

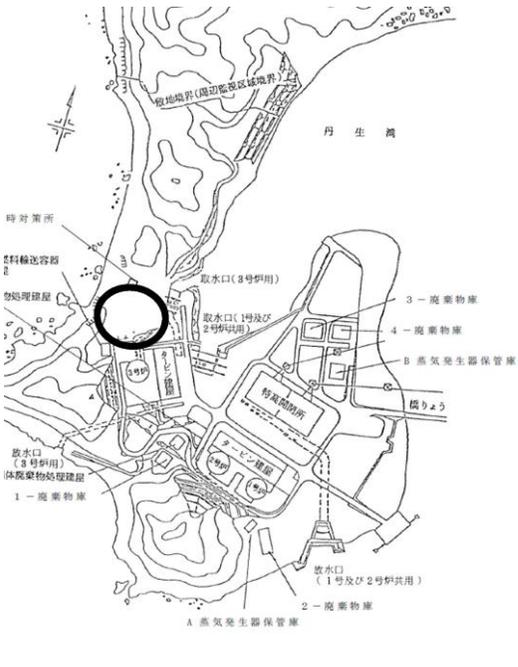
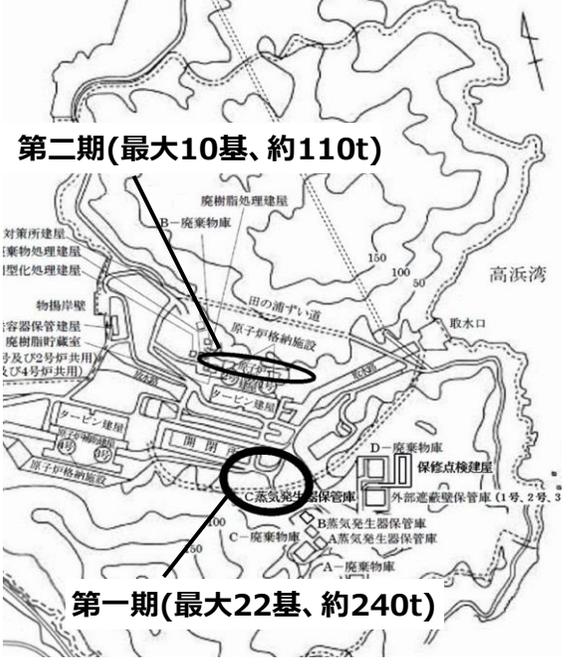
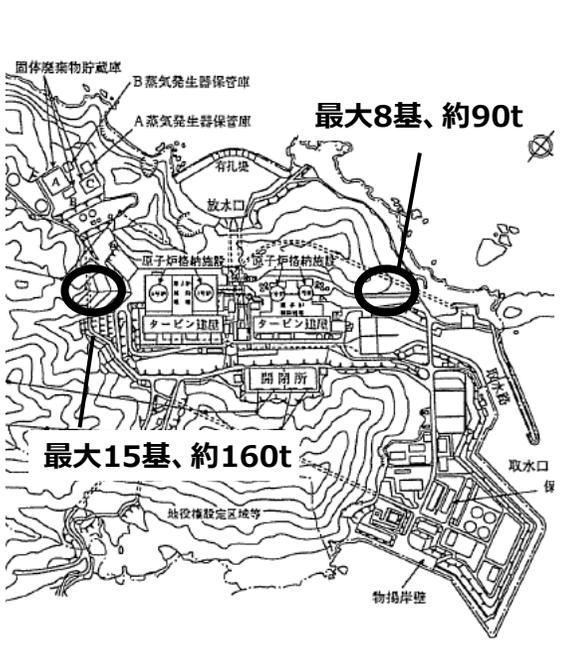
使用済燃料乾式貯蔵施設設置計画の 事前了解願いについて

2024年2月27日

- 使用済燃料の中間貯蔵施設へのより円滑な搬出、さらに搬出までの間、電源を使用せずに安全性の高い方式で保管できるよう、各発電所構内に使用済燃料乾式貯蔵施設を設置する。（使用済燃料対策ロードマップ（2023年10月10日策定））
- 乾式貯蔵施設の容量は、中間貯蔵施設へ輸送する輸送船の積載可能量や年間の輸送可能回数から算出した年間輸送可能量を3つの発電所合計の容量(約700t)とし、各発電所における使用済燃料の発生量に応じて按分する。
- 原子炉設置変更許可の申請は、1つの場所で最大の容量となる高浜発電所の1箇所を第一期分として先行して申請し、残りの高浜発電所第二期分、大飯・美浜発電所の申請については、高浜発電所第一期の安全審査での議論を適切に反映したうえで申請する。

使用済燃料乾式貯蔵施設の容量、設置位置等

- 各発電所の容量については、3つの発電所合計の容量(約700t)とし、各発電所における使用済燃料の発生量に応じて按分する。
- また、当社の発電所については、発電所内で確保できる敷地が限られており、高浜発電所、大飯発電所については、1か所で保管できる場所が確保できないため、2か所に分割して設置。

	美浜発電所	高浜発電所	大飯発電所
容量	最大10基、約100t	最大32基、約350t	最大23基、約250t
設置位置			
工期	2026年～2030年頃	(第一期) 2025年～2027年頃 (第二期) 2025年～2030年頃	2025年～2030年頃

乾式貯蔵施設に関する主な規制要求事項の改正点

○ 2019年に原子力規制委員会が乾式貯蔵施設に関する規制要求を改正し、安全性を確保した上で、様々な貯蔵方式に対応。

項目	改正前	改正後 (2019年4月2日施行※)
キャスクの種別	貯蔵専用キャスク	輸送・貯蔵兼用キャスク
キャスク固定の要否	必要	固定しない場合も可 ※キャスクを固定しない場合は、転倒時におけるキャスクの健全性評価等が必要
貯蔵建屋の要否	設置を要求(Cクラス)	貯蔵建屋設置を前提としない ※設置する場合はCクラス また、建屋損傷時におけるキャスクの健全性評価等が必要
地震(地震力)	サイト毎で策定	サイト毎で策定 または 全国一律
津波(津波による作用力)	サイト内へ流入しないことが前提	キャスクの安全機能を損なわなければ流入可 (サイト毎で策定または全国一律)

