

平成20年2月4日
原子力安全対策課
(19-96)
<16時記者発表>

敦賀発電所2号機の定期検査状況について (蒸気発生器入口管台溶接部での傷の原因と対策)

このことについて、日本原子力発電株式会社から下記のとおり連絡を受けた。

記

敦賀発電所2号機(加圧水型軽水炉; 定格電気出力116.0万kW)は、平成19年8月26日から第16回定期検査中であり、今定期検査において、国内外で発生した600系ニッケル基合金溶接部での応力腐食割れ事象を踏まえ、4台ある蒸気発生器(SG)の1次冷却材出口および入口管台の溶接部^{*1}(計8箇所)内面について、予防保全としてショットピーニング工事^{*2}を実施するため、事前に当該溶接部内面について渦流探傷試験を実施したところ、A-SG入口管台溶接部で1箇所、B-SG入口管台溶接部で5箇所、C-SG入口管台溶接部で23箇所の有意な信号指示が認められた。なお、D-SG入口管台溶接部およびA~D-SGの出口管台溶接部において信号指示は認められなかった。

有意な信号指示が認められた箇所について、超音波探傷試験を実施した結果、最大の深さが認められたのは、C-SG入口管台溶接部であり、約13mm(管台部の厚さ: 約78mm)とであった。また、当該部の指示長さは約14mmであった。

このことによる周辺環境への影響はなかった。

[平成19年10月18日、11月2日記者発表済み]

※1 SGの出入口管台部では、SG(炭素鋼製)と1次冷却材管(ステンレス製)とを溶接するため、SGの出入口端部(炭素鋼製)にステンレス製の短管(セーフエンド)を600系ニッケル基合金にて溶接している。

※2 溶接部に小さな金属球(ショット)を高速で叩き付けることにより、溶接部表面の引張り残留応力を圧縮応力に改善する工事。

1 原因調査結果

(1) A-SGの入口管台溶接部

有意な信号指示のあった1箇所について、スンプ観察^{*3}等による金属組織観察を実施した。

その結果は、以下のとおり。

- ・割れは軸方向の複数の割れが繋がったもので、全体の長さは約5mmであり、応力腐食割れに特有な結晶境界に沿った割れであった。
- ・また、手直し溶接と思われる跡(直径約10mm)が確認され、その周囲では微細な割れが多数確認された。
- ・微細な割れが確認された領域の表面では、細かい筋状の模様が認められ、微細な割れのない領域では、筋状模様が部分的に薄くなっていることが確認された。

※3 金属の表面を磨いた後、しゅう酸水溶液等により表面を腐食させ、検査面に膜（フィルム）を貼り付けて、微小な凸凹を転写させ、転写した膜（フィルム）を光学顕微鏡で観察する方法。

（2）B－SGの入口管台溶接部

有意な信号指示のあった部分のうち、最も深いと評価された2箇所について、スンプ観察等による金属組織観察を実施した。

その結果は以下のとおり。

- ・2箇所の割れは、いずれも長さ約1～6mmの複数の割れが繋がったもので、全体の長さは、約9mmと約11mmであり、いずれも応力腐食割れに特有な結晶境界に沿った割れであった。
- ・また、2箇所の割れの間には、手直し溶接と思われる跡（直径約7mm）が確認され、その周囲では微細な割れが多数確認された。
- ・微細な割れが確認された領域の表面では、細かい筋状の様子が認められ、微細な割れの無い領域では、筋状模様が部分的に薄くなっていることが確認された。

（3）C－SGの入口管台溶接部

有意な信号指示のあった部分のうち、2箇所の指示部を含むように管台溶接部の一部を試料採取し、試験研究機関に搬出して詳細な調査を実施した。

その結果は以下のとおり。

- ・試料表面には、全域で細かい筋状の様子が認められた。また、筋状模様はA、B－SGに比べ明瞭であった。
- ・2箇所の割れの破面を観察した結果、表面の割れの長さはともに約5.8mm、最大深さは、それぞれ約6.4mm、約3.4mmで、応力腐食割れに特有な結晶境界に沿った破面が確認された。
- ・表面の残留応力を測定した結果、周方向が263～591MPaで、軸方向が244～546MPaの圧縮残留応力が確認された。

