

原子力プラント停止中における不具合事象の分析

Study of Operating Experiences during Shutdown and Low-power Operation at Nuclear Power Plants

富岡 立行 (Tatsuyuki Tomioka)* 木田 正則 (Masanori Kida)*
 土井 敏弘 (Toshihiro Doi)* 原 信一 (Shin-ichi Hara)*
 松本 英三 (Hidezou Matsumoto)[†]

要約 国内外の原子力発電所における事故経験の中には、プラント停止期間中に発生している事象がみられる。最近、国内外でプラント停止期間中の安全管理について議論が高まってきている。

本研究報告では、現在国内外で運転中の原子力発電所で、これまでに経験した事故情報のデータベースの中から、プラント停止中の不具合事象を検索し、原因を分析することにより、重要事象の再発防止対策を検討する。まず、検索した事象から、分析評価に役立てるために2次データベース (SDBESLO: Secondary Data Base for Events during Shutdown and Low-power Operation) を構築した。次にSDBESLOを利用して、事象の原因分析を行った。その結果、プラント停止中のRCS低水位運転時における炉心の冷却機能に係わる事象が重要であることが明らかとなった。

海外の文献調査および原子力発電所の実態調査を通じて得られた知見をもとに、RCS低水位運転時の水位監視強化等設備面からの改善策、および運転手順書の改善等運用管理面からの改善策を提案する。

キーワード プラント停止、不具合、事故の経験、再発防止、2次データベース、SDBESLO、炉心の冷却、低水位運転、水位監視、運転手順書

Abstract Various kinds of abnormal events have been experienced at commercial nuclear power plants in Japan and abroad, including malfunctions during plant shutdown mode. Recently, controversies concerning plant safety management during shutdown mode has become heated. This report presents information on such events as retrieved from data bases on incidents experienced at operating nuclear power stations in Japan and abroad up to the present. Through cause analysis of these events, various means of preventing the recurrence of similar events were examined. First, the Secondary Data Base for Events during Shutdown and Low-power Operation (SDBESLO) was established from the data retrieved to facilitate cause analysis. Next, through SDBESLO, the causes of each event were analyzed. As the result, it became clear that events concerned with core cooling during low level operation of the reactor coolant system are most significant.

Based on the information acquired from the study of overseas literature and surveys on the actual condition of overseas nuclear power plants, improvements to facilities such as reinforcement of level monitoring and to practical operation such as better operational procedures are proposed.

Keywords plant shutdown, malfunction, accident experience, recurrence prevention, secondary data base, SDBESLO, core cooling, low level operation, level monitoring, operational procedure

* (株)原子力安全システム研究所 技術システム研究所

[†] 関西電力株式会社 若狭支社 安全管理課長

1. はじめに

原子力プラントを起動停止する期間あるいは定期検査のための作業を行っている期間等においては、作業のために系統・機器の構成が通常運転時とは異なる状態になると共に、運転員・保修員の介入する度合いがより多く必要となる。このような停止期間中であっても、プラントの安全性・信頼性が維持されていることが要求される。

我が国においては、幸いにして今日まで大きな不具合は起こっていないが、海外の発電所では幾度かの事故例あるいは前兆となるような事例を経験していることが報告されている。このような海外における不具合事象の経験をうけて、国内外で停止期間中における安全管理について関心が高まってきている。

当研究所においては、この問題に取り組むため、公開情報をもとにして、過去に経験した国内外の不具合事象の調査分析および海外文献の調査・海外の原子力発電所の実態調査を行ったので、その概要を紹介すると共に、プラント停止中の不具合事象の再発防止策について考察する。

2. 不具合事象の調査分析

国内外の原子力プラントで現在までに経験した停止期間中における安全機能に係わる事象について調査分析を行った。調査分析結果の概要を以下に示す。

2.1 事象の調査

2.1.1 情報源

国外の事象は、法律に基づき米国原子力規制委員会（NRC：Nuclear Regulatory Commission）への報告が義務付けられている原子力発電所設置者事象報告（LER：Licensee Event Report）¹ から、一方国内事象は、法律や大臣通達等に基づき通商産業省に報告が義務付けられている事故報告² から、それぞれプラント停止期間中の不具合事象を抽出する。

2.1.2 調査対象期間

国外の事象は、1984年1月から1993年3月の約10年間に報告された事象を、一方国内の事象は、運転開始以降から1992年3月までに報告された事象を調査の対象とする。

