

『特定原子力施設の指定に際し東京電力株式会社福島第一原子力発電所に対して求める措置を講ずべき事項』 該当項目の整理表 (案件：輸送貯蔵兼用キャスクの基数の変更及び収納可能燃料の追加)

目次	該当項目	理由
I 全体工程及びリスク評価について講ずべき事項	○	キャスク仮保管設備による使用済燃料の管理におけるリスクを評価し、問題なく管理を行えることを確認するため。
II 設計、設備について措置を講ずべき事項		
1 原子炉等の監視	－	乾式キャスクは燃料を収納する容器であり、RPV/PCV/SFP内の使用済燃料等に関連する内容ではないため。
2 残留熱の除去	－	乾式キャスクは燃料を収納する容器であり、RPV/PCV内の燃料デブリ、SFP内の燃料体に関連する内容ではないため。
3 原子炉格納施設雰囲気等の監視等	－	乾式キャスクは燃料を収納する容器であり、PCV内の気体に関する内容ではないため。
4 不活性雰囲気等の維持	－	乾式キャスクは燃料を収納する容器であり、RPV/PCV内の可燃性ガスに関する内容ではないため。
5 燃料取出し及び取り出した燃料の適切な貯蔵・管理	○	増設する乾式キャスクに収納された燃料を適切に貯蔵・管理する必要があるため。
6 電源の確保	－	乾式キャスクは燃料を収納する容器であり、安全機能を達成するために電力を必要としないため。
7 電源喪失に対する設計上の考慮	－	乾式キャスクは燃料を収納する容器であり、全交流電源喪失時のRPV/PCV内やSFPへの冷却を確保し、かつ復旧するための手段ではないため。
8 放射性固体廃棄物の処理・保管・管理	－	乾式キャスクは燃料を収納する容器であり、放射性固体廃棄物の処理に関する内容ではないため。
9 放射性液体廃棄物の処理・保管・管理	－	乾式キャスクは燃料を収納する容器であり、放射性液体廃棄物の処理に関する内容ではないため。
10 放射性気体廃棄物の処理・管理	－	乾式キャスクは燃料を収納する容器であり、放射性気体廃棄物の処理に関する内容ではないため。
11 放射性物質の放出抑制等による敷地周辺の放射線防護等	－	乾式キャスクは燃料を収納する容器であり、大気、海等の環境中へ放出される放射性物質に関する内容ではないため。
12 作業員の被ばく線量の管理等	－	本変更申請は、乾式キャスク本体に係る申請であり、乾式キャスク取り扱い作業における作業員の被ばく線量の管理等については、別途申請しているキャスク仮保管設備増設の変更範囲に該当するため。
13 緊急時対策	－	本変更申請は、乾式キャスク本体に係る申請であり、キャスク仮保管設備拡張工事及び運用時における緊急時対策については、別途申請しているキャスク仮保管設備増設の変更範囲に該当するため。
14 設計上の考慮		(各項目参照)
① 準拠規格及び基準	○	増設する乾式キャスクは、果たすべき安全機能の重要度を考慮して、適切と認められる規格及び基準によるものである必要があるため。
② 自然現象に対する設計上の考慮	○	増設する乾式キャスクは、その安全機能の重要度及び地震によって機能の喪失を起こした場合の安全上の影響を考慮して、耐震設計上の区分がなされるとともに、適切と考えられる設計用地震力に十分耐えられる設計である必要があるため。
③ 外部人為事象に対する設計上の考慮	－	本変更申請は、乾式キャスク本体に係る申請であり、乾式キャスクのキャスク仮保管設備貯蔵に係る設計上の考慮については、別途申請しているキャスク仮保管設備増設の変更範囲に該当するため。
④ 火災に対する設計上の考慮	－	本変更申請は、乾式キャスク本体に係る申請であり、乾式キャスクのキャスク仮保管設備貯蔵に係る設計上の考慮については、別途申請しているキャスク仮保管設備増設の変更範囲に該当するため。
⑤ 環境条件に対する設計上の考慮	－	本変更申請は、乾式キャスク本体に係る申請であり、乾式キャスクのキャスク仮保管設備貯蔵に係る設計上の考慮については、別途申請しているキャスク仮保管設備増設の変更範囲に該当するため。
⑥ 共用に対する設計上の考慮	－	増設する乾式キャスクは、複数の施設間で共用をしないため。
⑦ 運転員操作に対する設計上の考慮	－	本変更申請は、乾式キャスク本体に係る申請であり、乾式キャスクのキャスク仮保管設備貯蔵に係る設計上の考慮については、別途申請しているキャスク仮保管設備増設の変更範囲に該当するため。
⑧ 信頼性に対する設計上の考慮	－	本変更申請は、乾式キャスク本体に係る申請であり、乾式キャスクのキャスク仮保管設備貯蔵に係る設計上の考慮については、別途申請しているキャスク仮保管設備増設の変更範囲に該当するため。
⑨ 検査可能性に対する設計上の考慮	○	増設する乾式キャスクの健全性及び能力を確認するために、適切な方法によりその機能を検査する必要があるため。
15 その他措置を講ずべき事項	－	その他措置を講ずべき事項はないため。
III 特定原子力施設の保安のために措置を講ずべき事項	－	本変更申請は、乾式キャスク本体に係る申請であり、乾式キャスクのキャスク仮保管設備貯蔵に係る保安のために講ずべき措置については、別途申請しているキャスク仮保管設備増設の変更範囲に該当するため。
IV 特定核燃料物質の防護	－	本変更申請とは別申請で対応するため。
V 燃料デブリの取出し・廃炉のために措置を講ずべき事項	－	増設する乾式キャスクは、燃料デブリの取出しやそれに関連した措置に非該当であるため。 本変更申請は、新規に実施計画の変更認可申請を行うことから、1～3に非該当であるため。
VI 実施計画を策定するにあたり考慮すべき事項	－	1. 法第67条第1項の規定に基づく報告の徴収に従って報告している計画等 2. 原子力安全・保安院からの指示に従い、報告した計画等 3. 法の規定に基づき認可を受けている規定等
VII 実施計画の実施に関する理解促進	－	本変更申請によって、理解促進に関する取組みに変更はないため。
VIII 実施計画に係る検査の受検	○	増設する乾式キャスクは、検査を受検するため。

福島第一原子力発電所
特定原子力施設への指定に際し
東京電力株式会社福島第一原子力発電所に対し
して求める措置を講ずべき事項について等へ
の適合性について
(輸送貯蔵兼用キャスクの基数の変更及び収
納可能燃料の追加について)

令和5年10月
東京電力ホールディングス株式会社

本資料においては、輸送貯蔵兼用キャスクの基数の変更及び収納可能燃料の追加に関連する「特定原子力施設への指定に際し東京電力株式会社福島第一原子力発電所に対して求める措置を講ずべき事項について」（平成 24 年 11 月 7 日原子力規制委員会決定。以下「措置を講ずべき事項」という。）等への適合方針を説明する。

目 次

- I. 全体工程及びリスク評価について講ずべき措置
- II. 設計，設備について措置を講ずべき事項
 - II-5 燃料取出し及び取り出した燃料の適切な貯蔵・管理への適合性
 - II-14 設計上の考慮への適合性
 - II-14-① 準拠規格及び基準への適合性
 - II-14-② 自然現象に対する設計上の考慮への適合性
 - II-14-⑨ 検査可能性に対する設計上の考慮への適合性
- VIII. 実施計画に係る検査の受検

I 全体工程及びリスク評価について講 ずべき措置

措置を講ずべき事項

I. 全体工程及びリスク評価について講ずべき措置

1号炉から4号炉については廃炉に向けたプロセス，燃料デブリの取出し・保管を含む廃止措置の完了までの全体工程，5号炉及び6号炉については冷温停止の維持・継続の全体工程をそれぞれ明確にし，各工程・段階の評価を実施し，特定原子力施設全体のリスク低減及び最適化を図ること。

特定原子力施設全体及び各設備のリスク評価を行うに当たっては，敷地外への広域的な環境影響を含めた評価を行いリスクの低減及び最適化が敷地内外の安全を図る上で十分なものであること。

特定原子力施設全体及び各設備のリスク評価については，敷地外への広域的な環境影響を含めた評価を行いリスクの低減及び最適化が敷地内外の安全を図る上で十分なものであるよう実施する。リスク評価については下記の通り実施している。

1 特定原子力施設の全体工程及びリスク評価

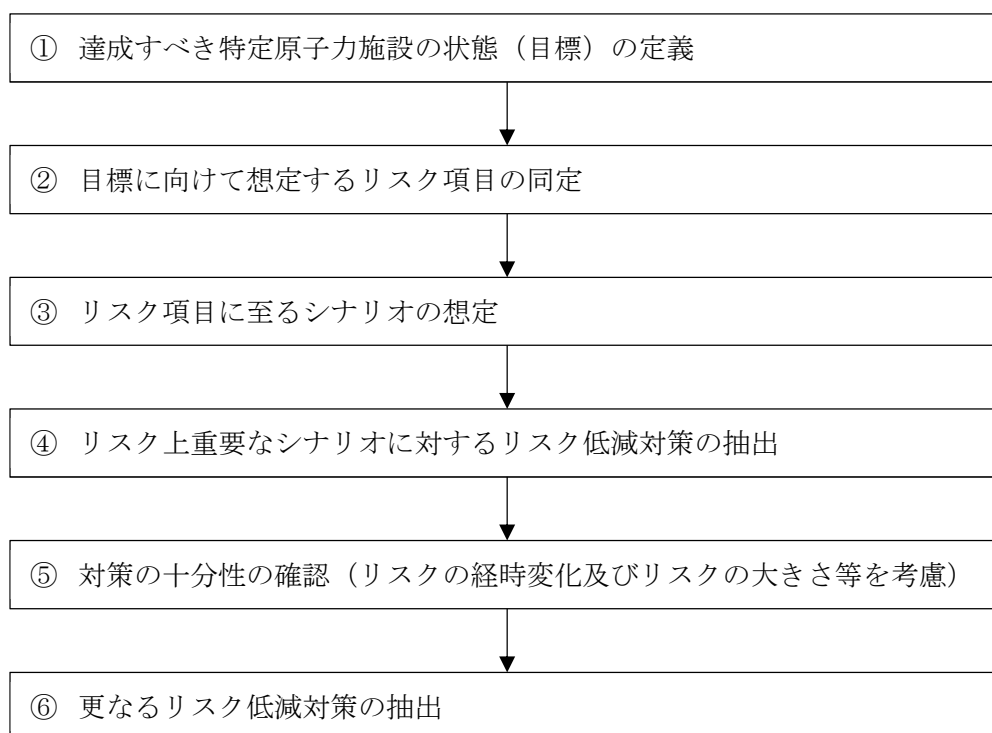
1.1 リスク評価

1.1.1 リスク評価の考え方

特定原子力施設のリスク評価は，通常の原子力発電施設とは異なり，特定原子力施設全体のリスクの低減及び最適化を図るために必要な措置を迅速かつ効率的に講じていくことを前提として実施する必要がある。以下にリスク評価の実施手順を以下に示す。

また，特定原子力施設におけるリスク評価に関して，現時点で想定される敷地外への影響評価を1.1.2～1.1.3に示す。1.1.2においては，現時点における特定原子力施設の敷地境界及び敷地外への影響評価を示し，1.1.3においては，リスク評価で想定したリスクに至るシナリオの中で最も影響の高い事象を中心に評価した結果を示す。

(1) リスク評価の手順



① 達成すべき特定原子力施設の状態（目標）の定義

特定原子力施設におけるリスク評価を実施するに際して、達成すべき状態（目標）を設定した上で目標に向けた活動に係るリスクを評価する必要がある。目標設定については、中長期的な観点で普遍的な目標を大目標及び中目標として設定した。小目標については個々の活動を実施する目的として設定されるものである。

【大目標】

特定原子力施設から敷地外への放射性物質の影響を極力低減させ、事故前のレベルとする

【大目標達成のための中目標】

- 1) プラントの安定状態を維持しながら、廃止措置を出来るだけ早期に完了させる
- 2) 敷地外の安全を図る（公衆への被ばく影響の低減）
- 3) 敷地内の安全を図る（作業員への被ばく影響の低減）

② 目標に向けて想定するリスク項目の同定

上記①のうち『敷地外の安全を図る』及び『敷地内の安全を図る』が達成できない状態を現状の主たるリスクと考え、以下の具体的なリスク項目を同定した。

『敷地外の安全を図る（公衆への被ばく影響の低減）』に関連したリスク項目

- i) 大気への更なる放射性物質放出
- ii) 海洋への更なる放射性物質放出

『敷地内の安全を図る（作業員への被ばく影響の低減）』に関連したリスク項目

- iii) 作業員の過剰被ばく

③ リスク項目に至るシナリオの想定

リスク評価を行うにあたっては危険源の同定が必要であり、特定原子力施設においては、放射性物質の発生源をその危険源として考え、放射性物質の発生源毎にリスク項目に至るシナリオを想定する。

また、作業員の過剰被ばくについては、ICRPの放射線防護の3つの原則である「正当化の原則」、「線量限度の適用の原則」、「最適化の原則」に基づきリスク分析を実施する。

シナリオの想定については全体のリスクを理解しやすいようにするため、まずは特定原子力施設全体として現在の設備や運用でリスクを押しえ込んでいる状態がわかるように整理し、次に設備単位でリスクに至るシナリオを想定した。シナリオの想定に当たっては、設備故障やヒューマンエラーなどの内部事象の他に外部事象を考慮したシナリオを想定する。

④ リスク上重要なシナリオに対するリスク低減対策の抽出

想定したリスクのシナリオに対して現在できているリスク低減対策、今後実施するリスク低減対策を含めて抽出する。対策を抽出する際には、目標とすべき状態とそれを達成するための具体的な対策を検討する。

⑤ 対策の十分性の確認（リスクの経時変化及びリスクの大きさ等を考慮）

上記④で抽出した対策について、短期的、中長期的な視点を踏まえた対策の十分性を検討する。その際に④で抽出した対策を実施した結果として新たに発生するリスク等も抽出する。対策の十分性の確認に際しては、リスクの大きさやリスクの経時的な増減等を考慮したものとする。

⑥ 更なるリスク低減対策の抽出

上記⑤で実施した対策の十分性の確認の結果、特定原子力施設全体のリスクをできるだけ早く低減させる観点から、既存の技術で達成可能で他のプライオリティの高い対策の進

捗に影響しないものについては、精力的に対策を講じることを前提として更なるリスク低減対策を抽出する。

(2) リスク低減対策の適切性確認

上記(1)で抽出されたリスク低減対策について、個々の対策の優先度を多角的な視点で評価する必要がある。以下に示す考え方は、個々のリスク低減対策の必要性や工程等の適切性を確認し、対策の優先度を総合的に判断するため整理したものである。しかし、適切性確認の視点等は固定的なものではなく、今後の活動の中で柔軟に見直すことを前提としている。

a. 適切性確認の前提条件

- ①作業員の被ばく低減を含む安全の確保が最優先である。
- ②リスク低減対策の必要性の有無は、それぞれの対策について個別に確認することが、第一段階となる。（全体の適切性を確認するための基本）
- ③リスク低減対策の全体計画を構築する際には、多種多様なリスク低減対策について同じ評価項目で定量的に比較することが難しいことを認識し、効率性等も考慮して全体リスクが早く低減することを前提とする。
- ④個々のリスク低減対策の適切性確認を行う際には、組織全体として共有すべき共通的な考え方（視点）を明確にする。
- ⑤個々のリスク低減対策の適切性確認においては、実施するかしないかの判断の根拠となるように対比を明確にする。

b. 適切性確認の視点

①対策を実施しないリスク

対策を実施する目的に照らして、対策を実施しない又は適切な時期を逃すことにより発生、増大するリスクの有無及び他の対策等に与える影響を確認する。

②放射性物質の追加放出リスク

対策の対象となるリスクの大きさを確認するために、敷地外への放射性物質の追加放出の程度を確認するとともに、対策を実施することによるリスク低減効果の程度を確認する。

③外部事象に対するリスク

対策を実施した前後の状態において、地震、津波等の外部事象に対するリスクの有無及び他の対策等に与える影響を確認する。また、外部事象に対してより安定的なリスクの押さえ込みができる環境、方法が他にないかどうかを確認する。

④時間的なリスクの増減

対策を実施しなかった場合に、時間的にリスクが増減するかどうかを確認する。

(例えば設備の劣化、放射能インベントリの増加に伴うリスク増加)

⑤実施時期の妥当性

対策を開始、完了させる時期に対して、環境改善の必要性、技術開発の必要性、他の作業との干渉、全体リスクを速やかに低減させるための対策の順番を確認する。

⑥対策を実施するリスク

対策を実施する段階や実施した後に発生、増大するリスクの有無及び他の対策等に与える影響を確認する。また、対策を実施することで発生、増大するリスクには不測の事態においてマネジメントが機能しない可能性も確認する。

⑦対策を実施できないリスク

不測の事態等で対策を実施できない場合の計画への影響及び他に選択できる対策の有無を確認する。また、複数の選択肢を持った対策を検討する必要があるかどうかを確認する。

(3) リスク評価時に考慮すべき事項

前述の手順に基づきリスク評価を実施する際には、以下の事項を考慮することにより、特定原子力施設におけるリスクを体系的に俯瞰できるように整理する。

a. 放射性物質の量や種類

放射性物質の発生源に着目し、放射性物質の量（インベントリ）や種類（デブリ、燃料集合体、原子炉への注水、雨水の浸入、地下水の浸透等によって原子炉建屋等で発生した高レベルの放射性汚染水（以下「汚染水」という。）等）を考慮したリスク評価を実施することにより、対策の必要性や緊急性を合理的に評価でき、適切かつ効率的なリスク低減のためのアプローチを行うことができる。

b. 内部事象と外部事象

リスクが顕在化する起因事象毎にリスク評価を実施することにより、起因事象からのシナリオに応じた適切な対応が行われているか整理することができ、全体を俯瞰したリスク低減対策の漏れ等を洗い出すことができる。

c. 発生可能性と影響範囲

起因事象からのリスクのシナリオにおける発生可能性や影響範囲を考慮することにより、合理的な対応や広がりを考慮した対応が取られているかを評価することができる。

d. 対策の有効性

現状行われている対策や実施予定の対策を多層的に整理し、それぞれの対策の有効性を評価することにより、対策の十分性の確認をよりの確に実施することができる。

(実施計画：I-2-1-1～5)

1.1.2 特定原子力施設の敷地境界及び敷地外への影響評価

特定原子力施設の敷地境界及び敷地境界外への影響を評価した結果、平成24年10月での気体廃棄物の追加的放出量に起因する実効線量は、敷地境界において約 3.0×10^{-2} mSv/年であり、特定原子力施設から5km地点では最大約 2.5×10^{-3} mSv/年、10km地点では最大約 8.9×10^{-4} mSv/年であった。

また、敷地内各施設からの直接線・スカイシャイン線による実効線量は、敷地境界において約9.4mSv/年であり、5km地点では最大約 1.4×10^{-18} mSv/年、10km地点では最大約 2.4×10^{-36} mSv/年であった。

一方、文部科学省において公表されている「東京電力株式会社福島第一原子力発電所の20km圏内の空間線量率測定結果（平成24年11月11日～13日）」によると、特定原子力施設から約5km地点の空間線量率は $5.2 \sim 17.8 \mu\text{Sv/h}$ （約46～約156mSv/年）、約10km地点の空間線量率は $2.2 \sim 23.5 \mu\text{Sv/h}$ （約20～約206mSv/年）である。

これらの結果から、特定原子力施設の追加的放出量等から起因する実効線量は、5km地点において空間線量率の約18,000分の1以下であり、10km地点において空間線量率の約21,000分の1以下であるため、平常時において5km地点及び10km地点における特定原子力施設からの影響は極めて小さいと判断する。

（実施計画：I-2-2-1）

1.1.3 特定原子力施設における主なリスク

1.1.3.1 はじめに

特定原子力施設の主なリスクは、特定原子力施設が放射能を内在することに起因すると考えられ、また、現在の特定原子力施設において放射能を内在するもの（使用済燃料等）は、以下のように整理できる。

- (1) 原子炉圧力容器・格納容器内の溶融した燃料（燃料デブリ、1～3号機）
- (2) 使用済燃料プールの燃料（1～4号機）
- (3) 5・6号機の使用済燃料プールの燃料
- (4) 使用済燃料共用プールの燃料
- (5) 使用済燃料乾式貯蔵キャスクの燃料
- (6) 放射性廃棄物

ここでは、上記の放射能を内在するものについて、それぞれ個別に現在の状態におけるリスクを定量的もしくは定性的に評価することにより、現在の特定原子力施設のリスクについて評価する。

（実施計画：I-2-3-1-1）

(中略)

(5) 使用済燃料乾式キャスクの燃料

使用済燃料乾式キャスクに装填した燃料の保管については、現在使用済燃料輸送容器保管建屋に保管されている9基を搬出し、使用済燃料乾式キャスク仮保管設備に保管することを計画している。また、現在使用済燃料共用プールに貯蔵中の使用済燃料の一部を使用済燃料乾式キャスクに装填し、使用済燃料乾式キャスク仮保管設備に保管することを計画している。

使用済燃料乾式キャスクについては、除熱、遮へい、密封、臨界防止の安全機能及び必要な構造強度が設計上考慮されている。

また、使用済燃料乾式キャスク仮保管設備において、使用済燃料乾式キャスクは支持架台に支持され基礎に固定された状態で保管する。使用済燃料乾式キャスク仮保管設備は、この保管状況において基準地震動 S_s を考慮しても使用済燃料乾式キャスクの安全機能が維持される設計となっている。

使用済燃料乾式キャスクを取り扱うクレーンは、使用済燃料共用プール、使用済燃料乾式キャスク仮保管設備共に、落下防止対策を施した設計となっている。使用済燃料輸送容器保管建屋から使用済燃料乾式キャスクを搬出する際は、移動式クレーンを使用して行うこととしており、使用済燃料共用プール等と同様の落下防止対策を講じることが出来ないため、万一の使用済燃料乾式キャスクの落下時にも周辺公衆及び放射線業務従事者に対して放射線被ばく上の影響は十分小さくなるように、使用済燃料乾式キャスクの吊り上げ高さを制限する手順を定めて運用する。また、極めて保守的な条件として万一使用済燃料乾式キャスクが落下し、ガス状核分裂生成物が放出されたと仮定しても、敷地境界線量は十分小さい値であることを確認している。

以上のことから、使用済燃料乾式キャスクにかかるリスクは非常に小さい。

(実施計画：I-2-3-6-1)

(中略)

1.1.4 特定原子力施設の今後のリスク低減対策

現状、特定原子力施設の追加的放出等に起因する、敷地外の実効線量は低く抑えられている(1.1.2参照)。また、多くの放射性物質を含有する燃料デブリや使用済燃料等において異常時に発生する事象を想定したリスク評価においても、敷地外への影響は十分低いものであると評価している(1.1.3参照)。

今後、福島第一原子力発電所内に存在している様々なリスクに対し、最新の「東京電力福島第一原子力発電所 中期的リスクの低減目標マップ(以下「リスクマップ」という。)」に沿って、リスク低減対策に取り組んでいく。プラントの安定状態に向けた更なる取組、発電

所全体の放射線量低減・汚染拡大防止に向けた取組，ならびに使用済燃料プールからの燃料取り出し等の各項目に対し，代表される様々なリスクが存在している。

各項目に対するリスク低減のために実施を計画している対策については，リスク低減対策の適切性確認の視点を基本とした確認を行い，期待されるリスクの低減ならびに安全性，被ばく及び環境影響等の観点から，その有効性や実施の要否，時期等を十分に検討し，最適化を図るとともに，必要に応じて本実施計画に反映する。

また，「1.1.3(6) 放射性廃棄物」にて実施する，ALPS 処理水の海洋放出により，廃炉作業に係る敷地などのリソースを有効に活用していくことで，中長期ロードマップに沿った全体工程の達成及びリスクマップに沿ったリスク低減対策を実現していく。

1.1.4.1 添付資料

添付資料－1 実施を計画しているリスク低減対策ならびに適切性
(実施計画：I-2-4-1)

表 実施を計画しているリスク低減対策ならびに適切性（抜粋）

ロードマップ関連項目		想定されるリスク	リスク低減対策	目的	対応状況	個々の対策に対する適切性
使用済燃料プールからの燃料取出計画	共用プール	貯蔵容量の不足リスク	共用プールから仮保管設備への燃料移動	共用プールには保管容量6840本に対して、既に6377本保管している。今後、使用済燃料プールから使用済燃料を受け入れるため、十分に冷却が進んだ使用済燃料を乾式キャスクに移し、共用プールの燃料受入容量を確保する。	平成25年6月以降順次実施	①対策を実施しない場合、使用済燃料プールからの燃料移送が困難となり、使用済燃料プールでの冷却機能喪失時におけるリスク等が低減されない。 ②冷却機能が長期間喪失した場合の使用済燃料からの放射性物質の追加放出リスクは大きい。 ③乾式キャスクに移し、高台の仮保管施設に移動することにより津波に対するリスクが低減する。 ④対策を実施しない場合、使用済燃料プールからの燃料移送が困難となり、使用済燃料プールでの冷却機能喪失時におけるリスク等が低減されない。 ⑤使用済燃料取り出しのために空き容量確保のため、計画的に実施する必要がある。 ⑥キャスク移送時の燃料落下防止対策等を講じる。 ⑦従前より実績のある取扱作業であるが、共用プール内の燃料払い出し作業と受け入れ作業の輻輳による遅延が発生しないよう工程管理を検討する必要がある。

適切性確認の視点 ①対策を実施しないリスク ②放射性物質の追加放出リスク ③外部事象に対するリスク ④時間的なリスクの増減 ⑤実施時期の妥当性 ⑥対策を実施するリスク ⑦対策を実施できないリスク

(実施計画：I-2-4-添1-7)

本申請の申請範囲について

本申請は「輸送貯蔵兼用キャスクの増設に伴う輸送貯蔵兼用キャスクの基数の変更及び収納燃料の追加」によるもので、増設する輸送貯蔵兼用キャスクの仕様及び安全機能に係る項目のみが申請範囲となる。本申請の対象範囲を下表に示す。

なお、輸送貯蔵兼用キャスク及び付帯設備の設置（キャスク仮保管設備の増設）に係る項目については別途申請を行う。

表 実施計画 2.13 に対する申請対象範囲 (○: 対象 ×: 対象外)

実施計画	輸送貯蔵兼用キャスクの基数の変更及び収納可能燃料の追加 (令和 5 年 3 月 15 日申請)	対象項目
本文	○	・ 2.13.2.1 主要仕様 表 2. 1 3 - 4 輸送貯蔵兼用キャスク (増設) 仕様
添付資料-1 設備概略図	×	—
添付資料-2 評価の基本方針	○	・ 1.2 乾式キャスクの安全機能について (2) 輸送貯蔵兼用キャスク
添付資料-3 構造強度及び耐震性について	×○	・ 1.1 乾式キャスクの構造強度 (3) 輸送貯蔵兼用キャスク B (増設) ・ 2.1 乾式キャスクの耐震性 (3) 輸送貯蔵兼用キャスク B (増設)
添付資料-4 安全評価について	○	・ 1.1 乾式キャスクの除熱機能 (3) 輸送貯蔵兼用キャスク B (増設) ・ 2.1 乾式キャスクの密封機能 (3) 輸送貯蔵兼用キャスク B (増設) ・ 3.1 乾式キャスクの遮へい機能 (3) 輸送貯蔵兼用キャスク B (増設) ・ 4.1 乾式キャスクの臨界防止機能 (3) 輸送貯蔵兼用キャスク B (増設)
添付資料-5 安全対策について	×	—
添付資料-6 管理・運用について	×	—
添付資料-7 工事工程表	×	—
添付資料-8 キャスク保管建屋及び既設 9 基乾式貯蔵キャスクの現在の設備状況 並びに既設 9 基乾式貯蔵キャスクの健全性について	×	—
添付資料-9 既設 9 基乾式貯蔵キャスクのキャスク保管建屋からの搬出について	×	—
添付資料-10 キャスク仮保管設備クレーンレーン間移動時の転倒について	×	—
添付資料-11 キャスク仮保管設備に係る確認事項について	○	・ 表 3 確認事項 (輸送貯蔵兼用キャスク)

輸送貯蔵兼用キャスク（増設 30 基）に係る工程

- ・表 1 の中長期ロードマップのマイルストーンに示す通り、2031 年内の 1～6 号機燃料取り出し完了を目指している。
- ・上記を達成するためには図 1 の中長期実行プランに示す通り、キャスク仮保管設備増設工事を 2025 年に完了し、増設キャスクの 1 基目は 10 月使用開始を計画している。
- ・増設キャスクの使用にあたっては、使用前検査が終了する前に使用を開始するため一部使用承認申請を行う。
- ・ただし、一部使用承認申請を行うには検査申請毎の溶接検査終了が条件となる。そのため、使用前検査・溶接検査申請の初回申請は増設 30 基のうち 14 基を計画している。（使用前検査と溶接検査は同一の申請対象号機）
- ・増設キャスクの製造及び検査工程については図 2 に示す。
- ・検査要領について、「東京電力株式会社福島第一原子力発電所原子炉施設の保安及び特定核燃料物質の防護に関する規則」には実施計画に定められた施設の使用開始前にその工事及び性能について検査（使用前検査及び溶接検査）を行い、検査の実施に当たっての方法その他必要な事項については検査実施要領書に定めると規定されている。
- ・これまでの検査実績から規制庁殿立会検査について、使用前検査では、寸法/外観検査を 1 か所以上、2 号検査と耐圧・漏えい検査を 1 基以上、溶接検査では、溶接施工法毎に開先/非破壊/耐圧/外観検査を 1 基以上と想定している。
- ・実施計画変更申請認可後に検査申請となるため、先行製作分の検査記録及び規制庁殿立会検査号機以外の検査記録については全て規制庁殿による記録確認となる。
- ・現在、増設キャスクの先行製作を進めており 1 基目（88 号機）の溶接工程の最終段階が 2024 年 2 月となる見込みであり、溶接部位に対して非破壊検査により手直し溶接の有無を確認する。手直しが発生した場合は、溶接施工法が変わるため規制庁殿の立会が必要になる。
- ・万一、1 基目（88 号機）で手直しが発生し、かつ以降の号機で手直しが発生しなかった場合、88 号機での立会検査が必要になる。上記の手直しリスクを考慮すると、2024 年 2 月時点で規制庁殿の立会が可能となるよう 2023 年 12 月には検査申請を行う必要がある。
- ・5 号機燃料取り出しに必要な輸送貯蔵兼用キャスク 20 基のうち、6 基（82 号機～87 号機）は既設 65 基の範囲であり、使用前検査申請対象の 14 基が 5 号機燃料取り出しに必要な残り 14 基である。
- ・1, 2 号機分の 16 基は別途使用前検査を申請予定。

表1 中長期ロードマップにおけるマイルストーン（主要な目標工程）

分野	内容	時期
1. 汚染水対策		
汚染水発生量	汚染水発生量を 150m ³ /日程度に抑制	2020 年内
	汚染水発生量を 100m ³ /日以下に抑制	2025 年内
滞留水処理完了	建屋内滞留水処理完了*	2020 年内
	原子炉建屋滞留水を 2020 年末の半分程度に低減	2022 年度 ～2024 年度
2. 使用済燃料プールからの燃料取り出し		
1～6 号機燃料取り出しの完了		2031 年内
1 号機大型カバーの設置完了		2023 年度頃
1 号機燃料取り出しの開始		2027 年度 ～2028 年度
2 号機燃料取り出しの開始		2024 年度 ～2026 年度
3. 燃料デブリ取り出し		
初号機の燃料デブリ取り出しの開始 (2 号機から着手。段階的に取り出し規模を拡大)		2021 年内
4. 廃棄物対策		
処理・処分の方策とその安全性に関する技術的な見通し		2021 年度頃
ガレキ等の屋外一時保管解消**		2028 年度内

※1～3 号機原子炉建屋、プロセス主建屋、高温焼却建屋を除く。

※※水処理二次廃棄物及び再利用・再使用対象を除く。

図1 中長期実行プラン2023 工程表 (抜粋)

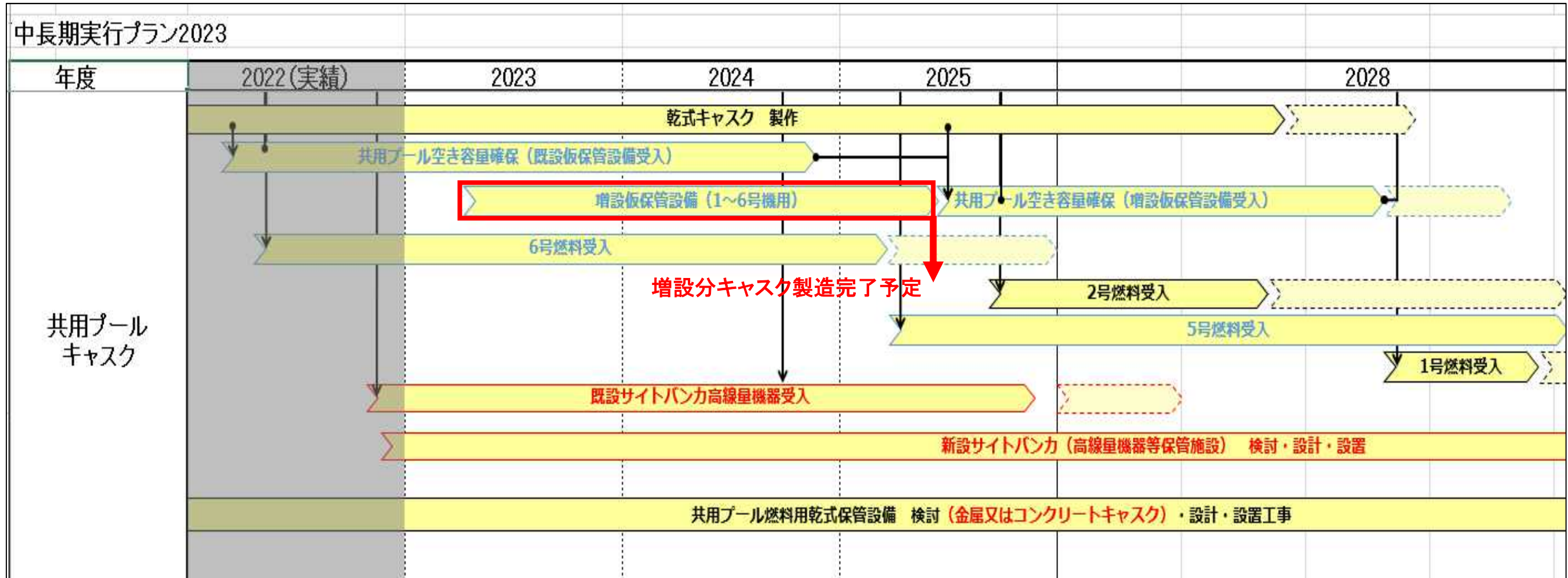
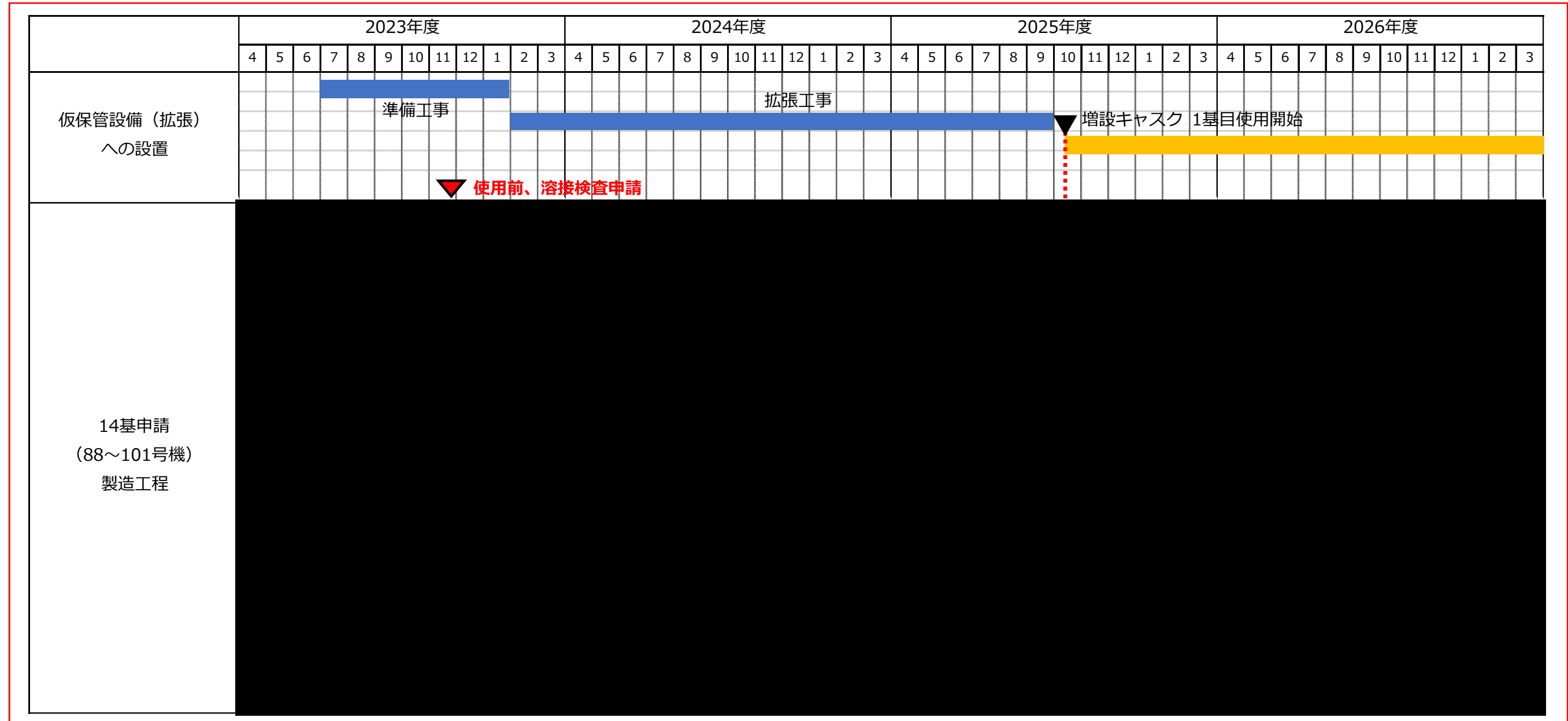


図2 増設キャスク 30 基の製造及び検査工程



Ⅱ 設計，設備について措置を講ずべき 事項

Ⅱ.5 燃料取出し及び取り出した燃料の適切な貯蔵・管理への適合性

措置を講ずべき事項

II. 設計，設備について措置を講ずべき事項

5. 燃料取出し及び取り出した燃料の適切な貯蔵・管理

< 1～4号炉 >

使用済燃料貯蔵設備からの燃料の取出しにあたっては，確実に臨界未満に維持し，落下防止，落下時の影響緩和措置及び適切な遮へいを行い，取り出した燃料は適切に冷却及び貯蔵すること。

< 5・6号炉 >

原子炉及び使用済燃料貯蔵設備からの燃料の取出しにあたっては，確実に臨界未満に維持し，落下防止及び遮へいを行い，適切に冷却及び貯蔵を行うために必要な設備を健全な状態に維持・管理すること。

措置を講ずべき事項への適合方針

< 1～4号機 >

- 使用済燃料貯蔵設備からの燃料の取出しにあたっては，確実に臨界未満に維持し，落下防止，落下時の影響緩和措置及び適切な遮へいを行い，取り出した燃料は適切に冷却及び貯蔵する設計とする。（II. 2. 11, II. 2. 12, II. 2. 13 参照）

< 5・6号機 >

- 使用済燃料プール（II. 2. 28 参照）からの燃料の取出し（II. 2. 27, II. 2. 28, II. 2. 31 参照）にあたっては，落下防止及び遮へい（II. 2. 28 参照）を行い，適切に冷却及び貯蔵（II. 2. 12, II. 2. 27, II. 2. 28 参照）を行うために必要な設備を健全な状態に維持・管理する。

（実施計画：II-1-5-1）

対応方針

2. 13 使用済燃料乾式キャスク仮保管設備

2. 13. 1 基本設計

2. 13. 1. 1 設置の目的

使用済燃料輸送容器保管建屋（以下、「キャスク保管建屋」という。）には現在（平成24年12月時点）9基（中型4基，大型5基）の使用済燃料乾式貯蔵容器（以下、「乾式貯蔵キャスク」という。）にて408体の使用済燃料を貯蔵している。しかしながら，キャスク保管建屋は継続して使用することが困難な状況にあることから，9基の乾式貯蔵キャスクをキャスク保管建屋から搬出し，使用済燃料乾式キャスク仮保管設備（以下，「キャスク仮保管設備」という。）に保管することを目的とする。

また，使用済燃料共用プール（以下，「共用プール」という。）に，1～4号機原子炉建屋内の使用済燃料プールに貯蔵中の使用済燃料及び新燃料，5, 6号機原子炉建屋内の使

用済燃料プールに貯蔵中の使用済燃料及び新燃料を除く炉内燃料（合計 5,936 体）の受け入れを計画している。この受け入れ準備として共用プールの空き容量を確保するため、共用プールに貯蔵中で健全性が確認された使用済燃料を乾式貯蔵キャスク及び使用済燃料輸送貯蔵兼用容器（以下、「輸送貯蔵兼用キャスク」という。また、乾式貯蔵キャスクと輸送貯蔵兼用キャスクを総じて「乾式キャスク」という。）に装填し、キャスク仮保管設備に保管することを目的とする。

2.13.1.2 要求される機能

- (1) 原則、「発電用軽水型原子炉施設に関する安全設計審査指針」指針 49 から 50 に適合すること。
- (2) 「原子力発電所内の使用済燃料の乾式キャスク貯蔵について」を参照すること。
- (3) 適切と考えられる設計用地震力に耐えられる設計であること。
- (4) 乾式キャスクの落下防止対策，乾式キャスク相互の衝突防止等の適切な対策が講じられていること。
- (5) 被災した既設乾式貯蔵キャスク（9基）については，乾式貯蔵キャスクとして必要な機能（除熱，密封，遮へい，臨界防止機能及び構造強度）が確保されていることを確認するとともに，収納されている使用済燃料の健全性を確認すること。

2.13.1.3 設計方針

キャスク仮保管設備は，乾式キャスク及びこれを収納するキャスク仮保管構築物，揚重機，監視装置，障壁等で構成し，使用済燃料が核分裂性物質及び核分裂生成物等を内包し，放射線を発生し，崩壊熱を伴うことを考慮し，周辺公衆及び放射線業務従事者の安全を守る観点から，以下に示すとおり，除熱，遮へい，密封及び臨界防止の安全機能を有する設計とするとともに，必要な構造強度を有する設計とする。

(1) 除熱機能

乾式キャスク及びキャスク仮保管構築物について，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が維持できるように，使用済燃料の崩壊熱を適切に除去できる設計とする。

(2) 密封機能

乾式キャスクについて，周辺公衆及び放射線業務従事者に対し，放射線被ばく上の影響を及ぼすことのないよう，使用済燃料が内包する放射性物質を適切に閉じ込める設計とする。

(3) 遮へい機能

乾式キャスク及びキャスク仮保管構築物について，周辺公衆及び放射線業務従事者に対し，放射線被ばく上の影響を及ぼすことのないよう，使用済燃料の放射線を適切に遮へいする設計とする。

(4) 臨界防止機能

乾式キャスク及びキャスク仮保管構築物について、想定されるいかなる場合にも、使用済燃料が臨界に達することを防止できる設計とする。

(5) 構造強度

乾式キャスク及びキャスク仮保管構築物について、除熱機能、密封機能、遮へい機能、臨界防止機能を維持するために必要な構造強度を有する設計とする。

~~(6) 落下防止対策~~

~~キャスク仮保管設備は、乾式キャスクの落下防止及び乾式キャスク相互の衝突防止等の適切な対策を講ずる。~~

~~(7) 耐震性~~

~~キャスク仮保管設備は、基準地震動 S_s を考慮しても、(1)～(4)に示す安全機能が維持される設計とする。~~

2.13.1.4 供用期間中に確認する項目

~~(1) 乾式キャスクの表面温度に異常がないこと~~

~~(2) 乾式キャスクの蓋間圧力に異常がないこと~~

2.13.1.5 主要な機器

(1) 乾式キャスク

キャスク仮保管設備において、乾式キャスクは既存設計のものを使用する。乾式キャスクは、貯蔵容器本体、蓋部、バスケット等で構成され、これらの部材は、設計貯蔵期間*における放射線照射影響、腐食、クリープ、疲労、応力腐食割れ等の経年変化に対して十分信頼性を有する材料を選定し、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ように設計されている。

また、乾式キャスクには、使用済燃料プールまたは共用プールで所定の期間以上冷却され、かつ運転中のデータ、 SHIPPING 検査等により健全であることを確認した使用済燃料を使用済燃料プール内あるいは共用プール内で装填し、排水後内部にはヘリウムガスを封入する。ヘリウムガスは、冷却媒体であるとともに燃料被覆管の腐食を防止する。

※：設計貯蔵期間は、乾式貯蔵キャスク：40年、輸送貯蔵兼用キャスク：50年である。

~~(2) コンクリートモジュール~~

~~仮保管する乾式キャスク1基毎にこれを覆うコンクリートモジュールを設置する。壁面下部に給気口を、上部に排気口を設けることで、乾式キャスクからコンクリートモジュール内空気に伝達された使用済燃料の崩壊熱をモジュール内の自然対流により大気へ拡散する。~~

(3) 監視装置

——~~キャスタ仮保管設備には、乾式キャスタの一次蓋、二次蓋間の圧力を監視することにより密封機能を監視する密封監視装置と、乾式キャスタ表面の温度を監視することにより乾式キャスタの除熱機能を監視する表面温度監視装置を設置する。~~
——~~又、過度の放射線レベル上昇が確認できるエリア放射線モニタを設置する。~~

(4) クレーン

——~~キャスタ仮保管設備内で乾式キャスタ及びコンクリートモジュールの据付ができるクレーンを設置する。乾式キャスタの落下防止対策として、ワイヤーロープ、ブレーキを2重化し、電源喪失時には直ちにブレーキが作動し、ドラムの空転による荷の落下を防止する設計とする。~~

(5) 電源

——~~キャスタ仮保管設備の電源は、所内共通M/C 1 A及び1 Bからそれぞれ受電している多核種除去設備変圧器盤 (A) 及び (B) の2系統より受電しており、いずれからも受電可能な構成である。~~

2.13.1.6 自然災害対策等

(1) 津波

~~キャスタ仮保管設備は、発電所構内の高台 (T.P. 約 38m) に位置するグラウンドに設置することから、津波の影響を受けることはない。~~

(2) 火災

——~~火災の発生が考えられる箇所について、火災の早期検知につとめるとともに、消火器を設置することで初期消火を可能にし、火災により安全性を損なうことのないようにする。~~

(3) 台風・竜巻

——~~乾式キャスタは基礎に据え付けられ、コンクリートモジュールの中に保管されているため、台風・竜巻の影響を受けない。~~

(4) 環境条件

——~~乾式キャスタの除熱機能、密封機能、遮へい機能、臨界防止機能及びコンクリートモジュールの除熱機能については、保守的な環境条件にて設計を行っている。またその他の経年的な影響についても、監視や定期的な巡視点検等を行うことで劣化等の早期発見に努め、機能維持を図る。~~

~~また、キャスク仮保管設備に保管する乾式貯蔵キャスクのうち、津波により一時的に水没したとみられるキャスク保管建屋に保管している既設9基については、必要な点検や消耗品の交換を行ったうえで、キャスク仮保管設備に搬入し、他の乾式キャスクと同様に管理する。~~

2.13.1.7 構造強度及び耐震性

(1) 構造強度

a. 乾式キャスク及び支持架台

~~乾式キャスク及び支持架台については、JSME 設計・建設規格の分類に基づく設計とする。~~

~~b. コンクリートモジュール~~

~~コンクリートモジュールについては、建築基準法に基づく設計とする。~~

~~c. クレーン~~

~~クレーンについては、クレーン構造規格に基づく設計とする。~~

~~d. コンクリート基礎~~

~~キャスク支持架台に作用する力を支持するとともに、これを固定する固定ボルトの引抜き力が許容引抜き力を下回り、基礎の傾斜が許容傾斜量を下回る設計とする。~~

(2) 耐震性

~~a. 乾式キャスク及び支持架台~~

~~乾式キャスクについては、基準地震動 S_s に対し、乾式キャスクの安全機能を維持するために必要な構造強度を有する設計とする。~~

~~支持架台については、基準地震動 S_s に対し、乾式キャスクを落下・転倒させない設計とする。~~

~~b. コンクリートモジュール~~

~~基準地震動 S_s に対し、建築基準法及び国土交通省告示に基づくとともに、倒壊等により、乾式キャスクの安全機能に波及的影響を与えない設計とする。~~

~~c. クレーン~~

~~基準地震動 S_s に対し、JSME 設計・建設規格に基づくとともに、転倒・倒壊・逸走等により、乾式キャスクの安全機能に波及的影響を与えない設計とする。~~

~~d. コンクリート基礎~~

~~キャスク支持架台に作用する力を支持するとともに、これを固定する固定ボルトの引抜きに抵抗すること、基礎の傾斜によりクレーンの転倒、倒壊などが生じない設計とする。~~

2.13.1.8 異常時の措置

乾式キャスクの蓋間圧力及び温度は免震重要棟にて監視でき、万一、蓋間圧力が設定値まで低下した場合や表面温度が設定値まで上昇した場合には免震重要棟に設置した監視装置にて警報が確認できる。

警報確認後に現場確認を行い状況に応じた対処を行う。また、必要に応じ乾式キャスクを共用プールまで運搬し、共用プールにて必要な措置を行う。

2.13.2 基本仕様

2.13.2.1 主要仕様

(1) 乾式キャスク仮保管設備

表 2.13-1 乾式キャスク仮保管設備仕様

項目	仕様	
エリア	約96m×約80m	
保管対象物	乾式貯蔵キャスク	輸送貯蔵兼用キャスク
保管容量	20基	45基

(2) 乾式キャスク

表 2.13-2 乾式貯蔵キャスク仕様

項目	乾式貯蔵キャスク (中型)	乾式貯蔵キャスク (大型)
重量 (t) (燃料を含む)	約96	約115
全長 (m)	約5.6	約5.6
外径 (m)	約2.2	約2.4
収納体数 (体)	37	52
基数 (基)	4 (既設) 8 (増設)	5 (既設) 3 (増設)
収納可能燃料	8×8燃料 (燃焼度 30,000MWd/t 以下) 新型 8×8燃料 (燃焼度 33,500MWd/t 以下) 新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料 (燃焼度 36,500MWd/t 以下) 冷却期間 4年以上 (既設 9基) ※ 冷却期間 13年以上 (増設 11基)	

※既設 9 基の乾式貯蔵キャスク内に収納している使用済燃料を取り出し、共用プールで貯蔵している使用済燃料と入れ替える場合、冷却期間 13 年以上の燃料を収納する。

表 2. 1-3-3 ~~輸送貯蔵兼用キャスク (既設) 仕様~~

項目	輸送貯蔵兼用キャスク B
重量 (t) (燃料を含む)	約 119
全長 (m)	約 5.3
外径 (m)	約 2.5
収納体数 (体)	69
基数 (基)	45 ^{※1}
収納可能燃料 ^{※2}	新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料 平均燃焼度 34,000Mwd/t 以下 最高燃焼度 40,000Mwd/t 以下 冷却期間 18 年以上

~~※1 うち 8 基の仕様は、使用済燃料貯蔵施設に関する設計及び工事の方法の認可申請書 (平成 22 年 11 月 リサイクル燃料貯蔵株式会社) 及び使用済燃料貯蔵施設に関する設計及び工事の方法の認可申請書 添付書類の一部補正について (平成 22 年 12 月 リサイクル燃料貯蔵株式会社) により、37 基の仕様は、使用済燃料貯蔵施設に関する設計及び工事の方法の認可申請書 (平成 24 年 10 月 リサイクル燃料貯蔵株式会社) 及び使用済燃料貯蔵施設に関する設計及び工事の方法の認可申請書 添付書類の一部補正について (平成 25 年 10 月 リサイクル燃料貯蔵株式会社) による。~~
 なお、これら 45 基は同一設計であり、福島第一原子力発電所構内専用として使用する。

~~※2 燃焼度や燃料タイプに応じて、以下の図書に基づき収納物の配置制限を行う。~~

- ~~・輸送貯蔵兼用キャスク B : 核燃料輸送物設計承認申請書 (HDP-69B 型)
(平成 22 年 8 月 23 日申請 東京電力株式会社)~~

表 2. 1 3 - 4 輸送貯蔵兼用キャスク（増設）仕様

項目	輸送貯蔵兼用キャスク B ^{※1}
重量（t） （燃料を含む）	約 119
全長（m）	約 5.3
外径（m）	約 2.5
収納体数（体）	69
基数（基）	30 ^{※2}
収納可能燃料 ^{※3}	<p>新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料，高燃焼度 8×8 燃料</p> <p>配置（i）</p> <p>平均燃焼度 34,000Mwd/t 以下 最高燃焼度 40,000Mwd/t 以下 冷却期間 18 年以上</p> <p>配置（ii）</p> <p>平均燃焼度 40,000Mwd/t 以下 最高燃焼度 48,000Mwd/t 以下 冷却期間 22 年以上</p> <p>新型 8×8 燃料</p> <p>配置（iii）</p> <p>平均燃焼度 29,000Mwd/t 以下 最高燃焼度 34,000Mwd/t 以下 冷却期間 28 年以上</p>

※1 増設する輸送貯蔵兼用キャスク 30 基への燃料装填については，除熱，密封，遮へい及び臨界防止の安全評価を本実施計画に記載した上で実施することとする。

※2 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申請書（平成 29 年 11 月 日立GEニュークリア・エナジー株式会社），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申請書 本文及び添付資料の一部補正について（平成 30 年 7 月 日立GEニュークリア・エナジー株式会社）及び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申請書 本文及び添付資料の一部補正について（平成 30 年 12 月 日立GEニュークリア・エナジー株式会社）による。

なお，これら 30 基は既設と同一設計であり，福島第一原子力発電所構内専用として使用する。

※3 燃焼度や燃料タイプに応じて，以下の図書に基づき収納物の配置制限を行う。

・輸送貯蔵兼用キャスク B：

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申請書
（平成 29 年 11 月 日立GEニュークリア・エナジー株式会社）

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申請書 本文及び添付資料の一部補正について

(平成30年7月 日立GEニュークリア・エナジー株式会社)

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申請書 本文及び添付資料の一部補正について

(平成30年12月 日立GEニュークリア・エナジー株式会社)

型式設計特定容器等の型式指定申請書

(令和元年5月 日立GEニュークリア・エナジー株式会社)

使用済燃料貯蔵施設に係る型式設計特定容器等の型式指定申請書本文及び添付書類の一部補正について

(令和3年6月 日立GEニュークリア・エナジー株式会社)

(3) ~~コンクリートモジュール~~

表2. 13-5 ~~コンクリートモジュール仕様~~

項目		仕様	
名称		コンクリートモジュール	
保管対象物		乾式貯蔵キャスタ	輸送貯蔵兼用キャスタ
数量		20基	45基
主要寸法	長手	約7300mm	約7100mm
	短手	約4680mm	約4680mm
	高さ	約4000mm	約4000mm
	板厚	約200mm	約200mm
構造		鉄筋コンクリート構造	

(4) ~~クレーン~~

表2. 13-6 ~~クレーン仕様~~

項目	仕様
型式	門型クレーン
数量	1基
定格荷重	主巻150t 補巻20t
揚程	主巻9.0m 補巻11.3m

(5) 監視装置

表 2. 1 3 - 7 圧力・温度監視装置仕様

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

表 2. 1 3 - 8 放射線監視装置仕様

項目	仕様
名称	エリア放射線モニタ
基数	4基
種類	半導体検出器
取付箇所	設備敷地内
検出高さ	基礎から 600mm 以上 1800mm 以下
計測範囲	$10^{-1} \mu\text{Sv/h} \sim 10^5 \mu\text{Sv/h}$

(実施計画：II-2-13-1～108)

構造強度及び耐震性について

1 構造強度

1.1 乾式キャスクの構造強度

(中略)

(2) 輸送貯蔵兼用キャスク B (既設)

1) 評価方針

本設備で保管する輸送貯蔵兼用キャスク B は、既存設計のものを使用する。従って、輸送貯蔵兼用キャスク B の構造評価は、基本的に既存評価の結果を基に評価し、既存評価の結果を参考とできない内容については新たに評価を実施し、本設置場所での保管に適合していることを確認する。

2) 主な構成部材と適用基準

① 主な構成部材

輸送貯蔵兼用キャスクの構造強度設計は、要求される安全機能を維持するため、次の構造部材について評価する。

A. キャスク容器

輸送貯蔵兼用キャスク B のうち、放射性物質を閉じ込めるための圧力バウンダリを構成するものであって、胴、底板、一次蓋、一次蓋締付けボルト、カバープレート及びカバープレート締付けボルトをいう。

B. バスケット

輸送貯蔵兼用キャスク B の容器内に配置され、使用済燃料を収納し、かつ燃料間距離を保つことにより、燃料の支持機能及び臨界防止機能を併せ持つものであって、バスケットプレートをいう。

バスケットの応力解析は、バスケットプレートについて行っている。

C. トラニオン

輸送貯蔵兼用キャスク B の取扱い及び仮保管時の支持のため、吊上げ及び固定に使用されるものであって、トラニオンをいう。

トラニオンについて応力解析を行っている。

D. 二次蓋

輸送貯蔵兼用キャスク B の密封監視のための圧力空間を保持するための部材であると同時に、一次蓋と二次蓋で多重の閉じ込め構造を形成し、一次蓋と同等の閉じ込め性能を

要求される部材である。

② 適用基準と規格

輸送貯蔵兼用キャスクBの構造強度設計には「使用済燃料貯蔵施設規格金属キャスク構造規格(JSME S FA1-2007)」を適用する。

3) 既存設計における構造強度評価方法

輸送貯蔵兼用キャスクBの強度評価にあたり、既存設計における評価方法を示す。

① 設計条件

輸送貯蔵兼用キャスクBの構造評価にあたっての荷重を以下に示す。

A. 圧力による荷重

輸送貯蔵兼用キャスクB各部の内面及び外面が受ける最高使用圧力、取扱い時及び貯蔵時に受ける圧力並びに試験圧力による荷重をいう。

既存評価における輸送貯蔵兼用キャスクBの最高使用圧力を以下に示す。

キャスク容器：1.0 MPa

二次蓋：0.4 MPa

B. 機械的荷重

自重、衝撃荷重及びその他の付加荷重をいう。機械的荷重の主なものは以下の通りである。

a. 自重による荷重

b. ボルト締付け力

c. 吊上げ荷重

d. 衝撃荷重

C. 熱荷重

輸送貯蔵兼用キャスクBに生じる温度変化、温度こう配による荷重であって、熱解析の結果から得られるものをいう。

既存評価書における各構造部材の最高使用温度を以下に示す。

キャスク容器：150℃

バスケット：260℃

トラニオン：130℃

二次蓋：110℃

② 評価方法

輸送貯蔵兼用キャスクBの構造解析フローを図1.1-4に、主な構造部材の応力評価箇所を図1.1-5(1)、(2)に示す。

A. キャスク容器

キャスク容器の胴、底板及び蓋部等の構造強度は、想定される圧力荷重、機械的荷重、熱荷重をもとに、キャスク容器及び二次蓋の実形状をモデル化し、構造解析コードABAQUSを用いて、胴、底板、一次蓋及び一次蓋締付けボルト等の応力評価を行う。

