



# 美浜・高浜・大飯発電所の最近の状況について

2024年 5月17日

関西電力株式会社

# プラントの運転・定期検査の状況

発電所	2023年度	現時点	2024年度	2025年度	
美浜 3号機	▼10/25解列 ▼1/20並列 第27回 定期検査		3月	5月 第28回 定期検査	
高浜 1号機	▼8/2並列 第27回 定期検査	6月	8月 第28回 定期検査	9月	12月 第29回 定期検査
高浜 2号機	▼9/20並列 第27回 定期検査		11月	2月 第28回 定期検査	1月 第29回 定期検査
高浜 3号機	▼9/18解列 ▼12/25並列 第26回 定期検査		1月	未定 第27回 定期検査	
高浜 4号機	▼12/16解列 第25回 定期検査	▼4/26並列		5月	未定 第26回 定期検査
大飯 3号機	▼2/10解列 ▼4/7並列 第20回 定期検査			6月	8月 第21回 定期検査
大飯 4号機	▼8/31解列 ▼10/27並列 第19回 定期検査		12月	2月 第20回 定期検査	

※定期検査：解列～並列

## 1. 実施概要

美浜発電所3号機の安全な長期運転に対する客観的、国際的な評価を受けるべく、IAEAのSALTOチームを招へい。2024年4月16日から25日まで調査を実施。

## 2. 調査対象

- |                |                     |
|----------------|---------------------|
| ①組織・体制         | ④電気・計装設備の経年劣化管理状況   |
| ②設備全体の管理プログラム  | ⑤コンクリート建造物の経年劣化管理状況 |
| ③機械設備の経年劣化管理状況 | ⑥人的資源・力量・知識管理       |

計6分野

## 3. メンバー構成

IAEAの職員およびIAEA加盟国の専門家 計11名（8ヶ国※1）

※1：アメリカ、アルゼンチン、イギリス、スウェーデン、チェコ、フィンランド、フランス、韓国

## 4. 調査を終えたSALTOチームリーダーの講評内容

- ・関西電力が安全な長期運転に向けた対策をタイムリーに実施していること、また、発電所の職員がプロフェッショナルかつオープンな姿勢で、改善のための提案を受け入れていることを観察した。
- ・経年劣化管理と長期運転活動の大半は、すでにIAEAの安全基準を満たしている。
- ・レビュー結果に対処し安全な長期運転に向けて残りのすべての活動を計画どおり実施することを奨励する。

# IAEAの外部評価（SALTOピアレビューの実施状況）

## 5. SALTOチームが抽出された良好事例等

### （良好事例）

- ・設備等の設計の古さ※2を特定し、管理するための総合的な方法を開発・導入している。
- ・原子炉格納容器の経年劣化管理等に関するベンチマーキングを行い、経年劣化管理を強化している。
- ・社員の能力とスキルを向上させるために退職者をメンター（相談者）として効果的に活用している。

※2：時間の経過により設計や運用等が最新の考え方と比較して古くなっていくこと。

### （さらなる改善に向けた推奨事項）

- ・長期運転プログラム※3のさらなる発展・実施を提案する。
- ・機械、電気、計装制御機器、土木構造物の経年劣化管理レビュープロセス※4の充実・実施を提案する。
- ・過酷な条件に対する機器の耐性を確認するためのプログラム※5の改善を提案する。

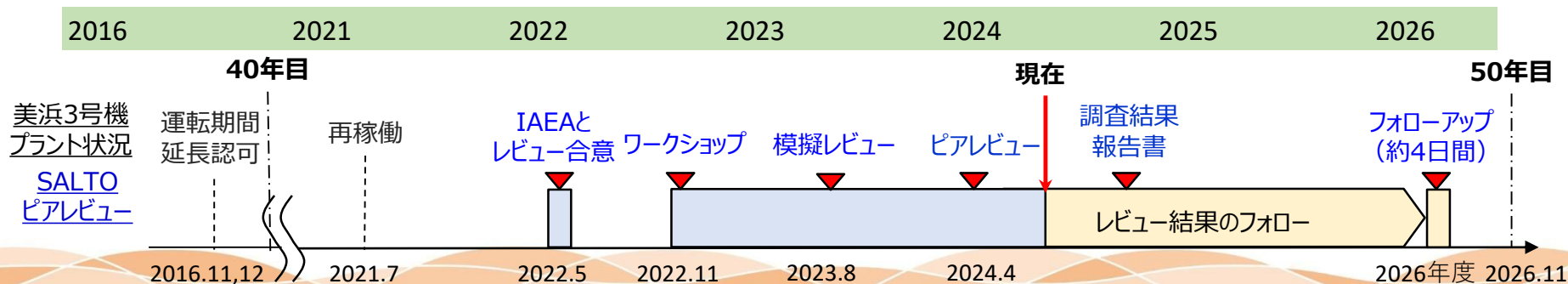
※3：40年を超えて運転するために必要となる点検・改善工事や定期安全レビュー等

※4：経年劣化管理が効果的に行われていることを検証するプロセス（経年劣化事象の特定、機器・構造物の現状把握等）

※5：重大事故等が発生した際に、機器が確実に機能することを確認するための手法や手順

## 6. 今後のスケジュール

今後フォローアップ調査が行われ、今回の調査で受けた推奨事項の取組状況を確認いただく予定。



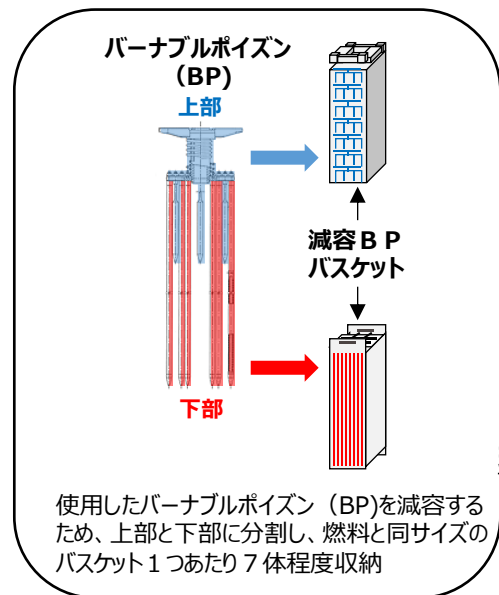
# 美浜発電所の原子炉設置変更許可申請（3号機の減容した燃料用内挿物の保管場所変更）

