

リサイクル燃料備蓄センター設工認
設 2-補-002 改 2
2022 年 6 月 24 日

リサイクル燃料備蓄センター
設計及び工事の計画の変更認可申請書
(補足説明資料)

使用済燃料等の閉じ込めについて

令和 4 年 6 月

リサイクル燃料貯蔵株式会社

目次

1. 目的	1
2. 電力中央研究所の密封性能試験結果を適用することの妥当性	1
3. 閉じ込め機能の異常時の対応について	<u>6</u>

1. 目的

本資料は、今回申請する金属キャスクの基準漏えい率の根拠とした試験結果の妥当性及び閉じ込め異常に対する設計上の考慮や運用方針（設計の実現性）について補足し、今回申請する金属キャスクによる閉じ込めについてより詳しく説明するものである。

2. 電力中央研究所の密封性能試験結果を適用することの妥当性

2.1 妥当性の考え方

BWR用大型キャスク（タイプ2 A）の閉じ込め評価では、第2-1図に示す電力中央研究所で実施された長期密封性能試験結果⁽¹⁾を基に、BWR用大型キャスク（タイプ2 A）に使用する金属ガスケットは長期貯蔵中における応力緩和による漏えい率への影響を考慮しても、設計貯蔵期間（60年）を通じて初期の漏えい率が維持できることを示している。

上記に加え、第2-2図に示す電力中央研究所で実施された実規模の金属キャスク蓋部モデルによる長期密封性能試験結果⁽²⁾からも金属ガスケットの漏えい率が維持できることを補足的に説明している。

これらの試験で使用した金属ガスケットとBWR用大型キャスク（タイプ2 A）の金属ガスケットの仕様比較及び仕様相違点に対する評価を第2-1表に示す。第2-1表に示すとおり、仕様の一部（断面径及び内径）について相違点はあるが、BWR用大型キャスク（タイプ2 A）の閉じ込め評価において、電力中央研究所の試験結果を適用することは妥当である。

2.2 参考文献

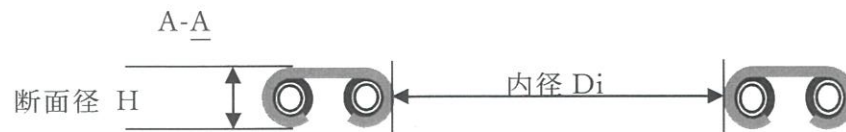
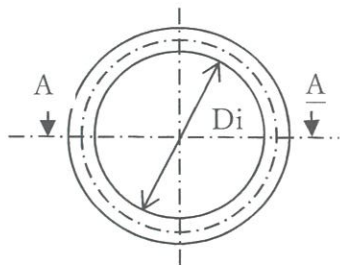
- (1) 加藤治, 伊藤千浩, 「電力中央研究所報告 使用済燃料貯蔵容器用ガスケットの長期密封特性」, (一財)電力中央研究所, U92009 (平成4年7月)
- (2) (一財)電力中央研究所, 「平成21年度 リサイクル燃料資源貯蔵技術調査等 (中間貯蔵設備等長期健全性等試験) 報告書」 (2010年3月)
- (3) (財)原子力発電技術機構, 「平成12年度 リサイクル燃料資源貯蔵技術確証試験 (金属キャスク貯蔵技術確証試験) 報告書」 (平成13年3月)
- (4) 加藤治, 伊藤千浩, 三枝利有, 「使用済燃料貯蔵キャスクの長期密封性能評価手法の開発」, 日本原子力学会誌, Vol. 38, No. 6 (1996)

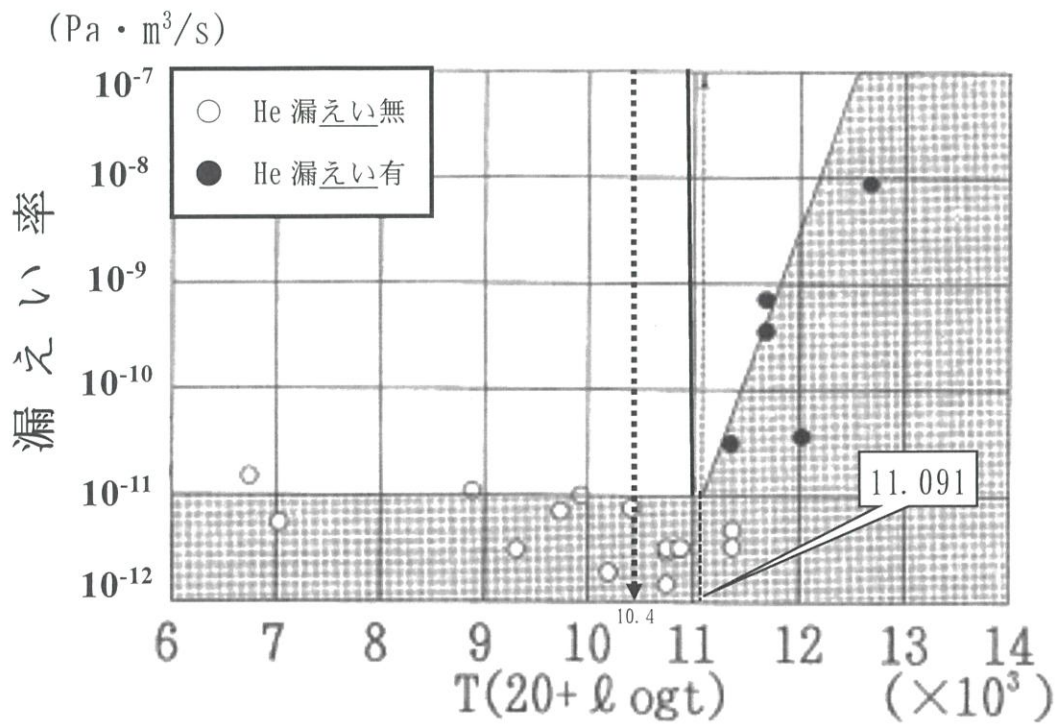
第 2-1 表 金属ガスケットの仕様比較及び仕様相違点に対する評価

(申請書 添付書類 3 (添付 2-1-1) 別添 2-1 表)

項目	電力中央研究所の 長期密封性能試験		タイプ 2 A	仕様相違点に対する評価	
	要素試験 ⁽¹⁾	実規模試験 ⁽²⁾			
タイプ	ばね入りメタルCリング			相違なし	
材 質	外被材：アルミニウム 内被材：ニッケル基合金 コイルスプリング：ニッケル基合金			相違なし	
H：断面径 (mm)	一次蓋	5.5	6.1 * ¹	10	原子力発電技術機構で実施された金属ガスケットの密封性能試験において、断面径が大きいものほど高い LMP 値まで漏れにくい傾向があることが報告されている ⁽³⁾ 。 BWR用大型キャスク(タイプ 2 A)の金属ガスケット断面径は電力中央研究所の試験と同等であり、BWR用大型キャスク(タイプ 2 A)の金属ガスケットの閉じ込め性能は電力中央研究所の試験で用いられたガスケットと同等である。
	バルブカバー		—	5.6	
Di：内径 (mm)	一次蓋	176	1767 * ¹	~1700 程度	金属ガスケットの周長の違いによるクリープ変形の閉じ込め性能への影響は無いと評価されている ⁽⁴⁾ 。したがって、内径の違いは、初期の漏えい率を長期間維持できるかという観点では影響は無い。
	バルブカバー		—	~100 程度	

