

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)

2023年5月12日
トランスニュークリア(株)



TN TOKYO

目次

1. 設置許可基準規則への適合性の一覧
2. 設置許可基準規則への適合性(第十六条)
3. 今後の想定スケジュール

(参考1)TK-26型の概要及び収納物仕様、並びに運用条件

(参考2)熱解析モデルについて

1. 設置許可基準規則への適合性の一覧

□ 設置許可基準規則での要求事項に対する評価項目の概要

設置許可基準規則		特定兼用キャスクの安全機能				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	○	○	○	○	○	—	—
第十七条～第三十六条								

(注) ○: 設計方針及び安全性能評価を説明する項目、: 申請の範囲外

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(第十六条)に対する適合性の概要



安全機能	要求事項	設計方針	設計の妥当性確認	備考
臨界防止	第2項第一号ハ 燃料体等が臨界に達するおそれがないものとする。	臨界を防止する構造とし、TK-26型の貯蔵施設への搬入から搬出までの乾燥状態、及びTK-26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、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。	冠水状態及び乾燥状態における臨界評価により、中性子実効増倍率が0.95を下回ることから臨界に達する恐れはない。	使用済燃料貯蔵施設における特定容器等の型式の設計について型式証明(M-DPC21001)を受けたTK-26型と同じ。
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。	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適切に遮蔽する設計とする。	使用済燃料集合体を線源として遮蔽評価を実施し、TK-26型表面の線量当量率が2mSv/h以下、及びTK-26型表面から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する。	同上
除熱	第4項第二号 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。	自然冷却によって使用済燃料集合体の崩壊熱を外部に放出できる設計とし、使用済燃料集合体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。	使用済燃料集合体を熱源とした除熱評価を実施し、燃料被覆管及びTK-26型を構成する部材の健全性が維持できる温度を超えないことから崩壊熱を適切に除去できる。	同上



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(第十六条)に対する適合性の概要



安全機能	要求事項	設計方針	設計の妥当性確認	備考
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使用することにより、使用済燃料集合体を封入する空間を設計貯蔵期間60年間を通じて負圧に維持すると共に、 一次蓋、二次蓋の二重閉じ込め構造とし、その蓋間を正圧として圧力を監視することにより閉じ込め機能を監視できる設計とする。	金属ガスケットは設計貯蔵期間中にTK-26型内部を負圧に維持できる漏えい率を満足することから、放射性物質を適切に閉じ込めることができる。また、 蓋部を一次蓋、二次蓋の二重閉じ込め構造とし、その蓋間を正圧として圧力を監視することで閉じ込め機能を監視できる。	使用済燃料貯蔵施設における特定容器等の型式の設計について型式証明(M-DPC21001)を受けたTK-26型と同じ。
経年変化	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。	安全機能を維持する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、必要とされる強度、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し、安全機能を維持する設計とする。	TK-26型の評価結果及び文献等に基づき設計貯蔵期間60年間における温度、放射線等の環境、及びその環境下での経年変化を考慮する必要性の有無について評価を行い、経年変化の考慮が必要な構成部材については、経年変化を考慮した上で使用済燃料の健全性が維持される。	同上

2. 設置許可基準規則への適合性(第十六条)

<臨界防止設計>

□ 設置許可基準規則の要求事項(1/2)

設置許可基準規則^(注1)の要求事項に対するTK-26型の臨界防止設計への対応を下表に示す。なお、これらの内容は、使用済燃料貯蔵施設における特定容器等の型式の設計について型式証明(M-DPC21001)を受けたTK-26型と同じである。

法令等	要求事項	臨界防止設計における対応
設置許可基準規則 第十六条第2項第一号ハ	燃料体等が臨界に達するおそれがないものとする事。	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。	貯蔵施設への搬入から搬出までの運用状態を考慮し、乾燥状態及び冠水状態において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。	バスケット格子材は設計貯蔵期間の経年変化に対して十分な信頼性を有する材料 ^(注3) 及び構造とすることで、構造健全性を維持する設計とする。
	金属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。	TK-26型は無限配列にした体系(完全反射)とすることで相互の中性子干渉を考慮する。

(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」

(注3)補足説明資料「バスケット用ほう素添加アルミニウム合金(1B-A3J04-O)」で別途説明する。

2. 設置許可基準規則への適合性(第十六条)

< 臨界防止設計 >

□ 設置許可基準規則の要求事項 (2/2)

法令等	要求事項	臨界防止設計における対応
貯蔵事業許可 基準規則解釈 (注2) 第3条	未臨界性に有意な影響を与える以下の因子が考慮されていること。 ①配置・形状 ✓ 金属キャスクの配置、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 ✓ 滑動等による金属キャスクの配置の変化 ✓ 事故時のバスケット及び使用済燃料集合体の変形(損傷)	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、TK-26型は床等に固定するため滑動は生じず配置の変化はない。また、設計上考慮すべき自然現象(地震、津波及び竜巻)に対してバスケットに塑性変形は生じない。 ✓ TK-26型が無限に配列した体系(完全反射) ✓ バスケット格子材、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集合体の配置
	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。 ✓ 中性子吸収材の濃度(ほう素添加量) ✓ バスケット格子材の寸法公差 ✓ なお、ほう素の均質性は製造管理により担保(製造確認試験及び製品のほう素分析) 設計貯蔵期間経過後にバスケット格子材に含まれる ¹⁰ Bの減損割合は保守的に評価しても10 ⁻⁶ 程度であり無視し得る。
	③減速材(水)の影響 ✓ 使用済燃料が冠水することの考慮。	冠水状態(水密度:1.0g/cm ³)を考慮。
	④燃焼度クレジット 使用済燃料を金属キャスクに収納するに当たっては、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。	採用しない。 型式証明申請の範囲外。(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(注3) 別記4第16号 第5項	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。 ✓ 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。	TK-26型は、設計貯蔵期間は60年とし、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、必要とされる強度、性能を維持する設計とする。

(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」

(注3)「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」

2. 設置許可基準規則への適合性(第十六条)

<臨界防止設計>

□ 審査ガイドの確認内容

審査ガイド^(注)の確認内容に対するTK-26型の臨界防止設計への対応を下表に示す。なお、これらの内容は、使用済燃料貯蔵施設における特定容器等の型式の設計について型式証明(M-DPC21001)を受けたTK-26型と同じである。

項目	確認内容	臨界防止設計における対応
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、TK-26型は床等に固定するため滑動は生じず配置の変化はない。
	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。	<ul style="list-style-type: none"> ✓ TK-26型が無限に配列した体系(完全反射) ✓ バスケット格子材、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集合体の配置
	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。	バスケット格子材は設計貯蔵期間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、構造健全性を維持する設計とする。
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。 <ul style="list-style-type: none"> ✓ 中性子吸収材の濃度(ほう素添加量) ✓ バスケット格子材の寸法公差 ✓ なお、ほう素の均質性は製造管理により担保(製造確認試験及び製品のほう素分析)
	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にバスケット格子材に含まれる ¹⁰ Bの減損割合は保守的に評価しても 10^{-6} 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:1.0g/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SCALE6.2.1(KENO-VD)は、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が確認されている。
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)に対してバスケットに塑性変形は生じない。

1

(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)

< 臨界防止設計 >

□ 臨界防止機能の安全評価について

(1) 臨界解析の評価条件(収納物仕様)

- ✓ 解析に用いる収納物仕様は、反応度の高い17×17燃料の48,000MWd/t型(A型)及び15×15燃料の48,000MWd/t型(A型)とし、以下のとおり保守的な条件を設定する。
- ✓ ペレット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、反応度が高くなるA型燃料で代表する。
- ✓ ウラン濃縮度は照射により減損しているが、燃焼度0GWd/tの新燃料とする。
- ✓ ウラン濃縮度は燃料集合体の上限値とする。
- ✓ 中性子吸収効果のあるバーナブルポイズン集合体は保守的に無視する。



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
使用済燃料集合体 1体の仕様	種類	17×17燃料及び15×15燃料の 48,000MWd/t型(A型・B型)及び 39,000MWd/t型(A型・B型)		17×17燃料及び15×15燃料の 48,000MWd/t型(A型)	
	初期濃縮度(wt%)	17×17燃料: ≤4.2、15×15燃料: ≤4.1		17×17燃料: 4.2、15×15燃料: 4.1	
	ウラン重量(kg)				
	最高燃焼度(GWd/t)	17×17燃料: ≤48 15×15燃料: ≤47	17×17燃料: ≤44 15×15燃料: ≤43	0	
	冷却期間(年)	48,000MWd/t型 A型: ≥15、B型: ≥20 39,000MWd/t型 A型: ≥20、B型: ≥20		—	
バーナブルポイズン 集合体の仕様	照射期間(日)	17×17燃料: 15×15燃料:		—	
	冷却期間(年)(注)	48,000MWd/t型 ≥15、又は≥20 39,000MWd/t型 ≥20		—	
TK-26型1基当たり	平均燃焼度(GWd/t)	17×17燃料: ≤44 15×15燃料: ≤43		0	
配置					

