

美浜発電所 3号機 二次系配管破損事故について

関西電力株式会社

平成17年3月

目 次

はじめに	1
第1章 体制と進め方	
1. 検討の体制	2
2. 検討の進め方	3
第2章 事故発生の状況	
1. 事故発生時のプラント状況	5
2. 周辺環境への影響	6
3. 被災者の状況および初動対応	6
第3章 事故発生時のプラント状況に関する検討	
1. 運転パラメータおよび運転操作	8
2. プラントの挙動	8
第4章 配管破損メカニズムに関する検討	
1. 配管破損メカニズムの特定	10
2. 試験・解析によるエロージョン/コロージョン評価	14
3. 検討結果	15
第5章 事故による設備への影響検討と今後の対応	
1. 事故時の状況の推定	16
2. プラントの安全停止に係る設備への影響調査結果	17
3. 設備影響調査結果を踏まえた今後の対応	18
4. 復水配管の復旧	18
第6章 2次系配管肉厚管理に関する評価と今後の対応	
1. これまでの2次系配管肉厚管理に関する評価	20
2. 当社の管理指針の充実	21
3. 2次系配管肉厚管理のさらなる充実に向けて	22
第7章 2次系配管肉厚管理システムに関する検討と対策	
1. 要因の抽出と対策検討の進め方	23
2. 要因の抽出結果	24
3. 2次系配管肉厚管理業務に反映すべき品質保証上の対策	28
4. PWR管理指針の的確な運用	34
5. 労働安全活動に反映すべき対策	34

第8章 事故再発防止対策の保全業務への水平展開	
1. 業務の計画と体制	37
2. 調達管理	37
3. 情報の共有	38
4. 教育の充実	38
5. 監査の強化	38
6. 労働安全活動	39
7. 高経年化対策	40
8. 地元からの信頼回復	41
第9章 対策の確実な実施とフォロー	42
おわりに	43

はじめに

当社は、平成16年8月9日、美浜発電所3号機において2次系配管の破損事故を発生させました。この事故により、5名の方が尊いお命を亡くされ、6名の方が重傷を負われました。被災者、ご遺族、ご家族の皆様、改めて深くお詫びを申し上げますとともに、亡くなられた方々のご冥福を心からお祈り申し上げます。

また、日頃から発電所の維持運営にご協力をいただいている協力会社の皆様や、美浜町、地元の自治体、福井県、隣接の府県の皆様、さらには、国をはじめ各方面の皆様にご迷惑をおかけするとともに、広く国民の皆様にご不安を与え、ご心配をおかけしたことを、改めて深くお詫び申し上げます。

今回の事故後、社長は、直ちに「二度とこのような事故を起こさないため、徹底した原因究明と再発防止策に全社をあげて取り組む。」とのメッセージを発し、全役員・全従業員一丸となって、信頼回復に向けて取り組んでまいりました。

平成16年9月27日には、原子力安全・保安院から『美浜3号機二次系配管破損事故に関する中間とりまとめ』（以下「中間とりまとめ」という）が公表され、当社も、「直ちに実施する対策」に加え、「当面とるべき対策」などをとりまとめ、国、福井県、美浜町をはじめ、各立地町、近隣の自治体にご報告申し上げます。

このたびの事故の直接的な原因は、すでに昨年9月の原子力安全・保安院の『美浜3号機二次系配管破損事故に関する中間とりまとめ』の中で、「関西電力、三菱重工業、日本アームの3者が関与する2次系配管の減肉管理ミス」によって、「要管理箇所が当初の管理リストから欠落し、かつ、事故に至るまで修正できなかったこと」とご指摘いただいておりますように、当社の2次系配管肉厚管理に関する品質保証システムや保守管理システムの整備が不十分であったため、本来管理されるべき部位が、当社の管理する対象から漏れて、長年そのまま管理されず、ついには、当該部位が破損して高温高圧の蒸気が噴出し、重大な人身事故に至ったものであります。

当社は、設備を設置、運営管理する者として、管理されるべきものが管理範囲外におかれていることを修正できず、重大な事故に至った責任を痛感いたしますとともに、二度とこのような事故を起こしてはならないとの強い決意のもと、これらシステムの見直しを喫緊の課題として取り組み、再発防止対策を検討してまいりました。原因の究明、対策の検討にあたっては、過去の業務プロセスを詳細に調査いたしました。そこから抽出された要因に応じ、必要部位についてはすべて当社管理範囲内に取り込み確実に管理する等の2次系配管肉厚管理に関する対策、労働安全活動の充実等の対策、ならびに、2次系配管肉厚管理業務に関する対策のうち保全業務品質向上の観点から、業務全般に反映すべき対策をとりまとめ、事故発生以後、当社がこれまで取り組んでまいりました原因の調査・検討の内容とあわせ、ここにご報告申し上げます。

第1章 体制と進め方

1. 検討の体制

社長は、事故後直ちに全社をあげて事故への対応に取り組むことを決定し、その拠点として、自らを本部長とする「非常災害対策本部」を設置し、関係箇所への指示、事故情報の連絡や報道発表等の対応を行なうこととした。

平成16年8月17日、事故原因の究明、事故再発防止対策の検討を行なうため、「美浜発電所3号機事故対策委員会」(以下「事故対策委員会」という)を設置した。また、その下部に、配管破損メカニズム等事故に関する技術的、物理的な側面以外の原因究明に焦点をあて、事故に至るまでの事実関係を社内第三者の立場で調査する「専門調査部会」を設置し、調査を開始した。同年9月2日、この専門調査部会を、原子力関係者以外の委員で構成する、より独立性を高めた、「美浜発電所3号機事故原因検証委員会」(以下「原因検証委員会」という)に改め、原因検証委員会の下部検討組織として「事故原因検証ワーキンググループ」を設けた。

同年8月27日には、現行の保全体制の課題を整理し、保全業務の高度化を目指すために、社外の専門家も参画する「原子力保全機能強化検討委員会」(以下「保全機能委員会」という)を設置し、「事故対策委員会」ならびに、「原因検証委員会」からの検討結果の報告を受け審議を行なうこととした。

「保全機能委員会」には、調査・検討の客観性を確保する観点から、原子力部門以外の委員も参加しているほか、社外有識者として、品質管理、法律、原子力の専門家に委員としてご就任いただき、調査・検討の方法や評価、対策の立案に対して幅広くご意見をいただいた。

(開催実績：保全機能委員会9回、事故対策委員会6回、原因検証委員会4回)

なお、従来から社内にて設けている「品質・安全委員会」にも適宜報告を行ない、客観的な指導・助言を得ることとした。

これらの委員会の体制を図1に示す。各委員会の役割は次のとおりである。

(1)「原子力保全機能強化検討委員会」

保全機能強化という観点から、検討の方向性を「事故対策委員会」および「原因検証委員会」に示し、必要な指示を与える。検討結果の報告を受け、事故の直接的な要因、背景となる間接的な要因を踏まえた再発防止策および原子力保全業務全般の高度化対策を立案する。

さらに、本委員会独自に協力会社、メーカ、当社内、社外有識者等に聞き取り等の調査を行ない、結果を対策に反映するとともに、必要に応じて全社展開すべき対策を社長に進言する。

(2)「美浜発電所3号機事故原因検証委員会」

技術的、物理的側面以外の原因に焦点を当て、事故に至るまでの事実関係の調査・検証を行なう。その結果を、「保全機能委員会」に報告し、必要な指示を受ける。

(3)「美浜発電所3号機事故対策委員会」

「保全機能委員会」から指示を受け、2次系配管の破損メカニズムに関する技術的・物理

的側面に関する検討を行なう。さらに、「原因検証委員会」の調査結果から、直接的要因と背景となる要因を抽出し、対策の検討を行なう。

その結果については、「保全機能委員会」に報告し、必要な指示を受ける。

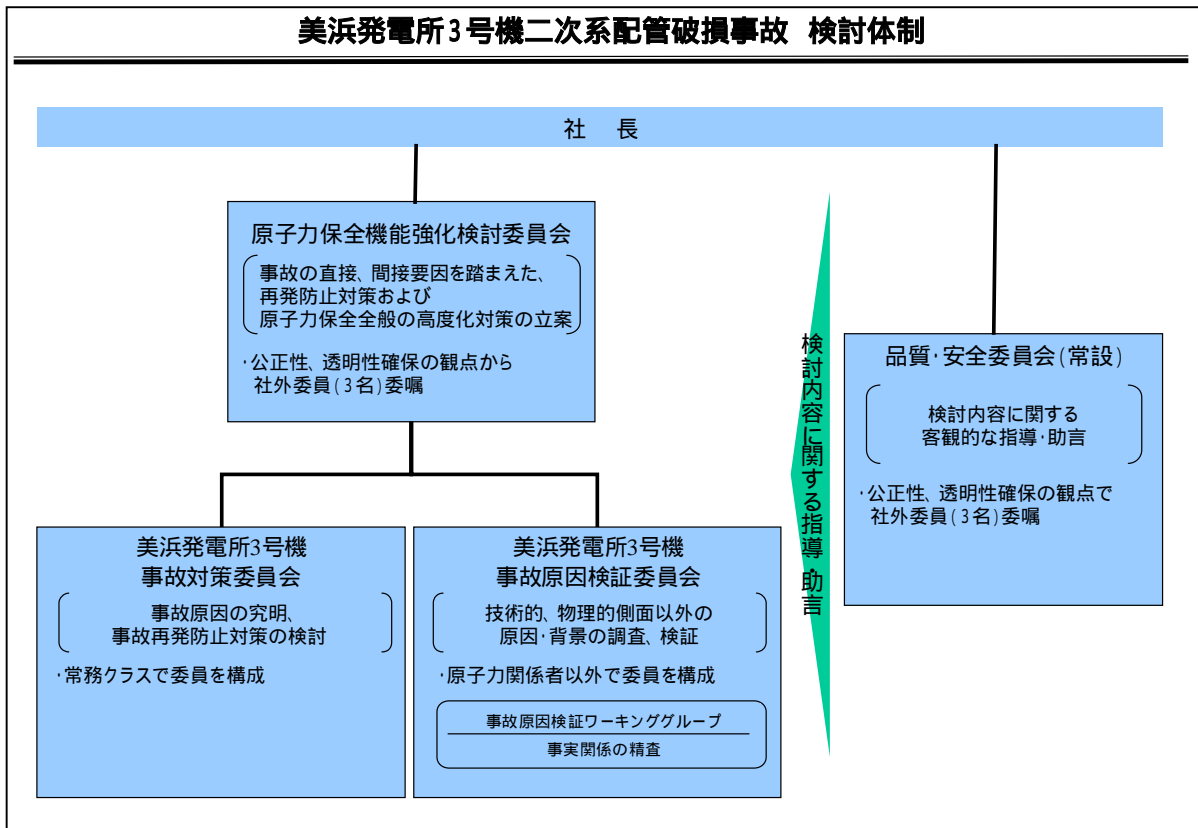


図 - 1

2. 検討の進め方

当該破損部位の破損のメカニズム、および、その部位が事故発生時点まで肉厚測定されなかったのはなぜか、の2点から検討を実施した。

破損メカニズムについては、現場調査の確認結果を踏まえて、F T図を用いて破損に至る可能性を列挙した上で、その一つ一つについて技術的検討を実施した。

破損部位が事故発生時まで肉厚測定されなかったことについては、事実関係の調査結果に基づき、原因の検討を進めた。

まず、「要管理箇所(当該オリフィス下流部)が当初の管理リストから欠落し、かつ、事故に至るまで修正できなかったこと」について、「原子力設備2次系配管肉厚の管理指針(PWR)」(以下「PWR管理指針」という)の制定・運用から事故発生に至るまでのプロセスごとに、社内原子力部門、三菱重工業、日本アームに対して書類調査ならびにヒアリングを行ない、事実関係を把握した。それらの事実関係の中から点検箇所の漏れにつながった直接的な要因を抽出するとともに、その背景となる要因についても、意識、組織、環境の面からルート・コース・アナリシス(以下「RCA」という)の手法を参考に抽出した。

そして、抽出された事故の要因を、「原子力発電所における安全のための品質保証規程」(JEAC4111-2003)の要求事項で分類・整理し、対策を講じることとした。

さらに、より信頼性の高い発電所運営を目指し、こうした対策を2次系配管肉厚管理業務以

外の保全業務全般に対しても、水平展開することにより、継続的な改善に努めることとした。

また、われわれが常日頃より『安全』を重視し運転を行なっている原子力発電所において、11名の方が死傷された極めて重大な人身事故を起こし、地元をはじめ国民の皆様に変なご心配をおかけしたことを深く反省し、より安全で、より安心な原子力を目指すという観点から、労働安全をはじめ、高経年化対策、さらに事故後ご指摘を受けたPWR管理指針の不適切な運用についても、万全の対策を講ずるべく取組んでいくこととした。

第2章 事故発生の状況

1. 事故発生時のプラント状況

(添付資料2 - 1 ~ 8)

平成16年8月9日、美浜3号機は定格熱出力一定運転中であり、2次系の給水・復水系統等の主要パラメータは安定しており、運転員による巡回点検(直近の巡回点検8月9日11時頃(*))でも異常は認められていなかったが、15時22分に中央制御室の「火災報知器動作」「3B直流接地」警報が発信し、引き続き15時23分に「3A直流接地」警報が発信した。

