

九州電力(株)玄海原子力発電所における 使用済燃料乾式貯蔵施設設置に係る 発電用原子炉設置変更許可の審査について

令和3年7月



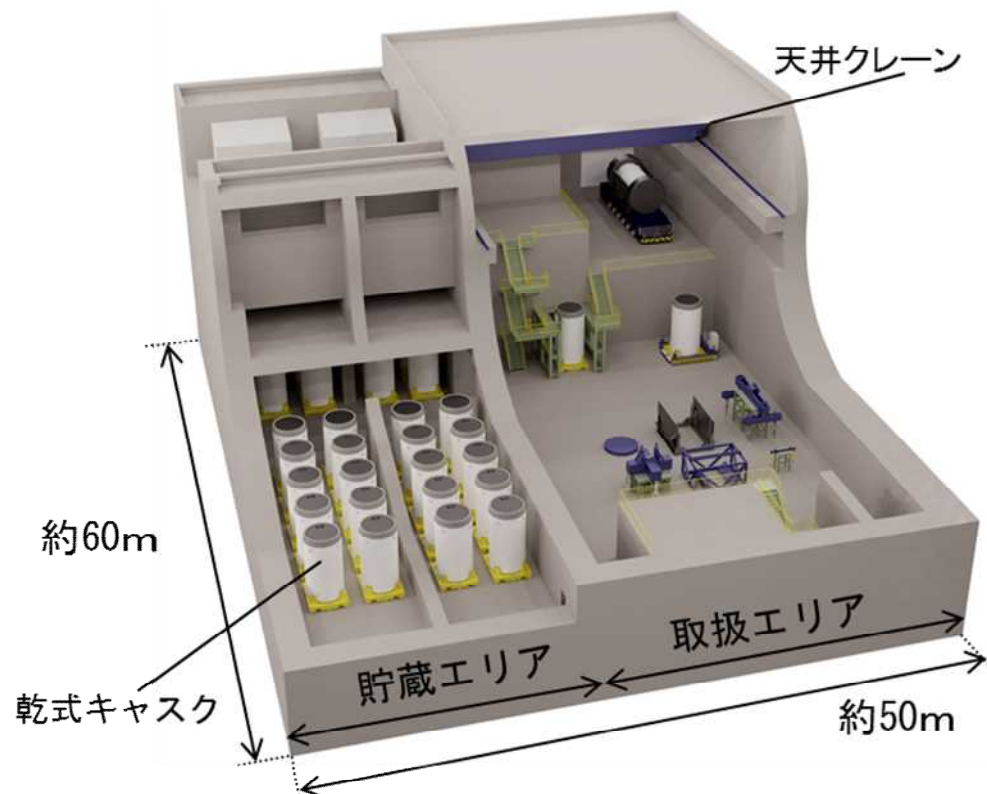
原子力規制庁

申請の概要

申請内容

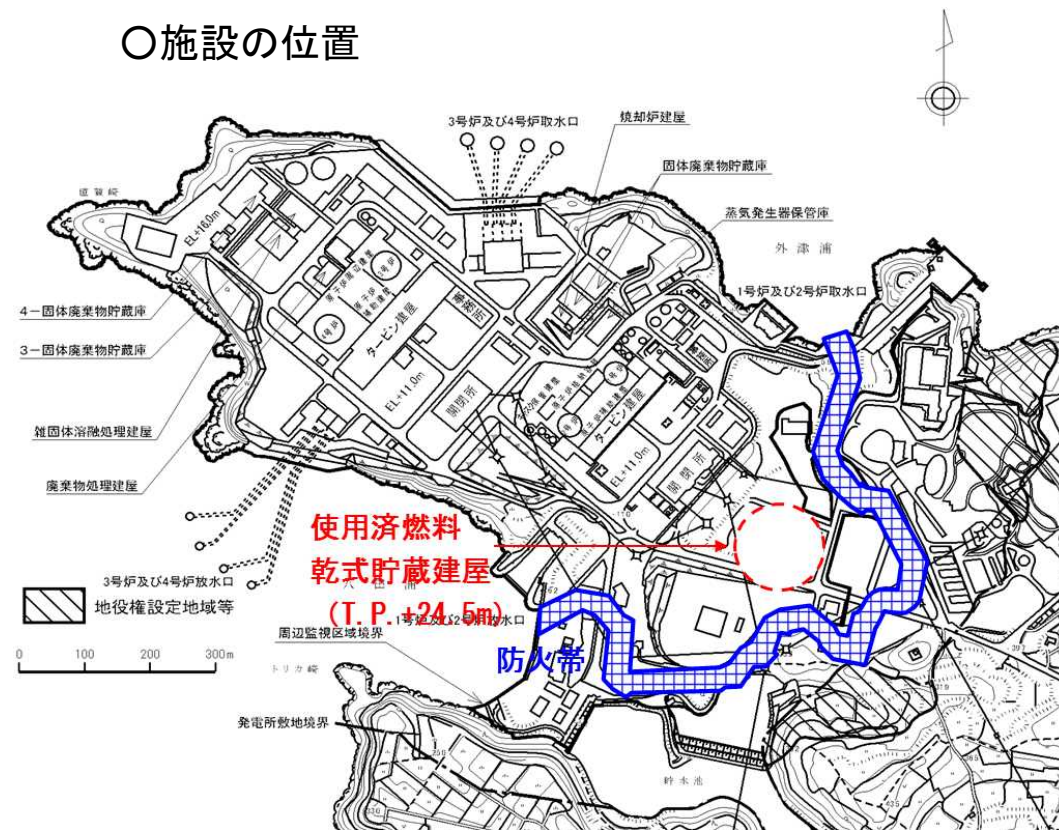
使用済燃料の貯蔵能力を変更するため、1号炉、2号炉、3号炉及び4号炉共用の使用済燃料乾式貯蔵施設を設置する。

○使用済燃料乾式貯蔵施設(※)



