

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は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、ケース2の状態では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)

1.2. 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クした(詰まった)。
- ・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ク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、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。
- ・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。

(添付資料－ 1 4)

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

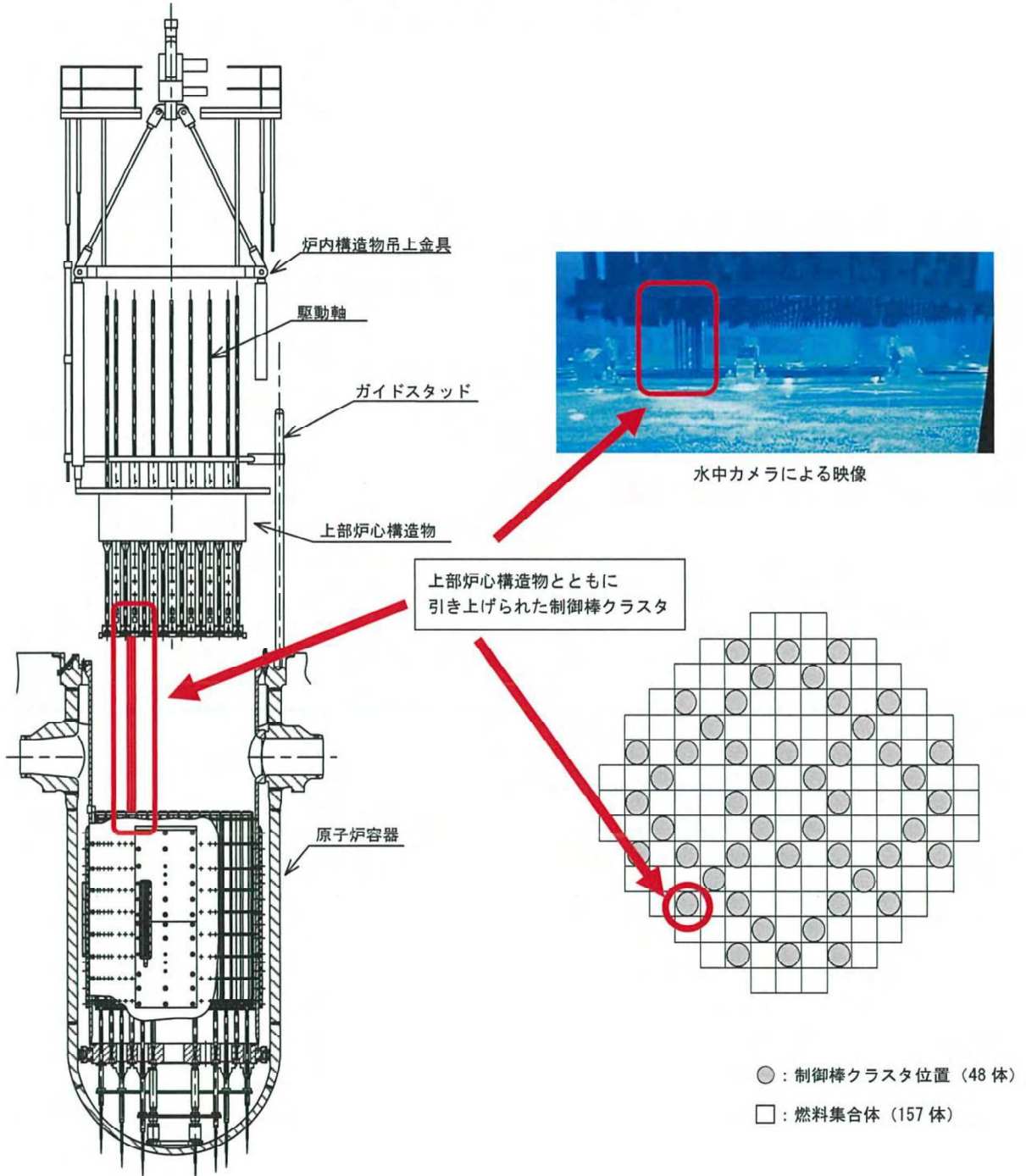
令和2年 1月15日(水)

