

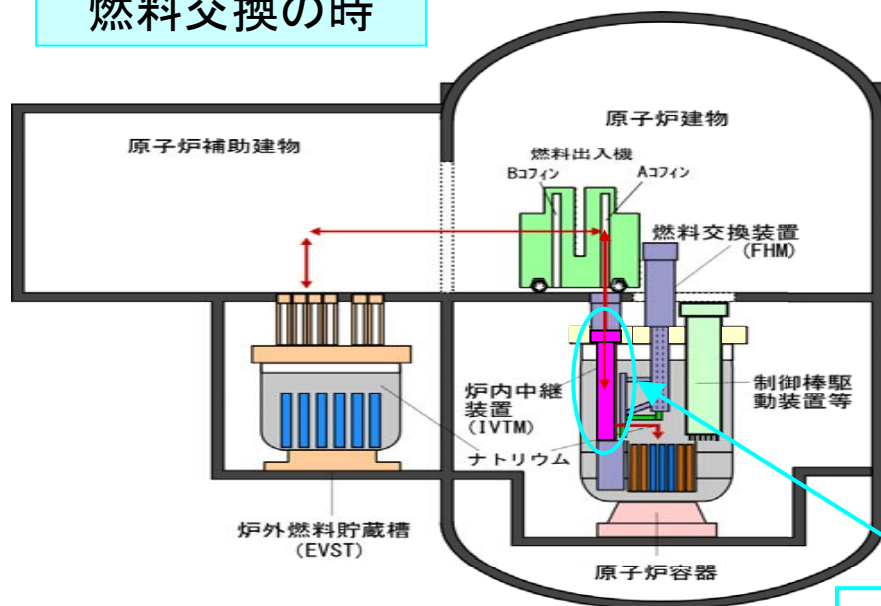
「もんじゅ」の炉内中継装置の点検・調査状況について 補足資料

平成23年10月27日
独立行政法人 日本原子力研究開発機構

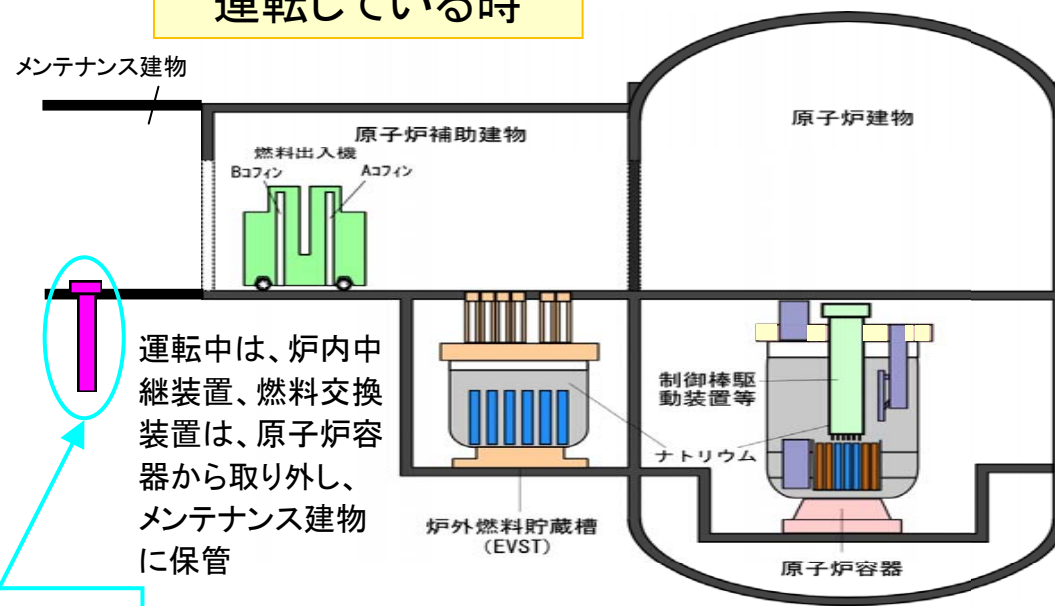
炉内中継装置とは

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「もんじゅ」特有の設備で、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る。昨年8月26日に燃料交換後の後片付け作業中、炉内中継装置を約2m吊り上げたところで落下させた。

燃料交換の時



運転している時



運転中は、炉内中継装置、燃料交換装置は、原子炉容器から取り外し、メンテナンス建物に保管

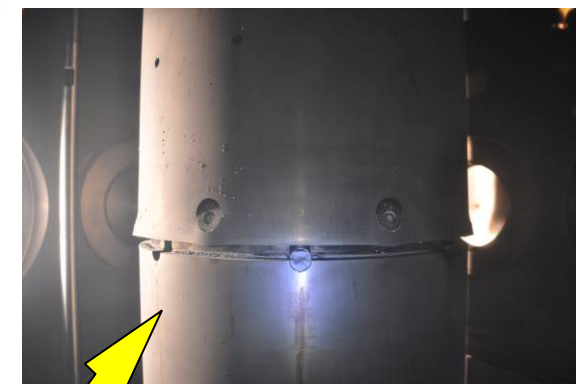
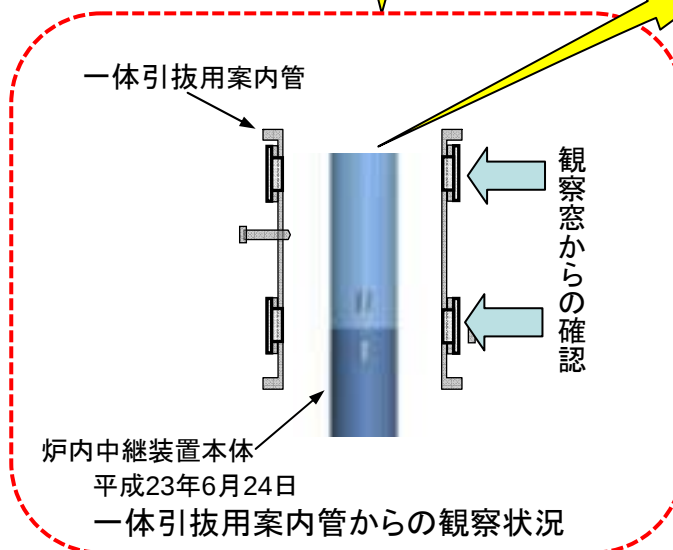
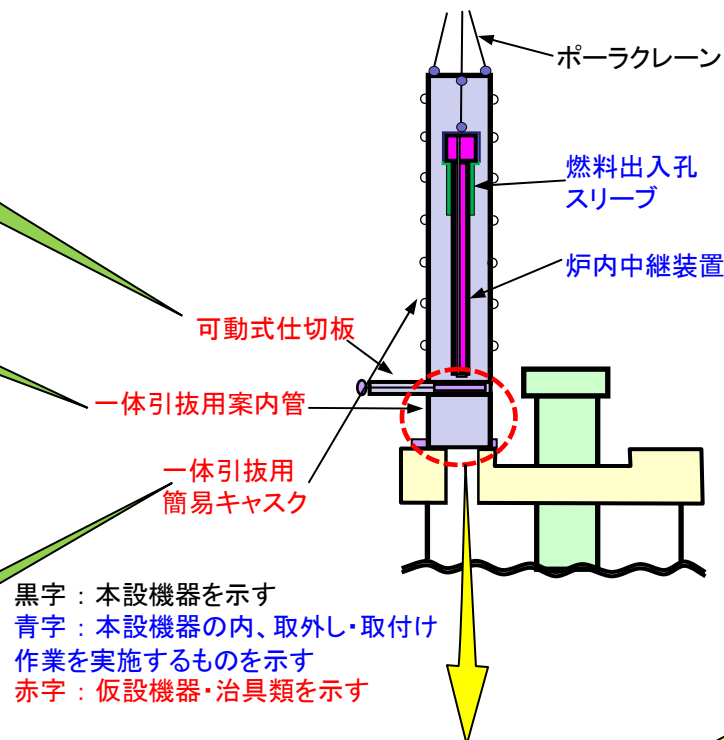
炉内中継装置



