

玄海原子力発電所の 使用済燃料乾式貯蔵施設の設置について

2021年7月9日
九州電力株式会社

目次

1. はじめに
2. 乾式貯蔵施設について
3. 乾式貯蔵建屋の地盤
4. 乾式貯蔵建屋の安全性
5. 乾式貯蔵施設の耐震性
6. 乾式キャスクの安全性
7. おわりに

1. はじめに

- 当社は、使用済燃料を日本原燃六ヶ所再処理工場へ搬出することを基本方針としています。
- 玄海原子力発電所においては、使用済燃料貯蔵対策として、乾式貯蔵建屋と乾式貯蔵容器（以下、「乾式キャスク」という）から構成する乾式貯蔵施設の設置及び玄海3号機の使用済燃料プールの貯蔵能力変更（リラッキング）を行い、貯蔵余裕を確保することとしています。
- 乾式貯蔵施設の設置計画については、2019年1月22日、原子力規制委員会へ原子炉設置変更許可申請を行い、2021年4月28日に同委員会より許可をいただきました。
- 本日は、許可をいただきました乾式貯蔵施設の設置計画についてご説明させていただきます。

2. 乾式貯蔵施設について

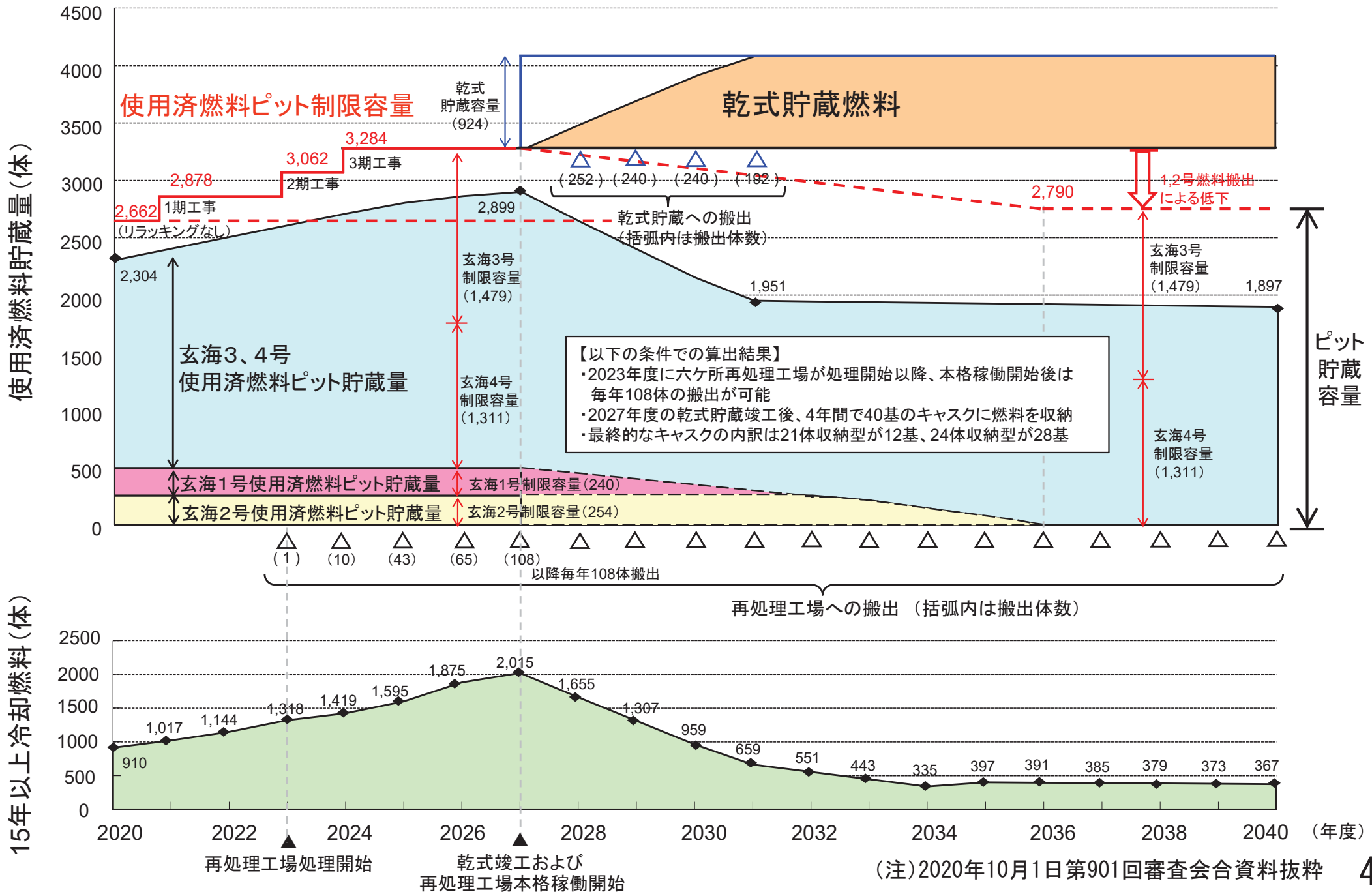
○玄海原子力発電所においては、使用済燃料貯蔵設備の貯蔵余裕を確保するため、現行のプール方式による保管に加え、国内外で実績のある乾式貯蔵施設を発電所敷地内に設置し、貯蔵方式の多様化による貯蔵の信頼性及び運用性の向上を図ります。

乾式貯蔵の導入による貯蔵対策の多様化

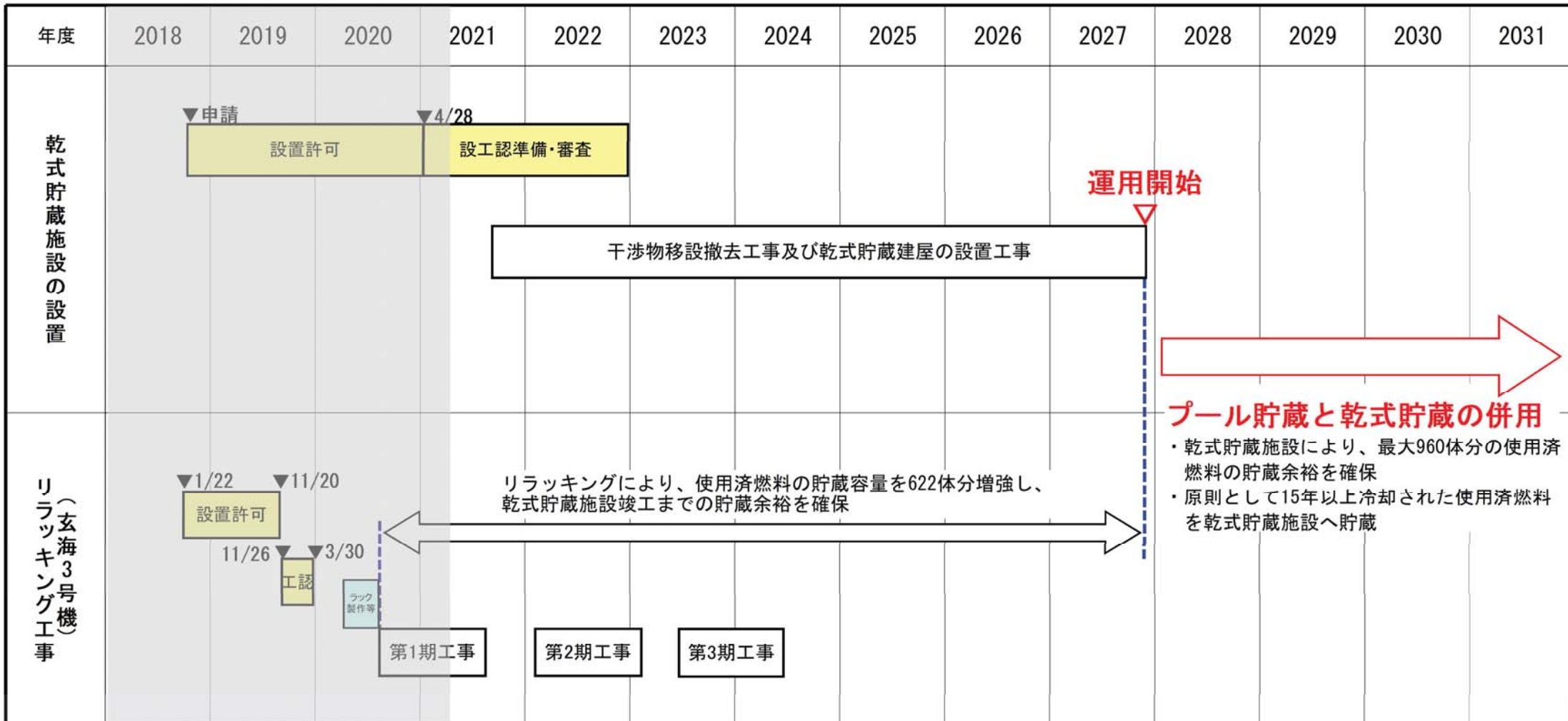
- 乾式貯蔵は、冷却に水や電気を必要としない貯蔵方式で、使用済燃料プールにて15年以上冷却された使用済燃料を貯蔵することができます。
海外でも多数の実績があり、国内でも導入されるとともに、福島第一原子力発電所での事故において、地震や津波に対する安全性が確認されています。
- 現行の使用済燃料プール貯蔵は、水を使って冷却するため、原子炉から取り出した後の冷却が進んでいない使用済燃料の貯蔵に適しています。
なお、玄海3号機は、乾式貯蔵施設竣工までの貯蔵余裕を確保するため使用済燃料プールラックセルの稠密化（リラッキング）工事を実施しています。

