

資料2-1

Doc. No. L5-95LD203 R1

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[MSF-76B型]

設置許可基準規則への適合性について

2023.3.15

三菱重工業株式会社

枠囲いの内容は商業機密のため、非公開とします。

1. 設置許可基準規則への適合性(概要)	…2
2. 設置許可基準規則への適合性(第16条)	…5
3. 今後のご説明スケジュール	…14

1. 設置許可基準規則への適合性(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

下表のうち、主要な説明事項となる第四条～第六条、第十六条の説明方針を次葉以降に示す。

設置許可基準規則		特定兼用キャスクの安全機能				構造強度	長期健全性
		臨界防止	遮蔽	除熱	閉じ込め		
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(竜巻)	—	—	—	—	◎	—
第七条～十五条							
第十六条	燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設	◎	◎	◎	◎	—	◎
第十七条～三十六条							

(注)◎:審査説明事項、□:申請の範囲外

1. 設置許可基準規則への適合性(概要)

● 設置許可基準規則適合性説明に係る安全評価方法

- MSF-76B型と先行キャスク(MSF-24P(S)型)における規則適合性説明の安全評価方法の差異は下表のとおり。
- 本申請の地震、津波、竜巻、臨界防止、遮蔽、除熱、閉じ込め、長期健全性に係る安全評価方法及び解析コードは、先行キャスク(MSF-24P(S)型)と同じである。

設置許可基準規則	項目	MSF-76B型		先行キャスク(MSF-24P(S)型)
		安全評価説明事項(摘要)	安全評価方法・解析コード	
4条	地震	告示地震力による地震力に対してその安全性が損なわれるおそれがないことを、構造強度評価(応力評価)により示す。	応力評価式 ^(注1)	左記と同じ
5条	津波	告示津波による津波荷重に対してその安全性が損なわれるおそれがないことを、構造強度評価(応力評価)により示す。		
6条	竜巻	告示竜巻による竜巻荷重に対してその安全性が損なわれるおそれがないことを、構造強度評価(応力評価)により示す。		
16条	臨界防止	乾燥状態及び冠水状態における臨界評価により、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がないことを示す。	SCALE6.2.1(KENO-VI)	左記と同じ
	遮蔽	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以下となることを示す。	・線源強度:ORIGEN2 ・線量当量率:MCNP5	・線源強度:左記と同じ ・線量当量率:MCNP5 DOT3.5
	除熱	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ことを示す。	・崩壊熱量:ORIGEN2 ・温度:ABAQUS	左記と同じ
	閉じ込め	金属ガスケットの漏えい率が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性能(基準漏えい率)以上であることから放射性物質を適切に閉じ込めることを示す。	閉じ込め評価式	左記と同じ
	長期健全性	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、適切な材料・構造であること、及び使用済燃料被覆管の著しい腐食又は変形を防止できることを示す。	文献・試験データによる確認	左記と同じ

(注1)構造強度評価における許容応力はJSME金属キャスク構造規格を準拠。

1. 設置許可基準規則への適合性(概要)

● 設置許可基準規則の要件に対する適合性の概要(まとめ)

要求項目		要件	設計方針(摘要)	設計方針の妥当性 (安全評価結果摘要)
条・項	安全機能			
第2項 一号 ハ	臨界防止	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。	乾燥状態及び冠水状態における臨界評価により、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。
第4項 一号	遮蔽	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。
第4項 二号	除熱	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。
第4項 三号	閉じ込め	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。
解釈別記4 第16条 第5項	長期健全性 (経年変化の考慮)	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。

(注) 上表に記載していない要件は、型式証明申請の範囲外である。

2. 設置許可基準規則への適合性(第16条)

燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設(第十六条第4項二号)(除熱機能)

《設計方針》

[安全設計に関する方針]

MSF-76B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]

MSF-76B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。

後段審査(設置(変更)許可)で別途確認される事項

- 除熱評価で考慮した使用済燃料集合体の燃焼度及び冷却期間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。貯蔵建屋の給排気口は、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、50℃以下であること。また、貯蔵建屋壁面温度が65℃以下であること。さらに、貯蔵建屋内の周囲温度が異常に上昇しないことを監視できること。

伝熱経路図

熱解析モデル図

2. 設置許可基準規則への適合性(第16条)

● 審査ガイドの要求事項

審査ガイド^(注)の要求事項に対するMSF-76B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及び安全評価結果をP.7～13に示す。

