

島 原 本 広 第 9 号
平成 2 1 年 4 月 1 3 日

島 根 県 知 事 溝 口 善 兵 衛 様

中国電力株式会社
常務取締役 島根原子力本部
本部長 松井三生

「島根原子力発電所1号機 制御棒誤挿入について」に係る
原子炉施設故障等報告書の提出について

平成 2 1 年 3 月 2 6 日に発生した島根原子力発電所 1 号機の制御棒誤挿入について、実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則第 1 9 条の 1 7 の規定により、本日、経済産業大臣へ報告しましたので、島根原子力発電所周辺地域住民の安全確保等に関する協定第 8 条第 1 項 (9) に基づきご連絡いたします。

なお、報告内容は添付資料のとおりです。

添 付

「島根原子力発電所 1 号機 制御棒誤挿入について」に係る原子炉施設故障等
報告書の提出について

以 上

原子炉施設故障等報告書

平成21年 4月13日

中国電力株式会社

件名	島根原子力発電所1号機 制御棒誤挿入について
事象発生の日時	平成21年 3月26日 13時38分 (操作を行っていない制御棒の移動と判断)
事象発生の場所	島根原子力発電所1号機 制御棒駆動水圧制御ユニット (原子炉建物1階)
事象発生の原子炉施設名	計測制御系統設備 制御棒駆動系 水圧制御ユニット
事象の状況	<p>島根原子力発電所1号機(沸騰水型、定格電気出力46万キロワット)は、定格熱出力一定運転中の3月26日13時38分に原子炉保護系ハーフスクラム試験※(1箇月に1回)(以下、「定期試験」という。)を実施したところ、制御棒1本(J-10)が全引抜きから全挿入となり、発電機出力が46万9千キロワットから46万4千キロワットまで低下した。このため、13時38分に、実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則第19条の17第13号(挿入若しくは引抜きの操作を現に行っていない制御棒が当初の管理位置から他の管理位置に移動)に該当すると判断した。</p> <p>なお、プラントの状態は安定しており本事象による外部への放射能の影響はなかった。</p> <p>※：ハーフスクラムテストはスクラム論理回路が正常に動作することを確認するための試験であり、「スクラムテスト」スイッチでスクラム回路のA1、A2、B1、B2各サブチャンネルを1回路ずつ動作させ、原子炉保護系が正常に動作し、警報が発生することを確認する。この際、スクラムパイロット弁(以下、「SV12-5、SV12-6」という。)が実際に動作することから、SV12-5(A系)とSV12-6(B系)が同時に動作することのないよう、原子炉の状態が安定しており、他のサブチャンネルのスクラムが必ずリセットされたことを確認した後、次のサブチャンネル操作を行う手順としている。</p>
事象の原因	<p>1. 原因の調査・結果</p> <p>(1) 定期試験前の現場確認</p> <p>SV12-5またはSV12-6コイルが無励磁の状態で行うと、制御棒の誤挿入が発生する。これを防ぐため、コイルが常時励磁している場合には、温度が高いことに着目して、コイル部に設定温度に到達すると温度表示を行うサーモラベルを貼付け、定期試験前日にコイルの温度を確認することによりSV12-5、SV12-6が励磁状態であることを確認している。</p> <p>なお、サーモラベルの設定温度は、SV12-5、SV12-6のコイルが無励磁となっていることを可能な限り早期に見出す観点から励磁状態のコイル温度近傍の温度に設定している。</p> <p>3月26日の定期試験前日(3月25日)にサーモラベルの温度表示を確認し、SV12-5、SV12-6が励磁状態であることを確認していたが、事象発生後に全挿入となった制御棒J-10のSV12-6のコイル温度を確認したところ、制御棒J-10のSV12-5および他の制御棒のSV12-5、SV12-6に比べ低い状態となっていることを確認した。</p> <p>なお、平成7年5月に他プラントで発生した類似事象※1に対する当社の水平展開として、</p> <p>①スクラムパイロット電磁弁の取替時(5年周期)に「端子の増締め確認」をすることを作業要領書に明記</p> <p>②サーモラベルによる温度確認を採用し実施していた。</p> <p>※1：スクラムパイロット電磁弁(B系)ターミナルボックス内端子部に緩みがあることにより、当該端子部の接触状態が不安定となり、電磁弁</p>

