

発電用原子炉施設に係る特定機器の設計の 型式証明申請 設置許可基準規則への適合性について (第十六条関連)

2022.1.20
日立造船株式会社

指摘事項（コメント）リスト

No.	受領日	コメント内容	該当条文	コメント回答	対応状況
1	2021/11/11 審査会合	特定機器を使用することができる原子炉施設の条件の記載については、条件が明確に記載されていないものがあるので、今後審査の中で整理して説明すること。	全般	今後回答する。	未 (今後回答予定)
2	2021/11/11 審査会合	評価に用いた解析のコードについて、それぞれの適用性について、検証の方法や適用性を整理して説明すること。既許可で使用したコードであっても、バージョンや核定数の違いがある場合はそれを含めて適用性を説明すること。	4条,5条, 6条,16条	評価に使用した解析のコードについて、それぞれ使用実績を確認し、妥当性が検証されていること確認した。(詳細は、補足説明資料16-2~5参照。)	2/8審査会合で回答予定。
3	2021/11/11 審査会合	バスケットは複雑な構造をしているので、バスケットプレート及びバスケットを支持する部分にどのように力が伝わっていくか説明すること。	4条,5条, 6条,16条	バスケットは中央部と外周部に分割されており、それぞれアルミニウム合金製のプレートを軸方向に重ねた構造である。外周部は本体胴に固定金具により固定されており、中央部は外周部に囲まれた空間に挿入される。(詳細は、補足説明資料16-1参照。)	2/8審査会合で回答予定。
4	2021/11/11 審査会合	地震、津波、竜巻の評価では、一部の部材の応力評価結果のみが示されているが、基準要求事項としては、告示の条件に対してキャスクの安全機能が損なわれないことであるので、4つの安全機能を担保するキャスクの部材の応力評価結果を示し、安全機能の維持の成立性を定量的に説明すること。また、設計基準値の考え方も説明すること。 さらに、津波、竜巻については、外運搬規則の0.3m落下の衝突荷重と比較している考え方や適切性についても説明すること。	4条,5条, 6条	今後回答する。	未 (今後回答予定)

No.	受領日	コメント内容	該当条文	コメント回答	対応状況
5	2021/11/11 審査会合	臨界評価における「技術的に想定されるいかなる場合」について、例えば燃料装荷時の満水状態や、排水時の水位変化などの状態をすべて考慮して臨界防止できることの説明をすること。	16条	Hitza-P24型への燃料装荷から貯蔵施設への搬入、搬出、燃料取出しまでのハンドリングフローを整理し、各取扱いモードにおけるHitza-P24型の条件について感度解析を実施し、設計方針の妥当性確認として実施した安全評価の条件が最も厳しいことを確認した。（詳細は、補足説明資料16-2参照。）	2/8審査会合で回答予定。
6	2021/11/11 審査会合	金属ガスケットの長期健全性について、公開知見などのような技術的根拠を使ったのかを明確にした上で説明すること。	16条	長期密封性能試験結果を基に、Hitza-P24型に使用する金属ガスケットが長期貯蔵中における応力緩和による漏えい率への影響を考慮しても、設計貯蔵期間（60年）を通じて初期の漏えい率を維持することを確認した。（詳細は、補足説明資料16-5,6参照。）	2/8審査会合で回答予定。
7	2021/11/11 審査会合	バスケット用アルミニウム合金の設計用強度を決めるまでの一連の流れについて、以下の点を明確にすること。 <ul style="list-style-type: none"> ・考え方、評価方法を含め国内でどのような許認可実績を持っているか ・評価方法、評価結果を使うにあたって具体的にどのような検証がなされてきているか ・今回本申請にこの考え方を適用することについて、どのように適用性を整理し、どのような根拠があるか 	全般	今後回答する。	未 (今後回答予定)

目次

1. 設置許可基準規則への適合性の概要
2. 設置許可基準規則への適合性（第十六条）
3. 今後の説明スケジュール

1. 設置許可基準規則への適合性の概要

1. 設置許可基準規則への適合性の概要

● 設置許可基準規則での要求事項に対する評価項目概要

設置許可基準規則		特定兼用キャスク安全機能				長期健全性	構造強度	波及的影響
		臨界防止	遮蔽	除熱	閉じ込め			
第三条								
第四条	地震による損傷の防止	—	—	—	—	—	◎	—
第五条	津波による損傷の防止	—	—	—	—	—	◎	—
第六条	外部からの衝撃による損傷の防止	—	—	—	—	—	◎	—
第七条～第十五条								
第十六条	燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設	◎	◎	◎	◎	◎ (注)	◎	—
第十七条～第三十六条								

◎ : 設計方針及び安全評価を説明する項目 ◻ : 申請の範囲外 ◻ : 本資料で説明する事項

(注) アルミニウム合金の温度影響の評価は除く。

2. 設置許可基準規則への適合性（第十六条）

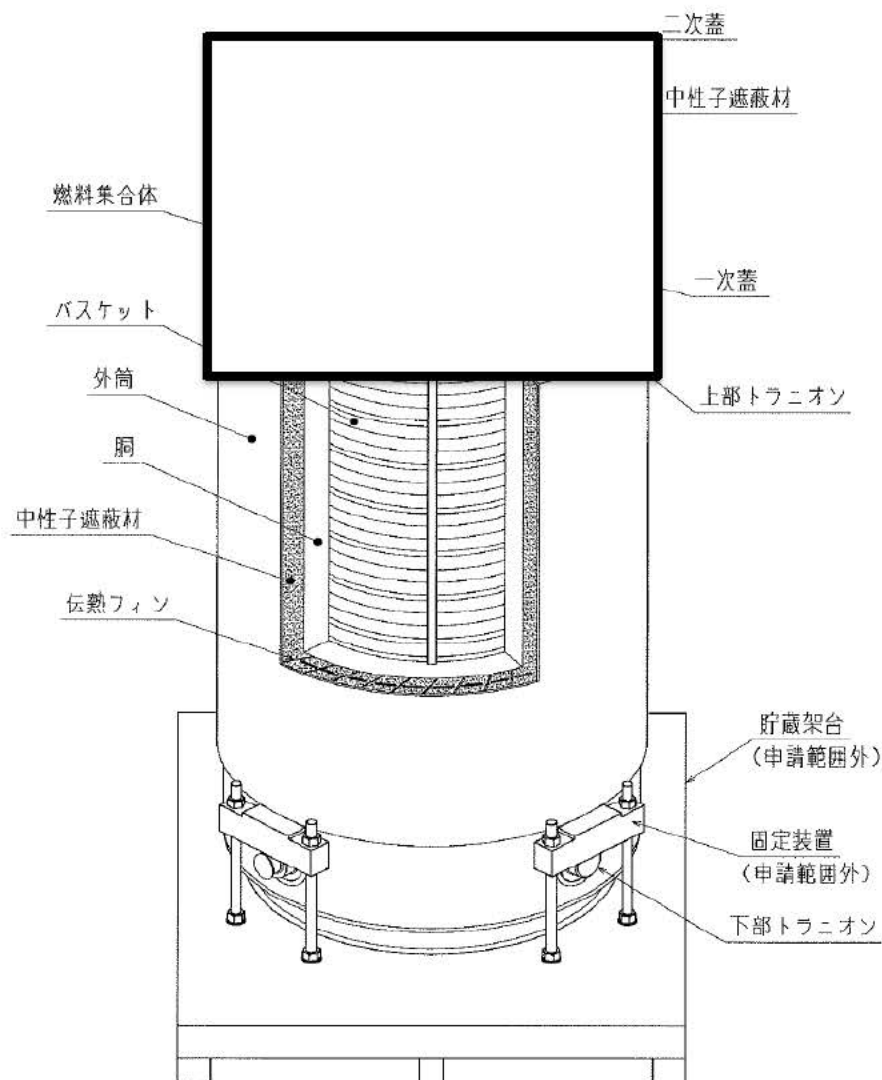
2. 設置許可基準規則への適合性（第十六条）

● 設置許可基準規則の要件に対する適合性の概要（まとめ）

安全機能	要求事項		設計方針	設計方針の妥当性 (安全評価結果)
臨界防止	第2項 第一号八	燃料体等が臨界に達するおそれがないものとする。	臨界を防止する構造により、貯蔵施設への搬入から搬出までの乾燥状態及び使用済燃料を収納する際に冠水状態になること等、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。	技術的に想定されるいかなる場合（乾燥状態から冠水状態）でも、臨界評価により、中性子実効増倍率は0.95を下回ることから臨界に達するおそれはない。
遮蔽	第4項 第一号	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。	ガンマ線遮蔽材及び中性子遮蔽材により、使用済燃料からの放射線を適切に遮蔽する設計とする。	使用済燃料を線源とした遮蔽評価により、通常貯蔵時の特定兼用キャスク表面の線量当量率が2mSv/h以下、及び表面から1m離れた位置における線量当量率が100μSv/h以下となることから適切な遮蔽能力を有している。
除熱	第4項 第二号	使用済燃料からの崩壊熱を適切に除去することができるものとする。	動力を用いずに使用済燃料の崩壊熱を適切に除去するため、使用済燃料の崩壊熱を特定兼用キャスクの外面に伝え、周囲空気等に伝達し、除熱する設計とする。	使用済燃料を熱源とした除熱評価により、貯蔵状態の燃料被覆管及び特定兼用キャスクの構成部材の温度が健全性を維持できる温度以下となることから崩壊熱を適切に除去できる。
閉じ込め	第4項 第三号	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。	蓋シール部に金属ガスケットを用いることにより、使用済燃料を内封する空間を設計貯蔵期間を通じて負圧に維持するとともに、一次蓋及び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、圧力障壁を形成し、使用済燃料を内封する空間を外部から隔離する設計とする。また、蓋間空間の圧力を測定することで閉じ込め機能を監視できる設計とする。	設計貯蔵期間中に特定兼用キャスク内部を負圧に維持できる金属ガスケットを用いることから放射性物質を適切に閉じ込めることができる。また、蓋間空間の圧力を監視できる構造であり、閉じ込め機能を監視できる。
長期健全性	解釈 別記4 第16条 第5項	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。	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、クリープ、応力腐食割れ等の経年変化に対して十分な信頼性を有する材料を選定し、その必要とされる強度及び性能を維持することで、使用済燃料の健全性を確保する設計とする。	使用環境における温度、放射線照射、腐食に係る長期健全性評価により、経年変化を考慮した上で、使用済燃料の健全性を維持できる。

2. 設置許可基準規則への適合性（第十六条）

● Hitz-P24型の概要



Hitz-P24型構造図

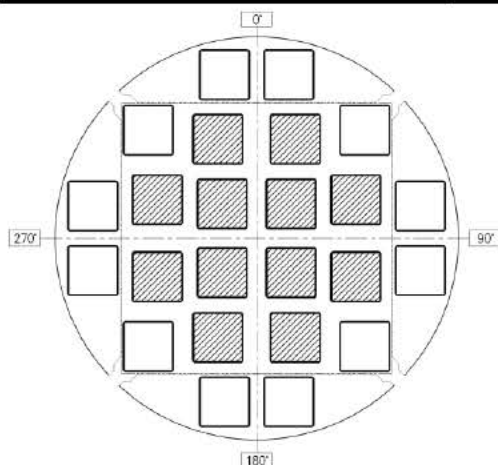
項目	範囲又は条件
特定兼用キャスクの設計貯蔵期間	60年以下
特定兼用キャスクの貯蔵場所	貯蔵建屋内
特定兼用キャスクの貯蔵姿勢	基礎等に固定する設置方法（縦置き）
特定兼用キャスクの固定方法	下部トラニオン固定
全質量	約119t （使用済燃料集合体を含む）
寸法	全長：約5.0m 外径：約2.7m
収納体数	24体