## 【概要】

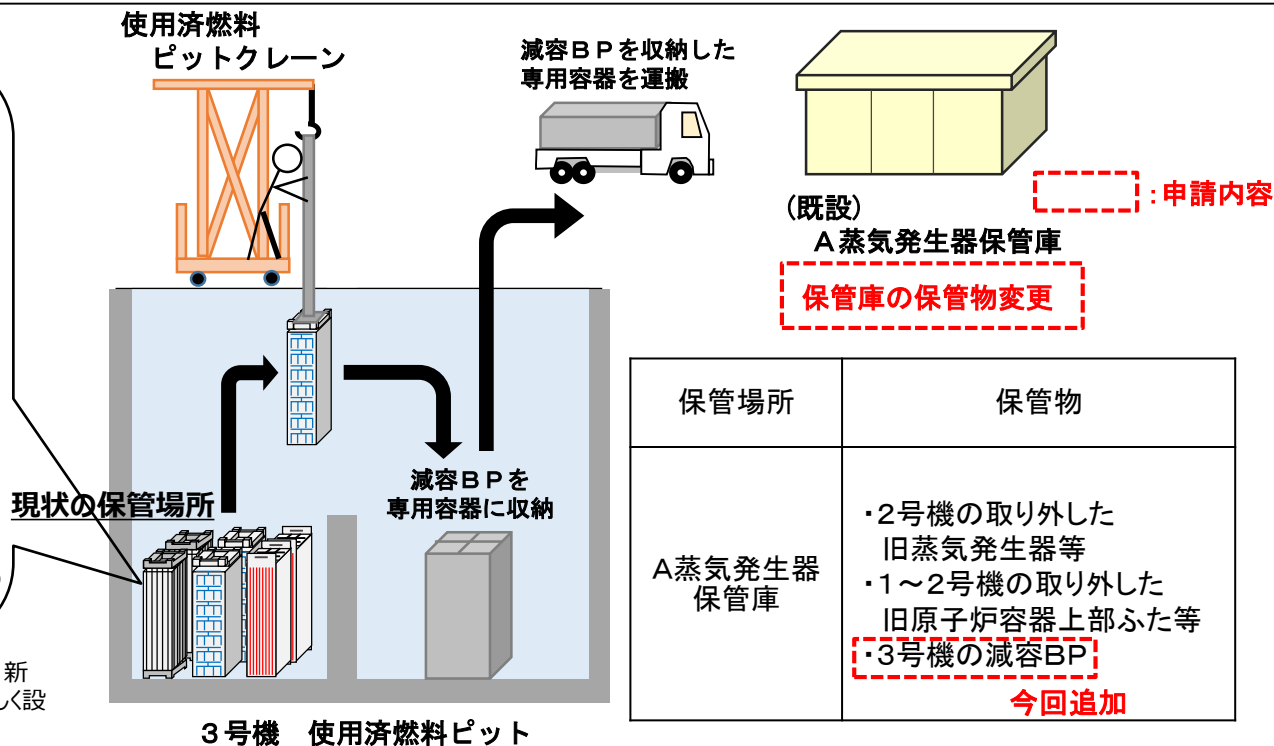
美浜発電所3号機の使用済燃料ピット内に一時的に保管している減容した燃料用内挿物（バーナブルポイズン※以下、減容BP）について、保管場所を蒸気発生器保管庫に変更するため、同保管庫の保管物の変更について原子炉設置変更許可申請手続きを実施（2024年4月15日）

※：原子炉の出力を調整するために、中性子吸収物質を金属製の管に封入し、燃料集合体に挿入するもの

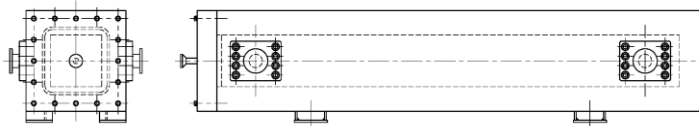
## 保管場所変更イメージ



※使用済燃料ピット内の専用のラックに保管していたが、新規規制基準を踏まえた基準地震動に対応するため、新しく設置した使用済燃料ラックに現在は一時的に保管中



## 専用容器のイメージ



容量：4バスケット／基  
 寸法：約4.7m×約1.0m×約1.0m  
 材質：鋼製  
 重量：約37t（収納物含む）  
 表面の放射線量：2mSv/h以下

# 使用済燃料乾式貯蔵施設の概要

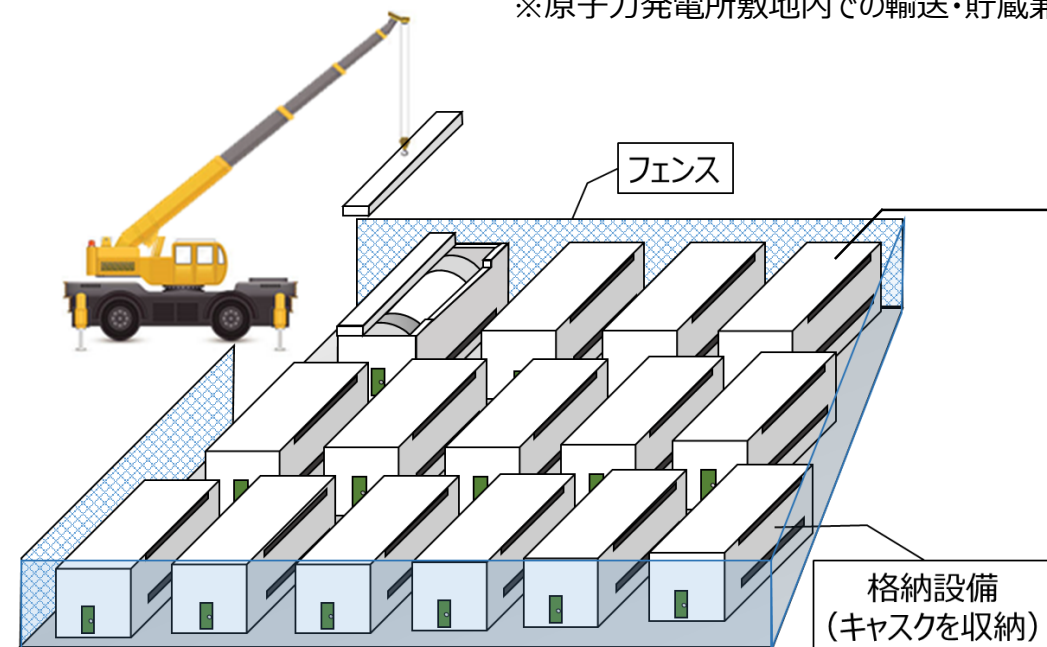
## 【目的】

- ・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、美浜、高浜および大飯の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】

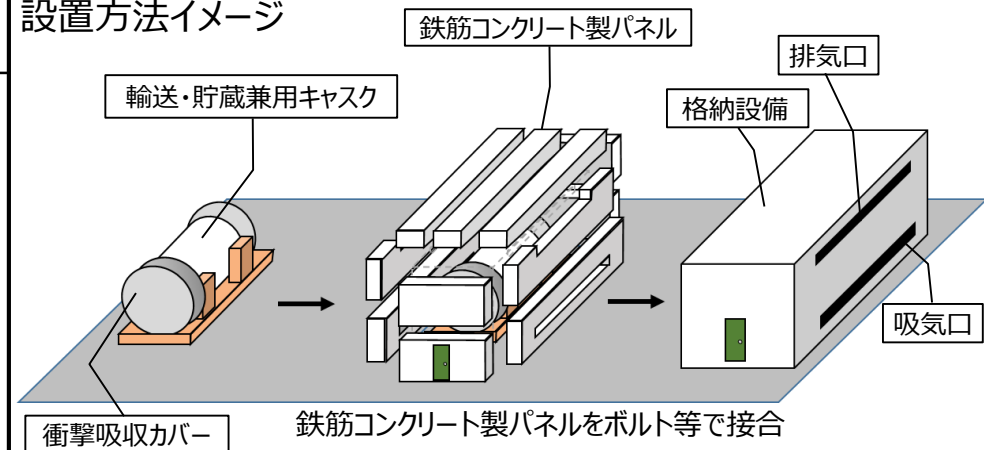
- ・輸送・貯蔵兼用キャスクに衝撃吸収カバーを取り付け、横向きの状態で架台に載せ、基礎等に固定しない方法を採用。
- ・発電所敷地境界外での放射線量を低減するため、遮蔽用の鉄筋コンクリート製の格納設備をキャスクごとに設置。
- ・敷地境界外における空間線量率は、原子炉施設本体等からの線量を含めても目標値である年間 $50\mu\text{Sv}$ を十分下回る。
- ・この方式は、乾式貯蔵に係る規制が見直され<sup>\*</sup>、安全性が確保された様々な貯蔵方式に対応したことを受けたもの。