注記*1：実規模試験の断面径(H)及び内径(Di)は、漏えい率測定を実施した二次蓋の値を示す。



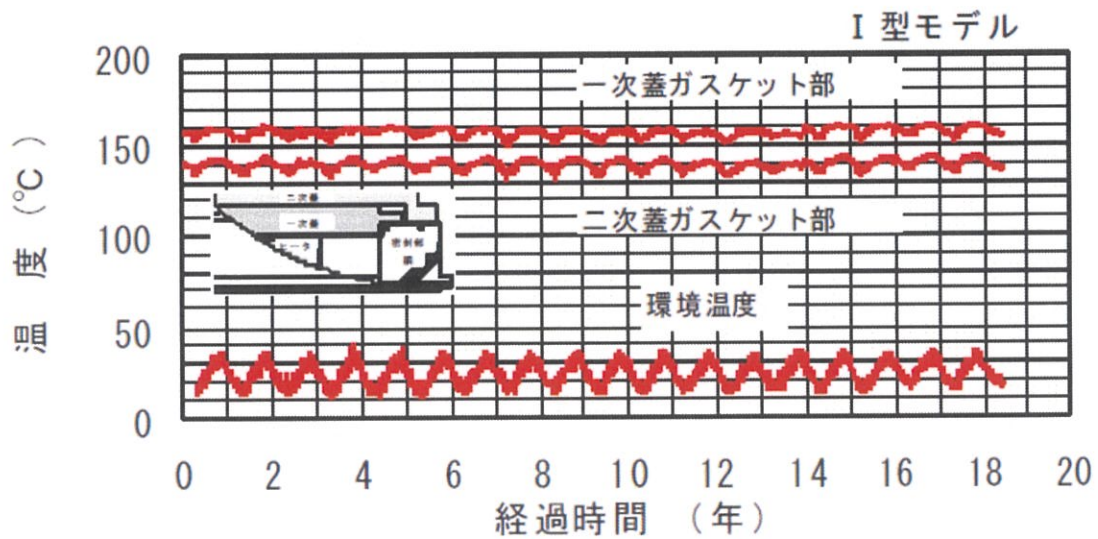
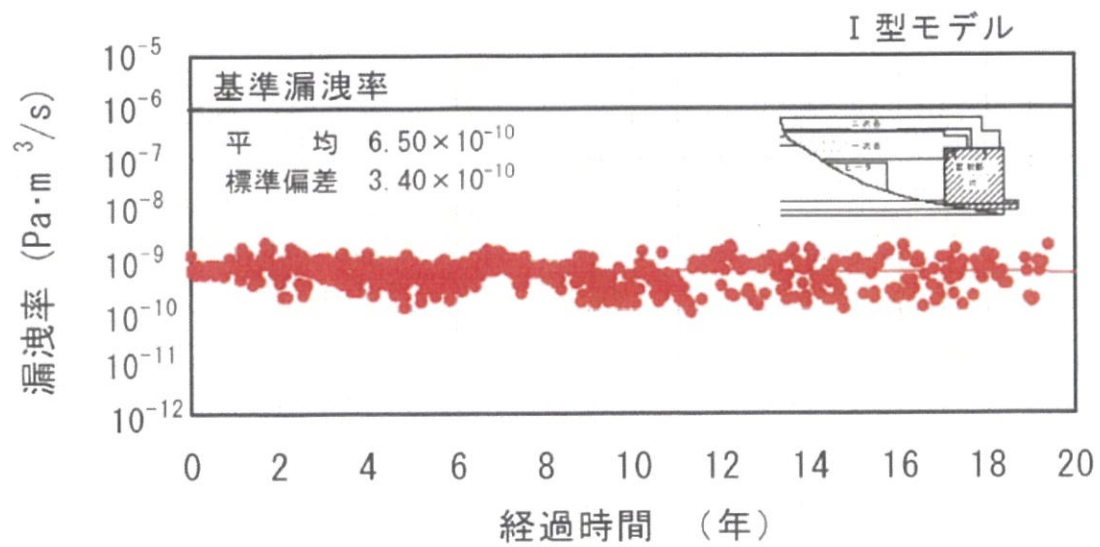


$$LMP = T \cdot (20 + \log t)$$

T : 温度 (K)

t : 時間 (h)

第2-1図 LMPの定数C=20における漏えい率とLMP⁽¹⁾
(申請書 添付書類3 (添付2-1-1) 第5図)



第 2-2 図 金属ガスケット（二次蓋）の長期密封性能試験結果（眼鏡型）⁽²⁾
 （申請書 添付書類 3（添付 2-1-1）別添 2-2 図）

3. 閉じ込め機能の異常時の対応について

3.1 蓋間圧力低下時の対応

蓋間圧力については、警報の他に圧力の経時的な変化についても監視を行う。

「蓋間の圧力が急激に低下する場合」は、蓋部の閉じ込め機能の異常による漏えい率の著しい変化が有る状態（基準漏えい率を超える場合）を意味し、蓋間圧力の経時変化（圧力低下）として観測されることになる。その場合には、外部に漏れてきたヘリウムガスをスニッファープローブで吸い込み、漏れを検出する方法（ヘリウム漏れ試験（スニッファーク法））により漏えい箇所を調査し、漏えいが認められれば、二次蓋金属ガスケットの交換、蓋間圧力監視装置の継手部点検（例：増締め）もしくは部品交換を行う。

「徐々に圧力が低下する場合」とは、通常の状態（基準漏えい率以下）を意味し、蓋間圧力の低下は年単位で非常にゆっくりした変化であることから、運用管理面では蓋間圧力が警報設定値に達すれば、ヘリウムの再充填を行うこととなる。

蓋間空間に約 10 回を超える再充填が必要となる可能性が予見される場合は、金属キャスク搬出の検討を行う。

(1) 蓋間圧力監視装置からの漏えい時の対応

蓋間圧力監視装置（圧力検出部）の構成図（表示、記録装置を除く。）を第3-1図に示す。

蓋間圧力監視装置の圧力検出部で漏えいの可能性がある部位としては、溶接部、継手部及びガスケット部を想定している。外部に漏れてきたヘリウムガスをスニッファープローブで吸い込み、漏れを検出する方法（ヘリウム漏れ試験（スニッファーク法））により、漏えい箇所の特定制を行う。漏えいが認められた場合には、蓋間圧力監視孔の金属ガスケット交換、継手部点検（例：増締め）もしくは部品交換を行う。（添付3-1参照）

(2) 蓋部からの漏えい時の対応

事業許可基準規則への適合及び貯蔵事業における万全の安全確保のために、閉じ込め機能の修復性を考慮した設計としている。（添付3-2参照）

万一、二次蓋金属ガスケットの漏えいが考えられる場合には、二次蓋金属ガスケットの漏えい試験を行う。蓋間にはヘリウムが充填されているため、

ヘリウム漏れ試験により、漏えい確認ができる。

金属ガスケットは眼鏡型構造になっており、その内側に連通しているリークチェック孔に、ヘリウムリークテスト装置をつなぎ、内部を吸引することで、蓋間側の金属ガスケット（内側）のヘリウム漏れの検出を行う。

