

高速増殖原型炉もんじゅ
燃料交換片付け作業中における
炉内中継装置の落下について
(中間報告)

平成 22 年 10 月 1 日

独立行政法人日本原子力研究開発機構

目次

1. 件名	1
2. 日時	1
3. 場所	1
4. 事象発生概要	1
5. 主な時系列	1
6. 環境への影響	2
7. 設備概要	2
8. 対応方針及び体制	3
9. 原因調査	5
9.1 要因分析と調査計画	5
9.1.1 要因分析	5
9.1.2 調査計画	6
9.2 調査結果	7
9.2.1 AHMグリッパの外観調査結果(現地)	7
9.2.2 AHMグリッパの分解調査結果(現地)	8
9.2.3 AHMグリッパの分解調査結果(工場)	10
9.2.4 IVTMの調査・点検結果	11
9.2.5 AHMグリッパ昇降荷重データトレンド評価	13
9.3 運転・保守管理の状況	15
9.3.1 AHMの保守管理	15
9.3.2 AHM移動・据付作業	16
9.3.3 運転操作手順	16
9.4 事象の評価	16
9.4.1 爪開閉ロッドの回転事象に係る考察	16
9.4.2 IVTM本体落下事象推定シーケンス	18
10. IVTM本体落下の直接原因	20
11. 落下防止対策	21
11.1 AHMの対策内容	21
11.2 対策の検証	22
12. 影響評価	23
12.1 健全性確認の考え方	23
12.2 IVTM本体と固定プラグの構造強度評価	23
12.2.1 概要	23
12.2.2 荷重伝達経路	24
12.2.3 評価方法	24
12.2.4 評価結果	26
12.2.5 しゃへいプラグ及び原子炉容器への影響	26

12.3 下部ガイドの健全性.....	27
12.4 結論.....	28
13. 類似機器の確認.....	28
14. IVTM本体の引き抜き.....	29
15. 通報連絡遅れの経緯について.....	30
16. まとめ.....	31
17. 今後の予定.....	33

1. 件名

高速増殖原型炉もんじゅ 燃料交換片付け作業中における炉内中継装置の落下について

2. 日時

平成22年8月26日 14時48分頃

3. 場所

日本原子力研究開発機構 敦賀本部 高速増殖炉研究開発センター
高速増殖原型炉もんじゅ 原子炉建物 運転床(R-501)

4. 事象発生概要

(1) 発生状況

高速増殖原型炉もんじゅは、平成22年8月11日から17日の期間で燃料交換を行い、その後、8月18日から燃料交換の後片付け作業を実施していた。

8月26日14時48分頃、燃料交換後の後片付け作業として、原子炉機器輸送ケーシング(以下「AHM」*¹という。)を用い、炉内中継装置(以下「IVTM」*²という。)本体の頂部を掴んで吊り上げ、原子炉容器内から取り出す作業を行っていたところ、約2m吊り上げた時点で吊り荷重が急減し、その直後に衝突音を確認した。その後、吊り荷重の急減は、IVTM本体が落下したことによるものと判明した。

その後の調査において、AHMつかみ装置(以下「AHMグリッパ」という。)の爪を開くための開閉ロッド(以下「爪開閉ロッド」という。)が正しい位置から約90°回転していたこと、AHMグリッパの爪(以下「グリッパ爪」という。)にずれ痕を確認したことなどから、グリッパ爪が正常に開かなかったことによって、グリッパ爪がIVTM本体の頂部に十分に引っかからず、落下したものと推定した。

*1:AHM:Auxiliary Handling Machine

炉内中継装置(IVTM)等を炉内に挿入あるいは炉外に搬出する際に使用する輸送容器

*2:IVTM:In-Vessel Transfer Machine

燃料交換時に炉心と燃料出入設備との間で炉心構成要素を移送する燃料交換設備の構成機器の一つ

(2) 事象発生時のプラント状況

- ① 原子炉:停止中
- ② 1次主冷却系統:A~C ループポンプモータ運転中
- ③ 2次主冷却系統:A~C ループポンプモータ運転中
- ④ メンテナンス冷却系:1次・2次メンテナンス冷却系待機状態

5. 主な時系列

8月26日

14時00分頃 AHMによるIVTM本体の取り外し作業(吊り上げ作業)を開始

14 時 26 分頃 AHMグリッパ下降開始(グリッパのみの荷重 約 5,000N)
14 時 35 分頃 AHMグリッパ着座確認(「挿入完了位置」ランプ点灯確認)
14 時 37 分頃 AHMグリッパによりIVTM本体のつかみ操作(「つかみ」ランプ点灯確認)
14 時 40 分頃 AHMグリッパ上昇開始【グリッパ荷重+IVTM本体荷重(約 37,800N)】
14 時 48 分頃 原子炉容器内より約 2m吊り上げたところで、グリッパ吊り荷重が約 5,000N まで急減し衝突音を確認。AHMの現場操作盤にて「荷重超過(低)警報発報。

8 月 27 日

4 時 30 分頃 AHMグリッパを床ドアバルブ上部へ移動(巻上開始)
8 時 28 分 燃料出入孔ドアバルブの閉止
9 時 22 分 原子炉容器カバーガス圧力の降圧操作開始
10 時 33 分 原子炉容器カバーガス圧力の降圧操作終了
14 時 14 分 原子炉容器カバーガス圧力の降圧解除

8 月 29 日

AHMグリッパの外観調査の実施
(爪開閉ロッドが約 90° 回転していることを確認)

8 月 30 日～9 月 1 日

IVTM本体の頂部を観察
(IVTM本体の頂部にすり傷を確認、IVTM本体が正規の位置にあることを確認)

9 月 2～3 日

AHMグリッパの点検の実施
(2 つあるグリッパ爪のうち、片方のグリッパ爪にずれ痕を確認)
(U字金具の締め付け部の緩みを確認)

9 月 4 日

グリッパ爪、爪開閉ロッド等の詳細調査のため工場搬送

9 月 10～11 日

IVTM本体の頂部を詳細観察
(IVTM本体のハンドリングヘッド部内側垂直面においてすり痕を確認)

6. 環境への影響

本事象に伴う外部への放射性物質の影響はなかった。本事象において、原子炉容器内ナトリウム液位にわずかな変化が見られたが、カバーガス圧力、1 次主冷却系ナトリウム流量等に変化はなく、放射線モニタ類の指示値に異常のないことを確認した(図 6-1～図 6-7 参照)。

7. 設備概要

IVTMは、燃料交換時に燃料交換装置(FHM: Fuel Handling Machine)と燃料出入装置の

間で炉心構成要素を受け渡すための装置である。この装置は回転ラックを有しており、2体の燃料移送ポットをFHMと燃料出入装置との取合い位置に交互に位置決めする。

IVTMは、しゃへいプラグ側に燃料出入孔スリーブと上部案内筒を有しており、その内部にIVTM本体が支持され、炉内構造物の上部支持板に設けられた下部ガイドでIVTM本体の下端が振れ止めされる。

IVTM本体は、AHMを用いて原子炉容器に装荷される。AHMは、AHMグリッパでIVTM本体をつかんでAHM胴体の中に吊り上げ収納する。そのため、IVTM本体の頂部には、AHMグリッパと取り合うためのハンドリングヘッドが設けられている。燃料交換設備、IVTM、AHMの概念図を図7-1、図7-2に、IVTMを図7-3、図7-4に示す。

