

大飯発電所 3 号機
加圧器スプレイライン配管溶接部での事象への対応について

関西電力株式会社

2021年 2月 4日

本事象のまとめ

<事象の概要>

- 供用期間中検査（ISI）にて、加圧器スプレイラインの1次冷却材管台と管継手（エルボ部）（材質：オーステナイト系ステンレス鋼（SUS316））の配管溶接部に有意な指示が認められた。その後の破壊調査により、溶接熱影響部にて深さ4.4mm、長さ60mmの亀裂があることが明らかとなった。

<亀裂発生及び亀裂進展原因>

- 調査の結果、過大な溶接入熱（若手による丁寧かつ慎重な溶接や手入れ溶接の可能性を含む）と、形状による影響※が重畳したことで、表層近傍において特異な硬化が生じたものと考えられる。
- この特異な硬化部と応力が影響したことにより、亀裂は発生したものと考えられる。
- 亀裂進展に対しては、硬化したオーステナイト系ステンレス鋼が割れる要因が明確であり、粒界型SCCで進展したものと判断した。

※管台－エルボ形状では、変形領域が狭いため、溶接部近傍でひずみが大きくなる。

追加検査・継続検査の考え方

今回、加圧器スプレイ配管で見つかった亀裂は特異な硬化部と応力が影響したことによるものと考えられ、加えて、以下の理由から特異な事象であると判断している。

- これまでのISIで、当社においては11プラントの安全上重要な配管に対し、10年（高経年プラントは7年）の周期で、延べ約3,000箇所超音波探傷検査を実施してきており、今回の事象を除いて、溶接部近傍の硬化に起因する粒界割れは確認されていない。
- また国内外のPWRプラントにおいても、これまで同様の発生事例の報告はない。
- 今回事象を受け、既に大飯3,4号機においては、同様の事象の可能性のある部位全て（80箇所）に対し追加検査を実施し、欠陥がないことを確認している。
- 当社プラントの内、最も運転時間の短い大飯3号機で生じたものであり、他プラントの当該箇所では、欠陥がないことを確認している。



特異事象であると判断しているが、メカニズムが全て明らかにはなっていないため、まずは一度他プラントでも同様の事象が発生していないことを追加検査で確認する。その上で今回の原因を踏まえて検査対象を精査し、継続的に検査を行うこととする。