2.1.3 調査対象プラント

ウエスティングハウス社（WH：Westinghouse Electric Corporation）型の加圧水型原子炉（PWR：Pressurized Water Reactor）で発生した事象を対象とする。

2.2 事象の分析

2.2.1 2次データベースの構築

プラント停止期間中の不具合事象を調査するため、国外事象については、豊富な情報源である米国LERの中から目的とする事象を抽出して分析評価することとした。LERは、米国NRCが、発電所で発生した事象について文書で報告することを義務付けているものであるが、事象内容の記述については自由記述である。従って事象の進展の解明にあたっては、内容を注意深く解読する必要があり、多量の情報を分析するためには、それに適した形に整理し直す必要があった。そのため、抽出した個々の事象について、事象発生の原因・経緯・対策等に整理するための様式を定め、停止期間中の不具合事象2次データベース（SDBESLO：Secondary Data Base for Events during Shutdown and Low-power Operation）を構築することとした。SDBESLOは、市販のデータベースソフトを使用して作成しており、事象発生の状況・原因・影響等の分類コード付けをすることにより発生事象の傾向把握・重要性評価を容易に行うことができる構成になっている。その一例を図1に示す。なお、国内事象についても同じデータベースにまとめることとした。このデータベース構築には、多大の労力を要したが、以降の分析評価に大いに役立てることができた。

発生日	870410	情報No. : OPE 58-87	トピックID : OE 2031	炉型 : PWR	メーカー : WH	出力 : 1137
ユニット名	Diablo Canyon 2	SER 15-87	IS 665	運開 : 8603	国 : 米	所有者 : PGE

LER 87-005

概要	RHRポンプキャピテーションによるRHRの喪失と炉心沸騰/局所漏洩率試験ラインアップ中、作業員が弁を誤って開いたため、体積制御タンクのレベルが低下し、抽出流量の増加によりRCSレベルが低下
----	--

状況	<p>原子炉容器水位がループ配管中間位置にあり、一次冷却系をベントした状態で、RHRポンプを運転していた。</p> <p>局所漏洩率試験のラインアップ中、作業員が誤ってドレン弁を開いたため、体積制御タンクから一次冷却材ドレンタンクへ漏洩が起こった。体積制御タンクの水位が低下したため、抽出流量を増加した。このため、RCSレベルが低下し、RHRポンプに空気が入り込み、モータの電流が増加したためRHRポンプを停止した。</p> <p>蒸気発生器マンウェイを取り除く作業をしていた作業員の安全が懸念されたため、水位の回復に手間取った。運転員が炉心加熱速度を過小に評価したこともあり、余熱除去フローを再確立する前に、炉心内は沸騰状態に達した。原子炉容器蓋と加圧器を連結しているタイゴンチューブが破裂し、蒸気が漏洩した。</p>	<p>プラントモード：〔5〕低停</p> <p>発生分類：〔4〕試験</p> <p>安全機能分類：〔7〕炉心冷却</p> <p>機器：RHRポンプ</p> <p>機器分類：〔11〕ポンプ 設備分類：〔13〕非常用冷却</p> <p>影響分類：〔90〕-</p> <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <tr> <td>冷却材漏洩</td> <td>人身障害</td> </tr> <tr> <td>放射能放出</td> <td>異常被爆</td> </tr> </table>	冷却材漏洩	人身障害	放射能放出	異常被爆
冷却材漏洩	人身障害					
放射能放出	異常被爆					
原因	<p>作業員が、誤って隔離してあったドレン弁を開いたためである。この弁は、設定された区域内にあったため、制御室に通知なしで、弁操作された。</p>	<p>機器：ドレン弁</p> <p>機器分類：〔13〕弁 設備分類：〔13〕非常用冷却</p> <p>内容：作業員が誤って弁操作</p> <p>原因分類：〔6〕管理 HF分類：〔0〕</p>				
対策	<ol style="list-style-type: none"> RCSミッドループから余熱除去ポンプへの空気の混入を引き起こさないためのRCS水位を保持する。 原子炉容器の水位が正確でないため、ホットレグに水位計を追加装備する。 余熱除去フロー喪失後の加熱率の閾値を運転手順書に取り入れる。 原子炉容器蓋を取り除く寸前まで、炉心熱電体を取り付けたままにしておく。 手順書の改訂 	<p>〔備考〕</p> <p>対応項目：1.1 b</p>				