○それぞれの良さを持つこれらの2つの方式を併用し、敷地内で一体的に運用することにより、運用性のより一層の向上を図ることができます。

2. 乾式貯蔵施設について [使用済燃料貯蔵対策と貯蔵量推移(想定)]

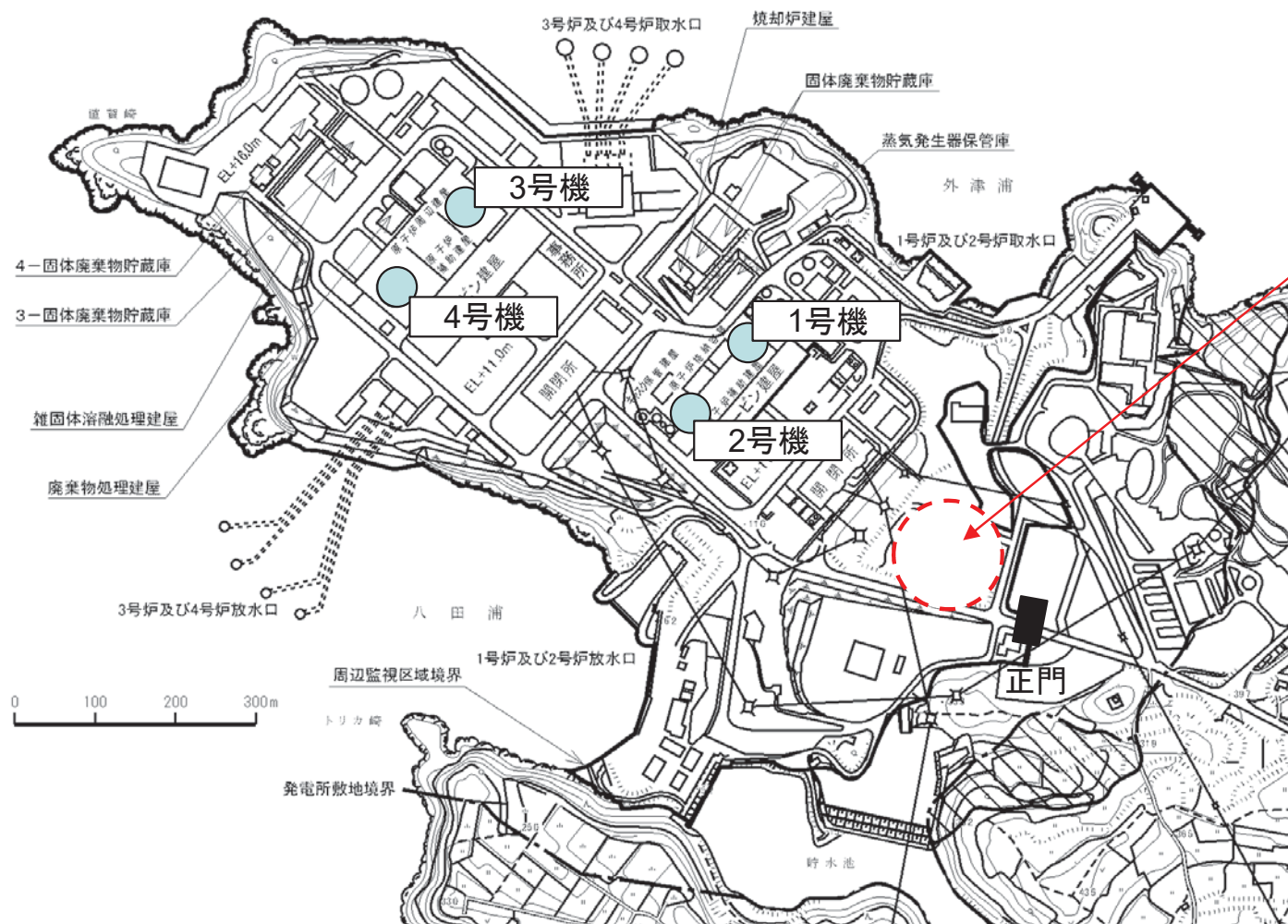


2. 乾式貯蔵施設について [乾式貯蔵施設運用開始までの主要工程]



2. 乾式貯蔵施設について

- 乾式貯蔵施設は、使用済燃料を再処理工場へ搬出するまでの間、一時的に貯蔵する施設であり、発電所の敷地内に設置します。
- 乾式貯蔵施設では、使用済燃料を収納した乾式キャスクを乾式貯蔵建屋に貯蔵します。