ABAQUSによる解析は、圧力荷重、機械的荷重及び熱荷重によって生じる形状の不連続の効果を含む応力の解析及び温度分布計算に使用する。

B. バスケット

バスケットの構造強度評価は、想定される機械的荷重、熱荷重をもとに応力評価式を用いて応力評価を行う。

C. トラニオン

トラニオンの構造強度評価は想定される機械的荷重及び熱荷重を基に、応力評価式を用いて評価を行う。

D. 二次蓋

二次蓋の構造強度評価は、キャスク容器の構造強度評価と同時に構造解析コードABAQUSにより計算し、二次蓋及び二次蓋締付けボルトの応力評価を行う。

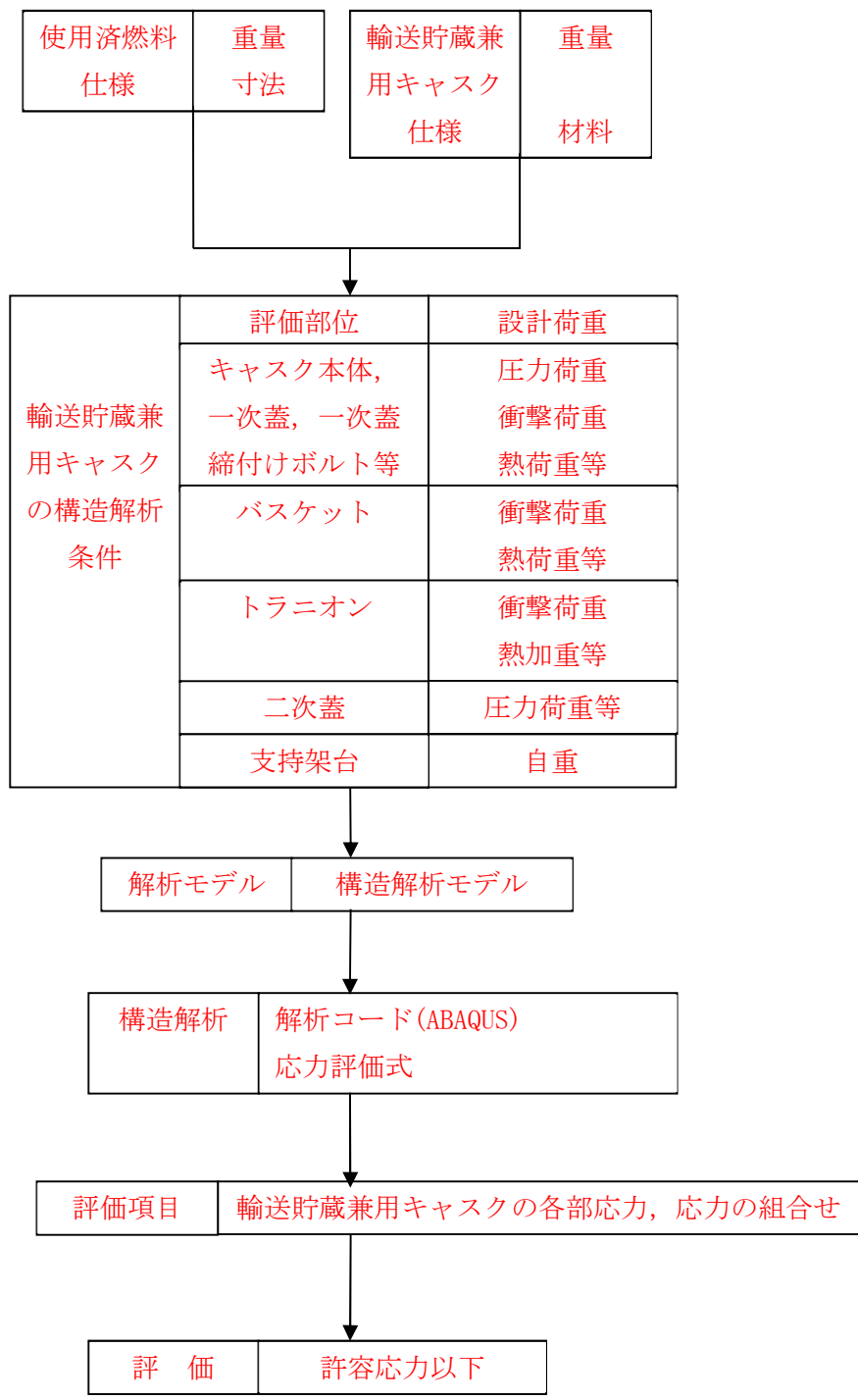


図 1.1-4 輸送貯蔵兼用キャスク B の構造強度評価フロー

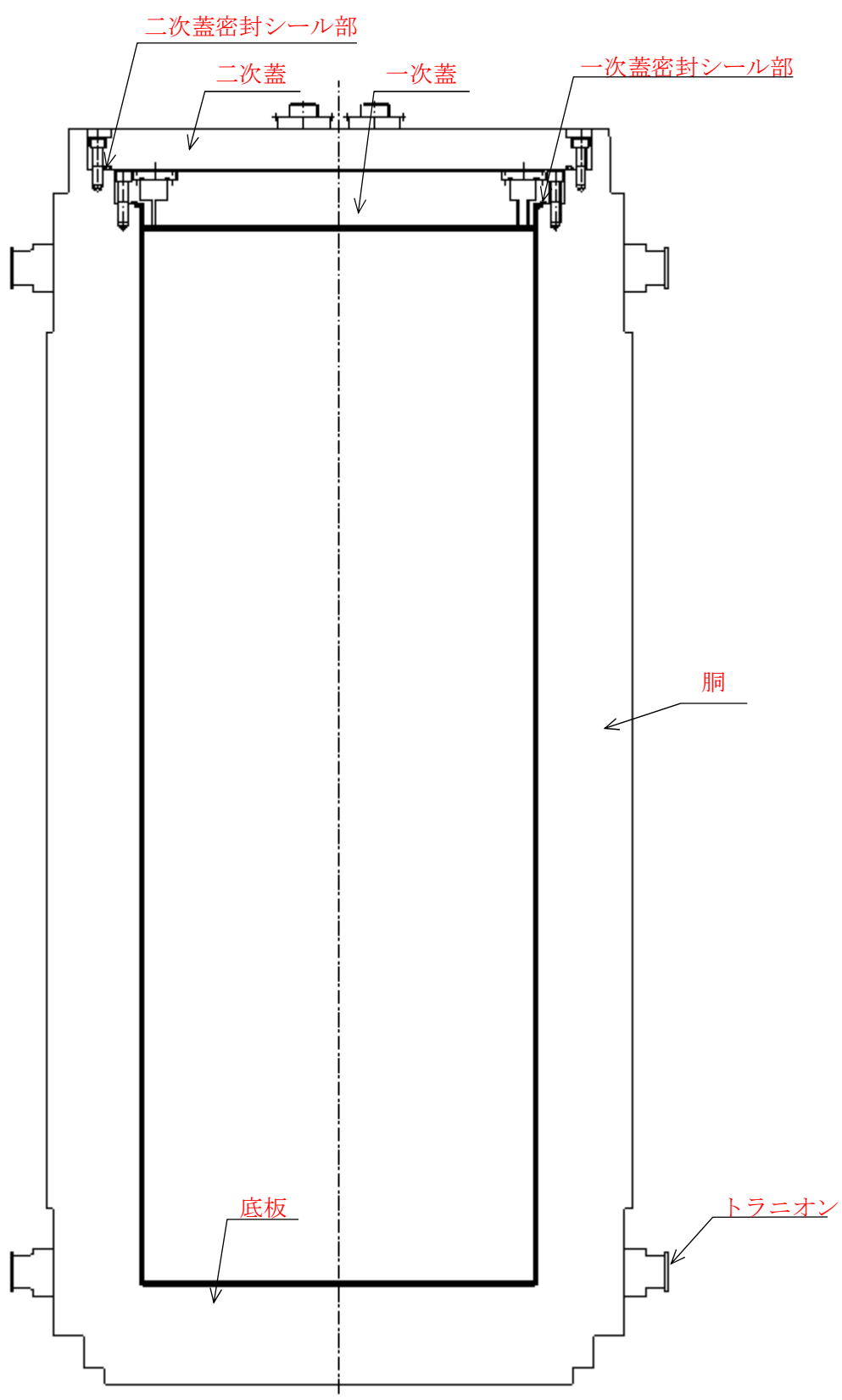


図 1.1-5(1) キャスク容器の応力評価箇所 (全体断面図)

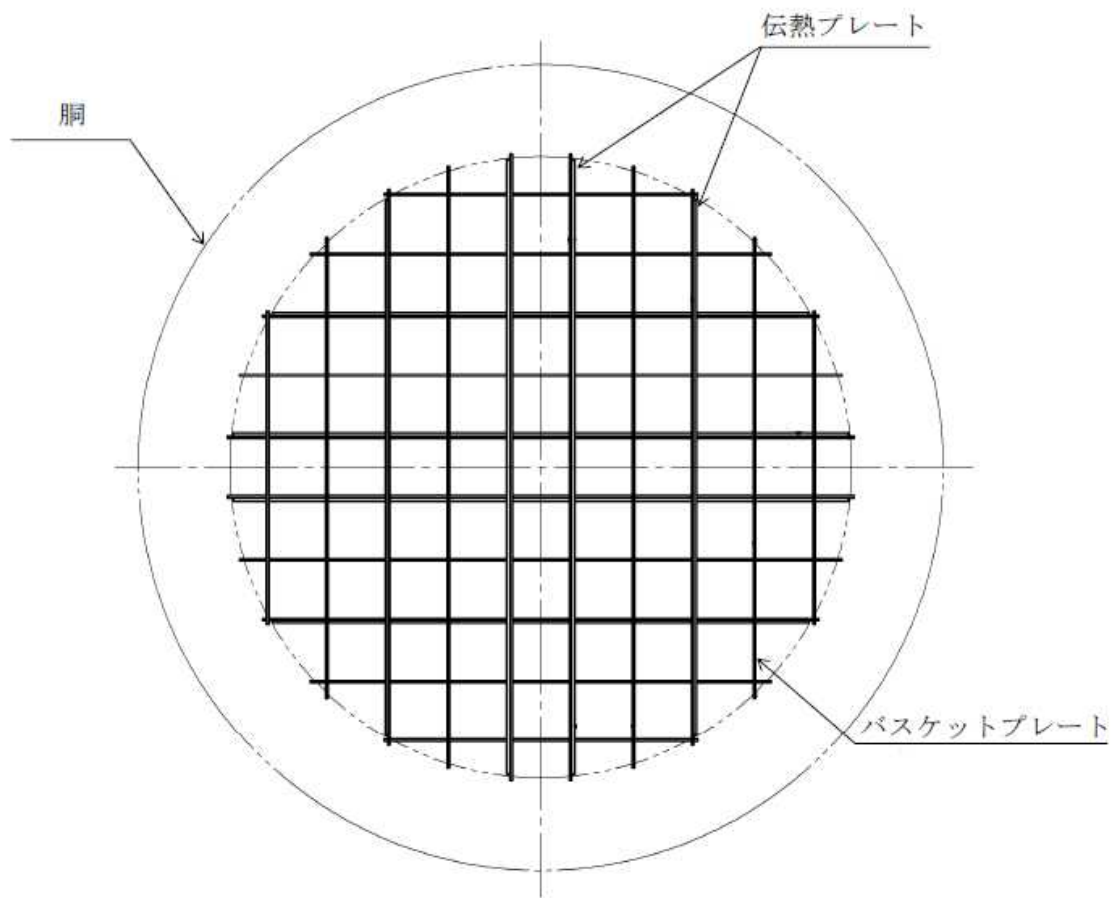


図 1.1-5(2) バスケットの応力評価箇所

③ 設計事象と荷重の組合せ

既存評価書における輸送貯蔵兼用キャスク B の設計事象と選定事象を表 1.1-5 に示す。
設計事象 I 及び II における選定事象は以下のとおりである。

[設計事象 I]

- ・貯蔵時
- ・吊上げ, 吊下げ, 移動

[設計事象 II]

- ・支持脚への衝突
- ・貯蔵架台への衝突

また, 各設計事象においてキャスク容器及び二次蓋, バスケット, トラニオンの設計上
考慮すべき荷重の種類とその組合せを表 1.1-6(1)～(3)に示す。(地震時を除く)

表 1.1-5 既存評価書における輸送貯蔵兼用キャスク B の設計事象

設計事象	定義	解説	選定事象
I	輸送貯蔵兼用キャスクの通常の手扱い時及び運搬時の状態をいう。	輸送貯蔵兼用キャスクの計画的な手扱い状態。	<ul style="list-style-type: none"> ・貯蔵 ・吊上げ，吊下げ，移動
II	設計事象 I，設計事象 III，設計事象 IV 及び試験状態以外の状態をいう。	輸送貯蔵兼用キャスクの寿命程度の期間中に予想される手扱い機器の単一故障，単一誤動作等の事象によって，輸送貯蔵兼用キャスクが通常手扱い状態から外れるような状態をいう。	<ul style="list-style-type: none"> ・支持脚への衝突 ・貯蔵架台への衝突
III	輸送貯蔵兼用キャスク又はその手扱い機器等の故障，異常な作動等により，計画された手扱いの停止が緊急に必要とされる状態をいう。	発生頻度が十分低い事象によって引き起こされる状態をいう。すなわち，設計事象 II という機器の単一故障，運転員の単一誤操作等によって引き起こされるもののうち，その発生頻度が十分に低いと考えられるものを分類する。	
IV	輸送貯蔵兼用キャスクの安全設計上想定される異常な事態が生じている状態をいう。	発生頻度が極めて低く，輸送貯蔵兼用キャスクの寿命中に起こるとは考えられない事象によって引き起こされる状態をいうが，万一発生した場合の設計の妥当性を確保するために特に設けたものをいう。	
試験状態	耐圧試験により，キャスク容器に最高使用圧力を超える圧力が加えられている状態をいう。		<ul style="list-style-type: none"> ・耐圧試験 (製造時)

表 1.1-6(1) キヤスク容器及び二次蓋の設計上考慮すべき荷重の種類とその組合せ

設計事象 供用状態 評価事象			荷 重					
設計事象	供用状態	評価事象	圧力による荷重	自重による荷重	力 ボルト 初期締付け	吊上げ荷重	衝撃荷重	熱荷重
設計条件	設計条件	設計時 ^{注1)}	○	— ^{注4)}	○	○	○	—
I	A ^{注2)}	通常貯蔵時	○	○	○	—	—	○
		吊上げ時	○	— ^{注4)}	○	○	—	○
II	B ^{注2)}	衝撃荷重作用時	○	— ^{注4)}	○	—	○	○
試験状態	試験状態	試験時	○ ^{注3)}	○	○	—	—	—

注1) 最高使用圧力に対する評価条件で、供用状態A及びBの一次応力評価を代表する事象

注2) 評価事象の中で、他の評価事象に包絡される事象や荷重条件については評価を省略する。

注3) 耐圧試験圧力（最高使用圧力により定められる圧力）とする。

注4) 本状態での自重による荷重は、衝撃荷重又は吊上げ荷重の慣性力による荷重に含まれる。

表 1.1-6(2) バスケットの設計上考慮すべき荷重の種類とその組合せ

設計事象 / 供用状態 / 評価事象			自重による荷重	吊上げ荷重	衝撃荷重	熱荷重
設計条件	設計条件	設計時 ^{注1)}	— ^{注2)}	○	○	—
I	A	貯蔵時	○	—	—	○
		吊上げ時	— ^{注2)}	○	—	○
II	B	衝撃荷重作用時	— ^{注2)}	—	○	○

注1) 供用状態A及びBの一次応力評価を代表する事象

注2) 本状態での自重による荷重は、衝撃荷重又は吊上げ荷重の慣性力による荷重に含まれる。

表 1.1-6(3) トラニオンの設計上考慮すべき荷重の種類とその組合せ

設計事象 / 供用状態 / 評価事象			自重による荷重	固縛荷重	吊上げ荷重	衝撃荷重	熱荷重 ^{注1)}
I	A	貯蔵時	○	○	—	—	○
		吊上げ時	— ^{注2)}	—	○	—	○
II	B	衝撃荷重作用時	— ^{注2)}	—	—	○	○

注1) キャスク容器の熱膨張により生じる応力に限る。

注2) 本状態での自重による荷重は、衝撃荷重又は吊上げ荷重の慣性力による荷重に含まれる。

④ 評価結果

既存評価の評価結果から規定を満足していることが確認されている。

4) 本設備での構造評価

表 1.1-7(1)～(3)に本仮保管設備での荷重条件と既存評価との比較を示す。このことから以下のことが言える。

- ①キャスク容器（二次蓋含む）の設計条件，運搬時（設計事象Ⅰ），搬送台車架台への衝突時（設計事象Ⅱ）の評価加速度は既存評価書で包絡される。吊上げ時（設計事象Ⅰ）の評価加速度は後述の 5)で行う「支持架台への衝突時（設計事象Ⅱ）」の解析で用いる加速度に包絡される。
- ②バスケットの設計条件，運搬時（設計事象Ⅰ），搬送台車架台への衝突時（設計事象Ⅱ）の評価加速度は既存評価書で包絡される。吊上げ時（設計事象Ⅰ）の評価加速度は後述の 5)で行う「支持架台への衝突時（設計事象Ⅱ）」の解析で用いる加速度に包絡される。
- ③トラニオンの運搬時（設計事象Ⅰ），搬送台車架台への衝突時（設計事象Ⅱ）の評価加速度は既存評価書で包絡される。吊上げ時（設計事象Ⅰ）の評価加速度は後述の 5)で行う「支持架台への衝突時（設計事象Ⅱ）」の解析で用いる加速度に包絡される。

以上の包絡性の説明及び本設備において最も厳しい荷重条件として、「支持架台への衝突（設計事象Ⅱ）」について応力解析を実施する。評価対象は，キャスク容器，二次蓋，バスケット及びトラニオンの各部とする。

なお，キャスク容器（二次蓋含む）の設計条件（最高使用圧力），試験状態及びトラニオンの吊り上げ時の荷重条件は既存評価書により包絡する。

表 1.1-7(1) 既存評価との比較と評価方法（キャスク容器及び二次蓋）

設計 事象	キャスク仮保管設備				参考（既存評価書）			
	代表事象	包絡される 事象	荷重条件	本設備での評価方法（包絡性含む）	代表 事象	包絡され る事象	荷重条件	備考
設計 条件	設計条件	—	圧力 ^{注1)} ， ボルト， 衝撃 ^{注2)}	・最高使用圧力における縦姿勢における 衝撃荷重負荷時の評価は既存評価書 で包絡する。 ○（既存評価書で包絡）	設計時	—	圧力 ^{注1)} ， ボルト， 衝撃 ^{注3)}	設計事象Ⅰ及びⅡ の中で荷重条件が 最も厳しいのは貯 蔵架台への衝突時
Ⅰ	吊上げ時	貯蔵時	圧力，ボルト， 吊上げ ^{注4)} ，熱	荷重条件，支持条件が同じ「キャスク支 持架台への衝突（設計事象Ⅱ）」の評価で 包絡する。 ○（設計事象Ⅱで包絡）	貯蔵時	—	圧力，ボルト， 自重，熱	設計事象Ⅰのうち 大半の期間を占め る代表的事象
					吊上げ時	—	圧力，ボルト， 吊上げ ^{注5)} ，熱	荷重条件が最も厳 しいのは吊上げ時
	運搬時	—	圧力，ボルト， 熱，運搬 ^{注6)}	核燃料輸送物設計承認申請書のうち，一 般の試験条件 0.3m 落下に包絡する。 ○（既存評価書で包絡）	一般の試験 条件 0.3m 頭 部垂直落下	—	圧力，ボルト， 熱，落下時荷 重 ^{注7)}	—
					一般の試験 条件 0.3m 底 部垂直落下	—	圧力，ボルト， 熱，落下時荷 重 ^{注7)}	—
					一般の試験 条件 0.3m 水平落下	—	圧力，ボルト， 熱，落下時荷 重 ^{注7)}	—

表 1.1-7(1) 既存評価との比較と評価方法（キャスク容器及び二次蓋）

設計 事象	キャスク仮保管設備				参考（既存評価書）			
	代表事象	包絡される 事象	荷重条件	本設備での評価方法（包絡性含む）	代表 事象	包絡され る事象	荷重条件	備考
II	支持架台へ の衝突時	輸送架台 への衝突 時	圧力, ボルト, 衝撃 ^{注8)} , 熱	他事象の包絡及び本設備の設計事象 I 及 び II における最も厳しい荷重条件として 解析評価する。 ◎（応力解析を実施）	—	—	—	—
	搬送台車架 台への衝突 時	—	圧力, ボルト, 衝撃 ^{注2)} , 熱	既存評価における「支持脚への衝突時」 と同じ荷重条件 ○（既存評価書で包絡）	支持脚への 衝突時	—	圧力, ボルト, 衝撃 ^{注9)} , 熱	—
					貯蔵架台へ の衝突時	—	圧力, ボルト, 衝撃 ^{注3)} , 熱	荷重条件が最も厳 しいのは, 貯蔵架 台への衝突時
試験 状態	試験時	—	圧力 ^{注9)} , 自重, ボルト	既存評価と同じ荷重条件 ○（既存評価書で包絡）	試験時	—	圧力 ^{注10)} , 自重, ボルト	—

◎：解析を実施。 ○：既存評価又は他の評価事象で包絡

注1) キャスク容器内圧は最高使用圧力。

注2) 衝撃荷重は縦姿勢下方向 2.33G であり, 自重を含む。

注3) 衝撃荷重は縦姿勢下方向 5G であり, 自重を含む。

注4) 吊上げ荷重は横姿勢下方向 1.32G であり, 自重を含む。

注5) 吊上げ荷重は縦姿勢下方向 1.3G であり, 自重を含む。

注6) 運搬時荷重は上方向 2G, 下方向 3G(自重を含む), 前後方向 2G, 左右方向 1G である。

注7) 頭部垂直落下荷重は 30.0G, 底部垂直落下荷重は 30.0G, 水平落下荷重は 20.0G である。

注8) 衝撃荷重は横姿勢下方向 3G であり, 自重を含む。

注9) 衝撃荷重は縦姿勢下方向 2.5G であり, 自重を含む。

注10) 最高使用圧力の 1.25 倍の圧力。

表 1. 1-7 (2) 既存評価の比較と評価方法 (バスケット)

設計 事象	キャスク仮保管設備				参考 (既存評価書)			
	代表事象	包絡される 事象	荷重条件	本設備での評価方法 (包絡性含む)	代表 事象	包絡される 事象	荷重条件	備考
設計 条件	設計条件	—	衝撃 ^{注1)}	・縦姿勢における衝撃荷重負荷時の 一次応力に対する評価は既存評価 書の「貯蔵架台への衝突時 (設計事 象Ⅱ)」で包絡する。 ○ (既存評価書で包絡)	設計時	—	衝撃 ^{注2)}	—
I	吊上げ時	貯蔵時	吊上げ ^{注3)} , 熱	荷重条件, 支持条件が同じ「キャスク 支持架台への衝突 (設計事象Ⅱ)」の 評価で包絡する。 ○ (設計事象Ⅱで包絡)	貯蔵架台へ の衝突時	・貯蔵時 ・吊上げ時	衝撃 ^{注2)} , 熱	設計事象Ⅱの 条件に包絡さ れる
	運搬時	—	圧力, ボルト, 熱, 運搬 ^{注4)}	核燃料輸送物設計承認申請書のう ち, 一般の試験条件 0.3m 落下に包絡 する。 ○ (既存評価書で包絡)	一般の試験条 件 0.3m 頭部 垂直落下	—	圧力, ボル ト, 熱, 落下 時荷重 ^{注5)}	—
					一般の試験条 件 0.3m 底部 垂直落下	—	圧力, ボル ト, 熱, 落下 時荷重 ^{注5)}	—
					一般の試験条 件 0.3m 水平落下	—	圧力, ボル ト, 熱, 落下 時荷重 ^{注5)}	—

表 1. 1-7 (2) 既存評価の比較と評価方法 (バスケット)

設計 事象	キャスク仮保管設備				参考 (既存評価書)			
	代表事象	包絡される 事象	荷重条件	本設備での評価方法 (包絡性含む)	代表 事象	包絡される 事象	荷重条件	備考
II	支持架台への 衝突時 ^{注6)}	輸送架台への 衝突時	衝撃 ^{注7)} , 熱	他事象の包絡及び本設備の設計事象 I 及び II における最も厳しい荷重条件として評価する。 ◎ (応力解析を実施)	—	—	—	—
	搬送台車架台 への衝突時	—	衝撃 ^{注1)} , 熱	既存評価と同じ荷重条件 ○ (既存評価書で包絡)	貯蔵架台への 衝突時	・支持脚への 衝突時	衝撃 ^{注2)} , 熱	—

◎ : 解析を実施。 ○ : 既存評価又は他の評価事象で包絡

注 1) 衝撃荷重は縦姿勢下方向 2.33G であり, 自重を含む。

注 2) 衝撃荷重は縦姿勢下方向 5G であり, 自重を含む。

注 3) 吊上げ荷重は横姿勢下方向 1.32G であり, 自重を含む。

注 4) 運搬時荷重は上方向 2G, 下方向 3G(自重を含む), 前後方向 2G, 左右方向 1G である。

注 5) 頭部垂直落下荷重は 30.0G, 底部垂直落下荷重は 30.0G, 水平落下荷重は 20.0G である。

注 6) 長期荷重(自重)に対する評価を含む。

注 7) 衝撃荷重は横姿勢下方向 3G であり, 自重を含む。

表 1.1-7(3) 既存評価の比較と評価方法（トラニオン）

設計 事象	キャスク仮保管設備				参考（既存評価書）			
	代表事象	包絡される 事象	荷重条件	本設備での評価方法（包絡性含 む）	代表 事象	包絡される 事象	荷重条件	備考
I	吊上げ時	貯蔵時	吊上げ ^{注1)} ，熱	荷重条件，支持条件が同じ「キャ スク支持架台への衝突（設計事象 II）」の評価で包絡する。 ○（設計事象IIで包絡）	貯蔵時	—	自重，ボルト， 熱	—
					吊上げ時	—	吊上げ ^{注2)} ，熱	荷重条件が最も厳 しいため，代表事象 を吊上げ時とする。
	運搬時	—	運搬 ^{注3)} ，熱	核燃料輸送物設計承認申請書の うち，通常の輸送条件に包絡され る。 ○（既存評価書で包絡）	運搬時	—	運搬 ^{注3)} ，熱	—
II	支持架台への 衝突時	輸送架台へ の衝突時	衝撃 ^{注4)} ，熱	本設備の設計事象IIにおける最 も厳しい荷重条件として評価す る。 ◎（応力解析を実施）	—	—	—	—
	搬送台車架台 への衝突時	—	衝撃 ^{注5)} ，熱	既存評価と同じ荷重条件 ○（既存評価書で包絡）	支持脚への 衝突時	・貯蔵架台 への衝突	衝撃 ^{注6)} ，熱	荷重条件が最も厳 しいため，代表事象 を支持脚への衝突 時とする。

◎：解析を実施。 ○：既存評価又は他の評価事象で包絡

注1) 吊上げ荷重は横姿勢下方向 1.32G であり，自重を含む

注2) 縦姿勢下方向 1.3G であり，自重を含む。

注3) 運搬時荷重は上方向 2G，下方向 3G(自重を含む)，前後方向 2G，左右方向 1G である。

注4) 横姿勢下方向 3G であり，自重を含む。

注5) 衝撃荷重は縦姿勢下方向 2.33G であり，自重を含む。

注6) 衝撃荷重は縦姿勢下方向 2.5G であり，自重を含む。

5) 支持架台への衝突時の評価（設計事象Ⅱ）

以下に支持架台への衝突時の応力解析結果を示す。

① 計算条件

A. 解析事象

「支持架台の衝突時」

キャスクの支持架台への設置に作業員の誤操作によりクレーンの下降速度でトラニオンがトラニオン受台に着床する事象をいう。着床時の衝突荷重（加速度：自重を含む）は、「3.2 異常事象の評価」での評価に余裕をみて3Gとする。

B. 最高使用温度

各機器の最高使用圧力及び最高使用温度は添付資料-4「1.1 乾式キャスクの除熱機能(2) 輸送貯蔵兼用キャスク B（既設）」の解析結果に基づき、以下とする。

表 1.1-8 最高使用圧力及び最高使用温度

キャスク容器	最高使用圧力	1.0 MPa
	最高使用温度	150 °C
二次蓋	最高使用圧力	0.4 MPa
	最高使用温度	110 °C
バスケット	最高使用温度	260 °C
トラニオン	最高使用温度	130 °C

② 解析方法

A. 解析手順概要

a. キャスク容器及び二次蓋

キャスク容器の応力解析は、想定される圧力荷重，機械的荷重及び熱荷重を基に，キャスク容器の実形状をモデル化し，解析コードである ABAQUS を用いて行う。

なお，二次蓋についてもキャスク容器と同様に評価を行う。

b. バスケット

バスケットの応力解析は，想定される機械的荷重及び熱荷重を基に，応力評価式を用いて行う。

c. トラニオン

トラニオンの応力解析は，想定される機械的荷重及び熱荷重を基に応力評価式を用いて行う。

B. 応力評価式による応力評価

a. バスケット

(イ)一次一般膜応力

最大応力が発生するのはバスケットプレート端部である。鉛直方向加速度により発生する一次一般膜応力(σ_x)は、次式で計算する。

$$\sigma_x = \frac{m_A \cdot G_1}{A_1} \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 m_A : 評価対象バスケットプレートとこれに接する使用済燃料等の合計質量 (kg)

G_1 : 鉛直方向加速度 (G)

A_1 : バスケットプレートの断面積 (mm²)

(ロ)一次一般膜+一次曲げ応力

最大応力が発生するのはバスケットプレート格子端部である。鉛直方向加速度により発生する一次曲げ応力(σ_y)は、次式で計算する。

$$\left. \begin{aligned} \sigma_y &= \frac{M}{Z} \\ M &= \frac{m_B \cdot G_1 \cdot l_P}{12 \cdot \frac{l_w}{2}} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 M : バスケットプレート格子端部の単位幅当たりの曲げモーメント (N・mm/mm)

Z : バスケットプレートの単位幅当たりの断面係数 (mm³/mm)

m_B : 評価対象バスケットプレートとこれに接する伝熱プレート、使用済燃料等の合計質量 (kg)

l_P : バスケットプレート内のり (mm)

l_w : バスケットプレートのキャスク容器軸方向長さ (mm)

G_1 : 鉛直方向加速度 (G)

鉛直方向加速度により発生するバスケットプレートの格子端部に発生する平均せん断応力(τ_{xy})は次式で計算する。

$$\tau_{xy} = \frac{m_B \cdot G_1}{2 \cdot \frac{A_1}{2}} \dots\dots\dots (3)$$

ここで、 G_1 : 鉛直方向加速度 (G)

A_1 : バスケットプレートの断面積 (mm²)

(ハ)一次+二次応力

最大応力が発生するのはバスケットプレート格子端部である。支持架台への衝突により発生する一次+二次応力は(1)～(3)式で計算する。

(ニ)平均せん断応力

バスケットプレート格子端部に発生する平均せん断応力(σ_s)は(3)式で計算する。

(ホ)平均支圧応力

バスケットプレート端部に発生する平均支圧応力(σ_p)は(1)式で計算する。

(ヘ)圧縮応力

バスケットプレート端部に発生する圧縮応力(σ_c)は(1)式で計算する。

b. トラニオン

イ. 一次応力

(イ) せん断応力

最大応力が発生する箇所は図 1. 1-5(1)に示す下部トラニオンである。衝撃荷重により発生するせん断応力 (τ) は、次式で計算する。

$$\left. \begin{aligned} \tau &= \frac{F_m}{A} \\ F_m &= \frac{m}{4} \cdot G_2 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 F_m : 支持架台への衝突時においてトラニオンに作用する荷重 (N)
 m : 金属キャスクの質量 (kg)
 A : 評価点の断面積 (mm²)
 G_2 : 鉛直方向加速度 (G)

(ロ) 曲げ応力

最大応力が発生する箇所は図 1. 1-5(1)に示す下部トラニオンである。衝撃荷重により発生する曲げ応力 (σ_b) は、次式で計算する。

$$\left. \begin{aligned} \sigma_b &= \frac{M}{Z} \\ M &= F_m \cdot L \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 M : 曲げモーメント (N・mm)

- Z : 評価点の断面係数 (mm³)
- L : 評価点と荷重作用位置との距離 (mm)
- F_m : (1) 式と同じ

(ハ) 組合せ応力

最大応力が発生する箇所は図 1.1-5(1)に示す下部トラニオンである。
せん断応力 (τ) と曲げ応力 (σ_b) との組合せ応力 (σ_T) は、次式で計算する。

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

- ここで, τ : (1) 式と同じ
- σ_b : (2) 式と同じ
- ただし, Z : 評価点の断面係数 (mm³)
- L : 評価点と荷重作用位置との距離 (mm)

ロ. 一次+二次応力

キャスク容器の熱膨張による応力は無視できるので、トラニオンに発生する一次+二次応力は、イ.と同様である。

C. 解析結果

表 1.1-9 に支持架台への衝突時の主な応力評価結果を示す。
支持架台への衝突時において輸送貯蔵兼用キャスク B は金属キャスク構造規格に定められた許容応力を満足している。

表 1.1-9 支持架台の衝突時の応力評価結果
(単位 : MPa)

評価部位	部位	計算値	許容応力
キャスク容器	胴	34	366
	底板	38	366
	一次蓋	56	366
	一次蓋密封シール部	58	183
	一次蓋締付けボルト	336	831
二次蓋	二次蓋	34	474
	二次蓋密封シール部	37	183
	二次蓋締付けボルト	279	847
バスケット	バスケットプレート	12	219
トラニオン	トラニオン	133	394

6) 評価結果

5)に示したとおり、「支持架台への衝突時」(設計事象Ⅱ)において輸送貯蔵兼用キャスク B の各評価部位(キャスク容器, 二次蓋, バスケット, トラニオン)は金属キャスク構造規格に定められた許容応力を満足する。

従って, 表 1.1-7 に示す「支持架台の衝突時」で包絡する各設計事象は, いずれも輸送貯蔵兼用キャスクの構造強度の規定を満足し, 輸送貯蔵兼用キャスク B は, 本設備で要求される構造強度を有している。

(実施計画: Ⅱ-2-13-添 3-29~49)

具体的な設計

輸送貯蔵兼用キャスクは以下に示す通り、除熱、密封、遮蔽及び臨界防止の安全機能を有する設計とする。また、これらの安全機能を満たすため、輸送貯蔵兼用キャスクは、当該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。

1 除熱機能

崩壊熱を適切に除去することができること。

2 密封機能

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こと。

3 遮蔽機能

適切な遮蔽能力を有すること。

4 臨界防止機能

燃料体等が臨界に達するおそれがないものとする。

5 経年変化を考慮した材料・構造健全性

上記1～4に示す機能を満たすため、輸送貯蔵兼用キャスクは、当該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。

安全評価について（増設 30 基）

輸送貯蔵兼用キャスクの基本的安全機能において、措置を講ずべき事項を満たすにあたって適用する主な関連規則等及び設計要求事項は下記の通り。

○主な関連規則等

- ・ 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（以下，「設置許可基準規則」という）
- ・ 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の解釈
- ・ 使用済燃料貯蔵施設の位置，構造及び設備の基準に関する規則（以下，「貯蔵事業許可基準規則」という）
- ・ 使用済燃料貯蔵施設の位置，構造及び設備の基準に関する規則の解釈

○設計要求事項

1 除熱機能

崩壊熱を適切に除去することができること

- ・ 使用済燃料の温度を，燃料被覆管のクリープ破損及び機械的特性の低下を防止する観点から制限される値以下に維持できる設計であること。
- ・ 基本的安全機能を維持する観点から，輸送貯蔵兼用キャスクの温度を制限される値以下に維持できる設計であること。

2 密封機能

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こと。

- ・ 輸送貯蔵兼用キャスクは，設計貯蔵期間を通じて使用済燃料等を内封する空間を負圧に維持できる設計であること。
- ・ 輸送貯蔵兼用キャスクは，多重の閉じ込め構造を有する蓋部により使用済燃料等を内封する空間を容器外部から隔離できる設計であること。

3 遮蔽機能

適切な遮蔽能力を有すること。

- ・ 輸送貯蔵兼用キャスク表面の線量当量率が 1 時間当たり 2mSv 以下であり，かつ，輸送貯蔵兼用キャスク表面から 1m 離れた位置における線量当量率が 1 時間当たり 100 μ Sv 以下であること。

4 臨界防止機能

燃料体等が臨界に達するおそれがないものとする。

- ・キャスク仮保管設備における輸送貯蔵兼用キャスクは単体として、使用済燃料を収納した条件下で、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であること。
- ・輸送貯蔵兼用キャスク内部のバスケットが臨界防止機能の一部を構成する場合には、設計貯蔵期間を通じてバスケットの構造健全性が保たれる設計であること。
- ・臨界評価において、配置・形状、中性子吸収材の効果、減速材（水）の影響、燃焼度クレジットを含め、未臨界性に有意な影響を与える因子が考慮されていること。

5 経年変化を考慮した材料・構造健全性

上記1～4に示す機能を満たすため、輸送貯蔵兼用キャスクは、当該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。

- ・輸送貯蔵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して、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。

○安全評価

輸送貯蔵兼用キャスクの安全機能に求められる設計要求事項については、下記の図書で評価されている。

- ・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申請書（平成29年11月 日立GEニュークリア・エナジー株式会社）
- ・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申請書 本文及び添付資料の一部補正について（平成30年7月 日立GEニュークリア・エナジー株式会社）
- ・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申請書 本文及び添付資料の一部補正について（平成30年12月 日立GEニュークリア・エナジー株式会社）
- ・型式設計特定容器等の型式指定申請書（令和元年5月 日立GEニュークリア・エナジー株式会社）
- ・使用済燃料貯蔵施設に係る型式設計特定容器等の型式指定申請書本文及び添付書類の一部補正について（令和3年6月 日立GEニュークリア・エナジー株式会社）

また、型式証明申請書及び型式指定申請書（以下、「既存評価」という）では輸送貯蔵兼用キャスクの使用済燃料貯蔵施設における使用範囲をは以下の通り規定している。

金属キャスクの設計貯蔵期間	60 年以下
金属キャスクの貯蔵場所	貯蔵建屋内
金属キャスクの貯蔵姿勢	たて置き
金属キャスクの固定方式	下部トラニオン固定
金属キャスクの全質量（使用済燃料を含む。）	118.3t 以下
金属キャスクの主要寸法	全長約 5.4m 外径約 2.5m
金属キャスク表面における線量当量率	2mSv/h 以下
金属キャスク表面から 1m 離れた位置における線量当量率	100 μ Sv/h 以下
貯蔵区域における金属キャスク周囲温度	最低温度 -22.4℃ 最高温度 45℃
貯蔵区域における貯蔵建屋壁面温度	最高温度 65℃
貯蔵区域における地震力	水平方向 1.40G 鉛直方向 0.87G

なお、~~型式証明申請書及び型式指定申請書（以下、「既存評価」という）~~における評価対象設備とキャスク仮保管設備では保管姿勢が異なり、除熱については保管姿勢の違いにより評価への影響が生じる。また、輸送貯蔵兼用キャスクの収納可能燃料タイプの追加に伴い、既認可の輸送貯蔵兼用キャスクとは収納燃料配置が異なる。このため、輸送貯蔵兼用キャスクの除熱についてはキャスク仮保管設備に応じた保管姿勢による評価を別途行う。

1 除熱機能

(1) 基本的な考え方

除熱設計に当たっては、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が維持できるよう、以下の設計とすることで使用済燃料の崩壊熱を適切に除去する。

- ・使用済燃料の温度を、燃料被覆管のクリープ破損及び機械的特性の低下を防止する観点から制限される値以下に維持できる設計であること。
- ・基本的安全機能を維持する観点から、輸送貯蔵兼用キャスクの温度を制限される値以下に維持できる設計であること。

また、設計要求事項を満足するため、以下の配慮を行う。

- a) 輸送貯蔵兼用キャスク内部のバスケットは、熱伝導の優れた伝熱プレートの設置により必要な伝熱性能を確保する。
- b) 輸送貯蔵兼用キャスク内部には、熱伝導率の高いヘリウムガスを充てんする。
- c) 側部中性子遮蔽材には熱伝導の低いレジンを用いており、伝熱フィンを設けることにより必要な伝熱性能を確保する。

輸送貯蔵兼用キャスクの除熱解析フローを図1-1に示す。~~なお、輸送貯蔵兼用キャスク用コンクリートモジュールの除熱解析フローは乾式貯蔵キャスクと同様であるため、輸送貯蔵兼用キャスクの除熱解析フローのみを示す。~~

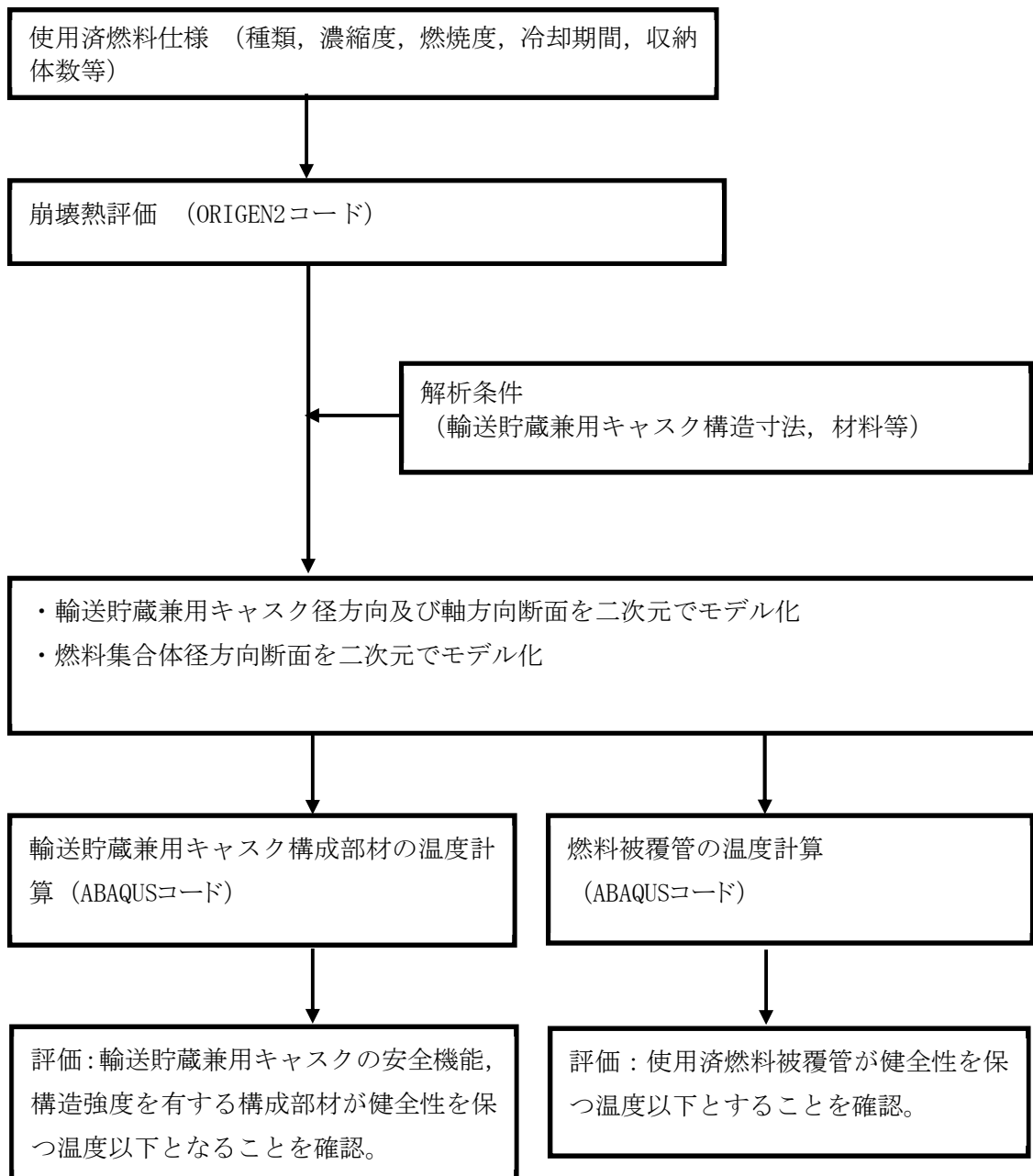


図 1-1 輸送貯蔵兼用キャスク 除熱評価解析フロー図

(2) 設計基準

設計基準を表 1-1 に示す。

表 1-1 設計基準

(単位：℃)

対象となる部材	材質	設計基準	設計基準温度	備考
燃料被覆管	ジルカロイ-2	使用済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なる温度とする	300 [※]	使用済燃料 (新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料, 高燃焼度 8×8 燃料)
			200	使用済燃料 (新型 8×8 燃料)
輸送貯蔵兼用キャスク B	レジン	中性子遮蔽材の性能が維持される制限温度	150	中性子遮蔽材
	炭素鋼	構造強度が維持される制限温度	350	密封容器
				二次蓋
	アルミニウム合金, ニッケル基合金	閉じ込め機能が維持される制限温度	130	金属ガスケット
ボロン添加ステンレス鋼	構造強度が維持される制限温度	300	バスケット	

※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を設計基準温度として設定したもので、燃料被覆管の周方向応力は設計基準温度状態で 70 MPa 以下とする。燃料被覆管の累積クリープ量が 1%を超えない初期温度は 360℃程度と評価され、上記設計基準温度を超えている。また、燃料被覆管の照射硬化の回復については機械的強度への影響を評価するものとする。

(3) 燃料仕様

輸送貯蔵兼用キャスク 1 基当たりの評価に用いる発熱量を表 1-2 に示す。使用済燃料の発熱量は ORIGEN2 コードにより求める。

表 1-2 輸送貯蔵兼用キャスク 1 基当たりの発熱量

使用済燃料の 収納配置条件		配置(i)		配置(ii)		配置(iii)
燃料集合体の種類		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 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
初期濃縮度 (wt%)		約2.9	約3.4	約2.9	約3.4	約2.9
収納物 の 燃焼度	平均燃焼度 (MWd/t)	34,000		40,000		29,000
冷却期間 (年)		18		22		28 ^{注2)}
収納体数 (体)		69		69		69
評価に用いる発熱量 (kW) ^{注3)}		15.3		15.3		10.4

~~注 1) 燃焼度 40,000MWd/t 時の冷却期間は 22 年、燃焼度 48,000MWd/t 時の冷却期間は 20 年である。~~

注 2) 新型 8×8 燃料の冷却期間が新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料及び高燃焼度 8×8 燃料の冷却期間に対して長期間であるのは、新型 8×8 燃料の燃料被覆管の設計基準温度が他の燃料タイプに比べて 200℃と低いためである。なお、燃料被覆管の設計基準温度については、平成 18 年度及び 19 年度に原子力安全基盤機構にて実施された貯蔵燃料長期健全性等確認試験において、照射硬化回復現象及び水素化物の再配向による燃料被覆管の機械的特性への影響を考慮して設定されており、ライナー無し燃料（新型 8×8 燃料）は 200℃、ライナー有り燃料（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）は 300℃が設計基準温度となる。

注 3) 輸送貯蔵兼用キャスクの最大発熱量は配置(i)で 12.1kW、配置(ii)で 13.8kW、配置(iii)で 8.4kw であるが、除熱設計では燃料集合体の軸方向の燃焼度分布を保守的に考慮した設計発熱量を用いる。

(4) 評価条件

輸送貯蔵兼用キャスクの除熱評価は以下の 3 種類の解析モデルを用いて行う。

- 軸方向断面モデル（輸送貯蔵兼用キャスク全体の二次元軸対称モデル）
- 半径方向断面モデル（胴中央部断面形状の二次元平面モデル）
- 燃料集合体断面モデル（燃料集合体の断面形状の二次元平面モデル）

上記解析モデルを図 1-2～4 に示す。また、評価条件を表 1-3 に示す。

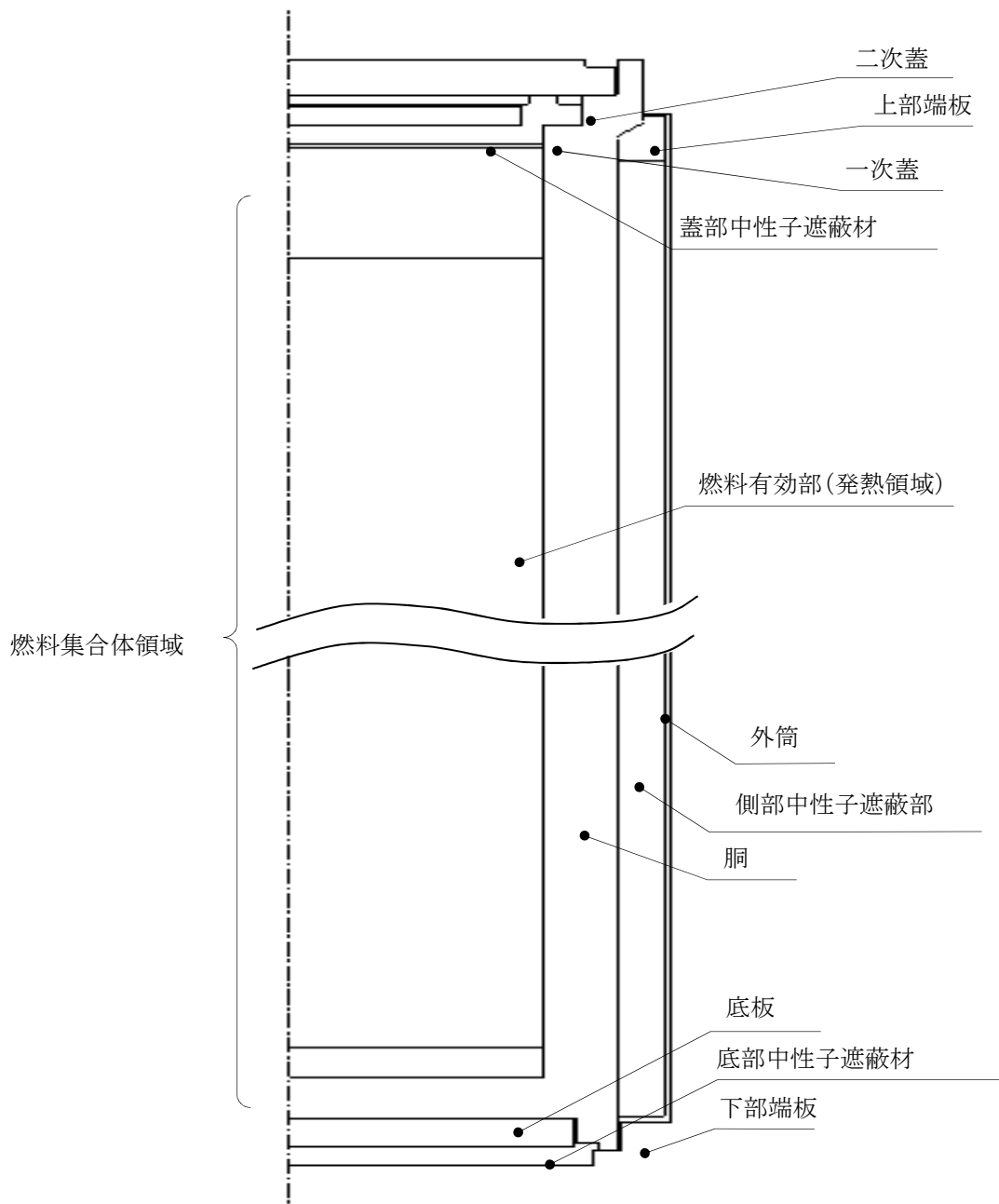


図 1 - 2 軸方向断面モデル

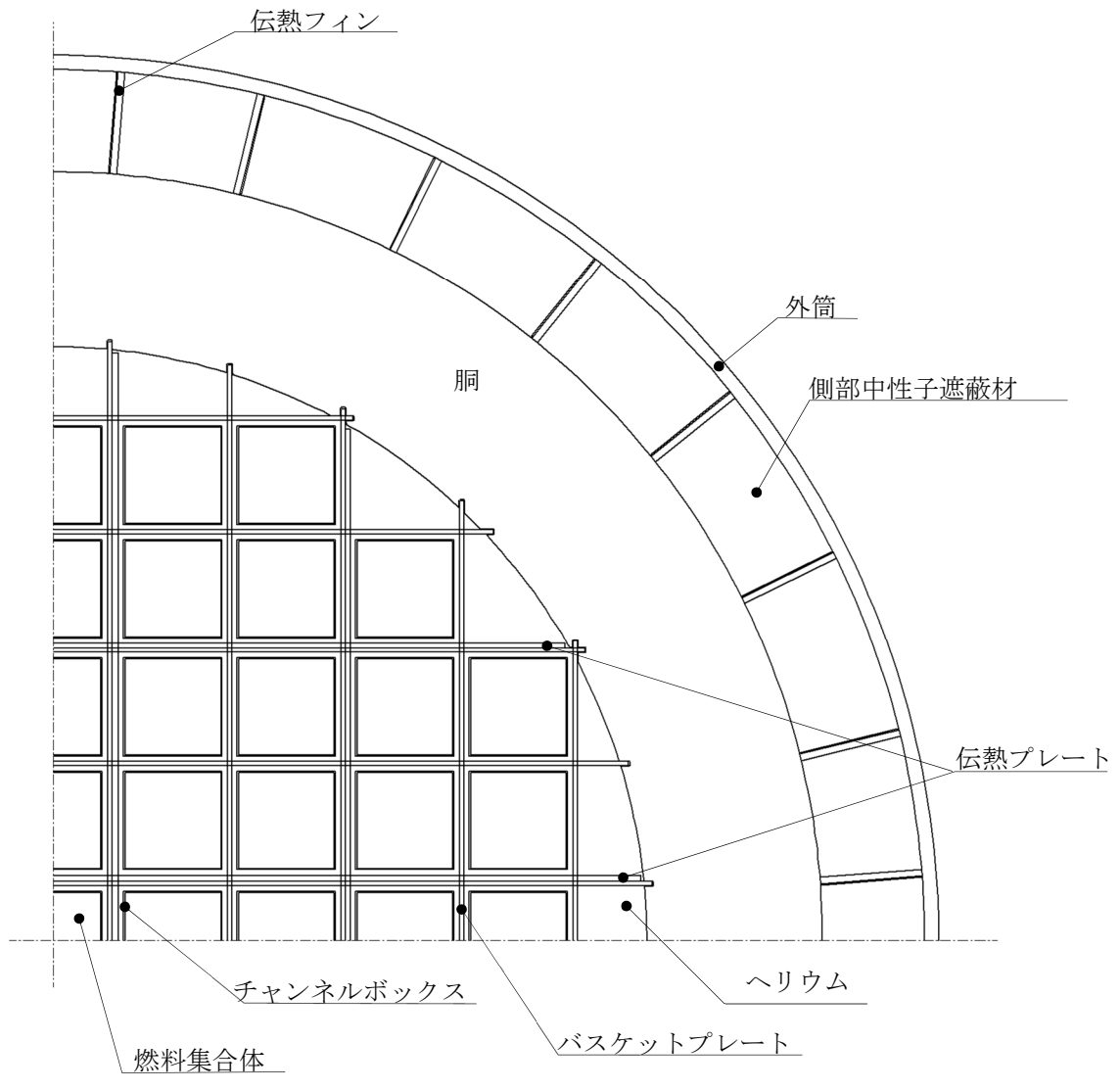
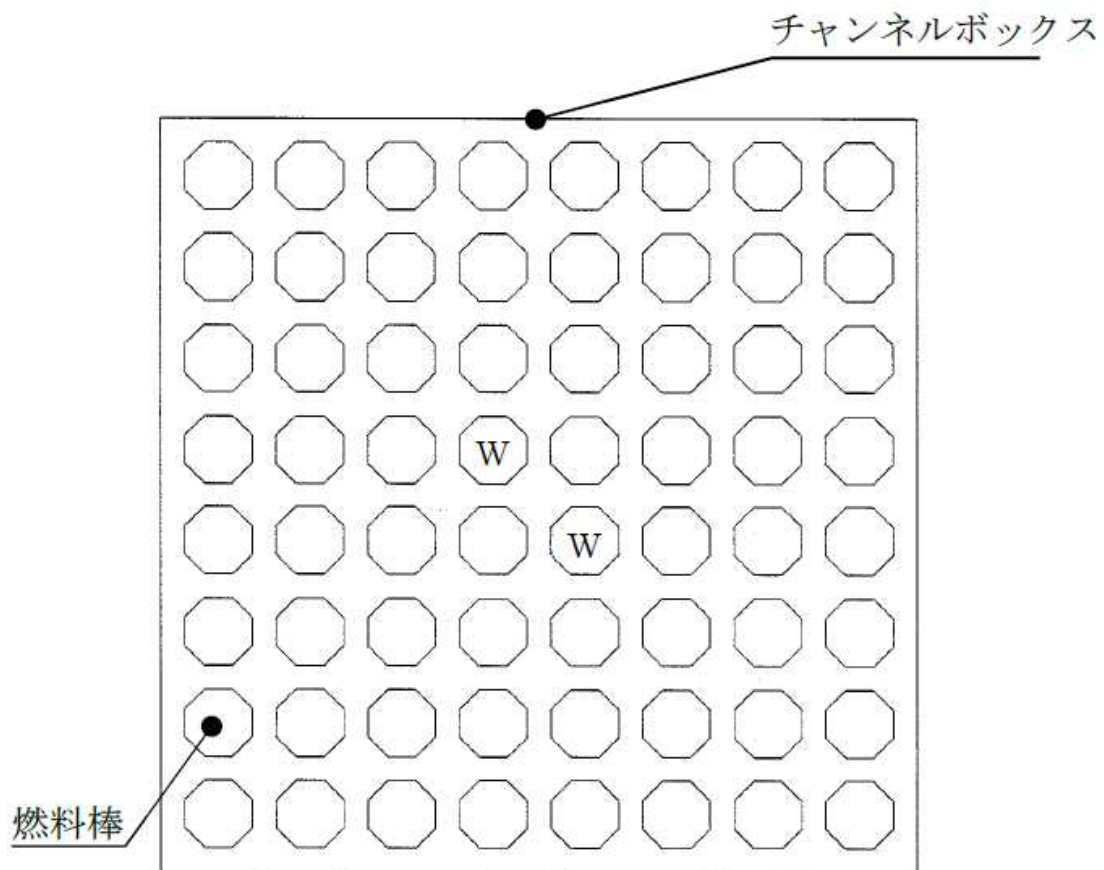
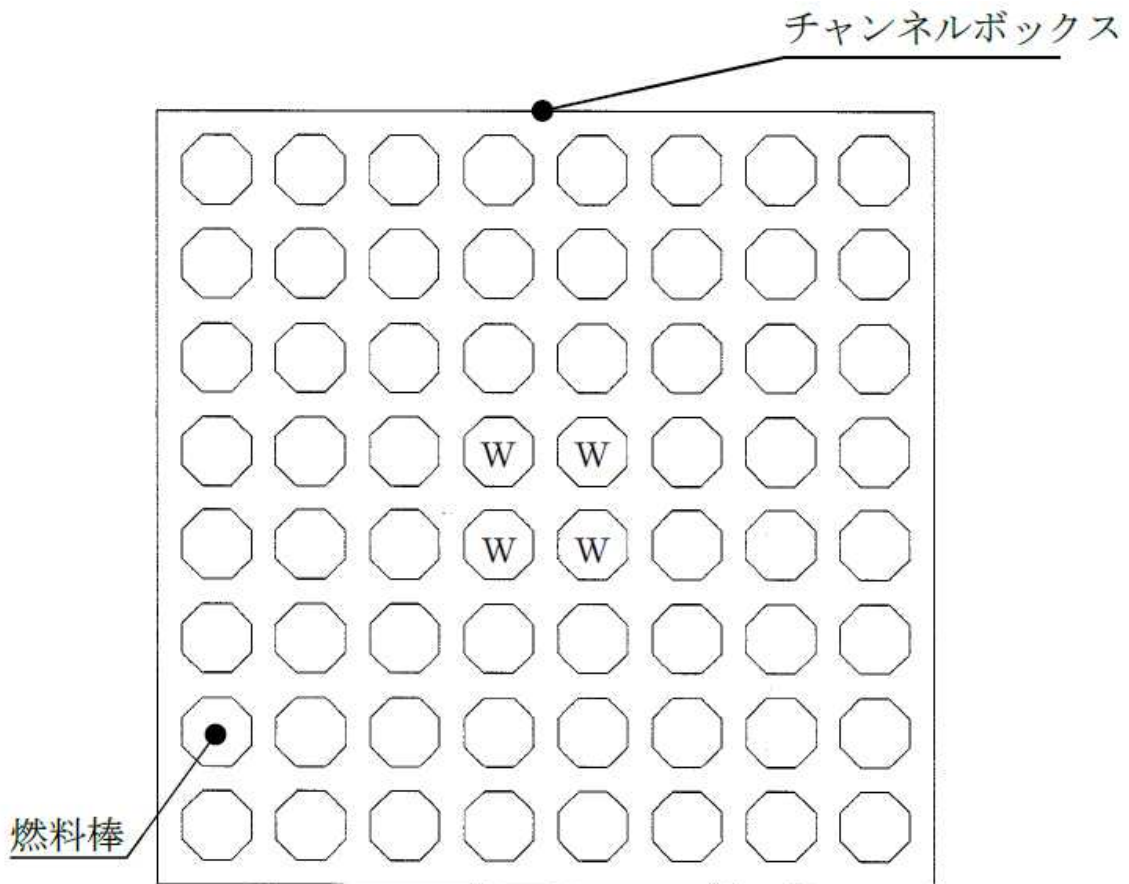