項目	要求事項(確認内容)	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、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、MSF-76B型の実形状を三次元でモデル化し、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、MSF-76B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、伝熱計算コードABAQUSは、MSF-76B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16条)

● 燃料収納配置



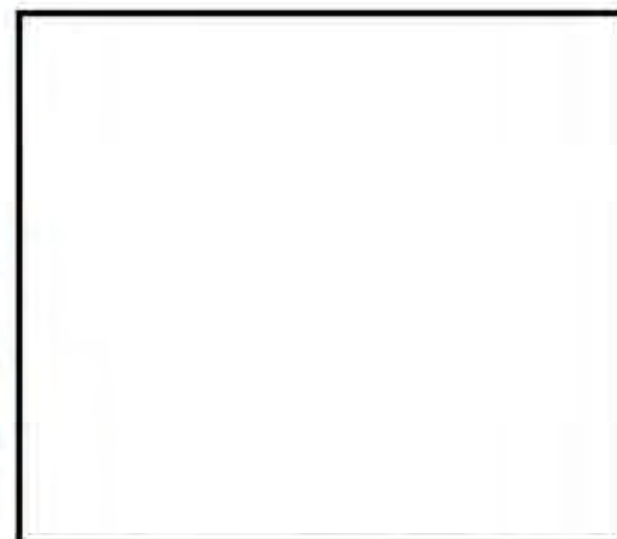
➢ 燃料収納配置は、新型8×8ジルコニウムライナ燃料と高燃焼度8×8燃料を収納する場合(配置(1))と新型8×8燃料と8×8燃料を収納する場合(配置(2))の2ケースがあり、下表及び次頁に示す制限を満足する燃料を収納可能である。

● 収納条件 配置(1)

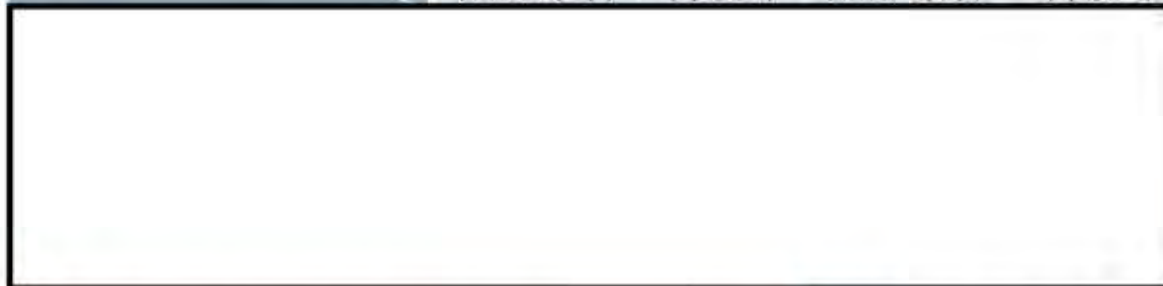
種類	BWR使用済燃料	
型式	新型8×8ジルコニウムライナ燃料	高燃焼度8×8燃料
初期濃縮度(wt%以下)	3.09	3.66
最高燃焼度(MWd/t以下)	40,000	50,000

項目	特定兼用キャスク1基当たりの仕様
崩壊熱量(kW以下)	14.2

領域	燃料集合体の型式		高燃焼度8×8燃料	
	新型8×8 ジルコニウムライナ燃料		最高燃焼度	冷却期間
	最高燃焼度 (MWd/t以下)	冷却期間 (年以上)	最高燃焼度 (MWd/t以下)	冷却期間 (年以上)



[燃料の収納配置図: 配置(1)]



2. 設置許可基準規則への適合性(第16条)

● 収納条件 配置(2)



種類	BWR使用済燃料	
型式	8×8燃料	新型8×8燃料
初期濃縮度(wt%以下)	2.80	3.09
最高燃焼度(MWd/t以下)	30,000	38,000

項目	特定兼用キャスク1基当たりの仕様
平均燃焼度(MWd/t以下)	□
崩壊熱量(kW以下)	8.4

燃料集合体の型式 領域	8×8燃料		新型8×8燃料	
	最高燃焼度 (MWd/t以下)	冷却期間 (年以上)	最高燃焼度 (MWd/t以下)	冷却期間 (年以上)
□				



[燃料の収納配置図:配置(2)]

2. 設置許可基準規則への適合性(第16条)