内は商業機密のため、非公開とします。

2. 設置許可基準規則への適合性（第十六条）

● Hitz-P24型の収納物の仕様（収納条件）

使用済燃料集合体の種類と型式（注1）			中央部		外周部	
			17×17燃料（PWR使用済燃料）			
			A型	B型	A型	B型
燃料集合体	1体当たり	初期濃縮度（wt%以下）	[]			
		最高燃焼度（MWd/t以下）	48,000		44,000	
		冷却期間（年以上）	15	17	15	17
	特定兼用キャスク 1基当たり	平均燃焼度（MWd/t以下）	44,000			
		最大崩壊熱量（kW以下）	15.9			
バーナブルポイズン集合体 1体当たり	照射期間（日以下）	[]				
	冷却期間（年以上）（注2）					



（注1） A型燃料とB型燃料は区別なく混載することが可能。

（注2） 組み合わせる使用済燃料集合体の冷却期間以上とする。

- : 中央部（12体） 最高燃焼度以下の使用済燃料集合体 [] の収納範囲
- : 外周部（12体） 平均燃焼度以下の使用済燃料集合体の収納範囲

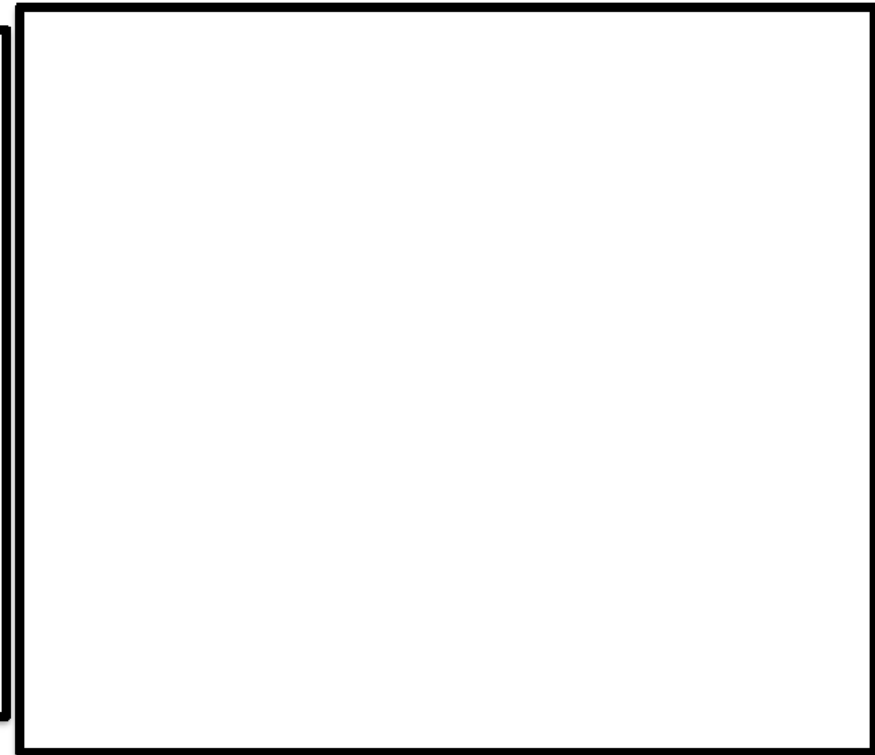
[] 内は商業機密のため、非公開とします。

2. 設置許可基準規則への適合性（第十六条）

- 本体の構造
 - キャスク本体の主要部は、胴、底板、中性子遮蔽材及び外筒等で構成されている。
 - 胴及び底板は低合金鋼製であり、密封容器として設計されている。また、胴と外筒の間及び底板には主要な中性子遮蔽材として樹脂（レジン）が充填されており、また、胴及び底板の低合金鋼は、主要なガンマ線遮蔽材となっている。
 - キャスク本体の取り扱い及び貯蔵中の固定のために、上部及び下部にそれぞれ2対のトラニオンが取り付けられている。



本体縦断面図



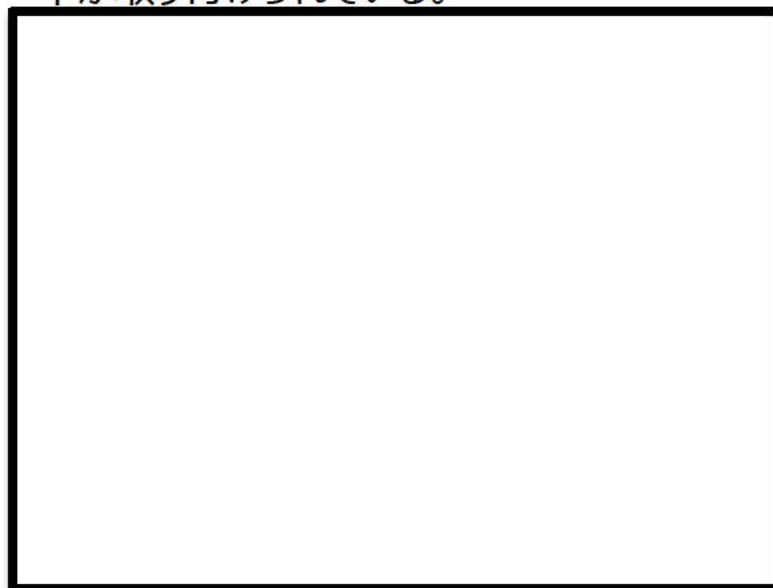
本体横断面図

内は商業機密のため、非公開とします。

2. 設置許可基準規則への適合性（第十六条）

● 蓋部の構造

- 蓋部は、一次蓋及び二次蓋で構成されている。
- 一次蓋は低合金鋼製の円板状であり、ボルトでキャスク本体上面に取り付けられ、閉じ込め境界が形成される。一次蓋には主要な中性子遮蔽材として樹脂（レジン）を充填し、また一次蓋の低合金鋼は、主要なガンマ線遮蔽材となっている。
- 二次蓋は低合金鋼製の円板状であり、ボルトでキャスク本体上面に取り付けられる。二次蓋には、蓋間にヘリウムを充填するため及び蓋間の圧力を測定するための貫通孔が設けられており、貫通孔にはモニタリングポートバルブが設置されている。貯蔵時には、その外側にモニタリングポートカバー（貯蔵用）が取り付けられる。また二次蓋の低合金鋼は、主要なガンマ線遮蔽材となっている。
- 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。




一次蓋



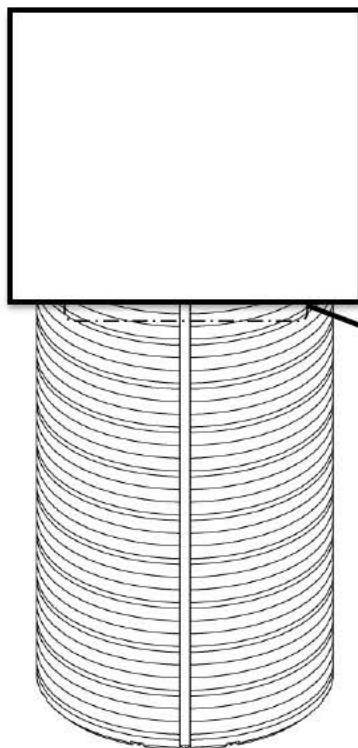
二次蓋

(単位: mm)

 内は商業機密のため、非公開とします。

2. 設置許可基準規則への適合性（第十六条）

- バスケットの構造（全体の構造について）
 - 個々の使用済燃料集合体が、特定兼用キャスク本体内部に設置されたバスケットの所定の格子内に収納される。
 - バスケットは中央部と外周部に分割されており、それぞれアルミニウム合金製のプレートを軸方向に重ねた構造である。
 - ほう素を添加したアルミニウム合金等の中性子吸収材を配置することにより、臨界に達することを防止する設計とする。



バスケット構造図



バスケット詳細図

□内は商業機密のため、非公開とします。

2. 設置許可基準規則への適合性（第十六条）

- バスケットの構造（中央部と外周部について）
 - 外周部は、固定金具によりキャスク本体内部に固定されており、固定された4つの外周部により囲まれた空間に中央部が挿入される。これらのプレートに格子状に穴を設けることで、個々の使用済燃料集合体がキャスク本体内部の所定の位置に収納される。なお、軸方向に重ねたプレートは、タイロッドで軸方向に連結されており、径方向はリーマピンで位置決めされている。



バスケット

内は商業機密のため、非公開とします。

2. 設置許可基準規則への適合性（第十六条）

- バスケットの構造（プレートについて）

- プレートには [] があり、それぞれのプレートは、中性子を効率的に減速させることで中性子吸収材による中性子の吸収を促進させる役割 [] [] と、水ギャップ内における中性子吸収材の位置を制限する役割（ [] ）を持つ。

バスケット

[] 内は商業機密のため、非公開とします。

2. 設置許可基準規則への適合性（第十六条）

- 燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設（第十六条第2項第一号八）（臨界防止機能）

《設計方針》

【安全設計に関する方針】

Hitz-P24型は、燃料体等が臨界に達するおそれがない設計とする。

【発電用原子炉施設に及ぼす影響の確認】

Hitz-P24型は、燃料体等が臨界に達するおそれがない設計とするため、発電用原子炉施設の安全性に影響を及ぼさない。

具体的な設計方針

- 使用済燃料集合体を所定の幾何学的配置に維持するための格子穴等を設けたバスケットプレート、及び中性子吸収能力を有するほう素を偏在することなく添加した中性子吸収材（ほう素添加アルミニウム合金等）を適切な位置に配置することにより、臨界を防止する。
- 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集合体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維持する。
- Hitz-P24型の貯蔵施設への搬入から搬出までの乾燥状態、及びHitz-P24型に使用済燃料集合体を収納する際に冠水状態になること等、技術的に想定されるいかなる場合でも、中性子実効増倍率が0.95以下となるように設計する。

設計方針の妥当性確認（安全評価）

- Hitz-P24型に使用済燃料を収納する際の技術的に想定される状態（乾燥状態から冠水状態）における臨界評価を実施し、中性子実効増倍率が0.95を下回ることを確認した。

設置（変更）許可申請において別途確認を要する条件

- 使用済燃料集合体を収納するに当たり、臨界防止機能に関する評価で考慮した因子について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。

2. 設置許可基準規則への適合性（第十六条）

● 設置許可基準規則の要求事項

設置許可基準規則^(注1)の要求事項に対するHitz-P24型の臨界防止設計への考慮を下表に示す。
これらを考慮した設計方針及び設計方針の妥当性確認結果をP.20～22に示す。

法令等	要求事項	臨界防止設計における考慮
設置許可基準規則第十六条第2項第一号八	燃料体等が臨界に達するおそれがないものとする。	中性子実効増倍率が0.95以下となるように設計する。
貯蔵事業許可基準規則解釈 ^(注2) 第3条	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。	Hitz-P24型の貯蔵施設への搬入から搬出までの乾燥状態、及びHitz-P24型に使用済燃料集合体を収納する際の冠水状態においても臨界を防止する設計とする。
	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。	バスケットプレートは、設計貯蔵期間中の経年変化に対して十分な信頼性を有する材料及び構造とすることで、構造健全性を維持できる設計とする。
	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。	Hitz-P24型が無限に配列した体系（完全反射）とすることでHitz-P24型相互の中性子干渉を考慮。
	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。 ①配置・形状 ・キャスクの配置、バスケットの形状、バスケット格子内の燃料集合体の配置等 ・滑動等によるキャスクの配置の変化に伴う中性子実効増倍率の増加 ・事故時にバスケット及び使用済燃料集合体の変形(破損)	以下の項目について、中性子実効増倍率が最も大きくなる条件を適用。なお、Hitz-P24型は床等に固定するため、滑動等は生じず、配置の変化はない。 ・ Hitz-P24型が無限に配列した体系（完全反射） ・ 水ギャップ（*）、バスケット格子内のり等の寸法公差 ・ バスケット格子内の使用済燃料の配置、中性子吸収材及びバスケット中央部の配置 （*）バスケットプレートに設けられた、冠水時に水で満たされるスペース 設計上考慮すべき自然現象（地震、津波及び竜巻）に対しては、バスケットに塑性変形が生じない。なお、Hitz-P24型が特定兼用キャスクであるため、輸送時のバスケットの塑性変形を保守的に考慮したバスケット格子の変形量を設定する。
	②中性子吸収材の効果 a) 製造公差(濃度、非均質性、寸法等) b) 中性子吸収に伴う原子個数密度の減少	以下の項目について、中性子実効増倍率が最も大きくなる条件を適用。なお、ほう素の均質性は製造管理により担保。 ・ 中性子吸収材の濃度（ほう素添加量） ・ 中性子吸収材の寸法公差 設計貯蔵期間経過後の中性子吸収材に含まれるほう素の減損割合は、保守的に評価しても 10^{-5} 程度であり、無視し得る。
	③減速材(水)の影響	冠水状態（水密度 $1.0\text{g}/\text{cm}^3$ ）を考慮。
	④燃焼度クレジット	採用しない。
使用済燃料をキャスクに収納するにあたっては、臨界評価で考慮した因子について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。	型式証明申請の範囲外とする。	
設置許可基準規則解釈別記4第16条第5項	<ul style="list-style-type: none"> 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。 	<ul style="list-style-type: none"> 設計貯蔵期間は60年とする。 Hitz-P24型は、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、クリープ、応力腐食割れ等の経年変化に対して信頼性を有する材料を選定し、その必要とされる強度及び性能を確保する設計とする。