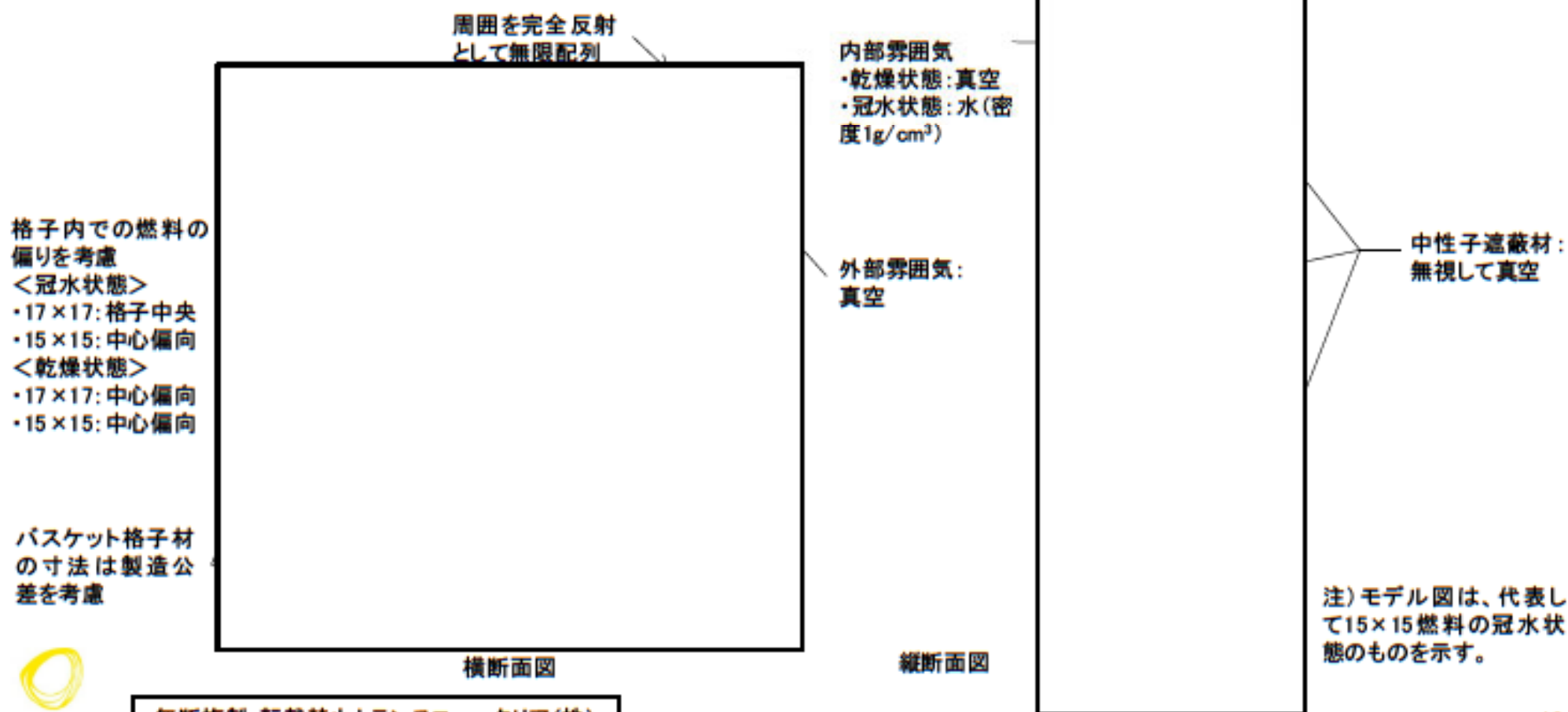
(注) バーナブルポイズン集合体が挿入される使用済燃料集合体タイプの冷却期間による。

2. 設置許可基準規則への適合性(第十六条)

< 臨界防止設計 >

(2) 臨界解析の評価条件(解析モデル)

- ✓ TK-26型及び使用済燃料集合体は実形状を三次元でモデル化する。
- ✓ TK-26型が無限に配列した体系(完全反射)とする。
- ✓ バスケット格子内で使用済燃料集合体が偏ることを考慮し、中性子実効増倍率が最も大きくなる配置とする。
- ✓ バスケット格子材は、製造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。
- ✓ 中性子吸収材中のほう素添加量は仕様上の下限値とする。(10B減損率は10⁻⁶程度であり無視し得るレベル)
- ✓ 中性子遮蔽材は無視し、真空中に置換する。



2. 設置許可基準規則への適合性(第十六条)

< 臨界防止設計 >

(3) 臨界解析の評価条件(解析コード及び検証)

- ✓ 臨界解析には米国のオークリッジ国立研究所(ORNL)で開発された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のKENO-VI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、特定兼用キャスクと類似する臨界実験のベンチマーク解析を実施し、その妥当性を確認している。
- ✓ 本解析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のある(注)コードである。

(注)使用済燃料貯蔵施設における特定容器等の型式の設計について型式証明(M-DPC21001)を受けたTK-26型等。

(4) 臨界解析評価結果

- ✓ 乾燥状態に加え胴内外の水の存在等、TK-26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解析評価を実施し、中性子実効増倍率が0.95を下回ることを確認した。なお、17×17燃料及び15×15燃料収納時で中性子実効増倍率は同じであり、両者を混載した場合であっても中性子実効増倍率は同等となる。

項目		評価結果(注)(keff+3σ)		評価基準
		17×17燃料収納時	15×15燃料収納時	
中性子実効増倍率	冠水状態	0.914	0.914	0.95以下
	乾燥状態	0.409	0.404	

注)統計誤差(σ)の3倍を考慮した値

□ 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、TK-26型の臨界防止機能に係る設計方針は妥当である。

□ 設置(変更)許可申請において別途確認を要する条件

- ✓ TK-26型の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)

< 遮蔽設計 >

□ 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TK-26型の遮蔽設計への対応を下表に示す。なお、これらの内容は、使用済燃料貯蔵施設における特定容器等の型式の設計について型式証明(M-DPC21001)を受けたTK-26型と同じである。

法令等	要求事項	遮蔽設計における対応
設置許可基準規則第十六条第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。	TK-26型は使用済燃料集合体を線源として、適切な遮蔽能力として、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100 μ Sv/h以下となるように設計する。
設置許可基準規則解釈 ^(注2) 別記4第16号第2項	「適切な遮蔽能力を有する」とは、以下をいう。 <ul style="list-style-type: none"> ✓ 貯蔵事業許可基準規則解釈^(注3)第4条第1項第3号に規定する金属キャスクの設計に関する基準を満たすこと。 ✓ 使用済燃料を金属キャ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。 	型式証明申請の範囲外。(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"> ✓ 兼用キャスク表面の線量当量率が1時間当たり2ミリシーベルト以下であり、かつ、兼用キャスク表面から1メートル離れた位置における線量当量率が1時間当たり100マイクロシーベルト以下であること。 	TK-26型は、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、TK-26型表面の線量当量率を2mSv/h以下とし、かつ、TK-26型表面から1m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。
	<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。 	型式証明申請の範囲外。(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号第5項	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。 <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。 	TK-26型は、設計貯蔵期間は60年とし、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、必要とされる強度、性能を維持する設計とする。

(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)「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」

(注3)「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)

< 遮蔽設計 >

□ 審査ガイドの確認内容

審査ガイド^(注)の確認内容に対するTK-26型の遮蔽設計への対応を下表に示す。なお、これらの内容は、使用済燃料貯蔵施設における特定容器等の型式の設計について型式証明(M-DPC21001)を受けたTK-26型と同じである。

項目	確認内容	遮蔽設計における対応
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、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。 燃焼計算コードORIGEN2は、TK-26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が確認されている。
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、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"> TK-26型の線量当量率は、特定兼用キャスクの実形状を三次元でモデル化し、使用済燃料集合体の放射線線源等を条件として遮蔽解析コードMCNP5により求める。その際、中性子遮蔽材の質量減損\squareを保守的に\squareとして考慮する。 MCNP5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解析により検証され適用性が確認されている。
	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100 μ Sv/h以下とすること。	TK-26型は、表面の線量当量率を2mSv/h以下とし、かつ、表面から1m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。
敷地境界における実効線量評価	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 直接線及びスカイシャイン線の評価 ✓ ソースターム ✓ 遮蔽解析コード等 ✓ 通常貯蔵時の線量 	型式証明申請の範囲外。(設置(変更)許可申請において別途確認を要する条件)
応急復旧	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。	型式証明申請の範囲外。(設置(変更)許可申請において別途確認を要する条件)

1



(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)

<遮蔽設計>

□ 遮蔽機能の安全評価について

(1) 遮蔽解析の評価条件(収納物仕様)

遮蔽解析で用いる燃料仕様は下表のとおりであり、線源強度は初期濃縮度、燃焼度、及び冷却期間を基にORIGEN2コードで計算する。なお、遮蔽解析を行う燃料タイプは、線源の包絡性を考慮し17×17燃料 48,000MWd/t型(A型・B型)を対象とする。

- ✓ 初期濃縮度は、収納する使用済燃料集合体の濃縮度下限値とする。
- ✓ 遮蔽解析では、中央部、外周部とも最高燃焼度を設定する。
- ✓ 使用済燃料集合体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。
- ✓ パーナブルポイズン集合体は放射化による線源強度については考慮するが、構造材の遮蔽効果は無視する。



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
使用済燃料集合体 1体の仕様	種類	17×17燃料及び15×15燃料の 48,000MWd/t型(A型・B型)及び 39,000MWd/t型(A型・B型)		17×17燃料:48,000MWd/t型(A型・B型)	
	初期濃縮度(wt%)	17×17燃料: ≤4.2 15×15燃料: ≤4.1		□	
	ウラン重量(kg)			□	
	最高燃焼度(GWd/t)	17×17燃料: ≤48 15×15燃料: ≤47	17×17燃料: ≤44 15×15燃料: ≤43	≤48	≤44
	冷却期間(年)	48,000MWd/t型 A型: ≥15、B型: ≥20 39,000MWd/t型 A型: ≥20、B型: ≥20		A型: 15 B型: 20	
パーナブルポイズン 集合体の仕様	照射期間(日)	17×17燃料 15×15燃料		□	
	冷却期間(年)(注)	48,000MWd/t型 ≥15、又は≥20 39,000MWd/t型 ≥20		A型燃料に挿入する場合: 15 B型燃料に挿入する場合: 20	
TK-26型1基当たり	平均燃焼度(GWd/t)	17×17燃料: ≤44 15×15燃料: ≤43		45.8	
配置				注) 数値は燃焼度(GWd/t)を示す。 	