※実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の一部を改正する規則の施行の日を記載。

「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」(令和2年3月31日改正)より引用

別表 兼用キャスクの設置方法に応じた評価の例

設置方法	地盤、基礎、支持部等の評価	蓋部の金属部への衝突評価	兼用キャスク本体評価	備考
①輸送荷姿 	地盤の十分な支持を安定しない 基礎等に固定しない	-	-	
②蓋部の金属部への衝突が生じない設置方法 	-	-	○ (加速度)	
③蓋部の金属部への衝突が生じる設置方法 	-	○ (速度)	○ (加速度)	
④基礎等に固定する 	○ (基準地震動)	/	○ (加速度)	*2
⑤基礎等に固定する 	○ (基準地震動)	/	○ (加速度)	*3

当社が採用予定の設置方法※

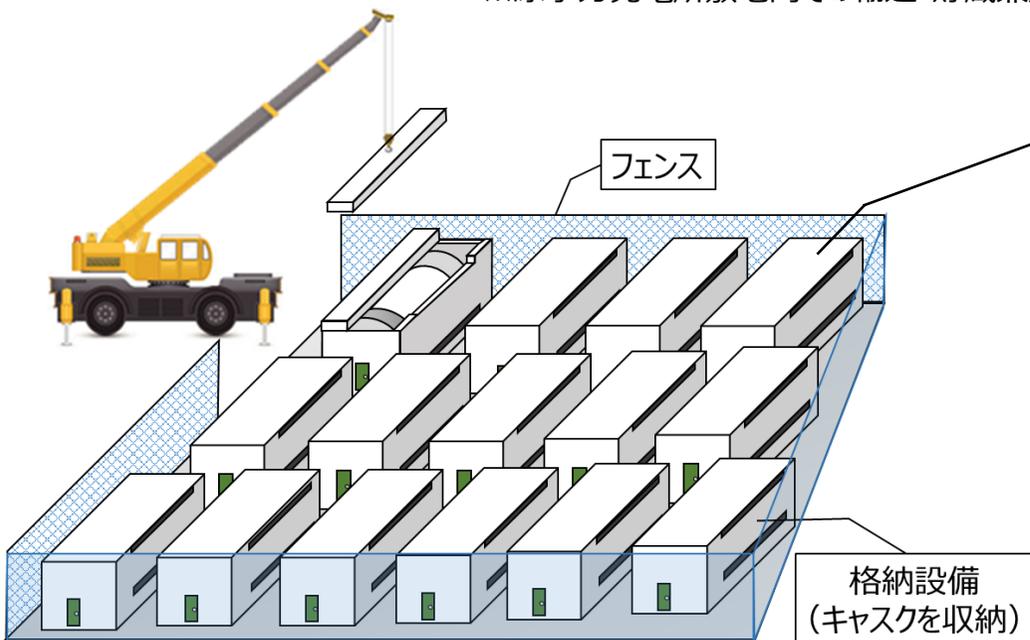
従来はこの設置方法のみ認められていた。

○：評価要
-：評価不要
*1～*3：「6.1 安定性評価の基本方針」参照
※ 当社キャスクは、基礎等に固定せず、蓋部を衝撃吸収カバーで保護したうえで横置きに設置

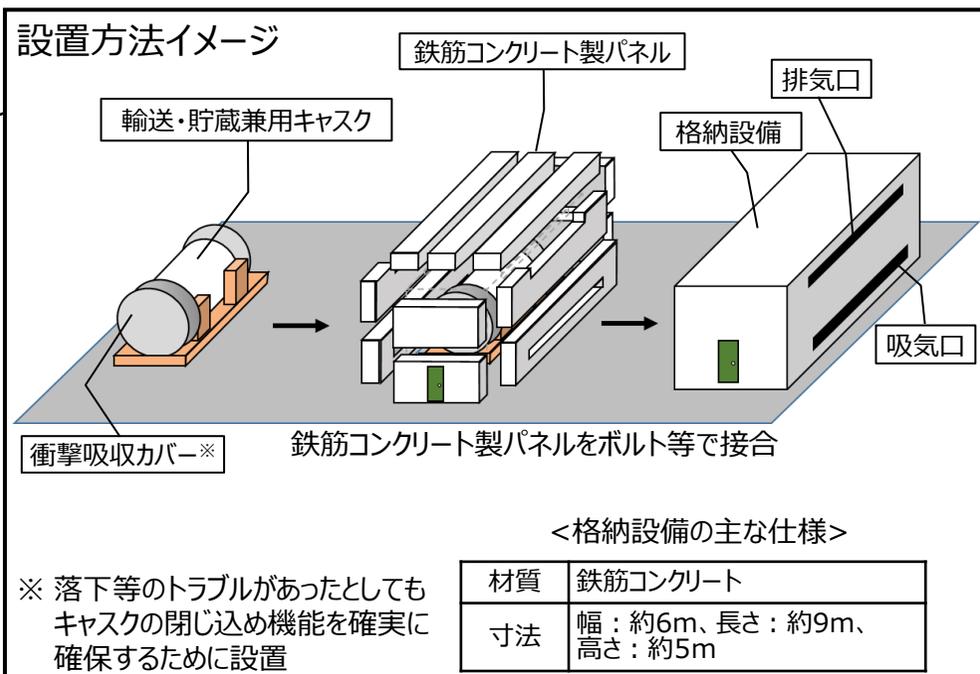
使用済燃料の貯蔵方式：個別格納方式

- 輸送・貯蔵兼用キャスクに衝撃吸収カバーを取り付け、横向きの状態で架台に載せ、基礎等に固定しない方法を採用。
- 敷地境界外での放射線量を低減するため、遮蔽用の鉄筋コンクリート製の格納設備をキャスクごとに設置。
- この方式は、乾式貯蔵に係る規制が見直され※、様々な貯蔵方式に対応したことを受けたもの。

