

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

平成22年10月20日

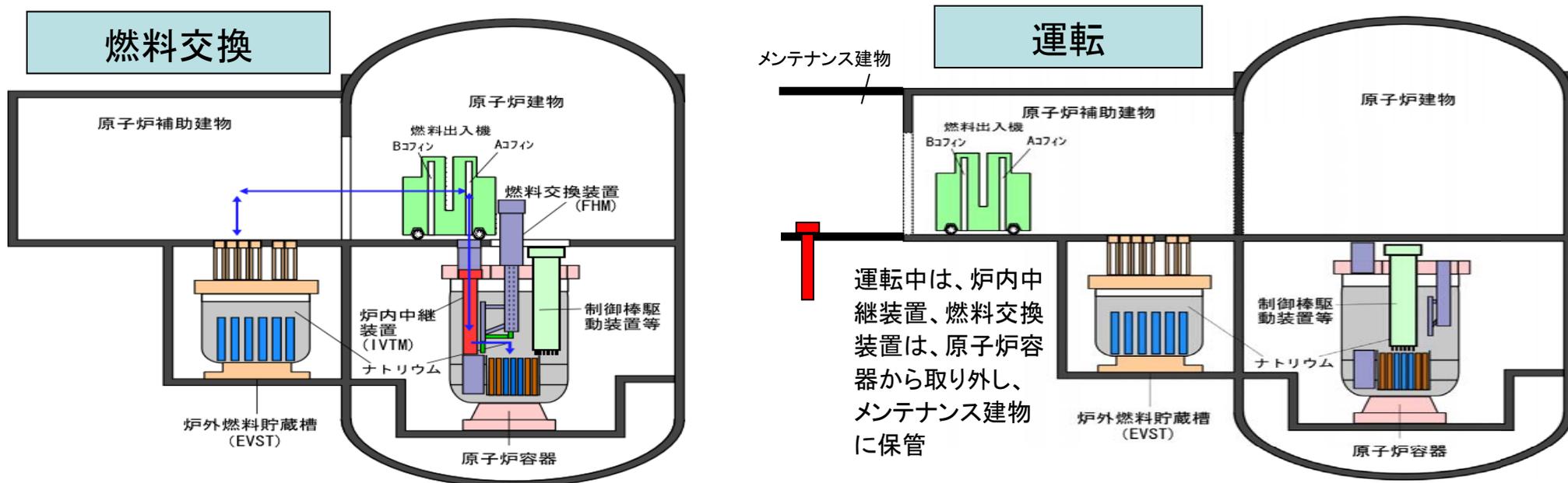
(独)日本原子力研究開発機構
敦賀本部
高速増殖炉研究開発センター

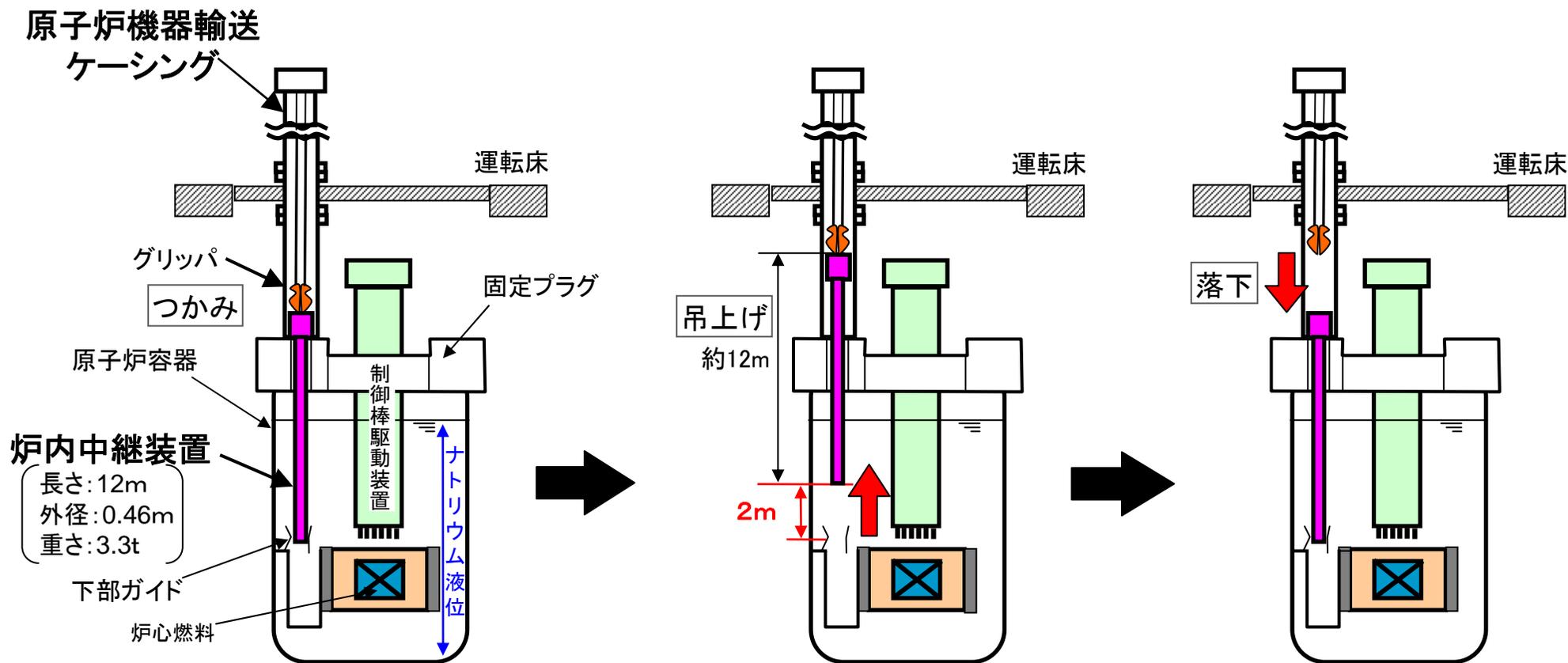
平成22年8月26日(水)14時48分頃、燃料交換作業の片付けのため、原子炉建物において、原子炉機器輸送ケーシングを用いて、炉内中継装置を取り出す作業をしていたところ、原子炉容器内より約2m吊り上げた時点で、炉内中継装置が落下しました。

炉内中継装置とは

「もんじゅ」の燃料交換では、炉外燃料貯蔵槽にある新燃料と、炉心の使用済燃料を1体ずつ交換します。炉内中継装置は、燃料交換時に使用する設備で、原子炉容器へ新燃料を運び込む作業と使用済燃料を運び出す作業を行なうため、炉内で受渡しする設備で、「もんじゅ」特有のものです。

