

HITACHI



この資料及びこの資料に基づ
く計算書並びに記録等の出力
を複製、第三者へ開示または
公開しないようお願い致します

資料1-1

Doc No. FRO-TA-0070/REV.4

第13回 特定兼用キャスクの設計の型式証明等に係るヒアリング
(2021年4月26日)

発電用原子炉施設に係る特定機器の設計の型式証明申請 (審査会合コメント回答)

2021年4月26日

日立GEニュークリア・エナジー株式会社

内は商業機密のため非公開



目次

1. コメントリスト

- 1. 1 コメント回答(コメントNo.10)
- 1. 2 コメント回答(コメントNo.11)
- 1. 3 コメント回答(コメントNo.12、14)
- 1. 4 コメント回答(コメントNo.13)
- 1. 5 コメント回答(コメントNo.15)
- 1. 6 コメント回答(コメントNo.16)
- 1. 7 コメント回答(コメントNo.17)

1. コメントリスト

この資料及びこの資料に基づく計算書並びに記録等の出力を複写、第三者へ開示または公開しないようお願い致します



| No. | 受領日 | コメント内容 | 該当条文 | コメント回答 | 対応状況 |
|-----|------------------|--|------|--|-----------------|
| 1 | 2020/6/8 審査会合 | 申請対象に、三次蓋、貯蔵架台は含まれるか等、考え方を明確にすること。 | 第四条 | <p>本型式証明申請の対象には、輸送荷姿に圧力監視装置を取り付けるために輸送用緩衝体、三次蓋等を一部改造した付属品、及びそれらと同等の機能を有する貯蔵用緩衝体を装着した状態を含めるものとする。</p> <p>一方、貯蔵架台は本申請の対象外として、設置(変更)許可申請にて確認いただく。ただし、トラニオンを固定する貯蔵方式では、トラニオンを貯蔵架台に固定するための構造物(以下「固定装置」という)及び貯蔵架台が健全であることを前提として、トラニオンの地震時の構造健全性の評価方法を申請対象とする。</p> <p>【詳細は、8/6審査会合 資料1の4～8ページに示す】</p> | 8/6 審査会合 で説明 |
| 2 | 2020/6/8 審査会合 | 緩衝体付きの方式の申請の方法として、型式証明と設置(変更)許可の間では、代表的又は制限となる緩衝体の具体的設計の条件を取り合う等、申請対象の区分けの方法は複数考えられる。それを踏まえて、型式証明での緩衝体の申請方法を明確にすること。 | 全般 | <p>緩衝体付きの方式では、輸送荷姿の性能を評価条件として、型式証明の範囲で特定兼用キャスクの許可範囲が完結するものとし、後段の設置(変更)許可で確認する範囲について明確にした。</p> <p>本型式証明での説明範囲と申請対象及び設置(変更)許可で確認いただく範囲等の詳細については、2020年6月8日の審査会合資料2-1を修正した資料を用いてご説明する。</p> <p>【詳細は、8/6審査会合 資料1の9～16ページに示す】</p> | |
| 3 | 2020/6/8 審査会合 | 輸送荷姿を含め型式証明/設置(変更)許可で確認する範囲のすみ分けについて明確にすること。 | 全般 | <p>【詳細は、8/6審査会合 資料1の9～16ページに示す】</p> | |

1. コメントリスト(つづき)

この資料及びこの資料に基づく計算書並びに記録等の出力を複写、第三者へ開示または公開しないようお願い致します



| No. | 受領日 | コメント内容 | 該当条文 | コメント回答 | 対応状況 |
|-----|------------------|--|-------|--|-----------------|
| 4 | 2020/6/8 審査会合 | 安全評価について説明する際は、核燃料輸送物設計承認を受けた類似キャスクと同様である旨の説明のみではなく、設置許可基準規則への適合性の観点で明確に説明をすること。 | 第五、六条 | <p>第五条及び第六条の設置許可基準規則への適合性については、特定兼用キャスクに作用する荷重及び応力を算出し、特定兼用キャスクの閉じ込め機能を構成する部位がおおむね弾性範囲に留まる荷重及び応力以下であることをご説明する。</p> <p>【詳細は、資料2-1参照】</p> | 次回審査会合で 回答 |
| 5 | 2020/6/8 審査会合 | 配置(i)~(ii)の燃料収納条件は、中央部、外周部それぞれに複数タイプの燃料が記載されているが、どちらかの燃料のみ収納できるのか、混載可能なのか。また、配置(iii)は1種類のタイプのみ収納するのか。安全評価の代表性を含めて説明すること。 また、初期濃縮度の記載の考え方について説明すること。 | 第十六条 | <p>新型8×8ジルコニウムライナ燃料と高燃焼度8×8燃料の構造健全性を維持できる温度(以下「被覆管制限温度」という)は同一であり、申請した配置(i)~(ii)の収納条件であれば、キャスクの4つの安全機能を維持でき、被覆管制限温度の範囲に収まるため、混載可能である。</p> <p>新型8×8燃料の被覆管制限温度は、他の燃料タイプに比べて低い。収納する位置を温度が低い外周部に限定して他の燃料タイプと混載する方法もあるが、本型式証明で申請する配置(iii)は新型8×8燃料を単独で多く収納するために設定した収納条件である。</p> <p>配置(i)、(ii)、(iii)の4つの安全機能の評価は、収納燃料の初期濃縮度、崩壊熱量、線源強度の入力条件の大小から代表評価を決定するか、又は配置ごとの評価結果からより厳しい方の結果で代表するかのいずれかとしている。</p> <p>なお、初期濃縮度は、燃料仕様の概要では、燃料タイプごとに値が異なることを示すために設置(変更)許可申請の記載を例に「約」とした。一方、今後提示する安全解析の入力条件となる初期濃縮度は、詳細値を記載する。</p> <p>【詳細は、8/6審査会合 資料1の17~22ページに示す】</p> | 8/6 審査会合 で説明 |

1. コメントリスト(つづき)

この資料及びこの資料に基づき計算書並びに記録等の出力を複写、第三者へ開示または公開しないようお願い致します



| No. | 受領日 | コメント内容 | 該当条文 | コメント回答 | 対応状況 |
|-----|------------------|---|------|---|------------------|
| 6 | 2020/8/6 審査会合 | 外運搬規則に定める車両運搬時の荷姿である輸送荷姿を構成する貯蔵用付属品(輸送用緩衝体、三次蓋及びモニタリングポートカバープレート)と今回申請されたものとは、一部がそれぞれ改造されていることから、外運搬規則の要求事項に対する適合性説明時に用いた評価結果の引用には考慮が必要と考えられる。このことを踏まえ、改造による特定兼用キャスクの安全機能への影響について説明すること | 全般 | 貯蔵用として想定する付属品は、貯蔵用緩衝体、貯蔵用三次蓋、モニタリングポートカバープレート(貯蔵用)、圧力センサ及び監視装置である。このうち、貯蔵用緩衝体、貯蔵用三次蓋及びモニタリングポートカバープレート(貯蔵用)は、監視装置に信号線を通すために三次蓋及びモニタリングポートカバープレート(貯蔵用)を貫通させるが、貯蔵時の特定兼用キャスクの密封境界に影響を及ぼさず、改造による特定兼用キャスクの安全機能への影響はない。 特定兼用キャスクに装着する貯蔵用付属品は周辺施設に分類し、貯蔵用付属品の実設計を用いた詳細設計・詳細評価は設工認で確認いただく予定である。なお、設計例は型式指定の段階で提示する場合もある。 【詳細は、10/5審査会合 資料1 の6～16ページに示す】 | 10/5 審査会合 で説明 |
| 7 | 2020/8/6 審査会合 | 後段の型式指定の申請範囲を考慮した上で、上記の改造されている特定兼用キャスク貯蔵用付属品の申請範囲を明確にすること | 全般 | 【詳細は、10/5審査会合 資料1 の6～16ページに示す】 | 10/5 審査会合 で説明 |
| 8 | 2020/8/6 審査会合 | 閉じ込め機能の評価について、貯蔵時と輸送時では健全性の判断に用いる指標が異なることから、今後は、貯蔵時と輸送時の評価手法の差異を含めて、閉じ込め機能の成立性を説明すること | 第十六条 | 貯蔵時は一次蓋の金属ガスケット部、輸送時は三次蓋のゴムOリング部がシール部となる。 貯蔵時の場合、設計貯蔵期間60年の間に密封境界の内部が負圧を維持できる基準漏えい率を定義し、金属ガスケットの漏えい率が基準漏えい率を満足することを確認する。 一方、輸送時の一般の試験条件では、密封境界の内部が大気圧となること、輸送時の特別の試験条件では、密封境界の内部が正圧となることを想定して、漏えい試験時のガス漏えい率に基づいて放射性物質の放出率を算出し、外運搬規則に定められる基準を満足することを確認する。 【詳細は、10/5審査会合 資料1 の17～19ページに示す】 | 10/5 審査会合 で説明 |

1. コメントリスト(つづき)

この資料及びこの資料に基づき計算書並びに記録等の出力を複写、第三者へ開示または公開しないようお願い致します



| No. | 受領日 | コメント内容 | 該当条文 | コメント回答 | 対応状況 |
|-----|-------------------|--|---------------|--|---------------|
| 9 | 2020/8/6 審査会合 | 地震時の評価について、トラニオンの固定方法の適用範囲を示すこと | 第四条 | 設置方法⑤について、特定兼用キャスクはトラニオンを介して貯蔵架台に支持される。兼用キャスク告示の地震力が作用してもトラニオンがおおむね弾性範囲に留まることを評価条件とする。 【詳細は、資料3-1に示す】 | 次回審査会合 で回答 |
| 10 | 2020/8/6 審査会合 | 特定兼用キャスクの評価で示されている使用済燃料体の燃焼度と電力事業者の管理値には、燃焼度計算に用いる計算機プログラムの違いによる差異が生じるため、特定兼用キャスクへの使用済燃料集合体の収納体数等の収納条件検討における、この相違への考慮の考え方を説明すること | 第十六条 遮蔽、除熱 | 使用済燃料の軸方向燃焼度分布は、事業者が炉心解析コードで評価した値である。崩壊熱量、線源強度等を計算する燃焼解析コードでは、入力条件やオプション設定の初期濃縮度、ウラン重量、核データの断面積ライブラリ等において、保守的な崩壊熱量、線源強度になるように設定しているため、入力条件としての燃焼度については、炉心解析コードの計算誤差は入力条件に取り込んでいない。その保守性は確認している。 【詳細は、資料1-4に示す】 | 次回審査会合 で回答 |
| 11 | 2020/10/5 審査会合 | 貯蔵時の設置方法②(よこ置き)で使用する貯蔵用緩衝体の説明方針について、貯蔵用緩衝体の評価条件として、輸送用緩衝体の条件を用いる場合には、その適用性について、定量的に説明すること | 第四、 十六條 | 貯蔵時の設置方法②(よこ置き)でHDP-69BCH(B)型の両端に装着する貯蔵用緩衝体は、地震力によって特定兼用キャスクの閉じ込め機能を損なわないことを確認した加速度及び荷重以下となることを貯蔵用緩衝体の設計条件とする。この時の加速度及び荷重は、輸送用緩衝体も同じ値である。また、貯蔵用緩衝体を装着することによる除熱機能への影響は、輸送用緩衝体の条件で評価し、除熱機能の設計基準を満足することを確認している。 【詳細は、資料1-5、3-2に示す】 | 次回審査会合 で回答 |
| 12 | 2020/10/5 審査会合 | 貯蔵時の設置方法②について、貯蔵用三次蓋及びモニタリングポートカバープレートを有する構造とする場合には、具体的な条件について説明すること | 全般 | 貯蔵時の閉じ込め機能に必要な一次蓋及び二次蓋の取付け用ボルト、シール部に使用する金属ガスケット、輸送時の閉じ込め機能に必要な三次蓋及びモニタリングポートカバープレートの取付け用ボルト、シール部に使用するリングについては、特定兼用キャスクの構成機器として分類する。 | 次回審査会合 で回答 |

1. コメントリスト(つづき)

この資料及びこの資料に基づく計算書並びに記録等の出力を複写、第三者へ開示または公開しないようお願い致します



| No. | 受領日 | コメント内容 | 該当条文 | コメント回答 | 対応状況 |
|-----|-------------------|--|------|--|---------------|
| 13 | 2020/10/5 審査会合 | 蓋部以外の特定兼用キャスクに使用する部品(金属ガスケット、ボルト等)についても説明すること | 全般 | 一次蓋、二次蓋、三次蓋取付け用のボルト、一次蓋及び二次蓋のシール部に使用する金属ガスケット、三次蓋及びモニタリングポートカバープレートのシール部に使用するOリングについては、特定兼用キャスクの構成部品として分類する。 | 次回審査会合 で回答 |
| 14 | 2020/10/5 審査会合 | 周辺施設として分類する設備について、貯蔵用三次蓋、輸送用三次蓋等の設備も分類の考え方を再検討し説明すること | 全般 | 輸送用三次蓋は、容器本体と一体となって外運搬時の閉じ込め機能を有することから特定兼用キャスクとして分類する。一方、貯蔵用緩衝体及び貯蔵用三次蓋については、特定兼用キャスクに取り付けて耐震機能を達成することから支持構造物と同じ周辺施設として分類する。なお、貯蔵用三次蓋は、閉じ込め機能を有しないため、貯蔵用緩衝体取付用フランジに名称変更する。型式証明申請では、輸送用緩衝体と三次蓋(一部改造)を装着した状態での放熱量、設計加速度を、事業者がサイト条件を考慮した上で貯蔵用緩衝体及び貯蔵用緩衝体取付用フランジを設計する際に満足すべき境界条件として申請する。なお、設置変更許可では設計方針に変更がないこと、設工認申請では、貯蔵用緩衝体及び貯蔵用緩衝体取付用フランジの詳細設計を、事業者からの申請に含めていただくものとする。 | 次回審査会合 で回答 |
| 15 | 2020/10/5 審査会合 | 型式証明で申請する設置方法について、設置方法②及び設置方法⑤(よこ置き)における貯蔵架台の具体的な固定方法を説明すること | 全般 | 設置方法②は、貯蔵用緩衝体等の装着により蓋部が金属部に衝突しない方法で申請し、貯蔵架台は地盤によって十分に支持されることを要しない。設置方法②は、特定兼用キャスクの両端に貯蔵用緩衝体を装着していることから、仮に特定兼用キャスクが転倒しても安全機能が損なわれることはないため、貯蔵架台及びトラニオンの固定を要しない。一方、設置方法⑤(よこ置き)は、基礎等に固定する方法で申請し、貯蔵架台は、基礎ボルト等により基礎に支持され、基礎は地盤の十分な支持が期待されることを前提条件とする。特定兼用キャスクはトラニオンを介して、貯蔵架台に固定され、トラニオンが健全である限り転倒することはない。特定兼用キャスクの安全機能が損なわれることはない。 | 次回審査会合 で回答 |

1. コメントリスト(つづき)

この資料及びこの資料に基づく計算書並びに図表等の出力を複写、第三者へ開示または公開しないようお願い致します



| No. | 受領日 | コメント内容 | 該当条文 | コメント回答 | 対応状況 |
|-----|--------------------|--|------|---|---------------|
| 16 | 2020/10/20 審査会合 | 臨界等の安全機能に係る評価について、前提としている評価条件の考え方について説明すること。また、過度に保守性を持たせている理由についても説明すること | 第十六条 | HDP-69BCH(B)型は、収納できる使用済燃料の条件として、燃焼度は上限のみ設定している。臨界防止の観点では、燃焼度の上限値より小さい燃焼度で反応度のピークが存在する。したがって、対象となる使用済燃料の反応度が最も高くなる条件を包絡できる燃料モデルで評価を実施する。また、IAEA輸送規則の要件も踏まえて、十分に保守性のあるモデルで臨界解析を実施する。 【詳細は、資料1-3に示す】 | 次回審査会合 で回答 |
| 17 | 2020/10/20 審査会合 | 閉じ込め機能の設計方針について、60年間の設計貯蔵期間経過時の一次蓋と二次蓋間の圧力が大気圧まで低下すると設定している理由を説明すること。また、閉じ込め監視機能の成立性について説明すること | 第十六条 | 一次蓋と二次蓋の蓋間の圧力を測定する圧力センサを設置できる設計とすることにより閉じ込め機能を監視する。蓋間の容積は、特定兼用キャスク内部の容積より十分に小さく、一次蓋から漏えいが生じ、蓋間圧力が大気圧まで低下しても、特定兼用キャスク内部の圧力は大気圧を超えることはない。仮に蓋間の圧力が低下した場合には、再充填することで、蓋間圧力は大気圧以上に回復できる設計としている。特定兼用キャスク内部が負圧を維持できるように、使用する金属ガスケットが確保可能な密封性能(金属ガスケットの設計漏えい率)は、設計貯蔵期間経過後も大気圧以下であるものとする。 【詳細は、資料1-6に示す】 | 次回審査会合 で回答 |
| 18 | 2020/10/20 審査会合 | 緩衝体の経年変化の影響を考慮しても特定兼用キャスクの基準適合性を確保できるとする設計方針について、申請範囲の再整理結果を踏まえて、考え方を説明すること | 第十六条 | 緩衝体は、外運搬するために必要な機器、あるいはそれを例にした周辺施設としていることから、緩衝体の経年変化の影響については、後段の型式指定の申請の外運搬規則への適合性の中でご説明する。 | 次回審査会合 で回答 |

1. コメントリスト(つづき)

この資料及びこの資料に基づく計算書並びに記録等の出力を複写、第三者へ開示または公開しないようお願い致します



| No. | 受領日 | コメント内容 | 該当条文 | コメント回答 | 対応状況 |
|-----|--------------------|------------------------------|------|---|-----------|
| 19 | 2020/10/20 審査会合 | 今回の審査会合で提示した補足説明資料の記載を拡充すること | 第十六条 | <p>審査会合の指摘を踏まえて、以下の内容を補足説明資料に追加・修正し、記載を拡充している。</p> <p>【経年変化】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・中性子照射量の算出に用いた中性子束が全中性子束であること <p>【遮蔽】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・寸法、密度の製造公差の考慮の考え方 ・国内文献における燃焼度の誤差の値とその影響 ・JENDLライブラリによる評価 <p>【除熱】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・除熱機能の設計方針 ・最大崩壊熱量、設計基準値の考え方 ・伝熱フィン等の設計基準温度の追加 ・設置方法②(よこ置き)の評価結果の追加 <p>【臨界防止機能】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ベンチマーク解析の詳細 ・内部雰囲気の設定条件の詳細、水位を変化させた時の影響 <p>【閉じ込め機能】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・表面温度監視の設計方針 ・蓋間圧力低下時の充填回数、貯蔵期間中の圧力の変化 <p>【その他】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・審査ガイドの適合性 ・設計思想と設計方針 ・計算コードの記載拡充 | 次回審査会合で回答 |

1.1 コメント回答(コメントNo.10)

この資料及びこの資料に基づく計算書並びに記録等の出力を複製、第三者へ開示または公開しないようお願い致します

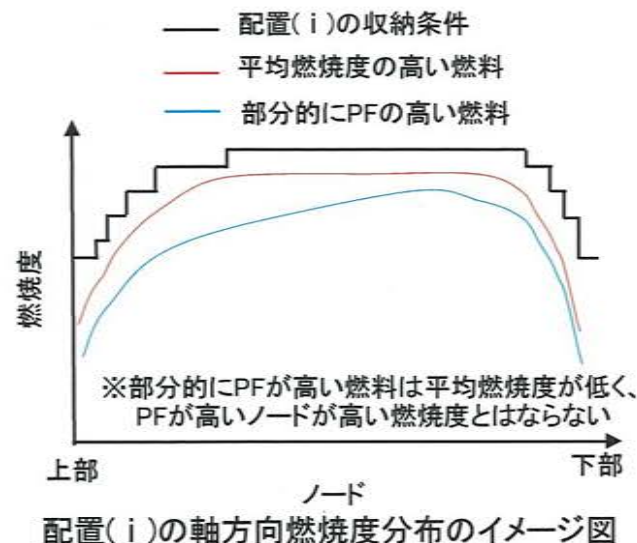
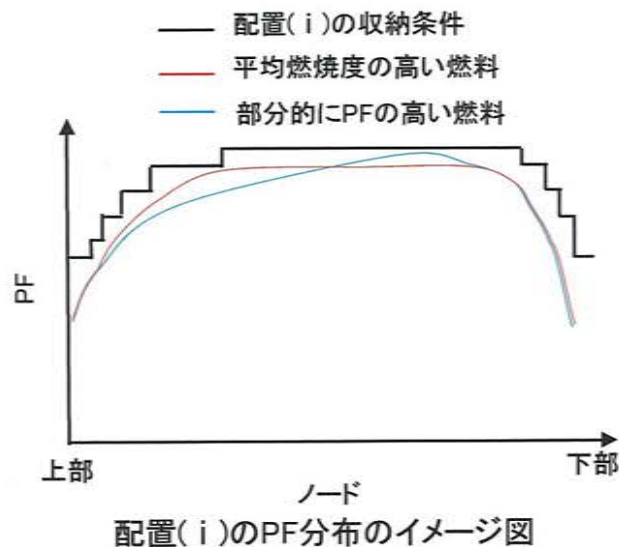


○燃焼度分布の設定について¹⁾

HDP-69BCH(B)型は3つの燃料収納条件を設定している。そのうち、配置(i)、(iii)は、収納条件とする使用済燃料の軸方向燃焼度分布を保守的^{*}に設定しており、軸方向燃焼度分布の確認は不要である。

一方、配置(ii)では、使用済燃料プールに保管されている使用済燃料 \square の軸方向燃焼度分布を調査し、その調査結果から、一部の燃焼度の高い燃料が収納対象外となるものの、配置(i)、(iii)よりも合理的に収納できる使用済燃料の軸方向燃焼度分布を設定した。そのため、特定兼用キャスクへの収納時において、事業者によって軸方向燃焼度分布は確認されるものとした。なお、設定した軸方向燃焼度分布が包含されない使用済燃料については、HDP-69BCH(B)型の収納対象外とする。

注記1*: 調査対象の全ての使用済燃料の軸方向燃焼度分布を包絡でき、かつ各ノードの燃焼度と平均燃焼度の比(ピーキングファクタ:PF)の分布とした場合でも包絡できる収納条件とした(下図参照)。



1) 資料1-4 参考1 1、2、8~10頁参照

\square 内は商業機密のため非公開

1.1 コメント回答(コメントNo.10)

この資料及びこの資料に基づく計算書並びに記録等の出力を複製、第三者へ開示または公開しないようお願い致します



○燃焼度の計算について¹⁾

- (1) 燃焼度の設定に用いた使用済燃料プールに保管されている使用済燃料の軸方向燃焼度分布は、事業者が炉心解析コードで評価した値である。
- (2) 崩壊熱量、線源強度などを計算する燃焼解析コードでは、入力条件やオプション設定の初期濃縮度、ウラン重量、核データの断面積ライブラリ等において、以下のように、保守的な崩壊熱量、線源強度になるように設定しているため、入力条件としての燃焼度については、炉心解析コードの計算誤差は入力条件に取り込んでいない。

- ①設定した軸方向燃焼度分布は、複数の使用済燃料の軸方向燃焼度分布の包絡値であり、1体当たりの燃焼度は、炉心解析コードの計算誤差より大きい保守性を有している。
- ②遮蔽解析において、上記(1)の実燃料の軸方向燃焼度分布の最大値に計算誤差を加算した燃焼度分布を別途作成し、線量当量率の評価を行ったところ、現状の評価を超えないことを確認している。また、第三者が事業者と独立して実施した炉心解析コードによる解析値と実測値との比較において、計算誤差は①の誤差の約2倍とされているものがあり⁽¹⁾、①の誤差の約2倍の計算誤差を仮定した線源強度を計算しても、その線量当量率は、キャスク表面及びキャスク表面から1 mにおける設計基準値を超えないことを確認している。

出典(1): (独)原子力安全基盤機構、「CASMO-4/SIMULATE-3コードシステムによるBWR実機炉心解析に関する報告書」、(独)原子力安全基盤機構、(2005年12月)

配置(ii)の燃料ごとのPF

| 燃料種類 | 新型8×8 ジルコニウムライナ燃料 | 高燃焼度8×8燃料 | | 備考 |
|-------|----------------------|-----------|--------|----|
| | 燃焼度(MWd/t) | 40.000 | 40.000 | |
| 最大のPF | | | | |
| 平均のPF | | | | |

1) 資料1-4 参考1 3、4、13~15頁参照

□ 内は商業機密のため非公開

1.2 コメント回答(コメントNo.11)

この資料及びこの資料に基づく計算書並びに記録等の出力を複写、第三者へ開示または公開しないようお願い致します



○貯蔵用緩衝体の設計条件と輸送用緩衝体の適用性について^{1) 2)}

- ・設置方法②(よこ置き)では、HDP-69BCH(B)型の両端に貯蔵用緩衝体を装着した状態で貯蔵する。
- ・貯蔵用緩衝体は、地震力によってHDP-69BCH(B)型が貯蔵架台から転倒した場合にHDP-69BCH(B)型に作用する加速度及び荷重が、HDP-69BCH(B)型の閉じ込め機能を損なわない衝撃加速度及び荷重以下となることを、貯蔵用緩衝体の設計条件とする。
- ・上記の閉じ込め機能を損なわない加速度及び荷重としては、外運搬規則への適合性の評価における9 m落下時に適用した設計加速度及び設計荷重とする。

貯蔵用緩衝体の設計加速度及び設計荷重の条件

| 転倒時の姿勢 | 水平の場合 | 垂直の場合 |
|--------------------------|-------|-------|
| 設計加速度(m/s ²) | 637 | 588 |
| 設計荷重(MN) | 84.1 | 77.8 |

1) 資料3-1 11頁

2) 資料3-2 42, 43頁

1.2 コメント回答(コメントNo.11)

この資料及びこの資料に基づく計算書並びに記録等の出力を複写、第三者へ開示または公開しないようお願い致します



○貯蔵用緩衝体の設計条件と輸送用緩衝体の適用性について¹⁾

・また、貯蔵用緩衝体装着時の除熱機能の影響は、輸送用緩衝体の条件で評価し、除熱機能の設計基準を満足することを確認した。

貯蔵用緩衝体装着時の温度評価結果

| 対象となる部位 | | 評価結果(°C) | | | 設計基準値(°C) |
|--------------|------------|-----------------|-------------------------|-----------------|-----------|
| | | 設置方法② (よこ置き) | 輸送用緩衝体を装着した外搬時の評価結果(参考) | 設置方法⑤ (たて置き) | |
| 特定兼用 キャスク | 一次蓋 | 106 | 105 | 96 | 350 |
| | 二次蓋 | 98 | 97 | 85 | 350 |
| | 一次蓋ボルト | 98 | 97 | 89 | 350 |
| | 二次蓋ボルト | 96 | 95 | 85 | 350 |
| | 金属ガasket | 98 | 97 | 89 | 130 |
| | 胴(底板) | 136 | 134 | 142 | 350 |
| | 全体モデルの最高温度 | 240 | 238 | 244 | — |

1) 資料1-5 44頁

1.3 コメント回答(コメントNo.12、14)

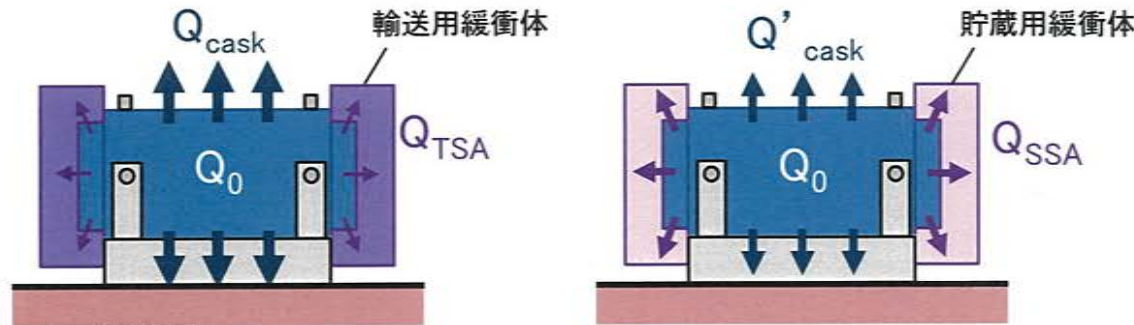
この資料及びこの資料に基づく計算書並びに図録等の出力を複製、第三者へ開示または公開しないようお願い致します



○設置方法②で使用する貯蔵用緩衝体の設計成立性の説明方法(1)

(第2回 特定兼用キャスクの設計の型式証明等に係る審査会合(8月6日)資料 P.10より。一部修正)

✓ 緩衝体の放熱量



Q_0 : 総発熱量

Q_{cask} : 特定兼用キャスクからの直接の放熱量(輸送用緩衝体装着状態)

Q'_{cask} : 特定兼用キャスクからの直接の放熱量(貯蔵用緩衝体装着状態)

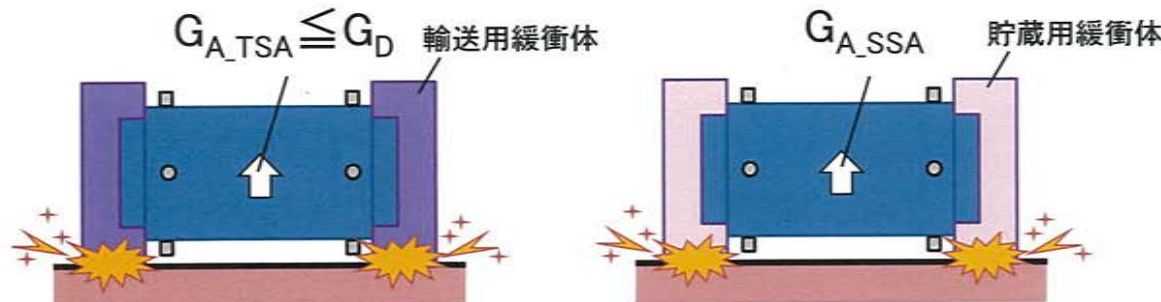
Q_{TSA} : 輸送用緩衝体を通しての放熱量 Q_{SSA} : 貯蔵用緩衝体を通しての放熱量

$$Q_{TSA} \leq Q_{SSA}$$

型式証明では、最も厳しい輸送荷姿の放熱量を貯蔵用緩衝体の条件とする。

設置(変更)許可申請では、緩衝体装着時の放熱量を輸送荷姿以上とする設計方針であることを確認いただく。

✓ 転倒時の衝撃加速度



G_{A_TSA} : 転倒時衝撃加速度(輸送用緩衝体装着状態)

G_{A_SSA} : 転倒時衝撃加速度(貯蔵用緩衝体装着状態)

G_D : 輸送荷姿での設計加速度*1

$$G_{A_SSA} \leq G_D$$

型式証明では、転倒時の衝撃加速度が輸送荷姿での設計加速度*1以下となる設計とする。

詳細な荷重条件に基づいた具体的な評価については、型式指定又は設工認で確認いただく。

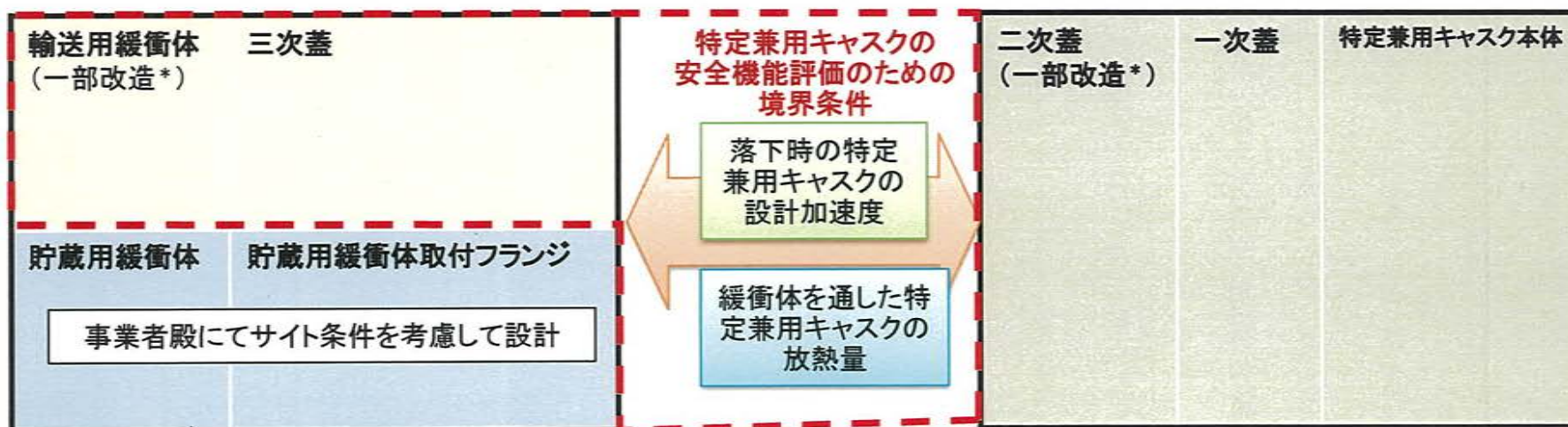
注記*1 構造評価で用いた加速度(閉じ込め機能を構成する特定兼用キャスク各部分がおおむね弾性範囲に留まる)

1.3 コメント回答(コメントNo.12、14)

この資料及びこの資料に基づく計算書並びに記録等の出力を複写、第三者へ開示または公開しないようお願い致します



○設置方法②で使用する貯蔵用緩衝体の設計成立性の説明方法(2)



 特定兼用キャスク
 周辺施設
 外運搬に必要な機器
 型式証明申請にて審査いただきたい範囲

*: 蓋間圧力センサを取り付けるため、以下の例に示すような一部改造を実施する。

二次蓋:
 輸送用緩衝体:

- 設置方法②の一例として、輸送用緩衝体と三次蓋を装着した状態での、緩衝体を通した特定兼用キャスクの放熱量、落下時の設計加速度の条件で、設計成立性を説明する。
 - ・ 安全機能評価の詳細は、型式指定にて外運搬規則への適合性説明を引用して説明
- 貯蔵用緩衝体及び貯蔵用緩衝体取付フランジは、事業者殿にてサイト条件を考慮して設計いただけるよう、上記の放熱量、設計加速度の条件を満たすことを型式証明の条件として、設置変更許可申請での確認事項とする。安全機能評価の詳細は設工認申請にて説明する。
 - ・ 型式証明申請では、輸送用緩衝体と三次蓋を装着した状態での放熱量、設計加速度を条件とする。貯蔵用緩衝体及び貯蔵用緩衝体取付フランジを新たに設計する場合は、当該の放熱量及び設計加速度の条件に包絡されることとする

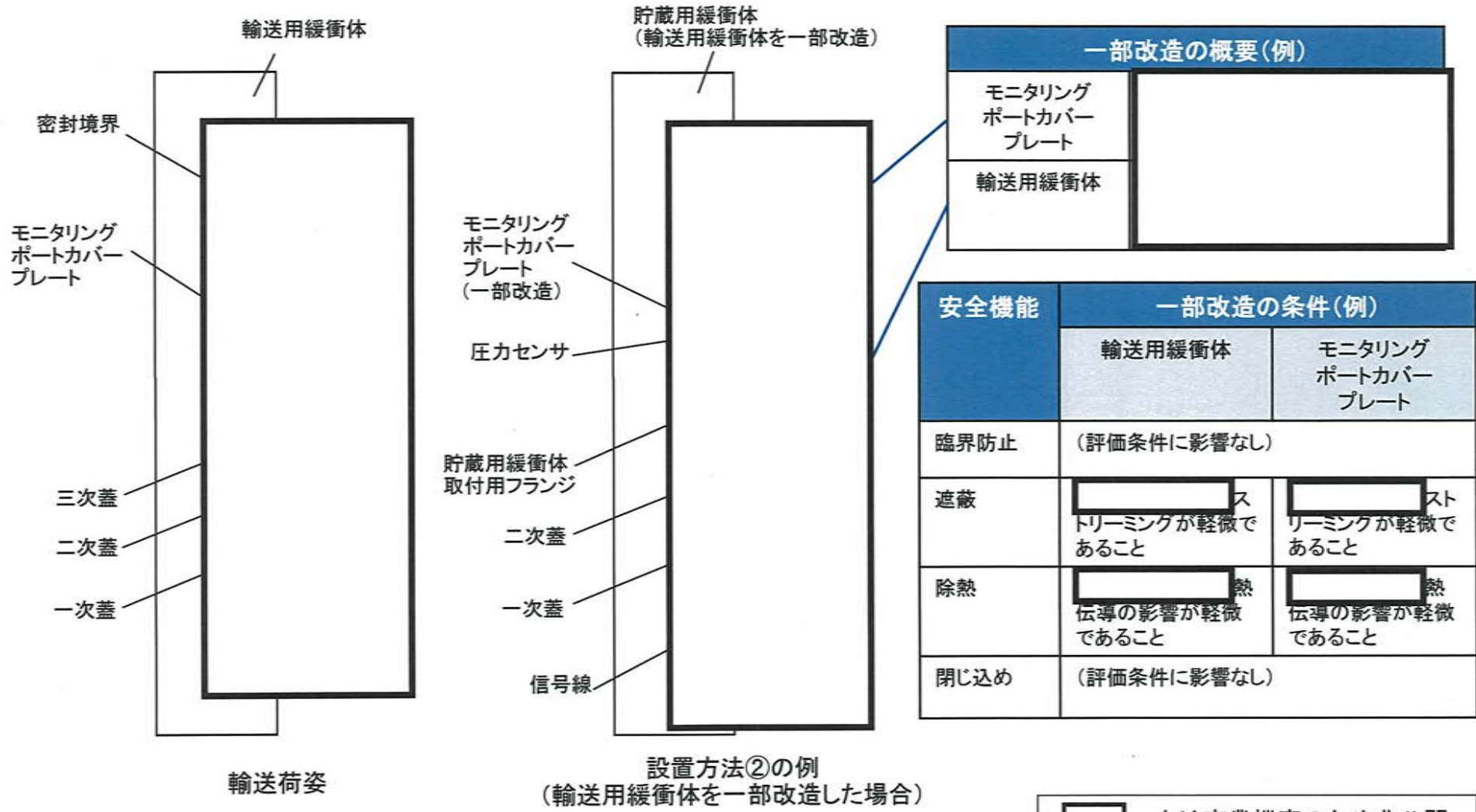
内は商業機密のため非公開

1.3 コメント回答(コメントNo.12、14)