※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（2019年3月）



上図はイメージであり、輸送・貯蔵兼用キャスクの配置は設置基数、敷地形状、遮蔽設計等を踏まえ設定する。



① キャスクの除熱機能

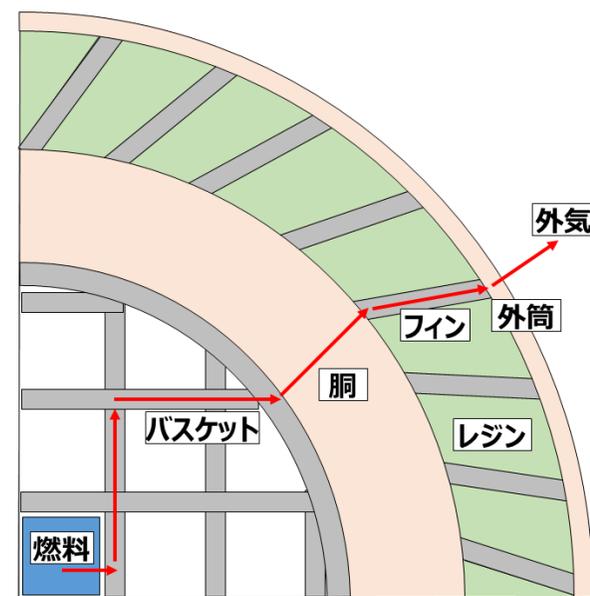
【要求事項】

- 燃料および構成部材の健全性が維持できる温度を超えないこと。

【当社の対応】

- 電源を用いず除熱する構造としており、燃料、バスケット、胴、フィン、外筒、外気の順に熱伝導する。
- 燃料被覆管およびキャスク構成部材の健全性を維持できる温度を超えないように解析・評価し、設計。

項目	解析方法	評価結果 (制限値)
崩壊熱評価	燃焼度、濃縮度、冷却期間等を条件とし、核種の生成および崩壊に基づき解析を実施。	キャスク1基当たり 最大15.8kW
燃料被覆管の 温度評価	燃料の径方向断面の実形状を二次元でモデル化し、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解析を実施。	燃料被覆管： 約220℃ (≦275℃)
キャスク 構成部材の 温度評価	実形状を三次元でモデル化し、崩壊熱、外部からの入熱および周囲温度等を条件として解析を実施。	胴：約140℃ (≦350℃) レジン： 約140℃ (≦149℃) バスケット： 約190℃ (≦250℃)



【注】評価値は代表的なキャスクの
暫定評価結果を記載

② キヤスクの閉じ込め機能

【要求事項】

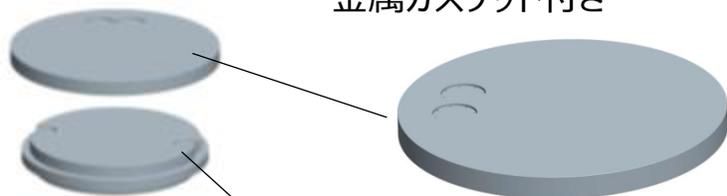
- キヤスク内部の圧力を負圧に保つこと。

【当社の対応】

- 貯蔵時は、金属ガスケットを取り付けた一次蓋、二次蓋をボルトにて締付けて密封したうえで、設計貯蔵期間中、キヤスク内部の負圧を維持することで、キヤスク内から漏えいしない設計とする。
- 貯蔵中は、一次蓋、二次蓋間の空間を正圧とし、蓋間圧力が一定であることを定期的に測定・監視。

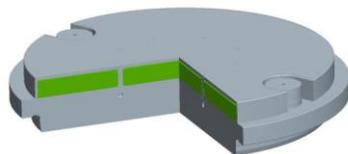
○二次蓋（材質：炭素鋼）

※ニッケル/アルミ製の
金属ガスケット付き



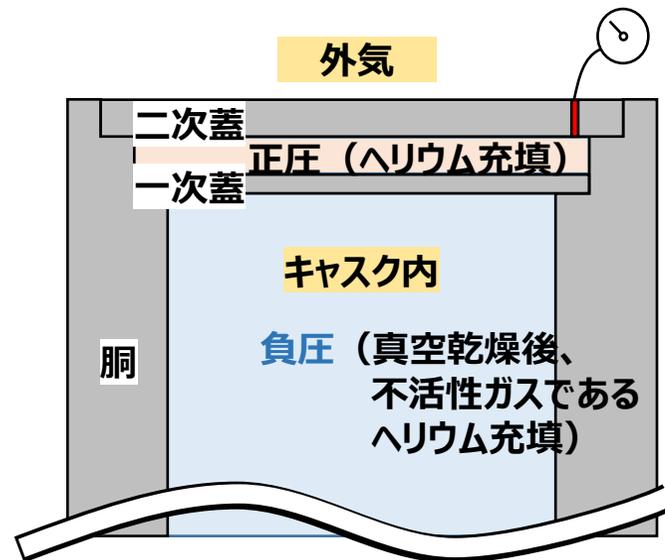
○一次蓋（材質：炭素鋼）

※ニッケル/アルミ製の
金属ガスケット付き



	評価結果 (Pa・m ³ /s)	設計基準値 (Pa・m ³ /s)
金属ガスケットの 漏えい率	1.6×10^{-6}	2.6×10^{-6}

【注】評価値は代表的なキヤスクの
暫定評価結果を記載



③ キャスクの遮蔽機能

【要求事項】

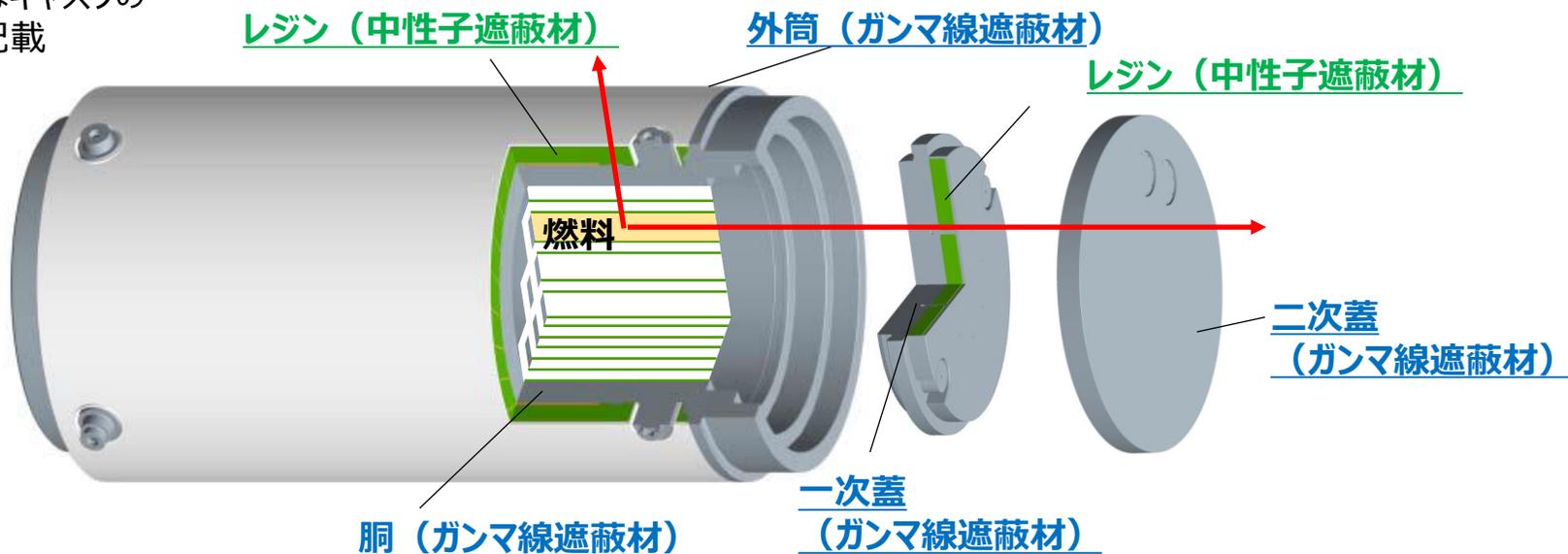
- キャスク表面での線量率 $\leq 2\text{mSv/h}$ 、キャスク表面から1 mの距離の線量率 $\leq 100\mu\text{Sv/h}$

