

遠隔保守技術の大型ホットラボへの適用

Applying the remote maintenance technology to the Large scale hot laboratory

日本原子力研究開発機構 大洗研究開発センター 燃料材料試験部

坂本 直樹 Naoki SAKAMOTO 吉川 勝則 Katsunori YOSHIKAWA

櫛田 尚也 Naoya KUSHIDA 中村 保雄 Yasuo NAKAMURA

日本放射線エンジニアリング(株)

助川 清志 Kiyoshi SUKEGAWA

Recently, the particularity of the working environment in the field of space and oceanic research lead to develop the remote handling technology and the remote maintenance technology. Additionally, in the field of nuclear technology, such as hot laboratory, it is very important to develop the remote maintenance technology. Especially, in the case of the hot laboratory to handle the irradiated fuel assembly containing the plutonium, the large scale cell equipped with shielding ability and sealing performance is required. Examination cell installed in Fuels Monitoring Facility (FMF) was made of the concrete, and its dimension is 6 m in length, 19.5 m in width and 7m in height. In that cell, post irradiation examination of the irradiated fuel assembly is carried out by remote handling using the manipulators. In addition, the cranes and power-manipulators are installed in the large scale cell in order to maintain the test equipments. The cranes and power-manipulators have a function of remote maintenance in the case of these equipments failure. In this report, we described the remote maintenance technology using the cranes, power-manipulators and repair hoist in the large scale cell installed in FMF and the establishment of the maintenance method based on the experience over the 30 years of the operation.

Keywords: remote maintenance technology, Large scale hot laboratory

1. 緒言

近年の宇宙開発分野、海洋技術開発分野などでは、作業環境の特殊性から、遠隔操作技術や遠隔保守技術の開発が不可欠となっている。放射性物質を取扱う施設（ホットラボ）においても、高放射線、封じ込め等特有な環境の中での作業となることから、遠隔保守技術の開発は極めて重要である。特に高速炉で使用したプルトニウムを含有した燃料（集合体）を取扱う施設では、放射線を遮へいし、且つ、密封性を確保した大型のセルを配置する必要がある。大洗研究開発センター 照射燃料集合体試験施設（FMF:Fuels Monitoring Facility）に設置されている試験セルは、セル内寸法 6 m×19.5m、高さ 7mで、その周囲は 1.1mのコンクリート遮へい壁で囲われている。遮へい壁には 14 箇所の鉛ガラス製遮へい窓が設置されており、遮へい窓越しにマスタースレーブ（M/S）マニプレータによる遠隔

操作で様々な試験を実施している。さらにセル内には、試験機その他、重量物の移送を行うインセルクレーン、試験機などの機器の操作や保守を行うためのパワーマニプレータが備え付けられており、これらの設備においても故障等を想定した遠隔保守技術が取り入れられている。本報では、FMFのインセルクレーン、パワーマニプレータ及びリペアホイストを中心とした大型ホットラボにおける遠隔保守技術と操業開始から 30 年間に渡る運転保守管理の実績に基づく保全方法の確立について述べる。

2. セル内クレーン設備の概要

2.1 構成

FMFの試験セルにおけるセル内クレーン設備は、インセルクレーン 2 基、パワーマニプレータ 2 基及びインセルクレーンとパワーマニプレータの保守に用いるリペアホイストの 3 種類の機器によって構成されている。各機器の操作は、基本的にセル周囲に設置されている遮へい窓からセル内を監視しながら専用のポータ

連絡先:坂本直樹、〒311-1393 茨城県東茨城郡大洗町成田町 4002 番、(独)日本原子力研究開発機構 大洗研究開発センター 燃料材料試験部 集合体試験課、電話: 029-267-4141、e-mail:sakamoto.naoki@jaea.go.jp

