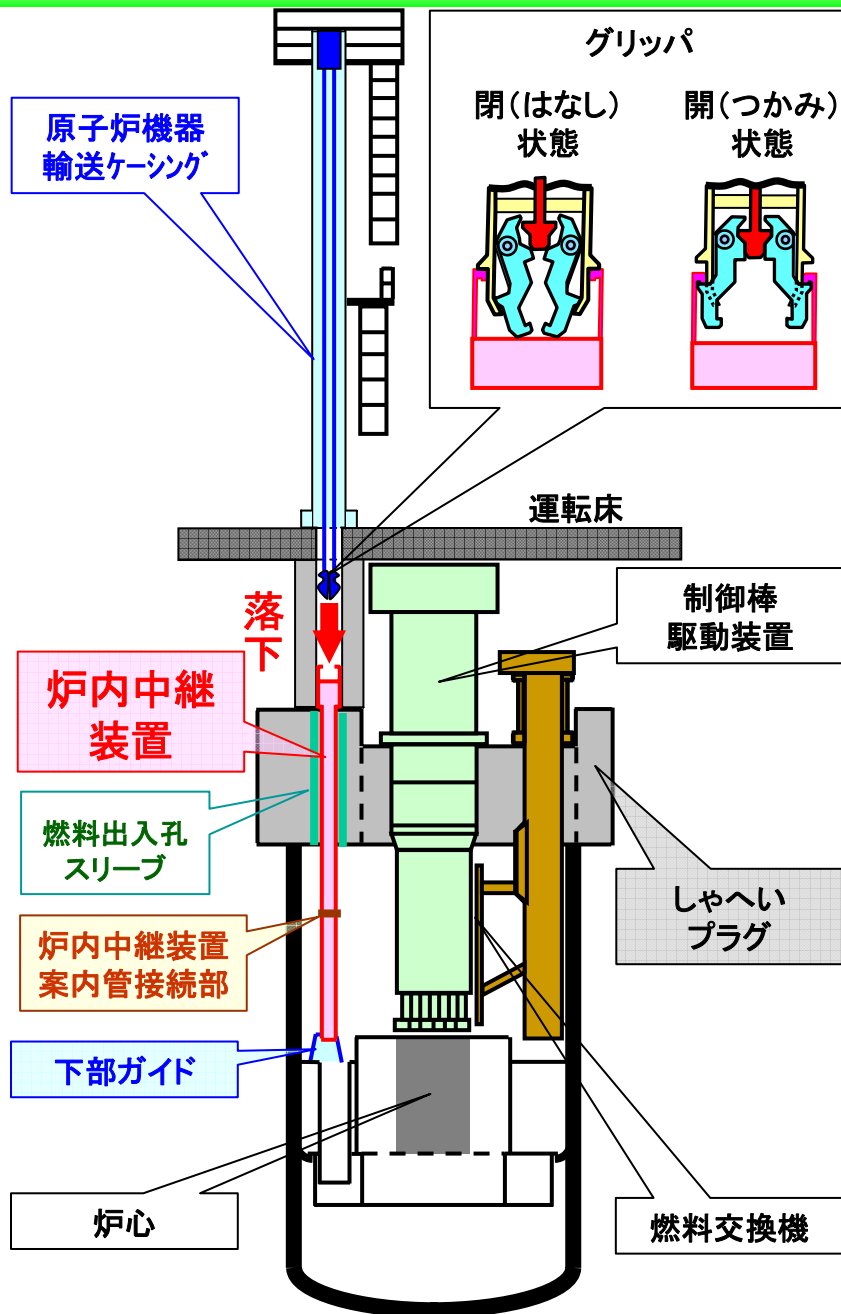


炉内中継装置の落下に係る原因と再発防止対策 および炉内への影響評価について

平成24年9月6日
独立行政法人 日本原子力研究開発機構



(平成22年)

8月26日 : 燃料交換の後片付け作業中、約2m吊り上げた炉内中継装置(約3.3トン、全長:約12m)が落下。

12月16日 : 性能試験工程と炉内中継装置の復旧作業を公表。

(平成23年)

(第三者からなる炉内中継装置等検討委員会(IVTM委員会)の第1回開催(1月18日))

5月24日 : 引抜きに向けた作業の開始。

6月24日 : 炉内中継装置と燃料出入孔スリーブの一体引抜き作業の完了。

7月12日 : 炉内中継装置分解点検終了。

8月29日 : 燃料出入孔ドアバルブ等復旧作業開始。

(第66回原子力安全専門委員会にて炉内中継装置の点検・調査状況について報告(10月27日))