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

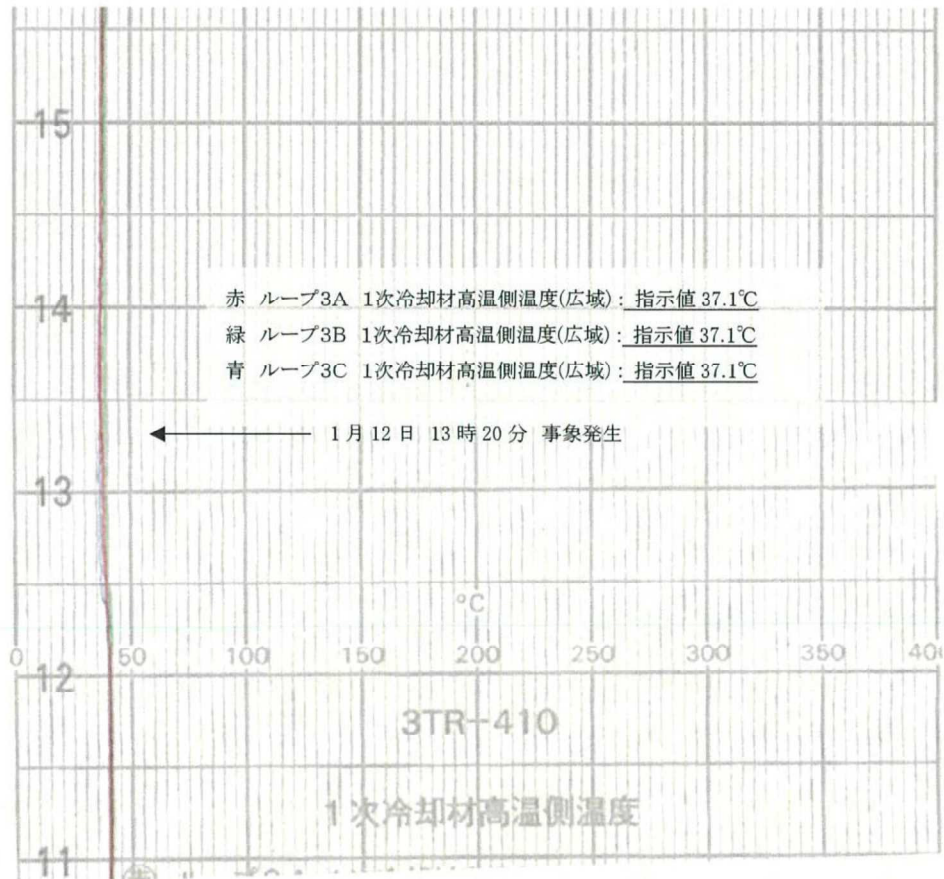


図－ 1 事象概要図

発電用原子炉施設の影響記録

○ 1次冷却材高温側温度

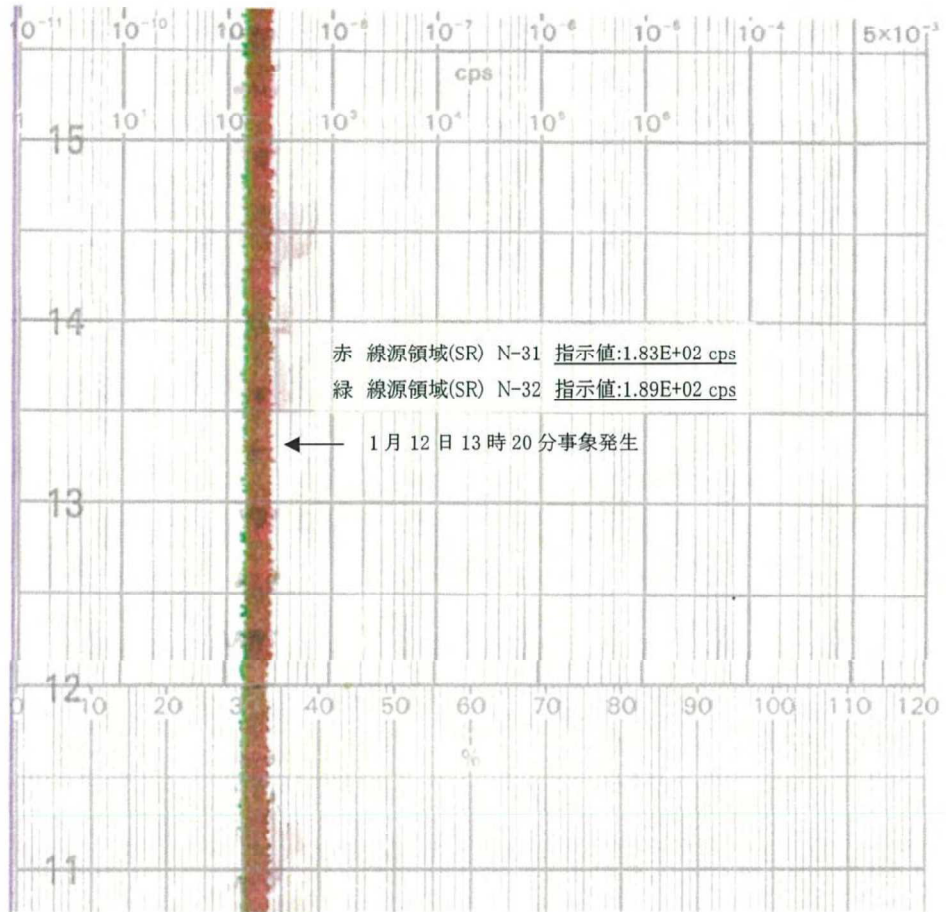
[1月12日 11時00分～15時30分]