万一、二次蓋に漏えいが認められた場合には、金属キャスク内部が負圧に維持されていること及び一次蓋の健全性を確認の上、二次蓋の金属ガスケットを交換し、閉じ込め機能を修復して貯蔵を継続する。（添付3-3参照）

二次蓋に漏えいが認められず、一次蓋の閉じ込め機能が異常であると考えられる場合には、金属キャスクに蓋を追加装着し、搬出のために必要な記録とともに、契約先に引き渡す。

一次蓋及び二次蓋を貫通する孔については、第3-2図に示す。

3.2 再充填に係る基準

(1) 再充填を行う基準

蓋間圧力が警報設定値 (0.27 MPa) まで低下した場合に再充填を行う。

蓋部の漏えい率が基準漏えい率程度の漏えいであると仮定した場合の蓋間空間の圧力低下の推移を第3-3図に示す。この場合約 年で警報設定値に達し、圧力障壁を維持するために、蓋間空間にヘリウムを再充填することが必要となる。

(2) 再充填の管理基準（過剰な充填となる基準）

キャスク内部圧力が 0.08 MPa（初期圧力：負圧）から 0.097 MPa（大気圧下限）になるまで蓋間のヘリウムガスが全て金属キャスク内部に流入したと仮定すると、蓋間累積圧力低下量は MPa と評価出来ることから、

で約 10 回再充填できる。

蓋間累積圧力低下量 MPa は、以下のようなになる。

$$\Delta P_0 \times V_0 / T_0 = \Delta P_1 \times V_1 / T_1$$

V_0 : キャスク内部容積 (m³)

V_1 : 蓋間容積 (m³)

T_0 : キャスク内部温度 (K)

T_1 : 蓋間温度 (K)

ΔP_0 : キャスク内部圧力上昇量 (MPa)

ΔP_1 : 蓋間圧力の累積圧力低下量 (MPa)

$$\Delta P_1 = \Delta P_0 \times V_0 / T_0 \times T_1 / V_1$$

=

参考までに、第 3-4 図に東海第二発電所の実績相当（貯蔵開始時の初期圧力及び貯蔵開始から 7 年後に調査した際の一次蓋漏えい率 9.0×10^{-11} Pa \cdot m³/s より試算）での評価を示す。実際の運用では、貯蔵期間中の蓋間空間へのヘリウム再充填は不要と考えられる。あわせて、何らかの異常により一次蓋と二次蓋の漏えい率が基準漏えい率の 5 倍に増加した場合の蓋間圧力の低下挙動を示す。漏えい率の著しい変化は蓋間圧力の経時変化として観測されることになる。

3.3 負圧維持管理

金属キャスクの蓋部は一次蓋、二次蓋の二重構造としている。金属キャスク内部は負圧とし、蓋間空間はあらかじめ正圧とすることにより、圧力障壁を設ける。

使用済燃料集合体は収納条件を満足した燃料であること^{*1}、国内輸送法令に従い安全に輸送が行われた金属キャスクを受け入れるため安全機能への影響は生じないこと、キャスク本体（密封容器）は堅固な構造であり、輸送及び貯蔵期間中に外力により燃料が破損してキャスク内部の圧力が上昇することはないこと、また、キャスク本体（密封容器）は検査にて欠陥がないことを確認しており、漏えいが発生する可能性はないことから、キャスク内部の圧力が上昇する要因は、蓋間空間からの気体の流入のみとなる。従って、蓋間圧力を測定・監視することにより、間接的にキャスク内部の負圧維持を確認することができる。（添付3-4参照）

蓋間圧力の経時変化が基準漏えい率を超えない低下である場合は、圧力障壁を維持するために、適宜、蓋間空間にヘリウムガスを再充填する。金属キャスク内部圧力が、初期圧力0.08 MPaから大気圧下限0.097 MPaになるまで蓋間のヘリウムガスが全て金属キャスク内部に流入したと仮定して約10回再充填できる。

すなわち、再充填回数を把握し、過剰な充填とならないように管理すること

で、間接的に負圧維持を確認できる。

閉じ込め機能に係る設計及び管理・運用について添付3-5に示す。

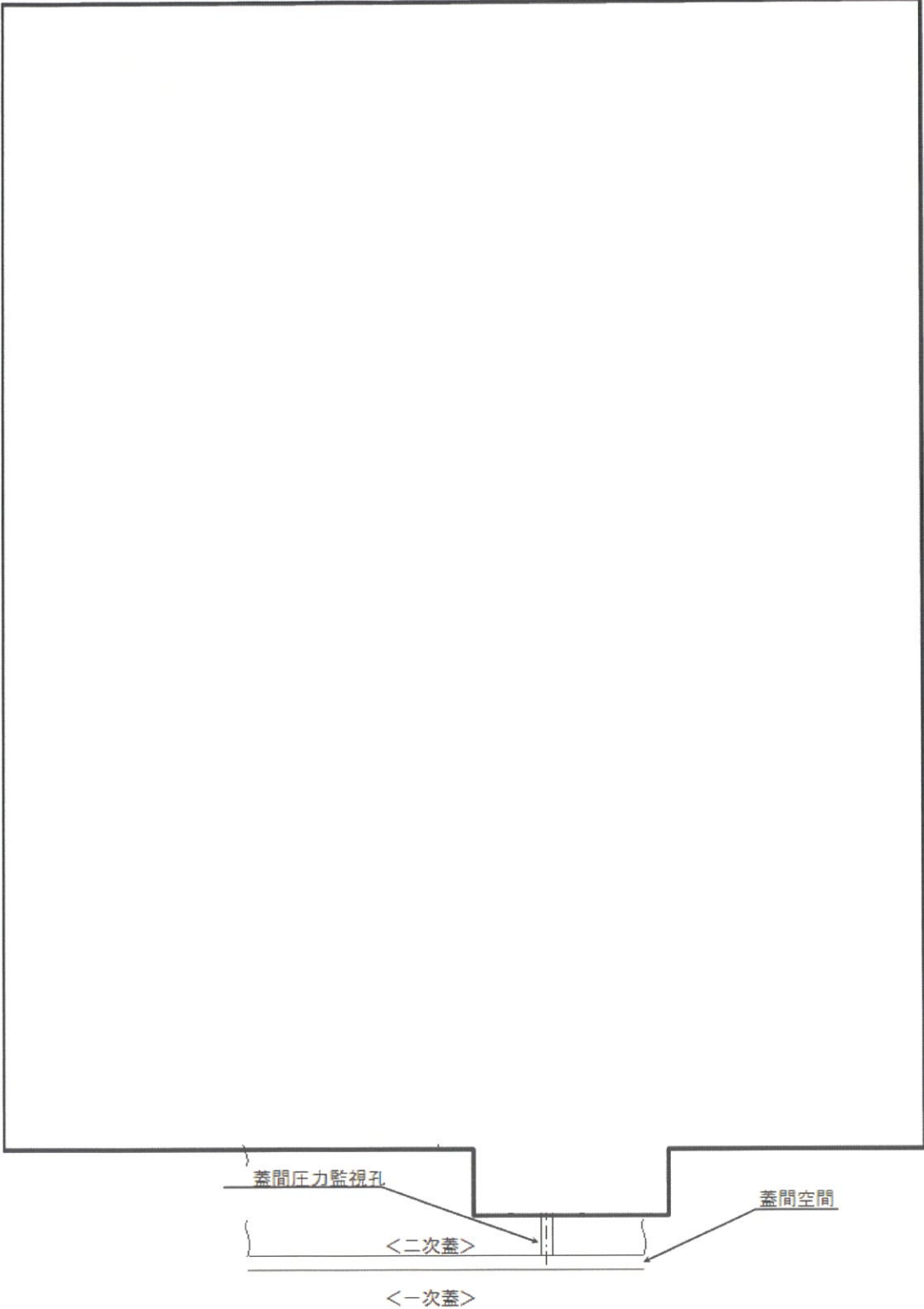
※1：使用済燃料集合体が収納条件を満たしているかについて、原子炉等規制法第59条に則った事業所外運搬（車両運搬確認）に係る発電所発送前検査の一環として行われる収納物検査の受検記録を確認する。

