

本資料のうち、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。

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 0 2 0 年 2 月
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

2020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（2019年12月26日解列）中、燃料取出作業のため、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作業^{※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、2020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、2020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、2020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

燃料取出作業にあたっては、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、燃料取出作業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モ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（2020年1月12日～13日）、以下のとおり、制御棒クラスタと駆動軸の結合、切り離し確認等を実施し、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り、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。

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げりの原因について、要因分析図に基づき現地および図面や製造記録の調査を行った。

(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出来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・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。

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。
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たことから、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、タイベック（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ないことを確認した。

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。

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ことを確認した。

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、特殊な操作ではないことを確認した。

（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ほか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ている。

- ・ 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【調査継続中】

- ・燃料取出前（2020年1月13日）に水中カメラ（白黒）で制御棒クラスターの頭部全体の外観確認を実施し、外観形状に異常はなく、制御棒クラスター案内管（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ー（M-4）頭部のスパイダ円筒部内（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。

- ・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）で制御棒クラスター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ー（M-4）頭部のスパイダ円筒部内（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の制御棒クラスターについても比較のため外観確認を実施した結果、M-4の制御棒クラスターと同様に堆積物が確認された。

制御棒クラスターの調査の結果、制御棒クラスター頭部の円筒部内に堆積物が確認されたため、今回の事象に関連している可能性について継続して調査を実施中である。

（添付資料－8－4）

（5）駆動軸（制御棒クラスターとの結合部含む）

駆動軸の調査については、事象が発生したアドレスのほか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ている。

- ・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）【調査継続中】

- ・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）の接手外面の円筒部とテーパ部の境界近傍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面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制御棒クラスターと取り合う箇所と相当し、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の事象で生じたものである可能性が高い。

- ・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、接手内面テーパ部近傍に金属光沢を有する接触痕を確認した。

接手内面テーパ部近傍は位置決めナットおよびロックナット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の事象に関連している可能性がある。

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傷が確認された。

- ・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位置では接手外面テーパ部と制御棒クラスタが取り合うが、その接触痕は局所的な接触痕よりも軽微であった。

- ・駆動軸取外し工具との取り付け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。
- ・また、駆動軸の外観確認により、目視可能範囲に異物は確認されなかった。

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の寸法に有意な差がないことを確認した。

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ることを確認した。
- ・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いことを確認した。

駆動軸の調査の結果、駆動軸（M-4）の接手の内外面に金属光沢を有する接触痕が確認され、接手内面と接触する位置決めナットにも傷が確認されたため、今回の事象に関連している可能性について継続して調査を実施中である。

（添付資料-8-5）

（6）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た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。

- ・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）

（7）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)

(8) 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ことを確認した。
- ・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ことを確認した。
- ・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いことを確認した。
- ・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)

(9) 類似事例調査【調査継続中】

- ・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類似事例は確認されなかった。
- ・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。

海外で類似事例が確認されたことから、引き続き詳細を調査中である。

(添付資料－ 9－ 4)

10. 推定メカニズム

調査結果を踏まえ、メカニズムを解明する。

11. 対 策

調査結果および推定メカニズムを踏まえ、対策を講ずる。

以 上

添 付 資 料

- 添付資料－１ 時系列
- 添付資料－２ 事象発生時のプラント状況
 - －２－１ 発電用原子炉施設の影響記録
 - －２－２ 放射線管理モニタ記録
- 添付資料－３ モード６における停止余裕の管理
- 添付資料－４ 各機器の構造図
 - －４－１ 原子炉容器
 - －４－２ 制御棒クラスタ駆動装置
 - －４－３ 上部炉心構造物
 - －４－４ 制御棒クラスタ
- 添付資料－５ 事象発生時の作業状況
- 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
- 添付資料－７ 要因分析図
- 添付資料－８ 各機器等の調査結果
 - －８－１ 作業体制および手順等の調査結果
 - －８－２ 駆動軸取り外し工具の調査結果
 - －８－３ 計測器の調査結果
 - －８－４ 制御棒クラスタの調査結果
 - －８－５ 駆動軸の調査結果
- 添付資料－９ 製造履歴等調査結果
 - －９－１ 製造履歴調査結果
 - －９－２ 点検実績調査結果
 - －９－３ 運転履歴調査結果
 - －９－４ 類似事例調査結果

時系列

2019年12月25日（水）

20時20分 発電機負荷降下開始

2019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

2019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

2020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

2020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

2020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

2020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

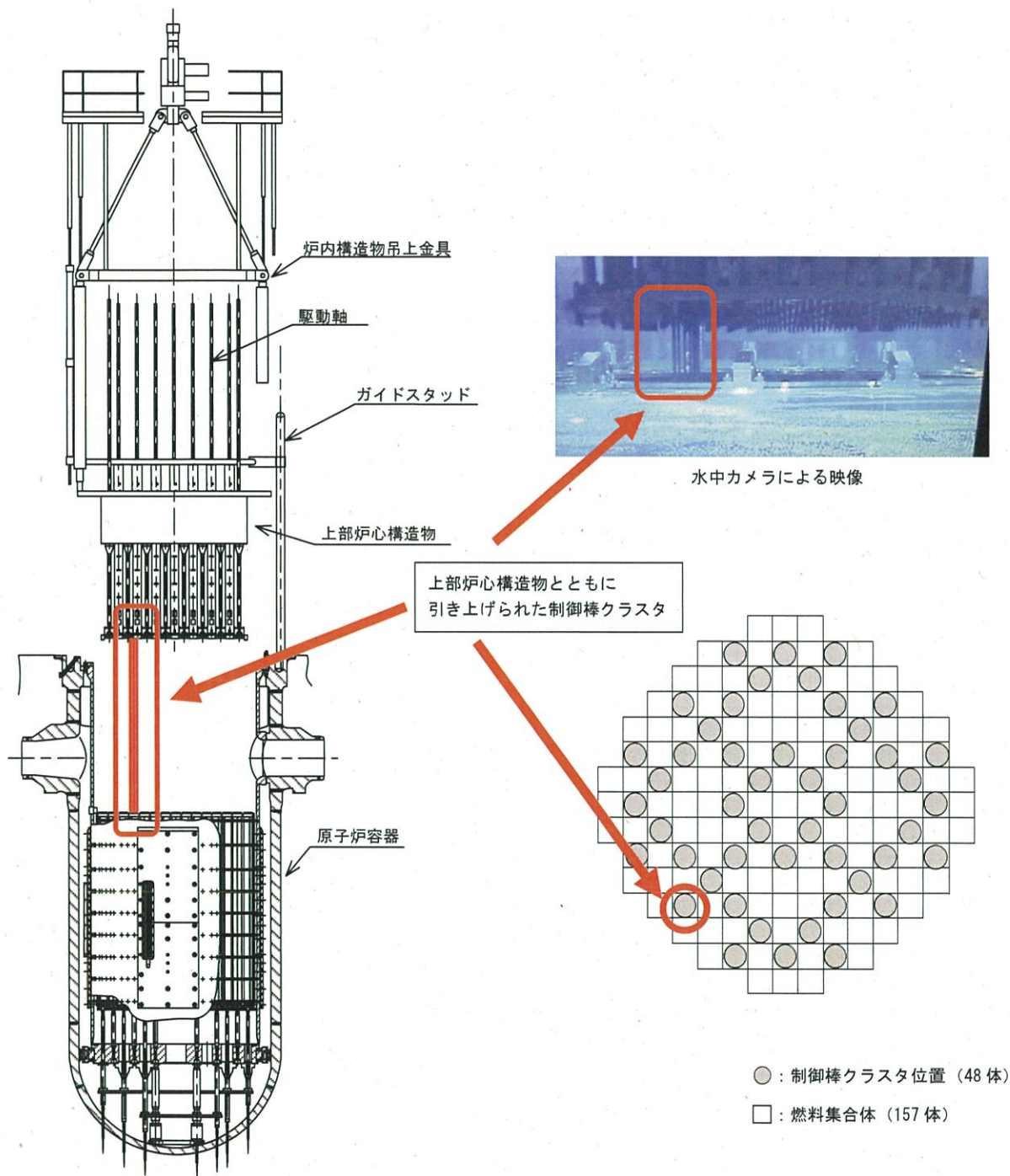
2020年1月15日 (水)

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
-------	--

2020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

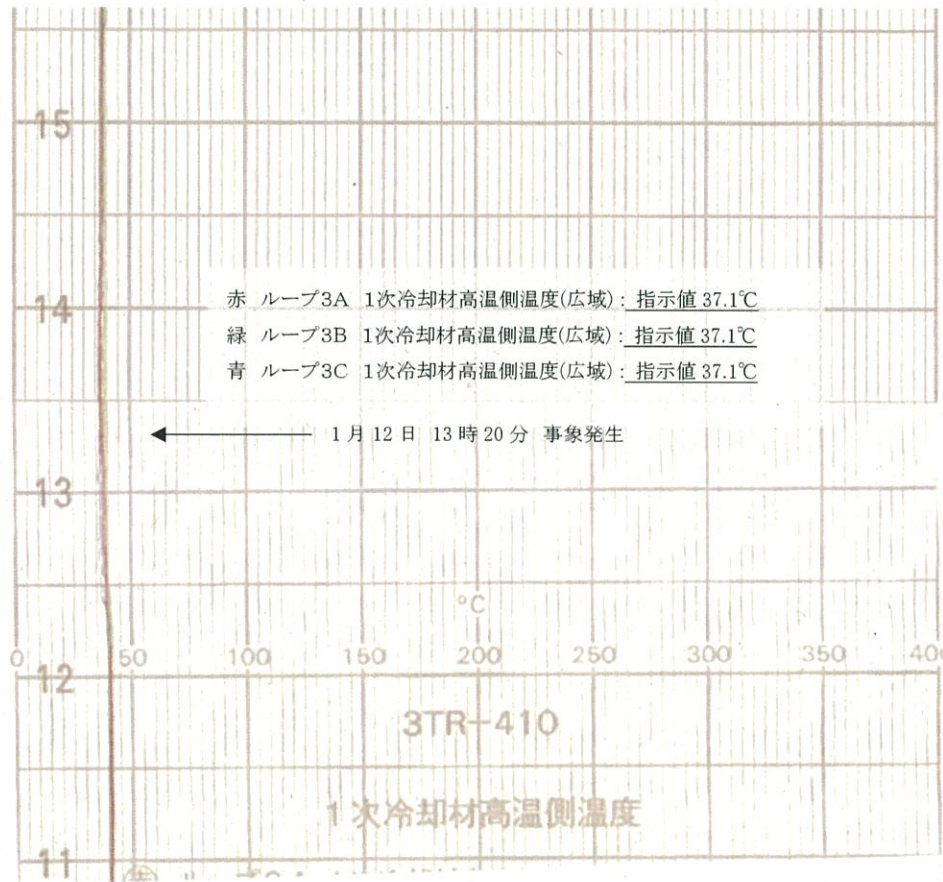


図－ 1 事象概要図

発電用原子炉施設の影響記録

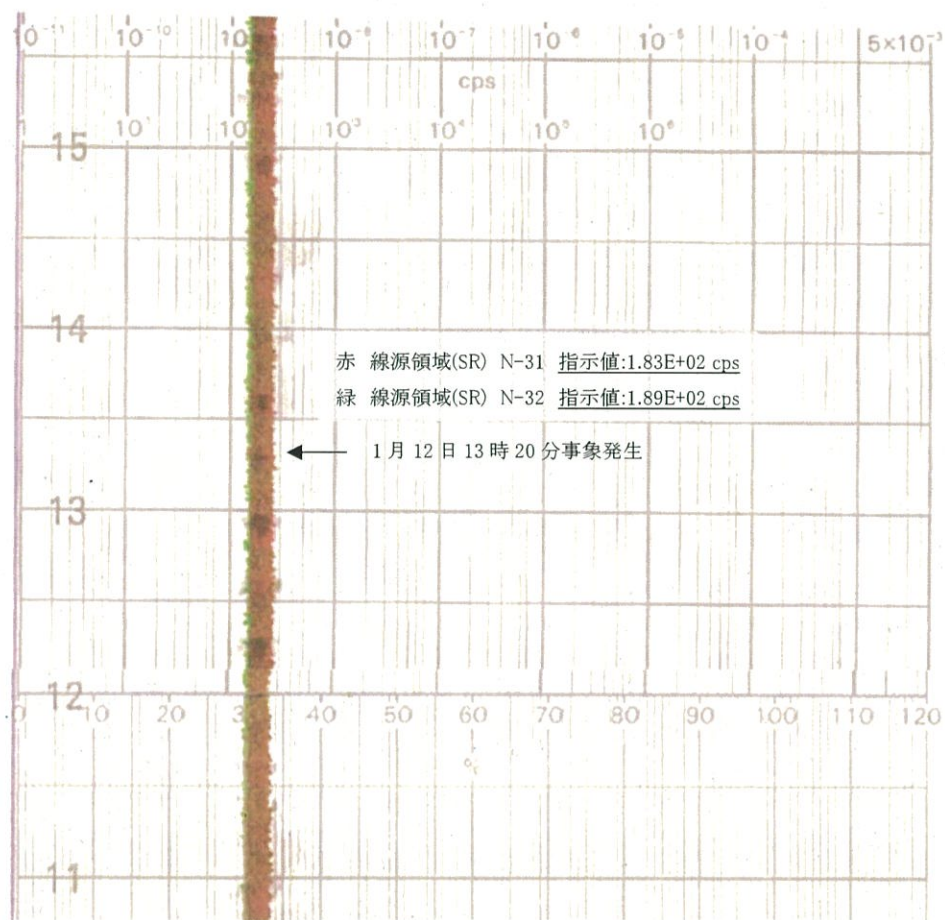
○ 1 次冷却材高温側温度

[1月12日 11時00分～15時30分]



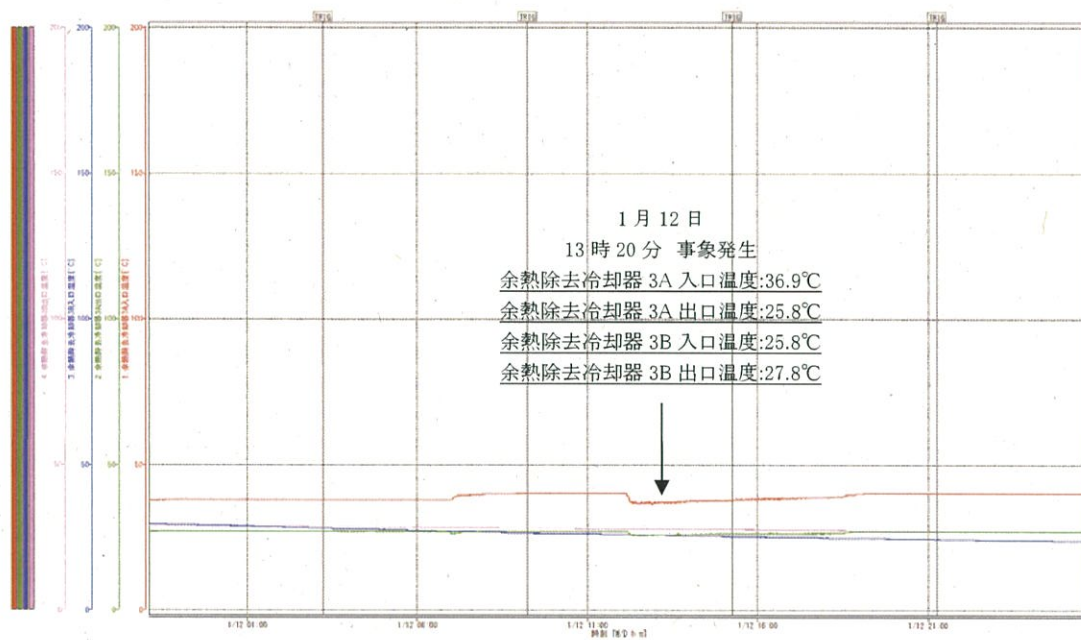
○原子炉出力

[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

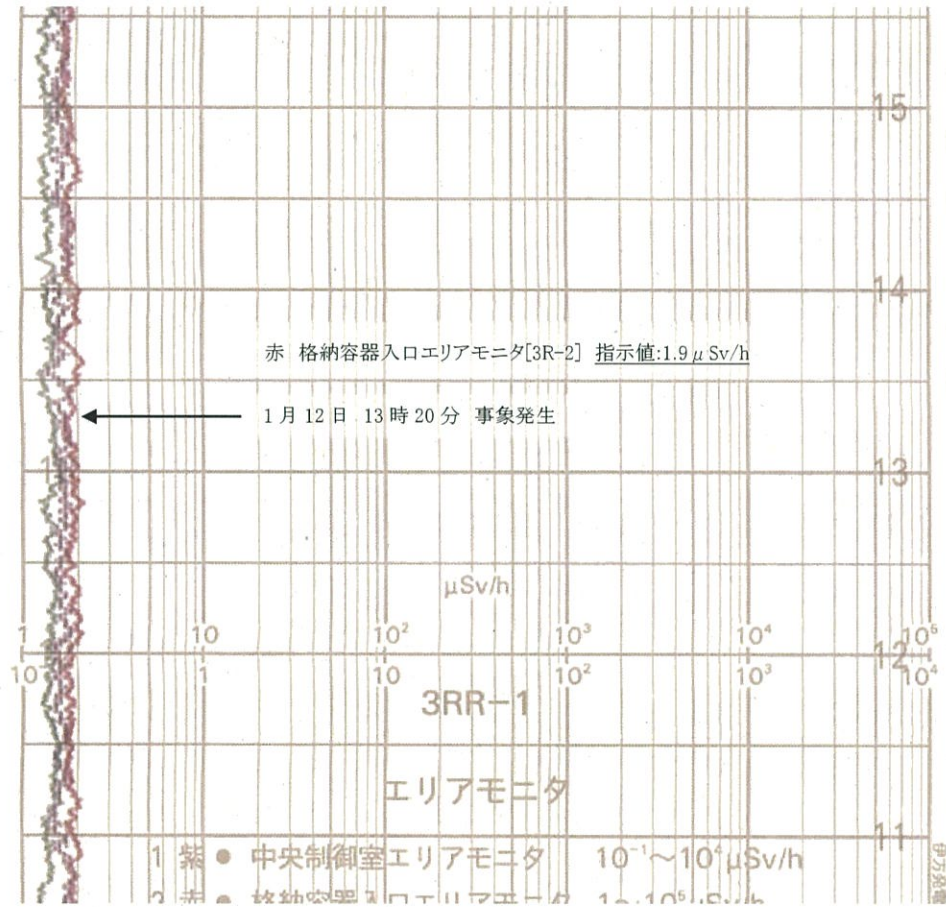
[1月12日 1時00分～21時00分]