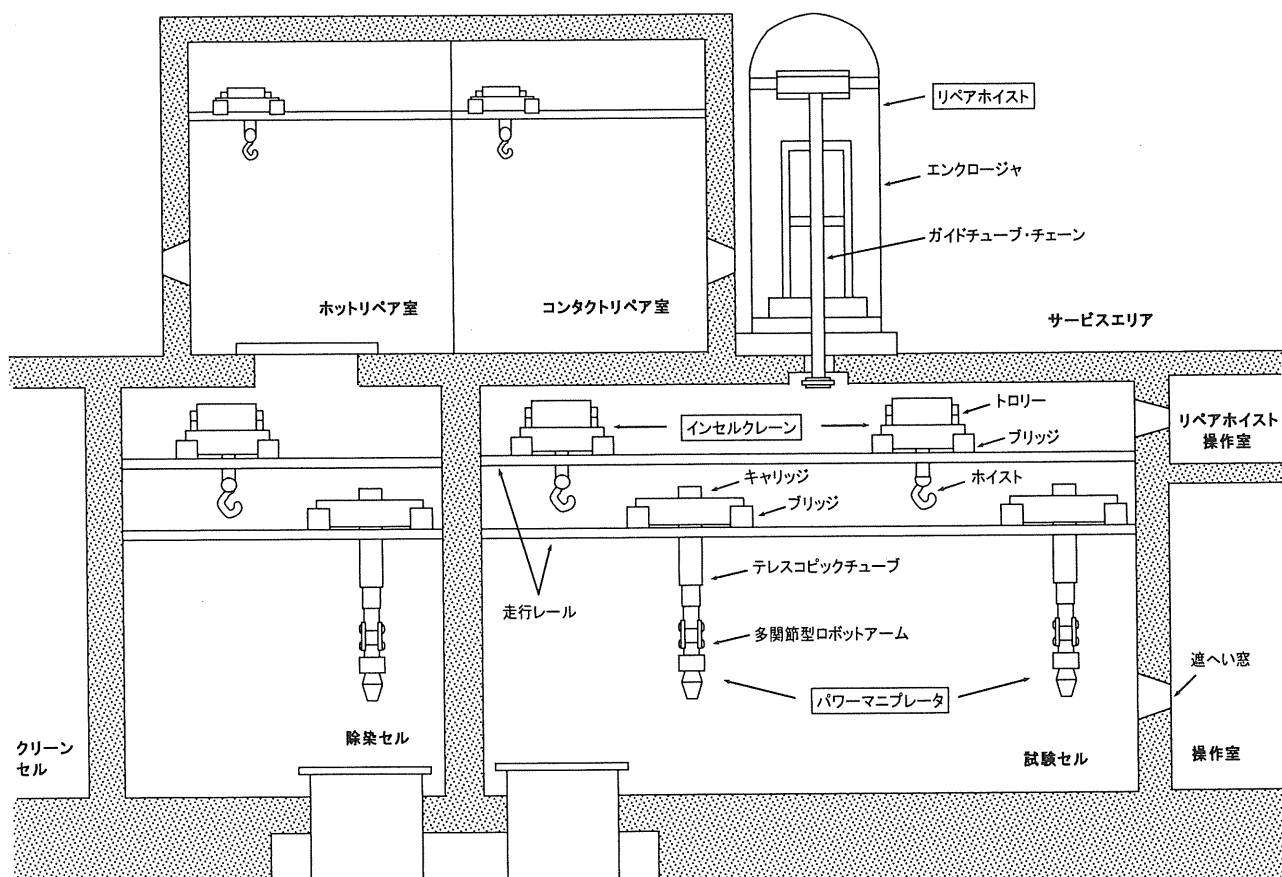


図1 セル内クレーン設備の全体配置図(FMF断面図)

ブルコントローラにより実施する。また、必要に応じてセル外で修理を実施するために、構成部品をユニット化し、遠隔操作による分解・組立ができる構造となっている。セル内クレーン設備の全体配置図を図1に示す。

2.2 インセルクレーン

インセルクレーンは一般的に使用されている天井走行クレーンと同様な構造で、セルの天井近くを走行するブリッジ、ホイスを有し、ブリッジ上で横行を行うトロリーで構成する。インセルクレーンの主な用途は、照射済燃料集合体、セル内設置の試験機、セル内で発生した廃棄物等の重量物の移送を行うものである。インセルクレーンの仕様を表1に示す。

表1 インセルクレーン仕様

動作内容	仕様
ブリッジ走行速度	2.0~7.0m/min
トロリー横行速度	2.0~7.0m/min
ホイス上下速度	0.5~2.0m/min
定格荷重	3.63ton
揚程	10.0m

2.3 パワーマニプレータ

パワーマニプレータは、インセルクレーンと同様に天井付近（インセルクレーン走行レール下部）の走行を行うブリッジとブリッジ上を横行するキャリアッジで構成する。キャリアッジには上下駆動を行うテレスコピックチューブを取付け、その先端に多関節型のロボッ

トアームを取付けることができる。このロボットアームは、セル内に設置される試験機等の操作補助または保守、重量物の搬送を行う。パワーマニプレータの仕様を表2に示す。

表2 パワーマニプレータ仕様

動作内容	仕様
ブリッジ走行速度	2.0~7.2m/min
キャリッジ横行速度	2.0~7.0m/min
テレスコピックチューブ	
上下速度	0.6~4.0m/min
上下ストローク	3.5m
定格荷重	340kg
多関節型ロボットアーム	
最大取扱荷重	67kg

