

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

令和 2 年 3 月
四国電力株式会社

1. 件名

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

2. 事象発生の日時

令和2年1月20日 14時18分（信号発信）

3. 事象発生の設備

3号機 燃料集合体

4. 事象発生時の運転状況

3号機 第15回定期検査中

5. 事象発生の状況

伊方発電所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^{※1}の点検^{※2}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、1月20日14時18分に燃料集合体の落下を示す信号^{※3}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。

燃料集合体の落下を示す信号の発信に伴い、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。

※1 燃料集合体

ウラン酸化物をペレット状に焼き固め、約4mの長さのジルコニウム合金の管に封入した燃料棒を、原子炉への装荷および取出しに際し一体となって取り扱えるように束ねたもの。

伊方発電所3号機で使用する燃料集合体は264本の燃料棒を四角の格子状に束ねており、上下に冷却材が通る穴のあいた支持板（上部ノズル、下部ノズル）を、中間には燃料棒の間隔を保持するための支持格子を取り付けた構造になっている。

※2 燃料集合体の点検

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に、燃料集合体の最下部支持格子について、燃料棒の支持部と燃料棒の間に隙間等がないことをファイバースコープで確認する作業。

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。

(添付資料-1)

※3 燃料集合体の落下を示す信号

使用済燃料取扱作業時において、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以下になった場合に燃料集合体が落下したと判断し、アニュラス排気ファンの起動等の信号を発信し、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。

6. 事象の時系列

1月17日

13時41分 1体目の燃料集合体点検作業開始

14時58分 1体目の燃料集合体点検作業終了

1月20日

09時13分 2体目の燃料集合体点検作業開始

10時11分 2体目の燃料集合体点検作業終了

10時13分 3体目の燃料集合体点検作業開始

11時14分 3体目の燃料集合体点検作業終了

13時28分 当該燃料集合体を使用済燃料ピット内の所定のラックより点検作業場所への移動を開始(4体目)

14時18分 燃料集合体の落下を示す信号が発信
(燃料集合体が点検装置ラックに乗り上げたことにより発信)

15時47分 点検作業場所において当該燃料集合体の吊り上げ操作を開始

15時51分 点検作業場所において当該燃料集合体の吊り上げ完了(点検装置ラックとの接触を解消)

16時12分 当該燃料集合体を点検作業場所から使用済燃料ピット内の所定のラックに移動し収納完了

16時17分 燃料集合体の落下を示す信号をリセット

1月21日

10時46分 当該燃料集合体外観(側面)確認作業開始

12時00分 当該燃料集合体外観(側面)確認作業終了

15時46分 当該燃料集合体外観(底面)確認作業開始

1 6 時 2 4 分	当該燃料集合体外観（底面）確認作業終了
1 7 時 0 5 分	当該燃料集合体に異常のないことを確認
1 月 2 4 日	
1 3 時 2 3 分	当該燃料集合体下部ノズル底面の詳細確認作業開始
1 4 時 1 9 分	当該燃料集合体下部ノズル底面の詳細確認作業終了

7. 点検装置ラックへの燃料集合体の乗り上げ状況

点検装置ラックへの当該燃料集合体の乗り上げ状況を確認した結果、燃料集合体の下部ノズルにある4箇所の脚部のうち、3箇所の脚部が点検装置ラック頂部に乗り上げた状態であった。

(添付資料－2)

8. 燃料集合体等の健全性

(1) 燃料集合体の健全性

点検装置ラックに乗り上げた燃料集合体について、点検装置ラックに乗り上げた際に作用した荷重に対する健全性を確認するため、以下の確認を行った。

a. 燃料集合体の外観確認

当該燃料集合体の側面および底面について、水中テレビカメラにて外観確認を実施した結果、有意な傷、変形等がないことを確認した。

(添付資料－3)

b. 燃料集合体下部ノズルの詳細確認

当該燃料集合体の下部ノズル底面について、より詳細に燃料集合体下部ノズルを観察可能な水中テレビカメラにて外観確認を実施した結果、燃料集合体の下部ノズルの脚部の底面に擦り跡が確認された。

比較として同設計の燃料集合体2体の下部ノズル底面についても詳細確認を実施した結果、2体ともに下部ノズルの脚部の底面に同程度の擦り跡が確認された。

これらのことから、当該燃料集合体の下部ノズルの脚部に確認された擦り跡が点検装置ラックに乗り上げた際に付いたものかどうかは判断できないが、通常の燃料集合体取扱作業時に付く擦り跡と同程度のものであった。

また、下部ノズル底面の全体にわたり、有意な傷や変形等がないことを確認した。

(添付資料－4)

c. 燃料集合体への荷重評価

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荷重は約1100kg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(約4100kg)に対して十分な余裕があることを確認した。

(添付資料－ 5)

上記により、当該燃料集合体の健全性に問題がないことを確認した。

(2) 点検装置ラックの健全性

燃料集合体が乗り上げた点検装置ラックについて、気中で目視にて外観確認を実施した結果、有意な傷、変形等はなく、装置の機能上問題がないことを確認した。

(添付資料－ 6)

(3) 使用済燃料ラックの健全性

燃料集合体の点検に用いた点検装置は、使用済燃料ラック上に設置していたため、当該燃料集合体が点検装置ラックに乗り上げた際、当該使用済燃料ラックに点検装置の重量に加えて乗り上げた燃料集合体の荷重が加わったことから、当該使用済燃料ラックの健全性を確認した。

a. 使用済燃料ラックの外観確認

使用済燃料ラックについて、水中テレビカメラにて外観確認を実施した結果、有意な傷、変形等がないことを確認した。

(添付資料－ 7)

b. 使用済燃料ラックの応力評価

設置されている点検装置の重量に加えて、燃料集合体が点検装置ラックに乗り上げることによって使用済燃料ラックに発生する応力は9.7 MPaであり、許容応力(20.5 MPa)を下回ることを確認した。

(添付資料－ 8)

上記により、点検装置を設置していた使用済燃料ラックの健全性に問題がないことを確認した。

9. 燃料集合体点検作業の概要

(1) 作業の流れ

燃料集合体の点検作業は、点検装置を使用済燃料ピット内のラック上に設置し、点検装置ラックに確認対象の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。

燃料集合体の取り扱いは、燃料取出、燃料装荷の際に用いるものと同じ使用済燃料ピットクレーンおよび使用済燃料取扱工具を用いて行う。燃料集合体の点検装置ラックへの挿入にあたっては、操作員は、使用済燃料ピットクレーンのブリッジ上から、クレーンの移動操作により約1.1 m下に設置された点検装置ラック上に位置合わせを行い、クレーンの巻き下げにより燃料集合体を下降、挿入する。

点検装置は燃料集合体に対して1方向からファイバースコープを挿入して確認する構造となっていることから、燃料集合体のすべての面（A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度センタリングを行い、再挿入した後、次の面を確認する。

（添付資料－9）

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体目の点検作業中に発生した。

（2）点検装置

点検装置には、点検対象の燃料集合体を保持するため、使用済燃料ラックと同形状の点検装置ラックが設置されている。

（添付資料－1）

使用済燃料ラック胴部の内寸法は、燃料集合体を収納するため、燃料集合体の外寸法（214mm）に対して片側7mmの隙間を有する値（228mm）に設定されているが、点検装置ラック胴部の内寸法は、燃料集合体の下部ノズルを保持して、点検中の燃料集合体の揺れ、回転等を防止するために、燃料集合体の外寸法（214mm）に対して、隙間を片側2mmに制限した値（218mm）に設定されている。

また、点検装置ラックの開口寸法についても、胴部の内寸法と同様に、使用済燃料ラックの開口寸法（259mmおよび272mm）よりも、点検装置ラックの寸法（248.5mm）が小さく設定されている。

（添付資料－10）

10. 作業管理の状況調査

燃料集合体の点検の作業管理の状況を確認するため、以下の調査を実施した。

（1）作業実績

燃料集合体の点検は、これまでに3号機第13回定期検査（平成23年5月13日～16日）および第14回定期検査（平成29年10月21日～23日）で実施しており、今回で3回目であり、初めての作業ではなかった。

（2）作業体制

燃料集合体の点検における作業体制は、元請会社の作業責任者の下に、元請会社の燃料集合体点検員3名、一次協力会社の作業責任者、二次協力会社の作業員4名（作業責任者、使用済燃料取扱工具操作員、使用済燃料ピットクレーン操作員、使用済燃料ピットクレーンチェーン操作員）を配置したものであった。

この作業体制は、3号機第13回定期検査および第14回定期検査における燃料集合体の点検と同じ作業体制であり、実績のあるものであった。

なお、当社の作業体制については、3号機第13回定期検査および第14回定期検査における燃料集合体の点検と同様に、社員を現場に配置して燃料集合体の点検の全体管理を実施していた。

（添付資料－11、12）

また、今回の燃料集合体の点検は1月17日から開始しており、燃料集合体の落下を示す信号が発信した燃料集合体は、点検対象となっている5体の燃料集合体のうちの4体目であったが、1月17日以降において、作業体制や作業員の役割分担の変更はなかった。

(3) 燃料集合体取扱作業に従事した作業員の経験

a. 元請会社の作業責任者

元請会社の作業責任者（経験年数10年以上）は、3号機第14回定期検査における燃料集合体の点検の作業責任者であり、同作業における経験を有していた。

b. 一次協力会社の作業責任者

一次協力会社の作業責任者（経験年数10年以上）は、燃料集合体の点検の経験はないものの、定期検査の燃料取出および燃料装荷等における品質管理者および工事統括責任者の経験を有していた。

c. 二次協力会社の作業員

二次協力会社の作業員4名のうち、作業責任者（経験年数10年以上）および使用済燃料取扱工具操作員（経験年数10年以上）は、3号機第14回定期検査における燃料集合体の点検の作業責任者および使用済燃料取扱工具操作員であり、同作業における経験を有していた。

その他の使用済燃料ピットクレーン操作員（経験年数10年以上）および使用済燃料ピットクレーンチェーン操作員（経験年数1年未満）については、燃料集合体の点検の経験はないものの、定期検査の燃料取出および燃料装荷等における使用済燃料ピットクレーン操作員および使用済燃料ピットクレーンチェーン操作員の経験を有していた。

(4) 作業要領

燃料集合体の点検の作業要領は、3号機第13回定期検査および第14回定期検査と同じであった。

作業要領書については、3号機第13回定期検査および第14回定期検査と同等の内容であり、燃料集合体取扱作業の作業手順は記載されていたが、燃料集合体取扱作業中に荷重変動が発生した場合の措置の記載はなかった。

(5) 点検装置

燃料集合体の点検に使用した点検装置は、3号機第13回定期検査および第14回定期検査における燃料集合体の点検で使用したものと同一であり、使用前の点検において破損等の異常はなく、使用済燃料ピット内の点検装置の設置場所についてもこれまでの点検時と同じであった。

(6) 燃料集合体取扱設備

燃料集合体取扱作業に使用する使用済燃料ピットクレーンおよび使用済燃料

取扱工具は、使用前の点検において破損等の異常はなく、燃料集合体取扱作業中の動作にも異常はなかった。

1 1. 事象発生時の状況調査

燃料集合体の落下を示す信号が発信した事象発生時の状況を調査するため、以下の調査を実施した。

(1) 点検装置ラックへの燃料集合体の挿入操作状況

点検装置ラックへの当該燃料集合体の挿入操作状況について、作業員への聞き取り調査を実施した結果は次のとおりであった。

a. A面およびB面観察のための燃料集合体の挿入

- ① 燃料集合体の下部ノズル底面が点検装置ラック頂部から約150mm上の位置^{※4}でセンタリング確認^{※5}を実施し、燃料集合体を低速で連続下降して、下部ノズルを点検装置ラックに挿入した。

(添付資料-13)

※4 約150mm上の位置

燃料集合体取扱作業における遮へい水深を確保するために、燃料集合体の吊り上げ高さは、下部ノズル底面が点検装置ラック頂部から約150mm上の位置までに制限されており、この位置でセンタリング確認を実施している。

※5 センタリング確認

使用済燃料ピットクレーン操作員および使用済燃料ピットクレーンチェーン操作員が、使用済燃料ピットクレーンを操作して燃料集合体を点検装置ラックの上部まで移動し、使用済燃料取扱工具操作員が目視により、燃料集合体の下部ノズルと点検装置ラックの位置関係がっており、燃料集合体が挿入可能な状態であることを確認すること。

b. C面観察のための燃料集合体の挿入

- ① A面およびB面観察の際と同様に、燃料集合体の下部ノズル底面が点検装置ラック頂部から約150mm上の位置でセンタリング確認を実施し、燃料集合体を低速で連続下降して、下部ノズルを点検装置ラックに挿入しようとした。
- ② 下部ノズル底面が点検装置ラック頂部を通過したあたりで、下部ノズルの使用済燃料取扱工具操作員から遠い側の面（C面）と点検装置ラックの内面が接触して使用済燃料ピットクレーンの荷重急変減少警報^{※6}が発信し、燃料集合体の下降が自動停止した。
- ③ 接触した箇所が下部ノズルと点検装置ラックの内面のみであり、使用済燃料ピットクレーンの吊荷荷重がすぐに接触前の荷重に戻ったことから、燃料集合体の健全性に影響するものでないことを確認した。

- ④ 荷重急変減少警報をリセットした後、燃料集合体を一度センタリング確認位置まで上昇し、センタリングに問題ないことを再度確認した後、慎重を期すために点検装置ラック頂部から約50mm上の位置から複数回のインチャング操作^{*7}により燃料集合体を下降して、下部ノズルを点検装置ラックに挿入した。
- ⑤ 荷重急変減少警報の発信から燃料集合体の下部ノズルの点検装置ラックへの挿入までの間の操作手順について、要領書には明記されていなかったが、操作員は④に示したとおり慎重に操作することにより燃料集合体を挿入した。なお、④に示した操作は、定期検査時の燃料取出等において荷重変動が発生した際と同じ標準的なものであった。
- ⑥ 荷重急変減少警報の発信から燃料集合体の下部ノズルの点検装置ラックへの挿入までの間、⑤に示したとおり操作員は荷重変動発生時に期待する操作を行っていたことから、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ならびに当社社員は、作業員に対する注意喚起などの積極的な対応はとっていないかった。

(添付資料－13)

※6 荷重急変減少警報

燃料集合体の側面に設置されている支持格子は、薄い板を格子状に組み上げたものあり、使用済燃料ラック等と接触した場合でも、支持格子が破損する前に燃料集合体の下降を停止するように、－65kg以上の荷重変動を検知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いる。

当該警報については、定期検査の燃料取出等において燃料集合体を使用済燃料ラックに挿入する際にも、燃料集合体と使用済燃料ラックの接触により発信する場合があります。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。

※7 インチャング操作

燃料集合体の下降および停止を小刻みに繰り返して、燃料集合体をステップ状に下降させること。

c. D面観察のための燃料集合体の挿入

- ① 燃料集合体の下部ノズル底面が点検装置ラック頂部から約150mm上の位置でセンタリング確認を実施し、C面観察の際と同様に慎重を期すために点検装置ラック頂部から約50mm上の位置からインチャング操作により燃料集合体を下降して、下部ノズルを点検装置ラックに挿入しようとした。
- ② 複数回のインチャング操作により、下部ノズルが点検装置ラック頂部にさしかかったあたりで使用済燃料ピットクレーンの荷重急変減少警報および燃料落下検知警報^{*8}が発信し、燃料集合体の下降が自動停止するとともに、燃料集合体の落下を示す信号が発信した。

- ③ 燃料集合体の落下を示す信号が発信した時の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。

(添付資料－13)

※8 燃料落下検知警報

燃料集合体取扱作業中において、吊荷荷重が急減して300kg以下になった場合に発信する警報。警報が発信すると燃料集合体が落下したと判断し、燃料集合体の落下を示す信号を発信する。