この資料及びこの資料に基づき計算書並びに記録等の出力を複製、第三者へ開示または公開しないようお願い致します



○設置方法②で使用する貯蔵用緩衝体として、輸送用付属品を改造した場合



内は商業機密のため非公開

1.3 コメント回答(コメントNo.12、14)

この資料及びこの資料に基づき計算書並びに記録等の出力を複製、第三者へ開示または公開しないようお願い致します



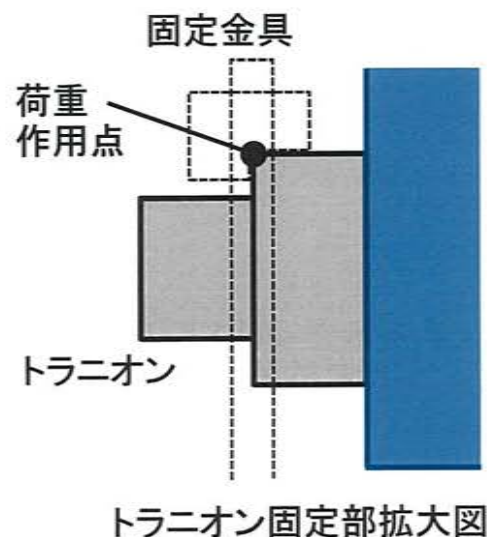
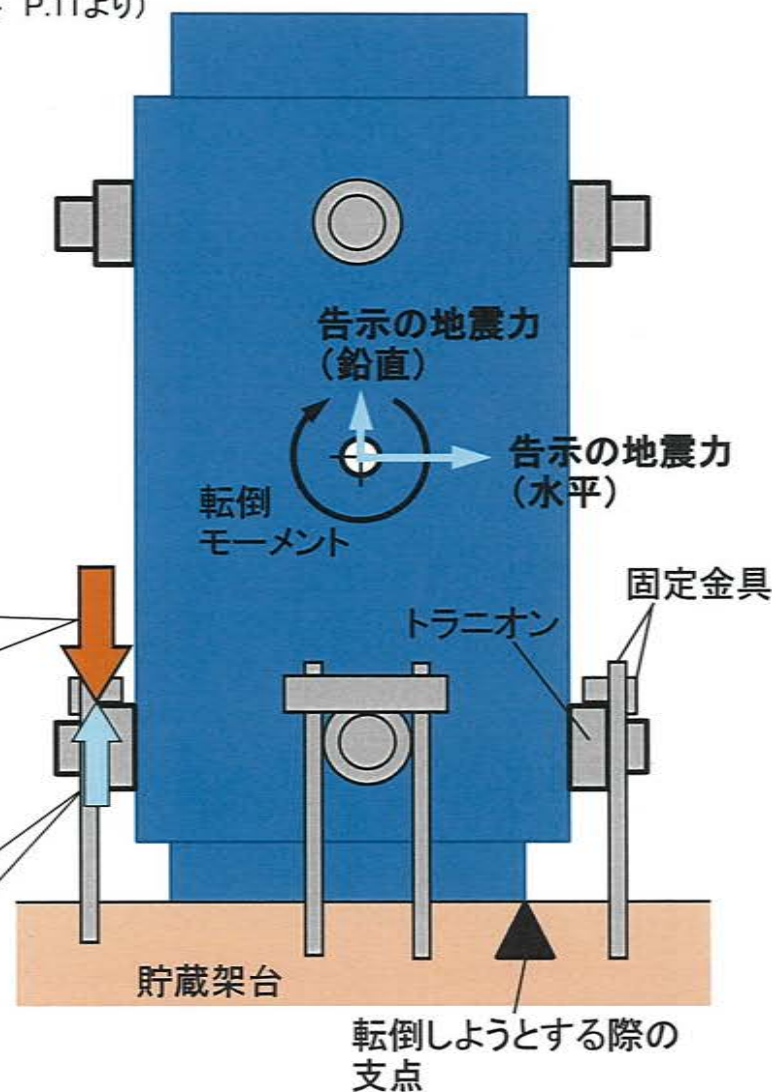
○設置方法⑤で使用する貯蔵用緩衝体の設計成立性の説明方法(1)
 (第2回 特定兼用キャスクの設計の型式証明等に係る審査会合(8月6日)資料 P.11より)

HDP-69BCH(B)型

$F_m < F_1$

型式証明では、告示の地震力での転倒を防止するために、地震による荷重 F_m よりも大きなトランニオン固定荷重 F_1 を作用させた場合のトランニオンの構造健全性の評価方法を確認いただく。

設置(変更)許可申請では、基準地震動による地震力で固定装置及び貯蔵架台の健全性が維持される設計であることを確認いただく。



F_1 :
 転倒を防止するためにトランニオンを下方へ押さえつける荷重(トランニオン固定荷重)

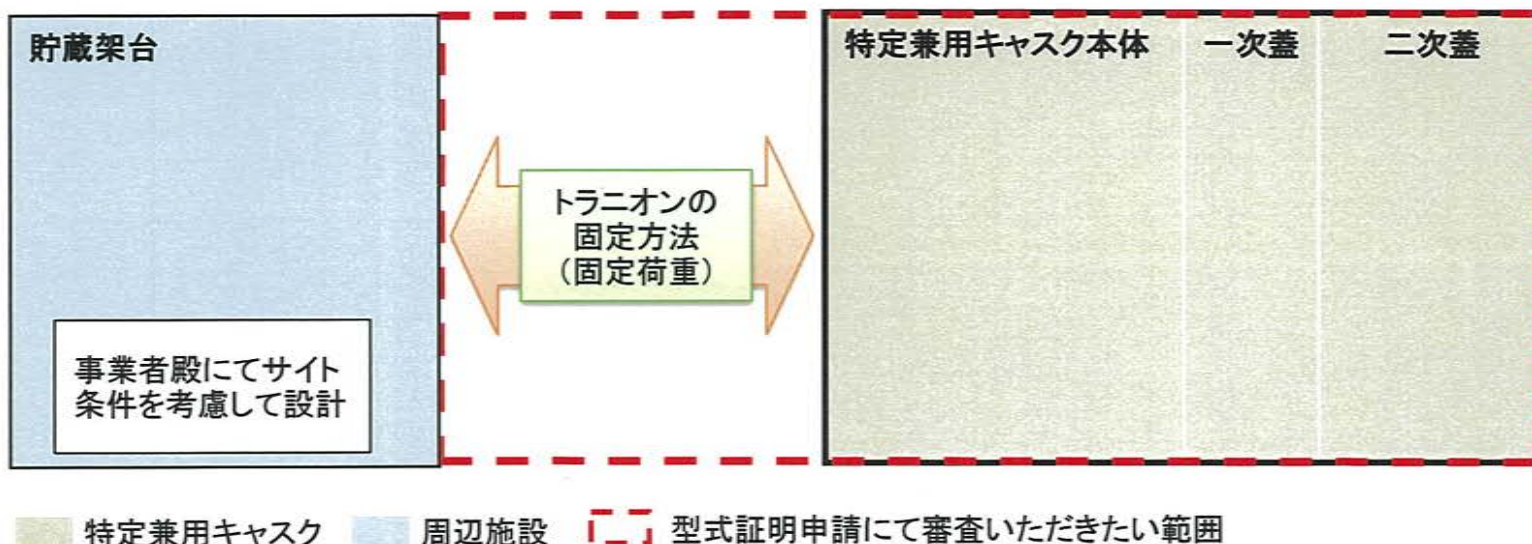
F_m :
 告示の地震力によって転倒しようとして浮き上がろうとする荷重(地震による荷重)

1.3 コメント回答(コメントNo.12、14)

この資料及びこの資料に基づき計算書並びに記録等の出力を複製、第三者へ開示または公開しないようお願い致します



○設置方法⑤で使用する貯蔵用緩衝体の設計成立性の説明方法(2)



- 特定兼用キャスクがトラニオンを介して貯蔵架台に固定されることを前提として、地震力が作用しても特定兼用キャスクが転倒しないことの設計成立性を説明する。
 - ・ 貯蔵架台は、地震力が作用した場合に特定兼用キャスクが転倒しようとして底部が浮き上がらないような十分な固定荷重を、トラニオン鉛直下向きに作用させる固定金具を有する構造であることを前提とする。
 - ・ トラニオンの構造上最も厳しい断面について、固定荷重が作用した場合に発生する応力がおおむね弾性範囲に留まることを確認することで、地震力が作用しても特定兼用キャスクが転倒しないことの設計成立性を説明する。
 - ・ なお、貯蔵架台の設計成立性は、事業者殿にてサイト条件を考慮して設計いただけるよう、本型式認定を受けたトラニオンの固定荷重の条件を満足し、基準地震動による地震力で固定装置及び貯蔵架台の健全性が維持される設計であることを設置(変更)許可、安全機能評価の詳細は設工認にて確認いただく。

1.4 コメント回答(コメントNo. 13)

この資料及びこの資料に基づき計算書並びに記録等の出力を複製、第三者へ開示または公開しないようお願い致します



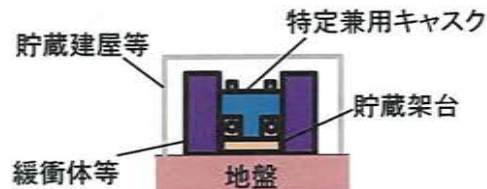
○特定兼用キャスクと周辺施設の種類

| 分類 | 名称 | 担保すべき安全機能 | | 特定兼用キャスクによる乾式貯蔵の構成機器(型式申請書に記載) | 審査で確認いただく安全機能 | | | | | |
|---------------|---|-------------------|----------|--------------------------------|---------------|--------------|--------------|----|-------|--------------|
| | | 貯蔵時 ^{*1} | 輸送時 | | 型式証明 | 設置(変更)許可 | 型式指定 | | 設計承認 | 設工認 |
| | | | | | | | 貯蔵 | 輸送 | | |
| 特定兼用キャスク | 特定兼用キャスク本体(バスケットを含) | 4つの安全機能 | 4つの安全機能 | ◎ | ◎ | —(同左) | ◎ | ◎ | —(同左) | —(同左) |
| | 一次蓋(ボルト ^{*2} 含) | 遮蔽 閉じ込め | 遮蔽 | ◎ | — | — | — | ◎ | —(同左) | — |
| | 二次蓋(ボルト ^{*2} 含) | | | | | | | | | |
| | 三次蓋(ボルト ^{*2} 含) | — | 閉じ込め | ◎ | — | — | — | ◎ | —(同左) | — |
| | 金属ガスカート ^{*2} (一次蓋、二次蓋) | 閉じ込め | 閉じ込め | ◎ | ◎ | —(同左) | ◎ | ◎ | —(同左) | —(同左) |
| | モニタリングポートカバープレート ^{*2} (輸送用) | — | 閉じ込め | ◎ | — | — | — | ◎ | —(同左) | — |
| | Oリング ^{*2} (三次蓋、モニタリングポートカバープレート) | — | 閉じ込め | ◎ | — | — | — | ◎ | —(同左) | — |
| 周辺施設 | 貯蔵用緩衝体 | ②: 地震防護 ⑤: — | — | ②: ◎ ⑤: — | ②: ◎ ⑤: — | —(同左) | ②: ◎ ⑤: — | — | — | ②: ◎ ⑤: — |
| | 貯蔵用緩衝体取付用フランジ(モニタリングポートカバープレート含) | ②: 地震防護 ⑤: — | — | ②: ○ ⑤: — | ②: ○ ⑤: — | —(同左) | ②: ○ ⑤: — | — | — | ②: ○ ⑤: — |
| | 貯蔵架台(固定装置を含) | ②: — ⑤: 地震防護 | — | ②: — ⑤: — | — | ②: △ ⑤: ◎ | — | — | — | ②: △ ⑤: ◎ |
| | 監視装置 | 監視機能 | — | ◎ | — | — | — | — | — | ◎ |
| 外運搬するために必要な機器 | 輸送用緩衝体 | — | 落下時の外力防護 | ◎ | — | — | — | ◎ | —(同左) | — |

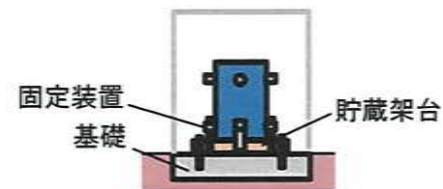
◎:機能要求があり、審査いただくもの ○:他の部品と機能を一体化して無くす場合がある △:重要な機能要求がないが運用上必要なもの

*1: ②、⑤は、下図に示す通り、設置方法②(緩衝体等の装着により蓋部が金属部に衝突しない方法)、設置方法⑤(トランオンによって特定兼用キャスクを基礎等に固定する方法)をそれぞれ示す。

*2:蓋部以外の特定兼用キャスクに使用する部品



設置方法②



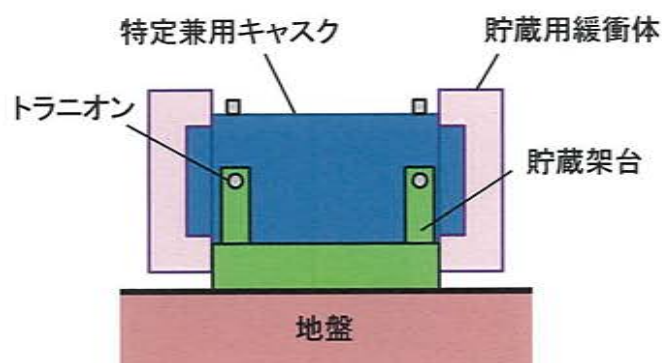
設置方法⑤

1.5 コメント回答(コメントNo.15)

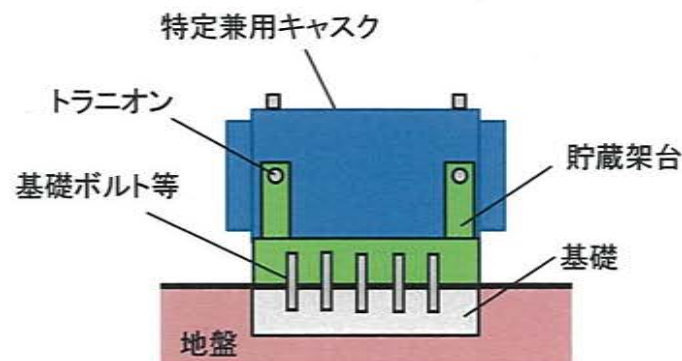
この資料及びこの資料に基づき計算書並びに記録等の出力を複製、第三者へ開示または公開しないようお願い致します

○設置方法②と設置方法⑤（よこ置き）の固定方法について

設置方法②と設置方法⑤（よこ置き）の固定方法は以下のとおりである。



設置方法②



設置方法⑤(よこ置き)*1

*1: 貯蔵架台の基礎等への固定方法は一例であり、詳細は設置(変更)許可申請で確認いただく。

設置方法②: 貯蔵用緩衝体等の装着により蓋部が金属部に衝突しない方法を申請する。

- ・特定兼用キャスクはトラニオンを介して貯蔵架台で支持され、特定兼用キャスクの両端に貯蔵用緩衝体等を装着する。
- ・貯蔵用緩衝体等の装着により蓋部が金属部に衝突しないことから、地盤により十分に支持されなくてもその安全機能を損なわない設置方法であるため、特定兼用キャスクを十分に支持する地盤に設置することを要しない。

設置方法⑤(よこ置き): 特定兼用キャスクを基礎等に固定する方法を申請する。

- ・特定兼用キャスクは設置方法②と同様に、トラニオンを介して貯蔵架台で固定される。
- ・貯蔵架台は、基礎ボルト等により基礎に固定される。基礎は地盤の十分な支持が期待されることを前提条件とする。特定兼用キャスクの固定方法は設置方法⑤(たて置き)と同様であり、トラニオンが健全であれば、特定兼用キャスクが転倒することはなく、特定兼用キャスクの安全機能が損なわれることはない。

1.6 コメント回答(コメントNo.16)

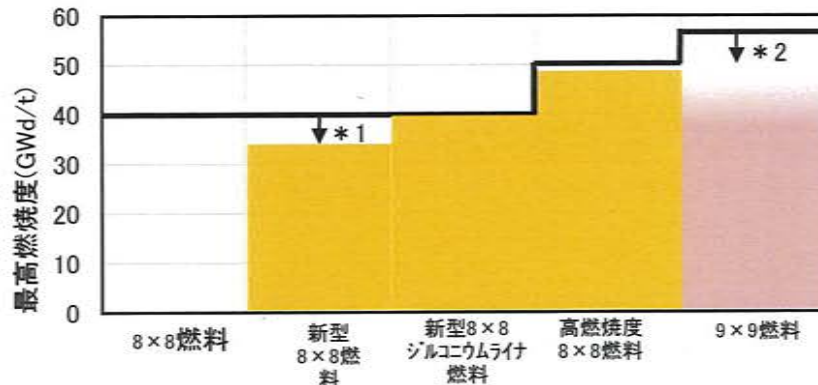
この資料及びこの資料に基づく計算書並びに記録等の出力を複写、第三者へ開示または公開しないようお願い致します



○臨界解析の燃料条件と保守性の考え方¹⁾

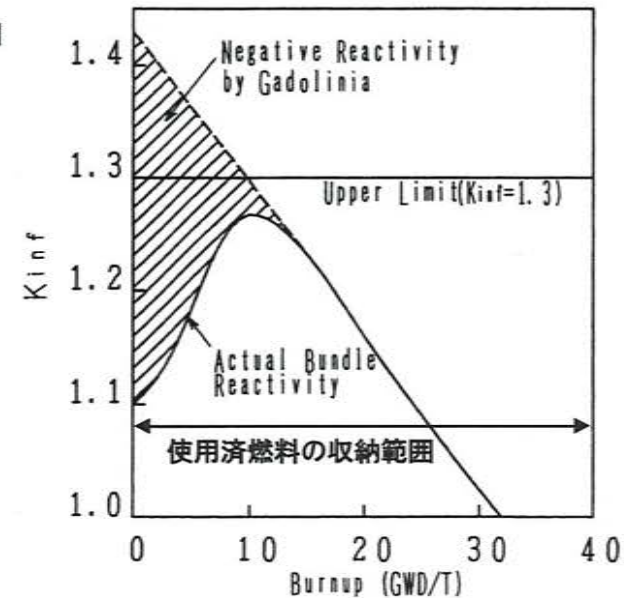
- ・HDP-69BCH(B)型への使用済燃料の収納条件は、燃焼度の上限値以下であることとしているため、上限値以下の燃焼度であれば、低燃焼度の燃料も収納できる仕様としている。
- ・除熱機能及び遮蔽機能の観点では燃焼度が最も高い条件が厳しいが、臨界防止の観点では、燃焼度の上限値より小さい燃焼度で反応度のピークが存在する。したがって、対象となる使用済燃料の反応度が最も高くなる条件を包絡できる燃焼を考慮しない燃料モデルで評価を実施する。
乾燥時:水のない状態ではガドリニアの中性子吸収効果を期待できないことから、燃焼度0 GWd/t(燃焼を考慮しない)の燃料モデルで評価
冠水時:ガドリニアの中性子吸収効果を考慮し、反応度のピークを包絡できる燃料モデル(ガドリニアクレジットモデルバンドル)で評価
- ・なお、放射性物質安全輸送規則(IAEA輸送規則)より、燃焼度を考慮した場合、収納の前に未臨界度の測定が必要とされており、臨界防止機能は、他の安全機能よりも厳密な安全管理を要求されている。以上より、特定兼用キャスクの臨界解析は、十分に保守性を持たせた燃料モデルで解析を行う。

— 設計上の最高燃焼度 ■ 収納する使用済燃料の範囲 ■ 将来収納可能な燃料の範囲



注記*1 燃料被覆管の基準温度が低いため
注記*2 将来は9×9燃料(A型、B型)も燃焼度と冷却期間の選択で収納可能

収納する使用済燃料の範囲(燃焼度)²⁾



BWR燃料の反応度特性の例³⁾

1) 資料1-3 8、9頁参照 2) 資料1-2 表2.2-1参照 3) 資料1-3 図2.4.1-5参照

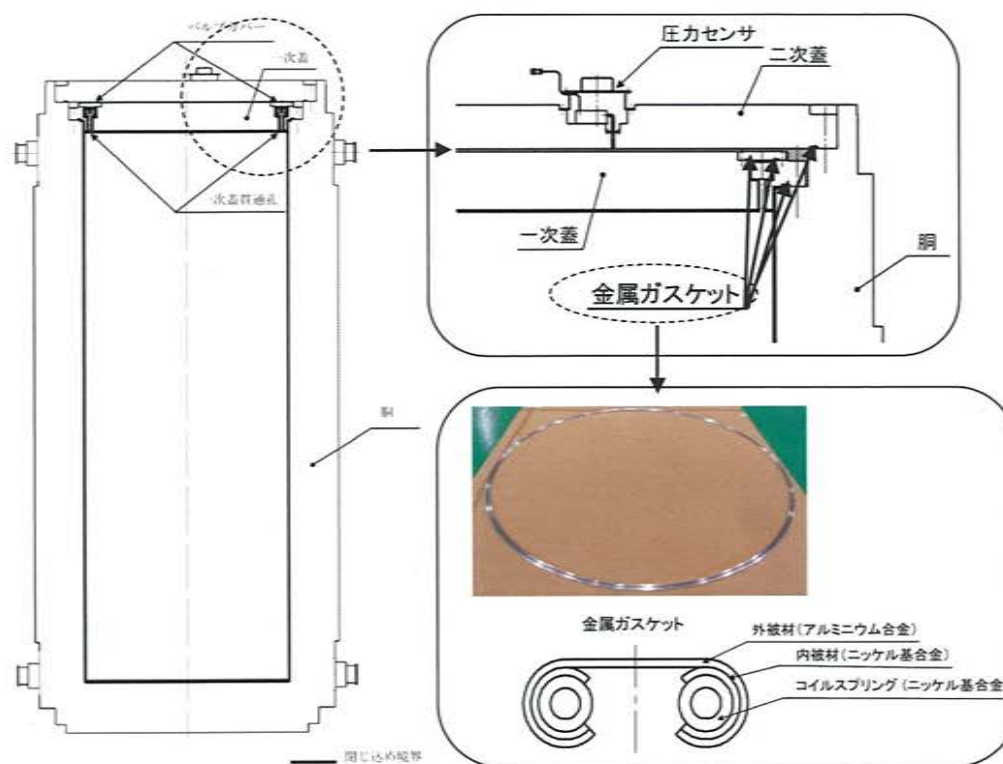
1.7 コメント回答(コメントNo.17)

この資料及びこの資料に基づく計算書並びに記録等の出力を複写、第三者へ開示または公開しないようお願い致します



○閉じ込め監視機能について¹⁾

- 二次蓋に一次蓋と二次蓋の蓋間圧力を測定する圧力センサを設置できる構造とすることにより、閉じ込め機能を監視する設計としている。蓋間の容積は、特定兼用キャスク内部の容積より十分に小さく、仮に一次蓋から漏れが生じ、蓋間圧力が大気圧まで低下しても、特定兼用キャスク内部の圧力は大気圧を超えることはない。また、蓋間圧力が低下した場合には、ヘリウムガスを再充填することで、蓋間圧力は大気圧以上に回復できる設計としている。



- 1) 資料1-6 4頁参照
- 2) 資料1-6 図2.4.4-1~3参照

HDP-69BCH(B)型の型じ込め構造²⁾

1.7 コメント回答(コメントNo.17)

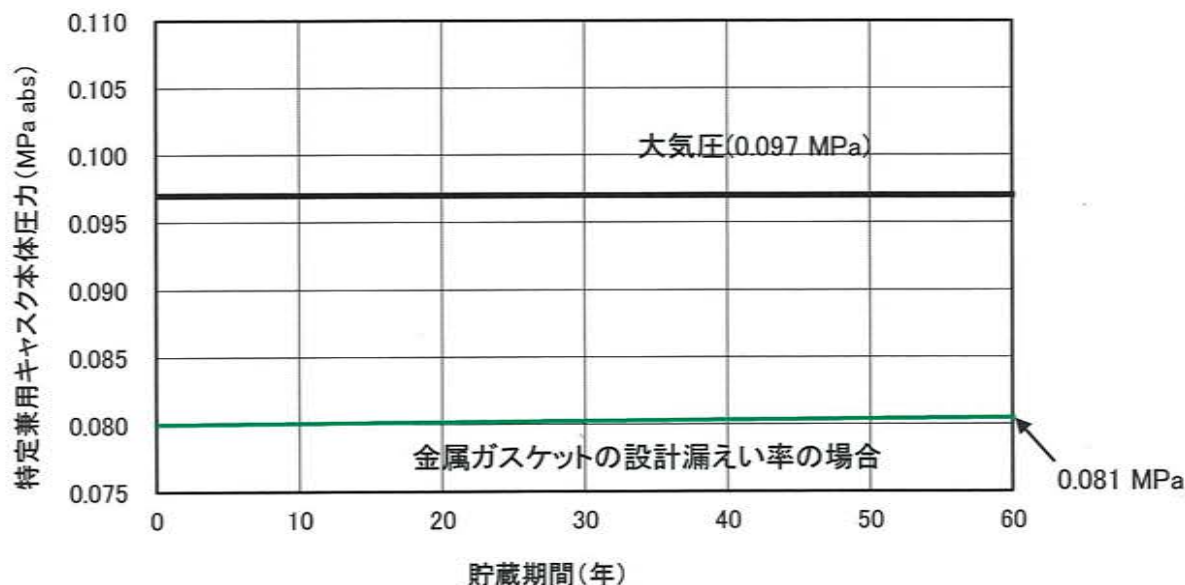
この資料及びこの資料に基づく計算書並びに記録等の出力を複製、第三者へ開示または公開しないようお願い致します



○漏えい率と内部圧力の関係¹⁾

- ・特定兼用キャスクが負圧を維持できるように、使用する金属ガスケットが確保可能な密封性能(金属ガスケットの設計漏えい率)は、設計貯蔵期間経過後も大気圧以下であるものとする。なお、金属ガスケットの単体の性能だけでなく、特定兼用キャスクの蓋部に金属ガスケットを組み込んだ状態の気密漏えい検査時の検査精度も考慮して、設定する。
- ・金属ガスケットの設計漏えい率が約 10^{-7} Pa \cdot m³/sであれば、設計貯蔵期間60年後の特定兼用キャスク本体内部圧力は0.081 MPa程度となり、初期圧力0.080 MPaに対してほとんど変化せず、大気圧0.097 MPa以下であり、十分に負圧を維持することができることを確認した。

| 特定兼用キャスク内部初期圧力 (MPa) | 金属ガスケットの設計漏えい率による設計貯蔵期間経過後の特定兼用キャスク内部圧力 (MPa) | 大気圧 (MPa) |
|----------------------|---|-----------|
| 0.080 | 0.081 | 0.097 |



- 1) 資料1-6 26頁参照
- 2) 資料1-6 図2.4.4-12参照






貯蔵期間中の特定兼用キャスク本体内部圧力²⁾

参考1 原子力発電所内での輸送・貯蔵兼用乾式キャスクによる使用済燃料の貯蔵に関する審査ガイド 抜粋

この資料及びこの資料に基づく計算書並びに記録等の出力を複写、第三者へ開示または公開しないようお願い致します



別表 兼用キャスクの設置方法に応じた評価の例

| 設置方法 | 地盤、基礎、支持部等の評価 | 蓋部の金属部への衝突評価 | 兼用キャスク本体評価 | 備考 |
|---|---|--------------|------------|------------|
| 地盤の十分な支持を想定しない 基礎等に固定しない | ①輸送荷姿  | - | - | *1 |
| | ②蓋部の金属部への衝突が生じない設置方法  | - | ○ (加速度) | |
| | ③蓋部の金属部への衝突が生じる設置方法  | - | ○ (速度) | ○ (加速度) |
| ④基礎等に固定する  | ○ (基準地震動) | / | ○ (加速度) | |
| 地盤の十分な支持を想定する ⑤基礎等に固定する  | ○ (基準地震動) | / | ○ (加速度) | *3 |

○：評価要
 -：評価不要

*1~*3：「6.1 安定性評価の基本方針」参照

参考2 当社が型式証明で申請する設置方法について

この資料及びこの資料に基づく計算書並びに図録等の出力を複製、第三者へ開示または公開しないようお願い致します



○設置方法の名称は、第2回審査会合(8月6日)の連番から審査ガイド 別表の記載に変更する。

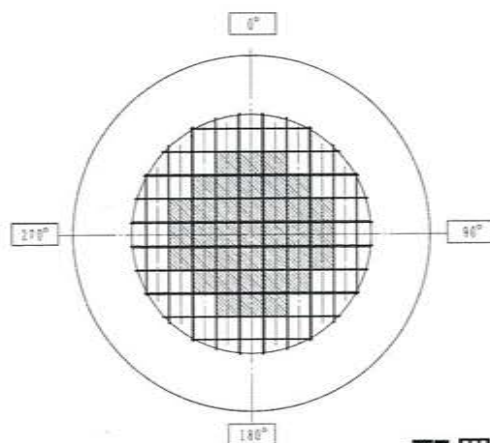
| | | 設置方法 | | 設置方法 | | | |
|----------------|-----------|---------------|--|------|----------|---------------|-----------------------------|
| 地盤の十分な支持を想定しない | 基礎等に固定しない | 設置方法② よこ置き | <p>特定兼用キャスク 貯蔵建屋等*1 貯蔵架台 緩衝体等*2 地盤</p> | ない | 基礎等に固定する | 設置方法④ たて置き | <p>基礎</p> |
| | | 設置方法② たて置き | <p>貯蔵架台</p> | | | 設置方法④ よこ置き | |
| | | 設置方法③ たて置き | | る | 基礎等に固定する | 設置方法⑤ たて置き | <p>固定装置 基礎 貯蔵架台</p> |
| | | 設置方法③ よこ置き | <p>貯蔵架台</p> | | | 設置方法⑤ よこ置き | <p>固定装置 基礎 貯蔵架台</p> |



注記*1 HDP-69BCH(B)型が雨水等に常時曝されることがないように貯蔵建屋やコンクリートモジュール等を設置。ただし、貯蔵建屋等の耐震性(要求なしを含む)は、設置(変更)許可申請において選択する。

注記*2 HDP-69BCH(B)型の蓋部が金属部へ衝突しない方法により設置するために、特定兼用キャスクに装着する貯蔵用緩衝体等の貯蔵用付属品を指す。

○ 配置(i)の使用済燃料収納条件

| 種類 | | 中央部 | | 外周部 | |
|-------------------|-------------------------|--------------------------|---------------|--------------------------|---------------|
| | | 新型8×8 ジルコニウムライナ 燃料 | 高燃焼度 8×8燃料 | 新型8×8 ジルコニウムライナ 燃料 | 高燃焼度 8×8燃料 |
| 使用済燃料の種類 | | | | | |
| 使用済燃料 1体当たり | 最高燃焼度(MWd/t以下) | 40,000 | | 34,000 | |
| | 冷却期間(年以上) | 18 | | | |
| 特定兼用キャスク 1基当たり | 収納体数(体) | 37 | | 32 | |
| | キャスク内平均燃焼度 (MWd/t以下) | 34,000 | | | |
| | 最大崩壊熱量(kW以下) | 12.1 | | | |

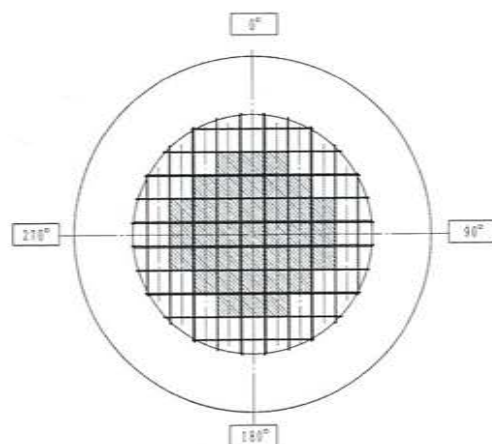




-  中央部 : 最高燃焼度40,000MWd/t以下の使用済燃料を収納(37体)
-  外周部 : 最高燃焼度34,000MWd/t以下の使用済燃料を収納(32体)

配置(i)の使用済燃料収納位置

○ 配置(ii)の使用済燃料収納条件

| 種類 | | 中央部 | 外周部 | |
|-------------------|-------------------------|---------------|-------------------------|---------------|
| 使用済燃料の種類 | | 高燃焼度 8×8燃料 | 新型8×8 ジルコニウムライ 燃料 | 高燃焼度 8×8燃料 |
| 使用済燃料 1体当たり | 最高燃焼度(MWd/t以下) | 48,000 | 40,000 | |
| | 冷却期間(年以上) | 20 | 22 | |
| 特定兼用キャスク 1基当たり | 収納体数(体) | 37 | 32 | |
| | キャスク内平均燃焼度 (MWd/t以下) | 40,000 | | |
| | 最大崩壊熱量(kW以下) | 13.8 | | |

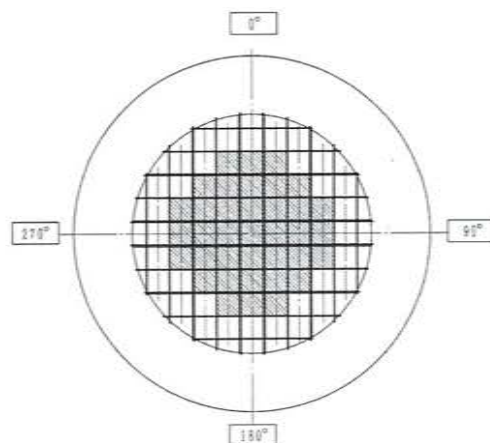




-  中央部 : 最高燃焼度48,000MWd/t以下の使用済燃料を収納(37体)
-  外周部 : 最高燃焼度40,000MWd/t以下の使用済燃料を収納(32体)

配置(ii)の使用済燃料収納位置

○ 配置(iii)の使用済燃料収納条件

| 種類 | | 中央部 | 外周部 |
|-------------------|-------------------------|---------|--------|
| 使用済燃料の種類 | | 新型8×8燃料 | |
| 使用済燃料 1体当たり | 最高燃焼度(MWd/t以下) | 34,000 | 29,000 |
| | 冷却期間(年以上) | 28 | |
| 特定兼用キャスク 1基当たり | 収納体数(体) | 37 | 32 |
| | キャスク内平均燃焼度 (MWd/t以下) | 29,000 | |
| | 最大崩壊熱量(kW以下) | 8.4 | |



-  中央部 : 最高燃焼度34,000MWd/t以下の使用済燃料を収納(37体)
-  外周部 : 最高燃焼度29,000MWd/t以下の使用済燃料を収納(32体)

配置(iii)の使用済燃料収納位置

HITACHI



この資料及びこの資料に基づ
く計算書並びに記録等の出力
を複写、第三者へ開示または
公開しないようお願い致します

END

発電用原子炉施設に係る特定機器の設計の型式証明申請 (審査会合コメント回答)

日立GEニュークリア・エナジー株式会社

16 条

燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設

目次

1. 基本方針
 - 1.1 要求事項に対する適合性
 - (1) 位置、構造及び設備
 - (2) 安全設計方針
 - (3) 適合性説明
 - 1.2 設備等
2. 燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設
 - 2.1 HDP-69BCH(B)型の構造について
 - 2.2 HDP-69BCH(B)型の収納条件について
 - 2.3 HDP-69BCH(B)型の設計貯蔵期間について
 - 2.3.1 要求事項
 - 2.3.2 適合性について
 - 2.4 HDP-69BCH(B)型の4つの安全機能について
 - 2.4.1 HDP-69BCH(B)型の臨界防止機能について
 - 2.4.2 HDP-69BCH(B)型の遮蔽機能について
 - 2.4.3 HDP-69BCH(B)型の除熱機能について
 - 2.4.4 HDP-69BCH(B)型の閉じ込め機能について
 - 2.5 HDP-69BCH(B)型の長期健全性について
 - 2.5.1 要求事項
 - 2.5.2 適合性について
 - 2.5.3 参考文献
 - 2.6 HDP-69BCH(B)型の構造強度について

