

引き上がり事象発生時の結合状態ケース検討

1. 目的

本検討では、今回の調査結果（製造記録、外観確認等）との整合性の観点から、引き上がり事象発生時の結合状態を推定する。

ここで、制御棒クラスタと駆動軸の結合状況等の確認において、上部炉心構造物と制御棒クラスタが引き上がった後、制御棒クラスタと駆動軸の切り離し操作を行うことなく制御棒クラスタが切り離されていたことから、完全に結合している状態ではなく、不完全な結合状態であったと考えられる。

よって、不完全結合状態として、以下のケースを想定する。（図－1 参照）

- ・ケース1：仮置き状態位置で不完全結合している場合
- ・ケース2：スパイダ頭部1山目位置で不完全結合している場合
- ・ケース3：スパイダ頭部2山目位置で不完全結合している場合
- ・ケース4：スパイダ頭部3山目位置で不完全結合している場合
- ・ケース5：完全結合位置であるが、位置決めナットはボタンアップ位置にあり、不完全結合している場合
- ・ケース6：スパイダ頭部外部側で不完全結合している場合
- ・ケース7：スパイダ頭部外部側で、位置決めナットがボタンアップ位置で不完全結合している場合

2. 実施内容

(1) 検討項目

a. 幾何学的な整合

ケース毎のスパイダ頭部と接手の不完全結合位置が幾何学的な観点から起こり得るか否か（整合するか否か）を検討した。

検討の観点としては、

- ・設計図での検討
- ・M-4 個別の測定値での検討

の2点とし、それぞれを重畳させた場合でも起こり得るか否かを総合評価として判断した。

ここで、製造記録確認結果から、駆動軸および制御棒クラスタは、設計図通り製作されていたことから、設計図の検討では、製作・組立時の公差を考慮すると共に製作・組立公差を駆動軸が最も大きく傾くように仮定した場合の駆動軸の傾きについても考慮する。

b. 外観確認結果との整合

ケース毎のスパイダ頭部と接手の不完全結合位置を想定した場合に、図－2に

示す外観確認で確認された接手内外面の接触痕、位置決めナットの接触痕が生じ得るか否か（整合するか否か）を検討した。

c. 手順との整合

ケース毎のスパイダ頭部と接手の不完全結合状態が、今回の事象が発生した際の手順において起こり得るか否か（整合するか否か）を検討した。

3. 検討結果

表-1にケース毎の検討項目 a, b, c に対して検討した結果を示す。

a. 幾何学的な整合

ケース1～5の不完全結合状態については、起こり得る（整合する）という結果になった。一方、ケース6, 7の不完全結合状態については、製作・組立公差および駆動軸の傾きを最大限考慮し、M-4の接手の開きも重畳させたとしても起こり得ない（整合しない）という結果となった。

b. 外観確認結果との整合

全ての接触痕と整合する不完全結合状態はなかったが、全てのケースにおいて、いずれかの接触痕がつく可能性はあった。

c. 手順との整合

ケース1, 6は、駆動軸切り離し後に、位置決めナットが所定の位置まで下降しているため、整合する。また、ケース2～4は、位置決めナットが所定位置まで下降しないという条件付きの場合において整合し、ケース5, 7においては、位置決めナットがボタンアップ位置に留まっており、整合しないという結果になった。

以上より、ケース1～7のうち、検討項目 a, b, c が3つとも整合する（条件付きで整合する場合含む）ケース1～4については、その不完全結合状態が起こり得ると考えられるため、部分モデルによる引き上がり状態実証試験を行い、当該不完全結合状態で実際に制御棒クラスタを引き上げ得るか添付資料-11で確認する。

以上

表1 引き上がり現象発生時の結合状態ケース検討

不完全結合状態	設計図(共通)				a. 幾何学的な整合							b. 外観確認結果との整合			c. 手順との整合	部分モデル 実装試験の裏面
	ケース地	製作・組立 公差を考慮	駆動軸の傾き※1	M-4種別 溝深さ (接手の剛性)	総合評価	① 接手外面直線部の 周所分の接触面 (4分所)	② 接手外面テーパ部の 周方向接触面	③ 接手内面直線部の 接触面	④ 位置決めナット直線部の 接触面	⑤ スライダ直線部の 円筒上の 接触面 (色調の変化)	⑥ スライダ直線部の 円筒テーパ部の 接触面 (色調の変化)					
不完全結合位置	製作・組立公差を考慮する	駆動軸の傾きを最大許容範囲内に抑えるため、整合する	駆動軸が直線位置から最大傾斜位置に傾き、傾斜位置に接手が位置する	接手の寸法許容で確認され、30.6mmの接手の剛性を考慮して位置決めナットの位置決め公差で接手が位置する	製作・組立公差、駆動軸の傾き、測定結果を考慮しても起こり得るため、整合する	X	O	X	X	X	X	X	O	O	O	
スライダ直線部1山目位置	製作・組立公差を考慮する	駆動軸が直線位置から最大傾斜位置に傾き、傾斜位置に接手が位置する	駆動軸が直線位置から最大傾斜位置に傾き、傾斜位置に接手が位置する	接手の寸法許容で確認され、30.6mmの接手の剛性を考慮して位置決めナットの位置決め公差で接手が位置する	製作・組立公差、駆動軸の傾き、測定結果を考慮しても起こり得るため、整合する	O	X	X	X	X	X	X	X	Δ	O	
スライダ直線部3山目位置	製作・組立公差を考慮する	駆動軸が直線位置から最大傾斜位置に傾き、傾斜位置に接手が位置する	駆動軸が直線位置から最大傾斜位置に傾き、傾斜位置に接手が位置する	接手の寸法許容で確認され、30.6mmの接手の剛性を考慮して位置決めナットの位置決め公差で接手が位置する	製作・組立公差、駆動軸の傾き、測定結果を考慮しても起こり得るため、整合する	O	X	X	X	X	X	X	X	Δ	O	
スライダ直線部5山目位置	製作・組立公差を考慮する	駆動軸が直線位置から最大傾斜位置に傾き、傾斜位置に接手が位置する	駆動軸が直線位置から最大傾斜位置に傾き、傾斜位置に接手が位置する	接手の寸法許容で確認され、30.6mmの接手の剛性を考慮して位置決めナットの位置決め公差で接手が位置する	製作・組立公差、駆動軸の傾き、測定結果を考慮しても起こり得るため、整合する	O	X	X	X	X	X	X	X	Δ	O	
完全結合位置 (位置決めナットはボタン アップ位置)	製作・組立公差を考慮する	駆動軸の傾きを最大許容範囲内に抑えるため、整合する	駆動軸が直線位置から最大傾斜位置に傾き、傾斜位置に接手が位置する	接手の寸法許容で確認され、30.6mmの接手の剛性を考慮して位置決めナットの位置決め公差で接手が位置する	製作・組立公差、駆動軸の傾き、測定結果を考慮しても起こり得るため、整合する	O	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
スライダ直線部外側側	製作・組立公差を考慮する	駆動軸の傾きを最大許容範囲内に抑えるため、整合する	駆動軸が直線位置から最大傾斜位置に傾き、傾斜位置に接手が位置する	接手の寸法許容で確認され、30.6mmの接手の剛性を考慮して位置決めナットの位置決め公差で接手が位置する	製作・組立公差、駆動軸の傾き、測定結果を考慮しても起こり得るため、整合する	O	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
スライダ直線部外側側	製作・組立公差を考慮する	駆動軸の傾きを最大許容範囲内に抑えるため、整合する	駆動軸が直線位置から最大傾斜位置に傾き、傾斜位置に接手が位置する	接手の寸法許容で確認され、30.6mmの接手の剛性を考慮して位置決めナットの位置決め公差で接手が位置する	製作・組立公差、駆動軸の傾き、測定結果を考慮しても起こり得るため、整合する	O	X	X	X	X	X	X	X	X	X	

※1: 製作・組立公差を駆動軸の傾きを考慮する。(詳細は別添参照)
 ※2: 詳細は別添参照。

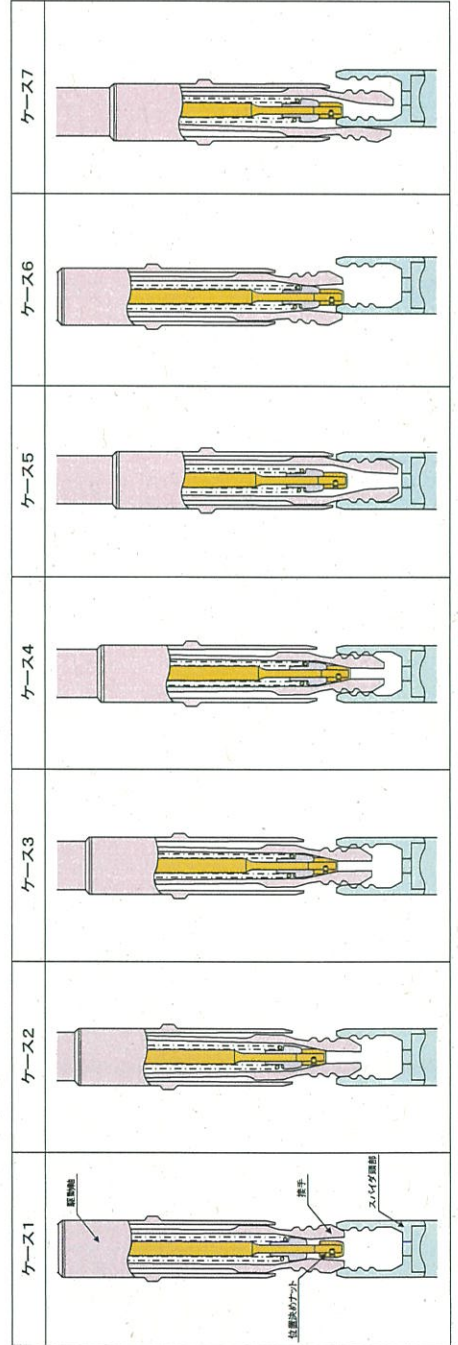


図-1: 各ケースの概要図

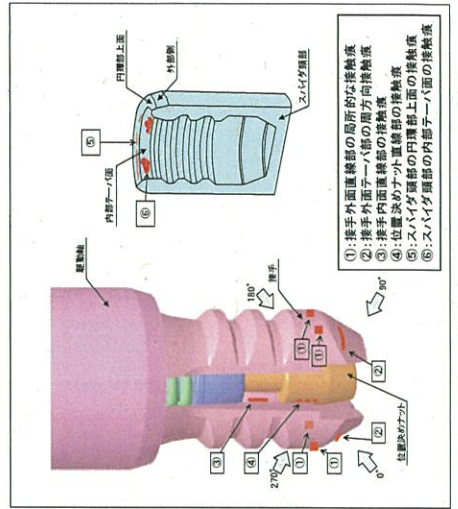


図-2: 駆動軸およびスライダ直線部の外観確認結果

ケース6, 7における幾何学的な整合検討結果

1. はじめに

不完全結合状態であるケース6, 7の状態が幾何学的に起こり得るか否か（整合するか否か）を検討した結果を示す。

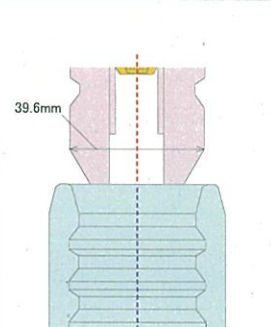
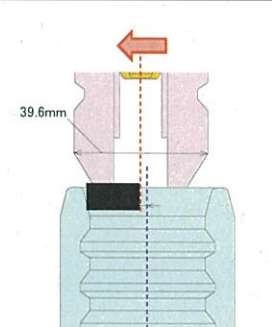
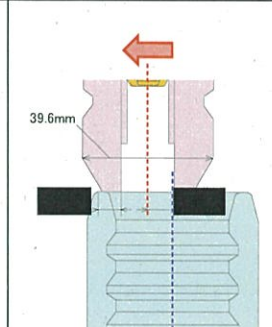
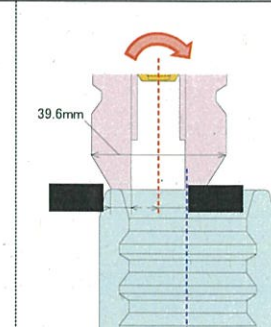




2. 検討結果

ケース6, 7の状態が、幾何学的に起こり得るか否かを検討する際、駆動軸の接手先端がスパイダ頭部の円環部上面を乗り越えるか否かが重要となる。

ここで、検討に際しては、設計上考え得る接手先端とスパイダ頭部の水平方向のずれおよび測定結果であるM-4の接手の開き量39.6mmを考慮してもスパイダ頭部の円環部上面を乗り越えるか否かを表-1のとおり、ステップ毎に検討した。各ステップは以下のとおり。

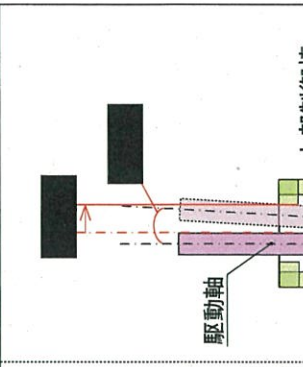
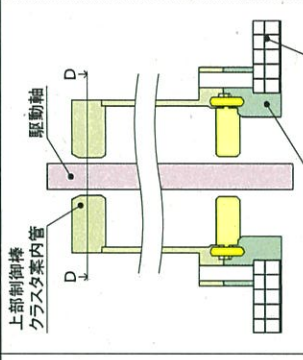
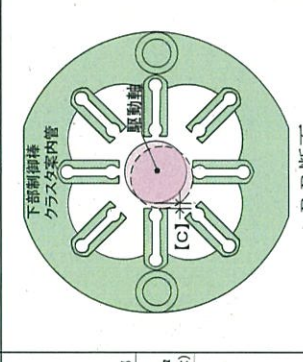
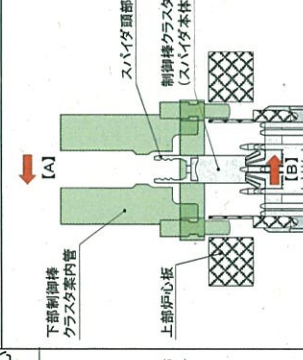
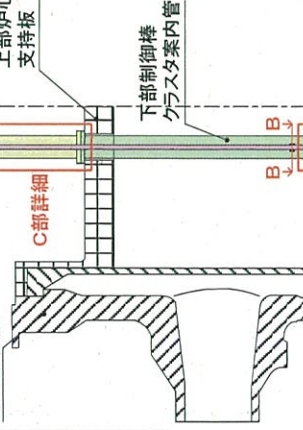
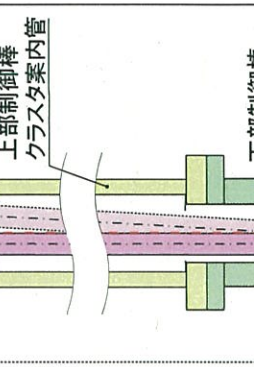
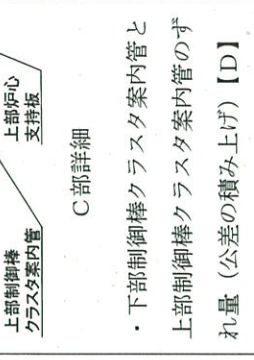
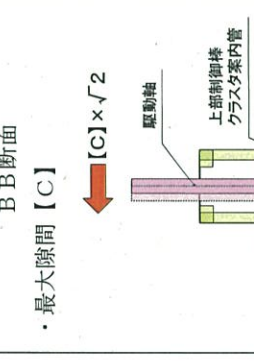
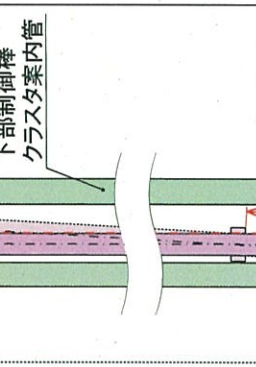
- ・ステップ1：M-4の接手の開き量39.6mmを考慮する。
(駆動軸とスパイダ頭部のアライメントのズレなし)
- ・ステップ2：設計上考え得る製作・組立公差を保守的に絶対和で積み上げ、その値を接手先端とスパイダ頭部のアライメントのズレとし、ステップ1の接手の開き量に付加する。(表-2参照)
- ・ステップ3：ステップ1, 2の状態、駆動軸全体を制御棒クラスタ案内管内部の空間の範囲内で傾かせる。(表-2参照)

