

島根原子力発電所 1 号機
高圧注水系の運転上の制限の逸脱について

平成 20 年 8 月
中国電力株式会社

目 次

1. 件名	1
2. 事象発生の日時	1
3. 事象発生 of 電気工作物	1
4. 事象発生時の運転状況	1
5. 事象発生 of 状況	1
6. 原因 of 調査	2
7. 過去 of 知見	5
8. 原因 of 推定	6
9. 再発防止対策	6
添付資料	8

1. 件名

島根原子力発電所1号機
高圧注水系の運転上の制限の逸脱について

2. 事象発生の日時

平成20年8月5日 18時40分
(原子炉施設の故障に伴う運転上の制限の逸脱と判断)
(平成20年8月3日 14時01分運転上の制限の逸脱を宣言)

3. 事象発生の電気工作物

原子炉冷却系統設備
非常用炉心冷却設備 高圧注水系

4. 事象発生時の運転状況

定格熱出力一定運転中

5. 事象発生の状況

(1) 8月3日発生事象について

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ところ, 8月3日14時00分にタービン駆動の高圧注水系(以下, 「HPCI」という。)ポンプ手動起動試験のため, HPCIポンプの起動操作を実施したところ, 14時01分に「蒸気管破断」, 「自動隔離信号」, 「タービントリップ」警報が発生し, HPCIタービン, HPCIポンプが自動停止した。このため, 14時01分に当直長は運転上の制限を満足していない状態であると判断した。(以下, 「LCO逸脱」という。)

なお, 主要パラメータに変動はなく本事象による外部への放射能の影響はなかった。

その後, HPCIポンプが自動停止した原因を調査していたが, 8月5日18時40分にその原因が消耗品の交換や機器の調整により速やかに復旧できない状態であり, 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5号(原子炉施設の故障による運転上の制限からの逸脱)に該当すると判断した。

今回, 事象発生後の調査の結果, 仮設記録計において, 蒸気管破断検出用エルボ差圧計(以下, 「差圧計」という。)でA系, B系共に設定値(68.6kPa)を超える69.83kPaの差圧を検出していることを確認した。

(2) 7月11日発生事象について

7月11日15時00分にHPCIポンプ手動起動試験のため, HPCIポンプの起動操作を実施したところ, 15時01分に「蒸気管破断」, 「自動隔

離信号」,「タービントリップ」警報が発生し, H P C Iタービン, H P C Iポンプが自動停止した。このため, 15時02分に当直長はL C O逸脱状態であると判断した。

「蒸気管破断」警報の要因である蒸気管差圧が発生した原因を調査したが, 発生原因を特定できず, 以下の理由から一過性の事象と判断した。

- ・ 過去の知見として, 蒸気管差圧による誤トリップの可能性は認識していたが, 再現確認試験の結果が良好であったことおよび過去30年間の運転実績からこの可能性は低いと考えた。
- ・ H P C Iの蒸気管破断を検出する回路に仮設記録計を設置し, 事象の再現を確認するためポンプ手動起動試験を実施したが, 事象が再現しなかった。
- ・ 試験において差圧等の蒸気管破断を示すパラメータに異常がなかった。
- ・ 要因分析図に基づき各機器を点検したものの異常は確認されなかった。

またH P C Iの機能は確認できたことから, 7月12日19時10分に「L C O逸脱」を解除した。

原因調査において事象が発生した原因を特定することができず, また確認運転においても再現しなかったため, 監視強化を行う観点からH P C Iの蒸気管破断を検出する回路に仮設記録計を設置して継続監視^{*}していた。

^{*} 7月12日18時45分～7月13日16時頃は仮設記録計を設置せず。
(添付資料-1～5)