平成23年6月10日
可動式仕切板及び一体引抜用案内管据付作業風景



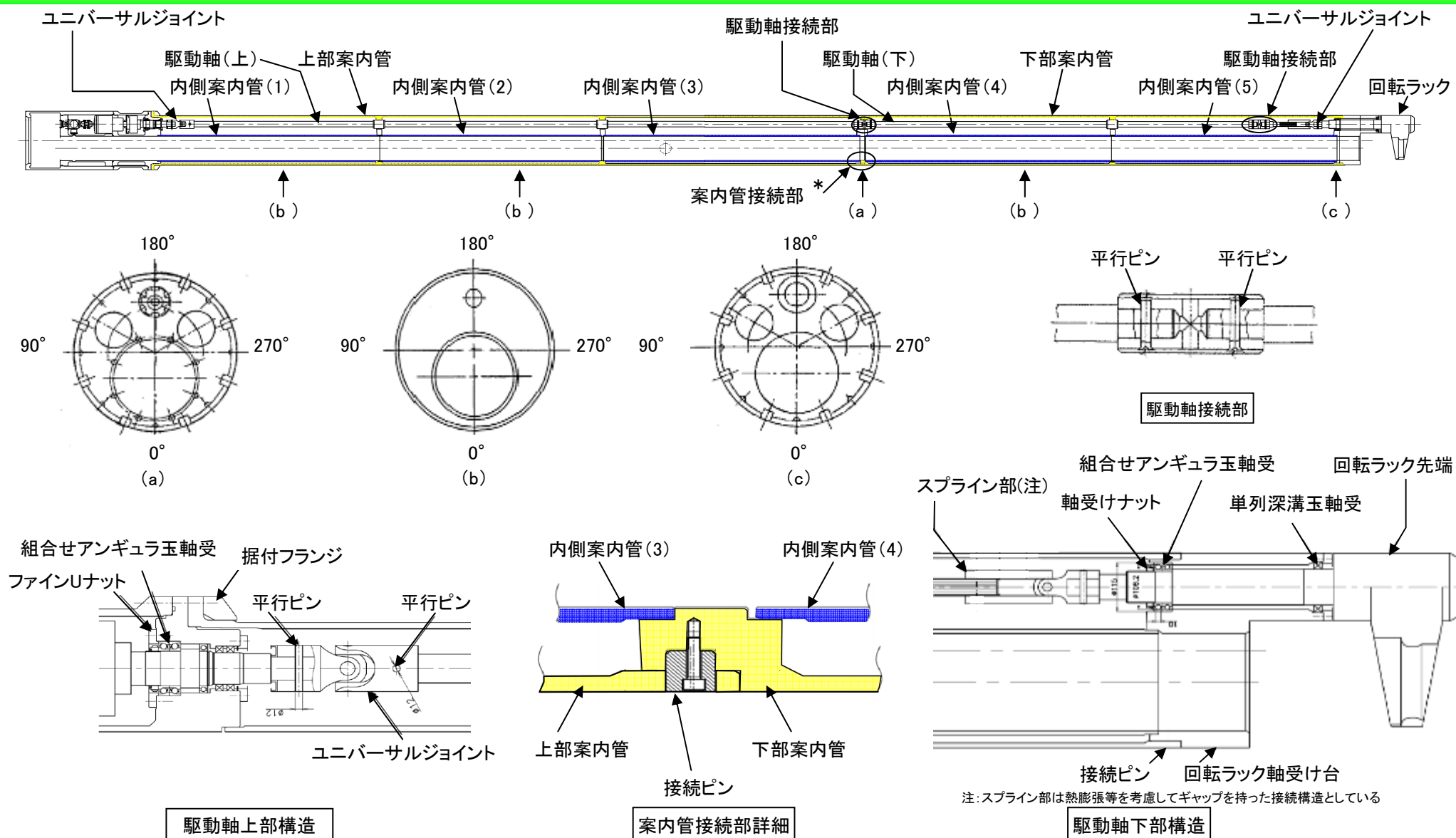
平成23年6月24日
炉内中継装置・燃料出入スリーブ一体引抜作業風景
(炉内中継装置・燃料出入スリーブは簡易キャスク内に収納)



燃料出入孔スリーブの狭隘部で干渉した炉内中継装置接続部の状況



回転ラック部の状況



主要寸法: IVTM本体 全長約12m

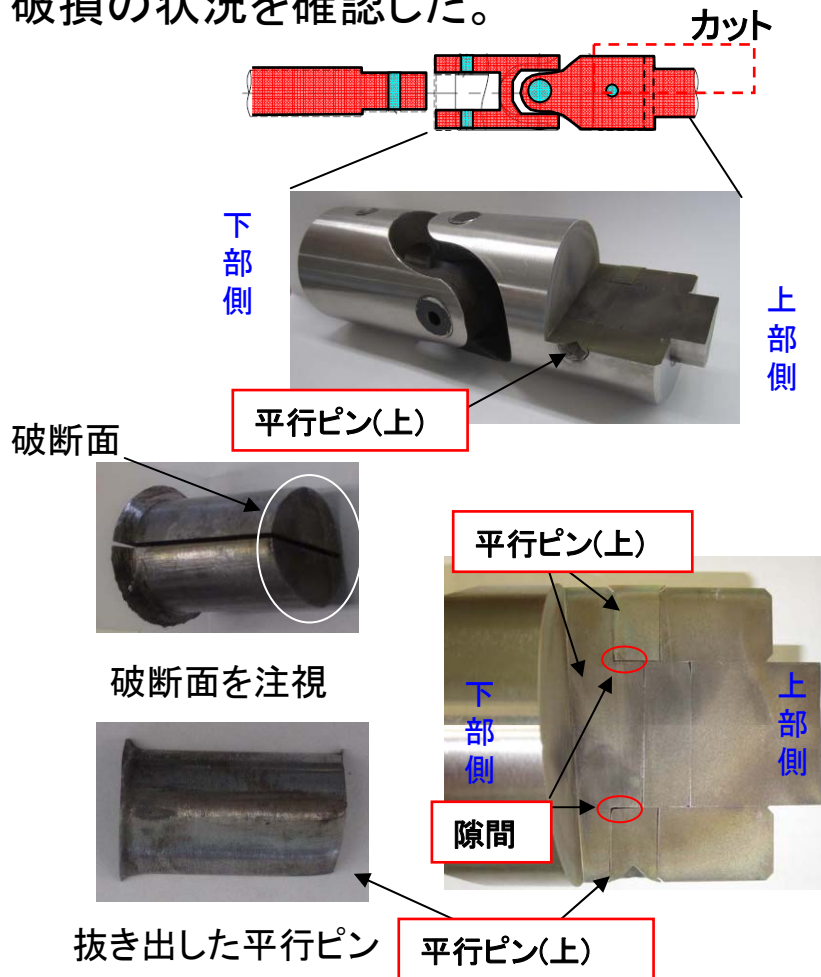
IVTM内側案内管 内径約230mm

IVTM上部・下部案内管 外径 約φ460mm

IVTM駆動軸 約φ50mm

●平行ピン(上)の破断状態の詳細

上部ユニバーサルジョイントの上部部品は、組立時の位置より約7mm下にずれていたが、完全に駆動軸から抜けきっていなかった。このため、上部の平行ピン(上)の状態を確認するため切断し、破損の状況を確認した。



ユニバーサルジョイント切断面

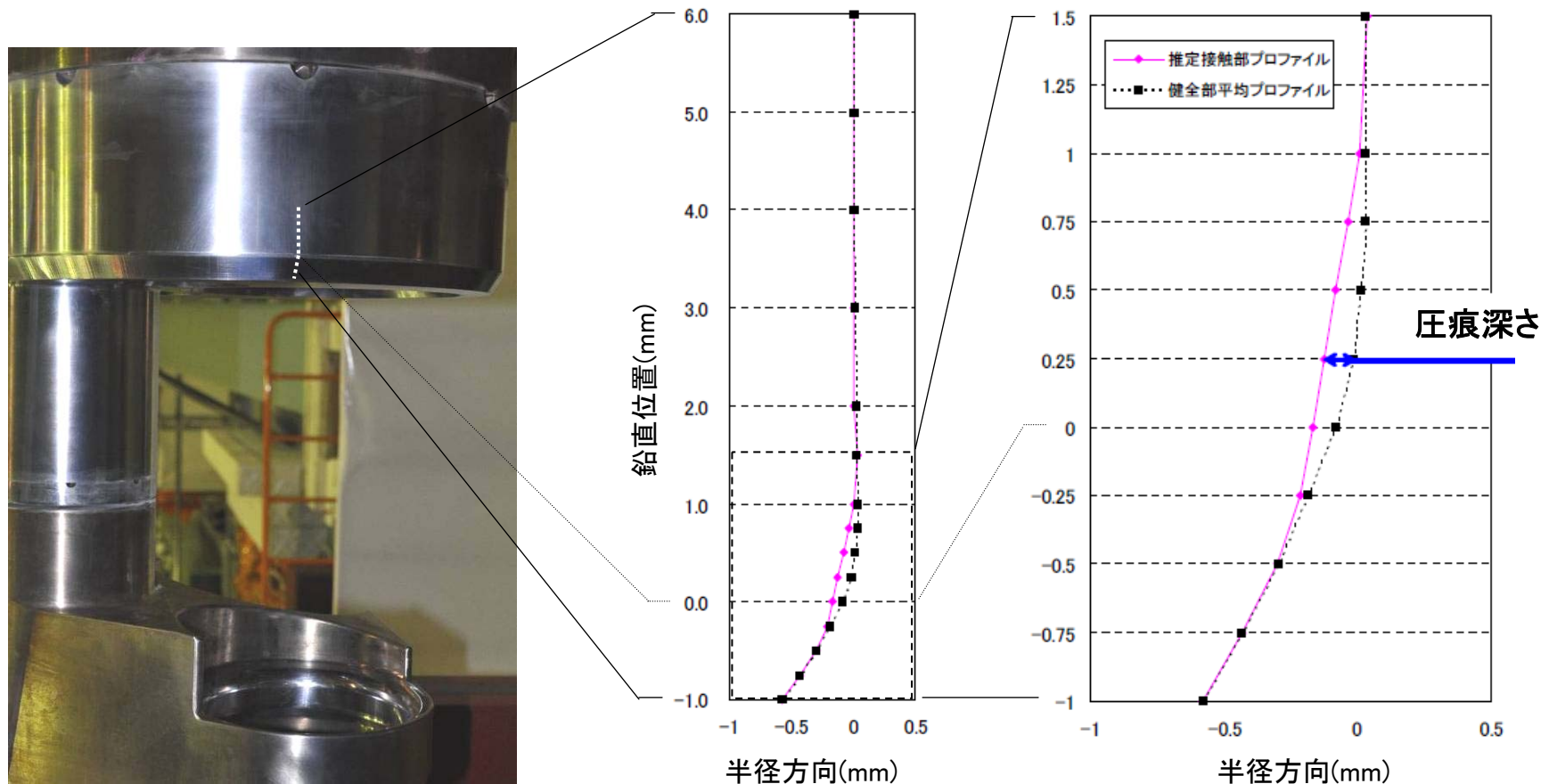
●状況確認結果:

