

[原因と対策の報告の公表文（様式2）]

伊方発電所から通報連絡のあった異常に係る原因と対策の報告について（令和2年1月に連續して発生したトラブル）

R 2.8.3

原子力安全対策推進監
(内線2352)

1 四国電力(株)から、令和2年3月17日、同年1月に連續して発生したトラブルに係る原因と再発防止策の報告書の提出がありました。

県では、伊方原子力発電所環境安全管理委員会原子力安全専門部会において、四国電力から報告された報告書の妥当性及び再発防止策の実効性・有効性に加え、総括評価を踏まえた安全性の向上に向けた改善方策について、技術的・専門的見地から厳しく審議し、「伊方発電所3号機第15回定期検査中に連續して発生したトラブルに関する報告書」（別添1）を取りまとめ、7月29日、親会の伊方原子力発電所環境安全管理委員会から、「四国電力が取りまとめた原因と再発防止策は妥当であり、さらなる安全性向上のため、5項目の要請を求める」旨の報告を受けました。（別添2 審議結果 参照）。

県では、伊方原子力発電所環境安全管理委員会の報告を踏まえ、四国電力から提出された報告書を適当と判断した上で、安全管理委員会から要請を求められた5項目に、「県民の信頼回復」「安全性の不斷の追求」を加えた7項目について、四国電力に要請しましたのでお知らせします。（別添3 四国電力に対する要請文書 参照）

[報告書の概要]

県の 公表 区分	異常事項	発 生 年月日	推定原因等	対 策
B	中央制御室非常用循環系の点検に伴う運転上の制限の逸脱（3号機）	2.1.6	別添1 「伊方発電所3号機第15回定期検査中に連續して発生したトラブルに関する報告書」P3～P6参照	別添1 「伊方発電所3号機第15回定期検査中に連續して発生したトラブルに関する報告書」P6参照
A	原子炉容器上部炉心構造物吊り上げ時の制御棒引き抜き（3号機）※1	2.1.12	同上 P9～P12参照	同上 P13参照
A	燃料集合体点検時の落下信号発信（3号機）	2.1.20	同上 P16～P19参照	同上 P20参照
A	所内電源の一時的喪失（1, 2, 3号機共用）※2	2.1.25	同上 P22～P25参照	同上 P26参照
-	連續して発生したトラブルの総括評価について※3	-	同上 P29～P32参照	同上 P32～P34参照

[四国電力に対する要請項目]

- 更なる安全性向上に向けた詳細調査の実施（※1 制御棒引き抜き関係）
- 恒常的な対策による安全性の確保（※2 所内電源一時的喪失関係）

- | | | |
|-----------|---|-----------------------------|
| 3．安全文化の醸成 | 4．新チームの研鑽 | 5．技術力の維持・向上（※3 総括評価関係（3～5）） |
| 6．県民の信頼回復 | 7．安全性の不斷の追求（別添 四国電力に対する要請文書 参照） | |

2 県としては、これまでに実施されている、作業計画の妥当性を検証する新チームの設置、断路器の取替・監視システムの導入、保安点検に係る作業要領書等の改訂等の再発防止策について、伊方発電所に職員を派遣し、確認しています。

また、今後実施される再発防止策や県からの要請事項の取り組み状況について、適宜、報告を求め、確認することとしています。

原子力発第19478号
令和2年 4月 3日

愛媛県知事
中村時広 殿

四国電力株式会社
取締役社長 社長執行役員
長井啓介

伊方発電所第3号機第15回定期検査中に発生した一連のトラブルに係る
報告書の一部補正について

拝啓 平素は格別のご高配を賜り、厚くお礼申し上げます。

さて、令和2年3月17日付、原子力発第19442号にて提出した報告書のうち「伊方発電所第3号機 原子炉容器上部炉心構造物吊り上げ時の制御棒クラスタ引き上がりについて」につきまして、その後の原子力規制委員会の確認を踏まえ報告書の補正が必要となったことから、安全協定第11条第2項に基づき、別添のとおり報告いたします。

今後とも伊方発電所の安全・安定運転に取り組んでまいりますので、ご指導賜りますようお願い申しあげます。

敬具

別添資料

1. 伊方発電所第3号機 原子炉容器上部炉心構造物吊り上げ時の制御棒クラスタ引き上がりについて

以上

本資料のうち、枠組みの範囲は
機密に係る事項ですので公開す
ることはできません。

伊方発電所第3号機
原子炉容器上部炉心構造物吊り上げ時の
制御棒クラスタ引き上がりについて

令和2年3月17日 提出
令和2年4月 3日 補正
四国電力株式会社

1. 件名

伊方発電所第3号機 原子炉容器上部炉心構造物吊り上げ時の制御棒クラスタ
引き上がりについて

2. 事象発生の日時

令和2年1月12日 13時20分（引抜き操作を行っていない制御棒が管理位置から移動したことを確認した日時）

3. 事象発生の発電用原子炉施設

計測制御系統施設 制御材 制御棒クラスタ

4. 事象発生前の運転状況

第15回定期検査中

5. 事象発生の状況

伊方発電所第3号機（定格電気出力89万キロワット）は第15回定期検査（令和元年12月26日解列）中、原子炉からの燃料取出の準備作業のため、原子炉容器上蓋を開放し、制御棒クラスタと駆動軸との切り離し^{※1}を行った後、原子炉容器の上部炉心構造物を吊り上げていたところ、令和2年1月12日13時20分、制御棒クラスタ1体が上部炉心構造物とともに引き上げられていることを確認した。

その後、上部炉心構造物を吊り下ろして当該制御棒クラスタと駆動軸が結合されていないことを確認した後、再度上部炉心構造物を吊り上げ、当該制御棒クラスタが引き上がらないことを確認し、令和2年1月13日10時34分、上部炉心構造物の取り外しを完了した。

本事象は、引抜き操作を行っていない制御棒が管理位置から移動したこと、その際、炉心に燃料体が装荷された状況であったことから、令和2年1月15日9時00分に実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則第134条に該当すると判断した。

なお、本事象による外部への放射能の影響はなかった。

※1 燃料取替クレーンを使用し、制御棒クラスタ（48体）と駆動軸（48本）を専用の取り外し工具（1個）を用いて切り離しを行う作業。

（添付資料－1～6）

6. 発電用原子炉施設への影響

燃料取出にあたっては、原子炉格納容器内封機能および1次冷却材ほう素濃度等、原子炉施設の状態を事前に確認するとともに、原子炉出力、1次冷却材温

度、放射線監視設備等を監視し、正常な状態であったことを確認した。

また、燃料取出を行う原子炉運転モード6においての1次冷却材ほう素の濃縮は完了しており、臨界管理は1次冷却材の希釈系統を隔離する等、1次冷却材ほう素濃度にて管理することを規定している。

(添付資料-2-1, 3)

7. 環境への影響

発電所に設置しているエリアモニタおよびプロセスマニタの指示値ならびに発電所周辺に設置している野外モニタの指示値には有意な変動はなく、本事象による外部への放射能の影響はなかった。

(添付資料-2-2)

8. 制御棒クラスタと駆動軸の結合状況等の確認

事象発生後（令和2年1月12日～13日）、以下の確認を実施し、上部炉心構造物を下ろした時点では制御棒クラスタと駆動軸は結合されていないことや正常に結合、切り離しができること等を確認した。

- ・事象発生後、上部炉心構造物を吊り上げた状態から吊り下ろして、作業開始前の状態に戻した後、駆動軸取り外し工具にて当該駆動軸を引き上げたところ、この時点では制御棒クラスタは引き上がらず、制御棒クラスタと駆動軸は結合されていないことを確認した。
- ・その後、駆動軸取り外し工具にて駆動軸と制御棒クラスタの結合、切り離し作業を実施し、正常に結合、切り離しができることを確認した。
- ・駆動軸と制御棒クラスタを結合させた状態で、上下方向に操作して、上部炉心構造物と干渉せずスムーズに操作できることを確認した。

その後、上部炉心構造物を再度吊り上げた際には、制御棒クラスタは引き上がるとはなく、本事象は再現しなかった。

以上のことから、事象発生時の結合状態は通常と異なる不完全な結合状態であった可能性がある。

9. 調査結果

原子炉容器上部炉心構造物吊り上げ時の制御棒クラスタ引き上がりの原因について、要因分析図に基づき現地調査および図面や製造記録等の調査を行った。

(添付資料-7)

（1）作業体制および手順等

a. 作業体制

- ・制御棒クラスタと駆動軸の切り離し作業は、作業責任者1名の指揮のもと、駆動軸取り外し工具の操作（寸法・動作確認を含む）を行う作業員（工具操作者）2名、制御棒クラスタと駆動軸の切り離しができたことを重量および寸法により確認を行う作業員（記録者）1名、駆動軸取り外し工具と駆動軸

のラッチのためセンタリング確認を行う作業員(センタリング確認者)2名、クレーン操作を行う作業員(クレーン操作者)1名、計7名の複数人で実施しており、過去に十分な実績のある作業体制と同じであることを確認した。

また、1月12日の作業前ミーティングでは、当日の作業内容の説明、配員の周知および体調や勤務状況の確認を含む安全確認を行っていた。

b. 作業責任者、作業員の力量

- ・制御棒クラスタと駆動軸の切り離しのため駆動軸取り外し工具の操作を行う作業責任者(経験年数10年以上)および工具操作者(経験年数7年以上)等の主要な操作を行う者は、過去に伊方発電所の原子炉容器の開放作業において制御棒クラスタと駆動軸の切り離し作業を経験しており、現場操作に十分な経験と知識を有していた。

c. 作業手順書

- ・制御棒クラスタと駆動軸の切り離し作業は、当社が承認した作業手順書に基づき実施している。また、今回の作業手順書は過去の定期検査(第1回～第14回)時と同様であり、過去の定期検査時に同様の事象は発生していないことを確認した。
- ・現地作業開始前には作業手順書の読み合わせを実施しており、作業手順の確認、過去の不具合事例紹介および安全管理、品質管理、放射線管理上の注意事項等について確認を行っていた。
- ・今回の作業手順書は、重量確認と寸法確認で確実に制御棒クラスタと駆動軸が切り離されていることを確認できる手順書であったが、切り離し確認以降に通常とは異なる不完全な結合状態に至った場合は制御棒クラスタの引き上がりが生じる可能性がある。

d. 作業記録

- ・今回の作業記録を確認し、定められた手順どおりに重量確認と寸法確認が実施され、確実に制御棒クラスタと駆動軸の切り離し作業が行われていることを確認した。また、過去の定期検査(第1回～第14回)の作業記録と比べても、今回の作業記録に特異な点は確認されなかった。

なお、今回上部炉心構造物とともに引き上げられた制御棒クラスタの切り離し作業は、48体中6体目の作業であった。

- ・事象発生後の駆動軸引き上げ時に制御棒クラスタは引き上がらなかつたことからも、切り離し操作自体をしていないといった重要な手順の抜けやアドレス間違い等の作業ミスは考え難い。

e. 作業環境

- ・作業場所における照明、騒音、気温および作業エリアの観点から確認を行った。制御棒クラスタと駆動軸の切り離し作業を行った作業場所は、原子炉格納容器内であり、照明、騒音および気温について問題はなかった。作業エリアについては、燃料取替クレーン歩廊上で実施したが、これまでの定期検査時と同様で当該作業においては十分な作業エリアであり問題なかった。

・作業時の装備については、管理区域標準装備（管理服、綿手袋、靴下）に加えて、防護服（1重）、ゴム手袋（2重）、靴下（1重）を着用しての作業であるが、これまでの定期検査時にも同様の装備での作業であり、安全面も含めて問題はなかった。

また、当該作業時に全面マスク等の着用は必要なく、作業員間のコミュニケーションに問題はなかった。

f. 聞き取り調査

・作業員等への聞き取りにより、制御棒クラスタと駆動軸の切り離し作業時、作業責任者、作業員は、制御棒クラスタと駆動軸の切り離し操作をするため、作業手順書に従い駆動軸取り外し工具の操作、荷重計（ロードセル）による重量確認および寸法確認等を行っており、作業手順に問題がないことを確認した。また、操作および計測時は、複数人による確認を行い、作業が確実に行われていることを確認した。

当該作業時、当社立会により、作業が確実に行われていることを確認している。

なお、当該駆動軸切り離しの確認作業時に制御棒クラスタを切り離すために駆動軸取り外し工具を揺する操作をしたことが確認されたが、当該駆動軸に限った操作ではなく、他のほとんどの駆動軸で同様の操作を行っていることおよびこれまでの定期検査時にも同様の操作を行っているとのことであり、一般的に行っている操作であることを確認した。

（添付資料－8－1）

（2）駆動軸取り外し工具

・駆動軸取り外し工具の外観確認を実施し、傷、変形、付着物はなく駆動軸取り外し工具と駆動軸の取り合いに問題ないことを確認した。
・駆動軸取り外し工具と模擬駆動軸を用いた動作確認を実施し、駆動軸取り外し軸の引き上げ、押し下げ動作に異常がなく、正常に動作することを確認した。

（添付資料－8－2）

（3）計測器

・使用された荷重計（ロードセル）について、作業記録により、使用前点検で荷重計表示が出ていることおよび遠隔表示機の表示値が本体表示値と同じであることを確認するとともに外観確認により有意な損傷等がないことを確認した。また、今回の調査にて、ウェイトを用いた動作確認により表示値に異常がないことを確認した。
・使用されたスケールについて、外観確認により有意な損傷等がないことを確認した。

（添付資料－8－3）

（4）制御棒クラスタおよび制御棒クラスタ案内管（上部炉心構造物）

制御棒クラスタの調査については、事象が発生したアドレスの他に比較対象

として他の2か所のアドレスを選定し、計3か所について調査を実施した。

- ・当該制御棒クラスタ（アドレス：M-4）
- ・他の制御棒クラスタ2体（アドレス：M-12、J-7）

a. 図面確認

・図面確認により、制御棒クラスタのスパイダ頭部と制御棒クラスタ案内管（上部炉心構造物）の位置関係から、設計上、物理的に干渉する可能性がないことを確認した。

b. 外観確認

制御棒クラスタのスパイダ頭部の外観確認を実施し、損傷、変形の有無を確認するとともに、異物の有無を確認した。また、水中カメラをスパイダ頭部に近づけて外観の詳細確認を実施した。

(a) 原子炉容器内点検

燃料取出前（令和2年1月13日）に水中カメラ（白黒）で制御棒クラスタのスパイダ頭部全体の外観確認を実施し、外観形状に異常はなく、スパイダ頭部と制御棒クラスタ案内管（上部炉心構造物）との干渉の痕跡は認められなかった。

また、当該制御棒クラスタ（M-4）のスパイダ頭部内（駆動軸との結合部内部）に堆積物が確認された。

なお、堆積物はM-12、J-7にも同様に確認された。

(b) 使用済燃料ピット内点検

燃料取出後、使用済燃料ピットにおいて、水中カメラ（カラー）で制御棒クラスタのスパイダ頭部の外観確認を実施した結果、上述のとおり、当該制御棒クラスタ（M-4）のスパイダ頭部内（駆動軸との結合部内部）に堆積物が確認された。

また、M-12、J-7の制御棒クラスタについても比較のため外観確認を実施した結果、M-4の制御棒クラスタと同様に堆積物が確認された。

(c) 使用済燃料ピット内点検（詳細確認）

水中カメラを制御棒クラスタのスパイダ頭部に近づけてスパイダ頭部外観の詳細確認を実施した結果、当該制御棒クラスタ（M-4）のスパイダ頭部の円環部上面に接触痕（色調の変化）が確認された。円環部上面の接触痕（色調の変化）はM-12にも同様に確認されたが、M-4のほうが広範囲であった。なお、使用期間が短いJ-7に接触痕（色調の変化）は確認されなかった。

また、M-4のスパイダ頭部の内部テーパ面に接触痕（色調の変化）が確認され、M-12にも同様に確認された。

スパイダ頭部内で確認された堆積物の詳細確認結果は（6）に示す。

（添付資料-8-4）

(5) 駆動軸（制御棒クラスタとの結合部含む）

駆動軸の調査については、事象が発生したアドレスの他に比較対象として他の2か所のアドレスを選定し、計3か所について調査を実施した。

- ・当該駆動軸（アドレス：M-4）
- ・他の駆動軸2本（アドレス：M-12、J-7）

a. 外観確認（M-4およびM-12の型取り観察含む）

駆動軸の外観確認を実施し、接手内外面（位置決めナット含む）および駆動軸取り外し工具の取り合い部の傷、変形、付着物の有無を確認した。また、接手内外面（位置決めナット含む）の型取り観察により詳細性状を確認した。

（a）接手外面

イ. 外観確認

当該駆動軸（M-4）および比較のため当該駆動軸以外の駆動軸（M-12、J-7）について外観確認を実施した結果、当該駆動軸（M-4）の接手外面の直線部に局所的な金属光沢を有する接触痕を確認した。一方、M-12、J-7の駆動軸でも接触痕は確認されたが、金属光沢は確認されなかった。

また、駆動軸（M-4、M-12、J-7）の接手外面の先端テーパ部には周方向の接触痕が確認されたが、周方向の接触痕は切り離し操作後のスパイダ頭部の内面と取り合う箇所に相当し、金属光沢はなかった。

このため、当該駆動軸（M-4）の接手外面に確認された金属光沢を有する接触痕は今回生じた可能性がある。

なお、外観確認により、目視可能範囲に異物は確認されなかった。

ロ. 型取り観察

接手部の型取りを実施し、M-4に見られた接手外面の局所的な接触痕は、M-12の当該接触痕よりも有意に深かった。また、通常、駆動軸切り離し操作後の駆動軸着座位置では接手外面テーパ部とスパイダ頭部の内面が取り合うが、その周方向の接触痕は局所的な接触痕よりも軽微であった。

（b）接手内面

イ. 外観確認

当該駆動軸（M-4）の駆動軸取り外し軸を引き上げた状態での外観確認を行った結果、接手内面直線部に金属光沢を有する接触痕を確認した。

接手内面直線部は位置決めナットおよびロックボタンが摺動する部位であるが、比較対象であるM-12、J-7には有意な接触痕はないことから、当該駆動軸（M-4）の接手内面に確認された金属光沢を有する接触痕は今回生じた可能性がある。

また、駆動軸取り外し軸を押し下げた状態での外観確認を行った結果、M-4の位置決めナットに線状の接触痕が確認された。

なお、外観確認により、目視可能範囲に異物は確認されなかった。

ロ. 型取り観察

接手内面および位置決めナットの型取りを実施した結果、M-4に見られた接手内面直線部の接触痕と位置決めナットの接触痕は共に線状であり、両者が取り合う箇所であることから、位置決めナットの上下降時に生じた可能性がある。

また、型取り観察結果より、接触痕発生には介在物が関与しており、接触痕の大きさから、1mm程度の大きさの介在物が存在した可能性がある。

(c) 駆動軸取り外し工具との取り合い部

イ. 外観確認

駆動軸取り外し工具との取り合い部である駆動軸頂部(取り外しボタン)および駆動軸つかみ部周辺に対して、外観確認を行った結果、異常な噛み込み等の痕跡は確認されなかった。

b. 寸法計測

・駆動軸(M-4、M-12、J-7)について、駆動軸取り外し軸の押し下げ位置で、接手部周りの寸法を計測した結果、全て設計値を満足していることを確認し、M-4の寸法に有意な差はなかった。

c. 動作確認

- ・実機駆動軸および駆動軸取り外し工具を組み合わせたうえで、駆動軸取り外し工具にて、駆動軸取り外し軸を操作し、当該駆動軸(M-4)の動作状況の確認を行った結果、駆動軸取り外し工具および駆動軸(駆動軸取り外し軸)の動作に異常はなく、ストロークは設計寸法を満足していた。
- ・駆動軸(M-12、J-7)についても比較のため動作確認を実施した結果、当該駆動軸(M-4)との差はなく、M-4の動作状況に問題はなかった。

(添付資料-8-5)

(6) 堆積物

堆積物の調査については、事象が発生した制御棒クラスタのアドレスの他に比較対象として他の2か所のアドレスを選定し、計3か所について調査を実施した。

- ・当該制御棒クラスタ(アドレス:M-4)
- ・他の制御棒クラスタ2体(アドレス:M-12、J-7)

a. 堆積物の調査結果

水中カメラにて制御棒クラスタのスパイダ頭部内の堆積物を確認するとともに、堆積物を回収し、実体顕微鏡にてサイズおよび形状等を観察した。

また、走査電子顕微鏡(SEM)観察するとともに、電子線プローブマイクロアナライザ(EPMA)による組成分析およびX線回折により形態を調査した。

(a) 堆積物の確認

(4) 項の制御棒クラスタの外観確認でも確認された、制御棒クラスタの

スパイダ頭部内の堆積物量に関し、原子炉容器内の水中カメラ（白黒）確認では、M-4、M-12、J-7共にスパイダ頭部内底部の機械加工模様が堆積物で覆われていた。

その後の使用済燃料ピット内の水中カメラ（カラー）確認では、堆積物の偏り傾向を確認した。堆積物の偏りは燃料移送中の制御棒クラスタの横倒しが影響したと考えられる。

原子炉容器内で撮影された写真より、M-4の堆積物は制御棒クラスタのスパイダ頭部の上から三山目より下の領域に堆積しており、スパイダ頭部の三山目より下の容積である約20cc相当の堆積物があったと推定される。

(b) 堆積物のサイズ・形状

堆積物のサイズ、形状については、黒色の粒子状および薄膜状の形状であり、M-4で回収された薄膜状の堆積物は数mm程度の大きさであり厚さは0.1mm程度であった。

また、M-4とM-12で堆積物のサイズ、形状に差はなく、J-7では粒子状の堆積物のみ回収された。

(c) 堆積物の分析

堆積物のSEM画像を確認した結果、M-4とM-12で回収された薄膜状の堆積物は、一体構造であるがひび割れが認められることから脆い物質と推定される。一方、M-4、M-12、J-7で回収された粒子状の堆積物は数十～数百μmの粒子が集まって形成されていた。

また、EPMAによる組成分析およびX線回折による形態分析を実施した結果、薄膜状の堆積物はマグネタイト(Fe_3O_4)であった。粒子状の堆積物も同様にマグネタイト(Fe_3O_4)であった。

(d) まとめ

以上から、制御棒クラスタ(M-4、M-12、J-7)のスパイダ頭部内で確認された堆積物は硬くて脆い性質であるマグネタイトであり、1次冷却材中に一般的に存在する鉄の酸化物の一種である。

堆積物の生成過程については次項で考察するが、プラント起動初期段階の高溶存酸素環境において駆動軸内表面で生成した鉄酸化物が、運転時間の経過に伴いマグネタイトに変態したもの、またはプラント運転中に1次冷却系統内の機器から1次冷却材中に溶出した鉄イオンが、機器・部品表面に付着してマグネタイトとなり、それが剥離し堆積したもの（スラッジ^{※2}）と推定される。

また、制御棒クラスタ48体のうち、上記3体以外の制御棒クラスタ45体についても使用済燃料ピット内で外観確認を実施したところ、上記の3体と同様に堆積物があり、過去の定期検査でも確認されている。

※2 本報告書では、スパイダ頭部内で確認された堆積物をスラッジという。

b. 堆積物（スラッジ）の生成過程

堆積物（スラッジ）の生成過程について考察した。

(a) 駆動軸内表面で生成

イ. プラント起動初期段階

プラント起動初期段階の高溶存酸素環境において、原子炉容器上蓋上の制御棒クラスタ駆動装置圧力ハウジングは、その構造上、1次冷却系統水張時に加圧された空気が残留することから、溶存酸素が有意に高くなる期間が存在する。

このとき、駆動軸は全引抜状態にあり（制御パンクDは除く）、駆動軸内側は全長にわたり高溶存酸素・高温環境におかれているため、駆動軸内表面では鉄酸化物が生成する。運転時間の経過に伴って、生成した鉄酸化物はマグネタイトに変態するため、駆動軸内面のマグネタイト生成にはプラント起動段階の高溶存酸素環境における鉄酸化物が関与する。

ロ. プラント運転中

駆動軸近傍は上端に比べ下端が高温の条件にあると推定され、駆動軸内部では温度差（密度差）を駆動源とする1次冷却材の自然循環流が生じている可能性が考えられる。この循環する過程の温度変化に伴って鉄イオンの溶解度が変化し、析出した鉄イオンが駆動軸内表面でマグネタイトを形成する。

上記のイ. 項、ロ. 項を踏まえると、駆動軸内表面ではプラント起動時とプラント運転中に生成したマグネタイトが重疊し、時間の経過とともに成長したマグネタイトが剥離、脱落してスパイダ頭部内に堆積する可能性がある。

数mmの大きさの薄膜状の堆積物がこれに該当している可能性が高く、また、脱落の過程で粒子状に変化することもあると考えられる。

(b) 1次冷却系統内で生成

プラント運転中、1次冷却系統内で生成したマグネタイトが、結合状態にある駆動軸接手と制御棒クラスタのスパイダ頭部の隙間を経て侵入し堆積する可能性がある。

粒子状の堆積物（スラッジ）がこれに該当すると推定される。

駆動軸の保護筒下端と制御棒クラスタのスパイダ頭部の隙間は数mm程度と狭いことから、今回、スパイダ頭部内で確認された堆積物は、(a)の駆動軸内表面で生成したマグネタイトが剥離、落下、堆積したもののはうが比較的多いと推定される。

c. 1次冷却材中の堆積物（スラッジ）の挙動

- ・1次冷却材中のスラッジ（今回、スパイダ頭部内で確認されたスラッジも一部含む）については、1次冷却材系統や化学体積制御系統などを循環、対流する間に細かく微粒子状になり、冷却材フィルタ等で捕捉される。
- ・一般的に、鉄の酸化物の一種であるマグネタイトは従来から1次冷却系統内に存在するものであり、これまでこれが原因で燃料集合体等に損傷を与えるような事象は発生していないことから、原子炉施設の安全性に影響を与える

ものではない。

(添付資料-8-6)

(7) 接触痕および堆積物まとめ

以上の調査結果から、制御棒クラスタの引き上がり事象には、以下の接触痕および堆積物が関与していた可能性がある。

- ・接手外面直線部の局所的な接触痕
- ・接手外面テープ部の周方向接触痕
- ・接手内面直線部の接触痕
- ・位置決めナット直線部の接触痕
- ・スパイダ頭部の円環部上面の接触痕（色調の変化）
- ・スパイダ頭部の内部テープ面の接触痕（色調の変化）

(添付資料-8-7)

(8) 製造履歴調査

- ・制御棒クラスタについて、製造記録より材料、寸法が設計どおり製作されていることおよび模擬駆動軸接手を用いた嵌合性試験に問題がなかったことを確認した。
- ・駆動軸について、製造記録より材料、寸法が設計どおり製作されていることを確認した。

また、駆動軸と模擬制御棒クラスタを組み合わせてのステッピング試験により、両者の嵌合に問題がなかったことを確認した。

駆動軸接手については、熱処理記録より適切に熱処理が実施されていることを確認した。

- ・制御棒クラスタ案内管（上部炉心構造物）について、上部炉心構造物に組み込まれた制御棒クラスタ案内管単体に対する拘束力試験で、制御棒クラスタ案内管と制御棒クラスタのインターフェースに問題がないことを確認した。

(添付資料-9-1)

(9) 点検履歴調査

- ・制御棒クラスタについて、これまでの定期事業者検査（制御棒クラスタ検査）で実施した外観確認で異常が確認されていないことを確認した。
- ・駆動軸については、第13回定期検査の再稼働に向けた点検において、駆動軸全数を取り外しての外観確認で異常が確認されていないことを確認した。

(添付資料-9-2)

(10) 運転履歴調査

- ・制御棒クラスタの運転履歴を調査した結果、制御棒クラスタ駆動装置および制御棒位置指示装置の動作状況に問題なかったことを記録により確認したことから、プラント運転中の制御棒クラスタの引抜きおよび挿入動作に問題なかった。
- ・本定期検査のプラント停止操作において、制御棒クラスタに対する制御信号、プラント停止時の警報履歴および制御棒クラスタ位置の記録により、制御棒

クラスタ制御信号と制御棒クラスタ位置に偏差が生じたような記録は確認されなかったことから、プラント停止操作中における制御棒クラスタの動作機能に問題なかった。

- ・以上より、今回実施した上部炉心構造物吊り上げ、吊り下げの一連の作業において引き上がりが生じた制御棒クラスタが、プラント運転中およびプラント停止操作中、円滑に引抜き、挿入されていたことを確認した。
- ・駆動軸取り外し工具の駆動源である所内用空気について、所内用空気圧力の異常を示す警報の発信は確認されず、空気圧に異常な低下がなかったことを確認した。
- ・制御棒クラスタと駆動軸の切り離し作業時、キャビティ水位および余熱除去流量は安定しており、水流による揺れ等の影響はないことを確認した。

(添付資料-9-3)

(1.1) 類似事例調査

a. 制御棒クラスタ引き上がり事象の類似事例調査

(a) 国内事例

類似事例を調査した結果、国内の加圧水型軽水炉において燃料取出前の上部炉心構造物吊り上げ時に同時に制御棒クラスタが引き上がった事象は確認されなかった。

(b) 海外事例

海外の加圧水型軽水炉において、燃料取出前の上部炉心構造物吊り上げ時に同時に制御棒クラスタが引き上がった事象について調査した結果、5件の事例を確認した。

海外の発電事業者は、一部に原因は特定できていない事例はあるものの、全ての事例において、推定される原因に対して作業要領の見直し等により再発防止対策を行っている。

b. 駆動軸等に関する不具合事例調査

(a) 国内事例

国内の加圧水型軽水炉において駆動軸等の不具合事例を抽出した結果、8件の事例を確認したが、当該不具合事例が制御棒クラスタ引き上がりに発展する可能性を踏まえても、伊方3号機における今回の事象の発生原因となる可能性は無いことを確認した。

(b) 海外事例

海外の加圧水型軽水炉において駆動軸等の機械的なトラブル事例を抽出した結果、5件の事例を確認したが、当該不具合事例が制御棒クラスタ引き上がりに発展する可能性を踏まえても、伊方3号機における今回の事象の発生原因となる可能性は無いことを確認した。

c. まとめ

海外で類似事例が確認されたことから詳細調査を実施した結果を踏まえても、

当社の制御棒クラスタと駆動軸の切り離し操作自体に問題となる点はなかった。
(添付資料-9-4)

10. 引き上がり事象発生時の不完全結合状態ケース検討

9. の調査結果（製造記録、外観確認等）を踏まえ、制御棒クラスタの引き上がり事象が起こり得るか否か（整合するか否か）のケース検討を実施した。

ここで、今回の事象は、駆動軸切り離し作業後、制御棒クラスタと駆動軸の意図しない再結合により制御棒クラスタが引き上がったと考えられること、その後、制御棒クラスタと駆動軸の切り離し操作を行うことなく制御棒クラスタが切り離されていたことから、不完全結合状態として以下のケースを抽出した。

（1）検討ケース

ケース1 仮置き状態で不完全結合

- ・仮置き（駆動軸着座）状態で押し付け力がかかった場合、くさび効果^{#3}により制御棒クラスタの引き上がりが生じる可能性がある。

ケース2 スパイダ頭部1山目位置で不完全結合

- ・スパイダ頭部の上端から1山目と接手先端テーパ部が接触した場合、くさび効果により制御棒クラスタの引き上がりが生じる可能性がある。

ケース3 スパイダ頭部2山目位置で不完全結合

- ・ケース2と同様、くさび効果により制御棒クラスタの引き上がりが生じる可能性がある。

ケース4 スパイダ頭部3山目位置で不完全結合

- ・ケース2と同様、くさび効果により制御棒クラスタの引き上がりが生じる可能性がある。

ケース5 位置決めナットがボタンアップ位置にあり不完全結合

- ・接手部のみ完全結合位置に着底し、位置決めナットがボタンアップ位置にあり不完全結合した場合、制御棒クラスタの引き上がりが生じる可能性がある。

ケース6 スパイダ頭部外部側で不完全結合

- ・水平方向のアライメントずれにより、駆動軸がスパイダ頭部の外部側に跨いだ場合、駆動軸の接手がスパイダ頭部に噛み込むことにより制御棒クラスタの引き上がりが生じる可能性がある。

ケース7 スパイダ頭部外部側で、位置決めナットがボタンアップ位置で不完全結合

- ・駆動軸取り外し軸が下降途中の状態であり、水平方向のアライメントずれにより、駆動軸がスパイダ頭部の外部側に跨いだ場合、ケース6と同様、駆動軸の接手がスパイダ頭部に噛み込むことにより制御棒クラスタの引き上がりが生じる可能性がある。

^{#3} 鋭角を有するくさび状のものに力を与えた場合、その角度によって、与えられた力より大きな押し広げ力（本事象ではこの押し広げ力に比例する摩擦力により制御棒クラスタを引き上げる力になる）が発生すること。

(2) 検討結果

ケース毎に、スパイダ頭部と接手の幾何学的な関係、外観確認で見られた接触痕との関係、作業手順との関係からケース検討を実施した。

a. 幾何学的な整合

ケース1～5の不完全結合状態は整合するという結果になった。一方、ケース6、7では、製作、組立公差や駆動軸の傾きを最大限考慮しても整合しないという結果となった。

b. 外観確認結果との整合

全ての接触痕と整合する不完全結合状態はなかったが、全てのケースにおいて、いずれかの接触痕がつく可能性はあるという結果となった。

c. 作業手順との整合

ケース1、6は、駆動軸切り離し後に、位置決めナットが所定の位置まで下降しているため、整合する。また、ケース2～4は、位置決めナットが所定位置まで下降しないという条件付きの場合において整合し、ケース5、7においては、位置決めナットがボタンアップ位置に留まっており、整合しないという結果になった。

(3) まとめ

以上より、幾何学的な関係、外観確認で見られた接触痕との関係、作業手順との関係がいずれも整合する（条件付きで整合する場合含む）ケース1～4で制御棒クラスタの引き上がり事象が発生する可能性があることを確認した。

このため、これらのケースについて次項にて実証試験を行った。

（添付資料－10）

1.1. 部分モデルによる引き上がり状態実証試験

前項「1.0. 引き上がり事象発生時の結合状態ケース検討」に示したとおり、制御棒クラスタの引き上がりが発生する可能性があるケース1、ケース2およびケース3を選定し、駆動軸と制御棒クラスタの取り合いを部分的に模擬した供試体を用いて、以下の試験を実施した。なお、ケース4は引き上げ力が比較的小さいと想定されるケース3で代表して試験を実施した。

(1) 引き上がり状態実証試験

a. ケース1 仮置き状態で不完全結合

供試体の接手およびスパイダ頭部の接触面が面荒れありの状態（静止摩擦係数が大きく引き上がりが生じやすい場合）においても、制御棒クラスタ引上荷重は0 kgfであり、制御棒クラスタの引き上がりは発生しなかった。

b. ケース2 スパイダ頭部1山目位置で不完全結合

供試体の接手外面（接手およびスパイダ頭部）の接触面および接手内面（位置決めナットおよび接手）の接触面が面荒れなしの状態（静止摩擦係数が小さく引

き上がりが生じにくい場合)で制御棒クラスタ引上荷重が41~61kgf、面荒れありの状態で制御棒クラスタ引上荷重が114~147kgfを確認したことから、実機においても制御棒クラスタの引き上がりが発生する可能性があることを確認した。

c. ケース3 スパイダ頭部2山目位置で不完全結合

供試体の接手外面の接触面および接手内面の接触面が面荒れなしの状態でも、制御棒クラスタ引上荷重が1,000kgf以上と非常に大きく、制御棒クラスタの引き上がり後に操作を行うことなく切り離されていた今回の事象とは異なる結果となった。

(2) 摩擦係数確認試験

- ・摩擦係数確認試験の結果、供試体の静止摩擦係数は、実機と同材かつ水中環境の静止摩擦係数と概ね一致しており、今回の引き上がり状態実証試験の結果は実機材かつ水中環境においても再現され得ることが分かった。

(3) まとめ

上記(1)、(2)項から、ケース2の状態においてのみ、今回の事象が発生する可能性が高いことを確認した。

また、実証試験後の接触面の接触痕も実機駆動軸(M-4)にて観察された局所的な接触痕と同様の様相を呈していたことからも、ケース2の状態で制御棒クラスタの引き上がり事象が発生したことを裏付けるものと推定される。

(添付資料-11)

12. 推定原因

9. 項~11. 項の結果より、本事象は、制御棒クラスタと駆動軸との切り離し作業を定められた作業手順に従い実施しているなかで、添付資料-12に示すとおり、以下のメカニズムにより発生したものと推定した。

- ・駆動軸取り外し軸下降時、ロックボタン廻りに付着した堆積物(スラッジ)が位置決めナットと接手の間に挟まり、駆動軸取り外し軸がスタッカした(詰まつた)。
- ・その状態で制御棒クラスタに駆動軸を着座させた後、駆動軸が制御棒クラスタのスパイダ頭部内へ沈み込む不完全結合状態(ケース2の状態)となり、上部炉心構造物吊り上げ時に制御棒クラスタ引き上がり事象が発生した。
- ・今回の作業手順書には、駆動軸着座前に駆動軸取り外し軸が正規の位置まで下降したことを確認する手順がなく、駆動軸取り外し軸のスタッカを確認することができなかった。

(添付資料-12)

1.3. 今回の事象が発生した制御棒クラスタ等の健全性

9. 項の調査結果等を踏まえ、駆動軸、制御棒クラスタおよび燃料集合体の健全性を以下のとおり確認した。

(1) 駆動軸

- ・接手内外面で軽微な接触痕が確認されたものの、駆動軸の外観確認により損傷や変形がないことを確認したこと、寸法計測や動作確認でも問題なかったことから、制御棒クラスタの保持機能には問題なく、当該駆動軸の健全性に問題はない。

(2) 制御棒クラスタ

- ・図面確認により制御棒クラスタと上部炉心構造物が物理的に干渉する可能性がないこと、スパイダ頭部の外観確認により損傷や変形がないことから、制御棒クラスタの保持機能には問題なく、当該制御棒クラスタの健全性に問題はない。
- ・なお、制御棒クラスタは中性子照射量の制限等の観点から取替基準を定めており、当該制御棒クラスタは今回の定期検査にて取替予定であり、再使用の予定はない。

(3) 燃料集合体

- ・上部炉心構造物とともに制御棒クラスタが引き上げ、引き下げされた際、当該制御棒クラスタが挿入されていた燃料集合体への影響について評価を行った。
- ・上部炉心構造物の吊り上げ、吊り下げ作業中、上部炉心構造物はガイドスタッフにより水平方向のずれが制限された状態を維持しており、両者の隙間は十分小さいことから、上部炉心構造物の吊り上げ、吊り下げ作業中の制御棒クラスタと燃料集合体の水平方向の軸ずれ量は十分小さく、制御棒クラスタと燃料集合体の水平方向の干渉の程度は軽微であり、燃料集合体の健全性への影響はない。
- ・また、上部炉心構造物吊り下げ作業中に制御棒クラスタが落下した場合を仮定しても、原子炉緊急停止時の制御棒クラスタおよび駆動軸の落下時に発生する荷重よりも小さいことから、燃料集合体の健全性に影響はない。
- ・なお、制御棒クラスタと燃料集合体が干渉する可能性のある部位を対象に有意な傷や損傷等がないことを確認した。

(添付資料-13)

1.4. 対策

1.2. 項の推定原因を踏まえ、上部炉心構造物吊り上げ時の制御棒クラスタの引き上がりを防止するために、以下の対策を講ずるとともに従来実施している上部炉心構造物吊り上げ時の水中カメラによる監視を引き続き実施していく。

- ・駆動軸取り外し軸が下降時にスタッツしていないことを、駆動軸取り外し軸の押し下げ動作状況により確かめるため、駆動軸取り外し工具の指示管（インジ

ケーターロッド) のマーキング位置を確認する手順を追加する。これにより、駆動軸取り外し軸のスタック要因に関わらず、スタックを起因とした事象の再発防止は可能となる。

- ・上記手順により、今回の事象の再発防止は可能である。さらに、より確実なものとするため、駆動軸着座後の再度の重量確認および位置計測(ベースプレート高さ)をする手順を追加する。
- ・前述の手順の見直しにより、本事象への再発防止は可能であるが、制御棒クラスターのスパイダ頭部内には、プラント運転中などに発生したスラッジが堆積する可能性があることから、定期検査毎に使用済燃料ビット内で制御棒クラスター(次サイクルで使用するもの)のスパイダ頭部内の状況を確認し、堆積物が確認された場合は除去する。

(添付資料-14)

以 上

添付資料

添付資料-1 時系列	18
添付資料-2 事象発生時のプラント状況	20
-2-1 発電用原子炉施設の影響記録	21
-2-2 放射線管理モニタ記録	24
添付資料-3 モード6における停止余裕の管理	29
添付資料-4 各機器の構造図	31
-4-1 原子炉容器	32
-4-2 制御棒クラスタ駆動装置	34
-4-3 駆動軸	35
-4-4 上部炉心構造物	36
-4-5 制御棒クラスタ	37
添付資料-5 事象発生時の作業状況	38
添付資料-6 駆動軸と制御棒クラスタの結合・切り離し説明図	41
添付資料-7 要因分析図	42
添付資料-8 各機器等の調査結果	43
-8-1 作業体制および手順等の調査結果	44
-8-2 駆動軸取り外し工具の調査結果	51
-8-3 計測器の調査結果	54
-8-4 制御棒クラスタの調査結果	56
-8-5 駆動軸の調査結果	61
-8-6 堆積物の調査結果	75
-8-7 接触痕および堆積物まとめ	88
添付資料-9 製造履歴等調査結果	90
-9-1 製造履歴調査結果	91
-9-2 点検履歴調査結果	93
-9-3 運転履歴調査結果	94
-9-4 類似事例調査結果	105
添付資料-10 引き上がり事象発生時の不完全結合状態ケース検討	111
添付資料-11 部分モデルによる引き上がり状態実証試験	117
添付資料-12 推定メカニズム	135
添付資料-13 制御棒クラスタによる燃料集合体への影響評価	147
添付資料-14 再発防止対策	152
参考資料 用語解説	161

時系列

令和元年12月25日（水）

20時20分 発電機負荷降下開始

令和元年12月26日（木）

0時20分	発電機解列
0時53分	タービントリップ（タービン保安装置検査のため）
1時01分	原子炉運転モード2達成
2時22分	原子炉停止（全制御バンク制御棒挿入完了） 原子炉運転モード3達成
2時31分	原子炉運転モード5までのRCS濃縮開始
4時44分	原子炉運転モード5までのRCS濃縮完了
7時14分	全制御バンク制御棒5ステップ引抜（RCS冷却準備のため）
11時48分	原子炉運転モード4達成
21時00分	原子炉運転モード5達成

令和元年12月27日（金）

1時25分	原子炉運転モード6までのRCS濃縮開始
9時45分	原子炉運転モード6までのRCS濃縮完了
10時31分	全制御バンク制御棒全挿入
10時41分	全停止バンク制御棒全挿入
10時46分	原子炉手動トリップ（全原子炉トリップ遮断器開放）
13時43分	制御棒位置指示装置隔離実施

令和2年 1月 7日（火）

15時58分	原子炉容器開放実施 運転モード6（キャビティ低水位）達成
--------	---------------------------------

令和2年 1月11日（土）

10時15分	原子炉容器上蓋取り外し作業開始
19時42分	運転モード6（キャビティ高水位）達成
20時08分	原子炉容器上蓋取り外し作業完了

令和2年 1月12日（日）

9時32分	制御棒クラスタ切り離し作業開始
10時59分	制御棒クラスタ切り離し作業終了
11時43分	上部炉心構造物吊り上げ作業開始
12時24分	上部炉心構造物の吊り上げに伴い、制御棒クラスタ1体が引き 上がっている恐れがあることを確認したため、吊り上げ作業を 中断
13時20分	制御棒クラスタ1体が引き上がっていることを現場で保修員 が確認
17時32分	上部炉心構造物吊り下ろし作業開始
18時41分	上部炉心構造物吊り下ろし作業終了
21時20分	制御棒クラスタと駆動軸の結合状況調査作業開始
21時50分	制御棒クラスタと駆動軸の結合状況調査作業終了

令和2年 1月13日（月）

9時17分	制御棒クラスタ切り離しの確認作業開始
9時20分	制御棒クラスタ切り離しの確認作業終了
9時51分	上部炉心構造物吊り上げ作業開始
9時59分	上部炉心構造物から全ての制御棒クラスタが切り離されてい ることを確認
10時34分	上部炉心構造物吊り上げ作業終了
21時00分	燃料取出作業開始

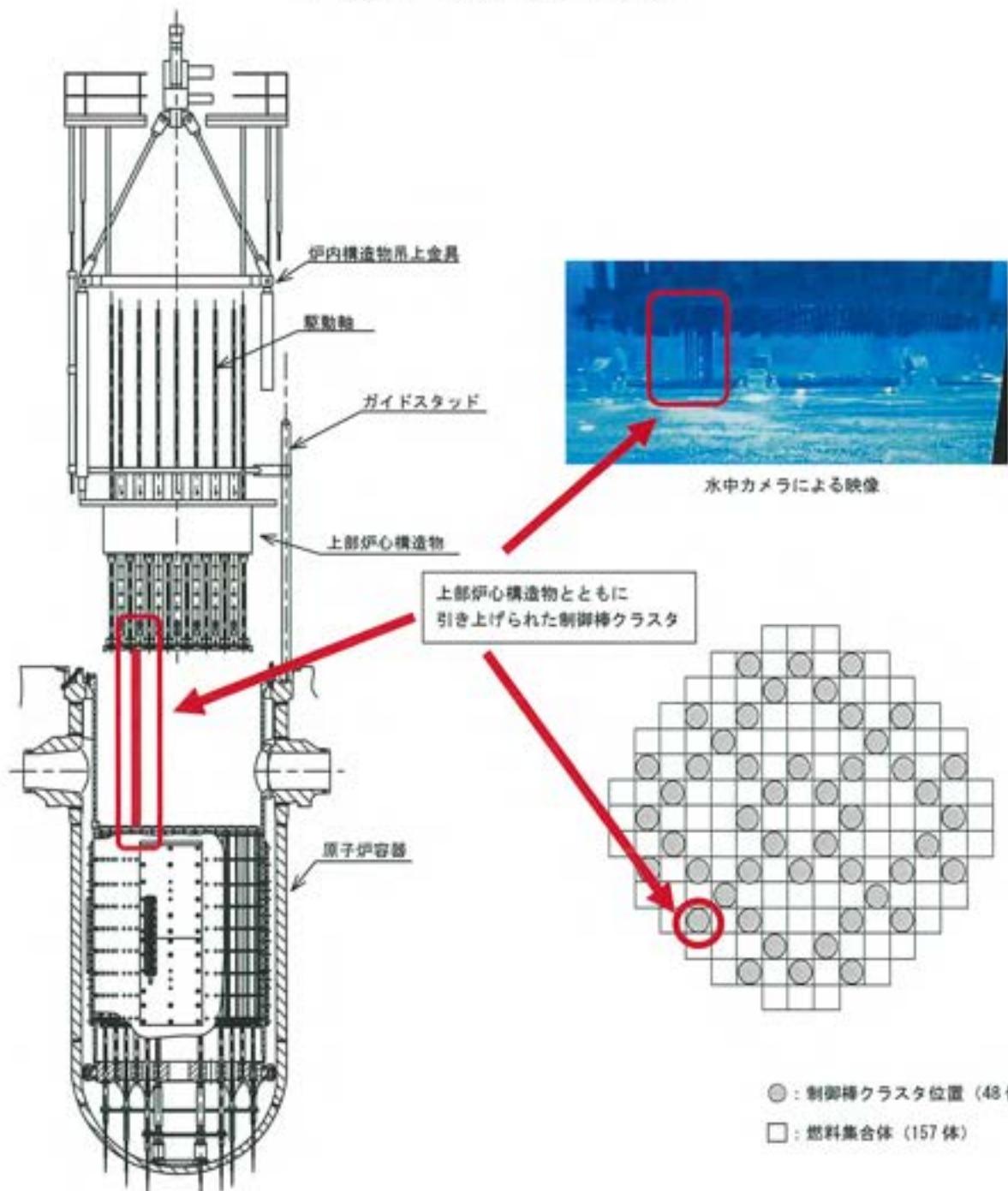
令和2年 1月15日（水）

9時00分	実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則第134条第 13号に該当すると判断
-------	--

令和2年 1月16日（木）

10時16分	燃料取出作業終了
--------	----------

事象発生時のプラント状況

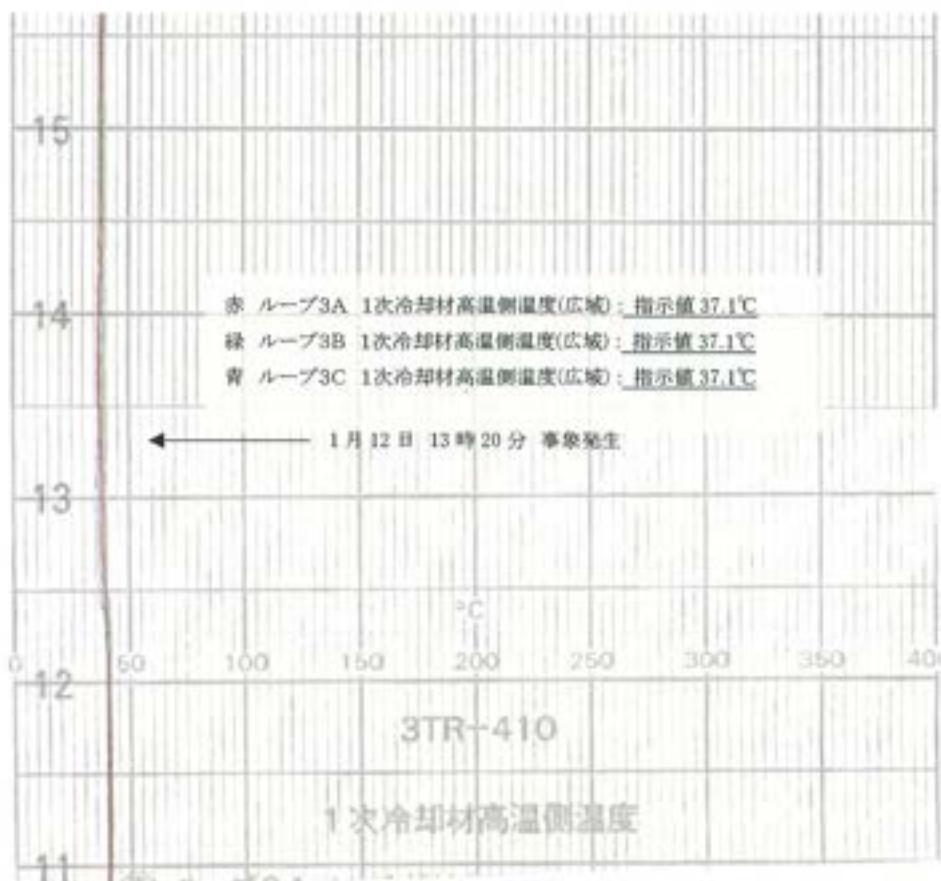


図－1 事象概要図

発電用原子炉施設の影響記録

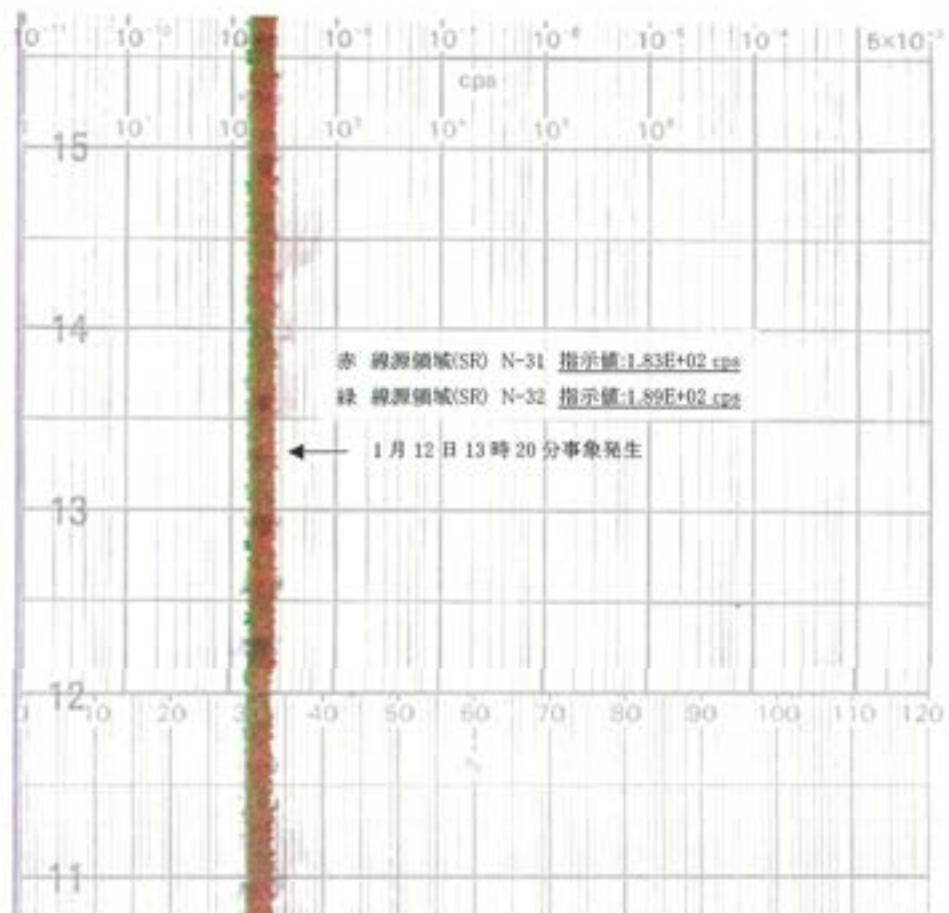
○ 1次冷却材高温側温度

[1月12日 11時00分～15時30分]



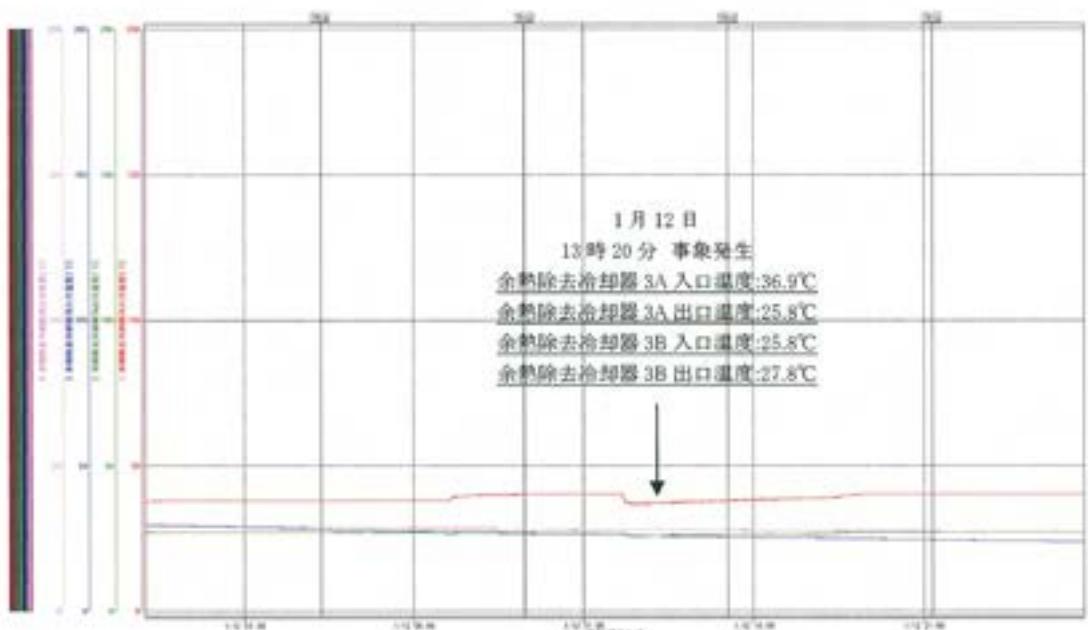
○原子炉出力

[1月12日 11時00分～15時30分]



○余熱除去冷却器入口・出口温度

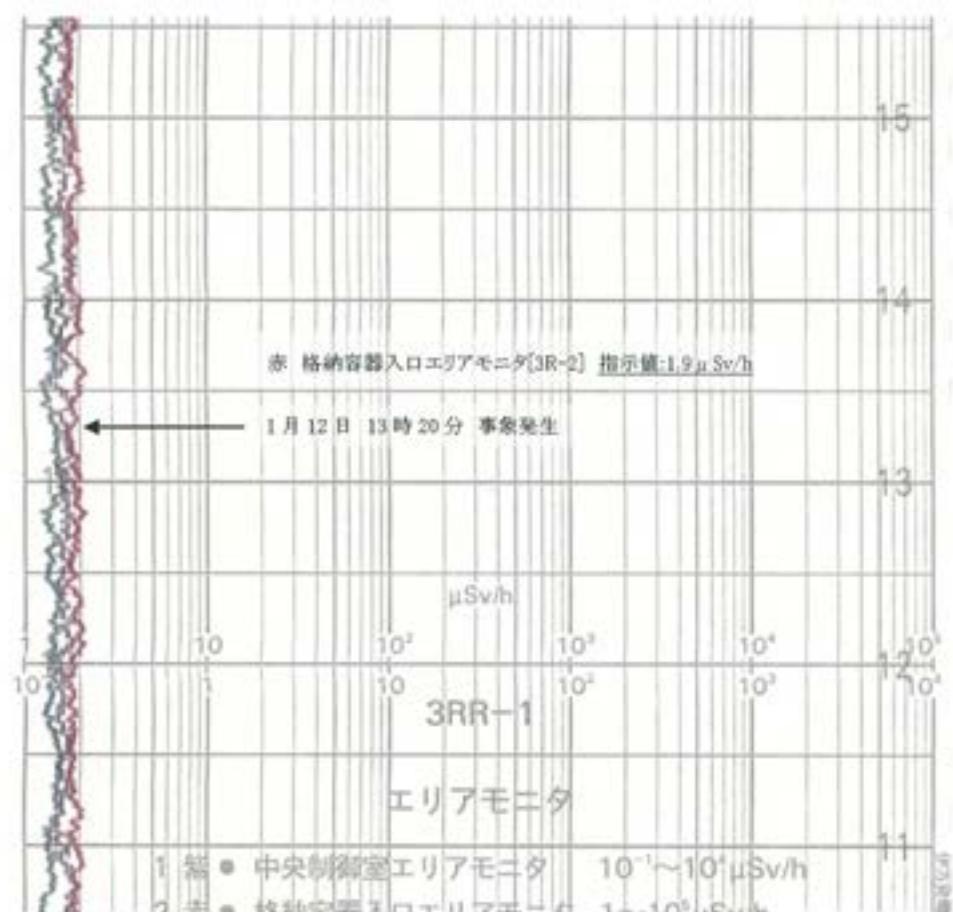
[1月12日 1時00分～21時00分]



放射線管理モニタ記録

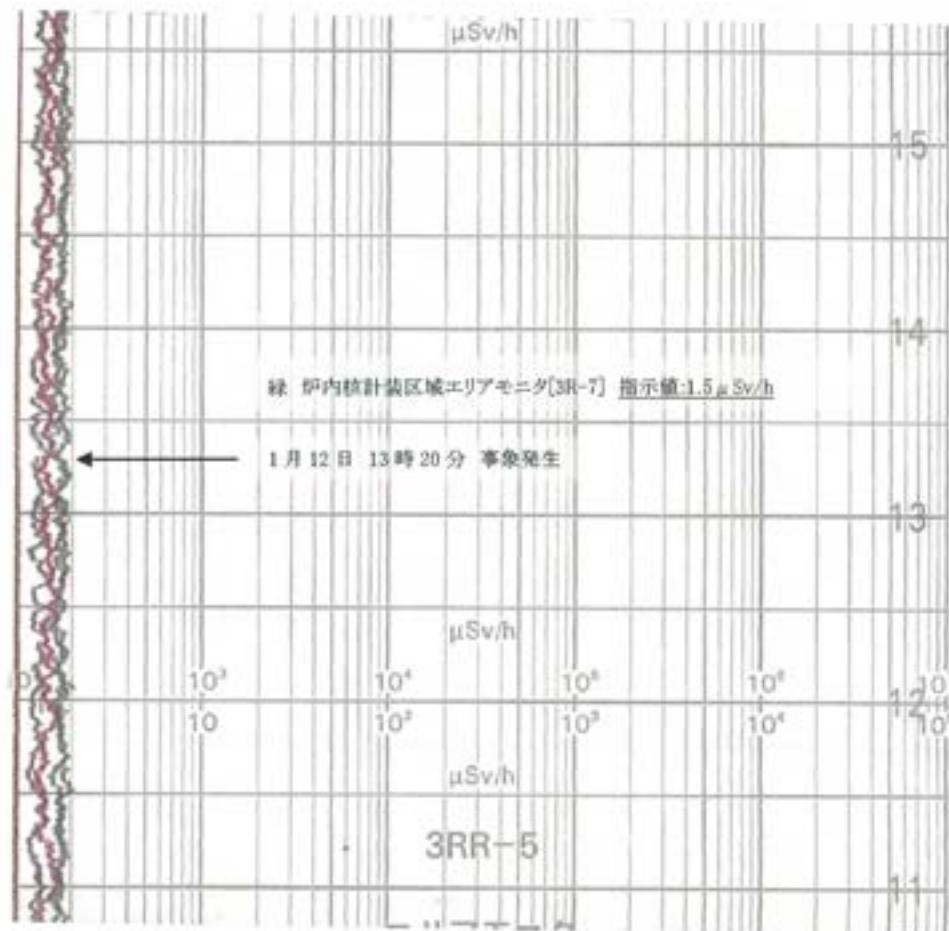
○エリアモニタ (1/2)

[1月12日 11時00分～15時30分]



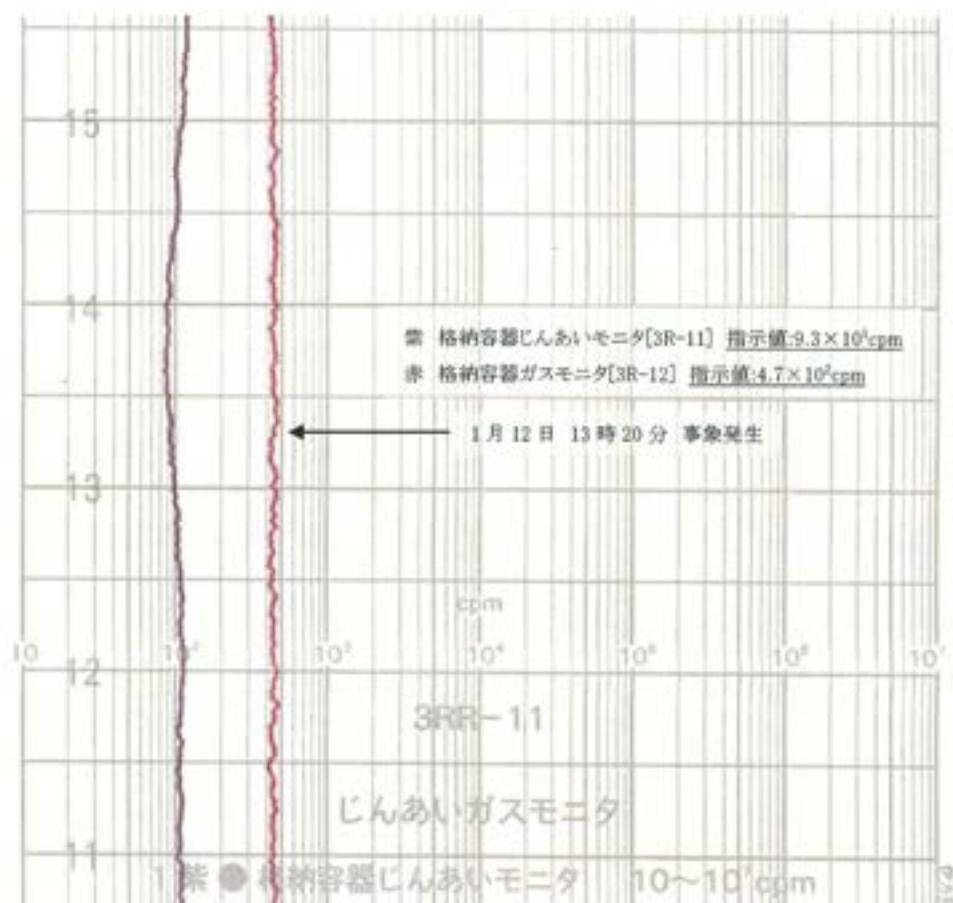
○エリアモニタ（2／2）

[1月12日 11時00分～15時30分]



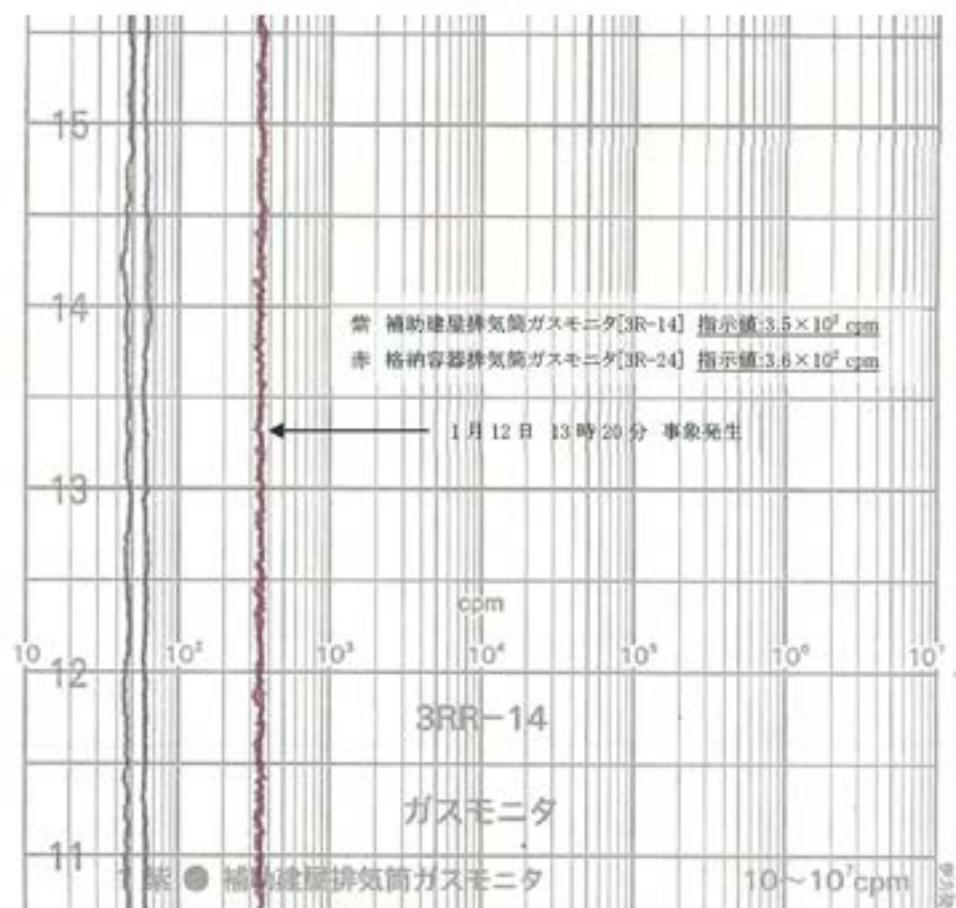
○プロセスマニタ (1/2)

[1月12日 11時00分～15時30分]



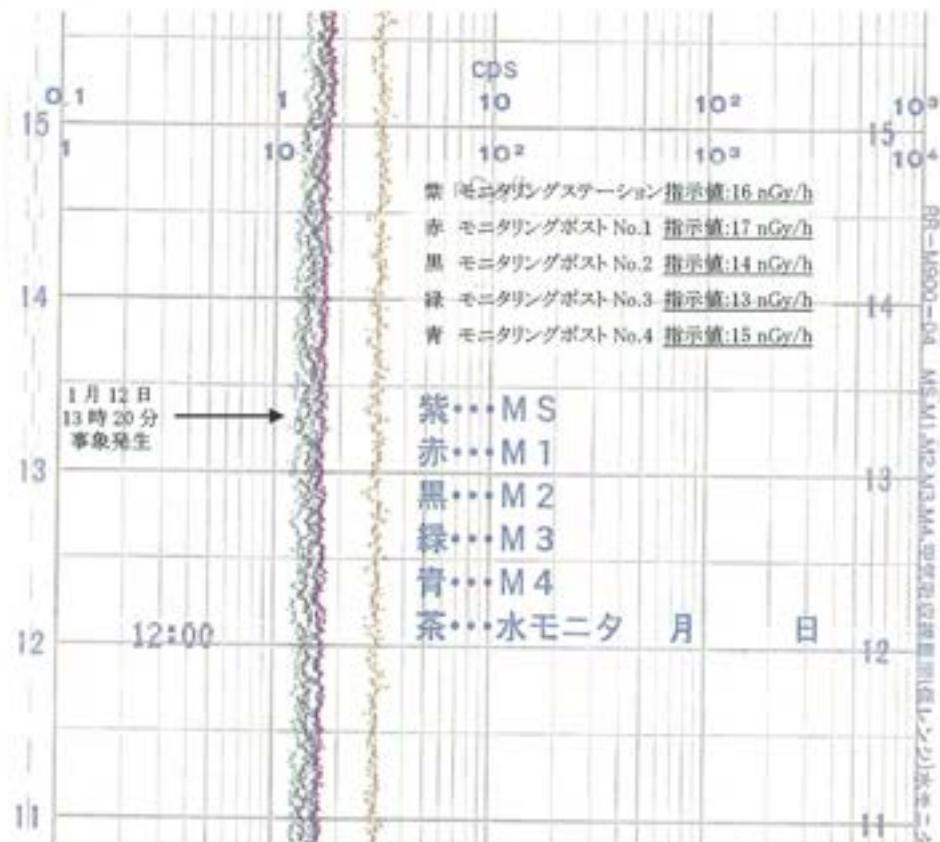
○プロセスモニタ（2／2）

【1月12日 11時00分～15時30分】



○野外モニタ

[1月12日11時～15時30分]



モード6における停止余裕の管理

1. サンプリング結果

モード6においての1次冷却材中のほう素濃度については、保安規定第80条で定められており、4400 ppm以上確保することを運転上の制限として定め、3日に1回、1次冷却材中のほう素濃度を確認することとしている。

本定検のプラント停止時のモード6において、運転上の制限の燃料取替時のほう素濃度と1次冷却材のサンプリング結果の比較を表-1に記載する。

1次冷却材中のほう素濃度のサンプリングの結果から、モード6において、サンプリング結果が、保安規定第80条に定めるほう素濃度を下回ることはなく、運転上の制限以上のほう素濃度が確保されていたことを確認した。

表-1. モード6においての1次冷却材ほう素濃度サンプリング結果

サンプリング日時	モード	運転上の制限の 燃料取替時のほう素濃度 [ppm]	サンプリング結果 [ppm]
1月 8日 9時55分	モード6	4400	4597
1月10日 9時40分	モード6	4400	4591
1月12日 9時55分	モード6	4400	4553
1月13日 16時00分	モード6	4400	4560
1月14日 10時00分	モード6	4400	4559
1月15日 9時55分	モード6	4400	4546

2. 事象発生時の未臨界性について

制御棒クラスタ引き上がり事象発生時の炉心の未臨界性を確認するために、本事象より厳しい条件として、全制御棒クラスタが引き上がった場合においても、炉心が $1\% \Delta K/K$ の未臨界を確保できるための1次冷却材中ほう素濃度（最小停止ほう素濃度）を評価した。

表-2に示す通り、全制御棒クラスタが引き上がった場合の最小停止ほう素濃度は、1703 ppmとなる。本事象発生時のほう素濃度はこれよりも十分に高いことから、仮に炉心から全制御棒クラスタが引き上がったとしても、炉心の未臨界性は十分に確保される。

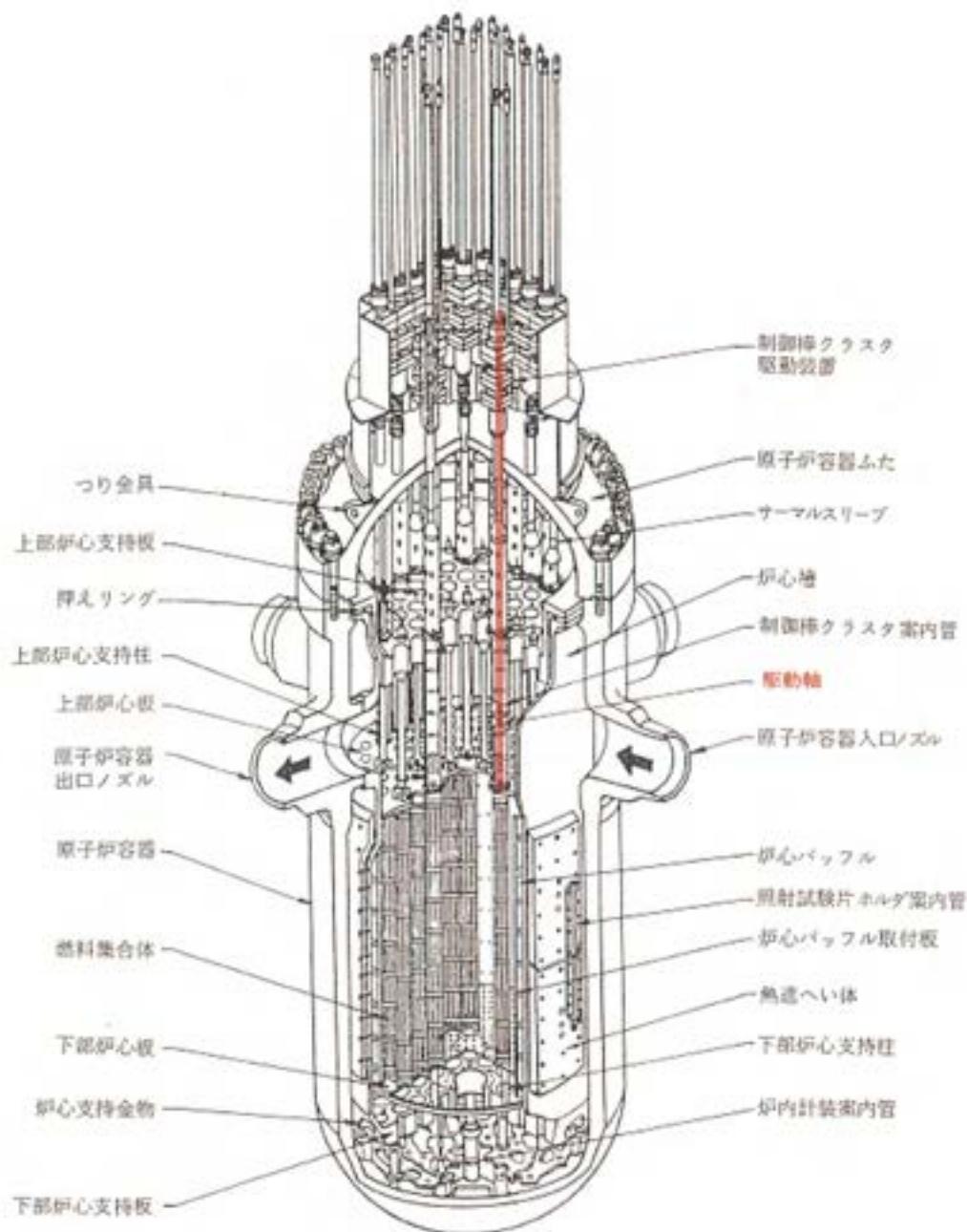
のことから、制御棒クラスタが1本引き上がった本事象発生時においても、炉心の未臨界性は十分に確保されている。

表-2. 全制御棒クラスタ引き上がり時の最小停止ほう素濃度 評価結果

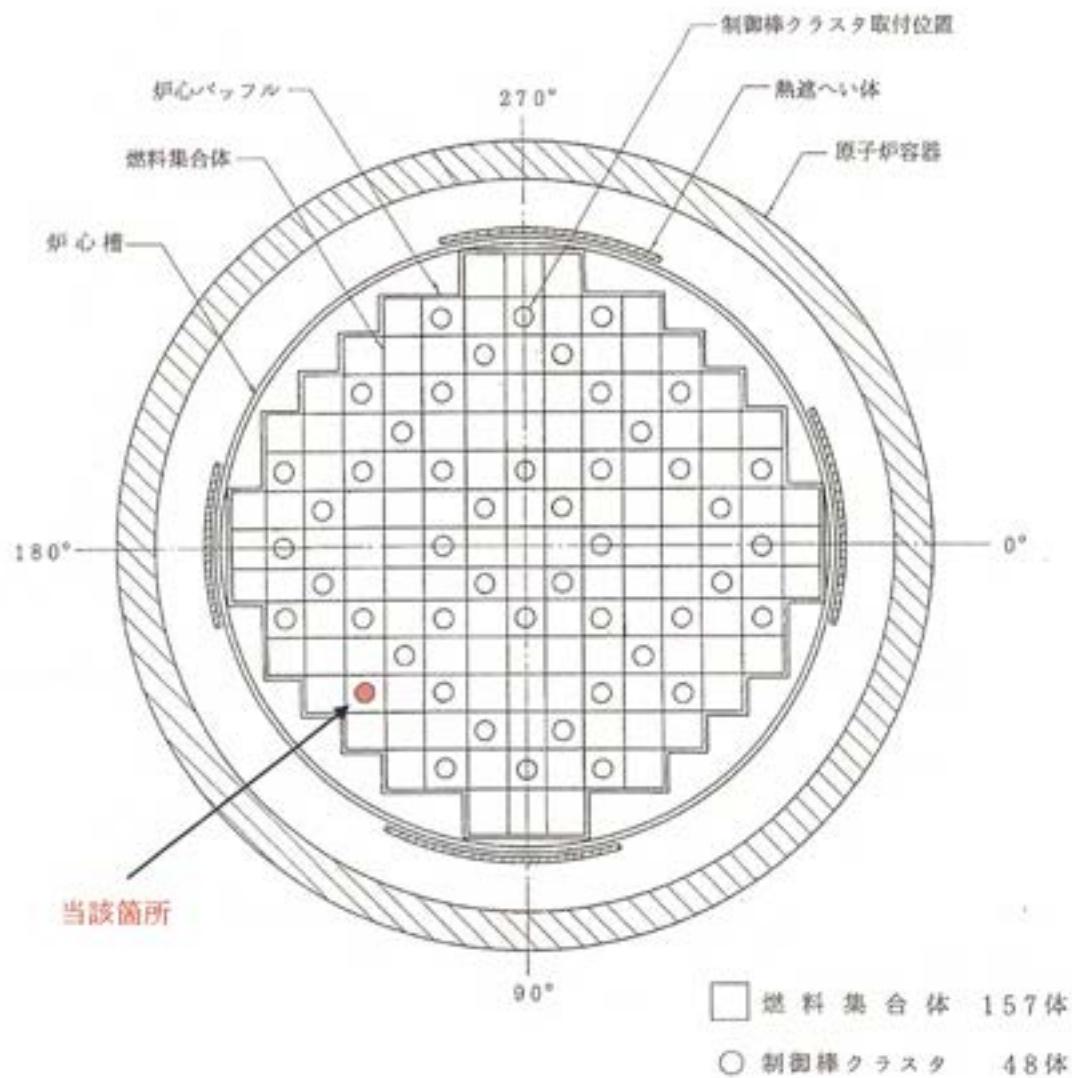
全制御棒クラスタ引き上がり 時の最小停止ほう素濃度※ (ppm)	事象発生時のほう素濃度 サンプリング結果 (ppm)
1703	4553

※ 評価値に対して、100 ppmの余裕を含む。

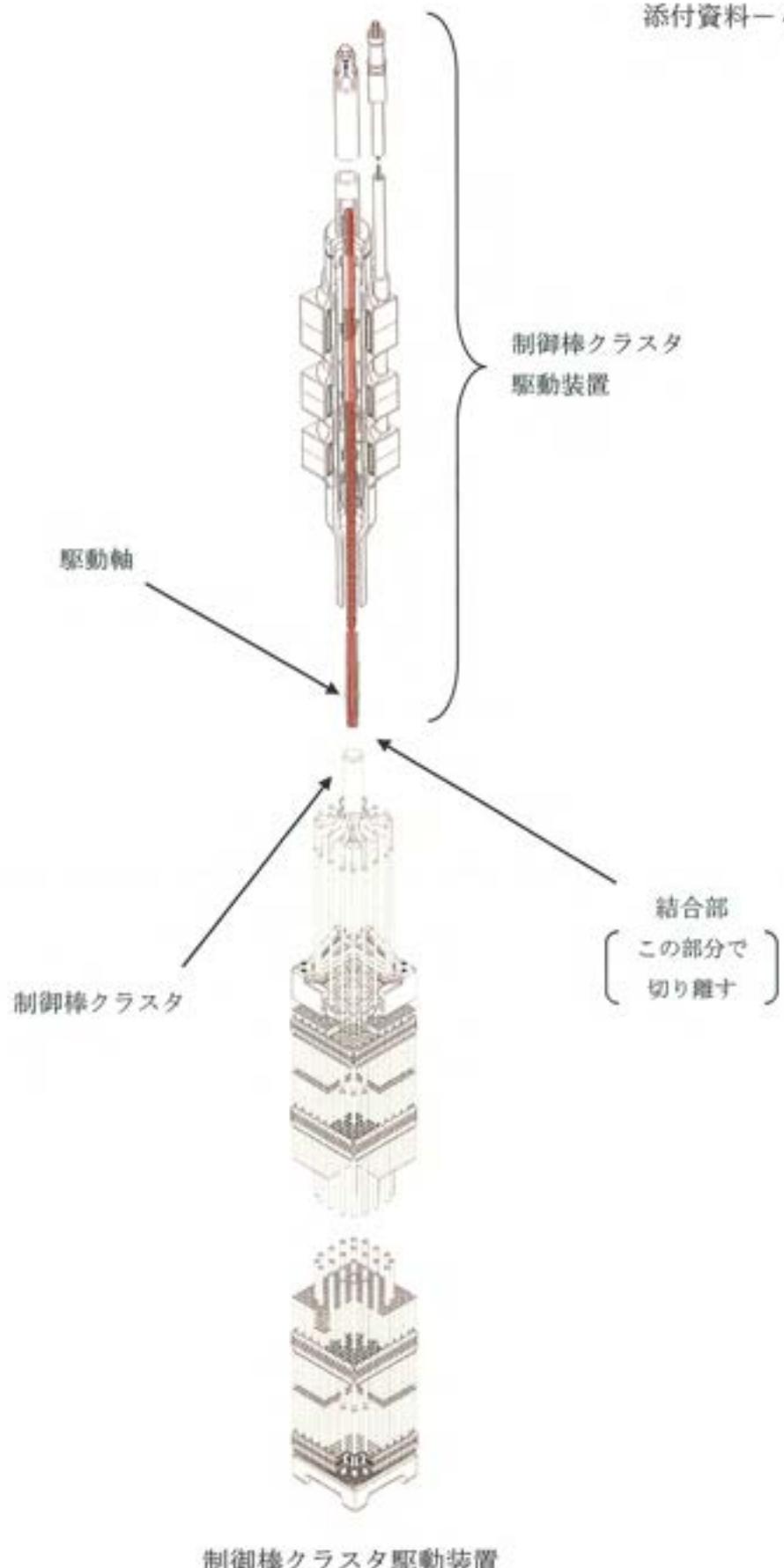
各機器の構造図

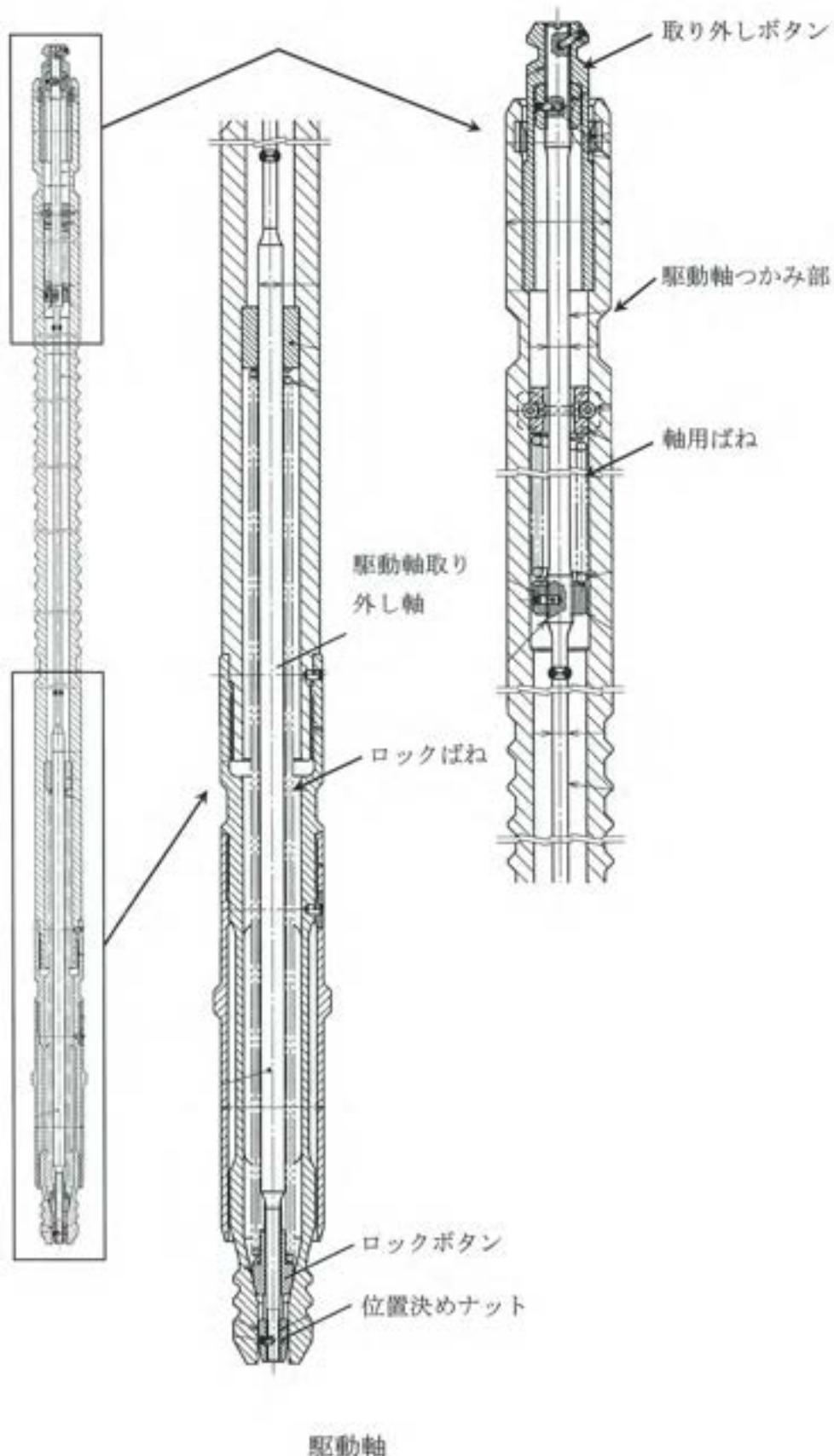


原子炉容器（内部構造図）

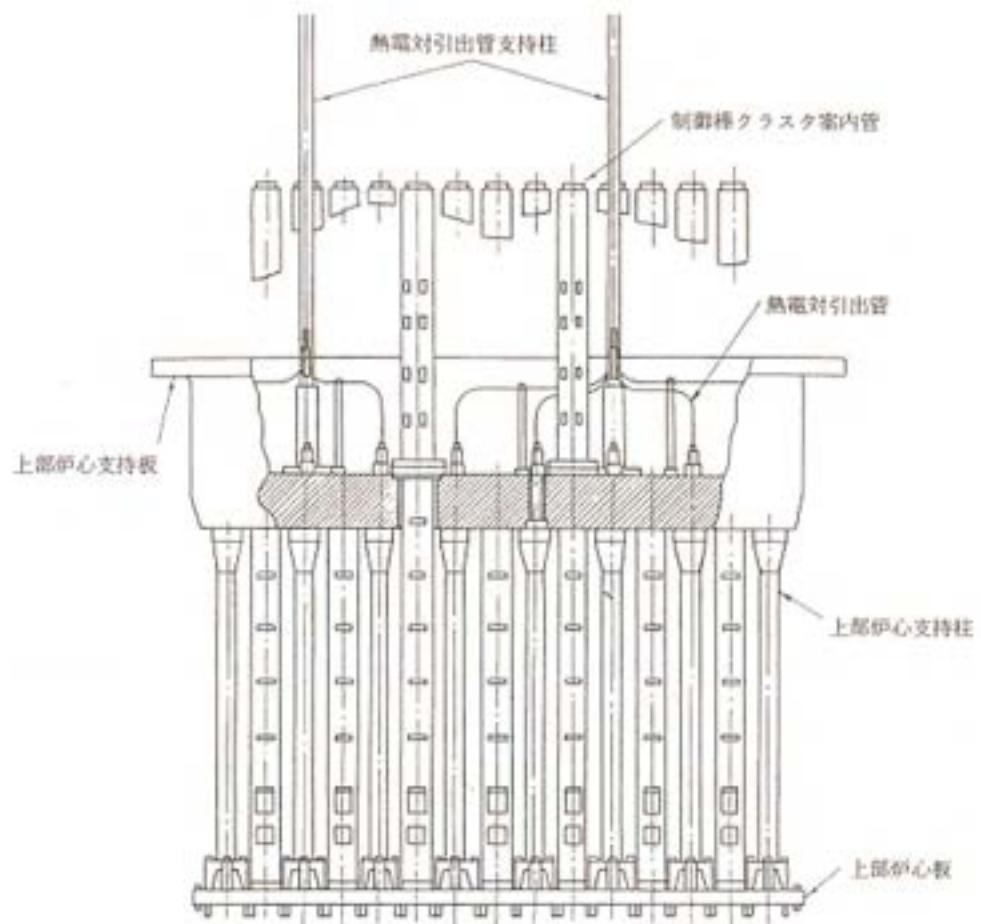


原子炉容器（炉心断面図）

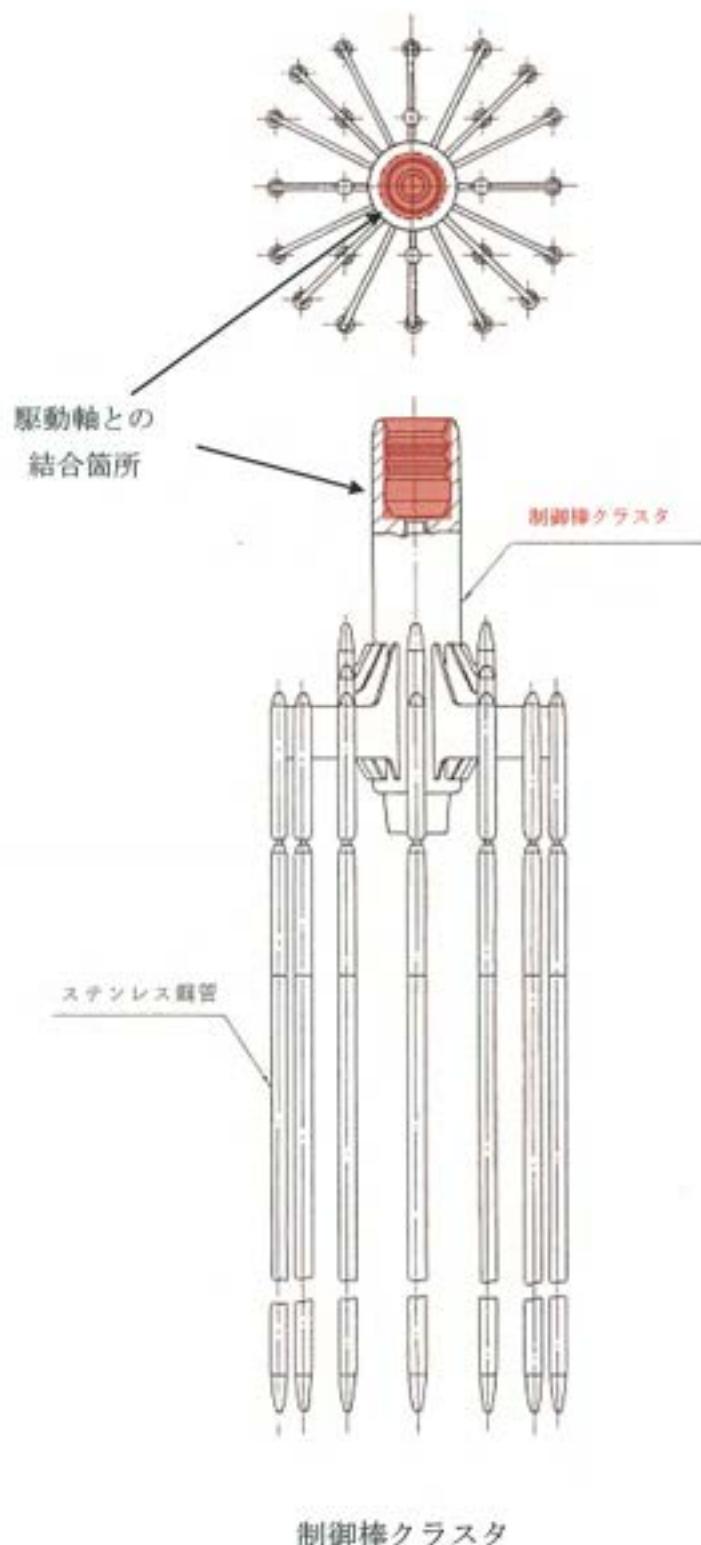




駆動軸



上部炉心構造物



制御棒クラスター

事象発生時の作業状況

原子炉容器上部炉心構造物吊り上げ時の制御棒クラスタ引き上がり事象発生時の作業状況を以下に示す。

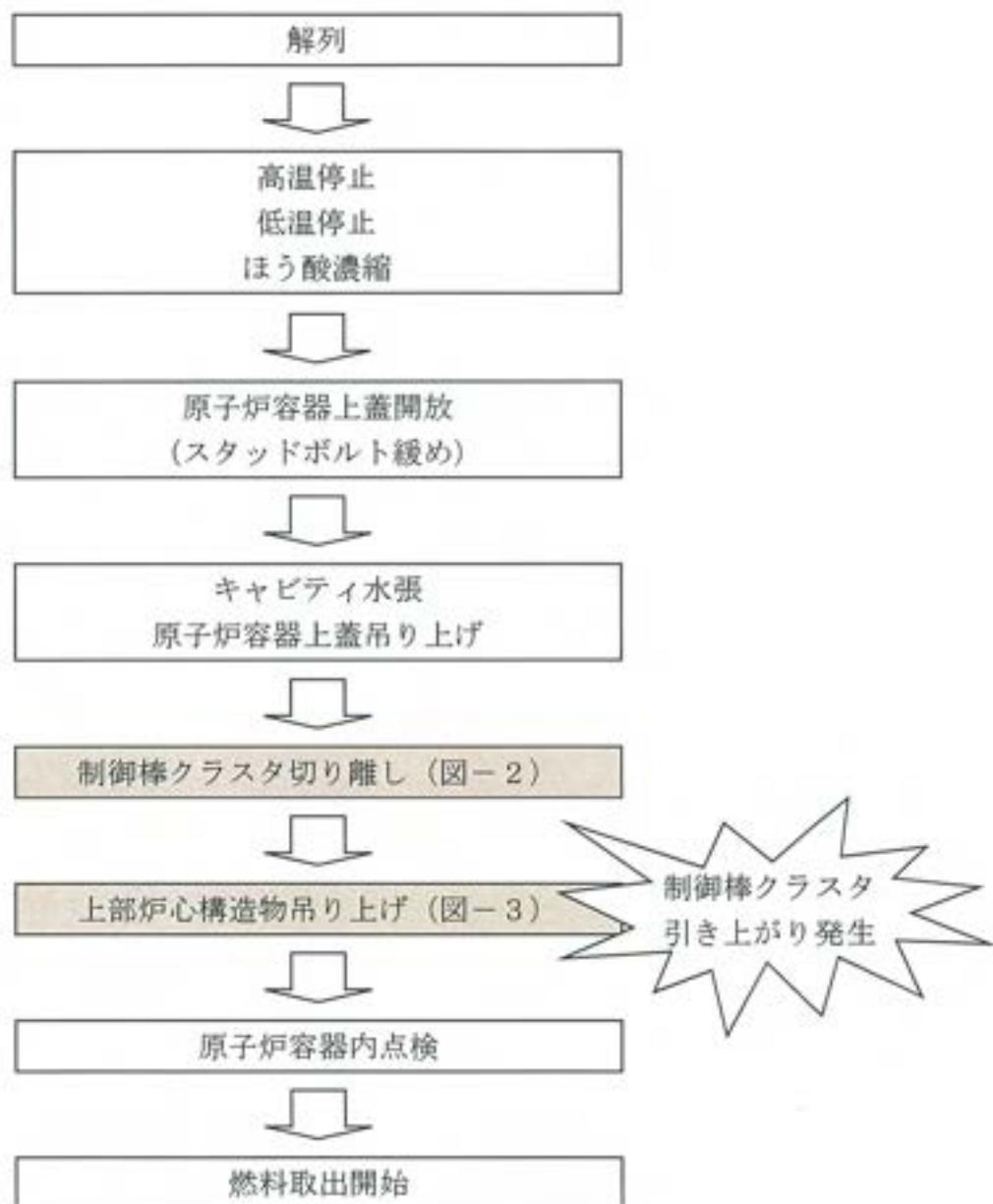
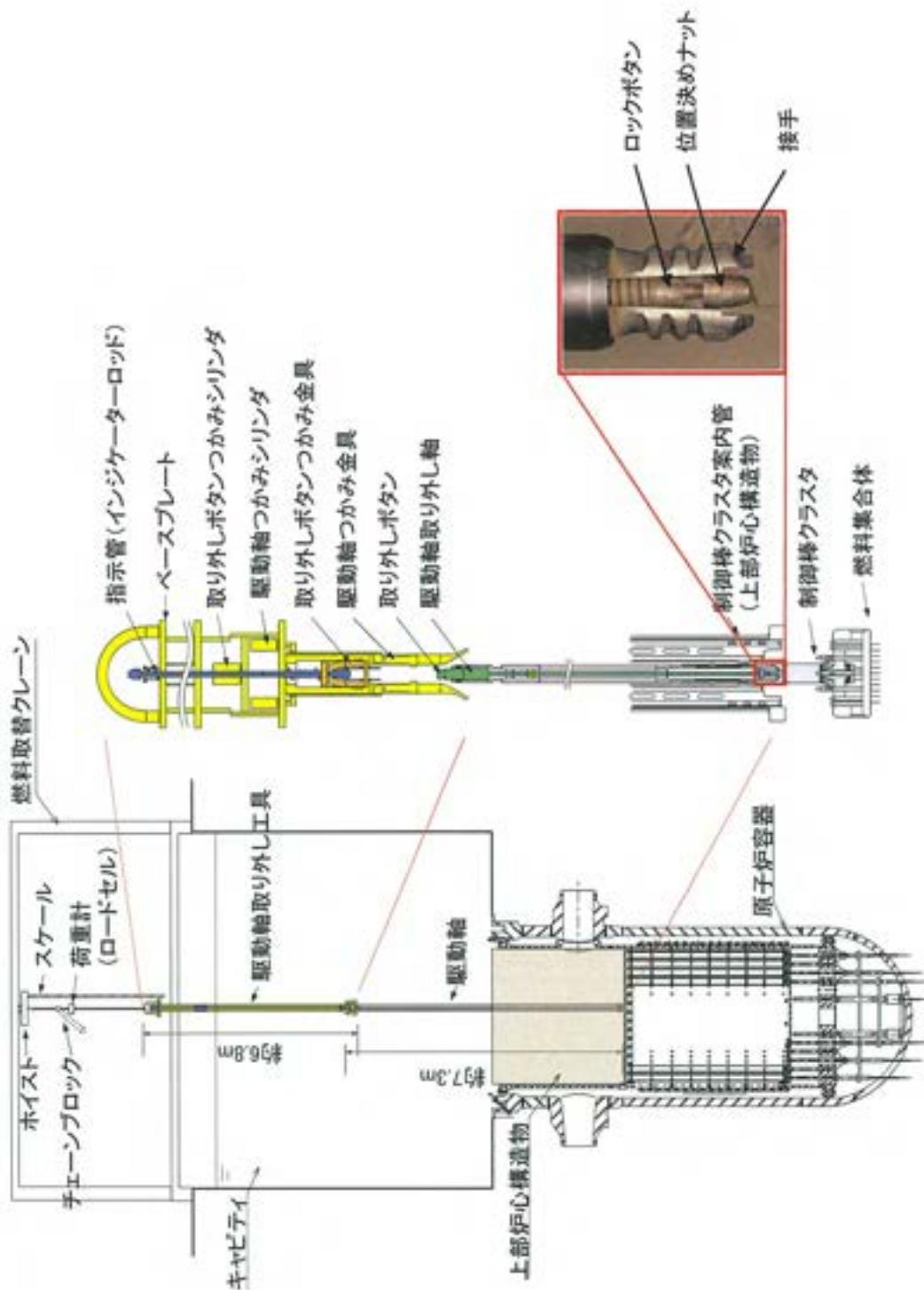