AHMは、IVTM以外にFHM、ナトリウム透視装置(USV: Under Sodium Viewer)等を取り扱うが、各装置のハンドリングヘッド形状が異なるため、爪開閉ロッドの位置を上下に移動させてグリッパ爪を所定の位置で開閉させる。爪開閉ロッドの上下位置決めはパワーシリンダで行う。爪開閉ロッドはパワーシリンダロッドにU字金具により接続されている。AHMの構造図を図7-5に、IVTM取扱い状態図を図7-6に示す。AHMグリッパの構造図を図7-7～図7-9に示す。

IVTM本体及びFHM本体は、通常、メンテナンス・廃棄物処理建物(以下「M/B」という。)内の機器置場に保管されている。燃料交換準備作業では、IVTM本体、FHM本体の順番でM/Bから搬出され、IVTM本体は燃料出入孔へ、FHM本体は燃料交換孔へそれぞれ据付けられる。そして燃料交換が完了した後の片付け作業では、FHM本体、IVTM本体の順番でそれぞれの据付位置からM/B内置場へ搬出される。

8. 対応方針及び体制

IVTM本体落下の対応は、落下原因の調査と落下防止対策を実施した上で、IVTM本体を原子炉容器から引き抜き、その後、設備への影響評価を実施するという手順を踏むこととする。IVTM本体の引き抜きまで及びその後の設備への影響評価において確認すべき事項は、次のとおりである。

(1) IVTM本体の引き抜きまでに確認すべき事項

IVTM本体を原子炉容器から引き抜くため、以下の基準を満足することを確認する。

① IVTM本体がAHMで吊り上げ可能であること。

a. IVTM本体頂部(ハンドリングヘッド)に有害な欠け、変形、割れがないこと。

⇒CCDカメラ等による観察

b. 落下の直接原因が究明され、落下防止対策が完了していること。

⇒AHMグリッパの外観調査、分解調査

⇒落下防止対策の実施

② IVTM本体が正常な据付状態にあること。

a. IVTM本体頂部が正規の据付位置(レベル)にあること。

⇒レーザ距離計による測定、回転ラック駆動軸の接続確認

b. 据付部が衝撃力に耐え、損傷していないこと。

⇒据付部の応力評価

③ 下部ガイドとの干渉がないこと。

a. 回転ラックの旋回角度が基準位置(下部ガイド内側に収納された状態)にあること。

⇒CCDカメラ等による旋回角度指示目盛の確認

b. 引き抜きに支障となる下部ガイドの変形がないこと。

⇒IVTM本体との干渉量評価、IVTM本体の据付位置(レベル)

(2) 設備への影響評価において確認すべき事項

IVTM本体の引き抜き後、以下の要件を満足することを確認することにより、設備への影響評価を行う。

① IVTM本体が健全であること。

⇒IVTM本体の外観調査、分解調査

② 原子炉容器側の構造物が健全であること。

a. 上部案内筒内面、燃料出入孔スリーブ内面に変形がないこと。

⇒CCDカメラ等による観察

b. IVTM本体の外観調査により下部ガイドと衝突したと評価した場合。

a) 下部ガイドが健全であること。

⇒IVTM本体の外観調査(下端部)、下部ガイドの応力評価。

下部ガイドの観察(観察が必要と評価した場合)

b) 上部支持板が健全であること。

⇒上部支持板の応力評価

③ しゃへいプラグが健全であること。

⇒IVTM本体据付部への衝撃力による影響評価

④ ルースパーツ(脱落部品)がないこと。

⇒IVTM本体の外観調査、分解調査。上部案内筒内面、燃料出入孔スリーブ内面の観察。下部ガイドの観察(観察が必要と評価した場合)

本報告書は、「(1) IVTM本体の引き抜きまでに確認すべき事項」に関する調査及び評価を取りまとめたものである。これらの調査項目に係る工程を図 8-1 に示す。

今回の事象に対しては、高速増殖炉研究開発センター副所長を総括責任者として、原因究明班、状況確認班、設備影響評価班などを設置し、同センター、次世代原子カシシステム研究開発部門及び大洗研究開発センター高速実験炉部のメンバーからなる特別な対応体制をとることとした。

9. 原因調査

9.1 要因分析と調査計画

9.1.1 要因分析

IVTM本体の吊り荷重が急減する事象が発生したことから、表 9.1.1-1 に示す要因分析表を作成し、調査項目を明確にした。

表 9.1.1-1 の「吊り荷重急減」事象で抽出した要因のうち、今回の要因である可能性のあるもの及び調査中の項目として以下があげられる。

「爪開閉ロッドの回転」については、CCDカメラを用いたAHMグリッパの外観調査の結果、爪開閉ロッドの向きが変わっており、直接原因であることが判明したことから、「爪開閉ロッドの回転」に着目した要因分析を実施した。表 9.1.1-2 に「爪開閉ロッドの回転」の要因分析結果を示す。

表 9.1.1-2 の「爪開閉ロッド回転」事象で抽出された要因のうち、パワーシリンダのU字金具の緩みを確認しており、更にその要因として以下の①～⑥の 6 項目について、調査を継続している。

① メーカー標準仕様の認識不足

U字金具の締付け管理方法が明確でなかったことが推定されるため、元請メーカー発注仕様及びパワーシリンダメーカー(購入品メーカー)の取扱説明書内容を調査中である。

② 購入品メーカーでの組立時の締め込み不足

購入品メーカーでのU字金具組立時のねじ締め込み不足が推定されるため、購入品メーカーでの組立手順、管理方法を調査中である。

③ 現地組立時の取付不良

パワーシリンダロッドとU字金具の取付方法によって、U字金具の締付け状態が変わるため、現地での組立手順、施工管理について調査中である。

④ ワッシャの経年劣化

U字金具の固定に使用していたワッシャ(ニトリルゴム)の経年劣化の可能性を確認するため、外観・寸法、硬さ等の調査を行うとともに、ワッシャの使用条件による影響を調査中である。

⑤ 左右のグリッパ爪のアンバランス接触による緩み発生

左右のグリッパ爪が爪開閉ロッドにアンバランスに接触した場合、つかみ・はなしの繰り返し等でねじが緩むことが推定される。爪開閉ロッドのφ90 円筒面に複数の接触痕が確認されており、調査中である。

⑥ 移送時などの振動による緩み発生

AHMの移送時及びAHMグリッパ巻き上げ巻き下げ時などの振動により緩みが発生することが推定されるため、振動の影響について調査中である。

これらの項目については、AHMグリッパの設計管理、パワーシリンダの調達管理、パワーシリンダの製作・施工及びAHMの保守管理に関連するものであり、U字金具のねじが緩んだ根本的な原因を究明するため、要因である可能性を明らかにする必要がある。

今後、U字金具のねじの緩みに関する再現試験を行うとともに、これらの調査を継続していく。

9.1.2 調査計画

吊り荷重急減の要因分析で抽出された要因の検証と機器の健全性確認を目的として調査計画を立案した。調査はAHMとIVTM本体を対象に実施するものとし、工程は現場状況、プラント系統状態を考慮した。以下に調査内容詳細を記載する。また調査項目一覧を表 9.1.2-1 に、調査工程を表 9.1.2-2 に示す。

