

16 条

燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設

目次

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

1. 基本方針

1.1 要求事項に対する適合性

(1) 位置、構造及び設備

四 特定機器の構造及び設備

1. 構造

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

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

イ. 使用済燃料の臨界防止に関する構造

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

ロ. 放射線の遮蔽に関する構造

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

ハ. 使用済燃料等の閉じ込めに関する構造

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

ニ. 使用済燃料等の除熱に関する構造

HDP-69BCH(B)型は、安全機能を維持する観点から、使用済燃料の崩壊熱を兼用

キャスク表面に伝え、周囲空気等に伝達することにより除去できる構造とする。

ホ. その他の主要な構造

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

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

2. 主要な設備及び機器の種類

特定兼用キャスク

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

3. 貯蔵する使用済燃料の種類及びその種類ごとの最大貯蔵能力

イ. 使用済燃料の種類

BWR 使用済燃料

新型 8×8 燃料

新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料

高燃焼度 8×8 燃料

使用済燃料の種類に応じて収納する使用済燃料の燃焼度及び冷却期間について以下のとおりとする。

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

配置(i)

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

配置(ii)

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

注記*1: 軸方向燃焼度が確認された使用済燃料を収納可能とする。

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

(2) 新型 8×8 燃料のみを収納する場合

配置(iii)

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

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

ロ. 最大貯蔵能力

兼用キャスク 1 基当たりの貯蔵能力

BWR 使用済燃料	69 体
最大崩壊熱量	13.8 kW

(2) 安全設計方針

2. 設計方針及び設計条件

2.1 基本設計方針

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

HDP-69BCH(B)型は、自然現象等に対して安全機能が損なわれないよう、たて置き又はよこ置きで貯蔵可能な設計とする。ただし、HDP-69BCH(B)型の設計仕様を超える事象が想定された場合は、補完機能を持たせるよう貯蔵施設の周辺施設の設計が

なされるものとし、その安全性は、設置（変更）許可申請にて審査されるものとする。

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

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

2.2 安全機能に係る設計方針

2.2.1 臨界防止機能に関する設計方針

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

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

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

2.2.2 遮蔽機能に関する設計方針

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

・表面における最大線量当量率が2 mSv/hを超えないこと。

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

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

2.2.3 閉じ込め機能に関する設計方針

HDP-69BCH(B)型は、使用済燃料等を限定された区域に閉じ込めるため、設計貯蔵期間を通じて使用済燃料を収納する空間を負圧に維持する設計とする。また、

HDP-69BCH(B)型は、一次蓋と二次蓋の間(以下「蓋間」という。)を正圧に維持することにより、使用済燃料を収納する空間を兼用キャスク外部から隔離する設計とする。さらに、蓋間の圧力を測定することにより、閉じ込め機能について監視ができる設計とする。

さらに、HDP-69BCH(B)型の密封境界部は、設計上想定される衝撃力に対して、おむね弾性範囲内にとどめる設計とする。

2.2.4 除熱機能に関する設計方針

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

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

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

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

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

2.2.5 構造強度に関する設計方針

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

2.2.6 長期健全性に関する設計方針

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

2.3 自然現象に対する兼用キャスクの安全機能維持に係る設計方針

2.3.1 地震に対する設計方針

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

2.3.2 津波に対する設計方針

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

2.3.3 竜巻に対する設計方針

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

2.4 設計条件

(1) HDP-69BCH(B)型の設計条件

HDP-69BCH(B)型の設計条件は以下のとおりである。

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

(2) 使用済燃料の条件

HDP-69BCH(B)型に収納する使用済燃料の条件は以下のとおりである。

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

2.5 貯蔵施設の前提条件

HDP-69BCH(B)型を使用することができる貯蔵施設概要図(例)を図1-3に示す。貯蔵施設は、発電用原子炉施設内に設置され、兼用キャスク、兼用キャスクを床面で固定するための貯蔵架台、兼用キャスクの受入れに使用する設備からなり、各設備は貯蔵建屋に収容される。

(3) 適合性説明

(a) 特定機器型式証明申請に係る要求事項に対する適合性

3. 特定機器型式証明申請に係る要求事項に対する適合性

燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設

第十六条

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

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

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

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

3 発電用原子炉施設には、次に掲げるところにより、使用済燃料貯蔵槽の水位及び

水温並びに燃料取扱場所の放射線量を測定できる設備を設けなければならない。

一 使用済燃料貯蔵槽の水位及び水温並びに燃料取扱場所の放射線量の異常を検知し、それを原子炉制御室に伝え、又は異常が生じた水位及び水温を自動的に制御し、並びに放射線量を自動的に抑制することができるものとする。

4 キャスクを設ける場合には、そのキャスクは、第二項第一号に定めるもののほか、次に掲げるものでなければならない。

一 使用済燃料からの放射線に対して適切な遮蔽能力を有するものとする。

二 使用済燃料の崩壊熱を適切に除去することができるものとする。

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

適合のための設計方針

第1項について

型式証明申請の範囲外とする。

第2項について

一

イ 型式証明申請の範囲外とする。

ロ 型式証明申請の範囲外とする。

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

二 型式証明申請の範囲外とする。

第3項について

型式証明申請の範囲外とする。

第4項について

一 HDP-69BCH(B)型は、設計上想定される状態において、使用済燃料からの放射線遮蔽材及び中性子遮蔽材により遮蔽し、通常貯蔵時の HDP-69BCH(B)型表面の線量当量

率を 2 mSv/h 以下とし、かつ HDP-69BCH(B) 型表面から 1 m 離れた位置における線量当量率を 100 μ Sv/h 以下となるように設計する。

二 HDP-69BCH(B) 型は、自然冷却によって収納した使用済燃料の崩壊熱を外部に放出できる設計とし、使用済燃料の健全性及び安全機能を有する構成部材の健全性を維持する温度を満足する設計とする。

三 HDP-69BCH(B) 型は、適切に放射性物質を閉じ込めることができ、閉じ込め機能を監視できる設計とする。

(b) 特定機器を使用することにより発電用原子炉施設に及ぼす影響

1.1 特定機器を使用することにより発電用原子炉施設に及ぼす影響

燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設

第十六条

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

- 一 燃料体等を取り扱う能力を有するものとする。
 - 二 燃料体等が臨界に達するおそれがないものとする。
 - 三 崩壊熱により燃料体等が溶融しないものとする。
 - 四 使用済燃料からの放射線に対して適切な遮蔽能力を有するものとする。
 - 五 燃料体等の取扱中における燃料体等の落下を防止できるものとする。
- 2 発電用原子炉施設には、次に掲げるところにより、燃料体等の貯蔵施設（安全施設に属するものに限る。以下この項において同じ。）を設けなければならない。
- 一 燃料体等の貯蔵施設は、次に掲げるものであること。
 - イ 燃料体等の落下により燃料体等が破損して放射性物質の放出により公衆に放射線障害を及ぼすおそれがある場合において、放射性物質の放出による公衆への影響を低減するため、燃料貯蔵設備を格納するもの及び放射性物質の放出を低減するものとする。
 - ロ 燃料体等を必要に応じて貯蔵することができる容量を有するものとする。
 - ハ 燃料体等が臨界に達するおそれがないものとする。
 - 二 使用済燃料の貯蔵施設（キャスクを除く。）にあつては、前号に掲げるもののほか、次に掲げるものであること。
 - イ 使用済燃料からの放射線に対して適切な遮蔽能力を有するものとする。
 - ロ 貯蔵された使用済燃料が崩壊熱により溶融しないものであつて、最終ヒートシンクへ熱を輸送できる設備及びその浄化系を有するものとする。
 - ハ 使用済燃料貯蔵槽（安全施設に属するものに限る。以下この項及び次項において同じ。）から放射性物質を含む水があふれ、又は漏れないものであつて、使用済燃料貯蔵槽から水が漏れいした場合において水の漏れいを検知することができるものとする。
 - ニ 燃料体等の取扱中に想定される燃料体等の落下時及び重量物の落下時においてもその機能が損なわれないものとする。
- 3 発電用原子炉施設には、次に掲げるところにより、使用済燃料貯蔵槽の水位及び水温並びに燃料取扱場所の放射線量を測定できる設備を設けなければならない。
- 一 使用済燃料貯蔵槽の水位及び水温並びに燃料取扱場所の放射線量の異常を検知