(注) パーナブルポイズン集合体が挿入される使用済燃料集合体タイプの冷却期間による。

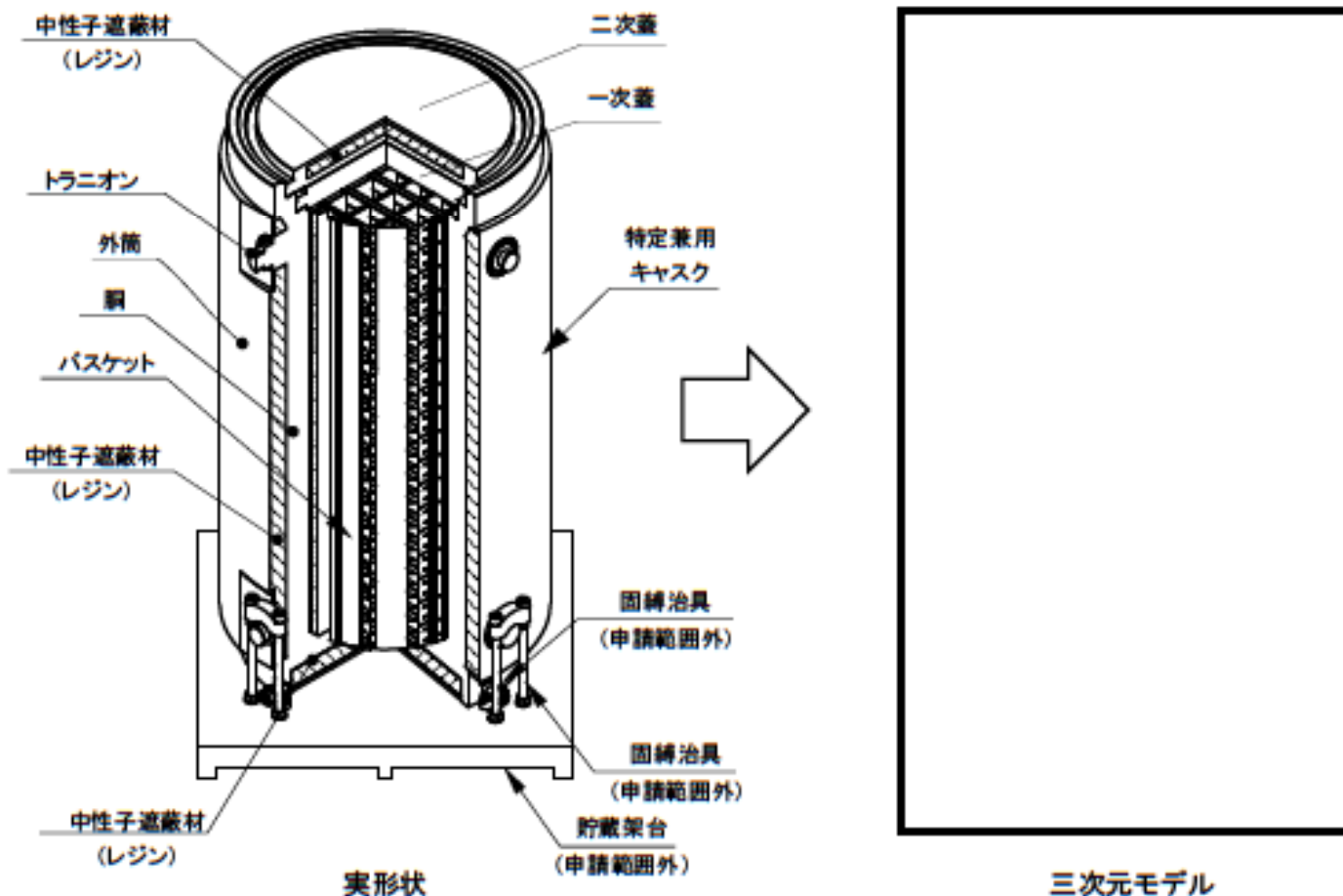
2. 設置許可基準規則への適合性(第十六条)

<遮蔽設計>

(2) 遮蔽解析の評価条件(解析モデル)

遮蔽解析は、MCNP5コードにより実施する。解析モデルは以下のとおり配置・形状等適切に考慮し、保守的な条件とする。

- ✓ TK-26型及び使用済燃料集合体を三次元でモデル化する。
- ✓ 使用済燃料集合体は、蓋方向、底部方向に移動したモデルとし、線源である使用済燃料集合体が評価点により近くなる設定とする。
- ✓ バーナブルポイズン集合体は放射化による線源強度については考慮するが、構造材の遮蔽効果は無視する。
- ✓ 各寸法は公称値でモデル化するが、各構成部材の厚さのマイナス側の寸法公差を原子個数密度の設定(密度係数)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の質量減損 を保守的に として考慮する。



2. 設置許可基準規則への適合性(第十六条)

<遮蔽設計>

(3) 遮蔽解析の評価条件(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の評価には、米国のオークリッジ国立研究所(ORNL)で開発された公開コードであるORIGEN2コード、ライブラリはORIGEN2コードに内蔵されている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、許認可で使用実績のある^(注1)燃焼計算コード及びライブラリである。

(注1) 使用済燃料貯蔵施設における特定容器等の型式の設計について型式証明(M-DPC21001)を受けたTK-26型等。

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の評価には、米国のロスアラモス国立研究所(LANL)で開発されたMCNP5コードを用いる。
- ✓ MCNP5コードは、放射性物質輸送・貯蔵容器などの遮蔽計算に用いられている。TN-12/2型輸送容器の中性子及びガンマ線量率分布⁽¹⁾についてMCNP4Aコード^(注2)による計算値と比較し、測定値と計算値は概ね一致していることが確認されている。
- ✓ TN-12/1型輸送容器の中性子線量率分布⁽²⁾、NFT-38B型輸送容器の中性子及びガンマ線量率分布⁽²⁾について、MCNP5コードで計算した結果と比較され傾向が概ね一致していることが確認されている。
- ✓ MCNP5コードは技術的な特殊性、新規性は無く、許認可で使用実績のある遮蔽解析コードである^{(3)、(4)}。

(注2) MCNP5コードの旧バージョンであるが、主な変更点はプログラム言語の変更であり、物理・数学モデルは同じである。

[参考文献]

(1) H. Taniuchi, and F. Matsuda, "Dose rate measurements and calculation of TN-12/2 packages", Nuclear Technology, Vol.127, pp.88-101, (1999)

(2) 浅見光史 ほか, 「放射性物質輸送容器のモンテカルロ法による遮蔽安全評価手法ガイドライン原案の策定」, 海上技術安全研究所報告 第13巻 第1号 研究調査資料, (2013)

(3) 原子炉等規制法第四十三条の二十六の二第1項の規定によるTK-26型の設計についての型式証明(M-DPC21001)

(4) 国立大学法人東京工業大学, 「核燃料輸送物設計承認申請」, 東工大研 第4-3号, (2016)



2. 設置許可基準規則への適合性(第十六条)

<遮蔽設計>

(4) 遮蔽解析評価結果

遮蔽解析評価により、TK-26型の表面及び表面から1m離れた位置における線量当量率は、評価基準値を下回ることを確認した。

項目	評価結果 ^(注)		評価基準
	17×17燃料収納時		
	A型	B型	
表面線量当量率	1.2mSv/h	1.0mSv/h	2mSv/h
表面から1m離れた位置における線量当量率	82 μ Sv/h	75 μ Sv/h	100 μ Sv/h

(注)15×15燃料A型及びB型の線量当量率は、それぞれ 17×17燃料A型及びB型に包絡される。

□ 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、基準値を満足することから、TK-26型は使用済燃料集合体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、TK-26型の遮蔽機能に係る設計方針は妥当である。

□ 設置(変更)許可申請において別途確認を要する条件

- ✓ TK-26型の遮蔽機能に関する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必要な措置が講じられること。
- ✓ 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、原子力発電所敷地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)

<除熱設計>

□ 設置許可基準規則の要求事項(1/2)

設置許可基準規則^(注1)の要求事項に対するTK-26型の除熱設計への対応を下表に示す。なお、これらの内容は、使用済燃料貯蔵施設における特定容器等の型式の設計について型式証明(M-DPC21001)を受けたTK-26型と同じである。

法令等	要求事項	除熱設計における対応
設置許可基準規則第十六条第4項第二号	使用済燃料の崩壊熱を適切に除去できるものとする。	TK-26型は動力を用いずに使用済燃料集合体の崩壊熱をTK-26型の外表面に伝え、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 (設置許可基準規則解釈 ^(注3) 別記4第16号3項より)	「崩壊熱を適切に除去できるもの」とは、以下をいう。	TK-26型は、使用済燃料集合体を熱源とした除熱評価を実施し、燃料被覆管及びTK-26型を構成する部材の健全性が維持できる温度を超えないように設計する。
	✓ 使用済燃料の温度を、被覆管のクリーブ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。	
	✓ 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できる設計であること。	
	✓ 貯蔵建屋(使用済燃料貯蔵施設において金属キャスク等を収納する建物をいう。以下同じ。)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。(設置(変更)許可申請において別途確認を要する条件)
	✓ 貯蔵建屋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。	

