシュにより保持されている。（一次蓋には、仕立て時に使用される貫通孔があり、この貫通孔は、ネジ込み式のオリフィスプラグにより閉止され、更に、蓋板により金属ガスケットを挟んでボルトで保持されている）

東北地方太平洋沖地震により発生した津波により、二次蓋金属ガスケットが被塩している可能性があるが、乾式貯蔵キャスクは二重蓋構造となっており、二次蓋金属ガスケットが貫通していない場合、上記の部位（一次蓋貫通孔箇所を含む）及び金属ガスケットは環境と隔てられている。その場合、海水による塩化物の影響はないことから、SCC は発生しやすい状況にはなっていない。一方、二次蓋金属ガスケットが貫通している場合は、一次蓋側まで塩化物の影響を及ぼしている可能性がある。この場合は、当該乾式貯蔵キャスクは共用プールに沈めて一次蓋金属ガスケットを交換する点検フローとしており、その際、水中カメラによりフランジ部の目視確認を行う。密封機能に影響を及ぼすひび等が見つかった場合は、添付資料-8「3.3 密封機能」に示すとおり、密封機能を回復するよう修理を行う。キャスク仮保管設備へ移動する前に、気密漏えい検査を行い、基準漏えい率（ 1×10^{-6} (Pa・m³/s)）以下であることを確認することとしており、修理実施又は修理妥当性の判断は、最終的にこの判断基準に基づき行う。

なお、二次蓋は、密封境界となる部位ではないが、点検後、キャスク仮保管設備に保管した後は、蓋間圧力を監視することになることから、全 9 基の乾式貯蔵キャスクについてフランジ部について目視確認を行う。二次蓋と本体フランジ部の構造は、図 1-1 に示すように、一次蓋と本体フランジ部の構造と同様である。（二次蓋には、蓋間の密封監視装置が内蔵され、この装置は蓋板により金属ガスケットを挟んでボルトで保持されている。また、この装置は、バルブにより蓋間空間と隔離された構造となっている）密封機能に影響を及ぼすひび等が見つかった場合は、同様に密封機能を回復するように修理を行う。キャスク仮保管設備へ移動する前に、同様に気密漏えい検査を行い、基準漏えい率（ 1×10^{-6} (Pa・m³/s)）以下であることを確認することとしており、修理実施又は修理妥当性の判断は、最終的にこの判断基準に基づき行う。

万一、キャスク仮保管設備で保管中に一次蓋又は二次蓋の密封機能に異常が生じた場合でも、キャスク仮保管設備では蓋間圧力が低下することで警報が発せられる設計としており、早期発見が可能である。その場合は、速やかに共用プールに移動して、状況を確認することが可能である。

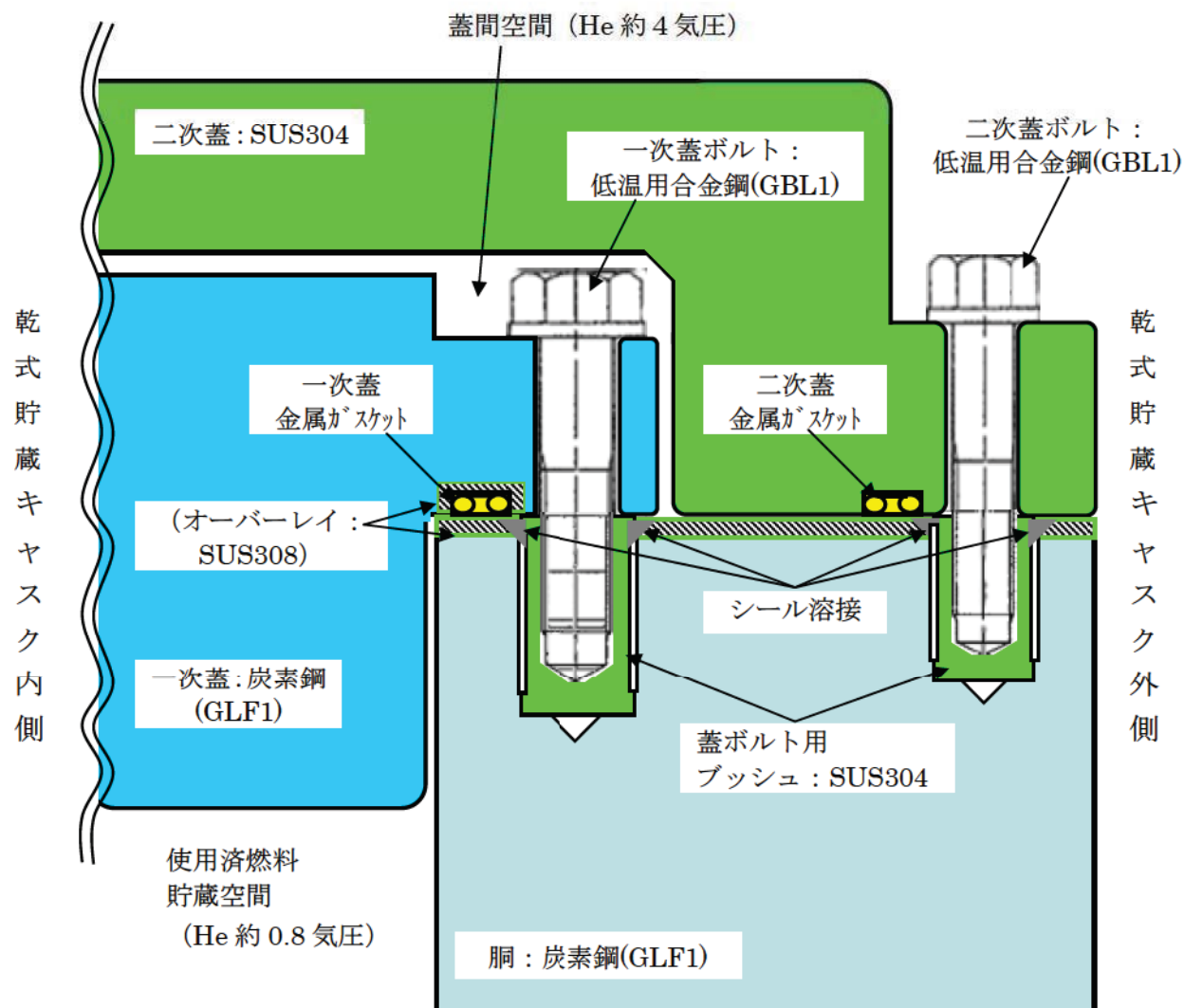


図 1-1 乾式貯蔵キャスク蓋部 概略図

既設 9 基乾式貯蔵キャスクのキャスク保管建屋からの搬出について

既設 9 基乾式貯蔵キャスクについては、キャスク保管建屋から搬出後、共用プールで点検及び必要な部材交換を実施し、キャスク仮保管設備に保管することを計画している。

ここでは、乾式貯蔵キャスクのキャスク保管建屋からの搬出の作業手順及び安全性について説明する。

1. 搬出方法

建屋内の天井クレーンは津波による被害が大きいため、耐震構造に寄与しない建屋ブロック壁の撤去、搬送台車を建屋外に搬出するための新設レールの敷設を行い、乾式貯蔵キャスクを建屋外に搬出する。建屋外での乾式貯蔵キャスクの搬送台車から輸送トレーラーへの載せ替えは、移動式クレーンを使用して行う。この場合、二重吊りの落下防止対策を講じることが出来ないため、万一の乾式貯蔵キャスクの落下時にも周辺公衆及び放射線業務従事者に対して放射線被ばく上の影響は十分小さくなるように、乾式貯蔵キャスクの吊り上げ高さを制限する手順を定めて運用する。

図 1-1 に乾式貯蔵キャスク搬出方法の概念図を示す。また、表 1-1 に乾式貯蔵キャスクの搬出工程表を示す。

2. 作業手順

作業内容	注意事項
【準備作業】	
(1) 移動式クレーンをキャスク保管建屋の近くに設置する。	風速が 10m/s 以上の場合、作業を中止する。
(2) 水平吊り具を移動式クレーンで吊り上げ、建屋から搬出後に速やかに乾式貯蔵キャスクに取り付けられるように用意する。	
(3) 建屋外にウインチ支持台及びウインチを取り付ける。	
【乾式貯蔵キャスク搬出・輸送トレーラー載せ替え作業】	
(4) ウインチを用いて、乾式貯蔵キャスクを載せた搬送台車を建屋外に搬出する。	運搬物の表面及び表面から 1 メートルの距離における線量当量率および運搬物の表面汚染密度の測定に関しては、作業実施時の最新の保安規定、社内マニュアル等に基づき管理する。

(5) 建屋外に搬出後、速やかに乾式貯蔵キャスクに水平吊り具を取り付ける。	
(6) ウインチ及びウインチ支持台を取り外し、輸送トレーラーを搬送台車と直列となるように駐車する。	搬送台車と輸送トレーラーの距離が十分小さくなるように輸送トレーラーを駐車する。
(7) 搬送台車荷台と輸送トレーラー荷台に段差が極力生じないように高さ調整をする。	
(8) 乾式貯蔵キャスクの吊り上げを監視するよう、専任の監視員を配置する。	
(9) 移動式クレーンを用いて、吊り上げ高さが 1m 以下となるように監視しながら支持架台付き乾式貯蔵キャスクを搬送台車から輸送トレーラーに徐々に水平移動させる。	吊り上げ高さが確実に 1m 以下となるように、十分に低い高さで移動する。
(10) キャスク支持架台を輸送トレーラー荷台に固定する。	
(11) 乾式貯蔵キャスクから水平吊り具を取り外す。	
(12) 輸送トレーラーにて共用プールまで構内運搬する。	構内運搬の安全措置は、作業実施時の最新の保安規定、社内マニュアル等に基づき管理する。共用プールでの乾式貯蔵キャスクの取り扱いは、従来通り、天井クレーンと搬送台車を使用する。
【片付け作業】	
(13) 水平吊り具を移動式クレーンから取り外し、移動式クレーンを移動させる。	次の乾式貯蔵キャスクを続けて搬出する場合は、(13)は行わずに(2)に戻って繰り返す。