- し、それを原子炉制御室に伝え、又は異常が生じた水位及び水温を自動的に制御し、並びに放射線量を自動的に抑制することができるものとする。
- 4 キャスクを設ける場合には、そのキャスクは、第二項第一号に定めるもののほか、次に掲げるものでなければならない。
- 一 使用済燃料からの放射線に対して適切な遮蔽能力を有するものとする。
 - 二 使用済燃料の崩壊熱を適切に除去することができるものとする。
 - 三 使用済燃料が内包する放射性物質を適切に閉じ込めることができ、かつ、その機能を適切に監視することができるものとする。

兼用キャスクを使用することにより発電用原子炉施設に及ぼす影響の確認

第1項について

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

第2項について

一

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

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

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

第3項について

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

第4項について

- 一 HDP-69BCH(B)型は、設計上想定される状態において、使用済燃料からの放射線をガンマ線遮蔽材及び中性子遮蔽材により遮蔽し、通常貯蔵時のHDP-69BCH(B)型表面の線量当量率を2 mSv/h以下とし、かつHDP-69BCH(B)型表面から1 m離れた位置における線量当量率を100 μ Sv/h以下となるように設計するため、発電用原子炉施設の安全性に影響を及ぼさない。

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

1.2 設備等

4. 安全設計に関する構造及び評価

4.1 臨界防止機能

(1) 臨界防止機能に関する構造

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

(2) 臨界解析

臨界解析フローを図 1-4 に示す。

臨界解析では、HDP-69BCH(B)型及び燃料集合体の実形状を三次元でモデル化し、燃料棒単位セル計算を輸送計算コード 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-69BCH(B)型に69体収納した状態を設定し、兼用キャスク相互の中性子干渉を考慮して、HDP-69BCH(B)型が無限に配列している体系とする。さらに、バスケット内の使用済燃料は、中性子実効増倍率が最大となるように兼用キャスク中心側に偏向して配置するとともに、バスケットプレート板厚、内のり等の寸法条件について公差を考慮し、中性子吸収材はほう素添加量を下限値とする等、安全裕度を見込むこととする。なお、設計貯蔵期間経過後の中性子吸収材中のほう素の減損割合は非常に小さいため、これを無視する。

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

4.2 遮蔽機能

(1) 遮蔽機能に関する構造

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

(2) 遮蔽解析

遮蔽解析フローを図 1-5 に示す。

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

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

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

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

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

4.3 閉じ込め機能

(1) 閉じ込め機能に関する構造

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

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

金属ガスケットの漏えい率は、設計貯蔵期間を通じて、蓋間の空間に充填されているヘリウムガスが蓋間の圧力を一定とした条件下で使用済燃料を収納する空間側に漏えいし、かつ、燃料被覆管からの核分裂生成ガスの放出を仮定しても、使用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、あらかじめ兼用キャスク内部を負圧に維持するとともに、蓋間の圧力を正圧としているので、内部の気体が外部に漏えいすることはない。

(2) 閉じ込め評価

閉じ込め評価フローを図 1-8 に示す。

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

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

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

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

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

4.4 除熱機能

(1) 除熱機能に関する構造

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

を設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-69BCH(B) 型の実形状を軸方向断面、径方向断面にそれぞれ二次元で、燃料集合体の実形状を径方向断面に二次元でモデル化し、伝熱解析コー

ド ABAQUS を用いて行う。

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

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

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

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

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

4.5 構造強度

(1) 構造

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

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

(2) 構造解析

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

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

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

- ・鉛直方向： 1.3 G

4.6 長期健全性

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

(1) 兼用キャスク本体及び蓋部(金属ガスケットを除く。)の長期健全性

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

(a) 放射線照射による経年変化

イ. 胴、外筒、一次蓋、二次蓋、蓋ボルト

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

ロ. トラニオン

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

ハ. 中性子遮蔽材

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

ニ. 伝熱フィン

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

(b) 熱による経年変化

イ. 胴、外筒、一次蓋、二次蓋、蓋ボルト

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

ロ. トラニオン

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

ハ. 中性子遮蔽材

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

ニ. 伝熱フィン

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

(c) 腐食による経年変化

イ. 胴、外筒、一次蓋、二次蓋、蓋ボルト

胴内面、一次蓋及び二次蓋内部は、胴内及び蓋間にヘリウムガスを封入し、不活性ガス雰囲気維持されるため、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 1-11 に示す金属ガスケットに対して図 1-12 から算出される以下の Larson-Miller パラメータ (LMP) により表されることが確認されている⁽¹⁶⁾。

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

ここで、

T : 温度 (K)

t : 時間 (h)

C : LMP の定数 (-)