1. 基本方針

1.1 要求事項に対する適合性

「発電用原子炉施設に係る特定機器の設計の型式証明申請書」(添付書類を含む)から、第十六条の適合性に関する箇所を抜粋し、関連する箇所に囲い線を表記する。

(1) 位置、構造及び設備

四 特定機器の構造及び設備

1. 構造

HDP-69BCH(B)型は、軽水減速、軽水冷却、沸騰水型原子炉(以下「BWR」という。)で発生した使用済燃料を貯蔵する機能を有するとともに、使用済燃料の原子力発電所敷地外への運搬に使用する輸送容器の機能を併せ持ち、実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則第二条第2項第四十一号に規定する金属製の特定兼用キャスク。HDP-69BCH(B)型は、使用済燃料が臨界に達することを防止する機能(以下「臨界防止機能」という。)、特定兼用キャスクに収納された使用済燃料からの放射線を遮蔽する機能(以下「遮蔽機能」という。)、特定兼用キャスクに収納された使用済燃料を閉じ込める機能(以下「閉じ込め機能」という。)、及び特定兼用キャスクに収納された使用済燃料の崩壊熱を除去する機能(以下「除熱機能」という。)といった安全性を確保するために必要な機能(以下「安全機能」という。)を有する構造とする。

HDP-69BCH(B)型は、「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律」等の関連法規の要求を満足するとともに、原則として、現行国内法規に基づく規格及び基準等によって設計する。HDP-69BCH(B)型は、「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律」等の関連法規の要求を満足するとともに、原則として、現行国内法規に基づく規格及び基準等によって設計する。

イ. 使用済燃料の臨界防止に関する構造

HDP-69BCH(B)型は、その内部のバスケットの幾何学的な配置及び中性子を吸収する材料により、技術的に想定されるいかなる場合においても臨界に達することを防止できる構造とする。

ロ. 放射線の遮蔽に関する構造

HDP-69BCH(B)型は、使用済燃料からの放射線をガンマ線遮蔽材及び中性子遮蔽材により遮蔽できる構造とする。

ハ. 使用済燃料等の閉じ込めに関する構造

HDP-69BCH(B)型は、設計貯蔵期間を通じて、使用済燃料を収納する空間を不活性雰囲気を保つとともに負圧に維持できる構造とする。また、HDP-69BCH(B)型は、一次蓋及び二次蓋による二重の閉じ込め構造により、使用済燃料を収納する空間を特定兼用キャスク外部から隔離するとともに、その蓋間の圧力を測定することにより閉じ込め機能について監視できる設計とする。

ニ. 使用済燃料等の除熱に関する構造

型式証明申請書本文及び添付書類の該当箇所を抜粋

HDP-69BCH(B)型は、安全機能を維持する観点から、使用済燃料の崩壊熱を特定兼用キャスク表面に伝え、周囲空気等に伝達することにより除去できる構造とする。

ホ. その他の主要な構造

HDP-69BCH(B)型は、イからニに加え、次の方針に基づき安全設計を行う。

- (1) HDP-69BCH(B)型は、安全機能を維持するうえで重要な構成部材について、設計貯蔵期間中の温度、放射線等の環境及びその環境下での腐食等の経年変化に対して十分な信頼性のある材料を選定し、その必要とされる強度、性能を維持し、必要な安全機能を失うことのない設計とする。
- (2) HDP-69BCH(B)型は、使用済燃料の健全性及び安全機能を有する構成部材の健全性を保つ観点から、使用済燃料を不活性ガスであるヘリウムガスとともに封入して貯蔵する設計とする。
- (3) HDP-69BCH(B)型は、緩衝体及び三次蓋を取り付けて輸送できる構造を有する設計とする。
- (4) HDP-69BCH(B)型は、自重、内圧、外圧、熱荷重、地震力、津波及び竜巻等の条件に対し、十分耐え、かつ、安全機能を維持できる設計とする。
- (5) HDP-69BCH(B)型は、発電用原子炉施設内の兼用キャスク貯蔵施設（以下「貯蔵施設」という。）への搬入、貯蔵及び搬出に係る特定兼用キャスクの移動の際に想定される特定兼用キャスクの取扱いにより生じる荷重等に対して、安全機能が維持できる設計とする。

2. 主要な設備及び機器の種類

特定兼用キャスク

| | |
|------------------|--------------------|
| 種 類 | 鍛造キャスク(鋼-樹脂遮蔽体タイプ) |
| 全 質 量(使用済燃料を含む。) | 約 119 t |
| 寸 法 | |
| 全 長 | 約 5.4 m |
| 外 径 | 約 2.5 m |

3. 貯蔵する使用済燃料の種類及びその種類ごとの最大貯蔵能力

イ. 使用済燃料の種類

BWR 使用済燃料

新型 8×8 燃料

新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料

高燃焼度 8×8 燃料

使用済燃料の種類に応じて収納する使用済燃料の燃焼度及び冷却期間について

型式証明申請書本文及び添付書類の該当箇所を抜粋

以下のとおりとする。

(1) 新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料及び高燃焼度 8×8 燃料を収納する場合

配置(i)

| | |
|-----------------|-----------------|
| 収納する使用済燃料の最高燃焼度 | 40,000 MWd/t 以下 |
| 収納する使用済燃料の平均燃焼度 | 34,000 MWd/t 以下 |
| 冷却期間 | 18 年以上 |

配置(ii)

| | |
|-----------------|-------------------------------|
| 収納する使用済燃料の最高燃焼度 | 48,000 MWd/t 以下 ^{*1} |
| 収納する使用済燃料の平均燃焼度 | 40,000 MWd/t 以下 ^{*1} |
| 冷却期間 | 22 年以上 ^{*2} |

注記*1: 軸方向燃焼度が確認された使用済燃料を収納可能とする。

*2: 収納位置によっては冷却期間 20 年以上の使用済燃料を収納可能とする。

(2) 新型 8×8 燃料のみを収納する場合

配置(iii)

| | |
|-----------------|-----------------|
| 収納する使用済燃料の最高燃焼度 | 34,000 MWd/t 以下 |
| 収納する使用済燃料の平均燃焼度 | 29,000 MWd/t 以下 |
| 冷却期間 | 28 年以上 |

なお、使用済燃料を HDP-69BCH(B) 型へ収納するに当たり、使用済燃料の種類、収納する使用済燃料の燃焼度に応じて収納位置が制限される。

ロ. 最大貯蔵能力

兼用キャスク 1 基当たりの貯蔵能力

| | |
|-----------|---------|
| BWR 使用済燃料 | 69 体 |
| 最大崩壊熱量 | 13.8 kW |

(2) 安全設計方針

2. 設計方針及び設計条件

2.1 基本設計方針

HDP-69BCH(B) 型は、設計貯蔵期間において、使用済燃料が臨界に達することを防止する機能(以下「臨界防止機能」という。)、特定兼用キャスクに収納された使用済燃料からの放射線を遮蔽する機能(以下「遮蔽機能」という。)、特定兼用キャスクに収納された使用済燃料等を閉じ込める機能(以下「閉じ込め機能」という。)、及び特定兼用キャスクに収納された使用済燃料の崩壊熱を除去する機能(以下「除熱機能」という。)といった安全性を確保するために必要な機能(以下「安全機能」という。)を有するように設計する。

HDP-69BCH(B) 型は、自然現象等に対して安全機能が損なわれないよう、たて置き

型式証明申請書本文及び添付書類の該当箇所を抜粋

又はよこ置きで貯蔵可能な設計とする。ただし、HDP-69BCH(B)型の設計仕様を超える事象が想定された場合は、補完機能を持たせるよう貯蔵施設の周辺施設の設計がなされるものとし、その安全性は、設置（変更）許可申請にて審査されるものとする。

また、HDP-69BCH(B)型は、原則として、現行国内法規に基づく以下の規格及び基準等によって設計する。ただし、外国の規格及び基準による場合又は規格及び基準で一般的でないものを適用する場合には、それらの規格及び基準の適用の根拠、国内法規に基づく規格及び基準との対比並びに適用の妥当性を明らかにする。

- ・日本工業規格(JIS)
- ・日本機械学会規格(JSME)
- ・日本原子力学会標準(AESJ)等

2.2 安全機能に係る設計方針

2.2.1 臨界防止機能に関する設計方針

HDP-69BCH(B)型は、使用済燃料を所定の幾何学的配置に維持するためのバスケット格子構造、及びバスケットプレートに添加された中性子吸収材により臨界に達することを防止する設計とする。

また、HDP-69BCH(B)型の貯蔵施設への搬入から搬出までの乾燥状態、及びHDP-69BCH(B)型に使用済燃料を収納する際の冠水状態において、技術的に想定されるいかなる場合でも、中性子実効増倍率を0.95以下となるように設計する。

バスケットプレートは、設計貯蔵期間を通じて使用済燃料を所定の幾何学的配置に維持するために必要な構造健全性を保つ設計とする。

2.2.2 遮蔽機能に関する設計方針

HDP-69BCH(B)型は、使用済燃料からの放射線をガンマ線遮蔽材及び中性子遮蔽材により遮蔽する設計とする。

・表面における最大線量当量率が2 mSv/hを超えないこと。

・表面から1 m離れた位置における最大線量当量率が100 µSv/hを超えないこと。

さらに、設計貯蔵期間中におけるHDP-69BCH(B)型の中性子遮蔽材の遮蔽機能の低下を考慮しても、これらの要求事項を満足するように設計する。

2.2.3 閉じ込め機能に関する設計方針

HDP-69BCH(B)型は、使用済燃料等を限定された区域に閉じ込めるため、設計貯蔵期間を通じて使用済燃料を収納する空間を負圧に維持する設計とする。また、HDP-69BCH(B)型は、一次蓋と二次蓋の間(以下「蓋間」という。)を正圧に維持することにより、使用済燃料を収納する空間を特定兼用キャスク外部から隔離する設計とする。さらに、蓋間の圧力を測定することにより、閉じ込め機能について監視ができる設計とする。

さらに、HDP-69BCH(B)型の密封境界部は、設計上想定される衝撃力に対して、お

型式証明申請書本文及び添付書類の該当箇所を抜粋

おむね弾性範囲内にとどめる設計とする。

2.2.4 除熱機能に関する設計方針

HDP-69BCH(B)型は、使用済燃料の健全性及び特定兼用キャスクの安全機能を有する構成部材の健全性を維持するために、使用済燃料の崩壊熱を除去する設計とする。

燃料被覆管の温度は、設計貯蔵期間を通じて使用済燃料の健全性を維持する観点から、燃料被覆管の累積クリープ量が1%を超えない温度、照射硬化回復現象により燃料被覆管の機械的特性が著しく低下しない温度及び水素化物の再配向による燃料被覆管の機械的特性の低下が生じない温度以下とするため、貯蔵する使用済燃料の種類ごとに以下の制限が設けられる。

| | |
|---------------------|----------------------------|
| ・新型 8×8 燃料 | 200 °C以下 ⁽¹⁾⁽²⁾ |
| ・新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料 | 300 °C以下 ⁽¹⁾⁽²⁾ |
| ・高燃焼度 8×8 燃料 | 300 °C以下 ⁽¹⁾⁽²⁾ |

また、HDP-69BCH(B)型の主要な構成部材の温度は、安全機能を維持する観点から以下の制限を設ける。

| | |
|------------|-------------------------|
| ・胴、外筒及び蓋部 | 350 °C以下 ⁽³⁾ |
| ・中性子遮蔽材 | 150 °C以下 ⁽⁴⁾ |
| ・金属ガスケット | 130 °C以下 ⁽⁶⁾ |
| ・バスケットプレート | 300 °C以下 ⁽⁷⁾ |

2.2.5 構造強度に関する設計方針

HDP-69BCH(B)型は、自重、内圧、熱荷重等を考慮し、(一社)日本機械学会「使用済燃料貯蔵施設規格 金属キャスク構造規格」⁽³⁾(以下「金属キャスク構造規格」という。)に基づき設計する。

2.2.6 長期健全性に関する設計方針

HDP-69BCH(B)型は、安全機能を維持するうえで重要な構成部材について、設計貯蔵期間中の温度、放射線等の環境及びその環境下での腐食等の経年変化に対して十分な信頼性のある材料を選定し、その必要とされる強度、性能を維持するように設計する。また、HDP-69BCH(B)型は、特定兼用キャスク本体内面、バスケット及び使用済燃料の腐食等を防止するために、使用済燃料を不活性ガスであるヘリウムガスとともに封入して貯蔵する設計とする。なお、特定兼用キャスク本体及び蓋部表面の必要な箇所には、塗装等による防錆措置を施す。

2.3 自然現象に対する特定兼用キャスクの安全機能維持に係る設計方針

2.3.1 地震に対する設計方針

HDP-69BCH(B)型は、本文五. に示す地震力に対して安全機能が維持される設計とする。

2.3.2 津波に対する設計方針

型式証明申請書本文及び添付書類の該当箇所を抜粋

HDP-69BCH(B)型は、本文五. に示す津波荷重に対して安全機能が維持される設計とする。

2.3.3 竜巻に対する設計方針

HDP-69BCH(B)型は、本文五. に示す竜巻荷重に対して安全機能が維持される設計とする。

2.4 設計条件

(1) HDP-69BCH(B)型の設計条件

HDP-69BCH(B)型の設計条件は以下のとおりである。

- a. 設計貯蔵期間は60年とする。
- b. 特定兼用キャスクの貯蔵場所は貯蔵建屋内とする。
- c. 特定兼用キャスクの貯蔵姿勢はたて置き又はよこ置きとする。
- d. 特定兼用キャスクの固定は、床面に固定された貯蔵架台を介したトラニオンによる固定方式とする。
- e. 特定兼用キャスクの全質量(使用済燃料を含む。)は約119 tとする。
- f. 特定兼用キャスクの主要寸法は、全長約5.4 m及び外径約2.5 mとする。
- g. 特定兼用キャスクの最大崩壊熱量は13.8 kW/基とする。
- h. 特定兼用キャスクの表面放射率は0.8とする。
- i. 特定兼用キャスク表面及び表面から1 m離れた位置における最大線量当量率は、それぞれ2 mSv/h以下及び100 μ Sv/h以下とする。
- j. 貯蔵区域における特定兼用キャスク周囲の最低温度及び最高温度は、それぞれ-22.4 $^{\circ}$ C及び45 $^{\circ}$ Cとする。
- k. 貯蔵区域におけるコンクリート壁面最高温度は65 $^{\circ}$ Cとする。
- l. 貯蔵区域におけるコンクリート壁面放射率は0.8、又は0.9とする。

(2) 使用済燃料の条件

HDP-69BCH(B)型に収納する使用済燃料の条件は以下のとおりである。

- a. 特定兼用キャスクに収納する使用済燃料の仕様は、表1-2に示すとおりとする。
- b. 特定兼用キャスクに収納する使用済燃料は、燃料被覆管の健全性が確認されたものであることとする。
- c. 特定兼用キャスクには、貯蔵する使用済燃料の仕様、及び兼用キャスクの最大崩壊熱量等を満足するように使用済燃料が収納されるとともに、収納位置が制限される。

2.5 貯蔵施設の前提条件

HDP-69BCH(B)型を使用することができる貯蔵施設概要図(例)を図1-3に示す。貯蔵施設は、発電用原子炉施設内に設置され、特定兼用キャスク、特定兼用キャスク

型式証明申請書本文及び添付書類の該当箇所を抜粋

を床面で固定するための貯蔵架台、兼用キャスクの受入れに使用する設備からなり、各設備は貯蔵建屋に収容される。

(3) 適合性説明

(a) 特定機器型式証明申請に係る要求事項に対する適合性

3. 特定機器型式証明申請に係る要求事項に対する適合性

燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設

第十六条

発電用原子炉施設には、次に掲げるところにより、通常運転時に使用する燃料体又は使用済燃料（以下この条において「燃料体等」という。）の取扱施設（安全施設に係るものに限る。）を設けなければならない。

- 一 燃料体等を取り扱う能力を有するものとする事。
- 二 燃料体等が臨界に達するおそれがないものとする事。
- 三 崩壊熱により燃料体等が溶融しないものとする事。
- 四 使用済燃料からの放射線に対して適切な遮蔽能力を有するものとする事。
- 五 燃料体等の取扱中における燃料体等の落下を防止できるものとする事。

2 発電用原子炉施設には、次に掲げるところにより、燃料体等の貯蔵施設（安全施設に属するものに限る。以下この項において同じ。）を設けなければならない。

- 一 燃料体等の貯蔵施設は、次に掲げるものであること。
 - イ 燃料体等の落下により燃料体等が破損して放射性物質の放出により公衆に放射線障害を及ぼすおそれがある場合において、放射性物質の放出による公衆への影響を低減するため、燃料貯蔵設備を格納するもの及び放射性物質の放出を低減するものとする事。
 - ロ 燃料体等を必要に応じて貯蔵することができる容量を有するものとする事。
 - ハ 燃料体等が臨界に達するおそれがないものとする事。
- 二 使用済燃料の貯蔵施設（キャスクを除く。）にあつては、前号に掲げるもののほか、次に掲げるものであること。
 - イ 使用済燃料からの放射線に対して適切な遮蔽能力を有するものとする事。
 - ロ 貯蔵された使用済燃料が崩壊熱により溶融しないものであつて、最終ヒートシンクへ熱を輸送できる設備及びその浄化系を有するものとする事。
 - ハ 使用済燃料貯蔵槽（安全施設に属するものに限る。以下この項及び次項において同じ。）から放射性物質を含む水があふれ、又は漏れないものであつて、使用済燃料貯蔵槽から水が漏れ出した場合において水の漏れを検知することができるものとする事。

型式証明申請書本文及び添付書類の該当箇所を抜粋

- ニ 燃料体等の取扱中に想定される燃料体等の落下時及び重量物の落下時においてもその機能が損なわれないものとする。
- 3 発電用原子炉施設には、次に掲げるところにより、使用済燃料貯蔵槽の水位及び水温並びに燃料取扱場所の放射線量を測定できる設備を設けなければならない。
- 一 使用済燃料貯蔵槽の水位及び水温並びに燃料取扱場所の放射線量の異常を検知し、それを原子炉制御室に伝え、又は異常が生じた水位及び水温を自動的に制御し、並びに放射線量を自動的に抑制することができるものとする。
- 4 キャスクを設ける場合には、そのキャスクは、第二項第一号に定めるもののほか、次に掲げるものでなければならない。
- 一 使用済燃料からの放射線に対して適切な遮蔽能力を有するものとする。
- 二 使用済燃料の崩壊熱を適切に除去することができるものとする。
- 三 使用済燃料が内包する放射性物質を適切に閉じ込めることができ、かつ、その機能を適切に監視することができるものとする。

適合のための設計方針

第1項について

型式証明申請の範囲外とする。

第2項について

一

イ 型式証明申請の範囲外とする。

ロ 型式証明申請の範囲外とする。

ハ HDP-69BCH(B)型は、使用済燃料を所定の幾何学的配置に維持するために適切な位置に配置された中性子吸収材により臨界を防止する構造とし、HDP-69BCH(B)型の貯蔵施設への搬入から搬出までの乾燥状態、及びHDP-69BCH(B)型に使用済燃料を収納する際の冠水状態において、技術的に想定されるいかなる場合でも、臨界を防止する設計とする。なお、冠水状態の解析では、ガドリニアによる燃焼初期の反応度抑制効果を適切に考慮する。

二 型式証明申請の範囲外とする。

第3項について

型式証明申請の範囲外とする。

型式証明申請書本文及び添付書類の該当箇所を抜粋

第4項について

- 一 HDP-69BCH(B)型は、設計上想定される状態において、使用済燃料からの放射線遮蔽材及び中性子遮蔽材により遮蔽し、通常貯蔵時のHDP-69BCH(B)型表面の線量当量率を2 mSv/h以下とし、かつHDP-69BCH(B)型表面から1 m離れた位置における線量当量率を100 μ Sv/h以下となるように設計する。
- 二 HDP-69BCH(B)型は、自然冷却によって収納した使用済燃料の崩壊熱を外部に放出できる設計とし、使用済燃料の健全性及び安全機能を有する構成部材の健全性を維持する温度を満足する設計とする。
- 三 HDP-69BCH(B)型は、適切に放射性物質を閉じ込めることができ、閉じ込め機能を監視できる設計とする。

型式証明申請書本文及び添付書類の該当箇所を抜粋

(b) 特定機器を使用することにより発電用原子炉施設に及ぼす影響

1.1 特定機器を使用することにより発電用原子炉施設に及ぼす影響

燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設

第十六条

発電用原子炉施設には、次に掲げるところにより、通常運転時に使用する燃料体又は使用済燃料（以下この条において「燃料体等」という。）の取扱施設（安全施設に係るものに限る。）を設けなければならない。

- 一 燃料体等を取り扱う能力を有するものとする事。
- 二 燃料体等が臨界に達するおそれがないものとする事。
- 三 崩壊熱により燃料体等が溶融しないものとする事。
- 四 使用済燃料からの放射線に対して適切な遮蔽能力を有するものとする事。
- 五 燃料体等の取扱中における燃料体等の落下を防止できるものとする事。

2 発電用原子炉施設には、次に掲げるところにより、燃料体等の貯蔵施設（安全施設に属するものに限る。以下この項において同じ。）を設けなければならない。

- 一 燃料体等の貯蔵施設は、次に掲げるものであること。
 - イ 燃料体等の落下により燃料体等が破損して放射性物質の放出により公衆に放射線障害を及ぼすおそれがある場合において、放射性物質の放出による公衆への影響を低減するため、燃料貯蔵設備を格納するもの及び放射性物質の放出を低減するものとする事。
 - ロ 燃料体等を必要に応じて貯蔵することができる容量を有するものとする事。
 - ハ 燃料体等が臨界に達するおそれがないものとする事。
- 二 使用済燃料の貯蔵施設（キャスクを除く。）にあつては、前号に掲げるもののほか、次に掲げるものであること。
 - イ 使用済燃料からの放射線に対して適切な遮蔽能力を有するものとする事。
 - ロ 貯蔵された使用済燃料が崩壊熱により溶融しないものであつて、最終ヒートシンクへ熱を輸送できる設備及びその浄化系を有するものとする事。
 - ハ 使用済燃料貯蔵槽（安全施設に属するものに限る。以下この項及び次項において同じ。）から放射性物質を含む水があふれ、又は漏れないものであつて、使用済燃料貯蔵槽から水が漏れ出した場合において水の漏れを検知することができるものとする事。
- ニ 燃料体等の取扱中に想定される燃料体等の落下時及び重量物の落下時においてもその機能が損なわれないものとする事。

型式証明申請書本文及び添付書類の該当箇所を抜粋

- 3 発電用原子炉施設には、次に掲げるところにより、使用済燃料貯蔵槽の水位及び水温並びに燃料取扱場所の放射線量を測定できる設備を設けなければならない。
- 一 使用済燃料貯蔵槽の水位及び水温並びに燃料取扱場所の放射線量の異常を検知し、それを原子炉制御室に伝え、又は異常が生じた水位及び水温を自動的に制御し、並びに放射線量を自動的に抑制することができるものとする。
- 4 キャスクを設ける場合には、そのキャスクは、第二項第一号に定めるもののほか、次に掲げるものでなければならない。
- 一 使用済燃料からの放射線に対して適切な遮蔽能力を有するものとする。
 - 二 使用済燃料の崩壊熱を適切に除去することができるものとする。
 - 三 使用済燃料が内包する放射性物質を適切に閉じ込めることができ、かつ、その機能を適切に監視することができるものとする。

特定兼用キャスクを使用することにより発電用原子炉施設に及ぼす影響の確認

第1項について

HDP-69BCH(B)型が発電用原子炉施設に与える影響評価の範囲外とする。

第2項について

一

イ HDP-69BCH(B)型が発電用原子炉施設に与える影響評価の範囲外とする。

ロ HDP-69BCH(B)型が発電用原子炉施設に与える影響評価の範囲外とする。

- ハ HDP-69BCH(B)型は、使用済燃料を所定の幾何学的配置に維持するためのバスケット格子構造、及びバスケットプレートに添加された中性子吸収材により臨界を防止する構造とし、HDP-69BCH(B)型の貯蔵施設への搬入から搬出までの乾燥状態、及びHDP-69BCH(B)型に使用済燃料を収納する際の冠水状態において、技術的に想定されるいかなる場合でも、臨界を防止する設計とする。なお、冠水状態の解析では、ガドリニアによる燃焼初期の反応度抑制効果を適切に考慮する。
以上より、発電用原子炉施設の安全性に影響を及ぼさない。

第3項について

HDP-69BCH(B)型が発電用原子炉施設に与える影響評価の範囲外とする。

第4項について

- 一 HDP-69BCH(B)型は、設計上想定される状態において、使用済燃料からの放射線をガ

型式証明申請書本文及び添付書類の該当箇所を抜粋

シマ線遮蔽材及び中性子遮蔽材により遮蔽し、通常貯蔵時の HDP-69BCH(B) 型表面の線量当量率を 2 mSv/h 以下とし、かつ HDP-69BCH(B) 型表面から 1 m 離れた位置における線量当量率を 100 μ Sv/h 以下となるように設計するため、発電用原子炉施設の安全性に影響を及ぼさない。

- 二 HDP-69BCH(B) 型は、自然冷却によって収納した使用済燃料の崩壊熱を外部に放出できる設計とし、使用済燃料の健全性及び安全機能を有する構成部材の健全性を維持する温度を満足する設計とするため、発電用原子炉施設の安全性に影響を及ぼさない。
ただし、発電用原子炉施設の設置(変更)許可申請時には、HDP-69BCH(B) 型を含めた兼用キャスク周囲温度及び貯蔵区域における貯蔵建屋壁面温度が、それぞれ 45 $^{\circ}$ C 以下及び 65 $^{\circ}$ C 以下であることを確認する必要がある。

- 三 HDP-69BCH(B) 型は、適切に放射性物質を閉じ込めることができ、閉じ込め機能を監視できる設計とするため、発電用原子炉施設の安全性に影響を及ぼさない。

型式証明申請書本文及び添付書類の該当箇所を抜粋

1.2 設備等

「発電用原子炉施設に係る特定機器の設計の型式証明申請書」(添付書類を含む)から、特定兼用キャスクの構造及び第十六条の安全評価に関する箇所を抜粋し、関連する箇所に罫い線を入れる。

4. 安全設計に関する構造及び評価

4.1 臨界防止機能

(1) 臨界防止機能に関する構造

HDP-69BCH(B)型の内部には、格子状のバスケットが設けられており、設計貯蔵期間を通じて使用済燃料を所定の幾何学的配置に維持するためにバスケット格子の構造健全性を保つことで臨界に達することを防止する。また、バスケットプレートとして、中性子吸収材であるほう素を添加したステンレス鋼を使用し、その均質性は、製造中の品質管理(製品分析や金属組織観察等)にて確認する。

(2) 臨界解析

臨界解析フローを図1-4に示す。

臨界解析では、HDP-69BCH(B)型及び燃料集合体の実形状を三次元でモデル化し、燃料棒単位セル計算を輸送計算コードXSERNPM、中性子実効増倍率の計算を臨界解析コードKENO-V.aで行うSCALEコードシステム(4.4a)を用いる。断面ライブラリには、SCALEコードシステムの内蔵ライブラリデータのひとつである238群ライブラリデータを使用して中性子実効増倍率を求め、その値が解析コードの精度等を考慮して、0.95以下となることを確認する。

臨界解析に用いる使用済燃料の仕様を表1-3に示す。表1-3より、最も反応度の高い高燃焼度8×8燃料を代表とする。臨界解析条件を表1-4に示す。使用済燃料には可燃性毒物としてガドリニアを添加した燃料棒が含まれるが、乾燥状態の中性子実効増倍率の評価に当たってはガドリニアの存在を無視する。また、冠水状態の解析では、ガドリニアによる燃焼初期の反応度抑制効果を考慮して、濃縮度の異なる2種類の燃料棒を用い、炉心装荷冷温状態での燃料集合体の無限増倍率が1.3となる燃料モデル(モデルバンドル)を仮定する。これらの使用済燃料をHDP-69BCH(B)型に69体収納した状態を設定し、特定兼用キャスク相互の中性子干渉を考慮して、HDP-69BCH(B)型が無限に配列している体系とする。さらに、バスケット内の使用済燃料は、中性子実効増倍率が最大となるように特定兼用キャスク中心側に偏向して配置するとともに、バスケットプレート板厚、内のり等の寸法条件について公差を考慮し、中性子吸収材はほう素添加量を下限値とする等、安全裕度を見込むこととする。なお、設計貯蔵期間経過後の中性子吸収材中のほう素の減損割合は非常に小さいため、これを無視する。

上記条件に基づく解析の結果、表1-5に示すように、統計誤差として標準偏差の3倍を考慮した中性子実効増倍率は0.95以下を満足している。

型式証明申請書本文及び添付書類の該当箇所を抜粋

4.2 遮蔽機能

(1) 遮蔽機能に関する構造

HDP-69BCH(B)型は、使用済燃料からの放射線を特定兼用キャスク本体及び蓋部により遮蔽する。ガンマ線遮蔽材には、鋼製の材料を用い、中性子遮蔽材には、水を多く含有する樹脂を用いる。

(2) 遮蔽解析

遮蔽解析フローを図 1-5 に示す。

遮蔽解析では、収納する使用済燃料の種類、燃焼度、濃縮度、冷却期間等を条件に、燃焼計算コード ORIGEN2 を用いて、線量当量率評価に用いる線源強度を求める。

使用済燃料の線源強度計算条件を表 1-6 に示す。線源強度の計算には、使用済燃料平均燃焼度に対する軸方向の燃焼度の比を包含する燃焼度分布(以下「ピーキングファクター」という。)を考慮する。線源強度の計算結果を表 1-7 に示す。

線量当量率の評価は、表 1-7 より、線源強度の大きい新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料及び高燃焼度 8×8 燃料を混載した収納配置(i)、(ii)を対象として実施する。

線量当量率の評価に当たっては、図 1-2 に示す使用済燃料の燃焼度に応じた収納位置を考慮する。また、設計貯蔵期間中における HDP-69BCH(B)型の中性子遮蔽材の熱による遮蔽性能の低下を考慮する。

上記条件に基づく解析の結果、表 1-5 に示すように、表面及び表面から 1 m 離れた位置における最大線量当量率は、それぞれ 2 mSv/h 以下及び 100 μ Sv/h 以下を満足している。

4.3 閉じ込め機能

(1) 閉じ込め機能に関する構造

HDP-69BCH(B)型の閉じ込め構造を図 1-6 に、シール部詳細を図 1-7 に示す。

HDP-69BCH(B)型は、特定兼用キャスク本体及び蓋部により使用済燃料を収納する空間を特定兼用キャスク外部から隔離し、設計貯蔵期間を通じて負圧に維持する。HDP-69BCH(B)型は、蓋部を一次蓋、二次蓋の二重閉じ込め構造とし、その蓋間をあらかじめ正圧とし圧力障壁を形成することにより、放射性物質を特定兼用キャスク内部に閉じ込める。また、使用済燃料を収納する空間に通じる貫通孔のシール部は一次蓋に設ける。蓋及び蓋貫通孔のシール部には、長期にわたって閉じ込め機能を維持する観点から金属ガスケットを用いる。

金属ガスケットの漏えい率は、設計貯蔵期間を通じて、蓋間の空間に充填されているヘリウムガスが蓋間の圧力を一定とした条件下で使用済燃料を収納する空間側に漏えいし、かつ、燃料被覆管からの核分裂生成ガスの放出を仮定しても、使用

型式証明申請書本文及び添付書類の該当箇所を抜粋

済燃料を収納する空間を負圧に維持できるように設定し、その漏えい率を満足していることを気密漏えい検査により確認する。さらに、その蓋間の圧力を測定することにより閉じ込め機能を監視する。蓋間の圧力に異常が生じた場合でも、あらかじめ特定兼用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ているので、内部の気体が外部に漏えいすることはない。

(2) 閉じ込め評価

閉じ込め評価フローを図 1-8 に示す。

閉じ込め評価では、設計貯蔵期間中に HDP-69BCH(B) 型内部の負圧を維持できる漏えい率を求める。

漏えい率は、シールされる流体、シール部温度及び漏えいの上流側と下流側の圧力に依存する。したがって、特定兼用キャスク内部圧力変化は、蓋間圧力と内部圧力の圧力差のもとで、ある漏えい率をもつシール部を通して特定兼用キャスク内部へ流入する気体の漏えい量を積分することによって求められる。

HDP-69BCH(B) 型の閉じ込め評価の基準となる基準漏えい率は、設計貯蔵期間中に特定兼用キャスク内部の負圧が維持できる漏えい率として定義され、使用する金属ガスケットが確保可能な閉じ込め機能及び貯蔵開始前の気密漏えい検査の判定基準として確認可能な漏えい率(リークテスト判定基準)を上回るものでなければならない。

基準漏えい率を求めるに当たり設定した評価条件を表 1-8 に示す。蓋間圧力は一定とし、蓋間空間のガスは特定兼用キャスク内部側にのみ漏えいするものとして漏えい率の計算を行う。また、大気圧は、気象変化による圧力変動を考慮した値として 9.7×10^4 Pa とする。特定兼用キャスク内部空間の圧力の算定に当たっては、使用済燃料の破損率として、米国の使用済燃料の乾式貯蔵中における漏えい燃料発生率(約 0.01 %)、及び日本の軽水炉における運転中の漏えい燃料発生率(約 0.01 %以下)を考慮し、保守的な値として 0.1 %とする。

閉じ込め評価の結果、表 1-5 に示すように、金属ガスケットの漏えい率は基準漏えい率以下を満足している。

4.4 除熱機能

(1) 除熱機能に関する構造

HDP-69BCH(B) 型は、使用済燃料から発生する崩壊熱を伝導、対流、ふく射により HDP-69BCH(B) 型の外表面に伝え、周囲の空気等に伝達する。特定兼用キャスク本体側部の中性子遮蔽材には熱伝導率の低い樹脂が用いられているので、伝熱フィンを設置することにより必要な伝熱性能を確保する。

(2) 除熱解析

除熱解析フローを図 1-9 に示す。

型式証明申請書本文及び添付書類の該当箇所を抜粋

除熱解析は、HDP-69BCH(B)型の実形状を軸方向断面、径方向断面にそれぞれ二次元で、燃料集合体の実形状を径方向断面に二次元でモデル化し、伝熱解析コード ABAQUS を用いて行う。

除熱解析条件を表 1-9 に示す。使用済燃料の種類、燃焼度、濃縮度、冷却期間等を条件に燃焼計算コード ORIGEN2 を用いて求めた崩壊熱量、及び図 1-2 に示す使用済燃料の燃焼度に応じた収納位置を入力条件として、燃料被覆管及び安全機能を維持するうえで重要な構成部材の温度を評価する。燃料被覆管は貯蔵する使用済燃料の種類ごとに定める制限温度以下、構成部材はその健全性に影響を与えない温度となることを確認する。

蓋部及び底部の温度は、軸方向断面の二次元モデル、それ以外の構成部材の温度は径方向断面の二次元モデルで評価し、燃料被覆管の温度は、燃料集合体の径方向断面の二次元モデルで評価する。また、構成部材の温度評価に当たっては、表 1-6 に示す使用済燃料のピーキングファクターを考慮して、最大崩壊熱量を上回る崩壊熱量を設定するとともに、以下のような条件を設定することにより、特定兼用キャスクの設置方法に合わせて、十分な保守性を見込みこととする。

- ・特定兼用キャスクを基礎等に固定する方法では、たて置きの場合は特定兼用キャスク本体底部を断熱条件とする。
- ・蓋部が金属部に衝突しない方法では、緩衝体等を装着する部分に対して規定される最小の放熱条件を設定する。
- ・燃料被覆管の温度評価に当たっては、軸方向を断熱条件とする。

特定兼用キャスク本体底部を断熱条件とし、さらに、燃料被覆管の温度評価に当たっては、軸方向を断熱条件とする等、十分な保守性を見込むこととする。

上記条件に基づく解析の結果、表 1-5 に示すように、燃料被覆管は制限温度を満足している。また、構成部材の温度は、その健全性に影響を与えない温度である。

4.5 構造強度

(1) 構造

HDP-69BCH(B)型は、自重、内圧、熱荷重等を考慮して設計するとともに、貯蔵施設内での取扱い時に生じる荷重等を考慮しても構造健全性を維持する設計とする。

HDP-69BCH(B)型は、貯蔵建屋内においてトランニオンを天井クレーン等により吊り上げて取り扱う。また、貯蔵中の特定兼用キャスクの姿勢はたて置き又はよこ置きである。貯蔵中の特定兼用キャスクの設置方法のうち、特定兼用キャスクを基礎等に固定する方法では、貯蔵建屋内の支持構造物である貯蔵架台を介して床面に固定される。

(2) 構造解析

HDP-69BCH(B)型の各評価部位に対する構造強度解析フローを図 1-10 に示す。

型式証明申請書本文及び添付書類の該当箇所を抜粋

HDP-69BCH(B)型に発生する応力は、想定される荷重をもとに HDP-69BCH(B)型の実形状をモデル化し、構造解析コード ABAQUS 及び応力評価式を使用して求める。

貯蔵施設における取扱い時の構造強度評価は、取扱いによって発生する加速度として、HDP-69BCH(B)型を垂直姿勢で吊り上げる事象を想定し、以下に示す加速度を考慮して行う。

・鉛直方向： 1.3 G

4.6 長期健全性

使用済燃料の貯蔵中に構成部材が経年変化する要因としては、放射線照射、熱及び腐食が考えられるため、これらの要因に対する構成部材の設計貯蔵期間における健全性評価を以下に示す。

(1) 特定兼用キャスク本体及び蓋部(金属ガスケットを除く。)の長期健全性

特定兼用キャスク本体及び蓋部(金属ガスケットを除く。)の主要な構成部材は、胴、外筒、一次蓋、二次蓋、蓋ボルト、トラニオン、中性子遮蔽材及び伝熱フィンである。

(a) 放射線照射による経年変化

イ. 胴、外筒、一次蓋、二次蓋、蓋ボルト

胴、外筒、一次蓋、二次蓋、蓋ボルトに使用する材料は炭素鋼又はニッケルクロムモリブデン鋼であり、中性子照射量が 10^{16} n/cm² までは、顕著な機械的特性変化は見られないことが示されており、使用環境はその範囲内である⁽⁵⁾。