(1) AHMグリッパの調査

AHMグリッパの各構成部品の状態観察、寸法計測等による要因の検証を目的として以下の調査を実施する。

① 外観調査(現地)

- a. AHMグリッパをAHM点検孔付近まで降下させ、点検孔よりCCDカメラを挿入しAHMグリッパ各部の状態を観察する。なお本作業は燃料出入孔ドアバルブを「全閉」とし炉側と隔離し、AHM内はアルゴンガス雰囲気のため、点検孔においてはプラバグを使用して実施する。
- b. AHMを炉上部から取り外しM/Bに移送後、機器試験ピットに据付け、AHMグリッパの外観調査を実施する。

② 分解調査(現地)

上記外観調査を実施した後、AHMグリッパを分解して各構成部品の状態を確認し、寸法測定等を実施する。

③ 分解調査(工場)

グリッパ爪、爪開閉ロッド等を工場に持帰り 3次元計測等により詳細な寸法測定の実施並びにAHMグリッパに組み込んだ場合のリミットスイッチの位置を確認する。また、グリッパ爪(270°側)のずれ痕(メクレ)についての寸法測定と表面観察により、定量的な評価を行うとともに、ワッシャの外観や寸法等を確認し、経年劣化を確認する。

④ AHMグリッパ昇降荷重データトレンド評価

荷重データトレンドを分析し、問題なかった前回(平成21年7月21日)、前々回(平成20年3月26日)時のデータとの比較も含めて評価する。

⑤ 購入品メーカーのプロセス確認(ヒアリング)

パワーシリンダメーカー(購入品メーカー)のヒアリングを行い、当該品購入時のU字金具の締め込み不足の有無を確認する。

⑥ 元請メーカーのプロセス確認

現地組立時の管理不足、現地での組立手順、設計管理及び調達管理状況などについて確認する。

⑦ 再現試験

実機AHMの振動測定を行い、振動の状況を把握したうえ、ワッシャの締め込み状態や劣化状態等を変化させた振動試験を行い、U字金具のねじの緩みが発生する条

件を再現試験で確認する。

(2) IVTMの調査・点検

落下したIVTM本体等の設備の状態観察及び着座位置、着座状態の確認による要因の検証と機器の健全性確認を目的として以下の調査・点検を実施する。

① 外観調査

- a. AHMを取り外した後、点検窓付きフランジを燃料出入孔接続筒上に設置し、目視及び写真撮影等によりIVTM本体等の設備の状態観察及び着座位置、着座状態の確認を行う。また、プラバックを設置して内部にファイバースコープを挿入し各部の状態観察を実施する。
- b. ハンドリングヘッド付近について更に詳細な状態確認を実施するため、ペリスコープタイプCCDカメラを準備・製作し状態観察を行う。

② レーザ距離計による位置確認

レーザ距離計により点検窓(アクリル)からIVTM本体までの距離計測を行い、着座位置及び着座状態(水平度)の確認を実施する。

③ 回転ラック駆動装置駆動軸の挿入確認

IVTM本体と回転ラック駆動軸の接続操作を行い、IVTM本体が正規の位置に着座していることを確認する。

④ IVTM本体の引き抜き後の点検

IVTM本体を引き抜いた後、IVTM本体全体の外観調査を行い、各部の状態確認を行う。特に、落下時に衝撃力が加わる据付フランジ部及び下部ガイドと接触する下端部については、詳細に観察する。また、外観調査に引き続き分解調査を行い、IVTM本体の内部部品の脱落や損傷の有無を確認する。

9.2 調査結果

9.2.1 AHMグリッパの外観調査結果(現地)

事象発生後のAHMグリッパの状況を確認する初期調査として、グリッパ爪の折損や傷等の有無、グリッパ爪の開閉具合を確認するため、AHMが燃料出入孔用接続筒上に据付けられた状態で、AHMDアバルブを閉じた後にグリッパを手動でグリッパ昇降位置ストローク 13300mm 位置まで巻上げ、プラバック作業にてAHMDアバルブ点検孔(φ 20mm)からCCDカメラを挿入し外観を調査した。外観確認方法及び調査箇所を図 9.2.1-1 に示す。その結果、図 9.2.1-2～図 9.2.1-4 に示すようにその映像から次の点を確認した。

- ① 90° 側及び 270° 側の両グリッパ爪について、見える範囲では異常は確認できなかった。
- ② 爪開閉ロッドが正常な位置に対して約 90° 回転していた。

9.2.2 AHMグリッパの分解調査結果(現地)

(1) 概要

爪開閉ロッドが約 90° 回転した原因を特定するため、AHMをM/B内の機器試験ピットに移送し、AHMグリッパ分解調査を実施した。調査の結果、爪開閉ロッドが正常な位置から約 90° 回転した状態であることを確認した。また、爪開閉ロッドとパワーシリンダを接続するU字金具のねじが締まる方向へ手回しで 90° 回すことが可能であることを確認した。

一方、グリッパ爪状態を確認した結果、内づかみ爪のうち 270° 方向の爪先端部の引っかかり部にずれ痕を確認した。また、90° 方向のグリッパ爪においては、ずれ痕は認められないものの、グリッパ爪の側面にすり傷を確認した。

以下にAHMグリッパ分解調査の内容と結果の詳細を示す。

(2) 分解調査内容

分解調査は、図 9.2.2(2)-1 に示す分解前状態確認を実施後、グリッパハウジングを図 9.2.2(2)-2 に示す状態に取り外し、爪開閉ロッドとパワーシリンダの接合状態の確認を実施した。

(3) 分解調査結果

AHMグリッパの構成部品を図 9.2.2(3)-1 に示す。

① 外観調査

a. 爪開閉ロッドの外観調査

図 9.2.2(3)-2 に示す爪開閉ロッドの外観を調査した。グリッパハウジング(下部)より見た爪開閉ロッドの状態を図 9.2.2(3)-3 に示す。本図のとおり爪開閉ロッドが正常な位置から約 90° 回転している状態を確認した。

b. グリッパ爪の外観調査

図 9.2.2(3)-4 に示す内づかみ爪の外観を調査した。内づかみ爪の外観を図 9.2.2(3)-5 及び図 9.2.2(3)-6 にそれぞれ示す。調査の結果、270° 方向のグリッパ爪には、先端の引っかかり部にIVTM本体がグリッパ爪上からずれ落ちた過程で付いたと考えられるずれ痕を確認した。一方、90° 方向のグリッパ爪には、ずれ痕はなかったが、グリッパ爪側面にすり傷を確認した。

c. グリッパハウジングの外観調査

グリッパハウジングの上部を取り外し、ハウジング全面の外観を調査した。図 9.2.2(3)-7 に示すように、グリッパハウジングの 270° 方向上端外周部において上部案内筒内面と接触した痕跡が確認されるとともに、AHMグリッパが引き上げられて上部案内筒上端部を通過する際に接触したと思われる幅 15mm、長さ 110mm の擦ったような傷痕を確認した。

d. 爪開閉ロッドの回転状況の確認

270° 方向において爪開閉ロッドガイドブッシュと爪開閉ロッドにケガキを記した後、爪開閉ロッドの下部を素手でU字金具をパワーシリンダ駆動軸に締め付ける方向(下面から見て時計周り)に回転させたところ、爪開閉ロッドが素手で軽く回せる状態に