図 1 プラント停止期間中の不具合事象調査票

2.2.2 事象の分類

停止期間中の不具合事象 2 次データベース (SDBESLO) では、事象の類似性を明確にし要因分析に役立てるための分類を付加した。

1. 安全機能分類

停止期間中の不具合事象を原子炉施設の安全機能別に分類するため、発電用軽水型原子炉施設の安全機能の重要度分類に関する審査指針に従って、炉心冷却機能 (炉心冷却)、電源系・補機冷却系等の安全上特に重要な関連機能 (関連機能)、燃料の安全に係わる機能 (燃料安全)、未臨界維持機能 (未臨界)、原子炉冷却材圧力バウンダリ機能 (バウンダリ)、原子炉の緊急停止機能 (緊急停止)、放射性物質の閉じ込め機能 (閉じ込め)、放射性物質の貯蔵機能 (貯蔵)、その他に分類する。

2. 波及機器設備分類

事象が波及した機器設備に分類する。

3. 原因機器設備分類

事象発生の原因となった機器設備に分類する。

4. その他の分類

上記の他、事象発生時のプラントモード、運転・試験・作業別 (発生分類)、放射能放出・人身被曝等の影響分類および人的要因 (HF分類) 等を付加する。

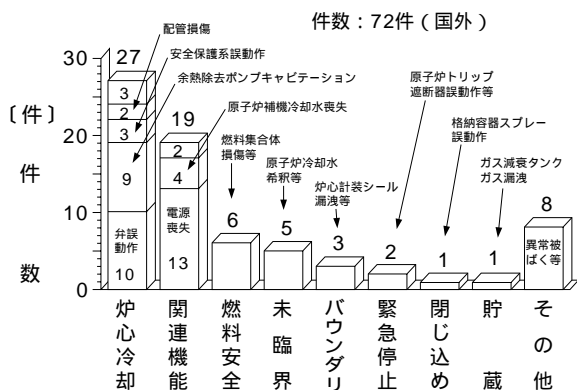


図2 停止期間中不具合の発生状況 (国外)

2.3 事象調査結果

2.3.1 国外事象

過去約10年間におけるLER情報の中から、プラント停止期間中における主要な不具合事象として、72件を抽出した。これら72件の発生状況を安全機能別に分類した結果を図2に示す。

弁の誤動作・余熱除去ポンプのキャビテーション等炉心冷却に係わる事象が27件、電源の喪失・原子炉補機冷却水の喪失等関連機能に係わる事象が19件発生しており、全体の64%を占めるこれらの事象は安全上重要な事象として看過できない。燃料安全・未臨界・バウンダリ等その他の安全機能に係わる事象の発生も数件認められる。

2.3.2 国内事象

これまでに提出された国内プラントの事故報告の中から、停止期間中の不具合事象を安全機能別に分類したものを図3に示す。

原子炉冷却材ポンプ (RCP) シール異常・弁の動作不良等炉心冷却に係わる事象が12件 (34%) と最も多く発生している。次に燃料移送装置不調等燃料安全に係わる事象が8件、炉心計装シール漏洩等バウンダリに係わる事象が7件発生している他、関連機能・緊急停止・閉じ込め等の安全関連機能に係わる事象も数件認められる。

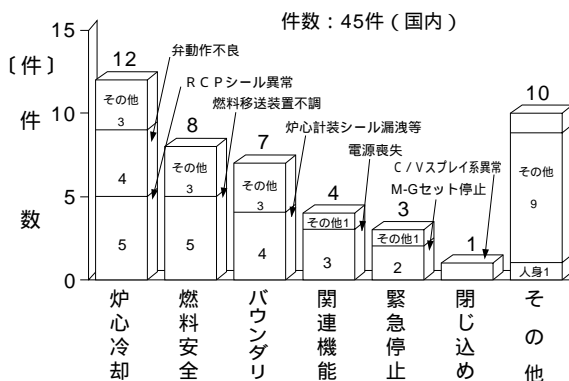


図3 停止期間中不具合の発生状況 (国内)