また、原子炉運転時は取り外して、メンテナンス建物に保管しています。

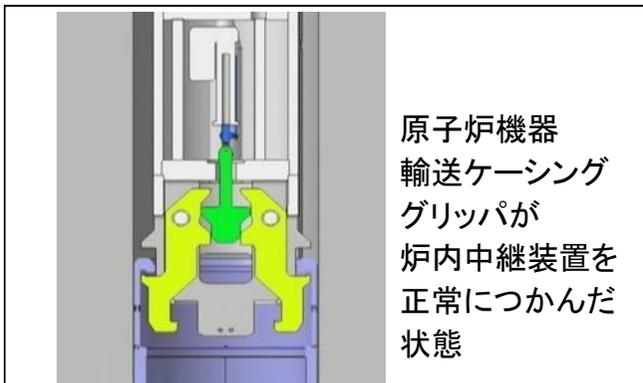
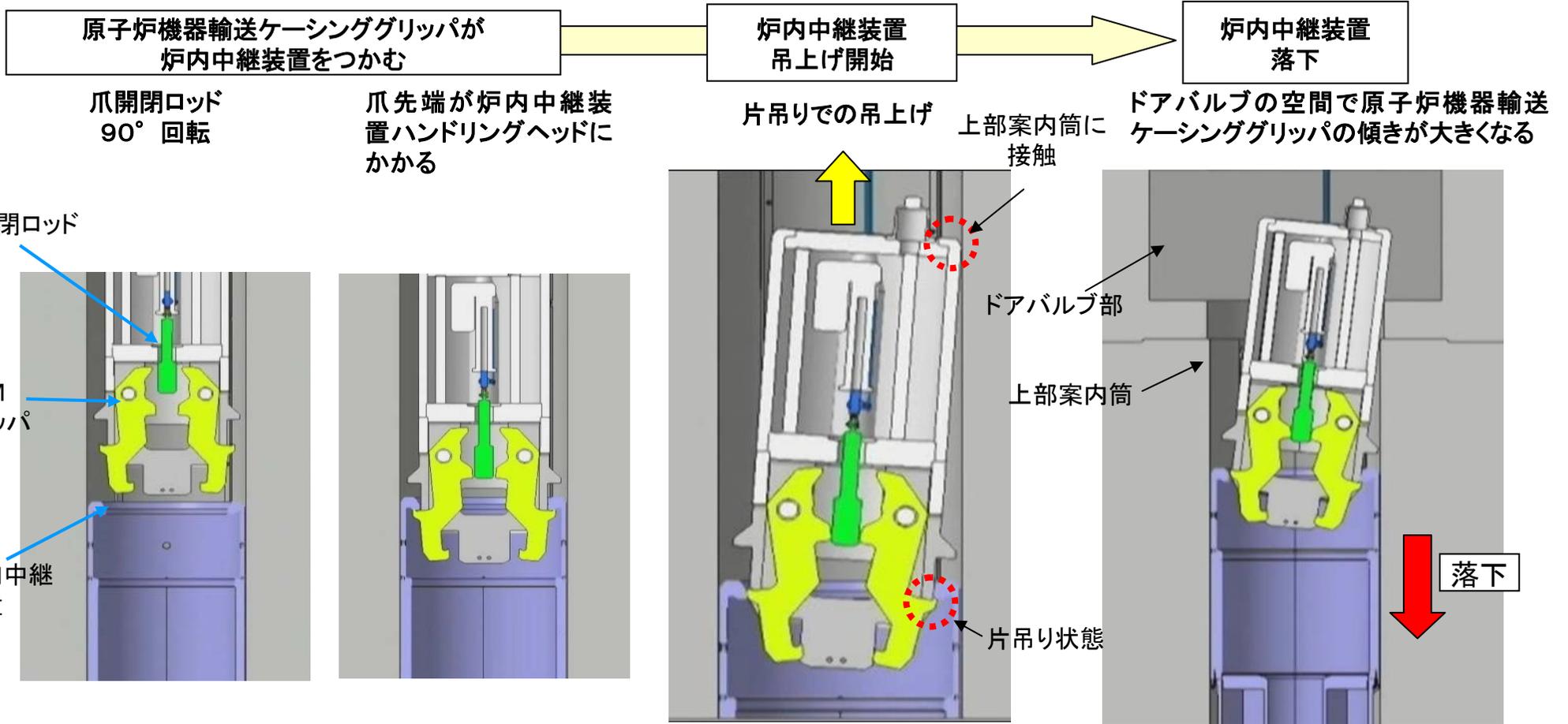




①燃料交換の片付け作業として、原子炉機器輸送ケーシングを使って、原子炉容器内から炉内中継装置を取り外す。
 そのため原子炉機器輸送ケーシングのグリッパ(つかみ装置)で炉内中継装置をつかむ。

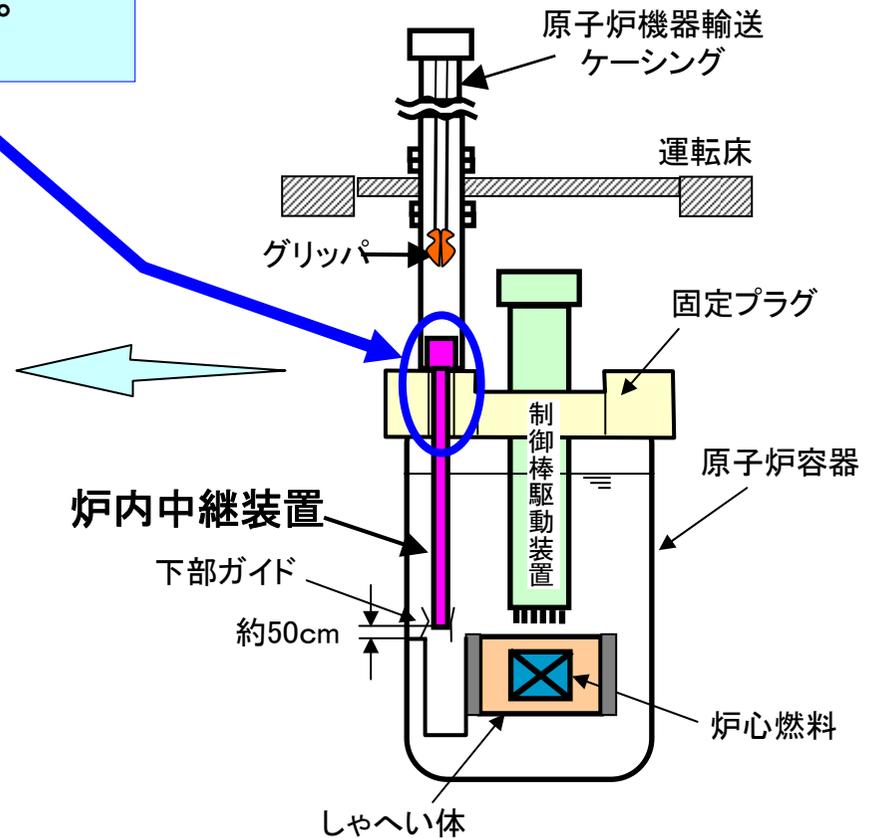
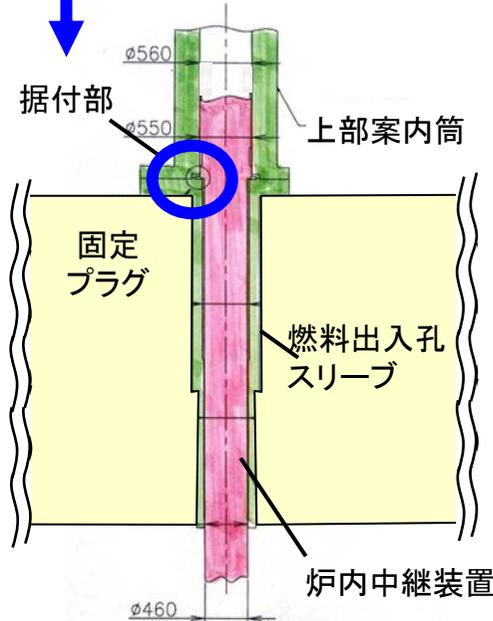
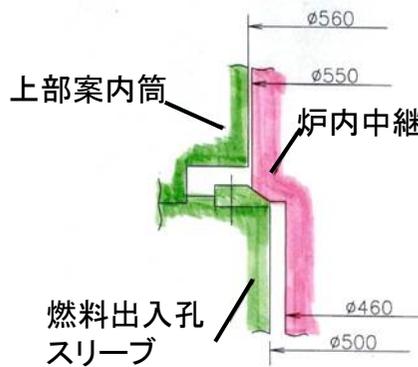
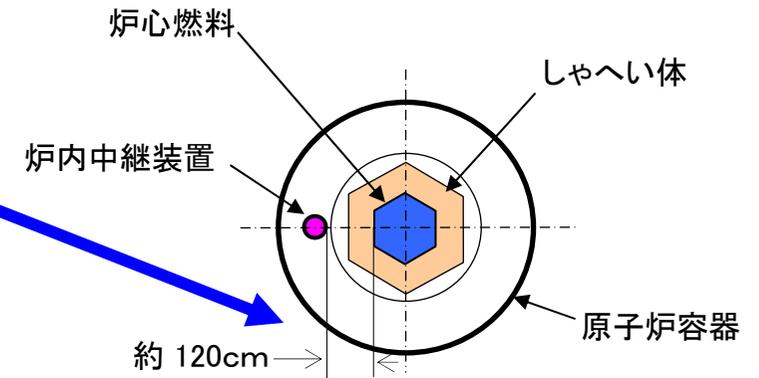
②炉内中継装置を吊り上げた。

