

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施設)
炉内中継装置の落下による変形について
(概要)

平成 22 年 8 月 26 日に発生し、平成 22 年 11 月 9 日に装置の変形を確認して報告を行った、高速増殖原型炉もんじゅの炉内中継装置の落下について、状況調査及び原因調査を行い、原因と対策をとりまとめた。

1. 発生状況

高速増殖原型炉もんじゅは、平成 22 年 8 月 26 日、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(以下「AHM」*¹ という。)を用い、炉内中継装置(以下「IVTM」*² という。)本体を吊り上げ、原子炉容器内から取り出す作業を行っていた。この際、AHMのつかみ装置(以下「AHMグリッパ」*³ という。)のIVTM本体をつかむ爪を開くためのロッド(以下「爪開閉ロッド」という。)が正しい位置から約 90° 回転し、AHMグリッパの爪(以下「グリッパ爪」という。)が正常に開かず、IVTM本体の頂部を十分につかんでいない状態でIVTM本体を吊り上げたため、約 2m上昇した位置でIVTM本体が爪から外れ落下した。

10 月 13 日、IVTM本体の引抜き作業を開始したが、引抜き荷重が警報設定値の上限まで増加したため、作業を中断した。11 月 9 日、IVTM本体内側案内管の内面を対象とした外観調査を実施し、内側案内管の上部間隙が初期値から拡大していることを確認した。

観察結果等から、IVTM本体は同案内管の接続部近傍で変形が生じていることが判明し、安全上重要な設備であるIVTMが使用できる状態でないと判断した。このことから「原子炉施設の安全を確保するために必要な機能を有していない。」と判断し、原子炉等規制法に基づく報告を行った。

- * 1 AHM(Auxiliary Handling Machine) :IVTM等を炉内に挿入又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
- * 3 AHMグリッパ: 爪開閉ロッド及びグリッパ爪等により構成され、爪開閉ロッドを上下に駆動し、2本のグリッパ爪を開閉させてIVTM本体上部のハンドリングヘッドをつかむ。爪開閉ロッドの駆動はパワーシリンダで行い、爪開閉ロッドとパワーシリンダはU字金具により接続されている。

2. 調査結果 (添付図)

2.1 IVTM本体の落下に係る原因調査

IVTM 本体が落下に至った原因を推定するため、落下したIVTM本体及びAHMの点検調査を実施した。

(1) IVTMに関する調査

- ① IVTM本体は、AHMグリッパで吊り上げるため、その頂部にグリッパ爪と嵌合するハンドリン

グヘッドが設けられている。ハンドリングヘッドには、IVTM本体の落下時に発生した接触痕を確認したが、欠け、変形等の異常は認められなかった。

- ② IVTM本体の外観調査の結果、据付フランジ、回転ラック駆動軸、案内管接続部、回転ラック部等で接触痕(圧痕)、破損、変形、すり傷等を確認した。これら各部位の損傷については、IVTM本体の落下により発生した衝撃荷重及び周辺機器との接触により生じたものと推定した。
- ③ 以上のことから、確認された傷等はいずれも落下に伴うものであり、落下以前まで、IVTM本体は健全であったと評価した。

(2) AHMに関する調査

- ① 外観調査及び分解調査の結果、爪開閉ロッドが約 90° 回転していることを確認した。
- ② 分解調査の結果、爪開閉ロッドを固定している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、緩んでいることを確認した。
- ③ 爪開閉ロッドが回転した状態では、グリッパ爪が正常に開かなくなることを確認した。
- ④ AHMグリッパの運用状態を模擬した加振試験を実施した結果、U字金具のねじが緩み、爪開閉ロッドが徐々に回転することを確認した。また、爪開閉ロッドの動作再現試験を実施した結果、爪開閉ロッドが 25° 回転した状態から約 90° まで回転する事を確認した。
- ⑤ AHMには吊り・不吊り判定機能があるが、その判定は一定の高さまで持ち上げた位置において、IVTM本体の所定の荷重があるかどうかで判定を行っており、AHMグリッパの形状の健全・不健全を検知する機能は有していないことを確認した。

2.2 AHM(AHMグリッパ)の設計から運用までの原因調査

さらに原因を深掘りするため、設計から運用段階までを対象に、AHMグリッパの幾何学的形状^{*4}の維持ができなくなるに至った原因調査を実施した。

*4: AHMグリッパの把持機構として、グリッパ爪と取扱対象機器との嵌合によって、幾何学的に爪が外れない状態を維持する落下防止対策。

- ① 基本設計について当時の状況を聞き取りにより調査した結果、次のとおりであることを確認した。
 - a. AHM製作メーカーは、AHMグリッパについて爪開閉ロッドで2本のグリッパ爪を正確に左右対称に動作させる方式とし、爪開閉ロッドの形状に平板形状を採用したが、爪開閉ロッドは軸方向の駆動のみであり、回転しないと考えていた。
 - b. AHM製作メーカーは、上記 a.の内容以上にAHMグリッパの幾何学的形状の維持に関する検討は行われなかった。したがって、設計時のデザインレビューで、爪開閉ロッドが廻らない理由及び回転した場合のリスクに関して審議しておらず、記録も残っていない。
 - c. 原子力機構では、落下させないことは求めたが、AHMの基本設計において落下させないことをどのように担保したかやAHMグリッパの幾何学的形状の維持に関する確認はされておらず、記録もなかった。
- ② 詳細設計について、当時の状況をAHM製作メーカーが原子力機構に提出した図書及び聞き取りにより調査した結果、次のとおりであることを確認した。