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

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

(c) 腐食による経年変化

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

(3) バスケットの長期健全性

バスケットの主要な構成部材は、中性子吸収材を添加したバスケットプレートである。

(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⁾。

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

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

(b) 熱による経年変化

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

(c) 腐食による経年変化

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

2. 燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設

2.1 HDP-69BCH(B)型の構造について

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

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

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

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

(1) 兼用キャスク本体

兼用キャスク本体の主要部は、胴、中性子遮蔽材及び外筒等で構成されている。

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

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

(2) 蓋部

蓋部は、一次蓋及び二次蓋で構成されている。

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

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

一次蓋及び二次蓋のシール部には、長期にわたって閉じ込め機能を維持するために金属ガスケットが取り付けられている。

(3) バスケット

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

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

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

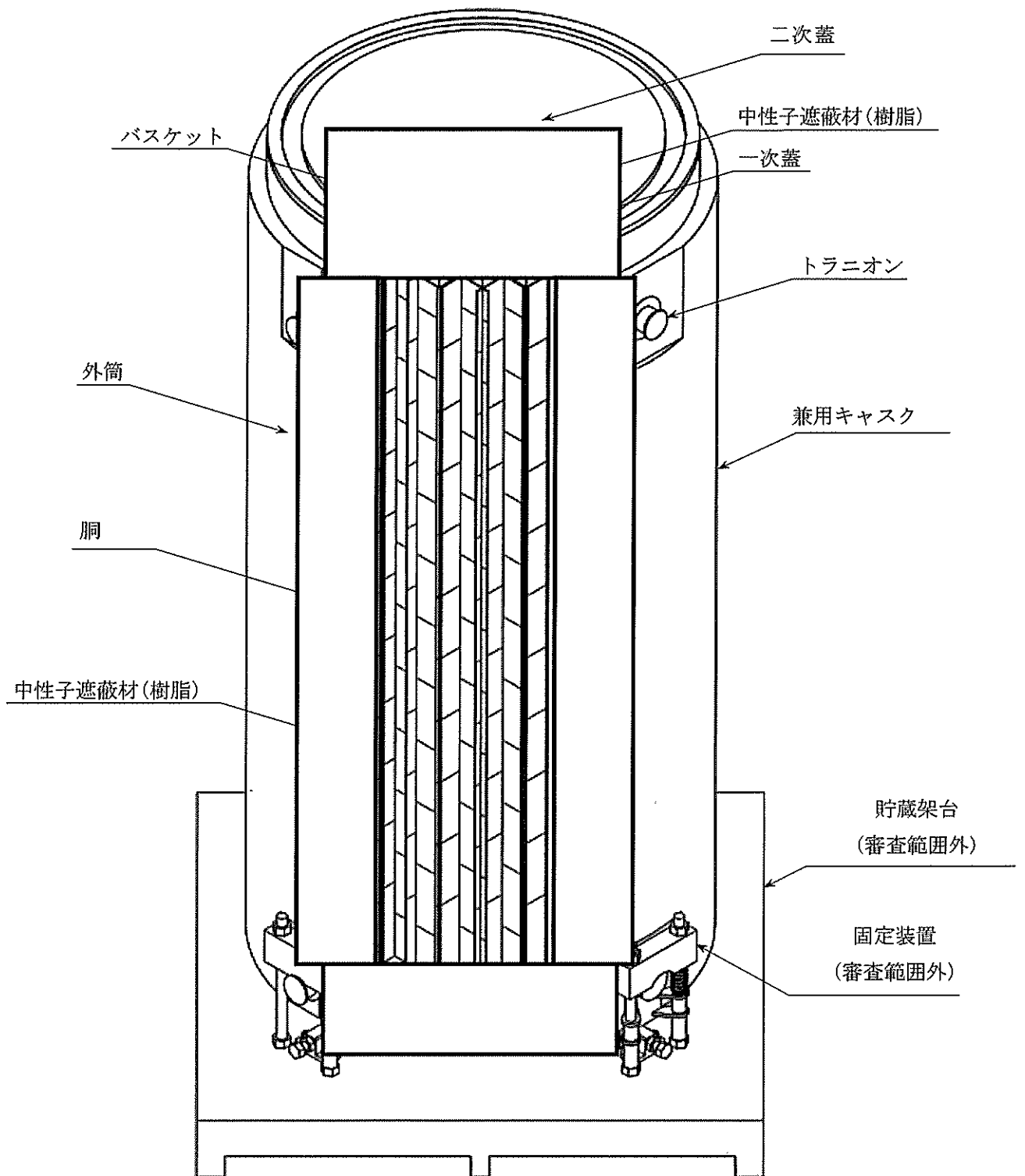
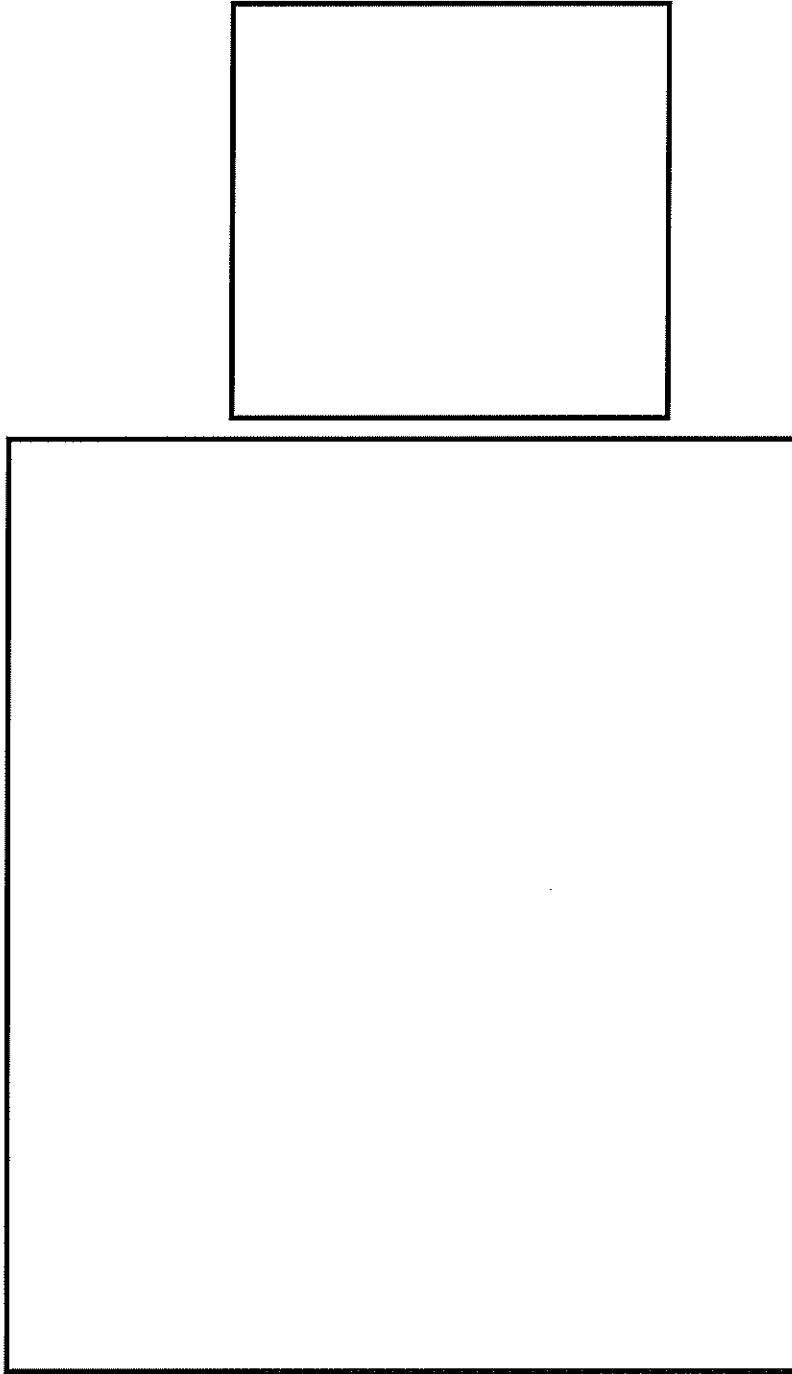


図 2. 1-1 (1/2) HDP-69BCH(B) 型の構造

□ 内は商業機密のため、非公開とします。



注記1：特記無き寸法は mm を示す。
注記2：特記無き寸法は公称値を示す。

図 2.1-2 (2/2) HDP-69BCH(B) 型の構造*1,2

内は商業機密のため、非公開とします。

表 2.1-1 HDP-69BCH(B)型の仕様

項 目		仕 様
全質量(使用済燃料を含む。)(t)		約 119
寸法	全長(m)	約 5.4
	外径(m)	約 2.5
収納体数(体)		69
最大崩壊熱量(kW)		13.8
主要材質	兼用キャスク本体	炭素鋼 炭素鋼 ステンレス鋼 樹脂 炭素鋼(銅クラッド鋼)
	胴(ガンマ線遮蔽材)	
	外筒(ガンマ線遮蔽材)	
	トランニオン	
中性子遮蔽材		
伝熱フィン		
蓋部	炭素鋼 炭素鋼 ニッケルクロムモリブデン鋼	
一次蓋		
二次蓋		
蓋ボルト		
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

