

ふげんを活用した軽水炉の高経年化調査研究

日本原子力研究開発機構 安全研究センター 高経年化評価・保全技術研究グループ

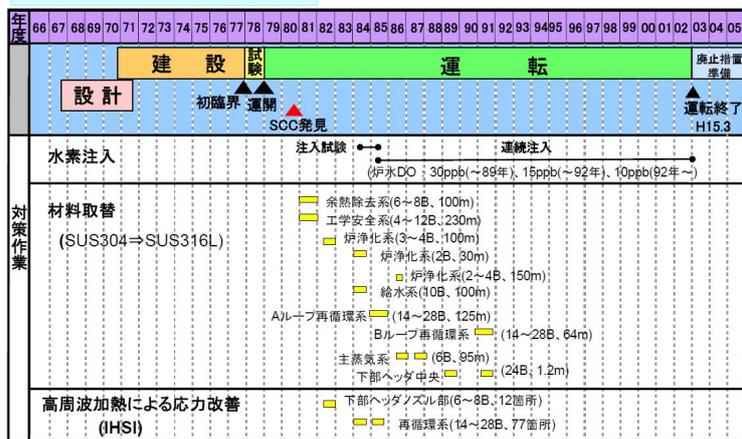
ふげんSCC対策技術の有効性確認

目的

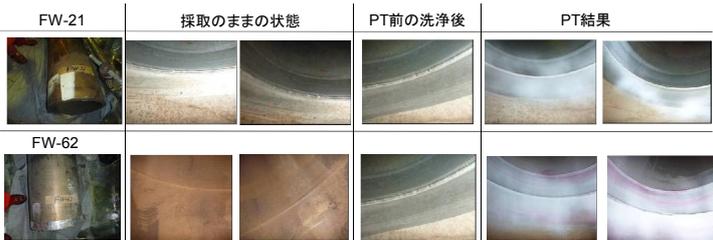
- 「ふげん」実機材の長期運転状況におけるSCC発生状況の正確な把握。
- 「ふげん」実機材を用い、データや評価技術の検証、規制基準の整備を国がより適切に判断できるようにするための各種データ・知見の収集を行う。

- 配管管理の妥当性の検証
- 評価技術の検証、規制基準の整備への貢献

ふげんでのSCC発生と対策

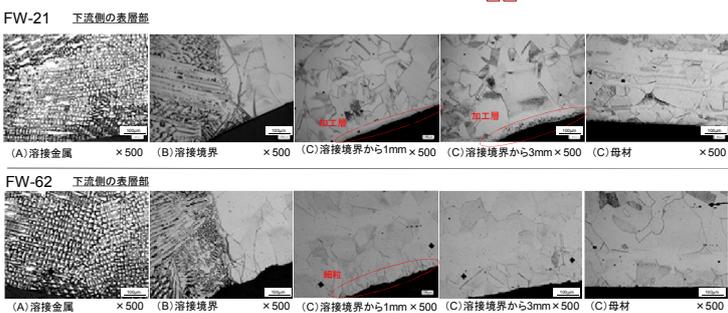


浸透探傷試験 (PT) 及び内面観察 (結果の一例)



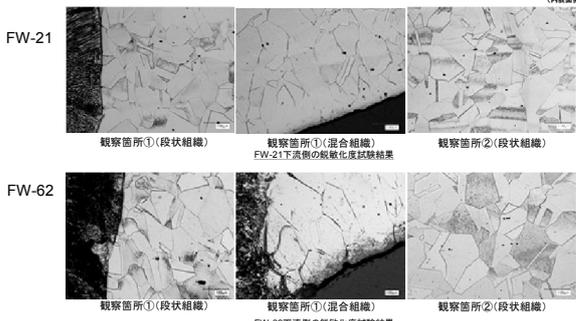
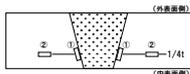
Aループ再循環系の下降管、吐出管の溶接部、合計27シームのPT試験を実施 → 調査対象全ての溶接部に割れは認められなかった。

金属組織観察 (内表面溶接部近傍)