※ 使用済燃料の貯蔵設備のうち乾式貯蔵施設は、全炉心燃料の約50%相当分（乾式キャスク40基分）

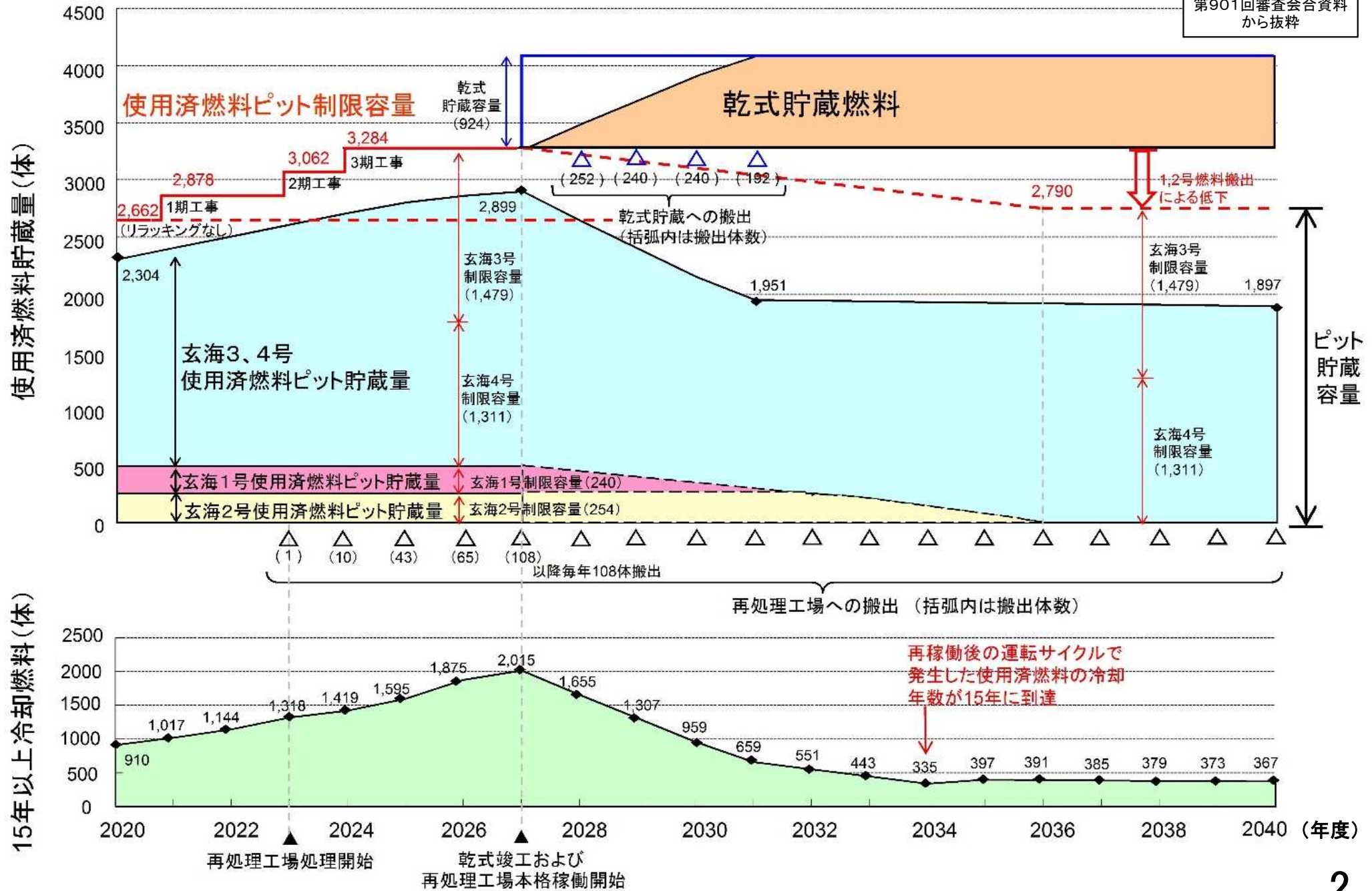
○施設の位置



第901回審査会合資料
から一部抜粋・加筆

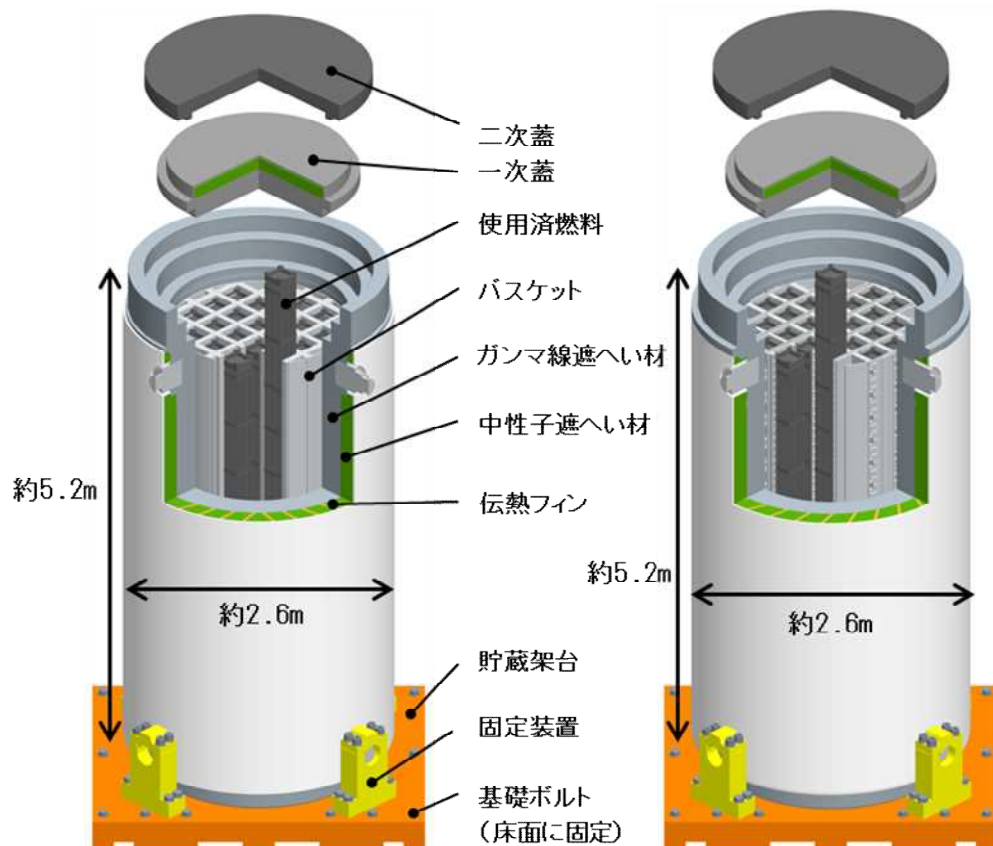
玄海原子力発電所における使用済燃料の貯蔵量（推移）

第901回審査会合資料
から抜粋



○乾式キャスク(兼用キャスク)の構造図

<タイプ1> 1,2,3,4号炉燃料用 <タイプ2> 3,4号炉燃料用



乾式キャスクの形状

- ✓ 寸法：(直径) 約2.6m (高さ) 約5.2m
- ✓ 重さ：約120トン(使用済燃料等含む)