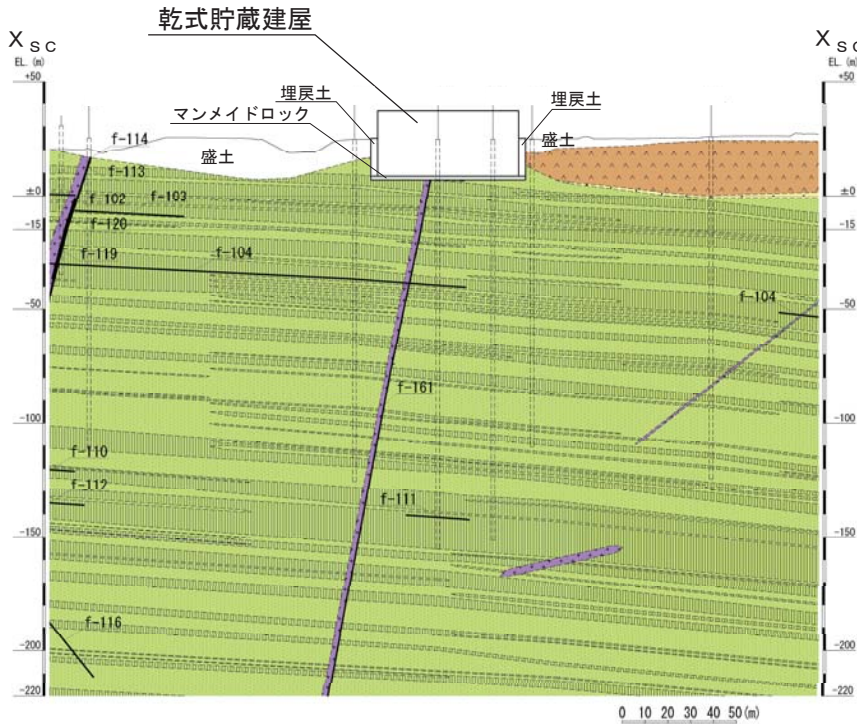


乾式貯蔵施設
設置位置

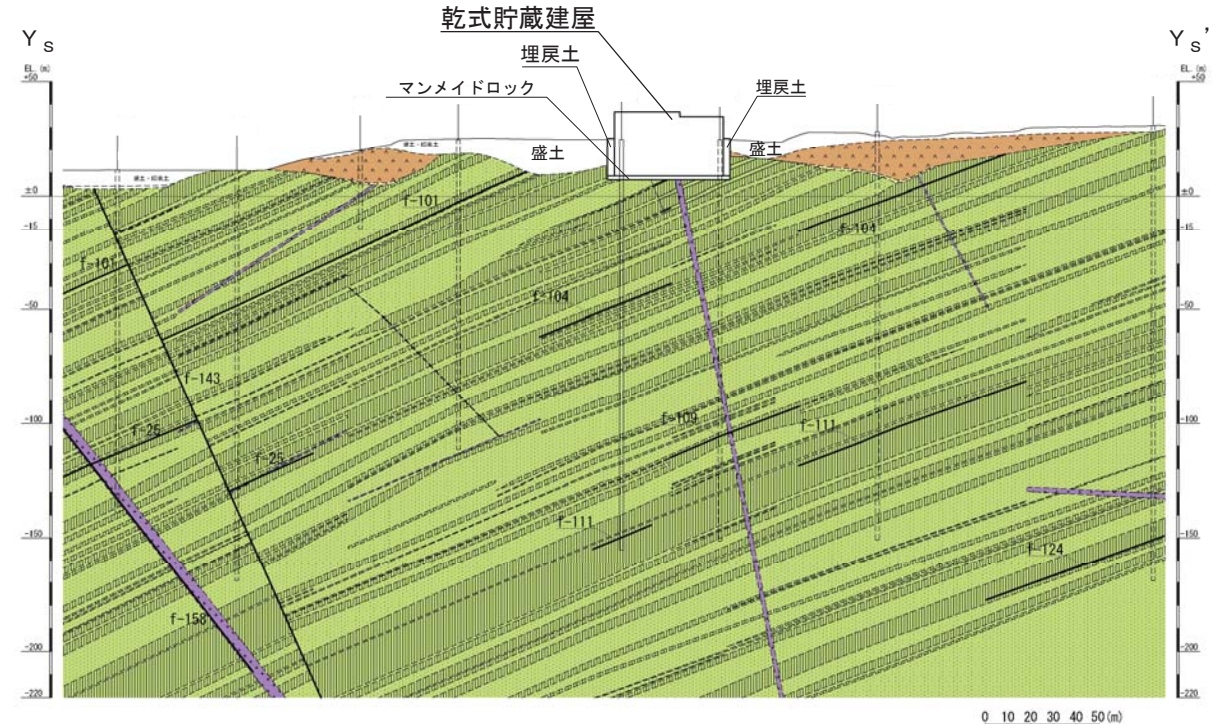
3. 乾式貯蔵建屋の地盤

〔敷地の地質・地質構造〕

- 乾式貯蔵施設設置位置付近の地質は、原子炉施設設置位置と同様に佐世保層群を基盤として構成されています。
- 乾式貯蔵施設は、将来活動する可能性のある断層等が露頭していない場所に設置します。



地質鉛直断面図 (X_{sc} - X_{sc}')



地質鉛直断面図 (Y_s - Y_s')

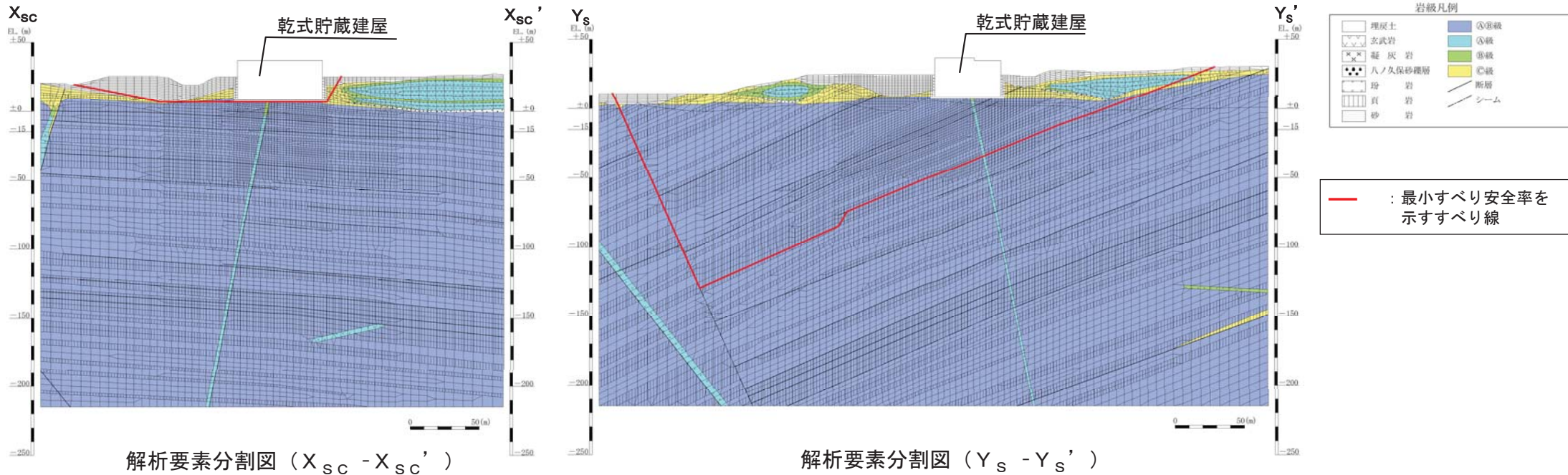
記号凡例	
	ボーリング孔 (投影)
	試験坑 (投影)
	岩種境界線
	断層 破碎帯
(G: 3, 4号炉試験坑で確認された断層)	
(g: 1, 2号炉試験坑で確認された断層)	
(f: 上記以外の断層)	

地質時代		地層名	地質	
新 生 代	第四紀	沖積層	表土 (盛土等を含む)	
			無斑晶質玄武岩	
			凝灰岩	
	新第三紀	鮮新世	東松浦玄武岩類	かんらん石粗粒玄武岩
		中新世	八ノ久保砂礫層	砂礫層
	古第三紀	漸新世	肥前粗粒玄武岩類	玢岩
佐世保層群			頁岩	
			砂岩	

3. 乾式貯蔵建屋の地盤

〔基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価〕

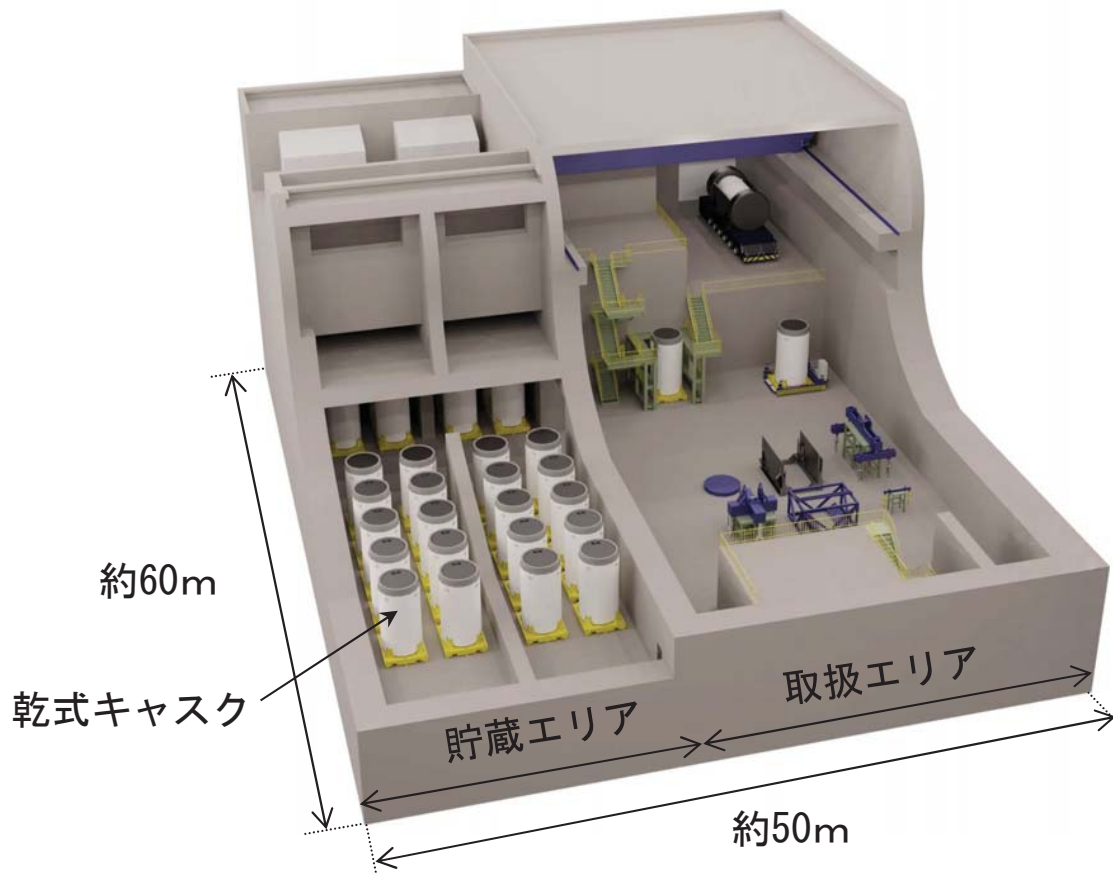
- 乾式キャスクを貯蔵した乾式貯蔵建屋の基礎地盤の安定性について評価した結果、評価基準値を満足することを確認しました。
- 乾式貯蔵建屋の周辺には、斜面崩壊によって安全機能に影響を及ぼすような斜面がないことを確認しました。



