

関西電力株式会社美浜発電所 3 号機
二次系配管破損事故に関する中間とりまとめ

平成 16 年 9 月 27 日
原子力安全・保安院

目 次

| | |
|-------------------------------------|----|
| 1. はじめに | 1 |
| 2. 事故発生状況 | 2 |
| 3. 事故の影響 | 3 |
| 3.1. 原子炉に対する影響 | 3 |
| 3.2. 周辺環境への影響 | 4 |
| 3.3. 漏えい量の評価 | 4 |
| 4. 配管破損メカニズムに関する調査 | 5 |
| 4.1. 配管破損状況 | 5 |
| 4.2. 類似箇所の調査 | 6 |
| 4.3. 配管の主な仕様 | 6 |
| 4.4. 配管等の据え付け状況の調査 | 6 |
| 4.5. 二次系冷却水の水質管理 | 7 |
| 4.6. 破損メカニズムの推定 | 8 |
| 4.7. 破損箇所の調査 | 9 |
| 5. 配管の減肉に関する管理 | 10 |
| 5.1. PWR配管に係る減肉 | 10 |
| 5.2. BWR配管に係る減肉 | 12 |
| 5.3. 火力発電所の配管に係る減肉 | 12 |
| 5.4. 今後の対応 | 13 |
| 6. 破損箇所に対する管理 | 15 |
| 6.1. 破損箇所の記載漏れの経緯 | 15 |
| 6.2. 契約関係 | 18 |
| 6.3. 今後の調査事項 | 19 |
| 7. 減肉に関する保守管理状況の検証等 | 21 |
| 7.1. 関西電力㈱に係る点検管理指針に基づく保守管理状況の確認 | 21 |
| 7.2. 関西電力㈱以外のプラント(原子力発電所)の保守管理状況の確認 | 24 |
| 8. 当面の対応 | 26 |
| 8.1. 品質保証及び保守管理面での対応 | 26 |
| 8.2. 技術的指針の明確化 | 29 |
| 8.3. 定期事業者検査における配管肉厚管理の検証 | 30 |
| 8.4. 火力発電所に係る対応 | 30 |
| 9. 作業員の安全確保等 | 32 |
| 10. おわりに | 33 |
| 11. 美浜発電所3号機二次系配管破損事故調査委員会委員名簿 | 34 |

1. はじめに

平成16年8月9日、関西電力株式会社(以下、「関西電力㈱」という。)美浜発電所3号機において、二次系配管が破損し高温の二次系冷却水が流出して、原子炉が自動停止した。現場を確認したところ、復水系配管に破口が認められた。

本事故は、加圧水型軽水炉の二次系配管の破損事故であり、安全審査における同種事故に対する解析の結果と比べて、事故直後の原子炉パラメータの変化に特段の問題は認められなかった。しかし、事故により、タービン建屋内にいた作業員のうち、5名の作業員が亡くなり、6名の作業員が負傷するという、原子力発電所で例をみない重大な結果となった。

原子力安全・保安院(以下、「保安院」という。)は、事故発生後、直ちに保安院審議官を現地に派遣し、現地対策本部を設置し、事故後の対応に当たった。

また、翌10日には、中川経済産業大臣が現地を視察した。同時に保安院は、総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会原子炉安全小委員会を開催し、関西電力㈱美浜発電所3号機において発生した二次系配管の破損事故について調査・検討を進めるため、美浜発電所3号機二次系配管破損事故調査委員会(以下、「調査委員会」という。)を設置した。調査委員会は直ちに2名の委員を現地に派遣するとともに、8月11日に第1回の調査委員会を開催した。

その後、保安院は、8月11日、原子力発電所及び一定規模以上の火力発電所を設置する事業者に対し、配管の肉厚管理の実施状況を報告するよう指示するとともに、8月13日には、美浜発電所への立入検査を実施し、破損部の調査及び発電所関係者からの事情聴取を行った。さらに、8月30日に当該破損箇所の保守点検を行った事業者に対して、報告徴収を行った。

また、保安院は、調査検討の進捗状況などについて、福井県、美浜町等の地元などに対して直接説明を行うなど今回の事故に対する説明責任を果たすよう努めてきたところである。

調査委員会は、公開の下でこれまで6回の調査委員会を開催(第4回の調査委員会は福井県で開催)し、事故原因の究明、これまでに判明した課題に対する対策の検討などを行った。一方、配管破損に至った原因の調査も継続中である上、現象解明のための詳細な解析評価などを実施することとしているので、最終的な結果が得られるまでにさらに調査期間が必要と見込まれることから、保安院は、調査委員会での検討を踏まえて、これまでの調査結果を中間とりまとめとして整理した。

2. 事故発生状況

美浜発電所3号機は、定格熱出力で運転中のところ、8月9日15時22分、中央制御室にある「火災報知器動作」警報等が発信した。運転員は、警報動作箇所がタービン建屋2階であることを把握し、現場を確認したところ、建屋内に蒸気が充満していた。このため、二次系配管から蒸気又は高温水が漏れ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を開始し操作を行っていたところ、15時28分、「3A SG給水<蒸気流量不一致トリップ¹⁾」警報が発信し、原子炉、続いてタービンが自動停止した。

事故時におけるプラント主要パラメータの変化に特別の問題は認められず、原子炉は、8月10日23時45分、低温停止した。

運転員がタービン建屋内の点検を実施した結果、17時30分にタービン建屋2階の脱気器の天井付近にある第4給水加熱器²⁾から脱気器³⁾への給水ラインであるA系の復水配管に破口を確認した。その後原子力保安検査官も同じ内容を確認した。

当該号機においては、平成16年8月14日から第21回定期検査が計画されており、タービン建屋では、事故発生当時、関西電力(株)職員及び協力企業の社員計105名の作業員が定期検査の準備を進めていた。このうち、破損したA系復水配管付近で作業していた作業員が、破口部から流出した蒸気及び高温水により被災し、5名が死亡、6名が負傷した。

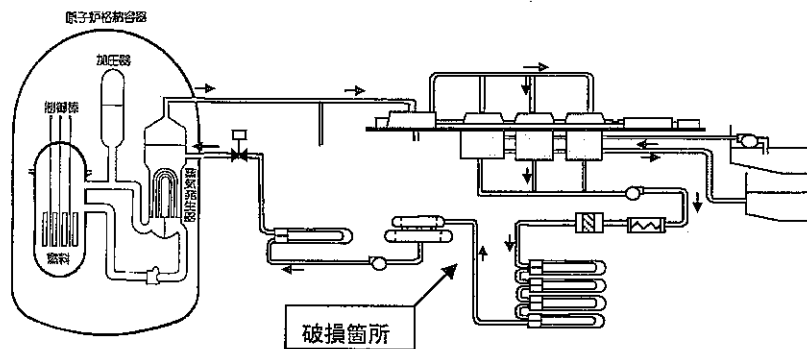


図1 PWRの主要系統と破損位置

関西電力(株)によれば、事故発生前後の運転パラメータを調査したところ、破損前には破損の兆候を示す変化は認められず、また、今回の事故を誘発するような特別な運転操作も行っていないとしている。

1 SG給水<蒸気流量不一致トリップ: 蒸気発生器の水位低と蒸気発生器に供給する給水流量が蒸気流量よりも少ないときに発報。

2 給水加熱器: タービンからの抽気で給水を加熱する熱交換機。

3 脱気器: タービンからの抽気で給水を加熱し、給水中の非凝縮性ガス(酸素等)を分離除去する機器。

3. 事故の影響

3.1. 原子炉に対する影響

美浜発電所3号機の型式は加圧水型軽水炉(PWR:Pressurized Water Reactor)であり、原子炉の熱を蒸気発生器で熱交換し、交換された熱をタービンに導くものである。熱交換されるまでの系統を一次系、熱交換後の系統を二次系と呼んでおり、一次系、二次系はそれぞれ分離されている。

従って、PWRの二次系は、基本的には冷却水中に放射性物質が含まれているわけではなく、火力発電所と同等との見方もある。しかし、加圧水型軽水炉の二次系には、原子炉の冷却(原子炉で発生した熱を逃がす)という役割があり、原子炉施設の安全性を確保するという観点からみると、一次系のみではなく二次系を含めた全体システムとして考えていく必要がある。

このような考え方から、原子炉施設の安全審査においては、二次系の損傷が原子炉に与える影響を評価するため、原子力安全委員会が定めた「発電用軽水型原子炉施設の安全評価に基づく審査指針(平成2年8月)」に基づき、「主給水管破断事故⁴⁾」、「主蒸気管破断事故⁵⁾」などを想定した安全評価解析を行っている。

今回の事故は、復水系配管の破損により二次系の冷却水が系外に流出したものであり、原子炉に与える影響としては、蒸気発生器への給水の一部が停止し、原子炉に対する除熱能力が低下することとなるものであることから、「主給水管破断事故」に相当するものといえる。

今回の事故時においては、原子炉の安全に係る系統は正常に作動しており、原子炉圧力、一次冷却材温度などの主要パラメータは、安全審査時に行った安全評価解析で想定した結果を上回る影響を示してはいない。

