

伊方発電所第3号機 燃料集合体点検時の落下信号発信について

(概要版)

令和2年6月4日

四国電力株式会社

1. 事象概要

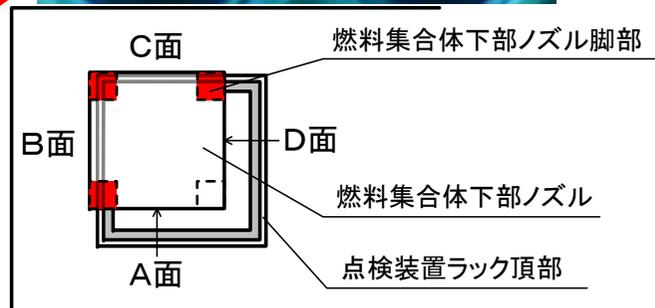
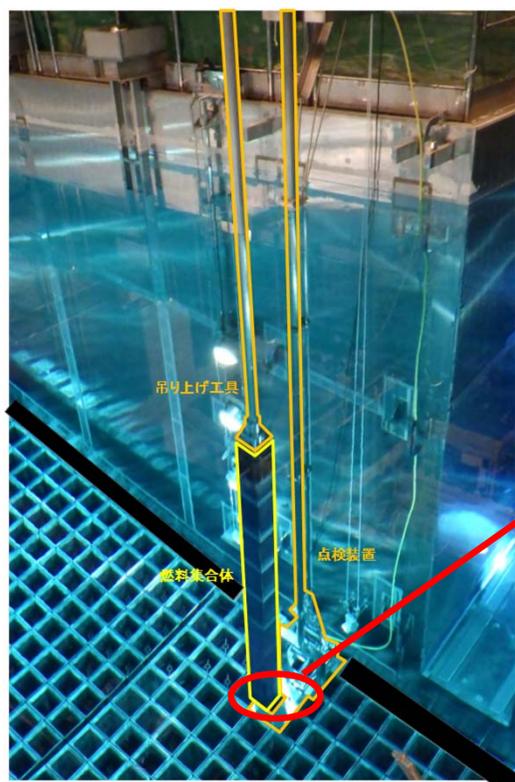
伊方発電所第3号機は第15回定期検査中のところ、3号機使用済燃料ピットにおいて、燃料集合体の点検をするため、燃料集合体を使用済燃料ピット内で移動させていた際、令和2年1月20日14時18分に燃料集合体落下信号が発信した。

状況を確認したところ、燃料集合体を点検装置ラックに挿入する際に、当該ラックの枠に乗り上げたことにより、使用済燃料ピットクレーンの吊り上げ荷重が減少したため、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ことを確認した。

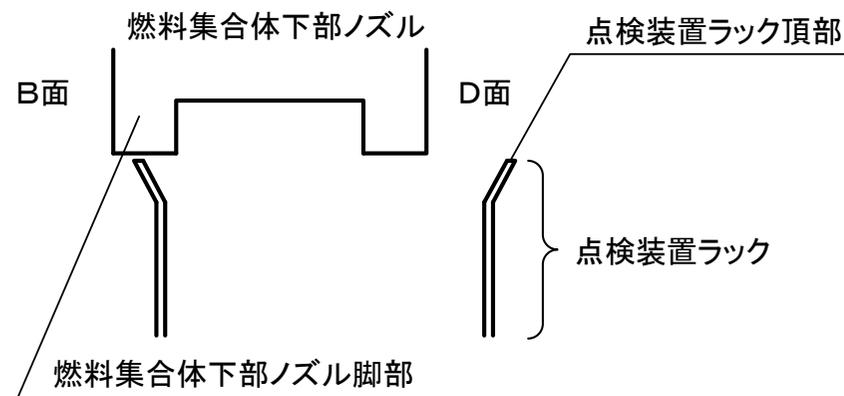
その後、燃料集合体を吊り上げ、同日16時12分、使用済燃料ピット内の所定の保管位置に戻した。

燃料集合体落下信号発信に伴い、設計どおり使用済燃料ピットエリアの排気系統の切り替えが行われたことを確認し、同日16時17分、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および周辺環境への放射能の影響はなかった。