図 1 - 3 半径方向断面モデル



注) Wはウォーターロッドであり，発熱はない。

図1-4(1) 燃料集合体断面モデル
(新型8×8ジルコニウムライナ燃料，新型8×8燃料)



注) Wはウォーターロッドであり，発熱はない。

図1-4(2) 燃料集合体断面モデル
(高燃焼度8×8燃料)

表1-3 評価条件

項目	評価条件
収納体数 (体)	69
姿勢	横置き
発熱量 (kW)	15.3 ^{注1)} / 10.4 ^{注2)}
周囲温度 (°C)	空気：45 コンクリートモジュール内面：65

注1) 配置(i)及び配置(ii)

注2) 配置(iii)

(5) 評価方法

はじめに、輸送貯蔵兼用キャスク B 各部の温度分布を軸方向断面モデルにて求める。軸方向断面モデルでは、燃料集合体の軸方向発熱分布を考慮する。

次に、径方向断面モデルにて輸送貯蔵兼用キャスク B 中央断面各部の温度分布及びチャンネルボックスの最高温度を求める。径方向断面モデルでは、径方向の発熱分布を考慮して、燃料の配置制限に従い、中央に最高燃焼度燃料に対応した発熱量の燃料を配置し、当該断面の発熱量が設計発熱量の設定と等しくなるように外周には低い発熱量の燃料を配置する。また、径方向断面モデルでは、熱の軸方向移動による蓋板上面や底板下面からの放熱を模擬できないため、輸送貯蔵兼用キャスク B の温度分布が現実に比べて高めとなる。このため、軸方向断面モデルで得られた結果に基づいて軸方向への熱の移動を考慮する。

最後に、径方向断面モデルの熱解析から得られたチャンネルボックスの温度分布を境界温度として燃料集合体断面モデルによる熱解析を実施し、燃料被覆管の温度分布を求める。解析は ABAQUS コードを用いる。

(6) 評価結果

評価結果を表 1-4 に示す。本表に示すとおり、使用済燃料の健全性を示す燃料被覆管の温度及び輸送貯蔵兼用キャスク B を構成する各部材はいずれの配置でも設計基準温度を下回っており、熱的健全性は維持される。

表 1-4 評価結果

(単位：℃)

部材	評価結果			設計基準 温度	備考
	配置(i)	配置(ii)	配置(iii)		
燃料被覆管	249 注1)注2)	252 注1)注3)	190 注4)注5)	300 注16)	使用済燃料
				200 注27)	
レジン	117	117	99	150	中性子遮蔽材
炭素鋼	123	123	104	350	密封容器
	83	83	76		二次蓋
アルミニウム合金, ニッケル基合金	86	87	78	130	金属ガスケット
ボロン添加 ステンレス鋼	238	241	182	300	バスケット

注1) 構造強度評価及び異常事象の評価における最大評価加速度 3G が燃料被覆管にかかる場合、燃料被覆管にかかる応力は 55MPa となる。既存評価書において 260℃における照射後の降伏応力 568MPa¹⁾に燃料被覆管の照射硬化回復式²⁾を保守的に考慮した降伏応力は 313MPa と

評価されており、照射硬化回復を考慮しても、燃料被覆管にかかる応力は降伏応力を超えることはない。

注 2) 運用期間中に燃料被覆管温度が最も高くなる真空乾燥時での燃料被覆管温度は 249℃である。また、この状態の燃料被覆管周方向応力は 52MPa であり、燃料被覆管温度及び周方向応力ともに設計基準を満たしている。

注 3) 配置 (i) に対して 3℃の温度変化であることから、配置 (ii) における真空乾燥時の燃料被覆管の温度変化も同程度であり、燃料被覆管温度及び周方向応力ともに設計基準を超えることはない。

注 4) 構造強度評価及び異常事象の評価における最大評価加速度 3G が燃料被覆管にかかる場合、燃料被覆管にかかる応力は 43MPa となる。既存評価書において 190℃における照射後の降伏応力 601MPa¹⁾に燃料被覆管の照射硬化回復式²⁾を保守的に考慮した降伏応力は 358MPa と評価されており、照射硬化回復を考慮しても、燃料被覆管にかかる応力は降伏応力を超えることはない。

注 5) 真空乾燥時での燃料被覆管温度は 187℃である。また、この状態の燃料被覆管周方向応力は 41MPa であり、燃料被覆管温度及び周方向応力ともに設計基準を満たしている。

1) : (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) : (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)

注 16) 配置 (i) 及び配置 (ii)

注 27) 配置 (iii)

除熱機能評価における既存評価との比較について

除熱機能評価における評価項目及び評価項目に対する既存評価と 1F 使用条件を表 1 に示す。

表 1 より 1F 使用条件は既存評価と同一または既存評価に包絡しており，既存評価はより保守的な評価である。

表1 既存評価と 1F 使用条件の評価項目に対する比較

項目		既存評価	1F 使用条件	
仕様	使用済燃料	燃料型式	・BJ, STEP II, RJ	
		濃縮度	・BJ:2.88, STEP II :3.35, RJ:2.88	
		燃焼度	・燃料型式及び燃料配置ごとに規定されている	
		冷却期間		
		収納体数	・69 体 ^{※1}	
崩壊熱評価		・燃焼計算コード ORIGEN2 [※]	—	
解析条件	キャスク仕様	構造	・HDP-69B (B) 型	・HDP-69B 型 ・既存評価の認可キャスク (HDP-69B (B) 型) と同一仕様
		材料		
		使用済燃料配置		
	貯蔵施設境界条件	周囲温度	・45°C ^{※1※2}	・同左
		壁面温度	・65°C ^{※1※3}	・同左
キャスク配列		・縦置き ・周囲のキャスク影響を考慮した形態係数 0.232 ^{※4} を設定	・横置き ・周囲の影響がないため形態係数 1 ^{※4} を設定 (既存評価よりも熱が逃げやすい条件設定)	
解析モデル	キャスク		・全体モデル (軸方向断面モデル) ^{※1}	・同左
			・輪切りモデル (径方向輪切りモデル) ^{※1}	・同左
	燃料被覆管		・燃料集合体モデル ^{※1}	・同左
伝熱解析		・伝熱解析コード ABAQUS ^{※1}	—	

※1 : 既設評価と同一

※2 : 貯蔵建屋 (又はコンクリートモジュール) 内の除熱評価より設定された制限温度であり, キャスクからの熱伝達評価に使用する入力値。

※3 : 「発電用原子力設備規格 コンクリート製原子炉格納容器規格(JSME S NE1-2003)」で規定されるコンクリートの制限温度であり, キャスクと建屋 (又はコンクリートモジュール) との放射伝熱評価に使用する入力値。

※4 : 既存評価では対象キャスクの輻射熱は貯蔵建屋壁面 (天井, 床面) 及び隣接キャスクへ伝

~~達する。ここで、隣接キャスクは対象キャスクと同一温度であることから熱の伝達がないものとみなすことができるため貯蔵建屋壁面（天井、床面）の形態係数は1より小さくなる。一方、キャスク仮保管設備では対象キャスクの輻射熱はすべてコンクリートモジュール壁面（天井、床面、側壁）が受けるため形態係数は1と設定できる。~~

- ※4：既存評価では対象キャスクの輻射熱は貯蔵建屋壁面（天井、床面）及び隣接キャスクへ伝達し、貯蔵建屋側壁への伝達は考慮されていない。そのため、対象キャスク表面から貯蔵建屋への形態係数は、キャスク側面から貯蔵建屋の天井及び床面への形態係数として 0.232 と求められる。一方、キャスク仮保管設備では対象キャスクの輻射熱はすべてコンクリートモジュール壁面（天井、床面、側壁）に伝達する。そのため、対象キャスク表面から貯蔵建屋への形態係数は、対象キャスク側面から貯蔵建屋の天井、床面及び側壁への形態係数として 1 と求められる。

除熱解析に用いるコード (ORIGEN2) について

(1) 概要

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

(2) 機能

ORIGEN2 コードは、燃焼解析に際して以下の機能を有している。

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

(3) 計算フロー

ORIGEN2 コードの計算フローを図 2-1 に示す。

(4) 使用実績

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

(5) 検証方法

汎用コードの導入評価¹⁾ が実施されていることが確認されている。

大型実験/ベンチマーク試験による検証²⁾ が実施されていることが確認されている。

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

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

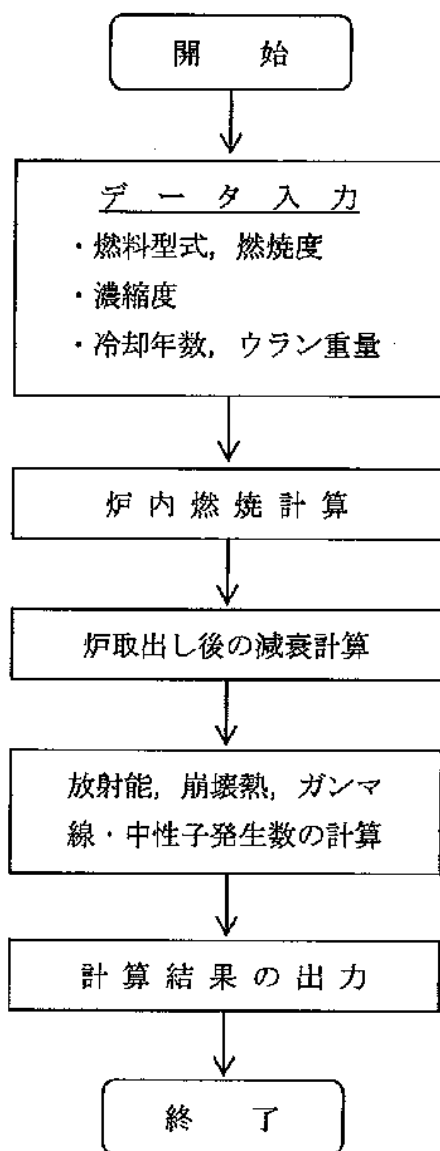


図-2-1 ORIGEN2 コードの計算フロー図

除熱解析に用いるコード (ABAQUS) について

(1) 概要

ABAQUS コードは、米国 Hibbitt, Karlsson & Sorensen, Inc. (HKS 社) で開発された有限要素法に基づく伝熱解析等の汎用解析コードであり、輸送キャスクの伝熱解析などに広く利用されている。

(2) 機能

ABAQUS コードは、伝熱解析に際して以下の機能を有している。

- ① 定常、非定常のいずれの解も得ることができる。
- ② 一次元～三次元の任意形状の構造に対して解くことが可能である。
- ③ 初期条件 (温度) は要素ごとに変化させることができ、計算ステップの自動決定も可能である。
- ④ 境界条件として、時間に依存する熱流束、温度、伝導、対流及びふく射が考慮できる。
- ⑤ 構成物質の相変態が考慮できる。

(3) 解析フロー

ABAQUS コードの解析フローを図 3-2 に示す。

(4) 使用実績

ABAQUS コードは、多くの伝熱解析に使用された実績がある。

(5) 検証方法

貯蔵キャスクの定常伝熱試験に対して ABAQUS による解析結果と試験結果を比較・検討し、本コードの妥当性が検証されている¹⁾。

1) 山川秀次, 五味義雄, 尾崎幸男, 尾崎明朗「使用済燃料キャスク貯蔵技術の確立—キャスクの伝熱特性評価—」, 電中研報告書, U92038, (1993)

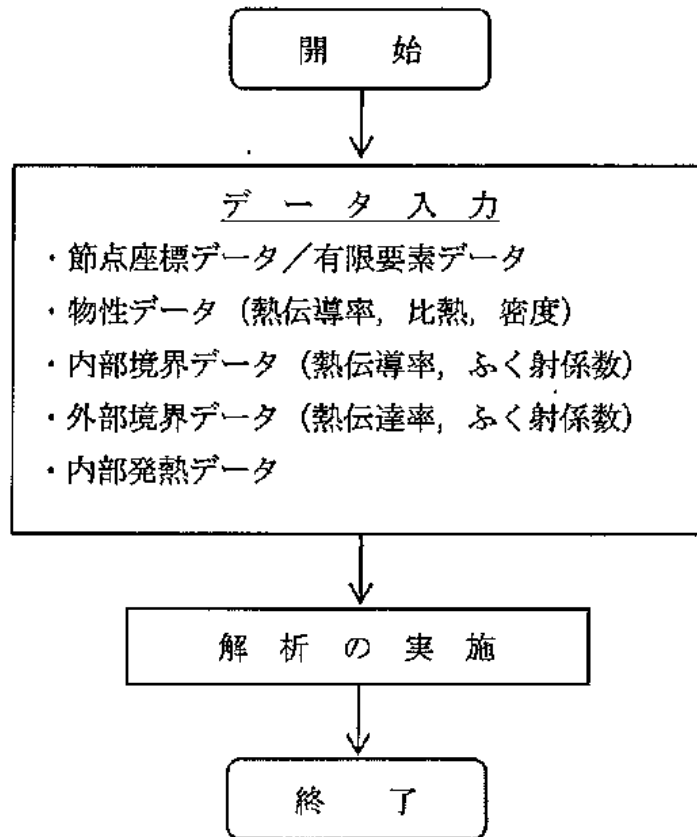


図 3-2 ABAQUS コードの解析フロー図

~~(実施計画：II-2-13-添4-12~15)~~

2 密封機能

(1) 基本的な考え方

周辺公衆及び放射線業務従事者に対し、放射線被ばく上の影響を及ぼすことのないよう、以下の設計とすることで使用済燃料に内包する放射性物質を適切に閉じ込める。

- a. 輸送貯蔵兼用キャスクは、設計貯蔵期間を通じて使用済燃料等を内封する空間を負圧に維持できる設計であること。
- b. 輸送貯蔵兼用キャスクは、多重の閉じ込め構造を有する蓋部により使用済燃料等を内封する空間を容器外部から隔離できる設計であること。

(2) 評価内容

既存評価~~(別紙)~~により評価されているため、既存評価のうち型式指定(別紙-2)を適用する。(以下、別紙-2 P182～P210 から抜粋、一部追記)

~~a. 及び b. については別紙-1「本文 P2, 別添 1 添付書類- P1-4」及び別紙-2「本文 P3, 添付書類 4」を参照。~~

1. 設計方針

HDP-69B(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、本型式設計特定容器等を使用することができる使用済燃料貯蔵施設の範囲である金属キャスクの設計貯蔵期間 60 年を評価条件として、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。HDP-69B(B)型は、一次蓋及び二次蓋による二重の閉じ込め構造とし、一次蓋、二次蓋及び一次蓋貫通孔シール部には、使用済燃料を収納する空間を負圧に維持するための性能を有する金属ガスケットを用いる。なお、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金属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。

また、本型式設計特定容器等を使用することができる使用済燃料貯蔵施設の範囲から、以下の項目を、HDP-69B(B)型の閉じ込め評価の条件とする。

- ・金属キャスクの設計貯蔵期間：60 年以下

2. HDP-69B(B)型の閉じ込め設計

2.1 閉じ込め機能に関する構造

HDP-69B(B)型の閉じ込め構造を図 2-1 (別紙-2 P190 参照)に、シール部詳細を図 2-2 (別紙-2 P191 参照)に、金属ガスケット構造(ばね入りメタルCリング、眼鏡型)を図 2-3 (別紙-2 P192 参照)に示す。

HDP-69B(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、以下の配慮を行う。

- a. HDP-69B(B)型は、金属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

金属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。

- b. HDP-69B(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、放射性物質を金属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（ベント及びドレン用）のシール部を一次蓋に設ける。
- c. 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。なお、設計貯蔵期間を通じて金属ガスケットが使用済燃料を収納する空間を負圧に維持するための性能を有していることを確認できるように、蓋及び蓋貫通孔のシール部にリークチェック孔を設ける。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ための圧力センサを取り付けることができる貫通孔を二次蓋に設けることにより閉じ込め機能を監視する。
- d. 一次蓋と二次蓋から成る閉じ込め機能が喪失した場合であっても、三次蓋を取り付けて輸送できる設計とする。

2.2 閉じ込め評価

金属キャスクの閉じ込め評価フローを図 2-4（別紙-2 P193 参照）に示す。HDP-69B(B)型の閉じ込め評価においては、以下の考え方に基づき評価する。

- a. 閉じ込め評価では、設計貯蔵期間（60年）にわたって金属キャスク本体内部圧力が負圧を維持できる漏えい率（以下「基準漏えい率 Q_s 」という。）を求める。具体的な評価方法を別紙1（別紙-2 P197～P207 参照）に示す。
- b. 基準漏えい率 Q_s を求めるに当たっては、蓋間圧力は一定とし、蓋間空間のガスは金属キャスク本体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。大気圧は、気象変化による圧力変動を考慮した値⁽¹⁾として 9.7×10^4 Pa とする。また、収納された使用済燃料の破損により発生したガスによる圧力上昇を考慮する。なお、使用済燃料の破損率は、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%）⁽¹⁾⁽²⁾、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）⁽¹⁾を考慮し、保守的な値として 0.1%とする。
- c. 設計貯蔵期間後の金属キャスク本体内部の圧力は、蓋間圧力と金属キャスク本体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金属キャスク本体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。ここで、漏えい率は、シールされる流体、シール部及び金属キャスク本体内部の温度、

シール部の上流側と下流側の圧力等に依存する。

- d. 使用する金属ガスケットが設計貯蔵期間を通じて確保可能な漏えい率（以下「金属ガスケットの設計漏えい率 Q_n 」という。）は HDP-69B(B) 型の閉じ込め評価の基準となる基準漏えい率 Q_s を満足できるものでなければならない。
- e. なお、貯蔵開始前の気密漏えい検査で確認される漏えい率の判定基準（以下「リークテスト判定基準 Q_t 」という。）は、基準漏えい率 Q_s を下回るように設定する。

2.3 閉じ込め評価結果

使用環境を考慮して評価した結果、HDP-69B(B) 型の基準漏えい率 Q_s は 2.4×10^{-6} Pa \cdot m³/s となる。評価の詳細を別紙 1（別紙-2 P197～P207 参照）に示す。

次に、金属ガスケットの性能は、金属キャスクのシール部が比較的高温下にあるため、長期貯蔵中のクリープによる応力緩和を考慮した上で評価する必要がある。応力緩和による漏えい率への影響については、ラーソン・ミラー・パラメータ（以下「LMP」という。）の考え方をを用いて評価する。ここで、（一財）電力中央研究所で実施された長期密封性能試験結果においては LMP の定数 C を 20⁽³⁾ 又は 16⁽⁴⁾ とした場合が報告されている。一方、原子力安全基盤機構における金属ガスケットの密封性能試験等では LMP の定数 C を 14⁽⁵⁾ とした場合が報告されている。LMP と漏えい率の関係は定数 C が 20 の場合は図 2-5⁽³⁾（別紙-2 P194 参照）に、14 の場合は図 2-6⁽⁶⁾（別紙-2 P195 参照）に示すとおり整理されている。ここで LMP の定数 C を 20 及び 14 とした場合に対し、それぞれの金属ガスケットの LMP が約 11×10^3 及び 8.0×10^3 を超えないように設計すれば、応力緩和を考慮しても初期の漏えい率が維持され、設計貯蔵期間を通じて 10^{-10} Pa \cdot m³/s 以下を確保できることが示されている。

HDP-69B(B) 型の除熱評価の結果から、金属ガスケット部の温度は 100℃ 以下である。この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 9.6×10^3 、 $C=14$ の場合は約 7.4×10^3 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。また、図 2-5（別紙-2 P194 参照）及び図 2-6（別紙-2 P195 参照）の LMP 計算式に示すとおり LMP の算出において定数 C に関しては単調増加し、 $C=16$ の場合は $C=14$ と $C=20$ に包絡される。

また、図 2-7（別紙-2 P196 参照）に示す（一財）電力中央研究所で実施された実規模の金属キャスクの蓋部モデルによる長期密封性能試験結果において、試験開始から 19 年以上（平成 2 年 10 月から平成 22 年 1 月）が経過した二次蓋閉じ込め部の漏えい率に変化はなく、金属ガスケットは試験開始時と同等の閉じ込め性能を保持することが確認されている⁽⁷⁾。なお、（一財）電力中央研究所の長期密封性能試験結果を適用することの妥当性は別紙 2（別紙-2 P208～P210 参照）に示すとおりである。

さらに、日本原子力発電株式会社東海第二発電所で行われた乾式貯蔵容器の調査において、約7年間経過した金属ガスケットの一次蓋シール部の漏えい率は、貯蔵初期と同程度（約 10^{-10} Pa・m³/s）に維持されているとの知見が得られている⁽⁸⁾。

以上より、HDP-69B(B)型で使用する金属ガスケットの設計漏えい率 Q_n は、使用環境を考慮しても基準漏えい率 Q_s （ 2.4×10^{-6} Pa・m³/s）を満足する。

密封機能評価における既存評価との比較について

密封機能評価における評価項目及び評価項目に対する既存評価と 1F 使用条件を表 1 に示す。

表 1 より 1F 使用条件は既存評価と同一または既存評価に包絡しており，既存評価はより保守的な評価である。

表 1 既存評価と 1F 使用条件の評価項目に対する比較

項目		既存評価	1F 使用条件	
評価 条件	設計貯蔵期間	・ 60 年 ^{※1}	・ 50 年 ^{※2}	
	キャスク 本体内部 初期温度	キャスク内部 代表温度 (最高温度)	・ 262℃ (除熱解析結果)	・ 252℃ (除熱解析結果)
		シール部 代表温度 (最低温度)	・ -22.4℃ ^{※1}	・ -4.5℃ ^{※3}
	圧力	キャスク内部	・ 8.0×10^4 Pa abs (初期) ^{※1}	・ 同左
		蓋間空間	・ 4.1×10^5 Pa abs (初期) ^{※1}	・ 同左
		大気圧	・ 9.7×10^4 Pa abs ^{※1}	・ 同左
	キャスク本体内部空間容積	・ 約 6m^3 ^{※1}	・ 同左	
	内部流体	・ ヘリウム ^{※1}	・ 同左	
漏えい率計算		・ ボイル・シャルルの法則 ^{※1} ・ クヌッセンの式 ^{※1}	—	
基準漏えい率 Q_s		・ 2.4×10^{-6} Pa · m ³ /s ^{※1}	—	
リークテスト判定基準 Q_t		・ 1.6×10^{-6} Pa · m ³ /s ^{※1}	—	

※ 1 : 既設評価と同一

※ 2 : 実施計画では設計貯蔵期間を 50 年としているが，設計承認書や既存評価では 60 年で評価されている

※ 3 : 小名浜特別地域気象観測所で観測された 2007 年 12 月～2012 年 2 月の冬季(12 月～2 月)毎正時観測データにおける累積出現率が 99%以上となる温度

3 遮蔽機能

(1) 基本的な考え方

遮蔽設計に当たっては、周辺公衆及び放射線業務従事者に対し、放射線被ばく上影響を及ぼすことのないよう、以下の設計とすることで使用済燃料の放射線を適切に遮蔽する。

- a. 輸送貯蔵兼用キャスク表面の線量当量率が1時間当たり2mSv以下であり、かつ、輸送貯蔵兼用キャスク表面から1m離れた位置における線量当量率が1時間当たり100 μ Sv以下であること。

(2) 評価内容

既存評価~~(別紙)~~により評価されているため、既存評価のうち型式指定(別紙-2)を適用する。(以下、別紙-2 P115~P181から抜粋、一部追記)

~~a. 及びb. については別紙-1「別添1 添付書類1 P1-3」及び別紙-2「本文 P5、添付書類3」を参照。~~

1. 設計方針

HDP-69B(B)型を用いる使用済燃料貯蔵施設は、遮蔽機能を確保するために「使用済燃料貯蔵施設の技術基準に関する規則」(令和2年3月17日 原子力規制委員会規則第8号)(以下「技術基準規則」という。)に示されている以下の要求事項を満足するように設計される。

- ・使用済燃料貯蔵施設は、当該使用済燃料貯蔵施設からの直接線及びスカイシャイン線による事業所周辺の線量が原子力規制委員会の定める線量限度を十分下回るように設置されたものでなければならない。
- ・事業所内における外部放射線による放射線障害を防止する必要がある場所には、放射線障害を防止するために必要な遮蔽能力を有する遮蔽設備が設けられていなければならない。この場合において、当該遮蔽設備に開口部又は配管その他の貫通部がある場合であって放射線障害を防止するために必要がある場合には、放射線の漏えいを防止するための措置が講じられたものでなければならない。

上記のとおり、HDP-69B(B)型は一般公衆、放射線業務従事者等に対して放射線被ばく上の影響を及ぼすことのないよう遮蔽することが要求されており、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している。

また、HDP-69B(B)型は、事業所外運搬に使用する輸送容器の機能を持つ金属製の乾式キャスクであるため、「核燃料物質等の工場又は事業所の外における運搬に関する規則」(昭和53年12月28日 総理府令第57号)(以下「外運搬規則」という。)に示されている要求事項を踏まえ、本型式設計特定容器等を使用することができる使用済燃料貯蔵施設の範囲から、以下の項目を遮蔽設計の条件とする。

- ・表面における最大線量当量率が 2mSv/h を超えないこと。
- ・表面から 1m 離れた位置における最大線量当量率が 100 μ Sv/h を超えないこと。

2. 遮蔽設計

(1) 遮蔽構造

HDP-69B(B)型の主要部位の構成部材を表 2-1 (別紙-2 P127 参照) に示す。

HDP-69B(B)型は、以下の遮蔽構造を有する設計としている。

- ガンマ線遮蔽と中性子遮蔽の機能を有する。
- ガンマ線遮蔽材は、金属キャスク本体(胴及び外筒)、蓋部の炭素鋼等で構成する。
- 中性子遮蔽材は、水素を多く含有する樹脂(以下「レジン」という。)で構成する。

(2) 遮蔽解析

遮蔽解析においては、以下に示すとおり線源条件を設定し、金属キャスクの表面及び表面から 1m 離れた位置における線量当量率を求め、それぞれ 2mSv/h 以下及び 100 μ Sv/h 以下となることを確認する。

遮蔽解析フローを図 2-1 (別紙-2 P121 参照) に示す。解析条件は、別紙 1 (別紙-2 P135~P147 参照) に示す。

a. 線源条件

使用済燃料の線源強度計算条件を表 2-2 (別紙-2 P128 参照)、収納配置条件を図 2-2-1 から図 2-2-3 (別紙-2 P122~P124 参照) に示す。使用済燃料の線源強度は、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 を使用して求める。また、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。別紙 2 (別紙-2 P148~P151) 参照。)を考慮する。

使用済燃料の構造材については、照射期間、中性子束、冷却期間等を条件に放射化計算式を用いて線源強度を求める。使用済燃料の線源強度計算方法を表 2-3 (別紙-2 P130 参照) に、表 2-3 (別紙-2 P135~P147 参照) の計算方法で評価した金属キャスク 1 基当たりの線源強度を表 2-4 (別紙-2 P131 参照) に示す。

なお、後述の「b. 線量当量率評価方法」では、線源強度評価の結果(表 2-4 (別紙-2 P131) 参照)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)を対象として評価を実施する。

b. 線量当量率評価方法

HDP-69B(B)型の線量当量率は、HDP-69B(B)型の実形状を軸方向断面で二次元でモデル化し、「a. 線源条件」に示した線源強度に基づき、二次元輸送計算コード DOT3.5(DLC-23/CASK ライブラリ)を使用して求める。

線量当量率の評価位置である金属キャスク表面から 1m の位置までの評価にはレイエフェクトを平準化するため DOT3.5 の補助コードである SPACETRAN-IIIを用いる。

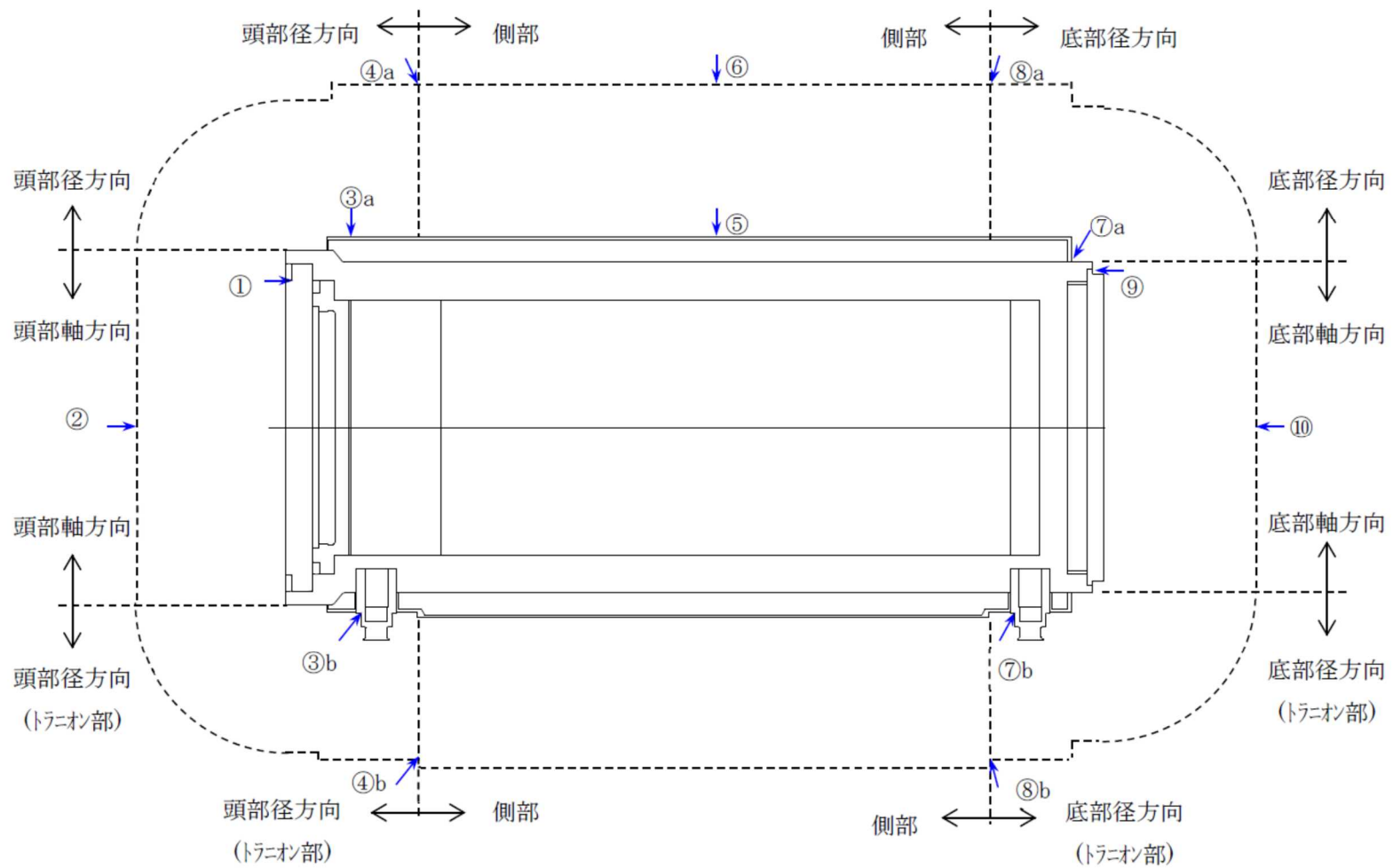
HDP-69B(B)型のモデル化の概要を図 2-3 (別紙-2 P125 参照) に示す。また、遮蔽解析の保守性を表 2-5 (別紙-2 P132 参照) に、解析における不確かさの考慮を表 2-6 (別紙-2 P132 参照) に示す。

(3) 遮蔽解析結果

配置(i), (ii)それぞれについて、金属キャスク表面及び表面から 1m 離れた位置における線量当量率を表 2-7-1 及び表 2-7-2 に、評価方向ごとの最大線量当量率を与える位置を図 2-4 に示す。評価方向ごとの最大線量当量率を与える位置は、配置(i), (ii)ともに同じ位置である。

遮蔽解析結果から金属キャスク表面及び表面から 1m 離れた位置における線量当量率は、それぞれ 2mSv/h 及び 100 μ Sv/h 以下となることを確認した。

各評価方向における線量当量率の分布図は別紙 3 (別紙-2 P152~P164 参照) に示す。



注記*1：①～⑩は評価方向ごとの最大線量当量率位置を示しており，評価結果を表 2-7-1 及び表 2-7-2 に示す。

図 2-4 線量当量率評価位置(配置 (i), (ii))

表 2-7-1 線量当量率評価結果（配置（i））

（単位：μSv/h）

評価点			頭部			側部中央	底部		
			軸方向	径方向	径方向		径方向	径方向	軸方向
			①	③a	③b	⑤	⑦a	⑦b	⑨
表面	ガンマ線	燃料有効部	0.1	0.5	0.5	95.8	1.3	24.2	3.0
		構造材放射化	4.9	132.5	110.4	< 0.1* ¹	12.8	63.2	19.1
		二次ガンマ線	0.7	2.0	2.1	26.9	4.6	7.8	2.3
	中性子		188.2	253.9	505.2	72.7	706.9	1012.5	265.9
	合計		193.9	388.9	618.2	195.5	725.6	<u>1107.7</u> * ²	290.3
評価点			②	④a	④b	⑥	⑧a	⑧b	⑩
表面から 1m	ガンマ線	燃料有効部	0.5	12.9	12.9	40.5	21.2	21.2	3.9
		構造材放射化	45.6	24.0	24.0	0.7	8.1	8.1	59.3
		二次ガンマ線	0.2	3.1	3.1	10.5	5.3	5.3	0.9
	中性子		28.7	17.3	20.9	26.2	13.4	24.5	16.2
	合計		75.0	57.3	60.9	77.9	48.0	59.1	<u>80.3</u> * ²

注記*1：“<0.1”の値は，“0.1”として合計値に合算した。

*2：下線で示す値は，表面及び表面から 1m 離れた位置における線量当量率の最大値である。

表 2-7-2 線量当量率評価結果（配置（ii））

（単位：μSv/h）

評価点			頭部			側部中央	底部		
			軸方向	径方向	径方向		径方向	径方向	軸方向
			①	③a	③b	⑤	⑦a	⑦b	⑨
表面	ガンマ線	燃料有効部	0.1	0.4	0.4	80.9	0.7	14.4	1.7
		構造材放射化	3.7	100.1	83.5	< 0.1*1	8.7	43.4	13.0
		二次ガンマ線	0.8	2.5	2.6	29.4	3.9	6.7	1.9
	中性子		230.2	313.2	626.2	81.7	587.3	859.4	221.0
	合計		234.8	416.2	712.7	192.1	600.6	<u>923.9</u> *2	237.6
評価点			②	④a	④b	⑥	⑧a	⑧b	⑩
表面から 1m	ガンマ線	燃料有効部	0.3	11.4	11.4	33.1	16.5	16.5	2.1
		構造材放射化	38.4	18.5	18.5	1.5	5.6	5.6	48.1
		二次ガンマ線	0.2	3.9	3.9	10.9	5.1	5.1	0.7
	中性子		34.6	21.2	25.7	28.7	12.5	22.0	13.0
	合計		73.5	55.0	59.5	<u>74.2</u> *2	39.7	49.2	63.9

注記*1：“<0.1”の値は，“0.1”として合計値に合算した。

*2：下線で示す値は，表面及び表面から 1m 離れた位置における線量当量率の最大値である。

遮蔽機能評価における既存評価との比較について

遮蔽機能評価における評価項目及び評価項目に対する既存評価と 1F 使用条件を表 1 に示す。

表 1 より 1F 使用条件は既存評価と同一または既存評価に包絡しており，既存評価はより保守的な評価である。

表1 既存評価と 1F 使用条件の評価項目に対する比較

項目		既存評価	1F 使用条件
仕様	使用済燃料	燃料型式	・BJ, STEP II, RJ
		濃縮度	・BJ:2.88, STEP II :3.35, RJ:2.88
		燃焼度	・燃料型式及び燃料配置ごとに規定されている
		冷却期間	
線源強度評価	使用済燃料	・燃焼計算コード ORIGEN2 ^{※1}	—
	使用済燃料構造材, チャンネルボックス	・構造材の放射化計算式 ^{※1}	—
	線源強度	・ガンマ線線源強度 ^{※1} ・中性子線源強度 ^{※1}	—
解析条件	キャスク仕様	構造	・HDP-69B (B)型
		材料	
		使用済燃料 収納体数	
	使用済燃料 収納位置	・縦置き ・貯蔵時の燃料上端と底板蓋底面との隙間をなくした保守的なモデルとする ^{※2}	・横置き ・貯蔵時の隙間をなくしたモデルとする ^{※2} (縦置きと同様のモデル)
	中性子遮蔽材の 質量減損量	・設計貯蔵期間より 2% ^{※1}	・設計貯蔵期間は既存評価に包絡されるため質量減損量も包絡
解析モデル		・ガンマ線遮蔽解析モデル ^{※1} ・中性子遮蔽解析モデル ^{※1}	・同左 ・同左
遮蔽解析		・輸送計算コード DOT3.5 ^{※1} ・断面積ライブラリ DLC-23/CASK ^{※1}	— —

※1 : 既設評価と同一

※2 : 燃料領域のモデル化について、既存評価では燃料とバスケットを均質化し、軸方向位置は燃料上端及び蓋底面並びに燃料下端及び底板が接した保守的なモデルを用いている。実際の貯蔵においては縦置きも横置きも燃料とバスケット、蓋底面または底板に隙間が生じるがいずれの保管姿勢でもこれらを考慮した保守的なモデルを用いて評価を行う。

4 臨界防止機能

(1) 基本的な考え方

輸送貯蔵兼用キャスクの臨界防止に当たっては、想定されるいかなる場合にも使用済燃料が臨界に達することを防止するために以下とする。

- a. 使用済燃料乾式キャスク仮保管設備における輸送貯蔵兼用キャスクは単体として、使用済燃料を収納した条件下で、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であること。
- b. 輸送貯蔵兼用キャスク内部のバスケットが臨界防止機能の一部を構成する場合には、設計貯蔵期間を通じてバスケットの構造健全性が保たれる設計であること。
- c. 臨界評価において、配置・形状、中性子吸収材の効果、減速材（水）の影響、燃焼度クレジットを含め、未臨界性に有意な影響を与える因子が考慮されていること。

(2) 評価内容

既存評価~~(別紙)~~により評価されているため、既存評価のうち型式指定（別紙-2）を適用する。（以下、別紙-2 P66～P114 から抜粋，一部追記）

~~a. については別紙-1「本文 P2, 別添1 添付書類1 P1-3」及び別紙-2「本文 P2, 添付書類2」を参照。~~

~~b. については別紙-1「別添1 添付書類1 P1-3」及び別紙-2「本文 P2, 添付書類2」を参照。~~

~~c. については別紙-2「添付書類2」を参照。~~

1. 設計方針

HDP-69B(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した。

また、HDP-69B(B)型の使用済燃料貯蔵施設への搬入から搬出までの乾燥状態、及びHDP-69B(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、使用済燃料が臨界に達するおそれがないよう、中性子実効増倍率を0.95以下となるように設計した。

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した。

2. 臨界防止設計

(1) 臨界防止機能に関する構造

HDP-69B(B)型の仕様を表2-1（別紙-2 P74 参照）に示す。

HDP-69B(B)型では、臨界に達することを防止するため、以下の設計上の配慮を行っている。

- a. 使用済燃料を収納するバスケットは、格子構造とし、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形状に維持する設計とする。（「添付書類 8 耐圧強度及び耐食性に関する説明書」（別紙-2 P297～P615）参照）
- b. バスケットプレートには、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する（図 2-1（別紙-2 P72）参照）。

(2) 臨界評価

使用済燃料貯蔵施設での貯蔵中において、技術的に想定されるいかなる場合にも臨界に達することを防止する設計とした。また、解析コードがモンテカルロ法であり統計誤差を伴うため、解析コードの精度等を考慮して、中性子実効増倍率（ k_{eff} ）の平均値に統計誤差（ σ ）の 3 倍（ 3σ ）を加味した値が 0.95 以下（ $k_{\text{eff}} + 3\sigma \leq 0.95$ ）であることとした。

HDP-69B(B)型は、使用済燃料を収納後に内部水が排出され、さらに真空乾燥が行われる。また、密封機能を有した複数の蓋を有しており、HDP-69B(B)型内に水が浸入することはなく、貯蔵中は HDP-69B(B)型内は乾燥状態であるが、原子力発電所における HDP-69B(B)型への使用済燃料収納時に冠水することから、乾燥状態及び冠水状態の臨界評価を行った（別紙 1（別紙-2 P77～P82）及び別紙 2（別紙-2 P83～P90）参照）。

HDP-69B(B)型の臨界評価フローを図 2-2（別紙-2 P73 参照）に示す。中性子実効増倍率は、燃料棒単位セル計算により求まる核定数を用い、HDP-69B(B)型の実形状をモデル化し、臨界解析コードを使用して求めた。

使用済燃料の仕様を表 2-2（別紙-2 P75 参照）に示す。臨界評価に用いる使用済燃料の仕様は、代表として最も反応度の高い高燃焼度 8×8 燃料とし、乾燥状態の解析では初期濃縮度 3.66wt%とし、熱中性子吸収効果のあるガドリニアを添加した燃料棒の存在を無視した。

BWR 燃料は、燃料ペレットにガドリニアを含む燃料棒が組み込まれていることから、ガドリニアの燃焼に伴って、燃料の無限増倍率は一旦上昇するが、今回収納する燃料においては、炉心装荷冷温状態で 1.3 を超えることがない設計となっている（別紙 2（別紙-2 P83～P90）参照）。このため、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）を仮定した。モデルバンドルについては、新型 8×8 燃料及び新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料用のモデルバンドルと高燃焼度 8×8 燃料用のモデルバンドルの 2 種類を用いた（別紙 5（別紙-2 P110～P114）参照）。

評価に当たっては、HDP-69B(B)型の周囲を完全反射境界条件とし、HDP-69B(B)型の無限配列を模擬することにより、使用済燃料貯蔵施設の最大貯蔵容量に HDP-

69B(B)型を配置した条件を包絡した設定とした。ここで、HDP-69B(B)型内は真空又は水で満たした状態とし、厳しい燃料配置状態を仮定し、また、バスケットプレート板厚、バスケット格子内のり等の寸法条件についても公差を考慮した(別紙3(別紙-2 P91~P104) 参照)。

解析コードとして SCALE コードシステム (4.4a) を用い、燃料棒単位セル計算には輸送解析コード XSDRNPM を、臨界解析には臨界解析コード KENO-V.a を使用した。断面積ライブラリとしては 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た(別紙4(別紙-2 P105~P109) 参照)。

(3) 臨界評価結果

評価結果を表 2-3 に示す。

HDP-69B(B)型の中性子実効増倍率(モンテカルロ計算の統計誤差(3 σ)を加えたもの)は、技術的に想定されるいかなる場合においても、0.95を下回るため、使用済燃料が臨界に達するおそれがないことを確認した。

表 2-3 臨界評価結果

	乾燥状態	冠水状態
中性子実効増倍率 ($k_{eff} + 3\sigma$)	0.41	0.89
統計誤差 (σ)	< 0.001	
判定基準	0.95 以下	

臨界防止機能評価における既存評価との比較について

臨界防止機能評価における評価項目及び評価項目に対する既存評価と 1F 使用条件を表 1 に示す。

表 1 より 1F 使用条件は既存評価と同一または既存評価に包絡しており，既存評価はより保守的な評価である。

表1 既存評価と 1F 使用条件の評価項目に対する比較

項目		既存評価	1F 使用条件	
仕様	使用済燃料	燃料型式	・ BJ, STEP II, RJ	
		濃縮度	・ BJ:約 3.1, STEP II:3.66, RJ:約 3.1 ・ BJ 及び RJ : 高濃縮度 3.9, 低濃縮度 1.6 ・ STEP II : 高濃縮度 4.9, 低濃縮度 2.1 (いずれも冠水状態での評価)	
	金属キャスク	構造	・ HDP-69B (B) 型	・ HDP-69B 型 ・ 既存評価の認可キャスク (HDP-69B (B) 型) と同一仕様
		材料		
使用済燃料収納体数				
解析条件	キャスク仕様	内部水密度	・ 1.0g/cm ³ ※ ¹	
		使用済燃料収納配置	・ キャスク中心偏向配置※ ¹	
		金属キャスク配列	・ キャスクに外接する四角柱表面で完全反射 (無限配列) ※ ¹	
燃料棒単位セル計算		・ 輸送計算コード XSDRNPM※ ¹	—	
		・ 中性子断面積ライブラリ 238 群ライブラリ※ ¹	—	
解析モデル		・ 臨界解析モデル※ ¹	・ 同左	
臨界解析		・ 臨界解析コード (KENO-V. a) ※ ¹	—	

※¹ : 既設評価と同一

※² : 解析条件はいずれも実運用よりも保守的な条件

5 経年変化を考慮した材料・構造健全性

(1) 基本的な考え方

上記 1～4 に示す機能を満たすため、以下の設計とする。

- a. 輸送貯蔵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して、設計貯蔵期間を明確にしていること。
- b. また、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) 評価内容

既存評価~~(別紙)~~により評価されているため、既存評価のうち型式指定(別紙-2)を適用する。(以下、別紙-2 P599～P615 から抜粋、一部追記)

~~a. については別紙-1「本文 P5, 別添 1 添付書類- P1-5」及び別紙-2「本文 P37」を参照。~~

~~b. については別紙-1「本文 P2, 別添 1 添付書類- P1-5」及び別紙-2「本文 P3, 添付資料 8-5」を参照。~~

1. 設計方針

HDP-69B(B)型は、基本的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、性能を維持できる設計とした。また、HDP-69B(B)型は、金属キャスク本体内面、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とともに封入して貯蔵する設計とした。なお、金属キャスク本体及び蓋部表面の必要な箇所には、塗装等による防錆処理を施す。

2. HDP-69B(B)型の構成部材

HDP-69B(B)型の主要な構成部材の材質を表 2-1 (別紙-2 P610 参照) に示す。HDP-69B(B)型は、基本的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ている。

3. 経年変化に関する評価条件

HDP-69B(B)型の基本的安全機能を維持するうえで重要な構成部材の経年変化に対する評価条件を以下に示す。

- ・金属キャスク内面、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。

- ・設計貯蔵期間は 60 年間とする。
- ・HDP-69B(B)型の主要な構成部材の温度は，除熱解析結果より表 3-1（別紙-2 P611 参照）に示す条件とする。
- ・HDP-69B(B)型の主要な構成部材の中性子照射量は，遮蔽解析結果より表 3-2（別紙-2 P612 参照）に示す条件とする。

4. 経年変化に関する評価結果

HDP-69B(B)型の基本的安全機能を維持するうえで重要な構成部材について，設計貯蔵期間における環境条件（熱，放射線，腐食）の影響を考慮して，文献や試験データに基づき，経年変化の影響を評価した。HDP-69B(B)型の主要な構成部材ごとに評価した具体的内容を表 4-1 に示す。

評価結果より，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，主要な構成部材の健全性を維持できることを確認した。

表 4-1 HDP-69B(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 (1/2)

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るデータ	設計条件	評価
胴、外筒（内面）、一次蓋、二次蓋（内面）、一次蓋ボルト 【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	<ul style="list-style-type: none"> 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（別紙1（別紙-2 P615参照））。 	使用環境： <ul style="list-style-type: none"> ヘリウム雰囲気 中性子遮蔽材と接触 	<ul style="list-style-type: none"> 胴（内面）、一次蓋、二次蓋（内面）及び一次蓋ボルトは、不活性雰囲気が維持される限り、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で局所的に生じても、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	<ul style="list-style-type: none"> 金属キャスク構造規格⁽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。
	照射	●構造強度：照射による機械的特性の変化	<ul style="list-style-type: none"> 中性子照射量が10^{16} n/cm²までは、顕著な特性変化は認められない（図4-1（別紙-2 P606参照））。 	中性子照射量： 10^{15} 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。
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ー 【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	<ul style="list-style-type: none"> 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： <ul style="list-style-type: none"> 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金属キャ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。
	熱	●構造強度：熱によるき裂・破損	<ul style="list-style-type: none"> 金属キャスク構造規格⁽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。
	照射	●構造強度：照射による機械的特性の変化	<ul style="list-style-type: none"> 中性子照射量が10^{16} n/cm²までは、顕著な特性変化は認められない（図4-1（別紙-2 P606参照））。 	中性子照射量： 10^{15} 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。
トラニオン蓋部中性子遮蔽材カバー 【材質】 ステンレス鋼	腐食	●構造強度：腐食による構造強度の低下	<ul style="list-style-type: none"> 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曝露試験において、応力腐食割れに対する高い耐食性が確認された⁽⁷⁾。 	使用環境： <ul style="list-style-type: none"> 外気（海塩粒子雰囲気） 結露水 ヘリウム雰囲気 	実機より厳しい使用環境（応力及び雰囲気）においても応力腐食割れに対する高い耐食性を有し、腐食による構造強度への影響はない。
	熱	●構造強度：熱によるき裂・破損	<ul style="list-style-type: none"> 金属キャスク構造規格⁽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⁾。 	使用環境温度：120℃以下	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。
	照射	●構造強度：照射による機械的特性の変化	<ul style="list-style-type: none"> 中性子照射量が10^{17} n/cm²までは、顕著な特性変化は認められない（図4-2（別紙-2 P607参照））。 	中性子照射量： 10^{15} 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）	腐食	●構造強度：腐食によるき裂・破損	<ul style="list-style-type: none"> 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（別紙1（別紙-2 P615参照））。 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： <ul style="list-style-type: none"> 胴と外筒間の閉鎖環境 中性子遮蔽材と接触 	<ul style="list-style-type: none"> 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で局所的に生じても、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。
	熱	●構造強度：熱によるき裂・破損	<ul style="list-style-type: none"> 炭素鋼は、金属キャスク構造規格⁽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。 炭素鋼は、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：135℃以下	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	●構造強度：照射によるき裂・破損	<ul style="list-style-type: none"> 炭素鋼は、中性子照射量が10^{16} n/cm²までは、顕著な特性変化は認められない（図4-1（別紙-2 P606参照））。 銅は、中性子照射量が10^{16} n/cm²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^{15} 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 4-1 HDP-69B(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 (2/2)

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るデータ	設計条件	評価
バスケットプレート 【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	・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、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 μ m程度 ⁽¹⁾ 。	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。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。
	熱	●構造強度： 熱によるき裂・破損	・金属キャスク構造規格 ⁽²⁾ （設計・建設規格（2007年追補版） ⁽³⁾ 適用）の 事例規格 FA-CC-004 ⁽¹⁰⁾ では、300℃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⁾ 。	使用環境温度： 251℃以下	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。
	照射	●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	[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 に全中性子束を用いて評価しても10 ⁻⁵ 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 ⁽¹¹⁾ 。	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	・金属キャスク内部に残留する酸素量がすべてバスケット材（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 μ m以 下 ⁽¹⁾ 。	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。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。
	熱	●除熱機能： 熱によるき裂・破損	・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。	使用環境温度： 251℃以下	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く、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	・中性子照射量が10 ¹⁹ n/cm ² までは、顕著な特性変化は認められない ⁽¹²⁾ 。	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。
中性子遮蔽材 【材質】 樹脂	熱・ 腐食	●遮蔽機能： 重量減損の有無	・自社開発品に対する社内試験データに基づいて、熱による中性子遮蔽 材の重量減損率は約2%と評価 ⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾ （図4-3（別紙-2 P608参照））。	使用環境温度： 128℃以下 使用環境：閉鎖環境	設計貯蔵期間中の温度の低下を考慮すると、設計貯蔵期間経過時までのレ 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	●遮蔽機能： 重量減損の有無	・自社開発レジンの加熱照射試験（140℃、5.6 \times 10 ⁴ Gy）の重量減損率 は加熱試験（140℃）の結果とほぼ等しく、重量減損に占める照射の 影響は小さい（図4-4（別紙-2 P609参照））。	放射線照射量： 10 ³ Gy \sim 10 ⁴ Gy 程度 ^{*1} （60年間、一部減衰 考慮）	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	・蓋部縮小モデルにおける約3年間の塩水噴霧試験では、漏えい率に変 化はない ⁽¹⁵⁾ 。 ・長期保管後の海水流入時においても漏えい率は判定基準値以下であ り、ただちに漏えい率に影響はない ⁽¹⁶⁾ 。	使用環境： 一次蓋、二次蓋内 側： ヘリウム雰囲気 二次蓋外側： 外気（海塩粒子 雰囲気）、結露水	一次蓋及び二次蓋内側の金属ガスケットは、不活性雰囲気が維持される限 り、腐食しない。二次蓋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、金属キャ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。
	熱	●閉じ込め機能： 熱による閉じ込め機 能の低下	・初期の閉じ込め機能(1 \times 10 ⁻¹⁰ Pa \cdot m ³ /s)を保持できる限界ラーソン・ミ ラー・パラメータ(LMP)は、定数Cが20の場合は約11.0 \times 10 ³⁽¹⁷⁾ 、14 の場合は8.0 \times 10 ³⁽¹⁸⁾ 。 ・長期密封性能試験 ⁽¹⁹⁾ において130℃ \sim 140℃(19年以上)で閉じ込め性 能維持。	使用環境温度： 90℃以下	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	・ニッケル基合金は、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 ⁽²⁰⁾⁽²¹⁾ 。 ・アルミニウムは、中性子照射量が10 ¹⁹ n/cm ² までは、顕著な特性変化 は認められない ⁽¹²⁾ 。	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 3-2（別紙-2 P612 参照）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。

構造強度評価における既設 65 基と増設 30 基の比較について

構造強度評価における評価項目及び評価項目に対する既設 65 基と増設 30 基の比較を表 1 に示す。

表 1 より既設 65 基と増設 30 基の構造強度評価は同一であるため、増設 30 基で要求される構造強度を有している。

表1 既設 65 基と増設 30 基の評価項目に対する比較

項目		既設 65 基と増設 30 基の比較	
仕様	使用済燃料	重量	・BJ, STEP II, RJ の重量は同等であるため既設 (BJ) と増設 (BJ, STEP II, RJ) は同等
		寸法	・BJ, STEP II と RJ では燃料被覆管のジルコニウム内張の有無による内径の差はあるが, 応力評価への影響はないため既設 (BJ) と増設 (BJ, STEP II, RJ) は同等
	輸送貯蔵兼用キャスク	重量 材料	・既設と増設は同一仕様
解析条件	キャスク本体, 一次蓋, 一次蓋締付けボルト等	圧力荷重	・既設と増設で同一設備を使用した同一手順によるキャスク取扱いであり, 設計事象も既設と増設で同一であるため, 生じる圧力荷重及び衝撃荷重も同一
		衝撃荷重	
		熱荷重	
	バスケット	衝撃荷重	・キャスク本体等と同様に, 既設と増設は同一または同等
		熱荷重	
	トラニオン	衝撃荷重	
		熱荷重	
二次蓋	圧力荷重		
支持架台	自重	・既設キャスクと増設キャスクは同一仕様であるため自重は同一	
解析モデル	構造解析モデル		・既設と増設は同一仕様であるため解析モデルも同一
構造解析	解析コード		・評価する場合, 既設と増設で同一の解析コード ABAQUS を使用
	応力評価式		・既設と増設で同一設備を使用した同一手順によるキャスク取扱いであり, 設計事象も既設と増設で同一であるため用いる応力評価式も同一

各申請に適合する関連規則等について各申請に対する措置を講ずべき事項への該当項目について

輸送貯蔵兼用キャスクの安全機能		各申請の該当項目	
関連規則等に基づく要求事項		使用済燃料乾式キャスクの基数変更及び収納可能燃料の追加 (令和5年3月15日申請) : ○ 使用済燃料乾式キャスク仮保管設備の増設 (令和5年7月6日申請) : ●	
I. 全体工程及びリスク評価について講ずべき措置		○, ●	
II. 設計, 設備について措置を講ずべき事項		/	
5. 燃料取り出し及び取り出した燃料の適切な貯蔵・管理			
輸送貯蔵兼用キャスクの安全機能			
除熱機能	使用済燃料の温度を, 燃料被覆管のクリーブ破損及び機械的特性の低下を防止する観点から制限される値以下に維持できる設計であること		○
	基本的安全機能を維持する観点から, 輸送貯蔵兼用キャスクの温度を制限される値以下に維持できる設計であること		○
	コンクリートモジュールは, 輸送貯蔵兼用キャスクの除熱機能を阻害しない設計かつ, コンクリートモジュールの給排気口は積雪等により閉塞しない設計であること		●
	使用済燃料を輸送貯蔵兼用キャスクに収納するに当たり, 除熱機能に関する評価で考慮した使用済燃料の燃焼度に応じた配置の条件又は範囲を逸脱しないよう必要な措置が講じられること		●
	コンクリートモジュール内の雰囲気温度が異常に上昇していないことを監視できること		●
	使用済燃料及び輸送貯蔵兼用キャスクの温度が制限される値以下に維持されていることを評価するために必要なデータを測定等により取得できること		●
密封機能	輸送貯蔵兼用キャスクは, 設計貯蔵期間を通じて使用済燃料等を内封する空間を負圧に維持できる設計であること		○
	輸送貯蔵兼用キャスクは, 多重の閉じ込め構造を有する蓋部により使用済燃料等を内封する空間を容器外部から隔離できる設計であること		○
	蓋部が有する閉じ込め機能を監視できること		●
遮蔽機能	使用済燃料を輸送貯蔵兼用キャスクに収納するに当たり, 遮蔽機能に関する評価で考慮した使用済燃料の燃焼度に応じた当該使用済燃料の配置の条件又は範囲を逸脱しないよう必要な措置が講じられること		●
	輸送貯蔵兼用キャスク表面の線量当量率が1時間当たり2mSv以下であり, かつ, 輸送貯蔵兼用キャスク表面から1m離れた位置における線量当量率が1時間当たり100μSv以下であること		○
	貯蔵建屋(キャスク仮保管設備においては輸送貯蔵兼用キャスクを収納するコンクリートモジュールをいう。)を設置		●