2.2 HDP-69BCH(B)型の収納条件について

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

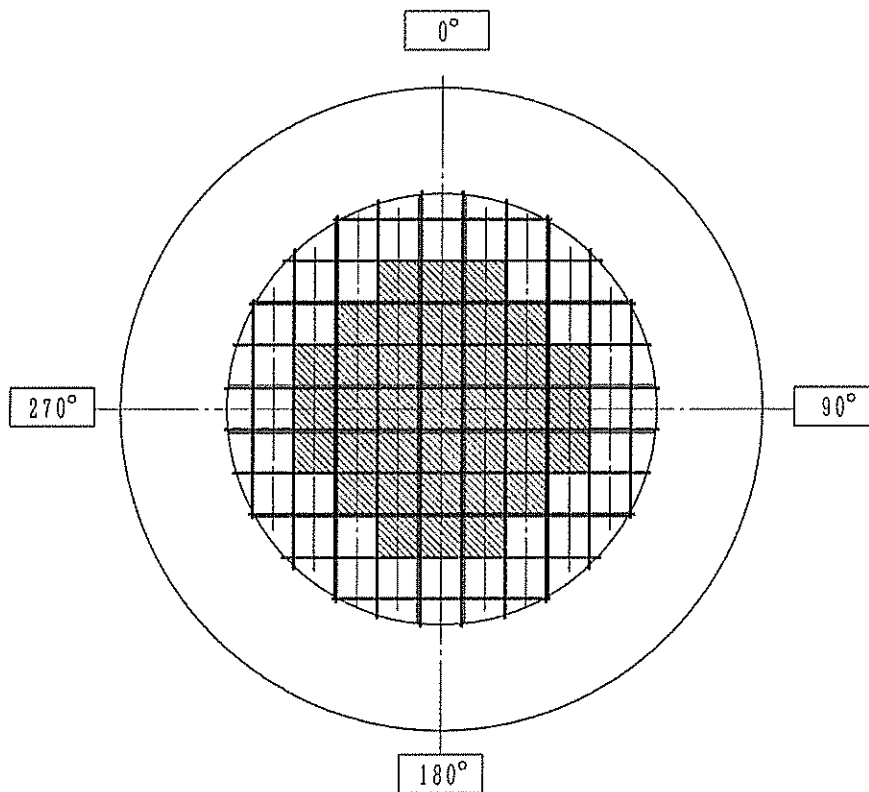
表 2.2-1 使用済燃料の仕様

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

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

*2：最短冷却期間とは、収納する燃料集合体の最短の冷却期間を示す。

*3：使用済燃料の代表的な値を記載。



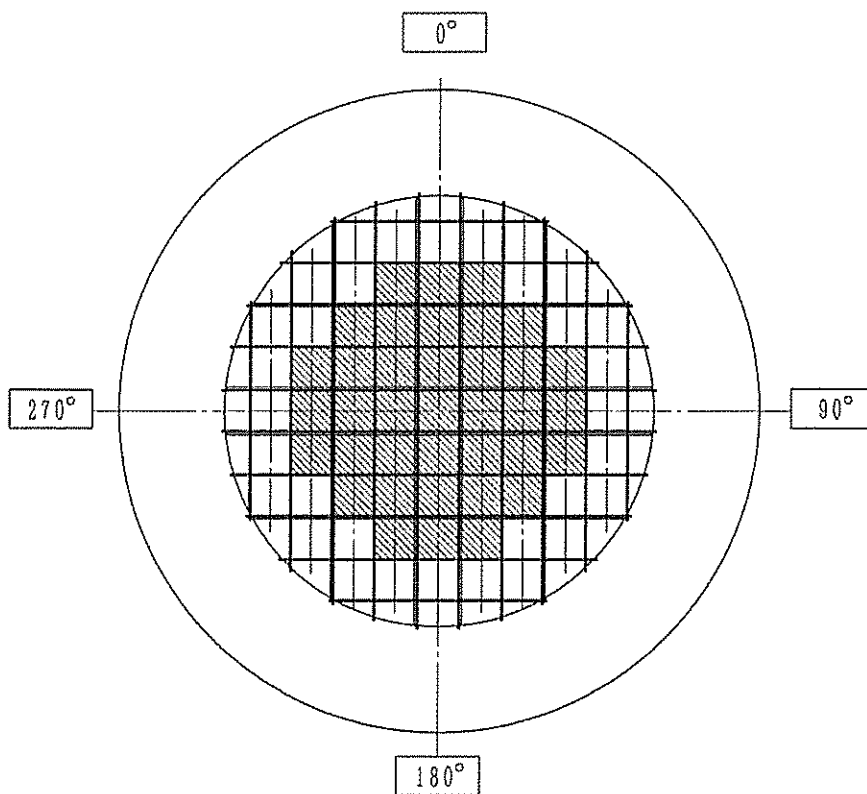
燃料種類 : 新型8×8ジルコニウムライナ燃料及び高燃焼度8×8燃料
 収納体数 : 32体
 燃焼度 : 34,000 MWd/t 以下
 冷却期間 : 18年以上

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

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



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

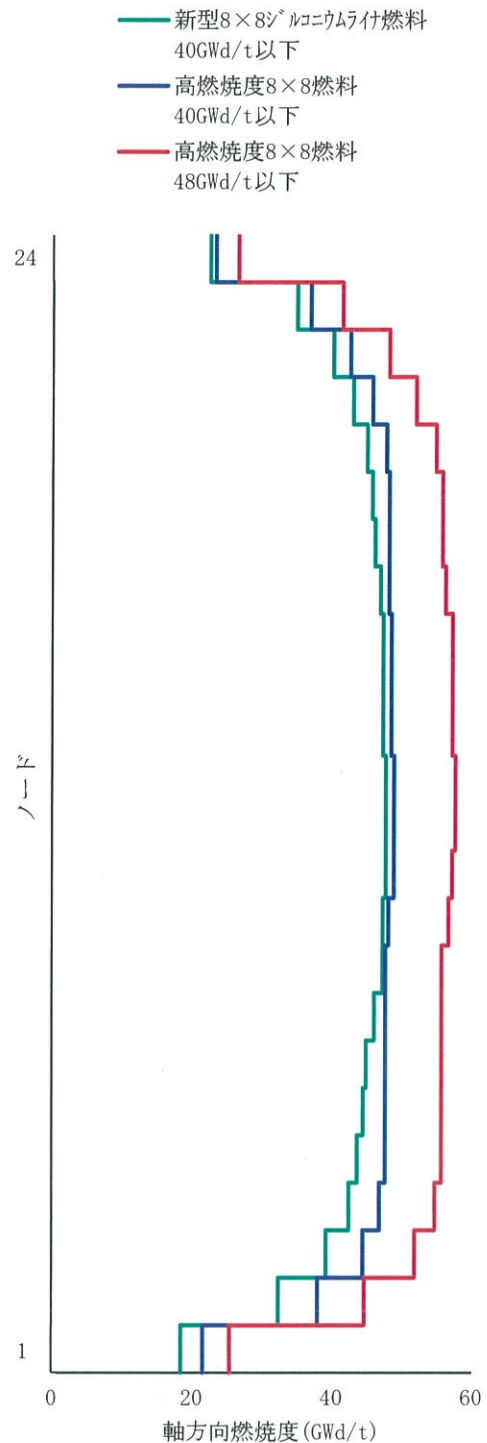
燃料種類 : 高燃焼度8×8燃料
 収納体数 : 37体
 燃焼度 : 48,000 MWd/t 以下
 冷却期間 : 20年以上

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

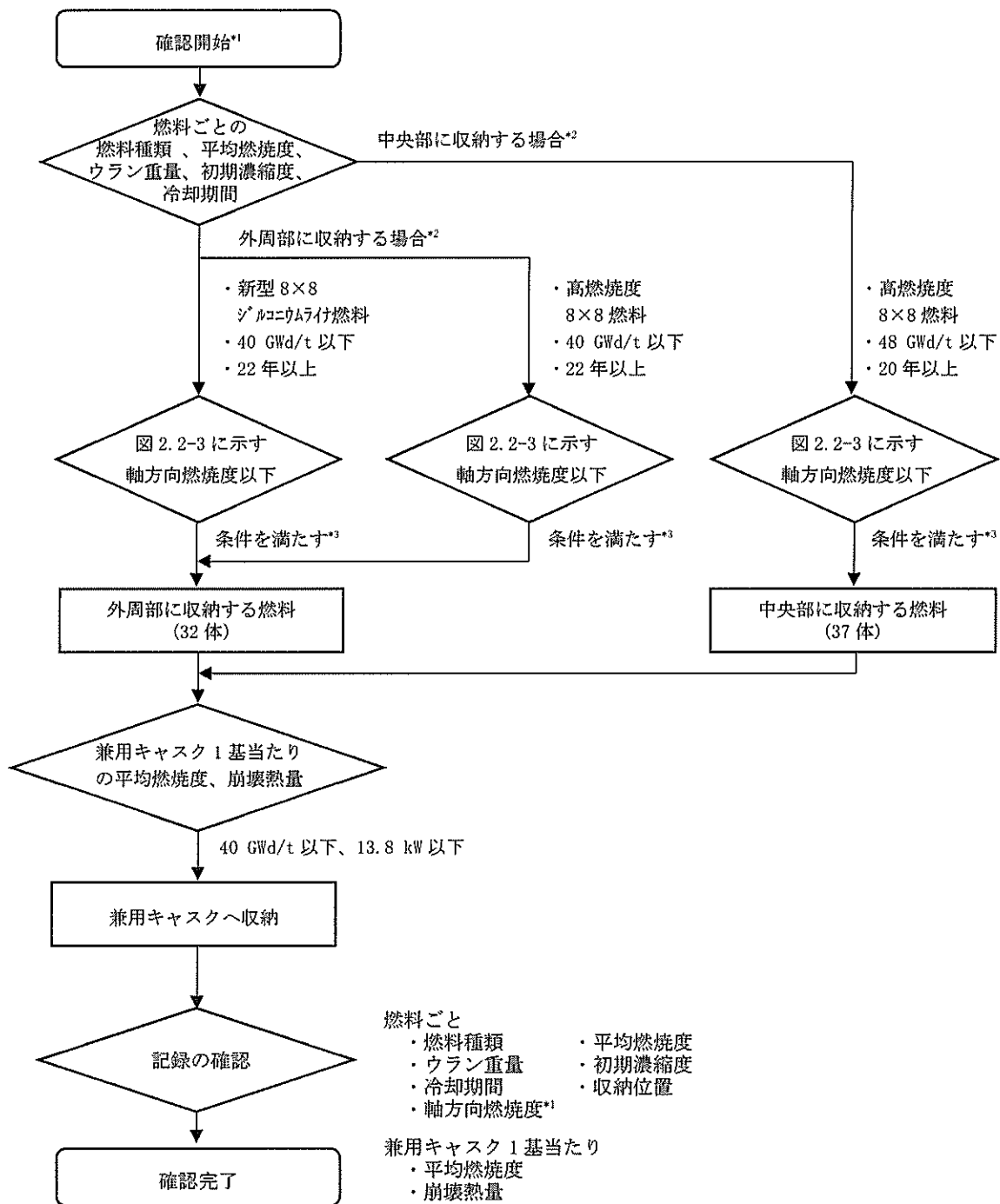
図 2.2-2 使用済燃料の収納位置条件(配置(ii))
 (新型8×8ジルコニウムライナ燃料及び高燃焼度8×8燃料を混載収納する場合)