③約2m吊り上げた時、原子炉機器輸送ケーシングのグリッパ(つかみ装置)から、炉内中継装置が外れ、落下した。



□ 炉内中継装置は、炉心燃料から、約120cmの距離にある。
⇒炉心燃料にあたらぬ配置

□ 炉内中継装置は、燃料交換時に固定プラグ側に吊り下げられ、
下端部は下部ガイドに挿入され、振れ止めされている構造。
⇒原子炉容器内に落ちない構造



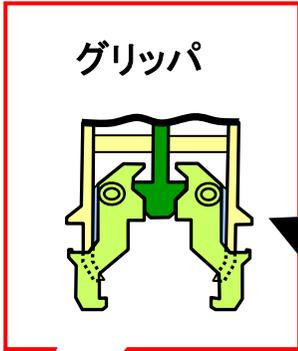
① どこに落ちているか？ (原子炉容器や燃料を壊していないか?)

正常な据付状態にあることを確認
 ⇒原子炉容器本体や燃料への影響は無いと判断

a) 炉内中継装置本体頂部が正規の据付位置にあること
 ・レーザ距離計による据付位置の確認などにより
 所定の据付位置にあることを確認

b) 据付部が衝撃力に耐え、損傷していないこと
 ・衝突により据付部に発生する応力を評価し、支持機能が健全であることを確認

② 何故落ちたか？ (炉内中継装置を引抜く対策は大丈夫か?)



落下の直接原因を解明し、炉内中継装置本体を引抜くための落下防止対策を完了

a) 落下の直接原因を究明
 ・グリッパ部について内部観察、分解調査、工場調査により原因を究明

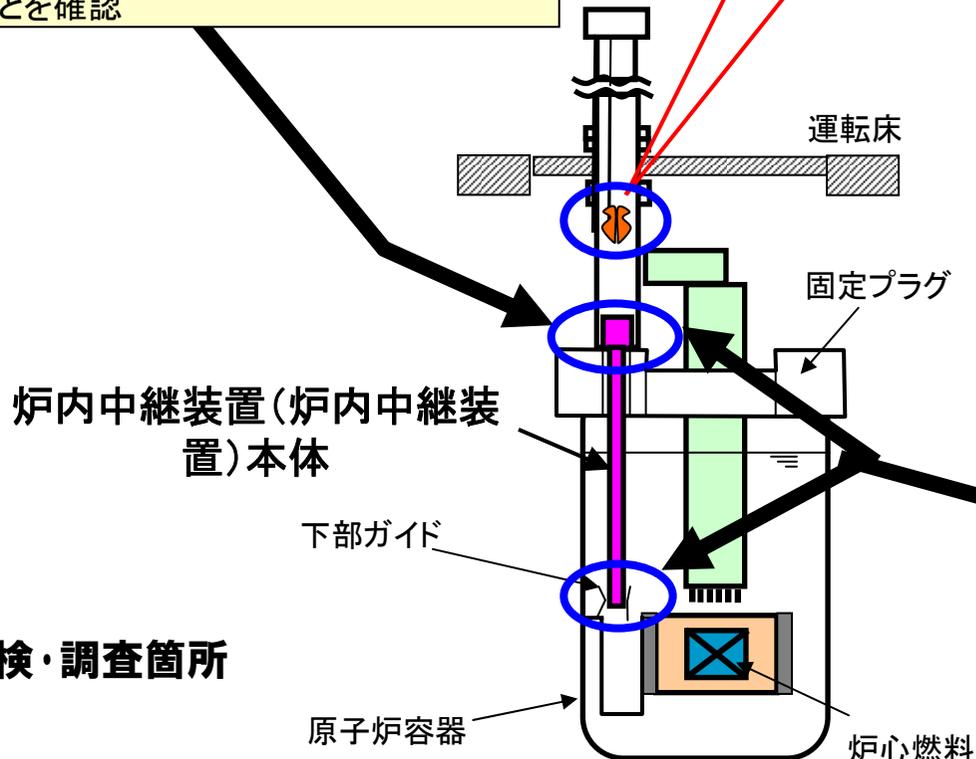
b) 原因に基づく落下防止対策を完了
 ・落下防止対策の実施
 ・単体試験、動作試験による対策の検証

③ 炉内中継装置本体を引抜けるか？

炉内中継装置本体が吊り上げ可能であることを確認

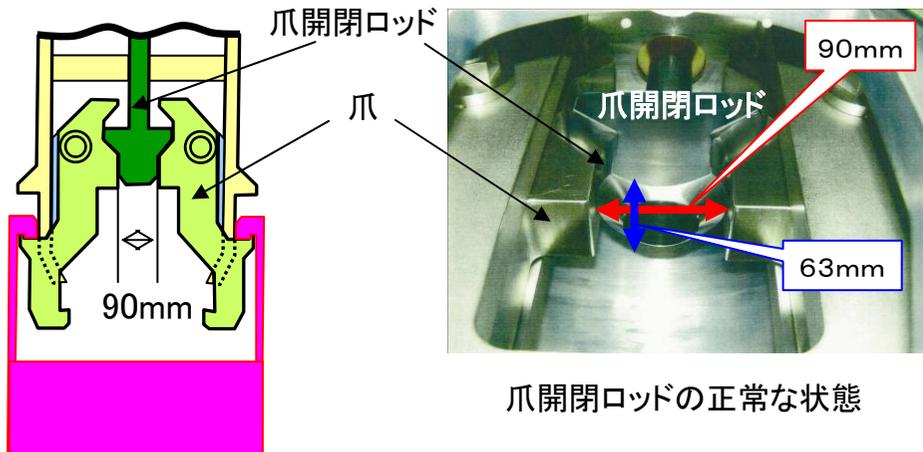
a) 炉内中継装置本体頂部に異常のないことを確認
 ・内部観察により本体頂部に欠け、変形がないことを確認