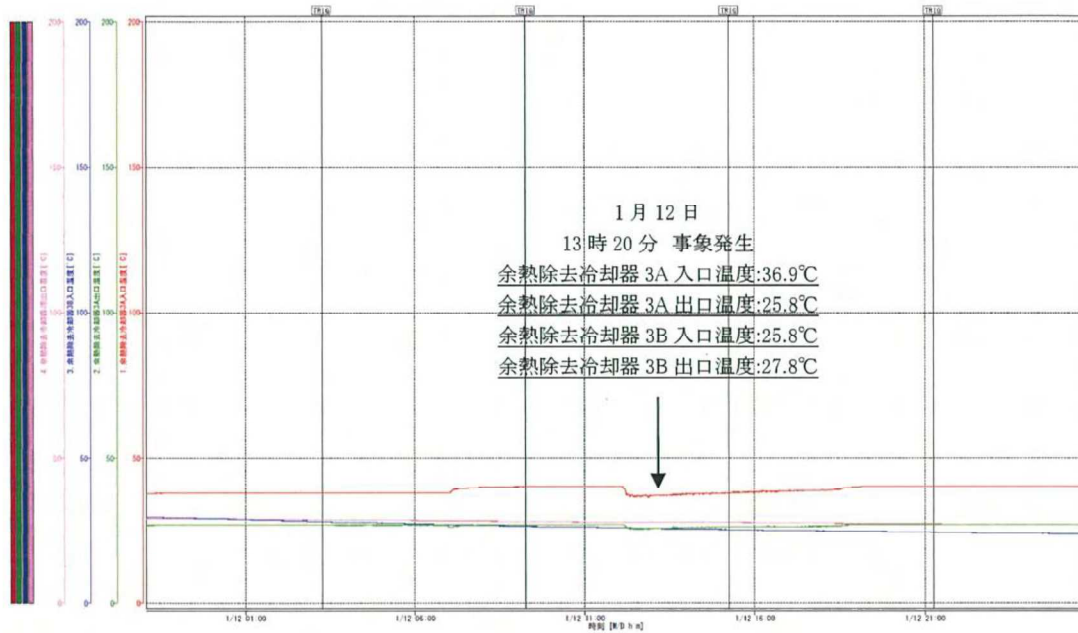
○原子炉出力

[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

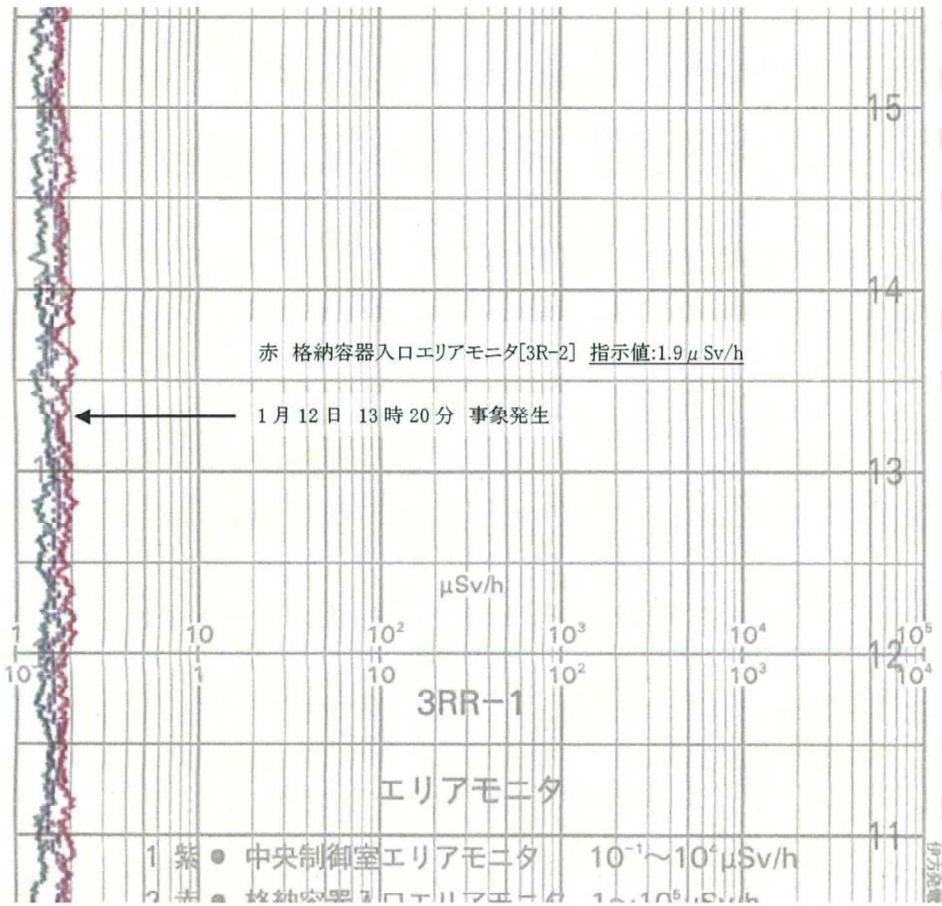
[1月12日 1時00分~21時00分]