3.4 三次蓋の取付け及び搬出（添付3-6，添付3-7参照）

金属キャスクは、万一の蓋部の閉じ込め機能の異常に対して、三次蓋を追加装着できる構造を有する。一次蓋の漏えい率が基準漏えい率を超えると判断される場合は、使用済燃料貯蔵施設では一次蓋を開放しないことから、貯蔵前・後の輸送と同じように三次蓋を装着することで、輸送に必要な放射性物質の密封境界を再形成し、搬出する。

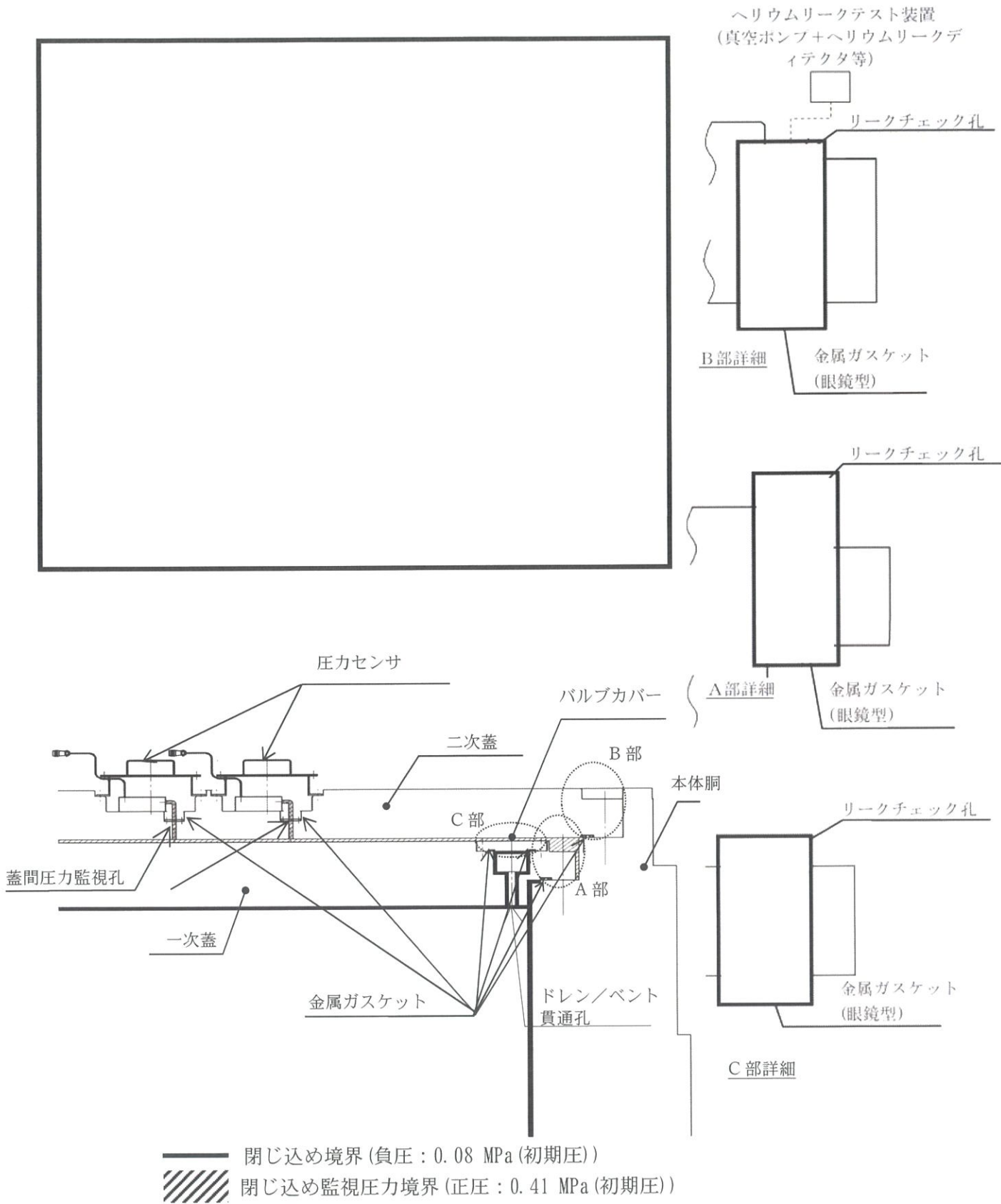
搬出に当たっては、三次蓋を取り付け、気密漏えい検査等輸送に必要な検査を行い、構外輸送の基準に適合することを確認し、施設外に搬出する。