3. 安全性

(1) 事前検討，作業資格

- ・ 作業手順書を作成し、事前に十分検討を行った上で作業を行う。
- ・ クレーンの運転は、有資格者を配置する。

(2) ウインチによる建屋外への搬出作業

- ・ ウインチによる搬送台車の移動は、建屋内 150cm/min，建屋外 100cm/min 程度の非常に遅い速度で取り扱うものとする。

(3) 移動式クレーンによる輸送トレーラー載せ替え作業

- ・ クレーンによる支持架台付き乾式貯蔵キャスクの吊り上げは、10cm/min 程度の非

常に遅い速度で取り扱うものとする。

- ・ 吊り上げ高さが確実に 1m 以下となるように、吊り上げ高さを 50cm 程度以下で取り扱うように手順書に定める。
- ・ 乾式貯蔵キャスクは専用の水平吊り具を用いるため、水平を維持して取り扱うことができる。クレーンによる支持架台付き乾式貯蔵キャスクの水平移動は、500cm/min 程度の非常に遅い速度で取り扱うものとする。
- ・ 玉掛け合図者からクレーン運転者に連絡が取れるよう無線を用意する。また、専任の監視員は、玉掛け合図者を通してクレーン運転者に連絡が取れるように配置する。
- ・ 玉掛けの際、フックの外れ止めを確実に実施する。

4. 非常時の措置

(1) 乾式貯蔵キャスク落下

- ・ 万一、乾式貯蔵キャスクを 1m 高さから落下させた場合でも周辺公衆及び放射線業務従事者への放射線被ばく上の影響は十分に小さい。

5. 主要な設備

(1) 500t 級移動式クレーン

台数 1

(2) 搬送台車

台数 1

(3) ウインチ

個数 3 (1 個が手動, 2 個が電動) (建屋内)

2 (2 個とも電動) (建屋外)

(4) 水平吊り具

個数 1

(5) 輸送トレーラー

台数 1

6. 参考

参考-1 乾式貯蔵キャスクの 1m 落下時の放射線被ばく影響について

表 1-1 乾式貯蔵キャスクの搬出工程表

	平成 25 年		
	3	4	5
電源復旧（済）			
貯蔵棟 1 階水抜き（済）			
ガレキ撤去・搬出ルート修復・コンテナ等回収（済）			
建屋ブロック壁撤去（済）			
新設レール敷設（済）			
既設レール・搬送台車復旧（済）			
乾式貯蔵キャスク搬出			

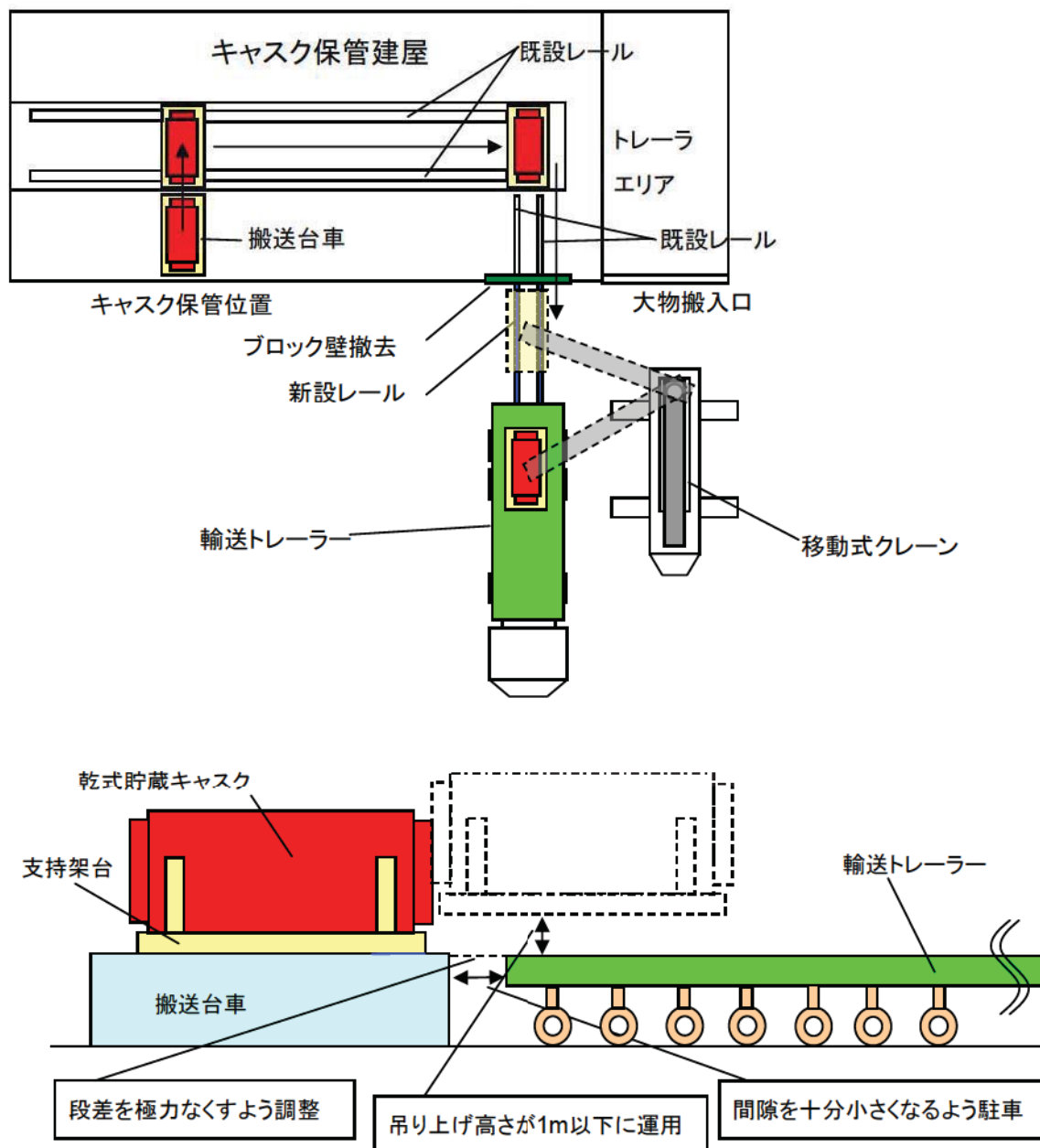


図 1-1 乾式貯蔵キャスク搬出方法の概念図

乾式貯蔵キャスクの 1m 落下時の放射線被ばく影響について

既設 9 基乾式貯蔵キャスクについては、建屋外での搬送台車から輸送トレーラーへの載せ替えは、移動式クレーンを使用して行う。その際、乾式貯蔵キャスクの吊り上げ高さを確実に 1m 以内に制限できる手順を定め、運用する予定である。

ここでは、大型の乾式貯蔵キャスクが 1m 落下した場合でも、周辺公衆及び放射線業務従事者への放射線被ばく上の影響は十分に小さいことを説明する。

1. 一次蓋密封部の発生応力評価

1.1. 評価条件

評価条件は以下とする。

- ・支持架台付きで取り扱う。
- ・水平吊り具を使用して、水平状態で取り扱う。
- ・輸送トレーラーの駐車位置は、搬送台車との距離を十分小さくし、隙間から乾式貯蔵キャスクが落下しないようにする。
- ・搬送台車荷台と輸送トレーラー荷台に段差が極力生じないように高さ調整をする。

1.2. 評価方法

1m 落下時に、乾式貯蔵キャスクの一次蓋密封部の発生応力が基準値（使用済燃料貯蔵施設規格 金属キャスク構造規格（2007 年版））を満足するかを評価する。評価方法は以下のとおりである。

- ・LS-DYNA コードを用いて、1m 落下時に乾式貯蔵キャスクにどの程度の鉛直方向加速度が生じるかを求める。
- ・ABAQUS コードを用いて、乾式貯蔵キャスクがトラニオン 4 箇所では水平に支持された状態で、上記で求めた鉛直方向加速度を慣性力として与え、また、工事計画認可申請書（以下、工認）に記載している最高使用圧力+ボルト初期締め付け力+熱荷重を同時に加えて、密封部の発生応力を求める。
- ・求められた発生応力が基準値を満足するかを評価する。

1.3. 評価結果

(1) 落下による最大加速度評価

LS-DYNA コードを用いて、1m 落下時に乾式貯蔵キャスクにどの程度の鉛直方向加速度が生じるかを求めた。支持架台は板厚 50mm の炭素鋼（SS400）の鋼板でトラニオンを支持しており、その部分の剛性は、乾式貯蔵キャスク本体及びトラニオンの剛性に比べて小さく、落下時にその部分の塑性変形で落下エネルギーが吸収される。

図 1-1 及び図 1-2 に、乾式貯蔵キャスク本体の鉛直方向の変位履歴図及び速度履歴

図をそれぞれ示す。乾式貯蔵キャスク本体の速度勾配は蓋側のトラニオン取付部が最も大きく、その加速度は 33.1G である。以下、約 5% の余裕を見て、35G が鉛直方向加速度として作用するとして応力評価を行う。

(2) 乾式貯蔵キャスクの一次蓋密封部の発生応力

ABAQUS コードを用いて、LS-DYNA コードで得られた鉛直方向加速度及び工認に記載している最高使用圧力＋ボルト初期締め付け力＋熱荷重を同時に加えて、乾式貯蔵キャスクの一次蓋密封部の発生応力を求めた。

考慮した荷重の具体的な値は、以下のとおりである。

- ・最高使用圧力：1.6MPa
- ・ボルト初期締め付け力： $3.372 \times 10^6 \text{N}$
- ・熱荷重：保守的に、最新工認（大型乾式貯蔵キャスク増設分）の乾式貯蔵キャスク各部の温度分布時に発生する荷重を使用^{※1}。
- ・LS-DYNA コードで得られた鉛直方向加速度：35G