放射線管理モニタ記録

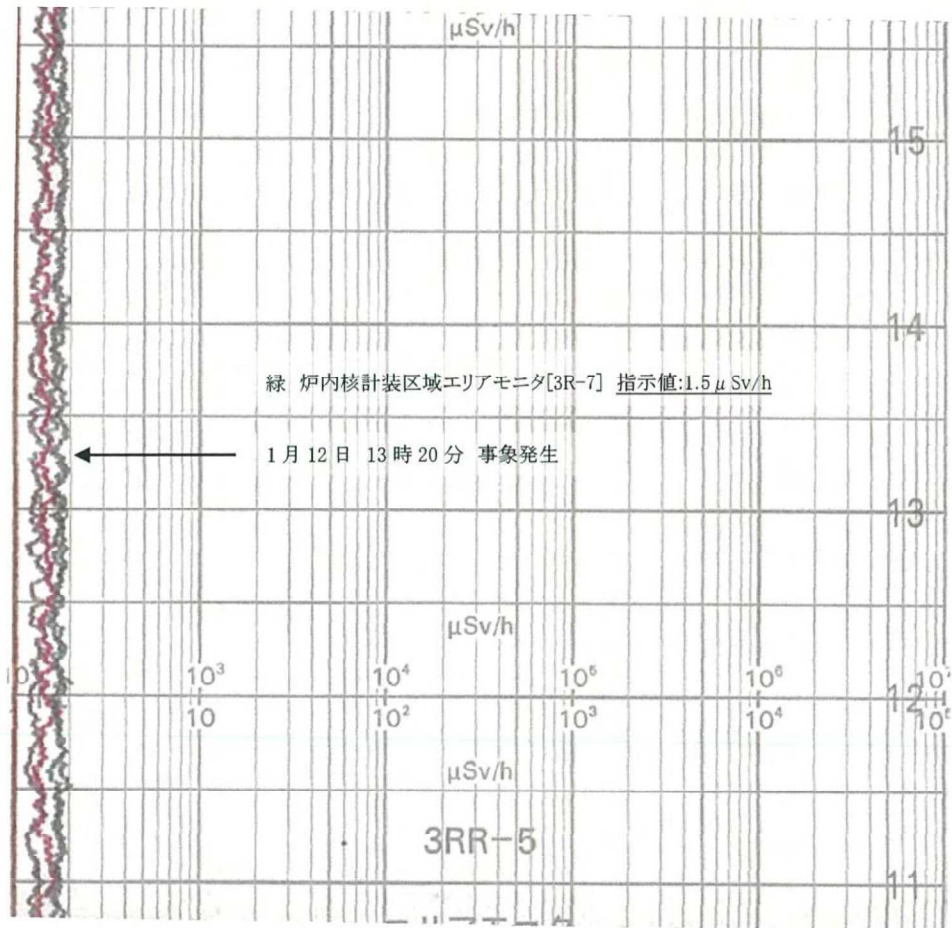
○エリアモニタ (1/2)

[1月12日 11時00分~15時30分]



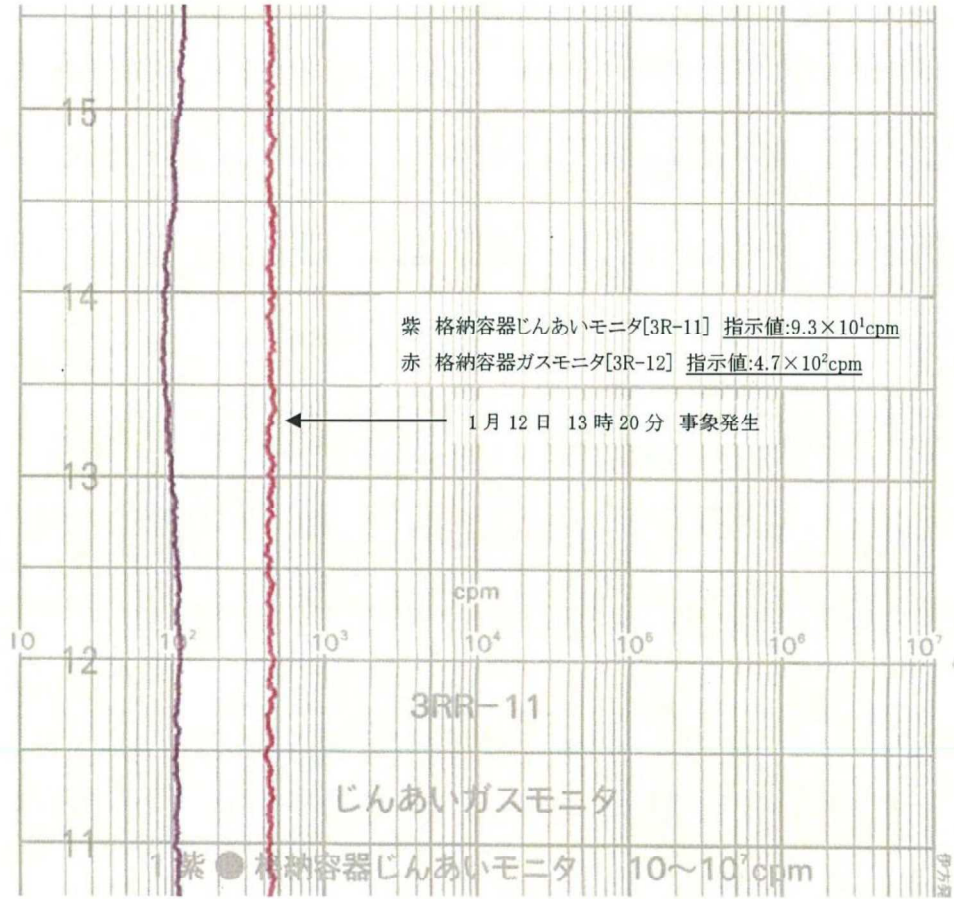
○エリアモニタ (2/2)

