

高速実験炉「常陽」MARICO-2試料部の回収

Experimental Fast Reactor “Joyo” Retrieval for the Bent MARICO-2 Test Subassembly Using Remote Control Devices

古賀和浩*

Kazuhiro Koga

大原紀和**

Norikazu Oohara

猪博一***

近藤勝美*

伊東秀明****

Hideaki Ito

芦田貴志****

Takashi Ashida

中村俊之****

Toshiyuki Nakamura

〔概要〕

高速実験炉「常陽」では、2007年に計測線付き照射装置の試料部の切離しが不能となるなどにより、原子炉容器内において試料部が折れ曲がった状態で留まってしまう事象が発生した。

富士電機は、試料部回収のための装置を設計、製作し、現地の回収作業では、事業者の日本原子力研究開発機構と協同して作業にあたり、試料部の回収に成功した。

本稿では、回収装置の設計および製作、並びに現地回収作業の概要を紹介する。

1. はじめに

高速実験炉「常陽」では、2007年に原子炉容器内に装荷された計測線付き照射装置（以下、MARICO-2）の試料部の切離しが不能となるなどにより、原子炉容器内において試料部の上端が折れ曲がった状態で留まってしまう事象が発生した（図1）。試料部は、他社が設計、製作したものであるが、富士電機は試料部回収に係る設計検討の段階から回収作業まで一貫して受注し、事業者の日本原子力研究開発機構（以下、JAEA）と協力して作業にあたった。

炉心上部機構（以下、UCS）の下面を富士電機納入のUCS下面観察装置で観察した結果、整流板などの変形が確認され、UCSの交換が必要であることが判明した。これを受け、試料部回収は、UCS交換工事中（UCS引抜き後～新UCS装荷前の間）にUCS撤去孔を利用して実施する計画とした。

本稿では、2012年3月から2014年3月までに実施した試料部回収のための装置（以下、回収装置）の設計および製作、並びに2014年6月から10月までに実施した現地回収作業の概要を紹介する。

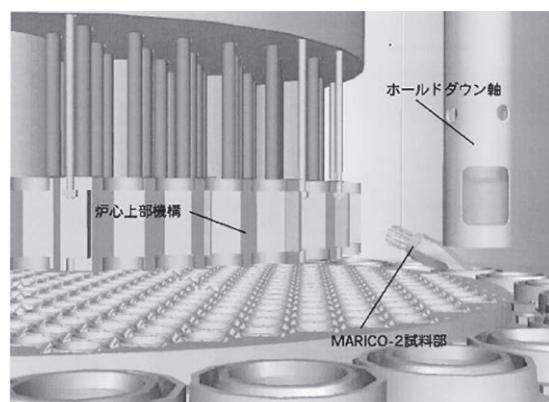


図1 原子炉容器内の試料部

* 富士電機株 発電プラント事業部 原子力プラント部

** 同社 川崎工場 原子力部

*** 同社 発電プラント事業部 原子力技術部

**** 日本原子力研究開発機構 大洗研究開発センター 高速実験炉部

2. 回収作業の目的

「常陽」は、試料部の上端が炉内ラックから突き出た状態で滞留したことにより、燃料交換機能の一部が阻害され、運転停止状態となった。運転再開を果たすためには、UCS交換工事（他社所掌）とともに、試料部の回収作業を確実に成し遂げる必要があった。

折れ曲がった試料部の回収は、通常の取扱手順と経路では行えないため、これまでに経験のない特殊な作業となり、適切な作業計画とそれに適合させた回収装置の設計、製作が重要であった。

3. 回収装置の設計

3.1. 回収装置設計のポイント

回収装置の設計や作業計画では、大気と遮断された高温、高放射線環境下の装置を遠隔で操作しなければならないなど、高速炉特有の制約はもちろん、回収作業には主として下記①～③に示す制約・条件があった。これらを適切にクリアすることが設計上のポイントであった。