- ① 平行ピン(上)は変形ではなく、破断していた。
- ② 切断面を観察すると、平行ピンの周りには破断の初期段階に生じたと推測される圧縮荷重による微小な隙間やせん断荷重による微小な変形が確認できた。
- ③ 平行ピン(上)はせん断によってきれいに破断し、破断面は滑らかで、細かな破片が生じる状況ではなかった。
- ④ 駆動軸は下側のユニバーサルジョイント部から駆動軸が脱落していたが、上部と下部の平行ピンのわずかな強度の違い、ユニバーサルジョイントと軸はめあい公差のわずかな違いによる摩擦力の差、平行ピンの破面形状の違いによる抵抗力の差が原因として推定される。

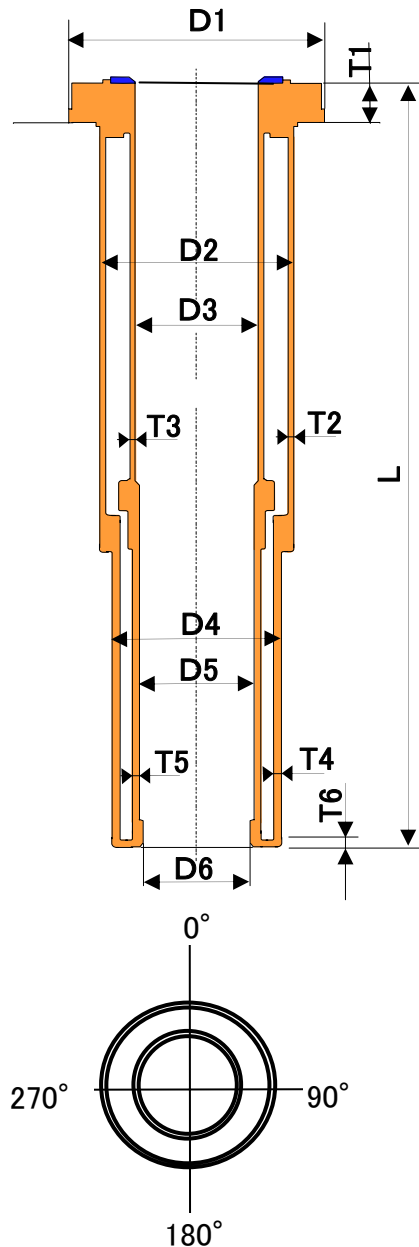
回転ラック軸受台下端部の圧痕の測定

推定接触範囲(約30°~170° 方向)に認められた接触痕をレプリカに写取り、レプリカの断面を万能投影機に投影し圧痕の形状(深さ*、幅)を測定。

* : R部下端から0.25mm高さ位置(最も凹みが大きくなる位置)で圧痕深さを測定(下図参照)



測定結果の例



寸法測定箇所°

●寸法測定結果:

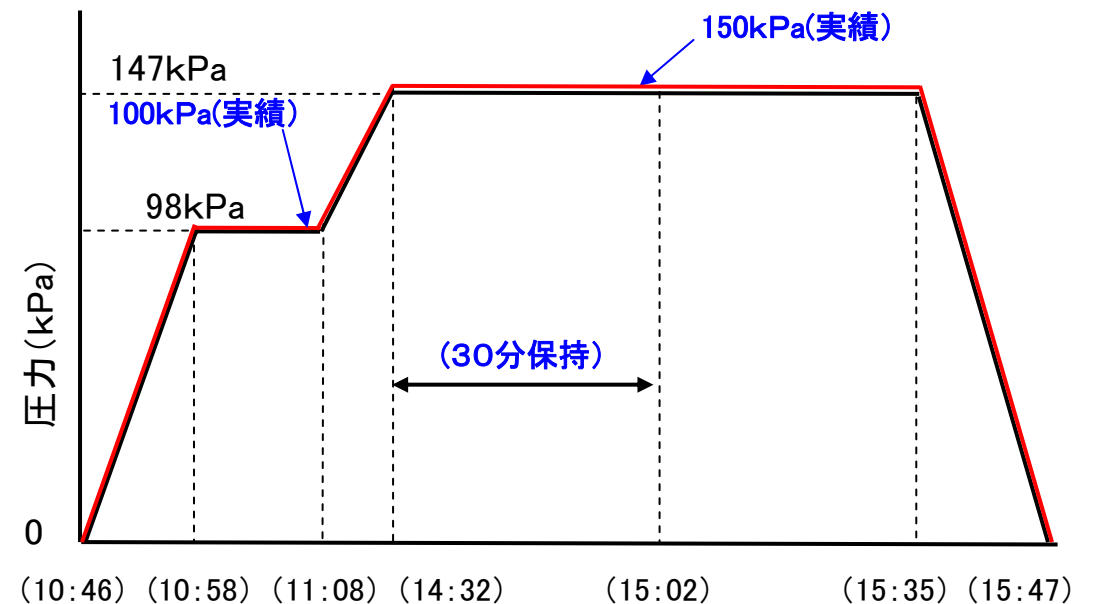
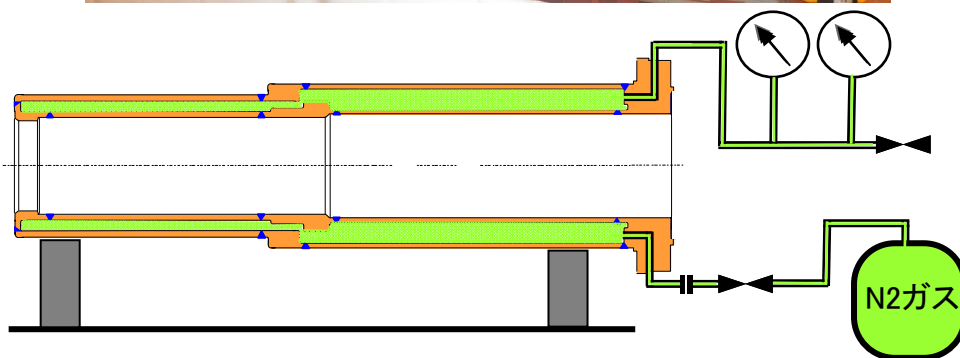
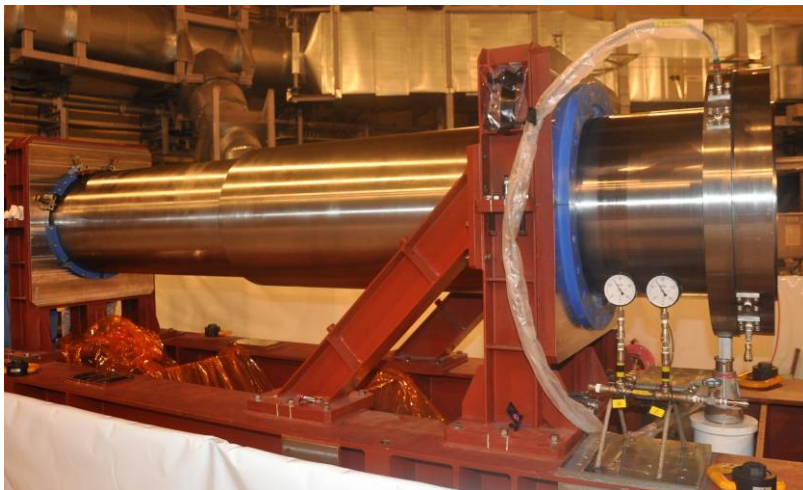
外径・内径、長さ及び厚さは、IVTM本体の落下及び長期使用による、有害な変形、磨耗等はなく製作時の状態を維持していることが確認できた。製造時の測定値と比較しても有意な差はない。

測定項目		寸法(mm)		実測値(mm)				製作時測定値(mm)			
		設計値	許容値	0° ～180°		90° ～270°		0° ～180°		90° ～270°	
径	D1	φ 990	±2	990		990		990		990	
	D2	φ 720	±2	720		720		720		720	
	D3	φ 500	±2	499		499		499		499	
	D4	φ 640	±2	640		640		640		640	
	D5	φ 480	±2	480		480		480		480	
	D6	φ 465	±2	465		465		465		465	
測定項目		寸法(mm)		実測値(mm)				製作時測定値(mm)			
		設計値	許容値*	0°	90°	180°	270°	0°	90°	180°	270°
長さ	L	3905	±6	3905	3905	3905	3905	3905			
厚さ	T1	200	193.8以上	200	200	200	200	200	200	200	200
	T2	20	18.0以上	20.0	20.2	20.2	20.1	19.4	19.5	19.6	19.7
	T3	20	18.0以上	21.3	21.3	21.6	21.6	21.0	21.0	21.4	21.3
	T4	20	18.0以上	20.0	20.1	20.1	20.1	19.5	19.5	19.5	19.6
	T5	20	18.0以上	20.8	21.0	21.4	21.2	20.7	20.8	21.0	21.0
	T6	30	29.5以上	33.1	33.1	32.9	33.0	32.8	32.7	32.9	32.7