あった(図 9.2.2(3)-8 参照)。

② 各部の寸法測定

a. 爪開閉ロッドの回転角度

グリッパ爪支持板と爪開閉ロッドの相対的な位置関係を把握するため、図 9.2.2(3)-9 に示す箇所寸法の測定を実施した。表 9.2.2(3)-1 に示す測定結果から爪開閉ロッドの回転角度を算出したところ、正常な位置より約 90° 回転していることを確認した(図 9.2.2(3)-10,11 参照)。

b. 内づかみ爪位置(開き幅)、爪開閉ロッド位置(グリッパ爪支持板下端からの爪開閉ロッド位置)

寸法測定箇所を図 9.2.2(3)-12 及び図 9.2.2(3)-13 に、結果を表 9.2.2(3)-2 に示す。内づかみ爪の開き幅は、公称値(510mm)に対し約 33mm 少ない 477.03mm であった。爪開閉ロッドは、グリッパ爪支持板下端から 316mm の位置、公称値(314.5mm)に近い位置にあった。よって、爪開閉ロッドは正常に駆動したが、爪開閉ロッドが回転していたことによって正常にグリッパ爪が開閉できる状態になかった。IVTM本体のハンドリングヘッド内径 430mm に対して、爪開閉ロッド押付け時の爪開き幅が 440.47mm であるため、片グリッパ爪に約 5mm 引っかかる状態(爪開閉ロッドが中心位置にある場合)にあったと推定される。

c. AHMグリッパ傾き量

グリッパハウジング頂部から下げ振りを 2 箇所(P、Q)から吊り降ろし、図 9.2.2(3)-14 及び図 9.2.2(3)-15 に示す寸法を測定した結果、表 9.2.2(3)-3 及び図 9.2.2(3)-16 に示すように、AHMグリッパ傾き量を算出したところ、垂直に保持されていることを確認した。

d. グリッパ爪支持板先端とグリッパ爪との隙間測定

寸法測定箇所を図 9.2.2(3)-17 及び図 9.2.2(3)-18 に、結果を表 9.2.2(3)-4 に示す。90° 方向と 270° 方向のグリッパ爪と、180° 方向のグリッパ爪支持板先端との隙間が、公称値(片側 2mm)に対してそれぞれ 0.5mm 大きいことを確認した。また、270° 方向のグリッパ爪と 0° 方向のグリッパ爪支持板先端との隙間が、公称値(片側 2mm)に対して 0.5mm 小さいことを確認した。公称値に対して 0.5mm 異なるが、グリッパ爪開閉機能へ影響のある間隙ではない。

e. パワーシリンダの調査

爪開閉ロッドの動作にかかわる部位を図 9.2.2(3)-19 に示す。パワーシリンダの構成部品であるガイドバー、U字金具、連結ピンについて、変形等の異常の有無を確認した。

ガイドバー : 傷は確認されず、変形等の異常はなかった。

U字金具 : 脱落、変形はなく、パワーシリンダロッドにワッシャを介して取り付けられており、ねじの溶接取付部も異常はなかった。

連結ピン : 正常に取り付けられており、外観上異常はなかった。

外観調査に加えて、パワーシリンダロッドとワッシャの位置関係を確認するため、図

9.2.2(3)-20～図 9.2.2(3)-22 に示すように、爪開閉ロッドが 90° 回転した状態でパワーシリンダのロッド下端とU字金具上端との間の間隙を隙間ゲージで測定した結果、1.8mm(0° 方向)から 2.0mm(180° 方向)であり、同一仕様の新品ワッシャ厚さが 2.09mm(公称厚さ 2mm)であることから、ほとんど締め付けられていない状態であった。

9.2.3 AHMグリッパの分解調査結果(工場)

現地分解調査後、次に示すAHMグリッパ主要構成部品をメーカ工場で見学調査及び寸法測定等を詳細に行った。

- ① 爪開閉ロッド
- ② グリッパ爪(90° 側、270° 側)
- ③ 爪開閉ロッドガイドブッシュ
- ④ パワーシリンダ

各部品の調査結果を以下に示す。

(1) 爪開閉ロッド

外観調査の結果、ロッド先端の 90° 側、270° 側各々にIVTM本体のつかみ時及びFHM本体のつかみ時にグリッパ爪と接触する位置付近に複数個のロッド軸方向の接触痕を確認した(図 9.2.3(1)-1～6 及び添付資料 1(表.添付 1-3)参照)。接触痕のスケッチを図 9.2.3(1)-1 に、それらを角度表示したものを図 9.2.3(1)-2 に示す。また、0° 側、180° 側の先端部にも接触痕を確認した。

図 9.2.3(1)-1 の下部中央(正規位置)の接触痕が一番長いことから、長期にわたり、爪開閉ロッドは正規の角度に保持されていたものと推定される。一方、正規位置から緩み方向の円周に沿って、比較的短い痕跡が続いており、一旦爪開閉ロッドの回転が始まれば少ないつかみ回数で回転が進行したものと推定される。

寸法測定の結果を添付資料 1(表.添付 1-1)に示す。その結果、爪開閉ロッド各部の寸法は、設計寸法どおりであり、異常は認められなかった。

(2) グリッパ爪

外観調査の結果を添付資料 1(表.添付 1-4)に示す。90° 側のグリッパ爪の側面にすり傷を確認した。

270° 側のグリッパ爪先端のずれ痕(メクレ)を確認した。また、グリッパ爪先端引っかけ部の上面には、両端からそれぞれ約 20mm の範囲にスジ状の接触痕を確認した。なお、中央部にはこのような接触痕はなく、両端部がより低くなっていたが、ずれ痕(メクレ)の欠け落ちは認められなかった。

3次元測定器による寸法測定の結果を添付資料 1(表.添付 1-2)に示す。グリッパ爪各部の寸法は、90° 側、270° 側ともに設計寸法どおりであった。

メクレ部の欠損がないことを外観調査・寸法計測及び 3Dレーザスキャンによる欠損体積の算出により確認した(添付資料 1(図.添付 1-6)参照)。その結果、2箇所メクレ部ともに、メクレにより分離している部位の長さ及び形状は母材とほぼ一致した。また、3

Dレーザスキャンの測定データから 3DCADを用いて算出したメクレ部の体積と母材側のメクレ部相当部位に仮想面を形成して算出した体積を比較しところ、2 箇所メクレ部ともに、両者の体積に差異はなかった。したがって、メクレ部で欠損がないことが確認されたため、メクレ部のルースパーツ(脱落部品)はないと判断した。

(3) 爪開閉ロッドガイドブッシュ

外観調査の結果を添付資料 1(表. 添付 1-5)に示す。爪開閉ロッドの上下動機能を阻害するような異常は認められなかった。

(4) パワーシリンダ

外観調査の結果を図 9.2.3(4)に示す。パワーシリンダのリミットスイッチ取付状態に異常はなく、軸駆動部の分解調査の結果パワーシリンダロッドの回転部にも異常は認められなかった。

リミットスイッチ動作確認については、添付資料 1(図. 添付 1-1)に示すとおり、すべてのリミットスイッチは、異常なく動作した。

9.2.4 IVTMの調査・点検結果

(1) IVTMの外観調査

落下したIVTM本体の変形等の有無、落下後の状態を把握し今後のIVTM本体の引き抜き作業への影響を調査するため、IVTM本体上部ハンドリングヘッドの外観調査、IVTM本体の着座位置の確認、及び上部案内筒内面等の観察を行った。観察箇所を図 9.2.4(1)-1 に示す。