b) 下部ガイドとの干渉がないことを確認
 ・下部ガイドへの影響を評価し、所定の深さまで本体が挿入されていることを確認

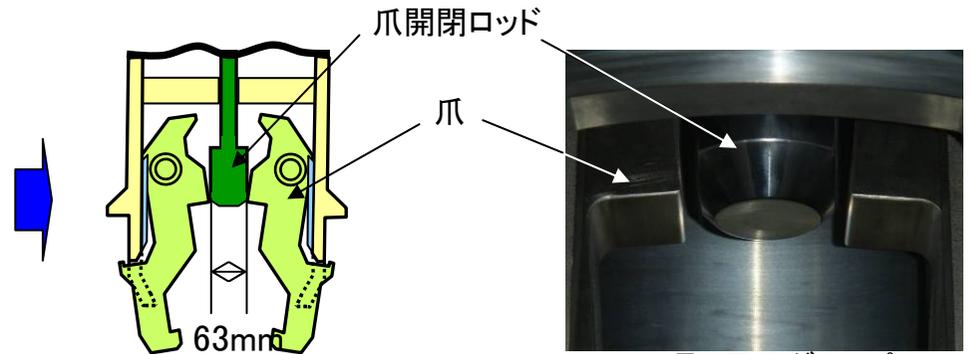


○ 点検・調査箇所

グリッパ爪を開閉する「爪開閉ロッド」が、グリッパ爪に対して正しい状態から約90° 回転していることを確認した。



爪開閉ロッドの正常な状態

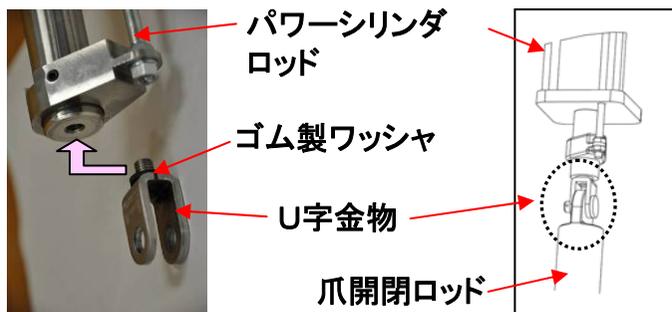


爪開閉ロッドの90度回転

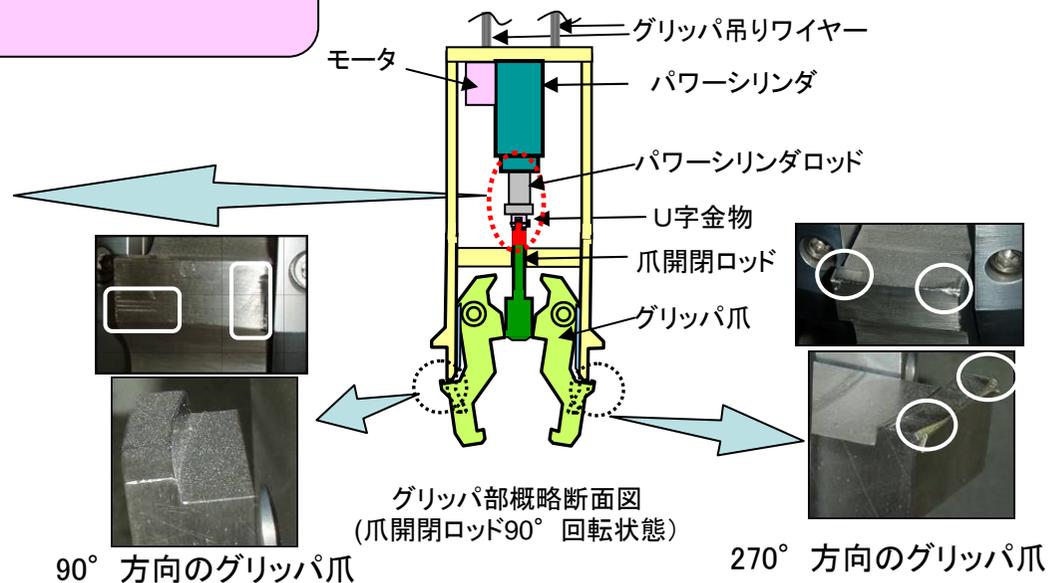
9月2日のグリッパ外観点検時に撮影

爪開閉ロッドが正常位置より約90度回転
 (爪開閉ロッドが掴み位置まで下がっても、グリッパの爪が十分に開ききらない)

グリッパ部の点検を行ったところ、パワーシリンダロッドと爪開閉ロッドが90° 回転していた。原因は、U字金物のネジ部の緩みによるものと確認した。また、2つあるグリッパ爪のうち片側にずれ痕を確認した。



U字金物が、パワーシリンダにネジで固定されているところの緩みを確認した。ネジは、U字金物に溶接で固定されている。

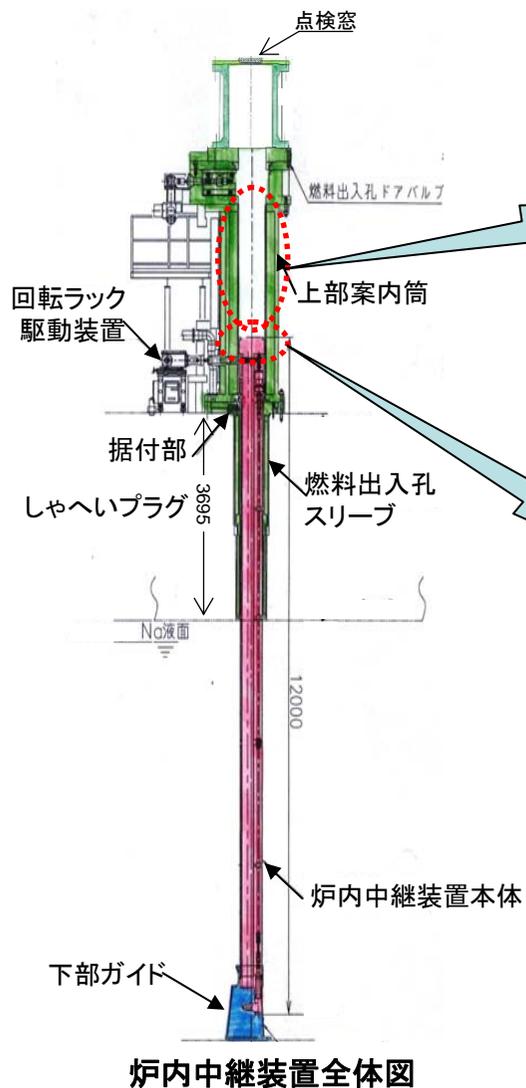


グリッパ部概略断面図 (爪開閉ロッド90° 回転状態)

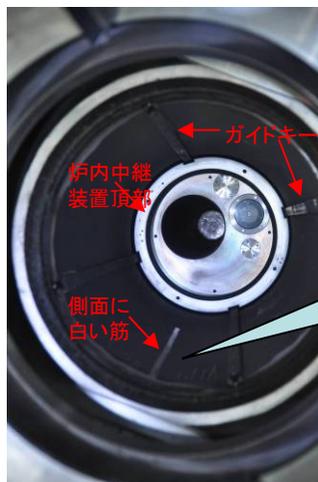
90° 方向のグリッパ爪

270° 方向のグリッパ爪

上部案内筒側面に帯状の白い筋を確認するとともに、炉内中継装置の頂部は割れ、欠けがないことを確認した。

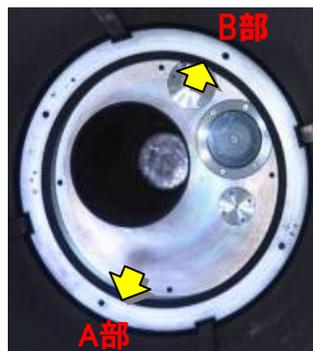


上部案内筒の点検結果

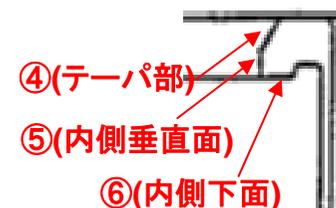
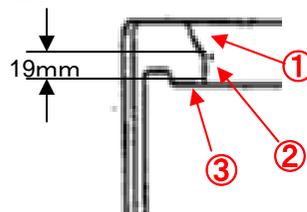
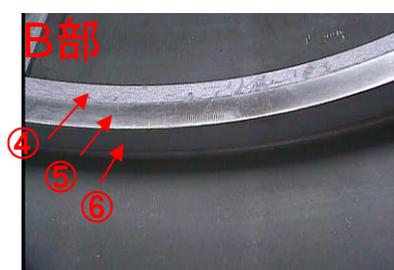
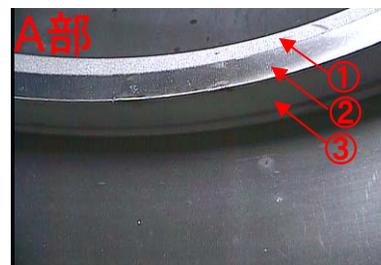