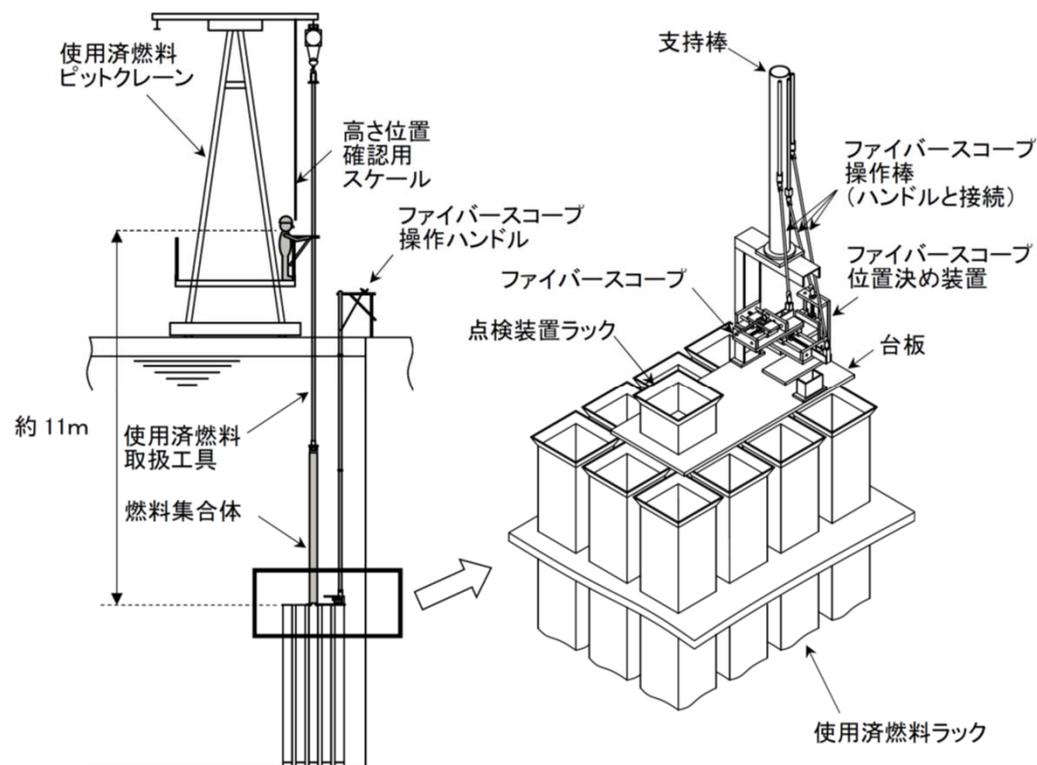
乗り上げ時平面図



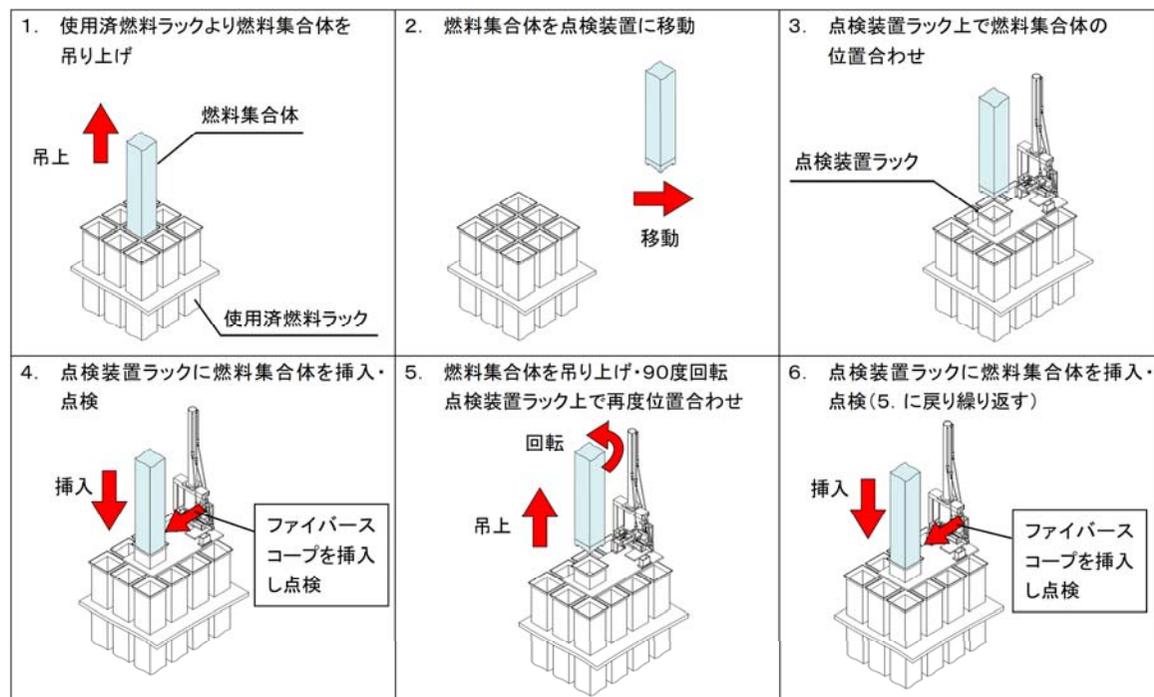
乗り上げ時断面図

2. 燃料集合体点検作業の概要

- 使用済燃料ラック上に設置した点検装置に燃料集合体を挿入し、燃料集合体を吊り下げた状態で燃料棒の間隙にファイバースコープを挿入することにより、燃料集合体内部の点検を行う作業。
- 操作員は、使用済燃料ピットクレーンのブリッジ上から、クレーンの移動、工具の操作により、約11m下に設置された点検装置ラックに燃料集合体を挿入。
- 燃料集合体の4つの面(A面→B面→C面→D面)を確認するため、1面を確認するごとに燃料集合体を使用済燃料ピットクレーンで吊り上げ、90度回転させた後に再挿入を行う。
- 今回の定期検査では5体の燃料集合体の点検を行うこととしており、本事象は4体目で発生。