が無励磁状態となった。定例試験によりA系論理回路を無励磁にしたため、両系電磁弁が無励磁となり制御棒が全挿入した。

(2) 原因調査・結果

要因分析図に基づき原因調査を行った。

a. SV無励磁

(a) A、B-原子炉保護継電器盤（以下、「924A、B」という。（中央制御室設置））「スクラムテスト」スイッチおよびスクラムテスト盤（以下、「925」という。（補助盤室設置））「制御棒選択」スイッチ

触手により端子の緩みの有無を確認したところ、緩みはなかった。また、スクラムテストスイッチ両端が無電圧であったことおよびSV12-6励磁電流が通常値であることからスクラムテストスイッチの導通に異常のないことを確認した。

以上から925取付けの「制御棒選択」スイッチの接触状態に問題ないことを確認した。

また、定期試験要領書を確認したところ定期試験は、924Aおよび924Bに設置している「スクラムテスト」スイッチにより実施することになっており、925における操作は行っていないかった。

確認結果：良（励磁電流0.276A）

判定基準：励磁電流約0.3A、操作対象は定期試験要領書どおり

(b) ケーブル

触手により925盤内端子の緩みの有無を確認した結果、緩みはなく、接触状態に問題ないことを確認した。

また、電流測定を実施したところ、当初、電流は0mAであったが、SV12-6の詳細点検を行う過程で、端子箱の蓋を取外そうとしたところSV12-6が励磁状態となった。その後、再度電流測定したところ、SV12-6励磁電流が通常値であることを確認した。925から端子台までのケーブルの導通試験をテスターで実施したところ、導通が確認された。SV12-6のコイル抵抗測定、コイルの導通確認および単体動作確認を行った結果、SV12-6の動作に問題はなく電磁弁機能、端子台から電磁弁までのケーブルおよび925から端子台までのケーブルに異常がないことを確認した。

確認結果：良（励磁電流0.276A）

判定基準：緩みなし、励磁電流約0.3A

(c) サージアブソーバ

電圧確認を実施し、サージアブソーバに異常がないことを確認した。

確認結果：良（両端電圧AC99.1V）

判定基準：サージアブソーバ両端電圧約AC100V

(d) ヒューズ

目視にて断線マーカを確認した結果、異常はなかった。また電流測定の結果についても異常はなかった。

確認結果：良（励磁電流0.276A）

判定基準：断線マーカなし、励磁電流約0.3A

(e) SV12-6

当該事象に関する原因調査を行うため、SV12-6の詳細点検を行う目的から端子箱の蓋を取外そうとしたところ、無励磁状態であったSV12-6が励磁状態となった。

SV12-6が励磁状態に復帰後、励磁電流、コイル抵抗、絶縁抵抗を確認した結果、いずれの値も問題はなく、またSV12-6単体動作試験を行った結果においても良好な動作を確認したことから、電磁弁コイルおよび端子台から電磁弁までのケーブルに断線はなく、電磁弁の機能にも問題はないことが確認できた。

その後、電源を切り離れた後、端子箱内部の端子の緩み確認をしたところ、電磁弁外部配線（白線）端子にガタつきを確認した。

このため、端子の取付け状態を詳細に調査した結果、当該端子を固定しているネジは正規のネジではなく、異なった仕様のものが使われていることを確認した。

端子台と圧着端子を締め付けているネジのピッチが異なっていることから、完全に締め付けを行うことができず、端子台から1.3mm 浮いた状態となっており、厚さ1.1mmの圧着端子を取り付けた状態で、0.2mmの隙間ができることを確認した。

端子の接触状態を確認する目的から、当該端子台、ネジ、同一仕様の圧着端子を用いた模擬回路を作成し、電磁弁通電試験を行った結果、無励磁状態となる事象が再現した。

これらの調査結果で判明した以下①、②の事実から、当該事象はSV12-6のリード線端子が正規のネジにより締め付けられていなかったことにより端子と端子台間に隙間ができたため、接触不良が発生したかあるいは接触抵抗が高い状態にあったことが原因であると推定した。