炉内中継装置頂部の点検結果

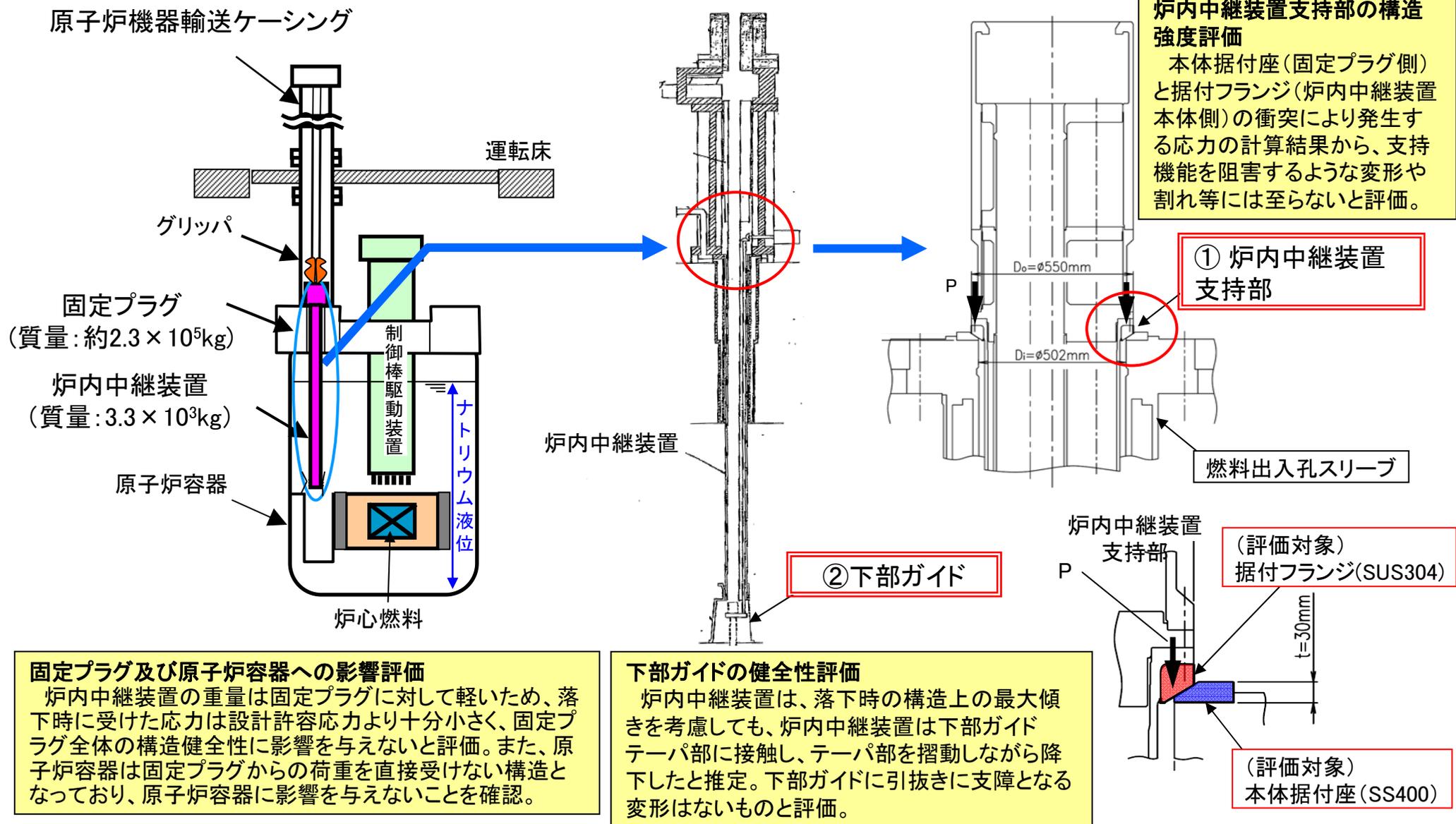
A・B部ともすり傷やすり痕が確認されたが、欠け・変形等の異常は認められない



➡ : グリッパ爪のつかみ位置

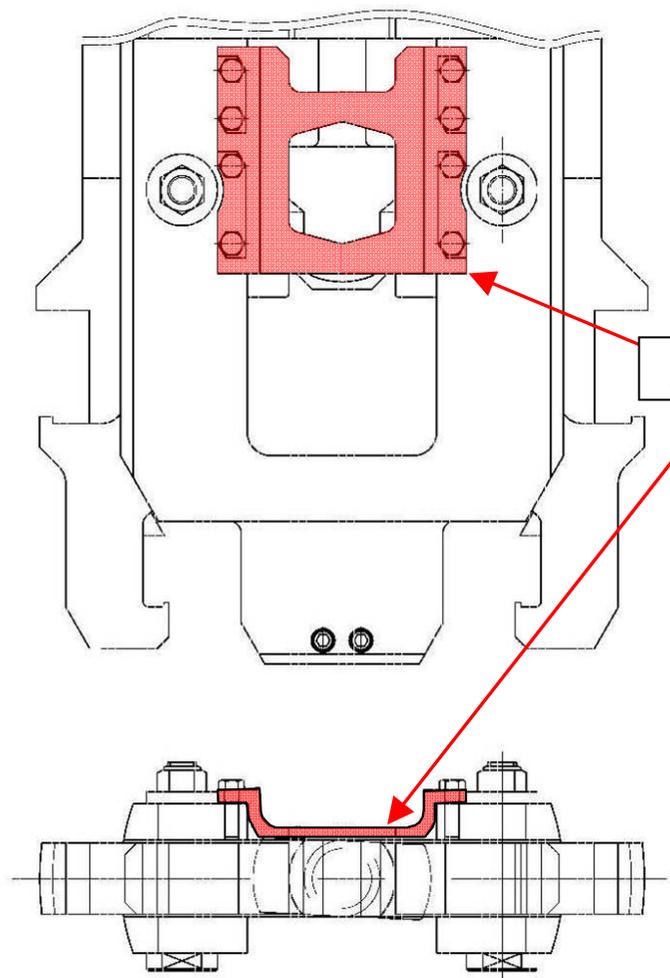


④(テーパ部)
⑤(内側垂直面)
⑥(内側下面)