2.4 事象の分析

2.4.1 国外事象の分析

抽出した72件の国外事象の内、図2に示す安全機能別分類で最も多い炉心冷却27件について、事象発生の原因分析を行う。

図4に示すとおり、操作ミス等による弁誤動作10件、原子炉冷却系統(RCS)のループ水位監視不適切等による余熱除去ポンプキャビテーション9件の他、インバータ故障等による安全防護系誤動作、ウォータハンマによる配管損傷等が数件みられる。

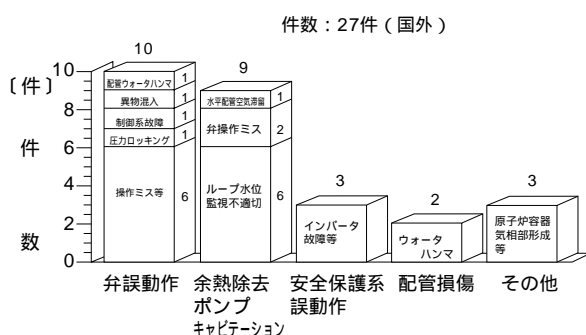


図4 炉心冷却に係わる不具合の原因(国外)

弁誤動作 プラント停止期間中においては、主として余熱除去系統が炉心冷却に重要な役割を果たしている。海外の不具合事例をみると、余熱除去ポンプ入口弁誤閉止による流路閉塞、あるいは余熱除去系入口逃がし弁の誤開や燃料取替用水タンクへの連絡弁の誤開による冷却材の流出等、弁誤動作により炉心冷却機能に影響する事象が10件発生している。これら弁誤動作の主要な原因は、

1. 操作ミス等 : 6件
2. 圧力ロッキング : 1件
3. 制御系故障 : 1件

等である。

操作ミス等について、さらに詳しくみてみると、余熱除去系ラインアップ時の不注意な弁操作、安全防護設備の動作試験時の手順誤りによる余熱除去ポンプ入口弁の閉止等がみられる。

停止期間中においては、機器の機能試験、保守点検、修繕等種々の作業が輻輳して実施されることから、余熱除去系統の機能に関連する作業については、

手順書を確実に作成し注意深く管理することが肝要である。

余熱除去ポンプキャビテーション プラントを停止して蒸気発生器等の作業のため、RCSを開放する時に、水位をRCSループの中間まで下げて、炉心の冷却と作業を並行して進める運転状態をミッドループ運転という。この時の系統構成を図5に示す。

ミッドループ運転時に、水位を下げすぎて余熱除去ポンプの吸い込み水頭が不十分になり、空気がポンプに巻き込まれることによりキャビテーションを起こしたため、ポンプが損傷し炉心冷却機能が損なわれる事象が9件発生している。これらの中には、水位の回復に手間取ったため、炉心が沸騰状態に至り、原子炉と加圧器を連結していたタイゴンチューブが破損して蒸気が漏洩した事例がみられる。

これらの水位過剰低下による余熱除去ポンプキャビテーション事象の主要な原因として以下のものがあげられる。

1. RCSループ水位監視不適切 : 6件
2. 弁操作ミス : 2件
3. 水平配管の空気滞留 : 1件

RCSループ水位監視不適切の原因をさらに踏み込んでみると、RCSループ水位計取り出し位置が余熱除去系統吐出管近傍にあり、流量により水位指示が不正確であったもの、あるいは水位計取り出し位置がループの低温側にあり、余熱除去ポンプ吸い込み位置が異なったループの高温側にあったため水位指示が不正確であったもの、あるいは上部炉心構造物設置状態のまま原子炉キャビティ水位を目視監視する運用をしており、原子炉キャビティ水位と炉心水位に差があることに気づかなかつたもの、あるいはRCSループ水位計取り出し配管がクラッドにより部分閉塞していたもの、および加圧器ベントに仮設フィルタが取り付けられたままになっていたため差圧指示に誤差が含まれたもの等が明らかとなった。

ミッドループ運転中は正確な水位監視が要求される。水位監視の信頼性をより向上させるとともに、水位測定方法に多様性を持たせて潜在的な誤認を防止することが必要であろう。