(注1)「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」

(注2)「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」

2. 設置許可基準規則への適合性（第十六条）

● 審査ガイドの確認事項

審査ガイド^(注)の確認事項に対するHitz-P24型の臨界防止設計への考慮を下表に示す。
これらを考慮した設計方針及び設計方針の妥当性確認結果をP.20～22に示す。

項目	確認事項	臨界防止設計における考慮
配置・形状	兼用キャスクの配置、バスケットの形状、バスケット格子内の使用済燃料集合体の配置等において、適切な安全裕度を考慮すること。	以下の項目について、中性子実効増倍率が最も大きくなる条件を適用。なお、Hitz-P24型は床等に固定するため、滑動等は生じず、配置の変化はない。 <ul style="list-style-type: none"> • Hitz-P24型が無限に配列した体系（完全反射） • 水ギャップ^(*)、バスケット格子内のり等の寸法公差 • バスケット格子内の使用済燃料、中性子吸収材及びバスケット中央部の配置 (*) バスケットプレートに設けられた、冠水時に水で満たされるスペース
	兼用キャスクが滑動する可能性がある場合は、滑動等による兼用キャスクの配置の変化に伴う中性子実効増倍率の増加についても適切に考慮すること。	
	設計貯蔵期間を通じてバスケットの構造健全性が維持されること。	
中性子吸収材の効果	中性子吸収材の効果に関して、以下について適切な安全裕度を考慮すること。 a. 製造公差（濃度、非均質性、寸法等）	以下の項目について、中性子実効増倍率が最も大きくなる条件を適用。なお、ほう素の均質性は製造管理により担保。 <ul style="list-style-type: none"> • 中性子吸収材の濃度（ほう素添加量） • 中性子吸収材の寸法公差
	b. 中性子吸収に伴う原子個数密度の減少	設計貯蔵期間経過後の中性子吸収材に含まれるほう素の減損割合は、保守的に評価しても 10^{-5} 程度であり、無視し得る。
減速材（水）の影響	使用済燃料を兼用キャスクに収納する際、当該使用済燃料が冠水することを、設計上適切に考慮すること。	冠水状態（水密度 $1.0\text{g}/\text{cm}^3$ ）を考慮。
解析コード及びデータライブラリ	検証され適用性が確認された臨界解析コード及びデータライブラリを使用すること。	臨界解析で使用するSCALEコードシステムは、Hitz-P24型を構成する燃料体及び構造物を模擬した多数の臨界実験のベンチマーク解析により検証され適用性を確認している。
バスケットの状態	設計上、バスケットの塑性変形が想定される場合は、塑性変形したバスケットの形状及び使用済燃料の状態を考慮しても未臨界が維持されること。	設計上考慮すべき自然現象（地震、津波及び竜巻）に対しては、バスケットに塑性変形が生じない。なお、Hitz-P24型が特定兼用キャスクであるため、輸送時のバスケットの塑性変形を保守的に考慮したバスケット格子の変形量を設定する。

(注) 「原子力発電所敷地内での輸送・貯蔵兼用乾式キャスクによる使用済燃料の貯蔵に関する審査ガイド」

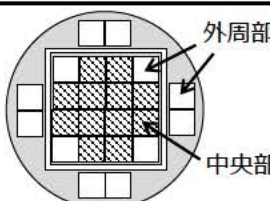
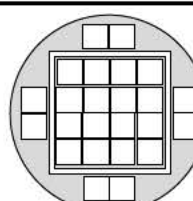
2. 設置許可基準規則への適合性（第十六条）

● 臨界防止機能の安全評価について

(1) 臨界解析評価条件（収納物仕様）

解析に用いる収納物仕様は、17×17燃料（A型）とし、以下のとおり保守的な条件とする。

- ✓ ペレット直径が大きく、スペクトルが硬化することで中性子吸収材による中性子吸収が抑制され、反応度が高い傾向となるA型燃料で代表する。
- ✓ 収納する使用済燃料のウラン濃縮度は照射により減損しているが、新燃料（燃焼度0GWd/t）とし、燃焼度クレジットは採用しない。
- ✓ 初期濃縮度は、収納する使用済燃料の濃縮度の上限値とする。
- ✓ 中性子吸収効果のあるバーナブルポイズン集合体を無視する。
- ✓ 24体すべてをA型燃料として評価することで、一部または全部のバスケット格子にB型燃料を装荷したケースを包絡する。

項目		キャスク収納位置制限		臨界解析条件	
		中央部	外周部	中央部	外周部
燃料集合体 1体の仕様	燃料タイプ	17×17型（A型・B型）		17×17型（A型）	
	初期濃縮度	[]		4.2wt%	
	最高燃焼度	≤48GWd/t	≤44GWd/t	0GWd/t	
	冷却期間	A型：≥15年、B型：≥17年		-	
バーナブルポイズン 集合体1体の仕様	最高燃焼度	[]			
	冷却期間（注1）				
Hitz-P24型1基当たり	平均燃焼度	≤44GWd/t		0GWd/t	
配置					

（注1）組み合わせる使用済燃料集合体の冷却期間以上とする。

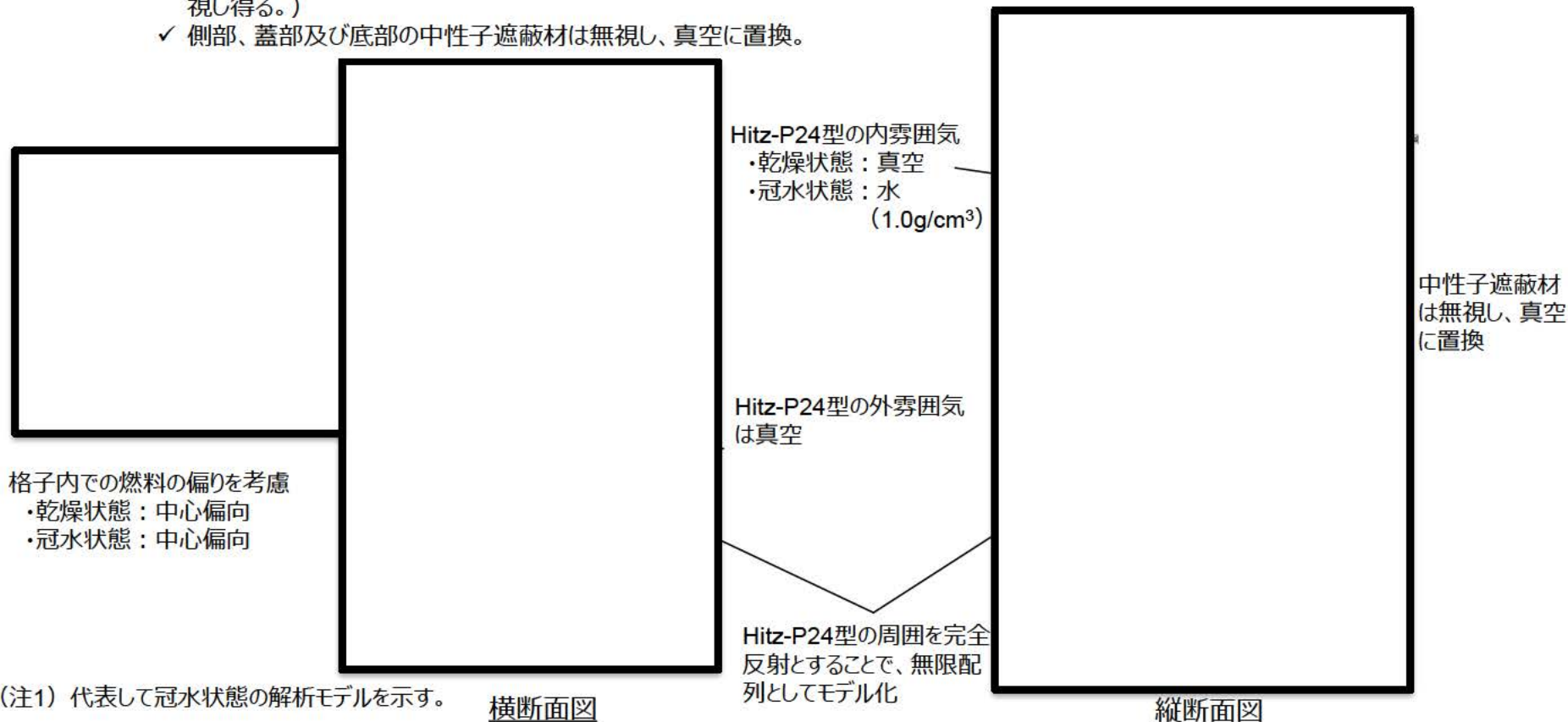
[] 内は商業機密のため、非公開とします。

2. 設置許可基準規則への適合性（第十六条）

- 臨界防止機能の安全評価について
 - (2) 臨界解析評価条件（解析モデル）

解析モデルは、以下のとおり配置・形状等を適切に考慮し、保守的な条件とする。

- ✓ Hitz-P24型及び使用済燃料集合体の実形状を三次元でモデル化する。
- ✓ Hitz-P24型が無限に配列した体系（完全反射）とする。（これにより、Hitz-P24型の配置制限は不要となる。）
- ✓ バスケット格子内での使用済燃料の偏りを考慮し、中性子実効増倍率が最も大きくなる配置とする。
- ✓ 中性子吸収材及びバスケット中央部の偏りを考慮し、中性子実効増倍率が最も大きくなる配置とする。
- ✓ バスケットプレート及び中性子吸収材は寸法公差を考慮し、中性子実効増倍率が最も大きくなる寸法とする。
- ✓ 中性子吸収材のほう素添加量は仕様上の下限値とする。（設計貯蔵期間経過後のほう素の減損割合は 10^{-5} 程度であり、無視し得る。）
- ✓ 側部、蓋部及び底部の中性子遮蔽材は無視し、真空に置換。



2. 設置許可基準規則への適合性（第十六条）

- 臨界防止機能の安全評価について

- (3) 臨界解析評価条件（解析コード及び検証）

- 米国のオークリッジ国立研究所（ORNL）で開発された公開のSCALEコードシステムを用い、中性子実効増倍率の計算には同コードシステムに含まれるKENO-V.aコードを用いる。
 - SCALEコードシステムは、米国NRCにより認証された標準解析コードであり、国内外の臨界解析の分野で幅広く使用されている。
 - SCALEコードシステムに対しては、Hitz-P24型を構成する燃料体及び構造物を模擬した多数の臨界実験ベンチマーク解析を実施し、その妥当性を確認している。
 - 本コードは技術的な特殊性、新規性は無く、許認可での使用実績があるコードである。