○乾式キャスク(兼用キャスク)の仕様

乾式キャスク	タイプ1		タイプ2	
収納体数	21体/基		24体/基	
収納対象燃料	燃料型式	1,2号炉 14×14型 (寸法: 約197mm×約197mm)	3,4号炉 17×17型 (寸法: 約214mm×約214mm)	3,4号炉 17×17型 (寸法: 約214mm×約214mm)
	ウラン濃縮度	約4.8wt%以下	約4.1wt%以下	約4.1wt%以下
	燃焼度	55,000Mwd/t以下	48,000Mwd/t以下	48,000Mwd/t以下
	冷却年数	15年以上		

審査の経緯

- 平成31年1月22日
九州電力が玄海3, 4号炉の使用済燃料乾式貯蔵施設の設置に関する設置変更許可申請書を提出
(令和2年9月4日及び令和3年2月19日補正を提出)
- 令和3年3月17日 第65回原子力規制委員会
審査結果をとりまとめ、審査書案等に対する原子力委員会、経済産業大臣への意見聴取を実施
- 令和3年4月28日 第6回原子力規制委員会
審査書案等に対する原子力委員会及び経済産業大臣への意見聴取の結果を踏まえ、設置変更を許可

【参考】 乾式キャスクに係る審査実績について

福島第一原子力発電所	1995年貯蔵開始
東海第二原子力発電所	2001年貯蔵開始
伊方発電所	2020年 9月設置許可
リサイクル燃料貯蔵センター (審査中)	2020年11月事業許可 (使用済燃料貯蔵事業)
浜岡原子力発電所	

設置変更許可申請の位置づけ

設置変更許可申請の審査は、設置に係る基本設計方針を確認するものであり、本設置許可申請に基づく詳細な設計については、今後、申請がなされる設計及び工事の計画の認可（設工認）において審査がなされる。

許認可手続きの流れ(イメージ)

①設置変更許可申請の審査



②設計及び工事の計画の認可に係る審査



③保安規定変更に係る審査



審査の内容（1 / 2）

規制委員会は、発電用原子炉施設の位置、構造及び設備が核燃料物質若しくは核燃料物質によって汚染された物又は発電用原子炉による災害の防止上支障がないものとして原子力規制委員会規則で定める基準に適合するものであることを確認するため、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（「設置許可基準規則」）及び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（「設置許可基準規則解釈」）等に基づき、関連する以下の項目について審査を行った。

- 設計基準対象施設の地盤（第3条関係）
- 地震による損傷の防止（第4条関係）
- 津波による損傷の防止（第5条関係）
- 外部からの衝撃による損傷の防止（第6条関係）
- 発電用原子炉施設への人の不法な侵入等の防止（第7条関係）
- 火災による損傷の防止（第8条関係）
- 溢水による損傷の防止等（第9条関係）
- 安全避難通路等（第11条関係）
- 安全施設（第12条関係）
- 燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設（第16条関係）
- 工場等周辺における直接線等からの防護（第29条関係）
- 放射線からの放射線業務従事者の防護（第30条関係）

審査の内容（2 / 2）

【使用済燃料乾式貯蔵施設の建屋の取扱い】

兼用キャスクはそれ自体で安全機能を維持することを基本としていることから以下を確認することとした。

- （1）兼用キャスクのみで地震や竜巻等の外力に対して、安全機能が維持可能であるか
- （2）敷地境界における実効線量評価について、建屋がない状態で過度の保守性を排した現実的な評価により、建屋としての遮蔽機能が必要か



- （1）地震や竜巻等に対しては、兼用キャスク単体で安全機能は維持される
- （2）建屋がない現実的な評価による敷地境界の実効線量評価は、年間約130マイクロシーベルトであり、実効線量で目標としている年間50マイクロシーベルト以下を越える

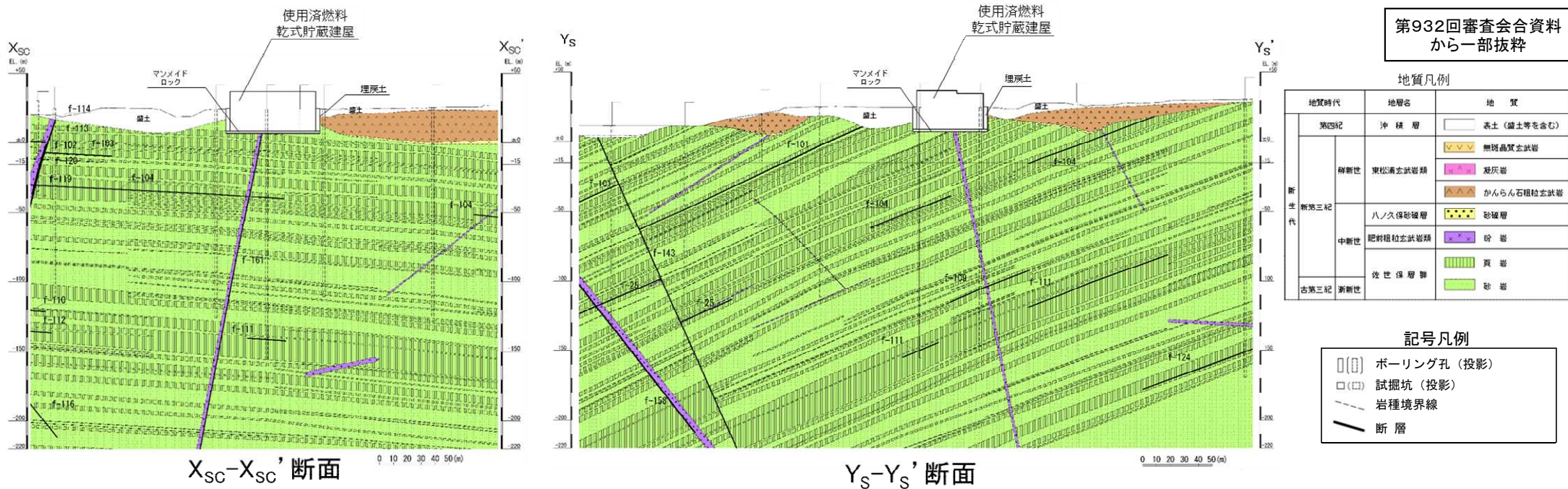
以上の結果から、申請者は、使用済燃料乾式貯蔵建屋に遮蔽機能を持たせ、年間50マイクロシーベルト以下とするとの設計方針とし、また、基準地震動に対しても建屋は損壊しない設計方針とするとした。