		<p>する場合には、当該貯蔵建屋の損傷によりその遮蔽機能が著しく低下したときにおいても、工場等周辺の実効線量は周辺監視区域外における線量限度を超えないこと</p>	
	<p>臨界防止機能</p>	<p>キャスク仮保管設備における輸送貯蔵兼用キャスクは単体として、使用済燃料を収納した条件下で、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であること</p>	○
		<p>輸送貯蔵兼用キャスク内部のバスケットが臨界防止機能の一部を構成する場合には、設計貯蔵期間を通じてバスケットの構造健全性が保たれる設計であること</p>	○
		<p>キャスク仮保管設備は、当該施設内における輸送貯蔵兼用キャスク相互の中性子干渉を考慮し、技術的に想定されるいかなる場合でも臨界を防止する対策が講じられていること</p>	●
		<p>臨界評価において、配置・形状、中性子吸収材の効果、減速材（水）の影響、燃焼度クレジットを含め、未臨界性に有意な影響を与える因子が考慮されていること</p>	○
	<p>経年変化を考慮した材料・構造健全性</p>		
		<p>輸送貯蔵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して、設計貯蔵期間を明確にしていること</p>	○
		<p>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</p>	○

<p style="text-align: center;">関連規則等に基づく要求事項</p>	<p style="text-align: center;">各申請の該当項目</p> <p>使用済燃料乾式キャスクの基数変更及び収納可能燃料の追加 (令和5年3月15日申請) : ○ 使用済燃料乾式キャスク仮保管設備の増設 (令和5年7月6日申請) : ●</p>
<p>II. 設計, 設備について措置を講ずべき事項</p>	
<p>1 2. 作業者の被ばく線量の管理等</p>	
<p>現存被ばく状況での放射線業務従事者の作業性等を考慮して, 遮へい, 機器の配置, 遠隔操作, 放射性物質の漏えい防止, 換気, 除染等, 所要の放射線防護上の措置及び作業時における放射線被ばく管理措置を講じることにより, 放射線業務従事者が立ち入る場所の線量及び作業に伴う被ばく線量を, 達成できる限り低減すること</p>	●
<p>1 3. 緊急時対策</p>	
<p>緊急時対策所, 安全避難経路等事故時において必要な施設及び緊急時の資機材等を整備すること</p>	●
<p>適切な警報系及び通信連絡設備を備え, 事故時に特定原子力施設内に居るすべての人に対する確に指示ができるとともに, 特定原子力施設と所外必要箇所との通信連絡設備は, 多重性及び多様性を備えること</p>	●
<p>1 4. 設計上の考慮</p>	
<p>① 準拠規格及び基準</p>	
<p>安全機能を有する構築物, 系統及び機器は, 設計, 材料の選定, 製作及び検査について, それらが果たすべき安全機能の重要度を考慮して適切と認められる規格及び基準によるものであること</p>	○, ●
<p>② 自然現象に対する設計上の考慮</p>	
<p>地震</p>	
<p>耐震重要度(クラス)分類の設定方針 令和3年9月8日の令和3年度第30回原子力規制委員会資料(令和4年11月16日一部改訂)に基づき, キャスク仮保管設備が, 地震によって機能喪失した際の安全上の影響(敷地境界における実効線量)を踏まえて, 適切に耐震設計上の区分(以下「耐震クラス」という。)が設定されていること。 キャスク仮保管設備が, 上記で設定された耐震クラスを踏まえ, 当該区分ごとに規定される設計用地震力に対して十分耐えられる設計であることの根拠として, 以下に示す基本方針に加えて, 詳細な耐震計算に当たっての評価条件や評価結果が示されていること。</p>	○, ●
<p>弾性設計用地震動の設定方針 1Fにおける弾性設計用地震動は, Ss900 との応答スペクトルの比率の値が, 目安として0.5を下回らないような値で, 工学的判断に基づいて設定した結果, Ss900 に0.5を乗じた地震動(以下「Sd450」という。1/2Ss450と同義。)としていること。</p>	○, ●

地震応答解析による地震力及び静的地震力の算定	
(1) 地震応答解析による地震力	
① S, B+, Bクラスの地震力の算定方針 Ss900 及び Sd450 に基づく入力地震動を用いて、建物・構築物の三次元応答性状及び機器・配管系への影響を考慮し、水平2方向及び鉛直方向について適切に組み合わせ、地震応答解析による地震力を算定すること。	○, ●
② 入力地震動の設定方針 建物・構築物の地震応答解析における入力地震動について、対象建物・構築物の地盤条件を考慮し、必要に応じて二次元有限要素法又は一次元波動理論を用いて設定すること。地盤条件の設定については、敷地全体の地下構造との関係に留意し、地盤の非線形応答に関する動的変形特性を考慮していること。必要に応じて敷地における観測記録による検証や最新の科学的・技術的知見を踏まえる方針としていること。	○, ●
③ 地震応答解析方法 地震応答解析方法について、対象施設の形状、構造特性、振動特性等を踏まえ、解析手法の適用性、適用限界等を考慮のうえ、使用する解析方法を選定するとともに、十分な調査に基づく解析条件を設定すること。対象とする施設の形状、構造特性等を踏まえたモデル化を行っていること。	○, ●
(2) 静的地震力	
① 建物・構築物の水平地震力 水平地震力について、地震層せん断力係数に、施設の重要度分類に応じた係数（Sクラスは3.0、Bクラスは1.5及びCクラスは1.0）を乗じ、さらに当該層以上の重量を乗じて算定すること。ここで、地震層せん断力係数は、標準せん断力係数を0.2以上とし、建物・構築物の振動特性、地盤の種類等を考慮して求められる値とすること。	○, ●
② 建物・構築物の保有水平耐力 保有水平耐力について、必要保有水平耐力を上回るものとし、必要保有水平耐力については、地震層せん断力係数に乘じる係数を1.0、標準せん断力係数を1.0以上として算定すること。	○, ●
③ 建物・構築物の鉛直地震力 鉛直地震力について、震度0.3以上を基準とし、建物・構築物の振動特性及び地盤の種類等を考慮し、高さ方向に一定として求めた鉛直震度より算定すること。	○, ●
④ 水平地震力と鉛直地震力の組合せ Sクラスの施設については、水平地震力と鉛直地震力が同時に不利な方向の組合せで作用するものとする。	○, ●
⑤ 標準せん断力係数等の割増し係数 標準せん断力係数等の割増し係数の適用については、耐震性向上の観点から、一般産業施設及び公共施設等の耐震基準との関係を考慮して設定すること。	○, ●
荷重の組合せと許容限界の設定方針	
(1) 建物・構築物	
① Sクラスの建物・構築物 Sクラスの建物・構築物については、常時作用している荷重及び運転時に作用する荷重と Ss900 による地震力と	○, ●

<p>の組合せに対して、構造物全体としての変形能力について十分な余裕を有し、終局耐力に対し妥当な安全余裕を有していること。</p>	
<p>②S, B+, B, Cクラスの建物・構築物</p> <p>Sクラス, Bクラス及びCクラスの建物・構築物については、常時作用している荷重及び運転時に作用する荷重と、弾性設計用地震動（Bクラスは共振影響検討用の地震動, Cクラスは考慮せず。）による地震力又は静的地震力を組み合わせ、その結果発生する応力に対して、建築基準法等の安全上適切と認められる規格及び基準による許容応力度を許容限界とすること。</p>	○, ●
<p>波及的影響に係る設計方針</p> <p>耐震重要度分類の下位のクラスに属する施設の波及的影響によって、上位のクラスに属する施設の安全機能を損なわないように設計すること。</p>	●
<p>兼用キャスク（設置許可基準規則解釈上Sクラス）については、設置許可基準規則第三条第1項を満たすための前提条件として、「地盤の十分な支持を想定する場合」又は「地盤の十分な支持を想定しない場合」のいずれかケースを選定していること。</p>	
<p>・地盤の十分な支持を想定しない場合</p> <p>兼用キャスクの安全機能が損なわれない方法について、設置許可基準規則解釈別記4第3条第1項に基づき、以下に示す方針とすること。</p>	
<p>兼用キャスクを基礎等に固定せず、かつ、輸送貯蔵兼用キャスク蓋部の金属部への衝突に対してその安全機能を損なわない方法とすること。</p>	●
<p>告示地震力又はSs900に対する設計</p> <p>解釈第4条第6項に定める次のいずれかによる地震力に対して安全機能が損なわれるおそれがないこと。</p> <p>一 兼用キャスク告示に定める地震力</p> <ul style="list-style-type: none"> ・加速度：水平 2300Gal 及び鉛直 1600Gal ・速度：水平 200cm/s 及び鉛直 140cm/s <p>二 Ss900 による地震力</p>	○, ●
<p>(1) 耐震重要度（クラス）分類の方針</p>	○, ●
<p>(2) 弾性設計用地震動の設定方針</p>	○, ●
<p>(3) 地震応答解析による地震力及び静的地震力の算定方針</p>	○, ●
<p>(4) 荷重の組合せと許容限界の設定方針</p> <p>①兼用キャスク（閉じ込め機能を担保する部位を除く。）</p> <p>兼用キャスクについて、自重その他の貯蔵時に想定される荷重と第6項地震力を組み合わせた荷重条件に対して、当該兼用キャスクに要求される機能を保持すること。</p> <p>また、組合せ荷重により塑性ひずみが生じる場合であっても、その量が小さなレベルにとどまって破断延性限界に十分な余裕を有し、当該兼用キャスクに要求される機能に影響を及ぼさないこと。</p> <p>②閉じ込め機能を担保する部位</p> <p>兼用キャスクの閉じ込め機能を担保する部位は、上記の荷重条件に対しておおむね弾性状態にとどまる範囲で耐</p>	○, ●

えること。	
(5) 波及的影響に係る設計方針 「波及的影響に係る設計方針」と同じ。 これに加えて、解釈別記4第4条第2項第三号への適合方針として、以下の①～③の内容が示されていること。 ①兼用キャスクは、周辺施設からの波及的影響によって、その安全機能を損なわないように設計すること。	●
②上記の波及的影響の評価に当たっては、敷地全体を俯瞰した調査・検討の内容等を含めて、事象選定及び影響評価の結果の妥当性を示すとともに、第6項地震力を適用すること。	●
③上記①の「兼用キャスクは、周辺施設からの波及的影響によって、その安全機能を損なわない」を満たすために、少なくとも次に示す事項について、兼用キャスクがその安全機能を損なわないこと。	
設置地盤、地震応答性状の相違等に起因する相対変位又は不等沈下による影響	●
兼用キャスク間の相互影響	●
兼用キャスクと周辺施設との相互影響（周辺施設の損傷、転倒、落下等による兼用キャスクへの影響を含む。）	●
周辺斜面の安定性	
兼用キャスクについて、地震の発生によって生ずるおそれがある斜面の崩壊に対して安全機能が損なわれるおそれがないよう、Ss900による地震力を作用させた安定解析を行い、崩壊のおそれがないことを確認するとともに、崩壊のおそれがある場合には、当該部分の除去、敷地内土木構造物による斜面の保持等の措置を講ずることにより、兼用キャスクの安全機能が損なわれるおそれがないようにすること。	●
地震以外の想定される自然現象	
設計において想定する津波 設置許可基準規則第五条第2項を踏まえ、次のいずれかによる津波に対して安全機能が損なわれるおそれがないこと。 一 兼用キャスク告示で定める津波 ・浸水深：10m ・流速：20m/s ・漂流物質量：100t 二 検討用津波	●
設計方針及び条件 ・検討用津波の場合 検討用津波に対する兼用キャスクの設計については、設置許可基準規則解釈別記3第5条第3項中、Sクラスに属する施設に関する規定を準用すること。	
①検討用津波の遡上高さについて 敷地及び敷地周辺における地形と施設の配置等を踏まえ、検討用津波による敷地周辺の遡上域及び浸水域が遡上解析により評価されていること。	●
②耐津波設計方針について	●

	<ul style="list-style-type: none"> 兼用キャスクの設置位置への津波の遡上がある場合は、設置許可基準規則の解釈別記3に基づく基準津波を用いた津波伝播解析及び遡上解析により兼用キャスクへの入力津波を評価していること。 兼用キャスクの設置地盤の高さや津波防護施設等により、兼用キャスクの設置位置への津波の遡上がないことを示すことができれば、津波による作用力に対する評価は不要。 	
	設計上考慮すべきその他の自然現象の抽出	
	(1) 1Fの自然環境条件や兼用キャスクの設置条件に照らして、その他の自然現象(豪雨, 台風, 竜巻等)が網羅的に抽出され, 各自然現象のハザードの規模が設定されていること。	●
	(2) ①竜巻 設置許可基準規則第六条第4項に規定する兼用キャスク告示で定める竜巻として, 設置許可基準規則解釈別記4第6条第2項第1号に基づき, 設計竜巻(原子力発電所の竜巻影響評価ガイド「1.4 用語の定義」に規定する「設計竜巻」をいう。以下同じ。)の最大風速を以下のとおり定め, 設計荷重を設定していること。 ・最大風速 : 100m/s 設計荷重の設定に用いる設計飛来物は, 原子力発電所の竜巻影響評価ガイド解説表4.1に基づき, 兼用キャスクに与える影響が最大となるものを選定していること。	●
	②外部火災 外部火災として, 森林火災, 近隣の産業施設の火災・爆発及び航空機落下等の火災(発電所敷地内に存在する危険物タンク火災等を含む。)による熱影響並びに二次的影響としてばい煙, 有毒ガス及び近隣の産業施設の爆発に伴う爆風等による影響を考慮すること。	●
	その他の自然現象への設計方針	
	(1) 設計方針(竜巻及び外部火災を除く。) ①上記(1)で抽出したその他の自然現象ごとに, 兼用キャスクの安全機能が損なわれない設計としていること。	●
	(2) 竜巻及び外部火災に対する設計方針 ②上記(2)②について, 森林火災, 爆発及び人為による火災に対する具体的な評価及び対策は, 「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド」に基づき, 外部火災による影響評価の実施により, 離隔等の適切な対応が図られていること。 影響評価に当たっては, 以下の事項が整理されていること。	●
	発電所内外で考慮すべき火災として, 少なくとも, 森林火災, 近隣の産業施設の火災・爆発, 航空機墜落による火災が選定されていること。	●
	上記の各火災の規模が設定されていること。航空機墜落による火災については, 発電所敷地内であって, 墜落の可能性を無視できない範囲の最も厳しい場所で発火した場合の火災が設定されていること。	●
	各火災による二次的影響(ばい煙, 有毒ガス等によるもの)が検討されていること。	●
	兼用キャスクの十分な防火機能を確認するための適切な影響評価手法及びその健全性を判断するための基準が設	●

			定されていること。	
③外部人為事象に対する設計上の考慮				
			安全機能を有する構築物、系統及び機器は、想定される外部人為事象によって、施設の安全性を損なうことのない設計であること。	●
			安全機能を有する構築物、系統及び機器に対する第三者の不法な接近等に対し、これを防御するため、適切な措置を講じた設計であること。	●
④火災に対する設計上の考慮				
			火災発生防止、火災検知及び消火並びに火災の影響の軽減の方策を適切に組み合わせて、火災により施設の安全性を損なうことのない設計であること。	●
⑤環境条件に対する設計上の考慮				
			安全機能を有する構築物、系統及び機器は、経年事象を含むすべての環境条件に適合できる設計であること。特に、事故や地震等により被災した建造物の健全性評価を十分に考慮した対策を講じること	●
⑦運転員操作に対する設計上の考慮				
			運転員の誤操作を防止するための適切な措置を講じた設計であること。	●
⑨検査可能性に対する設計上の考慮				
			安全機能を有する構築物、系統及び機器は、それらの健全性及び能力を確認するために、適切な方法によりその機能を検査できる設計であること。	○, ●

<p style="text-align: center;">関連規則等に基づく要求事項</p>	<p style="text-align: center;">各申請の該当項目</p> <p>使用済燃料乾式キャスクの基数変更及び収納可能燃料の追加 (令和5年3月15日申請) : ○ 使用済燃料乾式キャスク仮保管設備の増設 (令和5年7月6日申請) : ●</p>
<p>Ⅲ. 特定原子力施設の保安のために措置を講ずべき事項</p>	
<p>運転管理、保守管理、放射線管理、放射性廃棄物管理、緊急時の措置、敷地内外の環境放射線モニタリング等適切な措置を講ずることにより、「Ⅱ. 設計、設備について措置を講ずべき事項」の適切かつ確実な実施を確保し、かつ、作業員及び敷地内外の安全を確保すること。特に、事故や災害時等における緊急時の措置については、緊急事態への対処に加え、関係機関への連絡通報体制や緊急時における医療体制の整備等を行うこと。</p> <p>また、協力企業を含む社員や作業従事者に対する教育・訓練を的確に行い、その技量や能力の維持向上を図ること。</p>	●
<p>兼用キャスクガイドに示す以下の事項①及び②について、体制・手順等が整備されていること。</p>	
<p>①閉じ込め機能の異常に対し、適切な期間内で使用済燃料の取出しや詰替え及び使用済燃料貯蔵槽への移送を行うこと、これらの実施に係る体制を適切に整備すること等、閉じ込め機能の修復性に関して考慮がなされていること。</p>	●
<p>②貯蔵建屋等を設置する場合は、貯蔵建屋等の損傷によりその遮蔽機能が著しく低下した場合においても、必要に応じて土嚢による遮蔽の追加等の適切な手段による応急復旧を行うことにより、工場等周辺の実効線量が敷地全体で線量限度(1mSv/y)を超えないこと。</p> <p>この場合において、応急復旧による遮蔽機能の回復を期待する場合には、その実施に係る体制を適切に整備すること。</p>	●
<p>Ⅷ. 実施計画に係る検査の受検</p>	
<p>実施計画における施設、保安のための措置及び特定核燃料物質の防護のための措置について、法第64条の3第7項に基づく検査を受けること。</p>	○, ●

○キャスク仮保管設備における輸送貯蔵兼用キャスクの管理・運用

1. 二重蓋間圧力及び表面温度の監視

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

監視装置の概要を図1-1に示す。

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

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

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

また、密封監視装置および表面温度監視装置のデータは記録される。

監視装置の仕様を表1-1に示す。

2. 放射線量の監視

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

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

3. 巡視点検

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

また、地震発生時には適宜、巡視点検を行い、コンクリートモジュール及び乾式キャスクの外観などを確認する。

4. 運搬時の運用

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

構内輸送時に講じる措置は、「東京電力株式会社 福島第一原子力発電所 原子炉施設の保安及び特定核燃料物質の防護に関する規則の第 14 条の 2（工場又は事業所において行われる運搬）」に準じて実施する。

5. 留意事項

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

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

表 1 - 1 監視装置の仕様

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

注1) 警報設定値は別途定める。

注2) 警報設定値は別途定める。

表 2 - 1 エリア放射線モニタの仕様

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

注) 警報設定値はバックグラウンドレベルを鑑み設定する。

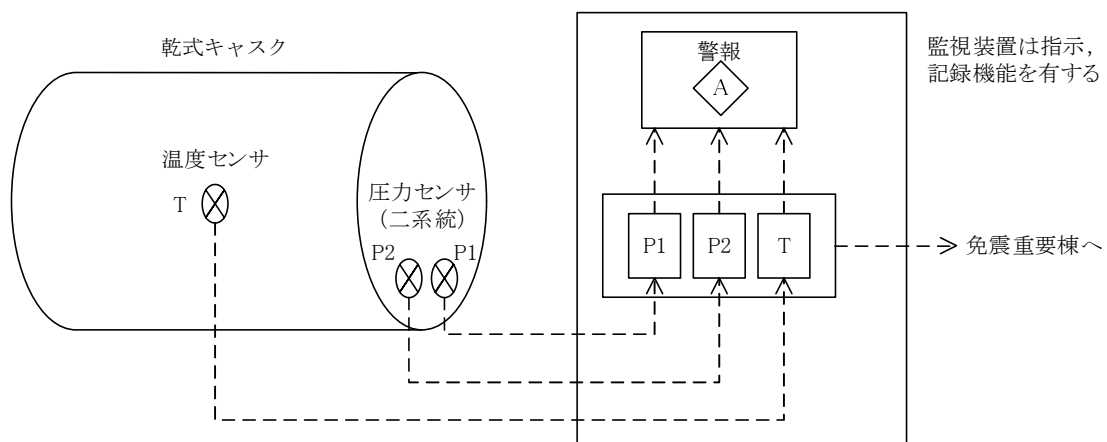


図 1 - 1 監視装置の概要

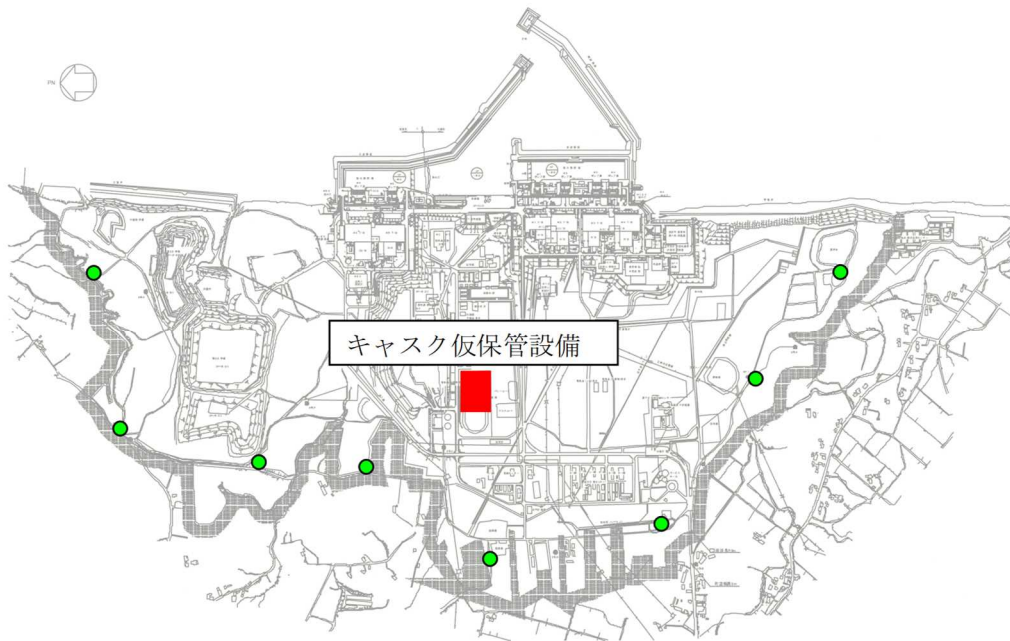


図 2-1 モニタリングポスト位置図

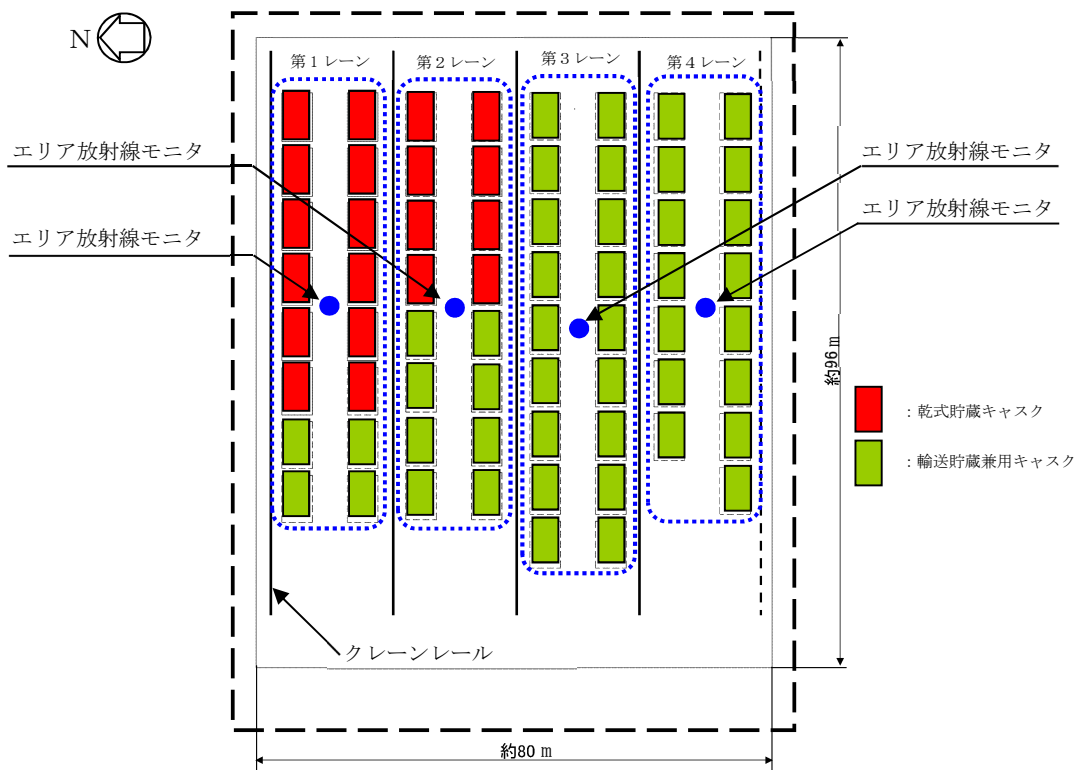


図 2-2 エリア放射線モニタ配置図

(実施計画：II-2-13-添6-1~4)

○輸送貯蔵兼用キャスクの取り扱いにおける異常時の評価

輸送貯蔵兼用キャスクの取り扱いについては、予め設定した燃料搬出のハンドリングフローに基づき、下記の通り異常時の評価を行い、リスク低減及び最適化を図っている。

1 異常時の評価

1.1 異常事象の抽出

1.1.1 想定すべき異常事象の抽出

輸送貯蔵兼用キャスクの取扱い作業の際に想定される異常事象の発生原因として、図 1.1-1 に示すように機器の破損、誤操作等の内部事象に起因するもの及び外部事象に起因するものに分け、以下に示すような設計／運用による対応等を考慮して、選定された異常事象の選定結果の妥当性を確認し、安全評価において想定すべき異常事象として抽出する。

- ① 設計／運用による対応の有効性
- ② 事象の結果の大きさ（影響度）
- ③ 原子炉施設の安全評価事象との包絡性

1.1.2 評価条件の設定

輸送貯蔵兼用キャスクの取扱い時の各作業における、以下の諸条件を考慮して、抽出された異常事象の評価条件を設定する。

- ① 輸送貯蔵兼用キャスクの取扱いに係る機器の仕様、状態
- ② 輸送貯蔵兼用キャスクを取扱う際の位置
- ③ 移送用機器の仕様、状態

1.1.3 安全評価基準

輸送貯蔵兼用キャスクの輸送等の取扱いは構内にて行われることからキャスク仮保管設備の安全評価における各安全機能の評価基準は、専門部会報告書「原子力発電所内の使用済燃料の乾式キャスク貯蔵について（平成4年8月27日原子力安全委員会了承、平成18年9月19日一部改訂）」に基づき、以下のとおりとする。

(1) 除熱

想定される異常事象に対して、輸送貯蔵兼用キャスク各部の温度の異常な上昇を防止できること。

具体的評価にあたっては、輸送貯蔵兼用キャスクの温度解析を行い、各部の温度が密封、遮蔽及び臨界防止のために設定する温度制限を上回らず、各安全機能を確保するために支障のない温度であることを確認する。

(2) 密封

想定される異常事象に対して、必要とされる漏えい率が維持できること等輸送貯蔵

兼用キャスクの密封機能を維持できること。

具体的評価にあたっては、輸送貯蔵兼用キャスク本体及び一次蓋が破損しないこと、一次蓋締め付けボルト及び密封シール面に塑性変形が生じないこと並びに金属ガスケット等のシール部温度が密封健全性を維持できる温度を上回らないことを確認する。

(3) 遮蔽

想定される異常事象に対して、遮蔽機能を維持できること。

具体的評価にあたっては、荷重、温度上昇等が遮蔽材に及ぼす影響を考慮した上で輸送貯蔵兼用キャスクの線量率を評価し、輸送貯蔵兼用キャスク表面より 1m の点において 10mSv/h 以下であることを確認する。

(4) 臨界防止

想定される異常事象に対して、輸送貯蔵兼用キャスクに収納される使用済燃料が臨界に達しないこと。

具体的評価にあたっては、輸送貯蔵兼用キャスク本体、バスケット、使用済燃料等に及ぼされる形状変形等の影響を考慮した上で実効増倍率を評価し、計算誤差等を考慮しても、実効増倍率が 0.95 を上回らないことを確認する。

1.1.4 異常事象の抽出

図 1. 1-2 に示すハンドリングフローに基づき、輸送貯蔵兼用キャスクの取扱い及びキャスク仮保管設備への構内輸送までの各作業において想定される起因事象に着目し、発生防止対策を考慮して異常事象の発生の可能性を検討し、想定すべき異常事象を抽出した。異常事象の抽出結果を表 1. 1-1 に示す。

抽出した異常事象は以下のとおりである。

- ・ 輸送貯蔵兼用キャスクを搬送台車架台に吊下げる際に、クレーンの誤操作が原因となって、輸送貯蔵兼用キャスクが搬送台車架台に異常着床する。
- ・ 輸送貯蔵兼用キャスクを輸送架台に吊下げる際に、クレーンの誤操作が原因となって、輸送貯蔵兼用キャスクが輸送架台に異常着床する。

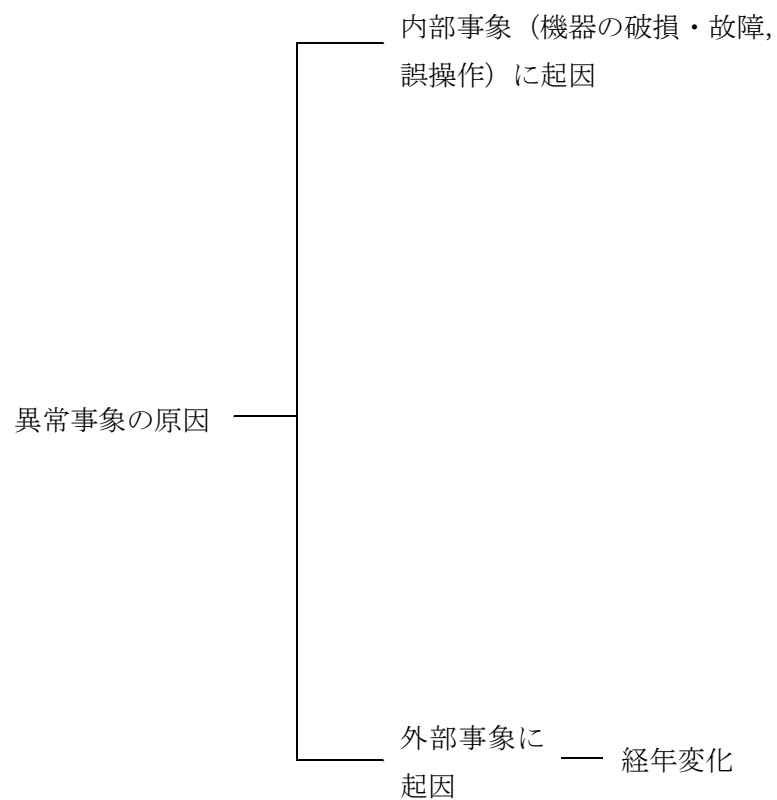


図 1. 1 - 1 異常事象の発生原因
(実施計画：II-2-13-添 3-294～296)

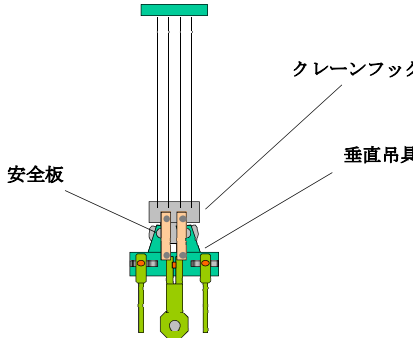
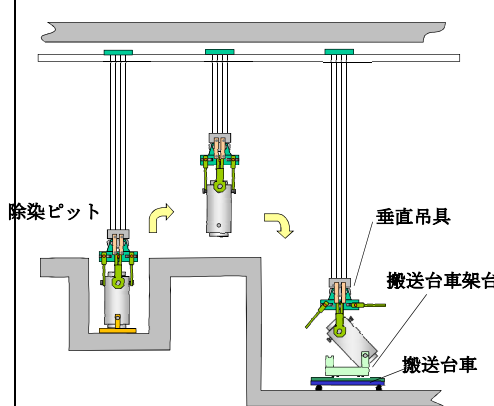
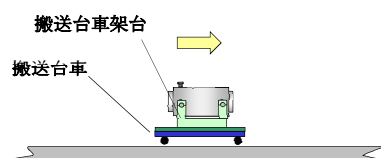
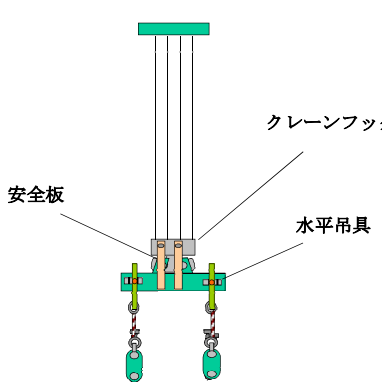
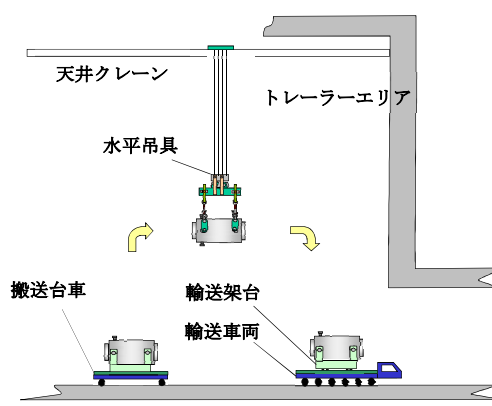
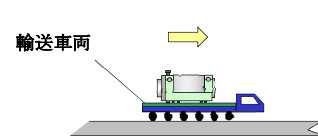
No.	取り扱いモード	No.	取り扱いモード
1	垂直吊具をクレーンフックに取り付ける。 	2	輸送貯蔵兼用キャスクを共用プール除染ピットから垂直吊具で吊上げ、搬送台車上の架台に積載する。 
3	搬送台車でトレーラーエリアに移動させる。 	4	水平吊具をクレーンフックに取り付ける。 
5	トレーラーエリアで搬送台車から輸送貯蔵兼用キャスクを水平吊具で吊上げ、輸送車両上の輸送架台に積載する。 	6	輸送車両でキャスク仮保管設備へ構内輸送する。 

図1. 1-2 輸送貯蔵兼用キャスクのハンドリングフロー

表 1. 1-1 異常事象の抽出

起因事象 (ハンドリングフローNo.)		原因	異常事象発生の可能性	発生の 要否	想定シナリオ	抽出の 要否
輸送貯蔵兼用キャスクの落下 (2~6)	輸送車両取扱い時の 落下	固定ボルトの取付け不良	輸送貯蔵兼用キャスクは、輸送車両に複数の固定ボルトで固縛されていることを確認する。また、輸送貯蔵兼用キャスクは輸送車両で徐行して輸送すること、輸送経路は輸送に関係する人、車両以外の立入を制限することから落下しない。	×		×
	搬送台車取扱い時の 落下	固定ボルトの取付け不良	輸送貯蔵兼用キャスクは搬送台車に複数のボルトで固縛されていることを確認する。また、搬送台車はレール上を走行し、走行範囲インターロック及び障害物検知装置を有していることから他の構築物等に衝突はしないため、落下しない。	×		×
	クレーン取扱い時の 落下	吊具の取り付け不良	吊具の二重化、始業前の吊具点検、取付け後の外れ止めを施すため、輸送貯蔵兼用キャスクは落下しない。	×		×
		ワイヤーロープの切断	ワイヤーロープの二重化、始業前のワイヤーロープ点検を行うため、輸送貯蔵兼用キャスクは落下しない。	×		
輸送貯蔵兼用キャスクの衝突 (2, 5)	クレーンでの移動時 (走行, 横行) の衝突 (2, 5)	ブレーキの故障	移動前に移動経路に障害物がないことを確認し、輸送貯蔵兼用キャスクと移動経路の芯あわせを行い、走行の両輪及び横行それぞれにインバータによる停止機能に加えてブレーキによる停止機能により二重化しているため、輸送貯蔵兼用キャスクは他の構築物等へ衝突しない。	×		×
		操作員の誤操作	クレーンの横行範囲に制限機構を設ける。また、移動前に移動経路に障害物がないことを確認、輸送貯蔵兼用キャスクと移動経路の芯あわせを行うため、輸送貯蔵兼用キャスクは他の構築物等へ衝突しない。	×		×
	クレーンでの吊下げ 時の衝突 (異常着床) (2, 5)	ブレーキの故障	巻き上げ装置ブレーキを二重化しているため、輸送貯蔵兼用キャスクは搬送台車架台及び輸送架台に衝突 (異常着床) しない。	×		×
		操作員の誤操作	吊下げ時の誤操作により、輸送貯蔵兼用キャスクは吊下げ速度で搬送台車架台及び輸送架台に異常着床する可能性がある。	○	クレーンの最大吊下げ速度 1.5m/min で、輸送貯蔵兼用キャスクは、搬送台車架台及び輸送架台に異常着床する場合を異常事象として抽出する。	○
経年変化			輸送貯蔵兼用キャスクは設計貯蔵期間 50 年で設計されており、それより短い期間で使用するため、経年変化を考慮する必要はない。	×		×

(実施計画：II-2-13-添 3-301, 304, 306)

1.2 異常事象の評価

(1) 評価方針

輸送貯蔵兼用キャスクがクレーンの最大吊下げ速度 (1.5m/min) のまま搬送台車架台及び輸送架台に衝突した場合に、輸送貯蔵兼用キャスクに生じる衝撃加速度を算出する。概念図を図1. 2-1～2に示す。

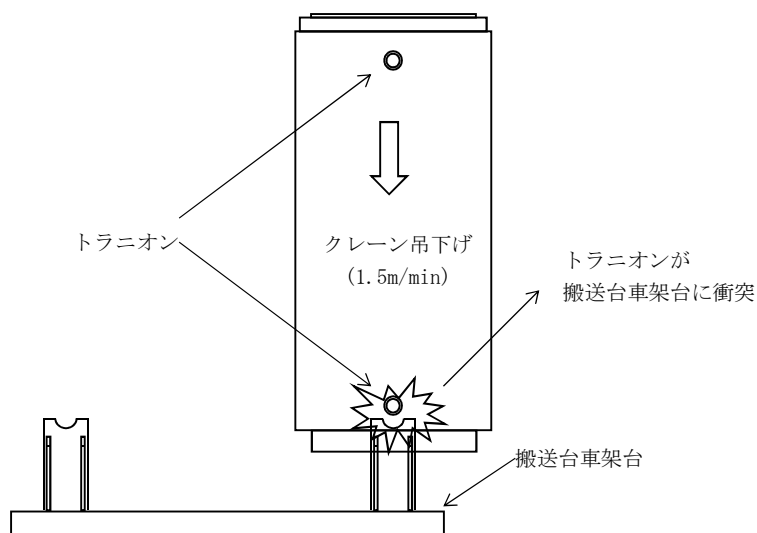


図1. 2-1 異常着床概念図 (搬送台車架台への衝突)

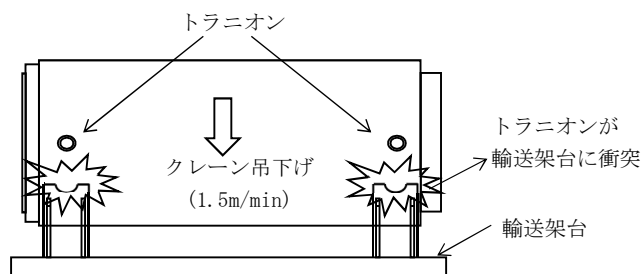


図1. 2-2 異常着床概念図 (輸送架台への衝突)

(2) 輸送貯蔵兼用キャスクの評価条件および方法

輸送貯蔵兼用キャスクが搬送台車架台、輸送架台に衝突する際に生じる衝撃加速度の計算条件は以下のとおりである。

- ・搬送台車架台、輸送架台の弾性により輸送貯蔵兼用キャスクの運動エネルギーを吸収する。
- ・輸送貯蔵兼用キャスク本体 (トラニオン含む) を剛とする。
- ・搬送台車架台、輸送架台の自重は無視する。

a. 衝撃加速度の算出式

エネルギー保存則によりキャスクに生じる衝撃加速度を算出する。

$$\frac{1}{2}m \cdot v^2 + m \cdot g \cdot \delta = \frac{1}{2}K \cdot \delta^2$$

ここで、

- m : 輸送貯蔵兼用キャスク質量
輸送貯蔵兼用キャスク : 1.186×10^5 (kg)
- v : クレーン巻下定格速度 = 1.5 (m/min) = 0.025 (m/s)
- g : 重力加速度 = 9.80665 (m/s²)
- δ : 架台の最大変形量 (m)
- K : 架台のばね定数 (N/m)

上式を変形すると

$$\delta = \frac{m \cdot g}{K} + \sqrt{\frac{m^2 \cdot g^2}{K^2} + \frac{m \cdot v^2}{K}} \quad (\delta \geq 0)$$

また、輸送貯蔵兼用キャスクに生じる衝撃加速度は次式で算出する。

$$\alpha = \frac{F}{m}$$

$$F = K \cdot \delta$$

ここで、

- α : 輸送貯蔵兼用キャスクに生じる衝撃加速度 (m/s²)
- F : 輸送貯蔵兼用キャスクに作用する衝撃力 (N)

以上より、輸送貯蔵兼用キャスクに生じる衝撃加速度は次式のとおりとなる。

$$\alpha = g + \sqrt{g^2 + \frac{K \cdot v^2}{m}}$$

b. 架台のばね定数

架台のばね定数は、搬送台車架台、輸送架台の鉛直方向の弾性から算出した。

- ・搬送台車架台のばね定数 : 1.36×10^{10} (N/m) (2脚分)
- ・輸送架台のばね定数
輸送貯蔵兼用キャスク用 : 4.0×10^{10} (N/m) (4脚分)

(3) 評価結果

輸送貯蔵兼用キャスクに生じる衝撃加速度を表1. 2-1に示す。表1. 2-1より設計事象Ⅱの衝撃加速度は、構造強度評価で用いている衝撃加速度、横姿勢: 3G, 縦姿勢(キャスク, バスケット): 5G, 縦姿勢(トラニオン): 2.5Gに包絡されており、輸送貯蔵兼用

キャスクの安全機能は維持されることを確認している。

表 1. 2-1 輸送貯蔵兼用キャスクに生じる衝撃加速度

異常事象	キャスクタイプ	支持架台の ばね定数 K (N/m)	衝撃加速度	
			α (m/s ²)	(G)
搬送台車架台への衝突 (縦姿勢)	輸送貯蔵兼用キャスク	1.36×10^{10}	22.8	2.33
輸送架台への衝突 (横姿勢)		4.0×10^{10}	27.4	2.80

(実施計画：II-2-13-添 3-310～312)

Ⅱ.14 設計上の考慮への適合性

Ⅱ.14.① 準拠規格及び基準への適合性

措置を講ずべき事項

II. 設計，設備について措置を講ずべき事項

14. 設計上の考慮

① 準拠規格及び基準

安全機能を有する構築物，系統及び機器は，設計，材料の選定，製作及び検査について，それらが果たすべき安全機能の重要度を考慮して適切と認められる規格及び基準によるものであること。

措置を講ずべき事項への適合方針

○ 施設の設計については，安全上の重要度を考慮して以下について適切に考慮したものとする。

(1) 準拠規格及び基準

安全機能を有する構築物，系統及び機器は，設計，材料の選定，製作及び検査について，それらが果たすべき安全機能の重要度を考慮して適切と認められる規格及び基準によるものとする。

(実施計画：II-1-14-1)

対応方針

2.13 使用済燃料乾式キャスク仮保管設備

2.13.1 基本設計

2.13.1.1 設置の目的

使用済燃料輸送容器保管建屋（以下、「キャスク保管建屋」という。）には現在（平成24年12月時点）9基（中型4基，大型5基）の使用済燃料乾式貯蔵容器（以下、「乾式貯蔵キャスク」という。）にて408体の使用済燃料を貯蔵している。しかしながら，キャスク保管建屋は継続して使用することが困難な状況にあることから，9基の乾式貯蔵キャスクをキャスク保管建屋から搬出し，使用済燃料乾式キャスク仮保管設備（以下，「キャスク仮保管設備」という。）に保管することを目的とする。

また，使用済燃料共用プール（以下，「共用プール」という。）に，1～4号機原子炉建屋内の使用済燃料プールに貯蔵中の使用済燃料及び新燃料，5,6号機原子炉建屋内の使用済燃料プールに貯蔵中の使用済燃料及び新燃料を除く炉内燃料（合計5,936体）の受け入れを計画している。この受け入れ準備として共用プールの空き容量を確保するため，共用プールに貯蔵中で健全性が確認された使用済燃料を乾式貯蔵キャスク及び使用済燃料輸送貯蔵兼用容器（以下，「輸送貯蔵兼用キャスク」という。また，乾式貯蔵キャスクと輸送貯蔵兼用キャスクを総じて「乾式キャスク」という。）に装填し，キャスク仮保管設備に保管することを目的とする。

(中略)

2.13.1.3 設計方針

キャスク仮保管設備は、乾式キャスク及びこれを収納するキャスク仮保管構築物、揚重機、監視装置、障壁等で構成し、使用済燃料が核分裂性物質及び核分裂生成物等を内包し、放射線を発生し、崩壊熱を伴うことを考慮し、周辺公衆及び放射線業務従事者の安全を守る観点から、以下に示すとおり、除熱、遮へい、密封及び臨界防止の安全機能を有する設計とするとともに、必要な構造強度を有する設計とする。

(1) 除熱機能

乾式キャスク及びキャスク仮保管構築物について、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が維持できるように、使用済燃料の崩壊熱を適切に除去できる設計とする。

(2) 密封機能

乾式キャスクについて、周辺公衆及び放射線業務従事者に対し、放射線被ばく上の影響を及ぼすことのないよう、使用済燃料が内包する放射性物質を適切に閉じ込める設計とする。

(3) 遮へい機能

乾式キャスク及びキャスク仮保管構築物について、周辺公衆及び放射線業務従事者に対し、放射線被ばく上の影響を及ぼすことのないよう、使用済燃料の放射線を適切に遮へいする設計とする。

(4) 臨界防止機能

乾式キャスク及びキャスク仮保管構築物について、想定されるいかなる場合にも、使用済燃料が臨界に達することを防止できる設計とする。

(5) 構造強度

乾式キャスク及びキャスク仮保管構築物について、除熱機能、密封機能、遮へい機能、臨界防止機能を維持するために必要な構造強度を有する設計とする。

(中略)

(7) 耐震性

キャスク仮保管設備は、基準地震動 S_s を考慮しても、(1)～(4)に示す安全機能が維持される設計とする。

(実施計画：II-2-13-1, 2)

具体的な対応方針

輸送貯蔵兼用キャスクは、**構造強度**、除熱、密封、遮蔽、臨界防止の各安全機能が以下の規則、告示及び内規に適合するように設計、材料の選定、製作されている。また、各条件を満足していることを検査により確認している。

- ・使用済燃料貯蔵施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則(平成 25 年 12 月 6 日付、平成 25 年原子力規制委員会規則第 24 号)
- ・使用済燃料貯蔵施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈(原管廃発第 1311272 号(平成 25 年 11 月 27 日原子力規制委員会決定))
- ・使用済燃料貯蔵施設に係る特定容器等の型式証明及び型式指定運用ガイド(原管廃発第 1311276 号(平成 25 年 11 月 27 日原子力規制委員会決定))
- ・使用済燃料貯蔵施設の技術基準に関する規則(令和 2 年 3 月 17 日付、令和 2 年原子力規制委員会第 8 号)
- ・使用済燃料貯蔵施設の技術基準に関する規則の解釈(令和 2 年 2 月 5 日 原規規発第 2002054 号-3 原子力規制委員会決定)
- ・核燃料物質等の工場又は事業所の外における運搬に関する規則(昭和 53 年 12 月 28 日付、総理府令第 57 号)
- ・核燃料物質等の工場又は事業所の外における運搬に関する技術上の基準に係る細目等を定める告示(平成 2 年 11 月 28 日付、科学技術庁告示第 5 号)
- ・使用済燃料貯蔵施設規格 金属キャスク構造規格(JSME S FA1-2007)
- ・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(~~令和 4 年 9 月 26 日付~~平成 25 年 6 月 28 日付、平成 25 年原子力規制委員会規則第 5 号)
- ・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の解釈(原管廃発第 1306193 号(平成 25 年 6 月 19 日原子力規制委員会決定))

Ⅱ.14.② 自然現象に対する設計上の考慮 への適合性

措置を講ずべき事項

II. 設計，設備について措置を講ずべき事項

14. 設計上の考慮

②自然現象に対する設計上の考慮

- ・安全機能を有する構築物，系統及び機器は，その安全機能の重要度及び地震によって機能の喪失を起こした場合の安全上の影響を考慮して，耐震設計上の区分がなされるとともに，適切と考えられる設計用地震力に十分耐えられる設計であること。
- ・安全機能を有する構築物，系統及び機器は，地震以外の想定される自然現象（津波，豪雨，台風，竜巻等）によって施設の安全性が損なわれない設計であること。重要度の特に高い安全機能を有する構築物，系統及び機器は，予想される自然現象のうち最も苛酷と考えられる条件，又は自然力に事故荷重を適切に組み合わせた場合を考慮した設計であること。

措置を講ずべき事項への適合方針

○ 自然現象に対する設計上の考慮

- ・安全機能を有する構築物，系統及び機器は，その安全機能の重要度，地震によって機能の喪失を起こした場合の安全上の影響（公衆被ばく影響）や廃炉活動への影響等を考慮した上で，核燃料物質を非密封で扱う燃料加工施設や使用施設等における耐震クラス分類を参考にして耐震設計上の区分を行うとともに，適切と考えられる設計用地震力に耐えられる設計とする。また，確保できない場合は必要に応じて多様性を考慮した設計とする。

（実施計画：II-1-14-1）

対応方針

2.13 使用済燃料乾式キャスク仮保管設備

2.13.1 基本設計

（中略）

2.13.1.3 設計方針

（中略）

(7) 耐震性

キャスク仮保管設備は，基準地震動 S_s を考慮しても，(1)～(4)に示す安全機能が維持される設計とする。

(中略)

2.13.1.7 構造強度及び耐震性

(中略)

(2) 耐震性

a. 乾式キャスク及び支持架台

乾式キャスクについては、基準地震動 S_s に対し、乾式キャスクの安全機能を維持するために必要な構造強度を有する設計とする。

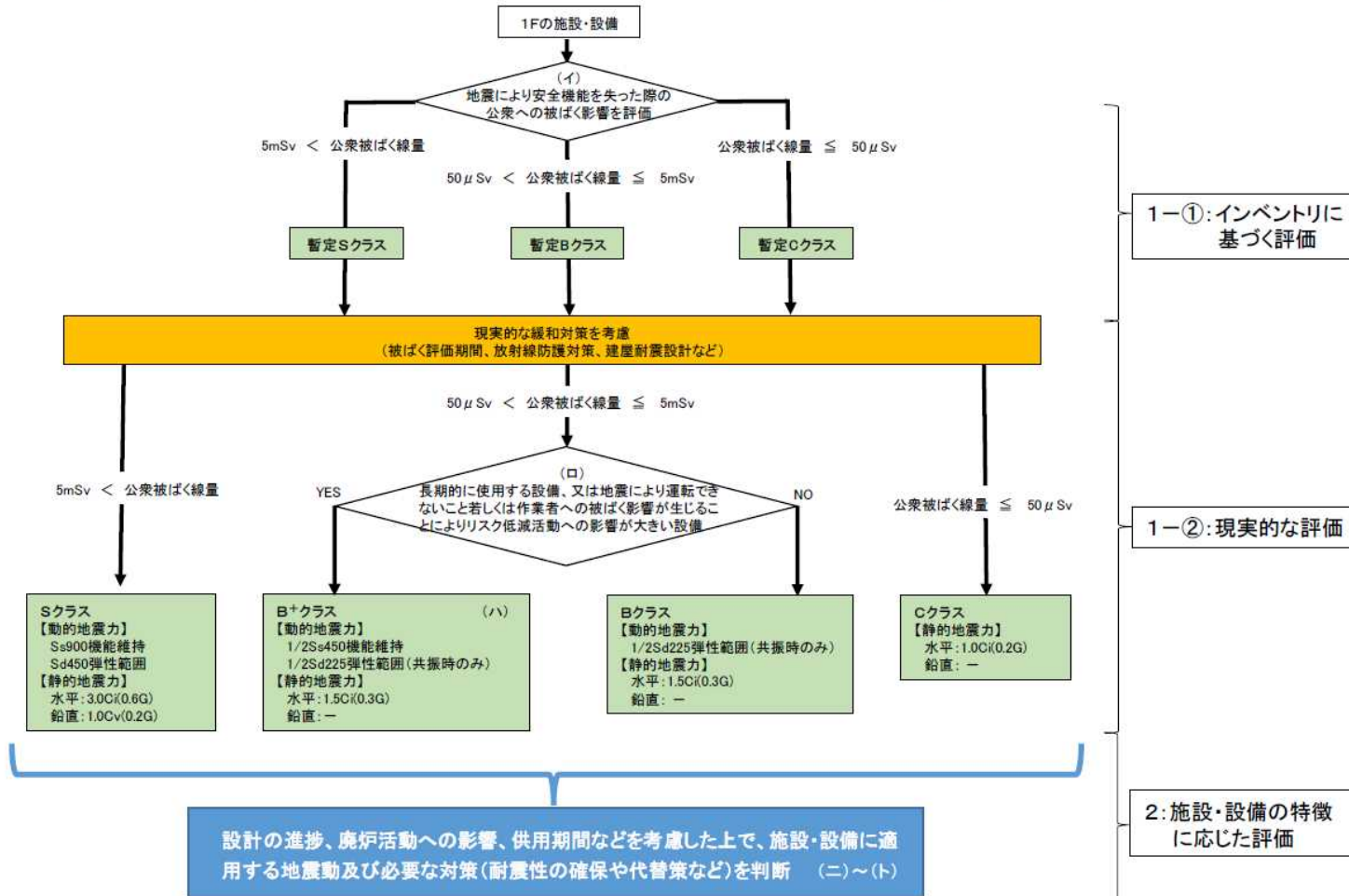
支持架台については、基準地震動 S_s に対し、乾式キャスクを落下・転倒させない設計とする。

(実施計画：II-2-13-1～4)

具体的な設計

輸送貯蔵兼用キャスク（増設 30 基）は、2022 年 11 月 16 日の原子力規制委員会で示された耐震設計の考え方を踏まえ、その安全機能の重要度、地震によって機能の喪失を起こした場合の公衆への被ばく影響を考慮した上で、適切な耐震設計上の区分を行うとともに、適切と考えられる設計用地震力に対し除熱、密封、遮蔽及び臨界防止の安全機能が維持される設計とする。

耐震クラス分類と施設・設備の特徴に応じた地震動の設定及び必要な対策を判断する流れ



(イ)：地震により安全機能を失った際の公衆被ばく影響

- 核燃料施設等の耐震クラス分類を参考にして、地震による安全機能喪失時の公衆被ばく線量により、S、B、Cを分類する。液体放射性物質を内包する施設・設備にあっては、液体の海洋への流出のおそれのない設計を前提とした線量評価によるものとする。

(ロ)：通常のBクラスよりも高い耐震性が求められるB+クラスの対象設備の要件

- 「運転できないこと若しくは作業員への被ばく影響が生じることによりリスク低減活動への影響が大きい設備」の具体例は以下のとおり。
 - ・建屋滞留水・多核種除去設備などの水処理設備、使用済燃料をプールからより安定性の高い乾式キャスクへ移動させるために必要な燃料取出設備等。
 - ・閉じ込め・遮へい機能喪失時の復旧作業における従事者被ばく線量が1日当たりの計画線量限度を超える設備等。

(ハ)：B+クラスの1/2Ss450機能維持

- 1/2Ss450に対して、運転の継続に必要な機能の維持や閉じ込め・遮へい機能の維持を求める。
- 令和4年3月16日の福島県沖地震の地震動が1/2Ss450を上回った周期帯に固有振動数を有する施設・設備は、当該地震動による施設・設備の機能への影響を評価する。

(ニ)：耐震性の確保

- 地震力の算定に際しては、水平2方向及び鉛直方向について適切に組み合わせる。

(ホ)：耐震性の確保に対する代替策

- 耐震性の確保の代替策として、耐震性の不足に起因するリスクを早期に低減させるための対策を講ずるとしてもよい。具体例は以下のとおり。

例：中低濃度タンクや吸着塔一時保管施設等の耐震性の不足に起因するリスクを早期に低減させる対策として、耐震性の高い建屋やタンクへの移替え及び移管、スラリー安定化処理設備や海洋放出設備による処理等を早期に行うことを想定。

(ヘ)：上位クラスへの波及的影響

- 上位クラスへの波及的影響がある場合、原則上位クラスに応じた地震動を念頭に置くが、耐震クラス分類の考え方と同様に、下位クラスによる波及的影響を起因とする敷地周辺の公衆被ばく線量も勘案し、適切な地震動を設定する。

(ト)：液体放射性物質を内包する設備

- 多核種除去設備等で処理する前の液体等、放出による外部への影響が大きい液体を内包する設備については、Ss900に対して、海洋に流出するおそれのない設計とすることを求める（滞留水が存在する建屋、ALPS処理前の水や濃縮廃液を貯留するタンクの堰等）。これ以外の液体を内包する設備については、上位クラスの地震動に対する閉じ込め機能の確保又は漏えい時の影響緩和対策を求める*。

※：設備自体を耐震CクラスからBクラスに格上げ、周囲の堰等に上位クラスの地震動

に対して閉じ込め機能を維持する，漏えい時に仮設ホースによる排水等の機動的対応を講ずる等により，海洋への流出を緩和する措置を想定。
(第 51 回原子力規制委員会 (令和 4 年 11 月 16 日) 資料 3, 抜粋)

耐震性について（増設 30 基）

1 耐震設計方針

(1) 耐震設計の基本方針

輸送貯蔵兼用キャスク（増設 30 基）は、2022 年 11 月 16 日の原子力規制委員会で示された耐震設計の考え方を踏まえ、その安全機能の重要度、地震によって機能の喪失を起こした場合の公衆への被ばく影響を考慮した上で、適切な耐震設計上の区分を行うとともに、適切と考えられる設計用地震力に対し、除熱、密封、遮蔽及び臨界防止の安全機能が維持されていることを確認する

(2) 対象設備と構造計画

輸送貯蔵兼用キャスク（増設 30 基）は、キャスク仮保管設備を構成する設備であり、使用済燃料を収納し、除熱、密封、遮蔽、臨界防止の安全機能を有するため増設 30 基の耐震評価は、輸送貯蔵兼用キャスクの健全性維持の観点から、次の設備を対象に実施する。

① 輸送貯蔵兼用キャスク及び支持架台

表 1 - 1 に設備の構造計画の概要と概略図を示す。

表 1-1 主要設備の構造計画

主要設備	構造計画の概要	概略構造図
<p>①輸送貯蔵兼用キャスク及び支持架台</p>	<p>輸送貯蔵兼用キャスクは横置きで、トランニオンを介し鋼製の支持架台で支持され、支持架台は、アンカーボルトで埋め込み金物に固定される。埋め込み金物は、アンカーボルトで基礎から立ち上げたコンクリート基礎部に固定される。</p>	<p>The diagram illustrates the structural arrangement of the transport and storage container support system. It shows two vertical support frames (支持架台) mounted on a concrete foundation (コンクリート基礎部). The frames are connected to a central structure (埋め込み金物) via anchor bolts (アンカーボルト). The diagram is labeled with '下部側' (lower side) and '上部側' (upper side) to indicate orientation.</p>