点検装置概略図

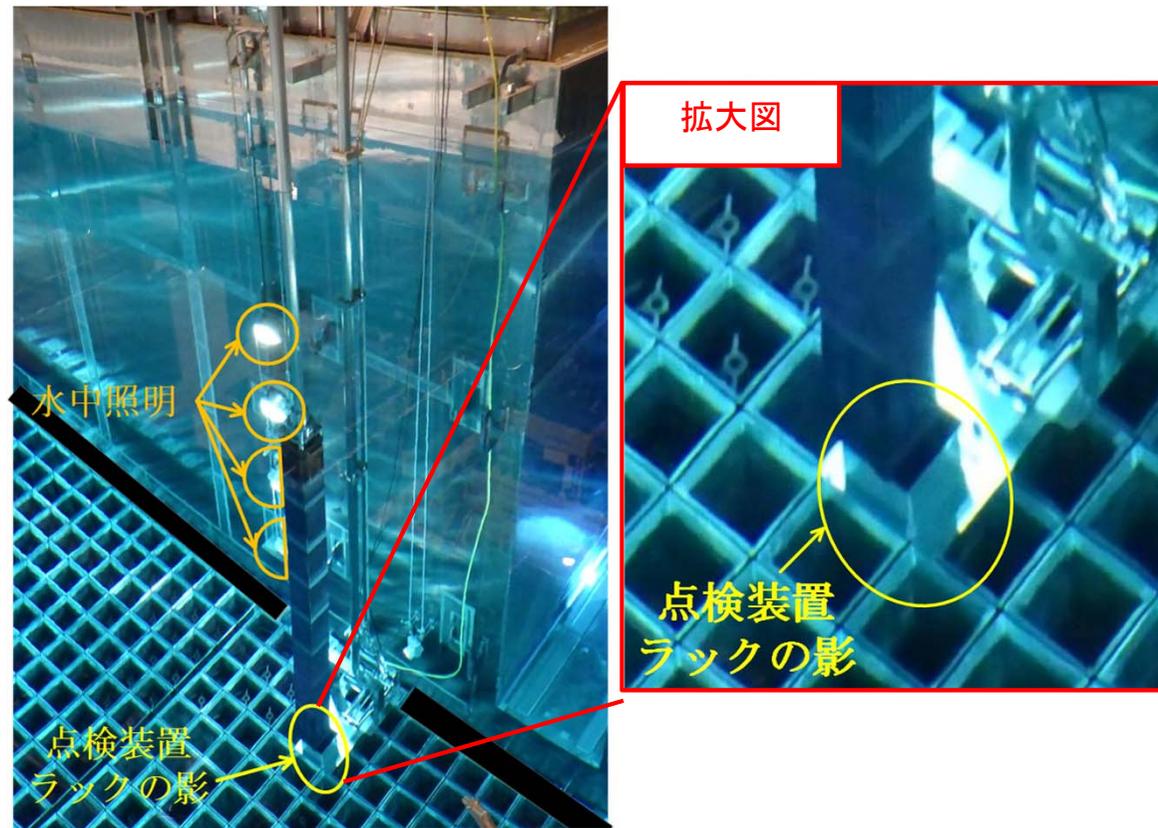
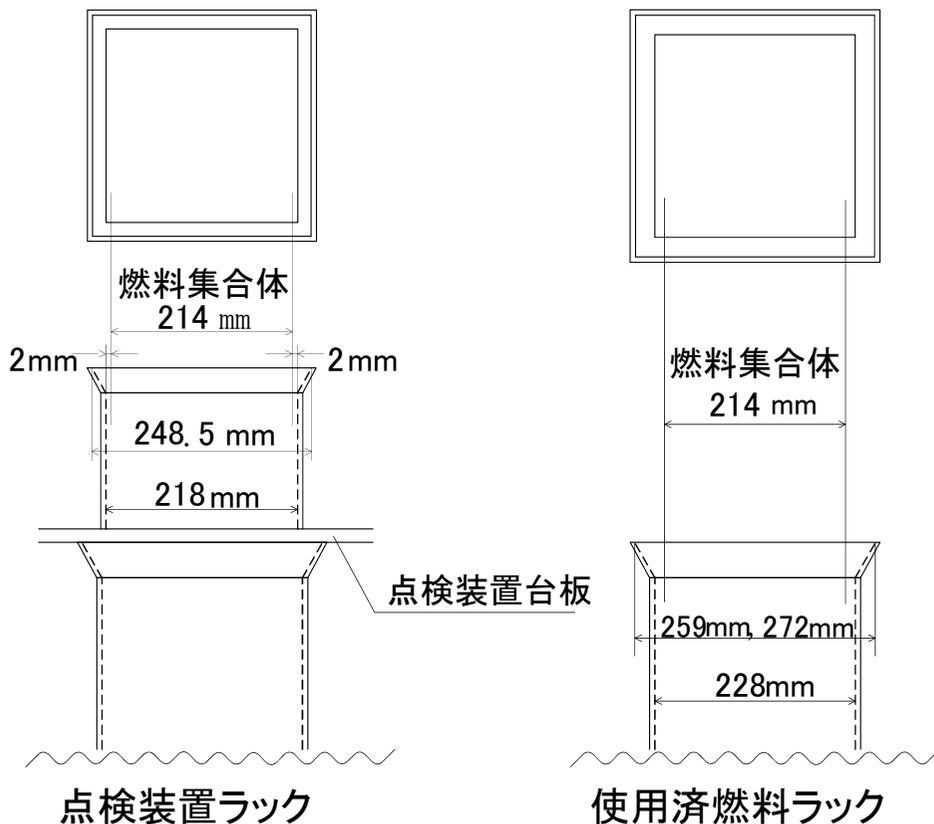


燃料集合体点検作業要領

3. 調査結果(1/5)

(1) 点検装置

- 点検装置ラック開口部の寸法は、使用済燃料ラック(259mmおよび272mm)に対し、248.5mmと小さく設定されている。
- 点検装置ラックの胴部内寸法は、点検中の燃料集合体の揺れや回転を防止するため、燃料集合体の外寸(214mm)に対し、隙間を片側2mmに制限した値(218mm)に設定されている。
- 使用済燃料ピットの常設の水中照明により、点検装置ラックの操作員側に影ができ、点検装置ラック開口部が使用済燃料ラックに比べ、見え難い状況であった。