(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」

(注3)「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」



2. 設置許可基準規則への適合性(第十六条)

< 除熱設計 >

□ 設置許可基準規則の要求事項(2/2)

法令等	要求事項	除熱設計における対応
貯蔵事業許可基準規則解釈(注2)第17条第1項 (設置許可基準規則解釈(注3)別記4第16号第3項より)	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。	TK-26型の外表面の温度を測定できる設計とする(注4)。
設置許可基準規則解釈別記4第16号第5項	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。 ✓ 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。	TK-26型は、設計貯蔵期間は60年とし、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、必要とされる強度、性能を維持する設計とする。

(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」

(注3)「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」

(注4)除熱機能に関する補足説明資料の別紙4-2表に表面温度測定作業に関して例示されている。

2. 設置許可基準規則への適合性(第十六条)

＜除熱設計＞

□ 審査ガイドの確認内容

審査ガイド^(注)の確認内容に対するTK-26型の除熱設計への対応を下表に示す。なお、これらの内容は、使用済燃料貯蔵施設における特定容器等の型式の設計について型式証明(M-DPC21001)を受けたTK-26型と同じである。

項目	確認内容	除熱設計における対応
使用済燃料の崩壊熱評価	使用済燃料の崩壊熱は、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、燃料体の実形状、燃焼度、濃縮度、冷却年数等を条件として計算した核種の生成及び崩壊から発熱量として求めること。	<ul style="list-style-type: none"> ● 崩壊熱は、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。 ● 燃焼計算コードORIGEN2は、TK-26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。
兼用キャスク各部の温度評価	兼用キャスクの各部の温度は、検証され適用性が確認された伝熱解析コードを使用して求めること。また、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、及び兼用キャスクの実形状を適切にモデル化すること。	<ul style="list-style-type: none"> ● TK-26型は、その実形状を二次元で適切にモデル化し、使用済燃料集合体の崩壊熱、外部からの入熱及び周囲温度等を条件とし、ABAQUSコードにより求める。 ● ABAQUSコードは、多くの伝熱解析に使用された実績があり、貯蔵容器の定常伝熱試験に対してその解析結果と比較検討することにより妥当性が検証されている。
	求めた温度は、安全機能及び兼用キャスクの構造強度を維持する観点から、設計上想定される状態において、兼用キャスクの構成部材が健全性を保つ範囲に収まること。	TK-26型の各部の温度は、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ように設計する。
燃料被覆管の温度評価	燃料被覆管の温度は、検証され適用性が確認された伝熱解析コードを使用して求めること。	燃料被覆管の温度は、伝熱解析に用いることの妥当性が検証されたABAQUSコードを使用し、燃料被覆管の構造健全性を維持できる温度以下となるように設計する。
	使用済燃料の崩壊熱、及び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。	燃料被覆管の温度評価においては、使用済燃料集合体の崩壊熱とTK-26型の除熱解析で求めたバスケットの温度を境界条件として、使用済燃料集合体の軸直角方向断面の実形状を二次元で適切にモデル化する。
貯蔵建屋の除熱評価	貯蔵建屋を設置する場合は、兼用キャスクの除熱機能を阻害しないこと。また、貯蔵建屋の給排気口は積雪等により閉塞しないこと。	型式証明申請の範囲外。(設置(変更)許可申請において別途確認を要する条件)

△ 1

(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)

<除熱設計>

□ 除熱機能の安全評価について

(1) 除熱解析の評価条件(収納物仕様)(1/2)

除熱解析に用いる燃料タイプは、崩壊熱量の最も高い17×17燃料 48,000MWd/t型(A型)^(注)とし、下表の初期濃縮度、燃焼度、及び冷却期間を基にORIGEN2コードで計算する。

- ✓ 初期濃縮度は、収納する使用済燃料集合体の濃縮度下限値とする。
- ✓ 除熱解析では、燃料集合体最高温度を高め評価するため、中央部(12体)に最高燃焼度燃料の崩壊熱を設定し、外周部(14体)にはTK-26型1基当たりの総崩壊熱量が平均燃焼度の崩壊熱量26体分(17.2kW)となるように調整した崩壊熱量(40.6GWd/t相当)を設定する。**なお、除熱解析では、使用済燃料の軸方向燃焼度分布を考慮した設計崩壊熱量()を適用する。**
- ✓ 使用済燃料集合体の軸方向燃焼度分布を考慮して、崩壊熱量を計算する。
- ✓ 伝熱体となるバーナブルポイズン集合体は、安全側に無視する。

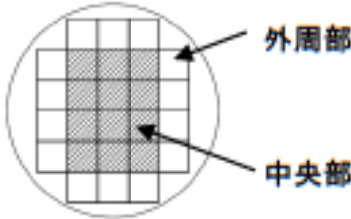
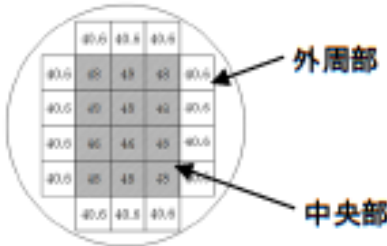
(注)A型の方がB型よりも燃焼度が高く、冷却期間が短いため、崩壊熱量が大きい。



2. 設置許可基準規則への適合性(第十六条)

<除熱設計>

(1) 除熱解析の評価条件(収納物仕様)(2/2)

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
使用済燃料集合体 1体の仕様	種類	17×17燃料及び15×15燃料の 48,000MWd/t型(A型・B型)及び 39,000MWd/t型(A型・B型)		17×17燃料:48,000MWd/t型(A型)	
	初期濃縮度(wt%)	17×17燃料: ≤4.2 15×15燃料: ≤4.1		□	
	ウラン重量(kg)	□		□	
	最高燃焼度(GWd/t)	17×17燃料: ≤48 15×15燃料: ≤47	17×17燃料: ≤44 15×15燃料: ≤43	48	40.6
	冷却期間(年)	48,000MWd/t型 A型: ≥15、B型: ≥20 39,000MWd/t型 A型: ≥20、B型: ≥20		15	
バーナブルポイズン 集合体の仕様	照射期間(日)	17×17燃料: □ 15×15燃料: □		—	
	冷却期間(年)(注)	48,000MWd/t型 ≥15、又は≥20 39,000MWd/t型 ≥20		—	
TK-26型1基当たり	平均燃焼度(GWd/t)	17×17燃料: ≤44 15×15燃料: ≤43		44	
配置				 <p>注)数値は燃焼度(GWd/t)を示す。</p>	

(注)バーナブルポイズン集合体が挿入される使用済燃料集合体タイプの冷却期間による。



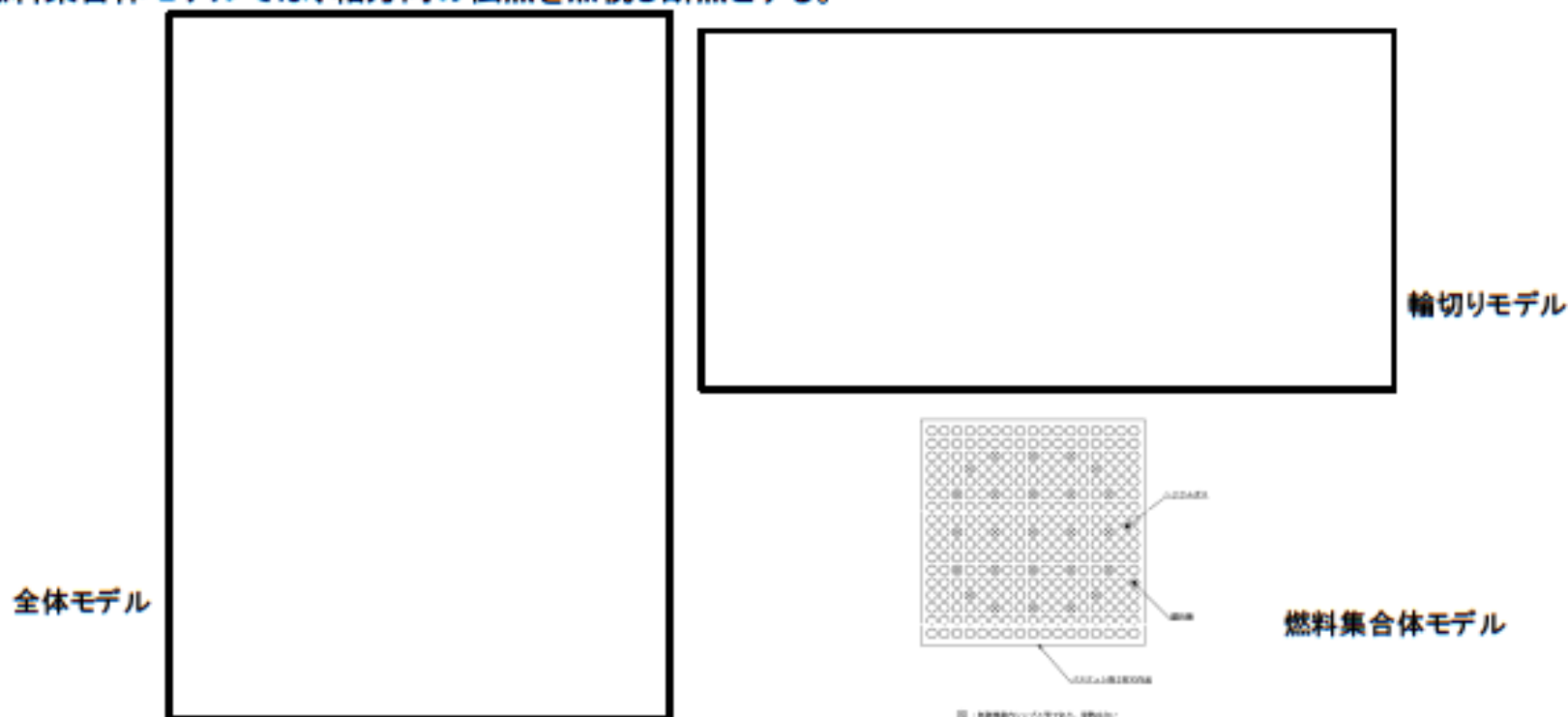
2. 設置許可基準規則への適合性(第十六条)