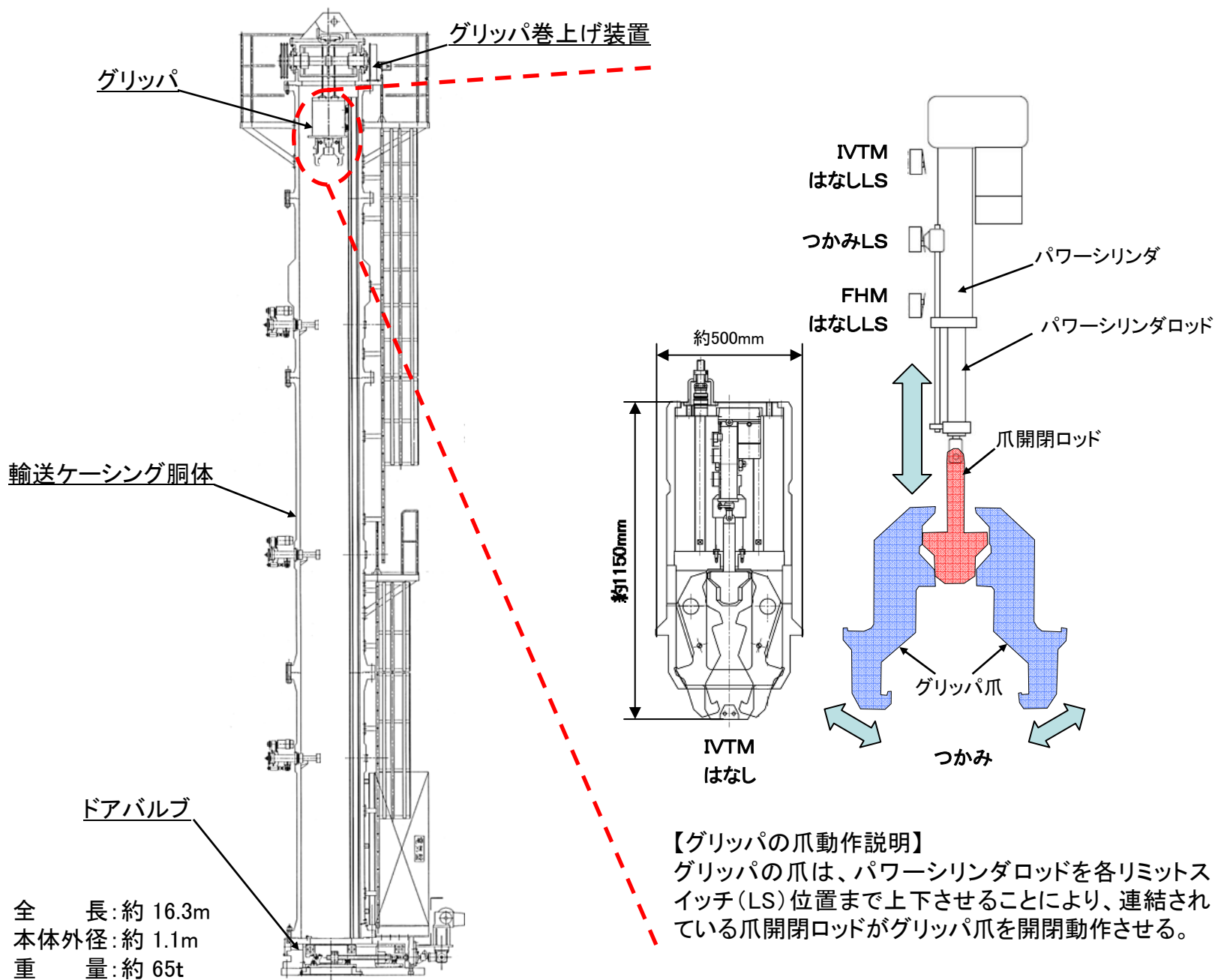
11月11日 : 燃料出入孔ドアバルブ等復旧作業終了。

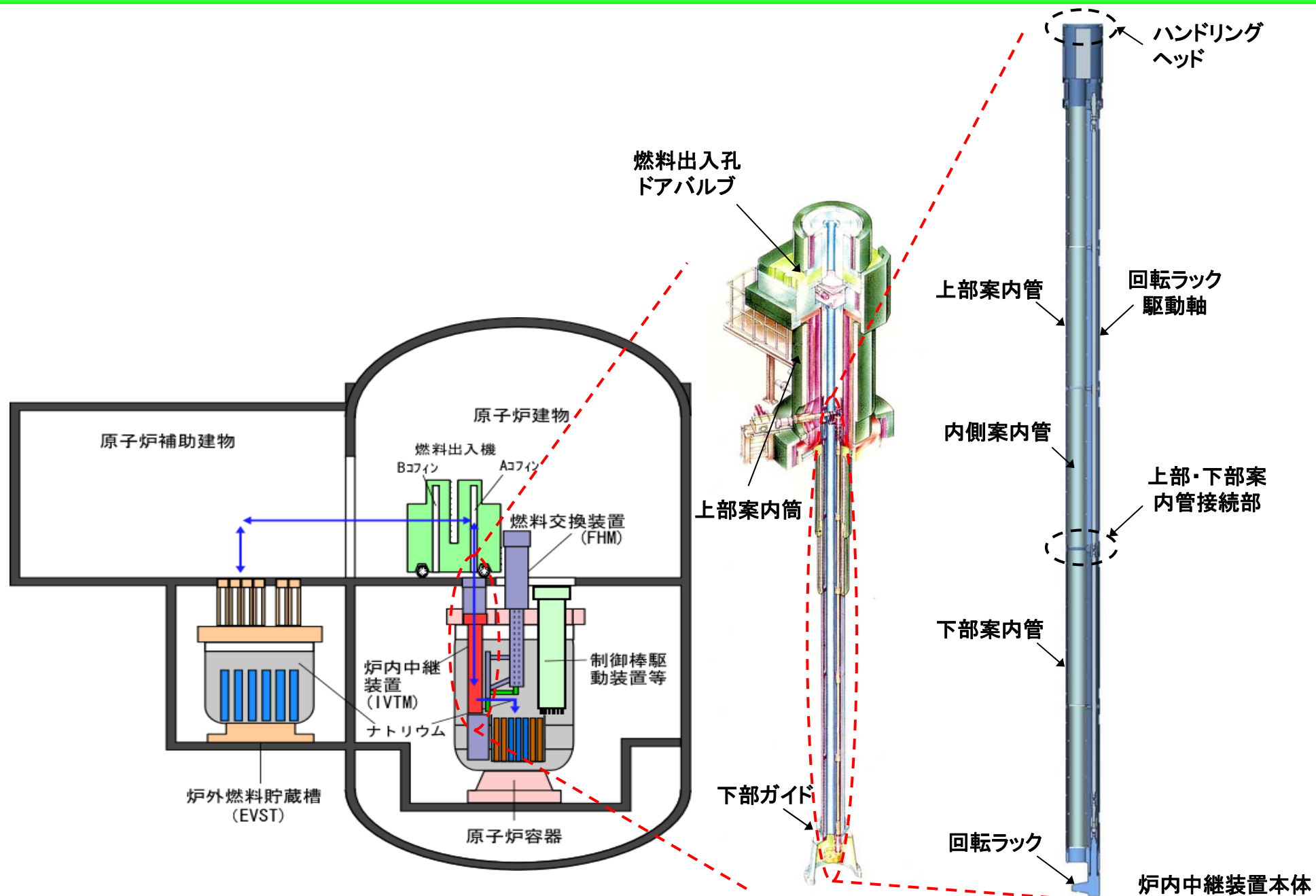
(平成24年)

(第5回IVTM委員会にて設備への影響評価、原因対策等報告(1月26日))

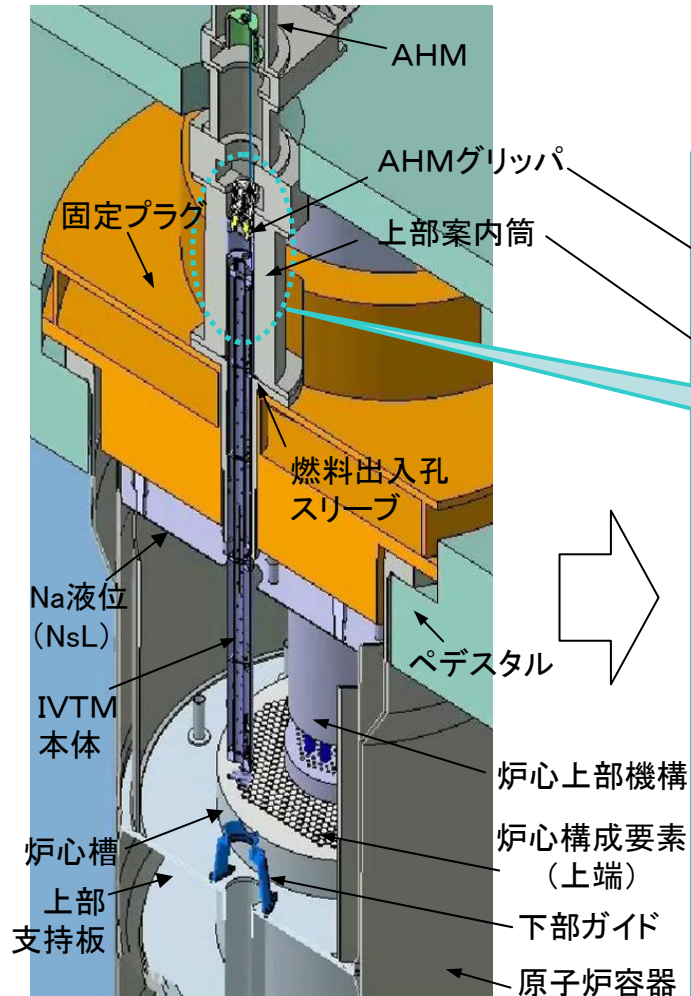
3月 9日 : 炉内中継装置の落下に係る原因と対策等の報告。

8月 8日 : 異常時終結連絡書の提出



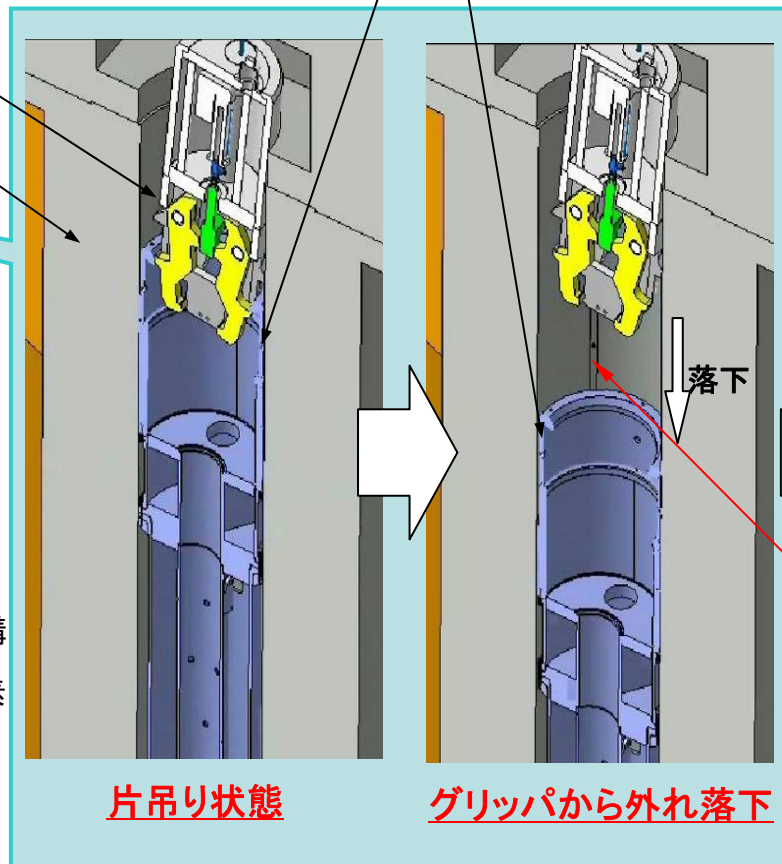


IVTM本体吊り上げ状態(落下前)

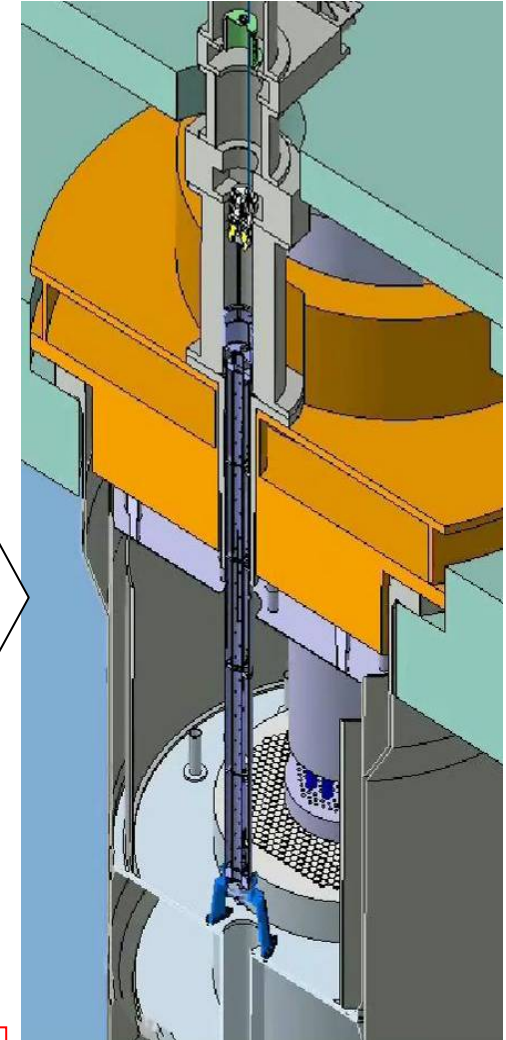


IVTM本体は約2m吊り上げた時点でAHMグリッパから外れ、ガイドキーにガイドされながら落下

IVTM本体上端
(ハンドリングヘッド部)