これを受け、審査においては、使用済燃料乾式貯蔵建屋の設置を前提として、兼用キャスクの安全機能の維持について、設置許可基準規則の適合性を判断した。

審査結果：兼用キャスクを設置する地盤の支持（第3条関係）

主な要求事項

兼用キャスク貯蔵施設については、基準地震動による地震力等が作用した場合においても、当該施設を十分に支持することができる地盤に設けなければならないこと



確認結果

- ・ 使用済燃料乾式貯蔵施設について、基準地震動による地震力等が作用した場合においても、接地圧に対する十分な支持力を有する地盤に設置するとしていること
- ・ 兼用キャスクを固定する使用済燃料乾式貯蔵建屋基礎について、基準地震動を用いた評価を行った結果、支持力及びすべり安全率に対する評価基準値並びに傾斜に対する評価基準値の目安を満足していることを確認した。

審査結果：地震による損傷の防止（第4条関係）

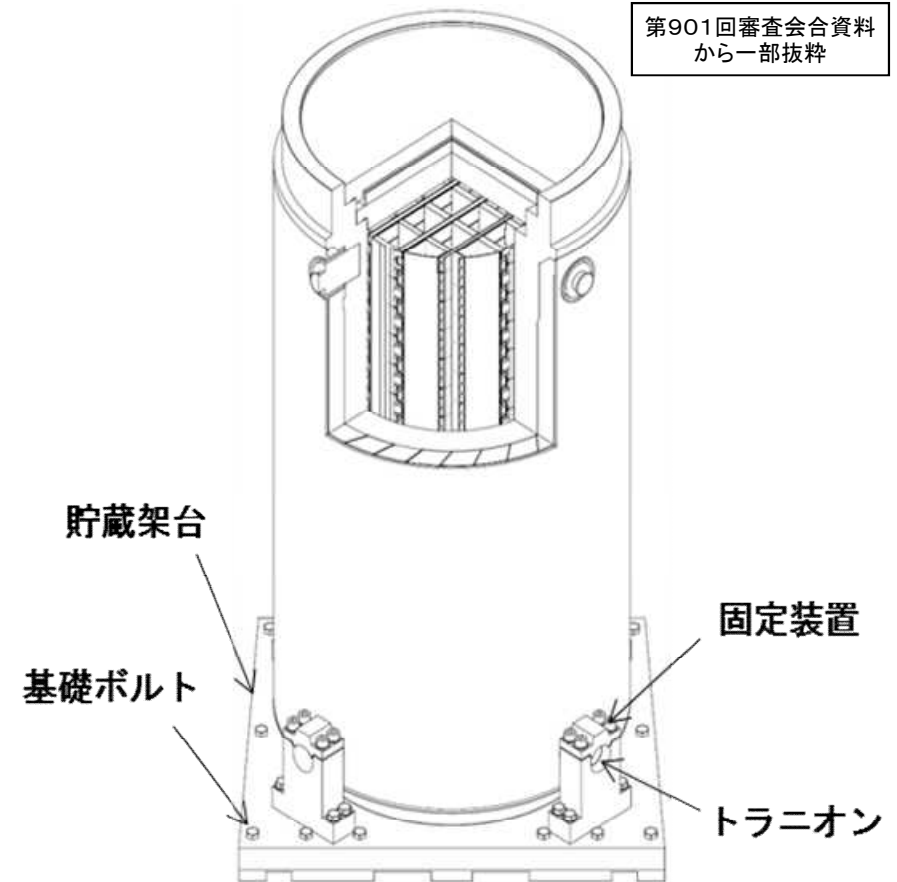
主な要求事項

兼用キャスクについて、自重その他の貯蔵時に想定される荷重と基準地震動による地震力に対してその安全機能が損なわれるおそれがない設計とすること

兼用キャスクについて、周辺施設からの波及的影響によって、その安全機能を損なわないように設計すること

確認結果

- 兼用キャスクの耐震設計について、貯蔵時に想定される荷重と基準地震動（ S_s ）による地震力とを適切に組み合わせた荷重条件に対し、兼用キャスクに要求される安全機能を保持するように設計する方針であること
 - 周辺施設からの波及的影響によって、兼用キャスクの安全機能を損なわないように、使用済燃料乾式貯蔵建屋は S_s で損壊しない等設計する方針であること
- 等を確認した。



審査結果：兼用キャスク貯蔵施設の耐震設計方針

主な要求事項

周辺施設の設計について、耐震重要度分類のCクラスに適用される静的地震力に対しておおむね弾性状態にとどまる範囲で耐えること

確認結果

- 周辺施設について、一般産業施設又は公共施設と同等の安全性が要求される施設として設計する方針であること、また、支持性能を期待する周辺施設の耐震設計の基本方針については、 S_s に対して施設の機能を維持するように設計する方針であること等を確認した。

第901回審査会合資料
から一部抜粋

項目		耐震クラス	
乾式キャスク		S^{*1}	
周辺施設	貯蔵架台	S^{*1}	
	乾式貯蔵建屋	遮へい	C
		間接支持構造物	$(S_s)^{*2}$
	波及的影響を考慮する施設		$(S_s)^{*3}$

※1 基準地震動 S_s による地震力に対して、機能を保持できるものとする。

※2 基準地震動 S_s による地震力に対して、乾式キャスクの支持機能を維持できるものとする。

※3 基準地震動 S_s による地震力に対して、乾式キャスクに波及的影響を及ぼさないものとする。

審査結果：貯蔵建屋への外部事象に対する設計方針（第6条関係）

主な要求事項

発電用原子炉施設（兼用キャスクを除く。）の設計に当たっては、設計上考慮すべき自然現象及び人為事象によって、安全施設の安全機能が損なわれない設計とすること

確認結果

- 使用済燃料乾式貯蔵建屋について、既許可申請で抽出した安全施設の安全機能に影響を及ぼし得る自然現象（12事象：洪水、風（台風）、竜巻、凍結、降水、積雪、落雷、地滑り、火山の影響、生物学的事象、森林火災、高潮）、及び人為事象（7事象：飛来物、ダムの崩壊、爆発、近隣工場等の火災、有毒ガス、船舶の衝突、電磁的障害）に対して、使用済燃料乾式貯蔵建屋の安全機能が損なわれない等設計する方針であること
等を確認した。