このため、運転員が中央制御室の表示盤で火災報知器動作箇所を確認したところ、脱気器に隣接しているタービン建屋2階のエリアであることを確認した。直ちに運転員が点検のため中央制御室を出てタービン建屋3階面の入口から建屋内に入ったところ、脱気器に隣接しているエリアに蒸気が充満していることを確認した。

このことから、2次系の配管から蒸気または高温水が漏えいしている可能性が高いと判断し、15時26分から緊急負荷降下(発電機負荷降下率5%/分)を実施していたところ、15時28分に「3A SG給水<蒸気流量不一致トリップ」警報(**)(以下「原子炉自動停止信号」という)が発信し、原子炉が自動停止、続いてタービンが自動停止した。

補助給水ポンプ3台のうち、電動補助給水ポンプ2台は原子炉自動停止信号発信前の15時28分に主給水ポンプ全台停止(運転中のA・B機停止)により自動起動し、タービン動補助給水ポンプ1台は蒸気発生器(以下「SG」という)水位異常低(狭域水位の13%)で15時28分に自動起動した。

プラントの自動停止状態に異常はなく、1次冷却材温度、加圧器水位・圧力、SG水位等が安定したことから、15時35分に原子炉は高温停止状態で安定していることを確認し、さらに、原子炉の低温停止操作は8月10日23時45分に完了した。

* : 巡回点検の着眼点

目視による漏えい(可視範囲での配管保温表面の確認、床面が濡れていないことの確認)の有無、異音・異臭の有無、主要な現場監視計器指示値確認

** : A SG水位低(設定値:狭域水位の25%)

+ A SG給水<蒸気流量不一致(設定値:312t/h)で警報発信

運転員がタービン建屋内の点検を実施した結果、8月9日17時30分に脱気器に隣接しているタービン建屋2階エリアの天井付近にある第4低圧給水ヒータから脱気器へ至るA系の復水配管に破口部を確認した。破口が認められた部位は、2系統(A・B系)ある復水配管のうち、A系配管(2階床面から約4.5mの高さ)であり、A系の復水流量を計測するオリフィスの下流側近傍であった。また、A系配管の破口部付近や周辺の配管に取付けていた保温材はついておらず、周囲に散乱している状況であった。

なお、復水配管の破損時期については、15時22分に中央制御室の「火災報知器動作」「3B直流接地」警報が、また15時23分に「3A直流接地」警報が発信しており、これらの警報が高温・高圧(約140、約1MPa)の熱水またはその水蒸気によるものと考えると、破損した時期は同警報発信と同時期の可能性が高いと考える。

2. 周辺環境への影響

(添付資料2 - 9 , 10)

2次系設備に起因する事故であり、環境への放射能の放出はなかった。また、野外モニタおよびプロセスモニタを調査した結果、事故発生前後で有意な指示変化は認められず、環境への影響もなかった。

なお、念のため復水のトリチウム濃度を分析した結果、検出限界値未満(検出限界値： $0.1 \text{ Bq} / \text{cm}^3$)であった。

3. 被災者の状況および初動対応

(添付資料2 - 11 ~ 14)

(1) 被災者の状況

a. 被災状況

事故発生当時、美浜3号機のタービン建屋内には、当社社員1名と8月14日から予定していた美浜3号機第21回定期検査の準備作業等に携わっていた協力会社作業員104名がいた。このうち、破損したA系復水配管の付近で準備作業(床の養生、作業エリアの区画、工具類の搬入等)に従事していた協力会社作業員11名が被災(熱傷)した。

運転員が、15時27分タービン建屋2階のエレベータ前で倒れている被災者を発見し、中央制御室の制御員へ連絡、制御員から報告を受けた当直課長が救急車の出動要請を発電室長経由にて所長室長へ依頼し、所長室員が15時30分~15時35分にかけて119番救急通報を実施した。

被災した協力会社作業員は、当初は当社社員および他の協力会社作業員により、その後は当社からの119番通報で駆けつけた消防署救急隊員も加わって、順次タービン建屋外へ運ばれた後、救急車で病院へ運ばれた。病院へ運ばれた11名のうち、5名が亡くなり(うち1名は8月25日に亡くなった)、6名が熱傷のため入院(うち5名は退院(平成17年2月28日現在))された。なお、入院された被災者の方々の状況は以下のとおり。

継続して入院中の方：1名

退院された方：5名(それぞれ平成16年8月24日、9月24日、10月8日、10月23日、平成17年1月21日退院)

(2) 被災者救出に関する初動対応

a. 被災者救出のための通報連絡

15時22分の「火災報知器動作」を受けて直ちに「タービン建屋火災発生」の一斉放送を行なった。その後、運転員が現場に向かい状況確認を行なうまでに5分、次に、電話等による連絡に3分を費やして、所内連絡を実施した。

しかしながら、通報経路は、発見者(現場) 制御員(中央制御室) 当直課長(中央制御室) 発電室長(対策本部) 所長室長(対策本部)となっており、消防計画にあらかじめ定められていた経路とは制御員と発電室長を経由した点が異なっており、火災発生確認後速やかに定められた通報経路にて連絡されていなかった。

なお、119救急通報については、15時30分に第一報として、「会社名」、「所在地」、「連絡者の所属・氏名」、「3号機タービン建屋で蒸気の充満により、作業員が3名以上倒れていること」、「被ばく者がいないこと」、「救急車の出動要請」を連絡し、15時43分に第二報として、「救急車の出動の追加要請」を連絡した。

b . 現場での被災者救出

15時30分以降、各課および協力会社から救出要員が現場に急行し、15時35分～15時50分に6名を救出した。このとき、救出要員は建屋内の温度、視界などの状況を十分確認し、自分達の安全が確保できる場所で活動したことから、耐熱服は着用していなかった。

なお、16時00分～16時30分に消防署救急隊と当社社員が共同で捜索を行ない、5名を救出したが、このときの捜索メンバーは耐熱服を着用していた。

c . 消防・救急との連携

16時13分に消防・救急の現場指揮本部へ発電所管理職を当社窓口として派遣し、現場の状況等の連絡を行なった。しかしながら、作業人員把握等の状況を迅速に消防・救急に対して説明できる体制となっていなかった。

d . 医療機関への情報連絡

被災者受入先の医療機関より、消防からは管理区域外の災害であるとは聞いているが、念のため、放射線管理課員を派遣しサーベイを実施する様、要請を受け、当社より人員を派遣し、サーベイを実施した。

これは、管理区域外での災害で被ばく・汚染がなかった場合は、その旨を当社から医療機関へ直接連絡する仕組みとなっていなかったためである。

e . 作業者の安否確認

被災者の救出が完了した後も、消防署救急隊と当社社員および他の協力会社作業員による建屋内の捜索活動は続けられ、19時00分に全ての捜索を完了し、その他に負傷者がいないことを確認した。

しかしながら、作業者の安否確認は作業責任者等を通じて、より迅速に確認することが可能であり、この情報は現場での捜索活動にも有益となる。

第3章 事故発生時のプラント状況に関する検討

1. 運転パラメータおよび運転操作

(添付資料3 - 1 ~ 6)

事故発生の前後の運転パラメータについて調査したところ、当該配管破損前には破損の兆候を示す変化は認められなかった。また、事故時の運転パラメータおよび運転確認状況から、今回の事故時における原子炉停止操作については、運転マニュアルに基づき実施していることを確認した。

しかしながら、今回のような脱気器水位制御弁の閉止操作等の2次系配管破損事故時に流出量を低減する具体的な対応操作を記載した運転マニュアルがないことから、事故に備えた運転マニュアルの充実等(原子炉手動トリップの実施および脱気器水位制御弁の早期閉止の運転マニュアルへの反映ならびにシミュレータ訓練による事故対応能力の向上)を行ない、後述する事故時の配管からの流出量の低減を図る。

2. プラントの挙動

(1) 1次系のプラント挙動

(添付資料3 - 7, 8)

美浜発電所原子炉設置変更許可申請書において、給水系配管に破断が生じ、2次冷却材が喪失し、原子炉の冷却能力が低下する事故として「主給水管破断」を想定している。

「主給水管破断」事故では、主給水管の逆止弁とSGの間の配管破断による破断口を通じてのSG器内水の放出、外部電源の喪失による1次冷却材ポンプの停止等を仮定しているのに対して、今回の事故においては、主給水管の逆止弁よりさらに上流側の復水配管の脱気器入口での破断であったことからSG器内水の放出はなく、1次冷却材ポンプも停止していないこと等から、安全解析の評価結果の範囲内であり、原子炉の冷却は正常に行なわれ、原子炉への影響はなかった。

なお、1次系のプラント挙動再現解析を行なった結果、解析結果と実機のプラント挙動はよく一致しており、解析により、今回の事故時挙動を再現することができた。

(2) 2次系のプラント挙動

(添付資料3 - 8, 9)

a. 復水流量および流出量

通常A・Bの2系統で脱気器へ流れる復水流量は、15時23分から破口が認められたA系が増加、B系が急激に低下している。その後、B系流量は15時24分以降「0 t/h」となっており、脱気器水位が15時23分頃から急激に低下している。

なお、A系流量については15時24分から15時31分の間は計測器のレンジオーバー(計測範囲: 2,000 t/hまで)により計測できていないが、2次系のプラント挙動再現解析を行なった結果、計測できていない期間のA系流量の評価値は最大約4,600 t/hとなった。

復水配管からの流出量は、2次系純水タンクからの補給水(約565 t)および系統保有水減少分(約320 t)から、合計で約885 tと推定される。

b. 補助給水流量制御弁の一時的な動作不具合

(添付資料3 - 10)

事故発生当日の15時28分に電動補助給水ポンプが自動起動した後、SG水位異常

低（狭域水位の13%）によりタービン動補助給水ポンプが自動起動したが、補助給水流量が必要流量確保できていることから、1次冷却材温度低下防止のために15時32分にタービン動補助給水配管のA、B、C補助給水流量制御弁（3HCV-3120（以下「A弁」という）、3HCV-3121（以下「B弁」という）、3HCV-3122（以下「C弁」という））3台を閉止した。

その後、SGの水位が回復し安定していることから、17時12分にタービン動補助給水ポンプを停止し、引き続き同ポンプを自動待機状態とするために、17時13分にA～C弁3台の開操作を実施したところ、A、C弁2台が閉止したまま開動作しなかった。

なお、A、C弁について、翌日の1時20分に再度開操作したところ、同弁が開動作した。

原因調査のために当該弁の分解点検を行なったが、特に異常は見られなかったことから、弁動作が不調であったときの系統状態の評価を行ない、それに基づく確認試験を実施した。

その結果、A、C弁が開動作しなかったのは、背圧がポンプ停止中の弁開放力を上回っていたためであり、ポンプ停止中の弁開放力が事故発生時の背圧と比較して小さかったのは、当該弁の設計条件に背圧がポンプ停止中の弁開放力を上回るような系統状態を想定していなかったためと推定される。

なお、B弁については、弁のシートリークによりポンプ停止中の弁開放力を上回る背圧が閉じ込められなかったため、正常に開動作したものと推定される。

対策としては、当該弁についてタービン動補助給水ポンプが停止中においても、設計上想定される最大背圧よりも大きな弁開放力を持たせるために、弁駆動用バネをバネ定数の大きなものに取替える。

第4章 配管破損メカニズムに関する検討

1. 配管破損メカニズムの特定

配管破損メカニズムの特定にあたっては、総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部
会美浜発電所3号機二次系配管破損事故調査委員会（以下「事故調査委員会」という）にて報
告された資料等を参照し、検討した。

(1) 配管調査 (添付資料4-1, 2)

a. 外観観察

A系配管（破損配管）は頂上部近傍で軸方向および周方向に大きく破口し、破口幅は、
軸方向に約515mm、周方向に約930mmであった。

下流側に向かって、右方向に進展したき裂は、上流側、下流側ともに溶接部直近で停止
し、左方向に進展したき裂は、管底部近傍で停止していた。

b. 肉厚測定

A系配管およびB系配管について、超音波肉厚測定器による肉厚測定を実施した結果、
いずれもオリフィス下流側においては、ほぼ全周にわたり減肉傾向が認められ、オリフィ
ス上流側においては、有意な減肉傾向は認められなかった。

A系配管のオリフィス端面から697mm（1.1/4直径付近）の破口先端部におい
て最も薄い0.4mmの箇所が認められた。B系配管ではオリフィス端面から
734mm（1.1/4直径付近）において最も薄い1.8mmの箇所が認められた。

軸方向の減肉量は、A系配管、B系配管いずれもオリフィス下流1直径～1.5直径付
近で最大となり、下流側に向かって徐々に減少している。

なお、A系配管の底部（180°位置）の肉厚はオリフィス下流1.5直径から下流
に向かってほとんど減肉しておらず他の位置と様相が異なっている。

周方向の減肉量については、A系配管は頂上部に偏って減肉しており、B系配管は比較
的均一に減肉している。

c. 配管内面観察

A系配管のオリフィス下流部について、破口部からデジタルマイクログラフで内面を
観察した結果、残留水によって表面が腐食し表面状態が変化すると推定される180°
位置（配管底部）を除くすべての内面に、約1mm幅の鱗片状模様が一樣に認められた。
オリフィス近傍では、鱗片状模様は約3～5mm幅とやや大きいものであった。

d. 破損部調査

当該配管の破損部調査結果については、第7回事故調査委員会において、下記のとおり
報告されている。

(a) 破面観察

「延性破壊の特徴であるディンプルが観察され、破面の近傍では、塑性変形に伴う
硬さの上昇と伸びた金属組織が観察されたことから、配管破損は延性破壊によるもの
である。ただし、配管の破口部と未変形部の周長に有意な差はなく、破壊に伴う伸び