（4）製造履歴調査

敦賀発電所2号機のSGは、昭和57年7月から昭和60年4月に製造され、昭和60年2月から同年7月に現地据付工事が行われており、当時の工事記録、検査記録を確認するとともに、関係者への聞き取りにより製造履歴を調査した。その結果、入口管台は製作手順どおり製造されていることが確認された。また、溶接後、施工面の凹凸を除去するため、グラインダおよびバフ^{※4}で研磨され、その後、浸透探傷試験により異常のないことが確認されていた。

※4 溶接後、溶接部表面の手入れ加工（研磨）を実施するが、その際、電動工具に取り付けた円形状の砥石で粗い研磨を行うことをグラインダ研磨といい、砥粒を付着させた布ペーパーを何枚も円形状に組み合わせたもの（バフ）で細かな研磨を行うことをバフ研磨という。

（5）表面加工状態確認試験

以上の調査により、確認された割れは、応力腐食割れと推定され、その発生要因の一つである応力を確認するため、表面加工状態を模擬した試験体を製作し、その残留応力を求めた。

その結果は以下のとおり。

- ・ AおよびB-SGで割れの発生している領域は、グラインダおよびバフ研磨後に、補修溶接を行い、その後の仕上げために弾力性のある砥石で研磨したものと推定され、その表面を模擬した試験体では、平均で約470MPaの引張り残留応力が確認された。
- ・ C-SGは、グラインダ（A、B-SGよりも粗い施工）およびバフ研磨したものと推定され、その表面を模擬した試験体では、平均で約210MPaの応力が確認され、実機と同じく圧縮応力であった。測定領域を小さくして残留応力を測定したところ、グラインダ研磨の溝底部では、引張り残留応力が存在することが確認された。
- ・ C-SG実機から採取した試料で確認された残留応力を表面加工状態確認試験の結果を用いて補正すると、グラインダ溝底部で約90MPa～420MPaの引張り応力が残留していたと評価され、応力腐食割れが発生する可能性がある引張り応力（約300MPa）を超えている可能性があることが確認された。

2 推定原因

割れや破面の特徴等から、以下の3因子が重畳して発生・進展した応力腐食割れであると推定された。

- ・ 環境（高温、高圧など、1次冷却材水質環境にある）
- ・ 材料（溶接金属に、応力腐食割れが確認されている600系ニッケル基合金が使われている）
- ・ 応力（SG製作時の溶接および溶接後の研磨加工により、管台内面の表層部に高い引張り残留応力が発生した）

3 対策

A-SGで確認された微細な割れについては、内表面が滑らかになるよう傷を除去した後、渦流探傷試験を行い、傷が除去されたことを確認する。その後、ショットピーニングを行い、溶接部表面の残留応力を低減させる。

BおよびC-SGについては、内表面全周を切削して浅い傷を除去した後、グラインダにて部分的な深い傷を除去する。その後、深い傷を除去した部位に600系ニッケル基合金で肉盛溶接を行ったうえで、内面全周を耐食性に優れた690系ニッケル基合金で肉盛溶接を行い、当該部の残留応力を低減させる観点から、バフ研磨を行う。なお、これらの作業は、1次冷却材入口配管を取外して行う。

また、傷が認められなかったD-SGの入口管台溶接部およびA～D-SGの出口管台溶接部については、応力腐食割れの予防保全としてショットピーニングを実施する。

これらの対策工事には、数ヶ月を要し、原子炉起動は今年の秋頃になる見込みである。

(経済産業省による I N E S の暫定評価尺度)