- ①試料部はポット（炉内外で使用する炉心構成要素移送用の上端開放容器）の上端で折れ曲がって固着しており、「試料部+ポット」の一体吊り上げ、吊り上げ後の収容などが必要である。
- ②作業は回転プラグ上のUCS撤去孔から行うが、試料部がUCSと干渉するため、事前にUCS撤去孔の中心軸を試料部の中心軸に位置決めすることができない。このため、両者の中心軸のズレを調整する機能が必要である。
- ③炉内の回収作業は、直接の目視確認ができない。回収作業を確実なものとするため、ポットのつかみ状態や吊り状態を監視する装置が必要である。

3.2. 回収装置の全体構成

回収装置は、上記3.1のポイントを踏まえ、役割・機能を適切に分担した複数の装置から構成された。回収装置の一例として、原子炉建家内における全体構成を図2に示す。

(1) 試料部把持装置+ガイド管（図2拡大部）

本装置は、UCS撤去孔から炉内に挿入し、試料

部が収納されているポットの把持、吊り上げを行うものである。ポットのハンドリングは、折れ曲がった試料部が邪魔をして一部分しかつかむ箇所がないこと、把持部にフレキシビリティを持たせることから、1本爪方式とした。これは、初めての方式であったことから、実規模の要素試験を実施して、性能を検証した。

UCS撤去孔と試料部の中心軸ズレに対しては、把持機構が昇降する案内筒をパンタグラフ機構により約600mm横へスライドする方式を採用した。また、UCS撤去孔以外の範囲には熱遮へい板があり、ポットを真っ直ぐ上に吊り上げられない。そこで、図3に示すとおりパンタグラフ機構の上下アームの閉動作をずらして案内筒を一時的に傾斜させる方法を考案し、試料部入りポットが干渉することなく熱遮へい板との空間をすり抜ける動線を確保した。

(2) 試料部回収装置

本装置は、回収した試料部入りポットを試料部把持装置とともに吊り上げ、胴体内部に収容するキャスク状の密閉容器であり、仮設ピット蓋上に設置される。胴体は、炭素鋼で330mmの遮へい厚さを有し、内部には収容後に固化したポット内ナトリウムを溶融するためのヒータを設けている。

(3) UCS撤去孔プラグ、ガイドスリーブなど

本装置は、原子炉容器との遮へいとカバーガスバウンダリを維持しつつ、炉内へのアクセスルートを形成するものであり、試料部把持装置+ガイド管は、UCS撤去孔プラグ部に挿入して吊り下げられる。その状態で、把持機構やパンタグラフ機構の操作部は回転プラグ上のガイドスリーブ内に位置する。ガイドスリーブは、グローブボックス構造となっており、グローブを介して操作部（操作ハンドルなど）の操作を行う。

(4) 炉内作業監視装置（ファイバスcope）

本装置は、回転プラグ上の別の貫通孔から挿入し、炉内における試料部把持装置+ガイド管による回収作業（ポットつかみなど）を監視するものである。ファイバスcopeは、JAEAが耐放射線性向上を目的に開発したものを使用している。