ロ. トラニオン

トラニオンに使用する材料はステンレス鋼であり、中性子照射量が 10^{17} n/cm² までは、顕著な機械的特性変化は見られないことが示されており、使用環境はその範囲内である⁽⁶⁾。

ハ. 中性子遮蔽材

HDP-69BCH(B)型で用いる中性子遮蔽材の樹脂については、(一財)原子力発電技術機構「平成 15 年度リサイクル燃料資源貯蔵技術調査等(金属キャスク貯蔵技術確証試験)報告書」⁽⁹⁾や樹脂の性能を報告した資料⁽⁴⁾において、 10^4 Gy 程度のガンマ線照射量、又は 10^{15} n/cm² 程度の中性子照射量が、質量減損に影響を与えることはないことが示されており、使用環境はその範囲内である。

ニ. 伝熱フィン

伝熱フィンに使用する材料は銅及び炭素鋼である。伝熱フィンは構造強度部材ではないため、照射による強度変化を考慮する必要はない。なお、銅については中性子照射量が 10^{16} n/cm² までは、顕著な機械的特性変化は見られないことが示されており、使用環境はその範囲内である⁽¹⁰⁾。また、炭素鋼について

型式証明申請書本文及び添付書類の該当箇所を抜粋

はイ. に示すとおりである。

(b) 熱による経年変化

イ. 胴、外筒、一次蓋、二次蓋、蓋ボルト

胴、外筒、一次蓋、二次蓋、蓋ボルトの温度は 150 °C 以下であり材質変化することはない。また、クリープによる変形を考慮すべき温度は融点(絶対温度)の 1/3 に相当する約 300°C を超える場合であり、クリープを考慮する必要はない⁽¹¹⁾⁽¹²⁾。

ロ. トラニオン

トラニオンの温度は 150 °C 以下であり、材質変化することはない。また、クリープによる変形を考慮すべき温度は融点(絶対温度)の 1/3 に相当する約 280 °C を超える場合であり、クリープを考慮する必要はない⁽¹¹⁾。

ハ. 中性子遮蔽材

遮蔽解析では、HDP-69BCH(B)型で用いる中性子遮蔽材の樹脂の性能を報告した資料⁽⁴⁾に基づいて設計貯蔵期間後の熱による樹脂の質量減損量を評価し、質量減損量を考慮した遮蔽計算を行っている。

ニ. 伝熱フィン

構造強度部材ではないため、熱による強度変化を考慮する必要はない。なお、伝熱フィンの温度は 135 °C 以下であり、材質変化することはない。

(c) 腐食による経年変化

イ. 胴、外筒、一次蓋、二次蓋、蓋ボルト

胴内面、一次蓋及び二次蓋内部は、胴内及び蓋間にヘリウムガスを封入し、不活性ガス雰囲気は維持されるため、その機能を阻害するような腐食はない。また、外筒外面、二次蓋外面及び蓋ボルトは塗装又はメッキによる防錆措置を施す。なお、胴外面及び外筒内面は、中性子遮蔽材の経年変化に伴い生じる水による腐食を考慮しても、構造強度への影響はない。

ロ. トラニオン

トラニオンは、使用環境を考慮し、必要に応じて防錆措置を施すことで腐食を防止できる。

ハ. 中性子遮蔽材

中性子遮蔽材は樹脂であり腐食することはない。なお、熱により化学的に経年変化するため、(b)「熱による経年変化」に示すとおり中性子遮蔽材の質量減損量を評価し、質量減損量を考慮した遮蔽計算を行っている。

ニ. 伝熱フィン

伝熱フィンは胴と外筒との間に取り付けられているが、胴外面と外筒内面の炭素鋼が中性子遮蔽材の経年変化に伴い生じる水と選択的に結合し腐食することから、銅は腐食することなく伝熱機能への影響を考慮する必要はない。

型式証明申請書本文及び添付書類の該当箇所を抜粋

い。

(2) 金属ガスケットの長期健全性

(a) 放射線照射による経年変化

金属ガスケットに使用する材料はニッケル基合金及びアルミニウムであり、中性子照射量が 10^{17} n/cm² までは顕著な機械的特性変化は見られないことが示されており、使用環境はその範囲内である⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾⁽¹⁵⁾。

(b) 熱による経年変化

(一財)電力中央研究所による試験において、金属ガスケットの塑性変形率と閉じ込め機能の温度・時間依存性は、図 1-11 に示す金属ガスケットに対して図 1-12 から算出される以下の Larson-Miller パラメータ (LMP) により表されることが確認されている⁽¹⁶⁾。

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

ここで、

T : 温度 (K)

t : 時間 (h)

C : LMP の定数 (-)

なお、図 1-12 の塑性変形率 D_p の定義は、図 1-13 に示すとおりである。

上記より、金属ガスケットの長期閉じ込め機能の評価は閉じ込め機能が保持できる限界の LMP を求め、ある温度における限界時間を予測する手法により行うことができる。図 1-14 に示すとおり HDP-69BCH(B)型に用いる金属ガスケットについての LMP の定数 $C=20$ における漏えい率と LMP の関係から、初期の閉じ込め機能 (1×10^{-10} Pa・m³/s 以下)を保持できる限界の LMP は、アルミニウム被覆 (ガスケット C) の場合約 11×10^3 である⁽¹⁶⁾。LMP の定数 $C=14$ とした場合の LMP と漏えい率の関係は図 1-15 に示すとおりであり、初期の閉じ込め機能 (1×10^{-10} Pa・m³/s 以下)を保持できる限界の LMP は、約 8.0×10^3 である⁽¹⁷⁾。HDP-69BCH(B)型の金属ガスケット部温度は 100 °C 以下であり、設計貯蔵期間である 60 年の条件で求められる LMP は、LMP の定数 $C=14$ 及び 20 において、初期の閉じ込め機能を保持できる限界の LMP を下回る。したがって、金属ガスケットは設計貯蔵期間を通じて健全性を維持できる。

(c) 腐食による経年変化

一次蓋の金属ガスケットはヘリウムガス雰囲気であり腐食を考慮する必要はない。また、二次蓋の金属ガスケットは外側が大気となっているが、使用環境より厳しい塩水噴霧環境においても金属ガスケットの漏えい率に変化がないことが確認されている⁽¹⁸⁾。

(3) バスケットの長期健全性

バスケットの主要な構成部材は、中性子吸収材を添加したバスケットプレート

型式証明申請書本文及び添付書類の該当箇所を抜粋

である。

(a) 放射線照射による経年変化

バスケットプレートに使用する材料はほう素添加ステンレス鋼であり、中性子照射量が 10^{17} n/cm² までは、顕著な機械的特性変化は見られないことが示されており、使用環境はその範囲内である⁽¹⁹⁾。

特定兼用キャスクの燃料部の全中性子束を約 1.1×10^6 n/cm²/s とし、安全側に全中性子束を用いて評価すると設計貯蔵期間経過後の中性子吸収材の減損割合は 10^{-5} 程度であり、劣化は無視し得るレベルである。

伝熱部材に使用する材料はアルミニウム合金であり、中性子照射量が 10^{19} n/cm² までは、顕著な機械的物性変化は見られないことが示されており、使用環境はその範囲内である⁽¹⁵⁾。

(b) 熱による経年変化

バスケットプレートの温度は 260 °C 以下であり、材質変化することはない。また、構造強度部材であるバスケットプレートについて、クリープによる変形を考慮すべき温度は融点(絶対温度)の 1/3 に相当する約 280 °C を超える場合であり、クリープを考慮する必要はない⁽¹¹⁾。

(c) 腐食による経年変化

バスケットプレートが設置される胴内にヘリウムガスを封入し、不活性ガス雰囲気は維持されるため、腐食を考慮する必要はない。

表 1-2 使用済燃料の仕様

| 項 目 | 仕 様 | | | |
|---------------------|-------------------|---------------------------|--------------|--------------|
| | 新型 8×8 燃料 | 新型 8×8 ジルコニウム ライナ燃料 | 高燃焼度 8×8 燃料 | |
| 最高燃焼度 *1 (MWd/t) | 34,000 以下 | 40,000 以下 | 40,000 以下 | 48,000 以下 |
| 最短冷却期間 *2 (年) | 28 | 18 | 18 | 20 |
| 集合体幅(mm)*3 | 約 132 又は約 134 | | | |
| 全長(mm) *3 | 約 4,350 又は約 4,470 | | | |
| 質量(kg) *3 | 約 270 | | | |
| 初期濃縮度(wt%)*3 | 約 3.1 | 約 3.3 | 約 3.7 | |
| 収納体数(体) | 69 | | | |

注記*1：最高燃焼度とは、収納する燃料集合体 1 体の燃焼度の平均値の最大値を示す。

*2：最短冷却期間とは、収納する燃料集合体の最短の冷却期間を示す。

*3：使用済燃料の代表的な値を記載。

型式証明申請書本文及び添付書類の該当箇所を抜粋

表 1-3 臨界解析に用いる使用済燃料の仕様

| 項 目 | 単 位 | 高燃焼度 8×8 燃料 |
|---------------|--------|-------------|
| 燃料材質 | 二 | 二酸化ウラン |
| 被覆管材質 | 二 | ジルカロイ-2 |
| 燃料密度 | % 理論密度 | |
| ペレット直径 | mm | |
| 燃料有効長 | m | |
| 燃料棒配列 | 二 | 8×8 |
| 燃料集合体当たりの燃料棒数 | 本 | 60 |
| 初期濃縮度 | wt% | 3.66 |

内は商業機密のため、非公開とします。

型式証明申請書本文及び添付書類の該当箇所を抜粋

表 1-4 臨界解析条件

| 項 目 | | 乾燥状態 | 冠水状態 |
|-------------------|-------------|----------------|--|
| 収納物 | | 高燃焼度 8×8 燃料 | |
| 濃縮度 | | 3.66 wt% | 濃縮度の異なる2種類の燃料棒を用い、炉心装荷冷温状態での燃料集合体の無限増倍率が1.3となる燃料モデル(モデルバンドル) |
| 収納体数 | | 69 体 | |
| バスケット格子内の燃料配置 | | 中心偏向配置 | |
| 寸法条件 | バスケットプレート板厚 | 最小 | |
| | バスケット格子内のり | 最小 | |
| 中性子吸収材含有率 | | 仕様上の下限值 | |
| HDP-69BCH(B)型内雰囲気 | | 真空 | 冠水(水密度 1.0 g/cm ³) |
| HDP-69BCH(B)型外雰囲気 | | 真空 | |
| HDP-69BCH(B)型配列 | | 無限配列(完全反射境界条件) | |
| チャンネルボックス | | なし | あり |
| 中性子遮蔽材(樹脂) | | 中性子遮蔽材を真空に置換 | |

型式証明申請書本文及び添付書類の該当箇所を抜粋

表 1-5 HDP-69BCH(B)型評価結果

| 項 目 | | 評価結果 | 設計基準値 |
|------------------|---|--|----------------------|
| 臨 界 防 止 | 中性子 実効増倍率 | 乾燥状態 | 0.41 |
| | | 冠水状態 | 0.89 |
| 遮 蔽 | 表面最大線量当量率(mSv/h) | | 1.1 |
| | 表面から1 m離れた位置 における最大線量当量率(μ Sv/h) | | 81 |
| 閉 じ 込 め | 金属ガスケットの漏えい率(Pa \cdot m ³ /s) | | 1.6×10^{-6} |
| 除 熱 | 燃料被覆管 最高温度 ($^{\circ}$ C) | 新型 8 \times 8 燃料 | 196 |
| | | 新型 8 \times 8 ジルコニウ ムライナ燃料、 高燃焼度 8 \times 8 燃料 | 262 |
| | 特定兼用キャスク 構成部材 最高温度 ($^{\circ}$ C) | 胴、外筒、蓋部 | 142 |
| | | 中性子遮蔽材 (樹脂) | 128 |
| | | 金属ガスケット | 90 |
| | | バスケット格子 | 251 |
| 構 造 強 度 | 取扱い時 (MPa) | 蓋部の応力強さ | 46 以下 |
| | | 一次蓋ボルトの応力 | 389 以下 |
| | | 上部トラニオンの 応力強さ | 192 以下 |

注記*1：設計貯蔵期間中に特定兼用キャスク本体内部の負圧が維持できる漏えい率(標準状態)を示す

型式証明申請書本文及び添付書類の該当箇所を抜粋

表 1-6 使用済燃料の線源強度計算条件(1/2)

| 燃料種類 | 新型 8×8 ジルコニウム ライナ燃料 | | 高燃焼度 8×8 燃料 | | 新型 8×8 燃料 | | |
|-------------------|---------------------------|--------|----------------|--------|-----------|--------|------|
| | 配置(i) | | | | 配置(iii) | | |
| 使用済燃料の 収納配置条件 | 配置(i) | | | | 配置(iii) | | |
| 燃焼度(MWd/t) | 34,000 | 40,000 | 34,000 | 40,000 | 29,000 | 34,000 | |
| 比出力(MW/t) | 25.3 | 同左 | 26.2 | 同左 | 25.3 | 同左 | |
| 照射 期間 (日) | 燃料集合体 | 1344 | 1582 | 1298 | 1527 | 1147 | 1344 |
| | チャンネル ボックス | | | | | | |
| 濃縮度(wt%) | 2.88 | 同左 | 3.35 | 同左 | 2.88 | 同左 | |
| 冷却期間(年) | 18 | 同左 | 18 | 同左 | 28 | 同左 | |
| ウラン重量(kg) | 177 | 同左 | 174 | 同左 | 177 | 同左 | |
| ピーキング ファクター *1 | | | | | | | |
| (上部) | | | | | | | |
| (下部) | | | | | | | |

注記*1: ノードは燃料有効部を軸方向に 48 分割したものである。

内は商業機密のため、非公開とします。

型式証明申請書本文及び添付書類の該当箇所を抜粋

表 1-6 使用済燃料の線源強度計算条件(2/2)

| 燃料種類 | | 新型 8×8 ジルコニウム ライナ燃料 | 高燃焼度 8×8 燃料 | |
|------------------|-----------|---------------------------|----------------|--------|
| 使用済燃料の 収納配置条件 | | 配置(ii) | | |
| 燃焼度(MWd/t) | | 40,000 | 40,000 | 48,000 |
| 比出力(MW/t) | | 25.3 | 26.2 | 同左 |
| 照射 期間(日) | 燃料集合体 | 1582 | 1527 | 1833 |
| | チャンネルボックス | | | |
| 濃縮度(wt%) | | 2.88 | 3.35 | 同左 |
| 冷却期間(年) | | 22 | 22 | 20 |
| ウラン重量(kg) | | 177 | 174 | 同左 |
| ピーキングファクター*1 | | | | |
| (上部) | | | | |
| (下部) | | | | |

注記*1: ノードは燃料有効部を軸方向に 24 分割したものである。

内は商業機密のため、非公開とします。

型式証明申請書本文及び添付書類の該当箇所を抜粋

表 1-7 特定兼用キャスク 1 基当たりのガンマ線及び中性子の線源強度

| 使用済燃料の種類 | 新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料 及び 高燃焼度 8×8 燃料 | | 新型 8×8 燃料 |
|--|---|----------------------|----------------------|
| 使用済燃料の 収納配置条件 | 配置 (i) | 配置 (ii) | 配置 (iii) |
| 濃縮度 (wt%) | 2.88 (新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料) 3.35 (高燃焼度 8×8 燃料) | | 2.88 |
| 燃焼度 (MWd/t) | 外周部 | 40,000 | 29,000 |
| | 中央部 | 40,000 | 34,000 |
| 冷却年数 (年) | 18 | 22 (外周) 20 (中央) | 28 |
| 使用済燃料の燃料有効部の ガンマ線の線源強度 (photons/s) | 8.9×10^{16} | 8.9×10^{16} | 6.0×10^{16} |
| 使用済燃料構造材の 放射化によるガンマ線の線源強度 (^{60}Co :Bq) | 1.3×10^{14} | 1.1×10^{14} | 3.1×10^{13} |
| 使用済燃料の燃料有効部の 中性子の線源強度 (n/s) *1 | 1.4×10^{10} | 1.5×10^{10} | 5.0×10^9 |

注記 *1 : 中性子実効増倍率の効果を考慮した値である。

型式証明申請書本文及び添付書類の該当箇所を抜粋

表 1-8 閉じ込め評価条件

| 項 目 | | 評価条件 |
|---------------------------|----------------|----------------------|
| 圧力 (Pa[abs]) | 特定兼用キャスク内部(初期) | 8.0×10^4 |
| | 蓋間空間(初期) | 4.1×10^5 |
| | 大気圧 | 9.7×10^4 *1 |
| 空間 容積(m ³) | 特定兼用キャスク内部 *2 | |
| | 蓋間空間 | |
| 温度(°C) | 特定兼用キャスク内部 *3 | 262 |
| | 漏えい気体 *4 | -22.4 |
| 内部気体 | | ヘリウム |
| 設計貯蔵期間(年) | | 60 |

注記*1: 収納された使用済燃料の破損率(0.1%)による圧力上昇分を別途考慮する。

*2: 特定兼用キャスク内部の全空間容積から燃料集合体及びバスケットの容積を除いた空間容積を示す。

*3: 燃料集合体最高温度を保守的に設定した値を示す。

*4: 特定兼用キャスク周囲最低温度を示す。

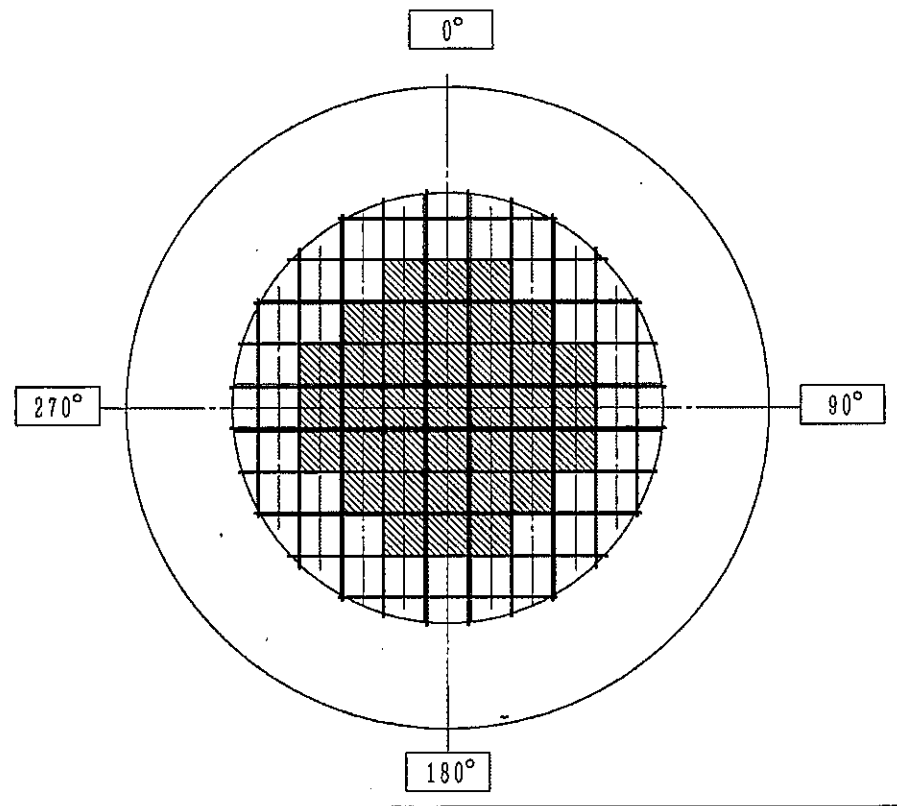
内は商業機密のため、非公開とします。

型式証明申請書本文及び添付書類の該当箇所を抜粋

表 1-9 除熱解析条件

| 項 目 | | 解析条件 |
|----------------------|------------------------------|-------------------------|
| 燃料集合体の ピーキングファクター | | 表 1-6 に示すピーキングファクターを考慮 |
| 燃料集合体の収納位置 | | 図 1-2 に示す収納位置ごとの崩壊熱量を設定 |
| 境界条件 | 周囲温度(°C) | 45 |
| | 貯蔵建屋壁面温度(°C) | 65 |
| | 貯蔵建屋壁面放射率 | 0.8 |
| | 特定兼用キャスク表面放射率 | 0.8 |
| | 特定兼用キャスク表面から貯蔵 建屋壁面への形態係数 | 0.232 |

型式証明申請書本文及び添付書類の該当箇所を抜粋



- | | |
|---|--|
| <div style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px; margin-bottom: 5px; background: repeating-linear-gradient(45deg, transparent, transparent 2px, black 2px, black 4px);"></div> | <p>燃料種類 : <u>新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料及び高燃焼度 8×8 燃料</u></p> <p>収納体数 : <u>32 体</u></p> <p>燃焼度 : <u>34,000 MWd/t 以下</u></p> <p>冷却期間 : <u>18 年以上</u></p> <p>燃料種類 : <u>新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料及び高燃焼度 8×8 燃料</u></p> <p>収納体数 : <u>37 体</u></p> <p>燃焼度 : <u>40,000 MWd/t 以下</u></p> <p>冷却期間 : <u>18 年以上</u></p> |
|---|--|

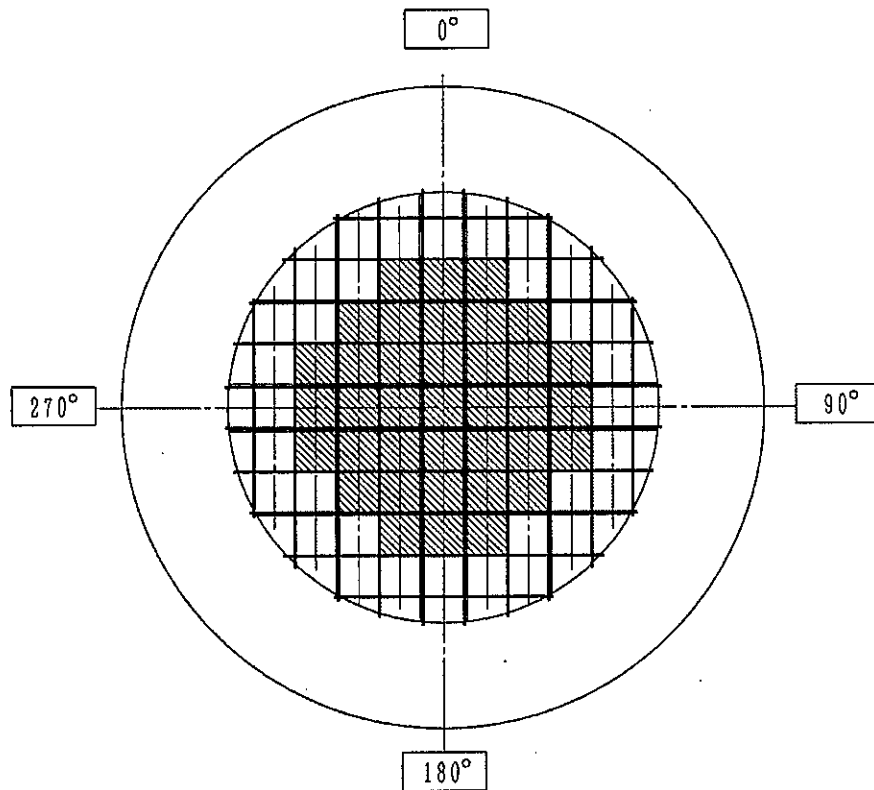
特定兼用キャスク 1 基当たりの平均燃焼度 : 34,000 MWd/t 以下

特定兼用キャスク 1 基当たりの崩壊熱量 : 12.1 kW 以下

図 1-2-1 使用済燃料の収納位置条件(配置(i))

(新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料及び高燃焼度 8×8 燃料を混載収納する場合)

型式証明申請書本文及び添付書類の該当箇所を抜粋



- | | |
|---|--|
| <div style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px; margin-bottom: 5px; background: repeating-linear-gradient(45deg, transparent, transparent 2px, black 2px, black 4px);"></div> | <p>燃料種類 : <u>新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料及び高燃焼度 8×8 燃料</u></p> <p>収納体数 : <u>32 体</u></p> <p>燃焼度 : <u>40,000 MWd/t 以下</u></p> <p>冷却期間 : <u>22 年以上</u></p> <p>燃料種類 : <u>高燃焼度 8×8 燃料</u></p> <p>収納体数 : <u>37 体</u></p> <p>燃焼度 : <u>48,000 MWd/t 以下</u></p> <p>冷却期間 : <u>20 年以上</u></p> |
|---|--|

特定兼用キャスク 1 基当たりの平均燃焼度 : 40,000 MWd/t 以下

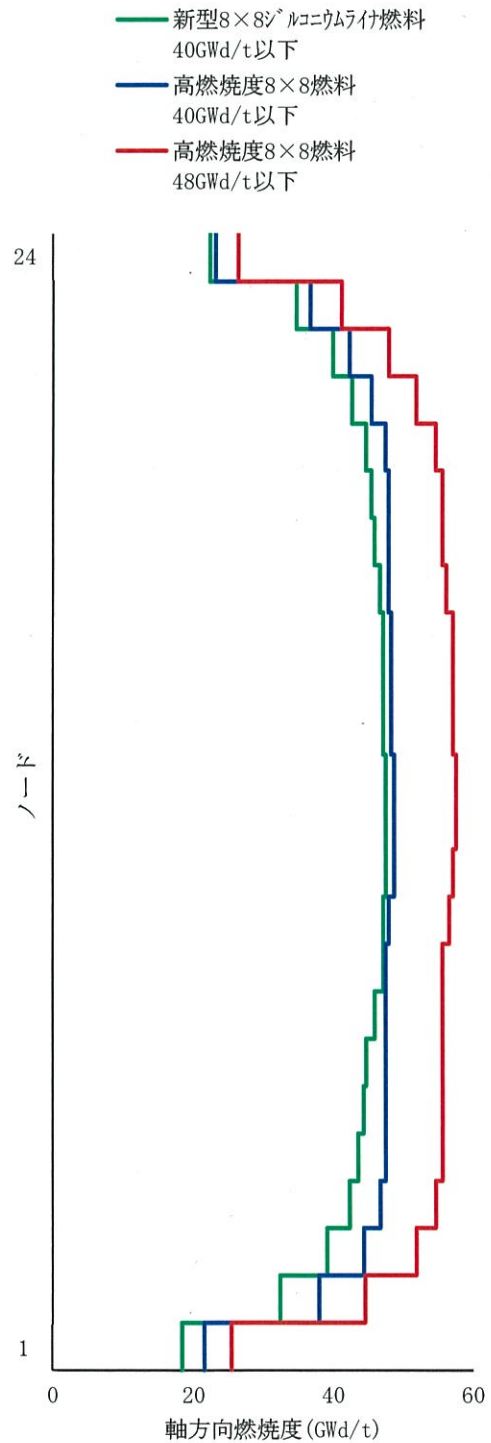
特定兼用キャスク 1 基当たりの崩壊熱量 : 13.8 kW 以下

図 1-2-2 使用済燃料の収納位置条件(配置(ii))

(新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料及び高燃焼度 8×8 燃料を混載収納する場合)

型式証明申請書本文及び添付書類の該当箇所を抜粋

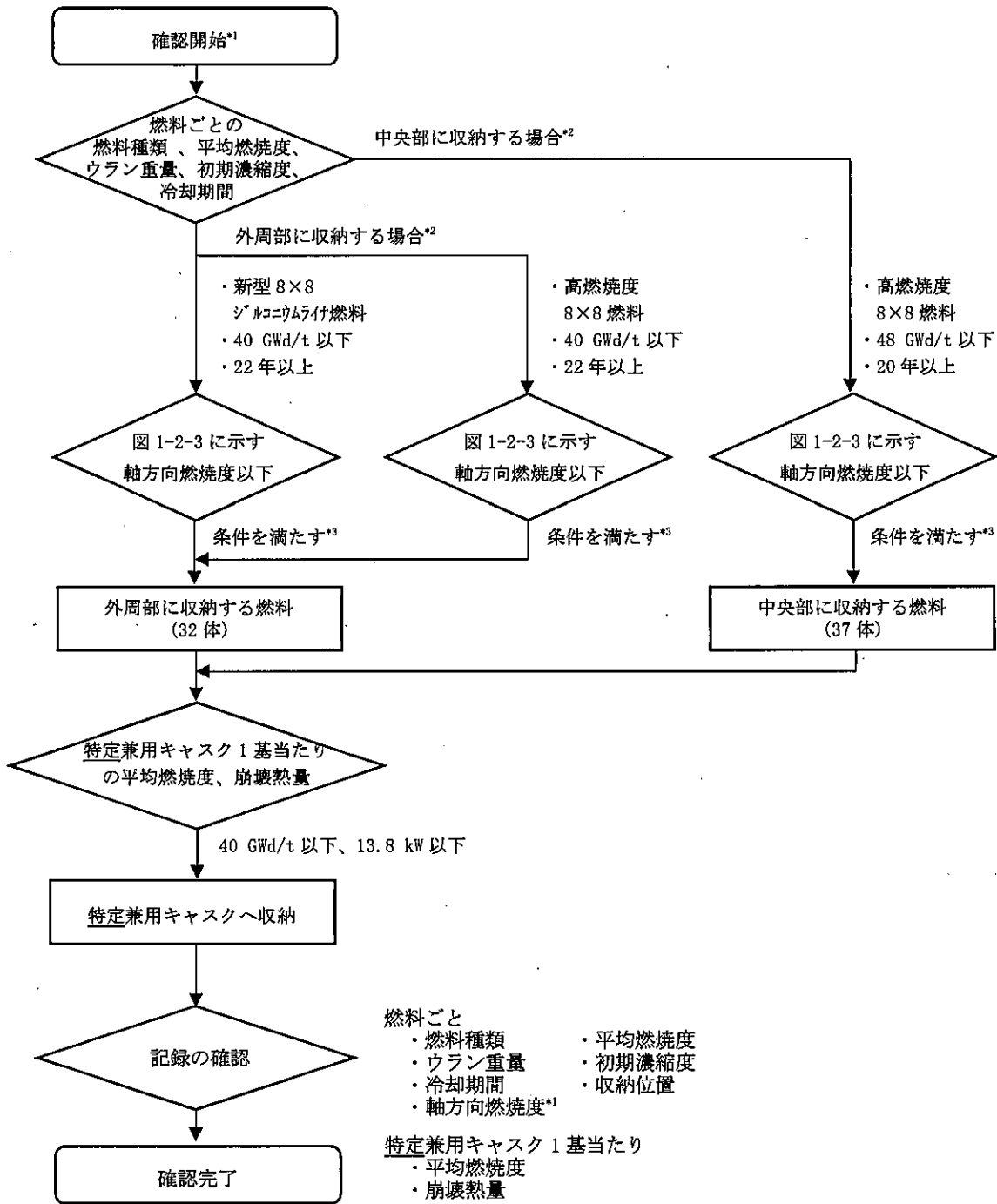
| 燃料種類 | 新型8×8 ジルコニウム ライ付燃料 | | 高燃焼度 8×8 燃料 | |
|------|--------------------------|-------|----------------|-------|
| | 40 | | 48 | |
| ノード | 軸方向燃焼度*1 (Gwd/t) | | | |
| (上部) | 24 | 22.40 | 23.20 | 26.40 |
| | 23 | 34.80 | 36.80 | 41.28 |
| | 22 | 40.00 | 42.40 | 48.00 |
| | 21 | 42.80 | 45.60 | 51.84 |
| | 20 | 44.80 | 47.60 | 54.72 |
| | 19 | 45.60 | 48.00 | 55.68 |
| | 18 | 46.00 | 48.00 | 55.68 |
| | 17 | 46.80 | 48.00 | 56.16 |
| | 16 | 47.20 | 48.40 | 57.12 |
| | 15 | 47.20 | 48.40 | 57.12 |
| | 14 | 47.20 | 48.40 | 57.12 |
| | 13 | 47.60 | 48.80 | 57.60 |
| | 12 | 47.60 | 48.80 | 57.60 |
| | 11 | 47.60 | 48.80 | 57.12 |
| | 10 | 47.20 | 48.00 | 56.64 |
| | 9 | 47.20 | 47.60 | 55.68 |
| | 8 | 46.00 | 47.60 | 55.68 |
| 7 | 44.80 | 47.60 | 55.68 | |
| 6 | 44.40 | 47.60 | 55.68 | |
| 5 | 43.60 | 47.60 | 55.68 | |
| 4 | 42.40 | 46.80 | 54.72 | |
| 3 | 39.20 | 44.40 | 51.84 | |
| 2 | 32.40 | 38.00 | 44.64 | |
| (下部) | 1 | 18.40 | 21.60 | 25.44 |



注記*1：配置(ii)に収納する燃料は軸方向燃焼度が本図の条件に包含されるものであることとする。

図 1-2-3 配置(ii)で収納する使用済燃料の軸方向燃焼度

型式証明申請書本文及び添付書類の該当箇所を抜粋



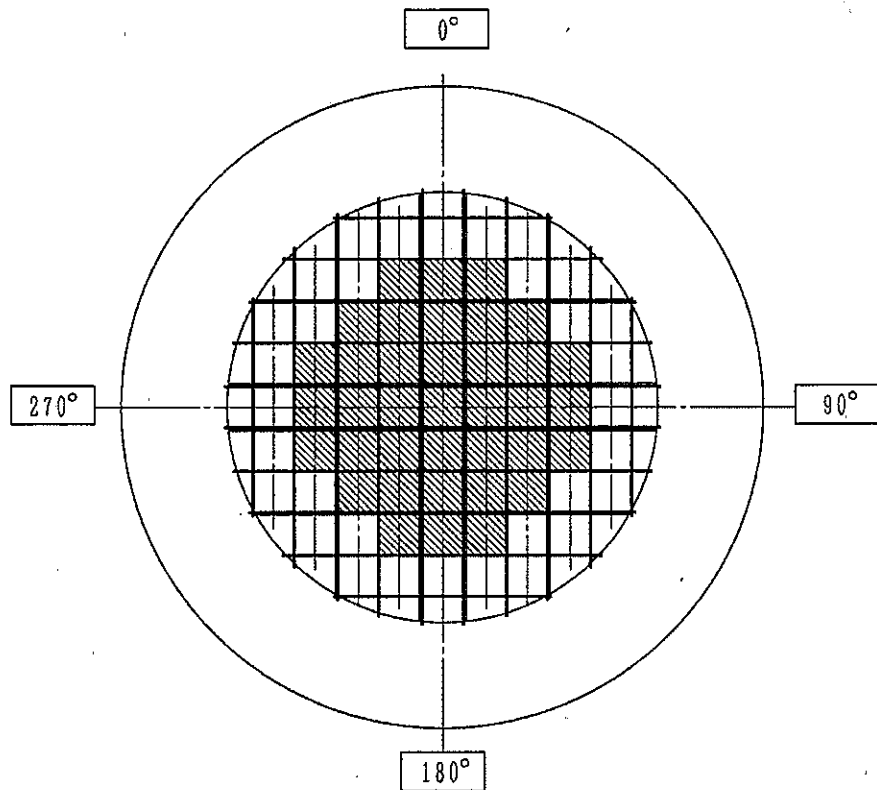
注記 *1：配置(ii)以外では、軸方向燃焼度の確認を必要としない。

*2：平均燃焼度が 40 Gwd/t 以下の高燃焼度 8×8 燃料は、外周部及び中央部どちらにも収納可能

*3：上記フローにおいていずれの収納位置条件も満たせない燃料は、配置(ii)の収納対象外とする。

図 1-2-4 配置(ii)で収納する使用済燃料の軸方向燃焼度確認フローの例

型式証明申請書本文及び添付書類の該当箇所を抜粋



- | | |
|---|---|
| <div style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 10px; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 10px; margin-bottom: 5px; background: repeating-linear-gradient(45deg, transparent, transparent 2px, black 2px, black 4px);"></div> | <p>燃料種類 : <u>新型 8×8 燃料</u> 収納体数 : <u>32 体</u> 燃焼度 : <u>29,000 MWd/t 以下</u> 冷却期間 : <u>28 年以上</u></p> <p>燃料種類 : <u>新型 8×8 燃料</u> 収納体数 : <u>37 体</u> 燃焼度 : <u>34,000 MWd/t 以下</u> 冷却期間 : <u>28 年以上</u></p> |
|---|---|

特定兼用キャスク 1 基当たりの平均燃焼度 : 29,000 MWd/t 以下
 特定兼用キャスク 1 基当たりの崩壊熱量 : 8.4 kW 以下

図 1-2-5 使用済燃料の収納位置条件(配置(iii))

(新型 8×8 燃料のみを収納する場合)