- a. AHM製作メーカは、爪開閉ロッドを固定している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、グリッパの構造上、爪開閉ロッドは回転しないと考えていたことから、ねじの緩みに対して、ゴムワッシャによる抵抗力等で使用上問題なく、通常の締め付けで良いと考えた。
 - b. 原子力機構は、AHMグリッパの構造図によって爪開閉ロッドが平板形状であることを認識した。しかし、構造図には爪開閉ロッドを固定している爪開閉ロッドとパワーシリンダの接続部の詳細が記載されておらず、当該部がねじ構造であるとの認識はなかった。
- ③ パワーシリンダはAHM製作以降、平成 15 年に交換していることから、交換前後のパワーシリンダについて調査した結果、次のとおりであることを確認した。
- a. 平成 2 年から平成 15 年まで使用していた交換前のパワーシリンダのU字金具のねじには、緩み止め接着剤が塗布され、手では廻らず、接着剤により固定されている状態であった。
 - b. 交換後の平成 15 年から落下事象発生時まで使用していたパワーシリンダのU字金具のねじには、緩み止め接着剤が塗布されておらず、手で軽く廻る状態であり固定されていない状態であった。
- ④ 緩み止め接着剤を塗布した経緯について聞き取りにより調査した結果、次のとおりであることを確認した。
- a. AHM製作メーカは、AHM製作時に緩み止め接着剤の塗布について指示はなかったが、一般的な処置として塗布した。
 - b. 緩み止め接着剤が塗布されたことを示す記録はなかった。

3. 推定原因

(1) IVTM本体が落下した推定原因

- ① 爪開閉ロッドを固定している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、燃料交換作業でのAHM起立・転倒等に伴い発生する振動により徐々に緩み、爪開閉ロッドが回転し始めた。
- ② その後のAHMの使用により、爪開閉ロッドの回転が 25° 以上まで進行した。さらに、IVTM本体をつかんで吊り上げた際にIVTM本体の自重がグリッパ爪に伝わり、爪開閉ロッドが一気に 90° まで回転した。これにより、AHMグリッパの幾何学的形状が維持されず、正常なつかみ状態とはならなかったことから、グリッパ爪が正常に開かず、IVTM本体はAHMグリッパにより片吊り状態となった。
- ③ この状態で、吊り・不吊り判定を行ったが、片方の爪にIVTM本体の全荷重が掛っていたことから、所定の荷重を満足しており正常と判定された。引き続き、吊り上げを継続したところ、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。

(2) AHMグリッパ(つかみ部)の形状が維持できなくなるに至った推定原因

- ① つかみ部の形状の維持は設計上重要であるが、基本設計段階で平板形状を採用した際、爪開閉ロッドの回転を想定していなかったため、爪開閉ロッドが廻ることを防止するなど、つかみ部の形状の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、爪開閉ロッドを固定している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、基本設計時に爪開閉ロッドの回転を想定していなかったため、ねじ構造を排除するなど、つかみ部の形状の維持に係る対策が検討されなかった。
- ③ 一方、製作段階で、平成2年から平成15年まで使用していたパワーシリンダのU字金具のねじに緩み止め接着剤が塗布されたため、結果的につかみ部の形状は維持された。しかし、緩み止め接着剤の塗布の指示及び塗布したことについて記録を残さなかった。
- ④ 平成15年にパワーシリンダを交換した際、緩み止め接着剤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。
- ⑤ 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字金具のねじが徐々に緩み、爪開閉ロッドが回転したことによってIVTM本体の落下に至った。

4. 対策

(1) AHMグリッパの構造変更

つかみ部の形状維持を確実にするため、以下の構造とする。

- ① 平板形状の爪開閉ロッドは、爪支持板の開口幅を爪開閉ロッドの幅より狭め、回転しないことにすることにより形状を維持させる。また、つかみ部の形状の維持に係る部位については、ねじを排除し、爪支持板は溶接一体構造とする。
- ② パワーシリンダロッドとU字金具を、ねじ構造から一体構造に変更する。

(2) 吊り・不吊り判定の支援機能強化

AHMによって正常に吊っていることを確実に判定するための支援機能を強化する。

- ① グリッパ爪がハンドリングヘッドと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、荷重がかかり始める位置の検出精度の向上及びグリッパ昇降速度を低速化することによって、この差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確実に検出できるようにする。
- ② AHMの使用前に、爪開閉の状態を目視できるよう点検窓を設ける。