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、燃料集合体およ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、一次協力会社および二次協力会社の作業責任者は、センタリングおよびラックへの挿入状況については直接確認できない状況であった。

(2) 点検装置ラックへの燃料集合体乗り上げの背景

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を実施した結果は次のとおりであった。

a. 点検装置ラックの開口寸法について

使用済燃料取扱工具操作員およ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(248.5mm)が使用済燃料ラックの開口寸法(259mmおよび272mm)よりも小さいことから、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および燃料集合体の下部ノズルの点検装置ラックへの挿入状況の確認が難しいことは認識していたが、問題なく実施できると考えていた。

(添付資料－10)

b. 点検装置ラックの視認性について

使用済燃料取扱工具操作員およ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点検装置ラックの操作員側に影ができ、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および燃料集合体の下部ノズルの点検装置ラックへの挿入状況の確認が難しいことは認識していたが、問題なく実施できると考えていた。

(添付資料－14)

12. これまでの点検作業状況に係る追加調査

11.(2)に示す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および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を踏まえ、これまでの点検作業状況について、その背景要因をさらに調査した。

(1) 初回点検作業開始前の状況

初めて燃料集合体点検作業を行った第13回定期検査における点検開始前の状況について、当時の当社ならびに元請会社および一次協力会社の関係者からの聞き取りを行った。その結果、以下のような理由により、当社ならびに元請会社および一次協力会社の関係者は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なく、また、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が難度の高い操作であることに気付かなかったことが分かった。

- ・当該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いでいた。
- ・先行プラントにおいて同設計の点検装置の使用実績があった。
- ・点検開始前に模擬燃料を用いた事前確認を行ったが、その際に問題なく操作できた。
- ・当社から操作員に対して操作のしやすさ等に関する聞き取りを実施しなかつた。

また、当該作業が難度の高い操作であるとは思わなかつたため、要領書に荷重急変減少警報の発信時の具体的な操作手順を明記していなかつたことが分かった。

(2) これまでの点検作業実施時の状況

これまでに実施した第13回定期検査および第14回定期検査における燃料集合体点検作業時における状況について、当時の当社ならびに元請会社および一次協力会社の関係者から聞き取りを行った。その結果、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、難度が高い操作であること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つたことが分かった。

(3) 本件事象発生直前の状況

本件事象発生直前のC面観察のための燃料集合体の挿入時において、荷重急変減少警報が発信したが、関係者に聞き取りした結果、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ことが分かった。

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ことが分かった。

1 3. 推定原因

事象発生時の状況調査結果から、今回の点検装置ラックへの燃料集合体の乗り上げによる燃料集合体の落下を示す信号の発信の推定原因について検討した。

(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、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、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、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、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

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ため、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、当社ならびに元請会社および一次協力会社の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。

1 4. 対 策

点検装置ラックへの燃料集合体の乗り上げを防止するために、次の対策を講じることとする。

(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。

(添付資料－15)

(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。

(添付資料－16)

(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。

a. 燃料集合体の下部ノズルを点検装置ラックに挿入する際に、荷重急変減少警報が発信して燃料集合体の下降が自動停止した場合は、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。

b. 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。

以 上

添 付 資 料

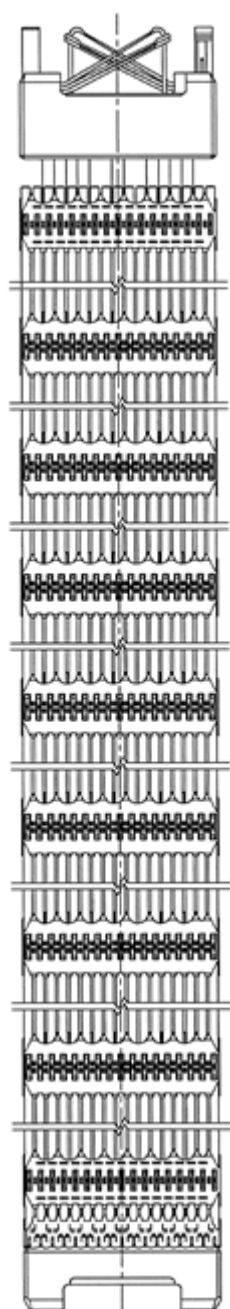
添付資料－ 1	燃料集合体の点検について	14
添付資料－ 2	点検装置ラックへの燃料集合体の乗り上げ状況	16
添付資料－ 3	燃料集合体の外観確認結果	17
添付資料－ 4	燃料集合体下部ノズルの詳細確認結果	22
添付資料－ 5	燃料集合体への荷重評価結果	24
添付資料－ 6	点検装置ラックの外観確認結果	26
添付資料－ 7	使用済燃料ラックの外観確認結果	27
添付資料－ 8	使用済燃料ラックの応力評価結果	29
添付資料－ 9	燃料集合体点検作業要領	31
添付資料－ 10	点検装置ラックと使用済燃料ラックの比較	32
添付資料－ 11	燃料集合体の点検における体制および役割分担	33
添付資料－ 12	燃料集合体の点検における作業員の配置	34
添付資料－ 13	点検装置ラックへの燃料集合体挿入状況	35
添付資料－ 14	点検装置ラックの視認性	36
添付資料－ 15	点検装置ラックの開口寸法拡大	37
添付資料－ 16	点検装置ラックの視認性向上	38

燃料集合体の点検について

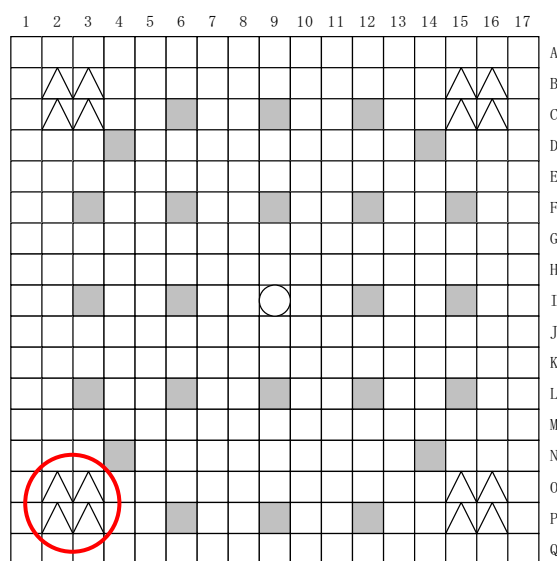
国内で過去に発生した燃料集合体からの放射性物質の漏えい事象を踏まえた国（旧原子力安全・保安院）の指示¹に基づき、漏えいが発生したものと同設計の燃料集合体を対象に、燃料集合体の最下部支持格子について、燃料棒の支持部（支持板、ばね板）と燃料棒の間に隙間等がないことを確認している。

なお、同設計の燃料集合体にMOX燃料は含まれておらず、全てウラン燃料である。

対象燃料集合体
(A型高燃焼度17行17列型)

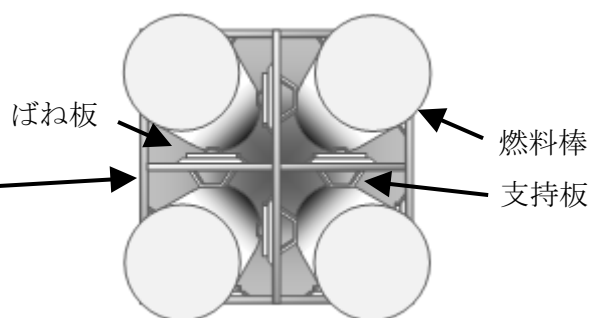


最下部支持格子（上から見た図）



- 燃料棒
- 制御棒案内シンブル
- 炉内計装用案内シンブル
- △ 確認対象位置

確認対象位置のイメージ



¹ 「高燃焼度17行17列型燃料集合体の使用に当たっての確認について（指示）」
(平成22・02・03原院第3号：平成22年2月5日)

当該点検を行う燃料集合体は、定期検査時に、それまでの原子炉内での装荷サイクル数、装荷位置、燃料集合体燃焼度を勘案して選定しており、今回の定検においては、次の5体を点検することとしていた。

点検順番	燃料番号*1	装荷サイクル数	燃焼度 (MWd/t)
1	MS3O15	2 サイクル	29,120
2	MS3O12	2 サイクル	27,529
3	MS3Q03	2 サイクル	26,652
4	MS3Q09*2	2 サイクル	35,470
5	MS3Q25	2 サイクル	35,335

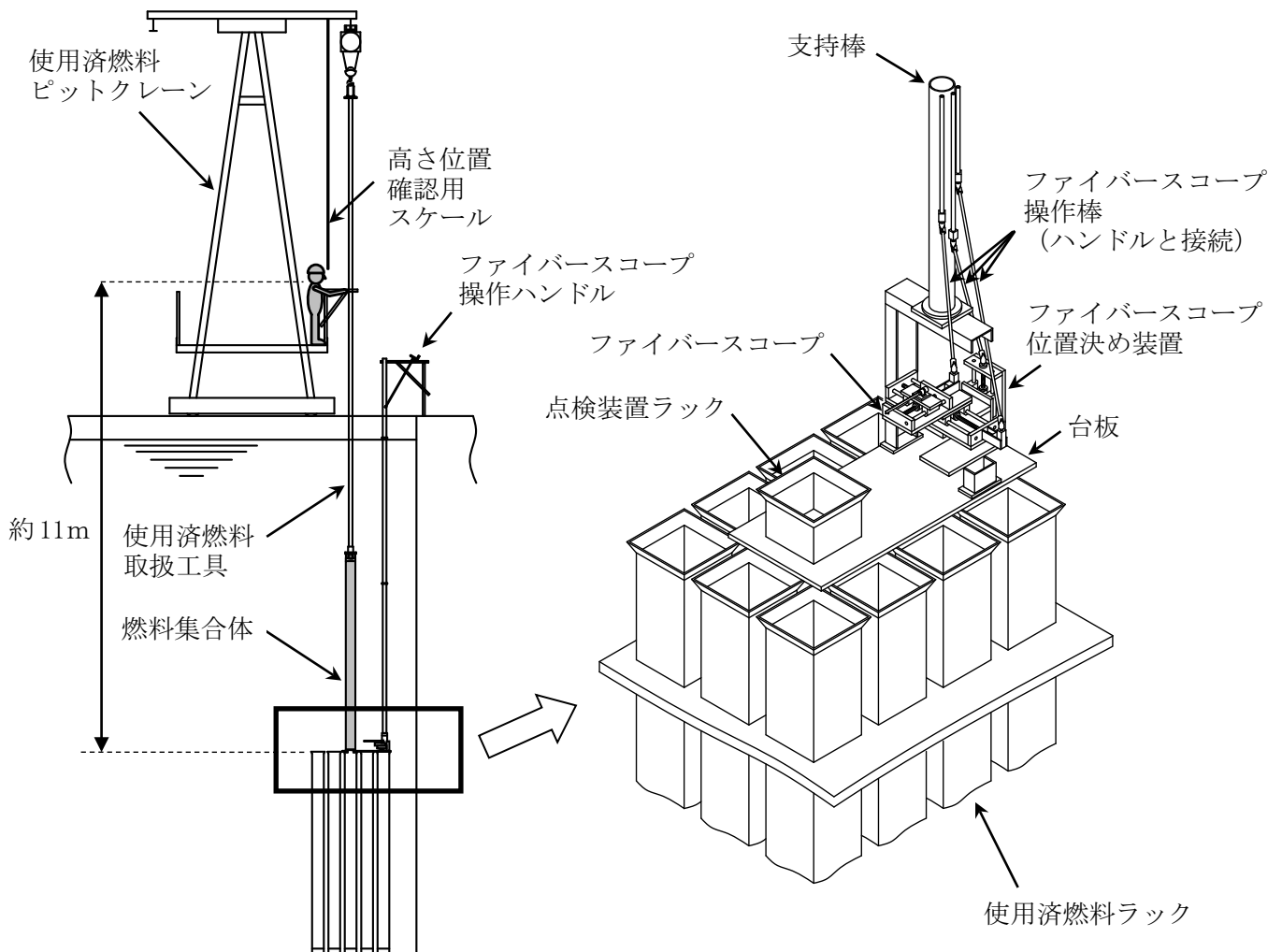
*1:ウラン燃料が点検対象であり、MOX燃料は含まない

*2:点検装置ラックに乗り上げた燃料集合体

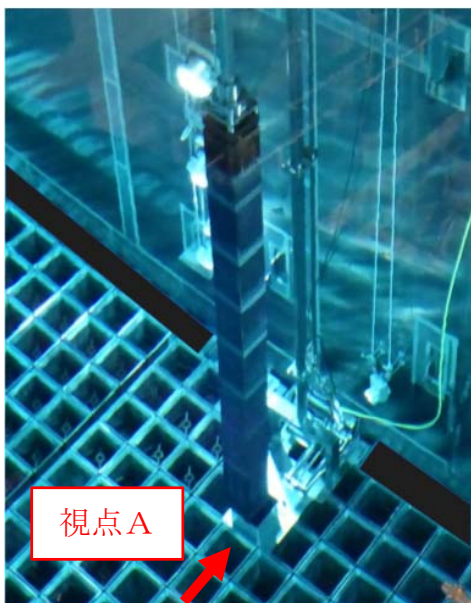
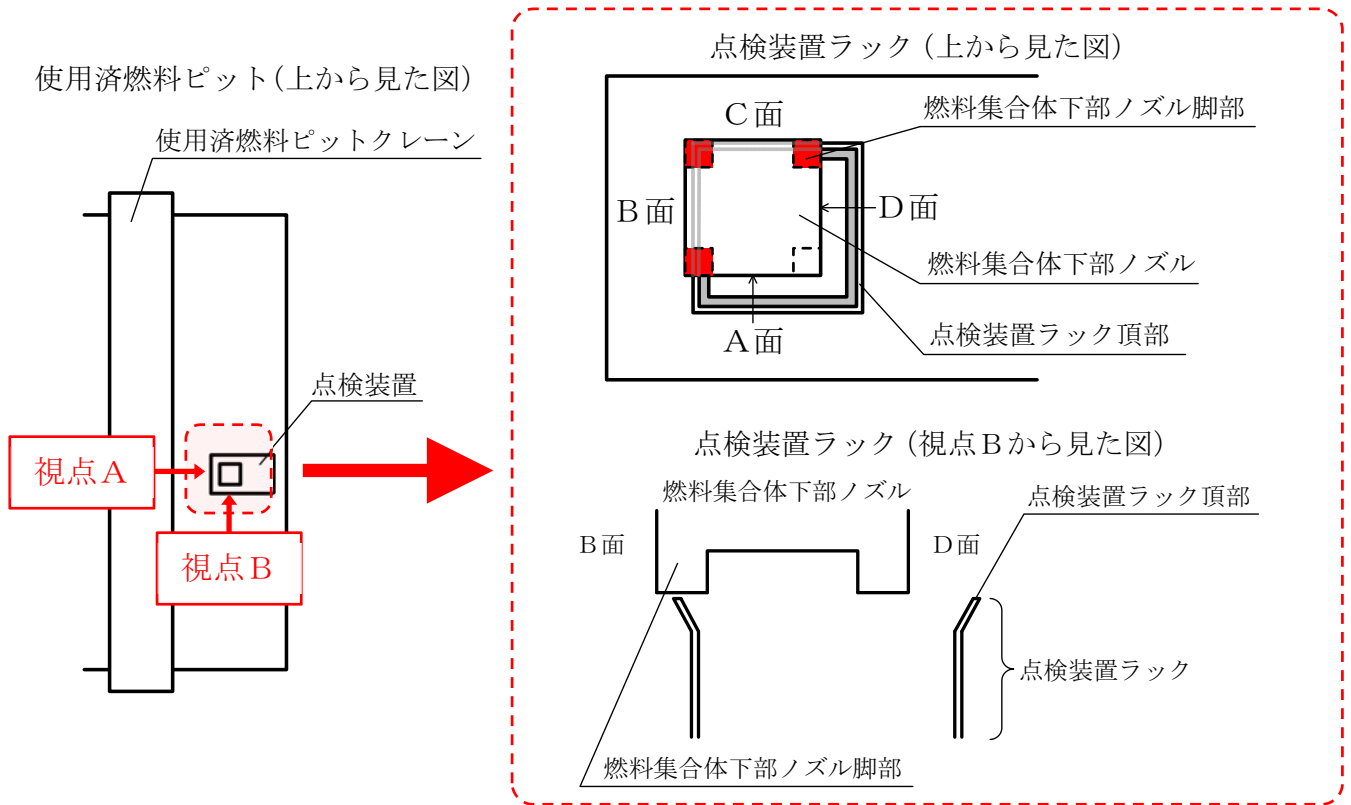
点検作業は、使用済燃料ピットにおいて、専用の点検装置を用いて行っており、確認対象位置にファイバースコープを挿入して、隙間等の有無を確認している。