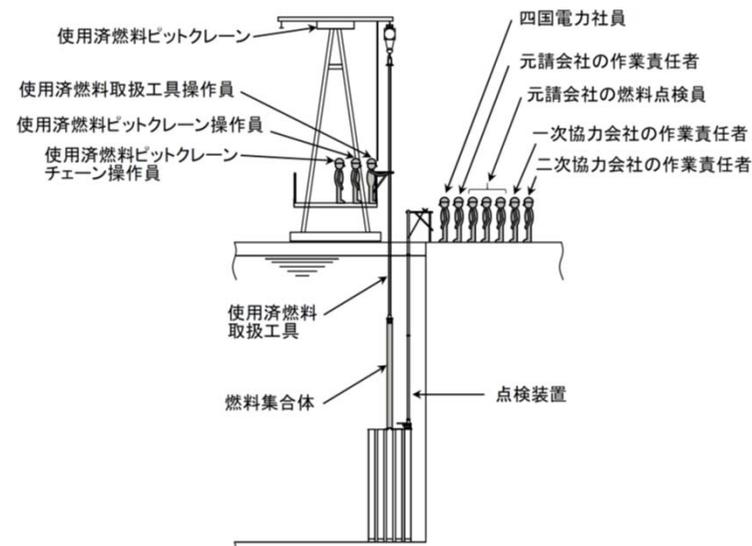


点検装置ラックの視認性

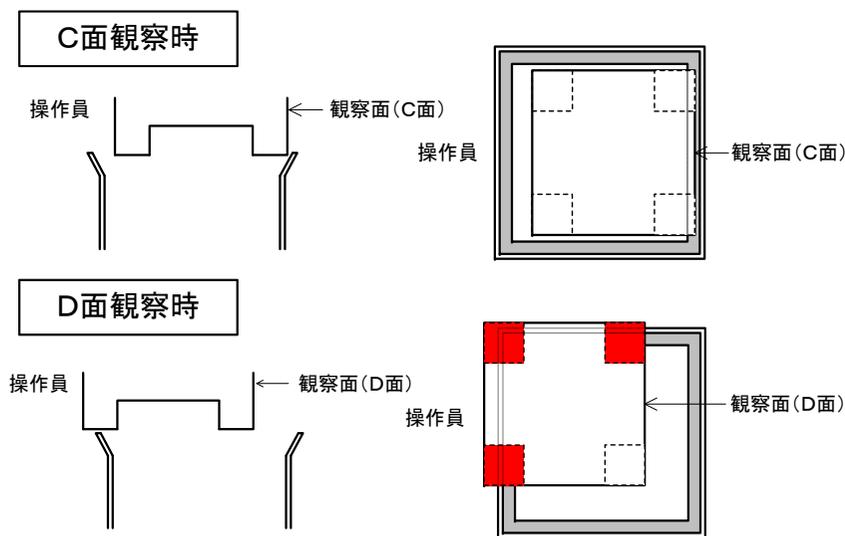
3. 調査結果(2/5)

(2) 作業状況

- 過去に3号機第13回および14回定期検査にて、合わせて2回実施した点検作業であり、作業要領書や作業体制は過去2回と変更はなく、作業員には、燃料取扱作業の経験を有する者を配置していた。
- 本事象発生の直前の作業(当該燃料集合体C面の点検)時、燃料集合体を点検装置ラックに挿入しようとした際に、燃料集合体下部ノズルが点検装置ラック内側と接触し、燃料集合体の下降が自動停止した。使用済燃料ピットクレーンの吊荷荷重は、すぐに接触前の荷重に戻った。その後、燃料集合体を一度吊り上げ、センタリングに問題ないことを再度確認した後、慎重を期すため、インチング操作により燃料集合体を下降し、点検装置ラック内に挿入し、C面の点検を行った。
- その後、D面の点検を行うための燃料集合体の点検ラックへの挿入にあたっては、慎重を期すため、C面点検時同様にインチング操作により燃料集合体を下降させていたが、燃料集合体が点検装置ラックに乗り上げて、燃料集合体落下信号が発信した。使用済燃料ピットクレーンの吊荷荷重は、842kgから167kgに減少していた。
- 点検作業全体を通じて、燃料集合体のセンタリングおよび点検装置ラックへの挿入状況の最終的な確認は、クレーン上で操作している作業員のみが実施しており、ピット脇にて作業全体を監視している作業責任者は直接確認できない状況であった。
- 作業員への聞き取り調査の結果、点検装置ラックの開口寸法が小さいことおよび水中照明で発生する影による点検装置ラックの視認性の問題により、燃料集合体のセンタリングおよび点検装置ラックへの挿入状況の確認が難しいとの意見があった。



燃料集合体の点検における作業員の配員



点検装置ラックへの燃料集合体挿入状況(C、D面)

3. 調査結果(3/5)

(3) 追加調査

点検装置ラックへの燃料集合体乗り上げの背景について、作業員への聞き取り調査の結果、点検装置ラックの開口寸法が小さいことおよび水中照明で発生する影による点検装置ラックの視認性の問題により、燃料集合体のセンタリングおよび点検装置ラックへの挿入状況の確認が難しいとの意見があったことから、これまでの点検作業状況について調査した。

○初回点検作業開始前の状況

当社ならびに元請会社および一次協力会社の関係者は、当該点検装置は燃料取扱装置等の納入実績のあるプラントメーカーが設計した装置であり操作性の観点から十分検討されたものであると思込んでいたことなどから、点検装置ラック開口寸法および視認性が操作のしやすさの観点から十分に配慮されたものではないこと、また、本作業が難度の高い作業であることに気づかなかった。

○これまでの点検作業実施時の状況

過去2回実施した点検作業では、操作自体は問題なく実施できていたことから、当社ならびに元請会社および一次協力会社の関係者は、本作業が難度が高い操作であることに気づかず、操作員への問いかけや、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こななかった。

