

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。

## 11. 落下防止対策

### 11.1 AHMの対策内容

#### (1) 対策方針

原因調査及び影響評価の結果、8. で述べた対応方針のうち、「(1) IVTM本体の引き抜きまでに確認すべき事項」の基準を満足することを確認した。IVTM本体の引き抜きまでに確認すべき事項と調査内容・結果を表 11.1-1 に示す。

IVTM本体の引き抜きに際して、IVTM本体ハンドリングヘッドに、欠け、変形等の異常がないことを確認した。一方、AHMについては、爪開閉ロッドが約 90° 回転したことが確認されている。これによりグリッパ爪の開閉動作が正常にできなくなり、IVTM本体のハンドリングヘッドを正常に把持できなかったものと推定されている。パワーシリンダ先端にはU字金具がワッシャを挟んでねじで締め付けられているが、これが何らかの要因により緩みが生じ、更に使用中に振動等の外力により緩みが進行し、爪開閉ロッドが回転した可能性が考えられている。

このため、AHMグリッパに対して、爪開閉ロッドに回転防止対策を行うとともに、上面にずれ痕が生じたグリッパ爪を新品と交換することが必要である。これらの対策及び部品交換後、AHMグリッパ単体試験やIVTM本体の模擬体(ダミーウエイト)を用いた取扱試験により対策の検証を行い、AHMの機能に問題がないことを確認する。この検証結果により、IVTM本体の引き抜きの可否を判断する。

推定要因を踏まえたAHMグリッパの対策方針を表 11.1-2 に示す。

- ① 開閉にかかわる基本仕様(グリッパ爪形状、爪開閉ストローク、材質等)には問題点はないことから従来どおりとする。
- ② 今回爪開閉ロッドが回転したことから、爪開閉ロッドが回転しない構造とする。
- ③ パワーシリンダ先端とU字金具のねじ部は、従来のワッシャに加え、接着剤による廻り止めを付加する。

#### (2) 具体的な対策構造

爪開閉ロッドの廻り止め構造の選定を表 11.1-3 に示す。キー方式構造1案、当て板方式構造3案を考案し比較評価を実施した。各案の概念図を図 11.1-1 に示す。各案とも廻り止め機能を満足するが、構造の簡素化の点から図 11.1-1 のうち No.3 に示す一枚板タイプの当て板(厚さ 8mm)を採用した。

No.3 に示す構造の設計の考え方を表 11.1-4 に示す。対策の結果は、以下のとおりである(図 11.1-2～図 11.1-4 参照)。

- ① グリッパ爪を収容するグリッパ爪支持板の一面に爪開閉ロッドの回転を制限するように一枚板タイプの当て板をボルトで取り付けた。ボルトは緩み防止、脱落防止のため折り座金により廻り止めを行った。
- ② 爪開閉ロッドとガイド板が通常運転では接触しないように 3mm 程度の間隙を設けた。
- ③ 爪開閉ロッド及びグリッパ爪の動作状況を観察できるように当て板の設置はグリッパ爪支持板の片面のみとし、当て板にも窓を設けた。
- ④ U字金具のねじに接着剤により廻り止めを行った。接着剤の塗布により緩めトルクが

約 2.6 倍となることを事前に検証した(添付資料 3)。また、現地組立においては、ワッシャの締め付け量(ワッシャ公称厚さ2mmに対して、厚さ0.7~1.3mmまで締め付ける)を管理した。

## 11.2 対策の検証

今回の引き抜き作業において、爪開閉ロッドの廻り止め当て板の設置、U字金具のねじの接着剤塗布及びワッシャの締め付け量管理の対策により、爪開閉ロッド及びU字金具は回転することはないものと判断した。

対策後のグリッパ爪のつかみ・はなし動作、IVTM本体の昇降動作などの機能に異常がないことを確認するため、以下の項目について、検証試験を実施した。

### (1) 対策構造の機能確認

工場でのモックアップ試験において、爪開閉ロッドを意図的に回転させ、爪開閉ロッドと当て板が接触した状態でグリッパ爪のつかみ・はなし動作を実施した。その結果、当て板の効果を確認するとともに、グリッパ爪及び爪開閉ロッドのスムーズな動作を確認した(図 11.2-1 参照)。

### (2) AHMグリッパ単体試験(AHMグリッパ単体でのグリッパ爪開閉試験)

AHMグリッパを受台へ着座させ、グリッパ爪のつかみ・はなし操作を行い、IVTMのつかみ・はなし状態でのグリッパ爪間隔の寸法(開閉寸法)及び爪開閉ロッドのストロークの測定を行い、これら所定の寸法、ストロークに係る判定基準を満足することを確認した(図 11.2-2(1)参照)。