図-1 解列から燃料取出開始まで主要作業フロー



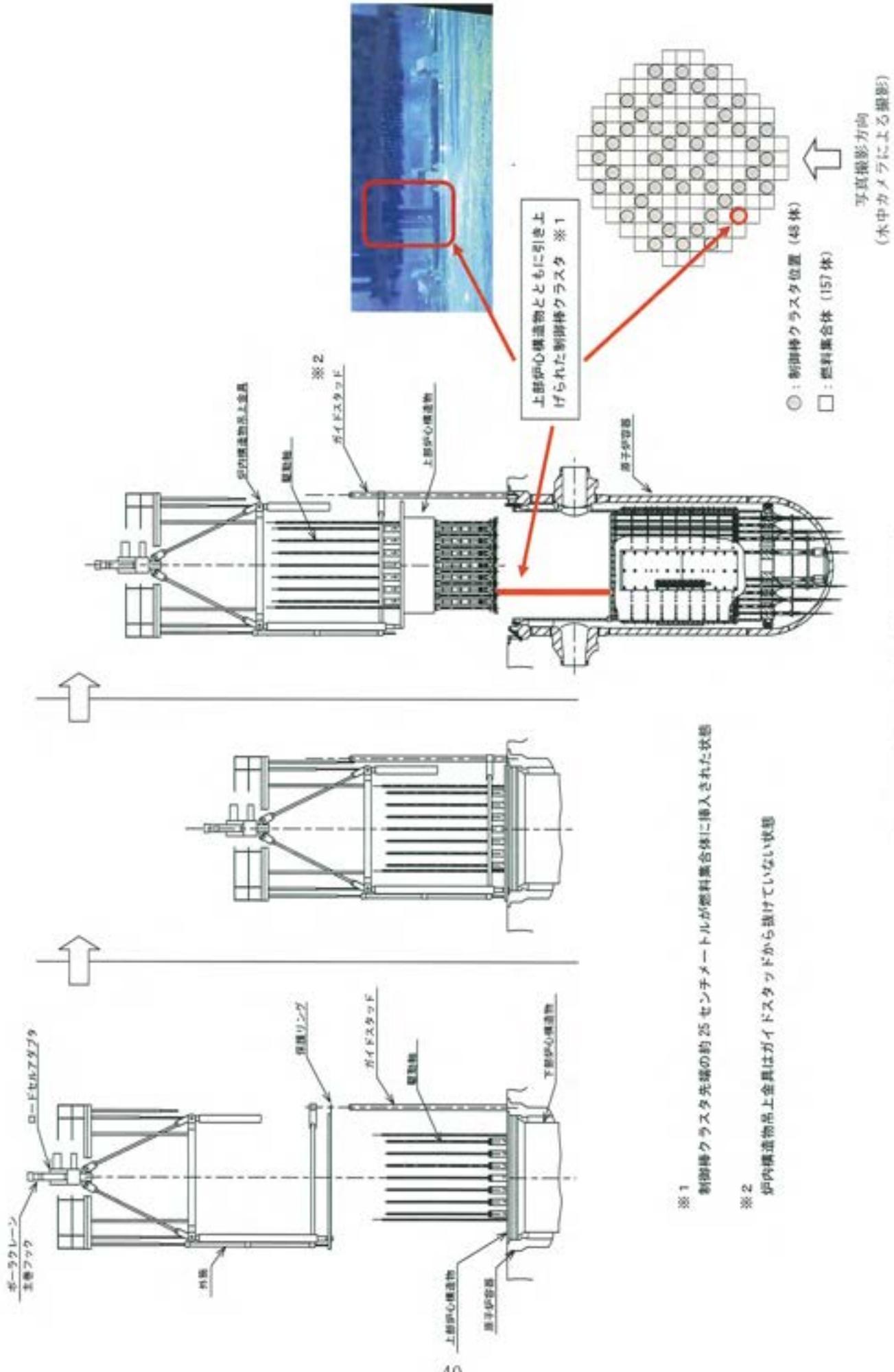
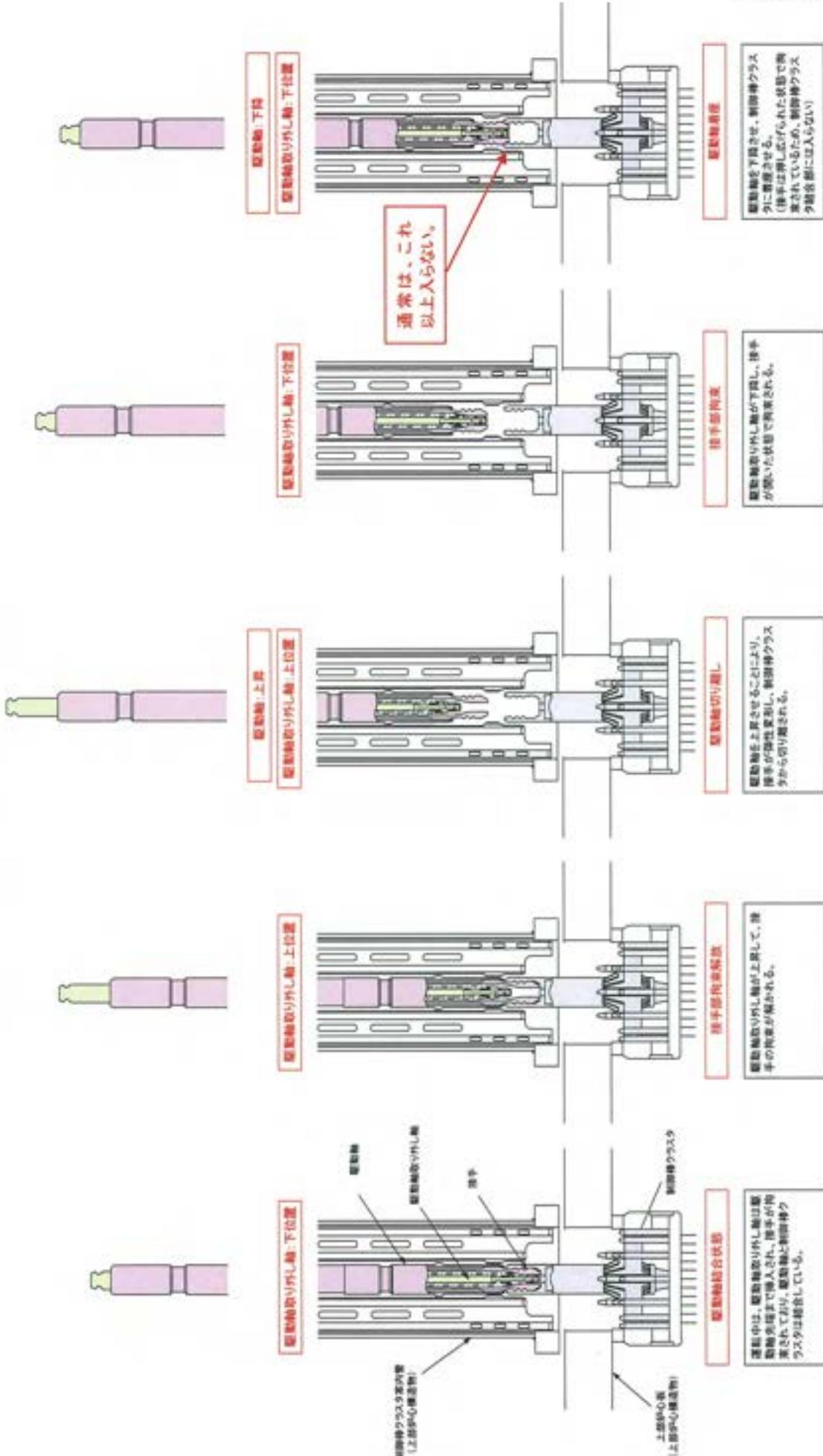


図-3 上部炉心構造物吊り上げ

駆動軸と制御棒クラスタの結合・切り離し説明図



要因分析図

事象	要因	調査項目	調査結果	評価	添付	
				△: 可能性あり ×: 可能性なし		
上部炉心構造物吊り上げ時の制御棒クラスタ引き上がり	制御棒クラスタと駆動軸の結合 駆動軸切り離し操作の不良	駆動軸取り外し工具の動作不良	・駆動軸取り外し工具の外観確認を実施し、傷、変形、付着物が無いことを確認した。 ・駆動軸取り外し工具の動作確認を実施し、取り外し軸の引き上げ・押し下げ動作に異常な無く、正常に動作することを確認した。	×	B-2	
		駆動軸切り離し作業に用いる計測器の不良	・計測器調査	・使用された荷重計について、使用前点検で異常が確認されていないこと、およびウェイトを用いた動作確認により表示値に異常が無いことを確認した。 ・使用されたスケールについて、外観確認により有意な損傷等が無いことを確認した。	×	B-3
	駆動軸切り離し作業における操作不良	手順書の不備 不適切な操作	・作業記録確認 ・類似事例調査	・作業記録より、当社にて承認された手順書に基づき実施していることを確認した。また、今回の作業で用いた手順書は過去の定修時と同様であり、過去の定修で同様の事象は発生していないことを確認した。 ・今回の作業手順書は、重量確認と寸法確認で確実に制御棒クラスタと駆動軸が切り離されていることを確認できる手順書であったが、切り離し確認以降に通常とは異なる不完全な結合状態に至った場合は制御棒クラスタの引き上がりが生じる可能性がある。 ・類似事例の推定原因等を踏まえても、当社の制御棒クラスタと駆動軸の切り離し操作に問題となる点はなかった。	△ B-1 B-4	
		作業環境の影響	・運転履歴調査	・作業記録および聞き取り調査より、定められた手順どおりに操作が行われていることを確認した。また、当社立会により、作業が確實に行われていることを確認した。 ・事象発生後の駆動軸引き上げ時に制御棒クラスタは引き上がらなかったことからも、手順の抜けやアドレス間違い等の根本的な作業ミスは考え難い。 ・作業員への聞き取りにより、当該駆動軸切り離しの確認作業時に制御棒クラスタを切り離すために駆動軸取り外し工具を振る操作をしたことが確認されたが、当該駆動軸に限った操作ではなく、他のほとんどの駆動軸で同様の操作を行っていることおよびこれまでの定修にも同様の操作を行っていることであることを確認した。 ・類似事例の推定原因等を踏まえても、当社の制御棒クラスタと駆動軸の切り離し操作に問題となる点はなかった。	×	B-1 B-4
	駆動軸切り離し動作の不良	設計不良 製造不良 点検不良	・製造履歴調査	・図面より、駆動軸と制御棒の結合部の機構は、十分な実績がある 1.7×1.7 燃料タイププラントの標準設計であることを確認した。	×	9-1
			・製造履歴調査	・駆動軸について、製造記録より材料・寸法が設計どおり製作されていること、および駆動軸と模擬制御棒クラスタを組合せてステッピング試験を実施しており両者の嵌合に問題なかったことを確認した。 ・制御棒クラスタについて、製造記録より材料・寸法が設計どおり製作されていること、および模擬駆動軸接手を用いた嵌合性試験に問題がなかったことを確認した。	×	9-1
		点検不良	・点検履歴調査	・制御棒クラスタについて、これまでの定期事業者検査（制御棒クラスタ検査）で実施した外観確認で異常が確認されていないことを確認した。 ・駆動軸については、13回定檢の再稼働に向けた点検において、外観確認で異常が確認されていないことを確認した。	×	9-2
	制御棒クラスタと駆動軸の結合部の異常	・外観確認（制御棒クラスタ、駆動軸） ・接手型取り扱い ・駆動軸の寸法計測 ・堆積物調査	・駆動軸の外観確認を実施し、当該駆動軸の接手の内外面および位置決めナットに擦れ痕が確認された。 ・制御棒クラスタの外観確認を実施し、スパイダ頭部の円錐部上面およびスパイダ内部のテーパ面に接触痕（色調の変化）が確認された。 ・一部の接合痕は金属光沢を有しており、比較対象にないことから今回生じたものである可能性がある。 ・制御棒クラスタの外観確認により、スパイダ頭部内部に堆積物が確認され、分析の結果、マグネットであることを確認した。 ・駆動軸の寸法計測を実施し、接手頭の寸法が設計値を満足していることを確認した。	△ B-4 B-5 B-6		
	駆動軸取り外し工具と駆動軸の取合部の異常	・外観確認（駆動軸、工具） ・駆動軸動作確認	・外観確認により、駆動軸取り外し工具と駆動軸の取合部に異常な噛み込み等の痕跡が無いことを確認した。 ・駆動軸動作確認により、駆動軸の結合・切り離し、駆動軸取り外し軸の上下動作に問題が無いことを確認した。	×	B-2 B-5	
	駆動軸取り外し軸の動作不良	駆動軸取り外し工具の駆動源（空気）の異常 駆動軸取り外し軸のばねの異常 異物混入	・駆動軸取り外し工具の駆動源（空気）の異常 ・運転履歴調査（所内用空気圧） ・駆動軸動作確認	・所内用空気圧について、事象発生時、所内用空気圧の異常を示す警報は発信しておらず、空気圧に異常な低下がないことを確認した。 ・駆動軸動作確認により、規定の所内用空気圧（約0.7MPa）で、問題なく駆動軸取り外し軸の引き上げ操作ができる事を確認した。なお、空気圧が低い状態（約0.2MPa）では取り外し軸の引き上げが不十分となるが、他の駆動軸と同様であり、特異なものではないことを確認した。	×	B-5 B-9-3
			・外観確認（駆動軸） ・駆動軸動作確認	・ロックばねについては、接手側面からの可視範囲の外観確認により、ばね押しつけ状態に異常の無いことを確認した。 ・また、駆動軸動作確認により、駆動軸取り外し軸の上下動作に問題はなく、他の駆動軸とも有意な差は無いことから、ばね（軸用ばね、ロックばね）の異常は無いと考えられる。	×	B-5
			・外観確認（駆動軸） ・駆動軸動作確認 ・堆積物調査	・外観確認により、目視可能範囲に異物は確認されなかった。 ・駆動軸動作確認により、駆動軸取り外し軸の上下動作に問題はなく、他の駆動軸とも有意な差は無いことを確認した。 ・制御棒クラスタの外観確認により、スパイダ頭部内に堆積物が確認され、分析の結果、マグネットであることを確認した。	△ B-5 B-6	
上部炉心構造物と制御棒クラスタの結合		・製造履歴調査 ・運転履歴調査 ・制御棒クラスタと駆動軸の結合状況確認 ・外観確認（制御棒）	・図面により、上部炉心構造物と制御棒の位置関係から物理的に干渉する箇所が無いことを確認した。 ・製造記録により、上部炉心構造物に組み込まれた制御棒クラスタ案内管単体に対する拘束力試験で、制御棒クラスタ案内管と制御棒クラスタのインターフェースに問題が無いことを確認した。 ・前回定檢以降の制御棒クラスタの操作において、異常な動作がなかったことを確認した。 ・事象発生後、駆動軸と制御棒クラスタを結合させた状態で、上下方向に操作して、上部炉心構造物と干渉せずスムーズに操作できることを確認した。 ・制御棒クラスタの外観確認により、スパイダ頭部の外面に上部炉心構造物（制御棒クラスタ案内管）と干渉した痕跡が無いことを確認した。	×	B-4 B-9-1 B-9-3	

各機器等の調査結果

作業体制および手順等の調査結果

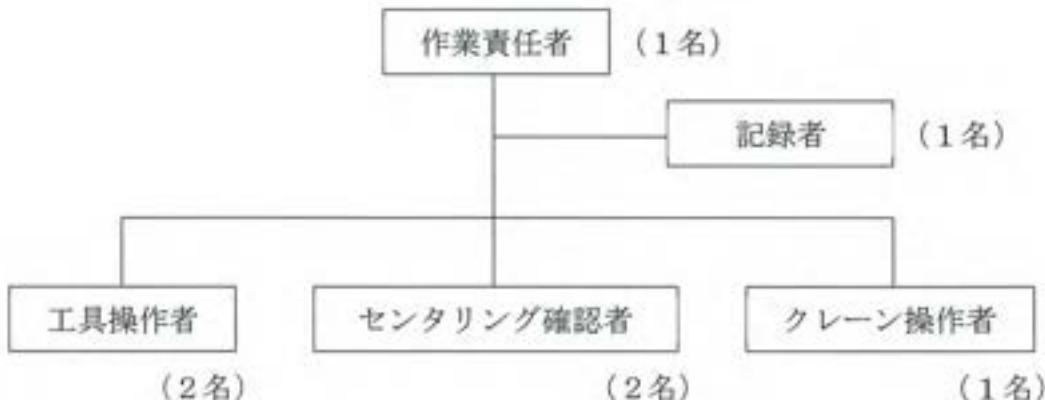
本事象は、上部炉心構造物吊り上げ時に、制御棒クラスタと駆動軸の切り離し操作を行ったにもかかわらず、制御棒クラスタが引き上がった状況であることから、事象発生時の作業管理状況の調査および作業員等への聞き取り調査により、不適切な操作の有無、操作中に特異な事象が発生していなかったかどうかについて確認した。

1. 作業管理

(1) 作業体制

制御棒クラスタと駆動軸の切り離し作業は、図-1に示すとおり、作業責任者1名の指揮のもと、駆動軸取り外し工具の操作（寸法・動作確認を含む）を行う作業員（工具操作者）2名、制御棒クラスタと駆動軸の切り離しができたことを重量および寸法により確認を行う作業員（記録者）1名、駆動軸取り外し工具と駆動軸のラッチのためセンタリング確認を行う作業員（センタリング確認者）2名、クレーン操作を行う作業員（クレーン操作者）1名、計7名の複数人で実施しており、過去に十分な実績のある作業体制と同じであることを確認した。

また、1月12日の作業前ミーティングでは、当日の作業内容の説明、配員の周知および体調や勤務状況の確認を含む安全確認を行っていた。



(2) 作業責任者、作業員の力量

制御棒クラスタと駆動軸の切り離しのため駆動軸取り外し工具の操作を行う作業責任者（経験年数10年以上）および工具操作者（経験年数7年以上）等の主要な操作を行う者は、過去に伊方発電所の原子炉容器の開放作業において制御

棒クラスタと駆動軸の切り離し作業を経験しており、現場操作に十分な経験と知識を有していた。

表-1 作業要員経歴

要員			経験年数	当該作業経験
作業責任者	1名	A	10年以上	有 (伊方有り)
記録者	1名	B	10年以上	有 (伊方有り)
工具操作者	2名	C	10年以上	有 (伊方有り)
		D	7年	有 (伊方有り)
クレーン操作者	1名	E	10年以上	有 (伊方有り)
センタリング 確認者	2名	F	4年	有 (伊方有り)
		G	1年	無

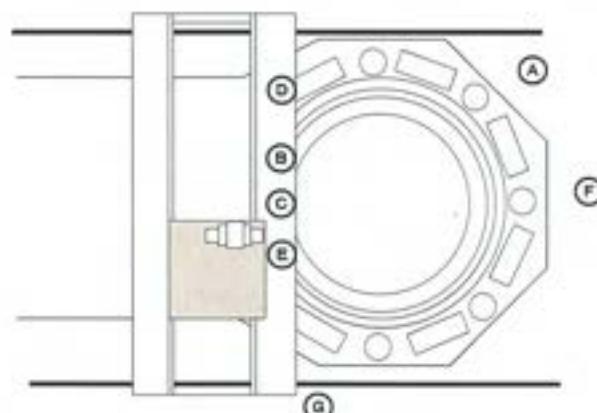


図-2 要員配置図

(3) 作業手順書

制御棒クラスタと駆動軸の切り離し作業は、当社が承認した作業手順書に基づき実施している。また、今回の作業手順書は過去の定検（第1回～第14回）時と同様であり、過去の定検時に同様の事象は発生していないことを確認した。

今回の作業手順書は、重量確認と寸法確認で確実に制御棒クラスタと駆動軸が切り離されていることを確認できる手順書であったが、切り離し確認以降に通常とは異なる不完全な結合状態に至った場合は制御棒クラスタの引き上がりが生

じる可能性がある。

制御棒クラスタと駆動軸の切り離し作業状況概要図を図-3に示す。また、作業手順を図-4、5に示す。

なお、現地作業開始前には元請会社従業員、下請会社従業員ならびに当社設備担当課長、副長および担当者が参加して作業手順書の読み合わせを実施しており、原子炉容器の開放作業に係る一連の作業手順の確認、過去の不具合事例紹介および安全管理、品質管理、放射線管理上の注意事項等について確認している。

また、1月12日の作業当日には、TBM-KYにて、当日の作業内容の再確認、役割分担、過去の経験から得た教訓や注意事項の共有を行っていた。

(4) 作業記録

制御棒クラスタ切り離し時の作業記録より、定められた手順どおりに重量確認と寸法確認が実施され、確実に制御棒クラスタと駆動軸の切り離し作業が行われていることを確認した。また、過去の定検（第1回～第14回）の作業記録と比べても、今回の作業記録に特異な点は確認されなかった。

なお、今回上部炉心構造物とともに引き上げられた制御棒クラスタの切り離し作業は、48体中6体目の作業であった。

事象発生後の駆動軸引き上げ時に制御棒クラスタは引き上がらなかっことからも、切り離し操作自体をしていないといった重要な手順の抜けやアドレス間違い等の作業ミスは考え難い。

(5) 作業環境

作業場所における照明、騒音、気温および作業エリアの観点から確認を行った。制御棒クラスタと駆動軸の切り離し作業を行った作業場所は、原子炉格納容器内であり、照明、騒音および気温について問題はなかった。作業エリアについては、燃料取替クレーン歩廊上で実施したが、これまでの定検時と同様で当該作業においては十分な作業エリアであり問題なかった。

作業時の装備については、管理区域標準装備（管理服、綿手袋、靴下）に加えて、防護服（1重）、ゴム手袋（2重）、靴下（1重）を着用しての作業であるが、これまでの定検時にも同様の装備での作業であり、安全面も含めて問題はなかった。

また、当該作業時に全面マスク等の着用は必要なく、作業員間のコミュニケーションに問題はなかった。

2. 作業員等への聞き取り調査

(1) 制御棒クラスタと駆動軸の切り離し作業時

作業責任者、作業員は、制御棒クラスタと駆動軸の切り離し操作をするため、作業手順書に従い駆動軸取り外し工具の操作、荷重計（ロードセル）による重量確認および寸法確認等を行っており、作業手順に問題ないことを確認した。また、

操作および計測時は、複数人による確認を行い、作業が確実に行われていることを確認した。

当該作業時、当社立会により、作業が確実に行われていることを確認している。

なお、当該駆動軸切り離しの確認作業時に制御棒クラスタを切り離すために駆動軸取り外し工具を揺する操作をしたことが確認されたが、当該駆動軸に限った操作ではなく、他のほとんどの駆動軸で同様の操作を行っていることおよびこれまでの定検時にも同様の操作を行っているとのことであり、一般的に行っている操作であることを確認した。

(2) 上部炉心構造物吊り上げ作業時

作業責任者、作業員および四電担当者は、上部炉心構造物吊り上げ操作をするため、作業手順書に従い炉内構造物吊上金具の取付、荷重計（ロードセル）による上部炉心構造物等の重量確認および水中カメラによる上部炉心構造物吊り上げ状況確認等を行っており、作業手順に問題はなかった。

当該作業時、当社立会により作業が確実に行われていることを確認した。

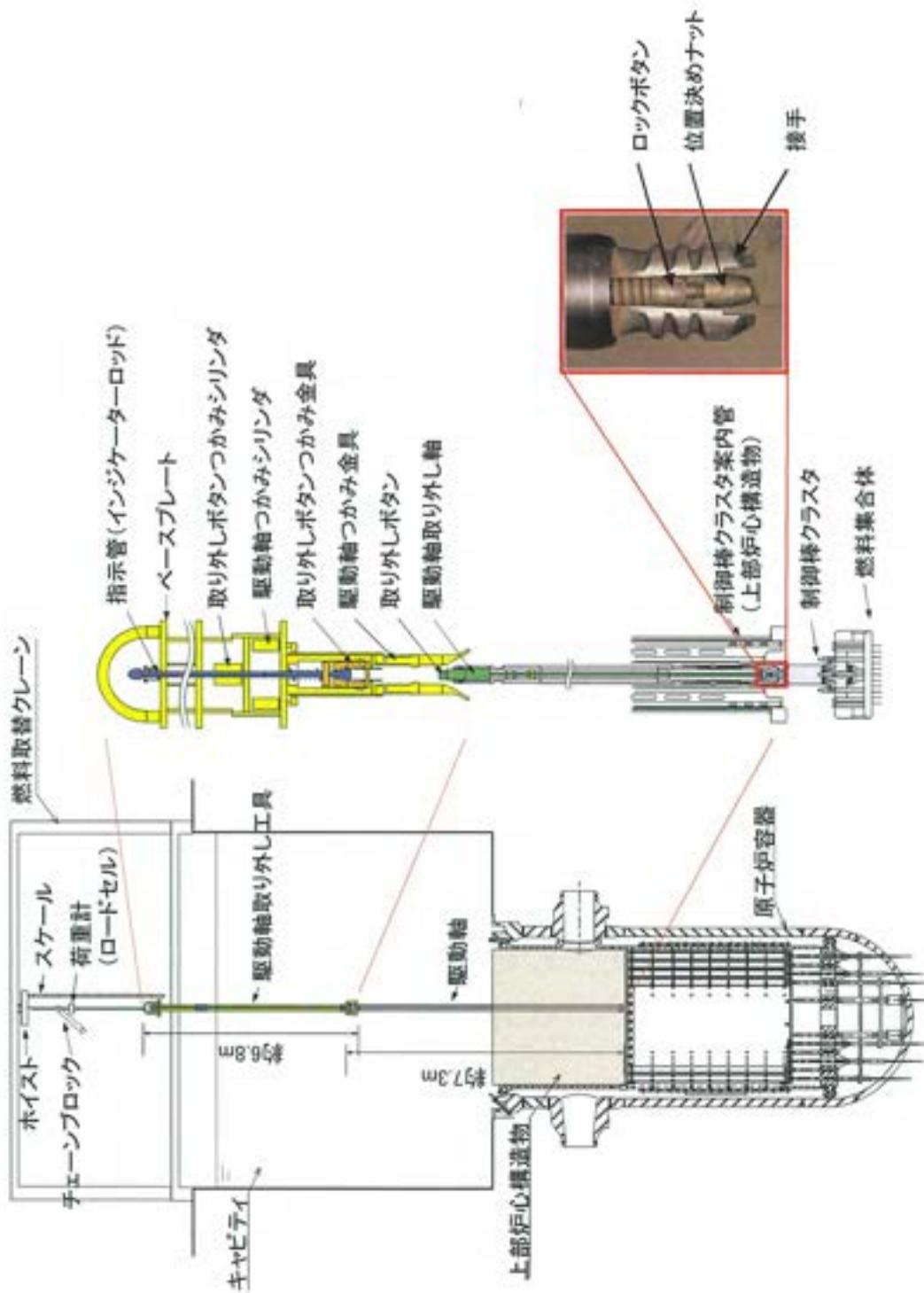
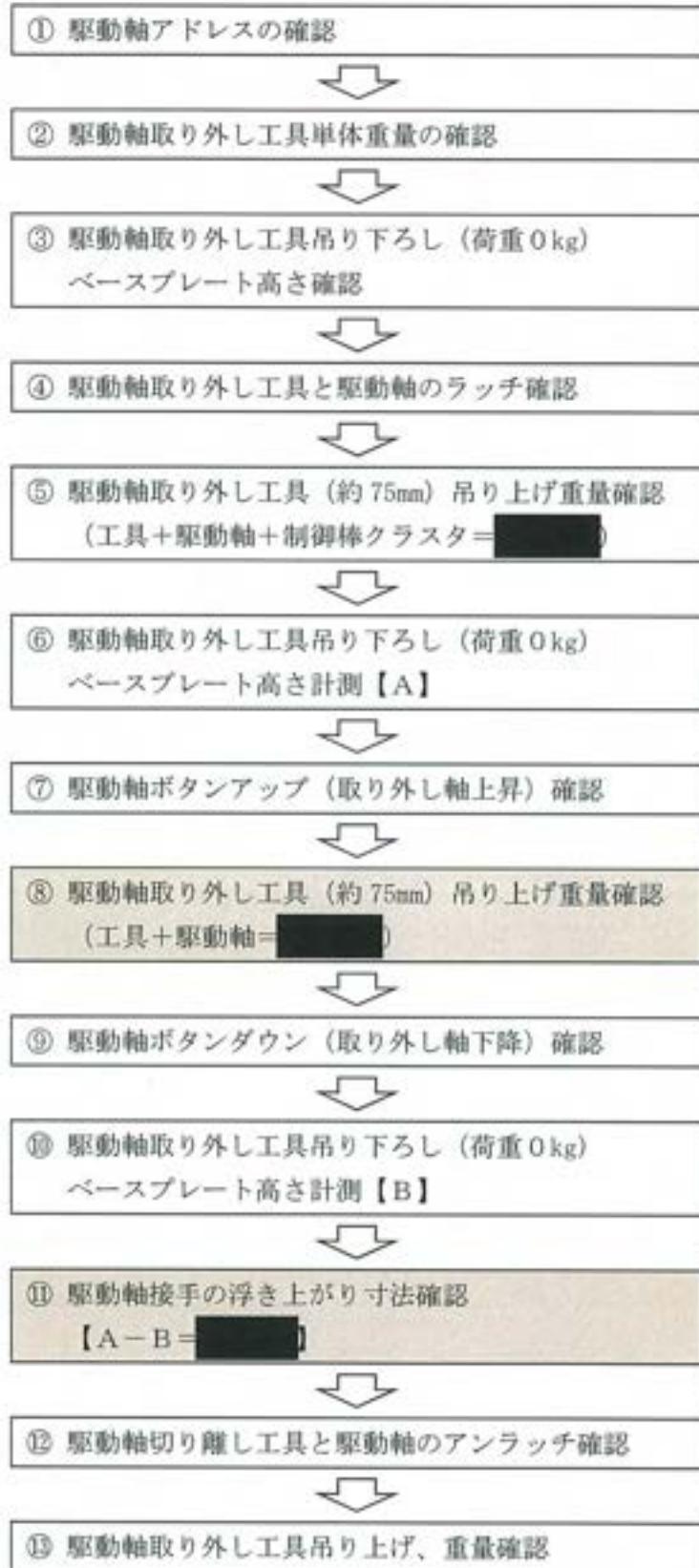


図-3 作業状況概要図



今回の記録(※)

M- 4:	[REDACTED]
M-12:	[REDACTED]
J- 7:	[REDACTED]

(※)M-4:当該アドレス
M-12,J-7:他のアドレス

制御棒クラスタと
切り離されている
ことを確認

今回の記録(※)

M- 4:	[REDACTED]
M-12:	[REDACTED]
J- 7:	[REDACTED]

今回の記録(※)

制御棒クラスタと
切り離されている
ことを確認

今回の記録(※)

M- 4:	48mm
M-12:	44mm
J- 7:	44mm

図-4 作業フロー図

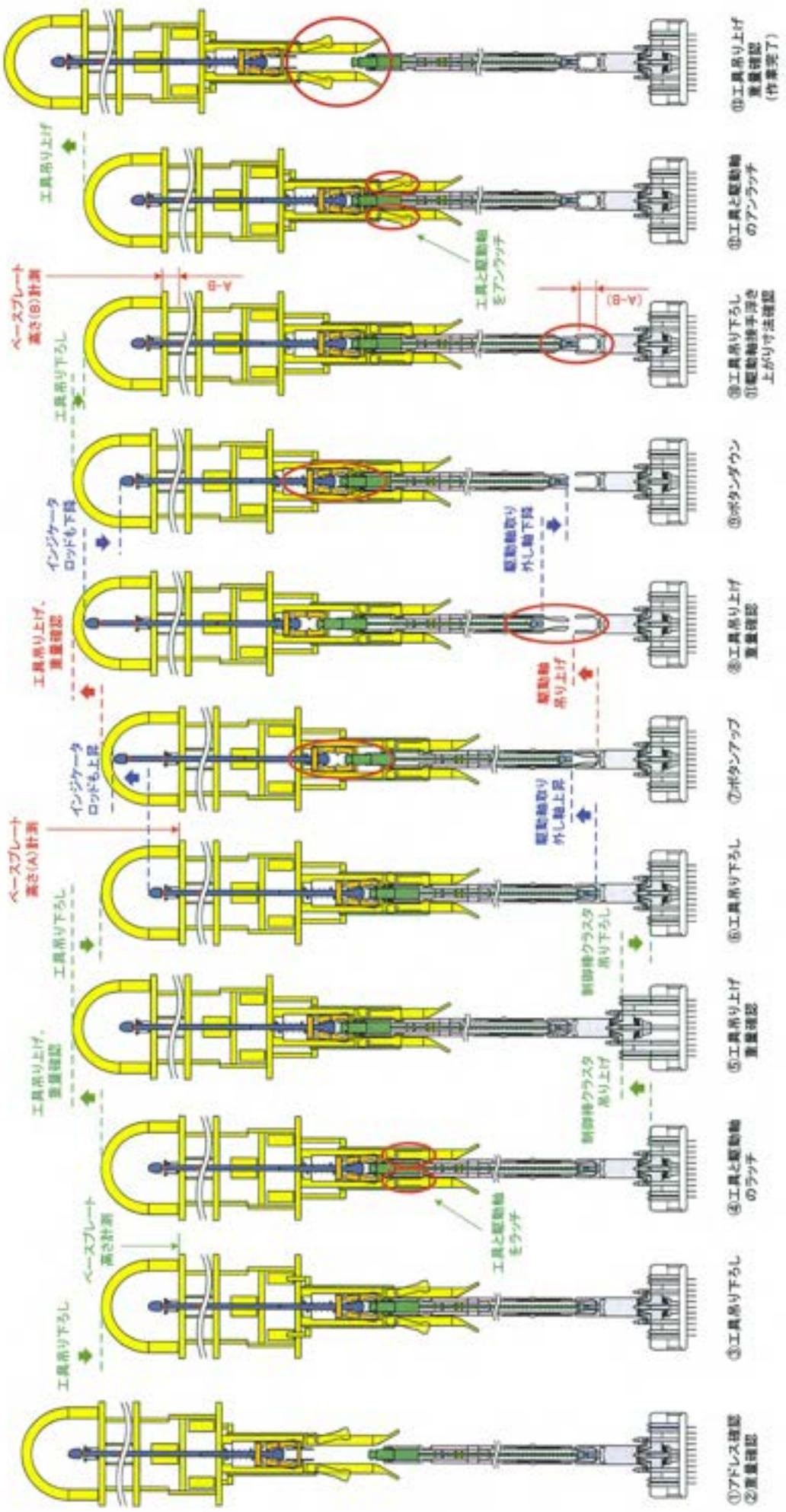


図-5 作業手順概要図

駆動軸取り外し工具の調査結果

1. 調査対象

駆動軸取り外し工具

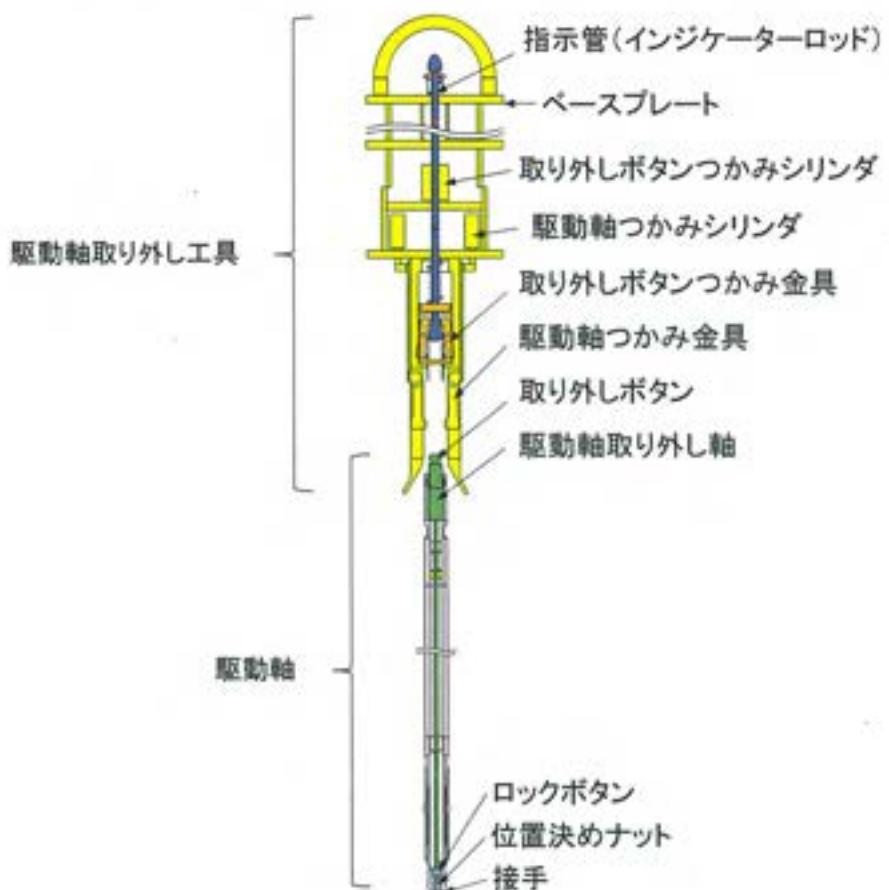


図-1 駆動軸取り外し工具

2. 調査内容

(1) 駆動軸取り外し工具の調査内容

① 外観確認

傷、変形、付着物の有無を確認する。

② 駆動軸取り外し工具単体での、駆動軸取り外し軸の引き上げ位置／押し下げ位置操作に係る動作確認を行う。(ストローク確認含む)

表-1 ストローク確認表

項目	判定値 [mm]
①取り外しボタンのラッチ/アンラッチに関わるストローク (作動ボタンがシャフトに接するまでのストローク:A寸法)	[REDACTED]
②取り外しボタンの上昇/下降に関わるストローク (つかみ金具ハウジングの上昇ストロークの確認:B寸法)	[REDACTED]

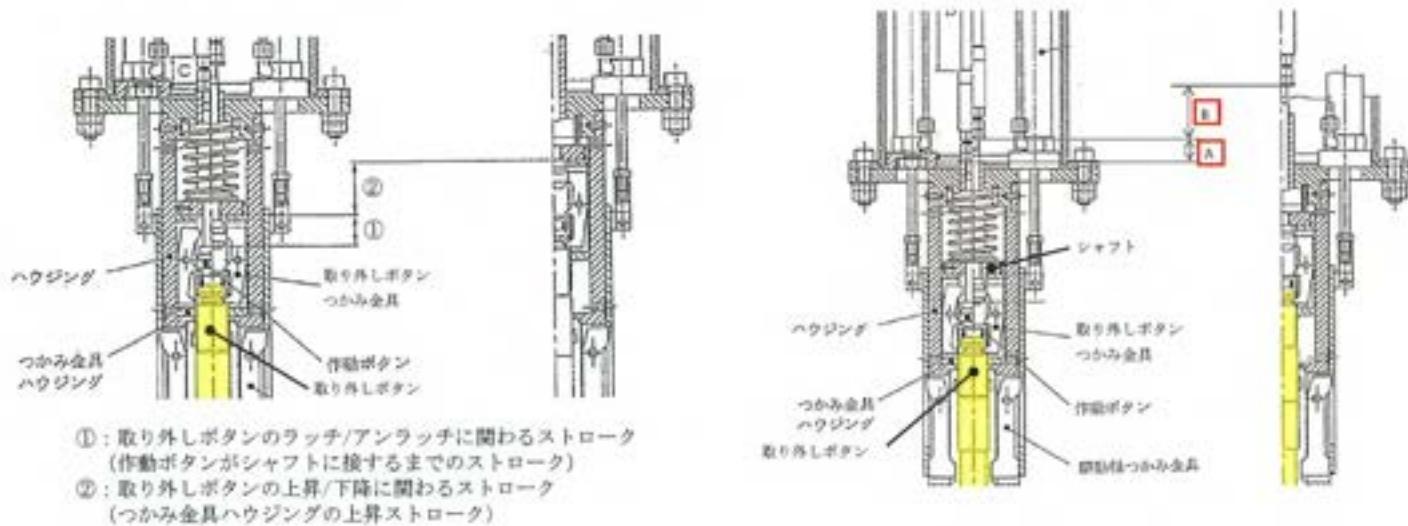
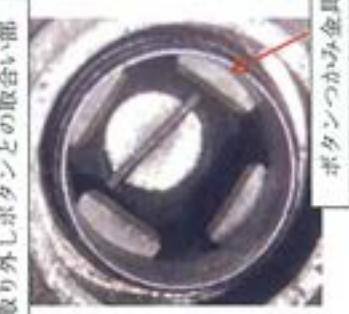
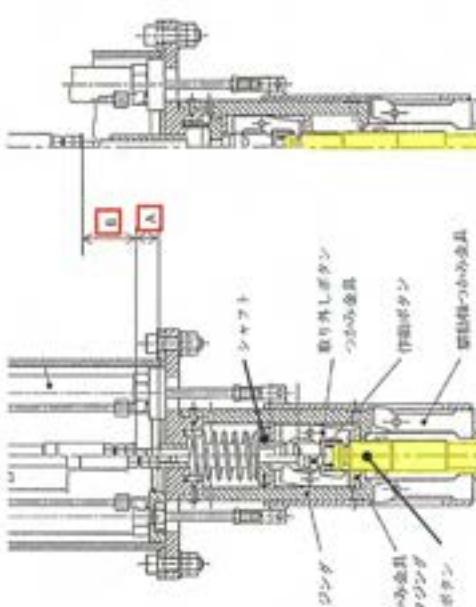


図-2 ストローク確認のための計測箇所

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

3. 調査結果

調査項目	調査結果																					
外観	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 工具と駆動軸本体の取り合い部に、傷、変形、付着物等の異常なし ✓ 工具と取り外しボタンの取り合いに、傷、変形、付着物等の異常なし <p>取り外しがタップとの取合い部</p>  <p>駆動軸本体との取合い部</p> 																					
駆動軸取り外し工具	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 工具動作は設計値を満足 <p>ストローク・取り外しボタンの把持</p> <table border="1" data-bbox="806 1208 1013 1905"> <thead> <tr> <th>ストローク</th> <th>計測値 (mm)</th> <th>設計値 (mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>取り外しボタン</td> <td>28.5</td> <td>[REDACTED]</td> </tr> <tr> <td>取り外しボタン 上昇ストローク</td> <td>48.0</td> <td>[REDACTED]</td> </tr> </tbody> </table> <p>ストローク・取り外し軸引き上げ荷重</p> <table border="1" data-bbox="1029 1208 1314 1905"> <thead> <tr> <th>取り外し軸 引き上げ荷重</th> <th>計測値 (kg)</th> <th>設計値 (kg)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>空気圧 0. 588 MPa (6. 0kgf/cm²)</td> <td>340</td> <td>[REDACTED]</td> </tr> <tr> <td>空気圧 0. 637 MPa (6. 5kgf/cm²)</td> <td>364</td> <td>[REDACTED]</td> </tr> <tr> <td>空気圧 0. 686 MPa (7. 0kgf/cm²)</td> <td>400</td> <td>[REDACTED]</td> </tr> </tbody> </table> <p>・工具と駆動軸の取り合い部</p> <p>・工具と駆動軸本体との取合い部</p> <p>・工具による駆動軸取り外し軸の引き上げ／押し下げ動作に問題なし</p> 	ストローク	計測値 (mm)	設計値 (mm)	取り外しボタン	28.5	[REDACTED]	取り外しボタン 上昇ストローク	48.0	[REDACTED]	取り外し軸 引き上げ荷重	計測値 (kg)	設計値 (kg)	空気圧 0. 588 MPa (6. 0kgf/cm ²)	340	[REDACTED]	空気圧 0. 637 MPa (6. 5kgf/cm ²)	364	[REDACTED]	空気圧 0. 686 MPa (7. 0kgf/cm ²)	400	[REDACTED]
ストローク	計測値 (mm)	設計値 (mm)																				
取り外しボタン	28.5	[REDACTED]																				
取り外しボタン 上昇ストローク	48.0	[REDACTED]																				
取り外し軸 引き上げ荷重	計測値 (kg)	設計値 (kg)																				
空気圧 0. 588 MPa (6. 0kgf/cm ²)	340	[REDACTED]																				
空気圧 0. 637 MPa (6. 5kgf/cm ²)	364	[REDACTED]																				
空気圧 0. 686 MPa (7. 0kgf/cm ²)	400	[REDACTED]																				

計測器の調査結果

1. 調査対象

- (1) 荷重計（ロードセル）
- (2) スケール

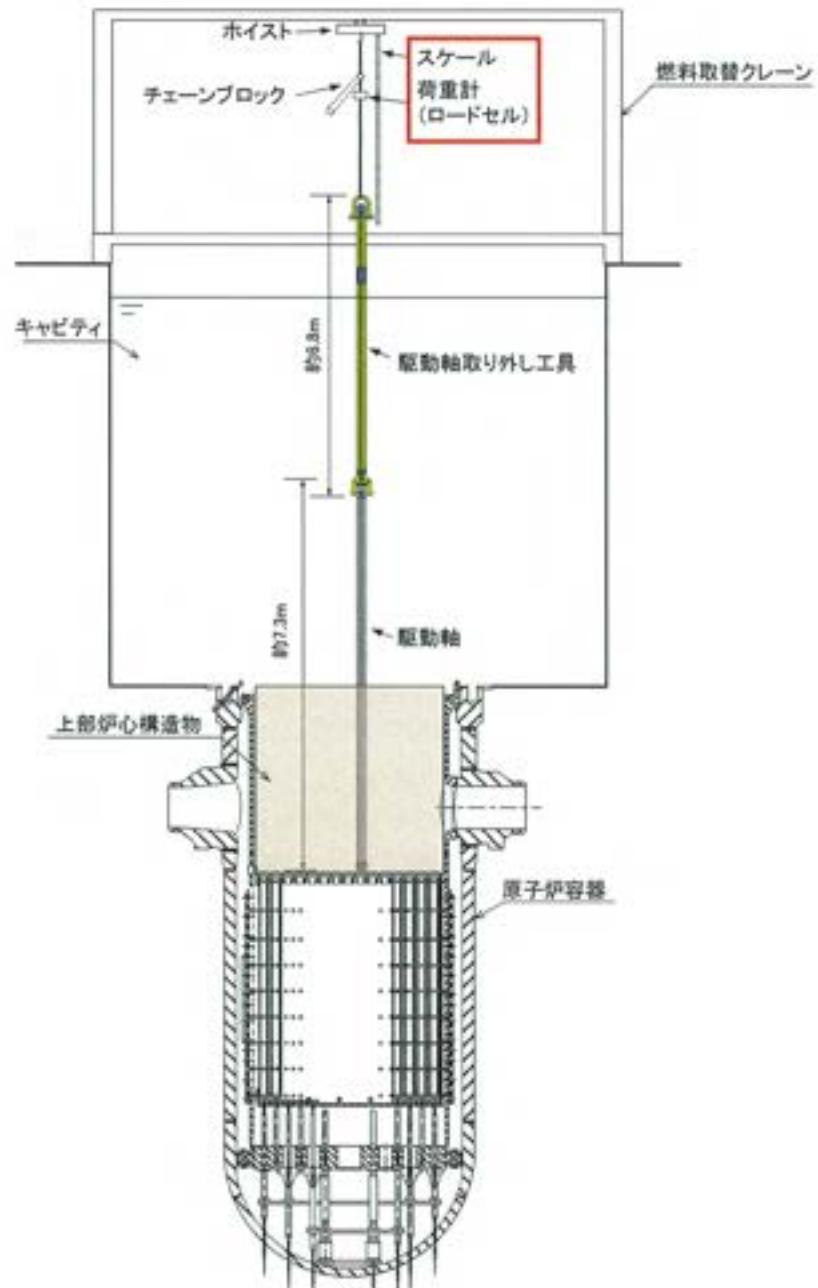


図-1 荷重計およびスケール

2. 調査内容

(1) 荷重計（ロードセル）の調査内容

荷重計（ロードセル）の点検記録、作業記録により計測器の動作に問題がないことを確認する。

- ・使用前点検記録確認

- ・おもり（ウェイト）による動作確認（140kg、200kg、260kg）^{*1}

※1 動動軸取り外し工具 [REDACTED]、動動軸 [REDACTED]、制御棒クラスタ [REDACTED]

合計 [REDACTED] を考慮

(2) スケールの調査内容

スケールについて、外観確認およびJISマークを確認する。

3. 調査結果

(1) 荷重計（ロードセル）の調査結果

荷重計（ロードセル）の使用前点検、作業記録の確認および動作確認を行った結果、計測器の動作に問題がないことを確認した。

表-1 荷重計（ロードセル）の調査結果

調査項目	調査結果
使用前点検	<ul style="list-style-type: none">・荷重計（ロードセル）表示が出ていること、遠隔表示機の表示値が本体表示値と同じであることを確認した。・外観確認により有意な損傷等がないことを確認した。
動作確認	<ul style="list-style-type: none">・140kg、200kg、260kgのおもり（ウェイト）による動作確認を実施し、荷重計（ロードセル）表示値が各重量（140kg、200kg、260kg）を示すことを確認した。

(2) スケールの調査結果

スケールについて、外観確認により有意な損傷等がないことおよびJIS 1級であることを確認した。

[REDACTED]
枠開きの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

制御棒クラスタの調査結果

1. 調査対象

番号	アドレス	使用期間	選定理由	
R 4 5	M- 4	15 Cy	当該制御棒クラスタ	
R 4 7	M-12	15 Cy	比較対象	制御棒クラスタの使用期間が同等
R 6 6	J- 7	1 Cy		炉心中心近傍のアドレス

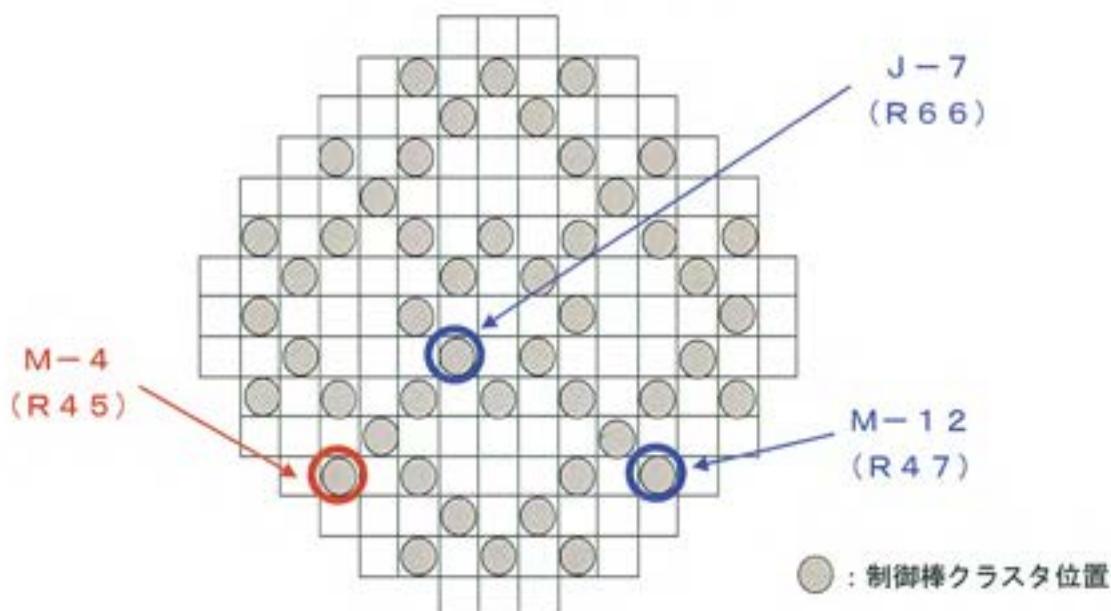


図-1 制御棒クラスタのアドレス

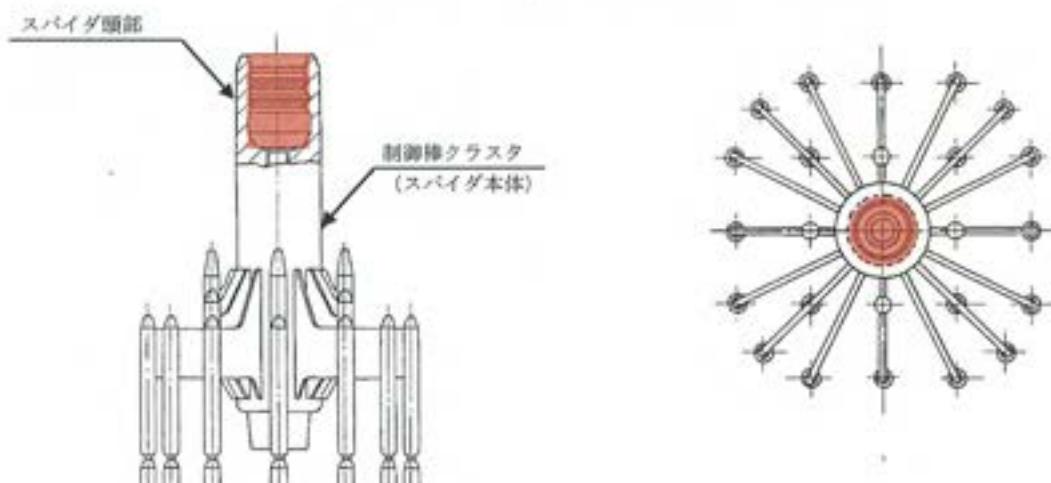


図-2 制御棒クラスタ・スパイダ頭部詳細図

2. 調査内容

(1) 図面確認

制御棒クラスタのスパイダ頭部と制御棒クラスタ案内管（上部炉心構造物）が、設計上、物理的に干渉しないことを図面により確認する。

(2) 外観確認

制御棒クラスタのスパイダ頭部の外観確認を実施し、損傷、変形の有無を確認するとともに、異物の有無を確認する。

また、詳細確認のため、水中カメラを制御棒クラスタのスパイダ頭部に近づけて外観確認を実施し、損傷、変形の有無を確認する。

3. 調査結果

(1) 図面確認結果

制御棒クラスタのスパイダ頭部と制御棒クラスタ案内管（上部炉心構造物）との位置関係から、設計上、物理的に干渉する可能性がないことを確認した。

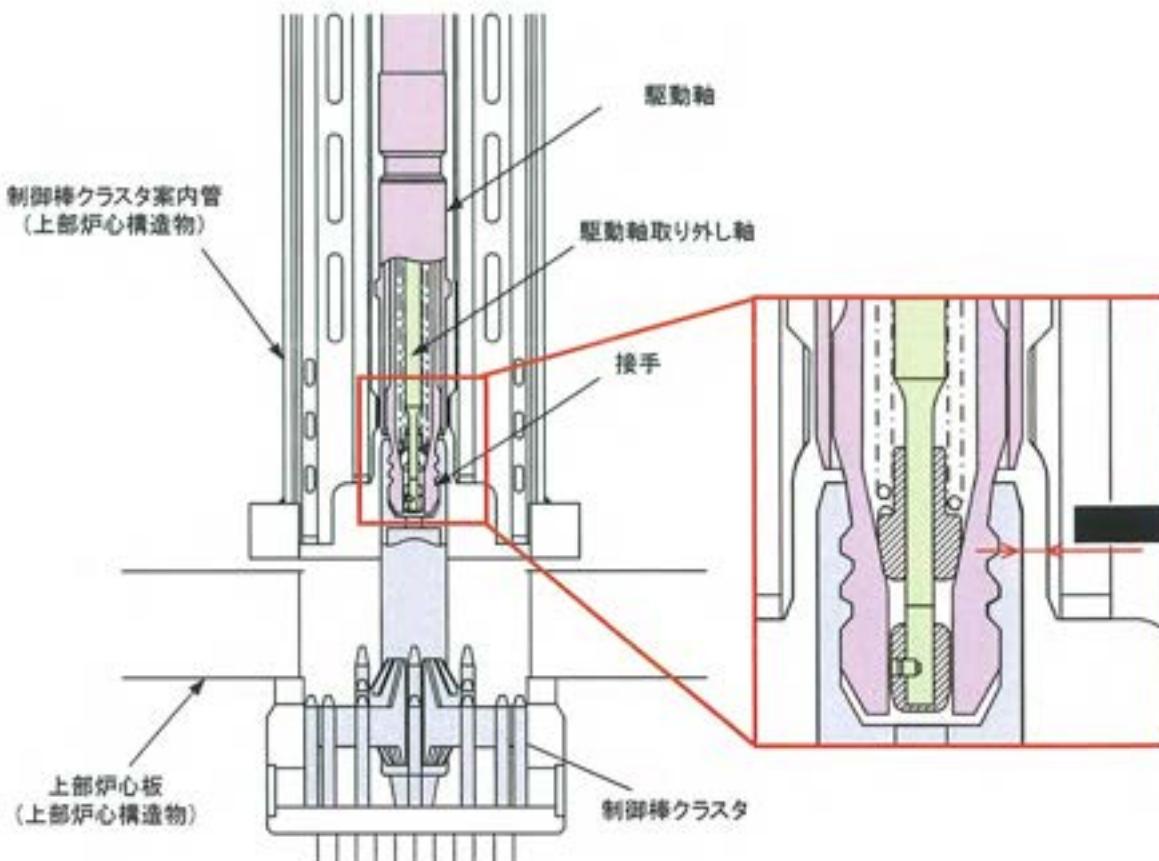


図-3 位置関係 概略図

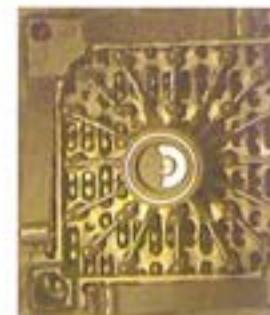
(2) 外観確認結果

調査項目	M-4 の調査結果	比較対象アドレスの調査結果
	【原子炉容器内点検】	【原子炉容器内点検】
	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 水中カメラ（白黒）により、スペイダ頭部を確認したところ外観形状に異常はないことを確認 ✓ スペイダ内部に堆積物あり 	<ul style="list-style-type: none"> ・スペイダ頭部内に堆積物が確認された ・制御棒クラスター内管（上部炉心構造物）との干涉の痕跡は認められない
	 	

スペイダ頭部

外観

制御棒クラスター

	M-4 の調査結果	比較対象アドレスの調査結果
	<p>【使用済燃料ビット内点検】</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 水中カメラ（カラー）による確認の結果、スパイダ内部に堆積物あり 	<p>【使用済燃料ビット内点検】</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 水中カメラ（カラー）による確認の結果、スパイダ内部に堆積物あり
	 	 
	スパイダ頭部 外観 制御棒クラスター	J-7

調査項目	M-4の調査結果		比較対象アドレスの調査結果
	【使用済燃料ピット内点検】	【使用済燃料ピット内点検】	
	<p>✓ 水中カメラ（カラー）による詳細確認の結果、スペイダ頭部の円環部上面に接触痕（色調の変化）（青枠）あり</p> <p>✓ スペイダ頭部の内部テープ面に接触痕（色調の変化）（緑枠）あり</p>	<p>✓ M-12はスペイダ頭部の円環部上面に接触痕（色調の変化）（青枠）あり、M-4に比べて軽微</p> <p>✓ M-12のスペイダ頭部の内部テープ面の接触痕（色調の変化）（緑枠）はM-4と同程度</p> <p>✓ 使用期間が短いJ-7は、スペイダ頭部の円環部上面の接触痕（色調の変化）なし</p>	<ul style="list-style-type: none"> M-4のスペイダ頭部の円環部上面に接触痕（色調の変化）（青枠）が確認された 比較対象（M-12）でも同様の箇所に接触痕（色調の変化）が確認された が、M-4の接触痕のほうが広範囲であった M-4のスペイダ頭部の内部テープ面に接触痕（色調の変化）が確認された 比較対象（M-12）でも同程度 ・使用期間が短いJ-7は、スペイダ頭部の円環部上面の接触痕（色調の変化）なし



スペイダ頭部

外観

制御棒クラスター

駆動軸の調査結果

1. 調査対象

アドレス	使用期間	選定理由	
M-4	15 Cy	当該駆動軸	
M-12	15 Cy	比較対象	制御棒クラスタの使用期間が同等
J-7	15 Cy	炉心中心近傍のアドレス	

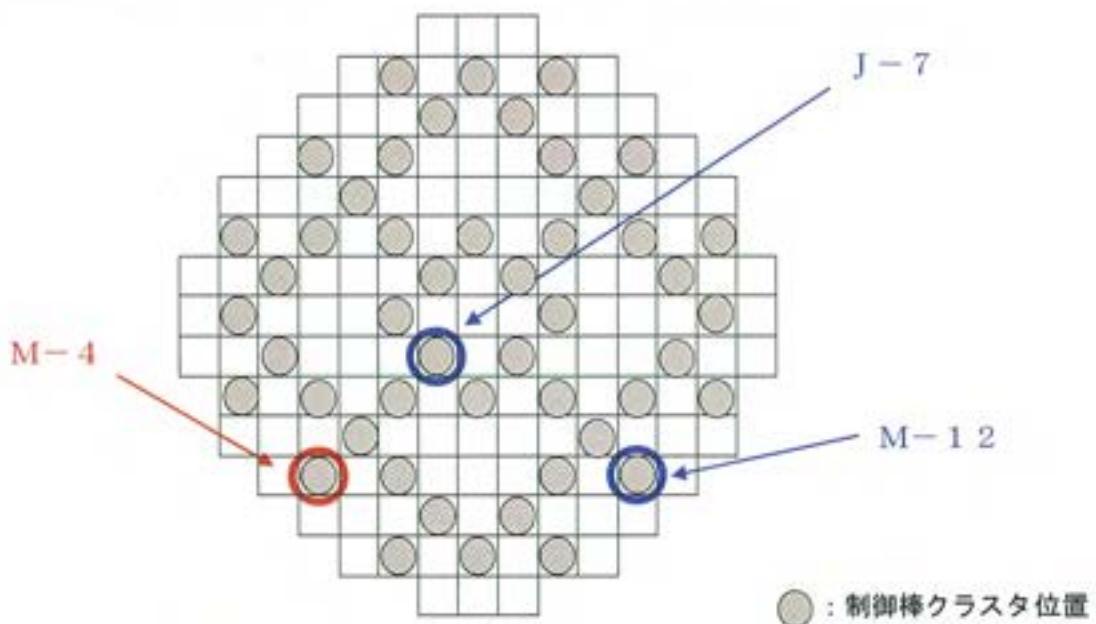
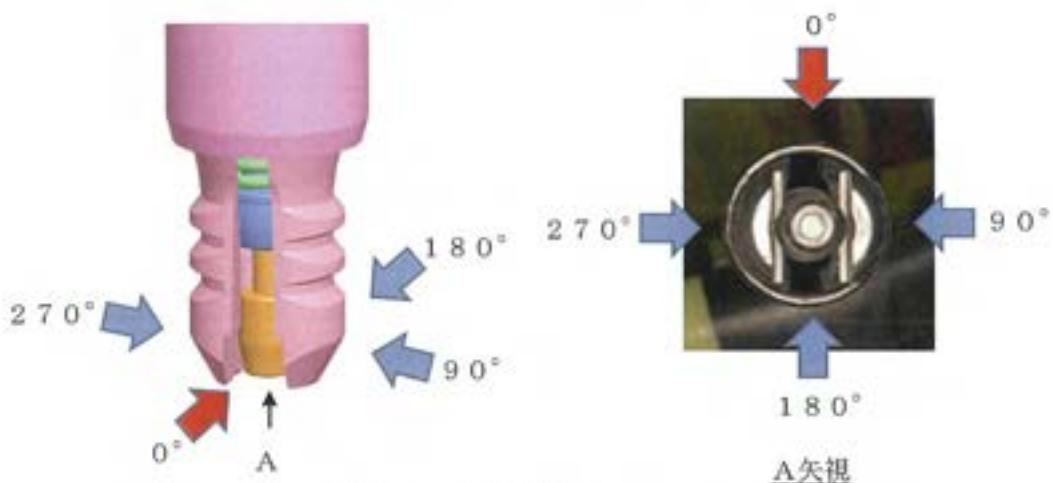


図-1 駆動軸に対応する制御棒クラスタのアドレス



2. 調査内容

(1) 外観確認・寸法計測

駆動軸（M-4、M-12、J-7）について、外観確認を実施する。また、それらの駆動軸について、駆動軸取り外し軸の押し下げ位置で、接手周りの寸法を計測する。

① 接手外面の外観確認

傷、変形、付着物の有無を確認する。

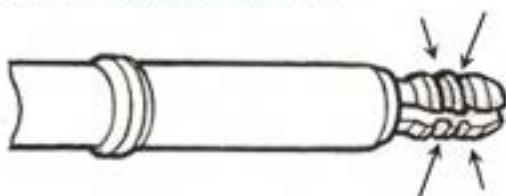


図-3 駆動軸の接手部

② 接手内面の外観確認

駆動軸取り外し軸の引き上げ位置／押し下げ位置のそれぞれの状態で、傷、変形、付着物の有無を確認する。

③ 駆動軸取り外し工具との取り合い部の外観確認

駆動軸取り外し工具との取り合い部である駆動軸頂部近傍に対して、傷、変形、付着物の有無を確認する。

④ 接手部の型取り

接手部の型取りを実施し、外面および内面の詳細性状を確認する。

⑤ 接手部の寸法計測

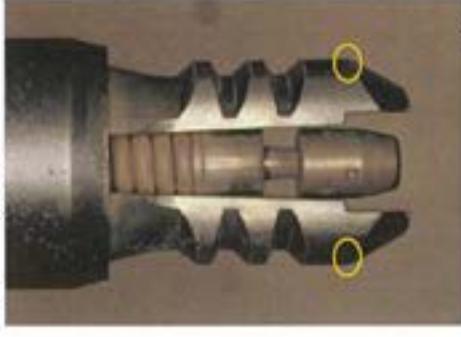
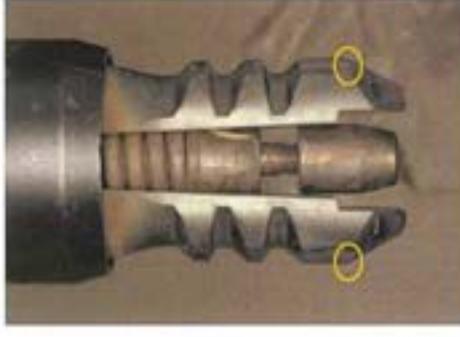
駆動軸取り外し軸の押し下げ位置で、以下の接手部周りの寸法を計測する。

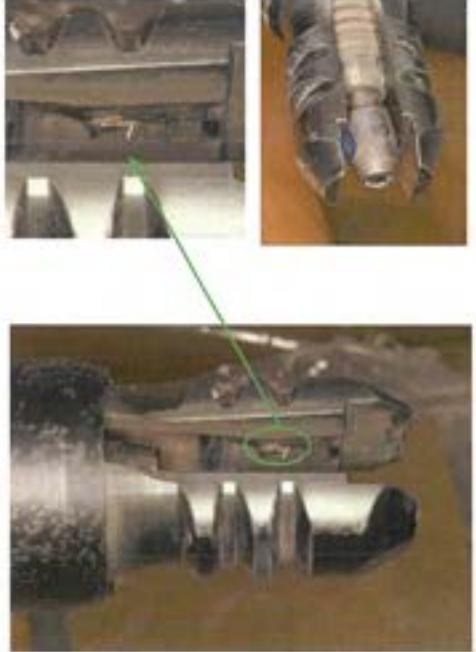
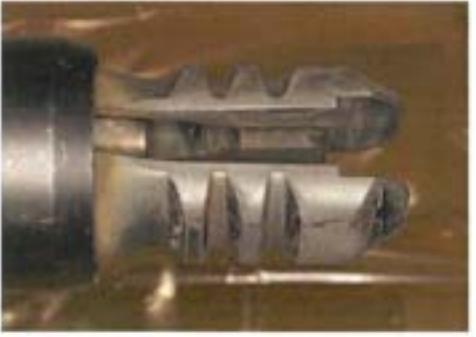
- ・接手の外径
- ・位置決めナットの位置（接手先端からの距離）

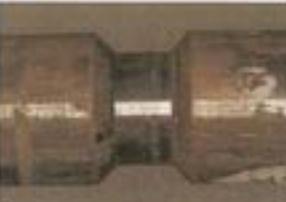
(2) 動作確認調査

実機駆動軸および駆動軸取り外し工具を組み合わせた際の動作を確認するため、駆動軸（M-4、M-12、J-7）および駆動軸取り外し工具を組み合わせたうえで、駆動軸取り外し工具にて駆動軸取り外し軸を操作し、動作状況の確認（ストローク量確認含む）を行う。

3. 調査結果

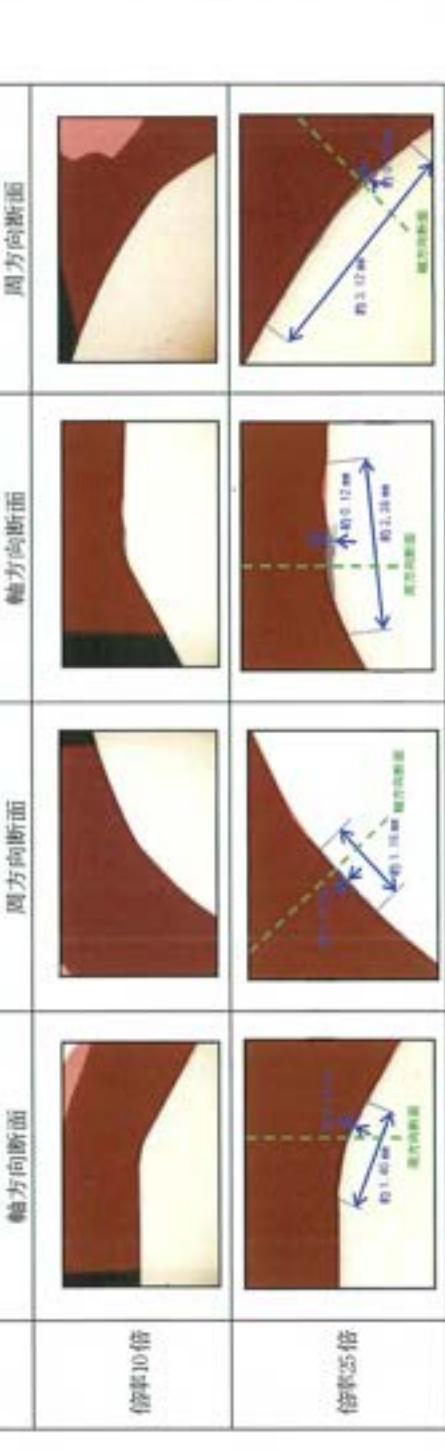
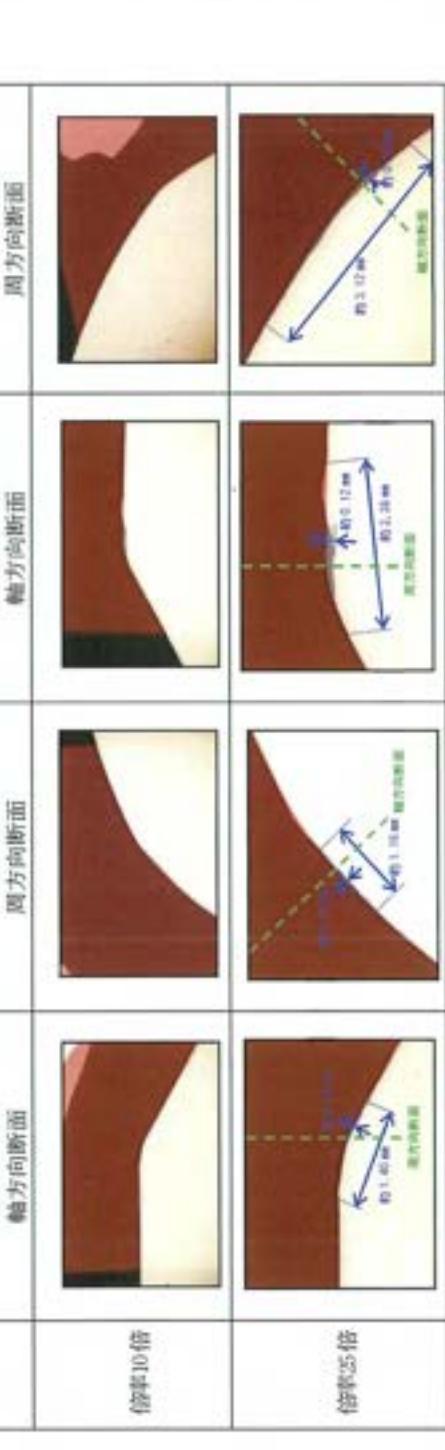
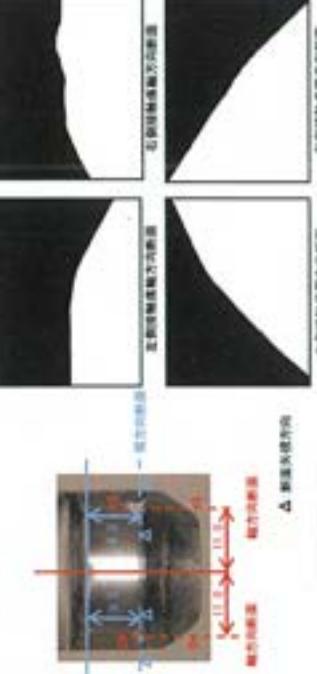
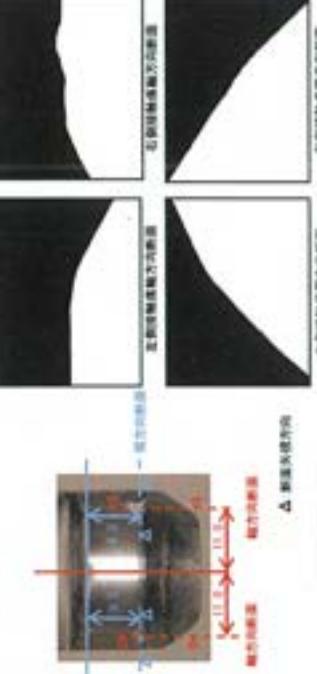
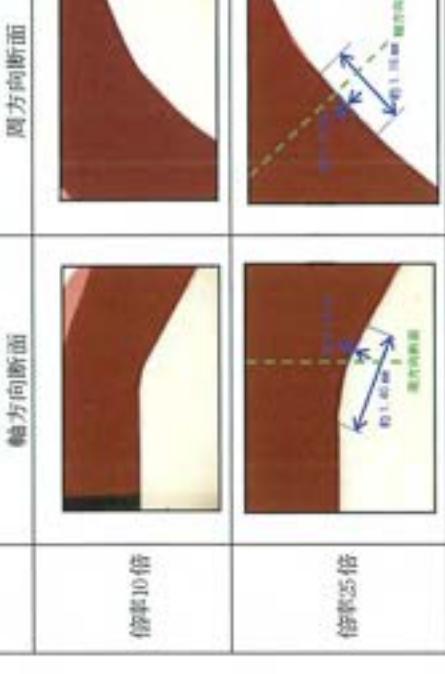
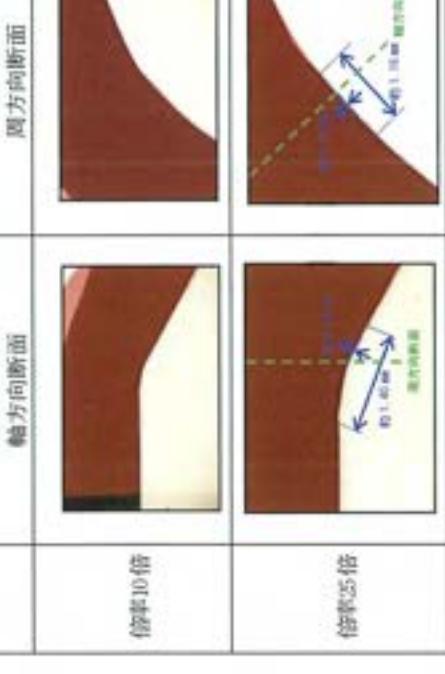
調査項目	M-4の調査結果	比較対象アドレスの調査結果
✓ 外面の直線部に局所的な接触痕あり（4か所、金属光沢の強い接触痕）…黄色枠 ✓ 接手先端テーパ部に周方向の接触痕あり（金属光沢なし）…灰色枠	✓ 外面の直線部に局所的な接触痕あり（金属光沢のない、軽微な接触痕）…橙色枠 ✓ 接手先端テーパ部に周方向の接触痕あり（金属光沢なし）…灰色枠	<ul style="list-style-type: none"> ・金属光沢を有するM-4接触痕（黄色枠）は今回生じた可能性がある ・比較対象でも同様の箇所に接觸痕（橙色枠）が確認されたが金属光沢はなかった ・テーパ部の周方向接觸痕（灰色枠）は切り離し操作後の駆動軸仮置きでスパイク頭部の内面テーパ部と取り合った箇所に相当し、金属光沢はなかった
	 	 

調査項目	M-4の調査結果		比較対象アドレスの調査結果
	✓ 極手内面直線部に接触痕あり(金属光沢、線状・緑枠)	✓ 極手内面直線部に金属光沢を有する接触痕なし	
			
			
			・ M-4位置決めナット直線部に線状の接触痕(青枠)が確認された
			・ M-4位置決めナット直線部は位置決めナット/ロックボタンがある部位であるが、比較対象には有意な接觸痕なし。したがって、M-4接觸痕は今回生じた可能性がある
			・ 金属光沢を有するM-4接觸痕(緑枠)は今回生じた可能性がある

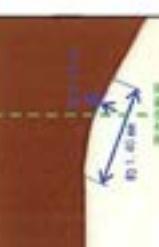
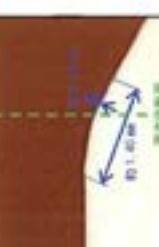
調査項目	M-4の調査結果		比較対象アドレスの調査結果	
	M-4と有意差なし	M-4と有意差なし	M-4と有意差なし	M-4と有意差なし
駆動軸 外観	✓ 特に異常なし (異常な噛み込み等の痕跡なし) ※取り外しボタン	✓ M-4と有意差なし		
駆動軸 外観	✓ 特に異常なし (異常な噛み込み等の痕跡なし) ※駆動軸つかみ部周辺	✓ M-4と有意差なし		

※ 駆動軸取り外し工具との取り合い部

調査項目	M-4の調査結果	比較対象アドレスの調査結果(M-12)																		
	<p>✓ 接手外面直線部(90°) 異なる接触痕(左側)</p> <p>✓ 接手外面直線部(90°) 異なる接触痕(右側)</p> <p>✓ M-4と比較対象アドレスの外表面の局所的接触痕深さの差は0.04~0.08mm程度</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>左側接触痕</th> <th>右側接触痕</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>輪方向断面</td> <td>輪方向断面</td> <td>輪方向断面</td> </tr> <tr> <td>倍率10倍</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>倍率25倍</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>接手部の型取り 駆動軸</p>		左側接触痕	右側接触痕	輪方向断面	輪方向断面	輪方向断面	倍率10倍			倍率25倍			<ul style="list-style-type: none"> M-4に見られた接手外表面の局部的な接触痕はM-12の当該接触痕に比べ有意に深かった。 当該接触痕は、今回生じた可能性がある <p>自機尾: M-4 参考機: 比較アドレス ピンク: 差 (M-4の方が浅) 灰色: 差 (M-4の方が深)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>部位</th> <th>計測値 (mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>外表面の局所的接触痕 (90° 左側)</td> <td>長さ: 約1.32 幅: 約3.20 深さ: 約0.04~0.08</td> </tr> <tr> <td>外表面の局所的接触痕 (90° 右側)</td> <td>長さ: 約2.50 幅: 約2.90 深さ: 約0.06~0.08</td> </tr> </tbody> </table>	部位	計測値 (mm)	外表面の局所的接触痕 (90° 左側)	長さ: 約1.32 幅: 約3.20 深さ: 約0.04~0.08	外表面の局所的接触痕 (90° 右側)	長さ: 約2.50 幅: 約2.90 深さ: 約0.06~0.08
	左側接触痕	右側接触痕																		
輪方向断面	輪方向断面	輪方向断面																		
倍率10倍																				
倍率25倍																				
部位	計測値 (mm)																			
外表面の局所的接触痕 (90° 左側)	長さ: 約1.32 幅: 約3.20 深さ: 約0.04~0.08																			
外表面の局所的接触痕 (90° 右側)	長さ: 約2.50 幅: 約2.90 深さ: 約0.06~0.08																			

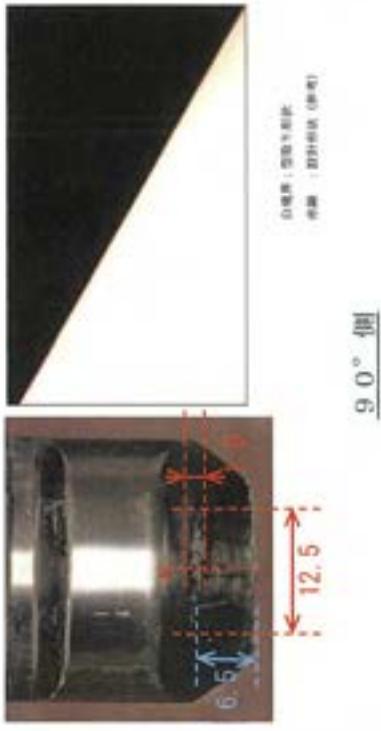
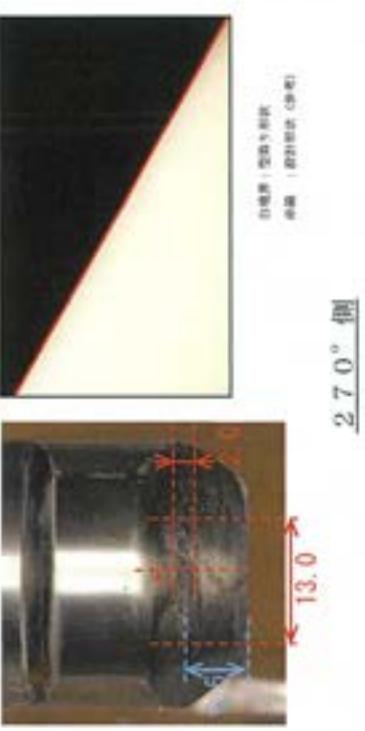
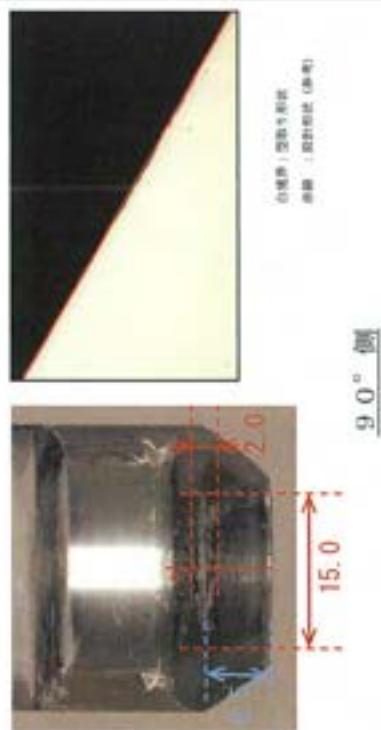
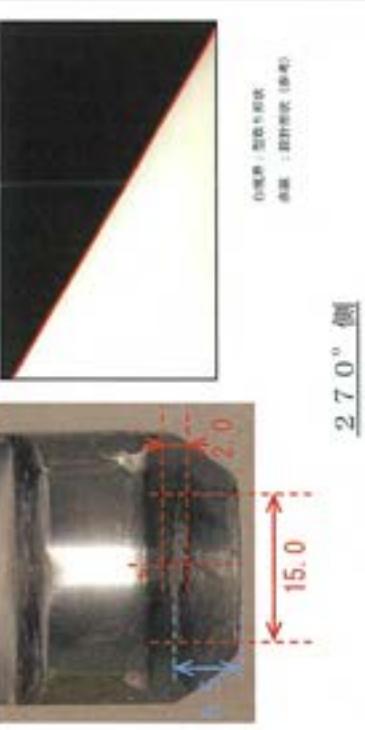
調査項目	M-4 の調査結果		比較対象アドレスの調査結果 (M-12)	
	✓ 接手外面直線部 (270°) 安全引張強度試験 (引張15倍)	✓ 接手外面直線部 (270°) 安全引張強度試験 (引張15倍)	✓ 接手外面直線部 (270°) 安全引張強度試験 (引張15倍)	✓ 接手外面直線部 (270°) 安全引張強度試験 (引張15倍)
接手部の型取り				
駆動軸				