*: 板厚は設工認/工認上強度計算上の最小板厚を示す。

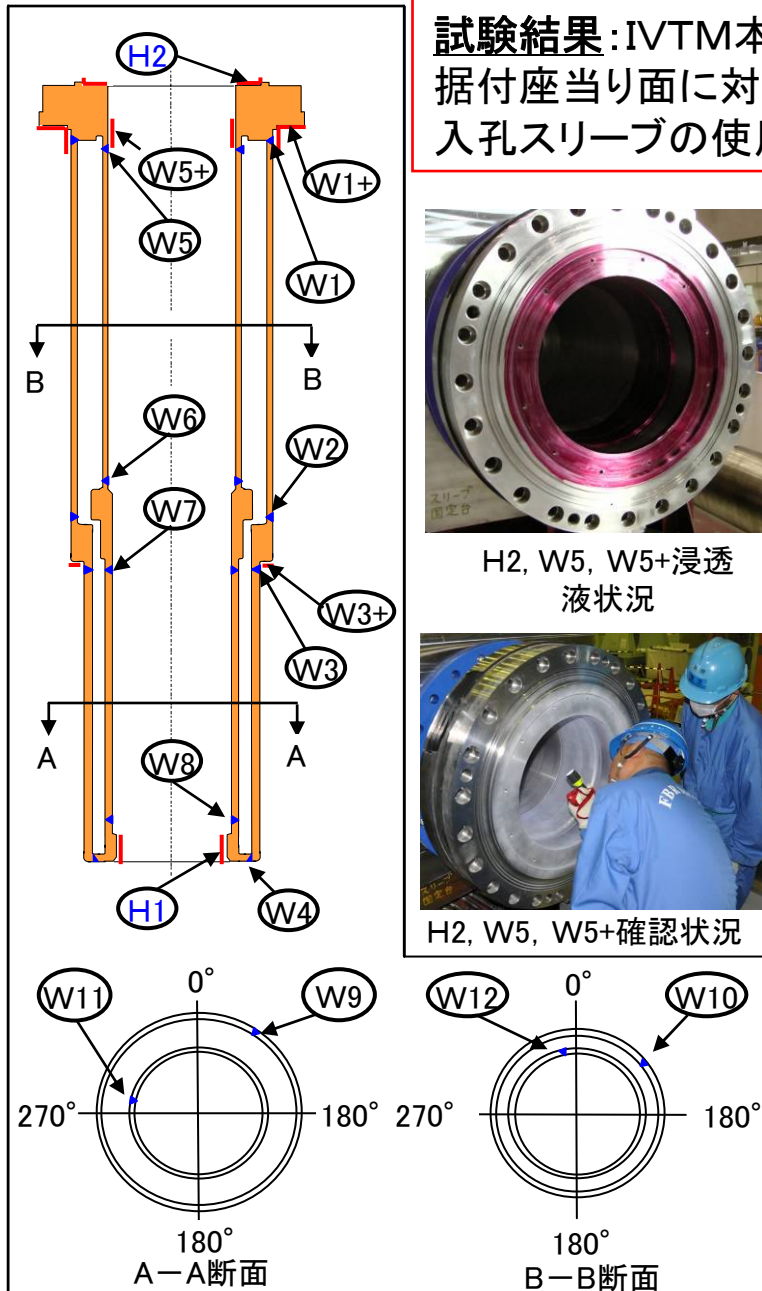
●耐圧漏えい試験結果：

燃料出入孔スリーブ冷却層(二重胴部)に試験圧力(147kPa以上)を窒素ガスで加圧後、30分間保持し、試験圧力に耐え、異常な変形がないことを確認した。また漏えいがないことから溶接部に貫通欠陥がないことが確認できた。



*検査圧力は、ナトリウム冷却型高速増殖炉発電所の原子炉施設に関する構造等の技術基準第104条 等に準拠

試験結果:IVTM本体落下に伴う応力発生部、溶接部(熱影響部を含む)、摺動部、本体据付座当り面に対して浸透探傷試験(PT)を実施した結果、技術基準を満足し、燃料出入孔スリーブの使用に対して有害な欠陥(傷、割れ等)はなかった。



試験対象部位	選定理由	試験結果	判定(注1)	備考
溶接部W 1	アルカリ腐食による浸食、溶接部のアルカリ腐食割れの可能性が完全に否定できないことから、腐食による浸食及び表面からの腐食割れが進展していないことを確認するため検査箇所として選定した。	異常なし	合格	
溶接部W 2			合格	
溶接部W 3			合格	指示模様あり(注2)
溶接部W 4			合格	
溶接部W 5			合格	
溶接部W 6			合格	指示模様あり(注2)
溶接部W 7			合格	指示模様あり(注2)
溶接部W 8			合格	指示模様あり(注2)
溶接部W 9			合格	指示模様あり(注2)
溶接部W 10			合格	指示模様あり(注2)
溶接部W 11			合格	指示模様あり(注2)
溶接部W 12			合格	指示模様あり(注2)
応力影響部W 1+	IVTM本体衝突時に発生応力が相対的に高い部位(フランジ上面、フランジ下面、スリーブ内面)については、割れが発生していないことを確認するため、検査箇所として選定した。	異常なし	合格	
応力影響部W 3+			合格	
応力影響部W 5+			合格	
摺動部H 1	IVTM本体衝突時にIVTM本体と摺動してすり傷等が発生している可能性があるため、検査箇所として選定した。	異常なし	合格	
本体据付座取当り面H 2	IVTM本体衝突時に発生応力が相対的に高い部位であり、割れが発生していないことを確認するため、検査箇所として選定した。	異常なし	合格	応力影響部

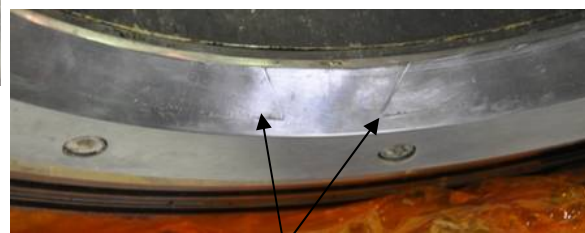
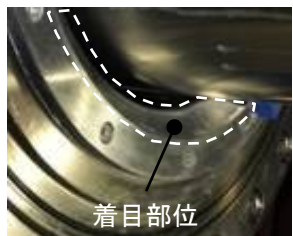
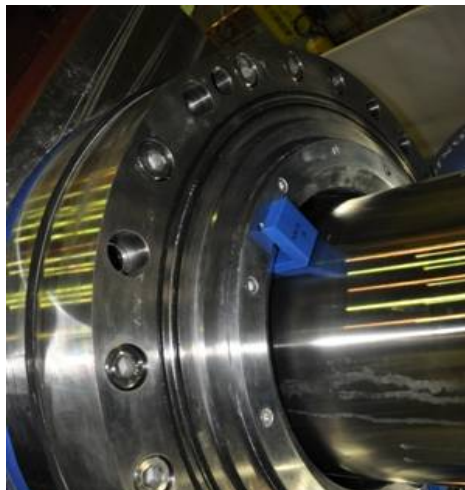
(注1) 準拠基準: ①研究開発段階にある発電の用に供する原子炉の溶接の技術基準に関する規則

②ナトリウム冷却型高速増殖炉発電所の原子炉施設に関する構造等の技術基準

(注2) 指示模様の検出位置は、残留応力が高くかつ熱影響を受けた溶接部近傍ではなく、溶着金属部位置であることから腐食割れが発生したとは考えにくく、製作時から存在したスラグ巻き込みやピンホールが溶接部を機械加工した際に指示模様となって現れたものと推定される。また、指示模様の大きさも技術基準を満足するものであることから、使用上支障はなく許容される範囲と判断する。

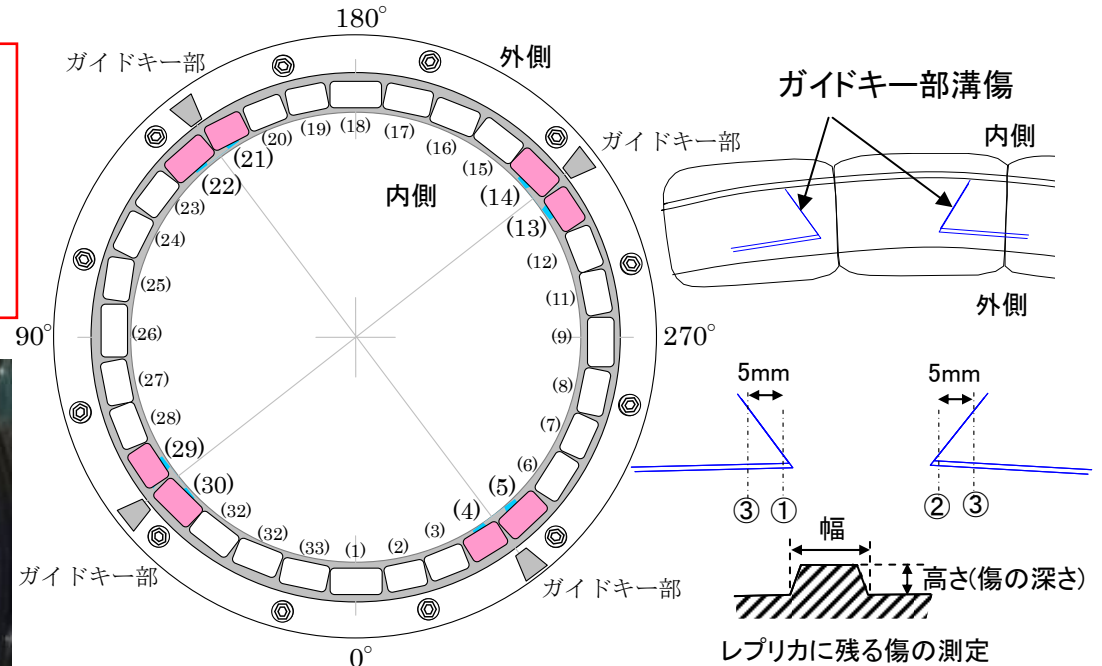
● 本体据付座のレプリカ採取

本体据付座のガイドキーに隣接した部位の接触痕（圧痕）が深い傾向を示していたことから、レプリカを採取・測定した結果、接触痕深さは 約0.02mm～0.07mmであった。