点検装置は1方向から確認する構造となっていることから、燃料集合体のA面～D面の4面を確認するためには、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度回転させた後に吊り下げる操作が必要となる。

点検装置の概要



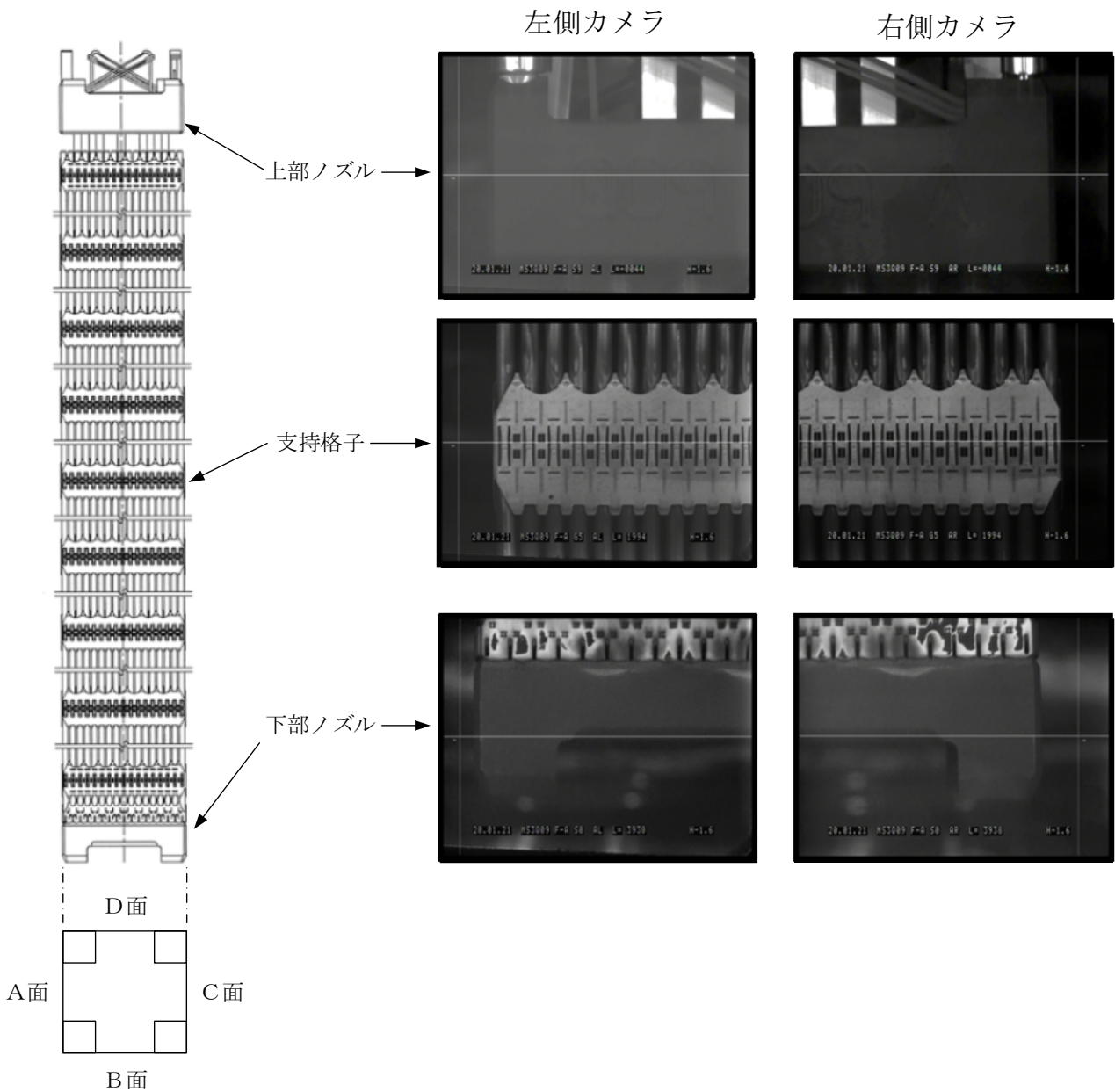
点検装置ラックへの燃料集合体の乗り上げ状況



燃料集合体の外観確認結果

1. 燃料集合体番号 : MS3Q09
2. 燃料集合体燃焼度 : 35470 [MWD/t]
3. 確認年月日 : 令和2年1月21日
4. 確認内容
 (1) 側面 : 水中テレビカメラを用いて燃料集合体の上部ノズルから下部ノズルまでの側面を確認

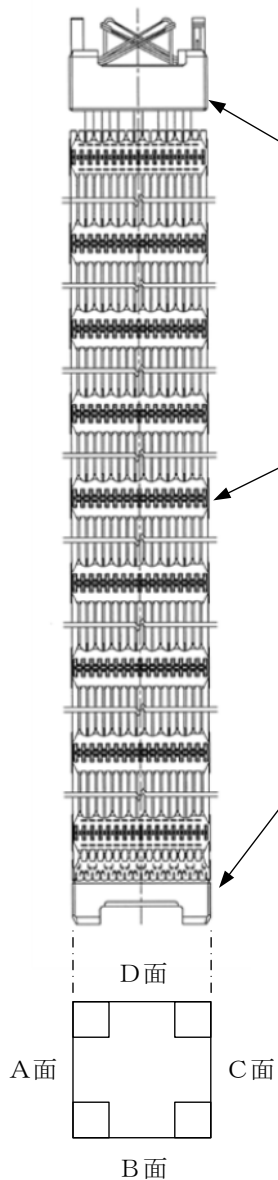
A面



B面

左側カメラ

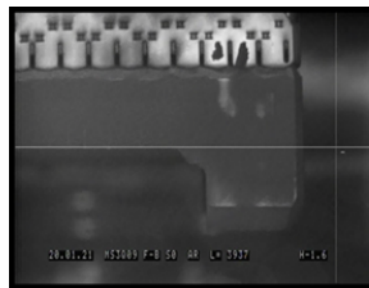
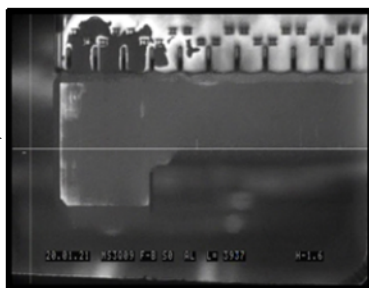
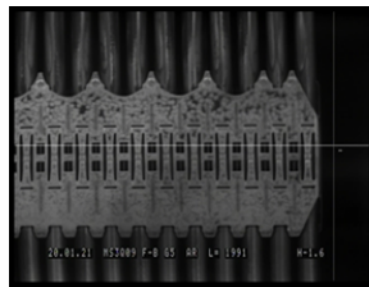
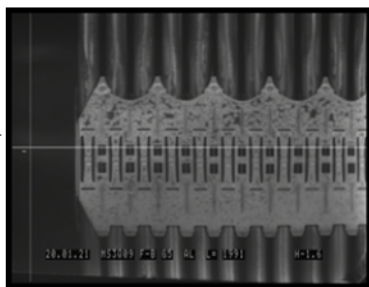
右側カメラ