【当社の対応】

- ガンマ線は胴や蓋等の材料である炭素鋼、中性子は内包するレジンにてそれぞれ遮蔽。
- 初期濃縮度、燃焼度および冷却期間を基に放射線源強度を定め、遮蔽についてはキャスクの実形状を三次元でモデル化するなどを行い、解析で安全性を確認している。

	評価結果	制限値
表面最大線量当量率	約 1.2mSv/h	2mSv/h
表面から1m離れた位置における最大線量当量率	約 $90\mu\text{Sv/h}$	$100\mu\text{Sv/h}$

【注】評価値は代表的なキャスクの
暫定評価結果を記載



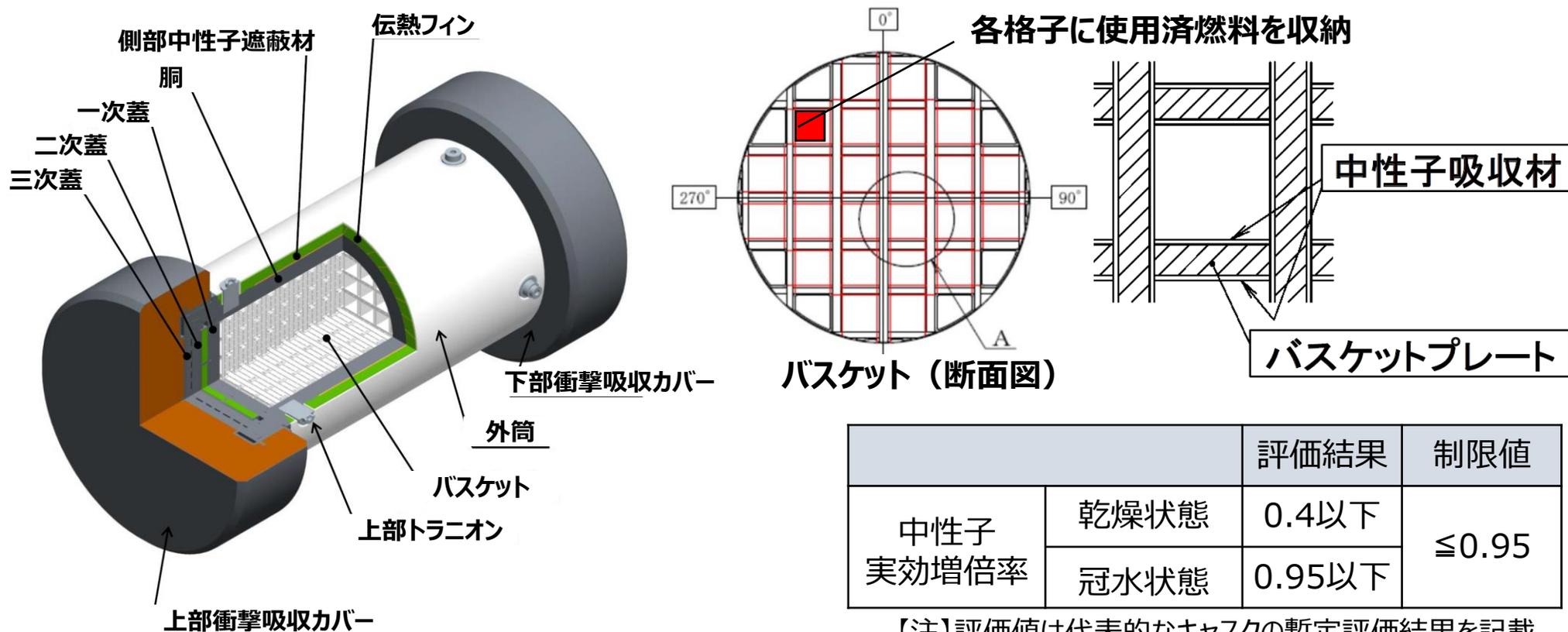
④ キャスクの臨界防止機能

【要求事項】

- 想定されるいかなる場合にも、使用済燃料が臨界に達することを防止すること

【当社の対応】

- 使用済燃料は、キャスク本体内部に配置されたバスケットの所定の格子内に収納される。
- 構造強度を持たせたバスケットプレート(構造材)を、中性子吸収能力を有するほう素を添加した中性子吸収材で挟む構造とし、冠水状態でも中性子実効増倍率を0.95以下に抑え、臨界を防止する。



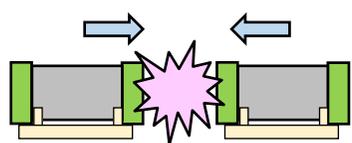
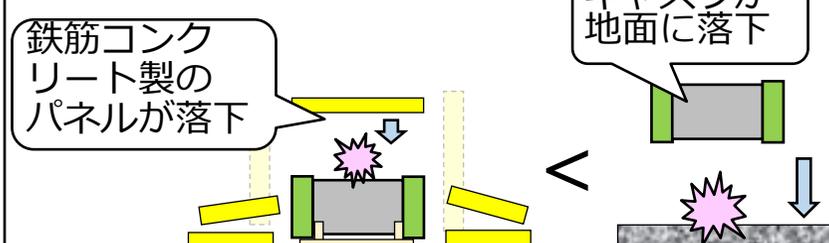
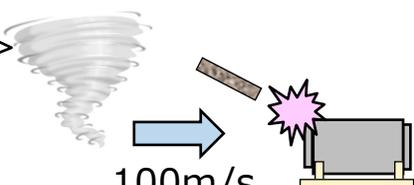
⑤ 自然現象等に対するキャスクの堅牢性