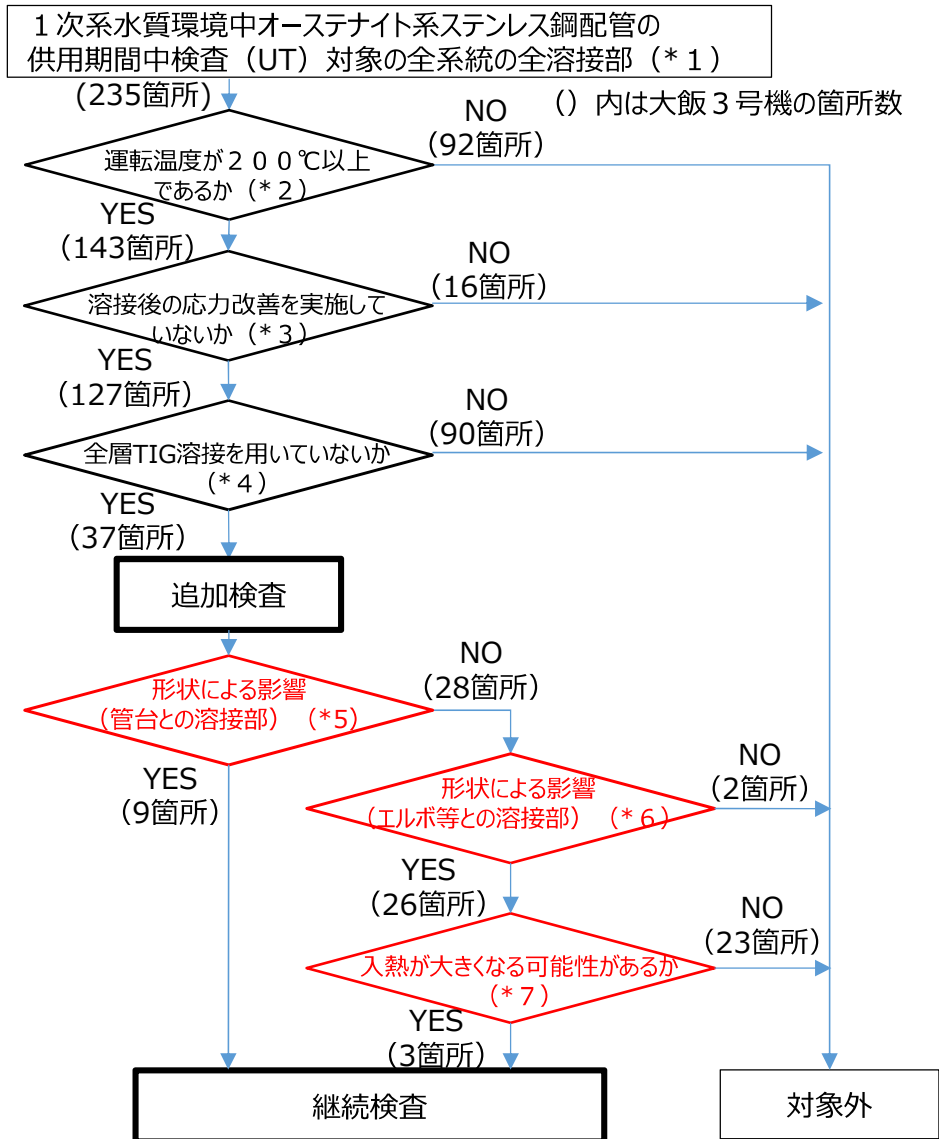
【追加検査】

- 美浜3号機、高浜1,2,3,4号機についても、大飯3,4号機と同じく、同様の事象の可能性のある部位全てに対し**追加検査を実施し、現時点において欠陥がないことを確認する。**

【継続検査】

- 全プラントを追加検査し欠陥のないことを確認したうえで、**追加検査対象から原因（「大入熱」、「形状による影響」）を踏まえ、類似性の高い箇所について継続検査を行う。**

追加検査・継続検査の対象について



- （*1） PWR環境中のSCCの進展が認められていないステンレス鋼、
初層溶接部が接液しないセットイン管台、及び初層溶接部が
除去されているセットオン管台は含まれていない。
- （*2） PWR環境中のSCCの進展への温度の影響を考慮し、
運転温度200℃以上の溶接部は抽出対象とする。
- （*3） 残留応力の影響を考慮し、溶接後の応力改善（バブ研磨や
ピーニング）を実施していない溶接部は抽出対象とする。
- （*4） 全層TIG溶接は硬化が小さいことを確認していること及び、
初層入熱量が小さくできることで、応力についても小さくできることから、
全層TIG溶接を用いていない溶接部は抽出対象とする。
- （*5） 管台-エルボの形状では当該管と同程度の硬さが再現されたことから、
形状の影響の大きい「管台-エルボ（直管）」の溶接部を
抽出対象とする。 → 参-1
- （*6） エルボ、レジャーサ、弁、ティーの溶接部については、
形状による影響を考慮し、抽出対象とする。 → 参-2
- （*7） 経験年数が少ない溶接士が施工した場合、丁寧かつ慎重に作業すること
により入熱が大きくなる可能性があることから、実務経験が3年未満
の溶接士が施工した溶接部（入熱の安定する工場溶接を除く） → 参-3

対象箇所数

	美浜3	高浜1	高浜2	高浜3	高浜4	大飯3	大飯4
追加検査対象	98	94	132	54	44	37(済)	43(済)
継続検査対象	15	17	13	10	9	12	9