<sup>\*</sup>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。

## 設置方法イメージ



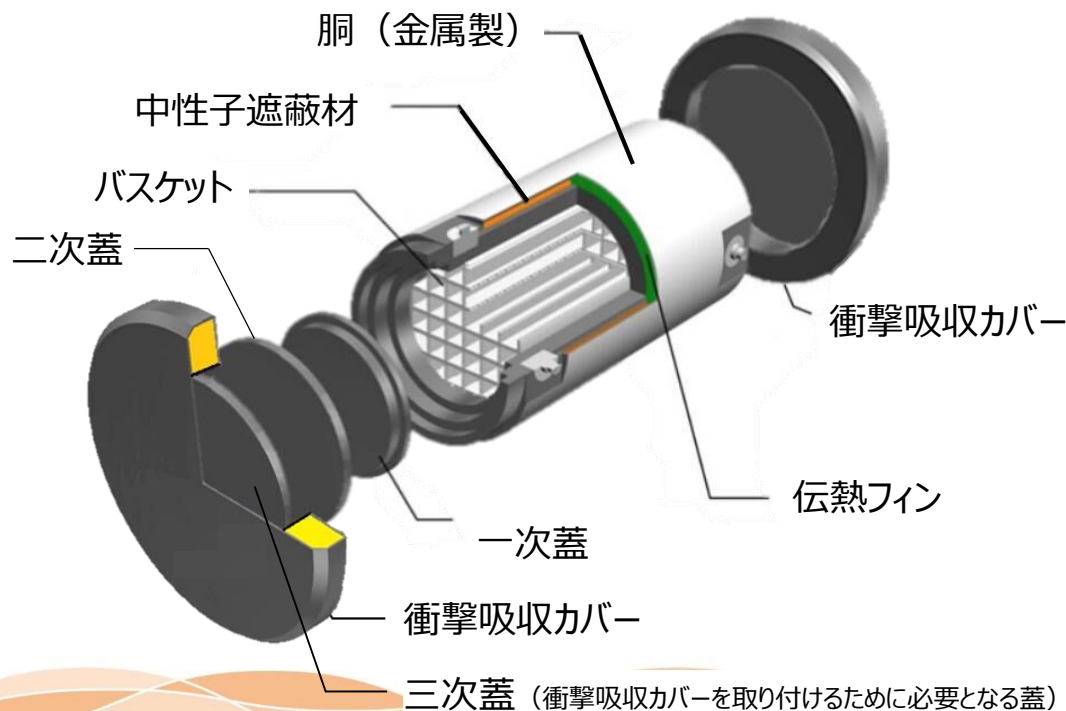
### <格納設備の主な仕様>

材質	鉄筋コンクリート
寸法	幅：約6m、長さ：約9m、高さ：約5m

# 輸送・貯蔵兼用キャスクの概要

## 【輸送・貯蔵兼用キャスクの安全機能】

- ・**除熱機能** : 発生する熱をキャスクの表面に伝え、外気で冷却
- ・**閉じ込め機能** : 一次蓋、二次蓋の二重蓋で密封を維持し、放射性物質を閉じ込め
- ・**遮蔽機能** : 金属製の胴・蓋や中性子遮蔽材等により放射線を遮蔽
- ・**臨界防止機能** : バスケットにより使用済燃料の間隔を保ち臨界を防止
- ・**堅牢性** : 地震時に作用する力、竜巻による飛来物の衝突、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



## ＜輸送・貯蔵兼用キャスクの主な仕様＞

	美浜	高浜、大飯
主要寸法 (キャスク本体)	全長 約5.2m 外径 約2.5m	全長 約5.2m 外径 約2.6m
収納燃料	15×15型ウラン燃料	15×15型ウラン燃料 17×17型ウラン燃料
使用済燃料 収納体数	21体	24体
収納する燃料の 冷却期間	15年以上	
設計貯蔵期間	60年	

# 使用済燃料乾式貯蔵施設の容量、設置位置等

- 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。

	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



## 至近のトラブル情報等一覧

- ▶ 令和5年度第2回情報交換会（令和6年1月24日）以降に発生したトラブル情報等は3件。
- ▶ それぞれについて原因を調査し、必要な対策を実施している。

発生年月日	発電所	件名	法令対象
2024.1.22	高浜4号機	高浜発電所4号機の定期検査状況について (蒸気発生器伝熱管損傷)	○
2024.1.22	高浜1号機	高浜発電所1号機の出力行下について (B給水ブースタポンプ入口配管からの蒸気漏れ)	○
2024.2.27	大飯3号機	原子炉格納容器内での協力会社作業員の負傷について	—

9 ~ 12

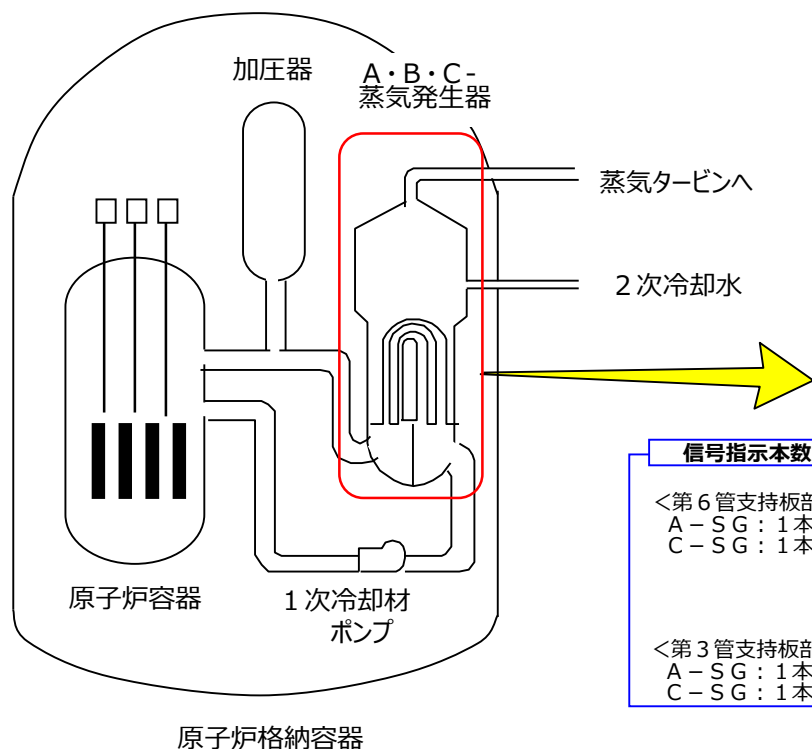
13 ~ 16

# 高浜発電所4号機 蒸気発生器伝熱管損傷

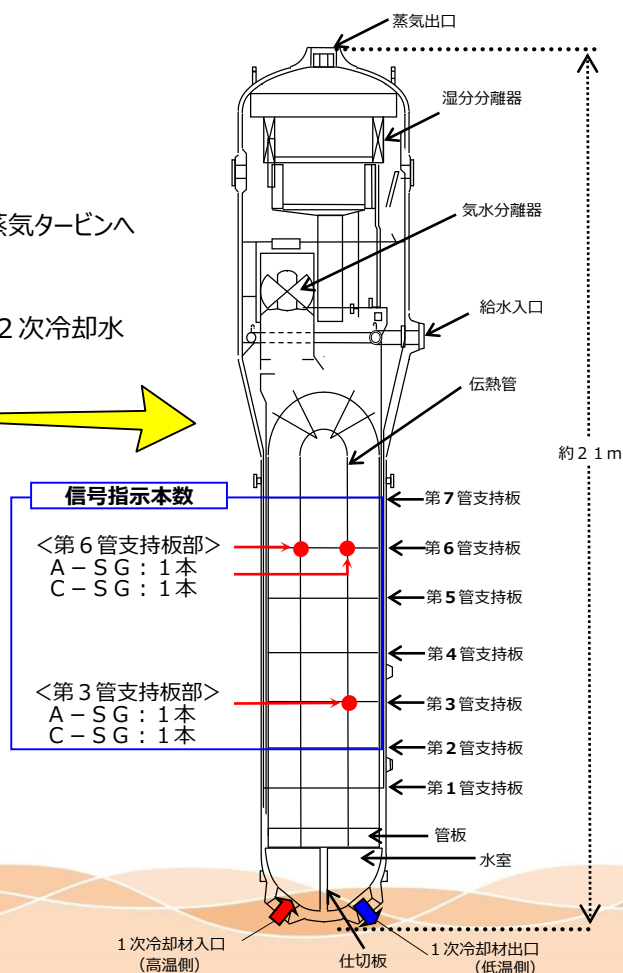
## 【事象概要】

高浜発電所4号機は、第25回定期検査において、3台ある蒸気発生器（以下、SG）伝熱管全数の渦流探傷検査を実施した結果、2024年1月22日、A-SGの伝熱管2本およびC-SGの伝熱管2本に、いずれも管支持板部付近で外面（2次側）からの減肉とみられる有意な信号指示が認められた。