○本事象発生直前の状況

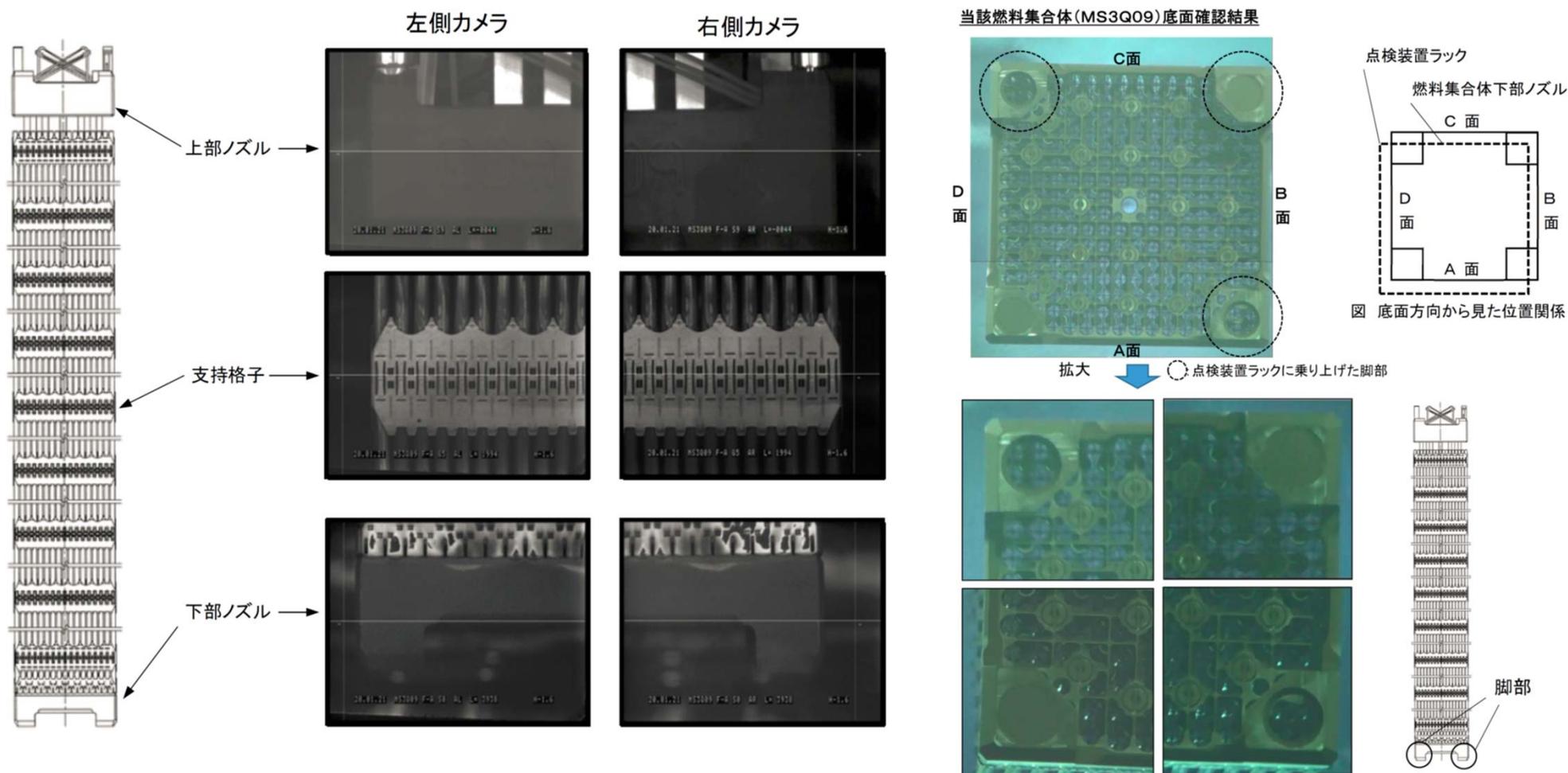
本事象発生直前のC面観察時に荷重急変減少警報が発信したが、荷重急変減少警報自体は通常の使用済燃料ラックへの燃料挿入時にも発信しうるものであることから、C面観察時の警報発信時に、当社社員ならびに元請会社および一次協力会社の作業責任者は、本作業が操作員にとって難度が高い作業であるとは思わなかつた。

また、通常の使用済燃料ラックへの燃料挿入時であれば、荷重変動が発生しても、特段の問題なくその後の対応作業を実施できていたことから、当社社員ならびに元請会社、一次協力会社および二次協力会社の作業責任者が注意喚起をするなどの積極的な対応をとらなかつた。

3. 調査結果(4/5)

(4) 燃料集合体の健全性

- 燃料集合体の側面および底面について、外観確認を実施し有意な傷、変形等がないことを確認した。
- 点検装置ラックに乗り上げた燃料集合体下部ノズル底面については、さらに詳細確認を実施し、有意な傷、変形等がないことを確認した。



3. 調査結果(5/5)

(4) 燃料集合体の健全性(続き)

- 当該燃料集合体が点検装置ラックに乗り上げた際に、当該燃料集合体に作用した加速度を算出した結果、約1.3G^{※1}となった。

※1: 燃料集合体を静置している時に作用している重力による加速度(1.0G)の約1.3倍に相当

当該燃料集合体が点検装置ラックに乗り上げ時に作用した加速度1.3Gにより、燃料集合体に作用した荷重は約1,100kgであり、燃料集合体の設計において健全性が確認されている荷重(4,100kg)^{※2}に対し十分な余裕があることを確認した。

※2: 燃料集合体は、6G(重力加速度の6倍)の加速度で作用する荷重(4,100kg)に対して変形等が生じない設計としているが、これは未照射条件で評価したものである。

これに対し、当該燃料集合体は照射済み(燃焼度約35,000MWd/t)である。一般的に、金属材料は中性子の照射により強度が増加し延性が低下する傾向があるが、この性質を考慮しても、以下の理由により、照射済燃料集合体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、より厳しい取り扱いとなっている。

- ✓ 燃料集合体の強度に関係する部材(ステンレス鋼、ジルカロイ)は、中性子の照射により耐力等の材料強度は増加する方向であるため、変形等が生じる荷重は未照射条件に比べ大きくなる。
- ✓ 一方、中性子の照射により材料の延性は低下するが、燃料集合体の燃焼度制限(55,000MWd/t)の範囲において、燃料健全性に問題ないことが国の審査の中で確認されている。

なお、燃料被覆管への影響を評価したところ、使用済燃料ピットでの保管中の燃料の被覆管応力は約60MPa、ラック乗り上げ時の加速度で発生した応力は約3MPaであり、両方を足し合わせても(約63MPa)未照射時の耐力(約600MPa)と比較しても十分低い値であり、健全性に影響はない。

- なお、当該燃料集合体が点検装置ラックに乗り上げた際に作用した荷重は、通常の燃料取扱時に作用する荷重と同程度である。
- 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。

4. 推定原因

(1) 点検装置ラックの開口寸法

点検装置ラック開口寸法が使用済燃料ラックの開口寸法よりも小さいため、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。

(2) 点検装置ラックの視認性

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。

(3) センタリングおよび点検装置ラックへの挿入状況の確認

燃料集合体のセンタリングおよ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。

(4) 荷重変動発生時の対応

C面観察時に荷重変動が発生した際、続く作業を確実に進めるため、一度作業の手を止め、当社社員および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など、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。

(5) 点検作業に係るリスク低減対応未実施

点検装置ラックの開口寸法およ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、関係者はその状況に気づくことができず、操作員への問いかけや、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った。

5. 対策

(1) 点検装置ラック開口寸法を拡大して、使用済燃料ラックと同等の開口寸法とする。

(2) 本点検作業時には、燃料集合体のセンタリングおよび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を設置するとともに、作業中の視認性向上を図るため、点検装置ラックを照らす水中照明を設置する。