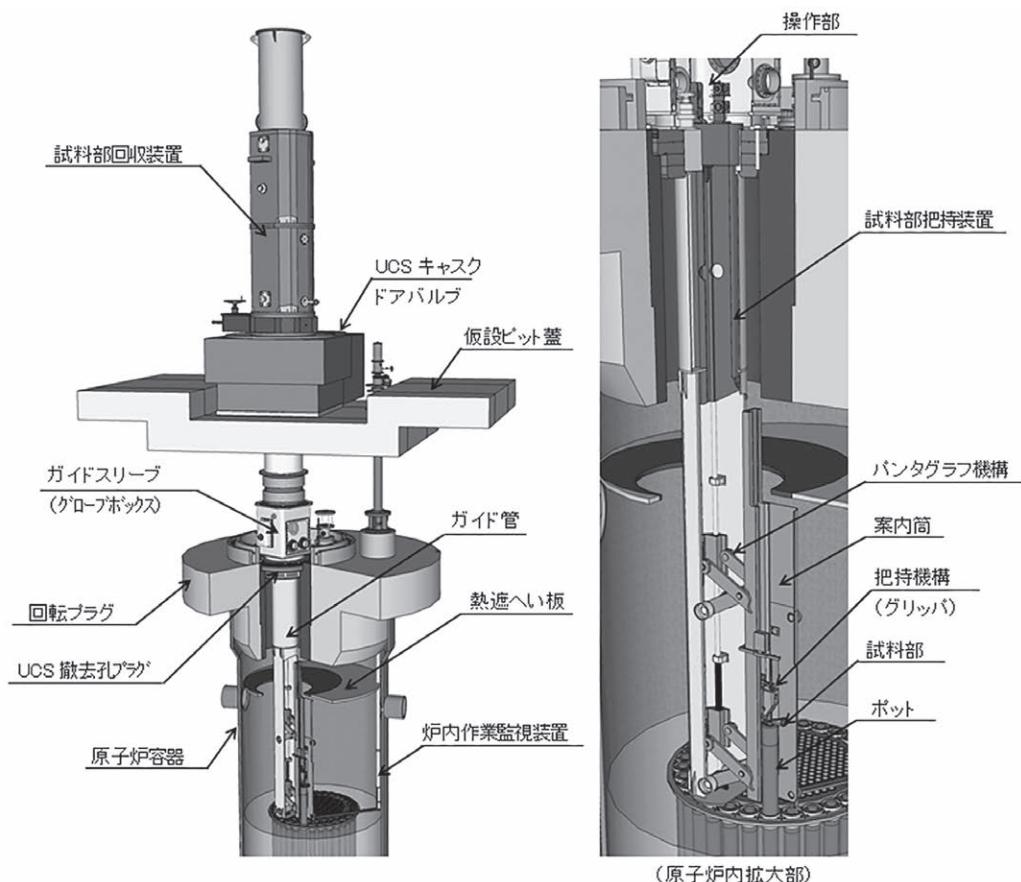


図2 回収装置の全体構成

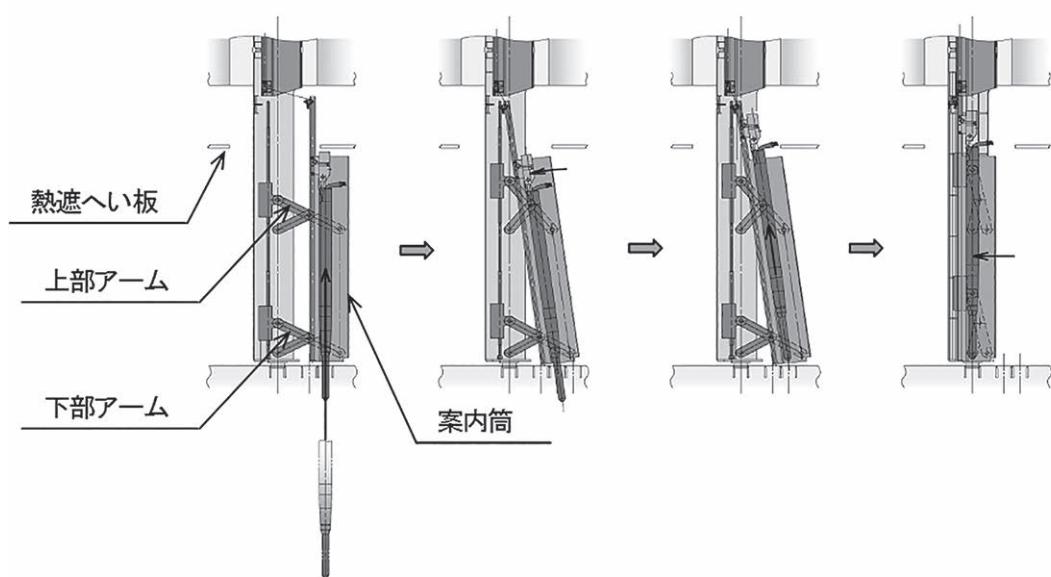


図3 ポットの吊り上げ手順

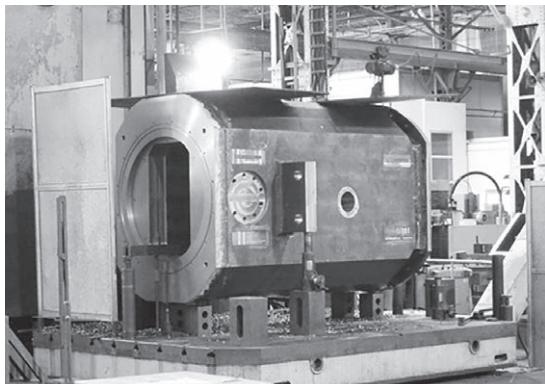


写真1 試料部回収装置の遮へい体（加工中）



写真4 炉内作業監視装置の収納管（組立中）

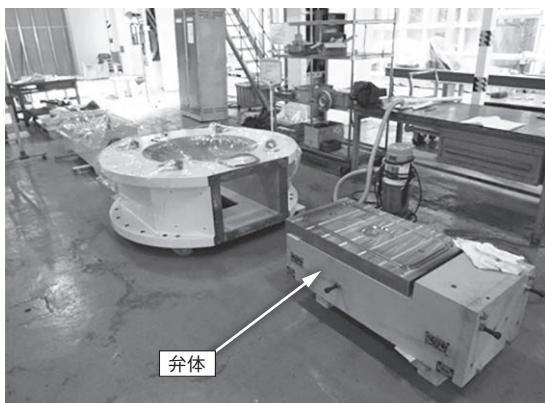


写真2 試料部回収装置のドアバルブ（組立中）



写真5 試験状況全体（原子炉上部・内部の模擬）

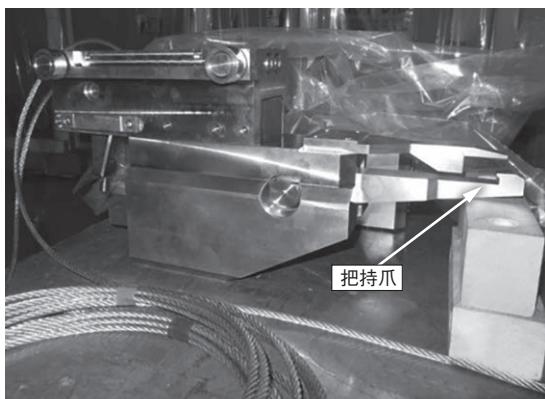


写真3 試料部把持装置の把持機構（組立中）

4. 回収装置の製作

4.1. 工場製作

回収装置は、富士電機川崎工場において、2013年3月までに主要な材料を調達し、同4月から本格的な製作（製缶、機械加工、組立など）を開始

した（写真1～4）。