は破面近傍に集中しているものと考えられる。」

(b) 材料調査

材料成分分析の結果、「A系、B系配管ともに、材料規格を満足していた。また、ミルシートとほぼ同一値であった。」

引張試験の結果、「A系、B系配管は同等であり、ミルシートとほぼ等しく異常は認められなかった。」

硬さ試験の結果、「硬さはいずれも150HV1前後であり大きな相違は認められない。」

(c) オリフィスベント孔下流部の調査

「オリフィスベント孔下流部において、オリフィスを支えるフランジ部に達する局所的な減肉が認められたが、破口部の減肉に影響を与えたとは考えられない。また、当該箇所の減肉は、局所的なものであり、フランジが補強部材になることから、配管の大きな破口を引き起こす可能性はないと考えられる。」

以上の調査結果を踏まえると、オリフィス下流部に鱗片状模様を伴った減肉が認められたことから、当該部位はオリフィス下流部でエロージョン/コロージョンが発生したことにより減肉が進行し、肉厚が薄くなった部位を中心に延性破壊によるき裂が発生した結果、破損したものと推定される。

(2) FT図による検討

(添付資料4-3)

当該部位の減肉メカニズムはエロージョン/コロージョンであると考えられるが、FT図に基づき、エロージョン/コロージョンも含め、配管やオリフィスの設計面、製作面、施工面等の観点からも検討した。

a. 設計面

(a) 配管材料選定

当該配管部に使用している材料は、最高使用圧力、最高使用温度を考慮し「発電用火力設備の技術基準」に基づいた材料仕様を満足していることを確認した。

(b) 配管材料

配管材料成分についてミルシートを調査した結果、要求仕様を満足していることを確認した。また、実機材料成分については、第7回事故調査委員会において「A系、B系配管ともに、材料規格を満足していた。また、ミルシートとほぼ同一値であった」ことが報告されている。

(c) オリフィス材料

オリフィス材料成分についてミルシートを調査した結果、要求仕様を満足していることを確認した。

(d) 配管設計、支持構造物設計

「発電用火力設備の技術基準」および「ANSI(ASME)B31.1」に基づき設計し、適切なサポート支持条件であること、また、当該配管の切断前後の切断端移動量の計測結果から算出した配管の発生応力も、許容応力に対して十分小さいことを確認した。

(e) オリフィス設計

JIS規格およびASME規格を適用した設計を行ない、設計条件、運転条件を考慮した設計仕様であることを確認した。

b. 製作面

(a) 配管製作および寸法・形状

「溶接の技術基準」により溶接施工されており、要領書に基づいた製作であることを検査記録等で確認した。また、A系配管およびB系配管の実機配管の寸法を測定した結果、A系配管の破損部分の下流側で類似配管に適用されるJISの外径の許容差を超えるものが一部あるが、A系配管のそれ以外の部分、および、B系配管では超えるものがないことを確認した。

(b) オリフィス寸法・形状

オリフィス納入時の成績書を確認し、寸法が要求仕様を満足していることを確認した。

c. 施工面

(a) 配管据付施工

「溶接の技術基準」により溶接施工されており、要領書に基づいた製作であることを検査記録等で確認した。なお、現地において刻印を確認し、計画どおり施工されていることを確認した。

(b) 支持構造物据付施工

当該配管の切断前後の切断端移動量の計測結果から算出した配管の発生応力が、許容応力に対して十分小さいことを確認した。

d. 保守面

(a) 配管管理

当該部位はPWR管理指針において管理すべき箇所として登録されていれば適切な管理が可能であったが、登録漏れのため、PWR管理指針に則った管理が行なわれていなかった。

(b) オリフィス管理

オリフィスの取付状況を現地調査により確認し、オリフィス穴径の中心位置のずれは、想定されるずれの最大値の範囲内であることを確認した。

(c) 支持構造物管理

保全指針に基づく点検手入れ、低温・高温停止時の確認を行っており、第20回定期検査時に当該部位を含む復水配管ヘッダから脱気器までの支持構造物の外観目視点検を実施し、異常のないことを確認した。

e. 運転・環境面

(a) 給復水の水質管理

2次系の水質管理履歴を調査した結果、給水、復水のpH、溶存酸素など給水処理に係わる水質データはいずれも水質管理値内に維持されていた。また、2次系給水処理は

運転開始当初からAVT、最近ではETA処理等が計画的に行なわれているなど、各種対策により経年的に給水鉄濃度も低減してきていることから、運転開始以降当該部位の水質環境について特異な点は認められない。

(b) エロージョン/コロージョン

A系配管のオリフィス下流部について、破口部からデジタルマイクロスコープで内面を観察した結果、残留水によって表面が腐食し表面状態が変化すると推定される180°位置(配管底部)を除くすべての内面に、約1mm幅の鱗片状模様が一様に認められた。オリフィス近傍では、鱗片状模様は約3~5mm幅とやや大きいものであった。

当該配管の材料は炭素鋼(SB42)であり、内面に鱗片状模様が認められたことからエロージョン/コロージョンであると考えられる。

(c) キャビテーション/エロージョン

当該配管の設計条件では、復水配管流量計オリフィスは流れによる減圧による蒸気泡発生条件に対して十分余裕があり、キャビテーションは発生しない。また、当該部位の内面観察の結果からもキャビテーション/エロージョンは認められなかった。

(d) フレッシング摩耗

オリフィスと配管フランジの合わせ面および配管を支持しているスプリングハンガーの取付部は、すべりが生じないため、フレッシング摩耗は発生しないことを確認した。

(e) 流体振動、機械振動

当該系統の各ポンプの周波数特性(NZ成分)と当該配管の固有振動数とは大きくかけ離れており、共振する可能性はない。また、共振の可能性のある各ポンプと当該配管の間は固定サポートにより振動が伝わらない構造になっており共振する可能性はない。

(f) 圧力・熱サイクル

当該配管に影響をおよぼした可能性のある過去事象を調査した結果、給水流量、圧力、温度の影響や過去事象の発生回数が設計の想定範囲内であることを確認した。また当該配管には、温度ゆらぎやキャビテーションフロー型熱成層が生じないため、熱疲労は発生しないことを確認した。

(g) 異常昇圧

当該事故発生直前の運転パラメータからは、通常運転時に認められるパラメータの変動を大きく上回る変化は認められなかった。

f. 破損のトリガー

運転パラメータ調査、周辺作業実施状況調査および聞き取り調査他の結果から、トリガーとなる事象は認められないことを確認した。

以上の調査結果より、減肉のメカニズムにエロージョン/コロージョン以外の要因は認められなかった。また、エロージョン/コロージョンによる減肉が、PWR管理指針に則った管理が行なわれていなかった当該部位で進行したことによって、肉厚が薄くなり内圧によって破損したものと考えられる。

2. 試験・解析によるエロージョン/コロージョン評価

当該部位はオリフィス下流部の流れの乱れによりエロージョン/コロージョンが発生していたと考えられることから、A系配管とB系配管のオリフィス下流部の流れの乱れの状況を確認するために試験および解析を実施した。また、一般に公開されている減肉予測式により予測される減肉速度と実機減肉速度を比較し、当該部位の減肉速度の特異性の有無を評価した。さらに、A系配管とB系配管の実機減肉状況を模擬して破壊解析を行ない、肉厚が薄くなったことによって破損に至るか否かを評価した。

(1) 可視化試験 (添付資料4-4)

A系配管、B系配管の上流のヘッダ部を含め1/2.6モデルの試験装置を製作し、ヘッダ部およびオリフィスの上下流部を可視化するとともに、オリフィス上流部の流速分布およびオリフィス下流部の圧力変動を計測した。

その結果、A系配管、B系配管ともに旋回流が発生し流れに乱れが発生していることが確認された。

また、A系配管はB系配管に比べて強い旋回流が発生し、オリフィス下流部で比較的大きな非定常な流れの乱れが発生しているという特徴を確認した。なお、これら旋回流はヘッダ部からの配管分岐部で発生していることを確認した。

(2) 流動解析 (添付資料4-4)

A系配管、B系配管の上流のヘッダ部を含めてモデル化し、解析コード(Fluent)を用いて流動解析を実施した。

その結果、A系配管、B系配管ともに旋回流が発生し流れに乱れが発生していることが確認された。

また、A系配管は、B系配管に比べて強い旋回流が発生しているという特徴を確認した。

(3) 可視化試験と実機減肉との比較 (添付資料4-4)

可視化試験で計測したオリフィス下流部の圧力変動分布傾向と実機で計測した減肉分布傾向について、軸方向と周方向で比較した結果、軸方向では実機の最大減肉位置と可視化試験の最大圧力変動位置が対応しており、また、周方向では実機の減肉量の傾向(A系配管がB系配管より大きい)が可視化試験の圧力分布の傾向(A系配管がB系配管より大きい)に対応しており、両者は比較的良く一致していた。

(4) 減肉速度 (添付資料4-5)

一般に公開されている減肉速度予測式(WATHEC式)により当該部位の使用環境中での減肉速度を評価した結果、実機減肉速度は減肉速度予測式により計算した平均減肉速度と同程度であり、当該部位の減肉速度に特異性はないことを確認した。

(5) 破損評価 (添付資料4-6,7)

A系配管とB系配管の実機減肉状況を模擬して破壊解析を行なった結果、A系配管は内圧により発生する応力が支配的な要因で、破損に至る可能性があることを確認した。また、B系配管は破損に至る可能性がないことを確認した。

また、配管破損挙動については、第7回事故調査委員会で「3次元モデルを用いて解析した結果、開口は、先ず軸方向に進展し、その後、周方向に進展しており、き裂発生後1/100秒以内に最終形状となったと推定される。解析によって得られた破口形状は、実際の破口部を比較的良く再現できた。」ことが報告されている。

以上のことから、エロージョン/コロージョンの要因と考えられる流れの乱れが、A系配管・B系配管ともにオリフィス下流部で発生していること、また、A系配管はB系配管と比較して、強い旋回流や非定常な流れの乱れが発生するという特徴を、可視化試験・解析によって確認した。

さらに、一般に公開されている減肉速度予測式から求まる平均減肉速度と実機減肉速度は同程度であり、A系配管の減肉速度に特異性はないことを確認した。また、当該部位は内圧により発生する応力が支配的な要因で破損に至る可能性があることを確認した。

3. 検討結果

以上の検討から、配管破損メカニズムは、オリフィス下流部で流れの乱れによってエロージョン/コロージョンによる減肉が発生し、このエロージョン/コロージョンによる減肉が、PWR管理指針に則った管理が行なわれていなかった当該部位で進行したことによって、肉厚が薄くなり内圧によって破損したものと考えられる。

なお、A系配管とB系配管の減肉分布の違いは、試験・解析の結果から、A系配管ではB系配管に比べて強い旋回流が生じていたことが要因の一つである可能性がある。今後、配管減肉に係る不確定な影響因子を極力抑制するとの観点から、念のため、得られた知見を設計に活用していくことや、耐食性に優れた材料への変更や、点検頻度、点検方法等の配管減肉管理に反映していく。

第5章 事故による設備への影響検討と今後の対応

今回の事故においては、復水管破口部から系統水がタービン建屋内に噴出し、破口部周辺に熱水が流出するとともに蒸気がタービン建屋全域に充満した。

このため、現場点検を実施し、床面や設備に残った水分痕を確認することにより、熱水および蒸気の影響範囲を確認した。さらに、その影響範囲内にある設備について設備影響調査を実施した。これらの点検、調査等の結果から、プラントの安全停止に必要な設備等への影響について検討した。

1. 事故時の状況の推定

(添付資料5 - 1)

破口発生により流出した系統水は、約885tと考えられる。事故時に復水管を流れていた系統水は、温度約140℃、圧力約1MPaであった。解析結果および実機データから、破口発生から原子炉トリップまでの約6分間に、全体の半分近くの熱水(140℃)が流出したと推定され、原子炉トリップ以降は急速に系統水の温度は低下している。

(1) 熱水の状況の推定

a. 破口部からの噴出水の状況

(添付資料5 - 2, 3)

破損した復水配管真上のタービン建屋2階面の天井コンクリートに蒸気のあたった痕跡、破損配管と同レベルの高さ(タービン建屋2階床面から4~5m)の周辺配管の保温材落下状況、および破損配管周辺の機器の損傷状況から、噴出水による影響は、破口部上方および配管内部から見た破口部の前方約7mの範囲であったことを確認した。

また、現地調査結果から得られた復水配管の破損時の移動量(推定75mm)、および2次系のプラント拳動再現解析での流出流量から、破損時に復水配管に作用した反力は5~10t程度であったと推定される。

b. 床を流れた水の影響範囲

(添付資料5 - 4, 5)

残留水、水跡および保温材等の堆積状況を確認した結果、破口部付近の2階床面および1階床面に水跡があり、また保温材が床面開口部(グレーチングや階段)に集中して堆積していたことから、破口部から流出した熱水は破口部付近の2階床面から広がり、階段部および床面開口部を通じて1階面に流れ落ち、最終的にタービンサンプへ流入したものと推定される。