(3) 品質マネジメントシステム(QMS)の改善

AHMの設計、製作、運用段階において、つかみ部の形状の維持に対する基本要件機能に対する評価・確認が十分でなかったことを摘出することができなかったことから、下記の内容をQMS文書に明記し改善を図る。

QMSの運用に際して、原子力機構は、容易に機能(幾何学的な形状の維持など)を喪失しない設計となっていることを設計審査で確認するとともに、組立又は据付け時に適切に緩み防止措置がなされていることを検査及び試験で確認する。

① 設計管理に対する改善

設計段階において、機器の機能が維持されるよう、「機能喪失した場合の影響を評価すること」「容易に機能(幾何学的な形状の維持など)を喪失しない設計とすること」「評価結果を記録し報告すること」及び「ねじ構造を構造図へ明記すること」を「請負契約に係る一般仕様書」に記載し、原子力機構は報告された評価結果が適切であるかを設計審査時に確認する。

上記で定めた設計要求が設計の各段階で継承されていることについては、現状の仕組みの中で確認する。

② 検査及び試験管理に対する改善

動力を伝達する接合部(ねじ構造等)に対し、機能喪失を防止するため、緩み防止措置等を施す場合、試験・検査項目として要領書に明記することを「請負契約に係る一般仕様書」に記載し、原子力機構は緩み防止措置に対する検査及び試験が適切に実施されていることを確認する。

③ 既設備に対する検査及び試験管理に対する改善

設備の本来の機能を喪失する又は重大な故障につながる部品を交換した際、交換前後の部品を比較し、それらの差異に気付くよう交換前後の取付け状態の確認を「請負契約に係る一般仕様書」に記載し、原子力機構は、交換前後の取付け状態の確認が適切に実施されていることを確認する。

(4) 水平展開

AHMと同様にグリッパ機構を有する設備又は取扱い対象物として安全上重要な機器を吊る設備について、確実に落下防止策が施されていることを確認する。

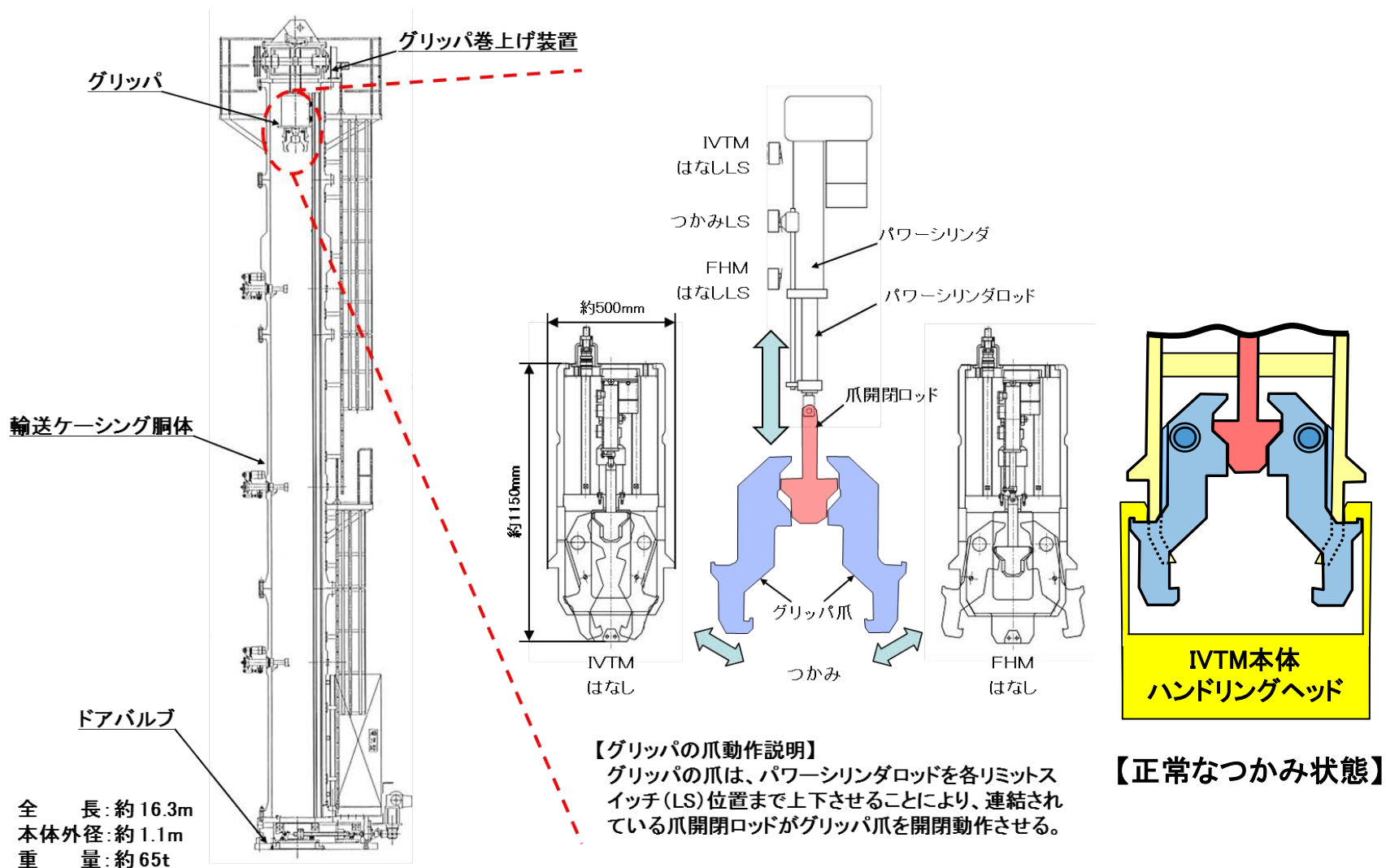
また、安全上重要な設備・機器並びに安全上重要な設備に影響を及ぼす設備・機器を対象として、設計段階における基本要件機能が妥当であり、これら要求機能がその後の設備及び機器の製作・据付、運用段階へ適切に反映できていること等の確認を実施する。