< 除熱設計 >

(2) 除熱解析の評価条件(解析モデル)

除熱解析は、ABAQUSコードを用いて実施する。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。

- ✓ 各部の温度は、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。(参考2参照)
- ✓ TK-26型の配置は、配列ピッチ3.5mとする。
- ✓ 全体モデルでは、TK-26型底面から貯蔵架台への伝熱は無視し断熱とする。
- ✓ 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。



(3) 除熱解析の評価条件(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、TK-26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、TK-26型の構成部材及び燃料被覆管の温度評価に用いる伝熱計算コードABAQUSは、TK-26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解析コードである。



2. 設置許可基準規則への適合性(第十六条)

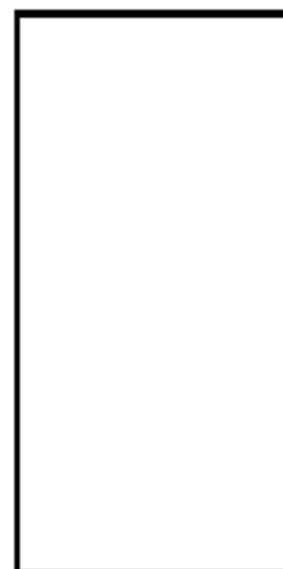
<除熱設計>

(4) 除熱解析の評価結果

- ✓ 貯蔵時における除熱解析により、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。

主な評価部位		評価結果	設計基準値
使用済燃料集合体(燃料被覆管)		255°C	275°C
特定兼用 キャスク 構成部材	胴	151°C	350°C
	一次蓋(注)	107°C	350°C
	中性子遮蔽材	143°C	150°C
	金属ガスケット	106°C	130°C
	バスケット格子材	225°C	250°C
伝熱フィン		141°C	200°C

(注)一次蓋ボルト含む。



全体モデル



燃料集合体モデル



輪切りモデル

□ 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温度は、健全性を維持できる温度以下であり、TK-26型は使用済燃料集合体の崩壊熱を適切に除去できる設計である。したがって、TK-26型の除熱機能に係る設計方針は妥当である。

□ 設置(変更)許可申請において別途確認を要する条件

- ✓ TK-26型の除熱機能に関する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必要な措置が講じられること。
- ✓ TK-26型の周囲温度が-20°C以上50°C以下、貯蔵建屋壁面温度が65°C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。
- ✓ TK-26型を貯蔵する貯蔵建屋は、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。また、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。



2. 設置許可基準規則への適合性(第十六条)

<閉じ込め設計>

□ 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TK-26型の閉じ込め設計への対応を下表に示す。なお、これらの内容は、使用済燃料貯蔵施設における特定容器等の型式の設計について型式証明(M-DPC21001)を受けたTK-26型と同じである。

法令等	要求事項	閉じ込め設計における対応
設置許可基準規則第十六条第四項第三号	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。	TK-26型は、使用済燃料集合体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 ^(注2) 第5条第1項第1号及び第2号	「限定された区域に適切に閉じ込めることができるもの」とは、以下をいう。 <ul style="list-style-type: none"> ✓ 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。 ✓ 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。 	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60年間を通じて、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、使用済燃料集合体を内封する空間をTK-26型の外部から隔離する設計とする。
貯蔵事業許可基準規則 ^(注3) 第17号第1項第1号	✓ 蓋部が有する閉じ込め機能を監視できること。	蓋間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 ^(注3) 別記4第16号第5項	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。 <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。 	TK-26型は、設計貯蔵期間は60年とし、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、必要とされる強度、性能を維持する設計とする。

(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」

(注3)「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」



2. 設置許可基準規則への適合性(第十六条)

<閉じ込め設計>

□ 審査ガイドの確認内容

審査ガイド^(注)の確認内容に対するTK-26型の閉じ込め設計への対応を下表に示す。なお、これらの内容は、使用済燃料貯蔵施設における特定容器等の型式の設計について型式証明(M-DPC21001)を受けたTK-26型と同じである。

項目	確認内容	閉じ込め設計における対応
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、一次蓋と二次蓋との間の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。	一次蓋及び二次蓋による二重の構造とし、蓋及び蓋貫通孔のシール部に金属ガスケットを用いる。また、蓋間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。
負圧維持	兼用キャスクの内部の放射性物質が外部へ漏えいしないよう、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。	設計貯蔵期間60年間を通じて、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。
密封境界部の漏えい率	密封境界部の漏えい率は、上記負圧維持を満たすものであること。また、使用する金属ガスケット等のシールの性能は、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60年間を通じて、使用済燃料集合体を内封する空間を負圧に維持でき、その漏えい率を満足する金属ガスケットを使用する。
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、内部初期圧力及び自由空間容積、初期の蓋間圧力及び蓋間の容積、温度等を条件として、適切な評価式を用いて求められていること。	密封境界部の漏えい率は、設計貯蔵期間、内部初期圧力及び自由空間容積、初期の蓋間圧力、及び蓋間の容積、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て評価する。
兼用キャスクの衝突評価	損壊モードに応じた衝突物又は落下物を抽出し、衝突物又は落下物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。 兼用キャスクに収納される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、使用済燃料の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。(設置(変更)許可申請において別途確認を要する条件)
閉じ込め機能の修復性	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。	型式証明申請の範囲外。(設置(変更)許可申請において別途確認を要する条件)

(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)

＜閉じ込め設計＞

□ 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)

閉じ込め機能評価に用いる収納物仕様は、燃料棒の温度が最も高い場合に燃料棒内圧が高くなり、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)及び15×15燃料(A型)を評価対象とする。なお、15×15燃料(A型)評価時の温度条件は安全側に17×17燃料(A型)の条件と同じとする。

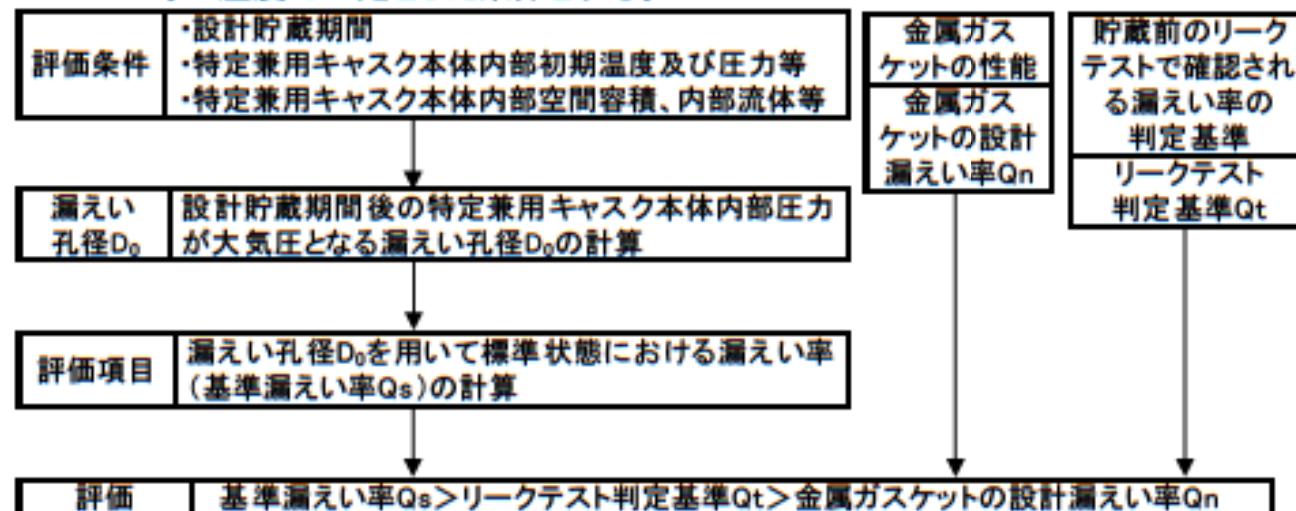
- ✓ 燃料棒からの核分裂生成ガスの放出率(0.1%破損)を仮定する。
- ✓ 特定兼用キャスクの本体の内部退席が小さくなるようにパーナブルポイズン集合体の存在を考慮する。

(2) 閉じ込め機能評価の概要

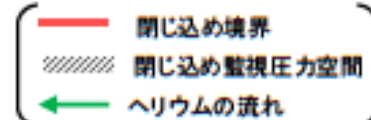
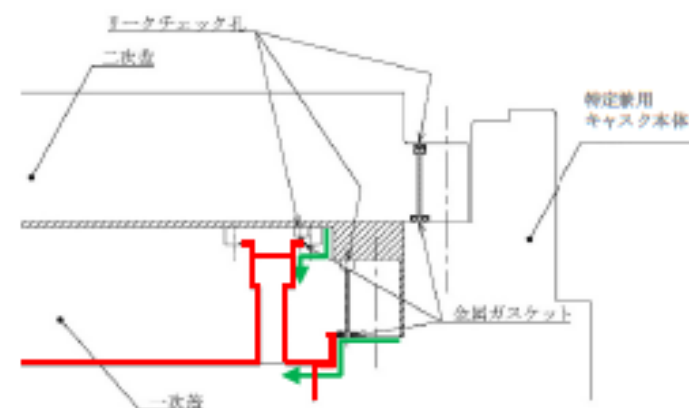
設計貯蔵期間中に特定兼用キャスク本体内部が大気圧となる基準漏えい率を流体力学の基礎式により算出する。その基準漏えい率を下回るように設定したリークテスト判定基準よりも金属ガスケットの漏えい率が小さいことを確認する。

