

# 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

## 保全技術等有効性確認試験 (SCC)

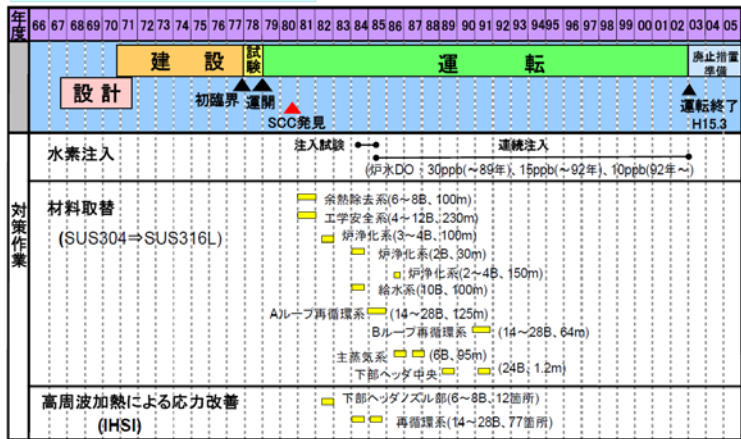
**目的**

- 「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

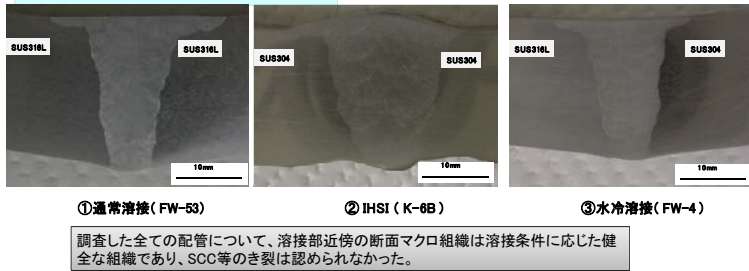
### ふげんでのSCC発生と対策



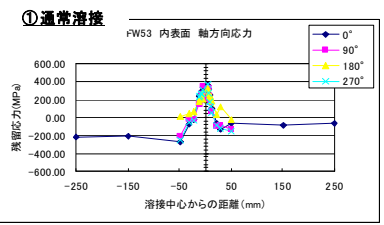
### 対象配管の詳細

部位	SCC対策	素材 上段:上流 下段:下流	外径 (mm) (呼び径)	環境条件		
				温度 (°C)	溶存酸素濃度 (ppb)	使用時間 (hr)
A)ループ 吐出管	通常溶接 (材料取替) (S.60年)	SUS316L SUS316L	406.4 (16B)	275	水素注入有 (99,820hr) 10~30	99,820
B)ループ 下降管	IHSI (S.59年)	SUS304 SUS304	355.6 (14B)	285	水素注入無 (36,440hr) 100~200 水素注入有 (99,820hr) 10~30	IHSI前 27,540 IHSI後 108,720
B)ループ 下降管	水冷溶接 (材料取替) (H.3年)	SUS316L SUS304	355.6 (14B)	285	水素注入無 (36,440hr) 100~200 水素注入有 (99,820hr) 10~30	66,760 136,260

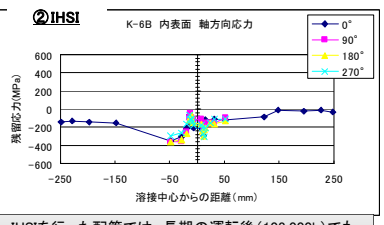
### 金属組織(断面マクロ)観察



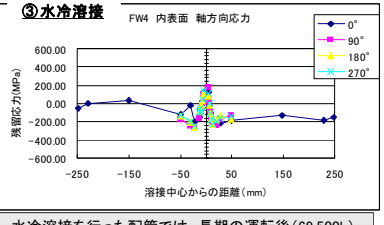
### 残留応力測定結果



通常溶接を行った配管では、内外表面とも引張残留応力であることが確認された。  
特に内面の軸方向で最大400MPaの引張残留応力が確認された。

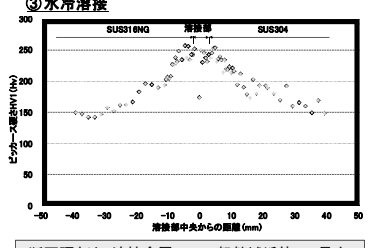
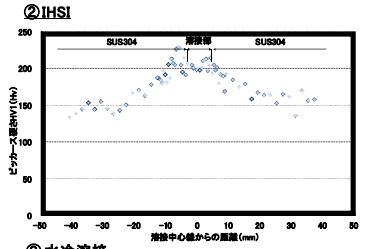
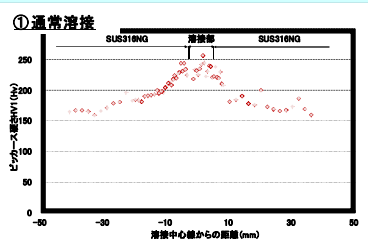


IHSIを行った配管では、長期の運転後(108,000h)でも、内表面は圧縮残留応力、外表面は引張残留応力となっていることが確認された。  
特に内表面では軸方向、周方向ともに圧縮となり、周方向で高い値を示すなど、残留応力改善策として長期の運転後も非常に有効に機能していることが確認できた。