溶接部断面の微細組織の確認 → いずれの配管についても溶接部近傍の断面組織は健全であり、SCC等の割れは認められなかった。

鋭敏化試験 (シュウ酸エッチング法)



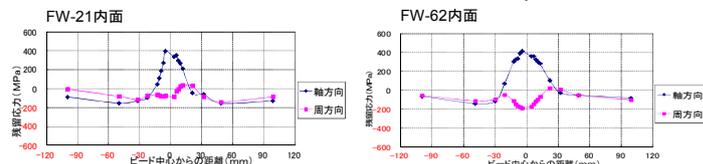
HAZ部の鋭敏化を確認するためシュウ酸エッチング法で試験 → いずれの配管も鋭敏化が低い段状組織であり、溶接による鋭敏化は生じていないと考えられる。また、表層に僅かに存在する加工層 (細粒化層) については、軽微ではあるが鋭敏化している溝状組織が見られた。

対象配管の詳細

部位	SCC対策	材料	外径 (mm) (呼径)	対策実施シーム数	環境温度	溶存酸素濃度 (ppb)	使用時間 (hr)
Aループ再循環系吐出管	通常溶接	SUS316L NG	406.4 (16B)	8	275°C	水素注入有 (10~30)	99,820
Aループ再循環系下降管	通常溶接	SUS316L NG	355.6 (14B)	16	285°C	水素注入有 (10~30)	99,820

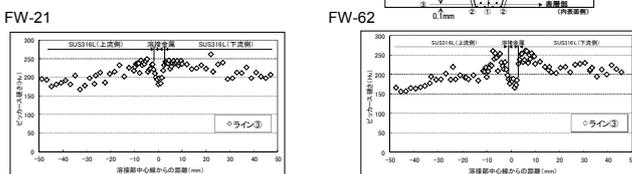
本報告では、吐出管はFW-62、下降管はFW-21をそれぞれ代表例として示す。

残留応力測定結果



いずれの配管についても、管内面の溶接部近傍では、軸方向で最大400MPa程度の引張残留応力が確認、内面の周方向では圧縮の残留応力が確認された。外面は軸・周方向ともに最大200MPa程度の引張残留応力が確認された。

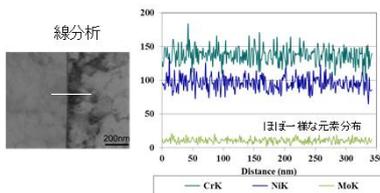
断面硬さ分布 (溶接部表面近傍)



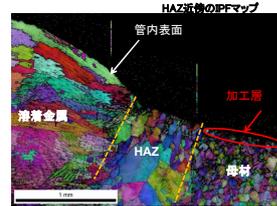
いずれの配管も、表層部も含めSUS316L溶接部の標準的な硬さ分布 (最大でHv250程度) を示し、健全な溶接箇所であることを確認。

HAZ部調査

FW-21 HAZ部 STEM-EDS測定結果



FW-21下降管の粒界にはCr欠乏層、析出物は見られない。FW-62吐出管も同様であった。



加工誘起マルテンサイト相は見当たらない (オーステナイト相+溶存金属中に数%フェライト相) 溶接の熱影響でHAZ部が粗粒化し、表面の加工層は消失する。熱影響が少ない母材部は粗粒化せず、表面の加工層も残存する。

まとめ

- SCC発生状況
 - 調査した全て (SUS316L (NG) 相当材) に金属組織観察、超音波検査等からも、SCCの発生は認められなかった。
- 詳細調査結果
 - 内表面で最大約400MPaの残留応力があつた。
 - 金属組織、硬さ、フェライト量などに異常は認められなかった。
 - HAZ部内表面近傍粒界にCr欠乏層、析出物は認められない。
 - HAZ部内表面近傍では加工層は消失。
- SCCが発生しなかった理由について
 - 最大約400MPaの引張残留応力が存在しても、水素注入及び優れた材料の効果により、鋭敏化も抑制されている。HAZ部では加工層は消失し、HAZ部の表面硬さが低減されている。

ふげんの環境条件 (特に水質) とSCC対策材であるSUS316L (NG) の適用の重畳効果で、SCCの発生を抑制できたものと考えられ、SCC対策技術である材料取替の有効性が確認された。