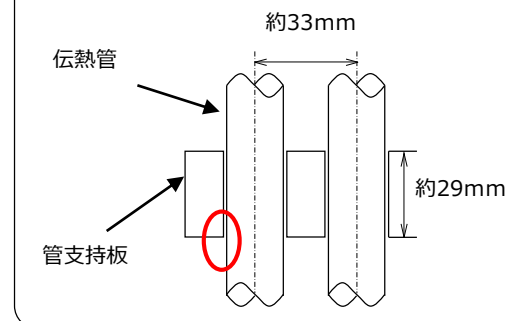
系統概要図



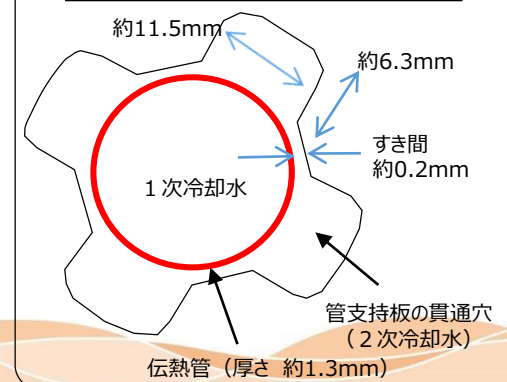
蒸気発生器の概要図



A・C-SG 第3・第6管支持板部  
信号指示箇所拡大断面図



伝熱管の拡大平面図



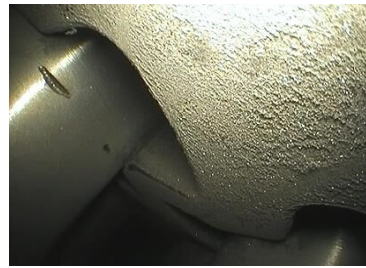
## ○小型カメラによる外観観察

いずれも周方向に摩耗減肉とみられるきずを確認  
 きずの周辺にはスケール等の付着物は認められなかったものの、当該伝熱管周辺の管支持板下面に接触痕を確認

(A-SG第3管支持板)

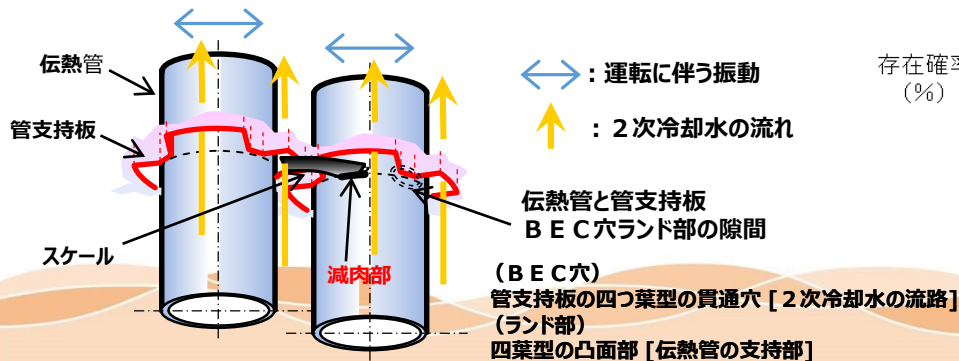


(C-SG第3管支持板)



## ○管支持板下面でのきず発生メカニズム

過去の原因調査における工場での再現試験等の結果から、SG器内の2次冷却水の上昇流により、スケールの形状によっては管支持板下面に押し付けられその場に留まり、伝熱管がプラント運転に伴う振動でスケールと繰り返し接触し、摩耗が発生たと推定



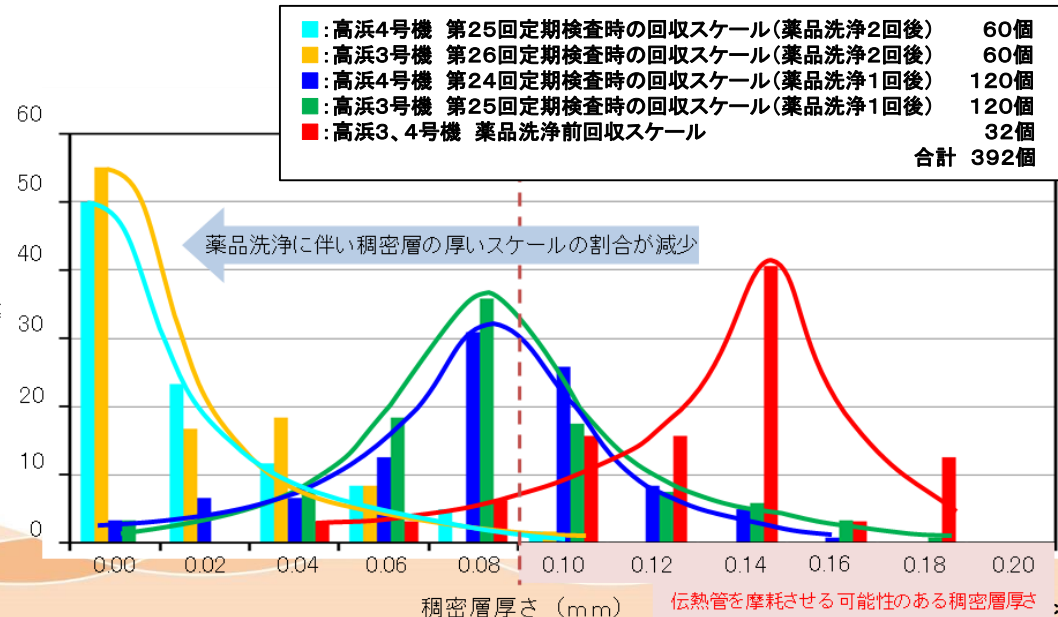
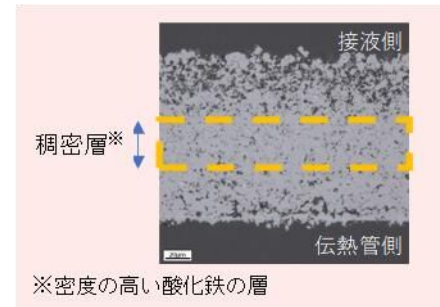
## ○薬品洗浄効果 (スケール脆弱化傾向)

