

美浜発電所2号機の燃料集合体漏えい（原因と対策）

このことについて、関西電力株式会社から下記のとおり連絡を受けた。

記

美浜発電所2号機（加圧水型軽水炉；定格電気出力50万kW）は、定格熱出力一定運転中の平成22年4月19日、1次冷却材中の希ガス（Xe-133）濃度が前回の測定値を上回ることが確認されたため、燃料集合体から漏えいが発生した疑いがあると判断し、1次冷却材中の放射能濃度の測定頻度を上げて監視を強化した。

1次冷却材中のヨウ素濃度は、保安規定で定めている運転上の制限値（45,000 Bq/cm³）に比べて十分低いものの、漏えい燃料の特定調査をするため、4月23日18時に出力降下を開始し、翌24日3時7分に原子炉を停止した。

原子炉停止後、1次冷却材中の放射能濃度を低減させた後、原子炉に装荷された燃料集合体（121体）を全て取り出し、燃料集合体全数（121体）について SHIPPING 検査*¹を実施したところ、原子炉内で隣接して装荷されていた2体の燃料集合体（KABA10, KABC13）に漏えいが確認された。

これら燃料集合体2体について、水中カメラによる外観目視検査を実施したところ、2体が隣接する面において、燃料棒3本（KABA10:2本、KABC13:1本）の第4支持格子下部で傷のようなものが確認された。また、これら3本のうち2本（KABA10:1本、KABC13:1本）の燃料棒については、白色模様も確認された。

*1：漏えい燃料集合体から漏れ出てくる核分裂生成物（キセノン-133、ヨウ素-131など）の量を確認し、漏えい燃料集合体かどうか判断する。

[平成22年4月19日、23日、6月1日発表済]

1 漏えい燃料の調査結果

(1) 超音波による調査

- 漏えい燃料棒を特定するため超音波による調査*²を実施した結果、燃料集合体KABA10およびKABC13で漏えい燃料棒が1本ずつ確認された。これらは、外観目視検査で傷のようなものが認められた燃料棒であった。

(2) ファイバースコープによる調査

- 漏えい燃料棒2本について、ファイバースコープを用いて詳細に目視点検を実施したところ、いずれの燃料棒においても第4支持格子の下で、燃料棒表面に削り取られたような傷が認められた。また、燃料集合体KABC13の漏えい

燃料棒 1 本の第 5 支持格子と第 6 支持格子との間で、二次的な水素化^{*3}によると思われる燃料棒被覆管の膨らみが確認された。

- ・このファイバースコープの調査で、KABC13の漏えい燃料棒に隣接する燃料棒の第 5 支持格子内に異物が確認された。
- ・なお、外観検査で傷のようなものと白色模様が認められたが漏えいは確認されなかった燃料集合体KABA10の燃料棒 1 本についても、ファイバースコープで調査した結果、第 4 支持格子の下で燃料棒表面に削り取られたような傷が認められた。白色模様については、燃料棒表面に膨らみが認められなかったことから、燃料棒表面のクラッド^{*4}の付着むらと判断した。

* 2 : 漏えいが発生した燃料棒の内部には水の浸入が予想されるため、超音波が燃料棒内を伝播する際の減衰を検出することで、燃料棒内部の水の有無を判断し、漏えい燃料棒を特定する。

* 3 : 何らかの原因により燃料に 1 次破損が生じると、冷却水が燃料棒内に浸入して水素が発生する。被覆管は水素を吸収し、1 次破損箇所から離れた場所で膨らみが発生する（二次的な水素化）。

* 4 : 1 次冷却材中において、配管等の金属材料の酸化により生じる腐食生成物のうち、水に溶けないで存在する粒子状の金属酸化物の総称。

2 異物に関する調査結果

(1) 異物の寸法、性状

- ・異物は、長さ約22mm、幅約4mm、厚さ約0.3mmのゆるやかに湾曲した板状であり、表面は全体的にスケールで覆われていたが、一部に金属光沢が認められた。また、成分分析の結果、材質はステンレスであることがわかった。形状と材質から、配管等の保温材の外側に巻くステンレス板（外装板という）の可能性が高いと推定した。
- ・燃料棒の傷と異物の関係を見るため、模型により異物と傷を合わせてみた結果、それらの位置がほぼ一致したことから、今回の傷は異物との接触により生じたものと推定した。