また、本事故に係る時系列を添付資料1に、原子力保安検査官の対応経緯を添付資料2に示す。

なお、保安院が、当該事故を国際原子力事象評価尺度(International Nuclear Event Scale: INES)に基づいて、暫定的に評価した結果は「0+」となっている。11人もの死傷者を出したにもかかわらず評価が低レベルとなっているのは、本評価尺度が原子力事故としての重大性を示すことを目的としているものであり、人に対する放射線影響の程度や、

4 主給水管破断事故:原子炉の出力運転中に、給水系配管に破断が生じ、二次系配管破断事故冷却材が喪失し、原子炉の冷却能力が低下する事象。

5 主蒸気管破断事故:原子炉の高温停止時に、二次冷却系の破断等により、一次冷却材の温度が低下し、反応度が添加する事象。

原子炉施設への安全上の影響に従って構成されていることによるものである。

3.2. 周辺環境への影響

野外モニタ、排気筒モニタの記録を確認した結果、事故の前後で有意な変化は認められず、漏えいした二次冷却水に起因する周辺環境への放射線による影響は認められない。

3.3. 漏えい量の評価

関西電力㈱からの報告によれば、破損した配管から流出した二次系冷却水量は、二次系純水タンクからの補給水量、脱気器水位低下量及び配管保有水量(第4 低圧給水加熱器から脱気器まで)から計算した結果、約885トンと評価されている。なお、運転中の二次系の保有水量は、約1,100トンである。

表 1 各部からの漏えい量

(単位：トン)

| | |
|-----------------|------|
| 二次系純水タンクからの補給水量 | 約565 |
| 脱気器水位低下量 | 約307 |
| 配管保有水量 | 約13 |
| 合計 | 約885 |

(参考) 美浜発電所3号機の概要

1. 名称 関西電力㈱美浜発電所3号機
2. 所在地 福井県三方郡美浜町丹生
3. 定格熱出力 244万kW
4. 定格電気出力 82.6万kW
5. 原子炉形式 加圧水型軽水炉
6. 運転開始 昭和51年12月1日
7. 運転時間 185,700時間

4. 配管破損メカニズムに関する調査

4.1. 配管破損状況

破損が認められた箇所は、タービン建屋2階の脱気器側の天井付近にある第4 低圧給水加熱器から脱気器へ行く2系統ある復水配管のうちのA系統復水配管で、A系の復水流量を計測するオリフィス⁶⁾の下流近傍である。

保安院及び独立行政法人原子力安全基盤機構の合同チームによる立入検査を行った結果、破損部においては、配管軸方向に最大 515mm、周方向に 930mm にわたって破口が認められた。警察の立会いの下、関西電力(株)が測定した結果によれば、配管は最も薄いところで 0.4mm であった。また、添付資料3において示すように、減肉は配管の上部で著しかった。

なお、当該破損部を含むA系配管を切り出し、日本原子力研究所において、調査を行った結果、オリフィスのペント孔⁷⁾下流部において、配管の減肉がオリフィスを支えるフランジ部に達している箇所を確認した。

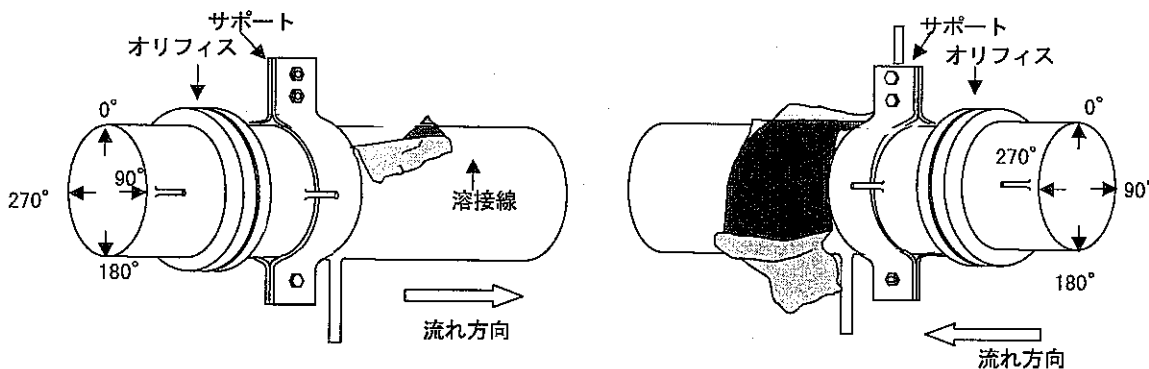


図2 配管の破損状況

また、配管内面をデジタルマイクロスコープによって観察した結果、オリフィス下流部においては、配管下部(180°)を除き全体的に、いわゆるエロージョン/コロージョン⁸⁾の特徴である鱗片状模様を呈していたが、配管下部(180°)にはほぼ公称肉厚の部分が存在し、配管内面に厚い表面皮膜(0.4mm)があり鱗片状模様が見られなかった。

なお、配管に取り付けられていた保温材などは、周辺に飛散していた。

6 オリフィス:流体の流れている管路の断面を狭める絞り機構のこと。管に流れる流量を測定するために設置される。

7 オリフィスのペント孔: 空気抜きのためオリフィス上部に設けた穴(当該オリフィスでは直径 4mm)。

8 エロージョン/コロージョン: 機械的作用による浸食と化学的作用による腐食との相互作用によって起きる減肉現象。

4.2. 類似箇所調査

今回破損した箇所は、第4給水加熱器から脱気器へ行く2系統(A・B系統)ある復水配管のA系のラインであるが、関西電力㈱は、警察立会いの下、B系の同じ箇所(以下「類似箇所」という。)の配管肉厚を調査した。また、類似箇所を含むB系配管を切り出し、日本原子力研究所において、配管肉厚測定及び内面観察等を実施した。

その結果、オリフィス下流側においては、添付資料3に示すとおり、ほぼ全面にわたり減肉傾向が認められている。また、オリフィスのベント孔下流部において、配管の減肉が認められた。他方、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。なお、肉厚の最も薄いところで1.8mmの箇所があった。

また、配管内面をデジタルマイクロスコープによって観察した結果、概ね全体にわたり、いわゆるエロージョン/コロージョンの特徴である鱗片状模様を呈していた。

4.3. 配管の主な仕様

当該配管の主な仕様は、以下のとおり。

表 2 当該配管の主な仕様

| 材 料 | 炭素鋼(SB42) |
|------------------------------|-----------|
| 外 径 (mm) | 558.8 |
| 厚 さ (mm) | 10 |
| 最高使用温度(℃) | 195 |
| 最高使用圧力(kg/cm ² G) | 13 |

(出典:美浜発電所3号機 工事計画認可申請書)

なお、関西電力㈱によれば、実使用状態における破損部の温度は、約140℃、圧力は、約0.93MPa、流量は、約1,700m³/hである。

当該配管の仕様は、使用環境を考慮したものとなっており、引張強度、材料成分などについてミルシート⁹⁾を確認したが、保安院としては、問題となる点は認められなかった。

4.4. 配管等の据え付け状況の調査

当該A系配管及び類似箇所であるB系配管の真円度を調査した結果、A系配管の破損部分の下流部でJIS外径の許容差(±0.8%)を一部超えるが、それ以外の部分では許容差の

9 ミルシート：規格が指定された鋼材を受注した場合に、その製造結果が指定された規格などの要求事項を満足していることを証明した書類のこと。

範囲内であった。

また、破損部に設置されているオリフィス等の取り付け状況を調査した結果、配管内径中心位置に対するオリフィス穴径の中心位置ずれは、垂直方向に 0.61mm、水平方向に 0.71mm であった。

4.5. 二次系冷却水の水質管理

関西電力㈱によれば、美浜発電所 3 号機では、二次系配管機器全体の腐食抑制の観点に立って、基本的に復水処理装置の下流から給水処理薬品を注入している。給水処理薬品には、運転開始当初からアンモニア (pH 調整剤) 及びヒドラジン (脱酸素剤) を用いて処理する全揮発性薬品処理 (AVT: All Volatile Treatment) を実施している。なお、蒸気発生器伝熱管の腐食対策として、第 10 運転期間から第 15 運転期間までホウ酸注入¹⁰を実施している。また、第 17 運転期間から pH 調整剤にエタノールアミンを加えている。

また、同社が、運転開始からの水質管理履歴を調査した結果、給水、復水の水質データは、いずれも水質管理値内に維持されているとしており、美浜発電所 3 号機は、過去に 2 回復水器細管の漏えいが発生し、海水が二次系冷却水に流入しているが、いずれも pH、溶存酸素などに変化がなかったとしている。

なお、ホウ酸中における配管減肉に対する影響を調査したが、ホウ酸注入の有無による減肉率への影響に有意な差は認められなかった。

10 ホウ酸注入: 蒸気発生器の伝熱管/支持板の一部にアルカリが濃縮して、600 合金伝熱管に粒界腐食が起きるのを防ぐため、中和用に注入するもの。

表 3 美浜発電所3号機における二次系水質の管理値

| 項 目 | | 管理値 |
|----------------------|-----------|-------------------|
| pH (at 25°C) (給水) | AVT | 8.8~9.3(9.2) |
| | AVT+ホウ酸注入 | 8.5~9.3 |
| | AVT+ETA注入 | 8.8~9.7 |
| エタノールアミン(ETA注入時、給水) | | ≤3ppm |
| ヒドラジン (給水) | 1 | 復水溶存酸素+5ppb |
| | 2から7 | ≥2ppb |
| | 8~15 | ≥5ppb |
| | 16~18 | ≥200ppb |
| | 19~21 | ≥100ppb+復水溶存酸素×40 |
| 溶存酸素(給水) | | ≤5ppb |
| 溶存酸素(復水) | 1~15 | ≤50ppb |
| | 16~21 | ≤10ppb |
| 全鉄(給水) | 1~15 | ≤20ppb |
| | 16~18 | ≤10ppb |
| | 19~21 | ≤20ppb |