蒸気発生器器内から回収したスケールの断面を観察し、薬品洗浄実施前と実施後の稠密層厚さの分布の違いを調査

前々回の定期検査 (第23回) から今回の定期検査 (第25回) までのスケールの稠密層厚さを比較した結果、洗浄実施に伴い稠密層が薄くなる傾向を確認

伝熱管を摩耗させる可能性のある稠密層厚さ0.1mm以上のスケールの割合も大きく減少しており、薬品洗浄による脆弱化効果が得られていると評価

<断面観察結果の例>



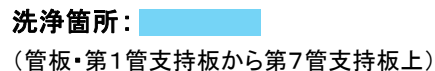
# 高浜発電所4号機 蒸気発生器伝熱管損傷

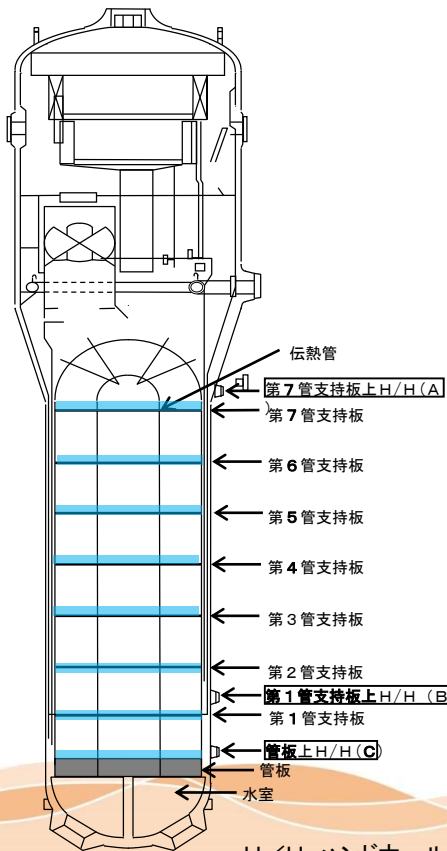
## 【推定原因】

これまでに発生した事例と同様、過去に持ち込まれた鉄分により伝熱管表面に生成された稠密なスケールが前回の定期検査（第24回）時の薬品洗浄の後もS G器内に残存し、プラント運転中に管支持板下面に留まり、そのスケールに伝熱管が繰り返し接触したことで発生した摩耗減肉と推定

## 【対策】

スケールの残存量のさらなる低減のため、小型高圧洗浄装置の改良等により、S G器内の洗浄を強化し、使用しないこととする。

洗浄箇所：  
(管板・第1管支持板から第7管支持板上)



H/H:ハンドホール

### STEP 1 : 第7～第3管支持板の洗浄

- ・第7管支持板上ハンドホール（A）から装置を挿入し、高圧水を噴射することにより、上層の第7管支持板上から順に第3管支持板上までのスケール等を下層の管支持板へ落下
- ・第3から第6管支持板用の噴射ノズルを改良し、噴射範囲の拡大および水の流量（水圧）を増加させ、洗浄を強化

第7管支持板用

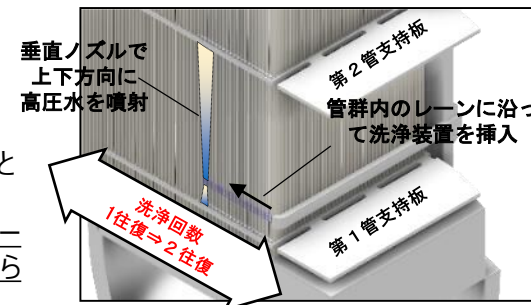


第3～6管支持板



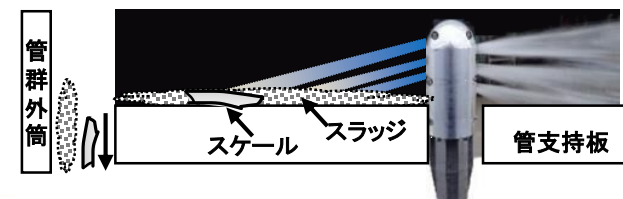
### STEP 2 - 1 : 第2、第1管支持板の洗浄 (垂直ノズルによる洗浄)

- ・第1管支持板上ハンドホール（B）から装置を挿入し、上下方向に高圧水を噴射することで、管支持板と伝熱管との隙間を洗浄し、スケール等を管支持板上へ移動
- ・管群内の各レーンに清掃装置を挿入し洗浄を行う際、レーン毎（総数93レーン）の洗浄回数を前回の1往復から2往復（1往復分追加）に増やすことで、洗浄を強化