表-1 幾何学的な整合における各ステップでの検討

ステップ1	ステップ2	ステップ3	
			
<p>アライメントのズレなしの状態でもM-4の接手の開き量39.6mmを考慮。</p>	<p>保守的に製作・組立公差の絶対和の積み上げ  をアライメントのズレとして考慮。</p>	<p>駆動軸を制御棒クラスタ案内管内部の空間の範囲内で最大 水平移動。</p>	<p>駆動軸全体を制御棒クラスタ案内管内部の空間の範囲内で傾かせる。この時の傾き による水平方向ずれ量は、 </p>

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

表-2 ステップ2, 3で考慮した水平方向のズレ

の考え方	の考え方	の考え方	の考え方	の考え方
 <p>上部制御棒クラスタ案内管 原子炉容器 上部炉心板 C部詳細</p>	 <p>下部制御棒クラスタ案内管 下部炉心板 燃料集合体 A部詳細</p>	 <p>B B 断面 [C] 最大隙間 [C] 駆動軸 [C] × √2</p>	 <p>上部炉心板 (網掛け部分) と 下部制御棒クラスタ案内管 (緑色部分) のずれ量 (公差の積み上げ) [A] 上部炉心板 (網掛け部分) と 制御棒クラスタのスライダ頭部 (水色部分) のずれ量 (公差の積み上げ) [B]</p>	 <p>駆動軸 上部制御棒クラスタ案内管 上部炉心支持板 下部制御棒クラスタ案内管 制御棒クラスタ (スライダ本体) 燃料集合体 上部炉心板 C部詳細</p>
 <p>駆動軸 上部制御棒クラスタ案内管 上部炉心支持板 下部制御棒クラスタ案内管 C部詳細</p>	 <p>上部制御棒クラスタ案内管 駆動軸 [E] D D 断面 最大隙間 [E]</p>	 <p>駆動軸 上部制御棒クラスタ案内管 下部制御棒クラスタ案内管 スライダ頭部 [C] × √2</p>	<p>[A] + [B]</p>	<p>[C] + [E]</p>
 <p>駆動軸 上部制御棒クラスタ案内管 上部炉心支持板 下部制御棒クラスタ案内管 スライダ頭部</p>	<p>0 × sin</p>	<p>[C] × √2</p>	<p>[A] + [B]</p>	<p>0 × sin</p>

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

表-1より、幾何学的に設計上考え得る接手先端とスパイダ頭部の水平方向のずれおよび測定結果であるM-4の接手の開き量を考慮してもスパイダ頭部の円環部上面を乗り越えることはなく、ケース6, 7の様にスパイダ頭部外部側で不完全結合することはないと考えられる。

以上

部分モデルによる引き上がり状態実証試験

1. 目的

本試験では、制御棒クラスタと駆動軸の切り離し操作後の意図しない駆動軸と制御棒クラスタの再結合により、制御棒クラスタが引き上がる可能性を想定して、駆動軸と制御棒クラスタの取り合いを部分的に模擬した供試体を用いて、制御棒クラスタの引き上がりが生じるかどうかを確認する。

また、制御棒クラスタと駆動軸の結合状況等の確認において、上部炉心構造物と制御棒クラスタが引き上がった後、制御棒クラスタと駆動軸の切り離し操作を行うことなく制御棒クラスタが切り離されていたことから、実証試験においては、引き上がり後に容易に切り離されるかの観点でも確認を行う。

実証試験は、添付資料－ 1 0 で選定したケース 1, 2, 3, 4 とするが、ケース 4 については、ケース 3 で代表し、引き上がり状態が生じた可能性がケース 1, 2 よりケース 3 の方が高い場合に実施する。

ここで、表－ 1 にケース 1, 2, 3 の不完全結合イメージとモデル化した供試体を示す。

- ・ケース 1 : 仮置き位置 (駆動軸が着座した位置 : 駆動軸が制御棒クラスタと結合した状態 (駆動軸が着底した位置) から 4 8 mm 上方) で押付け力がかかった場合
- ・ケース 2 : スパイダ頭部の上端から 1 山目の直線部分と接手先端から 1 山目の直線部分 (局所的な接触痕が観察された位置) が接触した場合
(幾何学的な関係から位置決めナットは接手先端から約 2 7. 5 mm 上方)
- ・ケース 3 : スパイダ頭部の上端から 2 山目の直線部分と接手先端から 1 山目の直線部分 (局所的な接触痕が観察された位置) が接触した場合
(幾何学的な関係から位置決めナットは接手先端から約 2 7. 5 mm 上方)

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

表-1 ケースごとの供試体

	不完全結合イメージ図	モデル化	供試体
ケース1		⇒	
ケース2		⇒	
ケース3		⇒	

2. 実施内容

(1) 試験項目

① 吊り上がり状態実証試験

- ・ケース1（仮置き位置で押付け力がかかった場合）

接手テーパ部とスパイダ頭部内面のテーパ部同士が接触し、仮置き時の荷重である \square kgf の荷重（駆動軸＋吊り上げ工具の水中重量に相当する荷重）がかかった場合、くさび効果により制御棒クラスタの引き上がりが生じるか確認する。

このとき、15サイクルの使用を勘案するため、接手外面が面荒れなしの場合（機械加工後の静止摩擦係数が小さい状態）、面荒れありの場合（表面状態が粗く静止摩擦係数の大きい状態）の2種類で実施する。

- ・ケース2（スパイダ頭部の上端から1山目の直線部分と接手先端から1山目の直線部分（局所的な接触痕が観察された位置）が接触した場合）

接手ストレート部とスパイダ頭部内面の1山目ストレート部同士が接触し、くさび効果による制御棒クラスタの引き上がりが生じるか確認する。ここで、当該接触状況においては、幾何学的な関係から位置決めナットは接手先端から約27.5mm上方に位置し、仮置き後に駆動軸が沈み込んだ位置関係になる。

このとき、15サイクルの使用を勘案するため、接手内外面が面荒れなしの場合（機械加工後の静止摩擦係数が小さい状態）、面荒れありの場合（表面状態が粗く静止摩擦係数の大きい状態）の2種類で実施する。なお、接手内面のテーパ面は通常摺動しないため、面荒れなしの場合のみとし、位置決めナットの表面状態についても、実機ではクロムメッキが施されており面が荒れることは無いと考えられるため、面荒れなしの場合のみとする。

- ・ケース3（スパイダ頭部の上端から2山目の直線部分と接手先端から1山目の直線部分（局所的な接触痕が観察された位置）が接触した場合）

接手ストレート部とスパイダ頭部内面の2山目ストレート部同士が接触し、くさび効果による制御棒クラスタの引き上がりが生じるか確認する。ここで、当該接触状況においては、幾何学的な関係から位置決めナットは接手先端から約27.5mm上方に位置し、仮置き後に駆動軸が沈み込んだ位置関係になる。

このとき、15サイクルの使用を勘案するため、接手内外面が面荒れなしの場合（機械加工後の静止摩擦係数が小さい状態）、面荒れありの場合（表面状態が粗く静止摩擦係数の大きい状態）の2種類で実施する*。なお、接手内面のテーパ面は通常摺動しないため、面荒れなしの場合のみとし、位置決めナットの表面状態についても、実機ではクロムメッキが施されており面が荒れることは無いと考えられるため、面荒れなしの場合のみとする。

※：面荒れなしの状態でも制御棒クラスタの引き上がりが生じ得る荷重が発生したため、面荒れありの場合の試験は省略する。

② 摩擦係数確認試験

ケース1, 2, 3の接触面の静止摩擦係数を試験により確認する。確認方法としては、供試体の静止摩擦係数を測定すると共に、当該供試体は実機と材料および環境（水中／気中）が異なるため、実機材料および水中環境での静止摩擦係数を測定し、比較を行う。

(2) 試験条件

a. 供試体・試験体

① 引き上がり状態実証試験

引き上がり状態実証試験に用いる供試体（ケース1, 2, 3）は、表-1に示す不完全結合状態を模擬するのに必要な範囲を製作し、寸法については、伊方3号機のスパイダ頭部および駆動軸の図面をもとに、同寸法となるように製作した。なお、接手の材料については、特殊な材料であるため、硬さを模擬した材料を使用した。（表-2、図-1参照）

② 摩擦係数確認試験

摩擦係数確認試験に用いる試験体は、供試体と同等である材料および実機と同等である材料を固定片（接手材：25×6mm）、運動片（位置決めナット材、スパイダ頭部材：80×10mm）の形状に加工した。（表-3参照）

表-2 実機材と供試体の材料比較

	実機	ケース1供試体	ケース2供試体	ケース3供試体
接手	SUS403 (熱処理材)	炭素鋼 ^{注1}	炭素鋼 ^{注1}	炭素鋼 ^{注1}
駆動軸取り 外し軸	SUS304	接手と一体	位置決めナットと 一体	位置決めナットと 一体
位置決めナット	SUS304 (クロムメッキ)	接手と一体	SUS304 ^{注2}	SUS304 ^{注2}
スパイダ頭部	SUS304	SUS304	SUS304	SUS304

注1: 接手の材料(SUS403熱処理材)は特殊な材料であるため、供試体には、実機材の硬さ(HB: 248)と同等の硬さ(HB: 257)の炭素鋼を使用した。

注2: ケース2, 3の供試体では、位置決めナット表面のクロムメッキを模擬していないが、静止摩擦係数がクロムメッキを施工した場合と同等であることを確認した。

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

	ケース1供試体	ケース2供試体	ケース3供試体
形状	<p>ロードセル 取付治具 接手 駆動軸取り外し軸 位置決めナット 一体型模擬体 スパイダ頭部模擬体 (1山目のみ模擬)</p>	<p>ロードセル 取付治具 駆動軸取り外し軸 位置決めナット 一体型模擬体 接手模擬体 (1山目のみ模擬) スパイダ頭部模擬体 (1山目のみ模擬)</p>	<p>ロードセル 取付治具 駆動軸取り外し軸 位置決めナット 一体型模擬体 接手模擬体 (3山目まで模擬) スパイダ頭部模擬体 (3山目まで模擬)</p>
荷重	<p>kgf^{注1} (駆動軸+工具の水中重量に相当する荷重)</p>	<p>kgf^{注2} (ばね力)</p>	<p>kgf^{注2} (ばね力)</p>

注1:スパイダ頭部模擬体に作用する荷重

注2:一体型模擬体(駆動軸取り外し軸、位置決めナット)の駆動軸取り外し軸下端の位置決めナットに作用する荷重

図-1 供試体イメージ図

表-3 摩擦係数確認試験の試験体条件

	供試体と同等材			実機と同等材		
	材料	荒さ	組合せ	材料	荒さ	組合せ
スパイダ 頭部	SUS304	・面荒れなし ・面荒れあり ^{注1}	2種類	SUS304	・面荒れなし ・面荒れあり ^{注1}	2種類
接手	炭素鋼	・面荒れなし ・面荒れあり ^{注1}		SUS403 (熱処理材)	・面荒れなし ・面荒れあり ^{注1}	
位置決 めナット	SUS304	・面荒れなし	1種類	SUS304 (クロムメッキ)	・面荒れなし	1種類

注1:面荒れありの条件では、接触部の表面をサンドペーパー#40で仕上げた。

b. 荷重条件

① 吊り上がり状態実証試験

・ケース1

スパイダ頭部の模擬体（1山目のみ模擬）に対して、実機と同じく \blacksquare kg f（駆動軸+吊り上げ工具の水中重量に相当する荷重）が作用するように、一体型模擬体（接手、駆動軸取り外し軸、位置決めナット）を \blacksquare kg f の荷重でスパイダ頭部の模擬体に押し付ける。

・ケース2

スパイダ頭部の模擬体（1山目のみ模擬）に対して、接手の模擬体を接触させた状態で、実機と同じく位置決めナットが接手先端から約27.5mm上方に位置するときのバネ力（ \blacksquare kg f）を一体型模擬体（駆動軸取り外し軸、位置決めナット）の駆動軸取り外し軸下端の位置決めナットに作用させる。

・ケース3

スパイダ頭部の模擬体（3山目まで模擬）に対して、接手の模擬体を接触させた状態で、実機と同じく位置決めナットが接手先端から約27.5mm上方に位置するときのバネ力（ \blacksquare kg f）を一体型模擬体（駆動軸取り外し軸、位置決めナット）の駆動軸取り外し軸下端の位置決めナットに作用させる。

② 摩擦係数確認試験

静止摩擦係数を取得するため、実機および引き上がり状態実証試験で各接触面に発生すると想定される荷重範囲（約 \blacksquare ~ \blacksquare kg f）を試験体に作用させる。

(3) 試験方法・判定基準

① 引き上がり状態実証試験

各ケースの荷重を作用させた後、引張試験機を用い、各ケースの駆動軸模擬体とスパイダ頭部模擬体間に生じている荷重（制御棒クラスタ引上荷重）を測定し、約 [] k g f（制御棒クラスタの水中重量に相当する荷重）以上の荷重が発生するかどうかを確認する。試験装置を図-2に示す。

・ケース1

- A) 一体型模擬体（接手、駆動軸取り外し軸、位置決めナット）を、スパイダ頭部の模擬体（1山目のみ模擬）へ静的に [] k g f で押付ける。
- B) スパイダ頭部の模擬体を下方向に引き下げ、その際に必要となる荷重を測定する。（実機では、駆動軸側が上方向に引き上げられるが、試験装置の都合上、荷重の向きは実機と逆方向とする。）

・ケース2

- A) スパイダ頭部の模擬体（1山目のみ模擬）に接手の模擬体を挿入する。
- B) 駆動軸取り外し軸の模擬体頂部の位置決めナットに [] k g f の締め付け荷重を作用させることで、位置決めナットを接手の模擬体に対して押付ける。
- C) この状態でスパイダ頭部の模擬体を下方向に引き下げ、その際に必要となる荷重を測定する。（実機では、駆動軸側が上方向に引き上げられるが、試験装置の都合上、荷重の向きは実機と逆方向とする。）

・ケース3

- A) スパイダ頭部の模擬体（3山目まで模擬）に接手の模擬体を挿入する。
- B) 駆動軸取り外し軸の模擬体頂部の位置決めナットに [] k g f の締め付け荷重を作用させることで、位置決めナットを接手の模擬体に対して押付ける。
- C) この状態でスパイダ頭部の模擬体を下方向に引き下げ、その際に必要となる荷重を測定する。（実機では、駆動軸側が上方向に引き上げられるが、試験装置の都合上、荷重の向きは実機と逆方向とする。）

② 摩擦係数確認試験

平板摺動試験装置を用い、押付荷重約 [] ~ [] k g f を作用させ、摺動方向の荷重（運動片が動き出す直前の荷重）を測定することで、静止摩擦係数を算出する。試験装置を図-3に示す。

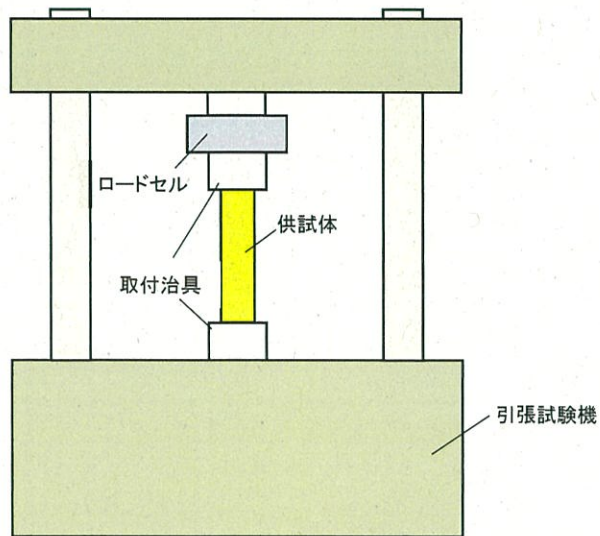


図-2 吊り上がり状態実証試験装置（概念図）

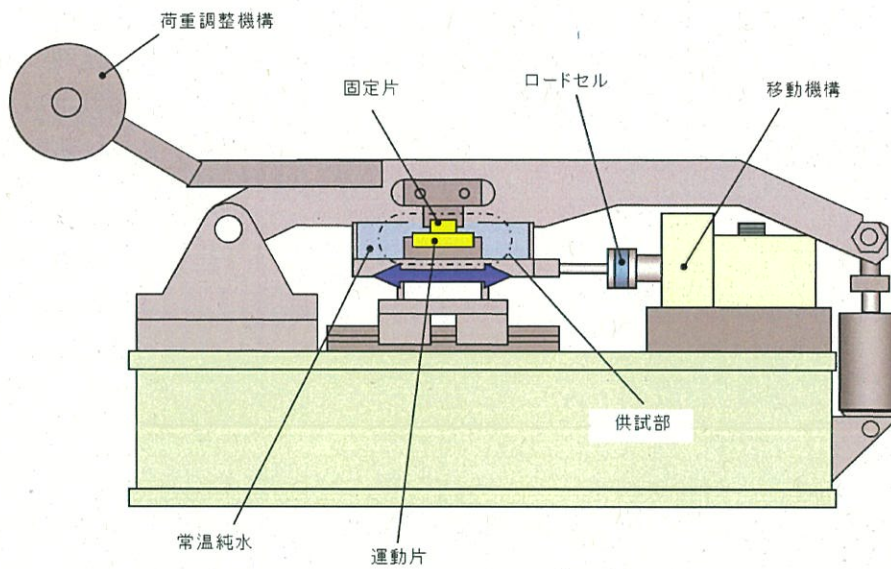


図-3 摩擦係数確認試験（概念図）

3. 試験結果

① 引き上がり状態実証試験

引き上がり状態実証試験のケース1, 2, 3の結果を表-4, 5, 6に示す。ケース1の場合は、面荒れありの状態（静止摩擦係数が大きく引き上がりが生じやすい場合）でも、制御棒クラスタ引上荷重は0 kg fであり、制御棒クラスタの引き上がりは発生しないことを確認した。