評価項目	判定値	評価結果	
		〔 $X_{sc} - X_{sc}'$ 断面〕	〔 $Y_s - Y_s'$ 断面〕
すべり安全率	≥ 1.5	6.2	2.5
最大接地圧	$< 13.7 \text{ N/mm}^2$	0.82 N/mm^2	1.01 N/mm^2
最大傾斜	$\leq 1/2,000$	$1/47,000$	$1/40,000$

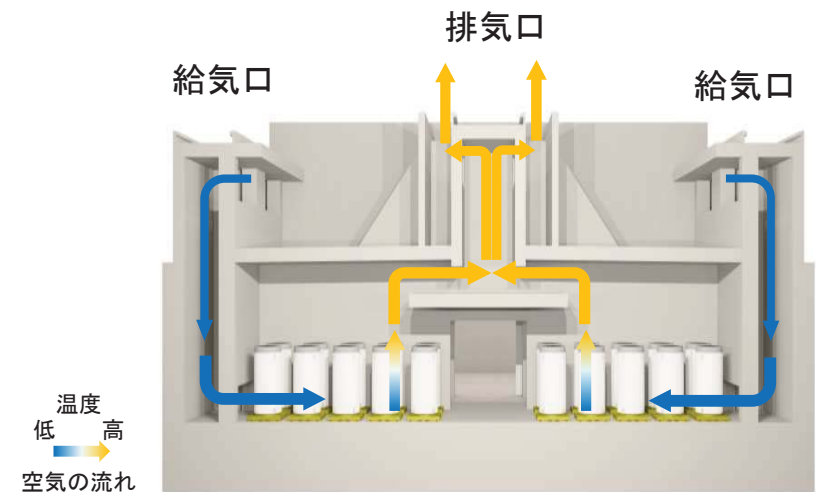
4. 乾式貯蔵建屋の安全性

- 乾式貯蔵建屋は、乾式キャスクの受入時の点検等を行う取扱エリアと、最大で使用済燃料960体分に相当する乾式キャスク40基を貯蔵可能な貯蔵エリアで構成されています。
- また、建屋内は、空気の自然対流により乾式キャスクを冷却します。



【乾式貯蔵建屋外観図】

項目	概要
貯蔵容量	・ 乾式キャスク 40基 (使用済燃料 最大960体分)
乾式貯蔵建屋	・ 約50m×約60m、高さ：約30m ・ 鉄筋コンクリート構造



【乾式貯蔵建屋内の自然対流冷却】

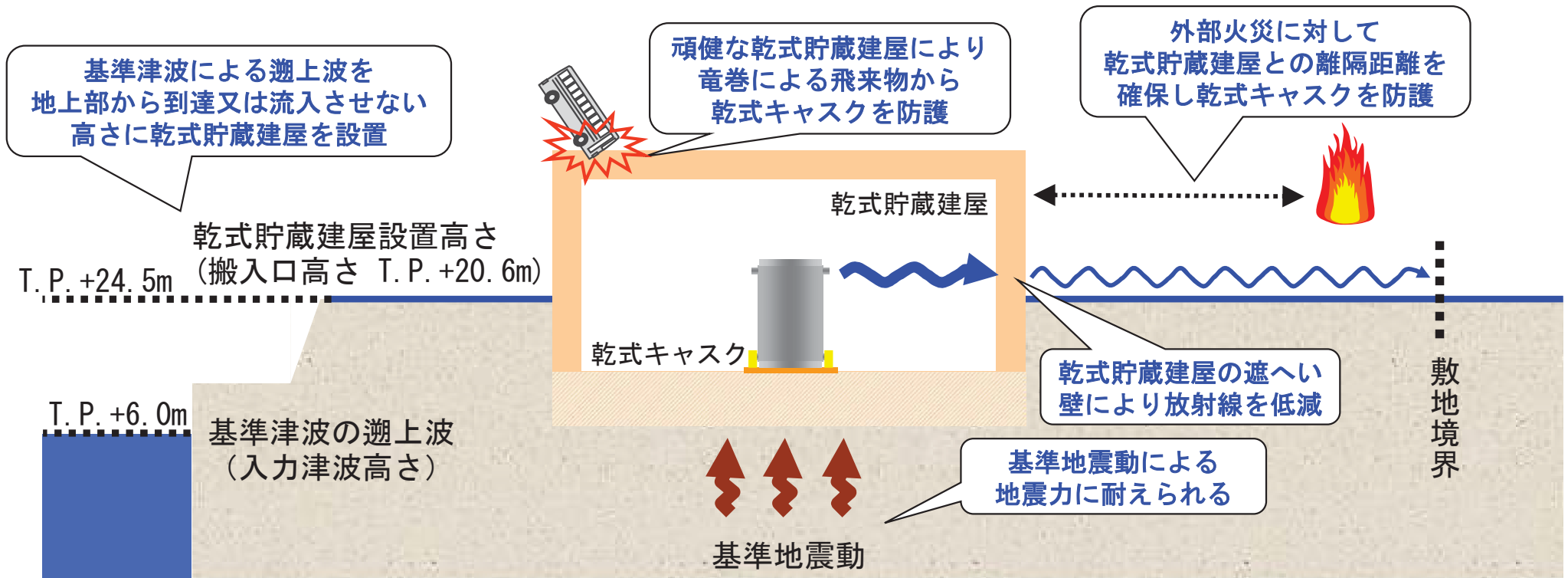
4. 乾式貯蔵建屋の安全性

○乾式貯蔵建屋は、乾式キャスクへ影響を与えないよう、地震や津波、竜巻等の自然現象に対しても耐えられる構造となっています。

○また、乾式貯蔵建屋の遮へい壁によって乾式キャスクからの放射線を遮へいする構造としているため、敷地境界の公衆被ばく線量の増加はわずかであり、基準値を十分に下回ることを確認しています。

〔周辺公衆の被ばく線量の評価結果（線量合計が最大となる地点）〕

周辺公衆被ばく線量 (敷地境界) ($\mu\text{Sv}/\text{y}$)	乾式貯蔵施設設置前 (発電所全体)	乾式貯蔵施設	乾式貯蔵施設設置後 (発電所全体)	基準値
	15.4	0.2	約 16	≤ 50