審査結果：兼用キャスクへの外部事象（竜巻）に対する設計方針

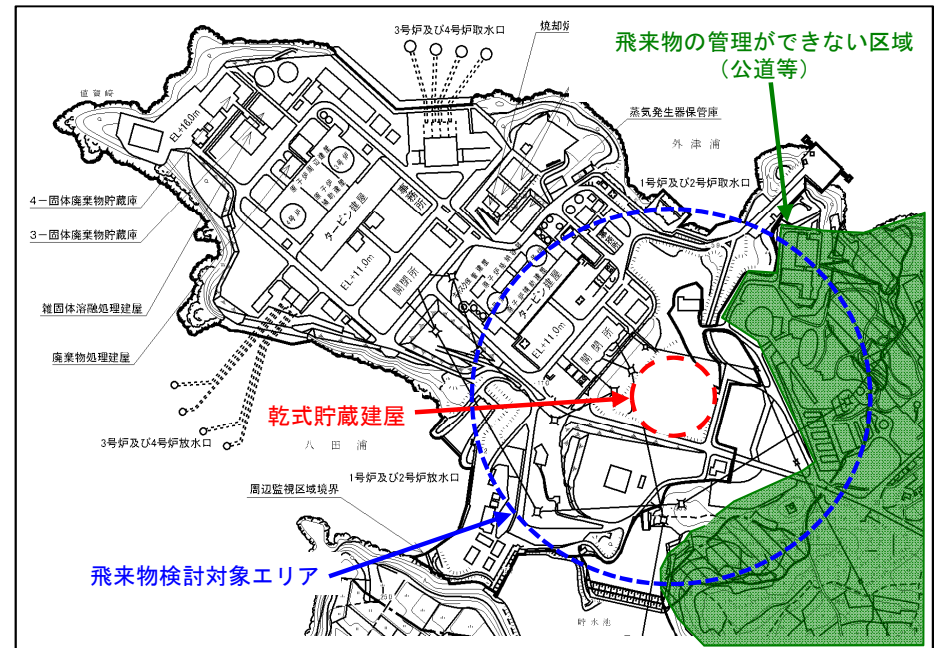
第933回審査会合資料
から一部抜粋

主な要求事項

兼用キャスクについて、原子力規制委員会が別に定める竜巻が発生した場合においても安全機能を損なわないものでなければならないことを要求している

確認結果

- 設計竜巻の最大風速を兼用キャスク告示に定める100m/s とすること
 - 発電所敷地内外からの飛来物を考慮し、大型車両を設計飛来物として設定すること
 - 使用済燃料乾式貯蔵建屋について、設計竜巻による荷重とその他の荷重とを適切に組み合わせた荷重に対し、構造骨組の構造健全性が維持される設計とすること
 - 使用済燃料乾式貯蔵建屋取扱エリアにて取扱中の兼用キャスクについて、大型車両の衝突に対して開口部建具に貫通が発生することを想定し、兼用キャスクに影響を受けない位置へ移動する運用とすることで兼用キャスクの安全機能が損なわれない設計とすること
- 等を確認した。



図： 飛来物検討対象エリア

審査結果：兼用キャスクへの外部事象（外部火災）に対する設計方針

第933回審査会合資料
から一部抜粋

主な要求事項

兼用キャスクについて、想定される森林火災並びに発電所敷地又はその周辺において想定される爆発及び近隣工場等の火災に対して安全機能が損なわれないよう設計することを要求している

表：火災源から外部火災防護施設の離隔距離

想定する火災源	離隔距離（m）	
	原子炉周辺建屋等	乾式貯蔵建屋
森林火災	400（危険距離：35）	90
補助ボイラ燃料タンク	48	730
高温焼却炉燃料タンク	11	820
油計量タンク	67	610
1、2号炉補助ボイラ燃料タンク	349	360
油倉庫	60	560
船舶 ※	795	475

※ 熱影響を評価した結果、建屋外壁の表面温度は約56℃となり、許容温度200℃を下回る。

確認結果

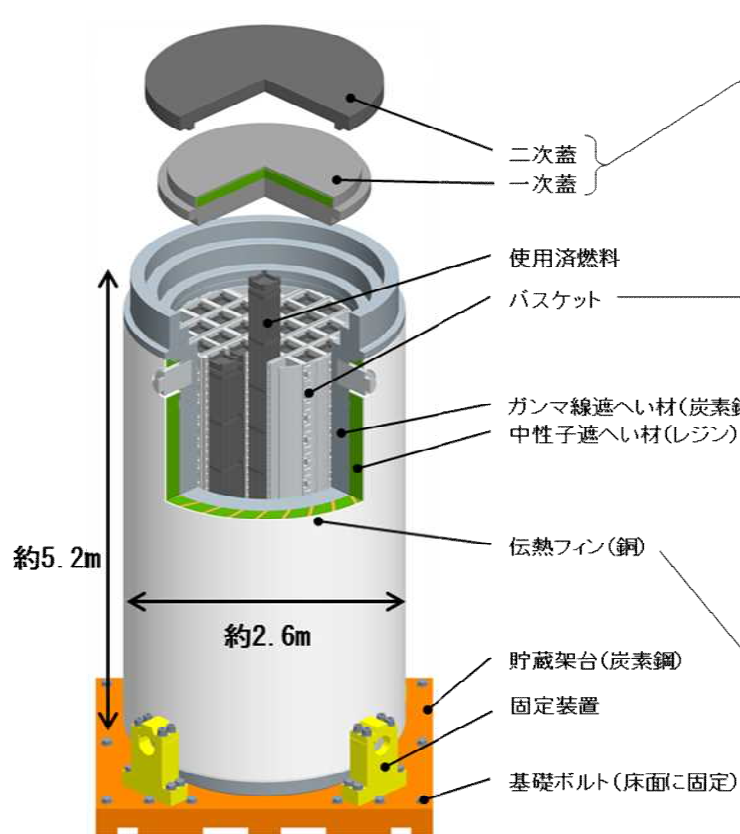
- 想定する外部火災について、既許可申請と同様に想定される最も厳しい火災が発生した場合においても、必要な安全機能を損なわない設計とすること
- 具体的には、使用済燃料乾式貯蔵建屋は、防火帯の内側に設置することで森林火災の延焼を防止し、火災源からの熱影響に対しては、離隔距離を確保すること
- 建屋による防護等によって、兼用キャスクの安全機能が損なわれない設計とすること等を確認した。