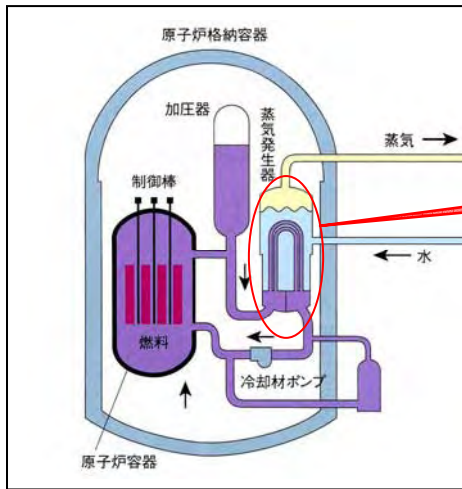
基準 1	基準 2	基準 3	評価レベル
—	—	0 —	0 —

I N E S : 国際原子力事象評価尺度

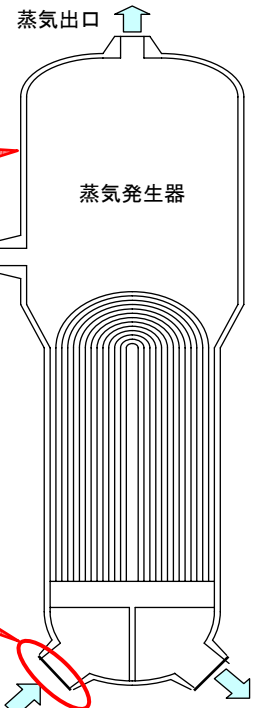
問い合わせ先(担当: 吉田)
内線2354・直通0776(20)0314