(2) 混入時期、経路

- ・混入時期については、異物表面の放射線量の測定結果から、前回定期検査時（平成21年4月3日～平成21年7月23日）に混入したものと評価した。
- ・混入経路について調査した結果、異物は、燃料集合体下部ノズルの流路孔や、支持格子と燃料棒のすき間を通ることができない形状や寸法であったため、燃料下部から 1 次冷却材の流れにのって混入した可能性は低いものと判断された。
- ・このため、燃料上方の原子炉キャビティ^{*5}廻りについて調査したところ、キャビティ廻りの床面には異物落下防止用の柵が設置されていたが、キャビティ近傍の蒸気発生器に設置された点検用架台（以下「SG点検架台」という）と架台下方のコンクリート壁との間に、異物落下防止措置がなされていない開口部が認められた。
- ・SG点検架台を点検したところ、グレーチング床の支持部に、保温材の修繕工事に伴い発生したと思われる外装板の切れ端等があることが確認された。
- ・また、前回定期検査の原子炉への燃料装荷中に、原子炉格納容器内の点検のため、当該架台を人が通行した実績があることを確認した。

* 5 : 原子炉容器の上部に設置しているプール。燃料取替え時に、ほう酸水を満たすことにより、燃料から放出される放射線を遮へいする。

3 推定原因

前回定期検査の原子炉への燃料装荷中に、SG点検架台のグレーチング床の支持部にあった異物が、点検架台を通行する人の振動等により、SG点検架台とコンクリート壁との開口部から、原子炉キャビティへ落下し、原子炉内に装荷されていた燃料集合体KABA10の第5支持格子に引っかかった。

その状態で隣接位置にKABC13を装荷した後、原子炉起動のために1次冷却材ポンプを起動したことにより、1次冷却材の流れにのって異物が第4支持格子の下に移動し、運転中に燃料棒とこすれて傷を発生・進展させた。

その後、化学体積制御系の空気抜き配管からの漏えいにより3月19日に原子炉を停止し、4月6日に再起動したが、この際の1次冷却材圧力の変動により、摩耗傷が進展していた燃料棒に漏えいが発生したものと推定された。

また、原子炉の再起動により、異物が第4支持格子下部の別の位置に移動したことで、新たな燃料棒とこすれて傷を発生・進展させ、2本目の燃料棒の漏えいとなったものと推定された。