なお、同様にFHMを対象としたグリッパ爪開閉試験を実施し、つかみ・はなし状態におけるグリッパ爪開閉寸法及び爪開閉ロッドのストロークの測定を行い、これら所定の寸法、ストロークに係る判定基準を満足することを確認した。

### (3) AHMグリッパ単体試験(模擬ハンドリングヘッドのつかみ・はなし試験)

受台へ設置したIVTM本体の模擬ハンドリングヘッドにAHMグリッパを着座させ、グリッパ爪のつかみ・はなし操作を実施した。その結果、グリッパ爪動作時の表示灯の表示状態、並びにAHMグリッパが模擬ハンドリングヘッドをつかみ、正常に昇降できることを確認した(図 11.2-2(2)参照)。

### (4) 模擬IVTM取扱試験(IVTM本体の重量を模擬した模擬体の取扱試験)

前述(3)のIVTM本体の模擬ハンドリングヘッドにIVTM本体の重量を模擬した錘を装着し、AHMグリッパによる模擬体を昇降させる取扱試験を実施した。その結果、AHMグリッパは、所定の昇降ストロークで昇降速度が高速または低速に正常に切替った後、模擬ハンドリングヘッド上へ着座し、つかみ動作が異常なくできることを確認した。また、手動ハンドルによる操作で所定の位置までの引き抜き動作ができ、その後、低速上昇操作によりAHMグリッパが本体胴内でグリッパガイドハウジングに結合して更に上昇するまでの範囲で、IVTM本体の引き抜き動作及び停止操作が異常なく行えることを確認した(図 11.2-3 参照)。

これらの検証結果から、対策後のAHMグリッパ爪のつかみ・はなし機能、IVTM本体の昇降動作など、所定の動作・機能に異常がないことを確認した。

## 12. 影響評価

今回の事象は、重量約 230トンの固定プラグ(しゃへいプラグのうち固定されている部分、直径約 9.5m、厚さ約 2m)上に重量約 3.3トンのIVTM本体が高さ約 2m の位置から落下したものである。落下影響の範囲として、荷重伝達経路の検討から衝撃は固定プラグとそれを支えるペDESTALに主に伝達するため、原子炉容器へは直接影響しない(12.2.5 参照)。したがって、影響評価は、IVTM本体が落下し、ペDESTALに支えられる固定プラグへの衝突について行うこととし、大きな落下荷重(応力)が発生するIVTM支持部である据付フランジ及び本体据付座を対象に衝撃荷重の評価に基づいた健全性評価を実施した。

また、IVTM本体は炉内ナトリウム中で下端が下部ガイド内に挿入されている構造となっているが、落下時のIVTM本体は下端が下部ガイドのテーパ部と接触する場合は想定されるため、下部ガイドの健全性も検討した。

### 12.1 健全性確認の考え方

IVTM本体の落下によるしゃへいプラグ全体への影響は小さい(12.2.5 参照)ことから、IVTM本体の落下影響の範囲を下記の3つの機器とし、現地調査による状況確認と評価及び判断の考え方を整理した。IVTM本体の落下荷重の衝突面であるIVTM支持部と評価対象部位を図 12.1-1 に示す。

- ① IVTM本体
- ② 下部ガイド
- ③ IVTM支持部(固定プラグ側)

IVTM本体の落下影響が想定される機器の健全性確認は、IVTM本体の着座状況の確認後、IVTM本体の引き抜き時の荷重量等を確認しながらIVTM本体の下端及び下部ガイドの状態を慎重に見極め、強度評価と併せて損傷の有無を判断する。固定プラグ側の本体据付座については、IVTM本体を引き抜いた後、IVTM本体側の支持部である据付フランジに支持機能を阻害するような有害な傷、変形、割れがないことを確認し、異常が発見された場合は、その影響を評価した上で対策を講じることとする。IVTM本体については、外観調査・分解調査の結果、補修が必要と判断した場合は、次回燃料交換までに対策を行う方針とする。なお、IVTMの旋回機能を担う駆動軸廻りの部品については、次回以降の燃料交換を円滑に行うため、原則交換する方針とする。