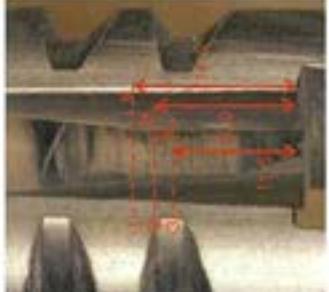
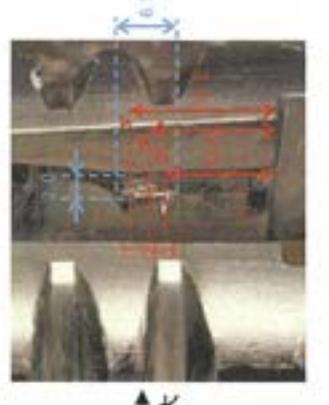
✓ M-4と比較対象アドレスの外面の局所的接触痕深さの差は0.04~0.12mm程度

部位	左側接触痕		右側接触痕	
	輪方向断面	周方向断面	輪方向断面	周方向断面
倍率10倍				
倍率25倍				

白地界：H-4
赤地界：比較アドレス
ピンク：差 (H-4の方が赤)
黒色：差 (H-4の方が黒)

部位	計測値 (mm)	計測値 (mm)
外面の局所的接触痕 (270° 左側)	長さ：約1.40 幅：約1.16 深さ：約0.04	長さ：約2.36 幅：約3.12 深さ：約0.08~0.12

調査項目	M-4の調査結果	比較対象アドレスの調査結果 (M-1 2)						
	<p>✓ M-4の外面テープ部接觸痕深さは測定下限値である 0.02 mm以下程度</p>   <p>接手部の型取り</p> <p>驅動軸</p>	<p>✓ 比較対象アドレスの外面テープ部接觸痕深さは測定下限値である 0.02 mm以下程度</p> <p>・外面テープ部周方向接觸痕はM-4接手外面の局所的な接觸痕に比べ軽微</p> <p>・M-4とM-1 2の接觸痕に有意な差なし</p>   <table border="1"> <thead> <tr> <th>部位</th><th>計測値 (mm)</th><th>計測値 (mm)</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>外面テープ部の周方向接觸痕</td><td>長さ：約2.0 幅：約15.0 深さ：測定下限値以下(0.02mm以下)</td><td>長さ：約1.5～約2.0 幅：約12.5～約13.0 深さ：測定下限値以下(0.02mm以下)</td></tr> </tbody> </table>	部位	計測値 (mm)	計測値 (mm)	外面テープ部の周方向接觸痕	長さ：約2.0 幅：約15.0 深さ：測定下限値以下(0.02mm以下)	長さ：約1.5～約2.0 幅：約12.5～約13.0 深さ：測定下限値以下(0.02mm以下)
部位	計測値 (mm)	計測値 (mm)						
外面テープ部の周方向接觸痕	長さ：約2.0 幅：約15.0 深さ：測定下限値以下(0.02mm以下)	長さ：約1.5～約2.0 幅：約12.5～約13.0 深さ：測定下限値以下(0.02mm以下)						

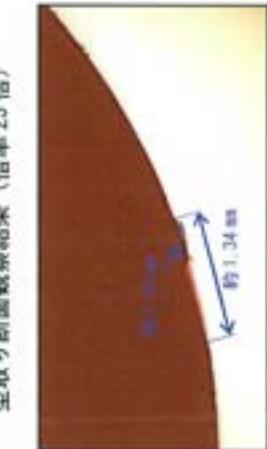
調査項目	M-4 の調査結果	比較対象アドレスの調査結果 (M-12)
✓ 接手内面直線部 (270° 周方向)	✓ 接手内面直線部 (270° 周方向)	✓ M-4 の接手内面直線部に線状の接触痕が確認された。M-12 では同様の接触痕は確認されなかった
		
✓ M-4 と M-12 のプロファイル比較 (周方向)		
接手部の型取り		
駆動軸		

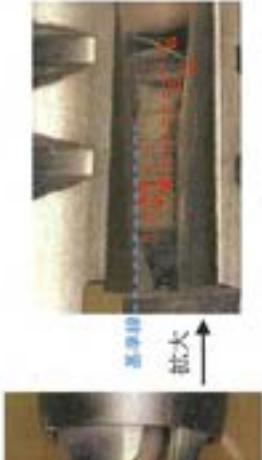
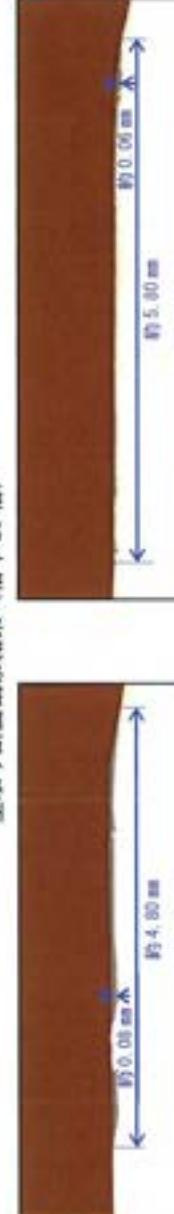
白塗界: M-4
赤塗界: 比較アドレス
ピンク: 突 (0-4 の方が凸)
灰色: 突 (0-4 の方が凹)

断面③

断面②

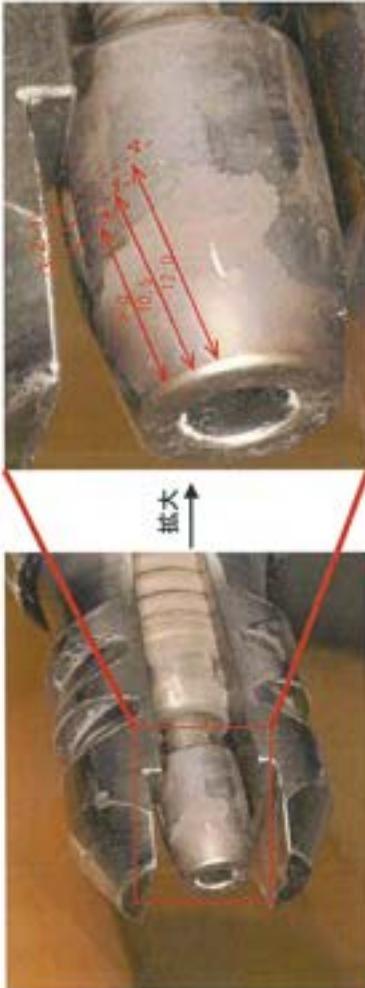
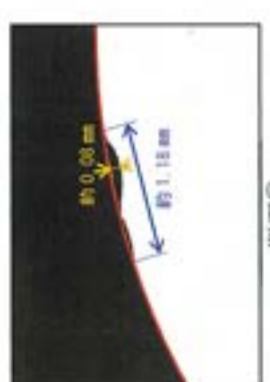
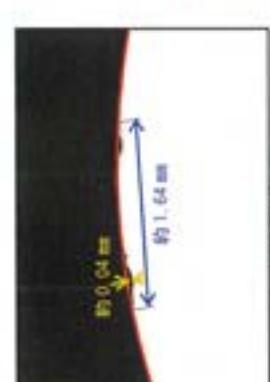
断面①

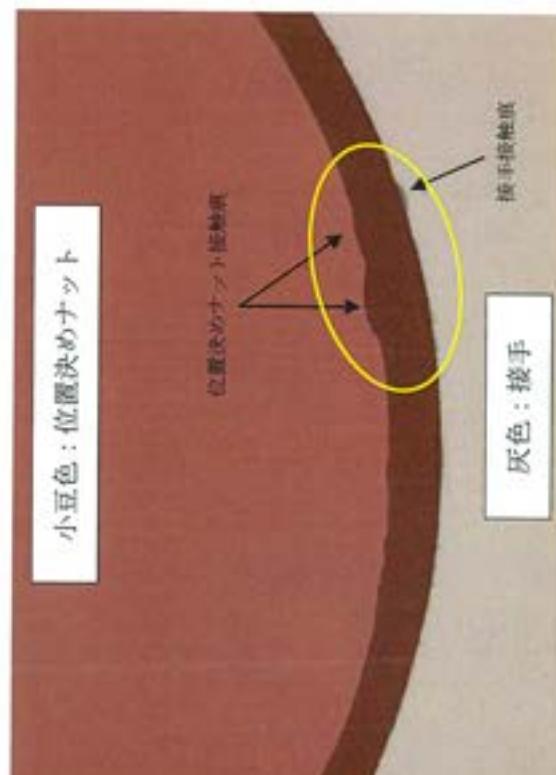


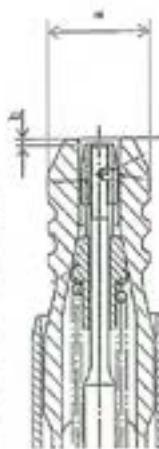
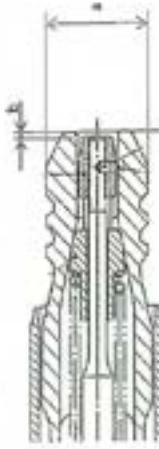
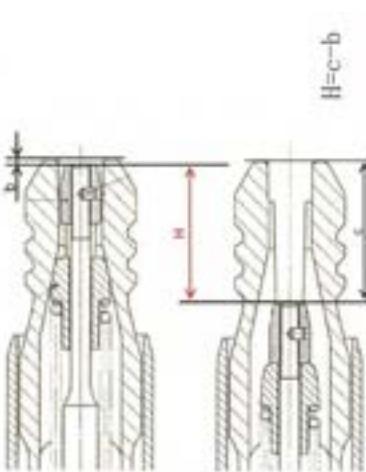
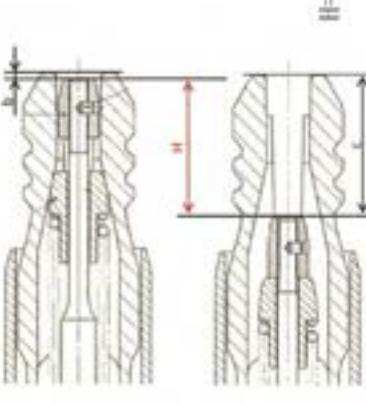
調査項目	M-4 の調査結果		比較対象アドレスの調査結果 (M-12)					
	✓ 接手内面直線部 (270° 軸方向)	✓ 接手内面直線部 (270° 軸方向)	✓ 接手内面直線部 (270° 軸方向)	✓ 接手内面直線部 (270° 軸方向)				
	 <p>①は基準線（内面エッジ）から3.0mm位置 ②は基準線（内面エッジ）から3.5mm位置</p>	 <p>①は基準線（内面エッジ）から3.0mm位置 ②は基準線（内面エッジ）から3.5mm位置</p>	 <p>①は基準線（内面エッジ）から3.0mm位置 ②は基準線（内面エッジ）から3.5mm位置</p>	 <p>①は基準線（内面エッジ）から3.0mm位置 ②は基準線（内面エッジ）から3.5mm位置</p>				
	<p>✓ M-4 と M-12 のプロファイル比較 (軸方向)</p> <p>型取り断面観察結果 (倍率25倍)</p>  <p>断面①</p> <p>断面②</p>		<p>自燃界：H-4 燃焼界：比較アドレス ピンク：差 (H-4の方が凸) 灰色：差 (H-4の方が凹)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>部位</th> <th>計測値 (mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>内面テーパ部近傍の接触痕</td> <td>長さ：約6.5 幅：約2.0 深さ：約0.08</td> </tr> </tbody> </table>		部位	計測値 (mm)	内面テーパ部近傍の接触痕	長さ：約6.5 幅：約2.0 深さ：約0.08
部位	計測値 (mm)							
内面テーパ部近傍の接触痕	長さ：約6.5 幅：約2.0 深さ：約0.08							

接手部の型取り

駆動軸

調査項目	M-4 の調査結果				
	<p>・位置決めナットの直線部に線状の接触痕が確認された</p>  <p>①はナット先端から 12.0 mm 位置 ②はナット先端から 10.5 mm 位置 ③はナット先端から 9.0 mm 位置</p> <p>④は 270° を上側にした中央線上から時計回りに 1.5 mm 位置の一番深いキズを円中心に向かって切断した断面図</p> <p>✓ M-4 のプロファイル</p>  <p>位置決めナットの型取り</p> <p>駆動軸</p>  <p>断面③</p>  <p>断面②</p>  <p>断面①</p>  <p>断面④</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>部位</th> <th>計測値 (mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>位置決めナットの接触痕</td> <td>長さ：約 4.5 幅：約 1.5 深さ：約 0.08</td> </tr> </tbody> </table>	部位	計測値 (mm)	位置決めナットの接触痕	長さ：約 4.5 幅：約 1.5 深さ：約 0.08
部位	計測値 (mm)				
位置決めナットの接触痕	長さ：約 4.5 幅：約 1.5 深さ：約 0.08				

調査項目	M-4の調査結果
✓ 接手内面と位置決めナットの接触痕は、共に線状であり、方向も一致している。	<p>・位置決めナットの直線部と接手内面の直線部が接觸する取り合いであり、位置決めナットの上下降時に生じた可能性がある</p> <p>・幾何学的に接触痕発生には介在物が関与した可能性が高く、接觸痕の大きさから、介在物は約1mm程度の大きさのものが存在していた可能性がある</p>  <p>接手内面および位置決めナットの接触痕位置</p>  <p>赤茶色、濃灰色；隙間</p> <p>位置決めナット接触痕</p> <p>接手内面</p> <p>小豆色：位置決めナット</p> <p>接手内面および位置決めナットの型取り</p> <p>駆動輪</p> <p>灰色：接手</p> <p>接手内面</p>

調査項目	M-4 の調査結果		比較対象アドレスの調査結果																								
	✓ 設計上想定される寸法を満足	✓ M-4 と有意差なし、設計上想定される寸法を満足																									
接手部の寸法計測	 <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>計測値 (mm)</th> <th>参考値 (mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>a</td> <td>39.6</td> <td>[REDACTED]</td> </tr> <tr> <td>b</td> <td>1.3</td> <td>[REDACTED]</td> </tr> </tbody> </table>		計測値 (mm)	参考値 (mm)	a	39.6	[REDACTED]	b	1.3	[REDACTED]	 <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>計測値 (mm)</th> <th>参考値 (mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>a</td> <td>38.9 (M-12)</td> <td>[REDACTED]</td> </tr> <tr> <td></td> <td>39.0 (J-7)</td> <td>[REDACTED]</td> </tr> <tr> <td>b</td> <td>1.3 (M-12)</td> <td>[REDACTED]</td> </tr> <tr> <td></td> <td>1.2 (J-7)</td> <td>[REDACTED]</td> </tr> </tbody> </table>		計測値 (mm)	参考値 (mm)	a	38.9 (M-12)	[REDACTED]		39.0 (J-7)	[REDACTED]	b	1.3 (M-12)	[REDACTED]		1.2 (J-7)	[REDACTED]	<ul style="list-style-type: none"> ・駆動軸取り外し軸の押し下げる位置でのM-4 接手寸法に問題なし
	計測値 (mm)	参考値 (mm)																									
a	39.6	[REDACTED]																									
b	1.3	[REDACTED]																									
	計測値 (mm)	参考値 (mm)																									
a	38.9 (M-12)	[REDACTED]																									
	39.0 (J-7)	[REDACTED]																									
b	1.3 (M-12)	[REDACTED]																									
	1.2 (J-7)	[REDACTED]																									
<p>✓ 位置決めナットのストロークは設計寸法を満足</p>  <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>計測値 (mm)</th> <th>設計値 (mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>H</td> <td>45.8</td> <td>[REDACTED]</td> </tr> </tbody> </table>		計測値 (mm)	設計値 (mm)	H	45.8	[REDACTED]	 <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>計測値 (mm)</th> <th>設計値 (mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>H</td> <td>45.4 (M-12)</td> <td>[REDACTED]</td> </tr> <tr> <td></td> <td>45.7 (J-7)</td> <td>[REDACTED]</td> </tr> </tbody> </table>		計測値 (mm)	設計値 (mm)	H	45.4 (M-12)	[REDACTED]		45.7 (J-7)	[REDACTED]	<ul style="list-style-type: none"> ・M-4 位置決めナットのストロークに問題なし ・比較対象軸との有意な差なし 										
	計測値 (mm)	設計値 (mm)																									
H	45.8	[REDACTED]																									
	計測値 (mm)	設計値 (mm)																									
H	45.4 (M-12)	[REDACTED]																									
	45.7 (J-7)	[REDACTED]																									
駆動軸		駆動軸取り外し軸動作点検																									

検出みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

調査項目	M-4の調査結果		比較対象アドレスの調査結果 (M-12)	
	✓ 車輪取り外し軸の押し下げる動作に異常なし ✓ 押し下げる動作方向に空気加圧しなくても取り外し車輪取りのばね力のみで押し下げる動作完結	✓ 同左、M-4と有意差なし (M-12動作結果)	✓ M-4ストローク量、追従性に問題なし ・なお、空気圧が低い状態(約0.2MPa)では駆動輪取り外し車輪の引き上げが不十分となるが、他の駆動輪と同様であり、特異なものではないことを確認した	
【設計値】	位置決めナット； 位置決めナット下端のストローク量(設計値: [REDACTED])			
工具(操作軸)； 操作軸(ケガキ線位置)のストローク量(設計値: [REDACTED])				
所内用空気供給圧力(MPa)	引き上げ動作時間(秒)	押し下げ動作時間(秒)	ストローク量(mm)	フルストローク動作
0.7(定格)	1	1	45.4	77.0 ○
0.6	1	1	45.1	77.0 ○
0.5	1	1	45.1	77.0 ○
0.4	1	1	45.2	77.0 ○
0.3	2	1	45.1	77.0 ○
0.2	—	—	22.4	54.0 ×
排氣操作のみ				○
			(J-7動作結果)	
所内用空気供給圧力(MPa)	引き上げ動作時間(秒)	押し下げ動作時間(秒)	ストローク量(mm)	フルストローク動作
0.7(定格)	1	1	45.7	77.0 ○
0.6	1	1	45.6	77.0 ○
0.5	1	1	45.6	77.0 ○
0.4	1	1	45.6	77.0 ○
0.3	2	1	45.6	77.0 ○
0.2	—	—	45.5	77.0 ○
排氣操作のみ				○
			A: 位置決めナット下端のストローク量 B: 操作軸(ケガキ線位置)のストローク量	
詳細(工具側含む)				
駆動軸取り外し軸動作点検				
駆動軸				

堆積物の調査結果

1. 調査対象

番号	アドレス	使用期間	選定理由	
R 4 5	M- 4	1 5 Cy	当該制御棒クラスタ	
R 4 7	M- 1 2	1 5 Cy	比較対象	制御棒クラスタの使用期間が同等
R 6 6	J- 7	1 Cy		炉心中心近傍のアドレス

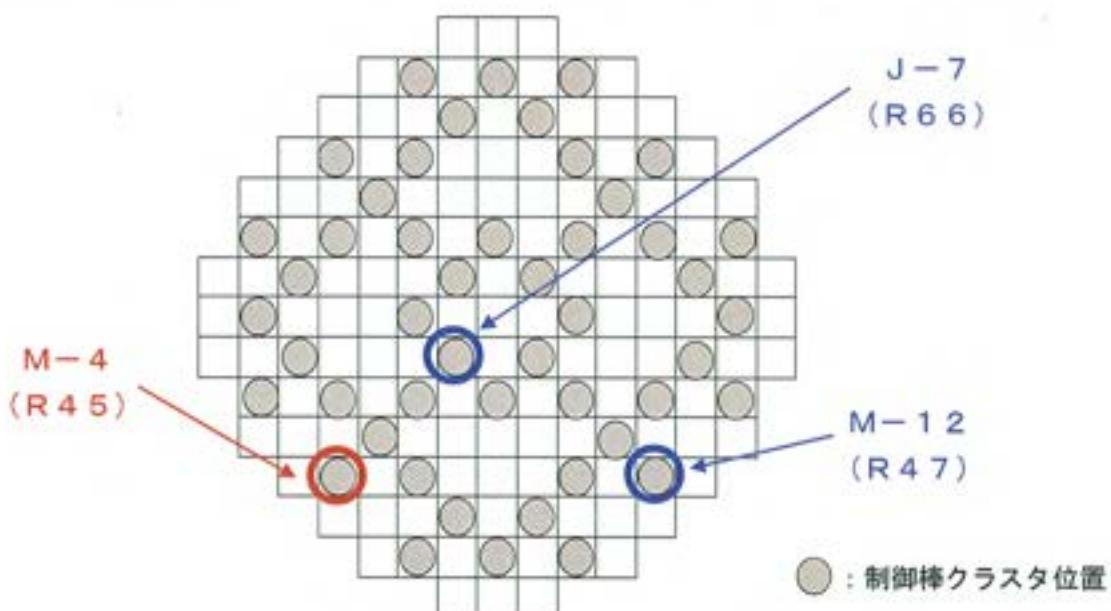


図-1 制御棒クラスタのアドレス

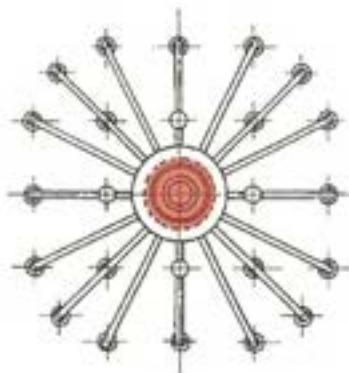
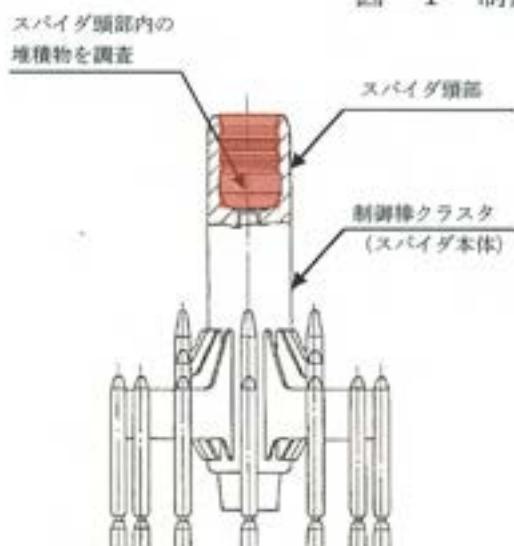


図-2 制御棒クラスタ・スパイダ頭部詳細図

2. 調査内容

(1) 堆積物の確認

- 原子炉格納容器内にて制御棒クラスタのスパイダ頭部全体の外観確認をした水中カメラ（白黒）映像について、堆積物の観点で再確認する。
 - 使用済燃料ピット内において、水中カメラにて制御棒クラスタのスパイダ頭部内の堆積物を確認するとともに、堆積物を回収する。
- 図-3に堆積物回収の状況概要図を示す。

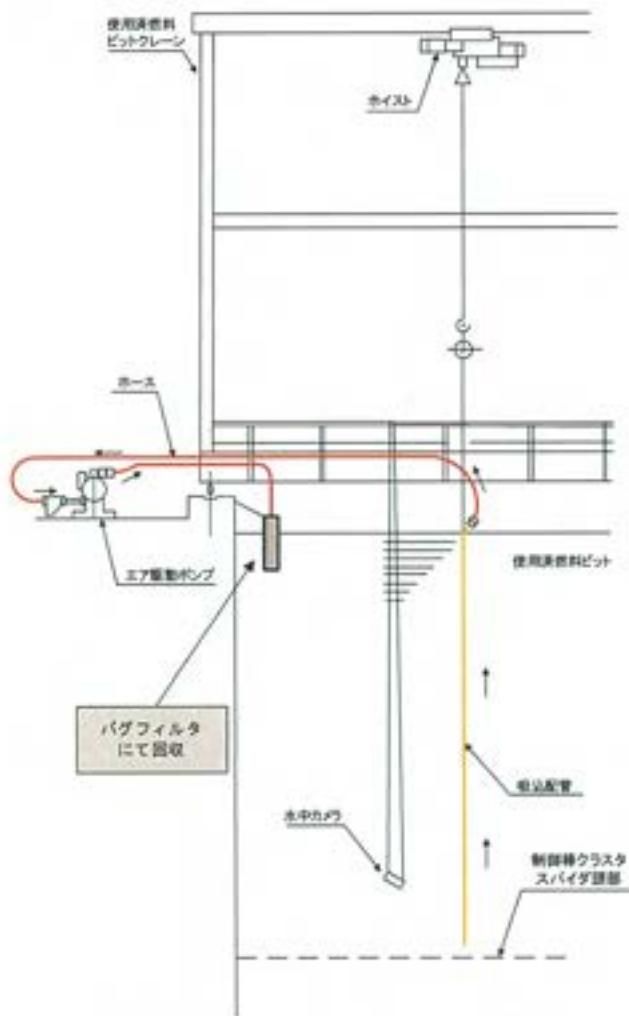


図-3 堆積物回収の状況概要図

(2) 堆積物のサイズ、形状の確認

(1) で回収した堆積物について、サイズおよび形状等を確認する。

(3) 堆積物の分析

(1) で回収した堆積物について、走査電子顕微鏡 (SEM) 観察するとともに、電子線プローブマイクロアナライザ (EPMA) による組成分析およびX線回折による形態分析を行う。

(1) 堆積物の確認結果

調査項目	M-4 の調査結果	比較対象アドレスの調査結果
	<p>【原子炉容器内点検】</p> <p>✓ 水中カメラ（白黒）により、スペイダ頭部を確認した ところスペイダ内部に堆積物あり</p>   	<p>【原子炉容器内点検】</p> <p>✓ 同左</p>    <ul style="list-style-type: none"> ・スペイダ頭部内に堆積物が確認された ・M-4、M-12、J-7 の堆積物量はスペイダ頭部内底部の円形の機械加工様が見えない程度 ・M-4 の堆積物はスペイダ頭部内の上から三山目よりも下の領域に堆積

調査項目	M-4の調査結果		比較対象アドレスの調査結果	
	【使用済燃料ビット内点検】 ✓ 水中カメラ（カラー）による詳細確認の結果、スパイダ内部に堆積物あり	【堆積物回収前】	【堆積物回収後】	【堆積物回収後】
				
	スパイダ頭部 堆積物 制御棒クラスター	M-12	J-7	M-12

○堆積物量の推定

原子炉格納容器内で撮影された写真より、M-4 の堆積物は制御棒クラスタのスパイダ頭部の上から三山目より下の領域に堆積しており、スパイダ頭部の三山目より下の容積である約 20 c.c 相当の堆積物があったと推定される。(図-4)

なお、スパイダ頭部内に堆積物があったとしても、駆動軸接手周りには隙間があるため、駆動軸がスパイダ頭部内の堆積物を押しのけてスパイダ頭部に挿入される。また、駆動軸と制御棒クラスタの結合作業にあたっては、駆動軸取り外し工具の指示管(インジケータロッド)が完全に下降していることを確認したうえで、重量確認と位置確認により確実に結合していることを確認している。(図-5)

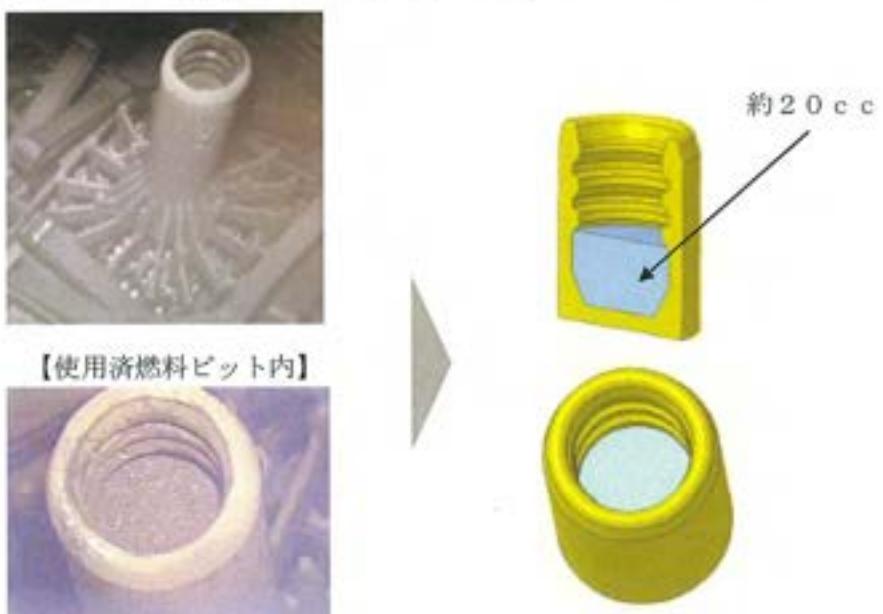


図-4 スパイダ頭部内の堆積物の状況

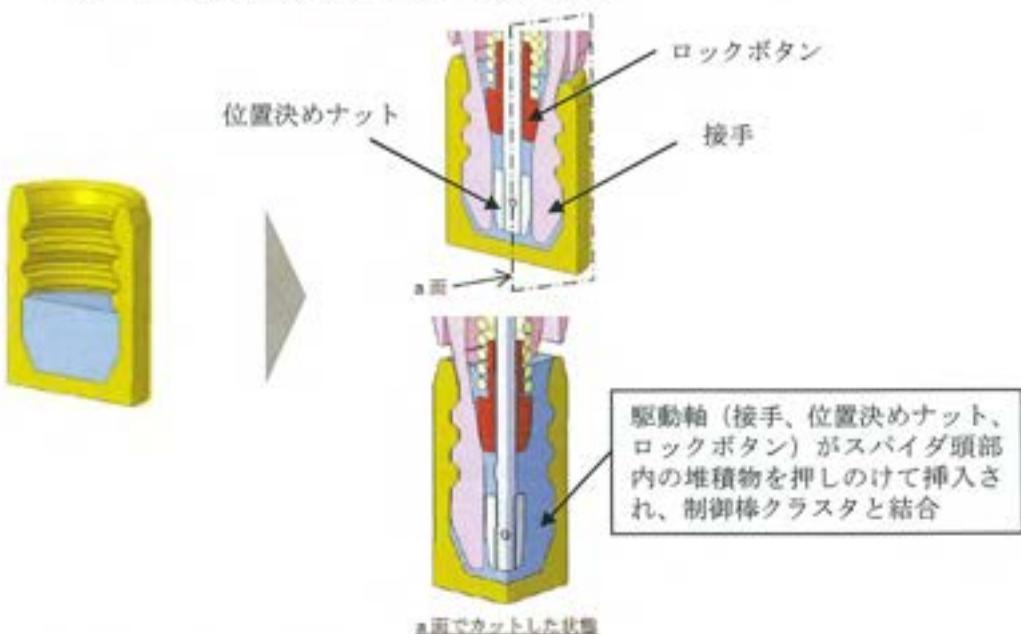
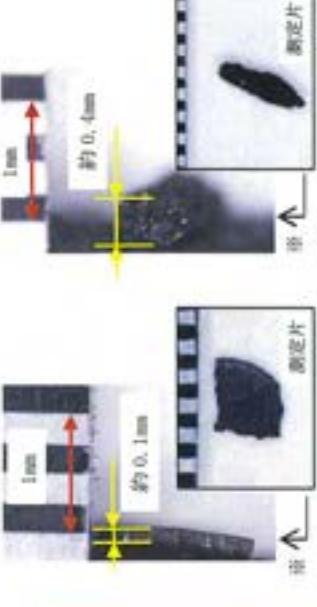
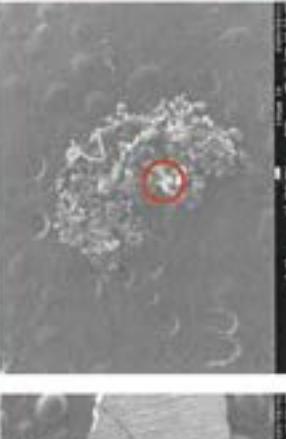


図-5 駆動軸と制御棒クラスタの結合状況

(2) 堆積物のサイズ、形状の確認結果

調査項目	M-4 の調査結果	比較対象アドレスの調査結果
	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 粒子状：黒色 ✓ 薄膜状：黒色、数 mm 程度の大きさ <p>【回収した堆積物（一部）】</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 粒子状：黒色 ✓ 薄膜状：黒色、数 nm 程度の大きさ (M-12のみ) <p>【回収した堆積物（一部）】</p> 
	<p>【実体顕微鏡写真（一部）】</p> 	<p>【実体顕微鏡写真（一部）】</p> 
サイズ・形状 堆積物	M-4 薄膜状	M-12 薄膜状
	<p>M-4 粒子状</p> 	<p>J-7 粒子状</p> 
	<p>M-4 薄膜状</p> 	<p>J-7 薄膜状 (厚さ)</p> 
	<p>M-4 粒子状 (厚さ)</p> 	<p>M-12 粒子状 (厚さ)</p> 
	<p>M-4 薄膜状 (厚さ)</p> 	<p>J-7 薄膜状 (厚さ)</p> 
		<p>※ 検定片を立てて 厚さ方向を計測</p> 

(3) 堆積物の分析結果

調査項目	M-4 の調査結果	比較対象アドレスの調査結果
S E M 画像	  	  
堆積物	<p>M-4 薄膜状</p> <p>M-4 粒子状</p> <p>M-4 薄膜状</p> <p>J-7 粒子状</p> <p>J-7 薄膜状</p> <p>J-7 粒子状</p>	<p>M-4 薄膜状</p> <p>M-4 粒子状</p> <p>M-4 薄膜状</p> <p>M-12 粒子状</p> <p>M-12 薄膜状</p> <p>M-12 粒子状</p>

○：測定点

堆積物

81

試料名	組成分析 (単位: atcom%)							X線回折						
	元素名	B	C [※]	O	Al	Si	P	Cl	Ca	Cr	Fe	Ni	Zn	主成分
M-4 薄膜状	6.1	2.7	55.1	-	<1	<1	-	-	-	-	31.0	1.8	<1	Fe ₃ O ₄
M-4 粒子状	-	14.5	52.2	<1	<1	-	<1	<1	<1	<1	30.7	<1	-	Fe ₃ O ₄
M-12 薄膜状	6.2	4.2	53.8	-	<1	<1	-	-	-	-	33.1	1.1	-	Fe ₃ O ₄
M-12 粒子状	3.1	5.8	60.6	-	<1	-	-	-	-	<1	29.2	<1	-	Fe ₃ O ₄
J-7 粒子状	6.7	5.1	53.0	-	<1	-	-	-	-	<1	33.5	<1	-	Fe ₃ O ₄

※、測定バックグラウンドの影響によるCも検出されていると考えられる。

・薄膜状の堆積物には、ひび割れが認められることから脆いと推定される。なお、ひび割れは回収および分析の過程で付いた可能性もある。

・粒子状の堆積物は数十～数百 μ mの粒子が集まって形成されている。

・主成分は Fe > 0 であった。

・堆積物は Fe₃O₄(マグネタイト) であった。

4. 調査結果まとめ

(1) 堆積物の確認

制御棒クラスタのスパイダ頭部内で確認された堆積物量に関し、原子炉容器内の水中カメラ（白黒）確認では、M-4、M-12、J-7共にスパイダ底部の機械加工模様が堆積物で覆わっていた。その後の使用済燃料ピット内の水中カメラ（カラー）確認では、堆積物の偏り傾向を確認した。堆積物の偏りは燃料移送中の制御棒クラスタの横倒しが影響したと考えられる。原子炉容器内で撮影された写真より、M-4の堆積物は制御棒クラスタのスパイダ頭部の上から三山目より下の領域に堆積しており、スパイダ頭部の三山目より下の容積である約20cc相当の堆積物があったと推定される。

(2) 堆積物のサイズ・形状

堆積物のサイズ、形状については、黒色の粒子状および薄膜状の形状であり、M-4で回収された薄膜状の堆積物は数mm程度の大きさであり厚さは0.1mm程度であった。また、M-4とM-12で堆積物のサイズ、形状に差はなく、J-7では粒子状の堆積物のみ回収された。

(3) 堆積物の分析

堆積物のSEM画像を確認した結果、M-4とM-12で回収された薄膜状の堆積物は一体構造であるがひび割れが認められることから脆い物質と推定される。一方、M-4、M-12、J-7で回収された粒子状の堆積物は数十～数百 μm の粒子が集まって形成されていることが確認された。また、EPMAによる組成分析およびX線回折による形態分析を実施した結果、薄膜状の堆積物はマグнетイト(Fe_3O_4)であった。粒子状の堆積物も同様にマグネットイト(Fe_3O_4)であった。

(4) まとめ

以上から、制御棒クラスタ(M-4、M-12、J-7)のスパイダ頭部内で確認された堆積物は硬くて脆い性質であるマグネットイトであり、1次冷却材中に一般的に存在する鉄の酸化物の一種である。

堆積物の生成過程については次項で考察するが、プラント起動初期段階の高溶存酸素環境において駆動軸内表面で生成した鉄酸化物が、運転時間の経過に伴いマグネットイトに変態したもの、または1次冷却系統内の機器から1次冷却材中に溶出した鉄イオンが、機器・部品表面に付着してマグネットイトとなり、それが剥離し堆積したもの(スラッジ)と推定される。

また、制御棒クラスタ48体のうち、上記3体以外の制御棒クラスタ45体についても使用済燃料ピット内で外観確認を実施したところ、上記の3体と同様に堆積物があり、過去の定検でも確認されている。

5. スパイダ頭部の堆積物（スラッジ）生成過程について

スパイダ頭部にスラッジが堆積する現象には次の2つのケースが考えられる。

- ① 駆動軸内表面で生成したマグнетタイトが剥離、落下、堆積
- ② 1次冷却系統内で生成したマグネットタイトが当該部に侵入、堆積

(1) 駆動軸内表面で生成

a. プラント起動初期段階

ケース①のマグネットタイト生成には2つの可能性が考えられる。1つは「プラント起動初期段階の高溶存酸素環境における生成」である。原子炉容器上蓋上の制御棒クラスタ駆動装置（CRDM）圧力ハウジングは、その構造上、1次冷却系統水張時に空気が残留する。そのため、プラント起動初期段階のCRDM圧力ハウジング内には加圧された空気が残留し、CRDM圧力ハウジング内部は溶存酸素が有意に高くなる期間が存在する（図-6参照）。

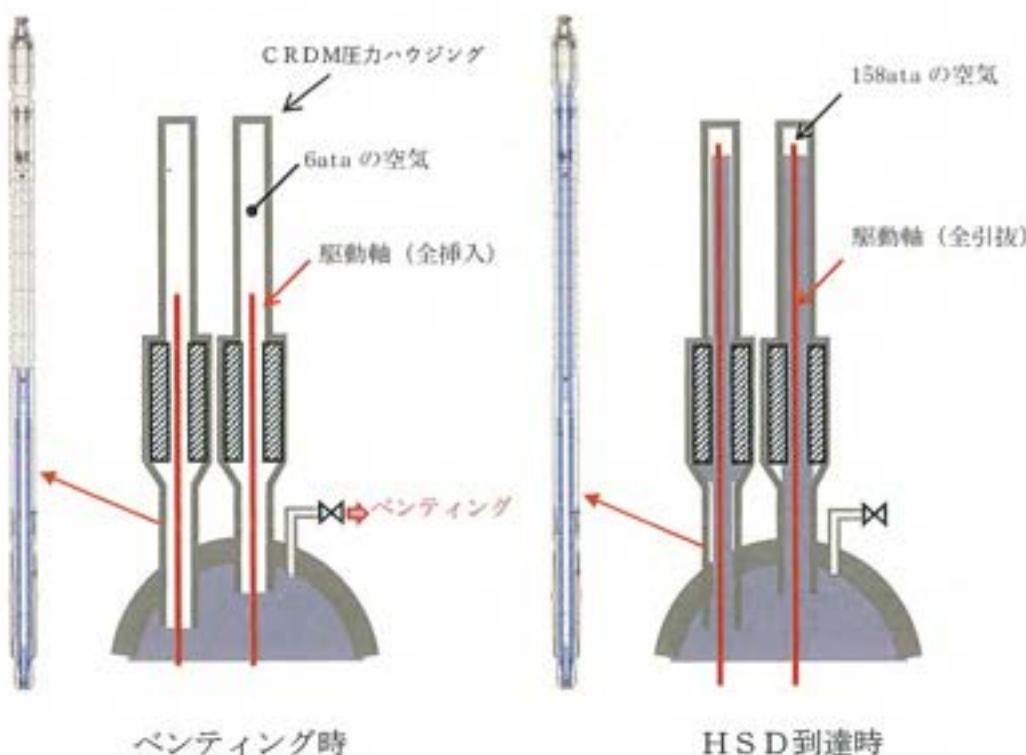


図-6 プラント起動初期のCRDM圧力ハウジング内部の環境

プラント起動初期の駆動軸は全引抜状態にあり（制御バンクDは除く）、この際、駆動軸内側は全長にわたり高溶存酸素・高温環境に置かれ、SUS410製駆動軸内表面では鉄酸化物が生成する。運転時間の経過に伴って、生成した鉄酸化物はマグネットタイトに変態するため、駆動軸内面のマグネットタイト生成量にはプラント起動段階の高溶存酸素環境における鉄酸化物量が関与する。

b. プラント運転中

もう1つは「プラント運転中の1次冷却材環境における生成」である。プラント運転中の駆動軸接手と制御棒クラスタのスパイダ頭部は図-7に示す結合状態にあり、図-7の緑色の経路（駆動軸の保護筒下端と制御棒クラスタのスパイダ頭部の隙間）を経て鉄イオンを含む1次冷却材が駆動軸内部に浸入する。

運転中の駆動軸近傍は下端が300°C前後、上端が[REDACTED]°C前後の条件にあると推定され、駆動軸内部では温度差（密度差）を駆動源とする1次冷却材の自然循環流が生じている可能性が考えられる。（図-8参照）

一般的に、1次冷却材中の鉄イオン溶解度は温度の関数であることから、駆動軸内部を循環する過程の温度変化に伴って溶解度が変化し、析出した鉄イオンが駆動軸内表面でマグネタイトを形成する可能性が考えられる。

上記のa. 項、b. 項を考え合わせると、駆動軸内面では高溶存酸素環境で生成した初期マグネタイトと1次冷却材環境で生成したマグネタイトが重複し、時間の経過とともに成長する。そして、ある時期に剥離、脱落して制御棒クラスタのスパイダ頭部内に堆積する可能性が考えられる。堆積物調査で確認された数mmの大きさの薄膜状の堆積物がこれに該当している可能性が高く、また、脱落の過程で粒子状に変化することもあると考えられる。

（2）1次冷却系統内で生成

ケース②は駆動軸外部で生成したマグネタイトが図-7の黄色の経路（駆動軸の保護筒下端と制御棒クラスタのスパイダ頭部の隙間）を経てスパイダ頭部と駆動軸接手の隙間部に侵入し堆積することになる。粒子状のスラッジの一部がこれに該当すると考えられる。

駆動軸の保護筒下端と制御棒クラスタのスパイダ頭部の隙間は数mm程度と狭いことから、今回、スパイダ頭部内で確認された堆積物は、ケース①の駆動軸内表面で生成したマグネタイトが剥離、落下、堆積したもののはうが比較的多いと推定される。

[REDACTED]枠内の範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

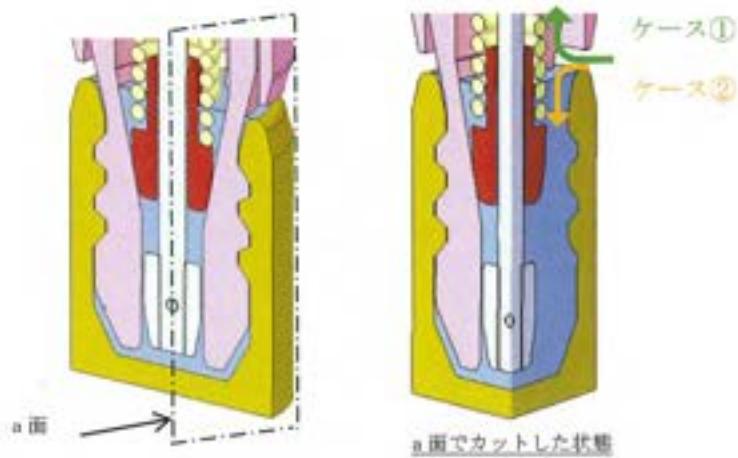


図-7 スパイダ頭部内への侵入経路

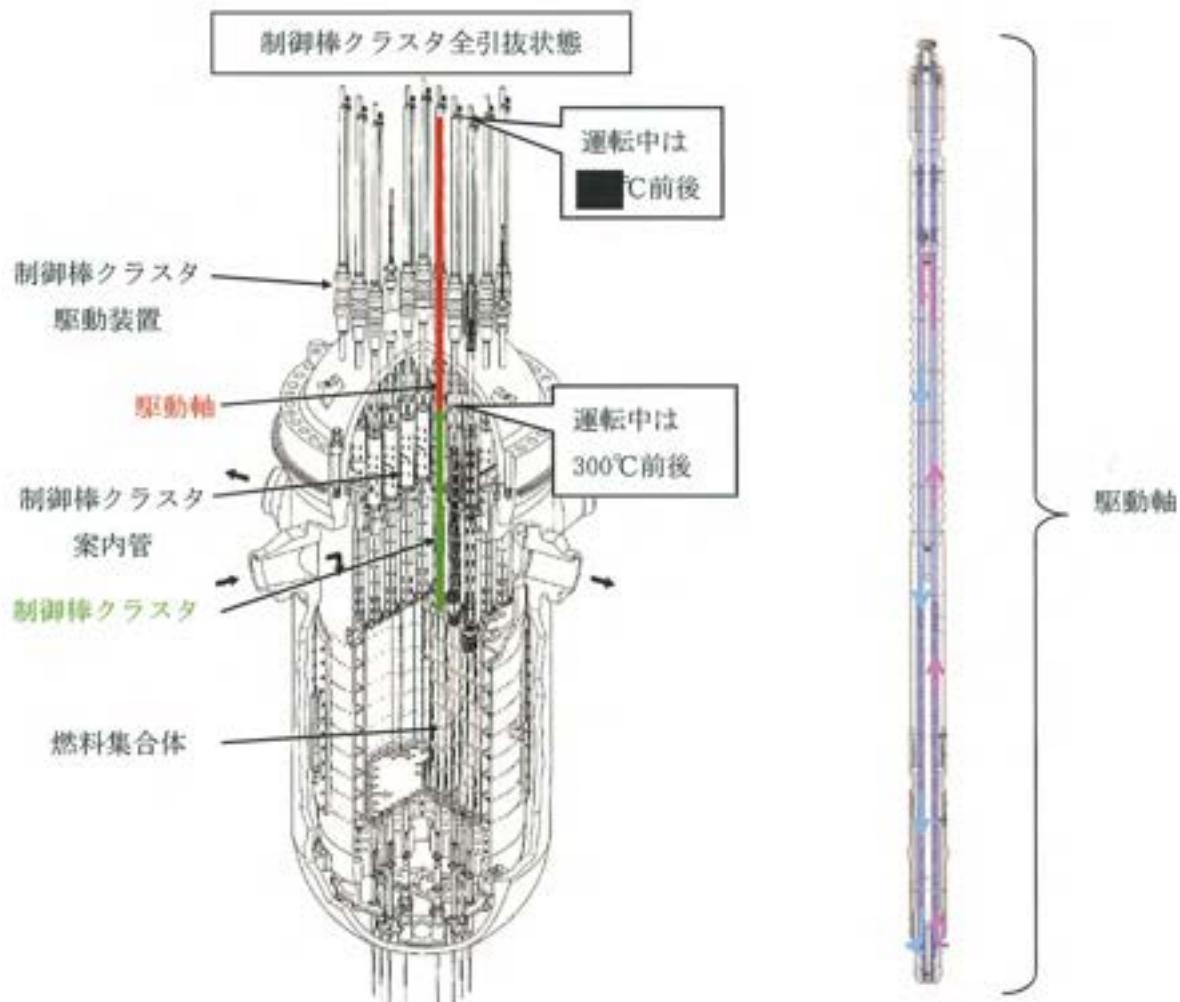


図-8 運転中の駆動軸・制御棒クラスタ位置と駆動軸内部の自然循環流

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

6. 1次冷却材中の堆積物（スラッジ）の挙動

1次冷却材中のスラッジ（今回、スパイダ頭部内で確認されたスラッジも一部含む）については、1次冷却材系統や化学体積制御系統などを循環、対流する間に細かく微粒子状になり、冷却材フィルタ等で捕捉される。

プラント停止操作に伴う脱ガス運転時、1次冷却材系統において、水質分析用フィルタで回収されたスラッジの性状を表-1に示す。

また、化学体積制御系統に設置された冷却材フィルタ等の配置を示す系統図を図-9に、過去の冷却材フィルタ等の交換実績を表-2に示す。冷却材フィルタ等は主に定検時に取り替え、固体廃棄物処理設備にて処理を行う。冷却材フィルタ等の取替頻度は、長期停止の影響により3-1-3運転サイクルで多いものの、運転サイクル期間で比較した場合はいずれの運転サイクルも同程度の取替頻度であった。

鉄の酸化物の一種であるマグネタイトは従来から1次冷却系統内に存在するものであり、これまでこれが原因で燃料集合体等に損傷を与えるような事象は発生していないことから、原子炉施設の安全性に影響を与えるものではない。

また、制御棒クラスタのスパイダ頭部内で確認された堆積物（スラッジ）は、粒子状もしくは脆い薄膜状のマグネタイトであることが確認されており、切粉などの金属片ではないことから、仮に一次冷却材中に流出したとしても、フレッティング^{※1}により燃料棒を摩耗させることはなく、燃料健全性に影響はない。

※1 切粉などの金属片が燃料集合体の支持格子と燃料棒の間にはさまり、1次冷却材の流体振動により燃料棒を摩耗させ、燃料棒に微少孔（ピンホール）が発生する現象

表-1 1次冷却材系統で回収されたスラッジの性状

実態顕微鏡写真	SEM画像	
 ○ : SEM画像取得箇所		数μmの粒子で構成された黒色の微粒子状のスラッジが認められるが、スパイダ頭部内で確認されたような粒子状および薄膜状の堆積物（スラッジ）はない
✓ 水質分析用フィルタ 	採取場所：ループB（高温側） 採取方法：0.45μmのフィルタでろ過 採取量：5L	通常運転中の採取であればフィルタに着色はないが、採取量が多いと左記のように黒色の着色が見られる

表-2 冷却材フィルタ等の取替実績

運転サイクル	期間	脱塩塔入口 フィルタ ^{※1}	冷却材 フィルタ ^{※2}	備考
3-11	平成20年9月～平成22年1月	2回	0回	
3-12	平成22年1月～平成23年4月	1回	2回	
3-13	平成23年4月～平成29年10月	12回	3回	長期停止の影響
3-14	平成29年10月～令和元年12月	4回	2回	
3-15	令和元年12月～	0回	0回	2月末現在

※1 脱塩塔入口フィルタ（メッシュサイズ：0.45 μm、取替基準：フィルタ差圧）

※2 冷却材フィルタ（メッシュサイズ：1 μm、取替基準：フィルタ差圧）

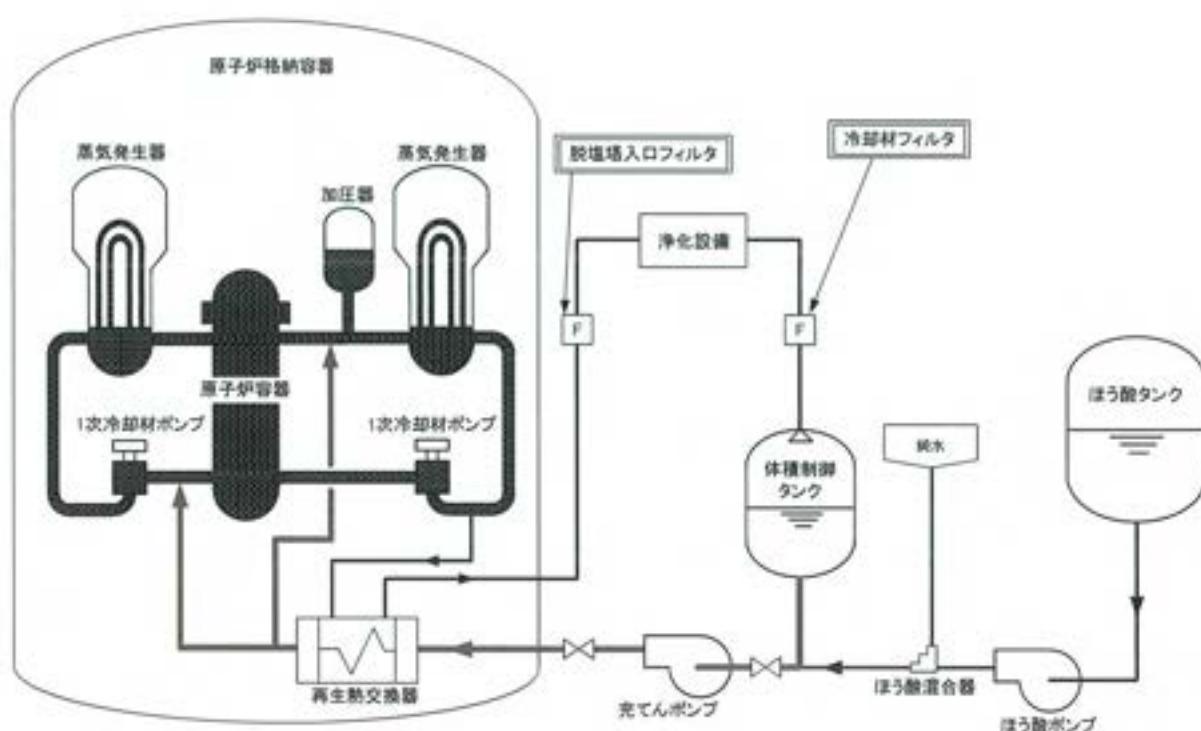
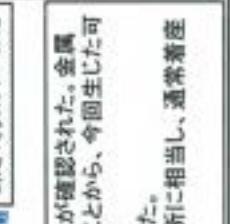


図-9 冷却材フィルタ等の配置を示す系統図

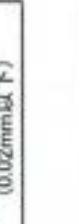
接触痕および堆積物まとめ（1／2）

①、②、③、④ 接手外面直線部

①								
30° 側	接手外面直線部での堆積物 表面が剥離	<table border="1"> <thead> <tr> <th>個数: 4</th> <th>計測値(mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>長さ: 約1.32～2.50</td> <td>幅: 約1.16～3.20</td> </tr> <tr> <td>深さ: 約0.04～0.12</td><td></td> </tr> </tbody> </table>	個数: 4	計測値(mm)	長さ: 約1.32～2.50	幅: 約1.16～3.20	深さ: 約0.04～0.12	
個数: 4	計測値(mm)							
長さ: 約1.32～2.50	幅: 約1.16～3.20							
深さ: 約0.04～0.12								

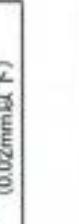
・M-4の接手外面直線部に金属光沢を有する接触痕が確認された。金属光沢を有しており、比較対象には確認されないことから、今回生じた可能性がある。
 ・接触痕は、スパイダ頭部の内面と4点で取り合う箇所に相当し、通常着座位置とは異なる位置で生じた可能性がある。

⑤ 接手外面テーパ部

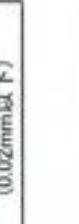
⑤								
30° 側	通常の着座状態位置での堆積物 表面が剥離	<table border="1"> <thead> <tr> <th>個数: 2</th> <th>計測値(mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>長さ: 約1.5～2.0</td> <td>幅: 約12.5～15.0</td> </tr> <tr> <td>深さ: 測定下限値以下 (0.02mm以下)</td><td></td> </tr> </tbody> </table>	個数: 2	計測値(mm)	長さ: 約1.5～2.0	幅: 約12.5～15.0	深さ: 測定下限値以下 (0.02mm以下)	
個数: 2	計測値(mm)							
長さ: 約1.5～2.0	幅: 約12.5～15.0							
深さ: 測定下限値以下 (0.02mm以下)								

・M-4の接手外面テーパ部に間方向の接触痕(金属光沢なし)が確認された。比較対象でも同様であり、切り離し操作後の駆動軸位置でスパイダ頭部の内面と螺栓状に取り合う箇所に相当し、通常の着座状態位置で生じたと考えられる。

⑥、⑦ 接手内面直線部

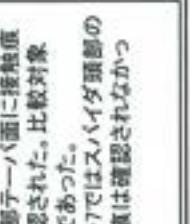
⑥								
30° 側	内面エッジ(螺栓)から約3.0mm 表面が剥離	<table border="1"> <thead> <tr> <th>個数: 1</th> <th>計測値(mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>長さ: 約5.5</td> <td>幅: 約2.0</td> </tr> <tr> <td>深さ: 約0.08</td><td></td> </tr> </tbody> </table>	個数: 1	計測値(mm)	長さ: 約5.5	幅: 約2.0	深さ: 約0.08	
個数: 1	計測値(mm)							
長さ: 約5.5	幅: 約2.0							
深さ: 約0.08								

・M-4の接手内面直線部に金属光沢を有する線状の接触痕が確認された。金属光沢を有しており、比較対象にないことから、今回生じた可能性がある。
 ・接触痕は、位置決めナット／ロックボタンが滑動する部位に相当する。

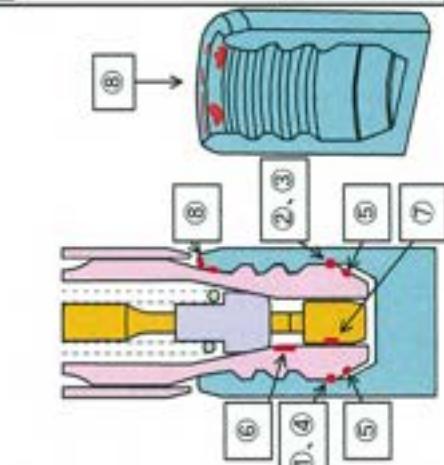
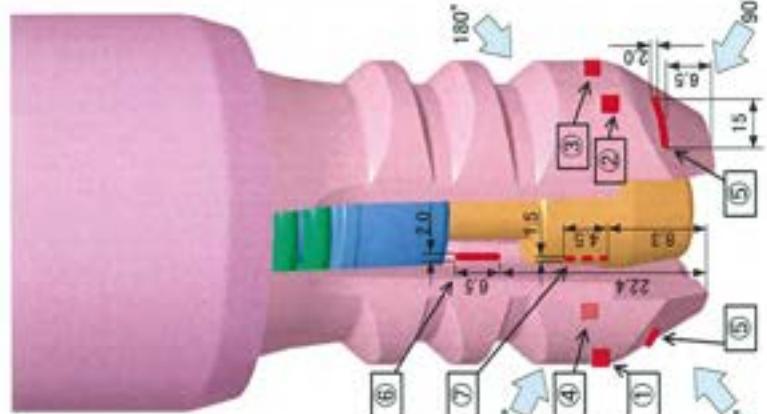
⑦								
30° 側	位置決めナット直線部 表面が剥離	<table border="1"> <thead> <tr> <th>個数: 1</th> <th>計測値(mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>長さ: 約4.5</td> <td>幅: 約1.5</td> </tr> <tr> <td>深さ: 約0.08</td><td></td> </tr> </tbody> </table>	個数: 1	計測値(mm)	長さ: 約4.5	幅: 約1.5	深さ: 約0.08	
個数: 1	計測値(mm)							
長さ: 約4.5	幅: 約1.5							
深さ: 約0.08								

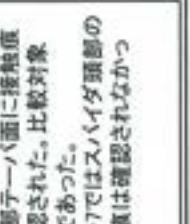
・M-4の位置決めナット直線部に線状の接触痕が確認された。比較対象にないことから、今回生じた可能性がある。

⑥、⑦ 接手内面と位置決めナットの重ね合わせ

⑧		
30° 側	小豆色:位置決めナット 赤色:接手内面 青色:螺栓 緑色:螺母	接手内面と位置決めナット接触痕の重ね合わせ位置

・接触痕は、接手内面直線部と位置決めナット直線部が接触する取り合いであり、位置決めナットの上下降時についた可能性がある。
 ・幾何学的に接触痕発生には介在物が関与した可能性が高く、接触痕の大きさから、介在物は約1mm程度の大きさのものが存在していた可能性がある。



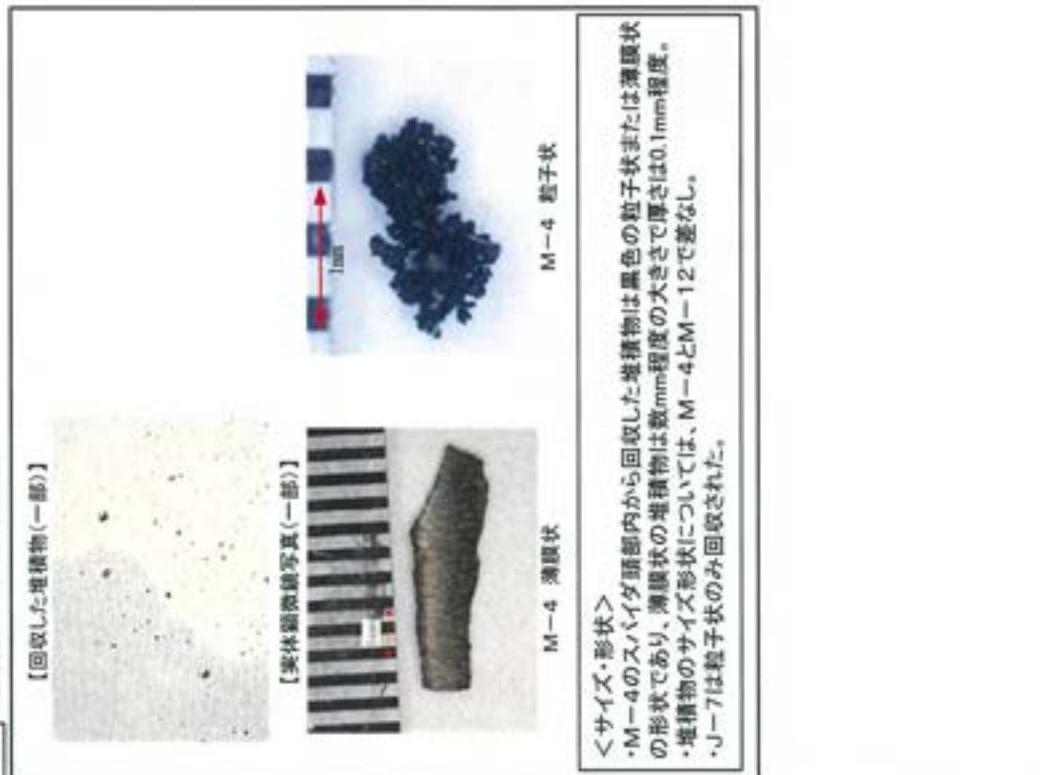
⑧						
30° 側	スパイダ頭部の内部テーブル面に接觸痕(色調の変化)が確認された。比較対象(M-12)でも同程度であった。 使用期間が短いM-7ではスパイダ頭部の内面上面の接觸痕は確認されなかつた。	<table border="1"> <thead> <tr> <th>①、④</th> <th>②、③</th> <th>⑤</th> <th>⑦</th> </tr> </thead> </table>	①、④	②、③	⑤	⑦
①、④	②、③	⑤	⑦			

接触痕および堆積物まとめ（2／2）

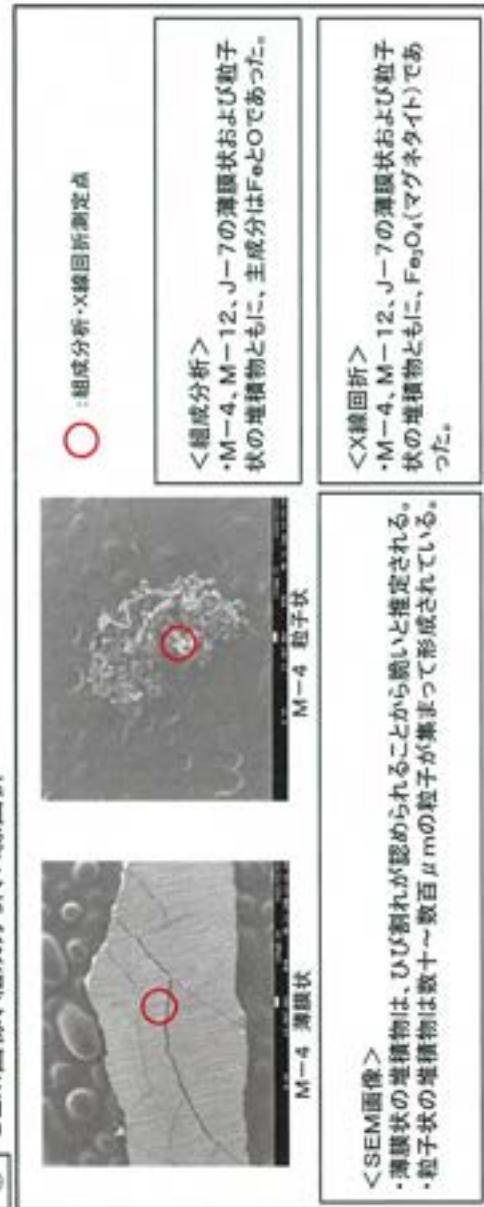
① 堆積物の確認結果



② 堆積物のサイズ・形状



③ SEM画像、組成分析、X線回折



製造履歴等調査結果

製造履歴調査結果

○駆動軸

・材料調査

部品名称	材料	記録確認結果
接手	SUS403 (JIS G 4303)	材料成績書記載値が、規格値を満足していることを確認した。
保護筒	SUS410 (JIS G 4303)	同上
ロックボタン	コバルト合金	同上
位置決めナット	SUS304 (JIS G 4303)	同上
取り外しボタン	SUS410 (JIS G 4303)	同上
ロックばね、軸用ばね	NCF750 相当 (JIS G 4901)	同上

・寸法調査

部品名称	記録確認結果
駆動軸	全体組立寸法記録により、設計どおりの寸法で製作されていることを確認した。
ロックばね、軸用ばね	ばね試験成績書により、設計どおりの寸法で製作されていることを確認した。

・製造時作動試験

部品名称	記録確認結果
駆動軸	駆動軸と模擬制御棒クラスタを組み合わせてのステッピング試験により、両者の嵌合に問題がなかったことを確認した。

・熱処理調査

部品名称	記録確認結果
接手	熱処理記録により、駆動軸接手の熱処理が適切に実施されていることを確認した。

○制御棒クラスタ

・材料調査

部品名称	材料	記録確認結果
スパイダ本体	SUS304相当 (ASTM A276 304)	材料成績書記載値が、規格値を満足していることを確認した。

・製造時試験検査（寸法調査含む）

部品名称	記録確認結果
制御棒クラスタ	試験検査記録により、設計どおりの寸法で製作されていることを確認した。 また、模擬駆動軸接手による嵌合性に問題がないことを確認した。

○制御棒クラスタ案内管

・製造時拘束力試験

部品名称	記録確認結果
制御棒クラスタ案内管 (上部炉心構造物)	上部炉心構造物に組み込まれた制御棒クラスタ案内管単体に対する拘束力試験で、制御棒クラスタ案内管と制御棒クラスタのインターフェースに問題が無いことを確認した。

点検履歴調査結果

定検回	実施時期 ^{※1}	駆動軸	制御棒クラスタ
第13回	平成23年4月 ～ 平成28年8月	外観点検	外観点検
		・長期停止後の再稼働に向けた点検において、駆動軸48本全数を取り外しての外観点検を実施し、異常がないことを確認した。 (平成28年6月)	・定期事業者検査(制御棒クラスタ検査(13-107))にて、制御棒クラスタの機能、性能に影響を及ぼす恐れのある損傷、変形がないことを確認した。 (平成23年6月)
第14回	平成29年10月 ～ 平成30年10月	—	外観点検
			・定期事業者検査(制御棒クラスタ検査(13-107))にて、同上の確認を行った。 (平成29年12月)

※1 定検の解列～並列までの期間を記載

運転履歴調査結果

1. サーベランス結果

保安規定第22条において、モード1, 2(臨界状態)においては、サーベランスにて、3カ月に1回、全挿入されていない制御棒をバンク毎に動かして、各制御棒位置が変化することにより、制御棒が固着していないことを確認することとなっている。

サーベランスは、出力変動を伴う制御棒制御バンクDと、その他の制御棒で日程を分けて実施している。サーベランスの確認事項としては、各制御棒を実際に操作し、制御棒位置指示装置にて制御棒が挿入、引き抜きされたことを確認することを要求している。3-14サイクル期間中に実施した各サーベランス結果を表-1に示す。

また、3-14サイクル運転履歴から、定格熱出力運転中に制御棒位置が変化した記録および制御棒が落下した記録は確認されておらず、制御棒にスリップが発生していないことを確認した。

サーベランスおよび3-14サイクル運転履歴確認の結果により、期間中において制御棒動作機能について問題ないことを確認した。

表-1. 3-14サイクル制御棒動作試験サーベランス結果

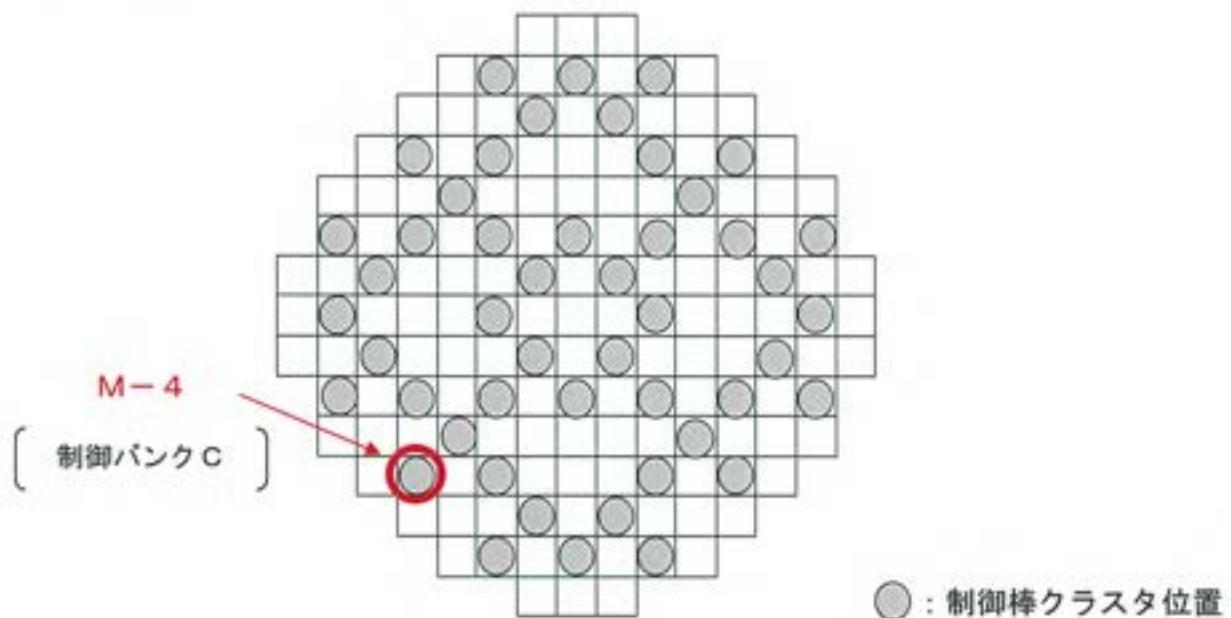
制御バンクD以外		制御バンクD	
サーベランス日時	サーベランス結果	サーベランス日時	サーベランス結果
平成30年11月16日	良	平成30年12月16日	良
平成31年 1月10日	良	平成31年 2月17日	良
平成31年 3月14日	良	平成31年 4月14日	良
令和元年 5月 9日	良	令和元年 6月23日	良
令和元年 7月11日	良	令和元年 8月11日	良
令和元年 9月12日	良	令和元年10月20日	良
令和元年11月 6日	良	令和元年12月15日	良

2. プラント停止操作における制御棒動作の確認

本定検のプラント停止操作における制御棒動作を記録により確認した。なお、今回引き上がり事象のあった制御棒は、制御バンク C のものである。

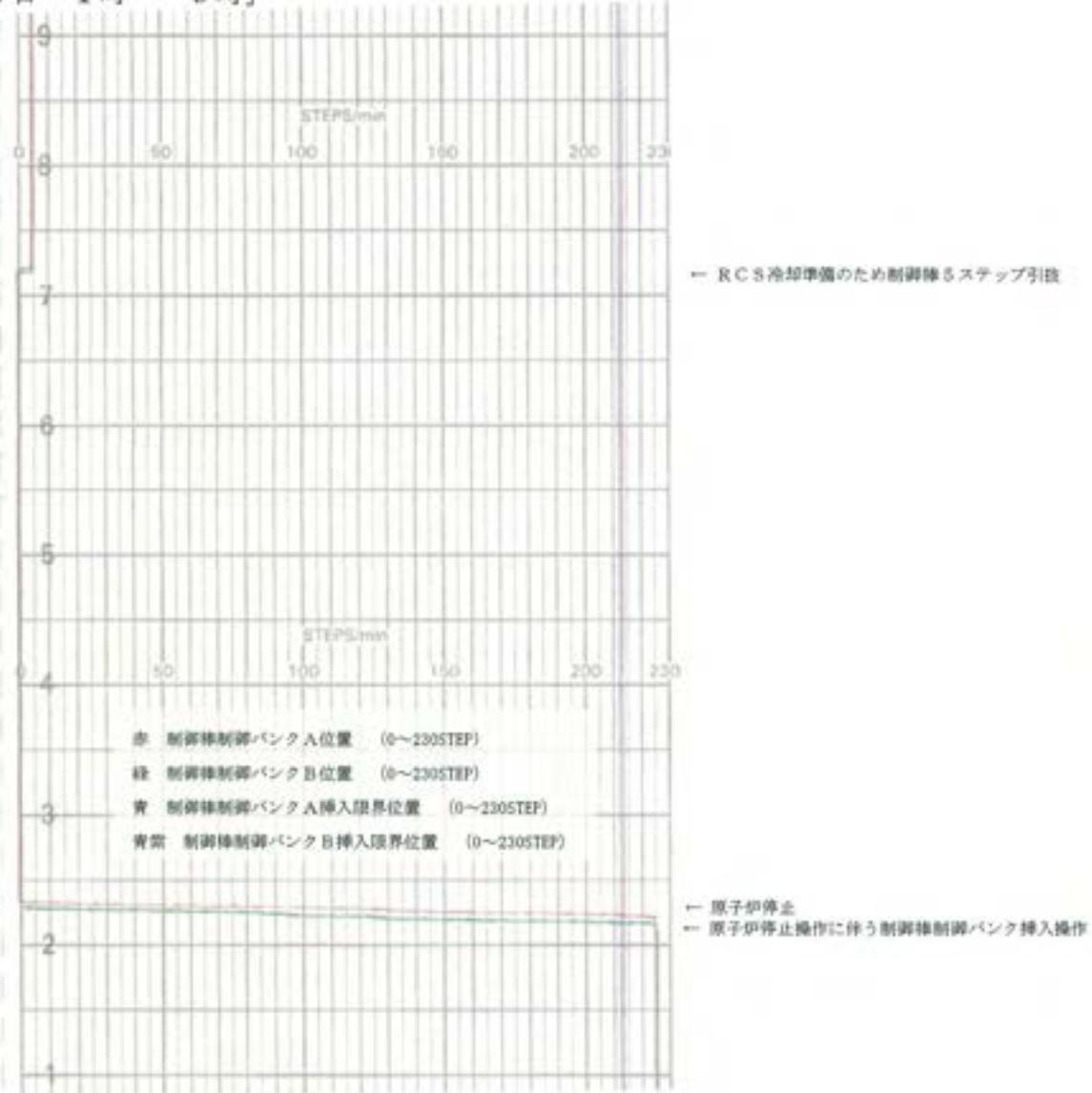
制御棒に対する制御信号、プラント停止時の警報履歴、および制御棒位置の記録により、制御棒制御信号と制御棒位置に偏差が生じたような記録は確認されておらず、制御棒にスリップが発生していないことを確認したことから、プラント停止操作中ににおける制御棒動作機能について問題ないことを確認した。

○当該制御棒クラスタのアドレス

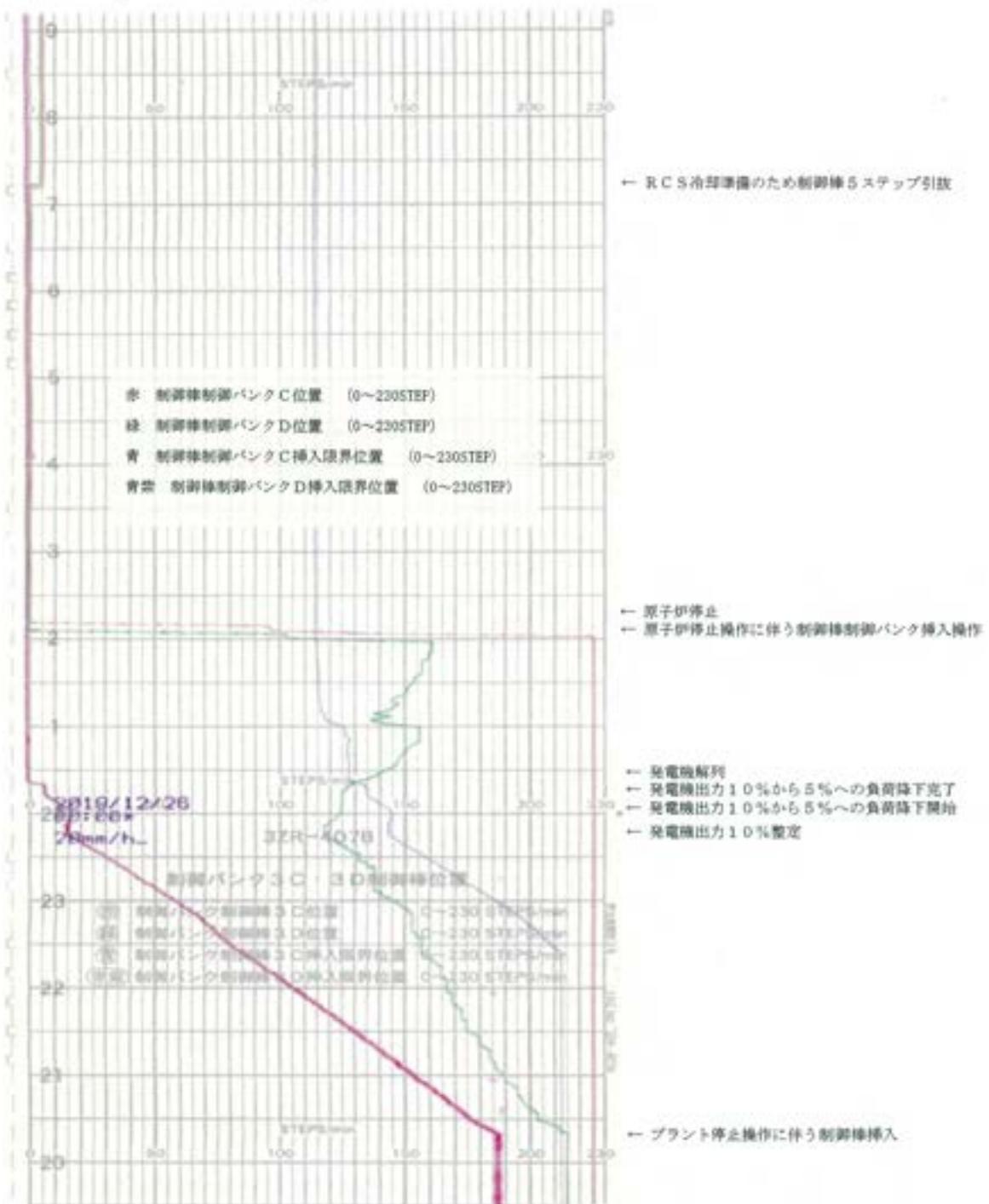


○制御棒位置 制御バンクA・B制御棒位置

[12月26日 1時～ 9時]

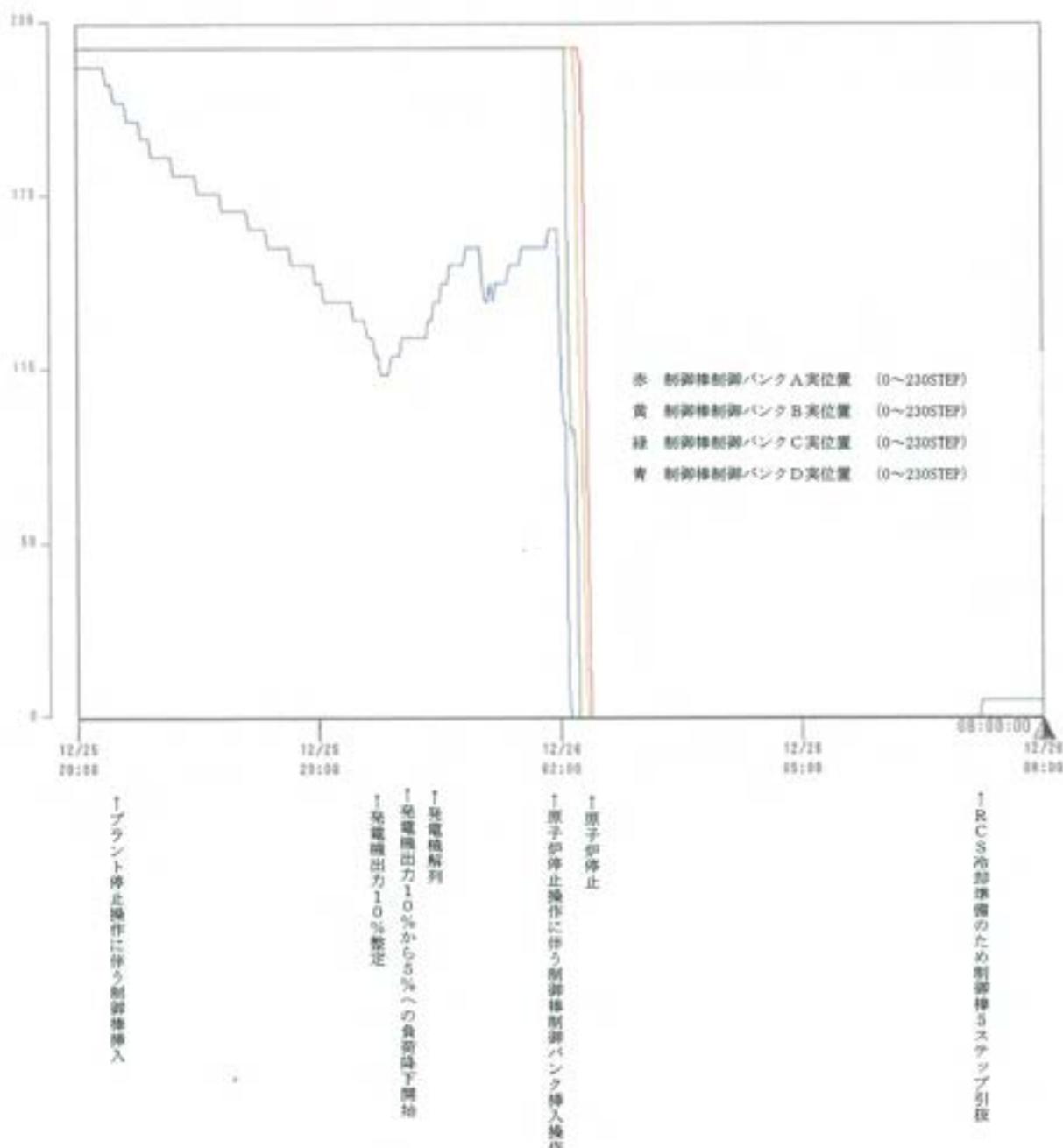


○制御棒位置 制御バンク C・D制御棒位置
[12月25日20時～26日 9時]



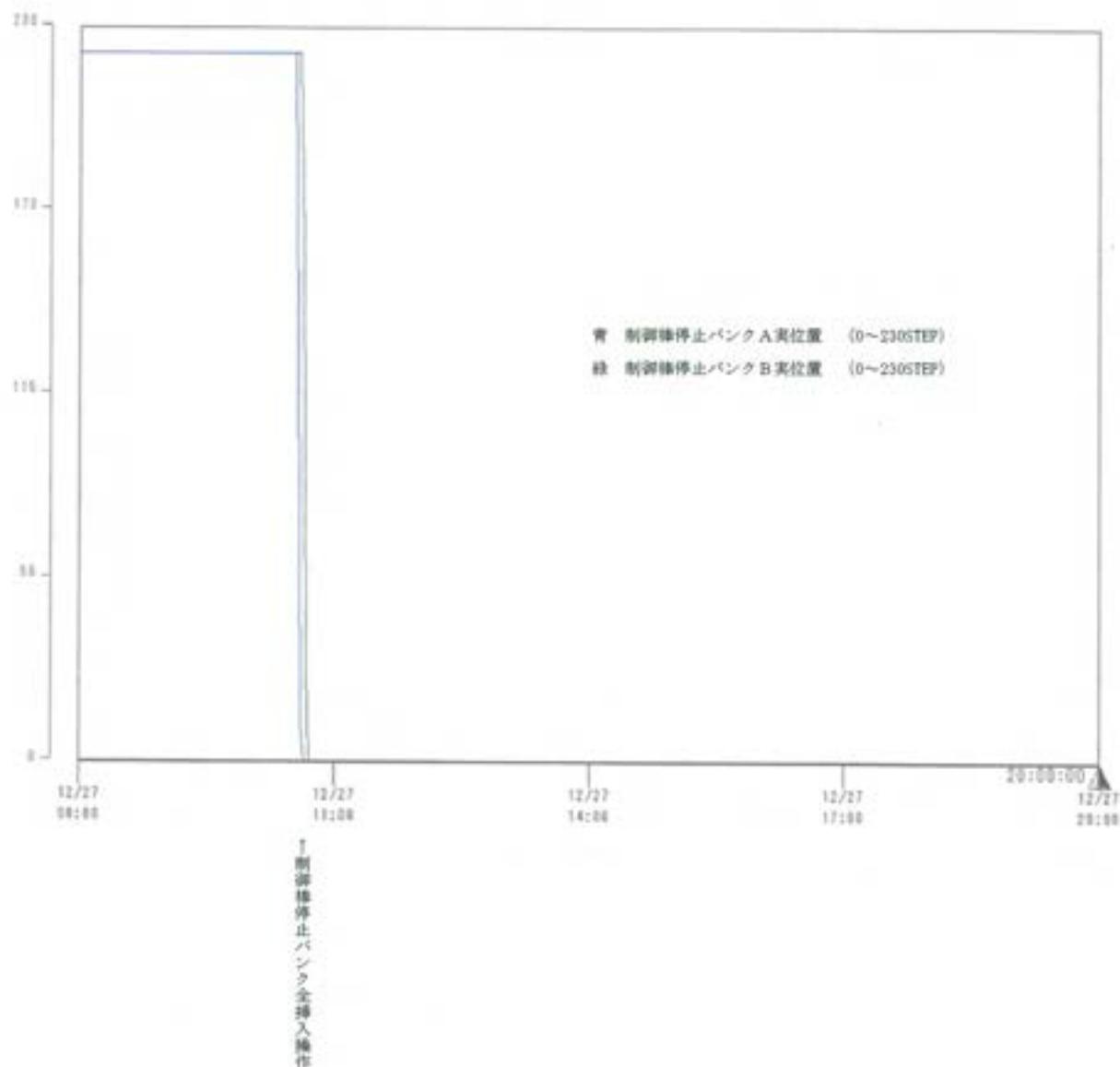
○制御棒位置 制御バンク A・B・C・D 制御棒位置

[12月25日20時～26日 8時]



○制御棒位置 停止バンクA・B制御棒位置

[12月27日 8時～27日20時]



3. 動軸取り外し工具の駆動源の確認

駆動軸取り外し工具の駆動源である所内用空気について確認した。

所内用空気が、0.69 MPa以下となれば、中央制御室に警報が発信する機能を有しているが、事象発生付近において所内用空気圧力の異常を示す警報の発信は確認されず、駆動軸取り外し工具の駆動源である所内用空気の圧力に異常な低下がないことを確認した。

4. 燃料取替作業時の余熱除去流量の制限について

燃料取替作業時の燃料取出完了までは、余熱除去系統にて、燃料の崩壊熱を除去し、1次冷却材系統の温度を維持している。

燃料取替作業時の余熱除去流量は原則 $300 \text{ m}^3/\text{h}$ とする。余熱除去流量制限は以下の 2 つの相反する条件を満足するため、設けられている。

- ・ RCS (1次冷却材系統) 温度管理のため冷却水流量の確保
- ・ UCI (上部炉心構造物)、燃料、R/V (原子炉容器) 隔離蓋作業時の水流による揺れ防止のための流量制限

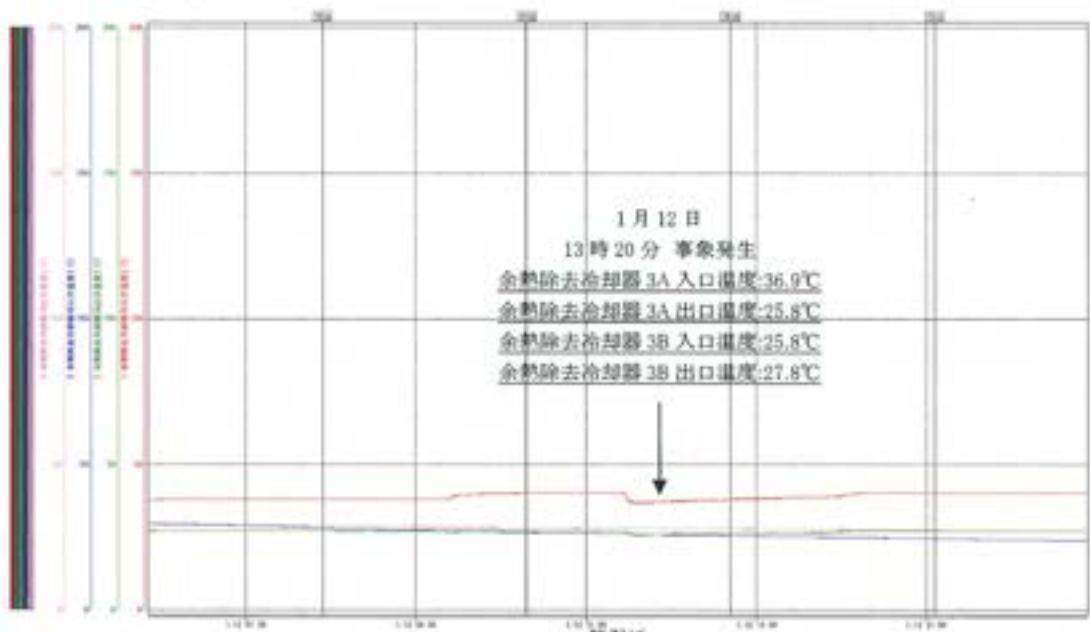
また、RCS 温度が維持できない場合は、 $350 \text{ m}^3/\text{h}$ までの流量増加を可能とするが、水流による影響を受けやすいので次の期間は、流量の増加を禁止している。