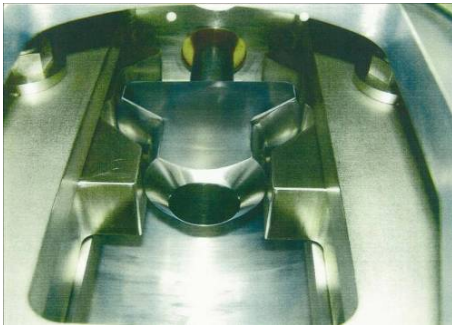


IVTM本体落下後の状態(着座後)

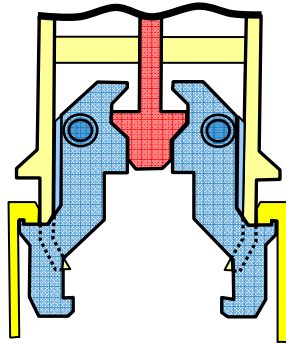


上部案内筒内面のガイドキー
(周方向に4つ)

炉内中継装置の落下に係る原因と再発防止対策



【爪開閉ロッドの正常な状態】



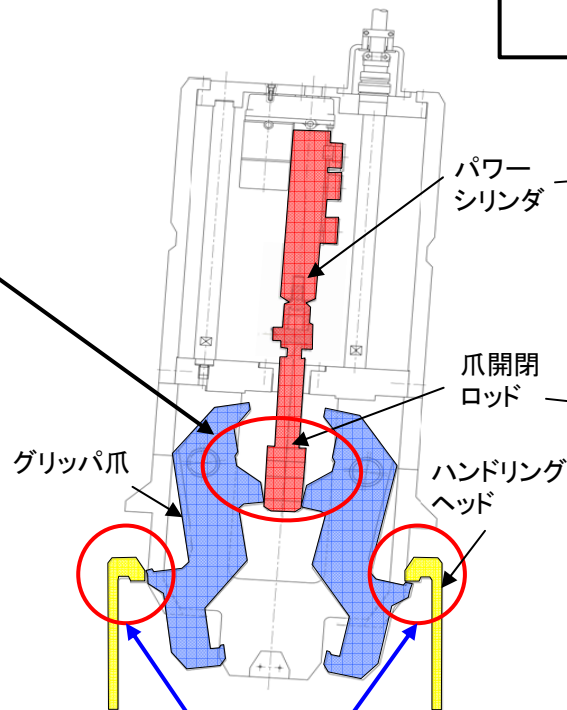
【正常なつかみ状態】

【IVTM本体が落下した推定原因】

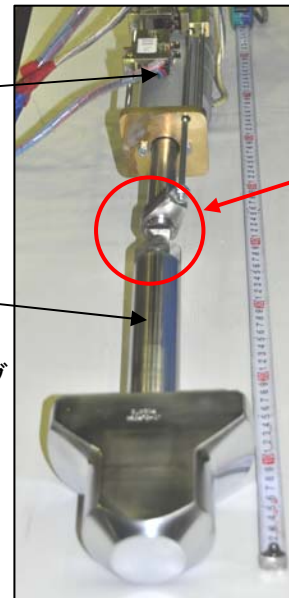
- ① 爪開閉ロッドとパワーシリンダの接続部のU字金具のねじが徐々に緩み、爪開閉ロッドが回転した。
- ② 爪開閉ロッドが90° まで回転したことにより、グリッパ爪が正常に開かなくなった (AHMグリッパの形状が維持できなくなった) ことから、正常なつかみ状態とはならなかった。
- ③ IVTM本体は、この状態でつり上げが行われたため、片側のグリッパ爪のみによる片吊りの状態となり、約2m吊り上げた位置でつかみ部のバランスが崩れたことにより、グリッパ爪から外れて落下に至った。



平板形状の爪開閉ロッドが回転したため、爪が正常に開かない状態となった。



グリッパ爪とハンドリングヘッドの嵌合部



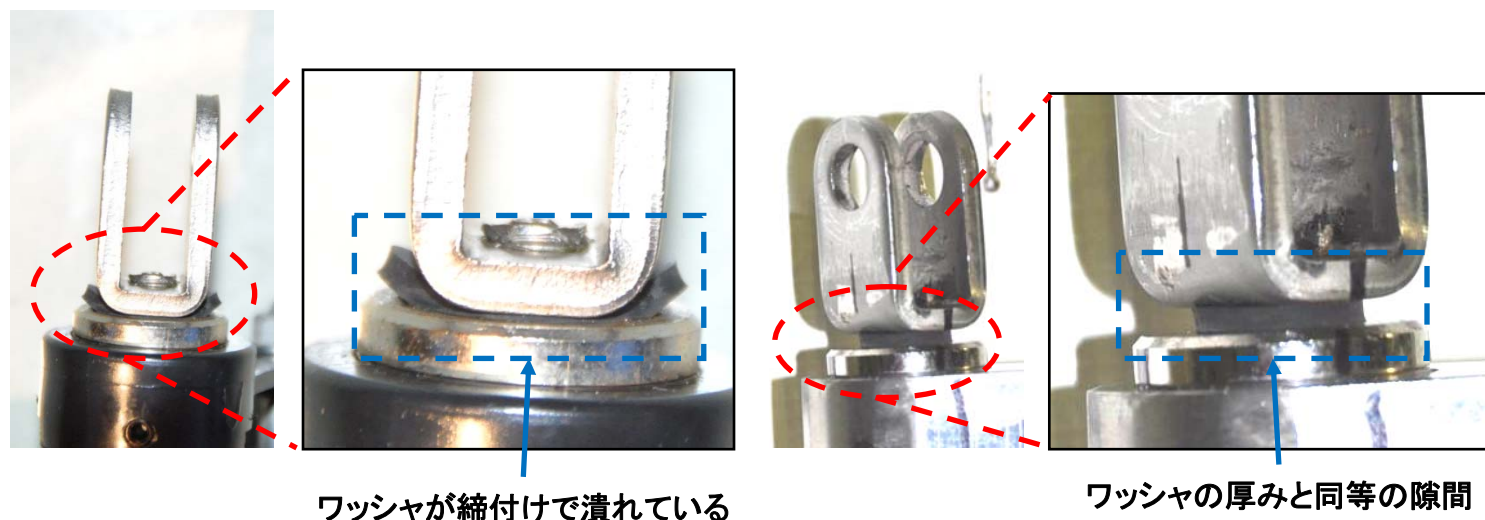
U字金具ねじ部の緩み防止が十分でないと爪開閉ロッドは回転する構造となっていた。

パワーシリンダのU字金具

【AHMグリッパの形状が維持できなくなるに至った推定原因】

- ① 基本設計段階で爪開閉ロッドの回転を想定していなかったため、つかみ部の形状維持に対する基本要件機能が適切に反映されなかった。
- ② 詳細設計段階で、爪開閉ロッドとパワーシリンダの接続部がねじ構造であることを認識したが、ねじ構造を排除するなど、つかみ部の形状維持に係る対策が検討されなかった。
- ③ 一方、製作段階で、U字金具のねじに緩み止め接着剤が塗布されたが、平成15年のパワーシリンダを交換した際、緩み止め接着剤の塗布の指示及び塗布に関する記録がなかったことから、緩み止め接着剤がU字金具のねじに塗布されなかった。
- ④ 緩み止め接着剤が塗布されなかった状態で使用したことにより、U字金具のねじの緩みが発生し、AHMグリッパのつかみ部の幾何学的形状が維持されず、IVTM本体の落下に至った。

時期	実施内容
平成元年	AHM製作 (緩み止め接着剤塗布)
平成15年4月	パワーシリンダの交換 を決定
平成15年6月	パワーシリンダの交換 要領作成(緩み止め 接着剤塗布の指示なし)
平成15年6月	パワーシリンダの交換 (緩み止め接着剤塗布 されず)