(3) 設計用地震力

各機器の耐震設計に用いる設計用地震力は、以下より算定する。

項目	機器等	摘要
(1) 基準地震動	Ss, 1/2Ss	
(2) 設計用地震動	<ul style="list-style-type: none"> • Ss900-① (検討用地震動①) (水平)最大加速度振幅 900gal, 約 250 秒間 (鉛直)最大加速度振幅 600gal, 約 250 秒間 • Ss900-② (検討用地震動②) (南北)最大加速度振幅 722gal, 約 250 秒間 (東西)最大加速度振幅 522gal, 約 250 秒間 (鉛直)最大加速度振幅 517gal, 約 250 秒間 • 1/2Ss450-① Ss900-①の加速度振幅に 1/2 を乗じたもの • 1/2Ss450-② Ss900-②の加速度振幅に 1/2 を乗じたもの 	T.P. 約-197m の基盤 (V_s =約 700m/s) を解放基盤表面として定義する。
(3) 動的解析の方法	時刻歴応答解析法 応答スペクトル法	

(4) 運転状態と地震動の組合せに対する供用状態

運転状態と地震動の組合せに対応する供用状態は以下とする。

運転状態と地震動の組合せ	供用状態
I ^{注1)} +Ss900	D (IVAS) ^{注2)}
I ^{注1)} +1/2Ss450	D (IVAS) ^{注2)}

注 1) 「運転状態 I」とは、通常運転の運転状態をいい、乾式キャスクの場合は、取り扱い時及び本設備での機器の通常の保管時の状態で「設計事象 I」に読み替える。

注 2) 「原子力発電所耐震設計技術指針」において規定される許容応力状態（「設計・建設規格」の許容状態 D 相当）

輸送貯蔵兼用キャスク（増設 30 基）に対する耐震性能の基本的な考え方は以下とする。

表 1-2 耐震クラス

設備区分	施設自体の耐震クラス	上位クラスへの波及影響を考慮し実施する評価	適用する設計用地震動と要求性能
輸送貯蔵兼用キャスク（増設 30 基）	S クラス	—	設計用地震動 Ss900・1/2Ss450 に対し，乾式キャスクの安全機能を維持するために必要な構造強度を有すること。

(5) 地盤の応答解析による設計用地震力の算定

1) 解析概要

本検討では基礎—地盤連成系の 2 次元 F E M 応答解析を行い，基礎上面での応答波の応答スペクトルの作成，設計用地震力の算定を行う。解析プログラムは Super-FLUSH/2D を用いる。

2) 解析に用いる検討用地震動

検討用地震動は，解放基盤表面で定義される検討用地震動を用いる。解放基盤表面位置における検討用地震動および加速度振幅に 1/2 を乗じた設計用地震動の加速度時刻歴波形を図 1-1 ~ 1-10 に示す。

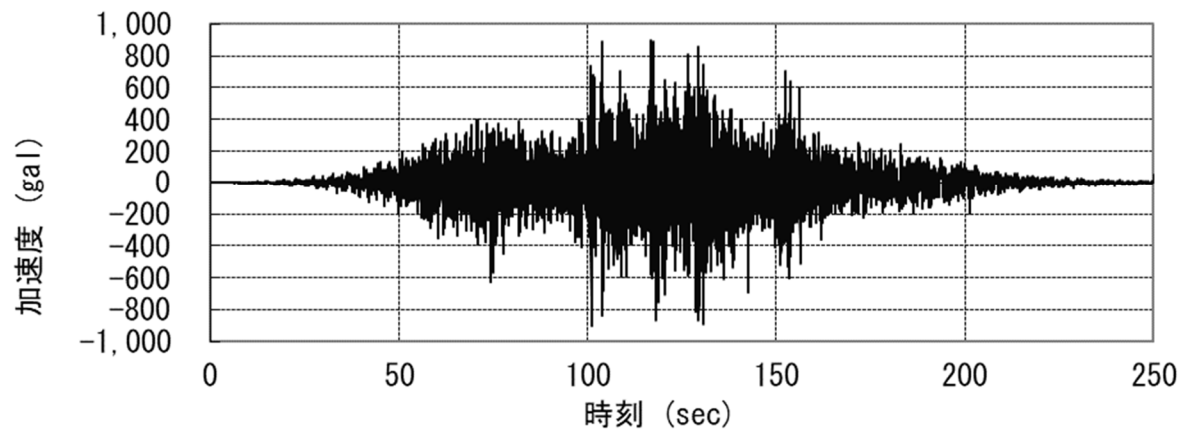


图 1 - 1 Ss900-① (水平方向)

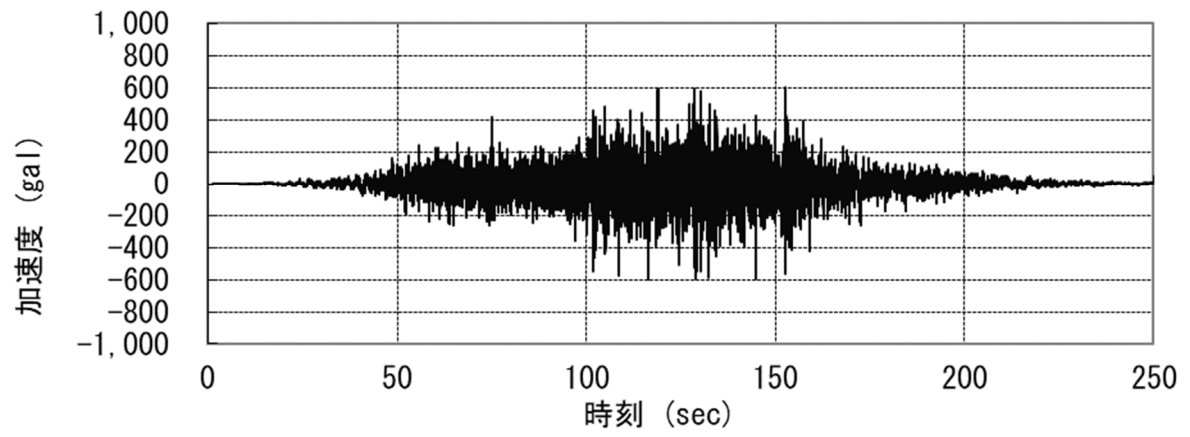


图 1 - 2 Ss900-① (鉛直方向)

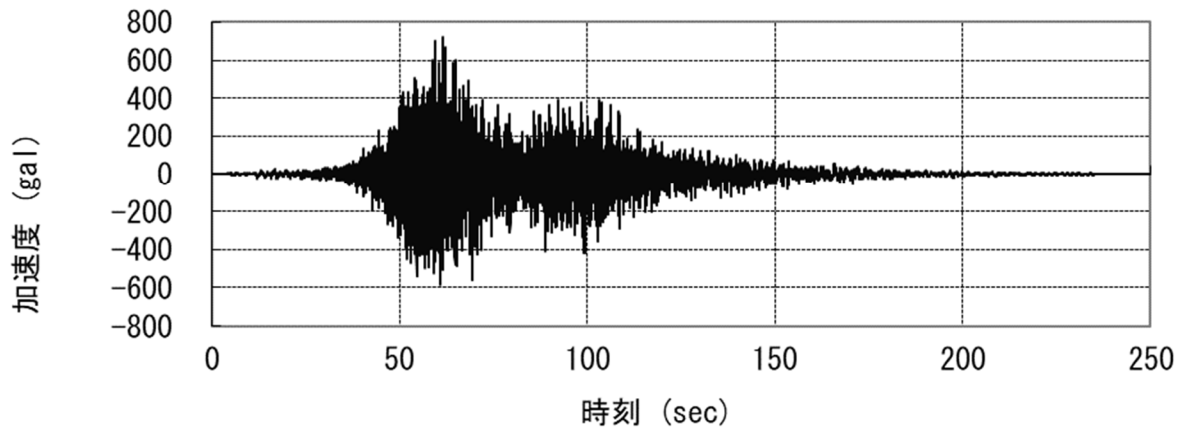


图 1-3 Ss900-② (NS 方向)

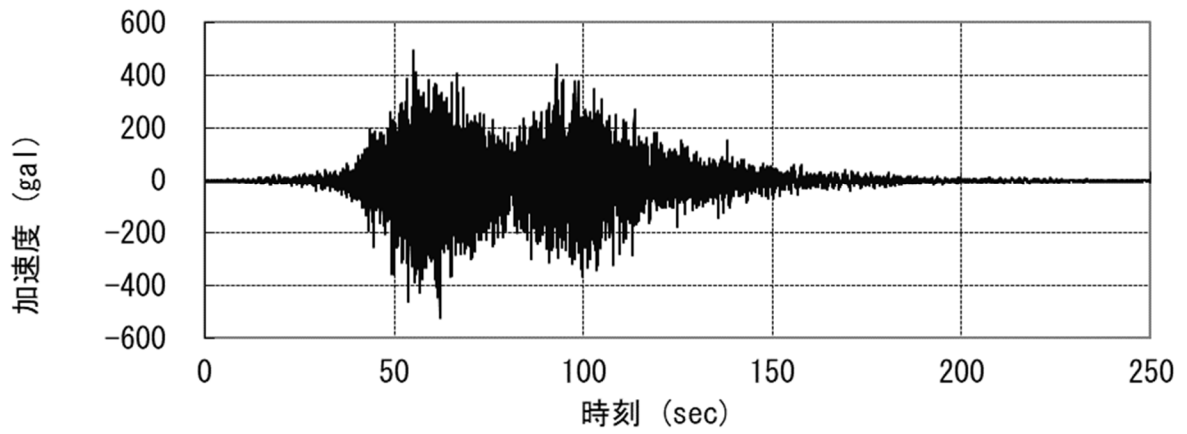


图 1-4 Ss900-② (EW 方向)

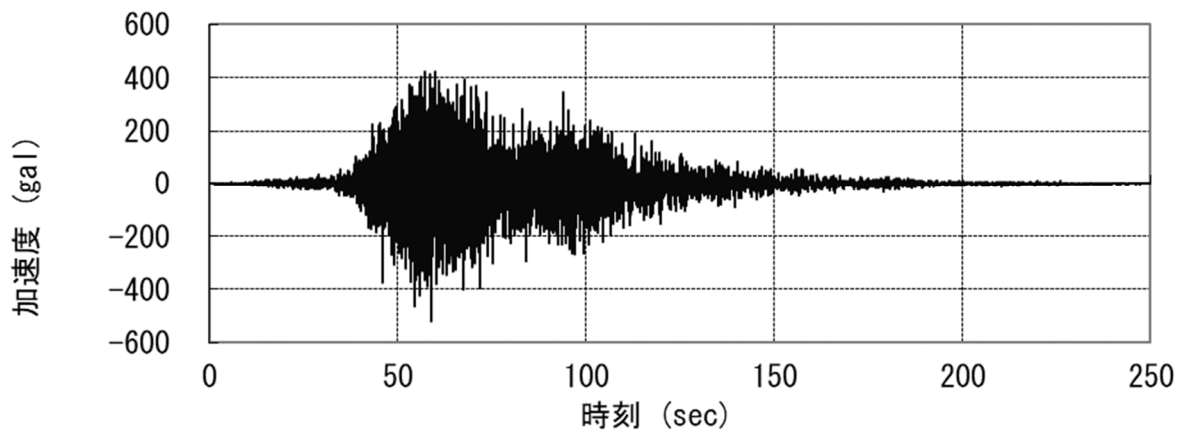


图 1-5 Ss900-② (UD 方向)

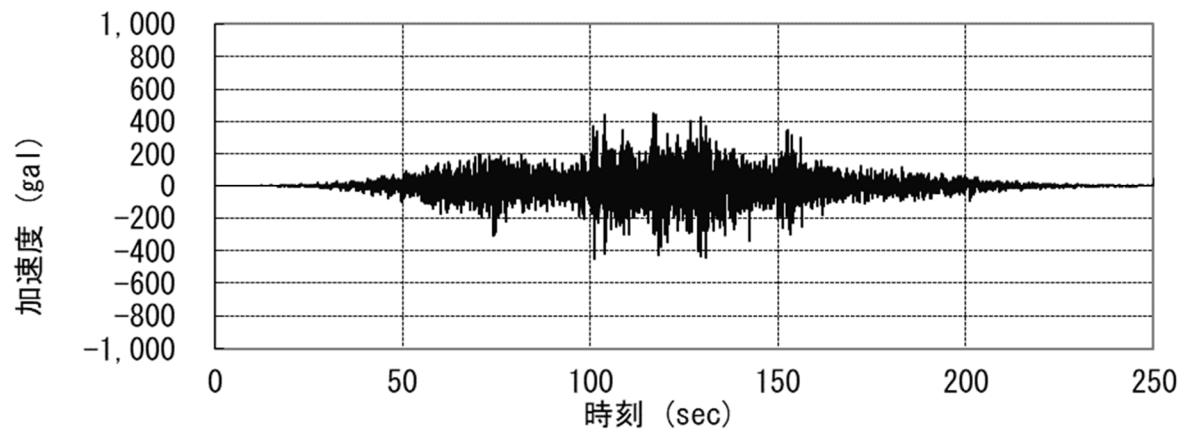


图 1 - 6 1/2Ss450-① (水平方向)

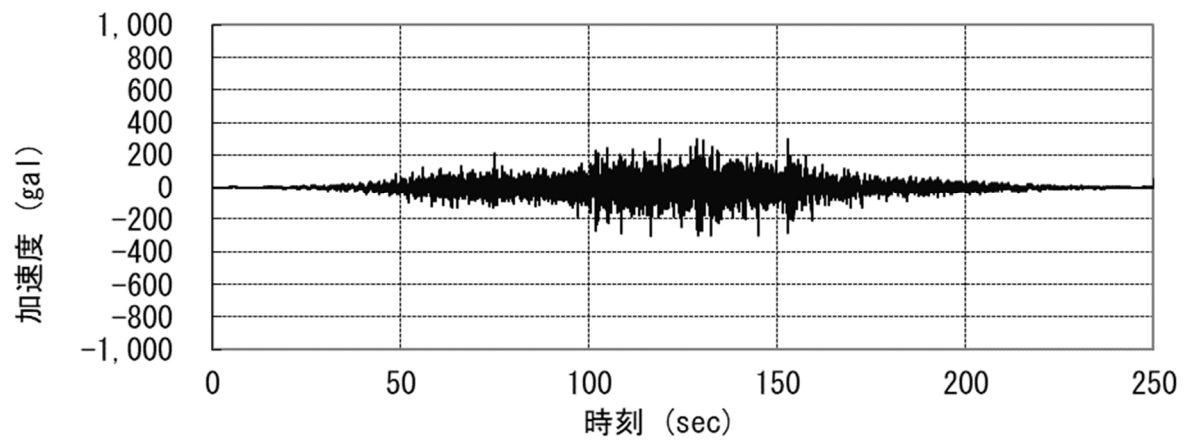


图 1 - 7 1/2Ss450-① (鉛直方向)

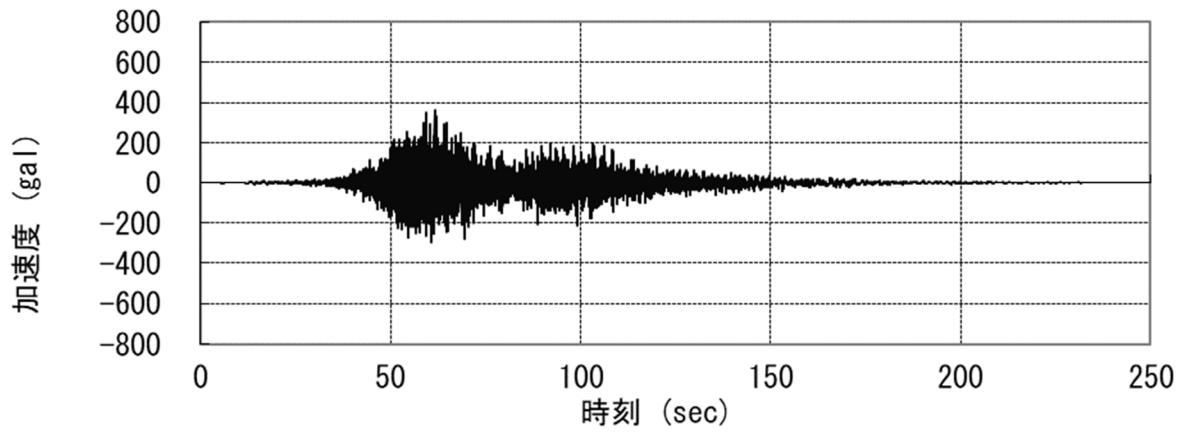


图 1-8 1/2Ss450-② (NS 方向)

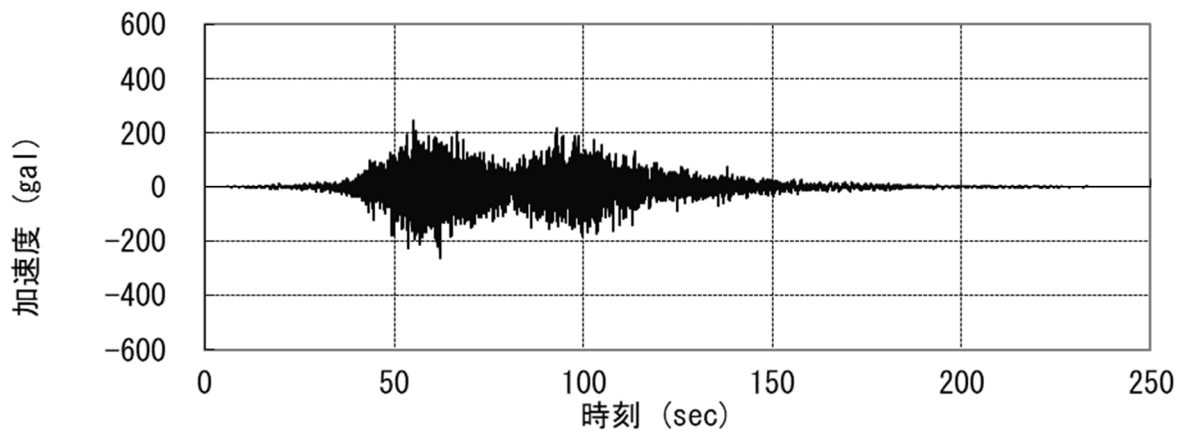


图 1-9 1/2Ss450-② (EW 方向)

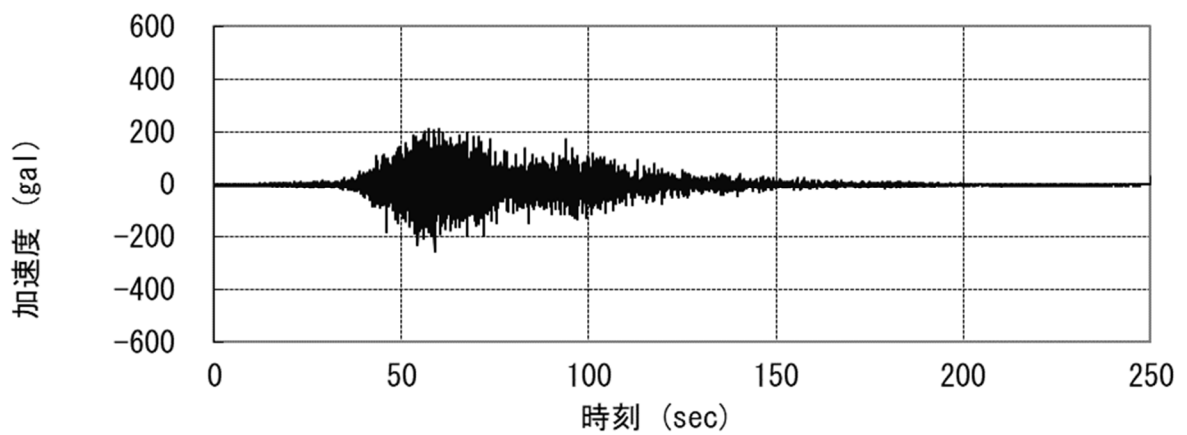


图 1-10 1/2Ss450-② (UD 方向)

3) 地震応答解析モデル

地震応答解析モデルは図1-11, 12のように、基礎-地盤連成系モデルとする。地盤応答解析に用いる地盤定数の設定結果を表1-3に示す。また、コンクリート基礎を除く各層のモデル化においては、地盤の非線形性を考慮する。図1-13に各層の動的変形特性を示す。

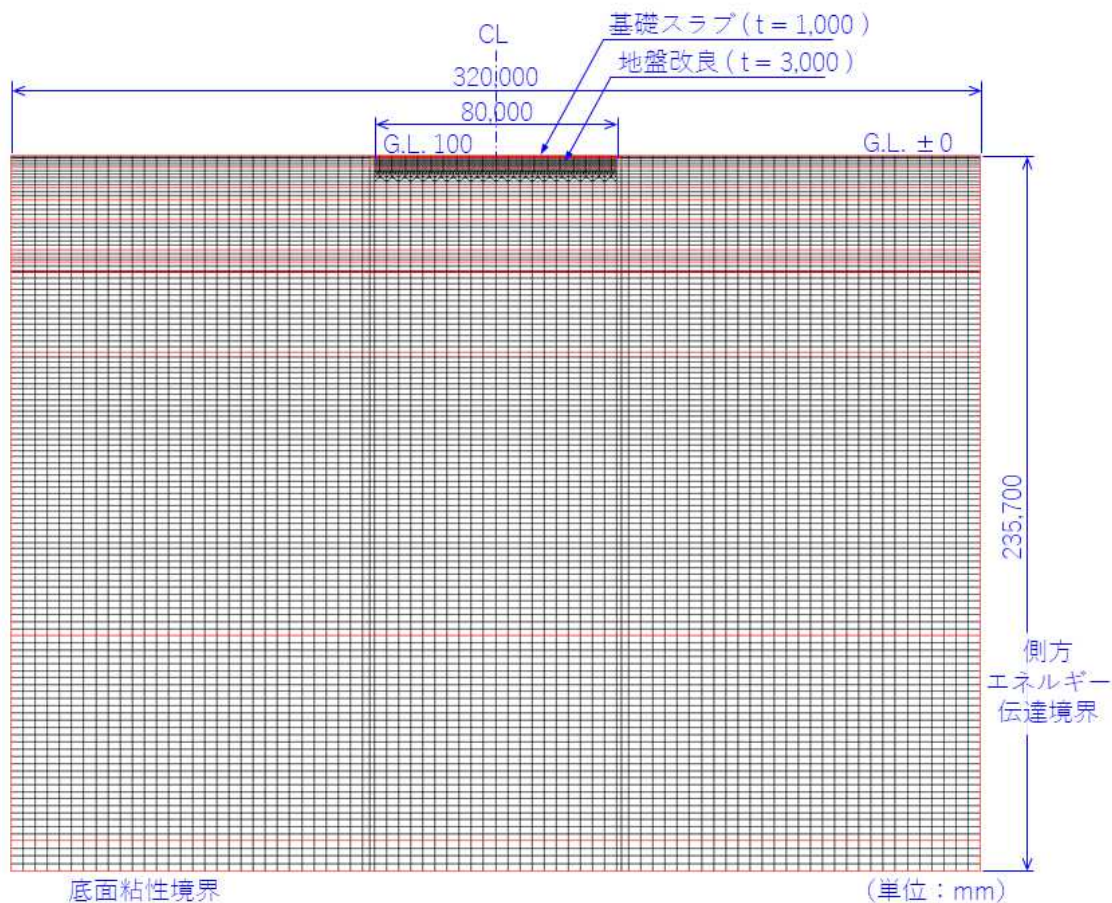


図1-11 解析モデルの概要 (NS方向)

2-13では、G.L. ±0m=T.P. 38.264m^(※)とする。
 (※) 震災後の地盤沈下量 (-709mm) と O.P. から T.P. への換算値 (-727mm) を用いて、下式に基づき換算している。
 <換算式> T.P. =旧 O.P. -1,436mm

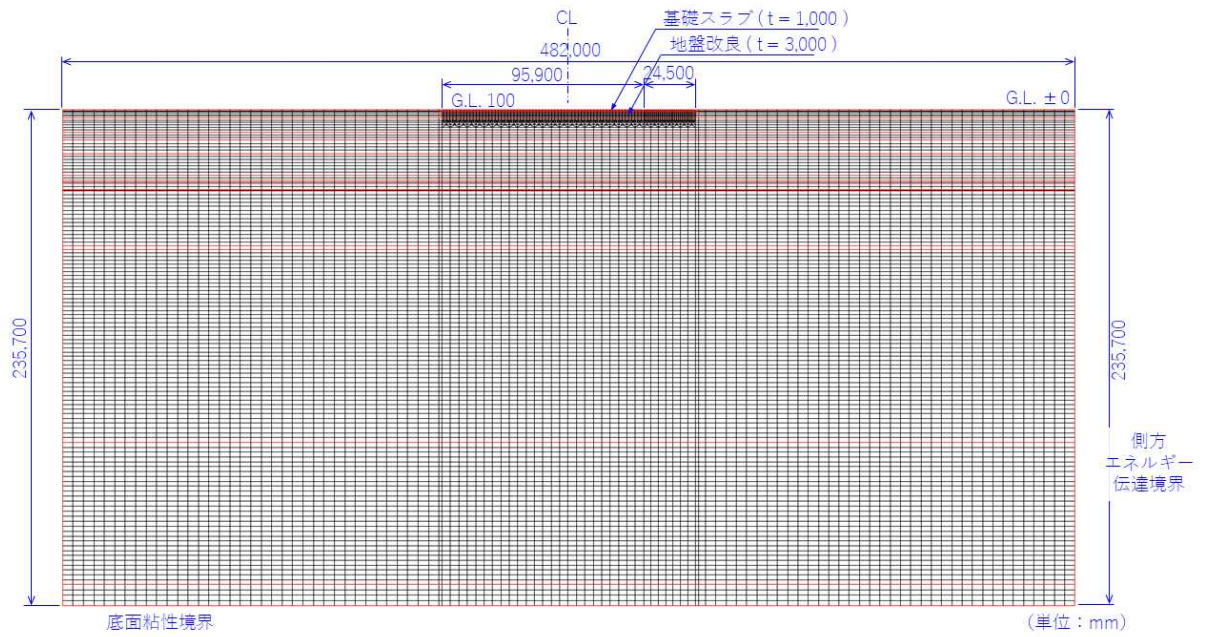


図 1 - 1 2 解析モデルの概要 (EW 方向)

2-13 では、G.L. ±0m=T.P. 38.264m^(※) とする。
 (※) 震災後の地盤沈下量 (-709mm) と O.P. から T.P. への換
 算値 (-727mm) を用いて、下式に基づき換算している。
 <換算式> T.P.=旧 O.P. -1,436mm

表 1-3 解析用地盤定数

地層名	層標高		各地層厚 (m)	湿潤密度 ρ (t/m ³)	せん断弾性 係数 G_0 (kN/m ²)	せん断波 速度 V_s (m/sec)	強度特性	
	上端 G.L. (m)	下端 G.L. (m)					C (N/mm ²)	ϕ (°)
	コンクリート基礎	0.100	-0.900	1.000	2.679	10,420,000	1972	-
埋戻し土	0.000	-3.900	3.900	1.8	72,600	201	0	30
改良地盤	-0.900	-3.900	3.000	1.8	380,000	459	-	-
段丘堆積物	-3.900	-10.674	6.774	1.59	158,000	315	0.039	24.7
T3 部層 中粒砂岩層	-10.674	-14.485	3.811	1.84	210,000	338	0.098	38.6
T3 部層 泥質部	-14.485	-20.863	6.378	1.71	427,000	500	1.5	0
T3 部層 互層部	-20.863	-31.006	10.143	1.76	302,000	414	0.098	38.6
T3 部層 泥質部	-31.006	-33.591	2.585	1.71	427,000	500	1.5	0
T3 部層 中粒砂岩層	-33.591	-34.946	1.355	1.84	210,000	338	0.098	38.6
T3 部層 泥質部	-34.946	-38.007	3.061	1.71	427,000	500	1.5	0
T3 部層 粗粒砂岩層	-38.007	-38.572	0.565	1.84	210,000	338	0.098	38.6
T3 部層 泥質部	-38.572	-64.680	26.108	1.71	427,000	500	1.5	0
T2 部層	-64.680	-158.100	93.420	深度依存 1.76~ 1.80	深度依存 334,000~ 635,000	深度依存 436~594	深度依存 1.131~ 1.839	0
T1 部層	-158.100	-225.580	67.480	1.79	667,000	610	1.62	0
先富岡層	-225.580	-235.700	10.120	1.88	954,000	712	1.8	0
解放基盤面	-235.700	-	-	1.88	954,000	712	1.8	0

出典：「福島第一原子力発電所 原子炉設置変更許可申請書」(平成5年4月)等

2-13 では、G.L. ± 0 m=T.P. 38.264m^(※) とする。

(※) 震災後の地盤沈下量(-709mm)とO.P.からT.P.への換算値(-727mm)を用いて、下式に基づき換算している。

<換算式> T.P.=旧O.P.-1,436mm

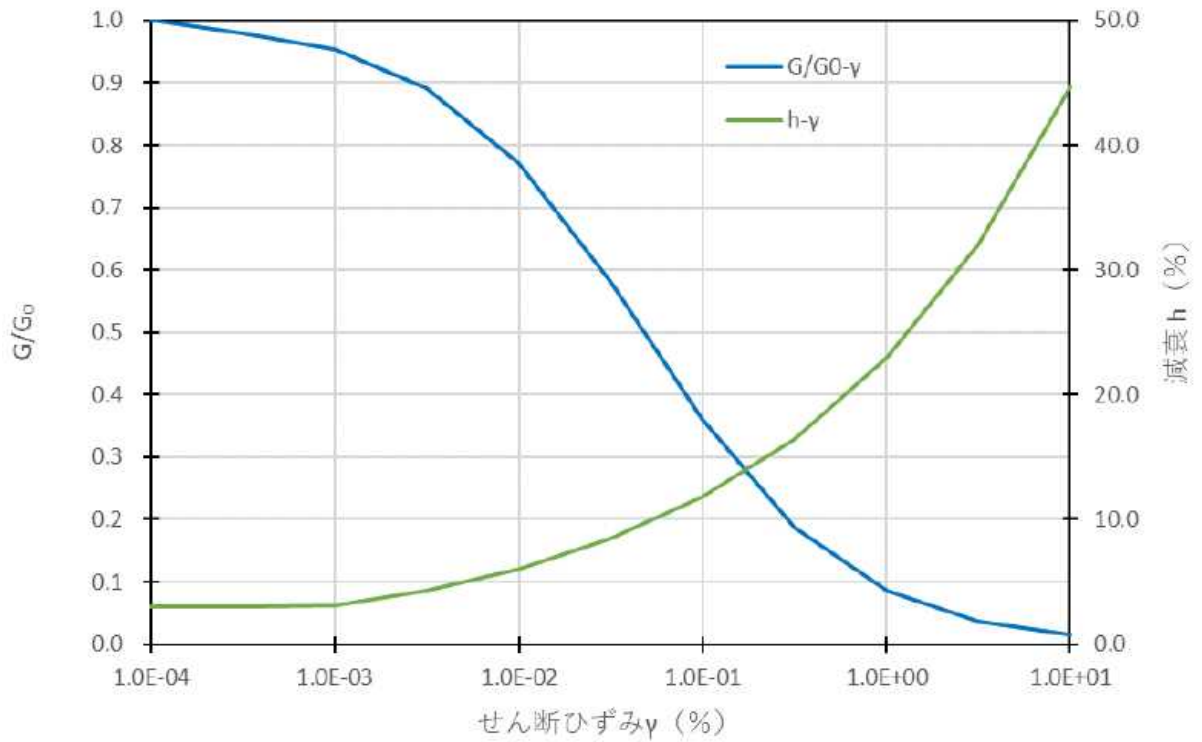


図 1 - 1 3 (1) 埋戻土層の動的変形特性

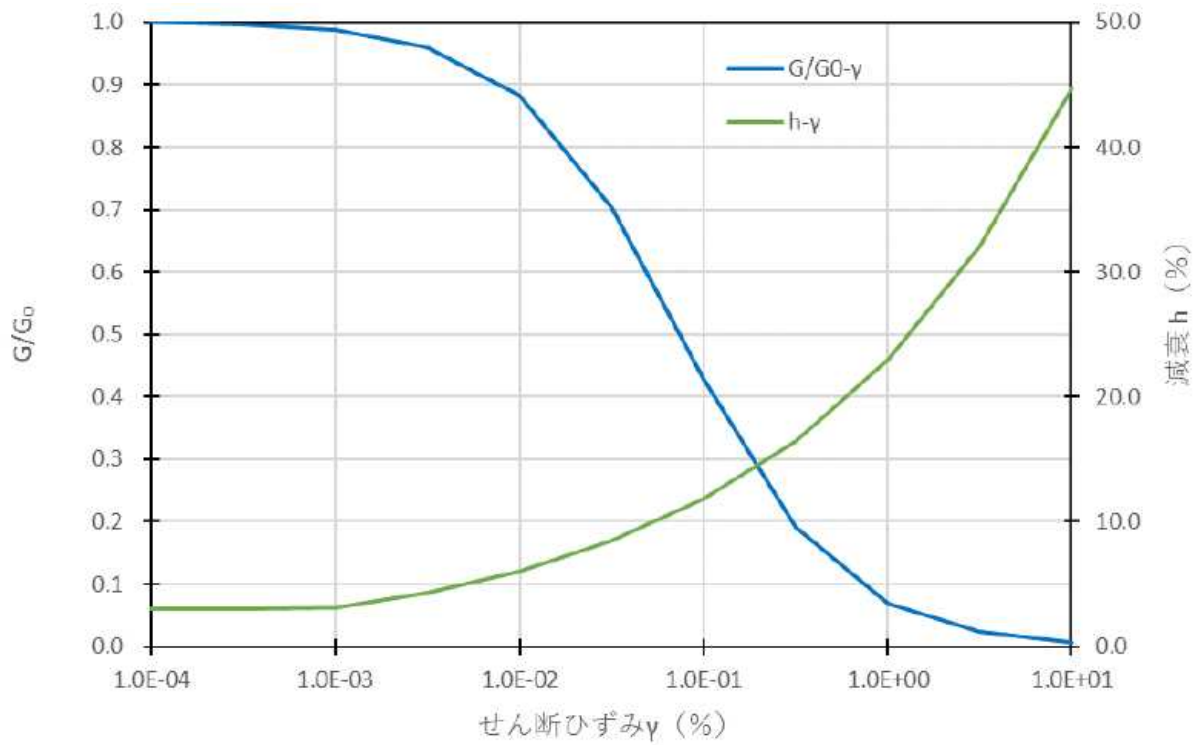


図 1 - 1 3 (2) 改良地盤の動的変形特性

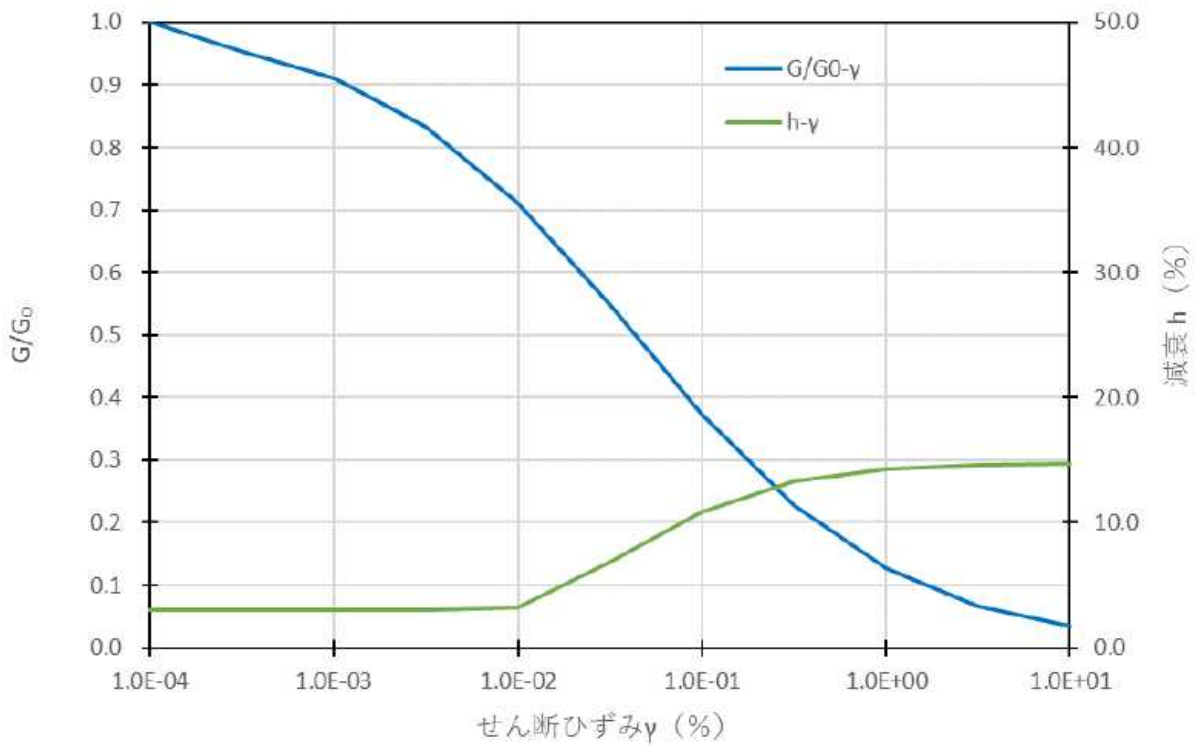


図 1 - 1 3 (3) 段丘堆積物の動的変形特性

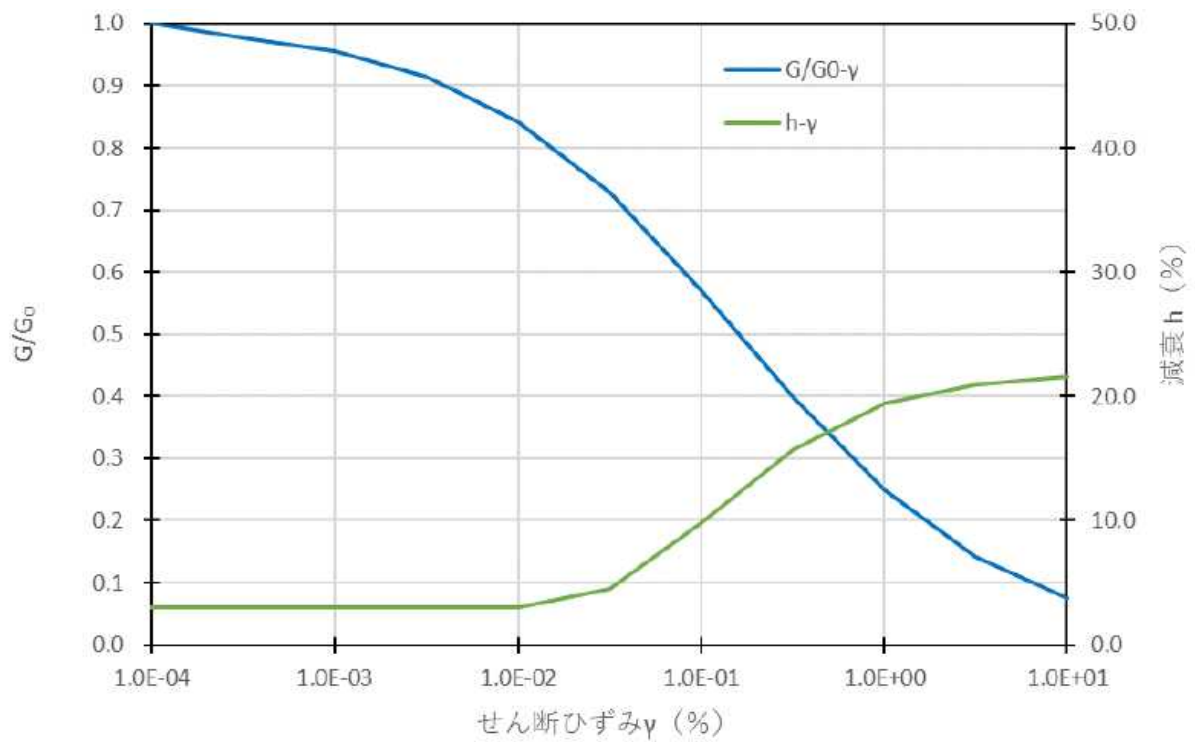


図 1 - 1 3 (4) T3 部層中粒砂岩層の動的変形特性

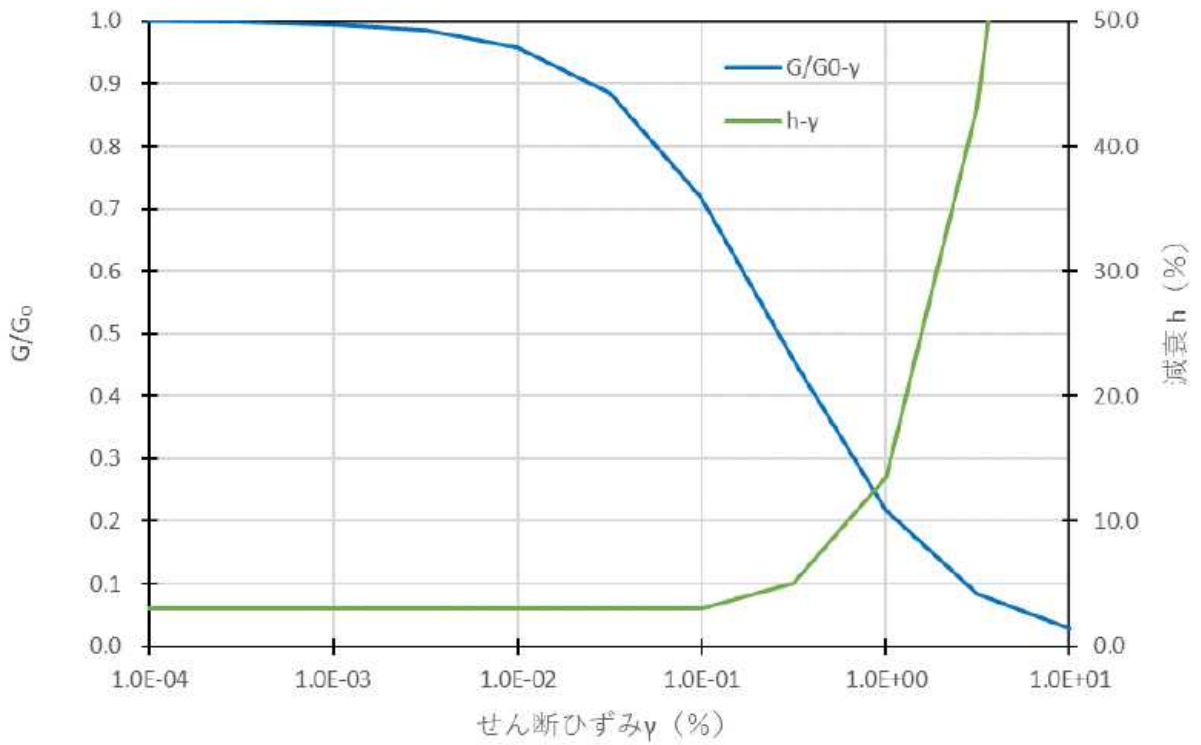


図 1 - 1 3 (5) T3 部層泥質部の動的変形特性

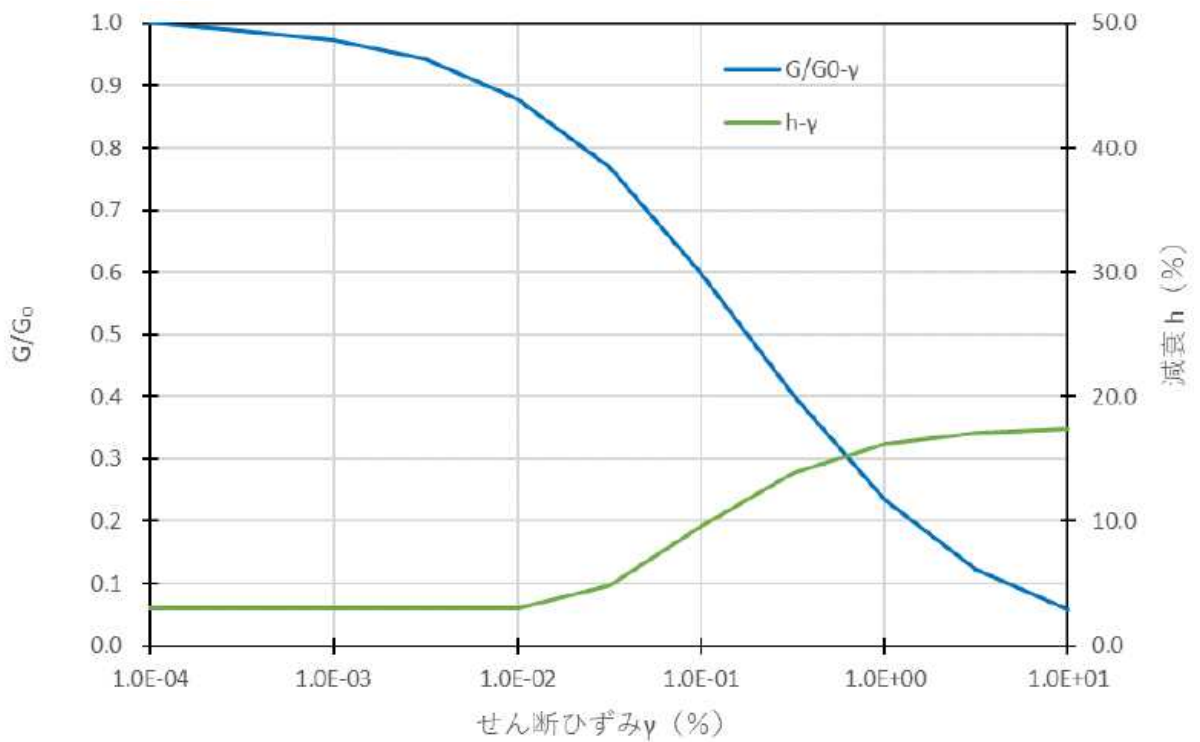


図 1 - 1 3 (6) T3 部層互層部の動的変形特性

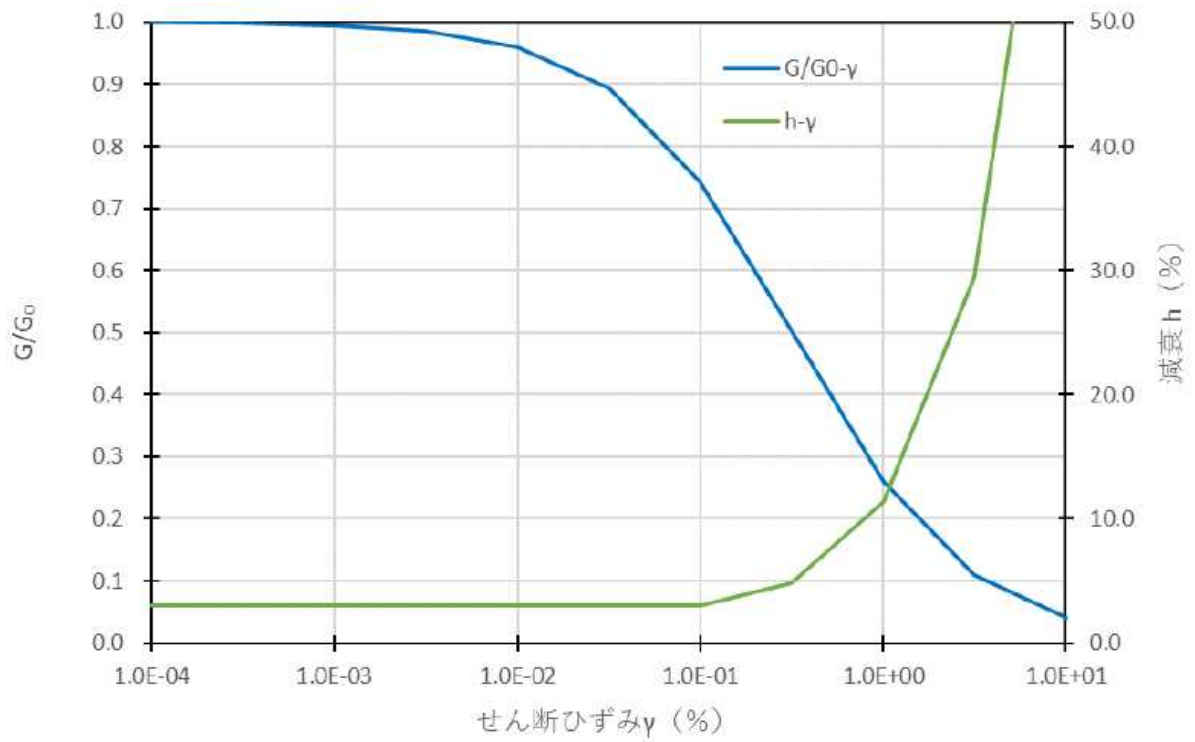


図 1 - 1 3 (7) T2 部層の動的変形特性

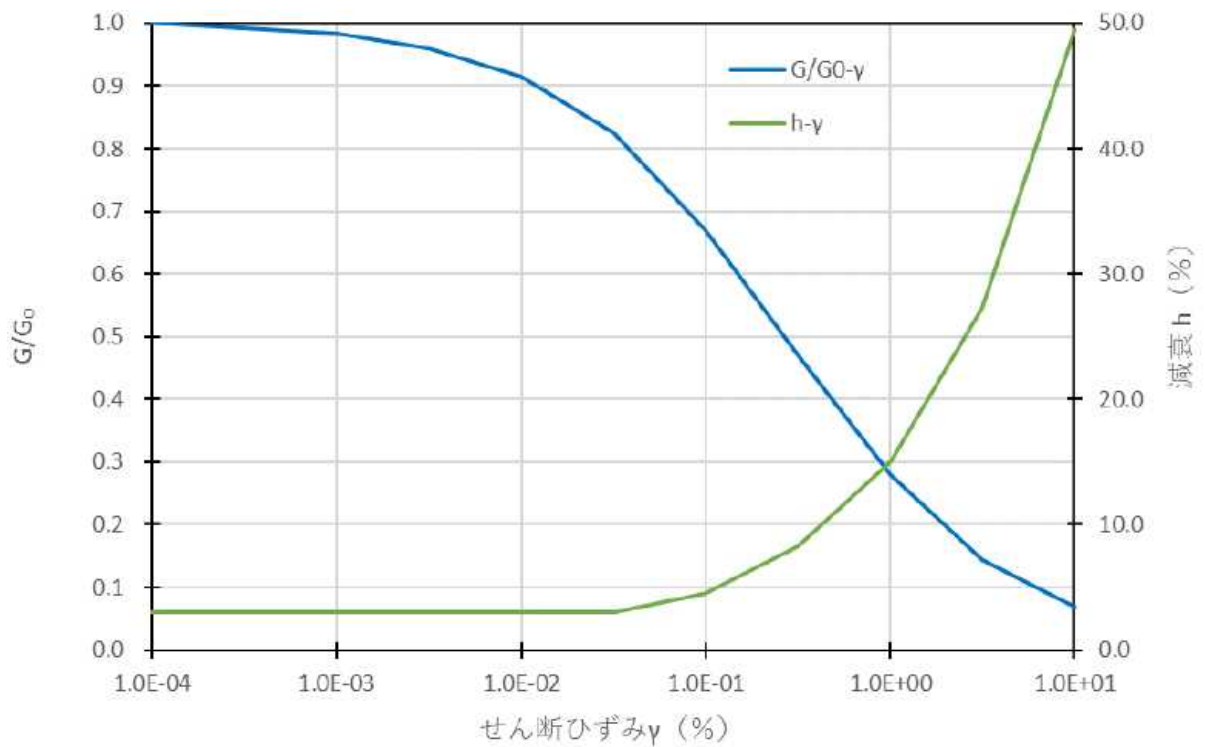


図 1 - 1 3 (8) T1 部層の動的変形特性

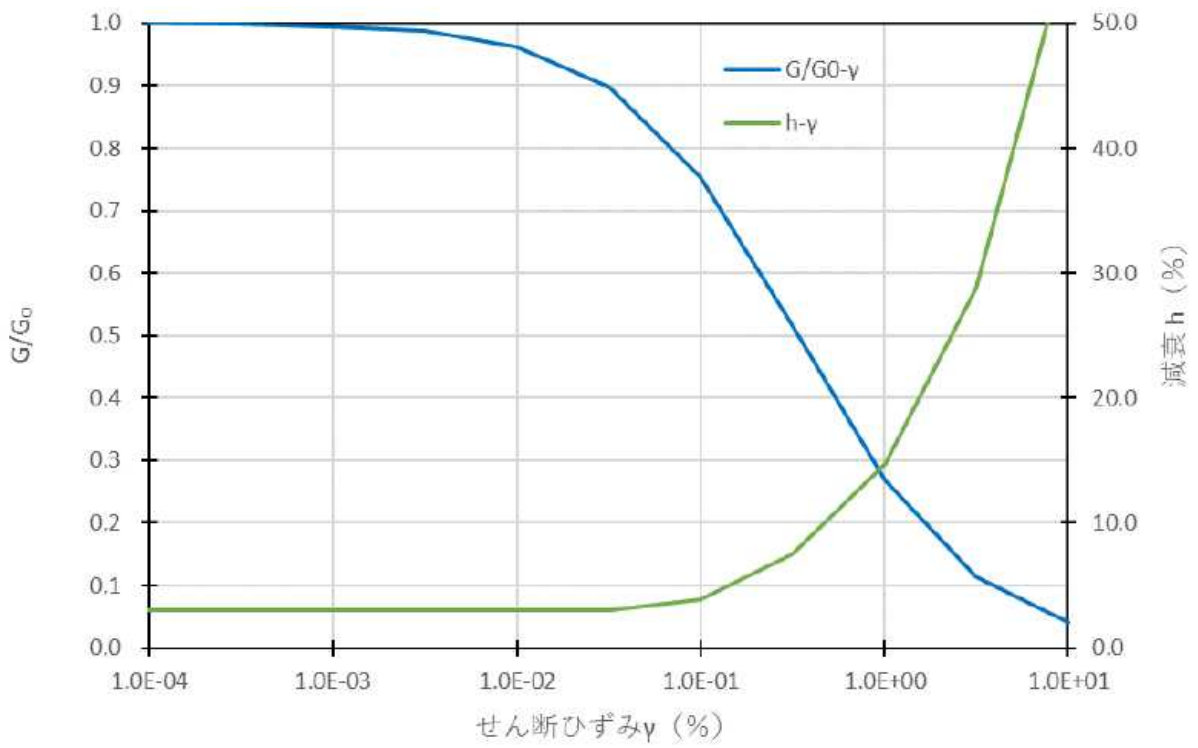


図 1 - 1 3 (9) 先富岡層の動的変形特性

2 耐震性

2.1 輸送貯蔵兼用キャスク

(1) 評価方針

キャスク仮保管設備における輸送貯蔵兼用キャスク（増設 30 基）の 1/2Ss450 及び Ss900 に対する耐震強度を確認する。

本評価では、既設評価と同様の水平 1 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる評価を行った上で、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響を評価する。水平 2 方向の地震力が各方向 1:1 で入力された場合の最大値は、地震力の二乗和より $\sqrt{2}$ 倍となり、この値を丸めた 1.5 以上の裕度がある部位は影響が軽微であるため、従来の設計手法を持って耐震性を確認する。

(2) 主な構成部材と適用基準

1) 主な構成部材

輸送貯蔵兼用キャスクの耐震設計は、地震時に要求される安全機能を維持するため、キャスク容器、二次蓋、バスケット及びトラニオンについて評価する。

2) 適用基準

輸送貯蔵兼用キャスクの強度評価については「使用済燃料貯蔵施設規格 金属キャスク構造規格(JSME S FA1-2007)」を適用する。

(3) 固有周期の算定

① 固有周期の計算条件

- A. 輸送貯蔵兼用キャスクは、横置きで支持される。
- B. 輸送貯蔵兼用キャスクの自重（内部を含む）は、4 個のトラニオンを介してキャスク支持架台に固定される。
- C. 二次蓋は二次蓋締付けボルトでキャスク容器に固定される。
- D. 鋼製支持架台は基礎ボルトでコンクリート支持架台に固定され、コンクリート支持架台は基礎と一体の構造となっている。概略構造図を図 2. 1-1 に示す。

② 固有周期の計算方法

A. 設定条件

- a. 自重及び鉛直方向地震力に対して、キャスク支持架台の 4 本の脚柱で支える。
- b. キャスク容器軸方向水平地震力に対して、キャスク支持架台の 2 本の脚柱で支える。
- c. キャスク容器軸直角方向水平地震力に対して、キャスク支持架台の 4 本の脚柱で支える。

B. 計算モデル及び計算方法

- a. キャスク容器及びキャスク支持架台をはりでモデル化する。
- b. キャスク容器のはりは、その質量（内部のバスケット，使用済燃料等を含む）と等価質量となるはり要素を用いる。
- c. コンクリート支持架台の下部を固定端とする。
- d. 計算コードとして NASTRAN を用いる。
- e. 計算モデルは図 2. 1-2 とする。

③ 固有周期

固有周期の算定結果を表 2. 1-1 に示す。

表 2. 1-1 保管時の輸送貯蔵兼用キャスクの固有周期
(単位:s)