【追加検査】

- 現時点において同様の事象が他プラントにおいて生じていないことを確認し、欠陥がないことを確認できた際にはプラントを稼働する。

【継続検査】

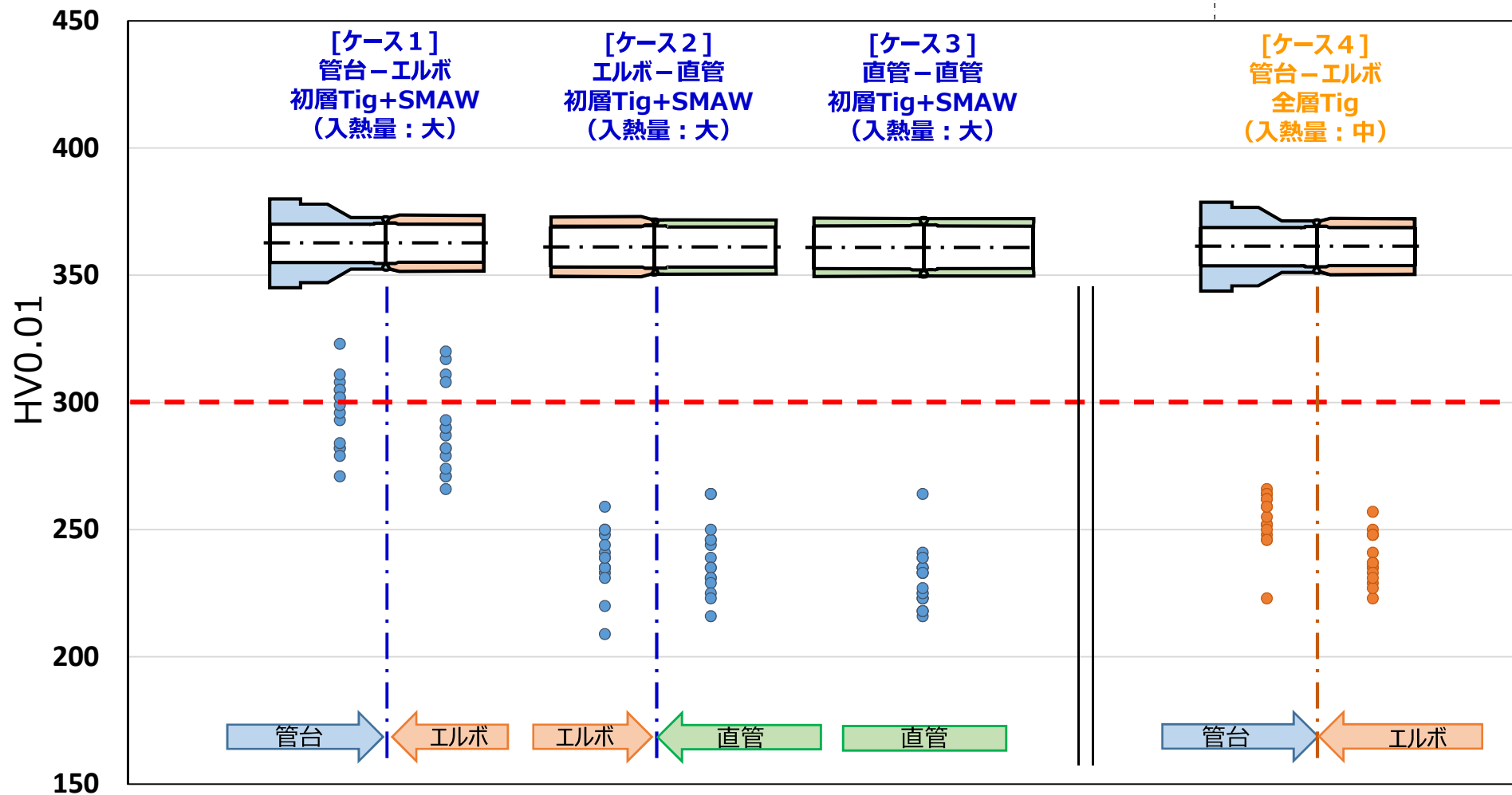
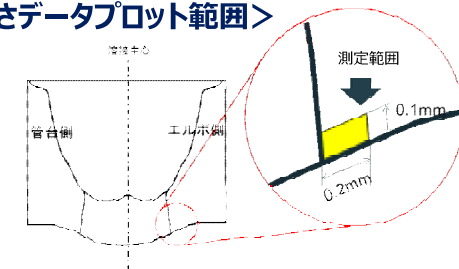
- 原因を踏まえ類似性の高い箇所に対し、継続検査を3定検の間、毎定検実施する。
- その後、知見拡充や研究結果を踏まえて、対象・頻度を検討し、ISI計画に反映する。

以降、参考資料

②形状による剛性を考慮したモックアップ製作と硬さ測定 (3/4)