本体据付座の球面座に残る
ガイドキー部の圧痕

本体据付座部と型取りの状況



□ レプリカ、赤はガイドキー部、括弧はレプリカナンバー

▭ 圧痕深さの最大値

レプリカ No.	測定箇所							
	①		②		③		④	
	高さ(mm)	幅(mm)	高さ(mm)	幅(mm)	高さ(mm)	幅(mm)	高さ(mm)	幅(mm)
4			0.03	* A			0.02	* A
5	0.05	2.10			0.04	* A		
13			0.02	* A			0.03	* A
14	0.06	3.45			0.03	* A		
21			0.03	3.90			* B	* A
22	0.07	3.11			* B	* A		
29			0.05	* A			* B	* A
30	0.05	* A			0.02	* A		

圧深さの測定結果

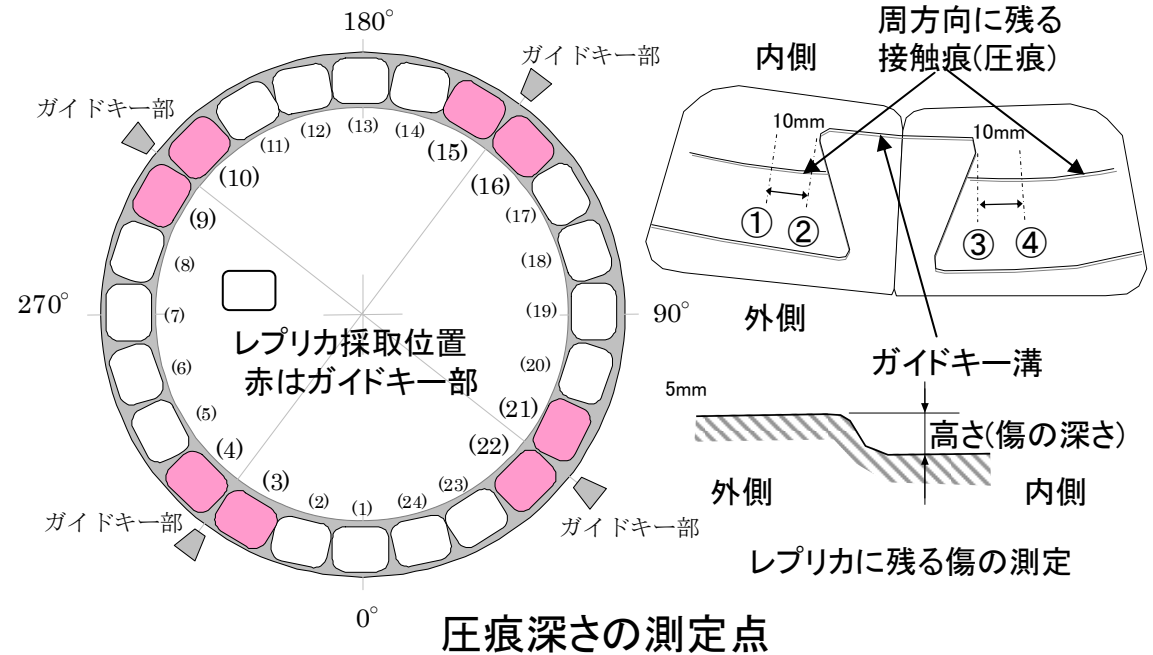
* A: レプリカ凸部の終端がなだらかで幅測定不能、* B: 測定下限以下

据付フランジ部の測定結果

据付フランジのレプリカ測定の結果、ガイドキーに隣接した部位の接触痕(圧痕)が深い傾向を示しており、約0.04mm～0.10mmであった。



据付フランジ部と型取りの状況



□ 圧痕深さの最大値

レプリカ No.	測定箇所			
	① 高さ(mm)	② 高さ(mm)	③ 高さ(mm)	④ 高さ(mm)
3	0.05	0.08		
4			0.10	0.04
9	0.08	0.05		
10			0.09	0.08
15	0.08	0.09		
16			0.09	0.05
21	0.08	0.05		
22			0.07	0.07

圧痕深さの測定結果

構造評価は、IVTM本体据付フランジに残る圧痕をもとに、燃料出入孔スリーブに加わる荷重を求め、燃料出入孔スリーブに発生する応力を評価することで、健全性確認を行った。

解析モデルは、衝突時の影響範囲を考慮し、IVTM案内管、減速機構ベース、ハウジング、据付フランジを含むIVTM本体と本体据付座を含む燃料出入孔スリーブを対象に軸対象モデルとする。

■ 解析モデル（右図）

モデル作成にあたり用いた、要素数、節点数、要素タイプを以下に示す。

要素数 : 5254

節点数 : 6003

要素タイプ: 軸対象ソリッド要素(4節点 線形)

(*) 全体の剛性に影響のないシール部の溝、面取り等はモデル化しない。

■ 解析コード

汎用有限要素法コード : ABAQUS V6.6.3

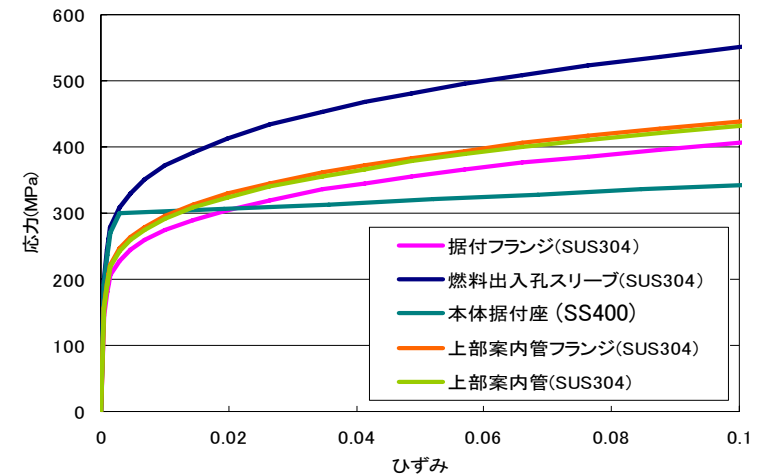
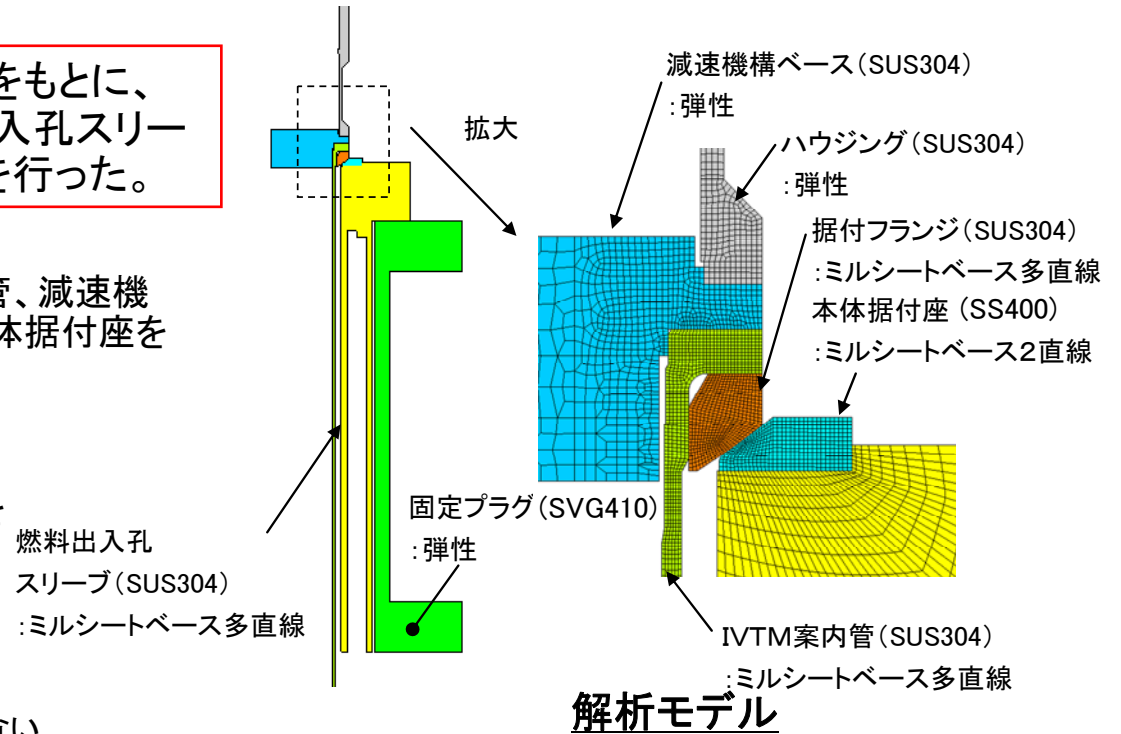
解析手法 : 弾塑性解析