6. 原因の調査

(1) 差圧計において設定値を超える差圧が発生した要因分析

要因分析図に従い, 差圧計において設定値を超える差圧が発生した原因を調査した。

a. 蒸気配管および差圧検出配管

以下の調査を行った結果, 原子炉格納容器内外において蒸気配管および差圧検出配管からの漏えいおよび破断は発生していないことを確認した。

- (a) 原子炉格納容器内のパラメータ(露点, 圧力, 温度)が変化していない。
- (b) 原子炉建物のエアモニタ, ダストモニタが変化していない。また, 現場確認において蒸気の漏えい等が確認されない。

b. 差圧伝送器, アナログトリップモジュールおよび論理回路

差圧伝送器およびアナログトリップモジュールの各回路については, 7月11日の事象発生時に計器校正を実施しており, 計器ドリフトの影響はない。

また, A系, B系の差圧計が共に設定値を超える差圧の入力を検出していることを仮設記録計で確認したことから差圧伝送器, アナログトリップモジュールおよび論理回路の誤動作ではないと判断した。

c. 運転操作および制御装置

当該事象が発生したHPCIポンプ起動試験においては、手順書どおりに操作されていること、またタービン主塞止弁（以下、「MSV」という。）、タービン蒸気加減弁（以下、「CV」という。）が動作していることを運転員が確認しており、一連の機器の動作状態から、制御装置に異常は発生していないと判断した。

d. タービン回転数変動

営業運転開始前の昭和48年の試運転時に過大差圧の発生により自動分離したこともありHPCI起動時の過渡的な挙動により、設定値を超える差圧が発生した可能性は否定できない。

今サイクルのHPCI定期試験データを比較したところ、タービン起動直後のタービン回転数がピークに到達するまでの時間が短いことを確認した。

このことは単位時間あたりタービンに流入した蒸気量が多かったことを示している。

上記調査の結果、今回の事象はHPCI起動時に何らかの理由により蒸気流量が通常より過大となり、設定値を超える差圧を発生させたものと推定した。

(添付資料－6)

(2) 蒸気流量が過大となる要因分析

以下の理由により、蒸気流量が過大となる原因はタービン起動直後においてMSVの開速度が上昇したためと推定した。

- a. タービンに流入する蒸気量はMSV、タービン蒸気入口弁、CVの開度により決定されるが、タービン起動直後では、タービン蒸気入口弁の開度は約50%、CVの開度は100%であり、蒸気流量は全閉状態から開動作するMSVの開速度に依存している。MSVの全閉付近での開速度はタービン起動時のタービン回転数上昇率に影響を与えるため、試験時のタービン回転数上昇率と蒸気管差圧(蒸気流量)との関係を確認したところ、試験時のタービン回転数上昇率が速い場合、蒸気管差圧が高くなることがわかる。

(添付資料－7)

(3) MSVの開速度が上昇する要因分析

MSVの開速度が上昇した原因について、要因分析図により調査を行った。

a. MSV

MSV本体のグランド部、スリーブ主弁間それぞれの摺動抵抗の低下、またMSV駆動部である油筒における駆動力の変化、油筒ピストンロッド、油筒ピストンの摺動抵抗の低下により、MSV開速度上昇の可能性があるが、前回定期検査(第27回)におけるMSV作動状況を確認した結果、異常は確認されなかった。

b. 補助油ポンプ

補助油ポンプの吐出圧力上昇によりMSV開速度上昇の可能性があるが、運転圧力に問題は確認されなかった。

c. バランス管ニードル弁

HPCIタービン冷温起動時の影響を緩和するために、第2回定期検査(昭和51年)にMSV外部にバランス管を設置し、ニードル弁によって流量調整している。このニードル弁は蒸気をMSVチャンバ室に供給し、チャンバ室の圧力上昇および圧力低下抑制の機能によりMSV主弁の開速度を適切に維持する働きがある。8月6日の試験(ニードル弁開度5/12回転)と8月7日の試験(1回目:ニードル弁開度0回転)では、タービン回転数上昇率に大きな違いはないが、ニードル弁開度調整実施後の8月9日の試験(ニードル弁開度5/12回転)ではタービン回転数上昇率が小さくなっており、8月6日のニードル弁開度5/12回転の状況では、何らかの影響により、ニードル弁の流路が狭くなっていたものと考えられる。

d. 系統

今運転サイクルはMSVメタル温度が100℃以上あることから定期試験前に暖機運転を実施していない。従って、MSVの上流にあり、通常全閉となっているタービン蒸気入口弁にわずかなシートリークが発生しているものと考えられる。

