

2スクリーニング中間報告 安全注入系で見つかった応力腐食現象(案)

令和4年7月28日
技術基盤課

本報告の目的は、2次スクリーニング調査・分析対象である「仏国PWRの安全注入系ステンレス鋼配管で見つかった応力腐食現象」の情報を更新することである。

1. 従前の報告

2021年10月、仏国シボー1号機(1495 MWe)における10年毎点検において、安全注入系(RIS)配管エルボの溶接部に複数の亀裂指示が見つかった。シボー2号機(1495 MWe)の10年毎点検を前倒して同年11月に検査したところ、同様な指示が複数見つかった。1号機の配管を切り出し検査したところ、溶接ビードの近くでステンレス鋼配管内面に応力腐食現象による亀裂が確認された。同シリーズのPWRであるショーB1/B2号機(各1500 MWe)では、前回の10年毎点検で微小な指示(偽陽性)が見つかったいたので、原子炉停止して検査したところ、ショーB2で同様な指示が見つかった。ショーB1では検査が続けられている。さらに、10年毎点検を実施中のパンリー1号機(1330 MWe)でも同様な指示が複数見つかった^{1,2}。

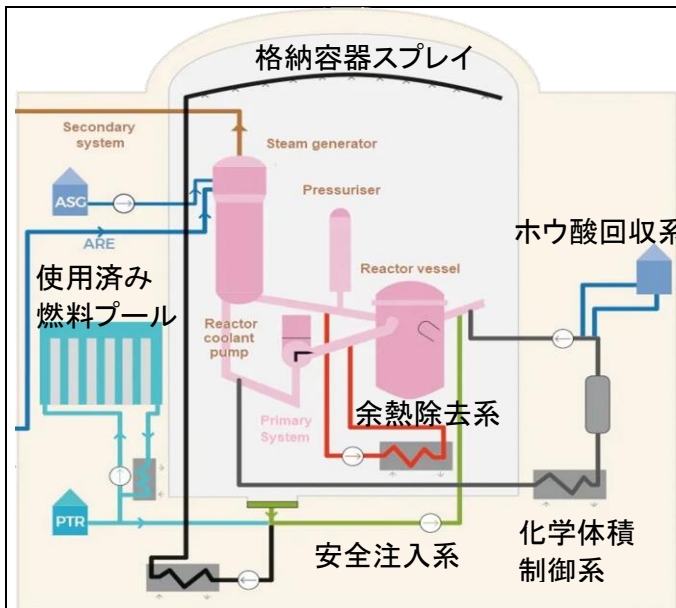


図1 安全注入系(RIS)と余熱除去系(RRA)



図2 亀裂が見つかった溶接部

¹ 第51回技術情報検討会(令和4年1月20日)、資料51-2-1-4 1次スクリーニング結果(案)、ASN通知(20211216 仏語版)「シボー1号機の安全注入系で見つかった応力腐食現象」

² 第53回技術情報検討会(令和4年5月26日)、資料53-2-4 1次スクリーニング結果(案)、IRS9063P/ASN通知(20220131)「シボー1/2、ショーB、パンリー1号機で見つかった応力腐食現象」