[1月12日 11時00分~15時30分]



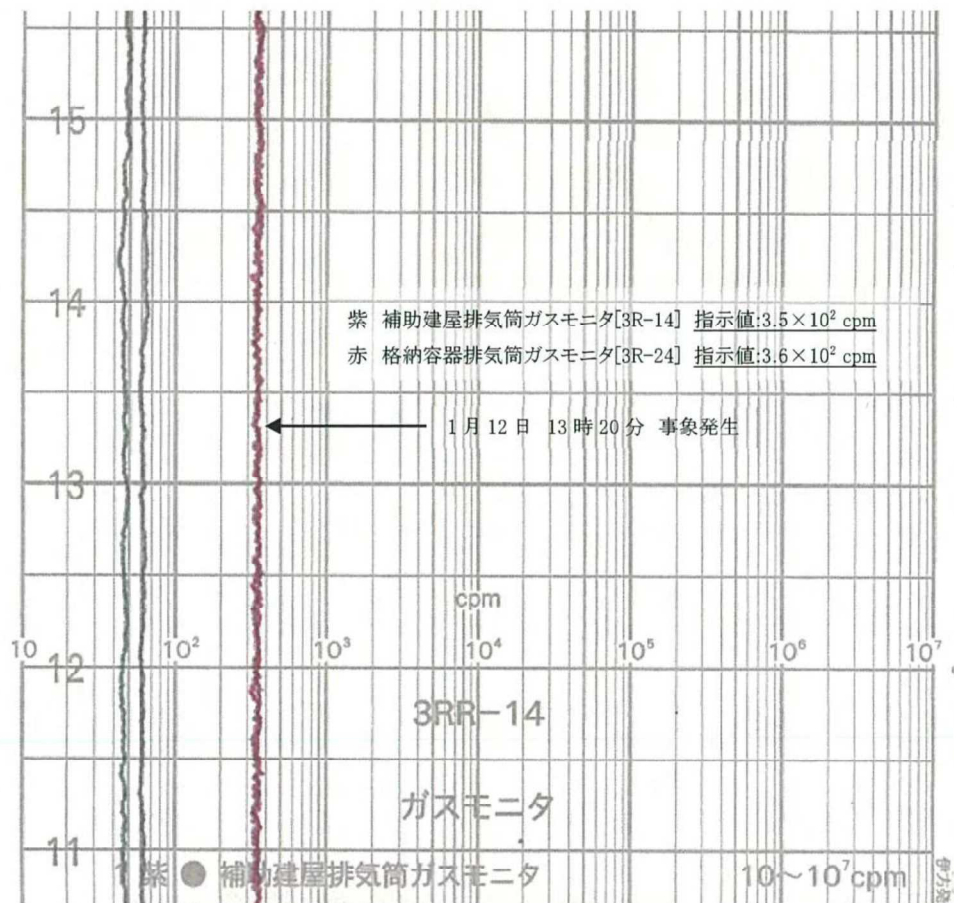
○プロセスモニタ (1/2)

[1月12日 11時00分~15時30分]



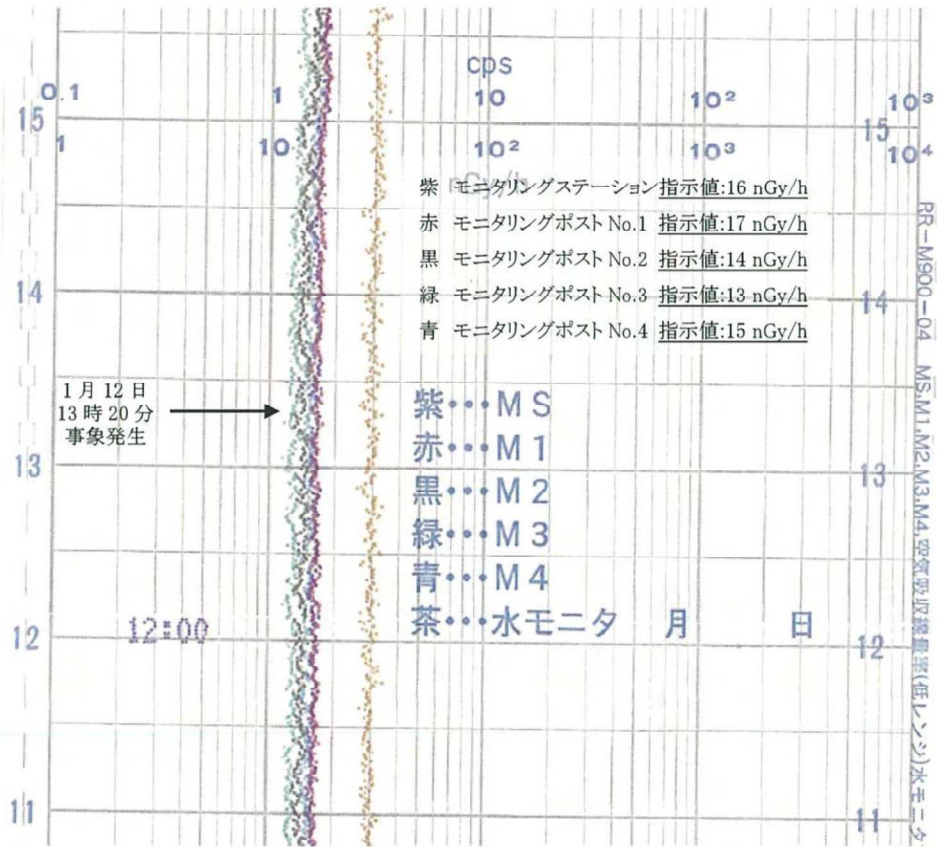
○プロセスモニタ (2/2)