このようにドレンが滞留し易い状態であり、MSVの開速度の上昇に影響を与えていた可能性がある。

(添付資料-8~10)

(4) 考察

a. MSV内ドレンの影響について

今運転サイクルはドレンが滞留し易い状態であるが、ドレンがMSV開速度に与える影響について考察する。

MSV開速度にはMSVチャンバ室圧力が大きく関っており、チャンバ室へは、バランス管および主弁・スリーブ間隙から蒸気が供給される。この主弁・スリーブ間隙にドレンが滞留した場合、MSV開動作時のチャンバ室圧力が十分上昇せず、MSV主弁を押さえつける力が十分に働かないため、MSVの開速度が高くなる可能性がある。

b. 今まで同様な事象が発生していない要因について

これまでと異なる状況について分析し、今まで同様な事象が発生していない要因について考察する。

(a) タービン蒸気入口弁シートリーク

定期検査後の原子炉起動以降タービン蒸気入口弁にわずかなシートリークが発生しており、この蒸気が凝縮して発生するドレンによる a. の

影響によりMSVの開速度が上昇した可能性が考えられる。

(b) バランス管のニードル弁の開度

第24運転サイクルのニードル弁開度の管理状況を確認した結果、ニードル弁の操作ハンドルの取外しおよび操作禁止を表示し、開度操作できないよう処置していたが、点検・保守は行われていなかった。また、点検実績が確認できなかったことから付着物等による影響でニードル弁に必要な流路が確保されていなかった可能性がある。

(c) 過去の定期検査HPCI機能確認検査記録

上記実績から、第23回定期検査以降に実施したHPCI機能確認検査記録のHPCIポンプ起動直後の第一ピーク流量を確認したところ、第27回定期検査時には過去の検査に比べ第一ピーク流量が高いことおよびピーク到達までの時間が短いことを確認した。これは、今サイクルはHPCIタービン起動時に流入する蒸気流量が他のサイクルに比べて多いことを示している。

c. 確認試験において差圧高事象が発生しないことについて

7月11日および8月3日の事象発生後に確認運転を実施しているが、トリップ事象のような差圧上昇は確認されていない。

a. で主弁・スリーブ間隙にドレンが滞留した場合にMSVの開速度が高くなる可能性があることを示したが、確認試験においては試験間隔が短かった(0~3日)ため、主弁・スリーブ間隙にはドレンはほとんど溜まっておらず、MSVの開速度の上昇は確認されなかったものと考えられる。これに比べ、7月11日および8月3日のトリップ事象では、前回ポンプ起動試験から時間が経過しており(約3~4週間)、この間に徐々に主弁・スリーブ間隙にドレンが蓄積し、MSVの開速度が高くなった可能性がある。

(添付資料-11, 12)

7. 過去の知見

昭和48年の試運転時に、HPCI起動時の過渡的な過大差圧の発生により自動隔離したことがあり、対策を講じている。

また、同様の事象は昭和58年発行のNUREG 0626 A. 3の提言を受けてTMI事故対応BWRオーナーズグループ「ECCSの信頼性向上に関する検討報告書」により対応策が検討されており、すでに知見として得られているものであった。これらの知見はMSVの開速度が速くなることにより、蒸気管差圧による誤トリップが発生するという事象を補うものである。

(1) 事象の現象

HPCIタービンには蒸気供給配管破断検出用としてエルゴ流量計が設置されているが、タービン起動時にMSVが急開することに起因して瞬時過流量が出る可能性があり、それにより圧カスパイクを生じ、誤隔離、誤トリップと

なることがあることが示されている。

(2) 誤隔離防止対策

誤隔離防止対策として、起動時のスパイクを緩和させる対策およびスパイクを計装側でカットする対策を取り上げ、これらを複合的に組み合わせて対応することを推奨している。

- a. 起動時のスパイクを緩和させる対策
 - (a) MSV開方向給油ラインへのオリフィスの設置
 - (b) タービン制御系へのランプジェネレータの設置
 - (c) 制御油系への落油対策
- b. スパイクを計装側でカットする対策
 - (a) 差圧検出回路にスナバー(時定数回路)の設置
 - (b) 隔離系論理回路にタイマーの設置
 - (c) 上記(a)(b)の方法を併用