上記に示した健全性確認のフロー図を図 12.1-2 に示す。

### 12.2 IVTM本体と固定プラグの構造強度評価

#### 12.2.1 概要

固定プラグ上に高さ約 2m の位置から落下したIVTM本体は、本来の支持部である本体据付座に衝突し着座した。この荷重伝達経路を明確にするとともに、大きな落下荷重

(応力)が発生する衝突面であるIVTM本体の据付フランジ及び固定プラグ側の本体据付座を対象に構造強度評価を実施した。

### 12.2.2 荷重伝達経路

荷重伝達経路を図 12.2-1 に示す。

荷重伝達は主に以下の 4 経路からなる。

- ① IVTM本体の据付フランジから本体据付座に荷重伝達する。(最も厳しい荷重伝達部分)
- ② 本体据付座に伝達した荷重は燃料出入孔スリーブに伝達される
- ③ 燃料出入孔スリーブに伝達した荷重はしゃへいプラグ(固定プラグ)に伝達される
- ④ しゃへいプラグ(固定プラグ)に伝達した荷重はペDESTALに伝達される

この内、最も厳しい荷重伝達部分である①の本体据付座と据付フランジを評価対象として構造健全性を評価した。

なお、当該部分に要求される機能は、IVTM本体の荷重を受け燃料出入孔スリーブに伝達することからなる支持機能であり、有害な変形や損傷等がなければ、機能上問題ない。参考として図 12.2-2 に設工認で強度計算を行った部位を示す。

### 12.2.3 評価方法

#### (1) 評価条件

- ① 寸法(図 12.2-3 参照)
  - a. 本体据付座の外径:  $Do = \phi 550 \text{ mm}$  (据付フランジとの衝突面)
  - b. 本体据付座の内径:  $Di = \phi 502 \text{ mm}$
  - c. 本体据付座の厚さ:  $t = 30 \text{ mm}$
- ② 質量
  - a. IVTM本体:  $M_1 = 3.3 \times 10^3 \text{ kg}$
  - b. しゃへいプラグ:  $M_2 = 2.33 \times 10^5 \text{ kg}$
- ③ 物性値(※1、※2)
  - a. 本体据付座
    - a) 材質: SS41(SS400 相当)
    - b) 温度条件:  $45^\circ\text{C}$
    - c) ヤング率:  $E_1 = 2.01 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$
    - d) 密度:  $\rho_1 = 7.86 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$
  - b. 据付フランジ
    - a) 材質: SUS304
    - b) 温度条件:  $45^\circ\text{C}$
    - c) ヤング率:  $E_2 = 1.93 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$
    - d) 密度:  $\rho_2 = 7.92 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$
- ④ IVTM本体の落下条件

- a. 落下高さ:  $h=2.0$  m
- b. 落下加速度:  $g=9.80665$  m/s<sup>2</sup>
- c. 衝突速度:  $v_0=\sqrt{2\cdot g\cdot h}=6.26$  m/s

(落下時の摩擦や流体抵抗による減速分は考慮しない)

(2) 評価手法

運動量保存則を用いて衝撃荷重を算出し、本体据付座及び据付フランジの健全性評価を実施する。

① 運動量保存則を用いた衝撃荷重

IVTM本体の据付フランジが固定プラグ側の本体据付座に衝突した前後で運動量保存則が成り立つと仮定する。この時、しゃへいプラグ(固定プラグ)を含めた本体据付座及び据付フランジは、衝突時に互いに弾性変形することを考慮する。この時の衝撃荷重は以下のとおり。

② 本体据付座の発生応力

$$\sigma_1=90$$
 MPa

③ 衝撃荷重

$$P=3.57 \times 10^6$$
 N

(3) 構造強度評価

① 本体据付座 (固定プラグ側)

本体据付座の構造を図 12.2-3 に示す。

据付フランジと本体据付座の衝突面に発生する応力(支圧)は、上記より、

$$\sigma_{1s}=90$$
 MPa <  $S_{ya1}$  (301 MPa)

ここでの応力とは、据付フランジ下面が均一に本体据付座に衝突した際に本体据付座全体に平均的に生じる応力を表す。

一方、衝突直後に発生する衝突面の局所的な応力は、応力が波動として伝播することを考慮した動弾性理論により、次のように計算される(※3)。

a. 応力波の伝播速度

$$c_1=\sqrt{E_1/\rho_1}=5.06 \times 10^3$$
 m/s

b. 局所的な発生応力

$$\sigma_{1d}=E_1\cdot v_0/c_1=249$$
 MPa <  $S_{ya1}$  (301 MPa)

② 据付フランジ (IVTM本体側)

据付フランジの構造を図 12.2-3 に示す。

据付フランジと本体据付座の衝突面に発生する応力(支圧)は以下のとおり。

$$\sigma_{2s}=\sigma_{1s}=90$$
 MPa <  $S_{ya2}$  (231 MPa)