2.4 リペアホイスト

リペアホイストは、昇降装置及び回転装置と昇降用のガイドチューブ・チェーンで構成する機器であり、試験セル中心位置の天井にあたるサービスエリアに設置されたエンクロージャ内に収納している。このリペアホイストはセル内に配置したインセルクレーン及びパワーマニプレータの保守時に、ブリッジ、キャリッジ、トロリーなどを遠隔操作でセルの天井部付近から床まで吊り降ろし、保守後に再び天井部付近まで吊り上げる場合に使用する。リペアホイストの仕様を表3に示す。

表3 リペアホイスト仕様

動作内容	仕様
定格荷重	5.0ton
ホイスト上下速度	1.0m/min
揚程	7.5m
回転速度	0.058rpm
回転角度 (0°を基準として)	左回り 180° 右回り 90°

3. 遠隔保守技術

FMFの試験セル内環境は、放射線線量率 8mSv/h 以

上、プルトニウム等によるα線を放出する放射性物質の表面密度 20Bq/cm²以上で、且つ、窒素ガス雰囲気(酸素濃度 100ppm 以下)である。従って、作業者の立入りによる直接保守が不可能であるため、セル内に設置した試験機をはじめ、セル内クレーン設備等は、セル外からの遠隔操作による保守、またはセル外へ持ち出しての直接保守が可能な設計である。さらにセル内には監視カメラを設置し、遮へい窓からは視認できない場所も確認できるようにしている。遮へい窓近傍に設置した試験機などの保守は、M/S マニプレータやセル内クレーン設備による遠隔保守で対応可能であるが、インセルクレーンのトロリーなどの保守は専用の昇降装置を用いる必要がある。その昇降装置がリペアホイストであり、セル天井レールに設置されたトロリーなどをセル床面に吊り降ろし、保守後、再度天井レールに設置するための吊り上げに用いる。吊り降ろしたトロリーなど、ユニット化された設備の構成部品は、除染セルに移送し、遠隔除染を行った後、機器の保守を行うホットリペア室に搬出する。移送にはインセルクレーンを使用するため、試験セル内には、同一走行レール上に2基のインセルクレーンを設置し、片方のインセルクレーンが故障した場合でも、移送可能となっている。ホットリペア室は、空気雰囲気であり、放射線線量率も低いため、作業者が立入り、直接保守が可能なエリアである。これにより、遠隔では不可能な詳細な保守を行うことができる。

以上のことから、リペアホイストを設置することによって、インセルクレーンを含め、試験セル内に設置した設備の完全なる遠隔保守ができる。以下にリペアホイストを用いたトロリー等の保守手順を述べる。

3.1 トロリー、キャリッジの着脱

インセルクレーンのトロリー及びパワーマニプレータのキャリッジは、専用の着脱治具を用いて、ブリッジ上からセル床面に吊り降ろす。その際、トロリー等をリペアホイストの真下まで移動させる必要があるが、トロリー等の故障により、動作不能な場合でも、インセルクレーンまたはパワーマニプレータがそれぞれ別に1基ずつ設置されているため、その機器のけん引機構を用いて真下まで移動することができる。セル床面

に降ろしたトロリー等の構成部品はパワーマニプレータを用いて、全て遠隔操作での保守が可能である。なお、トロリーはセル床面に直接置く事ができるが、キャリッジは自立しないため、専用のキャリッジスタンドを予めセルの中央に準備しておく必要がある。トロリー等を遠隔着脱する際の主な手順を以下に示す。

- ① 専用着脱治具をリペアホイストの真下に設置し、吊り上げる。
- ② トロリー等をリペアホイストの真下まで移動させる。
- ③ 専用着脱治具でトロリー等を吊り、セル床面に降ろす。
- ④ 保守後、吊り降ろした逆の手順で復帰する。

3.2 ブリッジ本体の遠隔分解

インセルクレーン、パワーマニプレータのブリッジ本体の保守をする場合は、ブリッジ本体をセル床面まで吊り降ろして行う。なお、ブリッジ本体以外の走行モータやリミットスイッチについては、ブリッジがレール上にある状態でも分解・組立を含む保守を行うことが可能である。ブリッジ本体を遠隔分解する際の主な手順を以下に示す。

- ① ブリッジ吊り具及びブリッジスタンドをセル床面の所定の位置に設置する。
- ② ブリッジをリペアホイストの中心まで移動する。
- ③ リペアホイストを降ろし、ブリッジ吊り具を吊り上げ、ブリッジビームの下に固定する。
- ④ ブリッジ吊り具をリペアホイストで持ち上げ、電気コネクタが外れるまで吊り上げる。
- ⑤ ブリッジを約 90°回転させ、セル床面のブリッジスタンドまで吊り降ろす。
- ⑥ 保守後、吊り降ろした逆の手順で復帰する。