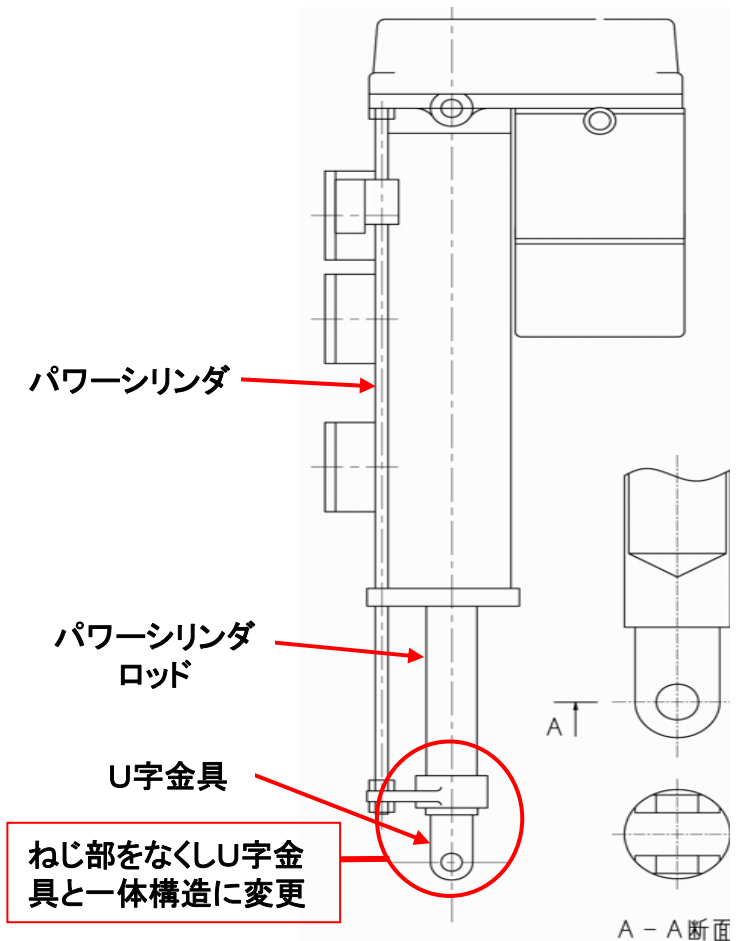
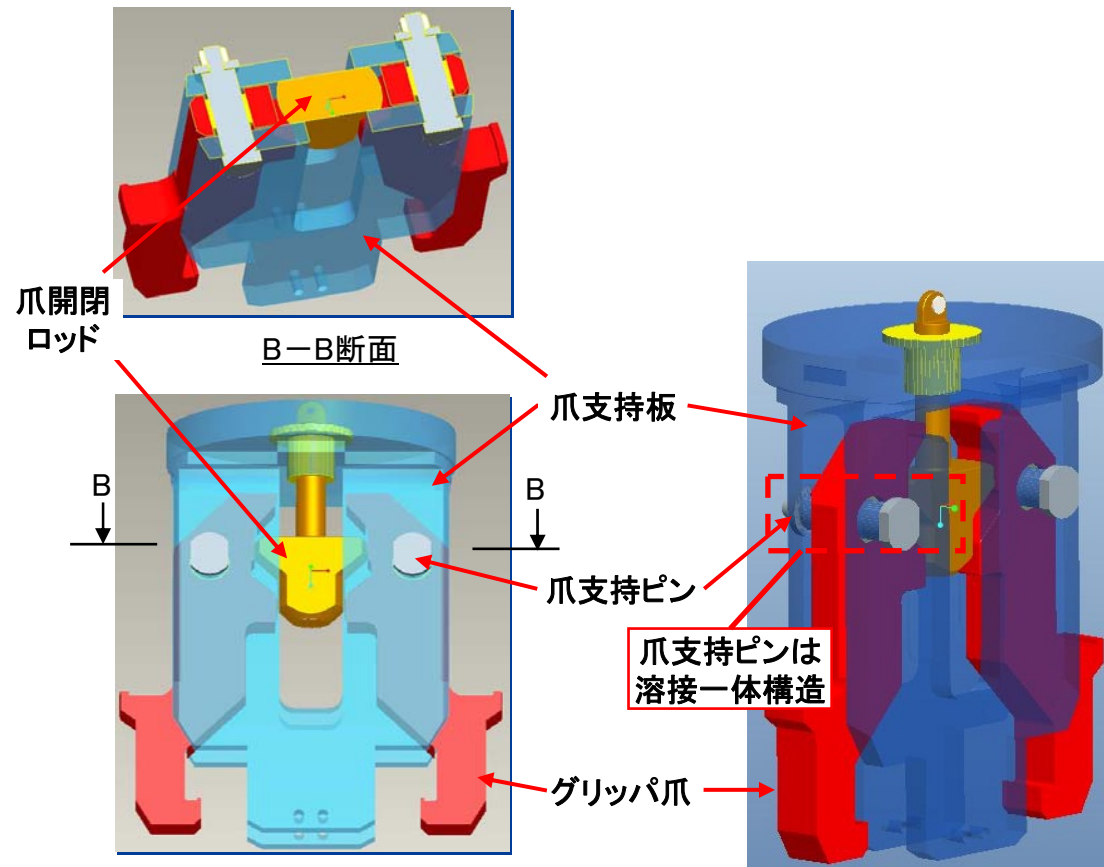
交換前のパワーシリンダ
(平成2年～平成15年)

交換後のパワーシリンダ
(落下事象発生時)

爪開閉ロッドの回転防止

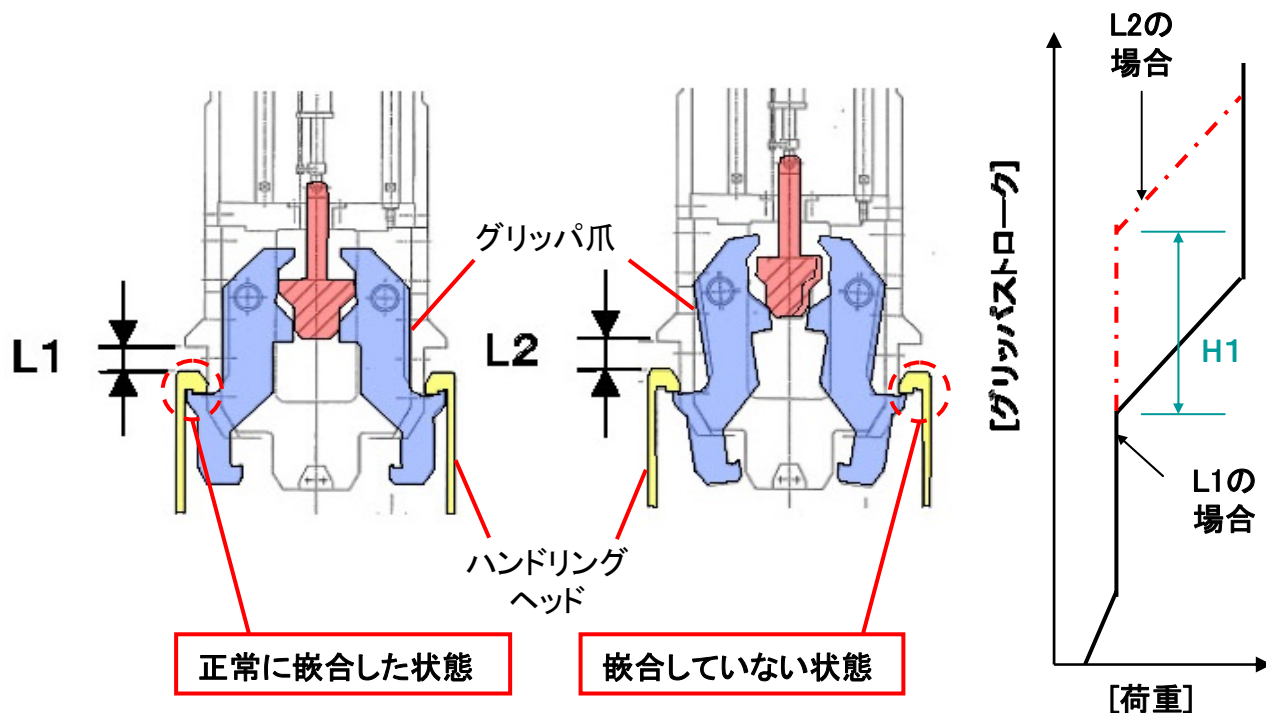
グリッパの爪支持板開口窓を狭め、爪開閉ロッドの回転を抑制
合わせてパワーシリンダへの回転力伝達を防止

パワーシリンダロッドとU字金具を一体化し、接続部のねじ構造を排除



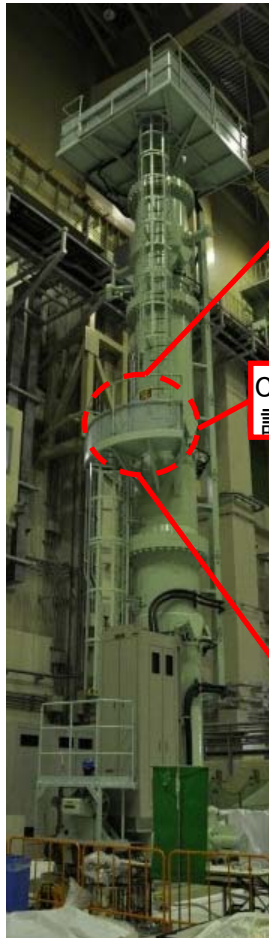
正常なつかみ状態の検出

グリッパ爪がハンドリングヘッドと正常に嵌合した状態と嵌合していない状態では、荷重を検出する位置に差が出ることから、この差(H1)を検出できるようにし、グリッパ爪が正常に開き、つかみ状態となっていることを検出



【吊り・不吊り判定に係る機能の改良点】

機能	現状	改良案
位置検出器	cm単位	mm単位(高精度化)
グリッパ昇降速度	低速: 約 0.3m/min 高速: 約 3m/min	「低低速」機構追加 低低速: 約 0.21m/min 低速: 約 0.3m/min 高速: 約 3m/min
予備判定	なし	盤への警報等追加



CCDカメラ
設置位置

AHMグリッパ

アルゴンガス
雰囲気

AHM胴

新設の点検窓

新設のCCDカメラ
(照明付き)