- (4) 臨界解析評価結果

乾燥状態に加え、キャビティ内水位や外部の水の存在など、Hitz-P24型の取扱時に想定される条件を踏まえた感度解析結果※から、最も厳しい条件となる冠水状態における臨界評価を実施し、中性子実効増倍率が0.95を下回ることを確認した。

項目		評価結果（注1）	評価基準
中性子実効増倍率	冠水状態	0.908	0.95以下
	乾燥状態	0.356	

（注1）統計誤差（ σ ）の3倍（ 3σ ）を加えた値である。

- 設計方針の妥当性

以上のとおり、設計上想定される状態において、燃料体等が臨界に達するおそれはない。したがって、Hitz-P24型の臨界防止機能に係る設計方針は妥当である。

2. 設置許可基準規則への適合性（第十六条）

- 燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設（第十六条第4項第一号）（遮蔽機能）

《設計方針》

【安全設計に関する方針】

Hitz-P24型は、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設計とする。

【発電用原子炉施設に及ぼす影響の確認】

Hitz-P24型は、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。

具体的な設計方針

- 設計上想定される状態において、使用済燃料集合体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Hitz-P24型表面の線量当量率を2mSv/h以下とし、かつ、Hitz-P24型表面から1m離れた位置における線量当量率を100μSv/h以下とする設計とする。

設計方針の妥当性確認（安全評価）

- 使用済燃料を線源として遮蔽評価を実施し、通常貯蔵時のHitz-P24型の表面における線量当量率が2mSv/h以下、及び表面から1m離れた位置における線量当量率が100μSv/h以下となることを確認した。

設置（変更）許可申請において別途確認を要する条件

- 遮蔽評価で考慮した使用済燃料集合体の燃焼度に応じた使用済燃料集合体の配置の条件又は範囲を逸脱しないような措置が講じられること。
- 貯蔵建屋内で貯蔵する場合において、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場合においても、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。

2. 設置許可基準規則への適合性（第十六条）

● 設置許可基準規則への適合性

設置許可基準規則^(注1)の要求事項に対するHitz-P24型の遮蔽設計への考慮を下表に示す。
これらを考慮した設計方針及び設計方針の妥当性確認結果をP.26～29に示す。

要求事項	遮蔽設計における考慮
設置許可基準規則第16条第4項第一号 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。	Hitz-P24型は、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設計とする。
設置許可基準規則解釈 ^(注2) 別記4第16条第2項 「適切な遮蔽能力を有する」とは第5項のほか以下をいう。	—
<ul style="list-style-type: none"> ・貯蔵事業許可基準規則解釈第4条第1項第3号に規定する金属カスクの設計に関する基準を満たすこと。 「使用済燃料を金属カスクに収納するに当たっては、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。」 	型式証明の範囲外 (設置(変更)許可申請において別途確認を要する条件)
<ul style="list-style-type: none"> ・兼用カスク表面の線量当量率が1時間当たり2mSv/h以下であり、かつ、兼用カスク表面から1m離れた位置における線量当量率が1時間当たり100μSv/h以下であること。 	Hitz-P24型は、使用済燃料集合体からの放射線を本体及び蓋部の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、Hitz-P24型表面の線量当量率を2mSv/h以下、かつ、Hitz-P24型表面から1メートル離れた位置における線量当量率を100μSv/h以下となる設計とする。
<ul style="list-style-type: none"> ・貯蔵建屋を設置する場合には、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。 	型式証明の範囲外 (設置(変更)許可申請において別途確認を要する条件)
設置許可基準規則解釈別記4第16条第5項 兼用カスクは、当該兼用カ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。	Hitz-P24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、設計貯蔵期間中の経年変化に対して信頼性を有する材料を選定し、強度及び性能を維持することで使用済燃料の健全性を確保する設計である。

(注1)「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」

(注2)「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」

2. 設置許可基準規則への適合性（第十六条）

● 審査ガイドの確認事項

審査ガイド^(注)の確認事項に対して、Hitz-P24型の遮蔽設計において考慮する事項を下表に示す。これらを考慮した設計方針及び設計方針の妥当性確認結果をP.26～29に示す。

項目	確認事項	遮蔽設計における考慮
使用済燃料の放射線源強度評価	使用済燃料の放射線源強度は、検証され適用性が確認された燃焼計算コードを使用して求めること。また、燃料型式、燃焼度、濃縮度、冷却年数等を条件とし、核種の生成及び崩壊を計算して求めること。	<ul style="list-style-type: none"> 放射線源強度は、収納する燃料型式、燃焼度、冷却期間等を条件とし、核種の生成及び崩壊に基づき燃焼計算コードORIGEN2により求める。 燃焼計算コードORIGEN2は、Hitz-P24型に収納する使用済燃料と同等の冷却条件のANS標準崩壊熱データ等により検証され適用性を確認している。
兼用キャスクの遮蔽機能評価	兼用キャスクからの線量当量率は、兼用キャスクの実形状を適切にモデル化し、及び計算した放射線源強度に基づき、検証され適用性が確認された遮蔽解析コード及び断面積ライブラリを使用して求めること。その際、設計貯蔵期間中の兼用キャスクのガンマ線遮蔽材及び中性子遮蔽材の熱劣化による遮蔽機能の低下を考慮すること。	<ul style="list-style-type: none"> Hitz-P24型からの線量当量率は、Hitz-P24型の実形状を二次元でモデル化し、使用済燃料等の放射線源強度等を条件として、遮蔽解析コードDOT3.5により求める。その際、設計貯蔵期間中の熱影響による中性子遮蔽材（レジン）の質量減損（1.4～2.0%）を考慮する。 DOT3.5コード及び断面積ライブラリは、使用済燃料輸送容器体系での遮蔽ベンチマーク試験により検証され適用性を確認している。
	兼用キャスク表面の線量当量率を2mSv/h以下とし、かつ、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を100μSv/h以下とすること。	<ul style="list-style-type: none"> Hitz-P24型表面の線量当量率は2mSv/h以下、かつ、Hitz-P24型表面から1m離れた位置における線量当量率は100μSv/h以下となるように設計する。

(注) 「原子力発電所敷地内での輸送・貯蔵兼用乾式キャスクによる使用済燃料の貯蔵に関する審査ガイド」

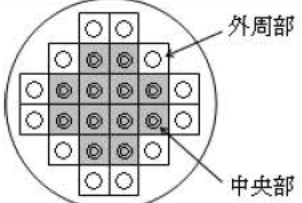
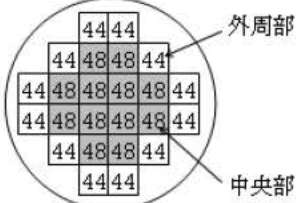
2. 設置許可基準規則への適合性（第十六条）

● 遮蔽機能の安全評価について

(1) 遮蔽解析評価条件（収納物仕様）

遮蔽解析に用いる燃料タイプについては、17×17燃料（A型、B型）とし、使用済燃料の放射線源強度は、下表の初期濃縮度、燃焼度、及び冷却期間を基にORIGEN2コードにより算出する。

- ✓ 初期濃縮度は、収納する使用済燃料の濃縮度の下限値とする。
- ✓ 使用済燃料の燃焼度は、中央部、外周部ともに当該配置の収納制限の最高燃焼度を設定する。
- ✓ 使用済燃料の軸方向燃焼度分布を考慮して、放射線源強度を計算する。
- ✓ バーナブルポイズン集合体は放射化による放射線源強度については考慮するが、構造材としての遮蔽効果は無視する。
- ✓ A型とB型のどちらが線量当量率が大きくなるかは、線量当量率の評価位置によって異なるため、24体すべてをA型燃料としたケースと、すべてをB型燃料としたケースの両方を評価する。A型とB型を混載した場合の線量当量率はこれらのいずれかの評価結果に包絡される。

項目		キャスク収納位置制限		遮蔽解析条件	
		中央部	外周部	中央部	外周部
燃料集合体 1体の仕様	燃料タイプ	17×17型（A型・B型）		17×17型（A型・B型）	
	初期濃縮度				
	ウラン重量				
	最高燃焼度	≤48GWd/t	≤44GWd/t	48GWd/t	44GWd/t
	冷却期間	A型：≥15年、B型：≥17年		A型：15年、B型：17年	
バーナブルポイズン 集合体1体の仕様	最高燃焼度				
	冷却期間（注1）				
Hitz-P24型1基当たり	平均燃焼度	≤44GWd/t		46GWd/t	
配置		 外周部（注2） 中央部（注3）		 外周部（注4） 中央部	

（注1）組み合わせる使用済燃料集合体の冷却期間以上とする。

（注2）◎：48GWd/t以下の燃料を収納できる範囲。○：44GWd/tを超える燃料を収納できない範囲。

（注3）A型とB型は区別なく同一キャスクへ混載可能である。

（注4）数値は燃焼度（GWd/t）を示す。

 内は商業機密のため、非公開とします。

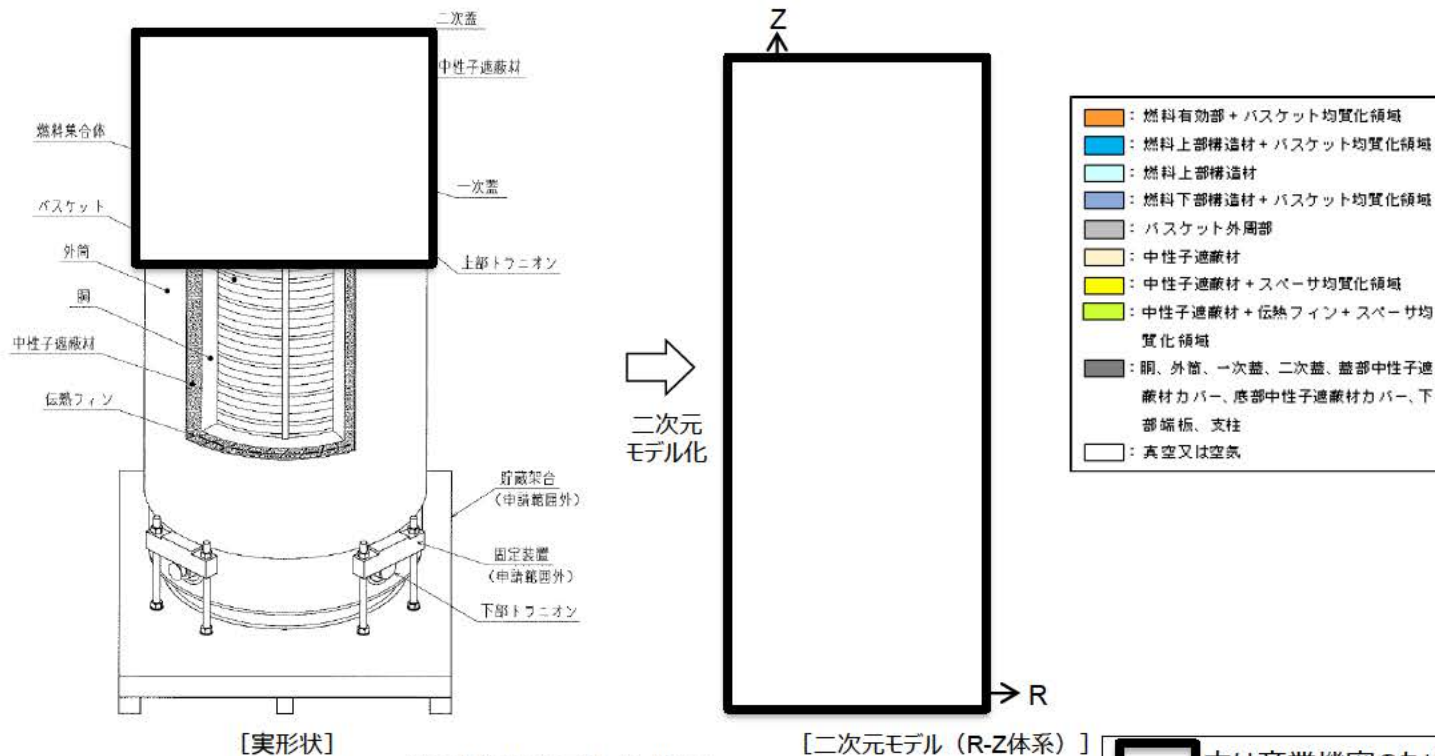
2. 設置許可基準規則への適合性（第十六条）

● 遮蔽機能の安全評価について

(2) 遮蔽解析評価条件（解析モデル）

遮蔽解析は、DOT3.5コードにより実施する。解析モデルは以下のとおり配置・形状等を適切に考慮し、保守的な条件とする。

- Hitz-P24型及び使用済燃料集合体を二次元でモデル化する。
- 頭部評価モデルは、使用済燃料集合体が一次蓋に接した状態、底部評価モデルは使用済燃料集合体が底板に接した状態として、線源から評価点までの距離を保守的にモデル化する。
- 各部寸法はノミナル値とするが、各構成部材のマイナス側の寸法公差を原子個数密度の設定で考慮する。
- 設計貯蔵期間中の熱影響による中性子遮蔽材（レジン）の質量減損（1.4～2.0%）を考慮する。