(本研究は、独立行政法人 原子力安全基盤機構より受託した「平成24年度福井県における高経年化調査研究」として実施した。)

ふげんを活用した軽水炉の高経年化調査研究

—ふげん SCC 対策技術の有効性確認—

日本原子力研究開発機構 安全研究センター 高経年化評価・保全技術研究グループ

新型転換炉「ふげん」(現在は原子炉廃止措置研究開発センター)は、重水減速沸騰軽水冷却圧力管型原子炉として 1978 年の初送電以来 2003 年 3 月の運転停止まで、約 25 年間(総発電時間約 13 万 7,000 時間)稼働した。この間 1980 年の余熱除去系配管溶接部近傍に SCC (応力腐食割れ)が発生した事象を契機に SCC 予防対策が順次行われてきた。SCC 対策として実施されたのは、主に次の 3 つである。

(1) 材料取替

SCC の発生箇所及び類似の環境条件にある箇所、SUS304 ステンレス鋼から耐 SCC 性に優れる 316 系の低炭素ステンレス鋼 (SUS316L) への材料取替が実施された。

(2) 応力低減対策

上記材料取替時に水冷溶接を、もしくは材料取替えが難しい部位については、IHSI (高周波誘導加熱)による応力改善を実施した。

(3) 環境改善対策(水素注入法)

水素注入による原子炉冷却材中の溶存酸素濃度低減法を国内で初めて適用した。

ふげんの炉水環境は BWR に近い、実機材料を調査することで商用炉に対する有用な知見が得られる。本研究では現在解体撤去が進められているふげんの実機材を用いて、SCC の発生を抑制する保全技術の長期に渡る有効性を確認する調査を行った。今回の調査では、再循環系配管の A ループの 1 系統について、SUS316L (NG) に材料を取り替えた溶接部を中心に浸透探傷試験 (PT)、金属組織観察、残留応力測定、硬さ測定、粒界分析等を行った。

主な結果を以下に示す。

① SCC 発生状況

調査した全ての箇所で金属組織観察、超音波検査等からも、SCC の発生は認められなかった。

② 詳細調査結果

- ・内表面で最大約 400MPa の残留応力があつた。
- ・金属組織、硬さ、フェライト量などに異常は認められなかった。
- ・HAZ 部内表面近傍粒界に Cr 欠乏層、析出物は認められない。
- ・HAZ 部内表面近傍では加工層は消失。

③ SCC が発生しなかった理由について

最大約 400MPa の引張残留応力が存在しても、水素注入及び優れた材料の効果により、鋭敏化も抑制されている。HAZ 部では加工層は消失し、HAZ 部の表面硬さが低減されている。

ふげんの環境条件 (水質) と SCC 対策材である SUS316L (NG) の適用の重畳効果で、SCC の発生を抑制できたものと考えられ、SCC 対策技術である材料取替の有効性が確認された。

(本研究は、独立行政法人原子力安全基盤機構より受託した「平成 24 年度福井県における高経年化調査研究」として実施した。)