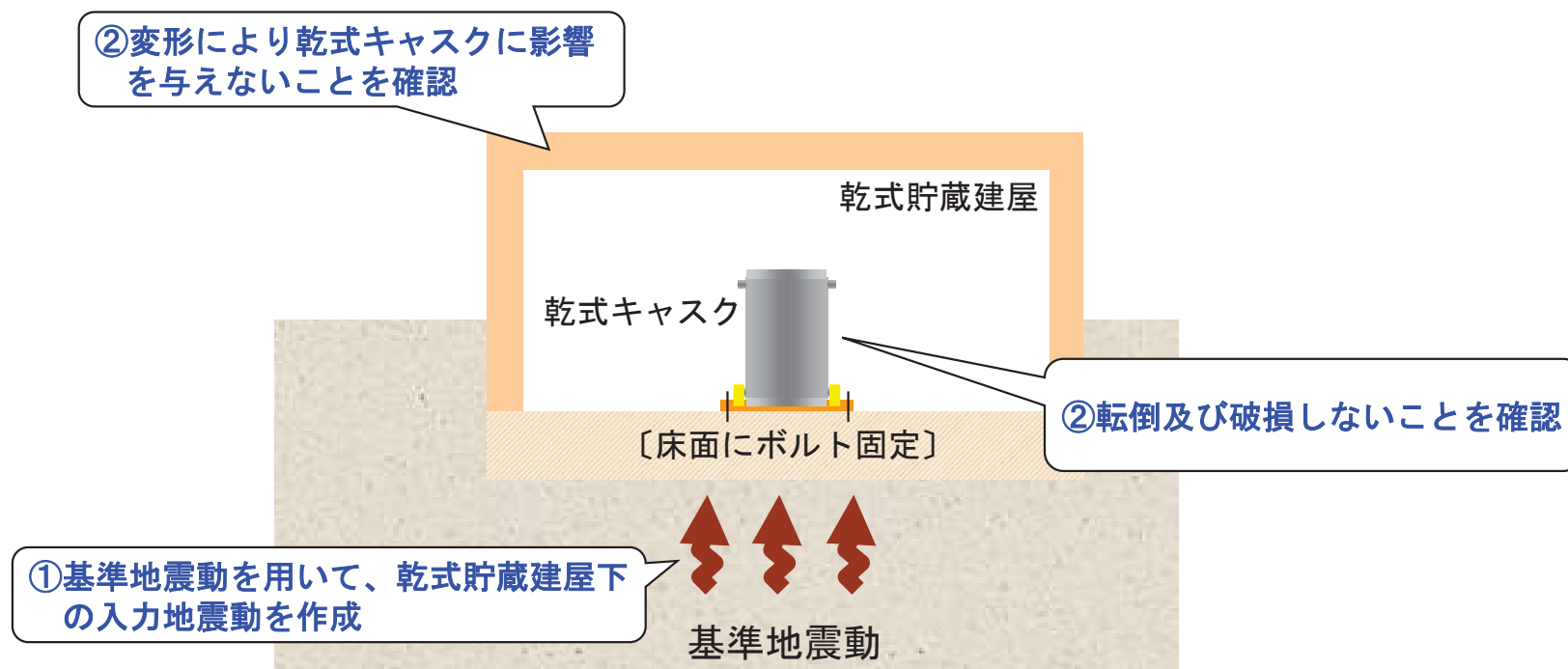
5. 乾式貯蔵施設の耐震性

○乾式貯蔵建屋及び乾式キャスクは基準地震動に対して耐震性を有する構造とします。

【設計方針】

- ①基準地震動を用いて、乾式貯蔵建屋下の地盤条件を考慮して入力地震動を作成します。
- ②乾式貯蔵建屋及び乾式キャスクをそれぞれモデル化し、建屋の変形及び乾式キャスクに発生する応力を算出します。

建屋の変形量が基準値以下であり、乾式キャスクに影響を与えないこと及び、乾式キャスクに発生する応力により、乾式キャスクが転倒及び破損しないことを確認します。



【乾式貯蔵施設の耐震評価概要】

(参考) 玄海原子力発電所の基準地震動の概要

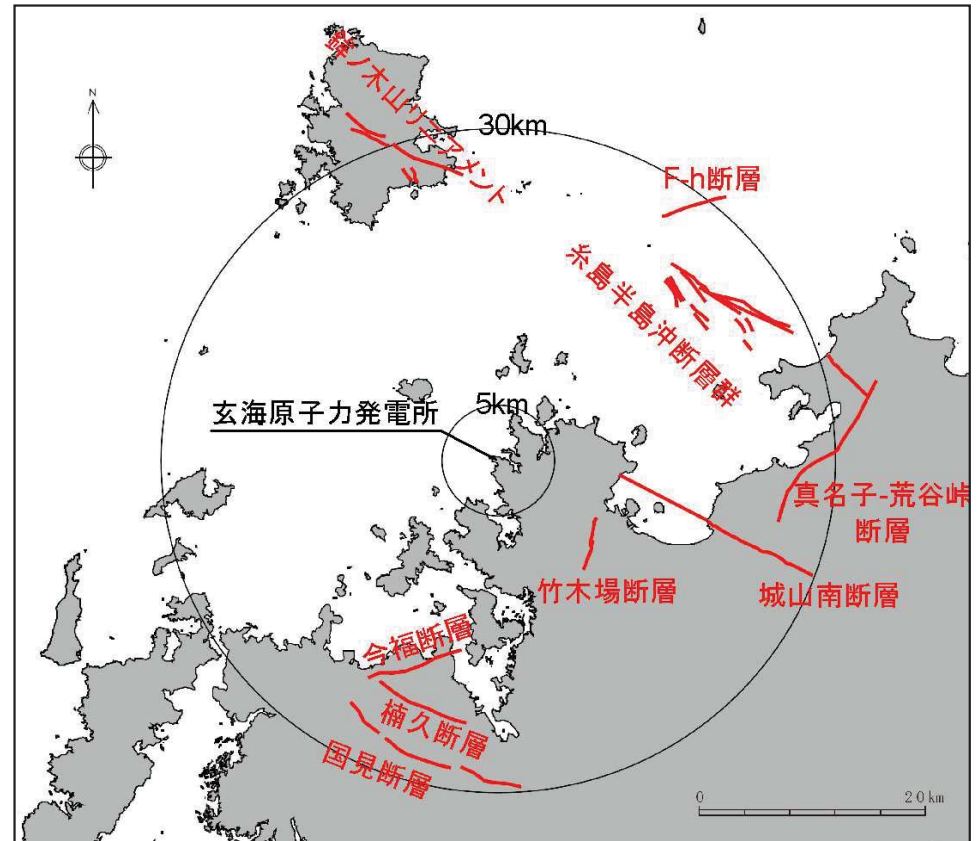
○ 玄海原子力発電所の耐震評価に用いる基準地震動は、「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」と「震源を特定せず策定する地震動」を基に策定しております。

➤ 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動
(発電所周辺の活断層により想定される地震動)

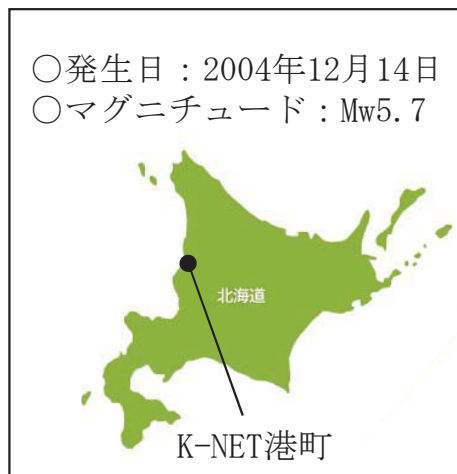
- ・ Ss-1 : 540ガル
[応答スペクトル(全ての活断層)]
- ・ Ss-2 : 268ガル
[断層モデル(城山南断層)]
- ・ Ss-3 : 524ガル
[断層モデル(竹木場断層)]

➤ 震源を特定せず策定する地震動
(震源と活断層の関連付けが難しい過去の地震動)

- ・ Ss-4 : 620ガル
[2004年北海道留萌支庁南部地震]
- ・ Ss-5 : 531ガル
[2000年鳥取県西部地震]