[実形状]

[二次元モデル (R-Z体系)]

遮蔽解析モデル化概要

内は商業機密のため、非公開とします。

2. 設置許可基準規則への適合性（第十六条）

● 遮蔽機能の安全評価について

(3) 遮蔽解析評価条件（解析コード及び検証）

①線源強度評価に用いる解析コード

- 遮蔽解析評価のうち、線源強度評価には、米国のオークリッジ国立研究所（ORNL）で開発された公開のORIGEN2コード、ライブラリはORIGEN2コードに内蔵されるPWRU50を用いる。
- ORIGEN2コードは、米国原子力学会（ANS）において、ANS標準崩壊熱との比較により妥当性の確認を行っている。
- ORIGEN2コードは、技術的な特殊性、新規性は無く、許認可で使用実績（注1）があるコード、ライブラリである。

②遮蔽解析に用いる解析コード

- 遮蔽解析評価のうち、線量当量率評価には、米国のオークリッジ国立研究所（ORNL）で開発されたDOT3.5コードを用いる。断面積ライブラリには、JENDL-3.3に基づく断面積ライブラリとして日本原子力研究所にて整備されたMATXSLIB-J33を用いる。
- JENDL-3.3の信頼性は遮蔽性能に関するベンチマーク解析で確認されている。
- DOT3.5コードは、使用済燃料輸送容器において、測定値と解析値の比較により妥当性の確認を行っている。
- DOT3.5コードは、技術的な特殊性、新規性は無く、許認可で使用実績（注1）があるコードである。

（注1）日立造船（株）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、他

2. 設置許可基準規則への適合性（第十六条）

- 遮蔽機能の安全評価について

- (4) 遮蔽解析評価結果

遮蔽評価により、特定兼用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、評価基準を下回ることを確認した。

項目	評価結果		評価基準
	A型	B型	
表面線量当量率	1.5mSv/h	1.4mSv/h	2mSv/h以下
表面から1m離れた位置における線量当量率	84 μ Sv/h	85 μ Sv/h	100 μ Sv/h以下

- 設計方針の妥当性

以上のとおり、特定兼用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、基準を満足することから、Hitz-P24型は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設計である。したがって、Hitz-P24型の遮蔽機能に係る設計方針は妥当である。

2. 設置許可基準規則への適合性（第十六条）

● 燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設(第十六条第4項第二号) (除熱機能)

《設計方針》

[安全設計に関する方針]

Hitz-P24型は、使用済燃料の崩壊熱を適切に除去できる設計とする。

[発電用原子炉施設に及ぼす影響に関する方針]

Hitz-P24型は、使用済燃料の崩壊熱を適切に除去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。

具体的な設計方針

- 動力を用いずに使用済燃料の崩壊熱を適切に除去するため、使用済燃料の崩壊熱を特定兼用キャスクの外表面に伝え、周囲空気等に伝達することにより除熱する設計とし、使用済燃料の健全性及び特定兼用キャスクの安全機能を有する構成部材の健全性を維持するために、使用済燃料及び特定兼用キャスクの温度を制限される値以下に維持する。
- 使用済燃料及び特定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、特定兼用キャスク外表面の温度を測定できる設計とする。

設計方針の妥当性確認(安全評価)

- 使用済燃料を熱源とした貯蔵状態の伝熱評価を実施し、燃料被覆管及び特定兼用キャスクを構成する部材の健全性を維持できる温度を超えないことを確認した。

設置(変更)許可申請において別途確認を要する条件

- 除熱評価で考慮した使用済燃料集合体の燃焼度に応じた使用済燃料集合体の配置の条件又は範囲を逸脱しないような措置が講じられること。
- 貯蔵建屋は、特定兼用キャスクの除熱機能を阻害しない設計であること。貯蔵建屋の吸排気口は、積雪等により閉塞しない設計であること。
- 特定兼用キャスクの周囲温度が -11°C 以上 50°C 以下であること。また、貯蔵建屋壁面温度が 65°C 以下であること。

Hitz-P24型の伝熱経路図

内は商業機密のため、非公開とします。

2. 設置許可基準規則への適合性（第十六条）

● 設置許可基準規則の要求事項

設置許可基準規則^(注1)の要求事項に対するHitz-P24型の除熱設計への考慮を下表に示す。
これらを考慮した設計方針及び設計方針の妥当性確認結果をP.33～36に示す。

項目	要求事項(確認内容)	除熱設計における考慮
設置許可基準規則第16条第4項二号	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	動力を用いずに使用済燃料の崩壊熱を適切に除去するため、使用済燃料の崩壊熱を特定兼用キャスクの外表面に伝え、周囲空気等に伝達することにより除熱する設計とする。
貯蔵事業許可基準規則解釈 ^(注2) 第6条	使用済燃料の温度を、被覆管のクリープ破損及び被覆管の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	燃料被覆管の温度に制限値を設定し、燃料被覆管の温度が制限値以下となる設計とする。
	金属キャスクの温度を、基本的安全機能を維持する観点から制限される値以下に維持される値以下に維持できる設計であること	特定兼用キャスク各部の温度に制限値を設定し、特定兼用キャスク各部の温度が制限値以下となる設計とする。
	貯蔵建屋は、金属キャスクの除熱機能を阻害しない設計であること。また、貯蔵建屋の吸排気口は積雪等により閉塞しない設計であること	型式証明申請の範囲外である。
	使用済燃料を金属キャスクに収納するに当たっては、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	型式証明申請の範囲外である。
貯蔵事業許可基準規則解釈第17条第1項	貯蔵建屋内の雰囲気温度が異常に上昇しないことを監視できること	型式証明申請の範囲外である。
	使用済燃料及び金属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	特定兼用キャスク外表面の温度を測定できる設計とする。
設置許可基準規則解釈別記4第16条第5項	設計貯蔵期間を明確にしていること	設計貯蔵期間は60年である。
	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	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、クリープ、応力腐食割れ等の経年変化に対して十分な信頼性を有する材料を選定し、その必要とされる強度及び性能を維持することで使用済燃料の健全性を確保する設計とする。

(注1)「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」

(注2)「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」

2. 設置許可基準規則への適合性（第十六条）

● 審査ガイドの確認事項

審査ガイド^(注)の確認事項に対するHitz-P24型の除熱設計への考慮を下表に示す。
これらを考慮した設計方針及び設計方針の妥当性確認結果をP.33～36に示す。

項目	確認事項	除熱設計における考慮
使用済燃料の崩壊熱評価	崩壊熱は、燃料型式、燃料体の実形状、燃焼度、濃縮度、冷却期間等を条件として計算した核種の生成及び崩壊から求めること	崩壊熱量は、収納する燃料型式、燃焼度、濃縮度、冷却期間等を条件として、核種の生成及び崩壊に基づき燃焼計算コードORIGEN2により求める。
兼用キャスク各部の温度評価	使用済燃料の崩壊熱、外部からの入熱及び兼用キャスク周囲の温度を条件とし、兼用キャスクの実形状を適切にモデル化すること	特定兼用キャスク各部の温度は、Hitz-P24型の実形状を二次元でモデル化し、使用済燃料の崩壊熱、外部からの入熱及び周囲温度等を条件として、伝熱解析コードABAQUSにより求める。
	求めた温度は、兼用キャスクの構成部材が兼用キャスクの各部の安全機能を維持する構造健全性及び性能を維持できる温度の範囲に収まること	特定兼用キャスク各部の温度は、安全機能を維持する構造健全性及び性能を維持できる温度以下とする。
燃料被覆管の温度評価	使用済燃料の崩壊熱と兼用キャスクの各部の温度を条件とし、使用済燃料集合体、バスケット等の実形状を適切にモデル化すること	燃料被覆管の温度は、燃料集合体の径方向断面の実形状を二次元でモデル化し、使用済燃料の崩壊熱と特定兼用キャスク各部の温度評価で求めたバスケットの温度を境界条件として、伝熱解析コードABAQUSにより求める。
	求めた温度は、燃料被覆管の構造健全性を維持できる温度の範囲に収まること	燃料被覆管の温度は、燃料被覆管の構造健全性を維持できる温度以下とする。
解析コード(崩壊熱/温度評価)	検証され適用性が確認された燃焼計算コード/伝熱解析コードを使用して求めること	燃焼計算コードORIGEN2は、Hitz-P24型に収納する使用済燃料と同等の冷却条件のANS標準崩壊熱データにより、また、伝熱解析コードABAQUSは、Hitz-P24型と同等の伝熱形態を有する兼用キャスクの伝熱試験により検証され適用性を確認している。

(注)「原子力発電所敷地内での輸送・貯蔵兼用乾式キャスクによる使用済燃料の貯蔵に関する審査ガイド」

2. 設置許可基準規則への適合性（第十六条）

● 除熱機能の安全評価について

(1) 除熱解析評価条件(収納物仕様)

使用済燃料の崩壊熱量は、崩壊熱量が最も高い17×17燃料(A型)^(注1)とし、次ページの表の初期濃縮度、燃焼度及び冷却期間を基にORIGEN2コードにより算出する。

- ・初期濃縮度は、崩壊熱量を高め算出するために、収納する使用済燃料の濃縮度下限値とする。
- ・温度解析では、燃料集合体最高温度を高め算出するために、中央部(12体)に最高燃焼度(48GWd/t)の崩壊熱量を設定し、外周部(12体)には、特定兼用キャスク1基の総崩壊熱量が平均燃焼度(44GWd/t)の崩壊熱量24体分(18.1kW)^(注2)となるように調整した崩壊熱量(40GWd/t相当)を設定する。
- ・温度解析では、伝熱体となるバーナブルポイズン集合体を無視する。

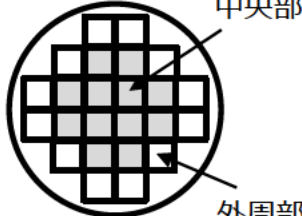
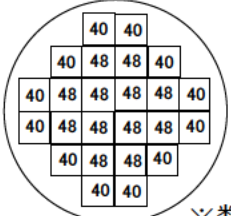
(注1) A型の方がB型よりも冷却期間が短く崩壊熱量が大きい。

(注2) 使用済燃料の軸方向燃焼度分布を考慮して、仕様上の最大崩壊熱量(15.9kW)を上回る設計崩壊熱量(18.1kW)を適用する。

2. 設置許可基準規則への適合性（第十六条）

● 除熱機能の安全評価について

(1) 除熱解析評価条件(収納物仕様) (続き)