製作にあたっては、工程厳守の観点から、致命的な不具合を絶対に起こさないよう、回収作業全体を網羅した全装置組合せ状態の基本設計図および装置間の取合条件書を作成、整備した上で、各装置の担当者に展開して製作設計（製作図の作成）を推進した。製作設計では、装置毎の製作DR（設計レビュー）や装置製作図の担当者間の相互チェックを実施した。

また、工程が製作に比重が移った段階では設計



写真6 炉内作業監視装置の屈折アーム（試験中）

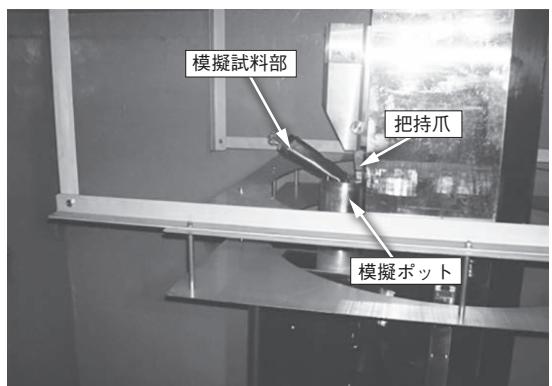


写真8 ポットつかみ試験



写真7 ガイド管のパンタグラフ機構（試験中）

員を製造部門へ派遣するなど、設計部門、製造部門、品証部門が一体となって取り組んだ。製作の進捗状況は、最低毎月1回行うプロジェクト会議などを通じて漏れなくフォローした。

4.2. 工場での実機模擬試験

2014年1月末までに全装置の製作を完了し、同1月末から3月中旬にかけて実機模擬試験を実施した。実機模擬試験では、原子炉の下部から装置上端までの全高約24mを架台やピットで模擬した。装置単体の調整、試験はもちろん、現地回収作業の通常手順、異常時の対応に係る操作試験を行い、設計どおり装置が性能を発揮することを確認した（写真5～8）。