(注) 「項目」の数字は、運転期間を表す

4.6. 破損メカニズムの推定

これまで実施した調査から、判明した内容は以下のとおりである。

- 破損した配管は、炭素鋼であり、破損箇所は偏流の発生しやすいオリフィスの下流部であった。
- 給復水系の pH、溶存酸素などの水質データは、管理値内に維持されていた。
- 破損箇所周辺の復水の温度は、140℃程度であり、いわゆるエロージョン/コロージョンの発生しやすい温度であった。
- 配管内面は大きく減肉しており、概ね全体にわたり、いわゆるエロージョン/コロージョンに見られる鱗片状模様を呈していた。
- B系の類似箇所においても、同様に配管内面は大きく減肉しており、鱗片状模様を呈していた。

以上のことから、当該配管が破損した原因は、いわゆるエロージョン/コロージョンにより配管の肉厚が運転に伴い徐々に減少した結果、配管の強度が不足し、運転時の荷重により破損したものと推定する。

4.7. 破損箇所の調査

保安院としては、本件に関連して、破損箇所の金属調査等以下の解析調査を日本原子力研究所(原研)、独立行政法人原子力安全基盤機構(JNES)に依頼して実施中であり、今後の調査予定及び今までに得られた破損メカニズムの解析結果は以下のとおりである。

① オリフィス近傍配管流況解析(JNES、原研)

流況解析はモデルの作り方やコードによる特徴が出やすいため複数のコードにより流況確認解析を実施し、乱流による浸食傾向を評価する。ベント孔の減肉についても調査を進める。

設計値を用いた1次元2相流解析(JNES)によれば、オリフィス下流部での減圧沸騰(キャビテーション)の可能性は低いとの結果を得ている。

なお、JNES、原研が乱流による減肉傾向の予測解析を実施したところ、オリフィス下流部(配管直径の約1.2倍の距離)において最大の減肉が起こるとの結果となった。

② 破損箇所の減肉挙動解析(原研)

日本原子力研究所が所有する減肉配管信頼性解析コード(PASCAL-EC)を用いて、水単相流中における、いわゆるエロージョン/コロージョンを評価する。

これまで、PASCAL-ECを用いた減肉及び破損解析を行い、以下の結果を得ている。

- ・ 減肉解析結果は、A系及びB系配管で実測された最大減肉量と概ね一致した。減肉速度に関する感度解析から、pHと溶存酸素の影響が大きいとの結果が得られた。
- ・ A系配管に運転圧力及び設計曲げモーメントを負荷した場合、破損肉厚は、0.6～0.7mmである。また、曲げモーメントは破損肉厚に大きく影響を及ぼさない。

③ 配管破損構造挙動解析(JNES)

本解析は破損事象の挙動概要把握を目的とするもので、2相流挙動及び配管の破損後の構造挙動を動解析し、2相流の噴出挙動を把握する。

JNESが2次元モデルにより解析したところ、配管上部において数ミリ秒程度で拡大した開口部から高速(100m/s以上)の蒸気が上部に向けて噴出する結果となっている。

④ 破損部金属成分等分析(原研、JNES)

外観検査、肉厚測定、破面観察、硬さ試験、管材料成分分析等を行い、破損原因を分析する。

原研が配管使用材料の化学組成、引張特性等に関する調査を実施したところ、当該配管に使用された材料は、A系及びB系ともにミルシートどおりであることを確認した。

5. 配管の減肉に関する管理

原子力発電所において実施されている配管の減肉管理の実態、課題及び今後の対応をPWR、BWRそれぞれについて記述するとともに、火力発電所における配管減肉に係る肉厚検査の実施状況及び今後の対応を示す。

5.1. PWR配管に係る減肉

(1) 管理手法

PWRについては、昭和50年代後半に一部のプラントで、エロージョン/コロージョンによる減肉が発生し、配管の肉厚調査が行われた。その後、昭和61年12月の米国サリー原子力発電所二次系配管破損事故を契機として、事業者は、当時行っていたPWR各プラントの二次系配管の減肉状況の調査結果から得られたデータを統計的に評価し、当該減肉に対する管理方法を検討した。

その結果、平成2年5月に「原子力設備二次系配管肉厚の管理指針(PWR)」(以下「PWR管理指針」という。)を策定し、これを共通的な二次系配管肉厚管理手法として使用している。なお、策定過程において、当時の通商産業省に設置されていた原子力発電技術顧問の意見を聴いている。

PWR各事業者は、平成2年6月に当時の資源エネルギー庁公益事業部に「PWR管理指針」を策定した旨の報告を行い、今後これに沿って自主点検を行う旨付記している。

(2) 「PWR管理指針」の妥当性

「PWR管理指針」は平成2年に策定されているが、その後10年以上経過し減肉に関する多くのデータが得られているにもかかわらず、最新のデータを踏まえた見直しが行われていなかった。このため、今回PWR各プラントで測定された減肉に関するデータ¹¹⁾を用いて、「PWR管理指針」の妥当性について検討を行った(添付資料4)。

①主要な配管の測定箇所と減肉傾向

「PWR管理指針」では、点検の対象となる系統について「二相流」、「水単相流」ごとに、流速、温度別に初期減肉率を規定している。今回、後述する全国の原子力発電所のこれまでの点検によって得られたデータに基づく実績減肉率は、「PWR管理指針」に規定されている初期設定減肉率を一部を除き下回っており、同指針に規定された初期設定減肉率は概ね妥当なものと評価される。

11 減肉に関するデータ：電気事業法第106条第1項に基づく「配管減肉事象に係る点検に関する報告徴収について」(平成16年8月11日)により、電気事業者から得た最小肉厚地点における減肉率等のデータ(PWR 21箇所、BWR 27箇所及び、美浜発電所3号機38箇所)。

②サンプリング箇所の選定

「PWR管理指針」では、減肉傾向のない箇所に対しては、10年間に約25%を点検対象にしている。今回調査した結果、全体の傾向として、「その他の系統」とされているサンプリング箇所の減肉傾向は、主要点検系統に比べ小さく、サンプリングによる管理で問題ないことを示すデータが得られている。しかし、一部の箇所については、主要点検系統と同程度の減肉傾向が認められることから、注意を要する。

③減肉の測定範囲と測定ポイント

「PWR管理指針」では、減肉の測定範囲を、例えば、オリフィスについては、設置場所から下流の $2 \times D$ (D は、配管口径)としている。調査の結果、減肉が深くなっている箇所は $2 \times D$ の範囲内となっている。また、測定ポイントは、「PWR管理指針」において規定されていないが、配管口径に応じ、1断面当たり少なくとも8点又は4点の測定ポイント¹²を設け、肉厚がある判定基準肉厚を下回った場合には、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うという運用が行われている。この結果、「PWR管理指針」に規定される測定範囲や測定ポイントは、詳細測定と組み合わせることにより、減肉を適切に把握できると認められる。

(3) 「PWR管理指針」の今後の課題

PWRの二次系配管のうち、主要配管の減肉については、一部の減肉率が「PWR管理指針」の初期設定減肉率を上回っており、今後さらにデータを追加して検証する必要があるものの、大半の減肉率の実績が同指針で想定している数値に収まっている。初期設定減肉率は、最初の減肉測定の時期を決めるために用いるものであり、減肉測定が行われると、その測定値に基づき減肉率を新たに設定し、余寿命及び次回の測定時期が決定されることとなる。このため、最初の減肉測定については、余裕をもった時期に行うとともに、測定が行われている箇所について、適切な減肉率の設定及び余寿命評価が行われ、これに基づき補修又は取替えが行われている限り、安全上の問題は生じないと考える。

一方、PWRでサンプリングによる管理の対象になっている「その他系統」については、全体として主要点検系統よりも減肉率がかなり小さくなっているが、添付資料4に示す美浜発電所3号機の例や、添付資料5に示す大飯発電所1号機の例にも見られるように、一部に主要点検系統と同程度の減肉が見られるものがある。したがって、これらと同様の箇所も含めてこのような箇所について、これまでの測定実績から安全上の問題がないかどうか検討し、必要に応じ、点検時期を繰り上げるなどして肉厚測定を行うべきであると考え

¹² 配管口径6B(インチ)以上では8点、5B以下では4点としている。

られる。また、併せて、今後当該箇所を主要点検系統として管理を行う必要があるかどうか検討すべきである。

また、代表測定ポイントによる測定及びそのデータに応じた詳細測定により、様々な減肉について、その形状・寸法を適切に把握できると考えるが、このような詳細測定手法は「PWR管理指針」に明示されていない。今後の同指針の見直し作業の中で、詳細な測定手法も指針に追加するなどして、現状の測定手法を指針に適切に反映すべきである。