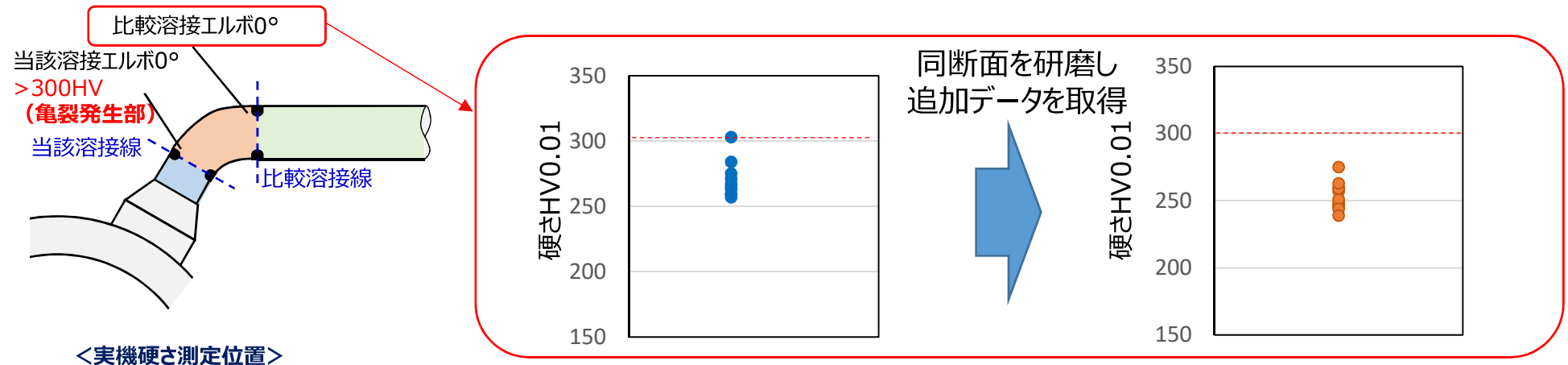
- 溶接時における形状による剛性の影響について確認するために製作したモックアップの硬さ測定結果は以下のとおり。

＜硬さデータプロット範囲＞



エルボ等の形状に対する考え方について

- 比較管においては、300HVを超えるデータが認められたが、追加データでは300HVを超える硬さは確認されなかった。
- また、裏波幅は約6mmであり、当該部に比べ入熱量は小さかったと推定でき、入熱量に伴い応力についても小さいと考えられることから、比較管には割れが生じていなかったものと判断している。



- ただし、形状による影響を考慮し、「エルボー直管」形状についても追加検査を実施する。
また、入熱が大きくなる可能性のある箇所については継続検査を実施する。
- レジューサ、弁、ティーについては、エルボに近い厚さであることからエルボと同様に追加検査を実施する。
また、入熱が大きくなる可能性のある箇所については継続検査を実施する。

初層溶接の入熱が大きくなる可能性について

- 当該管の調査結果より、経験年数が少ない溶接士が丁寧かつ慎重に溶接を行ったことから、溶接速度が遅くなり、入熱が大きくなった可能性がある。
- 経験年数が少ない溶接士により施工された箇所については、同様に丁寧に作業している可能性があり、溶接実務経験3年未満の溶接士が施工した現地溶接について、継続検査の対象とする。
- なお、工場溶接については作業性がよく、標準的な溶接速度で施工でき、大入熱にはならないと考えている。
- 今後も適切な指導を行うとともに、溶接入熱による硬化事象に係る教育・トレーニングを行うことで、経験年数によらず初層の入熱が大きくなりえない溶接施工ができる。