炉内観察用フランジ(点検窓付き)を燃料出入孔用接続筒の上面に設置し、炉内観察用フランジの点検孔からファイバースコープを挿入し、IVTM本体ハンドリングヘッド、上部案内筒内面及び上部案内筒ガイドキーを観察した。また、炉内観察用フランジの点検窓を取り外し、CCDカメラを設置して内部の撮影を行った。

① IVTM本体のハンドリングヘッド

炉内観察用フランジに設けた点検窓から目視観察した結果を図 9.2.4(1)-2 に示す。ハンドリングヘッド内側に欠け、変形等の異常はなかった。ファイバースコープによる観察では、ハンドリングヘッドテーパ部に図 9.2.4(1)-3 に示すような線状のすり傷を確認したが、欠け、変形等の異常はなかった。

また、今回の事象発生後に実施したAHMグリッパ点検において、グリッパ爪にずれ痕や傷を確認したことから、その相手側となるIVTM本体のハンドリングヘッド部についても、その痕跡をより詳細に把握することを目的に図 9.2.4(1)-4 に示す要領でCCDカメラによる観察を実施した。その結果、AHMグリッパ爪が勘合する 270° 及び 90° 方位に図 9.2.4(1)-5 及び図 9.2.4(1)-6 に示すすり痕が確認された。

a. 270° 方位

内側垂直面下側の幅 15mm程度のすり痕が 2 箇所あり、すり痕の両端はグリッパの爪幅に相当するものであることが確認された。

内側下面にすり痕は認められなかった。

b. 90° 方位

内側垂直面の下側半分に、グリッパの爪幅に相当する範囲で、細かい縦筋状のすり痕が確認された。

内側下面にすり痕は認められなかった。

IVTM本体の頂部には、差動型インデックス(回転ラックの旋回角度を示す角度指示計)が設置されている。その強化ガラスには割れなどの損傷はなく、角度指示計は健全なものと判断した。その指示値による換算値が -0.05° であったことから、回転ラックが下部ガイド内側に収納された状態の角度範囲内($0.0 \pm 1.2^\circ$)にあるものと判断した(図 9.2.4(1)-7 参照)。したがって、IVTM本体を吊り上げる際に、回転ラックが下部ガイドと干渉することはないと考えられる。

② 上部案内筒内面

炉内観察用フランジに設けた点検窓から目視観察した結果、 $180^\circ \sim 225^\circ$ の方向下部に円周方向に複数の白い筋を確認した(図 9.2.4(1)-8 参照)。但し、その後のCCDカメラによる観察結果からは、同様の筋等は確認できなかった。また、ほぼ 270° 側上部にドアバルブ下面から下方に伸びている長さ約 1.7m のガイドキーよりやや細い帯状の白い筋を確認した(図 9.2.4(1)-9 参照)。この白い筋は、その下端がIVTM本体ハンドリングヘッドの上方約 860mm にあり、吊り始めのグリッパハウジング上端の位置とほぼ一致するため、今回IVTM本体を引き上げた際に、グリッパハウジングと内筒が接触したことにより生じたものと推定される。

③ 上部案内筒ガイドキー

上部案内筒内に円周方向4箇所にガイドキーが配置されており、そのうち 135° 方向のガイドキーには、上部案内筒中間部からIVTM本体ハンドリングヘッドまで白い跡が続いている箇所を確認したが、ファイバースコープによる近接撮影では、大きな変形、欠損はなかった。また、図 9.2.4(1)-10、図 9.2.4(1)-11 に示す取り付けボルト穴とIVTM本体ハンドリングヘッドの位置関係から、正常な位置にIVTM本体が着座していることを確認した。

(2) レーザ距離計による着座位置確認

① 測定方法

IVTM本体の着座位置を確認するために、次の測定を実施した。

- a. 炉内観察用フランジ部の点検窓の亚克力板上にレーザ距離計を設置し、(A)部(ハンドリングヘッド下端)にレーザを照射し、亚克力板表面からの距離を同一の箇所で3回の測定を行った(図 9.2.4(2)-1 及び図 9.2.4(2)-2 参照)。
- b. 測定値をもとに亚克力の屈折率に基づく補正值 -23mm 、上部案内筒内部の雰囲気・温度に基づく補正值 -1mm を考慮して、測定値を -24mm 補正する。
- c. 評価方法としては、点検窓からIVTM本体までの計算値と比較する。また、各方位の測定値のばらつきからIVTM本体の位置・姿勢などについて評価する。

② 測定位置

レーザ距離計は点検窓の亚克力板の4方位(0°、90°、180°、270°)の縁から図示の(A)部(ハンドリングヘッド下端)を測定する(図 9.2.4(2)-2 参照)。

③ 測定結果

測定結果は、計算値(図面から求めた寸法)5275mm に対して、測定値(補正值)は5280mm であった。(表 9.2.4(2)-1 参照)

4方位での測定値(平均値)のばらつきは、最大 4.3mm であり、レーザ距離計の誤差 ±3mm を考慮すると、IVTM本体のハンドリングヘッドは水平にあり、所定の位置に着座しているものと推定できる。

(3) 回転ラック駆動装置駆動軸の挿入確認

点検窓からの観察及びレーザ測定結果から、IVTM本体はほぼ所定の位置に着座したと推定できたことから、IVTM本体と回転ラック駆動装置の駆動軸との接続確認を実施した。

IVTM本体と回転ラック駆動装置駆動軸との接続は、IVTM本体ハウジング内のロックギアに回転ラック駆動装置のフレックスカップリングを挿入することにより行われ、相互に約 3.5mm 偏芯しても位置決めされ、接続できる構造となっている。

接続操作を行った結果、通常のIVTM据付け時と同様に駆動軸が挿入され、正常に「接続」できたことをFHM補助盤の状態表示灯で確認できたことから、IVTM本体が所定の位置に着座しているものと判断した(図 9.2.4(3)-1 及び図 9.2.4(3)-2 参照)。

9.2.5 AHMグリッパ昇降荷重データトレンド評価

(1) AHMグリッパ昇降荷重トレンド比較

IVTM本体の落下が発生した平成 22 年 8 月 26 日のAHMグリッパ昇降荷重チャートを図 9.2.5-1 に示す。その比較対象として、前回(平成 21 年 7 月 21 日)、前々回(平成 20 年 3 月 26 日)に炉上部でIVTM本体を収納したAHMグリッパ昇降荷重チャート図 9.2.5-2 及び図 9.2.5-3 と比較し、その違いを検討した。

〔AHMグリッパ下降〕

上限位置からAHMグリッパ下降を開始し、AHMDアバルブ上でグリッパガイドが外れ、挿入完了位置に至るまでのAHMグリッパ昇降荷重トレンドを確認した結果、チャート上に有意な差は見られなかった。各ポイントの荷重値を表 9.2.5-1 に示す。

