

# 原子力発電所 2 次系配管減肉管理手法の日米比較

## Japan-U.S. Comparison of Management System of Secondary System Piping Wearing

(株) 原子力安全システム研究所 千葉 吾郎 Goro CHIBA Nonmember

Secondary system piping was ruptured at Mihama Nuclear Power Station Unit 3 of Kansai Electric Power Company in August 2004, and 11 workers were injured and killed. The operators of PWRs in Japan established and implemented the guidelines for wearing management procedure about secondary system piping. In this study, the management system of Japan and foreign countries were compared, and the validity of the domestic wearing management technique was examined. Consequently, it was acknowledged a great difference in the maintenance degree of wearing piping by the electric power company in U. S., and the number of repair portions of Japan was more than equivalent with upper range of repaired number of U. S.. Therefore, the wearing management system of Japan was compared favorably with U. S. and it thinks that it is appropriate.

**Keywords:** PWR, secondary piping, erosion/corrosion, flow accelerated corrosion, wearing

### 1. 緒言

平成 16 年 8 月、関西電力(株)美浜発電所 3 号機において 2 次系の復水系配管が破損し、高温水が流出し原子炉が自動停止した[1]。事故によりタービン建屋にいた作業員 11 名が死傷した。原因は、いわゆるエロージョン/コロージョン[2]により減肉した配管が破損したものであった。

国内で PWR を保有する電力会社では、「原子力設備 2 次系配管肉厚の管理指針 (PWR)」(以下、管理指針)[1]を定め、これに基づき 2 次系炭素鋼配管の肉厚管理を実施してきたが、美浜発電所 3 号機において当該部位が当初の管理リストから欠落し、その後修正できなかった保守管理の不適切がこの事故の直接的な原因であるとされた。

著者は、管理指針の実質的な有効性を確認するため、配管減肉管理手法について、国内外の配管減肉管理状況を調査した。また、(株)原子力安全システム研究所 (INSS) のデータベースをもとに、入手している過去の海外における 2 次系配管減肉事象の発生状況を分析し、国内の配管肉厚管理手法の有効性を検証した[3]。

本研究では、米国の原子力発電事業者の 2 次系減肉管理状況の調査を行い、点検保守状況の日米比較により国内の減肉管理手法の妥当性を検討する。

### 2. 2 次系減肉の点検保守状況

#### 2.1 日米の減肉管理手法

日米の減肉管理手法の比較を図 1 に示す。

米国の事業者は、FAC (flow accelerated corrosion、流れ加速腐食) 監視プログラムを設定し、検査部位の抽出、検査の実施、監視及び傾向分析を行うとともに、検査の結果により ASME 規格等に従って補修・交換時期を決定する。現在、全米の原子力発電所で EPRI (Electric Power Research Institute) の CHECWORKS ソフトウェアが導入されており、材料、流況、水化学、減肉速度、超音波探傷データから解析を行い、配管の減肉状況を予測し、次回の交換・点検部位を決定している。

一方、国内の管理指針では、炭素鋼配管に関して湿度、流速、温度等の条件から「主要系統」とされた

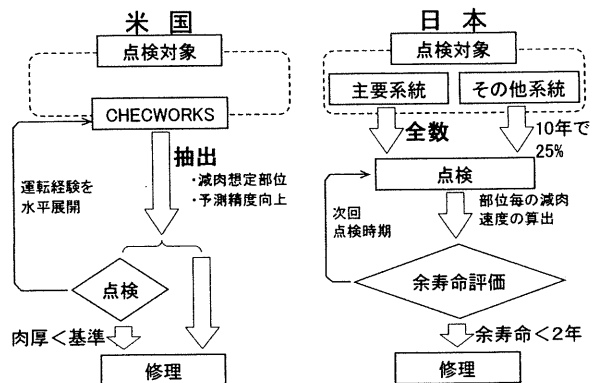


図 1 軽水炉 2 次系配管減肉管理手法の日米比較

連絡先: 千葉吾郎、〒919-1205 福井県三方郡美浜町佐田 64、(株) 原子力安全システム研究所 技術システム研究所、電話: 0770-37-9109、e-mail: chiba@inss.co.jp

部位は、その全数について点検時期を計算し、点検結果により部位毎の減肉速度と余寿命を算出し、次の点検時期の決定または修理が行われる。

対象としている系統は日米で大きな違いは認められず、米国では CHECWORKS 等により抽出した部位を点検・修理しているのに対し、国内では対象箇所全数の肉厚を測定し、修理箇所を決定しているところに大きな違いがある。

## 2.2 日米の減肉保守状況

美浜3号機の指針制定以降の点検箇所数と配管取替箇所数の推移を図2に示す[4]。美浜3号機では、毎年200~800箇所程度の点検を行ってきており、2004年については事故の後で対象範囲全数に加え、ステンレス管等の知見拡充を含めて6,260箇所の点検を行った。また、事故前までの累計で、約1,600箇所がステンレス鋼や低合金鋼に取替える等の修理が行われている。