【要求事項】

- 地震時に作用する力、竜巻による飛来物の衝突、津波、森林火災等の自然現象および地震等による格納設備損傷の影響に対しても安全機能が維持できる

【当社の対応】

- キャスクは、以下の通り、考慮すべき自然現象等に対してキャスクの堅牢性が維持される。

自然現象等	評価の概要	
地震	<p>・ キャスク同士が衝突しても、キャスクの前後には貯蔵用衝撃吸収カバーが設置されており、キャスクの健全性は確保される。なお、キャスク間離隔距離、格納設備があるため、キャスク同士が直接衝突することはない。</p> 	<p>・ 格納設備が損傷し、落下した時の衝撃は、キャスク健全性が確認されているキャスクの取扱い時の落下評価に包絡</p>  <p>鉄筋コンクリート製のパネルが落下</p> <p>キャスクが地面に落下</p>
竜巻	<p>風荷重や設計飛来物（重さ約135kgの鋼材等）の衝撃荷重を考慮</p>  <p>※発電炉施設と同じ条件</p> <p>100m/s</p>	<p>衝撃吸収カバーがない状態で、最も評価が厳しい二次蓋ボルトの健全性を確認 (衝撃力 ≤ 二次蓋ボルトの許容値)</p>
外部火災	<p>森林火災や近隣の産業施設の火災・爆発等を考慮</p>  <p>※発電炉施設と同じ条件</p> <p>離隔距離</p>	<p>想定される外部火災に対しても安全機能を維持できるように火災源からの離隔距離を確保</p>
津波	<p>〔 津波が遡上しないエリアに施設を設置するため、津波の影響を受けない 〕</p>	

【輸送時に求められる追加要求】

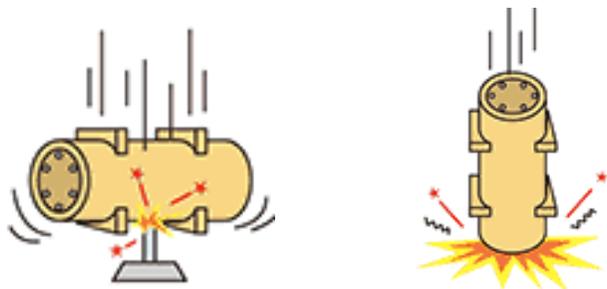
- 輸送時でも除熱、閉じ込め、遮へい、臨界防止機能が求められることに加え、以下の条件等でも安全機能を満足することが求められている。

【当社の対応】

- これらの試験条件に対して、安全性が確保できるようにキャスクを設計。
(輸送時に求められる追加要求は、炉規制法（外運搬規則）に基づく設計承認の中で確認される。)

落下試験

9mの高さから落下
1mの高さから丸棒上に落下



耐火試験

800℃で30分



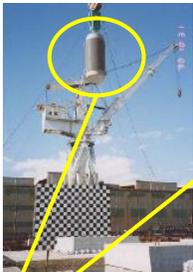
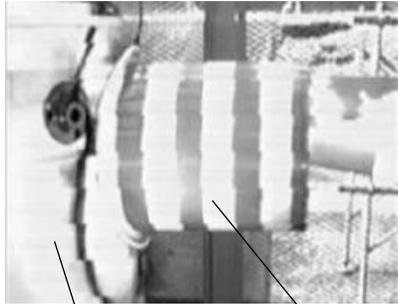
浸漬試験

15mの水中に8時間
200mの水中に1時間



乾式貯蔵容器の安全性（実証試験の例）

- 乾式貯蔵施設での乾式貯蔵容器の取扱い時のトラブルを想定した各種落下/衝突試験*1を実施。
- これらの試験の結果、乾式貯蔵容器の密封性が確保できていることを確認。

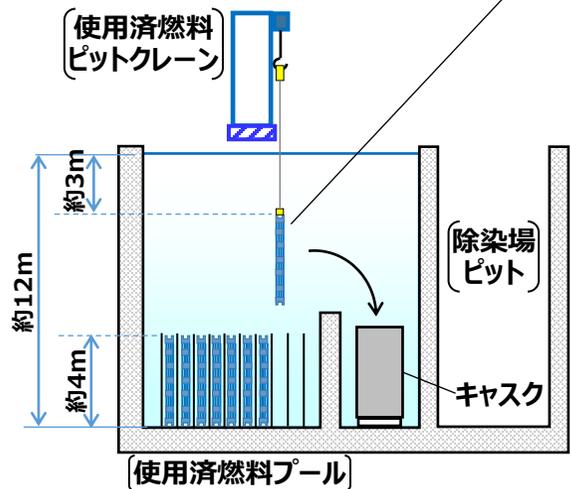
件名	容器への落下試験	容器への重量物落下試験	航空機エンジンの衝突試験
<p>試験概要</p>	<p>○以下の条件でのコンクリートの床盤上への容器落下試験</p> <ul style="list-style-type: none"> ・垂直：最大高さ17m ・水平：最大高さ5m ・コーナー：最大高さ17m <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>【垂直落下】</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>【コーナー落下】</p>  </div> </div> <div style="text-align: center; margin-top: 10px;"> <p>乾式貯蔵容器 (実物大)</p> <p>【水平落下】</p>  </div>	<p>○容器への建屋天井を想定したコンクリートスラブの落下試験</p> <ul style="list-style-type: none"> ・コンクリートスラブ (6m四方×16cm厚、水平) <div style="text-align: center; margin-top: 10px;"> <p>【コンクリートスラブ落下】</p>  </div>	<p>○ジャンボジェット機のエンジンが直接乾式キャスクに衝突したことを想定した試験を実施</p> <ul style="list-style-type: none"> ・2/5縮尺エンジン (直径50cm、質量300kg) ・衝突速度：57m/秒 (水平) <div style="text-align: center; margin-top: 10px;"> <p>【水平衝突試験】</p>  </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="text-align: center;"> <p>乾式貯蔵容器 (2/5縮尺)</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>エンジン (2/5縮尺)</p> </div> </div>
<p>密封性</p>	<p>○*2</p>	<p>○</p>	<p>○</p>

* 1 : 電力中央研究所が試験を実施 (出典：使用済燃料中間貯蔵施設用金属キャスクの安全評価の現状、平成20年7月、<https://www.da.nra.go.jp/file/NR000075341/000152356.pdf> (2024.2.9閲覧))