〔AHMグリッパ上昇〕

AHMグリッパ上昇時にはAHMグリッパ昇降荷重に相違があった。

図 9.2.5-1 に荷重変動位置及び予測昇降ストロークを追記したものを図 9.2.5-4 に示す。以下に荷重変動の評価を示す。

① 吊上げ開始直後の荷重変動

AHMグリッパ上昇時の荷重変動状況を図 9.2.5-1、図 9.2.5-2 及び図 9.2.5-3 に示す。更に、その拡大図を図 9.2.5-1(a)、図 9.2.5-2(b) 及び図 9.2.5-3(c)に示す。AHMグリッパ上昇開始からIVTMハンドリングヘッドをつかみ、荷重が増加し始めるまでの時間を

比較すると、今回は約 12 秒であり、前回(平成 21 年 7 月 21 日)及び前々回(平成 20 年 3 月 26 日)より約 3 秒(昇降ストロークに換算すると約 15mm)長い。また、今回はAHMグリッパが上昇し始めてIVTM本体の荷重を受け始める段階で $6.1 \times 10^2 \text{N}$ 程度の荷重が増加している。

② 吊上げ後、吊り・不吊り判定位置上方へ上昇する際の荷重変動

IVTM本体の荷重を受けた後、吊り・不吊り判定位置を通過してストローク 18.5m まで上昇する間に図 9.2.5-4 荷重変動(d)~(g)に示すように $2 \sim 3 \times 10^2 \text{N}$ 程度の荷重変動が 4 回発生している。

③ AHMグリッパ昇降荷重のアンバランス

AHMグリッパ昇降荷重(A)及びAHMグリッパ昇降荷重(B)は、許容偏差(9.8067kN 以下)であり、前回(平成 21 年 7 月 21 日)、前々回(平成 20 年 3 月 26 日)と有意な違いはない。

④ AHMグリッパの吊り・不吊り判定位置でのAHMグリッパ昇降荷重

今回は $3.86 \times 10^4 \text{N}$ であり、前回(平成 21 年 7 月 21 日)の $3.63 \times 10^4 \text{N}$ 、前々回(平成 20 年 3 月 26 日)の $3.56 \times 10^4 \text{N}$ に比べ $0.23 \sim 0.30 \times 10^4 \text{N}$ 増加している。

⑤ IVTM本体吊り上げ上昇中における荷重値

今回は $3.80 \times 10^4 \text{N}$ であるのに対して、前回(平成 21 年 7 月 21 日)値及び前々回(平成 20 年 3 月 26 日)値が $3.51 \times 10^4 \text{N}$ であったことから $0.29 \times 10^4 \text{N}$ 増加している。

(2) 過去のIVTM本体取扱荷重との比較

過去3年間のIVTM本体取扱い時のAHMグリッパ昇降荷重値(計 6 ケース)を表 9.2.5-2 に示す。

その結果、AHMグリッパ昇降荷重は今回のケースのみ約 $0.3 \times 10^4 \text{N}$ 増加していることが判明した。

(3) まとめ

過去 3 年間のIVTM本体収納時のAHMグリッパ昇降荷重値を比較した結果、次の点で相違点があった。

① AHMグリッパ上昇開始からIVTMハンドリングヘッドをつかみ、荷重が増加し始めるまでの時間を比較すると、今回は約 12 秒であり、前回(平成 21 年 7 月 21 日)及び前々回(平成 20 年 3 月 26 日)より約 3 秒(昇降ストロークに換算すると約 15mm)長い。これは、爪開閉ロッドが回転したことによって、グリッパ爪の位置が正常時と比べて下がったことにより、正常時より多く引き上げる必要が生じた結果、約 3 秒遅れてグリッパ爪にIVTM本体荷重がかかった。

② AHMグリッパが上昇し始めてIVTM本体の荷重を受け始める段階で $6.1 \times 10^2 \text{N}$ 程度の荷重が増加し瞬時に下がっていることから、その段階でIVTM本体にかかっていたグリッパ爪がIVTM本体から外れ、一方のグリッパ爪で片吊りになったことが考えられる。

③ AHMグリッパ昇降荷重は今回のケースのみ約 $0.3 \times 10^4 \text{N}$ 増加している。

AHMグリッパ上昇開始時のIVTM本体荷重変動からIVTM本体の荷重がAHMグ

リッパにかかった瞬間にグリッパ爪が外れて片吊り状態になったことが考えられる。また、IVTM本体荷重をAHMグリッパで受けたのち約 $0.3 \times 10^4 \text{N}$ 増加が生じている原因としてAHMグリッパと上部案内筒との接触が生じたものと判断した。

9.3 運転・保守管理の状況

IVTM及びAHMは、平成2年から平成3年に据付し、その後、単体機能試験等を経て、燃料交換作業で使用されている。

AHMは、取扱対象物であるIVTM本体及びFHM本体、USV等の装置をAHMグリッパでつかみ・はなしを行う機器であり、各取扱対象物の一連のつかみ～はなしの動作を1回とすると、据付後のAHMグリッパでの取扱回数は39回であり、このうち平成15年のパワーシリンダ交換後のAHMグリッパでの取扱回数は今回を除いて14回である。使用実績・点検実績を表9.3-1に示す。

9.3.1 AHMの保守管理

(1) 保全計画

AHMの点検頻度は、平成3年から平成7年までの使用実績及び平成7年の点検結果を基に決めている。具体的には、当該期間中で累計25回の使用実績があり、これは燃料交換6回分(燃料交換1回当たり、FHM、IVTMの据付、取り外しで計4回分)の使用に相当するが、裕度を見込んで燃料交換4回分(AHMの使用としては16回分)の使用ごとに点検することとした。

また、保全計画の導入(平成21年1月)に当たっては、以降の性能試験期間中は燃料交換がほぼ年1回実施されるものと見込まれたため、AHMの点検は燃料交換4回分に相当する期間として点検頻度を4年とした。

その後、平成22年7月から40%出力プラント確認試験終了までの保全計画を制定する際に、点検頻度を年単位から保全サイクル単位へ変更し、性能試験中は1回の保全サイクル当たり燃料交換が1回計画されていることから、AHMの点検周期は4サイクルごととした。

(2) 点検実績

① 平成4年

外観確認、内部確認、機能確認を中心とした簡易的な点検を実施した。AHMグリッパはグリッパ爪開閉寸法測定、外観確認、動作確認で分解点検は実施していない。

② 平成7年

開放点検、構成機器の点検、性能試験等の本格的な点検を実施し異常のないことを確認した。AHMグリッパは分解点検でリミットスイッチの調整、グリッパ爪開閉寸法測定、外観確認、動作確認などを行っている。

③ 平成15年

平成8年3月～平成15年5月の長期休止後の使用再開のため、AHMを開放し、構成機器の点検、性能試験等の詳細な点検を実施した。AHMグリッパは分解点検で

グリッパ爪開閉寸法測定、外観確認、動作確認などを行っている。

この点検においてグリッパ爪開閉機構のパワーシリンダ(U字金具含む)の交換を実施した。この時に、パワーシリンダと爪開閉ロッドの切離し、接続を行っている。

なお、パワーシリンダ交換については、保守点検要領書・報告書において、「作業手順／工事管理チェックシート」に記録があるが、その詳細手順はなく、元請メーカ及び原子力機構がU字金具の締付状態を確認した記録はなかった。

④ 平成 20 年

平成 20 年にAHMを使用するに際して、グリッパ等のAHM構成機器について事前に作動確認を実施し、異常のないことを確認した。

(3) 点検作業の管理

これまでに実施したAHMの点検のうち、平成 15 年及び平成 20 年の点検について、各点検作業の保守点検要領書で定められた「作業手順／工事管理チェックシート」にて、手順どおりに点検作業が実施されていることを確認した。