燃料種類		新型8×8 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含まれるものであることとする。

図 2.2-3 配置(ii)で収納する使用済燃料の軸方向燃焼度

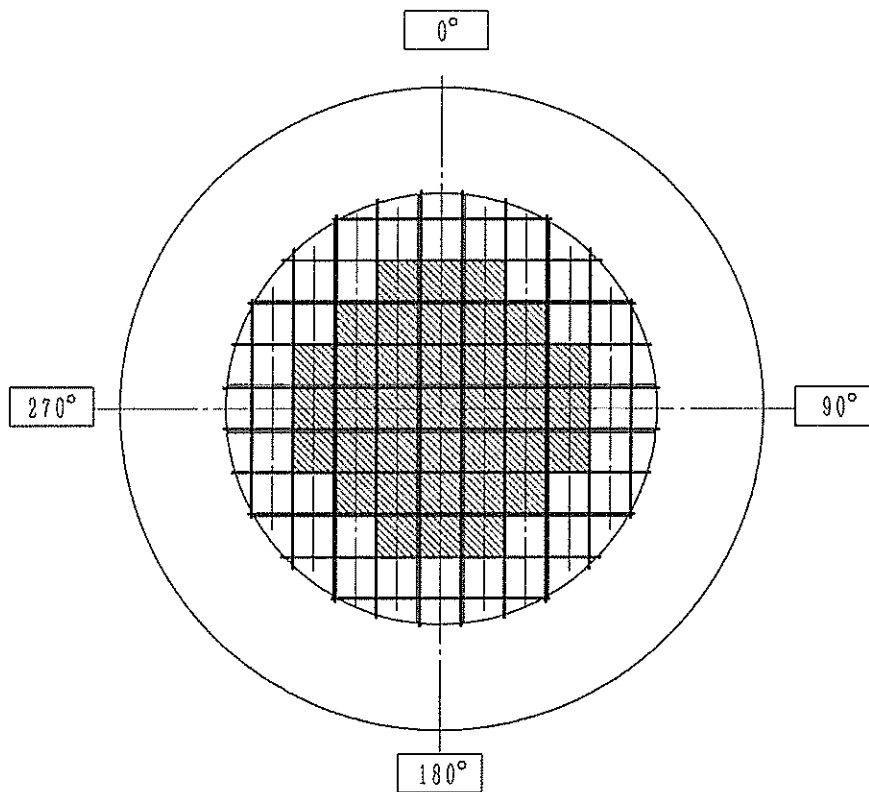


注記 *1：配置(ii)以外では、軸方向燃焼度の確認を必要としない。

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

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

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



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

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

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 2.2-5 使用済燃料の収納位置条件(配置(iii))

(新型 8×8 燃料のみを収納する場合)

2.3 HDP-69BC(B)型の設計貯蔵期間について

2.3.1 要求事項

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

(1) 設置許可基準規則要求事項

a. 設置許可基準規則解釈別記4第16条第5項

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

2.3.2 適合性について

HDP-69BCH(B)型の設計貯蔵期間については、以下のとおり設置許可基準規則に適合している。

・設計貯蔵期間を明確にしていること。

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

2.4 HDP-69BCH(B)型の4つの安全機能について

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

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

HDP-69BCH(B)型は、使用済燃料を貯蔵した際に、4つの安全機能（臨界防止、遮蔽機能、除熱機能、閉じ込め機能）が確保できる設計とする。

なお、HDP-69BCH(B)型の収納位置条件、配置条件に適合する使用済燃料であることを確認のうえ、HDP-69BCH(B)型へ収納する。

4つの安全機能評価の設置方法による代表性については、兼用キャスクを基礎等に固定するたて置きの評価条件に包含可能であれば、たて置きの評価結果を示す。評価条件のみで説明することが難しい場合は貯蔵姿勢・緩衝体等の装着を考慮した評価結果を示す。

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

表 2.4-1(1/3) 兼用キヤスク解析条件の概要

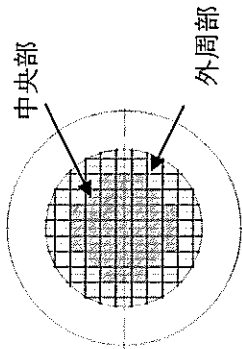
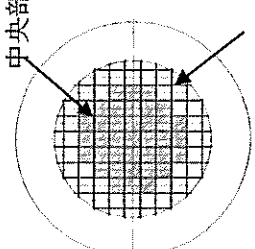
	キヤスク収納制限、配置制限						燃料スペック		
	配置(i)		配置(ii)		配置(iii)				
	中央部	外周部	中央部	外周部	中央部	外周部	中央部	外周部	燃料
燃料タイプ	新型8×8ジウロコウハイ 燃料、 高燃焼度8×8燃料	新型8×8ジウロコウハイ 燃料、 高燃焼度8×8燃料	高燃焼度 8×8燃料	新型8×8ジウロコウ ハイ燃料、 高燃焼度8×8 燃料	新型8×8燃料	新型8×8燃料	約3.1	約3.3	高燃焼度 8×8 燃料
	初期濃縮度(wt%)	≤3.7	≤3.7	≤3.7	≤3.1	≤3.1	約3.1	約3.3	約3.7
	ウラン重量(kg)	—	—	—	—	—	175	174	177
	燃焼度(GWd/t)	≤40	≤34	≤48	≤40	≤34	≤40	≤40	≤50
キヤスク 1基当たり	冷却期間(年)	18≥	20≥	22≥	28≥	28≥	—	—	—
	平均燃焼度(GWd/t)	≤34	≤40	≤40	≤29	≤29	—	—	—
	最大崩壊熱量(kW)	≤12.1	≤13.8	≤13.8	≤8.4	≤8.4	—	—	—
収納物仕様	配置								

表 2.4-1 (2/3) 兼用キヤスク解析条件の概要

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

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

表 2.4-1(3/3) 兼用キヤスク解析条件の概要

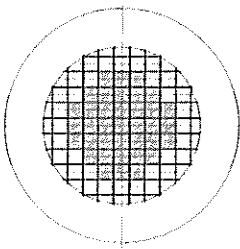
		解析条件						閉じ込め
		除熱配置(i)		除熱配置(ii)		除熱配置(iii)		
		中央部	外周部	中央部	外周部	中央部	外周部	
収納物仕様	燃料タイプ	新型 8×8 シ コーポラ付燃料		高燃焼度 8×8 燃料		新型 8×8 燃料		除熱の温度条件を包含する値で評価
	初期濃縮度 (wt%)	2.88		3.35		2.88		
	ウラン重量 (kg)	177		174		177		
	燃焼度 (GWd/t)	34		40		29		
	冷却期間 (年)	18		22		28		
キヤスク	平均燃焼度 (GWd/t)	34		40		29		
	設計崩壊熱量 (kW)	15.34		15.33		10.37		
配置		 <p>新型 8×8 シ コーポラ付燃料、高燃焼度 8×8 燃料又は新型 8×8 燃料を 69 体収納</p>						—

表 2.4-2 4つの安全機能評価の設置方法による代表性*1

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

注記 *1: 赤太字は、別添 1 から別添 4 に詳細を記載。

- 2.4.1 HDP-69BCH(B)型の臨界防止機能について
別添1で説明
- 2.4.2 HDP-69BCH(B)型の遮蔽機能について
別添2で説明
- 2.4.3 HDP-69BCH(B)型の除熱機能について
別添3で説明
- 2.4.4 HDP-69BCH(B)型の閉じ込め機能について
別添4で説明

2.5 HDP-69BCH(B)型の長期健全性について

2.5.1 要求事項

材料・構造健全性に関する要求事項は、以下のとおりである。

(1)設置許可基準規則要求事項

a.設置許可基準規則第16条第2項一号ハ

- ・燃料体等が臨界に達するおそれがないものとする。

b.設置許可基準規則第16条第4項一号

- ・使用済燃料からの放射線に対して適切な遮蔽能力を有するものとする。

c.設置許可基準規則第16条第4項二号

- ・使用済燃料からの崩壊熱に対して適切に除去することができるものとする。

d.設置許可基準規則第16条第4項三号

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

e.設置許可基準規則解釈別記4第16条5項

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

2.5.2 適合性について

設置(変更)許可に係る審査で確認される兼用キャスクの有する4つの安全機能(臨界防止機能、遮蔽機能、除熱機能及び閉じ込め機能)に係る設計の基本方針の妥当性を本型式証明申請で確認する。 HDP-69BCH(B)型の材料・構造健全性については、以下のとおり設置許可基準規則に適合している。

・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。

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

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

本評価においては、以下の点について保守性を有している。

- ・評価に適用する構成部材の温度は、配置(i)、(ii)における評価結果のうち、高い温度を使用している(構成部材の温度は表2.5.2-1のとおり)。
- ・評価に適用する構成部材の中性子照射量は、減衰を考慮せず初期の照射量が60年間継続する条件で算出している(構成部材の中性子照射量は表2.5.2-2のとおり)。