### STEP 2 - 2 : 第2、第1管支持板の洗浄 (水平ノズルによる洗浄)




- ・STEP 2 - 1により管支持板上に移動させたスケール等を押し流し、管板に落下



### STEP 3 : 管板上の洗浄

- ・定期検査毎に実施している高圧水による管板上の洗浄により、ハンドホール(C)からスケール等を回収

# 高浜発電所4号機 蒸気発生器伝熱管損傷

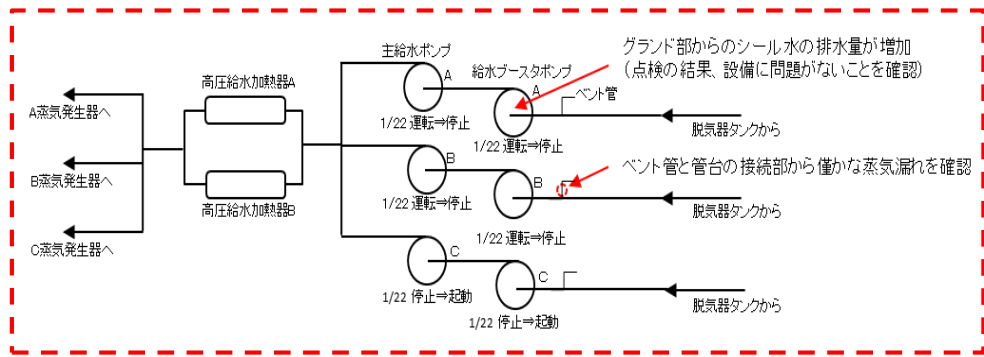
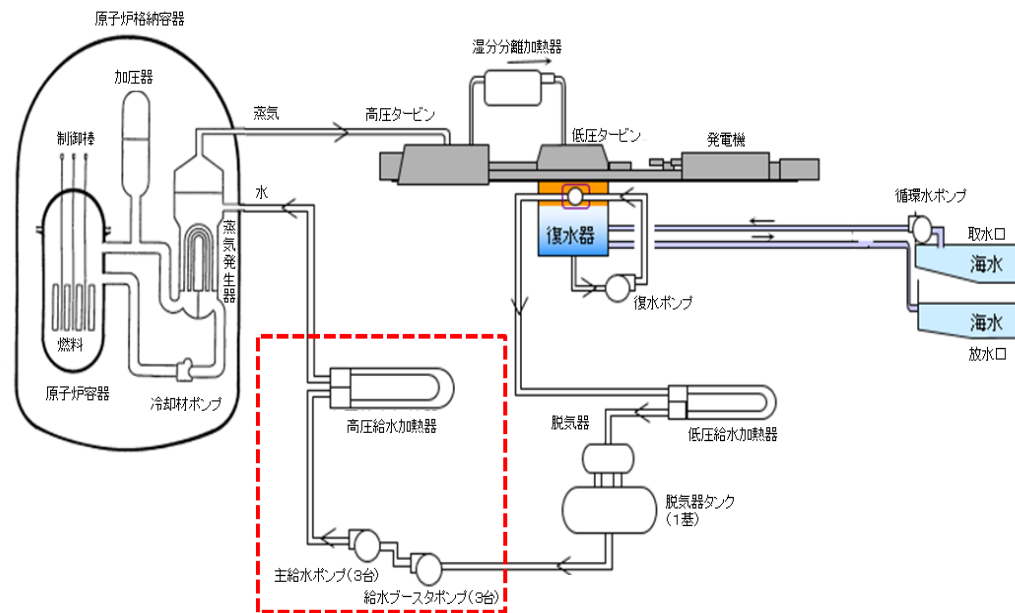
定期検査	伝熱管外面の損傷本数	調査結果概要	スケールに対する対策
3号機 第23回 (2018年8月～)	A-蒸気発生器：1本 【減肉率：20%未満】	<ul style="list-style-type: none"> <li>・減肉指示のあった箇所付近にスケールを確認</li> <li>・スケールの回収中に破損したため、スケール以外の異物による減肉と推定。異物は流出したものと推定</li> </ul>	 <p>スケール</p> <p>—</p>
4号機 第22回 (2019年9月～)	A-蒸気発生器：1本 B-蒸気発生器：1本 C-蒸気発生器：3本 【最大減肉率：63%】	<ul style="list-style-type: none"> <li>・A – 蒸気発生器内にステンレス薄片を確認したが、摩耗痕が確認されなかったため、原因となった異物は前回の定期検査時に混入していたものと推定</li> <li>・なお、異物は流出したものと推定</li> </ul>	—
3号機 第24回 (2020年1月～)	B-蒸気発生器：1本 C-蒸気発生器：1本 【最大減肉率：56%】	<ul style="list-style-type: none"> <li>・AおよびC – 蒸気発生器内にガスケットフープ材を確認</li> <li>・C – 蒸気発生器伝熱管の損傷原因を異物と推定</li> <li>・B – 蒸気発生器伝熱管の損傷原因となった異物は流出したものと推定</li> </ul>	薬品洗浄を実施
4号機 第23回 (2020年10月～)	A-蒸気発生器：1本 C-蒸気発生器：3本 【最大減肉率：36%】	<ul style="list-style-type: none"> <li>・A – 蒸気発生器の減肉箇所にスケールが残存</li> <li>・C – 蒸気発生器の減肉箇所近傍から回収したスケール3個にも接触痕を確認し、原因は、スケールによる減肉と推定</li> </ul>	 <p>スケール</p> <p>薬品洗浄を実施</p>
3号機 第25回 (2022年3月～)	A-蒸気発生器：2本 B-蒸気発生器：1本 【最大減肉率：57%】	<ul style="list-style-type: none"> <li>・摩耗痕のあるスケールは回収できなかったが、各蒸気発生器から採取したスケールの性状、摩耗試験等の調査の結果、スケールによる減肉と推定</li> </ul>	薬品洗浄の前に小型高圧洗浄装置による洗浄を実施し、薬品洗浄を実施
4号機 第24回 (2022年6月～)	A-蒸気発生器：5本 B-蒸気発生器：2本 C-蒸気発生器：5本 【最大減肉率：49%】	<ul style="list-style-type: none"> <li>・小型カメラによる損傷個所の調査に加え、蒸気発生器器内のスケールの形状や性状および伝熱管の外観観察等の調査を実施した結果、スケールによる減肉と推定</li> <li>・なお、A – 蒸気発生器およびB – 蒸気発生器より回収したスケール各1個に接触痕を確認</li> </ul>	薬品洗浄の前に小型高圧洗浄装置による洗浄を実施し、薬品洗浄を実施
3号機 第26回 (2023年9月～)	A-蒸気発生器：1本 【減肉率：63%】	<ul style="list-style-type: none"> <li>・A – 蒸気発生器の減肉箇所にスケール1個が付着</li> <li>原因は、スケールによる減肉と推定</li> </ul>	 <p>スケール</p> <p>小型高圧洗浄装置による洗浄を実施 (噴射ノズルの改良および洗浄回収を増やし洗浄を強化)</p>
4号機 第25回 (今回)	A-蒸気発生器：2本 C-蒸気発生器：2本 【最大減肉率：61%】	<ul style="list-style-type: none"> <li>・摩耗痕のあるスケールは回収できなかったが、各蒸気発生器から採取したスケールの性状、摩耗試験等の調査の結果、スケールによる減肉と推定</li> </ul>	

# 高浜 1 号機の B 給水ブースタポンプ入口配管からの蒸気漏れに関する原因と対策について

## 【事象概要】

- 1月21日、B 給水ブースタポンプ（以下、ポンプ） 入口配管（2 次系）の一部から僅かな蒸気漏れを確認したため、待機中のCポンプを起動したうえで、Bポンプを停止した。その後、Aポンプのグランド部からの排水量が通常よりも多いことを確認したため、電気出力を40%にした上でAポンプを停止し、点検・調査を実施した。
- 現場確認の結果、Bポンプ入口配管のベント管の管台付け根付近からの漏えいであったことから、浸透探傷試験を実施したところ、管台溶接部に沿った浸透指示模様が認められた。このため、当該部を切り出し、破面観察等の調査を実施するためにメーカー工場に搬送した。
- Aポンプについては、グランド部を点検した結果、異常は認められなかった。

## <系統概略図>



**<給水ブースタポンプ型式・性能>**  
 型式：たて軸遠心 2 段タービン型  
 容量：2,800m<sup>3</sup>/h  
 台数：3 台

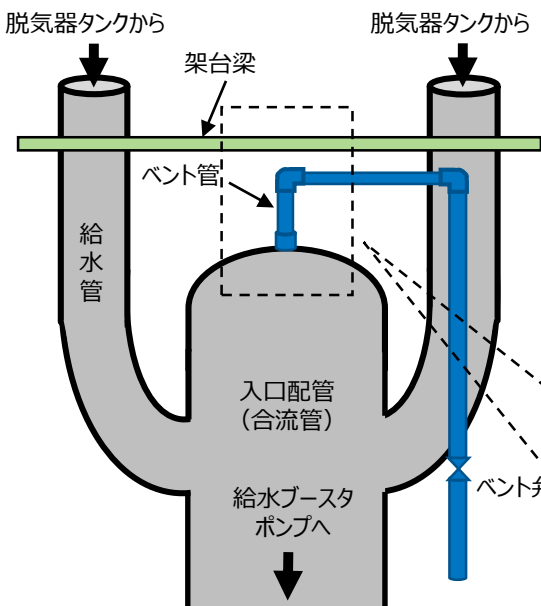
**<運用>**  
 給水ブースタポンプは、3 台中指定機の 2 台を 1 サイクル 継続運転する運用

# 高浜 1 号機の B 給水ブースタポンプ入口配管からの蒸気漏れに関する原因と対策について

## 【架台梁との接触に関する調査】

- ベント管の外観観察において、ベント管頂部表面に接触痕（深さ約0.6mmの凹み）を確認
- ベント管の上部にある架台梁との接触の可能性を調査するため、架台梁の外観観察を実施した結果、ベント管頂部の凹み部分と同様に、約10mm×約15mmの接触痕を確認
- ベント管切出し前に、ベント管頂部と架台梁の隙間を計測した結果、約5mmであった。
- 運転中の熱による伸び評価では、約5.5mmの熱伸びが想定されており、ポンプ運転時は上部架台底部と接触していたと考えられる。

### < B給水ブースタポンプ入口配管概要図 >



- ・架台はパトロール等のため入口配管上部に設置
- ・架台梁はボルトにて固定（3mm程度の裕度）
- ・2002年に入口配管の振動測定のため一時的に取り外しその後復旧
- ・架台梁に接触痕を確認