[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。

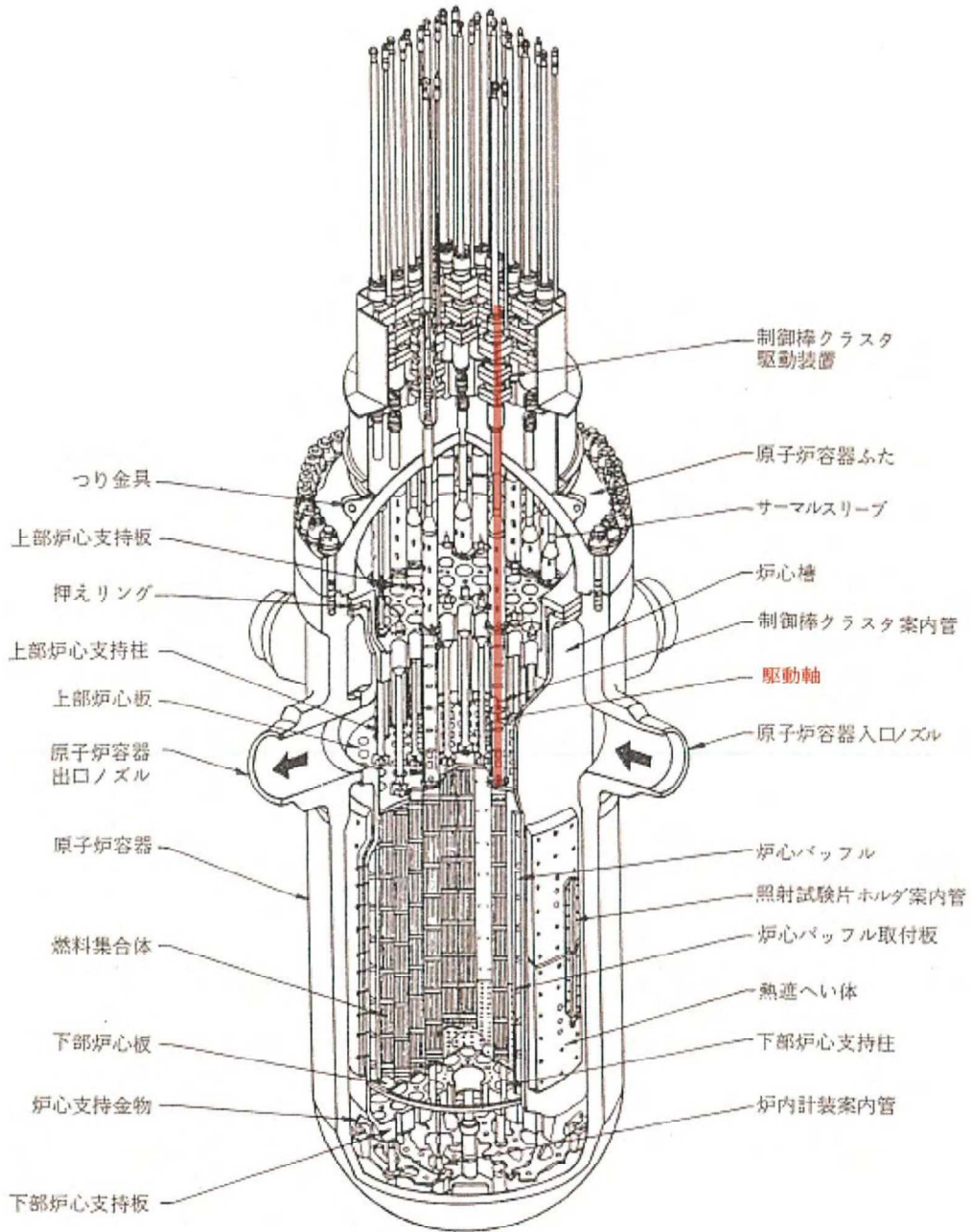
このことから、制御棒クラスタが1本引き上がった本事象発生時においても、炉心の未臨界性は十分に確保されている。

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

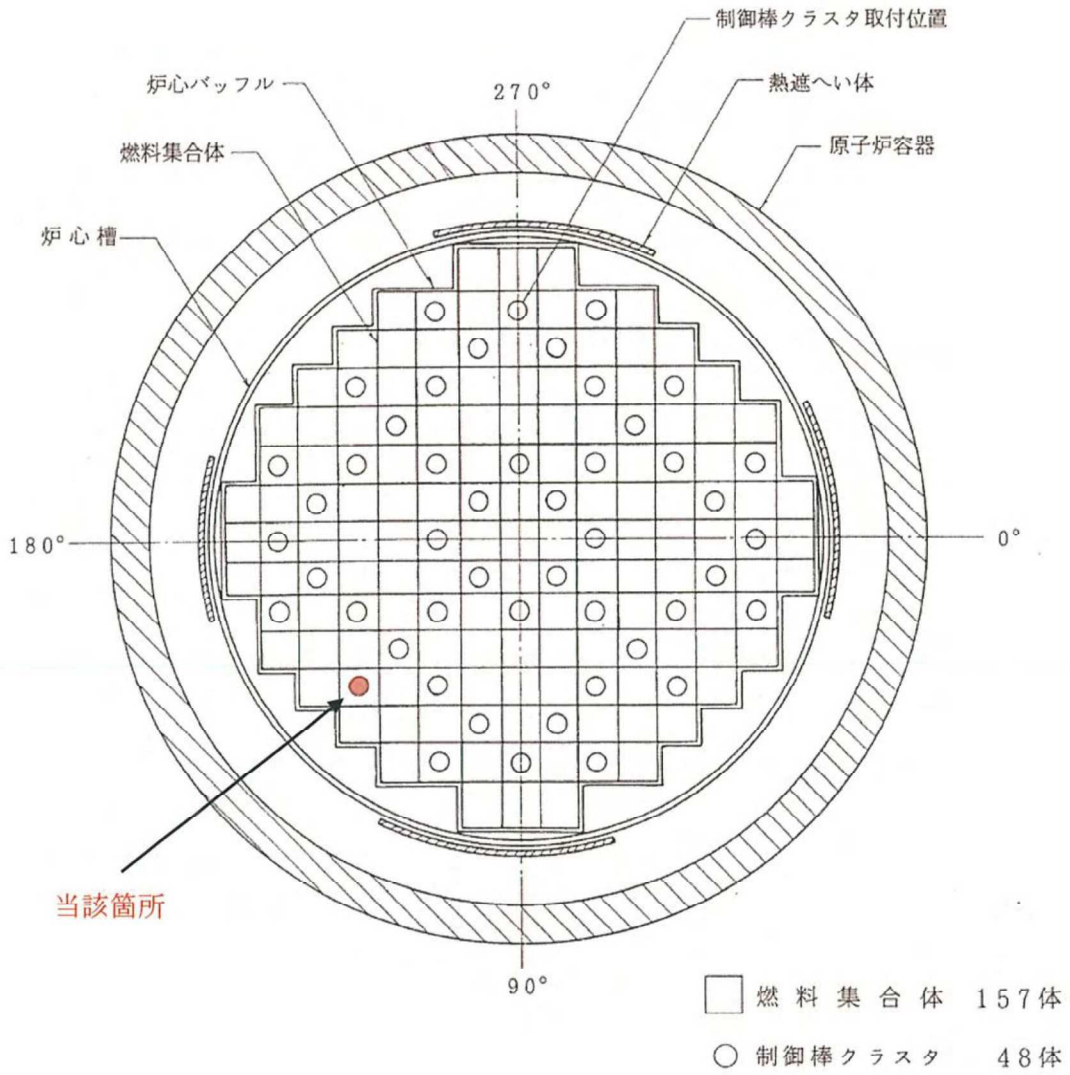
全制御棒クラスタ引き上がり時の最小停止ほう素濃度※ (ppm)	事象発生時のほう素濃度 サンプリング結果 (ppm)
1703	4553