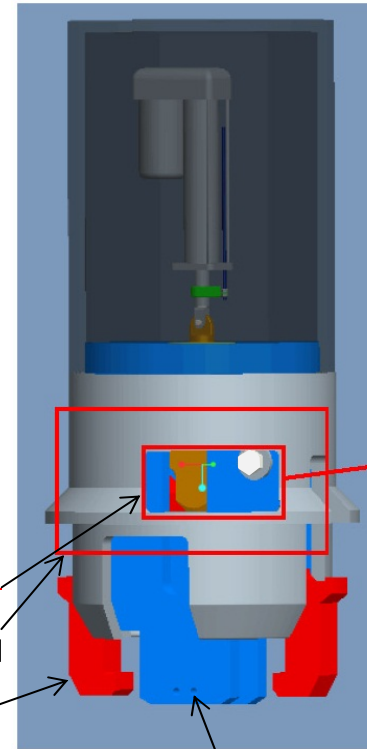
既設の点検用孔

新設の点検窓

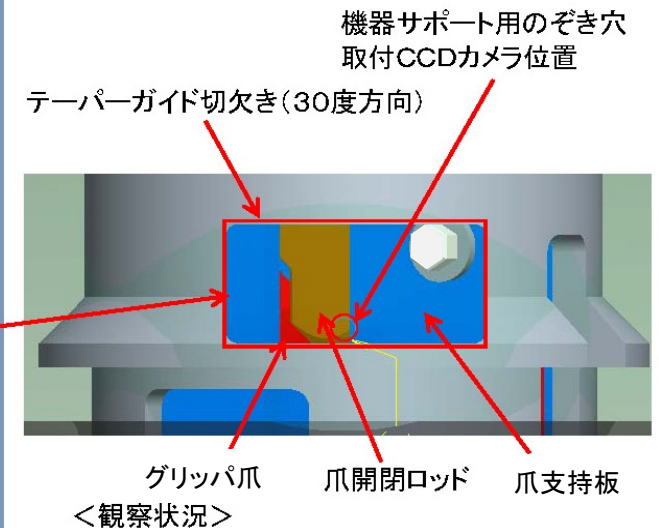
CCDカメラ視野範囲

グリッパ爪

目視による爪開閉状態等の点検



爪支持板

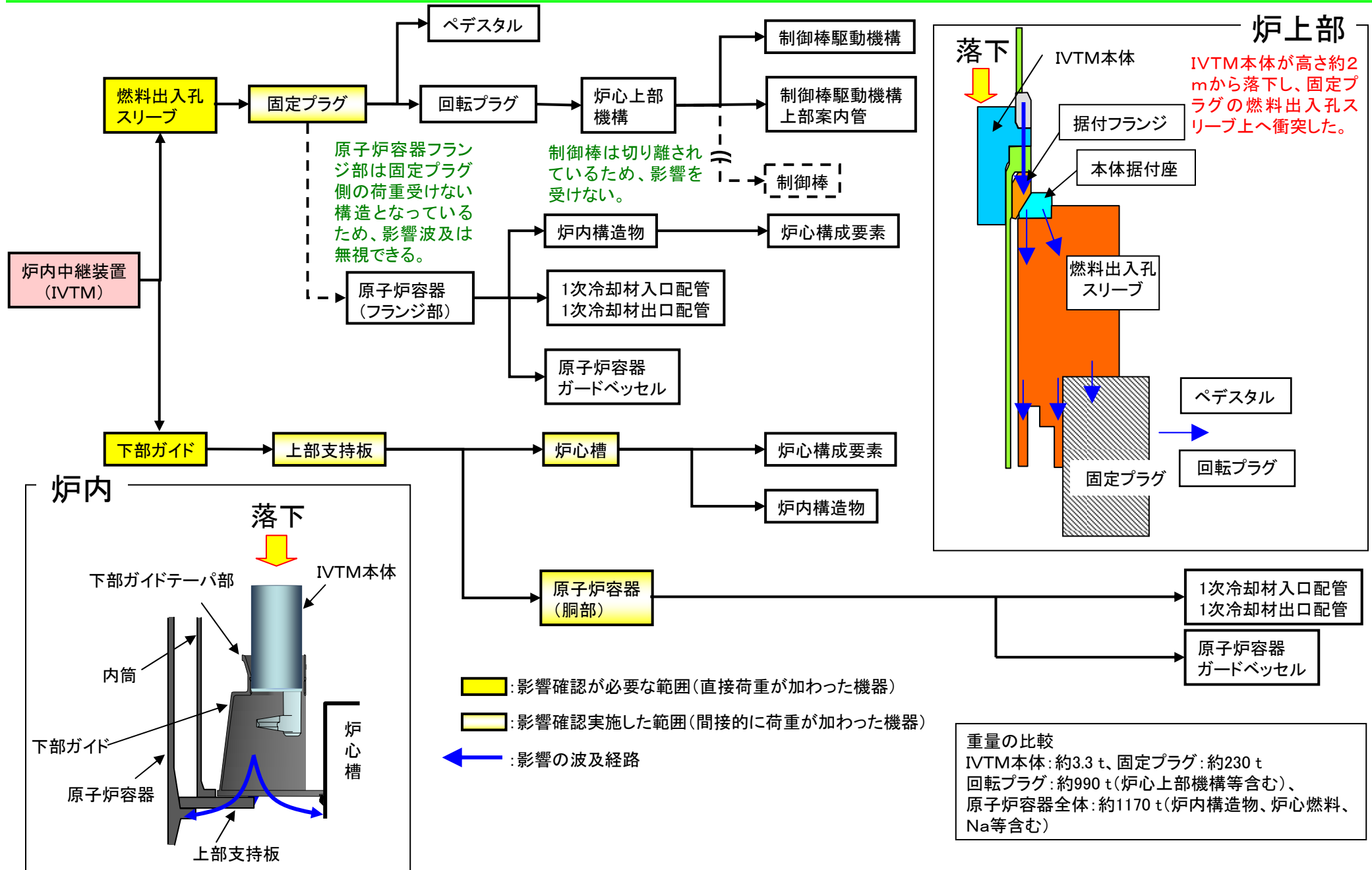


爪(図中赤色部品)と爪開閉ロッド(図中黄土色部品)との噛み合い状態が観察できる。

点検窓からの観察イメージ

AHM内部はアルゴンガス雰囲気となっており、AHMを開放して直接目視による爪の開閉状態が確認できない。AHMを使用する直前に既設の点検用孔からCCDカメラで爪の開閉状態等を点検できるようAHMグリッパに新たに点検窓を設けた。

炉内への影響評価について



炉内中継装置本体は上部案内筒内のガイドキーに沿って落下

燃料出入孔スリーブの点検結果

■燃料出入孔スリーブ内面に落下に伴う傷なし。

炉内中継装置本体の点検結果

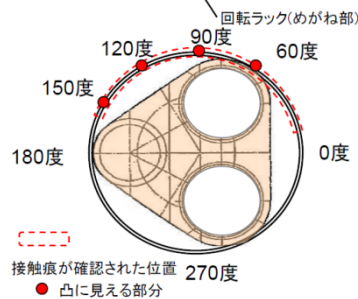
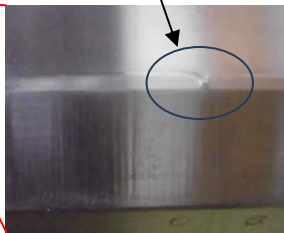
■炉内中継装置本体外面に落下に伴う傷なし。
 ■炉内中継装置本体の回転ラック軸受台に約30° ~ 170° に圧痕深さ最大約0.2mmを確認(30° おきに原形を保つ部分がある)。
 →結果を下部ガイドの評価に使用。

■炉内中継装置本体の据付フランジに圧痕深さ最大約0.1mmを確認。
 →結果を燃料出入孔スリーブに使用。

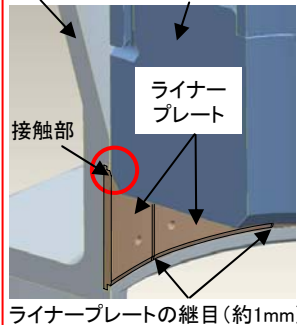
回転ラック軸受台



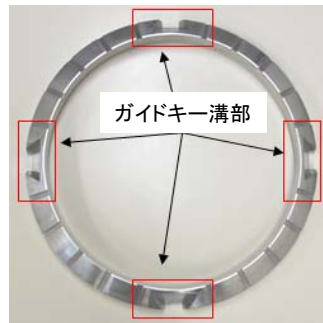
原形を保つ部分



下部ガイド 回転ラック軸受台
 テーパー部 (炉内中継装置本体)