4. 遠隔保守の実績

FMF は、操業開始から 30 年を経過し、この間にインセルクレーン等については様々な保守を行った。その中で、実際にリペアホイストを用いた大掛かりな保守実績は合計 12 件である。これらについては、遠隔保守の設備設計思想を十分満足できる保守ができた。また、保守を行った中で作業者の負傷やセル内に設置さ

れた設備等を損傷させた事例はなく、安全性も確保できた。以下に保守内容の詳細を述べる。

4.1 保守内容

リペアホイストを用いた保守内容は、インセルクレーン、パワーマニプレータ共に、機器の老朽化に伴う動作不良の修理または部品交換、更には人為的な理由により発生した故障の修理である。直近では電磁ブレーキとモータに動作不良が発生している。電磁ブレーキの動作不良は、原因がケーブルの断線であったため、本体ごと交換し正常に復帰した。また、モータの絶縁不良は、原因がモータのカーボンブラシ磨耗によるもので、カーボン粉がモータ内に付着して絶縁不良を起こしていた。そのため、モータ内に付着したカーボン粉を除去することで絶縁抵抗値が正常な値に回復した。次に、人為的な理由により発生した故障は、インセルクレーンのワイヤ乱巻きがある。これは吊り荷を斜め吊りにした結果、ワイヤがドラムの溝からずれ、修復しようと巻上げ、巻下げを繰り返したところ、ワイヤがドラム上で乱巻状態になり、またワイヤの 1 本がドラムから外れたというものである。これについてはトロリーごとホットリペア室に移送し、ワイヤの巻き直しを行った。リペアホイストを用いない軽微な保守内容としては、パワーマニプレータの爪先開閉異常が最も多く、爪先固定ピンの脱落やグリップモータの異常が主な原因となっている。機器の老朽化に伴う故障は、定期的に行う点検と部品交換においてある程度減らすことは可能であるが、人為的な理由による故障については、作業者の各種設備に対する知識と操作能力の更なるスキル向上、危機管理意識の向上が必要である。

4.2 作業者の被ばく

試験セル内は高線量率下にあるため、そこに設置されているインセルクレーン及びパワーマニプレータも高線量化となっている。従って、ホットリペア室に移送する際には、除染セルにて十分な遠隔除染を行い、表面線量率をできるだけ低く抑える必要がある。アルコールガーゼにより表面の拭き取り除染を行うことで、表面線量率は 500 μ Sv/h 以下となる。ホットリペア室は、作業者が空気供給ホース付のフログマンスーツを着

用し立入ることができるため、そこで更に詳細な直接除染を行い、最終的には約 $100\mu\text{Sv/h}$ にすることができる。遠隔除染及び直接除染を行うことで、フロッグマン作業一回当たりの被ばくは約 0.03mSv/h 程度であり、十分低減化が図られている。

4.3 課題

現在のところ発生はしていないが、大きな障害として想定される事象は、試験セルから除染セルへの移送の際に用いるインセルクレーン 2 基が同時に故障した場合には、移送が不可能となる。その事象を避けるために、定期的な点検及び一方に故障が発生した際の速やかな修理を行っている。それはパワーマニプレータ、リペアホイストについても同様の管理である。また、リペアホイストを用いた修理は、分解、除染、移送といった多くの手順を踏んだ作業となるため、復帰までには約 1 ヶ月の期間を要する。その間、セル内クレーン設備を用いた燃料集合体の移送、試験機の操作補助等に多大な影響を及ぼすため、大掛かりな修理になる前に、できるだけリペアホイストを用いない、軽微な修理で済むよう使用前点検を含め常に設備の状態を把握しておく必要がある。

5. 結言

FMF の遠隔保守技術は、これまでの保守実績によって、遠隔分解、遠隔除染、修理及び復帰の手順を確立しており、十分満足できるものである。さらに、これらの作業において、作業者の被ばく低減化、作業安全性の確保などが図られている。大型ホットラボへ適用した現在の遠隔保守技術は、本来の照射後試験を継続して行う上で、必要不可欠なものである。また、これまで誰一人としてセル内に立入ることなく、計画通りの遠隔保守で 30 年間運転してきた実績があるため、技術確立できたものと判断している。

参考文献

- [1] 高放射性物質取扱施設設計マニュアル 1985 年 11 月 「遠隔操作技術」研究専門委員会 (社)日本原子力学会