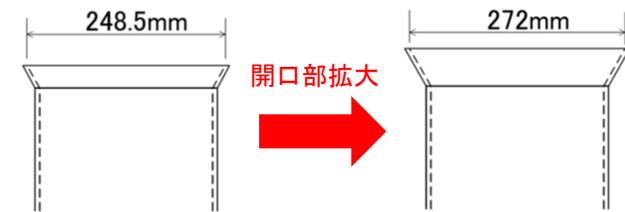
(3) 燃料集合体のセンタリングおよび点検装置ラックへの挿入状況については、操作員に加えて、元請会社の作業責任者が、水中テレビカメラの映像によるダブルチェックを行うこととし、作業要領書に記載する。

(4) 作業要領書に荷重急変減少警報発信時の操作手順を追記するとともに燃料集合体を点検装置ラックに挿入する際の注意事項を以下のとおり追記し、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。

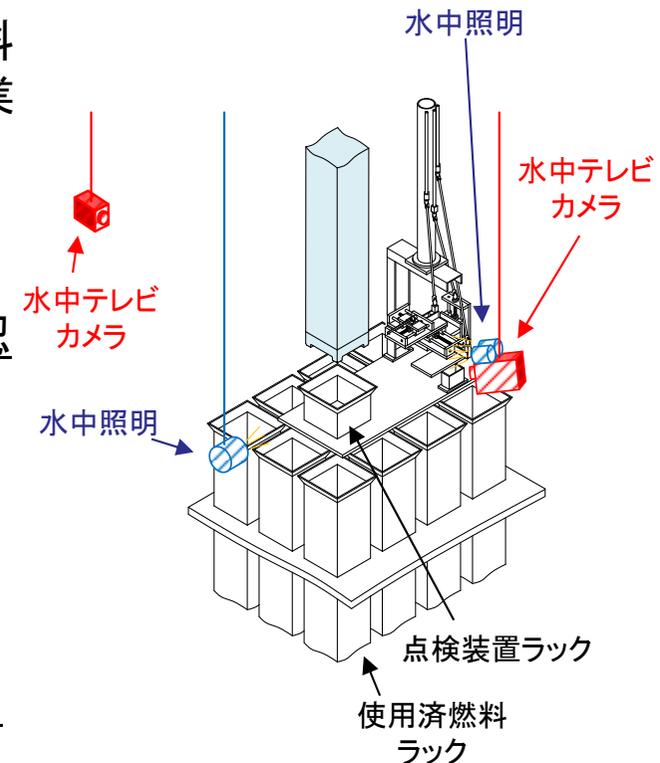
➤ 荷重急変減少警報が発信した場合は、作業を中断する。当社社員ならびに元請会社、一次協力会社および二次協力会社の作業責任者、操作員は、次に実施する操作手順や追加措置の必要性等について、共に確認・認識共有を行ったうえで、作業を再開する。

➤ 燃料集合体が点検装置ラックへ乗り上げた場合には燃料集合体の落下を示す信号が発信する可能性があることに留意して作業する。

(5) 本点検作業以外の燃料集合体を取り扱う作業のうち、本事象と同様に難度が高く、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により、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されるよう、社内文書へ反映し、改正内容を関係者に周知する。