放射線管理モニタ記録

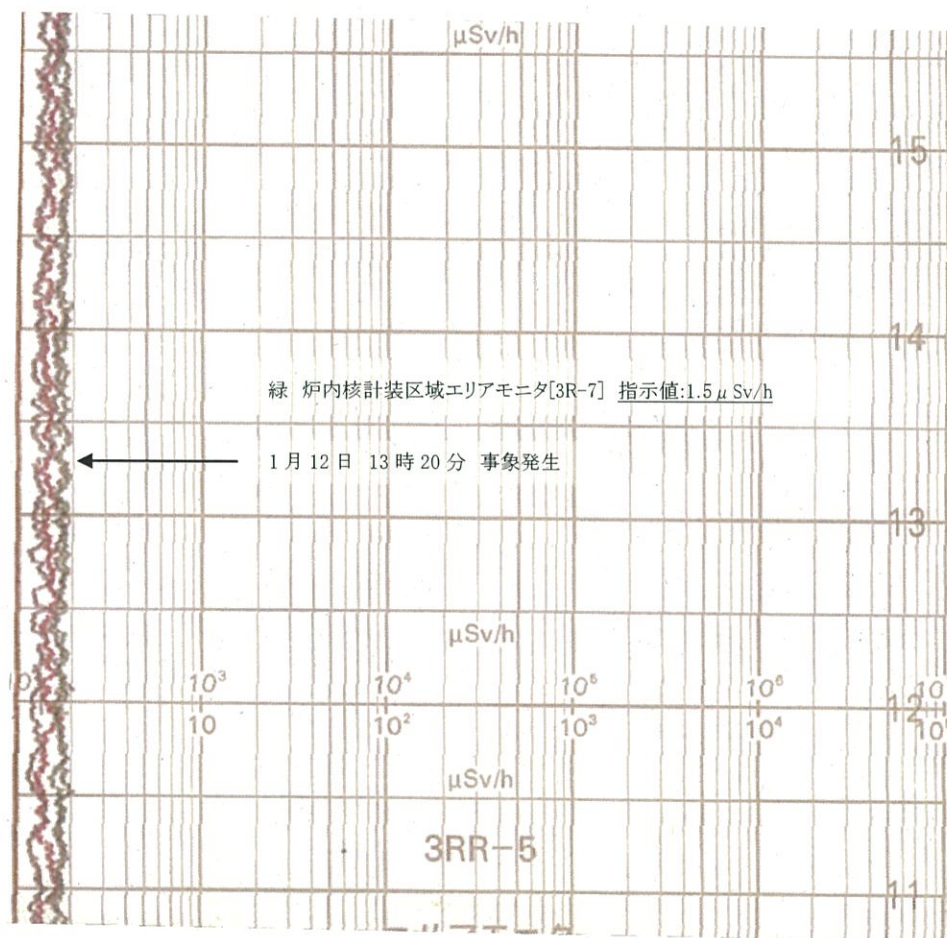
○エリアモニタ (1/2)

[1月12日 11時00分～15時30分]



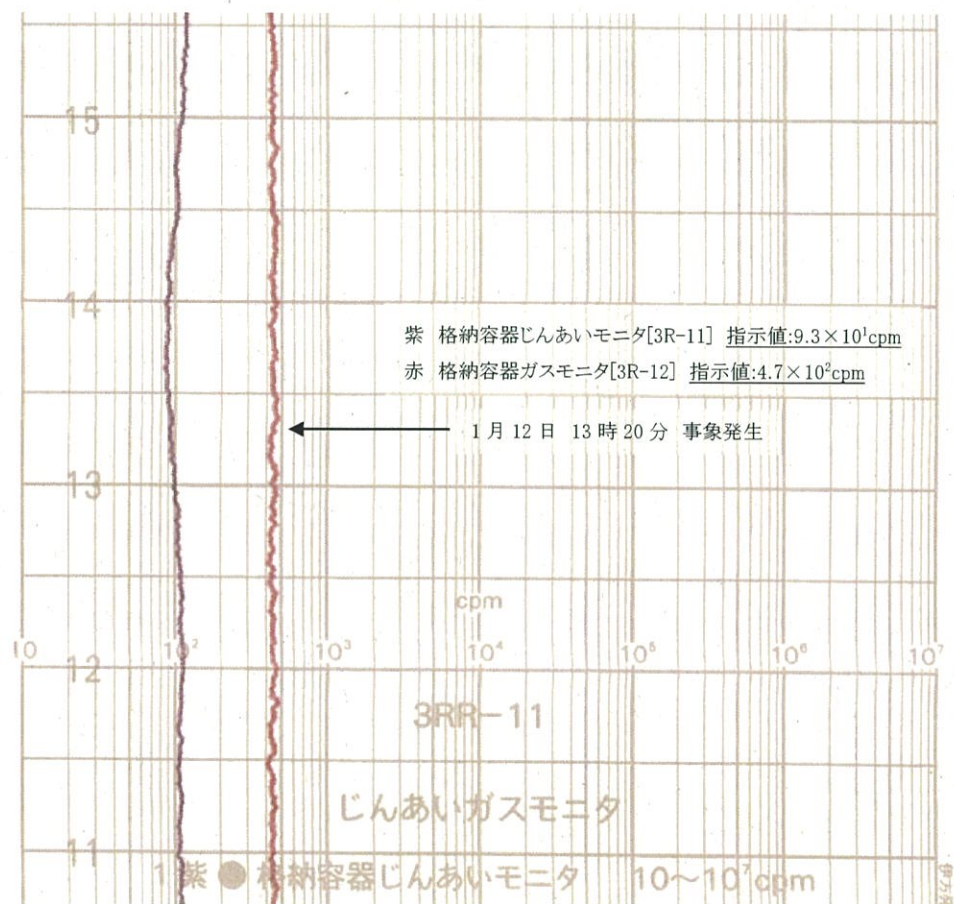
○エリアモニタ (2/2)

[1月12日 11時00分~15時30分]



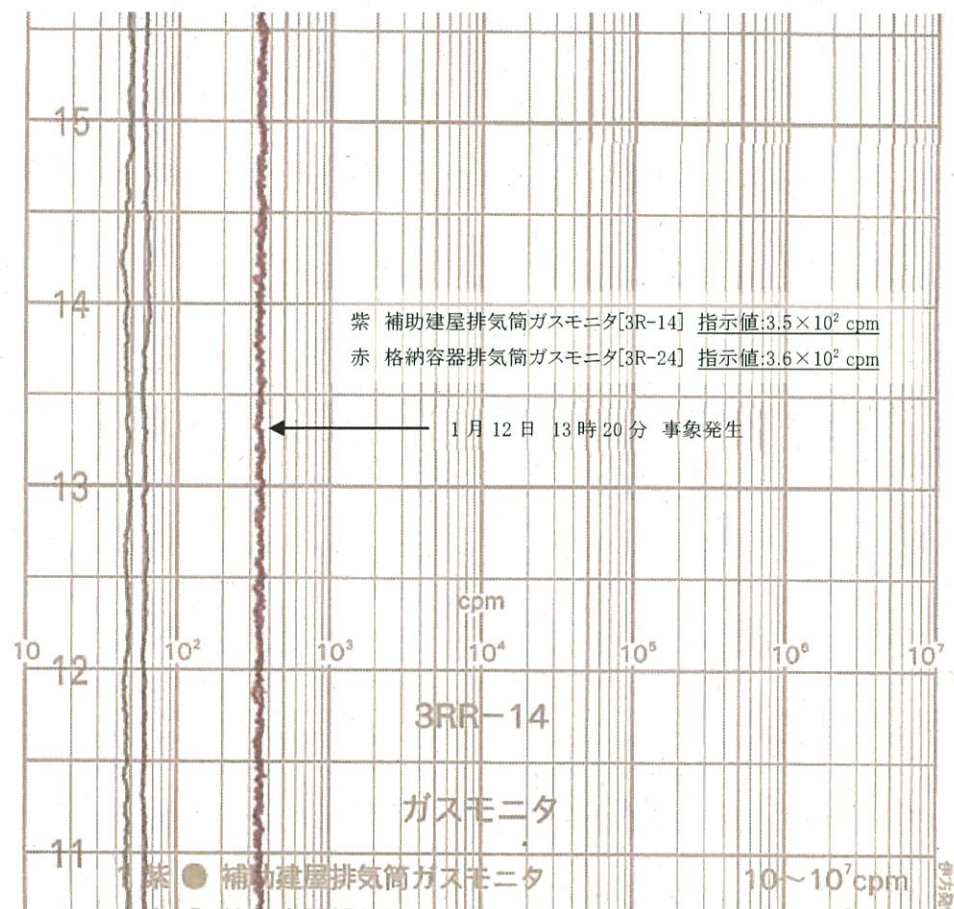
○プロセスモニタ (1/2)

[1月12日 11時00分~15時30分]



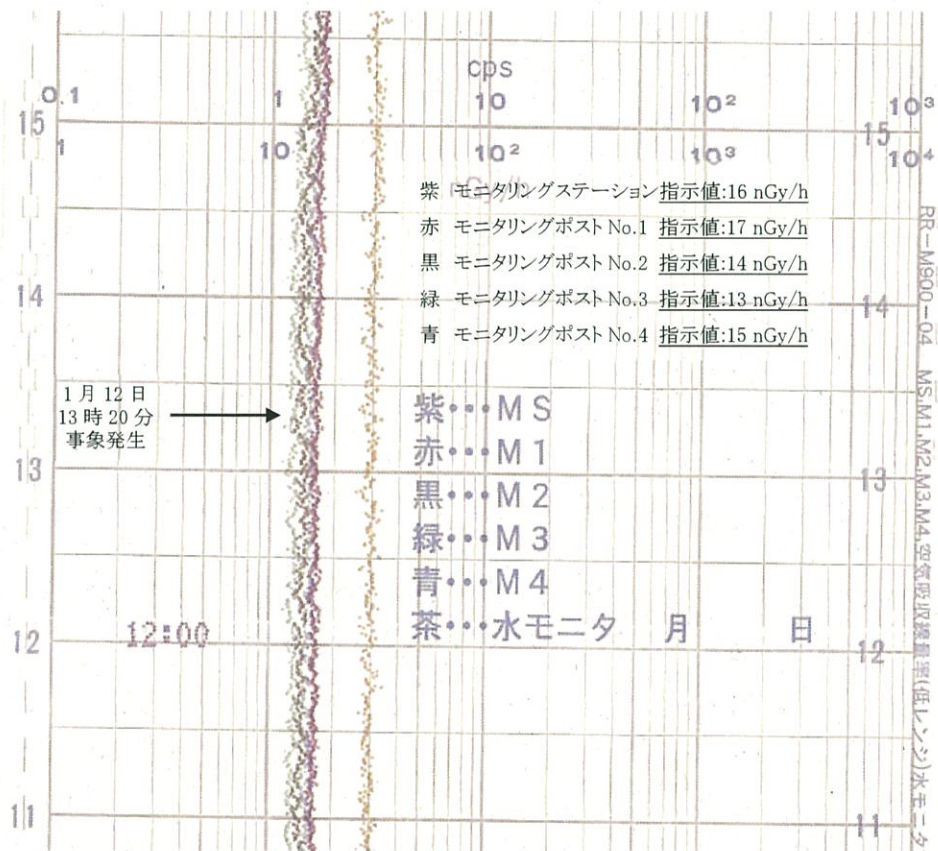
○プロセスモニタ (2 / 2)

[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. サンプルング結果

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、4400ppm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次冷却材のサンプル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ルングの結果から、モード6において、サンプルング結果が、保安規定第80条に定めるほう素濃度を下回ることではなく、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ルング結果

サンプルング日時	モード	運転上の制限の 燃料取替時のほう素濃度 [ppm]	サンプルング結果 [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。

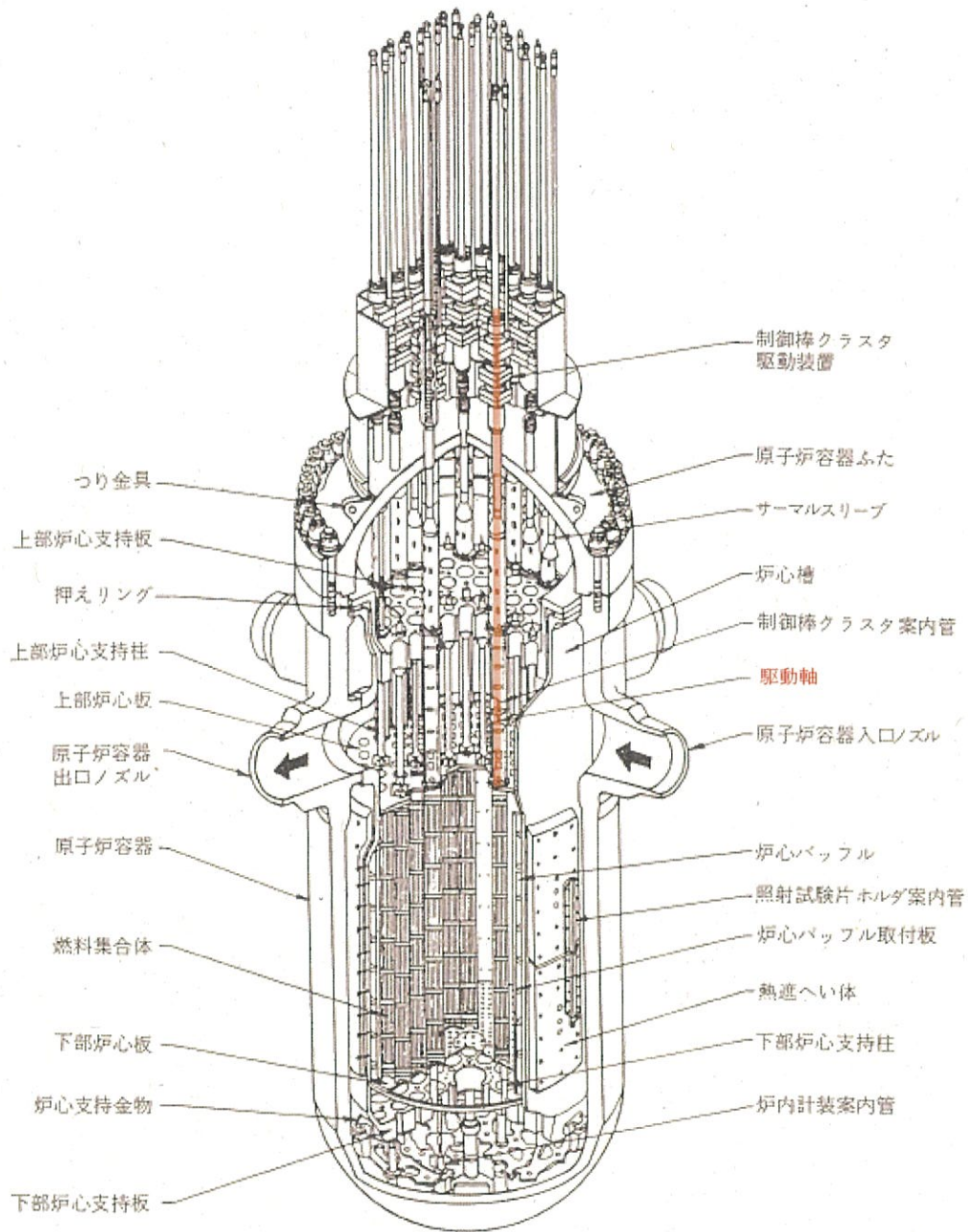
このことから、制御棒クラスタが1本引き上がった本事象発生時においても、炉心の未臨界性は十分に確保されている。

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

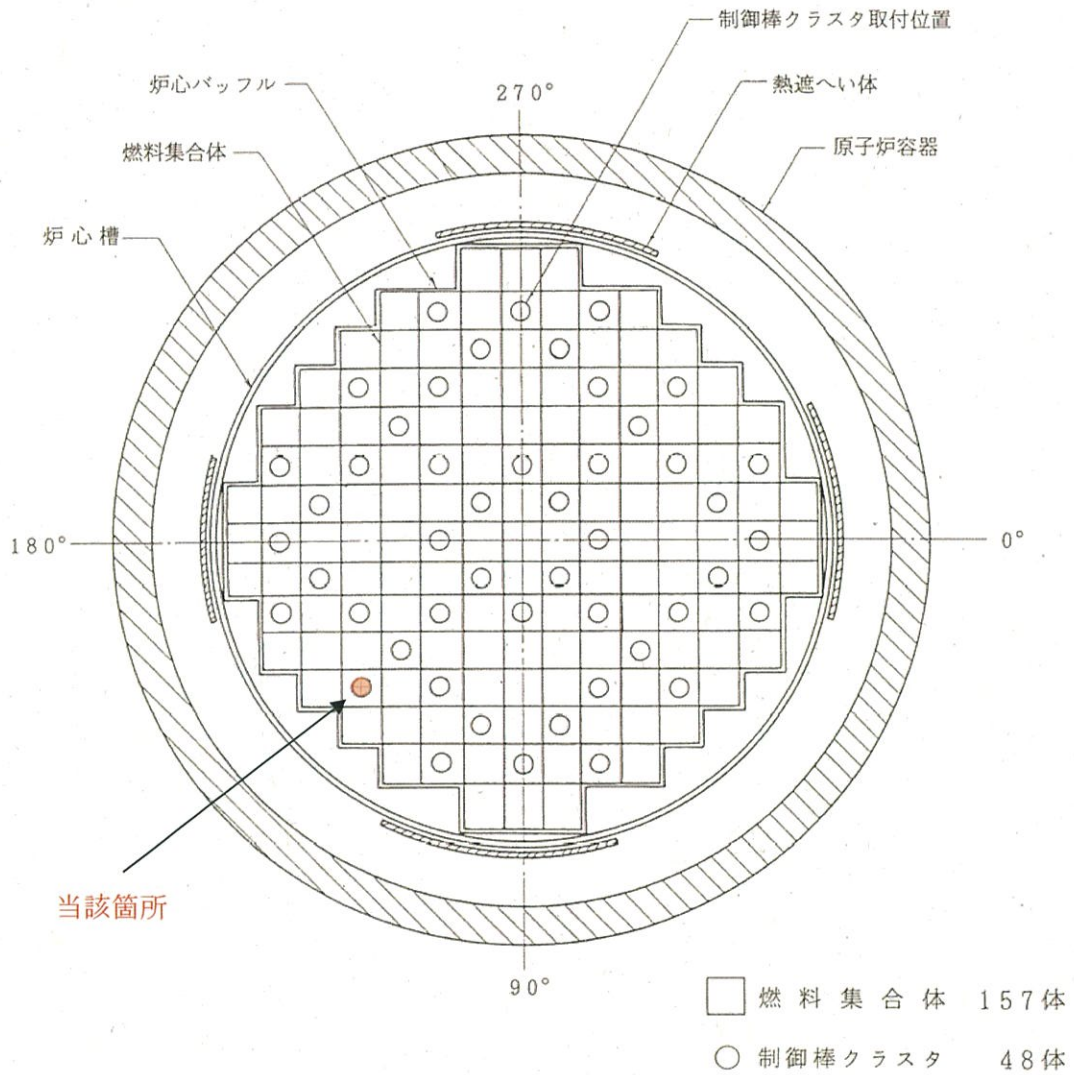
全制御棒クラスタ引き上がり 時の最小停止ほう素濃度※ (ppm)	事象発生時のほう素濃度 サンプリング結果 (ppm)
1703	4553