一次蓋密封部の発生応力は胴フランジ断面最下部付近が最も大きく 58N/mm^2 である。また、一次蓋ボルトの最大応力は 109N/mm^2 である。

※1：既設 9 基乾式貯蔵キャスクの貯蔵燃料は 20 年以上冷却されており、増設分乾式貯蔵キャスクの貯蔵燃料の設計冷却期間 13 年以上を超えていることから、最新工認の熱荷重を使用することは保守的となる

(3) 基準値との比較

一次蓋密封部の胴フランジ及び一次蓋ボルトの基準値は、材料の降伏応力（ S_y ）であり、それぞれ

一次蓋密封部胴フランジ（GLF1）： $S_y = 181 \text{N/mm}^2$

一次蓋ボルト（GBL1）： $S_y = 649 \text{N/mm}^2$

である。このため、1m 落下での一次蓋密封部の胴フランジ及び一次蓋ボルトの裕度（基準値/発生応力）はそれぞれ

一次蓋密封部胴フランジ： $181/58 = 3.1$

一次蓋ボルト： $649/109 = 5.9$

となり、基準値を十分満足する。

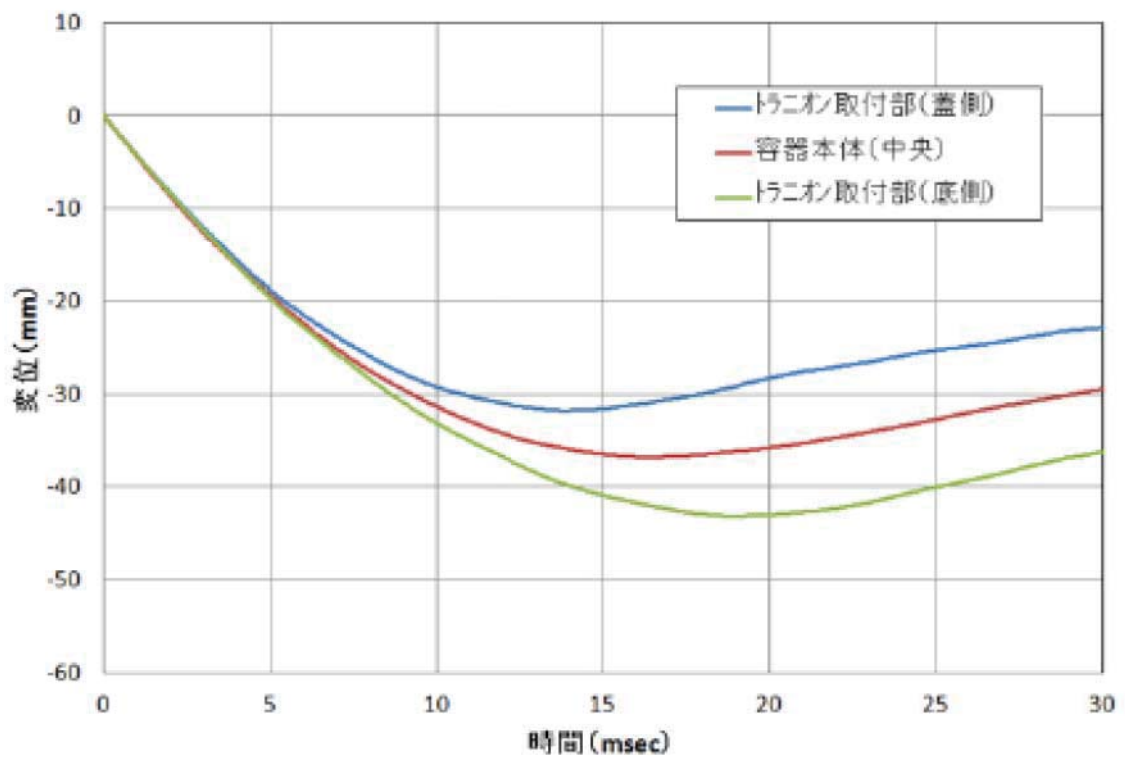


図 1-1 乾式貯蔵キャスク本体の鉛直方向の変位履歴図

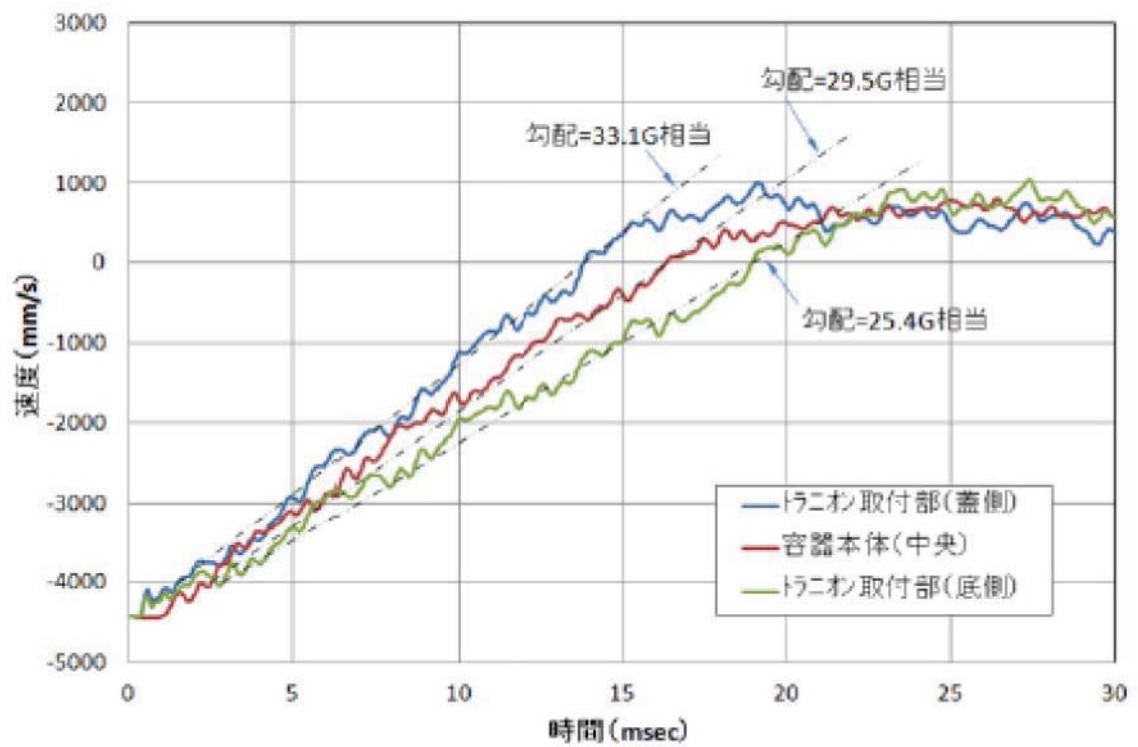


図 1-2 乾式貯蔵キャスク本体の鉛直方向の速度履歴図

衝撃計算に用いるコード(LS-DYNA)について

(1) 概要

LS-DYNA コードは米国 Livermore Software Technology Corporation (LSTC 社) からリリースされた汎用陽解法有限要素解析に基づく 3 次元非線形衝撃応答解析コードであり、輸送キャスクの衝撃解析等に広く利用されている。

(2) 機能

LS-DYNA コードは、衝撃解析に際して以下の機能を有している。

- ① 材料の非線形性を取り扱えるため、衝撃吸収材が衝撃時に降伏応力を超え、塑性変形することによって衝撃エネルギーを吸収することを考慮できる。
- ② 20 を超える接触オプションが有効であり、接触面には固着、剥離、接触、滑り、摩擦などの条件が設定できる。
- ③ 面と面の接触状態だけでなく、辺と辺、節点と面の接触も可能である。
- ④ 要素の消滅などの特殊な条件も扱うことができる。
- ⑤ 多数の金属、非金属材料モデルを有している。