項目			キャスク収納位置制限		解析条件	
			中央部	外周部	中央部	外周部
収納物仕様	燃料集合体 1体の仕様	種類	17×17型 (A型・B型)		17×17型 (A型)	
		初期濃縮度 (wt%)				
		ウラン重量 (kg)				
		最高燃焼度 (GWd/t)	≤48	≤44	48	(40)
		冷却期間 (年)	A型 : ≥15 B型 : ≥17		15	
	バーナブルポイズン 集合体の仕様	最高燃焼度 (GWd/t)				
		冷却期間 (年)				
1基当たりの仕様	平均燃焼度 (GWd/t)	≤44		44		
配置					 <p>※数値は燃焼度を示す。</p>	

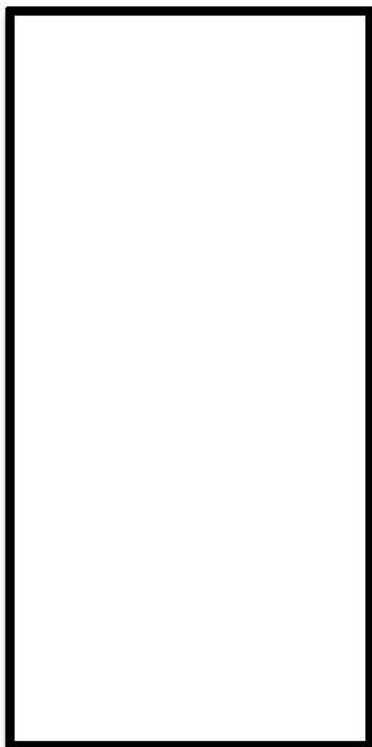
2. 設置許可基準規則への適合性（第十六条）

● 除熱機能の安全評価について

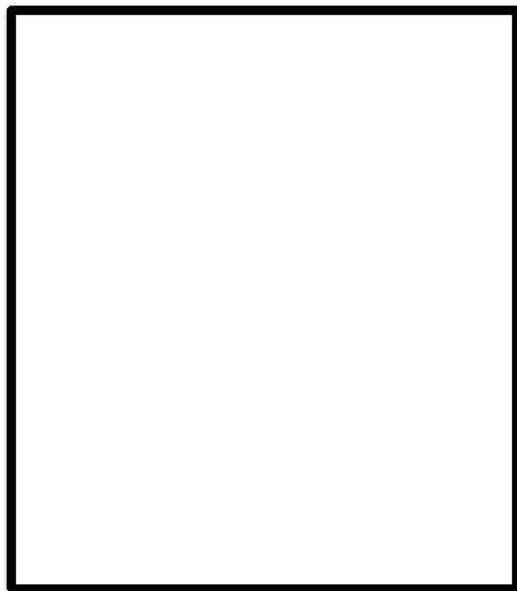
(2) 除熱解析評価条件(解析モデル)

温度解析は、ABAQUSコードにより実施する。解析モデルは、以下のとおり配置・形状等を適切に考慮し、保守的な条件とする。

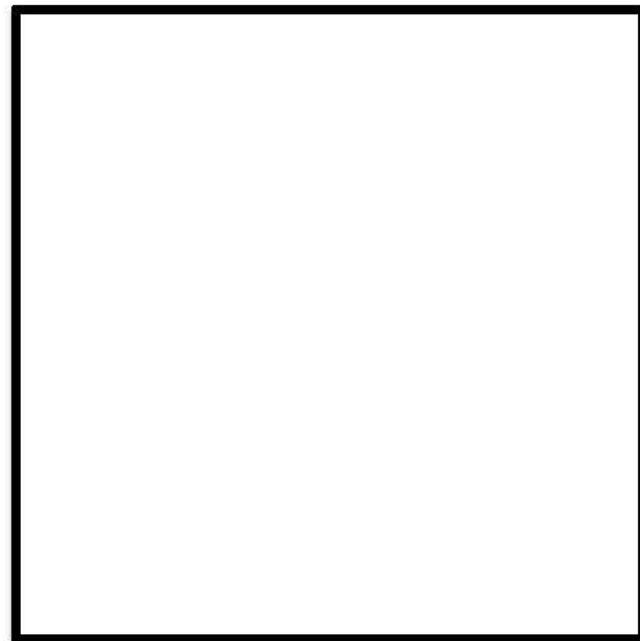
- ・各部温度は、全体モデル、輪切りモデル及び燃料集合体モデルを用いて評価する。
- ・燃料集合体モデルでは、軸方向の伝熱を無視し断熱とする。



全体モデル



輪切りモデル



燃料集合体モデル

2. 設置許可基準規則への適合性（第十六条）

- 除熱機能の安全評価について

(3) 除熱解析評価条件(解析コード及び検証)

使用済燃料の崩壊熱計算に用いる燃焼計算コードORIGEN2は、Hitz-P24型に収納する使用済燃料と同等の冷却条件のANS標準崩壊熱データにより、また、特定兼用キャスクの構成部材及び燃料被覆管の温度解析に用いる伝熱計算コードABAQUSは、Hitz-P24型と同等の伝熱形態を有する兼用キャスクの伝熱試験により検証され適用性を確認している。また、これらのコードは技術的な特殊性、新規性はなく、許認可で使用実績があるコードである。

(4) 除熱解析評価結果

貯蔵時における除熱解析評価により、各評価部位の最高温度が設計基準値を下回ることを確認した。

評価部位		評価結果 (°C)	設計基準値(°C)
Hitz-P24型	胴・底板	156	375
	一次蓋	124	375
	一次蓋ボルト	108	350
	中性子遮蔽材	138	149
	金属ガasket	107	130
	バスケット	171	250
	伝熱フィン	129	200
燃料被覆管		203	275



全体モデル 輪切りモデル 燃料集合体モデル

温度分布

- 設計方針の妥当性

以上のとおり、燃料被覆管及び特定兼用キャスクを構成する部材の健全性を維持できる温度以下であり、Hitz-P24型は使用済燃料の崩壊熱を適切に除去できる設計である。したがって、Hitz-P24型の除熱機能に係る設計方針は妥当である。

内は商業機密のため、非公開とします。

2. 設置許可基準規則への適合性（第十六条）

燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設(第16条第4項第三号)（閉じ込め機能）

〈設計方針〉

[安全設計に関する方針]

Hitz-P24型は、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設計とする。

[発電用原子炉施設に及ぼす影響に関する方針]

Hitz-P24型は、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。

具体的な設計方針

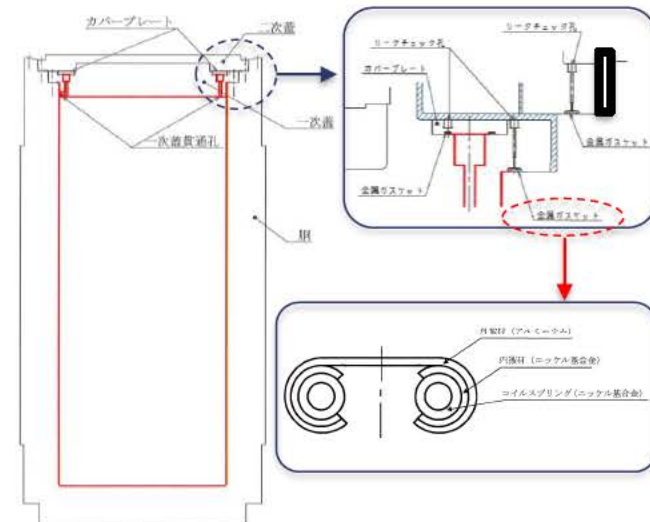
- 使用済燃料を限定された区域に閉じ込めるため、特定兼用キャスクの蓋及び蓋貫通孔のシール部に金属ガスケットを用いることにより、設計貯蔵期間を通じて、使用済燃料集合体を内封する空間を負圧に維持する設計とする。
- 一次蓋及び二次蓋による二重の閉じ込め構造とし、蓋間を正圧に維持することにより圧力障壁を形成し、使用済燃料を内封する空間を特定兼用キャスク外部から隔離する設計とする。
- 蓋間空間の圧力を測定することで閉じ込め機能を監視できる設計とする。

設計方針の妥当性確認(安全評価)

- 蓋間空間に充填されるヘリウムガスが設計貯蔵期間を通じて圧力一定とした条件にて特定兼用キャスク本体内部に漏えいするとともに燃料棒からの核分裂性ガスの放出を仮定し、設計貯蔵期間経過後に大気圧となるように求めた基準漏えい率を算出する。Hitz-P24型に用いる金属ガスケットの性能は、基準漏えい率及び基準漏えい率を下回るように設定するリークテスト判定基準に対し小さい漏えい率であることを確認した。

設置（変更）許可申請において別途確認を要する条件

- 万一の閉じ込め機能の異常に対する修復性の考慮がなされていること。



閉じ込め構造図

2. 設置許可基準規則への適合性（第十六条）

● 設置許可基準規則の要求事項

設置許可基準規則^(注1)の要求事項に対するHitz-P24型の閉じ込め設計への考慮を下表に示す。
これらを考慮した設計方針及び設計方針の妥当性確認結果をP.40～43に示す。

項目	要求事項(確認内容)	閉じ込め設計における考慮
設置許可基準規則第16条第4項第三号	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	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設計とする
貯蔵事業許可基準規則解釈 ^(注2) 第5条第1項	金属キャスクは、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	蓋及び蓋貫通孔のシール部に金属ガスケットを用いることにより、設計貯蔵期間を通じて、使用済燃料を内封する空間を負圧に維持する設計とする
	金属キャスクは、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	一次蓋及び二次蓋による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圧力障壁を形成し、使用済燃料を内封する空間を特定兼用キャスク外部から隔離する設計とする
	金属キャスクは、貯蔵期間中及び貯蔵終了後において、収納された使用済燃料の検査等のために金属製の乾式キャスクの蓋等を開放しないことを前提としているため、万一の蓋部の閉じ込め機能の異常に対して、蓋を追加装着できる構造を有する設計とすること等、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	(型式証明申請の範囲外)
貯蔵事業許可基準規則解釈第17条第1項	蓋部が有する閉じ込め機能を監視できること	蓋間空間の圧力を測定することで閉じ込め機能を監視できる設計とする
設置許可基準規則解釈別記4第16条第5項	設計貯蔵期間を明確にしていること	設計貯蔵期間は60年である
	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	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、クリープ、応力腐食割れ等の経年変化に対して十分な信頼性を有する材料を選定し、その必要とされる強度及び性能を維持することで使用済燃料の健全性を確保する設計とする

(注1)「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」

(注2)「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」

2. 設置許可基準規則への適合性（第十六条）

● 審査ガイドの確認事項

審査ガイド^(注)の確認事項に対するHitz-P24型の閉じ込め設計への考慮を下表に示す。
これらを考慮した設計方針及び設計方針の妥当性確認結果をP.40～43に示す。

項目	確認事項	閉じ込め設計における考慮
閉じ込め構造及び監視	金属ガスケット等のシールを採用するとともに、蓋部を一次蓋と二次蓋の二重とし、蓋間圧力を監視することにより、蓋部が有する閉じ込め機能を監視できること。	一次蓋と二次蓋の二重構造とし、蓋及び蓋貫通孔のシール部には金属ガスケットを使用する。また、蓋間空間の圧力を測定することで閉じ込め機能を監視できる構造とする。
負圧維持	設計貯蔵期間中、兼用キャスク内部の負圧を維持できること。	使用済燃料を収納する空間を設計貯蔵期間を通じて負圧に維持する。
密封境界部の漏えい率	密封境界部の漏えい率は、兼用キャスク内部の負圧を維持できること。また、使用する金属ガスケット等のシール部は当該漏えい率以下であること。	密封境界部の漏えい率は、設計貯蔵期間中に特定兼用キャスク内部の負圧を維持できる漏えい率とし、金属ガスケットは、その漏えい率を満足するものを使用する。
閉じ込め機能評価	密封境界部の漏えい率が、設計貯蔵期間、内部初期圧力、自由空間容積、初期の蓋間圧力、蓋間の容積、温度等を条件として、適切な評価式を用いて求めること。	密封境界部の漏えい率は、設計貯蔵期間、内部初期圧力、自由空間容積、初期の蓋間圧力、蓋間の容積、温度等を条件として、漏えい孔中の流れの形態を考慮した適切な評価式を用いる。
兼用キャスクの衝突評価	転倒等による兼用キャスクへの衝突荷重に対して、密封境界部がおおむね弾性範囲内であること。また、使用済燃料を取り出すために、一次蓋及び二次蓋が開放でき、使用済燃料ペレットが燃料被覆管から脱落せず、かつ、使用済燃料集合体の過度な変形を生じないこと。	(型式証明申請の範囲外)
閉じ込め機能の修復性	閉じ込め機能の異常に対し、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。	(型式証明申請の範囲外)