型式証明申請書本文及び添付書類の該当箇所を抜粋

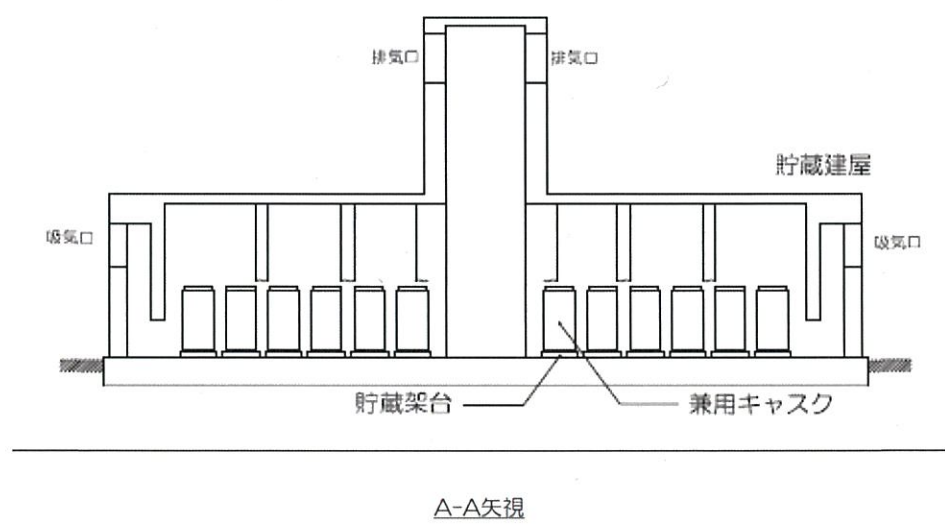
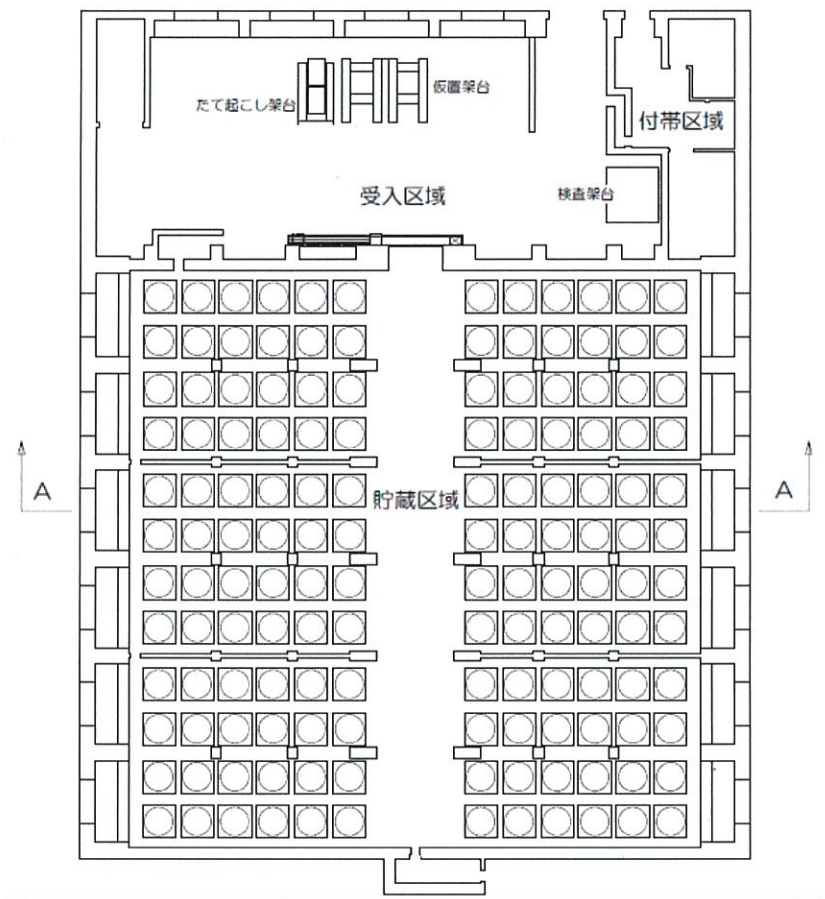


図 1-3 貯蔵施設概要図(例)

型式証明申請書本文及び添付書類の該当箇所を抜粋

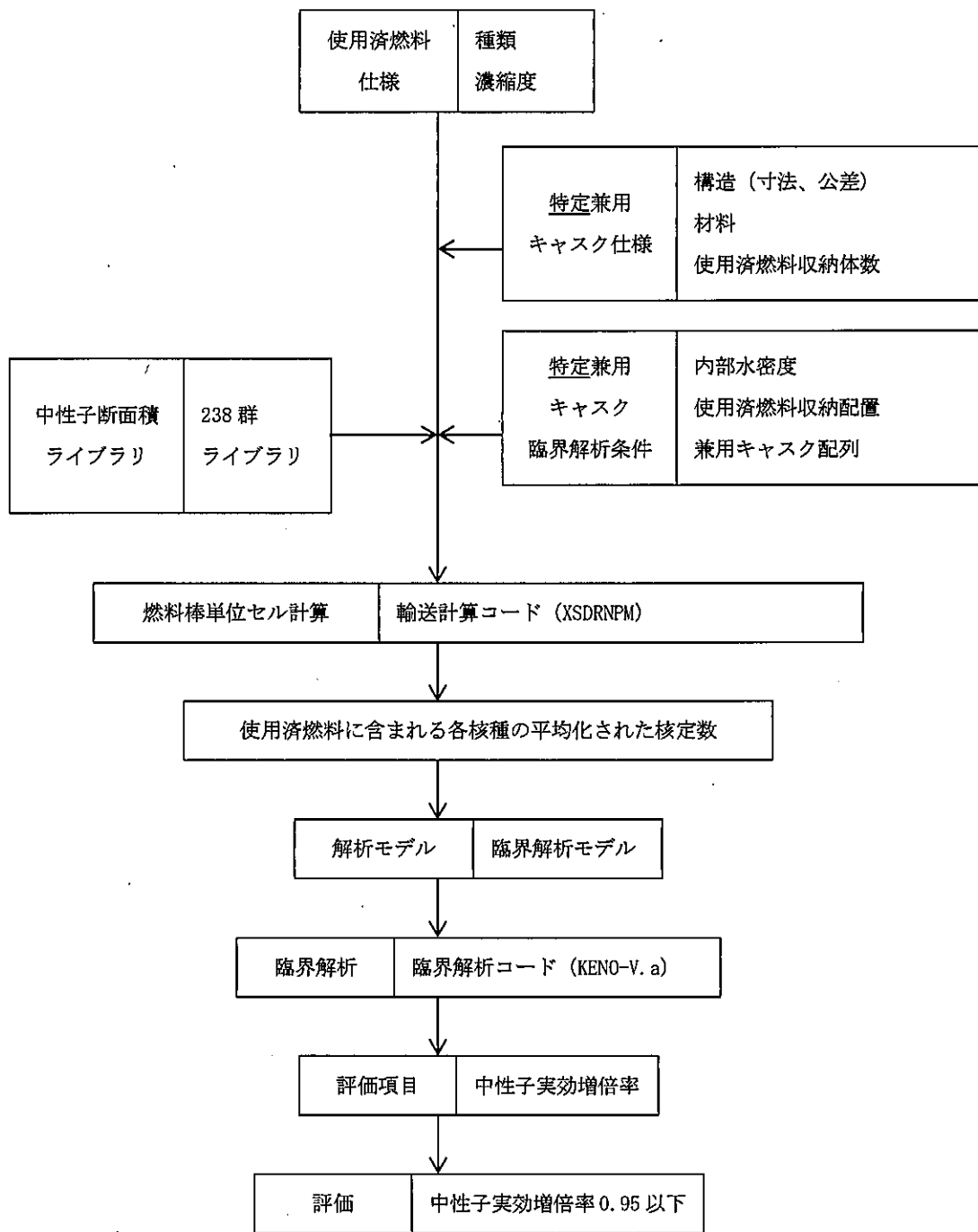


図 1-4 臨界解析フロー図

型式証明申請書本文及び添付書類の該当箇所を抜粋

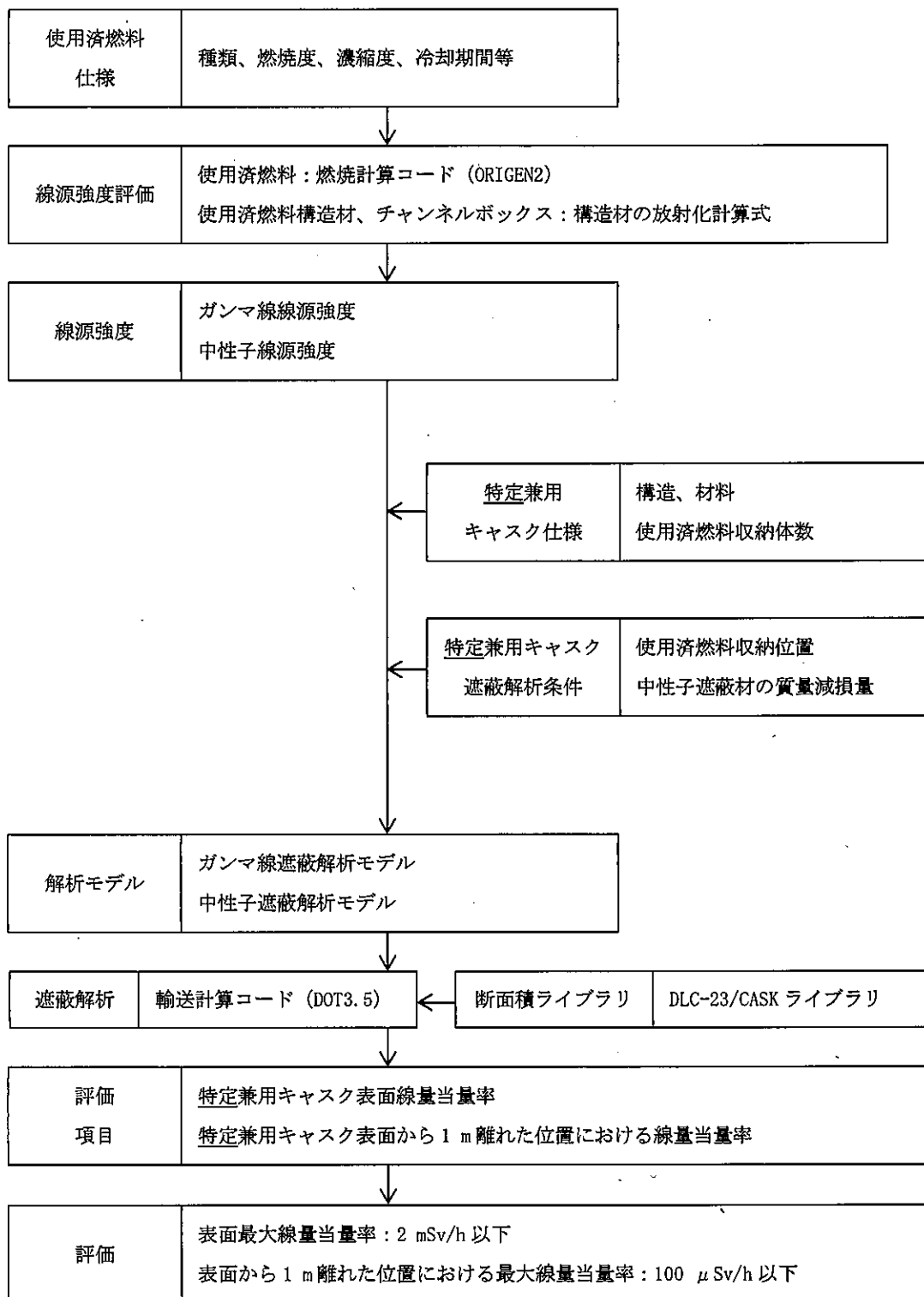


図 1-5 遮蔽解析フロー図

型式証明申請書本文及び添付書類の該当箇所を抜粋

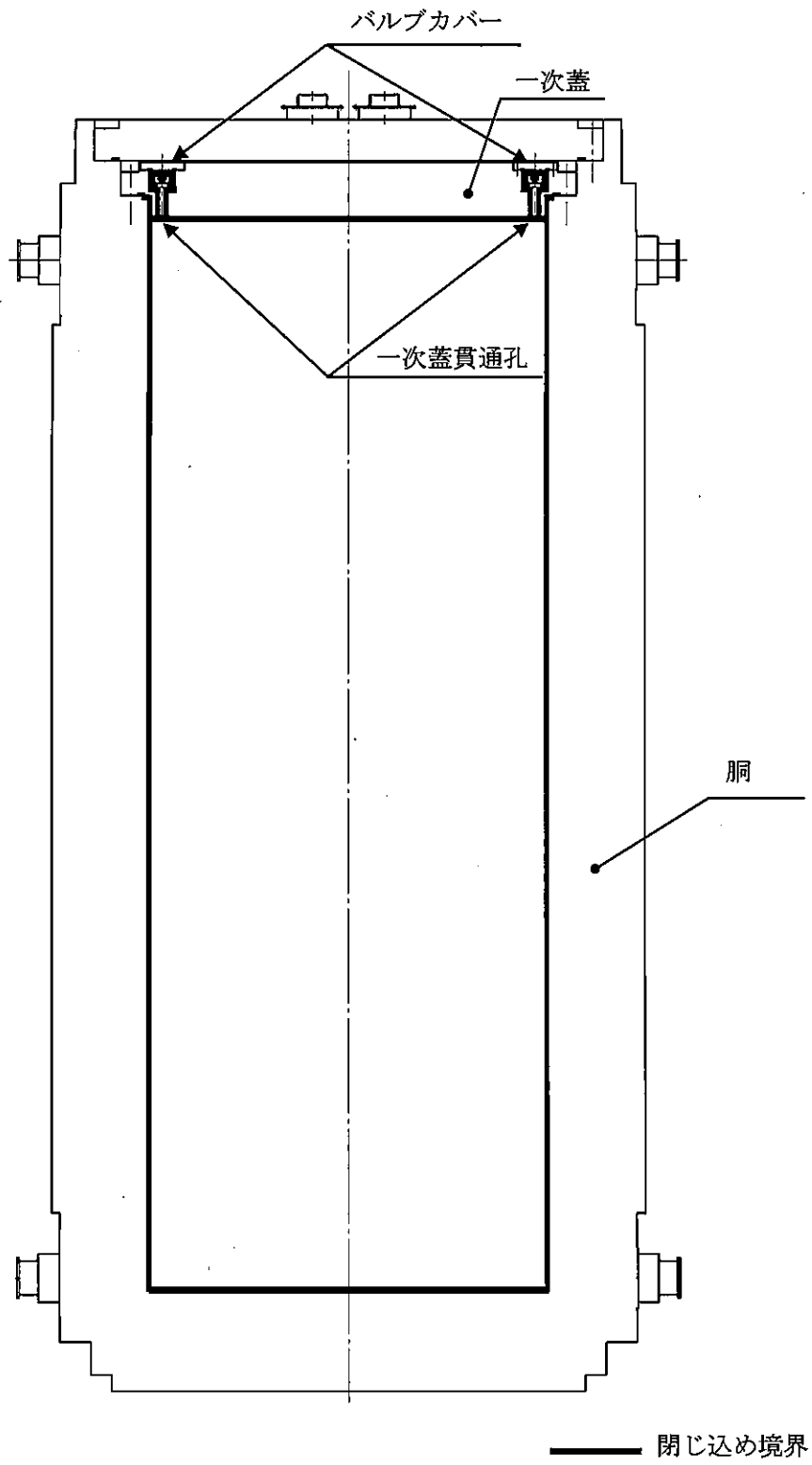


図 1-6 HDP-69BCH(B)型の閉じ込め構造

16 条-38

型式証明申請書本文及び添付書類の該当箇所を抜粋

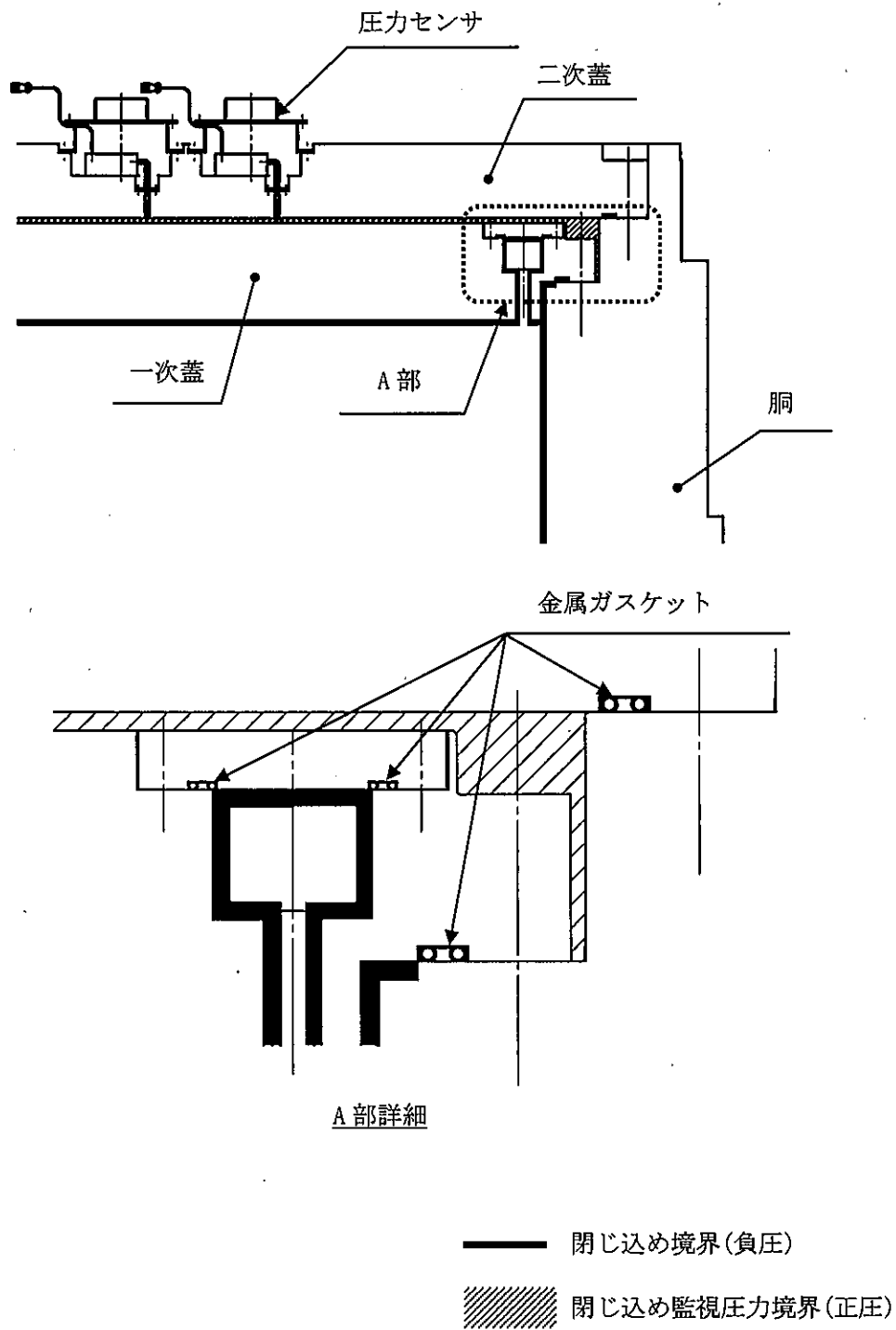


図 1-7 HDP-69BCH(B)型のシール部詳細

型式証明申請書本文及び添付書類の該当箇所を抜粋

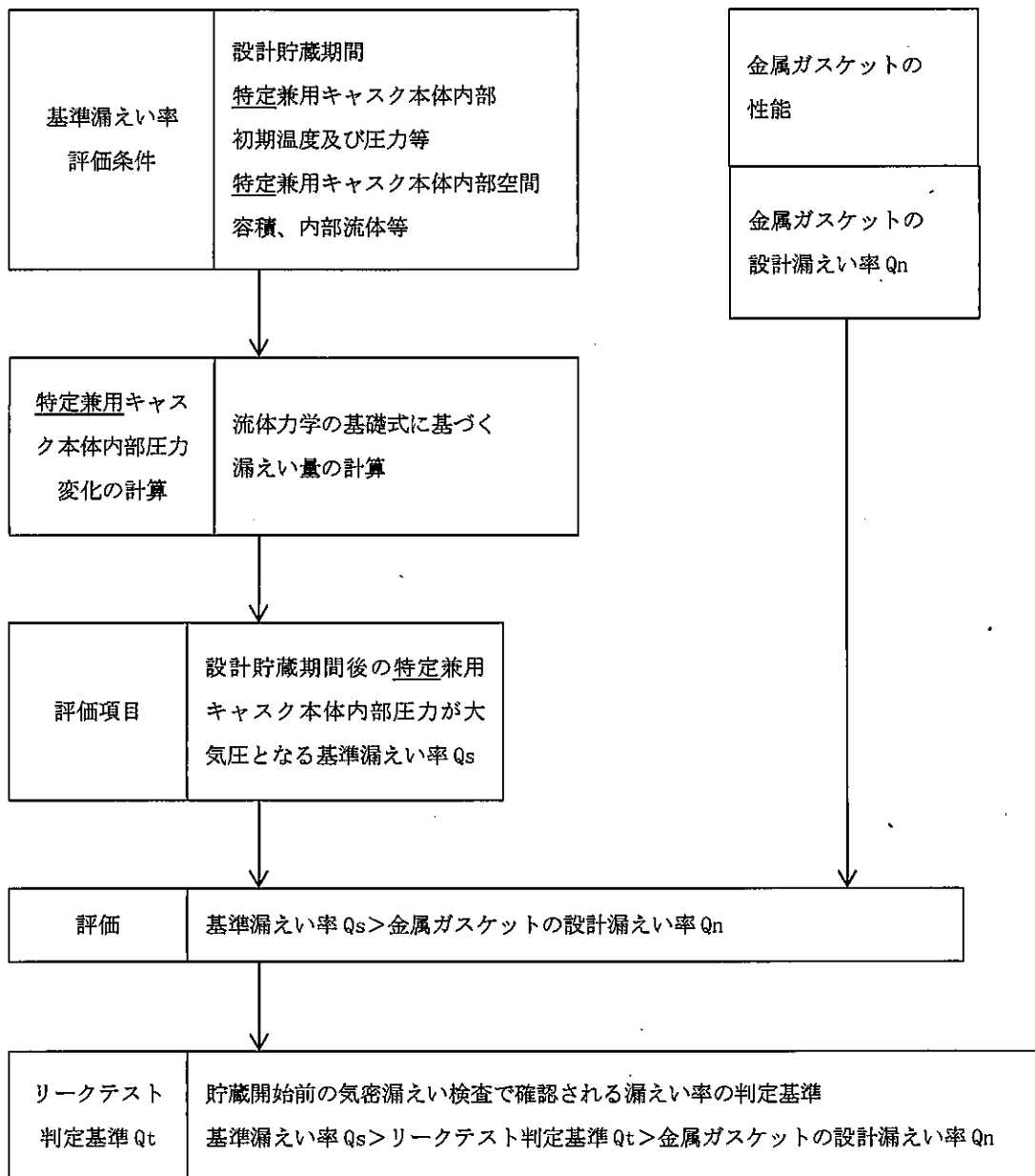


図 1-8 閉じ込め評価フロー図

型式証明申請書本文及び添付書類の該当箇所を抜粋

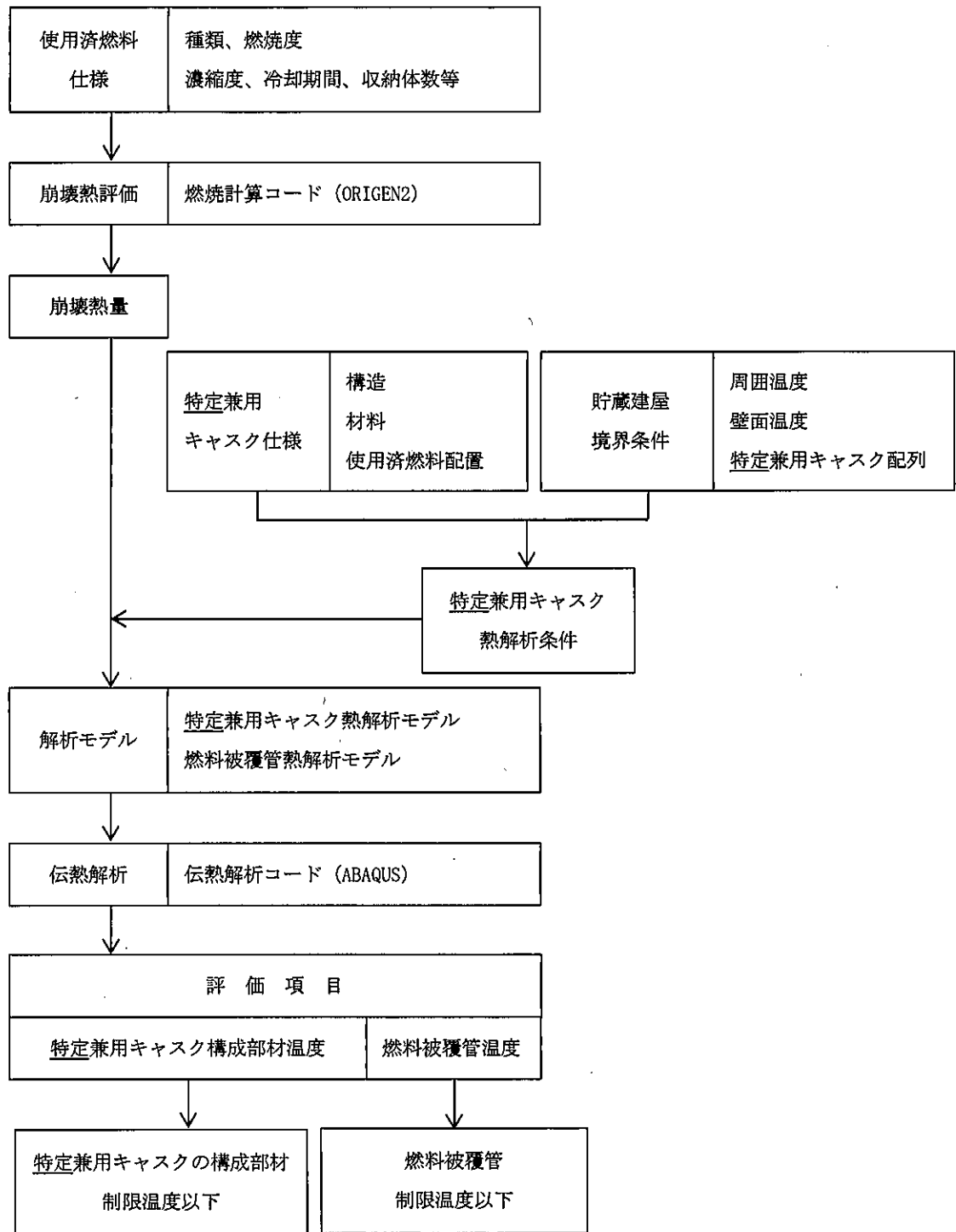
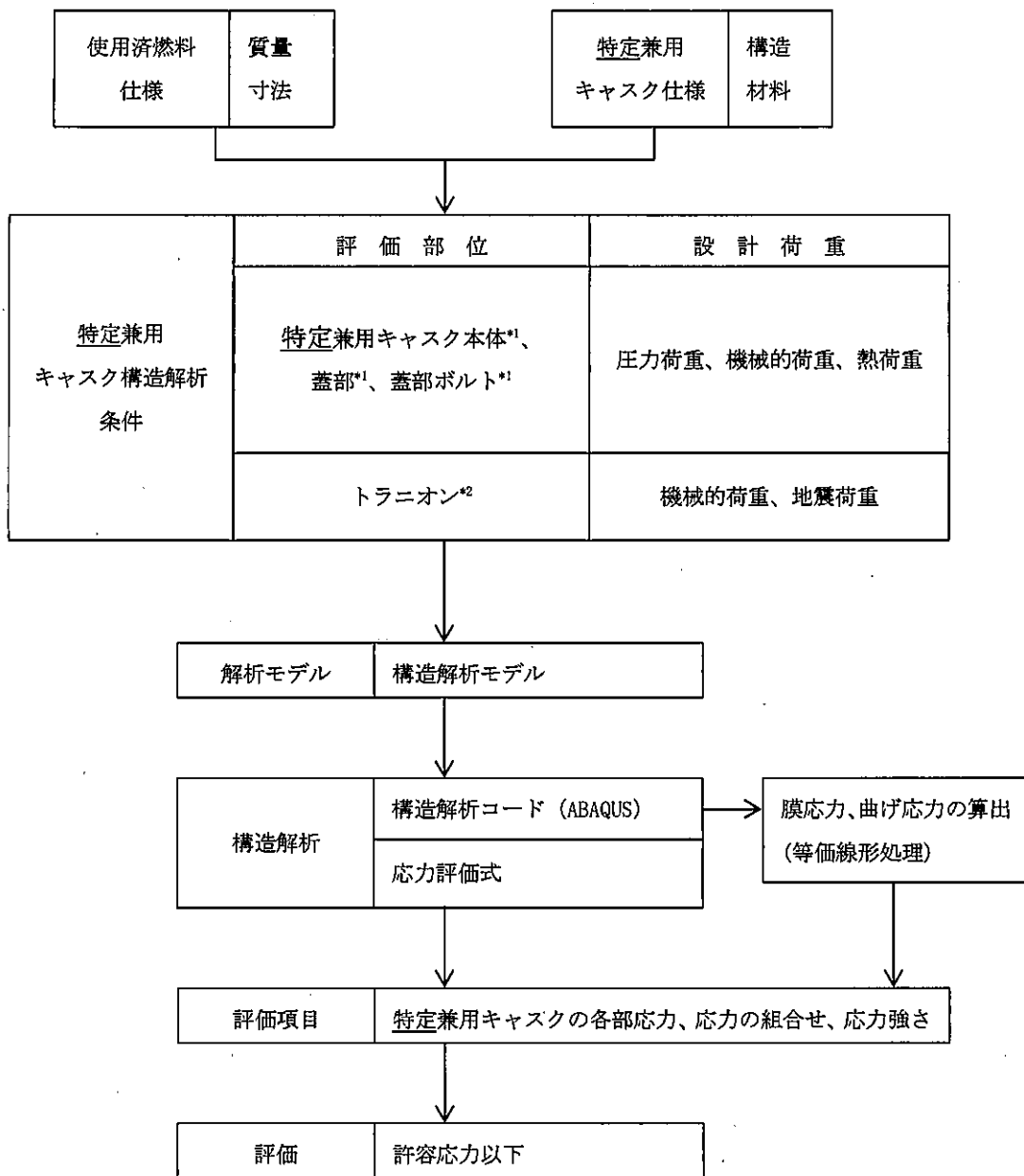


図 1-9 除熱解析フロー図

型式証明申請書本文及び添付書類の該当箇所を抜粋



注記*1：構造解析コード又は応力評価式による評価

*2：応力評価式による評価

図 1-10 構造強度解析フロー図

型式証明申請書本文及び添付書類の該当箇所を抜粋

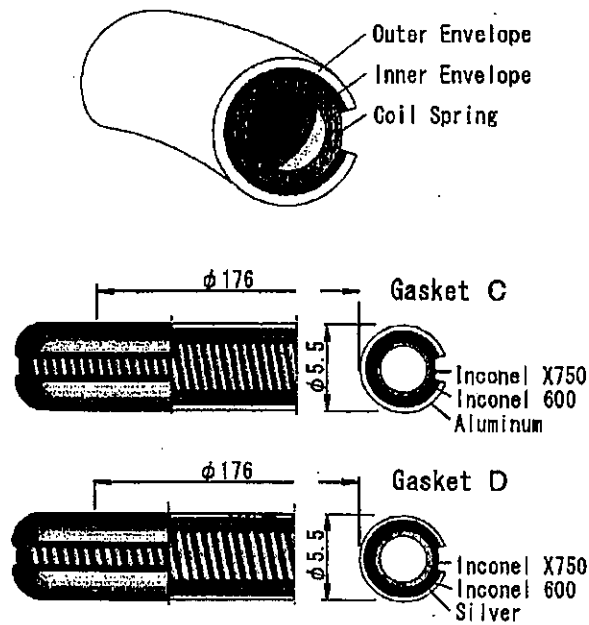


図 1-11 供試ガスケットの形状・寸法⁽¹⁶⁾

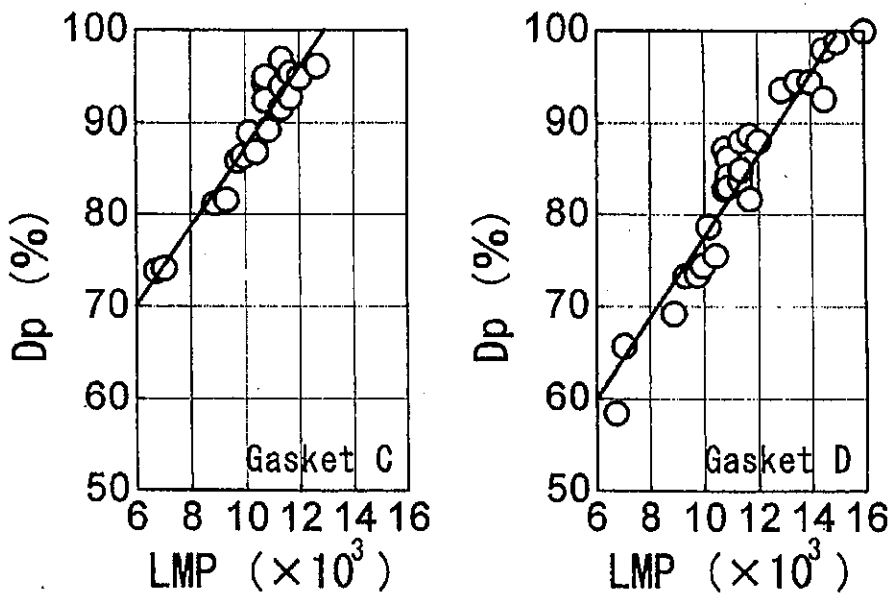


図 1-12 塑性変形率 D_p と LMP の関係⁽¹⁶⁾

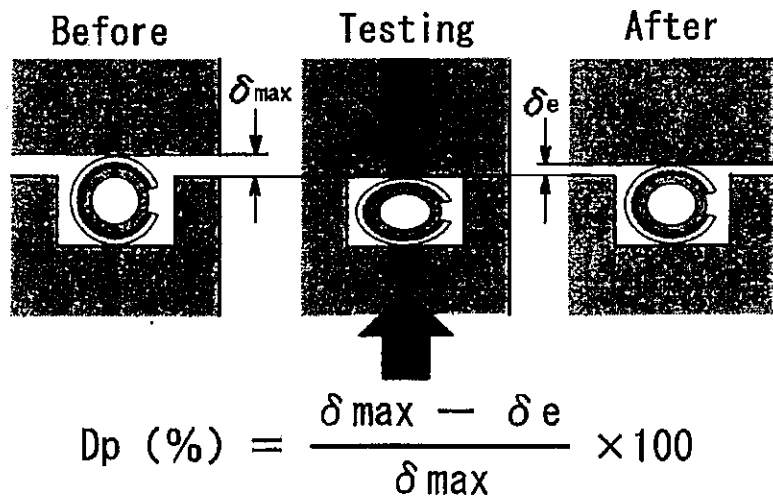


図 1-13 塑性変形率の定義⁽¹⁶⁾

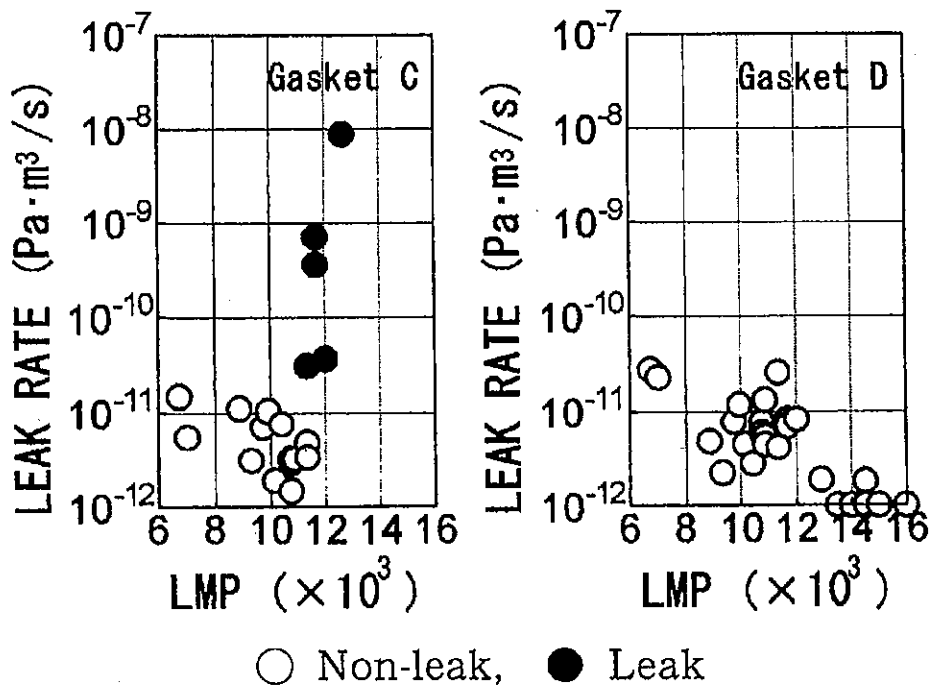


図 1-14 漏えい率と LMP の関係⁽¹⁶⁾

型式証明申請書本文及び添付書類の該当箇所を抜粋

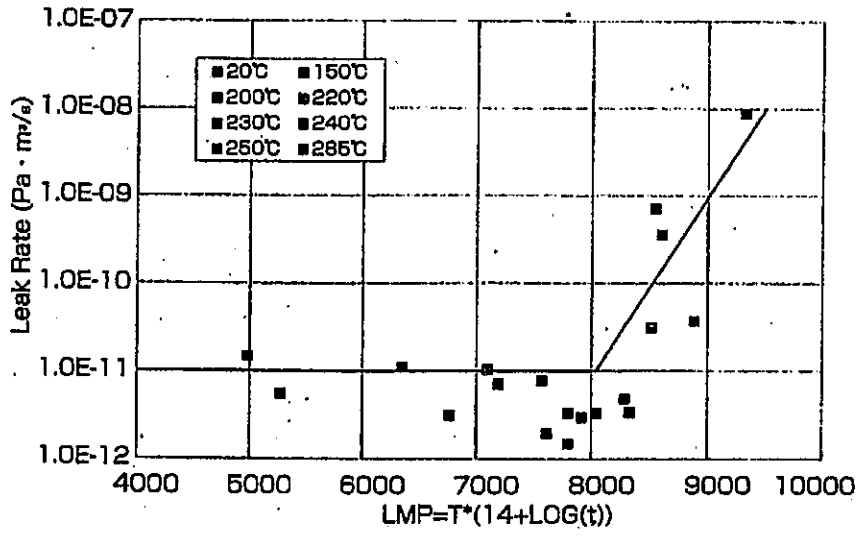


図 1-15 LMP の定数 C=14 における漏えい率と LMP の関係⁽¹⁷⁾

型式証明申請書本文及び添付書類の該当箇所を抜粋

2. 燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設

2.1 HDP-69BCH(B)型の構造について

HDP-69BCH(B)型は、軽水減速、軽水冷却、沸騰水型原子炉(以下「BWR」という。)で発生した使用済燃料を貯蔵する機能を有するとともに、使用済燃料の事業所外運搬に用いる輸送容器としての機能を併せ持つ金属製の特定兼用キャスクである。