上部ノズル

支持格子

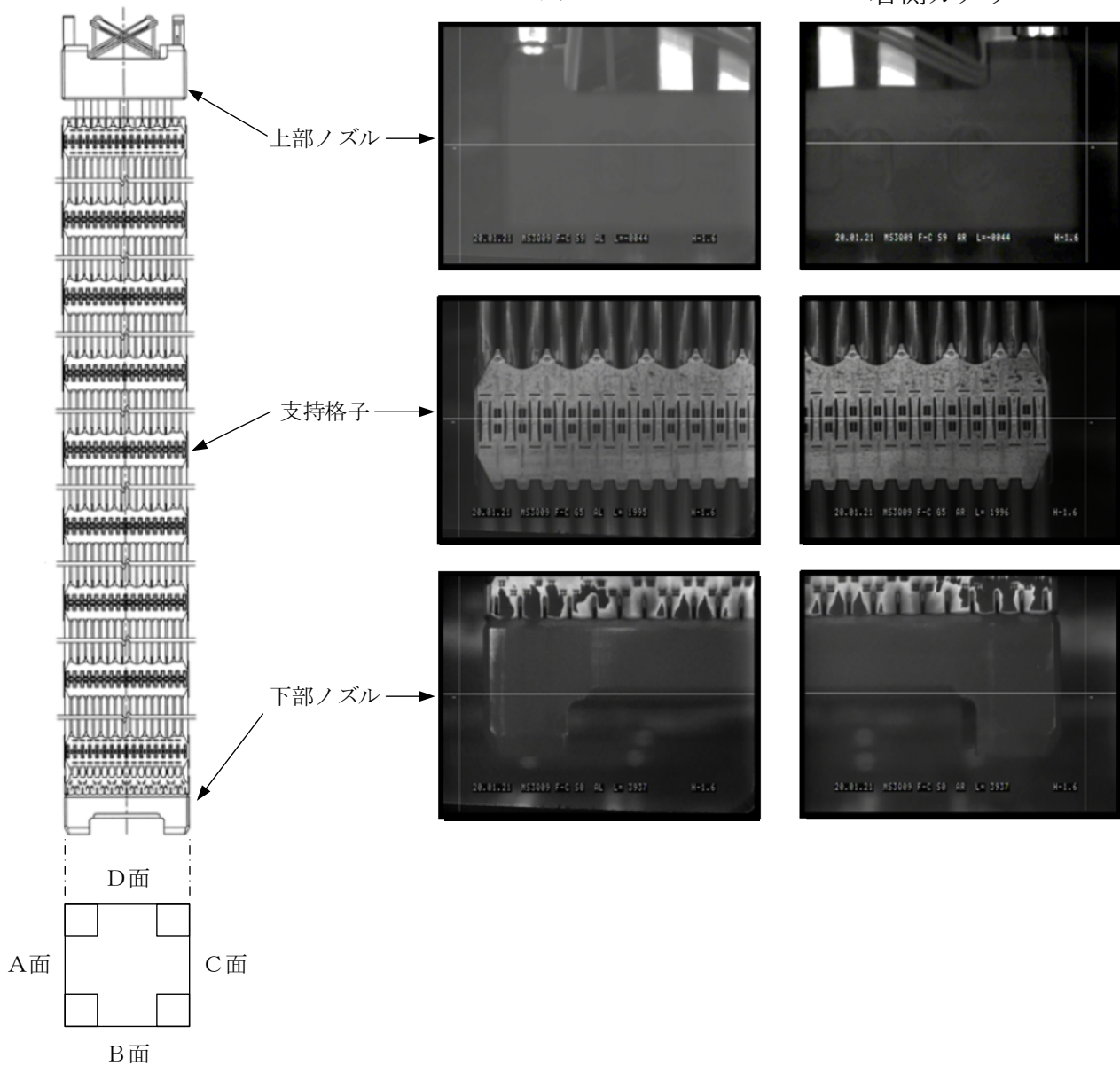
下部ノズル



C面

左側カメラ

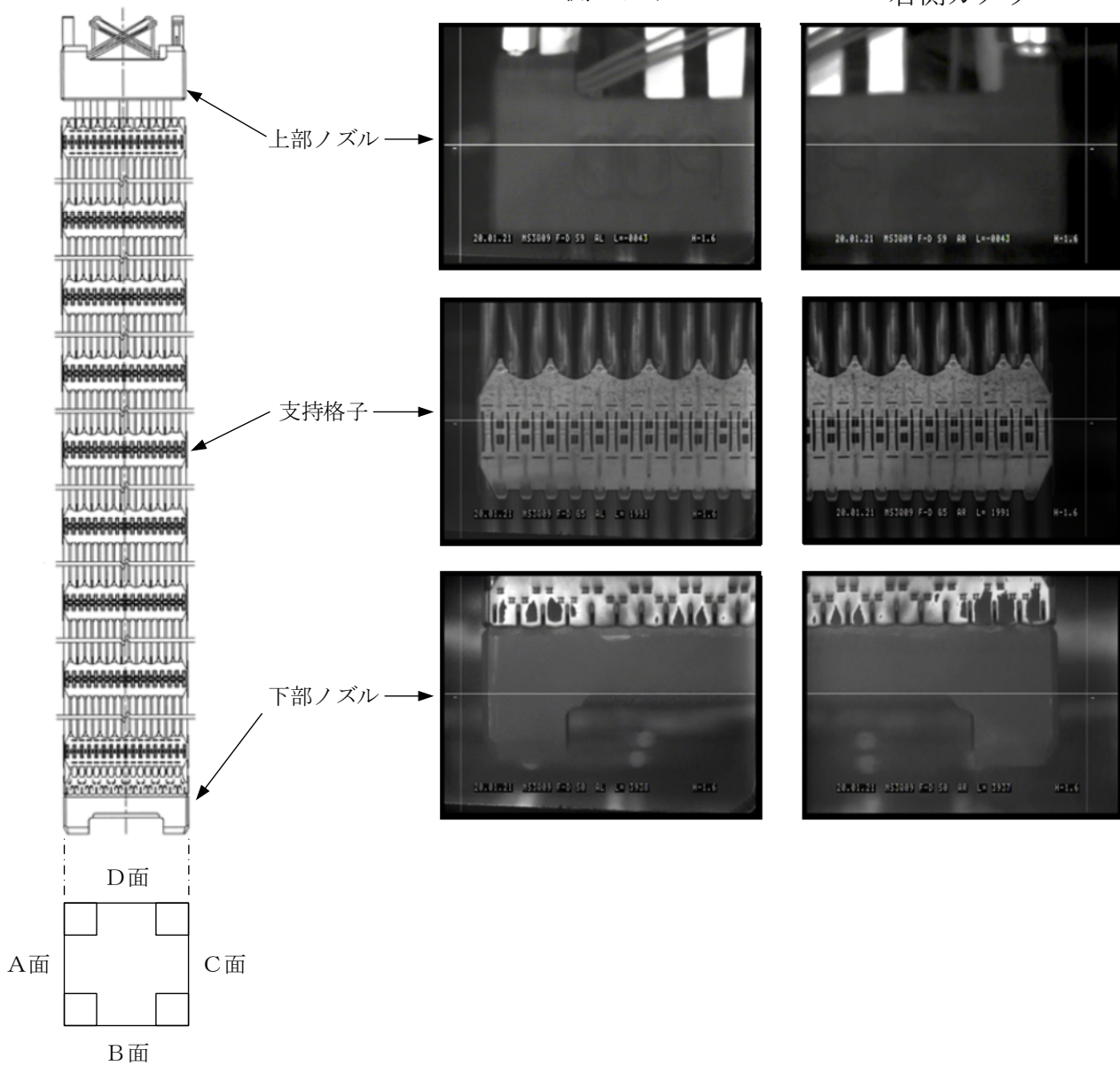
右側カメラ



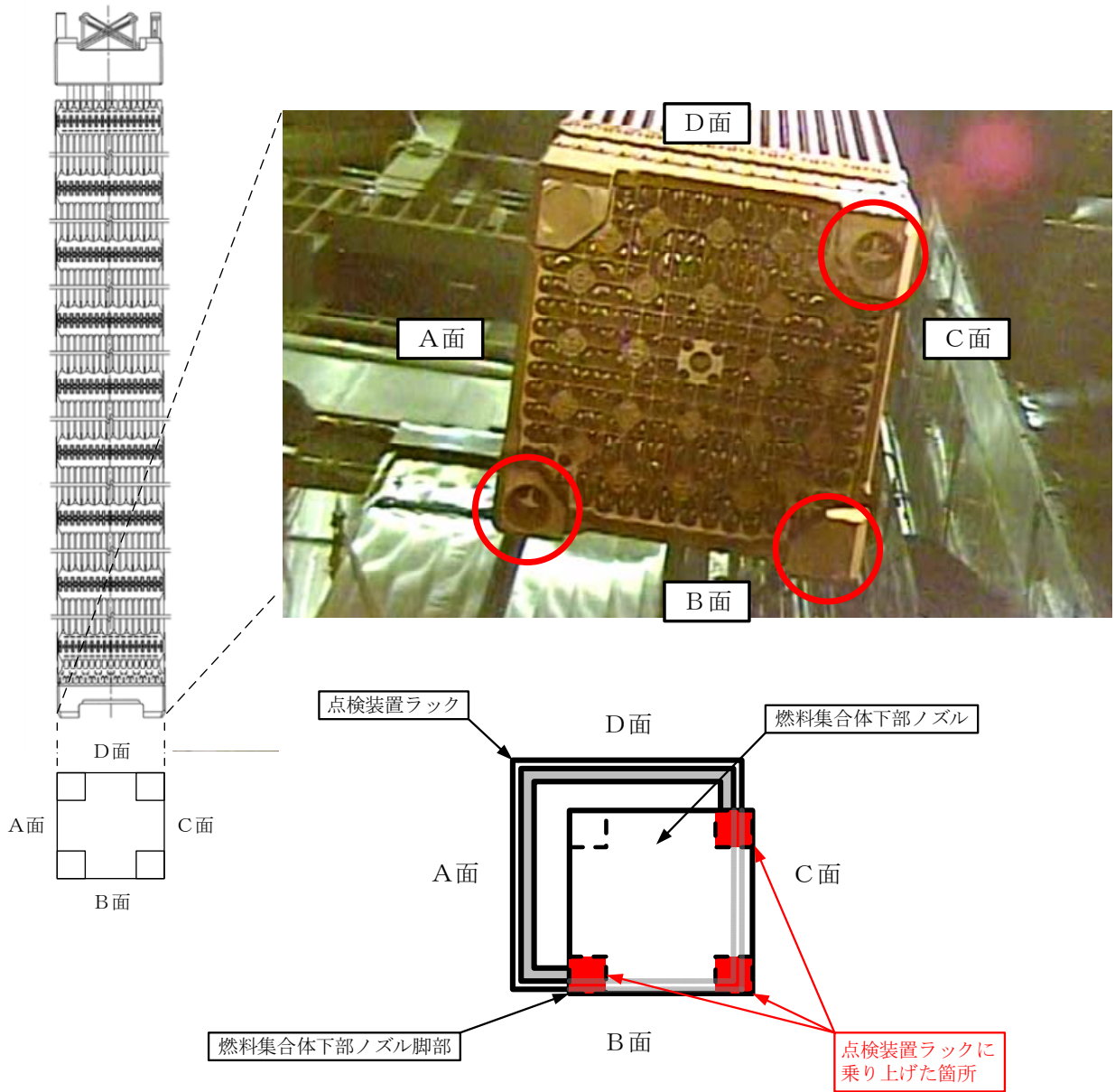
D面

左側カメラ

右側カメラ



(2) 底面 : 水中テレビカメラを用いて燃料集合体の下部ノズル底面を確認



確認結果：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に対する影響を確認するため、A面からD面までの側面および下部ノズル底面の外観確認を実施した結果、有意な傷、変形等がないことを確認した。

燃料集合体下部ノズルの詳細確認結果

当該燃料集合体 (MS 3 Q 0 9) 底面確認結果

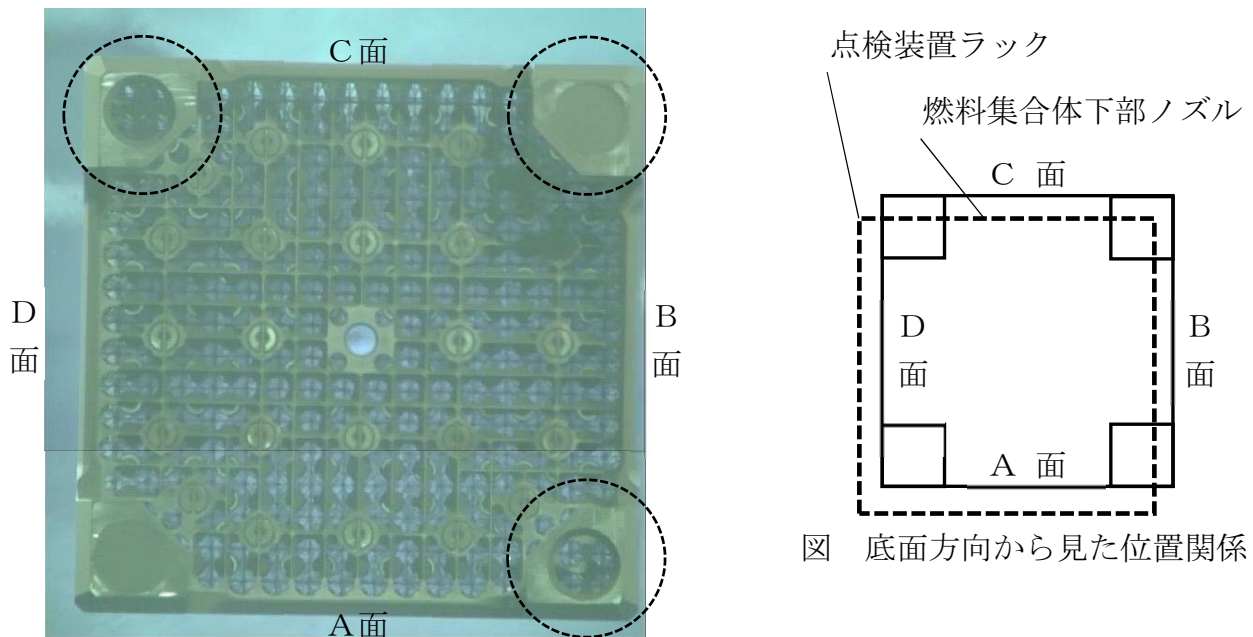
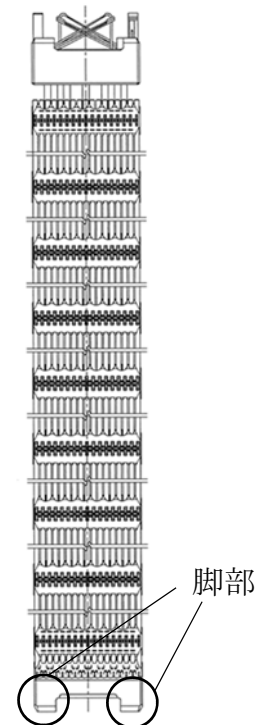
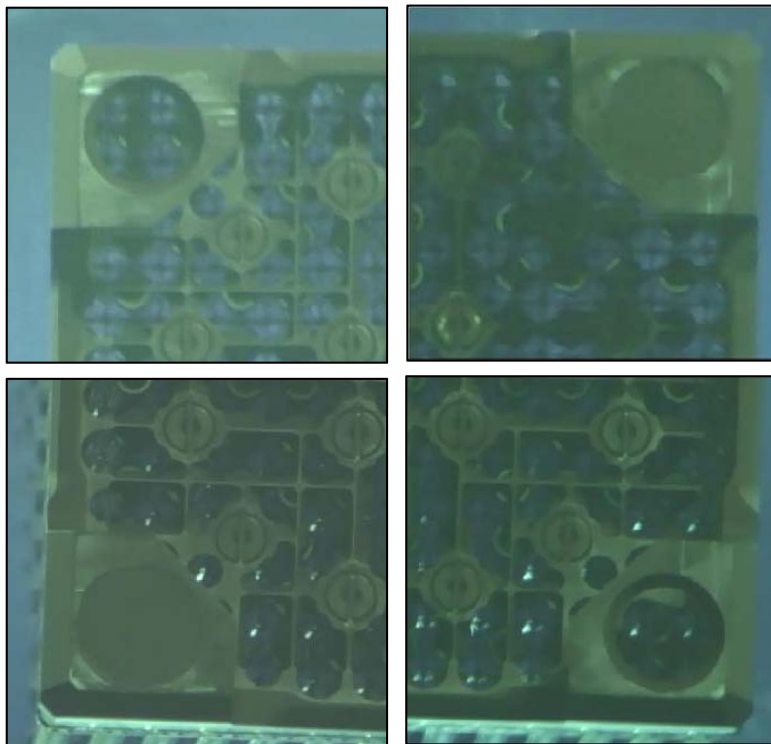


図 底面方向から見た位置関係

拡大 ↓ ○: 点検装置ラックに乗り上げた脚部

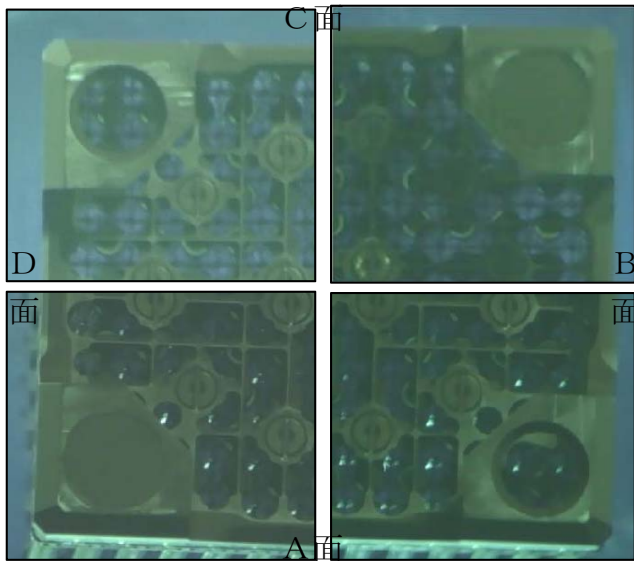


当該燃料集合体の下部ノズル底面について、より詳細に燃料集合体下部ノズルが観察可能な水中テレビカメラにて外観確認を実施した結果、点検装置ラックに乗り上げた下部ノズルの3つの脚部（C面またはB面側に位置する下部ノズル脚部）に通常の燃料取扱時に付くと思われる擦り跡が確認された。
また、下部ノズル底面の全体にわたり、有意な傷や変形がないことを確認した。

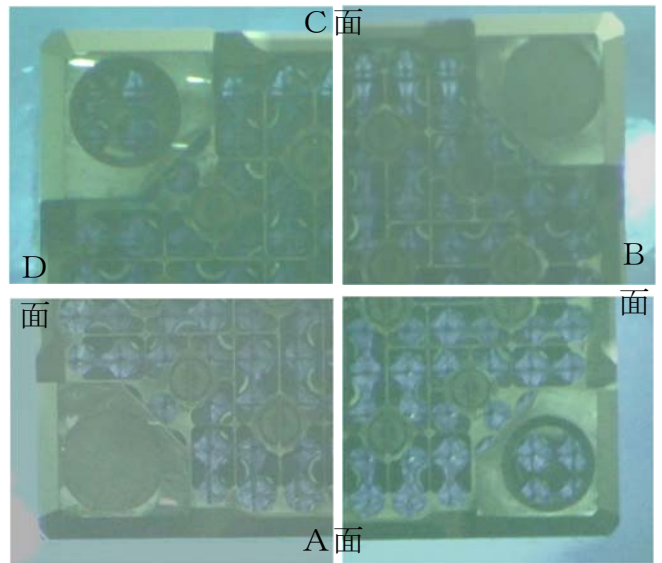
同設計の燃料集合体との比較

当該燃料集合体と同設計の次の2体についても下部ノズル底面の詳細確認を実施した。当該燃料集合体と比較した結果を以下に示す。

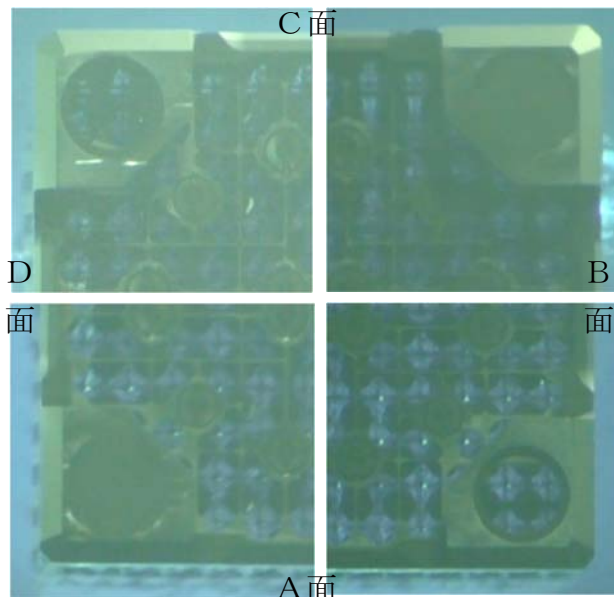
燃料番号	装荷サイクル数	燃焼度 (MWd/t)
MS 3 Q 0 3	2 サイクル	26, 652
MS 3 Q 2 5	2 サイクル	35, 335
(参考：当該燃料集合体) MS 3 Q 0 9	2 サイクル	35, 470



MS 3 Q 0 9 (当該燃料集合体)



MS 3 Q 0 3



MS 3 Q 2 5

比較として同設計の燃料集合体2体の下部ノズル底面についても詳細確認を実施した結果、2体ともに下部ノズルの脚部に同程度の擦り跡が確認された。このことから、当該燃料集合体の下部ノズルの脚に確認された擦り跡が点検装置ラックに乗り上げた際に付いたものかどうかは判断できないが、通常の燃料取扱時に付く擦り跡と同程度のものではなかった。

燃料集合体への荷重評価結果

燃料集合体が点検装置ラックへ乗り上げた際に作用した荷重を評価し、燃料集合体の健全性に問題がないことを確認する。

1. 燃料集合体乗り上げ時の状況

燃料集合体が点検装置ラックに乗り上げた際の燃料集合体等の状況は以下のとおり。

- ・燃料集合体は、使用済燃料取扱工具を用いて、使用済燃料ピットクレーンにて低速（2.1m/min）にて下降
- ・燃料集合体下部ノズルの脚部 3 箇所が点検装置ラックに乗り上げ、燃料集合体は点検装置ラック上に自立した状態で直立
- ・点検装置ラックに乗り上げる前後における使用済燃料ピットクレーンの荷重表示値は以下のとおり。