- ・ UCI 吊り上げ時、吊り込み時
- ・ 燃料取り出し前と装荷後の炉内点検のように投げ込み式カメラを使用する場合

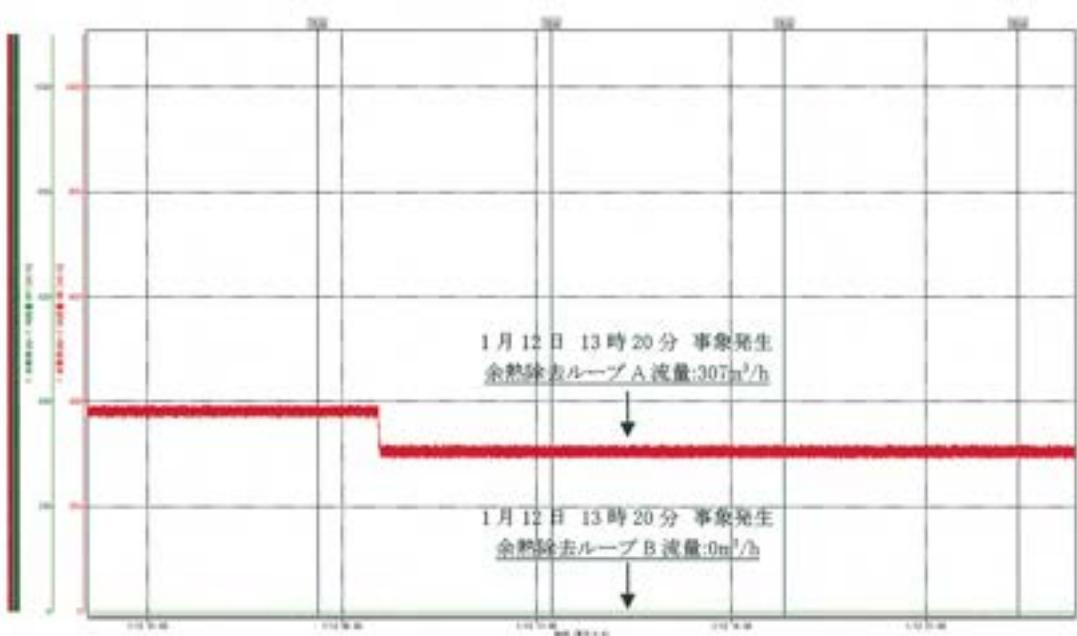
また、 $350 \text{ m}^3/\text{h}$ まで流量増加しても温度維持ができない場合は、燃料取り扱い機器操作者との連絡調整を行い、徐々に流量調整を行うものとしている。

これらの事項を遵守し、燃料取替中の1次冷却材温度が 45°C 以下となるように管理している。

○余熱除去冷却器入口・出口温度
[1月12日 1時00分～21時00分]

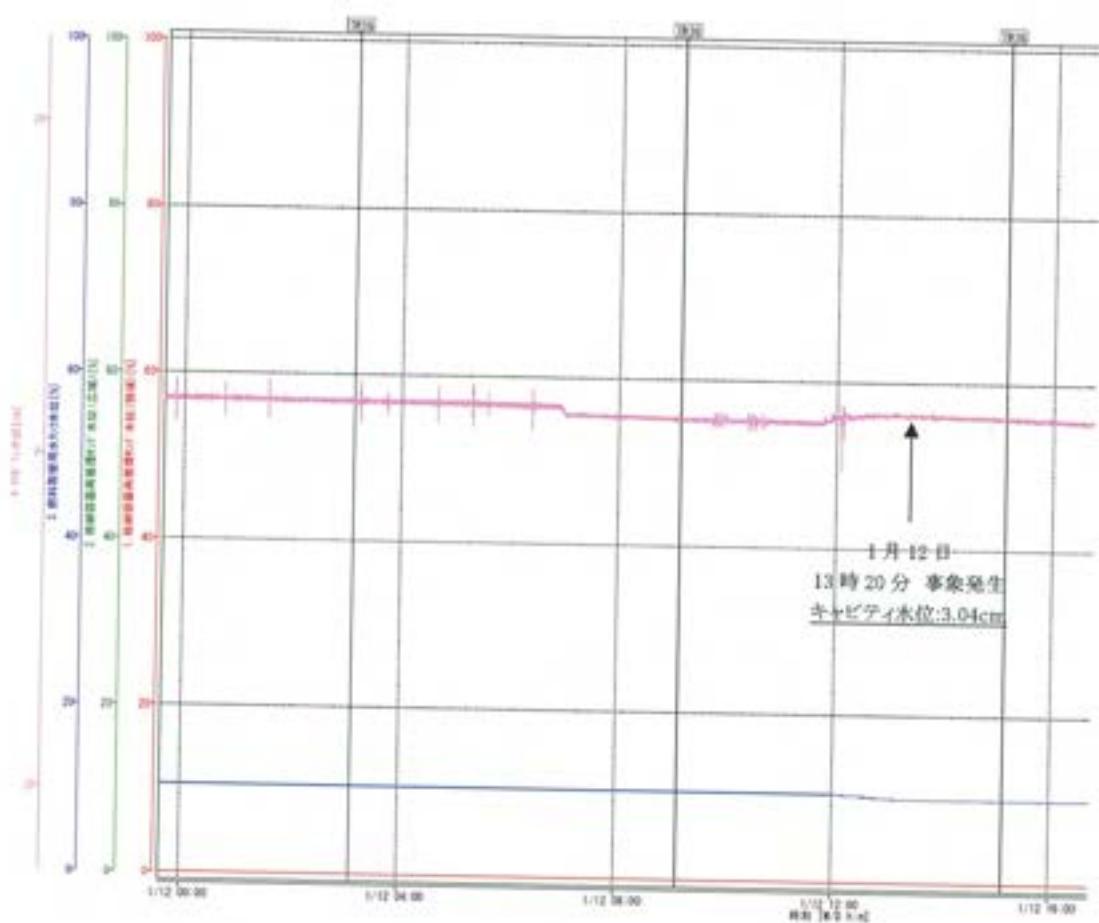


○余熱除去ループA、B流量
[1月12日 1時00分～21時00分]



○キャビティ水位

[1月12日 0時00分～16時00分]



類似事例調査結果

1. 制御棒クラスタ引き上がり事象の類似事例調査

(1) 国内事例

国内の加圧水型軽水炉において燃料取出前の上部炉心構造物吊り上げ時に同時に制御棒クラスタが引き上がった事象は確認されなかった。

(2) 海外事例

海外の加圧水型軽水炉において、燃料取出前の上部炉心構造物吊り上げ時に同時に制御棒クラスタが引き上がった事象について調査した結果、表－1のとおり5件の事例を確認した。

海外の発電事業者は、一部に原因は特定できていない事例はあるものの、全ての事例において、推定される原因に対して作業要領の見直し等により再発防止対策を行っている。

2. 駆動軸等に関する不具合事例調査

(1) 国内事例

国内の加圧水型軽水炉において駆動軸等の不具合事例を抽出した結果、表－2のとおり8件の事例を確認した。

当該不具合事例が制御棒クラスタ引き上がりに発展する可能性を踏まえても、伊方3号機における今回の事象の発生原因となる可能性は無いことを確認した。

なお、伊方2号機および大飯2号機のクラッドによる制御棒クラスタ動作中のラッチ機構の不具合事例（制御棒位置のずれ事象）については、伊方3号機では、伊方2号機の事象の対策と同様の対策を実施しており問題はない。（別添）

(2) 海外事例

海外の加圧水型軽水炉において駆動軸等の機械的なトラブル事例を抽出した結果、表－2のとおり5件の事例を確認した。

当該不具合事例が制御棒クラスタ引き上がりに発展する可能性を踏まえても、伊方3号機における今回の事象の発生原因となる可能性は無いことを確認した。

表-1 制御棒クラスタ引き上がり事象の類似事例（海外）

発電所	発生日	制御棒数 ⁽¹⁾	推定原因	主な対策	
				当社の状況	当社の状況
Buger 2号炉 (米国)	1974.5.26	1	【作業ミスの長い】 ・工具類及び手順書の不備を確認できなかつたことから、制御棒クラスターと駆動軸の切り離し作業中に何らかの作業を怠ったと推測される。	・作業記録および聞き取り調査より、定められた手順どおりに操作が行われていることを確認した。	①切り離し作業後の重量確認を追加した。 ②手順どおりに操作が行われることを確認した。
D-42号炉 (ベルギー)	1976.11.15	9	【作業ミスの長い】 ・作業ミスにより制御棒クラスターと駆動軸が部分的に再結合したと推測される。	・作業記録および聞き取り調査より、定められた手順どおりに操作が行われていることを確認した。	①切り離し作業後の重量確認を追加した。 ②全切り離し作業終了後、チャビザイ水栓を駆動軸上端部まで下げる前の駆動軸高さ確認を追加した。
Flamanville 3号炉 (フランス)	1979.3.17	3	【作業ミス】 ・手順書に記載されている作業を怠つたことににより制御棒クラスターと駆動軸が再結合した。	・作業記録および聞き取り調査より、定められた手順どおりに操作が行われていることを確認した。	①切り離し作業の前に、駆動軸上端部の高さ確認を追加した。
Tchirly 2号炉 (フランス)	1981.7.20	43 (全数)	【作業ミス】 ・作業手順書とチェックシートの整合により、不完全な切り離し作業となり、制御棒クラスターと駆動軸が再結合した。また、切り離し確認手順が抜けたことで再結合に気付かなかった。	・今回の作業手順書は過去の定格時と同様であり、ない、また、作業手順書とチェックシートは整合している。	①作業手順書の内容を忠実にチェックシートに追記した。 ②切り離し作業の前に、駆動軸上端部の高さ確認を追加した。
Syphax 1号炉 (米国)	1997.10.27	1	【作業ミス、設備不良】 ・作業ミスにより制御棒クラスターと駆動軸の部分的な結合が確認した。 ・当初駆動軸の駆動力が高い状態であり、切り離し作業に手間取った。	・作業記録および聞き取り調査より、定められた手順どおりに操作が行われていることを確認した。 ・駆動軸半端部により、駆動軸外し、軸の上下動作に問題はなく、他の駆動軸とともに必要な差は無いことを確認した。	①音声付き水中カメラでの結合／切り離し作業の確認を依頼したが、現在、新工具を導入したことにより廃止している。 ②各結合／切り離し作業後の重量確認を追加したが、現在、全結合／切り離し作業終了後の重量確認は実施しておらず、各結合／切り離し作業後の重量確認のみ実施している。

※1：同時に引き上げた制御棒クラスターの数

※2：出典 (1958, Analyse De L'Incident Du 26 Juillet 1961 A La Centrale Nucléaire De Buger - Tranche 2, "Extraction Intégrative des Grappes de Contrôle Lors de la Levée des Interrupteurs", BEC, 1962)

※3：出典 (Nuclear Regulatory Commission - Home Page : LICENSE EVENT REPORT DOCKET NUMBER: 05000357)

表一-2 動軸等に関する不具合事例（国内）

発電所	発生日	事象概要	確定原因	主な対策	今回の事象との関連
南浜発電所1号 ⁽¹⁾	1991.8.18	定期検査中に、上部印心機造物の駆動軸内管下端部が焼損が発生して数センチ程度低いところを確認した。駆動軸を点検調査した結果、駆動軸頂部を保護するに、駆動軸頂部と駆動軸が干渉したためと考えられる。	原子炉容器上蓋の駆動軸内管下端部の構造から、本定檢でキャビティ本体と駆動軸を点検調査した結果、駆動軸頂部と駆動軸が干渉したためと考えられる。	当該駆動軸はため替えるとともに、駆動軸頂部について面取りを実施する。	原子炉容器上蓋の駆動軸内管と駆動軸の下部に關する不具合であり、今回の事象との関連はない。
松賀発電所2号 ⁽¹⁾	1996.4.23	燃料保管後の駆動軸と制御棒ク拉斯ダとの結合作業において、制御棒ク拉斯ダと一体の引抜き時に過大な荷重が生じた。底座金具材の況れにより、上部が心棒連結部及び制御棒ク拉斯ダ緊固部にささったものと推定される。	当該制御棒ク拉斯ダより上部制御棒ク拉斯ダ緊固部を断品に交換する。物質管理を強化する。	制御棒ク拉斯ダと制御棒ク拉斯ダ緊固部に關する不具合は、制御棒ク拉斯ダの引き上がりに発展する可能性があるが、今回の制御棒ク拉斯ダ切り離し作業時に制御棒ク拉斯ダと制御棒ク拉斯ダ緊固部の干涉は確認されていない。	
南浜発電所1号 ⁽¹⁾	1999.5.9	原子炉容器と駆動軸外殻間に、駆動軸と駆動軸先端結合部の熱処理が不備であったことが判明した。再現検査により、熱処理が不備であることが確認された。	駆動軸先端結合部の熱処理が不備であると取り替えるとともに、品質管理を強化する。	駆動軸先端結合部の熱処理が不備では、全駆動ク拉斯ダの引き上がりに発展する可能性があるが、伊方炉等の駆動軸は適切に熱処理されたものを使用していることを確認しており、外観検査でも変形は確認されていない。	
大飯発電所2号 ⁽¹⁾	1999.1.29	定期検査中の駆動軸引換作業中に、駆動軸と駆動軸先端結合部が変形した。	駆動軸上蓋が長期間留置状態に置かれていたことにより、制御棒取扱い操作中のところ、制御棒ク拉斯ダとの接続不良が発生し、駆動軸先端結合部が変形した。	定期検査中の駆動軸引換作業中に、駆動軸と駆動軸先端結合部がアフターセンタリで発生した露食食生焼物が、駆動軸取扱い工具にて駆動軸を引き起こし、駆動軸の落下およびスリップが発生したものと推定される。	制御棒ク拉斯ダ動作中のラック機構に關する不具合であり、今回の事象との関連はない。
東浜発電所3号 ⁽¹⁾	2006.5.16	定期検査中に、駆動軸引換作業中に、駆動軸1本が落下下りた。この原因調査のため、駆動軸を挿入した露食食生焼物が、駆動軸取扱い工具にていたところ、別の駆動軸1本がスリップした。	駆動軸1本が落下下りたことから、露食食生焼物が、駆動軸取扱い工具にていたところ、別の駆動軸1本がスリップした。	定期検査中の駆動軸引換作業中に、駆動軸1本が落下下りたことから、露食食生焼物が、駆動軸取扱い工具にていたところ、別の駆動軸1本がスリップした。	定期検査中の駆動軸引換作業中に、駆動軸1本が落下下りたことから、露食食生焼物が、駆動軸取扱い工具にていたところ、別の駆動軸1本がスリップした。
伊方発電所2号 ⁽¹⁾	2006.12.16	定期検査中に、制御棒1本の位置指示器を確認するため、ホースをつなぎ変換ホースを取り外し漏れが発生した。	駆動軸内可動部分に付着したクリップが、制御棒1本の位置指示器を確認するため、ホースをつなぎ変換ホースを取り外したところ、当該取り外し漏れが発生した。	クリップが、制御棒1本の位置指示器を確認するため、ホースをつなぎ変換ホースを取り外したところ、当該取り外し漏れが発生した。	定期検査中の駆動軸引換作業中に、駆動軸内可動部分に付着したクリップが、制御棒1本の位置指示器を確認するため、ホースをつなぎ変換ホースを取り外したところ、当該取り外し漏れが発生した。
南浜発電所2号 ⁽¹⁾	2007.10.2	定期検査中に、パンタオーバーラップ操作後を実施中のところ、金棒入位置でのCチューブと制御棒の隙間に異物が挟まり、当該制御棒の動作不良が発生した。	制御棒1本が引けたことから、原子炉が停止すると判断した。	定期検査中に、パンタオーバーラップ操作後を実施中のところ、金棒入位置でのCチューブと制御棒の隙間に異物が挟まり、当該制御棒の動作不良が発生した。	定期検査中の駆動軸引換作業中に、駆動軸内可動部分に付着したクリップが、制御棒1本の位置指示器を確認するため、ホースをつなぎ変換ホースを取り外したところ、当該取り外し漏れが発生した。
大飯発電所2号 ⁽¹⁾	2008.3.12	定期検査中に、制御棒動作確認試験を実施していたところ、制御棒を引抜した際、制御棒1本が引け落ちたことから、原子炉熱出力が70%以下とした。	アラート起動時に、遮断停止が発生し、遮断停止状態に加え、遮断停止状態を実施する。	定期検査中の駆動軸引換作業中に、駆動軸内可動部分に付着したクリップが、制御棒1本の位置指示器を確認するため、ホースをつなぎ変換ホースを取り外したところ、当該取り外し漏れが発生した。	定期検査中の駆動軸引換作業中に、駆動軸内可動部分に付着したクリップが、制御棒1本の位置指示器を確認するため、ホースをつなぎ変換ホースを取り外したところ、当該取り外し漏れが発生した。

注1:原子力施設機器公開ライセンス【ニューシア】要件検査から炉型「WRC」および全文検査「WRC」から抽出した結果ならびにマークに種別した結果

表-3 動軸等に関する不具合事例（海外）

発電所	発生日	事象概要	確定原因	主な対策	今回の事象との関連
アリドリット1号 ^{※1} (米国)	1987.2.24	高壓停止時、制御棒位置指示計のサーベイレンス試験を実施したところ、制御棒を行ステップ挿入したにもかからず、位置指示計では制御棒1本が18ステップ挿入と表示されていた。位置である可上限である24ステップを越えていたため、原子炉を手動トライアした。	制御棒位置が示された原因は不明であるが、制御棒駆動装置ラック箇所にグラッドが蓄積したことによる。	制御棒は引き抜き、挿入中は正常な動作をしていたため、設備上の対策はない。	制御棒クラスター動作中のラッチ機構に関する不具合であり、今回の事象との関連はない。
アリドリット2号 ^{※2} (米国)	1994.4.5	ターピントリップ装置の原子炉トリップにおいて、制御棒が210ステップから219ステップまでしか挿入されなかった。調査の結果、金属製の異物が制御棒案内板内にあり、制御棒の挿入を妨げていた。	異物となつた、原子炉内の熱電対コラムノズルのファンネルは、設計通りに接触されていなかつた。	全ての熱電対ノズルファンネルに対し、追加の措置を実施した。	制御棒クラスターと制御棒クラスター室内管が異物により異常結合した場合は、制御棒クラスターの引き上がりに影響する可能性があるが、今回の制御棒クラスター切り離し作業時に制御棒クラスターと制御棒クラスター案内管の干涉は確認されていない。
セガード ^{※3} (米国)	1994.7.22	原子炉容器上部を原子炉容器へ脱着付ける作業中に、駆動輪がサーマルスリーブ案内管と必ずしも密着したことにより、上蓋を下降させる際に駆動輪が損傷した。点検の結果、サーマルスリーブに接続されていたファンネルが外れ、上部折心構造物の駆動輪に吊り下がっていた。	流れによる振動等により、サーマルスリーブファンネルが離脱した後、サーマルスリーブを撤去した後に、サーマルスリーブが外れた。	原子炉容器上蓋のサーマルスリーブ加工し、ビンを撤去した後に、サーマルスリーブに接続した。	原子炉容器の干渉に関する不具合であり、今回の事象との関連はない。
エビセ ^{※4} (フランス)	1998.6.11	出力運転中、盤面容器ブレイクが動作動し、原子炉が自動緊急停止したもので、原子炉停止の開始後1本が底高い位置で回着した。	制御棒駆動装置のネジが破損したため、制御棒クラスターが回着していた。	当該制御棒駆動装置の交換およびその他の制御棒駆動装置の点検を実施する。	制御棒駆動装置に関する不具合であり、今回の事象との関連はない。
エビセ2号 ^{※5} (フランス)	2010.2.3	原子炉上蓋取替後の出力運転中、制御棒動作定期試験において、制御棒1本が引き抜きできなくなったため、出力を75%以下まで低下させた。他の制御棒については、動作には問題はなかった。その後の定期試験において、別の制御棒1本が引き抜けなくなつたことからプラント停止することになった。停止操作中、別の制御棒1本が不整合で駆動増加で制御棒が動作不能となつた。	新しく取替えた制御棒駆動装置のアシヤ子機構について、加工と不整形成工程で生成する腐食生成物の除去と分離が不十分だったため、腐食生成物が原団による停止操作中、別の制御棒1本が不整合で抜けないことが分かった。	制御棒駆動装置からの10回の制御棒下を含め、制御棒を全挿入位置から全引抜位置になるまで複数回動作させた。	制御棒駆動装置に関する不具合であり、今回の事象との関連はない。

※1：出典(NEC License Event Report (LER Number: 4561997015))

※2：出典(NEC Information Notice 94-40, "Failure of a Rod Control Cluster Assembly to Fully Insert Following a Reactor Trip at Bradwood Unit2", Mar 26, 1994.)

※3：出典(NEC Information Notice 94-40, Supplement 1, "Failure of a Rod Control Cluster Assembly to Fully Insert Following a Reactor Trip at Bradwood Unit2", Dec 15, 1994.)

※4：出典("INES Level 2 Event Clean-up to Keep Bellville-2 Shut Three More Weeks", Nuclears Week, June 25, 1998, pp. 1-2)

※5：出典(NEC License Event Report (LER Number: 4982010001))

制御棒クラスタ駆動装置の動作不良への対策

- 伊方2号機の制御棒位置のずれ事象への対応として、伊方3号機において以下の対策を実施している。
 - ・ プラント停止時の脱ガス運転時および起動時の高温停止時において浄化流量を最大とし、クラッド低減に努める。
 - ・ プラント起動時の低温停止および高温停止における制御棒の全挿入・全引抜き操作の回数を従来よりも増やすことにより、クラッド排出を促進する。
- なお、制御棒クラスタ駆動装置の駆動機構に関する点検としては下表の点検を実施している。

表 制御棒クラスタ駆動装置の駆動機構に関する点検内容

点検項目		点検内容
低温停止時	ステッピング検査等	モード5 ^{※1} のステッピング検査において、すべての制御棒について、引抜き・挿入操作を実施し、駆動機構の動作タイミングが適切であり、正常に作動することを確認。 また、バンクオーバーラップ検査等において、すべての制御棒について、引抜き・挿入操作を2往復実施し、動作遅れやすべりの傾向がないことを確認。 【伊方2号事象対応；停止バンクの引抜き・挿入操作2往復を追加実施】
高温停止時	高温ならし運転	モード3 ^{※2} において、すべての制御棒について、引抜き・挿入操作を4往復実施し、動作遅れやすべりの傾向がないことを確認。 【伊方2号事象対応；本項目を追加実施】
	制御棒位置指示確認検査	モード3 ^{※2} の100%流量において、ほう素による停止余裕を確保したうえで、すべての制御棒について、引抜き・挿入操作を1往復実施し、それぞれの制御棒位置で制御棒位置指示に問題ないことを確認。
	制御棒落下検査	モード3 ^{※2} の100%流量において、ほう素による停止余裕を確保したうえで、すべての制御棒を全引抜き位置まで引抜いた状態にて原子炉トリップ信号を発信させ、挿入時間が2.5秒以下であることを確認。
運転中	制御棒動作試験	プラント運転中において、1回/3カ月の頻度にて、すべての制御棒について、6~15ステップを挿入・引抜きし、制御棒動作に問題ないことを確認。
	制御棒位置確認	プラント運転中は運転員により常時監視しており、1時間ごとに制御棒の位置が正常であることを確認している。

※1：約2.75MPa、約75°C

※2：約15.4MPa、約286°C

※3：原子炉トリップ信号発信から全ストロークの85%に至るまでの時間

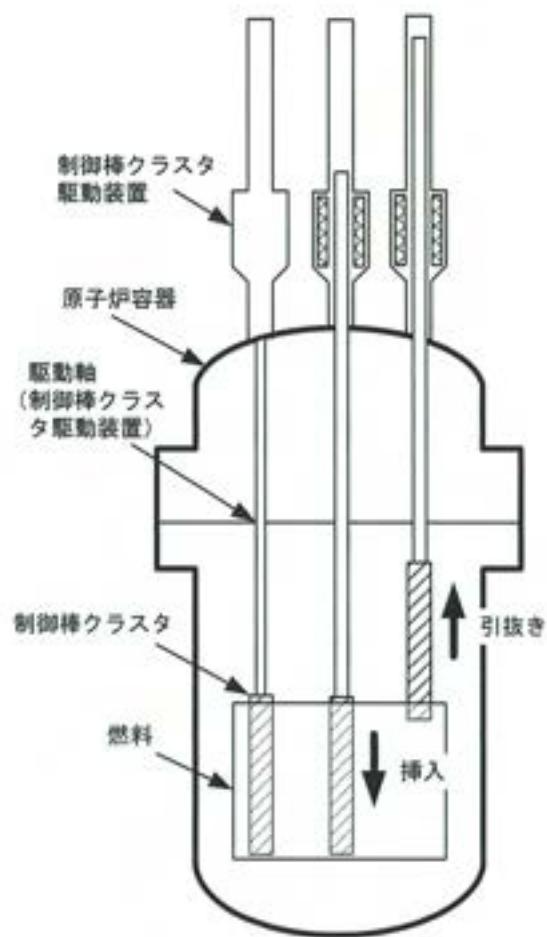


図 制御棒引抜き・挿入操作概略図

引き上がり事象発生時の不完全結合状態ケース検討

1. 目的

本検討では、今回の調査結果（製造記録、外観確認等）との整合性の観点から、引き上がり事象発生時の結合状態を推定する。

ここで、制御棒クラスタと駆動軸の結合状況等の確認において、上部炉心構造物と制御棒クラスタが引き上がった後、制御棒クラスタと駆動軸の切り離し操作を行うことなく制御棒クラスタが切り離されていたことから、完全に結合している状態ではなく、不完全な結合状態であったと考えられる。

よって、不完全結合状態として、以下のケースを想定する。（図-1 参照）

- ・ケース1：仮置き状態位置で不完全結合している場合
- ・ケース2：スパイダ頭部1山目位置で不完全結合している場合
- ・ケース3：スパイダ頭部2山目位置で不完全結合している場合
- ・ケース4：スパイダ頭部3山目位置で不完全結合している場合
- ・ケース5：完全結合位置であるが、位置決めナットはボタンアップ位置にあり、不完全結合している場合
- ・ケース6：スパイダ頭部外部側で不完全結合している場合
- ・ケース7：スパイダ頭部外部側で、位置決めナットがボタンアップ位置で不完全結合している場合

2. 実施内容

（1）検討項目

a. 幾何学的な整合

ケース毎のスパイダ頭部と接手の不完全結合位置が幾何学的な観点から起り得るか否か（整合するか否か）を検討した。

検討の観点としては、

- ・設計図での検討
- ・M-4個別の測定値での検討

の2点とし、それぞれを重疊させた場合でも起り得るか否かを総合評価として判断した。

ここで、製造記録確認結果から、駆動軸および制御棒クラスタは、設計図通り製作されていたことから、設計図の検討では、製作・組立時の公差を考慮すると共に製作・組立公差を駆動軸が最も大きく傾くように仮定した場合の駆動軸の傾きについても考慮する。

b. 外観確認結果との整合

ケース毎のスパイダ頭部と接手の不完全結合位置を想定した場合に、図-2に

示す外観確認で確認された接手内外面の接触痕、位置決めナットの接触痕が生じ得るか否か（整合するか否か）を検討した。

c. 手順との整合

ケース毎のスパイダ頭部と接手の不完全結合状態が、今回の事象が発生した際の手順において起こり得るか否か（整合するか否か）を検討した。

3. 検討結果

表-1にケース毎の検討項目a, b, cに対して検討した結果を示す。

a. 幾何学的な整合

ケース1～5の不完全結合状態については、起こり得る（整合する）という結果になった。一方、ケース6, 7の不完全結合状態については、製作・組立公差および駆動軸の傾きを最大限考慮し、M-4の接手の開きも重畠させたとしても起こり得ない（整合しない）という結果となった。

b. 外観確認結果との整合

全ての接触痕と整合する不完全結合状態はなかったが、全てのケースにおいて、いずれかの接触痕がつく可能性はあった。

c. 手順との整合

ケース1, 6は、駆動軸切り離し後に、位置決めナットが所定の位置まで下降しているため、整合する。また、ケース2～4は、位置決めナットが所定位置まで下降しないという条件付きの場合において整合し、ケース5, 7においては、位置決めナットがボタンアップ位置に留まっており、整合しないという結果になった。

以上より、ケース1～7のうち、検討項目a, b, cが3つとも整合する（条件付きで整合する場合含む）ケース1～4については、その不完全結合状態が起こり得ると考えられるため、部分モデルによる引き上がり状態実証試験を行い、当該不完全結合状態で実際に制御棒クラスタを引き上げ得るか添付資料-11で確認する。

以上

表1 引き上り事象発生時の不完全結合状態ケース検討

不完全結合状態		a. 球同軸的な整合					b. 外観確認結果との整合					c. 手順との整合	部分モデル 実証試験の要否
		設計図(共通)		M-4個別	総合評価	①	②	③	④	⑤	⑥		
不完全結合位置	ケースNo.	製作・組立公差を考慮	駆動軸の傾き ^{※1}	測定値 (接手の開き)		接手外表面直線部の局所的な接触痕 (4カ所)	接手外表面テバ部の周方向接触痕	接手内表面直線部の接触痕	位置決めナット直線部の接触痕	スパイダ頭部の円環部上面の接触痕 (色調の変化)	スパイダ頭部の内部テバ面の接触痕 (色調の変化)	c. 手順との整合	部分モデル 実証試験の要否
位置き状態位置	ケース1	○ ○ ○	製作・組立公差内であれば、当該位置に接手は位置するため、整合する	駆動軸が直立位置から最大傾き範囲内であれば、当該位置に接手は位置するため、整合する	接手部の寸法計測で得られた33.6mmの接手の開きを考慮しても当該位置に接手は位置するため、整合する	製作・組立公差、駆動軸の傾き、測定結果を重複させても起こり得るため、整合する	接手の当該接触痕位置とスパイダ頭部が接触せず、整合しない	接手の当該接触痕位置と位置決めナットが接触せず、整合する	位置決めナットの当該接触痕位置と接手が接触せず、整合しない	スパイダ頭部の当該接触痕位置と接手が接触せず、整合しない	○	○	最同軸的な整合、外観確認結果との整合、手順との整合いずれとも整合しているため、実施する
スパイダ頭部1山目位置	ケース2	○ ○ ○	製作・組立公差内であれば、位置決めのナットの位置次第で傾き範囲内であれば、位置次第に接手は位置するため、整合する	駆動軸が直立位置から最大傾き範囲内であれば、位置次第に接手は位置するため、整合する	接手部の寸法計測で得られた33.6mmの接手の開きを考慮しても位置決めのナットの位置次第に接手は位置するため、整合する	製作・組立公差、駆動軸の傾き、測定結果を重複させても起こり得るため、整合する	接手の当該接触痕位置とスパイダ頭部が接触せず、整合する	接手の当該接触痕位置と位置決めナットが接触せず、整合しない	位置決めナットの当該接触痕位置と接手が接触せず、整合しない	スパイダ頭部の当該接触痕位置と接手が接触せず、整合しない	△	○	最同軸的な整合、外観確認結果との整合と整合し、手順との整合においても起こりうる可能性があるため、実施する
スパイダ頭部2山目位置	ケース3	○ ○ ○	製作・組立公差内であれば、位置決めのナットの位置次第で傾き範囲内であれば、位置次第に接手は位置するため、整合する	駆動軸が直立位置から最大傾き範囲内であれば、位置次第に接手は位置するため、整合する	接手部の寸法計測で得られた33.6mmの接手の開きを考慮しても位置決めのナットの位置次第に接手は位置するため、整合する	製作・組立公差、駆動軸の傾き、測定結果を重複させても起こり得るため、整合する	接手の当該接触痕位置とスパイダ頭部が接触せず、整合する	接手の当該接触痕位置と位置決めナットが接触せず、整合しない	位置決めナットの当該接触痕位置と接手が接触せず、整合しない	スパイダ頭部の当該接触痕位置と接手が接触せず、整合しない	△	○	最同軸的な整合、外観確認結果との整合と整合し、手順との整合においても起こりうる可能性があるため、実施する
スパイダ頭部3山目位置	ケース4	○ ○ ○	製作・組立公差内であれば、位置決めのナットの位置次第で傾き範囲内であれば、位置次第に接手は位置するため、整合する	駆動軸が直立位置から最大傾き範囲内であれば、位置次第に接手は位置するため、整合する	接手部の寸法計測で得られた33.6mmの接手の開きを考慮しても位置決めナットの位置次第に接手は位置するため、整合する	製作・組立公差、駆動軸の傾き、測定結果を重複させても起こり得るため、整合する	接手の当該接触痕位置とスパイダ頭部が接触せず、整合する	接手の当該接触痕位置と位置決めナットが接触せず、整合しない	位置決めナットの当該接触痕位置と接手が接触せず、整合しない	スパイダ頭部の当該接触痕位置と接手が接触せず、整合しない	△	○	最同軸的な整合、外観確認結果との整合と整合し、手順との整合においても起こりうる可能性があるため、実施する
完全結合位置 (位置決めナットはボタンアップ位置)	ケース5	○ ○ ○	製作・組立公差内であれば、当該位置に接手は位置するため、整合する	駆動軸が直立位置から最大傾き範囲内であれば、当該位置に接手は位置するため、整合する	接手部の寸法計測で得られた33.6mmの接手の開きを考慮しても位置決めナットの位置次第に接手は位置するため、整合する	製作・組立公差、駆動軸の傾き、測定結果を重複させても起こり得るため、整合する	接手の当該接触痕位置とスパイダ頭部が接触せず、整合する	接手の当該接触痕位置と位置決めナットが接触せず、整合しない	位置決めナットの当該接触痕位置と接手が接触せず、整合しない	スパイダ頭部の当該接触痕位置と接手が接触せず、整合しない	○	×	最同軸的な整合、外観確認結果との整合と整合し、手順との整合においても起こりうる可能性があるため、実施する
スパイダ頭部外部側	ケース6	× × ×	製作・組立公差を最大限考慮してもスパイダ頭部外表面側に接手は位置せず、整合しない ^{※2}	駆動軸の傾きを最大限考慮してもスパイダ頭部外表面側に接手は位置せず、整合しない ^{※2}	接手部の寸法計測で得られた33.6mmの接手の開きを考慮してもスパイダ頭部外表面側に接手は位置せず、整合しない ^{※2}	製作・組立公差、駆動軸の傾き、測定結果を重複させても起こりえず、整合しない ^{※2}	接手の当該接触痕位置とスパイダ頭部が接触せず、整合しない	接手の当該接触痕位置と位置決めナットが接触せず、整合しない	位置決めナットの当該接触痕位置と接手が接触せず、整合しない	スパイダ頭部の当該接触痕位置と接手が接触せず、整合しない	○	○	最同軸的な整合において、位置決めナットが規定位置まで下回していなかったため、実施しない
スパイダ頭部外部側 (位置決めナットはボタンアップ位置)	ケース7	× × ×	製作・組立公差を最大限考慮してもスパイダ頭部外表面側に接手は位置せず、整合しない ^{※2}	駆動軸の傾きを最大限考慮してもスパイダ頭部外表面側に接手は位置せず、整合しない ^{※2}	接手部の寸法計測で得られた33.6mmの接手の開きを考慮してもスパイダ頭部外表面側に接手は位置せず、整合しない ^{※2}	製作・組立公差、駆動軸の傾き、測定結果を重複させても起こりえず、整合しない ^{※2}	接手の当該接触痕位置とスパイダ頭部が接触せず、整合しない	接手の当該接触痕位置と位置決めナットが接触せず、整合しない	位置決めナットの当該接触痕位置と接手が接触せず、整合しない	スパイダ頭部の当該接触痕位置と位置決めナットが接触するため、整合する	○	×	最同軸的な整合と手順との整合において、位置決めナットが規定位置まで下回していなかったため、実施しない

※1:製作・組立公差を駆動軸が最も大きく傾くように仮定した場合の駆動軸の傾きを考慮する。(詳細は別添参考)

※2:詳細は別添参考。

○:整合する
 △:条件付きで整合する
 ×:整合しない

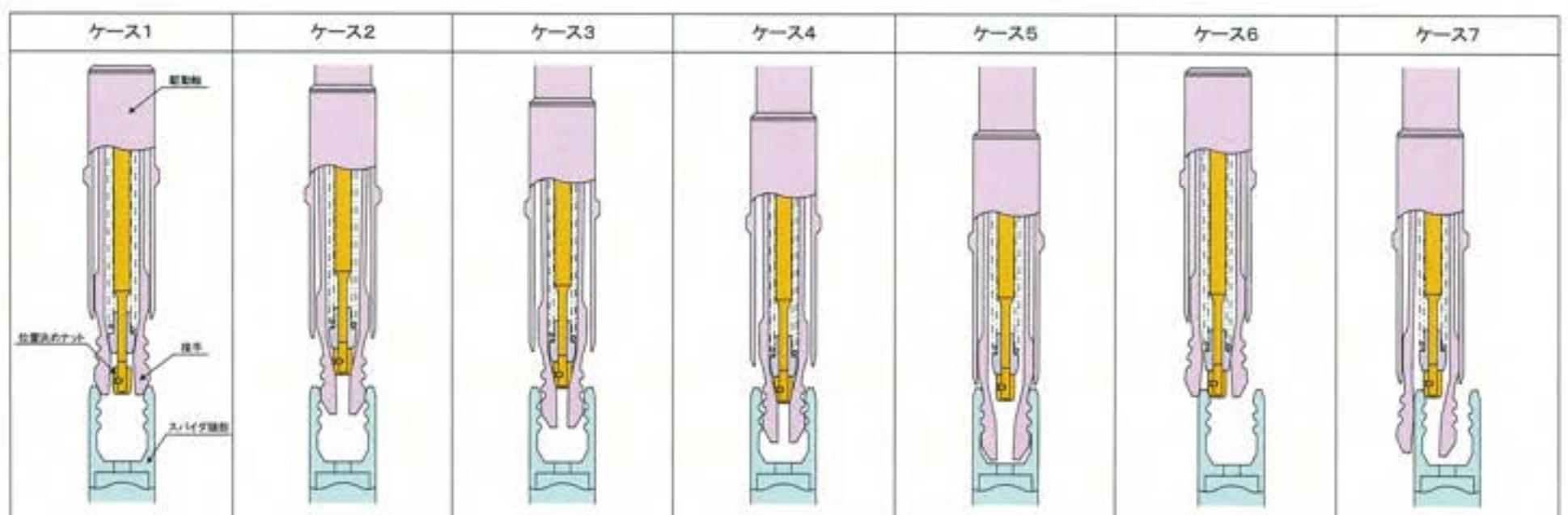


図-1:各ケースの概要図



図-2:駆動軸およびスパイダ頭部の外観確認結果

ケース6、7における幾何学的な整合検討結果

1.はじめに

不完全結合状態であるケース6、7の状態が幾何学的に起こり得るか否か（整合するか否か）を検討した結果を示す。

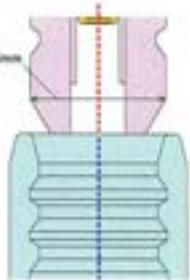
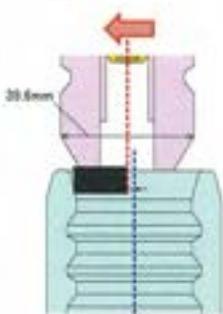
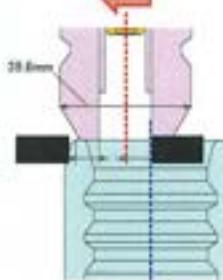
2.検討結果

ケース6、7の状態が、幾何学的に起こり得るか否かを検討する際、駆動軸の接手先端がスパイダ頭部の円環部上面を乗り越えるか否かが重要となる。

ここで、検討に際しては、設計上考え得る接手先端とスパイダ頭部の水平方向のずれおよび測定結果であるM-4の接手の開き量39.6mmを考慮してもスパイダ頭部の円環部上面を乗り越えるか否かを表-1のとおり、ステップ毎に検討した。各ステップは以下のとおり。

- ・ステップ1：M-4の接手の開き量39.6mmを考慮する。
(駆動軸とスパイダ頭部のアライメントのズレなし)
- ・ステップ2：設計上考え得る製作・組立公差を保守的に絶対和で積み上げ、その値を接手先端とスパイダ頭部のアライメントのズレとし、ステップ1の接手の開き量に付加する。(表-2参照)
- ・ステップ3：ステップ1、2の状態で、駆動軸全体を制御棒クラスタ案内管内部の空間の範囲内で傾かせる。(表-2参照)

表-1 幾何学的な整合における各ステップでの検討

ステップ1	ステップ2	ステップ3
		
アライメントのズレなしの状態でM-4の接手の開き量39.6mmを考慮。	保守的に製作・組立公差の絶対和の積み上げ ■をアライメントのズレとして考慮。	駆動軸を制御棒クラスタ案内管内部の空間の範囲内で最大■水平移動。 駆動軸全体を制御棒クラスタ案内管内部の空間の範囲内で傾かせる。この時の傾き■による水平方向ずれ量は、■

枠内の範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

表-2 ステップ2、3で考慮した水平方向のズレ

■の積み上げ方		駆動軸全体の傾き量の考え方	
■の積み上げ方の考え方	■の考え方	駆動軸上端位置の考え方	■の考え方
[A] + [B]	[C] × √2	[D] + [E]	[F] + [G]

併用みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

表-1より、幾何学的に設計上考え得る接手先端とスパイダ頭部の水平方向のずれおよび測定結果であるM-4の接手の開き量を考慮してもスパイダ頭部の円環部上面を乗り越えることはなく、ケース6, 7の様にスパイダ頭部外部側で不完全結合することはないと考えられる。

以上

部分モデルによる引き上がり状態実証試験

1. 目的

本試験では、制御棒クラスタと駆動軸の切り離し操作後の意図しない駆動軸と制御棒クラスタの再結合により、制御棒クラスタが引き上がる可能性を想定して、駆動軸と制御棒クラスタの取り合いを部分的に模擬した供試体を用いて、制御棒クラスタの引き上がりが生じるかどうかを確認する。

また、制御棒クラスタと駆動軸の結合状況等の確認において、上部炉心構造物と制御棒クラスタが引き上がった後、制御棒クラスタと駆動軸の切り離し操作を行うことなく制御棒クラスタが切り離されていたことから、実証試験においては、引き上がり後に容易に切り離されるかの観点でも確認を行う。

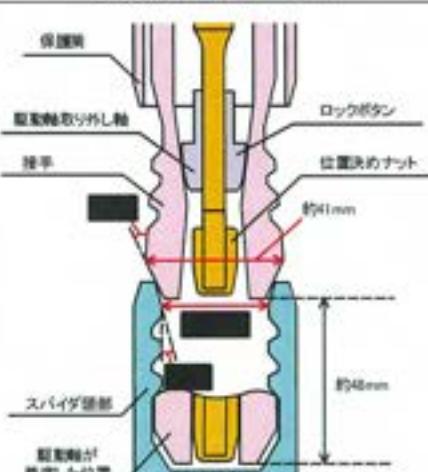
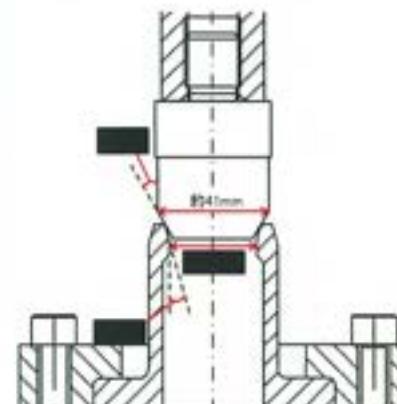
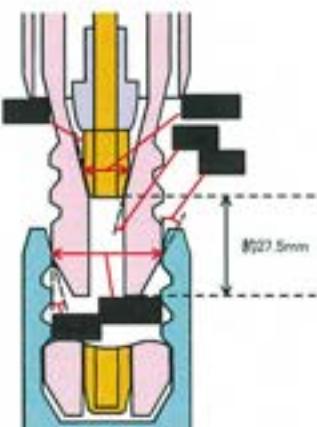
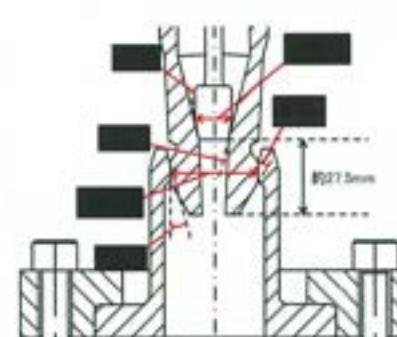
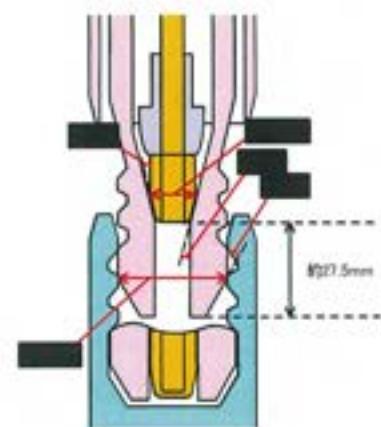
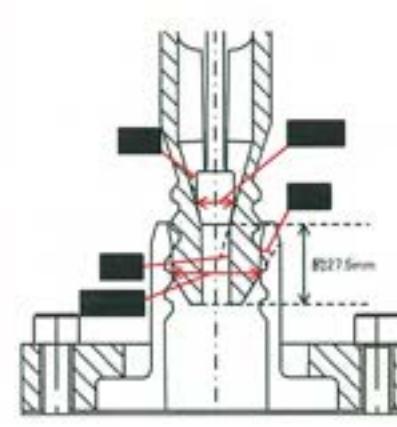
実証試験は、添付資料-1-0で選定したケース1, 2, 3, 4とするが、ケース4については、ケース3で代表し、引き上がり状態が生じた可能性がケース1, 2よりケース3の方が高い場合に実施する。

ここで、表-1にケース1, 2, 3の不完全結合イメージとモデル化した供試体を示す。

- ・ケース1：仮置き位置（駆動軸が着座した位置：駆動軸が制御棒クラスタと結合した状態（駆動軸が着底した位置）から48mm上方）で押付け力がかった場合
- ・ケース2：スパイダ頭部の上端から1山目の直線部分と接手先端から1山目の直線部分（局所的な接触痕が観察された位置）が接触した場合
(幾何学的な関係から位置決めナットは接手先端から約27.5mm上方)
- ・ケース3：スパイダ頭部の上端から2山目の直線部分と接手先端から1山目の直線部分（局所的な接触痕が観察された位置）が接触した場合
(幾何学的な関係から位置決めナットは接手先端から約27.5mm上方)

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

表-1 ケースごとの供試体

	不完全結合イメージ図	モデル化	供試体
ケース1	 <p>保護筒 駆動歫取り外し歫 レバ 位置決めナット 約41mm スパイダ歫 駆動歫が 最初の小位置</p>	⇒	 <p>約41mm</p>
ケース2	 <p>約27.5mm</p>	⇒	 <p>約27.5mm</p>
ケース3	 <p>約27.5mm</p>	⇒	 <p>約27.5mm</p>

2. 実施内容

(1) 試験項目

① 吊り上がり状態実証試験

・ケース1（仮置き位置で押付け力がかかった場合）

接手テーパ部とスパイダ頭部内面のテーパ部同士が接触し、仮置き時の荷重である [] kgf の荷重（駆動軸+吊り上げ工具の水中重量に相当する荷重）がかかった場合、くさび効果により制御棒クラスタの引き上がりが生じるか確認する。

このとき、15サイクルの使用を勘案するため、接手外面が面荒れなしの場合（機械加工後の静止摩擦係数が小さい状態）、面荒れありの場合（表面状態が粗く静止摩擦係数の大きい状態）の2種類で実施する。

・ケース2（スパイダ頭部の上端から1山目の直線部分と接手先端から1山目の直線部分（局所的な接触痕が観察された位置）が接触した場合）

接手ストレート部とスパイダ頭部内面の1山目ストレート部同士が接触し、くさび効果による制御棒クラスタの引き上がりが生じるか確認する。ここで、当該接触状況においては、幾何学的な関係から位置決めナットは接手先端から約27.5 mm上方に位置し、仮置き後に駆動軸が沈み込んだ位置関係になる。

このとき、15サイクルの使用を勘案するため、接手内外面が面荒れなしの場合（機械加工後の静止摩擦係数が小さい状態）、面荒れありの場合（表面状態が粗く静止摩擦係数の大きい状態）の2種類で実施する。なお、接手内面のテーパ面は通常摺動しないため、面荒れなしの場合のみとし、位置決めナットの表面状態についても、実機ではクロムメッキが施されており面が荒れることは無いと考えられるため、面荒れなしの場合のみとする。

・ケース3（スパイダ頭部の上端から2山目の直線部分と接手先端から1山目の直線部分（局所的な接触痕が観察された位置）が接触した場合）

接手ストレート部とスパイダ頭部内面の2山目ストレート部同士が接触し、くさび効果による制御棒クラスタの引き上がりが生じるか確認する。ここで、当該接触状況においては、幾何学的な関係から位置決めナットは接手先端から約27.5 mm上方に位置し、仮置き後に駆動軸が沈み込んだ位置関係になる。

このとき、15サイクルの使用を勘案するため、接手内外面が面荒れなしの場合（機械加工後の静止摩擦係数が小さい状態）、面荒れありの場合（表面状態が粗く静止摩擦係数の大きい状態）の2種類で実施する^{*}。なお、接手内面のテーパ面は通常摺動しないため、面荒れなしの場合のみとし、位置決めナットの表面状態についても、実機ではクロムメッキが施されており面が荒れることは無いと考えられるため、面荒れなしの場合のみとする。

※：面荒れなしの状態で制御棒クラスタの引き上がりが生じ得る荷重が発生したため、面荒れありの場合の試験は省略する。

② 摩擦係数確認試験

ケース1、2、3の接触面の静止摩擦係数を試験により確認する。確認方法としては、供試体の静止摩擦係数を測定すると共に、当該供試体は実機と材料および環境（水中／気中）が異なるため、実機材料および水中環境での静止摩擦係数を測定し、比較を行う。

(2) 試験条件

a. 供試体・試験体

① 引き上がり状態実証試験

引き上がり状態実証試験に用いる供試体（ケース1、2、3）は、表-1に示す不完全結合状態を模擬するのに必要な範囲を製作し、寸法については、伊方3号機のスパイダ頭部および駆動軸の図面をもとに、同寸法となるように製作した。なお、接手の材料については、特殊な材料であるため、硬さを模擬した材料を使用した。（表-2、図-1参照）

② 摩擦係数確認試験

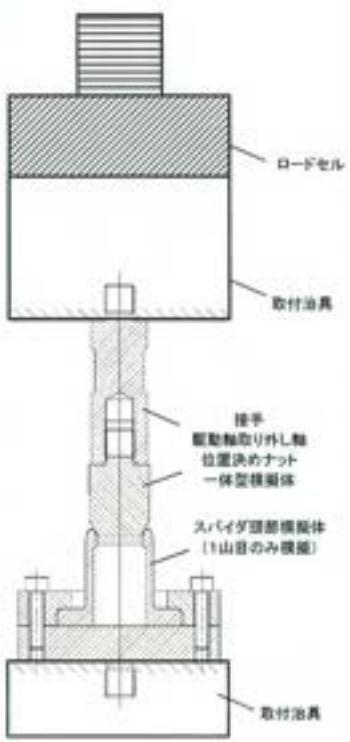
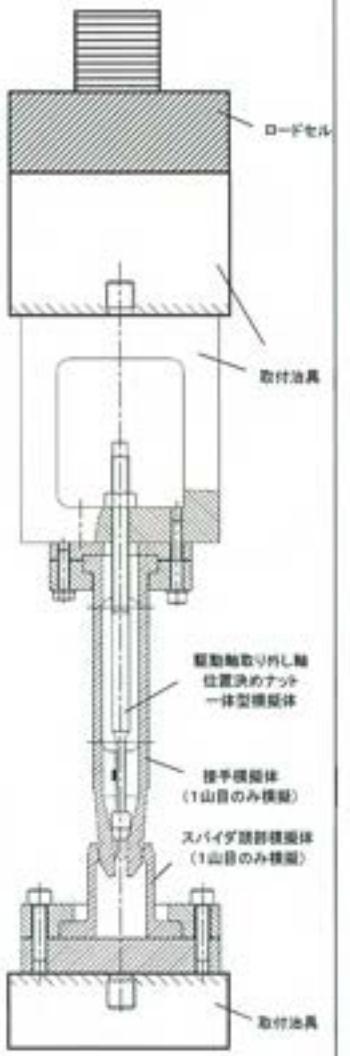
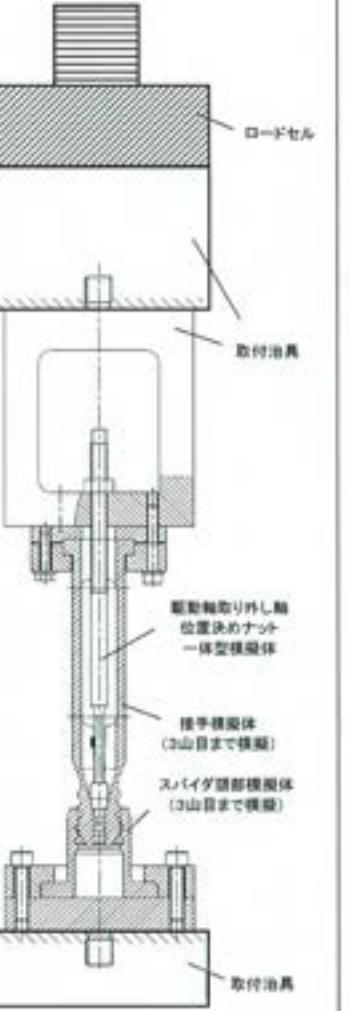
摩擦係数確認試験に用いる試験体は、供試体と同等である材料および実機と同等である材料を固定片（接手材：25×6mm）、運動片（位置決めナット材、スパイダ頭部材：80×10mm）の形状に加工した。（表-3参照）

表-2 実機材と供試体の材料比較

	実機	ケース1供試体	ケース2供試体	ケース3供試体
接手	SUS403 (熱処理材)	炭素鋼 ^{注1}	炭素鋼 ^{注1}	炭素鋼 ^{注1}
駆動軸取り外し軸	SUS304	接手と一体	位置決めナットと 一体	位置決めナットと 一体
位置決めナット	SUS304 (クロムメッキ)	接手と一体	SUS304 ^{注2}	SUS304 ^{注2}
スパイダ頭部	SUS304	SUS304	SUS304	SUS304

注1:接手の材料(SUS403熱処理材)は特殊な材料であるため、供試体には、実機材の硬さ(HB:248)と同等の硬さ(HB:257)の炭素鋼を使用した。

注2:ケース2、3の供試体では、位置決めナット表面のクロムメッキを模擬していないが、静止摩擦係数がクロムメッキを施工した場合と同等であることを確認した。

	ケース1供試体	ケース2供試体	ケース3供試体
形状	 <p>ロードセル 取付治具 接手 駆動軸取り外し軸 位置決めナット 一体型模擬体 スパイダ頭部模擬体 (1山目のみ模擬) 取付治具</p>	 <p>ロードセル 取付治具 駆動軸取り外し軸 位置決めナット 一体型模擬体 接手模擬体 (1山目のみ模擬) スパイダ頭部模擬体 (1山目のみ模擬) 取付治具</p>	 <p>ロードセル 取付治具 駆動軸取り外し軸 位置決めナット 一体型模擬体 接手模擬体 (3山目まで模擬) スパイダ頭部模擬体 (3山目まで模擬) 取付治具</p>
荷重	<p>[REDACTED] kgf^{注1} (駆動軸+工具の水中重量に 相当する荷重)</p>	<p>[REDACTED] kgf^{注2} (ばね力)</p>	<p>[REDACTED] kgf^{注2} (ばね力)</p>

注1:スパイダ頭部模擬体に作用する荷重

注2:一体型模擬体(駆動軸取り外し軸、位置決めナット)の駆動軸取り外し軸下端の位置決めナットに作用する荷重

図-1 供試体イメージ図

表-3 摩擦係数確認試験の試験体条件

	供試体と同等材			実機と同等材		
	材料	荒さ	組合せ	材料	荒さ	組合せ
スパイダ 頭部	SUS304	・面荒れなし ・面荒れあり ^{注1}	2種類	SUS304	・面荒れなし ・面荒れあり ^{注1}	2種類
接手	炭素鋼	・面荒れなし ・面荒れあり ^{注1}		SUS403 (熱処理材)	・面荒れなし ・面荒れあり ^{注1}	
位置決 めナット	SUS304	・面荒れなし	1種類	SUS304 (クロムメッキ)	・面荒れなし	1種類

注1:面荒れありの条件では、接触部の表面をサンドペーパ#40で仕上げた。

b. 荷重条件

① 吊り上がり状態実証試験

・ケース1

スパイダ頭部の模擬体（1山目のみ模擬）に対して、実機と同じく [] k g f（駆動軸+吊り上げ工具の水中重量に相当する荷重）が作用するように、一体型模擬体（接手、駆動軸取り外し軸、位置決めナット）を [] k g f の荷重でスパイダ頭部の模擬体に押し付ける。

・ケース2

スパイダ頭部の模擬体（1山目のみ模擬）に対して、接手の模擬体を接触させた状態で、実機と同じく位置決めナットが接手先端から約27.5mm上方に位置するときのバネ力（[] k g f）を一体型模擬体（駆動軸取り外し軸、位置決めナット）の駆動軸取り外し軸下端の位置決めナットに作用させる。

・ケース3

スパイダ頭部の模擬体（3山目まで模擬）に対して、接手の模擬体を接触させた状態で、実機と同じく位置決めナットが接手先端から約27.5mm上方に位置するときのバネ力（[] k g f）を一体型模擬体（駆動軸取り外し軸、位置決めナット）の駆動軸取り外し軸下端の位置決めナットに作用させる。

② 摩擦係数確認試験

静止摩擦係数を取得するため、実機および引き上がり状態実証試験で各接触面に発生すると想定される荷重範囲（約 [] ~ [] k g f）を試験体に作用させる。

(3) 試験方法・判定基準

① 引き上がり状態実証試験

各ケースの荷重を作成させた後、引張試験機を用い、各ケースの駆動軸模擬体とスパイダ頭部模擬体間に生じている荷重（制御棒クラスタ引上荷重）を測定し、約 [REDACTED] kgf（制御棒クラスタの水中重量に相当する荷重）以上の荷重が発生するか否かを確認する。試験装置を図-2に示す。

・ケース1

- 一体型模擬体（接手、駆動軸取り外し軸、位置決めナット）を、スパイダ頭部の模擬体（1山目のみ模擬）へ静的に [REDACTED] kgf で押付ける。
- スパイダ頭部の模擬体を下方向に引き下げ、その際に必要となる荷重を測定する。（実機では、駆動軸側が上方向に引き上げられるが、試験装置の都合上、荷重の向きは実機と逆方向とする。）

・ケース2

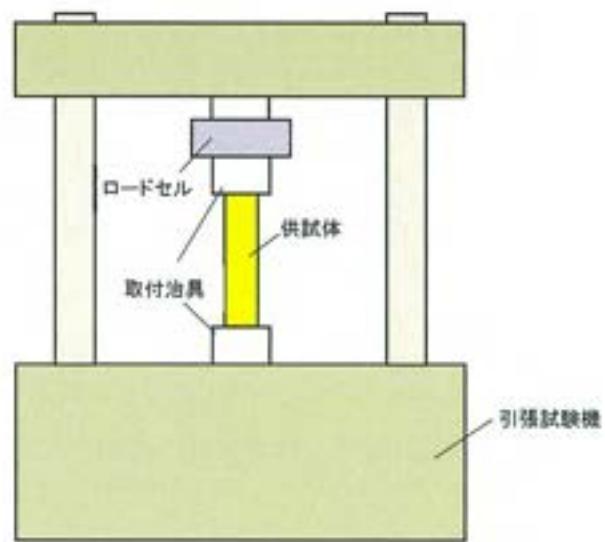
- スパイダ頭部の模擬体（1山目のみ模擬）に接手の模擬体を挿入する。
- 駆動軸取り外し軸の模擬体頂部の位置決めナットに [REDACTED] kgf の締め付け荷重を作成させることで、位置決めナットを接手の模擬体に対して押付ける。
- この状態でスパイダ頭部の模擬体を下方向に引き下げ、その際に必要となる荷重を測定する。（実機では、駆動軸側が上方向に引き上げられるが、試験装置の都合上、荷重の向きは実機と逆方向とする。）

・ケース3

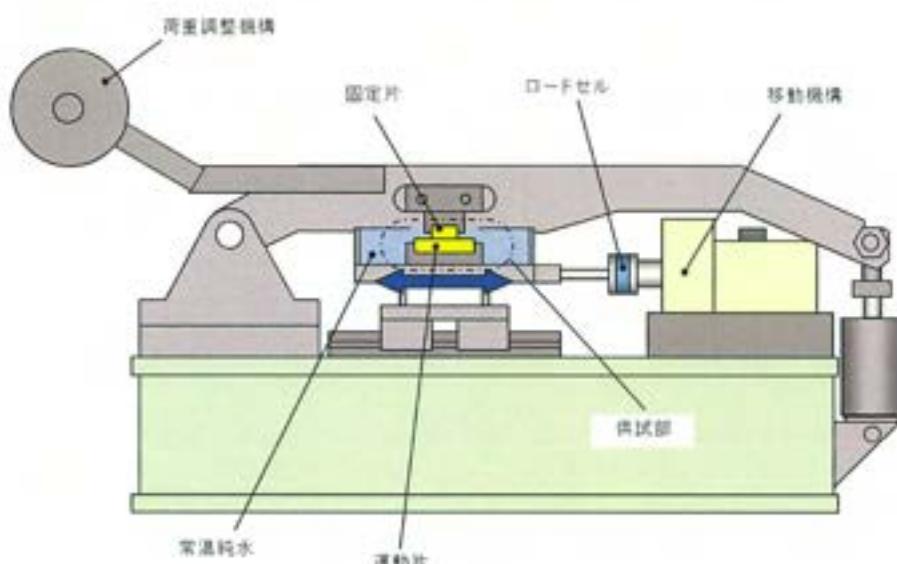
- スパイダ頭部の模擬体（3山目まで模擬）に接手の模擬体を挿入する。
- 駆動軸取り外し軸の模擬体頂部の位置決めナットに [REDACTED] kgf の締め付け荷重を作成させることで、位置決めナットを接手の模擬体に対して押付ける。
- この状態でスパイダ頭部の模擬体を下方向に引き下げ、その際に必要となる荷重を測定する。（実機では、駆動軸側が上方向に引き上げられるが、試験装置の都合上、荷重の向きは実機と逆方向とする。）

② 摩擦係数確認試験

平板摺動試験装置を用い、押付荷重約 [REDACTED] ~ [REDACTED] kgf を作用させ、摺動方向の荷重（運動片が動き出す直前の荷重）を測定することで、静止摩擦係数を算出する。試験装置を図-3に示す。



図－2 吊り上がり状態実証試験装置（概念図）



図－3 摩擦係数確認試験（概念図）

3. 試験結果

① 引き上がり状態実証試験

引き上がり状態実証試験のケース1, 2, 3の結果を表-4, 5, 6に示す。

ケース1の場合は、面荒れありの状態（静止摩擦係数が大きく引き上りが生じやすい場合）でも、制御棒クラスタ引上荷重は0 kgfであり、制御棒クラスタの引き上がりは発生しないことを確認した。

一方、ケース2の場合は、面荒れなしの状態において、制御棒クラスタ引上荷重が41～61kgf、面荒れありの状態において、制御棒クラスタ引上荷重が114～147kgfであり、制御棒クラスタの引き上がりが発生することを確認した。また、ケース3の場合には、面荒れなしの状態でも、制御棒クラスタ引上荷重が1,000kgf以上となり、制御棒クラスタの引き上がりが発生することを確認した。なお、ケース3については、面荒れなしのケースで制御棒クラスタの水中重量に相当する荷重（約 [] kgf）を大幅に上回る引上荷重が計測されたため、引き上がりがより生じやすい面荒れありの状態での試験は省略することとした。

ここで、今回の事象において、引き上がり後、制御棒クラスタと駆動軸の切り離し操作を行うことなく制御棒クラスタが切り離されていたことから、引き上がり後に容易に切り離される程度の不完全結合であったと類推されるため、ケース3の制御棒クラスタ引上荷重1,000kgf以上は容易に切り離される荷重とは言い難く、今回の事象とは異なると考える。

また、ケース1, 2, 3の試験後の接触面の写真を図-4に示す。ケース1の写真から、実機接手外面のテーパ部の接触痕およびスパイダ頭部の円筒部内面の傷とよく似た接触痕が部分的に確認された。ケース2の写真から、実機引き上がり事象の発生した駆動軸（M-4）接手外面の局所的な接触痕とよく似た接触痕が確認された。一方、ケース3の写真から、実機引き上がり事象の発生した駆動軸（M-4）接手外面の局所的な接触痕とは大きく様相の異なる接触痕が確認された。このことからも、ケース3は今回の事象を再現しているとは言い難い。

② 摩擦係数確認試験

摩擦係数確認試験の結果を表-7に示す。供試体の静止摩擦係数は、接手とスパイダ頭部との接触面が [] ~ [] であり、位置決めナットと接手内面の接触面が [] であった。また、実機と同材かつ水中環境の静止摩擦係数がそれぞれ [] ~ [] と [] ~ [] であり、供試体の静止摩擦係数と概ね一致しており、今回の吊り上がり状態実証試験の結果は、実機材かつ水中環境においても再現されると考える。

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

表-4 引き上がり状態実証試験結果（ケース1）

供試体の表面性状		付加荷重	制御棒クラスタ 引上荷重 (kgf)
一体型模擬体 ^{注1}	スパイダ頭部の模擬体	押付荷重 (kgf)	
面荒れなし	面荒れなし	[REDACTED]	0
面荒れあり	面荒れあり	[REDACTED]	0

注1：接手、駆動軸取り外し軸および位置決めナットを一体で模擬した供試体

表-5 引き上がり状態実証試験結果（ケース2）

供試体の表面性状				付加荷重	制御棒クラスタ 引上荷重 (kgf)
接手外面の接触面		接手内面の接触面		バネ力 (kgf)	
接手模擬体	スパイダ頭部 の模擬体	接手模擬体	一体型模擬体 ^{注1}		
面荒れなし	面荒れなし	面荒れなし	面荒れなし	[REDACTED]	41～61
面荒れあり	面荒れあり	面荒れなし	面荒れなし	[REDACTED]	114～147

注1：駆動軸取り外し軸および位置決めナットを一体で模擬した供試体

表-6 引き上がり状態実証試験結果（ケース3）

供試体の表面性状				付加荷重	制御棒クラスタ 引上荷重 (kgf)
接手外面の接触面		接手内面の接触面		バネ力 (kgf)	
接手模擬体	スパイダ頭部 の模擬体	接手模擬体	一体型模擬体 ^{注1}		
面荒れなし	面荒れなし	面荒れなし	面荒れなし	[REDACTED]	1,000 以上
面荒れあり	面荒れあり	面荒れなし	面荒れなし	— ^{注2}	— ^{注2}

注1：駆動軸取り外し軸および位置決めナットを一体で模擬した供試体

注2：面荒れなしの状態で制御棒クラスタの水中重量に相当する荷重（約 [REDACTED] kgf）を大幅に上回る引上荷重が計測されたため、面荒れありの状態については試験を省略した。

表-7 摩擦係数確認試験結果

接触面		表面状態	環境条件	付加荷重 (kgf)	静止摩擦係数
実機 と 同 材	接手外面 [接手 : SUS403 / Xb' 付け頭部 : SUS304]	面荒れなし/ 面荒れなし	常温水中	[■] [■] [■] [■] [■] [■]	[■] [■] [■] [■] [■] [■]
	接手内面 [接手 : SUS403 / 位置決めナット : SUS304 カムナット]	面荒れなし/ 面荒れなし	常温水中	[■] [■]	[■] [■]
	接手外面 [接手 : 炭素鋼 / Xb' 付け頭部 : SUS304]	面荒れなし/ 面荒れなし	常温氣中	[■] [■]	[■] [■]
	接手内面 [接手 : 炭素鋼 / 位置決めナット : SUS304]	面荒れなし/ 面荒れなし	常温氣中	[■] [■]	[■] [■]

注1：実機と同材のケースにおいて、付加荷重 [■] kgf と [■] kgf の条件で静止摩擦係数に有意な差がないことが確認されたため、供試体と同材のケースについては、付加荷重 [■] kgf の条件のみを実施した。

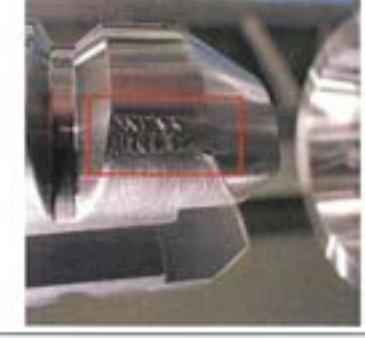
	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4
全体				
接触痕あり	接手2箇所に同様の接触痕あり	接手4箇所に同様の接触痕あり	接手4箇所に同様の接触痕あり	実機:M-12
接触痕拡大				
				
				
				
				

図-4 引き上がり状態実証試験の試験後の接触面（写真）

4. 供試体の表面性状に関する考察

実証試験で用いた接触面における表面性状は、面荒れなしの状態と面荒れありの状態の2種類としたため、面荒れなしの状態、面荒れありの状態および実機駆動軸（M-12）の接手外面の表面性状を比較することで、今回の吊り上がり状態実証試験で用いた表面状態について、考察を行う。

添付資料-8-5 駆動軸の調査結果において、当該駆動軸（M-4）と同じく15サイクル使用した駆動軸（M-12）の接手外面は、図-5に示す様に15サイクルの使用に伴い比較的面荒れのある表面性状になっているが、外観上の表面粗度は面荒れありの状態に比べて軽微であることから、静止摩擦係数は面荒れなしの状態と面荒れありの状態の中間の値になると想えられる。

よって、ケース1においては、実機よりも静止摩擦係数が大きいと思われる面荒れありの状態においても制御棒クラスタ引上荷重が発生しなかったことから、実機の表面性状では制御棒クラスタの引き上がりは生じないと想えられる。一方、ケース2においては、実機の表面性状よりも静止摩擦係数が小さい面荒れなしの状態で制御棒クラスタ引上荷重が41～61kgf、実機の表面性状よりも静止摩擦係数が大きい面荒れありの状態で制御棒クラスタ引上荷重が114～147kgfであるため、面荒れなしの表面性状よりも静止摩擦係数が大きい実機の表面性状で制御棒クラスタ引上荷重が約_____kgf以上となる可能性は十分考えられ、制御棒クラスタの引き上がりが生じる可能性は高い。なお、ケース3については、実機の表面性状よりも静止摩擦係数が小さい面荒れなしの状態でも制御棒クラスタ引上荷重1,000kgf以上となつたため、実機の表面性状ではもっと大きい引上荷重となる可能性がある。

	面荒れなし ^{注1}	実機:M-12	面荒れあり ^{注1}
表面性状			
静止摩擦係数	小	中	大

注1:摩擦係数確認試験で使用した供試体の表面性状

図-5 表面性状の比較

5. まとめ

以上から、今回の制御棒クラスタの吊り上がり事象に対して、部分モデルによる吊り上がり状態実証試験を実施し、

- ・ケース1の状態において、実機表面性状よりも静止摩擦係数が大きい状態で試験を実施したが、吊り上がることはなかった
- ・ケース2の状態において、実機表面性状よりも静止摩擦係数が小さい状態で引上荷重41～61kgf、実機表面性状よりも静止摩擦係数が大きい状態で引上荷重114～147kgfを確認したことから、実機においても吊り上がる可能性が高いことを確認した
- ・ケース3の状態において、ケース2と同様に吊り上がる可能性は高いが、引上荷重が1,000kgf以上と非常に大きく、吊り上がり後に容易に切り離されていた当該事象とは異なる結果となった

ことから、ケース2の状態において、当該事象が発生し得ることを確認した。また、実証試験後の接触面の接触痕も実機駆動軸（M-4）にて観察された局所的な接触痕と同様の様相を呈していることからも、ケース2の状態で実機の吊り上がり事象が発生した可能性が高い。

以上

引き上がり状態実証試験の妥当性について

1.はじめに

引き上がり状態実証試験で今回の事象を再現したと考えるケース2について、実機と実証試験との差異が試験結果に与える影響を考察し、実証試験の妥当性について検討した。

2.検討結果

(1) 実機と試験条件の差異に関する考察

実機の水中環境とは異なる気中試験を行ったことで、実機条件との差異が生じる部分は、供試体の接触面の摩擦力と浮力の影響と考えらえるため、この2つの観点から今回の実証試験に与える影響について、次のとおり考察する。

接触面の摩擦力については、添付資料－11の表－7に示すとおり、供試体各部材の常温気中条件における静止摩擦係数が、実機の常温水中環境下の静止摩擦係数と同等であるため、今回の実証試験に対して問題はない。

また、浮力の影響については、引上荷重の判定基準を、制御棒クラスタの水中重量に相当する荷重（約 [] kgf）として模擬していることから、今回の実証試験に対して問題はない。

よって、気中条件で実証試験を実施することは妥当である。

(2) 実機と供試体の差異に関する考察

実証試験で用いた供試体は、部分モデルかつ実機と材料が異なるものを用いたため、実機寸法かつ実機材料でのFEMモデルを用い、実証試験と同様の結果が得られるか解析により確認した。なお、解析に用いる静止摩擦係数は、摩擦係数確認試験で得られた接手内面の接触面の静止摩擦係数 [] ~ [] (面荒れなし／面荒れなし) および接手外側の接触面の静止摩擦係数 [] ~ [] (面荒れあり／面荒れあり) とする。

ここで、FEMの解析モデルを図－1に示す。同図に示すとおり、接手、位置決めナット、保護筒、スパイダ頭部を実機寸法どおりモデル化した。解析コードは、有限要素法の汎用コードであるANSYSを使用した。

FEM解析では、位置決めナットを接手内面に [] kgf の荷重で接触させ、この荷重により接手外側とスパイダ頭部内面に作用する反力を計算する。この反力に接手外側とスパイダ頭部の円筒部内面の接触面における静止摩擦係数を乗じることで、当該接触面における摩擦力を計算し、制御棒クラスタの水中重量に相当する荷重（約 [] kgf）以上の摩擦力が生じるか否かを確認する。

表－1のFEM解析結果に示すとおり、実証試験と同様に、実機寸法かつ実機材

料でのFEMモデルにおいても、ケース2（接手外面の接触面：面荒れ／面荒れ）の条件において制御棒クラスタ引き上がり事象が発生し得ることが確認されたため、部分モデルの供試体で実証試験を実施することは妥当である。

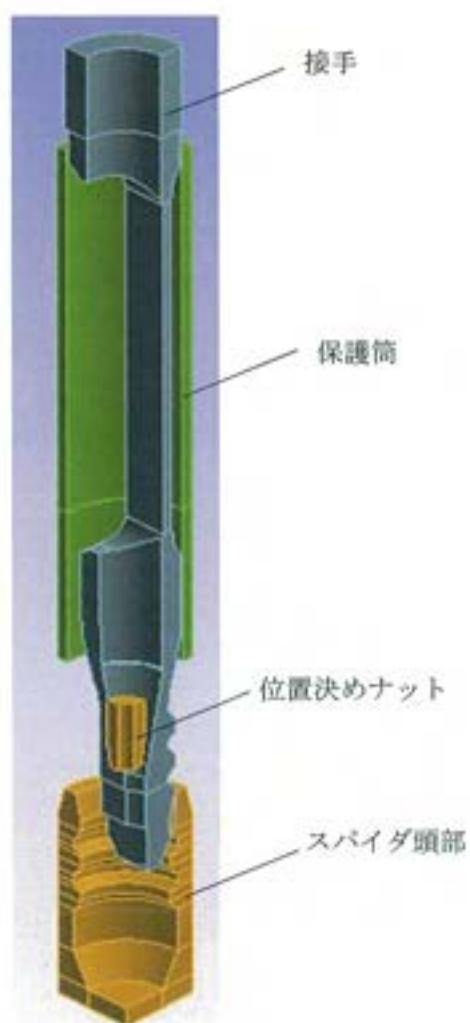


図-1 引き上がり事象の再現解析モデル（ケース2）

表-1 制御棒クラスタ引き上がり事象の再現解析結果（FEM解析結果 vs 實証試験結果）

FEM解析結果				実証試験結果		
静止摩擦係数 ^{注1}	接手外面の 摩擦力 k g f (1箇所あたり)			静止摩擦係数 ^{注4}	引き上がり事象 の成立性 ^{注3}	
	接手外面 ^{注2}	接觸反力 k g f (1箇所あたり)	接手外面の 摩擦力 k g f (4箇所の合計)		接手内面	接手外面 ^{注5}
5.6	5.6	9.0	○			
5.0	5.0	7.9	○			
5.0	5.0	9.9	○			

注1：実機と同材を用いた摩擦係数確認試験結果で取得した静止摩擦係数。

注2：表面状態は、面荒れあり／面荒れ無しの結果。

注3：静止摩擦力が制御棒クラスタの水中重量に相当する荷重（約 [] k g f）を上回る場合は○、下回る場合は×とする。

注4：供試体と同材を用いた摩擦係数確認試験結果で取得した静止摩擦係数。

注5：表面状態は、面荒れあり／面荒れ無しの結果。

注6：引上荷重が制御棒クラスタの水中重量に相当する荷重（約 [] k g f）を上回る場合は○、下回る場合は×とする。

以上から、実機と実証試験（ケース2）との差異が試験結果に与える影響は軽微であり、実証試験は妥当であると考える。

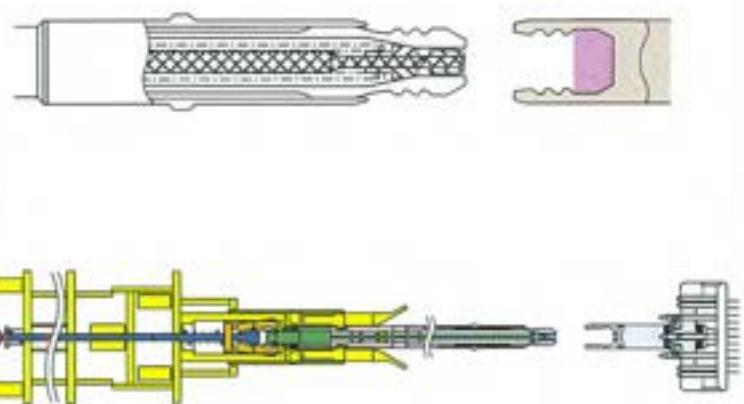
以上

推定メカニズム

<p>① 駆動軸結合状態</p>	<p>② 接手部分解放</p>	<p>③ 駆動軸切り離し</p>
<p>概要図</p>	<p>観察事実</p> <ul style="list-style-type: none"> 制御桿クラスタと駆動軸が結合状態でのベースプレート高さ約60mmを確認 接手内部遮蔽部と位置決めナット直隣部に接觸痕を確認。前者の位置は駆動軸取り外し時に操作により駆動軸に接觸する箇所に相当 	<p>推定メカニズム</p> <ul style="list-style-type: none"> インジケータロッドの上部を確認（駆動軸取り外し時に上昇） 接手内部遮蔽部と位置決めナット直隣部に接觸痕を確認。前者の位置は駆動軸取り外し時に操作により駆動軸に接觸する箇所に相当
<p>関連資料</p>	<p>解説</p> <ul style="list-style-type: none"> スラッシュは1次活動系統外（駆動軸内面含む）で生じたものと考えられ、スパイダ頭部内およびロックボタン周りに複数 手と位置決めナットの間にスラッシュが堆積していた状態で取り外し軸が上昇したことにより、スラッシュ（1mm程度）を介して両者が接触し、接手内部遮蔽部と位置決めナット直隣部に接觸痕が発生 	<p>解説</p> <ul style="list-style-type: none"> 工具を差し上げ、重量が工具と駆動軸の合計重量（[kg]）となっていること 工具と接觸（駆動軸クラスクが切り離されていること） ロックボタン周りのスラッシュは堆積したまま駆動軸取り外し軸が上昇 接手部は操作性体（マルテンサイト系ステンレス鋼）であることから、接手内部遮蔽部および手と接觸した状態で駆動軸が上昇
	<p>解説 1 駆動軸（接手）へのスラッシュの付着</p>	

<p>④ 駆動部手形拘束 インジケータロッド下端 (正規位置より約25mm高い位置)</p>	<p>⑤ 駆動部拘束 ベースプレート高さ(距離) : 12mm [A-B=60-12=48mm]</p>	<p>⑥ 制御桿クラスターと駆動部が不完全結合 (スラッシュ配置)</p> <p>※：棒手外面接触部は黒からのお対応</p> <p>1) 完全結合状態における棒手外面接触部 位置からの測定 382: ベースプレート測定精度を考慮した直 接手外面拘束解除で棒手内面と位置決めナ ットの間に介在したときの介在寸位 (1mm程度)と目標値の大きさと設定</p> <p>2) 完全結合状態における棒手外面接触部 位置からの測定 382: ベースプレート測定精度を考慮した直 接手外面拘束解除で棒手内面と位置決めナ ットの間に介在したときの介在寸位 (1mm程度)と目標値の大きさと設定</p> <p>【工具取り下し時にインジケータロッド下端位置を確認する手順解説】</p> <p>・ベースプレート高さの差 (A-B) が48mmで、管錠内 () であること を確認</p>	<p>概要図</p> <p>【工具取り下し時に駆動部クラスターが脱離】手元でのベースプレート高さ12mmを確認 ・棒手外面接触部に貼り付ける棒手外面接触部を確認</p> <p>【工具取り下し時にインジケータロッド下端位置を確認する手順解説】</p> <p>・駆動部取り外し棒手内面のスライドナットと駆動部取り外し棒手の間に挟まり、駆動部取り外し棒手のスライドナットが挿入され、駆動部がスライダ機構に嵌み込む ・スライダ機構の1段目と棒手外面接触部が接触し、制御桿クラスターと駆動部が完全に結合し、棒手外面接触部の接触箇所に接触感が発生</p> <p>・別添2 不完全結合状態の駆動部の検討 ・別添3 スラッシュ配置時の駆動部の検討</p>

作図みの範囲には機器に係る事項でナシで公開することはできません。

<p>(7) 事象発生 (制御棒クラスター引き上げ)</p>	<p>(8) 制御棒クラスターと駆動軸が不完全結合解除</p>	<p>⑤ 事象発生後の駆動軸引き上げ (制御棒クラスター引き上げ直後)</p> <p>駆動軸 (工具土留カバー) (計画高さ : 145mm)</p> 
	<p>ベースプレートまでの距離 : 15mm</p> 	<p>⑥ 制御棒クラスターと駆動軸の位置関係</p> <p>上部炉心構造物引き上げ時に制御棒クラスターも引き上げられていることを確認 ・上部炉心構造物引き込み後、制御棒クラスターが引き上げられていることを確認 ・上部炉心構造物引き込み後、駆動軸取り外し工員を吊り下ろした際のベースプレートまでの距離 : 15mmであることを探査</p> <p>上部炉心構造物とともに駆動軸が引き上げられる際に、不完全結合している制御棒クラスターも引き上げられ ・上部炉心構造物引き込み後の位置まで下降し、駆動軸がスパイダ形状に着座 ・駆動軸取り外し軸が直角的位置まで下降し、駆動軸がスパイダ形状に着座</p> <p>・専門資料ー11 制分モデルによる引き上げより体感実証試験 ・専注2 不完全結合状態の機理学的検討</p>
		<p>解説図</p> <p>⑦ 制御棒クラスター引き上げから ⑧ 駆動軸 (工具土留カバー) ⑨ 事象発生後の駆動軸引き上げ (制御棒クラスター引き上げ直後)</p> <p>・上部炉心構造物引き込み後、駆動軸取り外し工員を吊り下ろした際のベースプレートまでの距離 : 15mmであることを探査</p> <p>・上部炉心構造物とともに駆動軸が引き上げられる際に、不完全結合している制御棒クラスターも引き上げられ ・上部炉心構造物引き込み後の位置まで下降し、駆動軸がスパイダ形状に着座 ・駆動軸取り外し軸が直角的位置まで下降し、駆動軸がスパイダ形状に着座</p> <p>・専門資料ー11 制分モデルによる引き上げより体感実証試験 ・専注2 不完全結合状態の機理学的検討</p>

絵図が前の画面に残る事項について公開することはできません。

【参考】ステップ②③④でスラッシュの付着形態が異なるケース その1

		(2)-1 摩手部拘束解放 インジケータロッド上昇確認	(3)-1 駆動切り離し 重量確認 (工具±駆動軸) (計画値)	(3)-1 駆動軸手筋筒 インジケータロッド下端 (正確位置より約25mm高い位置)

付図2の範囲は機面に係る事項ですので公開することはできません。

【参考】ステップ②③④でスラッシュの付着形態が異なるケース その2

<p>②-2 摺手脱钩状解放</p>	<p>③-2 脱動輪切り離し （スラッシュによる脱動輪取り外し棒スタッフ）</p>	<p>（スラッシュによる脱動輪取り外し棒スタッフ）</p> <p>（正接位置より約2~2.5cm高い位置）</p> <p>※1 ③不完全脱钩状態における握手外面部 部位からの撤退 ※2 ベースプレート測定高度を考慮した値</p>	<p>【工具吊り下ろし前にインジケータロッド下限位置を確認する手順】</p> <p>・工具吊り上り上げ、重量が工具と脱動輪の合計重量（■kg）となっていることを確認（脱钩棒クラスクが切り離されていることを確認）</p> <p>・インジケータロッドの上昇を確認（脱動輪取り外し棒上昇）</p> <p>・握手内面直角部と握手決めナット直角部に握持感を確認。両者の位置は脱動輪取り外し棒の動作により握持する箇所に相当</p> <p>・ロックボタン周りのスラッシュは増殖したまま脱動輪取り外し棒が上昇</p> <p>・握手と握手決めナットの間にスラッシュが増殖していた状態で取り外し棒が上昇したことにより、スラッシュ（1mm程度）を介して握手が回転し、握手内面直角部と握手決めナット直角部に握持感が発生</p> <p>・別途① 脱動輪（握手）へのスラッシュの付着</p> <p>・別途② 不完全結合状態の握持感的検討</p>
<p>経験事実</p>	<p>推定メカニズム</p>	<p>関連資料</p>	<p>特徴点の範囲は機密に係る事項ですでの公開することはできません。</p>

駆動軸（接手）へのスラッジの付着

推定メカニズムのステップ③の駆動軸切り離し時に、駆動軸の接手にスラッジが付着する可能性について以下に説明する。

制御棒クラスタ駆動装置は、圧力ハウジング外側に配置した3組の駆動コイルへ供給する電流をON/OFFすることで、圧力ハウジング内に設置したラッチアセンブリを駆動する方式となっている。

駆動コイルに通電し磁界が発生すると、磁性材料であるマルテンサイト系ステンレス鋼製の駆動軸（接手：SUS403、駆動軸および取り外しボタン：SUS410）も励磁されることになり、磁化された状態となる。また、駆動コイルへの通電が遮断された後であっても、残留磁気により磁化された状態は維持される。

今回の調査において、制御棒クラスタのスパイダ頭部内に堆積していたスラッジの主成分は、Fe（鉄）とO（酸素）であることが確認されており、駆動軸の調査の際にも、図2に示すようにスラッジと思われる付着物が接手先端に付着していることが確認されている。

また、実機模擬の接手を磁石で磁化させマグネタイトを付着させ、磁石を取り外し後でも残留磁気でマグネタイトが付着した状態を図3に示す。この様子からスラッジ量が多ければ接手溝山部を含む先端部周辺にスラッジが付着すると考えられる。なお、水と空気の透磁率は同等であり、水中での確認であっても水中での状態と同様である。

以上のことから、推定メカニズムのステップ③において、磁化した接手に、スパイダ内に堆積していたスラッジが付着していた可能性は十分考えられる。

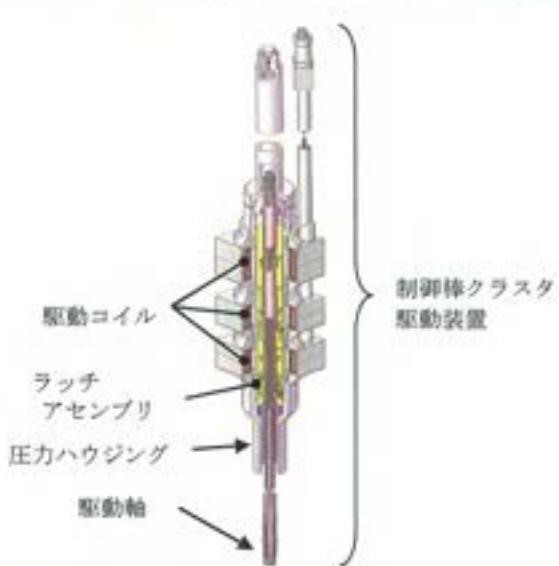


図1 制御棒クラスタ駆動装置 概要図



図2 M-4駆動軸接手部に確認された付着物
(1月25日)



図3 残留磁気による実機模擬接手部への
マグネタイト付着の様子

不完全結合状態の幾何学的検討

推定メカニズムのステップ⑥の制御棒クラスタと駆動軸が不完全結合状態における位置決めナットと接手の位置関係、並びに、ステップ⑤の駆動軸着座時における接手先端位置と位置決めナットと接手の間に挟まるスラッシュ厚さの関係について、以下に説明する。

1. 不完全結合状態における位置決めナットと接手の位置関係

通常、位置決めナットが下端まで降下している場合には、接手が開いた状態で拘束され、図1に示すように接手先端テーパ部とスパイダ頭部テーパ部が線状の接触をしている。また、今回の調査においても当該接触箇所に相当する位置に、図2に示す0.02mm以下（測定下限以下）の接触痕が確認されている。

一方、M-4駆動軸の接手外面直線部には、図4に示すように通常の着座位置よりも高い位置に4点の局所的接触痕が確認されており、図3に示すように通常よりも低い位置（接手がスパイダ頭部に挿入された状態）で駆動軸が着座していたと考えられる。また、この状態で着座するためには、幾何学的な関係より、位置決めナットが接手先端から27.5mm高い位置で接手内面と接している状態となる。なお、この時の接手の浮き上がり量は、通常着座状態を48mmとした場合、33.6mmとなる。これらの位置関係を図5に示す。

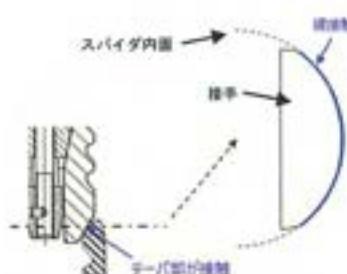


図1 通常の駆動軸着座状態



図2 接手外面テーパ部の接触痕

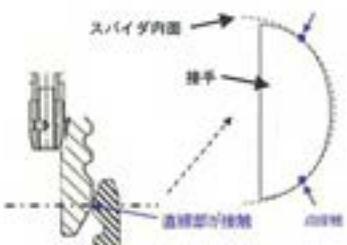


図3 通常よりも低い位置での駆動軸着座状態



図4 接手外面円筒部の局所的接触痕

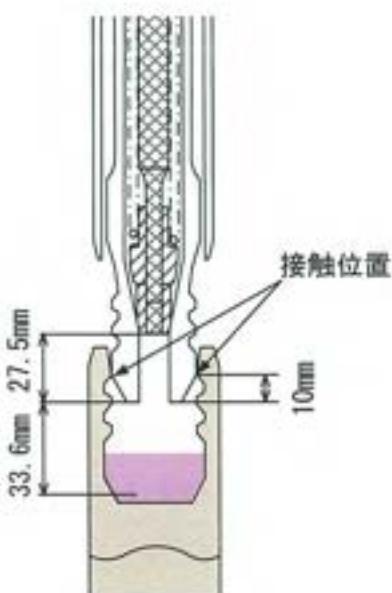


図5 不完全結合時の位置関係

2. 動軸着座時における接手先端位置および位置決めナットと接手の間に挟まるスラッジ厚さの関係

動軸着座時における接手浮き上がり量は作業記録から 48mm となっているが、1. 項の検討結果より、位置決めナットが接手先端から 27.5mm に位置している場合は、接手が拘束されていない状態になることから、この時、接手先端とスパイダ頭部および位置決めナットと接手の間にはスラッジが挟まり、不安定な支持状態となっていたと推定している。ここで、ベースプレート高さの差から求められる接手の浮き上がり量は、最小目盛り 2mm のスケールで計測しており、ステップ①とステップ⑤の差から算出していることを踏まえると、±2mm 程度の計測誤差が考えられる。以上のことから、下記の前提条件の下、浮き上がり量 (A) を計測誤差の範囲で変化させた場合の、位置決めナットと接手の間に挟まるスラッジ厚さ (B) についてケース検討を行った。

<前提条件>

- 1. 項の検討結果から、接手先端から位置決めナットまでの距離は 27.5mm とする。
- 接手内面と位置決めナットの接触痕から推定される介在物 (1mm 程度) から、接手先端のスラッジ厚さは 1mm とする。