玄海原子力発電所周辺の活断層分布図

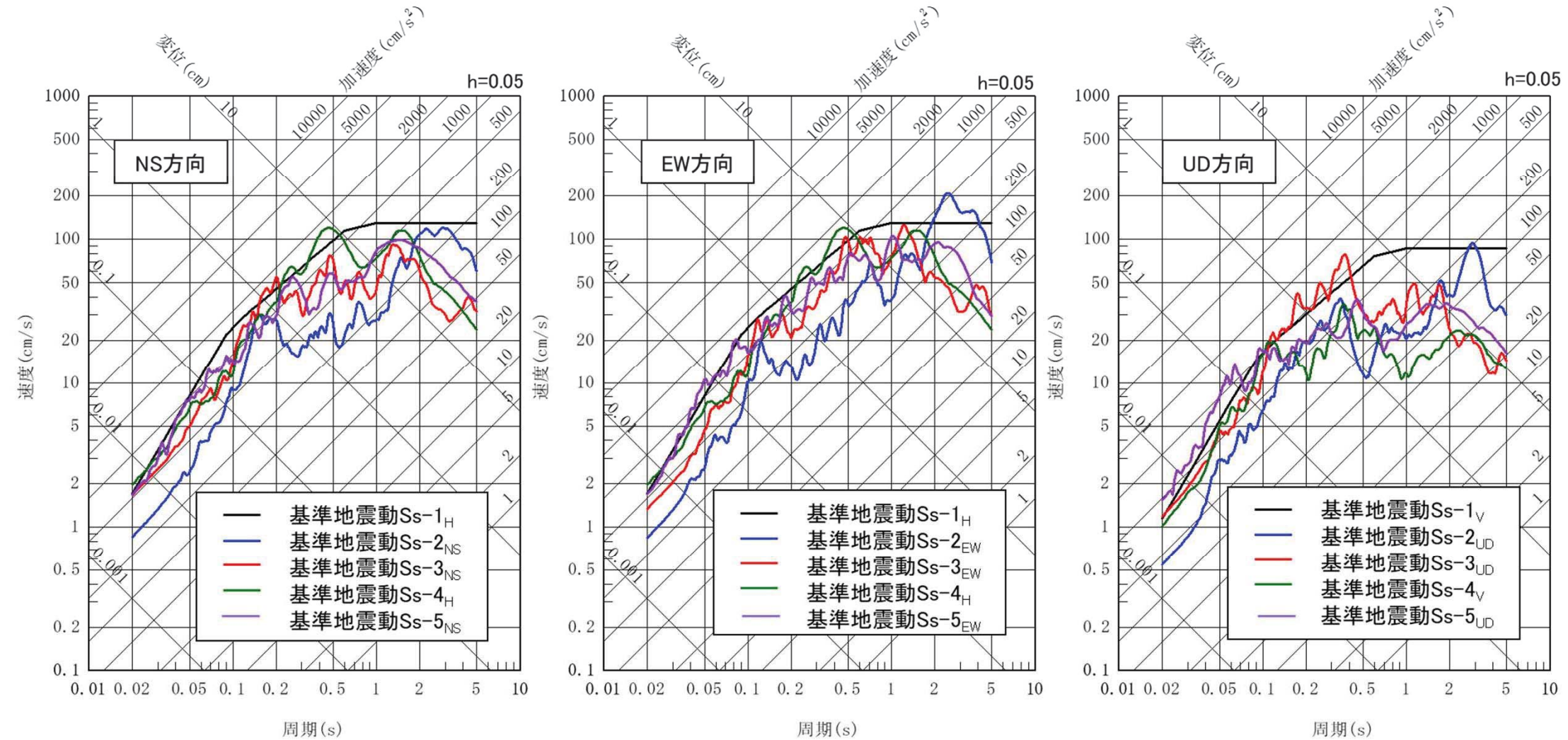


北海道留萌支庁南部地震の概要



鳥取県西部地震の概要

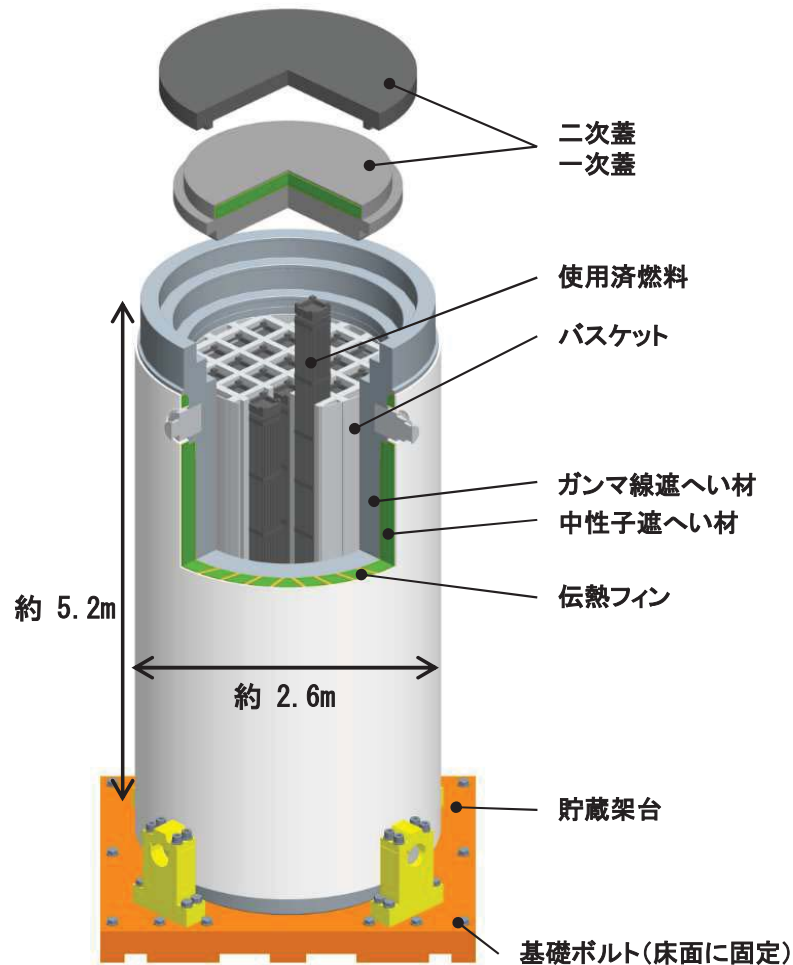
(参考) 玄海原子力発電所の基準地震動の概要



【基準地震動の応答スペクトル】

6. 乾式キャスクの安全性

- 乾式キャスクは、1,2号機の燃料（14×14型燃料）と3,4号機の燃料（17×17型燃料）を収納できるタイプ1及び、3,4号機の燃料（17×17型燃料）専用のタイプ2の2種類を設置します。
- 乾式キャスクには、15年以上冷却が進んだ使用済燃料を収納します。
- また、輸送容器と兼用であることから、収納した使用済燃料を詰め替えることなく、発電所外へ搬出が可能となっています。



【乾式キャスクの構造図】

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)