ガイドキー溝部

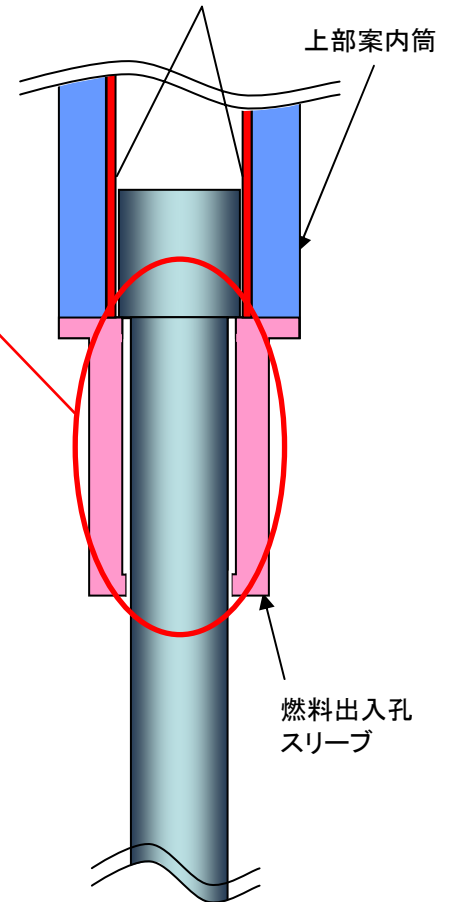


圧痕

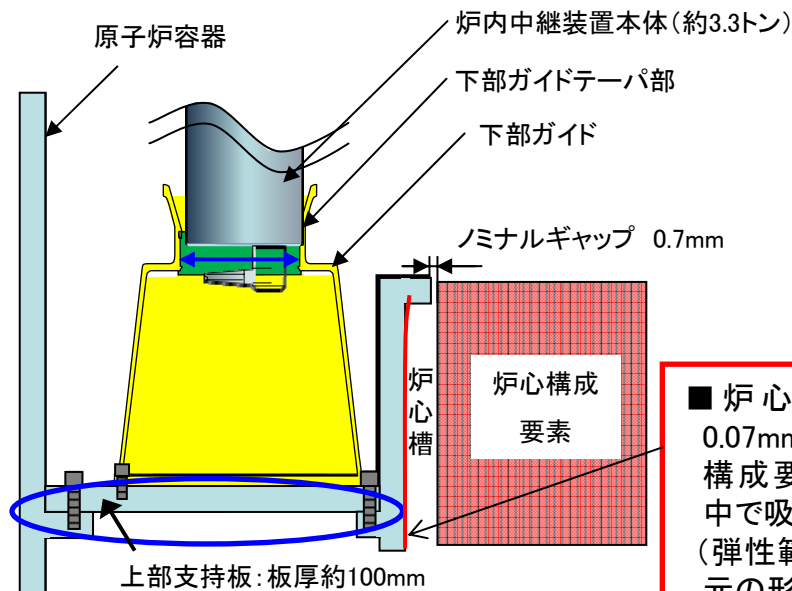
据付フランジは再製作品を使用する。

ガイドキー: 周方向4箇所に設置

上部案内筒



炉内中継装置本体はほぼ鉛直に落下し、下部ガイド円筒部のライナープレートに接触。

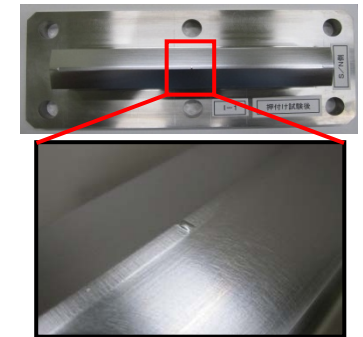
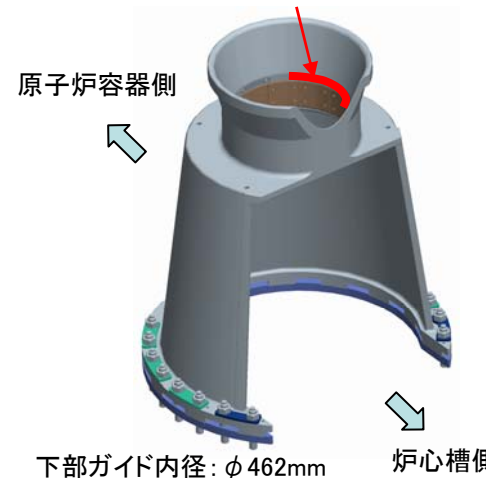


■ 炉心槽の変位は最大0.07mmで、炉心槽と炉心構成要素とのギャップの中で吸収される。
(弾性範囲の変位のため、元の形状に戻る)
→ 炉心燃料への影響はない。

■ 炉内中継装置本体の落下荷重により原子炉容器、炉心槽、上部支持板、取付けボルト等に加わる力は評価基準値内のため構造健全性は問題ない。
→ 原子炉容器、炉内構造物に落下の影響はない。

■ 燃料出入孔スリーブのフランジ部に発生する荷重は評価基準値内のため構造健全性は問題ない。
→ 燃料出入孔スリーブは再使用する。

炉内中継装置本体との接触位置
(下部ガイドのライナープレート)

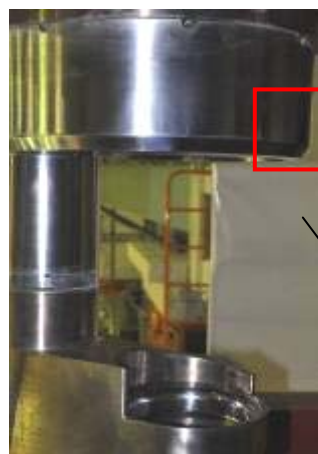


検証試験状況

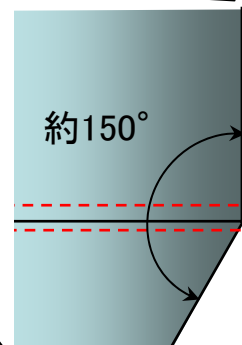
■ 下部ガイド支持部(円筒部)の径の変位量は、 $-0.11\text{mm} \sim +0.15\text{mm}$ であり、炉内中継装置本体(460mm)と下部ガイド内径(462mm)の間にあるギャップ2 mm以下である。また、下部ガイドの内径(462mm)の設計公差 $\pm 2\text{mm}$ と比較して変形量は十分小さなものである。

→ 下部ガイドの機能は確保されている。
(下部ガイドの影響評価は試験片を用いた検証試験を実施し妥当性を確認している)

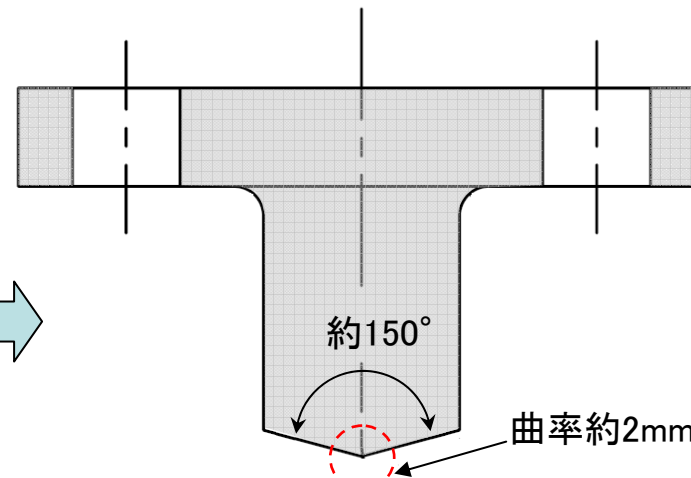
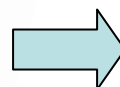
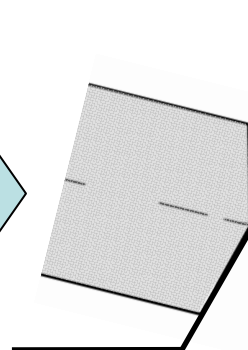
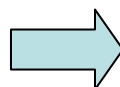
炉内中継装置落下による影響評価の結果、燃料出入孔スリーブの健全性と下部ガイドの機能は確保されている。また、原子炉容器、炉内構造物、炉心燃料への影響はない。



圧痕が確認された回転ラック下端部
(曲率約2mmのなめらかな角)



約150°



約150°

曲率約2mm

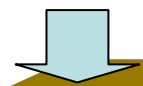
回転ラック軸受台(実機)

回転ラック軸受台模擬体

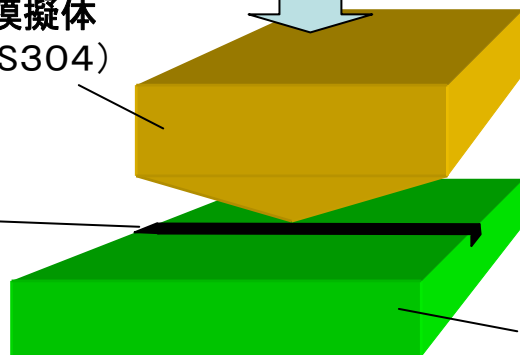
■ 検証試験の概要

IVTM側試験片:
回転ラック軸受台模擬体
(ステンレス鋼:SUS304)

押付け荷重

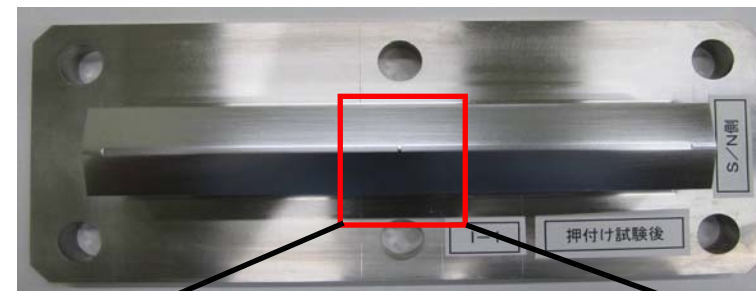


隙間を模擬

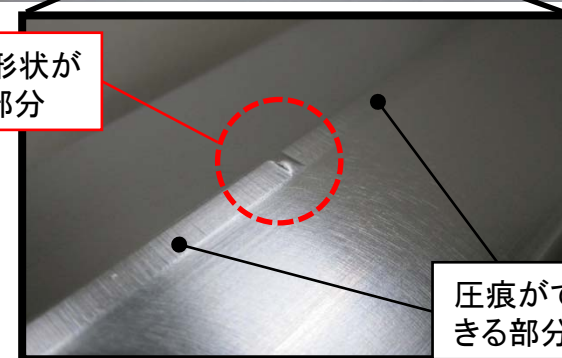


下部ガイド側試験片:
ライナープレート模擬体
(ニッケル基合金:インコネル718)