一方、ケース2の場合は、面荒れなしの状態において、制御棒クラスタ引上荷重が41～61 kg f、面荒れありの状態において、制御棒クラスタ引上荷重が114～147 kg fであり、制御棒クラスタの引き上がりが発生することを確認した。また、ケース3の場合には、面荒れなしの状態でも、制御棒クラスタ引上荷重が1,000 kg f以上となり、制御棒クラスタの引き上がりが発生することを確認した。なお、ケース3については、面荒れなしのケースで制御棒クラスタの水中重量に相当する荷重（約■■■■ kg f）を大幅に上回る引上荷重が計測されたため、引き上がりがより生じやすい面荒れありの状態での試験は省略することとした。

ここで、今回の事象において、引き上がり後、制御棒クラスタと駆動軸の切り離し操作を行うことなく制御棒クラスタが切り離されていたことから、引き上がり後に容易に切り離される程度の不完全結合であったと類推されるため、ケース3の制御棒クラスタ引上荷重1,000 kg f以上は容易に切り離される荷重とは言い難く、今回の事象とは異なると考える。

また、ケース1, 2, 3の試験後の接触面の写真を図-4に示す。ケース1の写真から、実機接手外面のテーパ部の接触痕およびスパイダ頭部の円筒部内面の傷とよく似た接触痕が部分的に確認された。ケース2の写真から、実機引き上がり事象の発生した駆動軸（M-4）接手外面の局所的な接触痕とよく似た接触痕が確認された。一方、ケース3の写真から、実機引き上がり事象の発生した駆動軸（M-4）接手外面の局所的な接触痕とは大きく様相の異なる接触痕が確認された。このことから、ケース3は今回の事象を再現しているとは言い難い。

② 摩擦係数確認試験

摩擦係数確認試験の結果を表-7に示す。供試体の静止摩擦係数は、接手とスパイダ頭部との接触面が■■■■～■■■■であり、位置決めナットと接手内面の接触面が■■■■であった。また、実機と同材かつ水中環境の静止摩擦係数がそれぞれ■■■■～■■■■と■■■■～■■■■であり、供試体の静止摩擦係数と概ね一致しており、今回の吊り上がり状態実証試験の結果は、実機材かつ水中環境においても再現されると考える。

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

表-4 引き上がり状態実証試験結果 (ケース1)

供試体の表面性状		付加荷重	制御棒クラス 引上荷重 (kgf)
一体型模擬体 ^{注1}	スパイダ頭部の模擬体	押付荷重 (kgf)	
面荒れなし	面荒れなし	■	0
面荒れあり	面荒れあり	■	0

注1： 接手、駆動軸取り外し軸および位置決めナットを一体で模擬した供試体

表-5 引き上がり状態実証試験結果 (ケース2)

供試体の表面性状				付加荷重	制御棒クラス 引上荷重 (kgf)
接手外面の接触面		接手内面の接触面		バネ力 (kgf)	
接手模擬体	スパイダ頭部の 模擬体	接手模擬体	一体型模擬体 ^{注1}		
面荒れなし	面荒れなし	面荒れなし	面荒れなし	■	41~61
面荒れあり	面荒れあり	面荒れなし	面荒れなし	■	114~147

注1： 駆動軸取り外し軸および位置決めナットを一体で模擬した供試体

表-6 引き上がり状態実証試験結果 (ケース3)

供試体の表面性状				付加荷重	制御棒クラス 引上荷重 (kgf)
接手外面の接触面		接手内面の接触面		バネ力 (kgf)	
接手模擬体	スパイダ頭部の 模擬体	接手模擬体	一体型模擬体 ^{注1}		
面荒れなし	面荒れなし	面荒れなし	面荒れなし	■	1,000 以上
面荒れあり	面荒れあり	面荒れなし	面荒れなし	— ^{注2}	— ^{注2}

注1： 駆動軸取り外し軸および位置決めナットを一体で模擬した供試体

注2： 面荒れなしの状態では制御棒クラスタの水中重量に相当する荷重 (約 ■ kgf) を大幅に上回る引上荷重が計測されたため、面荒れありの状態については試験を省略した。

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

表一七 摩擦係数確認試験結果

接触面	表面状態	環境条件	付加荷重 (kgf)	静止摩擦係数
実機と同材	接手外面 接手：SUS403 / スパイク頭部：SUS304	面荒れなし/ 面荒れなし	[Redacted]	[Redacted]
		面荒れあり/ 面荒れあり		
実機と同材	接手内面 接手：SUS403 / 位置決めナット：SUS304 クロムメッキ	面荒れなし/ 面荒れなし	[Redacted]	[Redacted]
		面荒れなし/ 面荒れなし		
供試体と同材	接手外面 接手：炭素鋼 / スパイク頭部：SUS304	面荒れなし/ 面荒れなし	注1	[Redacted]
		面荒れあり/ 面荒れあり	注1	
供試体と同材	接手内面 接手：炭素鋼 / 位置決めナット：SUS304	面荒れなし/ 面荒れなし	[Redacted]	[Redacted]
		面荒れなし/ 面荒れなし		

注1：実機と同材のケースにおいて、付加荷重 [Redacted] kgf と [Redacted] kgf の条件で静止摩擦係数に有意な差がないことが確認されたため、供試体と同材のケースについては、付加荷重 [Redacted] kgf の条件のみを実施した。

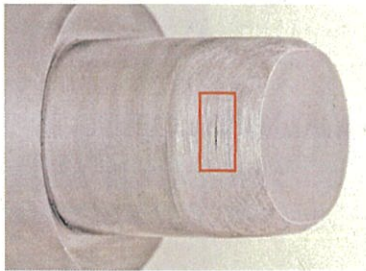


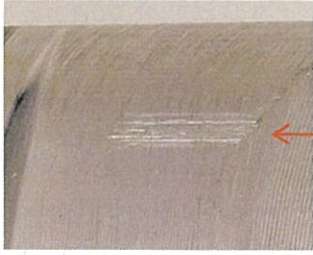
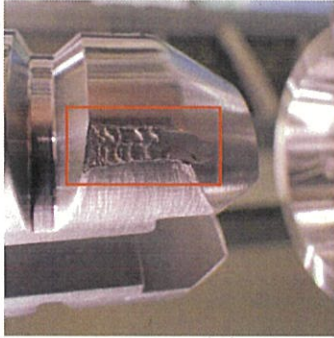
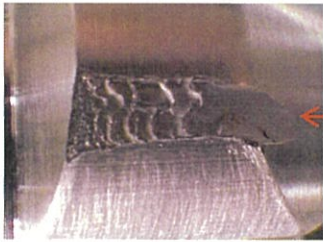
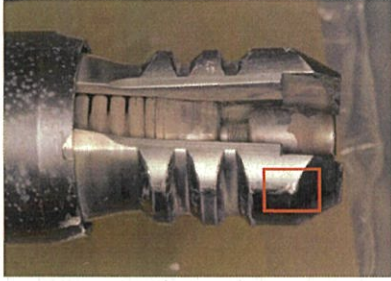
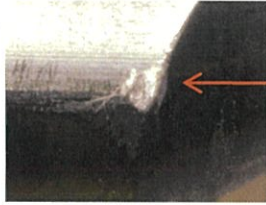
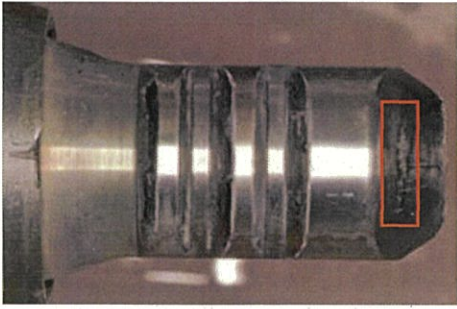
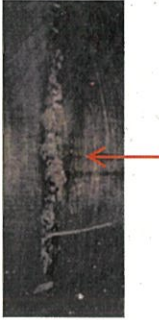
	全体	接触痕拡大	ケース1 接手2箇所に同様の接触痕あり			ケース2 接手4箇所に同様の接触痕あり			ケース3 接手4箇所に同様の接触痕あり			実機:M-4			実機:M-12		
--	----	-------	------------------------	---	--	------------------------	---	--	------------------------	--	---	--------	---	--	---------	---	--




図-4 引き上がり状態実証試験の試験後の接触面の写真

4. 供試体の表面性状に関する考察

実証試験で用いた接触面における表面性状は、面荒れなしの状態と面荒れありの状態の2種類としたため、面荒れなしの状態、面荒れありの状態および実機駆動軸（M-12）の接手外面の表面性状を比較することで、今回の吊り上がり状態実証試験で用いた表面状態について、考察を行う。

添付資料-8-5 駆動軸の調査結果において、当該駆動軸（M-4）と同じく15サイクル使用した駆動軸（M-12）の接手外面は、図-5に示す様に15サイクルの使用に伴い比較的面荒れのある表面性状になっているが、外観上の表面粗度は面荒れありの状態に比べて軽微であることから、静止摩擦係数は面荒れなしの状態と面荒れありの状態の中間の値になると考えられる。

よって、ケース1においては、実機よりも静止摩擦係数が大きいと思われる面荒れありの状態においても制御棒クラスタ引上荷重が発生しなかったことから、実機の表面性状では制御棒クラスタの引き上がりは生じないと考えられる。一方、ケース2においては、実機の表面性状よりも静止摩擦係数が小さい面荒れなしの状態でも制御棒クラスタ引上荷重が41～61kgf、実機の表面性状よりも静止摩擦係数が大きい面荒れありの状態でも制御棒クラスタ引上荷重が114～147kgfであるため、面荒れなしの表面性状よりも静止摩擦係数が大きい実機の表面性状で制御棒クラスタ引上荷重が約■■■■kgf以上となる可能性は十分考えられ、制御棒クラスタの引き上がりが生じる可能性は高い。なお、ケース3については、実機の表面性状よりも静止摩擦係数が小さい面荒れなしの状態でも制御棒クラスタ引上荷重1,000kgf以上となったため、実機の表面性状ではもっと大きい引上荷重となる可能性がある。

	面荒れなし ^{注1}	実機:M-12	面荒れあり ^{注1}
表面性状			
	静止摩擦係数:小	静止摩擦係数:中	静止摩擦係数:大

注1:摩擦係数確認試験で使用した供試体の表面性状

図-5 表面性状の比較

5. まとめ

以上から、今回の制御棒クラスターの吊り上がり事象に対して、部分モデルによる吊り上がり状態実証試験を実施し、

- ・ケース1の状態において、実機表面性状よりも静止摩擦係数が大きい状態で試験を実施したが、吊り上がることはなかった
- ・ケース2の状態において、実機表面性状よりも静止摩擦係数が小さい状態で引上荷重41～61kgf、実機表面性状よりも静止摩擦係数が大きい状態で引上荷重114～147kgfを確認したことから、実機においても吊り上がる可能性が高いことを確認した
- ・ケース3の状態において、ケース2と同様に吊り上がる可能性は高いが、引上荷重が1,000kgf以上と非常に大きく、吊り上がり後に容易に切り離されていた当該事象とは異なる結果となった

ことから、ケース2の状態において、当該事象が発生し得ることを確認した。また、実証試験後の接触面の接触痕も実機駆動軸（M-4）にて観察された局所的な接触痕と同様の様相を呈していることから、ケース2の状態で実機の吊り上がり事象が発生した可能性が高い。

以上

引き上がり状態実証試験の妥当性について

1. はじめに

引き上がり状態実証試験で今回の事象を再現したと考えるケース2について、実機と実証試験との差異が試験結果に与える影響を考察し、実証試験の妥当性について検討した。

2. 検討結果

(1) 実機と試験条件の差異に関する考察

実機の水中環境とは異なる気中試験を行ったことで、実機条件との差異が生じる部分は、供試体の接触面の摩擦力と浮力の影響と考えられるため、この2つの観点から今回の実証試験に与える影響について、次のとおり考察する。

接触面の摩擦力については、添付資料－11の表－7に示すとおり、供試体各部材の常温気中条件における静止摩擦係数が、実機の常温水中環境下の静止摩擦係数と同等であるため、今回の実証試験に対して問題はない。

また、浮力の影響については、引上荷重の判定基準を、制御棒クラスタの水中重量に相当する荷重（約■■■■ kg f）として模擬していることから、今回の実証試験に対して問題はない。

よって、気中条件で実証試験を実施することは妥当である。

(2) 実機と供試体の差異に関する考察

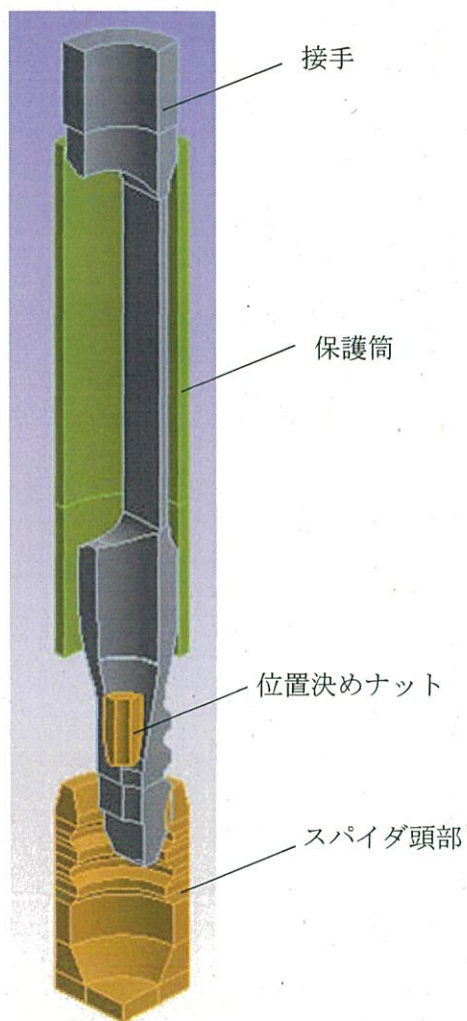
実証試験で用いた供試体は、部分モデルかつ実機と材料が異なるものを用いたため、実機寸法かつ実機材料でのFEMモデルを用い、実証試験と同様の結果が得られるか解析により確認した。なお、解析に用いる静止摩擦係数は、摩擦係数確認試験で得られた接手内面の接触面の静止摩擦係数■■■■～■■■■（面荒れなし／面荒れなし）および接手外面の接触面の静止摩擦係数■■■■～■■■■（面荒れあり／面荒れあり）とする。

ここで、FEMの解析モデルを図－1に示す。同図に示すとおり、接手、位置決めナット、保護筒、スパイダ頭部を実機寸法どおりモデル化した。解析コードは、有限要素法の汎用コードであるANSYSを使用した。

FEM解析では、位置決めナットを接手内面に■■■■ kg fの荷重で接触させ、この荷重により接手外面とスパイダ頭部内面に作用する反力を計算する。この反力により接手外面とスパイダ頭部の円筒部内面の接触面における静止摩擦係数を乗じることで、当該接触面における摩擦力を計算し、制御棒クラスタの水中重量に相当する荷重（約■■■■ kg f）以上の摩擦力が生じるか否かを確認する。