収納容量

<タイプ1>

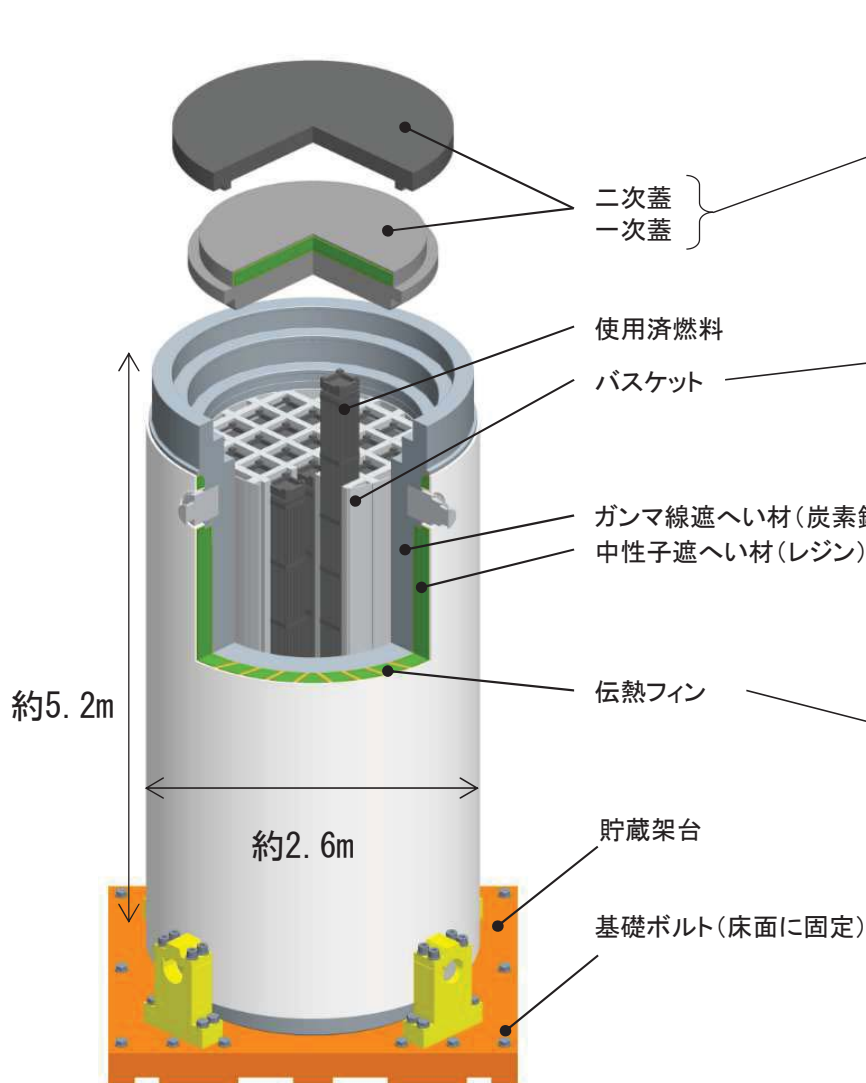
- ・使用済燃料:21体/基

<タイプ2>

- ・使用済燃料:24体/基

6. 乾式キャスクの安全性

- 乾式キャスクは、使用済燃料を安全に貯蔵するため、閉じ込め機能、臨界防止機能、遮へい機能、除熱機能の4つの安全機能を有しています。



【①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。

【②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。

【③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100 μ Sv/h以下とする。

【④除熱機能】

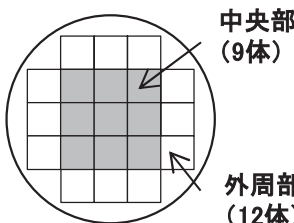
乾式キャスク内部には、熱を伝えやすいヘリウムを充てんするとともに、伝熱フィンを通じて使用済燃料から発生する熱を乾式キャスク表面に伝え、外気で冷却する。

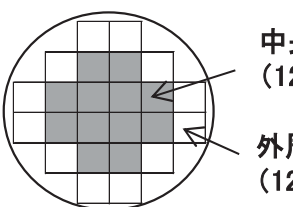
6. 乾式キャスクの安全性

乾式キャスクの収納条件

<キャスクタイプ1>

<キャスクタイプ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型/B型)		14×14型 (A型/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	
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型/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	
配置			

燃料タイプ

- ・A型: 三菱原子燃料(株)製
- ・B型: 原子燃料工業(株)製

6. 乾式キャスクの安全性

- 乾式キャスクの4つの安全機能を評価し、必要な安全性が確保されていることを確認しています。

安全機能	設計方針	評価結果（最大値）		基準値
①閉じ込め機能	乾式キャスク内部の負圧を維持するため、必要な漏えい率以下とする。	漏えい率	1.0×10^{-8} Pa・m ³ /s	$\leq 2.32 \times 10^{-6}$ Pa・m ³ /s
②臨界防止機能	使用済燃料の臨界を防止する。	中性子実効増倍率	0.92	≤ 0.95
③遮へい機能	2種類の遮へい材により放射線を遮へいする。	表面の線量当量率	1.83 mSv/h	≤ 2 mSv/h
		表面から1mの線量当量率	86 μ Sv/h	≤ 100 μ Sv/h
④除熱機能	使用済燃料の崩壊熱に対し、燃料被覆管や乾式キャスクの構成部材が耐えられる設計とする。	使用済燃料被覆管	220 °C	≤ 275 °C
		胴/外筒/一次蓋/二次蓋	150 °C	≤ 350 °C
		中性子遮へい材	140 °C	≤ 149 °C
		金属ガスケット	110 °C	≤ 130 °C
		バスケット	200 °C	≤ 250 °C

6. 乾式キャスクの安全性

①閉じ込め機能

○乾式キャスクは、内部の負圧を維持できるように密閉された構造としています。

○一次蓋と二次蓋間の圧力を測定することで閉じ込め機能を監視できます。

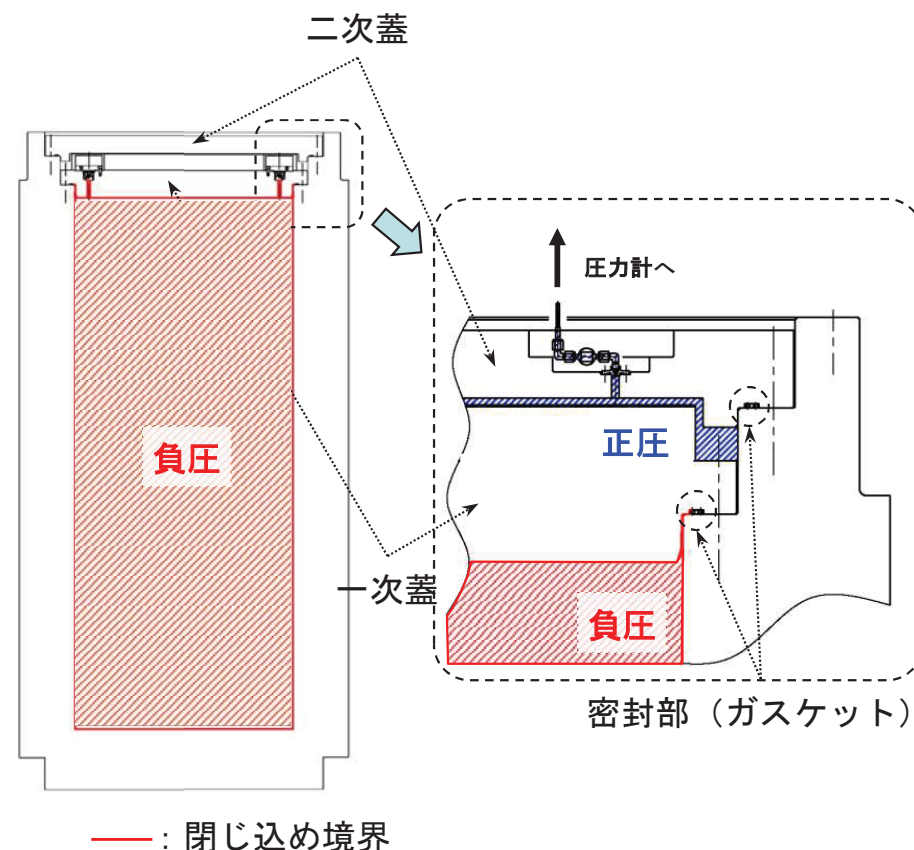
【構造】

・乾式キャスクの内部を負圧に維持し、一次蓋と二次蓋間を正圧とすることで、放射性物質を乾式キャスク内部に閉じ込めます。

・乾式キャスクの密閉部(ガスケット)には、内部を負圧に維持できる漏えい率の基準値を満足するものを使用します。

【評価結果】

	密封部(ガスケット)の仕様 (Pa・m ³ /s)	基準値 (Pa・m ³ /s)
キャスクタイプ1	1.0×10 ⁻⁸ 以下	≤2.32×10 ⁻⁶
キャスクタイプ2		≤2.49×10 ⁻⁶