5.2. BWR配管に係る減肉

(1) 使用されている管理手法

BWRについても、その運転初期の段階で、エロージョン/コロージョンによる減肉が一部プラントで認められ、水質の環境改善対策として給復水系への酸素注入を行うとともに、エロージョン/コロージョン対策材への取替えを行ってきている。減肉管理については、前述のサリー原子力発電所二次系配管破損事故を契機として、各プラントで減肉データの測定が行われ、これを基に各事業者独自に管理手法を定めている。

(2) BWR各事業者の社内管理指針の分析

BWR各事業者は、それぞれ独自に管理指針を定めているが、内容としては共通的な事項が多くなっている。「PWR管理指針」と比較すれば、点検対象範囲については、BWRの方が広がっているが、点検頻度(点検対象箇所のうち、点検済み箇所数と代表点検部で評価済み等の箇所数の比)は、PWRの方が高い(添付資料6)。また、測定ポイントは、PWRよりも詳細に設定している場合がある。

BWR各プラントで測定された減肉量の推移及びこれに基づく実績減肉率を調査した結果、PWRとBWRでは減肉の傾向が異なり、BWRの減肉率はPWRを下回っている。これにはPWRとBWRの水質の違いが関係していると思われる。

今後、BWRについても、各事業者の減肉データを有効活用し、可能な部分については管理指針の共通化を図るべきである。

5.3. 火力発電所の配管に係る減肉

保安院は8月11日、電気事業法第106条第3項及び第4項に基づき、発電用火力設備を所有する電気事業者等から報告を求めた。その内容は、水・蒸気系配管のうち減肉の可能性のある箇所の肉厚に係る非破壊検査の実施状況及び未検査箇所についての検査実施計画等であった。

8月20日までに報告された肉厚検査の実施状況によれば、報告対象の802発電所の

1, 467ユニットのうち、704ユニットで配管肉厚に係る非破壊検査が実施されており、763ユニットで実施されていなかった。

表 4 火力発電設備における配管肉厚に係る非破壊検査の実施状況

| 報告対象発電所数 | 報告対象ユニット数 | 非破壊検査 | |
|----------|-----------|--------|---------|
| | | 実施ユニット | 未実施ユニット |
| 802 | 1,467 | 704 | 763 |

また、9月21日までに、電気事業者等(一般電気事業者、共同火力、自家用電気工作物設置者等)から運転開始後20年以上経過した火力発電所に係る肉厚検査実施計画が報告された。報告によれば、約249,000の調査対象箇所のうち、約213,000箇所がこれまで検査未実施であったが、これらについて、各事業者は順次検査等を実施していくことが示されている。

運転開始後20年未満の火力発電所については、10月に検査実施計画等が報告されることになっている。

なお、保安院は、配管肉厚に係る検査の実施等により安全が確認できるまでの間、当該設備の運転中の配管損傷等による作業員等への被害が防止されるよう、安全確保対策を確実に実施することを求めている。

5.4. 今後の対応

これまで「PWR管理指針」に基づく点検によって、PWR各プラントで、二次系配管の減肉データが数多く蓄積され、その結果の一部を用いた評価結果から、同指針は概ね管理手法として適切であると考えられる。しかしながら、配管減肉に係る管理に万全を期すため、PWR事業者を含む関係者は、これまでの測定実績及び海外における知見も参考にして、中立的な機関により、透明性のあるプロセスで検討し、公開される新しい民間指針をとりまとめるべきである。その際、以下の項目を検討する必要があると考えられる。

- ① 測定実績を踏まえた減肉率
- ② 測定実績を踏まえた測定範囲
- ③ 全数点検を行う箇所とサンプリング点検を行う箇所の区分及び適切なサンプリング数
- ④ 余寿命評価結果に応じた点検頻度

- ⑤ 局部減肉現象等の新たな知見(最小肉厚値、最大減肉率、減肉率の変化率等)を踏まえた必要最小肉厚及び健全性評価方法
- ⑥ 測定手法の検討(詳細な測定手法の指針への追加等)

また、BWRについても、各事業者が統一された管理手法で点検が行われることが望ましいことから、BWR事業者を含む関係者は、PWRにおける取り組みと協調し、検討を行うべきである。

さらに、火力発電所については、現在のところ配管肉厚に係る共通の技術的指針がないが、今後各事業者において測定される配管減肉に関する実績データを集積し、適切な配管肉厚管理のための技術的指針を策定することが望ましい。

なお、「5.1 PWR配管に係る減肉」及び「5.2 BWR配管に係る減肉」に示された減肉の管理手法においては、配管口径に応じ、1断面当たり少なくとも8点又は4点の測定ポイントについて測定を行い、一定の判断基準肉厚以下になった場合等には、詳細測定を行い、測定された最小肉厚を技術基準から計算される必要肉厚と対比して判定が行われている。この管理手法では、「配管全周が、測定された最小肉厚まで減肉していると想定」して判定が行われている。

配管の減肉に関するこうした管理手法は、測定において最小肉厚部位を検知している限り十分に保守的なものであるが、実際の配管の減肉現象においては、局部的に減肉の進展度合いの異なる局部減肉が多く見られる。

したがって、上記のように、中立機関において新しい民間指針を検討するに際しては、このような局部的な減肉の発生しやすい部位を摘出するとともに、その測定方法及び詳細測定においてこれが確認された場合の健全性評価方法等についても併せて検討することが望まれる。

6. 破損箇所に対する管理

これまで、保安院が、関西電力㈱、三菱重工業㈱、㈱日本アームの3者における契約関係や減肉管理の体制について調査を行ってきた結果、判明した事実関係は以下に示すとおりである。

6.1. 破損箇所の記載漏れの経緯

(1) 「PWR管理指針」作成以前(～平成2年)

関西電力㈱は、昭和50年代から二次系配管についてのサンプリングによる減肉調査を実施してきた。同社は、昭和58年2月に発生した高浜発電所2号機湿分分離器ドレンタンクバランス管分岐管の減肉による蒸気漏えいトラブルを契機に、その再発防止対策のため、昭和60年度から平成元年度にかけて、三菱重工業㈱に委託し、体系的な減肉調査及び当該調査で得られたデータの評価を実施した。

また、昭和59年に、関西電力㈱は、「二次系配管経年変化調査工事強化・対策要領(昭和59年7月)」を策定し、対象部位毎の重要度に応じた点検内容等を社内標準化している。

その後、昭和61年12月に米国において発生したサリー原子力発電所の給水ポンプ入口配管破損事故を契機に、関西電力㈱は、前述の減肉調査によって得られたデータを基に、三菱重工業㈱に二次系配管の点検指針づくりを委託し、同委託結果を基に平成2年5月、「PWR管理指針」を策定した。

(2) 三菱重工業㈱による当初の点検リスト作成時(平成2年)

平成2年当時、三菱重工業㈱が「PWR管理指針」に基づき美浜発電所3号機に係る点検リスト等を作成した際に、既に当該破損箇所が記載漏れになっていた。

記載漏れは、美浜発電所3号機の全オリフィス下流部39箇所のうち、復水流量計下流部2箇所及びスチームコンバータ加熱蒸気流量計下流部1箇所の計3箇所であった(復水流量計下流部の2箇所は、当該破損箇所(A系統)及びB系統の復水流量計下流部。また、スチームコンバータ加熱蒸気流量計下流部1箇所は、関西電力㈱が8月18日に既に記載漏れである旨を発表済み)。なお、三菱重工業㈱は、当該破損箇所が記載漏れになった経緯は不明と説明している。

また、当該破損箇所の点検リスト等の作成は、関西電力㈱が三菱重工業㈱に委託した「二次系配管経年変化調査工事」により実施されたが、委託元の関西電力㈱は、最終成果物である当該点検リスト等の記載漏れのチェックを行っていなかった。

(3) 北海道電力(株)泊発電所 1号機における当該破損部と同じ部位の記載漏れの点検リスト記載時(平成7年)

三菱重工業(株)が保守点検を行った北海道電力(株)泊発電所 1号機において、美浜発電所 3号機当該破損部と同じ箇所の記載漏れがあったが、三菱重工業(株)自らが平成7年に当該箇所を点検リスト等に記載していたことが、本事故後の保安院の指示による一斉点検を行った北海道電力(株)の調査により明らかになった。

三菱重工業(株)は、当該箇所の記載漏れが発生した経緯は不明であり、北海道電力(株)が発表するまで認識していなかったと説明している。

(4) 三菱重工業(株)から(株)日本アームへの点検業務の移管時(平成8年)

関西電力(株)は、平成8年に点検業務の委託先を三菱重工業(株)から(株)日本アームに変更した。その際、関西電力(株)の委託により、三菱重工業(株)は、同社が保有する関西電力(株)の原子力発電所の最新の検査用図面及び過去の保守点検に係る実績データ等を整理し、関西電力(株)に提出した。整理された実績データ等は(株)日本アームに引き渡されたが、この時点でも美浜発電所 3号機の当該破損箇所の記載漏れは是正されなかった。

上記実績データ等の整理は、関西電力(株)が三菱重工業(株)に委託した「原子力二次系配管減肉評価における調査」により実施されたが、委託元の関西電力(株)は、三菱重工業(株)から提出された当該実績データ等が「PWR管理指針」に適合しているか否かのチェックを行っていないかった。