※ 評価値に対して、100 ppmの余裕を含む。

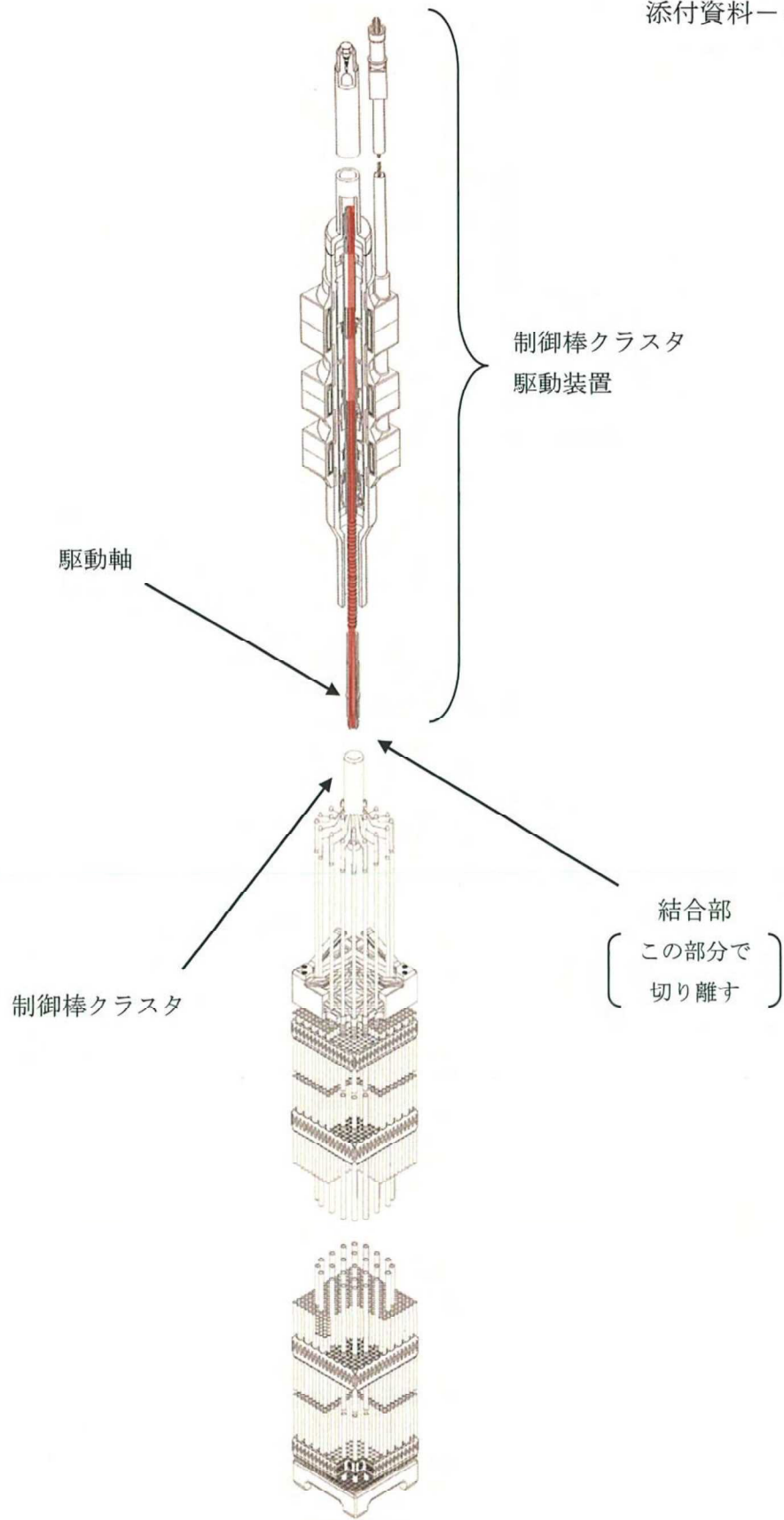
各機器の構造図



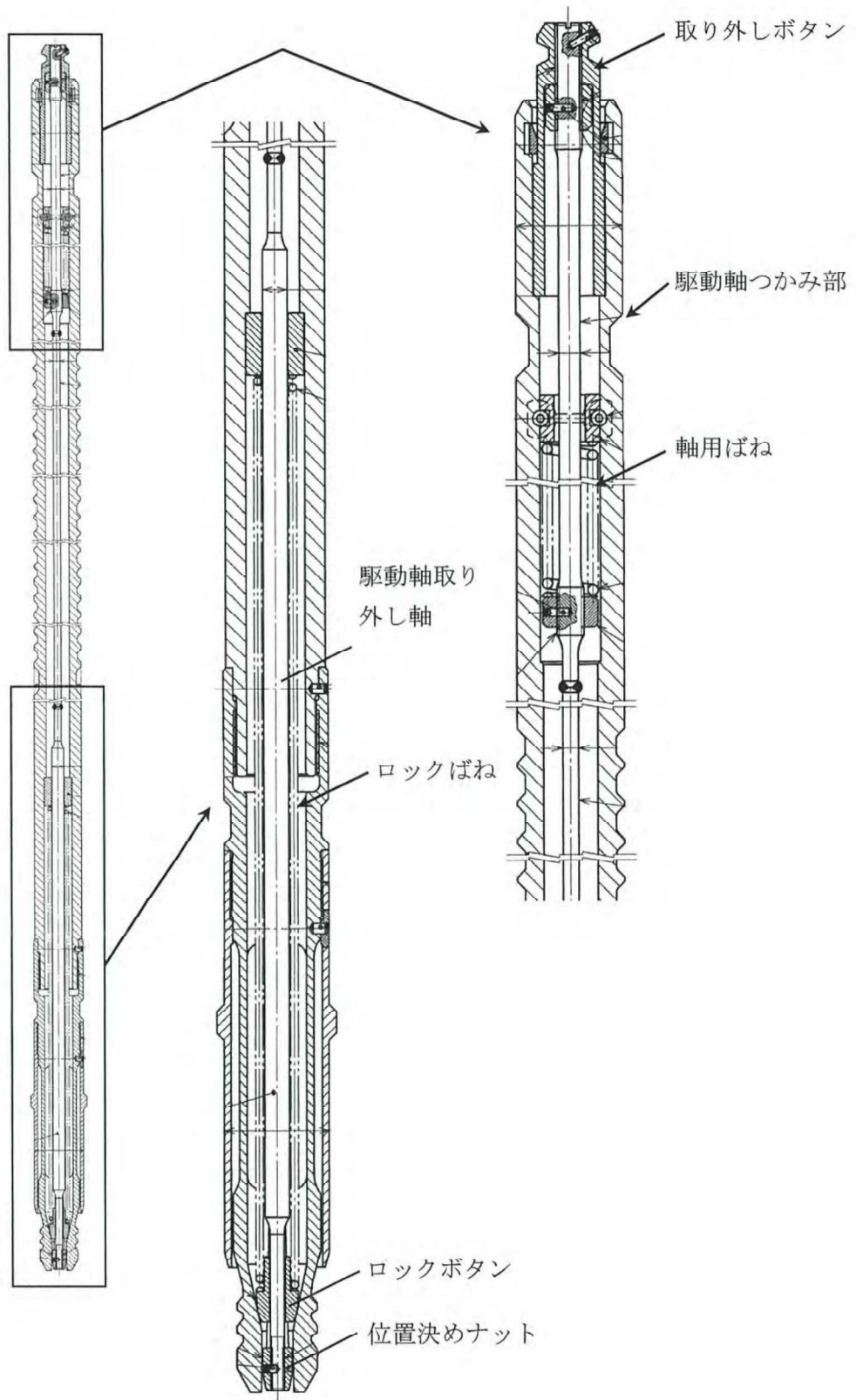
原子炉容器 (内部構造図)