【閉じ込め構造】

6. 乾式キャスクの安全性

②臨界防止機能

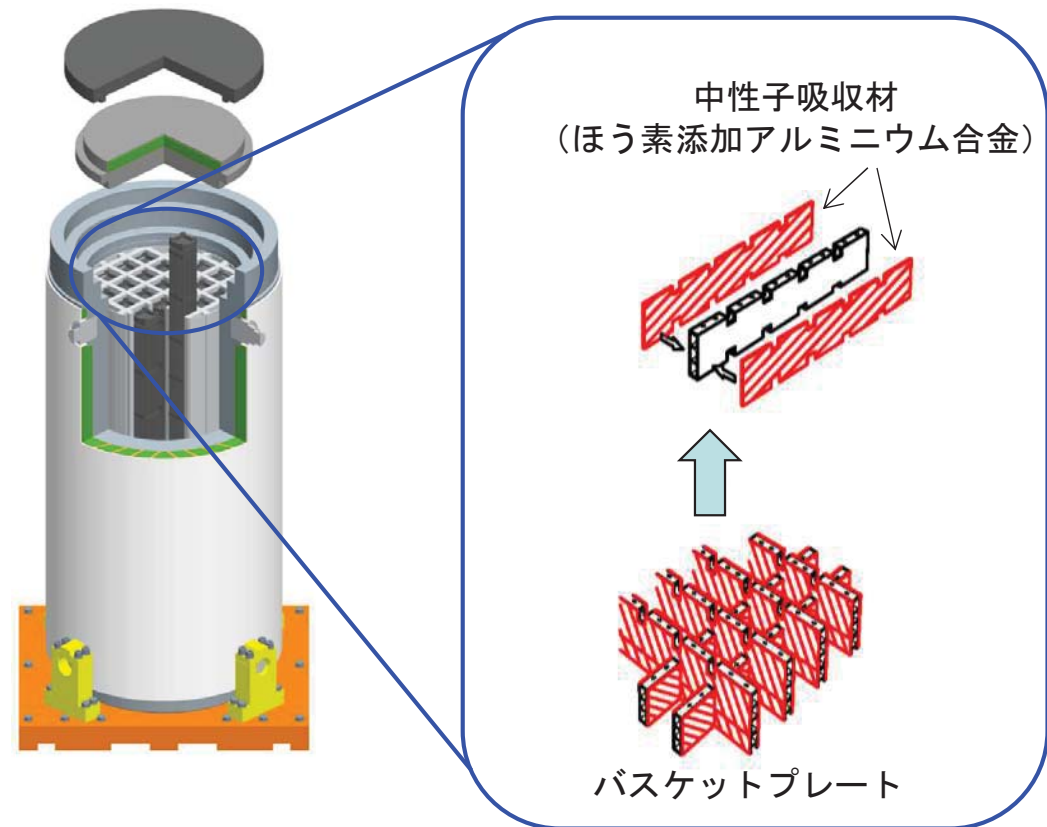
○乾式キャスクは、臨界防止に対する最も厳しい状態として、内部を純水にて満水とした状態を想定しても、中性子の実効増倍率が0.95以下となることを確認しています。

【構造】

・乾式キャスク内のバスケットに、中性子吸収材であるほう素添加アルミニウム合金を使用することで、臨界を防止します。

【評価結果】

	中性子 実効増倍率	基準値
キャスクタイプ1	0.91	≤0.95
キャスクタイプ2	0.92	



【バスケット構造】

6. 乾式キャスクの安全性

③遮へい機能

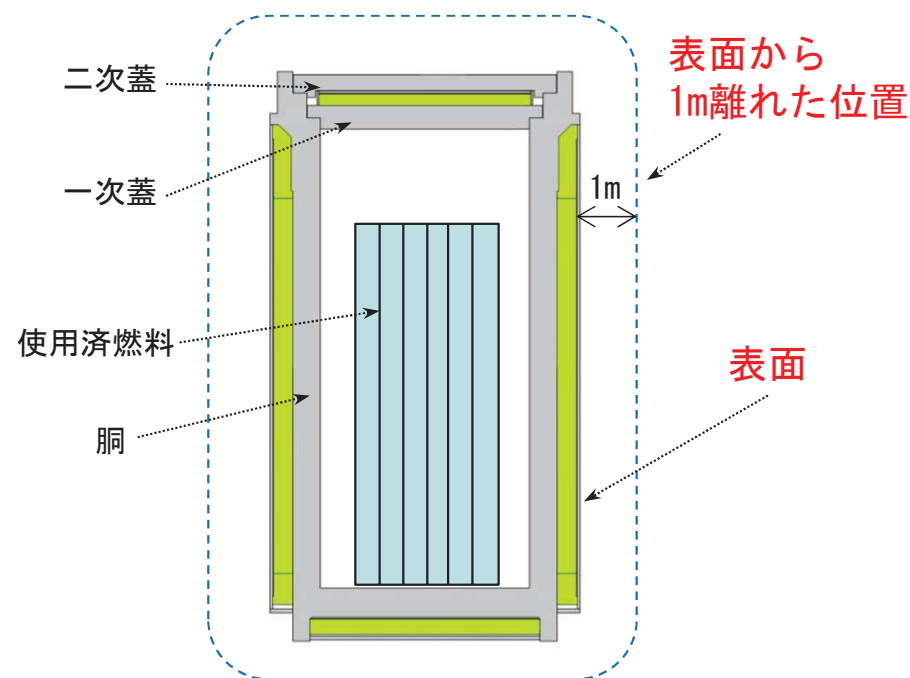
○乾式キャスクは、一般公衆及び放射線業務従事者に対し、放射線被ばく上の影響を及ぼすことのないよう、使用済燃料から放出される放射線をガンマ線遮へい材及び中性子遮へい材により適切に遮へいします。

【構造】

- ・ガンマ線遮へい材には、鋼製の材料を用い、中性子遮へい材には、水素を多く含有するレジンを使用します。
- ・乾式キャスク表面及び表面から1m離れた位置の線量当量率が基準値以下となることを確認しています。

【評価結果】

	最大線量当量率		基準値
	キャスク タイプ1	表面	1.73 mSv/h
表面から 1m離れた位置		78 μ Sv/h	≤ 100 μ Sv/h
キャスク タイプ2	表面	1.83 mSv/h	≤ 2 mSv/h
	表面から 1m離れた位置	86 μ Sv/h	≤ 100 μ Sv/h



- : ガンマ線遮へい材 (炭素鋼)
- : 中性子遮へい材 (レジン)

【乾式キャスクの遮へい材(断面図)】

6. 乾式キャスクの安全性

④除熱機能

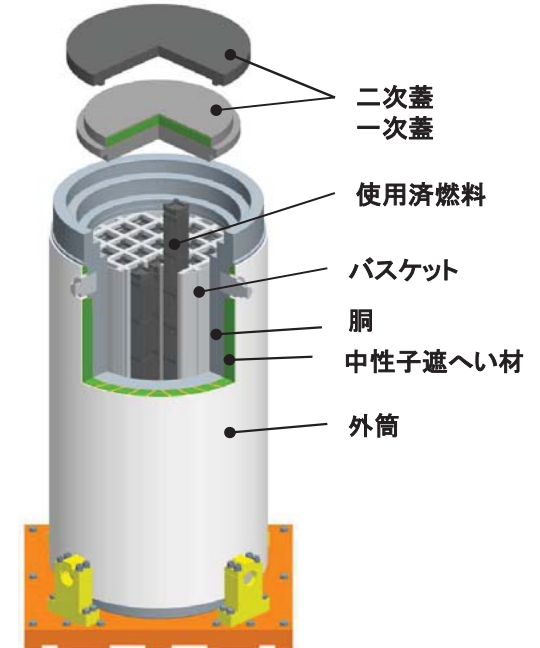
○乾式キャスクは、水や電気による冷却装置が不要であり、自然冷却によって使用済燃料の崩壊熱を外部に放出します。

【構造】

- ・乾式キャスクは、使用済燃料から発生する崩壊熱を伝熱フィンを通して乾式キャスク外表面に伝え、周辺の空気等に伝達します。
- ・使用済燃料を熱源とした伝熱評価を実施し、燃料被覆管及び乾式キャスク構造部材の健全性が維持できることを確認しています。

【評価結果】

評価部位		解析結果		基準値
		タイプ1	タイプ2	
使用済燃料		210 °C	220 °C	275 °C
乾式キャスク 構成部材	胴、外筒、 一次蓋及び二次蓋	140 °C	150 °C	350 °C
	中性子遮へい材 (レジン)	140 °C	140 °C	149 °C
	ガスケット	110 °C	110 °C	130 °C
	バスケット	180 °C	200 °C	250 °C



7. おわりに

当社は、今後とも、乾式貯蔵施設の設置をはじめ、玄海原子力発電所の使用済燃料の運用・管理を適切に行っていくとともに、地域をはじめ皆さまの一層の安心、信頼が得られるよう、これらの取組みについて、積極的な情報公開と丁寧な説明に努めてまいります。