■ 材料定数

弾性係数はJSME設計・建設の基準値¹⁾から50°C²⁾の値を設定した。

1) JSME 設計・建設規格 第I編 軽水炉規格, 2005 年版

2) IVTM本体落下時の燃料出入孔スリーブ据付部の温度



弾塑性応力-ひずみ関係

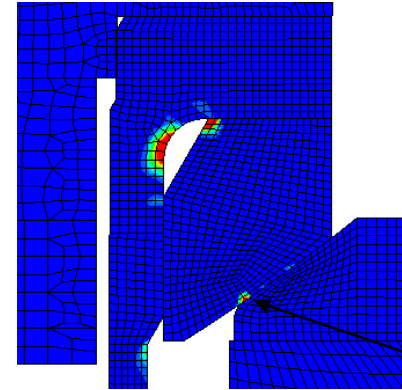
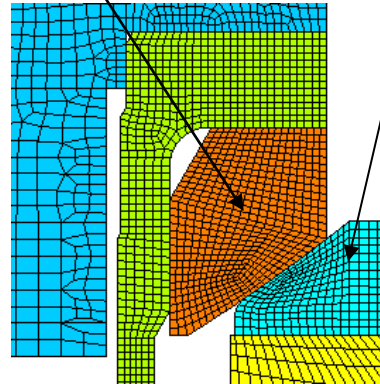
■衝突荷重の評価

衝突荷重は、据付フランジ／本体据付座に残された接触痕をもとに、接触痕深さが再現される荷重をサーベイにより求め、解析に用いた。

接触痕は据付フランジに残る最大のもの（ガイドキー部に着目）を採用した。

据付フランジ

本体据付座



軸対称モデルにおける接触痕該当位置

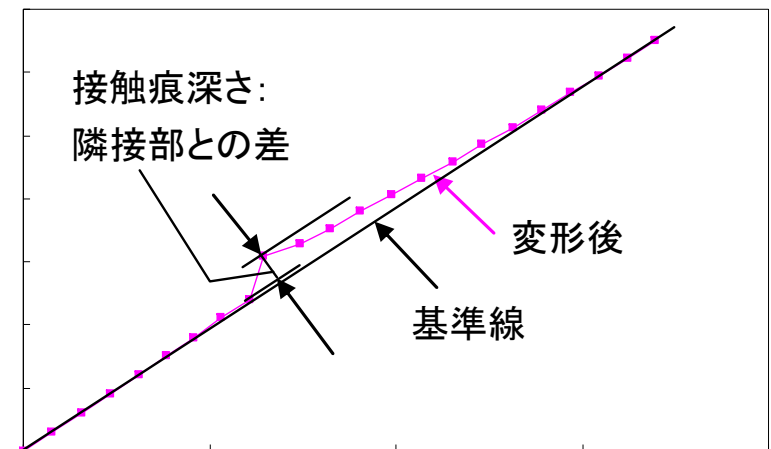
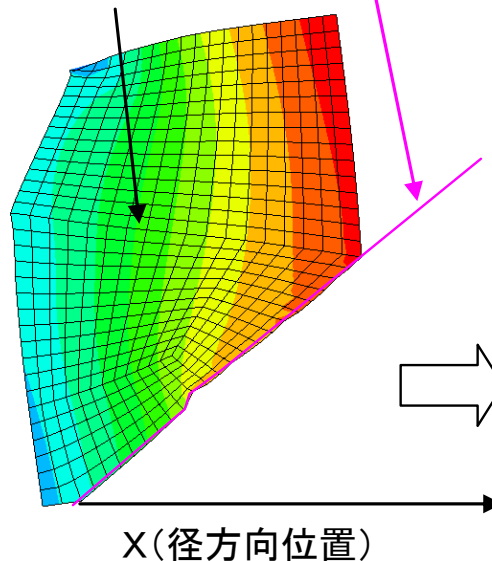
この値をもとに最大荷重(最大の発生応力)の評価を行う

レプリカ No.	測定箇所			
	① 高さ(mm)	② 高さ(mm)	③ 高さ(mm)	④ 高さ(mm)
3	0.05	0.08		
4			0.10	0.04
9	0.08	0.05		
10			0.09	0.08
15	0.08	0.09		
16			0.09	0.05
21	0.08	0.05		
22			0.07	0.07

据付フランジに残る接触痕深さの測定結果

据付フランジ

変形後(表示倍率拡大)



接触痕深さの算出方法

■ 荷重条件

接触痕深さを再現する荷重をサーベイし、据付フランジのガイドキー部に残る接触痕(圧痕:最大約0.10mm)を再現する荷重を逆算し、それをもとに発生応力を評価。

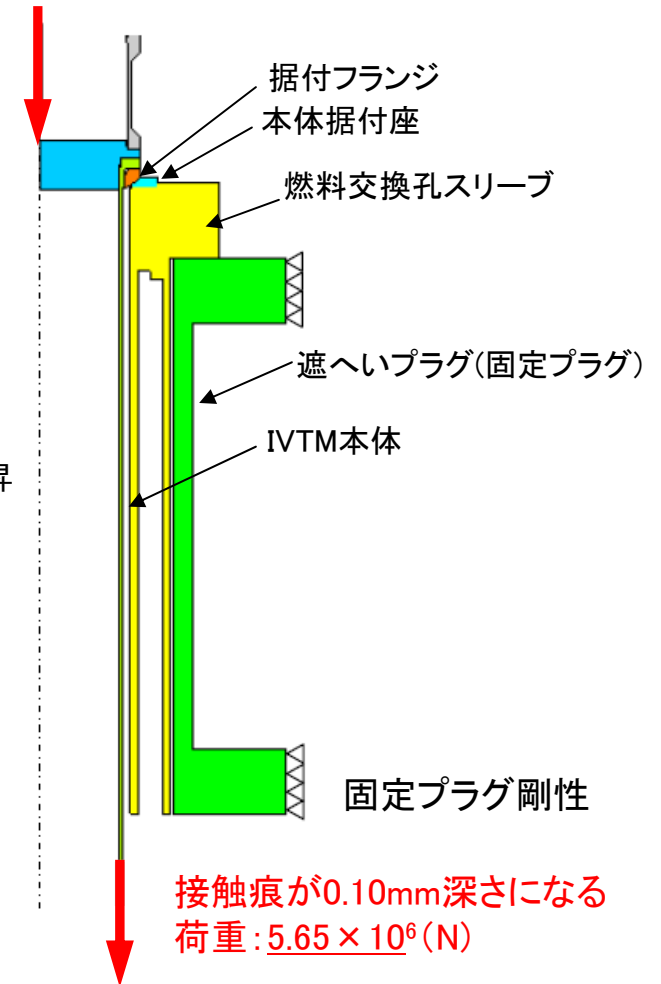
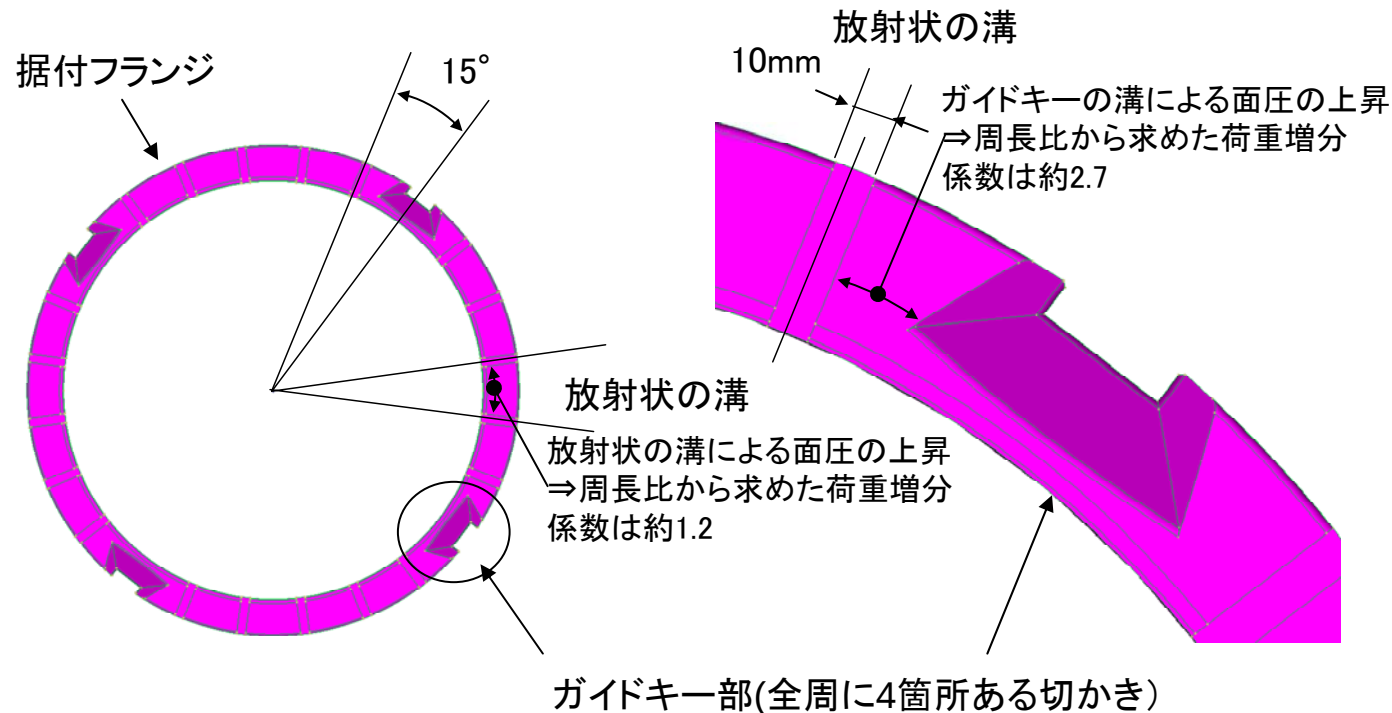
■ 境界条件