押し付け試験



元の形状が
残る部分



圧痕がで
きる部分

試験後外観写真(試験条件No.1:押付け荷重700kN)

【IVTM本体】

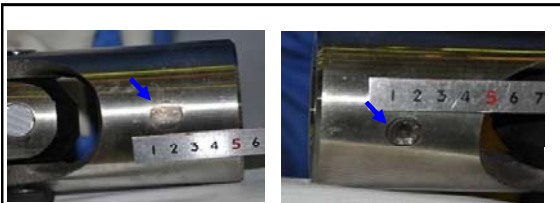
IVTM本体の組立図に基づき点検リストを作成し点検を実施。

■上部ハウジング部

→構成部品に脱落がないことを確認。

■駆動軸部 (IVTM本体内部)

→平行ピンは破損していたが、部品に脱落がないことを確認。



ユニバーサルジョイント側



駆動軸側

→ : 平行ピン

■上部・下部案内管接続部

→接続ピン、取付けボルトに変形は生じたが構成部品に脱落がないことを確認。

接続ピン(中心に取付ボルト)

接続ピン(中心に取付ボルト)



■回転ラック部

→構成部品に脱落がないことを確認。

→IVTM本体には削れ、メクレはなく、構成する部品全てが回収されていることからルースパーツはない。

【燃料出入孔スリーブ】

■本体据付座

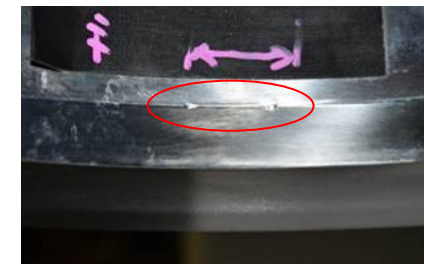
取付ボルト、Oリングに脱落がないことを確認。

■燃料出入孔スリーブ下端

下端の圧痕に欠損がないことを確認。



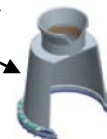
燃料出入孔スリーブ下端の圧痕



2 の圧痕拡大写真

→燃料出入孔スリーブには欠損はなく、構成する部品全てが回収されていることからルースパーツはない。

下部ガイド



【下部ガイド】

下部ガイドの組立図に基づき点検リストを作成し評価を実施。

■下部ガイドの影響評価における確認

→下部ガイドのライナープレートの嵌合部に発生する塑性ひずみが約0.35%であり、大きな変形が生じないため、ライナープレートの脱落はないと評価した。

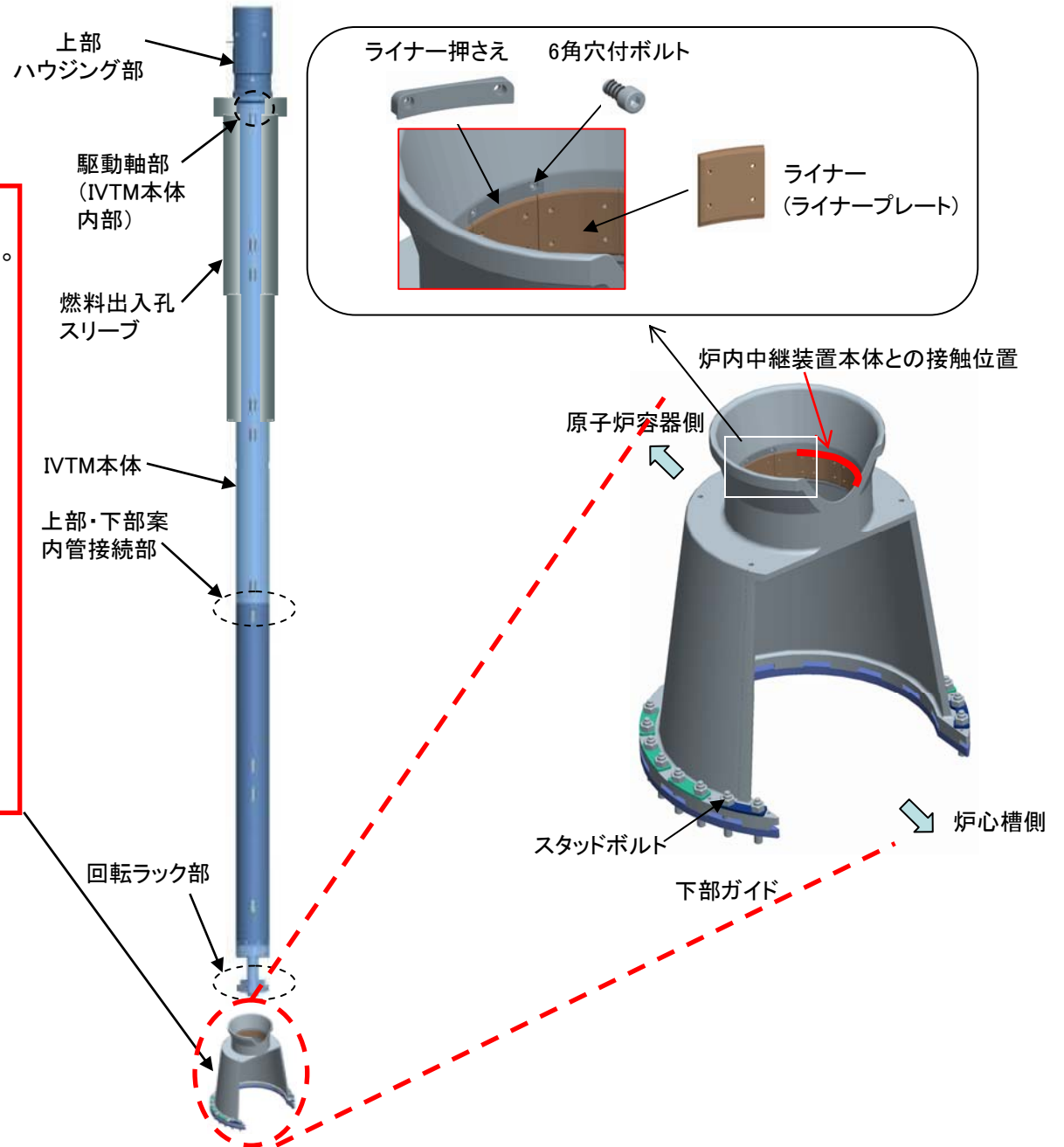
→ライナー押さえ、六角穴付ボルト取付け位置には直接IVTM本体が接触していないことと弾性範囲内のひずみであることから脱落はないと評価した。