なお、施設から搬出までの間は、輸送物の状態で貯蔵施設内の受入れ区域に仮置きする。

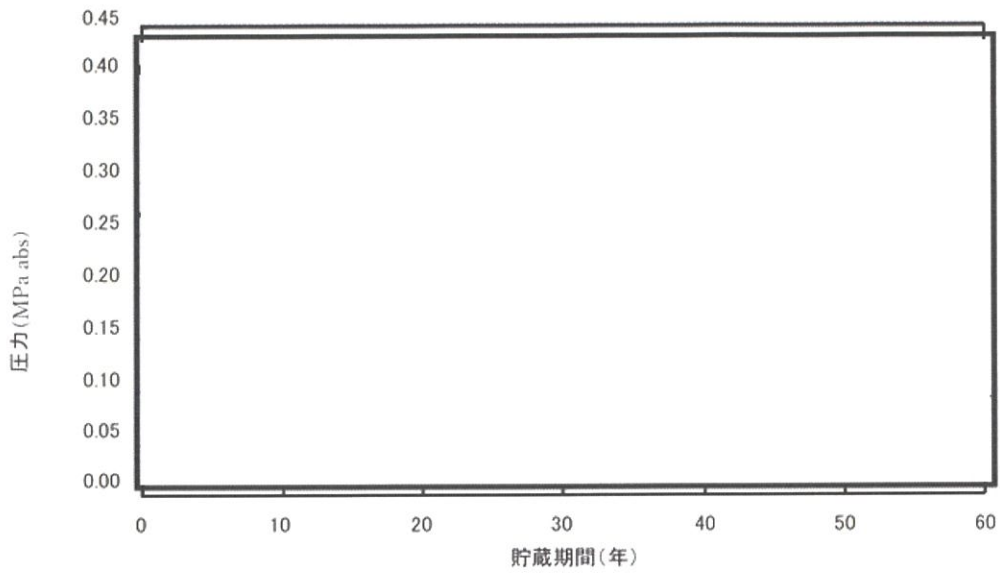


第3-1図 蓋間圧力監視装置（圧力検出部）の構成図

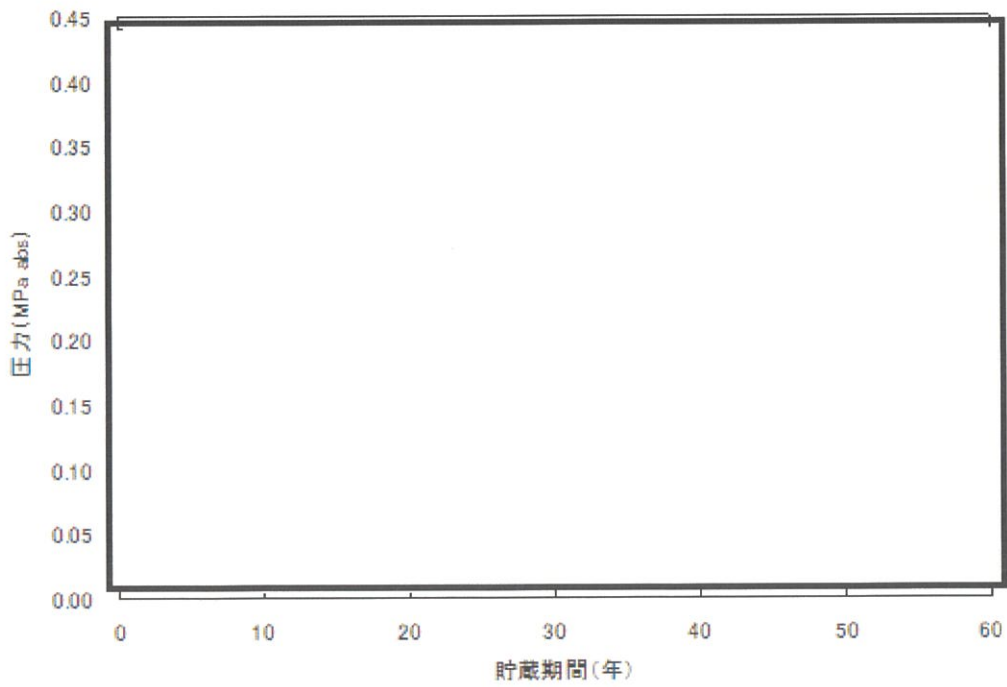
枠囲みの内容は商業機密に属しますので公開できません。



第3-2図 貫通孔及び金属ガスケットによるシール部の構成図



第3-3図 基準漏えい率程度で漏えいした場合の蓋間圧力の経時変化



第3-4図 蓋間圧力の経時変化 (基準漏えい率の影響)

蓋間圧力監視装置のバルブの保守管理について

圧力センサの保守管理は校正を1回/年程度とし、蓋間圧力監視装置は二系統の構成になっており、圧力検出部の一次バルブを閉にすることで、一方の蓋間圧力監視装置で蓋間圧力を測定しながら、蓋間圧力を開放することなく、校正や交換等が可能である。

蓋間圧力監視装置の圧力検出部で想定される事象として、溶接部、継手部及びガスケット部からの漏えいと、点検等に伴うバルブの開閉操作の繰り返しによる弁座のシートパスがある。漏えい箇所の特定期は、外部に漏れてきたヘリウムガスをスニッファープローブで吸い込み、漏れを検出する方法（ヘリウム漏れ試験（スニッファーマ））により行う。漏えいが認められた場合には、蓋間圧力監視装置の金属ガスケット交換、継手部点検（例：増締め）もしくは部品交換を行う。

最も漏えいの可能性のある部位は、貯蔵施設内で組み立てる継手部で、蓋間圧力監視装置の一次バルブを閉にすることで蓋間圧力と分離できるため、漏えいが認められた場合は、継手部点検（例：増締め）や部品交換を行う。万が一、蓋間圧力監視孔の金属ガスケット部から漏えいした場合には、二次蓋金属ガスケットの交換と同様に、蓋間圧力開放の可否を判断したうえで、蓋間圧力監視孔の金属ガスケットの交換を行う。

バルブ弁座のシートパスについては、二次バルブの場合は一次バルブを閉止して交換作業を行う。一次バルブの場合は二次蓋金属ガスケットの交換と同様に、蓋間圧力開放の可否を判断したうえで、蓋間圧力監視孔の金属ガスケットを含め一次バルブの交換を行う。

蓋部の閉じ込め機能に影響を及ぼす可能性のある要因と発生防止策

事業許可基準規則への適合性及び貯蔵事業における万全の安全確保のために、万一、蓋部の閉じ込め機能の異常による漏えい率の著しい変化があるような状態（基準漏えい率を超えているような状態）に対して、二次蓋の閉じ込め機能に異常がある場合には、二次蓋の金属ガスケットを交換し、一次蓋に異常がある場合には、金属キャスクに蓋を追加装着できる構造とする等、閉じ込め機能の修復性を考慮した設計としている。閉じ込め機能に影響を及ぼす可能性のある要因（添付3-1表）に対しては、発生防止策をとることから、その発生の可能性はきわめて低い。