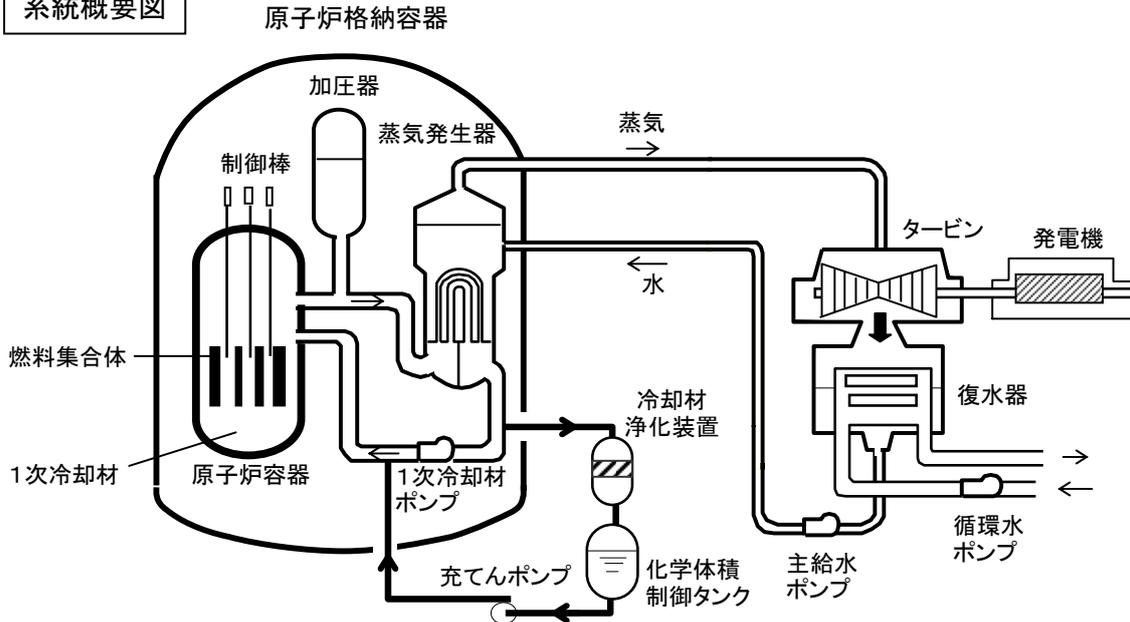
4 対策

- ・漏えいが確認された燃料集合体2体については、再使用しない。
- ・原子炉に装荷していた他の燃料集合体(119体)について、水中カメラによる外観点検を実施し、傷や異物がないことを確認した。
- ・原子炉容器の底部および下部炉心構造物について、水中カメラによる外観点検を実施し、異物がないことを確認した。
- ・SG点検架台の清掃を実施し、異物がないことを確認した。
- ・次回定期検査において、SG点検架台下部の開口部から異物が落下しないよう、金属板で開口部を塞ぐ措置を行う。なお、今回の原子炉への燃料装荷時にはSG点検架台への人の立ち入りを禁止する。
- ・現場作業終了時に作業場所周辺も含め確実に清掃を行い、異物がないことの確認を再徹底する。さらに原子炉への燃料装荷前に、原子炉キャビティおよびその周辺について異物がないことを確認することとした。
- ・本事象を社員および協力会社に周知し、燃料集合体に対する異物管理の重要性を再認識させる。

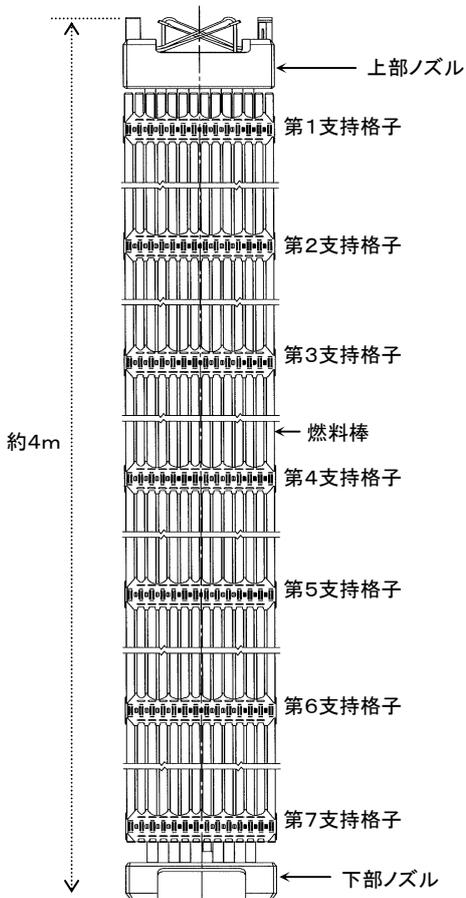
美浜発電所2号機は、今後燃料装荷等の作業を行い、6月下旬頃に原子炉を起動する予定である。