(3) 解析フロー

LS-DYNA コードの解析フローを図 1-3 に示す。

(4) 使用実績

LS-DYNA コードは、これまで自動車分野をはじめ、多くの分野の衝撃解析に対して使用実績がある。

原子力分野では、返還ガラス固化体輸送用キャスクの核燃料輸送物設計承認書において、構造解析の解析コードとして使用されている実績がある。

(5) 検証方法

実験との比較による検証が実施されていることを確認している。

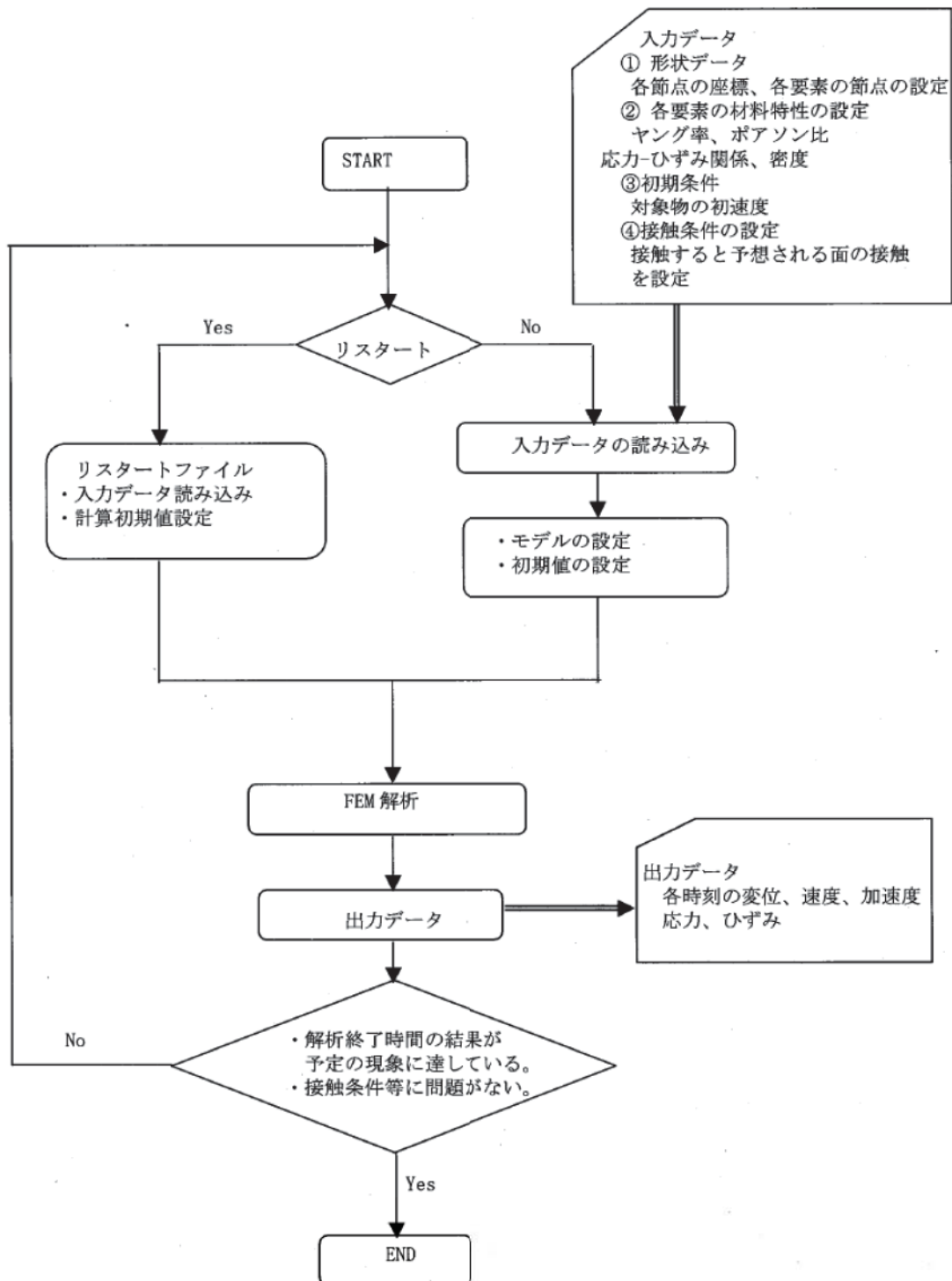


図 1-3 LS-DYNA コードの衝撃計算フロー図

構造強度計算に用いるコード (ABAQUS) について

(1) 概要

ABAQUS コードは米国 Hibbitt, Karlsson&Sorensen, Ins. (HKS 社) で開発された有限要素法に基づく応力・座屈解析等の汎用解析コードであり、輸送キャスクの応力解析等に広く利用されている。

(2) 機能

ABAQUS コードは、応力解析に際して以下の機能を有している。

- ① 定常、非定常の弾性、非弾性のいずれの解も得ることができる。
- ② 材料特性として時間依存、歪の履歴依存及び等方性・異方性等を考慮することができる。
- ③ モデルの形状は一次元～三次元、又は連続体についても取り扱うことができる。
- ④ 伝熱解析結果をそのまま境界条件として熱応力解析に用いることが可能である。
- ⑤ 荷重条件として集中荷重、分布荷重、モーメント、加速度力（慣性力）、圧力、遠心力及びコリオリ力等が取り扱える。また、これらの条件の時間依存、線形変化に対しても対応可能である。

(3) 解析フロー

ABAQUS コードの解析フローを図 1-4 に示す。

(4) 使用実績

ABAQUS コードは、これまで多くの応力解析に対し使用実績がある。

(5) 検証方法

理論値との比較による検証が実施されていることを確認している。

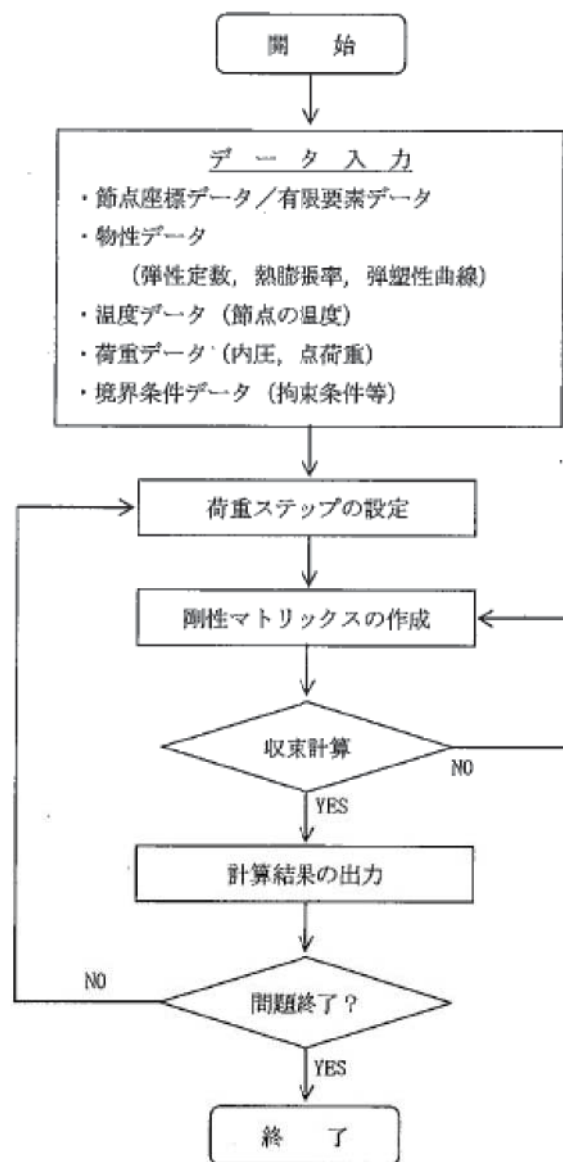


図 1-4 ABAQUS コードの応力解析フロー図

2. 一次蓋ずれを原因とした金属ガスケットからの瞬時漏えい率上昇の影響評価

2.1. 1m 落下試験

(1) 試験の概要

電力中央研究所において、実物大金属キャスク落下試験（69 体の BWR 燃料集合体を収納する乾式キャスクを模擬した試験体を用いた落下試験）が行われている^{※2}。その中で緩衝体を装着しない状態で 1m 高さから水平落下させた試験があり、一次蓋の変位及び瞬時漏えい率が測定されている。

※2：電力中央研究所報告 金属キャスク落下時瞬時漏えい評価－実物大金属キャスク落下試験－H18.12

(2) 試験結果からの類推

落下時の一次蓋の最大横ずれ量は約 0.4mm であり、一次蓋の口開きは認められていない。一次蓋金属ガスケットからのヘリウム漏えい率は、落下直後にバックグランドより一桁上昇し、10 分程度でバックグランドレベルまで復元、落下から 25 分程度経過してから再び一桁上昇し、更に 10 分程度でバックグランドレベルまで復元する現象が見られたが、この後 6 時間の計測中はバックグランドレベルのままであったことが確認されている。最終的に復元する原因については、金属ガスケット表面とキャスク本体のフランジ面とのなじみにより、金属ガスケット表面にできた隙間が解消されたものと考えられている。また、試験終了後、試験体を落下試験場から離れた工場に持ち込み、二回の密封検査を実施した結果、密封性が健全であることが確認されている。

乾式貯蔵キャスクの支持架台付き 1m 落下と電力中央研究所が行った 1m 水平落下試験を比較すると、金属ガスケットの熱劣化の有無と支持架台の有無の違いはあるが、概ねキャスク設計と落下条件は類似している。そのため、乾式貯蔵キャスクが支持架台付きで 1m 水平落下した場合、一次蓋の横ずれにより瞬時的に漏えい率が上昇する可能性はあるが、比較的短時間に復元するものと類推する。

一次蓋の横ずれにより瞬時的に漏えい率が上昇したとしても、乾式貯蔵キャスクの蓋間圧力は正圧、乾式貯蔵キャスク内部は負圧であることを踏まえると、乾式貯蔵キャスクを支持架台付きで 1m 落下した場合において、外部への核分裂生成物の漏えいはほとんどないと思われる。

2.2. 敷地境界線量の評価

ここでは、極めて保守的な例として、大型の乾式貯蔵キャスクの落下により、全ての貯蔵燃料の被覆管が損傷し、ガス状核分裂生成物がキャスク保管建屋前において短時間（1 時間）で全て放出されたとして敷地境界線量の評価を行った。

評価条件を表 2-1 に示す。敷地境界線量は、よう素の内部被ばく及び希ガスの γ 線

外部被ばくの和として計算した。結果は、

約 $2.5 \times 10^{-3} \text{mSv}$

となり、「発電用軽水型原子炉施設の安全評価に関する審査指針」（平成 2 年 8 月 30 日 原子力安全委員会決定 一部改訂 平成 13 年 3 月 29 日 原子力安全委員会）において、事故時における周辺公衆に対して著しい放射線被ばくのリスクを与えない判断基準である発生事故当たりの実効線量 5mSv に対して十分小さい結果となっている。更に、設計基準事象である「燃料集合体の落下」の設置許可申請書（6 号機）で評価された敷地境界線量である約 $4.3 \times 10^{-2} \text{mSv}$ よりも小さい値である。