ベント管と架台梁のすき間  
プラント停止時 約5mm

- ・ベント管は起動時の空気抜きで使用
- ・通常運転圧力・温度：約0.85MPa・約177℃
- ・ベント管の管台付け根付近からの漏えい

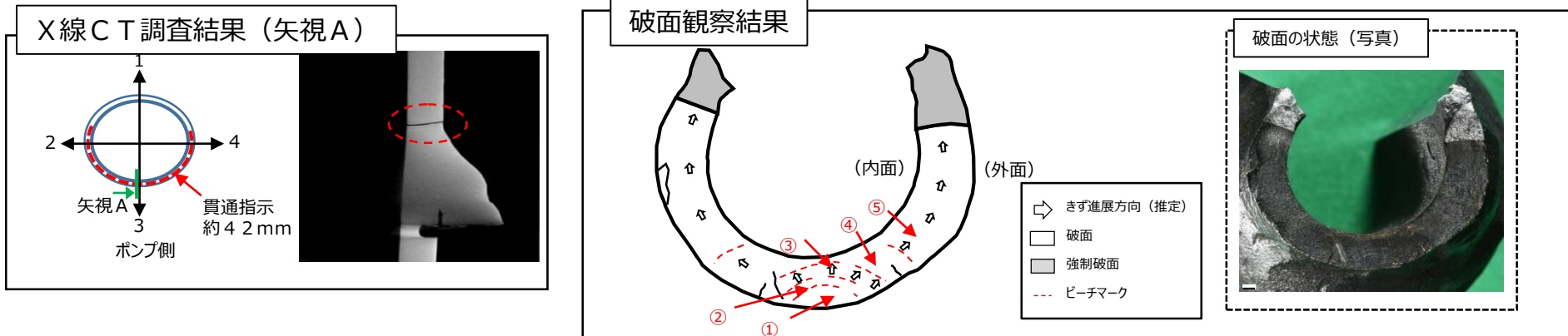
### 【B給水ブースタポンプ入口配管の仕様】

	材質	口径	厚さ
給水管		508.0mm	10.0mm
入口配管	炭素鋼	711.2mm	12.0mm
ベント管		21.7mm	3.7mm

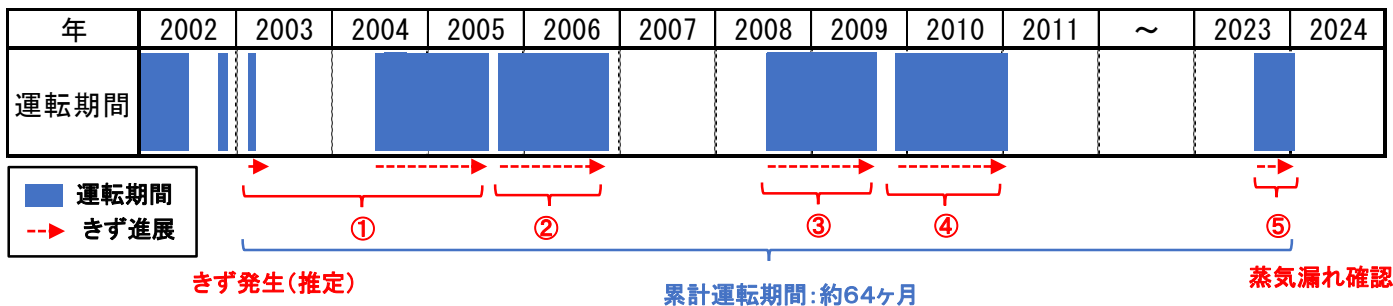
# 高浜 1 号機の B 給水ブースタポンプ入口配管からの蒸気漏れに関する原因と対策について

## 【ベント管切り出し部の工場調査結果】

- X線CT調査：浸透指示模様と同様の位置に約 4.2 mmの貫通指示を確認
- 破面観察：おおむね平坦でビーチマーク模様を確認。模様の様相から、ベント管外表面を起点にきずが発生し、内側に進展したと判断



## <B給水ブースタポンプの運転履歴>



## 【架台梁の施工履歴】

- 当該ベント管上部の架台梁は、第21回定期検査直前（2002年11月）のプラント運転中に、入口配管の振動測定を実施するため、一時的に取り外していたことを確認
- 取り外した架台梁の復旧時、ボルト穴の数mmの調整代により、取外し前より僅かに下方に設置されたと推定

## 【B給水ブースタポンプ運転履歴】

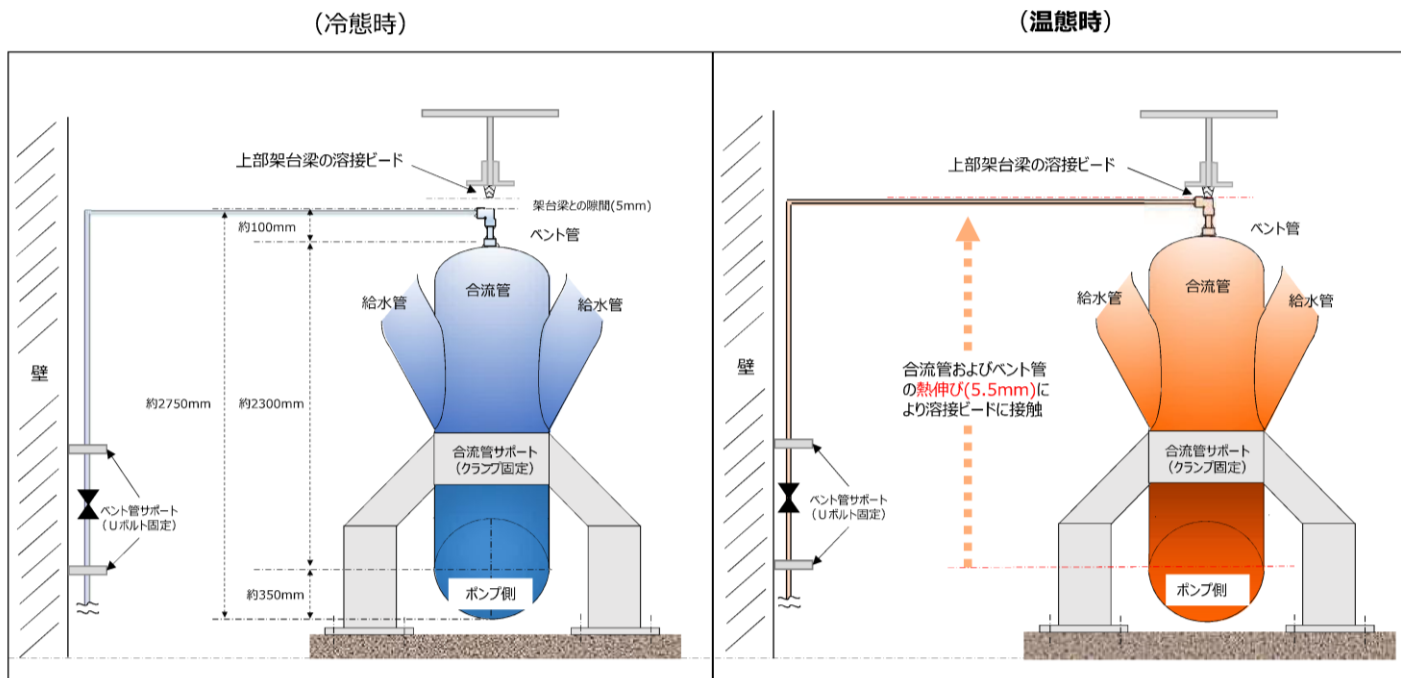
- 過去のBポンプ運転履歴の調査結果、振動測定に伴う上部の架台梁復旧後の第21回定期検査（2002年11月）以降、6サイクル運転



# 高浜 1 号機の B 給水ブースタポンプ入口配管からの蒸気漏れに関する原因と対策について

## 【原因：きず発生および進展のメカニズム】

- 運転に伴う熱伸びによりベント管頂部と架台梁が接触し、ベント管付け根部に曲げ応力が作用、さらにベント管頂部が拘束された状態でポンプ運転による機械振動が加わり、疲労限度を超え外面にきずが発生、内面に向け進展し、蒸気漏れに至ったと推定
- 過去の B ポンプ運転履歴の調査結果、振動測定に伴う上部の架台梁復旧後の第21回定期検査(2002年11月)以降、6サイクル運転しており、破面観察の結果等も踏まえると、きずは第21回定期検査終了後のプラント運転時に発生したと推定