2. 情報更新

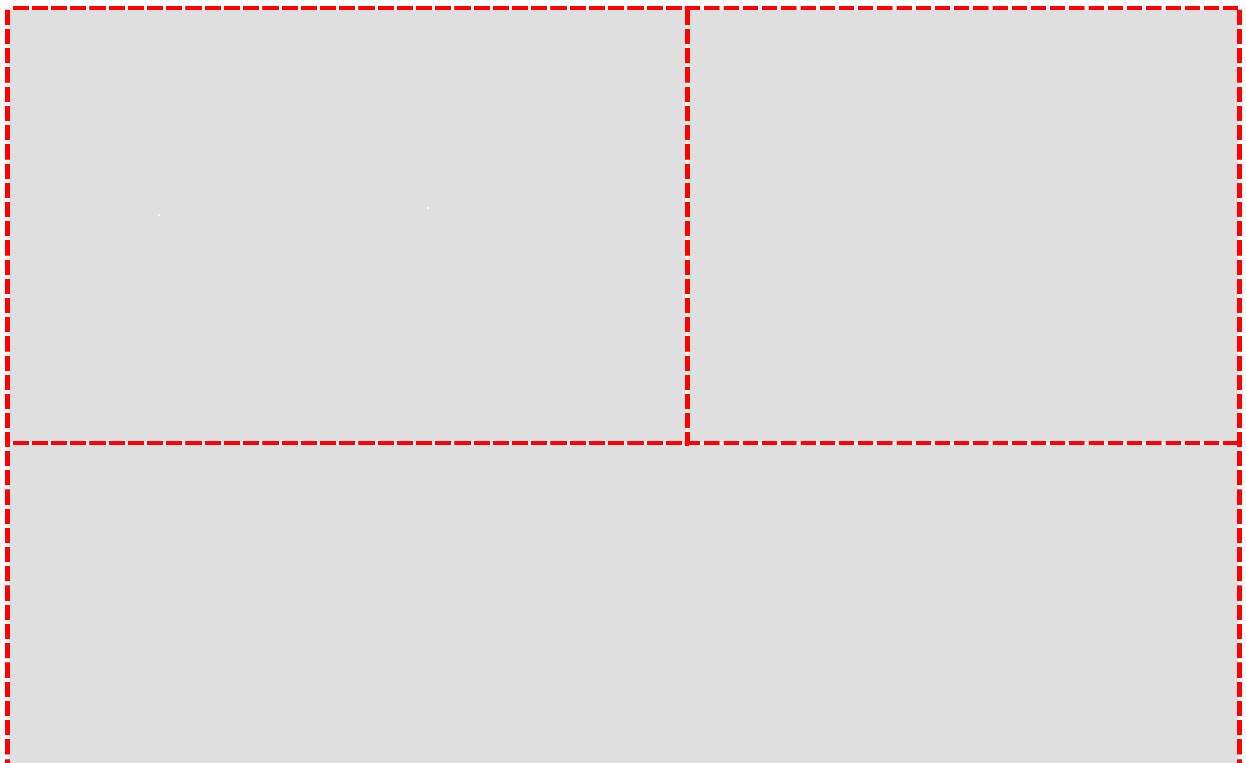
(1) 現在の検査状況

フランス電力会社(EDF)の記事³によると、応力腐食の影響を受けた配管部の修理が続けられている。下記の12基で応力腐食の検査が行われているが、今後、新たな原子炉を計画外停止して検査する必要性はないとEDFは考えている。

- シボー1、ショーB1とパンリー1の配管を切り出して検査した結果、RISと余熱除去系(RRA)の溶接部近傍に応力腐食が存在することが確認された。
- シノンB3号機(905 MWe)ではRIS配管には応力腐食がなかったが、RRA配管の溶接部に応力腐食の証拠があった。
- シボー2、ショーB2、カットノン3号機(1300 MWe)、フラマンビル1/2号機(各1330 MWe)、とゴルフェッシュ1号機(1310 MWe)では検査が続けられている。