(2) 蒸気の推定到達範囲

(添付資料5 - 4~6)

破口後3~4分までの間にタービン建屋のほぼ全域の火災報知器が作動していること、設備や床面に凝縮水の痕が見られることから、破口部から流出した蒸気は急速にタービン建屋のほぼ全域に広がったものと推定される。また、タービン建屋に隣接する制御建屋のケーブル処理室および中央制御室制御盤内で火災報知器が作動し、制御建屋の計器用電源設備および中間建屋の直流電源設備の区画においても凝縮水の痕が確認されたことから、これらの区画にも蒸気が浸入したものと推定される。

(3) 事故時のプラント挙動の影響

事故時の2次系の挙動および2次系のプラント挙動再現解析から、破口部からの系統水の流出に伴い、系統の急激な減圧および復水流量の増加が発生したと考えられる。また、系統水の流出による脱気器水位の急激な低下により、脱気器から取水している給水ブースターポンプがトリップし、それに伴い主給水ポンプもトリップしている。

2. プラントの安全停止に係る設備への影響調査結果

事故時の状況の推定から、事故の影響を受けたと推定される範囲内に設置されている安全系設備には、主蒸気隔離弁駆動用電磁弁、中央制御室制御盤、計器用電源設備、直流電源設備およびタービン動補助給水ポンプがあった。これらの設備以外には、影響を受けたと推定される範囲内にプラントの安全停止に係る設備は設置されていなかった。これらの安全系設備のうち、主蒸気隔離弁駆動用電磁弁については、事故時に直流接地警報が発信した。また、中央制御室制御盤、計器用電源設備および直流電源設備については、蒸気の浸入が認められた。これらの設備についての影響調査結果を以下に示す。

(1) 主蒸気隔離弁駆動用電磁弁の直流接地 (添付資料5 - 7)

主蒸気隔離弁駆動用電磁弁について調査した結果、タービン建屋2階からの熱水が流れ落ちたと考えられる階段に最も近い位置に設置されていたC主蒸気隔離弁駆動用電磁弁の端子箱の内部に熱水が浸入し、直流電源回路に片側接地を生じていたことが確認された。また、C主蒸気隔離弁駆動用電磁弁の隣の、階段から離れた位置に設置されていたAおよびB主蒸気隔離弁駆動用電磁弁については、直流接地は生じていなかったが、端子箱内部への蒸気の浸入が認められた。

しかしながら、直流電源系は+側、-側ともに接地をとらない非接地回路となっており、片側接地が生じても電磁弁の駆動電源が確保されていたことから、事故後に主蒸気隔離弁を閉止することができた。

(2) 中央制御室制御盤等への蒸気浸入 (添付資料5 - 8)

中央制御室階下のケーブル処理室において、ケーブルトレイおよび電線管のタービン建屋との壁貫通部のシール施工が不適切な箇所があり、また、中央制御室制御盤内のケーブル床貫通部においてもシール処理の不適切な箇所があったため、これらの貫通部を通じて蒸気が中央制御室制御盤内に浸入した。ケーブル処理室階下にある計器用電源設備については、ケーブル処理室に浸入した蒸気が凝縮し、滴下していることが確認された。さらに、直流電源設備については、タービン建屋との貫通部にシール施工の不適切な箇所があったことに加え、直流電源設備室への換気設備の給気がタービン建屋からとられているため、ここからも蒸気が浸入したことが確認された。しかしながら、タービン建屋との貫通部のシール施工が適切に実施されていた他の区画については、蒸気の浸入は認められなかった。

中央制御室制御盤、計器用電源設備および直流電源設備については蒸気の浸入が確認されたが、事故時は正常に動作した。今回の調査の中でも絶縁抵抗測定やシーケンス試験等を実施した結果、異常は認められなかった。

(3)タービン動補助給水ポンプ

(添付資料5 - 8)

タービン動補助給水ポンプ室への吸気が、タービン建屋から行なわれていることから、蒸気浸入の可能性が考えられたが、調査の結果、蒸気の浸入の痕跡は認められなかった。タービン建屋からの吸気は、蒸気の少なかったタービン建屋1階床面に設置された吸気口から行なわれていたため、室内への蒸気の浸入が少なく、加えて、室内の温度が高かったことから、浸入した蒸気が凝縮することもなかったと推定される。

タービン動補助給水ポンプの運転に必要な電気設備は、ポンプ室内に設置されておらず、ポンプ自体も周辺の蒸気により運転に支障をきたすものではないことから、たとえポンプ室内に蒸気の浸入があった場合にも、運転上問題となることはない。また、タービン動補助給水ポンプの運転に必要な補助給水流量制御弁は、ポンプとは別の区画に設置されており、影響を受けることはない。

3. 設備影響調査結果を踏まえた今後の対応

(添付資料5 - 7 ~ 9)

(1)主蒸気隔離弁駆動用電磁弁の直流接地

主蒸気隔離弁駆動用電磁弁の直流接地を生じたことに鑑み、熱水および蒸気の浸入対策として、主蒸気隔離弁駆動用電磁弁を収納しているパネルを防水型のものに変更し、熱水および蒸気の浸入を防止する構造とする。

(2)中央制御室制御盤等への蒸気浸入

中央制御室制御盤等への蒸気浸入は、壁床貫通部のシール施工の一部に不適切な部分があったことによるものであり、隙間のある箇所について適切なシール施工を実施する。

また、直流電源設備の換気設備についても、より一層の信頼性の確保の観点から給気場所をタービン建屋内から外気へ変更する。

なお、事故の影響範囲に設置されているその他の設備については、脱気器内部の構造物の変形、主給水ポンプモータ内部の発錆等の影響が見られたが、今後、適切な処置を実施し健全性を確認していく。

4. 復水配管の復旧

破損した復水配管は、経済産業省からの「美浜発電所3号機に対する技術基準適合命令について」(平成16・09・22原第18号 平成16年9月27日付)により、第4低圧給水ヒータ出口弁から脱気器入口までの間について技術基準に適合するよう、配管の取替え等の復旧を行ない、かつ技術基準に適合していることを確認する。

(1)配管の状況

技術基準適合命令を受けた範囲の配管は、既にステンレス鋼配管に取替えが行なわれている復水配管ヘッダ部と、そこから分岐して2つの脱気器に至るA系およびB系の炭素鋼配管により構成されている。

(2) 復旧確認

a. 復水配管ヘッダ部

既にステンレス鋼配管としている復水配管ヘッダ部については、技術基準が要求する計算必要厚さを満足していることを配管肉厚測定により確認する。

b. 復水配管ヘッダ出口から脱気器入口

復水配管ヘッダ出口から脱気器入口については、現状の炭素鋼から耐食性に優れたステンレス鋼配管に取替えるとともに、材料変更に伴い、運転中に受ける熱の影響を緩和する観点から、一部配管支持構造物配置の見直しを実施する。また、配管取替工事にあたっては、材料、構造の技術基準適合確認検査を実施する。さらに、新設配管についても配管肉厚測定を実施する。

第6章 2次系配管肉厚管理に関する評価と今後の対応

本章では、事故を契機に実施された当社における配管肉厚管理に係る調査の過程で明らかになった問題点を踏まえ、これまで実施されてきた配管肉厚管理に関する評価とそれらに基づく配管肉厚管理のさらなる充実に向けた今後の対応について述べる。

なお、事故発生の直接の原因となった当該部位がから漏れたこと、漏れが修正できなかったこと、漏れが発見されたが点検計画に反映できなかったことに対する検討と対策については、第7章で述べる。

1. これまでの2次系配管肉厚管理に関する評価

当社は、昭和50年代前半より2次系炭素鋼配管の減肉現象に着目し、配管の肉厚調査を進めていたが、昭和58年に高浜2号機においてエロージョン/コロージョンによる減肉トラブルを経験したことを契機に体系的な肉厚調査を開始した。

当該肉厚調査により得られたデータならびにそれまでの諸外国における運転経験等も含めた当時の技術知見を集大成して、平成2年5月にPWR管理指針を策定し、その後、現在に至るまでこのPWR管理指針を基本として2次系配管の肉厚管理を実施してきている。

(1) 2次系配管肉厚管理の実施状況

(添付資料6-1)

美浜3号機を含む全プラントの2次系配管の肉厚管理状況について、記録類をもとに調査した結果、PWR管理指針に規定される主要点検部位に対して2次系配管肉厚管理が未実施の部位が15箇所(美浜3号機の当該部位およびB系の同一部位を除く)あることが確認された。

(2) 2次系配管肉厚管理未実施部位の点検状況

運転中のプラントを計画的に順次停止し、上記の2次系配管肉厚管理未実施部位を含めて、超音波肉厚測定器による肉厚測定を実施したことにより、PWR管理指針に規定される主要点検部位に対して2次系配管肉厚管理が未実施のものはない。なお、事故原因調査の一環として、美浜3号機の当該部位およびB系の同一部位についても肉厚測定を実施している。

(3) PWR管理指針の評価

a. 初期設定減肉率

PWR管理指針では、初回の肉厚測定の時期を決定するため、主要点検部位について「二相流」、「水単相流」ごとに、流速、温度別に初期設定減肉率を規定している。

原子力安全・保安院による中間とりまとめでも述べられているように、全体としてみれば、減肉率は、ほぼ初期設定減肉率の範囲内にあるものの、主要点検部位の一部には、測定された減肉率がPWR管理指針の初期設定減肉率を上回っているものが認められる。

初期設定減肉率は、初回の肉厚測定時期の決定のみに用いられ、いったん肉厚測定が行なわれるとその測定値に基づき減肉率を新たに設定し、余寿命および次回の測定時期が決定される。

当社プラントにおいては、先に述べた2次系配管肉厚管理未実施であった15箇所の部位も含めて、PWR管理指針に規定される全ての主要点検部位に対する初回の肉厚測定を

完了しており、初期設定減肉率の適切性が直ちに安全上の問題につながるわけではないが、(社)日本機械学会における検討結果等に基づき、その適切性を確認していく。

b. 主要点検系統と「その他」の区分

PWR管理指針では、減肉傾向があるとみなされる系統を主要点検系統、減肉傾向にないといみなされる箇所を「その他」に分類し、「その他」については、10年間に約25%を点検対象にしている。

中間とりまとめでも述べられているように、全体としてみれば、「その他」は主要点検系統に比して減肉傾向が小さいものの、一部には主要点検系統と同程度の減肉が見られるものがある。

「その他」に分類されるものに主要点検系統と同程度の減肉が認められた場合、それらと同様の箇所について点検時期を繰り上げるなどの措置を講じてきていることが多いが、そういった運用は明文化されておらず、また、必ずしも徹底されていない。

「その他」に分類されるものの体系的かつ合理的な見直しについては、(社)日本機械学会等における検討結果を待つ必要があるが、当社においては、それらの見直しが完了するまでの当面の措置として、未点検の「その他」について点検時期を繰り上げるなどの措置を講じていくことが必要である。

c. 肉厚測定範囲、測定ポイントおよび詳細測定方法

PWR管理指針には、肉厚測定範囲および測定ポイントに関する詳細な規定はなく、それらは、都度の請負契約において定める運用となっている。

さらに、肉厚がある判定基準肉厚を下回った場合に、当該測定ポイントの周辺に対し測定ピッチを細かくして詳細測定を行なうという運用についても同様であり、PWR管理指針には規定されていない。

なお、PWR管理指針に規定されていなくても、従来から上記のような運用を確実に実施してきている。

2. 当社の管理指針の充実

当社では、平成2年に策定したPWR管理指針を基本として、2次系配管肉厚管理を実施するための管理指針を定めて運用しているが、先に述べたように、これまでの配管肉厚管理を評価した結果、改善すべき事項が明らかとなっており、それらを含め、当社の管理指針を以下のとおり充実している。

- ・主要点検部位について、「余寿命が2年以下となる前に点検を行なう」を改め、「余寿命が5年未満となる時期に点検を行なう。さらに、余寿命が5年未満の場合は取替・溶接補修を立案し、余寿命がゼロ年になるまでの間に補修すること、また、補修までの間は、定期検査において毎回点検を継続する」と変更した。
- ・「その他」に分類されている部位の未点検箇所については、全て至近3回以内の定期検査において点検する。
- ・設備実態に応じた運用マニュアルになっているかという観点での見直しを実施し、肉厚測定範囲、測定ポイントおよび詳細測定方法を明記した。

3. 2次系配管肉厚管理のさらなる充実に向けて

配管肉厚管理においては、(社)日本機械学会によってこれらの規格が策定され、原子力安全・保安院による技術評価を経て行政手続法上の判断基準に位置づけられるまでの暫定的な措置として、安全規制上の要求事項が原子力安全・保安院からの行政文書(平成17年2月18日付)によって明確化された。

当社としては、原子力安全・保安院からの行政文書に従い、配管材料は、炭素鋼のみならず低合金鋼、ステンレス鋼も対象とし、減肉事象は、エロージョン/コロージョンのみならず、他の減肉事象(浸食等)も対象とする等、2次系配管肉厚管理に万全を期すべく、当社の管理指針、点検計画を見直す。

一方、平成17年1月、(社)日本機械学会において、配管肉厚管理を適切に実施するために事業者には要求すべき事項を規定した機能性規格(案)がとりまとめられている。

さらに、現在、(社)日本機械学会においては、公衆審査中(平成17年1月14日~3月14日)の機能性規格(案)を踏まえ、従来のPWR管理指針をもとに、PWRプラントを対象とした2次系配管肉厚管理に関する技術規格を策定すべく、国内全PWRプラントにおける検査データの分析、国内外の事故・故障データの分析なども含めた検討が進められている。