なお、平成9年1月に、(株)日本アームは三菱重工業(株)と「二次系配管経年変化調査工事の計測指導工事」の委託契約を締結している。三菱重工業(株)は、同契約に基づき、(株)日本アームが平成8年度に実施した4プラント(大飯発電所 1号機、美浜発電所 3号機、高浜発電所 4号機、大飯発電所 4号機)の点検計画の作成、計測作業の指導を実施した。

(5) 関西電力(株)から(株)日本アームへの検査用図面等の整備委託時(平成9年)

関西電力(株)は、平成9年に(株)日本アームに対し、現場調査を踏まえた検査用図面の修正及び検査用図面のCAD化(検査用図面の電子化)を委託した。この時点でも美浜発電所 3号機の当該破損箇所の記載漏れは是正されなかった。

上記CAD化等は、関西電力(株)が(株)日本アームに委託した「二次系配管検査データ及び図面の整備」により実施されたが、委託元の関西電力(株)は、当該CAD化等の際に、「PWR管理指針」に基づくデータの整備が行われたか否かのチェックを行っていないかった。

(6) 日本原子力発電(株)敦賀発電所2号機における当該破損部と同じ部位の記載漏れの点検リスト記載時(平成12年)

本事故後の保安院の指示による一斉点検を行った結果、日本原子力発電(株)は、同社敦賀発電所2号機においても、過去に美浜発電所3号機と同じ部位の記載漏れがあったが、平成12年に点検箇所として追加記載されていた事実があった旨発表した。これについて、三菱重工業(株)は、日本原子力発電(株)敦賀発電所2号機については、北海道電力(株)泊発電所1号機における復水配管オリフィス下流部の減肉情報(平成10年)の水平展開を行った結果、平成12年に同じ箇所の記載漏れを発見し、当該箇所を点検箇所として追加記載したと説明している。

当該記載漏れは、「PWR管理指針」運用当初の平成2年当時から発生していた模様であるが、三菱重工業(株)は、記載漏れが発生した経緯等は不明と説明している。なお、三菱重工業(株)は、減肉情報についての水平展開は行ったが、当該箇所の記載漏れについての情報提供は行わなかった。

(7) (株)日本アームと原子力サービスエンジニアリング(株)の定期連絡会の開催時(平成10年～)

(株)日本アームと三菱重工業(株)の子会社である原子力サービスエンジニアリング(株)(以下、「NUSEC」という。)は、三菱重工業(株)から(株)日本アームへの点検業務の委託先の変更後、両者の契約の一環として、定期的に情報連絡会(ワーキング)を開催している。本連絡会において、NUSECは、他プラントのオリフィス下流部の減肉進展について、(株)日本アームに情報提供した。

三菱重工業(株)は、関西電力(株)の各プラントへの当該減肉情報の水平展開は、同プラントの保守点検を行っている(株)日本アームの役割である旨の合意があったと説明している。他方、(株)日本アームは、当該減肉情報は一般的な技術情報であり、美浜発電所3号機に関する当該箇所の記載漏れの指摘はなかったと説明している。

(8) (株)日本アームによる点検箇所記載漏れ発見時(平成15年4月)

(株)日本アームは、平成13年度から14年度にかけて点検箇所データのメンテナンスを実施してきたが、平成15年4月に、同メンテナンス作業中の作業員が美浜発電所3号機の当該破損箇所の記載漏れを発見し、同社の管理システムに登録した。管理システムに登録された当該破損箇所については、第20回定期検査工事報告書に記載されるとともに(平成15年6月)、第21回定期検査工事計画における点検箇所として(株)日本アームから関西電力(株)に提案されている(平成15年11月)。

関西電力㈱は、上記定期検査工事報告書の提出及び定期検査工事計画の提案の際に、新たに追加された当該破損箇所についての確認は行っていなかった。また、関西電力㈱と㈱日本アームは、定期検査毎に点検に係る請負契約（「二次系配管経年変化調査工事」）を締結していたが、同契約には、点検箇所の記載漏れを発見した際の報告義務等は定められていなかった。

なお、関西電力㈱は、当該箇所の記載については、本件事故発生後に初めて認識したと説明している。

6.2. 契約関係

品質保証の観点からは、当事者間の契約関係において、品質保証上の調達要求事項等がどのように位置づけられているかが重要となる。

関西電力㈱と三菱重工業㈱あるいは㈱日本アームとの保守点検に係る契約関係の実態は以下のとおりである。

なお、「PWR管理指針」は、平成2年に三菱重工業㈱と関西電力㈱が協議しつつ策定したものであること、三菱重工業㈱あるいは㈱日本アームから関西電力㈱へ提出された工事報告書には「PWR管理指針」が添付されていること等、「PWR管理指針」の存在を前提として保守点検業務が進められていたものと推測されるが、いずれの契約においても、「PWR管理指針」に基づき点検箇所を見直すことは、明示的には記載されていない。

- ・ 関西電力㈱と三菱重工業㈱あるいは㈱日本アームとの保守点検に係る契約関係は、基本的には、定期検査毎に受託会社が調査工事計画等を関西電力㈱に提案し、内容を協議した上で得られた成案について、「二次系配管経年変化調査工事」として定期検査毎に請負契約を締結する方式。
- ・ 「PWR管理指針」に基づき平成2年に点検リスト等を作成した際も、関西電力㈱と三菱重工業㈱との契約関係は「二次系配管経年変化調査工事」のみ。
- ・ 平成8年に関西電力㈱が保守点検に係る業務を三菱重工業㈱から㈱日本アームに変更した際には、各社間で以下の契約を締結。
 - a) 「原子力二次系配管減肉評価における調査」（平成8年9月）

関西電力㈱から三菱重工業㈱に委託。検査用図面の整備及び過去の保守点検に係る実績データ等を整理し、関西電力㈱に提出するもの。
 - b) 「二次系配管経年変化調査工事の計測指導工事」（平成9年1月）

㈱日本アームから三菱重工業㈱に委託。㈱日本アームが平成8年度に実施した4プラント（大飯発電所1号機、美浜発電所3号機、高浜発電所4号機、大飯4発電

所号機)の配管経年変化調査工事を実施するに当たり、三菱重工業(株)が(株)日本アームに対し点検計画の作成、計測作業の指導を行うもの。

c)「二次系配管経年変化調査助勢工事」(毎年度の定期検査毎に契約)

(株)日本アームから NUSEC に委託。NUSEC が(株)日本アームに対し、配管関係トラブル情報収集、報告及び調査計画への反映・提案等を行うもの。

6.3. 今後の調査事項

これまでの調査により、本事故の直接的な原因は、「関西電力(株)、三菱重工業(株)、(株)日本アームの3者が関与する二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」にあることが明らかになった。即ち、関西電力(株)の品質保証、保守管理が機能していなかったことにより、①当該箇所が点検対象箇所から漏れていたこと、②これが修正されないまま長年にわたり放置されてきたこと、③点検漏れが発見された後関係者への連絡が不十分であり、その後の点検計画に適切に反映されなかったこと、などが原因として挙げられる。

こうした問題点に早急に対応することが重要であるが、一方、これらの品質保証、保守管理の過誤が如何にして発生したかを、技術的側面と同時に、管理的側面からも究明する継続的な取り組みも重要である。具体的には、本事故の背景として、人的、管理的過誤の低減、克服に関する体制が整っていなかった、あるいは機能していなかったことにより、業務管理の基本がおろそかにされていたのではないかなどの観点から確認し、何故このような事態に至ったかに関して調査する必要がある。

人的行為には誤り、いわゆる、「ヒューマンエラー」が必然的に発生するものであることを認識する必要がある。例えば、点検箇所選定におけるミスによって発生するかもしれない事故の予測、その影響度についての認識の実態がどのようなものであったのか、担当者間に認識の甘さがあったのかなど、客観的な事実に基づき実態を調査することが求められる。これらにより、ヒューマンエラーによる問題発生を防止する効果的な仕組みなど、品質保証が事業者、協力企業にどのように機能していたのか、改めて評価、検討していくことが必要である。

このため、昨年原子力施設の検査制度改正で安全規制に導入された品質保証の観点から調査、検討し、管理面での過誤防止対策を考えていくべきである。具体的には、今後、以下の項目に関して、引き続き調査を行っていくことが求められる。

- ① 関西電力(株)の保守管理、調達管理などの関連プロセス(社内の手順、基準の有無、6.1.の関連時期における実行の有無)
- ② 三菱重工業(株)、(株)日本アームの社内業務プロセス(社内の手順、基準の有無、6.1.