一方、衝突直後に発生する衝突面の局所的な応力は以下のとおり。

a. 応力波の伝播速度

$$c_2=\sqrt{E_2/\rho_2}=4.94 \times 10^3$$
 m/s

b. 局所的な発生応力

$$\sigma_{2d}=E_2\cdot v_0/c_2=245$$
 MPa >  $S_{ya2}$  (231 MPa)

#### 12.2.4 評価結果

IVTM本体は、挿入している上部案内筒に設けられた周方向4つのガイドキーにより姿勢が制限されており、また、IVTM本体の下端は下部ガイドに挿入されていることから、最大で傾いた状態でも3/10000以下である。したがって、据付フランジと本体据付座の衝突面は衝突時の支持部の歪による吸収を考慮すれば、わずかな傾きによる片当りは修正されることから、運動量保存則が成り立つとして求めた平均的な発生応力の評価は有効である。

表 12.2-1 に示すように、本体据付座及び据付フランジにかかる平均的な発生応力は材料の降伏応力に基づいた評価目安値(変形に着目しているため弾性限であるミルシーの降伏応力を用いた)を十分に下回っており、支持機能を阻害するような変形には至らない。

次に局所的な発生応力まで含めた場合、本体据付座は評価目安値(降伏応力)を下回っており、衝突面の局所的応力を考慮しても弾性範囲内との評価である。一方、据付フランジは評価目安値を超える結果となったが、発生する応力は評価目安値を若干超える程度であり、局所的に残る歪は最大でも0.2%程度である。据付フランジ全体で見ればごくわずかであり、局所的発生応力を考慮しても、フランジとしての支持機能を阻害することにはならず、またIVTM本体の引き抜きに支障は与えないものと判断する。

なお、動弾性理論により求めた応力は材料特性と落下速度から求まるものであり、接触面積によらない値となるため片当たりを考慮してもこの値は変わらない。

表 12.2-1 評価結果

評価部位	平均的な発生応力 (MPa)	局所的な発生応力 (MPa)	評価目安値 (*1) (MPa)
本体据付座	90	249	301
据付フランジ	90	245 (*2)	231

(\*1) 評価目安値(降伏応力)については図 12.2-3 参照

(\*2) 評価目安値(降伏応力)を上回っているが、引張強さ578(MPa)を十分に下回っており、破損することはない。

#### 12.2.5 しゃへいプラグ及び原子炉容器への影響

IVTM本体が落下した固定プラグとIVTM本体との重量比は70倍程度異なる。保守的条件の下、固定プラグの上下方向の変位量を求めると最大約0.5mmであった。この値は、固定プラグの最も弱い部分が設計許容応力に達するときの変位量に対し約1/5と小さく、固定プラグを含めたしゃへいプラグ全体の構造健全性上に問題はない。

また、原子炉容器は図 12.2-4 のとおり、原子炉容器、しゃへいプラグともにペDESTALにボルトで固定されている。原子炉容器上部フランジとしゃへいプラグにはギャップ(約4mm)があり、両者の荷重は個別にペDESTALで支持されているため、原子炉容器はしゃ

へいプラグ側の荷重を直接受けない。よって、IVTM本体の落下によるしゃへいプラグの振動は、原子炉容器に影響を与えない。今後、しゃへいプラグへの影響についてはIVTM本体の引き抜き後の確認結果を元に必要に応じて詳細な評価を加えていく。

### 12.3 下部ガイドの健全性

下部ガイドは、IVTM本体の下端を振れ止めするものである。IVTM本体を炉内に設置する際は、AHMグリッパで吊り下げ、その下端を炉内の下部ガイドに挿入する。その際、図 12.3-1 に示すようにIVTM本体は上部案内筒のガイド(周方向 4 か所)に沿って下降する。IVTM本体と下部ガイドは接触することも考えられるため、これを考慮した設計がなされている。仮にIVTM本体が傾いた場合、下部ガイド部における接触位置は、図 12.3-2 に示すように、燃料出入孔スリーブ部との寸法差、下部ガイドの据付誤差を考慮すれば、0° 方向で最大 4.6mm、180° 方向で最大 8.4mmとなる。このため、IVTM本体の下端及び下部ガイド先端はテーパ状に加工してある。両者はそのテーパ面で接触するが、その後IVTM本体は下部ガイドのテーパ面を摺動しながら降下し、下部ガイドの所定の深さに挿入される。IVTM本体と下部ガイドの位置関係について、IVTM本体の下端の挿入前後のイメージを図 12.3-3, 4 に示す。