(注)「原子力発電所敷地内での輸送・貯蔵兼用乾式キャスクによる使用済燃料の貯蔵に関する審査ガイド」

2. 設置許可基準規則への適合性（第十六条）

● 閉じ込め機能の安全評価について

(1) 閉じ込め機能評価条件(収納物仕様)

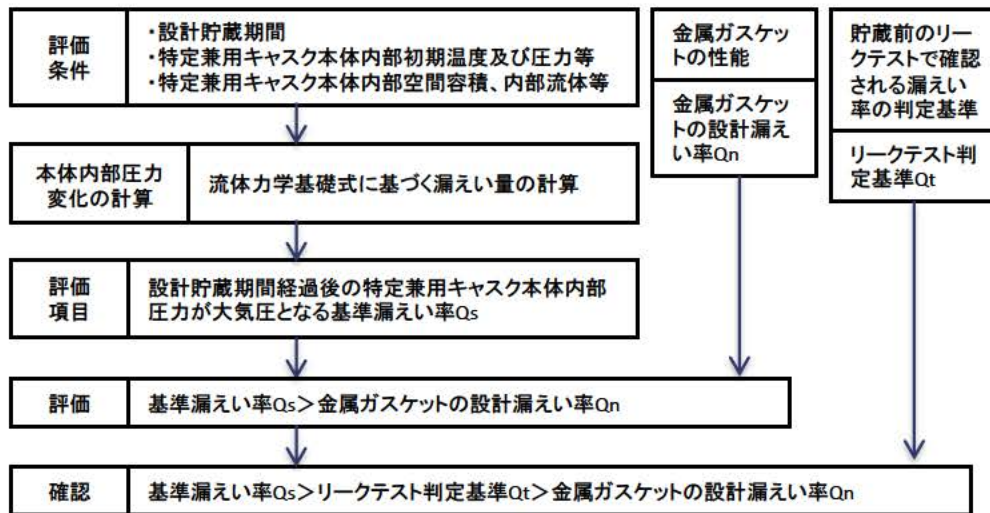
評価に用いる収納物仕様は、燃料棒の温度が最も高く、燃料棒内圧が大きくなり、基準漏えい率を算出する上で安全側となる、17×17燃料(A型)とし、以下のとおりとする。

- ・燃料棒からの核分裂生成ガスの放出（0.1%破損）を仮定する。
- ・特定兼用キャスク本体の内部体積が小さくなるようにバーナブルポイズン集合体の存在を考慮する。

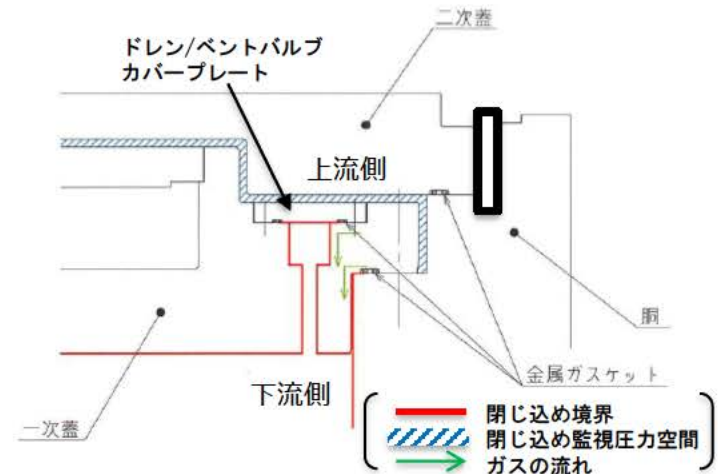
(2) 閉じ込め評価概要

設計貯蔵期間中に特定兼用キャスク本体内部が大気圧となる基準漏えい率を算出（流体力学の基礎式による）し、基準漏えい率及び基準漏えい率を下回るように設定したリークテスト判定基準よりも漏えい率の小さい金属ガスケットを用いることを確認する。基準漏えい率の算出では、以下のとおり保守的な条件とする。

- ・設計貯蔵期間中に蓋間空間に充填されているヘリウムガス圧力は低下するが、設計貯蔵期間を通じて貯蔵開始時の圧力一定とした条件で特定兼用キャスク本体内部側にのみ漏えいするものとする。
- ・設計貯蔵期間中に蓋間空間及び特定兼用キャスク本体内部の温度は低下するが、設計貯蔵期間を通じて貯蔵開始時の温度で一定とした条件とする。



(閉じ込め機能評価フロー)



□内は商業機密のため、非公開とします。

2. 設置許可基準規則への適合性（第十六条）

● 閉じ込め機能の安全評価について

(3) 閉じ込め機能評価条件(内部圧力の算出式)

ボイル・シャルルの式で与えられる特定兼用キャスク本体内部圧力の時間変化を基に、設計貯蔵期間経過後の特定兼用キャスク本体内部圧力を算出する。本手法は、技術的な特殊性及び新規性は無く、許認可で使用実績がある手法である。

(ボイル・シャルルの式)

$$\frac{dP_d}{dt} = \frac{Q}{V_d} \cdot \frac{T_d}{T}$$

$$Q = L \cdot Pa$$

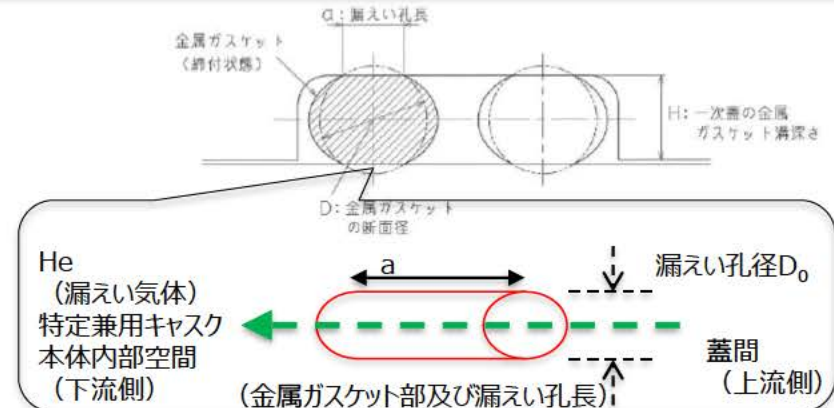
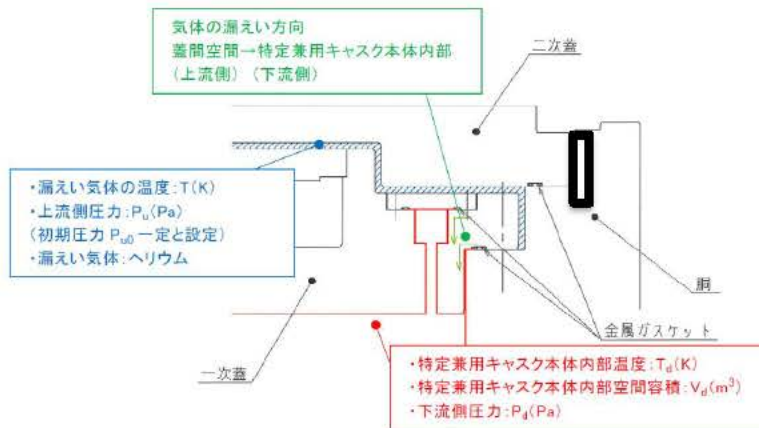
$$L = (Fc + Fm) \cdot (P_u - P_d)$$

$$Fc = \frac{\pi}{128} \times \frac{D_o^4}{a \cdot \mu}$$

$$Fm = \frac{\sqrt{2\pi R_0}}{6} \times \frac{D_o^3 \sqrt{T}}{a \cdot P_a M}$$

dPd : 特定兼用キャスク本体内部圧力の変化 (Pa)
 dt : 時間変化 (s)
 Q : 漏えい率 (Pa・m³/s)
 Td : 特定兼用キャスク本体内部温度 (K)
 Vd : 特定兼用キャスク本体内部の空間容積 (m³)
 T : 漏えい気体の温度 (K)
 L : 圧力Paにおける体積漏えい率 (m³/s)
 Pa : 流れの平均圧力 (Pa) 【Pa = (Pu + Pd) / 2】
 Fc : 連続流のコンダクタンス係数 (m³ / (Pa・s))
 Fm : 自由分子流のコンダクタンス係数 (m³ / (Pa・s))

Pu : 上流側の圧力 (Pa)
 Pd : 下流側の圧力 (Pa)
 D₀ : 漏えい孔径 (m)
 a : 漏えい孔長 (m)
 μ : 漏えい気体の粘性係数 (Pa・s)
 M : 漏えい気体の分子量 (kg/mol)
 R₀ : ガス定数 (J / (mol・K))



内は商業機密のため、非公開とします。

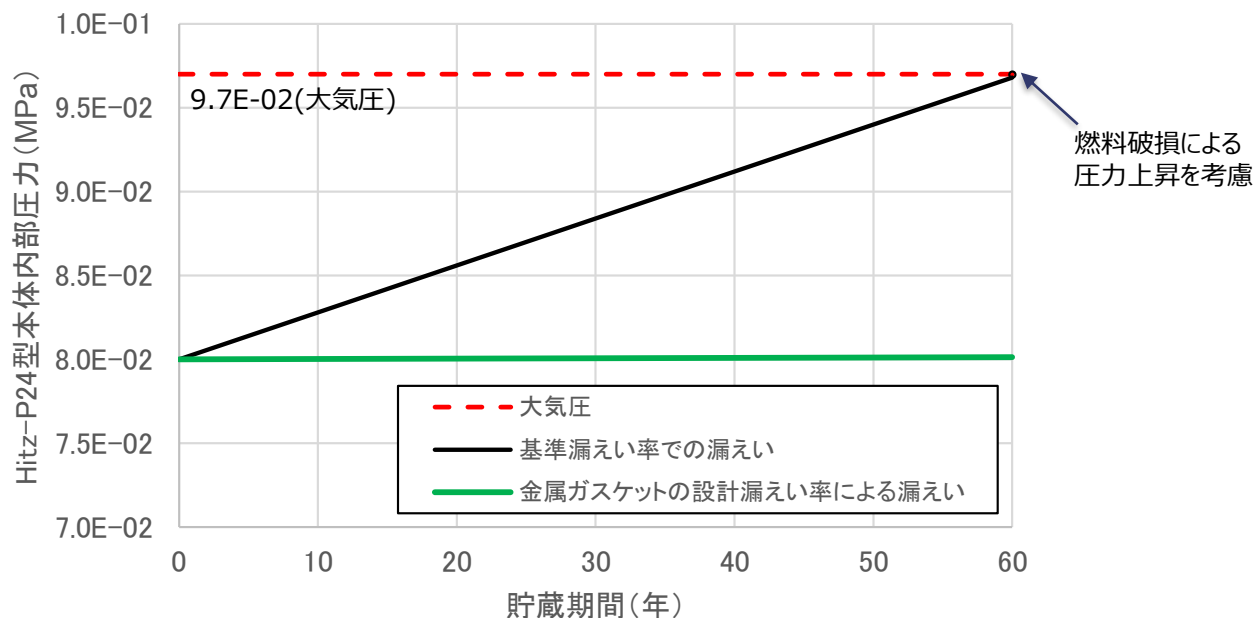
2. 設置許可基準規則への適合性（第十六条）

● 閉じ込め機能の安全評価について

(4) 閉じ込め評価結果

Hitz-P24型に用いる金属ガスケットの漏えい率は基準漏えい率、及び基準漏えい率を下回るように設定したリークテスト判定基準に対し、小さいことを確認した。

基準漏えい率 (Pa・m ³ /s)	リークテスト判定基準 (Pa・m ³ /s)	金属ガスケットの性能 (Pa・m ³ /s)
2.43×10 ⁻⁶	1.78×10 ⁻⁶	1.0×10 ⁻⁸ 以下