(2) 非破壊・破壊検査

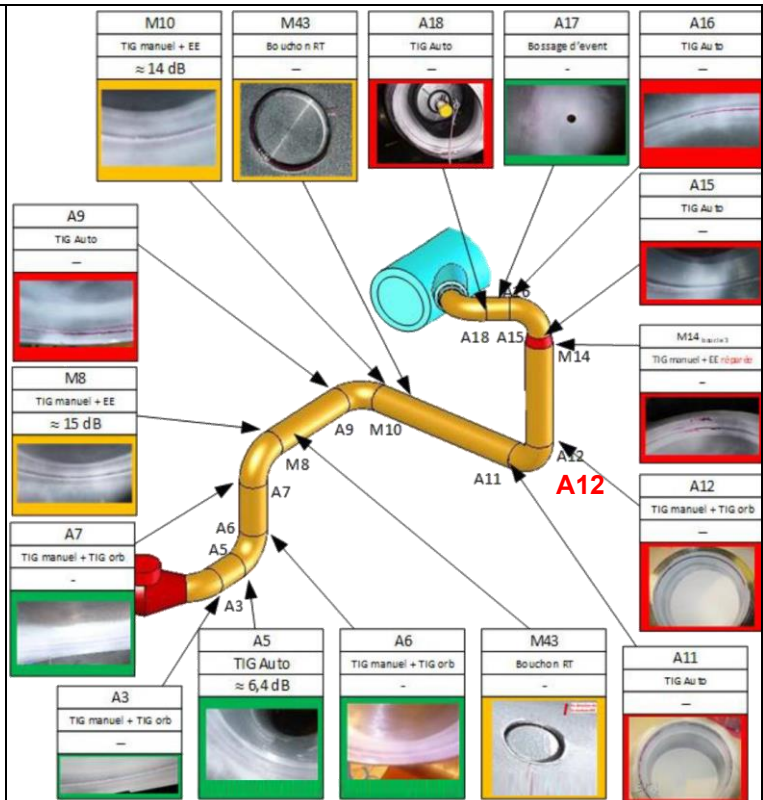
以下は、参考資料[1][2][3][4]から抜粋した情報である。



赤点線枠内は国際機関との取り決めにより公開できません。

³ EDF プレスリリース(2022年5月19日)、Update on the stress corrosion phenomenon and adjustment of 2022 French nuclear output estimate

- シボ-1での亀裂指示は、エルボの配管内側で周方向であった。
- 問題領域は、100°C超となる配管の溶接近傍である。
- 問題の配管内では、流れはない（滞留）。
- SCC感受性に対する配管形状（渦流の浸入長さ、熱成層長さ）の効果の大きさ：1450 MWe級 > 1300 MWe級 > 900 MWe級
- 仏国の10年毎点検では、亀裂は超音波探傷(UT)で検知。その手順は熱疲労割れ検知用としてつくられたもの。今後の配管再検査には改良手順が用いられる。
- 過去の非破壊検査(NDT)データを再分析して、「無関係な指示」という偽陽性を見つける。



赤枠：指示あり。黄枠：不明。緑枠：指示なし。

図 3 シボ-1 の RIS 配管溶接部
浸透探傷試験 (PT) 結果

- 破壊検査は、SCCを裏付け、亀裂の深さを計測するために必要である。
- 亀裂はIGSCC。配管材は316Lステンレス鋼。位置は溶接部近傍の熱影響域(HAZ)であり、機械的作用影響域(MAZ)である。
- 溶接ルートパス近傍に高硬度領域。シボ-1のA12溶接部の溶接初層近傍の硬度は異常に高い。
- 溶接部に不純物はない。材料組成は仕様合致している。

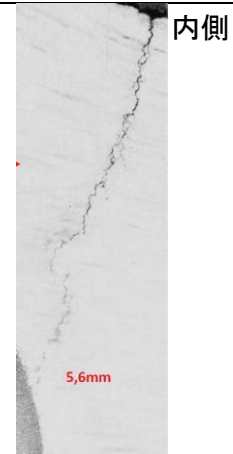
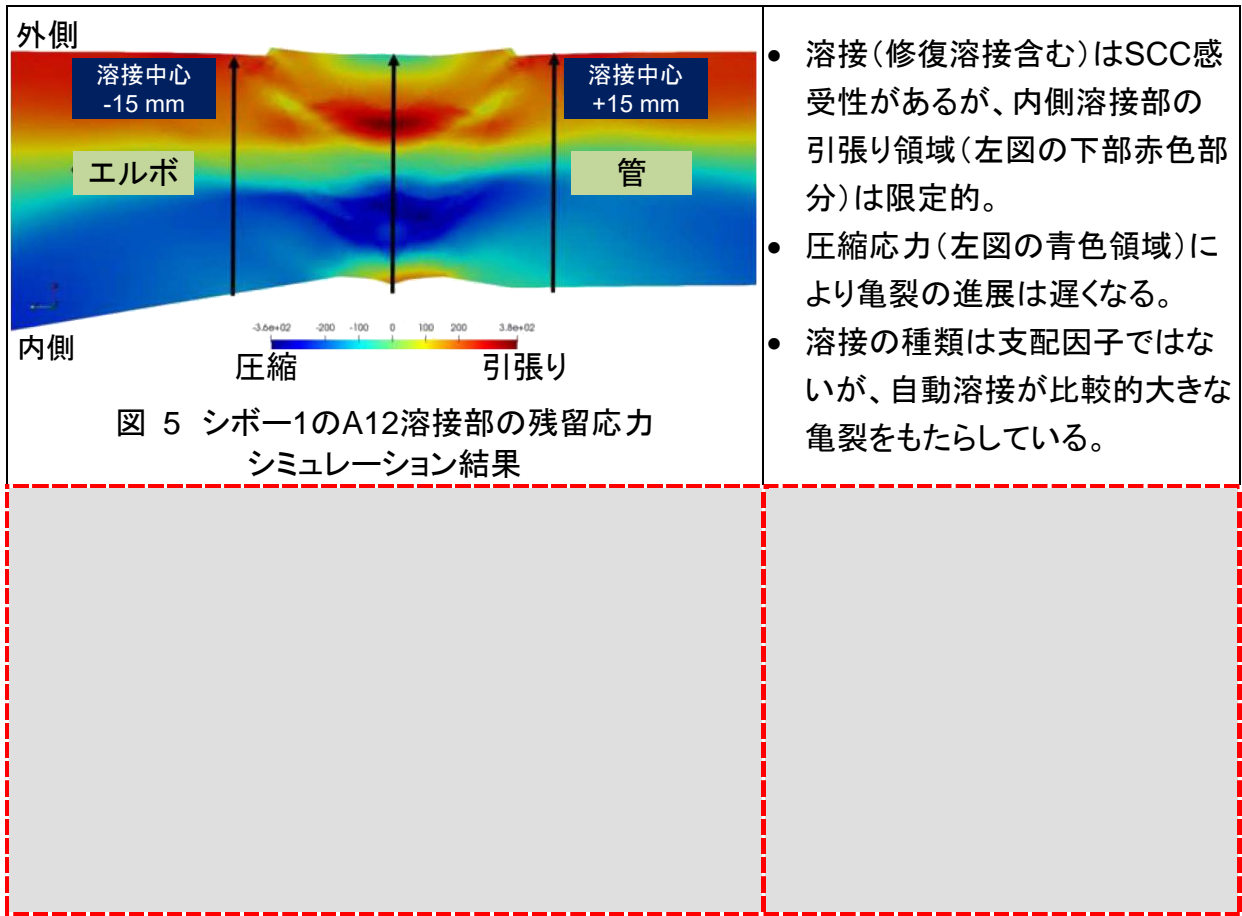