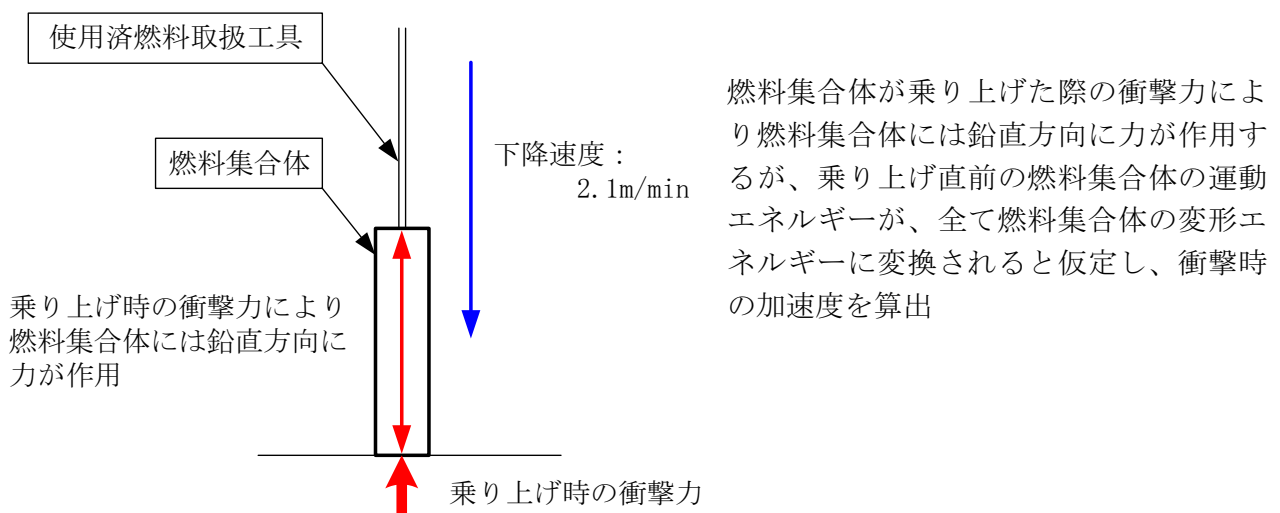
乗り上げ前：842 k g

乗り上げ後：167 k g

2. 燃料集合体に作用した加速度

燃料集合体へ作用した荷重を算出するために、点検装置ラックへ乗り上げた際に燃料集合体に作用した加速度を算出する。具体的には、燃料集合体が低速（2.1m/min=35mm/s）にて下降していた際の運動エネルギーのすべてが、乗り上げの衝撃により燃料集合体の鉛直方向の変形エネルギーに変換されたと仮定し、乗り上げ時に作用した加速度を求める。なお、評価に用いる燃料集合体および使用済燃料取扱工具の重量としては、乗り上げ前の荷重表示値（842 k g）が作用するものとした厳しい条件とする。

評価の結果、燃料集合体乗り上げ時に作用した加速度は約 1.3G（重力加速度の 1.3 倍）となった。これは、燃料集合体を静置している時に作用している加速度（1.0G）の約 1.3 倍に相当する。



3. 燃料集合体へ作用した荷重

点検装置ラックへの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、燃料集合体および使用済燃料取扱工具の水中重量（約 842kg）を用いて約 1,100kg となる。

4. 燃料集合体への影響評価

燃料集合体は、輸送及び取扱時の荷重に対して著しい変形を生じることなく健全性に問題ないように設計することとしており、具体的には 6G の加速度で作用する荷重に対して変形等が生じない設計としている。今回点検装置ラックに乗り上げた際に燃料集合体に作用した荷重は約 1,100kg であり、6G の加速度で燃料集合体に作用する荷重約 4,100kg に対して十分小さい。

ここで、今回の点検装置ラックに乗り上げた燃料集合体は照射済み（燃焼度約 35GWd/t）であるのに対し、6G の加速度に対して健全性が確認されている燃料集合体の評価は未照射を前提としたものである。しかしながら、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、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、照射済み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る。

なお、通常燃料集合体の取扱い時においても、使用済燃料ラック等へ燃料集合体を着底させる際には、低速（2.1m/min）にて着底させていることから、今回の事象で作用した荷重は、通常燃料取扱時に作用する荷重と同程度である。

以上

点検装置ラックの外観確認結果

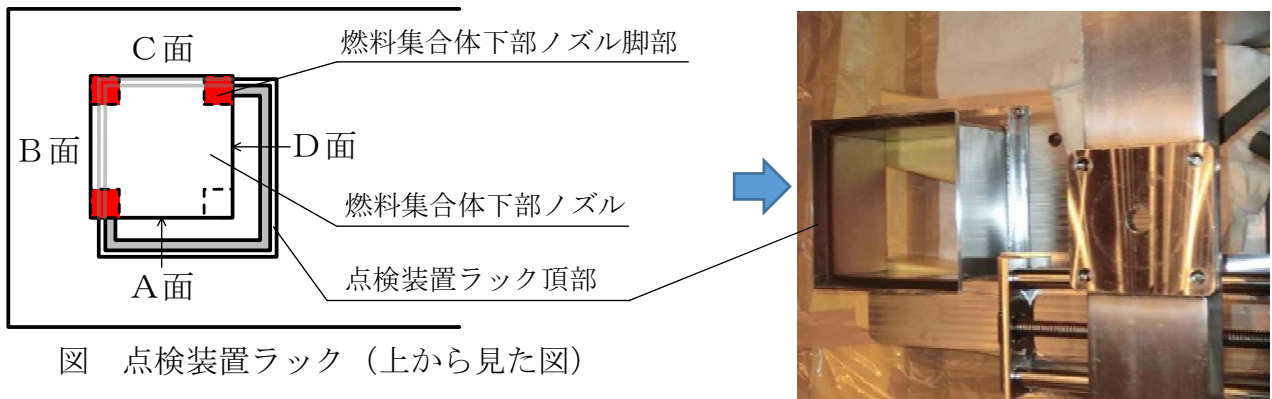
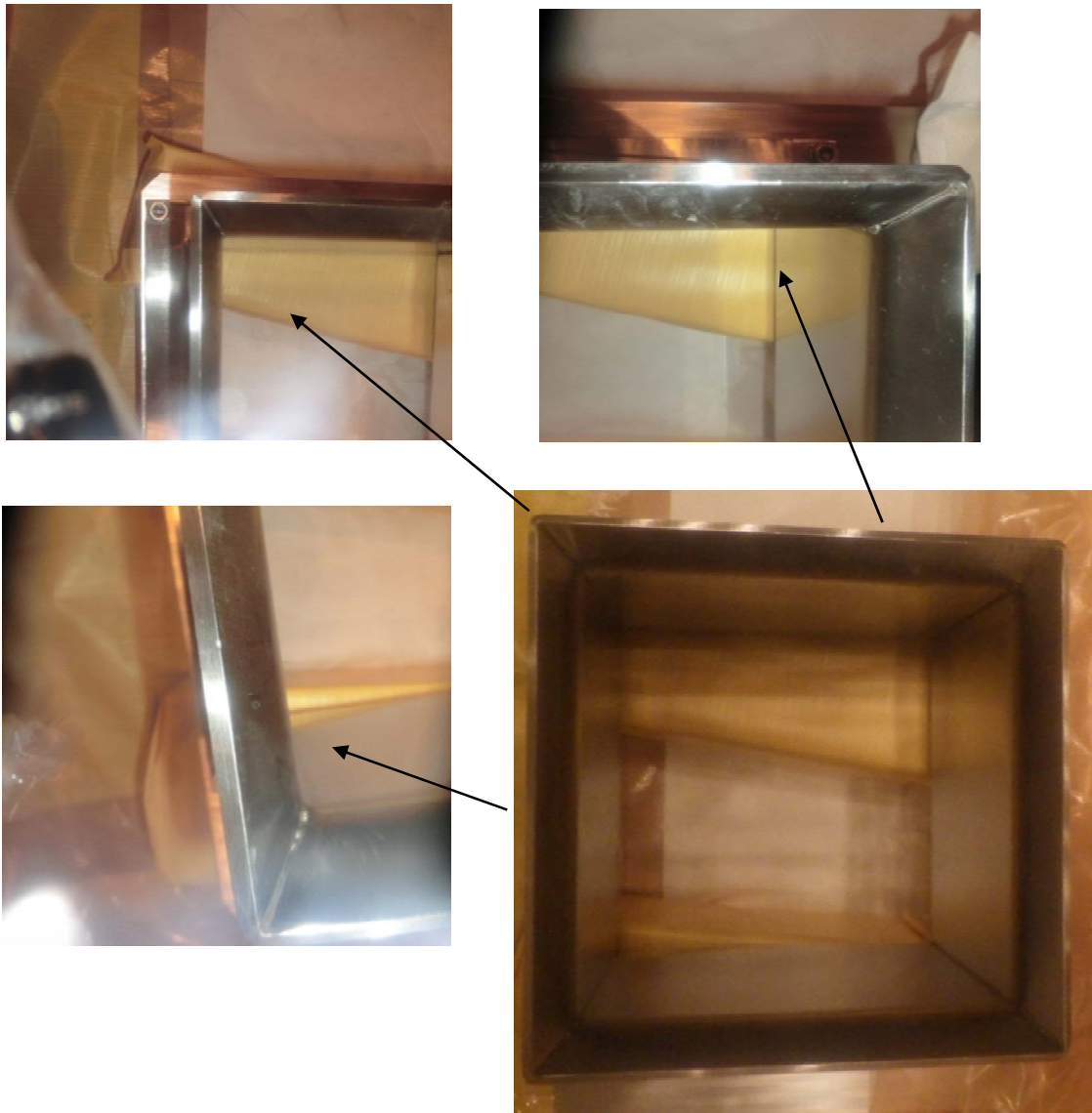


図 点検装置ラック（上から見た図）



点検装置ラック（方向は図と同じ）

燃料集合体が乗り上げた点検装置ラックについて、気中で目視にて外観確認を実施した結果、有意な傷、変形等はなく、装置の機能上問題がないことを確認した。

使用済燃料ラックの外観確認結果

当該燃料集合体が点検装置ラックに乗り上げた際、当該使用済燃料ラックに点検装置の重量に加えて乗り上げた燃料集合体荷重が加わったことから、点検装置の下に位置する使用済燃料ラックについて外観確認を実施した。

1. 確認対象

点検装置の下に位置する図1に赤枠で示す範囲の使用済燃料ラックを対象とする。

2. 確認方法

水中カメラを用いて対象の使用済燃料ラックを近接で撮影し、詳細な外観を確認する。(図2)

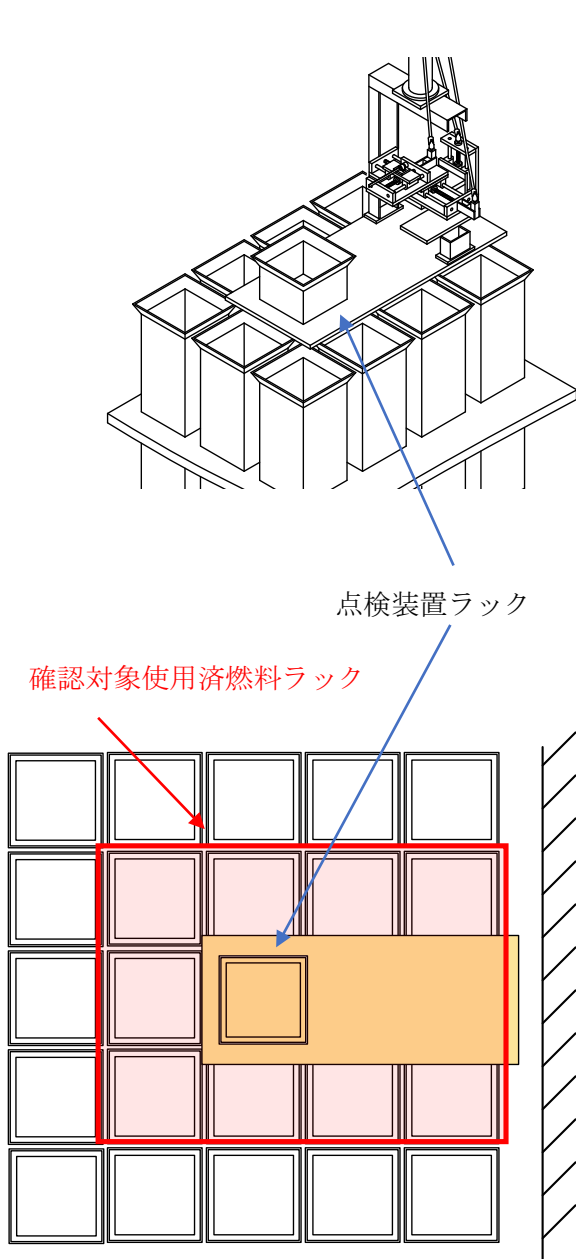


図1 点検装置と使用済燃料ラックの位置関係

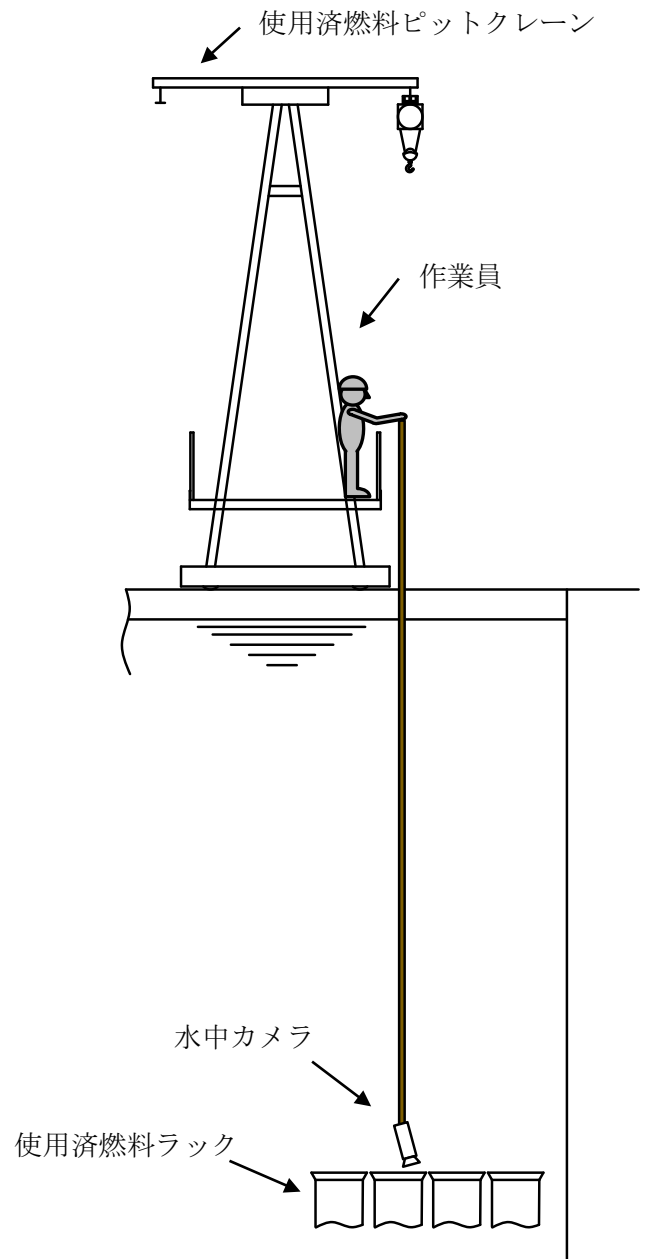


図2 確認方法概略図

3. 確認結果

「1. 確認対象」の使用済燃料ラックについて外観の確認を実施した。例として、点検装置ラックの直下に位置し、燃料集合体の荷重を最も大きく受けたと考えられる使用済燃料ラックの外観確認の様子を図3に示す。