※ 評価値に対して、 100 ppm の余裕を含む。

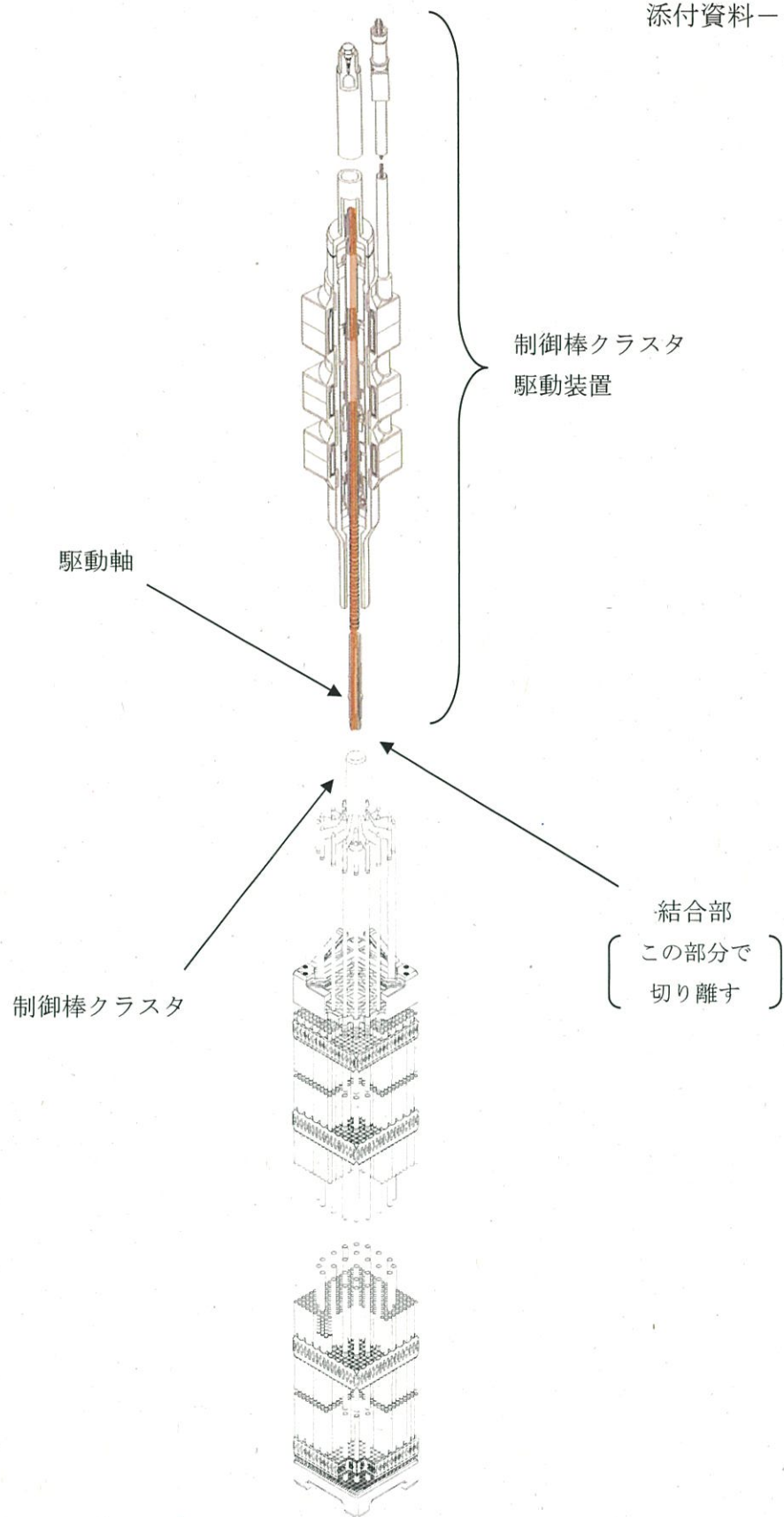
各機器の構造図



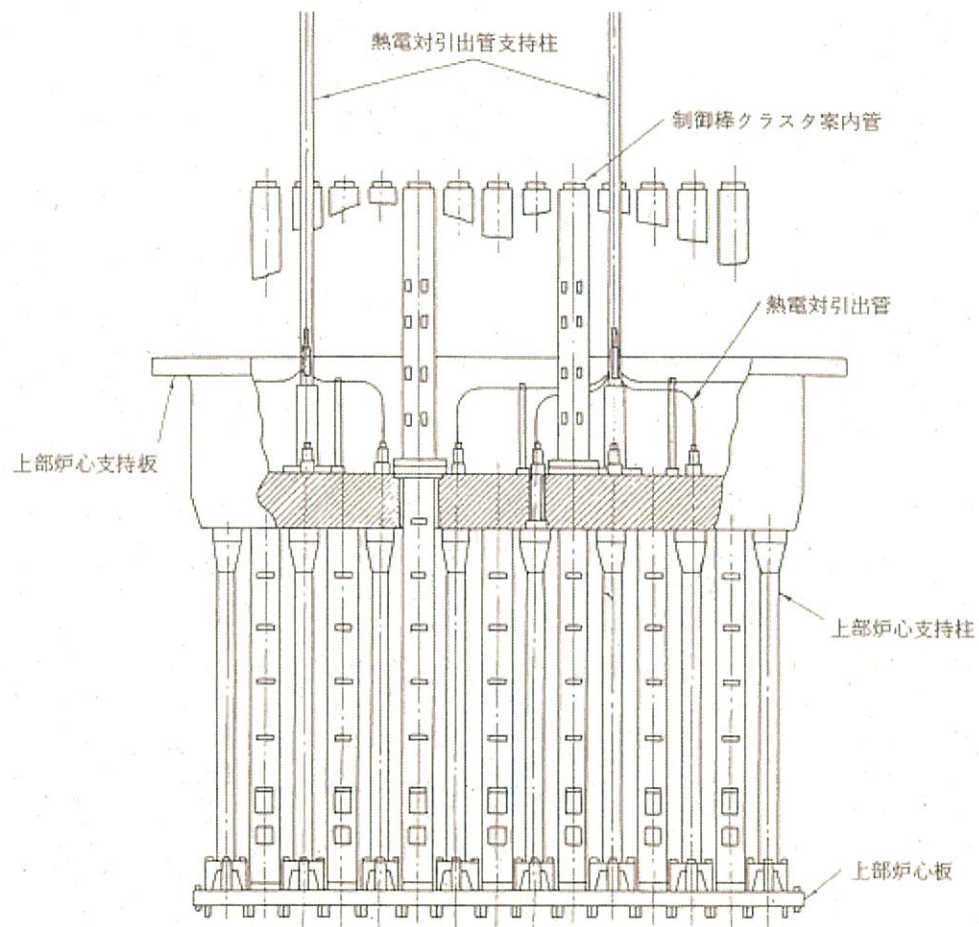
原子炉容器 (内部構造図)



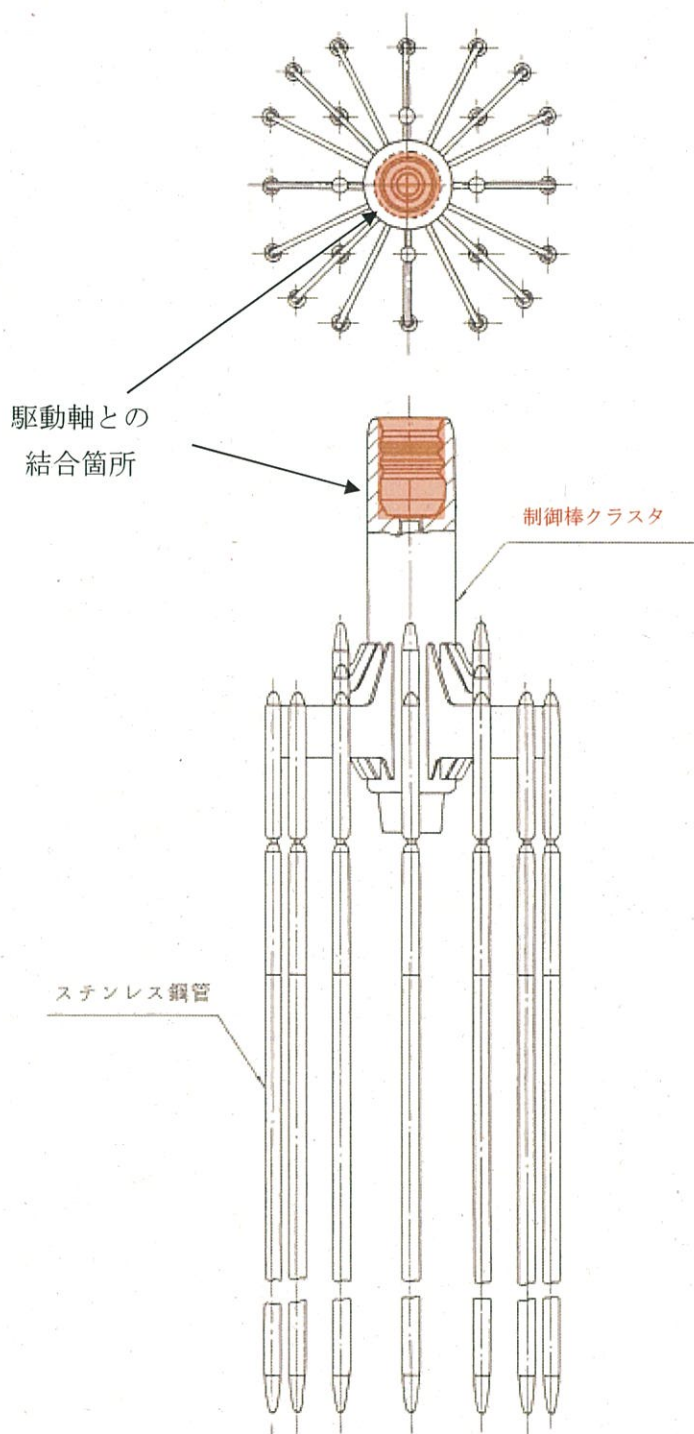
原子炉容器（炉心断面図）



制御棒クラスタ駆動装置



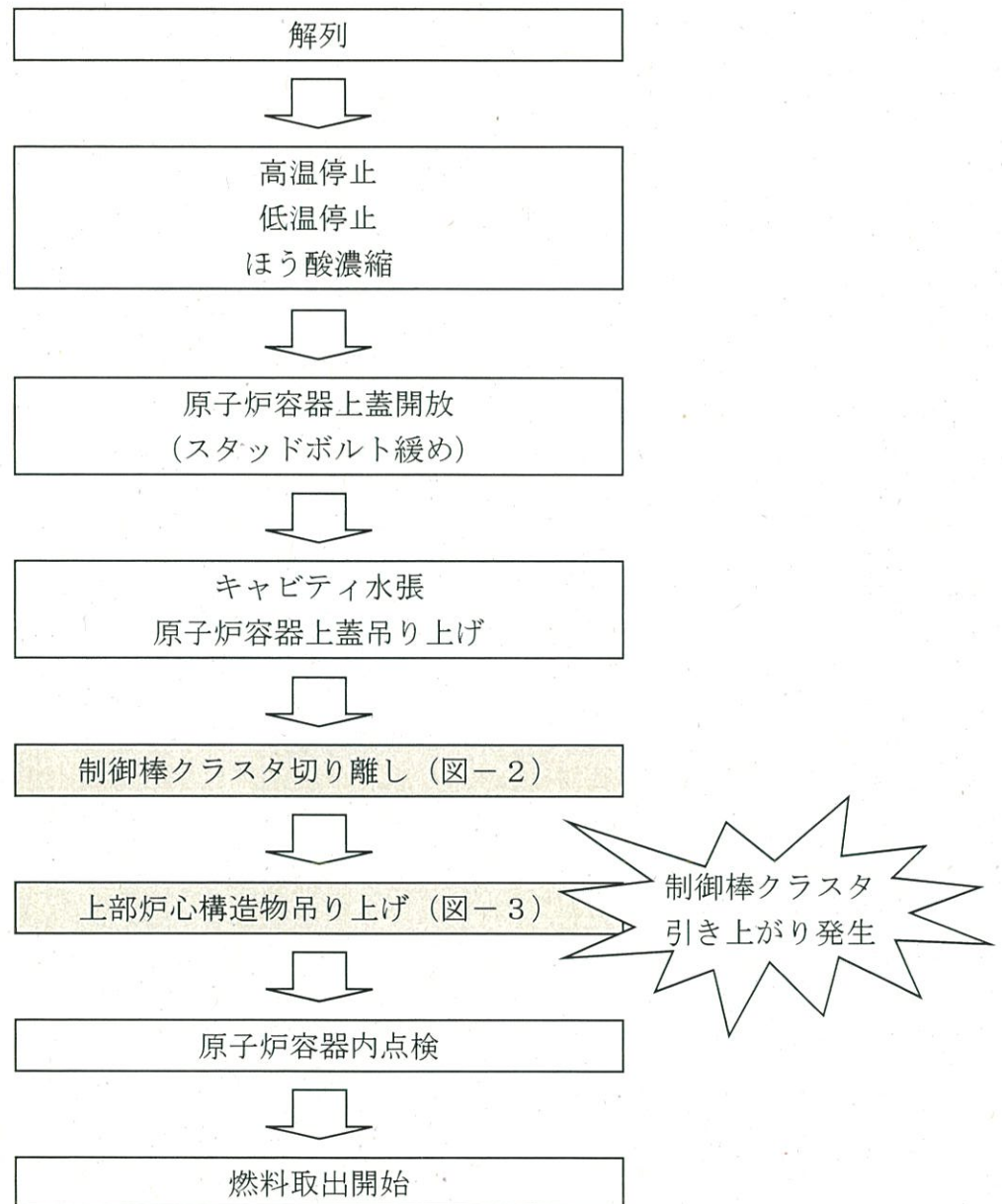
上部炉心構造物



制御棒クラスタ

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

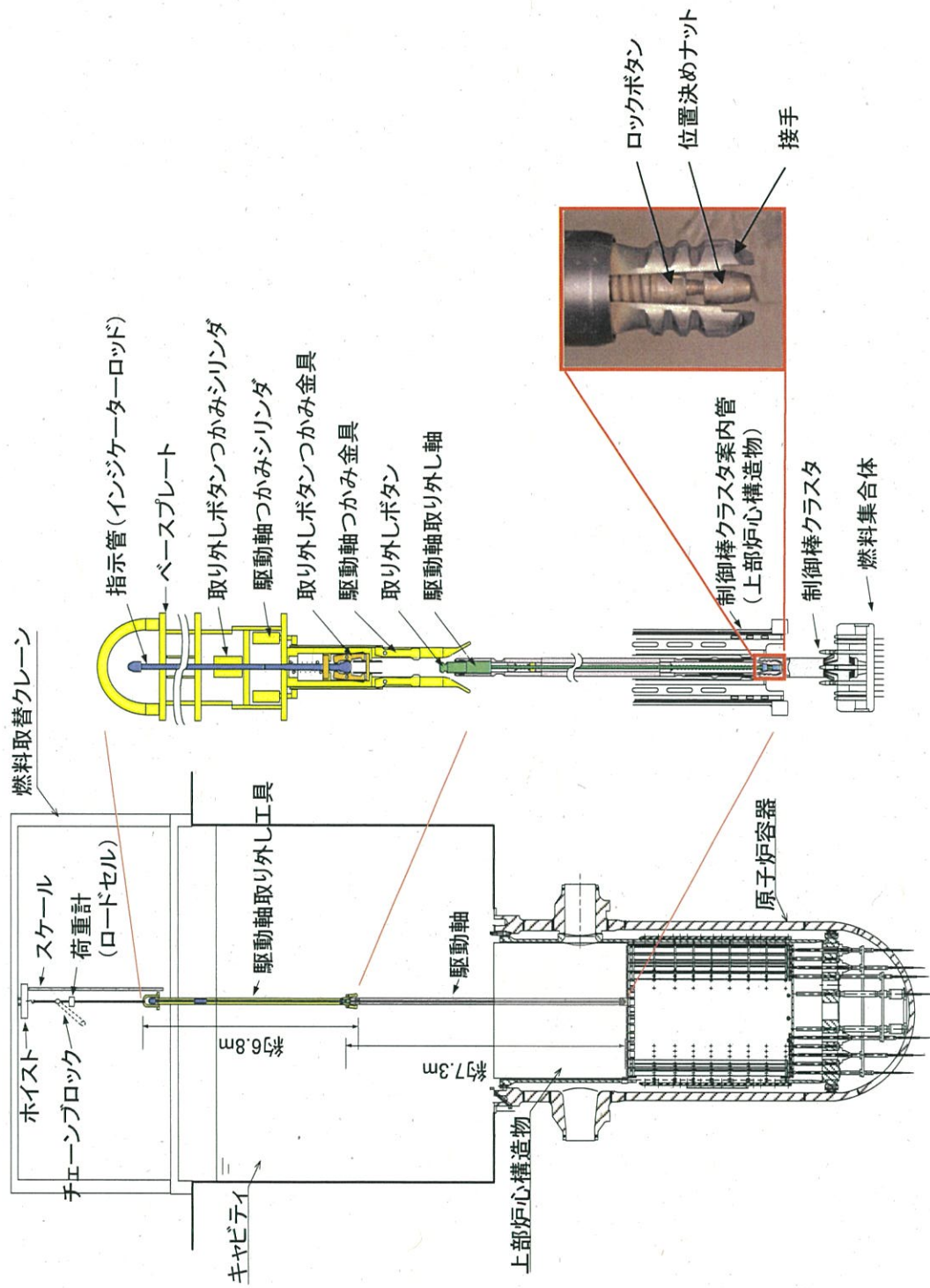
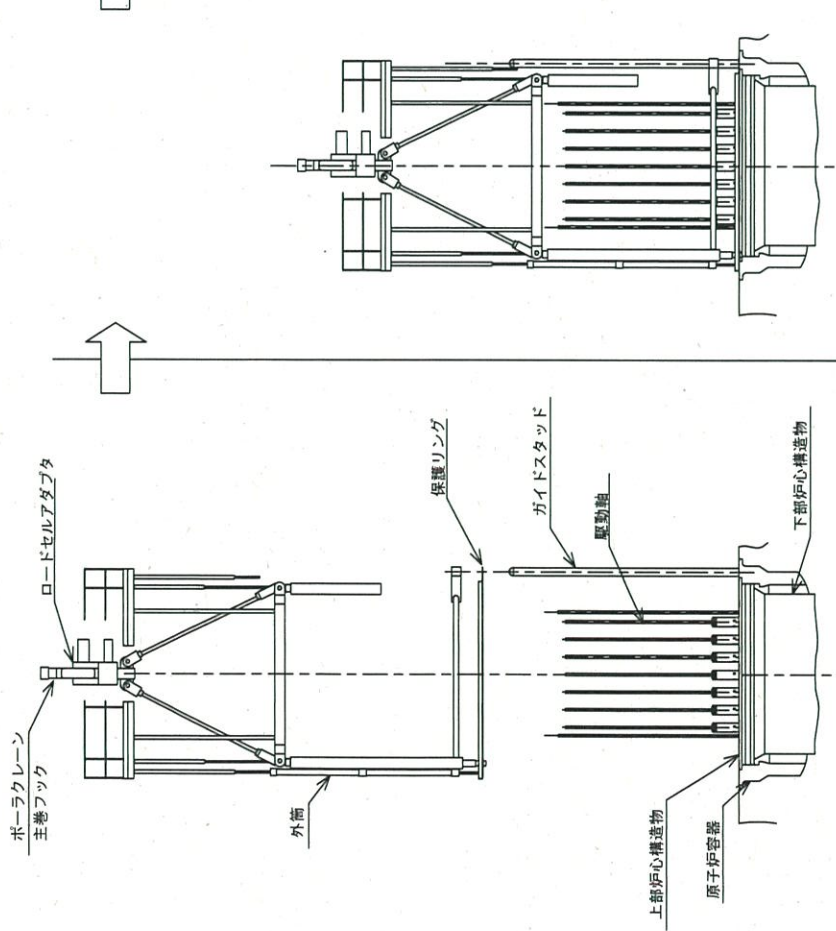
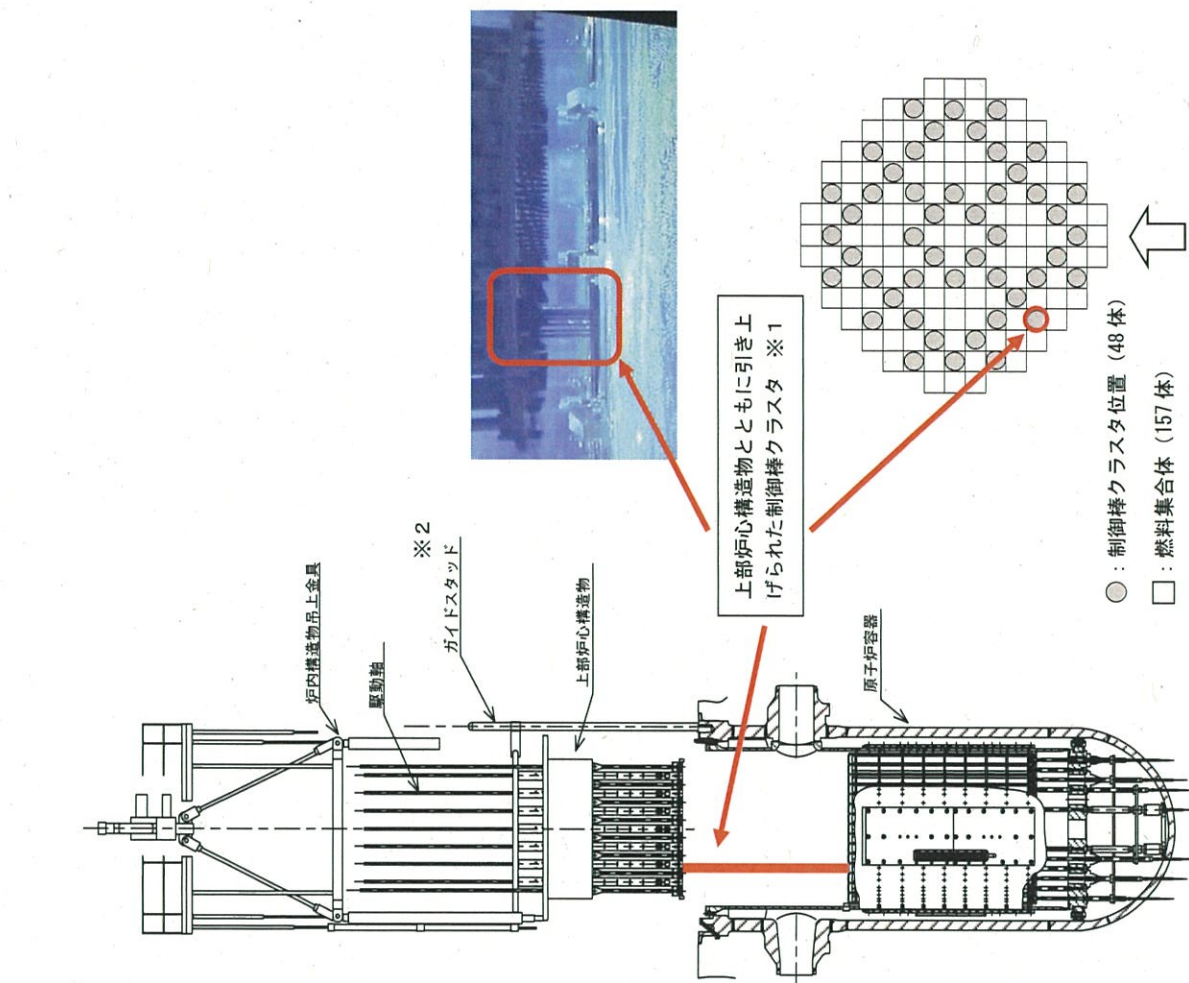


