参考資料

島根原子力発電所第３号機建設工事における制御棒駆動機構の一時的な動作不良について

平成 24 年 2 月 2 日
中国電力株式会社

１．はじめに

建設中の島根３号機において，平成 22 年 11 月から制御棒駆動機構（以下，「CRD」という。）の据付調整を行っていたところ，CRD（18 体）において動作不良（通常の出力変更に使用する電動機駆動※において，制御棒が一時的にスムーズに挿入できない事象）が発生した。その後，全ての CRD（205 体）についてメーカーの工場にて分解点検等を行うとともに，原因調査を進めてきた。

このたび，動作不良の原因を特定し，原因調査結果を踏まえた再発防止対策を講じたうえで動作確認試験を実施した結果，同様の動作不良が発生しないことを確認した。

２．動作不良の原因

CRD を構成する主要部品ごとに正常に機能するかどうかを確認した結果，動作不良は CRD 本体内で発生していることを特定した。その後，全ての CRD の分解点検，動作不良の再現試験等を行った結果，動作不良の原因は，以下の３点が重なり合って，駆動用ねじの抵抗力（回転抵抗）が増大し，電動機の駆動力を超えたことであることを確認した。

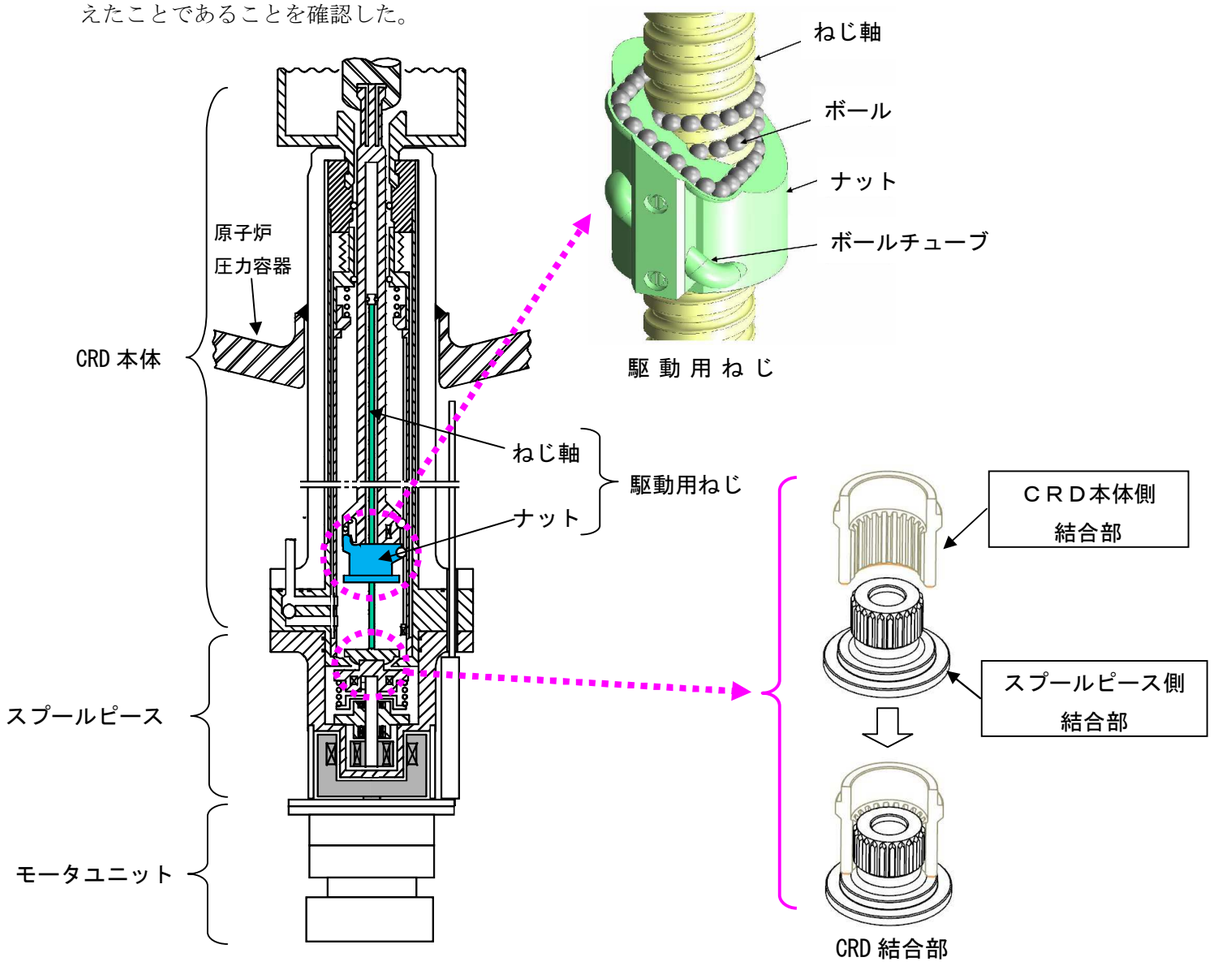

図１　CRD 概要図

①駆動用ねじへの異物の噛み込み

・CRD 内で確認した異物について調査・分析した結果，原子炉圧力容器内の水（建設期間中であり最終清掃前の水）に含まれる異物や駆動用ねじ軸材から剥離したものであった。