使用済燃料ラックの外観確認を実施した結果、点検装置ラックの直下に位置するものを含め全ての使用済燃料ラックについて有意な傷、変形等がないことを確認した。

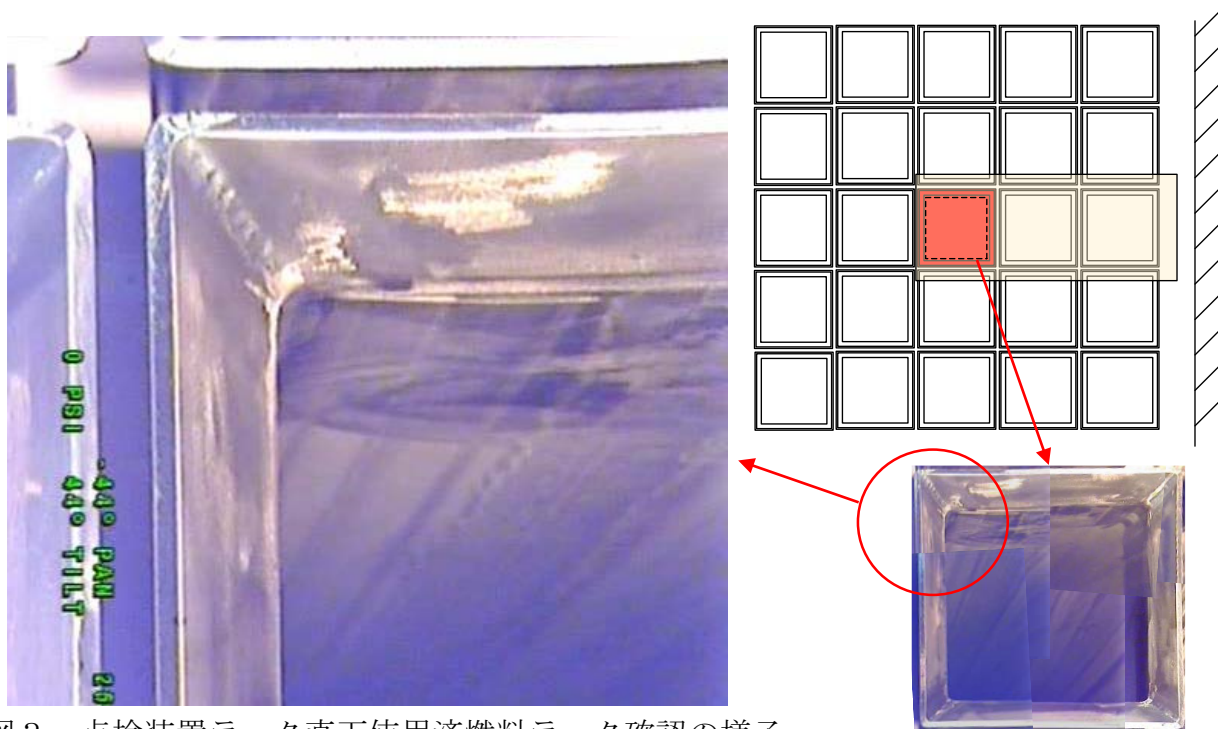


図3 点検装置ラック直下使用済燃料ラック確認の様子

【参考】

上の図に示すラックの入口の画像を繋ぎ合わせて全体を表示した図

以上

使用済燃料ラックの応力評価結果

燃料集合体の点検に用いた点検装置は、使用済燃料ピット内の使用済燃料ラック上に設置していたが、本事象により、燃料集合体が点検装置ラックに乗り上げたことにより、使用済燃料ラックには、点検装置の重量に加えて、乗り上げた燃料集合体の荷重が加わったことから、これに伴う使用済燃料ラックに作用した荷重を評価し、使用済燃料ラックの健全性に影響する変形等が生じていないことを評価する。

1. 評価条件

点検装置（重量 303kg）は、図 1 に示すように、使用済燃料ラック 12セル（4×3セル）上に設置されていたが、評価では、中心部の 3 ラックのみで点検装置の重量を保持したものとする厳しい条件を仮定する。なお、点検装置の重量は 3 ラックに均等に作用していたものとする。

また、燃料集合体が乗り上げた点検装置ラックは、1つの使用済燃料ラックの直上に設置されているため、乗り上げた燃料集合体の荷重は、当該使用済燃料ラックのみに作用するものと仮定する。また、燃料集合体の乗り上げにより、事象発生直前の使用済燃料ピットクレーンの荷重監視表示値である 842kg（燃料集合体と使用済燃料取扱工具の合計重量に相当）のすべてが作用したと仮定する。また、乗り上げ時に燃料集合体等に作用した加速度は 1.3 G（添付資料－ 5 参照）とする。

評価は、図 1 に示すとおり、燃料集合体が乗り上げた点検装置ラックの直下の使用済燃料ラックを対象に、点検装置の荷重は使用済燃料ラックの上部 4 つの辺に均等に作用したものとし、乗り上げた燃料集合体の荷重は燃料集合体が乗り上げた側の 2 辺のみに荷重が作用したものとする厳しい条件を仮定する。図 1 に示す評価断面に発生する応力を評価し、使用済燃料ラック（SUS304 材）の耐力と比較することにより、変形の有無を評価する。

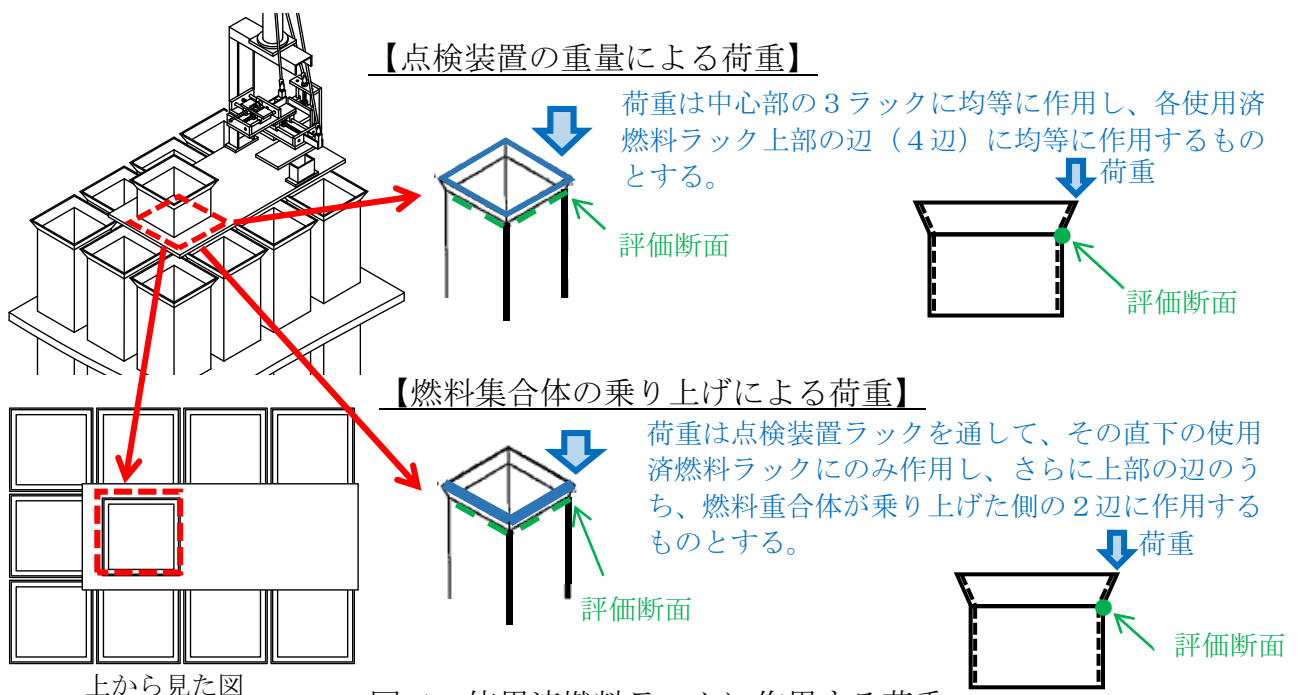


図 1 使用済燃料ラックに作用する荷重

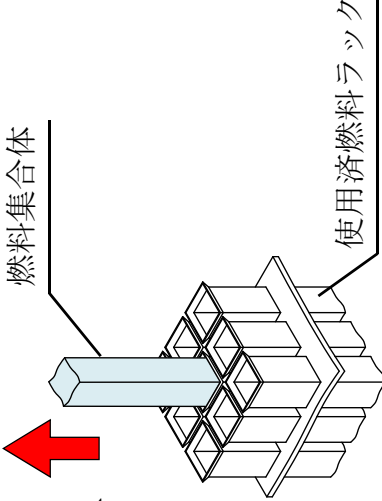
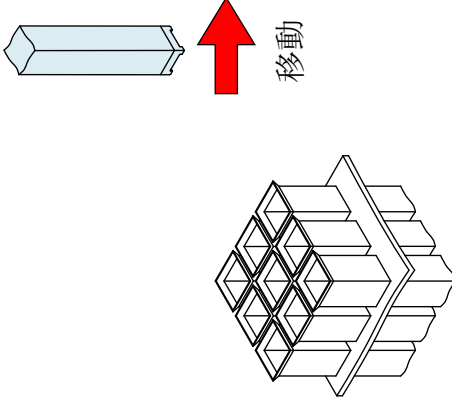
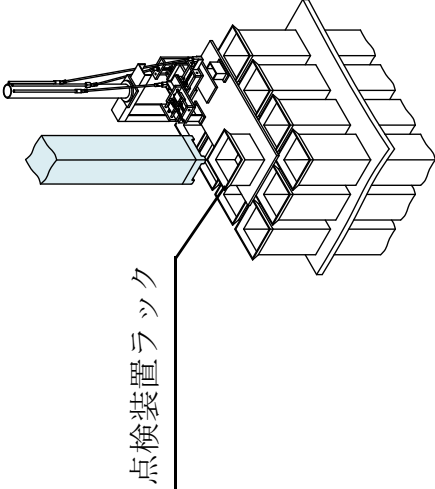
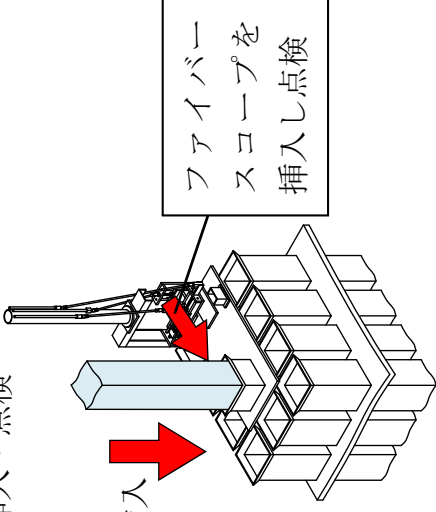
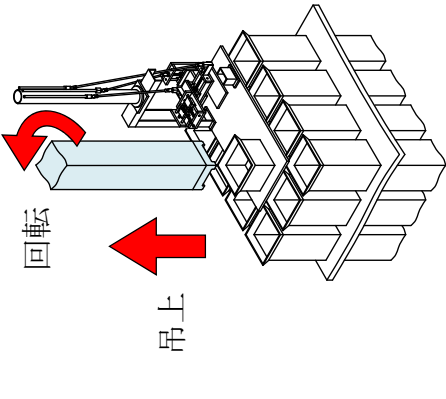
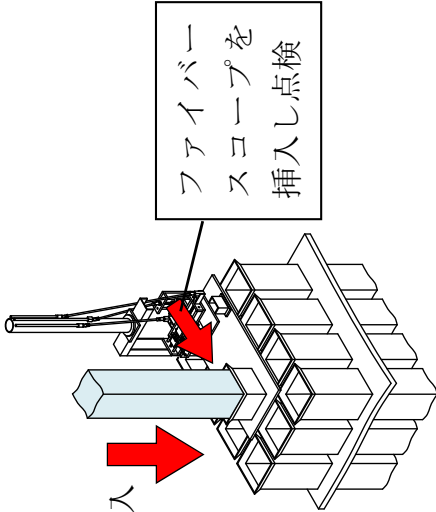
2. 評価結果

1. の条件に基づき、燃料集合体乗り上げ時に使用済燃料ラックの評価断面に発生した応力の評価結果は以下のとおりであり、耐力を下回っている。

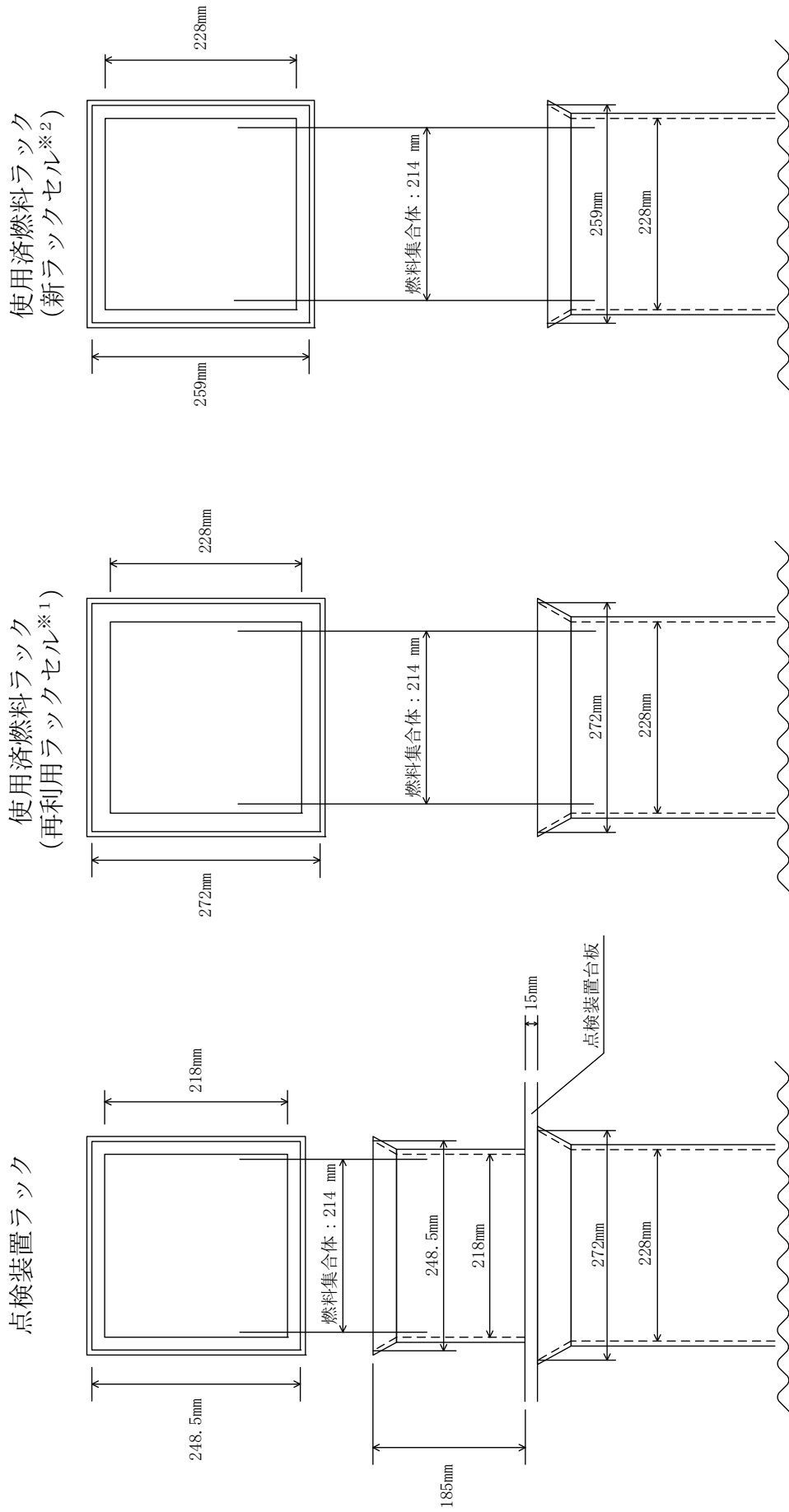
応力評価値	耐力(SUS304)
97 MPa	205 MPa

以 上

燃料集合体点検作業要領

<p>1. 使用済燃料ラックより燃料集合体を吊り上げ</p> 	<p>2. 燃料集合体を点検装置に移動</p> 	<p>3. 点検装置ラック上で燃料集合体の位置合わせ</p> 
<p>4. 点検装置ラックに燃料集合体を挿入・点検</p> 	<p>5. 燃料集合体を吊り上げ・90度回転 点検装置ラック上で再度位置合わせ</p> 	<p>6. 点検装置ラックに燃料集合体を挿入・点検 (5. に戻り繰り返し)</p> 