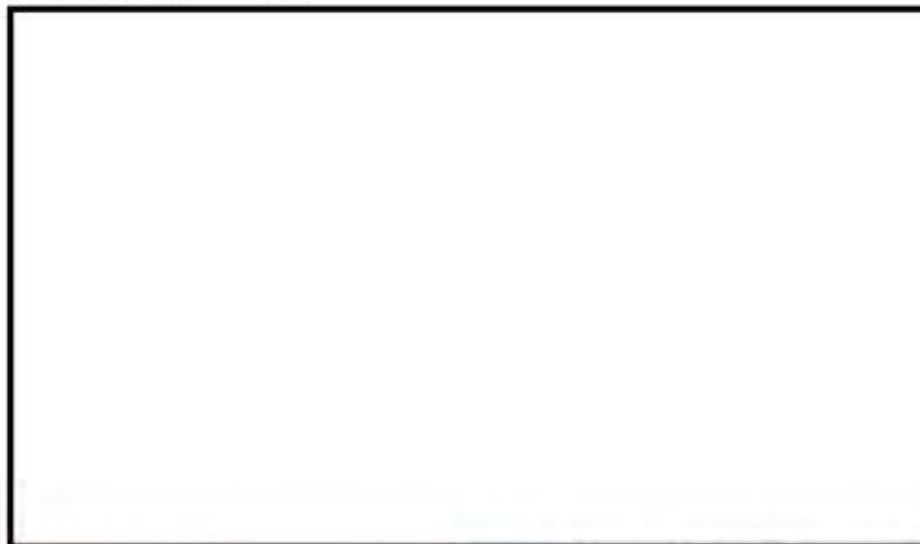
● 除熱機能の安全評価について

(1) 除熱解析評価条件(収納物仕様):配置(1)

- 温度解析へ入力する崩壊熱量は、収納領域毎に崩壊熱量が最も大きくなる燃料とする(下表参照)。
- 温度解析への入力時には、以下の保守性を考慮する。
 - ・ 温度解析では、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(14.2kW)を上回る設計崩壊熱量(16.1kW)を適用する。

収納領域	種類	崩壊熱量の計算条件		燃料集合体1体当たりの崩壊熱量(W)	領域毎の収納体数(体)	特定兼用キャスク1基当たりの設計崩壊熱量(kW)
		燃焼度(MWd/t)	冷却期間(年)			
						16.1

(注1)温度解析へ入力する燃料の選定詳細ををP111に示す。



2. 設置許可基準規則への適合性(第16条)

● 除熱機能の安全評価について

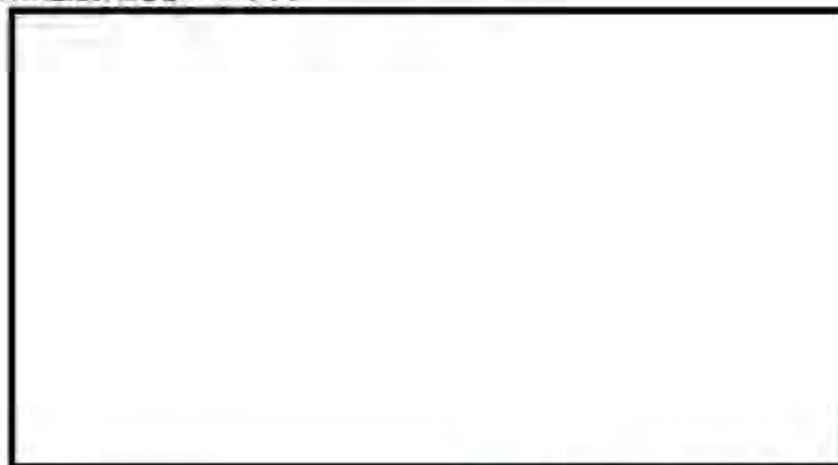
(1) 除熱解析評価条件(収納物仕様):配置(2)

- 温度解析へ入力する崩壊熱量は、収納領域毎に崩壊熱量が最も大きくなる燃料とする(下表参照)。
- 温度解析への入力時には、以下の保守性を考慮する。
 - ・ 温度解析では、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(8.4kW)を上回る設計崩壊熱量(10.3kW)を適用する。
 - ・ 温度解析では、燃料集合体温度を高めに出算するために、領域Bの赤枠以外のセルに下表に示す崩壊熱量 を設定し、領域Bの赤枠セルの崩壊熱量は、キャスク1基の総崩壊熱量が(10.3kW)となるように調整した崩壊熱量を設定する。