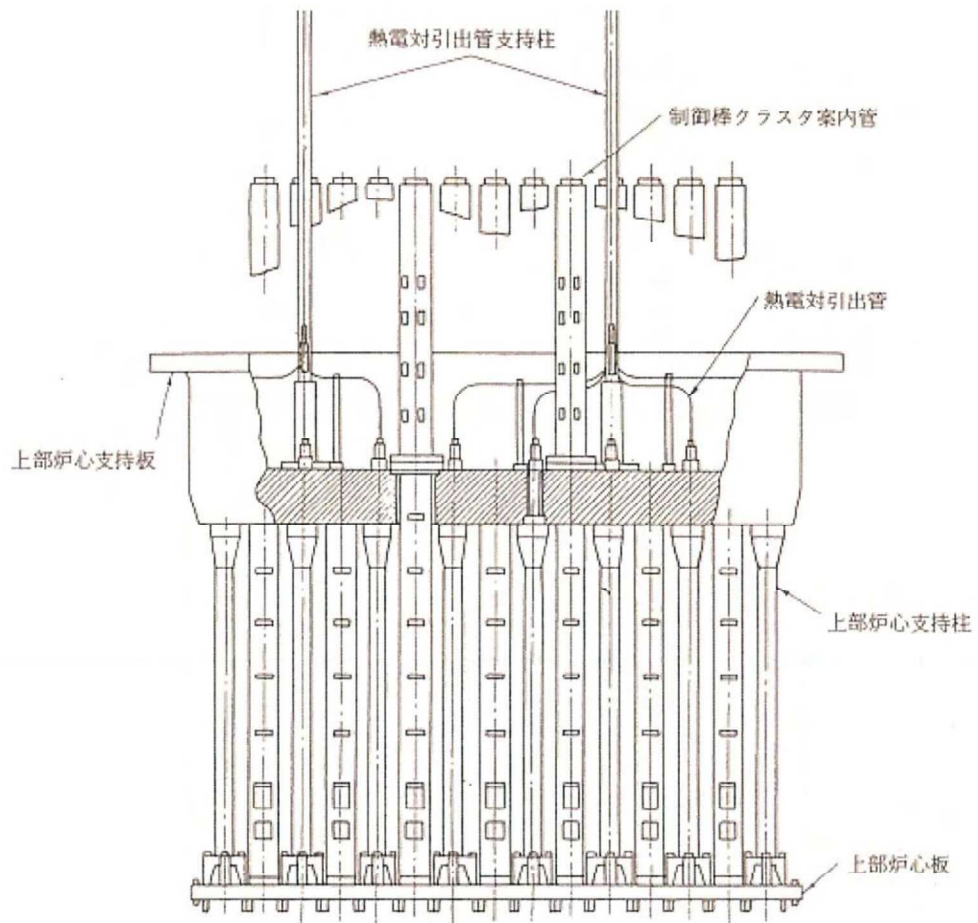
原子炉容器（炉心断面図）



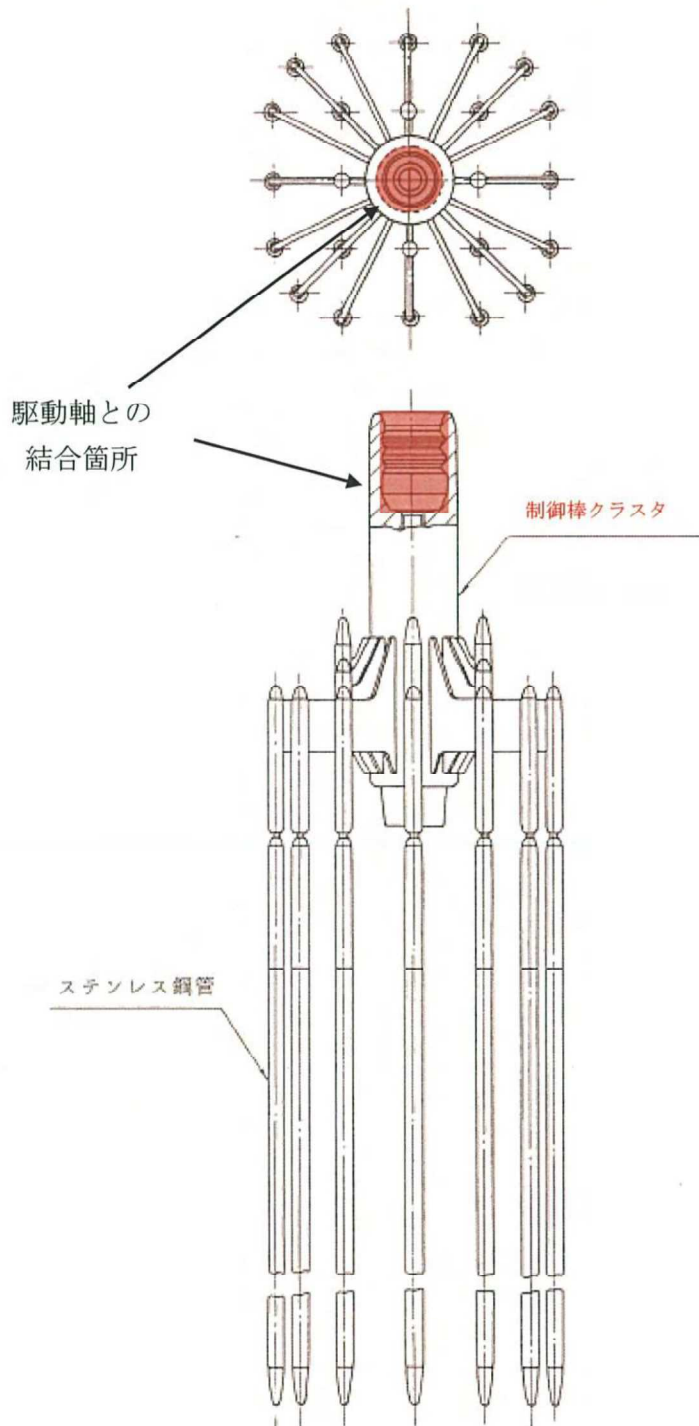
制御棒クラスタ駆動装置



駆動軸



上部炉心構造物

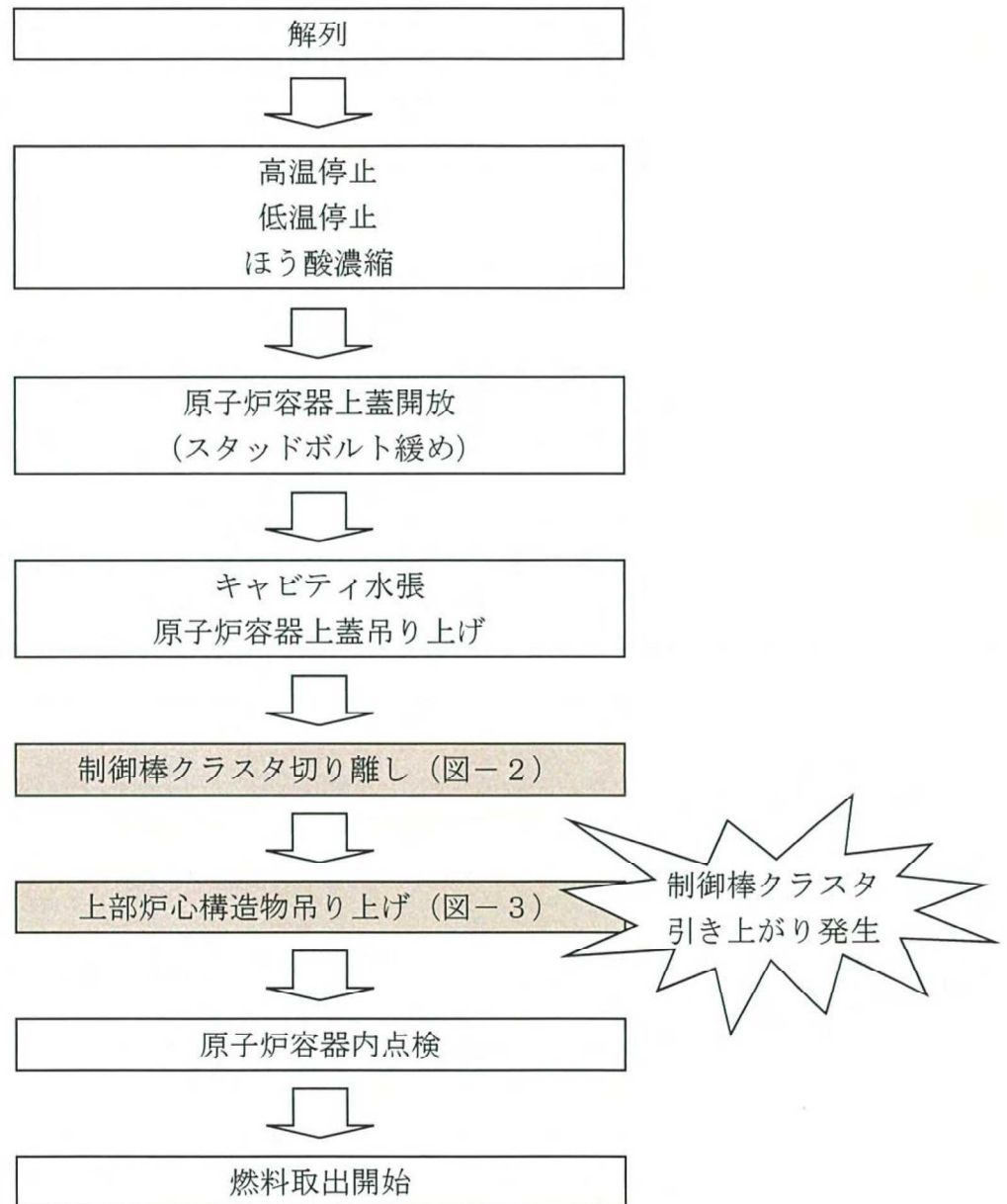


制御棒クラスタ



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