兼用キャスクの主要な構成部材の健全性の評価結果を表2.5.2-3に示す。

なお、兼用キャスクは、貯蔵建屋又はコンクリートモジュール内に設置する。また、緩衝体の経年変化については、本型式証明の申請範囲外とする。

表 2.5.2-1 HDP-69BCH(B)型の主要な構成部材の温度条件

構成部材	最高温度*1 (°C)
胴	135
胴 (底板)	142
外筒	113
底部中性子遮蔽材カバー	142*2
一次蓋	97
二次蓋	86
蓋部中性子遮蔽材カバー	97*2
一次蓋ボルト	90
二次蓋ボルト	86
伝熱フィン	135*2
中性子遮蔽材 (蓋部、底部、側部)	128
金属ガスケット	90
バスケットプレート及び伝熱プレート	251*2
トラニオン	120

注記*1：除熱解析結果から得られた温度であり、配置(i)、配置(ii)における評価結果のうち、高い温度を示している。

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

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

構成部材	中性子照射量*1 (n/cm ²)
胴及び胴（底板）	9.3×10^{14}
外筒	9.3×10^{14} *2
トラニオン	9.3×10^{14} *2
蓋部*3	2.9×10^{13}
中性子遮蔽材（蓋部、底部、側部）	1.0×10^{14}
バスケットプレート及び伝熱プレート	2.2×10^{15}
伝熱フィン	1.0×10^{14}

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

*2：外筒及びトラニオンの中性子照射量は、保守的に胴の値と同じとした。

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

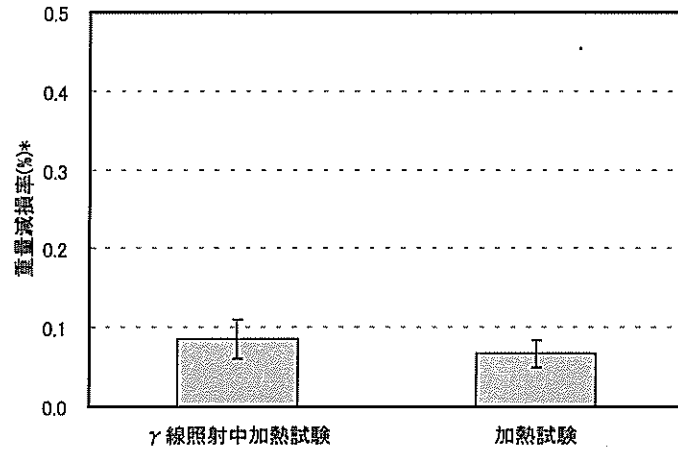
表 2.5.2-3 HDP-69DCH(B)型の主要な構成部材の経年変化に対する評価について (1/2)

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	腐食	●構造強度：腐食による構造強度の低下	●1%燃料破損相当の燃料棒内ガス中のヨウ素ガスを含む実機模擬環境における、鉄系材料の最大腐食速度により、60年間の腐食量を推定しても0.5mm程度 ⁽¹⁾ 。 ●中性子遮蔽材(樹脂)に接する胴(外筒)及び外筒(内面)が全面腐食すると仮定して算出したところ、1mm程度。	使用環境： ・ヘリウム雰囲気 ・中性子遮蔽材と接触	・胴(内面)、一次蓋、二次蓋(内面)及び一次蓋ボルトは、不活性雰囲気維持される限り、腐食しない。仮に1%燃料破損相当の燃料棒内ガスの存在を考慮しても、胴(内面)の腐食による構造強度への影響はない。 ・胴(外筒)及び外筒(内面)は、中性子遮蔽材の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、腐食が伝熱フィン間の接合部で局所的に生じていても、除熱機能への影響は小さい。
【材質】炭素鋼 ニッケルクロムモリブデン鋼	熱	●構造強度：熱によるき裂・破損	●金属ヤングモジュラス(設計・建設規格(2007年追加版) ⁽²⁾ 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℃ ⁽³⁾ 。 ●中性子照射量が 10^{16} n/cm ² までは、顕著な特性変化は認められない。	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的変化	●中性子照射量が 10^{16} n/cm ² までは、顕著な特性変化は認められない。	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(外筒)、二次蓋ボルト、二次蓋(外筒)、二次蓋ボルト、二次蓋(外筒)、二次蓋ボルト、二次蓋(外筒)	腐食	●構造強度：腐食による構造強度の低下	●各種金属材料の16年間の海浜大気暴露試験結果から、最も定常腐食速度の大きい炭素鋼のデータ(21µm/年)で60年間の腐食量を推定しても1.26mm程度 ⁽⁴⁾ 。 ●金属ヤングモジュラス(設計・建設規格(2007年追加版) ⁽²⁾ 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℃ ⁽³⁾ 。 ●中性子照射量が 10^{16} n/cm ² までは、顕著な特性変化は認められない。	使用環境： ・外気(海塩粒子雰囲気) ・結露水	外筒(外筒)、二次蓋(外筒)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兼用キヤスク本体底部について、防錆効果を考慮せず評価しても、腐食による構造強度への影響はない。
【材質】炭素鋼 ニッケルクロムモリブデン鋼	熱	●構造強度：熱によるき裂・破損	●金属ヤングモジュラス(設計・建設規格(2007年追加版) ⁽²⁾ 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℃ ⁽³⁾ 。 ●中性子照射量が 10^{16} n/cm ² までは、顕著な特性変化は認められない。	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的変化	●中性子照射量が 10^{16} n/cm ² までは、顕著な特性変化は認められない。	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。
トリアニオン蓋部中性子遮蔽材カバ	腐食	●構造強度：腐食による構造強度の低下	●0.2%耐力相当の応力を負荷した条件における海浜環境での長期暴露試験において、応力腐食割れに対する高い耐食性が確認された ⁽⁵⁾ 。 ●金属ヤングモジュラス(設計・建設規格(2007年追加版) ⁽²⁾ 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℃ ⁽⁶⁾ 。 ●中性子照射量が 10^{16} n/cm ² までは、顕著な特性変化は認められない。	使用環境： ・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。
【材質】ステンレス鋼	熱	●構造強度：熱によるき裂・破損	●金属ヤングモジュラス(設計・建設規格(2007年追加版) ⁽²⁾ 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℃ ⁽⁶⁾ 。 ●中性子照射量が 10^{16} n/cm ² までは、顕著な特性変化は認められない。	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的変化	●中性子照射量が 10^{16} n/cm ² までは、顕著な特性変化は認められない。	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	腐食	●除熱機能：腐食によるき裂・破損	●炭素鋼が全面腐食すると仮定して算出したところ、1mm程度。 ●鋼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⁾ 。 ●炭素鋼は、金属ヤングモジュラス(設計・建設規格(2007年追加版) ⁽²⁾ 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℃ ⁽⁹⁾ 。	使用環境： ・胴と外筒間の閉鎖環境 ・中性子遮蔽材と接触	●炭素鋼は、中性子遮蔽材の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いても、除熱機能への影響は小さい。 ●鋼は腐食しないため、除熱機能への影響はない。
【材質】炭素鋼 ニッケルクロムモリブデン鋼	熱	●除熱機能：熱によるき裂・破損	●炭素鋼は、金属ヤングモジュラス(設計・建設規格(2007年追加版) ⁽²⁾ 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℃ ⁽⁹⁾ 。	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	●除熱機能：照射によるき裂・破損	●炭素鋼は、中性子照射量が 10^{16} n/cm ² までは、顕著な特性変化は認められない。 ●鋼は、中性子照射量が 10^{16} n/cm ² までは、顕著な特性変化は認められない ⁽⁹⁾ 。	中性子照射量： 10^{16} n/cm ² 未満 (60年間一定)	中性子照射量は、機械的的特性に変化が認められる値以下であり、除熱機能への影響はない。