問い合わせ先(担当：内園) 内線2353・直通0776(20)0314
--

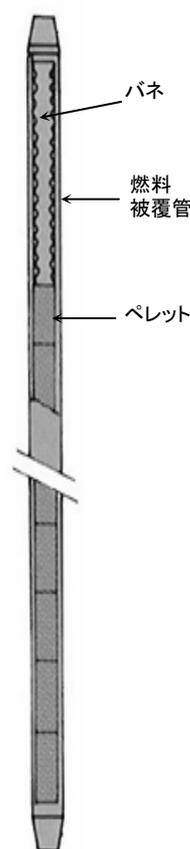
系統概要図



燃料集合体概要図



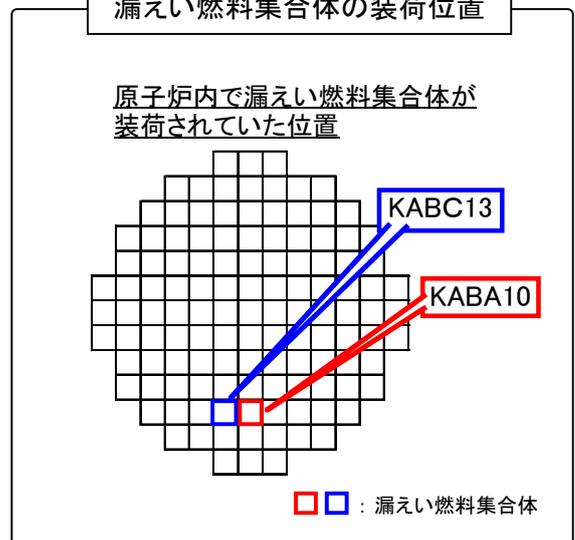
燃料棒



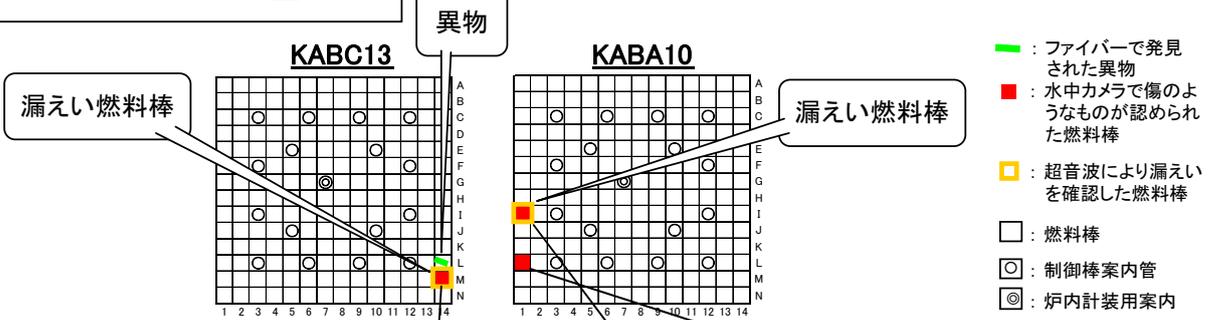
【燃料集合体の仕様】

燃料タイプ: 14×14型
 全長: 約4m
 全幅: 約20cm
 支持格子数: 7個
 燃料被覆管材質: ジルカロイ-4
 燃料被覆管外径: 約11mm
 燃料被覆管肉厚: 約0.6mm
 最高燃焼度: 48,000Mwd/t
 燃料集合体1体あたりの燃料棒本数: 179本
 装荷体数: 121体