遮へいプラグは固定、IVTM本体には、荷重経路を考慮し上側と下側に衝突荷重を分割。

■ 接触痕深さ

据付フランジのガイドキー部接触痕(圧痕)深さは約0.04~0.10mm

接触痕が0.10mm深さになる荷重: 2.20×10^6 (N)

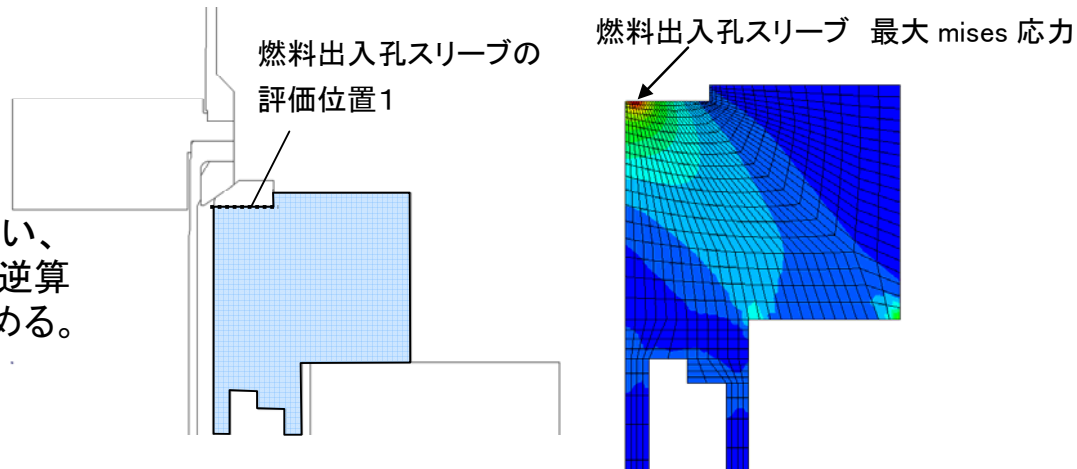


荷重及び境界条件

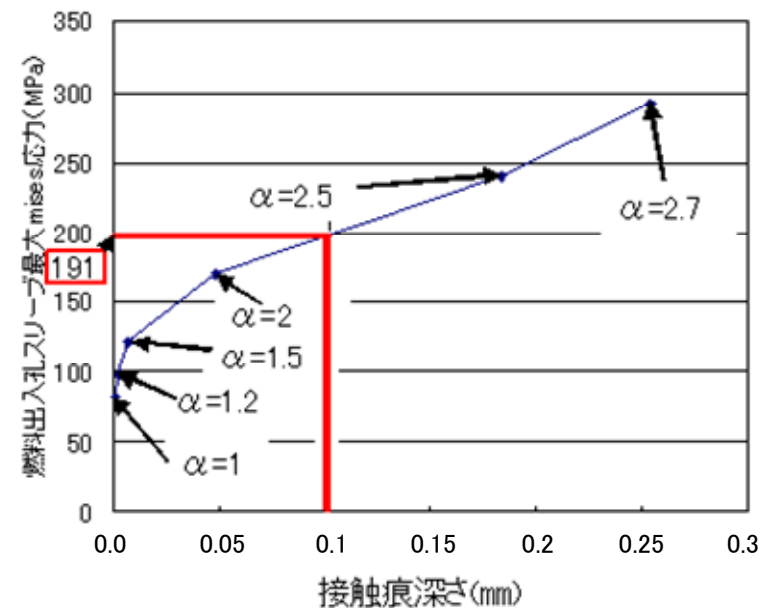
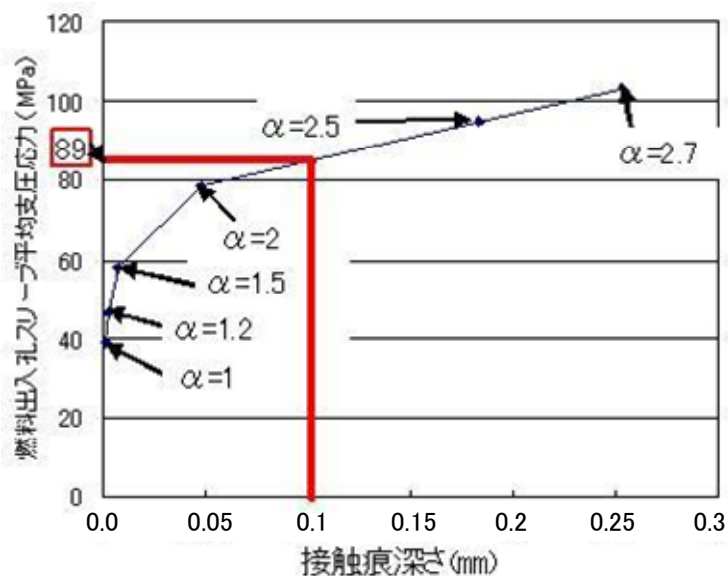
■解析結果例

荷重を増加させた計算を行い、計測された接触痕深さから逆算して、荷重または応力を求める。

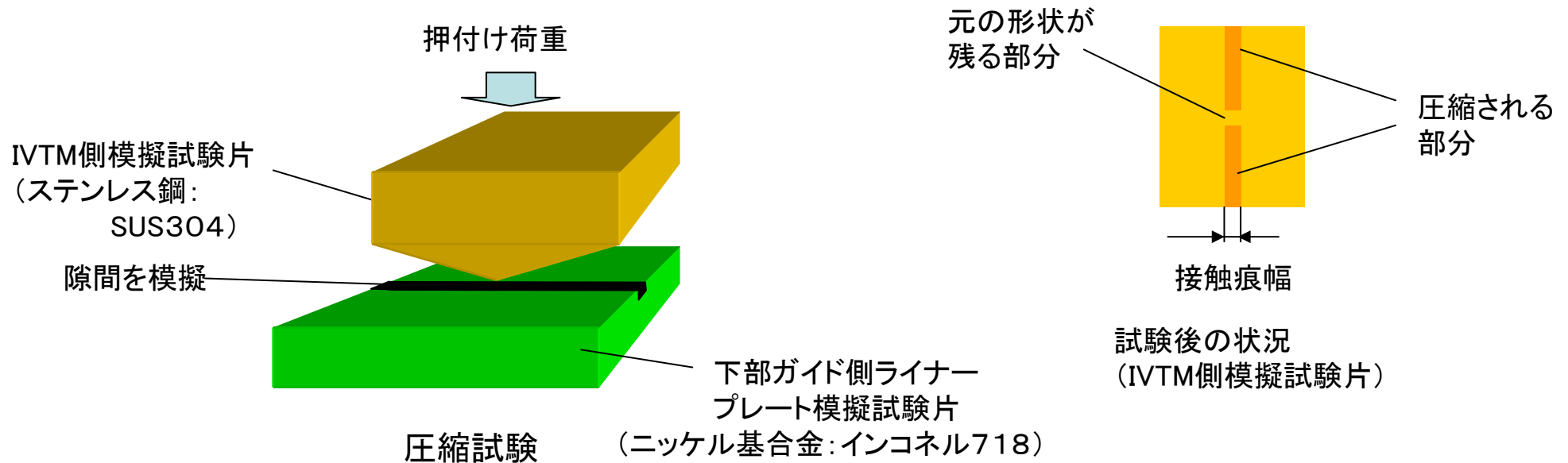
α : 荷重増分係数



荷重範囲(サーベイ): 約 3.57×10^6 (N) ~ 約 9.63×10^6 (N)

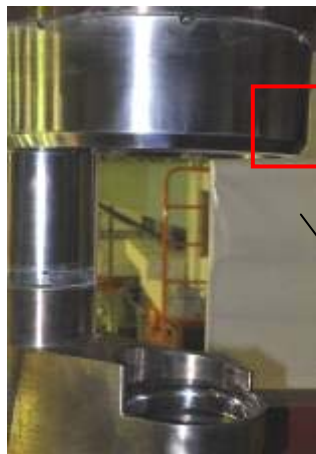


接触痕深さと燃料出入孔スリーブ評価断面応力の関係(評価位置1)

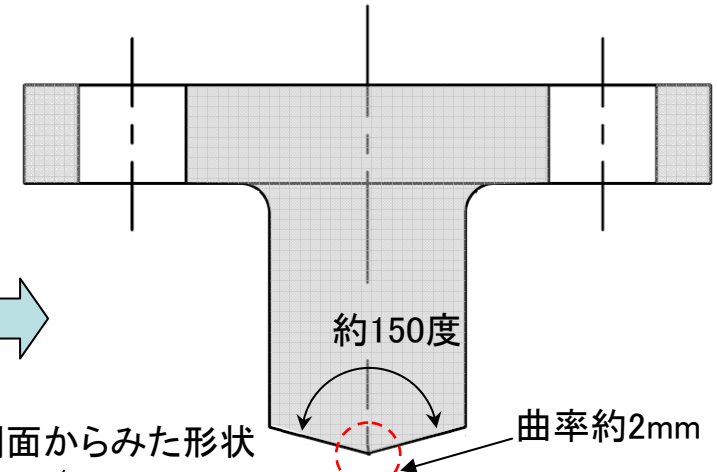
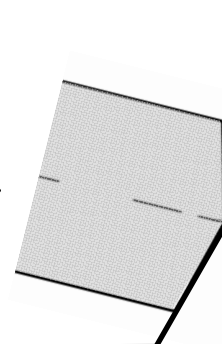
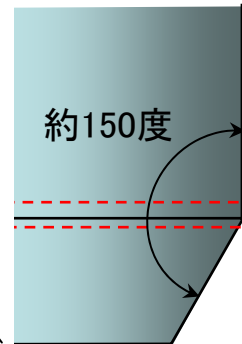