当社としても、検査データの提供を行なう等、既に、積極的に技術規格の検討作業に参画しており、2次系配管肉厚管理に万全を期すべく、それらの結果を当社の管理指針に反映していく。

第7章 2次系配管肉厚管理システムに関する検討と対策

今回の事故の直接的な原因は、既に昨年9月の原子力安全・保安院の中間とりまとめの中で「関西電力、三菱重工業、日本アームの3者が関与する2次系配管の減肉管理ミス」によって、「要管理箇所が当初の管理リストから欠落し、かつ、事故に至るまで修正できなかったこと」と指摘いただいているように、当社の2次系配管肉厚管理業務に関する品質保証システムや保守管理システムの整備が不十分であったことから、多角的な視点から事故要因の抽出を行ない、対策について検討を行なった。

また、同様に原子力安全・保安院から、運用が適切でなかったとの指摘を受けた「発電用火力設備の技術基準の解釈について」の「ただし書き」を独自に解釈したことについて、その再発防止に向けた対策についてルール遵守の観点から要因の抽出を行ない、検討を行なった。

さらに、今回の事故は5名の方が尊いお命を亡くされ6名の方が重傷を負われた重大な人身事故であり、二度と同様の事故を起こさないためにも不可欠な労働安全衛生面での対策について検討を行なった。

1. 要因の抽出と対策検討の進め方

2次系配管肉厚管理ではスケルトン図や点検管理票といった点検リストを使用しており、今回の事故の直接的な原因は、この点検リストから、当該破損部位が漏れていたことにある。そのため、今回の分析にあたっては、PWR管理指針の策定期間から事故が発生するまでの間を4つのフェーズに分けて、上記の観点から事実を整理し要因を抽出した。さらに、他のプラントにおいて当該箇所と同一部位が点検リストから漏れていたことを発見した際に、その情報が美浜3号機に活用されなかったフェーズを加え、これら5つのフェーズを対象として事実関係の調査等を行なった。

- フェーズ : PWR管理指針が策定されるまで、および、PWR管理指針が適用されて以降、三菱重工業が2次系配管点検工事を実施
- フェーズ : 三菱重工業から日本アームへの2次系配管点検業務の移管
- フェーズ : 日本アームがスケルトン図のCAD化等を実施
- フェーズ : 日本アームが当該部位の登録漏れを発見してから事故に至るまで
- フェーズ : 美浜3号機以外でスケルトン図から当該箇所と同一部位が漏れていたこと等の発見

調査は、直接的な要因に加えて、その背景となる要因を抽出するために、意識、組織、環境等に係る要因まで分析した。分析にあたっては、「要管理箇所が当初の管理リストから欠落し、かつ、事故に至るまで修正できなかったこと」を分析の対象範囲とし、事実関係をもとに点検リスト漏れに焦点をあてた問題点を把握し、これを起点としてRCAの手法を参考に、背景となる要因を抽出した。

それらの要因（事実関係に基づく直接的な要因および背景となる要因等）を、「原子力発電所における安全のための品質保証規程」（JEAC4111-2003）の要求事項に基づき、「業務の計画と体制」「調達管理」などに整理し、検討した。

2. 要因の抽出結果

(1) 事実関係の調査結果

各フェーズにおける事実関係は以下のとおり。

フェーズ : PWR 管理指針が策定されるまで、および、PWR 管理指針が適用されて以降、三菱重工業が2次系配管点検工事を実施

- ・ 当社は、昭和59年頃から2次系配管肉厚管理を強化し、その中で蓄積されたデータをもとに、昭和62年10月に減肉調査に係る点検要領の策定を目的に三菱重工業に対して調査委託を行ない、その成果を踏まえて平成2年5月にPWR管理指針を策定した。
- ・ PWR管理指針を適用した2次系配管の点検工事をこなうべく、三菱重工業がこれまでにあったスケルトン図を見直ししたが、当初からの登録漏れ(当該部位を含む)が発生した。三菱重工業は、このスケルトン図に基づき点検計画を当社に提案している。この提案は、余寿命評価に基づき次回定期検査で点検対象とするものを示すものであり、当社の工事仕様書には明記されていないものの、受注者において継続して行なわれていたものである。当社はその提案に基づき仕様書を作成して契約を行ない、提出される計画書や報告書の確認を行なっている。なお、工事計画書や工事報告書にはPWR管理指針に基づき実施していることが記載されている。
- ・ PWR管理指針を初回に適用した段階で、主要点検系統において美浜3号機では当該箇所を含み3箇所、当社11基合計では42箇所が当初からの登録漏れとなっていた。42箇所の登録漏れのうち、14箇所が流量計オリフィス下流部であり、美浜1号機、美浜3号機、高浜4号機で当該部位を含め同一部位が4箇所漏れていた。
- ・ 三菱重工業は、PWR管理指針適用に伴うスケルトン図の見直し作業において、付番チェックと追加付番という単調な手作業が連続し、1人作業であったためにヒューマンエラーが発生したとしている。また、三菱重工業においてはスケルトン図の見直し後のダブルチェックは行なっていなかった。なお、オリフィスについては減圧オリフィスと流量計オリフィスの2種類があり、PWR管理指針策定以前は、それまでの減肉経験から減圧オリフィス下流部は点検対象とされていたが、流量計オリフィス下流部については、全数が点検部位として登録されていたわけではなかったこと、また、三菱重工業が作成したPWR管理指針原案には含まれていなかった流量計オリフィス下流部が直前にPWR管理指針に含まれたという経緯があったこと等が当該部位の抽出漏れにつながったと考えられる。
- ・ 42箇所のうち、10箇所の当初からの登録漏れについては三菱重工業が当社の2次系配管点検工事を実施していた期間に修正されているが、漏れが発見され、修正されたことについて当社に連絡はなかった。
- ・ 三菱重工業は、この登録漏れがあるスケルトン図に基づき、美浜3号機第11回定期検査(平成3年1月開始)を計画、提案した。当社は、当初から三菱重工業に2次系配管の点検工事を発注していたこと、三菱重工業と連携してPWR管理指針を策定したこと、当社で開催した打合せにおいて、三菱重工業がPWR管理指針に関する説明を実施したこと、および三菱重工業による点検計画の提案においてPWR管理指針に基づき実施する旨明記されていたことから、2次系配管のスケルトン図の確認は、三菱重工業が

PWR管理指針に基づいて行なっただと考え、当社は点検対象箇所の漏れを防止するための確認を行なわなかった。

フェーズ Ⅰ：三菱重工業から日本アームへの2次系配管点検業務の移管

- ・当社は、2次系配管点検業務の独立性確保と自主技術力の養成を目的に、平成7年に三菱重工業から日本アームへ2次系配管点検業務の移管を決定した。業務の移管に際し、平成8年9月に三菱重工業と委託契約を締結し、配管肉厚管理に関する計測箇所の調査結果と、基本データを整理の上、ラインスペックデータや最新のスケルトン図と全プラントの計測データを整理し、提出するよう求めた。この委託契約に基づき平成9年1月に三菱重工業から当社に提出された基本データを、当社は日本アームへ提供した。
- ・当社は、委託契約にPWR管理指針に基づいたスケルトン図の整理、提出を明記していなかった。また、三菱重工業はスケルトン図について特段のチェックをせず、保持するデータをそのまま当社へ渡したとしている。その結果、日本アームに当社が提供したスケルトン図からは当該部位を含む32箇所が当初からの登録漏れのままとなっていたが、当社はPWR管理指針に基づいたスケルトン図等が提出されたものと考えて、確認を行なわなかった。
- ・日本アームは三菱重工業と、業務移管後の至近4プラントの配管点検について助勢を求める業務指導契約を平成9年1月に締結した。日本アームは、三菱重工業の子会社である原子力サービスエンジニアリング（以下「NUSEC」という）の指導を受けながら点検業務を開始したが、三菱重工業による当初からの登録漏れ修正の事実が日本アームには伝わっていなかったことから、三菱重工業が担当していた期間のスケルトン図に当初からの登録漏れがあるとは考えなかった。

フェーズ Ⅱ：日本アームがスケルトン図のCAD化等を実施

- ・日本アームは、当社から提供されたスケルトン図・計測データ等に基づき、点検業務を進める中で、三菱重工業が2次系配管点検工事を担当していた当時、スケルトン図は十分な変更管理がなされていなかったことに気づき、平成9年9月に当社に対してスケルトン図のCAD化等を提案した。当社は、日本アームの説明を受け入れ、現場調査結果によるスケルトン図の修正とCAD化等について、平成9年10月に「2次系配管検査データ・図面整備委託」として日本アームに発注した。その結果、これまでの変更管理の不備に対する対策はとられたものの、当該部位の登録漏れは継続した。
- ・日本アームは、平成8年の業務移管後継続して当社の2次系配管の点検工事を受託し、点検業務を行なう中で当初からの登録漏れを事故発生までに当社全プラントで17箇所発見し、発見した部位のスケルトン図を修正し、定期検査提案に反映させていた。この中に破損部位も含め同一部位が4箇所含まれているが、後述する高浜4号機の例を除き、当社に登録漏れのものとして連絡はなされなかった。また、その他の箇所でも当社に連絡がなされたケースもあるが、変更管理の不備等によるものと思ひ込み、三菱重工業から引き継いだスケルトン図に漏れがあり、それが継続しているとは考えていなかった。さらに、当社はPWR管理指針に基づく点検リストを定期的に見直しておらず、当該部位の登録漏れを発見できなかった。

フェーズ：日本アームが当該部位の登録漏れを発見してから事故に至るまで

- ・日本アームは検査データを管理し、余寿命等の評価を行ない、点検計画等を作成するための原子力データ処理システム（以下「NIPS」という）を平成8年度から構築し、改良を進めた。当社は平成14年度には、2次系配管肉厚管理業務高度化のため、NIPSの機能追加や図面整備の委託を行なった。
- ・日本アームは、前記委託によりスケルトン図と点検管理票の照合が容易となり、データ確認作業を行っていた中で、美浜3号機第20回定期検査（平成15年5月開始）の直前である平成15年4月に、当該部位の登録漏れを発見した。日本アームは、発見した当該部位のスケルトン図を修正したが、登録漏れがあったことを当社には連絡しなかった。
- ・日本アームは、平成15年5月からの美浜3号機第20回定期検査での点検の提案も行なわなかったため、当該部位は点検対象箇所とならなかった。また、日本アームが第20回定期検査終了後に提出した総括報告書には、当該部位に点検すべき箇所であることを示す付番を追加したスケルトン図が添付されていたが、当社は、登録漏れの修正について連絡を受けていなかった。
- ・日本アームは、平成15年11月に美浜3号機第21回定期検査（平成16年8月開始予定）に向けて当該部位を点検すべき箇所に含めた点検対象箇所のリストを電子メールにて当社へ提案した。当社は同リストを受領したものの、登録漏れや未点検という記載は当該リストにはなく、特段の情報提供もなかったことから、その提案に基づき点検計画書を策定した。
 - ・平成16年7月の大飯1号機のその他部位（主給水管）減肉トラブルを受け、若狭支社は、その他部位も含め次回定期検査で追加点検すべき箇所を抽出するよう各発電所に指示した。美浜発電所は、この指示を受け、点検リストのチェック作業を進める中で、未点検箇所の一部として当該部位を抽出したが、既に次回定期検査において点検する計画であったことを確認した。

フェーズ：美浜3号機以外でスケルトン図から当該箇所と同一の部位が漏れていたこと等の発見

- ・日本アームは、高浜3号機の当該同一部位での減肉傾向を受け、平成9年に高浜4号機にて当該同一部位の減肉状況を調査した際に登録漏れを発見し、その部位の点検を提案する際、登録漏れについても当社に伝えた。当社はその提案をもとに、点検計画済みであった至近の高浜4号機第10回定期検査（平成10年1月開始）に織り込んで点検を実施したが、他プラントには展開しなかった。
- ・日本アームは、各プラントの定期検査ごとに配管関係のトラブル情報を収集し、報告および調査計画への反映のため、平成8年12月からNUSCと定期検査ごとに情報提供契約を締結した。それに基づき、平成10年以降、日本アームは、NUSCから他社プラントの配管点検結果の概要報告を受けた。その中に、北海道電力泊1号機や日本原子力発電敦賀2号機の当該同一部位の減肉情報も含まれていた。この減肉情報の提供について、日本アームとの間に認識の相違があり、NUSCは水平展開を意図したも

のであったとしているのに対し、日本アームは数多くの情報の中の一つであり特別な情報とは受け止めず、当社の全プラントへ水平展開することはなかったとしている。泊1号機や敦賀2号機の登録漏れを含め、漏れの情報については、NUS E Cから日本アームおよび当社には伝えられなかった。

- ・日本アームは、美浜1号機での当該同一部位の登録漏れを発見し、平成13年9月に当社に提出した提案書には反映しているが、当社に登録漏れを伝えていなかった。

(2) 直接的な要因・背景となる要因の抽出および要因の分類 (添付資料7-1~3)