以 上

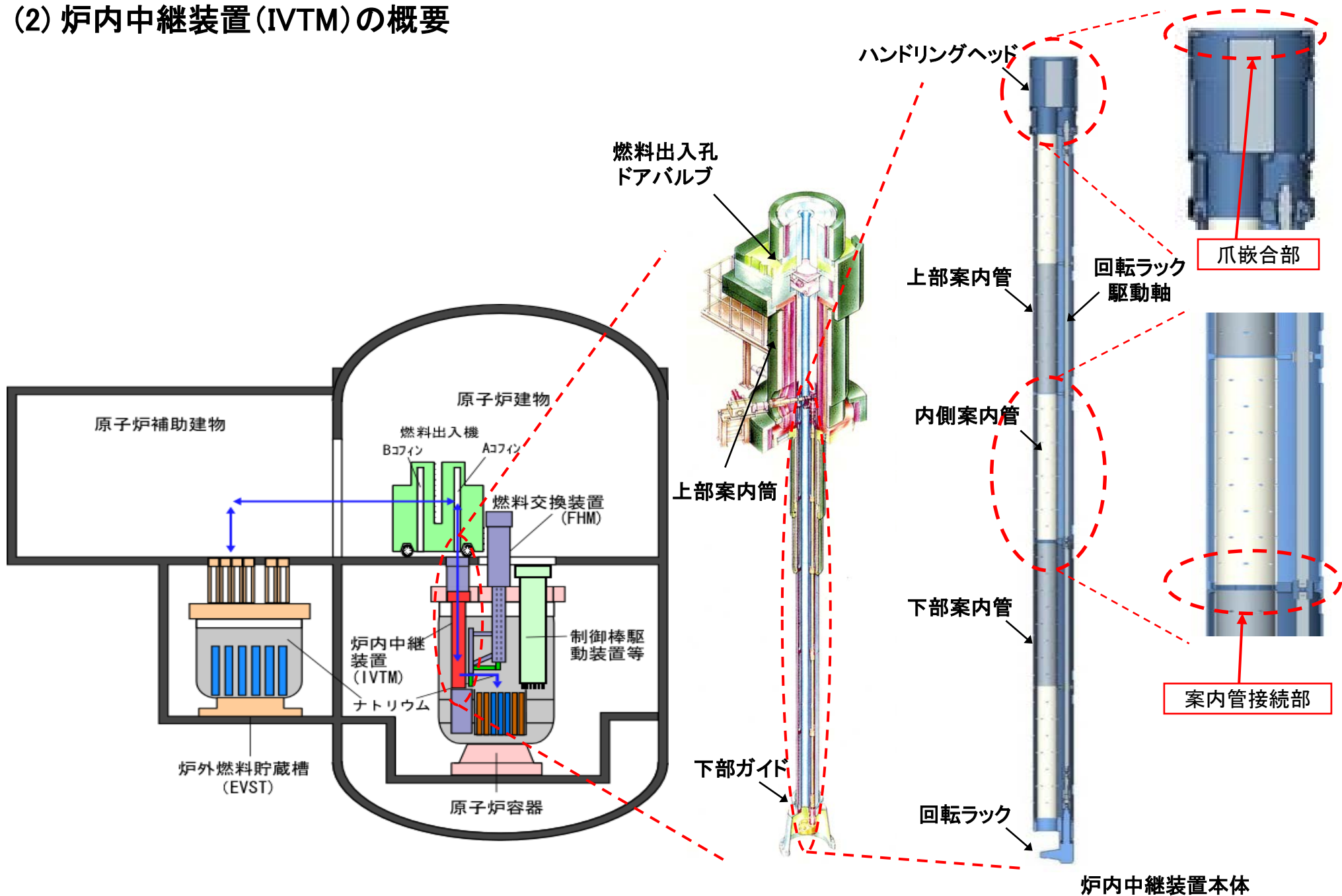
「もんじゅ」炉内中継装置の落下による変形について

1. 設備の概要

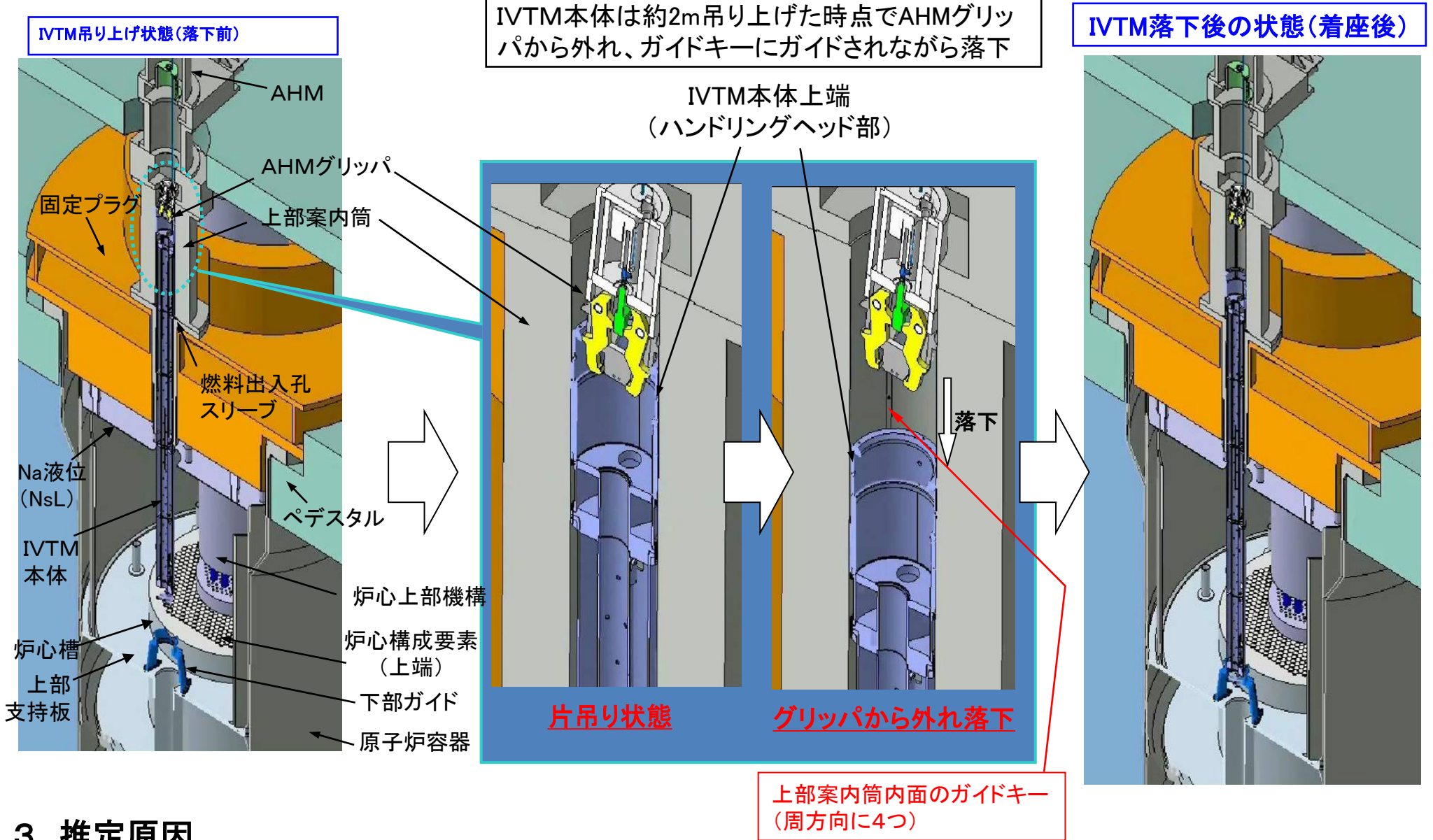
(1) 原子炉機器輸送ケーシング(AHM)の概要



(2) 炉内中継装置 (IVTM) の概要



2. 炉内中継装置 (IVTM) 本体落下時の概要



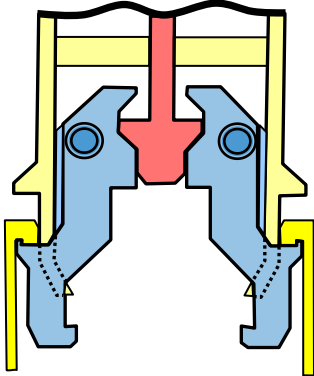
3. 推定原因

【IVTM本体が落下した推定原因】

- ① 爪開閉ロッドを固定している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、燃料交換作業でのAHM起立・転倒等に伴い発生する振動により徐々に緩み、爪開閉ロッドが回転し始めた。
- ② その後のAHM使用によりU字金具のねじが緩み、爪開閉ロッドの回転が25°以上まで進行した。更に、IVTM本体をつかみ、吊り上げた際一気に90°まで回転した。これにより、AHMグリッパの幾何学的形状が維持されず、グリッパ爪が正常に開か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。