図-2 制御棒クラスタ切り離し



※1 制御棒クラスタ先端の約25センチメートルが燃料集合体に挿入された状態

※2 炉心構造物吊上金物はガイドスタッドから抜けていない状態



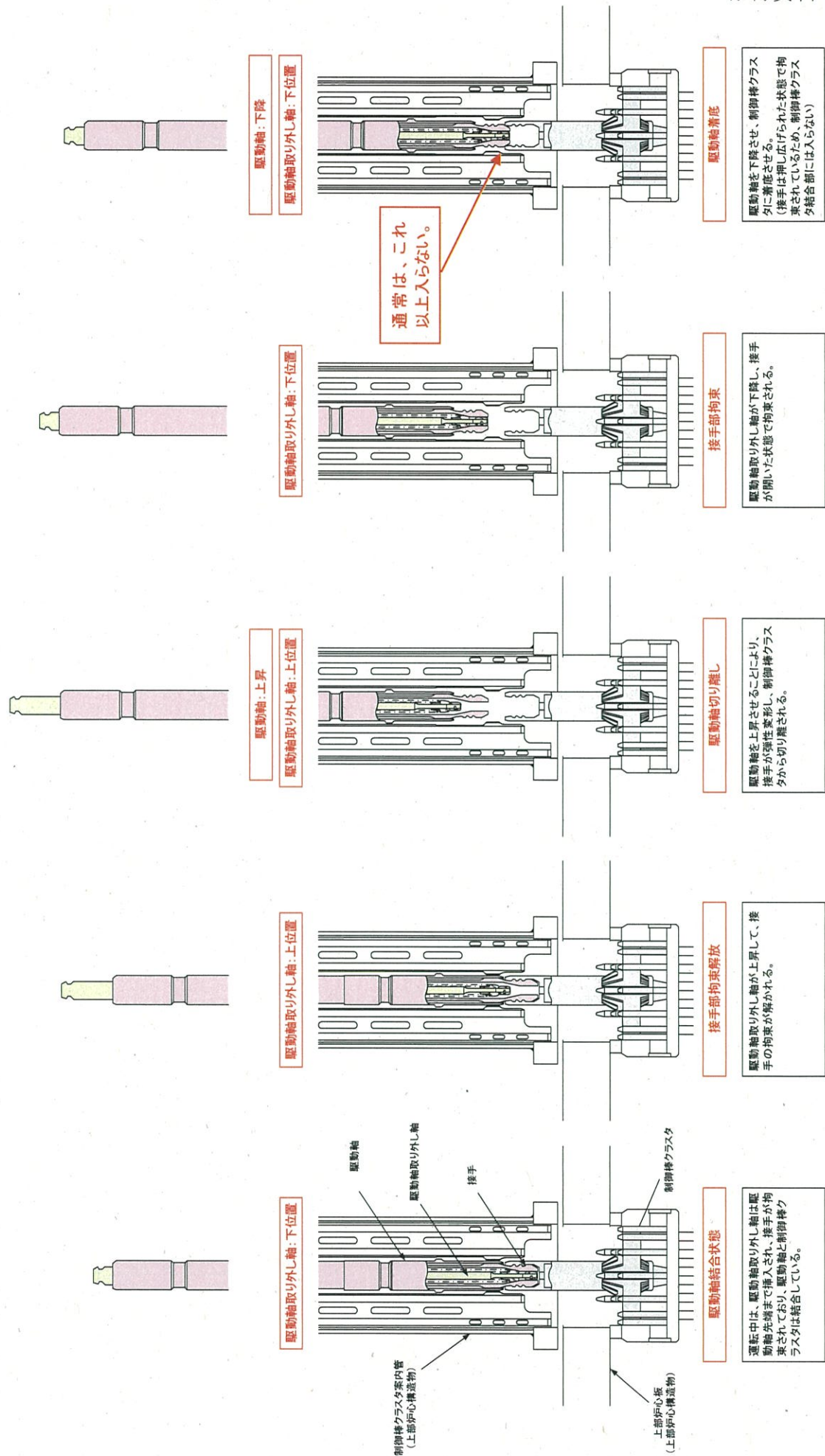
上部炉心構造物とともに引き上げられた制御棒クラスタ ※1

○：制御棒クラスタ位置 (48 体)
□：燃料集合体 (157 体)

写真撮影方向
(水中カメラによる撮影)

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



32

各機器等の調査結果

作業体制および手順等の調査結果

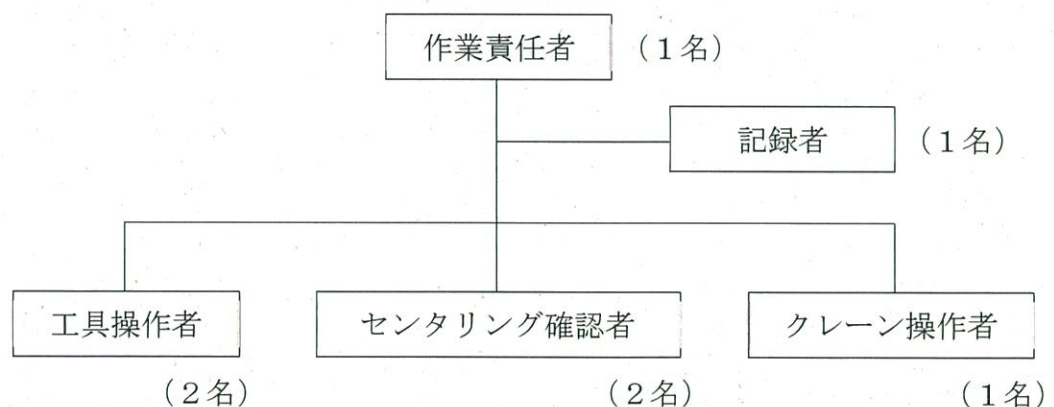
本事象は、上部炉心構造物吊り上げ時に、制御棒クラスタと駆動軸の切り離し操作を行ったにもかかわらず、制御棒クラスタが引き上がった状況であることから、事象発生時の作業管理状況の調査および作業員等への聞き取り調査により、不適切な操作の有無、操作中に特異な事象が発生していなかったかどうかについて確認した。

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出来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。



図－１ 作業体制図

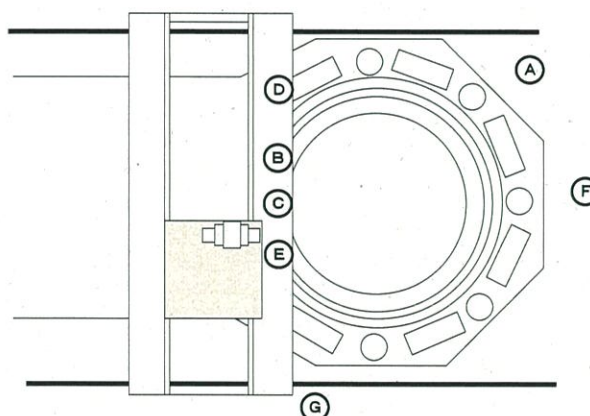
（２）作業責任者、作業員の力量

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から、作業手順に問題はないことを確認した。

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・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。

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たことから、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、タイベック（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ないことを確認した。

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。

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ことを確認した。

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、特殊な操作ではないことを確認した。

(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。

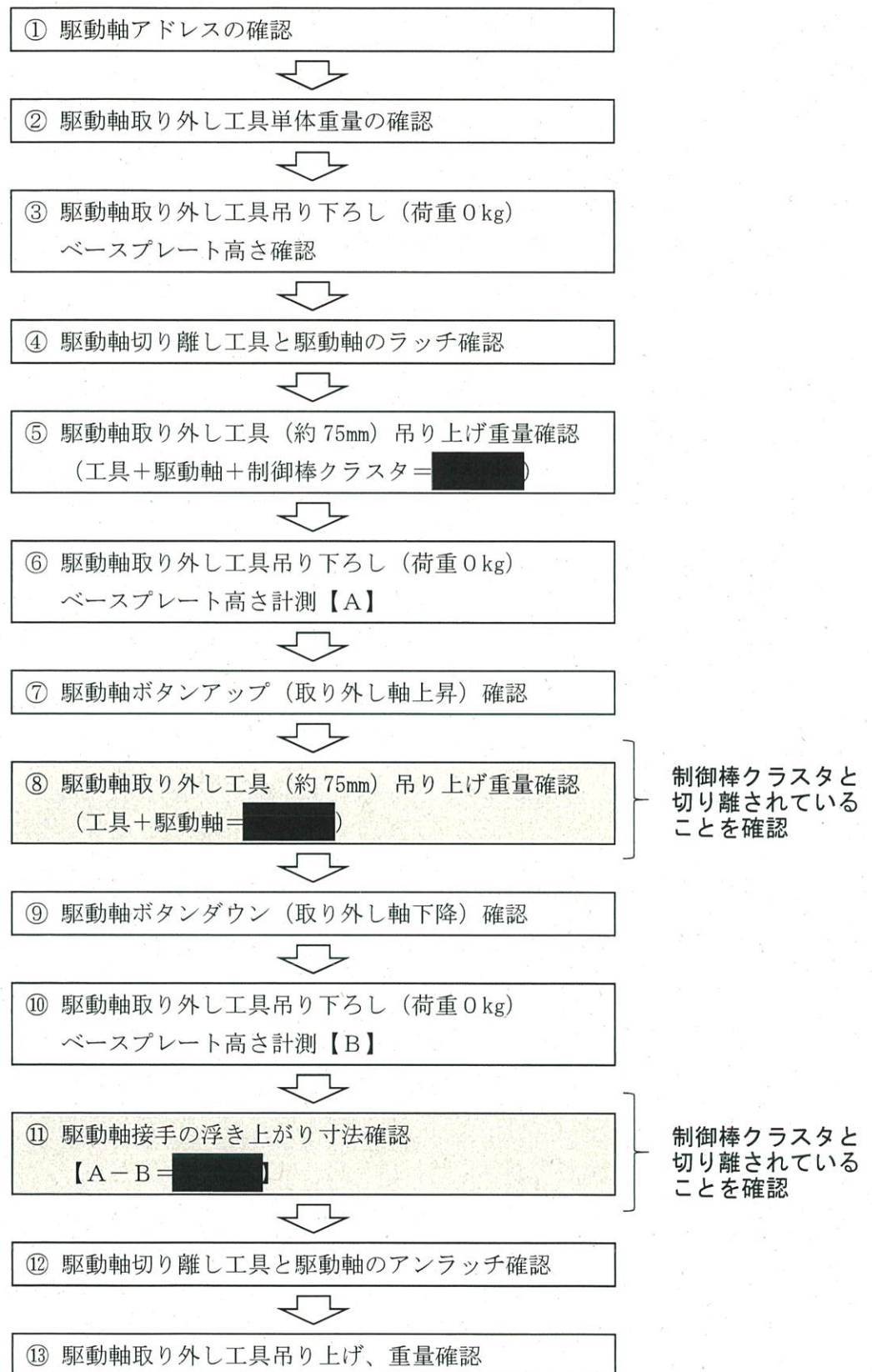


図-4 作業フロー図

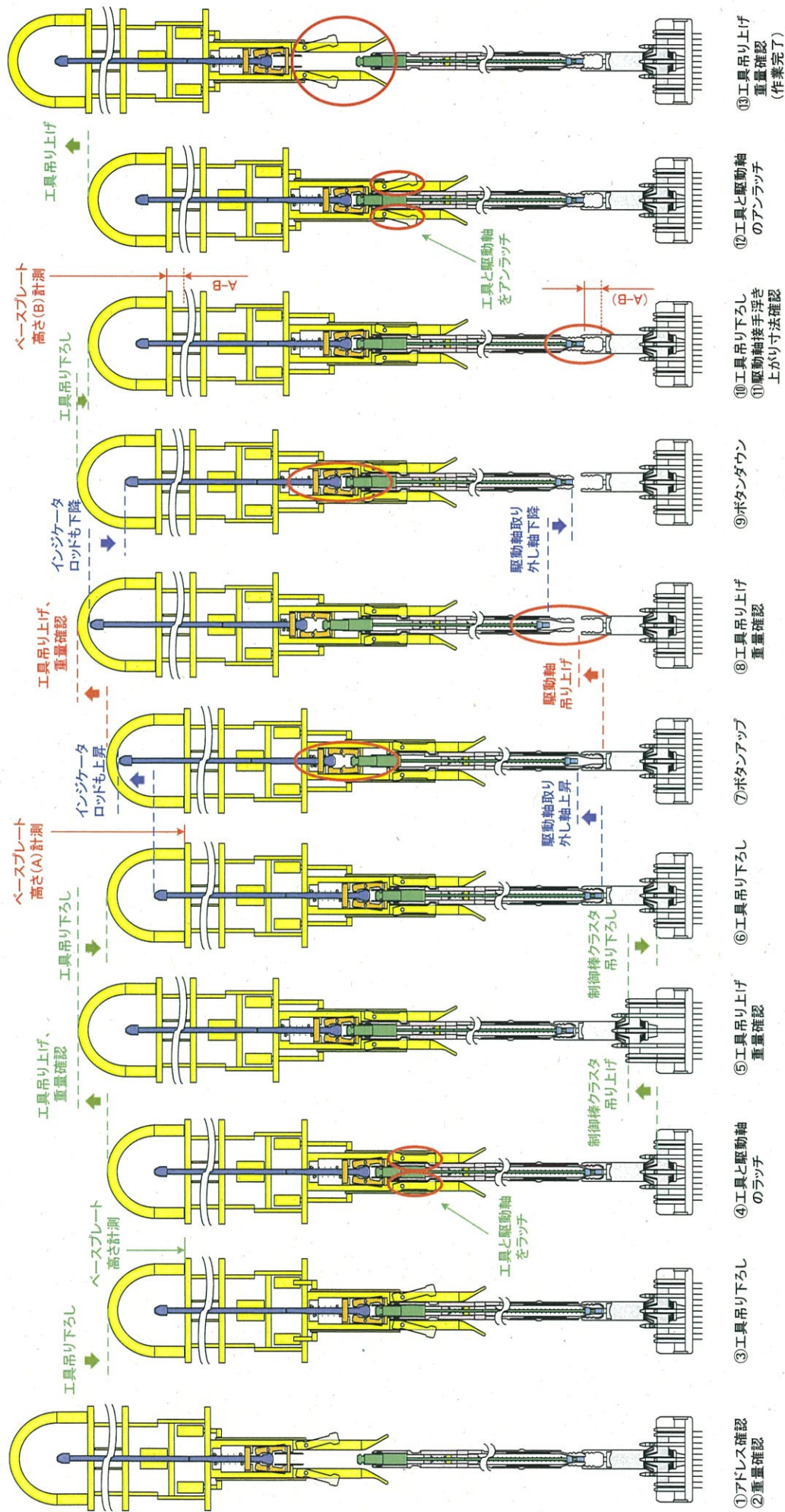
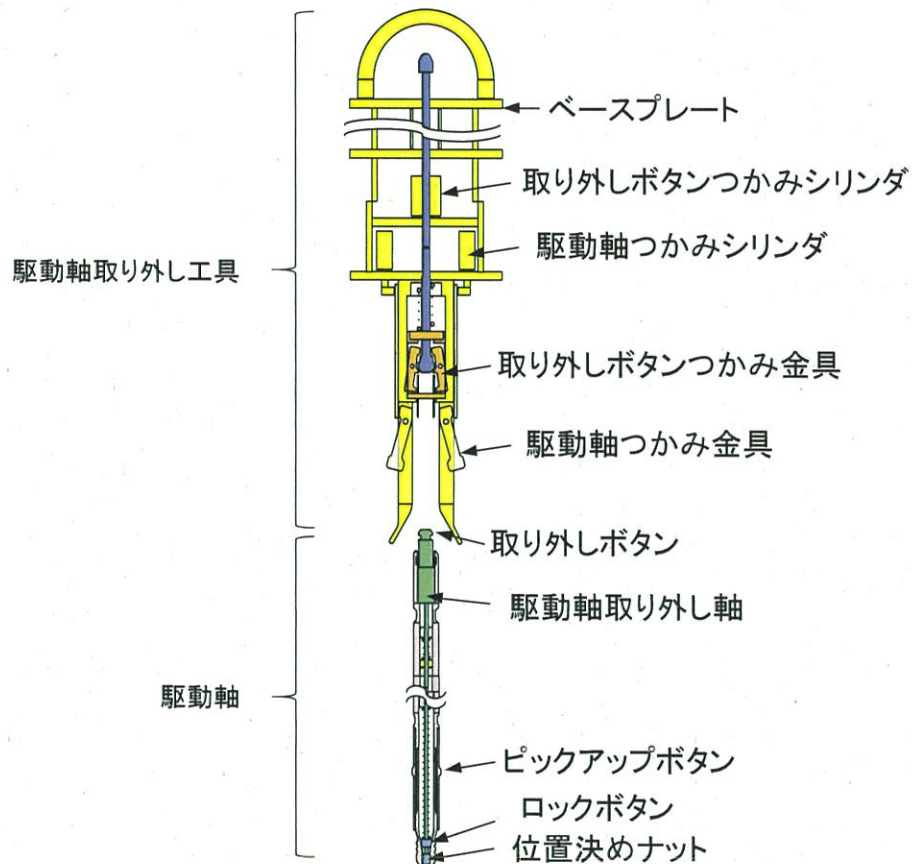