以上より、極めて保守的な条件で敷地境界線量を評価した結果においても、周辺公衆に与える放射線被ばく上の影響は十分に小さい。

2.3. まとめ

大型の乾式貯蔵キャスクが水平架台付きで 1m 落下した場合でも、一次蓋密封部の胴フランジ及び一次蓋ボルトの発生応力はいずれも基準値を十分満足することを確認した。

また、類似の落下試験から、一次蓋の横ずれにより瞬時的に漏えい率が上昇する可能性はあるが、比較的短時間に復元するものと類推した。

なお、極めて保守的な条件で敷地境界線量を評価した場合においても、周辺公衆に与える放射線被ばく上の影響は十分に小さいことを確認した。実際には、乾式貯蔵キャスクの落下による貯蔵燃料の破損は仮定より少ないと思われること及び一次蓋の横ずれにより瞬時的に漏えい率が上昇したとしても、乾式貯蔵キャスクの蓋間圧力は正圧である一方、乾式貯蔵キャスク内部は負圧であることから、周辺公衆及び放射線業務従事者に与える放射線被ばく上の影響は十分軽微であると考ええる。

表 2-1 敷地境界線量の評価条件

評価手法	ORIGEN2 (インベントリ), 気象指針 ^{※1} (大気拡散), 線量目標値に対する評価指針 ^{※2} (放射線被ばく)
燃焼度	33GWd/t (保守的に, 実際の最大燃焼度を超えた燃焼度を設定)
冷却期間	8000 日 (保守的に, 実際の最小冷却期間より少ない期間を設定)
ペレットから被覆管ギャップへ 核分裂生成物が放出する割合	30% ^{※3}
実効放出継続時間	1 時間

※1 : 発電用原子炉施設の安全解析に関する気象指針 (昭和 57 年 1 月 28 日 原子力安全委員会決定 一部改訂 平成 13 年 3 月 29 日 原子力安全委員会)

※2 : 発電用軽水型原子炉施設周辺の線量目標値に対する評価指針 (昭和 51 年 9 月 28 日 原子力委員会決定 一部改訂 平成 13 年 3 月 29 日 原子力安全委員会)

※3 : H. Hayashi, M. Kitamura, T. Nomata, T. Kogai, K. Ito, T. Kubo, Y. Wakashima, H. Sakurai, " Irradiation Characteristics of BWR Step II Lead use Assemblies" , ANS International Topical Meeting on Light Water Reactor Fuel Performance, Portland, Oregon, U.S.A., March 2-6, (1997)

インベントリ計算に用いるコード (ORIGEN2) について

(1) 概要

ORIGEN2 コードは、米国オークリッジ国立研究所 (ORNL) で開発された炉内中性子束の 1 点近似による燃焼計算コードである。ORIGEN2 コードは汎用解析コードであり、輸送キャスクの崩壊熱計算等に広く利用されている。

(2) 機能

ORIGEN2 コードは、燃焼解析に際して以下の機能を有している。

- ① 燃料の炉内での燃焼計算、炉取出し後の減衰計算により、冷却期間に対応した崩壊熱、放射線の強度、各核種の放射エネルギー等が求められる。
- ② 原子炉の炉型と燃料の組合せに対し、中性子エネルギースペクトルの違いにより重みをつけた断面積ライブラリが内蔵されており、任意に選択できる。
- ③ 計算結果は、放射化生成物、アクチニド、核分裂生成物に分類して出力される。
- ④ 燃焼計算に必要な放射性核種データ (崩壊熱、ガンマ線のエネルギー分布、自発核分裂と (α , n) 反応により発生する中性子源強度等) に関しては、ORIGEN2 コード専用のライブラリがあり、これを用いる。

(3) 計算フロー

ORIGEN2 コードの計算フローを図2-1 に示す。

(4) 使用実績

ORIGEN2 コードは、輸送キャスク、核燃料施設の崩壊熱計算に広く使用されている
※1。

(5) 検証方法

汎用コードの導入評価※1が実施されていることが確認されている。
大型実験/ベンチマーク試験による検証※2 が実施されていることが確認されている。

※1 : A. G. Croff, “ ORIGEN2 Isotope Generation and Depletion Code MATRIX EXPONENTIAL METHOD ”, CCC-371 (1987)

※2 : (社) 日本原子力学会 “原子炉崩壊熱とその推奨値” , 1989 年 8 月

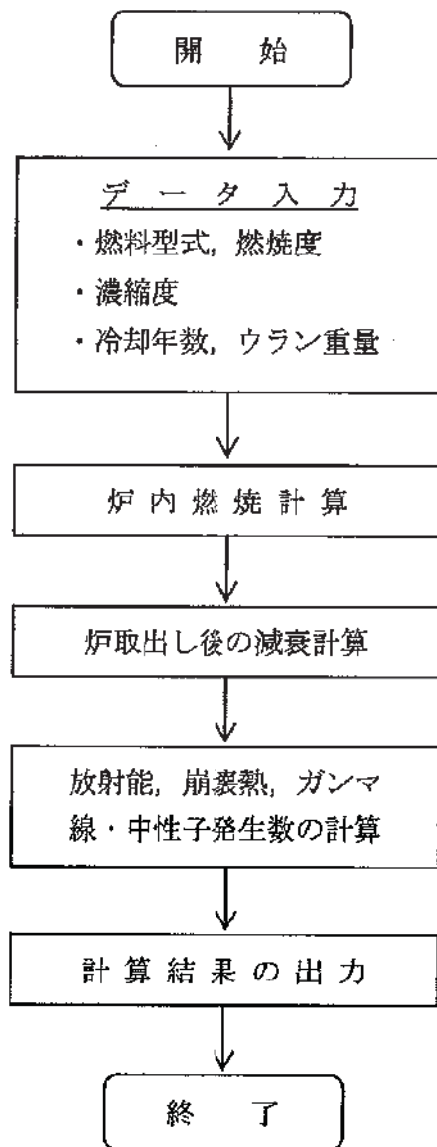


図 2-1 ORIGEN2 コードの計算フロー図

キャスク仮保管設備クレーンレーン間移動時の転倒について

1. クレーンレーン間移動手順

キャスク仮保管設備は複数のレーンに分かれており、どのレーンに乾式キャスクを設置するかにより、クレーンをレーン間移動させる必要がある。この時、クレーンのレーン間移動は以下の手順にて行う。

- (1) 図1のようにクレーンを待機位置(コンクリートモジュールとの最短距離が1000mm)に移動し、停止させる。
- (2) 図2のようにH鋼レールをクレーン走行装置の内側に設置し、図3のようにアンカーを用いて設置したレールズレ止めにより固定する。
- (3) 図2のようにH鋼レール上を移動できるように、逸走を防止するためのガイドローラが付いたチルトタンクと油圧ジャッキを取り付けた移動受台をH鋼レール上に乗せ、クレーンのトラックフレームの下に移動する。
- (4) 図1のように電動チルトホールまたは電動ウインチ、おしめチルトホール、ワイヤロープ、滑車を取り付ける。
- (5) 油圧ジャッキを操作してクレーンを押し上げ、車輪がレールから浮き上がった状態にする。
- (6) 電動チルトホールまたは電動ウインチを操作して、横行方向に移動させる。また、逸走防止を目的として同時におしめチルトホールを併用して移動操作を行う。
- (7) クレーンが移動レーンのレール上にあることを確認し、油圧ジャッキを操作して走行レール上に降ろす。

2. レーン間移動中の逸走評価

クレーンが本設レール上にある時に地震(基準地震動 S_s)により鉛直方向と走行方向に同時に加震された場合と鉛直方向と横行方向に同時に加震された場合について非線形時刻歴応答解析を実施した結果、クレーンの走行方向への滑り量は最大で約330mmであった。

レーン間移動時に地震が発生した場合、クレーンは基礎上面を逸走する可能性があるが、以下の点よりクレーンの逸走量は330mmを下回ると考えられる。

- ・車輪とレールの摩擦係数が0.3であるのに対し、車輪とコンクリートの摩擦係数は0.4程度であり、逸走に対する抵抗が大きい。
- ・図2のように、クレーンの走行部の間にレーン間移動用のH鋼を設置することから、クレーンの逸走を阻害することになる。

以上からクレーンとコンクリートモジュールの最短距離を1000mm 確保することで、クレーンが逸走したとしても、モジュールに衝突することを防ぐことができる。

3. レーン間移動中の転倒評価

レーン間移動中に最もクレーンが乾式キャスク設置の位置側に傾く事象として、クレーンが乾式キャスク設置側にある油圧ジャッキより脱落し、かつ地震によりクレーンの脚が浮き上がる場合が考えられる。

クレーンをジャッキアップした状態で片側の油圧ジャッキが外れる事象を想定した場合、ジャッキアップの量及び油圧ジャッキの配置等から、図4のように乾式キャスク設置位置と逆側の車輪は基礎から82mm程度浮き上がる。

さらに地震（基準地震動Ss）によりクレーンが浮き上がる場合を考える。クレーンが本設レール上にあるときに、地震により鉛直方向と走行方向に同時に加震された場合と鉛直方向と横行方向に同時に加震された場合について非線形時刻歴応答解析を実施した結果、クレーンの脚は最大で11mm浮き上がると評価されている。このクレーン脚の最大浮き上がり量11mmをクレーンの重心位置の浮き上がり量として扱うことにより、保守的な条件として浮き上がり量11mmを仮定する。

クレーンの重心の浮き上がり量を11mmと仮定した場合、乾式キャスク設置位置と逆側の脚が最も浮き上がるのは、乾式キャスク設置側の脚が浮き上がらない時であり、その浮き上がり量は脚と浮き上がり量算定位置（クレーンの重心位置または片側の脚）間のスパン長比による線形補間から求めると、22mmになる。

以上から脚の浮き上がり量は最大で104mm(=82mm+22mm)となる。

クレーンが乾式キャスク設置側に転倒する場合における乾式キャスク設置位置と逆側の車輪の浮上がり量は5700mm程度であることから、クレーンが乾式キャスク設置側に転倒することはない。またクレーンが待機位置から乾式キャスク方向に330mm逸走し、乾式キャスク設置側に傾いても乾式キャスクと衝突しない乾式キャスク設置位置と逆側の車輪の浮上がり量は参考資料のように4600mm程度であることから、クレーンが乾式キャスクに衝突することはない。