表－1のFEM解析結果に示すとおり、実証試験と同様に、実機寸法かつ実機材

料でのFEMモデルにおいても、ケース2（接手外面の接触面：面荒れ／面荒れ）の条件において制御棒クラスタ引き上がり事象が発生し得ることが確認されたため、部分モデルの供試体で実証試験を実施することは妥当である。



図ー1 引き上がり事象の再現解析モデル（ケース2）

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

表-1 制御棒クラスト引き上がり事象の再現解析結果 (FEM解析結果 v s 実証試験結果)

FEM解析結果				実証試験結果			
静止摩擦係数 ^{注1}		接手外面の 接触反力 k g f (1箇所あたり)	接手外面の 摩擦力 k g f (4箇所合計)	引き上がり事象 の成立性 ^{注3}	静止摩擦係数 ^{注4}		引き上がり事象 の成立性 ^{注6}
接手内面	接手外面 ^{注2}			接手内面	接手外面 ^{注5}		
		56	90	○			○
		56	112	○			
		50	79	○			
		50	99	○		114~147	

注1：実機と同材を用いた摩擦係数確認試験結果で取得した静止摩擦係数。

注2：表面状態は、面荒れあり/面荒れありの結果。

注3：静止摩擦力が制御棒クラストの水中重量に相当する荷重 (約 \blacksquare k g f) を上回る場合は○、下回る場合は×とする。

注4：供試体と同材を用いた摩擦係数確認試験結果で取得した静止摩擦係数。

注5：表面状態は、面荒れあり/面荒れありの結果。

注6：引上荷重が制御棒クラストの水中重量に相当する荷重 (約 \blacksquare k g f) を上回る場合は○、下回る場合は×とする。

以上から、実機と実証試験（ケース2）との差異が試験結果に与える影響は軽微であり、実証試験は妥当であると考えます。

以上

推定メカニズム

	<p>① 駆動軸結合状態</p>	<p>② 接手部拘束解放</p>	<p>③ 駆動軸切り離し</p>
観察事実	<ul style="list-style-type: none"> ・制御棒クラスタと駆動軸が結合状態でのベースプレート高さ60mmを確認 ・制御棒クラスタのスバイダ頭部にスラッジが堆積 		
推定メカニズム	<ul style="list-style-type: none"> ・スラッジは1次冷却系統内(駆動軸内面含む)で生じたものと考えられ、スバイダ頭部内およびロックボタン廻りに堆積 		
関連資料	<ul style="list-style-type: none"> ・別添1 駆動軸(接手)へのスラッジの付着 		

枠組みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

<p>概要図</p>	<p>④ 駆動軸接手部拘束 (スラッジによる駆動軸取り外し軸スタック)</p> <p>インジケータタレット下隆 〔正規位置より約25mm高い位置〕</p> <p>スラッジ</p> <p>約2~3.6mm^{※2}</p> <p>27.5mm^{※1}</p> <p>※1: ⑥不完全結合状態における接手外面接触痕位置からの推定 ※2: ベースプレート測定精度を考慮した値</p>	<p>⑤ 駆動軸着座</p> <p>ベースプレート高さ(B)確認: 12mm 〔A-B=60-12=48mm〕</p> <p>スラッジ</p> <p>約2~3.6mm^{※2}</p> <p>約1mm^{※3}</p> <p>48mm</p> <p>27.5mm^{※1}</p> <p>※1: ⑥不完全結合状態における接手外面接触痕位置からの推定 ※2: ベースプレート測定精度を考慮した値 ※3: ②接手部拘束解除で接手内面と位置決めナットの間に介在したと推定した介在物(程度)と同程度の大きさと仮定</p>	<p>⑥ 制御棒クラスタと駆動軸が不完全結合 (スラッジ脱落)</p> <p>接接触痕</p> <p>33.6mm[※]</p> <p>27.5mm[※]</p> <p>※: 接手外面接触痕位置からの推定</p>	<p>観察事実</p> <p>【工具吊り下ろし前にインジケータタレット下隆位置を確認する手順無し】</p> <p>駆動軸取り外し軸下降時、ロックボタン廻りのスラッジおおよび接手内面テーパ部分のスラッジが位置決めナットと接手の間に挟まり、駆動軸取り外し軸が下降途中でスタック</p> <p>駆動軸取り外し軸が途中でスタックしたことにより、インジケータタレットの下降位置も正規の位置より高い位置で停止</p> <p>別添2 不完全結合状態の幾何学的検討</p>
<p>観察事実</p> <p>駆動軸着座(制御棒クラスタ切離し)状態でのベースプレート高さ12mmを確認</p> <p>ベースプレート高さの差(A-B)が48mmで、管理値内()mm)であること</p> <p>接手先端のスラッジがスパイダ頭部との間に挟まり、スラッジを介した不安定な支持状態で制御棒クラスタに駆動軸が着座</p> <p>別添2 不完全結合状態の幾何学的検討</p> <p>別添3 スラッジ脱落時の駆動軸の挙動</p>	<p>駆動軸着座(制御棒クラスタ切離し)状態でのベースプレート高さ12mmを確認</p> <p>ベースプレート高さの差(A-B)が48mmで、管理値内()mm)であること</p> <p>接手先端のスラッジがスパイダ頭部との間に挟まり、スラッジを介した不安定な支持状態で制御棒クラスタに駆動軸が着座</p> <p>別添2 不完全結合状態の幾何学的検討</p> <p>別添3 スラッジ脱落時の駆動軸の挙動</p>	<p>駆動軸着座(制御棒クラスタ切離し)状態でのベースプレート高さ12mmを確認</p> <p>ベースプレート高さの差(A-B)が48mmで、管理値内()mm)であること</p> <p>接手先端のスラッジがスパイダ頭部との間に挟まり、スラッジを介した不安定な支持状態で制御棒クラスタに駆動軸が着座</p> <p>別添2 不完全結合状態の幾何学的検討</p> <p>別添3 スラッジ脱落時の駆動軸の挙動</p>	<p>駆動軸着座(制御棒クラスタ切離し)状態でのベースプレート高さ12mmを確認</p> <p>ベースプレート高さの差(A-B)が48mmで、管理値内()mm)であること</p> <p>接手先端のスラッジがスパイダ頭部との間に挟まり、スラッジを介した不安定な支持状態で制御棒クラスタに駆動軸が着座</p> <p>別添2 不完全結合状態の幾何学的検討</p> <p>別添3 スラッジ脱落時の駆動軸の挙動</p>	<p>駆動軸着座(制御棒クラスタ切離し)状態でのベースプレート高さ12mmを確認</p> <p>ベースプレート高さの差(A-B)が48mmで、管理値内()mm)であること</p> <p>接手先端のスラッジがスパイダ頭部との間に挟まり、スラッジを介した不安定な支持状態で制御棒クラスタに駆動軸が着座</p> <p>別添2 不完全結合状態の幾何学的検討</p> <p>別添3 スラッジ脱落時の駆動軸の挙動</p>
<p>関連資料</p> <p>別添2 不完全結合状態の幾何学的検討</p> <p>別添3 スラッジ脱落時の駆動軸の挙動</p>	<p>別添2 不完全結合状態の幾何学的検討</p> <p>別添3 スラッジ脱落時の駆動軸の挙動</p>	<p>別添2 不完全結合状態の幾何学的検討</p> <p>別添3 スラッジ脱落時の駆動軸の挙動</p>	<p>別添2 不完全結合状態の幾何学的検討</p> <p>別添3 スラッジ脱落時の駆動軸の挙動</p>	<p>別添2 不完全結合状態の幾何学的検討</p> <p>別添3 スラッジ脱落時の駆動軸の挙動</p>

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

	<p>⑦ 事象発生 (制御棒クラスト引き上がり)</p>	<p>⑧ 制御棒クラストと駆動軸が不完全結合解除</p>	<p>⑨ 事象発生後の駆動軸吊り上げ (制御棒クラスト引き上がりは再現せず)</p>
<p>概要図</p>		<p>ベースプレート高さ確認: 16mm</p>	<p>重量確認 (工具+駆動軸): ■ kg (計画値: ■ kg)</p>
<p>観察事実</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 上部炉心構造物吊り上げ時に制御棒クラストも引き上がりしていることを確認 ・ 上部炉心構造物とともに駆動軸が引き上げられる際に、不完全結合している制御棒クラストも引き上がり 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 上部炉心構造物吊り込み時、目視確認可能な上部炉心板が炉心炉容器フランジ面以下に下降するまでの間は、制御棒クラストが引き上がりしていることを確認 ・ 上部炉心構造物吊り込み後、駆動軸取り出し工具を吊り下ろした際のベースプレート高さは16mmであることを確認 ・ 上部炉心構造物吊り込み時の振動や着座時の衝撃等により、制御棒クラストと駆動軸の不完全結合が解除 ・ 駆動軸取り出し軸が正規の位置まで下降し、駆動軸がスライダ頭部に着座 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 事象発生後、駆動軸取り出し工具で駆動軸を吊り上げ、重量が工具と駆動軸の合計重量 (■ kg) となっていることを確認 (制御棒クラストは引き上がりせず) ・ 正規の位置で駆動軸がスライダ頭部に着座した状態から駆動軸を吊り上げたため、制御棒クラストは引き上がりせず
<p>推定メカニズム</p>			
<p>関連資料</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 添付資料-11 部分モデルによる引き上がり状態実証試験 ・ 別添2 不完全結合状態の幾何学的検討 		

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

【参考】ステップ②③④でスラッジの付着形態が異なるケース その1

<p>概要図</p>	<p>②-1 接手部拘束解放</p> <p>インジェクターノット上昇確認</p> <p>スラッジ</p> <p>接触痕</p>	<p>③-1 駆動軸切り離し</p> <p>重量確認 (工具+駆動軸) : ■■■■ kg (計画値: ■■■■ kg)</p>	<p>④-1 駆動軸接手部拘束 (スラッジによる駆動軸取り外し軸スタック)</p> <p>インジェクターノット下降 (正規位置より約25面高い位置)</p> <p>スラッジ</p> <p>約2~3.6mm^{※2}</p> <p>27.5mm^{※1}</p> <p>※1: ⑥不完全結合状態における接手外面接触痕位置からの推定 ※2: ベースプレート測定精度を考慮した値</p>
<p>観察事実</p>	<p>・インジェクターノットの上昇を確認 (駆動軸取り外し軸上昇) ・接手内面直線部と位置決めナット直線部に接触痕を確認。両者の位置は駆動軸取り外し軸の動作により揺動する箇所に相当</p> <p>・ロックボタン回りのスラッジは駆動軸取り外し軸上昇時にスパイタ頭部内に脱落</p> <p>・接手と位置決めナットの間スラッジが堆積していた状態で取り外し軸が上昇したことにより、スラッジ (1mm程度) を介して両者が揺動し、接手内面直線部と位置決めナット直線部に接触痕が発生</p>	<p>・工具を吊り上げ、重量が工具と駆動軸の合計重量 (■■■■ kg) となっていることを確認 (郵便秤クラストが切り離されていることを確認)</p> <p>・接手部は磁性体 (マルチサイト系ステンレス鋼) であることから、接手内面テーパー部および接手先端部にもスラッジが付着した状態で駆動軸が上昇</p>	<p>【工具吊り下ろし前にインジェクターノット下降位置を確認する手順無し】</p> <p>・駆動軸取り外し軸下降時、接手内面テーパー部のスラッジが位置決めナットと接手の間に挟まり、駆動軸取り外し軸が下降途中でスタック ・駆動軸取り外し軸が途中でスタックしたことにより、インジェクターノットの下降位置も正規の位置より高い位置で停止</p> <p>・別添2 不完全結合状態の裏科学的検討</p>
<p>関連資料</p>	<p>・別添1 駆動軸 (接手) へのスラッジの付着</p>		

枠組みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

【参考】 ステップ②③④でスラッジの付着形態が異なるケース その2

<p>概要図</p>	<p>②-2 接手部拘束解放</p> <p>インジェクターロッド上昇確認</p>	<p>③-2 駆動軸切り離し</p> <p>重量確認 (工具+駆動軸) (計画値: kg)</p>	<p>④-2 駆動接手部拘束 (スラッジによる駆動軸取り外し軸スタック)</p> <p>インジェクターロッド下降 (正規位置より約25mm高い位置)</p> <p>※1: ⑥不完全結合状態における接手外面接触点位置からの推定 ※2: ベースプレート測定精度を考慮した値</p>	<p>【工具吊り下ろし前にインジェクターロッド下降位置を確認する手順無し】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・駆動軸取り外し軸下降時、ロックボタン廻りのスラッジが位置決めナットと接手の間に挟まり、駆動軸取り外し軸が下降途中でスタック ・駆動軸取り外し軸が途中でスタックしたことにより、インジェクターロッドの下降位置も正規の位置より高い位置で停止 <p>・別添2 不完全結合状態の幾何学的検討</p>
<p>観察事実</p>	<p>・インジェクターロッドの上昇を確認 (駆動軸取り外し軸上昇)</p> <p>・接手内面直線部と位置決めナット直線部に接触痕を確認。両者の位置は駆動軸取り外し軸の動作により変動する箇所に相当</p>	<p>・工具を吊り上げ、重量が工具と駆動軸の合計重量 (kg) となっていることを確認 (鋼線クランプが切り離されていることを確認)</p>	<p>・ロックボタン廻りのスラッジは堆積したまま駆動軸が上昇</p> <p>・接手内面直線部と位置決めナット直線部 (マルチアンサイトホステンレス鋼) であることから、接手先端部にもスラッジが付着した状態で駆動軸が上昇</p>	<p>・別添1 駆動軸 (接手) へのスラッジの付着</p>
<p>関連資料</p>	<p>・別添2 不完全結合状態の幾何学的検討</p>			

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

駆動軸（接手）へのスラッジの付着

推定メカニズムのステップ③の駆動軸切り離し時に、駆動軸の接手にスラッジが付着する可能性について以下に説明する。

制御棒クラスタ駆動装置は、圧力ハウジング外側に配置した3組の駆動コイルへ供給する電流をON/OFFすることで、圧力ハウジング内に設置したラッチアセンブリを駆動する方式となっている。

駆動コイルに通電し磁界が発生すると、磁性材料であるマルテンサイト系ステンレス鋼製の駆動軸（接手：SUS403、駆動軸および取り外しボタン：SUS410）も励磁されることになり、磁化された状態となる。また、駆動コイルへの通電が遮断された後であっても、残留磁気により磁化された状態は維持される。

今回の調査において、制御棒クラスタのスパイダ頭部内に堆積していたスラッジの主成分は、Fe（鉄）とO（酸素）であることが確認されており、駆動軸の調査の際にも、図2に示すようにスラッジと思われる付着物が接手先端に付着していることが確認されている。

また、実機模擬の接手を磁石で磁化させマグネタイトを付着させ、磁石を取外し後でも残留磁気でもマグネタイトが付着した状態を図3に示す。この様子からスラッジ量が多ければ接手溝山部を含む先端部周辺にスラッジが付着すると考えられる。なお、水と空気のと透磁率は同等であり、気中での確認であっても水中での状態と同様である。

以上のことから、推定メカニズムのステップ③において、磁化した接手に、スパイダ内に堆積していたスラッジが付着していた可能性は十分考えられる。

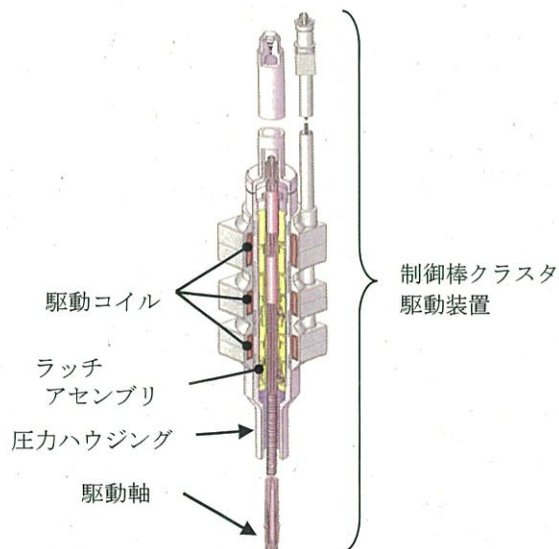


図1 制御棒クラスタ駆動装置 概要図



図2 M-4 駆動軸接手部に確認された付着物
(1月25日)