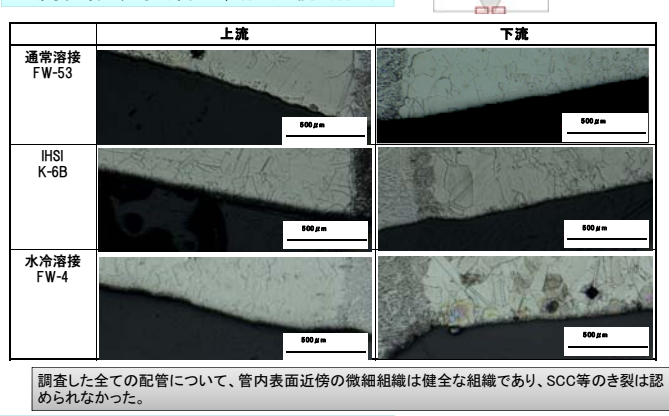
水冷溶接を行った配管では、長期の運転後(69,500h)でも、内表面の軸方向の引張残留応力は200MPa程度に低減され、周方向では高い圧縮残留応力を示す。  
IHSIよりも効果は劣るが、残留応力改善策として長期の運転後も有効に機能していることが確認できた。

### 断面硬さ分布(溶接部表面近傍)

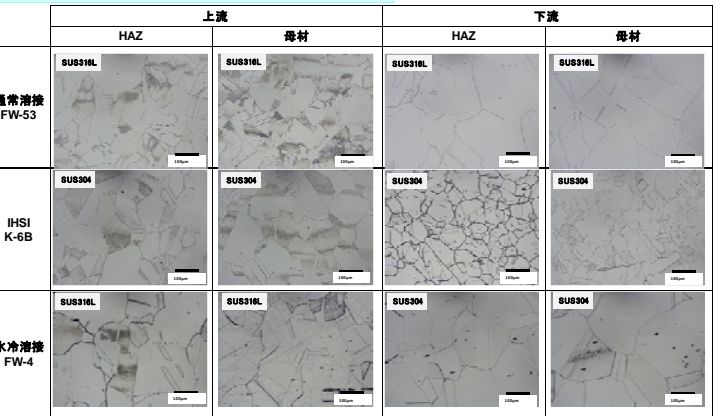


断面硬さは、溶接金属～HAZ粗粒域近傍で、最大250程度であり、溶接施工法の違いは硬さには明瞭には現れていない。  
母材部の方は130~170程度で、受入時からの経時変化(熱時効等)は少ない。  
組織観察結果などからも、対象配管材料、溶接施工など、全て健全であることが確認できた。

### 金属組織観察(管内表面近傍断面)



### 鋭敏化試験(シュウ酸エッチング法)



### まとめ

- SCC発生状況
  - 金属組織観察、超音波検査等からも、SCC等の微小き裂は一切認められない。
- 残留応力調査
  - 通常溶接配管では、内表面で最大400MPaの残留応力。
  - IHSIでは圧縮残留応力に、水冷溶接では引張残留応力値が200MPa程度まで低減。
  - 残留応力改善策が長期運転後も有効に機能していることを確認。
- 材質について
  - 化学成分、金属組織、硬さ、フェライト量などに異常は認められず。
  - 鋭敏化は、SUS316Lでは認められず、C量の高いSUS304に若干認められた。
- SCCが発生しなかった理由について
  - SUS304(鋭敏化傾向大): 水素注入及びIHSI等による応力低減の効果等
  - SUS316L(鋭敏化傾向小、最大400MPaの引張残留応力): 水素注入及び優れた材質の効果等

## ふげんを活用した軽水炉の高経年化調査研究

### 保全技術等有効性確認試験 (SCC)

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、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で、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。腐食電位の実測値は、概ね水素注入しない場合の 100mVvsSHE 程度から -200~-250mVvsSHE に低下して、SCC 発生の閾値として考えられている -230mVvsSHE に近い値となっている。

ふげんの炉水環境は商用 BWR に近いため、実機材料を調査することで、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ことができる。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、その調査を進めてきた。

主な結果を以下に示す。

#### ■ SCC 発生状況について

金属組織観察、超音波検査等を実施し、SCC 等の微小き裂は一切認められなかった。

#### ■ 残留応力について

ひずみゲージによる応力解放法で測定した結果、通常溶接配管では、内表面で最大 400MPa の残留応力が確認された。残留応力低減対策である IHSI を施した部分では圧縮残留応力に、水冷溶接では引張残留応力値が 200MPa 程度まで低減されていることが確認された。これらの残留応力改善策の効果が長期運転後も有効に機能していることが確認できた。

#### ■ 材質について

化学成分、金属組織、硬さ、フェライト量などの調査の結果に異常は認められなかった。また、鋭敏化は、SUS316L では認められず、C 量の高い SUS304 に若干認められた。

#### ■ SCC が発生しなかった要因について

SUS304 (鋭敏化傾向大)では、水素注入及び IHSI 等による応力低減の効果等が、また SUS316L (鋭敏化傾向小、最大 400MPa の引張残留応力)では、水素注入及び優れた材質の効果等が挙げられる。

(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 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。)