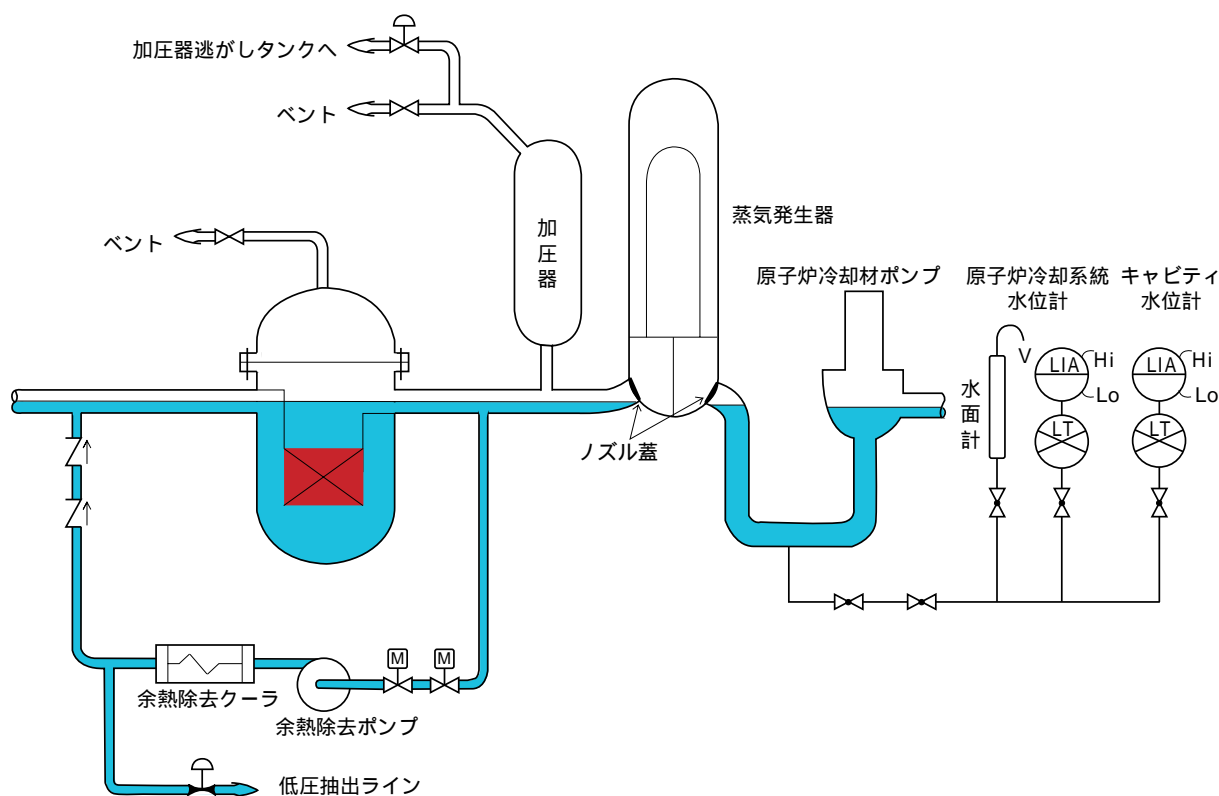


図5 ミッドループ運転時の原子炉冷却系統構成図

2.4.2 国内事象の分析

抽出した45件の国内事象の内、図3に示す安全機能別分類で最も多い炉心冷却12件について事象発生の原因をみると、原子炉冷却材ポンプ(RCP)の分解組立時に異物が混入したことによりシール異常になったもの5件、あるいは定期検査中の保守不良により、弁の開閉試験時に動作不良を発見したもの4件等である。

これら不具合が発生した機器は、いずれも炉心冷却機能を持つものであるが、不具合発生の時点で炉心の冷却に使用されていたものではなく、海外の事例にみられるように、炉心冷却系統の閉塞あるいは冷却材の流出等、炉心の冷却に直接影響を及ぼしたものは見られなかった。

3. 海外文献調査

海外の原子力発電所において、停止期間中のミッドループ運転時に原子炉冷却系のインベントリが減

少する事故が発生した。この事故に対して、米国NRCは、ミッドループ運転を行う電力会社に対して、発電所設備や運用手順面での様々な問題を検討することを求める一般書簡「崩壊熱除去の喪失」(GL-88-17)⁴⁾を発行した。その後、停止期間中の作業の不手際から外部電源が喪失するという事故が発生したため、停止期間中に発生するこの種の事故が、これまでに理解されていた以上のリスクをもたらすことが確認された。