4. レーン間移動中のクレーンの回転移動評価

図5のように、クレーンが乾式キャスク設置位置と逆側にある油圧ジャッキの内一本を中心に回転した場合は、他の位置を回転中心とした場合に比べて、クレーンが乾式キャスクに最も接近しやすい保守的な条件であることから、この条件について評価を行う。

クレーンが回転しチルトタンクがH鋼レールから落ちた場合、もしくはクレーンが油圧ジャッキから落ちた場合については、クレーンの車輪とコンクリートとの摩擦係数が0.4程度であり、本設レールとクレーンの車輪との摩擦係数0.3に比べて摩擦による影響が大きくなる。このことから、本設レール上にクレーンが上載している条件により、基準地震動Ssを用いた非線形時刻歴応答解析を実施した結果（クレーンの重心の移動量330mm）は、レーン間移動中に当てはめると保守的な数値であると考えられる。

したがって、レーン間移動中のクレーンの重心の移動量を330mmと仮定し、クレーンの回

転による脚の最大移動量を推定すると、図5のように約700mm程度となる。なお、図2のように、クレーンの走行部の間にレーン間移動用のH鋼を設置することから、クレーンの回転を阻害することになり、クレーンの脚の移動量は700mmを下回ると考えられる。

以上からクレーンとコンクリートモジュールの最短距離を1000mm確保することで、クレーンが回転したとしても、モジュールに衝突することを防ぐことができる。

5. 結論

レーン間移動を行う場所は図1のように第三レーンのコンクリートモジュールとクレーンの距離が1000mmとなる位置としており、この場合以下のことがいえる。

- ・ クレーンのレール間移動中に地震が起きた場合に、クレーンが走行方向に逸走すると、その距離は330mm以下であり、コンクリートモジュールに衝突することはない。
- ・ 地震によるクレーンの脚の最大浮き上がり量は104mmとなり、クレーンが停止位置から330mm逸走した後にクレーンが傾いてコンクリートモジュールに衝突する脚の浮き上がり量が4600mmであることから、クレーンが地震により浮き上がってもコンクリートモジュールに衝突することはない。
- ・ 移動受台の反乾式キャスク側の油圧ジャッキ一本を中心にクレーンが回転した場合、乾式キャスク側の脚の移動量は700mm以下であり、コンクリートモジュールにクレーンが衝突することはない。