・CRD 内部は原子炉圧力容器と通じており，ラビリンスシール部を通過できる異物は炉内から CRD 内に混入する可能性があるため，パージ水を供給することで炉内からの異物混入を防止する設計としている。しかし，CRD 据付後に異物が混入する可能性を調査した結果，以下の時期に原子炉内から CRD 内に異物が混入した可能性が否定できないことを確認した。

（制御棒駆動試験時）

CRD 据付後の系統試験において，パージ水の流量が規定より少ない流量で実施していた。規定流量以下で，CRD 複数体を同時に挿入する場合には，挿入に伴う CRD 本体内の空間容積増加にパージ水による充填が追いつかず，原子炉水を CRD 内へ引き込む可能性がある（図２参照）。

系統試験においては複数の CRD を同時挿入する試験を実施したため，建設期間中の最終炉内清掃前の原子炉水が CRD 内へ流入した可能性がある。

・駆動用ねじが，CRD 内に混入した異物を噛み込むと，駆動用ねじの抵抗力が増大し，動作不良が発生することを再現試験により確認した。また，この際，異物を噛み込むことで，駆動用ねじ軸材が剥離することも確認した。

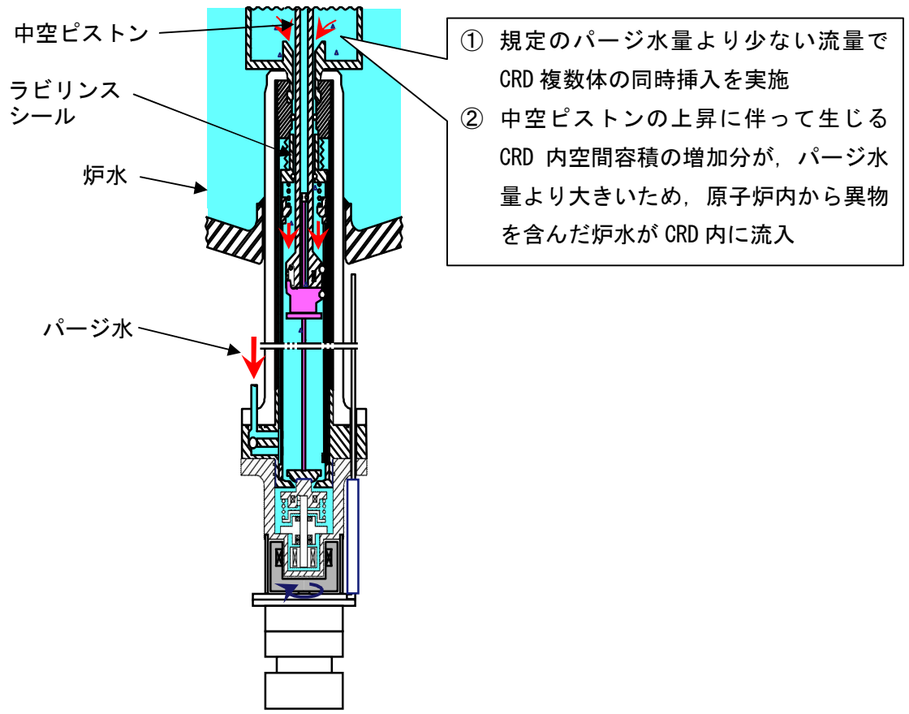

図２　CRD 複数体同時挿入時に異物が混入するメカニズム

②CRD 結合部のはめ合い不足

・CRD 構成部品に関する先行機からの製造方法変更の調査において，CRD 結合部の歯の仕上げ方法を変更していることを確認したため，治具を用いて一歯ずつずらしながら全 CRD 結合部の全ての歯について仕上げ状態を確認した結果，一部の CRD 結合部でスムーズなはめ合いを阻害するような当り（引っかかり）を確認した。

・CRD 本体とスプールピースがしっかりと結合していない場合，ねじ軸の心が安定せず，ねじ軸のボール走行面とボールの接触が不安定になり，ねじ軸のボール走行面が損傷することで，駆動用ねじの抵抗力が増大することを再現試験により確認した。