検討の結果、位置決めナットと接手の間に挟まるスラッジの厚さは 2.0mm から 3.6mm となった。なお、接手先端のスラッジ厚さを 0mm から 2.5mm の範囲で変化させた場合の位置決めナットと接手の間に挟まるスラッジの厚さは 0.4mm から 4.2mm となる。

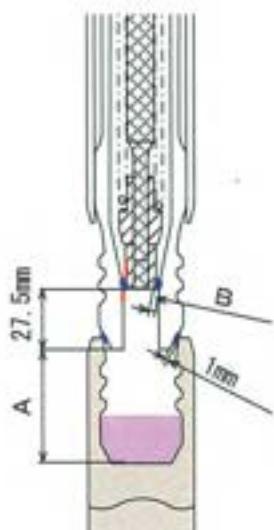


表1 スラッジ厚さのケース検討結果

計測誤差	A	位置決めナット高さ	接手先端のスラッジ厚さ	B
2	50	27.5	1	3.6
1	49	27.5	1	3.4
0	48	27.5	1	3.0
-1	47	27.5	1	2.5
-2	46	27.5	1	2.0

図6 動軸着座時の位置関係

スラッジ脱落時の駆動軸の挙動

1. 目的

推定メカニズムのステップ⑥の駆動軸着座状態(図1-1①)から位置決めナットと接手の間のスラッジが脱落することにより、位置決めナットと接手が沈み込み、不完全結合状態(図1-1②)に至る際の駆動軸の挙動について、機構解析により確認する。

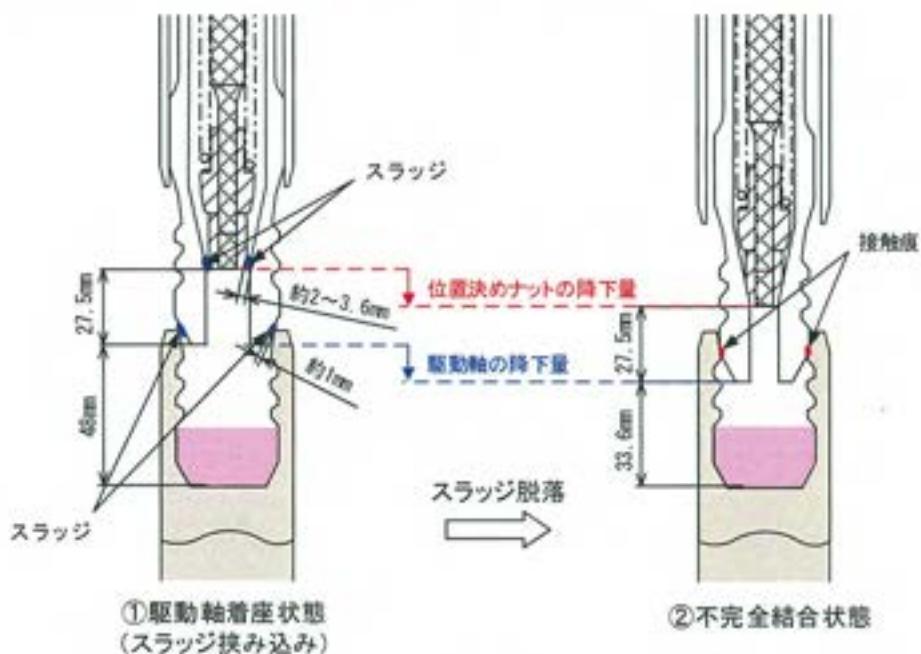


図1-1 不完全結合状態に至るまでの推定挙動

2. 解析内容

(1) 駆動軸の動作確認試験の再現解析（気中）

現地調査の一環として実施した駆動軸の動作確認試験におけるボタンダウン操作時の位置決めナットの気中挙動(図2-1)を再現できる機構解析モデルを構築する。機構解析モデルを図2-2に示す。

接手と位置決めナットの間には接触条件(摩擦係数: [REDACTED])を適用し、ロックばね・軸用ばねには実機と同じばね定数を設定する。

位置決めナット降下中に想定される抵抗力(ばねと駆動軸内面および取り外し軸とばね受けとの摩擦力ならびに駆動軸と駆動軸取り外し工具の取り合いで発生する抵抗力など)については推定が困難なため、駆動軸の動作確認試験の結果に合うようにモデル化する。

※図の範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

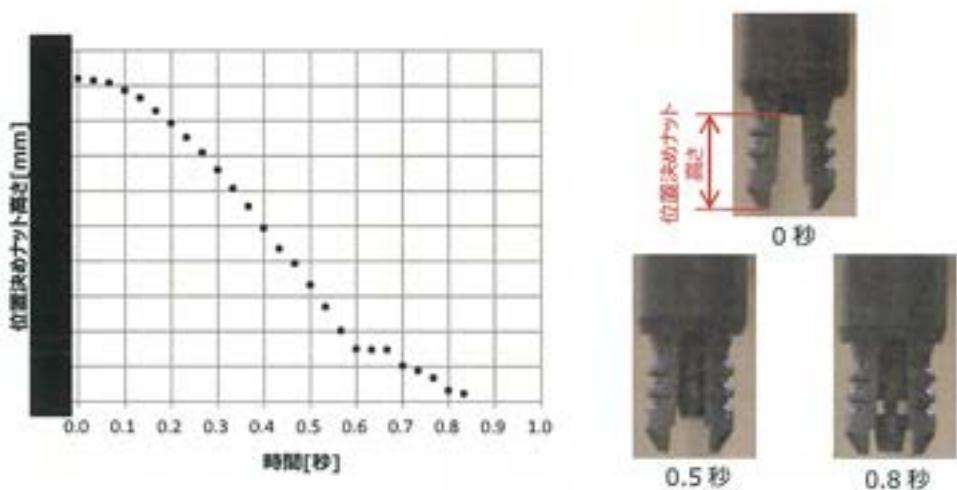


図2-1 動作確認試験結果（アドレス：M4）

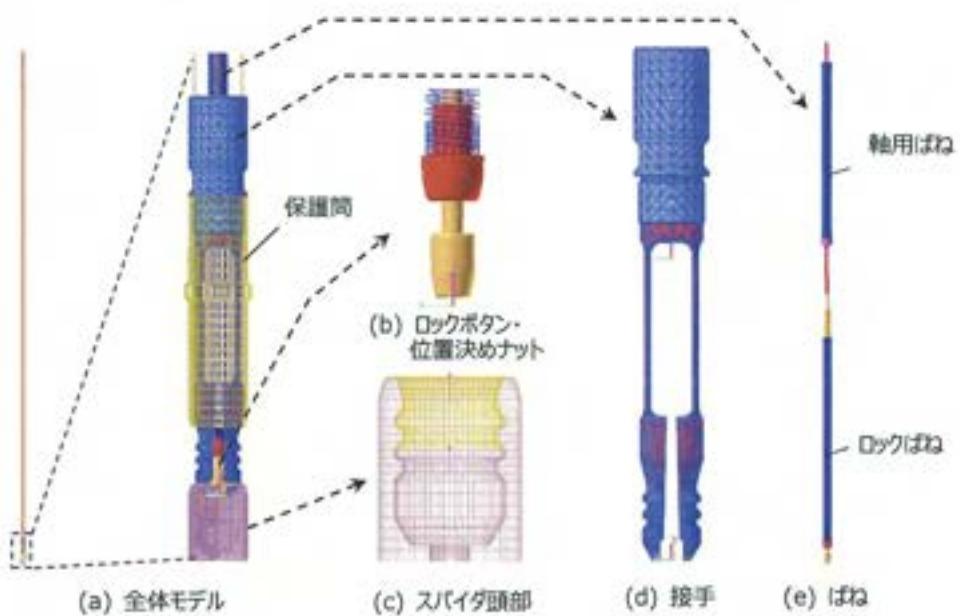


図2-2 機構解析モデル

(2) 動作確認試験結果から不完全結合状態に至る動作の再現解析（水中）

(1) で設定する抵抗力を用いて駆動軸取扱い状態から不完全結合状態に至る動作の再現解析を実施する。

解析では水中での動作を再現するため、流体抵抗を設定する。また、駆動軸の自重に加え、工具の水中重量（合計約 [REDACTED] kg）を設定する。初期ナット高さは約27.5 mmとし、摩擦係数は次のとおり設定した。

- ・接頭部外側と制御棒クラスタの摩擦係数：[REDACTED]
- ・接頭部内側と位置決めナットの摩擦係数：[REDACTED]

[REDACTED]の範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

3. 解析結果

(1) 動作確認試験の再現解析（水中）

水中におけるボタングダウン動作を模擬した機構解析の結果を図3-1に示す。本図より、機構解析結果（赤線）は動作確認試験の結果をよく再現できていることが分かる。

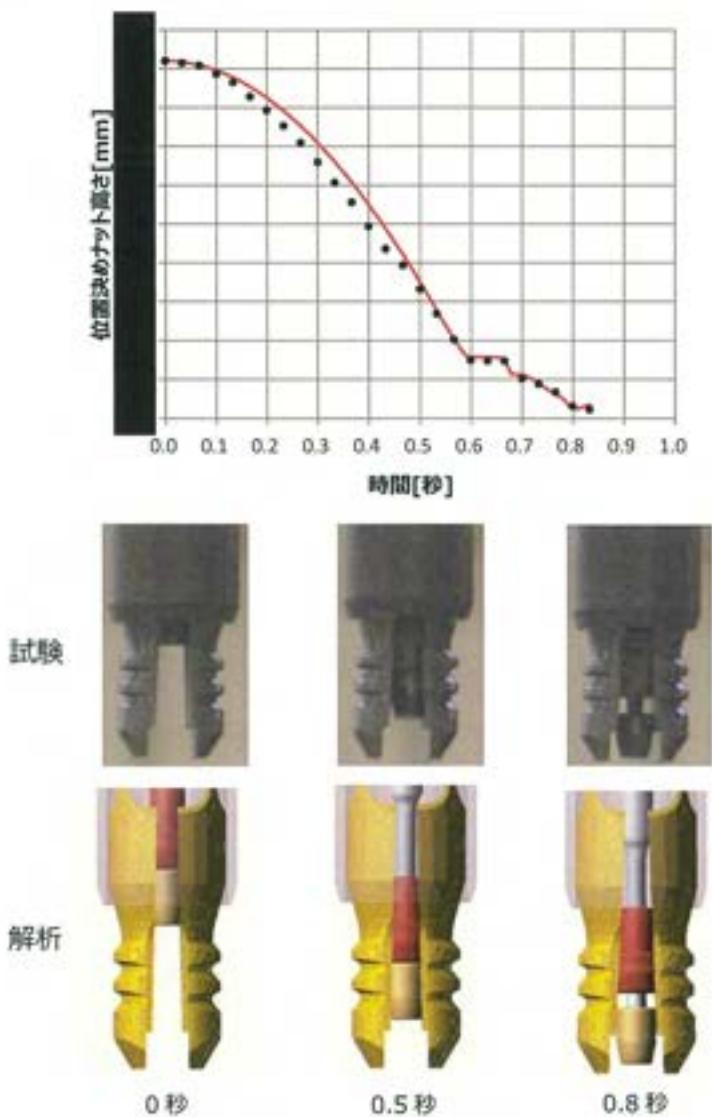


図3-1 動作確認試験の再現解析結果

(2) 動軸取扱いから不完全結合状態に至る動作の再現解析（水中）

推定メカニズム⑥でスラッジが脱落した際の挙動を模擬した機構解析の結果を図3-2に示す。本図より、駆動軸取扱い状態（図3-2①）における位置決めナットと接手の相対高さをほぼ維持したまま、不完全結合状態（図3-2②）に至ることを確認した。

枠内の範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



図 3-2 駆動軸仮置き状態から不完全結合状態に至る動作の再現解析結果

4.まとめ

駆動軸の接手および位置決めナットの挙動を機構解析により模擬した結果、位置決めナットと接手の相対高さをほぼ維持したまま、不完全結合状態に至ることを確認できた。

制御棒クラスタによる燃料集合体への影響評価

制御棒クラスタは、通常の上部炉心構造物の吊り上げ時には燃料集合体に挿入された状態となっているが、本事象では、上部炉心構造物の吊り上げの際に、制御棒クラスタが通常状態とは異なる管理状態で引き抜き、挿入されたことから、本事象に伴う燃料集合体への影響を評価し、燃料集合体の健全性に問題ないことを確認する。

1. 本事象に伴い考えられる燃料集合体への影響

本事象に伴い、制御棒クラスタが燃料集合体に与えた可能性のある影響は以下のとおり。

(1) 制御棒クラスタと燃料集合体の水平方向の軸ずれに伴う干渉

制御棒は横方向の変位に対してしなやかに曲がる特性を有しているが、制御棒クラスタが燃料集合体に対して水平方向に軸ずれした状態で挿入された場合、制御棒が曲がった状態で燃料集合体の制御棒案内シングルに挿入されることから、制御棒と制御棒案内シングルが干渉する。(図1参照)

(2) 制御棒クラスタの着底、落下に伴う燃料集合体への鉛直方向への荷重発生

制御棒クラスタが燃料集合体に着底した時点で、燃料集合体に鉛直方向の荷重が発生する。特に、上部炉心構造物吊り下げ作業中に制御棒クラスタと駆動軸の結合が解消され燃料集合体上部ノズル上に落下したと仮定した場合の荷重が最も大きくなる。(図2参照)

2. 燃料集合体への影響評価

1.(1)(2)で示した影響に対し、以下のとおり燃料集合体への影響を評価した。

(1) 水平方向の軸ずれに伴う影響評価

上部炉心構造物の吊り上げ、吊り下げ作業中、上部炉心構造物はガイドスタッドにより水平方向のずれが制限された状態を維持しており、上部炉心構造物とガイドスタッドの隙間は [] と小さいことから、当該制御棒クラスタと燃料集合体の水平方向の軸ずれ量は制限された状態が維持されていた。このことから、当該制御棒クラスタの降下中、制御棒クラスタが燃料集合体に対して大きく軸ずれしていたとは考えにくい。

仮に制御棒クラスタが燃料集合体に対して水平方向に大きく軸ずれしていた場合、制御棒と制御棒案内シングルとの接触による摩擦により、制御棒の挿入抗力が大きくなるが、

- 寸法上、上部炉心構造物と制御棒クラスタおよび駆動軸が干渉することはなく当該制御棒クラスタと駆動軸は上部方向への移動は拘束されていないこと、
- 上部炉心構造物の吊り下ろし作業中、当該駆動軸上端部の浮き上がり(他の駆動軸上端部の高さより相対的に高くなる)は確認されておらず、当該駆動軸は

上部炉心構造物と同じように下降していたこと（図3参照）、から、上部炉心構造物の吊り下ろし中の制御棒クラスタと燃料集合体との水平方向の軸ずれに伴う摩擦力による挿入抗力は、制御棒クラスタおよび駆動軸の重量を超えない程度で軽微である。

従って、制御棒クラスタと燃料集合体の水平方向の軸ずれ量は十分小さく、制御棒クラスタと燃料集合体の干渉の程度は、原子炉緊急停止時に制御棒クラスタおよび駆動軸が落下した際と同程度と軽微であることから、燃料集合体の健全性への影響はない。

（2）鉛直方向の荷重発生に伴う影響評価

燃料集合体は、原子炉緊急停止時に、制御棒クラスタおよび駆動軸が制御棒全引き抜き状態から燃料集合体上に落下した際の荷重に対し、燃料集合体に変形等が生じることがなく燃料集合体の健全性に影響のないことを確認している。

上部炉心構造物の吊り下げ作業時に制御棒クラスタと駆動軸の結合が解消され、制御棒クラスタが落下するとした場合、落下高さおよび落下重量ともに上記の条件の方が厳しいことから、本想定で発生する荷重による燃料集合体の健全性への影響はない。

3. 外観確認結果

2. のとおり、本事象に伴う燃料集合体の健全性への影響はないと考えるが、制御棒クラスタと干渉する可能性のある燃料集合体の部位（上部ノズル上面および制御棒案内シンプル入口）を対象に、水中テレビカメラにて、外観確認を実施し、有意な傷や損傷等がないことを確認した。（表1参照）

また、同様に、燃料集合体と干渉する可能性のある制御棒クラスタの部位（スピアおよび制御棒）についても、水中テレビカメラにて、外観確認を実施し、有意な傷や損傷等がないことを確認した。（表2参照）

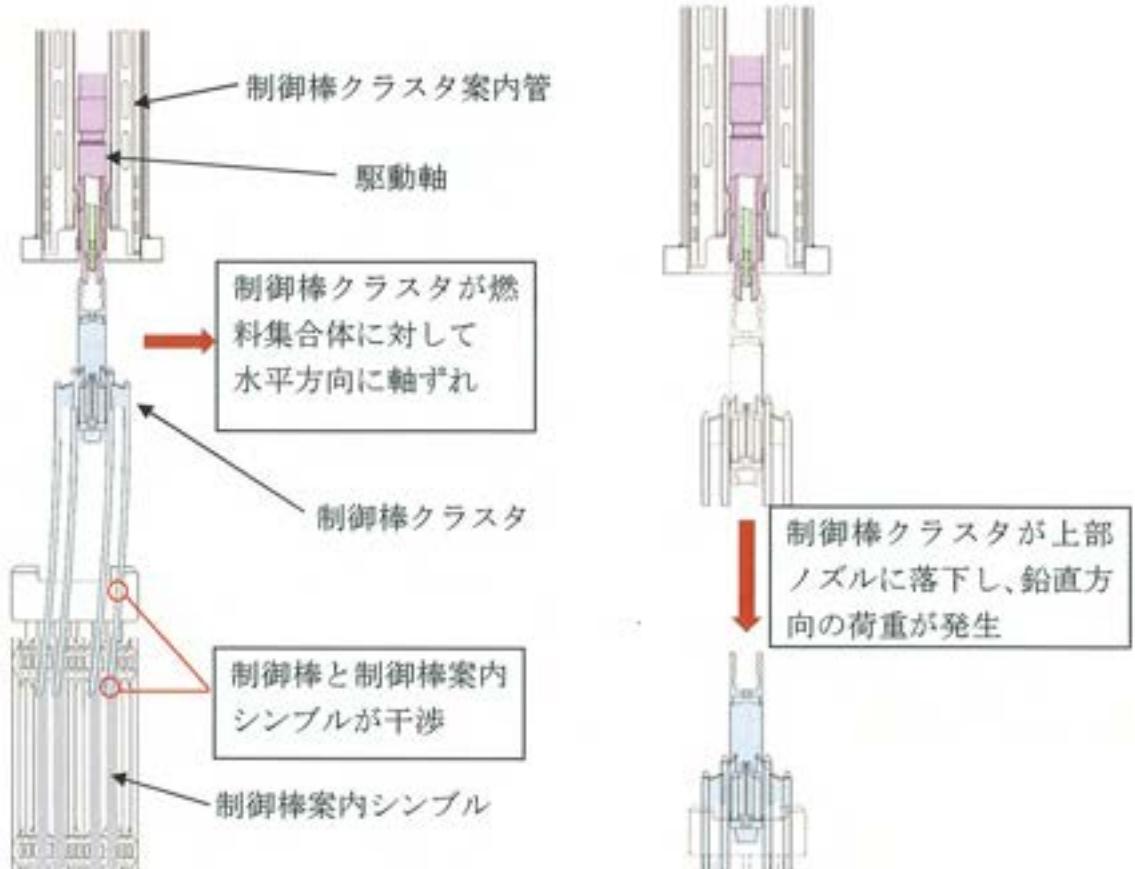


図1：水平方向の軸ずれによる干渉

図2：鉛直方向の荷重発生

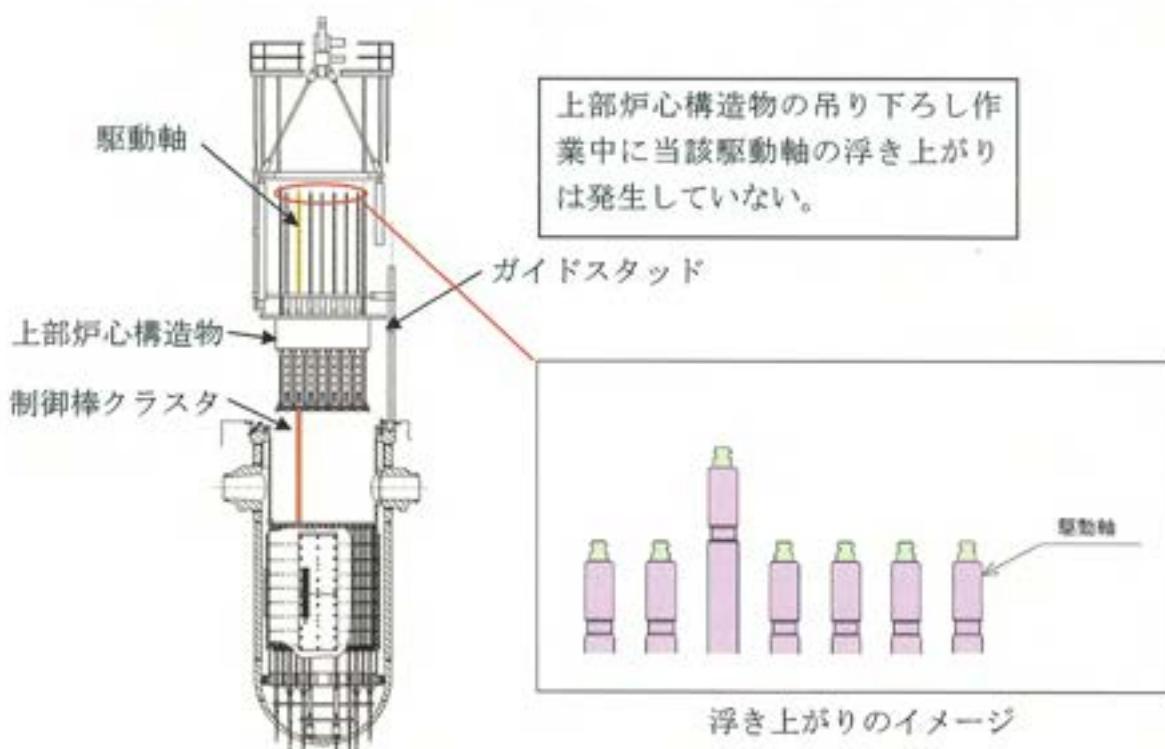
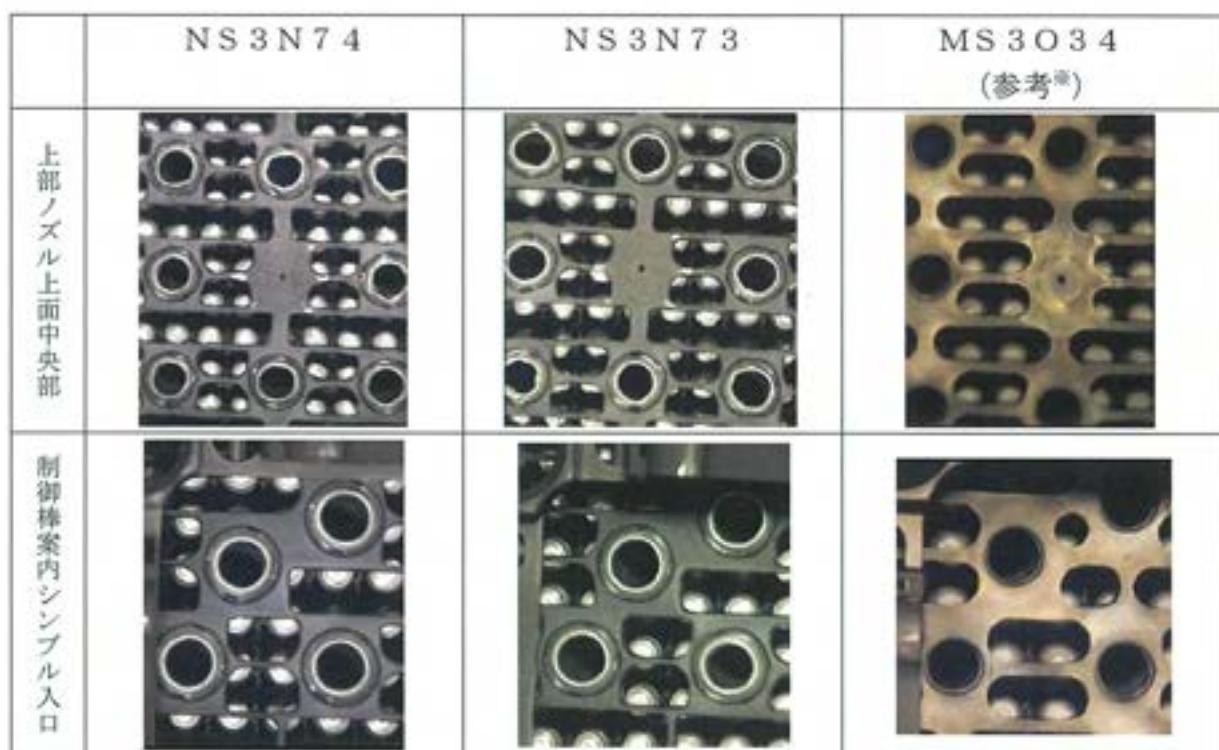


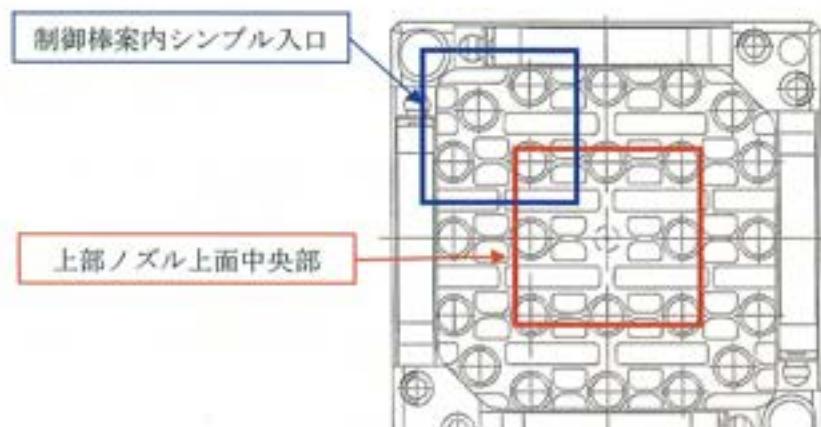
図3：上部炉心構造物の吊り下ろし作業

表1 燃料集合体外観確認結果

燃料番号	炉心位置	装荷サイクル数	燃焼度(MWd/t)
NS 3 N 7 4 (当該燃料集合体)	M-4	2 サイクル	29,844
NS 3 N 7 3	M-12	2 サイクル	29,833
MS 3 O 3 4	J-7	3 サイクル	48,777



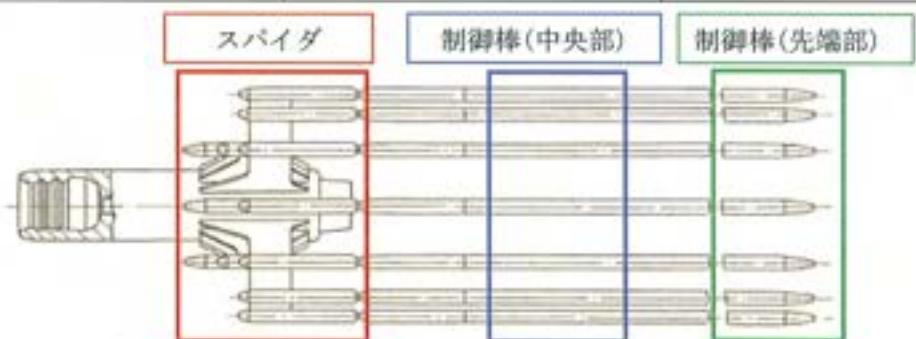
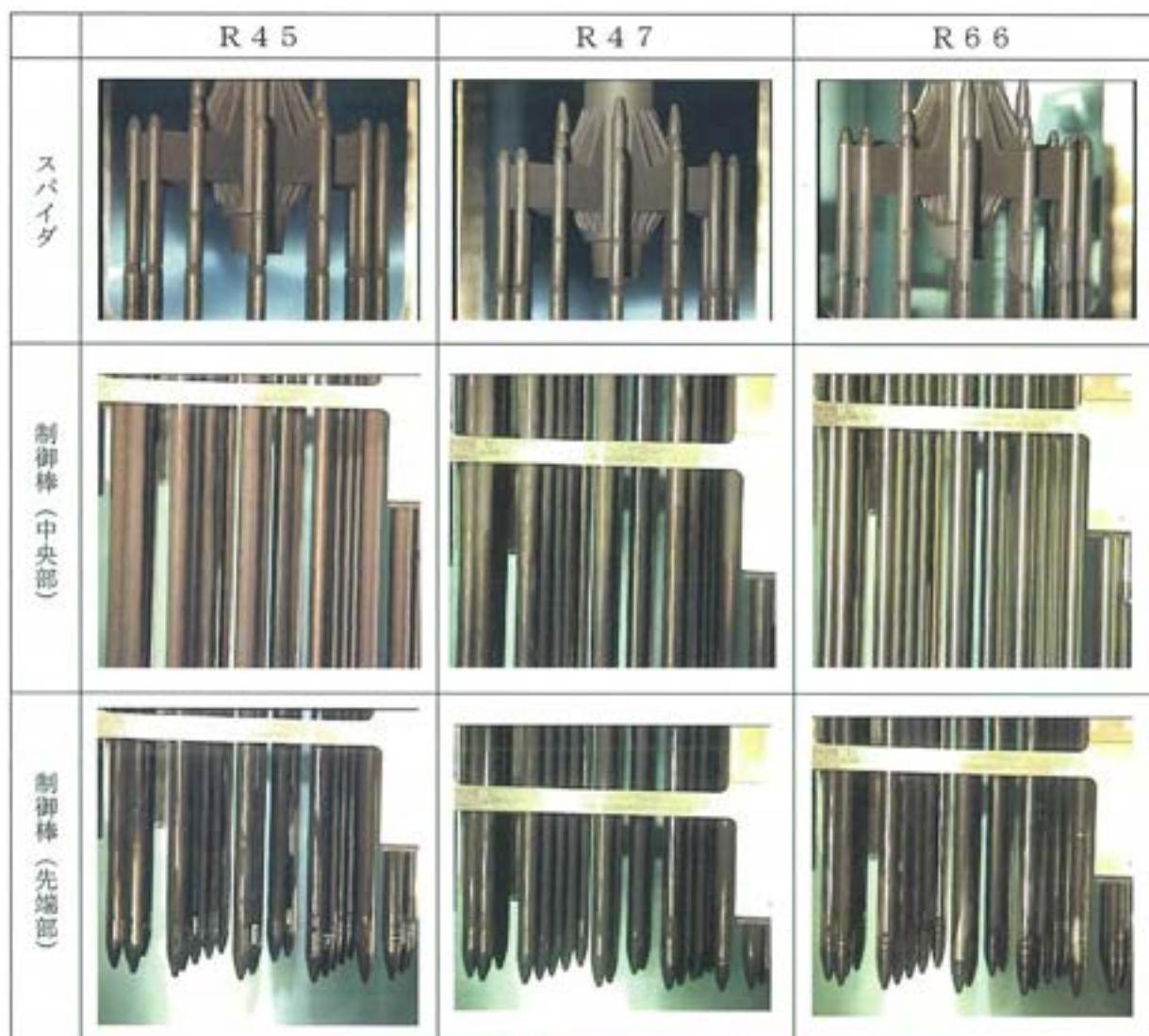
^(a)O 3 4は、当該燃料N 7 4（B型燃料）とは異なる設計（A型燃料）のため参考



上部ノズル（上部から見た図）

表2 制御棒クラスタ外観確認結果

制御棒番号	炉心位置	装荷サイクル数
R 4 5 (当該制御棒クラスタ)	M-4	15サイクル
R 4 7	M-12	15サイクル
R 6 6	J-7	1サイクル



制御棒クラスタ全体図

再発防止対策

上部炉心構造物吊り上げ時の制御棒クラスタの引き上がりを防止するために、以下の対策を講ずるとともに従来実施している上部炉心構造物吊り上げ時の水中カメラによる監視を引き続き実施していく。

1. 作業手順の見直し

- ・駆動軸取り外し軸が下降時にスタックしていないことを、駆動軸取り外し軸の押し下げ動作状況により確かめるため、駆動軸取り外し工具の指示管(インジケーターロッド)のマーキング位置を確認する手順を追加する。これにより、駆動軸取り外し軸のスタック要因に関わらず、スタックを起因とした事象の再発防止は可能となる。
- ・上記手順により、今回の事象の再発防止は可能である。さらに、より確実なものとするため、駆動軸着座後の再度の重量確認および位置計測(ベースプレート高さ)をする手順を追加する。

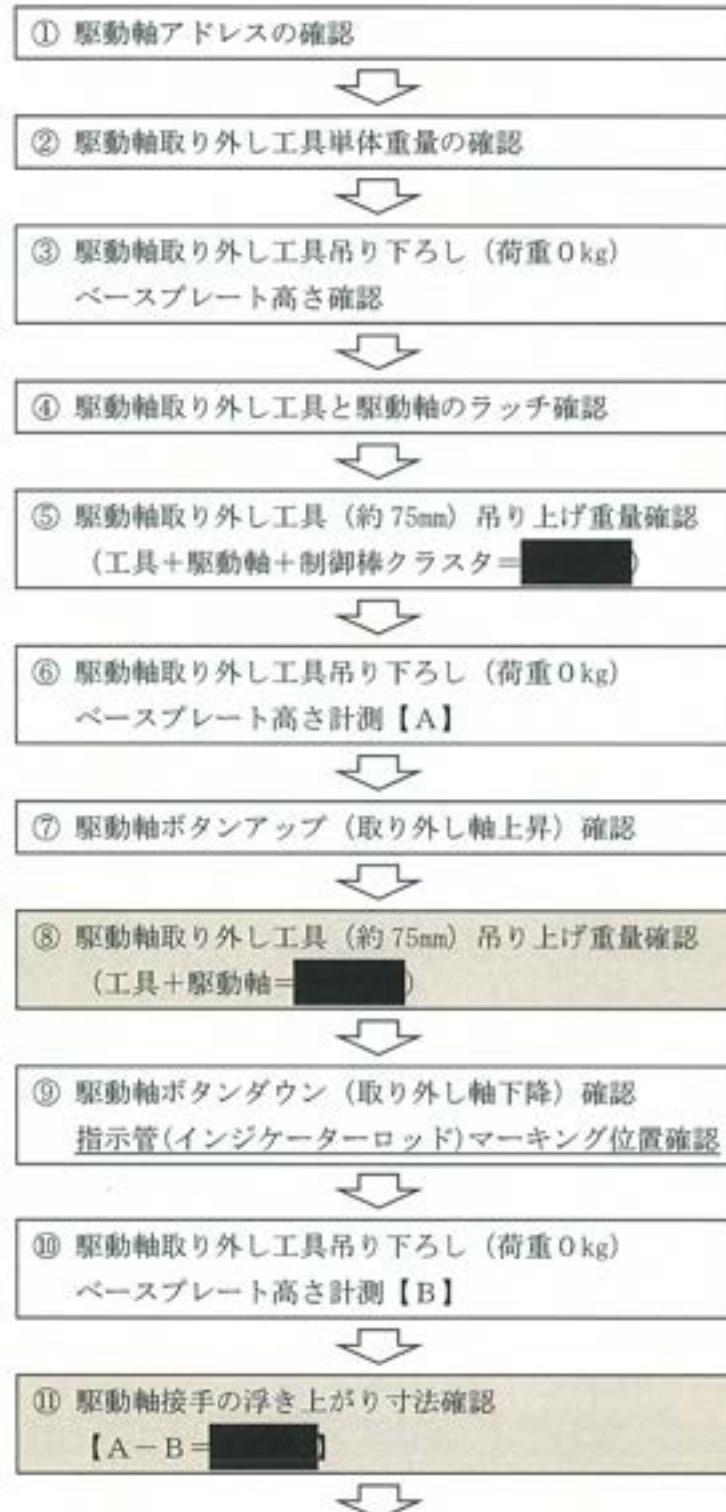
(図-1、表-1、表-2参照)

2. 堆積物の除去

- ・前項の手順の見直しにより、本事象への再発防止は可能であるが、制御棒クラスタのスパイダ頭部内には、プラント運転中などに発生したスラッジが堆積する可能性があることから、定期検査毎に使用済燃料ピット内で制御棒クラスタ(次サイクルで使用するもの)のスパイダ頭部内の状況を確認し、堆積物が確認された場合は除去する。

(図-2参照)

下線部：見直し箇所



制御棒クラスタと
切り離されている
ことを確認

動軸取り外し軸が
途中でスタッキングして
いないことを確認

制御棒クラスタと
切り離されている
ことを確認

図-1 作業手順の見直し箇所 (1/2)

下線部：見直し箇所

⑫ 動軸取り外し工具（約75mm）吊り上げ重量確認
(工具+動軸= [])



⑬ 動軸取り外し工具吊り下ろし（荷重0kg）
ベースプレート高さ計測【B'】



⑭ 動軸接手の浮き上がり寸法確認
【A-B' = [] 】



⑮ 動軸切り離し工具と動軸のアンラッチ確認



⑯ 動軸取り外し工具吊り上げ、重量確認

制御棒クラスタと駆動軸が不完全に結合した状態でないことを確認

図-1 作業手順の見直し箇所（2／2）

表-1 作業手順の見直し箇所概要
駆動軸取り外し工具の指示管(インジケーターロッド)の
マー킹位置確認【ステップ⑨】

駆動軸着座後の再度の重量確認および位置計測
【ステップ⑫～⑯】

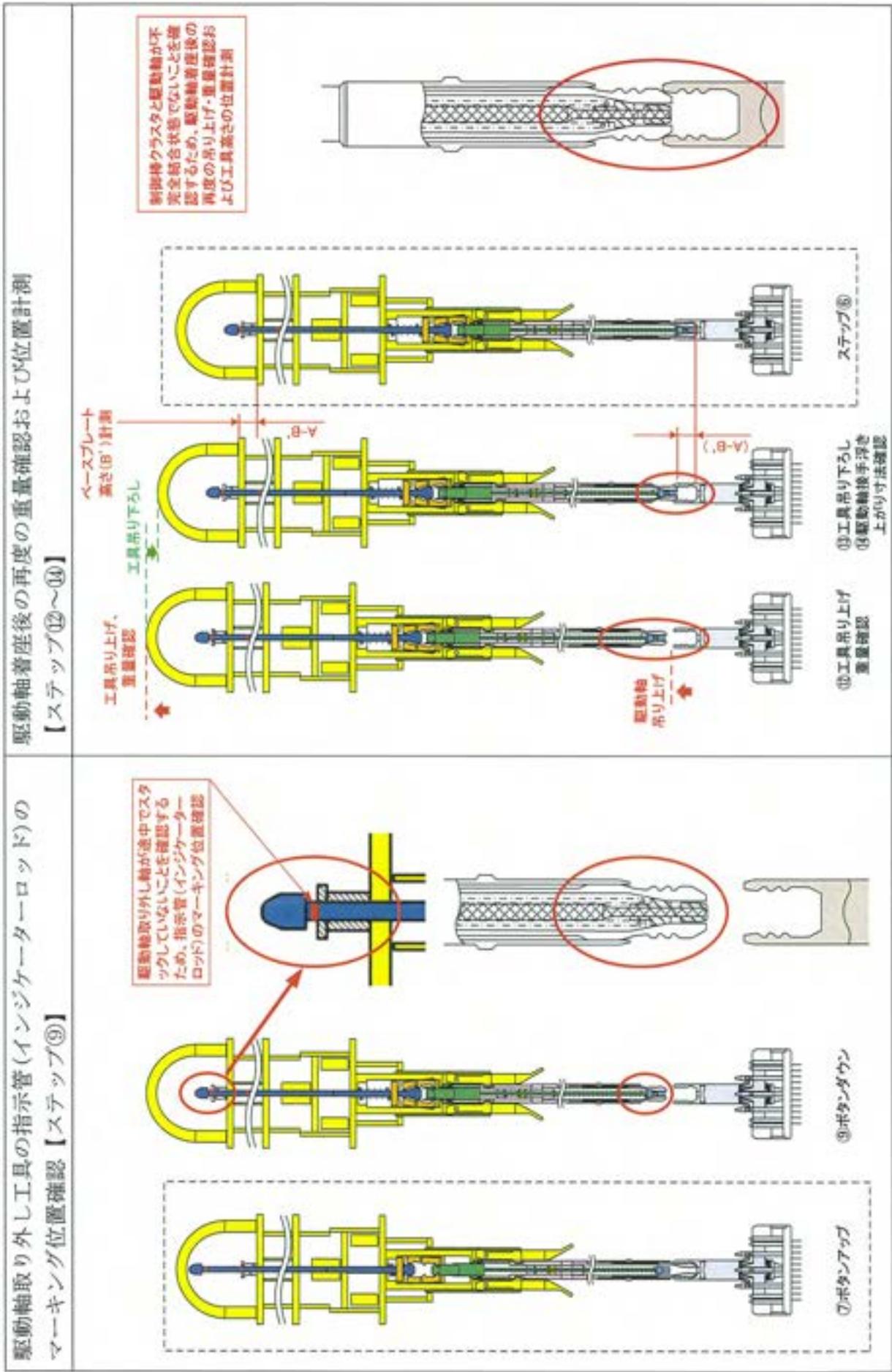


表-2 制御棒クラスターと駆動軸との切り離し作業（対策後）（1／4）

① 駆動軸アドレスの確認 ② 駆動軸取り外し工具単体重量の確認 ・工具単体重量約 [■] kg	③ 駆動軸取り外し工具吊り下ろし ・荷重計の指示が0kgになれば停止 ・工具のベースプレート高さを計測	④ 工具と駆動軸のラッチ確認 ・工具と駆動軸をラッチ	⑤ 駆動軸取り外し工具吊り上げ (重量確認) ・工具を約75mm吊り上げ、重量を確認 (工具+駆動軸+制御棒クラスター =約 [■] kg)

機密の範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

表-2 剥離棒クラスタと駆動軸との切り離し作業（対策後）（2／4）

<p>⑥ 駆動軸取り外し工具吊り下ろし ・荷重計の指示が0kgになれば停止 ・工具のベースプレート高さ(A)を計測</p>	<p>⑦ 駆動ボタンアップ確認 ・駆動軸を取り外し軸を上昇させる ・インジケータロッドも上昇</p>	<p>⑧ 駆動軸取り外し工具吊り上げ （重量確認） ・工具を約75mm吊り上げ、重量を確認 〔工具+駆動軸〕約 [kg]</p>	<p>⑨ 駆動ボタンダウン確認【変更】 ・駆動軸取り外し軸を下降させる ・インジケータロッドも下降</p>
---	--	--	---

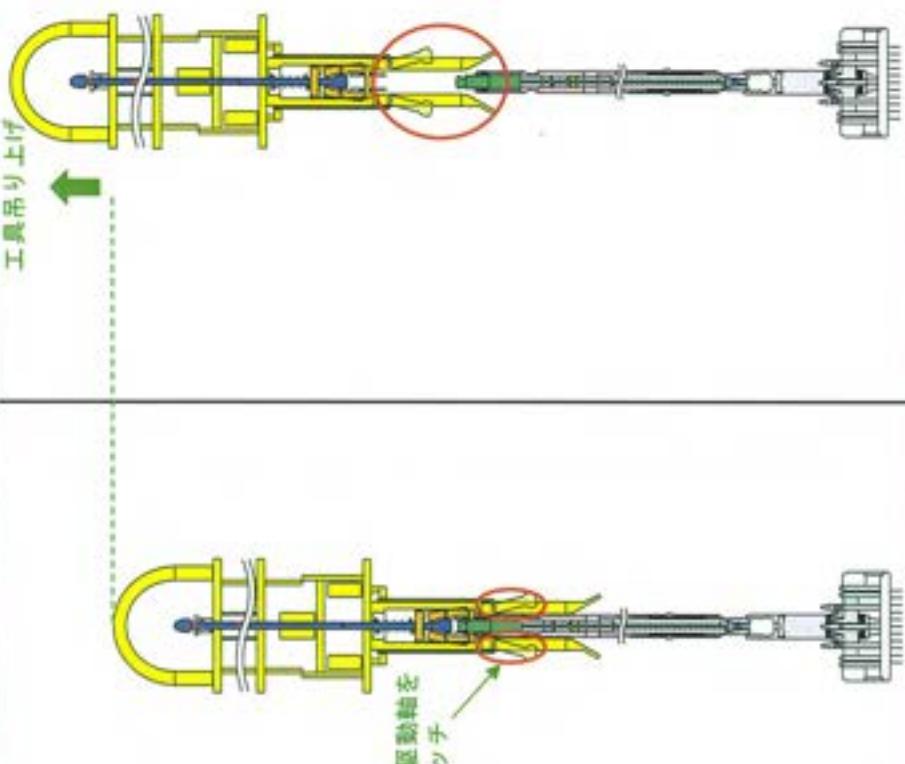
枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

表-2 割御棒クラスターと駆動軸との切り離し作業（対策後）（3／4）

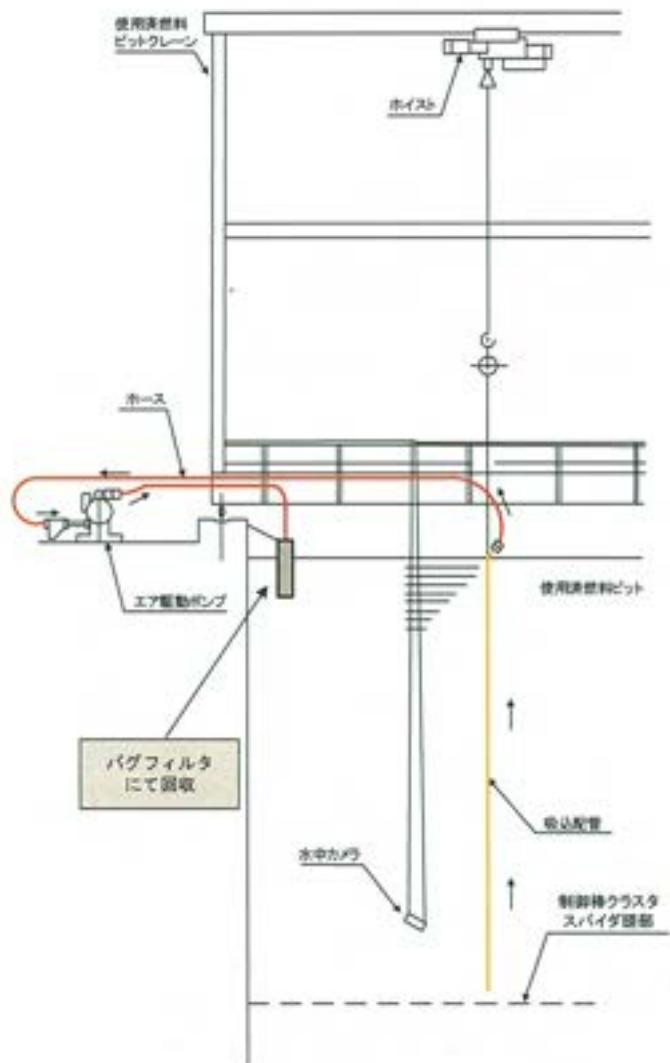
<p>⑩ 駆動軸取り外し工具吊り下ろし ⑪ 駆動軸接手浮き上がり寸法確認</p> <p>・荷重計の指示が0kgになれば停止 ・工具のベースプレート高さ(B)を計測 ・駆動軸浮き上がり寸法を確認 $(A-B = \text{mm})$</p>	<p>⑫ 駆動軸取り外し工具吊り上げ【追加】 （重量確認）</p> <p>・工具を約75kg吊り上げ、重量を確認 （工具+駆動軸=約 kg）</p> <p>⑬ 駆動軸取り外し工具吊り下ろし【追加】 ⑭ 駆動軸接手浮き上がり寸法確認【追加】</p> <p>・荷重計の指示が0kgになれば停止 ・工具のベースプレート高さ(B)を計測 ・駆動軸浮き上がり寸法を確認 $(A-B = \text{mm})$</p>
<p>⑮ 工具吊り上げ、重量確認</p> <p>⑯ ベースプレート高さ計測</p>	<p>⑰ 駆動軸吊り上げ （重量確認）</p> <p>・重量確認により制御棒クラスターが切り離されていることを確認</p> <p>⑱ ベースプレート高さ計測</p> <p>・寸法確認により制御棒クラスターが切り離されていることを確認</p> <p>⑲ 駆動軸吊り上げ （重量確認）</p> <p>・寸法確認により制御棒クラスターが切り離されていることを確認</p>

幹図みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

表－2 制御棒クリスタと駆動軸との切り離し作業（対策後）（4／4）

⑯ 工具と駆動軸のアンラッチ確認 ・工具と駆動軸をアンラッチ	⑯ 駆動軸取り外し工具吊り上げ (重量確認) ・工具単体重量約 [] kg
	

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



対象：制御棒クラスタ
 (次サイクルで使用するもの)
 頻度：定期検査毎
 場所：使用済燃料ピット内



図-2 制御棒クラスタのスパイダ頭部内堆積物除去の概要図

用語解説

No.	索引	用語	解説
1	あ	アライメントずれ	設計上考え得る製作・組立公差による位置ずれのこと。
2		位置決めナット	駆動軸取り外し軸の先端（下部）にあり、通常運転時（ボタンダウント）には、ロックボタンと相まって、接手が挟まらないようにすることで、切り離されることを防止している。
3		1次冷却材ほう酸濃度	加圧水型原子炉では、中性子を吸収しやすい物質であるほう酸を1次冷却材中に溶解させ、その濃度を増減させることにより核分裂連鎖反応を制御しているが、その濃度のこと。
4		運転上の制限	原子炉の安全機能を確保するため動作可能な機器の必要台数等を定めているもの。一時的に満足しない状態が発生すると、運転上の制限からの逸脱を宣言し、必要な処置を行う。
5		エリアモニタ	建屋内、室内等の放射線量当量率の監視を行い、設定値に達した時は、警報を発信する。
6		おもり（ウェイト）による動作確認	荷重計（ロードセル）の動作確認のため、重量が既知のおもり（ウェイト）を用いて荷重計測を行った。
7	か	ガイドスタッド	原子炉容器上蓋、上部炉心構造物および下部炉心構造物の吊り上げおよび吊り下げ時に、原子炉容器に対する位置決めのために設置するピンのこと。上部炉心構造物はピンにより水平方向の位置が拘束される。
8		荷重計（ロードセル）	クレーン（ハイスト）と駆動軸取り外し工具の間に荷重を計測する計器を取り付け、駆動軸と制御棒クラスターの結合、切り離し状況を重量により確認している。
9		硬さ（HB）	硬さを表す単位の一つであるブリネル硬さのこと。ある直徑の球形の金属球を試験面にある力で一定時間押し当てる後、荷重を除いたあとに残ったくぼみの面積を測定することで算出される。
10		型取り観察	接触痕の形状確認のため、シリコンにより傷形状を採取し、大きさや深さを観察した。
11		仮置き（駆動軸着座）状態	切り離し作業が完了し、駆動軸取り外し軸が降下した状態で、駆動軸を制御棒クラスターの上部に乗せている状態。
12		嵌合性試験	ラッチ、アンラッチが可能な構造のハンドタイプの治具で、取り外し軸を上下させ、結合時に治具が抜けないこと、切り離し時に治具が外せることを確認している。
13		キャビティ	原子炉容器上部のピット部のこと。上部炉心構造物吊り上げ前に水張（ホウ酸水）を行い、原子炉容器、燃料はホウ酸水に満たされたキャビティに入っています。安全上問題はない。
14		キャビティ水張	原子炉容器上蓋の吊り出しに備えて、原子炉容器上部のキャビティにはう酸水を水張する。原子炉容器上蓋等の吊り出しは水中で行う。
15		くさび効果	鋭角を有するくさび状のものに力を与えた場合、その角度によって、与えられた力より大きな押し広げ力（本事象ではこの押し上げ力に比例する摩擦力により制御棒クラスターを引き上げる力になる）が発生すること。
16		駆動軸	制御棒クラスターと結合し、制御棒駆動装置（CRDM）により上下動される。
17		駆動軸つかみ部	駆動軸の上部にある凹み部。駆動軸取り外し工具の駆動軸つかみ金具と噛み合う。
18		駆動軸取り外し工具	定期検査時、駆動軸と制御棒クラスターの結合・切り離しのため、駆動軸を操作するための工具。
19		駆動軸取り外し工具の指示管	駆動軸取り外し工具の軸で、取り外しボタンつかみ金具にて、駆動軸の取り外しボタンをつかみ、駆動軸取り外し工具の指示管を上昇／下降させることにより、駆動軸取り外し軸（位置決めナット含む）を上昇／下降させる。インジケーター（ロッド）ともいう。
20		クロムメッキ	クロム化合物により金属表面に皮膜を作り処理すること（めっき処理）。非常に硬いため、表面が荒れるることは無い。
21		結合・切り離し作業	制御棒駆動軸と制御棒クラスターは、通常運転中には結合した状態である。点検時に上部炉心構造物を吊り上げる前に切り離しを行うことにより、制御棒クラスターを原子炉容器（燃料集合体）内に残したまま上部炉心構造物の吊り上げを行うことができる。
22		管理区域標準装備（管理服、綿手袋、靴下）	汚染防止のため、管理区域に入域する際には、専用の管理服（つなぎ）、綿手袋および靴下に着替えている。
23		金属光沢	接触痕において確認された光沢のこと。金属は酸化等により光沢が失われるため、金属光沢を有していることは、今回の定期検査等、至近に接触があったと推定される。
24		駆動軸接手の浮き上がり	駆動軸と制御棒クラスターの結合状態から切り離し後仮置きしている状態になった際の駆動軸の位置変化（上昇量）。
25		原子力施設情報公開ライブブリーフィング（ニューシア）	原子力安全推進協会により運営されている、国内原子力発電所や原子燃料サイクル施設の運転に関する情報を広く共有化するためのウェブサイト。

No.	索引	用語	解説
26	か	原子炉運転モード	原子炉の出力や温度等の条件に基づき分類されている運転状態。運転モードは保安規定に定義されており、各運転モードごとに動作可能な機器等の要求が異なる。
27		原子炉運転モード6	保安規定により定められている運転モードの一つ。定検開始時、原子炉容器上蓋の開放作業で、スタッドボルトが1本以上緩められると、運転モード5から運転モード6に移行する。
28		原子炉格納容器内封機能	格納容器内から放射性物質が放出されないように、放出を防止または、抑制する機能。
29		原子炉容器上蓋開放（スタッドボルト緩め）	原子炉容器上蓋の開放作業で、スタッドボルトが1本以上緩められると、運転モード5から運転モード6に移行する。
30		原子炉容器内点検	上部炉心構造物取り出し後、燃料取り出し前に実施している点検のこと。水中カメラにて。 ・原子炉容器の胴シート面およびフランジ面上 ・燃料トップノズル部 の異物点検を実施している。
31		高温停止	1次冷却材温度約280°Cで、所定の未臨界度を維持して原子炉を停止させた状態。
32		拘束力試験	制御棒クラスタ案内管に模擬制御棒クラスタを挿入し、挿入及び引抜時の拘束力を確認する試験。（制御棒クラスタ案内管と制御棒クラスタとのインターフェースに問題ないことを確認するための試験）
33		固体廃棄物処理設備	ペイラ、難固体焼却設備、固体廃棄物貯蔵庫等、伊方発電所で発生する廃棄物を処理・貯蔵保管するための設備全般を指す。冷却材フィルタ等の液体用フィルタは現在、固体廃棄物貯蔵庫にて保管しているが、今後、必要に応じて焼却や圧縮等の処理を行う。
34	さ	最小停止ほう素濃度	原子炉停止中の各状態において、要求される必要な未臨界度を維持するために必要な1次冷却材ほう素濃度の最小値。
35		残留磁気	磁界を取り除いた後でも磁性材料内部に磁力が残ること。
36		磁化	磁力を持つこと。
37		実体顕微鏡	対物レンズと接眼レンズで拡大して観察する光学顕微鏡のことで、立体的に観察できる。
38		上部炉心構造物	原子炉容器内の構造物のうち上部を構成する一体化構造物であり、上部炉心支持板、上部炉心板、上部炉心支持柱、制御棒クラスタ案内管等から構成される。
39		所内用空気	発電所には作業等に用いるための圧縮空気として、所内用空気が供給されている。駆動軸取り外し工具にはエアシリングがあり、所内用空気を駆動源として用いている。
40		水質分析用フィルタ	分析に際し、液体中の微粒子成分を採取又は除去するために使用されるフィルタ【メンブレンフィルタ】
41		ステッピング試験	駆動軸、ラッチ機構等の各部品を組み立て、水中にて制御棒駆動装置(CRD)を作動させて計画通りの性能が得られるかを確認する試験。
42		スパイダ頭部	制御棒クラスタは、中性子を吸収しやすい材質であり燃料集合体内部に挿入される制御棒(24本)と、24本の制御棒の上端を束ねるスパイダと呼ばれる部分で構成される。制御棒クラスタと駆動軸は、スパイダの頭部と結合する構造となっている。
43		スラッジ	一般的には、滓(かす)、油渣などを指すが、本報告書ではスパイダ頭部内で確認された堆積物をスラッジという。
44		制御材	原子炉の出力(核分裂)を制御するための設備の総称であり、制御棒クラスタおよび1次冷却水中に溶解したほう素が該当する。
45		制御パンク	原子炉内には48体の制御棒クラスタが設置されており、パンクと呼ばれる8体ごとのグループ単位で挿入、引き抜きされる。パンクには制御パンク(4パンク)と停止パンク(2パンク)があり、制御パンクは主に運転中の出力制御や出力分布制御等に用いられる。
46		制御棒案内シングル	制御棒クラスタの24本の制御棒が燃料集合体に挿入されるために燃料集合体に設けられている金属管。
47		制御棒位置指示装置	制御棒の動作に伴って、制御棒駆動軸が動くことにより検出される位置を表示する装置。A、B2系統で6ステップ毎に表示可能。
48		制御棒駆動装置圧力ハウジング	ラッチハウジングと駆動軸ハウジングから構成され、原子炉冷却材圧力バウンダリの一端を構成する耐圧部のこと。
49		制御棒クラスタ	原子炉の出力を制御するための棒状の装置。中性子を吸収しやすい材質(銀-インジウム-カドミウム合金)からなる制御棒24本を一体として動作させるため一まとめ(クラスタ)とした形状をしており、燃料集合体の制御棒案内シングルに挿入できる構造。原子炉の起動、出力調整、停止などの運転操作にあたり、制御棒クラスタ駆動装置を用いて炉心内を上下させることにより原子炉内の中性子量を調節し、核分裂連鎖反応を制御する。
50		制御棒クラスタ案内管	制御棒クラスタが通過する管で、上部炉心構造物に設置されている。

No.	索引	用語	解説
51	さ	制御棒クラスタ駆動装置	制御棒クラスタと機械的に結合された駆動軸をラッチ機構により上・下方向に駆動させることにより、制御棒クラスタの引き抜き、保持、挿入を行うもの。運転中は、中央制御室に現在のステップ数が表示されている。
52		制御棒クラスタ制御信号	制御棒に挿入、引き抜きの動作が起こった時に、制御棒があるべき位置を示す信号。1ステップ毎に表示可能。
53		制御棒クラスタの保持機能	駆動軸と制御棒クラスタの結合維持機能のこと。
54		制御棒動作試験サーベランス	添付資料-9-3のとおり、3カ月に1回、全挿入されていない制御棒をバンク毎に動かして、各制御棒位置を変化させ、制御棒が因着していないことを確認することで、制御棒動作機能の健全性確認を行っている。
55		制御棒の挿入抗力	制御棒の挿入方向に対して逆方向に働く、制御棒を挿入しにくくさせる力。
56		製作・組立公差	製品の製作時や組み立て時において、設計上、公式に許容されている差（ズレ）のこと。
57		接手	駆動軸先端にある二股に分かれた部品。制御棒クラスタスピダ部に挿入され結合する箇所。
58		接手部拘束	駆動軸取り外し軸が下降し、接手が開いた状態で拘束されること。添付資料-6の図を参照。
59		線源領域(SR)	原子炉は、起動から全出力運転において中性子束の変化が大きいことから、線源領域、中間領域および出力領域の3種類の領域に分けて測定している。事象発生時は停止中であり、中性子束が小さいことから、線源領域を監視していた。
60		全面マスク	空気中に漂う放射性物質の吸入により内部被ばくの恐れがある場合、マスクを着用する。口を覆うため声が聞こえづらくなることがあるが、本作業時は着用が不要であった。
61		組成分析	電子線プローブマイクロアナライザ(EPMA)から得られた構成元素をもとに、対象がどのような物質なのかを分析・特定すること。
62		走査電子顕微鏡(SEM)	Scanning Electron Microscopeの略。電子線を試料に当てて表面を観察する装置であり、通常の光学顕微鏡よりも高い分解能を有する。
63	た	脱ガス運転	定期検査など原子炉や一次冷却材系統その他の開放を作りうる作業のため停止する時には、作業員の被曝低減のため1次冷却材中に含まれる放射性ガスを吸除くための運転操作のこと。
64		脱塩塔入口フィルタ	浄化装置(脱塩塔)に不純物が持ち込まれないようにするために前段に備え付けられているフィルタ。
65		中性子照射量の制限	制御棒クラスタの健全性の観点から、取替基準として中性子の照射量を定めている。
66		長期停止	東日本大震災の際の福島第一原子力発電所での事故の後、再稼働までの伊方発電所3号機の停止期間。
67		つかみ金具ハウジング	駆動軸取り外し工具のボタンつかみ金具を動作(ラッチ、アンラッチ)させるための部品。
68		低温停止	1次冷却材温度約95°C以下で、所定の未臨界度を維持して原子炉を停止させた状態。
69		定期事業者検査(制御棒クラスタ検査)	次サイクルに使用予定の制御棒クラスタ等の燃料内挿物が健全であることを確認するために行う検査。
70		停止バンク	原子炉内には48体の制御棒クラスタが設置されており、バンクと呼ばれる8体ごとのグループ単位で挿入、引き抜きされる。バンクには制御バンク(4バンク)と停止バンク(2バンク)があり、停止バンクは原子炉の起動時および停止時に引抜、挿入される運用としている。
71		鉄酸化物	高溶存酸素・高温環境において、一次冷却水中の鉄イオンが酸素と反応することで酸化し、鉄酸化物となる。
72		電子線プローブマイクロアナライザ(EPMA)	Electron Probe Micro Analyzerの略。電子線を試料に当てて照射し、発生する特性X線から構成元素を分析する装置。
73		透磁率	水や空気などの物体の内部における磁力の伝わりやすさ。
74		取り外しボタン	駆動軸取り外し軸上部にある接続部のこと。駆動軸取り外し工具の取り外しボタンつかみ金具と接続する。
75	な	熱処理	接手は硬さおよび韌性を高めることを目的として、焼入れおよび焼戻しの熱処理を行っている。
76		燃料移送中の制御棒クラスタの横倒し	燃料集合体を原子炉容器から使用済燃料ピットへ輸送する際、燃料移送管と呼ばれる管を通し燃料を輸送するが、その際に一度燃料を横倒しにして通す必要があり。燃料に挿入されている制御棒クラスタも同時に横倒しになるため、制御棒クラスタ頭部に堆積した堆積物が一方向に偏る。

No.	索引	用語	解説
77	な	燃料集合体上部ノズル	燃料集合体上部の部品であり、燃料集合体の原子炉内での位置決め、燃料集合体を冷却した1次冷却材の流路等の機能を有する。
78		燃料取出作業	運転中に原子炉容器内に入っている燃料集合体は、定期検査時に原子炉容器から取り出し、使用済燃料ビットへ移送して保管する。
79		燃料取替クレーン	原子炉キャビティ上部に設置しているクレーン。
80		燃料取替クレーン歩廊	燃料取替クレーンが取り付けられている場合には、人が歩くことができる歩廊が設けられており、その歩廊上にて駆動軸取り外し工具の操作やベースプレート高さの測定等を行っている。
81	は	バグフィルタ	堆積物回収のための不織布（ポリエスチル）のフィルタ。
82		フレッティング	切粉などの金属片が燃料集合体の支持格子と燃料棒の間にはさまり、1次冷却材の流体振動により燃料棒を摩耗させ、燃料棒に微少孔（ピンホール）が発生する現象。
83		プロセスマニア	各系統の放射線量当量率の監視を行い、設定値に達した時は、警報を発信する。
84		プロファイル	型取りにより取得した傷形状の輪郭。
85		不完全な結合状態	切り離し作業が完了した後に、通常と異なる状態で結合していたと考えられるところから、“不完全な結合状態”としている。
86		平板摺動試験装置	添付資料-1-1図-3に概念図を示している通り、押し付け荷重を作用させ、その時の摺動方向（摩擦する方向）に荷重をかけ、運動片が動き出す直前の荷重を測定することで静止摩擦係数を測定する試験装置。
87		防護服	汚染区域で作業する際、管理区域標準装備の上から、不織布でできた防護服を着用する。
88		ボタンアップ／ボタンダウン	駆動軸取り外し工具の取り外しボタンつかみ金具にて、駆動軸の取り外しボタンをつかみ、駆動軸取り外し工具の指示管（インジケータロッド）を上昇（ボタンアップ）／下降（ボタンダウン）させることにより、駆動軸取り外し軸（位置決めナット含む）を上昇（ボタンアップ）／下降（ボタンダウン）させる動作のこと。
89	ま	マーキング位置	駆動軸取り外し工具の指示管（インジケータロッド）には、取り外し軸が上がりきった箇所と下がりきった箇所を示すマークがあり、この位置を確認することにより、取り外し軸が動作途中でスタックしていないことを確認することができる。
90		マグネタイト (FeO)	プラント構成材に含まれる鉄(Fe)の腐食により生成される酸化物。金属光沢を持つ黒色の鉱物で、強い磁性を持つ。
91		マグネタイトへの変態	Feは、酸化されてオキシ水酸化鉄 (FeOOH) になった後、脱水によりヘマタイト (α -Fe ₂ O ₃) となり、さらに還元されマグネタイト (Fe ₃ O ₄) となる。
92		摩擦係数確認試験	接触面の静止摩擦係数を取得するために実施した試験。供試体は実機と材料および環境（気中／水中）が異なるため、実機材料および水中環境での静止摩擦係数を測定し比較した。
93		マルテンサイト系ステンレス鋼	内部マルテンサイトという組織で出来ているステンレス鋼。磁性を有し硬い。
94		未臨界性	核分裂連鎖反応が継続する状態である臨界に達していない状態のこと。時間とともに核分裂の数が減り、連鎖反応が収束に向かう状態。
95		面荒れあり	これまでの使用に伴い生じた、わずかな摩耗のこと。実証試験用に製作した供試体は、機械加工により表面に摩耗は生じていないため、実機を模擬するため、サンドペーパーにより摩耗を模擬した。
96		面荒れなし	実証試験用に製作した供試体で、機械加工ままの状態。実機に生じている表面摩耗は模擬していない。
97		模擬駆動軸	駆動軸取り外し工具の引き上げ荷重を計測するため、駆動軸の頭部を模擬した軸を使用した。また、製造時においても模擬駆動軸を使用し、試験を実施している。
98	や	野外モニタ	伊方ビジャーズハウス東隣に設置しているモニタリングステーションにおいて、空間放射線量率、空間放射性じんあい濃度、空間放射性よう素濃度を測定している。 また、伊方発電所の周辺監視区域境界付近（4箇所）に設置しているモニタリングポストにおいて、空間放射線量率を測定している。
99		余熱除去冷却器入口・出口温度	停止中は余熱除去系統の熱交換器である余熱除去冷却器で除熱している。事象発生時に有意な温度変化はなかった。
100		溶存酸素	空気中や水中に含まれる酸素。プラント起動時に水張をする際には、空気を抜くベンディング操作を実施するが、一部抜けきらない箇所が生じ、一次冷却水の圧力が高くなることで空気が圧縮され、酸素濃度が高い状態となる。

No.	索引	用語	解説
101	ら	ラッチ／アンラッチ	駆動軸取り外し工具の駆動軸つかみ金具により、駆動軸を挟み結合（ラッチ）／開放（アンラッチ）すること。
102		冷却材フィルタ	化学体槽制御系統に設置されたフィルターで、不純物を回収している。
103		励磁	磁力を持っていない磁性材料が磁界により磁力を持つこと。
104		ロックボタン	駆動軸下端部にある部品で、通常運転中、ロックばねにより下向きに押され接手内側と接触することで、位置決めナットが接手内部に位置する状態を維持している。
105	A	ANSYS	有限要素法を主体とした解析ソフトウェアの名称。今回は、コンピュータ上で表現した駆動軸やRCCスパイダに生じる力やを計算するために用いた。
106	F	FEM	Finite Element Method（有限要素法）の略。駆動軸やRCCスパイダ等を数学モデル（数式）としてコンピュータ上で表現する手法。
107	X	X線回折	X線を試料に照射した際、試料の電子により、X線が散乱・干渉すること。未知の試料から得られたX線回折パターンと既知のパターンを比較することにより、未知の試料が何なのかをみなす（同定する）ことができる。

伊方発電所 3号機第15回定期検査中に
連續発生したトラブルに関する報告書

令和2年7月

伊方原子力発電所環境安全管理委員会
原 子 力 安 全 専 門 部 会

伊方原子力発電所環境安全管理委員会原子力安全専門部会 名簿

部 会 長： 望月 輝一 愛媛大学名誉教授 (放射線医学)

部会長代行： 宇根崎 博信 京都大学複合原子力科学研究所教授 (原子炉工学)

委 員： 岸田 潔 京都大学大学院工学研究科教授 (地盤工学・岩盤工学)

高橋 治郎 愛媛大学名誉教授 (構造地質学)

中村 秀夫 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構
安全研究・防災支援部門
原子力緊急時支援・研修センター兼安全研究
センター 特命専門職 (原子炉工学・原子炉安全工学)

村松 健 東京都市大学工学部客員教授 (原子力安全工学(リスク評価))

森 伸一郎 愛媛大学大学院理工学研究科准教授 (地震工学)

渡邊 英雄 九州大学応用力学研究所准教授 (原子炉材料)

(注)委員の表記は 50 音順

目 次

はじめに.....	1
審議の経緯.....	2
1 伊方発電所第3号機 中央制御室非常用循環系の点検に伴う運転上の制限の逸脱について.....	3
2 伊方発電所第3号機 原子炉容器上部炉心構造物吊り上げ時の制御棒クラスタ引き上がり について.....	9
3 伊方発電所第3号機 燃料集合体点検時の落下信号の発信について	16
4 伊方発電所における所内電源の一時的喪失について	22
5 伊方発電所 連続発生したトラブルの総括評価について	29
審議結果.....	37

参考資料　伊方原子力発電所環境安全管理委員会及び同原子力安全専門部会 委員コメント一覧

はじめに

伊方発電所では、令和元年 12 月 26 日から開始した伊方発電所 3 号機の第 15 回定期検査において、

【事象 1】令和 2 年 1 月 6 日

伊方発電所第 3 号機 中央制御室非常用循環系の点検に伴う運転上の制限の逸脱

【事象 2】令和 2 年 1 月 12 日

伊方発電所第 3 号機 原子炉容器上部炉心構造物吊り上げ時の制御棒クラスター引き上がり

【事象 3】令和 2 年 1 月 20 日

伊方発電所第 3 号機 燃料集合体点検時の落下信号の発信

【事象 4】令和 2 年 1 月 25 日

伊方発電所における所内電源の一時的喪失

と 4 件の重大なトラブルが連続して発生した。このため、四国電力株式会社（以下「四国電力」という。）は、1 月 25 日から定期検査を中断した上で、愛媛県からの要請も踏まえ、各事象の原因と再発防止策に係る報告書に加えて、一連のトラブルが発生した背景についても調査・分析し、総括評価として取りまとめ、3 月 17 日に愛媛県に提出するとともに、原子力規制委員会に対しては、国への報告対象事象である【事象 2】のほか、【事象 3】及び【事象 4】（以下「3 事象」という。）に係る報告書についても参考として提出した。

愛媛県においては、伊方原子力発電所環境安全管理委員会原子力安全専門部会で、各事象の原因究明と再発防止策の妥当性に加え、一連のトラブルが発生した背景にも注目し、実効性ある再発防止策の確実かつ継続的な実施に向けた取組みについて審議を行った。

本報告書は、原子力安全専門部会における審議内容とトラブルの再発防止のため、四国電力に求める事項を取りまとめたものである。

審議の経緯

原子力安全専門部会においては、2月18日、四国電力から各事象の概要と原因究明に係る中間報告を受けた後、3月17日に四国電力から愛媛県に提出のあった事象1～4の4件と総括評価の報告書について、6月4日にその内容を聴取するとともに、特に原因究明の妥当性や再発防止策の実効性・有効性等について審議を行った。

その後、7月16日に、これまでの原子力安全専門部会における審議内容について整理し、部会報告書として取りまとめた。

一方、国では【事象2】について、2月12日及び3月26日の原子力規制委員会の事故トラブル事象への対応に関する公開会合における審議等を経て、4月8日の原子力規制委員会において、原因と再発防止策が検証され、四国電力の原因を断定することはできないが調査結果の説明は整合性が取れるものであり、再発防止策は適切として了承された。また、【事象3】及び【事象4】についても、原因と再発防止策の報告がなされ、確認された。

原子力安全専門部会等の開催状況一覧

開催日	会議	内 容
令和2年2月18日	原子力安全専門部会	四国電力から、各事象の概要と原因究明に係る中間報告について聴取
令和2年3月24日	環境安全管理委員会	報告書の概要について聴取
令和2年6月 4日	原子力安全専門部会	四国電力から、報告書の内容について聴取 各事象の原因究明と再発防止策及び総括評価の妥当性・実効性等について審議
令和2年7月16日	原子力安全専門部会	前回部会における委員意見に対する対応等の説明 部会報告書の取りまとめ

(参考) 国における検証経緯

開催日	会議	内 容
令和2年2月12日	原子力規制委員会	3事象の概要について報告
令和2年3月26日	事故トラブル事象への対応に関する公開会合	3事象の原因と再発防止策について報告し、審議等を実施
令和2年4月 8日	原子力規制委員会	国への報告対象である【事象2】の原因と再発防止策について検証し、了承されるとともに、INES(国際原子力・放射線事象評価尺度)レベル0の「安全上重要でない事象」と評価 【事象3】、【事象4】の原因と再発防止策について報告・確認

1 伊方発電所第3号機 中央制御室非常用循環系の点検に伴う運転上の制限の逸脱について

(1) 事象概要

四国電力は、原子炉施設の安全機能を確保するため、伊方発電所原子炉施設保安規定（以下「保安規定」という。）において、原子炉施設の運転モード^{*1}に応じ、安全機能を確保するために必要な機器の台数等を「運転上の制限」として定めるとともに、機器の点検・保修のために計画的に運転上の制限外に移行するための措置についても定めている。

四国電力は、伊方発電所3号機の第15回定期検査において、1月6日から中央制御室非常用循環系^{*2}の点検を行うため、第14回定期検査（平成29年10月3日～平成30年11月28日）と同様の手順により、保安規定第84条に定める運転上の制限である「中央制御室非常用循環系1系統以上が動作可能であること」を満足した状態から、計画的に運転上の制限外に移行しようとしたところ、当直長が計画的に運転上の制限外に移行できる時期ではないと判断し、作業を中止した。

保安規定第84条抜粋

3号炉について、次の各号の重大事故等対処設備は、表84-1で定める事項を運転上の制限とする。

(16) 中央制御室

表84-17 中央制御室

84-17-1 居住性の確保及び汚染の持ち込み防止

(1) 運転上の制限

項目	運転上の制限
中央制御室非常用循環系	中央制御室非常用循環系1系統以上が動作可能であること

保安規定第88条では、中央制御室非常用循環系の点検のため、運転上の制限外に移行する場合は、原子炉容器内から燃料体を全て取出してあり、かつ使用済燃料ピットでの照射済燃料^{*3}を移動していない時期に、実施しなければならない旨を定めているが、今回点検のために運転上の制限外に移行しようとした際の原子炉施設は、原子炉容器内に燃料体が装荷されている運転モード5の状態であった。

保安規定第88条抜粋

3 各課長は、表88で定める設備について、保全計画等に基づき定期的に行う点検・保修を実施するため、計画的に運転上の制限外に移行する場合は、同表に定める定検時の措置を実施する。

表88

点検対象設備	第88条適用時期	点検時の措置	実施頻度
中央制御室非常用給気ファン	モード1, 2, 3, 4, 5, 6及び使用済燃料ピットでの照射済燃料移動中以外	使用済燃料ピットの水位がEL31.7m以上および水温が65°C以下であることを確認する。	点検前 その後の1週間に1回
中央制御室空調ファン			
中央制御室再循環ファン			
中央制御室非常用給気フィルタユニット			

このため、平成 29 年 10 月 5 日に実施した前回第 14 回定期検査の中央制御室非常用循環系の点検作業について確認したところ、今回実施しようとしていた原子炉施設が運転モード 5 の状態において点検作業を実施しており、運転上の制限を満足していない期間があったことを確認した。今回確認された運転上の制限の逸脱に関する保安規定第 84 条及び第 88 条第 3 項の規定は、平成 25 年 7 月の新規制基準施行により新たに設けられ、第 14 回定期検査で初めて適用された規定であり、第 13 回定期検査までは、原子炉施設の運転モード 5 における中央制御室非常用循環系の点検作業は適切な作業であった。

なお、当該設備に異常はなく、点検作業期間中は、原子炉容器内は満水を維持しており、使用済燃料ピットでの照射済燃料移動作業も行っておらず、安全は確保されている状態であった。また、本事象による環境への放射能の影響はなかった。



図 1-1 第 14 回定期検査における点検工程

※1 原子炉施設の運転モード

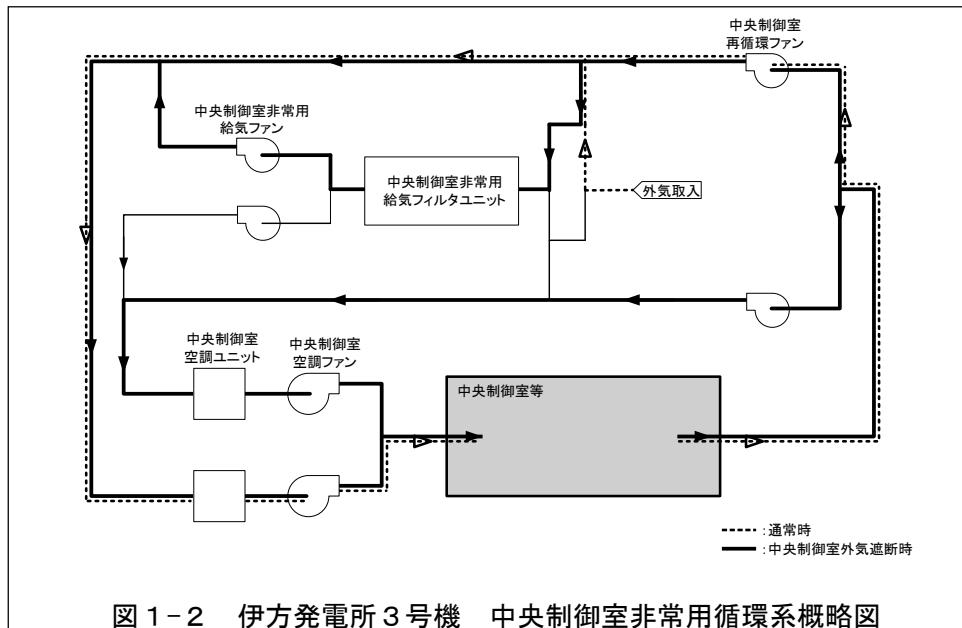
モード	原子炉の運転状態	原子炉容器スタッダードボルトの状態
1	出力運転(出力領域中性子束指示値 5 %超)	全ボルト締付
2 (停止時)	出力運転(出力領域中性子束指示値 5 %以下)～ 制御グループバンク全挿入 ^{注1} による原子炉停止	全ボルト締付
2 (起動時)	臨界操作のための制御グループバンク引抜操作開始 ～出力運転(出力領域中性子束指示値 5 %以下)	全ボルト締付
3	1 次冷却材温度 177°C以上	全ボルト締付
4	1 次冷却材温度 93°C超 177°C未満	全ボルト締付
5	1 次冷却材温度 93°C以下	全ボルト締付
6 ^{注2}		1 本以上が緩められている

注 1：挿入不能な制御棒を除く。

注 2：すべての燃料が原子炉格納容器の外にある場合を除く。

※2 中央制御室非常用循環系

放射性物質が放出されるような重大事故時に、中央制御室への放射性物質の流入を防ぐため、外気を遮断して中央制御室の空気をフィルタを通して循環させる空調装置。



※3 照射済燃料

原子炉容器内で使用した実績がある燃料集合体

(2) 推定原因

①作業担当課は、保安規定に関する理解が不足し、記載事項の一部について解釈を誤った状態であった。また、関連する社内規定記載事項についても、十分な確認を行わなかった。

- 作業担当課の複数の者が、中央制御室非常用循環系を計画的に運転上の制限外に移行できる時期として保安規定で定めている「モード1, 2, 3, 4, 5, 6及び使用済燃料ピットでの照射済燃料移動中以外」を、「モード1, 2, 3, 4, 5, 6」の時期及び「使用済燃料ピットでの照射済燃料移動中以外」の時期と誤って解釈していた。
- 社内規定の伊方発電所3号機原子炉施設停止時保安管理内規には、中央制御室非常用循環系を計画的に運転上の制限外に移行できる時期を記載した図面を掲載しているが、保安規定を誤って解釈していたことにより、保安規定上問題ない作業計画と思い込んでいたため、当該社内規定の十分な確認を行わなかった。

②作業担当課は、関係課長、各主任技術者及び所長への申請の際、申請内容を確認できる資料等を示しておらず、申請を受けた者が確実にチェックできる仕組みが構築できていなかった。

- 作業を実施するに当たっては、事前に作業票により、作業計画の承認及び作業実施許可等を受ける必要があるが、作業票に参考資料等を添付していなかった。

③今回の事象に関わった関係者は、「問いかける姿勢」が欠けていたため、掘り下げる質問を行わず、組織として十分なチェック機能が働いていなかった。

- 申請を受けた関係課長及び各主任技術者は、事前に作業担当課が確認していること、所長は、作業担当課長、関係課長及び各主任技術者が確認していることから問題ないと思い込み、承認した。

(3) 再発防止策

①令和2年1月7日、今回の事象及び保安規定遵守について全所員及び関係会社作業員に対し、周知徹底を図った。

②計画的に運転上の制限外に移行する場合の運用に関する次の事項を社内規定に反映するとともに、関係者への周知徹底を図った。

- 計画的な運転上の制限外への移行に係る適用可能時期を新たに追記することにより、保安規定の解釈を明確化。
- 計画の妥当性を明確に確認できるチェックシート（作業票の確認に際して参考となる資料を含んだもの）を作成するとともに、社内関係者に連携の上、確認又は承認を受ける運用。

③技術系所員に対する教育を、次のとおり実施する。

- 保安規定が改定された際は、周知に加え、改定内容に関する教育を実施。
- 保安規定第88条の運用に関する追加の教育を実施。
- 重要な社内規定類の確実な確認について、定期的な教育を実施。

④「問いかける姿勢」の定着を確実なものにするため、次の事項を実施する。

- 今回の事象を毎年実施している「安全文化の教育」内容に反映することにより、長期的に「問いかける姿勢」が定着するよう全所員に繰り返し意識付けを実施。
- 上記取組みを新規制定する社内規定に定め、安全文化醸成活動に関する計画に反映し、P D C Aサイクルとして継続的に実施。
- 作業担当課が、作業について関係者に確認し、承認又は許可を申請するときは、相互にコミュニケーションをとり、お互いに認識不足や解釈の誤りがないことを確認し合える環境となるよう、関係者へ周知。

(4) 審議内容

①保安規定の改定内容の教育

保安規定を改定した際に実施する社員教育は、改定内容だけでなく、改定理由についても教育するとともに、双方向のコミュニケーションを取り入れ、教育する側も含めて、参加者全員が様々な角度から議論できる体制としてもらいたい。

【四国電力回答】

保安規定を改定した場合は、従来の周知のみでなく、改定に携わった者が、改定の趣旨も含めて教育することとしており、教育に際しては、双方向のコミュニケーションによる互いに学び合える風土の育成にも努めてまいりたい。

②「問いかける姿勢」の醸成

「問いかける姿勢」については、社員の意識改革をするとともに、問いかけるべきことを理解しなければ定着しないが、今後どのように取り組んで行くのか。

【四国電力回答】

安全文化を醸成するのは長期的・継続的な取り組みが必要であり、新規制定した社内規定において、安全文化醸成活動の目標として「問いかける姿勢」も含めた10の健全な安全文化の特性を定め、安全文化醸成活動をP D C Aサイクルとして継続的に改善を行いながらしっかりと取り組んでいく。

定型的な取り組みとしては、関係者が出席するスクリーニング会議で10の健全な安全文化の特性を毎週唱和することによる「問いかける姿勢」の定着活動を行うとともに、毎年実施している安全文化の教育のテキストに本事象を追加し、繰り返し教育することで「問いかける姿勢」の重要性を認識させていくが、このような教育や日々の業務においては双方向コミュニケーションを工夫しながら取り入れていくことで、より良い活動となることを目指すとともに、互いに自発的に学び合える風土を育むよう努めていく。

以上のように、今後の取り組みに当たっては、形式的にならないように心掛けながら、継続的に取り組んでいくこととしている。

③四国電力社員による重要作業の実施

原子炉施設の運転に当たっては、協力会社を含め様々な関係者が作業を実施しているが、安全上重要な作業については、全て、四国電力の社員が携わる体制を整えてもらいたい。

【四国電力回答】

安全上重要な作業については、工程管理も含め、全て、四国電力社員が主体となって実施している。

また、本事象の再発防止策として、社員教育の充実・強化を図り、保安規定の理解促進や「問い合わせる姿勢」の定着を図るとともに、チェックシートを作成するなど確実にチェックできる仕組みを構築しており、しっかりと運用していくこととしている。

2 伊方発電所第3号機 原子炉容器上部炉心構造物吊り上げ時の制御棒クラスタ引き上がりについて

(1) 事象概要

伊方発電所3号機の第15回定期検査において、令和2年1月12日、原子炉からの燃料取出の準備作業として、制御棒クラスタと駆動軸の切り離し^{*1}を行い、原子炉容器の上部炉心構造物を取り外すために吊り上げていたところ、制御棒クラスタ1体が意図せず、上部炉心構造物とともに引き上げられていることを水中カメラで確認した。

このため、上部炉心構造物を吊り下ろして、当該制御棒の切り離し操作を実施した後、再度、上部炉心構造物を吊り上げ、当該制御棒クラスタが引き上がっていなきことを確認し、1月13日、上部炉心構造物の取り外しを完了した。

なお、本事象による環境への放射能の影響はなかった。また、燃料取出に備えて、あらかじめ原子炉容器内の1次冷却材のほう素濃度を高めていたことから、未臨界は維持されていた。

四国電力は、1月15日、本事象が国への報告事象を定めた実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則第134条に該当すると判断し、原子力規制委員会に報告した。

※1 燃料取替クレーンを使用し、制御棒クラスタ（48体）と駆動軸（48本）を専用の取り外し工具（1個）を用いて切り離しを行う作業。



図2-1 事象概要図

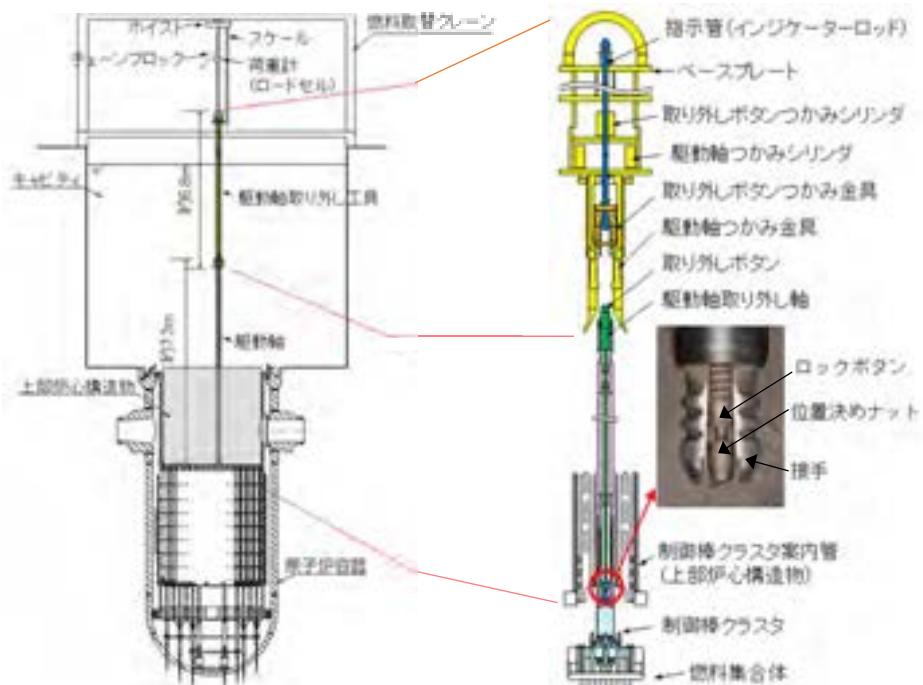


図 2-2 制御棒クラスタ切り離し図

(2) 推定原因

① 制御棒クラスタと駆動軸との切り離しを行った後、再結合を防止するため、駆動軸取り外し軸を下降させた際、ロックボタン廻りに付着した堆積物（スラッジ）が位置決めナットと接頭の間に挟まり、駆動軸取り外し軸が詰まった。

➤ 制御棒クラスタのスピアダ頭部内（駆動軸との結合部内部）で確認された堆積物を調査した結果、当該堆積物は、駆動軸内表面や1次冷却系統内で生成したマグネタイトが剥離し、堆積したものと推定され、他の制御棒でも確認された。なお、当該制御棒クラスタスピアダ頭部内の堆積量は約 20 cc と推定された。

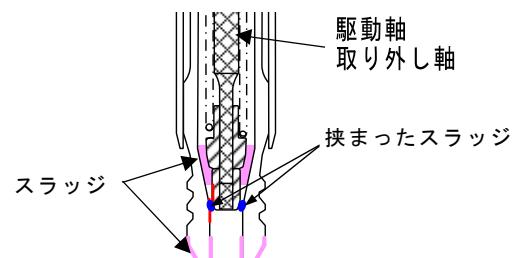
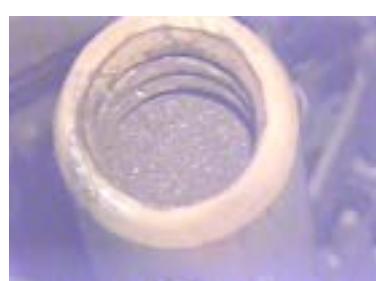


図 2-3 駆動軸取り外し軸の状態



【使用済燃料ピット内の撮影写真】



図 2-4 堆積物調査結果

② 駆動軸取り外し軸を完全に下降させ、接手を押し広げていない①の状態で制御棒クラスタに駆動軸を着座させたことにより、その後の駆動軸取り外し工具の切り離し作業に伴う振動で、駆動軸が制御棒クラスタのスパイダ頭部内へ沈み込み、駆動軸接手外面直線部と制御棒クラスタのスパイダ頭部1山目の接触による不完全な結合状態が形成され、上部炉心構造物を吊り上げた際、制御棒クラスタも引き上がった。

- 当該制御棒クラスタの外観確認において、スパイダ頭部の円環部上面及び内部テーパ面に接触痕（色調の変化）が確認されるとともに、当該駆動軸の外観確認の結果、接手外面及び接手内面に今回生じた可能性のある金属光沢を有する接触痕を確認した。

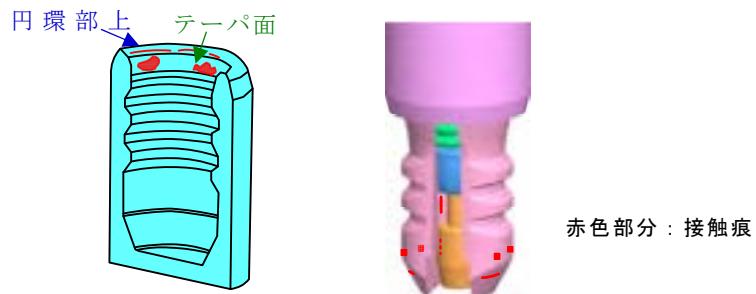


図 2-6 制御棒クラスタスパイダ頭部及び駆動軸の接触痕

- 7 ケースの不完全な結合状態について、幾何学的な整合、外観確認結果との整合及び手順との整合の観点で検討した結果、ケース 1 から 4^{※2}については、全ての観点で整合し、不完全な結合状態が形成される可能性があることを確認した。