また、実機模擬試験中は、JAEA担当課も富士電機川崎工場に常駐し、富士電機試験部隊と連携して試験に取り組み、現地作業に向けて技術移管や操作訓練も行った。

一方、試験期間中（2月中旬～末）には、下記



写真9 ガイド管取扱装置の炉上部設置

（試料部把持装置などを収容した状態）

の多くの関係者の観察を受け入れ、実機の模擬状態を直接見て装置の特徴などを理解頂くとともに、富士電機とJAEA担当課が一体となって取り組んでいる姿勢をご覧頂いた。現地回収作業に対して安心頂くとともに、貴重なアドバイスも頂いた。

- ① JAEA理事長の観察
- ② JAEA副理事長の観察
- ③ 日仏米高速炉専門家の観察
- ④ 「常陽」干渉物対策アドバイザリー会合委員の観察

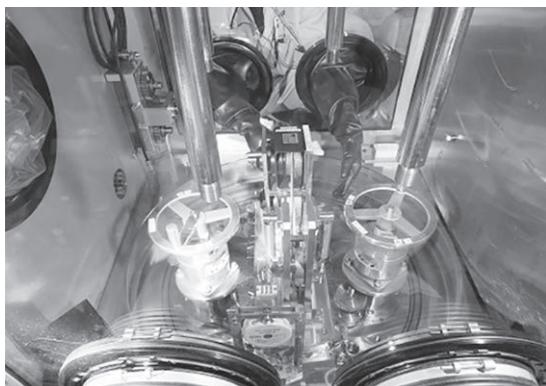


写真 10 試料部把持装置などの操作部 (ガイドスリーブ内)
(試料部把持装置などの炉内挿入状態)



写真 11 試料部回収装置の移動
(試料部などを収容した状態)

⑤ JAEA大洗研究開発センター関係者の観察

5. 現地回収作業

「常陽」現地での回収作業にあたっては、作業を細かく区切って視覚的に分かりやすくした作業手順図を作成した上で、要領書のDR、作業者を含めた要領書の読合せ会やリスクアセスメントを実施し、安全確保と誤作業防止に努めた。

作業は、2014年6月上旬の「UCS引抜き」の完了に引き続いて、富士電機とJAEAが協同して開始した。

初期の炉内試験において炉内作業監視装置のファイバースコープに画像不調が発生し、この補修のために当初の工程に対して約2ヶ月の遅れが生じたが、それ以外の作業は総じて計画どおり進めることができた(写真9～11)。試料部の炉内からの回収は同年9月26日に成功し、その後の搬出作業などを経て、10月末には「新UCS装荷」作業側に炉上部の現場を引き渡すことができた。

6. まとめ

「常陽」において2007年に発生した試料部の炉内滞留に対して、困難な制約や条件の下、適切な回収作業作画を構築し、それに適合させた回収装置の設計、製作を実施した。

現地の回収作業では、回収装置は所期の性能を發揮し、2014年9月に試料部の回収に成功することができた。

参考文献

- 1) 芦田他、日本原子力学会「2015年春の年会」G11

SYNOPSIS

Kazuhiro Koga, Norikazu Oohara, Hiroichi Ino, Katsumi Kondo, Hideaki Ito, Takashi Ashida, Toshiyuki Nakamura

Experimental Fast Reactor “Joyo”

Retrieval for the Bent MARICO-2 Test Subassembly Using Remote Control Devices

FAPIG No. 190 pp.X ~ X (2015)

In the experimental fast reactor “Joyo”, the incident that the MARICO-2 test subassembly was bent in the reactor vessel occurred in 2007.

Fuji Electric has designed and manufactured the devices to retrieve the bent MARICO-2 test subassembly. Then, Fuji Electric and Japan Atomic Energy Agency have jointly accomplished retrieval works for the bent MARICO-2 test subassembly using remote control devices in “Joyo” in September, 2014.

This manuscript introduces the outline of design and manufacture of the MARICO-2 retrieval devices, and retrieval works in “Joyo”.

KEYWORDS : fast reactor, Joyo, MARICO-2, test subassembly, retrieval works