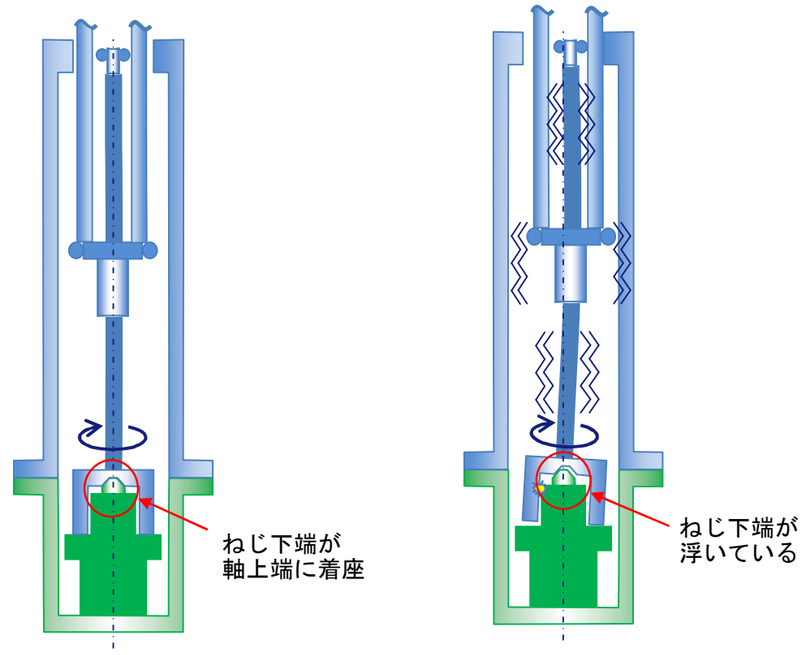

図３　CRD 結合部のはめ合い不足により駆動用ねじの過大な抵抗力が発生するメカニズム

③ねじ軸ボール走行面の初期表面状態による摩擦抵抗の増大

・ねじ軸ボール走行面の観察等を実施した結果，ねじ軸ボール走行面の初期表面状態による摩擦抵抗により，駆動用ねじの回転抵抗が大きくなる可能性があることがわかった。回転抵抗が大きくなるメカニズムは，まず初期表面状態によりボールの転がりが阻害され，ボールが滑ることによってねじ軸に微小な傷が発生・成長し隆起が形成され，そこをボールが乗り越えることによる。

・ボール走行面に生じる隆起は，①，②の原因と重畳すると，ボールが乗り越えられないような大きな隆起となり，駆動用ねじに動作不良に至るような過大な抵抗力が発生する場合があることを再現試験により確認した。

３．再発防止対策

調査・試験結果から，以下の３点を再発防止対策として策定した。

①駆動用ねじへの異物の噛み込み防止

・全ての CRD を取り外し，工場において分解点検・清掃を行うとともに，必要に応じて駆動用ねじの取替えを行った。

・CRD 内に異物が混入することを防止するため，原子炉圧力容器内の清掃を行った。

・据付けた状態においては，パージ水の流量について手順書等の改定を行い管理を徹底した。

②CRD 結合部のはめ合い不足防止

・CRD 結合部のはめ合い不足が発生しないようにするため，治具を用いて全ての歯の組み合せのはめ合い状態についての当り確認を行い，必要に応じ手入れ（当り部分の仕上げ）を念入りに行い，結合部がスムーズに結合できることを確認した。

・CRD 本体とスプールピースの結合においては，はめ合い状況を慎重に確認しながら確実に取付けを行った。

③ねじ軸ボール走行面の初期表面の摩擦抵抗の低減

・ボール走行面の摩擦抵抗を低減するため，全ての駆動用ねじについてあらかじめ 50 往復駆動させてボール走行面を滑らかにしたうえで取り付けた。

４．再発防止対策の有効性確認

再発防止対策を施した CRD10 体程度を現地に据え付け，駆動試験（100～140 往復）を実施した結果，動作不良が発生しないことを確認した。

その後，再発防止対策を施した CRD 全数 205 体を再据え付けし，あらかじめ計画していた系統試験項目に加え，10 往復駆動の追加確認駆動試験を実施した結果，動作不良は発生せず，再発防止対策が有効であることを確認した。

※　通常時は電動機駆動により制御棒を挿入・引抜する。これに対し，原子炉緊急停止（スクラム）時は，通常の電動機駆動とは異なる水圧駆動により緊急挿入する。本事象は，電動機駆動時の動作不良であり，緊急時に原子炉を安全に停止する機能が損なわれるものではない。

以　上