この問題に対して、米国NRCは「原子炉の停止時および低出力運転時における安全上のリスク評価プログラム」を実施し、検討すべき技術的課題を抽出すると共に、評価結果を記述した報告書「米国の商用原子力発電所における停止および低出力運転」(NUREG-1449)⁵⁾を発行した。更に、米国原子力発電事業者管理資源委員会(NUMARC)は、NRCの評価結果を受けて、「停止時管理の評価活動に関する電力業界向けガイドライン」(NUMARC 91-06)⁶⁾を作成した。

一方、フランスにおいても、停止時のリスクについて検討し、その結果を「停止時リスクを未然に防止する方法」⁷⁾として公表すると共に、停止時リスクを許容レベルまで低減するため、運転手順の改訂、教育訓練の充実、監視・防護の手段の改善等積極的な対応が図られている。

以上の他、数編の海外文献⁸⁾⁹⁾を合わせて調査し、プラント停止期間中の安全管理に関する改善策としてまとめた結果を以下に示す。

1. プラント安全設備管理状況の周知

原子炉冷却系（RCS）低水位運転およびミッドループ運転時は、定期的に安全設備の管理状況を点検し安全上支障がないかを確認すると共に、運転員等関連箇所に点検結果を周知する。
2. プラント停止期間中の管理・監視システム

プラント停止期間中の確実な運転管理・設備管理のため、プラントパラメータ、系統状態および設備の待機状態を集中表示する管理・監視システムの開発・導入を検討する。
3. 協力会社および自社の関係者に対するプラント停止時の安全教育

RCS低水位運転・ミッドループ運転時における炉心冷却設備およびその運用操作の重要性を徹底するため、関係者への安全教育を実施する。
4. RCS水位検出配管の強化

水位検出配管として、金属配管の使用および適正な勾配維持管理により、検出配管内の空気たまりを排除し、水位計誤指示を防止する。
5. 余熱除去ポンプ入口配管渦発生検知システム

入口配管渦発生検知システム等、余熱除去ポンプのキャピテーションを即時に検知する方法について検討する。
6. 余熱除去系の弁の弁体固着の検討

余熱除去系電動弁の圧力ロッキングまたはサーマルバインディングによる弁固着防止について調査検討する。

4. 海外実態調査

日本では、幸いにして停止期間中に炉心の冷却に直接影響するような事象は発生していないが、海外では幾つかの事例がある。海外の発電所では、これまでの経験事例に基づき、種々の対策がとられてきている。我が国における停止期間中の安全管理の一層の向上策を検討するにあたり、海外の先例を参考とするため、欧米の実態を調査することとした。

米国およびドイツ・フランス・ベルギーの各発電所への訪問調査結果から得られた項目のなかで、参考となるものを以下に列挙する。

1. ミッドループ運転の制限

ミッドループ運転の期間を制限する努力がなされており、例えば、ドイツではミッドループ運転が5日以上長期にわたる場合は、規制当局に認可を受けることにしている。また、フランスでは、炉心の崩壊熱が減衰するまでの一定期間、一次系の開放を禁止している。
2. 教育・訓練の実施

ミッドループ運転時の安全管理の重要性を発電所関係者（協力会社の作業員を含む）および運転員に周知徹底している。例えば、米国では、運転員に対して、過去の事例評価や事故想定訓練の実施。フランスでは、ミッドループ運転時のコンピュータ支援プログラムの活用など積極的な対応がみられる。
3. RCS水位計および炉心温度計の充実

RCS水位計の多重化、特に、超音波水位計の導入が図られている。また、プラント停止中の炉心温度の連続測定についても積極的に対応しているところがある。
4. 余熱除去ポンプ吸い込み状態の検知装置設置

フランスでは、圧力・流量等のパラメータの連続監視により、RCS低水位時の余熱除去ポンプ空気吸い込みの兆候を検知する装置を設置する計画が進行している。

5. 運転手順書の充実

ミッドループ運転時の監視パラメータの記録の義務付けや、RCS水位計測値のクロスチェックの実施およびRCS低水位運転時に必要な物理データの整備充実等を行っている。

6. 安全管理および作業管理体制の充実

ミッドループ運転時の運転・保守間の緊密な情報交換や、安全管理スタッフによる作業状況のチェック等、RCS低水位運転時の安全管理の重要性を互いに認識して作業する体制の確立を図っている。