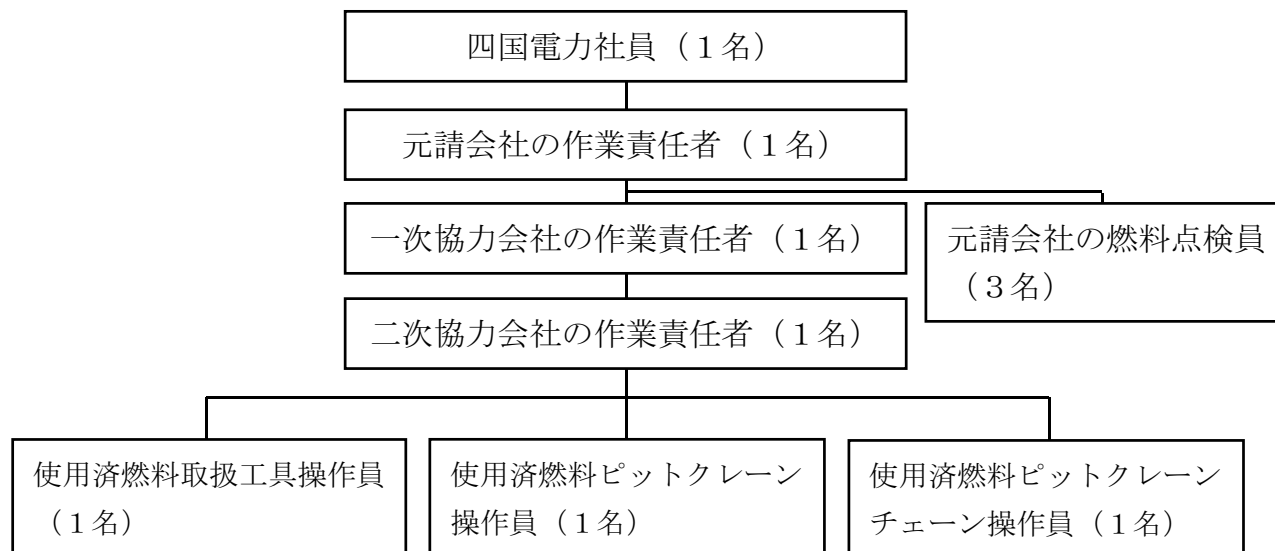
点検装置ラックと使用済燃料ラックの比較



※1 再利用ラックセル：建設当初から使用しているラックセル。使用済燃料ピットの貯蔵能力増強工事（リラッキング）において再利用したもの。

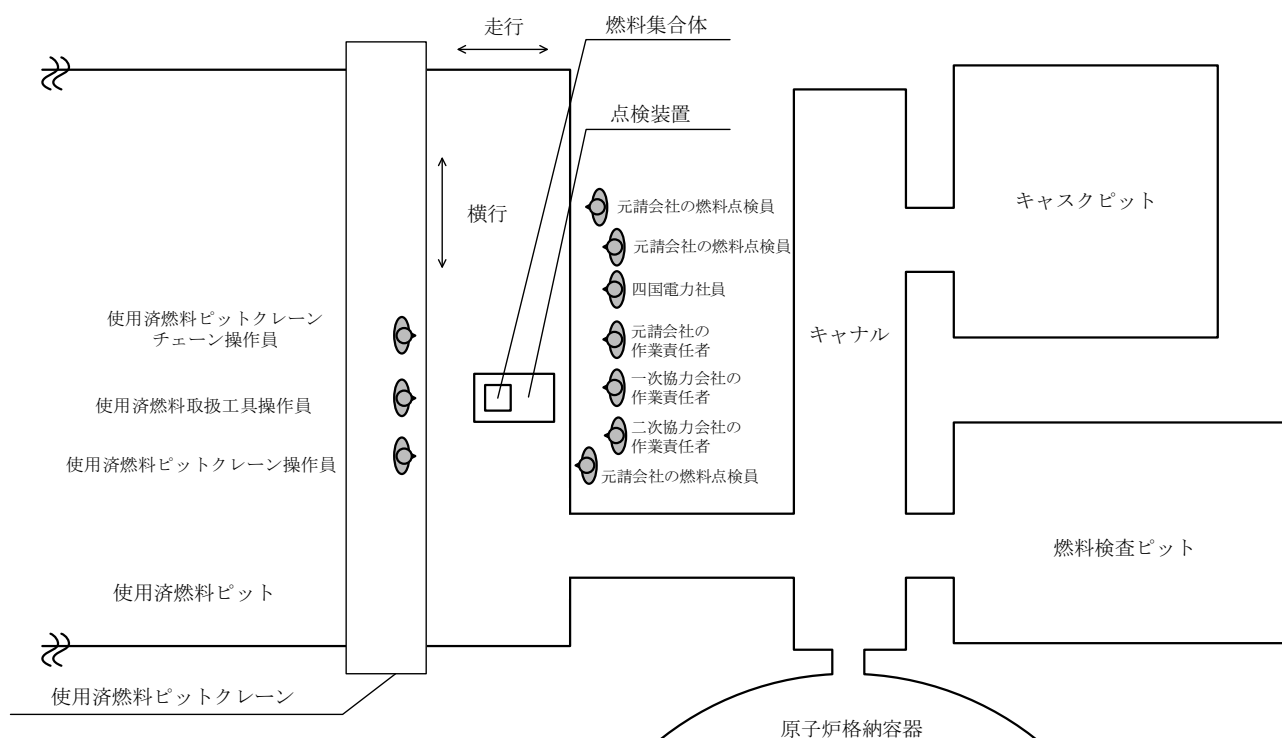
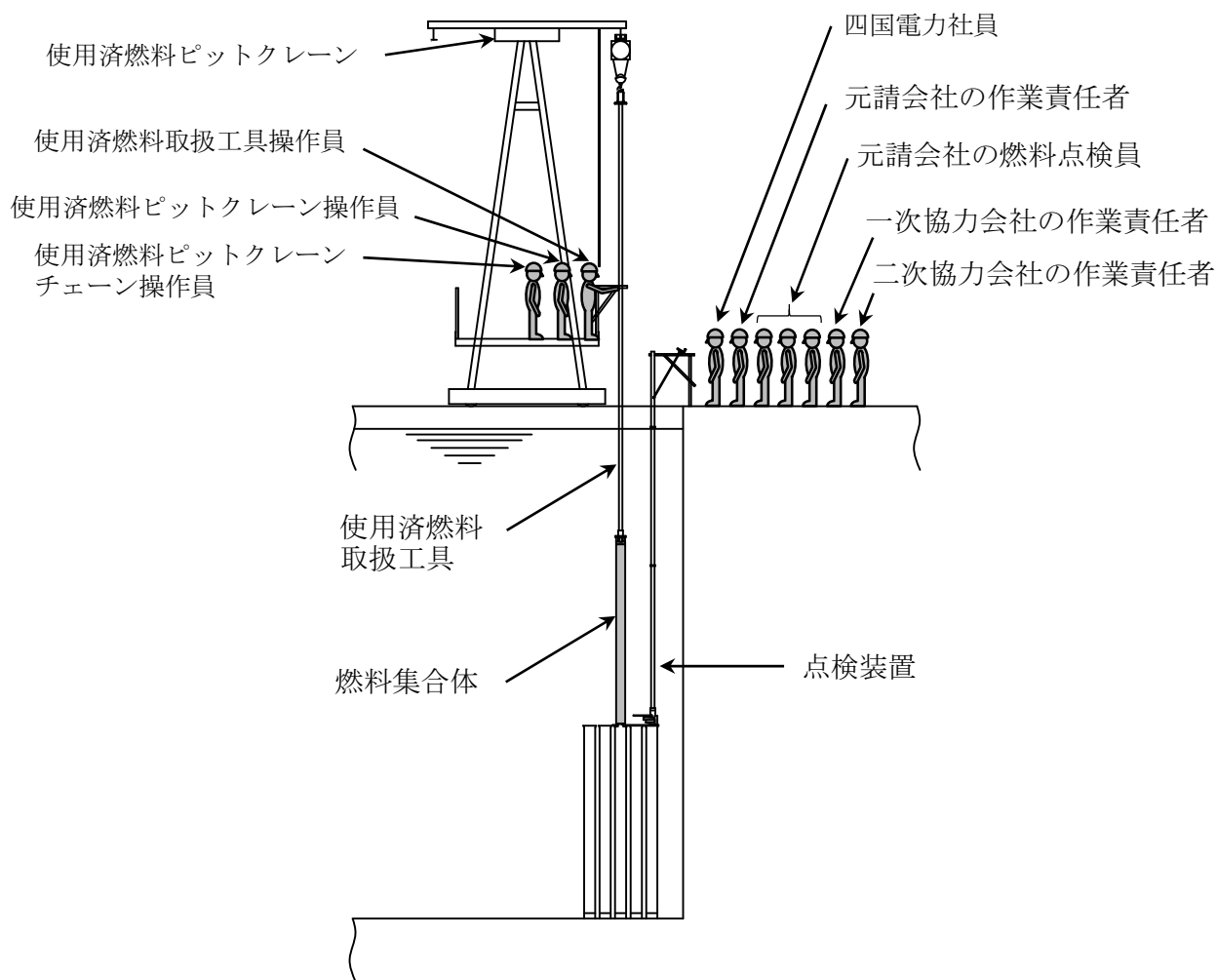
※2 新ラックセル：リラッキングにおいて新たに設置したラックセル。

燃料集合体の点検における体制および役割分担



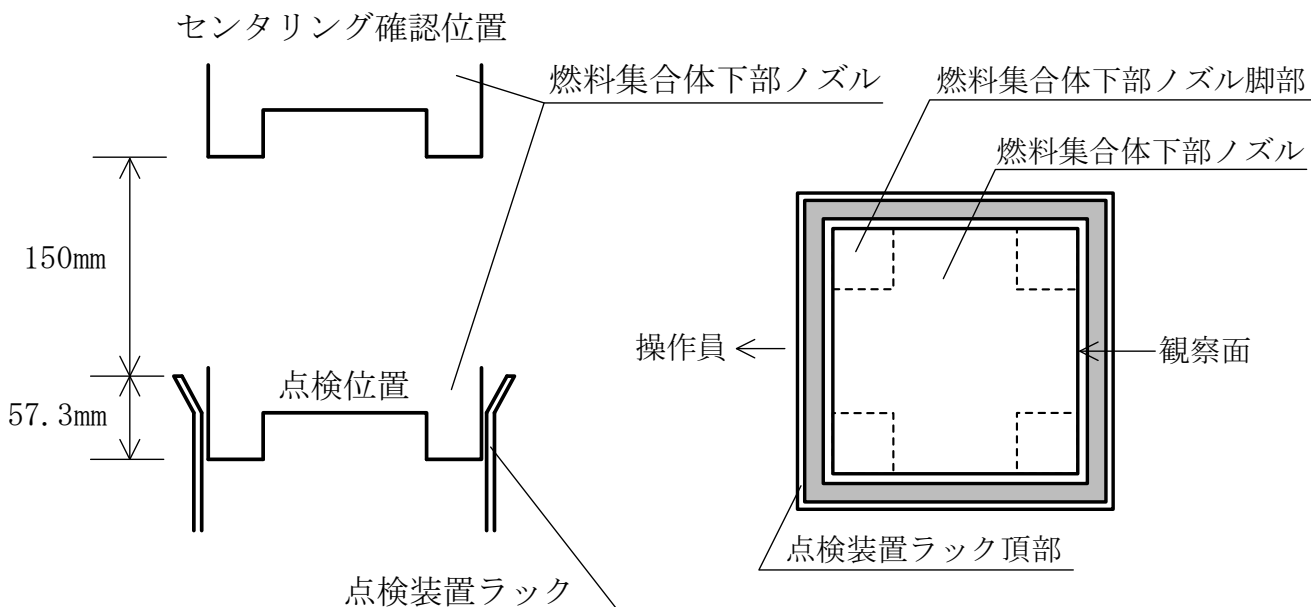
作業員		役割
四国電力社員 (1名)		・ 全体管理 (燃料集合体取扱作業、燃料点検)
元請会社の作業責任者 (1名)		・ 全体管理 (燃料集合体取扱作業、燃料点検)
元請会社の燃料点検員 (3名)		・ 点検装置の操作 (1名) ・ 燃料集合体の最下部支持格子の確認 (2名)
一次協力会社の作業責任者 (1名)		・ 燃料集合体取扱作業の管理
二次協力会社	作業責任者 (1名)	・ 燃料集合体取扱作業の管理
	使用済燃料取扱工具操作員 (1名)	・ 使用済燃料取扱工具の操作、保持 ・ 燃料集合体のセンタリング確認 ・ 燃料集合体の昇降時の状況確認
	使用済燃料ピットクレーン操作員 (1名)	・ 使用済燃料ピットクレーンの走行およびホイスト昇降操作 ・ 燃料集合体の昇降時の状況確認
	使用済燃料ピットクレーンチェーン操作員 (1名)	・ 使用済燃料ピットクレーンの横行チェーン操作 ・ 燃料集合体の昇降時の荷重監視