の関連時期における実行の有無)

- ③ 三菱重工業(株)から(株)日本アームへの配管点検業務の移管及びその後の情報連絡等の実態

7. 減肉に関する保守管理状況の検証等

7.1. 関西電力㈱に係る点検管理指針に基づく保守管理状況の確認

(1) 経緯

今回の事故に関して、保安院は8月11日、電気事業法第106条第1項に基づき、関西電力㈱に対し、配管の肉厚管理が未実施である箇所の有無を確認すべき旨の指示を行い、8月18日、確認結果の報告を受領した。さらに、8月18日、保安院は、関西電力㈱に対し、肉厚測定に係る追加確認のため報告徴収を行い、8月23日、報告を受領した。

保安院では、上記報告徴収の他に、美浜発電所への立入検査等を基に、現地の原子力保安検査官による点検記録等の抜き取り確認も行いながら、関西電力㈱の配管減肉に関する保守管理の適切性について調査を進めている。現時点における保安院の評価は以下のとおりである。

(2) 配管減肉に関する保守管理概況

関西電力㈱においては、昭和50年代にタービン廻りの蒸気配管や給水系配管の減肉現象に対し、サンプル的な肉厚測定を行っていた。同社は、昭和58年2月に発生した高浜発電所2号機湿分分離器ドレンタンクバランス管分岐管の減肉による蒸気漏えいトラブルをきっかけに、その再発防止のため、三菱重工業㈱に委託し、昭和60年度から昭和62年度にかけて体系的な減肉調査を実施した。

平成元年から平成15年9月まで、関西電力㈱による保守管理活動は、社内標準の「保守業務要綱指針」（平成元年7月6日制定）に基づき運用されていた。さらに、平成15年10月の原子力施設に対する検査制度改正に対応するため、関西電力㈱では、発電所毎に「保全指針所則」を策定し、運用している。

(3) 未点検箇所等に関する評価

関西電力㈱は、8月18日付け報告書の中で、美浜発電所3号機他の計4機のスチームコンバータ系配管において4箇所の減肉管理を行っていなかったことを報告した。また、高浜発電所3号機等3機で合計11箇所が点検対象から漏れていたが、同一仕様プラントの測定結果から健全性は確認できていたと報告した。

このため、保安院としては、この報告の妥当性を検証するとともに、関西電力㈱が自ら行う健全性確認のためのサンプル測定とは別に、過去の点検記録の確認等を行った。

① 未点検(未管理)箇所数の確認

保安院は、現地の原子力保安検査官による記録確認等によって、美浜発電所3号機の事故発生箇所関係2箇所が、平成2年に策定された「PWR管理指針」適用当初から最近まで点検対象リストから欠落していたことを把握した。また、同機を含めて計4機のスチームコンバータ加熱蒸気管関係の4箇所について、これまでに減肉管理が行われていなかったことを確認した。

また、関西電力(株)が、同一仕様プラントの測定結果からの推定によって管理していると主張する11箇所は、報告徴収指示以前には点検対象とされておらず、実際にも点検されていないことを確認した。更に、このような推定手法による減肉管理については、「PWR管理指針」において規定されておらず、社内標準においてもルール化されていないことから、その合理性も認められない。従って、保安院としては、この11箇所についても適切な管理が行われていなかったと判断した。

また、保安院においても、報告徴収によって関西電力(株)から入手した過去の点検記録中の主要システムを中心にスケルトン図等の抜き取り確認を行ったが、その範囲内においては、未点検箇所がないことを確認した。

② 減肉管理が行われていなかった箇所等の健全性の確認

関西電力(株)においては、平成16年8月13日から計画的に稼働中のプラントも停止し、すべてのプラントについて、配管の健全性を確認することとしている。具体的には、減肉管理を実施していなかった箇所をはじめとして、以下の合計293箇所の点検を行うとしている。

- | | |
|--|-----------------------|
| ・ これまでに減肉管理を実施していなかった箇所 | 15箇所 ^(注1) |
| ・ 給水系統及び復水系統のオリフィス下流箇所 | 144箇所 ^(注2) |
| ・ 大飯発電所1号機主給水配管の減肉事象 ^(注3) を反映した箇所 | 134箇所 |

注1 美浜発電所3号機事故発生箇所及び類似箇所を除く。

注2 減肉管理を実施していなかった箇所及び大飯発電所1号機主給水配管の減肉事象を反映した箇所と重複している17箇所を含む。

注3 大飯発電所1号機の減肉事象は、添付資料5を参照。

保安院は、9月16日までに点検が行われた238箇所すべてについて、現地の原子力保安検査官が立会うなどして、いずれも問題がないことを確認した。

③ 保安院が点検を指示した箇所の健全性の確認

保安院が、美浜発電所3号機以外の原子炉を対象に、過去の点検記録の検証のため、追

加的に点検を指示した21箇所(美浜発電所1号機1箇所、美浜発電所2号機6箇所、高浜発電所2号機2箇所、大飯発電所1号機2箇所、大飯発電所2号機6箇所、大飯発電所3号機1箇所、大飯発電所4号機3箇所)のうち、大飯発電所1号機を除く19箇所について肉厚測定を行った結果、後述の3箇所以外の16箇所については、いずれも問題がないことを確認した。問題が認められたのは、美浜発電所2号機において余寿命が1年未満の箇所が1箇所、美浜発電所1号機及び2号機において発電用火力設備に関する技術基準を定める省令の必要最小肉厚を下回っている箇所がそれぞれ1箇所発見されたことであった。

このような事例が発見された理由は、関西電力㈱が“発電用火力設備の技術基準の解釈について”の「ただし書」を独自に解釈し、余寿命が短い(余寿命評価が1年未満)配管に適用していたためである。このような運用は適切とは言えない。なお、関西電力㈱では、当該3箇所については、配管の取替を行うこととしている。

関西電力㈱では、大飯発電所1号機についても、今後、プラントを停止し、引き続き、残りの点検作業を実施することを予定している。保安院としては、関西電力㈱の行う点検を監視するとともに、健全性の確認を行うこととする。

一方、美浜発電所3号機についても、過去の点検記録を検証したところ、余寿命が1年未満の箇所が3箇所、技術基準に定める必要最小肉厚を下回っている箇所が1箇所発見されたため、保安院から、当該箇所について追加点検を行うよう指示している。

表 5 二次系配管に係る減肉点検実施状況及び結果(平成16年9月16日現在)

| プラント名 | 運 転 状 況 | 関西電力(株)による点検状況 | | | | | 保安院からの指示による点検状況 | | | | |
|-------|---------|-----------------|----------------|--------------|------------|-----|-----------------|------------|-----------|--------|-------------------------------------|
| | | 上段:実績 下段:対象数 | | | 要対策 箇所数 | 現 状 | 上段:実績 下段:対象数 | 要対策 箇所数 | 現 状 | 指示した理由 | |
| | | A | B | C | | | | | | | |
| 美浜発電所 | 1号機 | 停止中 | | 8 8 | | 0 | 終了 | 1 1 | 1 (取替) | 終了 | 余寿命確認のため:1(取替) |
| | 2号機 | 停止中 | | 8 8 | 2 2 | 0 | 終了 | 6 6 | 2 (取替) | 終了 | 余寿命確認のため:4(内取替:2) 測定点の妥当性確認のため:2 |
| | 3号機 | 停止中 | 0 1 | 0 13 | 0 12 | | | 0 4 | | | 余寿命確認のため:4 |
| 高浜発電所 | 1号機 | 停止中 | 1 1 | 21 21 | 1 1 | 0 | 終了 | 0 0 | 0 | 終了 | |
| | 2号機 | 運転中 | | 21 21 | 3 3 | 0 | 終了 | 2 2 | 0 | 終了 | 余寿命確認のため:2 |
| | 3号機 | 運転中 | (8) (8) | 14⑦ 14⑦ | 15 15 | 0 | 終了 | 0 0 | 0 | 終了 | |
| | 4号機 | 定検中 | (1) (1) | 14 14 | 11 11 | 0 | 終了 | 0 0 | 0 | 終了 | |
| 大飯発電所 | 1号機 | 定検中 (調整運転中) | | 0 10④ | 0 6 | 0 | | 0 2 | | | 余寿命確認のため:1 管理状況の確認のため:1 |
| | 2号機 | 停止中 | | 9 9④ | 24 24 | 0 | 終了 | 6 6 | | 終了 | 余寿命確認のため:1 管理状況の確認のため:5 |
| | 3号機 | 定検中 | 1(2) 1(2) | 13② 13② | 30 30 | 0 | 終了 | 1 1 | 0 | 終了 | 管理状況の確認のため:1 |
| | 4号機 | 運転中 | 1 1 | 13 13 | 30 30 | 0 | 終了 | 3 3 | 0 | 終了 | 管理状況の確認のため:3 |
| 合 計 | | | 3(11) 4(11) | 121⑬ 144⑰ | 116 134 | 0 | | 19 25 | 3 | | |

備考 A:これまでに減肉管理を実施していなかった箇所。()内の数値は、同一仕様プラントの測定結果からの推定によって健全性確認していた箇所を外数。

B:給水系統及び復水系統のオリフィス下流箇所。○内の数値は、A又はCと重複している箇所で内数。

C:大飯発電所1号機主給水配管の減肉事象を反映した箇所。

7.2. 関西電力(株)以外のプラント(原子力発電所)の保守管理状況の確認

今回の事故に関して、保安院は8月11日、電気事業法第106条第1項の規定に基づき、原子力発電所を設置する事業者に対し、配管の肉厚管理が未実施である箇所の有無について確認すべき旨の指示を行い、8月18日、全事業者から確認結果の報告を受領した。

報告を受け保安院は、関西電力㈱以外の事業者による配管の肉厚管理の点検状況について、その調査方法、実施体制、肉厚管理方針、点検計画等の点検実施に関する妥当性を評価するため、8月19日から25日にかけて、現地の原子力保安検査官が抜き取りによる資料確認や現場立会い等を行った。