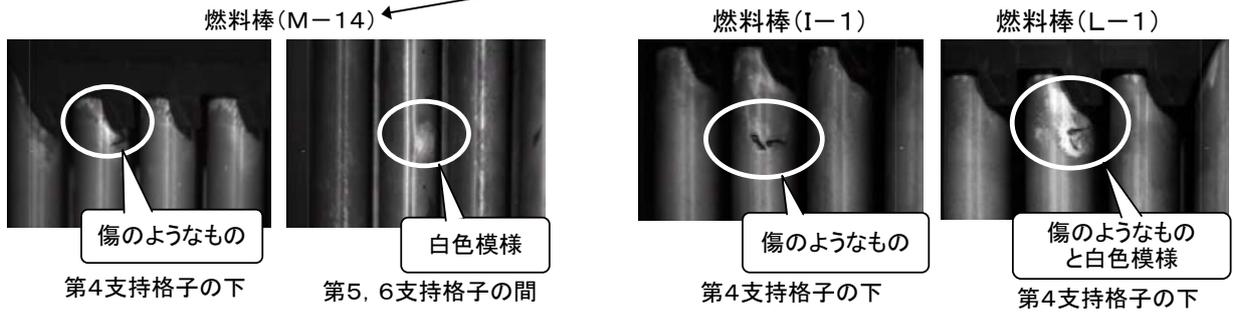
漏えい燃料集合体の装荷位置



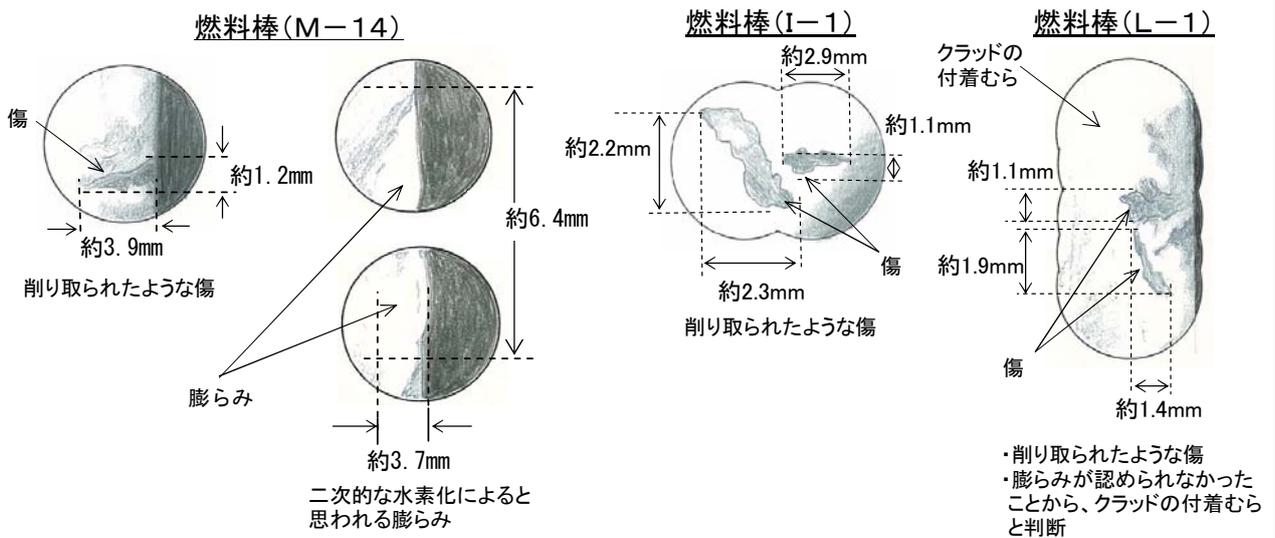
漏えい燃料集合体の調査結果



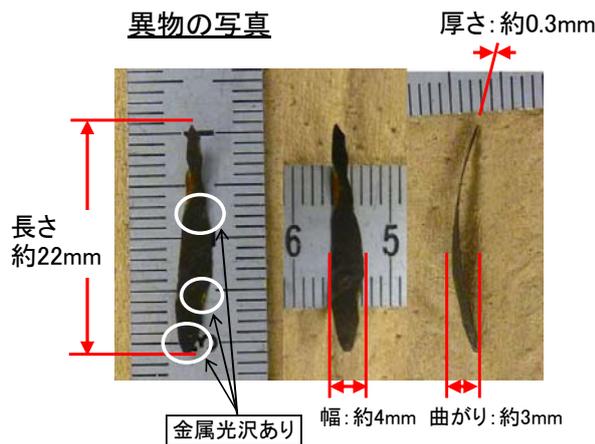
水中カメラによる外観目視検査結果



ファイバーによる調査結果



回収された異物 (KABC13 L14燃料棒の第5支持格子内)