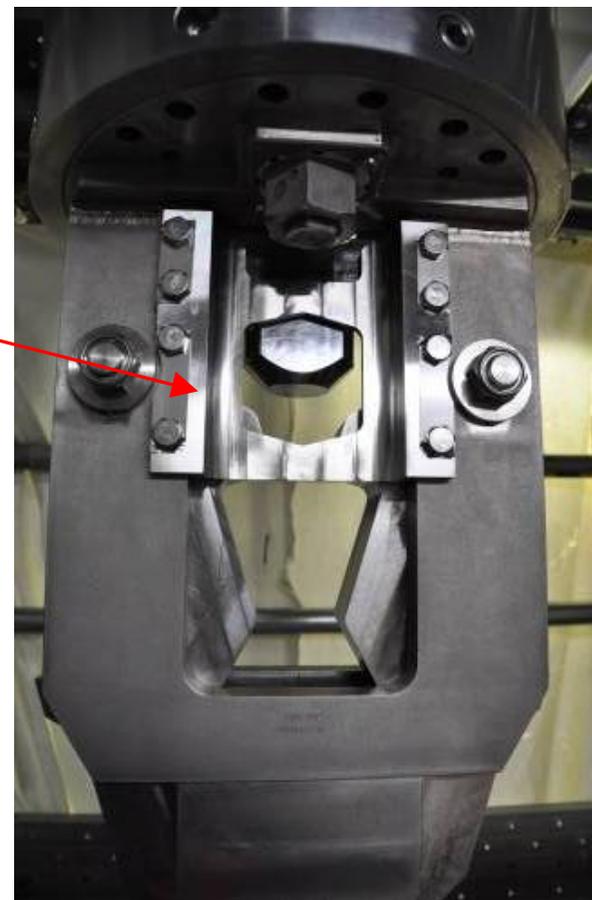
炉内中継装置本体の引き抜きに支障はないと評価した。
最終的な設備への影響評価は、炉内中継装置本体引抜き後の各機器の外観点検結果等を踏まえて総合的に評価する。

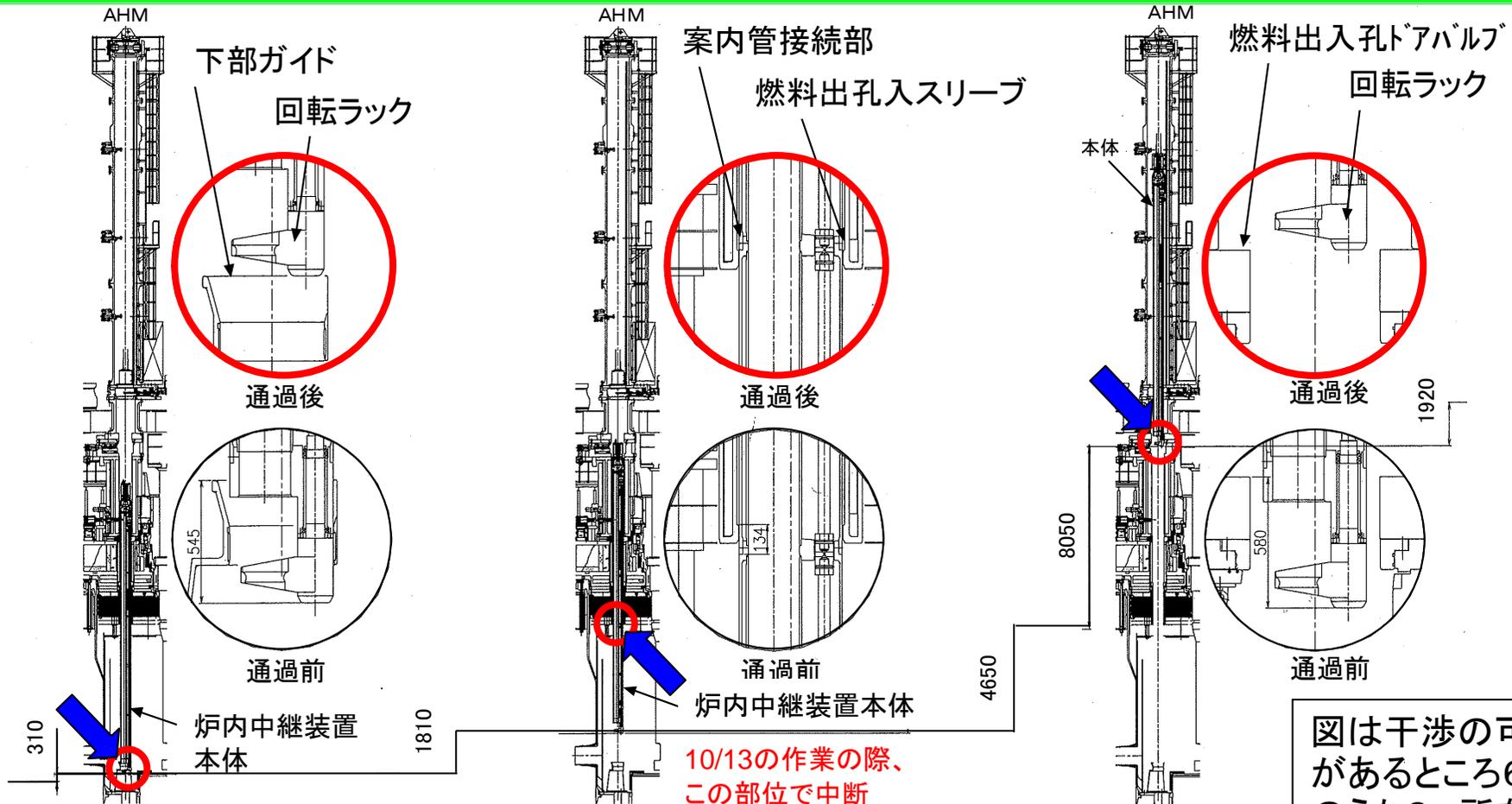
グリッパの爪開閉ロッドの回転が落下した直接原因であることから、爪開閉ロッドが回転しない構造とした。
 (1) 爪開閉ロッドの回転を制限する廻り止め当て板(金属板)をグリッパ爪を収容する支持板に取り付ける。
 (2) 爪開閉ロッドとそれを押すためのシリンダロッドを結合するねじを、金属ねじ緩み止め用接着剤により固定し、回転を防止する。



廻り止め当て板(金属板)

金属板を設置することにより、爪開閉ロッドが回転しないようにする。





図は干渉の可能性
があるところ6ヶ所
のうち3ヶ所を示す

回転ラック／下部ガイド
グリッパ昇降位置
(18.70~18.15m)

案内管接続部／
燃料出入孔スリーブ
グリッパ昇降位置
(16.89~16.75m)

回転ラック／
燃料出入孔ドアバルブ
グリッパ昇降位置(4.19~3.61m)