5. 調査結果の考察

以上の調査結果から、国内プラントの停止期間中の安全管理の向上を目指して、炉心冷却機能に係わる改善提案項目について考察する。

1. 余熱除去ポンプ異常検知システムの導入

海外のプラントにおいては、余熱除去ポンプの各運転パラメータ（電流・出入口圧力・流量・振動等）について、絶対値の変化・ハンチング等を監視することにより、余熱除去ポンプへの空気混入の兆候を検知する努力が続けられている。国内のプラントにも導入を検討するべき項目の一つであると思われる。

2. RCS水位計強化

RCS水位計強化策として現在検討されている加圧器気相部との連通に加え、下記の強化策を検討することが望ましい。

(a) 差圧式水位計検出配管（およびタイゴンホース）の強化

RCS低水位運転・ミッドループ運転時の水位管理値はcmオーダである。検出配管内に微量の気体が存在していれば

水位誤指示の原因となる。RCS低水位運転・ミッドループ運転の開始に先立ち差圧式水位計の検出配管を使用する際に、検出配管内の空気が液体と容易に置換されるように、検出配管は充分大きな金属配管とし、また水平部分は正確な勾配を保持して布設されることが望ましい。

また、RCS水位が上昇して、加圧器サージ管が水没した時のように加圧器と原子炉の圧力が相違する時においても正確な水位の確認を可能とするため、水位計気相部検出配管の接続先を、加圧器あるいは原子炉容器および大気開放に任意に切り替えが可能のように考慮することが望ましい。

(b) 超音波水位計の併用

差圧式水位計の測定値は冷却材温度・温度差、RCS系統内の圧力差・ガス部の存在、余熱除去ポンプ流量・運転ループ、水位計検出配管接続箇所等により異なる。RCS実水位の測定に有効であると評価されている超音波水位計の併用が望ましい。

3. 余熱除去系の電動弁固着対策

余熱除去系電動弁に関して、海外において、圧力ロッキング（系統圧力降下後もボンネット内に高圧力が残り、開弁時に大きなトルクを必要とする）または、サーマルバインディング（液体の熱膨張によりボンネット内が高圧力となり開弁時に大きなトルクを必要とする）による弁固着事例を経験している。重要系統に使用している電動ゲート弁について、これらの事象が発生する可能性について調査・検討する必要がある。

4. 電動弁の高流速状態での実証確認

海外の停止期間中の不具合事例として、補助給水系の電動隔離弁が閉止不能のため、蒸気発生器が満水となった事例がみら

れた。重要な電動弁について、高流速状態での適正な駆動トルクを実証確認する必要がある。

5. 運転手順書の改善

運転手順の中で考慮すべき注意事項を整理する。

(a) 余熱除去ポンプの運転

RCS低水位運転・ミッドループ運転時は、RCS水位に見合った流量に調整し、過大流量による余熱除去系へのガスの混入を防止すると共に、余熱除去ポンプの各運転パラメータの監視を強化する。

(b) RCS水位計

冷却材の温度補正等、差圧式水位計の指示値補正について考慮すると共に、各種水位計（遠隔水位計、タイゴンチューブ水位計）の水位指示値が一致するように管理することおよび重要ポイントでのクロスチェックを実施する等の配慮が重要である。

(c) 炉心温度の監視

原子炉容器上蓋を取り付けた状態のときは、炉心温度計を使用状態にしておくと共に、温度計使用ができない状態の時には、炉心冷却機能喪失に備え、炉心温度の評価データを準備しておくことが肝要である。

(d) RCS開口部

RCS低温側の開放時には、事前に高温側の開口部を確保しておくこと、またRCS各部の開放時は、水位計測に影響を与えるので、1ステップ毎に厳重に水位監視すること等が必要である。

(e) RCS低圧満水運転

RCS低圧満水運転では、原子炉容器頂部・蒸気発生器細管内にガスが蓄積する可能性があることに注意する。

(f) トラブル防止

原子炉キャピティ水抜き時は、キャ

ピティ水面とRCS水位に差が発生する可能性があることに注意を要する。また、原子炉冷却材ポンプ起動時の純水塊による反応度変化にも注意を要する。

(g) トラブル時の対応

炉心冷却機能喪失時のRCS冷却材沸騰および炉心露出までの時間を事前に評価しておくこと、また機能喪失時の冷却水補給の代替手段を考慮しておくこと等が肝要である。

6. 炉心冷却設備・関連設備の管理

RCS低水位運転・ミッドループ運転時には、炉心冷却に必要な設備（安全注入設備・冷却材補給設備を含む）および関連設備（補機冷却設備・海水設備・電源設備等）について、明確な基準に基づく管理運用が不可欠である。