熱伸びによるベント管と架台梁の接触メカニズム

## 【対策】

- 損傷したベント管を新品に取り替えるとともに、入口配管等の熱伸びが発生しても接触しないよう架台梁の形状を変更
- 発電所内で工事を実施した際は、高温状態の配管等が熱伸びで周辺機器と接触していないか、工事完了後に確認する旨を社内マニュアルに反映

# 参考資料

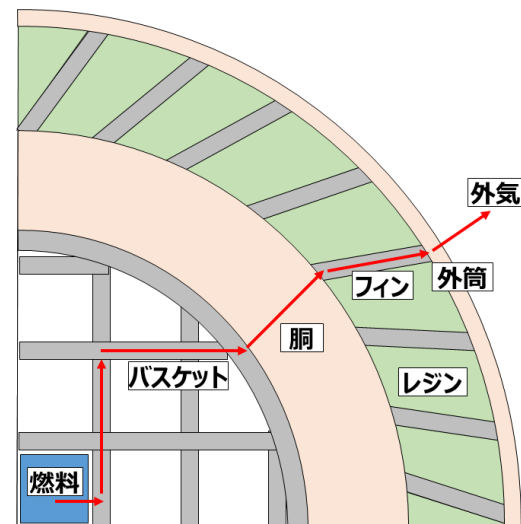
① キャスクの除熱機能

【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。



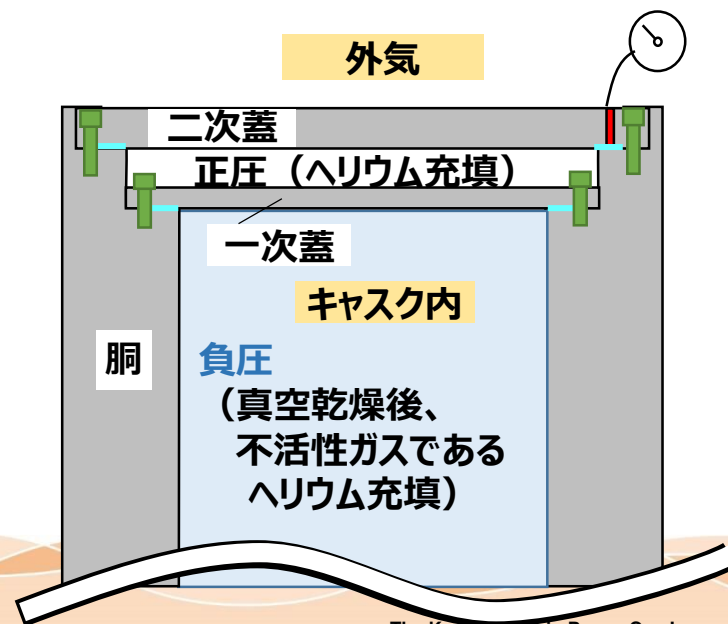
② キャスクの閉じ込め機能

【要求事項】

- キャ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、キャスク内部の負圧を維持することで、キャ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。



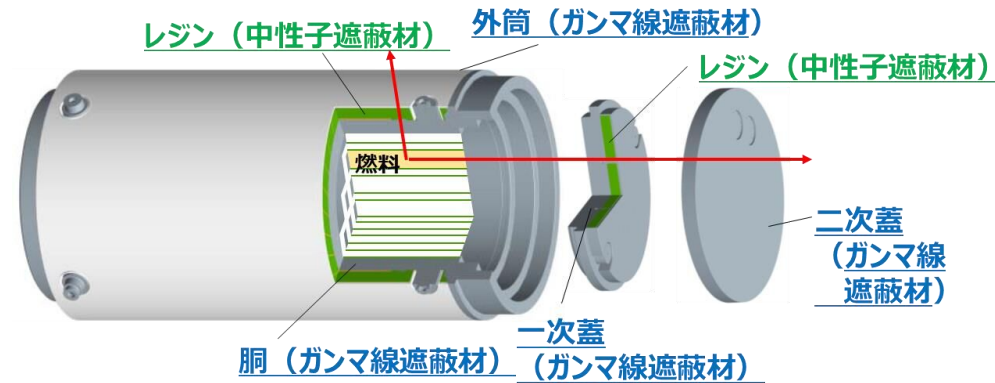
### ③ キャスクの遮蔽機能

#### 【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。



### 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 $\ast$ を0.95以下に抑え、臨界を防止する。

$\ast$ 中性子実効増倍率: 単位時間当たりで消滅する中性子の数に対する核分裂により発生する中性子の数の比。  
臨界に達しているかどうかを判断する指標であり、増倍率が1になると臨界であり、1未満の場合は未臨界となる。

輸送・貯蔵兼用キャスクの安全機能

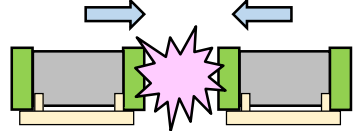
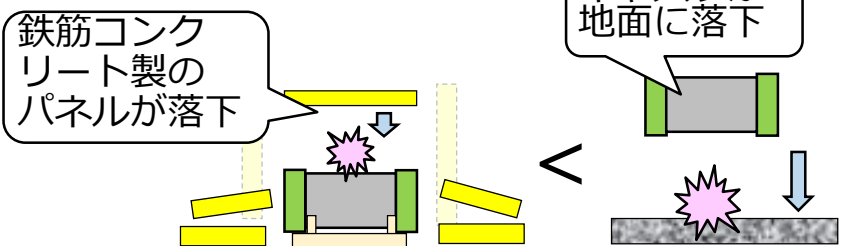
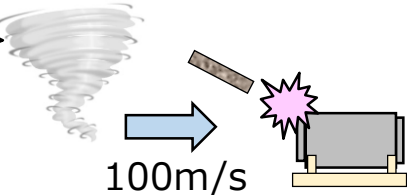

⑤ 自然現象等に対するキャスクの堅牢性

【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</p> <p>（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

## 【要求事項】

- 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に係る実証試験の例


- 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"> <li>・垂直：最大高さ17m</li> <li>・水平：最大高さ5m</li> <li>・コーナー：最大高さ17m</li> </ul> <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"> <li>・コンクリートスラブ (6m四方×16cm厚、水平)</li> </ul> <div style="text-align: center; margin-top: 10px;"> <p>【コンクリートスラブ落下】</p>  <p>コンクリートスラブ</p> <p>乾式貯蔵容器 (実物大)</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"> <li>・2/5縮尺エンジン (直径50cm、質量300kg)</li> <li>・衝突速度：57m/秒 (水平)</li> </ul> <div style="text-align: center; margin-top: 10px;"> <p>【水平衝突試験】</p>  <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> </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

# 国内における乾式貯蔵施設の例



**施設イメージ(一部断面図)**

約20m  
約40m  
約60m

乾式キャスク

(全体鳥瞰図)

**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

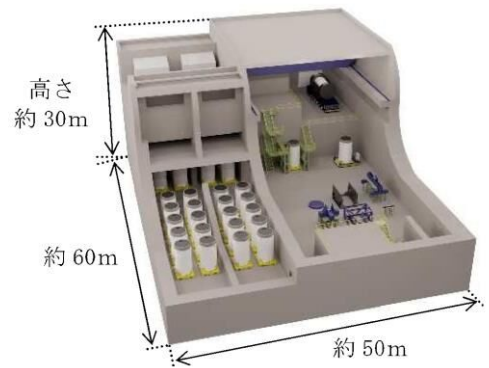
貯蔵容量：燃料集合体 約1,200体規模  
〔乾式キャスク45基分〕  
約500トン・ウラン

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：四国電力パンフレット



設置準備中

**玄海原子力発電所 (九州電力)**

出典：九州電力パンフレット





**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