ふげんを活用した軽水炉の高経年化調査研究

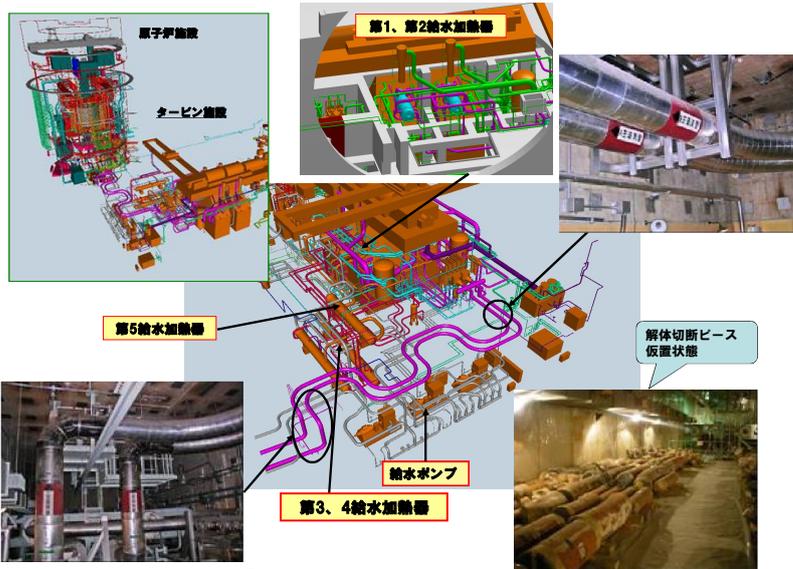
日本原子力研究開発機構 安全研究センター 高経年化評価・保全技術研究グループ

ふげん配管の減肉調査

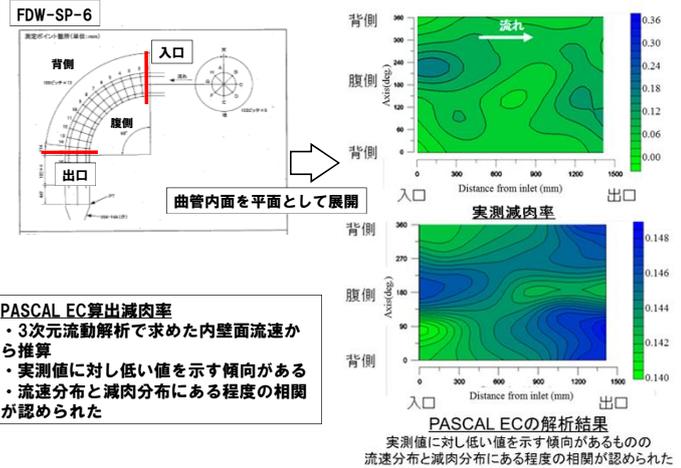
目的

- 「ふげん」実機材の長期運転状況における減肉発生状況の正確な把握。
- 「ふげん」実機材を用い、配管減肉管理技術(予測、評価、検査等)の妥当性を国がより適切に判断できるようにするための各種データ・知見の収集を行う。

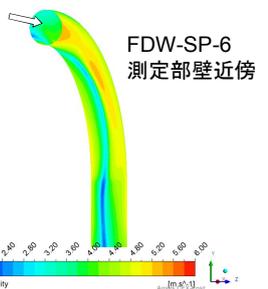
→ 配管減肉管理の妥当性の検証及び信頼性向上
規格基準、規制基準の整備への貢献



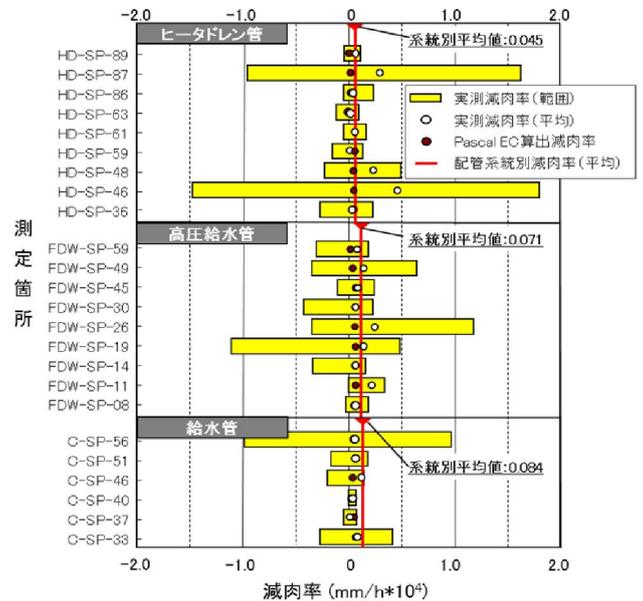
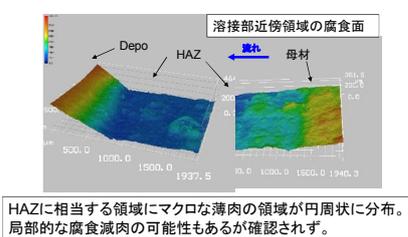
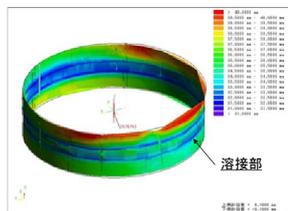
「ふげん」の配管系統図