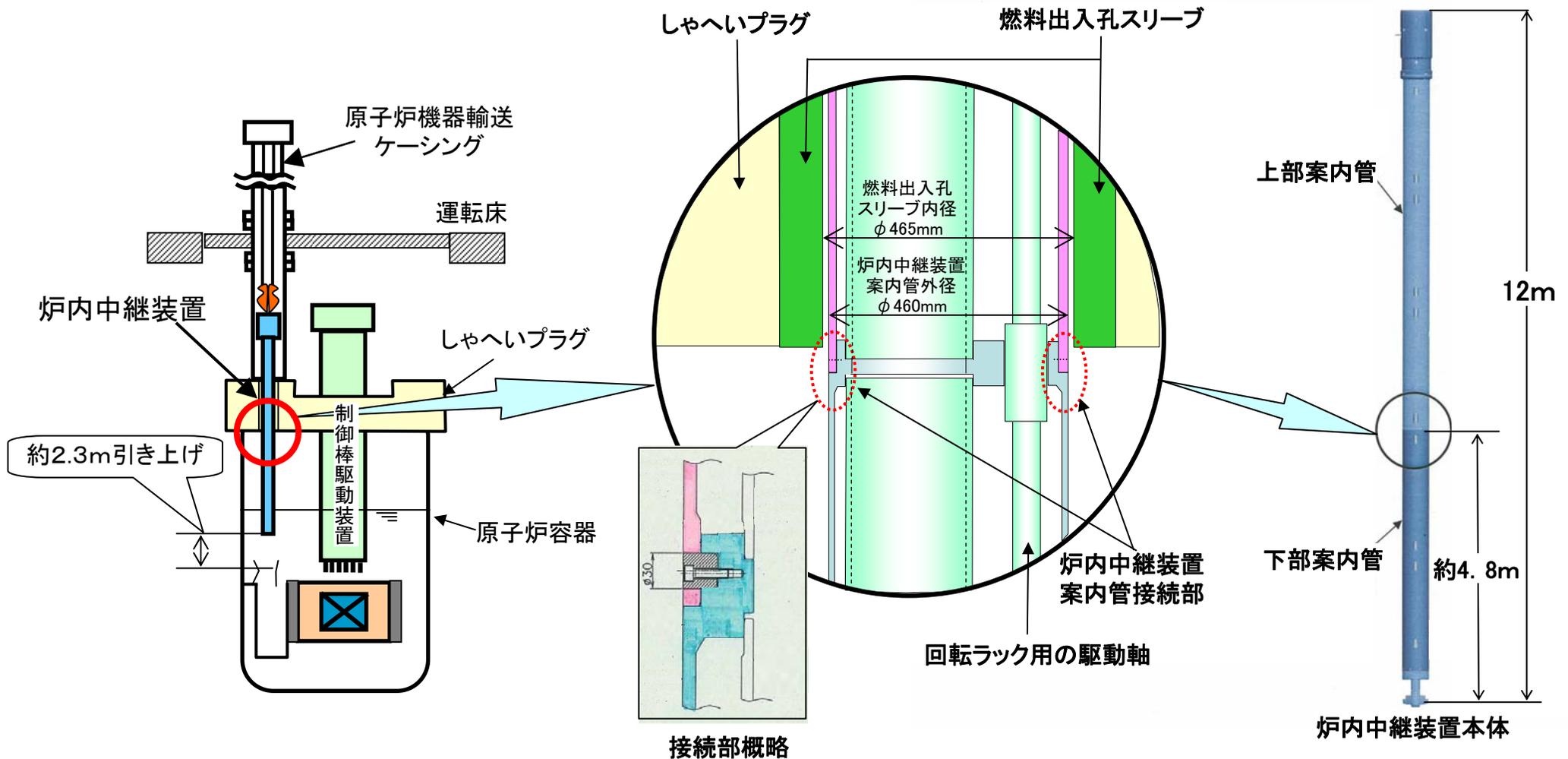
引抜き作業においては、炉内中継装置本体下部が下部ガイドを離れる時や案内管接続部が燃料出入孔スリーブの狭隘部を通過する時など、干渉の可能性のあるところ6ヶ所を慎重に引抜き力を100kgずつ徐々に増加させながら手動により低速で引抜く要領としていた。

落下防止対策を行った原子炉機器輸送ケーシングを用いて、10月13日に炉内中継装置の引抜き作業を実施。

約2.3m程度引き上げた時点で吊り荷重が増加(約3.7tの初期荷重に対し警報設定値4.8tまで増加)することから引抜くことができず、作業を中断。

これまでの検討状況から、何らかの原因で、炉内中継装置案内管接続部近傍が、しゃへいプラグの孔に差し込んでいる燃料出入孔スリーブの最下端部の狭隘になっている箇所*と干渉している可能性があると考えている。

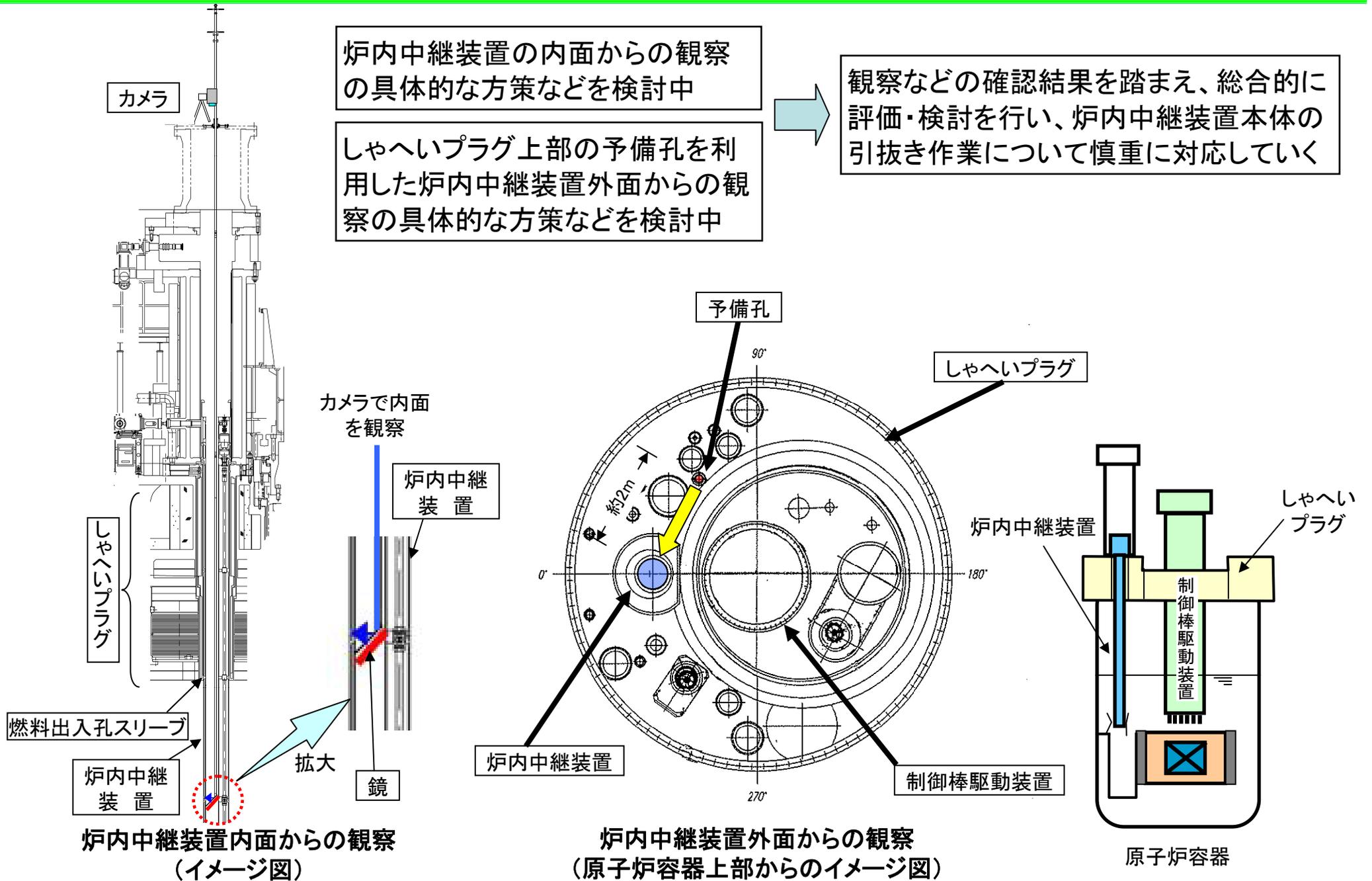
*片側2.5mmの隙間



炉内中継装置の内面からの観察の具体的な方策などを検討中

しゃへいプラグ上部の予備孔を利用した炉内中継装置外面からの観察の具体的な方策などを検討中

観察などの確認結果を踏まえ、総合的に評価・検討を行い、炉内中継装置本体の引抜き作業について慎重に対応していく



炉内中継装置内面からの観察 (イメージ図)