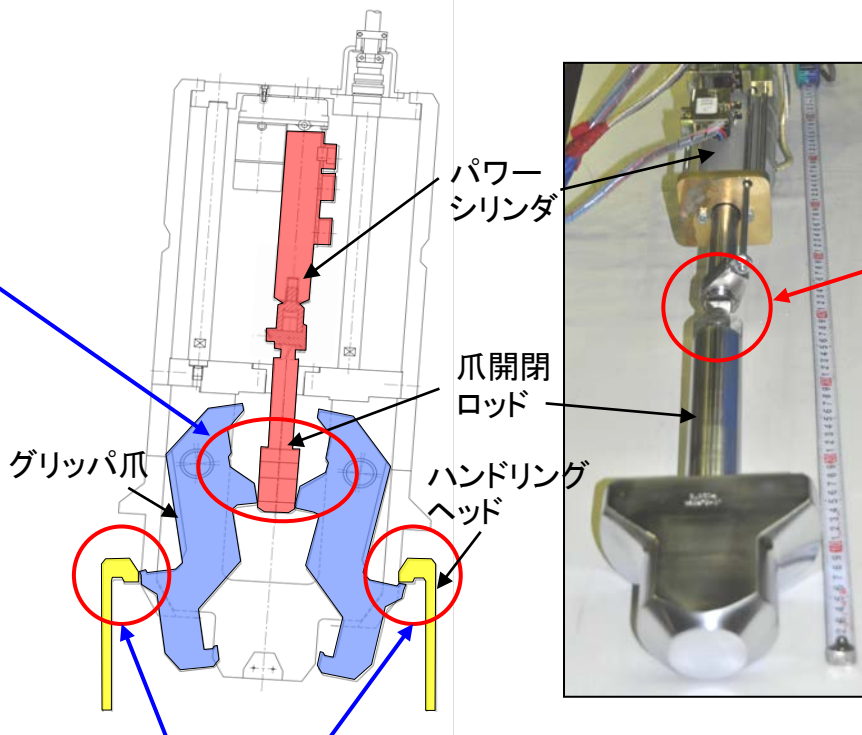
【爪開閉ロッドの正常な状態】



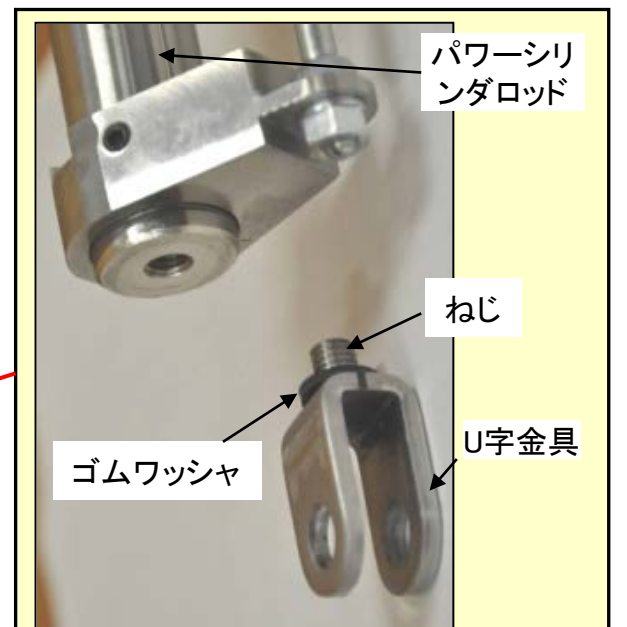
【正常なつかみ状態】



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。



爪開閉ロッドが回転し、爪が正常に開かず。IVTM本体のハンドリングヘッド溝部に爪がかからない中途半端な片吊り状態のまま吊り上げ。約2メートル吊り上げた位置でIVTM本体が爪から外れ、落下した。