敦賀発電所 2号機の定期検査状況について (蒸気発生器入口管台溶接部でのきずの原因と対策)

発生場所

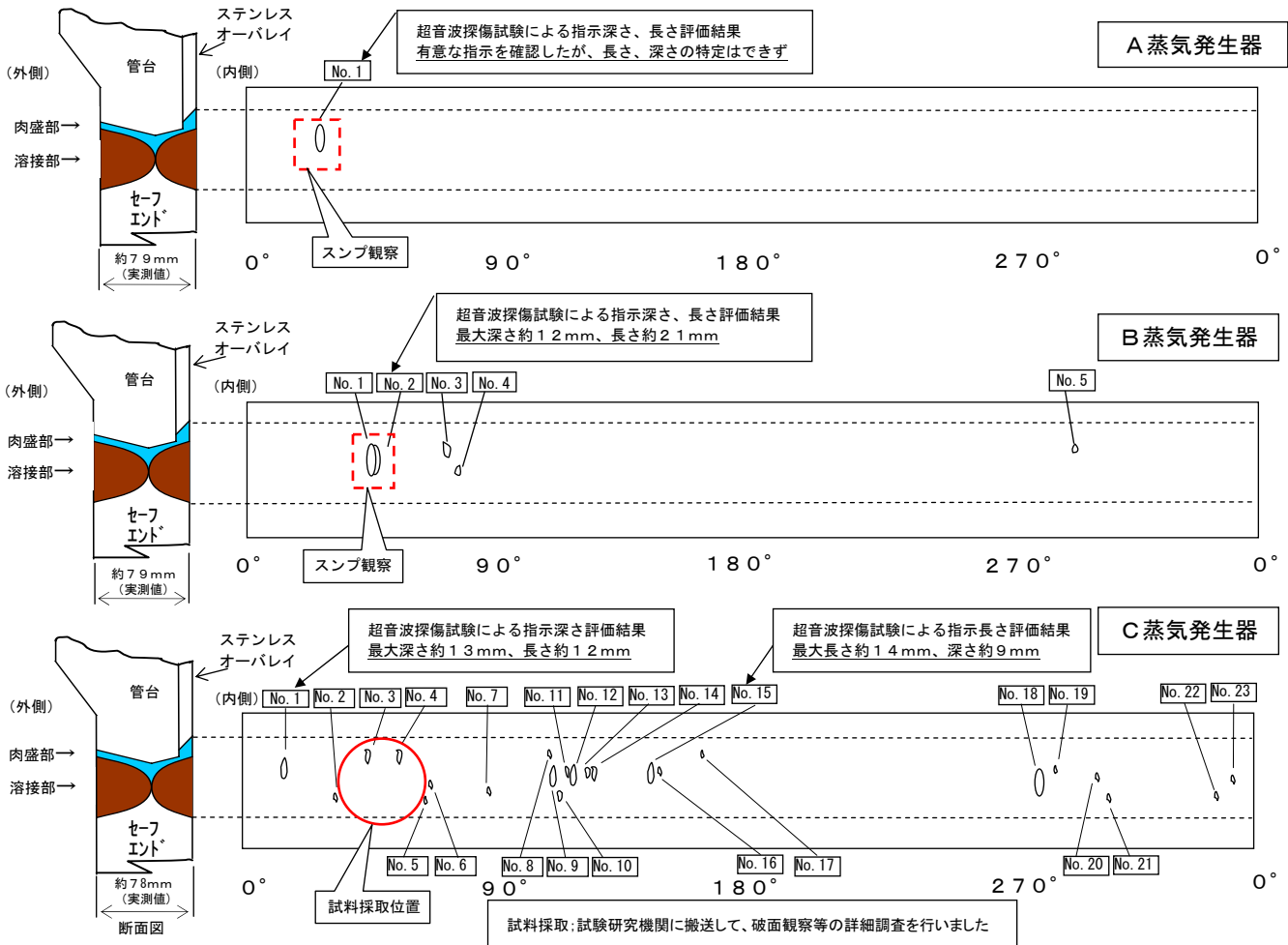
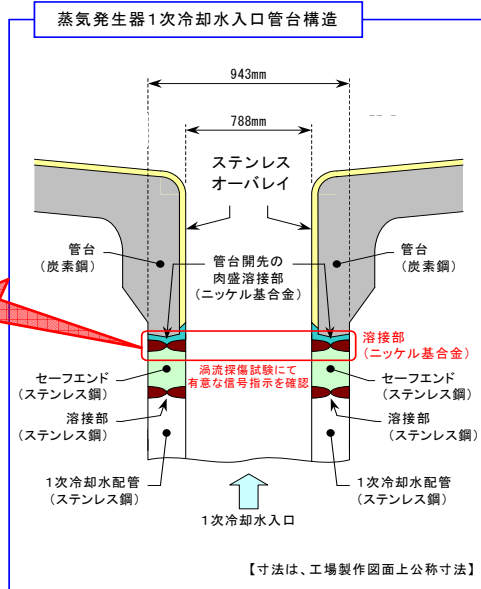
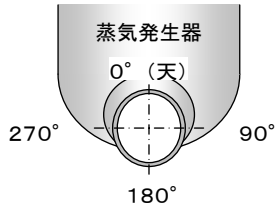