貯蔵期間中は、金属キャスクの蓋間圧力を監視することより長期的な影響が生じたとしても、閉じ込め機能の低下を検知できる構造となっている。

添付3-1表 閉じ込め機能に影響を及ぼす可能性のある要因及び発生防止策

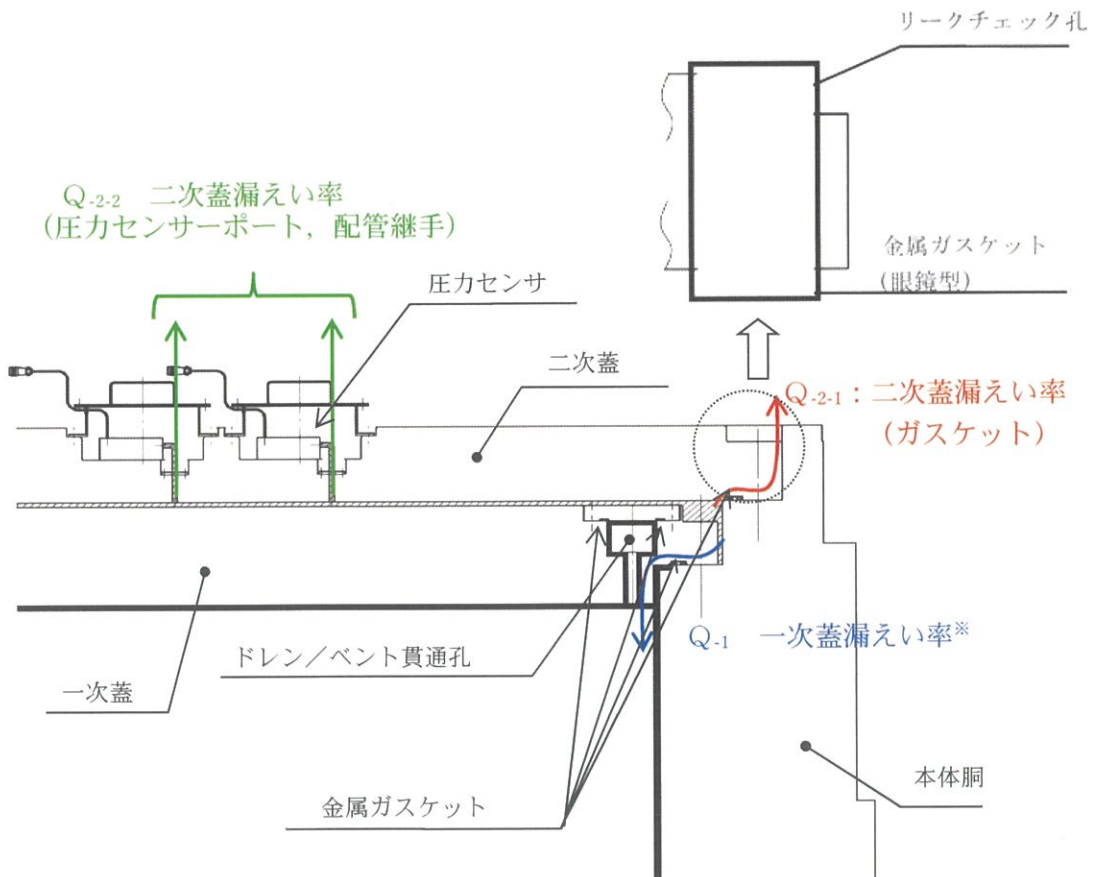
異常状態	要因	発生防止策	
		作業手順	検査・監視
蓋部（一次蓋 又は二次蓋） の漏えい率 の著しい変化	金属ガスケット取付け不良	<ul style="list-style-type: none"> ・適切な作業要領が定められていることの当社による確認 ・原子炉設置者による金属ガスケット装着前のシール面等に異物がないことの確認 	<ul style="list-style-type: none"> ・原子炉設置者による発電所搬出前の気密漏えい検査による確認 ・当社による貯蔵中の金属キャスク蓋間圧力監視により、閉じ込め機能低下を検知可能
	締付ボルト取付け不良	<ul style="list-style-type: none"> ・適切な作業要領が定められていることの当社による確認 ・原子炉設置者による蓋ボルト締付け時におけるトルク管理 	
	金属ガスケットの水分による腐食	<ul style="list-style-type: none"> ・適切な作業要領が定められていることの当社による確認 ・原子炉設置者による以下の確認 <ul style="list-style-type: none"> ① 真空乾燥プロセス記録管理（真空乾燥時間，圧力）により，真空乾燥が適切に行われたことの確認 ② 真空乾燥後のヘリウムを充填した状態で湿分測定を行い，実際に水分を確認 ③ 残留水分除去の徹底（仕立て時の隙間等へのエアブローや拭き取り等） 	

添付 3-3

一次蓋の健全性確認の基本的考え方

蓋間圧力の低下の状況及び測定した二次蓋漏えい率より一次蓋の健全性を確認する基本的な考え方を添付3-3-1図に示す。

- Q：全体漏えい率 ※蓋間圧力降下をもとに算出
- Q₋₁：一次蓋漏えい率（測定不可）
- Q₋₂：二次蓋漏えい率（Q₋₂₋₁+Q₋₂₋₂） ※ヘリウムリークテスト装置により実測
- Q₋₂₋₁：二次蓋ガスケット漏えい率
- Q₋₂₋₂：圧力センサーポート（配管継手含む）漏えい率
- Q=Q₋₁+Q₋₂
- Q₋₁=Q-Q₋₂ ※一次蓋漏えい率が判定基準を満足していることを確認する。

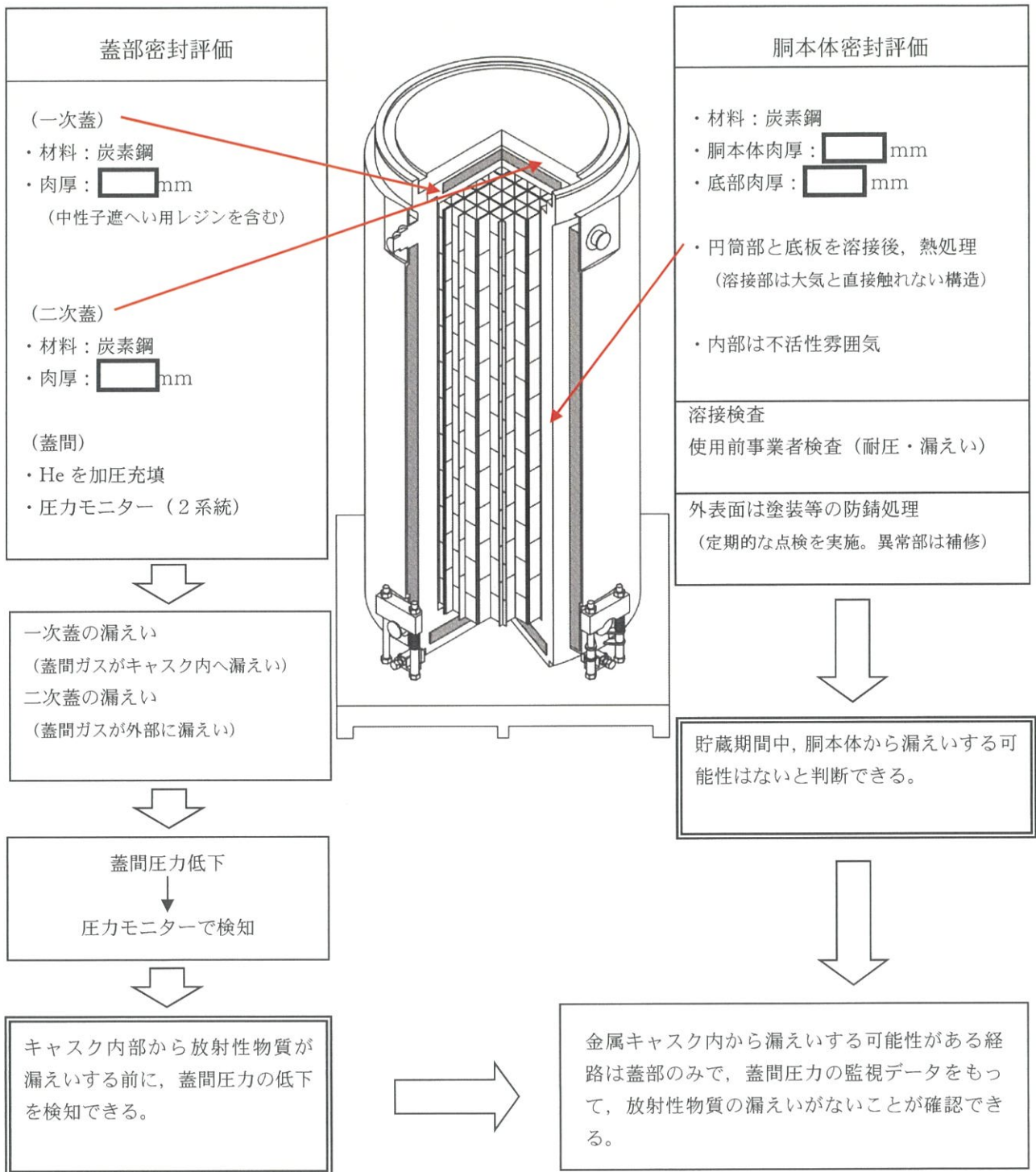


※ 一次蓋漏えい率 Q_{-1} =一次蓋ガスケット漏えい率 +
ドレン/ベント貫通孔ガスケット漏えい率

添付 3-3-1 図 確認の基本的な考え方

金属キャスクの密封性能維持について

金属キャスクは胴本体に一次蓋及び二次蓋が取り付けられた状態で、内部は不活性雰囲気にし、外面は塗装等の防錆処理を行った上で貯蔵する。金属キャスクは使用材料が炭素鋼であり、十分な肉厚がある構造となっており、外気に晒される閉じ込め境界を形成する溶接部が存在せず、外面は定期的な点検を行うことから、貯蔵している金属キャスクから漏えいする可能性がある経路は蓋部の金属ガスケットのみである。あらかじめ、金属キャスク内部を負圧に維持するとともに、蓋間の圧力を正圧とし、蓋間圧力を監視することにより、放射性物質の漏えいがないことが確認できる。(添付 3-4-1 図参照)