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に充填されているヘリウムの圧力は低下するが、設計貯蔵期間60年間を通じて貯蔵開始時の圧力で一定とした条件で特定兼用キャスク本体内部側だけに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60年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】



2. 設置許可基準規則への適合性(第十六条)

<閉じ込め設計>

(3) 閉じ込め機能評価条件(内部圧力の算出式)

- ✓ 基準漏えい率は、ポイル・シャルルの式で与えられるTK-26型の本体内部圧力の時間変化を基に、設計貯蔵期間60年経過後の特定兼用キャスク本体内部の圧力が大気圧となるように算出される。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。

(ポイル・シャルルの式)

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

$$Q = L \cdot P_a$$

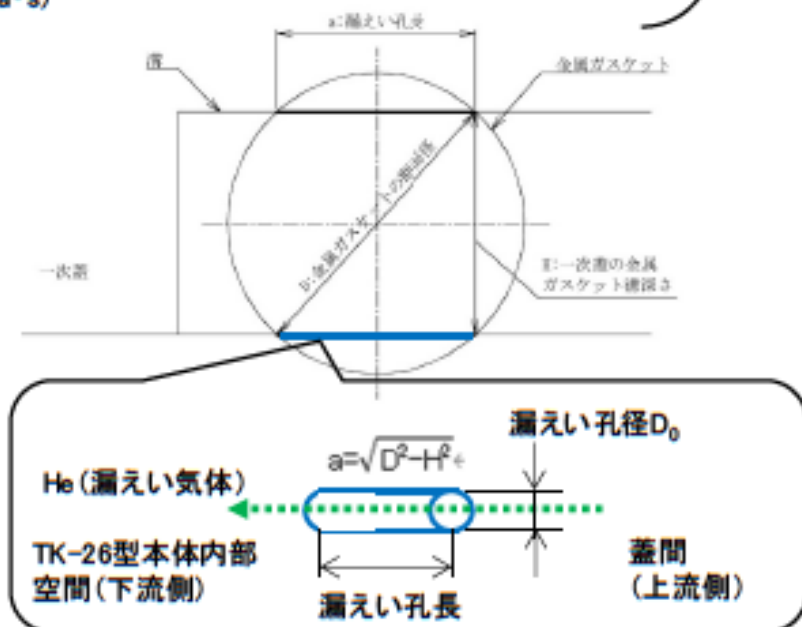
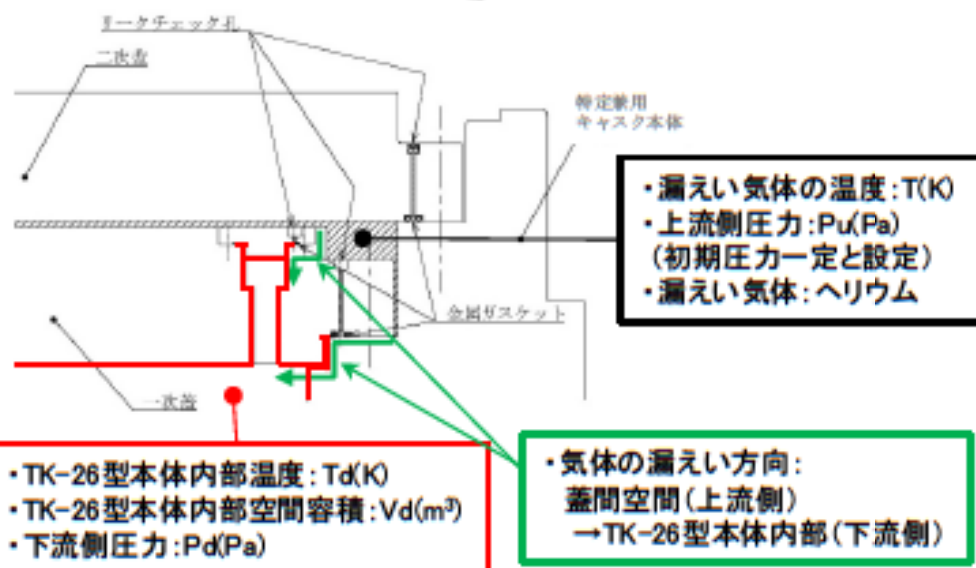
$$L = (F_c + F_m) \cdot (P_u - P_d)^{1/2}$$

$$F_c = \frac{\pi}{128} \times \frac{D_0^4}{a \cdot \mu}$$

$$F_m = \frac{\sqrt{2 \pi R_0}}{6} \times \frac{D_0^3 \sqrt{\frac{T}{M}}}{a \cdot P_a}$$

dP_d : 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)
 T_d : 特定兼用キャスク本体内部温度(K)
 V_d : 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 P_a における体積漏えい率(m³/s)
 P_a : 流れの平均圧力(Pa) [$P_a = (P_u + P_d)/2$]
 F_c : 連続流のコンダクタンス係数(m³/Pa・s)
 F_m : 自由分子流のコンダクタンス係数(m³/Pa・s)

P_u : 上流側の圧力(Pa)
 P_d : 下流側の圧力(Pa)
 D_0 : 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)
 R_0 : ガス定数(J/(mol・K))



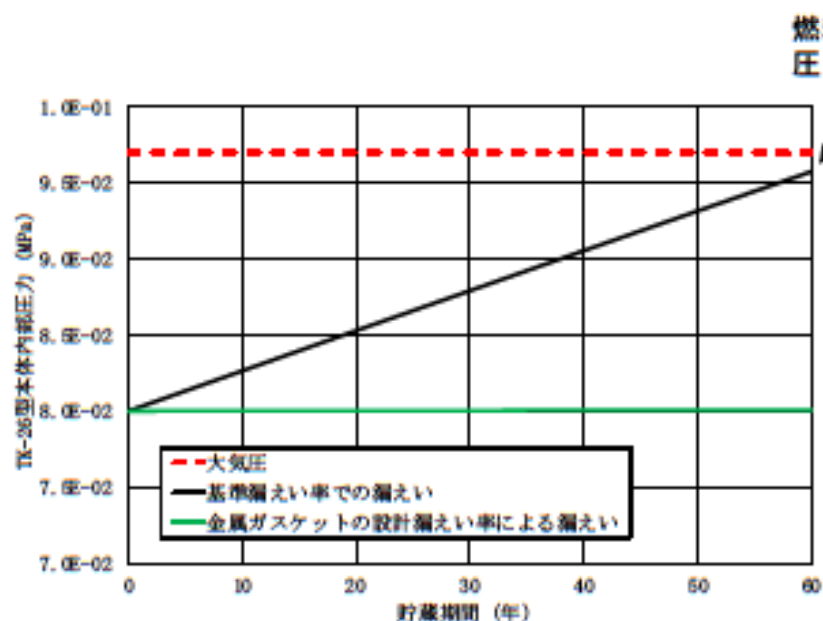
2. 設置許可基準規則への適合性(第十六条)

<閉じ込め設計>

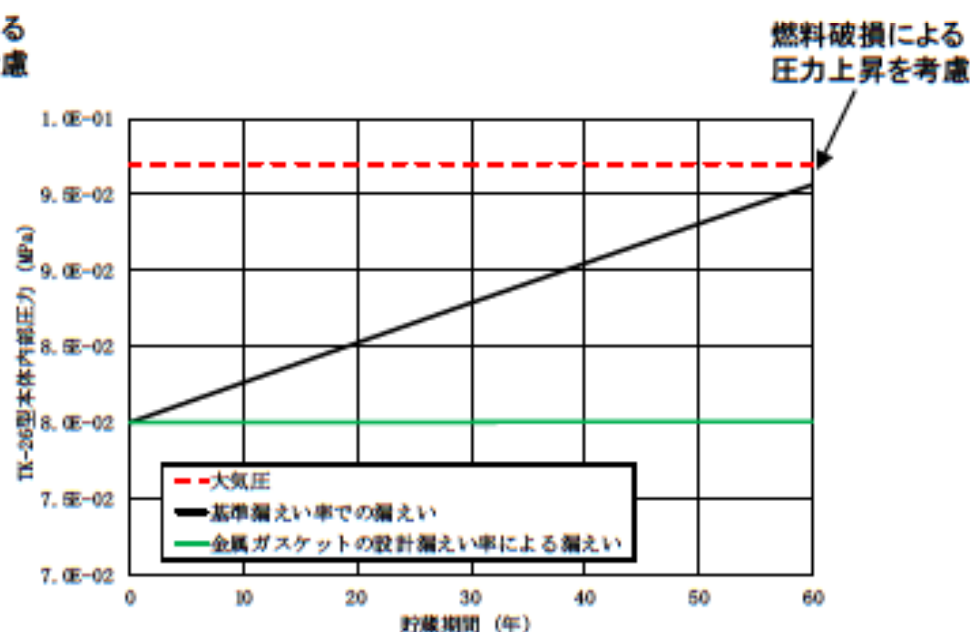
(4) 閉じ込め機能評価結果

- ✓ TK-26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の判定基準に対して小さいことを確認した。