表 2.5.2-3 HDP-699CH(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わるデータ	設計条件	評価
バスケットブレード 【材質】 はう素添加ステンレス鋼	腐食	●構造強度： 腐食による構造強度の低下 ●構造強度： 熱によるき裂・破損	・ 1%燃料破損相当の燃料棒内ガス中のヨウ素ガスを含む実機燃焼環境における、バスケット材（は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30μm程度 ⁽⁴⁾ 。 ・ 金属キヤスク構造規格 ⁽⁵⁾ （設計・建設規格（2007年追補版） ⁽⁶⁾ ）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⁾ 。 【未臨界機能】	使用環境： ヘリウム雰囲気 使用環境温度： 251℃以下	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。 使用環境温度は、280℃よりも低く、クリープを考慮する必要はないため、構造強度への影響はない。
	熱	●未臨界機能： 照射による中性子吸収材の減損 ●構造強度： 照射による機械的特性の変化	・ 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⁾ 。 ・ 金属キヤスク内部に滞留する酸液量が全てバスケット材（アルミニウム合金）の腐食に費やされたとして評価しても、腐食量は1μm以下 ⁽¹¹⁾ 。 ・ 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。	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	・ 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⁾ 。 ・ 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⁾ 。 ・ 自社開発レジン ⁽¹⁵⁾ の加熱照射試験（140℃、5.6×10 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2.5.2-1）。	使用環境： ヘリウム雰囲気 使用環境温度： 251℃以下	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。 構造強度部材ではないため、クリープを考慮する必要はないため、除熱機能への影響はない。
	熱	●除熱機能： 熱によるき裂・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⁾ 。 ・ 照射によるき裂・破損	中性子照射量： 10 ¹⁶ n/cm ² 未満 (60年間一定) 使用環境温度： 128℃以下 使用環境： 閉鎖環境	中性子照射量は機械的特性に変化が認められる値以下であり、除熱機能への影響はない。 設計貯蔵期間中の温度の低下を考慮すると、設計貯蔵期間経過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。 照射中加熱試験は設計条件を越える照射量で行っており、照射による重量減損を考慮する必要はない。
中性子遮蔽材 【材質】 樹脂	熱・腐食	●遮蔽機能： 重量減損の有無	・ 蓋縮小モジュールにおける約3年間の塩水噴霧試験では、漏えい率に変化はない ⁽¹⁶⁾ 。 ・ 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： ヘリウム雰囲気 二次蒸気外側： 気、結露水	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。 照射中加熱試験は設計条件を越える照射量で行っており、照射による重量減損を考慮する必要はない。
	照射	●遮蔽機能： 重量減損の有無	・ 蓋縮小モジュールにおける約3年間の塩水噴霧試験では、漏えい率に変化はない ⁽¹⁶⁾ 。 ・ 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： 一次蒸、二次蒸内側： ヘリウム雰囲気 二次蒸外側： 気、結露水	一次蒸及び二次蒸内側の金属ガスケットは、不活性雰囲気維持される限り、腐食しない。二次蒸外側の金属ガスケットは、実機の使用環境より厳しい塩水噴霧環境においても漏えい率に変化はなく、閉じ込め機能への影響はない。また、海水流入のより厳しい腐食環境に覆われても、ただちに閉じ込め機能に影響はなく、金属キヤスクを点検可能な構造としていているため、必要に応じて対処可能である。 使用環境温度から設計貯蔵期間（60年間）に相当するLMPを算出するとLMPの定数C=20の場合は約9.4×10 ³ 、C=14の場合は約7.2×10 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。
金属ガスケット 【材質】 ニッケル合金 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	・ 初期の閉じ込め機能（1×10 ¹⁰ Pa・m ³ /s）を保持できる限界ラウン・ミラー・パラメータ（LMP）は、定数Cが20の場合は約11.0×10 ¹⁰ ⁽¹⁷⁾ 、14の場合は8.0×10 ¹⁰ ⁽¹⁸⁾ 。 ・ 長期密封性能試験 ⁽¹⁹⁾ において130～140℃（19年以上）で閉じ込め性能維持。	使用環境温度： 90℃以下	一次蒸及び二次蒸内側の金属ガスケットは、不活性雰囲気維持される限り、腐食しない。二次蒸外側の金属ガスケットは、実機の使用環境より厳しい塩水噴霧環境においても漏えい率に変化はなく、閉じ込め機能への影響はない。また、海水流入のより厳しい腐食環境に覆われても、ただちに閉じ込め機能に影響はなく、金属キヤスクを点検可能な構造としていているため、必要に応じて対処可能である。 使用環境温度から設計貯蔵期間（60年間）に相当するLMPを算出するとLMPの定数C=20の場合は約9.4×10 ³ 、C=14の場合は約7.2×10 ³ となり、設計貯蔵期間を通じて初期の漏えい率が維持されると判断される。
	熱	●閉じ込め機能： 熱による閉じ込め機能の低下	・ ニッケル合金は中性子照射量が10 ¹⁷ n/cm ² 程度までは機械的特性に影響はない ⁽²⁰⁾⁽²¹⁾ 。 ・ アルミニウムは中性子照射量が10 ¹⁹ n/cm ² 程度以下では、機械的特性に顕著な変化はない ⁽¹²⁾ 。	使用環境： 一次蒸、二次蒸内側： ヘリウム雰囲気 二次蒸外側： 気、結露水	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。
照射	●閉じ込め機能： 照射による機械的 特性の変化	・ ニッケル合金は中性子照射量が10 ¹⁷ n/cm ² 程度までは機械的特性に影響はない ⁽²⁰⁾⁽²¹⁾ 。 ・ アルミニウムは中性子照射量が10 ¹⁹ n/cm ² 程度以下では、機械的特性に顕著な変化はない ⁽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、各材料の機械的特性に変化が認められる値以下であり、閉じ込め機能への影響はない。	

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



各試験における重量減損率比較

*) 重量減損率は6つの試験片から得た値の平均値

図 2.5.2-1 中性子遮蔽材の中性子照射の影響⁽¹⁴⁾

(加熱条件：開放系、照射試験条件：開放系)

(文献記載の試験データを再構成したもの)

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

2.5.3 参考文献

- (1) (独)原子力安全基盤機構,「平成 15 年度 金属キャスク貯蔵技術確証試験 最終報告」(平成 16 年 6 月), P. 217-221
- (2) (一社)日本機械学会,「使用済燃料貯蔵施設規格 金属キャスク構造規格(2007 年版)(JSME S FA1-2007)」(2007 年 12 月)
- (3) (一社)日本機械学会,「発電用原子力設備規格 設計・建設規格〈第 I 編 軽水炉規格〉(JSME S NC1-2007)」(2007 年 9 月)
- (4) ステンレス協会,「ステンレス鋼便覧(第 3 版)」, 日刊工業新聞社(1995), P216, 1428
- (5) (一社)日本機械学会,「金属便覧(改訂 6 版)」, 丸善(株)(平成 12 年), P. 475
- (6) (一社)日本アルミニウム協会,「アルミニウムハンドブック(第 6 版)」(2001), P. 63
- (7) R. R. Gaugh, “Stress corrosion cracking of precipitation-hardening stainless steels”, *Materials Performance*, Vol. 26, No. 2(1987)
- (8) (一社)腐食防食協会,「材料環境学入門」, 丸善(1993), P. 17, 18
- (9) S. J. Zinkle, G. L. Kulcinski, “Low-Load Microhardness Changes in 14-MeV Neutron Irradiated Copper Alloys”, *The use of small scale specimens for testing irradiated material*, ASTM STP888(1986)
- (10) (一社)日本機械学会,「使用済燃料貯蔵施設規格 金属キャスク構造規格(2007 年版) JSME S FA1-2007, 事例規格 バスケット用ボロン添加ステンレス鋼板 B-SUS304P-1 に関する規定(JSME S FA-CC-004)」(2009)
- (11) S. E. Soliman, et al., “Neutron effects on borated stainless steel”, *Nucl. Tech.*, Vol. 96(1991)P. 346-352
- (12) H. Yoshida, et al., “Reactor irradiation effects on Al 1100”, *Proc. Jpn. Congr. Mater. Res.*, Vol. 24, P. 1-6(1981)
- (13) (一財)原子力発電技術機構,「平成 15 年度 リサイクル燃料資源貯蔵技術調査等(金属キャスク貯蔵技術確証試験) 報告書」, P. 221-263(平成 15 年 9 月)
- (14) N. Kumagai, et al., “Optimization of fabrication condition of metal cask neutron shielding part which applied simulation of curing behavior of epoxy resin”, *Proc. the 15th Int. Symp. on PATRAM(2007)*
- (15) 小崎明朗,「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)
- (16) 東京電力(株),「福島第一原子力発電所 既設乾式貯蔵キャスクの点検報告」(平成 25 年 5 月 31 日)
- (17) 加藤治, 伊藤千浩,「使用済燃料貯蔵容器用ガスケットの長期密封特性」, (一財)電力中央研究所(U92009)(平成 4 年 7 月)
- (18) (一財)電力中央研究所,「使用済核燃料貯蔵の基礎」, 株式会社 ERC 出版(2014 年 4 月 20 日)

- (19) (一財)電力中央研究所, 「平成 21 年度 リサイクル燃料資源貯蔵技術調査等報告書」
(平成 22 年 3 月), P. 15-16
- (20) R. P. Shogan, "NEUTRON IRRADIATION EFFECTS ON THE TENSILE PROPERTIES OF INCONEL
718, WASPALOY AND A-286", WANL-TME-2791(1971)
- (21) T. S. Byun, K. Farrell, " NEUTRON IRRADIATION EFFECTS ON THE TENSILE PROPERTIES
OF INCONEL 718, WASPALOY AND A-286", WANL-TME-2791(1971)
- (22) K. Farrell, et al., "An evaluation of low temperature radiation embrittlement
mechanisms in ferritic alloys", J. Nucl. Mater., Vol. 210(1994), P. 268-281
- (23) 土肥謙次ら, 「304 ステンレス鋼の SCC 特性に及ぼす中性子照射効果(その 2) - 熱鋭敏
化材の SCC 感受性に及ぼす照射影響-」, (一財)電力中央研究所(平成 9 年 6 月), P. 10