次に、米国 Virginia Power 社(現 Dominion 社)の Surry 1/2号、North Anna 1/2号の4ユニットにおける年度毎の減肉補修状況を図3に示す[5]。Surry 2号機の事故

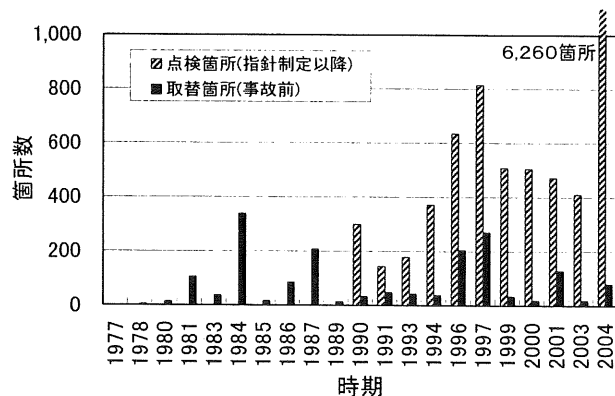


図2 美浜3号機の配管点検と取替状況

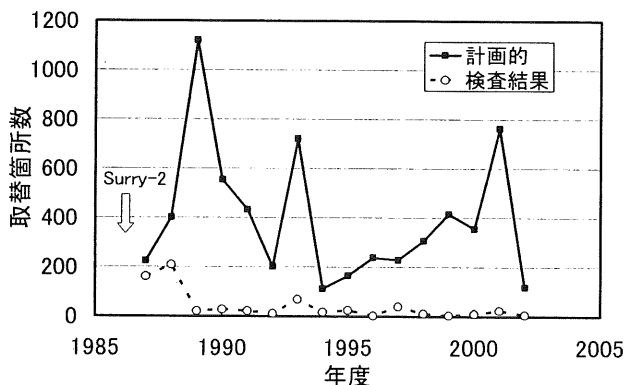


図3 米国軽水炉2次系配管取替の例(4ユニット分)

後の2年間は、点検結果に基づいて取替えられた配管が多くあったが、その後はほとんどの配管が計画的に取替えられている。

取替え箇所の累計は4ユニット全体で約6,000箇所、1ユニットあたり1,500箇所程度となる。これは、美浜3号機でステンレス鋼や低合金鋼等に取替えられた箇所数約1,600と同程度である。

今回新たに First Energy 社の Beaver Valley 発電所の調査を行い、米国の減肉管理に係る情報を入手した。

Beaver Valley 発電所1/2号機はいずれも Westinghouse 社製3ループPWRで、1号機は1976年10月の運開で美浜3号機と同時期、2号機は1987年11月運開のプラントである。

美浜3号機、Virginia Power 社(Surry, North Anna)ユニット平均、および Beaver Valley 1/2号機の年度毎の配管取替状況を図4に示す。

美浜3号機の約1,600箇所、および、Virginia Power 社平均約1,500箇所、いずれも継続的に修理が行われている。それに対し、今回調査した Beaver Valley 発電所は、1号機が累計54箇所、2号機が累計28箇所と、極めて少ないことがわかった。

## 2.3 減肉管理手法の検討

Beaver Valley-2号機の系統毎の減肉管理状況を美浜3号機のデータと合わせ表1に示す。

平均減肉速度について、Beaver Valley-2号機の実測値が  $0.20 \times 10^{-4} \text{mm/hr}$ 、予測値が  $0.23 \times 10^{-4} \text{mm/hr}$  であるのに対し、美浜3号機の平均(実測値)  $0.24 \times 10^{-4} \text{mm/hr}$  であり、両者は同程度の減肉速度を持っている。それにもかかわらず、肉厚管理対象箇所数は、Beaver Valley-2号機が386箇所であるのに対し美浜3号機が4,248