→下部ガイドを据付けているスタッドボルトに発生する応力は評価基準値以内であるため、上記以外の構成部品に脱落がないことを評価した。

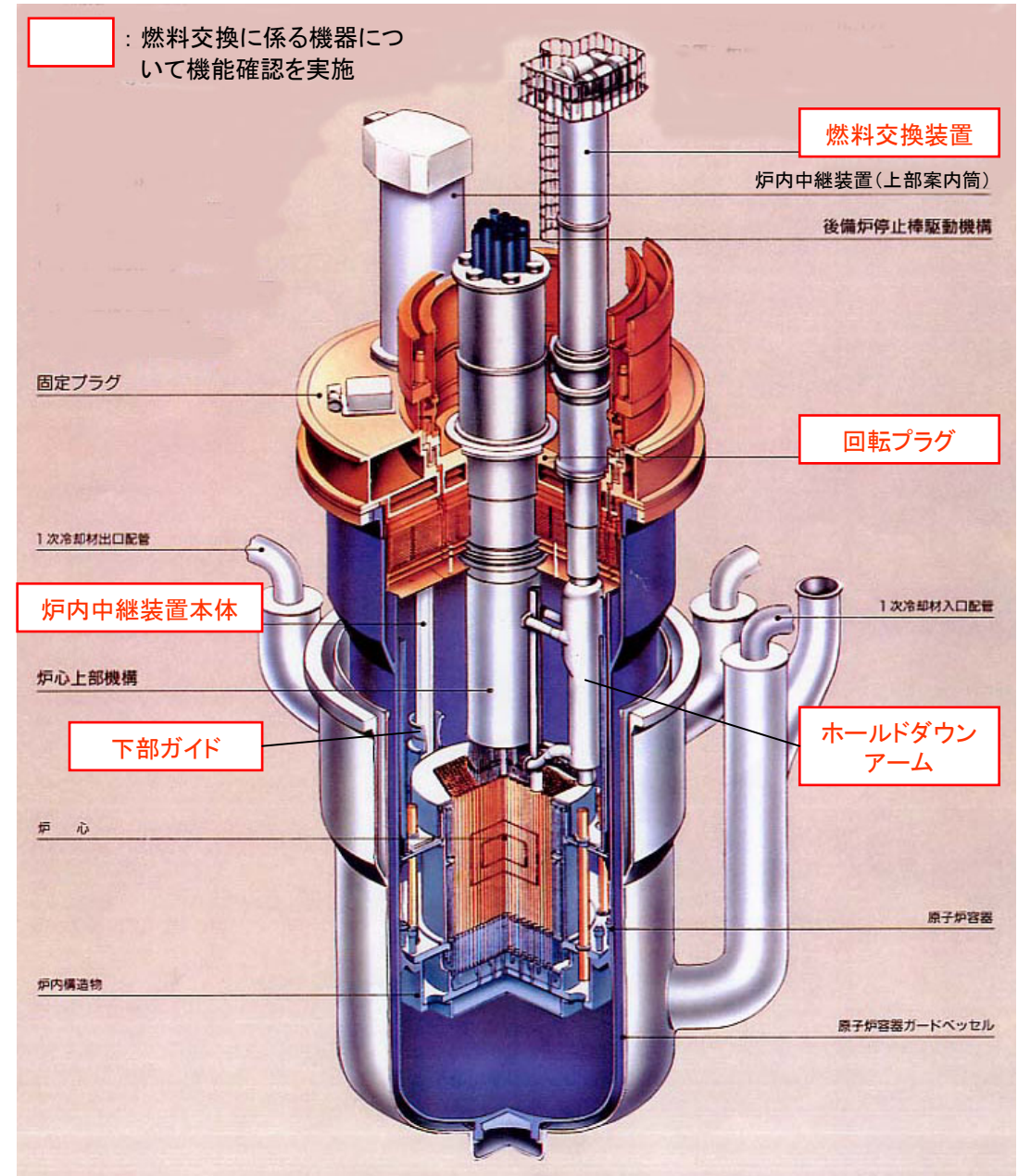
■炉内中継装置本体の挿入・引き抜き時の荷重に基づく評価

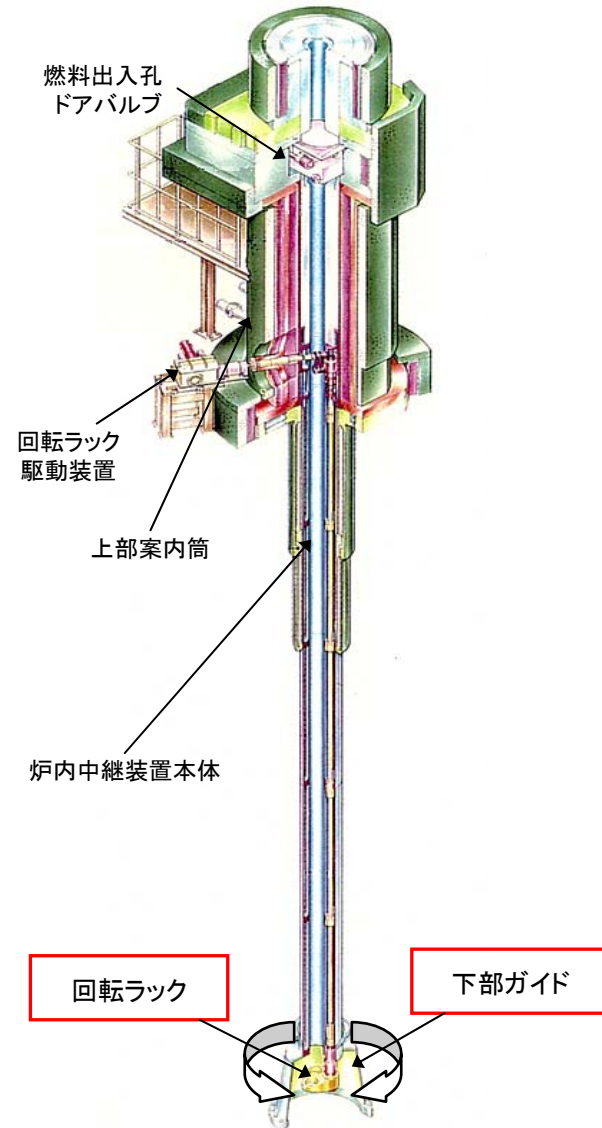
→荷重チャートに異常な荷重指示の上昇や低下がみられないことからライナープレート等の脱落がないことが裏付けられた。

→下部ガイドを構成する部品にルースパーツはない。



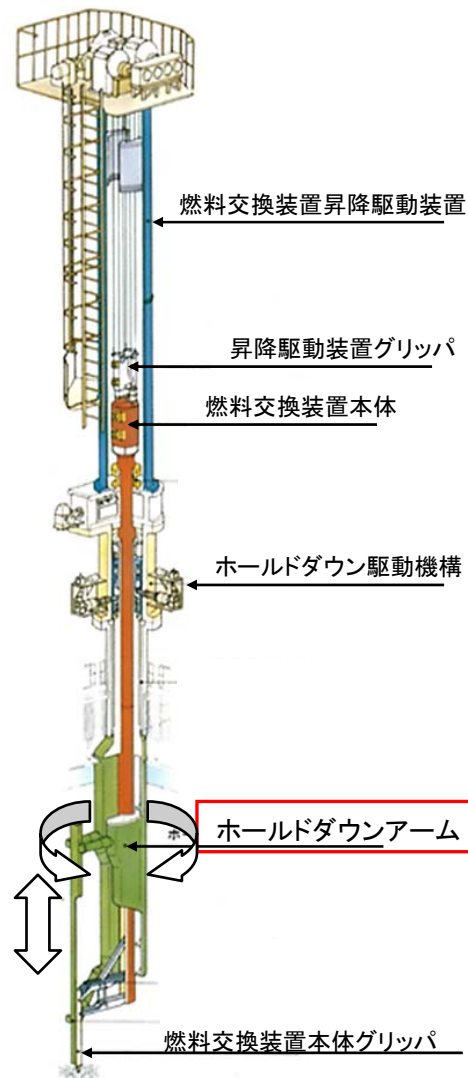
- 炉内中継装置本体落下時に原子炉容器内に設置していた下部ガイド、回転プラグ等の燃料交換に係る機器については、IVTM本体の落下による設備への影響評価において、健全性が確保されていることを確認し、再使用することとした。
- 当該機器については、改めて単体での機能を確認した上で、一連の燃料交換が設計どおりに行えることを実動作によって確認した。
- 再製作したIVTM本体についても、同様に実動作によって確認した(使用前検査を受検)。
- AHMグリッパについては落下防止対策を施し、取扱対象機器(IVTM本体及びFHM本体)を正常に炉内へ装荷及び炉内から引き抜けることを確認した。



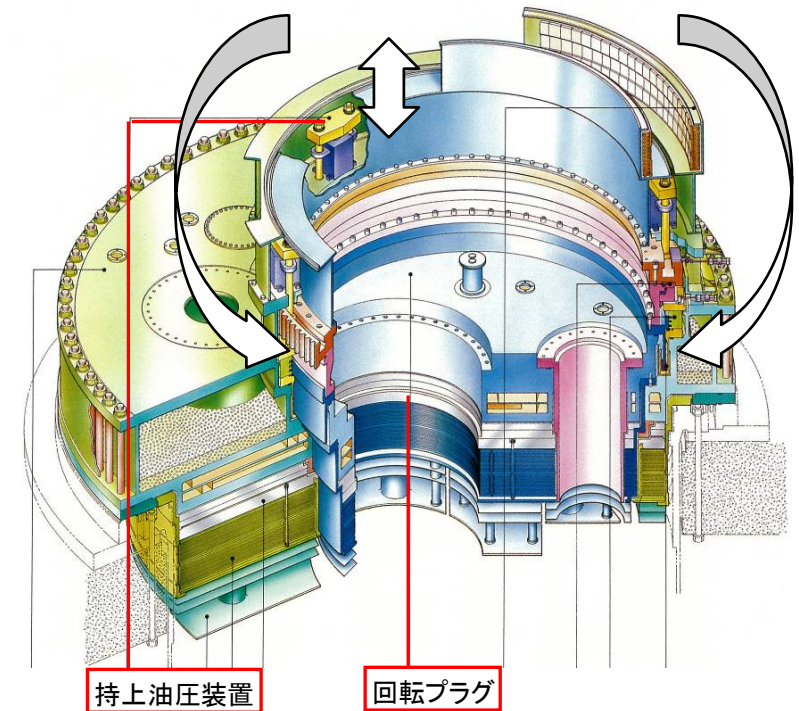


回転ラックは、正常に回転できることを確認

下部ガイドは、炉内中継装置本体のガイド機能
及び回転ラック回転時の振れ止め機能を確認



ホールドダウンアームは、正常に旋回できるこ
と及び正常に昇降できることを確認



回転プラグは、正常に旋回できること及び持上油圧
装置によって正常に昇降できることを確認

機器単体での機能確認

- (1) IVTMの分解点検から、IVTM本体の下端部等に圧痕等を確認し、IVTM本体は下部ガイドの内面に接触したと推定した。
- (2) 落下原因は、AHMにおいて、つかみ装置を作動させる爪開閉ロッドのU字金具のねじが緩み回転した。このため、グリッパ爪が十分に開かず、正常なつかみ状態とならなかった。
- (3) 再発防止対策として、①AHMグリッパの構造変更、②吊り・不吊り判定の支援機能強化、③容易に機能を喪失しない設計を確認する要領書等、品質マネジメントシステム(QMS)の改善を行った。
- (4) 落下による影響評価として、構造解析や検証試験の結果から、IVTM本体との接触による下部ガイドの内径の変形量は小さく、それ以外の炉内構造物等に対する影響はないと評価した。また、構成部品に脱落はなくルースパーツはないと判断した。
- (5) これら原因調査、影響評価等の結果については、外部の専門家による検討委員会を設置し、確認を受けてきた。
- (6) 炉内中継装置本体落下時に原子炉容器内に設置していた機器及び新規製作した炉内中継装置本体は、一連の燃料交換が設計どおりに行えることを実動作によって確認した。
- (7) 水平展開として、グリッパ機構を有する設備又は取扱い対象として安全上重要な設備を吊る設備について、確実に落下防止対策が施されていること等を確認した。