方 向	固有周期
キャスク容器軸方向	0.047
キャスク容器軸直角方向	0.041
キャスク容器鉛直方向	0.020

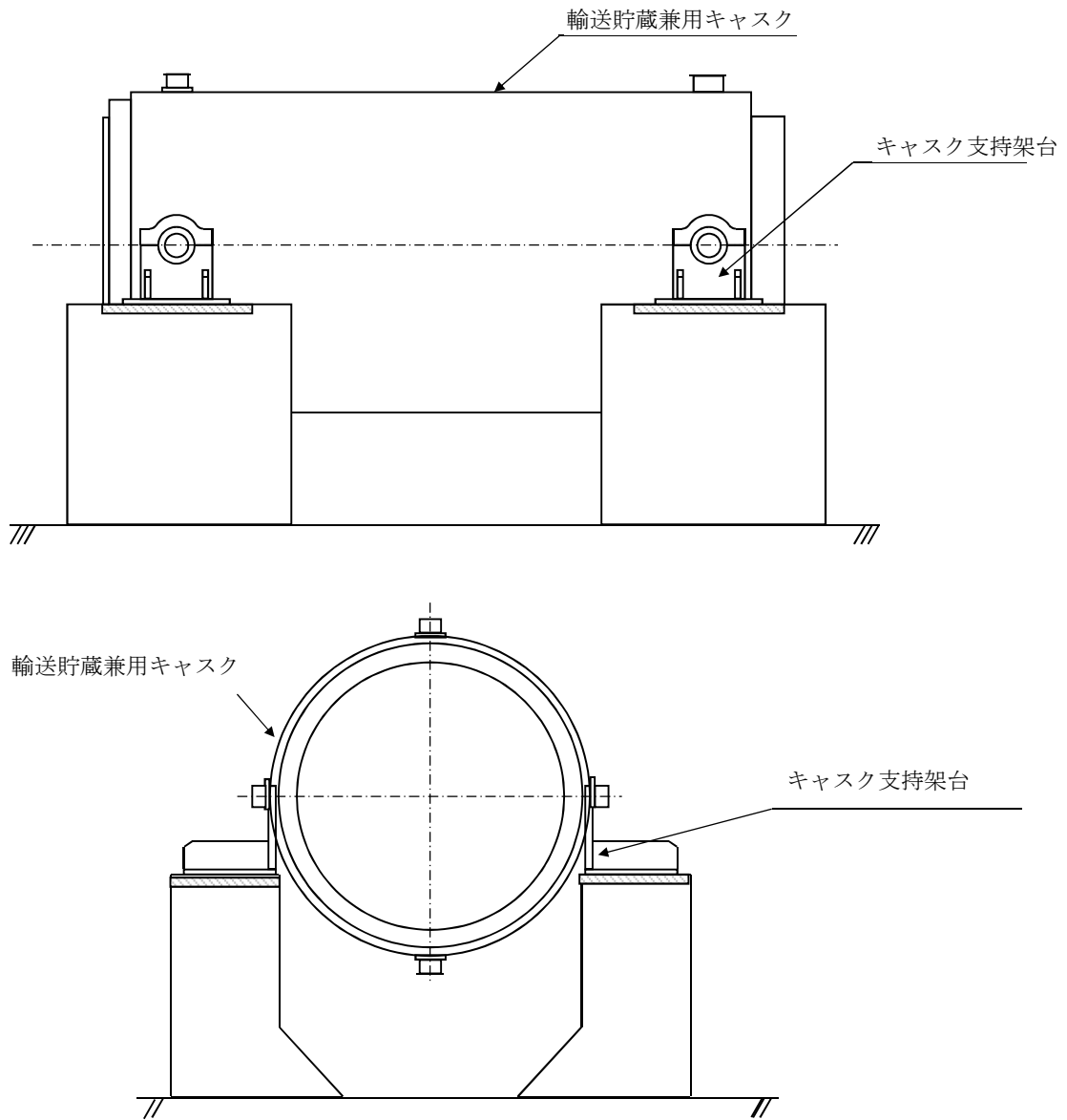


図 2. 1 - 1 輸送貯蔵兼用キャスクの概略構造図

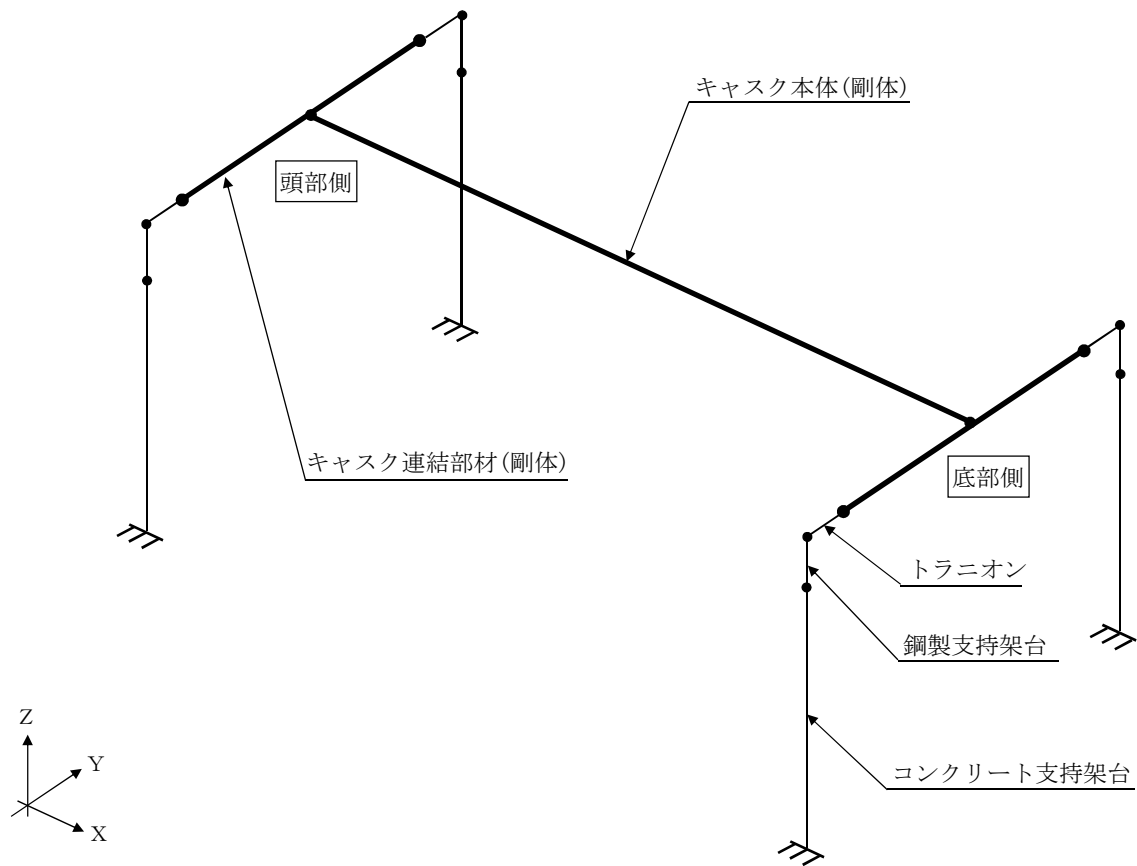


図 2. 1 - 2 固有周期解析モデル

(4) 設計震度

「(3) 固有周期の算定」で求めた固有周期と「1 耐震設計方針」に基づき、輸送貯蔵兼用キャスクの耐震性の評価に用いる設計用地震力を定める。

輸送貯蔵兼用キャスクの固有周期は全て 0.05sec 以下であることから、輸送貯蔵兼用キャスクは剛体とみなすことができる。従って設計用地震力は 1.2ZPA とする。表 2. 1-2 に 1/2Ss450 及び Ss900 の 1.2ZPA を示す。

表 2. 1-2 1/2Ss450 及び Ss900 の 1.2ZPA

	1.2ZPA(水平)	1.2ZPA(鉛直)
1/2Ss450	0.66G	0.41G
Ss900	1.14G	0.84G

(5) 解析条件

1) 荷重の組合せ

1/2Ss450 及び Ss900 地震時の評価において、キャスク容器及び二次蓋、バスケット、トランニオンの設計上考慮すべき荷重の種類とその組合せを表 2. 1-3 (1) ~ (3) に示す。

表 2. 1-3 (1) キャスク容器及び二次蓋の設計上考慮すべき荷重の種類とその組合せ

設計事象	評価事象	荷 重				
		圧力による荷重	自重による荷重	ボルト初期締付け力	熱荷重	地震荷重
I + 1/2Ss450	1/2Ss450 地震力が作用する場合	○	○	○	—注)	○
I + Ss900	Ss900 地震力が作用する場合	○	○	○	—注)	○

注) 密封シール部及び密封蓋締付けボルトの応力評価に当たっては、熱荷重を考慮する。

表 2. 1-3 (2) バスケットの設計上考慮すべき荷重の種類とその組合せ

設計事象 / 評価事象		自重による荷重	熱荷重	地震荷重
I + 1/2Ss450	1/2Ss450 地震力が作用する場合	○	—	○
I + Ss900	Ss900 地震力が作用する場合	○	—	○

表 2. 1-3 (3) トラニオンの設計上考慮すべき荷重の種類とその組合せ

設計事象 / 評価事象		自重による荷重	熱荷重 注)	地震荷重
I + 1/2Ss450	1/2Ss450 地震力が作用する場合	○	○	○
I + Ss900	Ss900 地震力が作用する場合	○	○	○

注) キャスク容器の熱膨張により生じる応力に限る。

2) 最高使用圧力と温度

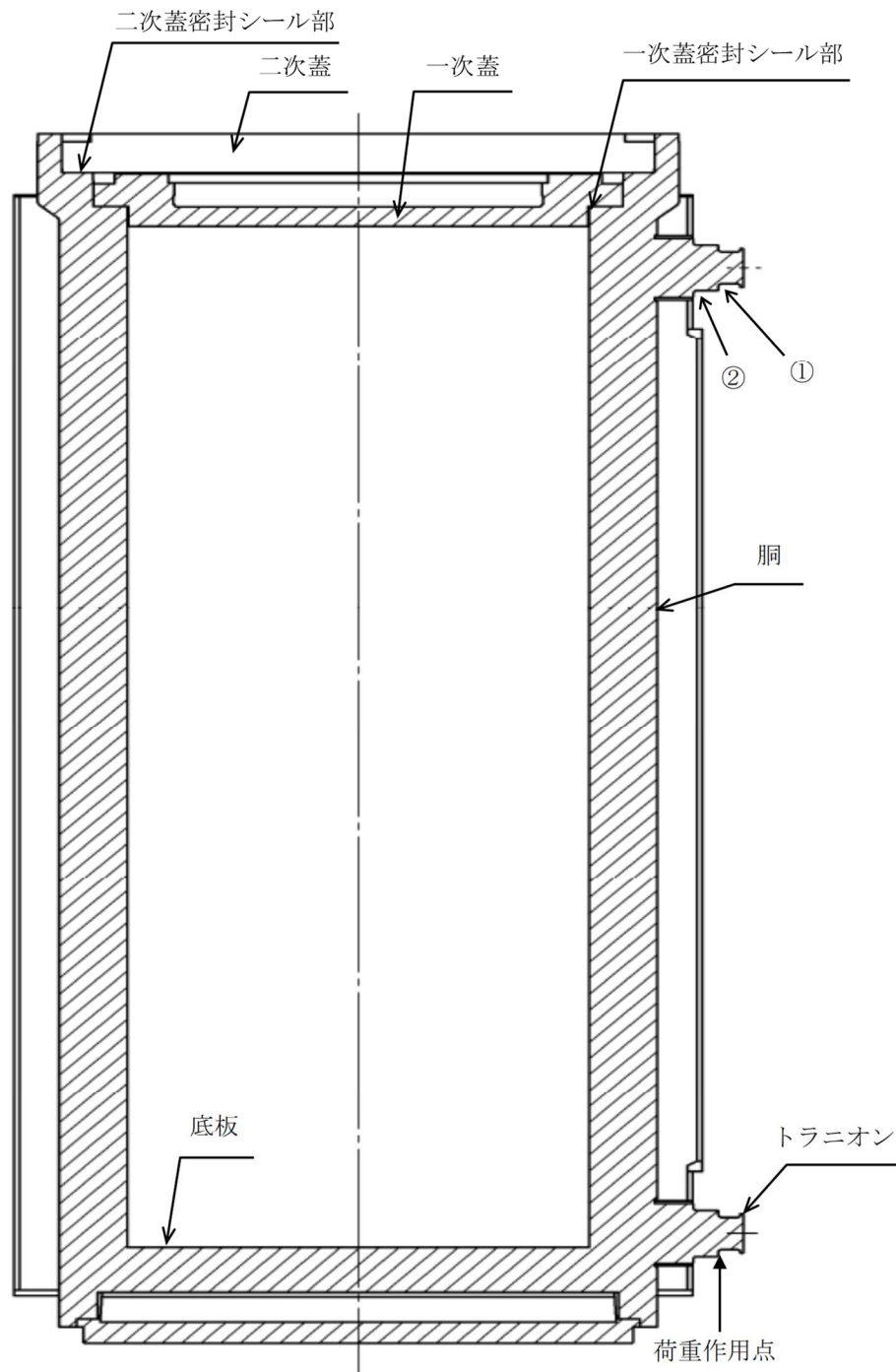
各機器の最高使用圧力及び最高使用温度を表 2. 1-4 に示す。

表 2. 1-4 最高使用圧力及び最高使用温度

キャスク容器	最高使用圧力	1.0 MPa
	最高使用温度	150 °C
二次蓋	最高使用圧力	0.4 MPa
	最高使用温度	110 °C
バスケット	最高使用温度	260 °C
トラニオン	最高使用温度	130 °C

3) 解析箇所

解析箇所を図 2. 1-3, 4 に示す。



①, ②はトラニオンの評価点を示す

図2. 1-3 キャスク容器等の応力解析箇所

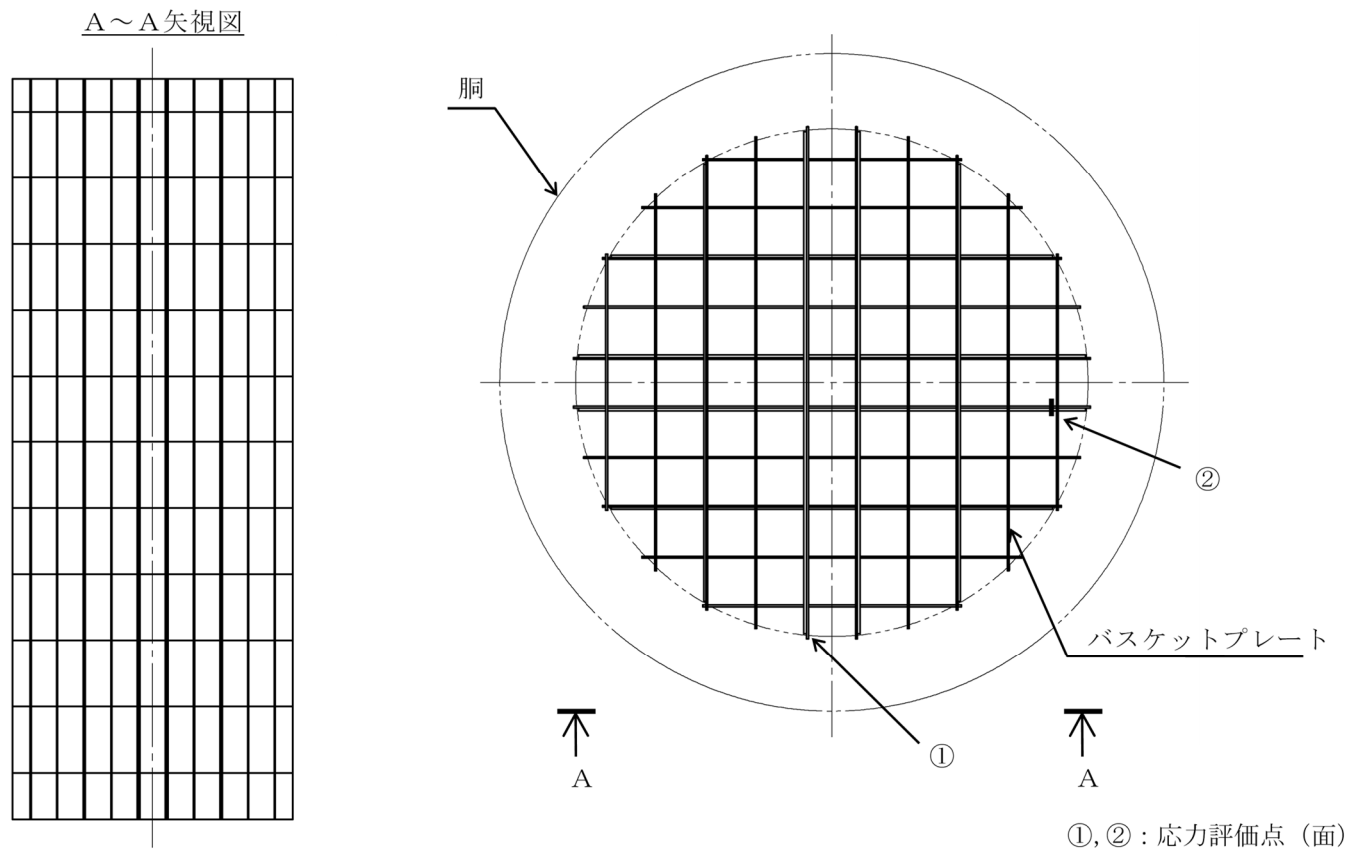


図2. 1-4 バスケットの応力解析箇所

4) 物性値

A. キャスク容器及び二次蓋

熱応力計算に使用する材料の物性値を表 2. 1 - 5 に示す。なお、熱応力計算に使用する物性値はその温度依存性を考慮する。

内圧及び機械的荷重による応力計算に使用する物性値は、温度分布計算で得られた温度を各部ごとに設定し、これに対応した値を用いる。なお、常温は 20°C とする。

B. バスケット

熱応力計算に使用する材料の物性値を表 2. 1 - 6 に示す。なお、熱応力計算に使用する物性値はその温度依存性を考慮する。

機械的荷重による応力計算に使用する物性値は、最高使用温度に対する値を用いる。なお、常温は 20°C とする。

C. トラニオン

熱応力計算に使用する材料の物性値を表 2. 1 - 7 に示す。

機械的荷重による応力計算に使用する物性値は、最高使用温度に対する値を用いる。なお、常温は 20°C とする。

表 2. 1-5 熱応力計算に使用する材料の物性値 (キャスク容器及び二次蓋)

構成部材	材料	温度 (°C)	縦弾性係数 (MPa)	平均熱膨張係数 ($\times 10^{-6}$ mm/(mm \cdot °C))	ポアソン比 (-)
胴 底板 一次蓋	炭素鋼 (GLF1)	20	203000	9.73	0.3
		50	201000	10.10	
		75	200000	10.39	
		100	198000	10.69	
		125	196000	11.00	
		150	195000	11.28	
		175	193000	11.56	
		200	191000	11.85	
二次蓋 底部中性子 遮蔽材カバー	炭素鋼 (SGV480)	20	202000	9.73	0.3
		50	200000	10.10	
		75	198000	10.39	
		100	197000	10.69	
		125	195000	11.00	
		150	193000	11.28	
		175	192000	11.56	
		200	190000	11.85	
一次蓋締付けボルト 二次蓋締付けボルト	低合金鋼 (SNB23-3)	20	192000	11.14	0.3
		50	189000	11.40	
		75	188000	11.62	
		100	186000	11.82	
		125	185000	12.00	
		150	184000	12.21	
		175	182000	12.37	
		200	180000	12.54	

表 2. 1-6 熱応力計算に使用する材料の物性値 (バスケット)

構成部材	材料	温度 (°C)	縦弾性係数*1 (MPa)	平均熱膨張係数*1 ($\times 10^{-6}$ mm/(mm \cdot °C))	ポアソン比 (-)
バスケット プレート	ボロン添加 ステンレス鋼板 (B-SUS304P-1)	20	216000	15.22	0.3
		50	216000	15.52	
		75	214000	15.88	
		100	212000	16.24	
		125	210000	16.24	
		150	208000	16.24	
		175	206000	16.43	
		200	204000	16.63	
		225	202000	16.83	
		250	200000	17.02	
		275	199000	17.12	
		300	197000	17.22	

* 1 事例規格参照

表 2. 1-7 熱応力計算に使用する材料の物性値 (トラニオン)

構成部材	材 料	温度 (°C)	縦弾性係数 (MPa)	平均熱膨張係数 ($\times 10^{-6}$ mm/(mm \cdot °C))
トラニオン	ステンレス鋼 (SUS630 H1150)	130	188000	11.25

(6) 解析

1) 解析手順

A. キャスク容器及び二次蓋

キャスク容器の応力解析フローを図2. 1-5に示す。

キャスク容器の応力解析は、想定される圧力荷重、機械的荷重及び熱荷重を基に、キャスク容器の実形状をモデル化し、解析コードである ABAQUS 及び応力評価式を用いて行う。

なお、二次蓋についてもキャスク容器と同様に評価を行う。

B. バスケット

バスケットの応力解析フローを図2. 1-6に示す。

バスケットの応力解析は、想定される機械的荷重及び熱荷重を基に、応力評価式を用いて行う。

C. トラニオン

トラニオンの応力解析フローを図2. 1-7に示す。

トラニオンの応力解析は、想定される機械的荷重及び熱荷重を基に応力評価式を用いて行う。

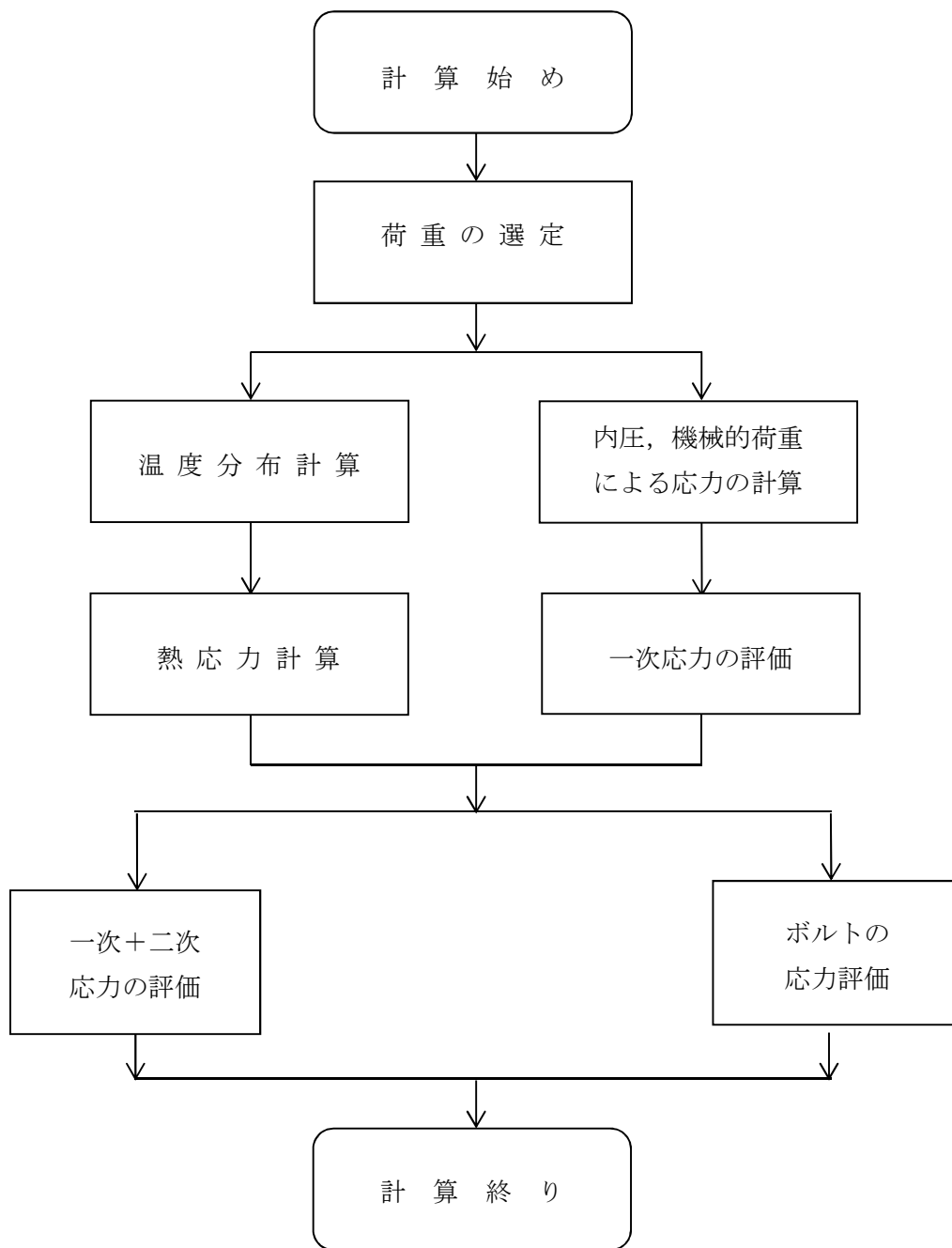


図2. 1-5 キャスク容器及び二次蓋の応力解析フロー図

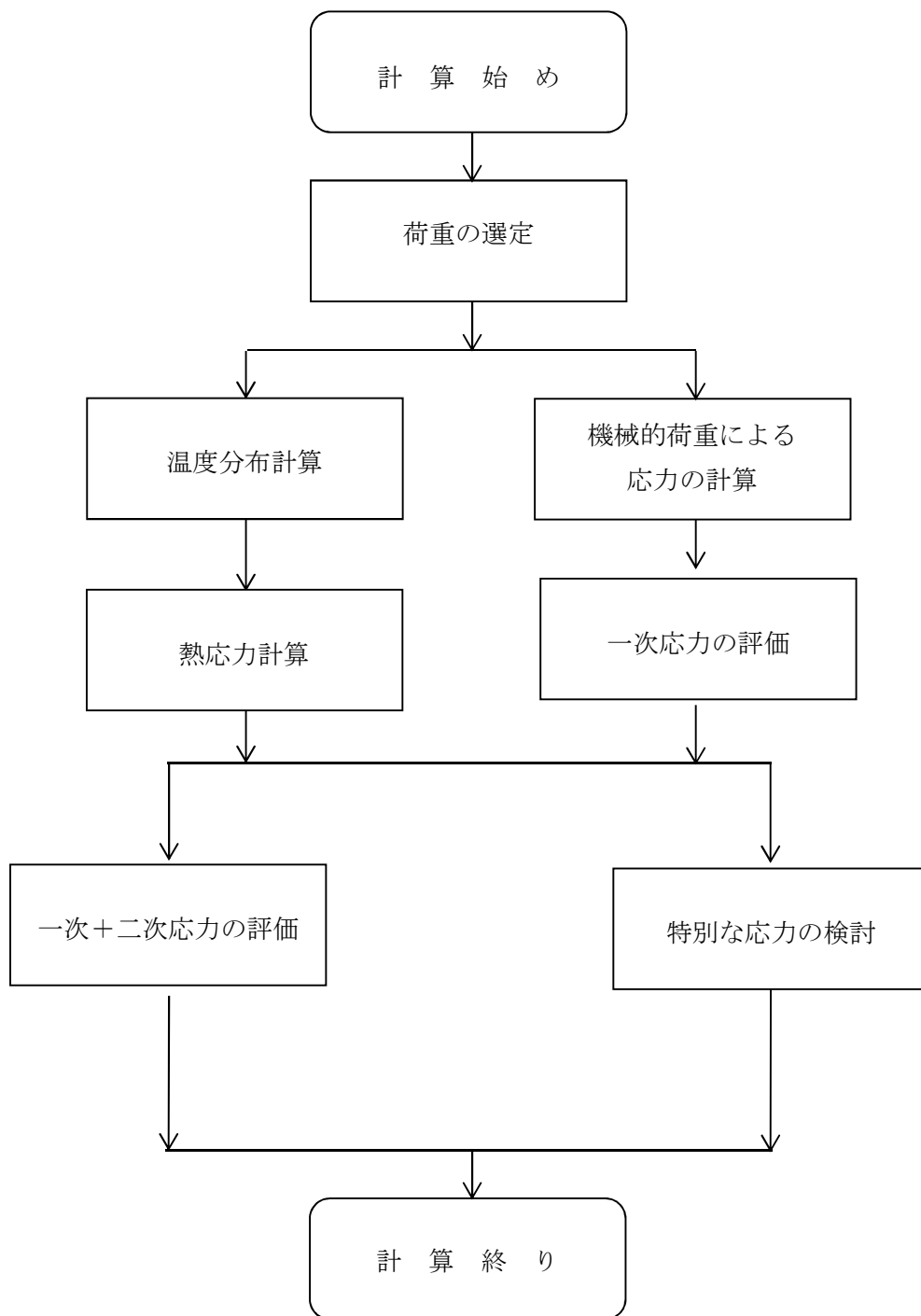


図2. 1-6 バスケットの応力解析フロー図

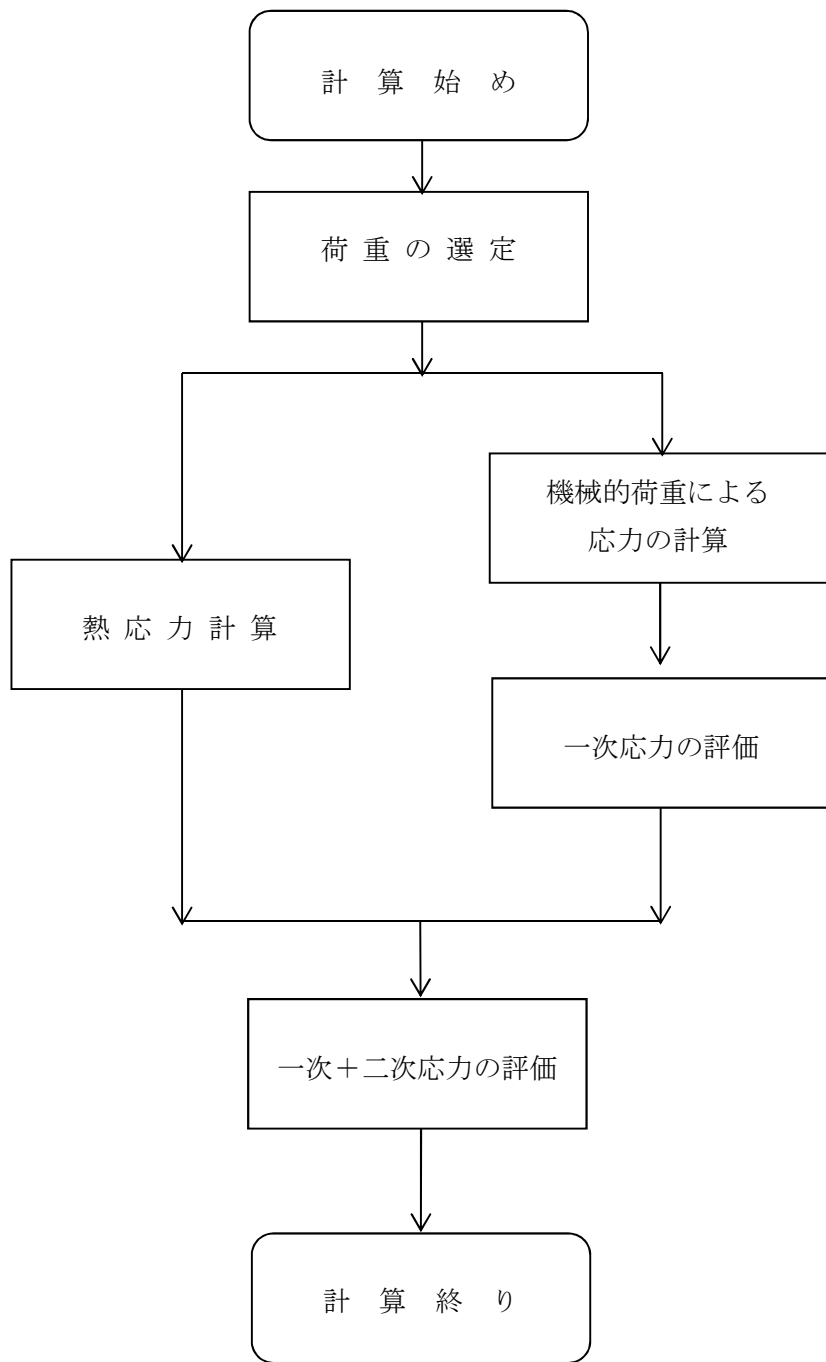


図2. 1-7 トラニオンの応力解析フロー図

2) 応力の評価

A-1. キャスク容器及び二次蓋 (1/2Ss450 地震力が作用する場合)

a. 一次応力

一次蓋，一次蓋締付けボルト，胴，底板，底部中性子遮蔽材カバー，二次蓋及び二次蓋締付けボルトの応力計算は，解析コード ABAQUS により行う。

水平方向加速度及び鉛直方向加速度として次の値を用いる。

$$\left. \begin{aligned} G_1 &= C_H \cdot G \\ G_2 &= (1 + C_V) \cdot G \end{aligned} \right\}$$

ここで， C_H ：水平方向設計震度 (=0.66)

C_V ：鉛直方向設計震度 (=0.41)

水平方向加速度がキャスク左右方向に作用する場合と，キャスク軸方向に作用する場合では各部に生じる応力状態が変わるため，両方の状態を評価する。また，キャスク軸方向に作用する場合において，キャスク底部から蓋部方向に作用する場合と蓋部から底部方向に作用する場合でも各部に生じる応力状態が変わるため，両方の状態を評価する。

b. 一次+二次応力

(a) 密封シール部を除く，一次蓋，胴，底板，底部中性子遮蔽材カバー及び二次蓋

応力計算の方法は，a. と同様である。ただし，荷重条件は地震力のみとして計算を行い，振幅を考慮して最大値を2倍して求める。

(b) 密封シール部，一次蓋締付けボルト及び二次蓋締付けボルト

応力計算の方法は，a. と同様である。ただし，荷重条件として熱荷重を含める。

c. 平均支圧応力

胴側面とバスケット側面との接触部に発生する平均支圧応力 (σ_p) は次式で計算する。評価を行う位置は最大の荷重が発生するバスケットプレート対向面で代表する。

$$\sigma_p = \frac{m_G \cdot G_2}{A_2}$$

ここで， $G_2 = (1 + C_V) \cdot G$

C_V ：a. と同じ

m_G ：バスケットプレート及び燃料の質量(kg)

A_2 ：バスケットプレートの接触面積(mm²)

A-2. キャスク容器及び二次蓋 (Ss900 地震力が作用する場合)

応力計算方法は, A-1. と同様である。

ただし, 水平方向加速度及び鉛直方向加速度として次の値を用いる。

$$\left. \begin{aligned} G_1 &= C_H \cdot G \\ G_2 &= (1 + C_V) \cdot G \end{aligned} \right\}$$

ここで, C_H : 水平方向設計震度 (=1.14)

C_V : 鉛直方向設計震度 (=0.84)

B-1. バスケット (1/2Ss450 地震力が作用する場合)

a. 地震力が鉛直方向と軸直角方向に作用する場合

(a) 一次一般膜応力

最大応力が発生するのはバスケットプレート端部 (図 2. 1-4 ①部) である。
鉛直方向加速度により発生する一次一般膜応力 (σ_x) は次式で計算する。

$$\sigma_x = \frac{m_A \cdot G_1}{A_1}$$

ここで, $G_1 = (1 + C_V) \cdot G$

C_V : 鉛直方向設計震度 (=0.41)

m_A : 使用済燃料とバスケットプレート等の合計質量 (kg)

A_1 : バスケットプレートの断面積 (mm^2)

(b) 一次一般膜+一次曲げ応力

最大応力が発生するのはバスケットプレート格子端部 (図 2. 1-4 ②部) である。

水平方向加速度により発生する一次一般膜応力 (σ_y) は次式で計算する。

$$\sigma_y = \frac{m_A \cdot G_2}{A_1}$$

ここで, $G_2 = C_H \cdot G$

C_H : 水平方向設計震度 (=0.66)

m_A : 使用済燃料とバスケットプレート等の合計質量 (kg)

A_1 : バスケットプレートの断面積 (mm^2)

鉛直方向加速度により発生する一次曲げ応力 (σ_y) は次式で計算する。

$$\sigma_y = \frac{M}{Z}$$

$$M = \frac{m_B \cdot G_1 \cdot l_p}{12 \cdot \frac{l_w}{2}}$$

ここで, G_1 : (a) と同じ

M : バスケットプレート格子端部の単位幅当たりの曲げモーメント
($\text{N} \cdot \text{mm}/\text{mm}$)

Z : バスケットプレートの単位幅当たりの断面係数 (mm^3/mm)

m_B : 使用済燃料, 伝熱プレート及びバスケットプレートの合計質量 (kg)

l_p : バスケットプレートの内のり (mm)

l_w : バスケットプレートのキャスク容器軸方向長さ (mm)

ただし, バスケットプレート同士の嵌合のため切欠きがあり, 実際の荷重負荷面の長さを $l_w/2$ とする。

鉛直方向加速度によりバスケットプレート格子端部（図 2. 1-4 ②部）に発生する平均せん断応力（ τ_{xy} ）は、次式で計算する。

$$\tau_{xy} = \frac{m_B \cdot G_1}{2 \cdot \frac{A_1}{2}}$$

ここで、 G_1 : (a) と同じ

m_B : 使用済燃料、伝熱プレート及びバスケットプレートの合計質量(kg)

A_1 : バスケットプレートの断面積(mm²)

(c) 平均せん断応力

バスケットプレート格子端部（図 2. 1-4 ②部）に発生する特別な応力の検討の対象である平均せん断応力（ σ_s ）は次式で計算する。

$$\sigma_s = \frac{m_B \cdot G_1}{2 \cdot \frac{A_1}{2}}$$

ここで、 G_1 : (a) と同じ

m_B : 使用済燃料、伝熱プレート及びバスケットプレートの合計質量(kg)

A_1 : バスケットプレートの断面積(mm²)

(d) 平均支圧応力

バスケットプレート端部（図 2. 1-4 ①部）に発生する特別な応力の検討の対象である平均支圧応力（ σ_p ）は次式で計算する。

$$\sigma_p = \frac{m_A \cdot G_1}{A_1}$$

ここで、 G_1 : (a) と同じ

m_A : 使用済燃料とバスケットプレート等の合計質量(kg)

A_1 : バスケットプレートの断面積(mm²)

(e) 圧縮応力

バスケットプレート端部（図 2. 1-4 ①部）に発生する特別な応力の検討の対象である圧縮応力（ σ_c ）は次式で計算する。

$$\sigma_c = \frac{m_A \cdot G_1}{A_1}$$

ここで、 G_1 : (a) と同じ

m_A : 使用済燃料とバスケットプレート等の合計質量(kg)

A_1 : バスケットプレートの断面積(mm²)

b. 地震力が鉛直方向と軸水平方向に作用する場合

(a) 一次一般膜応力

最大応力が発生するのはバスケットプレート端部（図2. 1-4 ①部）である。
鉛直方向加速度により発生する一次一般膜応力（ σ_x ）は次式で計算する。

$$\sigma_x = \frac{m_A \cdot G_1}{A_1}$$

ここで、 $G_1 = (1 + C_V) \cdot G$

C_V : 鉛直方向設計震度 (=0.41)

m_A : 使用済燃料とバスケットプレート等の合計質量 (kg)

A_1 : バスケットプレートの断面積 (mm²)

水平方向加速度により発生する一次一般膜応力（ σ_z ）は次式で計算する。

$$\sigma_z = \rho \cdot l_W \cdot G_3$$

ここで、 $G_3 = C_H \cdot G$

C_H : 水平方向設計震度 (=0.66)

ρ : バスケットプレートの密度 (kg/mm³)

l_W : バスケットプレートの全長 (mm)

(b) 一次一般膜+一次曲げ応力

最大応力が発生するのはバスケットプレート格子端部（図2. 1-4 ②部）である。

鉛直方向加速度により発生する一次曲げ応力（ σ_y ）は次式で計算する。

$$\sigma_y = \frac{M}{Z}$$

$$M = \frac{m_B \cdot G_1 \cdot l_p}{12 \cdot \frac{l_W}{2}}$$

ここで、 G_1 : (a) と同じ

M : バスケットプレート格子端部の単位幅当たりの曲げモーメント
(N・mm/mm)

Z : バスケットプレートの単位幅当たりの断面係数 (mm³/mm)

m_B : 使用済燃料, 伝熱プレート及びバスケットプレートの合計質量 (kg)

l_p : バスケットプレートの内のり (mm)

l_W : バスケットプレートのキャスク容器軸方向長さ (mm)

ただし、バスケットプレート同士の嵌合のため切欠きがあり、実際の荷重負荷面の長さを $l_W/2$ とする。

水平方向加速度により発生する一次一般膜応力(σ_z)は次式で計算する。

$$\sigma_z = \rho \cdot l_w \cdot G_3$$

ここで、 G_3 : (a) と同じ

C_H : 水平方向設計震度 (=0.66)

ρ : バスケットプレートの密度 (kg/mm³)

l_w : バスケットプレートの全長 (mm)

鉛直方向加速度により発生するバスケットプレート格子端部 (図 2. 1-4 ②部) に発生する平均せん断応力 (τ_{xy}) は次式で計算する。

$$\tau_{xy} = \frac{m_B \cdot G_1}{2 \cdot \frac{A_1}{2}}$$

ここで G_1 : (a) と同じ

m_B : 使用済燃料, 伝熱プレート及びバスケットプレートの合計質量 (kg)

A_1 : バスケットプレートの断面積 (mm²)

(c) 平均せん断応力

バスケットプレート格子端部 (図 2. 1-4 ②部) に発生する特別な応力の検討の対象である平均せん断応力 (σ_s) は次式で計算する。

$$\sigma_s = \frac{m_B \cdot G_1}{2 \cdot \frac{A_1}{2}}$$

ここで G_1 : (a) と同じ

m_B : 使用済燃料, 伝熱プレート及びバスケットプレートの合計質量 (kg)

A_1 : バスケットプレートの断面積 (mm²)

(d) 平均支圧応力

バスケットプレート端部 (図 2. 1-4 ①部) に発生する特別な応力の検討の対象である平均支圧応力 (σ_p) は次式で計算する。

$$\sigma_p = \frac{m_A \cdot G_1}{A_1}$$

ここで G_1 : (a) と同じ

m_A : 使用済燃料とバスケットプレート等の合計質量 (kg)

A_1 : バスケットプレートの断面積 (mm²)

(e) 圧縮応力

バスケットプレート端部 (図 2. 1-4 ①部) に発生する特別な応力の検討の対象である圧縮応力 (σ_c) は次式で計算する。

$$\sigma_c = \frac{m_A \cdot G_1}{A_1}$$

ここで G_1 : (a) と同じ

m_A : 使用済燃料とバスケットプレート等の合計質量 (kg)

A_1 : バスケットプレートの断面積 (mm^2)

B-2. バスケット (Ss900 地震力が作用する場合)

a. 地震力が鉛直方向と軸直角方向に作用する場合

応力計算は B-1. a. と同様である。

ただし, $G_1 = (1 + C_V) \cdot G$

$$G_2 = C_H \cdot G$$

C_V : 鉛直方向設計震度 (=0.84)

C_H : 水平方向設計震度 (=1.14)

b. 地震力が鉛直方向と軸水平方向に作用する場合

応力計算は B-1. b. と同様である。

ただし, $G_1 = (1 + C_V) \cdot G$

$$G_3 = C_H \cdot G$$

C_V : 鉛直方向設計震度 (=0.84)

C_H : 水平方向設計震度 (=1.14)

C-1. トラニオン (1/2Ss450 地震力が作用する場合)

a. 地震力が鉛直方向と軸直角方向に作用する場合

(a) 一次応力

イ. せん断応力

最大応力が発生する箇所は図2. 1-3に示す下部トラニオンの評価点①である。

鉛直方向加速度により発生するせん断応力(τ)は、次式で計算する。

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

$$F_m = \frac{m_2 \cdot G_2}{4}$$

ここで、 $G_2 = (1 + C_v) \cdot G$

C_v : 鉛直方向設計震度 (=0.41)

F_m : 地震力によりトラニオンに作用する荷重(N)

m_2 : 保管時における金属キャスクの質量(kg)

A : 評価点①の断面積(mm²)

ロ. 曲げ応力

最大応力が発生する箇所は図2. 1-3に示す下部トラニオンの評価点②である。

鉛直方向加速度により発生する曲げ応力(σ_b)は次式で計算する。

$$\sigma_b = \frac{M}{Z}$$

$$M = F_m \cdot L$$

ここで、 F_m :イ. と同じ

Z : 評価点②の断面係数(mm³)

L : 評価点②と荷重作用位置との距離(mm)

ハ. 圧縮応力

最大応力が発生する箇所は図2. 1-3に示す下部トラニオンの評価点①である。

水平方向加速度により発生する圧縮応力(σ_c)は、次式で計算する。

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

$$F_m = \frac{m_2 \cdot G_1}{4}$$

ここで、 $G_1 = C_H \cdot G$

C_H : 水平方向設計震度 (=0.66)

F_m : 地震力によりトラニオンに作用する荷重(N)

m_2 : 保管時における金属キャスクの質量(kg)

A : 評価点①の断面積(mm²)

ニ. 組合せ応力

I. せん断応力と曲げ応力

最大応力が発生する箇所は図2. 1-3に示す下部トラニオンの評価点①である。

せん断応力(τ)と曲げ応力(σ_b)との組合せ応力(σ_T)は、次式で計算する。

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

ここで、 τ : イ. と同じ

σ_b : ロ. と同じ

ただし、 Z : 評価点①の断面係数(mm³)

L : 評価点①と荷重作用位置との距離(mm)

(b) 一次+二次応力

イ. せん断応力

地震力によるせん断応力(τ)の全振幅は、(a) イ. で求めたせん断応力(τ)の2倍とする。

ロ. 曲げ応力

地震力による曲げ応力(σ_b)の全振幅は、(a) ロ. で求めた曲げ応力(σ_b)の2倍とする。

ハ. 圧縮応力

地震力による圧縮応力(σ_c)は左右方向荷重により作用し、左右方向が反転した場合、対向する別のトラニオンで荷重を受ける。地震力による圧縮応力(σ_c)の最大値は、(a) ハ. で求めた圧縮応力(σ_c)と同様である。

b. 地震力が鉛直方向と軸水平方向に作用する場合

(a) 一次応力

イ. せん断応力

最大応力が発生する箇所は図2. 1-3に示す下部トラニオンの評価点①である。

水平方向加速度及び鉛直方向加速度により発生するせん断応力(τ)は、次式で計算する。

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

$$F_m = \frac{m_2 \sqrt{4G_1^2 + G_2^2}}{4}$$

ここで、 $G_1 = C_H \cdot G$

$$G_2 = (1 + C_V) \cdot G$$

C_H : 水平方向設計震度 (=0.66)

C_V : 鉛直方向設計震度 (=0.41)

F_m : 地震力によりトラニオンに作用する荷重(N)

m_2 : 保管時における金属キャスクの質量(kg)

A : 評価点①の断面積(mm²)

ロ. 曲げ応力

最大応力が発生する箇所は図2. 1-3に示す下部トラニオンの評価点②である。

水平方向加速度及び鉛直方向加速度により発生する曲げ応力(σ_b)は次式で計算する。

$$\sigma_b = \frac{M}{Z}$$

$$M = F_m \cdot L$$

ここで、 F_m : イ. と同じ

Z : 評価点②の断面係数(mm³)

L : 評価点②と荷重作用位置との距離(mm)

ハ. 組合せ応力

イ. せん断応力と曲げ応力

最大応力が発生する箇所は図2. 1-3に示す下部トラニオンの評価点①である。

せん断応力(τ)と曲げ応力(σ_b)との組合せ応力(σ_T)は次式で計算する。

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

ここで、 τ : イ. と同じ

σ_b : ロ. と同じ

ただし、 Z : 評価点①の断面係数(mm³)

L : 評価点①と荷重作用位置との距離(mm)

(b) 一次+二次応力

イ. せん断応力

地震力によるせん断応力(τ)の全振幅は、(a)イ. で求めたせん断力(τ)の2倍とする。

ロ. 曲げ応力

地震力による曲げ応力(σ_b)の全振幅は、(a)ロ. で求めた曲げ応力(σ_b)の2倍とする。

C-2. トラニオン (Ss900 地震力が作用する場合)

a. 地震力が鉛直方向と軸直角方向に作用する場合

応力計算はC-1. a. と同様である。

ただし、 $G_1 = C_H \cdot G$

$$G_2 = (1 + C_V) \cdot G$$

C_H : 水平方向設計震度 (=1.14)

C_V : 鉛直方向設計震度 (=0.84)

b. 地震力が鉛直方向と軸水平方向に作用する場合

応力計算はC-1. b. と同様である。

ただし、 $G_1 = C_H \cdot G$

$$G_2 = (1 + C_V) \cdot G$$

C_H : 水平方向設計震度 (=1.14)

C_V : 鉛直方向設計震度 (=0.84)

(7) 解析結果

応力計算結果を表2. 1-8～表2. 1-11に示す。いずれの部位も許容応力を満足し、その余裕率は1.5倍より大きいため、水平2方向を考慮した影響は軽微であり、1/2Ss450及びSs900に対する耐震強度を有することを確認した。

なお、バスケットとトラニオンの応力計算結果は、「地震力が鉛直方向と軸直角方向に作用する場合」と「地震力が鉛直方向と軸水平方向に作用する場合」のうち、より応力が大きい値を記載しており、いずれの機器も許容応力を満足している。

表 2. 1-8 (1) 計算結果 (キャスク容器)

(単位: MPa)

部 位	材 料	許容応力 区分	一次一般膜応力強さ		余裕率	一次膜+ 一次曲げ応力強さ		余裕率	一次+二次応力強さ		余裕率
			計算値	許容応力		計算値	許容応力		計算値	許容応力	
一次 蓋	炭素鋼	供用状態 C _s	4	183	45.7	18	274	15.2	48	366	7.6
		供用状態 D _s	5	251	50.2	18	377	20.9	49	366	7.4
胴	炭素鋼	供用状態 C _s	2	183	91.5	10	274	27.4	16	366	22.8
		供用状態 D _s	2	251	125.5	14	377	26.9	29	366	12.6
底板	炭素鋼	供用状態 C _s	3	183	61.0	10	274	27.4	9	366	40.6
		供用状態 D _s	3	251	83.6	10	377	37.7	15	366	24.4
底部中性子 遮蔽材 カバー	炭素鋼	供用状態 C _s	5	232	46.4	45	348	7.7	13	465	35.7
		供用状態 D _s	6	282	47.0	46	424	9.2	22	465	21.1
一次蓋密封 シール部	炭素鋼	供用状態 C _s	—	—	—	13	183	14.0	58	183	3.1
		供用状態 D _s	—	—	—	14	183	13.0	59	183	3.1

表 2. 1-8 (2) 計算結果 (キャスク容器)

(単位 : MPa)

部 位	材 料	許容応力 区分	平均支圧応力		余裕率
			計算値	許容応力	
胴	炭素鋼	供用状態 C _s	2	183	91.5
		供用状態 D _s	3	377	125.6

表 2. 1-8 (3) 計算結果 (キャスク容器)

(単位 : MPa)

部 位	材 料	許容応力 区分	平均引張応力		余裕率	平均引張応力+曲げ応力		余裕率
			計算値	許容応力		計算値	許容応力	
一次蓋締付けボルト	低合金鋼	供用状態 C _s	247	554	2.2	342	831	2.4
		供用状態 D _s	247	831	3.3	351	831	2.3

表 2. 1-9 (1) 計算結果(二次蓋)

(単位：MPa)

部 位	材 料	許容応力 区分	一次一般膜応力強さ		余裕率	一次膜+一次曲げ応力強さ		余裕率	一次+二次応力強さ		余裕率
			計算値	許容応力		計算値	許容応力		計算値	許容応力	
二次蓋	炭素鋼	供用状態 C _s	1	236	236.0	30	355	11.8	63	474	7.5
		供用状態 D _s	1	286	286.0	30	429	14.3	63	474	7.5
二次蓋密封 シール部	炭素鋼	供用状態 C _s	—	—	—	17	183	10.7	37	183	4.9
		供用状態 D _s	—	—	—	17	183	10.7	37	183	4.9

表 2. 1-9 (2) 計算結果(二次蓋)

(単位：MPa)

部 位	材 料	許容応力 区分	平均引張応力		余裕率	平均引張応力+曲げ応力		余裕率
			計算値	許容応力		計算値	許容応力	
二次蓋締付けボルト	低合金鋼	供用状態 C _s	251	565	2.2	271	847	3.1
		供用状態 D _s	251	848	3.3	276	848	3.0

表 2. 1-10 (1) 計算結果 (バスケット)

(単位: MPa)

部 位	材 料	許容応力 区分	一次一般膜応力強さ		余裕率	一次一般膜+一次曲げ応力強さ		余裕率
			計算値	許容応力		計算値	許容応力	
バスケット プレート	ボロン添加 ステンレス鋼板	供用状態 C _s	2	219	109.5	7	328	46.8
		供用状態 D _s	3	291	97.0	9	437	48.5

表 2. 1-10 (2) 計算結果 (バスケット)

(単位: MPa)

部 位	材 料	許容応力 区分	平均せん断応力		余裕率	平均支圧応力		余裕率	圧縮応力		余裕率
			計算値	許容応力		計算値	許容応力		計算値	許容応力	
バスケット プレート	ボロン添加 ステンレス鋼板	供用状態 C _s	1	131	131.0	2	303	151.5	2	176	88.0
		供用状態 D _s	1	175	175.0	3	404	134.6	3	176	58.6

表2. 1-11 (1) 計算結果 (トラニオン)

(単位: MPa)

部 位	材 料	許容応力 区分	一次応力											
			せん断応力		余裕率	曲げ応力		余裕率	圧縮応力		余裕率	垂直応力とせん断 応力の組合せ		余裕率
			計算値	許容応力		計算値	許容応力		計算値	許容応力		計算値	許容応力	
トラニオン	ステンレス鋼	供用状態 C _s	37	341	9.2	73	591	8.0	26	590	22.6	86	591	6.8
		供用状態 D _s	57	341	5.9	110	591	5.3	44	590	13.4	130	591	4.5

表2. 1-11 (2) 計算結果 (トラニオン)

(単位: MPa)

部 位	材 料	許容応力 区分	一次+二次応力								
			せん断応力		余裕率	曲げ応力		余裕率	圧縮応力		余裕率
			計算値	許容応力		計算値	許容応力		計算値	許容応力	
トラニオン	ステンレス鋼	供用状態 C _s	74	682	9.2	145	1182	8.1	26	590	22.6
		供用状態 D _s	113	682	6.0	219	1182	5.3	44	590	13.4

Ⅱ.14.⑨ 検査可能性に対する設計上の考慮への適合性

措置を講ずべき事項

II. 設計，設備について措置を講ずべき事項

14. 設計上の考慮

⑨検査可能性に対する設計上の考慮

安全機能を有する構築物，系統及び機器は，それらの健全性及び能力を確認するために，適切な方法によりその機能を検査できる設計であること。

措置を講ずべき事項への適合方針

○検査可能性に対する設計上の考慮

安全機能を有する構築物，系統及び機器は，それらの健全性及び能力を確認するため，その安全機能の重要度に応じ，必要性及び施設に与える影響を考慮して適切な方法により，検査ができるものとする。

(実施計画：II-1-14-2)

対応方針及び具体的な措置

輸送貯蔵兼用キャスクは，それらの健全性及び能力を確認するために，適切な方法によりその機能を検査できる設計としており，型式指定で規定されている。(以下，別紙-2 P9, 10, 48, 52 から抜粋，一部追記) ~~概要については別紙-2「本文 P9～10」，検査内容については別紙-2「本文 P48, 52」を参照。~~

6.3.2 検査の方法

構造，強度及び漏えいを確認するために十分な方法，機能及び性能を確認するために十分な方法，その他型式設計特定容器の設計及び製作が計画に従って行われたものであることを確認するために十分な方法により，図7（別紙-2 P44 参照）のフローに基づいて，使用済燃料貯蔵事業者において実施する使用前事業者検査を含め，型式設計特定容器の製造者として必要な検査を行う。

6.3.2.1 構造，強度又は漏えいに係る検査

a. 構造，強度又は漏えいに係る検査

金属キャスク構造規格の規定に基づき，表1に示す構造，強度又は漏えいに係る検査を実施する。

(中略)

6.3.2.2 機能及び性能に係る検査

金属キャスク構造規格の規定に基づき，表5に示す機能及び性能に係る検査を実施する。

(中略)

表1 構造，強度又は漏えいに係る検査

検査項目*1	検査方法	判定基準
材料検査	材料メーカーで実施された検査の結果をミルシート等により確認する。	設計仕様のとおりの破壊じん性，機械的強度及び化学的成分を有する材料であること。
寸法検査	主要寸法測定箇所を測定する。	設計仕様のとおりの寸法であること。
外観検査	各部の外観を目視検査する。	基本的安全機能及び構造強度に影響する汚れ，傷，変形又は損傷のないこと。
耐圧・漏えい検査	密封容器及びその溶接部に対して，耐圧検査圧力で異常な変形及び著しい漏えいがないことを確認する。	異常な変形がないこと及び著しい漏えいがないこと。
吊上荷重検査	トラニオンに荷重を付加し，異常がないことを確認する。	異常のないこと及び浸透探傷試験における判定基準を満足すること。
重量検査	金属キャスクの質量を計測する。	仕様書に定められた値以下であること。

注記*1：各検査は，全数又は抜取りにより実施されるものとする。

(中略)

表 5 機能及び性能に係る検査

検査項目*1	検査方法	判定基準
気密漏えい検査	金属キャスクのシール部におけるヘリウムリークテストにより漏えい率を測定する。	許容漏えい率を超えないこと。
遮蔽性能検査	ガンマ線又は中性子遮蔽機能に係る材料検査、寸法検査、外観検査及び溶接検査の記録を確認する。	ガンマ線又は中性子遮蔽機能に係る材料検査、寸法検査、外観検査及び溶接検査の基準を満足していること。
未臨界検査	バスケットの材料検査、寸法検査、外観検査及び溶接検査を確認する。	臨界防止機能に係る材料検査、寸法検査、外観検査及び溶接検査の合格基準を満足すること。
伝熱検査	代表キャスクについては、燃料集合体を模擬した電気ヒータに設計発熱量を模擬し、キャスク表面の温度を測定する。 代表キャスク以外については、除熱機能に係る材料検査、寸法検査、外観検査及び溶接検査の記録を確認する。	代表キャスクについては、周囲温度を 45 °C に補正したときに、バスケット温度及び胴内面の温度が最高使用温度以下であること。 代表キャスク以外については、除熱機能に係る材料検査、寸法検査、外観検査及び溶接検査の合格基準を満足すること。

注記*1：各検査は、全数又は抜取りにより実施されるものとする。

VIII 実施計画に係る検査の受検

措置を講ずべき事項

VIII. 実施計画に係る検査の受検

実施計画における施設、保安のための措置及び特定核燃料物質の防護のための措置について、法第64条の3第7項に基づく検査を受けること。

措置を講ずべき事項への適合方針

実施計画における施設、保安のための措置及び特定核燃料物質の防護のための措置について、核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律第64条の3第7項に基づき、原子力規制委員会が実施する検査を受検する。

(実施計画：VII-1)

対応方針及び具体的な措置

○キャスク仮保管設備に係る確認事項について

(中略)

表3 確認事項（輸送貯蔵兼用キャスク）(1/2)

確認事項	確認項目		確認内容	判定基準
構造強度・耐震性	材料確認※		実施計画に記載されている主な材料について確認する。	実施計画のとおりであること。
	強度・漏えい確認	耐圧・漏えい確認※	確認圧力(水圧 1.25MPa)で保持した後、確認圧力に耐えていることを確認する。 耐圧確認終了後、耐圧部分からの漏えいの有無を確認する。	確認圧力に耐え、かつ構造物の変形等がないこと。 また、耐圧部から著しい漏えいがないこと。
構造強度・耐震性 遮蔽機能	構造確認	寸法確認※	実施計画に記載されている主要寸法を確認する。	寸法が許容範囲内であること。
		外観確認※	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
		据付確認	機器の据付位置、据付状態について確認する。	実施計画の通りに施工・据付されていること。
除熱機能	機能確認	伝熱確認	容器内部に使用済燃料を模擬するヒータを挿入して発熱させ、温度を確認する。	周囲温度を補正した温度が最高使用温度以下であること。
密封機能	機能確認	気密漏えい確認	使用済燃料収納前後、ヘリウムリーク法等により、漏えい率を確認する。	基準漏えい率以下であること。
臨界防止機能	機能確認	未臨界確認	バスケットの材料特性及び主要寸法が、実施計画の評価の前提条件	・設計の材料特性に適合し、寸法が許容範囲内であること。

			となっている値を満足していることを確認し、バスケットの外観に異常のないことを確認する。	・有意な変形，破損等の異常がないこと。
取扱機能	機能確認	吊上荷重確認	キャスクの吊上げ時重量の2倍以上の荷重をトラニオンに負荷し，トラニオンの外観に異常のないことを確認する。	トラニオンの外観に有害な変形がないこと。
		模擬燃料集合体挿入確認	代表5セルについてバスケットへ模擬燃料集合体の挿入，取出しを行い，支障がないことを確認する。	バスケットへの模擬燃料集合体の挿入，取出しが支障なく行えること。
監視	機能確認	密封監視機能確認	検査用計器により指示値を変化させ，設定値どおり警報及び表示灯が作動することを確認する。	許容範囲以内で警報及び表示灯が作動すること。
		除熱監視機能確認	検査用計器により指示値を変化させ，設定値どおり警報及び表示灯が作動することを確認する。	許容範囲以内で警報及び表示灯が作動すること。

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

表3 確認事項（輸送貯蔵兼用キャスク）(2/2)

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準	
構造強度・耐震性	溶接確認※	材料確認	溶接に使用する材料が溶接規格等に適合するものであることを確認する。	計画書のとおりであること。（設計仕様のとおり又は相当の材料であること）
		開先確認	開先面の状態，開先形状及び各部寸法等を確認する。	・有意な欠陥がないこと。 ・計画書のとおりであること。
		溶接作業確認	溶接規格等に適合していることが確認された溶接施工法及び溶接士により溶接施工しているかを確認する。	計画書，溶接規格のとおりであること。
		溶接後熱処理確認	溶接後熱処理の方法等が計画書及び溶接規格等に適合するものであることを確認する。	計画書及び溶接規格等に適合するものであること
		非破壊確認	溶接部について非破壊確認を行い，その試験方法及び結果が溶接規格等に適合するものであることを確認する。	溶接規格等に適合するものであること
		機械確認	溶接部について機械試験をおこない，当該溶接部の機械的性質が溶接規格等に適合するものであることを確認する。	溶接規格等に適合するものであること
		耐圧・外観確認	規定圧力*で耐圧確認を行い，これに耐え，かつ，漏えいがないことを確認する。 *：容器内部：水圧 1.25MPa 一部蓋及び二次蓋の蓋間部： 気圧 0.5MPa	規定圧力に耐え，かつ，漏えいがないこと。