添付 3-4-1 図 金属キャスクの密封性能維持
(金属キャスクの鳥観図は、事業変更許可申請書 添付六 第 3.1-1 図)

閉じ込め機能に係る設計及び管理・運用

閉じ込め機能に係る設計方針，設計内容，管理・運用を整理し，添付 3-5-1 表に示す。

添付 3-5-1 表 設計及び管理・運用について

1. 設計方針	2. 具体的な設計内容	3. 具体的な管理・運用方法
<p>・使用済燃料貯蔵施設での放射線業務従事者に対し、放射線被ばく上の影響を及ぼすことのないよう、使用済燃料集合体が内包する放射性物質を適切に閉じ込め。</p> <p>・バスケット及び使用済燃料集合体の健全性を維持するために、金属キャスクの内部の空間を不活性雰囲気に保持。</p>	<p>(1) 蓋及び蓋貫通孔のシール部には長期間にわたって閉じ込め性能を維持する観点から耐熱性、耐腐食性を有し、耐久性の高い金属ガスケットを採用。</p> <p>(2) 金属キャスク本体を堅固な構造とし、蓋部は一次蓋、二次蓋の二重構造、金属キャスク内部を負圧に維持し、一次蓋と二次蓋との蓋間空間を正圧とすることにより圧力障壁を設ける。また、キャスク内部及び蓋間空間を不活性雰囲気に保持。</p>	<p>(1) (2) キャスクキャビティ内の不活性雰囲気維持管理</p> <ul style="list-style-type: none"> ・金属ガスケットの仕様、長期密封性試験によるシール性能の確認 ・受入れ時に気密漏えい検査を実施 ・不活性雰囲気維持管理
	<p>(3) 蓋間空間の圧力を監視することにより、閉じ込め機能低下を検出できる構造。</p>	<p>(3) 蓋間圧力監視の管理・運用</p> <ul style="list-style-type: none"> ・使用済燃料集合体は取納条件を満たした燃料であること^{※1}、国内輸送法令に従い安全に輸送が行われた金属キャスクを受け入れるため安全機能への影響は生じないこと、キャスク本体（密封容器）は堅固な構造であり、輸送及び貯蔵期間中に外力により燃料が破損してキャスク内部の圧力が上昇することはないこと、また、キャスク本体（密封容器）は検査にて欠陥がないこと

1. 設計方針	2. 具体的な設計内容	3. 具体的な管理・運用方法
	<p>(4) 万一の蓋部閉じ込め機能の異常に対し、三次蓋を追加装着できる構造。</p>	<p>とを確認しており、漏えいが発生する可能性はないことから、キャスク内部の圧力が上昇する要因は、蓋間空間からの気体の流入のみとなる。従って、蓋間圧力を測定・監視することにより、間接的にキャスク内部の負圧維持を確認することが可能</p> <ul style="list-style-type: none"> ・蓋間圧力監視装置が点検中及び不具合時においても閉じ込め機能の異常を監視できるように蓋間圧力監視装置を二系統並列に設定 ・万一の閉じ込め機能の異常を検知するた め、適切に蓋間圧力の警報設定値を設定 ・蓋間圧力監視装置の定期的な点検（定期的な圧力センサーの校正） <p>(4) 万一の蓋部閉じ込め機能の異常に対する処置</p> <ul style="list-style-type: none"> ・漏えい箇所の特定制 ・三次蓋装着による施設外搬出または二次蓋金属ガスケット交換

※1：使用済燃料集合体が収納条件を満たしているかについて、原子炉等規制法第59条に則った事業所外運搬（車両運搬確認）に係る発電所発送前検査の一環として行われる収納物検査の受検記録を確認する。