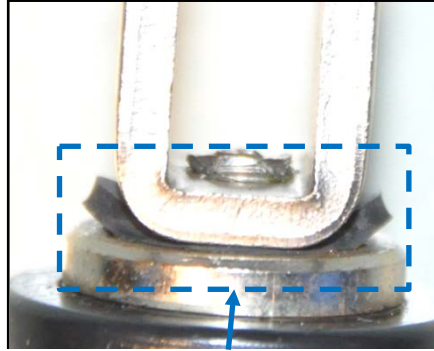
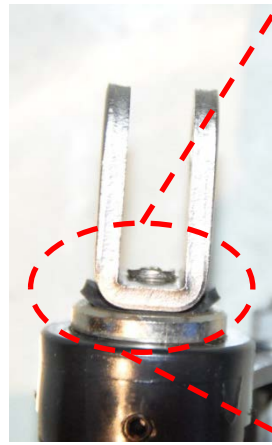
U字金具ねじ部の緩み防止が十分でないと爪開閉ロッドは回転する構造となっていた。

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 つかみ部の形状維持は設計上重要であるが、基本設計段階で平板形状を採用した際、爪開閉ロッドの回転を想定していなかったため、爪開閉ロッドが回ることを防止するなど、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、爪開閉ロッドを固定している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、基本設計時に爪開閉ロッドの回転を想定していなかったため、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ため、結果的にAHMグリッパの形状は維持された。しかし、緩み止め接着剤の塗布の指示及び塗布したことについて記録を残さなかった。
- ④ 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。
- ⑤ 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)



ワッシャが締付けで潰れている



ワッシャの厚みと同等の隙間

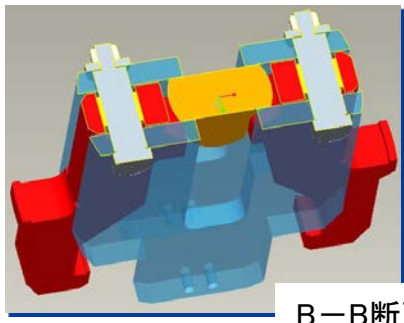
交換前のパワーシリンダ
(平成2年～平成15年)

交換後のパワーシリンダ
(落下事象発生時)