①原因調査の過程で、無励磁状態であったSV12-6が励磁状態となり、動作した。

②現場の状況を模擬した確認試験により無励磁状態が再現した。

また、SV12-6が励磁状態に復帰したのは、調査のため端子箱の蓋についているネジを緩めたことにより、端子箱の蓋により作用していたリード線への力の状態が変化して、端子の接触状態が変化したことにより非接触状態が解消されたかあるいは接触抵抗が減少したものと推定した。

確認結果：良（励磁電流0.276A、コイル抵抗37.7Ω（20℃換算））

判定基準：励磁電流約0.3A、コイル抵抗35±3.5Ω（at20℃）
電磁弁動作異常なし

b. 原子炉保護系回路異常

(a) 電源

定期試験時に、924Bで、Bチャンネルスクラムグループ”1, 2, 3, 4”のランプが点灯していることを確認しており、Bチャンネル共通の電源は正常であった。

(b) 論理回路

定期試験時に、924Bで、Bチャンネルスクラムグループ”1, 2, 3, 4”のランプが点灯していることを確認しており、共通の論理回路電源が正常であること、および「B-手動スクラム」、「B-自動スクラム」の警報が発生していないことから、誤動作や論理回路の異常ではないと判断した。

c. スクラム弁異常

(a) スクラム弁

制御棒J-10はA1サブチャンネルを動作させると同時に全挿入となったことおよび事象発生時、運転員が全炉心表示器において制御棒J-10のスクラムランプが点灯したことを確認していることから、スクラム弁は正常に動作したものと判断した。

d. スクラム弁用空気系異常

(a) 配管、圧力調節弁

スクラム弁空気圧力低の警報は発生していないこと、また、ガス漏れ検知液を用いて配管、弁に空気漏れの無いことを確認した。

(b) 弁構成

起動に先立って弁チェックシートにより系統構成が正しく行われていることを確認した。

e. 制御棒駆動系 挿入・引抜配管の圧力異常

(a) 挿入差圧発生

定期試験時に制御棒駆動水圧系の警報が発生していないことおよび定期試験時に差圧調整操作を行っていないことを確認した。

(b) ベント操作

原子炉起動以降、ベント操作を行っていないことを確認した。

f. 運転操作

制御棒 J-10 の挿入操作は行われていないことをプロセス計算機の状態変化/操作履歴により確認した。

2. 事象発生メカニズムの推定

原因調査にあたり、少なくとも前回の定期試験（平成21年2月25日）まではSV12-6は励磁状態であった。その後、無励磁となった原因は、調査の結果、仕様が異なったネジを使用していたため、圧着端子を取り付けた状態で、0.2mmの隙間ができたことであると推定している。

従って、SV12-6が励磁状態から無励磁となった期間が推定できれば、その期間に実施された作業等を調査することにより、接触不良が生じた起因事象を推定できるものと考え、SV12-6が無励磁状態となった時期を次の3ケースに分けて、分析・推定した。

ケース1：前回の定期試験（平成21年2月25日）終了後から今回の定期試験前日のサーモラベル確認まで

ケース2：サーモラベル確認から定期試験直前（13時20分頃）※2

ケース3：定期試験直前（13時20分頃）※2以降

※2：温度試験の結果から、50℃のサーモラベルの表示が消えるには約35分を要することが分かっており、また運転員が表示の消失を13時55分に現場にて確認しているため、電磁弁が無励磁になっていた時間は少なくとも13時20分頃までであると推定した。

(1) SV12-6が無励磁状態となった時期の推定

プロセス計算機のトリップシーケンスによると、定期試験による自動スクラム(A)信号は、13時38分33秒に発生している。

一方、状態変化/操作履歴によると、制御棒J-10が全引抜き位置離脱を示す「制御棒ドリフト」警報は、13時38分36秒に発生している。この自動スクラム(A)信号発生時間と「制御棒ドリフト」警報発生時間の差から、SV12-6が無励磁となった時期の推定を次の前提条件を考慮して推定した。

前提条件

①制御棒駆動制御盤（以下、「RMCS」という。）、データ処理計算機警報処理時間および警報出力リレー動作時間：0.43秒

②制御棒J-10動作時間：3.334秒（S53のOFF時間を全挿入時間に設定）（定期検査時（単体スクラム試験）の実測値（2008年4月8日J-10）、実際の全挿入位置のリードスイッチS00は、S53よりも6mm下方に取り付けてあることから、S53のOFFに比べると少し早く動作する。