蒸気発生器概要図



E C T 結果 (有意な指示箇所)

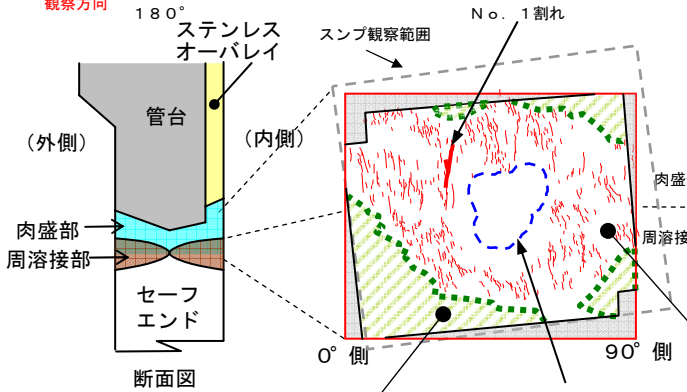
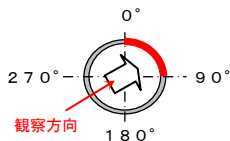
蒸気発生器側から見た図



原因調査結果

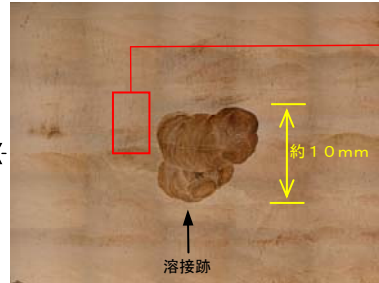
A 蒸気発生器 No. 1 の割れ

蒸気発生器側から見た図



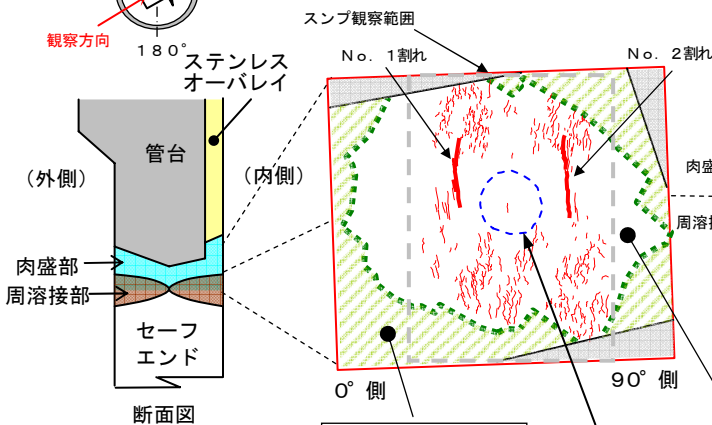
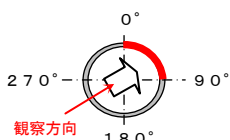
- No. 1 の割れは、軸方向の微細なきずの集まりで、最大長さは約5mmでした。
- 微細なきずの領域には、直径約10mmの手直し溶接跡を確認しました。
- 割れが発生していない領域は、パフにより仕上げられたと推定されました。
- 割れは、結晶境界に沿って枝分かれしていることを確認しました。

スンプ観察結果



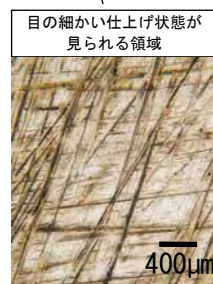
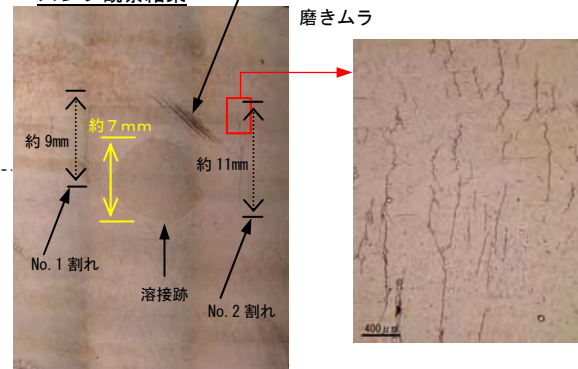
B 蒸気発生器 No. 1, No. 2 の割れ

蒸気発生器側から見た図



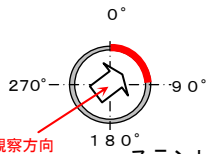
- 2箇所の割れは、いずれも軸方向に長さ約9mmと約11mmでした。
- これらの割れの周辺には、微細なきずが認められました。
- 2箇所の割れの間に、直径約7mmの手直し溶接跡を確認しました。
- 割れが発生していない領域は、パフにより仕上げられたと推定されました。
- 割れは、結晶境界に沿って枝分かれしていることを確認しました。