図3 残留磁気による実機模擬接手部への
マグネタイト付着の様子

不完全結合状態の幾何学的検討

推定メカニズムのステップ⑥の制御棒クラスタと駆動軸が不完全結合状態における位置決めナットと接手の位置関係、並びに、ステップ⑤の駆動軸着座時における接手先端位置と位置決めナットと接手の間に挟まるスラッジ厚さの関係について、以下に説明する。

1. 不完全結合状態における位置決めナットと接手の位置関係

通常、位置決めナットが下端まで降下している場合には、接手が開いた状態で拘束され、図1に示すように接手先端テーパ部とスパイダ頭部テーパ部が線状の接触をしている。また、今回の調査においても当該接触箇所に相当する位置に、図2に示す0.02mm以下（測定下限以下）の接触痕が確認されている。

一方、M-4 駆動軸の接手外面直線部には、図4に示すように通常着座位置よりも高い位置に4点の局所的接触痕が確認されており、図3に示すように通常よりも低い位置（接手がスパイダ頭部に挿入された状態）で駆動軸が着座していたと考えられる。また、この状態で着座するためには、幾何学的な関係より、位置決めナットが接手先端から27.5mm高い位置で接手内面と接している状態となる。なお、この時の接手の浮き上がり量は、通常着座状態を48mmとした場合、33.6mmとなる。これらの位置関係を図5に示す。

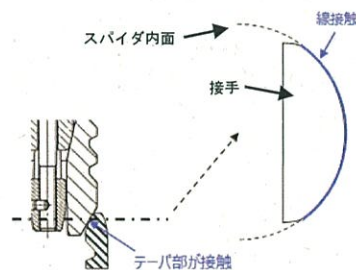


図1 通常の駆動軸着座状態

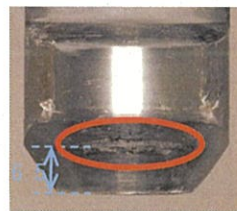


図2 接手外面テーパ部の接触痕

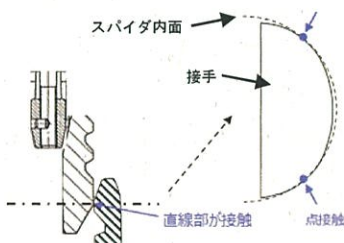


図3 通常よりも低い位置での駆動軸着座状態

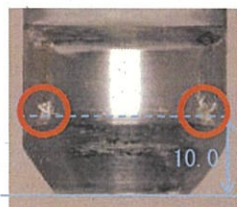


図4 接手外面円筒部の局所的接触痕

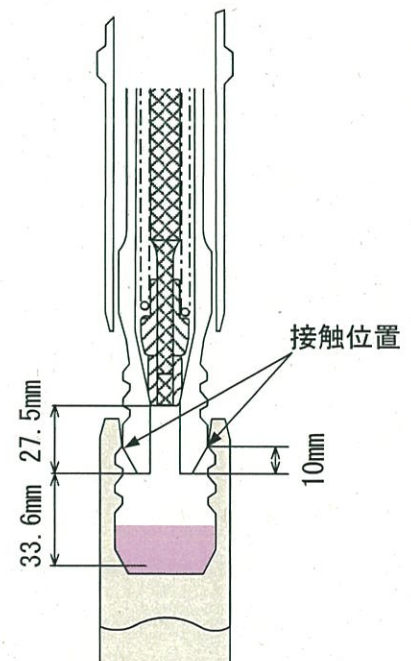


図5 不完全結合時の位置関係

2. 駆動軸着座時における接手先端位置および位置決めナットと接手の間に挟まるスラッジ厚さの関係

駆動軸着座時における接手浮き上がり量は作業記録から48mmとなっているが、1. 項の検討結果より、位置決めナットが接手先端から27.5mmに位置している場合は、接手が拘束されていない状態になることから、この時、接手先端とスパイダ頭部および位置決めナットと接手の間にはスラッジが挟まり、不安定な支持状態となっていたと推定している。ここで、ベースプレート高さの差から求められる接手の浮き上がり量は、最小目盛り2mmのスケールで計測しており、ステップ①とステップ⑤の差から算出していることを踏まえると、±2mm程度の計測誤差が考えられる。以上のことから、下記的前提条件の下、浮き上がり量(A)を計測誤差の範囲で変化させた場合の、位置決めナットと接手の間に挟まるスラッジ厚さ(B)についてケース検討を行った。

<前提条件>

- ・ 1. 項の検討結果から、接手先端から位置決めナットまでの距離は27.5mmとする。
- ・ 接手内面と位置決めナットの接触痕から推定される介在物(1mm程度)から、接手先端のスラッジ厚さは1mmとする。

検討の結果、位置決めナットと接手の間に挟まるスラッジの厚さは2.0mmから3.6mmとなった。なお、接手先端のスラッジ厚さを0mmから2.5mmの範囲で変化させた場合の位置決めナットと接手の間に挟まるスラッジの厚さは0.4mmから4.2mmとなる。

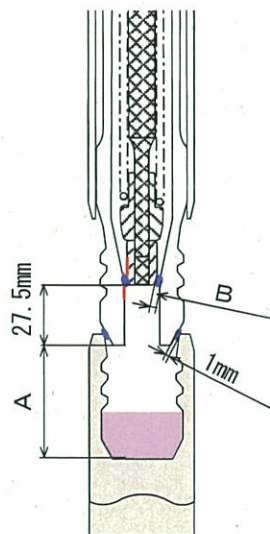


図6 駆動軸着座時の位置関係

表1 スラッジ厚さのケース検討結果

計測誤差	A	位置決めナット高さ	接手先端のスラッジ厚さ	B
2	50	27.5	1	3.6
1	49	27.5	1	3.4
0	48	27.5	1	3.0
-1	47	27.5	1	2.5
-2	46	27.5	1	2.0

スラッジ脱落時の駆動軸の挙動

1. 目的

推定メカニズムのステップ⑥の駆動軸着座状態（図１－１①）から位置決めナットと接手の間のスラッジが脱落することにより、位置決めナットと接手が沈み込み、不完全結合状態（図１－１②）に至る際の駆動軸の挙動について、機構解析により確認する。

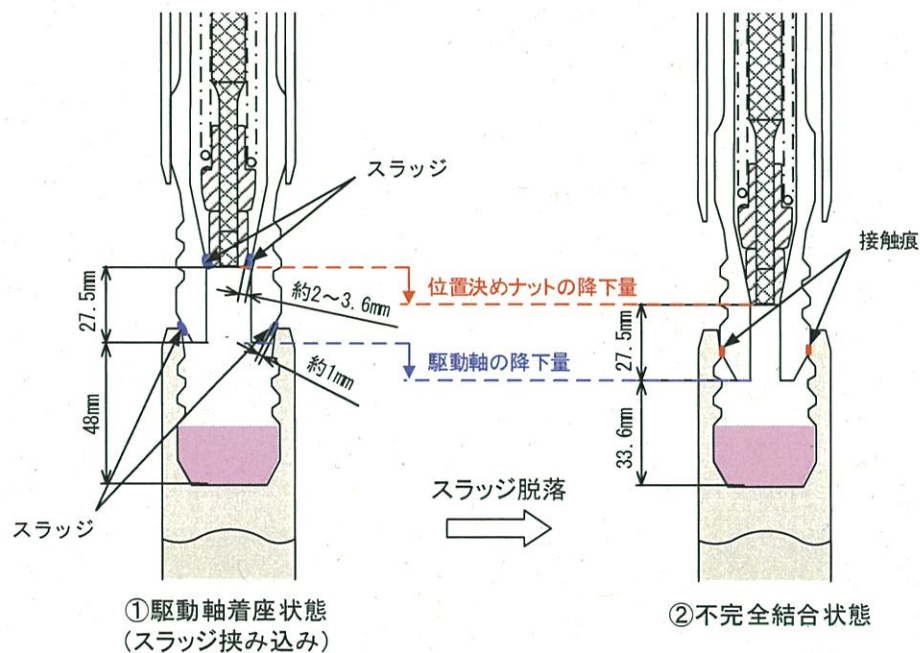


図１－１ 不完全結合状態に至るまでの推定挙動

2. 解析内容

(1) 駆動軸の動作確認試験の再現解析（気中）

現地調査の一環として実施した駆動軸の動作確認試験におけるボタンダウン操作時の位置決めナットの気中挙動（図２－１）を再現できる機構解析モデルを構築する。機構解析モデルを図２－２に示す。

接手と位置決めナットの間には接触条件（摩擦係数：XXXXXXXXXX）を適用し、ロックばね・軸用ばねには実機と同じばね定数を設定する。

位置決めナット降下中に想定される抵抗力（ばねと駆動軸内面および取り外し軸とばね受けとの摩擦力ならびに駆動軸と駆動軸取り外し工具の取り合いで発生する抵抗力など）については推定が困難なため、駆動軸の動作確認試験の結果に合うようにモデル化する。

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

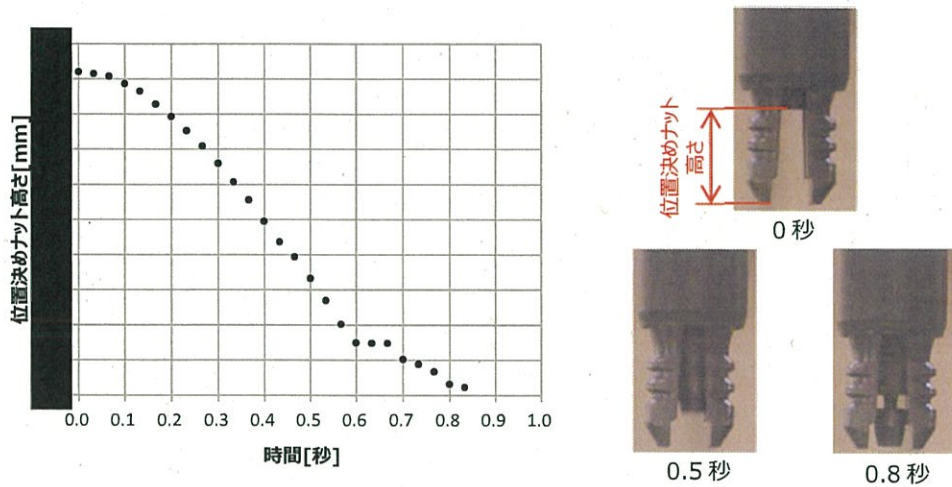


図 2 - 1 駆動軸の動作確認試験結果 (アドレス : M4)

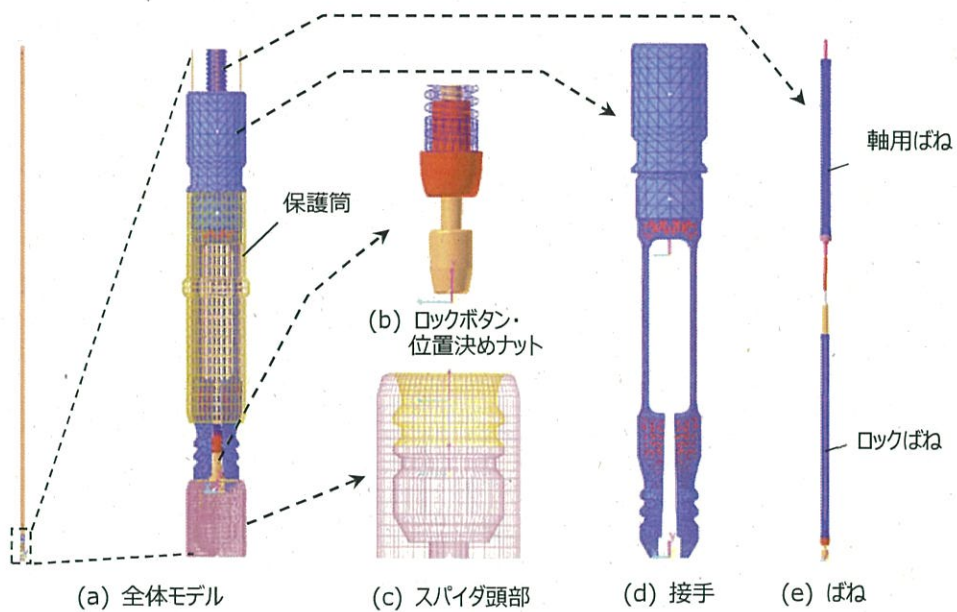


図 2 - 2 機構解析モデル

(2) 駆動軸仮置き状態から不完全結合状態に至る動作の再現解析 (水中)

(1) で設定する抵抗力を用いて駆動軸仮置き状態から不完全結合状態に至る動作の再現解析を実施する。

解析では水中での動作を再現するため、流体抵抗を設定する。また、駆動軸の自重に加え、工具の水中重量 (合計約 k g) を設定する。初期ナット高さは約 27.5 mm とし、摩擦係数は次のとおり設定した。

- ・ 接手外面と制御棒クラスタの摩擦係数 :
- ・ 接手内面と位置決めナットの摩擦係数 :

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

3. 解析結果

(1) 駆動軸の動作確認試験の再現解析 (気中)

気中におけるボタンダウン動作を模擬した機構解析の結果を図3-1に示す。本図より、機構解析結果 (赤線) は動作確認試験の結果をよく再現できていることが分かる。

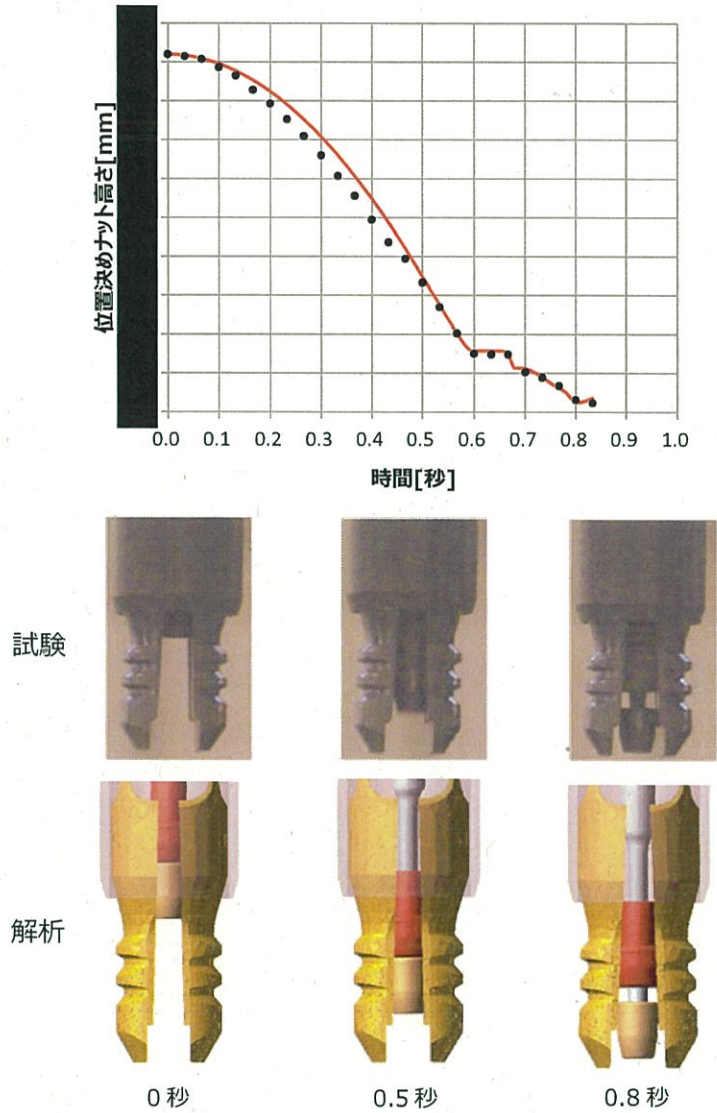


図3-1 動作確認試験の再現解析結果

(2) 駆動軸仮置きから不完全結合状態に至る動作の再現解析 (水中)

推定メカニズム⑥でスラッジが脱落した際の挙動を模擬した機構解析の結果を図3-2に示す。本図より、駆動軸仮置き状態 (図3-2①) における位置決めナットと接手の相対高さをほぼ維持したまま、不完全結合状態 (図3-2②) に至ることを確認した。