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

（実施計画：II-2-13-添11-4～5）

Doc No. FRO-TA-0001/REV. 2

平成 30 年 12 月 3 日

原子力規制委員会 殿

茨城県日立市幸町三丁目 1 番 1 号
日立GEニュークリア・エナジー株式会社
取締役社長 久米 正

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申請書

核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律第 43 条の 26 の 2 の規定に基づき、下記のとおり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の申請をいたします。

記

一 氏名又は名称及び住所並びに代表者の氏名

氏名又は名称 日立GEニュークリア・エナジー株式会社
住所 茨城県日立市幸町三丁目 1 番 1 号
代表者の氏名 取締役社長 久米 正

二 特定容器等の種類

金属製の乾式キャスク

三 特定容器等の名称及び型式

HDP-69B(B)型

四 特定容器等の構造及び設備

1. 構造

HDP-69B(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使用する輸送容器の機能を併せ持つ金属製の乾式キャスク(以下「金属キャスク」という。)である。HDP-69B(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。)、金属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。)、金属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。)、及び金属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「基本的安全機能」という。)を有する構造とする。

HDP-69B(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-69B(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-69B(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-69B(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にとともに負圧に維持できる構造とする。また、HDP-69B(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金属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

HDP-69B(B)型は、基本的安全機能を維持する観点から、使用済燃料の崩壊熱を金属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-69B(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-69B(B)型は、基本的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-69B(B)型は、使用済燃料の健全性及び基本的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-69B(B)型は、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-69B(B)型は、自重、内圧、外圧、熱荷重及び地震荷重等の条件に対し、十分耐え、かつ、基本的安全機能を維持できる設計とする。

- (5) HDP-69B(B)型は、使用済燃料貯蔵施設への搬入、貯蔵及び搬出にかかる金属キャスクの移動の際に想定される金属キャスクの転倒事象、落下事象、及び金属キャスクへの重量物の落下事象に対して、基本的安全機能を維持できる設計とする。

2. 主要な設備及び機器の種類

金属キャスク

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

*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-69B(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

金属キャスク 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

五 特定容器等を使用することができる範囲を限定し、又は条件を付する場合にあっては、当該特定容器等を使用することができる使用済燃料貯蔵施設の範囲又は条件

1. 特定容器等を使用することができる使用済燃料貯蔵施設の範囲

以下に示す条件により設計された金属キャスクを使用することができる使用済燃料貯蔵施設であること。

金属キャスクの設計貯蔵期間	60 年以下
金属キャスクの貯蔵場所	貯蔵建屋内
金属キャスクの貯蔵姿勢	たて置き
金属キャスクの固定方式	下部トラニオン固定
金属キャスクの全質量(使用済燃料を含む。)	約 119 t
金属キャスクの主要寸法	全長 約 5.4 m 外径 約 2.5 m
金属キャスク表面から 1 m 離れた位置における線量当量率	100 μ Sv/h 以下
貯蔵区域における金属キャスク周囲温度	最低温度 -22.4 $^{\circ}$ C 最高温度 45 $^{\circ}$ C
貯蔵区域における貯蔵建屋壁面温度	最高温度 65 $^{\circ}$ C
貯蔵区域における地震力	水平方向 1.4 G 鉛直方向 0.87 G

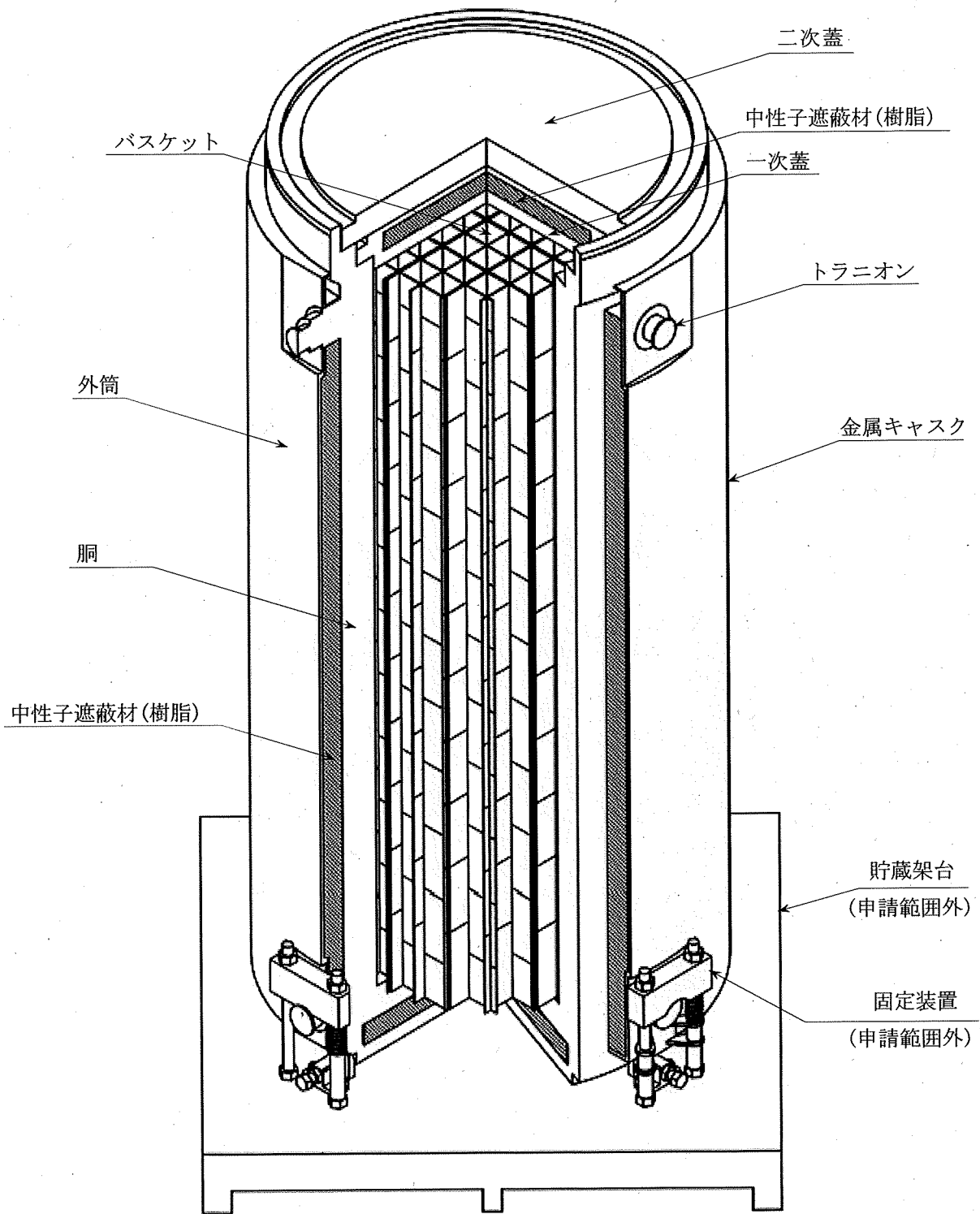
2. 特定容器等を使用することができる使用済燃料貯蔵施設の条件

使用済燃料の貯蔵の事業(変更)許可申請時に別途確認しなければならない事項等の条件は以下のとおりである。

- イ. HDP-69B(B)型に収納する使用済燃料の反応度が、本申請の臨界防止機能に関する評価で使用した使用済燃料が有する反応度を超えないこと。
- ロ. 使用済燃料貯蔵施設の遮蔽機能に関する評価で使用するエネルギースペクトルによる遮蔽材中の放射線透過率が、HDP-69B(B)型の表面エネルギースペクトルによる遮蔽材中の放射線透過率に対して同等以上であること。
- ハ. HDP-69B(B)型を含めた金属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、前項に示したそれぞれの最高温度以下であること。
- ニ. HDP-69B(B)型を使用した場合、使用済燃料貯蔵施設の貯蔵架台が、前項に示した地震力に対して概ね弾性状態にとどまる範囲で耐え得る設計であること。
- ホ. 火災等、津波及び外部からの衝撃については、使用済燃料貯蔵施設で想定される条件において HDP-69B(B)型の基本的安全機能が損なわれないこと。
- ヘ. 使用済燃料貯蔵施設の設計最大評価事故を選定し、設計最大評価事故が発生した場合において、事業所周辺の公衆に放射線障害を及ぼさないこと。

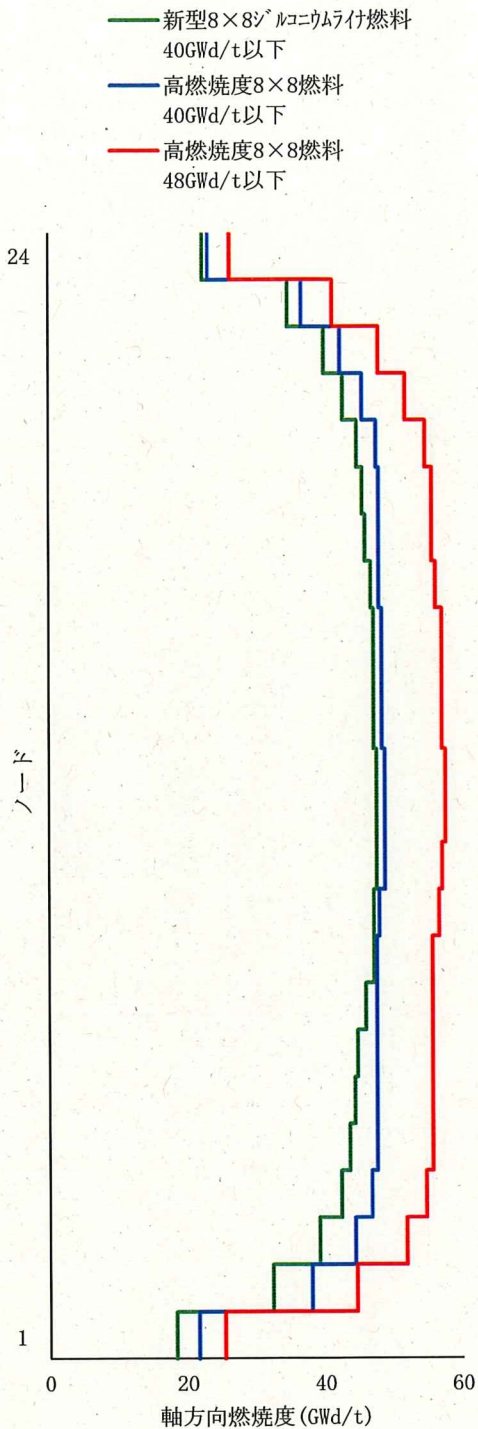
申請書添付参考図目録

- 第1図 HDP-69B(B)型構造図 (添付書類一図 1-1)
- 第2図 配置(ii)で収納する使用済燃料の軸方向燃焼度 (添付書類一図 1-2-3)
- 第3図 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 (添付書類一図 1-2-4)
- 第4図 使用済燃料貯蔵施設概要図(例) (添付書類一図 1-3)



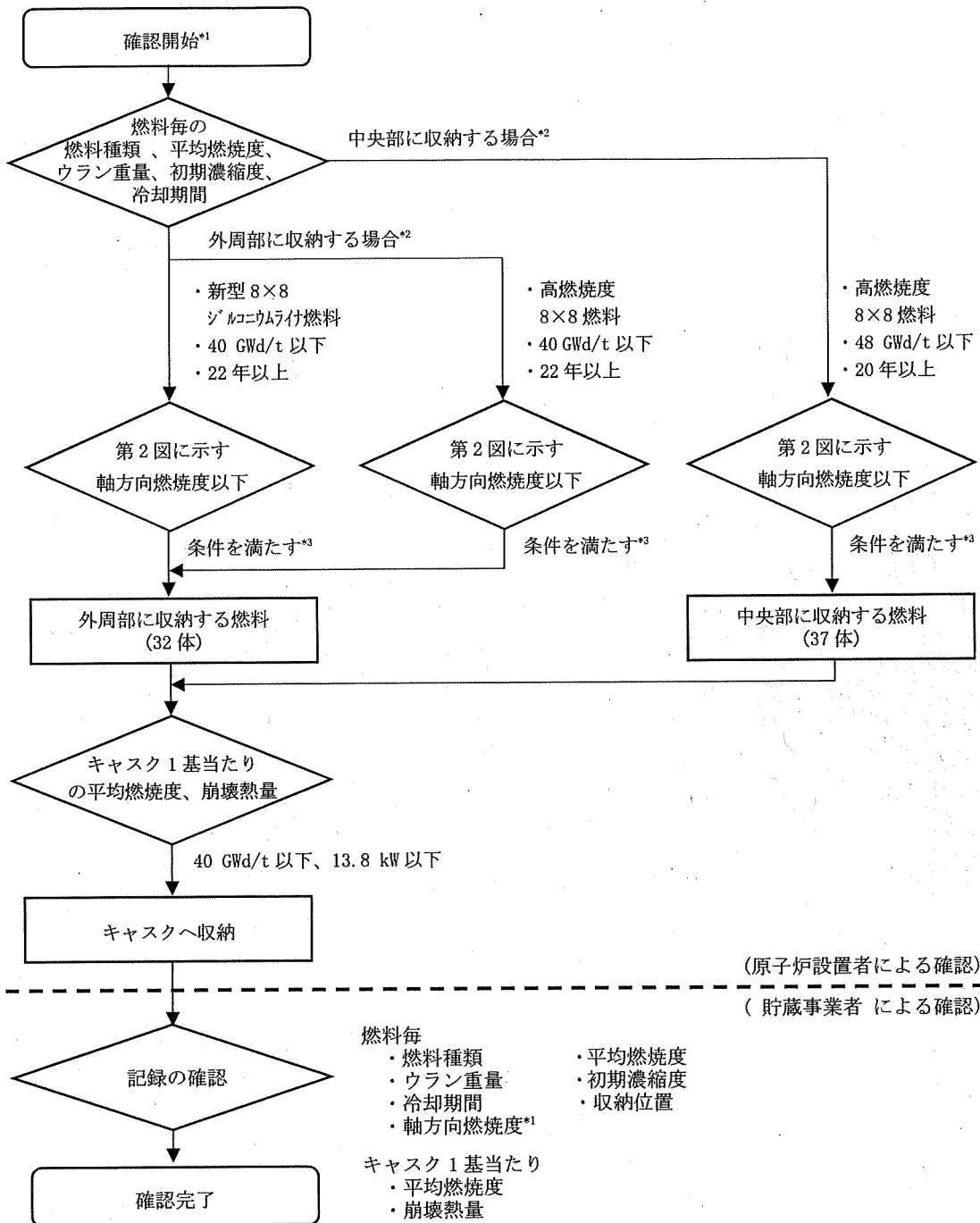
第1図 HDP-69B(B)型構造図

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	
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。

第2図 配置(ii)で収納する使用済燃料の軸方向燃焼度

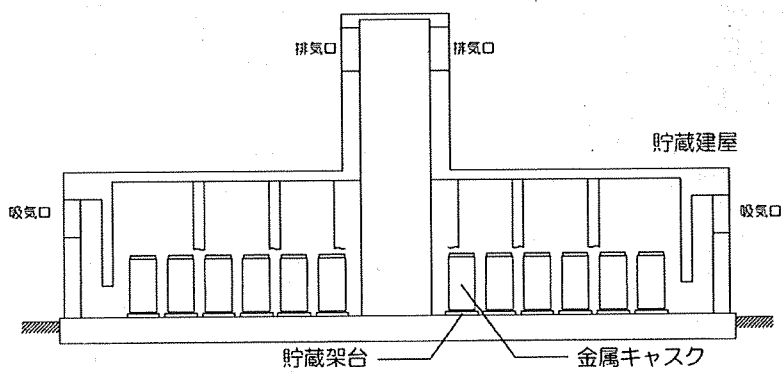
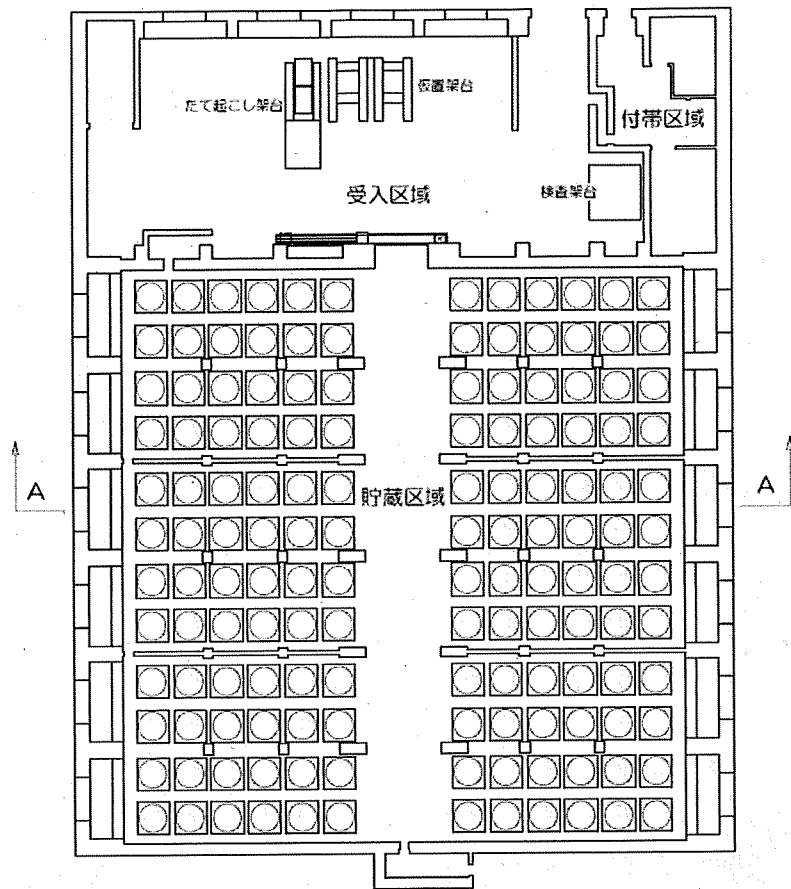


注記 *1：配置 (ii) 以外では、軸方向燃焼度の確認を必要としない。

*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。

第 3 図 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



A-A矢視

第4図 使用済燃料貯蔵施設概要図(例)

添付書類

添付書類目次

今回の申請に係る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申請書の添付書類は以下のとおりである。

添付書類一 特定容器等の安全設計に関する説明書

別添 1 に示すとおりである。

添付書類二 特定容器等を使用することにより使用済燃料貯蔵施設に及ぼす影響に関する説明書

別添 2 に示すとおりである。

別添 1

添付書類一 特定容器等の安全設計に関する説明書

目次

1. HDP-69B(B)型の概要	1-1
2. 設計方針及び設計条件	1-3
2.1 設計方針	1-3
2.2 設計条件	1-5
2.3 使用済燃料貯蔵施設の前提条件	1-6
3. 安全設計に関する構造及び評価	1-7
3.1 臨界防止機能	1-7
3.2 遮蔽機能	1-7
3.3 閉じ込め機能	1-8
3.4 除熱機能	1-9
3.5 構造強度	1-10
3.6 長期健全性	1-11
4. 参考文献	1-42

1. HDP-69B(B)型の概要

HDP-69B(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乾式キャスク(以下「金属キャスク」という。)である。

HDP-69B(B)型を用いることにより、使用済燃料貯蔵施設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-69B(B)型は、金属キャスク本体、蓋部、バスケット等で構成され、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。

HDP-69B(B)型の構造及び仕様をそれぞれ図 1-1 及び表 1-1 に示す。

(1) 金属キャスク本体

金属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。

金属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いる。なお、トラニオンは金属キャスク本体にねじ込みにより固定されている。

(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、ボルトで金属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、ボルトで金属キャスク本体上面に取り付けられる。

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。

なお、使用済燃料貯蔵施設への搬入時及び使用済燃料貯蔵施設からの搬出時に、三次蓋がボルトで金属キャスク本体上面に取り付けられる。

(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金属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、伝熱性を向上するために、アルミニウム合金製の板を併せて配置している。

(4) 使用済燃料の仕様及び収納位置条件

HDP-69B(B)型に収納する使用済燃料の仕様を表 1-2 に示す。また、HDP-69B(B)型に収納する使用済燃料の収納位置条件を図 1-2-1、図 1-2-2、図 1-2-5 に示す。なお、配置(ii)に関しては、軸方向燃焼度が図 1-2-3 に示す燃焼度を下回ることを貯蔵事業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 1-2-4 に示す。

2. 設計方針及び設計条件

2.1 設計方針

HDP-69B(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。)、金属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。)、金属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。)、及び金属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「基本的安全機能」という。)を有するように設計する。

また、HDP-69B(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

2.1.1 臨界防止機能に関する設計方針

HDP-69B(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-69B(B)型の使用済燃料貯蔵施設への搬入から搬出までの乾燥状態、及び HDP-69B(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。

2.1.2 遮蔽機能に関する設計方針

HDP-69B(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。また、HDP-69B(B)型は、事業所外運搬に使用する輸送容器の機能を持つ金属製の乾式キャスクであるため、「核燃料物質等の工場又は事業所の外における運搬に関する規則(平成28年10月1日施行)」に示されている以下の要求事項を満足する設計とする。

- ・ 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 μ Sv/hを超えないこと。

さらに、設計貯蔵期間中における HDP-69B(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。

2.1.3 閉じ込め機能に関する設計方針

HDP-69B(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-69B(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金属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。

なお、一次蓋の閉じ込め機能に異常が発生したと判断される場合には、三次蓋を取り付け、三次蓋の気密漏えい検査等運搬に必要な措置を講じ、搬出できるように設計する。

2.1.4 除熱機能に関する設計方針

HDP-69B(B)型は、使用済燃料の健全性及び金属キャスクの基本的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-69B(B)型の主要な構成部材の温度は、基本的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⁾

2.1.5 構造強度に関する設計方針

HDP-69B(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。また、HDP-69B(B)型は、設計条件として設定する地震力に対して概ね弾性状態にとどまる範囲で耐え得る設計とする。

2.1.6 長期健全性に関する設計方針

HDP-69B(B)型は、基本的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-69B(B)型は、金属キャスク本体内部、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、金属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。

2.2 設計条件

(1) HDP-69B(B)型の設計条件

HDP-69B(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. 金属キャスクの貯蔵場所は貯蔵建屋内とする。
- c. 金属キャスクの貯蔵姿勢はたて置きとする。
- d. 金属キャスクの固定は、床面に固定された貯蔵架台を介した下部トランシオンによる固定方式とする。
- e. 金属キャスクの全質量(使用済燃料を含む。)は約119 tとする。
- f. 金属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. 金属キャスクの最大崩壊熱量は13.8 kW/基とする。
- h. 金属キャスクの表面放射率は0.8とする。
- i. 金属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. 貯蔵区域における金属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. 貯蔵区域における貯蔵建屋壁面最高温度は65 $^{\circ}$ Cとする。
- l. 貯蔵区域における貯蔵建屋壁面放射率は0.8とする。
- m. 貯蔵区域における金属キャスク配列ピッチ寸法は3.5 mとする。
- n. 貯蔵区域における水平方向及び鉛直方向の地震力は、それぞれ1.4 G及び0.87 Gとする。

(2) 使用済燃料の条件

HDP-69B(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. 金属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. 金属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. 金属キャスクには、貯蔵する使用済燃料の仕様、及び金属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。

2.3 使用済燃料貯蔵施設の前提条件

HDP-69B(B)型を使用することができる使用済燃料貯蔵施設概要図(例)を図 1-3 に示す。使用済燃料貯蔵施設は、金属キャスク、金属キャスクを床面で固定するための貯蔵架台、金属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。

貯蔵建屋は、金属キャスクを貯蔵する貯蔵区域、金属キャスクの搬入及び検査等を行う受入れ区域、及び金属キャスクの蓋間圧力監視装置及び表面温度監視装置等の検出器からの信号を指示、記録する表示装置が収容される付帯区域から構成される。

受入れ区域には、金属キャスクの搬入後及び搬出前の仮置き、金属キャスクの取扱い、移送、検査等を行う天井クレーン、搬送機器等の設備が設けられる。また、受入れ区域には、金属キャスクの仮置きを行う仮置架台、金属キャスクのたて起こしを行うたて起こし架台、万一の金属キャスクたて起こし時に転倒しても基本的安全機能に損傷が生じないように床面に敷設される衝撃吸収材、及び金属キャスクの検査を行う検査架台が装備される。

3. 安全設計に関する構造及び評価

3.1 臨界防止機能

(1) 臨界防止機能に関する構造

HDP-69B(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-69B(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 XSDRNPM、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。断面積ライブラリには、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-69B(B)型に 69 体収納した状態を設定し、金属キャスク相互の中性子干渉を考慮して、HDP-69B(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金属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。

3.2 遮蔽機能

(1) 遮蔽機能に関する構造

HDP-69B(B)型は、使用済燃料からの放射線を金属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、水素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-69B(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。

3.3 閉じ込め機能

(1) 閉じ込め機能に関する構造

HDP-69B(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-69B(B)型は、金属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金属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-69B(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、放射性物質を金属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、あらかじめ金属キャスク内部を負圧に維持するとともに、蓋間の圧力を正圧としているので、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-69B(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、金属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金属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-69B(B)型の閉じ込め評価の基準となる基準漏えい率は、設計貯蔵期間中に金属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、蓋間空間のガスは金属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。金属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。

3.4 除熱機能

(1) 除熱機能に関する構造

HDP-69B(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-69B(B)型の外表面に伝え、周囲の空気等に伝達する。金属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、伝熱フィンを設け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。

除熱解析は、HDP-69B(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、燃料被覆管及び基本的安全機

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、金属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。

3.5 構造強度

(1) 構造

HDP-69B(B)型は、自重、内圧、熱荷重等を考慮して設計するとともに、使用済燃料貯蔵施設内での取扱い時の荷重及び貯蔵中の地震により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-69B(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により吊り上げて取り扱う。また、貯蔵中はたて置き姿勢であり、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-69B(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。

HDP-69B(B)型に発生する応力は、想定される荷重をもとに HDP-69B(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。

使用済燃料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-69B(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

地震時の構造強度評価は、たて置き姿勢で貯蔵されている HDP-69B(B)型に対して、地震によって発生する加速度として以下に示す加速度を考慮して行う。

- ・水平方向： 1.4 G
- ・鉛直方向： 0.87 G

また、下部トランニオンの評価条件として、図 1-11 に示すように、4 個の下部トランニオンを介して貯蔵架台に固定されるものとする。

上記条件に基づく解析の結果、表 1-5 に示すように、金属キャスク本体及び蓋部

に発生する応力は、金属キャスク構造規格の各供用状態に定められた許容応力以下である。

3.6 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) 金属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

金属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-69B(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℃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℃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℃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-69B(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℃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。

(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 1-12 に示す金属ガスケットに対して図 1-13 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⁾。

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

ここで、

T : 温度 (K)

t : 時間 (h)

C : LMP の定数 (-)

なお、図 1-13 の塑性変形率 D_p の定義は、図 1-14 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 1-15 に示すとおり HDP-69B (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 1-16 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-69B (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⁾。

金属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

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/cm^2 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 $260 \text{ }^\circ\text{C}$ 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 $280 \text{ }^\circ\text{C}$ 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、不活性ガス雰囲気維持されるため、腐食を考慮する必要はない。

表 1-1 HDP-69B(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	金属キャスク本体	
	胴(ガンマ線遮蔽材)	炭素鋼
	外筒(ガンマ線遮蔽材)	炭素鋼
	トランニオン	ステンレス鋼
	中性子遮蔽材	樹脂
	伝熱フィン	炭素鋼(銅クラッド鋼)
	蓋部 *1	
	一次蓋	炭素鋼
	二次蓋	炭素鋼
	蓋ボルト	ニッケルクロムモリブデン鋼
	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		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

注記*1：使用済燃料貯蔵施設への搬入時、使用済燃料貯蔵施設からの搬出時には、ゴム O リングをシール材とした三次蓋を装着する。

表 1-2 使用済燃料の仕様

項 目	仕 様			
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	
集合体幅 (mm)	約 132 又は約 134			
全長 (mm)	約 4,350 又は約 4,470			
質量 (kg)	約 270			
初期濃縮度 (wt%)	約 3.1 以下		約 3.7 以下	
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
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。

表 1-3 臨界解析に用いる使用済燃料の仕様

項目	単位	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
燃料材質	-	二酸化ウラン	二酸化ウラン	二酸化ウラン
被覆管材質	-	ジルカロイ-2	ジルカロイ-2	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	-	8×8	8×8	8×8
燃料集合体当たり の燃料棒数	本	62	62	60
初期濃縮度	wt%	3.1	3.1	3.66

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		仕様上の下限値	
HDP-69B(B)型内雰囲気		真空	冠水(水密度 1.0 g/cm ³)
HDP-69B(B)型外雰囲気		真空	
HDP-69B(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	

表 1-5 HDP-69B(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)		2
	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)		100
閉じ込め	金属ガスケットの漏えい率(Pa \cdot m ³ /s)		2.4×10^{-6} *1
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
	金属キャスク 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	60 以下
		一次蓋ボルトの応力	360 以下
		上部トラニオンの 応力強さ	220 以下
	地震時 (MPa)	下部トラニオンの 応力強さ	260 以下

注記*1：設計貯蔵期間中に金属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。

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	
使用済燃料の 収納配置条件		配置 (i)				配置 (iii)	
燃焼度 (MWd/t)		34000	40000	34000	40000	29000	34000
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 したものである。

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)		40000	40000	48000
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 したものである。

表 1-7 金属キヤスク 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)		
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。

表 1-8 閉じ込め評価条件

項 目		評価条件
圧力 (Pa[abs])	金属キャスク内部(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)	金属キャスク内部 *2	
	蓋間空間	
温度(°C)	金属キャスク内部 *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: 金属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: 金属キャスク周囲最低温度を示す。

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
	金属キャスク表面放射率	0.8
	金属キャスク表面から貯蔵 建屋壁面への形態係数	0.232 ^{*1}

注記*1：金属キャスク配列ピッチ寸法 3.5 m から算出される値を示す。

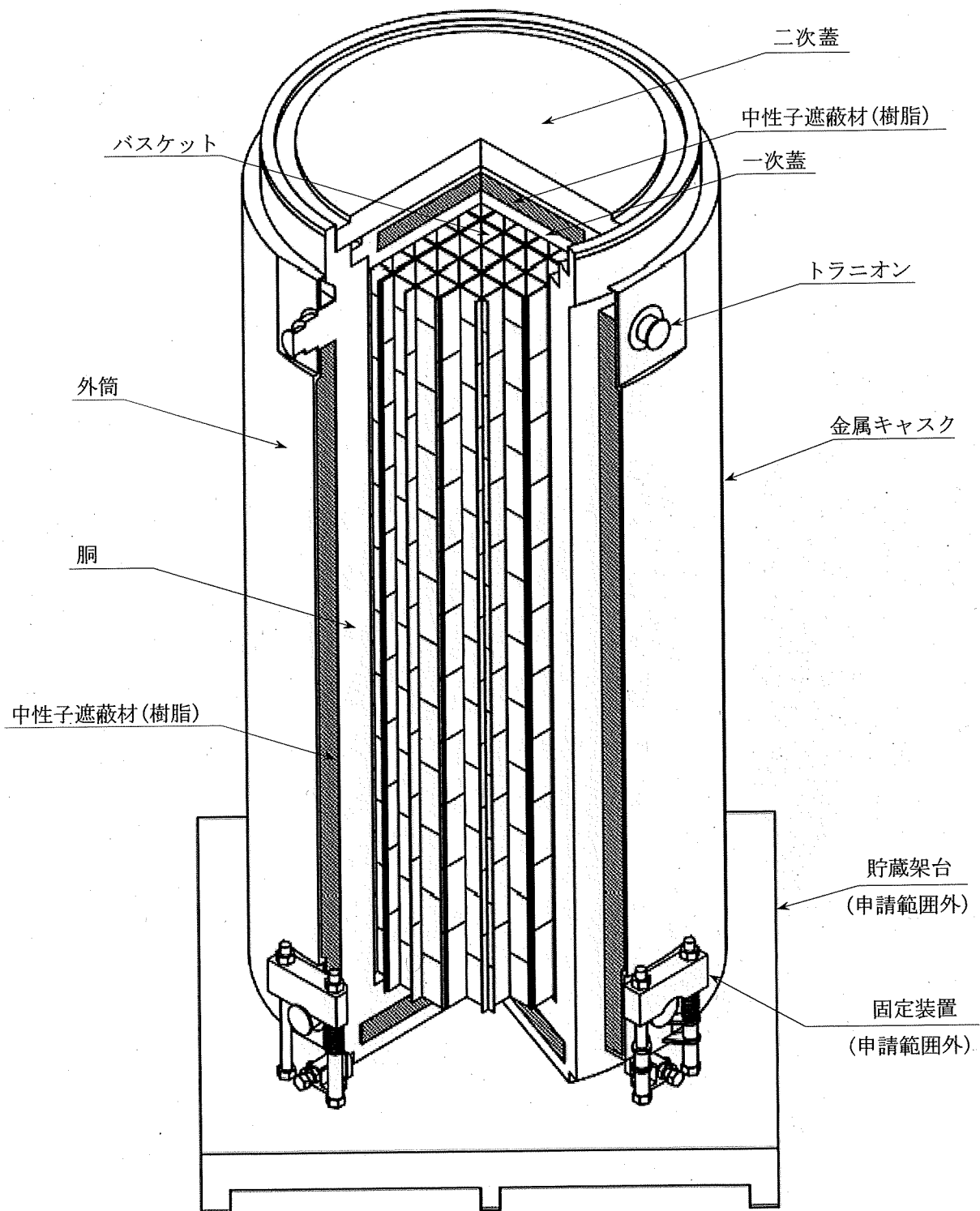
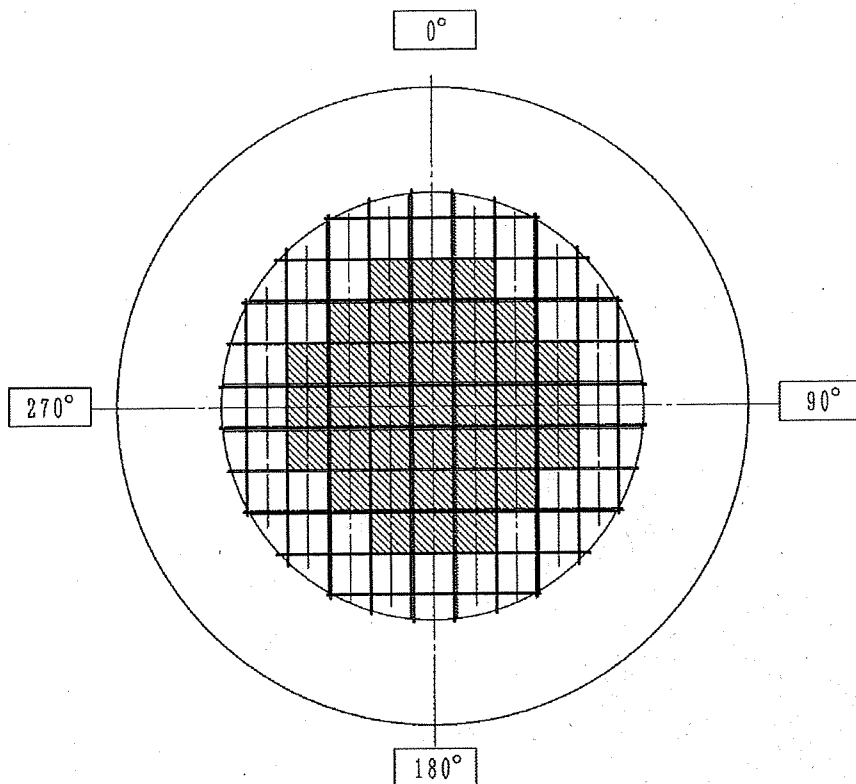


図 1-1 HDP-69B(B)型構造図

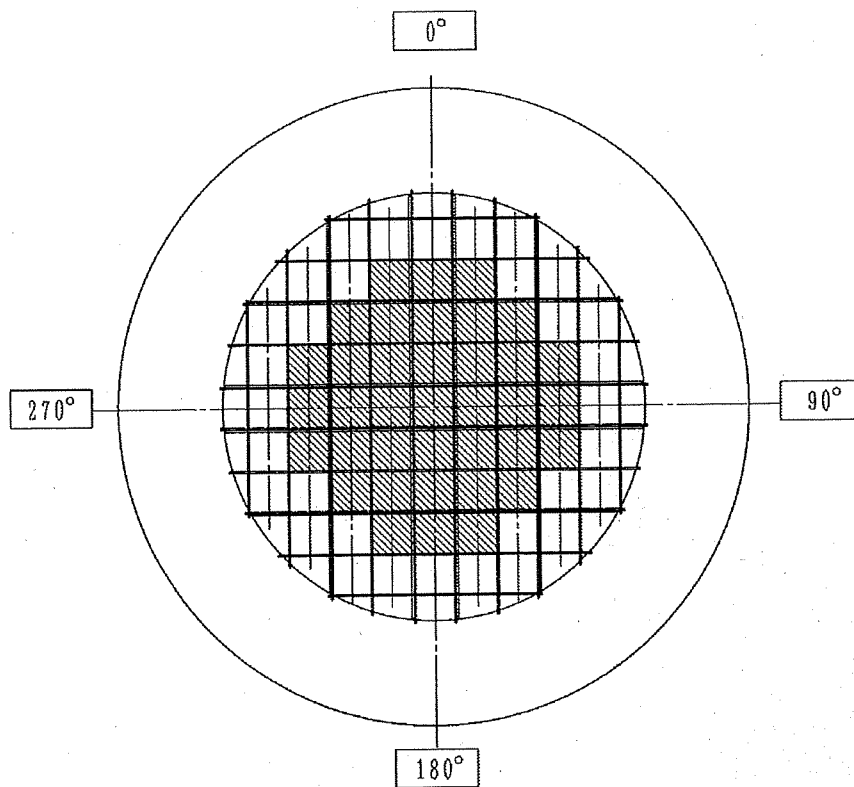


- | | |
|---|--|
| <div style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 10px; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 10px; margin-bottom: 5px;"></div> | <p>燃料種類 : 新型8×8ジルコニウムライナ燃料及び高燃焼度8×8燃料</p> <p>収納体数 : 32体</p> <p>燃焼度 : 34,000 MWd/t 以下</p> <p>冷却期間 : 18年以上</p> |
| <div style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 10px; background: repeating-linear-gradient(45deg, transparent, transparent 2px, black 2px, black 4px); margin-bottom: 5px;"></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 : 37体</p> <p>燃焼度 : 40,000 MWd/t 以下</p> <p>冷却期間 : 18年以上</p> |

キャスク 1 基当たりの平均燃焼度 : 34,000 MWd/t 以下

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)



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 : 40,000 MWd/t 以下
 冷却期間 : 22年以上

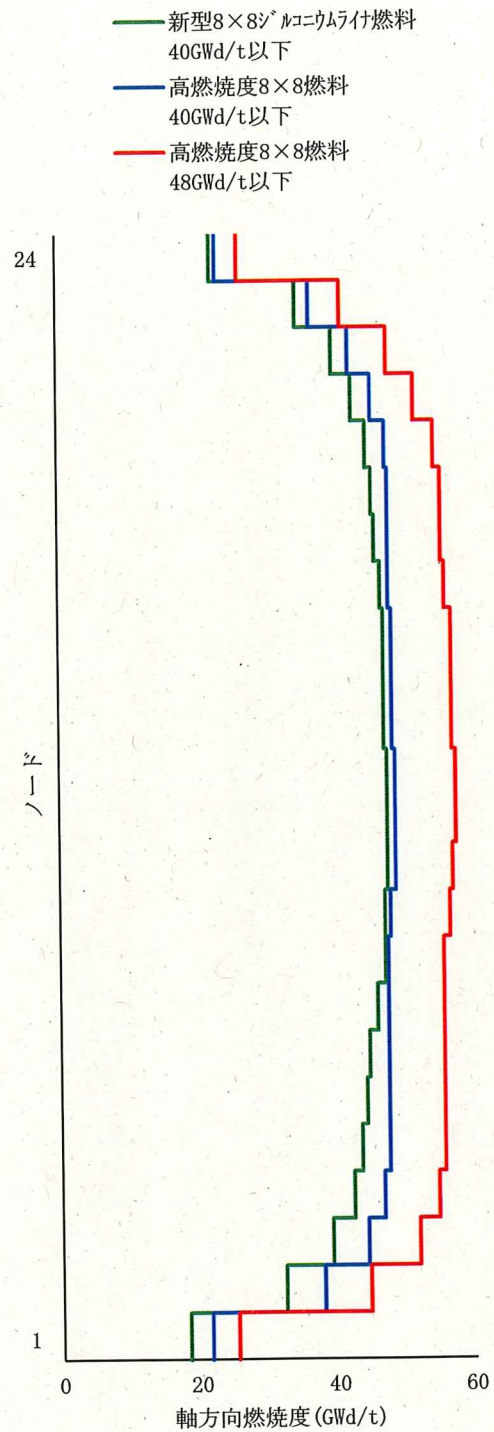
燃料種類 : 高燃焼度8×8燃料
 収納体数 : 37体
 燃焼度 : 48,000 MWd/t 以下
 冷却期間 : 20年以上

キャスク1基当たりの平均燃焼度 : 40,000 MWd/t 以下

キャスク1基当たりの崩壊熱量 : 13.8 kW 以下

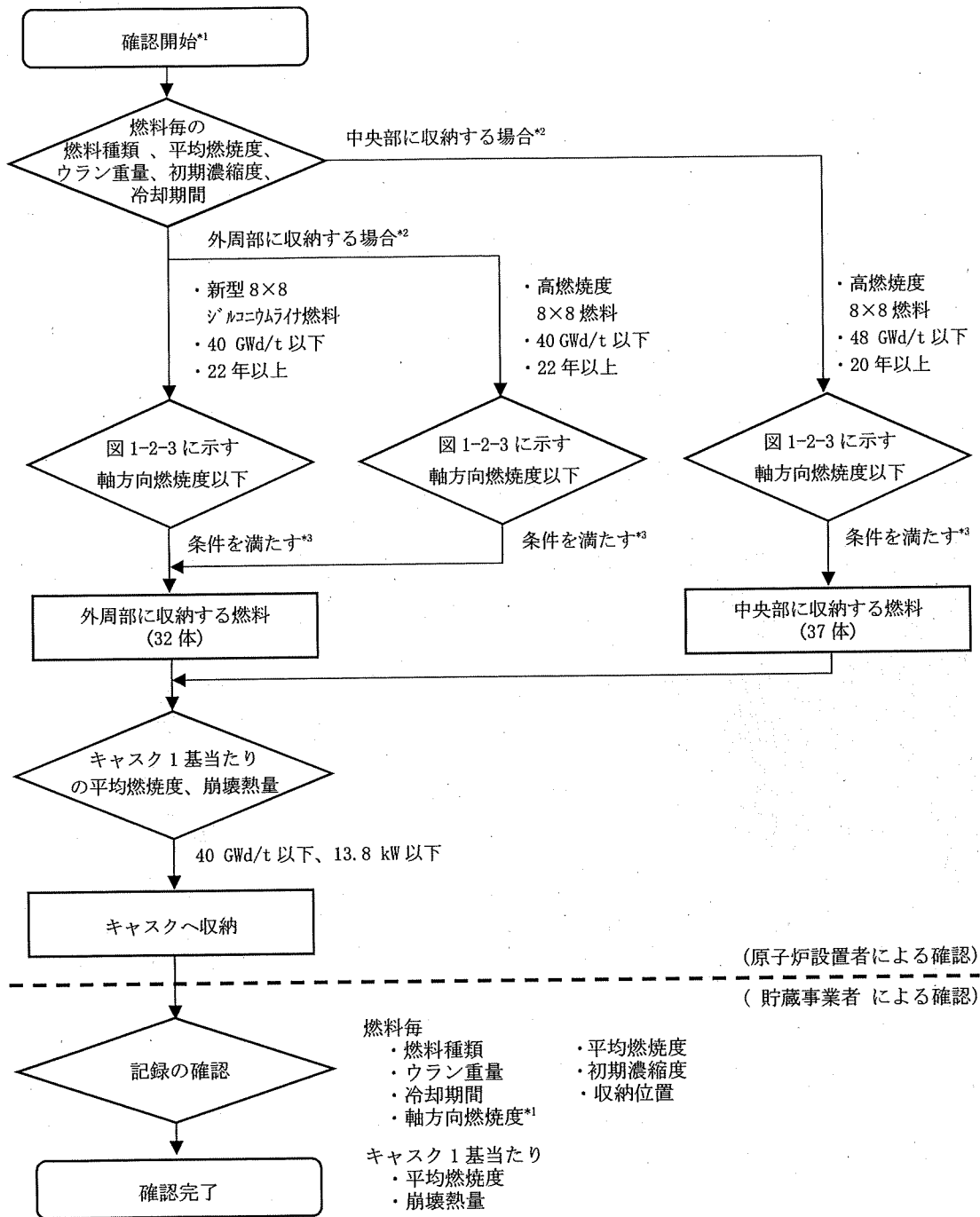
図1-2-2 使用済燃料の収納位置条件(配置(ii))
 (新型8×8ジルコニウムライナ燃料及び高燃焼度8×8燃料を混載収納する場合)

燃料種類		新型 8×8 ジリコウム ライ燃料	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 1-2-3 配置(ii)で収納する使用済燃料の軸方向燃焼度

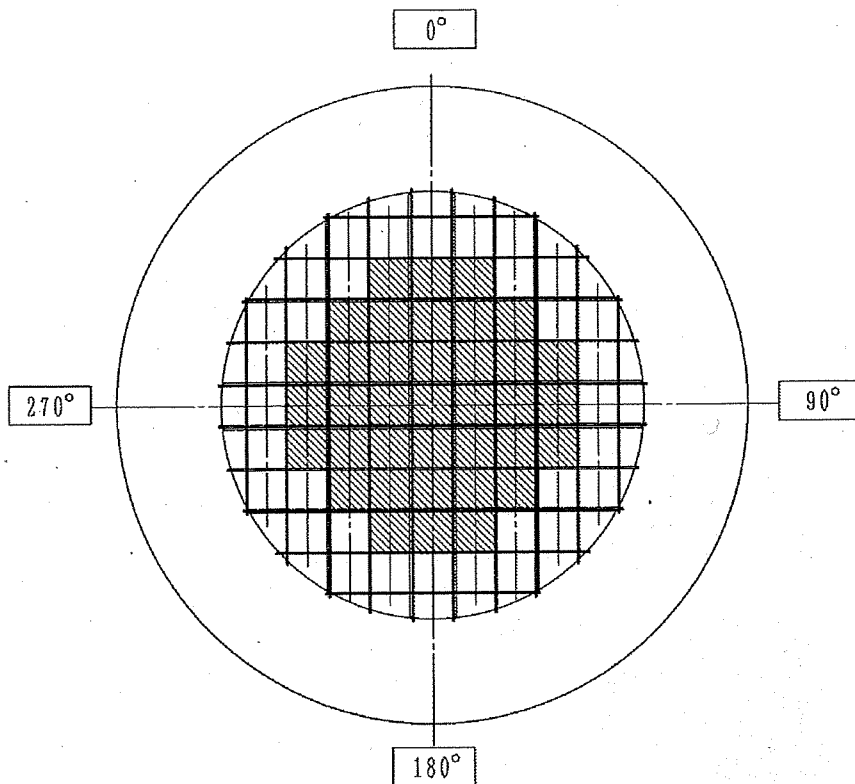


注記 *1: 配置(ii)以外では、軸方向燃焼度の確認を必要としない。

*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 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



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

キャスク 1 基当たりの平均燃焼度 : 29,000 MWd/t 以下

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)

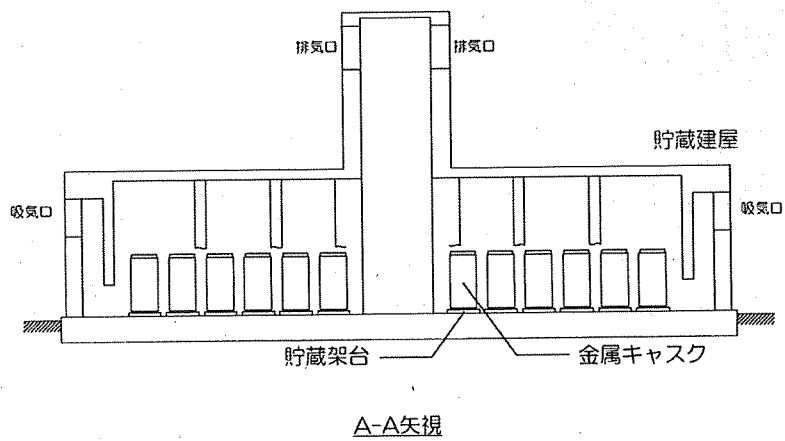
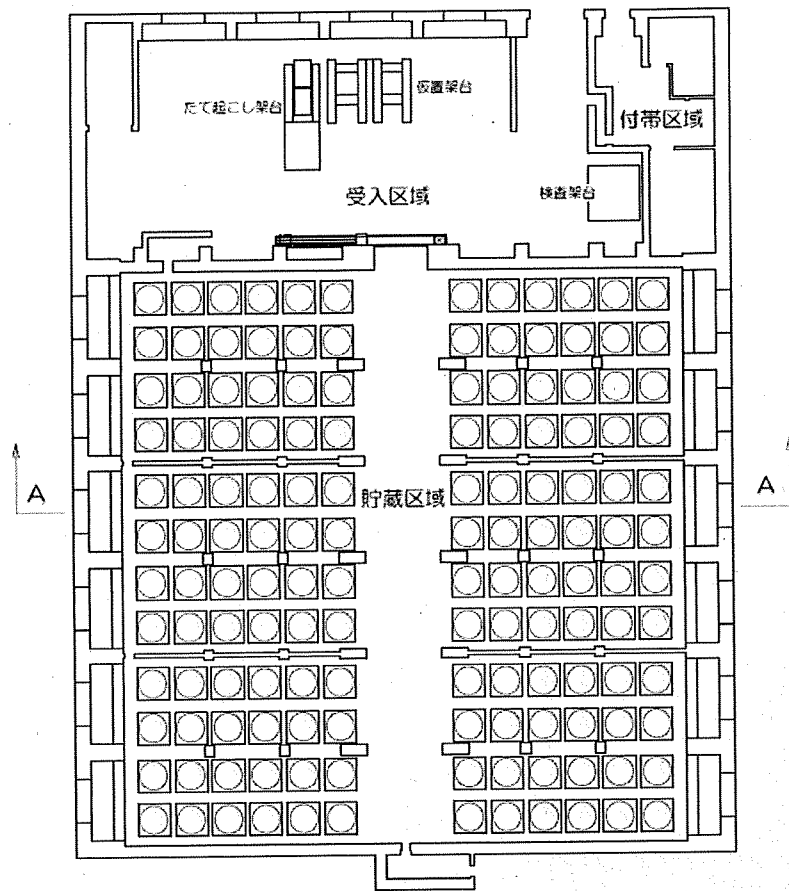


図 1-3 使用済燃料貯蔵施設概要図(例)

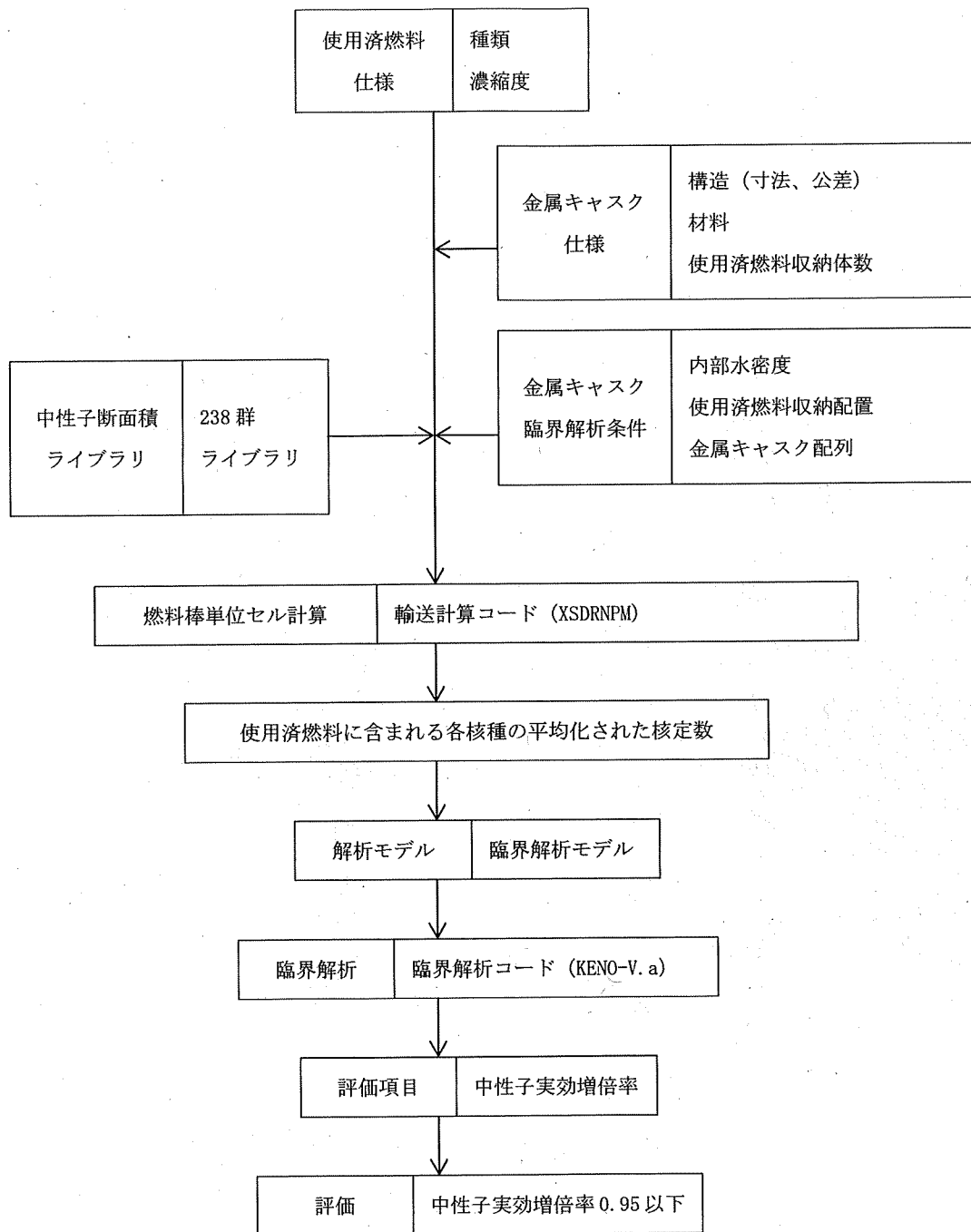


図 1-4 臨界解析フロー図

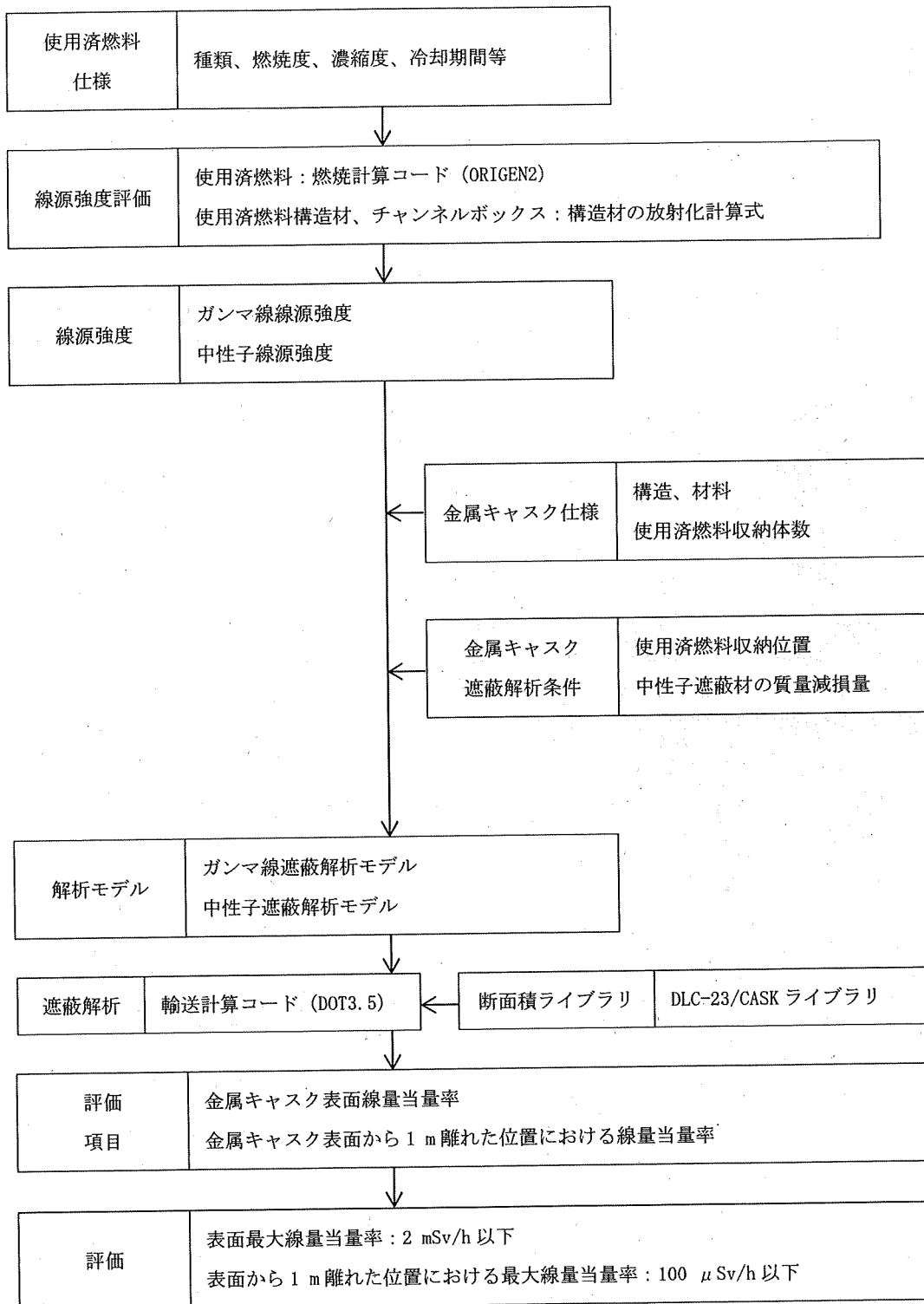


図 1-5 遮蔽解析フロー図

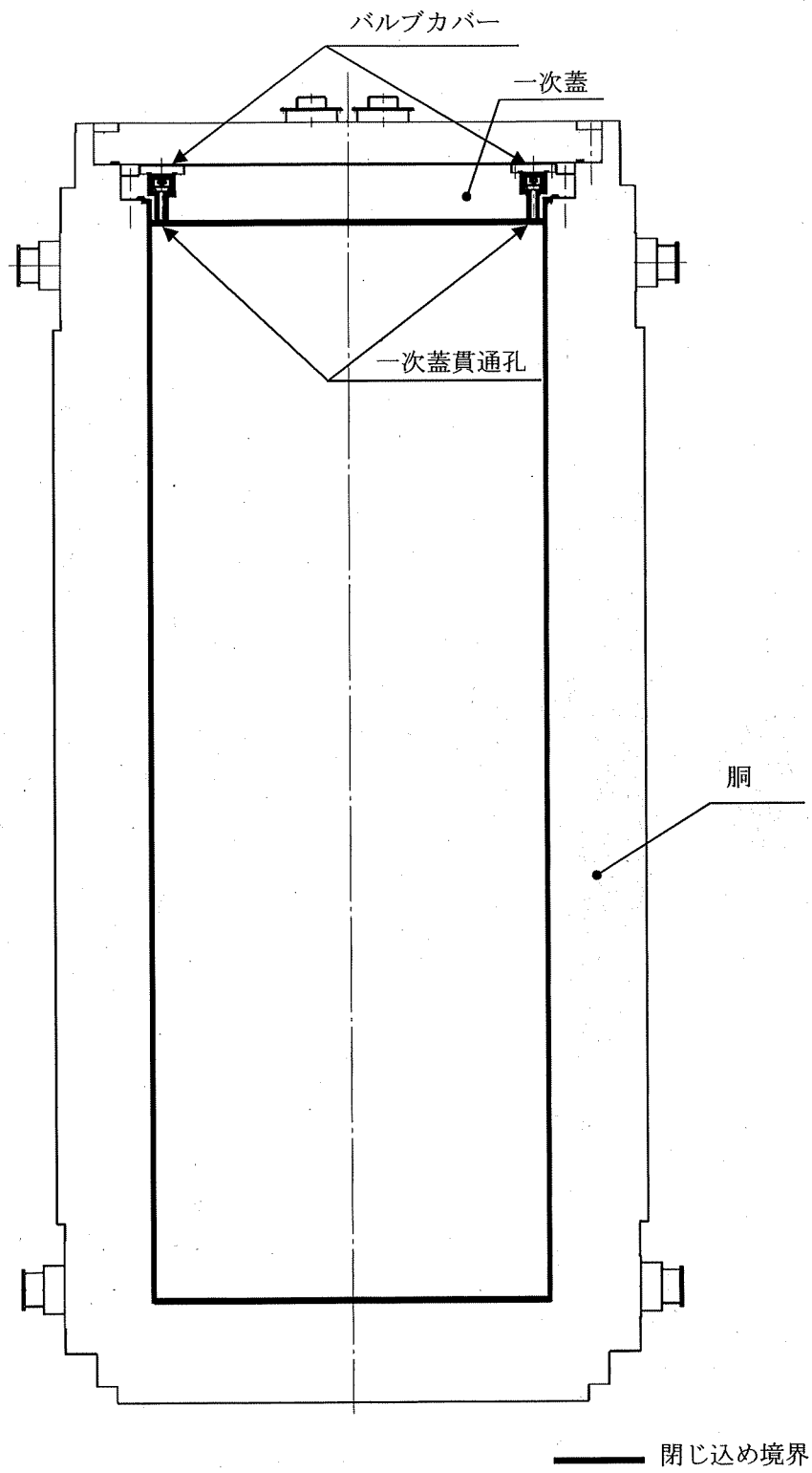
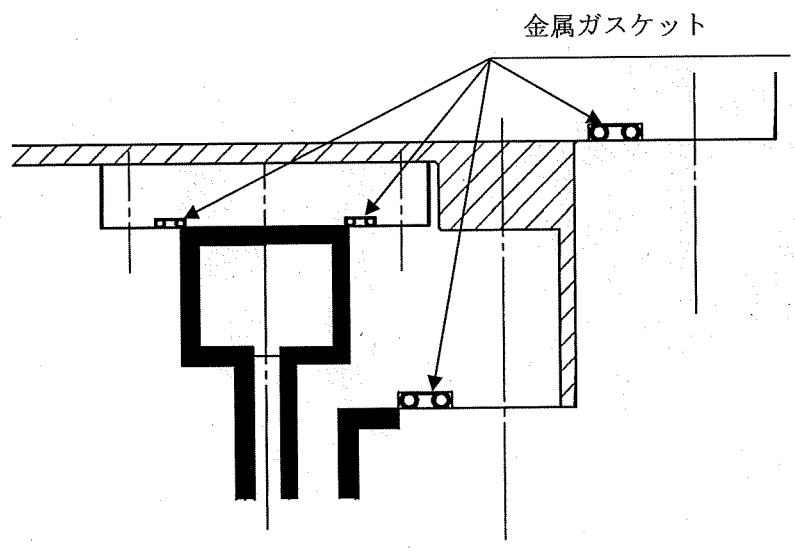
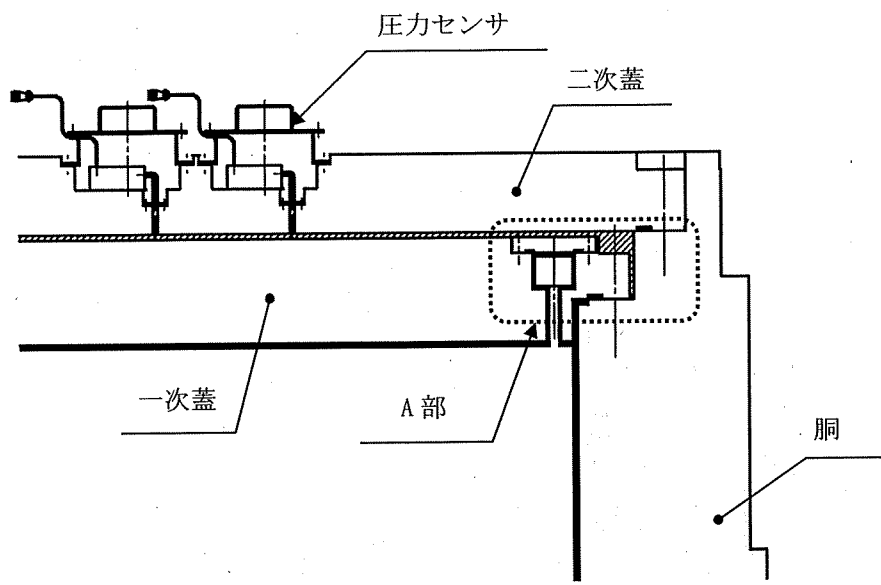