各フェーズの事実関係から問題点を把握し、そこから明らかになる直接的な要因を抽出した。

さらに点検リスト漏れの要因把握に万全を期すために、事実関係をもとに点検リスト漏れに焦点をあてた問題点を把握し、これを起点としてR C Aの手法を参考に背景となる要因についても抽出を行なった。

これらの要因抽出にあたっては、「原子力発電所における安全のための品質保証規程」(J E A C 4 1 1 1 - 2 0 0 3)の要求事項に基づき直接的要因と背景となる要因を整理し、2次系配管肉厚管理業務に反映すべき要因として、「業務の計画と体制」「調達管理」「情報の共有」「教育」「監査」の5項目に分類した。

a. 業務の計画・体制において

P W R管理指針は2次系配管肉厚管理業務の基本ルールを定めたものであり、実際の業務の管理を実施していくための、具体的な業務の役割と責任分担、その運用のルール、検証方法等、業務の計画を綿密に定めていなかった。

2次系配管肉厚管理業務に係る膨大なデータをチェックするための人的資源が不十分であった。

2次系配管肉厚管理業務に係る膨大なデータをチェックするための機械化が不十分であった。

2次系配管肉厚管理の点検リストを定期的に見直す仕組みがなかった。

b. 調達管理において

協力会社を信頼し、詳細を明示しなくてもやってくれているだろうとの思い込みから、P W R管理指針や設備の現状に照らして「点検リストの漏れ」がないことの確認、点検リストのダブルチェックや点検対象漏れを発見した場合の当社への報告など、外注先に対する要求仕様が記載されていなかった。

要求事項で記載しきれない、あるいは予想できない異常や不具合を発見したときに、契約先である協力会社とその情報を共有できるプロセスが明確でなかった。

三菱重工業から提出された工事計画や結果報告にはP W R管理指針が引用されていたものの、当社としては、点検リストに照らして充足したものであることを確認していなかった。

c. 情報の共有において

不適合の定義が明確ではなく、「点検リストの漏れ」を不適合として水平展開できなかつ

た

事業者間の水平展開ができなかった。

三菱重工業から当社に対して、PWRプラントに共通の点検・調査において、異常事項、不具合、トラブル等がいずれかのPWRプラントにおいて発見されたときには、当社に確実に伝わる仕組みがなかった。

当社社員と協力会社社員との接触が少なく、常日頃から親近感を持ったコミュニケーションが不十分であった。

d . 教育において

配管からのリークは発生しても最初は小リークで、大きな破損が直ちに起こり、甚大な被害をもたらすとは考えておらず、サリーのような危機に対する意識付けが不十分であった。

サリー事故に対する教訓が必ずしも正確には伝わっていなかった。

2次系配管肉厚管理に対する業務の計画の重要性について認識不足であった。

調達管理の重要性に関する教育が不十分であった。

e . 監査において

内部監査（第一者監査）は、社内標準類の整備状況や整合性に力点がおかれ、その社内標準に基づく業務の詳細な実施状況はサンプル的に確認することにとどまっていた。

協力会社に対する監査（第二者監査）についても、主として品質保証体制の整備状況に関するものとなっていたため、個別業務の実施内容まで踏み込めていなかった。

3 . 2次系配管肉厚管理業務に反映すべき品質保証上の対策

第7章2 . にて分類された要因に対して、以下の対策を実施する。

(1) 業務の計画と体制

要因 a . -

PWR管理指針は2次系配管肉厚管理業務の基本ルールを定めたものであり、実際の業務の管理を実施していくための、具体的な業務の役割と責任分担、その運用のルール、検証方法等、業務の計画を綿密に定めていなかった。

(対策 1) 直営化までの間の2次系配管肉厚管理業務の当社による主体的管理の実施

第7章3 . (1) (対策 3) (a) にて記述する抜本的見直しを行なうまでの間、当社が主体的に管理することに改め、以下の対策を実施する。

(a) スケルトン図（配管立体図）とPWR管理指針を照合し、2次系配管肉厚管理が必要な箇所の経年変化点検管理票（以下「点検管理票」という）への反映状況を確認し、これを整備した。

(b) 当社の5カ年点検計画に基づき、当該定期検査の点検計画作成を協力会社に依頼し、協力会社作成の点検計画を確認の上、協力会社に点検を依頼する。

(c) 点検結果の評価についても、協力会社からの評価をPWR管理指針に照らし当社でも評価し確認する。

(d) 設備改造に伴う2次系配管の変更が、確実に2次系配管肉厚管理業務に反映されるよう、仕組みを変更した。すなわち、設備改造を行なうメーカー等がスケルトン図を変更し、当社に提出することを工事仕様書で要求する。当社はこれらのスケルトン図を原本管理するとともに、NIPSを管理する協力会社にスケルトン図の変更を依頼し、点検管理票に反映させる。

(対策2) 当社現場立会い等の強化

協力会社社員が現場で行なう肉厚測定作業等への当社社員の立会いを強化し、協力会社社員との対話、連携、および重要ポイントの確認を行なう。

(対策3) 2次系配管肉厚管理業務の直営化

今回の事故に鑑み、肉厚測定を除く2次系配管肉厚管理業務は当社が自ら実施することとし、必要なシステムを含め、協力会社から当社に移管する。

そのため、業務分担を以下のとおり見直しする。また、見直し後の業務の役割分担、運用のルールについて文書にて明確化する。

(a) 当社が行なう業務

- ・点検計画の作成
- ・入力された測定データの確認
- ・PWR管理指針に基づく余寿命評価
- ・点検結果の評価、対策の立案、実施
- ・スケルトン図、点検管理票の変更および原本管理
- ・定期的な点検管理票（スケルトン図を含む）のレビュー

(b) 協力会社が行なう業務

- ・点検計画に基づく肉厚測定（現場測定、測定データの確認、入力および記録の作成）

要因 a . -

2次系配管肉厚管理業務に係る膨大なデータをチェックするための人的資源が不十分であった。

(対策4) 2次系配管肉厚管理業務に携わる人員の強化

点検計画からデータ評価等の一連の工程にわたって確認を行なうなど2次系配管肉厚管理業務を充実させるために人員を強化する。

要因 a . -

2次系配管肉厚管理業務に係る膨大なデータをチェックするための機械化が不十分であった。

(対策5) NIPSの改善および高度化

2次系配管肉厚管理業務に係る膨大なデータをチェックするための機械化が不十分であったことから以下の対策を実施する。

- ・スケルトン図と点検管理票をNIPS内でリンクさせる。
- ・スケルトン図、点検管理票の変更経緯をシステムに記録し、トレーサビリティを向上させる。
- ・主要点検部位の新たな追加等、重要な変更がシステムに入力された場合、当該箇所が明確に認識できるようビジュアル化（赤色表示等）を図る。

要因 a . -

2次系配管肉厚管理の点検リストを定期的に見直す仕組みがなかった。

(対策6) 点検管理票の定期的なレビューの実施

点検管理票に2次系配管肉厚管理未実施部位がないことの確認等を行なうため3年ごとを目途にスケルトン図を含む定期的なレビューを実施する。さらに、発電所で策定した点検計画を上位機関がサイドチェックする仕組みとする。

(2) 調達管理

要因 b . -

協力会社を信頼し、詳細を明示しなくてもやってくれているだろうとの思い込みから、PWR管理指針や設備の現状に照らして点検リストの漏れがないことの確認、点検リストのダブルチェックや点検対象漏れを発見した場合の当社への報告など、外注先に対する要求仕様が記載されていなかった。

要因 b . -

要求事項で記載しきれない、あるいは予想できない異常や不具合を発見したときに、契約先である協力会社とその情報を共有できるプロセスが明確でなかった。

(対策1) 協力会社および社内の役割分担の明確化

2次系配管肉厚管理業務において、当社と協力会社の点検計画の提案の扱いが明確でないことや当社内の役職と担当を含め、誰が何を確認するか等の責任分担や運用が明確でなかったことから、肉厚測定を除く2次系配管肉厚管理業務を当社が自ら全て実施するまでの間、以下の対策を実施する。

(a) 協力会社の役割

- イ. 次回定期検査の点検計画を作成し、当社に提案する。
- ロ. 肉厚測定、余寿命評価を実施する。

(b) 当社の役割

- イ. 当社自ら中期点検計画(5ヵ年)を作成し、協力会社から提案された点検計画と照合、確認する。
- ロ. 肉厚測定結果および余寿命評価結果の妥当性について評価し、次回点検計画を決定するとともに、必要があれば取替え等の計画を行なう。
- ハ. スケルトン図・点検リストは当社が管理し、変更にあたっては承認申請図書として変更管理を実施することを保修業務要領指針「2次系配管肉厚管理業務の厳正化」に明記した。

(対策2) 点検対象漏れ発見時の報告等調達要求事項の明確化

2次系配管肉厚管理業務において、当社は点検管理票のダブルチェックや点検対象漏れを発見した場合の当社への報告などを、外注先に対して明確に要求していなかったことから、肉厚測定を除く2次系配管肉厚管理業務を当社が自ら全て実施するまでの間、以下の対策を実施する。

(a) 実施範囲の明確化

- イ. 配管肉厚測定実施範囲については、当社発注仕様書に基づく範囲であることを明確化する。

ロ．スケルトン図・配管経年変化点検管理票・点検結果整理表を提出する。
ハ．肉厚測定を実施し測定データに基づく余寿命評価を行ない、次回点検計画を策定し提案する。

(b) 2次系配管肉厚管理業務における異常時の報告要求の明確化

スケルトン図と現場との照合の結果、不整合が認められた場合、測定データに異常が認められた場合および点検対象漏れを発見した場合等の当社への報告要求を、発注仕様書により明確化する。

(c) 業務手順の明確化

配管肉厚測定に関する具体的業務手順について、保修業務要領指針「2次系配管肉厚の管理指針」に記載するとともに、発注仕様書に明記した。

要因 b . -

三菱重工業から提出された工事計画や結果報告にはPWR管理指針が引用されていたものの、当社としては、点検リストに照らして充足したものであることを確認していなかった。

(対策 3) 検収時に確認すべき内容・方法の明記と周知徹底

2次系配管肉厚管理業務において、三菱重工業から提案された基本データについて、PWR管理指針に基づき点検箇所に抜けがないことのチェックが十分になされていなかったことに鑑み、外注結果が要求事項を満足している内容であることを確認するため、検収時の確認事項について、その内容・方法を保修業務要領および請負工事一般仕様書に関する要領指針に記載し周知徹底する。

(3) 情報の共有

要因 c . -

不適合の定義が明確ではなく、「点検リストの漏れ」を不適合として水平展開できなかった。

(対策 1) 「点検リストの漏れ」に関する事例の社内標準への反映

今回の「点検リストの漏れ」が確実に水平展開が図れるよう、不適合事例として社内標準に明記した。

(対策 2) 「点検リストの漏れ」以外の事例の確実な水平展開の実施

「点検リストの漏れ」以外の事例についても、確実に水平展開が図れるよう、不適合事例の抽出基準および具体例の明確化を検討し、社内標準へ反映する。また、社内ならびに、メーカーおよび協力会社も含め、不適合事例に係る情報共有ルールを社内標準へ反映する。

(対策 3) 情報管理専任者の設置による水平展開の確実な実施

2次系配管肉厚管理業務において、「点検リストの漏れ」を不適合として水平展開できなかったことから、各発電所において情報管理専任者を設置し、水平展開の確実な実施を図るとともに、社内LANを活用した全発電所の同一設備担当者間の情報交換の場を提供し、タイムリーな情報の反映を図る。

(対策 4) 重要情報がキーパーソンへ直接入るシステムの構築

2次系配管肉厚管理業務において、「点検リストの漏れ」を不適合として情報を入

手できなかったことから、次期点検箇所等の設備信頼性に関する契約先からの提案については、当社で内容を確認の上、より迅速に対応するため、ITを活用し、担当者のみならず対応の専決権限を持つ者にも直接情報が入るシステムを構築する。また、その契約先からの提案に対する評価などの状況を、発電所の共通データベースで管理し、契約先（提案先）にも明確に伝える。

要因 c . -

事業者間の水平展開ができなかった。

(対策5) 「点検リストの漏れ」のような事例の国内電力会社間での水平展開の仕組みの改善

設備などのハード面における不適合のみならず、ソフト面における不適合についても水平展開を図る必要性に鑑み、今回発生した点検リスト漏れのような事例を国内電力会社間で共有するために、国内電力会社間で水平展開が図られるよう仕組みを改善した。具体的には、「保全品質情報基準」に「トラブル発生 of 未然防止の観点から再発防止対策を図るとき」として、具体事例に「主配管、主要弁、ポンプなど重要な部位、項目が点検リストから漏れた場合」を追記した。

要因 c . -

三菱重工業から当社に対して、PWRプラントに共通の点検・調査において、異常事項、不具合、トラブル等がいずれかのPWRプラントにおいて発見されたときには、当社に確実に伝わる仕組みがなかった。

(対策6) 電力・メーカー間の保全情報共有化の仕組みづくり

他社との2次系配管肉厚管理業務の情報・対策の共有化を図るために、国内PWRプラントを所有する電力とメーカー間でオーナーズグループを組織し、各社の不具合情報、海外情報および知見を収集し、対策情報を提供する場を設けるよう今年度内を目途に各社に働きかける。