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

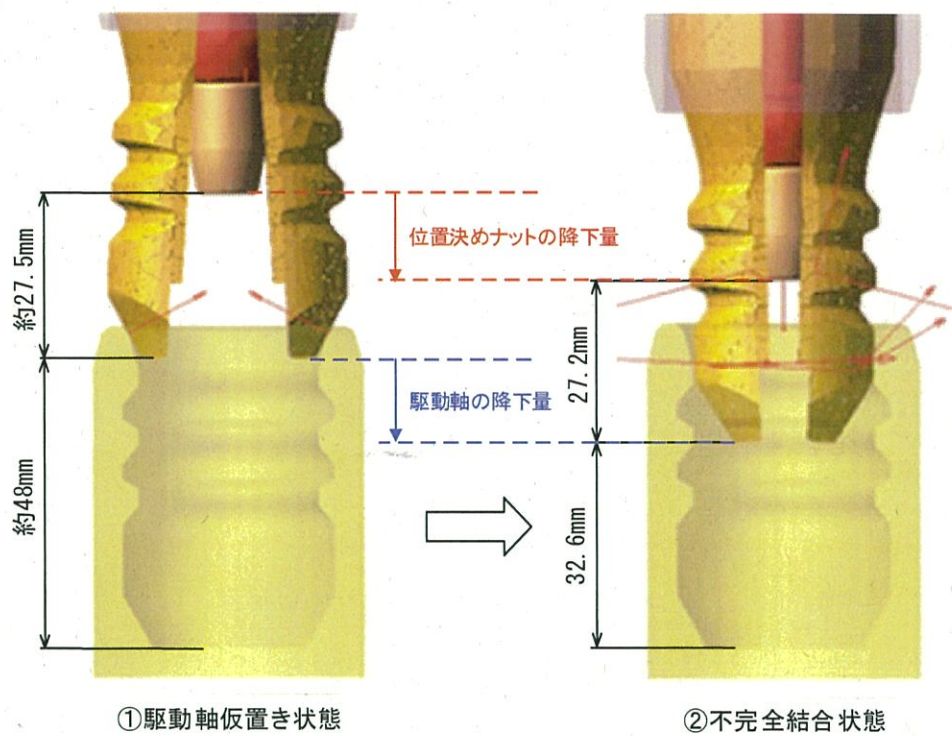


図 3 - 2 駆動軸仮置き状態から不完全結合状態に至る動作の再現解析結果

4. まとめ

駆動軸の接手および位置決めナットの挙動を機構解析により模擬した結果、位置決めナットと接手の相対高さをほぼ維持したまま、不完全結合状態に至ることを確認できた。

制御棒クラスタによる燃料集合体への影響評価

制御棒クラスタは、通常の上部炉心構造物の吊り上げ時には燃料集合体に挿入された状態となっているが、本事象では、上部炉心構造物の吊り上げの際に、制御棒クラスタが通常状態とは異なる管理状態で引き抜き、挿入されたことから、本事象に伴う燃料集合体への影響を評価し、燃料集合体の健全性に問題ないことを確認する。

1. 本事象に伴い考えられる燃料集合体への影響

本事象に伴い、制御棒クラスタが燃料集合体に与えた可能性のある影響は以下のとおり。

(1) 制御棒クラスタと燃料集合体の水平方向の軸ずれに伴う干渉

制御棒は横方向の変位に対してしなやかに曲がる特性を有しているが、制御棒クラスタが燃料集合体に対して水平方向に軸ずれした状態で挿入された場合、制御棒が曲がった状態で燃料集合体の制御棒案内シンブルに挿入されることから、制御棒と制御棒案内シンブルが干渉する。(図1参照)

(2) 制御棒クラスタの着底、落下に伴う燃料集合体への鉛直方向への荷重発生

制御棒クラスタが燃料集合体に着底した時点で、燃料集合体に鉛直方向の荷重が発生する。特に、上部炉心構造物吊り下げ作業中に制御棒クラスタと駆動軸の結合が解消され燃料集合体上部ノズル上に落下したと仮定した場合の荷重が最も大きくなる。(図2参照)

2. 燃料集合体への影響評価

1. (1)(2)で示した影響に対し、以下のとおり燃料集合体への影響を評価した。

(1) 水平方向の軸ずれに伴う影響評価

上部炉心構造物の吊り上げ、吊り下げ作業中、上部炉心構造物はガイドスタッドにより水平方向のずれが制限された状態を維持しており、上部炉心構造物とガイドスタッドの隙間は[]と小さいことから、当該制御棒クラスタと燃料集合体の水平方向の軸ずれ量は制限された状態が維持されていた。このことから、当該制御棒クラスタの降下中、制御棒クラスタが燃料集合体に対して大きく軸ずれしていたとは考えにくい。

仮に制御棒クラスタが燃料集合体に対して水平方向に大きく軸ずれしていた場合、制御棒と制御棒案内シンブルとの接触による摩擦により、制御棒の挿入抗力が大きくなるが、

- ・寸法上、上部炉心構造物と制御棒クラスタおよび駆動軸が干渉することはなく当該制御棒クラスタと駆動軸は上部方向への移動は拘束されていないこと、
- ・上部炉心構造物の吊り下ろし作業中、当該駆動軸上端部の浮き上がり(他の駆動軸上端部の高さより相対的に高くなる)は確認されておらず、当該駆動軸は

上部炉心構造物と同じように下降していたこと（図3参照）、から、上部炉心構造物の吊り下ろし中の制御棒クラスタと燃料集合体との水平方向の軸ずれに伴う摩擦力による挿入抗力は、制御棒クラスタおよび駆動軸の重量を超えない程度で軽微である。

従って、制御棒クラスタと燃料集合体の水平方向の軸ずれ量は十分小さく、制御棒クラスタと燃料集合体の干渉の程度は、原子炉緊急停止時に制御棒クラスタおよび駆動軸が落下した際と同程度と軽微であることから、燃料集合体の健全性への影響はない。

（2）鉛直方向の荷重発生に伴う影響評価

燃料集合体は、原子炉緊急停止時に、制御棒クラスタおよび駆動軸が制御棒全引き抜き状態から燃料集合体上に落下した際の荷重に対し、燃料集合体に変形等が生じることがなく燃料集合体の健全性に影響のないことを確認している。

上部炉心構造物の吊り下げ作業時に制御棒クラスタと駆動軸の結合が解消され、制御棒クラスタが落下するとした場合、落下高さおよび落下重量ともに上記の条件の方が厳しいことから、本想定で発生する荷重による燃料集合体の健全性への影響はない。

3. 今後の対応

2. のとおり、本事象に伴う燃料集合体の健全性への影響はないと考えるが、当該燃料集合体を使用するまでに、制御棒クラスタと干渉する可能性のある燃料集合体の部位（上部ノズル上面および制御棒案内シンプル入口）を対象に、有意な傷や損傷等がないことを確認する。

また、同様に、燃料集合体と干渉する可能性のある制御棒クラスタの部位（スパイダおよび制御棒等）についても、当該燃料集合体を使用するまでに、有意な傷や損傷等がないことを確認する。

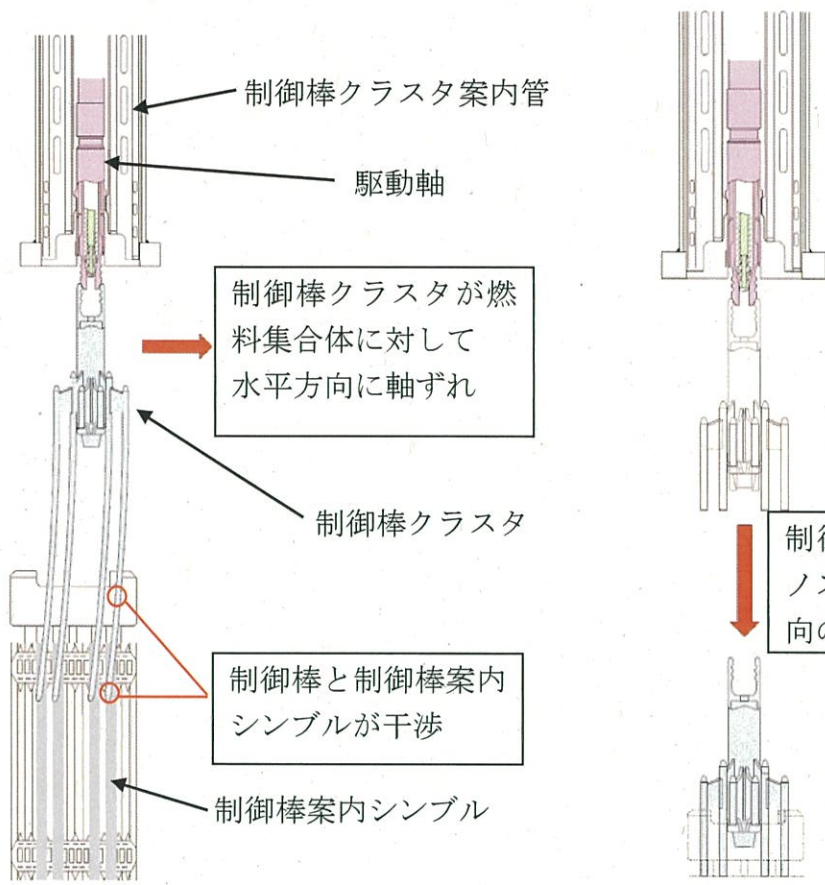


図 1 : 水平方向の軸ずれによる干渉

図 2 : 鉛直方向の荷重発生

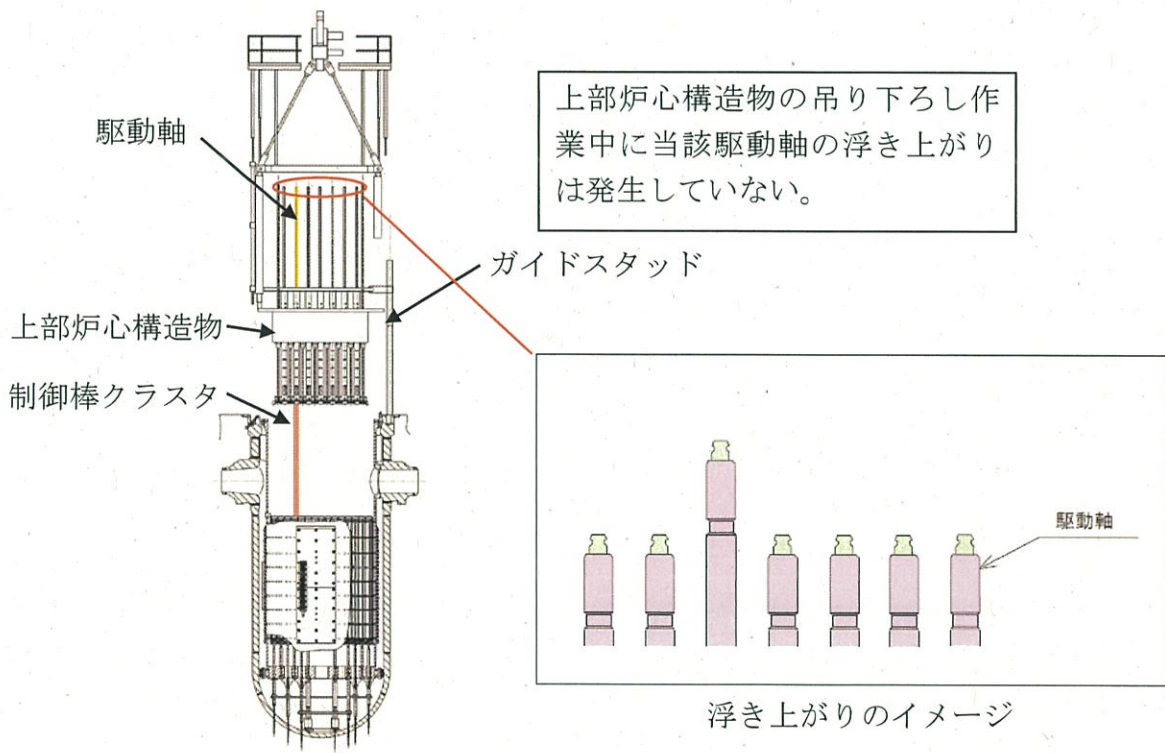


図 3 : 上部炉心構造物の吊り下ろし作業

再発防止対策

上部炉心構造物吊り上げ時の制御棒クラスタの引き上がりを防止するために、以下の対策を講ずるとともに従来実施している上部炉心構造物吊り上げ時の水中カメラによる監視を引き続き実施していく。

1. 作業手順の見直し

- ・ 駆動軸取り外し軸が下降時にスタックしていないことを、駆動軸取り外し軸の押し下げ動作状況により確かめるため、駆動軸取り外し工具の指示管（インジケータロッド）のマーキング位置を確認する手順を追加する。
- ・ 上記手順により、今回のような駆動軸取り外し軸のスタックを起因とした事象の再発防止は可能である。さらに、より確実なものとするため、駆動軸着座後の再度の重量確認および位置計測（ベースプレート高さ）をする手順を追加する。

（図－ 1、表－ 1 参照）

2. 堆積物の除去

- ・ 前項の手順の見直しにより、本事象への再発防止は可能であるが、制御棒クラスタのスパイダ頭部内には、プラント運転中などに発生したスラッジが堆積する可能性があることから、定期検査毎に使用済燃料ピット内で制御棒クラスタ（次サイクルで使用するもの）のスパイダ頭部内の状況を確認し、堆積物が確認された場合は除去する。

（図－ 2 参照）

下線部：見直し箇所

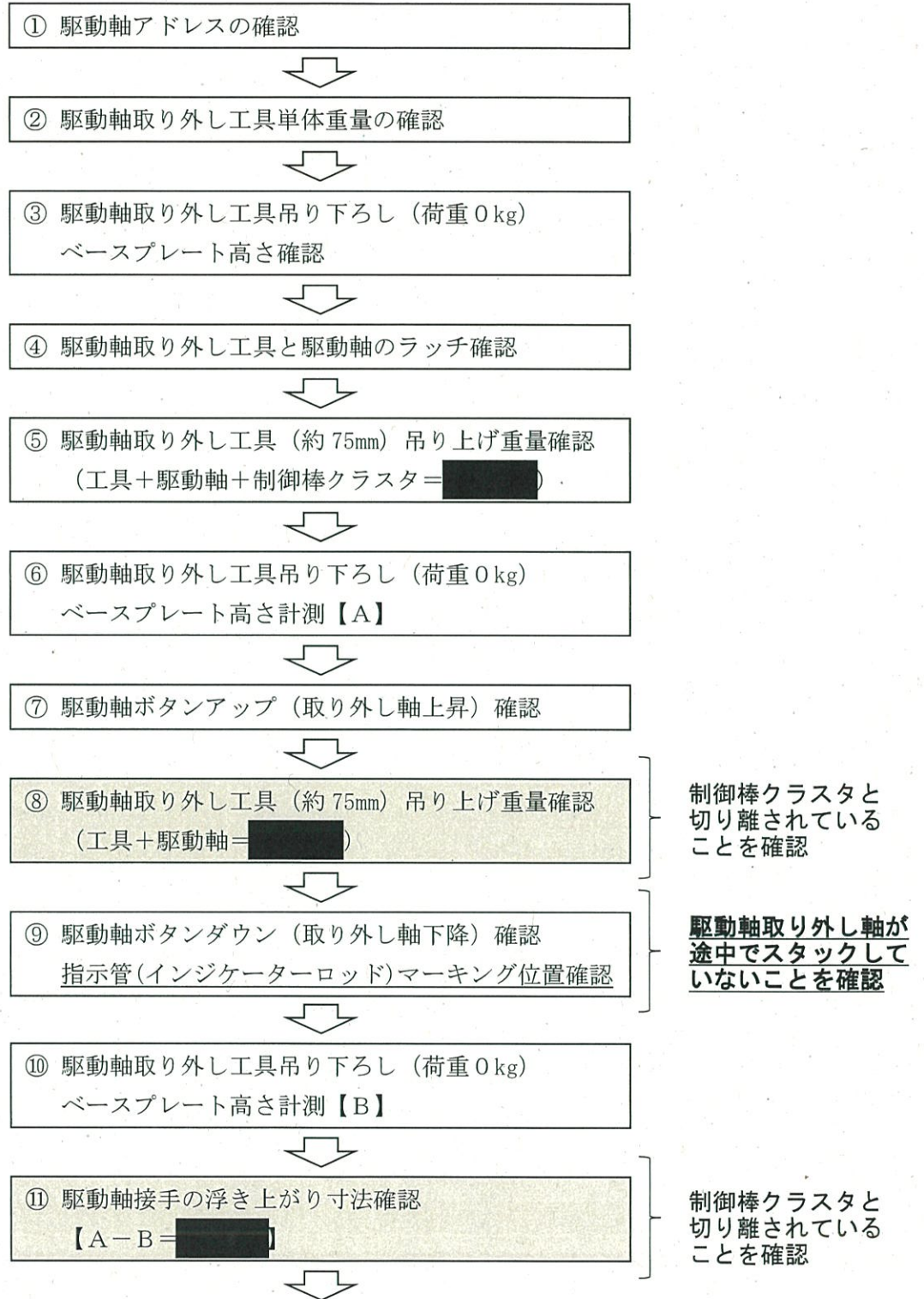


図-1 作業手順の見直し箇所 (1 / 2)