図-5 作業手順概要図

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

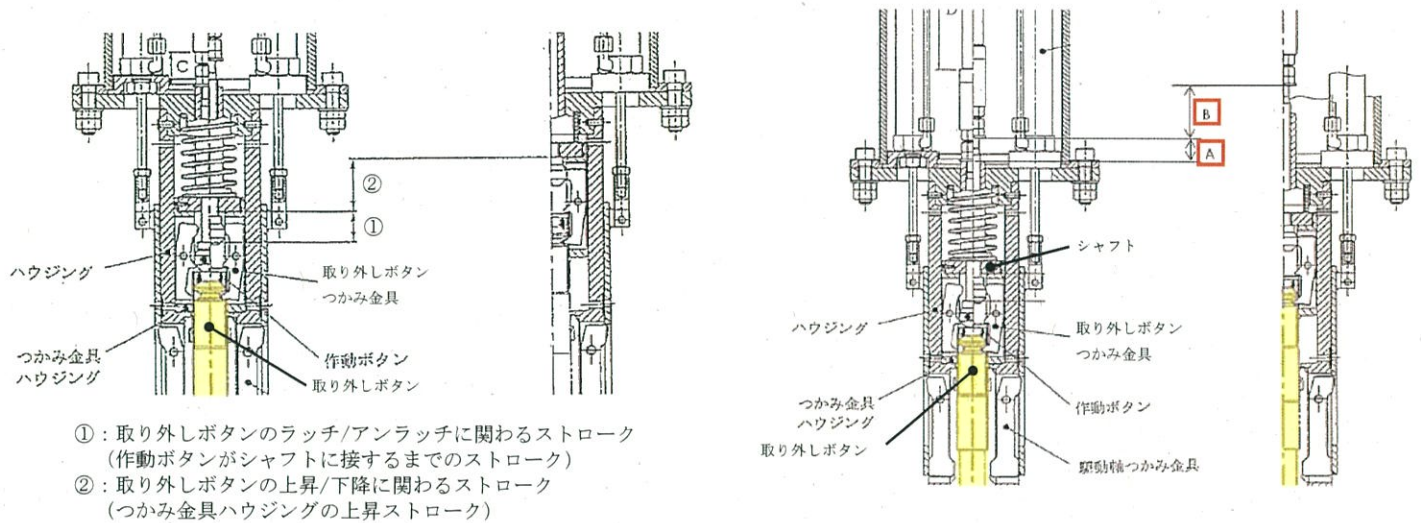
① 外観確認

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

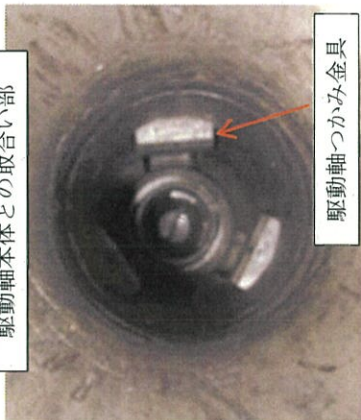
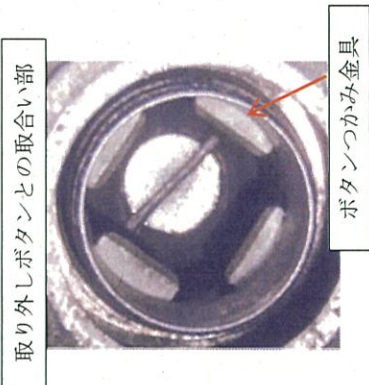
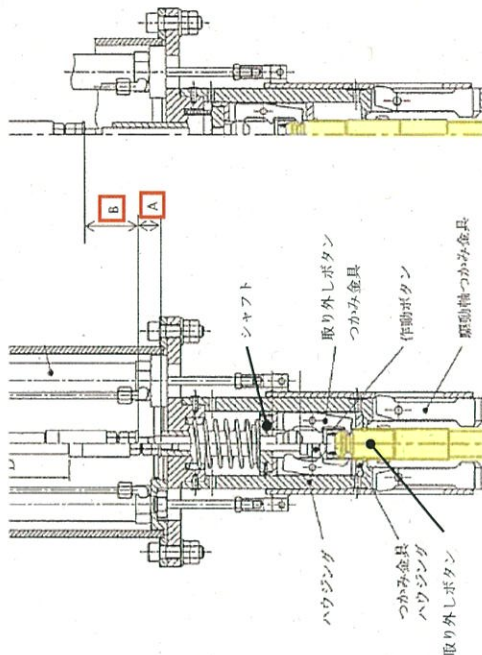
項目	判定値 [mm]
①取り外しボタンのラッチ/アンラッチに関わるストローク (作動ボタンがシャフトに接するまでのストローク:A 寸法)	
②取り外しボタンの上昇/下降に関わるストローク (つかみ金具ハウジングの上昇ストロークの確認:B 寸法)	



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

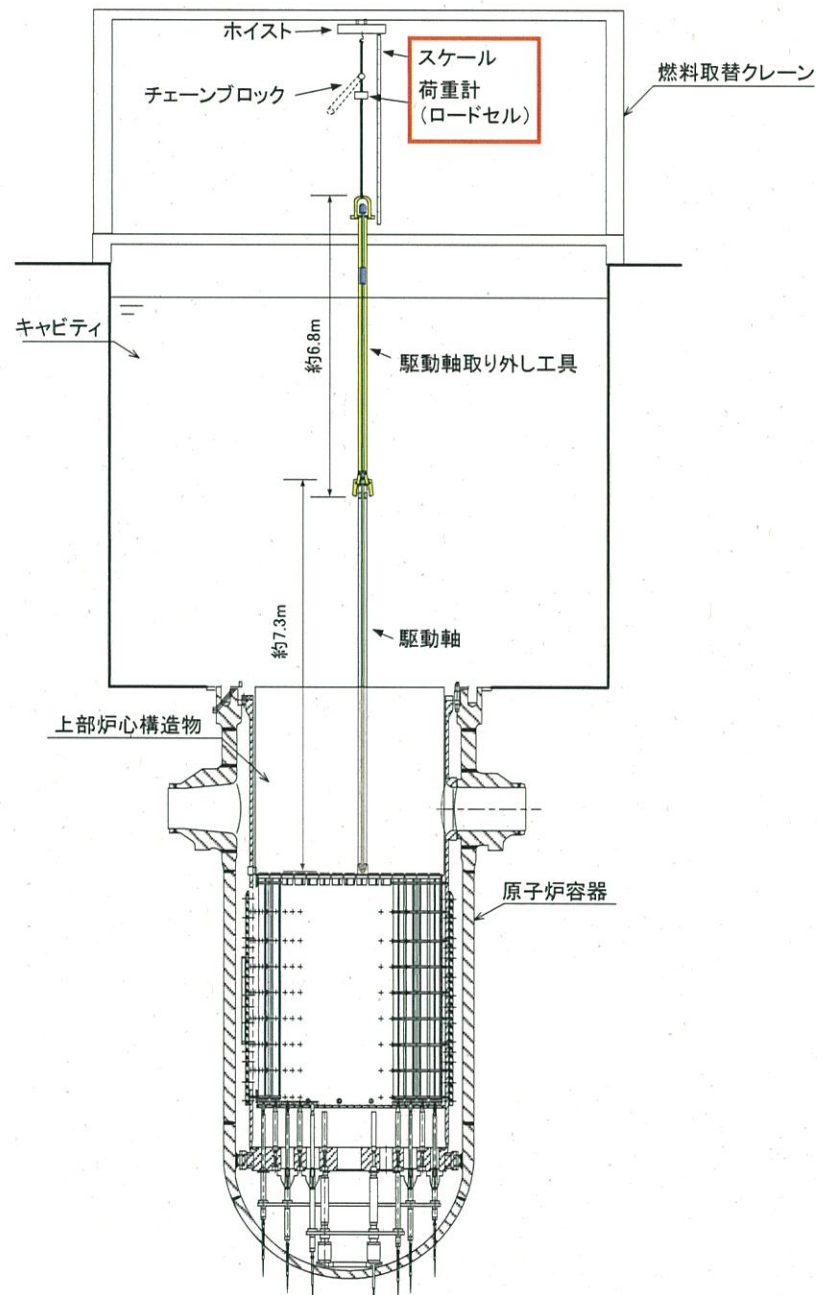
調査項目		調査結果																				
駆動軸取り外し工具	外観	  駆動軸本体との取合い部  取り外しボタンとの取合い部 ボタンつかみ金具 ✓ 工具と駆動軸本体の取り合い部に、傷、変形、付着物等の異常なし ✓ 工具と取り外しボタンの取り合いに、傷、変形、付着物等の異常なし	• 工具と駆動軸の取り合いに問題なし																			
	ストローク・取り外し軸引き上げ荷重	<table><tr><th>ストローク</th><th>計測値 (mm)</th><th>設計値 (mm)</th></tr><tr><td>取り外しボタンの把持</td><td>28.5</td><td></td></tr><tr><td>取り外しボタン上昇ストローク</td><td>48.0</td><td></td></tr></table>  シャフト 取り外しボタン つかみ金具 作動ボタン 駆動軸つかみ金具 ハウジング つかみ金具 ハウジング 取り外しボタン <table><tr><th>取り外し軸引き上げ荷重 空気圧 0.588 MPa (6.0kgf/cm²)</th><th>計測値 (kg)</th><th>設計値 (kg)</th></tr><tr><td>0.637MPa (6.5kgf/cm²)</td><td>340</td><td></td></tr><tr><td>0.686MPa (7.0kgf/cm²)</td><td>364</td><td></td></tr><tr><td>0.686MPa (7.0kgf/cm²)</td><td>400</td><td></td></tr></table> ✓ 工具動作は設計値を満足 • 工具による駆動軸の軸取り外し軸の引き上げ／押し下げ動作に問題なし	ストローク	計測値 (mm)	設計値 (mm)	取り外しボタンの把持	28.5		取り外しボタン上昇ストローク	48.0		取り外し軸引き上げ荷重 空気圧 0.588 MPa (6.0kgf/cm ²)	計測値 (kg)	設計値 (kg)	0.637MPa (6.5kgf/cm ²)	340		0.686MPa (7.0kgf/cm ²)	364		0.686MPa (7.0kgf/cm ²)	400
ストローク	計測値 (mm)	設計値 (mm)																				
取り外しボタンの把持	28.5																					
取り外しボタン上昇ストローク	48.0																					
取り外し軸引き上げ荷重 空気圧 0.588 MPa (6.0kgf/cm ²)	計測値 (kg)	設計値 (kg)																				
0.637MPa (6.5kgf/cm ²)	340																					
0.686MPa (7.0kgf/cm ²)	364																					
0.686MPa (7.0kgf/cm ²)	400																					

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。

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 駆動軸取り外し工具 [REDACTED]、駆動軸 [REDACTED]、制御棒クラスター [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J I S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	・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	・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

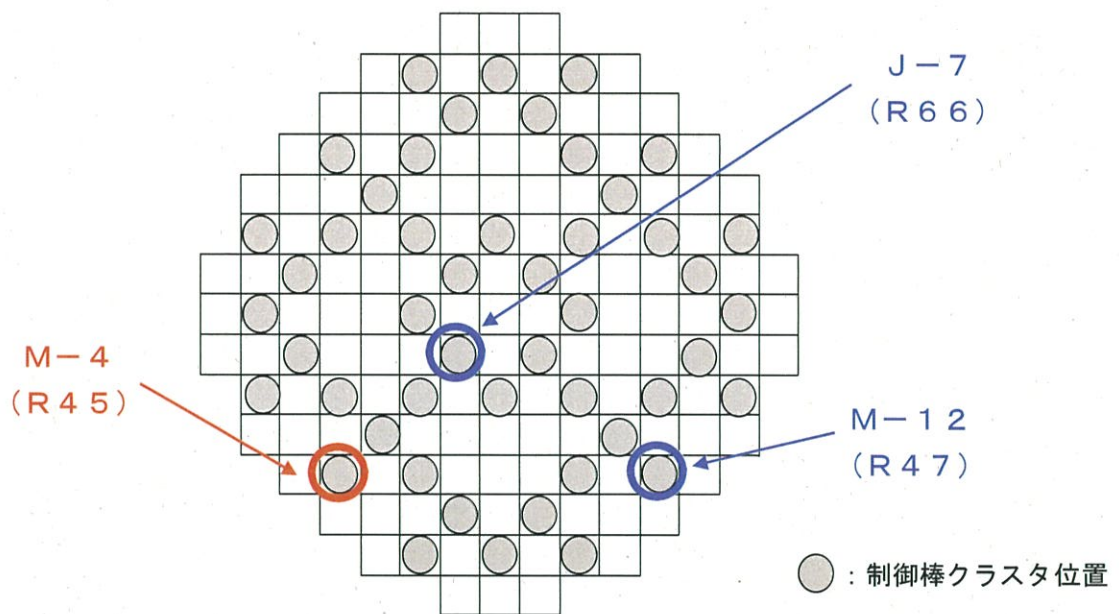
スケールについて、外観確認により有意な損傷等がないことおよびJ I S 1級であることを確認した。

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。

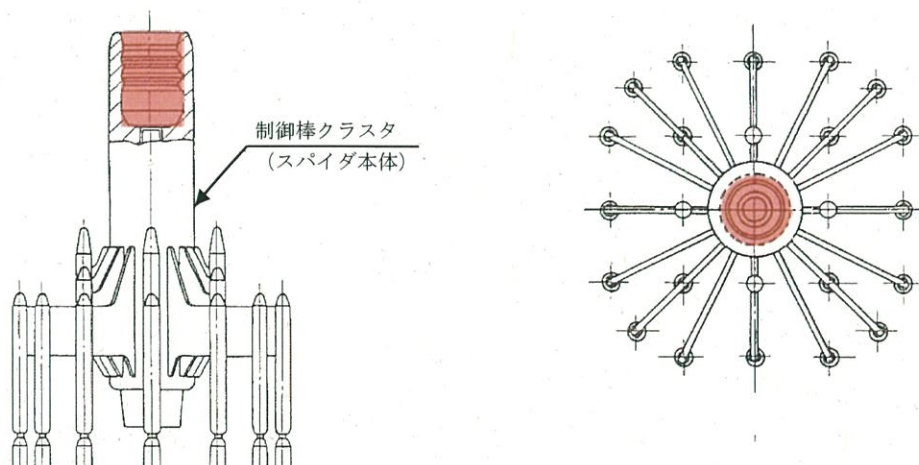
制御棒クラスタの調査結果

１．調査対象

番 号	アドレス	選定理由	
R 4 5	M－ 4	当該制御棒クラスタ	
R 4 7	M－ 1 2	比較対象	制御棒クラスタの使用期間が同等
R 6 6	J－ 7		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 制御棒クラスタ頭部詳細図

2. 調査内容

(1) 図面確認

制御棒クラスタ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。

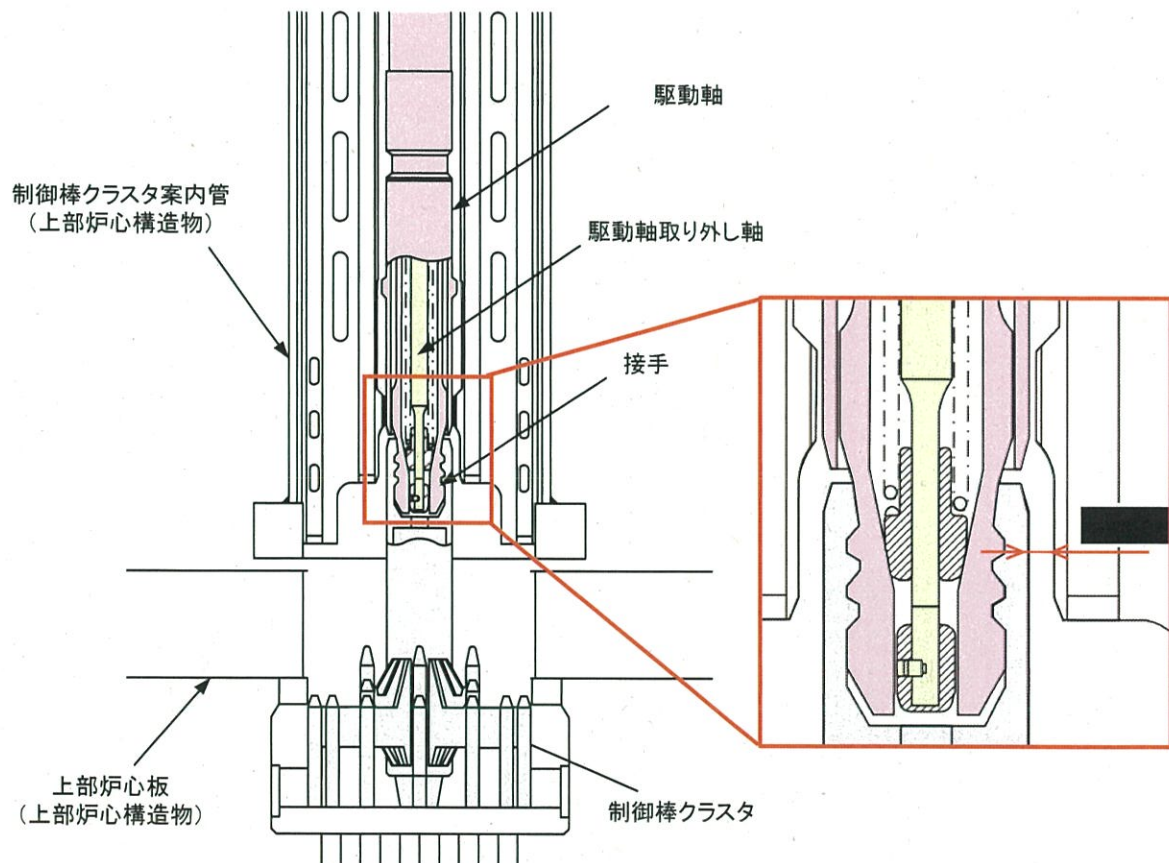
(2) 外観確認

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。

3. 調査結果

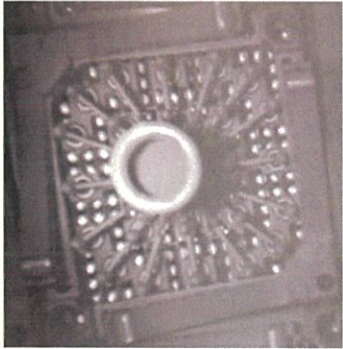
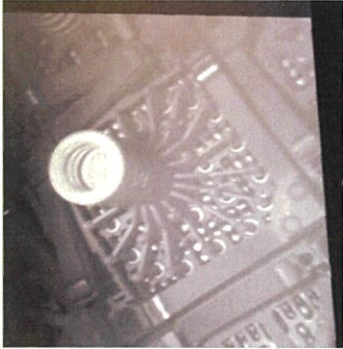
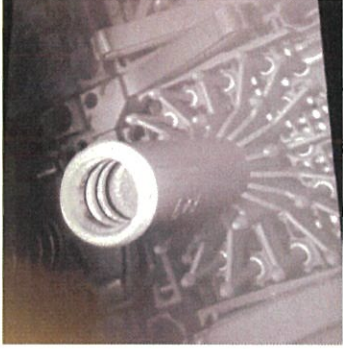
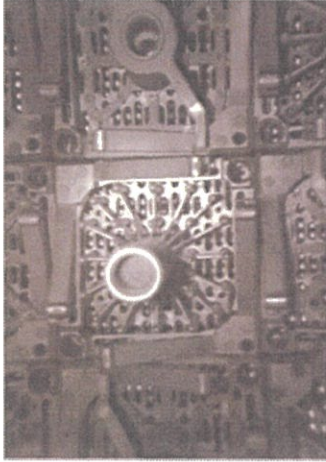
(1) 図面確認結果