スンプ観察結果

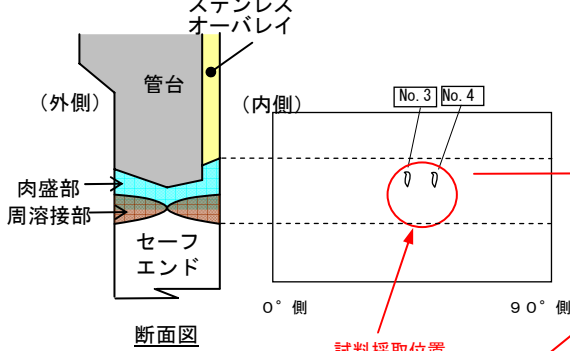


C 蒸気発生器 No. 3, No. 4 の割れ

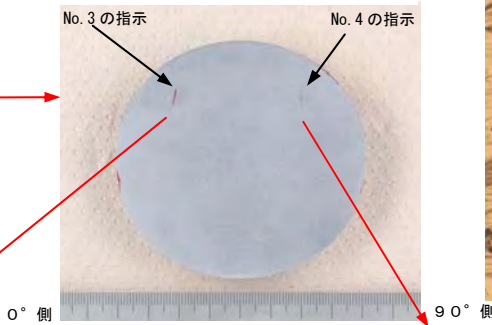
蒸気発生器側から見た図



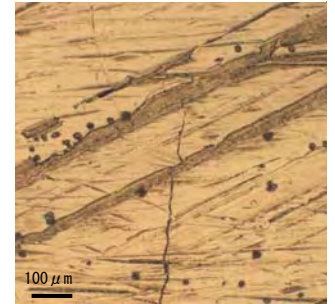
- 浸透探傷試験の結果、No. 3の割れは約5.5mm、No. 4の割れは約4.7mmの指示を確認しました。
- 試料表面全域にわたり、筋状模様が認められ、A及びB蒸気発生器に確認された筋状模様と比べ明瞭でした。
- 破面観察の結果、No. 3の割れは最大深さが約6.4mm、No. 4の割れは最大深さが約3.4mmでした。
- 溶接金属結晶の粒界に沿って枝分かれした破面を確認しました。



採取試料の浸透探傷試験結果



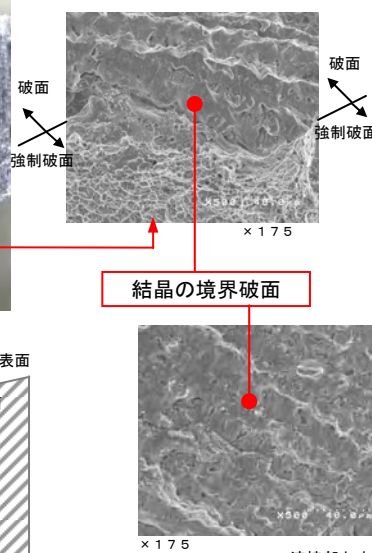
採取試料の表面観察結果



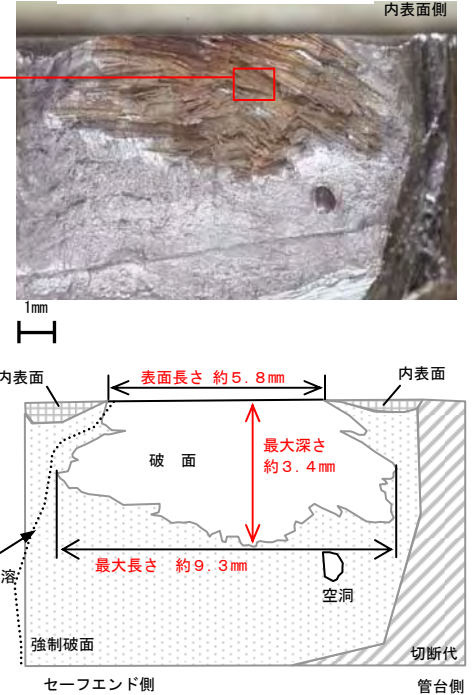
No. 3 割れの破面観察結果



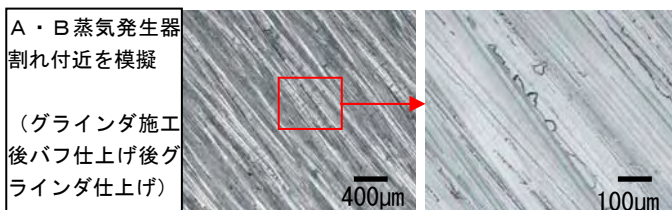
走査型電子顕微鏡観察結果 (拡大)



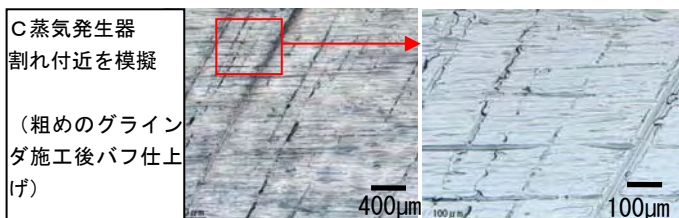
No. 4 割れの破面観察結果



表面加工状態確認試験



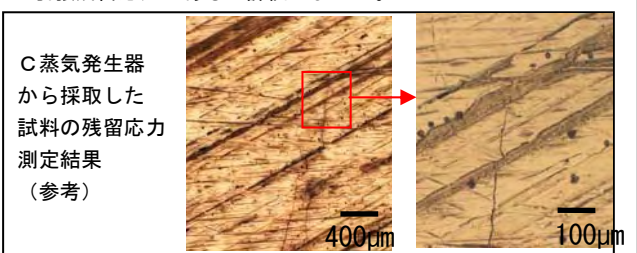
平均約 470 MPa (引張応力)