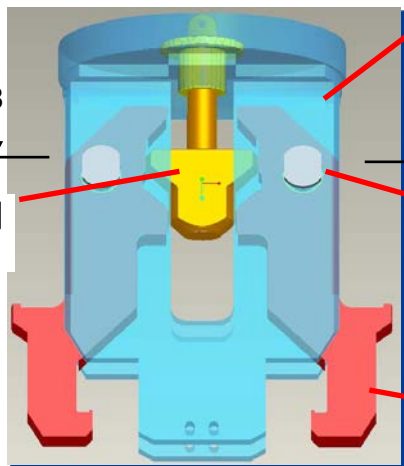
4. 対策

1. AHMグリッパ構造の変更

①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

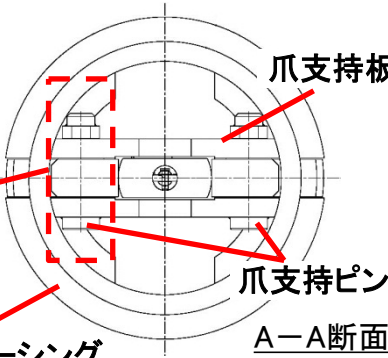


B-B断面



爪開閉ロッド

グリッパケーシング内の配置により、爪支持ピンは脱落しない構造



爪支持板

爪支持ピン

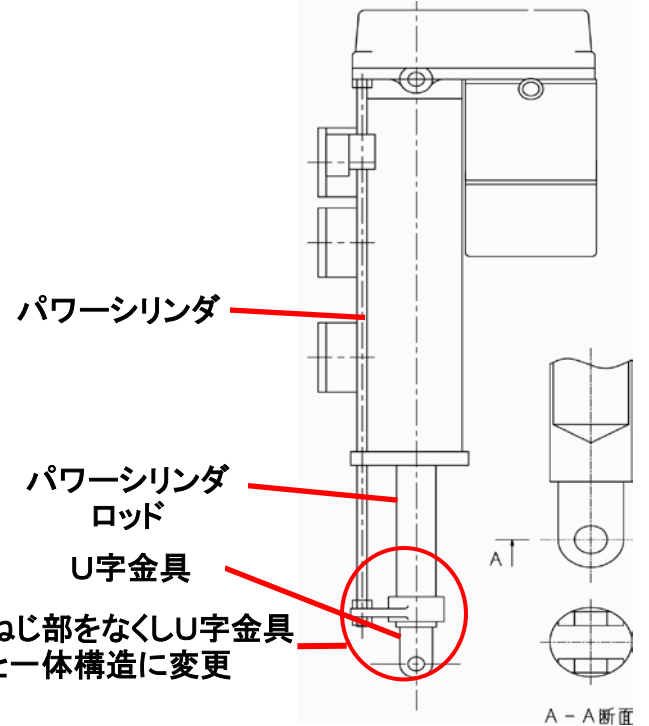
グリッパケーシング

A-A断面

爪支持ピンは溶接一体構造

爪支持板は溶接一体構造

②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



パワーシリンダ

パワーシリンダロッド

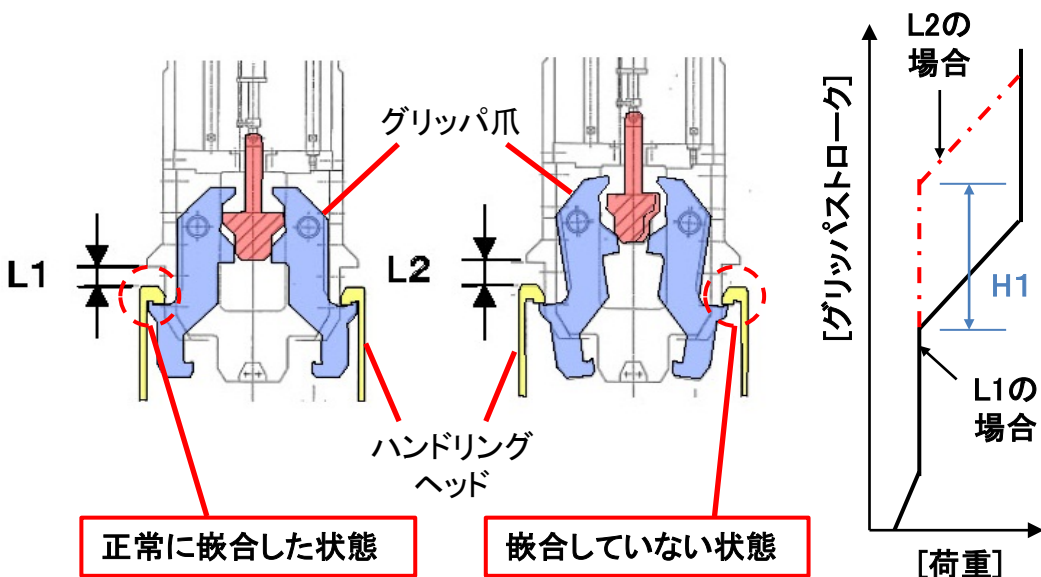
U字金具

ねじ部をなくしU字金具と一体構造に変更

A-A断面

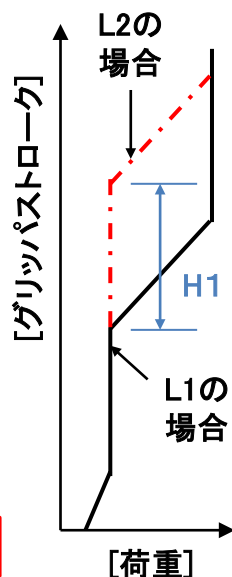
2. 吊り・不吊り判定の機能強化

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



正常に嵌合した状態

嵌合していない状態

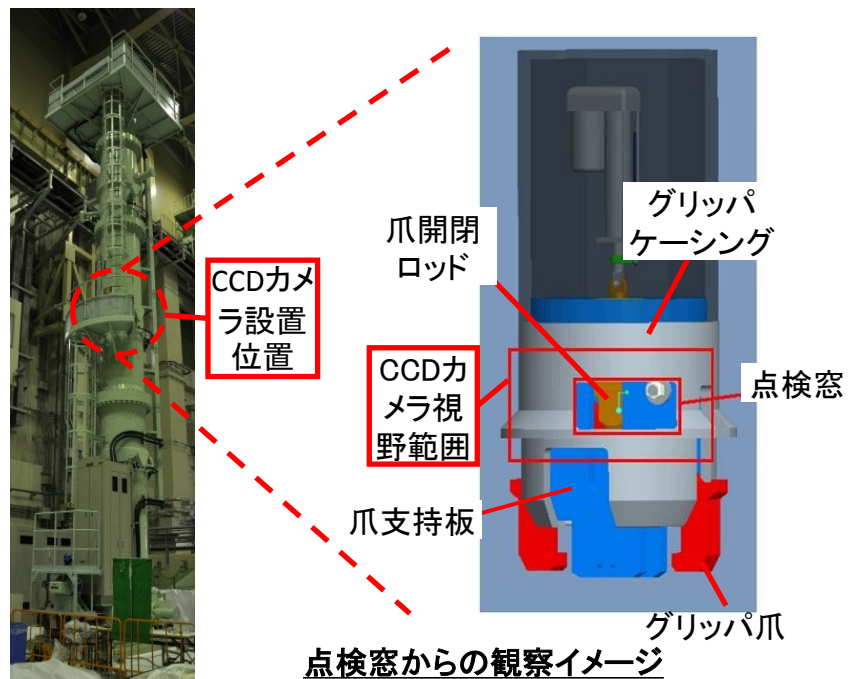


[グリッパストローク]

[荷重]

3. AHMグリッパ部の動作確認

AHMグリッパケーシングに点検窓を追加。AHMで物を吊る直前に点検孔を利用しCCDカメラで爪の開閉動作を確認



CCDカメラ設置位置

CCDカメラ視野範囲

爪開閉ロッド

グリッパケーシング

点検窓

爪支持板

グリッパ爪

点検窓からの観察イメージ