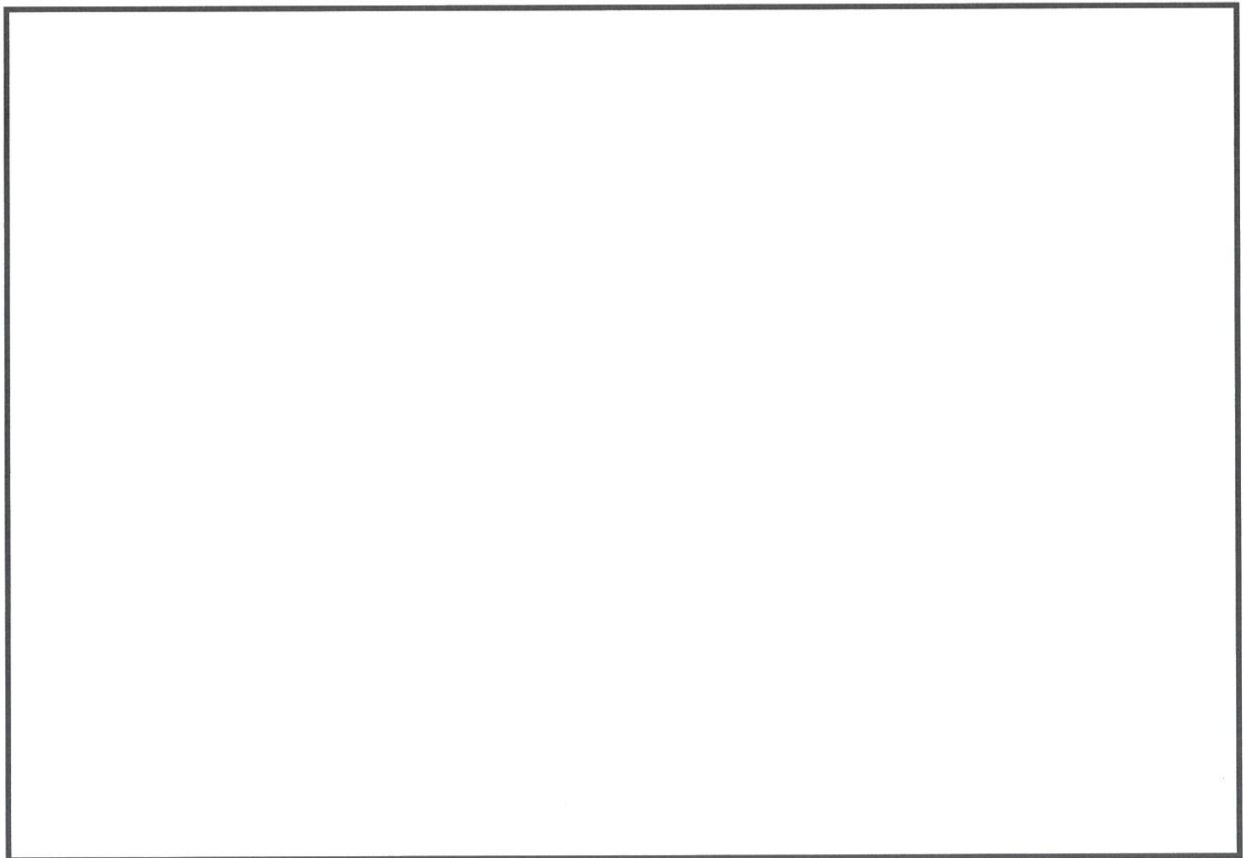
添付3-6

三次蓋の構造とシール方法について

三次蓋の具体的な設計及び構造としては、三次蓋はボルトで本体上部のフランジに取り付けられ、接合面には蓋側にOリングの溝が設けられており、Oリングにより輸送物としての密封境界を形成する。三次蓋の構造の例を添付第3-6-1図に示す。

三次蓋の密封性能はOリングの耐熱性能⁽¹⁾から、1年以上の維持は可能であり、搬出までの間仮置き可能である。

輸送時の密封境界（BWR用大型キャスク（タイプ2A））は収納物を収納する胴、底板及び三次蓋から構成される。この様態で輸送容器としての承認を得ることになる。



添付3-6-1図 三次蓋の構造

(1) 電力中央研究所報告「U97101 輸送キャスク密封装置の耐熱限界性能の評価」（平成10年3月）

三次蓋の取付け及び搬出手順について

1. 搬出方法の概要

使用済燃料貯蔵施設からの搬出方法の概要は以下のとおり。添付 3-7-1 図に搬出方法の概略図を示す。

(1) 輸送準備作業

- 1) 金属キャスクに三次蓋を取り付ける。
- 2) 搬送台車で検査架台から受入れ区域へ移動する。
- 3) 金属キャスクを受入れ区域天井クレーンで、搬送台車からたて起こし架台へ移動する。
- 4) 受入れ区域天井クレーンで、金属キャスクに上・下部緩衝体を取り付ける。

(2) 輸送作業

- 1) 金属キャスクを受入れ区域天井クレーンで、たて起こし架台から輸送車両へ積載する。
- 2) 発送前検査（外観，表面密度，線量当量率，収納物，温度測定，未臨界，気密漏えい等）で，核燃料輸送物設計承認書の記載を満足することを確認する。
- 3) 金属キャスクに近接防止金網を取り付ける。

(3) 船積み

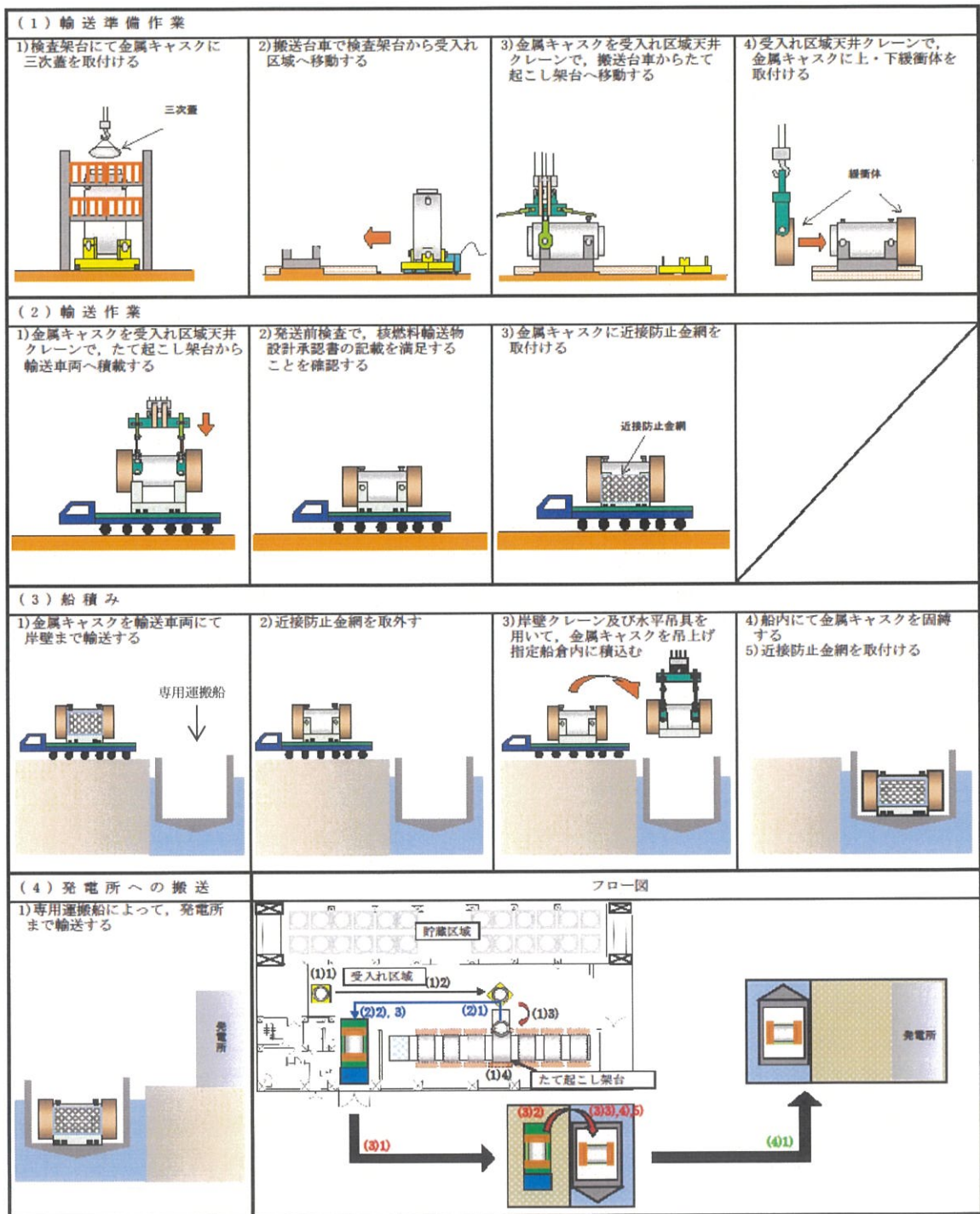
- 1) 金属キャスクを輸送車両にて岸壁まで輸送する。
- 2) 近接防止金網を取り外す。
- 3) 岸壁クレーン及び水平吊具を用いて，金属キャスクを吊り上げ，専用運搬船の指定船倉内に積み込む。
- 4) 船内にて金属キャスクを固縛する。
- 5) 近接防止金網を取り付ける。

(4) 発電所への輸送

- 1) 専用運搬船によって，発電所まで輸送する。

2. 搬出手続き

金属カスクの搬出手続きについては、原子炉設置者による専用運搬船の手配、官庁への申請手続きを行い、準備できしだい速やかに搬出する。また、受入れ先は、現時点では、搬出元の原子炉設置者であるが契約先と協議することになる。



添付 3-7-1 図 使用済燃料貯蔵施設からの搬出方法の概略図

以上