平均約 210 MPa (圧縮応力)

表面加工状態確認試験の評価

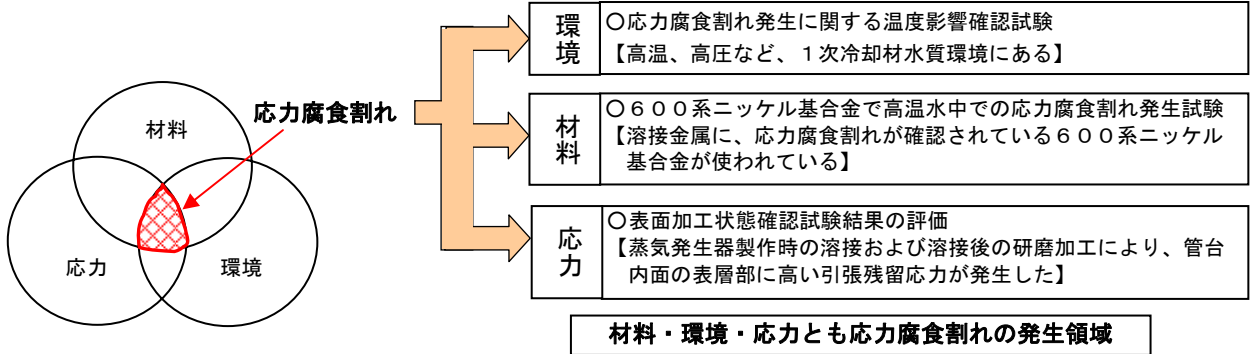
- ・グラインダ施工面とその上にバフ仕上げを施工した面では約680 MPaの差があることを確認しました。
- ・グラインダの溝が深い部位では一般的な測定値に対し、約680 MPaの補正を加えることで溝底部の残留応力を推定できると考えられます。
- ・C蒸気発生器から採取した試料の残留応力測定結果に680 MPaを加えるとグラインダ溝底部の残留応力は90~420 MPaの引張残留応力であると評価しました。



263~591 MPa (圧縮応力)