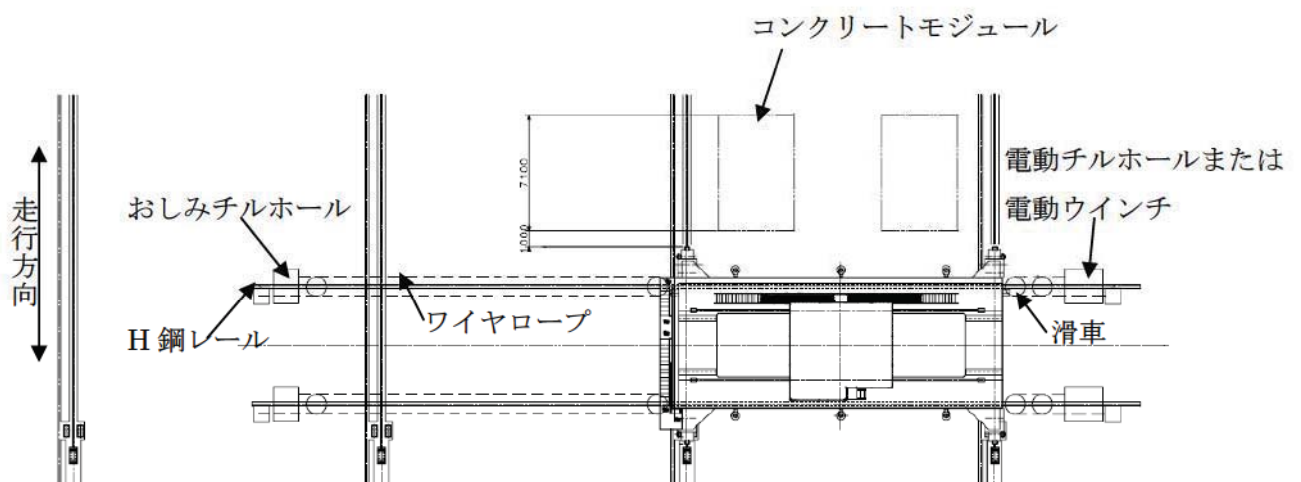


図1 レーン間移動時機材配置図

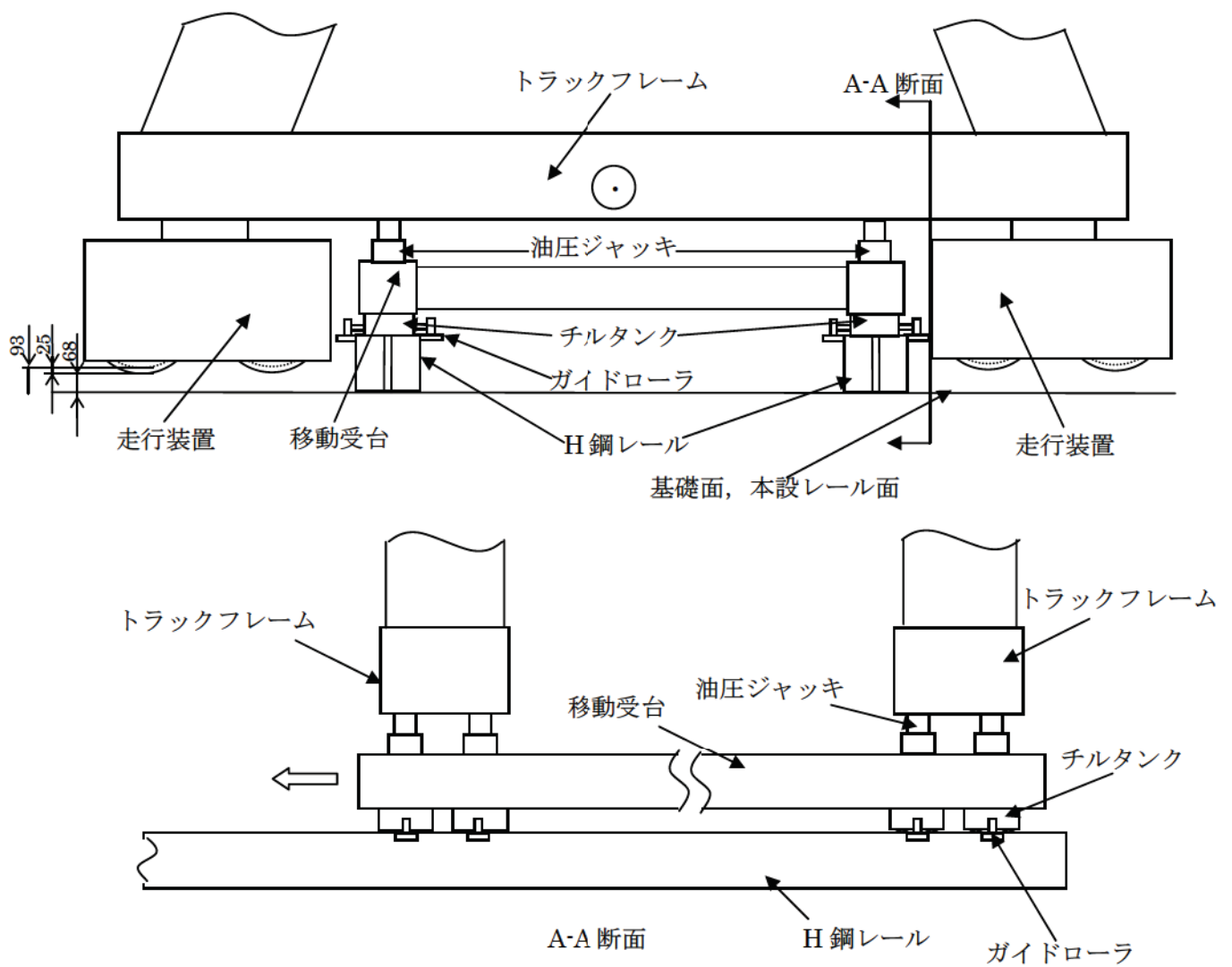


図2 クレーンジャッキアップ時概略図

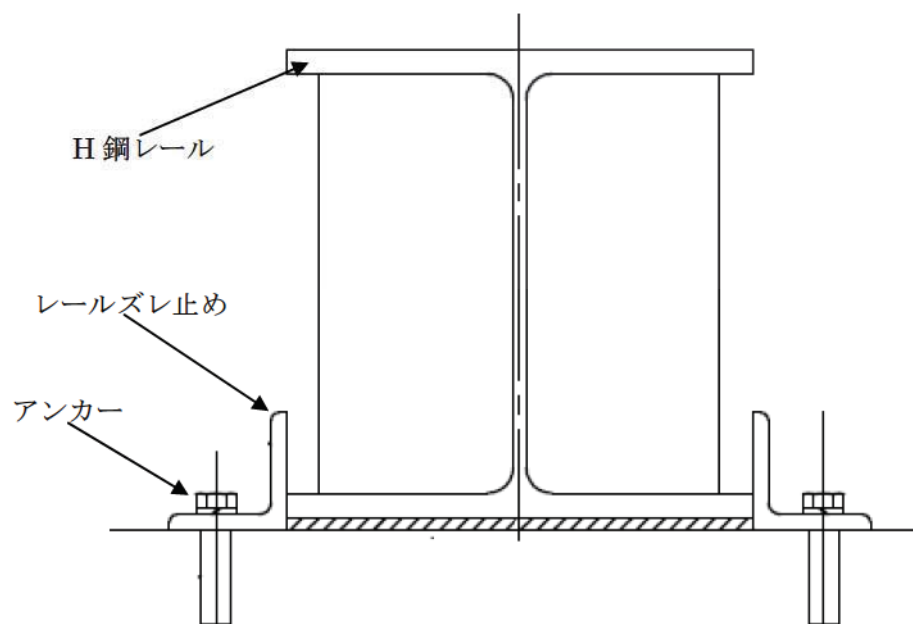


図3 H鋼レール拡大図

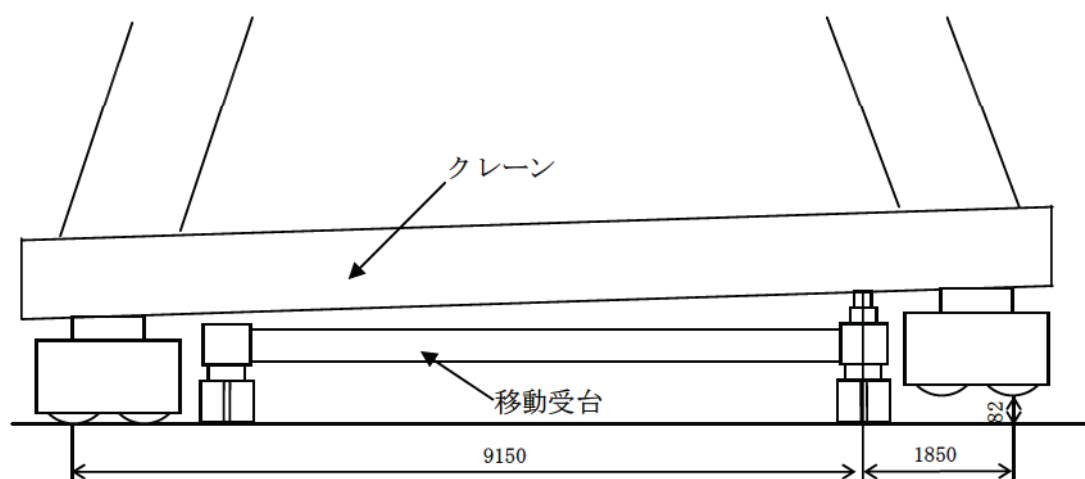


図4 油圧ジャッキが外れた場合の概略図

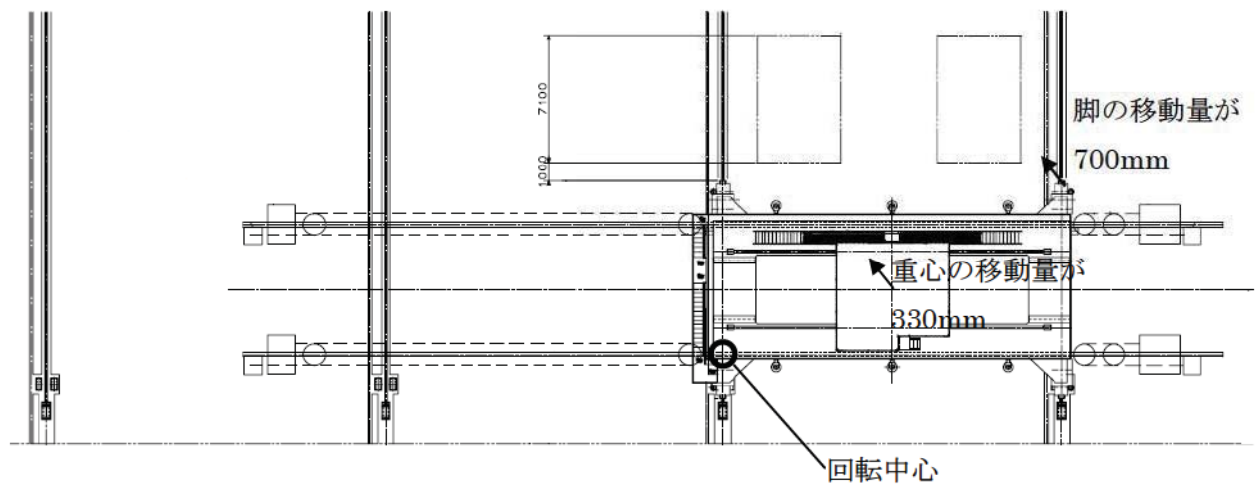


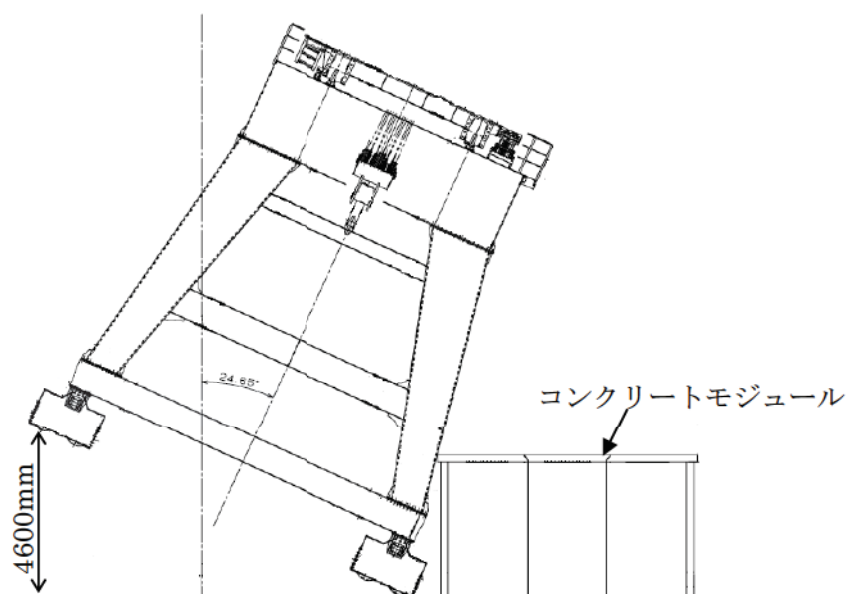
図5 クレーン回転時の説明図

クレーンがコンクリートモジュールに衝突する浮上がり量について

クレーンがコンクリートモジュールに衝突する脚部浮上り量を以下のように考える。

1. レーン間移動を行う場所を第三レーンのコンクリートモジュールとクレーンの距離が1000mmとなる位置とする。
2. クレーンの位置は走行方向に330mm逸走することを考慮し、評価を行う。

上記条件の下で評価を行った結果、参考図1のように乾式キャスク設置位置と逆側の脚が4600mm以上持ち上がると、クレーンはコンクリートモジュールに衝突する



参考図 1 脚の浮上がり量

キャスク仮保管設備に係る確認事項について

キャスク仮保管設備の設置工事および溶接に係る主要な確認項目を表 1～11 に示す。
尚、寸法許容範囲については製作誤差等を考慮の上、確認前に定める。

表 1 確認事項（乾式貯蔵キャスク（増設））（1/2）

確認事項	確認項目		確認内容	判定基準
構造強度・耐震性	材料確認		実施計画に記載されている主な材料について確認する。	実施計画のとおりであること。
	強度・漏えい確認	耐圧・漏えい確認	確認圧力で保持した後、確認圧力に耐えていることを確認する。 耐圧確認終了後、耐圧部分からの漏えいの有無を確認する。	確認圧力に耐え、かつ構造物の変形等がないこと。 また、耐圧部から著しい漏えいがないこと。
構造強度・耐震性 遮へい機能	構造確認	寸法確認	実施計画に記載されている主要寸法を確認する。	寸法が許容範囲内であること。
		外観確認	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
		据付確認	機器の据付位置、据付状態について確認する。	実施計画の通りに施工・据付されていること。
除熱機能	機能確認	伝熱確認	代表一基について容器内部に使用済燃料を模擬するヒータを挿入して発熱させ、温度を確認する。	周囲温度を補正した温度が最高使用温度以下であること。
密封機能	機能確認	気密漏えい確認	ヘリウムリーク法及び真空放置法により、漏えい率を確認する。	基準漏えい率以下であること。
臨界防止機能	機能確認	未臨界確認	バスケットの材料特性及び主要寸法が、実施計画の評価の前提条件となっている値を満足していることを確認し、バスケットの外観に異常のないことを確認する。	・設計の材料特性に適合し、寸法が許容範囲内であること。 ・有意な変形、破損等の異常がないこと。
監視	機能確認	密封監視機能確認	検査用計器により指示値を変化させ、設定値どおり警報及び表示灯が作動することを確認する。	許容範囲以内で警報及び表示灯が作動すること。
		除熱監視機能確認	検査用計器により指示値を変化させ、設定値どおり警報及び表示灯が作動することを確認する。	許容範囲以内で警報及び表示灯が作動すること。

表 1 確認事項（乾式貯蔵キャスク（増設））(2/2)

確認事項	確認項目		確認内容	判定基準
構造強度・耐震性	溶接確認※	材料確認	溶接に使用する材料が溶接規格等に適合するものであることを確認する。	計画書のとおりであること。
		開先確認	開先面の状態，開先形状及び各部寸法等を確認する。	・有意な欠陥がないこと。 ・計画書のとおりであること。
		溶接作業確認	溶接規格等に適合していることが確認された溶接施工法及び溶接士により溶接施工しているかを確認する。	計画書，溶接規格のとおりであること。
		溶接後熱処理確認	溶接後熱処理の方法等が計画書及び溶接規格等に適合するものであることを確認する。	計画書及び溶接規格等に適合するものであること
		非破壊確認	溶接部について非破壊確認を行い，その試験方法及び結果が溶接規格等に適合するものであることを確認する。	溶接規格等に適合するものであること
		機械確認	溶接部について機械試験をおこない，当該溶接部の機械的性質が溶接規格等に適合するものであることを確認する。	溶接規格等に適合するものであること
		耐圧・外観確認	規定圧力で耐圧確認を行い，これに耐え，かつ，漏えいがないことを確認する。	規定圧力に耐え，かつ，漏えいがないこと。