HDP-69BCH(B)型を用いることにより、兼用キャスク貯蔵施設(以下「貯蔵施設」という。)に搬入された後も使用済燃料を別の容器に詰め替えることなく貯蔵を行うことができる。

HDP-69BCH(B)型は、特定兼用キャスク本体、蓋部、バスケット等で構成され、特定兼用キャスクを基礎等に固定する方法、又は緩衝体等の装着により蓋部が金属部に衝突しない方法で貯蔵される。特定兼用キャスクを基礎等に固定する方法では、HDP-69BCH(B)型は、貯蔵建屋内の支持構造物である貯蔵架台を介して、たて置き又はよこ置きで床面に固定される。緩衝体等の装着により蓋部が金属部に衝突しない方法では、貯蔵中に HDP-69BCH(B)型に装着を想定する付属品を装着して貯蔵架台等の上部によこ置きで保管される。

HDP-69BCH(B)型の構造を図 2.1-1 及び図 2.1-2、HDP-69BCH(B)型の仕様を表 2.1-1 に示す。

(1) 特定兼用キャスク本体

特定兼用キャスク本体の主要部は、胴、中性子遮蔽材及び外筒等で構成されている。

胴は、炭素鋼製であり、密封容器として設計されている。胴と外筒の間には主要な中性子遮蔽材として樹脂が充填されており、また、胴の炭素鋼は、主要なガンマ線遮蔽材となっている。

特定兼用キャスク本体の取扱い及び貯蔵中の固定のために、上部に2対のトラニオン、下部に2対のトラニオンが取り付けられており、特定兼用キャスク本体にねじ込みにより固定されている。なお、特定兼用キャスクの貯蔵姿勢がたて置きの場合は、下部の2対のトラニオンが固定され、よこ置きの場合は、上部1対、下部1対のトラニオンが固定される。

(2) 蓋部

蓋部は、一次蓋及び二次蓋で構成されている。

一次蓋は炭素鋼製の円板状であり、ボルトで特定兼用キャスク本体上面に取り付けられ、閉じ込め境界が構成される。一次蓋には主要な中性子遮蔽材として樹脂が充填されており、また、一次蓋の炭素鋼は、主要なガンマ線遮蔽材となっている。

二次蓋は炭素鋼製の円板状であり、ボルトで特定兼用キャスク本体上面に取り付けられる。また、二次蓋には、一次蓋と二次蓋で形成される空間にヘリウムを充填するためこの空間の圧力を検出するための貫通孔が設けられており、貫通孔にモニタリングポートバルブ及び圧力監視装置(圧力センサ)が設置される。

一次蓋及び二次蓋のシール部には、長期にわたって閉じ込め機能を維持するために

金属ガスケットが取り付けられている。

(3) バスケット

バスケットは、ステンレス鋼製の板で構成された格子構造であり、胴内面に溝を設けてバスケット格子を設けることで、個々の使用済燃料が特定兼用キャスク本体内部の所定の位置に収納される。

ステンレス鋼（以下「バスケットプレート」という。）には、使用済燃料が臨界に達することを防止するために中性子吸収材が添加されている。

また、伝熱性を向上させるために、アルミニウム合金製の板を併せて配置している。

(4) その他

事業所外運搬時に用いられる部品を表 2.1-2 に示す。

三次蓋は炭素鋼製で、特定兼用キャスク本体上部にボルトで取り付け、事業所外運搬中の閉じ込め機能を維持するために三次蓋のシール部には O リングが取り付けられている構造である。

モニタリングポートカバープレートはステンレス鋼製で、事業所外運搬時に圧力センサを取り付けるための二次蓋の窪みを塞ぐために取り付けられる構造である。

輸送用緩衝体は、ステンレス鋼製のカバープレートとリブから構成される溶接構造物の内部に緩衝材である木材を充填したものである。

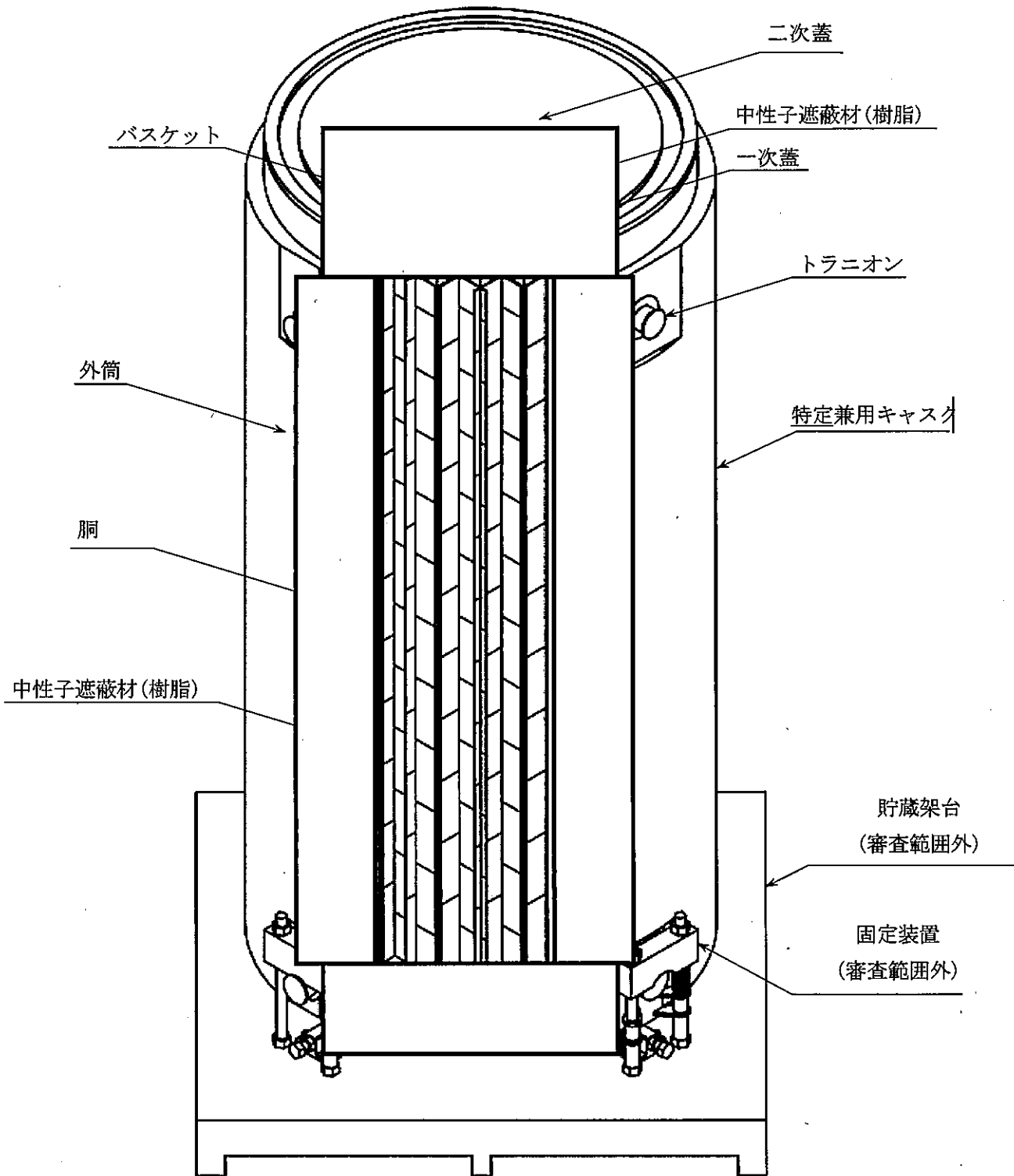
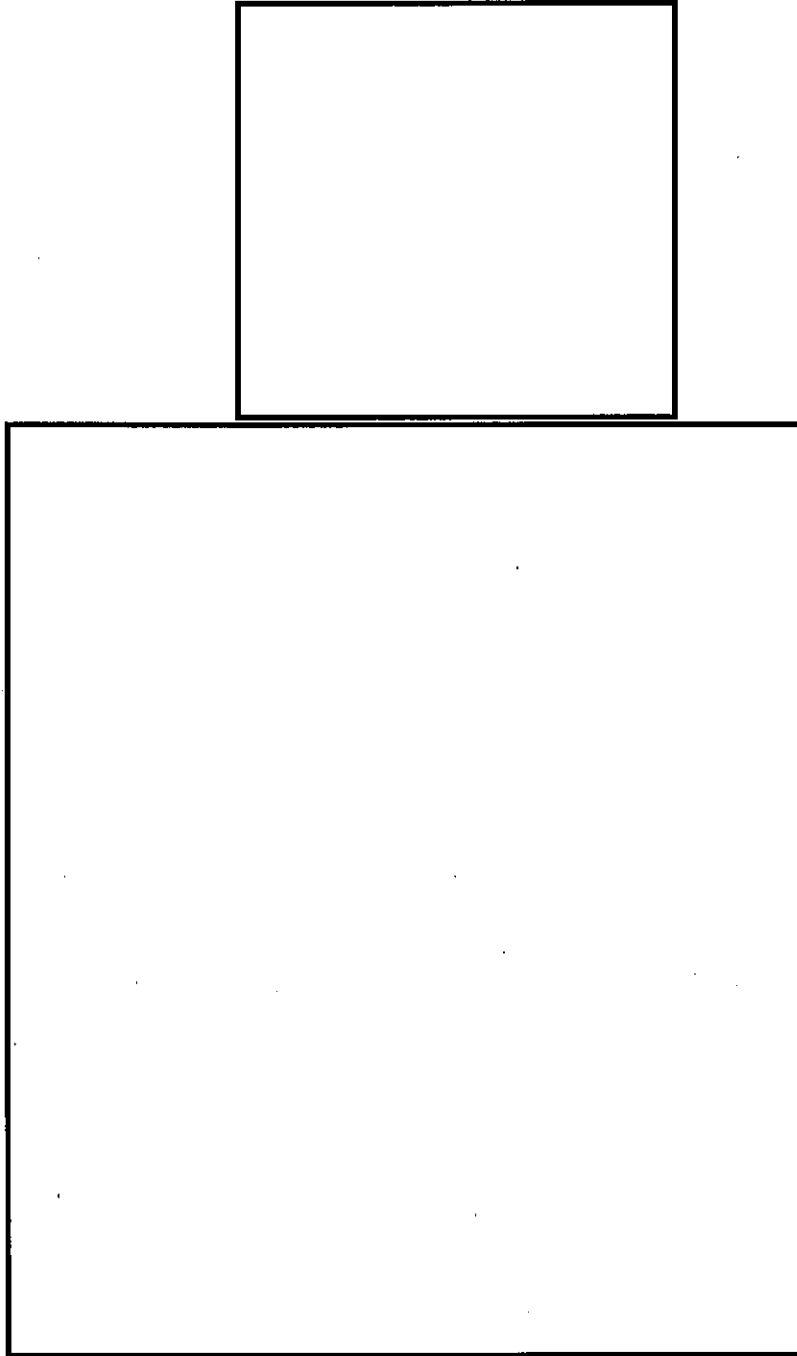


図 2. 1-1(1/2) HDP-69BCH(B)型の構造

□ 内は商業機密のため、非公開とします。



注記1：特記無き寸法はmmを示す。
注記2：特記無き寸法は公称値を示す。

図 2.1-2(2/2) HDP-69BCH(B)型の構造*1,2


 内は商業機密のため、非公開とします。

表 2.1-1 HDP-69BCH(B)型の仕様

| 項 目 | | 仕 様 |
|-------------------|--|--|
| 全質量(使用済燃料を含む。)(t) | | 約 119 |
| 寸法 | 全長(m) | 約 5.4 |
| | 外径(m) | 約 2.5 |
| 収納体数(体) | | 69 |
| 最大崩壊熱量(kW) | | 13.8 |
| 主要材質 | <u>特定兼用キャスク本体</u> 胴(ガンマ線遮蔽材) 外筒(ガンマ線遮蔽材) トラニオン 中性子遮蔽材 伝熱フィン | 炭素鋼 炭素鋼 ステンレス鋼 樹脂 炭素鋼(銅クラッド鋼) |
| | 蓋部 一次蓋 二次蓋 蓋ボルト(一次蓋、二次蓋) 金属ガスケット(一次蓋、二次蓋) | 炭素鋼 炭素鋼 ニッケルクロムモリブデン鋼 アルミニウム合金 ニッケル基合金 |
| | バスケット | ステンレス鋼 (中性子吸収材を添加) |
| | 内部充填ガス | ヘリウムガス |
| シール材(貯蔵時) | | 金属ガスケット |
| 閉じ込め監視方式 | | 圧力センサによる蓋間圧力監視 |

表 2.1-2 事業所外運搬時に用いられる部品

| 部品名 | 材質 |
|-----------------------------------|---------------------------------|
| 三次蓋 | 炭素鋼 |
| 蓋ボルト(三次蓋) | ニッケルクロムモリブデン鋼 |
| モニタリングポートカバープレート | ステンレス鋼 |
| <u>Oリング(三次蓋、モニタリングポートカバープレート)</u> | <u>エチレンプロピレンジエンゴム</u> (EPDM) |
| シール材(輸送時) | Oリング |

2.2 HDP-69BCH(B)型の収納条件について

HDP-69BCH(B)型に収納する使用済燃料仕様を表 2.2-1 に示す。また、HDP-69BCH(B)型に収納する使用済燃料の収納位置条件を図 2.2-1 から図 2.2-5 に示す。なお、配置(ii)に関しては、軸方向燃焼度が図 2.2-3 図に示す燃焼度を下回ることを発電用原子炉設置者により確認された使用済燃料を収納可能とする。配置(ii)で収納する使用済燃料の軸方向燃焼度確認フローの例を、図 2.2-4 に示す。

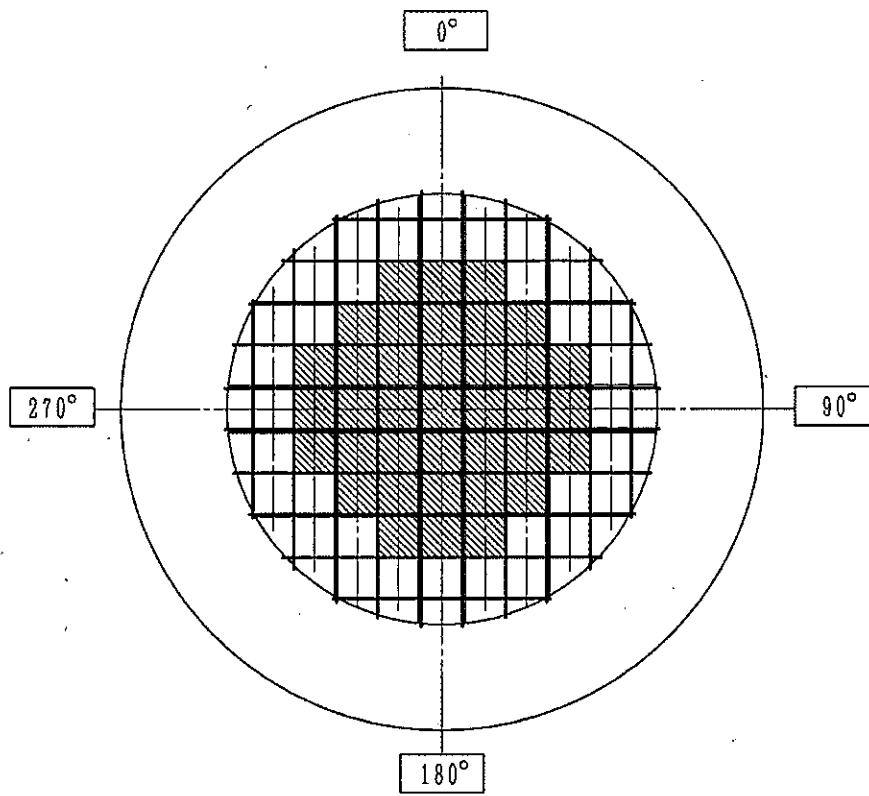
表 2.2-1 使用済燃料の仕様

| 項 目 | 仕 様 | | | |
|---------------------|-------------------|---------------------------|--------------|--------------|
| | 新型 8×8 燃料 | 新型 8×8 ジルコニウム ライナ燃料 | 高燃焼度 8×8 燃料 | |
| 使用済燃料 の種類 | 新型 8×8 燃料 | 新型 8×8 ジルコニウム ライナ燃料 | 高燃焼度 8×8 燃料 | |
| 最高燃焼度 *1 (MWd/t) | 34,000 以下 | 40,000 以下 | 40,000 以下 | 48,000 以下 |
| 最短冷却期間 *2 (年) | 28 | 18 | 18 | 20 |
| 集合体幅 (mm) *3 | 約 132 又は約 134 | | | |
| 全長 (mm) *3 | 約 4,350 又は約 4,470 | | | |
| 質量 (kg) *3 | 約 270 | | | |
| 初期濃縮度 (wt%) *3 | 約 3.1 | 約 3.3 | 約 3.7 | |
| 収納体数 (体) | 69 | | | |

注記*1：最高燃焼度とは、収納する燃料集合体 1 体の燃焼度の平均値の最大値を示す。

*2：最短冷却期間とは、収納する燃料集合体の最短の冷却期間を示す。

*3：使用済燃料の代表的な値を記載。

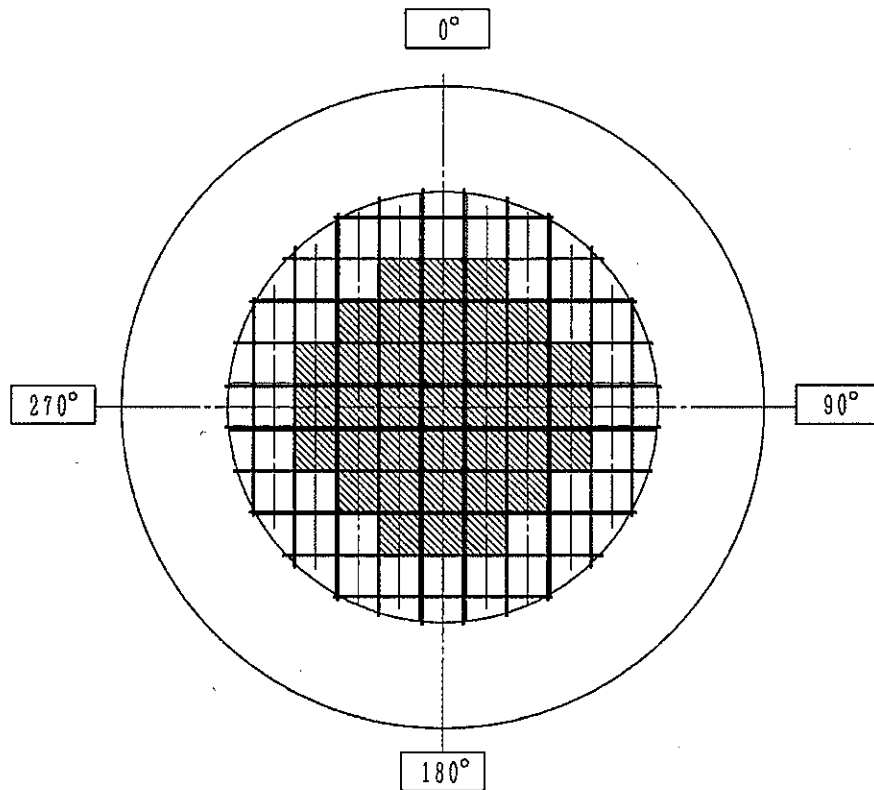


- | | | |
|---|------|-------------------------------|
| □ | 燃料種類 | : 新型8×8ジルコニウムライナ燃料及び高燃焼度8×8燃料 |
| | 収納体数 | : 32体 |
| | 燃焼度 | : 34,000 MWd/t 以下 |
| | 冷却期間 | : 18年以上 |
| | | |
| ▨ | 燃料種類 | : 新型8×8ジルコニウムライナ燃料及び高燃焼度8×8燃料 |
| | 収納体数 | : 37体 |
| | 燃焼度 | : 40,000 MWd/t 以下 |
| | 冷却期間 | : 18年以上 |

特定兼用キャスク 1 基当たりの平均燃焼度 : 34,000 MWd/t 以下

特定兼用キャスク 1 基当たりの崩壊熱量 : 12.1 kW 以下

図 2.2-1 使用済燃料の収納位置条件(配置(i))
(新型8×8ジルコニウムライナ燃料及び高燃焼度8×8燃料を混載収納する場合)



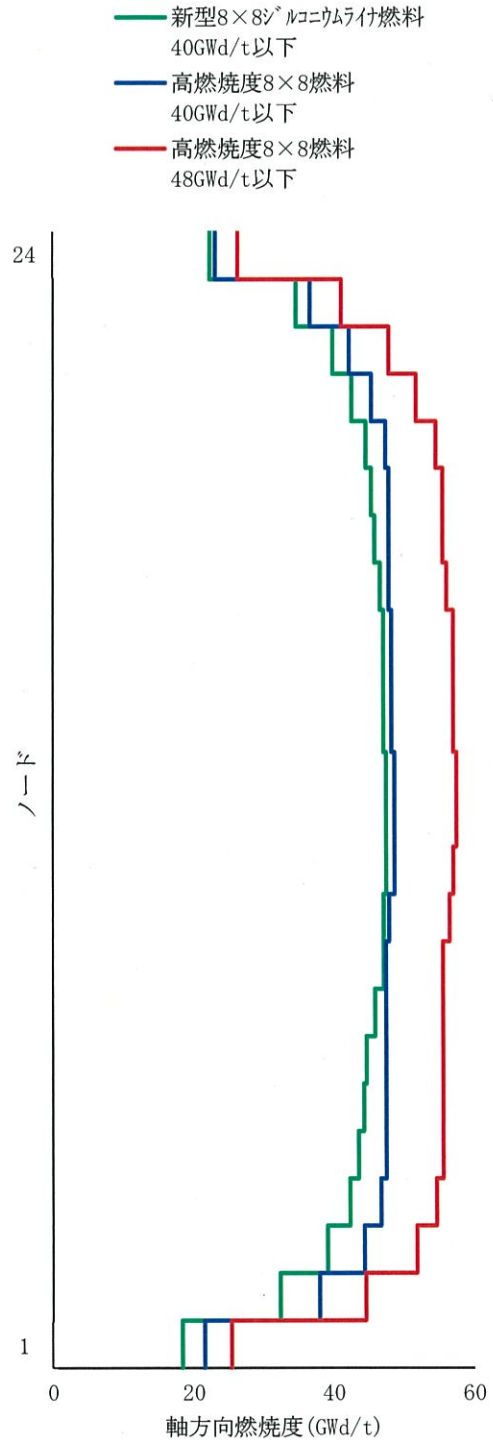
- | | |
|---|--|
| <div style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px; margin-bottom: 10px;"></div> <div style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px; background: repeating-linear-gradient(45deg, transparent, transparent 2px, black 2px, black 4px); margin-bottom: 10px;"></div> | <p>燃料種類 : 新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料及び高燃焼度 8×8 燃料</p> <p>収納体数 : 32 体</p> <p>燃焼度 : 40,000 MWd/t 以下</p> <p>冷却期間 : 22 年以上</p> <p>燃料種類 : 高燃焼度 8×8 燃料</p> <p>収納体数 : 37 体</p> <p>燃焼度 : 48,000 MWd/t 以下</p> <p>冷却期間 : 20 年以上</p> |
|---|--|

特定兼用キャスク 1 基当たりの平均燃焼度 : 40,000 MWd/t 以下

特定兼用キャスク 1 基当たりの崩壊熱量 : 13.8 kW 以下

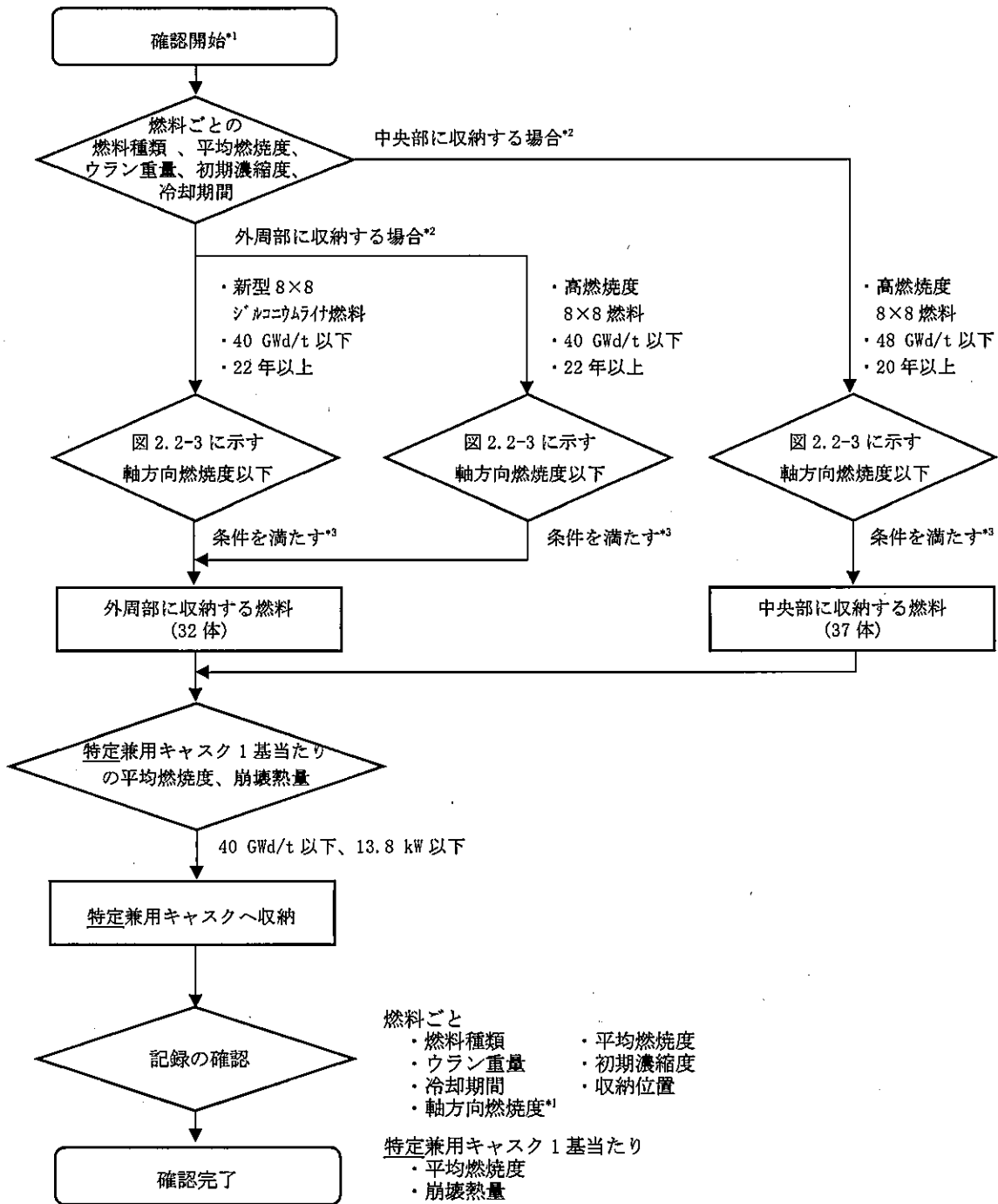
図 2.2-2 使用済燃料の収納位置条件(配置(ii))
 (新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料及び高燃焼度 8×8 燃料を混載収納する場合)

| 燃料種類 | | 新型8×8 シリコニウム ライク燃料 | 高燃焼度 8×8 燃料 | |
|----------------|-------|--------------------------|----------------|-------|
| 燃焼度 (GWd/t) | | 40 | 40 | 48 |
| ノード | | 軸方向燃焼度*1 (GWd/t) | | |
| (上部) | 24 | 22.40 | 23.20 | 26.40 |
| | 23 | 34.80 | 36.80 | 41.28 |
| | 22 | 40.00 | 42.40 | 48.00 |
| | 21 | 42.80 | 45.60 | 51.84 |
| | 20 | 44.80 | 47.60 | 54.72 |
| | 19 | 45.60 | 48.00 | 55.68 |
| | 18 | 46.00 | 48.00 | 55.68 |
| | 17 | 46.80 | 48.00 | 56.16 |
| | 16 | 47.20 | 48.40 | 57.12 |
| | 15 | 47.20 | 48.40 | 57.12 |
| | 14 | 47.20 | 48.40 | 57.12 |
| | 13 | 47.60 | 48.80 | 57.60 |
| | 12 | 47.60 | 48.80 | 57.60 |
| | 11 | 47.60 | 48.80 | 57.12 |
| | 10 | 47.20 | 48.00 | 56.64 |
| | 9 | 47.20 | 47.60 | 55.68 |
| | 8 | 46.00 | 47.60 | 55.68 |
| | 7 | 44.80 | 47.60 | 55.68 |
| | 6 | 44.40 | 47.60 | 55.68 |
| | 5 | 43.60 | 47.60 | 55.68 |
| 4 | 42.40 | 46.80 | 54.72 | |
| 3 | 39.20 | 44.40 | 51.84 | |
| 2 | 32.40 | 38.00 | 44.64 | |
| (下部) | 1 | 18.40 | 21.60 | 25.44 |



注記*1：配置(ii)に収納する燃料は軸方向燃焼度が本図の条件に包含されるものであることとする。

図 2.2-3 配置(ii)で収納する使用済燃料の軸方向燃焼度

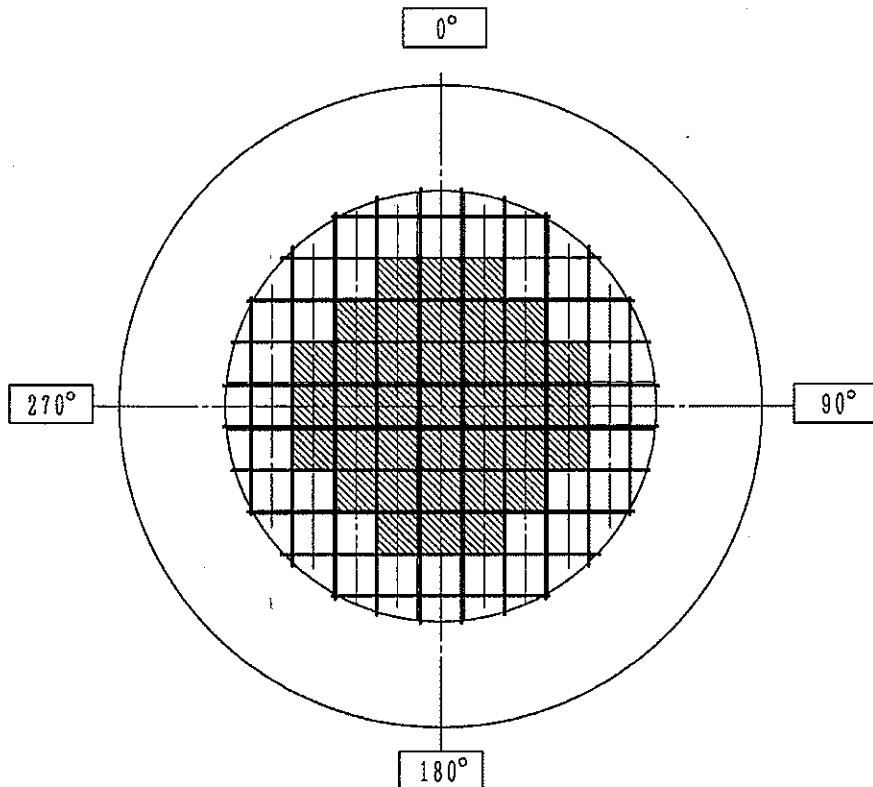


注記 *1：配置(ii)以外では、軸方向燃焼度の確認を必要としない。

*2：平均燃焼度が 40 GWd/t 以下の高燃焼度 8×8 燃料は、外周部及び中央部どちらにも収納可能

*3：上記フローにおいていずれの収納位置条件も満たせない燃料は、配置(ii)の収納対象外とする。

図 2.2-4 配置(ii)で収納する使用済燃料の軸方向燃焼度確認フローの例



燃料種類 : 新型 8×8 燃料
 収納体数 : 32 体
 燃焼度 : 29,000 MWd/t 以下
 冷却期間 : 28 年以上

燃料種類 : 新型 8×8 燃料
 収納体数 : 37 体
 燃焼度 : 34,000 MWd/t 以下
 冷却期間 : 28 年以上

特定兼用キャスク 1 基当たりの平均燃焼度 : 29,000 MWd/t 以下
 特定兼用キャスク 1 基当たりの崩壊熱量 : 8.4 kW 以下

図 2.2-5 使用済燃料の収納位置条件(配置 (iii))

(新型 8×8 燃料のみを収納する場合)

2.3 HDP-69BC(B)型の設計貯蔵期間について

2.3.1 要求事項

HDP-69BCH(B)型の設計貯蔵期間に関する要求事項は以下のとおりである。

(1) 設置許可基準規則要求事項

a. 設置許可基準規則解釈別記4第16条第5項

- ・第16条第2項第1号ハ及び同条第4項各号を満たすため、兼用キャスクは、当該兼用キャスクを構成する部材及び使用済燃料の経年変化を考慮した上で、使用済燃料の全性を確保する設計とすること。ここで、「兼用キャスクを構成する部材及び使用済燃料の経年変化を考慮した上で、使用済燃料の健全性を確保する設計」とは、以下を満たす設計をいう。
- ・設計貯蔵期間を明確にしていること。
- ・設計貯蔵期間中の温度、放射線等の環境条件下での経年変化を考慮した材料及び構造であること。

(2) 原子力発電所敷地内での輸送・貯蔵兼用キャスクによる使用済燃料の貯蔵に関する審査ガイド確認事項

「4. 自然現象等に対する兼用キャスクの設計 4.6 設計貯蔵期間」には以下のよう
に記載されている。

【審査における確認事項】

┌

設計貯蔵期間は、設置（変更）許可申請書で明確にされていること。

└

【確認内容】

┌

設計貯蔵期間は、当該設計貯蔵期間中の兼用キャスクの安全機能を評価するに当たり、材料及び構造の経年変化の考慮を行うための前提条件となるため、設置（変更）許可申請書で明確にされていること。

└

2.3.2 適合性について

HDP-69BCH(B)型の設計貯蔵期間については、以下のとおり設置許可基準規則に適合している。また、審査ガイドの確認内容を満足している。

〔設置許可基準規則〕

- ・設計貯蔵期間を明確にしていること。

〔確認内容〕

設計貯蔵期間は、当該設計貯蔵期間中の兼用キャスクの安全機能を評価するに当たり、材料及び構造の経年変化の考慮を行うための前提条件となるため、設置（変更）許可申請書で明確にされていること。

HDP-69BCH(B)型の設計貯蔵期間は60年として、型式証明申請書で明確にされている。また、設計貯蔵期間中のHDP-69BCH(B)型の材料及び構造の健全性については、2.5項で説明する。

2.4 HDP-69BCH(B)型の4つの安全機能について

2.2項の使用済燃料の収納条件を踏まえ、HDP-69BCH(B)型の各解析条件の概要を表2.4-1に、4つの安全機能評価の設置方法による代表性を表2.4-2及び表2.4-3に示す。また、4つの安全機能評価の設計思想、設計方針、設計基準を表2.4-4に示す。

本項では特定兼用キャスクの通常貯蔵時^{*1}のうち、HDP-69BCH(B)型が静置されている状態における4つの安全機能について説明する。

HDP-69BCH(B)型は、使用済燃料貯蔵中に、4つの安全機能（臨界防止、遮蔽機能、除熱機能、閉じ込め機能）を確保できる設計とする。なお、HDP-69BCH(B)型の収納位置条件、配置条件に適合することが確認された使用済燃料をHDP-69BCH(B)型へ収納する。