燃料集合体の点検における作業員の配置

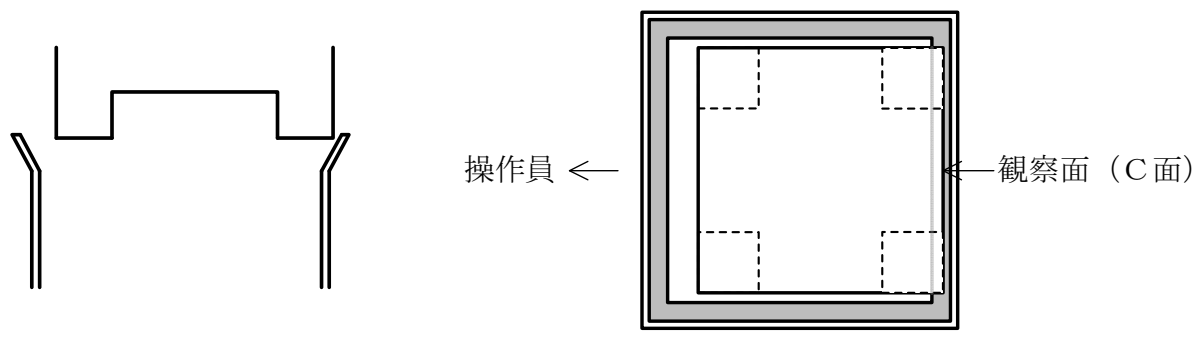


点検装置ラックへの燃料集合体挿入状況

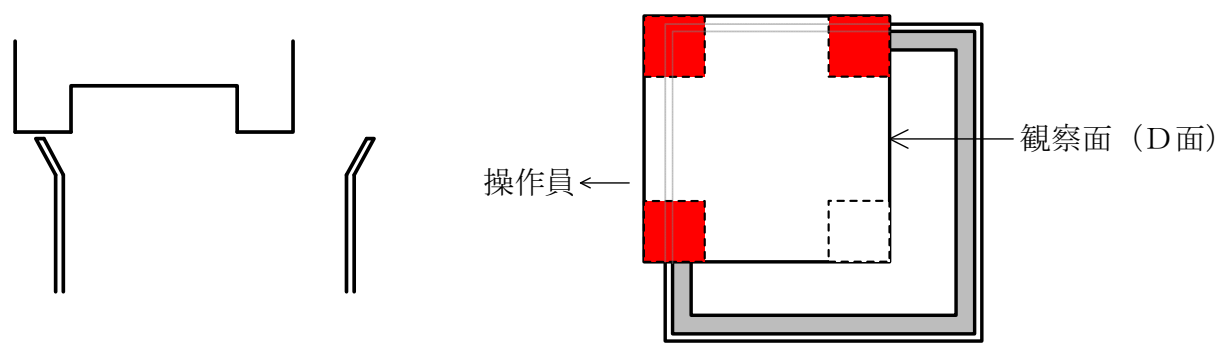
A面、B面観察時



C面観察時（荷重急変減少警報（荷重変動-65kg以上）発信）

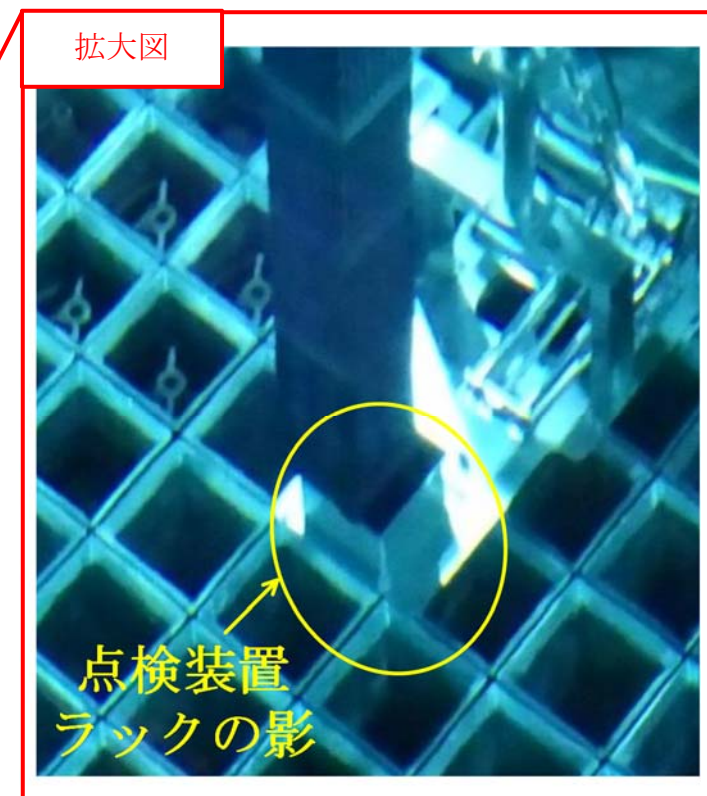
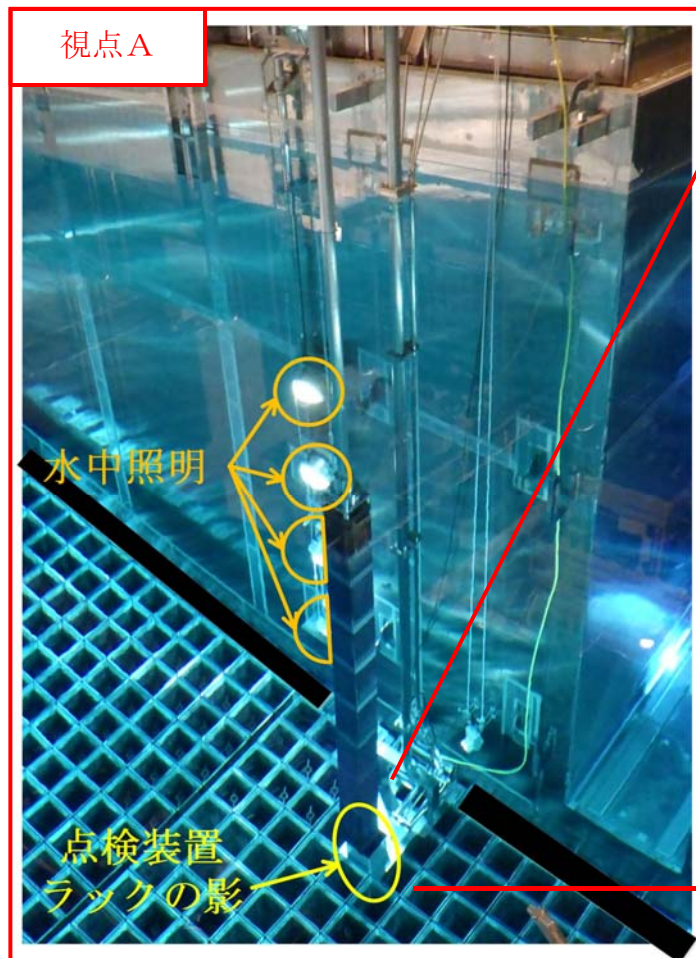
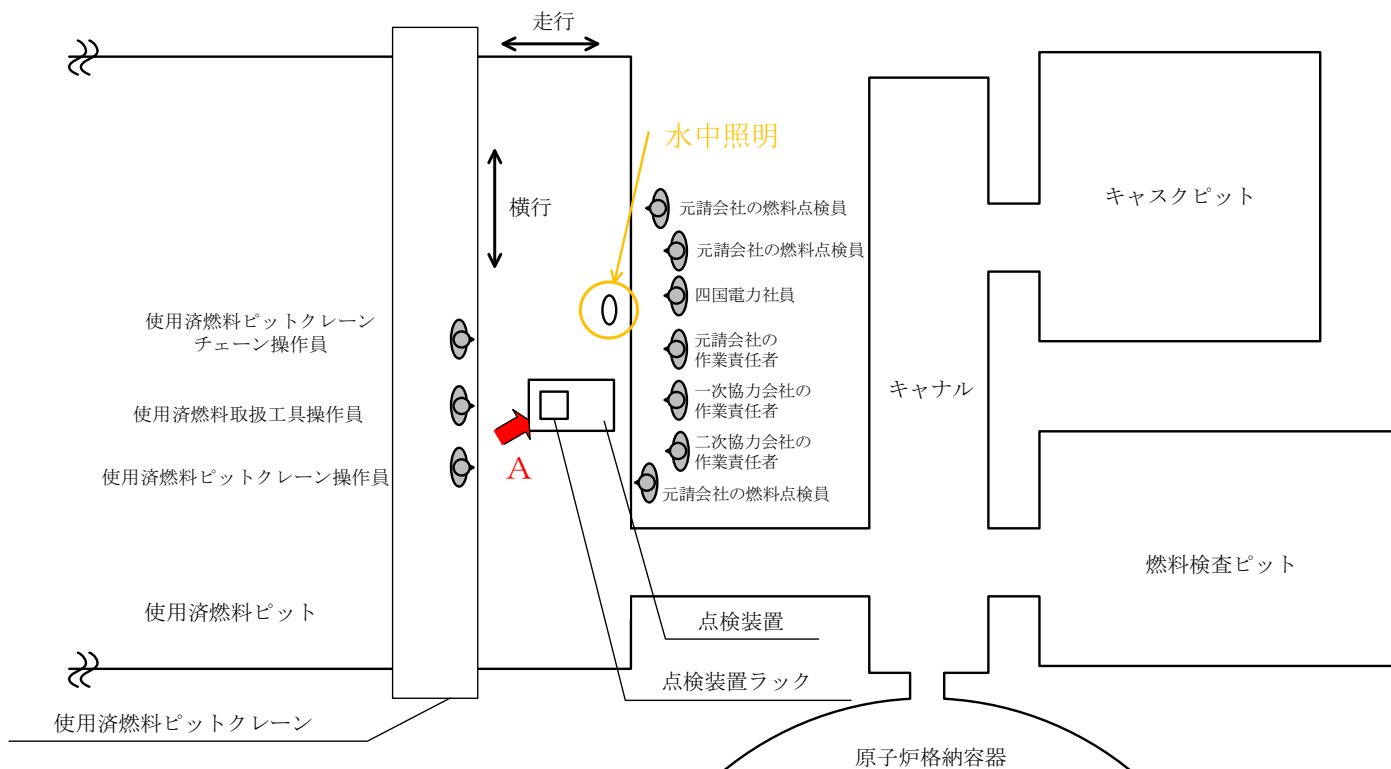


D面観察時（荷重急変減少警報（荷重変動-65kg以上）および燃料落下検知警報（吊荷重量300kg以下）発信）



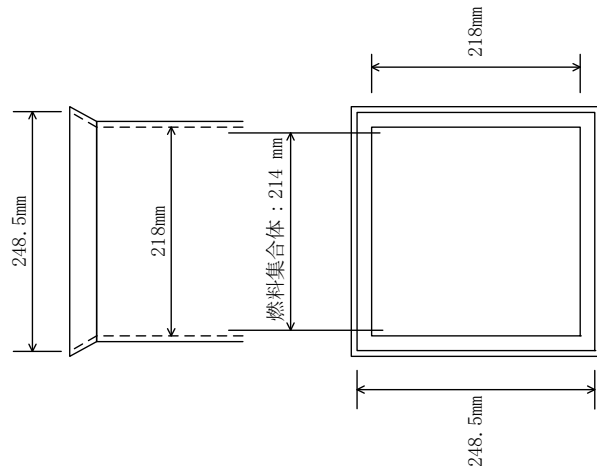
点検装置ラックの視認性

使用済燃料ピット内に設置されている常設の水中照明が点検装置ラックにあたってできる影により、使用済燃料取扱工具操作員および使用済燃料ピットクレーン操作員から点検装置ラック開口部が見え難かった。

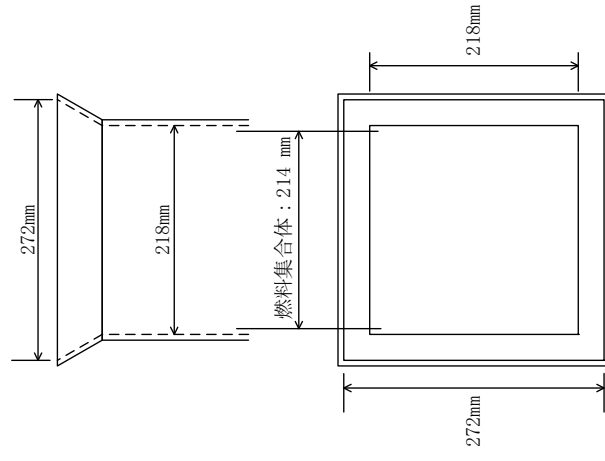


点検装置ラックの開口寸法拡大

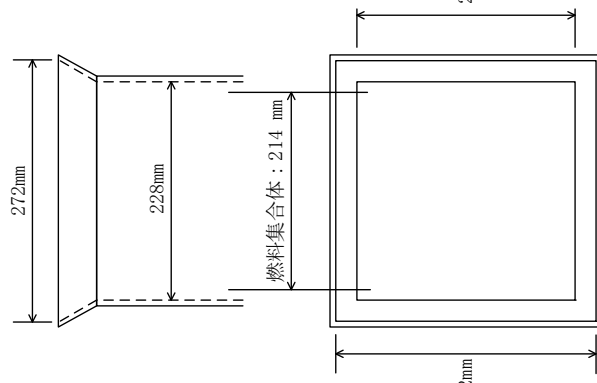
(現状)
点検装置ラック



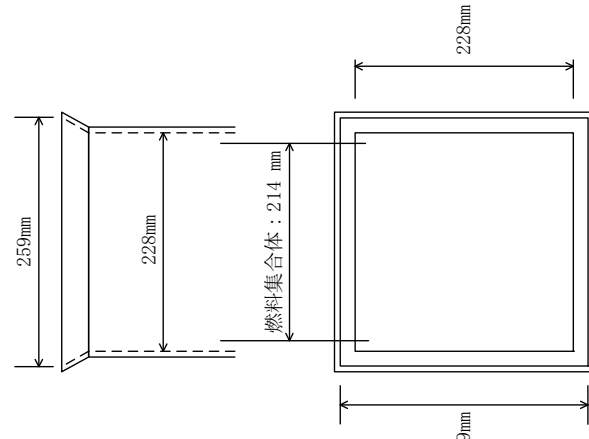
(改善後)
開口寸法拡大後点検装置ラック



(参考1)
使用済燃料ラック
(再利用ラックセル※1)



(参考2)
使用済燃料ラック
(新ラックセル※2)

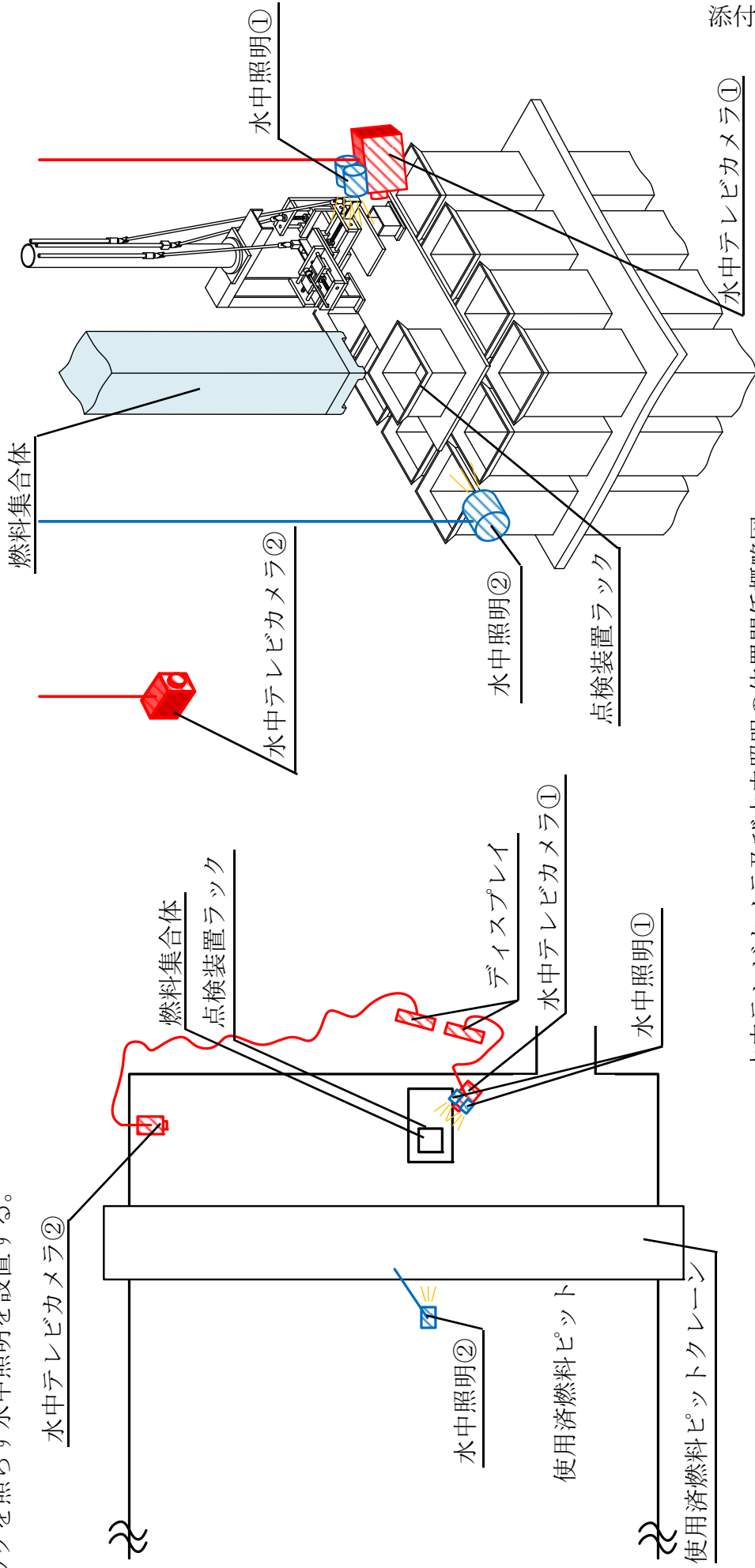


※1 再利用ラックセル：建設当初から使用しているラックセル。使用済燃料ピットの貯蔵能力増強工事（リラッキング）において再利用したもの。

※2 新ラックセル：リラッキングにおいて新たに設置したラックセル。

点検装置ラックの視認性向上

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および燃料集合体の下部ノズルの点検ラックへの挿入状況の確認が実際に実施できるようにするために、水中テレビカメラを設置する。さらに、目視による視認性についても向上を図るために、点検装置ラックを照らす水中照明を設置する。



水中テレビカメラ及び水中照明の位置関係概略図