以上のとおり、AHMの点検は点検要領書に従い手順どおりに実施されているものの、パワーシリンダ交換については、「作業手順／工事管理チェックシート」に記録があるが、元請メーカ及び原子力機構がU字金具の締付状態を確認した記録はなかった。なお、AHMグリッパ等の点検結果に異常は認められていない。

9.3.2 AHM移動・据付作業

燃料交換後のAHMの移動・据付等の一連の取扱作業は、これまでも実施している作業であり、今回も過去の作業と同様に燃料交換後始末作業要領書で定められた「作業手順／工事管理チェックシート」にて、手順どおりに移動・据付作業が実施されていることを確認した。

9.3.3 運転操作手順

AHMの運転操作は、燃料取扱設備操作マニュアルに基づき、制御装置による各ステップごとの完了条件表示を確認して次のステップへの開始ボタンを押して行うものであり、完了条件が満足しない限りは、次のステップに進めないように設計されている。今回は完了条件の不成立は発生しておらず、運転操作上の問題はなかった。

9.4 事象の評価

9.4.1 爪開閉ロッドの回転事象に係る考察

IVTM本体の落下事象発生後のAHMの外観・分解調査において、爪開閉ロッドが正規位置より約 90° 回転していることを確認した。

ここでは、爪開閉ロッドの回転事象を、これまでの点検、作業履歴をまとめたうえで、調査結果に基づいて考察する。

(1) 平成 15 年の AHM 点検実績

平成 15 年 6 月の点検でパワーシリンダを交換*し、グリッパ爪開き幅の調整を実施した。この時、パワーシリンダ交換後における爪開閉ロッドの方位は、正しく取り付けられ、グリッパ爪開き幅も正常であった(図 9.4.1-1(1),(2)参照)。

* : FHM 昇降駆動装置の点検において、グリッパ用パワーシリンダに用いられている樹脂製部品にひび割れを確認したため、材質を金属製(材質: SUS)に変更した。同様の部品を用いている AHM についてもパワーシリンダを交換した。

(2) AHM を使用した作業履歴

- ① 平成 15 年 6 月の点検後から今回の事象が生じるまでの 7 年間に、FHM 本体及び IVTM 本体のつかみ～はなし動作を合計 14 回行い、燃料交換準備及び片付け作業を行ったが問題は生じなかった。このことから、少なくとも点検後、事象が発生するまで爪開閉ロッドはつかみ・はなし動作ができる状態であった。
- ② また、今回の IVTM 本体取り外し作業以前の至近の AHM 使用履歴として、燃料交換後に FHM 本体の取り外し(吊り上げ)作業を実施している(平成 22 年 8 月 21～23 日)。図 9.4.1-2 に示すように爪開閉ロッドが 90° 回転していると FHM 本体をつかめないため、少なくともこの時点までは爪開閉ロッドが円筒面を外れる状態(正規の位置から約 25° 以上)までの回転はしていなかったと推定される。

(3) 爪開閉ロッドの回転事象に係る考察

図 9.4.1-3 に爪開閉ロッドとパワーシリンダの接続構造を示す。

- ① 爪開閉ロッドとパワーシリンダとは、U 字金具により爪開閉ロッドに接続ピンを差し込んで固定している。U 字金具のねじは、U 字金具に溶接で固定されており、ワッシャを挟みパワーシリンダに締め込んであるだけなので、なんらかの原因でねじが緩んで回転した場合、爪開閉ロッドが回転する。
- ② 爪開閉ロッドとグリッパ爪は、爪開閉ロッド中心で軸対称となるよう設置している。図 9.4.1-4(A-A 断面)及び添付資料 2(グリッパ爪開閉操作での爪開閉ロッド動作再現試験)に示すように爪開閉ロッドが回転してグリッパ爪接触部の角部(約 25°)を超えると、爪開閉ロッドはグリッパ爪に押されてわずかな力で大きく回転し、グリッパ爪接触部から外れる。
なお、グリッパ爪が外れる直前までは、爪開閉ロッドの開閉機能は維持されていたと考えられる。
- ③ 一方、工場分解調査において、爪開閉ロッドの下部円筒面(φ90)に接触痕(図 9.2.3(1)-2 No.1a～No.10a、No.1b～No.5b)を確認した。これら接触痕の内 No.2a～No.5a、No.2b～No.5b は、爪開閉ロッドの軸に対し、90° と 270° でほぼ軸対称の位置にあること、また、接触痕の高さ位置が、IVTM 本体のつかみ時にグリッパ爪が当たる設計高さにはほぼ一致することから、図 9.4.1-5 のように IVTM 本体の吊上げ時の荷重 F1 により、グリッパ爪から力 F2 を受けた痕と推定される。
- ④ これらのことから、爪開閉ロッドは IVTM 本体の落下までに、爪開閉ロッドの向き(角度)を複数回変えながら、徐々に回転が進行していった可能性が考えられる。

- ⑤ 爪開閉ロッドの回転を生じさせる要因としては振動等が考えられるが、爪開閉ロッドは、グリッパ爪に負荷がかかっている状態(IVTM本体またはFHM本体を吊った状態)では、爪開閉ロッドをグリッパ爪が挟むため回転は発生しない。一方、グリッパ爪に負荷がかかっていない状態*では、爪開閉ロッドはフリーな状態となり振動等により爪開閉ロッドが回転する可能性がある。
- ⑥ グリッパ爪に負荷がかかっていない状態で振動が加わるのは、次の場合が考えられる。
- a.AHMの起立・転倒、移送する場合
 - b.AHMの内筒でグリッパを昇降する場合
 - c.無負荷でグリッパ爪開閉を行う場合

*：厳密には図 9.4.1-6 に示すとおり、AHM起立時においてグリッパ爪の自重により爪開閉ロッドに約 101N の荷重がかかる。

9.4.2 IVTM本体落下事象推定シーケンス

今回AHMでIVTM本体を吊り上げた際に、IVTM本体がAHMグリッパから外れて落下に至ったシーケンスについて、事実関係と設計データから以下のとおり推定した。

(1) 爪開閉ロッド下部円筒面の接触痕(図 9.2.3(1)-2 参照)によれば、直近のIVTM本体の据付けを行った時(平成 22 年 7 月 26~27 日)には、U字金具のねじの緩みにより爪開閉ロッドは約 20° 近くまで回転していたものと推定される。

【約 20° 近くに下部円筒面の接触痕】

(2) 平成 22 年 8 月 21~23 日、IVTM本体の取り外し作業の前に、AHMによるFHM本体の取り外し作業を実施した。図 9.4.1-2 に示すように爪開閉ロッドが 90° 回転していると FHM本体をつかめないため、少なくともこの時点までは爪開閉ロッドが円筒面を外れる状態まで(正規の位置から約 25° 以上)の回転はしていなかったと推定される。

(3) 平成 22 年 8 月 26 日、IVTM本体をつかむまでの間に、AHMの起立・転倒、原子炉建物への移送、AHMグリッパの昇降等の無負荷時の振動によって、更にU字金具のねじが緩み、爪開閉ロッドが約 25° 以上回転した(図 9.4.2-1 の状態①)。