その結果、事業者の点検状況についての評価は、以下のとおりである。

(1) 全般的な評価

短期間での大量の資料チェックに起因するとみられる集計数の誤り、現時点では管理が行われている過去の検査対象漏れ及び点検対象範囲のばらつきが認められた。しかしながら、その他については、調査を行った範囲において、問題となるような事案はなく、全体として、保安院は、事業者による点検は適切に行われていたものと評価する(検証結果については、添付資料6参照)。

(2) 個別評価

①調査方法について

各事業者とも点検対象範囲を決定するに当たり、配管系統図(アイソメ図又はスケルトン図)による偏流発生箇所の確認・整理を行っており、検査用図面と配管系統図等との照合が行われ、適切に管理されていることを確認した。

なお、各事業者とも調査の実施に当たっては、調査対象数が膨大であることから、適宜、製造メーカを加えた調査体制を構築して作業を実施していた。また、その妥当性を確認するため、品質保証部門等の第三者部門がチェックしていることを確認した。

②管理方針について

PWR事業者については、「PWR管理指針」に基づいた管理がなされており、また、BWR事業者については各事業者が配管内の流体の環境及び材質によるランクに応じた減肉管理を行っていることを確認した。また、当該管理方針等については、発電所の保守管理者等の関係者による適切な運用がなされていることを確認した。

③点検計画について

各事業者とも管理方針等に基づき、適切な点検計画を策定し、点検を実施する体制が構築されており、外注管理も適切に行われていることを確認した。

8. 当面の対応

保安院としては、「4.7 破損箇所の調査」、「5.4 今後の対応」、「6.3 今後の調査事項」に示すとおり、破損メカニズムの詳細な究明や、新しい管理指針の整備を進めるとともに、本事故の根本原因を解明すべく、関西電力(株)や協力企業の品質マネジメントシステムに焦点を当てながら調査を行うこととしている。

他方、これまでに判明した事実をとりまとめてみると、以下のとおり、その再発を防止するため、原子力発電所の運転に直ちに適用できるものが明らかになってくる。これらを可及的速やかに実行に移していくことも重要である。

8.1. 品質保証及び保守管理面での対応

今回の事故の直接的な原因と考えられる「関西電力(株)、三菱重工業(株)、(株)日本アームの3者が関与する二次系配管の減肉管理ミス」が生じた背景には、過去における関西電力(株)の品質保証、保守管理が機能していなかったことがあるとみられる。

平成15年10月の検査制度改正によって、品質保証及び保守管理に対する具体的な要求事項が法定化され、また新たに定期事業者検査が導入された。この新しい検査制度の下では、事業者には、品質保証及び保守管理体制を構築することが義務付けられている。また、保安院は、事業者による品質保証及び保守管理の実施状況を保安検査及び定期安全管理審査によって確認する仕組みがとられている。こうした状況を踏まえ、減肉管理に係る品質保証及び保守管理の観点から、次に示す対策を行うことが必要である。

(1) 点検リストの作成及び統一的管理

事業者が行う定期事業者検査に対する国による確認は、定期安全管理審査によって行われる。同審査は、電気事業法第55条に基づき、独立行政法人原子力安全基盤機構が、事業者の行う定期事業者検査の実施体制について審査するものである。具体的には、①実施に係る組織、②検査方法、③工程管理、④協力企業の管理、⑤検査記録の管理、⑥教育訓練について審査するものである。

また、審査に当たっての具体的な判断基準は、JEAC 4111-2003(原子力発電所における安全のための品質保証規程：(社)日本電気協会原子力規格委員会)、JEAC 4209-2003(原子力発電所の保守管理規程：(社)日本電気協会原子力規格委員会)等を用いている。

美浜発電所の保安規定では、JEAC 4209のMR-7000に基づき定期事業者検査の実施に関する詳細な要求を規定するとともに、保守管理の実施に際し、MR-4000において保全計画を、MR-4300において点検計画、いわゆる「点検リスト」を作成しなければならないことを規定している。

しかしながら、関西電力㈱では、定期事業者検査対象設備の点検の頻度、時期、方法等に関して、「点検リスト」として体系的に作成し、統一的に管理するという基本的対応が未整備であった。

したがって、このような実態を改め、今後の「点検リスト漏れ」の再発防止を図るためには、事業者による「点検リスト」の体系的、統一的な作成とその維持管理を確実にすることが必要不可欠である。すなわち、事業者には、すべての定期事業者検査対象設備の点検頻度、時期、方法、メンテナンス実績等を適切な外注管理の下に体系的に管理することや、点検リストの管理者を設置すること、更には、事業者と協力企業との間でデータ管理のルールを策定することなどが求められる。こうしたことにより、実効的な保守管理を行うための体系的な点検リストの管理システムを早急に構築することが必要である。

これらは、ヒューマンエラーによる問題発生を防止し、定期事業者検査が適正に実施されるための必須要件として極めて重要であり、事業者は、その着実な取り組みを厳格に行うべきである。その際、配管系統図から人間が要管理箇所を摘出、管理している現状を改め、配管系統図を電子化した上で、管理表と連動させるなどして、現行の点検箇所の検証や、点検箇所の追加や変更がシステム全体に与える影響の検証を確実に達成する必要がある。

(2) 的確な外注管理(協力企業の調達管理)の実施

原子力発電所では、定期事業者検査を含む保守管理活動に当たって、協力企業の役務提供が不可欠であることを踏まえれば、外注管理は、保守管理活動の適正な実施を確保する上での極めて重要な事項である。平成15年12月に関西電力が変更認可申請を行い、本年5月に認可された美浜発電所の保安規定では、JEAC 4111の7.4項に基づき、保安活動における外注行為の際に、事業者として行わなければならない調達管理上の要求事項を規定している。

今回の配管破損箇所に対する管理の経緯をみると、「点検リスト」の作成に係る外注管理(協力企業の管理)がずさんであったことも、今回の事故の一因と考えられる。すなわち、関西電力㈱は、三菱重工業㈱に対して、肉厚管理のための検査業務を委託していたが、「PWR管理指針」による要管理箇所の摘出の妥当性について、発注者としての確認が不十分であった。

また、肉厚管理のための検査業務を三菱重工業㈱から㈱日本アームへ移管した後も、㈱日本アームが点検漏れを発見した時点で、関西電力㈱との間において適切なコミュニケーションが不足していた。

現在では、上述のとおり関西電力㈱は、既にJEAC 4111に基づく調達管理ルールを導入

している。今後は、これらの問題への対策として、関西電力㈱を含めた各事業者が JEAC 4111 における要求事項によって規定した各発電所の保安規定に基づき、その下部規定において、外注管理に係る管理方法、責任分担などについて明確化し、実効的に機能するよう抜本的な見直しを行い、遵守することが必須である。また、今回問題となった二次系配管の管理・検査業務のみならず、廃棄物処理業務、放射線測定・管理業務等、事業者が外部の企業・機関に外注している保守管理業務は多岐にわたっているが、必ずしもこれらに対して外注を行う際の権利義務関係が十分明確になっていない。こうした状況を改善するため、事業者が保安活動の実施に際して、重要な業務を外注する際の契約書、発注書等に明定すべき事項を整理するなどの検討も必要である。なお、外注管理における従業員の力量を向上させるための教育訓練などについても、JEAC4111 の 6.2 項に規定する人的資源に関する要求事項を踏まえ、積極的に取り組む必要がある。

一方、保安院としても、事業者に対し、外注管理が定期事業者検査を行う事業者の重要な責務であることを強く認識するよう求めることとする。また、必要に応じて、協力企業から原子力発電所の保守点検の実施状況、事業者の姿勢等について実態に即した情報収集を図り、事業者及び協力企業への指導、監督に十全を期することとする。

(3) 配管肉厚管理の規定化

関西電力㈱においては、二次系配管の肉厚管理について、配管の余寿命が2年以下となった場合、「PWR 管理指針」に規定されていない基準を適用していることが判明した。その結果、配管の適切な取替えが行われず、技術基準に規定されている必要最小肉厚を下回っているものが存在していた。

現行の制度においては、二次系配管の肉厚管理に関する社内規定は、事業者の「保安規定」の下部規定と位置づけられている。したがって、保安院としては、各事業者に対して、継続的に実施する保安検査において、事業者による社内規定の遵守状況を入念に確認していくこととする。

また、定期安全管理審査においても、二次系配管の肉厚管理が協力企業も含めてどのように実行されているかを効果的に確認していくことが必要である。

(4) 問題を未然に防ぐための事業者間の情報共有の着実な実施

保安活動によって得られた問題点とその解決に対する知見を活用し、問題を未然に防ぐ、いわゆる「水平展開」は、極めて重要である。

これまで、水平展開は、事業者の自主的な活動とされていたが、平成15年10月の原子力施設に対する検査制度改正に伴い、自らの保安活動の実施によって得られた知見のみ

ならず他事業者から得られた知見も適切に反映し、水平展開を行うことが事業者に義務付けられたところである。

したがって、関西電力㈱のみならず、すべての事業者は、本事故から得られた知見を自らの保安活動に適切に反映することはもちろんのこと、水平展開を体系的に行う仕組みを構築し、着実に実施していくことが必要である。他方、保安院としては、各事業者が的確に水平展開を行い、問題点の予防処置が効果的に行われていることを保安検査等で継続的に確認していくこととする。