下線部：見直し箇所

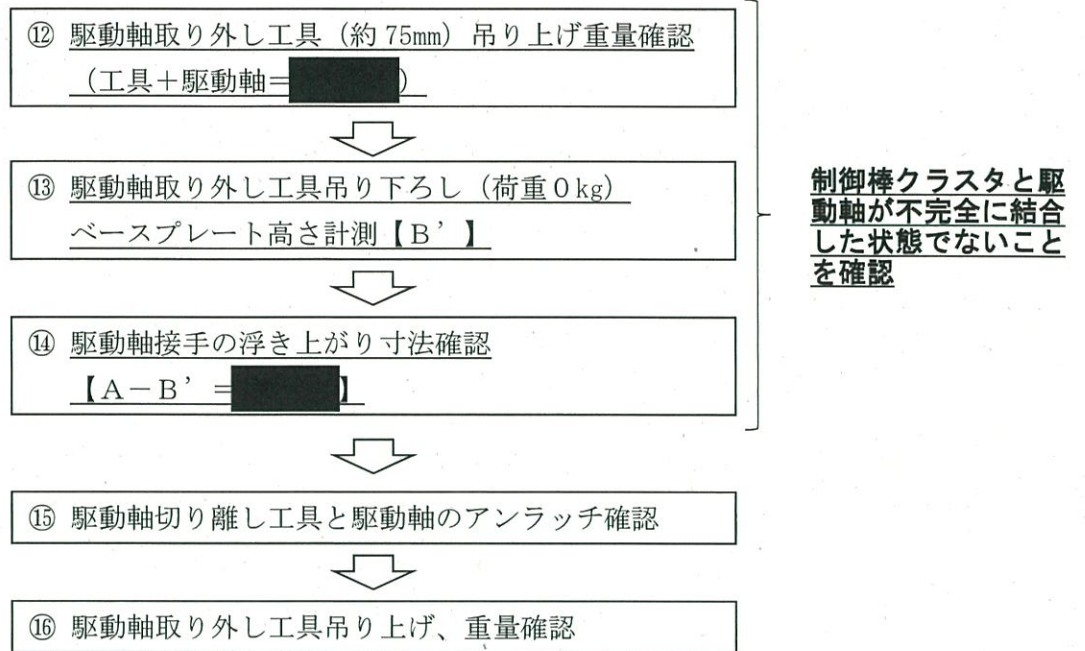
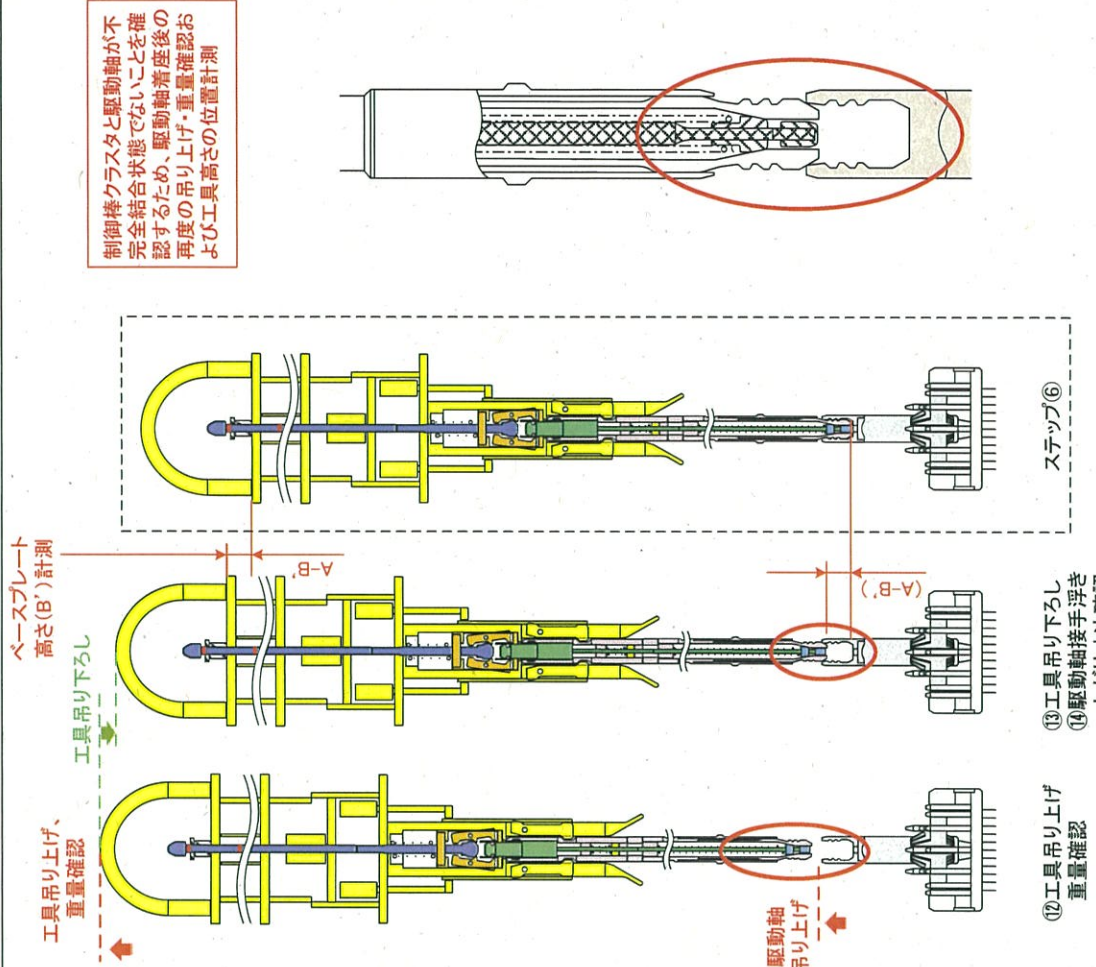
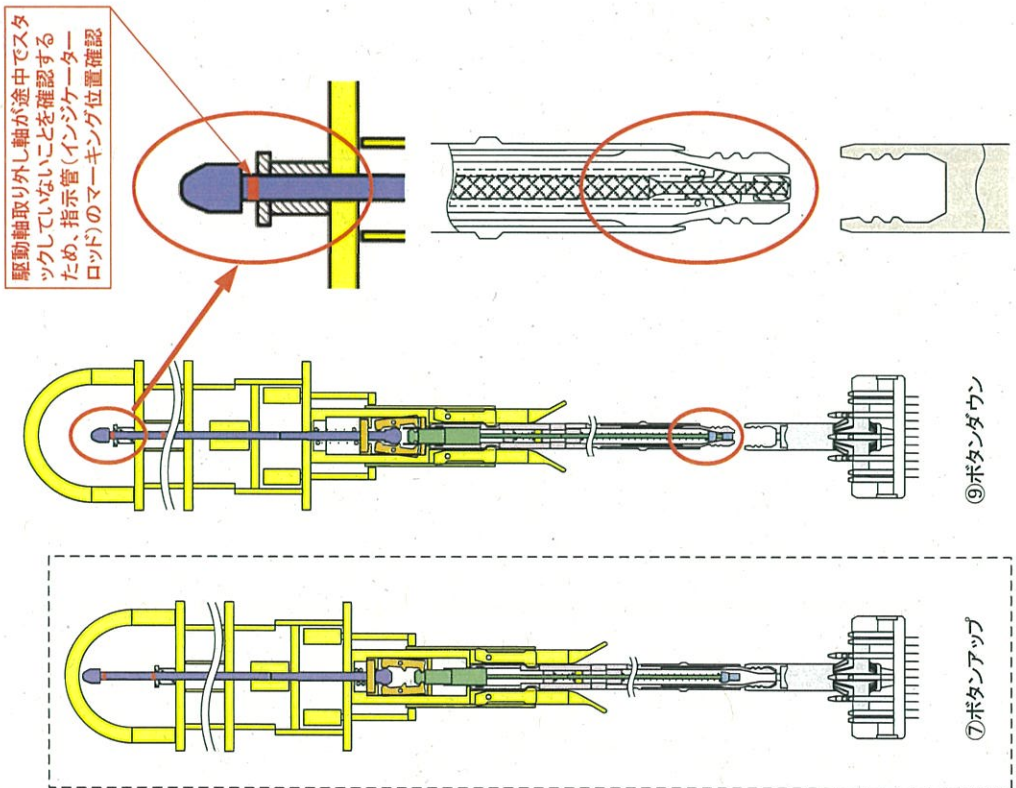


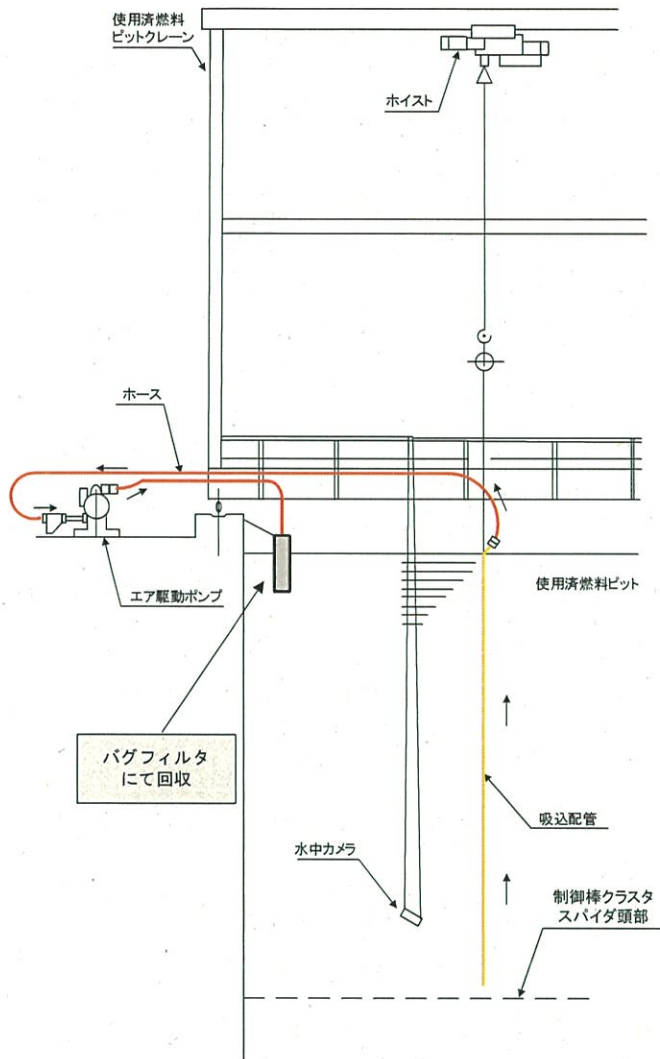
図-1 作業手順の見直し箇所（2 / 2）

表-1 作業手順の見直し箇所概要

駆動軸取り外し工具の指示管(インジケータローッド)の
マーキング位置確認【ステップ⑨】

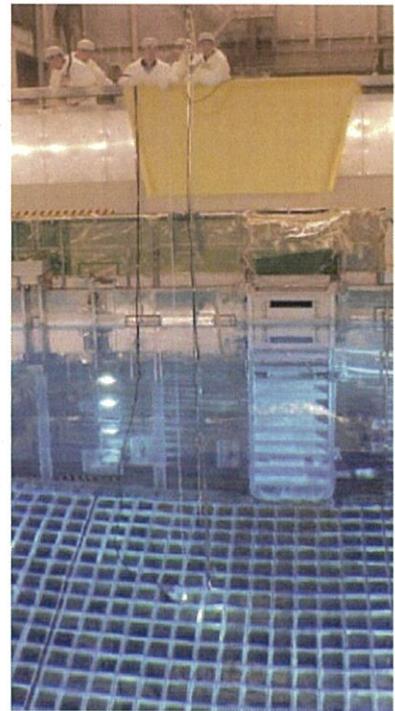
駆動軸着座後の再度の重量確認および位置計測
【ステップ⑫~⑭】





対象：制御棒クラスター
 (次サイクルで使用するもの)
 頻度：定期検査毎
 場所：使用済燃料ピット内

【状況写真】



図ー2 制御棒クラスターのスパイダ頭部内堆積物除去の概要図

用語解説

No.	索引	用語	解説
1	あ	アライメントずれ	設計上考え得る製作・組立公差による位置ずれのこと。
2		位置決めナット	駆動軸取り外し軸の先端（下部）にあり、通常運転時（ボタンダウン時）には、ロックボタンと相まって、接手が狭まらないようにすることで、切り離されることを防止している。
3		1次冷却材ほう素濃度	加圧水型原子炉では、中性子を吸収しやすい物質であるほう酸を1次冷却材中に溶解させ、その濃度を増減させることにより核分裂連鎖反応を制御しているが、その濃度のこと。
4		運転上の制限	原子炉の安全機能を確保するため動作可能な機器の必要台数等を定めているもの。一時的に満足しない状態が発生すると、運転上の制限からの逸脱を宣言し、必要な処置を行う。
5		エリアモニタ	建屋内、室内等の放射線量当量率の監視を行い、設定値に達した時は、警報を発信する。
6		おもり（ウェイト）による動作確認	荷重計（ロードセル）の動作確認のため、重量が既知のおもり（ウェイト）を用いて荷重計測を行った。
7	か	ガイドスタッド	原子炉容器上蓋、上部炉心構造物および下部炉心構造物の吊り上げおよび吊り下げ時に、原子炉容器に対する位置決めのために設置するピンのこと。上部炉心構造物はピンにより水平方向の位置が拘束される。
8		荷重計（ロードセル）	クレーン（ホイスト）と駆動軸取り外し工具の間に荷重を計測する計器を取り付け、駆動軸と制御棒クラスタの結合、切り離し状況を重量により確認している。
9		硬さ（HB）	硬さを表す単位の一つであるブリネル硬さのこと。ある直径の球形の金属球を試験面にある力で一定時間押し当てた後、荷重を除いたあとに残ったくぼみの面積を測定することで算出される。
10		型取り観察	接触痕の形状確認のため、シリコンにより傷形状を採取し、大きさや深さを観察した。
11		仮置き（駆動軸着座）状態	切り離し作業が完了し、駆動軸取り外し軸が降下した状態で、駆動軸を制御棒クラスタの上部に乗せている状態。
12		嵌合性試験	ラッチ、アンラッチが可能な構造のバンドタイプの治具で、取り外し軸を上下させ、結合時に治具が抜けないこと、切り離し時に治具が外せることを確認している。
13		キャビティ	原子炉容器上部のピット部のこと。上部炉心構造物吊り上げ前に水張（ホウ酸水）を行い、原子炉容器、燃料はホウ酸水に満たされたキャビティに入っており、安全上問題はない。
14		キャビティ水張	原子炉容器上蓋の吊り出しに備えて、原子炉容器上部のキャビティにほう酸水を水張する。原子炉容器上蓋等の吊り出しは水中にて行う。
15		くさび効果	鋭角を有するくさび状のものに力を与えた場合、その角度によって、与えられた力より大きな押し広げ力（本現象ではこの押し広げ力に比例する摩擦力により制御棒クラスタを引き上げる力になる）が発生すること。
16		駆動軸	制御棒クラスタと結合し、制御棒駆動装置（CRDM）により上下動される。
17		駆動軸つかみ部	駆動軸の上部にある凹み部。駆動軸取り外し工具の駆動軸つかみ金具と噛み合う。
18		駆動軸取り外し工具	定検時、駆動軸と制御棒クラスタの結合・切り離しのため、駆動軸を操作するための工具。
19		駆動軸取り外し工具の指示管	駆動軸取り外し工具の軸で、取り外しボタンつかみ金具にて、駆動軸の取り外しボタンをつかみ、駆動軸取り外し工具の指示管を上昇/下降させることにより、駆動軸取り外し軸（位置決めナット含む）を上昇/下降させる。インジケータースロッドともいう。
20		クロムメッキ	クロム化合物により金属表面に皮膜を作り処理をすること（めっき処理）。非常に硬いため、表面が荒れることは無い。
21		結合・切り離し作業	制御棒駆動軸と制御棒クラスタは、通常運転中には結合した状態である。点検時に上部炉心構造物を吊り上げる前に切り離しを行うことにより、制御棒クラスタを原子炉容器（燃料集合体）内に残したまま上部炉心構造物の吊り上げを行うことができる。
22		管理区域標準装備（管理服、綿手袋、靴下）	汚染防止のため、管理区域に入域する際には、専用の管理服（つなぎ）、綿手袋および靴下に替えている。
23		金属光沢	接触痕において確認された光沢のこと。金属は酸化等により光沢が失われるため、金属光沢を有していることは、今回の定検作業等、至近に接触があったと推定される。
24		駆動軸接手の浮き上がり	駆動軸と制御棒クラスタの結合状態から切り離した後仮置きしている状態になった際の駆動軸の位置変化（上昇量）。
25		原子力施設情報公開ライブラリー（ニューシア）	原子力安全推進協会により運営されている、国内原子力発電所や原子燃料サイクル施設の運転に関する情報を広く共有化するためのウェブサイト。