4つの安全機能評価のうち、臨界防止機能及び遮蔽機能については、表2.4-3に示すように、たて置きでトラニオンを固定する（特定兼用キャスクを基礎等に固定する）設置方法が、他の2つの設置方法（よこ置きでトラニオンを固定する設置方法及び緩衝体等を装着する設置方法（よこ置き））の評価条件を包含することから、たて置きでトラニオンを固定する設置方法での評価結果を代表として別添1、2に示す。除熱機能については、トラニオンを固定する設置方法の場合、たて置きがよこ置きの評価を包含するため、たて置きの評価結果の例を別添3に示す。また、緩衝体等を装着する設置方法の場合、別途個別に評価結果の例を示す。一方、閉じ込め機能については、トラニオンを固定する設置方法の場合、除熱機能の評価結果から、たて置きがよこ置きの評価条件を包含することから、たて置きでの評価結果を代表として別添4に示す。緩衝体等を装着する設置方法の場合については、除熱機能の評価結果と併せて個別に評価結果の例を示す。

また、表2.4-4に示すように、4つの安全機能を満足させるための特定兼用キャスクの構造、必要な特定兼用キャスクの部材及び設計の具体化までを設計思想とし、それら設計思想に基づき、設計方針と設計基準を設定している。

なお、HDP-69BCH(B)型は、使用済燃料貯蔵施設に係る特定容器等の設計の型式証明を受けた評価基準、評価方法、評価条件を適用しており、4つの安全機能評価に新規性、新知見はない。また、同一の設計であるHDP-69BCH型は、核燃料輸送物設計承認を受けており、外運搬規則の技術上の基準を満足することの評価には、HDP-69BCH型の核燃料輸送物設計承認での評価結果を用いる場合がある。

注記*1：発電所敷地内において特定兼用キャスクを通常に取り扱い、又は静置している状態をいう。

表 2.4-1(1/3) 特定兼用キヤスク解析条件の概要

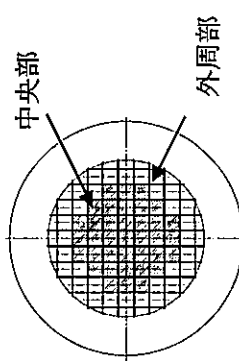
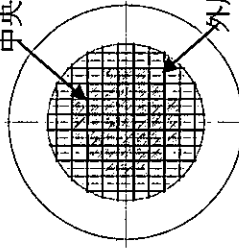
| | キヤスク収納制限、配置制限 | | | | | | 燃料スペック | | |
|------------------------|--|------------------------------|-------------|------------------------------|-----------|------------------------------|--------|-------|-------|
| | 配置(i) | | 配置(ii) | | 配置(iii) | | 燃料 | 燃焼度 | 燃焼速度 |
| | 中央部 | 外周部 | 中央部 | 外周部 | 中央部 | 外周部 | | | |
| 燃料タイプ | 新型 8×8 ジェル燃料、 高燃焼度 8×8 燃料 | 新型 8×8 ジェル燃料、 高燃焼度 8×8 燃料 | 高燃焼度 8×8 燃料 | 新型 8×8 ジェル燃料、 高燃焼度 8×8 燃料 | 新型 8×8 燃料 | 新型 8×8 ジェル燃料、 高燃焼度 8×8 燃料 | 約 3.1 | 約 3.3 | 約 3.7 |
| 使用済燃料 1体の仕様 | ≤ 3.7 | ≤ 3.7 | — | ≤ 3.7 | ≤ 3.1 | — | 約 3.1 | 約 3.3 | 約 3.7 |
| 収納物仕様 | 初期濃縮度 (wt%) | — | — | — | — | — | 175 | 174 | 177 |
| | ウラン重量 (kg) | ≤ 40 | ≤ 34 | ≤ 48 | ≤ 40 | ≤ 34 | ≤ 40 | ≤ 40 | ≤ 50 |
| | 燃焼度 (GWd/t) | 18 ≥ | 20 ≥ | 22 ≥ | 28 ≥ | 28 ≥ | — | — | — |
| | 冷却期間 (年) | ≤ 34 | ≤ 40 | — | — | — | — | — | — |
| 特定兼用 キヤスク 1 基当たり | ≤ 12.1 | ≤ 13.8 | — | — | — | — | — | — | — |
| 配置 |  | | | | | | — | | |

表 2.4-1(2/3) 兼用キヤスク解析条件の概要

| | | 解析条件 | | | | | | | | |
|-----------------|-------------------------|--|-----|--|-----|--|-----|--|-----|---------------------------------------|
| | | 臨界(乾燥状態) | | 臨界(冠水状態) | | 遮蔽 配置(i) | | 遮蔽 配置(ii) | | |
| | | 中央部 | 外周部 | 中央部 | 外周部 | 中央部 | 外周部 | 中央部 | 外周部 | |
| 使用済燃料 1 体の仕様 | 燃料タイプ | 高燃焼度 8×8 燃料 | | 高燃焼度 8×8 燃料 | | 新型 8×8 ジウコウラム付燃料 | | 高燃焼度 8×8 燃料 | | 高燃焼度 8×8 燃料 新型 8×8 ジウコウラム 付燃料*1 |
| | 初期濃縮度 (wt%) | 3.66 | | 4.9/2.1 | | 2.88 | | 3.35 | | 3.35/2.88 |
| | ウラン重量 (kg) | — | | — | | 177 | | 174 | | 174/177 |
| | 燃焼度 (GWd/t) | — | | 炉心冷温状態で無限増 倍率 1.3 程度のモデル バンドルを使用 | | 40 | | 48 | | 40 |
| 収納物仕様 | 冷却期間 (年) | 未照射燃料として評価 | | — | | 18 | | 20 | | 22 |
| | 特定兼用キ ヤスク 1 基当 たり | — | | — | | — | | — | | — |
| 配置 | 平均燃焼度 (GWd/t) | — | | — | | — | | — | | — |
| | 最大崩壊熱量 (kW) | — | | — | | — | | — | | — |
| | |  | | 高燃焼度 8×8 燃料 を 69 体収納 | |  | | 中央部：40 又は 48GWd/t 外周部：34 又は 40GWd/t | | |

注記*1：新型 8×8 ジウコウラム付燃料と高燃焼度 8×8 燃料のそれぞれの線源強度を評価し、各ノード、エネルギー群ごとに高い値を採用した包絡値を遮蔽評価では使用する。

表 2.4-1 (3/3) 兼用キヤスク解析条件の概要

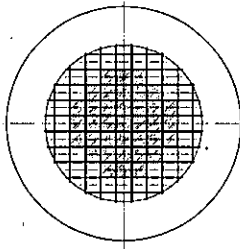
| | | 解析条件 | | | | | | 閉じ込め |
|-----------------|-------------|---|-----|-------------|-----|-----------|-----|------------------|
| | | 除熱配置(i) | | 除熱配置(ii) | | 除熱配置(iii) | | |
| | | 中央部 | 外周部 | 中央部 | 外周部 | 中央部 | 外周部 | |
| 燃料集合体 1体の仕様 | 燃料タイプ | 新型 8×8 ジェノコーム燃料 | | 高燃焼度 8×8 燃料 | | 新型 8×8 燃料 | | — |
| | 初期濃縮度 (wt%) | 2.88 | | 3.35 | | 2.88 | | 除熱の温度条件を包含する値で評価 |
| | ウラン重量 (kg) | 177 | | 174 | | 177 | | |
| | 燃焼度 (GWd/t) | 34 | | 40 | | 29 | | |
| | 冷却期間 (年) | 18 | | 22 | | 28 | | |
| 平均燃焼度 (GWd/t) | 34 | | 40 | | 29 | | | |
| 特定兼用キヤスク 1 基当たり | 設計崩壊熱量 (kW) | 15.34 | | 15.33 | | 10.37 | | — |
| 収納物仕様 | | <div style="display: flex; justify-content: center; align-items: center;">  </div> <p>新型 8×8 ジェノコーム燃料、高燃焼度 8×8 燃料又は新型 8×8 燃料を 69 体収納</p> | | | | | | — |
| 配置 | | | | | | | | — |

表 2.4-2 4つの安全機能評価の設置方法による代表性*1

| 設置方法 | トラニオンを固定 | | 緩衝体等を特定兼用キヤスクの両端に装着 |
|-----------|--|--|--|
| | たて置き | よこ置き | |
| 審査ガイド上の区分 | 設置方法⑤(たて置き) | 設置方法⑤(よこ置き) | よこ置き 設置方法② |
| 臨界防止機能 | 使用済燃料仕様、内部水密度、収納位置、特定兼用キヤスク配列を最も厳しい条件として中性子実効増倍率を評価 | ← (姿勢によらないため、設置方法⑤(たて置き)で代表) | ← (姿勢、緩衝体有無によらないため、設置方法⑤(たて置き)で代表) |
| 遮蔽機能 | 線源強度、収納位置を最も厳しい条件として線量当量率を評価 | ← (姿勢によらないため、設置方法⑤(たて置き)で代表) | ← (姿勢によらず、緩衝体による遮蔽効果を無視して設置方法⑤(たて置き)で代表) |
| 除熱機能 | 使用済燃料の崩壊熱量、貯蔵建屋の境界条件から最も厳しい条件として各部の温度を評価 | ← (設置方法⑤(たて置き)で代表可能なことをたて置きを下回る評価結果で示す) | 輸送荷姿における緩衝体装着による熱抵抗の効果を検討して各部の温度を評価 |
| 閉じ込め機能 | 設計貯蔵期間、兼用キヤスク本体内部の温度、圧力、容積、内部流体を考慮した最も厳しい条件として、基準漏えい率を評価 | ← (同上) | ← (上記の評価の結果、特定兼用キヤスク本体内部の温度は、設置方法⑤(たて置き)よりも低いことを確認) |

注記 *1：赤字は、設置方法の代表性を説明するために必要な内容。設置方法②の除熱機能の評価結果は別添3 参照。

表 2.4-3(1/4) 4つの安全機能評価の設置方法による代表性 (臨界防止機能)

| 設置方法 | トラニオンを固定 | | 緩衝体等を特定兼用キヤスクの両端に装着 よこ置き |
|--------------------|--|--|---------------------------------|
| | たて置き | よこ置き | |
| 審査ガイド上の区分 | 設置方法⑤(たて置き) | 設置方法⑥(よこ置き) | 設置方法② |
| 貯蔵用三次蓋、貯蔵用緩衝体のモデル化 | (貯蔵時に使用しない) | (設置方法⑤(たて置き)と同じ) | (貯蔵用緩衝体等を考慮した場合、設置方法⑤(たて置き)と同じ) |
| 使用済燃料仕様 | 最も反応度(初期濃縮度)の大きい高燃焼度 8×8 燃料で評価 | 設置方法⑥(たて置き)と同じ | |
| 内部水密度 | 乾燥時 冠水時 | 特定兼用キヤスク内部に水がない状態 特定兼用キヤスク内部を冠水の状態で評価 | 設置方法⑥(たて置き)と同じ |
| 収納位置 | 燃料の収納位置の影響評価を行い、兼用キヤスク中心に偏向した条件で評価 | 設置方法⑥(たて置き)と同じ | |
| 特定兼用キヤスクのモデル化 | 特定兼用キヤスク本体(バスケットを含む)、一次蓋及び二次蓋を三次元でモデル化 | 設置方法⑥(たて置き)と同じ | |
| 境界条件 | 境界条件として完全反射境界を設定した条件で、特定兼用キヤスクが無限に配列した評価 | 設置方法⑥(たて置き)と同じ | |

表 2. 4-3(2/4) 4つの安全機能評価の設置方法による代表性 (遮蔽機能)

| 設置方法 | トランジスタを固定 | | | 緩衝体等を特定兼用キャスクの両端に装着 よこ置き 設置方法② |
|-------------------------------------|---|-----------------------|-----------------------|--|
| | たて置き 設置方法⑤(たて置き) | よこ置き 設置方法⑤(よこ置き) | よこ置き 設置方法⑤(よこ置き) | |
| 審査ガイド上の区分 貯蔵用三次蓋、貯蔵用 緩衝体のモデル化 | — (貯蔵時に使用しない) | ← (設置方法⑤(たて置き)と同じ) | ← (設置方法⑤(よこ置き)と同じ) | (貯蔵用緩衝体等を考慮した場合、 中性子・ガンマ線等の放射線の遮蔽 効果が大きくなる。そのため、設置 方法⑤(たて置き)の評価結果を使 用している) |
| 使用済燃料仕様 | 配置(i)、配置(ii)の使用済燃料仕様 の線源強度を用いて配置ごとに評価 | | | 設置方法⑤(たて置き)と同じ |
| 容器内雰囲気 | 真空 | | | 設置方法⑤(たて置き)と同じ |
| 収納位置 | 特定兼用キャスクの中央部に最高燃焼度 の燃料を37体、平均燃焼度の燃料32体 配置 | | | 設置方法⑤(たて置き)と同じ |
| 特定兼用キャスクの モデル化 | 特定兼用キャスク本体(バスケットを含 む)、一次蓋及び二次蓋を二次元でモデル 化 | | | 設置方法⑤(たて置き)と同じ |

表 2.4-3(3/4) 4つの安全機能評価の設置方法による代表性 (除熱機能)

| 設置方法 | トラニオンを固定 | | 緩衝体等を特定兼用キヤスクの両端に装着 |
|---------------------------------|--|---|---------------------|
| | たて置き | よこ置き | |
| 審査ガイド上の区分 貯蔵用三次蓋、貯蔵用緩衝体のモデル化 | 設置方法⑤(たて置き) (貯蔵時に使用しない) | 設置方法⑤(よこ置き) | 設置方法② |
| 特定兼用キヤスクからの放熱条件 | 特定兼用キヤスク本体外面の対流により兼用キヤスク周囲の空気に伝達。兼用キヤスク本体外面からのふく射により貯蔵建屋等に伝達 | ← (設置方法⑤(よこ置き)の評価例を別添3に示す。特定兼用キヤスク各部の温度は、設置方法⑤(たて置き)の温度に含まれる。) | 考慮してモデル化 |
| 使用済燃料仕様 | 配置(i)、配置(ii)の使用済燃料仕様で個別に評価値 | | 設置方法⑤(たて置き)と同じ |
| 容器内雰囲気 | ヘリウムガス | | 設置方法⑤(たて置き)と同じ |
| 収納位置 | 特定兼用キヤスクの中央部に最高燃焼度の燃料を37体、平均燃焼度の燃料32体配置 | | 設置方法⑤(たて置き)と同じ |
| 特定兼用キヤスクのモデル化 | 特定兼用キヤスク本体(バスケットを含む)、一次蓋及び二次蓋を二次元でモデル化 | | 設置方法⑤(たて置き)と同じ |
| 特定兼用キヤスクの周囲条件 | 周囲温度：45℃ 周囲コンクリート壁面温度：65℃ | | 設置方法⑤(たて置き)と同じ |

表 2.4-3(4/4) 4つの安全機能評価の設置方法による代表性 (閉じ込め機能)

| 設置方法 | トラニオンを固定 | | 緩衝体等を特定兼用キヤスクの両端に装着 よこ置き 設置方法② |
|-------------------------------|---|---|---|
| | たて置き 設置方法⑤(たて置き) | よこ置き 設置方法⑤(よこ置き) | |
| 審査ガイド上の区分 特定兼用キヤスク内 部温度 | 設置方法⑤(たて置き) 内部ガスの最高温度は、配置(ii)の燃料被覆管の最高温度とする。 | 設置方法⑤(よこ置き) (別添3の設置方法⑤(よこ置き)の除熱機能の評価結果から、設置方法⑤(たて置き)の方が燃料被覆管の最高温度は大きくなる) | 設置方法② (別添3の設置方法②(よこ置き)の除熱機能の評価結果から、設置方法⑤(たて置き)の方が燃料被覆管の最高温度は大きくなる) |
| 評価方法 | 一次蓋-二次蓋間に充填されたヘリウムガスが胴内に漏えいする計算を行い、キヤビティ内圧が負圧を維持できる基準漏えい率を計算。その基準漏えい率を満足するよう、金属ガスケットを使用する設計 | | |
| 評価式 | クヌッセンの式 ポイル・シヤルルの式 | | |
| 密封境界 | 一次蓋(金属ガスケット) | | |
| 燃料破損率 | 0.1% | | |
| 圧力条件 | 上流側 | 一次蓋-二次蓋間：初期充填圧 | |
| | 下流側 | 特定兼用キヤスク内部：初期充填圧 | |
| 評価期間 | 設計貯蔵期間 | | |

表 2.4-4(1/3) 4つの安全機能評価の設計思想、設計方針、設計基準

| 安全機能 | 臨界防止機能 | 遮蔽機能 | 除熱機能 | 閉じ込め機能 |
|-----------------------------|--|---|--|---|
| 安全機能を満足させるための特定兼用キヤスク構造 | <ul style="list-style-type: none"> 使用済燃料を適切な間隔を保持した幾何学配置に維持する。 中性子吸収材を適切に配置して、使用済燃料から放出される中性子を吸収することにより、反応度を下げる。 | <ul style="list-style-type: none"> ガンマ線を遮蔽するための部材を使用済燃料の周囲に適切に配置する。 中性子を遮蔽するための部材を使用済燃料の周囲に適切に配置する。 | <ul style="list-style-type: none"> 使用済燃料の崩壊熱を適切に特定兼用キヤスク本体に伝えるため、個別の使用済燃料周囲に伝熱部材を配置できるバスケット構造とし、バスケットには熱伝導率の高い材料を用いる。 特定兼用キヤスク本体内側から外側へ適切に崩壊熱を伝えるため、特定兼用キヤスク本体には適切な熱伝導と構造強度を両立できる材料を用いる。 兼用キヤスク本体外側から、中性子吸収材を通して兼用キヤスク外表面に適切に崩壊熱を伝えるため、中性子吸収材を配置する部分には、伝熱部材を配置する。 | <ul style="list-style-type: none"> 特定兼用キヤスクの密封部に、漏えい率が十分小さい部材を使用することにより、特定兼用キヤスク内部を負圧に維持する。 多重の蓋を有し、蓋間空間を正圧とすることで特定兼用キヤスク内部と特定兼用キヤスク外部の間に圧力障壁を設け、使用済燃料を内封する区間を特定兼用キヤスク外部から隔離する。 蓋間空間の圧力を監視できる。 |
| 上記を満足させるために特に必要な特定兼用キヤスクの部材 | <ul style="list-style-type: none"> バスケットプレート | <ul style="list-style-type: none"> 特定兼用キヤスク本体 (胴、底板、外筒)、二次蓋 中性子遮蔽材 (本体、一次蓋) | <ul style="list-style-type: none"> バスケットプレート 伝熱プレート 特定兼用キヤスク本体 (胴、底板、外筒) 伝熱フィン | <ul style="list-style-type: none"> 特定兼用キヤスク本体 (胴) 金属ガスケット 一次蓋、二次蓋、一次蓋ボルト、二次蓋ボルト |

設計思想

表 2.4-4(2/3) 4 つの安全機能評価の設計思想、設計方針、設計基準

| 安全機能 | 臨界防止機能 | 遮蔽機能 | 除熱機能 | 閉じ込め機能 |
|-----------------------|--|--|--|--|
| <p>特定兼用キャスク設計の具体化</p> | <p>・設計貯蔵期間を通じて使用済燃料を所定のバスケット格子内に維持できるバスケット構造とするため、材質は実績のあるステンレス鋼を用いる。</p> <p>・中性子吸収材を効果的に配置するため、ステンレス鋼にボロンを添加した材料を用いる。</p> | <p>・設計貯蔵期間を通じて使用済燃料からのガンマ線を遮蔽できるよう、使用済燃料の周囲を取り囲む特定兼用キャスク本体(胴、底板)及び一次蓋、二次蓋に炭素鋼を使用して設計する。</p> <p>・設計貯蔵期間を通じて使用済燃料からの中性子を遮蔽できるよう、使用済燃料の周囲を取り囲む特定兼用キャスク本体(胴、底板)及び一次蓋に、長期的に中性子遮蔽効果を維持できる樹脂をベースとした中性子吸収材を配置する。</p> | <p>・設計貯蔵期間を通じて使用済燃料の崩壊熱を特定兼用キャスク本体に伝えるため、バスケット格子には熱伝導率の高いアルミニウム合金を使用する。</p> <p>・設計貯蔵期間を通じて崩壊熱を特定兼用キャスク本体内側から外側へ伝えるため、特定兼用キャスク本体には、構造強度部材として実績を有し、適切な熱伝導率も有する炭素鋼を使用している。</p> <p>・設計貯蔵期間を通じて、崩壊熱を、中性子吸収材を通して特定兼用キャスク外表面に伝えるため、伝熱フィンには炭素鋼(銅クラッド鋼)を使用する。</p> | <p>・一次蓋と二次蓋による二重の密封構造として、蓋間の圧力を正圧として圧力障壁を設ける。</p> <p>・設計貯蔵期間を通じて密封部の漏えい率を十分に小さく維持できるように、乾式キャスクで使用実績を有する金属ガスケットを使用する。</p> <p>・蓋間空間の圧力を監視できるように、圧力センサを設ける。</p> |

設計思想

表 2.4-4(3/3) 4つの安全機能評価の設計思想、設計方針、設計基準

| 安全機能 | 臨界防止機能 | 遮蔽機能 | 除熱機能 | 閉じ込め機能 |
|------|---|---|--|---|
| 設計方針 | <ul style="list-style-type: none"> 上記の特定兼用キヤスク構造とすることで、<u>技術的に想定されるいかなる場合でも、臨界を防止する設計とする</u> | <ul style="list-style-type: none"> 上記の特定兼用キヤスク構造とすることで、<u>放射線に対して適切な遮蔽能力を有する設計とする</u> | <ul style="list-style-type: none"> 上記の特定兼用キヤスク構造とすることで、<u>使用済燃料の崩壊熱を適切に除去できる設計とする</u> | <ul style="list-style-type: none"> 上記の兼特定用キヤスク構造とすることで、<u>特定兼用キヤスク内部の負圧に維持できる設計とする</u> |
| 設計基準 | <ul style="list-style-type: none"> <u>統計誤差(3σ)を考慮しても中性子実効増倍率が 0.95 を上回らない</u> | <ul style="list-style-type: none"> <u>表面 2mSv/h 以下</u> <u>表面から 1m で 100μSv/h 以下</u> | <ul style="list-style-type: none"> <u>文献に基づき設定した、使用済燃料及び除熱機能を担保する部材の健全性を維持できる設計基準温度以下</u> | <ul style="list-style-type: none"> <u>大気圧の変動を考慮しても特定兼用キヤスク内部の圧力が設計貯蔵期間後も大気圧以下</u> |

2.4.1 HDP-69BCH(B)型の臨界防止機能について
別添1で説明

2.4.2 HDP-69BCH(B)型の遮蔽機能について
別添2で説明

2.4.3 HDP-69BCH(B)型の除熱機能について
別添3で説明

2.4.4 HDP-69BCH(B)型の閉じ込め機能について
別添4で説明

2.5 HDP-69BCH(B)型の長期健全性について

2.5.1 要求事項

材料・構造健全性に関する要求事項は、以下のとおりである。

(1)設置許可基準規則要求事項

a. 設置許可基準規則第16条第2項一号ハ

- ・燃料体等が臨界に達するおそれがないものとする。

b. 設置許可基準規則第16条第4項一号

- ・使用済燃料からの放射線に対して適切な遮蔽能力を有するものとする。

c. 設置許可基準規則第16条第4項二号

- ・使用済燃料からの崩壊熱に対して適切に除去することができるものとする。

d. 設置許可基準規則第16条第4項三号

- ・使用済燃料が内包する放射性物質を適切に閉じ込めることができ、かつ、その機能を適切に監視することができるものとする。

e. 設置許可基準規則解釈別記4第16条5項

- ・第16条第2項第1号ハ及び同条第4項各号を満たすため、兼用キャスクは、当該兼用キャスクを構成する部材及び使用済燃料の経年変化を考慮した上で、使用済燃料の健全性を確保する設計とすること。ここで、「兼用キャスクを構成する部材及び使用済燃料の経年変化を考慮した上で、使用済燃料の健全性を確保する設計」とは、以下を満たす設計をいう。

- ・設計貯蔵期間を明確にしていること。
- ・設計貯蔵期間中の温度、放射線等の環境条件下での経年変化を考慮した材料及び構造であること。

(2)原子力発電所敷地内での輸送・貯蔵兼用兼用キャスクによる使用済燃料の貯蔵に関する審査ガイド確認事項

「4. 自然現象等に対する兼用キャスクの設計 4.5 材料・構造健全性」には以下のように記載されている。

【審査における確認事項】

『

設計貯蔵期間中の温度、放射線等の環境及び当該環境下での兼用キャスクの経年変化に対して十分な信頼性を有する材料及び構造であること。また、貯蔵建屋を設置

しない場合は、雨水等により兼用キャスクの安全機能が喪失しないよう対策が講じられていること。輸送荷姿等の緩衝体を装着した状態で貯蔵を行う場合は、緩衝体の経年変化についても考慮していること。

』

【確認内容】

『
(1) 安全機能を維持する上で重要な兼用キャスクの構成部材は、兼用キャスクの最低使用温度における低温脆性を考慮したものであること。また、設計貯蔵期間中の温度、放射線等の環境及び当該環境下での腐食、クリープ、応力腐食割れ等の経年変化の影響を、設計入力値（例えば、寸法、形状、強度及び材料物性値）又は設計基準値の算定に際し考慮していること。さらに、必要に応じて防食措置等が講じられていること。

(2) 兼用キャスク内部の不活性環境を維持し、温度を制限される範囲に収めることにより、兼用キャスクに収納される使用済燃料の経年変化を低減又は防止する設計であること。

』

また、「4. 自然現象等に対する兼用キャスクの設計 4.4 監視機能」には以下のよう
に記載されている。

【審査における確認事項】

『
蓋間圧力及び兼用キャスク表面温度について、適切な頻度での監視をすること。

』

【確認内容】

『
(1) 蓋間圧力を適切な頻度で監視すること。ここで、適切な頻度とは、閉じ込め機能が低下しても、FP ガス等の放出に至る前に、密封シール部の異常を検知できる頻度をいう。頻度の設定に当たっては、設計貯蔵期間中の兼用キャスク発熱量の低下、周囲環境の温度変化及び蓋間圧力の変化を考慮する。

(2) 兼用キャスク表面温度を適切な頻度で監視すること。ここで、適切な頻度とは、除熱機能が低下しても、兼用キャスクや燃料被覆管が健全であるうちに異常を検知できる頻度をいう。

』

2.5.2 適合性について

HDP-69BCH(B)型の材料・構造健全性については、以下のとおり設置許可基準規則に適合している。また、審査ガイドの確認内容を満足している。

〔設置許可基準規則〕

- ・設計貯蔵期間中の温度、放射線等の環境条件下での経年変化を考慮した材料及び構造であること

〔確認内容〕

- (1) 安全機能を維持する上で重要な兼用キャスクの構成部材は、兼用キャスクの最低使用温度における低温脆性を考慮したものであること。また、設計貯蔵期間中の温度、放射線等の環境及び当該環境下での腐食、クリープ、応力腐食割れ等の経年変化の影響を、設計入力値（例えば、寸法、形状、強度及び材料物性値）又は設計基準値の算定に際し考慮していること。さらに、必要に応じて防食措置等が講じられていること。
- (2) 兼用キャスク内部の不活性環境を維持し、温度を制限される範囲に収めることにより、兼用キャスクに収納される使用済燃料の経年変化を低減又は防止する設計であること。

特定兼用キャスクの主要な構成部材は、設計貯蔵期間中（60年）の温度、放射線等の環境及びその環境下での腐食等の経年劣化に対して必要な耐食性のある材料を選定し、安全機能を維持する設計とする。また、特定兼用キャスク内面、バスケット及び使用済燃料の腐食等を防止するために、使用済燃料収納時にその内部空間を真空乾燥し、不活性ガスであるヘリウムを適切に封入し、使用済燃料を貯蔵する設計とする。

これらの経年変化要因に対する特定兼用キャスクの主要な構成部材の健全性は、設計貯蔵期間における環境条件（熱、放射線、化学的影響）の影響を考慮して、文献や試験データに基づき評価した。

本評価においては、以下の点について保守性を有している。

- ・評価に適用する構成部材の温度は、配置(i)、(ii)における評価結果のうち、高い温度を使用している（構成部材の温度は表2.5.2-1のとおり）。
- ・評価に適用する構成部材の中性子照射量は、減衰を考慮せず初期の照射量が60年間継続する条件で算出している（構成部材の中性子照射量は表2.5.2-2のとおり）。
なお、中性子照射量の算出に用いた中性子束は、別添2の遮蔽解析モデルから得られる構成部材各部の全中性子束を用いている。

特定兼用キャスクの主要な構成部材の健全性の評価結果を表2.5.2-3に示す。なお、特定兼用キャスクは、貯蔵建屋等のコンクリート製の構造物内に設置する。また、

緩衝体の経年変化については、緩衝体が特定兼用キャスクに含まれないことから、本型式証明の申請範囲外とする。

監視装置の構成図を図 2.5.2-2 に示す。図 2.5.2-2 に示すように、一次蓋と二次蓋の蓋間圧力を測定する圧力監視装置(圧力センサ)を設置できる構造とすることで、蓋間圧力を監視することにより、蓋部が有する閉じ込め機能を監視できる設計とする。蓋間圧力が低下した場合には、ヘリウムガスの再充填によって、蓋間圧力を大気圧以上に回復できる設計とする。圧力検出器は、ステンレス鋼のような設計貯蔵期間(60年)の温度、放射線等の環境及びその環境下での腐食等の経年変化に対して必要な耐食性のある材料を用いる。

また、温度監視装置としては、HDP-69BCH(B)型の表面に温度検出器を設置できる設計としている。温度検出器はステンレス鋼のような設計貯蔵期間(60年)の温度、放射線等の環境及びその環境下での腐食等の経年変化に対して必要な耐食性のある材料を用いる。

表 2.5.2-1 HDP-69BCH(B)型の主要な構成部材の温度条件

| 構成部材 | 最高温度*1 (°C) |
|-------------------|----------------------------|
| 胴 | 135 |
| 胴 (底板) | 142 |
| 外筒 | 113 |
| 底部中性子遮蔽材カバー | 142*2 |
| 一次蓋 | 106 |
| 二次蓋 | 98 |
| 蓋部中性子遮蔽材カバー | 106*2 |
| 一次蓋ボルト | 98 |
| 二次蓋ボルト | 96 |
| 伝熱フィン | 135*2 |
| 中性子遮蔽材 (蓋部、底部、側部) | 128 |
| 金属ガスケット | 98 |
| バスケットプレート及び伝熱プレート | 251*2 |
| トラニオン | 120 |
| 使用済燃料被覆管 | 196(ライナ無し) 262(ライナ有り)*1 |

注記*1：除熱解析結果から得られた温度であり、設置方法⑤（たて置き）の配置(i)、配置(ii)、設置方法⑤（よこ置き）及び設置方法②（よこ置き）における評価結果のうち、最も高い温度を示している。

*2：底部中性子遮蔽材カバーは胴（底板）の温度、蓋部中性子遮蔽材カバーは一次蓋の温度、伝熱フィンは胴の温度、伝熱プレートはバスケットプレートの温度と同じとして評価した。

表 2.5.2-2 HDP-69BCH(B)型の主要な構成部材の中性子照射量

| 構成部材 | 中性子照射量*1 (n/cm ²) | 基準値 (n/cm ²) |
|-------------------|----------------------------------|-----------------------------|
| 胴及び胴 (底板) | 9.3×10^{14} | $<10^{16}$ |
| 外筒 | 9.3×10^{14} *2 | $<10^{16}$ |
| トラニオン | 9.3×10^{14} *2 | $<10^{17}$ |
| 蓋部*3 | 2.9×10^{13} | $<10^{16}$ |
| 中性子遮蔽材 (蓋部、底部、側部) | 1.0×10^{14} | $<10^{15}$ |
| バスケットプレート | 2.2×10^{15} | $<10^{17}$ |
| 伝熱プレート | | $<10^{19}$ |
| 使用済燃料被覆管 | | $<10^{21} \sim 10^{22}$ |
| 伝熱フィン | 1.0×10^{14} | $<10^{16}$ |

注記*1：遮蔽解析結果から得られた中性子束が60年間一定であると仮定して算出した配置(i)の値。

*2：外筒及びトラニオンの中性子照射量は、保守的に胴の値と同じとした。

*3：一次蓋、二次蓋、蓋部中性子遮蔽材カバー、一次蓋ボルト、二次蓋ボルト及び金属ガスケットを含む。

表 2.5.2-3 (1/3) HDP-69BCH(B) 型の主要な構成部材の経年変化に対する評価について

| 部材及び材質 | 要因 | 主な評価の観点 | 各部材の材質に対する経年変化に係わるデータ | 設計条件 | 評価 |
|---|-----------------|---|--|---|--|
| 胴(内面)、二次蓋(内面)、一次蓋(外面)、二次蓋(外面)【材質】炭素鋼、ニッケルクロムモリブデン鋼 | 腐食 | ●構造強度：腐食による構造強度の低下 | ●1%燃料破損相当の燃料棒内ガス中のヨウ素ガスを含む実機模擬環境における、鉄系材料の最大腐食速度により、60年間の腐食量を推定しても0.5mm程度 ⁽¹⁾ 。 ●中性子遮蔽材(樹脂)に接する胴(外面)及び外筒(内面)が全面腐食すると仮定して算出したところ、1mm程度。 | 使用環境： ・ヘリウム雰囲気 ・中性子遮蔽材と接触 | ・胴(内面)、一次蓋、二次蓋(内面)及び二次蓋ボルトは、不活性雰囲気維持される限り、腐食しない。仮に1%燃料破損相当の燃料棒内ガスの存在を考慮しても、胴(内面)の腐食による構造強度への影響はない。 ・胴(外面)及び外筒(内面)は、中性子遮蔽材の熱劣化により生じる水による全面腐食を考慮しても、構造強度への影響はない。また、腐食が伝熱フィンの接合部に局所的に生じて、除熱機能への影響は小さい。 |
| | 熱 | ●構造強度：熱によるき裂・破損 | ●金属キヤスク構造規格 ⁽²⁾ (設計・建設規格(2007年追補版) ⁽³⁾ 適用)では、350℃又は425℃までの設計用強度・物性値が規定されている。クリープによる変形を考慮すべき温度(融点[絶対温度]の1/3に相当)は約300℃ ⁽⁴⁾⁽⁵⁾ 。 | 使用環境温度： 142℃以下 | 使用環境温度は、300℃よりも十分低く、クリープを考慮する必要はないため、構造強度への影響はない。 |
| 外筒(外面)、二次蓋(外面)、二次蓋ボルト、底部中性子遮蔽材カバ【材質】炭素鋼、ニッケルクロムモリブデン鋼 | 照射 | ●構造強度：照射による機械的変化 | ●中性子照射量が 10^{16} n/cm ² までは、顕著な特性変化は認められない ⁽²⁾ 。 | 中性子照射量： 10^{16} n/cm ² 未満 (60年間一定) | 中性子照射量は、機械的特性に変化が認められる値以下であり、構造強度への影響はない。 |
| | 腐食 | ●構造強度：腐食による構造強度の低下 | ●各種金属材料の16年間の海浜大気暴露試験結果から、最も定常腐食速度の大きい炭素鋼のデータ(21μm/年)で60年間の腐食量を推定しても1.26mm程度 ⁽⁶⁾ 。 | 使用環境： ・外気(海塩粒子雰囲気) ・結露水 | 外筒(外面)、二次蓋(外面)及び二次蓋ボルトは防錆処理により腐食しない。なお、防錆処理の補修が困難である特定兼用キヤスク本体底部について、防錆効果を考慮せず評価しても、腐食による構造強度への影響はない。 |
| トランニオン蓋部中性子遮蔽材カバ【材質】ステンレス鋼 | 照射 | ●構造強度：熱によるき裂・破損 | ●金属キヤスク構造規格 ⁽²⁾ (設計・建設規格(2007年追補版) ⁽³⁾ 適用)では、350℃又は425℃までの設計用強度・物性値が規定されている。クリープによる変形を考慮すべき温度(融点[絶対温度]の1/3に相当)は約300℃ ⁽⁴⁾⁽⁵⁾ 。 | 使用環境温度： 142℃以下 | 使用環境温度は、300℃よりも十分低く、クリープを考慮する必要はないため、構造強度への影響はない。 |
| | 腐食 | ●構造強度：腐食による構造強度の低下 | ●0.2%耐力相当の応力を負荷した条件における海浜環境での長期暴露試験において、応力腐食割れに対する高い耐食性が確認された ⁽⁷⁾ 。 | 中性子照射量： 10^{16} n/cm ² 未満 (60年間一定) | 中性子照射量は、機械的特性に変化が認められる値以下であり、構造強度への影響はない。 |
| 伝熱フィン【材質】炭素鋼(銅クラッド鋼) | 照射 | ●構造強度：熱によるき裂・破損 | ●金属キヤスク構造規格 ⁽²⁾ (設計・建設規格(2007年追補版) ⁽³⁾ 適用)では、350℃又は425℃までの設計用強度・物性値が規定されている。クリープによる変形を考慮すべき温度(融点[絶対温度]の1/3に相当)は約280℃ ⁽⁴⁾ 。 | 使用環境： ・外気(海塩粒子雰囲気) ・結露水 | 使用環境温度は、280℃よりも十分低く、クリープを考慮する必要はないため、構造強度への影響はない。 |
| | 腐食 | ●除熱機能：腐食によるき裂・破損 | ●炭素鋼が全面腐食すると仮定して算出したところ、1mm程度。 ●銅は鉄に比べてイオン化傾向の低い金属であるため、腐食しない ⁽⁸⁾ 。 | 使用環境温度： 120℃以下 | 中性子照射量は、機械的特性に変化が認められる値以下であり、構造強度への影響はない。 |
| 熱 | ●除熱機能：熱によるき裂・破損 | ●炭素鋼は、金属キヤスク構造規格 ⁽²⁾ (設計・建設規格(2007年追補版) ⁽³⁾ 適用)では、350℃又は425℃までの設計用強度・物性値が規定されている。クリープによる変形を考慮すべき温度(融点[絶対温度]の1/3に相当)は約300℃ ⁽⁴⁾⁽⁵⁾ 。 | ●炭素鋼は、中性子遮蔽材の熱劣化により生じる水による全面腐食を考慮しても、構造強度への影響はない。また、腐食が伝熱フィンの接合部に局所的に生じて、除熱機能への影響は小さい。 ●銅は腐食しないため、除熱機能への影響はない。 | 中性子照射量： 10^{16} n/cm ² 未満 (60年間一定) | 使用環境温度は、300℃よりも十分低く、炭素鋼のクリープを考慮する必要はないため、除熱機能への影響はない。 |
| | 照射 | ●除熱機能：照射によるき裂・破損 | ●炭素鋼は、中性子照射量が 10^{16} n/cm ² までは、顕著な特性変化は認められない ⁽²⁾ 。 ●銅は、中性子照射量が 10^{16} n/cm ² までは、顕著な特性変化は認められない ⁽⁹⁾ 。 | 中性子照射量： 10^{16} n/cm ² 未満 (60年間一定) | 中性子照射量は、機械的特性に変化が認められる値以下であり、除熱機能への影響はない。 |