今回の事象においてIVTM本体は上部案内筒のガイドに沿って自由落下しているため、回転や倒れは通常の吊り下げ時と同程度である。このため、IVTM本体と下部ガイドの接触についても通常の範囲内と考えられる。接触した場合、IVTM本体の下端は下部ガイド内側に滑って挿入されるが、IVTM本体頂部の位置計測の結果、IVTM本体頂部が正常位置にあること及び回転ラック駆動装置の駆動軸が正常に接続できたことから、IVTM本体は下部ガイドの所定の深さまで挿入されている。したがって、IVTM本体の下端は通常時と同様に下部ガイドに挿入されたものと考えられ、下部ガイドにIVTM本体引き抜きに支障となる変形はないものと考えられる。IVTM本体と下部ガイドの接触評価について、図 12.3-5 に示す。

なお、IVTM本体の下端と下部ガイドとの接触については、IVTM本体を引き抜きIVTM本体の下端の点検を行うことから、最終的には、IVTM引き抜き荷重の確認及び引き抜き後に行うIVTM本体下端の外観調査を踏まえ、下部ガイドの構造及び機能に関して、総合的な評価を行うものとする。

IVTM本体の引き抜きに関しては、IVTM本体下端が下部ガイド内の正常位置にあることから、IVTM本体下端は下部ガイドのφ462mmの摺動部から最大φ620mmのテーパ部への移動となる。下部ガイドとの接触に関しては、摺動部を通り抜ける過程が引き抜きを行う上で、注意を要する箇所となる(図 12.3-3 参照)。ただし、下部ガイドの摺動部内面には、硬いニッケル基合金(Alloy718)が張られており、引き抜きの際に下部ガイドとIVTM本体下端がカジリ合わない設計的配慮がなされている。このため、例えば落下時にIVTM本体の下端の回転ラック部に微小な変形が生じたとしても、IVTM本体の引き抜きを阻害することはないと考えられる。



## 12.4 結論

構造強度評価の結果、IVTM本体の落下荷重を受けた固定プラグの本体据付座は平均的な応力及び局所的な応力共に評価目安値を下回り、落下による影響はないと考えられる。一方、IVTM本体の据付フランジ部は局所的な応力は評価目安値を若干超えているが、平均的な応力は評価目安値を十分に下回っており、フランジとしての機能上の問題はないと判断される。原子炉容器については、しゃへいプラグからの荷重を直接受けない構造となっているため、落下による影響はない。また、IVTM本体の下端を振れ止めする下部ガイドの評価では、IVTM本体が下部ガイドの所定の深さまで挿入されていることから、下部ガイドにIVTM本体引き抜きに支障となる変形はないものと考えられる。

IVTM本体の引き抜きについては、引き抜きを阻害するような要因がないと考えられることから、引き抜きは可能と判断する。

最終的な設備への影響評価は、IVTM本体の引き抜き後のIVTM本体、固定プラグ側の本体据付座、燃料出入孔スリーブ内面等の外観調査、点検結果を踏まえ、総合的に評価することとする。

### <参考文献・資料>

- (※1)JSME, 設計・建設規格 第I編 軽水炉規格, 2005年版.
- (※2)JSME, 設計・建設規格 第II編 高速炉規格, 2005年版.
- (※3)S. P. ティモシェンコ他, 弾性論, コロナ社, 1976.

## 13. 類似機器の確認

AHMと同様にグリッパを用いて吊り荷を把持し昇降させる機器は、AHM以外に14基ある(表13-1参照)。このうち、2基については、グリッパ爪の代わりに長方形のピンが飛び出し固定する構造であり、同様の問題は生じない(図13-1参照)。また、グリッパ爪を爪開閉ロッドで開閉させる10基については、爪開閉ロッドが円柱又は球形状であり、ロッドの回転によってもグリッパ爪の開閉に影響を及ぼすことはない。

残りの2基についても、以下のとおり、グリッパ爪の開閉に影響を及ぼすことはない。

### ① プラグ取扱機

爪開閉ロッド形状は板形状であるが、軸方向の移動をガイドするため、爪開閉ロッドにスリットを設けガイドボルトを通す構造としており、爪開閉ロッドは回転しない(図13-2参照)。

### ② 燃料交換装置昇降駆動装置

爪開閉ロッドが円柱形状であるため、万一、回転が生じてもグリッパ爪開閉機能に影響を与えない。更に、グリッパ爪内側構造が爪開閉ロッドを下支えする構造であるため、ねじが外れるまで回転することはない(図13-3参照)。