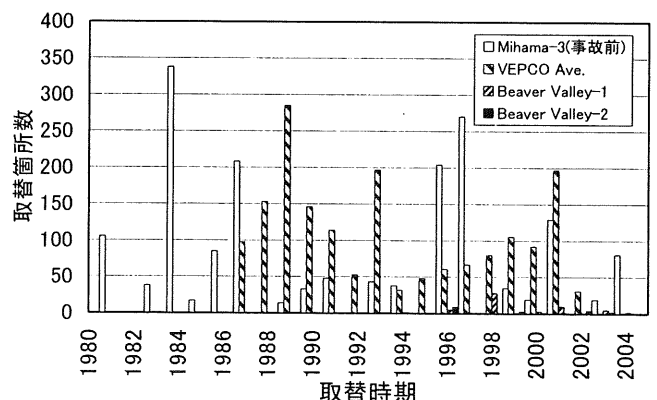


図4 軽水炉2次系配管取替状況の国内外比較

表1 Beaver Valley 2号機と美浜3号機の減肉管理状況

	Beaver Valley 2		取替箇所数 (累計)	美浜3号機	
	平均減肉速度 ( $\times 10^{-4}$ mm/hr) 実測値	CHECWORKS		点検対象箇所数	点検対象箇所数
復水系	0.23	0.21	3	48	594
給水系	0.25	0.26	1	73	542
主蒸気系	0.28	0.23	0	13	825
抽気系	0.19	0.23	6	53	351
ドレン系	0.17	0.23	18	182	1,533
その他	0.13	0.23	0	17	403
合計	0.20(平均)	0.23(平均)	28	386	
美浜3号機	約0.24 <sup>※1</sup>		約1,600	4,248 <sup>※2</sup>	

※1 美浜3号機減肉速度は、第11~15回点検の累積測定回数3回以上のデータの平均値  
 ※2 美浜3号機点検対象箇所数は、事故後測定計画時(H16.11.25)における指針該当箇所数  
 今回点検部位6,260箇所には、知見拡充等のための点検箇所が含まれる

箇所(事故後計画値)、累計取替箇所数が28箇所に対して約1,600箇所と、大きな差がある。

Beaver Valley 発電所と美浜3号機の運転パラメータの比較状況を表2に示す。系統構成と使用材料に大きな差はない。水処理について、Beaver Valley 発電所ではヒドラジンを低減させることを意図しているが、180℃の单相流環境においてヒドラジン量がFAC感受

表2 Beaver Valley 発電所と美浜3号機の運転パラメータの比較

	Beaver Valley - 1/2	美浜3号機
系統条件 温度 流速 湿度	両者共にWH社製3ループプラントで、系統構成、運転条件、使用材料等に大きな差異はない。 Beaver Valley発電所は2001年9月24日付で1.4%の熱出力増加が承認されているが、出力増加によるFAC感受性への寄与は問題とならないとしている。 また、今後の8%までの出力増強を申請中。 運転認可更新は、近く申請の予定。	
材料	両者共にWH社製3ループプラントで、系統構成、運転条件、使用材料等に大きな差異はない。 Beaver Valley発電所は2001年9月24日付で1.4%の熱出力増加が承認されているが、出力増加によるFAC感受性への寄与は問題とならないとしている。 また、今後の8%までの出力増強を申請中。 運転認可更新は、近く申請の予定。	
水化学	pH 溶存酸素濃度	8.8~9.7 ≤ 10ppb
水処理	アンモニア+モルフォリン (ヒドラジン低減)	全揮発性薬品処理(AVT) +エタノールアミン(ETA)

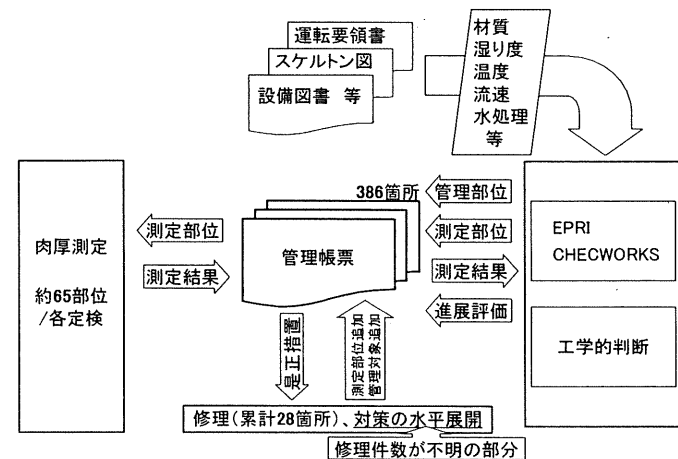


図5 Beaver Valley 2号機減肉管理の概念図

性に影響しないと示すデータもある[6]。運転条件に大きな違いはないとともに、平均の減肉速度が同等であることから、両発電所でFAC感受性に大きな差はないものと考えられる。

次に、Beaver Valley-2号機の減肉管理の概念を図5に示す。対象の全系統のなかからEPRiのCHECWORKSと工学的判断から管理対象部位386箇所が選ばれ、管理帳票に基づいた管理が行われる。その結果、定期検査毎に平均65箇所の点検と、判定基準を下回った部位への是正措置として、これまで累計28箇所の補修と対策の水平展開が行われている。ここで、28箇所の補修部位は386箇所の内数で、水平展開により修理された部位の数は分からないが、調査した範囲では情報はなく、それほど多くはないものと思われる。