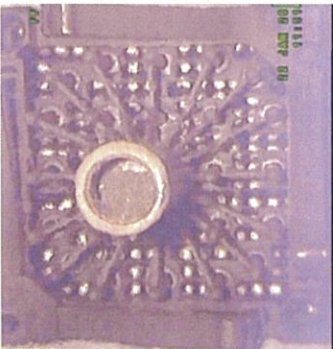
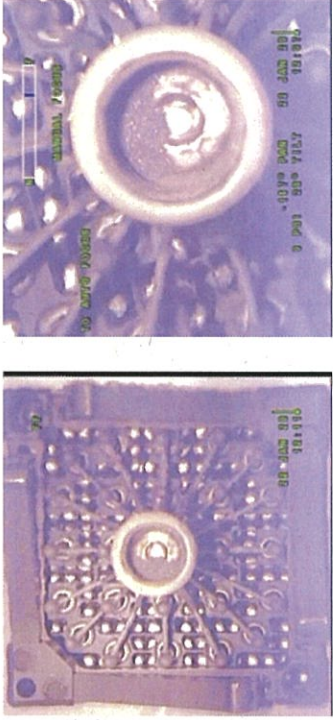
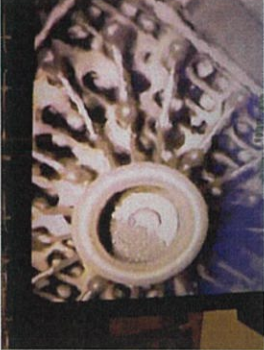
制御棒クラスタ頭部と制御棒クラスタ案内管（上部炉心構造物）との位置関係から、設計上、物理的に干渉する可能性がないことを確認した。



図－3 位置関係 概略図

(2) 外観確認結果

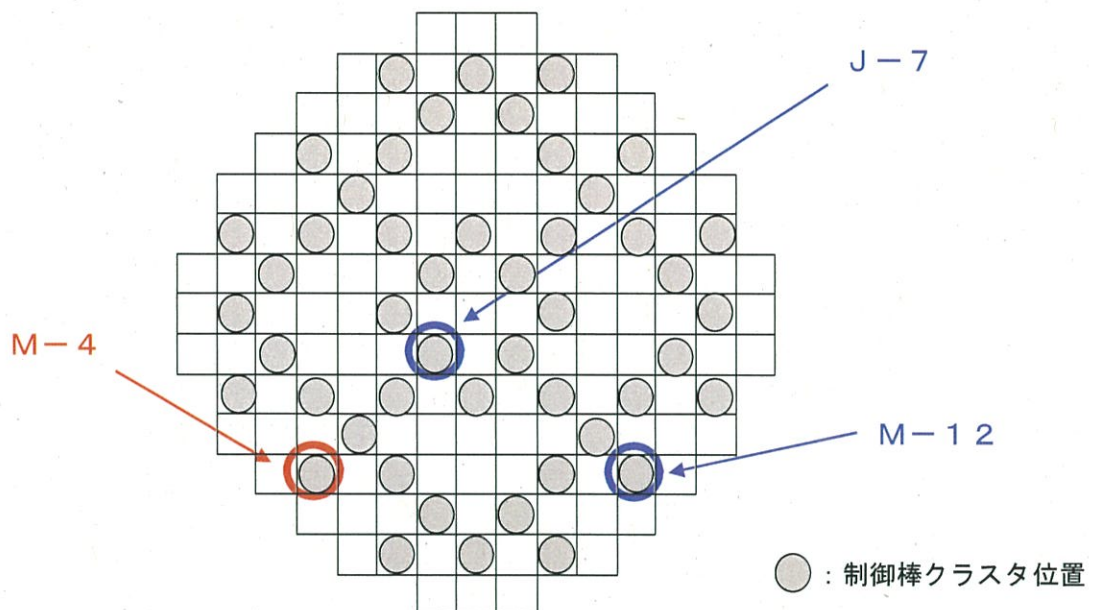
調査項目	M-4 の調査結果	比較対象アドレスの調査結果	
制御棒クラスタ	【原子炉容器内点検】 ✓ 水中カメラ（白黒）により、制御棒クラスタの頭部を確認したところ外観形状に異常はないことを確認 ✓ スパイダ内部に堆積物あり  	【原子炉容器内点検】 ✓ 同左   M-12  J-7	• 頭部の円筒部に堆積物が確認された • 制御棒クラスタ案内管（上部炉心構造物）との干渉の痕跡は認められない
外観			

調査項目	M-4 の調査結果	比較対象アドレスの調査結果	
制御棒クラスタ	【使用済燃料ピット内点検】 ✓ 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 	【使用済燃料ピット内点検】 ✓ 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  M-12   J-7	・頭部の円筒部に堆積物が確認された
外観			
制御棒クラスタ頭部			

駆動軸の調査結果

1. 調査対象

アドレス	選定理由	
M－ 4	当該駆動軸	
M－ 1 2	比較対象	制御棒クラスタの使用期間が同等
J－ 7		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

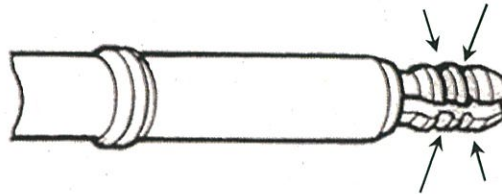
2. 調査内容

(1) 外観確認・寸法計測

駆動軸（M－ 4、M－ 1 2、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－２ 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

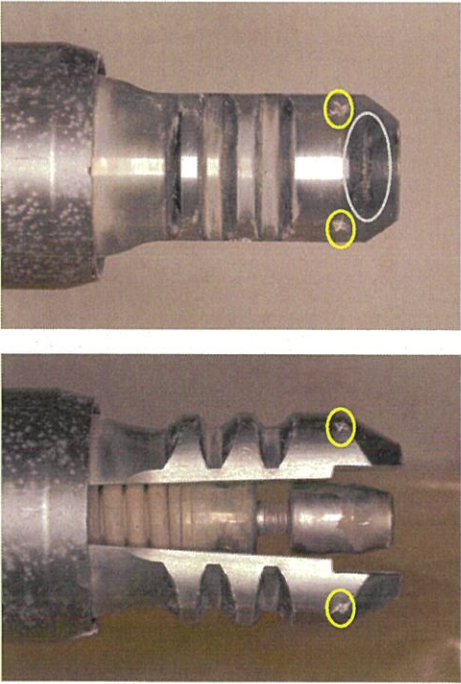
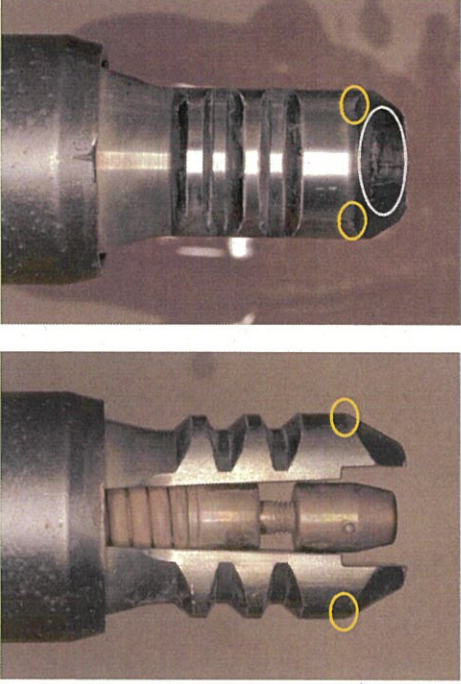
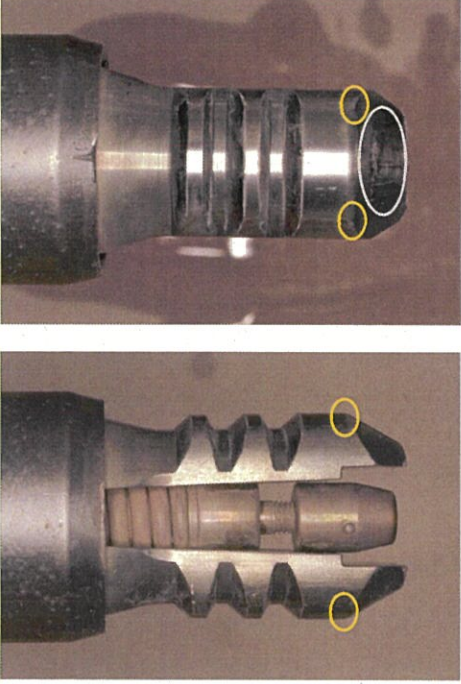
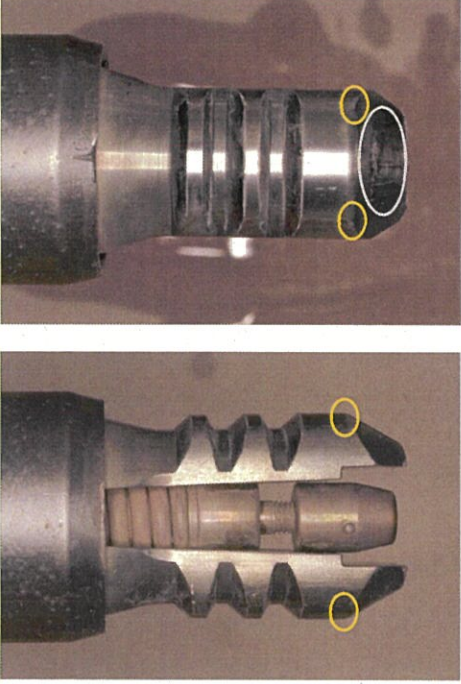
駆動軸取り外し軸の押し下げ位置で、以下の接手部周りの寸法を計測する。

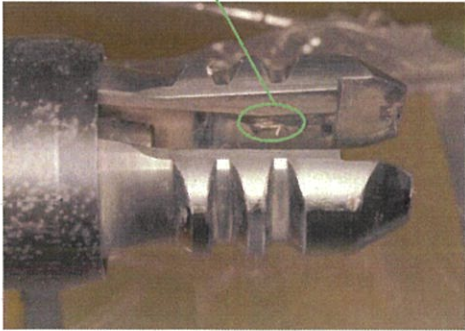
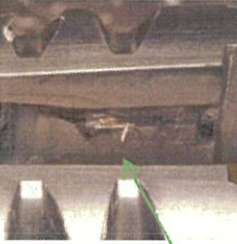
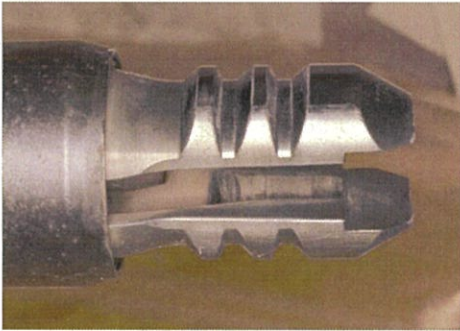
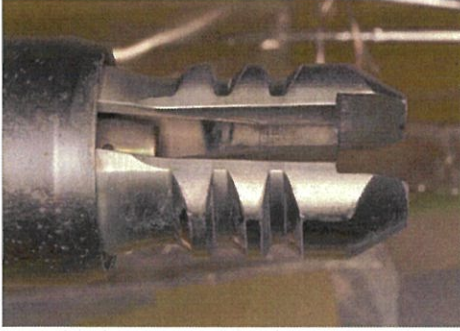
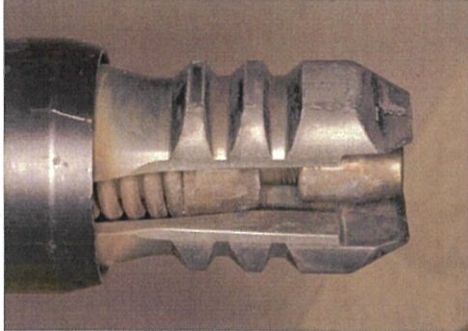
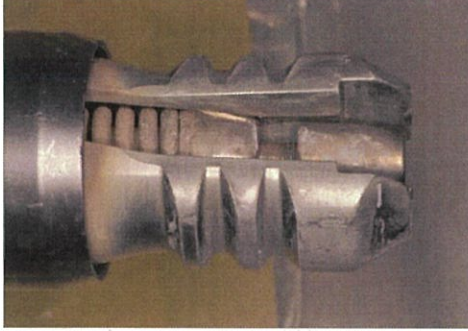
- ・ 接手の外径
- ・ 位置決めナットの位置（接手先端からの距離）

（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。

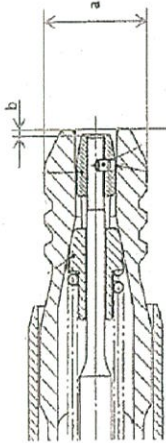
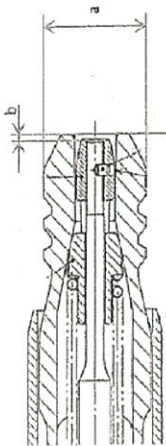
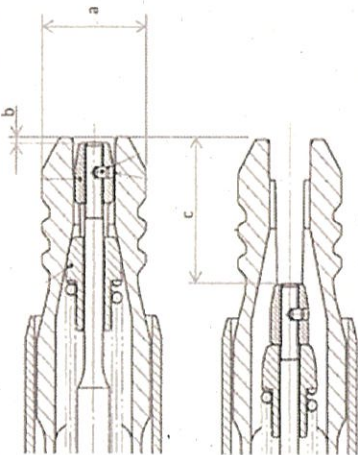
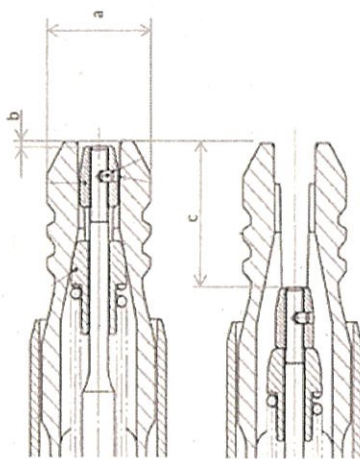
3. 調査結果

調査項目	M-4 の調査結果	比較対象アドレスの調査結果	
駆動軸	✓ 外面の円筒部とテーパ部の境界近傍に局所的な接触痕あり（4 か所、金属光沢の強い接触痕）…黄色杵 ✓ 接手先端テーパ面に周方向の接触痕あり（金属光沢なし）…灰色杵 	✓ 外面の円筒部とテーパ部の境界近傍に局所的な接触痕あり（金属光沢のない軽微な接触痕）…橙色杵 ✓ 接手先端テーパ面に周方向の接触痕あり（金属光沢なし）…灰色杵  M-1 2	- 金属光沢を有する M-4 接触痕（黄色杵）は今回の事象で生じたものである可能性が高い - 比較対象分でも同様の箇所に接触痕（橙色杵）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触痕（灰色杵）は切り離し操作後の駆動軸仮置きで制御棒クランプと取り合う箇所に相当し、金属光沢はなかった
外観	接手 外面	 M-1 2	
		 M-1 2	

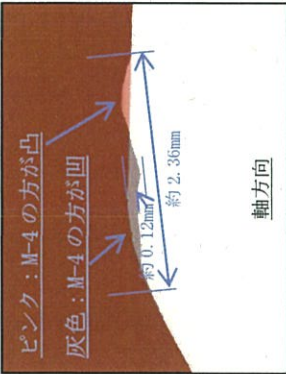
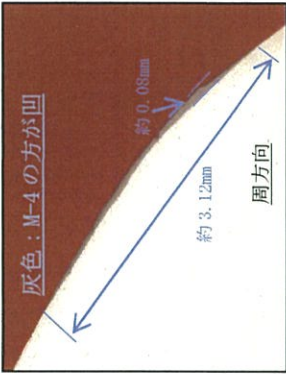
調査項目	M-4 の調査結果	比較対象アドレスの調査結果	
駆動軸	✓ 接手内面テーパ部近傍に接触痕あり（金属光沢、スクラッチ状…緑枠）   	✓ 接手内面テーパ部近傍に金属光沢を有する接触痕なし   M-12	- 金属光沢を有するM-4 接触痕（緑枠）は今回の事象で生じたものである可能性が高い - 内面テーパ部近傍は位置決めナット/ロックボタンの摺動する部位であるが、比較対象分には有意な摺動痕なし。したがって、M-4 接触痕は今回の事象と関連している可能性はある - M-4 位置決めナットに傷（青枠）が確認された
外観		  J-7	

調査項目		M-4 の調査結果	比較対象アドレスの調査結果	
駆動軸	取り外しボタン ※	✓ 特に異常なし (異常な噛み込み等の痕跡なし) 	✓ M-4 と有意差なし 	• 駆動軸ラッチ／アッパ操作時の駆動軸取り外し工具とM-4 取り外しボタンのインタフェースに問題なし
	外観	✓ 特に異常なし (異常な噛み込み等の痕跡なし) 	✓ M-4 と有意差なし 	• 駆動軸ラッチ／アッパ操作時に駆動軸取り外し工具と取り合うM-4 駆動軸つかみ部周辺に有意な傷なし

※ 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																	
接手部の寸法計測	✓ 設計上想定される寸法を満足  <table><tr><th></th><th>計測値 (mm)</th><th>参考値 (mm)</th></tr><tr><td>a</td><td>39.55</td><td rowspan="2">[REDACTED]</td></tr><tr><td>b</td><td>1.292</td></tr></table>		計測値 (mm)	参考値 (mm)	a	39.55	[REDACTED]	b	1.292	✓ M-4 と有意差なし、設計上想定される寸法を満足  <table><tr><th></th><th>計測値 (mm)</th><th>参考値 (mm)</th></tr><tr><td>a</td><td>38.88 (M-12) 39.03 (J-7)</td><td rowspan="2">[REDACTED]</td></tr><tr><td>b</td><td>1.262 (M-12) 1.233 (J-7)</td></tr></table>		計測値 (mm)	参考値 (mm)	a	38.88 (M-12) 39.03 (J-7)	[REDACTED]	b	1.262 (M-12) 1.233 (J-7)	・駆動軸取り外し軸の押し下げ位置でのM-4接手寸法に問題なし
		計測値 (mm)	参考値 (mm)																
a	39.55	[REDACTED]																	
b	1.292																		
	計測値 (mm)	参考値 (mm)																	
a	38.88 (M-12) 39.03 (J-7)	[REDACTED]																	
b	1.262 (M-12) 1.233 (J-7)																		
駆動軸	✓ 位置決めナットのストロークは設計寸法を満足  <table><tr><th></th><th>計測値 (mm)</th><th>設計値 (mm)</th></tr><tr><td>c-b</td><td>45.8</td><td>[REDACTED]</td></tr></table>		計測値 (mm)	設計値 (mm)	c-b	45.8	[REDACTED]	✓ 同左、M-4 と有意差なし  <table><tr><th></th><th>計測値 (mm)</th><th>設計値 (mm)</th></tr><tr><td>c-b</td><td>45.4 (M-12) 45.7 (J-7)</td><td>[REDACTED]</td></tr></table>		計測値 (mm)	設計値 (mm)	c-b	45.4 (M-12) 45.7 (J-7)	[REDACTED]	・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差なし				
	計測値 (mm)	設計値 (mm)																	
c-b	45.8	[REDACTED]																	
	計測値 (mm)	設計値 (mm)																	
c-b	45.4 (M-12) 45.7 (J-7)	[REDACTED]																	