## 14. IVTM本体の引き抜き

これまで述べたとおり、IVTM本体落下については、その直接原因が明らかとなった。更に、落下防止対策については、対策の検証を実施し、AHMの機能に問題がないことを確認するとともに、IVTM本体の据付状態や下部ガイドとの干渉についての評価から、原子炉容器からIVTM本体を安全に引き抜くことが可能であると判断した。

今後、IVTM本体の引き抜き作業にあたっては、以下に示すとおり、IVTM本体の荷重を監視し、本体回転ラック部が下部ガイド、燃料出入孔スリーブ等に引っ掛かっていないことを確認しながら慎重に実施する。

### (1) IVTM本体の引き抜き手順

IVTM本体引き抜き作業は、原子炉容器ナトリウム液位をNsL→SsLに降下後、以下の引き抜き手順により行う。IVTM本体の荷重を監視し、IVTM本体回転ラック部が下部ガイド、燃料出入孔スリーブ等に引っかかっていないことを確認しながら慎重に行う。図 14-1 にIVTM本体引き抜きフロー図を示す。

- ①AHMグリッパがIVTM着座状態から手動ハンドルで引き抜くと、グリッパ荷重が最初に計測され、次にIVTM本体荷重が計測される。
- ②狭隘部で接触等の予想される位置では手動ハンドルで引き抜き、その他の干渉する恐れがない範囲では電動での低速上昇(約 0.3m/min)とする(図 14-2 及び図 14-3 参照)。
- ③通常のスローク／荷重の関係に対してIVTM本体と下部ガイド等との機器の接触が想定される部位においては、接触に伴う大きな抗力が加わる前にグリッパ上昇を停止させるために、現場指示計での荷重を監視しながら引き抜きを行うものとする。  
なお、図 14-2 に示す狭隘位置での接触等により、引き抜き荷重が増加することに配慮しつつ引き抜くこととする。
- ④グリッパ昇降荷重が地切時を除いて通常時に比べて約 980N 有意に変化した場合、グリッパ上昇操作を一旦中断し、図 14-2 に示すグリッパ昇降位置からIVTM本体と下部ガイド、燃料出入孔スリーブ、燃料出入孔ドアバルブ等との接触による設備影響評価と併せて損傷の有無を検討する。
- ⑤グリッパ上昇時にグリッパ昇降荷重が減少した場合グリッパ上昇操作を中断し、その後の対応方法を検討する。

### (2) 上部案内筒及び燃料出入孔スリーブの内面外観調査

IVTM本体引き抜き後、図 14-4 及び図 14-5 に示す実施要領で、燃料出入孔用接続筒に設置した点検窓を介して、写真撮影を行うとともに、ペリスコープによる近接観察を行う。

外観調査時のポイントは、以下のとおりである。

#### ①燃料出入孔スリーブの本体据付座:

支持機能を阻害するような有害な傷、変形、割れがないこと。

②上部案内筒及び燃料出入孔スリーブの内面:

IVTM本体の挿入及び引き抜きの支障となる有害な傷、変形、割れがないこと。

これら外観調査の結果、燃料出入孔スリーブの本体据付座、並びに上部案内筒及び燃料出入孔スリーブの内面に有意な傷、変形、割れがないことを確認した後、燃料出入孔プラグを挿入する。

(3) IVTM本体の外観・分解調査

IVTM本体については、原子炉容器から引き抜き後、IVTM本体の外観・分解調査を行い、IVTMの損傷状況及び下部ガイドへの影響に関して、総合的な評価を行う。

- ①IVTM本体引き抜き後、AHMで燃料取扱機器洗浄槽内に挿入し、洗浄前に簡易グリッパでIVTM本体を一旦吊り上げ、プラバック越しにIVTM本体の外観調査を実施し、洗浄を実施する上で支障となる破損、変形等がないことを確認する(図 14-6 参照)。
- ②据付フランジ部及び下部ガイドと接触する可能性のあるIVTM下端部等についての詳細観察を行うため、IVTM本体洗浄後、機器試験ピットに吊り下げ、近接してIVTM本体の外観調査を実施する。
- ③IVTM本体を架台に載せて保修エリア(機器試験ピット)に横倒しし、機器を分解しながら内部の調査を行い、内部構造に破損、変形等がないことを確認する。