審査結果：燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設（第16条関係）

主な要求事項

使用済燃料の貯蔵施設である兼用キャスクについて、以下の項目を要求している。

- ①燃料体数の貯蔵容量、②臨界防止、③遮蔽能力、④崩壊熱の除去、⑤閉じ込め及び監視、⑥経年劣化を考慮した材料・構造健全性



【乾式キャスクのイメージ図（タイプ2の例）】

第901回審査会合資料
から一部抜粋・追記

【閉じ込め機能】

二重の蓋に、金属ガスケットを挟んで密封する。さらに、乾式キャスク内部の圧力を負圧にし、一次・二次蓋間を正圧にすることで、放射性物質の外部への漏れを防止する。

【臨界防止機能】

バスケットと呼ばれる仕切り板で、使用済燃料が近接しないようにすることで、臨界（核分裂の連鎖反応）を防止する。

【遮へい機能】

ガンマ線遮へい材と中性子遮へい材を配置しており、乾式キャスク表面の放射線を2mSv/h以下、表面から1m離れた位置の放射線を100μSv/h以下とする。

【除熱機能】

乾式キャスク内部に、熱を伝えやすいヘリウムを充てるとともに、伝熱フィンを通じて使用済燃料から発生する熱を乾式キャスク表面に伝え、外気で冷却する。

審査結果：燃料体等の貯蔵施設（臨界防止）

確認結果

臨界を防止するため、兼用キャスクのバスケットにより適切な燃料集合体間隔を保持し、燃料集合体が相互に接近しないようにするとともに、兼用キャスク内の燃料位置等について想定される最も厳しい状態を仮定しても実行増倍率が0.95以下となるように設計すること、申請者の臨界評価において、兼用キャスクの配置・形状、中性子吸収材の効果、減速材（水）の影響及び燃焼度クレジットを含め、未臨界性に有意に影響を与える因子が考慮されていること、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条件（次頁参照）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等を確認した。

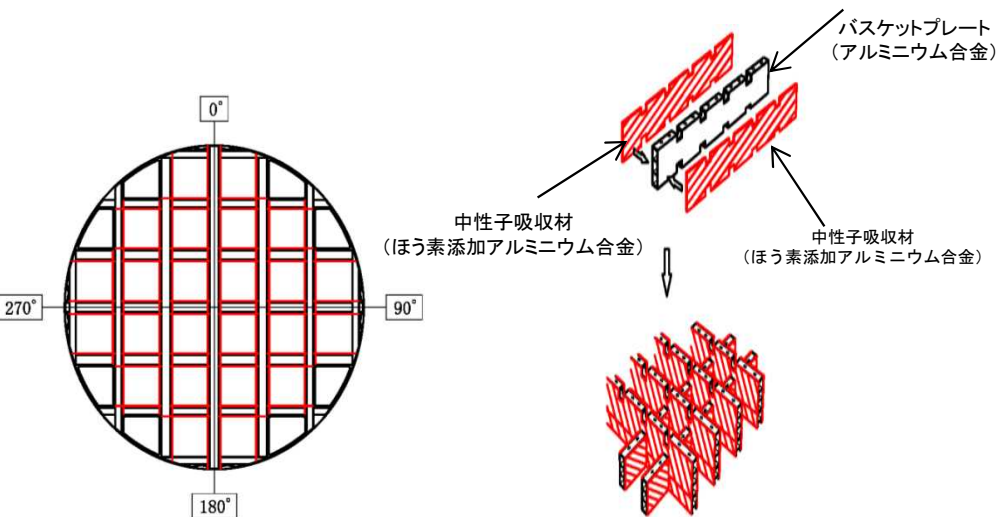
第918回審査会合資料
から一部抜粋

臨界解析評価結果

乾式キャスク型式		中性子 実効増倍率 ^{※1※2}	基準
タイプ1	17×17型燃料	0.91	≤0.95
	14×14型燃料	0.89	
タイプ2		0.92	

※1 水密度範囲（0.0~1.0g/cm³）のうち実効増倍率が最大となる1.0g/cm³時の評価結果

※2 統計誤差（σ）の3倍（3σ）を加味した値



【バスケット構造図(タイプ2の例)】

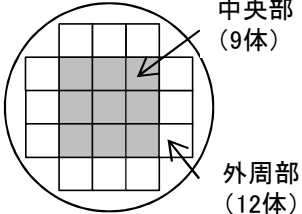
審査結果：燃料体等の貯蔵施設（臨界防止）

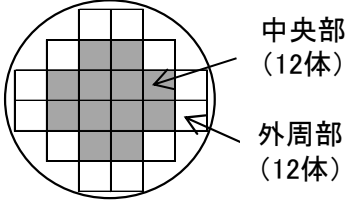
乾式キャスクの収納制限

第918回審査会合資料
から一部抜粋

<タイプ1>

<タイプ2>

仕様		キャスク収納制限			
		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/B型)		14×14型 (A/B型)	
	初期ウラン濃縮度 (wt%)	≤4.2		≤4.9	
	最高燃焼度 (燃料集合体平均) (GWd/t)	≤48	≤44	≤55	≤47
	SFPでの冷却期間 (年)	A型: ≥15 B型: ≥20		≥15	
キャスク 1基 あたり	平均燃焼度 (GWd/t)	≤44		≤43	
バーナブル ポイズン	最高燃焼度 (GWd/t)	≤46	—	≤90	—
	SFPでの冷却期間 (年)	A型: ≥15 B型: ≥20	—	≥15	—
配置					

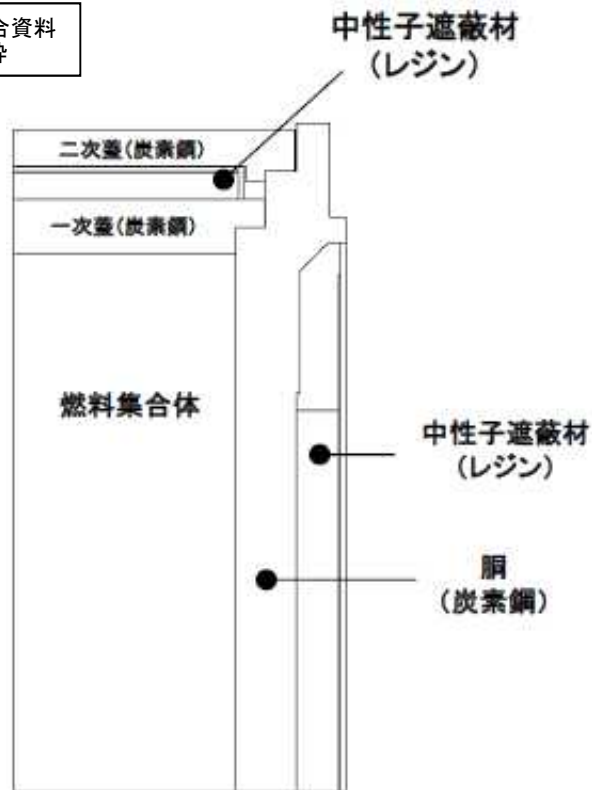
仕様		キャスク収納制限	
		中央部	外周部
燃料 集合体 1体の 仕様	燃料タイプ	17×17型 (A/B型)	
	初期ウラン濃縮度 (wt%)	≤4.2	
	最高燃焼度 (燃料集合体平均) (GWd/t)	≤48	≤44
	SFPでの冷却期間 (年)	A型: ≥15 B型: ≥17	
キャスク 1基 あたり	平均燃焼度 (GWd/t)	≤44	
バーナブル ポイズン	最高燃焼度 (GWd/t)	≤90	—
	SFPでの冷却期間 (年)	≥15	—
配置			