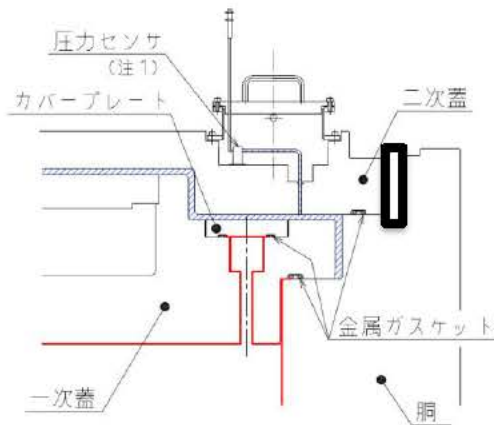
Hitz-P24型本体内部圧力の経時変化

● 閉じ込め機能の安全評価について

(5) 閉じ込め機能の監視構造

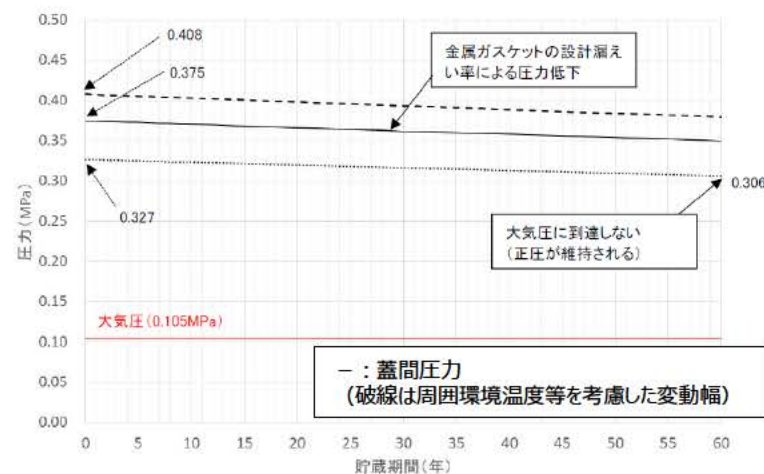
- 二次蓋に貫通部を設け、圧力センサ（圧力計）を設置する構造とし、蓋間空間の圧力を測定することにより閉じ込め機能を監視できる構造とする。
- 蓋間空間の圧力が金属ガスケットの設計漏えい率により低下^(注)しても、蓋間圧力は、設計貯蔵期間中に有意な圧力低下は生じず、正圧（大気圧）以上が維持される。

(注) 蓋間空間のガスが金属ガスケットの設計漏えい率で一次蓋側（特定兼用キャスク本体内部）及び二次蓋側（特定兼用キャスク外部）の二方向から同時に漏えいすることを想定。



(注1) 圧力センサの取付位置は限定しない。

閉じ込め機能の監視構造



金属ガスケットの設計漏えい率による蓋間圧力の経時変化

● 設計方針の妥当性

以上のとおり、設計貯蔵期間中に特定兼用キャスク本体内部を負圧に維持できる設計としている。また、一次蓋と二次蓋の間の圧力を監視できる構造としている。したがって、Hitz-P24型の閉じ込め機能に係る設計方針は妥当である。

 内は商業機密のため、非公開とします。

2. 設置許可基準規則への適合性（第十六条）

- 燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設（解釈別記 4 第 1 6 条第 5 項）（長期健全性）

《設計方針》

Hitz-P24型は、主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信頼性を有する材料及び構造とし、使用済燃料の健全性を維持する設計とする。

具体的な設計方針

- Hitz-P24型の安全機能を維持する上で重要な構成部材には、設計貯蔵期間（60年）における温度、放射線等の環境及びその環境下での腐食、クリープ、応力腐食割れ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及び性能を維持することで、使用済燃料集合体の健全性を確保する設計とする。
- Hitz-P24型の本体内面、バスケット及び使用済燃料集合体の腐食等を防止するために、使用済燃料集合体を不活性ガスであるヘリウムガスとともに封入し、Hitz-P24型表面の必要な箇所には、塗装等による防錆措置を講じる設計とする。

設計方針の妥当性確認（健全性評価）

- 設計貯蔵期間中の温度、放射線及びその環境下におけるHitz-P24型の主要な構成部材の経年変化、及び経年変化の影響を防止するための防錆措置等を考慮した上で、使用済燃料の健全性が維持されることを確認した（文献・試験データによる確認）。

設置（変更）許可申請において別途確認を要する条件

- なし。

2. 設置許可基準規則への適合性（第十六条）

● 設置許可基準規則の要求事項

設置許可基準規則^(注1)の要求事項に対するHitz-P24型の長期健全性維持における考慮を下表に示す。これらを考慮した設計方針及び設計方針の妥当性確認結果をP.47及びP.48に示す。

法令等	要求事項	長期健全性維持における考慮
設置許可基準規則 第十六条第2項第一号八	<ul style="list-style-type: none"> 燃料体等が臨界に達するおそれがないものとする。 	<ul style="list-style-type: none"> Hitz-P24型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。
設置許可基準規則 第十六条第4項第一号	<ul style="list-style-type: none"> 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。 	
設置許可基準規則 第十六条第4項第二号	<ul style="list-style-type: none"> 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。 	
設置許可基準規則 第十六条第4項第三号	<ul style="list-style-type: none"> 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。 	
設置許可基準規則解釈 ^(注2) 別記4第16条第5項	<p>上記を満たすため、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。</p> <ul style="list-style-type: none"> 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。 	<ul style="list-style-type: none"> Hitz-P24型の設計貯蔵期間は60年とする。 Hitz-P24型は、その構成部材について、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、クリープ、応力腐食割れ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、使用済燃料の健全性を維持する設計とする。 Hitz-P24型は、本体内面、バスケット及び使用済燃料集合体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する。さらに、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講じる。

(注1)「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」

(注2)「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」

2. 設置許可基準規則への適合性（第十六条）

● 審査ガイドの確認事項

審査ガイド（注1）の確認事項に対するHitz-P24型の長期健全性維持における考慮を下表に示す。これらを考慮した設計方針及び設計方針の妥当性確認結果をP.47及びP.48に示す。

確認事項（確認内容）	長期健全性維持における考慮
安全機能を維持する上で重要な兼用キャスクの構成部材は、兼用キャスクの最低使用温度における低温脆性を考慮したものであること。	安全機能を維持する上で重要な特定兼用キャスクの構成部材は、最低使用温度における低温脆性を考慮した上で、その必要とされる強度、性能を維持するように設計する。
設計貯蔵期間中の温度、放射線等の環境及び当該環境下での腐食、クリープ、応力腐食割れ等の経年変化の影響を、設計入力値又は設計基準値の算定に際し考慮していること。さらに、必要に応じて防食措置等が講じられていること。	Hitz-P24型は、特定兼用キャスクの構成部材について、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、クリープ、応力腐食割れ等の経年変化の影響を設計入力値又は設計基準値に考慮する。また、特定兼用キャスク本体及び蓋部表面の必要な箇所には、塗装等による防錆措置を講じる。
兼用キャスク内部の不活性環境を維持し、温度を制限される範囲に収めることにより、兼用キャスクに収納される使用済燃料の経年変化を低減又は防止する設計であること。	Hitz-P24型は、特定兼用キャスク本体内部、バスケット及び使用済燃料の腐食等を防止するために、使用済燃料集合体を不活性ガスであるヘリウムとともに封入して貯蔵する。経年変化要因に対して、主要な構成部材の健全性を維持することで不活性環境を維持し、温度を制限される範囲に収めることにより、使用済燃料の健全性を維持する設計とする。

（注1）「原子力発電所敷地内での輸送・貯蔵兼用乾式キャスクによる使用済燃料の貯蔵に関する審査ガイド」

2. 設置許可基準規則への適合性（第十六条）

● 特定兼用キャスク及び使用済燃料の健全性評価

(1) 温度影響

特定兼用キャスクの構成部材は、最低使用温度において低温脆化しない材料を用いるとともに、各部位の最高温度は文献等に示される健全性を維持できる範囲内であるため、熱による経年変化の影響はない。なお、バスケット（バスケットプレート）の材質であるアルミニウム合金の温度影響については、今後の審査で別途、詳細を説明する。

主要な評価部材		温度（℃）	基準値（℃）
特定兼用キャスク 構成部材	胴、底板、外筒	156	350
	一次蓋、二次蓋	124	350
	中性子遮蔽材 ^(注1)	138	149
	金属ガスケット	107	130
	バスケット（バスケットプレート）	171	250
	伝熱フィン	129	200
使用済燃料（燃料被覆管）		203	275

(注1) 設計貯蔵期間中の熱影響により質量減損が生じるため、設置許可基準規則第十六条遮蔽機能の設計方針の妥当性確認として実施した遮蔽評価において、中性子遮蔽材の質量減損（最大部位で2.0%）を考慮し、遮蔽機能が維持されることを確認している。

2. 設置許可基準規則への適合性（第十六条）

● 特定兼用キャスク及び使用済燃料の健全性評価

(2) 放射線の照射影響

設計貯蔵期間中の特定兼用キャスク構成部材及び使用済燃料の照射量は、文献等に示される機械的特性変化が見られない範囲内であるため、照射による経年変化の影響はない。

主要な評価部材		中性子照射量 ^(注1) (n/cm ²)	基準値 (n/cm ²)
特定兼用キャスク 構成部材	胴、底板、外筒	5.0×10^{14}	10^{16}
	一次蓋、二次蓋	1.8×10^{14}	10^{16}
	中性子遮蔽材	5.0×10^{14}	10^{15}
	金属ガスケット	1.8×10^{14}	10^{17}
	バスケット（バスケットプレート）	1.3×10^{15}	10^{19}
	伝熱フィン	5.0×10^{14}	10^{16}
使用済燃料（燃料被覆管）		1.3×10^{15}	$10^{21} \sim 10^{22}$

(注1) 貯蔵初期の中性子束が設計貯蔵期間中（60年間）一定であると仮定して算出した値。

(3) 腐食による影響

特定兼用キャスク外面のうち、大気に触れる部分は塗装等による防錆措置により腐食を防止する。また、特定兼用キャスク内部及び一次蓋と二次蓋の間には不活性ガスであるヘリウムを封入する設計としており、使用済燃料の腐食の影響はない。








● 設計方針の妥当性

以上のとおり、Hitz-P24型の主要な構成部材及び使用済燃料の経年変化を考慮した上で、その必要とされる強度及び性能を維持することで、使用済燃料の健全性を確保する設計としている。

3. 今後の説明スケジュール

3. 今後の説明スケジュール

- 審査での説明スケジュールを以下に示す。

条項	2021年度		2022年度	
	9月～12月	1月～3月	4月～6月	7月～9月
全般	▼9/16申請			▽補正
型式証明申請の概要	 ▼11/11 審査会合			
バスケット用材料 アルミニウム合金の説明				
4条 地震による損傷の防止				
5条 津波による損傷の防止				
6条 外部からの衝撃による 損傷の防止				
16条 燃料体等の取扱施設 及び貯蔵施設				
		▼2/8 審査会合		



地球と人のための技術をこれからも

日立造船はつないでいきます。かけがえのない自然と私たちの未来を。

Hitz
Hitachi Zosen

日立造船株式会社 <https://www.hitachizosen.co.jp/>