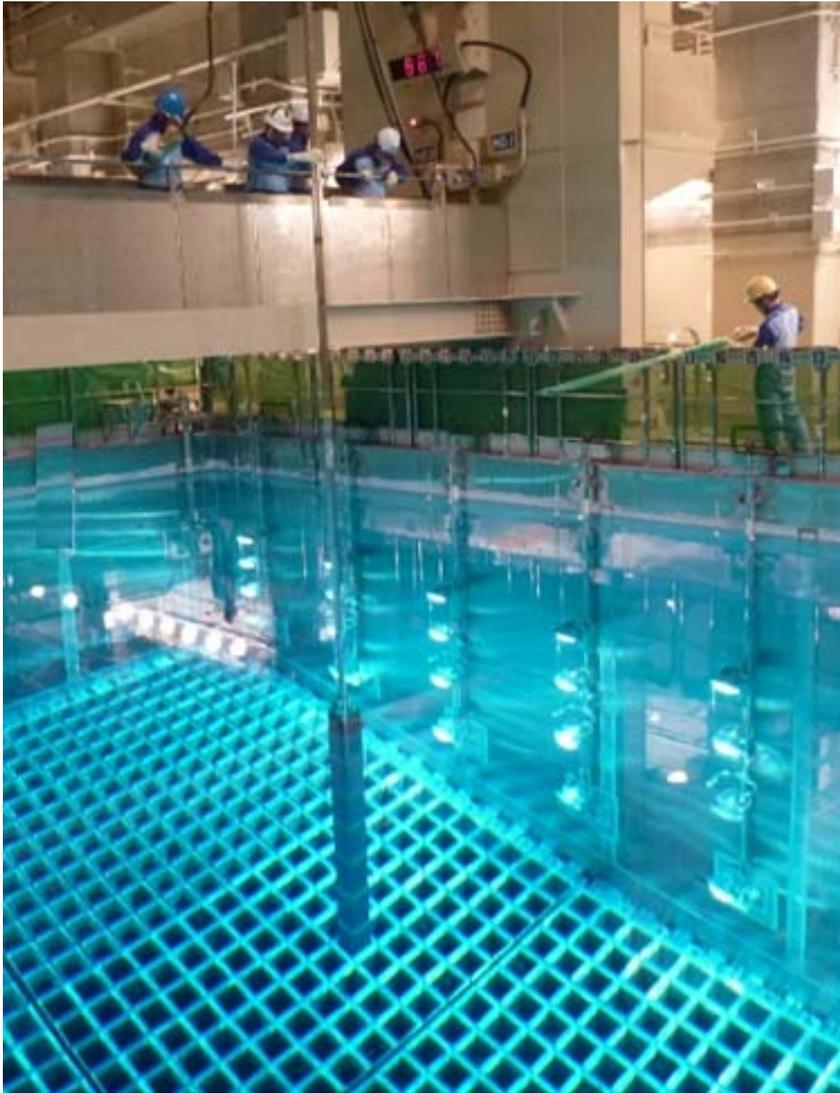


点検装置ラック開口寸法の拡大

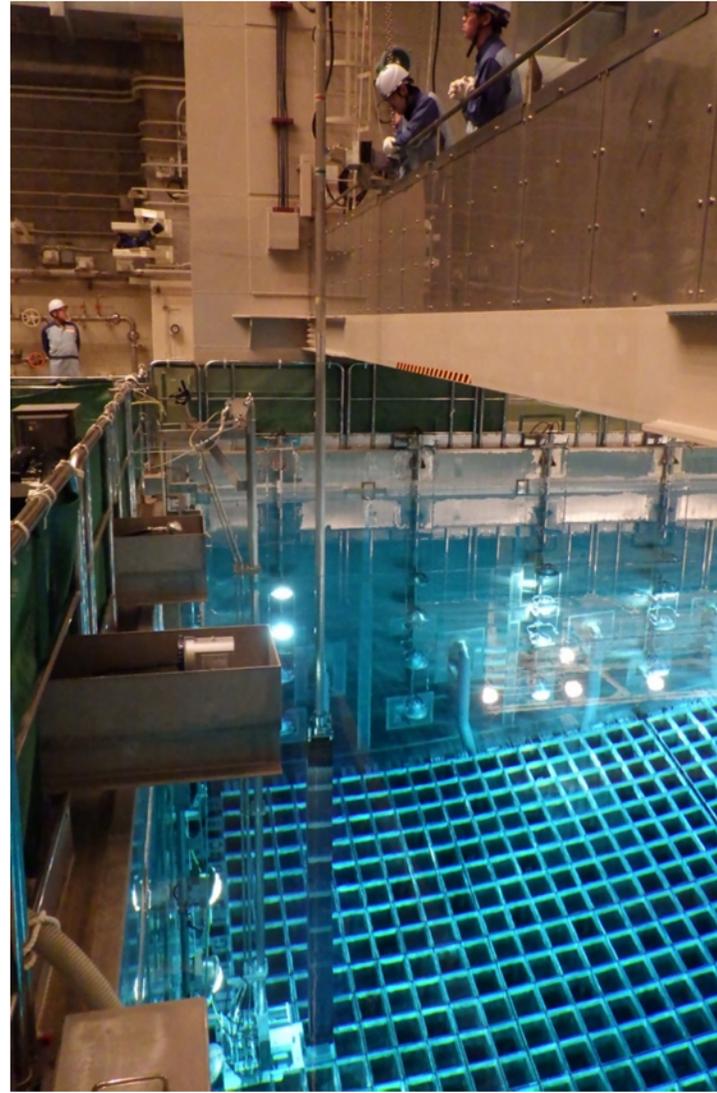


点検装置ラックの視認性向上

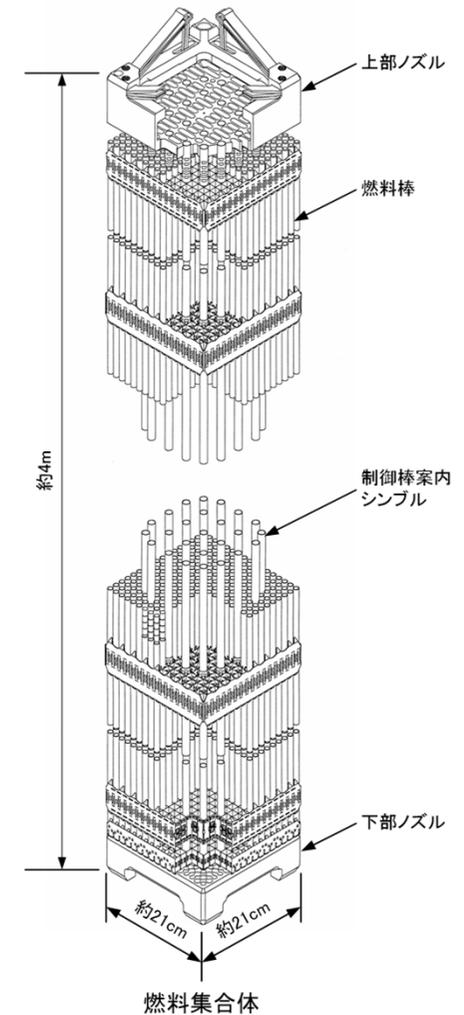
參考資料



使用済燃料ラックより燃料集合体を吊り上げ
(通常の燃料取扱作業時)



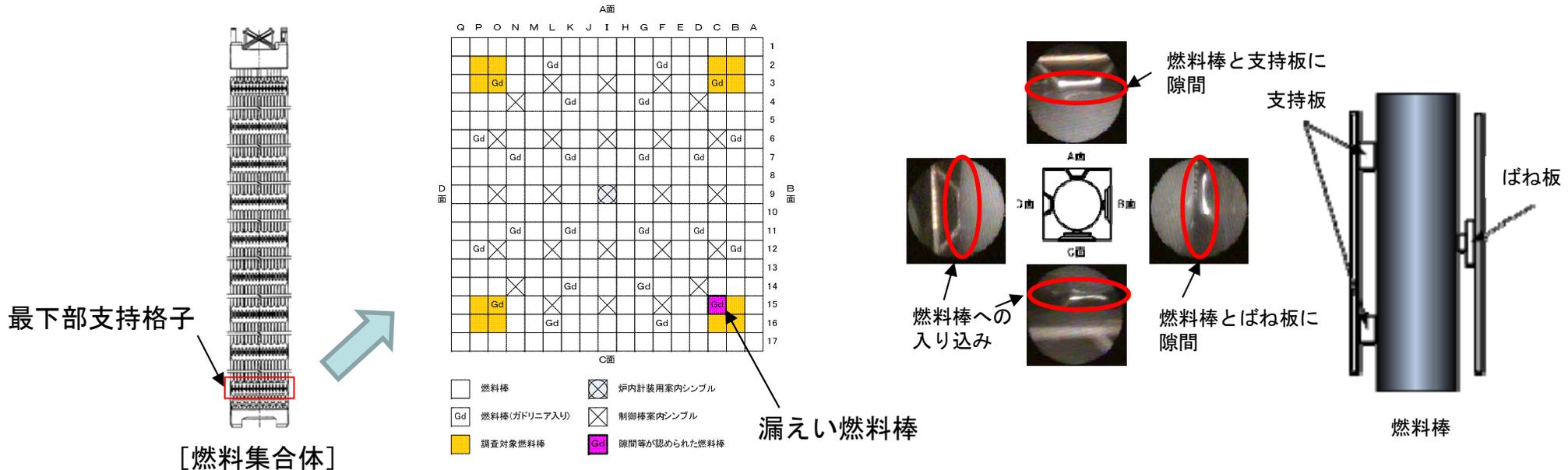
燃料集合体点検作業の状況
(今回の事象発生時)