審査結果：燃料体等の貯蔵施設（遮蔽能力）

確認結果

使用済燃料の収納条件等を考慮した評価を行った結果、兼用キャスク表面の線量当量率は1時間当たり2ミリシーベルト以下、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は1時間当たり100マイクロシーベルト以下を満足すること、使用済燃料乾式貯蔵建屋は、自然現象等により損壊しない設計とするとしており、遮蔽機能が著しく低下することはない設計としていること等を確認した。

第918回審査会合資料
から一部抜粋



(解析モデルの例)

(遮蔽解析評価結果)

	最大線量当量率	基準
表面	1.83mSv/h	$\leq 2\text{mSv/h}$
表面から1m離れた位置	86.0 $\mu\text{Sv/h}$	$\leq 100\mu\text{Sv/h}$

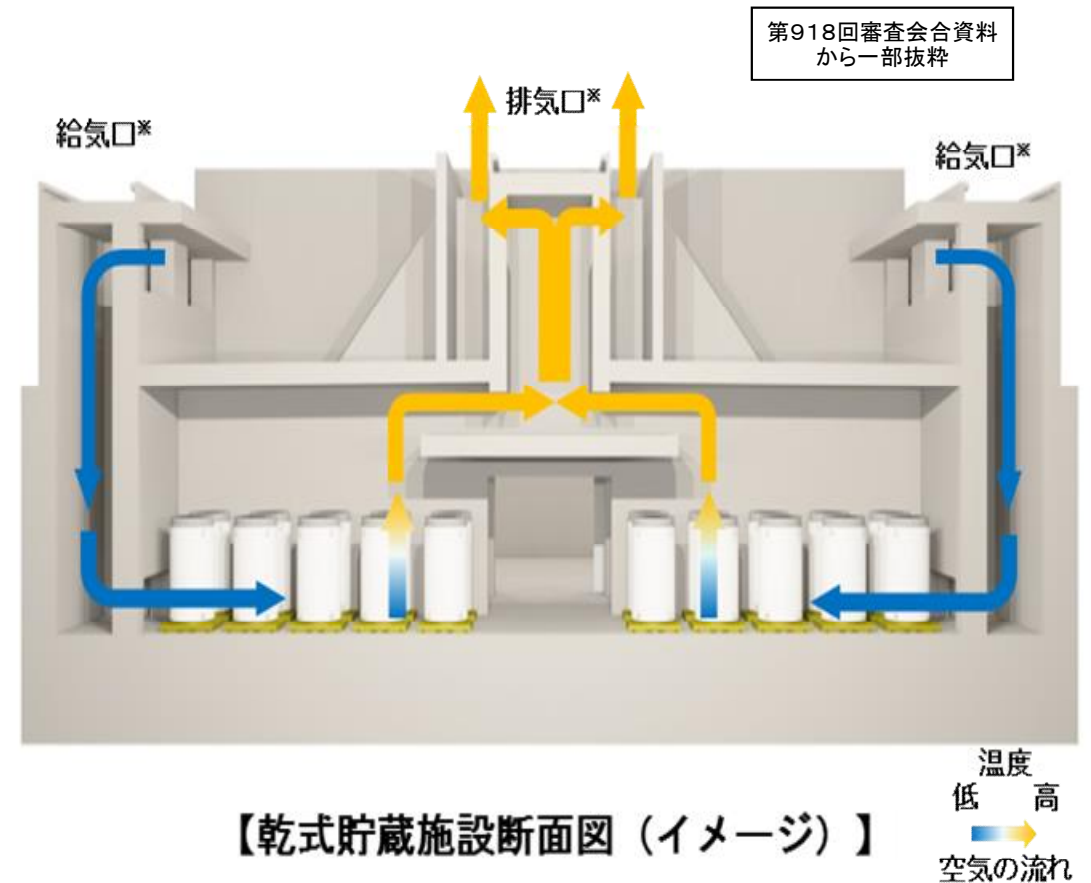
審査結果：燃料体等の貯蔵施設（崩壊熱の除去）

確認結果

- 使用済燃料の温度は、被覆管の破損等に至らない値以下にしていること
- 兼用キャスクの温度は、設計上想定される状態においてキャスクの構成部材が健全性を保つ制限温度の範囲に収まるとしていることを確認した。