これらの調査結果を踏まえ、IVTM本体の内部部品の脱落や損傷の有無について確認する。

15. 通報連絡遅れの経緯について

今回の燃料交換片付け作業中におけるIVTMの落下は、原子炉容器内の装置に係る事象であり、本来、事象発生後迅速に外部関係機関へ連絡すべきであったが、本事象の外部への第1報の通報は、事象発生から約1時間30分後であった。

以下に通報連絡に時間を要した経緯、要因、再発防止策のこれまでの検討状況をまとめた。

(1) 通報連絡の経緯

今回の事象発生後の対応では、作業担当者が直ちに当直長に連絡しなかった。作業担当者は、上司(チームリーダー→燃料環境課長)へ報告し、報告を受けた燃料環境課長は、事実確認を行い、その後、部長に報告した。部長及び課長は、事象の状況を所幹部に説明するとともに連絡責任者へ連絡した。(事象発生後、約1時間後)

連絡を受けた連絡責任者は、直ちに外部通報連絡 Fax 第1報を作成し、事象発生から約1時間30分後、第1報の Fax を送信した。

(2) 通報が遅れた要因

外部への通報連絡が迅速に対応できなかった要因は、異常発見時、発見者が直ちに当直長に連絡しなかったためである。

これまでの調査の中で作業担当者及びチームリーダー(以下「作業担当者等」という。)

が直ちに当直長に連絡しなかった背景として次のような要因が抽出された。

① 作業担当者等は異常発生時に当直長へ連絡するという認識が不足していた。

認識が不足した背景には、教育資料の記載が不足していたこと、作業担当者等を対象とした訓練を実施していなかった要因が抽出された。

② 異常の発見者から当直長へ連絡する異常の適用範囲が明確な記載となっていなかった。

③ 燃料環境課長の通報連絡に係る対応がとられていなかった。

要因の背景には、通報連絡に対するマネジメント(当直長に直ちに連絡すべき事象、かつ、対外的に迅速に連絡すべき事象と判断し、現場担当者にその旨を指示すること)に対する意識が不足していたこと、対応のルールがなかったことが抽出された。

(3) 再発防止策の検討状況

本件の通報連絡に時間を要した再発防止策として次の改善案を策定した。

① 異常発生時に当直長へ連絡する認識の改善

a. 改善した教育資料に基づく教育の実施:教育資料の改正。改正した教育資料を用い、全所員に対して教育を実施し、異常について当直長へ連絡する認識の向上を図る。

b. 訓練の実施:異常を発見した時の作業担当者等から当直長、作業担当課長への連絡について、作業担当者等を対象として訓練を行う。

c. 周知、唱和:朝礼、会議、「通報連絡 3 原則」の唱和をとおし全所員に対し、異常発見時には当直長、上司へ連絡することの認識を高める。

② 当直長へ連絡する異常の適用範囲(要領書)の改正

異常の発見者から当直長へ連絡する異常の適用範囲の記載を改正する。

③ 異常の報告を受けた作業担当課長の通報連絡に係る対応の改善

a. 通報連絡に対するマネジメント意識の再教育

連絡責任者会議において作業担当課長に対し通報連絡に対するマネジメント意識、通報連絡の対応の教育を実施する。

b. ラインの上司と設備担当課のコミュニケーションの改善

c. 異常の報告を受けた作業担当課長の対応ルールの策定

作業担当課長は、作業担当者等が当直長へ連絡していることを確認すること、当該情報の通報連絡の判断を行い連絡責任者に連絡することをルール化する。

本件については、引き続き背景要因等も含め検討を進めていく。

添付資料 4 に通報連絡に時間を要した経緯、要因の調査、検討状況を示す。

## 16. まとめ

平成 22 年(2010 年)8 月 26 日に高速増殖原型炉もんじゅで発生したIVTM本体の落下事象については、現地においてAHMグリッパの外観調査、分解調査及びAHMグリッパ荷重データトレンドの評価を行うとともに、IVTM本体のハンドリングヘッドの外観調査、CCD

カメラ等による詳細観察等の外観調査を実施してきた。現地調査後、AHMグリッパの工場調査を実施するとともに、これら作業と平行して、AHMの運転・保守管理の状況、爪開閉ロッドの回転事象に係る考察、落下事象推定シーケンス等の検討評価、並びにIVTM本体の落下による影響調査として、IVTM本体の据付フランジと固定プラグ側の本体据付座を対象とする構造強度評価等を実施した。

