

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)

GNS Gesellschaft für Nuklear-Service mbH

2023年7月6日

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(第十六条のうち、長期健全性)

1. 設置許可基準規則への適合性の概要

設置許可基準規則適合性説明対象

設置許可基準規則	安全機能					構造健全性	設計条件	貯蔵施設に関する要件
	臨界防止	遮蔽	除熱	閉じ込め	長期健全性			
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	-	-	-	-	-	○	-	○
第十六条:燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設	○	○	○	○	○	-	-	○

「第十六条:燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設」の長期健全性について、本資料で説明する。(青枠部分)

3. 設置許可基準規則への適合性(第十六条)(長期健全性)

設置許可基準規則第十六条の内、長期健全性に係る要求事項に対するCASTOR® geo26JP型の設計方針を下表に示す。

規則等	要求事項	設計方針	先行例との比較
設置許可基準規則(注1) 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。	設計貯蔵期間は60年間とする。 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当該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、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、使用済燃料集合体を装荷後に真空乾燥により残留水分を最小限にし、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。また、キャスク本体内面の必要な箇所にはめっきを施す。さらに、キャスク本体の必要な箇所には、塗装等による防錆処理を講ずる。	設計貯蔵期間は先行例と同じ。 評価条件である環境の考え方は同様。
設置許可基準規則第十六条第4項	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。		
設置許可基準規則解釈(注2) 別記4第十六条第5項	第16条第2項第一号ハ及び同上第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。		

3. 設置許可基準規則への適合性(第十六条)(長期健全性)

CASTOR® geo26JP型の長期健全性に係る設計方針について具体的には以下の通り。

[設計方針]

- 設計貯蔵期間は60年間とする。
- 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設計とする。
- 特定兼用キャスク本体内面、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する設計とし、特定兼用キャスク本体及び蓋部表面の必要な箇所には、めっき及び塗装による防錆処理を施す設計とする。

[安全評価方針]

- 主要な構成部材及び使用済燃料(燃料被覆管)の設計貯蔵期間中の温度及び放射線等の環境条件下での腐食、クリープ、応力腐食割れ等の経年変化要因に対する影響について評価する。

[設計の妥当性(成立性見通し)]

- 経年変化要因に対して、主要な構成部材の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ことを確認した。

[原子炉設置(変更)許可申請時の確認事項]

- 本評価単体では特になし。(他の安全機能評価に係る確認事項の通り。)

3. 設置許可基準規則への適合性(第十六条)(長期健全性)

CASTOR® geo26JP型の経年変化要因及び評価項目は下表のとおり。

	経年変化要因	主な評価項目(注1)
(1) 腐食	ジルカロイの全面腐食、隙間腐食、応力腐食割れ、異種材料接触部の化学反応、水素吸収と酸化。	特定兼用キャスク構成部品及び使用済燃料(燃料被覆管)の腐食の外観及び腐食の程度は、材料特性と環境条件に基づいて決定される。 腐食が構造強度(構造強度構成要素)又は安全機能(安全機能構成要素)に及ぼす影響も評価する。メッキ、塗装、シールなどの対策を施す。
(2) 熱	低温または高温での材料組成および材料構造の変化、強度、延性、脆性、クリープ、及びその他の物理特性の変化、および質量の減少。	最小使用温度および最大使用温度が特定兼用キャスクの構成部品と使用済燃料(燃料被覆管)に及ぼす影響。特に低温脆性破壊と高温クリープの発生、主に構造強度や安全機能を担う構成部品を評価する。さらに、熱が物性、質量等に及ぼす影響についても評価する。
(3) 照射	ガンマ線及び中性子照射による材料組成及び材料構造並びに強度、延性、脆性及びその他の物理的特性の変化。	主に特定兼用キャスク及び使用済燃料(燃料被覆管)に対する構造強度と安全機能部品の機械的性質の変化に及ぼす照射の影響を評価するため、中性子照射量を考慮する(注2)。中性子遮蔽材に関しては、ガンマ線照射線量の影響も考慮する。

注1: 安全機能(安全機能構成部品)および構造強度(構造強度構成部品および使用済燃料)に対して列挙された経年要因の影響は、文献、試験データ、および1500を超える使用済燃料キャスクCASTOR型の製造から得られた経験に基づいて決定される。

注2: 金属材料では、以下の補足説明に示すように、ガンマ線の材料特性に対する照射の影響は中性子のそれよりも小さい。

中性子照射による金属材料の特性変化	中性子照射すると、金属材料の脆化に関連して材料が硬化する。中性子照射による金属の脆化は、ある一定量を超える中性子量に対してのみ考慮する必要がある。したがって、中性子による放射線損傷は、特定兼用キャスクのすべての金属部品に対して影響するわけではない。
金属材料の特性変化に及ぼすガンマ線の影響	ガンマ線は電磁波であり、励起またはイオン化によって原子と相互作用するが、一般的に、原子を格子サイトからたたき出すことができず、むしろ、主にイオン化及び励起を通じてそれらのエネルギーのほとんどを失う。したがって、ガンマ線は、原子核との弾性衝突をもたらさず、金属に対して損傷を及ぼさない。したがって、 γ 線照射が兼用キャスク及び使用済燃料(燃料被覆管)の金属部品の機械的特性に及ぼす影響はない。

3. 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(注1)の確認内容に対するCASTOR® geo26JP型の長期健全性に係る設計方針を下表に示す。