③プロセス計算機の状態変化/操作履歴印字：小数点以下秒数切捨て

④プロセス計算機の状態変化/操作履歴取込時間：最大0.4秒

⑤今回の定期試験前日のサーモラベル確認では、SV12-6が励磁状態であることを確認した。

⑥13時38分に発生した制御棒J-10全挿入後、13時55分には運転員がサーモラベルの50℃表示が消失していることを確認した。

⑦サーモラベルの温度下降側には15℃の誤差があることから、50℃の表示が消失するのは測定対象の温度が35℃以下まで低下する必要がある。予備の電磁弁で試験を行った結果、50℃から35℃まで低下するには約35分を要することを確認している。

これらの前提条件を考慮してSV12-6が無励磁状態となった時期を推定した。

定期試験前日実施したSV12-6のサーモラベルの確認結果では、50℃の表示を確認していることから、SV12-6が無励磁状態となった時期はケース1である可能性は低いと推定した。

また、予備の電磁弁を用いた温度変化調査では、電磁弁温度が50℃からサーモラベルの50℃表示が消失する温度である35℃まで低下するためには、約35分の時間を要することが確認されており、事象発生約20分後、運転員が現場において、制御棒J-10のSV12-6の50℃表示が消失していることを確認したことから、SV12-6が無励磁状態となった時期が定期試験と同時であるケース3の可能性は低いと推定した。

「制御棒ドリフト」警報はRMCS、データ処理計算機および警報出力リレー動作時間を加味すると、自動スクラム(A)信号後、約3.764秒で発生することから、13時38分36.824秒に発生することになる。

制御棒ドリフト警報は、プロセス計算機の印字処理および信号取込周期を考慮すると、自動スクラム信号(A)発生後、13時38分35.6秒～36.9秒間に発生した警報であれば、13時38分36秒に印字されるものと推定した。

従って、SV12-6が無励磁となった時期は、想定した3つのケースのうち、ケース2であった可能性が最も高いと推定した。

(2) SV12-6が無励磁状態となった原因の推定

SV12-6が無励磁となった時期は、ケース2のサーモラベル確認から定期試験直前と推定した。

この間にSV12-6近傍において実施した運転操作および機器の点検等について調査を行った。運転操作はSV12-6近傍において実施されていなかった。機器の点検に関しては、翌日実施される定期試験前の確認作業として月1回実施しているSV12-5およびSV12-6に貼付けられているサーモラベルの温度表示確認作業のみ実施していた。

当該弁が設置されている場所は狭隘であり作業性が悪いこと、またサーモラベルを確認する際に、当該弁に近接する必要があることから、チェック用のバインダー等が端子箱あるいはフレキシブルチューブ等の構成機器に誤って接触したと推定した。

SV12-6の端子が、正規のネジにより適切に締め付けられている場合は、端子箱あるいはフレキシブルチューブに誤って接触した場合でも、端子部に接触不良が発生し、当該弁が無励磁となることはない。

(3) 事象発生メカニズム推定のまとめ

SV12-6は仕様が異なるネジにより締め付けられており、端子部に0.2mmの隙間が生じていたことから、サーモラベル点検作業時の接触等が起因となり、SV12-6端子のリード線の拘束状態が変化し、端子台と端子の接触状態が瞬時または時間をかけて変化し接触不良の状態となり、SV12-6が無励磁状態となったものと推定した。SV12-6が無励磁となっている状態で、924Aで「A1-スクラムテスト」スイッチを「通常」から「スクラム」位置に操作したため、SV12-5およびSV12-6が同時に無励磁となり、制御棒J-10が誤挿入したものと推定した。

3. 問題点の考察

(1) 作業管理状況

当該部の作業管理の状況について調査したところ、プラントメーカーの作業要領では、取外した部品は全て品名・員数を明記し、紛失防止に努めるとともに、損傷防止を図ることが明記されている。