○ 異物の成分

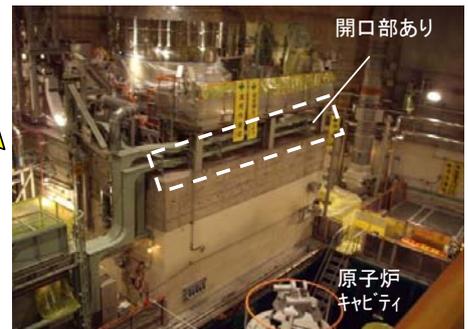
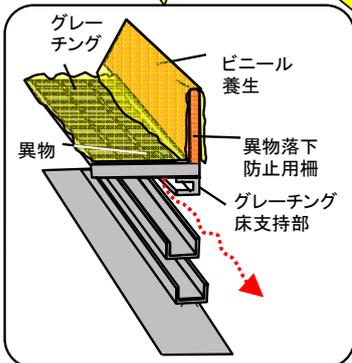
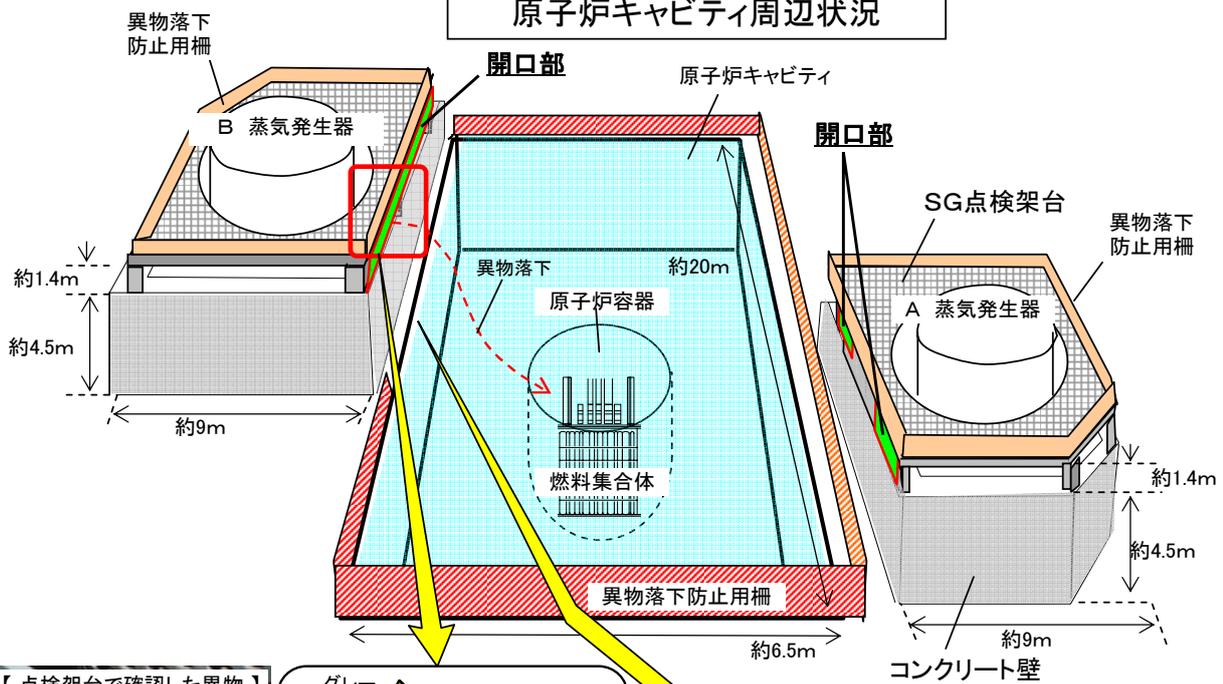
成分に鉄、クロム、ニッケルが認められたことから、ステンレスと推定

○ 異物表面の放射線量

18 mSv/h

放射線量から照射期間は200~300日相当であり、前定期点検査の調整運転開始 (H21.6.28) 以降の運転期間281日と整合がある

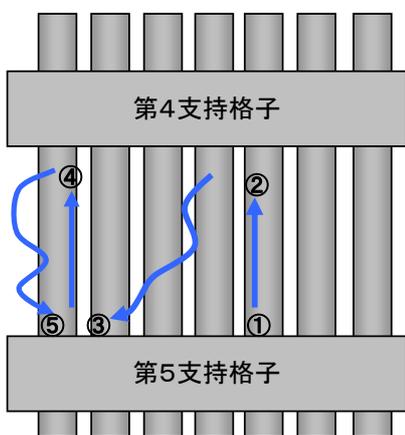
原子炉キャビティ周辺状況



混入した異物による漏えい推定メカニズム

- ①第25回定検時(H21年4月～H21年7月。調整運転期間を含む)に異物が混入。第5支持格子上に落下
- ②運転中(H21年6月～H22年3月)に第4支持格子下へ移動し燃料棒と接触
- ③中間停止(H22年3月～H22年4月)に伴い、第5支持格子上へ移動
- ④再起動(H22年4月)に伴い、②と別の場所で燃料棒と接触
- ⑤停止に伴い、第5支持格子上へ移動

KABC13の隣接面



← 異物移動