図 4 シボ-1 で見つかった亀裂

(3) 現象の理解

以下は、参考資料[1][2][3]から抜粋した情報である。



- 溶接(修復溶接含む)はSCC感受性があるが、内側溶接部の引張り領域(左図の下部赤色部分)は限定的。
- 圧縮応力(左図の青色領域)により亀裂の進展は遅くなる。
- 溶接の種類は支配因子ではないが、自動溶接が比較的大きな亀裂をもたらしている。

赤点線枠内は国際機関との取り決めにより公開できません。

(4) まとめ

以下は、参考資料[1][2][3]から抜粋した情報である。

根本原因分析進行中
<ul style="list-style-type: none"> • IGSCCであることは確実。 • 30年超の900 MWe級ではSCCがないことから、経年劣化とは考えにくい。 • 修復溶接、正常溶接からの逸脱と滞留部での熱成層化が、割れに影響とみられる。
今後の予定
<ul style="list-style-type: none"> • 亀裂のある配管は取り除かれ、修理される。 • 2022年9月からEDFは、運転PWR全てを対象としたIGSCCの影響を受けた可能性のある領域について総合検査プログラムを実施する。 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 過去のNDTデータの再評価 ➢ 熱疲労だけでなくIGSCC検知に最適化した超音波探傷(UT)を適用 • NDTの感度、IGSCCの成長速度と弾塑性破壊力学解析に基づいた頻度による定期検査プログラムを定義する。 • EDFは、修復なしでの運転継続を認めるための亀裂評価基準(長さや深さ)を策定する予定。

3. 参考資料

- [1] ASN, STRESS CORROSION CRACKING IN FRENCH REACTORS, 2022, 第 47 回 CNRA 会合(非公開)
- [2] EDF, Phénomène de CSC détecté sur des portions de tuyauteries de circuits auxiliaires du circuit primaire principal de plusieurs réacteurs nucléaires, 2022, 第 61 回 HCTISN 総会、[http://www.hctisn.fr/IMG/pdf/01_edf_csc - hctisn - 220607 vd.pdf](http://www.hctisn.fr/IMG/pdf/01_edf_csc_-_hctisn_-_220607_vd.pdf)
- [3] U.S. NRC, EDF Stress Corrosion Cracking Operating Experience Discussion, 2022, <https://www.nrc.gov/docs/ML2214/ML22143A834.pdf>
- [4] IRSN, SCC on some welds of the ECC pipe system in France, CSNI, WGIAGE metal sub group meeting, 2022(非公開)