2.6 HDP-69BCH(B)型の構造強度について

2.6.1 応力評価の方針

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

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

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

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

表 2.6.1-1 垂直吊り上げ時の各部材の評価基準

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

注記*1：各記号はそれぞれ以下のとおり。

$P_L + P_b + Q$ ：一次+二次応力強さ

S_m ：設計温度における設計応力強さ、

f_b ：設計温度における許容曲げ応力 (F/1.5)

f_s ：設計温度における許容せん断応力 (F/1.5 $\sqrt{3}$)

f_t ：設計温度における許容引張応力 (F/1.5)

F： S_y と $0.7 S_u$ の小さい方の値

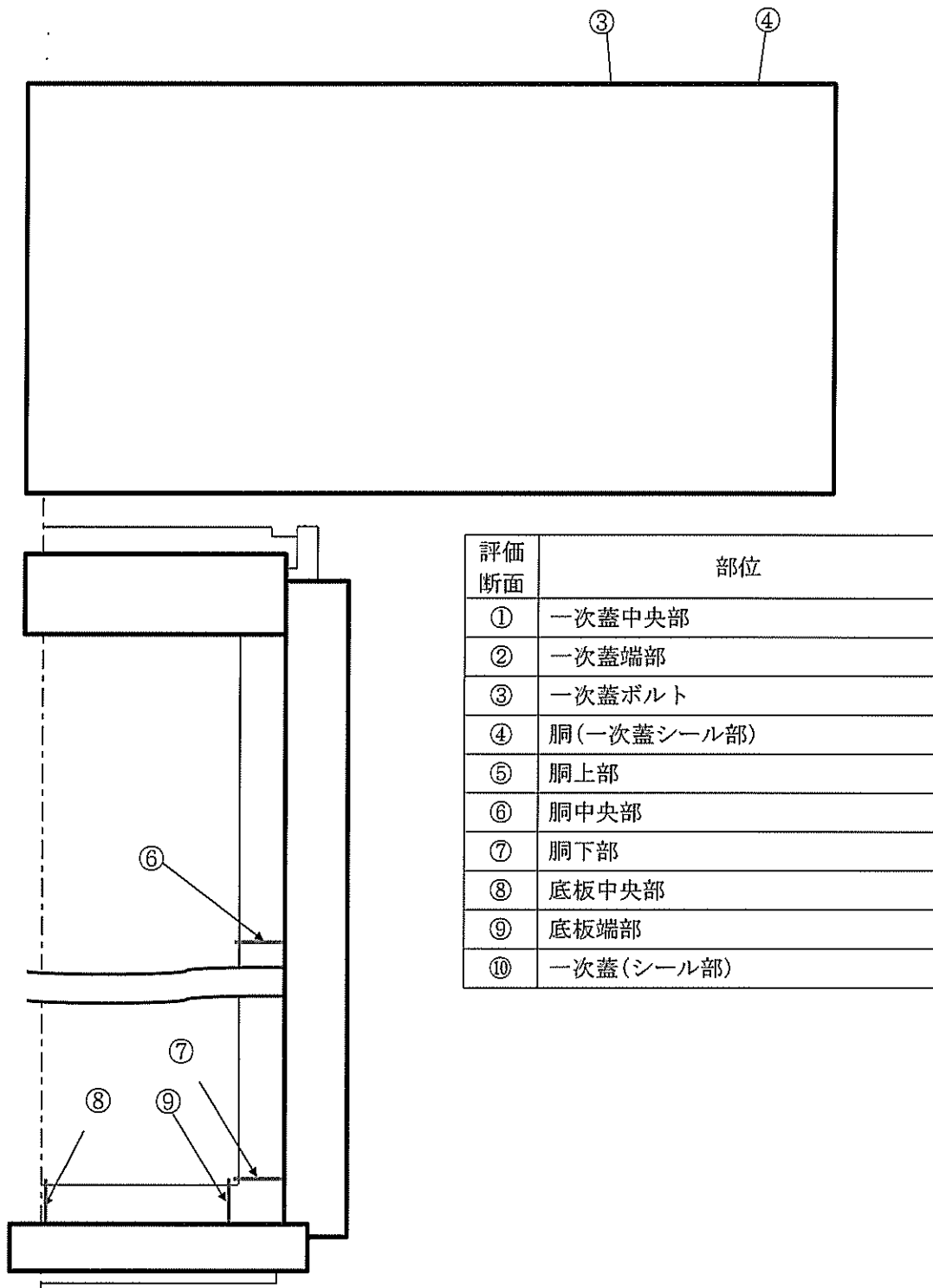
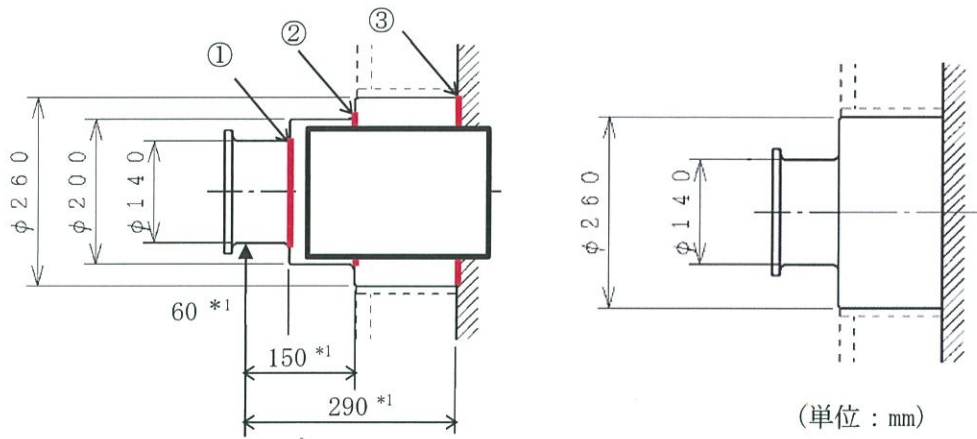


図 2.6.1-1 密封容器の応力評価位置

□ 内は商業機密のため、非公開とします。



(a) 上部トラニオン(90° - 270° 側)

(b) 上部トラニオン(0° - 180° 側)

注記*1 : 吊上時の荷重作用点までの距離(モーメントアーム)

図 2.6.1-2 上部トラニオンの構造と解析モデル

□ 内は商業機密のため、非公開とします。

2.6.2 上部トラニオンのに作用する応力の計算式

a. 上部トラニオンに作用する荷重

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

$$F_m = \frac{m_1 \cdot G_2}{n}$$

ここで、

$$G_2 = 1.3 \cdot G$$

F_m : 上部トラニオン1個に作用する荷重 (N)

n : トラニオンの数=2 個

m_1 : 吊上時における HDP-69B(B)型の質量=1.202×10⁵ kg

G_2 : 鉛直方向加速度 (m/s²)

G : 重力加速度=9.80665 m/s²

したがって、

$$\begin{aligned} F_m &= 1.202 \times 10^5 \times 1.3 \times 9.80665 / 2 \\ &= 7.66 \times 10^5 \text{ N} \end{aligned}$$

b. 上部トラニオンに発生する曲げ応力

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

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

$$M = F_m \cdot X$$

ここで、

M : 曲げモーメント (N・mm)

F_m : 前記 a. 項と同様

X : モーメントアーム (mm)

C : 中立軸からの距離 (mm)

I : 断面二次モーメント (mm⁴)

ここに、

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

d_o : トラニオン外径 (mm)

d_i : トラニオン内径 (mm)

c. 上部トラニオンに発生するせん断応力

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

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

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

ここで、

F_m : 前記 a. 項と同様

A : 図 2.6.1-2 の各評価断面の断面積 (mm²)

d. 上部トラニオンに発生する組合せ応力

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

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

ここで、

σ_b : 前記 b. 項と同様

τ : 前記 c. 項と同様

2.6.3 評価結果

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

表 2.6.3-1 垂直吊り上げ時の兼用キャスクの応力評価結果

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

表 2.6.3-2 垂直吊り上げ時の上部トラニオンの応力評価結果

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

2.6.4 参考文献

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