※溶接の概要は表 12 参照

但し，詳細は事業者の定める溶接事業者検査計画書による。

表 2 確認事項（乾式貯蔵キャスク（既設））

確認事項	確認項目		確認内容	判定基準
構造強度・耐震性	構造確認	外観確認	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
		据付確認	機器の据付位置、据付状態について確認する。	実施計画の通りに施工・据付されていること。
除熱機能	機能確認	温度確認	胴部表面の温度について確認する。	表面温度が警報設定値未満であること。
遮へい機能	機能確認	線量当量率確認	胴部表面の線量当量率及び表面から1m位置での線量当量率を確認する。	設計基準値以下であること。
密封機能	機能確認	気密漏えい確認	ヘリウムリーク法及び真空放置法により、漏えい率を確認する。	基準漏えい率以下であること。
臨界防止機能	構造確認	外観確認	先行点検する1基について、バスケット（上部から全体外観）の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
監視	機能確認	密封監視機能確認	検査用計器により指示値を変化させ、設定値どおり警報及び表示灯が作動することを確認する。	許容範囲以内で警報及び表示灯が作動すること。
		除熱監視機能確認	検査用計器により指示値を変化させ、設定値どおり警報及び表示灯が作動することを確認する。	許容範囲以内で警報及び表示灯が作動すること。

表 3 確認事項（輸送貯蔵兼用キャスク）(1/2)

確認事項	確認項目		確認内容	判定基準
構造強度・耐震性	材料確認※		実施計画に記載されている主な材料について確認する。	実施計画のとおりであること。
	強度・漏えい確認	耐圧・漏えい確認※	確認圧力で保持した後、確認圧力に耐えていることを確認する。 耐圧確認終了後、耐圧部分からの漏えいの有無を確認する。	確認圧力に耐え、かつ構造物の変形等がないこと。 また、耐圧部から著しい漏えいがないこと。
構造強度・耐震性 遮へい機能	構造確認	寸法確認※	実施計画に記載されている主要寸法を確認する。	寸法が許容範囲内であること。
		外観確認※	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
		据付確認	機器の据付位置、据付状態について確認する。	実施計画の通りに施工・据付されていること。
除熱機能	機能確認	伝熱確認	代表一基について容器内部に使用済燃料を模擬するヒータを挿入して発熱させ、温度を確認する。	周囲温度を補正した温度が最高使用温度以下であること。
密封機能	機能確認	気密漏えい確認	ヘリウムリーク法等により、漏えい率を確認する。	基準漏えい率以下であること。
臨界防止機能	機能確認	未臨界確認	バスケットの材料特性及び主要寸法が、実施計画の評価の前提条件となっている値を満足していることを確認し、バスケットの外観に異常のないことを確認する。	・設計の材料特性に適合し、寸法が許容範囲内であること。 ・有意な変形、破損等の異常がないこと。
監視	機能確認	密封監視機能確認	検査用計器により指示値を変化させ、設定値どおり警報及び表示灯が作動することを確認する。	許容範囲以内で警報及び表示灯が作動すること。
		除熱監視機能確認	検査用計器により指示値を変化させ、設定値どおり警報及び表示灯が作動することを確認する。	許容範囲以内で警報及び表示灯が作動すること。

※炉規制法第四十三条の九に則って使用前検査を実施しているときは、これをもって確認とする。

表 3 確認事項（輸送貯蔵兼用キャスク）(2/2)

確認事項	確認項目		確認内容	判定基準
構造強度・耐震性	溶接確認※	材料確認	溶接に使用する材料が溶接規格等に適合するものであることを確認する。	計画書のとおりであること。(設計仕様のとおり又は相当の材料であること)
		開先確認	開先面の状態，開先形状及び各部寸法等を確認する。	・有意な欠陥がないこと。 ・計画書のとおりであること。
		溶接作業確認	溶接規格等に適合していることが確認された溶接施工法及び溶接士により溶接施工しているかを確認する。	計画書，溶接規格のとおりであること。
		溶接後熱処理確認	溶接後熱処理の方法等が計画書及び溶接規格等に適合するものであることを確認する。	計画書及び溶接規格等に適合するものであること
		非破壊確認	溶接部について非破壊確認を行い，その試験方法及び結果が溶接規格等に適合するものであることを確認する。	溶接規格等に適合するものであること
		機械確認	溶接部について機械試験をおこない，当該溶接部の機械的性質が溶接規格等に適合するものであることを確認する。	溶接規格等に適合するものであること
		耐圧・外観確認	規定圧力で耐圧確認を行い，これに耐え，かつ，漏えいがないことを確認する。	規定圧力に耐え，かつ，漏えいがないこと。

※炉規制法第四十三条の十に則って溶接の方法及び検査に係る認可や検査を実施しているときは，これをもって確認とする。

表 4 確認事項（乾式キャスク支持架台（乾式貯蔵キャスク増設分））

確認事項	確認項目		確認内容	判定基準
構造強度・耐震性	材料確認		実施計画に記載されている主な材料について確認する。	実施計画のとおりであること。
	構造確認	寸法確認	実施計画に記載されている主要寸法を確認する。	寸法が許容範囲内であること。
		員数確認	固定ボルトの本数	片側に6本あること
		据付確認	機器の据付位置、据付状態について確認する。	実施計画の通りに施工・据付されていること。

表 5 確認事項（乾式キャスク支持架台（乾式貯蔵キャスク既設分））

確認事項	確認項目		確認内容	判定基準
構造強度・耐震性	構造確認	外観確認	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
		員数確認	固定ボルトの本数	片側に6本あること
		据付確認	機器の据付位置、据付状態について確認する。	実施計画の通りに施工・据付されていること。

表 6 確認事項（乾式キャスク支持架台（輸送貯蔵兼用キャスク分））

確認事項	確認項目		確認内容	判定基準
構造強度・耐震性	材料確認		実施計画に記載されている主な材料について確認する。	実施計画のとおりであること。
	構造確認	寸法確認	実施計画に記載されている主要寸法を確認する。	寸法が許容範囲内であること。
		員数確認	固定ボルトの本数	1箇所 to 7本あること
		据付確認	機器の据付位置、据付状態について確認する。	実施計画の通りに施工・据付されていること。

表 7 確認事項（コンクリートモジュール）

確認事項	確認項目		確認内容	判定基準
構造強度・耐震性	材料確認		実施計画に記載されている主な材料について確認する。	実施計画のとおりであること。
	構造確認	寸法確認	実施計画に記載されている主要寸法を確認する。	寸法が許容範囲内であること。
		員数確認	ベースプレートのアンカーの本数の確認	1つのプレートで3本あること
		据付確認	機器の据付位置、据付状態について確認する。	実施計画の通りに施工・据付されていること。
除熱機能	構造確認	寸法確認	実施計画に記載されている給気口の寸法を確認する。	寸法が許容範囲内であること。
		外観確認	コンクリートモジュールの外観、給気口について確認する。	実施計画の通りに施工されていること。

表 8 確認事項（クレーン）

確認事項	確認項目		確認内容	判定基準
構造強度・耐震性	材料確認		実施計画に記載されている主な材料について確認する。	実施計画のとおりであること。
	構造確認	寸法確認	実施計画に記載されている主要寸法を確認する。	寸法が許容範囲内であること。
		外観確認	クレーンの外観について確認する。	実施計画の通りに施行されていること。
		据付確認	機器の据付位置、据付状態について確認する。	実施計画の通りに施工・据付されていること。
性能	機能確認	容量確認	容量及び所定の動作について確認する。	横行、走行、巻き上げ、巻き下げが可能なこと。

表 9 確認事項（エリア放射線モニタ）

確認事項	確認項目		確認内容	判定基準
監視	構造確認	外観確認	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
		据付確認	機器の据付位置、据付状態について確認する。	実施計画の通りに施工・据付されていること。
	機能確認	警報確認	設定値通り警報及び表示灯が作動することを確認する。	許容範囲以内で警報及び表示灯が作動すること。
	性能確認	線源校正確認	標準線源を用いて線量当量率を測定し、各検出器の校正が正しいことを確認する。	基準線量当量率に対する正味線量当量が、許容範囲以内であること。
		校正確認	モニタ内のテスト信号発生部により、データ収集装置に各校正点の基準入力を与え、その時のデータ収集装置の指示値が正しいことを確認する。	データ収集装置の各指示値が許容範囲以内に入っていること。

表 10 確認事項（地盤）

確認事項	確認項目		確認内容	判定基準
構造強度・耐震性	構造確認	寸法確認	地盤改良範囲を確認する。	地盤改良範囲が、実施計画に記載されている寸法に対して、許容値を満足すること。
		強度確認	地盤改良強度を確認する。	地盤改良強度が、実施計画に記載されている設計強度に対して、J E A G 4616-2009に記載の基準を満足すること。

表 11 確認事項（基礎コンクリート）

確認事項	確認項目		確認内容	判定基準
構造強度・ 耐震性	材料確認		実施計画に記載されている主な材料について確認する。	実施計画のとおりであること。
	構造確認	寸法確認	実施計画に記載されている主要寸法を確認する。	各寸法が、実施計画に記載されている寸法に対して、許容値を満足すること。
		強度確認	コンクリート強度を確認する。	コンクリート強度が、実施計画に記載されている設計強度に対して、コンクリート標準示方書に記載の基準を満足すること。

表 12 乾式貯蔵キャスクの溶接概要

適用基準	「発電用原子力設備に関する技術基準を定める省令の解釈について (平成 17・12・15 原院第 5 号制定, 平成 23・09・09 原院第 2 号)」
機器の区分 【設備区分】	クラス 3 容器 【燃料設備】
溶接施工法 ^{注)}	J+A+TB, ST (クラッド) +TB (クラッド) , ST (クラッド) +TB (クラッド) +TB (クラッド) * J+TB, M+TB (2 種類) , TB (2 種類) *: 溶接後熱処理後に TB (クラッド) の溶接を行う

注) 溶接工法の略称については発電用原子力設備規格 溶接規格 JSME S NB1-2007

第 2 部 溶接施工法認証標準による。