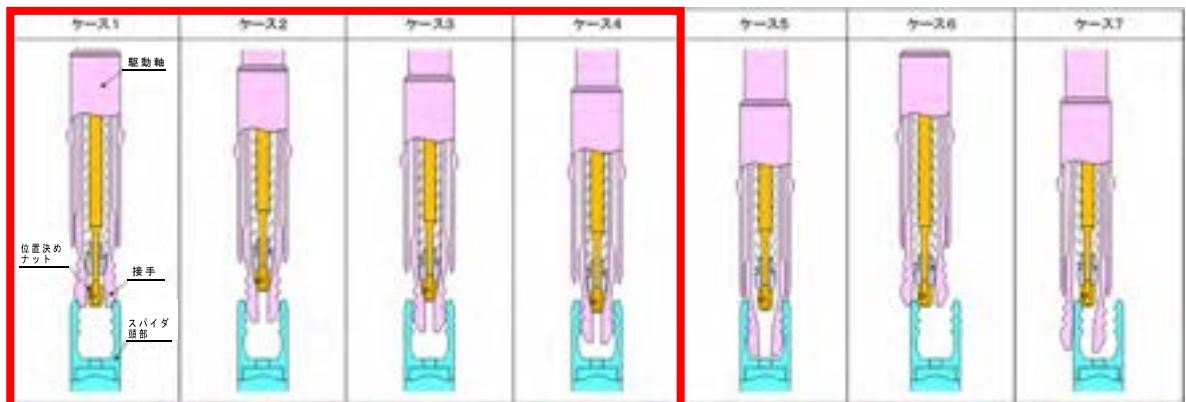


図 2-7 各ケースの概要図

※2 ケース 1 は仮置き状態で、ケース 2～4 はスパイダ頭部にそれぞれ 1～3 山目位置で、不完全に結合している状態。

- 不完全な結合状態として発生する可能性があるケース1から3について、駆動軸と制御棒クラスタを部分的に模擬した供試体を用いて引き上げ荷重に係る実証試験を実施した結果、ケース1では引き上げ荷重は発生せず、また、ケース3では、試験機の計測範囲を超える大きな引き上げ荷重が計測されたため、これらのケースは、意図せず引き上げられたものの、特別な操作を実施することなく自然に切り離された今回の事象とは整合しない結果となった。

ケース2については、制御棒クラスタの水中重量相当の引き上げ荷重が計測されたこと及び接触痕の発生状況から、当該状態で本事象が発生した可能性が高いことを確認した。

なお、ケース4の実証試験については、より引き上げ荷重が小さいと想定されるケース3で代表できるため実施していない。

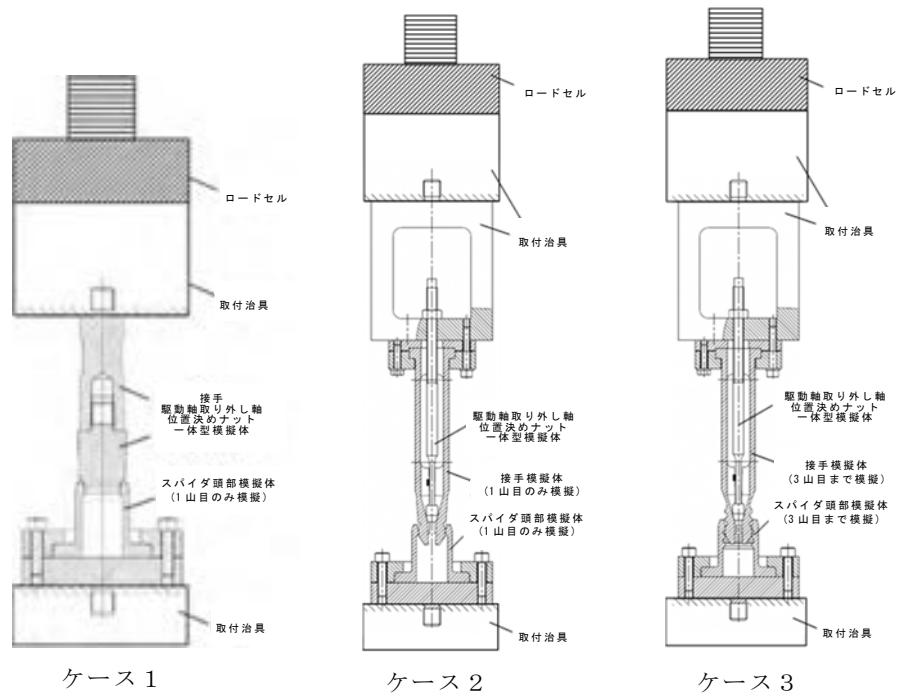


図2-8 部分モデルによる実証試験

- ③ 作業手順書には、駆動軸着座前に駆動軸取り外し軸が正規の位置まで下降したことを確認する手順がなく、駆動軸取り外し軸の詰まりを確認することができなかった。

- 作業手順書は、駆動軸吊り上げ時の重量及び寸法確認により制御棒クラスタと駆動軸が切り離されていることを確実に確認できる手順であったが、切り離し確認以降、不完全な結合状態に至る可能性がある駆動軸取り外し軸が下降した際の、駆動軸内の詰まりを確認できる手順とはなっていなかった。

(3) 再発防止策

- ① 制御棒クラスタと駆動軸の切り離し後、再結合を防止するために実施する駆動軸取り外し軸の下降作業が、堆積物で詰まることなく、確実に完了したことを確かめるため、作業手順書に駆動軸取り外し工具の指示管（インジケーターロッド）のマーキング位置を確認する手順を追加する。
- ② さらに、意図しない制御棒の引き上りをより確実に防止するため、作業手順書に駆動軸着座後に再度、駆動軸の吊り上げ作業による重量確認等を実施する手順を追加する。
- ③ また、本事象の原因となった堆積物はプラント運転に伴い発生することから、定期検査毎に使用済燃料ピット内において、次サイクルで使用する制御棒クラスタのスパイダ頭部内の状況を確認し、堆積物が確認された場合は除去する。

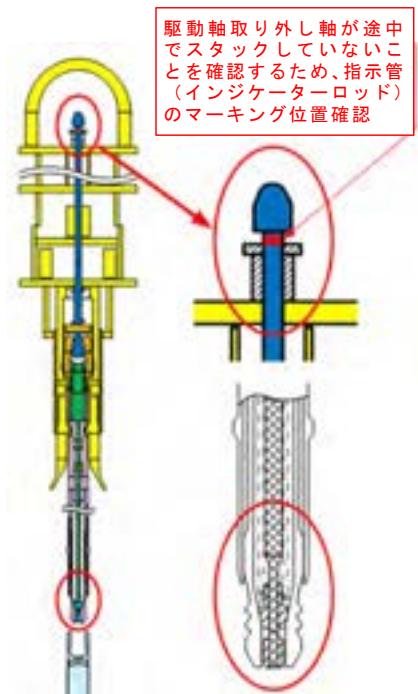


図 2-9 マーキング位置確認

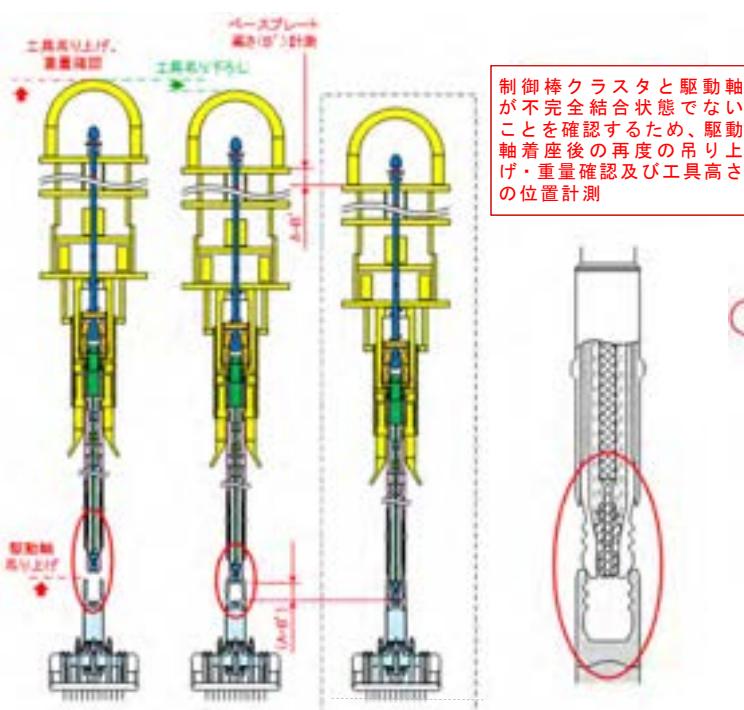


図 2-10 重量確認および位置計測

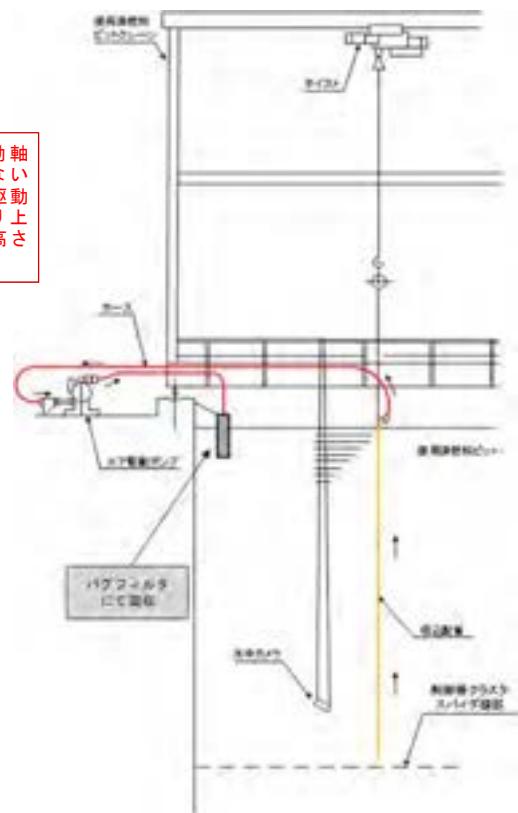


図 2-11 堆積物除去概要

(4) 審議内容

①スラッジ（マグネタイト）発生のメカニズムの解明と発生量低減に係る要望

推定原因どおりかどうかにかかわらず、再発を防止できる対策であると認められるが、PWR（加圧水型原子炉）の安全性向上のためにも、スラッジの発生メカニズム解明や発生量低減について詳細調査を継続的に実施してもらいたい。

【四国電力回答】

本事象の発生メカニズムについては、作業手順、制御棒クラスタのスパイダ頭部へのスラッジの堆積、駆動軸等の観察等の事実から、不完全結合に至る様々なケースを検討し、実証試験や解析等も実施した上で特定している。また、今回講じることとした再発防止策である重量確認と位置確認により、駆動軸と制御棒クラスタの結合・切り離しの状態を確実に確認できるため、スラッジの影響の有無にかかわらず、今後、同様事象を確実に防止することができる。

本事象に影響したと推定しているスラッジについては、一次冷却系統の水質や温度等の環境下において、一般的な化学反応により生成し、安定的に存在することが知られている鉄の酸化物（マグネタイト）であることを分析結果から確認するとともに、制御棒クラスタのスパイダ頭部に堆積する現象についても、駆動軸内表面や一次冷却系統内で生成されたスラッジが堆積するメカニズムであると推定している。伊方発電所では、一次冷却系統への補給水中の鉄濃度を低く管理するなどできる限りスラッジの発生を抑制する措置を講じているが、一次冷却系統設備に使用されている材料に含まれる鉄などが元となり、PWRの運転環境下で生成されるため、発生しないようにすることは困難である。

また、スラッジの発生メカニズムは実機の設備構成を踏まえ、高い確度で理解しているものの、発生量等の詳細な調査は実施していないことから、今後は、定期検査ごとに堆積物を除去するとともに、堆積状況の観察・記録や他プラントの状況について情報収集・交換を行い、長期的なスラッジの低減に向けて、実験等で効果的な低減の方法を研究するなど知見の拡充に取り組みながら、さらなる安全性の向上に努めていく。

また、今後の研究により得られた知見については、学会や専門誌等で公表することについても検討していく。

②スラッジ（マグネタイト）による制御棒動作への影響

発生したマグネタイトの薄片が磁化して駆動軸接手に付着したと推定しているが、一定の大きさがあるマグネタイトの薄片が駆動軸の内部に付着することにより、制御棒駆動軸の動作に大きな影響を及ぼす可能性があるのではないか。

【四国電力回答】

磁性材料を使用する設備は限定的であるため、その設備の構造や機能を踏まえると、マグネタイトがプラントの安全性に悪影響を与える可能性は低く、これまでの運転においても特に制御棒駆動軸の動作に異常が認められたことはない。

また、従来から、「1次冷却系統の浄化流量を可能な限り最大としたクラッド低減」や「プラント起動時等に制御棒動作によるクラッドの排出促進」といった対策を講じているが、さらに、今回の再発防止策として、駆動軸と制御棒クラスタの切り離し作業においては、重量確認及び位置確認を実施することとしており、これにより、磁化したマグネタイトの薄片が駆動軸内部に付着していたとしても確実に切り離しの確認ができることから、スラッジが制御棒駆動軸の動作に悪影響を及ぼす可能性はない。

③設備の腐食による影響

制御棒クラスタのスパイダ頭部にスラッジが溜まっているが、設備の腐食という面から安全性への影響はないのか。

【四国電力回答】

スラッジが堆積する現象は、

- ・駆動軸内表面で生成したマグネタイトが剥離、落下、堆積したもの
- ・一次冷却系統内で生成したマグネタイトが当該部に侵入、堆積したもの

の2つのケースがあると推定しているが、設備の構造上、スパイダ頭部に溜まったスラッジは、駆動軸内表面で生成したものの割合が大きいと考えている。

また、マグネタイトが生成したとしても、1次冷却系統設備の主要材料はステンレス鋼であり、水質管理された環境下においては不働態被膜が形成されるため、健全性に影響を与えるような腐食が生じることはない。

仮に今回スパイダ頭部内に確認されたマグネタイトが、全て駆動軸内表面から析出した鉄により生成したと仮定した場合であっても、鉄の溶出量は微量であり、駆動軸の健全性に影響を与えるものではない。

3 伊方発電所第3号機 燃料集合体点検時の落下信号の発信について

(1) 事象概要

伊方発電所3号機の第15回定期検査において、燃料集合体の点検^{*1}をするため、燃料集合体を使用済燃料ピット内で移動させていたところ、1月20日に燃料集合体の落下を示す信号^{*2}が発信した。

本事象は、使用済燃料ピットクレーンを使用して、燃料集合体を使用済燃料ラック上に設置した点検装置ラックに挿入していたところ、燃料集合体がラック枠に乗り上げたことにより、クレーンの吊り上げ荷重が減少したため、落下信号が発信したものであり、燃料集合体は落下していない。

その後、燃料集合体を使用済燃料ピット内の所定の保管位置に戻すとともに、落下信号の発信に伴い、設計どおり使用済燃料ピットエリアの排気系統が、核分裂生成ガスを除去する系統に切り替わっていることを確認して同信号をリセットした。

なお、本事象によるプラントへの影響及び環境への放射能の影響はなかった。

また、燃料集合体、点検装置ラック及び使用済燃料ラックについては、外観確認及び荷重・応力評価により、それぞれの健全性に問題がないことを確認した。

※1 使用済燃料ピットクレーンにより、約11m下に設置した点検装置ラックに燃料集合体を挿入し、ファイバースコープで燃料集合体内部（燃料棒の支持部と燃料棒の間の隙間等の有無）を点検。なお、点検は、燃料集合体をA面、B面、C面、D面の順に回転させて点検装置ラックに挿入し直すことにより、全4面で実施。本事象は、D面を観察しようとした際に発生したもの。

〔国内で過去に発生した燃料集合体からの放射性物質の漏えい事象を踏まえ、漏えいが発生したものと同設計の燃料集合体を対象とした点検であり、第15回定期検査では5体の燃料集合体を対象に点検を行う予定であった。〕

※2 使用済燃料取扱作業時における万一の燃料集合体の落下に備え、使用済燃料ピットクレーンの吊荷荷重が設定値（300kg）以下になった場合に燃料集合体が落下したと判断して、アニュラス排気ファンを起動し、使用済燃料ピットエリアの排気を通常の排気系統から核分裂生成ガスを除去する系統に切り替えるための信号。

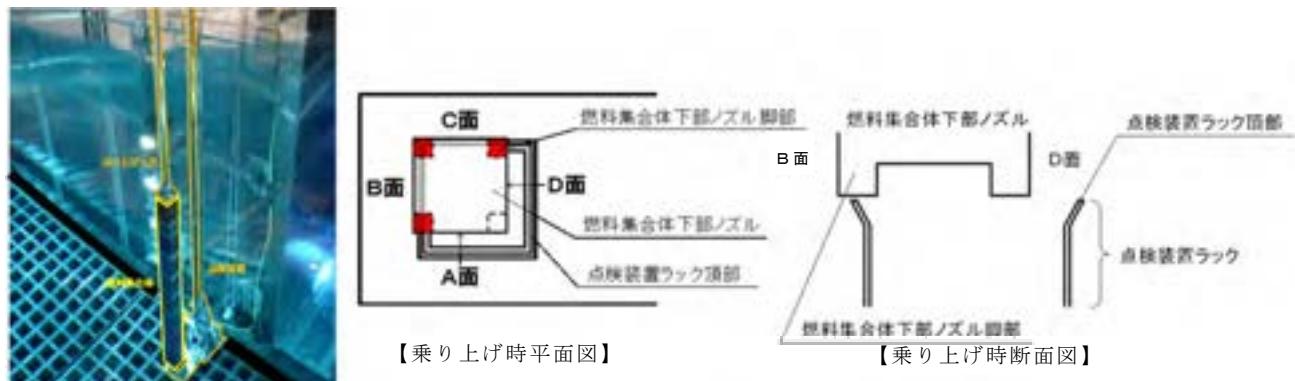


図3-1 事象発生概要

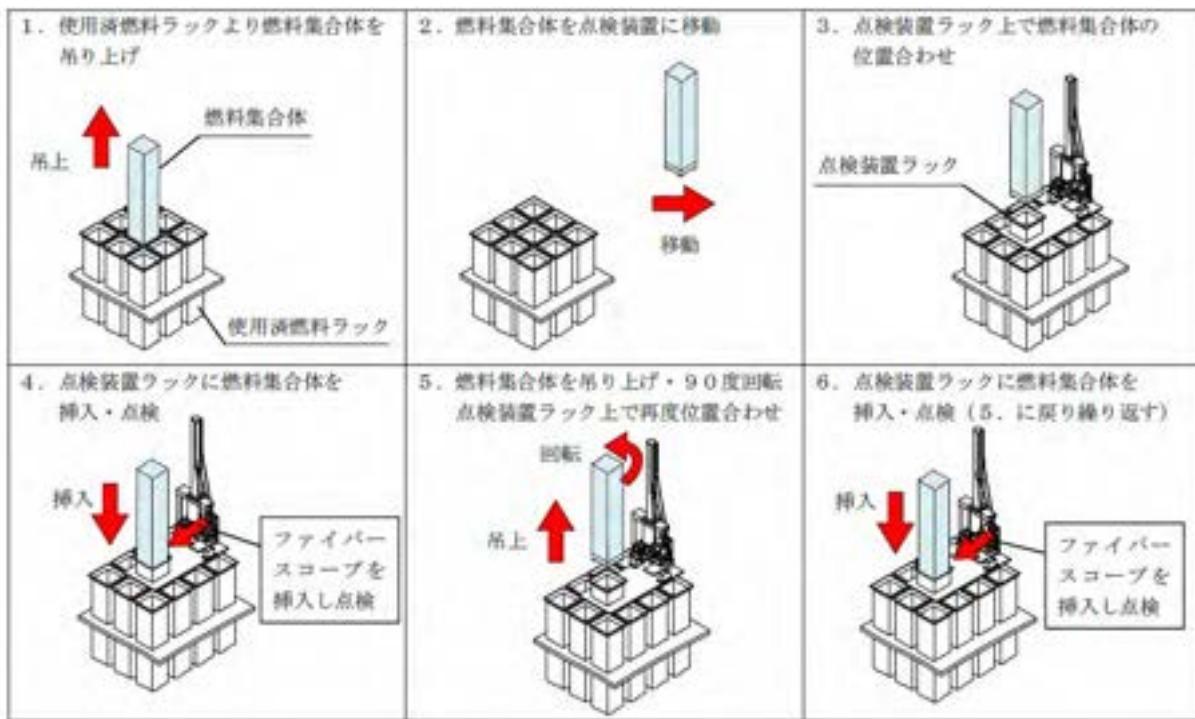


図 3-2 燃料集合体点検作業要領

(2) 推定原因

① 点検装置ラック開口寸法 (248.5mm) が使用済燃料ラックの開口寸法 (259mm 及び 272mm) よりも小さいため、使用済燃料ラックへの燃料集合体挿入作業に比べて難度が高い作業となっていた。

➢ 作業員への聞き取り調査の結果、使用済燃料取扱工具操作員及び使用済燃料ピットクレーン操作員は、点検装置ラックの開口寸法が使用済燃料ラックの開口寸法よりも小さいことから、燃料集合体と点検装置ラックのセンタリング確認及び挿入状況の確認が難しいと認識していた。

➢ 使用済燃料ラックの内寸法は、燃料集合体の外寸法 (214 mm) に対して片側 7 mm の隙間を有する値 (228 mm) に設定しているが、点検装置ラックの内寸法については、点検中の燃料集合体の揺れ、回転等を防止するため、片側 2 mm の隙間に制限した値 (218 mm) としており、開口寸法も点検装置ラックの方が小さく設計されている。

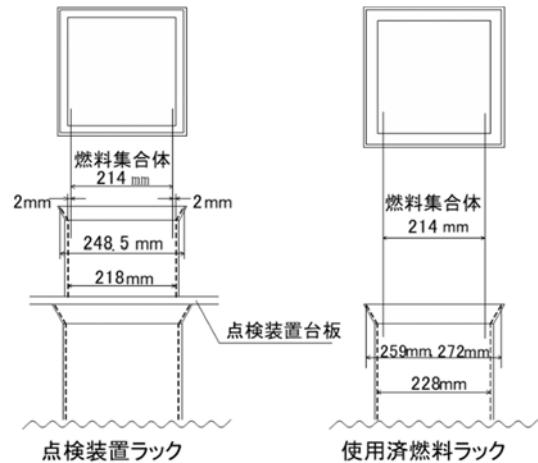


図 3-3 点検装置ラックと使用済燃料ラックの寸法比較

② 使用済燃料ピット内に設置されている常設の水中照明によって点検装置ラックにできる影により、点検装置ラック開口部の視認性が低下しており、点検装置ラックへの挿入状況の確認作業は使用済燃料ラックへの燃料集合体挿入作業に比べて難しい状況となっていた。

➤ 作業員への聞き取り調査の結果、使用済燃料取扱工具操作員及び使用済燃料ピットクレーン操作員は、使用済燃料ピット内に設置されている常設の水中照明が点検装置ラックに当たって影ができ、使用済燃料ラックに比べて点検装置ラック開口部が見え難かったことから、燃料集合体の下部ノズルと点検装置ラックのセンタリング確認及び挿入状況の確認が難しいと認識していた。

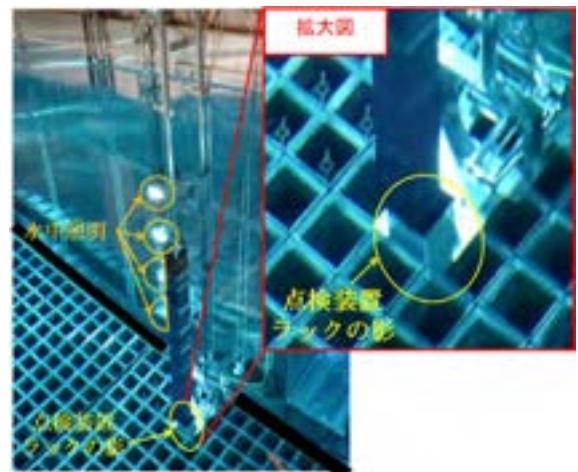


図 3-4 点検装置ラックの視認性



図 3-5 作業員による点検装置ラックの確認状況

③ 燃料集合体のセンタリング及び点検装置ラックへの挿入状況の確認作業は難度の高い作業であったが、これらの確認は操作員のみで実施しており、作業責任者による確認が行われていなかった。

➤ 点検作業全体を通じて、燃料集合体のセンタリング及び点検装置ラックへの挿入状況の最終的な確認は、燃料集合体及びラックの上方から行う必要があることから、クレーン上で操作している操作員のみが実施しており、使用済燃料ピットの脇にて作業全体を監視している元請会社、一次協力会社及び二次協力会社の作業責任者は、直接確認できなかった状況であった。

④ 本事象発生の直前に燃料集合体と点検装置ラック内面が接触したことにより、荷重急変減少警報^{※3}が発信した際、続く作業を確実に進めるため、一度作業の手を止め、四国電力社員及び元請会社等の作業責任者を含めた作業員全員で次の対応についての認識を共有し合う等の通常の燃料取扱作業時とは異なる対応が必要であったが、実施できていなかった。

➤ 作業要領書には、燃料集合体取扱作業中に荷重急変減少警報が発信した場合の措置の記載はなかった。

➤ 荷重急変減少警報自体は、通常の使用済燃料ラックへの燃料挿入時にも発信しうるものであることから、四国電力社員並びに元請会社、一次協力会社及び二次協力会社の作業責任者が注意喚起をする等の積極的な対応をとらなかつた。

※3 燃料集合体の側面に設置されている支持格子の破損を防止するため、燃料集合体と使用済燃料ラックとの接触などにより、クレーンの吊り上げ荷重が-65 kg以上変動すると燃料集合体の下降を自動停止するインターロックが設けられている。本警報は、当該インターロックが作動したことを作業員に認知させる目的で設置されており、接触が燃料集合体の健全性に影響するものでないことを確認するとともに、接触の原因を確認して必要な措置を講じることとしている。

⑤ 点検装置ラックの開口寸法及び視認性の問題により、点検装置ラックへの燃料集合体の挿入は使用済燃料ラックへの挿入に比べて難度が高い状況となっていたが、四国電力社員等の関係者はその状況に気付くことができず、操作員への問い合わせや、点検装置改善の検討、要領書への荷重急変減少警報発信時の具体的な操作手順の追記等の対応をしてこなかつた。

➤ プラントメーカが設計した装置であること、先行プラントで使用実績があったこと及び過去の定期検査等において問題なく操作できていたことなどから、難度が高い操作であることに気付かなかつた。

(3) 再発防止策

- ① 点検装置ラック開口寸法を拡大して、使用済燃料ピットと同等の開口寸法とする。
- ② 本点検作業時には、使用済燃料ピット内の常設の水中照明に加え、燃料集合体のセンタリングと点検装置ラックへの挿入状況を作業員が確認するための水中テレビカメラ及びディスプレイ、作業中の視認性向上を図るために点検装置ラックを照らす水中照明をそれぞれ2台設置する。



図3-6 点検装置ラックの開口寸法拡大

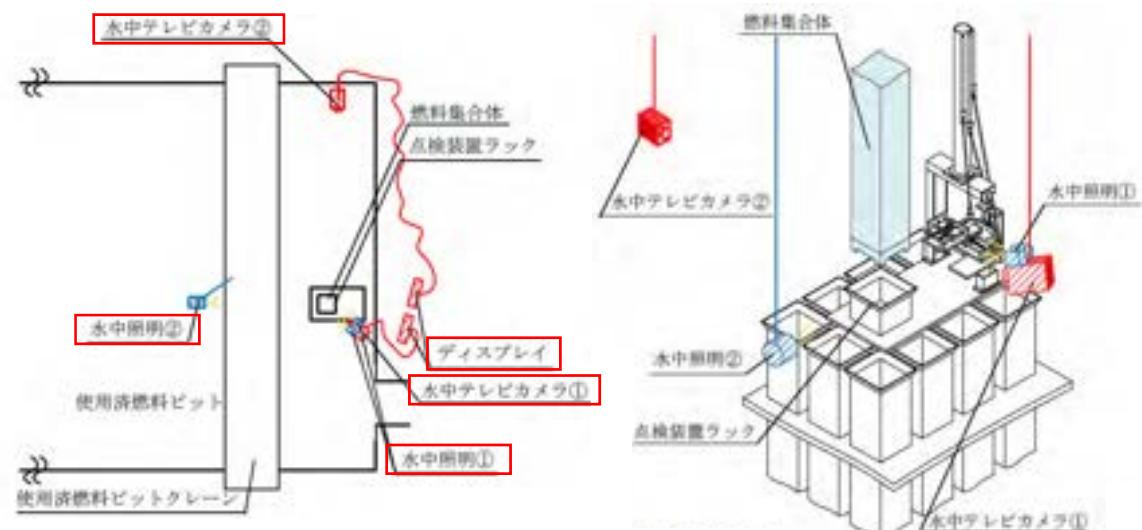


図3-7 点検装置ラックの視認性向上のため点検作業時に設置する設備

- ③ 燃料集合体のセンタリング及び点検装置ラックへの挿入状況は、操作員に加えて、元請会社の作業責任者が水中テレビカメラの映像によるダブルチェックを行うこととし、当該手順を作業要領書に追記する。
- ④ 作業要領書に荷重急変減少警報発信時の具体的な操作手順及び点検装置ラックに挿入する際の注意事項を追記し、作業開始前の読み合わせにおいて作業員全体に周知する。
- ⑤ 本事象と同様に難度が高く、燃料集合体への接触や干渉等の可能性がある作業について、作業員への聞き取り等を行い、作業要領書の作業手順が適切であることや、記載漏れがないこと等を確認した。
また、今後、作業の難度を考慮し、作業員への聞き取り等に基づき適切な作業手順・作業環境にすることが作業要領書に反映できる体制とする。

(4) 審議内容

①ラックに乗り上げた燃料集合体の健全性評価

燃料集合体がラックに乗り上げた際の荷重が、燃料棒全 264 本に均一に加わったと仮定して健全性を評価しているが、荷重が均一に加わる根拠を示すとともに、必要に応じて、燃料棒のたわみや照射による脆化等も考慮して、健全性を総合的に評価してもらいたい。

【四国電力回答】

今回の事象では、燃料集合体の荷重がある程度クレーンに残った状態で、鉛直にラックに乗り上げたことから、264 本の燃料棒に概ね均等に荷重がかかったと考えている。ある程度の不均等な荷重が作用した可能性も否定はできないが、均等な荷重を想定した場合の発生応力は約 3 MPa であり、未照射燃料の耐力約 600MPa に対して十分に小さいことから、燃料集合体の健全性に問題はない。

なお、燃料集合体の強度に関する部材（ステンレス鋼、ジルカロイ）は、照射により耐力等の材料強度は増加する方向であることから、照射済燃料に対する荷重評価結果（約 1,100 kg）を未照射条件で健全性が確認された荷重（約 4,100 kg）と比較することは、より厳しい評価となることに加え、ラック乗り上げ前後の当該燃料集合体の曲がり量に有意な変化がなかったことも確認している。

②技術的な改善要望

再発防止策として講じる点検装置ラック開口寸法の拡大等は、極めて原始的な対策であり、燃料集合体の移動操作の技術的改善にも取り組んでもらいたい。

【四国電力回答】

技術的に高度化する対策としては、使用済燃料ピットクレーンの位置決めの自動化等が考えられるが、クレーンに吊り下げられた工具や燃料集合体には、僅かな揺れや振動等が発生するため、目視で挿入状況を確認しながら、手動によりセンタリングの微調整を行う必要があり、全工程を自動化することは困難である。

このため、燃料集合体のラック乗り上げ防止の観点から、点検装置ラック開口寸法の拡大と水中照明の設置により作業環境を改善するとともに、水中カメラの設置により、ダブルチェック体制を構築することとしている。

これらは、作業内容から判断して、最も有効な対策である。

4 伊方発電所における所内電源の一時的喪失について

(1) 事象概要

1月25日、伊方発電所1、2号機開閉所において、187kV母線（甲・乙）連絡遮断器^{※1}を動作させる保護リレー^{※2}の取替え工事完了後の当該保護リレーの健全性確認試験を行うことから、当該試験に必要な量の電流を流すため、3号機を常用の500kV送電線から、3号機の予備電源である1、2号機常用の187kV送電線からの受電に切替えるとともに、通常は甲・乙の別母線から受電している1、2号機を、全て乙母線からの受電に切替えたところ、伊方南幹線1号線乙母線断路器^{※3}の故障により、187kV送電線4回線全ての遮断器が開放して受電が停止した。

※1 2つの母線（甲母線・乙母線）を選択・区分するために設けられている遮断器。なお、遮断器とは系統内で電気事故が発生した場合に、電流を遮断する装置。

※2 系統内で発生した電気事故を検出し、当該事故が発生した箇所を切り離す信号を発信する装置。

※3 回路を選択・区分するための装置。

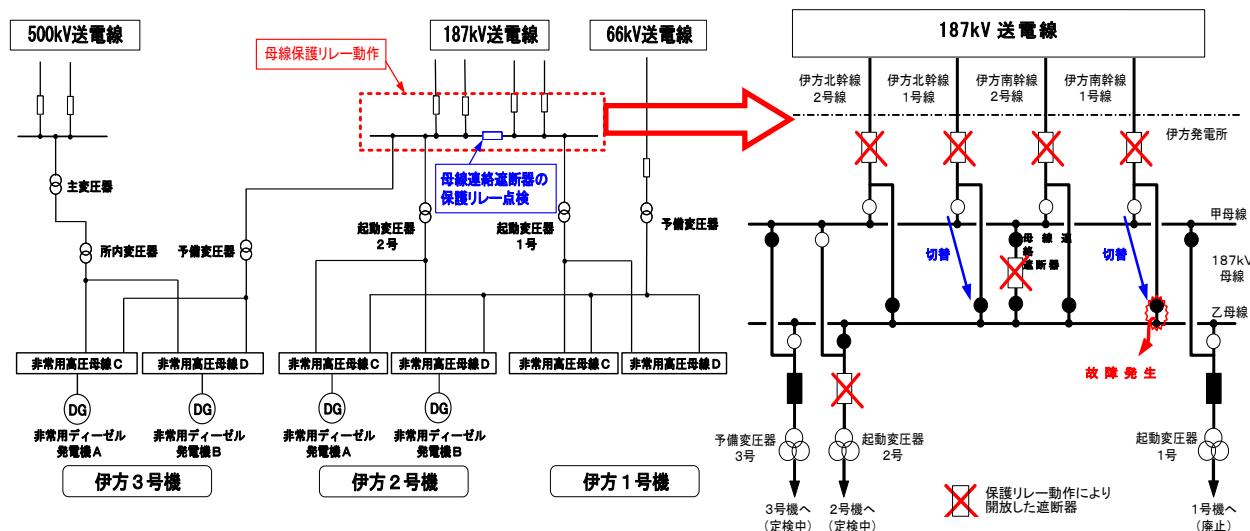


図4-1 事象発生時の所内電源系統図

このため、直ちに、1、2号機は予備系統である66kV送電線、3号機は起動した非常用ディーゼル発電機(DG)からの受電に自動で切り替わった。その後3号機については、試験のために待機状態としていた常用の500kV送電線からの受電に手動で切替え、1～3号機ともに外部からの受電に復旧した。1月27日には、1、2号機常用の187kV送電線4回線のうち故障した断路器を設置している1回線を切り離し、187kV送電線3回線からの受電に回復した。

なお、常用の外部電源が喪失した場合は、自動で予備の外部電源に切替わり、予備の外部電源が使用できない場合には、非常用ディーゼル発電機から自動で受電するよう設計しており、今回は設計どおりに自動で切り替わった。

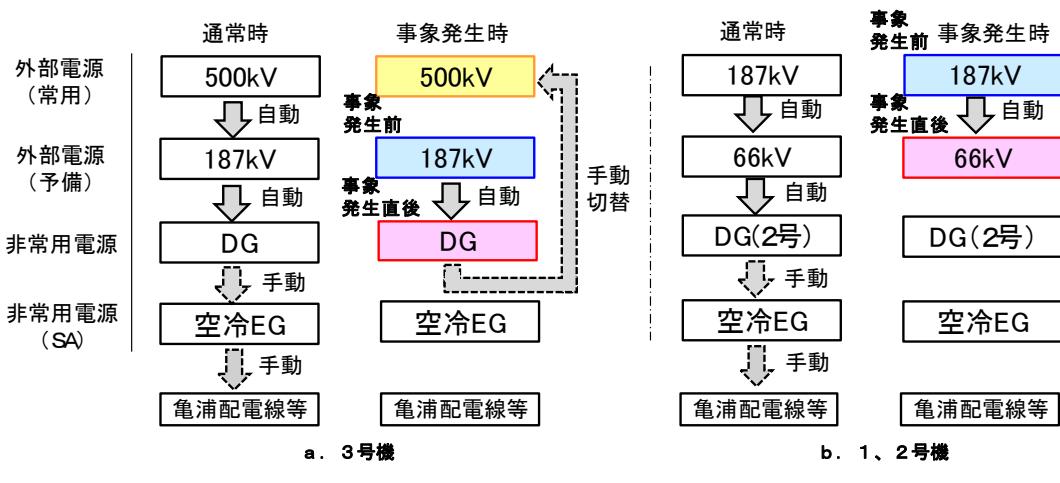


図 4-2 事象発生時の所内電源系統状況変化

また、予備電源又は非常用ディーゼル発電機に切り替わった後、使用済燃料ピットの冷却に必要な冷却ポンプ等の補機が設計どおり自動起動していることが確認できたため、現場で使用済燃料ピットポンプを手動で起動し、使用済燃料ピットの冷却を再開した。

冷却再開までの対応は、あらかじめ定められた手順どおりであり、その間は、使用済燃料ピットの温度及び水位を中心制御室で連続監視し、有意な変化がないことを確認していた。

事象発生に伴う使用済燃料ピット水温の上昇は、最大 1.1°C（水温 33.0°C → 34.1°C）であり、通常運転における温度変化の範囲であったこと、また保安規定に定める使用済燃料ピットの温度に係る制限値 65°Cに対して十分な余裕があったことから、使用済燃料の冷却状態に問題はなかった。

なお、本事象による環境への放射能の影響はなかった。

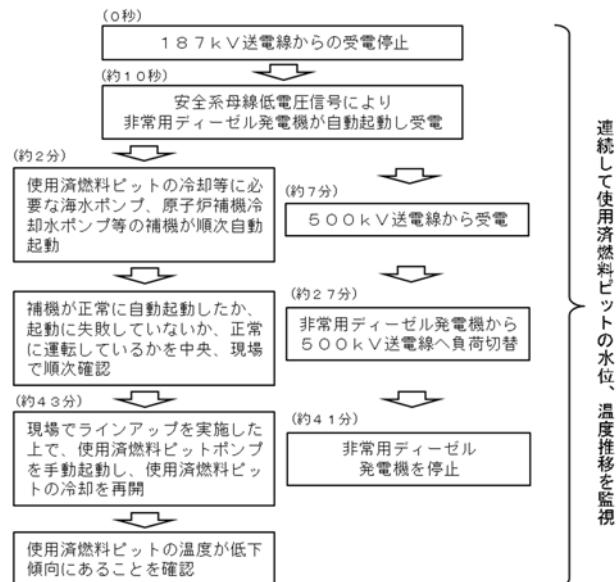


図 4-3 3号機の使用済燃料ピット冷却再開までの対応

号機 時系列	2号機	3号機	
		Aピット	Bピット
事象発生前 (15時時点)	16.7	33.0	32.3
事象収束後 (19時時点)	16.9	33.8	33.2
上記期間の最高値	16.9	34.1	33.3

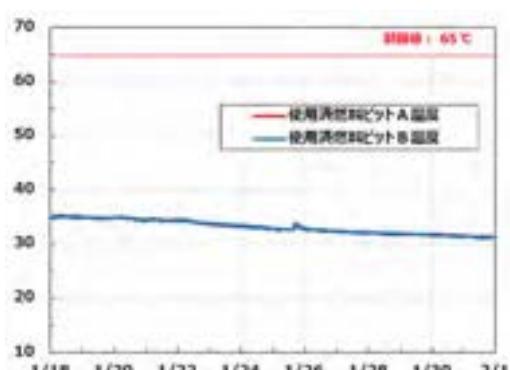
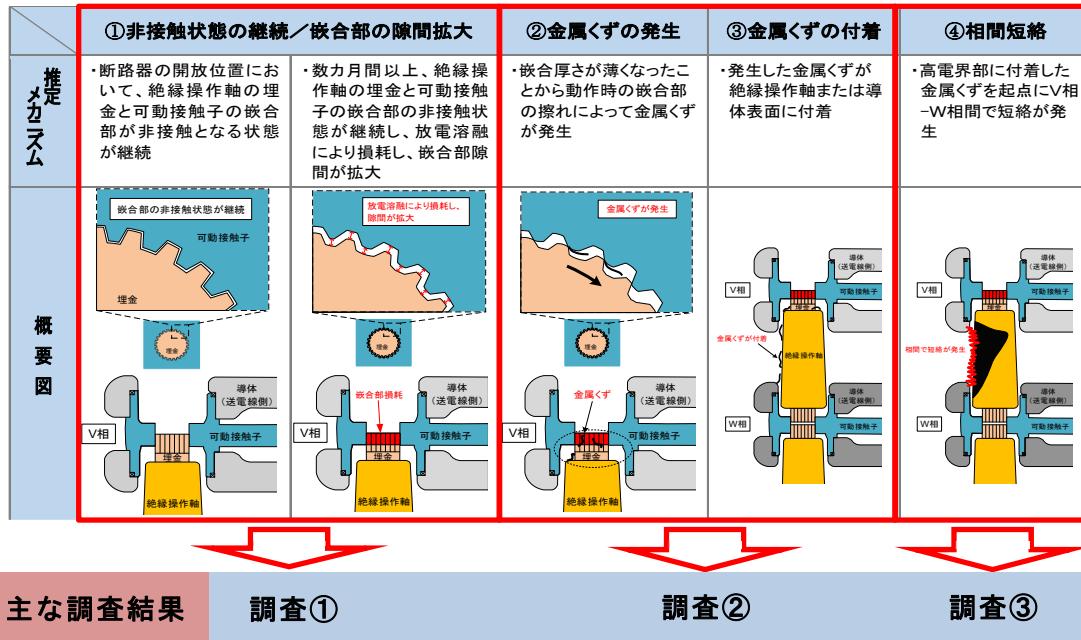


図 4-4 使用済燃料ピットの水温記録
(右のグラフは3号機使用済燃料ピット)

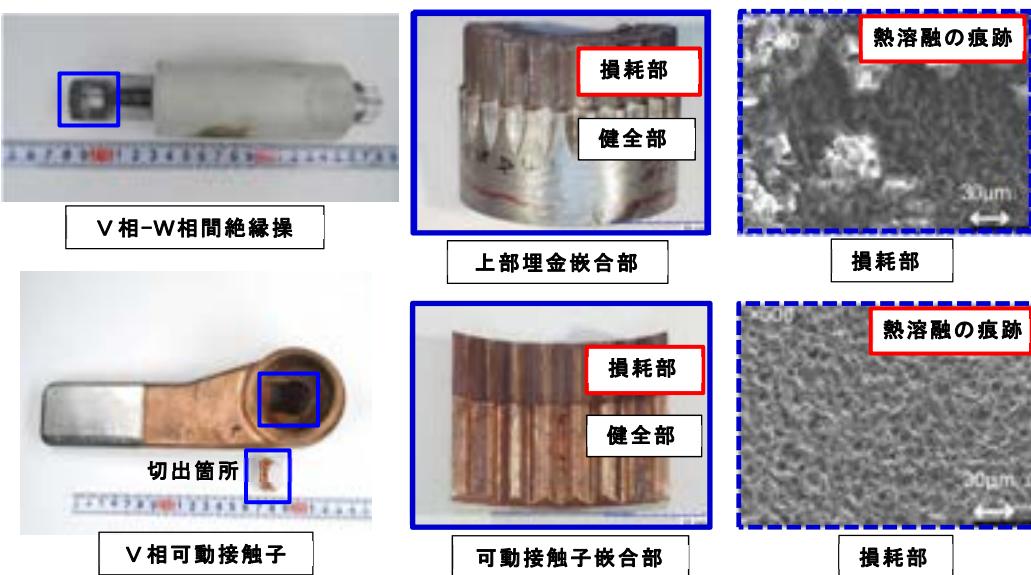
(2) 推定原因

- ① 構造上生じる断路器内部の絶縁操作軸埋金と可動接触子の嵌合部の隙間が放電溶融で拡大し、その後、動作時の擦れで発生した金属くずが高電界部に付着することにより短絡が発生した。
- 内部確認等の調査結果から以下のメカニズムにより短絡に至ったものと推定した。



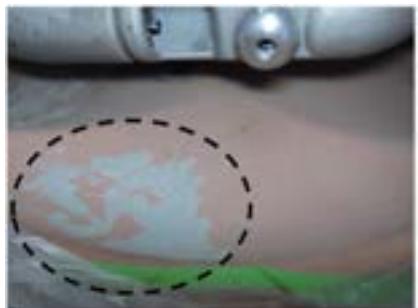
【調査①】外観確認及び電子顕微鏡による表面観察結果

V相-W相間絶縁操作軸上部埋金及びV相可動接触子の嵌合部の外観を確認をした結果、均一に損耗しており、健全部より小さくなっていた。また、電子顕微鏡で当該損耗部の表面を観察したところ、熱影響による金属溶融の痕跡を確認した。その後、構造上、当該嵌合部では非接触状態が発生することが判明し、非接触状態が継続することで放電が発生することも実証試験で確認できた。



【調査②】断路器の内部調査結果

断路器ユニットの内部調査によって確認された堆積物から、放電に伴って発生するフッ素化合物（断路器内に充填している六フッ化硫黄ガスの分解により発生）とともに、箔状の金属（最大で約4mm）が採取された。当該金属を成分分析した結果、絶縁操作軸の上部埋金（アルミ合金）と可動接触子（銅）の金属成分を検出した。また、当該金属成分については、短絡が発生したV相－W相間絶縁操作軸の表面においても顕著に検出された。



フッ素化合物等の堆積物



堆積物から採取された金属

【調査③】絶縁操作軸表面の外観結果

V相－W相間絶縁操作軸表面の外観確認の結果、相間短絡により発生したと推定される炭化痕跡（放電痕跡）を確認した。



炭化痕跡



放電痕跡

- ② 今回の187kV母線連絡遮断器の保護リレーの試験においては、必要な電力負荷を確保するため、3号機の電源を常用の500kV送電線から1、2号機常用の187kV送電線に切り替えていたことから、187kV送電線からの受電が停止したことにより、1～3号機の所内電源が数秒間同時停電した。

試験計画にあたってはリスクを緩和するための必要な措置を講じていたが、例えば仮設備（模擬負荷）を使用する等により、3号機所内負荷を接続しない試験系統構成にしていれば、3号機所内電源も同時に停電することはなかった。

(3) 再発防止策

- ① 故障した断路器の絶縁操作軸、可動接触子等の損耗した部品については、新品に交換した。
- ② 当該断路器と同一構造及び使用状態が同じ断路器計13台について、嵌合部の外観及びフッ素化合物の有無を確認する内部開放点検を行ったところ、2台で絶縁操作軸埋金嵌合部に放電による損耗を確認したことから、絶縁操作軸等の部品を新品に交換した。
- ③ 同一構造及び使用状態が同じ断路器（計14台）について、嵌合部の放電の有無を確認する部分放電診断の常時計測・常時記録及び金属くず等による振動を確認する内部異物診断の定期的な実施により状態監視を強化するとともに、恒常的な対策についても検討していく。
- ④ 187kV母線連絡遮断器の保護リレーの試験再開にあたっては、模擬負荷を使用することにより、3号機に接続しない試験系統を構成するとともに、今後実施する保護リレーの試験においては、リスク低減に係る取り組みを実施する。



図4-5 状態監視強化対策

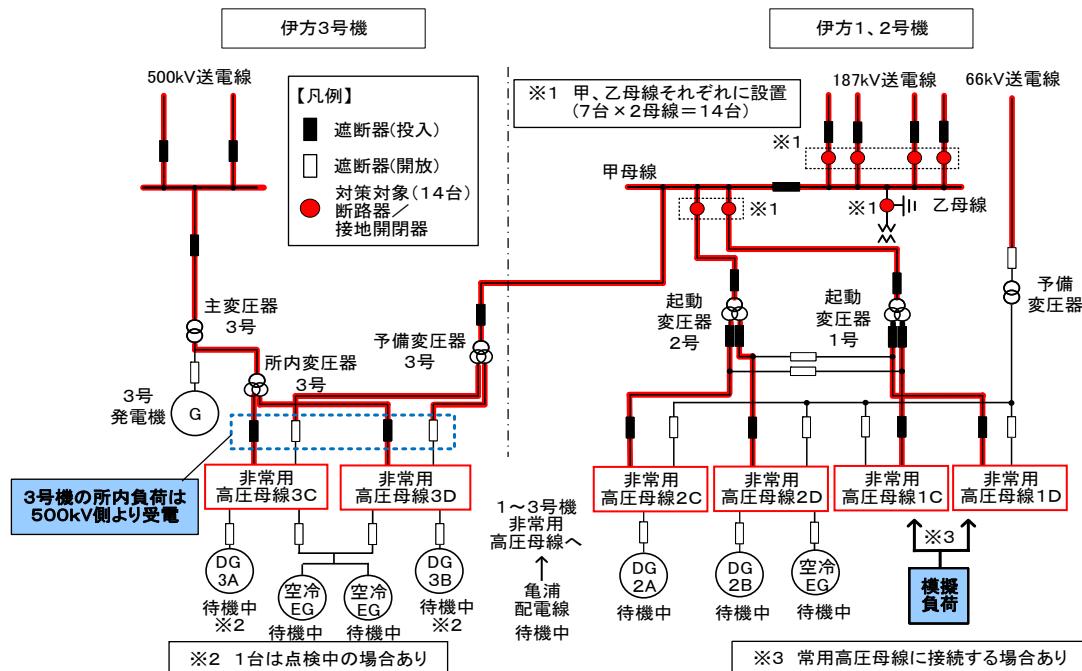


図4-6 試験再開時の試験系統

(4) 審議内容

①故障した機器と同一構造の断路器に対する対応

断路器の嵌合部の損耗等による短絡はめったに起こらない事象だと考えられるが、故障した機器と同一構造の断路器を調査した結果、更に2台の断路器において、短絡につながる放電の影響（フッ素化合物及び嵌合部の損耗）が確認されたことから、断路器の構造的に、本事象と同様の事象が起こり得る可能性もあるのか。

【四国電力回答】

故障した機器と同一構造の断路器について、メーカに故障実績等を確認したところ、本事象と同様の短絡が起こった事例はないとのことであったが、故障した断路器の内部調査で採取された金属の成分分析や電子顕微鏡による嵌合部の表面観察等といった原因調査及びその調査結果を踏まえた実証試験（非接触状態の確認、放電試験）の結果、構造上、ごく稀に生じる嵌合部の隙間が放電溶融で拡大し、その後、動作時の擦れで発生した金属くずが高電界部に付着することにより、短絡が発生したと推定している。

このため、これまでのメーカ推奨に基づく定期的な開閉試験や絶縁抵抗測定等の点検に加え、今後は、同一構造の断路器については、同様のメカニズムによる故障が起こり得るという前提で、短絡につながる部分放電を検知するため、新たに部分放電診断を常時計測・常時記録するとともに、金属くず等の振動を確認するため、定期的に内部異物診断を実施することにより、異常の兆候の早期検知のため監視強化を行う。

また、当該断路器については、導電部、絶縁部、接触部等は優れた絶縁性能を有する六フッ化硫黄ガスを封入したユニット内に全て密閉し、外部雰囲気の影響を遮断していることから、長期間劣化せず、耐環境性に優れた信頼性の高い装置となっているものの、今回の原因調査で推定したメカニズムにより、故障が起こり得ることが判明したことから、今後、メーカとも協議しながら、恒常的な対策についても検討することとしている。

②試験系統構成の見直し

本事象においては、試験中の断路器の故障が原因で一時的に所内電源が喪失したが、今後は、機器の故障があっても、一時的にしろ1～3号機すべての電源が喪失しないように、試験方法や点検体制を見直してほしい。

【四国電力回答】

電源の確保は発電所の安全上非常に重要なことから多重化・多様化しており、66kV、187kV及び500kVの送電線並びに亀浦変電所からの配電線といった外部電源に加え、非常用ディーゼル発電機や空冷式非常用発電装置などの非常用電源設備を確保している。

今回の事象では、設計どおりに1、2号機は予備系統である66kV送電線、また3号機は起動した非常用ディーゼル発電機からの受電に自動で切り替わったが、一時的とは言え、1～3号機が同時に停電してしまったことから、今後、同試験を実施する際には、模擬負荷を使用することにより、3号機に接続しない試験系統にすることとする。また、最適な試験系統構成や負荷の状況は、プラント状態に大きく依存することから、過去の実績にとらわれることなく、試験の都度、原子力安全に係るリスクについて、確率論的リスク評価等のリスク情報を活用するなど、より幅広い観点から特定、分析評価を行い、リスク低減に係る取組みを実施していく。

5 伊方発電所 連続発生したトラブルの総括評価について

(1) 調査内容

四国電力では、4事象個々の原因（直接原因）等を踏まえた視点に加え、4事象の背後に存在する要因（以下「背後要因^{※1}」という。）や社外からの意見^{※2}を踏まえた視点、更には、3号機一基体制となった伊方発電所の環境変化などの視点から検討した結果、次の10件の調査項目を網羅的に設定した。

※1 直接原因の深堀りを行うため、関係者へのインタビュー等を基に、発生したトラブルを様々な角度から分析し再発防止策を提案する手法等を参考にして、想定される背後要因5つを抽出

- (H-1) 確認・承認プロセスの問題：作業実施時期・要領のチェック不足
- (H-2) 改善プロセスの問題：作業の振り返り不足、改善業務プロセス不十分 等
- (H-3) 安全文化の問題：「問い合わせる姿勢」の意識低下
- (H-4) 人的リソース不足：余裕のない業務の継続、重要度に応じたリソース配分
- (H-5) リスク確認不足：設備導入時の検討の問題

※2 社外からの意見を基に、調査が必要な5項目を設定

- (S-1) 背景、(S-2)組織、(S-3)気の緩み、(S-4)技術力、(S-5)保守管理

①	4事象の対策の水平展開に係る調査	【直接原因】
	4事象の対策について、他の設備・作業に幅広く水平展開すべき事項を調査。	
②	定期検査プロセスの妥当性調査	【直接原因、背後要因等 (H-1, H-2)】
	4事象の発生に鑑み、定期検査プロセスについて、発生原因との関連等を調査。	
③	包括的な改善活動の仕組みの調査	【背後要因等 (H-1, H-2, H-4)】
	改善事項を広く吸い上げ対応する包括的な改善活動の仕組みの整備状況を調査。	
④	安全文化・モチベーションの調査	【背後要因等 (H-3, H-4, S-1, S-3)】
	伊方発電所の環境変化等が安全文化やモチベーションに与える影響を調査。	
⑤	技術力の調査	【背後要因等 (H-4, S-1, S-4)】
	3号機一基体制等伊方発電所の環境変化が作業員の技術力に及ぼす影響を調査。	
⑥	組織体制の在り方の調査	【背後要因等 (H-4, S-1, S-2)】
	大規模工事や3号機一基体制等を踏まえ、要員数、組織・体制の状況を調査。	
⑦	リスクマネジメント活動の調査	【背後要因等 (H-1, H-2, H-4, H-5)】
	作業単位における取組みも含め、リスクマネジメント活動の取組状況を調査。	
⑧	保守管理プロセスの妥当性調査	【背後要因等 (H-2, S-5)】
	保守管理プロセスについて、発生原因との関連及び改善すべき事項を調査。	
⑨	職場環境の調査	【背後要因等 (H-2)】
	安全・安定運転に必要な良好な職場環境の維持・向上に係る施策実施状況を調査。	
⑩	外部組織等によるレビューの調査	【背後要因等 (H-4)】
	保安活動に係る外部組織等によるレビューや改善活動の状況を調査。	

(2) 調査結果

① 4事象の対策の水平展開に係る調査

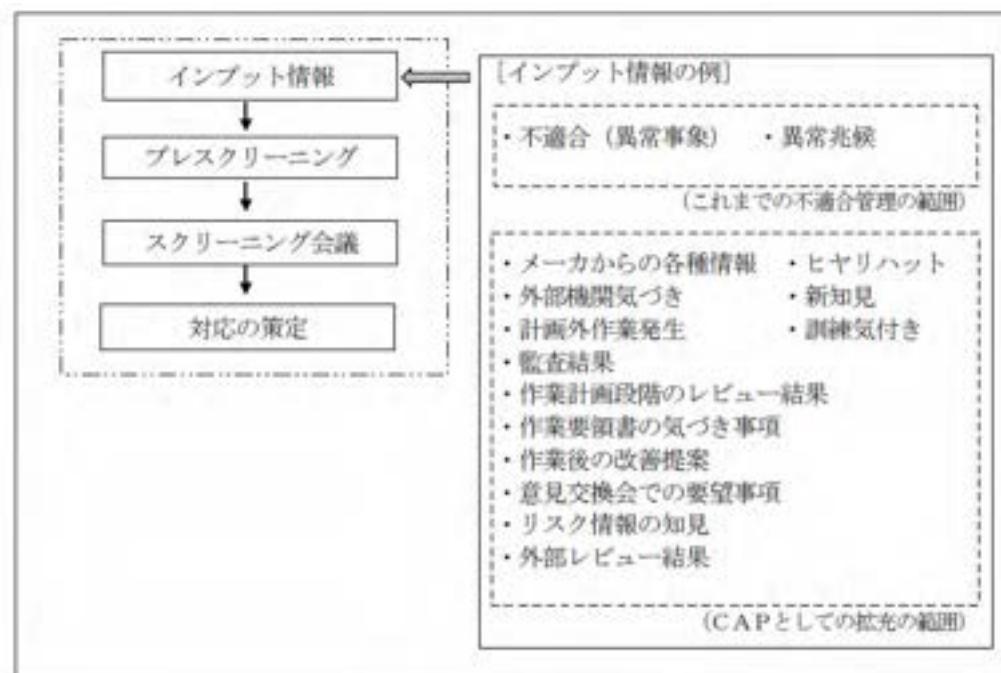
- ・4事象の対策は、各事象固有の改善策であるが、事象2の「見直し確認ステップの追加」、事象3の「作業環境の改善」及び事象4の「計画段階でのリスク低減」については、同様の観点から幅広く他の作業に水平展開することにより、不具合発生リスクを低減できる可能性がある。

② 定期検査プロセスの妥当性調査

- ・前回の第14回定期検査において事象1が発生し、今回の第15回定期検査においても、同様の作業計画をしていたことから、作業計画の妥当性確認が不十分であったと考えられる。
- ・ヒューマンファクターに起因する事象3が発生するとともに、想定されるリスクの特定、分析評価等を行い、必要な緩和措置を講じていたにも関わらず事象4が発生したことから、定期検査工程全般のみならず、個々の点検作業についてのリスク評価も実施するなど、過去の実績等にとらわれることなく、より幅広い観点からリスクを特定、分析する必要があったと考えられる。

③ 包括的な改善活動の仕組みの調査

- ・従来、不適合や異常兆候を示す事象を基に不適合管理を行い、是正処置を講じてきたが、昨年8月からは、包括的な改善活動の仕組み(CAP)の試行を開始し、より幅広く収集した情報について対応しているところであり、この仕組みを適正に運用することで、改善活動の基盤が構築できることを確認した。



包括的な改善活動の仕組み

④安全文化・モチベーションの調査

- ・「(一社)原子力安全推進協会による意識調査結果」やトラブル発生後に実施した「社長と発電所員の意見交換」及び「原子力本部長と関係会社等との意見交換」において、原子力に対する将来への不安や業務量の多さの指摘などもあったが、モチベーションの低下等は見られず、安全意識も高く維持されていることが確認できた。

⑤技術力の調査

- ・4事象については、技術力不足が要因で発生したものではなく、原子力保安研修所における教育訓練及び伊方発電所における現場技術力の習得・維持など、ベテラン社員や作業員からの技術伝承等の取組みにより、従来と同じレベルの技術力を保有していると判断できた。
- ・一方、3号機一基体制となったことや3号機建設中から作業に携わってきた社員や作業員が定年退職する時期を迎えており、ベテラン社員や作業員の経験すべてを確実に伝承することは困難であることも考えられる。

⑥組織体制の在り方の調査

- ・原子力本部全体の要員数は、ここ数年減少傾向にあるが、組織・体制の見直しや繁忙期の応援体制の構築などにより、働き方改革も推進しながら、社員の勤務時間を適切に管理した上で発電所の運営体制を整えており、組織体制に問題はないと考えられる。

⑦リスクマネジメント活動の調査

- ・福島第一原子力発電所事故の教訓を踏まえ、平成26年からの地震や津波などの確率論的安全評価を活用したリスク評価の実施を皮切りに、リスク情報を活用した意思決定を発電所の業務プロセスのなかに取り組み、工事計画、予防処置としての改善策の検討等にリスク情報を参考する実績を積み重ねており、リスクマネジメントという考え方が浸透しつつあると評価しているが、過去のトラブルの発生状況を鑑みれば、危険予知に対する感受性を高め、常にアンテナを張り巡らせておくことが重要である。

⑧保守管理プロセスの妥当性調査

- ・4事象について、保守管理プロセスに起因するものではないことを確認した。
- ・保守管理プロセスのベースとなっている品質マネジメントシステム(QMS)文書は、遅滞なく整備されており、保守管理の有効性評価において抽出された事項は、保守管理プロセスというPDCAサイクルを回して改善していく仕組みが規定されていることが確認できた。

⑨職場環境の調査

- ・従来から実施している種々の活動※3により職場環境改善に一定の成果を上

げていることを確認したが、今回のトラブル発生を踏まえて実施した「社長と発電所員の意見交換」や「原子力本部長と関係会社等との意見交換」では、工事報告資料の合理化や発電所入構時の手続きの迅速化等、これまでに社内では意識していなかった改善要望や、以前から関係会社からは要望を受けていたが十分に改善できていなかった課題が認められた。

- ※3
 - ・伊方発電所フォーラム：発電所幹部層と発電所員による意見交換
 - ・定検反省会：定検終了後、四国電力と元請会社関係者で実施
 - ・安全推進委員会：月1回、災害防止協議会メンバー(関係会社含む)が意見交換
 - ・伊方ネット21：関係者が一丸となってボランティア活動、機関紙発行等を実施

⑩外部組織等によるレビューの調査

- ・社外組織である、世界原子力発電事業者協会、(一社)原子力安全推進協会及び他電力、社内組織の四国電力本店などからのレビューを受けており、当該レビューにおいて抽出された改善要望事項については、対応方針、対応箇所及び完了目標時期を定めたアクションプランを策定し、社内ルールの見直し等の改善活動が実施されていることを確認した。

(3) 改善策

四国電力は、10件の項目について調査した結果、次のとおり改善策を講じることとしている。

	調査項目		改善策	
①	4事象の対策の水平展開に係る調査	→	新たな対策を実施	作業要領書の充実
②	定期検査プロセスの妥当性調査	→		作業計画段階におけるレビュー強化
③	包括的な改善活動の仕組みの調査	→		包括的な改善活動の推進
④	安全文化・モチベーションの調査	→		安全意識共有の充実
⑤	技術力の調査	→		技術力・現場力の維持・向上
⑥	組織体制の在り方の調査		従来の対策を継続	
⑦	リスクマネジメント活動の調査			
⑧	保守管理プロセスの妥当性調査	→		従来進めてきた保安活動の一層の推進
⑨	職場環境の調査			
⑩	外部組織等によるレビューの調査			

①作業要領書の充実

3事象において実施した作業要領書に係る対策と同様の観点（「見直し確認ステップの追加」、「作業環境の改善」及び「計画段階でのリスク低減」）で、3号機第15回定期検査で実施する作業の作業要領書全数について確認し、必要箇所の充実等を図った。

全要領書（1,158件）について、個々に記載内容の確認を実施した結果、144件の要領書（426箇所）を抽出し、記載の充実等を実施した。

また、今回の確認以降、新たに制定する作業要領書についても、同様に記載内容の充実が図られるよう、要領書作成要領を定めた社内規定に今回の確認の観点を追加した。

②作業計画段階におけるレビューの強化（新チームの設置）

作業計画段階において、作業担当部門が策定した作業計画を独立した立場からレビューし、妥当性を確認するとともに、継続的な改善を図ることを目的として、次の業務を実施する新チームを設置する。

➤ 作業要領のレビュー

作業担当課が制定した作業要領書について、「品質確保・安全確保に向けた取組内容」や「これまでのヒューマンエラー対策の確実な反映」などについて確認し、作業要領の充実・改善を図る。

➤ 作業実施時期のレビュー

作業担当課が策定した点検工程について、「運転上の制限に係る作業時期」や「安全上重要な機器の作業時期」など作業計画の妥当性について確認し、必要に応じて改善を図る。

③包括的な改善活動の推進

「作業計画段階のレビュー結果」、「作業要領書の気付き事項」、「意見交換会での要望事項」、「他部門や外部機関のレビュー結果」及び「新技術に対するメークからの各種情報」のほか、作業後の振り返りでの改善提案等を漏らすことなく反映するため、C A Pのインプット情報とすることにより、C A Pの充実を図るとともに、これを確実に対応することで、伊方発電所としての包括的な改善活動を強力に推進していく。

④安全意識共有の充実

伊方発電所関係者のモチベーションの維持・向上、安全意識の共有並びに原子力の将来への不安払しょくのため、双方向コミュニケーション形式で実施する四国電力幹部と発電所員、関係会社等との意見交換を充実していくとともに、業務効率化の推進、働き方改革の意識浸透に向けた取組みも継続していく。

⑤技術力・現場力の維持・向上

3号機一基体制やベテラン社員の退職等伊方発電所の環境変化を踏まえ、次の対策により、技術力・現場力の維持・向上を図る。

➤ 教育訓練機会の増加

燃料取扱作業などの特殊な作業に限定せず、実施頻度が少ない作業についても技術力を継続的に維持するために、作業班が自主的に訓練内容

を設定し、教育訓練を実施する仕組みを作る。

➤ ベテラン社員・作業員からの技術継承

伊方発電所内で使用する点検作業要領書について、特にベテラン社員・作業員の視点から追記・修正すべき箇所を確認し反映したところであり、今後も、確実な技術継承のため、この取組みを継続していく。

⑥従来進めてきた保安活動の一層の推進

伊方発電所において、安全運転及び設備保全に万全を期すとともに、更なる安全性向上のために取り組んできた次の活動を引き続き推進していく。

➤ 適切な組織・体制の維持

3号機一基体制となった現在及び将来においても人的リソースを確実に確保することはもとより、状況変化に応じ組織・体制を柔軟に対応させ、伊方発電所の運営に必要な組織・体制を維持していく。

➤ リスク情報活用の推進

リスク情報を活用した意思決定に係る活動を着実に実践するとともに、適用範囲の拡大、社外教育を有効に活用したリスク情報活用に係る教育等の実施など、効果的にリスク情報の活用の取組みを推進していく。

➤ 保守管理プロセスの着実な運用

これまで有効に機能している保守管理プロセスについて、今後も同プロセスのP D C Aサイクルを着実に回していくことにより、保守管理の継続的な改善を図っていく。

➤ 職場環境の改善活動

引き続き、四国電力と関係会社等がコミュニケーションを緊密に取り、幅広く情報を収集する活動を継続的に実施し、より良い職場環境づくりを推進していくとともに、他社のベンチマーク調査を行い、良好事例を積極的に取り入れる。

➤ 外部組織によるレビュー

世界原子力発電事業者協会、(一社)原子力安全推進協会、他電力及び四国電力本店などによるレビューを活用し、多様な立場、観点から原子力発電所の安全性・信頼性を向上させる取組みを推進し、より高い安全性・信頼性を求めていく。

(4) 審議内容

①保守管理について

トラブルが連続したことから、要因の一つとして懸念していた保守管理プロセスの劣化はなかったとのことであるが、トラブルの未然防止に向け、発電所の停止時だけでなく、運転中でも可能な点検については、こまめに実施するなど、適宜、保守管理プロセスの見直しも実施してもらいたい。

【四国電力回答】

一連のトラブルについて調査した結果、事象1～3については、設備故障が発生した事象ではなく、事象4については、過去に経験のない故障によるもので、保守管理プロセスにおける劣化に起因するものではないことを確認しており、今後とも、

①点検計画の策定、②保全の実施、③保全の有効性評価、④保守管理の有効性評価といったPDCAサイクルにより、しっかりと保守管理していくこととしている。

また、設備点検については、故障時のプラントへの影響度合い・故障発生の可能性等を踏まえて、保全方式や点検計画を定めて実施しているが、停止時にしか点検できない設備についても、運転中から状態監視を行うなど、トラブルの未然防止に努めており、今後とも、PDCAサイクルの中で、適宜、改善を図っていく。

②リスク評価について

定量的リスク評価には、事前のリスク評価と起こった事象についての重要度評価及び定量的なトレンド分析という3つの重要な役割があるが、現時点で、それぞれどのような取組みを実施しているのか。

【四国電力回答】

事前のリスク評価については、従来から、定期検査時の作業計画段階において、停止時リスクの定量評価を確認するとともに、自主的な安全性向上のほか、原子力規制委員会において新たに定められた安全性向上評価届出制度の中で確率論的リスク評価等を実施しており、教育・訓練等への反映を進めている。

さらに、本年4月に設置した新チームでは、作業実施時期の妥当性について、安全上重要な機器の作業が原子力安全リスク上問題のない時期に計画されていることを確認するといったレビューを行うこととしている。

事象の重要度評価については、新検査制度においても評価されることになっているが、事業者としてもこうした評価を実施したいと考えており、そのために確率論的リスク評価モデルの高度化等に取り組んでいる。

定量的なトレンド分析については、規制で用いられる安全実績指標の他にも自主的に採取しているデータがあり、ハード、ソフトの観点から分析できるようにしている。

③安全文化について

海外における取組みを参考にするとともに、双方向のコミュニケーションなど、日本の文化に即した方法を取り入れることにより、安全文化の醸成に努め、自律的に問題点を見出し、議論できる組織を育んでもらいたい。

【四国電力回答】

海外の発電所に勤務する者からレビューを受けるとともに、定期的に海外の良好事例の紹介を受ける体制を整えるなど、海外の取組みについても、積極的に情報収集し、安全性向上に向けた取組みに反映している。また、今回の一連のトラブルを踏まえ、幹部と発電所員等との双方向コミュニケーション形式による意見交換を新たに実施した結果、有効であることが確認できたため、今後とも、継続的に実施していくこととしている。安全文化を醸成するためには、これらの取組みを長期間継続して実施していくことが必要と考えており、「問い合わせる姿勢」も含めた安全文化の10の特性の定着に向けた教育等の取組みを繰り返し実施していくこととしている。

④新チームの設置について

作業要領書や作業計画の妥当性等を独立した立場からレビューする新チームの設置は、非常に前向きで画期的な取組みであり評価できるが、C A P制度やリスク評価の効果的な活用などにより、研鑽を重ねながら、実効性のある運営をしてもらいたい。

【四国電力回答】

新チームによる作業要領書や作業計画等のレビュー業務については、試行を重ねつつ、チームとしての技量を向上させていく。

また、新チームの活動は、作業担当課が作成した作業要領書等について協議・確認するものであり、この活動を通じて、関係者間での十分なコミュニケーションが図られるとともに、「問い合わせる姿勢」に対する理解が深まるなど、トラブルの未然防止・伊方発電所の安全確保に重要な役割を果たすものと考えている。

審議結果

四国電力が令和2年3月17日に愛媛県に提出した、伊方発電所3号機第15回定期検査で連続発生した4件の重大なトラブル及びその総括評価に係る報告書については、四国電力から内容の説明を受けるとともに、推定原因の妥当性及び再発防止策の実効性・有効性等について審議した結果、個々のトラブルについては、推定原因の如何にかかわらず、確実に再発を防止できる対策を講じることとしており、また、トラブルが連続した背景については、組織体制面、技術面など様々な視点から調査・検証がなされ、新チームの設置やC A P（包括的な改善活動の仕組み）等の新たな仕組みを整備したほか、社員教育や幹部と発電所所員等との意見交換など安全文化の醸成に向けた総括的な再発防止策を積極的に講じることとしており、適当であると判断した。

ただし、再発防止策の確実かつ継続的な実施及び伊方発電所の更なる安全性向上につながる取組みとして、次のとおり、部会としての四国電力に対する要望事項を取りまとめた。

については、下記部会意見が確実に実行されるよう、県から四国電力に対し、要請することを求めるものである。なお、その取組状況については、適宜、県において確認いただきたい。

【要望事項】

1. 更なる安全性向上に向けた詳細調査の実施について

「事象2 伊方発電所第3号機 原子炉容器上部炉心構造物吊り上げ時の制御棒クラスタ引き上がり」については、他のプラントも含め過去に事例のない事象であることから、不完全結合の防止に留まることなく、PWR（加圧水型原子炉）の安全性向上という大局的かつ長期的な視点に立って、根本原因であるスラッジ（マグネタイト）の発生メカニズム、挙動等について継続的に調査・研究し、その結果を学会や専門誌等で発表するとともに、発生量の低減に向けて取り組むこと。

2. 恒常的な対策による安全性の確保について

「事象4 伊方発電所における所内電源の一時的喪失」については、断路器の構造上、ごく稀に嵌合部に隙間が生じるために放電が発生したことが原因と推定されており、短絡の兆候が見られている同型断路器も確認されていることから、再発防止策である部分放電診断と内部異物診断による状態監視の徹底と並行して、メーカーとも協議しながら、改造や新設備導入等による恒常的な対策による更なる安全性確保に取り組むこと。

3. 安全文化の醸成について

安全文化の醸成は、一朝一夕に確立できるものではなく、継続的な取組みが必要不可欠であるため、形式的な方法に陥ることなく、海外の取組みも含め広く情報収集を行うとともに、双方向のコミュニケーションの重要性を意識して、効果的な取組方法を不斷に見直すこと。

また、社員教育においては、教育する側も含めて参加者全員が様々な角度から議論できる体制を整備し、「問い合わせる姿勢」の定着のみならず、「問い合わせる能力」についても向上に向けて継続的に取り組むとともに、取組状況を積極的に発信すること。

4. 新チームの研鑽について

作業要領書や作業計画の妥当性等を独立した立場からレビューする新チームの設置は、非常に前向きで画期的な取組みであるが、この新チームが十分機能し、トラブルの未然防止が図られるか否かは、今後の運用・活用方法次第であるため、新チームの活動自体にもC A P制度やリスク評価を活用するなど研鑽を重ね、伊方発電所の安全性向上を担う中核組織として育てること。

5. 技術力の維持・向上について

3号機一基体制となったことによる現場作業経験の減少やベテラン社員・作業員の定年退職等を踏まえ、これまで蓄積されたノウハウの維持が難しくなる懸念があるため、教育訓練の充実・強化に努めるだけでなく、他電力やメーカなど海外を含めた外部組織からの情報収集を積極的に行うことにより、技術力の維持・向上に努めること。

また、教育訓練については、これまでの内容に加え、外的事象やテロを含めたシビアアクシデントの防止や発生時の対応等の広範な知識の習得が強く求められているため、優先度も考慮しながら、合理的な訓練プログラムとしていくこと。

その上で、安全上重要な作業については、四国電力社員が主体となって実施するとともに、社員一人ひとりが、電力事業者としての責任を持って取り組むこと。

参考資料

伊方原子力発電所環境安全管理委員会及び同原子力安全専門部会 委員コメント一覧

目次（項目）

1. 伊方発電所第3号機 中央制御室非常用循環系の点検に伴う運転上の制限の逸脱について 参考-1
2. 伊方発電所第3号機 原子炉容器上部炉心構造物吊り上げ時の制御棒クラスタ引き上がりについて 参考-3
3. 伊方発電所第3号機 燃料集合体点検時の落下信号の発信について... 参考-9
4. 伊方発電所における所内電源の一時的喪失について 参考-13
5. 伊方発電所 連續発生したトラブルの総括評価について 参考-15
6. 全般 参考-20

1. 伊方発電所第3号機 中央制御室非常用循環系の点検に伴う運転上の制限
の逸脱について

番号	委員コメント	四国電力回答	日付	コメント 委員
1	運転に当たっては、四国電力の正規の職員が皆当たるようなシステムにしてもらいたい。	運転に当たっては、四国電力社員が対応している。また、安全上重要な作業や工程管理等も四電社員が携わっており、今後も中心となって対応していく。	R02 2/18	高橋
2	「問いかける姿勢」について、意識改革はどう取り組んでいくのか。	「問いかける姿勢」を定着させるため、毎年度実施している安全文化の教育テキストに今回の事象を追加し、繰り返し教育することで、このトラブルを忘れずに「問いかける姿勢」の重要性を認識させる。 R2年3月31日に新規制定した「原子力発電所 安全文化育成および維持活動要領」では、安全文化の育成・維持活動の目標として「健全な安全文化の特性」を定めており、これら10特性の一つに「問いかける姿勢」が含まれている。「健全な安全文化の特性」の定着を図るために、関係者が出席するスクリーニング会議で毎週唱和しているが、今後もこの取り組みを継続していく。 (6月4日 資料1-1 P5)	R02 3/24	池内
3	作業計画の立案等は重要な作業である。四国電力社員がすべての工程に携わるようにしてほしい。	重要な工程等には全て四国電力社員が携わっており、今後とも中心となり対応していく。 なお、今回の作業は、福島事故後、新規制基準が施行されて保安規定を変更したが、変更した内容の理解が不足していたものであり、保安規定改定時には、周知に加え内容に関する教育を技術系所員に対し実施するなどの改善を行う。 (6月4日 資料1-1 P4,5)	R02 3/24	高橋
4	再発防止策として実施する保安規定が改定された際の所員教育では、改定内容だけでなく、改定理由についても教育してほしい。	今回、保安規定を改定した場合は、従来の周知だけではなく、教育もするよう改めた。また、その教育に際しては改定に携わった者により改定の趣旨も含めた教育を実施することとしている。	R02 6/4	村松
5	何を問いかけるべきか分からなければ、問いかけるモチベーションが生じないが、「問いかける姿勢」の定着に向けた教育についてはどのように考えているのか。	「問いかける姿勢」の浸透については、安全文化の教育などを繰り返し実施していくこととしている。	R02 6/4	中村
6	理解が不足しているか分からない状況だと、結局、「問いかける姿勢」がいくら醸成されても、問いかけるべき問題があるかどうかが分からないので、それにより本事象を防ぐのは難しいのではないか。	「問いかける姿勢」が欠けていたことだけでなく、保安規定の理解不足も原因であるため、今後は、双方向のコミュニケーションを図りながら、保安規定に係る教育を実施することとしている。	R02 6/4	森

番号	委員コメント	四国電力回答	日付	コメント 委員
7	分からぬことも聞きやすい環境を作ることが大事であるが、どのように取り組むのか。	安全文化を醸成するのは、長期的・継続的な取組みが必要であり、P D C Aサイクルを繰り返し継続的に回しながらしっかりと取り組んで行く。	R02 6/4	森
8	教育も重要であるが、保安規定を遵守した作業であることが、書類上、物理的に確認できるシステムとしていくことが重要なではないか。	本事象については、保安規定の理解が不足していたこと、保安規定第88条への適合を確認できていなかったというシステム的な問題、及び「問いかける姿勢」が欠けていたことの3点が原因であったと考えており、確認するシステムに改善の余地があったことから、作業計画の妥当性を明確に確認できるチェックシートを作成し、社内関係者が確認又は承認する体制とした。	R02 6/4	宇根崎
9	システムの改善、教育の徹底及び意識（問いかける姿勢）の向上という改善策をバランスよく組み合わせて講じていってほしい。また、教育や意識の向上は保全活動全般の質を上げていくことにつながるので、長期的な取り組みになると思われるが、教育などの改善による効果の把握に取り組みながらより改善に努めていってほしい。	改善した保安規定第88条への適合を確認するシステムを確実に運用していくとともに、追加した教育及び安全文化の醸成活動を継続的に実施していくこととしており、これらを必要に応じて改善しながらバランスよく取り組んでまいりたい。 また、不適合の発生状況等はC A Pを用いて傾向を把握することとしており、教育などの改善策の効果の把握にも活用して、継続的な改善に努めてまいりたい。	R02 6/4	宇根崎
10	「問いかける姿勢」の定着への取り組みは、形式的になりすぎることなく、双方向のコミュニケーションを、組織の中でうまく運用されるよう努めてほしい。	「問いかける姿勢」の定着は一朝一夕に達成できるものではないが、今回策定した改善策を着実に進め継続的に取り組んでいく。 また、取り組みが形式的になりすぎないよう心掛けるとともに、教育や日々の業務において双方向のコミュニケーションを工夫しながら推進していくことで、互いに学び合える風土を育むよう努めてまいりたい。	R02 6/4	中村
11	双方向のコミュニケーションを図りながら教育に取り組むとの方針は是非お願いする。さらに、問答を通じて受講者、説明者双方の学び、気付きにつながるよう、様々な角度から議論できる社風を育んでいってほしい。		R02 6/4	岸田

2. 伊方発電所第3号機 原子炉容器上部炉心構造物吊り上げ時の制御棒クラスタ引き上がりについて

番号	委員コメント	四国電力回答	日付	コメント 委員
1	制御棒の引き上がり事象については、国内でも例がないとのことであるから、しっかりと原因究明をしてもらい、今後の安全運転につなげてもらいたい。また、調査結果等については、適宜、報告をお願いしたい	各事象については、しっかりと原因究明を行うとともに再発防止に努めいく。 (原因と再発防止策をとりまとめた報告書を提出済み。)	R02 2/18	宇根崎
2	制御棒クラスタの切り離しの作業で、駆動軸着底の確認はどうのように確認しているのか。	ベースプレートの高さを計測し、計画値の範囲内であることを確認している。 (6月4日 資料1-2 P32のステップ⑪)	R02 2/18	中村
3	制御棒クラスタ頭部に溜まっている堆積物は何か。なぜこのように溜まるか総合的に調査してほしい。	堆積物を分析した結果、マグネタイト(Fe_3O_4)であることを確認した。 堆積物は過去の定期検査でも確認されており、スパイダ頭部にスラッジが堆積する現象には、 ・駆動軸内表面で生成したマグネタイトが剥離、落下、堆積したもの ・1次冷却系統内で生成したマグネタイトが当該部に侵入、堆積したものの2つのケースがあると推定している。 (6月4日 資料1-2 P9~12)	R02 2/18	中村
4	結合部分だけでなく駆動軸取り外し工具についても念のため調べておくべき。	駆動軸取り外し工具についても調査を実施し問題がないことを確認した。 (6月4日 資料1-2 P35)	R02 2/18	中村
5	制御棒引き上りは推定原因であるが詳細な調査はしているのか。	制御棒引き上りについては、当該の駆動軸や制御棒クラスタのほか、工具や使用計測器等も含め詳細な原因調査を実施している。 (6月4日 資料1-2 P3~16, 34~39) 推定原因は、原因調査から得られた物証に加え、事象発生時の駆動軸と制御棒クラスタの結合状態のケース検討や部分モデルによる引き上り状態の実証試験を実施し、事象発生メカニズムを検討し、解析等によるメカニズムの妥当性確認を実施したうえで推定したものである。 (6月4日 資料1-2 P17~24)	R02 3/24	中村
6	制御棒の引き上りに関して、これまで同様の事象はなかったのか。	国内外の類似事例を調査した結果、海外で制御棒の引き上り事象が発生していたが、今回の事象と同様な事象はなかった。 (6月4日 資料1-2 P13)	R02 3/24	占部

番号	委員コメント	四国電力回答	日付	コメント 委員
7	スラッジは水質管理を行うことで減少させているはず。そういう取組みとか、技術的な観点からの評価はないのか。	<p>今回制御棒クラスタの頭部に確認されたスラッジ（マグネタイト）は鉄の酸化物であるが、従来から、1次冷却材の鉄濃度は低く管理しており、系外から補給される水の鉄濃度も低く管理することによりできるだけ発生を抑制している。</p> <p>また、1次冷却材の浄化流量を可能な限り多くとることにより、生成されたマグネタイトを可能な限り除去している。 (6月4日 資料1-2 P41)</p> <p>一方で、マグネタイトは1次冷却系統設備に使用されている材料に含まれる鉄などが元となっていることから、発生しないようにすることは困難である。 (6月4日 資料1-2 P12)</p> <p>このため、今回の再発防止対策により、スラッジがスパイダ頭部に堆積したとしても、制御棒クラスタの引き上がりが生じないように手順を見直すこととしている。(6月4日 資料1-2 P26)</p>	R02 3/24	渡邊
8	マグネタイトの薄片が磁化した駆動軸接手に付着するというメカニズムがあるのであれば、この点について気を付ける必要があるのではないか。	駆動軸と制御棒クラスタの切り離し作業にあたっては、インジケータロッドが完全に下降していることを確認するとともに、重量確認とベースプレート高さの位置計測を行うこととしており、磁化した接手にマグネタイトが付着しても支障はない。	R02 6/4	中村
9	今回の調査結果により、剥離している薄片のサイズが大きいことが分かったが、これが磁化して駆動軸内部の位置決めナットと接手の間に付着すると大きな影響を及ぼす可能性があるのではないか。	これまでの運転においても特に駆動軸の動作に異常が認められたことはなく、また、今後の対策については、確実に接続又は切り離しができていることを確認できる手順を追加したことから、問題ない。	R02 6/4	中村
10	駆動軸が高溶存酸素及び高温環境におかれることで、マグネタイト生成するということであれば、ほかの材質を使うについて検討してはどうか。また、プラント運転中においては、駆動軸内部で1次冷却材の自然循環が発生するとのことだが、これは本当か。	駆動軸本体の材料は、制御棒位置の検出機能の観点から磁性材の使用する必要があり、限定されるものである。また、運転中の駆動軸近傍の下端と上端では温度差があることから自然循環がある程度ある。	R02 6/4	中村

番号	委員コメント	四国電力回答	日付	コメント 委員
11	本事象はマグネタイトが非常に悪い影響を及ぼしていないか。	<p>○マグネタイトの設備への影響について 駆動軸本体の材料は、制御棒位置の検出機能の観点より磁性材を使用する必要があり SUS410 を使用している。また、接手部は耐摩耗性の観点より硬度の高い SUS403 を使用している。</p> <p>駆動軸と制御棒クラスタの結合・切り離し作業の際に、スパイダ頭部内に堆積しているマグネタイトが駆動軸の接手部に付着していたとしても、重量確認と位置確認により確実に結合・切り離しがされていることを確認するため、同様事象の再発防止は可能である。</p> <p>また、強磁性であるマグネタイトが悪影響を及ぼす可能性がある設備としては、磁性材料を使用している設備が考えられるが、磁性材料を使用している設備は限定的であり、その設備の構造や機能を踏まえると、マグネタイトがプラントの安全に悪影響を及ぼす可能性は低い。</p> <p>また、マグネタイトが生成したとしても、1次冷却系統設備の主要材料はステンレス鋼であり、水質管理された環境下においては不働態皮膜が形成されるため、健全性に影響を与えるような腐食が生じることはない。</p> <p>今回スパイダ頭部内に確認されたマグネタイトが、すべて駆動軸内表面から溶出した鉄により生成したと仮定した場合であっても、駆動軸の健全性に影響を与えるものではない。</p>	R02 6/4	渡邊
12	駆動軸を取り出して外観確認をして、外面については腐食が見られておらず、環境が同じ内面も腐食がないという認識であれば、今回観察された大きな薄片等はどこから発生したのか。 スパイダ頭部にスラッジが堆積するメカニズムについて、環境要因や材料条件等を、再度、総合的に整理して考える必要があるのではないか。	<p>○マグネタイト生成・堆積過程について 1次冷却系統の水質及び温度環境下においては、鉄の酸化物は安定的にマグネタイト (Fe_3O_4) として存在することが知られており、堆積物の分析結果がマグネタイトであったこととも整合する。</p> <p>スパイダ頭部にマグネタイトが堆積する現象としては、駆動軸内表面（プラント起動初期段階、プラント運転中）や1次冷却系統内で生成されたマグネタイトが堆積したケースが考えられる。また、今回確認された薄膜状のマグネタイトは、構造上、駆動軸内表面で生成したものである。</p> <p>これらのマグネタイト生成メカニズムは、実機の設備構成を踏まえたものであり、1次冷却系統の水質及び温度環境下においては一般的な化学反応式等で示されるものであることから、確度の高いメカニズムである。</p> <p>(7月16日 資料1 別添1)</p>	R02 6/4	中村

番号	委員コメント	四国電力回答	日付	コメント 委員
13	今後、推定メカニズムの明確化について、事象が発生した電力会社として主体的に責任を持って取り組んでほしい。	本事象のメカニズムについては、作業手順、制御棒クラスタ頭部へのマグネタイトの堆積、駆動軸等の観察等の事実から、不完全結合に至る様々なケースを検討し、実証試験や解析等も行い、不完全結合に至ったメカニズムを特定している。	R02 6/4	渡邊
14	本事象の原因究明は、伊方発電所だけでなく世界中のPWRに関係する内容であることから、ぜひ根本原因を究明してほしい。	また、今回の再発防止対策により、制御棒クラスタの引き上がり事象は確実に防止することができる。 一方で、堆積物（マグネタイト）の生成・堆積については、定期検査ごとに堆積物を除去することとしているが、今後、以下の取り組みも継続していく。 <ul style="list-style-type: none">・ 定期検査時に制御棒クラスタのスピダ頭部に堆積しているマグネタイトを除去する際には、水中カメラにて堆積状況を観察・記録していく、情報を蓄積し、傾向監視するなど保全に役立てていく。・ 他プラントの状況について、情報収集・情報交換を行う。	R02 6/4	中村
15	再発防止策は、推定原因のとおりかどうかに関わらず、追加手順により再発防止ができることから十分である。 ただ、本事象の発生メカニズムの解明については、世界中のPWRの安全性向上に非常に大きな役割を果たし得ることから、今後、四国電力として科学的にこれを解明して、それを発信していくという姿勢が重要である。	さらに長期的な堆積物の低減に向けて、実験などで効果的な低減の方法を研究するなど知見の拡充を図り、更なる安全性の向上に努めていく。 また、現状、伊方発電所で堆積物（マグネタイト）の発生量が急増している傾向はないが、定期検査ごとの堆積物の発生量調査により、有意な増加傾向が見られた場合は、速やかに前回定期検査のプラント起動時以降の運転状況を確認し、増加要因を分析したうえで対応を検討する。 (7月16日 資料1別添2)	R02 6/4	宇根崎
16	推定原因ではあるが、いろいろな証拠物を基に、できる範囲で原因を検証しているとは思う。世界中の発電所に活かす意味で、メカニズムの推定は非常に重要であり、原因の追究を進めていただければと思う。	ステンレス鋼は表面に不働態被膜ができるため、1次冷却系統のように管理された状況下では健全性に影響を与えるような腐食（酸化）は発生しない。説明資料においては、一例として知見の豊富なSUS304の腐食速度を示したものであり、SUS410についても腐食傾向は同様であることから、健全性への影響という観点では、ステンレスの腐食速度としては大きな違いはない。また、駆動軸の外側表面においても健全性に影響のあるような腐食は認められていない。 今後、実験等によりSUS410のデータを拡充していきたい。	R02 6/4	望月
17	SUS410の駆動軸の腐食について、組織も異なるSUS304のデータにて評価していることの妥当性を示してほしい。	ステンレス鋼は表面に不働態被膜ができるため、1次冷却系統のように管理された状況下では健全性に影響を与えるような腐食（酸化）は発生しない。説明資料においては、一例として知見の豊富なSUS304の腐食速度を示したものであり、SUS410についても腐食傾向は同様であることから、健全性への影響という観点では、ステンレスの腐食速度としては大きな違いはない。また、駆動軸の外側表面においても健全性に影響のあるような腐食は認められていない。 今後、実験等によりSUS410のデータを拡充していきたい。	R02 7/16	渡邊