【参考】伊方3号機 燃料集合体からの漏えい事象および対策について(1/2)

【事象の概要】：平成21年11月、第12サイクル運転中、燃料集合体1体の漏えい事象が発生。

- ・ 漏えいした燃料は、三菱製17×17型55GWd/t燃料(以下、「A型55燃料」という。)
- ・ ファイバースコープによる詳細調査の結果、最下部支持格子内に支持板やばね板と燃料棒の間に隙間等を確認



【推定原因】

燃料集合体の設計または製造に共通する要因によるものではなく、最下部支持格子内における燃料棒と支持板またはばね板の接触面で、当該燃料固有の何らかの要因により燃料棒の微小な振動による燃料被覆管の摩耗が進展し、燃料棒に微小孔(ピンホール)が生じた事象。

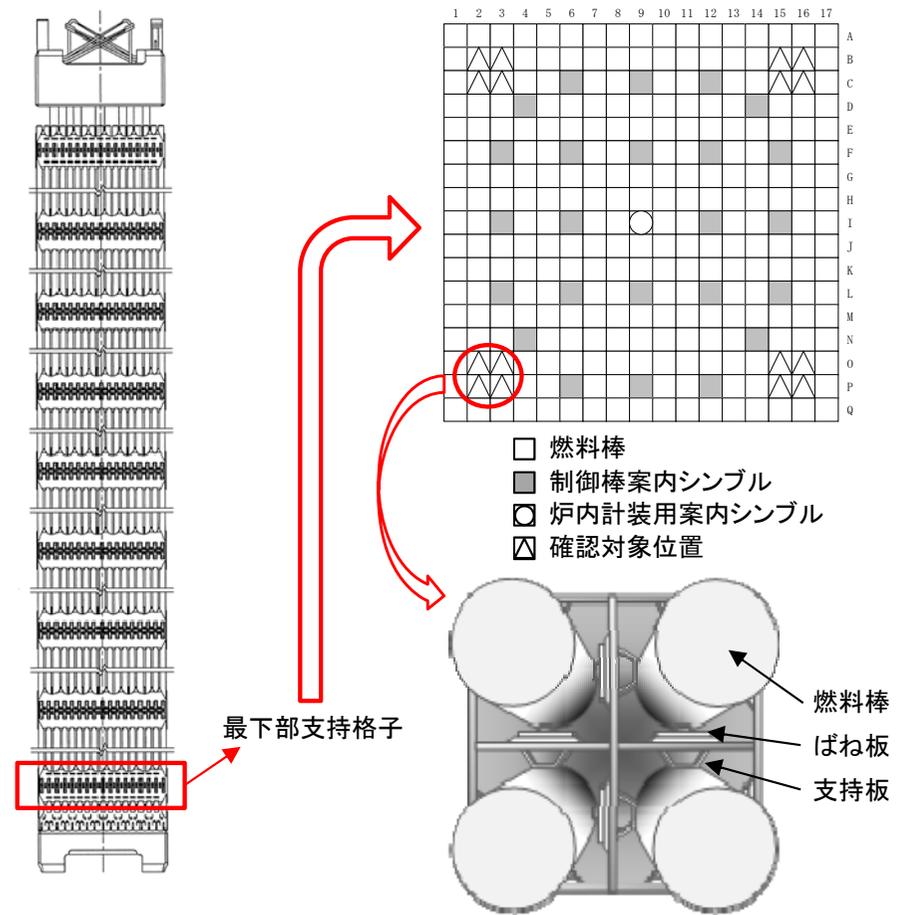
【対策】

- 漏えい燃料は使用しない。また、同一時期に製造されたA型55燃料(2体)の使用を念のため見合わせる。
→同一時期に製造された燃料(2体)については、既に除却済み
- 漏えい対策を行った新設計の燃料の採用。平成23年に採用済み。
- 漏えい対策を行った新設計の燃料を採用する以前に製造していたA型55燃料については、原子力安全・保安院の指示に基づくファイバースコープによる点検を実施するとともに炉心内の燃料配置等を工夫するなどの対応を実施して使用する。

【参考】伊方3号機 燃料集合体からの漏えい事象および対策について(2/2)

【ファイバースコープによる点検】

- 原子力安全・保安院の指示に基づき、**A型55燃料は、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して使用している。**
- 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。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。従前よりこの考え方に基づき点検を実施し、結果は都度、国に説明している。
- 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体が確認対象。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の進んだ5体を選定して、ファイバースコープによる点検を行うこととしている。
- なお、確認対象のうち残り32体については、前回点検時以降、使用済燃料ピットにて保管しており、照射が進んでいないことから、前回のファイバースコープによる点検の記録にて確認することとしている。



A型55燃料体数		点検体数
次サイクル以降で使用を予定しているA型55燃料: 64体	1サイクルのみ装荷された燃料: 2体	(確認対象でない)
	2サイクル以上装荷された燃料: 62体	第15サイクルで装荷されていた燃料: 30体
		第15サイクルで装荷されなかった(SFPで保管)燃料: 32体
		点検対象 5体(今回点検)
		点検対象 5体 (前回定検で点検済: 記録確認)