収納領域	種類	崩壊熱量の計算条件		燃料集合体1体当たりの崩壊熱量(W)	領域毎の収納体数(体)	特定期間キャスク1基当たりの設計崩壊熱量(kW)
		燃焼度(MWd/t)	冷却期間(年)			
						10.3

(注1)キャスク1基の総崩壊熱量が(10.3kW)となるように調整した崩壊熱量とする。

(注2)温度解析へ入力する燃料の選定詳細をP111に示す。



2. 設置許可基準規則への適合性(第16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、濃縮度、燃焼度及び冷却期間等を基に、以下保守性を考慮しつつORIGEN2コードにより算出。
 - ・ 崩壊熱量の計算では、濃縮度は収納する使用済燃料の濃縮度下限値とする。
- 収納領域毎に設計崩壊熱量が最大となる崩壊熱量の計算条件を選定。

・配置(1)

収納領域	種類	崩壊熱量の計算条件				No.	崩壊熱(W) 燃料集合体 (体当たり)	備考
		燃焼度 (MWd/t)	冷却期間 (年)	濃縮度 (%)	ウラン 質量 (kg)			

・配置(2)

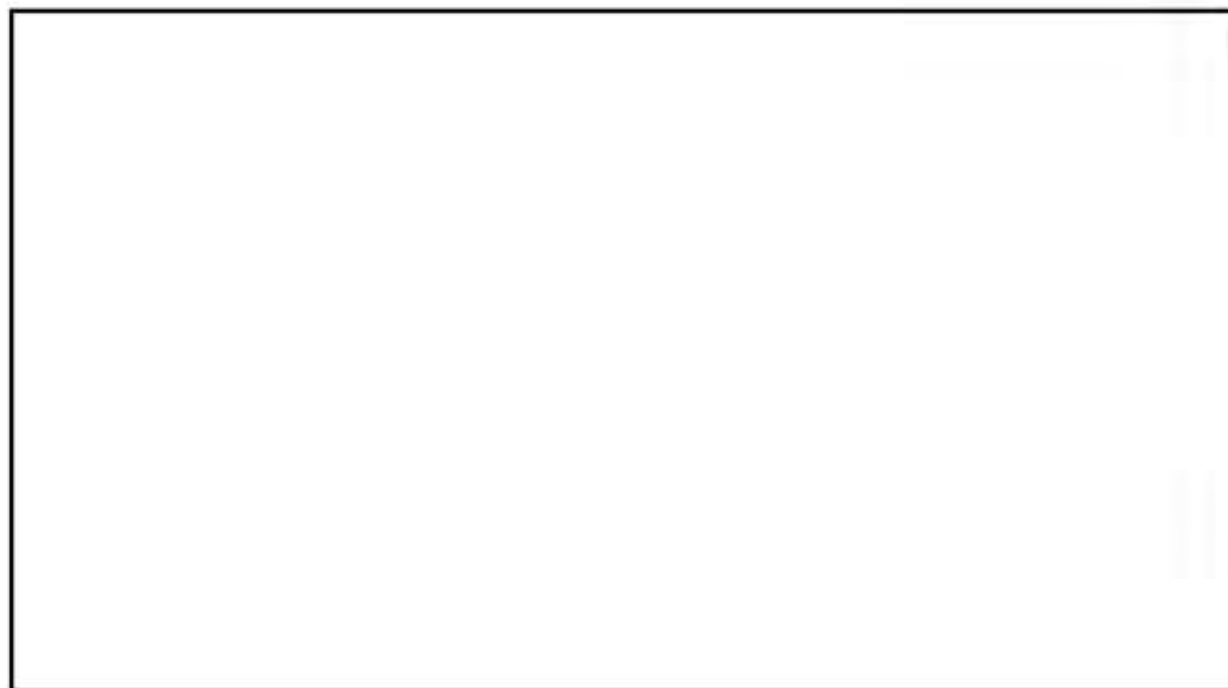
収納領域	種類	崩壊熱量の計算条件				No.	崩壊熱(W) 燃料集合体 (体当たり)	備考
		燃焼度 (MWd/t)	冷却期間 (年)	濃縮度 (%)	ウラン 質量 (kg)			

2. 設置許可基準規則への適合性(第16条)