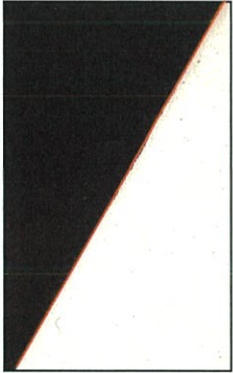
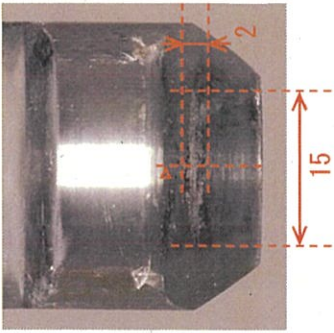
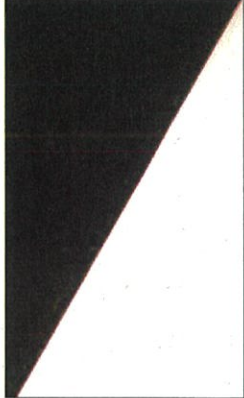
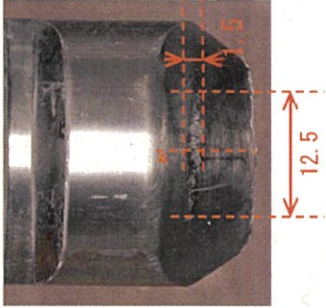
枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

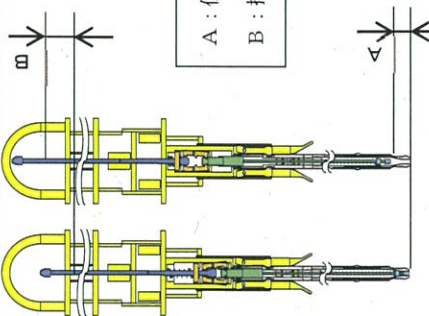
調査項目	M-4 の調査結果	比較対象アドレスの調査結果 (M-12)	
駆動軸 接手部の型取り	  軸方向 周方向 △断面矢視方向	  軸方向 周方向 △断面矢視方向	- M-4 に見られた接手外面の局所的な接触痕は M-12 の当該接触痕に比べ有意に深かった - 今回の事象に関連している可能性について継続調査中
	✓ M-4 と比較対象アドレスの外面の局所的接触痕深さの差は 0.04~0.12mm 程度  ピンク：M-4の方が凸 灰色：M-4の方が凹 軸方向 周方向  灰色：M-4の方が凹 白境界：M-4 赤境界：比較アドレス 灰色・ピンク：差 周方向		

M-4 と比較対象アドレスの重ね合わせ

M-4 と比較対象アドレスの差

部位	計測値 (mm)
外面の局所的接触痕	長さ：約 1.32~約 2.50
	幅：約 1.16~約 3.20
	深さ：約 0.04~約 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)												
駆動軸 接手部の型取り	✓ M-4 の外面テーパ部接触痕深さは 0.02 mm 以下程度  <table><tr><th>部位</th><th>計測値 (mm)</th></tr><tr><td rowspan="3">外面テーパ部の周方向接触痕</td><td>長さ : 約 2.00</td></tr><tr><td>幅 : 約 15.00</td></tr><tr><td>深さ : 約 0.02 以下</td></tr></table>	部位	計測値 (mm)	外面テーパ部の周方向接触痕	長さ : 約 2.00	幅 : 約 15.00	深さ : 約 0.02 以下	✓ 比較対象アドレスの外面テーパ部接触痕深さは 0.02 mm 以下程度  <table><tr><th>部位</th><th>計測値 (mm)</th></tr><tr><td rowspan="3">外面テーパ部の周方向接触痕</td><td>長さ : 約 1.50 ~ 約 2.00</td></tr><tr><td>幅 : 約 12.50 ~ 約 13.00</td></tr><tr><td>深さ : 約 0.02 以下</td></tr></table>	部位	計測値 (mm)	外面テーパ部の周方向接触痕	長さ : 約 1.50 ~ 約 2.00	幅 : 約 12.50 ~ 約 13.00	深さ : 約 0.02 以下
	部位	計測値 (mm)												
外面テーパ部の周方向接触痕	長さ : 約 2.00													
	幅 : 約 15.00													
	深さ : 約 0.02 以下													
部位	計測値 (mm)													
外面テーパ部の周方向接触痕	長さ : 約 1.50 ~ 約 2.00													
	幅 : 約 12.50 ~ 約 13.00													
	深さ : 約 0.02 以下													
	・外面テーパ部周方向接触痕は M-4 接手外面の局所的な接触痕に比べ軽微 ・M-4 と M-1 2 の接触痕に有意な差なし													

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)																																																																																																																																																							
駆動軸	✓ 駆動軸取り外し軸の押し下げ動作に異常なし ✓ 押し下げ動作方向に空気加圧しなくても取り外し軸廻りのばね力のみで押し下げ動作完了 【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)： 工具 (操作軸)： 操作軸 (ケガキ線位置) のストローク量 (設計値)： <table><thead><tr><th rowspan="2">所内用空気供給圧力 (MPa)</th><th rowspan="2">引き上げ動作時間 (秒)</th><th rowspan="2">押し下げ動作時間 (秒)</th><th colspan="2">ストローク量 (mm)</th><th rowspan="2">フルストローク動作</th></tr><tr><th>位置決めナット</th><th>工具ケガキ線位置</th></tr></thead><tbody><tr><td>0.7 (定格)</td><td>1</td><td>1 未満</td><td>45.8</td><td>77.0</td><td>○</td></tr><tr><td>0.6</td><td>1</td><td>1 未満</td><td>45.9</td><td>77.0</td><td>○</td></tr><tr><td>0.5</td><td>1</td><td>1 未満</td><td>45.7</td><td>77.0</td><td>○</td></tr><tr><td>0.4</td><td>1</td><td>1 未満</td><td>45.8</td><td>77.0</td><td>○</td></tr><tr><td>0.3</td><td>2</td><td>1 未満</td><td>46.0</td><td>77.0</td><td>○</td></tr><tr><td>0.2</td><td>—</td><td>—</td><td>22.5</td><td>54.3</td><td>×</td></tr><tr><td colspan="6">排気操作のみ</td></tr></tbody></table>  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	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	位置決めナット	工具ケガキ線位置	0.7 (定格)	1	1 未満	45.8	77.0	○	0.6	1	1 未満	45.9	77.0	○	0.5	1	1 未満	45.7	77.0	○	0.4	1	1 未満	45.8	77.0	○	0.3	2	1 未満	46.0	77.0	○	0.2	—	—	22.5	54.3	×	排気操作のみ						✓ 同左、M-4 と有意差なし (M-1 2 動作結果) <table><thead><tr><th rowspan="2">所内用空気供給圧力 (MPa)</th><th rowspan="2">引き上げ動作時間 (秒)</th><th rowspan="2">押し下げ動作時間 (秒)</th><th colspan="2">ストローク量 (mm)</th><th rowspan="2">フルストローク動作</th></tr><tr><th>位置決めナット</th><th>工具ケガキ線位置</th></tr></thead><tbody><tr><td>0.7 (定格)</td><td>1</td><td>1 未満</td><td>45.4</td><td>77.0</td><td>○</td></tr><tr><td>0.6</td><td>1</td><td>1 未満</td><td>45.1</td><td>77.0</td><td>○</td></tr><tr><td>0.5</td><td>1</td><td>1 未満</td><td>45.1</td><td>77.0</td><td>○</td></tr><tr><td>0.4</td><td>1</td><td>1 未満</td><td>45.2</td><td>77.0</td><td>○</td></tr><tr><td>0.3</td><td>2</td><td>1 未満</td><td>45.1</td><td>77.0</td><td>○</td></tr><tr><td>0.2</td><td>—</td><td>—</td><td>22.4</td><td>54.0</td><td>×</td></tr><tr><td colspan="6">排気操作のみ</td></tr></tbody></table> (J-7 動作結果) <table><thead><tr><th rowspan="2">所内用空気供給圧力 (MPa)</th><th rowspan="2">引き上げ動作時間 (秒)</th><th rowspan="2">押し下げ動作時間 (秒)</th><th colspan="2">ストローク量 (mm)</th><th rowspan="2">フルストローク動作</th></tr><tr><th>位置決めナット</th><th>工具ケガキ線位置</th></tr></thead><tbody><tr><td>0.7 (定格)</td><td>1</td><td>1 未満</td><td>45.7</td><td>77.0</td><td>○</td></tr><tr><td>0.6</td><td>1</td><td>1 未満</td><td>45.6</td><td>77.0</td><td>○</td></tr><tr><td>0.5</td><td>1</td><td>1 未満</td><td>45.6</td><td>77.0</td><td>○</td></tr><tr><td>0.4</td><td>1</td><td>1 未満</td><td>45.5</td><td>77.0</td><td>○</td></tr><tr><td>0.3</td><td>2</td><td>1 未満</td><td>45.5</td><td>77.0</td><td>○</td></tr><tr><td>0.2</td><td>—</td><td>—</td><td>18.7</td><td>48.5</td><td>×</td></tr><tr><td colspan="6">排気操作のみ</td></tr></tbody></table>	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	位置決めナット	工具ケガキ線位置	0.7 (定格)	1	1 未満	45.4	77.0	○	0.6	1	1 未満	45.1	77.0	○	0.5	1	1 未満	45.1	77.0	○	0.4	1	1 未満	45.2	77.0	○	0.3	2	1 未満	45.1	77.0	○	0.2	—	—	22.4	54.0	×	排気操作のみ						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	位置決めナット	工具ケガキ線位置	0.7 (定格)	1	1 未満	45.7	77.0	○	0.6	1	1 未満	45.6	77.0	○	0.5	1	1 未満	45.6	77.0	○	0.4	1	1 未満	45.5	77.0	○	0.3	2	1 未満	45.5	77.0	○	0.2	—	—	18.7	48.5	×	排気操作のみ						・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) では駆動軸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。
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																																																																																																																																																	
		位置決めナット	工具ケガキ線位置																																																																																																																																																						
0.7 (定格)	1	1 未満	45.8	77.0	○																																																																																																																																																				
0.6	1	1 未満	45.9	77.0	○																																																																																																																																																				
0.5	1	1 未満	45.7	77.0	○																																																																																																																																																				
0.4	1	1 未満	45.8	77.0	○																																																																																																																																																				
0.3	2	1 未満	46.0	77.0	○																																																																																																																																																				
0.2	—	—	22.5	54.3	×																																																																																																																																																				
排気操作のみ																																																																																																																																																									
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																																																																																																																																																				
			位置決めナット	工具ケガキ線位置																																																																																																																																																					
0.7 (定格)	1	1 未満	45.4	77.0	○																																																																																																																																																				
0.6	1	1 未満	45.1	77.0	○																																																																																																																																																				
0.5	1	1 未満	45.1	77.0	○																																																																																																																																																				
0.4	1	1 未満	45.2	77.0	○																																																																																																																																																				
0.3	2	1 未満	45.1	77.0	○																																																																																																																																																				
0.2	—	—	22.4	54.0	×																																																																																																																																																				
排気操作のみ																																																																																																																																																									
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																																																																																																																																																				
			位置決めナット	工具ケガキ線位置																																																																																																																																																					
0.7 (定格)	1	1 未満	45.7	77.0	○																																																																																																																																																				
0.6	1	1 未満	45.6	77.0	○																																																																																																																																																				
0.5	1	1 未満	45.6	77.0	○																																																																																																																																																				
0.4	1	1 未満	45.5	77.0	○																																																																																																																																																				
0.3	2	1 未満	45.5	77.0	○																																																																																																																																																				
0.2	—	—	18.7	48.5	×																																																																																																																																																				
排気操作のみ																																																																																																																																																									
			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。																																																																																																																																																						

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	HAYNES ALLOY #25	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で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。

○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。

点検実績調査結果

定検回	実施時期※1	駆動軸	制御棒クラスタ
第13回	2011年4月 ～ 2016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。 (2016年6月)	・定期事業者検査(制御棒クラスタ検査(I3-107))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。 (2011年6月)
第14回	2017年10月 ～ 2018年10月	—	外観点検
			・定期事業者検査(制御棒クラスタ検査(I3-107))にて、同上の確認を行った。 (2017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

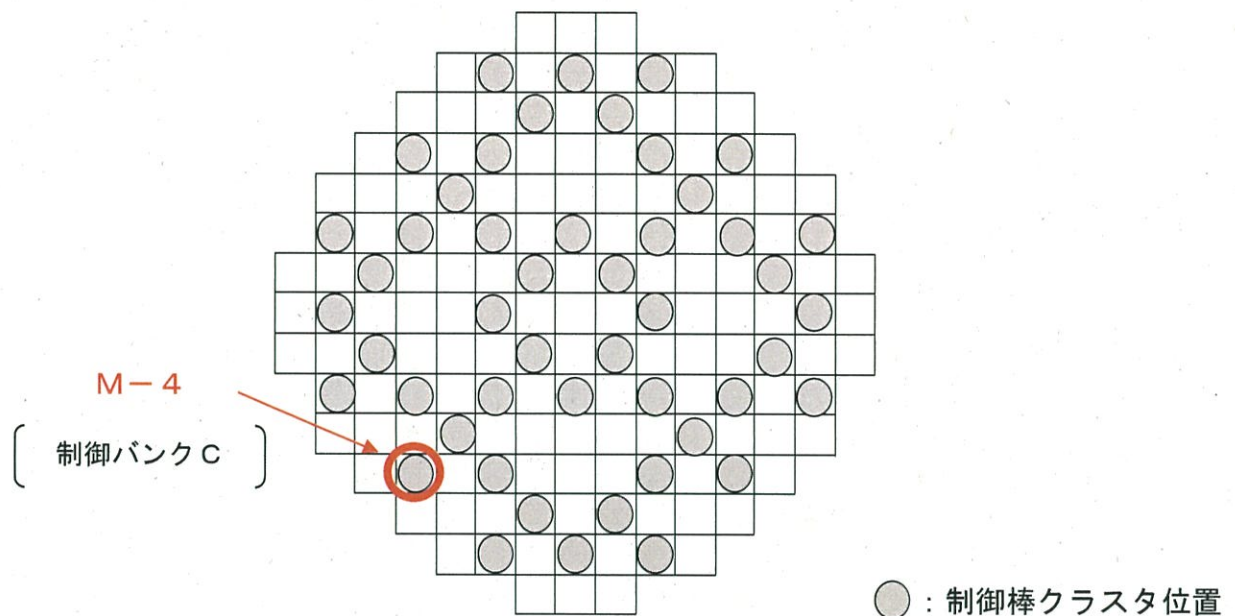
制御バンクD以外		制御バンクD	
サーベランス日時	サーベランス結果	サーベランス日時	サーベランス結果
2018年11月16日	良	2018年12月16日	良
2019年 1月10日	良	2019年 2月17日	良
2019年 3月14日	良	2019年 4月14日	良
2019年 5月 9日	良	2019年 6月23日	良
2019年 7月11日	良	2019年 8月11日	良
2019年 9月12日	良	2019年10月20日	良
2019年11月 6日	良	2019年12月15日	良

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。

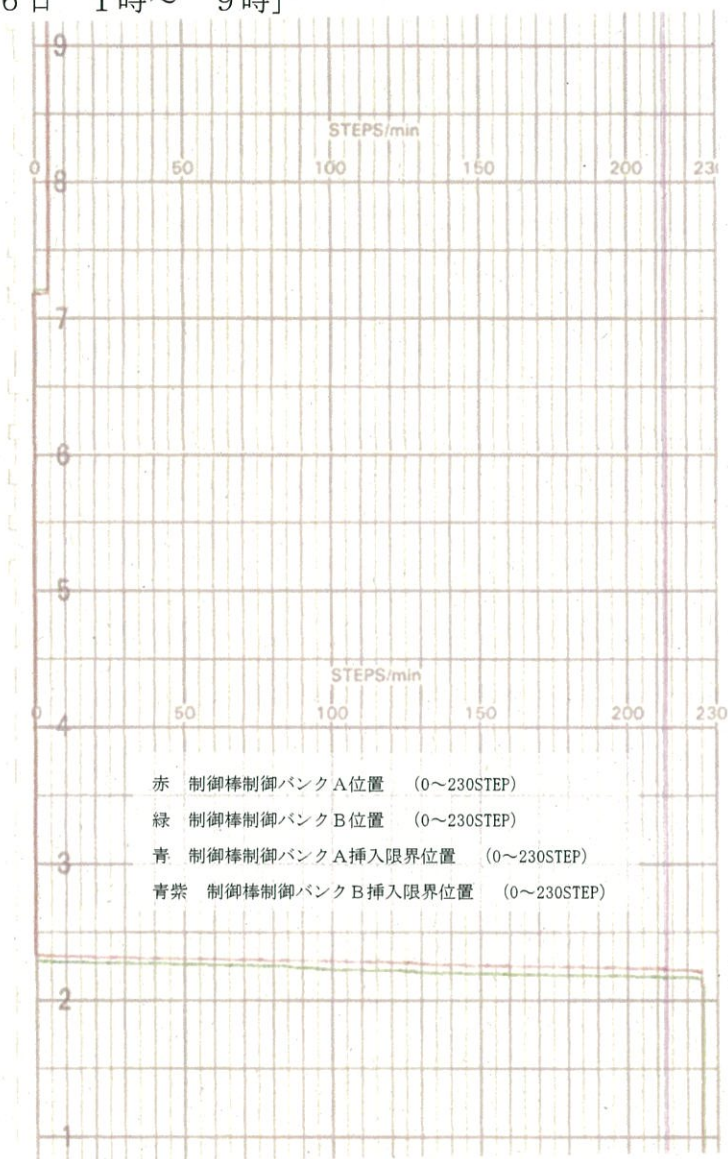
制御棒に対する制御信号、プラント停止時の警報履歴、および制御棒位置の記録により、制御棒制御信号と制御棒位置に偏差が生じたような記録は確認されておらず、制御棒にスリップが発生していないことを確認したことから、プラント停止操作中における制御棒動作機能について問題ないことを確認した。

○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]