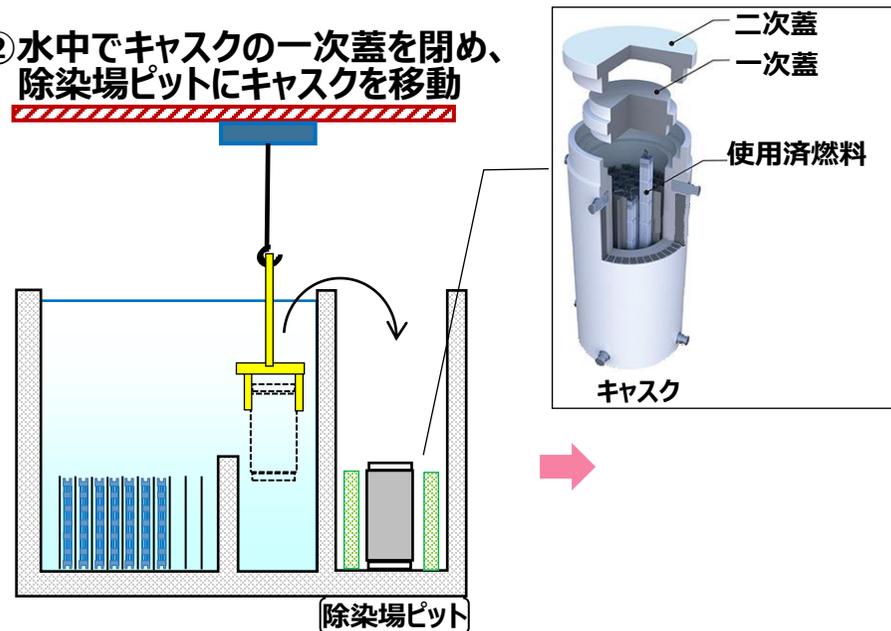
* 2 : 垂直、水平落下試験においては、一次蓋の密封機能に低下が見られたが、二次蓋の密封機能は維持