これら原因調査の結果、本事象の直接原因は、爪開閉ロッドに回転防止のための措置が施されていないため、AHMグリッパのパワーシリンダU字金具のねじの緩みにより、爪開閉ロッドが正規位置から約 90° 回転したものであり、そのため、AHMグリッパの爪が正常に開閉せず、IVTM本体が片吊り状態となった後、AHMグリッパの爪から外れて落下に至ったものと推定した。なお、AHMグリッパの 270° 側の爪先端には、ずれ痕(メクレ)が確認されたが、本メクレ部の体積と母材側のメクレ部相当部位との体積比較により、本メクレ部において有意な欠損は無いことを確認したことから、本メクレがルースパーツ(脱落部品)となった可能性はないと判断した。

AHMグリッパに落下防止対策を施した上で、IVTM本体を原子炉容器から引き抜き、設備に対する影響評価を実施する。このため、以下のとおり、IVTM本体の引き抜きまでに確認すべき事項を定め、これら条件に対する対応状況を確認した。

① IVTM本体がAHMで吊り上げ可能であること。

CCDカメラ等により確認したところ、IVTM本体頂部に欠けや変形がなく、IVTM本体ハンドリングヘッドの機能が維持されていることを確認した。また、AHMグリッパの爪開閉ロッドが回転しない構造に変更し、更にU字金具のねじに接着剤による廻り止めを付加した。

② IVTM本体が正常な据付状態にあること。

IVTM回転ラック駆動軸の挿入確認等によってIVTM本体が正規の位置に着座していると判断するとともに、固定プラグ(燃料出入孔スリーブ)のIVTM本体の据付フランジについて、衝突で発生する応力を評価し損傷までには至らないと判断した。

③ 下部ガイドとの干渉がないこと。

回転ラックの旋回角度が基準位置にあり、下部ガイド内部に収納された状態であることを確認するとともに、IVTM本体の下端は通常時と同様に下部ガイドのテーパ部を摺動しながら降下し挿入されたものと考えられ、引き抜きに支障となる下部ガイドの変形はないものと考えられる。

上記①～③のとおり、AHMによるIVTM本体の引き抜きまでに確認すべき事項を満足していることを確認した。

なお、対策後のAHMグリッパについては、グリッパ爪のつかみ・はなし動作、IVTM本体の昇降動作などの機能に異常がないことを確認するため、グリッパ単体試験、IVTM本体の模擬体を用いた取扱試験を行い、対策の検証を実施した。また、併せて、パワーシリンダU字金具のねじの緩みを再現させる加振試験の実施に向けて、その入力条件となるAHMグリッパの各動作に対応する振動データを採取した。

以上のとおり、落下防止対策、及びIVTM本体の据付状態や下部ガイドとの干渉についての評価結果から、原子炉容器からのIVTM本体を安全に引き抜くことが可能であると判断した。

通報遅れについて、今回の通報連絡に時間を要した経緯、要因、再発防止対策の検討状況をまとめた。外部への通報連絡が迅速に対応できなかった要因は、異常発見時、発見者が直ちに当直長に連絡しなかったためである。現在、必要な改善策を順次実施しているところであるが、引き続き背景要因等も含め検討を進めていく。

## 17. 今後の予定

今後、落下防止対策を施したAHMによるIVTM本体の引き抜きを行う。

IVTM本体の引き抜きに際しては、予め操作手順を定め、特にAHMの昇降ストロークに見合った荷重が得られていることを確認しつつ、IVTM本体の引き抜き荷重を測定することで想定外の干渉がないことを確認する。その後、IVTM本体、及び原子炉容器側の構造物について、今回のIVTM本体の落下に伴う変形や損傷など、不具合の有無、程度を確認するため、上部案内筒内面、燃料出入孔スリーブ据付部等、並びに、しゃへいプラグについて、影響評価(現地調査及び解析評価)を行うとともに、これら詳細評価に基づき、ルースパーツ(脱落部品)がないことを確認する。

一方、パワーシリンダU字金具のねじが緩み、爪開閉ロッドが回転したメカニズムを検討するため、ねじに緩みが発生する条件を再現させる加振試験を実施する予定である。試験に際しては、ゴムワッシャの締め込み状態や劣化状態等を変化させた条件で加振試験を行い、パワーシリンダ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。また、平成15年にパワーシリンダを交換したときの工場及び現地での組立手順など、パワーシリンダ(購入品)メーカ及び元請メーカの管理方法等を調査し、緩みの発生時期の特定を行い、原子力機構も含めた設計管理や調達管理等に問題がなかったかという観点からU字金具のねじが緩んだ根本的な原因を究明し、再発防止の検討を進めていく。

また、通報遅れについては、引き続き背景要因等も含め検討を進めていく。