番号	委員コメント	四国電力回答	日付	コメント 委員
18	<p>制御棒駆動軸について定期取替しないものとして扱っているが、経年劣化を想定した科学的根拠に基づく取替基準を示してほしい。</p> <p>また、堆積したスラッジの量から減肉量を推定しているが、その評価方法の妥当性を示してほしい。</p>	<p>1次冷却系統の水質及び温度環境下においては、鉄の酸化物は安定的にマグネタイトとして存在するものであり、ステンレス鋼は表面に不働態被膜ができるため、1次冷却系統のように管理された状況下では健全性に影響を与えるような腐食（酸化）は発生しない。また、同様の環境下にある駆動軸の外側表面においても健全性に影響のあるような腐食は認められていない。駆動軸の腐食（酸化）は健全性に影響を与えるような経年劣化事象ではないことから、経年劣化の観点での取替基準は設けていない。なお、制御棒については、中性子照射量の制限及び運転中の振動による摩耗防止の観点から、中性子照射量や運転時間による取替基準を設けている。</p> <p>堆積したスラッジからの減肉量の推定については、すべてのスラッジが駆動軸の内表面だけから発生したとの非常に保守的な仮定にて評価を行ったものであり、その場合においても十分な余裕があることから、健全性に影響はない。</p>	R02 7/16	渡邊
19	<p>制御棒引き上がりに対する対策としては同じ事象は起こらないということは理解したが、今後も使用する駆動軸の健全性について、明確なデータを示して説明してほしい。</p>	<p>以下の理由により、今後の使用においても健全性に影響ないと判断している。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・管理された環境中におけるステンレス鋼（SUS304）の腐食速度からの類推により、一般的にステンレス鋼は腐食しない ・材質・環境が駆動軸内表面と同じ駆動軸外表面においても有意な腐食は見られない ・堆積したスラッジ量から、駆動軸の減肉量を保守的に評価しても健全性に影響はない <p>ただし、今回の事象を経験した事業者としてSUS410のデータを拡充していく必要があると考えており、今後、実験等によりデータを拡充していきたい。</p>	R02 7/16	渡邊
20	<p>数ミリ単位の薄膜状のスラッジがどこの部材から剥落し、また、その量がどれくらいかわからないが、剥落したことにより、部材が損傷するなどして、運転上影響がないか。</p>	<p>薄膜状のスラッジ（マグネタイト）は、駆動軸の構造材そのものが剥離したものではなく、駆動軸内表面で生成し、系統中の鉄イオンにより成長したものが剥離・落下したものと考えており、駆動軸の健全性に影響を与えるものではない。また、駆動軸の外側表面においても有意な腐食等もなく、腐食（酸化）量の評価のとおり、剥離が駆動軸の健全性に影響を与えるものではなく、運転の安全性にも影響はない。</p> <p>今後、実験等によりスラッジの発生メカニズムについて研究ていきたい。</p>	R02 7/16	中村

番号	委員コメント	四国電力回答	日付	コメント 委員
21	駆動軸と同様の環境下である原子炉容器上蓋の CRDM 圧力ハウジングから多くのスラッジが発生している可能性があり、同部材の健全性について確認が必要ではないか。	<p>CRDM 圧力ハウジングを含む原子炉容器上蓋内面には、ステンレス鋼を使用しており、ステンレス鋼は表面に不働態被膜ができるため、1 次冷却系統の様に管理された状況下では健全性に影響を与えるような腐食（酸化）は発生しない。また、強磁性であるスラッジ（マグネタイト）が系統内の設備に悪影響を及ぼす可能性については、系統内で磁性材料を使用している設備に対する影響はなく、プラントの安全に悪影響を及ぼす可能性は低い。（7/16 資料 1 別添 1）</p> <p>また、CRDM 圧力ハウジングを含む原子炉容器上蓋については、定期検査において内面に異常は認められていないものの、応力腐食割れ（SCC）への予防保全対策として、前回定期検査において SCC 対策を施した上蓋に取り替えている。</p>	R02 7/16	中村
22	事象が発生したメカニズムとして、あり得るメカニズムが列挙され、それぞれのメカニズムに対して、どれくらい起こりそうか、起こった場合にどう再発防止をしていくかという視点で検証され、もう一度同じような事象が起こらないように再発防止策を取っていると理解しており、論理的にしっかりとしていると思われる。本日の議論は、今後、特定されていないメカニズムを追求する努力をしてほしいという趣旨と理解している。	—	R02 7/16	森
23	制御棒駆動軸については、制御棒を入れるという意味では安全上非常に重要であるが、今回の引き上げるということについては、少なくとも事故を起こさないとの意味では、それほど重要ではないと思われる。今回の事象は、非常に稀な事象であり、マグネタイトによる制御棒、弁、ポンプ等の安全上重要な機器への影響については検討しており、特に制御棒については仮に 1 本挿入できない場合でも停止機能は維持できるように設計されていることなどを考えれば、PWR の安全性向上のために一般的な意味で継続的に検討するというレベルだと認識している。	—	R02 7/16	村松

3. 伊方発電所第3号機 燃料集合体点検時の落下信号の発信について

番号	委員コメント	四国電力回答	日付	コメント 委員
1	この点検は過去の伊方3号機の燃料リークの経験から実施している点検であるが、これを保守管理でやるのは無理があるのではないか。過去に策定した、対策では、当該燃料を原因が分かるまでは使用しないのではないか。	<p>当時の対策としては、漏えいした燃料は使用しないこととし、漏えいした燃料と同一時期に製造された同設計のA型55燃料（2体）は念のため使用を見合わせることとした。なお、当該燃料（2体）については既に除却済みである。</p> <p>また、漏えい対策を行った新設計の燃料を平成23年に採用済みである。</p> <p>また、原子力安全・保安院の指示に基づき、漏えいが発生した燃料と同設計のA型55燃料を使用する場合には、当該燃料の漏えい原因に係る知見を踏まえ、燃料集合体の最下部支持格子について、燃料棒の支持部（支持板、ばね板）と燃料棒の間に隙間等がないことを確認することとしている。</p> <p>（6月4日 資料1-3 P12, 13）</p>	R02 2/18	渡邊
2	照射済燃料に関しては、脆くなっていることもあり得る。重量物である燃料集合体がラック上に少し乗ってしまったことで、燃料集合体に変な荷重が加わり、たわみや見えない傷がないのかなども総合的に検査してほしい。	<p>当該燃料集合体は照射済みであるが、照射済燃料に対する荷重評価結果を未照射条件で健全性が確認された荷重と比較することは、より厳しい取扱いとなる。</p> <p>また、当該燃料集合体を対象に、点検装置ラックへの乗り上げ前後の燃料集合体の曲がり量を確認したが、点検装置ラックへの乗り上げ前後で、当該燃料集合体の曲がり量に有意な変化はなかった。</p> <p>（6月4日 資料1-3 P7）</p>	R02 2/18	中村
3	ファイバースコープでの確認は、燃焼度の高い燃料集合体の下部の各4面について行うのか。また、今定検で5体確認することであるが、その5体に決めた理由は何か。	<p>ファイバースコープによる点検対象の燃料は、燃料被覆管の摩耗の進展に影響を及ぼす可能性のある「燃焼度」、「装荷回数」及び「装荷位置」を考慮して選定している。具体的には、再使用予定燃料のうち2サイクル以上装荷された燃料から、装荷回数が同じ、かつ、炉内の装荷位置が対称であった燃料を1グループとし、それぞれのグループから最も燃焼が進んだ燃料を点検対象として選定している。点検作業は燃料集合体の最下部支持格子の4面すべてにファイバースコープを挿入し、燃料棒の支持部（支持板、ばね板）と燃料棒の間に隙間等がないことを確認する作業である。</p> <p>今回の点検では、再使用を予定しているA型55燃料64体のうち、2サイクル以上装荷された62体を確認対象としており、このうち、前サイクル（第15サイクル）で装荷していた燃料集合体30体（5グループ）を対象に、各グループから最も燃焼が進んだ5体を選定している。</p> <p>（6月4日 資料1-3 P2, 13）</p>	R02 2/18	渡邊

番号	委員コメント	四国電力回答	日付	コメント 委員
4	改善策がいくつかあるが、燃料の移動操作についても技術的な改善がなく極めて原始的であると思った。技術的な改善もぜひ取り組んでいただきたい。	<p>通常の使用済燃料ラックでの燃料取扱作業は、3号機の運転開始以降十分な実績があり、これまで燃料集合体が使用済燃料ラックに乗り上げる事象は発生していないが、本点検作業は、使用済燃料ピットの限られたエリアに設置した点検装置を用いて行う難度の高い作業であり、点検体数（今回は5体）や、残りの点検回数（過去に漏えいが発生したタイプの燃料の使用が終了するまであと3～4回程度）などを考慮すると、通常の燃料取扱作業と比べて限定的な作業である。</p> <p>本事象に対して、技術的に高度化する対策としては、使用済燃料ピットクレーンの位置決めを自動化することなどが考えられるが、仮にクレーンをラックの直上に自動で位置決めしたとしても、燃料集合体のラックへの挿入箇所はクレーンより約1.1m下方であるため、燃料集合体をそのままラックに挿入した場合、クレーンに吊り下げられた工具や燃料集合体の僅かな揺れや振動等により、接触したり乗り上げたりする可能性があることから、目視で挿入状況を確認する必要があると考える。また、燃料集合体下部がラック位置と僅かにずれている場合は、手動によるセンタリングの修正等が必要となる。</p> <p>このため、燃料集合体のラック乗り上げ防止の観点からは、点検装置ラック開口寸法を拡大する等により、十分に再発防止が可能であり、最も有効な対策であると考えている。</p>	R02 3/24	占部
5	使用済燃料プールにある燃料集合体の落下信号が発信された場合には、その場にいる作業員はどういった対応を取ることになつてゐるのか。	燃料集合体の落下信号が発信した場合は、落下した燃料から発生するおそれがある放射性ガスをチャコールフィルターにて吸着するため、使用済燃料ピットの空調系がアニュラスの排気系統に切り替わる。今回は実際には燃料集合体が落下したわけではないが、実際に燃料集合体が落下し、放射性ガスの発生を目視した場合は、作業員は被ばく防止の観点から退避することになる。	R02 6/4	中村

番号	委員コメント	四国電力回答	日付	コメント 委員
6	ラック乗り上げ時に燃料被覆管に発生した応力は約 3 MPa としているが、1,000kg を超える物が乗り上げた時の応力にしては、小さい気がするが、どうか。	今回の事象では、燃料集合体の荷重がある程度クレーンに残った状態で、鉛直にラックに乗り上げたことから、264 本の燃料被覆管に概ね均等に荷重がかかったと考えており、その条件で評価すると約 3 MPa となる。ラック乗り上げ時にある程度の不均等な荷重が作用した可能性も否定できないが、均等な荷重を想定した場合の発生応力（約 3 MPa）は未照射時材料の耐力約 600MPa に対しては十分に小さいことからある程度の不均等な荷重が作用したとしても燃料被覆管の健全性に問題はない。	R02 6/4	渡邊
7	原子力安全委員会が定めた「金属製乾式キャスクを用いる使用済燃料中間貯蔵施設のための安全審査指針」においては、水素化物再配向による機械的特性劣化防止の条件として、PWR の場合では 100MPa という値が示されているが、今回の評価にあたり、発生応力を未照射時の耐力（約 600MPa）と比較するのは適切ではないのではないか。仮に、この 100MPa と比較した場合、保管中の燃料被覆管応力にラック乗り上げ時に発生したと想定する応力を加えた約 63MPa では、あまり余裕がない。ラック乗り上げ時に発生した応力について、燃料棒 264 本に均一に力が加わったとして評価しているが、本当に均一に力が加わっているのか。例えば有限要素法を使用して、精密に評価してはどうか。	ラック乗り上げ時にある程度の不均等な荷重が作用したことは否定できないが、仮にラック乗り上げ時にある極端に不均等な荷重が作用すると想定（264 本の燃料棒のうち最外周 2 面の 33 本の燃料棒すべての発生荷重を分担すると仮定）した場合でも、燃料被覆管に発生する応力は約 20MPa であり、この応力が使用済燃料ピットで保管中の燃料被覆管に作用したとしても、燃料被覆管応力（未照射時で約 600MPa）に対して十分小さい。 有限要素法による評価については、精緻なモデルの構築方法や条件設定の妥当性など曖昧さのほうが大きいと考えております、また上記のとおり、ラック乗り上げ時の荷重による発生応力も十分小さいことから、工学的判断により現状の評価手法は適切と判断する。 (7月16日 資料1 別添3) なお、ご指摘の 100MPa の値は、周方向応力が生じた状態の燃料被覆管が高温から冷却される際に水素化物再配向が生じることにより、燃料被覆管の機械的特性が低下しない条件としてのしきい値であり、耐力等の機械的強度の制限値とは意味合いが異なるものと認識している。今回ラックに乗り上げた燃料は炉心から取り出した直後の燃料で、燃焼度も 35,000MWd/t 程度であり、今回の評価にあたり発生した応力を未照射時材料の耐力と比較することに問題はないと判断する。	R02 6/4	渡邊
8	高燃焼度燃料の燃焼末期では、耐震評価結果などがぎりぎりの状況となっている。高燃焼度燃料というのはそのような状況下で使用しているということを理解したうえで安全に使用してもらいたい。	高燃焼度燃料は従来燃料に比べて負荷が高い状態で使用していることは認識している。高燃焼度燃料導入当初には、その安全性等について原子力安全・保安院の審査において了承されたものであるが、今後も高燃焼度燃料に関する情報を入手し、不具合等に係る情報に対して必要な対策を行うなど、継続的な安全性向上に適切に対応していきたい。	R02 7/16	渡邊

番号	委員コメント	四国電力回答	日付	コメント 委員
9	<p>今回ラックに乗り上げた燃料は、過去に伊方 3 号機をはじめ複数のプラントで漏えいが発生した燃料と同設計の燃料であるが、漏えいに対してこれまでどのような対策を取ってきたのか。また、今後同設計の燃料は使わないという選択肢もある中で、なぜ現在も使用し続けているのか、事業者の考えを説明すること。</p>	<p>過去に漏えいが発生した燃料については、原子力安全・保安院における検討会において原因究明が行われた結果、燃料棒の水力振動により支持格子位置で燃料被覆管が摩耗するグリッドフレッティングにより漏えいが生じたものと分かった。これに対し、当社としては、漏えい対策を行った新設計の燃料を既に導入しており、漏えいした燃料と同設計の燃料についても、漏えい原因究明を通じて得られた知見を踏まえ、原子力安全・保安院の指示に基づくファイバースコープ点検の実施、炉心内の燃料配置等を工夫するなどの対応を行うことにより、漏えい発生のリスクを十分低減させることができる。</p> <p>漏えいが発生した燃料と同設計の燃料の今後の使用については、上述のとおり適切な対応を行うことにより漏えい発生リスクを十分低減させることができることに加え、これらの燃料を使わないとした場合、相当数の使用済燃料が発生することとなり、廃棄物を徒に増やすことにもつながることから、これらの燃料については、上述の対策を行いながら、慎重に使用していく。</p>	R02 7/16	渡邊

4. 伊方発電所における所内電源の一時的喪失について

番号	委員コメント	四国電力回答	日付	コメント 委員
1	断路器の故障は推定原因であるが詳細な調査はしているのか。	<p>所内電源一時的喪失事象については、要因分析図を作成し、当該断路器について分解や分析等を行い、詳細な原因調査を実施している。(6月4日 資料1-4 P9～P15)</p> <p>推定原因については、実証試験（非接触状態の確認、放電試験）等によって、メカニズムの妥当性を確認したうえで推定したものである。(6月4日 資料1-4 P16～P18)</p> <p>また、計画的に開放点検を実施している中で、内部に粉が確認された南幹2号線乙母線断路器についても、同様の詳細な原因調査を行い、同様のメカニズムによって発生したものと推定している。(6月4日 資料1-4 P27～P29, 参考-9)</p>	R02 3/24	中村
2	原因は推定であるが小さなトラブルが続くときは大きな事故の前触れとなり得る。電源喪失の問題、断路器の回転部分の緩み等はめったにないことであり、どれくらいの確率で起こるのか。技術的な背景をもっと説明してほしい。	<p>当該断路器は、ガス絶縁開閉装置であり、一般的に気中断路器とは異なり、導電部、絶縁部、接触部等は、すべてガスを封入したユニット内に密閉され、外部雰囲気の影響を遮断しているために長期間劣化せず、耐環境性に優れていることから信頼性の高い装置となっている。今回の事象は、嵌合部（セレーション構造）の僅かな隙間が起因となって発生したものである。なお、今回と同様のメカニズムによる故障については、当該断路器メーカにおいても過去に例はなかった。(6月4日 資料1-4 P10)</p> <p>なお、過去の研究における一つの指標として、GIS(ガス絶縁開閉器)の事故確率としては、0.202×10^{-3}件/(台・年)という数値がある。</p>	R02 3/24	占部
3	断路器の故障が原因というが、このような不具合がないことを確認するのが試験だと思う。故障があっても、一時的にしろ電源喪失しないような試験を考えていただきたい。細かな点検に人が対応するのは100%は無理である。点検の開発や体制作りが大事。 特に断路器の故障で電源がなくなったのは改善していただきたい。	<p>電源は重要であることから、多重化・多様化している。</p> <p>今回の事象も、すべての電源がなくなったものではなく、3号機においては外部電源として500kV送電線2回線、亀浦変電所からの配電線、また、非常用ディーゼル発電機や空冷式非常用発電装置など多種多様な電源が待機状態であったとともに、設計どおりに約10秒で非常用ディーゼル発電機から受電されている。</p> <p>しかし、一時的とは言え1, 2, 3号機すべての外部電源が喪失したことに鑑み、今後、試験を再開する際は1, 2, 3号機が同時に停電しないよう模擬負荷装置を使用することとしている。(6月4日 資料1-4 P3, 4, 24, 26)</p>	R02 3/24	藤川

番号	委員コメント	四国電力回答	日付	コメント 委員
4	同一構造の断路器において、既にいくつか放電したものを確認したことだが、この構造をもった断路器については、同様の故障が一般的に生じ得るという認識なのか。	<p>メーカ等の使用実態からは、短絡まで起こった事例はなかったと聞いているが、同一構造の断路器においては、嵌合部で隙間が生じて、今回のような放電が起り得るという前提に立って、部分放電の検知に関して常時計測することで対応したい。</p> <p>なお、メーカと協議しながら、恒常的な対策についても検討していく。</p>	R02 6/4	中村
5	調査結果の運転履歴の確認事項において、「メーカ動作確認回数である 10,000 回を十分に下回り（約 350 回）」とあるが、メーカが実施している動作確認とはどのような試験なのか。	<p>メーカでは、断路器の機械的強度を確かめるため、J E C（電気規格調査会標準規格）に基づき、電圧をかけない状態で開閉動作を 10,000 回行う耐久試験を実施し、開閉に伴う機械的な損耗がないことを確認している。</p> <p>今回は、約 350 回程度しか開閉動作をしていない断路器で発生した事象であり、開閉に伴う機械的損耗ではなく、嵌合部の隙間で生じた放電が原因で短絡したものと推定している。</p>	R02 6/4	中村

5. 伊方発電所 連続発生したトラブルの総括評価について

番号	委員コメント	四国電力回答	日付	コメント 委員
1	保全や保守の管理の状況が今どうなっているか、それが最近低下したことはないか、そして、今後に向けてどう改善していくかというか、定量的なものをどうやっていくか、というようなことを説明していただきたい。	<p>今回のトラブルの連続発生を機に、伊方発電所の保守管理プロセスを調査したところ、①点検計画の策定、②保全の実施、③保全の有効性評価、④保守管理の有効性評価といったプロセスが定められたとおりに実施されており、各トラブルの発生原因が保守管理プロセスに起因するものではないことも確認できることから、同プロセスは有効に機能していると確認できた。</p> <p>今後も、保守管理プロセスを適切に運用することにより、保守管理の継続的な改善を図っていく。 (6月4日 資料1-5 P30)</p>	R02 2/18	村松
2	<p>トラブルを未然に防ぐための努力、保守管理における不適合の未然防止の活動としては、通常は何がなされていて、疎かになつたということはないかということを、実際に起こったトラブルの中で確認をしたい。</p> <p>併せて、それに関連する教訓、今後の改善というものがあれば教えていただきたい。</p>	<p>伊方発電所では、「①点検計画の策定→②保全の実施→③保全の有効性評価→④保守管理の有効性評価→①」といったPDCAサイクルを回すことにより、保守管理を実施している。</p> <p>今回の4事象については、下記のとおり、いずれも発生原因は保守管理プロセスに起因するものではない。</p> <p>○事象I（運転上の制限の逸脱）・事象II（制御棒引き上がり）・事象III（落下信号発信）は、設備故障が発生した事象ではなく、保守管理プロセスに起因するものではない。</p> <p>○事象IV（所内電源一時的喪失）は、過去に経験のない故障によるものであり、保守管理プロセス自体に不備があった訳ではない。</p> <p>なお、事象IVについては、過去に経験のない故障によるものであり、本事象を想定した保全項目は設定していなかったが、これまで運用してきた保守管理プロセスに沿った是正処置を検討し、当該機器の監視強化等を行うこととした。 (6月4日 資料1-5 P30)</p>	R02 2/18	村松

番号	委員コメント	四国電力回答	日付	コメント 委員
3	原子力安全を考えると、安全文化の醸成は大事。日本のような文化で外国ではできることができ定着できるのか。具体的な施策はあるのか。	<p>従来から伊方発電所では、安全文化醸成活動の目標として、WANOW文書を参考に「健全な安全文化の特性」を定めており、その特性の一つに「継続的な学習」も含まれている。</p> <p>また、R2年3月31日に新規制定した「原子力発電所 安全文化育成および維持活動要領」において、目標、計画、実施、評価の手順を定めている。</p> <p>この活動の有効性については、年度業務計画の実施状況評価、意識調査（アンケート）及びCAP（改善措置活動）による傾向監視の評価や、JANSIやWANOWによる外部評価を総合的に評価し、評価結果を次年度の活動へ反映して継続的に改善を進めていくこととしており、これらの取り組みは、海外の考え方とも合致している。</p> <p>(6月4日 資料1-5 P32, 33)</p>	R02 3/24	森
4	<p>安全文化の醸成については日本と外国とではやり方が全然違う。日本は管理をするという発想だが、外国は無条件でスタッフを尊重したうえで、スタッフが十分に勉強していかなければ、勉強を促すということを繰り返して、全体のレベルを上げていくやり方。これは「OECD/NEA（経済協力開発機構／原子力機関）※」で実施している。日本と外国とでは風土が異なるので、日本は日本の文化として、どうやっていくかというのを経験を積み重ねながらやって行ってほしい。</p> <p>※ 安全かつ環境的にも受け入れられる経済的なエネルギー資源としての原子力エネルギーの発展に貢献することを目的として、原子力政策・技術に関する情報・意見交換、行政上・規制上の問題点の検討、各国法の調査及び経済的側面の研究等を行っているOECDの専門機関。</p>	<p>一方、OECD/NEAにおいては、「国の文化は安全文化を醸成し強化するために考慮すべき要素の1つ」との考え方方が示されている。当社としては、今後とも、海外の良いところを取り入れつつ、日本のやり方で安全文化醸成を進めていくのが良いと考えており、新規制定した上記要領に基づく活動に加え、双方向のコミュニケーション形式による幹部と発電所員等の意見交換を継続して実施していくことで、安全文化醸成を進めていく。</p> <p>(6月4日 資料1-5 P20～23, 35)</p>	R02 3/24	中村

番号	委員コメント	四国電力回答	日付	コメント 委員
5	<p>事象が重なったことについて、トラブルの未然防止のためのチェックがどうなっているのか等の要望を原子力安全専門部会でしており、今回の報告書を読んで、前向きに答えていただいていると感じた。</p> <p>新しいチームでチェックすることについては、前向きであり評価できる。作業要領書の充実とレビューの新チームの設置は、特に画期的であり、今まで規制側の対応だけであったが、これに対して、この機会により良くするという発想で一歩踏み出した。今後、このチームがどれくらいの実効性を持ってやれるかが重要。また、どう運営していくかにかかっている。部会でもその予定について、伺っていきたい。</p>	<p>作業計画段階において、作業要領書や作業実施時期の妥当性に対するレビューを実施するとともに、継続的な改善を行うため、新チーム（プロセス管理チーム）を本年4月1日に設置し、活動を開始している。</p> <p>今後、本チームにおいてレビュー機能の有効性を検証し、組織に係る保安規定の変更認可を得て恒常的な組織を設置することとしている。</p> <p>(6月4日 資料1-5 P34, 40)</p>	R02 3/24	村松
6	作業要領書の充実などがあるが、作業員が個人で勉強するのか、グループで勉強するのか手順の確認のやりかたも踏まえて、新チームでレビューしていくのが良いのではないか。	<p>作業関係者は、事前に、グループで作業要領書の内容を確認して、作業当日も再度確認を実施している。</p> <p>本年4月1日に設置した新チームは、工事施工会社から提出、作業担当課が確認した作業要領書について、リスクの低減や品質保証の観点からレビューを実施し、必要に応じ作業担当課と協議したうえで作業要領書の見直しが実施される。この流れを継続することにより、作業担当課と新チームの間で十分なコミュニケーションが図られ、関係者の「問い合わせる姿勢」に対する理解が更に深まっていくものと考えている。</p> <p>また、今後とも、見直し後の作業要領書を用いて作業関係者による読み合わせを行うことで、より確実な作業を実施していく。</p> <p>(6月4日 資料1-5 P40)</p>	R02 3/24	中村
7	もう少し密に点検を行っていれば、連続して4つのトラブルは起きなかつたと思われる。停止時に点検を一斉に行うとトラブル等が重なる確率が高くなると考えられるため、発電所の運転中でも可能な点検については、こまめに実施してほしい。	<p>伊方発電所では、信頼性保全分析により故障時のプラントへの影響度合い・故障発生の可能性等を踏まえて保全重要度を決定するなどし、設備ごとに保全方式や点検計画を定めて、保守管理を実施している。(6月4日 資料1-5 P29)</p> <p>設備によっては、停止時にしか点検できないものもあれば、必ずしもそうではないものもある。停止時にしか点検できない設備についても、運転中に状態監視を行うなど、トラブルを未然に防ぐための取り組みを行っている。</p>	R02 6/4	高橋

番号	委員コメント	四国電力回答	日付	コメント 委員
8	<p>6月4日 資料1-6のNo.10の回答「事象I～IIIは設備の故障ではないので保守管理プロセスに起因するものではない」について解釈を確認したい。</p> <p>保全に関する活動は、ハードウェアの信頼性を確保する活動（保守管理プロセス）と作業管理の信頼性を確保する活動（トラブルが発生しないように作業計画すること）があり、保守管理プロセスに劣化はなかったと認識しているが、作業管理の信頼性を確保する行動にも劣化はなかったとの認識で良いか。</p>	<p>6月4日 資料1-5での整理としては、保守管理プロセスは委員のご理解どおりハードウェアの信頼性を確保する活動であり、一方、作業管理の信頼性を確保する活動については、保守管理プロセスとは別と整理し、その妥当性を定期検査プロセスの調査で確認している。</p> <p>調査の結果、保守管理プロセスは適切に運用されており、事象I～IIIともハードウェアの故障ではなく、事象IVは過去に経験のない故障であったことから、共通原因として保守管理プロセスの劣化があつたわけではない。</p> <p>一方、定期検査プロセスについては、適切に実施されてきており同プロセスに劣化があつたわけではないが、事象I、III、IVの発生を踏まえて、新チームを設置し、独立した立場から、作業担当部門が策定した作業計画の妥当性を確認するとともに、継続的な改善を図るなどの改善策を実施することとした。</p>	R02 6/4	村松
9	定量的リスク評価には、事前のリスク評価、起こった事象の重要度評価及び定量的なトレンド分析という3つの重要な役割があるが、それぞれどのような取組みを進めているのか。	<p>事前のリスク評価については、従来からの取組みとして、定期検査を行う際には、作業計画段階において、停止時リスクの定量的評価を確認して周知するとともに、自主的な安全性向上のほか、規制庁において新たに定められた安全性向上評価届出制度の中で確率論的リスク評価等を実施しており、教育・訓練等への反映を進めている。</p> <p>さらに、本年4月に設置した新チームでは、作業実施時期の妥当性について、安全上重要な機器の作業が原子力安全リスク上問題のない時期に計画されていることを確認するといったレビューを行うこととしている。</p> <p>事象の重要度評価については、新検査制度に基づく原子力規制検査においても評価されることになっているが、事業者としてもこうした評価を実施したいと考えており、そのためには確率論的リスク評価モデルの高度化等に取り組んでいる。</p> <p>定量的なトレンド分析については、規制で用いられる安全実績指標の他にも自主的に採取しているデータがあり、ハード、ソフトの観点から分析できるようにしている。</p>	R02 6/4	村松

番号	委員コメント	四国電力回答	日付	コメント 委員
10	再発防止策として新設する、作業計画等を独立した立場からレビューする新チームにおいては、リスク評価の活用は、非常に相性がよく、その業務に役立つと思うので、研鑽を重ね、また会社としても配慮してほしい。	<p>新チームでは、原子力安全リスクに係るレビューも実施することとしており、安全上重要な機器の作業が原子力安全リスク上問題のない時期に計画されていることを確認することとしている。</p> <p>(6月4日 資料1-5 P40)</p> <p>新チームは、本年4月1日に活動を開始したばかりであるが、レビュー業務について試行を重ねつつ、チームとしての技量を上げていく。</p>	R02 6/4	村松
11	新チームが行う作業要領書などのレビュー活動と、例えばC A Pなどの新検査制度における取り組みは、両者の状況を見ながら、協力した形で進めるのが合理的と感じるがどうか。	新チームの活動は、トラブルを少なくするという観点では、新検査制度における取り組みと関係している。四国電力としては、リスク情報の活用とC A P制度の活用等パフォーマンスベースの取り組みによって、新検査制度を円滑に導入していきたい。	R02 6/4	中村
12	日本の文化に即した方法として、双方向のコミュニケーションにより、安全文化の醸成を図っていくこととしているが、安全管理とは峻別したかたちで進めることができると理解しているか。	安全文化は、いろいろな活動のベースとなるものと考えている。その中で、社長と原子力本部長が発電所員や関係会社等と行ったひざ詰めでの意見交換等の双方向コミュニケーションについては、相手が本音を言ってくれるであろう取組みであるため、安全管理とは異なり、自発的な活動を推進できるものと考えている。	R02 6/4	中村
13	安全文化については、日本と海外とでは考え方や捉え方にかなり違うところはあるが、ぜひ、海外における取組みも参考にしながら、トラブルの未然防止に努めてほしい。	4年に一度実施されているWANOのピアレビューでは、海外の発電所に勤務するピア（仲間）からレビューを受けている。また、J A N S Iからは定期的に海外の良好事例についての紹介を受けている。これらの取り組みを有効活用することにより、トラブルの未然防止に努めていく。	R02 6/4	中村
14	ひざを突き合わせて話し合うことは日本のいいとは思うが、それが「言いやすいこと」を担保していることには必ずしもならない。現状の取り組みに修正を求めるものではないが、社員が自律的に問題点を見出し、議論できる素地を作ることが大事だと思われるため、その点、今後、より考えていただきたい。	<p>社員が自律的に問題点を見出すためにも、「問い合わせる姿勢」醸成の取り組みを実施している。</p> <p>また、「言いやすい」環境を醸成するためにも、引き続き関係者間で緊密なコミュニケーションを実施することや、他社ベンチマークにより良好事例を積極的に取り入れるといった職場環境の改善活動を継続していく。</p> <p>(6月4日 資料1-5 P36)</p>	R02 6/4	森

6. 全般

番号	委員コメント	四国電力回答	日付	コメント 委員
1	委員も、発電所の細かな設備がすべてわかるものではない。例えば、電源の構成とか、燃料の移動など動画等があれば理解が進むと思う。	各トラブルの6月4日 資料1-1～1-4に現場の状況が分かる写真を追加した。	R02 3/24	中村

伊方発電所 3号機第15回定期検査中に
連續発生したトラブルに関する報告書

令和2年7月

伊方原子力発電所環境安全管理委員会
原 子 力 安 全 専 門 部 会

伊方原子力発電所環境安全管理委員会原子力安全専門部会 名簿

部 会 長： 望月 輝一 愛媛大学名誉教授 (放射線医学)

部会長代行： 宇根崎 博信 京都大学複合原子力科学研究所教授 (原子炉工学)

委 員： 岸田 潔 京都大学大学院工学研究科教授 (地盤工学・岩盤工学)

高橋 治郎 愛媛大学名誉教授 (構造地質学)

中村 秀夫 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構
安全研究・防災支援部門
原子力緊急時支援・研修センター兼安全研究
センター 特命専門職 (原子炉工学・原子炉安全工学)

村松 健 東京都市大学工学部客員教授 (原子力安全工学(リスク評価))

森 伸一郎 愛媛大学大学院理工学研究科准教授 (地震工学)

渡邊 英雄 九州大学応用力学研究所准教授 (原子炉材料)

(注)委員の表記は 50 音順

目 次

はじめに.....	1
審議の経緯.....	2
1 伊方発電所第3号機 中央制御室非常用循環系の点検に伴う運転上の制限の逸脱について.....	3
2 伊方発電所第3号機 原子炉容器上部炉心構造物吊り上げ時の制御棒クラスタ引き上がり について.....	9
3 伊方発電所第3号機 燃料集合体点検時の落下信号の発信について	16
4 伊方発電所における所内電源の一時的喪失について	22
5 伊方発電所 連続発生したトラブルの総括評価について	29
審議結果.....	37

参考資料　伊方原子力発電所環境安全管理委員会及び同原子力安全専門部会 委員コメント一覧

はじめに

伊方発電所では、令和元年 12 月 26 日から開始した伊方発電所 3 号機の第 15 回定期検査において、

【事象 1】令和 2 年 1 月 6 日

伊方発電所第 3 号機 中央制御室非常用循環系の点検に伴う運転上の制限の逸脱

【事象 2】令和 2 年 1 月 12 日

伊方発電所第 3 号機 原子炉容器上部炉心構造物吊り上げ時の制御棒クラスター引き上がり

【事象 3】令和 2 年 1 月 20 日

伊方発電所第 3 号機 燃料集合体点検時の落下信号の発信

【事象 4】令和 2 年 1 月 25 日

伊方発電所における所内電源の一時的喪失

と 4 件の重大なトラブルが連続して発生した。このため、四国電力株式会社（以下「四国電力」という。）は、1 月 25 日から定期検査を中断した上で、愛媛県からの要請も踏まえ、各事象の原因と再発防止策に係る報告書に加えて、一連のトラブルが発生した背景についても調査・分析し、総括評価として取りまとめ、3 月 17 日に愛媛県に提出するとともに、原子力規制委員会に対しては、国への報告対象事象である【事象 2】のほか、【事象 3】及び【事象 4】（以下「3 事象」という。）に係る報告書についても参考として提出した。

愛媛県においては、伊方原子力発電所環境安全管理委員会原子力安全専門部会で、各事象の原因究明と再発防止策の妥当性に加え、一連のトラブルが発生した背景にも注目し、実効性ある再発防止策の確実かつ継続的な実施に向けた取組みについて審議を行った。

本報告書は、原子力安全専門部会における審議内容とトラブルの再発防止のため、四国電力に求める事項を取りまとめたものである。

審議の経緯

原子力安全専門部会においては、2月18日、四国電力から各事象の概要と原因究明に係る中間報告を受けた後、3月17日に四国電力から愛媛県に提出のあった事象1～4の4件と総括評価の報告書について、6月4日にその内容を聴取するとともに、特に原因究明の妥当性や再発防止策の実効性・有効性等について審議を行った。

その後、7月16日に、これまでの原子力安全専門部会における審議内容について整理し、部会報告書として取りまとめた。

一方、国では【事象2】について、2月12日及び3月26日の原子力規制委員会の事故トラブル事象への対応に関する公開会合における審議等を経て、4月8日の原子力規制委員会において、原因と再発防止策が検証され、四国電力の原因を断定することはできないが調査結果の説明は整合性が取れるものであり、再発防止策は適切として了承された。また、【事象3】及び【事象4】についても、原因と再発防止策の報告がなされ、確認された。

原子力安全専門部会等の開催状況一覧

開催日	会議	内 容
令和2年2月18日	原子力安全専門部会	四国電力から、各事象の概要と原因究明に係る中間報告について聴取
令和2年3月24日	環境安全管理委員会	報告書の概要について聴取
令和2年6月 4日	原子力安全専門部会	四国電力から、報告書の内容について聴取 各事象の原因究明と再発防止策及び総括評価の妥当性・実効性等について審議
令和2年7月16日	原子力安全専門部会	前回部会における委員意見に対する対応等の説明 部会報告書の取りまとめ

(参考) 国における検証経緯

開催日	会議	内 容
令和2年2月12日	原子力規制委員会	3事象の概要について報告
令和2年3月26日	事故トラブル事象への対応に関する公開会合	3事象の原因と再発防止策について報告し、審議等を実施
令和2年4月 8日	原子力規制委員会	国への報告対象である【事象2】の原因と再発防止策について検証し、了承されるとともに、INES(国際原子力・放射線事象評価尺度)レベル0の「安全上重要でない事象」と評価 【事象3】、【事象4】の原因と再発防止策について報告・確認

1 伊方発電所第3号機 中央制御室非常用循環系の点検に伴う運転上の制限の逸脱について

(1) 事象概要

四国電力は、原子炉施設の安全機能を確保するため、伊方発電所原子炉施設保安規定（以下「保安規定」という。）において、原子炉施設の運転モード^{*1}に応じ、安全機能を確保するために必要な機器の台数等を「運転上の制限」として定めるとともに、機器の点検・保修のために計画的に運転上の制限外に移行するための措置についても定めている。

四国電力は、伊方発電所3号機の第15回定期検査において、1月6日から中央制御室非常用循環系^{*2}の点検を行うため、第14回定期検査（平成29年10月3日～平成30年11月28日）と同様の手順により、保安規定第84条に定める運転上の制限である「中央制御室非常用循環系1系統以上が動作可能であること」を満足した状態から、計画的に運転上の制限外に移行しようとしたところ、当直長が計画的に運転上の制限外に移行できる時期ではないと判断し、作業を中止した。

保安規定第84条抜粋

3号炉について、次の各号の重大事故等対処設備は、表84-1で定める事項を運転上の制限とする。

(16) 中央制御室

表84-17 中央制御室

84-17-1 居住性の確保及び汚染の持ち込み防止

(1) 運転上の制限

項目	運転上の制限
中央制御室非常用循環系	中央制御室非常用循環系1系統以上が動作可能であること

保安規定第88条では、中央制御室非常用循環系の点検のため、運転上の制限外に移行する場合は、原子炉容器内から燃料体を全て取出してあり、かつ使用済燃料ピットでの照射済燃料^{*3}を移動していない時期に、実施しなければならない旨を定めているが、今回点検のために運転上の制限外に移行しようとした際の原子炉施設は、原子炉容器内に燃料体が装荷されている運転モード5の状態であった。

保安規定第88条抜粋

3 各課長は、表88で定める設備について、保全計画等に基づき定期的に行う点検・保修を実施するため、計画的に運転上の制限外に移行する場合は、同表に定める定検時の措置を実施する。

表88

点検対象設備	第88条適用時期	点検時の措置	実施頻度
中央制御室非常用給気ファン	モード1, 2, 3, 4, 5, 6及び使用済燃料ピットでの照射済燃料移動中以外	使用済燃料ピットの水位がEL31.7m以上および水温が65°C以下であることを確認する。	点検前 その後の1週間に1回
中央制御室空調ファン			
中央制御室再循環ファン			
中央制御室非常用給気フィルタユニット			

このため、平成 29 年 10 月 5 日に実施した前回第 14 回定期検査の中央制御室非常用循環系の点検作業について確認したところ、今回実施しようとしていた原子炉施設が運転モード 5 の状態において点検作業を実施しており、運転上の制限を満足していない期間があったことを確認した。今回確認された運転上の制限の逸脱に関する保安規定第 84 条及び第 88 条第 3 項の規定は、平成 25 年 7 月の新規制基準施行により新たに設けられ、第 14 回定期検査で初めて適用された規定であり、第 13 回定期検査までは、原子炉施設の運転モード 5 における中央制御室非常用循環系の点検作業は適切な作業であった。

なお、当該設備に異常はなく、点検作業期間中は、原子炉容器内は満水を維持しており、使用済燃料ピットでの照射済燃料移動作業も行っておらず、安全は確保されている状態であった。また、本事象による環境への放射能の影響はなかった。



図 1-1 第 14 回定期検査における点検工程

※1 原子炉施設の運転モード

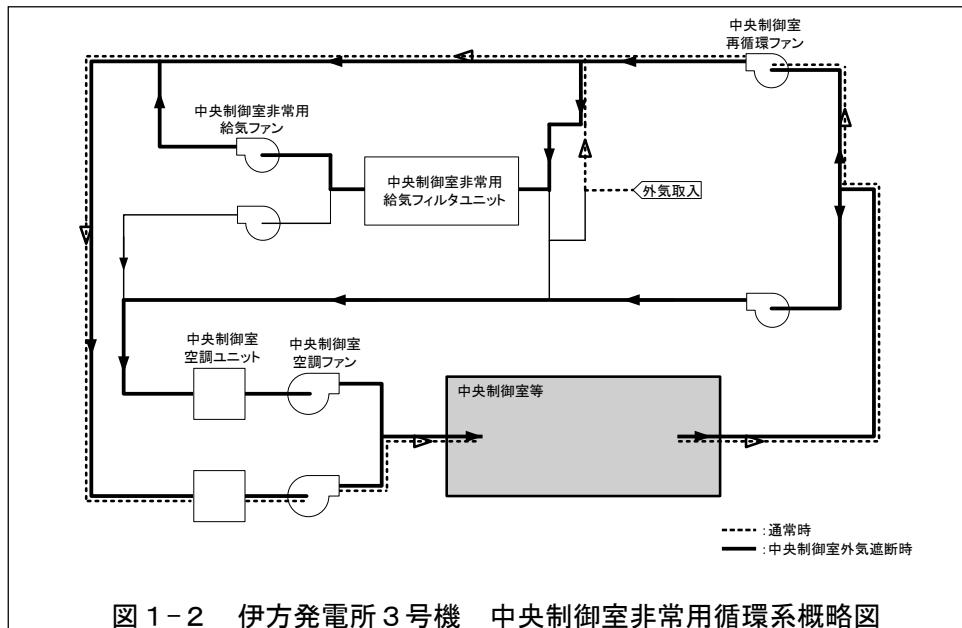
モード	原子炉の運転状態	原子炉容器スタッドボルトの状態
1	出力運転(出力領域中性子束指示値 5 %超)	全ボルト締付
2 (停止時)	出力運転(出力領域中性子束指示値 5 %以下)～ 制御グループバンク全挿入 ^{注1} による原子炉停止	全ボルト締付
2 (起動時)	臨界操作のための制御グループバンク引抜操作開始 ～出力運転(出力領域中性子束指示値 5 %以下)	全ボルト締付
3	1 次冷却材温度 177°C以上	全ボルト締付
4	1 次冷却材温度 93°C超 177°C未満	全ボルト締付
5	1 次冷却材温度 93°C以下	全ボルト締付
6 ^{注2}		1 本以上が緩められている

注 1：挿入不能な制御棒を除く。

注 2：すべての燃料が原子炉格納容器の外にある場合を除く。

※2 中央制御室非常用循環系

放射性物質が放出されるような重大事故時に、中央制御室への放射性物質の流入を防ぐため、外気を遮断して中央制御室の空気をフィルタを通して循環させる空調装置。



※3 照射済燃料

原子炉容器内で使用した実績がある燃料集合体

(2) 推定原因

①作業担当課は、保安規定に関する理解が不足し、記載事項の一部について解釈を誤った状態であった。また、関連する社内規定記載事項についても、十分な確認を行わなかった。

- 作業担当課の複数の者が、中央制御室非常用循環系を計画的に運転上の制限外に移行できる時期として保安規定で定めている「モード1, 2, 3, 4, 5, 6及び使用済燃料ピットでの照射済燃料移動中以外」を、「モード1, 2, 3, 4, 5, 6」の時期及び「使用済燃料ピットでの照射済燃料移動中以外」の時期と誤って解釈していた。
- 社内規定の伊方発電所3号機原子炉施設停止時保安管理内規には、中央制御室非常用循環系を計画的に運転上の制限外に移行できる時期を記載した図面を掲載しているが、保安規定を誤って解釈していたことにより、保安規定上問題ない作業計画と思い込んでいたため、当該社内規定の十分な確認を行わなかった。

②作業担当課は、関係課長、各主任技術者及び所長への申請の際、申請内容を確認できる資料等を示しておらず、申請を受けた者が確実にチェックできる仕組みが構築できていなかった。

- 作業を実施するに当たっては、事前に作業票により、作業計画の承認及び作業実施許可等を受ける必要があるが、作業票に参考資料等を添付していなかった。

③今回の事象に関わった関係者は、「問いかける姿勢」が欠けていたため、掘り下げる質問を行わず、組織として十分なチェック機能が働いていなかった。

- 申請を受けた関係課長及び各主任技術者は、事前に作業担当課が確認していること、所長は、作業担当課長、関係課長及び各主任技術者が確認していることから問題ないと思い込み、承認した。

(3) 再発防止策

①令和2年1月7日、今回の事象及び保安規定遵守について全所員及び関係会社作業員に対し、周知徹底を図った。

②計画的に運転上の制限外に移行する場合の運用に関する次の事項を社内規定に反映するとともに、関係者への周知徹底を図った。

- 計画的な運転上の制限外への移行に係る適用可能時期を新たに追記することにより、保安規定の解釈を明確化。
- 計画の妥当性を明確に確認できるチェックシート（作業票の確認に際して参考となる資料を含んだもの）を作成するとともに、社内関係者に連携の上、確認又は承認を受ける運用。

③技術系所員に対する教育を、次のとおり実施する。

- 保安規定が改定された際は、周知に加え、改定内容に関する教育を実施。
- 保安規定第88条の運用に関する追加の教育を実施。
- 重要な社内規定類の確実な確認について、定期的な教育を実施。

④「問いかける姿勢」の定着を確実なものにするため、次の事項を実施する。

- 今回の事象を毎年実施している「安全文化の教育」内容に反映することにより、長期的に「問いかける姿勢」が定着するよう全所員に繰り返し意識付けを実施。
- 上記取組みを新規制定する社内規定に定め、安全文化醸成活動に関する計画に反映し、P D C Aサイクルとして継続的に実施。
- 作業担当課が、作業について関係者に確認し、承認又は許可を申請するときは、相互にコミュニケーションをとり、お互いに認識不足や解釈の誤りがないことを確認し合える環境となるよう、関係者へ周知。

(4) 審議内容

①保安規定の改定内容の教育

保安規定を改定した際に実施する社員教育は、改定内容だけでなく、改定理由についても教育するとともに、双方向のコミュニケーションを取り入れ、教育する側も含めて、参加者全員が様々な角度から議論できる体制としてもらいたい。

【四国電力回答】

保安規定を改定した場合は、従来の周知のみでなく、改定に携わった者が、改定の趣旨も含めて教育することとしており、教育に際しては、双方向のコミュニケーションによる互いに学び合える風土の育成にも努めてまいりたい。

②「問いかける姿勢」の醸成

「問いかける姿勢」については、社員の意識改革をするとともに、問いかけるべきことを理解しなければ定着しないが、今後どのように取り組んで行くのか。

【四国電力回答】

安全文化を醸成するのは長期的・継続的な取り組みが必要であり、新規制定した社内規定において、安全文化醸成活動の目標として「問いかける姿勢」も含めた10の健全な安全文化の特性を定め、安全文化醸成活動をP D C Aサイクルとして継続的に改善を行いながらしっかりと取り組んでいく。

定型的な取り組みとしては、関係者が出席するスクリーニング会議で10の健全な安全文化の特性を毎週唱和することによる「問いかける姿勢」の定着活動を行うとともに、毎年実施している安全文化の教育のテキストに本事象を追加し、繰り返し教育することで「問いかける姿勢」の重要性を認識させていくが、このような教育や日々の業務においては双方向コミュニケーションを工夫しながら取り入れていくことで、より良い活動となることを目指すとともに、互いに自発的に学び合える風土を育むよう努めていく。

以上のように、今後の取り組みに当たっては、形式的にならないように心掛けながら、継続的に取り組んでいくこととしている。

③四国電力社員による重要作業の実施

原子炉施設の運転に当たっては、協力会社を含め様々な関係者が作業を実施しているが、安全上重要な作業については、全て、四国電力の社員が携わる体制を整えてもらいたい。

【四国電力回答】

安全上重要な作業については、工程管理も含め、全て、四国電力社員が主体となって実施している。

また、本事象の再発防止策として、社員教育の充実・強化を図り、保安規定の理解促進や「問い合わせる姿勢」の定着を図るとともに、チェックシートを作成するなど確実にチェックできる仕組みを構築しており、しっかりと運用していくこととしている。

2 伊方発電所第3号機 原子炉容器上部炉心構造物吊り上げ時の制御棒クラスタ引き上がりについて

(1) 事象概要

伊方発電所3号機の第15回定期検査において、令和2年1月12日、原子炉からの燃料取出の準備作業として、制御棒クラスタと駆動軸の切り離し^{*1}を行い、原子炉容器の上部炉心構造物を取り外すために吊り上げていたところ、制御棒クラスタ1体が意図せず、上部炉心構造物とともに引き上げられていることを水中カメラで確認した。

このため、上部炉心構造物を吊り下ろして、当該制御棒の切り離し操作を実施した後、再度、上部炉心構造物を吊り上げ、当該制御棒クラスタが引き上がっていなことを確認し、1月13日、上部炉心構造物の取り外しを完了した。

なお、本事象による環境への放射能の影響はなかった。また、燃料取出に備えて、あらかじめ原子炉容器内の1次冷却材のほう素濃度を高めていたことから、未臨界は維持されていた。

四国電力は、1月15日、本事象が国への報告事象を定めた実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則第134条に該当すると判断し、原子力規制委員会に報告した。

※1 燃料取替クレーンを使用し、制御棒クラスタ（48体）と駆動軸（48本）を専用の取り外し工具（1個）を用いて切り離しを行う作業。



図2-1 事象概要図

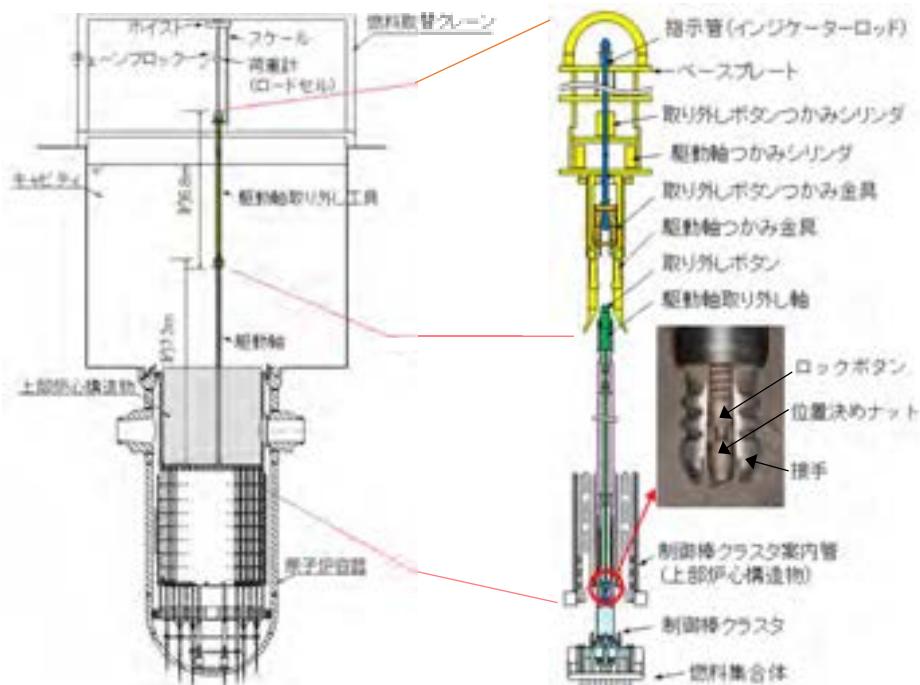


図 2-2 制御棒クラスタ切り離し図

(2) 推定原因

① 制御棒クラスタと駆動軸との切り離しを行った後、再結合を防止するため、駆動軸取り外し軸を下降させた際、ロックボタン廻りに付着した堆積物（スラッジ）が位置決めナットと接頭の間に挟まり、駆動軸取り外し軸が詰まった。

➤ 制御棒クラスタのスピアダ頭部内（駆動軸との結合部内部）で確認された堆積物を調査した結果、当該堆積物は、駆動軸内表面や1次冷却系統内で生成したマグネタイトが剥離し、堆積したものと推定され、他の制御棒でも確認された。なお、当該制御棒クラスタスピアダ頭部内の堆積量は約 20 cc と推定された。

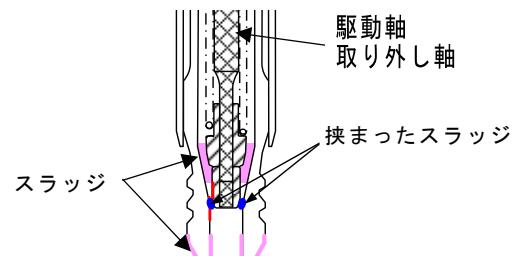
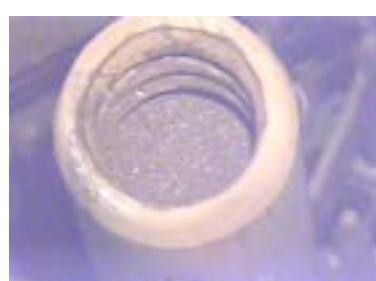


図 2-3 駆動軸取り外し軸の状態



【使用済燃料ピット内での撮影写真】



図 2-4 堆積物調査結果

② 駆動軸取り外し軸を完全に下降させ、接手を押し広げていない①の状態で制御棒クラスタに駆動軸を着座させたことにより、その後の駆動軸取り外し工具の切り離し作業に伴う振動で、駆動軸が制御棒クラスタのスパイダ頭部内へ沈み込み、駆動軸接手外面直線部と制御棒クラスタのスパイダ頭部1山目の接触による不完全な結合状態が形成され、上部炉心構造物を吊り上げた際、制御棒クラスタも引き上がった。

- 当該制御棒クラスタの外観確認において、スパイダ頭部の円環部上面及び内部テーパ面に接触痕（色調の変化）が確認されるとともに、当該駆動軸の外観確認の結果、接手外面及び接手内面に今回生じた可能性のある金属光沢を有する接触痕を確認した。

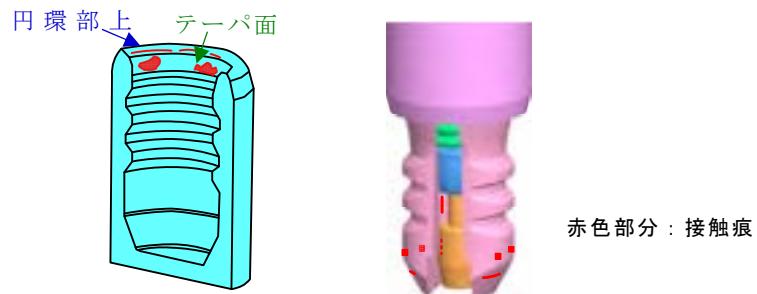


図 2-6 制御棒クラスタスパイダ頭部及び駆動軸の接触痕

- 7 ケースの不完全な結合状態について、幾何学的な整合、外観確認結果との整合及び手順との整合の観点で検討した結果、ケース 1 から 4^{※2}については、全ての観点で整合し、不完全な結合状態が形成される可能性があることを確認した。

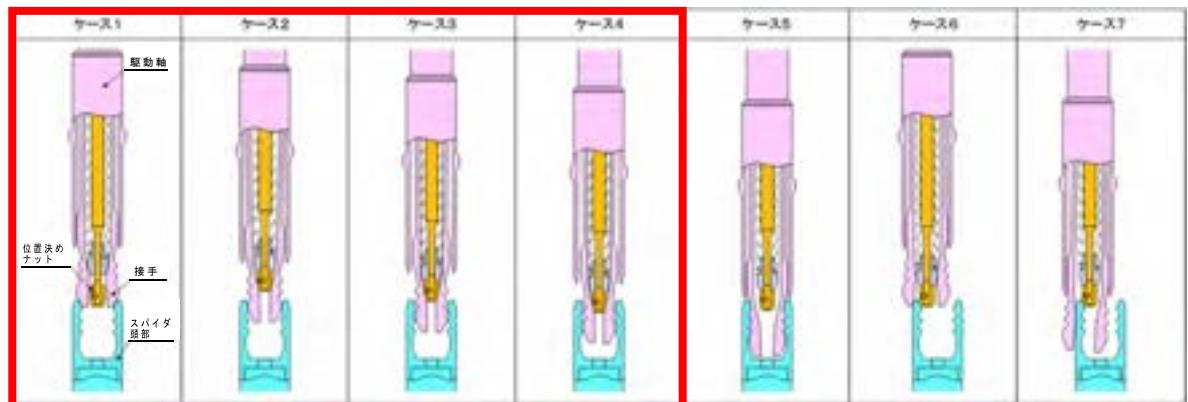


図 2-7 各ケースの概要図

※2 ケース 1 は仮置き状態で、ケース 2～4 はスパイダ頭部にそれぞれ 1～3 山目位置で、不完全に結合している状態。

- 不完全な結合状態として発生する可能性があるケース1から3について、駆動軸と制御棒クラスタを部分的に模擬した供試体を用いて引き上げ荷重に係る実証試験を実施した結果、ケース1では引き上げ荷重は発生せず、また、ケース3では、試験機の計測範囲を超える大きな引き上げ荷重が計測されたため、これらのケースは、意図せず引き上げられたものの、特別な操作を実施することなく自然に切り離された今回の事象とは整合しない結果となった。

ケース2については、制御棒クラスタの水中重量相当の引き上げ荷重が計測されたこと及び接触痕の発生状況から、当該状態で本事象が発生した可能性が高いことを確認した。

なお、ケース4の実証試験については、より引き上げ荷重が小さいと想定されるケース3で代表できるため実施していない。

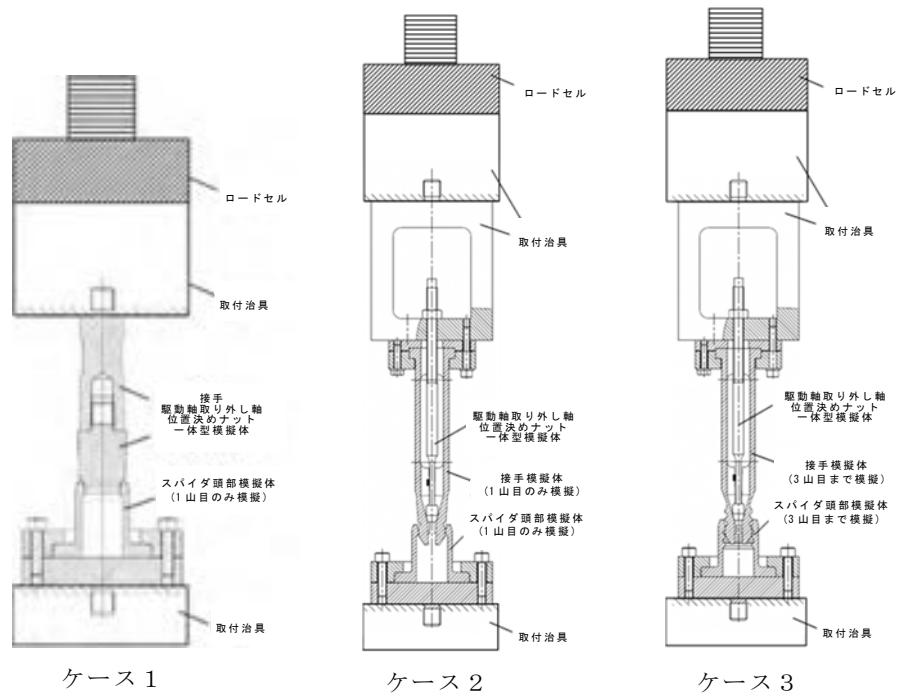


図2-8 部分モデルによる実証試験

- ③ 作業手順書には、駆動軸着座前に駆動軸取り外し軸が正規の位置まで下降したことを確認する手順がなく、駆動軸取り外し軸の詰まりを確認することができなかった。

- 作業手順書は、駆動軸吊り上げ時の重量及び寸法確認により制御棒クラスタと駆動軸が切り離されていることを確実に確認できる手順であったが、切り離し確認以降、不完全な結合状態に至る可能性がある駆動軸取り外し軸が下降した際の、駆動軸内の詰まりを確認できる手順とはなっていなかった。

(3) 再発防止策

- ① 制御棒クラスタと駆動軸の切り離し後、再結合を防止するために実施する駆動軸取り外し軸の下降作業が、堆積物で詰まることなく、確実に完了したことを確かめるため、作業手順書に駆動軸取り外し工具の指示管（インジケーターロッド）のマーキング位置を確認する手順を追加する。
- ② さらに、意図しない制御棒の引き上りをより確実に防止するため、作業手順書に駆動軸着座後に再度、駆動軸の吊り上げ作業による重量確認等を実施する手順を追加する。
- ③ また、本事象の原因となった堆積物はプラント運転に伴い発生することから、定期検査毎に使用済燃料ピット内において、次サイクルで使用する制御棒クラスタのスパイダ頭部内の状況を確認し、堆積物が確認された場合は除去する。

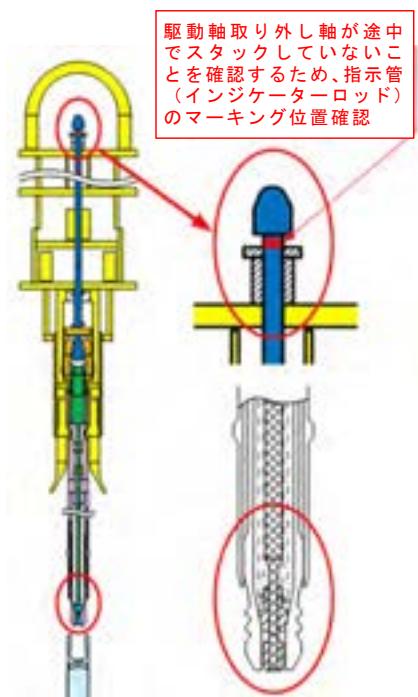


図 2-9 マーキング位置確認

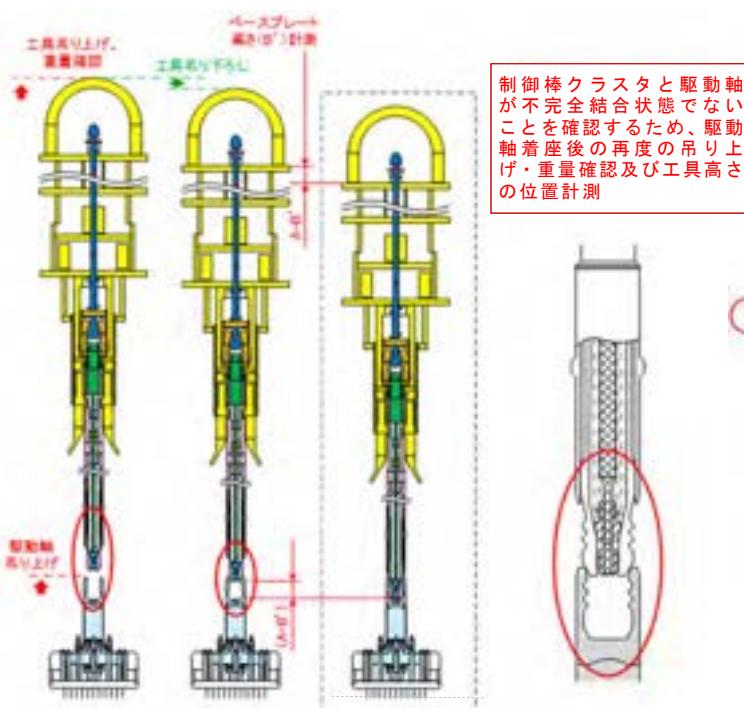


図 2-10 重量確認および位置計測

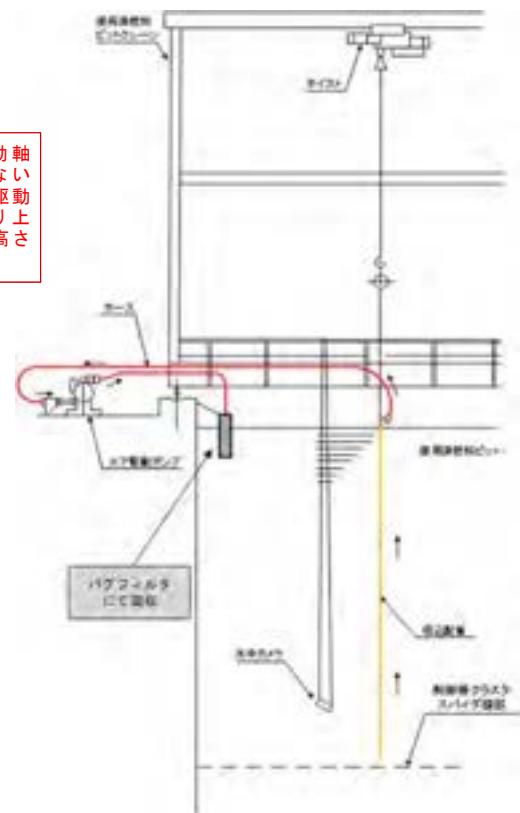


図 2-11 堆積物除去概要

(4) 審議内容

①スラッジ（マグネタイト）発生のメカニズムの解明と発生量低減に係る要望

推定原因どおりかどうかにかかわらず、再発を防止できる対策であると認められるが、PWR（加圧水型原子炉）の安全性向上のためにも、スラッジの発生メカニズム解明や発生量低減について詳細調査を継続的に実施してもらいたい。

【四国電力回答】

本事象の発生メカニズムについては、作業手順、制御棒クラスタのスパイダ頭部へのスラッジの堆積、駆動軸等の観察等の事実から、不完全結合に至る様々なケースを検討し、実証試験や解析等も実施した上で特定している。また、今回講じることとした再発防止策である重量確認と位置確認により、駆動軸と制御棒クラスタの結合・切り離しの状態を確実に確認できるため、スラッジの影響の有無にかかわらず、今後、同様事象を確実に防止することができる。

本事象に影響したと推定しているスラッジについては、一次冷却系統の水質や温度等の環境下において、一般的な化学反応により生成し、安定的に存在することが知られている鉄の酸化物（マグネタイト）であることを分析結果から確認するとともに、制御棒クラスタのスパイダ頭部に堆積する現象についても、駆動軸内表面や一次冷却系統内で生成されたスラッジが堆積するメカニズムであると推定している。伊方発電所では、一次冷却系統への補給水中の鉄濃度を低く管理するなどできる限りスラッジの発生を抑制する措置を講じているが、一次冷却系統設備に使用されている材料に含まれる鉄などが元となり、PWRの運転環境下で生成されるため、発生しないようにすることは困難である。

また、スラッジの発生メカニズムは実機の設備構成を踏まえ、高い確度で理解しているものの、発生量等の詳細な調査は実施していないことから、今後は、定期検査ごとに堆積物を除去するとともに、堆積状況の観察・記録や他プラントの状況について情報収集・交換を行い、長期的なスラッジの低減に向けて、実験等で効果的な低減の方法を研究するなど知見の拡充に取り組みながら、さらなる安全性の向上に努めていく。

また、今後の研究により得られた知見については、学会や専門誌等で公表することについても検討していく。

②スラッジ（マグネタイト）による制御棒動作への影響

発生したマグネタイトの薄片が磁化して駆動軸接手に付着したと推定しているが、一定の大きさがあるマグネタイトの薄片が駆動軸の内部に付着することにより、制御棒駆動軸の動作に大きな影響を及ぼす可能性があるのではないか。

【四国電力回答】

磁性材料を使用する設備は限定的であるため、その設備の構造や機能を踏まえると、マグネタイトがプラントの安全性に悪影響を与える可能性は低く、これまでの運転においても特に制御棒駆動軸の動作に異常が認められたことはない。

また、従来から、「1次冷却系統の浄化流量を可能な限り最大としたクラッド低減」や「プラント起動時等に制御棒動作によるクラッドの排出促進」といった対策を講じているが、さらに、今回の再発防止策として、駆動軸と制御棒クラスタの切り離し作業においては、重量確認及び位置確認を実施することとしており、これにより、磁化したマグネタイトの薄片が駆動軸内部に付着していたとしても確実に切り離しの確認ができることから、スラッジが制御棒駆動軸の動作に悪影響を及ぼす可能性はない。

③設備の腐食による影響

制御棒クラスタのスパイダ頭部にスラッジが溜まっているが、設備の腐食という面から安全性への影響はないのか。

【四国電力回答】

スラッジが堆積する現象は、

- ・駆動軸内表面で生成したマグネタイトが剥離、落下、堆積したもの
- ・一次冷却系統内で生成したマグネタイトが当該部に侵入、堆積したもの

の2つのケースがあると推定しているが、設備の構造上、スパイダ頭部に溜まったスラッジは、駆動軸内表面で生成したものの割合が大きいと考えている。

また、マグネタイトが生成したとしても、1次冷却系統設備の主要材料はステンレス鋼であり、水質管理された環境下においては不働態被膜が形成されるため、健全性に影響を与えるような腐食が生じることはない。

仮に今回スパイダ頭部内に確認されたマグネタイトが、全て駆動軸内表面から析出した鉄により生成したと仮定した場合であっても、鉄の溶出量は微量であり、駆動軸の健全性に影響を与えるものではない。

3 伊方発電所第3号機 燃料集合体点検時の落下信号の発信について

(1) 事象概要

伊方発電所3号機の第15回定期検査において、燃料集合体の点検^{*1}をするため、燃料集合体を使用済燃料ピット内で移動させていたところ、1月20日に燃料集合体の落下を示す信号^{*2}が発信した。

本事象は、使用済燃料ピットクレーンを使用して、燃料集合体を使用済燃料ラック上に設置した点検装置ラックに挿入していたところ、燃料集合体がラック枠に乗り上げたことにより、クレーンの吊り上げ荷重が減少したため、落下信号が発信したものであり、燃料集合体は落下していない。

その後、燃料集合体を使用済燃料ピット内の所定の保管位置に戻すとともに、落下信号の発信に伴い、設計どおり使用済燃料ピットエリアの排気系統が、核分裂生成ガスを除去する系統に切り替わっていることを確認して同信号をリセットした。

なお、本事象によるプラントへの影響及び環境への放射能の影響はなかった。

また、燃料集合体、点検装置ラック及び使用済燃料ラックについては、外観確認及び荷重・応力評価により、それぞれの健全性に問題がないことを確認した。

※1 使用済燃料ピットクレーンにより、約11m下に設置した点検装置ラックに燃料集合体を挿入し、ファイバースコープで燃料集合体内部（燃料棒の支持部と燃料棒の間の隙間等の有無）を点検。なお、点検は、燃料集合体をA面、B面、C面、D面の順に回転させて点検装置ラックに挿入し直すことにより、全4面で実施。本事象は、D面を観察しようとした際に発生したもの。

〔国内で過去に発生した燃料集合体からの放射性物質の漏えい事象を踏まえ、漏えいが発生したものと同設計の燃料集合体を対象とした点検であり、第15回定期検査では5体の燃料集合体を対象に点検を行う予定であった。〕

※2 使用済燃料取扱作業時における万一の燃料集合体の落下に備え、使用済燃料ピットクレーンの吊荷荷重が設定値（300kg）以下になった場合に燃料集合体が落下したと判断して、アニュラス排気ファンを起動し、使用済燃料ピットエリアの排気を通常の排気系統から核分裂生成ガスを除去する系統に切り替えるための信号。

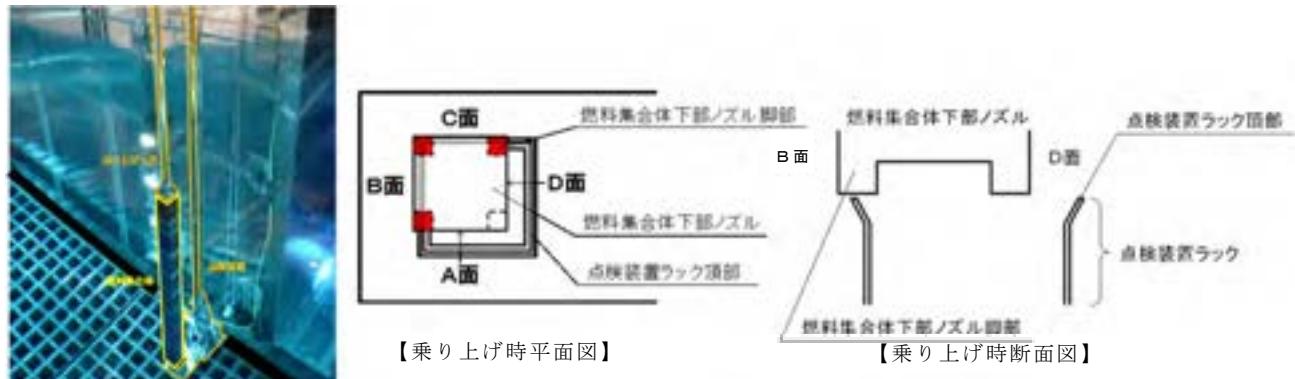


図3-1 事象発生概要

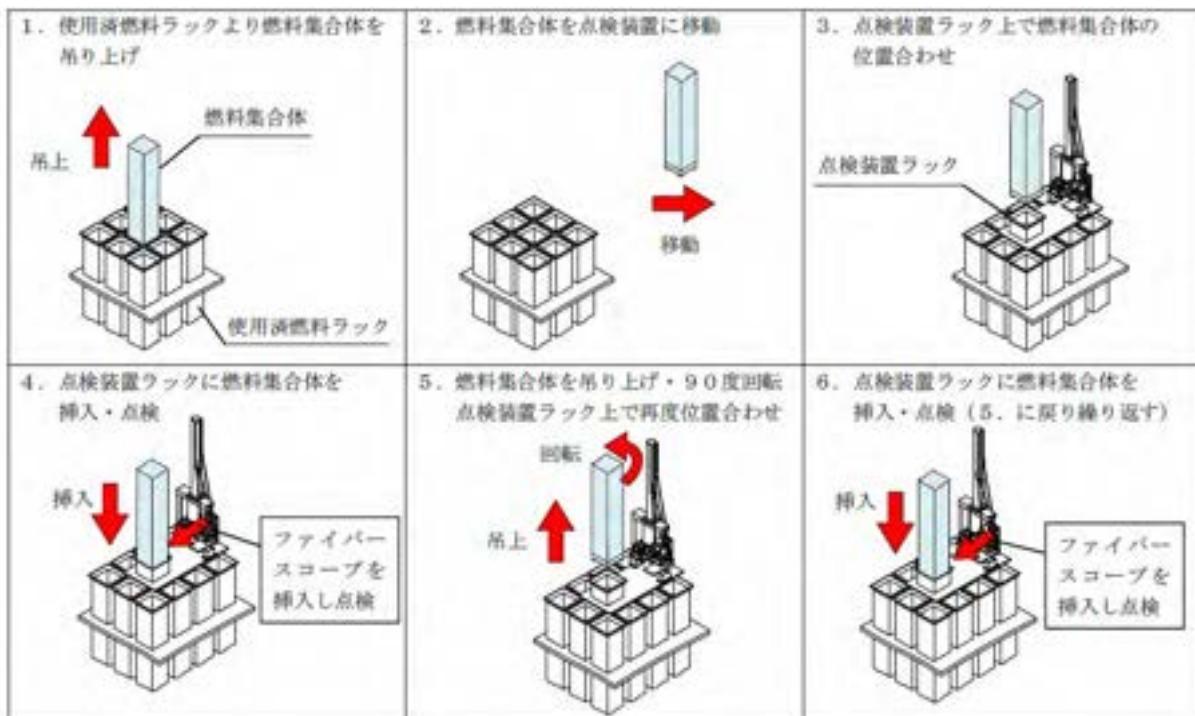


図 3-2 燃料集合体点検作業要領

(2) 推定原因

① 点検装置ラック開口寸法 (248.5mm) が使用済燃料ラックの開口寸法 (259mm 及び 272mm) よりも小さいため、使用済燃料ラックへの燃料集合体挿入作業に比べて難度が高い作業となっていた。

➢ 作業員への聞き取り調査の結果、使用済燃料取扱工具操作員及び使用済燃料ピットクレーン操作員は、点検装置ラックの開口寸法が使用済燃料ラックの開口寸法よりも小さいことから、燃料集合体と点検装置ラックのセンタリング確認及び挿入状況の確認が難しいと認識していた。

➢ 使用済燃料ラックの内寸法は、燃料集合体の外寸法 (214 mm) に対して片側 7 mm の隙間を有する値 (228 mm) に設定しているが、点検装置ラックの内寸法については、点検中の燃料集合体の揺れ、回転等を防止するため、片側 2 mm の隙間に制限した値 (218 mm) としており、開口寸法も点検装置ラックの方が小さく設計されている。

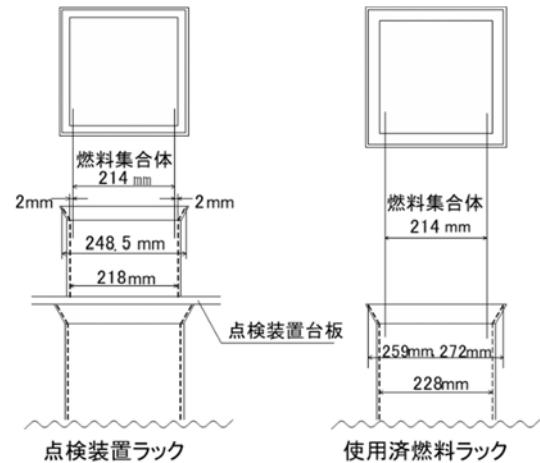


図 3-3 点検装置ラックと使用済燃料ラックの寸法比較

② 使用済燃料ピット内に設置されている常設の水中照明によって点検装置ラックにできる影により、点検装置ラック開口部の視認性が低下しており、点検装置ラックへの挿入状況の確認作業は使用済燃料ラックへの燃料集合体挿入作業に比べて難しい状況となっていた。

➤ 作業員への聞き取り調査の結果、使用済燃料取扱工具操作員及び使用済燃料ピットクレーン操作員は、使用済燃料ピット内に設置されている常設の水中照明が点検装置ラックに当たって影ができ、使用済燃料ラックに比べて点検装置ラック開口部が見え難かったことから、燃料集合体の下部ノズルと点検装置ラックのセンタリング確認及び挿入状況の確認が難しいと認識していた。

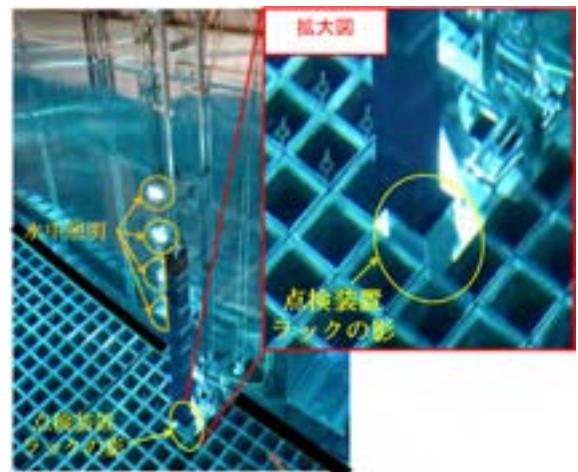


図 3-4 点検装置ラックの視認性



図 3-5 作業員による点検装置ラックの確認状況

③ 燃料集合体のセンタリング及び点検装置ラックへの挿入状況の確認作業は難度の高い作業であったが、これらの確認は操作員のみで実施しており、作業責任者による確認が行われていなかった。

➤ 点検作業全体を通じて、燃料集合体のセンタリング及び点検装置ラックへの挿入状況の最終的な確認は、燃料集合体及びラックの上方から行う必要があることから、クレーン上で操作している操作員のみが実施しており、使用済燃料ピットの脇にて作業全体を監視している元請会社、一次協力会社及び二次協力会社の作業責任者は、直接確認できぬ状況であった。

④ 本事象発生の直前に燃料集合体と点検装置ラック内面が接触したことにより、荷重急変減少警報^{※3}が発信した際、続く作業を確実に進めるため、一度作業の手を止め、四国電力社員及び元請会社等の作業責任者を含めた作業員全員で次の対応についての認識を共有し合う等の通常の燃料取扱作業時とは異なる対応が必要であったが、実施できていなかった。

➤ 作業要領書には、燃料集合体取扱作業中に荷重急変減少警報が発信した場合の措置の記載はなかった。

➤ 荷重急変減少警報自体は、通常の使用済燃料ラックへの燃料挿入時にも発信しうるものであることから、四国電力社員並びに元請会社、一次協力会社及び二次協力会社の作業責任者が注意喚起をする等の積極的な対応をとらなかつた。

※3 燃料集合体の側面に設置されている支持格子の破損を防止するため、燃料集合体と使用済燃料ラックとの接触などにより、クレーンの吊り上げ荷重が-65 kg以上変動すると燃料集合体の下降を自動停止するインターロックが設けられている。本警報は、当該インターロックが作動したことを作業員に認知させる目的で設置されており、接触が燃料集合体の健全性に影響するものでないことを確認するとともに、接触の原因を確認して必要な措置を講じることとしている。

⑤ 点検装置ラックの開口寸法及び視認性の問題により、点検装置ラックへの燃料集合体の挿入は使用済燃料ラックへの挿入に比べて難度が高い状況となっていたが、四国電力社員等の関係者はその状況に気付くことができず、操作員への問い合わせや、点検装置改善の検討、要領書への荷重急変減少警報発信時の具体的な操作手順の追記等の対応をしてこなかつた。

➤ プラントメーカが設計した装置であること、先行プラントで使用実績があったこと及び過去の定期検査等において問題なく操作できていたことなどから、難度が高い操作であることに気付かなかつた。

(3) 再発防止策

- ① 点検装置ラック開口寸法を拡大して、使用済燃料ピットと同等の開口寸法とする。
- ② 本点検作業時には、使用済燃料ピット内の常設の水中照明に加え、燃料集合体のセンタリングと点検装置ラックへの挿入状況を作業員が確認するための水中テレビカメラ及びディスプレイ、作業中の視認性向上を図るために点検装置ラックを照らす水中照明をそれぞれ2台設置する。



図3-6 点検装置ラックの開口寸法拡大

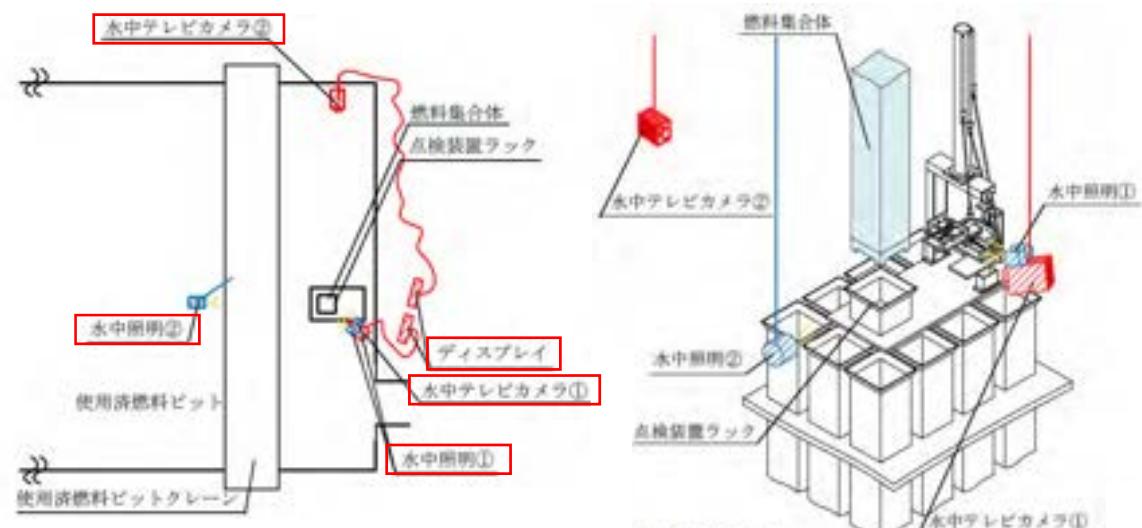


図3-7 点検装置ラックの視認性向上のため点検作業時に設置する設備

- ③ 燃料集合体のセンタリング及び点検装置ラックへの挿入状況は、操作員に加えて、元請会社の作業責任者が水中テレビカメラの映像によるダブルチェックを行うこととし、当該手順を作業要領書に追記する。
- ④ 作業要領書に荷重急変減少警報発信時の具体的な操作手順及び点検装置ラックに挿入する際の注意事項を追記し、作業開始前の読み合わせにおいて作業員全体に周知する。
- ⑤ 本事象と同様に難度が高く、燃料集合体への接触や干渉等の可能性がある作業について、作業員への聞き取り等を行い、作業要領書の作業手順が適切であることや、記載漏れがないこと等を確認した。
また、今後、作業の難度を考慮し、作業員への聞き取り等に基づき適切な作業手順・作業環境にすることが作業要領書に反映できる体制とする。

(4) 審議内容

①ラックに乗り上げた燃料集合体の健全性評価

燃料集合体がラックに乗り上げた際の荷重が、燃料棒全 264 本に均一に加わったと仮定して健全性を評価しているが、荷重が均一に加わる根拠を示すとともに、必要に応じて、燃料棒のたわみや照射による脆化等も考慮して、健全性を総合的に評価してもらいたい。

【四国電力回答】

今回の事象では、燃料集合体の荷重がある程度クレーンに残った状態で、鉛直にラックに乗り上げたことから、264 本の燃料棒に概ね均等に荷重がかかったと考えている。ある程度の不均等な荷重が作用した可能性も否定はできないが、均等な荷重を想定した場合の発生応力は約 3 MPa であり、未照射燃料の耐力約 600MPa に対して十分に小さいことから、燃料集合体の健全性に問題はない。

なお、燃料集合体の強度に関する部材（ステンレス鋼、ジルカロイ）は、照射により耐力等の材料強度は増加する方向であることから、照射済燃料に対する荷重評価結果（約 1,100 kg）を未照射条件で健全性が確認された荷重（約 4,100 kg）と比較することは、より厳しい評価となることに加え、ラック乗り上げ前後の当該燃料集合体の曲がり量に有意な変化がなかったことも確認している。

②技術的な改善要望

再発防止策として講じる点検装置ラック開口寸法の拡大等は、極めて原始的な対策であり、燃料集合体の移動操作の技術的改善にも取り組んでもらいたい。

【四国電力回答】

技術的に高度化する対策としては、使用済燃料ピットクレーンの位置決めの自動化等が考えられるが、クレーンに吊り下げられた工具や燃料集合体には、僅かな揺れや振動等が発生するため、目視で挿入状況を確認しながら、手動によりセンタリングの微調整を行う必要があり、全工程を自動化することは困難である。

このため、燃料集合体のラック乗り上げ防止の観点から、点検装置ラック開口寸法の拡大と水中照明の設置により作業環境を改善するとともに、水中カメラの設置により、ダブルチェック体制を構築することとしている。

これらは、作業内容から判断して、最も有効な対策である。

4 伊方発電所における所内電源の一時的喪失について

(1) 事象概要

1月25日、伊方発電所1、2号機開閉所において、187kV母線（甲・乙）連絡遮断器^{※1}を動作させる保護リレー^{※2}の取替え工事完了後の当該保護リレーの健全性確認試験を行うことから、当該試験に必要な量の電流を流すため、3号機を常用の500kV送電線から、3号機の予備電源である1、2号機常用の187kV送電線からの受電に切替えるとともに、通常は甲・乙の別母線から受電している1、2号機を、全て乙母線からの受電に切替えたところ、伊方南幹線1号線乙母線断路器^{※3}の故障により、187kV送電線4回線全ての遮断器が開放して受電が停止した。

※1 2つの母線（甲母線・乙母線）を選択・区分するために設けられている遮断器。なお、遮断器とは系統内で電気事故が発生した場合に、電流を遮断する装置。

※2 系統内で発生した電気事故を検出し、当該事故が発生した箇所を切り離す信号を発信する装置。

※3 回路を選択・区分するための装置。

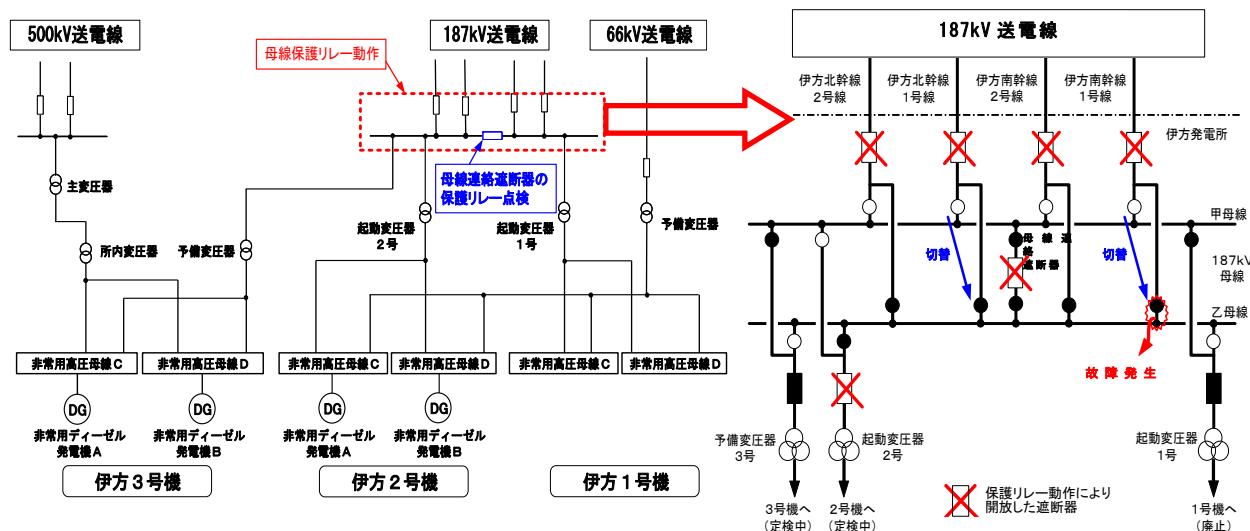


図4-1 事象発生時の所内電源系統図

このため、直ちに、1、2号機は予備系統である66kV送電線、3号機は起動した非常用ディーゼル発電機(DG)からの受電に自動で切り替わった。その後3号機については、試験のために待機状態としていた常用の500kV送電線からの受電に手動で切替え、1～3号機ともに外部からの受電に復旧した。1月27日には、1、2号機常用の187kV送電線4回線のうち故障した断路器を設置している1回線を切り離し、187kV送電線3回線からの受電に回復した。

なお、常用の外部電源が喪失した場合は、自動で予備の外部電源に切替わり、予備の外部電源が使用できない場合には、非常用ディーゼル発電機から自動で受電するよう設計しており、今回は設計どおりに自動で切り替わった。

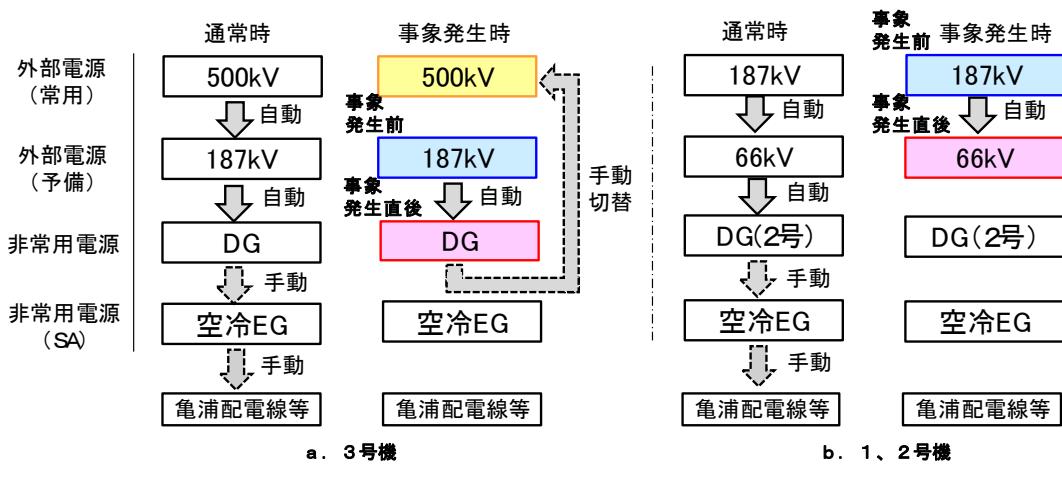


図 4-2 事象発生時の所内電源系統状況変化

また、予備電源又は非常用ディーゼル発電機に切り替わった後、使用済燃料ピットの冷却に必要な冷却ポンプ等の補機が設計どおり自動起動していることが確認できたため、現場で使用済燃料ピットポンプを手動で起動し、使用済燃料ピットの冷却を再開した。