燃料取扱建屋

① 水中で使用済燃料プールに沈めたキャスクへ使用済燃料を収納

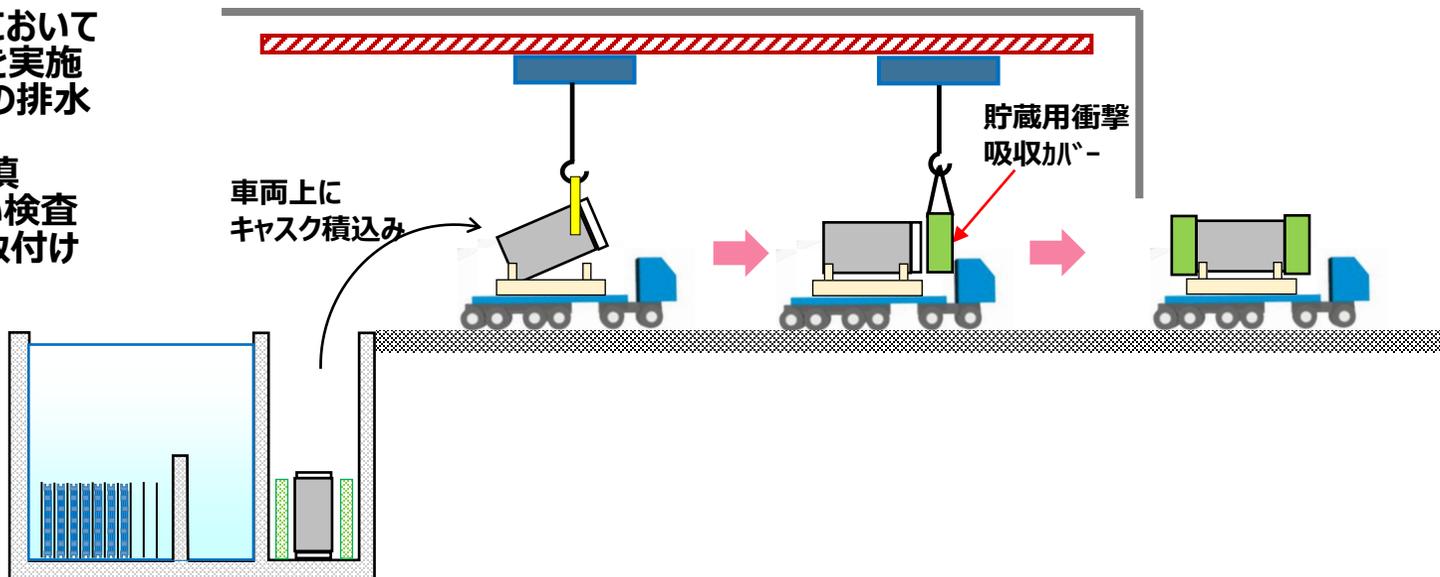


② 水中でキャスクの一次蓋を閉め、除染場ピットにキャスクを移動



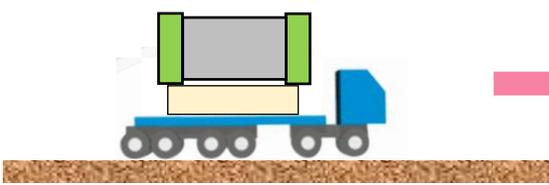
③ 除染場ピットにおいて以下の作業を実施

- ・キャスク内の排水
- ・真空乾燥
- ・ヘリウム充填
- ・気密漏えい検査
- ・二次蓋の取付け



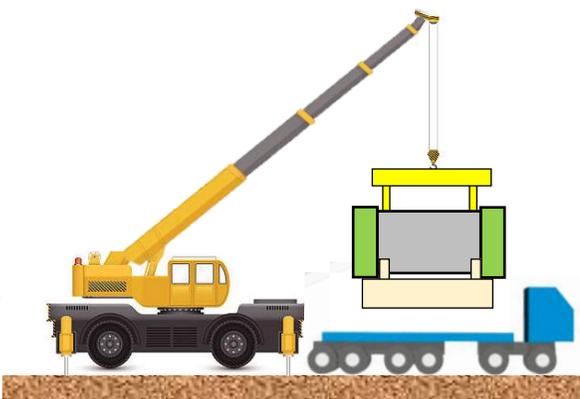
燃料取扱建屋→乾式貯蔵施設

④ 構内輸送

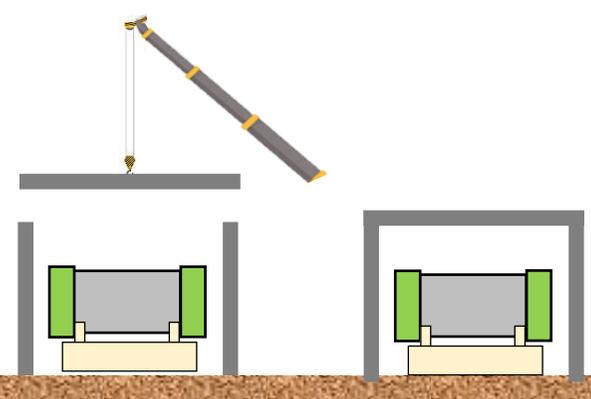


乾式貯蔵施設

⑤ クレーンで貯蔵位置に配置

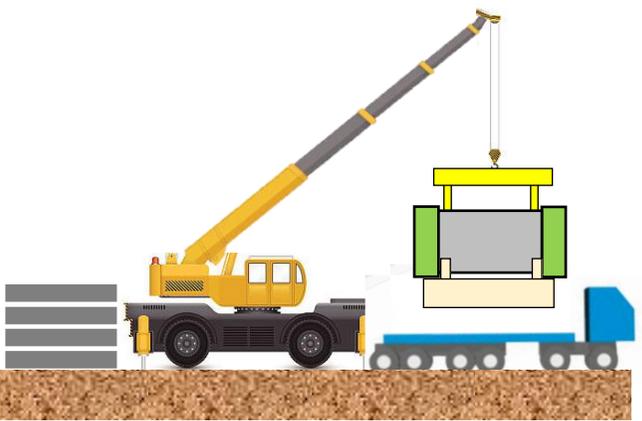


⑥ 鉄筋コンクリート製パネルを組み立て、一時貯蔵



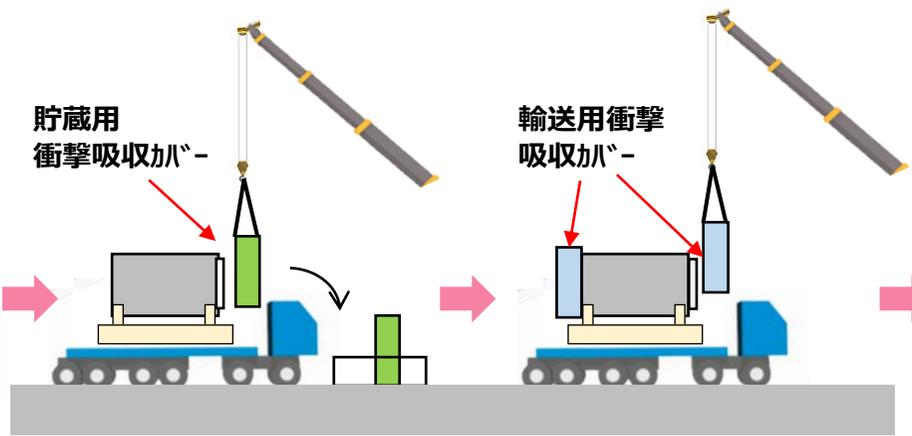
乾式貯蔵施設

⑦ 貯蔵後、パネルを解体し、クレーンで架台ごとキャスクを車両上に積み込み



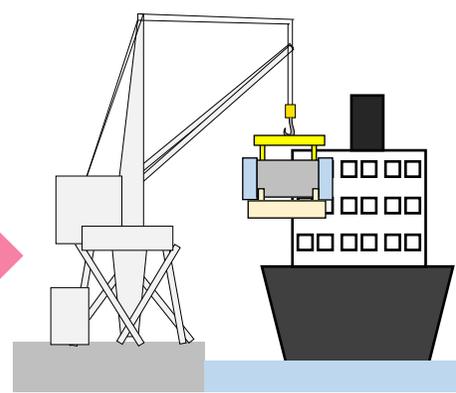
乾式貯蔵施設または岸壁 (場所検討中)

⑧ 貯蔵用衝撃吸収カバーを取り外し、輸送用衝撃吸収カバーを取り付け



岸壁

⑨ 船に積み込んで輸送



- 2月8日、美浜・高浜・大飯発電所について、使用済燃料乾式貯蔵施設設置計画を決定し、福井県との安全協定に基づき、使用済燃料乾式貯蔵施設設置計画に係る事前了解願いを提出。
- 貯蔵方式として、輸送・貯蔵兼用キャスクに衝撃吸収カバーを取り付け、横向きの状態で架台に載せ、基礎等に固定しない方法を採用。
また、敷地境界外での放射線量を低減するため、遮蔽用の鉄筋コンクリート製の格納設備を設置。
- 乾式貯蔵施設の安全性は、基本的には、キャスクの4つの安全機能（除熱機能、閉じ込め機能、遮蔽機能、臨界防止機能）に加え、地震や津波等の自然現象に対する堅牢性で担保される。
- 今後も、福井県、立地町に対し、乾式貯蔵施設の必要性や安全性などについて、引き続き、丁寧に説明。

參考資料

国内における乾式貯蔵施設の例



施設内容 (伊方発電所での計画)

建屋規模：1棟 (鉄筋コンクリート造り)
 (東西)約40m、(南北)約60m、
 (高さ)約20m

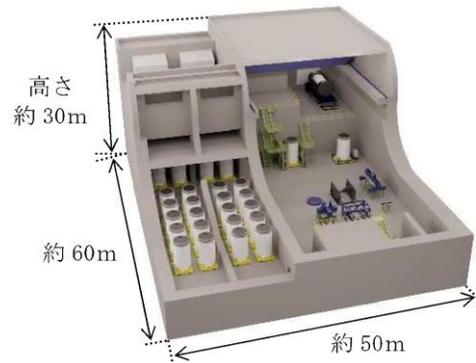
貯蔵容量：燃料集合体 約1,200体規模
 [乾式キャスク45基分]
 約500トン・ウラン

運用開始時期：2025年2月(予定)

※発電所敷地内の
 海拔25mエリアに設置

伊方発電所 (四国電力)

出典：四国電カパンフレット



玄海原子力発電所 (九州電力)

出典：九州電カパンフレット

設置準備中



東海第二原子力発電所 (日本原子力発電)

出典：日本原子力発電HP



福島第一原子力発電所 (東京電力)