確認内容	長期健全性に関する設計方針	先行例との比較
(1) 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。また、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(例えば、寸法、形状、強度及び材料物性値)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。	構成部材は、最低使用温度における低温脆性破壊のおそれがない材料を使用する。 構成部材の経年変化の影響については、安全機能評価における設計入力値又は設計基準値として考慮し、安全機能が維持されることを確認している。 特定兼用キャスク本体の必要な箇所には、めっき及び塗装による防錆処理を施している。	基本的な考え方は先行例と同様
(2) 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。	特定兼用キャスク本体内面、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、使用済燃料収納時にその内部空間を真空乾燥し、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、温度を制限される範囲に収めることにより、特定兼用キャスクに収納する使用済燃料の健全性が維持される設計としている。	基本的な考え方は先行例と同様

(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」

3. 設置許可基準規則への適合性(第十六条)(長期健全性)

CASTOR® geo26JP型の長期健全性に係る安全評価結果については以下の通り。

(1) 腐食による影響

特定兼用キャスク本体内面、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する設計とし、特定兼用キャスク本体の必要な箇所には、めっき及び塗装による防錆処理を施す設計とすることから、特定兼用キャスク及び使用済燃料の腐食の影響はない。

(2) 熱による影響

温度を制限される範囲に収めることにより、特定兼用キャスクに収納する使用済燃料の健全性が維持されるため、熱による経年変化の影響はない。

	部材	評価温度 ^{注1} [°C]	評価基準 ^{注2} [°C]
キャスク本体	胴	120	350
	中性子遮蔽材 (棒状)(内列/外列)	120/115	135 / 130
	中性子遮蔽材 (円板状)(底部)	120	135
	遮蔽棒(側部中性子遮蔽体部 封止材)	110	371
	トラニオンボルト	105	350
蓋部	一次蓋、二次蓋	120	425
	一次蓋ボルト、二次蓋ボルト	100	350
	中性子遮蔽材 (円板状)(蓋部)	120	135
	金属ガスケット	100	125
バスケット	底板	120	425
	H-ビーム	245	425 / 350
	熱伝導及び中性子吸収材	245	250
	鋼製エッジセグメント、コーナーエレメントおよびバスケット側板	170	425
使用済燃料	エッジセグメント	145	250
	燃料棒被覆管	265	275

注1: 除熱解析で得られた温度(補足説明資料「除熱機能に関する説明資料」(1024-TR-00008)参照)

注2: 補足説明資料「燃料体等の取扱い施設及び貯蔵施設16-1」(1024-TR-00005)参照

3. 設置許可基準規則への適合性(第十六条)(長期健全性)

(3) 照射による影響

遮蔽解析結果(第16条「遮蔽機能に関する説明資料」の補足説明資料(1024-TR-00007)参照)から得られる貯蔵初期の線量を保守的に設計貯蔵期間中減衰せずに一定であると仮定して算出した照射線量(下表)に対し、文献データにて、特定兼用キャスクの主要な構成部材及び使用済燃料(燃料被覆管)について、顕著な特性変化が認められる照射量ではないことを確認した。よって、照射による影響はない。

部材	中性子線量 [n/cm ²]	ガンマ線照射線量 [Gy]
中性子遮蔽材(棒状)(内側)の平均値	1.27E+14	2.17E+05
中性子遮蔽材(棒状)(外側)の平均値	3.14E+13	2.99E+04
中性子遮蔽材(円板状)(頭部)	1.65E+13	9.16E+01
中性子遮蔽材(円板状)(底部)	2.11E+13	1.48E+02
一次蓋ガasket	3.35E+13	6.32E+03
二次蓋ガasket	4.58E+12	1.51E+01
一次蓋の下端	1.20E+14	2.10E+06
一次蓋の上端	2.52E+13	2.01E+02
二次蓋の下端	6.65E+12	7.34E+01
二次蓋の上端	1.02E+12	4.82E+00
熱伝導及び中性子吸収材	7.26E+14	1.00E+08
H-ビーム、コーナーエレメント、バスケット側板	5.77E+14	8.99E+07

3. 設置許可基準規則への適合性(第十六条)(長期健全性)

中性子遮へい材の質量損失については以下の通り。

中性子遮蔽材には2種類のポリエチレンが使用されているが、これらの材料の照射下での挙動は、製造者とGNSが調査・検討した。その結果、材料にガンマ線を照射すると、水素が分離して高分子構造内に架橋が形成されることがわかった。炭化水素やその他の分解生成物の形成は除外される。したがって、中性子遮蔽材の有意な分解は考慮する必要がない。中性子遮蔽材の水素放出率は、製造者が調査・決定した。その結果、水素放出率は1 g/(MGy・kg)未満であることが明らかになった。供用期間中の水素損失を計算する上で、保守的に1 g/(MGy・kg)を、2種類のポリエチレンに想定した。

保守的な境界条件(水素放出率を伴う最大エネルギー量)を考慮すると、ガンマ線照射誘起架橋によって引き起こされる水素の損失は約231 gである(下表)。減速材の全体質量2310 kgとの比較において、減速材は約330 kgの水素原子量を含むので、60年の貯蔵期間中のこの損失率(約 7.0×10^{-4})は無視することができ、中性子遮蔽能力の喪失はないと言える。

材質	構成部品	密度 [g/cm ³]	質量 [kg]	水素放出率 [g]/(MGy・kg PE)	最大 エネルギー線量/60年 [Gy]	Hの放出量 [g]
ポリエチレン []	減速材棒状-外側列	0.955	1200	1	2.99×10^4	35.9
ポリエチレン []	減速材棒状-内側列	0.935	900	1	2.17×10^5	195.3
	下端の減速材円盤状		120	1	1.48×10^2	0.02
	蓋間の減速材円盤状		90	1	9.16×10^1	0.008
	計		2310			231.23

注1 減速材の質量は代表的な推定値であり、最終的な製造上の確認ではない。

ご清聴ありがとうございました！