No.	索引	用語	解説
26	か	原子炉運転モード	原子炉の出力や温度等の条件に基づき分類されている運転状態。運転モードは保安規定に定義されており、各運転モードごとに動作可能な機器等の要求が異なる。
27		原子炉運転モード6	保安規定により定められている運転モードの一つ。定検開始時、原子炉容器上蓋の開放作業で、スタッドボルトが1本以上緩められると、運転モード5から運転モード6に移行する。
28		原子炉格納容器内封機能	格納容器内から放射性物質が放出されないように、放出を防止または、抑制する機能。
29		原子炉容器上蓋開放（スタッドボルト緩め）	原子炉容器上蓋の開放作業で、スタッドボルトが1本以上緩められると、運転モード5から運転モード6に移行する。
30		原子炉容器内点検	上部炉心構造物取り出し後、燃料取り出し前に実施している点検のこと。水中カメラにて、 ・原子炉容器の胴シート面およびフランジ面上 ・燃料トップノズル部の異物点検を実施している。
31		高温停止	1次冷却材温度約280℃で、所定の未臨界度を維持して原子炉を停止させた状態。
32		拘束力試験	制御棒クラスタ案内管に模擬制御棒クラスタを挿入し、挿入及び引抜時の拘束力を確認する試験。（制御棒クラスタ案内管と制御棒クラスタとのインターフェースに問題ないことを確認するための試験）
33		固体廃棄物処理設備	ベイヤ、雑固体焼却設備、固体廃棄物貯蔵庫等、伊方発電所で発生する廃棄物を処理・貯蔵保管するための設備全般を指す。冷却材フィルタ等の液体用フィルタは現在、固体廃棄物貯蔵庫にて保管しているが、今後、必要に応じて焼却や圧縮等の処理を行う。
34		さ	最小停止ほう素濃度
35	残留磁気		磁界を取り除いた後でも磁性材料内部に磁力が残ること。
36	磁化		磁力を持つこと。
37	実体顕微鏡		対物レンズと接眼レンズで拡大して観察する光学顕微鏡のことで、立体的に観察できる。
38	上部炉心構造物		原子炉容器内の構造物のうち上部を構成する一体化構造物であり、上部炉心支持板、上部炉心板、上部炉心支持柱、制御棒クラスタ案内管等から構成される。
39	所内用空気		発電所には作業等に用いるための圧縮空気として、所内用空気が供給されている。駆動軸取り外し工具にはエアシリンダがあり、所内用空気を駆動源として用いている。
40	水質分析用フィルタ		分析に際し、液体中の微粒子成分を採取又は除去するために使用されるフィルタ【メンブレンフィルタ】
41	ステッピング試験		駆動軸、ラッチ機構等の各部品を組み立て、水中にて制御棒駆動装置（CRDM）を駆動させて計画通りの性能が得られることを確認する試験。
42	スパイダ頭部		制御棒クラスタは、中性子を吸収しやすい材質であり燃料集合体内部に挿入される制御棒（24本）と、24本の制御棒の上端を束ねるスパイダと呼ばれる部分で構成される。制御棒クラスタと駆動軸は、スパイダの頭部と結合する構造となっている。
43	スラッジ		一般的には、滓（かす）、残渣などのことを指すが、本報告書ではスパイダ頭部内で確認された堆積物をスラッジという。
44	制御材		原子炉の出力（核分裂）を制御するための設備の総称であり、制御棒クラスタおよび1次冷却水中に溶解したほう素が該当する。
45	制御バンク		原子炉内には48体の制御棒クラスタが設置されており、バンクと呼ばれる8体ごとのグループ単位で挿入、引き抜きされる。バンクには制御バンク（4バンク）と停止バンク（2バンク）があり、制御バンクは主に運転中の出力制御や出力分布制御等に用いられる。
46	制御棒案内シンプル		制御棒クラスタの24本の制御棒が燃料集合体に挿入されるために燃料集合体に設けられている金属管。
47	制御棒位置指示装置		制御棒の動作に伴って、制御棒駆動軸が動くことにより検出される位置を表示する装置。A、B2系統で6ステップ毎に表示可能。
48	制御棒駆動装置圧力ハウジング		ラッチハウジングと駆動軸ハウジングから構成され、原子炉冷却材圧力バウンダリの一部を構成する耐圧部のこと。
49	制御棒クラスタ		原子炉の出力を制御するための棒状の装置。中性子を吸収しやすい材質（銀-インジウム-カドミウム合金）からなる制御棒24本を一体として動作させるため一まとめ（クラスタ）とした形状をしており、燃料集合体の制御棒案内シンプルに挿入できる構造。原子炉の起動、出力調整、停止などの運転操作にあたり、制御棒クラスタ駆動装置を用いて炉心内を上下させることにより原子炉内の中性子量を調節し、核分裂連鎖反応を制御する。
50	制御棒クラスタ案内管	制御棒クラスタが通過する管で、上部炉心構造物に設置されている。	

No.	索引	用語	解説	
51	さ	制御棒クラスタ駆動装置	制御棒クラスタと機械的に結合された駆動軸をラッチ機構により上・下方向に駆動させることにより、制御棒クラスタの引き抜き、保持、挿入を行うもの。運転中は、中央制御室に現在のステップ数が表示されている。	
52		制御棒クラスタ制御信号	制御棒に挿入、引き抜きの動作が起こった時に、制御棒があるべき位置を示す信号。1ステップ毎に表示可能。	
53		制御棒クラスタの保持機能	駆動軸と制御棒クラスタの結合維持機能のこと。	
54		制御棒動作試験サーベランス	添付資料-9-3のとおり、3カ月に1回、全挿入されていない制御棒をバンク毎に動かして、各制御棒位置を変化させ、制御棒が固着していないことを確認することで、制御棒動作機能の健全性確認を行っている。	
55		制御棒の挿入抗力	制御棒の挿入方向に対して逆方向に働く、制御棒を挿入しにくくさせる力。	
56		製作・組立公差	製品の製作時や組み立て時において、設計上、公式に許容されている差（ズレ）のこと。	
57		接手	駆動軸先端にある二股に分かれた部品。制御棒クラスタスパイダ部に挿入され結合する箇所。	
58		接手部拘束	駆動軸取り外し軸が下降し、接手が開いた状態で拘束されること。添付資料-6の図を参照。	
59		線源領域 (SR)	原子炉は、起動から全出力運転において中性子束の変化が大きいことから、線源領域、中間領域および出力領域の3種類の領域に分けて測定している。事象発生時は停止中であり、中性子束が小さいことから、線源領域を監視していた。	
60		全面マスク	空気中に漂う放射性物質の吸入により内部被ばくの恐れがある場合、マスクを着用する。口を覆うため声が聞こえづらくなることがあるが、本作業時は着用が不要であった。	
61		組成分析	電子線プローブマイクロアナライザ (EPMA) から得られた構成元素をもとに、対象がどのような物質なのかを分析・特定すること。	
62		走査電子顕微鏡 (SEM)	Scanning Electron Microscopeの略。電子線を試料に当てて表面を観察する装置であり、通常の光学顕微鏡よりも高い分解能を有する。	
63		た	脱ガス運転	定期検査など原子炉や一次冷却材系統その他の開放を伴う作業のため停止する時には、作業員の被曝低減のため1次冷却材中に含まれる放射性ガスを取除くための運転操作のこと。
64			脱塩塔入口フィルタ	浄化装置 (脱塩塔) に不純物が持ち込まれないようにするために前段に備え付けられているフィルタ。
65	中性子照射量の制限		制御棒クラスタの健全性の観点から、取替基準として中性子の照射量を定めている。	
66	長期停止		東日本大震災の際の福島第一原子力発電所での事故の後、再稼働までの伊方発電所3号機の停止期間。	
67	つかみ金具ハウジング		駆動軸取り外し工具のボタンつかみ金具を動作 (ラッチ、アンラッチ) させるための部品。	
68	低温停止		1次冷却材温度約95℃以下で、所定の未臨界度を維持して原子炉を停止させた状態。	
69	定期事業者検査 (制御棒クラスタ検査)		次サイクルに使用予定の制御棒クラスタ等の燃料内挿物が健全であることを確認するために行う検査。	
70	停止バンク		原子炉内には48体の制御棒クラスタが設置されており、バンクと呼ばれる8体ごとのグループ単位で挿入、引き抜きされる。バンクには制御バンク (4バンク) と停止バンク (2バンク) があり、停止バンクは原子炉の起動時および停止時に引抜、挿入される運用としている。	
71	鉄酸化物		高溶存酸素・高温環境において、一次冷却水中の鉄イオンが酸素と反応することで酸化し、鉄酸化物となる。	
72	電子線プローブマイクロアナライザ (EPMA)		Electron Probe Micro Analyzerの略。電子線を試料に当てて照射し、発生する特性X線から構成元素を分析する装置。	
73	透磁率		水や空気などの物体の内部における磁力の伝わりやすさ。	
74	取り外しボタン		駆動軸取り外し軸上部にある接続部のこと。駆動軸取り外し工具の取り外しボタンつかみ金具と接続する。	
75	な		熱処理	接手は硬さおよび靱性を高めることを目的として、焼入れおよび焼戻しの熱処理を行っている。
76			燃料移送中の制御棒クラスタの横倒し	燃料集合体を原子炉容器から使用済燃料ピットへ輸送する際、燃料移送管と呼ばれる管を通し燃料を輸送するが、その際に一度燃料を横倒しにして通す必要があり、燃料に挿入されている制御棒クラスタも同時に横倒しになるため、制御棒クラスタ頭部に堆積した堆積物が一方向に偏る。

No.	索引	用語	解説
77	な	燃料集合体上部ノズル	燃料集合体上部の部品であり、燃料集合体の原子炉内での位置決め、燃料集合体を冷却した1次冷却材の流路等の機能を有する。
78		燃料取出作業	運転中に原子炉容器内に入っている燃料集合体は、定期検査時に原子炉容器から取り出し、使用済燃料ピットへ移送して保管する。
79		燃料取替クレーン	原子炉キャビティ上部に設置しているクレーン。
80		燃料取替クレーン歩廊	燃料取替クレーンが取り付けられている架台には、人が歩くことができる歩廊が設けられており、その歩廊上にて駆動軸取り外し工具の操作やベースプレート高さの測定等を行っている。
81	は	バグフィルタ	堆積物回収のための不織布（ポリエステル）のフィルタ。
82		フレットイング	切粉などの金属片が燃料集合体の支持格子と燃料棒の間にはさまり、1次冷却材の流体振動により燃料棒を摩耗させ、燃料棒に微小孔（ピンホール）が発生する現象。
83		プロセスモニタ	各系統の放射線量当量率の監視を行い、設定値に達した時は、警報を発信する。
84		プロファイル	型取りにより取得した傷形状の輪郭。
85		不完全な結合状態	切り離し作業が完了した後に、通常と異なる状態で結合していたと考えられることから、“不完全な結合状態”としている。
86		平板摺動試験装置	添付資料-1 1 図-3 に概念図を示している通り、押し付け荷重を作用させ、その時の摺動方向（摩擦する方向）に荷重をかけ、運動片が動き出す直前の荷重を測定することで静止摩擦係数を測定する試験装置。
87		防護服	汚染区域で作業する際、管理区域標準装備の上から、不織布でできた防護服を着用する。
88		ボタンアップ/ボタンダウン	駆動軸取り外し工具の取り外しボタンつかみ金具にて、駆動軸の取り外しボタンをつかみ、駆動軸取り外し工具の指示管（インジケータロッド）を上昇（ボタンアップ）/下降（ボタンダウン）させることにより、駆動軸取り外し軸（位置決めナット含む）を上昇（ボタンアップ）/下降（ボタンダウン）させる動作のこと。
89	ま	マーキング位置	駆動軸取り外し工具の指示管（インジケータロッド）には、取り外し軸が上がりきった箇所と下がりきった箇所を示すマークがあり、この位置を確認することにより、取り外し軸が動作途中でスタックしていないことを確認することができる。
90		マグネタイト (Fe_3O_4)	プラント構成材に含まれる鉄(Fe)の腐食により生成される酸化物。金属光沢を持つ黒色の鉱物で、強い磁性を持つ。
91		マグネタイトへの変態	Feは、酸化されてオキシ水酸化鉄 ($FeOOH$) になった後、脱水によりヘマタイト ($\alpha-Fe_2O_3$) となり、さらに還元されマグネタイト (Fe_3O_4) となる。
92		摩擦係数確認試験	接触面の静止摩擦係数を取得するために実施した試験。供試体は実機と材料および環境（気中/水中）が異なるため、実機材料および水中環境での静止摩擦係数を測定し比較した。
93		マルテンサイト系ステンレス鋼	内部マルテンサイトという組織で出来ているステンレス鋼。磁性を有し硬い。
94		未臨界性	核分裂連鎖反応が継続する状態である臨界に達していない状態のことで、時間とともに核分裂の数が減り、連鎖反応が収束に向かう状態。
95		面荒れあり	これまでの使用に伴い生じた、わずかな摩耗のこと。実証試験用に製作した供試体は、機械加工により表面に摩耗は生じていないため、実機を模擬するため、サンドペーパーにより摩耗を模擬した。
96		面荒れなし	実証試験用に製作した供試体で、機械加工ままの状態。実機に生じている表面摩耗は模擬していない。
97		模擬駆動軸	駆動軸取り外し工具の引き上げ荷重を計測するため、駆動軸の頭部を模擬した軸を使用した。また、製造時においても模擬駆動軸を使用し、試験を実施している。
98	や	野外モニタ	伊方ビジターズハウス東隣に設置しているモニタリングステーションにおいて、空間放射線量率、空間放射性じんあい濃度、空間放射性ヨウ素濃度を測定している。また、伊方発電所の周辺監視区域境界付近（4箇所）に設置しているモニタリングポストにおいて、空間放射線量率を測定している。
99		余熱除去冷却器入口・出口温度	停止中は余熱除去系統の熱交換器である余熱除去冷却器で除熱している。事象発生時に有意な温度変化はなかった。
100		溶存酸素	空気中や水中に含まれる酸素。プラント起動時に水張をする際には、空気を抜くベンディング操作を実施するが、一部抜けきらない箇所が生じ、一次冷却水の圧力が高くなることで空気が圧縮され、酸素濃度が高い状態となる。

No.	索引	用語	解説
101	ら	ラッチ/アンラッチ	駆動軸取り外し工具の駆動軸つかみ金具により、駆動軸を挟み結合（ラッチ）／開放（アンラッチ）すること。
102		冷却材フィルタ	化学体積制御系統に設置されたフィルタで、不純物を回収している。
103		励磁	磁力を持っていない磁性材料が磁界により磁力を持つこと。
104		ロックボタン	駆動軸下端部にある部品で、通常運転中、ロックばねにより下向きに押され接手内側と接触することで、位置決めナットが接手内部に位置する状態を維持している。
105	A	ANSYS	有限要素法を主体とした解析ソフトウェアの名称。今回は、コンピュータ上で表現した駆動軸やRCCスパイダに生じる力やを計算するために用いた。
106	F	FEM	Finite Element Method（有限要素法）の略。駆動軸やRCCスパイダ等を数学モデル（数式）としてコンピュータ上で表現する手法。
107	X	X線回折	X線を試料に照射した際、試料の電子により、X線が散乱・干渉すること。未知の試料から得られたX線回折パターンと既知のパターンを比較することにより、未知の試料が何なのかをみなす（同定する）ことができる。