(添付資料-13)

8. 原因の推定

調査の結果、HPCIタービン・ポンプ起動時に自動停止した原因は、HPCIタービン起動時におけるMSVの開速度を抑制するバランス管ニードル弁の流路が閉塞傾向となり、MSV内に滞留しているドレンとあいまってMSVの開速度が上昇したことから蒸気流量が過大となり、蒸気管破断を検出する差圧計で設定値を超える差圧が発生したものと推定した。

9. 再発防止対策

(1) 過大差圧発生に関する対策

- a. 今回の事象は、バランス管のニードル弁に関して適切な保守管理が行われていなかったことにより流路が確保されていなかったことに起因していると推定しているため、再発防止の観点からニードル弁の開度が適切な状態であることを定期検査毎に確認するとともに定期的に分解点検を実施することをQMS文書で明確に規定する。
- b. 昭和48年試運転時の過大差圧発生事象に鑑み、MSVにバランス管を設置し開速度が上昇することの発生を防止する対策を実施していたが、今回発生したような事象の場合、保守点検が実施されていないバランス管のみの対策ではMSVの速度増加を抑制することができず、結果として安全上重要な設備であるHPCIを誤隔離させてしまう可能性がある。

従って、誤隔離を防止し、安全機能の信頼性を向上させる目的から、他プラントにおいても実施され、実績のある差圧検出器のダンピング回路時定数を併用し再発防止の徹底を図る。

検出器のダンピング回路時定数は、過渡的な差圧上昇を確実に回避し、

かつ蒸気管破断検出の機能が確保できる0.7秒とする。

なお、タービン蒸気入口弁には、わずかなシートリークが発生し、そのドレンが影響を与えていると考えられるが、ダンピング回路時定数を適切に設定することにより、過渡的な圧力上昇を確実に回避できると判断した。タービン蒸気入口弁については、次回定期検査において点検手入れを行う。
(添付資料-14, 15)

(2) 重要なプラントパラメータの監視強化

エルボ差圧についてはHPCI系の信頼性に影響を及ぼすパラメータである。しかし当該パラメータは測定を行っていないことから、次回定期検査までの期間、仮設記録計を設置し、これまでの監視パラメータに加えHPCIエルボ流量計の発生差圧を監視・記録するとともに、類似設備である原子炉隔離時冷却系についても、同様に仮設記録計を設置し、次回定期検査までの期間、エルボ流量計発生差圧の監視を追加して行う。また、これらのパラメータについては、次回定期検査において、過渡現象記録装置に入力する。

MSVメタル温度については、現在、記録として採取する運用となっていないが、今回の事象では当該パラメータが凝縮水の想定等の原因究明にあたり有用な情報となったことから、今後、このMSVメタル温度を含め、エルボ流量計発生差圧以外にも、プラント安全性確保および異常事象発生時の原因究明の観点から、採取・監視した方が良いと評価されるパラメータについて検討し、過渡現象記録装置、記録計、プロセス計算機、警報装置等に入力することにより監視強化およびデータ収集の充実を図る。

(3) 情報共有、技術伝承に関する対策

当社は、昭和48年の試運転時に過大差圧の発生によるHPCIの自動隔離を経験しており、また昭和58年のBWRオーナーズグループ「ECCSの信頼性向上に関する報告書」にも参加している。これらの知見の継承が行われ、技術情報として共有が行われていれば、7月11日にHPCIポンプが自動停止した際、主要因の究明、再発防止対策が実施できたものと考えている。しかしながら、当社は、結果としてこれらの貴重な情報を有効に活用し、事象の再発防止につなげることができなかったことから、今後、根本原因分析を行い、その結果を踏まえ、適切な対策を行う。

また、今後、ニューシアおよび日本BWRオーナーズグループ等を活用し、他事業者と情報の共有を図ると共に、現在、構築中の保全を高度化するためのシステムに情報共有を目的とした知識データベース機能を設け、確実に社内の情報共有、技術伝承が確実に行われるよう当該システムの設計に反映する。

以上