要因 c . -

当社社員と協力会社社員との接触が少なく、常日頃から親近感を持ったコミュニケーションが不十分であった。

(対策7) 水平展開された知見を協力会社と共有する仕組みの構築

2次系配管肉厚管理業務に係る水平展開された具体的内容について、それぞれの設備の工事を担当する協力会社へも情報提供し、協力会社と一体となった対策の立案を行なう。なお、具体的運用においては、単に協力会社へ情報を提供する一方通行のやり方ではなく、対策および水平展開要否の検討、対策の実施まで双方向のやりとりを行ない、確実かつ高度な不適合処置・水平展開を目指す。

(対策8) 協力会社とのコミュニケーションの充実

2次系配管肉厚管理業務において、当社社員と協力会社社員との接触が少なく、常日頃から親近感を持ったコミュニケーションが図れていなかったことから、従来からの安全衛生協議会等の活動や協力会社が行なう朝礼、TBM(ツールボックスミーティング)等への参加に加えて、発電所の所長・次長および若狭支社修保グループチーフマネジャーにおいては、原則年1回全ての元請け会社と個別に対話する機会を設けるとともに、発電所課長クラスにおいては日常的に協力会社実務者クラスと対話

を行ない、情報の共有化を図っている。これは、保全活動の基礎である協力会社との良好なコミュニケーションが図れる雰囲気醸成していく。

(対策9) 現場における作業員とのコミュニケーションの充実

朝礼、TBMのみならず現場監督業務を通じて第一線の作業員に当社としての顔が見えるようにすることによって情報を吸い上げる現場環境が必要であり、このため当社に定期検査における現場作業等の監督業務を専門的に行なうグループを新設、試行し、その効果を評価した上で将来的なあり方について検討する。

(4) 教育

要因d . -

配管からのリークは発生しても最初は小リークで、大きな破損が直ちに起こり、甚大な被害をもたらすとは考えておらず、サリー事故のような危機に対する意識付けが不十分であった。

要因d . -

サリー事故に対する教訓が必ずしも正確には伝わっていなかった。

(対策1) 美浜3号機二次系配管破損事故による教訓等の事例周知

トラブル事象とその教訓を認識し、管理すべき範囲が管理外におかれると重大な事故につながることもあるという危機意識をもつよう、保修課員(配管担当者)に徹底する。そのため、配管破損に係る過去のトラブル事象とその教訓を周知するとともにそれぞれの業務の重要性を意識させるための教育を、保修課員(配管担当者)を対象として実施する。

要因d . -

2次系配管肉厚管理に対する業務の計画の重要性について認識不足であった。

(対策2) 2次系配管肉厚管理に対する業務の計画の重要性に関する項目の教育システムへの組み込み

2次系配管肉厚管理指針の内容、肉厚測定および値の判断方法、余寿命評価方法に加えて、業務の計画の重要性を認識させるべく過去の事故事例の紹介を新たな教育項目として、教育システムに組み込み、保修課員(配管担当者)を対象とした教育が実施できる仕組みにする。

要因d . -

調達管理の重要性に関する教育が不十分であった。

(対策3) 調達管理の重要性に関する教育の充実

調達管理に係るルール面において、仕様書における責任分界点・補償条件等の明確化、不適合の定義など当社への報告基準を具体的に調達要求事項に明示(「点検リストの漏れ」が重大な不適合であることを明示) 検収時に確認すべき内容・方法をより明確にしていくなど、調達管理業務を改善した点と同業務の重要性を皆が十分理解できる様に教育メニューに追加する。

(5) 監査

要因 e . -

内部監査（第一者監査）は、社内標準類の整備状況や整合性に力点がおかれ、その社内標準に基づく業務の詳細な実施状況はサンプル的に確認することにとどまっていた。

要因 e . -

協力会社に対する監査（第二者監査）についても、主として品質保証体制の整備状況に関するものとなっていたため、個別業務の実施内容まで踏み込めていなかった。

(対策1) 個別業務の業務実施内容に沿って詳細に確認する業務プロセスに着目した監査へのシフト

2次系配管肉厚管理業務において、内部監査（第一者監査）は、社内標準類の整備状況や整合性に力点がおかれ、協力会社に対する監査（第二者監査）についても、主として品質保証体制の整備状況に関するものとなっていたため、個別業務の実施内容まで踏み込めていなかった。

内部監査（第一者監査）および協力会社に対する監査（第二者監査）ともに、従来は仕組みの整備状況を中心に確認してきたが、今後は個別業務について、実施手順の要求事項やプロセスが明確にされ、業務が効果的に実施されているかの確認にシフトさせていく。具体的には、業務の計画、実施、フォローという業務のプロセスについて、想定されるリスクに対する管理手段が設けられ、それが確実に実施されていることを確認するものである。

4 . PWR管理指針の的確な運用

PWR管理指針では、余寿命が2年以下と評価された場合には取替計画を策定することとなっているが、調査の過程で、火力技術基準の「ただし書き」を誤って適用していた事例があったため、以下の対策を実施することとした。

- ・技術基準の解釈に明記されている別表の許容値を厳正に用いて運用する。
- ・当社の管理指針について、「余寿命が2年以下となる前に点検を行なう」を改め、「余寿命が5年未満となる時期に点検を行なう。さらに、余寿命が5年未満の場合は取替・溶接補修を立案し、余寿命がゼロ年になるまでの間に補修すること、また、補修までの間は、定期検査において毎回点検を継続する」と改正した。また、事前に補修方法や補修用部材を準備しておくなどの運用・管理を適切に実施する。
- ・技術基準を運用する者が適切に技術基準を理解できるよう教育を実施する。

5 . 労働安全活動に反映すべき対策

今回の事故は、5名の方が尊いお命を亡くされ、6名の方が重傷を負われるという極めて重大な人身事故であり、このような事故を二度と繰り返さないため、労働安全の観点から今回の事故から得られた教訓に基づき、以下の対策を実施した。

(1) 事故後直ちに実施した対策

事故後直ちに、運転中のプラントへの立ち入り制限を実施し、やむを得ず作業が必要な場合には、耐熱服の着用等の措置を実施する。また、2次系配管の健全性が確認され、協力会社の方々、地元の方々のご理解が得られるまで定期検査前準備作業を実施しないこととし、従来、定期検査前準備作業として行っていた作業をプラント停止後に実施する。定期検査

においてプラント運転中に事前準備として行なっていた作業の内容、優先度および重要度を精査している。

(2) 被災者救出活動の確実な実施

(a) 119番通報について

「消防計画」・「原子力発電所における警防活動に関する協定書」において、火災等を発見した場合は、速やかに消防機関へ通報することを定めており、発見者は、所属長・当直課長に直接報告し、消防計画に定められた消防署への通報者に速やかに情報が伝わるように徹底する。

以上の内容が発電所員に十分浸透する様、救急通報のルール遵守を周知徹底した。

(b) 現場指揮本部との連携

消防現場指揮本部との連携強化を図るため、担当管理職を同本部へ派遣することにより、消防本部の指揮のもと、建屋構造設備・作業人員把握状況等を含め、必要な説明が速やかに行える体制とした。また、当社対策本部室近傍の場所を消防本部用に準備し、消防本部の方へ当社対策本部の情報をより迅速に提供できるようにするとともに、構内PHSにより消防現場指揮本部と当社対策本部との連絡が確実に実施できるようにする。

(c) 作業者の安否確認

災害発生時には、作業エリアへの入域システムにより速やかに周辺防護区域および防護区域への立ち入り者とその協力会社名を把握し、協力会社の作業責任者を通じて、安否を確認することにより、現場での作業人員の的確な把握を行なう運用とした。

(d) 被ばく・汚染情報の連絡

管理区域内外の発災を問わず、被ばく・汚染の有無に関する情報を確実に救急隊ならびに医療機関に連絡するよう、社内標準に反映した。

(e) 救出要員の2次災害防止

2次災害防止のため、念のための処置として、救出活動にあたる際の注意事項を発電所員に対して周知徹底した。

(f) 地元地区への連絡

発電所が要請した救急車等の緊急車両が地元を通過する場合、通過地域周辺の方々への状況を知らせていただけるよう、美浜町の音声告知放送設備を利用した連絡を実施していく。

(3) 作業員への周知

今回の事故を踏まえ、発電所内の全ての作業員に対して美浜3号機の事故に係る状況を説明し、さらにプラントの運転状態に応じた危険箇所の周知等を行ない、安全に対する理解を促すよう各発電所作業担当箇所に指示し、各発電所は、現場作業に従事する者に周知し、説明した。

また、立入制限中の現場においては、耐熱服の設置場所、安全通路がわかる様に表示するとともに、主復水・主給水系統の配管については主要点検部位に点検状況等を記載した表示札を取付け、また、主要機器類については点検が実施されており健全である旨を当該エリア入口に掲示することにより、作業員の方々が自ら確認できるようにした。加えて、発電所への入構時安全衛生教育においては、災害発生時の避難経路、耐熱服の設置場所などの項目

も追加する。

第8章 事故再発防止対策の保全業務への水平展開

1. 業務の計画と体制

当社の原子力発電所の保全業務については、業務の計画と結果の評価は当社が行ない、現場作業を外注することを基本としてきた。

2次系配管の肉厚管理業務は、第7章で述べたとおり、業務の計画段階で、当社・メーカ・協力会社の役割分担が不明確であった。この反省から当社の保全業務全般にわたり役割分担をより明確にしておくことが必要と考え、3者が適切な緊張感を長期にわたり継続するための方策として次の事項を実施する。

当社、メーカ（製造者）および協力会社（施工会社）の役割分担と責任を、保全の計画の段階で文書等により明確にする。具体的には、保全の計画、調達管理、結果の評価、記録の保管などは、当社の役割であり全ての責任を有することを明確にする。その上でメーカに対して、高度な技術力を有するものであるという観点から設備に関する各種技術情報（不具合情報）の提供を求める。また、協力会社（施工会社）に対しては、当社の要求事項の確実な遂行と施工に係る情報提供を求める。当社はその情報をもとに最終的な保全の計画を策定する。

このため、工事の安全上の重要度、必要とされる技術力や法的な位置付け、工事形態などに応じて役割分担を定めて基本計画を策定し、その後、それぞれの工事の種別ごとに類型化してルール化する。

2. 調達管理

当社では、保全業務を行なうにあたって、請負や委託は必要不可欠なものであり、調達管理を適切に実施することが保全業務の品質を確保する上で、非常に重要であると考えている。

第7章で述べたとおり、調達管理においては、当社の要求事項を確実に満足できるよう仕様書等を明確にすることが重要であり、以下の事項を実施する。

a. 請負工事に加え委託調査も含めた、当社の役割の明確化

保安上、重要な案件については、委託調査も含めて外注した業務について、その実施体制、手順、力量等を確認することにより、品質を確保することが必要である。そのために、当社がどの程度関与するかを個々の業務ごとに検討する。例えば業務のプロセスごとに確認が必要なもの、ポイントの確認より全体を評価するもの、力量管理により外注先に委ねるもの、結果の確認だけで十分な業務に分類し、それぞれに適切な管理程度と方法を明確化するとともに当社担当者に十分理解させてその状況をフォローし、改善を図る。

この調達管理の最適化については、外注の重要度や内容、形態、力量に応じ、当社の役割を見直すためのこととし、基本計画を策定し、その後、それぞれのパターンに分けルール化する。

b. 調達要求事項記載内容のさらなる明確化

業務の計画において定められた責任分界点・補償条件等の明確化、不適合の定義等、当社への報告基準を具体的に調達要求事項に明示（点検リスト漏れが重大な不適合であることを明示）および検収時に確認すべき内容・その検収方法について、調達文書である仕様書や契約書において明確にする。その旨、保修業務要領に追加記載し、周知徹底する。

c . 検収時に確認すべき内容・方法

外注結果が要求事項を満足している内容であることを確認するため、検収時の確認事項について、その内容・方法について保修業務要領および請負工事一般仕様書に関する要領指針に記載し周知徹底する。

3 . 情報の共有

第7章で述べたとおり、2次系配管肉厚管理においては情報共有が重要であり、水平展開等の対策を実施することとしたが、保全業務全般についても同様の対策を以下の項目について展開する。

- a . 「点検リストの漏れ」に関する事例の社内標準への反映
- b . 「点検リストの漏れ」以外の事例の確実な水平展開の実施
- c . 情報管理専任者の設置による水平展開の確実な実施
- d . 重要情報がキーパーソンへ直接入るシステムの構築
- e . 「点検リストの漏れ」のような事例の国内電力会社間での水平展開の仕組みの改善
- f . 電力・メーカー間の保全情報共有化の仕組みづくり
- g . 水平展開された知見を協力会社と共有する仕組みの構築
- h . 協力会社とのコミュニケーションの充実
- i . 現場における作業員とのコミュニケーションの充実