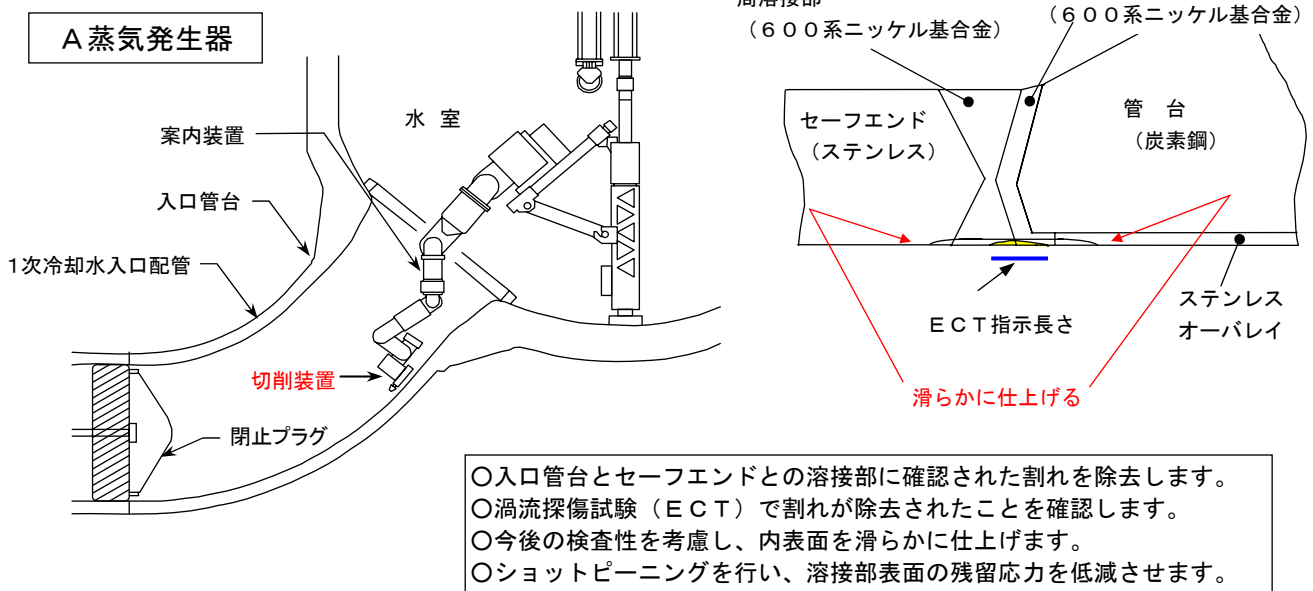
推定原因

割れや破面の特徴等から、以下の３因子が重畳して発生・進展した応力腐食割れであると推定されました。

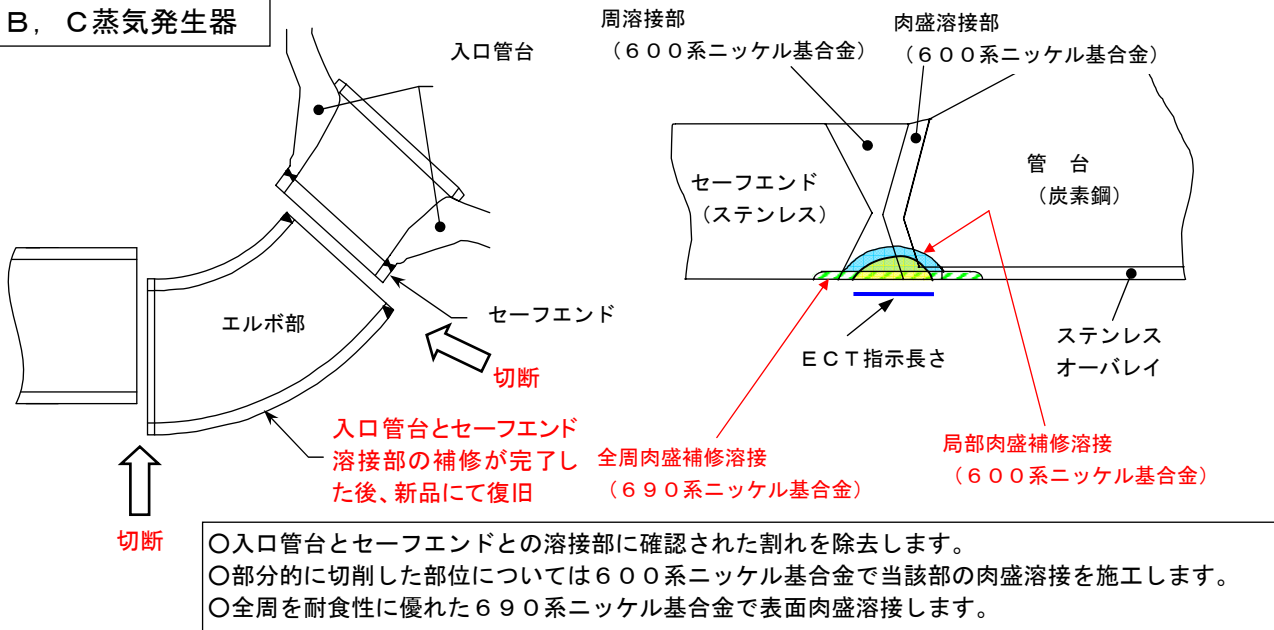


対策

A 蒸気発生器



B, C 蒸気発生器



必要な工事計画の強度評価に際しては、セーフエンドの肉厚（75mm）等の計算条件について現行の評価手法に従い評価を実施します。