配管減肉の計測値と解析値の比較



流速分布解析結果例 (3D-CFD)



全測定箇所(約28,000点)の減肉率の平均値は0.10mm/10000h以下と低い値を示す。

減肉率測定結果

3D寸法測定装置による断面プロフィール実測結果例

主な成果

- 高圧給水管を中心に配管減肉状況の調査を実施した。
 - ① 全148箇所(約28,000点)で測定配管肉厚が「必要肉厚」を下回る箇所は無かった。
 - ② このことからプラント供用期間中の「ふげんの配管減肉管理方法」の妥当性が確認された。
 - ③ 減肉率の平均値は低い値を示し(<0.10mm/10000h)、流動加速型(FAC)腐食組織は観察されなかった。
- 配管分岐合流部等の減肉加速部について、減肉予測法(JAEAコードPASCAL-EC)による予測精度を確認した。
- 配管減肉管理の信頼性向上、評価手法の妥当性確認並びに精緻化に資するべく、過去の定検情報と詳細測定及び解析結果を網羅した配管減肉データベースを構築した。

(本研究は、独立行政法人 原子力安全基盤機構より受託した「平成21~23年度福井県における高経年化調査研究」として実施した。)

ふげんを活用した軽水炉の高経年化調査研究

—ふげん配管の減肉調査—

日本原子力研究開発機構 安全研究センター 高経年化評価・保全技術研究グループ

配管減肉については、「高経年化対応技術戦略マップ 2009」の検討において、配管減肉管理の信頼性向上を目的とした「評価手法の妥当性及び精微化のための長期運転状況下に於ける各種データ・知見の収集を行っていくこと、並びに、減肉メカニズムの解明が必要であること」が指摘されている。それに従い、本調査研究では、解体撤去が進められている原子炉廃止措置研究開発センター（ふげん）の実機材を用いて、解体実施工程に基づいて以下の調査研究を進めてきた。

① 配管減肉状態の測定

ふげんの主蒸気管、抽気管、給水加熱器付近の高圧給水管を中心にこれまでに調査対象箇所全 148 箇所（総数約 28,000 ポイント）の配管減肉状態の測定を実施した。また、「接触式 3 次元座標測定装置」、「レーザ顕微鏡」等による腐食減肉面の観察などの詳細調査を行った。この配管減肉状況の調査結果から、「必要肉厚」を下回る箇所が皆無であることが確かめられた。このことから、プラント供用期間中の「ふげんの配管減肉管理方法」が、保守的で妥当であることが確認できた。

また、減肉率に負の値を示すなどのばらつきが少なくなく、従来から知られる公称肉厚の他に、曲げ管部、溶接部などに存在するマクロな変形分布が測定値に影響することを明らかにすることができた。減肉率の平均値は低い値（ $<0.10\text{mm}/10,000\text{h}$ ）を示し、腐食面に「鱗片模様」あるいは「オレンジピール」と呼称される組織は観察されなかったことから、FAC（流れ加速型腐食）の事象の存在は確認できなかった。

② 熱流動解析及び PASCAL-EC による減肉解析

「ふげん」の配管減肉管理対象箇所の流動状態を確定するために必要な環境条件（温度、圧力、流量、乾き度、ボイド率、クオリティ等）を求め、三次元熱流動解析及び PASCAL-EC（減肉配管構造信頼性解析コード）による減肉解析などを実施し、超音波厚さ計による減肉測定結果との比較、検討を行った。PASCAL-EC による推定値は、ほぼ全ての配管で実測平均減肉率を若干下回る低い値を示した。

③ 配管減肉データベースの構築

「ふげん」の減肉管理対象箇所の主要な配管系統の、150A 以上のほぼ 100%を網羅する配管減肉状況の調査データと、過去の定検情報と詳細測定、運転条件（運転温度、運転圧力、水質分析結果等）、材料記録（ミルシート）および解析結果等を収録した配管減肉データベースを構築した。

（本研究は、独立行政法人原子力安全基盤機構より受託した「平成 21～23 年度福井県における高経年化調査研究」として実施した。）