使用済燃料乾式貯蔵建屋について、

- 兼用キャスクの除熱機能を阻害しない設計であること
- 施設の給排気口は、その設置位置及び構造から積雪等により閉塞しない設計としていることを確認した。



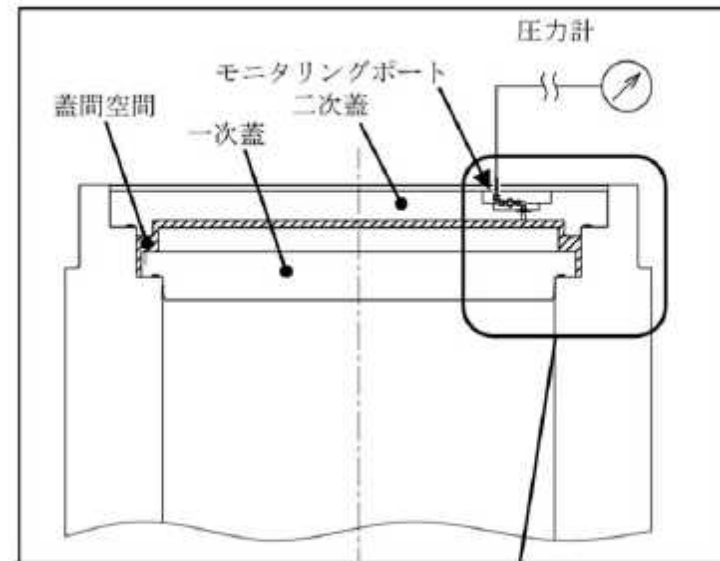
※設置位置や構造により、積雪等によって閉塞しない設計とする。

審査結果：燃料体等の貯蔵施設（閉じ込め及び監視）

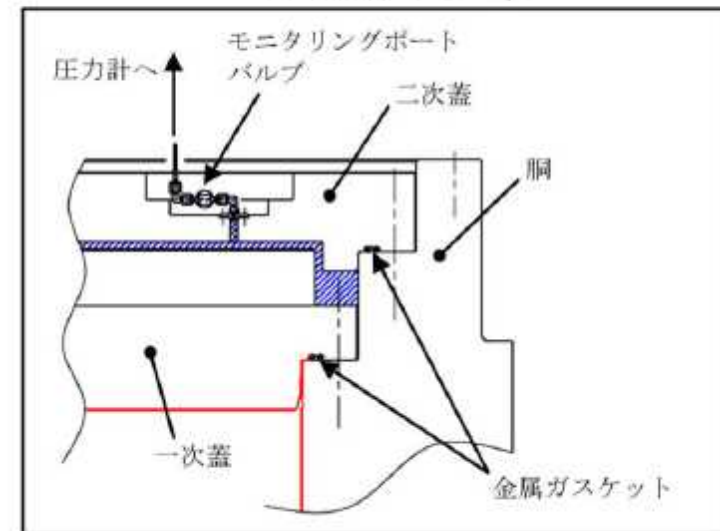
確認結果

- 兼用キャスク本体及び一次蓋により使用済燃料を封入する空間を設計貯蔵期間（60年）を通じて負圧に維持する設計としていること
 - 多重の閉じ込め構造を有する蓋部により、使用済燃料を内封する空間を容器外部から隔離できる設計としていることを確認した。
 - 兼用キャスクの一次蓋と二次蓋との蓋間圧力の監視について、適切な頻度（3か月に1回）により、蓋部が有する閉じ込め機能を監視できる設計としていること
 - 閉じ込め機能の異常に対しては、使用済燃料ピットに移送して燃料の取出しや詰替えを行う等、その修復性が考慮されていること
- 等を確認した。

第918回審査会合資料
から一部抜粋



<蓋部断面図>



<蓋部詳細図>

審査結果：燃料体等の貯蔵施設（経年劣化を考慮した材料・構造健全性）

確認結果

- 設計貯蔵期間を設置変更許可申請書で明確にしていること
- 兼用キャスクの安全機能を担保する構成部材については、設計貯蔵期間の温度、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考慮していること
- 兼用キャスク内部は不活性ガスであるヘリウムを封入する設計としていること
- これらにより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していることを確認した。

<照射影響>

設計貯蔵期間中の中性子照射量が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ことから、中性子照射による影響はない。

<熱影響>

使用済燃料及び乾式キャスク構成部材温度が文献等に規定される範囲であることから、熱による経年変化を考慮する必要はない。

第918回審査会合資料から一部抜粋

評価部位		解析結果 (n/cm ²)		基準値 (n/cm ²)
		タイプ1	タイプ2	
使用済燃料被覆管		1.6 × 10 ¹⁵	1.5 × 10 ¹⁵	< 10 ^{21~22}
乾式キャスク 構成部材	胴、一次蓋及び二次蓋	6.5 × 10 ¹⁴	5.9 × 10 ¹⁴	< 10 ¹⁶
	外筒	3.5 × 10 ¹²	3.3 × 10 ¹²	< 10 ¹⁶
	中性子遮蔽材 (レジン)	1.6 × 10 ¹⁴	1.6 × 10 ¹⁴	< 10 ¹⁵
	金属ガスケット	2.0 × 10 ¹⁴	2.0 × 10 ¹⁴	< 10 ¹⁹
	バスケット	1.6 × 10 ¹⁵	1.5 × 10 ¹⁵	< 10 ¹⁶

評価部位		解析結果 (°C)		基準値 (°C)
		タイプ1	タイプ2	
使用済燃料被覆管 (48GWd/t)		約 210	約 220	275
使用済燃料被覆管 (55GWd/t)		約 200	—	250
乾式キャスク 構成部材	胴、外筒、 一次蓋及び二次蓋	約 140	約 150	350
	中性子遮蔽材 (レジン) ※	約 140	約 140	149
	金属ガスケット	約 110	約 110	130
	バスケット	約 180	約 200	250

<化学的影響(腐食等)>

乾式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、腐食の影響はない。また、中性子遮蔽材充填空間は閉鎖環境にあり、酸素が連続的に供給されないため、腐食の影響はない。

※ 設計貯蔵期間中の熱影響によりわずかに質量減損が発生するため、遮蔽解析において、中性子遮蔽材の質量減損を考慮(2.5%)した評価を実施している。

審査結果：工場等における直接線等からの防護（第29条関係）（1 / 2）

要求事項

通常運転時において発電用原子炉施設からの直接線及びスカイシャイン線による工場等周辺の空間線量率が十分に低減できるものでなければならないこと。

確認結果

通常運転時において使用済燃料乾式貯蔵施設を含む発電用原子炉施設からの直接線及びスカイシャイン線による実効線量については、敷地境界外で1年間当たり50マイクロシーベルト以下となるように設計し、発電所周辺の空間線量率が十分に低減できるものとする設計方針を確認した。

敷地等境界外での線量評価結果

第933回審査会合資料
から一部抜粋

評価地点	年間線量 (μSv)			基準
	乾式貯蔵施設	既設建屋	合算	
A	$2.0 \times 10^{-1} \times 1$	15.4	約16	≤ 50
B	$1.1 \times 10^{0} \times 1$	約12 $\times 2$	約14	

※1：保守的な評価結果であるガンマ線の線量。中性子は、A地点が $6.3 \times 10^{-2} \mu\text{Sv}$ 、B地点が $4.2 \times 10^{-1} \mu\text{Sv}$

※2：既設建屋からの線量合計が最大となる地点から、距離概算した値。

評価地点Aにおける各建屋からの線量

建屋名		評価結果 ($\mu\text{Sv}/\text{y}$)
既設建屋	原子炉格納容器	3、4号炉 6.4×10^{-3}
	原子炉補助建屋	1、2号炉 3.8×10^{-1}
		3、4号炉 1.1×10^{-2}
	1-固体廃棄物貯蔵庫	1.1×10^1
	2-固体廃棄物貯蔵庫	4.0×10^0
	3-固体廃棄物貯蔵庫	5.8×10^{-3}
	4-固体廃棄物貯蔵庫	2.7×10^{-3}
	雑固体溶融処理建屋	5.1×10^{-3}
	蒸気発生器保管庫	2.8×10^{-1}
	乾式貯蔵施設	2.0×10^{-1}
合計		約16