炉内中継装置外面からの観察 (原子炉容器上部からのイメージ図)

原子炉容器

「炉内中継装置の落下」について

- ・ 落下した原因は、グリッパの爪開閉ロッドが90° 回転したため、グリッパが正常に作動せず、落下したと推定。
対策としてグリッパの爪開閉ロッドの回転防止策を実施。
- ・ 下部ガイド(炉内中継装置の振れ止め)は、落下した炉内中継装置と干渉していないと評価。
- ・ U字金具のねじが緩んだ根本的な原因を究明し、再発防止の検討実施。

「引抜き作業の中断」について

- ・ 落下防止対策を施した原子炉機器輸送ケーシングを用いて、炉内中継装置の引き抜き作業を行なったが、約2.3 m程度引抜いた時点で吊り荷重が増加し、作業を中断。
- ・ 炉内中継装置が、燃料出入孔スリーブの最下端部の狭隘部で干渉している可能性あり。
- ・ 干渉が生じている箇所の状況確認する方策として、しゃへいプラグ上部の予備孔を利用した観察方法を検討。
引き抜き方策についても検討。
- ・ 総合的に評価・検討を行い、炉内中継装置本体の引き抜き作業について慎重に対応。

「通報遅れ」について

- ・ 異常の報告を受けた作業担当課長は作業担当者等に対し、当直長への連絡を確認するとともに自ら連絡責任者に連絡(対応ルールの策定)。
- ・ 教育・訓練を継続的に実施。
- ・ 引き続き、背景要因等も含めて検討実施。

作業ステップ		事象進展の推定内容
燃料交換装置の作業中 [2010年8月21～23日]		原子炉機器輸送ケーシンググリッパは、爪開閉ロッドの円筒部に当たる状態で作業は終了した。但し、爪開閉ロッド円筒部の接触痕より、本作業前に約20° 近くまで回転していたものと推定した。
炉内中継装置の移動・据付 [2010年8月24～25日]		炉内中継装置をつかむまでの間に、原子炉機器輸送ケーシングの起立・転倒、移送など、無負荷時の振動等で爪開閉ロッドが回転し、ロッド角部を過ぎた位置(約25° 以上回転)まで至ったと推定した。
炉内中継装置を吊上げ 作業開始時 [2010年8月26日]	1	爪開閉ロッドが約25° 以上回転すると、爪がフリーな状態となるため、重力によりグリッパ爪が外側に開く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炉内中継装置に降ろした。
	2	爪外面のテーパに沿って、グリッパが炉内中継装置のハンドリングヘッド内に挿入されて着座し、グリッパを「つかみ」位置にしたことで、爪開閉ロッドが押し込まれ、グリッパ爪の内側に当り、爪開閉ロッドが更に回転した。
	3	爪開閉ロッドを「つかみ」位置の状態にしてグリッパを引上げたが、グリッパ爪がフリー状態であったため広がらず、爪先端の引っかかり部が炉内中継装置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。
	4	グリッパ爪に炉内中継装置本体の荷重がかかると、その荷重によって爪が内側にずれて行き、爪開閉ロッドを挟み込むことで、爪開閉ロッドは強制的に90° 回転した位置に至った。
	5	270° 方向のグリッパ爪の上面にずれ痕があるため、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グリッパが270° 側にずれ、この方向の爪の引っかかり量が大きくなった。
	6	90° 方向の爪には上面にずれ痕がなく側面に僅かにすり傷が残っていること等から、90° 方向の爪先端は外れる状態に近くなっており、また、吊り始めの荷重変動から考えると、炉内中継装置本体の吊り上げ動作に移った時に90° 方向の爪が炉内中継装置本体ハンドリングヘッドから外れ、片吊り状態となった。
	7	吊り上げる過程では、270° 方向の爪1本で支える形になったため、荷重の掛かっている270° 方向に原子炉機器輸送ケーシンググリッパが約4° 倒れ、上部案内筒内面に原子炉機器輸送ケーシンググリッパハウジングの上端が寄りかかる形となった。調査結果より、270° 側の上部案内筒内面に白い筋があり、また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、擦りながら吊り上げられた。
	8	炉内中継装置を約2m吊り上げた位置にドアバルブの箱型の空間があり、原子炉機器輸送ケーシンググリッパが上部案内筒から出たときに傾きが約6° と大きくなった。
	9	270° 方向の原子炉機器輸送ケーシング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がある。ここを通過した時の衝撃等でグリッパ爪が外れて、落下した。

【8月26日】

⇒炉内中継装置落下

【8月28日】

⇒ファイバースコープやCCDカメラを用いて、原子炉容器ケーシンググリッパの外観確認を開始

【8月29日】

⇒爪開閉ロッドがグリッパの爪に対して正しい状態から約90度回転していることを確認

【8月30日】

⇒燃料出入孔の接続筒の上面にフランジを取り付け炉内中継装置の頂部を観察

【8月31日～9月1日】

⇒観測機器(ファイバースコープ等)を用いて観察。すり傷が認められたが、欠け・変形等の異常は無し。

【9月2日】

⇒回転ラック駆動装置の駆動軸が炉内中継装置に正常に挿入され、結合されたことから、炉内中継装置が正規の位置に保持されていることを確認。

【9月2日～9月3日】

⇒2つあるグリッパ爪のうち270度方向に設置されている爪において、爪の両端においてずれ痕が確認。90度方向の爪については、ずれ痕は無いものの、傷確認。

【9月11日】

⇒炉内中継装置の頂部のグリッパ爪のかかる2箇所について、内側垂直面他をCCDカメラによる観察実施。ハンドリングヘッド部の270度方向の内側垂直面にすり痕を、90度方向の内側垂直面に細かい筋状のすり痕を確認。ハンドリングヘッドの内側下面には、すり痕等は認められず。

【10月1日】

⇒原子炉容器から炉内中継装置を引抜くために確認すべき事項に係る調査結果及び評価を、中間報告として取りまとめ、保安院に提出。

【10月4日】

- ⇒10時02分、原子炉機器輸送ケーシングによる原子炉容器から炉内中継装置の引抜き作業を開始。
- ⇒10時22分、引抜きのためのグリッパの降下中、現場操作盤において「荷重超過」の警報(グリッパ荷重の指示値の減少)が発生し作業を中断。

【10月7日】

- ⇒ノイズによる誤警報を抑制する対策の実施及び検証を行うため、原子炉機器輸送ケーシンググリッパの昇降動作による確認を含む試験を開始。
- ⇒荷重超過を検出する信号の設定が適切なかったことが判明。

【10月9日】

- ⇒試験における信号の設定が適切でなかったことから、作業要領書の見直しなどの作業を慎重に実施。

【10月10日】

- ⇒ノイズによる「荷重超過」の誤警報を抑制する対策の実施及び検証のための作業要領書の見直しなどの作業を終え、ノイズ対策の検証試験を実施。

【10月11日】

- ⇒「荷重超過」にかかるノイズ対策の検証試験におけるデータの取りまとめ等を行うとともに、原子炉容器から炉内中継装置の引抜き作業に係る作業要領書の確認等を実施。

【10月12日】

- ⇒ノイズの抑制対策の実施及びその検証試験を終了し、対策に問題のないことを確認。

【10月13日】

- ⇒10時05分、原子炉容器から炉内中継装置の引抜き作業を開始。
- ⇒13時01分、原子炉機器輸送ケーシングのグリッパの手動あるいは低速の電動により慎重に作業を進めていたが、「荷重超過」の警報(グリッパ荷重の指示値の増加)が発報。
- ⇒19時20分、その後、予め定めた手順によって作業を継続したが、引抜くことが出来ないことから、引抜き作業を中断。