4 . 教育の充実

第7章3 . (4) において、当社が教育関係の対策として実施する項目を列挙したが、これらの中で、保全業務遂行能力の向上につながるものについては、より効果的な対策となるよう、対策内容を2次系配管肉厚管理業務だけでなく保全業務全般に拡大し、実施する。

a . 美浜3号機二次系配管破損事故による教訓等の事例周知

配管破損に関する過去のトラブル事例と教訓を確実に伝承するとともに、これを通じて2次系配管肉厚管理業務や調達管理業務の重要性を認識させるための教育を実施するが、他の業務においてもその重要性は変わらない。そのため、対象となるトラブルを配管破損事故に限定せず、教訓を伝承すべき重大なトラブル事例全般とするとともに、そのトラブルが業務の重要性の認識不足から発生したものであれば、これもあわせて周知する。また、対象者も配管担当者に限らず、発電所技術系社員全員として、e - ラーニングにて実施する。なお、この内容は新入社員教育のメニューにも追加する。

b . 業務の計画や調達管理に関する教育

2次系配管肉厚管理の改善の対策として抽出した業務の計画および調達管理に関する教育については、その重要性に鑑み、保全業務共通のものとして充実を図る。

5 . 監査の強化

品質・安全監査室による内部監査および原子力部門による協力会社に対する監査について、より現場に密着した業務プロセスに着目した確認ができるような体制を構築する。

6. 労働安全活動

今回の事故では、設備保全状況を労働安全確保のための仕組みに反映する取組みが十分でなかったため、労働安全確保に向け、体系的な取組みを行なうための対策を実施する。

(1) 労働安全衛生マネジメントシステムの導入

a. システム導入

今後の労働災害防止対策として、事業場のトップが自ら率先し、一体となった安全管理活動を推進すべく、美浜発電所において、労働安全衛生マネジメントシステムを導入する。

本マネジメントシステムは、厚生労働省が策定した指針に基づくもので、「計画 - 実施 - 評価 - 改善」という一連の過程を定めて、連続的かつ継続的な安全衛生管理を自主的に行なうことにより、事業場の労働災害の潜在的危険性を低減するとともに、労働者の健康の増進および快適な職場環境の形成の促進を図り、事業場における安全衛生水準の向上に資することを目的としている。美浜発電所では、既に取り組みに着手し、実施体制、安全衛生方針・目標を決定、年度活動計画を策定するとともに内部監査やレビューのための仕組みを構築した。

また、本マネジメントシステムにおいては、事業場における危険または有害要因およびこれに対する実施事項を特定するとともに、これらの内容を作業者に周知するプロセスが含まれており、既に試行中である。今後は、これらの試行活動を経て、平成17年度に本格運用する。

加えて、第7章5.(1)における運転中の事前準備作業の検討結果を踏まえ、必要な作業については、労働安全衛生マネジメントシステムの中でリスク評価を行なうことにより、制限事項と安全確保策を明確にし、定期検査前準備作業の改善を図り、協力会社、地元の方々のご理解を得ていく。

なお、美浜発電所の取組みを踏まえ、高浜発電所、大飯発電所へも展開する。

b. 設備の適切な維持管理

労働安全衛生マネジメントシステムの中で事業場における危険または有害要因およびこれに対する実施事項を特定するプロセスがあり、この中で危険箇所を特定し、実施事項として、適切な設備保全ができていることを確認する。

(2) 安全管理活動の確実な実施

次の事項等により安全管理活動の確実な実施に努める。

a. 事業場における相互連携

(a) 現場設備に精通した保修部門の管理職を安全管理者として選任し、安全管理活動と設備管理活動を一体として実施できる体制とする。

(b) 労働安全衛生マネジメントシステムの体制の中において、設備管理を所管する技術系副所長や安全管理者を中核に位置付けて推進する。

b. 総括安全衛生管理者を中心とする安全管理活動の実施

(a) 総括安全衛生管理者、安全管理者の安全衛生委員会への出席を含め、適正な運用の徹底を図る。

(b) 安全衛生委員会を発電所員の意見を反映させる場として中核に位置づけ、総括安全衛生管理者がリーダーシップをとり、法で定められた事項、安全衛生目標、安全衛生活動計画、システムの運用状況を審議し、活性化を図る。

c . 協力会社も含めた全体的な緊急避難訓練の徹底

(a) 協力会社と合同で行なう緊急避難訓練については、種々の災害を想定した避難ルートを確保する。

(b) 作業者の迅速な避難を目的とした協力会社との緊急避難訓練（年2回以上）を実施する。また、訓練に際しては、協力会社に対して積極的に参加を働きかける。

(3) コミュニケーションの充実

労働安全衛生マネジメントシステムを運用する中で、安全衛生目標の設定や安全衛生活動計画の策定時に、安全衛生委員会において発電所員の意見を聞くほか、安全衛生協議会、さらには、日常作業におけるTBM等の場を通じて当社 - 協力会社間のコミュニケーションを十分に図る。

(4) 安全管理者への教育の実施

労働災害の現状、災害事例の研修、最近の安全管理手法などに関する教育を実施し、現場の労働安全衛生活動の中心メンバーである安全管理者の能力向上を図ることにより、労働安全衛生の水準を向上させる。

7 . 高経年化対策

当社は美浜2号機の蒸気発生器伝熱管損傷事故を契機として、高経年化対策の重要性についていち早く認識し、専任の体制を構築し、この課題について取り組んできた。

今回の配管破損事故は、28年間当該部位が要管理箇所として点検リストから漏れていたため点検されず、破損に至ったものである。これは28年間運転してきたというプラントの高経年化が背景にあり、運転年数に応じた点検範囲の拡大などのさらなる高経年化への考慮が必要である。

当社はこれまでもSG、原子炉容器上蓋等の設備の更新を行ってきたが、プラントの高経年化に対しても、予防保全や信頼性向上の観点から適切な設備更新を行なうことが大変重要である。

運転開始後30年を超えたプラントでは、高経年化対策検討にて抽出された新たな保全策をとりまとめた長期保全計画（通常の点検計画を含む）を計画的かつ確実に実施し、さらには高経年化プラントについて、より信頼性の高い管理を行なうため、検査・モニタリング技術、予防保全・補修技術、経年変化評価技術の研究開発を今後も継続して実施し、その成果を保全プログラムに反映して、高経年化したプラントの健全性を維持していくことが重要である。

また、こうした高経年化プラントについては社会的関心も高く、一般の方々にご安心をいただくためにも、取組み内容について積極的に公表しご理解を得ていくことが不可欠である。

このように高経年化対策については、技術的側面と社会的側面から対応の充実を図る必要があることから、今後も積極的かつ計画的に取り組んでいく。

なお、今回の配管破断事故に鑑み、高経年化プラントへの2次系配管肉厚管理については、運転開始後30年を超えるプラントを対象に以下のさらなる充実を図った。

3回の定期検査で再度、全箇所を点検

余寿命10年未満になれば、毎定期検査で点検

減肉傾向が認められるもので余寿命10年未満のものは、今後数回の定期検査で耐食性に優れた材料に取替え

8. 地元からの信頼回復

当社は従来から、発電所のコミュニケーショングループを中心に、さまざまな機会を捉えて地元の方々との対話活動等を進めてきた。しかしながらこのたびの事故により、地元の方々が発電所に向けてのお気持ちを発電所の技術者等が直接汲み取りながら、発電所の業務を運営することが重要であること、また、地元の方々の声を経営に活かしていくことが重要であることを、改めて認識した。

そこで、よりよい意思疎通を図る対策として地元の方々や発電所の技術者等が直接対話する機会を増やす。既に美浜町全戸（約3,000戸）を訪問し、ご意見を伺っている。また、社長以下、本店・若狭支社幹部が積極的に、直接地元の方々のご意見をお伺いしあるいは当社の状況等を定期的にご説明させていただく。具体的には、社長は年1回程度、本店原子力部門および若狭支社の幹部は年3回程度の頻度で各立地町の方々と対話するべく地元との調整を進めている。

関西地域における使用電力量の約6割を担うすべての原子力発電所を福井県に立地している当社としては、地元の企業であるという認識のもと、福井県との共存、共栄が大切であり、信頼が得られるよう地域との共生にしっかり取り組んでいく。

また、原子力事業本部再編に伴い、原子力発電事業の基盤を福井県に置き事業を運営するという観点から、原子力事業本部を福井県に移転していく。

さらに長期的な福井県の発展、また県下地場産業の活性化にも寄与するために福井県が進める「エネルギー研究開発拠点化計画」の具体化について、全社をあげて協力していく

この構想において新たな課題となっている高経年化研究や特殊で高度な医療研究と治療のための施設の整備の推進に積極的に協力していく。

第9章 対策の確実な実施とフォロー

第7章、第8章において、2次系配管肉厚管理システムに関する対策、2次系配管肉厚管理の教訓を踏まえた保全業務全般への展開および、安全を最優先とする保全活動の定着のためのそれぞれ対策を実施していくことを述べた。対策には、組織の見直しや要員増強を含めたしくみの整備も含まれており、会社全体で進めていく。

対策は、より安全な原子力を目指すものであり、対策が保全活動をはじめとする発電所の業務に確実に定着するようにしていかなければならない。そのため、下記のとおり取組む。

「原子力保全改革委員会（仮称）」を新たに設置し、対策の取組み状況や進捗状況を委員会として把握し、取組み内容などについて審議を行ない、対策が確実に実施されていることを確認し、必要に応じ指導を行なう。また、対策ごとに実施体制や実施計画のレビューを行ない、対策実施担当箇所と綿密なコミュニケーションを通じ、適宜助言等フォローを行なう。

「原子力発電所における安全のための品質保証規程」(J E A C 4 1 1 1 - 2 0 0 3)に基づくマネジメントレビューにおいて、対策実施状況をインプット情報の一つとして取りあげ、トップマネジメントの視点からレビューを行なう。

なお、対策実施の状況については、地元との対話の機会を利用し、地元の方々に適時説明を行ない、ご理解を得ることとする。

おわりに

本報告書におきましては、私どもの発生させたこのたびの重大な事故の原因の調査・検討、再発防止対策の内容について、ご報告を申し上げます。

私どもは、改めて、この事故を深く反省し、二度とこのような事故を起こさないとの決意を新たにして、より安全で安心していただける原子力発電を目指し、ご報告申し上げた対策を着実に実施してまいりますのはもとより、原子力に対する信頼、当社への信頼を賜れますよう、全社一丸となって、懸命に努力を続けていく覚悟でございます。

皆様方には、引き続きご指導を賜りますよう、よろしくお願い申し上げます。

以 上

添付資料リスト

第1章 関連資料

-

第2章 関連資料

- 添付資料2 - 1 : 美浜3号機 概略系統図
- 2 : 美浜3号機 復水配管破口部の状況
- 3 : 美浜3号機 復水配管スケルトン図(第4低圧給水ヒータ~脱気器)
- 4 : 2次系配管破損事故時におけるプラント主要パラメータの推移
- 5 : シーケンスイベント記録
- 6 : 美浜3号機 2次系配管破損事故時の火災報知器の発報状況
- 7 : 美浜3号機 主給水ポンプ自動停止について
- 8 : 美浜3号機 第4低圧給水ヒータから脱気器への配管損傷に係る周辺状況写真
- 9 : 野外モニタ記録
- 10 : 美浜3号機 2次系水中に含まれるトリチウムについて
- 11 : 被災者の発見場所
- 12 : 2次系配管破損事故における被災者救出に係る人の動き
- 13 : 被災者の状況時系列
- 14 : 被災者救出に係る問題点の抽出

第3章 関連資料

- 添付資料3 - 1 : 主要パラメータ挙動の解説
- 2 : 美浜3号機 プラント状況の時系列
- 3 : 美浜3号機 2次系配管破損事故時のプラント系統状態
- 4 : 美浜3号機 2次系配管破損事故のプラント運転操作等に係る人の動き
- 5 : 美浜3号機 通常停止操作と今回停止操作の相違
- 6 : 美浜3号機 2次系配管破損事故時の運転操作について
- 7 : 美浜3号機 2次系配管破損事故と「主給水管破断」事故との比較
- 8 : 美浜3号機 2次系配管破損事故の再現解析および炉心の健全性評価結果について
- 9 : 美浜3号機 破口部からの流出経路および流出量について
- 10 : 美浜3号機 補助給水流量制御弁の一時的な動作不具合について

第4章 関連資料

- 添付資料4 - 1 : 美浜発電所3号機2次系配管破損事故に係る現地調査データ
- 2 : 美浜発電所3号機 二次系配管破損部調査報告書(案)の概要
- 3 : 美浜3号機 二次系配管破損事故の要因分析
- 4 : 可視化試験・解析による美浜発電所3号機の配管内流動の検討について

- 5 : 美浜発電所 3 号機 復水管減肉速度の比較検討
- 6 : 美浜発電所 3 号機 2 次系復水配管の破壊評価について
- 7 : 2 次系配管破損挙動解析

第 5 章 関連資料

- 添付資料 5 - 1 : 脱気器水位制御弁の閉止時期と流出量の関係について
- 2 : 破損配管周辺設備の損傷状況
 - 3 : 美浜発電所 3 号機 2 次系配管破損に伴う配管反力について
 - 4 : 2 次系配管破損事故直後における熱水・蒸気の動きのイメージ
 - 5 : 熱水、蒸気の到達範囲および設備影響調査対象機器
 - 6 : 事故時の火災報知器の動作状況
 - 7 : 主蒸気隔離弁駆動用電磁弁の直流接地について
 - 8 : 美浜 3 号機 中間・制御建屋への蒸気浸入経路の調査状況について
 - 9 : 事故によるその他設備への影響

第 6 章 関連資料

- 添付資料 6 - 1 2 次系配管肉厚管理未実施部位に対する肉厚測定結果

第 7 章 関連資料

- 添付資料 7 - 1 : 事実関係から要因の抽出および対策への展開
- 2 : 事実関係の調査結果による問題点の把握
 - 3 : 直接的な要因、背景となる要因（R C A）、要因集約および対策の関係表

第 8 章 関連資料

-

第 9 章 関連資料

-