次に、減肉修理の判定の考え方を図6に示す。肉厚測定の結果、減肉が公称肉厚の12.5%以下であれば対応の必要はない。減肉が認められ、測定値が最小肉厚を満たしている場合は、寿命評価を行い、次回点検まで問題なければ是正措置の必要はない。最小肉厚を下回る場合は、EPRi指針またはASME規格に従い妥当性評価を行い、不適のものについては是正措置が行われる。

図7に、設計最小肉厚に対する取替時の測定肉厚をプロットした。多くが設計最小肉厚を下回って運転継続されているが、日本では技術基準不適合となり許されていない。このことが、Beaver Valley 発電所の修理件数が少ない要因のひとつと考える。

配管補修状況の日米比較結果を図8に示す。対象としたユニットはすべてWestinghouse社製3ループユニットで、Beaver Valley 2号と美浜3号では減肉速度が同

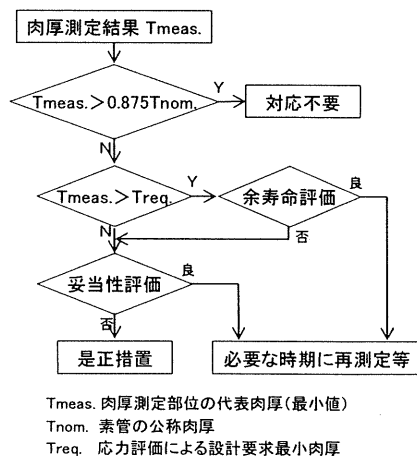


図6 Beaver Valley 2号機の修理判定の流れ

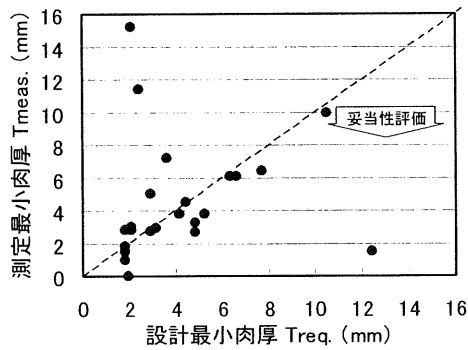


図7 Beaver Valley 2号機配管取替時の肉厚

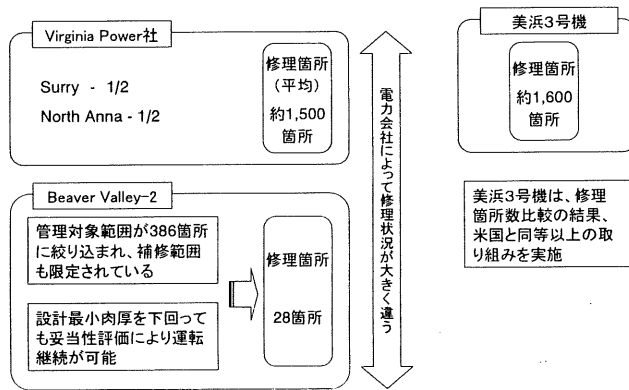


図8 2次系配管修理状況の日米比較結果

程度であった。

修理箇所数に関して、Beaver Valley-2号機では、抜き取り検査と運転継続の考え方から修理された配管は28箇所、一方で、Virginia Power社は1ユニット平均で約1,500箇所が修理されており、米国では電力会社によって修理状況が大きく違ってくるのが分かった。また、美浜3号機は事故前の段階で約1,600箇所の修理が行われており、その結果、国内は米国と同等以上の取組

みを行っていることが分かった。

### 3. 結言

2次系配管減肉事象に関して米国の減肉管理状況を調査し、点検保守状況の比較検討を行った結果、以下の結論を得た。

- ・米国は、電力会社によって減肉配管の保守状況が大きく違うことがわかった。日本の取替箇所数は、米国における取替箇所数の幅の上限と同等以上であった。
- ・その結果、国内の減肉管理手法は米国と比較してそん色はなく、妥当であると考えられる。

### 参考文献

- [1] 原子力安全・保安院, 美浜発電所3号機二次系配管破損事故調査委員会, 「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ついて(最終報告書)」, (2005).
- [2] 腐食防食協会編, 「腐食・防食ハンドブック」, 93, 丸善, (2000).
- [3] 千葉吾郎, 「海外原子力発電所における2次系配管減肉不具合の発生状況」, INSS Journal, vol.12, (2005).
- [4] 原子力安全・保安院, 高経年化対策検討委員会(第4回) 配付資料, 「電気事業者における配管減肉データの分析結果について」, (2005).
- [5] NRC Staff's handout for 08/08/2002 Meeting With Dominion VEPCO.
- [6] E. M. Pavageau, O. Bouvier, and K. Fruzzetti, "Of the Role of Temperature and pH on the Hydrazine Effect on Flow Accelerated Corrosion", Int. Conference Water Chemistry of Nuclear Reactor Systems, San Francisco, 11-14 Oct.. (2004).