図 1-6 HDP-69B(B)型の閉じ込め構造



- 閉じ込め境界(負圧)
- ▨ 閉じ込め監視圧力境界(正圧)

図 1-7 HDP-69B(B)型のシール部詳細

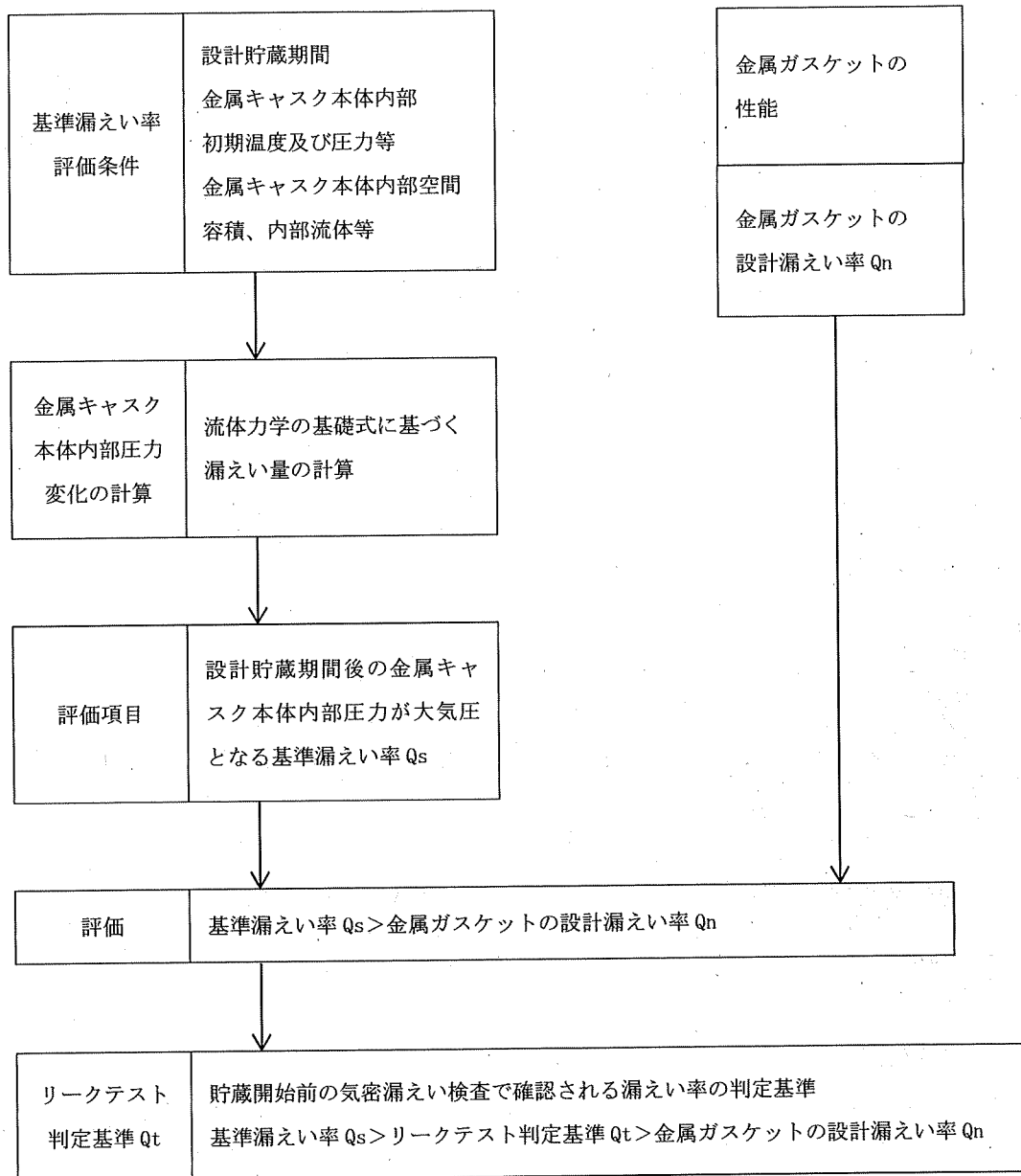


図 1-8 閉じ込め評価フロー図

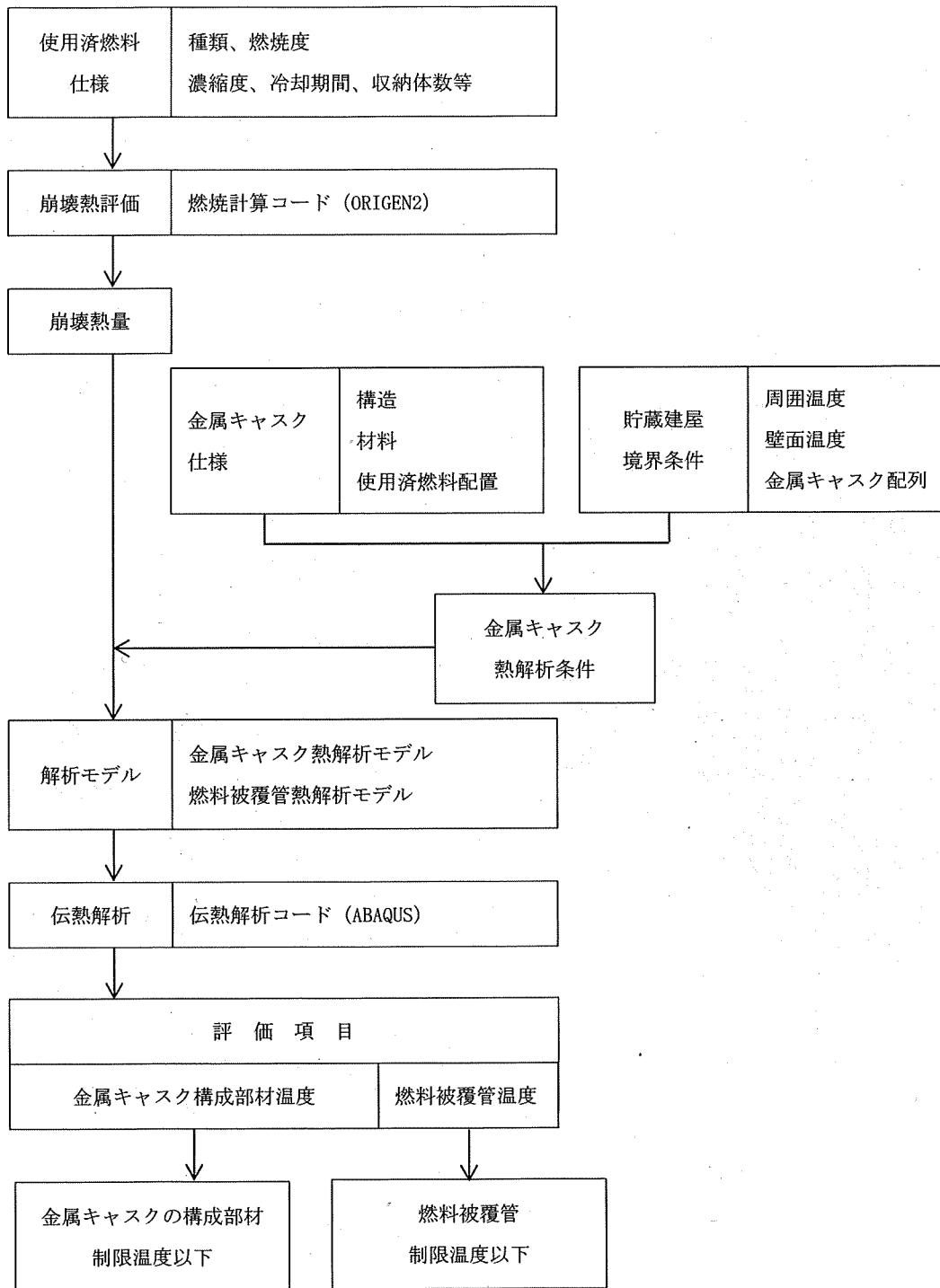
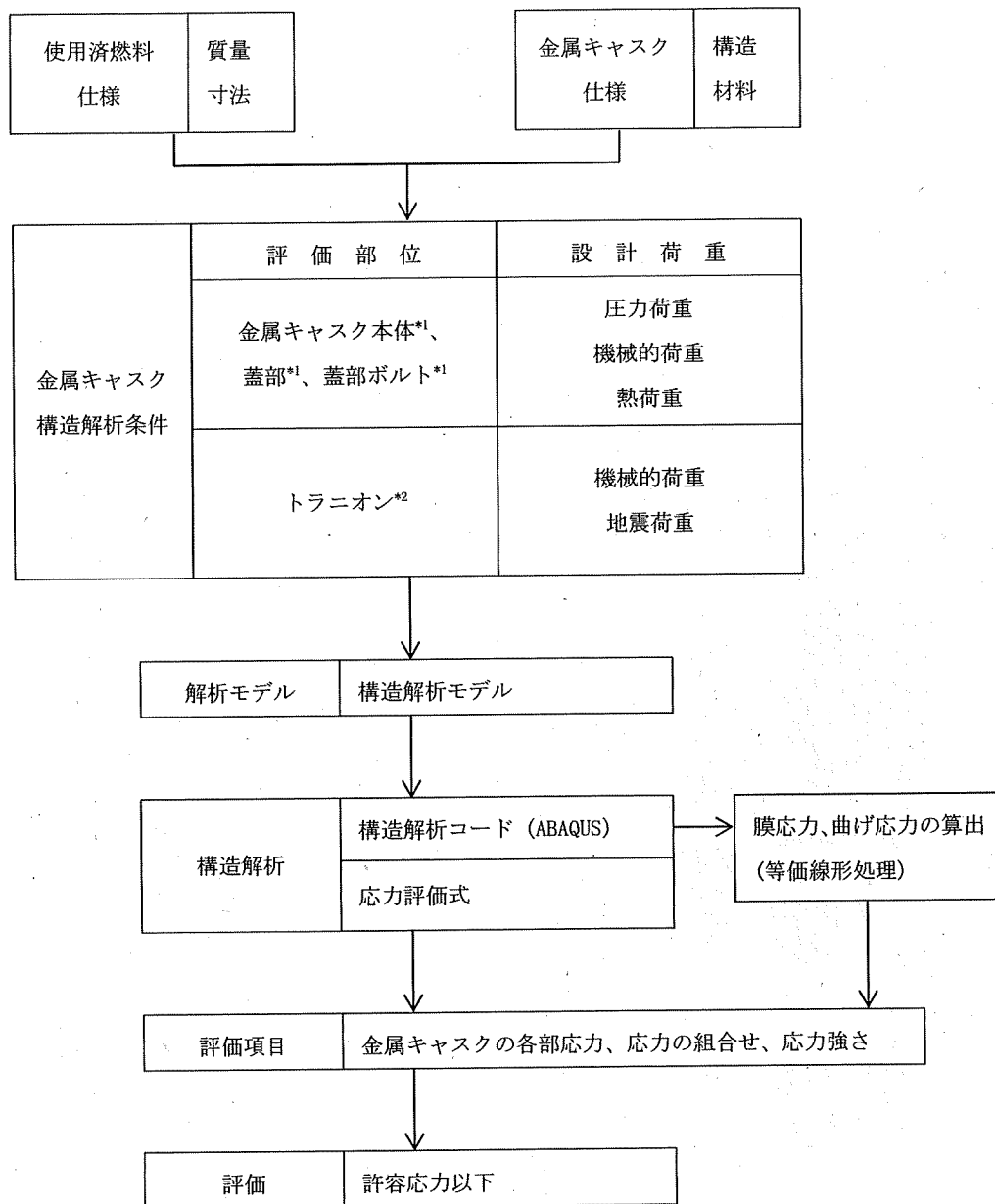


図 1-9 除熱解析フロー図



注記*1：構造解析コードによる評価

*2：応力評価式による評価

図 1-10 構造強度解析フロー図

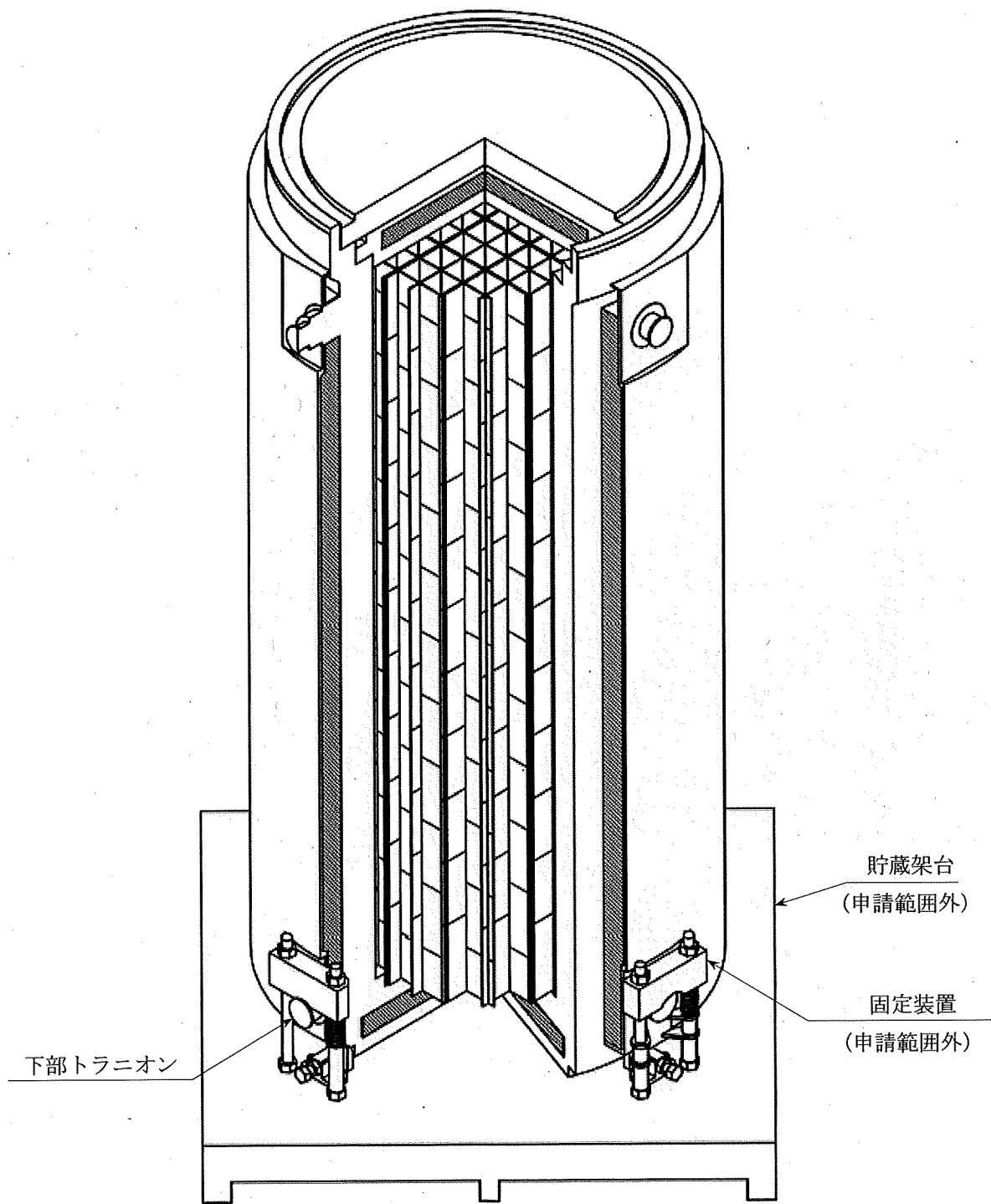


図 1-11 下部トラニオン固定図

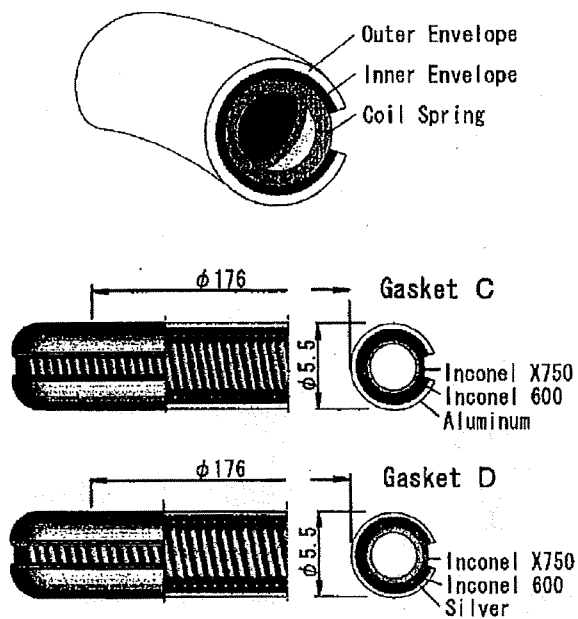


図 1-12 供試ガスケットの形状・寸法⁽¹⁶⁾

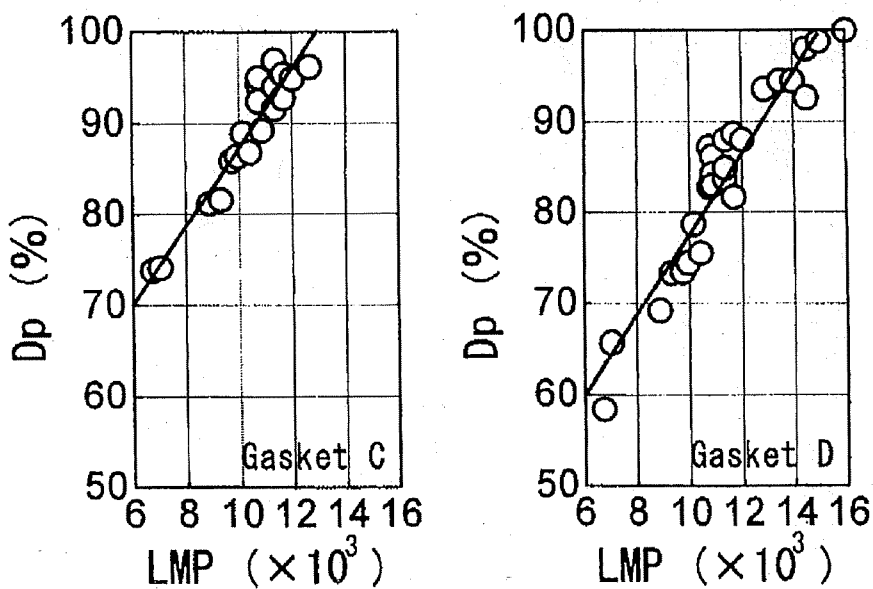


図 1-13 塑性変形率 D_p と LMP の関係⁽¹⁶⁾

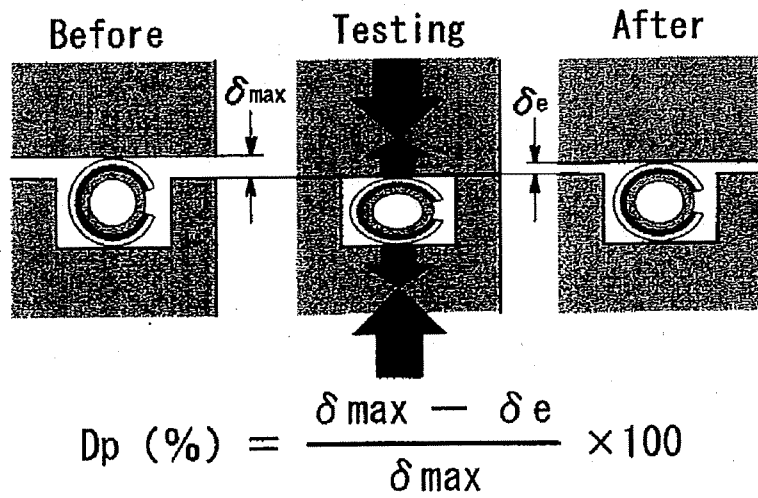


図 1-14 塑性変形率の定義⁽¹⁶⁾

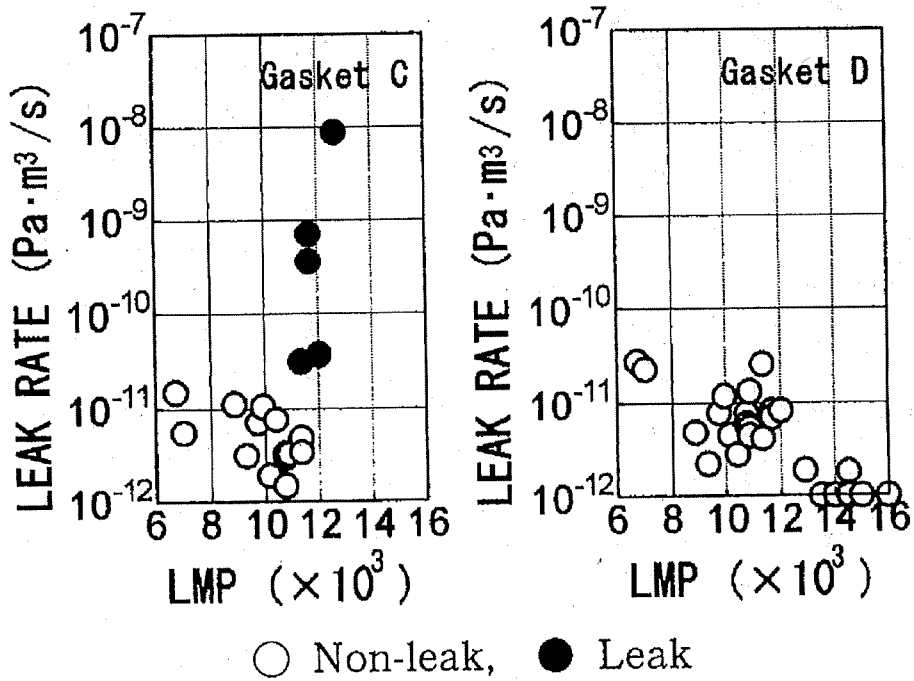


図 1-15 漏えい率と LMP の関係⁽¹⁶⁾

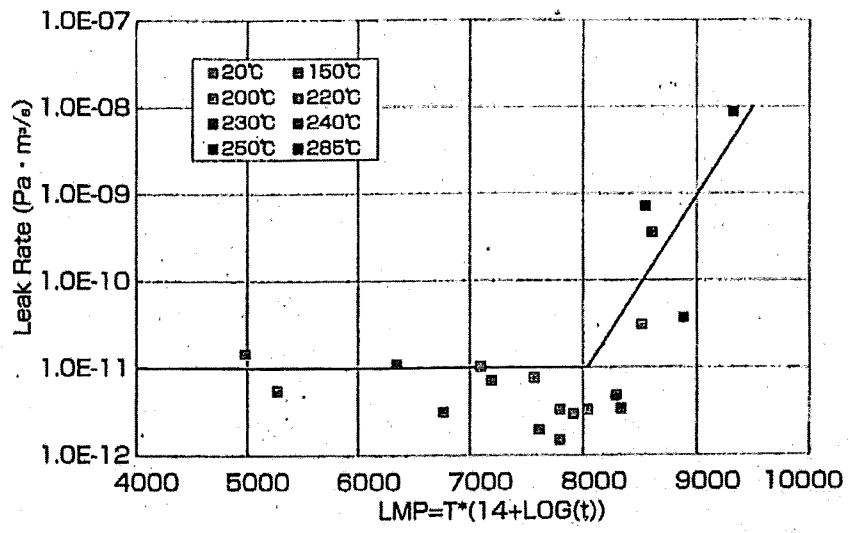


図 1-16 LMP の定数 C=14 における漏えい率と LMP の関係⁽¹⁷⁾

4. 参考文献

- (1) (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)」、(独)原子力安全基盤機構、(平成 19 年 3 月)
- (2) (独)原子力安全基盤機構、「平成 19 年度 リサイクル燃料資源貯蔵技術調査等(貯蔵燃料健全性等調査に関する試験成果報告書)」、(独)原子力安全基盤機構、(平成 20 年 3 月)
- (3) (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」、(一社)日本機械学会、(2007 年 12 月)
- (4) 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)
- (5) K. Farrell, et al., "An evaluation of low temperature radiation embrittlement mechanisms in ferritic alloys", J. Nuclear Mater., Vol.210, 268-281, (1994)
- (6) (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(リサイクル燃料資源貯蔵技術調査等)」、(一財)電力中央研究所、(2010 年 3 月)
- (7) (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、(一社)日本機械学会、(2009 年)
- (8) (一社)日本原子力学会、「日本原子力学会標準 使用済燃料中間貯蔵施設用金属キャスクの安全設計及び検査基準:2010(AESJ-SC-F002:2010)」、(一社)日本原子力学会、(2010 年 7 月)
- (9) (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」、(一財)原子力発電技術機構、(平成 15 年 9 月)
- (10) 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)
- (11) 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)
- (12) (一社)日本金属学会、「金属便覧(改訂 6 版)」、丸善(株)、(平成 12 年)
- (13) R. P. Shogan, "Neutron Irradiation Effects on the Tensile Properties of Inconel 718, Waspaloy, and A-286", WANL-TME-2791, (1971)
- (14) T. S. Byun, K. Farrell, "Tensile Properties of Inconel-718 after low temperature neutron irradiation", J. Nuclear Mater., Vol.318, 292-299, (2003)
- (15) H. Yoshida, et al., "Reactor irradiation effects on Al1100", Proc. Jpn. Congr. Mater. Res., Vol.24, 1-6, (1981)
- (16) 加藤治、伊藤千浩、三枝利有、「使用済燃料貯蔵キャスクの長期密封性能評価手法の開発」、日本原子力学会誌、Vol.38、No.6、(1996)

- (17) (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)
- (18) 小崎明朗、「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)
- (19) S. E. Soliman, et al., “Neutron effects on borated stainless steel”, Nuclear Technology, Vol. 96, (1991)

別添2

添付書類二 特定容器等を使用することにより使用済燃料貯蔵施設
に及ぼす影響に関する説明書

目次

1. 「使用済燃料貯蔵施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則」に対する適合	2-1
1.1 概要	2-1
1.2 適用範囲	2-2
1.3 使用済燃料の臨界防止	2-3
1.4 遮蔽等	2-4
1.5 閉じ込めの機能	2-5
1.6 除熱	2-6
1.7 火災等による損傷の防止	2-7
1.8 使用済燃料貯蔵施設の地盤	2-8
1.9 地震による損傷の防止	2-9
1.10 津波による損傷の防止	2-10
1.11 外部からの衝撃による損傷の防止	2-11
1.12 使用済燃料貯蔵施設への人の不法な侵入等の防止	2-12
1.13 安全機能を有する施設	2-13
1.14 設計最大評価事故時の放射線障害の防止	2-14
1.15 金属キャスク	2-15
1.16 使用済燃料の受入れ施設	2-16
1.17 計測制御系統施設	2-17
1.18 廃棄施設	2-18
1.19 放射線管理施設	2-19
1.20 予備電源	2-20
1.21 通信連絡設備等	2-21
2. 特定容器等を使用済燃料貯蔵施設において使用する場合の 想定事象に対する安全評価	2-22
2.1 概要	2-22
2.2 HDP-69B(B)型の取扱いに起因する事象に対する評価条件及び評価結果	2-23
2.3 事故の評価	2-23

1. 「使用済燃料貯蔵施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則」に対する適合

1.1 概要

HDP-69B(B)型を使用済燃料貯蔵施設において使用する場合に、当該施設の安全性を損なうような影響を及ぼし得ないことを確認するために、「使用済燃料貯蔵施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則(平成25年12月18日施行)」の各条に対する適合性を次項以下に示す。

ただし、添付書類一の「2.2 設計条件」に示す HDP-69B(B)型の設計条件が、使用済燃料貯蔵施設で使用する金属キャスクの設計条件に含まれていることを前提とする。

また、本章において用いる用語の定義は、同規則第2条「定義」に従い、それぞれ当該各号の定めるところによる。

1.2 適用範囲

第一条 適用範囲

この規則は、核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律(以下「法」という。)第四十三条の四第二項第二号に規定する使用済燃料貯蔵施設(金属キャスクによって使用済燃料を貯蔵するものに限る。)について適用する。

HDP-69B(B)型は、法等の関連法規の要求を満足するとともに、適切と認められる規格及び基準等によって設計されている。

添付書類一の下記項目参照

2.1 設計方針

1.3 使用済燃料の臨界防止

第三条 使用済燃料の臨界防止

使用済燃料貯蔵施設は、使用済燃料が臨界に達するおそれがないものでなければならない。

- (1) HDP-69B(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、使用済燃料を収納した条件下で、技術的に想定されるいかなる場合でも臨界に達することを防止する機能を有する。
- (2) バスケット格子は、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である。
- (3) 使用済燃料を収納した HDP-69B(B)型を、貯蔵建屋の貯蔵容量最大に収納した条件下で、HDP-69B(B)型の搬入から搬出までの全工程において、HDP-69B(B)型相互の中性子干渉を考慮し、技術的に想定されるいかなる場合でも、HDP-69B(B)型は臨界に達することを防止する設計である。
- (4) HDP-69B(B)型は、未臨界に有意な影響を与える以下の因子を考慮した設計である。
 - a. 配置・形状
貯蔵区域内の HDP-69B(B)型の配置、バスケット格子の形状、バスケット格子内の使用済燃料の配置等において安全裕度を考慮している。
 - b. 中性子吸収材の効果
製造公差(濃度、非均質性、寸法等)及び中性子吸収に伴う原子個数密度の減少について適切に考慮している。
 - c. 減速材(水)の影響
使用済燃料を HDP-69B(B)型に収納するに当たり冠水することを考慮している。
 - d. 燃焼度クレジット
使用済燃料の燃焼に伴う反応度低下は考慮しない。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している。

以上より、HDP-69B(B)型を使用済燃料貯蔵施設において使用した場合、当該施設の臨界防止機能に影響を与えることはない。

添付書類一の下記項目参照

3.1 臨界防止機能

1.4 遮蔽等

第四条 遮蔽等

- 使用済燃料貯蔵施設は、当該使用済燃料貯蔵施設からの直接線及びスカイシャイン線による事業所周辺の線量を十分に低減できるよう、遮蔽その他適切な措置を講じたものでなければならない。
- 2 使用済燃料貯蔵施設は、放射線障害を防止する必要がある場合には、管理区域その他事業所内の人が立ち入る場所における線量を低減できるよう、遮蔽その他適切な措置を講じたものでなければならない。

第1項について

HDP-69B(B)型は、設計貯蔵期間中における中性子遮蔽材の熱による遮蔽機能の低下を考慮しても、表面及び表面から1m離れた位置における最大線量当量率が、それぞれ2mSv/h以下及び100μSv/h以下となるように設計されている。

ただし、使用済燃料の貯蔵の事業(変更)許可申請時には、使用済燃料貯蔵施設の遮蔽機能に関する評価で使用するエネルギースペクトルによる遮蔽材中の放射線透過率が、HDP-69B(B)型の表面エネルギースペクトルによる遮蔽材中の放射線透過率に対して同等以上であることを確認する必要がある。

第2項について

使用済燃料貯蔵施設の遮蔽設計に関する要件であり、HDP-69B(B)型が使用済燃料貯蔵施設の安全機能に与える影響評価の範囲外である。

添付書類一の下記項目参照

3.2 遮蔽機能

1.5 閉じ込めの機能

第五条 閉じ込めの機能

使用済燃料貯蔵施設は、使用済燃料等を限定された区域に適切に閉じ込めることができるものでなければならない。

- (1) HDP-69B(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できる設計である。
- (2) HDP-69B(B)型は、蓋部を一次蓋、二次蓋の二重の閉じ込め構造とし、蓋間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 HDP-69B(B)型外部から隔離する設計である。
- (3) HDP-69B(B)型は、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である。

以上より、HDP-69B(B)型を使用済燃料貯蔵施設において使用した場合、当該施設の閉じ込め機能に影響を与えることはない。

なお、一次蓋の閉じ込め機能に異常が発生したと判断される場合には、三次蓋を取り付け、三次蓋の気密漏えい検査等運搬に必要な措置を講じ、搬出できるように設計する。

添付書類一の下記項目参照

3.3 閉じ込め機能

1.6 除熱

第六条 除熱

使用済燃料貯蔵施設は、動力を用いずに使用済燃料等の崩壊熱を適切に除去できるものでなければならない。

- (1) HDP-69B(B)型は、使用済燃料の健全性を維持する観点から、使用済燃料の崩壊熱を金属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設計である。
- (2) HDP-69B(B)型は、基本的安全機能を維持する観点から設計貯蔵期間を通じてその構成部材の健全性が保たれる温度範囲にあるように設計されている。

ただし、使用済燃料の貯蔵の事業(変更)許可申請時には、HDP-69B(B)型を含めた金属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℃以下及び65℃以下であることを確認する必要がある。

添付書類一の下記項目参照

3.4 除熱機能

1.7 火災等による損傷の防止

第七条 火災等による損傷の防止

使用済燃料貯蔵施設は、火災又は爆発により当該使用済燃料貯蔵施設の基本的安全機能が損なわれないよう、次に掲げる措置を適切に組み合わせた措置を講じたものでなければならない。

- 一 火災及び爆発の発生を防止すること。
- 二 火災及び爆発の発生を早期に感知し、及び消火すること。
- 三 火災及び爆発の影響を軽減すること。

HDP-69B(B)型の設計条件として火災又は爆発の条件は規定していない。

ただし、使用済燃料の貯蔵の事業(変更)許可申請時に火災又は爆発の条件が規定される場合には、使用済燃料貯蔵施設の安全機能を損なうような影響を及ぼし得ないことを確認する必要がある。

1.8 使用済燃料貯蔵施設の地盤

第八条 使用済燃料貯蔵施設の地盤

使用済燃料貯蔵施設は、次条第二項の規定により算定する地震力(基本的安全機能を確保する上で必要な施設にあつては、同条第三項の地震力を含む。)が作用した場合においても当該使用済燃料貯蔵施設を十分に支持することができる地盤に設けなければならない。

- 2 使用済燃料貯蔵施設は、変形した場合においてもその基本的安全機能が損なわれるおそれがない地盤に設けなければならない。
- 3 基本的安全機能を確保する上で必要な施設は、変位が生ずるおそれがない地盤に設けなければならない。

使用済燃料貯蔵施設に関する要件であり、HDP-69B(B)型が使用済燃料貯蔵施設の安全機能に与える影響評価の範囲外である。

1.9 地震による損傷の防止

第九条 地震による損傷の防止

使用済燃料貯蔵施設は、地震力に十分に耐えることができるものでなければならない。

- 2 前項の地震力は、地震の発生によって生ずるおそれがある使用済燃料貯蔵施設の安全機能の喪失に起因する放射線による公衆への影響の程度に応じて算定しなければならない。
- 3 使用済燃料貯蔵施設は、その供用中に当該使用済燃料貯蔵施設に大きな影響を及ぼすおそれがある地震による加速度によって作用する地震力に対して基本的安全機能が損なわれるおそれがないものでなければならない。
- 4 使用済燃料貯蔵施設は、前項の地震の発生によって生ずるおそれがある斜面の崩壊に対して基本的安全機能が損なわれるおそれがないものでなければならない。

第1項から第3項について

HDP-69B(B)型は、設計条件として設定する地震力に対して概ね弾性状態にとどまる範囲で耐え得る設計とすることから、HDP-69B(B)型を使用済燃料貯蔵施設において使用した場合、当該施設の安全機能に影響を与えることはない。

ただし、使用済燃料の貯蔵の事業(変更)許可申請時には、使用済燃料貯蔵施設の貯蔵架台が、HDP-69B(B)型の設計条件として設定する地震力に対して概ね弾性状態にとどまる範囲で耐え得る設計であることを確認する必要がある。

第4項について

使用済燃料貯蔵施設に関する要件であり、HDP-69B(B)型が使用済燃料貯蔵施設の安全機能に与える影響評価の範囲外である。

添付書類一の下記項目参照

2.1 設計方針

1.10 津波による損傷の防止

第十条 津波による損傷の防止

使用済燃料貯蔵施設は、その供用中に当該使用済燃料貯蔵施設に大きな影響を及ぼすおそれがある津波に対して基本的安全機能が損なわれるおそれがないものでなければならない。

HDP-69B(B)型の設計条件として津波の流入及び到達は規定していない。

ただし、使用済燃料の貯蔵の事業(変更)許可申請時に津波の流入及び到達が規定される場合には、使用済燃料貯蔵施設の安全機能を損なうような影響を及ぼし得ないことを確認する必要がある。

1.11 外部からの衝撃による損傷の防止

第十一条 外部からの衝撃による損傷の防止

使用済燃料貯蔵施設は、想定される自然現象(地震及び津波を除く。)が発生した場合においても基本的安全機能を損なわないものでなければならない。

- 2 使用済燃料貯蔵施設は、事業所又はその周辺において想定される当該使用済燃料貯蔵施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの(故意によるものを除く。)に対して基本的安全機能を損なわないものでなければならない。

第1項及び第2項について

HDP-69B(B)型の設計条件として外部からの衝撃事象は規定していない。

ただし、使用済燃料の貯蔵の事業(変更)許可申請時に外部からの衝撃事象が規定される場合には、使用済燃料貯蔵施設の安全機能を損なうような影響を及ぼし得ないことを確認する必要がある。

1.12 使用済燃料貯蔵施設への人の不法な侵入等の防止

第十二条 使用済燃料貯蔵施設への人の不法な侵入等の防止

事業所には、使用済燃料貯蔵施設への人の不法な侵入、使用済燃料貯蔵施設に不正に爆発性又は易燃性を有する物件その他人に危害を与え、又は他の物件を損傷するおそれがある物件が持ち込まれること及び不正アクセス行為(不正アクセス行為の禁止等に関する法律(平成十一年法律第百二十八号)第二条第四項に規定する不正アクセス行為をいう。)を防止するための設備を設けなければならない。

使用済燃料貯蔵施設に関する要件であり、HDP-69B(B)型が使用済燃料貯蔵施設の安全機能に与える影響評価の範囲外である。

1.13 安全機能を有する施設

第十三条 安全機能を有する施設

安全機能を有する施設を他の原子力施設と共用し、又は安全機能を有する施設に属する設備を一の使用済燃料貯蔵施設において共用する場合には、使用済燃料貯蔵施設の安全性を損なわないものでなければならない。

- 2 安全機能を有する施設は、当該施設の安全機能を確認するための検査又は試験及び当該安全機能を健全に維持するための保守又は修理ができるものでなければならない。

使用済燃料貯蔵施設に関する要件であり、HDP-69B(B)型が使用済燃料貯蔵施設の安全機能に与える影響評価の範囲外である。

1.14 設計最大評価事故時の放射線障害の防止

第十四条 設計最大評価事故時の放射線障害の防止

使用済燃料貯蔵施設は、設計最大評価事故(安全設計上想定される事故のうち、公衆が被ばくする線量を評価した結果、その線量が最大となるものをいう。)が発生した場合において、事業所周辺の公衆に放射線障害を及ぼさないものでなければならない。

HDP-69B(B)型の取扱いに起因する想定事象として、HDP-69B(B)型の転倒事象、落下事象、及び HDP-69B(B)型への重量物の落下事象を選定し、基本的安全機能に関する評価を行った結果、いずれの事象が発生しても、閉じ込め境界部の健全性は維持されることから、外部への放射性物質の放出はなく事故事象に至ることはない。

ただし、使用済燃料の貯蔵の事業(変更)許可申請時に、使用済燃料貯蔵施設の設計最大評価事故が選定される場合には、その設計最大評価事故に対して、事業所周辺の公衆に放射線障害を及ぼさないことを確認する必要がある。

添付書類二の下記項目参照

2. 特定容器等を使用済燃料貯蔵施設において使用する場合の想定事象に対する安全評価

1.15 金属キャスク

第十五条 金属キャスク

使用済燃料貯蔵施設には、金属キャスクを設けなければならない。

- 2 金属キャスクは、当該金属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ものでなければならない。

第1項について

HDP-69B(B)型は、金属キャスクである。

第2項について

基本的な安全機能を維持する上で重要な HDP-69B(B)型の構成部材は、設計貯蔵期間中の温度、放射線等の環境、並びに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ように設計されている。また、HDP-69B(B)型本体内面、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とともに封入して貯蔵する。

以上より、HDP-69B(B)型を使用済燃料貯蔵施設において使用した場合、当該施設の安全性に影響を与えることはない。

添付資料一の下記項目参照

3.6 長期健全性

1.16 使用済燃料の受入れ施設

第十六条 使用済燃料の受入れ施設

使用済燃料貯蔵施設には、使用済燃料を封入した金属キャスクの搬送及び受入れ時において基本的安全機能を確保することができる使用済燃料の受入れ施設を設けなければならない。

使用済燃料貯蔵施設に関する要件であり、HDP-69B(B)型が使用済燃料貯蔵施設の安全機能に与える影響評価の範囲外である。

1.17 計測制御系統施設

第十七条 計測制御系統施設

使用済燃料貯蔵施設には、基本的安全機能のうち閉じ込め機能及び除熱機能が確保されていることを適切に監視することができる計測制御系統施設を設けなければならない。

- 2 使用済燃料貯蔵施設には、安全設計上想定される事故により当該使用済燃料貯蔵施設の基本的安全機能を損なうおそれが生じたとき、第十九条第二号の放射性物質の濃度若しくは線量が著しく上昇したとき又は廃棄施設から放射性廃棄物が著しく漏えいするおそれが生じたときに、これらを確実に検知して速やかに警報する設備を設けなければならない。

使用済燃料貯蔵施設に関する要件であり、HDP-69B(B)型が使用済燃料貯蔵施設の安全機能に与える影響評価の範囲外である。

1.18 廃棄施設

第十八条 廃棄施設

使用済燃料貯蔵施設には、周辺監視区域の外の空气中及び周辺監視区域の境界における水中の放射性物質の濃度を十分に低減できるよう、必要に応じて、当該使用済燃料貯蔵施設において発生する放射性廃棄物を処理する能力を有する廃棄施設（放射性廃棄物を保管廃棄する施設を除く。）を設けなければならない。

- 2 使用済燃料貯蔵施設には、十分な容量を有する放射性廃棄物を保管廃棄する施設を設けなければならない。

使用済燃料貯蔵施設に関する要件であり、HDP-69B(B)型が使用済燃料貯蔵施設の安全機能に与える影響評価の範囲外である。

1.19 放射線管理施設

第十九条 放射線管理施設

事業所には、次に掲げるところにより、放射線管理施設を設けなければならない。

- 一 放射線から放射線業務従事者を防護するため、線量を監視し、及び管理する設備を設けること。
- 二 事業所及びその境界付近における放射性物質の濃度及び線量を監視し、及び測定する設備を設けること。
- 三 放射線から公衆及び放射線業務従事者を防護するため、必要な情報を適切な場所に表示する設備を設けること。

使用済燃料貯蔵施設に関する要件であり、HDP-69B(B)型が使用済燃料貯蔵施設の安全機能に与える影響評価の範囲外である。

1.20 予備電源

第二十条 予備電源

使用済燃料貯蔵施設には、外部電源系統からの電気の供給が停止した場合において、監視設備その他必要な設備に使用することができる予備電源を設けなければならない。

使用済燃料貯蔵施設に関する要件であり、HDP-69B(B)型が使用済燃料貯蔵施設の安全機能に与える影響評価の範囲外である。

1.21 通信連絡設備等

第二十一条 通信連絡設備等

事業所には、安全設計上想定される事故が発生した場合において事業所内の人に対し必要な指示ができるよう、警報装置及び通信連絡設備を設けなければならない。

- 2 事業所には、安全設計上想定される事故が発生した場合において事業所外の通信連絡をする必要がある場所と通信連絡ができるよう、通信連絡設備を設けなければならない。
- 3 使用済燃料貯蔵施設には、事業所内の人の退避のための設備を設けなければならない。

使用済燃料貯蔵施設に関する要件であり、HDP-69B(B)型が使用済燃料貯蔵施設の安全機能に与える影響評価の範囲外である。

2. 特定容器等を使用済燃料貯蔵施設において使用する場合の想定事象に対する安全評価

2.1 概要

使用済燃料貯蔵施設において HDP-69B(B)型を使用する場合に、HDP-69B(B)型の基本的安全機能に影響を及ぼす可能性のある事象として、図 2-1 に示す金属キャスクのハンドリングフローに従い以下を抽出し、評価を行った。

- (1) HDP-69B(B)型の転倒・落下
- (2) HDP-69B(B)型への重量物の落下

評価の結果、次項に示すように、いずれの事象に対しても HDP-69B(B)型は基本的安全機能を維持し、使用済燃料貯蔵施設の安全性に影響を及ぼすことはない。

2.2 HDP-69B(B)型の取扱いに起因する事象に対する評価条件及び評価結果

2.2.1 評価条件

図 2-1 に示す金属キャスクのハンドリングフローに基づき、HDP-69B(B)型の転倒事象、落下事象、及び HDP-69B(B)型への重量物の落下事象として以下を選定し評価を行った。

- (1) 仮置架台への水平落下
- (2) 衝撃吸収材への垂直落下
- (3) 貯蔵架台への垂直落下
- (4) たて起こし架台への転倒衝突
- (5) 衝撃吸収材への転倒衝突
- (6) 三次蓋の二次蓋への落下

2.2.2 評価結果

それぞれの事象で生じる加速度又は荷重条件を表 2-1 に示す。

2.2.1「評価条件」に示す(1)及び(4)の事象について、HDP-69B(B)型に作用する衝撃加速度は、いずれも「核燃料物質等の工場又は事業所の外における運搬に関する規則(平成 28 年 10 月 1 日施行)」で定める特別の試験条件(落下試験 I)で作用する衝撃加速度を保守側に設定した設計加速度 より低いため、評価対象外とした。

2.2.1「評価条件」に示す(3)、(5)及び(6)の事象について、ABAQUS コードにより構造強度解析を実施した。なお、(2)の事象については、発生する衝撃加速度が(3)の事象に比べ小さいため、(3)の評価に包含される。構造強度解析の結果は表 2-2、表 2-3 及び表 2-4 に示すとおり、一次蓋閉じ込め境界部の発生応力は弾性範囲内であり、閉じ込め境界部の健全性は維持される。

2.3 事故の評価

2.2「HDP-69B(B)型の取扱いに起因する事象に対する評価条件及び評価結果」に示すとおり、使用済燃料貯蔵施設において HDP-69B(B)型を使用する場合、取扱いに起因する事象を考慮しても閉じ込め境界部の健全性は維持されることから、公衆に対し放射線被ばくを及ぼす可能性のある事故に至ることはなく、使用済燃料貯蔵施設への影響はない。

表 2-1 HDP-69B (B) 型の転倒及び落下事象時に発生する加速度、
又は HDP-69B (B) 型への重量物落下事象時の荷重条件

No.	想定事象	加速度又は荷重条件
(1)	仮置架台への水平落下	26 G 以下
(2)	衝撃吸収材への垂直落下	13 G 以下
(3)	貯蔵架台への垂直落下	47 G 以下
(4)	たて起こし架台への転倒衝突	39 G 以下
(5)	衝撃吸収材への転倒衝突	29 G 以下 (蓋部近傍)
(6)	三次蓋の二次蓋への落下	3.0×10^6 N 以下

表 2-2 貯蔵架台への垂直落下時の評価結果

項 目	評価結果	設計基準値	備考
一次蓋閉じ込め境界部の 応力強さ	60 MPa 以下	186 MPa	表 2-1 に基づき、金属キャ スクに生じる加速度条件 を 50 G に設定し評価。 発生応力は降伏応力以下 であり、閉じ込め境界部は 健全性を維持する。
一次蓋ボルトの応力	320 MPa 以下	848 MPa	

表 2-3 衝撃吸収材への転倒衝突時の評価結果

項 目	評価結果	設計基準値	備考
一次蓋閉じ込め境界部の 応力強さ	80 MPa 以下	186 MPa	表 2-1 に基づき、金属キャ スクに生じる加速度条件 を 40 G に設定し評価。 発生応力は降伏応力以下 であり、閉じ込め境界部は 健全性を維持する。
一次蓋ボルトの応力	430 MPa 以下	848 MPa	

表 2-4 三次蓋の二次蓋への落下時の評価結果

項 目	評価結果	設計基準値	備考
一次蓋閉じ込め境界部の 応力強さ	70 MPa 以下	186 MPa	表 2-1 に基づき、二次蓋中 央に生じる荷重条件を 3.0×10^6 N に設定し評価。 発生応力は降伏応力以下 であり、閉じ込め境界部は 健全性を維持する。
一次蓋ボルトの応力	340 MPa 以下	848 MPa	

＜＜ 金属キャスクの受入れ～金属キャスクの仮置き ＞＞

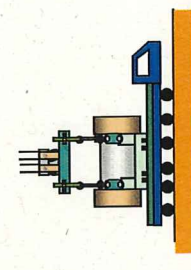

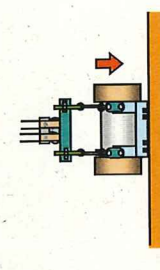
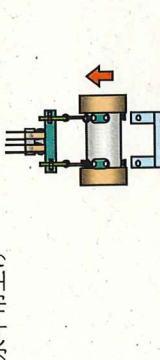
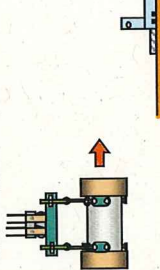
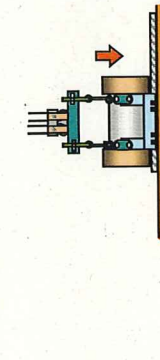
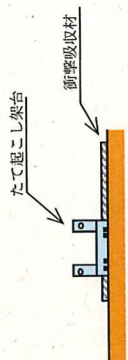
No.	取扱いモード	取扱いモード
1-1	<p>貯蔵建屋</p> <p>金属キャスク</p> <p>輸送車</p> <p>輸送車</p> <ul style="list-style-type: none"> 金属キャスクを貯蔵建屋に搬入 輸送車両上にて外観検査、線量当量率測定、表面密度測定等実施 	<p>金属キャスク水平吊上げ</p> 
1-2	<ul style="list-style-type: none"> 仮置架台へ移送 	<ul style="list-style-type: none"> 仮置架台へ設置 
1-3	<ul style="list-style-type: none"> 水平吊上げ 	<ul style="list-style-type: none"> たて起こし架台へ移送 
1-5	<ul style="list-style-type: none"> たて起こし架台へ設置 	
1-7		

図 2-1 使用済燃料貯蔵施設における金属キャスクハンドラングフロー(1/3)

＜＜ 緩衝体取外し～金属キヤスクのたて起こし～検査架台への移送 ＞＞

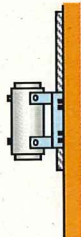
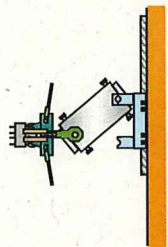
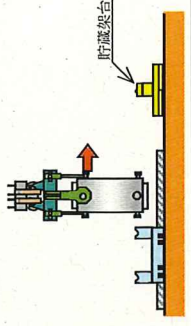

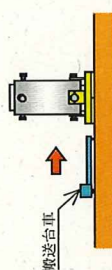
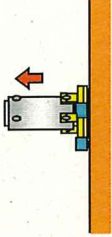
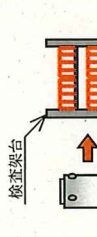
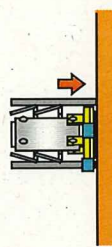
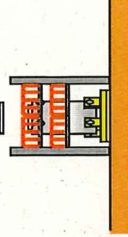
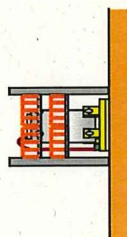
No.	取扱いモード	No.	取扱いモード	No.	取扱いモード
2-1	<p>・緩衝体の取外し</p> 	2-2	<p>・金属キヤスクをたて起こし</p> 	2-3	<p>・垂直吊上後、貯蔵架台まで移送</p> 
2-4	<p>・貯蔵架台に着床</p> 	2-5	<p>貯蔵架台下部に搬送台車を挿入</p> 	2-6	<p>・搬送台車浮上</p> 
2-7	<p>・金属キヤスクを検査架台へ移送</p> 	2-8		2-9	<p>・三次蓋(輸送用)の取外し</p> 
2-10	<p>・貯蔵前検査と、圧力センサ及び表面温度センサの取付け</p> 	—	—	—	—

図 2-1 使用済燃料貯蔵施設における金属キヤスクハンダリングフロー(2/3)

＜＜ 検査架台～貯蔵場所への設置 ＞＞

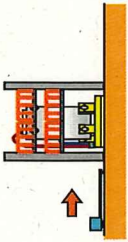
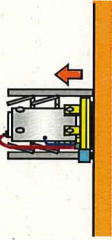
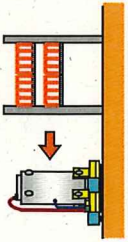
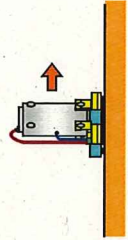
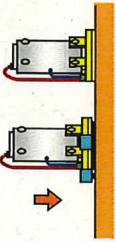
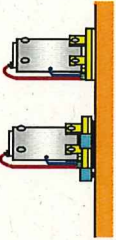
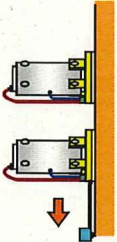
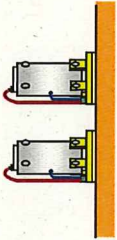
No.	取扱いモード	No.	取扱いモード
3-1	<ul style="list-style-type: none"> 貯蔵架台下部に搬送台車を挿入 	<ul style="list-style-type: none"> 搬送台車浮上 	
3-3	<ul style="list-style-type: none"> 検査架台から金属キャスクを抜出し 	<ul style="list-style-type: none"> 貯蔵場所へ金属キャスクを移送 	
3-5	<ul style="list-style-type: none"> 搬送台車を降下させ、貯蔵架台を着床 	<ul style="list-style-type: none"> 貯蔵架台の固定ボルト一部取付け 	
3-7	<ul style="list-style-type: none"> 搬送台車の抜取り 	<ul style="list-style-type: none"> 貯蔵架台の固定ボルト取付け 	

図 2-1 使用済燃料貯蔵施設における金属キャスクハンドリングフロー(3/3)