収納物	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)
17×17燃料	2.2 × 10 ⁻⁶	1.0 × 10 ⁻⁶	1.0 × 10 ⁻⁸ 以下
15×15燃料	2.2 × 10 ⁻⁶		



17×17燃料収納時



15×15燃料収納時

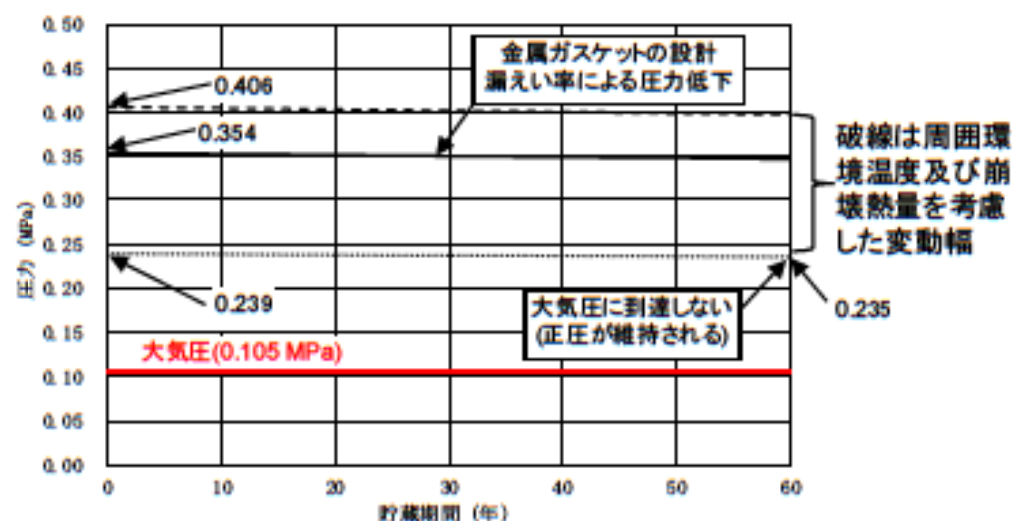
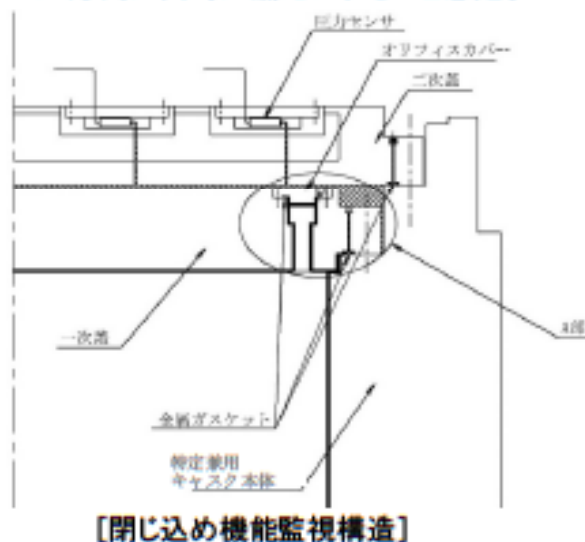
2. 設置許可基準規則への適合性(第十六条)

<閉じ込め設計>

(5) 閉じ込め機能の監視構造

- ✓ 二次蓋に貫通孔を設け、圧力センサ(圧力計)を設置する構造とし、蓋間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しても^(注)、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)蓋間空間のヘリウムが金属ガスケットの設計漏えい率で、一次蓋側(TK-26型の本体内部側)及び二次蓋側(TK-26型の外部側)の2方向に同時に漏えいすること想定。



[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TK-26型の本体内部を負圧に維持できる設計としている。また、一次蓋と二次蓋の蓋間圧を監視できる構造としている。したがって、TK-26型の閉じ込め機能に係る設計方針は妥当である。

□ 設置(変更)許可申請において別途確認を要する条件

- ✓ TK-26型の周囲温度が -20°C 以上であること。
- ✓ 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。

2. 設置許可基準規則への適合性(第十六条)

<長期健全性>

□ 設置許可基準規則

設置許可基準規則^(注1)の要求事項に対するTK-26型の長期健全性への対応を下表に示す。なお、これらの内容は、使用済燃料貯蔵施設における特定容器等の型式の設計について型式証明(M-DPC21001)を受けたTK-26型と同じである。

法令等	要求事項	長期健全性における考慮
設置許可基準規則第十六条第2項第一号ハ	燃料体等が臨界に達するおそれがないものとする。	TK-26型は、以下に記載のとおり、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	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	使用済燃料の崩壊熱を適切に除去できるものとする。	
設置許可基準規則第十六条第4項第三号	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号第5項	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。	<ul style="list-style-type: none"> ● TK-26型は、設計貯蔵期間は60年とする。 ● TK-26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十分な信頼性のある材料を選定し、必要とされる強度、性能を維持する設計とする。 ● TK-26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とともに収納して貯蔵する設計とする。また、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ずる設計とする。

(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)「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」

2. 設置許可基準規則への適合性(第十六条)

<長期健全性>

□ 審査ガイドの確認内容

審査ガイド^(注)の確認内容に対するTK-26型の長期健全性への対応を下表に示す。なお、これらの内容は、使用済燃料貯蔵施設における特定容器等の型式の設計について型式証明(M-DPC21001)を受けたTK-26型と同じである。

確認内容	長期健全性における対応
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。	● TK-26型は、安全機能を維持する上で重要な構成部材は、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。	● TK-26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する。また、TK-26型の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ずる設計とする。 ● 中性子遮蔽材については、設計貯蔵期間中の熱による質量減損を考慮した遮蔽設計を行っている。 ● バスケット格子材に用いるほう素添加アルミニウム合金については、設計貯蔵期間中の熱による材料特性の変化を考慮した設計許容値を設定している。
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。	● TK-26型の本体内部、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とともに封入して貯蔵する。経年変化の要因に対して、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納めることにより、使用済燃料の健全性を維持する設計とする。

(注)「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)

<長期健全性>

□ 特定兼用キャスク及び使用済燃料の健全性評価について

(1) 温度の影響

- ✓ TK-26型の構成部材は、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、熱による経年劣化の影響はない。

主な評価部位		評価結果	基準値
使用済燃料(燃料被覆管)		255℃	275℃
特定兼用キャスク 構成部材	胴、底板、外筒 ^(注1)	151℃	350℃
	一次蓋、二次蓋 ^(注2)	107℃	350℃
	中性子遮蔽材 ^(注3)	143℃	150℃
	金属ガスケット ^(注4)	106℃	130℃
	バスケット格子材	225℃	250℃
	伝熱フィン	141℃	200℃

(注1) 評価結果は胴の最高温度で代表。

(注2) 評価結果は一次蓋の最高温度で代表。

(注3) 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 \square を考慮している。

(注4) 初期の閉じ込め機能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の場合において約 11.0×10^3 であること⁽¹⁾、また、定数Cが14の場合は約 8.0×10^3 であること⁽²⁾が確認されている。一方、TK-26型の設計貯蔵期間中のLMPは定数Cが20の場合において約 9.9×10^3 、定数Cが14の場合において約 7.6×10^3 であり、上記の限界LMPを下回ることから設計貯蔵期間中を通じて閉じ込め機能は維持される。なお、長期密封性能試験において130℃～140℃(19年以上)で閉じ込め性能が維持されていることから温度基準値を130℃としている⁽³⁾。

(1) 加藤治ら、「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)

(2) (一財)電力中央研究所、「使用済核燃料貯蔵の基礎」、(株)ERC出版、(2014)

(3) (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(中間貯蔵設備等長期健全性等試験)報告書」、(2010)

2. 設置許可基準規則への適合性(第十六条)

<長期健全性>

(2) 放射線照射の影響

- ✓ 設計貯蔵期間中のTK-26型の構成部材及び使用済燃料集合体(燃料被覆管)は、文献等に示される特性変化が見られない範囲であるため、照射による経年変化の影響はない。

評価部位		放射線量 ^(注1)		基準値
使用済燃料集合体(燃料被覆管)		中性子	$2.0 \times 10^{15} \text{ n/cm}^2$	$10^{21} \sim 10^{22} \text{ n/cm}^2$
特定兼用キャスク 構成部材	胴、底板 ^(注2) 、外筒 ^(注2)	中性子	$8.0 \times 10^{14} \text{ n/cm}^2$	10^{16} n/cm^2
	一次蓋、二次蓋 ^(注2)	中性子	$8.0 \times 10^{14} \text{ n/cm}^2$	10^{16} n/cm^2
	中性子遮蔽材	吸収線量	$4.0 \times 10^3 \text{ Gy}$	$8.5 \times 10^4 \text{ Gy}$
	金属ガスケット ^(注2)	中性子	$8.0 \times 10^{14} \text{ n/cm}^2$	10^{17} n/cm^2
	バスケット格子材	中性子	$2.0 \times 10^{15} \text{ n/cm}^2$	10^{19} n/cm^2
	伝熱フィン ^(注2)	中性子	$8.0 \times 10^{14} \text{ n/cm}^2$	10^{16} n/cm^2

(注1)貯蔵初期の状態のまま設計貯蔵期間60年間一定と仮定して算出した値。

(注2)中性子照射量は保守的に胴の値と同じとした。

(3) 腐食による影響

- ✓ TK-26型の外面のうち、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、蓋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。