当社の工事施行管理手順書および工事管理仕様書においても、小物物品は、袋または箱に入れ、整理、保管することおよび分解部品は専用の容器に入れて、清潔な場所に保管するとともに、使用済の消耗品、不要部品は直ちに処理し、必要な部品と混合しないようにすることを要求していることから定期点検時に種々の部品が混合することはない。

SV12-5、SV12-6の取替作業等を施工した協力会社に聞き取り調査を行い、次の基本事項を確認した。

①当該ネジは取替えを行っていない。

	<p>②ネジを外した場合は、袋あるいはパレットに入れ、紛失等がないよう管理している。(第1回定期検査から、パレット管理によりネジの混在、紛失等を防ぐ管理を行っている。)</p> <p>③部品を取替える場合には、プラントメーカーの設計部署に仕様を確認し、プラントメーカー設計部署から部品を受け取るルールとなっている。</p> <p>④万一、ネジを紛失した場合は、電力担当者へ連絡した上で、現場から工場へ検査票(検票)により連絡し、同型のものを調達するようにしている。</p> <p>また、当該弁の保守の状況については、過去実施した第24回、第25回および第26回定期検査において、電線管修理、当該弁取替えのために端子の取外しが行われているが、いずれの場合もネジの取替えは行われていないことを協力会社への聞き取りにより確認した。</p> <p>至近の第27回定期検査では、当該弁は動作確認しか実施しておらず端子の取外しは行っていないことを記録により確認した。</p> <p>第23回以前の当該弁の点検状況を確認したが、過去の定期点検および建設時に正規の仕様のネジを使用して施工されていたかどうかを確認することができなかったことから、仕様の異なったネジが使用された時期を特定することはできなかった。</p> <p>これまで行った聞き取り調査結果を総合して考えると、当該端子箱に関する作業は、取外した部品を作業前の状態に機械的に復旧しているものと推定され、かつこのような作業が継続して実施されてきたものと推定した。</p> <p>ネジを取外した場合、作業要領に基づき最終の締め付け確認が行われているが、この確認作業でも事象を発見することができなかった。この理由については、作業要領書にSV12-6端子取外し作業後の締め付け確認の具体的な手順が記載されていなかったことから、確認作業として作業者がネジの増し締めを行っていたが、ピッチの相違に起因して締め込みが不十分な状態にあったにも関わらず、十分に締め付けられているものと誤認していたことによるものと推定した。</p> <p>以上から、万一、建設時に仕様の異なるネジが使用された場合、第1回定期検査からネジの管理方法は変更していないとの協力会社からの聞き取り調査結果等を考慮すると、運転開始当初から現在まで継続して使用されていた可能性も否定できない。さらに、他の端子箱においても仕様の異なったネジが使用されている可能性についても否定できない。</p> <p>(2) SV12-5, SV12-6の励磁状態確認について</p> <p>現状、SV12-5, SV12-6が励磁していることの確認を弁のコイル部に貼付けたサーモラベルの温度表示により確認を行っている。サーモラベルの温度表示は温度上昇側では±2℃と誤差が小さいが、温度降下側では-1.5℃と大きな誤差が存在していることから、雰囲気温度によっては、正規の温度を表示しない場合がある。</p> <p>すなわち、雰囲気温度がサーモラベルの温度表示リセット温度以下とならない状況では、コイルが無励磁となった場合でも、温度が表示されたままの状態となることから、SV12-6が励磁しているのかどうか確認できない。</p>
保護装置の種類及び動作状況	該当せず
放射能の影響	なし
被害者	なし
他に及ぼした影響	なし
復旧の日時	未定
再発防止対策	<p>1. 再発防止対策</p> <p>点検方法の改善、事例教育・手順書の改訂および根本原因分析を行うことにより、再発防止の徹底を図る。</p> <p>(1) 点検方法の改善</p> <p>a. 監視強化</p> <p>これまでの調査の結果から、他の端子箱でも仕様の異なったネジが使用さ</p>

れている可能性は否定できない。

端子箱の蓋を開放して、ネジおよび端子の取付け状態を確認する方法も考えられるが、当該端子には常時AC100Vの電圧が印加されていることを考慮すると、端子箱の蓋を開放し、ネジおよび端子の取付け状態を確認することにより、地絡、短絡等が発生する危険性も否めない。