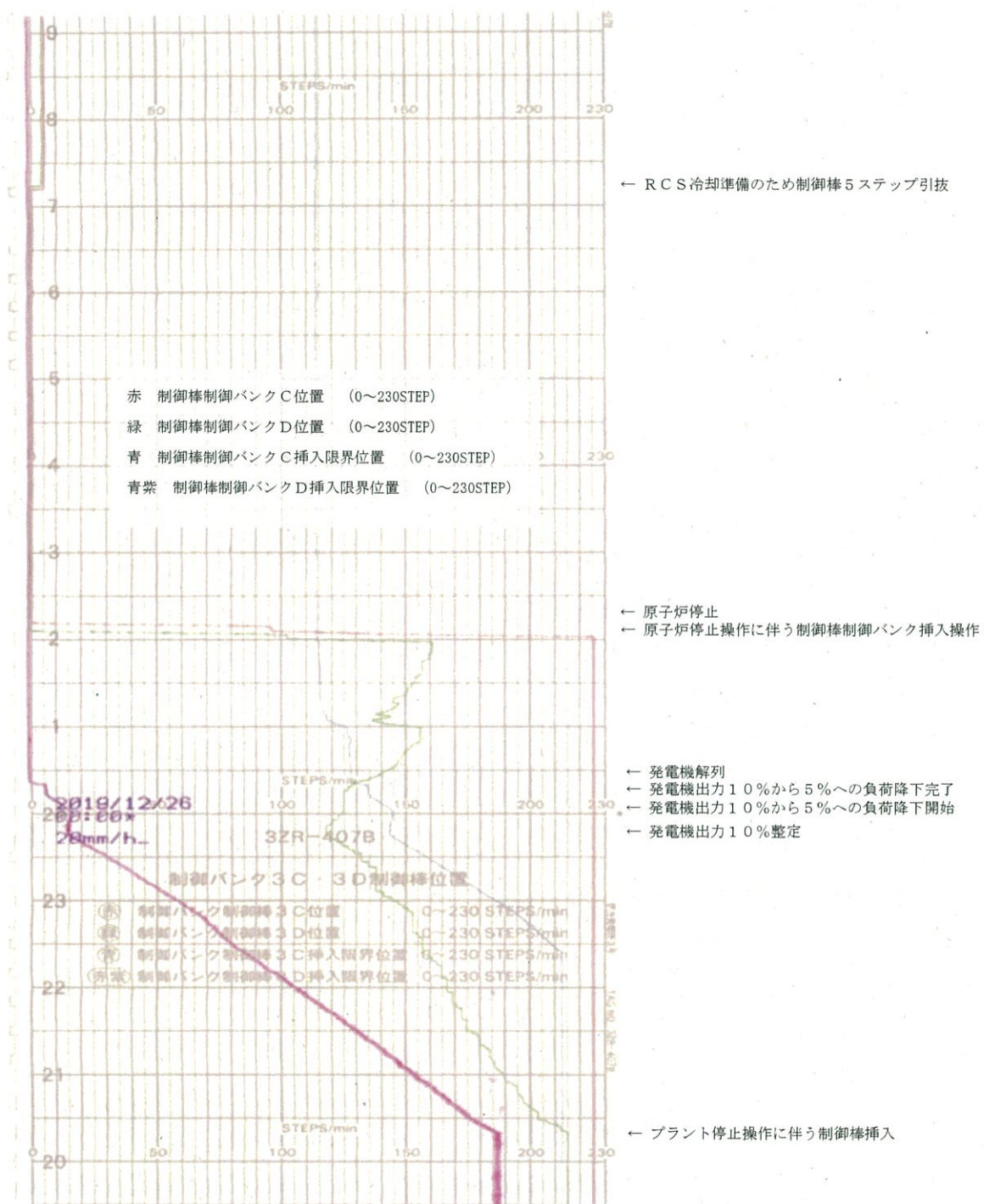


← RCS 冷却準備のため制御棒 5 ステップ引抜

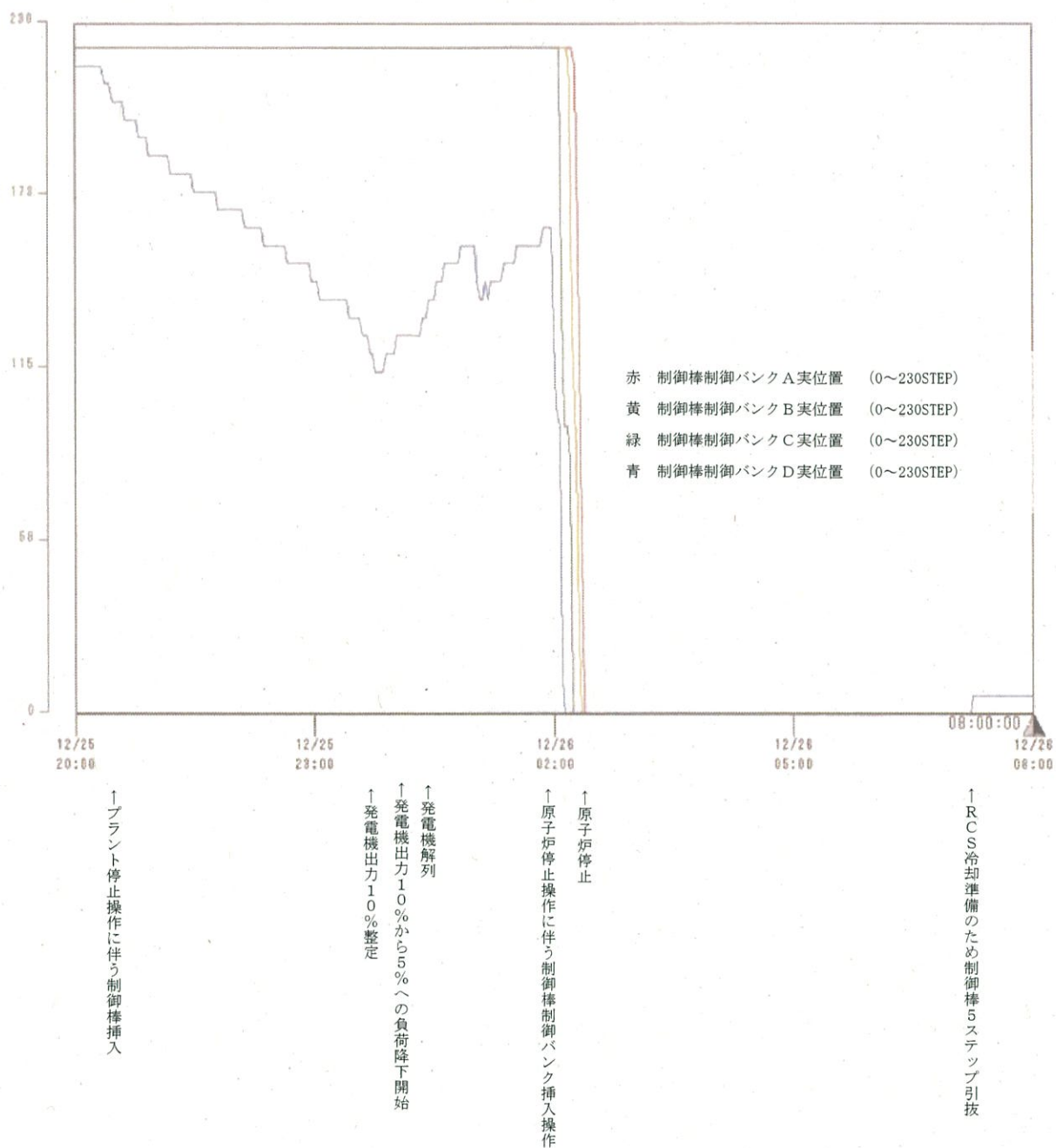
← 原子炉停止

← 原子炉停止操作に伴う制御棒制御バンク挿入操作

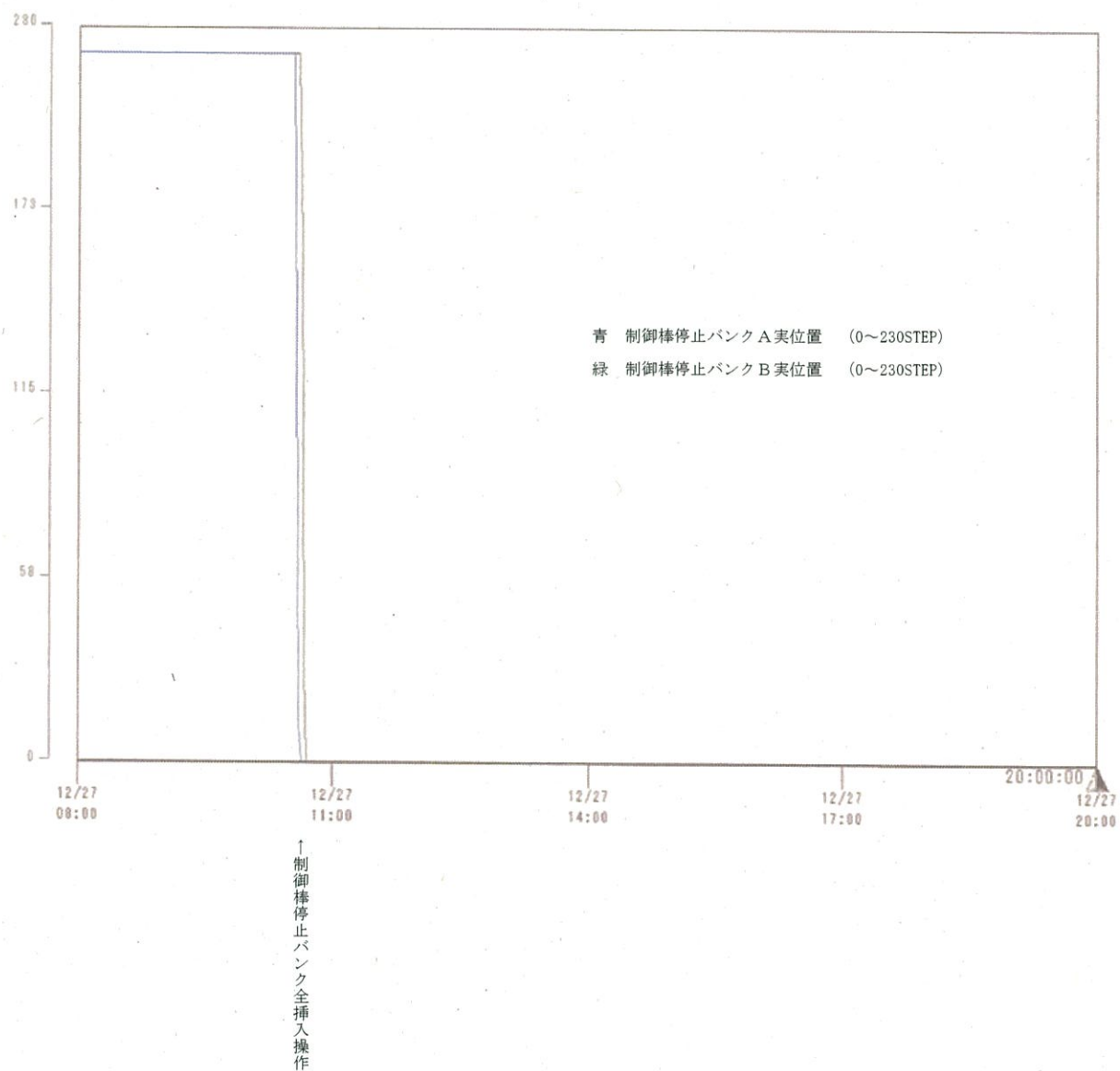
○制御棒位置 制御バンク C・D 制御棒位置
[12月25日20時～26日 9時]



○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. 駆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、0.69MPa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

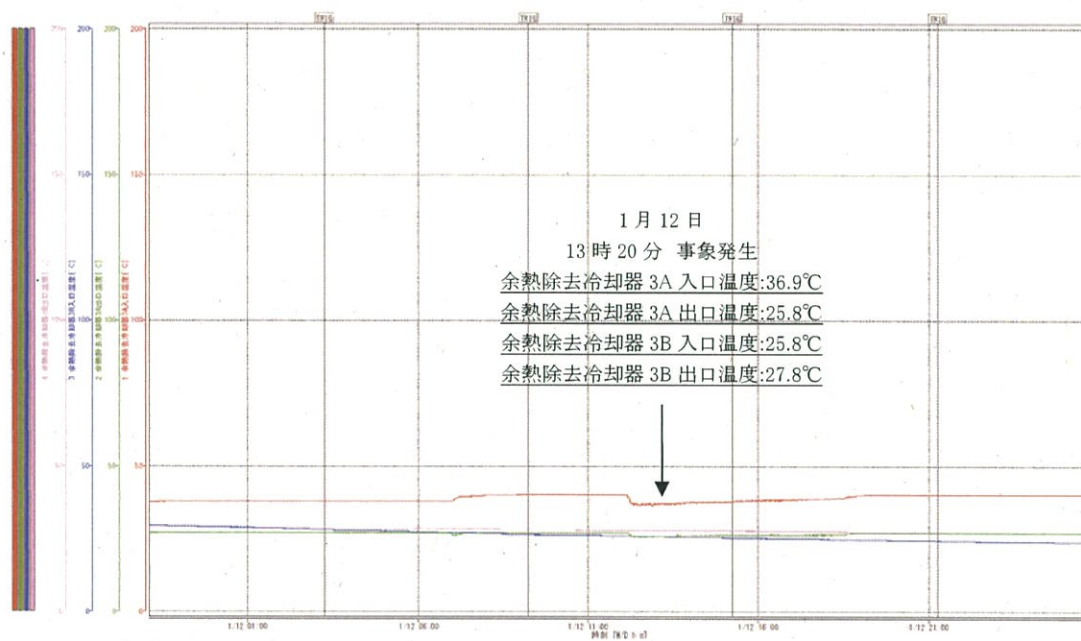
また、RCS温度が維持できない場合は、 $350 \text{ m}^3/\text{h}$ までの流量増加を可能とするが、水流による影響を受けやすいので次の期間は、流量の増加を禁止している。

- ・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。

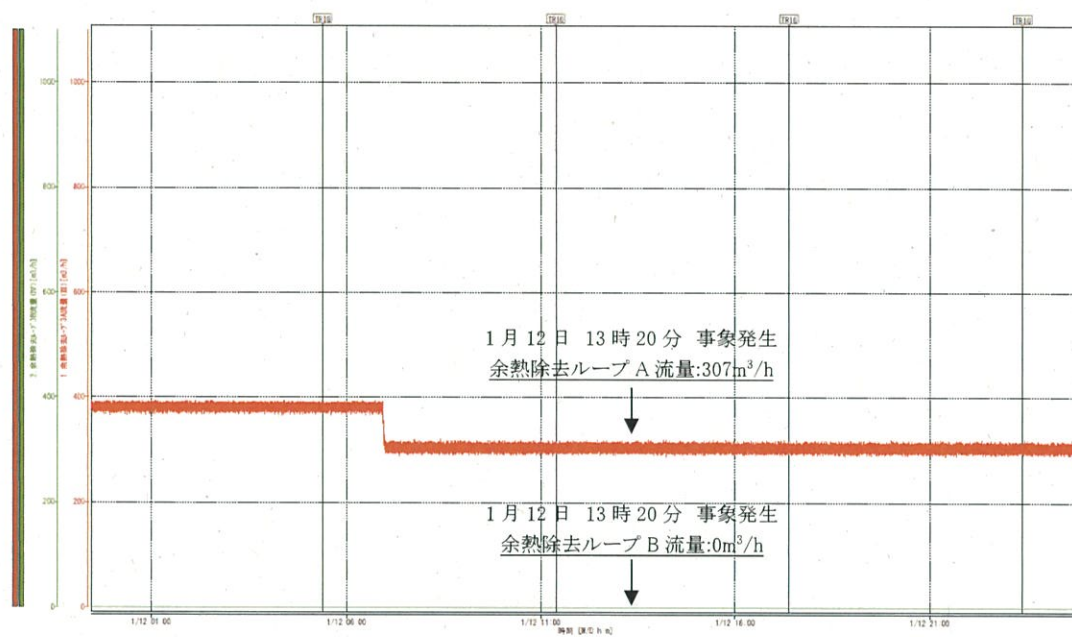
○余熱除去冷却器入口・出口温度

[1月12日 1時00分～21時00分]



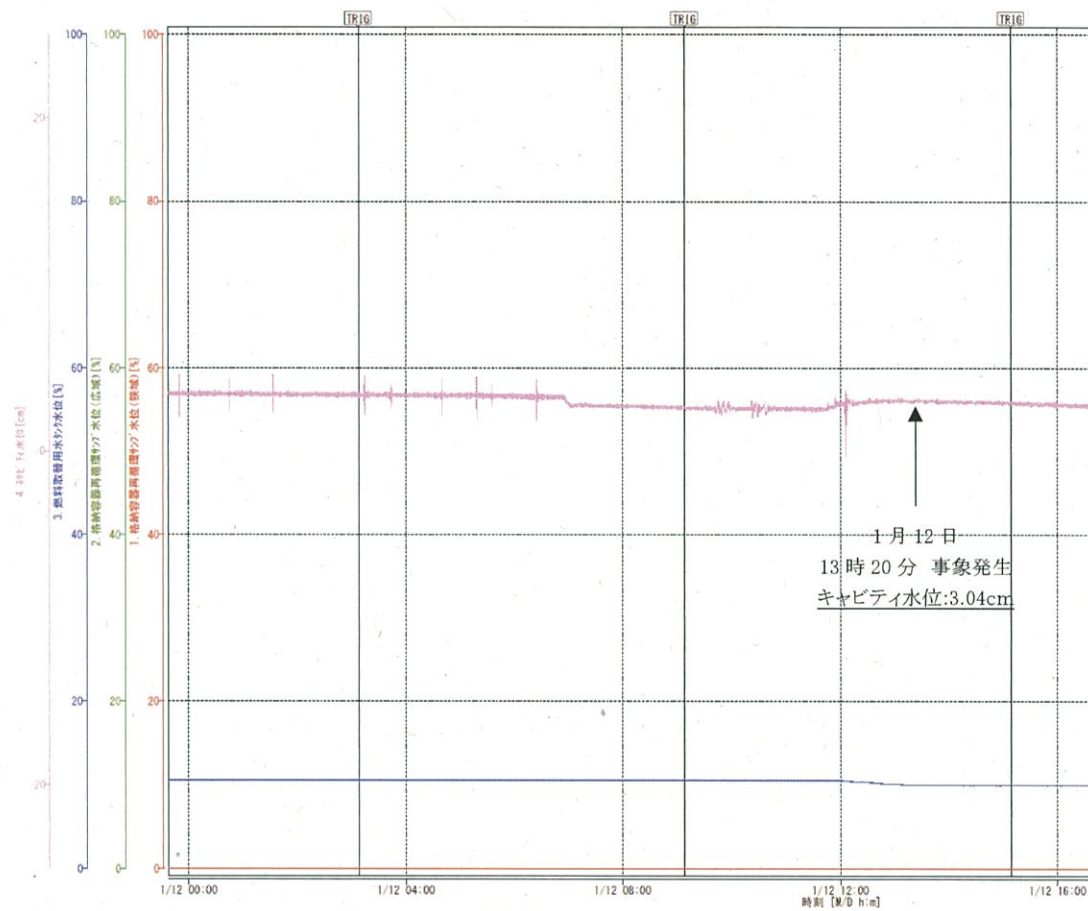
○余熱除去ループ A, B 流量

[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

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類似事例は確認されなかった。

一方、海外の加圧水型軽水炉において調査した結果、下表のとおり類似事例が確認された。

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、新たな確認作業の追加を含む、作業要領の見直しを主な対策としている。

発電所	発生日	制御棒数※	推定原因	主な対策
HBロビンソン2号 ⁽¹⁾ (米国)	1974. 5. 26	1	作業ミスの疑い ・制御棒クラスタ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	作業要領の見直し
ドール2号 ⁽¹⁾ (ベルギー)	1976. 11. 15	9	作業ミスの疑い ・作業ミスにより制御棒クラスタと駆動軸が部分的に再結合と推測	作業要領の見直し
フェッセンハイム1号 ⁽¹⁾ (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ったことによる切り離し作業の不完全な実施	作業要領の見直し
ビュジエイ2号 ⁽¹⁾ (フランス)	1981. 7. 20	48 (全数)	作業ミス ・チェックシートの不備により、切り離し作業の不完全な実施および切り離し確認手順を未実施	作業要領の見直し
セントルーシー1号 ⁽²⁾ (米国)	1997. 10. 27	1	作業ミスおよび設備不良 ・作業ミスにより制御棒クラスタと駆動軸が部分的な結合が継続 ・当該駆動軸の摩擦力が高い状態	作業要領の見直し

※ 同時に引き上がった制御棒クラスタの数

[出典]

- (1) IPSN, Analyse De L' Incident Du 20 Juillet 1981 A La Centrale Nucleaire De Bugey - Tranche 2, "Extraction Intempestive des Grappes de Contrôle Lors de la Levée des Internes Supérieurs", Dec. 1982
- (2) Nuclear Regulatory Commission - Home Page ; LICENSEE EVENT REPORT DOCKET NUMBER: 05000335