8.2. 技術的指針の明確化

「5. 配管の減肉に関する管理」に示すとおり、PWR各事業者は、「PWR管理指針」に基づき策定した社内基準により二次系配管の減肉管理を行っている。BWR各事業者は、「PWR管理指針」を参考に、各事業者が独自に定めた社内基準を用いている。

平成2年に「PWR管理指針」が策定されて以来、既に10年以上が経過し、この間に我が国で、実機における減肉管理データが蓄積されている。また、米国では、1998年から99年にかけて、配管の肉厚管理のための規格としてASME Code Case N597-1や、EPRI (Electric Power Research Institute:米国電力研究所)の指針(NSAC/L202-R2)が策定された。NRC (Nuclear Regulatory Commission:米国原子力規制委員会)は、これらを承認するとともに、IP (Inspection Program:検査要領書)49001の改訂を行い、事業者が上記規定に基づいて行う配管の減肉管理が適切に行われているかに関して確認を行っている。(添付資料7参照)

現在、我が国においては、日本機械学会(JSME)が発電用設備の配管肉厚管理手法に関する規格を策定中である。規格策定においては、各事業者の実測データの追加、本件事故の原因究明結果の反映等によって、より精度の高い規格とする努力が重要である。他方、保安院としては、JSMEが策定した民間規格を安全規制に活用すべく、速やかに、技術評価を行い、行政手続法上の判断基準に位置づけることとする。

また、今回の事案を踏まえ、保安院としては、米国と同様、事業者が上記規格に基づいて配管の減肉管理のための検査を計画的に実施していくことの重要性について事業者の認識を確実なものとする取り組みを行っていくとともに、事業者が的確に取り組んでいることを保安検査等において確認していくこととする。

なお、JSMEによって規格が策定されるまでの暫定的な措置として、「PWR管理指針」、BWR各事業者の社内基準の内容を保安院が再検討・確認し、安全規制上の要求事項を行政文書によって明確化することとする。

8.3. 定期事業者検査における配管肉厚管理の検証

事故における破損箇所を含む二次系配管は、以前は事業者の自主検査に委ねられていたが、平成15年10月から電気事業法に基づいて事業者に義務付けられた定期事業者検査の対象となっている。つまり、事業者における検査の重要性は、法律で明らかにされるとともに、平成15年11月14日に保安院から、通達として「原子力発電所の定期事業者検査に関する解釈について」等が各原子力事業者に対して発行され、定期事業者検査の具体的な内容が明示されているところである。

電気事業法施行規則は、今回の破損箇所を、加圧水型原子力発電所の設備としては「蒸気タービン」中の「蒸気タービンに附属する管等」－「主配管」と規定している。また、同規則では、沸騰水型原子力発電所の設備としては、今回の破損箇所と同様な箇所を、「原子炉冷却系統設備」中の「原子炉冷却材の循環設備」－「主配管」と規定している。さらに、定期事業者検査はこれら「原子炉冷却系統設備」及び「蒸気タービン」について行うものと規定している。

また、同規則は、定期事業者検査の方法として、「各部の損傷、変形及び異常の発生状況」並びに「機能及び作動の状況」を確認するために十分な方法で行うものと定めている。

したがって、今回の事案を踏まえ、保安院としては、当該規定を明確化し、事業者へ周知させる取り組みなどを行った上で、継続的に原子力発電所において実施している原子力保安検査官による保安検査の際に、「配管の肉厚管理の実施方針及び実施状況」を確認していくこととする。また、独立行政法人原子力安全基盤機構は、定期安全管理審査の際にも、配管の管理等安全確保の観点から必要と考えられる事項に関し、事業者が行う定期事業者検査の実施体制を確認していくべきである。

なお、これら配管を国による定期検査の対象とすべきとの意見がある。しかしながら、定期事業者検査は、法律上求められる事業者が行うべき重要な検査であり、二次系配管等の検査が既にその中に位置づけられていることを踏まえ、国による定期検査を要するものにすべきかどうかは、慎重な検討が必要である。

8.4. 火力発電所に係る対応

(1) 火力発電所における配管肉厚測定の位置づけ

火力発電所に関しては、配管肉厚測定は、電気事業法に基づく定期事業者検査の対象ではなかった。自主保安の一環として配管肉厚に係る技術基準への適合性の確認が行われていたところもあるが、半数以上の発電所でこれまで実施されておらず、大半の調査対象箇所について検査未実施であった。事業者においては、これら検査未実施の箇所について順

次肉厚検査等により配管の健全性を確認していくこととしている。今後とも配管減肉現象に対して技術基準への適合性の確認が継続的に実施されることを確実にするために、減肉の可能性のある配管の肉厚検査を定期事業者検査の対象に含めることを検討することとする。

(2) 技術的指針の検討

火力発電所に関しては、配管肉厚管理に係る共通の技術的指針がこれまでなかった。一部の事業者では独自に自主的な管理方針を定めていたが、ほとんどの事業者は、他の発電所におけるトラブル事例などに基づいてごく一部の配管の検査を行うにとどまっていた。

このため、多くの事業者は、今回「PWR管理指針」を参考にするなどして検査実施計画を立てている。しかしながら、火力発電所は原子力とは異なり、ベースロード対応、ピークロード対応など運転状態等が多様であり、また、温度、圧力等も異なっている。このため、今後各事業者の検査実施計画に従って測定される実績データを中立的機関に集約し、それらを分析して、火力発電所における適切な配管肉厚管理のための技術的指針を策定することが望ましい。

9. 作業員の安全確保等

事故発生当時、美浜発電所3号機のタービン建屋内では、定期検査の準備のため関西電力(株)職員及び協力企業の社員105名が作業を行っていた。このうち、破損したA系復水配管の付近で作業していた11名の作業員が被災した。

原子力発電所においては、運転員による日常の巡視点検など、運転中にもタービン建屋内に人が立ち入ることが一般的であり、今回運転中に定期検査準備作業のため作業員がタービン建屋で作業していたことが直ちに問題となるものではない。しかし、原子力発電が原因となった初めての死亡事故が労働災害において発生したことを重く認識する必要がある。

事業者は、原子力発電所における放射線障害の防止だけでなく労働災害の防止についても事業者のマネジメントシステムに明確に位置づけ、あらゆる事態を踏まえ、適切な管理、運営を行っていくことが重要である。

原子力発電所の施設内で、設備の保守点検作業に携わる作業員の所属は多岐にわたり、自ら作業を行う場所、環境における潜在的リスクについて十分な知識を有していないケースも多いと考えられる。原子力発電所においては、放射線管理の面からは、労働安全衛生法、原子炉等規制法などにより、放射線業務従事者に対する教育、研修等が事業者により義務付けられている。しかし、一般労働災害の面で作業環境が持つ潜在的リスクについては、従来必ずしも十分に周知されてこなかった可能性がある。

そこで、保安院として、原子力発電所の施設内で保守点検作業に携わる作業員に対して、プラントの運転状態に応じた作業環境の潜在的リスクを周知する方策として、事前研修の実施、危険箇所へのリスク情報の表示等の措置を事業者に求めることとする。

また、本件を単なる事故と捉えることなく、これにより得られた様々な教訓を今後の原子力発電所のトラブルや事故における初動体制の拡充や関係機関の連携強化等の防災対策のより一層の充実に活かすべきである。

10. おわりに

美浜発電所3号機二次系配管破損事故が起きてから2ヶ月が経過しようとしている。今回の事故は、11名もの死傷者を出し、警察による捜査も行われていることから、最終的な結論が得られるのはかなり先になると思われる。しかし、他の原子力発電所は運転を継続していることから、最終的な結論を待って対策を講ずるのではなく、今回問題が明らかになったもので現在運転中のプラントに反映していく必要があるものはできるだけ早期に対策を実施に移すことが重要である。その意味で、今回、当面の対応策についてとりまとめたが、今後の調査の進展に応じて再発防止対策が追加されることになるのはいうまでもないことである。

また、今回の事故において、原子力発電所の高経年化問題が指摘されている。今回の事故は、一義的には、必要な配管の減肉管理が適正に行われなかったことによるものである。しかしながら、運転年数が経過した原子力発電所、いわゆる高経年化した原子力発電所においては、配管の減肉などの経年劣化事象がより顕在化することが考えられることから、より慎重な点検管理が求められることはいうまでもない。

現在、定期安全レビューの一環として、運転年数が30年を超える原子力発電所に対し高経年化に関する総合的な評価を求めているところであるが、今回の事故は、この取り組みが今後とも一層重要であることを示している。また、運転年数が30年に至らずとも、経年変化について適切に評価確認していくことが重要であり、10年ごとに実施を求めている定期安全レビューの果たす役割について再認識する必要がある。

11. 美浜発電所3号機二次系配管破損事故調査委員会委員名簿

| | | |
|-------|-------|---------------------------|
| 委員長 | 朝田 泰英 | 社団法人火力原子力発電技術協会技術顧問 |
| | 飯塚 悦功 | 東京大学大学院工学系研究科教授(第4回から) |
| | 小林 英男 | 東京工業大学大学院理工学研究科教授 |
| | 柴田 勝之 | 日本原子力研究所東海研究所原子炉安全工学部研究主幹 |
| | 辻川 茂男 | 東京大学名誉教授 |
| 委員長代理 | 班目 春樹 | 東京大学原子力研究総合センター教授 |
| | 宮 健三 | 慶應義塾大学大学院理工学研究科教授 |