冷却再開までの対応は、あらかじめ定められた手順どおりであり、その間は、使用済燃料ピットの温度及び水位を中心制御室で連続監視し、有意な変化がないことを確認していた。

事象発生に伴う使用済燃料ピット水温の上昇は、最大 1.1°C（水温 33.0°C → 34.1°C）であり、通常運転における温度変化の範囲であったこと、また保安規定に定める使用済燃料ピットの温度に係る制限値 65°Cに対して十分な余裕があったことから、使用済燃料の冷却状態に問題はなかった。

なお、本事象による環境への放射能の影響はなかった。

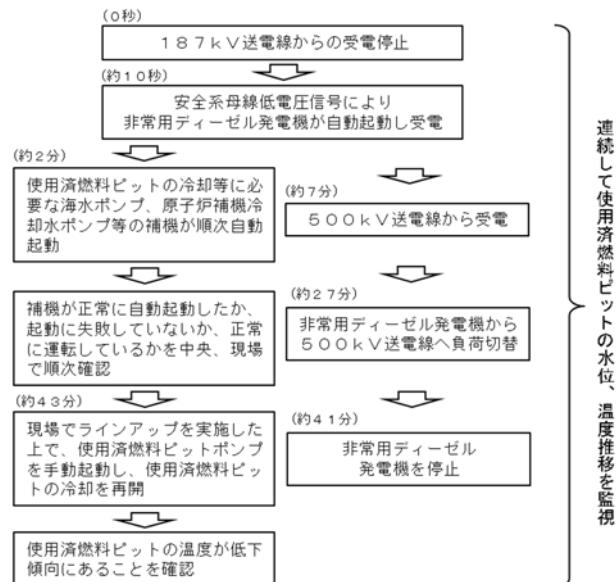


図 4-3 3号機の使用済燃料ピット冷却再開までの対応

号機 時系列	2号機	3号機	
		Aピット	Bピット
事象発生前 (15時時点)	16.7	33.0	32.3
事象収束後 (19時時点)	16.9	33.8	33.2
上記期間の最高値	16.9	34.1	33.3

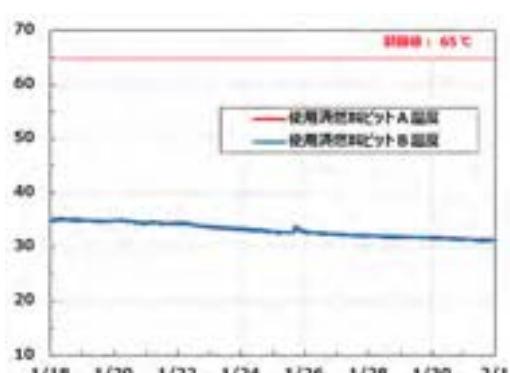
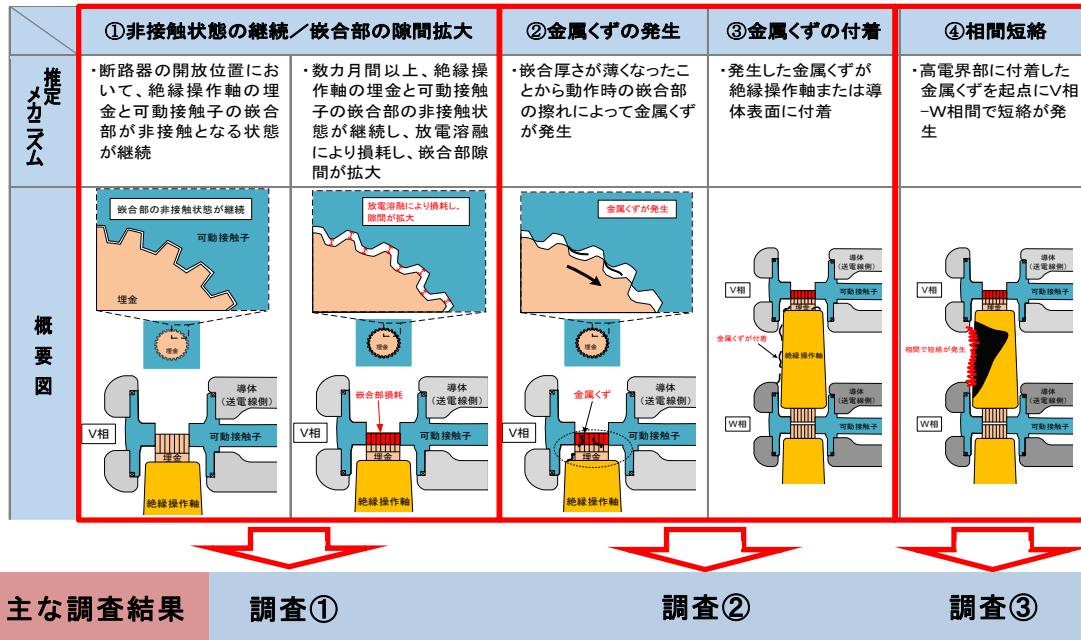


図 4-4 使用済燃料ピットの水温記録
(右のグラフは3号機使用済燃料ピット)

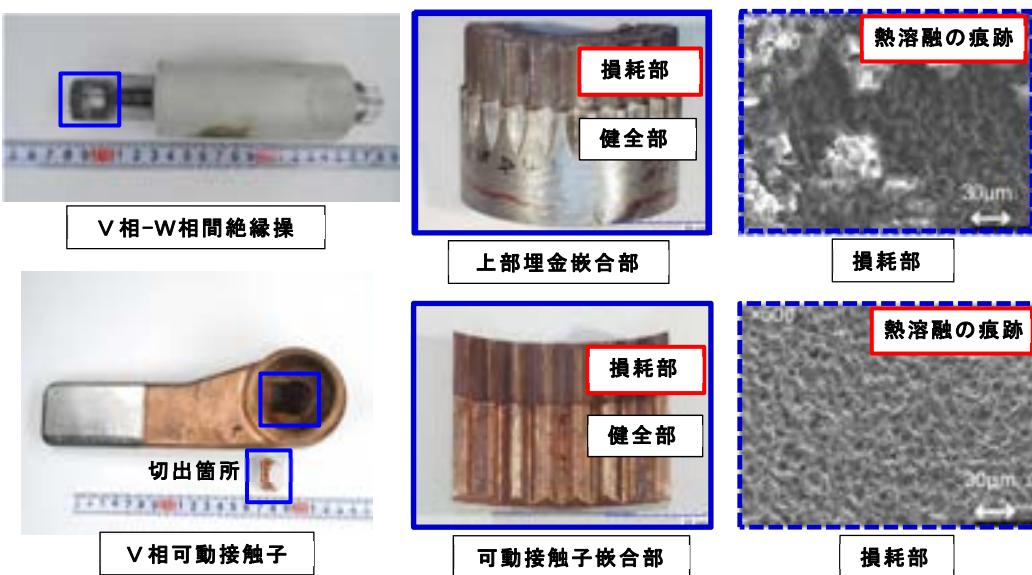
(2) 推定原因

- ① 構造上生じる断路器内部の絶縁操作軸埋金と可動接触子の嵌合部の隙間が放電溶融で拡大し、その後、動作時の擦れで発生した金属くずが高電界部に付着することにより短絡が発生した。
- 内部確認等の調査結果から以下のメカニズムにより短絡に至ったものと推定した。



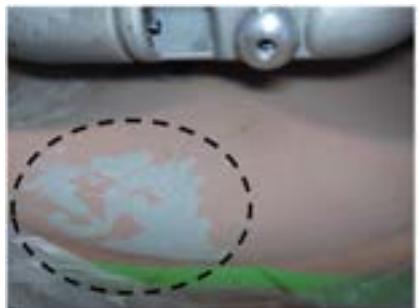
【調査①】外観確認及び電子顕微鏡による表面観察結果

V相-W相間絶縁操作軸上部埋金及びV相可動接触子の嵌合部の外観を確認をした結果、均一に損耗しており、健全部より小さくなっていた。また、電子顕微鏡で当該損耗部の表面を観察したところ、熱影響による金属溶融の痕跡を確認した。その後、構造上、当該嵌合部では非接触状態が発生することが判明し、非接触状態が継続することで放電が発生することも実証試験で確認できた。



【調査②】断路器の内部調査結果

断路器ユニットの内部調査によって確認された堆積物から、放電に伴って発生するフッ素化合物（断路器内に充填している六フッ化硫黄ガスの分解により発生）とともに、箔状の金属（最大で約4mm）が採取された。当該金属を成分分析した結果、絶縁操作軸の上部埋金（アルミ合金）と可動接触子（銅）の金属成分を検出した。また、当該金属成分については、短絡が発生したV相－W相間絶縁操作軸の表面においても顕著に検出された。



フッ素化合物等の堆積物



堆積物から採取された金属

【調査③】絶縁操作軸表面の外観結果

V相－W相間絶縁操作軸表面の外観確認の結果、相間短絡により発生したと推定される炭化痕跡（放電痕跡）を確認した。



炭化痕跡



放電痕跡

- ② 今回の187kV母線連絡遮断器の保護リレーの試験においては、必要な電力負荷を確保するため、3号機の電源を常用の500kV送電線から1、2号機常用の187kV送電線に切り替えていたことから、187kV送電線からの受電が停止したことにより、1～3号機の所内電源が数秒間同時停電した。

試験計画にあたってはリスクを緩和するための必要な措置を講じていたが、例えば仮設備（模擬負荷）を使用する等により、3号機所内負荷を接続しない試験系統構成にしていれば、3号機所内電源も同時に停電することはなかった。

(3) 再発防止策

- ① 故障した断路器の絶縁操作軸、可動接触子等の損耗した部品については、新品に交換した。
- ② 当該断路器と同一構造及び使用状態が同じ断路器計13台について、嵌合部の外観及びフッ素化合物の有無を確認する内部開放点検を行ったところ、2台で絶縁操作軸埋金嵌合部に放電による損耗を確認したことから、絶縁操作軸等の部品を新品に交換した。
- ③ 同一構造及び使用状態が同じ断路器（計14台）について、嵌合部の放電の有無を確認する部分放電診断の常時計測・常時記録及び金属くず等による振動を確認する内部異物診断の定期的な実施により状態監視を強化するとともに、恒常的な対策についても検討していく。
- ④ 187kV母線連絡遮断器の保護リレーの試験再開にあたっては、模擬負荷を使用することにより、3号機に接続しない試験系統を構成するとともに、今後実施する保護リレーの試験においては、リスク低減に係る取り組みを実施する。



図4-5 状態監視強化対策

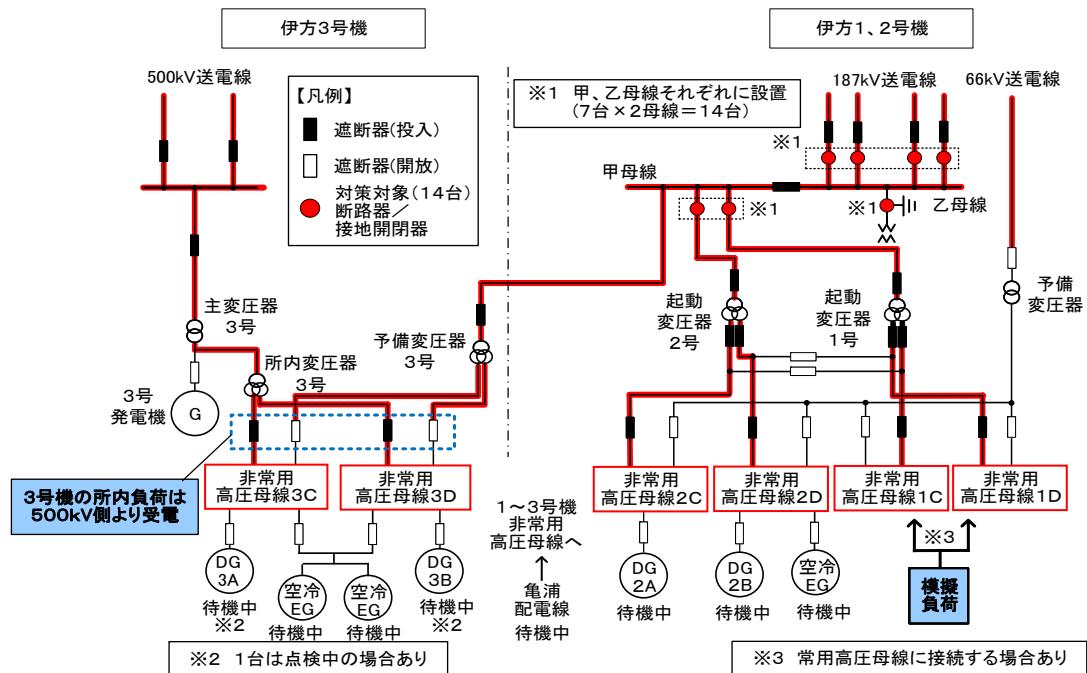


図4-6 試験再開時の試験系統

(4) 審議内容

①故障した機器と同一構造の断路器に対する対応

断路器の嵌合部の損耗等による短絡はめったに起こらない事象だと考えられるが、故障した機器と同一構造の断路器を調査した結果、更に2台の断路器において、短絡につながる放電の影響（フッ素化合物及び嵌合部の損耗）が確認されたことから、断路器の構造的に、本事象と同様の事象が起こり得る可能性もあるのか。

【四国電力回答】

故障した機器と同一構造の断路器について、メーカに故障実績等を確認したところ、本事象と同様の短絡が起こった事例はないとのことであったが、故障した断路器の内部調査で採取された金属の成分分析や電子顕微鏡による嵌合部の表面観察等といった原因調査及びその調査結果を踏まえた実証試験（非接触状態の確認、放電試験）の結果、構造上、ごく稀に生じる嵌合部の隙間が放電溶融で拡大し、その後、動作時の擦れで発生した金属くずが高電界部に付着することにより、短絡が発生したと推定している。

このため、これまでのメーカ推奨に基づく定期的な開閉試験や絶縁抵抗測定等の点検に加え、今後は、同一構造の断路器については、同様のメカニズムによる故障が起こり得るという前提で、短絡につながる部分放電を検知するため、新たに部分放電診断を常時計測・常時記録するとともに、金属くず等の振動を確認するため、定期的に内部異物診断を実施することにより、異常の兆候の早期検知のため監視強化を行う。

また、当該断路器については、導電部、絶縁部、接触部等は優れた絶縁性能を有する六フッ化硫黄ガスを封入したユニット内に全て密閉し、外部雰囲気の影響を遮断していることから、長期間劣化せず、耐環境性に優れた信頼性の高い装置となっているものの、今回の原因調査で推定したメカニズムにより、故障が起こり得ることが判明したことから、今後、メーカとも協議しながら、恒常的な対策についても検討することとしている。

②試験系統構成の見直し

本事象においては、試験中の断路器の故障が原因で一時的に所内電源が喪失したが、今後は、機器の故障があっても、一時的にしろ1～3号機すべての電源が喪失しないように、試験方法や点検体制を見直してほしい。

【四国電力回答】

電源の確保は発電所の安全上非常に重要なことから多重化・多様化しており、66kV、187kV及び500kVの送電線並びに亀浦変電所からの配電線といった外部電源に加え、非常用ディーゼル発電機や空冷式非常用発電装置などの非常用電源設備を確保している。

今回の事象では、設計どおりに1、2号機は予備系統である66kV送電線、また3号機は起動した非常用ディーゼル発電機からの受電に自動で切り替わったが、一時的とは言え、1～3号機が同時に停電してしまったことから、今後、同試験を実施する際には、模擬負荷を使用することにより、3号機に接続しない試験系統にすることとする。また、最適な試験系統構成や負荷の状況は、プラント状態に大きく依存することから、過去の実績にとらわれることなく、試験の都度、原子力安全に係るリスクについて、確率論的リスク評価等のリスク情報を活用するなど、より幅広い観点から特定、分析評価を行い、リスク低減に係る取組みを実施していく。

5 伊方発電所 連続発生したトラブルの総括評価について

(1) 調査内容

四国電力では、4事象個々の原因（直接原因）等を踏まえた視点に加え、4事象の背後に存在する要因（以下「背後要因^{※1}」という。）や社外からの意見^{※2}を踏まえた視点、更には、3号機一基体制となった伊方発電所の環境変化などの視点から検討した結果、次の10件の調査項目を網羅的に設定した。

※1 直接原因の深堀りを行うため、関係者へのインタビュー等を基に、発生したトラブルを様々な角度から分析し再発防止策を提案する手法等を参考にして、想定される背後要因5つを抽出

- (H-1) 確認・承認プロセスの問題：作業実施時期・要領のチェック不足
- (H-2) 改善プロセスの問題：作業の振り返り不足、改善業務プロセス不十分 等
- (H-3) 安全文化の問題：「問い合わせる姿勢」の意識低下
- (H-4) 人的リソース不足：余裕のない業務の継続、重要度に応じたリソース配分
- (H-5) リスク確認不足：設備導入時の検討の問題

※2 社外からの意見を基に、調査が必要な5項目を設定

- (S-1) 背景、(S-2)組織、(S-3)気の緩み、(S-4)技術力、(S-5)保守管理

①	4事象の対策の水平展開に係る調査	【直接原因】
	4事象の対策について、他の設備・作業に幅広く水平展開すべき事項を調査。	
②	定期検査プロセスの妥当性調査	【直接原因、背後要因等 (H-1, H-2)】
	4事象の発生に鑑み、定期検査プロセスについて、発生原因との関連等を調査。	
③	包括的な改善活動の仕組みの調査	【背後要因等 (H-1, H-2, H-4)】
	改善事項を広く吸い上げ対応する包括的な改善活動の仕組みの整備状況を調査。	
④	安全文化・モチベーションの調査	【背後要因等 (H-3, H-4, S-1, S-3)】
	伊方発電所の環境変化等が安全文化やモチベーションに与える影響を調査。	
⑤	技術力の調査	【背後要因等 (H-4, S-1, S-4)】
	3号機一基体制等伊方発電所の環境変化が作業員の技術力に及ぼす影響を調査。	
⑥	組織体制の在り方の調査	【背後要因等 (H-4, S-1, S-2)】
	大規模工事や3号機一基体制等を踏まえ、要員数、組織・体制の状況を調査。	
⑦	リスクマネジメント活動の調査	【背後要因等 (H-1, H-2, H-4, H-5)】
	作業単位における取組みも含め、リスクマネジメント活動の取組状況を調査。	
⑧	保守管理プロセスの妥当性調査	【背後要因等 (H-2, S-5)】
	保守管理プロセスについて、発生原因との関連及び改善すべき事項を調査。	
⑨	職場環境の調査	【背後要因等 (H-2)】
	安全・安定運転に必要な良好な職場環境の維持・向上に係る施策実施状況を調査。	
⑩	外部組織等によるレビューの調査	【背後要因等 (H-4)】
	保安活動に係る外部組織等によるレビューや改善活動の状況を調査。	

(2) 調査結果

① 4事象の対策の水平展開に係る調査

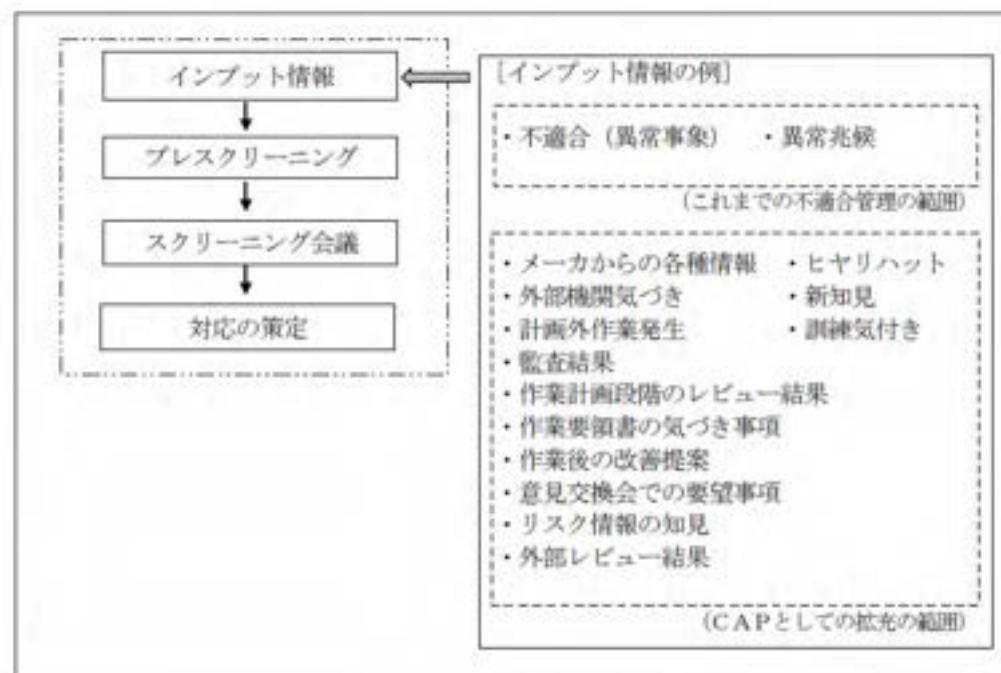
- ・4事象の対策は、各事象固有の改善策であるが、事象2の「見直し確認ステップの追加」、事象3の「作業環境の改善」及び事象4の「計画段階でのリスク低減」については、同様の観点から幅広く他の作業に水平展開することにより、不具合発生リスクを低減できる可能性がある。

② 定期検査プロセスの妥当性調査

- ・前回の第14回定期検査において事象1が発生し、今回の第15回定期検査においても、同様の作業計画をしていたことから、作業計画の妥当性確認が不十分であったと考えられる。
- ・ヒューマンファクターに起因する事象3が発生するとともに、想定されるリスクの特定、分析評価等を行い、必要な緩和措置を講じていたにも関わらず事象4が発生したことから、定期検査工程全般のみならず、個々の点検作業についてのリスク評価も実施するなど、過去の実績等にとらわれることなく、より幅広い観点からリスクを特定、分析する必要があったと考えられる。

③ 包括的な改善活動の仕組みの調査

- ・従来、不適合や異常兆候を示す事象を基に不適合管理を行い、是正処置を講じてきたが、昨年8月からは、包括的な改善活動の仕組み(CAP)の試行を開始し、より幅広く収集した情報について対応しているところであり、この仕組みを適正に運用することで、改善活動の基盤が構築できることを確認した。



包括的な改善活動の仕組み

④安全文化・モチベーションの調査

- ・「(一社)原子力安全推進協会による意識調査結果」やトラブル発生後に実施した「社長と発電所員の意見交換」及び「原子力本部長と関係会社等との意見交換」において、原子力に対する将来への不安や業務量の多さの指摘などもあったが、モチベーションの低下等は見られず、安全意識も高く維持されていることが確認できた。

⑤技術力の調査

- ・4事象については、技術力不足が要因で発生したものではなく、原子力保安研修所における教育訓練及び伊方発電所における現場技術力の習得・維持など、ベテラン社員や作業員からの技術伝承等の取組みにより、従来と同じレベルの技術力を保有していると判断できた。
- ・一方、3号機一基体制となったことや3号機建設中から作業に携わってきた社員や作業員が定年退職する時期を迎えており、ベテラン社員や作業員の経験すべてを確実に伝承することは困難であることも考えられる。

⑥組織体制の在り方の調査

- ・原子力本部全体の要員数は、ここ数年減少傾向にあるが、組織・体制の見直しや繁忙期の応援体制の構築などにより、働き方改革も推進しながら、社員の勤務時間を適切に管理した上で発電所の運営体制を整えており、組織体制に問題はないと考えられる。

⑦リスクマネジメント活動の調査

- ・福島第一原子力発電所事故の教訓を踏まえ、平成26年からの地震や津波などの確率論的安全評価を活用したリスク評価の実施を皮切りに、リスク情報を活用した意思決定を発電所の業務プロセスのなかに取り組み、工事計画、予防処置としての改善策の検討等にリスク情報を参考する実績を積み重ねており、リスクマネジメントという考え方が浸透しつつあると評価しているが、過去のトラブルの発生状況を鑑みれば、危険予知に対する感受性を高め、常にアンテナを張り巡らせておくことが重要である。

⑧保守管理プロセスの妥当性調査

- ・4事象について、保守管理プロセスに起因するものではないことを確認した。
- ・保守管理プロセスのベースとなっている品質マネジメントシステム(QMS)文書は、遅滞なく整備されており、保守管理の有効性評価において抽出された事項は、保守管理プロセスというPDCAサイクルを回して改善していく仕組みが規定されていることが確認できた。

⑨職場環境の調査

- ・従来から実施している種々の活動※3により職場環境改善に一定の成果を上

げていることを確認したが、今回のトラブル発生を踏まえて実施した「社長と発電所員の意見交換」や「原子力本部長と関係会社等との意見交換」では、工事報告資料の合理化や発電所入構時の手続きの迅速化等、これまでに社内では意識していなかった改善要望や、以前から関係会社からは要望を受けていたが十分に改善できていなかった課題が認められた。

- ※3
 - ・伊方発電所フォーラム：発電所幹部層と発電所員による意見交換
 - ・定検反省会：定検終了後、四国電力と元請会社関係者で実施
 - ・安全推進委員会：月1回、災害防止協議会メンバー(関係会社含む)が意見交換
 - ・伊方ネット21：関係者が一丸となってボランティア活動、機関紙発行等を実施

⑩外部組織等によるレビューの調査

- ・社外組織である、世界原子力発電事業者協会、(一社)原子力安全推進協会及び他電力、社内組織の四国電力本店などからのレビューを受けており、当該レビューにおいて抽出された改善要望事項については、対応方針、対応箇所及び完了目標時期を定めたアクションプランを策定し、社内ルールの見直し等の改善活動が実施されていることを確認した。

(3) 改善策

四国電力は、10件の項目について調査した結果、次のとおり改善策を講じることとしている。

	調査項目		改善策	
①	4事象の対策の水平展開に係る調査	→	新たな対策を実施	作業要領書の充実
②	定期検査プロセスの妥当性調査	→		作業計画段階におけるレビュー強化
③	包括的な改善活動の仕組みの調査	→		包括的な改善活動の推進
④	安全文化・モチベーションの調査	→		安全意識共有の充実
⑤	技術力の調査	→		技術力・現場力の維持・向上
⑥	組織体制の在り方の調査		従来の対策を継続	
⑦	リスクマネジメント活動の調査			
⑧	保守管理プロセスの妥当性調査	→		従来進めてきた保安活動の一層の推進
⑨	職場環境の調査			
⑩	外部組織等によるレビューの調査			

①作業要領書の充実

3事象において実施した作業要領書に係る対策と同様の観点（「見直し確認ステップの追加」、「作業環境の改善」及び「計画段階でのリスク低減」）で、3号機第15回定期検査で実施する作業の作業要領書全数について確認し、必要箇所の充実等を図った。

全要領書（1,158件）について、個々に記載内容の確認を実施した結果、144件の要領書（426箇所）を抽出し、記載の充実等を実施した。

また、今回の確認以降、新たに制定する作業要領書についても、同様に記載内容の充実が図られるよう、要領書作成要領を定めた社内規定に今回の確認の観点を追加した。

②作業計画段階におけるレビューの強化（新チームの設置）

作業計画段階において、作業担当部門が策定した作業計画を独立した立場からレビューし、妥当性を確認するとともに、継続的な改善を図ることを目的として、次の業務を実施する新チームを設置する。

➤ 作業要領のレビュー

作業担当課が制定した作業要領書について、「品質確保・安全確保に向けた取組内容」や「これまでのヒューマンエラー対策の確実な反映」などについて確認し、作業要領の充実・改善を図る。

➤ 作業実施時期のレビュー

作業担当課が策定した点検工程について、「運転上の制限に係る作業時期」や「安全上重要な機器の作業時期」など作業計画の妥当性について確認し、必要に応じて改善を図る。

③包括的な改善活動の推進

「作業計画段階のレビュー結果」、「作業要領書の気付き事項」、「意見交換会での要望事項」、「他部門や外部機関のレビュー結果」及び「新技術に対するメークからの各種情報」のほか、作業後の振り返りでの改善提案等を漏らすことなく反映するため、C A Pのインプット情報とすることにより、C A Pの充実を図るとともに、これを確実に対応することで、伊方発電所としての包括的な改善活動を強力に推進していく。

④安全意識共有の充実

伊方発電所関係者のモチベーションの維持・向上、安全意識の共有並びに原子力の将来への不安払しょくのため、双方向コミュニケーション形式で実施する四国電力幹部と発電所員、関係会社等との意見交換を充実していくとともに、業務効率化の推進、働き方改革の意識浸透に向けた取組みも継続していく。

⑤技術力・現場力の維持・向上

3号機一基体制やベテラン社員の退職等伊方発電所の環境変化を踏まえ、次の対策により、技術力・現場力の維持・向上を図る。

➤ 教育訓練機会の増加

燃料取扱作業などの特殊な作業に限定せず、実施頻度が少ない作業についても技術力を継続的に維持するために、作業班が自主的に訓練内容

を設定し、教育訓練を実施する仕組みを作る。

➤ ベテラン社員・作業員からの技術継承

伊方発電所内で使用する点検作業要領書について、特にベテラン社員・作業員の視点から追記・修正すべき箇所を確認し反映したところであり、今後も、確実な技術継承のため、この取組みを継続していく。

⑥従来進めてきた保安活動の一層の推進

伊方発電所において、安全運転及び設備保全に万全を期すとともに、更なる安全性向上のために取り組んできた次の活動を引き続き推進していく。

➤ 適切な組織・体制の維持

3号機一基体制となった現在及び将来においても人的リソースを確実に確保することはもとより、状況変化に応じ組織・体制を柔軟に対応させ、伊方発電所の運営に必要な組織・体制を維持していく。

➤ リスク情報活用の推進

リスク情報を活用した意思決定に係る活動を着実に実践するとともに、適用範囲の拡大、社外教育を有効に活用したリスク情報活用に係る教育等の実施など、効果的にリスク情報の活用の取組みを推進していく。

➤ 保守管理プロセスの着実な運用

これまで有効に機能している保守管理プロセスについて、今後も同プロセスのP D C Aサイクルを着実に回していくことにより、保守管理の継続的な改善を図っていく。

➤ 職場環境の改善活動

引き続き、四国電力と関係会社等がコミュニケーションを緊密に取り、幅広く情報を収集する活動を継続的に実施し、より良い職場環境づくりを推進していくとともに、他社のベンチマーク調査を行い、良好事例を積極的に取り入れる。

➤ 外部組織によるレビュー

世界原子力発電事業者協会、(一社)原子力安全推進協会、他電力及び四国電力本店などによるレビューを活用し、多様な立場、観点から原子力発電所の安全性・信頼性を向上させる取組みを推進し、より高い安全性・信頼性を求めていく。

(4) 審議内容

①保守管理について

トラブルが連続したことから、要因の一つとして懸念していた保守管理プロセスの劣化はなかったとのことであるが、トラブルの未然防止に向け、発電所の停止時だけでなく、運転中でも可能な点検については、こまめに実施するなど、適宜、保守管理プロセスの見直しも実施してもらいたい。

【四国電力回答】

一連のトラブルについて調査した結果、事象1～3については、設備故障が発生した事象ではなく、事象4については、過去に経験のない故障によるもので、保守管理プロセスにおける劣化に起因するものではないことを確認しており、今後とも、

①点検計画の策定、②保全の実施、③保全の有効性評価、④保守管理の有効性評価といったPDCAサイクルにより、しっかりと保守管理していくこととしている。

また、設備点検については、故障時のプラントへの影響度合い・故障発生の可能性等を踏まえて、保全方式や点検計画を定めて実施しているが、停止時にしか点検できない設備についても、運転中から状態監視を行うなど、トラブルの未然防止に努めており、今後とも、PDCAサイクルの中で、適宜、改善を図っていく。

②リスク評価について

定量的リスク評価には、事前のリスク評価と起こった事象についての重要度評価及び定量的なトレンド分析という3つの重要な役割があるが、現時点で、それぞれどのような取組みを実施しているのか。

【四国電力回答】

事前のリスク評価については、従来から、定期検査時の作業計画段階において、停止時リスクの定量評価を確認するとともに、自主的な安全性向上のほか、原子力規制委員会において新たに定められた安全性向上評価届出制度の中で確率論的リスク評価等を実施しており、教育・訓練等への反映を進めている。

さらに、本年4月に設置した新チームでは、作業実施時期の妥当性について、安全上重要な機器の作業が原子力安全リスク上問題のない時期に計画されていることを確認するといったレビューを行うこととしている。

事象の重要度評価については、新検査制度においても評価されることになっているが、事業者としてもこうした評価を実施したいと考えており、そのために確率論的リスク評価モデルの高度化等に取り組んでいる。

定量的なトレンド分析については、規制で用いられる安全実績指標の他にも自主的に採取しているデータがあり、ハード、ソフトの観点から分析できるようにしている。

③安全文化について

海外における取組みを参考にするとともに、双方向のコミュニケーションなど、日本の文化に即した方法を取り入れることにより、安全文化の醸成に努め、自律的に問題点を見出し、議論できる組織を育んでもらいたい。

【四国電力回答】

海外の発電所に勤務する者からレビューを受けるとともに、定期的に海外の良好事例の紹介を受ける体制を整えるなど、海外の取組みについても、積極的に情報収集し、安全性向上に向けた取組みに反映している。また、今回の一連のトラブルを踏まえ、幹部と発電所員等との双方向コミュニケーション形式による意見交換を新たに実施した結果、有効であることが確認できたため、今後とも、継続的に実施していくこととしている。安全文化を醸成するためには、これらの取組みを長期間継続して実施していくことが必要と考えており、「問い合わせる姿勢」も含めた安全文化の10の特性の定着に向けた教育等の取組みを繰り返し実施していくこととしている。

④新チームの設置について

作業要領書や作業計画の妥当性等を独立した立場からレビューする新チームの設置は、非常に前向きで画期的な取組みであり評価できるが、C A P制度やリスク評価の効果的な活用などにより、研鑽を重ねながら、実効性のある運営をしてもらいたい。

【四国電力回答】

新チームによる作業要領書や作業計画等のレビュー業務については、試行を重ねつつ、チームとしての技量を向上させていく。

また、新チームの活動は、作業担当課が作成した作業要領書等について協議・確認するものであり、この活動を通じて、関係者間での十分なコミュニケーションが図られるとともに、「問い合わせる姿勢」に対する理解が深まるなど、トラブルの未然防止・伊方発電所の安全確保に重要な役割を果たすものと考えている。

審議結果

四国電力が令和2年3月17日に愛媛県に提出した、伊方発電所3号機第15回定期検査で連続発生した4件の重大なトラブル及びその総括評価に係る報告書については、四国電力から内容の説明を受けるとともに、推定原因の妥当性及び再発防止策の実効性・有効性等について審議した結果、個々のトラブルについては、推定原因の如何にかかわらず、確実に再発を防止できる対策を講じることとしており、また、トラブルが連続した背景については、組織体制面、技術面など様々な視点から調査・検証がなされ、新チームの設置やC A P（包括的な改善活動の仕組み）等の新たな仕組みを整備したほか、社員教育や幹部と発電所所員等との意見交換など安全文化の醸成に向けた総括的な再発防止策を積極的に講じることとしており、適当であると判断した。

ただし、再発防止策の確実かつ継続的な実施及び伊方発電所の更なる安全性向上につながる取組みとして、次のとおり、部会としての四国電力に対する要望事項を取りまとめた。

については、下記部会意見が確実に実行されるよう、県から四国電力に対し、要請することを求めるものである。なお、その取組状況については、適宜、県において確認いただきたい。

【要望事項】

1. 更なる安全性向上に向けた詳細調査の実施について

「事象2 伊方発電所第3号機 原子炉容器上部炉心構造物吊り上げ時の制御棒クラスタ引き上がり」については、他のプラントも含め過去に事例のない事象であることから、不完全結合の防止に留まることなく、PWR（加圧水型原子炉）の安全性向上という大局的かつ長期的な視点に立って、根本原因であるスラッジ（マグネタイト）の発生メカニズム、挙動等について継続的に調査・研究し、その結果を学会や専門誌等で発表するとともに、発生量の低減に向けて取り組むこと。

2. 恒常的な対策による安全性の確保について

「事象4 伊方発電所における所内電源の一時的喪失」については、断路器の構造上、ごく稀に嵌合部に隙間が生じるために放電が発生したことが原因と推定されており、短絡の兆候が見られている同型断路器も確認されていることから、再発防止策である部分放電診断と内部異物診断による状態監視の徹底と並行して、メーカーとも協議しながら、改造や新設備導入等による恒常的な対策による更なる安全性確保に取り組むこと。

3. 安全文化の醸成について

安全文化の醸成は、一朝一夕に確立できるものではなく、継続的な取組みが必要不可欠であるため、形式的な方法に陥ることなく、海外の取組みも含め広く情報収集を行うとともに、双方向のコミュニケーションの重要性を意識して、効果的な取組方法を不斷に見直すこと。

また、社員教育においては、教育する側も含めて参加者全員が様々な角度から議論できる体制を整備し、「問い合わせる姿勢」の定着のみならず、「問い合わせる能力」についても向上に向けて継続的に取り組むとともに、取組状況を積極的に発信すること。

4. 新チームの研鑽について

作業要領書や作業計画の妥当性等を独立した立場からレビューする新チームの設置は、非常に前向きで画期的な取組みであるが、この新チームが十分機能し、トラブルの未然防止が図られるか否かは、今後の運用・活用方法次第であるため、新チームの活動自体にもC A P制度やリスク評価を活用するなど研鑽を重ね、伊方発電所の安全性向上を担う中核組織として育てること。

5. 技術力の維持・向上について

3号機一基体制となったことによる現場作業経験の減少やベテラン社員・作業員の定年退職等を踏まえ、これまで蓄積されたノウハウの維持が難しくなる懸念があるため、教育訓練の充実・強化に努めるだけでなく、他電力やメーカなど海外を含めた外部組織からの情報収集を積極的に行うことにより、技術力の維持・向上に努めること。

また、教育訓練については、これまでの内容に加え、外的事象やテロを含めたシビアアクシデントの防止や発生時の対応等の広範な知識の習得が強く求められているため、優先度も考慮しながら、合理的な訓練プログラムとしていくこと。

その上で、安全上重要な作業については、四国電力社員が主体となって実施するとともに、社員一人ひとりが、電力事業者としての責任を持って取り組むこと。

参考資料

伊方原子力発電所環境安全管理委員会及び同原子力安全専門部会 委員コメント一覧

目次（項目）

1. 伊方発電所第3号機 中央制御室非常用循環系の点検に伴う運転上の制限の逸脱について 参考-1
2. 伊方発電所第3号機 原子炉容器上部炉心構造物吊り上げ時の制御棒クラスタ引き上がりについて 参考-3
3. 伊方発電所第3号機 燃料集合体点検時の落下信号の発信について... 参考-9
4. 伊方発電所における所内電源の一時的喪失について 参考-13
5. 伊方発電所 連續発生したトラブルの総括評価について 参考-15
6. 全般 参考-20

1. 伊方発電所第3号機 中央制御室非常用循環系の点検に伴う運転上の制限
の逸脱について

番号	委員コメント	四国電力回答	日付	コメント 委員
1	運転に当たっては、四国電力の正規の職員が皆当たるようなシステムにしてもらいたい。	運転に当たっては、四国電力社員が対応している。また、安全上重要な作業や工程管理等も四電社員が携わっており、今後も中心となって対応していく。	R02 2/18	高橋
2	「問いかける姿勢」について、意識改革はどう取り組んでいくのか。	「問いかける姿勢」を定着させるため、毎年度実施している安全文化の教育テキストに今回の事象を追加し、繰り返し教育することで、このトラブルを忘れずに「問いかける姿勢」の重要性を認識させる。 R2年3月31日に新規制定した「原子力発電所 安全文化育成および維持活動要領」では、安全文化の育成・維持活動の目標として「健全な安全文化の特性」を定めており、これら10特性の一つに「問いかける姿勢」が含まれている。「健全な安全文化の特性」の定着を図るために、関係者が出席するスクリーニング会議で毎週唱和しているが、今後もこの取り組みを継続していく。 (6月4日 資料1-1 P5)	R02 3/24	池内
3	作業計画の立案等は重要な作業である。四国電力社員がすべての工程に携わるようにしてほしい。	重要な工程等には全て四国電力社員が携わっており、今後とも中心となり対応していく。 なお、今回の作業は、福島事故後、新規制基準が施行されて保安規定を変更したが、変更した内容の理解が不足していたものであり、保安規定改定時には、周知に加え内容に関する教育を技術系所員に対し実施するなどの改善を行う。 (6月4日 資料1-1 P4,5)	R02 3/24	高橋
4	再発防止策として実施する保安規定が改定された際の所員教育では、改定内容だけでなく、改定理由についても教育してほしい。	今回、保安規定を改定した場合は、従来の周知だけではなく、教育もするよう改めた。また、その教育に際しては改定に携わった者により改定の趣旨も含めた教育を実施することとしている。	R02 6/4	村松
5	何を問いかけるべきか分からなければ、問いかけるモチベーションが生じないが、「問いかける姿勢」の定着に向けた教育についてはどのように考えているのか。	「問いかける姿勢」の浸透については、安全文化の教育などを繰り返し実施していくこととしている。	R02 6/4	中村
6	理解が不足しているか分からない状況だと、結局、「問いかける姿勢」がいくら醸成されても、問いかけるべき問題があるかどうかが分からないので、それにより本事象を防ぐのは難しいのではないか。	「問いかける姿勢」が欠けていたことだけでなく、保安規定の理解不足も原因であるため、今後は、双方向のコミュニケーションを図りながら、保安規定に係る教育を実施することとしている。	R02 6/4	森

番号	委員コメント	四国電力回答	日付	コメント 委員
7	分からぬことも聞きやすい環境を作ることが大事であるが、どのように取り組むのか。	安全文化を醸成するのは、長期的・継続的な取組みが必要であり、P D C Aサイクルを繰り返し継続的に回しながらしっかりと取り組んで行く。	R02 6/4	森
8	教育も重要であるが、保安規定を遵守した作業であることが、書類上、物理的に確認できるシステムとしていくことが重要なではないか。	本事象については、保安規定の理解が不足していたこと、保安規定第88条への適合を確認できていなかったというシステム的な問題、及び「問いかける姿勢」が欠けていたことの3点が原因であったと考えており、確認するシステムに改善の余地があったことから、作業計画の妥当性を明確に確認できるチェックシートを作成し、社内関係者が確認又は承認する体制とした。	R02 6/4	宇根崎
9	システムの改善、教育の徹底及び意識（問いかける姿勢）の向上という改善策をバランスよく組み合わせて講じていってほしい。また、教育や意識の向上は保全活動全般の質を上げていくことにつながるので、長期的な取り組みになると思われるが、教育などの改善による効果の把握に取り組みながらより改善に努めていってほしい。	改善した保安規定第88条への適合を確認するシステムを確実に運用していくとともに、追加した教育及び安全文化の醸成活動を継続的に実施していくこととしており、これらを必要に応じて改善しながらバランスよく取り組んでまいりたい。 また、不適合の発生状況等はC A Pを用いて傾向を把握することとしており、教育などの改善策の効果の把握にも活用して、継続的な改善に努めてまいりたい。	R02 6/4	宇根崎
10	「問いかける姿勢」の定着への取り組みは、形式的になりすぎることなく、双方向のコミュニケーションを、組織の中でうまく運用されるよう努めてほしい。	「問いかける姿勢」の定着は一朝一夕に達成できるものではないが、今回策定した改善策を着実に進め継続的に取り組んでいく。 また、取り組みが形式的になりすぎないよう心掛けるとともに、教育や日々の業務において双方向のコミュニケーションを工夫しながら推進していくことで、互いに学び合える風土を育むよう努めてまいりたい。	R02 6/4	中村
11	双方向のコミュニケーションを図りながら教育に取り組むとの方針は是非お願いする。さらに、問答を通じて受講者、説明者双方の学び、気付きにつながるよう、様々な角度から議論できる社風を育んでいってほしい。		R02 6/4	岸田

2. 伊方発電所第3号機 原子炉容器上部炉心構造物吊り上げ時の制御棒クラスタ引き上がりについて

番号	委員コメント	四国電力回答	日付	コメント 委員
1	制御棒の引き上がり事象については、国内でも例がないとのことであるから、しっかりと原因究明をしてもらい、今後の安全運転につなげてもらいたい。また、調査結果等については、適宜、報告をお願いしたい	各事象については、しっかりと原因究明を行うとともに再発防止に努めいく。 (原因と再発防止策をとりまとめた報告書を提出済み。)	R02 2/18	宇根崎
2	制御棒クラスタの切り離しの作業で、駆動軸着底の確認はどうのように確認しているのか。	ベースプレートの高さを計測し、計画値の範囲内であることを確認している。 (6月4日 資料1-2 P32のステップ⑪)	R02 2/18	中村
3	制御棒クラスタ頭部に溜まっている堆積物は何か。なぜこのように溜まるか総合的に調査してほしい。	堆積物を分析した結果、マグネタイト(Fe_3O_4)であることを確認した。 堆積物は過去の定期検査でも確認されており、スパイダ頭部にスラッジが堆積する現象には、 ・駆動軸内表面で生成したマグネタイトが剥離、落下、堆積したもの ・1次冷却系統内で生成したマグネタイトが当該部に侵入、堆積したものの2つのケースがあると推定している。 (6月4日 資料1-2 P9~12)	R02 2/18	中村
4	結合部分だけでなく駆動軸取り外し工具についても念のため調べておくべき。	駆動軸取り外し工具についても調査を実施し問題がないことを確認した。 (6月4日 資料1-2 P35)	R02 2/18	中村
5	制御棒引き上がりは推定原因であるが詳細な調査はしているのか。	制御棒引き上がりについては、当該の駆動軸や制御棒クラスタのほか、工具や使用計測器等も含め詳細な原因調査を実施している。 (6月4日 資料1-2 P3~16, 34~39) 推定原因は、原因調査から得られた物証に加え、事象発生時の駆動軸と制御棒クラスタの結合状態のケース検討や部分モデルによる引き上がり状態の実証試験を実施し、事象発生メカニズムを検討し、解析等によるメカニズムの妥当性確認を実施したうえで推定したものである。 (6月4日 資料1-2 P17~24)	R02 3/24	中村
6	制御棒の引き上がりに関して、これまで同様の事象はなかったのか。	国内外の類似事例を調査した結果、海外で制御棒の引き上がり事象が発生していたが、今回の事象と同様な事象はなかった。 (6月4日 資料1-2 P13)	R02 3/24	占部

番号	委員コメント	四国電力回答	日付	コメント 委員
7	スラッジは水質管理を行うことで減少させているはず。そういう取組みとか、技術的な観点からの評価はないのか。	<p>今回制御棒クラスタの頭部に確認されたスラッジ（マグネタイト）は鉄の酸化物であるが、従来から、1次冷却材の鉄濃度は低く管理しており、系外から補給される水の鉄濃度も低く管理することによりできるだけ発生を抑制している。</p> <p>また、1次冷却材の浄化流量を可能な限り多くとることにより、生成されたマグネタイトを可能な限り除去している。 (6月4日 資料1-2 P41)</p> <p>一方で、マグネタイトは1次冷却系統設備に使用されている材料に含まれる鉄などが元となっていることから、発生しないようにすることは困難である。 (6月4日 資料1-2 P12)</p> <p>このため、今回の再発防止対策により、スラッジがスパイダ頭部に堆積したとしても、制御棒クラスタの引き上がりが生じないように手順を見直すこととしている。(6月4日 資料1-2 P26)</p>	R02 3/24	渡邊
8	マグネタイトの薄片が磁化した駆動軸接手に付着するというメカニズムがあるのであれば、この点について気を付ける必要があるのではないか。	駆動軸と制御棒クラスタの切り離し作業にあたっては、インジケータロッドが完全に下降していることを確認するとともに、重量確認とベースプレート高さの位置計測を行うこととしており、磁化した接手にマグネタイトが付着しても支障はない。	R02 6/4	中村
9	今回の調査結果により、剥離している薄片のサイズが大きいことが分かったが、これが磁化して駆動軸内部の位置決めナットと接手の間に付着すると大きな影響を及ぼす可能性があるのではないか。	これまでの運転においても特に駆動軸の動作に異常が認められたことはなく、また、今後の対策については、確実に接続又は切り離しができていることを確認できる手順を追加したことから、問題ない。	R02 6/4	中村
10	駆動軸が高溶存酸素及び高温環境におかれることで、マグネタイト生成するということであれば、ほかの材質を使うについて検討してはどうか。また、プラント運転中においては、駆動軸内部で1次冷却材の自然循環が発生するとのことだが、これは本当か。	駆動軸本体の材料は、制御棒位置の検出機能の観点から磁性材の使用する必要があり、限定されるものである。また、運転中の駆動軸近傍の下端と上端では温度差があることから自然循環がある程度ある。	R02 6/4	中村

番号	委員コメント	四国電力回答	日付	コメント 委員
11	本事象はマグネタイトが非常に悪い影響を及ぼしていないか。	<p>○マグネタイトの設備への影響について 駆動軸本体の材料は、制御棒位置の検出機能の観点より磁性材を使用する必要があり SUS410 を使用している。また、接手部は耐摩耗性の観点より硬度の高い SUS403 を使用している。</p> <p>駆動軸と制御棒クラスタの結合・切り離し作業の際に、スパイダ頭部内に堆積しているマグネタイトが駆動軸の接手部に付着していたとしても、重量確認と位置確認により確実に結合・切り離しがされていることを確認するため、同様事象の再発防止は可能である。</p> <p>また、強磁性であるマグネタイトが悪影響を及ぼす可能性がある設備としては、磁性材料を使用している設備が考えられるが、磁性材料を使用している設備は限定的であり、その設備の構造や機能を踏まえると、マグネタイトがプラントの安全に悪影響を及ぼす可能性は低い。</p> <p>また、マグネタイトが生成したとしても、1次冷却系統設備の主要材料はステンレス鋼であり、水質管理された環境下においては不働態皮膜が形成されるため、健全性に影響を与えるような腐食が生じることはない。</p> <p>今回スパイダ頭部内に確認されたマグネタイトが、すべて駆動軸内表面から溶出した鉄により生成したと仮定した場合であっても、駆動軸の健全性に影響を与えるものではない。</p>	R02 6/4	渡邊
12	駆動軸を取り出して外観確認をして、外面については腐食が見られておらず、環境が同じ内面も腐食がないという認識であれば、今回観察された大きな薄片等はどこから発生したのか。 スパイダ頭部にスラッジが堆積するメカニズムについて、環境要因や材料条件等を、再度、総合的に整理して考える必要があるのではないか。	<p>○マグネタイト生成・堆積過程について 1次冷却系統の水質及び温度環境下においては、鉄の酸化物は安定的にマグネタイト (Fe_3O_4) として存在することが知られており、堆積物の分析結果がマグネタイトであったこととも整合する。</p> <p>スパイダ頭部にマグネタイトが堆積する現象としては、駆動軸内表面（プラント起動初期段階、プラント運転中）や1次冷却系統内で生成されたマグネタイトが堆積したケースが考えられる。また、今回確認された薄膜状のマグネタイトは、構造上、駆動軸内表面で生成したものである。</p> <p>これらのマグネタイト生成メカニズムは、実機の設備構成を踏まえたものであり、1次冷却系統の水質及び温度環境下においては一般的な化学反応式等で示されるものであることから、確度の高いメカニズムである。</p> <p>(7月16日 資料1 別添1)</p>	R02 6/4	中村

番号	委員コメント	四国電力回答	日付	コメント 委員
13	今後、推定メカニズムの明確化について、事象が発生した電力会社として主体的に責任を持って取り組んでほしい。	本事象のメカニズムについては、作業手順、制御棒クラスタ頭部へのマグネタイトの堆積、駆動軸等の観察等の事実から、不完全結合に至る様々なケースを検討し、実証試験や解析等も行い、不完全結合に至ったメカニズムを特定している。	R02 6/4	渡邊
14	本事象の原因究明は、伊方発電所だけでなく世界中のPWRに関係する内容であることから、ぜひ根本原因を究明してほしい。	また、今回の再発防止対策により、制御棒クラスタの引き上がり事象は確実に防止することができる。 一方で、堆積物（マグネタイト）の生成・堆積については、定期検査ごとに堆積物を除去することとしているが、今後、以下の取り組みも継続していく。 <ul style="list-style-type: none">・ 定期検査時に制御棒クラスタのスピダ頭部に堆積しているマグネタイトを除去する際には、水中カメラにて堆積状況を観察・記録していく、情報を蓄積し、傾向監視するなど保全に役立てていく。・ 他プラントの状況について、情報収集・情報交換を行う。	R02 6/4	中村
15	再発防止策は、推定原因のとおりかどうかに関わらず、追加手順により再発防止ができることから十分である。 ただ、本事象の発生メカニズムの解明については、世界中のPWRの安全性向上に非常に大きな役割を果たし得ることから、今後、四国電力として科学的にこれを解明して、それを発信していくという姿勢が重要である。	さらに長期的な堆積物の低減に向けて、実験などで効果的な低減の方法を研究するなど知見の拡充を図り、更なる安全性の向上に努めていく。 また、現状、伊方発電所で堆積物（マグネタイト）の発生量が急増している傾向はないが、定期検査ごとの堆積物の発生量調査により、有意な増加傾向が見られた場合は、速やかに前回定期検査のプラント起動時以降の運転状況を確認し、増加要因を分析したうえで対応を検討する。 (7月16日 資料1別添2)	R02 6/4	宇根崎
16	推定原因ではあるが、いろいろな証拠物を基に、できる範囲で原因を検証しているとは思う。世界中の発電所に活かす意味で、メカニズムの推定は非常に重要であり、原因の追究を進めていただければと思う。	ステンレス鋼は表面に不働態被膜ができるため、1次冷却系統のように管理された状況下では健全性に影響を与えるような腐食（酸化）は発生しない。説明資料においては、一例として知見の豊富なSUS304の腐食速度を示したものであり、SUS410についても腐食傾向は同様であることから、健全性への影響という観点では、ステンレスの腐食速度としては大きな違いはない。また、駆動軸の外側表面においても健全性に影響のあるような腐食は認められていない。 今後、実験等によりSUS410のデータを拡充していきたい。	R02 6/4	望月
17	SUS410の駆動軸の腐食について、組織も異なるSUS304のデータにて評価していることの妥当性を示してほしい。	ステンレス鋼は表面に不働態被膜ができるため、1次冷却系統のように管理された状況下では健全性に影響を与えるような腐食（酸化）は発生しない。説明資料においては、一例として知見の豊富なSUS304の腐食速度を示したものであり、SUS410についても腐食傾向は同様であることから、健全性への影響という観点では、ステンレスの腐食速度としては大きな違いはない。また、駆動軸の外側表面においても健全性に影響のあるような腐食は認められていない。 今後、実験等によりSUS410のデータを拡充していきたい。	R02 7/16	渡邊

番号	委員コメント	四国電力回答	日付	コメント 委員
18	<p>制御棒駆動軸について定期取替しないものとして扱っているが、経年劣化を想定した科学的根拠に基づく取替基準を示してほしい。</p> <p>また、堆積したスラッジの量から減肉量を推定しているが、その評価方法の妥当性を示してほしい。</p>	<p>1次冷却系統の水質及び温度環境下においては、鉄の酸化物は安定的にマグネタイトとして存在するものであり、ステンレス鋼は表面に不働態被膜ができるため、1次冷却系統のように管理された状況下では健全性に影響を与えるような腐食（酸化）は発生しない。また、同様の環境下にある駆動軸の外側表面においても健全性に影響のあるような腐食は認められていない。駆動軸の腐食（酸化）は健全性に影響を与えるような経年劣化事象ではないことから、経年劣化の観点での取替基準は設けていない。なお、制御棒については、中性子照射量の制限及び運転中の振動による摩耗防止の観点から、中性子照射量や運転時間による取替基準を設けている。</p> <p>堆積したスラッジからの減肉量の推定については、すべてのスラッジが駆動軸の内表面だけから発生したとの非常に保守的な仮定にて評価を行ったものであり、その場合においても十分な余裕があることから、健全性に影響はない。</p>	R02 7/16	渡邊
19	<p>制御棒引き上がりに対する対策としては同じ事象は起こらないということは理解したが、今後も使用する駆動軸の健全性について、明確なデータを示して説明してほしい。</p>	<p>以下の理由により、今後の使用においても健全性に影響ないと判断している。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・管理された環境中におけるステンレス鋼（SUS304）の腐食速度からの類推により、一般的にステンレス鋼は腐食しない ・材質・環境が駆動軸内表面と同じ駆動軸外表面においても有意な腐食は見られない ・堆積したスラッジ量から、駆動軸の減肉量を保守的に評価しても健全性に影響はない <p>ただし、今回の事象を経験した事業者としてSUS410のデータを拡充していく必要があると考えており、今後、実験等によりデータを拡充していきたい。</p>	R02 7/16	渡邊
20	<p>数ミリ単位の薄膜状のスラッジがどこの部材から剥落し、また、その量がどれくらいかわからないが、剥落したことにより、部材が損傷するなどして、運転上影響がないか。</p>	<p>薄膜状のスラッジ（マグネタイト）は、駆動軸の構造材そのものが剥離したものではなく、駆動軸内表面で生成し、系統中の鉄イオンにより成長したものが剥離・落下したものと考えており、駆動軸の健全性に影響を与えるものではない。また、駆動軸の外側表面においても有意な腐食等もなく、腐食（酸化）量の評価のとおり、剥離が駆動軸の健全性に影響を与えるものではなく、運転の安全性にも影響はない。</p> <p>今後、実験等によりスラッジの発生メカニズムについて研究していきたい。</p>	R02 7/16	中村

番号	委員コメント	四国電力回答	日付	コメント 委員
21	駆動軸と同様の環境下である原子炉容器上蓋の CRDM 圧力ハウジングから多くのスラッジが発生している可能性があり、同部材の健全性について確認が必要ではないか。	<p>CRDM 圧力ハウジングを含む原子炉容器上蓋内面には、ステンレス鋼を使用しており、ステンレス鋼は表面に不働態被膜ができるため、1 次冷却系統の様に管理された状況下では健全性に影響を与えるような腐食（酸化）は発生しない。また、強磁性であるスラッジ（マグネタイト）が系統内の設備に悪影響を及ぼす可能性については、系統内で磁性材料を使用している設備に対する影響はなく、プラントの安全に悪影響を及ぼす可能性は低い。（7/16 資料 1 別添 1）</p> <p>また、CRDM 圧力ハウジングを含む原子炉容器上蓋については、定期検査において内面に異常は認められていないものの、応力腐食割れ（SCC）への予防保全対策として、前回定期検査において SCC 対策を施した上蓋に取り替えている。</p>	R02 7/16	中村
22	事象が発生したメカニズムとして、あり得るメカニズムが列挙され、それぞれのメカニズムに対して、どれくらい起こりそうか、起こった場合にどう再発防止をしていくかという視点で検証され、もう一度同じような事象が起こらないように再発防止策を取っていると理解しており、論理的にしっかりとしていると思われる。本日の議論は、今後、特定されていないメカニズムを追求する努力をしてほしいという趣旨と理解している。	—	R02 7/16	森
23	制御棒駆動軸については、制御棒を入れるという意味では安全上非常に重要であるが、今回の引き上げるということについては、少なくとも事故を起こさないとの意味では、それほど重要ではないと思われる。今回の事象は、非常に稀な事象であり、マグネタイトによる制御棒、弁、ポンプ等の安全上重要な機器への影響については検討しており、特に制御棒については仮に 1 本挿入できない場合でも停止機能は維持できるように設計されていることなどを考えれば、PWR の安全性向上のために一般的な意味で継続的に検討するというレベルだと認識している。	—	R02 7/16	村松

3. 伊方発電所第3号機 燃料集合体点検時の落下信号の発信について

番号	委員コメント	四国電力回答	日付	コメント 委員
1	この点検は過去の伊方3号機の燃料リークの経験から実施している点検であるが、これを保守管理でやるのは無理があるのではないか。過去に策定した、対策では、当該燃料を原因が分かるまでは使用しないのではないか。	<p>当時の対策としては、漏えいした燃料は使用しないこととし、漏えいした燃料と同一時期に製造された同設計のA型55燃料（2体）は念のため使用を見合わせることとした。なお、当該燃料（2体）については既に除却済みである。</p> <p>また、漏えい対策を行った新設計の燃料を平成23年に採用済みである。</p> <p>また、原子力安全・保安院の指示に基づき、漏えいが発生した燃料と同設計のA型55燃料を使用する場合には、当該燃料の漏えい原因に係る知見を踏まえ、燃料集合体の最下部支持格子について、燃料棒の支持部（支持板、ばね板）と燃料棒の間に隙間等がないことを確認することとしている。</p> <p>（6月4日 資料1-3 P12, 13）</p>	R02 2/18	渡邊
2	照射済燃料に関しては、脆くなっていることもあり得る。重量物である燃料集合体がラック上に少し乗ってしまったことで、燃料集合体に変な荷重が加わり、たわみや見えない傷がないのかなども総合的に検査してほしい。	<p>当該燃料集合体は照射済みであるが、照射済燃料に対する荷重評価結果を未照射条件で健全性が確認された荷重と比較することは、より厳しい取扱いとなる。</p> <p>また、当該燃料集合体を対象に、点検装置ラックへの乗り上げ前後の燃料集合体の曲がり量を確認したが、点検装置ラックへの乗り上げ前後で、当該燃料集合体の曲がり量に有意な変化はなかった。</p> <p>（6月4日 資料1-3 P7）</p>	R02 2/18	中村
3	ファイバースコープでの確認は、燃焼度の高い燃料集合体の下部の各4面について行うのか。また、今定検で5体確認することであるが、その5体に決めた理由は何か。	<p>ファイバースコープによる点検対象の燃料は、燃料被覆管の摩耗の進展に影響を及ぼす可能性のある「燃焼度」、「装荷回数」及び「装荷位置」を考慮して選定している。具体的には、再使用予定燃料のうち2サイクル以上装荷された燃料から、装荷回数が同じ、かつ、炉内の装荷位置が対称であった燃料を1グループとし、それぞれのグループから最も燃焼が進んだ燃料を点検対象として選定している。点検作業は燃料集合体の最下部支持格子の4面すべてにファイバースコープを挿入し、燃料棒の支持部（支持板、ばね板）と燃料棒の間に隙間等がないことを確認する作業である。</p> <p>今回の点検では、再使用を予定しているA型55燃料64体のうち、2サイクル以上装荷された62体を確認対象としており、このうち、前サイクル（第15サイクル）で装荷していた燃料集合体30体（5グループ）を対象に、各グループから最も燃焼が進んだ5体を選定している。</p> <p>（6月4日 資料1-3 P2, 13）</p>	R02 2/18	渡邊

番号	委員コメント	四国電力回答	日付	コメント 委員
4	改善策がいくつかあるが、燃料の移動操作についても技術的な改善がなく極めて原始的であると思った。技術的な改善もぜひ取り組んでいただきたい。	<p>通常の使用済燃料ラックでの燃料取扱作業は、3号機の運転開始以降十分な実績があり、これまで燃料集合体が使用済燃料ラックに乗り上げる事象は発生していないが、本点検作業は、使用済燃料ピットの限られたエリアに設置した点検装置を用いて行う難度の高い作業であり、点検体数（今回は5体）や、残りの点検回数（過去に漏えいが発生したタイプの燃料の使用が終了するまであと3～4回程度）などを考慮すると、通常の燃料取扱作業と比べて限定的な作業である。</p> <p>本事象に対して、技術的に高度化する対策としては、使用済燃料ピットクレーンの位置決めを自動化することなどが考えられるが、仮にクレーンをラックの直上に自動で位置決めしたとしても、燃料集合体のラックへの挿入箇所はクレーンより約1.1m下方であるため、燃料集合体をそのままラックに挿入した場合、クレーンに吊り下げられた工具や燃料集合体の僅かな揺れや振動等により、接触したり乗り上げたりする可能性があることから、目視で挿入状況を確認する必要があると考える。また、燃料集合体下部がラック位置と僅かにずれている場合は、手動によるセンタリングの修正等が必要となる。</p> <p>このため、燃料集合体のラック乗り上げ防止の観点からは、点検装置ラック開口寸法を拡大する等により、十分に再発防止が可能であり、最も有効な対策であると考えている。</p>	R02 3/24	占部
5	使用済燃料プールにある燃料集合体の落下信号が発信された場合には、その場にいる作業員はどういった対応を取ることになつてゐるのか。	燃料集合体の落下信号が発信した場合は、落下した燃料から発生するおそれがある放射性ガスをチャコールフィルターにて吸着するため、使用済燃料ピットの空調系がアニュラスの排気系統に切り替わる。今回は実際には燃料集合体が落下したわけではないが、実際に燃料集合体が落下し、放射性ガスの発生を目視した場合は、作業員は被ばく防止の観点から退避することになる。	R02 6/4	中村

番号	委員コメント	四国電力回答	日付	コメント 委員
6	ラック乗り上げ時に燃料被覆管に発生した応力は約 3 MPa としているが、1,000kg を超える物が乗り上げた時の応力にしては、小さい気がするが、どうか。	今回の事象では、燃料集合体の荷重がある程度クレーンに残った状態で、鉛直にラックに乗り上げたことから、264 本の燃料被覆管に概ね均等に荷重がかかったと考えており、その条件で評価すると約 3 MPa となる。ラック乗り上げ時にある程度の不均等な荷重が作用した可能性も否定できないが、均等な荷重を想定した場合の発生応力（約 3 MPa）は未照射時材料の耐力約 600MPa に対しては十分に小さいことからある程度の不均等な荷重が作用したとしても燃料被覆管の健全性に問題はない。	R02 6/4	渡邊
7	原子力安全委員会が定めた「金属製乾式キャスクを用いる使用済燃料中間貯蔵施設のための安全審査指針」においては、水素化物再配向による機械的特性劣化防止の条件として、PWR の場合では 100MPa という値が示されているが、今回の評価にあたり、発生応力を未照射時の耐力（約 600MPa）と比較するのは適切ではないのではないか。仮に、この 100MPa と比較した場合、保管中の燃料被覆管応力にラック乗り上げ時に発生したと想定する応力を加えた約 63MPa では、あまり余裕がない。ラック乗り上げ時に発生した応力について、燃料棒 264 本に均一に力が加わったとして評価しているが、本当に均一に力が加わっているのか。例えば有限要素法を使用して、精密に評価してはどうか。	ラック乗り上げ時にある程度の不均等な荷重が作用したことは否定できないが、仮にラック乗り上げ時にある極端に不均等な荷重が作用すると想定（264 本の燃料棒のうち最外周 2 面の 33 本の燃料棒すべての発生荷重を分担すると仮定）した場合でも、燃料被覆管に発生する応力は約 20MPa であり、この応力が使用済燃料ピットで保管中の燃料被覆管に作用したとしても、燃料被覆管応力（未照射時で約 600MPa）に対して十分小さい。 有限要素法による評価については、精緻なモデルの構築方法や条件設定の妥当性など曖昧さのほうが大きいと考えております、また上記のとおり、ラック乗り上げ時の荷重による発生応力も十分小さいことから、工学的判断により現状の評価手法は適切と判断する。 (7月16日 資料1 別添3) なお、ご指摘の 100MPa の値は、周方向応力が生じた状態の燃料被覆管が高温から冷却される際に水素化物再配向が生じることにより、燃料被覆管の機械的特性が低下しない条件としてのしきい値であり、耐力等の機械的強度の制限値とは意味合いが異なるものと認識している。今回ラックに乗り上げた燃料は炉心から取り出した直後の燃料で、燃焼度も 35,000MWd/t 程度であり、今回の評価にあたり発生した応力を未照射時材料の耐力と比較することに問題はないと判断する。	R02 6/4	渡邊
8	高燃焼度燃料の燃焼末期では、耐震評価結果などがぎりぎりの状況となっている。高燃焼度燃料というのはそのような状況下で使用しているということを理解したうえで安全に使用してもらいたい。	高燃焼度燃料は従来燃料に比べて負荷が高い状態で使用していることは認識している。高燃焼度燃料導入当初には、その安全性等について原子力安全・保安院の審査において了承されたものであるが、今後も高燃焼度燃料に関する情報を入手し、不具合等に係る情報に対して必要な対策を行うなど、継続的な安全性向上に適切に対応していきたい。	R02 7/16	渡邊

番号	委員コメント	四国電力回答	日付	コメント 委員
9	<p>今回ラックに乗り上げた燃料は、過去に伊方 3 号機をはじめ複数のプラントで漏えいが発生した燃料と同設計の燃料であるが、漏えいに対してこれまでどのような対策を取ってきたのか。また、今後同設計の燃料は使わないという選択肢もある中で、なぜ現在も使用し続けているのか、事業者の考えを説明すること。</p>	<p>過去に漏えいが発生した燃料については、原子力安全・保安院における検討会において原因究明が行われた結果、燃料棒の水力振動により支持格子位置で燃料被覆管が摩耗するグリッドフレッティングにより漏えいが生じたものと分かった。これに対し、当社としては、漏えい対策を行った新設計の燃料を既に導入しており、漏えいした燃料と同設計の燃料についても、漏えい原因究明を通じて得られた知見を踏まえ、原子力安全・保安院の指示に基づくファイバースコープ点検の実施、炉心内の燃料配置等を工夫するなどの対応を行うことにより、漏えい発生のリスクを十分低減させることができる。</p> <p>漏えいが発生した燃料と同設計の燃料の今後の使用については、上述のとおり適切な対応を行うことにより漏えい発生リスクを十分低減させることができることに加え、これらの燃料を使わないとした場合、相当数の使用済燃料が発生することとなり、廃棄物を徒に増やすことにもつながることから、これらの燃料については、上述の対策を行いながら、慎重に使用していく。</p>	R02 7/16	渡邊

4. 伊方発電所における所内電源の一時的喪失について

番号	委員コメント	四国電力回答	日付	コメント 委員
1	断路器の故障は推定原因であるが詳細な調査はしているのか。	<p>所内電源一時的喪失事象については、要因分析図を作成し、当該断路器について分解や分析等を行い、詳細な原因調査を実施している。(6月4日 資料1-4 P9～P15)</p> <p>推定原因については、実証試験（非接触状態の確認、放電試験）等によって、メカニズムの妥当性を確認したうえで推定したものである。(6月4日 資料1-4 P16～P18)</p> <p>また、計画的に開放点検を実施している中で、内部に粉が確認された南幹2号線乙母線断路器についても、同様の詳細な原因調査を行い、同様のメカニズムによって発生したものと推定している。(6月4日 資料1-4 P27～P29, 参考-9)</p>	R02 3/24	中村
2	原因は推定であるが小さなトラブルが続くときは大きな事故の前触れとなり得る。電源喪失の問題、断路器の回転部分の緩み等はめったにないことであり、どれくらいの確率で起こるのか。技術的な背景をもっと説明してほしい。	<p>当該断路器は、ガス絶縁開閉装置であり、一般的に気中断路器とは異なり、導電部、絶縁部、接触部等は、すべてガスを封入したユニット内に密閉され、外部雰囲気の影響を遮断しているために長期間劣化せず、耐環境性に優れていることから信頼性の高い装置となっている。今回の事象は、嵌合部（セレーション構造）の僅かな隙間が起因となって発生したものである。なお、今回と同様のメカニズムによる故障については、当該断路器メーカにおいても過去に例はなかった。(6月4日 資料1-4 P10)</p> <p>なお、過去の研究における一つの指標として、GIS(ガス絶縁開閉器)の事故確率としては、0.202×10^{-3}件/(台・年)という数値がある。</p>	R02 3/24	占部
3	断路器の故障が原因というが、このような不具合がないことを確認するのが試験だと思う。故障があっても、一時的にしろ電源喪失しないような試験を考えていただきたい。細かな点検に人が対応するのは100%は無理である。点検の開発や体制作りが大事。 特に断路器の故障で電源がなくなったのは改善していただきたい。	<p>電源は重要であることから、多重化・多様化している。</p> <p>今回の事象も、すべての電源がなくなったものではなく、3号機においては外部電源として500kV送電線2回線、亀浦変電所からの配電線、また、非常用ディーゼル発電機や空冷式非常用発電装置など多種多様な電源が待機状態であったとともに、設計どおりに約10秒で非常用ディーゼル発電機から受電されている。</p> <p>しかし、一時的とは言え1, 2, 3号機すべての外部電源が喪失したことに鑑み、今後、試験を再開する際は1, 2, 3号機が同時に停電しないよう模擬負荷装置を使用することとしている。(6月4日 資料1-4 P3, 4, 24, 26)</p>	R02 3/24	藤川

番号	委員コメント	四国電力回答	日付	コメント 委員
4	同一構造の断路器において、既にいくつか放電したものを確認したことだが、この構造をもった断路器については、同様の故障が一般的に生じ得るという認識なのか。	<p>メーカ等の使用実態からは、短絡まで起こった事例はなかったと聞いているが、同一構造の断路器においては、嵌合部で隙間が生じて、今回のような放電が起り得るという前提に立って、部分放電の検知に関して常時計測することで対応したい。</p> <p>なお、メーカと協議しながら、恒常的な対策についても検討していく。</p>	R02 6/4	中村
5	調査結果の運転履歴の確認事項において、「メーカ動作確認回数である 10,000 回を十分に下回り（約 350 回）」とあるが、メーカが実施している動作確認とはどのような試験なのか。	<p>メーカでは、断路器の機械的強度を確かめるため、J E C（電気規格調査会標準規格）に基づき、電圧をかけない状態で開閉動作を 10,000 回行う耐久試験を実施し、開閉に伴う機械的な損耗がないことを確認している。</p> <p>今回は、約 350 回程度しか開閉動作をしていない断路器で発生した事象であり、開閉に伴う機械的損耗ではなく、嵌合部の隙間で生じた放電が原因で短絡したものと推定している。</p>	R02 6/4	中村

5. 伊方発電所 連続発生したトラブルの総括評価について

番号	委員コメント	四国電力回答	日付	コメント 委員
1	保全や保守の管理の状況が今どうなっているか、それが最近低下したことはないか、そして、今後に向けてどう改善していくかというか、定量的なものをどうやっていくか、というようなことを説明していただきたい。	<p>今回のトラブルの連続発生を機に、伊方発電所の保守管理プロセスを調査したところ、①点検計画の策定、②保全の実施、③保全の有効性評価、④保守管理の有効性評価といったプロセスが定められたとおりに実施されており、各トラブルの発生原因が保守管理プロセスに起因するものではないことも確認できることから、同プロセスは有効に機能していると確認できた。</p> <p>今後も、保守管理プロセスを適切に運用することにより、保守管理の継続的な改善を図っていく。</p> <p>(6月4日 資料1-5 P30)</p>	R02 2/18	村松
2	<p>トラブルを未然に防ぐための努力、保守管理における不適合の未然防止の活動としては、通常は何がなされていて、疎かになつたということはないかということを、実際に起こったトラブルの中で確認をしたい。</p> <p>併せて、それに関連する教訓、今後の改善というものがあれば教えていただきたい。</p>	<p>伊方発電所では、「①点検計画の策定→②保全の実施→③保全の有効性評価→④保守管理の有効性評価→①」といったPDCAサイクルを回すことにより、保守管理を実施している。</p> <p>今回の4事象については、下記のとおり、いずれも発生原因は保守管理プロセスに起因するものではない。</p> <p>○事象I（運転上の制限の逸脱）・事象II（制御棒引き上がり）・事象III（落下信号発信）は、設備故障が発生した事象ではなく、保守管理プロセスに起因するものではない。</p> <p>○事象IV（所内電源一時的喪失）は、過去に経験のない故障によるものであり、保守管理プロセス自体に不備があった訳ではない。</p> <p>なお、事象IVについては、過去に経験のない故障によるものであり、本事象を想定した保全項目は設定していなかったが、これまで運用してきた保守管理プロセスに沿った是正処置を検討し、当該機器の監視強化等を行うこととした。</p> <p>(6月4日 資料1-5 P30)</p>	R02 2/18	村松

番号	委員コメント	四国電力回答	日付	コメント 委員
3	原子力安全を考えると、安全文化の醸成は大事。日本のような文化で外国ではできることができ定着できるのか。具体的な施策はあるのか。	<p>従来から伊方発電所では、安全文化醸成活動の目標として、WANOW文書を参考に「健全な安全文化の特性」を定めており、その特性の一つに「継続的な学習」も含まれている。</p> <p>また、R2年3月31日に新規制定した「原子力発電所 安全文化育成および維持活動要領」において、目標、計画、実施、評価の手順を定めている。</p> <p>この活動の有効性については、年度業務計画の実施状況評価、意識調査（アンケート）及びCAP（改善措置活動）による傾向監視の評価や、JANSIやWANOWによる外部評価を総合的に評価し、評価結果を次年度の活動へ反映して継続的に改善を進めていくこととしており、これらの取り組みは、海外の考え方とも合致している。</p> <p>(6月4日 資料1-5 P32, 33)</p>	R02 3/24	森
4	<p>安全文化の醸成については日本と外国とではやり方が全然違う。日本は管理をするという発想だが、外国は無条件でスタッフを尊重したうえで、スタッフが十分に勉強していかなければ、勉強を促すということを繰り返して、全体のレベルを上げていくやり方。これは「OECD/NEA（経済協力開発機構／原子力機関）※」で実施している。日本と外国とでは風土が異なるので、日本は日本の文化として、どうやっていくかというのを経験を積み重ねながらやって行ってほしい。</p> <p>※ 安全かつ環境的にも受け入れられる経済的なエネルギー資源としての原子力エネルギーの発展に貢献することを目的として、原子力政策・技術に関する情報・意見交換、行政上・規制上の問題点の検討、各国法の調査及び経済的側面の研究等を行っているOECDの専門機関。</p>	<p>一方、OECD/NEAにおいては、「国の文化は安全文化を醸成し強化するために考慮すべき要素の1つ」との考え方方が示されている。当社としては、今後とも、海外の良いところを取り入れつつ、日本のやり方で安全文化醸成を進めていくのが良いと考えており、新規制定した上記要領に基づく活動に加え、双方向のコミュニケーション形式による幹部と発電所員等の意見交換を継続して実施していくことで、安全文化醸成を進めていく。</p> <p>(6月4日 資料1-5 P20～23, 35)</p>	R02 3/24	中村

番号	委員コメント	四国電力回答	日付	コメント 委員
5	<p>事象が重なったことについて、トラブルの未然防止のためのチェックがどうなっているのか等の要望を原子力安全専門部会でしており、今回の報告書を読んで、前向きに答えていただいていると感じた。</p> <p>新しいチームでチェックすることについては、前向きであり評価できる。作業要領書の充実とレビューの新チームの設置は、特に画期的であり、今まで規制側の対応だけであったが、これに対して、この機会により良くするという発想で一歩踏み出した。今後、このチームがどれくらいの実効性を持ってやれるかが重要。また、どう運営していくかにかかっている。部会でもその予定について、伺っていきたい。</p>	<p>作業計画段階において、作業要領書や作業実施時期の妥当性に対するレビューを実施するとともに、継続的な改善を行うため、新チーム（プロセス管理チーム）を本年4月1日に設置し、活動を開始している。</p> <p>今後、本チームにおいてレビュー機能の有効性を検証し、組織に係る保安規定の変更認可を得て恒常的な組織を設置することとしている。</p> <p>(6月4日 資料1-5 P34, 40)</p>	R02 3/24	村松
6	作業要領書の充実などがあるが、作業員が個人で勉強するのか、グループで勉強するのか手順の確認のやりかたも踏まえて、新チームでレビューしていくのが良いのではないか。	<p>作業関係者は、事前に、グループで作業要領書の内容を確認して、作業当日も再度確認を実施している。</p> <p>本年4月1日に設置した新チームは、工事施工会社から提出、作業担当課が確認した作業要領書について、リスクの低減や品質保証の観点からレビューを実施し、必要に応じ作業担当課と協議したうえで作業要領書の見直しが実施される。この流れを継続することにより、作業担当課と新チームの間で十分なコミュニケーションが図られ、関係者の「問い合わせる姿勢」に対する理解が更に深まっていくものと考えている。</p> <p>また、今後とも、見直し後の作業要領書を用いて作業関係者による読み合わせを行うことで、より確実な作業を実施していく。</p> <p>(6月4日 資料1-5 P40)</p>	R02 3/24	中村
7	もう少し密に点検を行っていれば、連続して4つのトラブルは起きなかつたと思われる。停止時に点検を一斉に行うとトラブル等が重なる確率が高くなると考えられるため、発電所の運転中でも可能な点検については、こまめに実施してほしい。	<p>伊方発電所では、信頼性保全分析により故障時のプラントへの影響度合い・故障発生の可能性等を踏まえて保全重要度を決定するなどし、設備ごとに保全方式や点検計画を定めて、保守管理を実施している。(6月4日 資料1-5 P29)</p> <p>設備によっては、停止時にしか点検できないものもあれば、必ずしもそうではないものもある。停止時にしか点検できない設備についても、運転中に状態監視を行うなど、トラブルを未然に防ぐための取り組みを行っている。</p>	R02 6/4	高橋

番号	委員コメント	四国電力回答	日付	コメント 委員
8	<p>6月4日 資料1-6のNo.10の回答「事象I～IIIは設備の故障ではないので保守管理プロセスに起因するものではない」について解釈を確認したい。</p> <p>保全に関する活動は、ハードウェアの信頼性を確保する活動（保守管理プロセス）と作業管理の信頼性を確保する活動（トラブルが発生しないように作業計画すること）があり、保守管理プロセスに劣化はなかったと認識しているが、作業管理の信頼性を確保する行動にも劣化はなかったとの認識で良いか。</p>	<p>6月4日 資料1-5での整理としては、保守管理プロセスは委員のご理解どおりハードウェアの信頼性を確保する活動であり、一方、作業管理の信頼性を確保する活動については、保守管理プロセスとは別と整理し、その妥当性を定期検査プロセスの調査で確認している。</p> <p>調査の結果、保守管理プロセスは適切に運用されており、事象I～IIIともハードウェアの故障ではなく、事象IVは過去に経験のない故障であったことから、共通原因として保守管理プロセスの劣化があつたわけではない。</p> <p>一方、定期検査プロセスについては、適切に実施されてきており同プロセスに劣化があつたわけではないが、事象I、III、IVの発生を踏まえて、新チームを設置し、独立した立場から、作業担当部門が策定した作業計画の妥当性を確認するとともに、継続的な改善を図るなどの改善策を実施することとした。</p>	R02 6/4	村松
9	定量的リスク評価には、事前のリスク評価、起こった事象の重要度評価及び定量的なトレンド分析という3つの重要な役割があるが、それぞれどのような取組みを進めているのか。	<p>事前のリスク評価については、従来からの取組みとして、定期検査を行う際には、作業計画段階において、停止時リスクの定量的評価を確認して周知するとともに、自主的な安全性向上のほか、規制庁において新たに定められた安全性向上評価届出制度の中で確率論的リスク評価等を実施しており、教育・訓練等への反映を進めている。</p> <p>さらに、本年4月に設置した新チームでは、作業実施時期の妥当性について、安全上重要な機器の作業が原子力安全リスク上問題のない時期に計画されていることを確認するといったレビューを行うこととしている。</p> <p>事象の重要度評価については、新検査制度に基づく原子力規制検査においても評価されることになっているが、事業者としてもこうした評価を実施したいと考えており、そのためには確率論的リスク評価モデルの高度化等に取り組んでいる。</p> <p>定量的なトレンド分析については、規制で用いられる安全実績指標の他にも自主的に採取しているデータがあり、ハード、ソフトの観点から分析できるようにしている。</p>	R02 6/4	村松

番号	委員コメント	四国電力回答	日付	コメント 委員
10	再発防止策として新設する、作業計画等を独立した立場からレビューする新チームにおいては、リスク評価の活用は、非常に相性がよく、その業務に役立つと思うので、研鑽を重ね、また会社としても配慮してほしい。	<p>新チームでは、原子力安全リスクに係るレビューも実施することとしており、安全上重要な機器の作業が原子力安全リスク上問題のない時期に計画されていることを確認することとしている。 (6月4日 資料1-5 P40)</p> <p>新チームは、本年4月1日に活動を開始したばかりであるが、レビュー業務について試行を重ねつつ、チームとしての技量を上げていく。</p>	R02 6/4	村松
11	新チームが行う作業要領書などのレビュー活動と、例えばC A Pなどの新検査制度における取り組みは、両者の状況を見ながら、協力した形で進めるのが合理的と感じるがどうか。	新チームの活動は、トラブルを少なくするという観点では、新検査制度における取り組みと関係している。四国電力としては、リスク情報の活用とC A P制度の活用等パフォーマンスベースの取り組みによって、新検査制度を円滑に導入していきたい。	R02 6/4	中村
12	日本の文化に即した方法として、双方向のコミュニケーションにより、安全文化の醸成を図っていくこととしているが、安全管理とは峻別したかたちで進めることができると理解しているか。	安全文化は、いろいろな活動のベースとなるものと考えている。その中で、社長と原子力本部長が発電所員や関係会社等と行ったひざ詰めでの意見交換等の双方向コミュニケーションについては、相手が本音を言ってくれるであろう取組みであるため、安全管理とは異なり、自発的な活動を推進できるものと考えている。	R02 6/4	中村
13	安全文化については、日本と海外とでは考え方や捉え方にかなり違うところはあるが、ぜひ、海外における取組みも参考にしながら、トラブルの未然防止に努めてほしい。	4年に一度実施されているWANOのピアレビューでは、海外の発電所に勤務するピア（仲間）からレビューを受けている。また、J A N S Iからは定期的に海外の良好事例についての紹介を受けている。これらの取り組みを有効活用することにより、トラブルの未然防止に努めていく。	R02 6/4	中村
14	ひざを突き合わせて話し合うことは日本のいいとは思うが、それが「言いやすいこと」を担保していることには必ずしもならない。現状の取り組みに修正を求めるものではないが、社員が自律的に問題点を見出し、議論できる素地を作ることが大事だと思われるため、その点、今後、より考えていただきたい。	<p>社員が自律的に問題点を見出すためにも、「問い合わせる姿勢」醸成の取り組みを実施している。</p> <p>また、「言いやすい」環境を醸成するためにも、引き続き関係者間で緊密なコミュニケーションを実施することや、他社ベンチマークにより良好事例を積極的に取り入れるといった職場環境の改善活動を継続していく。</p> (6月4日 資料1-5 P36)	R02 6/4	森

6. 全般

番号	委員コメント	四国電力回答	日付	コメント 委員
1	委員も、発電所の細かな設備がすべてわかるものではない。例えば、電源の構成とか、燃料の移動など動画等があれば理解が進むと思う。	各トラブルの6月4日 資料1-1～1-4に現場の状況が分かる写真を追加した。	R02 3/24	中村

2 環 委 第 2 号
令和 2 年 7 月 30 日

愛媛県知事 中 村 時 広 様

伊方原子力発電所環境安全管理委員会
会 長 神 野 一 仁

伊方原子力発電所環境安全管理委員会の審議結果について（報告）

このことについて、伊方原子力発電所環境安全管理委員会を開催し、下記のとおり委員会の意見を取りまとめましたので、報告します。

記

- 1 令和元年度伊方原子力発電所周辺環境放射線等調査結果について
空間放射線の測定結果は、伊方発電所からの放出と考えられる線量率の変化は認められない。
また、環境試料等の核種分析結果については、一部の環境試料から、セシウム-137等が検出されたが、微量であり、人体への影響上問題となるような濃度は認められていない。
- 2 令和元年度伊方原子力発電所温排水影響調査結果について
過去の調査結果と比較して同じ程度であり、特に問題となるものは認められない。
- 3 伊方発電所の通報連絡事象について
(伊方発電所で連續発生したトラブルに関する報告書について)
個々のトラブルについては、推定原因の如何にかかわらず、確実に再発を防止できる対策を講じることとしており、トラブルが連續した背景については、組織面や技術面など様々な視点から調査・検証を行った上で、安全文化の醸成に向けた総括的な再発防止策を積極的に講じることとしており適当と判断する。
また、再発防止策の確実かつ継続的な実施及び更なる伊方発電所の安全性向上につながる取組みとして取りまとめた、5項目の要望事項について、県から四国電力に要請することを求める。

添付：伊方発電所 3 号機第 15 回定期検査中に連續発生したトラブルに関する報告書

四国電力株式会社
取締役社長 長井 啓介 様

愛媛県知事 中村 時広

伊方発電所で連續して発生したトラブルへの対応について

本年1月に伊方発電所で連續して発生したトラブルに関して、貴社から、3月17日に原因を調査して再発防止策を取りまとめた報告書の提出がありましたが、今後、この再発防止策を確実に実施するとともに、下記事項についても追加して取り組むことを強く要請します。

また、定期検査の再開に当たっては、安全確保に、より一層努めるとともに、引き続き、「えひめ方式」による通報連絡体制を徹底するよう重ねて要請します。

記

1 更なる安全性向上に向けた詳細調査の実施について

「事象2 伊方発電所第3号機 原子炉容器上部炉心構造物吊り上げ時の制御棒クラスタ引き上がり」については、他のプラントも含め過去に事例のない事象であることから、不完全結合の防止に留まることなく、PWR(加圧水型原子炉)の安全性向上という大局的かつ長期的な視点に立って、根本原因であるスラッジ(マグネタイト)の発生メカニズム、挙動等について継続的に調査・研究し、その結果を学会や専門誌等で発表するとともに、発生量の低減に向けて取り組むこと。

2 恒常的な対策による安全性の確保について

「事象4 伊方発電所における所内電源の一時的喪失」については、断路器の構造上、ごく稀に嵌合部に隙間が生じるために放電が発生したことが原因と推定されており、短絡の兆候が見られている同型断路器も確認されていることから、再発防止策である部分放電診断と内部異物診断による状態監視の徹底と並行して、メーカーとも協議しながら、改造や新設備導入等による恒常的な対策による更なる安全性確保に取り組むこと。

3 安全文化の醸成について

安全文化の醸成は、一朝一夕に確立できるものではなく、継続的な取組みが必要不可欠であるため、形式的な方法に陥ることなく、海外の取組みも含め広く情報収集を行うとともに、双方向のコミュニケーションの重要性を意識して、効果的な取組方法を不断に見直すこと。

また、社員教育においては、教育する側も含めて参加者全員が様々な角度から議論できる体制を整備し、「問い合わせる姿勢」の定着のみならず、「問い合わせる能力」についても向上に向けて継続的に取り組むとともに、取組状況を積極的に発信すること。

4 新チームの研鑽について

作業要領書や作業計画の妥当性等を独立した立場からレビューする新チームの設置は、非常に前向きで画期的な取組みであるが、この新チームが十分機能し、トラブルの未然防止が図られるか否かは、今後の運用・活用方法次第であるため、新チームの活動自体にもCAP制度やリスク評価を活用するなど研鑽を重ね、伊方発電所の安全性向上を担う中核組織として育てること。

5 技術力の維持・向上について

3号機一基体制となったことによる現場作業経験の減少やベテラン社員・作業員の定年退職等を踏まえ、これまで蓄積されたノウハウの維持が難しくなる懸念があるため、教育訓練の充実・強化に努めるだけでなく、他電力やメーカーなど海外を含めた外部組織からの情報収集を積極的に行うことにより、技術力の維持・向上に努めること。また、教育訓練については、これまでの内容に加え、外的事象やテロを含めたシビアアクシデントの防止や発生時の対応等の広範な知識の習得が強く求められているため、優先度も考慮しながら、合理的な訓練プログラムとしていくこと。

その上で、安全上重要な作業については、四国電力社員が主体となって実施するとともに、社員一人ひとりが、電力事業者としての責任を持って取り組むこと。

6 県民の信頼回復について

社長自らリーダーシップを強く發揮し、再発防止策及び上記追加要請事項の徹底による安全確保を図っていくとともに、その旨を県民に丁寧に説明すること。また、関係会社も含めた社員全員の安全意識の向上に不退転の覚悟で継続的に取り組み、県民の信頼回復に努めること。

7 安全性の不断の追求について

これまでも、国の求める安全基準は最低条件という認識で、その基準を上回るアディショナルな対策を要請してきたが、今回の連續トラブルを真摯に受け止め、また、この機会を捉え、再度、「安全対策に終わりはない」との強い信念の下、最新の知見等に基づく安全性を不斷に追求し、自ら積極的に安全対策を講じること。