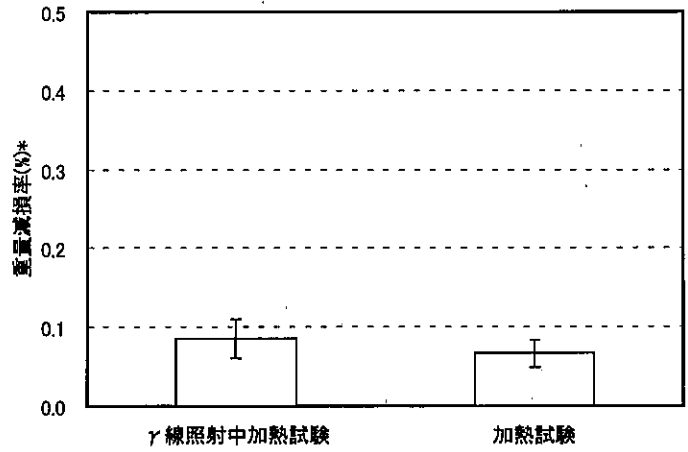
表 2.5.2-3 (2/3) HDP-69BCH(B) 型の主要な構成部材の経年変化に対する評価について

| 部材及び材質 | 要因 | 主な評価の観点 | 各部材の材質に対する経年変化に係わるデータ | 設計条件 | 評価 |
|--------------------------------------|-------------------------------|--|---|--|--|
| バスケットブレード 【材質】 ほう素添加ステン レス鋼 | 腐食 | ●構造強度： 腐食による構造強 度の低下 ●構造強度： 熱によるき裂・破 損 | ●1%燃料破損相当の燃料棒内ガス中のヨウ素ガスを含む蒸気凝縮膜 境における、バスケット材（ほう素添加ステンレス鋼）の最大腐食速 度により、60年間の腐食量を推定しても30 μm 程度 ⁽¹⁾ 。 ●金属キヤスク構造規格（設計・建設規格（2007年追加補版） ⁽²⁾ 適用） の事例規格 FA-CC-004 ⁽³⁾ では、300℃までの設計用強度・物性値が クリープによる変形を考慮すべき温度（融点【絶対温度】の1/3に相 当）は約280℃ ⁽⁴⁾ 。 ●【未臨界機能】 ・中性子吸収材であるB-10の60年間の貯蔵中の減損割合は、保守 的に全中性子系を用いて評価しても10%程度。 【構造強度】 ・中性子照射量が10 ¹⁷ n/cm ² までは、顕著な特性変化は認められ ない ⁽⁵⁾ 。 ・特定来用キヤスク内部に残留する酸素量が全てバスケット材（アル ミニウム合金）の腐食に費やされたとして評価しても、腐食量は1 μm 以下 ⁽⁶⁾ 。 ・構造強度部材として使用する場合は、使用温度に応じてクリープに よる強度の低下を考慮する必要がある。 | 使用環境： ヘリウム雰囲気 使用環境温度： 251℃以下 | 不活性蒸気相が維持される限り腐食の影響はない。仮に1%燃料破損 相当の燃料棒内ガスの存在を考慮しても腐食は僅かなものであり、構 造強度への影響はない。 使用環境温度は、280℃よりも低く、クリープを考慮する必要はない ため、構造強度への影響はない。 |
| | 熱 | ●【未臨界機能】 照射による中性子 吸収材の減損 ●構造強度： 照射による機械的 特性の変化 ●除熱機能： 腐食によるき裂・破 損 ●除熱機能： 熱によるき裂・破 損 | ●【未臨界機能】 照射による中性子 吸収材の減損 ●構造強度： 照射による機械的 特性の変化 ●除熱機能： 腐食によるき裂・破 損 ●除熱機能： 熱によるき裂・破 損 | 中性子照射量： 10 ¹⁶ n/cm ² 未満 (60年間一定) | B-10の減損割合は無視でき、また、中性子照射量は機械的特性に 変化が認められる値以下であるため、未臨界機能及び構造強度への影響 はない。 |
| 伝熱プレート 【材質】 アルミニウム合金 | 腐食 | ●除熱機能： 腐食によるき裂・破 損 ●除熱機能： 熱によるき裂・破 損 | ●【未臨界機能】 照射による中性子 吸収材の減損 ●構造強度： 照射による機械的 特性の変化 ●除熱機能： 腐食によるき裂・破 損 ●除熱機能： 熱によるき裂・破 損 | 使用環境： ヘリウム雰囲気 使用環境温度： 251℃以下 | 不活性蒸気相が維持される限り腐食の影響はない。仮に1%燃料破損 相当の燃料棒内ガスの存在を考慮しても腐食は僅かなものであり、除 熱機能への影響はない。 構造強度部材ではないため、クリープを考慮する必要はないため、除 熱機能への影響はない。 |
| | 熱 | ●除熱機能： 照射によるき裂・破 損 ●除熱機能： 熱によるき裂・破 損 | ●【未臨界機能】 照射による中性子 吸収材の減損 ●構造強度： 照射による機械的 特性の変化 ●除熱機能： 腐食によるき裂・破 損 ●除熱機能： 熱によるき裂・破 損 | 中性子照射量： 10 ¹⁶ n/cm ² 未満 (60年間一定) 使用環境温度： 128℃以下 使用環境： 閉鎖環境 放射線照射量： 10 ³ Gy \sim 10 ⁴ Gy 程度 ^(*) (60年間、一部減衰考 慮) | 中性子照射量は機械的特性に変化が認められる値以下であり、除熱機 能への影響はない。 設計貯蔵期間中の温度の低下を考慮すると、設計貯蔵期間経過後まで のレジンの減損率は約1%となる。これを丸めて2%の減損があるとし て評価する。 照射中加熱試験は設計条件を超える照射量で行っており、照射による 重量減損を考慮する必要はない。 |
| 中性子遮蔽材 【材質】 樹脂 | 腐食 | ●遮蔽機能： 重量減損の有無 ●遮蔽機能： 重量減損の有無 | ●【未臨界機能】 照射による中性子 吸収材の減損 ●構造強度： 照射による機械的 特性の変化 ●除熱機能： 腐食によるき裂・破 損 ●除熱機能： 熱によるき裂・破 損 | 使用環境： 閉鎖環境 放射線照射量： 10 ³ Gy \sim 10 ⁴ Gy 程度 ^(*) (60年間、一部減衰考 慮) | 設計貯蔵期間中の温度の低下を考慮すると、設計貯蔵期間経過後まで のレジンの減損率は約1%となる。これを丸めて2%の減損があるとし て評価する。 照射中加熱試験は設計条件を超える照射量で行っており、照射による 重量減損を考慮する必要はない。 |
| | 照射 | ●遮蔽機能： 重量減損の有無 ●遮蔽機能： 重量減損の有無 | ●【未臨界機能】 照射による中性子 吸収材の減損 ●構造強度： 照射による機械的 特性の変化 ●除熱機能： 腐食によるき裂・破 損 ●除熱機能： 熱によるき裂・破 損 | 使用環境： 一次蒸、二次蒸内側： ヘリウム雰囲気 二次蒸外側： 外気（塩化粒子雰 気、結露水 気、結露水 気） 使用環境温度： 90℃以下 | 照射中加熱試験は設計条件を超える照射量で行っており、照射による 重量減損を考慮する必要はない。 |
| 金属ガスケット 【材質】 ニッケル基合金 アルミニウム | 腐食 | ●閉じ込め機能： 腐食による閉じ込 め機能の低下 ●閉じ込め機能： 熱による閉じ込め 機能の低下 | ●【未臨界機能】 照射による中性子 吸収材の減損 ●構造強度： 照射による機械的 特性の変化 ●除熱機能： 腐食によるき裂・破 損 ●除熱機能： 熱によるき裂・破 損 | 使用環境： 一次蒸、二次蒸内側： ヘリウム雰囲気 二次蒸外側： 外気（塩化粒子雰 気、結露水 気、結露水 気） 使用環境温度： 90℃以下 | 一次蒸及び二次蒸内側の金属ガスケットは、不活性蒸気相が維持され る限り、腐食しない。二次蒸外側の金属ガスケットは、実機の使用環 境より厳しい塩水噴霧環境においても漏えい率に変化はなく、閉じ込 め機能への影響はない。また、海水流入のような厳しい腐食環境に置 かれても、ただちに閉じ込め機能に影響はなく、特定来用キヤスクを 点検可能な構造としているため、必要に応じて対処可能である。 使用環境温度から設計貯蔵期間（60年間）に相当するLMPを算出す るとLMPの定数C=20の場合は約9.4 \times 10 ³ 、C=14の場合は約7.2 \times 10 ³ となり、設計貯蔵期間を通じて初期の漏えい率が維持されると判 断される。 |
| | 熱 | ●閉じ込め機能： 熱による閉じ込め 機能の低下 | ●【未臨界機能】 照射による中性子 吸収材の減損 ●構造強度： 照射による機械的 特性の変化 ●除熱機能： 腐食によるき裂・破 損 ●除熱機能： 熱によるき裂・破 損 | 使用環境： 一次蒸、二次蒸内側： ヘリウム雰囲気 二次蒸外側： 外気（塩化粒子雰 気、結露水 気、結露水 気） 使用環境温度： 90℃以下 | 一次蒸及び二次蒸内側の金属ガスケットは、不活性蒸気相が維持され る限り、腐食しない。二次蒸外側の金属ガスケットは、実機の使用環 境より厳しい塩水噴霧環境においても漏えい率に変化はなく、閉じ込 め機能への影響はない。また、海水流入のような厳しい腐食環境に置 かれても、ただちに閉じ込め機能に影響はなく、特定来用キヤスクを 点検可能な構造としているため、必要に応じて対処可能である。 使用環境温度から設計貯蔵期間（60年間）に相当するLMPを算出す るとLMPの定数C=20の場合は約9.4 \times 10 ³ 、C=14の場合は約7.2 \times 10 ³ となり、設計貯蔵期間を通じて初期の漏えい率が維持されると判 断される。 |
| 照射 | ●閉じ込め機能： 照射による機械的 特性の変化 | ●【未臨界機能】 照射による中性子 吸収材の減損 ●構造強度： 照射による機械的 特性の変化 ●除熱機能： 腐食によるき裂・破 損 ●除熱機能： 熱によるき裂・破 損 | ●【未臨界機能】 照射による中性子 吸収材の減損 ●構造強度： 照射による機械的 特性の変化 ●除熱機能： 腐食によるき裂・破 損 ●除熱機能： 熱によるき裂・破 損 | 中性子照射量： 10 ¹⁴ n/cm ² 未満 (60年間一定) | 中性子照射量は、各材料の機械的特性に変化が認められる値以下であ り、閉じ込め機能への影響はない。 |

注記*1：表 2.5.2-2 に示す中性子遮蔽材の中性子照射量を実効線量に換算した。

表 2.5.2-3 (3/3) HDP-69BCH(B) 型の主要な構成部材の経年変化に対する評価について

| 部材及び材質 | 要因 | 主な評価の観点 | 各部材の材質に対する経年変化に係わるデータ | 設計条件 | 評価 |
|---------------------------|----|-----------------------------|---|--|---|
| 使用済燃料被覆管 【材質】 ジルカロイ | 腐食 | ●閉じ込め機能他： 腐食によるき裂・ 破損 | ● 胴内残存成分による被覆管外面の酸化及び発生した水素の被覆管への水素吸収がある。これらが炉内での化学的要因による劣化の進行に比べて無視できる程度に小さければ、貯蔵中の劣化を考慮する必要はない。 ● クリープ予測式に基づく累積クリープひずみが 1%以下となるよう制限することで、燃料被覆管の破損を防止できる ⁽⁶⁹⁾⁽⁶⁸⁾ 。 ● 国内軽水炉で照射された BWR 照射済被覆管を用いた照射硬化回復試験の結果では、硬化の回復のしきい値は 300°C近傍である ⁽⁶⁸⁾ 。しきい値以下であれば、照射硬化の回復の可能性は小さく、燃料被覆管の温度を制限することにより照射硬化の回復を防止できる。 ● 国内の軽水炉で照射された BWR 燃料集合体の燃料被覆管を用いた水素化物再配向試験及び機械的特性試験の結果、被覆管周方向機械特性が低下しない燃料被覆管の温度(ジルコニウムライナリナの場合)が 200°C以下、燃料被覆管(ジルコニウムライナリナの場合)の温度が 300°C以下、周方向応力が 70 MPa 以下と求められており、燃料被覆管温度と周方向応力を制限することによって、機械的特性の低下を防止できる ⁽⁶⁷⁾ 。 ● 応力腐食割れは、材料特性、応力の大きさ、腐食性環境の 3 条件の組み合わせから発生の可能性がない場合には考慮する必要がない。 | 使用環境： ヘリウム雰囲気 | 不活性雰囲気維持される限り腐食の影響はない。 |
| | 熱 | ●閉じ込め機能他： 熱によるき裂・破 損 | ● クリープ予測式に基づく累積クリープひずみが 1%以下となるよう制限することで、燃料被覆管の破損を防止できる ⁽⁶⁹⁾⁽⁶⁸⁾ 。 ● 国内軽水炉で照射された BWR 照射済被覆管を用いた照射硬化回復試験の結果では、硬化の回復のしきい値は 300°C近傍である ⁽⁶⁸⁾ 。しきい値以下であれば、照射硬化の回復の可能性は小さく、燃料被覆管の温度を制限することにより照射硬化の回復を防止できる。 ● 国内の軽水炉で照射された BWR 燃料集合体の燃料被覆管を用いた水素化物再配向試験及び機械的特性試験の結果、被覆管周方向機械特性が低下しない燃料被覆管の温度(ジルコニウムライナリナの場合)が 200°C以下、燃料被覆管(ジルコニウムライナリナの場合)の温度が 300°C以下、周方向応力が 70 MPa 以下と求められており、燃料被覆管温度と周方向応力を制限することによって、機械的特性の低下を防止できる ⁽⁶⁷⁾ 。 ● 応力腐食割れは、材料特性、応力の大きさ、腐食性環境の 3 条件の組み合わせから発生の可能性がない場合には考慮する必要がない。 | クリープひずみ：1%以下 使用済燃料被覆管の温度： 200°C以下 (ライナリナ無しの場合) 300°C以下 (ライナリナ有りの場合) 周方向応力：70MPa 以下 | クリープひずみ、使用済燃料被覆管の温度及び周方向応力について、使用済燃料被覆管に影響を及ぼす値以下であり、閉じ込め機能を含めた他の安全機能への影響はない。 |
| | 照射 | ●閉じ込め機能他： 照射によるき裂・ 破損 | ● 使用済燃料からの超ウラン元素の自発核分裂や (α, n) 反応により発生した高速中性子による照射を受けて、設計貯蔵期間中の中性子照射量(10 ²¹ ~10 ²² n/cm ²) ⁽⁶⁹⁾ に対して、設計貯蔵期間中の中性子照射量は小さい。 | 中性子照射量： 10 ²¹ 程度 | 中性子照射量は機械的特性に変化が認められる値以下であり、閉じ込め機能を含めた他の安全機能への影響はない。 |



各試験における重量減損率比較

*) 重量減損率は6つの試験片から得た値の平均値

図 2.5.2-1 中性子遮蔽材の中性子照射の影響⁽¹⁴⁾

(加熱条件：開放系、照射試験条件：開放系)

(文献記載の試験データを再構成したもの)

試験条件：(ガンマ線照射量) 5.6×10^4 Gy、(加熱) $140^\circ\text{C} \times 500\text{h}$

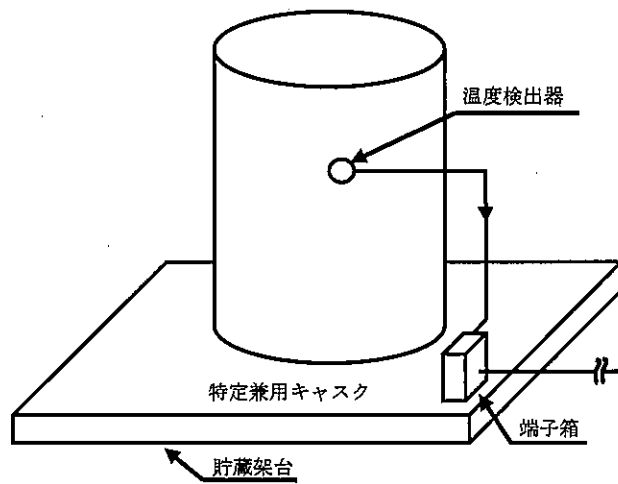
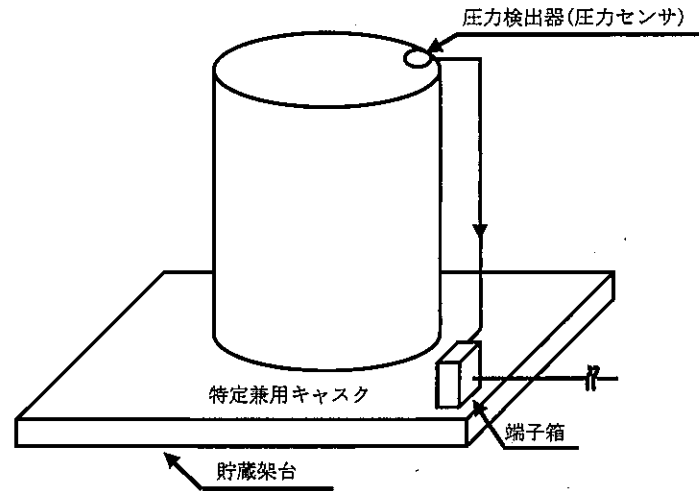


図 2.5.2-2 監視装置の構成図
 (特定兼用キャスクを基礎等に固定する方法の例)

なお、以下の内容は、本型式証明の申請範囲外とする。

〔確認内容〕

4. 自然現象等に対する兼用キャスクの設計 4.4 監視機能

- (1) 蓋間圧力を適切な頻度で監視すること。ここで、適切な頻度とは、閉じ込め機能が低下しても、FP ガス等の放出に至る前に、密封シール部の異常を検知できる頻度をいう。頻度の設定に当たっては、設計貯蔵期間中の兼用キャスク発熱量の低下、周囲環境の温度変化及び蓋間圧力の変化を考慮する。
- (2) 兼用キャスク表面温度を適切な頻度で監視すること。ここで、適切な頻度とは、除熱機能が低下しても、兼用キャスクや燃料被覆管が健全であるうちに異常を検知できる頻度をいう。

2.5.3 参考文献

- (1) (独)原子力安全基盤機構, 「平成 15 年度 金属キャスク貯蔵技術確証試験 最終報告」(平成 16 年 6 月), P. 217-221
- (2) (一社)日本機械学会, 「使用済燃料貯蔵施設規格 金属キャスク構造規格(2007 年版)(JSME S FA1-2007)」(2007 年 12 月)
- (3) (一社)日本機械学会, 「発電用原子力設備規格 設計・建設規格〈第 I 編 軽水炉規格〉(JSME S NC1-2007)」(2007 年 9 月)
- (4) ステンレス協会, 「ステンレス鋼便覧(第 3 版)」, 日刊工業新聞社(1995), P216, 1428
- (5) (一社)日本機械学会, 「金属便覧(改訂 6 版)」, 丸善(株)(平成 12 年), P. 475
- (6) (一社)日本アルミニウム協会, 「アルミニウムハンドブック(第 6 版)」(2001), P. 63
- (7) R. R. Gaugh, “Stress corrosion cracking of precipitation-hardening stainless steels”, Materials Performance, Vol.26, No.2(1987)
- (8) (一社)腐食防食協会, 「材料環境学入門」, 丸善(1993), P. 17, 18
- (9) S. J. Zinkle, G. L. Kulcinski, “Low-Load Microhardness Changes in 14-MeV Neutron Irradiated Copper Alloys”, The use of small scale specimens for testing irradiated material, ASTM STP888(1986)
- (10) (一社)日本機械学会, 「使用済燃料貯蔵施設規格 金属キャスク構造規格(2007 年版) JSME S FA1-2007, 事例規格 バスケット用ボロン添加ステンレス鋼板 B-SUS304P-1 に関する規定(JSME S FA-CC-004)」(2009)
- (11) S. E. Soliman, et al., “Neutron effects on borated stainless steel”, Nucl. Tech., Vol.96(1991)P. 346-352
- (12) H. Yoshida, et al., “Reactor irradiation effects on Al 1100”, Proc. Jpn. Congr. Mater. Res., Vol. 24, P.1-6(1981)
- (13) (一財)原子力発電技術機構, 「平成 15 年度 リサイクル燃料資源貯蔵技術調査等(金属キャスク貯蔵技術確証試験) 報告書」, P. 221-263(平成 15 年 9 月)
- (14) N. Kumagai, et al., “Optimization of fabrication condition of metal cask neutron shielding part which applied simulation of curing behavior of epoxy resin”, Proc. the 15th Int. Symp. on PATRAM(2007)
- (15) 小崎明朝, 「使用済燃料貯蔵中の耐久性に関する海外動向他」, (株)日本原子力情報センター主催セミナー「使用済燃料貯蔵技術の現状と課題」(1998)
- (16) 東京電力(株), 「福島第一原子力発電所 既設乾式貯蔵キャスクの点検報告」(平成 25 年 5 月 31 日)
- (17) 加藤治, 伊藤千浩, 「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)

- (18) (一財)電力中央研究所、「使用済核燃料貯蔵の基礎」、株式会社 ERC 出版(2014年4月20日)
- (19) (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報告書」(平成22年3月), P.15-16
- (20) R. P. Shogan, “NEUTRON IRRADIATION EFFECTS ON THE TENSILE PROPERTIES OF INCONEL 718, WASPALOY AND A-286”, WANL-TME-2791(1971)
- (21) T. S. Byun, K. Farrell, ” NEUTRON IRRADIATION EFFECTS ON THE TENSILE PROPERTIES OF INCONEL 718, WASPALOY AND A-286”, WANL-TME-2791(1971)
- (22) K. Farrell, et al., “An evaluation of low temperature radiation embrittlement mechanisms in ferritic alloys”, J. Nucl. Mater., Vol. 210(1994), P.268-281
- (23) 土肥謙次ら, 「304 ステンレス鋼の SCC 特性に及ぼす中性子照射効果(その2)ー熱鋭敏化材の SCC 感受性に及ぼす照射影響ー」, (一財)電力中央研究所(平成9年6月), P.10
- (24) (独)原子力安全基盤機構, “平成15年度 リサイクル燃料資源貯蔵施設安全解析コード改良試験(燃料の長期安全性に関する試験最終成果報告書)”, (2004) .
- (25) 黛正己、吉舗信也、安田隆芳、中司雅文, “乾式貯蔵時のBWR燃料被覆管許容温度の検討”、電力中央研究所報告、T88068、(財)電力中央研究所、(1989) .
- (26) (独)原子力安全基盤機構, “平成18年度 リサイクル燃料資源貯蔵技術調査等(貯蔵燃料長期健全性等確証試験に関する試験最終成果報告書)”, (2007) .
- (27) (独)原子力安全基盤機構, “平成20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のうち貯蔵燃料健全性等調査に関する試験成果報告書)”, (2009) .
- (28) (独)原子力安全基盤機構, “平成18年度 高燃焼度9×9型燃料信頼性実証成果報告書(総合評価編)”, (2007) .

2.6 HDP-69BCH(B)型の構造強度について

2.6.1 応力評価の方針

HDP-69BCH(B)型は、貯蔵施設における取扱い時において、トラニオンを天井クレーン等により吊り上げて取り扱う。この時、トラニオン及び特定兼用キャスクのシール部近傍に応力が生じる。そこで、垂直吊り上げ時の構造強度評価を行い、特定兼用キャスク本体の密封境界を構成する部材（胴、一次蓋及び一次蓋ボルト）及び上部トラニオンの構造健全性が維持されることを確認する。

なお、HDP-69BCH(B)型に発生する加速度は、鉛直方向に1.3Gとする。

胴、一次蓋及び一次蓋ボルトは、三次元FEMモデルを用いて評価を行う。また、上部トラニオンは、材料力学の公式を用いて評価を行う。

垂直吊り上げ時の各部材の評価基準を表2.6.1-1に示す。各部材はいずれも金属キャスク構造規格⁽¹⁾の供用状態Aの評価基準とする。また、特定兼用キャスクの応力評価位置を図2.6.1-1に、上部トラニオンの応力評価位置を図2.6.1-2に示す。

表 2.6.1-1 垂直吊り上げ時の各部材の評価基準

| 各部材 | 各部材の構造健全性を維持するための基準 | 左記に該当する応力評価基準 ^{*1} |
|--------------------|-----------------------|---|
| 一次蓋及び胴 (シール部除く) | 供用状態A (金属キャスク構造規格) | $P_L + P_b + Q \leq 3 S_m$ |
| 胴シール部及び 一次蓋シール部 | 供用状態A (金属キャスク構造規格) | $P_L + P_b + Q \leq S_y$ |
| 一次蓋ボルト | 供用状態A (金属キャスク構造規格) | (平均引張応力) $\leq 2 S_m$ (平均引張応力+曲げ応力) $\leq 3 S_m$ |
| 上部トラニオン | 供用状態A (金属キャスク構造規格) | (曲げ応力) $\leq f_b$ (せん断応力) $\leq f_s$ (組合せ応力) $\leq f_t$ |

注記*1：各記号はそれぞれ以下のとおり。

$P_L + P_b + Q$ ：一次+二次応力強さ

S_m ：設計温度における設計応力強さ

f_b ：設計温度における許容曲げ応力 (F/1.5)

f_s ：設計温度における許容せん断応力 (F/1.5√3)

f_t ：設計温度における許容引張応力 (F/1.5)

F： S_y と $0.7 S_u$ の小さい方の値

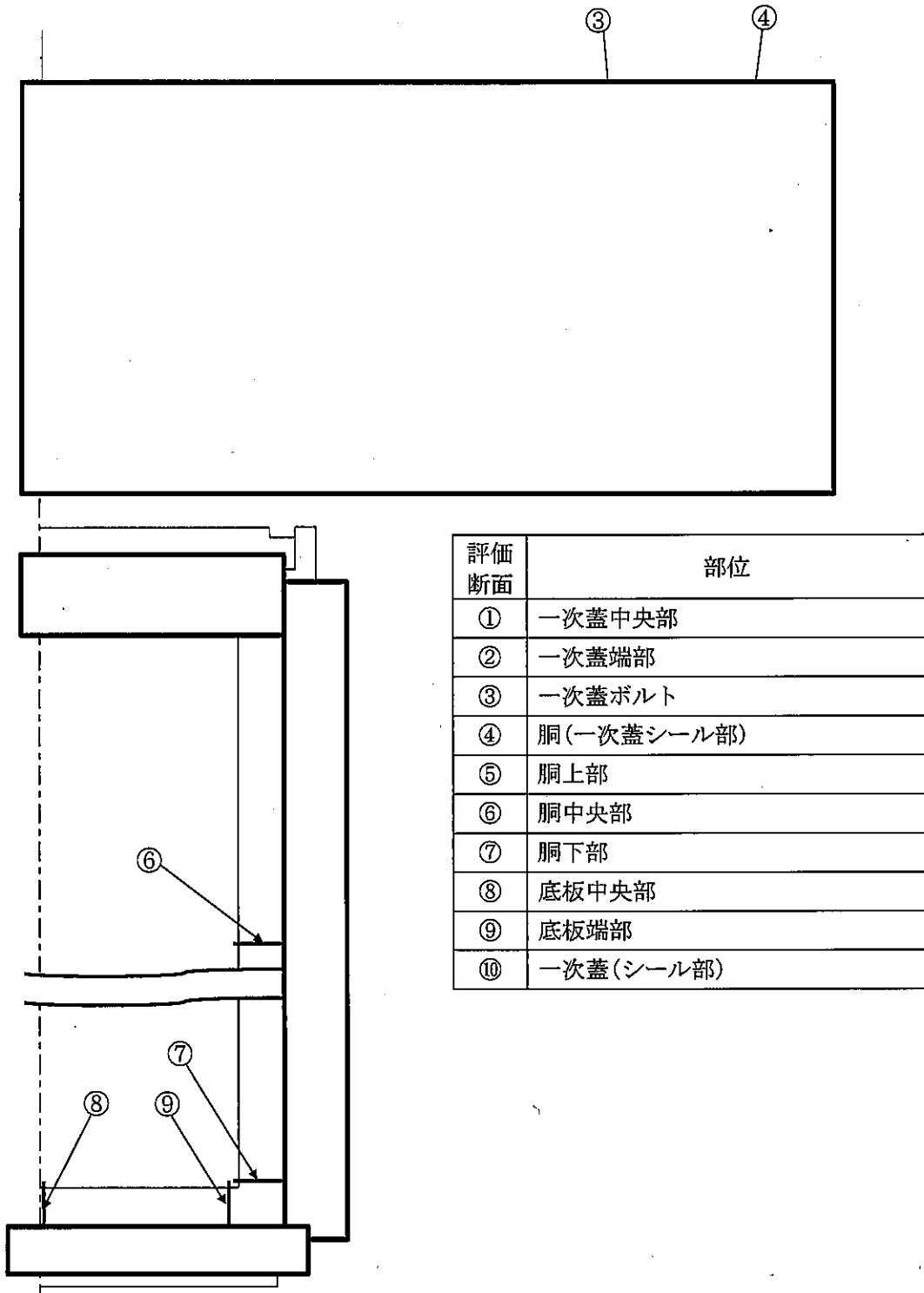
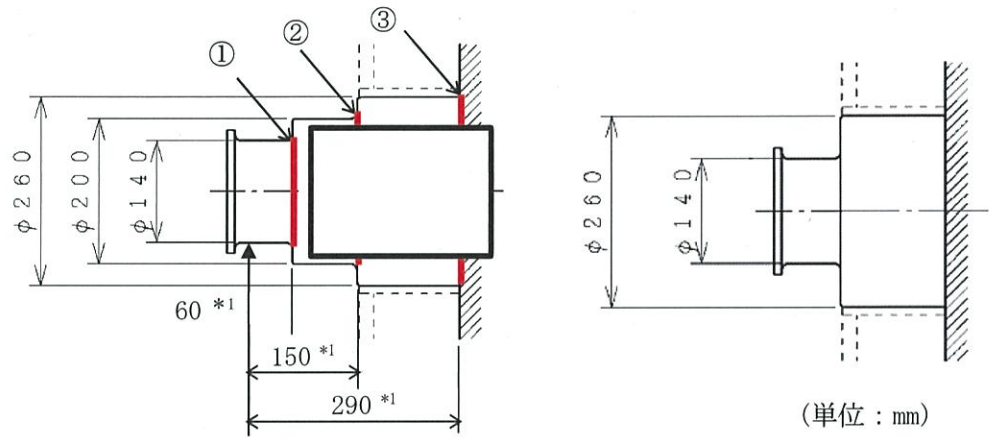


図 2.6.1-1 密封容器の応力評価位置

内は商業機密のため、非公開とします。



(a) 上部トラニオン(90° -270° 側)

(b) 上部トラニオン(0° -180° 側)

注記*1：吊上時の荷重作用点までの距離(モーメントアーム)

図 2.6.1-2 上部トラニオンの構造と解析モデル

内は商業機密のため、非公開とします。

2.6.2 上部トラニオンのに作用する応力の計算式

a. 上部トラニオンに作用する荷重

垂直吊上時に上部トラニオンに作用する荷重 F_m (N) は、次式で計算する。

$$F_m = \frac{m \cdot G}{n}$$

ここで、

$$G_2 = 1.3 \cdot G$$

F_m : 上部トラニオン 1 個に作用する荷重 (N)

n : トラニオンの数=2 個

m_1 : 吊上時における HDP-69BCH(B)型の質量= 1.205×10^5 kg

G_2 : 鉛直方向加速度 (m/s^2)

G : 重力加速度= $9.80665 m/s^2$

したがって、

$$\begin{aligned} F_m &= 1.205 \times 10^5 \times 1.3 \times 9.80665 / 2 \\ &= 7.68 \times 10^5 \text{ N} \end{aligned}$$

b. 上部トラニオンに発生する曲げ応力

図 2.6.1-2 に示す上部トラニオンの断面①～③に発生する曲げ応力 σ_b (MPa) は、次式で計算する。

$$\sigma_b = \frac{M \cdot C}{I}$$

$$M = F_m \cdot X$$

ここで、

M : 曲げモーメント ($N \cdot mm$)

F_m : 前記 a. 項と同様

X : モーメントアーム (mm)

C : 中立軸からの距離 (mm)

I : 断面二次モーメント (mm^4)

ここに、

$$I = \frac{\pi}{64} \cdot (d_o^4 - d_i^4)$$

d_o : トラニオン外径 (mm)

d_i : トラニオン内径 (mm)

c. 上部トラニオンに発生するせん断応力

図 2.6.1-2 に示す上部トラニオンの断面①～③に発生するせん断応力 τ (MPa) は、次式で計算する。

$$\tau = \frac{F_m}{A}$$

$$A = \frac{\pi}{4} \cdot (d_o^2 - d_i^2)$$

ここで、

F_m : 前記 a. 項と同様

A : 図 2.6.1-2 の各評価断面の断面積 (mm²)

d. 上部トラニオンに発生する組合せ応力

図 2.6.1-2 に示す上部トラニオンの断面①～③に発生する曲げ応力 σ_b (MPa) とせん断応力 τ (MPa) の組合せ応力 σ_T (MPa) は、次式で計算する。

$$\sigma_T = \sqrt{\sigma_b^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで、

σ_b : 前記 b. 項と同様

τ : 前記 c. 項と同様

2.6.3 評価結果

垂直吊り上げ時の特定兼用キャスクの応力評価結果を表 2.6.3-1 に、上部トラニオンの応力評価結果を表 2.6.3-2 に示す。各部位に発生する応力は、解析基準値を満足していることから、安全機能が維持されることを確認した。

表 2.6.3-1 垂直吊り上げ時の特定兼用キャスクの応力評価結果

| 評価部位 | 材質 | 温度 (°C) | 解析結果 (MPa) | 解析基準 | 解析基準値 (MPa) |
|-----------------|---------|------------|---------------|------------------|----------------|
| ①一次蓋中央部 | GLF1 | 150 | 8 | 3 S _m | 366 |
| ②一次蓋端部 | GLF1 | 150 | 46 | 3 S _m | 366 |
| ③一次蓋ボルト | SNB23-3 | 150 | 299 | 2 S _m | 554 |
| | | | 389 | 3 S _m | 831 |
| ④胴 (一次蓋シール部) | GLF1 | 150 | 33 | S _y | 183 |
| ⑤胴上部 | GLF1 | 150 | 21 | 3 S _m | 366 |
| ⑥胴中央部 | GLF1 | 150 | 19 | 3 S _m | 366 |
| ⑦胴下部 | GLF1 | 150 | 28 | 3 S _m | 366 |
| ⑧底板中央部 | GLF1 | 150 | 33 | 3 S _m | 366 |
| ⑨底板端部 | GLF1 | 150 | 27 | 3 S _m | 366 |
| ⑩一次蓋(シール部) | GLF1 | 150 | 44 | S _y | 183 |

表 2.6.3-2 垂直吊り上げ時の上部トランニオンの応力評価結果

| 評価部位 | 材質 | 温度 (°C) | 解析結果 (MPa) | 解析基準 | 解析基準値 (MPa) |
|------|--------|------------|---------------|----------------|----------------|
| 断面① | SUS630 | 130 | 192 | f _t | 394 |
| 断面② | | | 153 | | |
| 断面③ | | | 153 | | |

2.6.4 参考文献

- (1) (一社)日本機械学会, 「使用済燃料貯蔵施設規格 金属キャスク構造規格(2007年版)(JSME S FA1-2007)」(2007年12月)