7. 原子炉停止時の安全教育

RCS低水位運転・ミッドループ運転での設備管理の重要性を徹底するため、プラント停止時に事前に安全教育を実施する。

8. 弁ラインアップミス

国外において、余熱除去系統に係わる弁のラインアップミスによる冷却系統の閉塞あるいは冷却材の流出等の事例が多く発生している。これらには、手順書の不備・不完全に関連して発生した人的要因が原因したものが多かった。国内においては、余熱除去系に係わるこの種の事象は発生していないが、運用管理上注意をするべき事象である。

9. プラント停止期間中の管理・監視システムの開発

プラント停止期間中は各種作業が輻輳するため、的確に管理・監視が行えるシステムが必要と思える。停止期間中のプラントパラメータおよび系統の状態を集中表示し、同時に設備の運転・待機状態をも確認できるシステムの開発による信頼性向上が望まれる。

6. まとめ

原子力発電所においては、プラント停止中といえども燃料が原子炉内にある状態では、崩壊熱除去のために冷却機能が確保されていることが必要である。海外で経験した不具合事象をみると、停止期間中の作業の一環として原子炉冷却システムの冷却水保有量が低下している状態では、特に冷却機能確保に留意した運用管理が必要であることが認められる。作業のために冷却機能確保に必要な設備・機器を供用から除外することは、冷却能力を喪失させる可能性を増大させるばかりでなく、事故緩和のための運転操作の選択肢が少なくなることにもなる。停止期間中には種々の作業が実施されることから、一定出力の運転状態と比較して機器や系統の状態に注意を集中することが、より煩雑な状態になっていることと推察される。このような観点から、プラント停止期間中の安全管理の問題を重要課題として検討した。

今回実施した国内外の原子力プラントで、過去に経験した停止期間中の不具合事象の調査分析および海外文献調査、海外の原子力発電所への訪問調査による停止期間中の安全管理の実態分析評価の結果から、国内プラントの安全管理向上に参考になると思われる改善提案項目を以下にまとめる。

1. 設備面からの改善提案項目

- (a) 余熱除去ポンプ異常検知機能強化
- (b) RCS水位計の強化
- (c) 炉心温度連続監視方法の検討
- (d) 余熱除去系電動弁の固着対策
- (e) 電動弁の高流速状態での機能確認
- (f) プラント停止期間中の管理・監視システムの開発・導入

2. 運用面からの改善提案項目

- (a) 運転手順書の改善
- (b) RCS水位計の管理徹底
- (c) 安全管理要領書の充実
- (d) 安全教育の充実
- (e) RCS内の純水塊対策

(f) 緊急時のCV隔離方法の検討

以上の改善提案項目については、容易に実施に移せるもの、長期の技術開発・実証試験が必要なもの等が含まれているが、可能な限り国内の原子力発電所の運用管理に反映検討されることにより、原子力プラント停止期間中の安全性向上に寄与することができれば至高の喜びである。

参考文献

- (1) Code of Federal Regulation (CFR) Title 10 Part 50.73(a)(2)(iv)
- (2) 電気事業法第106条、電気関係報告規則第3条、原子炉等規制法第67条、実用発電用原子炉の設置・運転等に関する規則第24条第2項
- (3) 発電用軽水型原子炉施設の安全機能の重要度分類に関する審査指針, 1990.8.30, 原子力安全委員会決定
- (4) Loss of Decay Heat Removal (GL-88-17), 1988.10
- (5) Shutdown and Low-Power Operation at Commercial Nuclear Power Plant in the United States (NUREG-1449), 1993.9
- (6) Guidelines for Industry Actions to Assess Shutdown Management (NUMARC 91-06), 1991.12
- (7) How to Forestall Shutdown Risks, RGN International Edition - Vol.A -, 1992.6
- (8) Residual Heat Removal Experience Review and Safety Analysis Pressurized Water Reactor 1982 - 1989 (NSAC-156), 1991.8
- (9) Special Study, "Operational Data Analysis of Shutdown and Low Power Licensee Event Reports" (AEOD/S93-5), 1993.4