□ 特定兼用キャスク及び使用済燃料の健全性評価について

- ✓ 以上のとおり、TK-26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。

□ 設置(変更)許可申請において別途確認を要する条件

- ✓ 長期健全性固有の確認事項はなし。

3. 今後の想定スケジュール

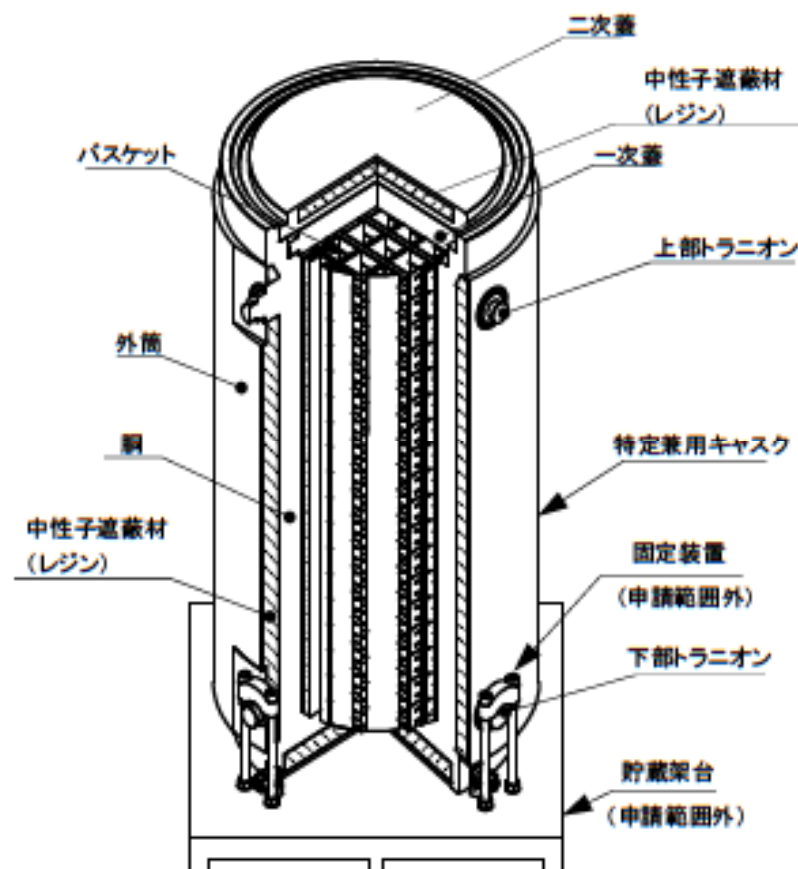
□ 審査での想定説明スケジュールを以下に示す。

	2022年	2023年												2024年	
	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	
全般	▼ 12/23申請	▼ 1/27#27	▼ 2/7審査会合	▼ 3/30#27	▼ 4/21#37									▼ 補正申請	1
型式証明申請の概要		■													
16条 燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設			■	■	■	■	■								
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							■	■							
コメント対応			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	

(参考1) TK-26型の概要及び収納物仕様、並びに運用条件

□ TK-26型の概要

項目	仕様		
全質量	約118t(使用済燃料集合体含む)		
寸法	全長:約5.1m、外径:約2.6m		
収納体数	26体		
最大崩壊熱量	17.2kW		
主要材料	特定兼用 キャスク 本体	胴・底板	炭素鋼
		外筒	炭素鋼
		トラニオン	析出硬化系ステンレス鋼
		中性子遮蔽材	レジン (エチレンプロピレン系ゴム)
		伝熱フィン	銅
	蓋部	一次蓋・二次蓋	炭素鋼
		蓋ボルト	合金鋼
	バスケット	バスケット格子材	ほう素添加アルミニウム合金
内部充填ガス	ヘリウム		
シール材	金属ガスケット		
閉じ込め 監視方式	圧力センサ(圧力計)による蓋間圧力監視		



➤ TK-26型の構造図

(参考1) TK-26型の概要及び収納物仕様、並びに運用条件

□ 貯蔵する使用済燃料集合体の種類

- 使用済燃料集合体の種類：PWR使用済燃料集合体

種類	最高燃焼度	平均燃焼度	冷却期間
①17×17燃料 48,000MWd/t型(A型)	48,000MWd/t以下	44,000MWd/t以下	15年以上
②17×17燃料 48,000MWd/t型(B型)	48,000MWd/t以下	44,000MWd/t以下	20年以上
③17×17燃料 39,000MWd/t型(A型)	39,000MWd/t以下	—	20年以上
④17×17燃料 39,000MWd/t型(B型)	39,000MWd/t以下	—	20年以上
⑤15×15燃料 48,000MWd/t型(A型)	47,000MWd/t以下	43,000MWd/t以下	15年以上
⑥15×15燃料 48,000MWd/t型(B型)	47,000MWd/t以下	43,000MWd/t以下	20年以上
⑦15×15燃料 39,000MWd/t型(A型)	39,000MWd/t以下	—	20年以上
⑧15×15燃料 39,000MWd/t型(B型)	39,000MWd/t以下	—	20年以上

- 使用済燃料集合体をTK-26型へ収納するに当たり、①②⑤⑥の使用済燃料集合体については使用済燃料集合体の燃焼度に応じて収納位置が制限される。
- 17×17燃料及び15×15燃料は混載ができる設計である。



(参考1) TK-26型の概要及び収納物仕様、並びに運用条件

□ 収納物の仕様(17×17燃料)

項目		仕様			
使用済燃料集合体の種類		17×17燃料			
		48,000MWd/t型		39,000MWd/t型	
		A型	B型	A型	B型
使用済燃料集合体1体当たりの仕様	初期濃縮度	4.2wt%以下		3.7wt%以下	
	最高燃焼度	48,000MWd/t以下		39,000MWd/t以下	
	冷却期間	15年以上	20年以上	20年以上	
特定兼用キャスク1基当たりの仕様	収納体数	26体			
	平均燃焼度	44,000MWd/t以下		39,000MWd/t以下	
	崩壊熱量	17.2kW以下			
バーナブルポイズン集合体1体当たりの仕様	照射期間				
	冷却期間	15年又は20年以上 ^(注)			

(注)バーナブルポイズン集合体が挿入される使用済燃料集合体タイプの冷却期間による。

(参考1) TK-26型の概要及び収納物仕様、並びに運用条件

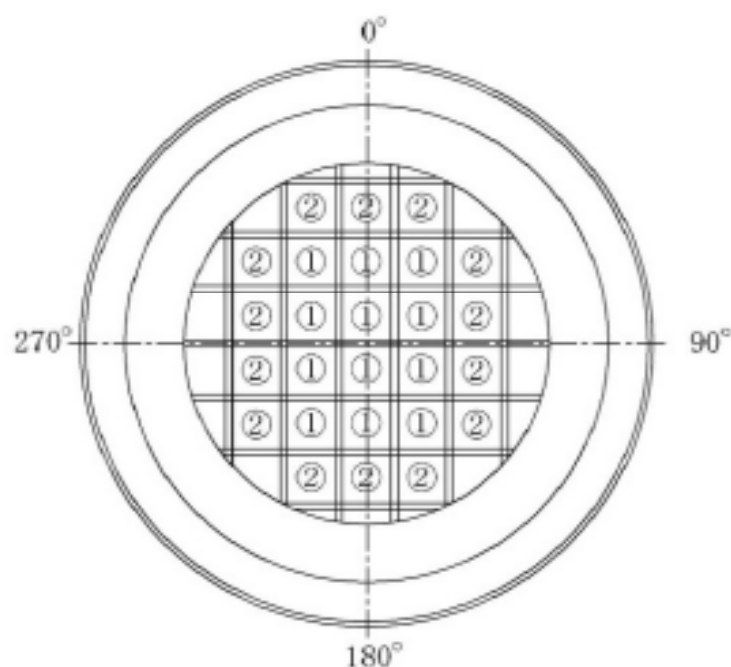
□ 収納物の仕様(15×15燃料)

項目		仕様			
使用済燃料集合体の種類		15×15燃料			
		48,000MWd/t型		39,000MWd/t型	
		A型	B型	A型	B型
使用済燃料集合体 1体当たりの仕様	初期濃縮度	4.1wt%以下		3.5wt%以下	
	最高燃焼度	47,000MWd/t以下		39,000MWd/t以下	
	冷却期間	15年以上	20年以上	20年以上	
特定兼用キャスク 1基当たりの仕様	収納体数	26体			
	平均燃焼度	43,000MWd/t以下		39,000MWd/t以下	
	崩壊熱量	16.8kW以下			
バーナブルポイズン集 合体1体当たりの仕様	照射期間				
	冷却期間	15年又は20年以上(注)			

(注)バーナブルポイズン集合体が挿入される使用済燃料集合体タイプの冷却期間による。

(参考1) TK-26型の概要及び収納物仕様、並びに運用条件

□ 収納物の収納位置



- ①: 燃焼度が $48,000\text{MWd/t}$ 以下(17×17燃料)又は $47,000\text{MWd/t}$ 以下(15×15燃料)の使用済燃料集合体の収納位置
- ②: 燃焼度が $44,000\text{MWd/t}$ 以下(17×17燃料)又は $43,000\text{MWd/t}$ 以下(15×15燃料)の使用済燃料集合体の収納位置



(参考1) TK-26型の概要及び収納物仕様、並びに運用条件

□ TK-26型を設置する貯蔵施設の条件

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	地盤の十分な支持を想定する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
貯蔵施設における特定兼用キャスクの周囲温度	最低温度-20℃ 最高温度50℃
貯蔵施設における貯蔵建屋等壁面温度	最高温度65℃

(参考2) 熱解析モデルについて



- TK-26型の熱解析モデルは、以下のとおり実形状を適切に考慮したモデル化を行っている。

縦断面	横断面