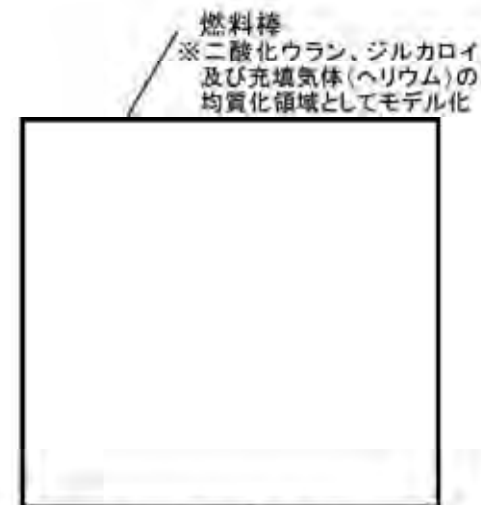
● 除熱機能の安全評価について

(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。
 - ・ 特定兼用キャスクの各部温度は、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、MSF-76B型の実形状を三次元でモデル化した全体モデルにより求める。
 - ・ 燃料被覆管の温度は、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温度を境界条件として、燃料集合体の径方向の実形状を二次元でモデル化した燃料集合体モデルにより求める。
 - ・ 燃料集合体モデルでは、軸方向への伝熱を無視し断熱とする。



全体モデル(三次元モデル)



燃料棒
※二酸化ウラン、ジルカロイ
及び充填気体(ヘリウム)の
均質化領域としてモデル化

燃料集合体モデル
(二次元モデル)
(配置(1)の例)

2. 設置許可基準規則への適合性(第16条)

● 除熱機能の安全評価について

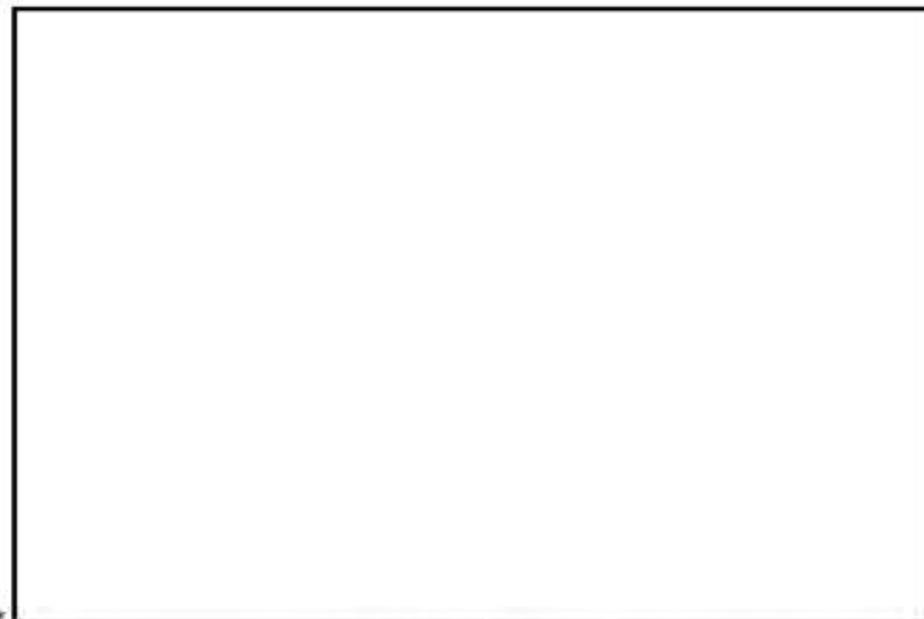
(3) 除熱解析評価条件(解析コード及び検証)

使用済燃料の崩壊熱計算に用いる燃焼計算コードORIGEN2は、MSF-76B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、MSF-76B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、新規性は無く、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)(注)
		配置(1)	配置(2)	
燃料被覆管		249	177	300(配置(1)) 200(配置(2))
特定 兼用 キャ スク	銅	137	111	350
	一次蓋	108	90	350
	一次蓋ボルト	108	90	350
	中性子遮蔽材	133	109	149
	金属ガスケット	108	90	130
	バスケット	240	171	350
	伝熱フィン	124	103	200



温度分布(配置(1)の例)

● 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、MSF-76B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、MSF-76B型の除熱機能に係る設計方針は妥当である。

3. 今後のご説明スケジュール

- 審査でのご説明スケジュールを以下に示す。

条項	2022年度		2023年度	
	1月-3月	4月-6月	7月-9月	10月-12月
全般	申請 12/28 審査会合 2/7		認可希望 ▽ 8/E	
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				
コメント回答				

MOVE THE WORLD FORWARD

**MITSUBISHI
HEAVY
INDUSTRIES
GROUP**

無断複製・転載禁止 三菱重工業株式会社