従って、以下の方法によりSV12-5およびSV12-6の動作状態について監視強化を行う。

また、4月2日の定期試験実施前には、SV12-5、SV12-6全数についてタッピングおよび温度測定を行い異常のないことを確認した。

今後、プラントは、5月上旬の定期検査まで監視強化を行う。

(a) 端子箱タッピングによる接触状態の確認

今回の事象は、仕様の異なるネジを使用したことに起因した端子の接触不良であり、調査の過程で、端子箱の蓋を外そうとしたところ接触状態が復旧したことから、微妙な接触状態であったことが推定される。

従って、定期試験前には、端子箱を軽くタッピングし、接触状態の確認を行う。

(b) 電磁弁温度測定

電磁弁のコイルの励磁状態を、実際に温度を測定することにより確認する。

従来、定期試験前に一度実施しているサーモラベルによる温度確認を実際に温度を測定する方法に変更することにより精度の向上を図るとともに、測定頻度をあげて実施する。

また、温度測定結果は記録として管理するとともに、定期試験前の温度測定結果については、定期試験実施のための条件とする。

[1号機]

- ・第28回定期検査（平成21年5月上旬開始）まで：毎週1回
- ・定期試験前：1回

b. ネジの管理、締め付け状態の確認の徹底

1号機で使用中の旧タイプの端子箱については、作業性向上を図る観点から、順次、新タイプに交換中である。次回定期検査において未取替品を全数新タイプの端子箱に取り替えを行い、当社社員が最終の確認を実施することおよび確認結果を記録に残すことにより、異なった仕様のネジを使用することがないように管理の徹底を図る。

また、既に新タイプの端子箱への取替えが完了している端子箱50台についても、同様に当社社員によりネジの締め付け状態やネジの仕様等の確認を行う。なお、1号機の当該端子箱については、新タイプの端子箱に交換したうえで、復旧する。

(2) 教育の実施、手順書等の改訂

a. 協力会社も含めて当該事象に関する事例教育を行うことにより、類似事象の再発防止徹底を図る。

(a) 本報告書を用いて、今回の事象概要、再発防止策について説明する。

(b) 今回の事象を踏まえ、今後の工事管理において留意すべき項目、特に仕様の異なるネジが継続して使用されていたことに鑑み、機械的に作業を行うのではなく適正な作業が行われているか、また疑うべき状況はないか等作業を行う段階で、常に作業者が疑問点を持って作業に望んでもらえるにはという観点から、教育出席者で話し合いを行い、作業の重要性の再確認、作業の質およびモラルの向上を図る。

b. 端子の締め付け確認の方法（ネジの締め付けだけでなく、端子に緩みがないことを確認すること）を工事施行管理手順書および工事管理仕様書に明記した。

また、協力会社と行っている作業着手前打ち合わせにおいて、作業に関する再認識および注意喚起を行う。

(3) 根本原因分析の実施

当該事象に関して、仕様の異なるネジが使用されていたことおよび過去行われた作業において、仕様の異なるネジが継続して使用されていたことにつ

いて、当社の不適合管理・是正処置基本要領に基づき、根本原因分析を行うことにより、再発防止の徹底を図る。

2. 水平展開

2号機の全制御棒について、次の定期試験を実施するまでに実際に温度を測定することにより当該弁のコイルが励磁状態であることを確認する。

従来、定期試験前に一度実施しているサーモラベルによる温度確認を実際に温度測定する方法に変更することにより精度の向上を図るとともに、結果は記録として管理する。さらに、定期試験前の温度測定結果については、定期試験実施のための条件とする。

また、至近の定期試験前に当該弁端子箱を軽くタッピングすることにより端子の接触状態に異常の無いことを確認する。

2号機の場合、建設当初から作業性の良いタイプの端子箱が導入されており、1号機の旧タイプの端子箱と比較すると、作業性は改善されていることから端子箱の取替えは行わないが、ネジの取付け状態については、1号機同様、次回定期検査において全制御棒の当該弁端子箱の蓋を開放し、当社社員がネジの取付け状態の確認を行い、確認結果を記録に残す。

再発防止対策の一環として実施する根本原因分析の結果については、今後、プラントの運用・管理に適切に反映する。