出典：東京電力HP

供用中

使用済燃料乾式貯蔵施設の必要性

- 使用済燃料を中間貯蔵施設へ円滑に搬出するためには、乾式キャスクを取り扱う燃料取扱建屋の制約から、発電所の定期検査作業等の影響を受けない期間に、使用済燃料を乾式キャスクに移し替え、夏季・冬季の輸送制限等を避けて輸送船による搬出が可能となる時期まで保管しておく必要がある。

(作業期間の制約)

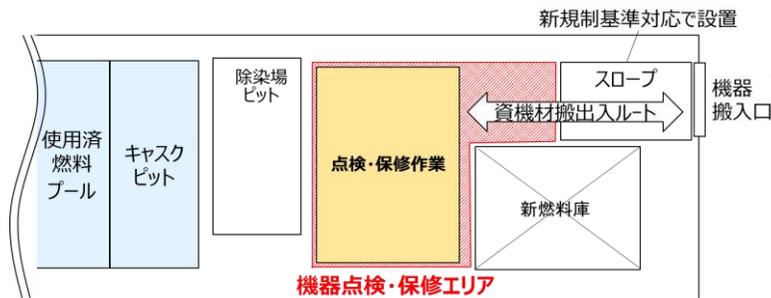
- ・定期検査中は、機器の点検・保守作業を行う必要があることから、乾式キャスクへの移し替え作業はできない。
- ・運転中は、新燃料受入や機器の点検・保守作業等を行うことから、乾式キャスクへの移し替え作業が制限される。

(保管の制約)

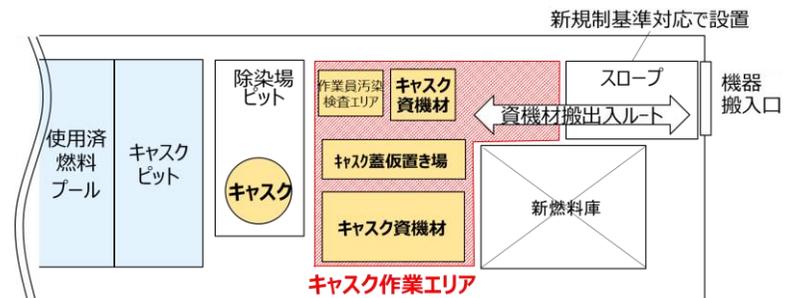
- ・乾式キャスクへの移し替え作業時は、移し替え毎にキャスクを建屋外に搬出し、作業スペースを確保する必要がある。
- ・乾式キャスクを一時的に保管する場合、点検・保守作業等の前までにキャスクを建屋外に搬出する必要がある。

【燃料取扱建屋での作業イメージ(高浜4号機の例)】

定期検査 (約3か月)	運転中 (最大13か月)	定期検査 (約3か月)
機器の点検・保守等	<ul style="list-style-type: none"> ・新燃料受入(約1~4か月)、高浜1/2号機からの燃料受入れ(約3か月)などの燃料作業、予備機器の点検・保守作業(約2か月)、クレーン点検(約1か月)などを実施 ⇒乾式キャスクへの移し替えは、これらの作業のない時期に実施 	機器の点検・保守等



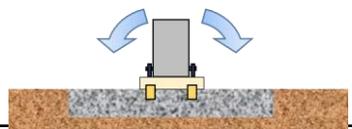
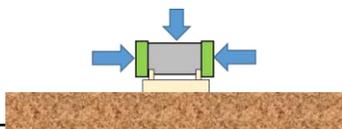
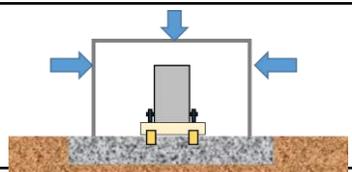
定期検査時・運転中の機器点検・保守作業イメージ
⇒ キャスクへの移し替え作業不可



使用済燃料の乾式キャスクへの移し替え作業イメージ(2週間/基)
⇒ キャスクへの移し替え毎に、キャスクを搬出する必要あり

個別格納方式の安全性

- 当社は原子力規制委員会で認められている個別格納方式を採用。
- 建屋集中格納方式との比較でも安全性は確保されることを確認している。

		個別格納方式 (横置キャスク)	建屋集中格納方式 (縦置キャスク)
基本的 安全機能	除熱	キャスク自身の安全機能で達成	(同左)
	閉じ込め		
	遮蔽		
	臨界防止		
その他の 安全機能	敷地外での 線量の抑制	キャスク自身の遮蔽機能と格納設備※ の遮蔽機能で年間50μ未満を達成	キャスク自身の遮蔽機能と建屋※の 遮蔽機能で達成年間50μ未満を達成
堅牢性 (外部事象への 防護例)	耐震		
		・横置きで転倒しない、固定なし (衝撃吸収カバーで密封部を防護)	・転倒しないよう、架台に固縛 (架台は頑健な基礎に固定)
	竜巻		
		・キャスクの堅牢性でキャスク自体を防護 かつ衝撃吸収カバーで密封部を防護	・建屋でキャスクを防護

※格納設備 (または建屋) を設置しても、これらに給排気口を設けることでキャスクの除熱機能を阻害しないように考慮

使用済燃料対策ロードマップ

(2023.10.10策定)

- ・六ヶ所再処理工場の2024年度上期の出来るだけ早い時期の竣工に向け、関西電力を中心に、審査・検査に対応する人材を更に確保
 - ・2025年度から再処理開始、2026年度から使用済燃料受入れ開始。再処理工場への関西電力の使用済燃料の搬出にあたり、必要量を確保し搬出するよう取り組む
 - ・使用済MOX燃料の再処理実証研究のため、2027年度から2029年度にかけて高浜発電所の使用済燃料約200tを仏国オラノ社に搬出
さらに実証研究の進捗・状況に応じ、仏国への搬出量の積み増しを検討
 - ・中間貯蔵施設の他地点を確保し、2030年頃に操業開始
 - ・中間貯蔵施設の操業を開始する2030年頃までの間、六ヶ所再処理工場および仏国オラノ社への搬出により、使用済燃料の貯蔵量の増加を抑制
 - ・あらゆる可能性を組み合わせる必要な搬出容量を確保し、着実に発電所が継続して運転できるよう、環境を整備する
 - ・本ロードマップの実効性を担保するため、今後、原則として貯蔵容量を増加させない
- ・使用済燃料の中間貯蔵施設へのより円滑な搬出、さらに搬出までの間、電源を使用せずに安全性の高い方式で保管できるよう、発電所からの将来の搬出に備えて発電所構内に乾式貯蔵施設の設置を検討