(4) 約 25° 以上回転すると、グリッパ爪がフリーとなるため、重力によりグリッパ爪が外側に開こうとする力が爪開閉ロッドに加わり、爪開閉ロッドを更に回転させた。この状態でグリッパをIVTM本体の頂部に降ろした(図 9.4.2-1 の状態②)。

(5) グリッパ爪外面のテーパに沿って、AHMグリッパがIVTM本体のハンドリングヘッド内に挿入された(図 9.4.2-1 の状態③)。

(6) AHMグリッパがIVTM本体のハンドリングヘッドに着座し、AHMグリッパを「つかみ」位置にしたことによって、爪開閉ロッドが押し込まれ、グリッパ爪の内側に当たり、爪開閉ロッドが更に回転した(図 9.4.2-1 の状態④)。

(7) AHMグリッパを「つかみ」位置にして引き上げたが、グリッパ爪がフリー状態であったため広がらず、グリッパ爪先端の引っかかり部がIVTM本体のハンドリングヘッドの溝

に入らず、ハンドリングヘッドの下向き面に当たった状態となった(図 9.4.2-1 の状態⑤)。

- (8) グリッパ荷重データトレンド評価から、AHMグリッパ上昇開始から吊り始めの荷重が加わるまでの時間は、前回(平成 21 年 7 月 21 日)、前々回(平成 20 年 3 月 26 日)の IVTM 吊り上げ時より約 3 秒(昇降ストロークに換算すると約 15mm)長いことを確認した(図 9.2.5-1(a)、図 9.2.5-2(b)、図 9.2.5-3(c)参照)。グリッパ爪がフリー状態で十分広がっていない場合、グリッパ爪の先端が正規の位置より低いため、ハンドリングヘッド下向き面に当たるまでの距離が長くなり時間がかかることから、評価結果と一致する。

【AHMグリッパ昇降荷重の吊り始めまでの時間】

- (9) グリッパ爪にIVTM本体の荷重がかかるとその荷重によってグリッパ爪が内側にずれて行き、爪開閉ロッドを挟み込むことで、強制的に回転させ 90° の位置に至った。(図 9.4.2-1 の状態⑥)

- (10) 270° 側のグリッパ爪の上面にずれ痕(図 9.2.2(3)-6)があるため、AHMグリッパとハンドリングヘッドの中心のずれやグリッパのガタ等により、AHMグリッパが 270° 側にずれ、この方向のグリッパ爪の引っかかり量が大きくなった。

【270° 側グリッパ爪の上面のずれ痕】

- (11) 90° 側のグリッパ爪には上面にずれ痕はなく、側面にわずかなすり傷が残っている。また、90° 方向のハンドリングヘッドの内側垂直面の細かい筋状のすり痕を確認した(図 9.4.2-5 参照)。

そのため、この時点で 90° 側のグリッパ爪先端は外れる状態に近くなっており、吊り始めの荷重変動(図 9.2.5-1(a)、図 9.2.5-2(b)、図 9.2.5-3(c))の比較から考えると、IVTM 本体の吊り上げ動作に移ったときに 90° 側のグリッパ爪がIVTM本体ハンドリングヘッドから外れ、片吊り状態となった(図 9.4.2-2 参照)。

【90° 側グリッパ爪の側面のすり傷、90° 方向ハンドリングヘッド内側垂直面のすり痕、AHMグリッパ昇降荷重の吊り始めの荷重変動】

- (12) 吊り上げる過程では、270° 側のグリッパ爪1本で荷重を支える形になったため、荷重のかかっている 270° 側にAHMグリッパが約 4° 倒れ、上部案内筒内面にグリッパハウジングの上端が寄りかかる形となった(図 9.4.2-3 の状態①)。調査結果より 270° 方向の上部案内筒内面に白い筋があり、270° 方向のグリッパハウジング上端にすり傷があることから、こすりながら吊り上げられた。また、この接触によるものと考えられるAHMグリッパ上昇中の荷重の増加(表 9.2.5-2 参照)と荷重変動(図 9.2.5-4 参照)を確認した(図 9.4.2-5 参照)。

【270° 方向上部案内筒内面の白い筋、270° 方向グリッパハウジング上端のすり傷、AHMグリッパ上昇中の昇降荷重の増加と変動】

- (13) IVTM本体を約 2m 吊り上げた位置にドアバルブの箱型の空間があり、AHMグリッパが上部案内筒から出たときにグリッパの傾きが約 6° と大きくなった(図 9.4.2-3 の状態②)。

- (14) 270° 方向のグリッパハウジングの側面には上部案内筒の上端部を通過した際に付

いたと考えられるすり傷(図 9.2.2(3)-7 参照)があり、ここを通過したときの衝撃等でグリッパ爪が外れて落下した((図 9.2.2(3)-6 及び図 9.4.2-4 参照)。

【270° 方向グリッパハウジング側面のすり傷、270° 側グリッパ爪の上面のずれ痕】

IVTM本体がAHMグリッパから外れて落下に至った一連の推定シーケンスを図 9.4.2-6 に示す。

10. IVTM本体落下の直接原因

これまでの調査結果より、IVTM本体取り外し作業中にIVTM本体が落下した直接原因は次のとおりと推定される。

(1) AHMグリッパ爪開閉ロッドの回転事象

- ① グリッパを用いて吊り荷を把持し昇降させる機器のうち、AHMを除く 14 基については問題なかったが、AHMグリッパについては板形状の爪開閉ロッドそのものに回転防止のための措置がなかった。
- ② AHMグリッパの爪開閉ロッドが正規位置より約 90° 回転していた。これは、爪開閉ロッドとパワーシリンダを結合するU字金具のねじが緩んでいたことによる。
- ③ 今回の事象発生前のFHM本体の取り外し作業(平成 22 年 8 月 21~23 日)は問題なく実施できたことから、爪開閉ロッドが円筒面の端を過ぎた位置(正規の位置から約 25° 回転した位置)まで緩みが進行したのは、今回の事象発生前のFHM本体の取り外し作業以降である。

(2) IVTM本体の落下事象

- ① 爪開閉ロッドが約 90° 回転すると、AHMグリッパのグリッパ爪が正常に開閉せず、AHMグリッパがIVTM本体のハンドリングヘッドに挿入されたあと、グリッパ爪が正常な位置に引っかからない。
- ② 270° 側のグリッパ爪上面にずれ痕があり、落下する際滑った可能性がある。一方、90° 側のグリッパ爪上面にはずれ痕はないことから、90° 側のグリッパ爪はハンドリングヘッドから外れ、270° 側のグリッパ爪で片吊りになっていた可能性がある。
- ③ 上部案内筒内面の 270° 方向内面に白い筋があること、落下した位置が据付位置から約 2m 上方であることから、AHMグリッパが片吊りになった後、上部案内筒を出た位置で落下したものと考えられる。
- ④ これらの事実から、IVTM本体はAHMグリッパによる正常なつかみができず、吊り上げ途中でグリッパ爪が外れて落下したものと推定される。

(3) 結論

落下の直接的な原因は、AHMグリッパの爪がIVTM本体のハンドリングヘッドから外れたことによるものである。それに至る原因として、爪開閉ロッドに回転防止のための措置がないことに加え、パワーシリンダのU字金具が振動等により緩んでAHMグリッパの爪開閉ロッドが回転したことによるものと推定した。