【検証試験の目的】

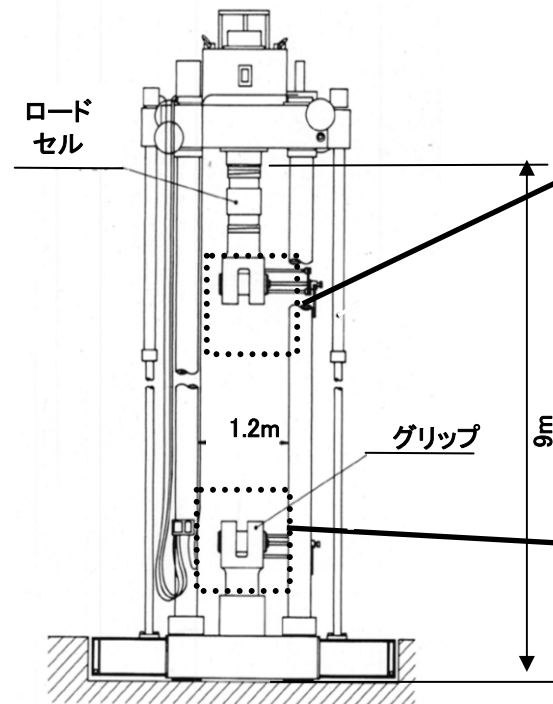
- 下部ガイドのライナープレートを模擬した試験片にIVTM本体を模擬した試験片を押し付け、硬いライナープレート側にはほとんど接触痕が残らず*、IVTM側に引抜き後に認められたものと同様の接触痕が残ることを確認する。
- 次に、解析により試験結果が再現できることを確認し、解析コードの検証を行う。
- 接触痕幅と押付け荷重の関係を求め、単位長さ当たりどの程度の押付け荷重が加わると、引抜き後のIVTM本体に認められたような接触痕が残るかを定量的に確認する。



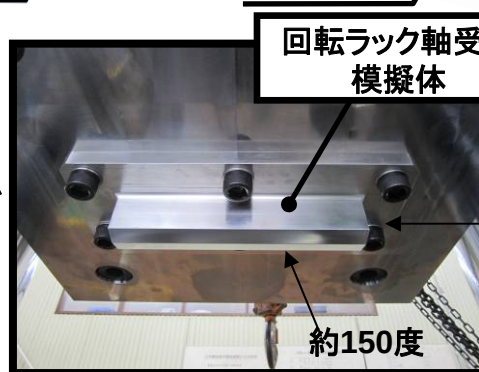
接触痕(圧痕)が確認された回転ラック下端部
(曲率約2mmのなめらかな角)



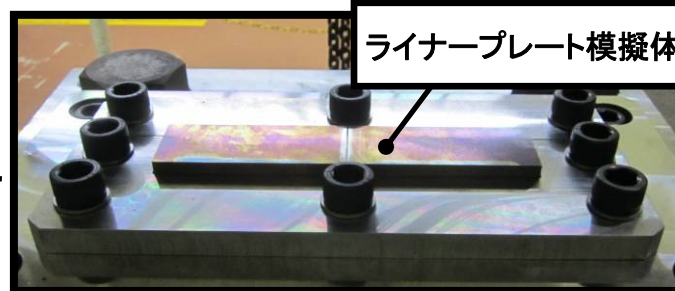
回転ラック軸受台(実機)



試験装置外観図



回転ラック軸受台模擬体取付け外観



ライナープレート模擬体取付け外観

回転ラック軸受台模擬体

検証試験条件

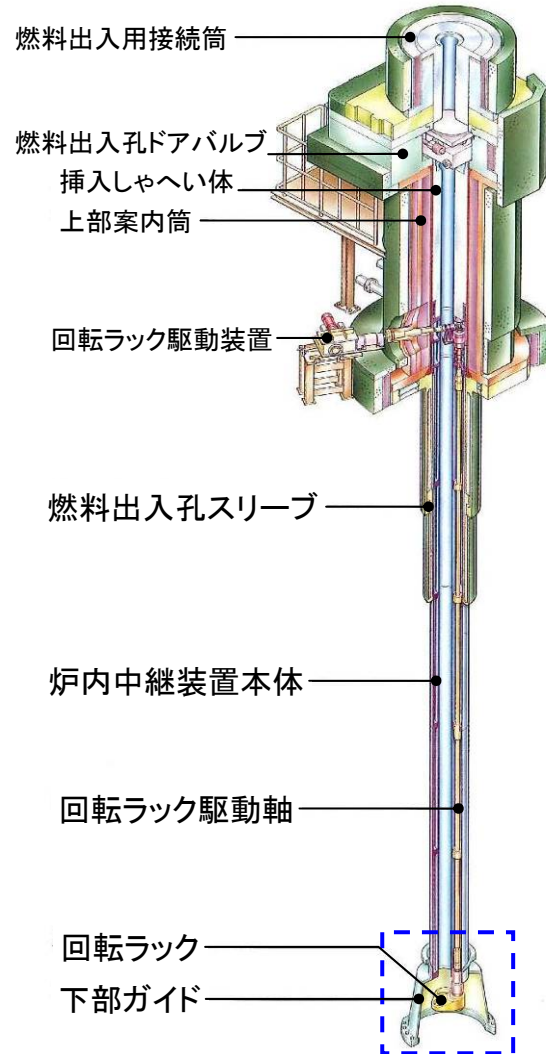
試験 No.	押付け荷重 [kN]	荷重速度 [kN/min]	雰囲気
1	700	550	気中
2	600		
3	500		
4	300		
5	100		

材質

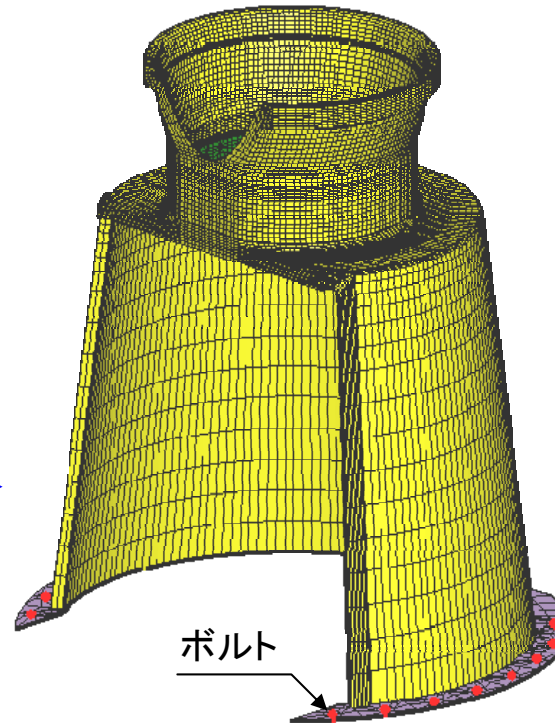
回転ラック軸受台模擬体: SUS304

下部ガイドライナープレート模擬体: インコネル718

■ 下部ガイド、回転ラック軸受台 解析モデル



下部ガイド
節点数: 141776
要素数: 106380



下端のボルト位置を完全拘束

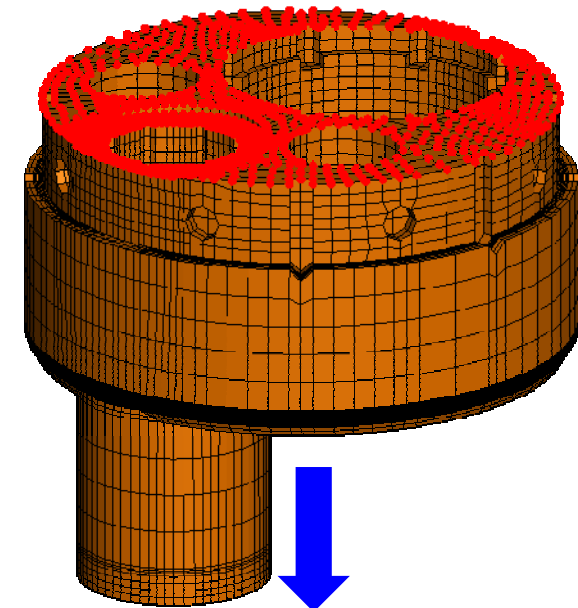
下部ガイドの境界条件

解析条件

- ・IVTM本体の落下速度(回転ラック軸受台の負荷速度) : 6.26m/s
- ・下部ガイドの減衰率 : 5%
- ・下部ガイドと回転ラック軸受台の摩擦係数 : 0.1

回転ラック
節点数: 240693
要素数: 193938

●: 水平方向固定



鉛直方向に速度6.26m/s
(IVTM本体の落下速度)

回転ラックの境界条件