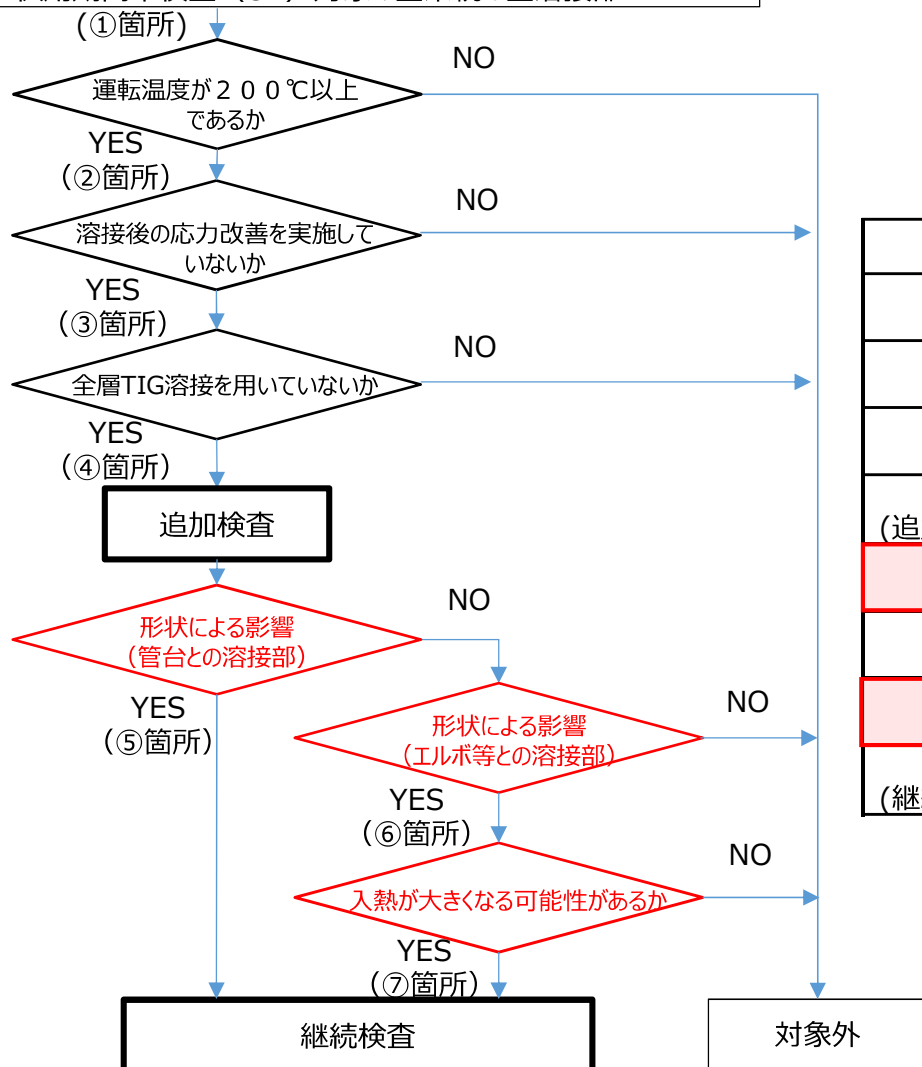
【実務経験の考え方】

- ✓ 建設当時からの溶接士の育成方針として、**実務開始後3年間は、監督者が溶接士育成と溶接品質維持のための指導を行う運用**であり、その修了後は、難度の高い箇所も施工可能な能力に達していたと考えられる。
- ✓ メーカー内の溶接士の技量では、**3年間の実務実績を踏まえて評価する基準**があり、通常は実務配属4年目以降で熟練段階※に達する。

※一般的な作業について独自に実施できる段階

対象箇所数の詳細について

1次系水質環境中オーステナイト系ステンレス鋼配管の
供用期間中検査（UT）対象の全系統の全溶接部



対象箇所数

	美浜 3	高浜 1	高浜 2	高浜 3	高浜 4	大飯 3	大飯 4
①	310	305	322	268	280	235	222
②	254	201	261	180	207	143	128
③	242	189	246	165	192	127	112
④ (追加検査対象)	98	94	132	54	44	37	43
⑤	15	12	13	10	9	9	9
⑥	65	74	113	38	35	26	25
⑦	0	5	0	0	0	3	0
⑤ + ⑦ (継続検査対象)	15	17	13	10	9	12	9

JEAG4613においてLBB適用の前提条件としている「SCCに対する損傷防止対策が施されていること」については、以下の理由にて満足している。

- 当該箇所（Dループ 加圧器スプレイライン）については以下の方法により取替ることで類似事象は発生しない。
 - ✓ 今回の取替え工事と同条件のモックアップ試験結果を受けて、溶接時に過大な初層入熱とならない全層Tig溶接を行い、初層の入熱量（と応力）の抑制を図る。
 - ✓ 溶接にあたっては、事前に溶接技能トレーニングを行い、溶接施工技能を有する溶接士にて施工する。また、溶接作業前のTBM等にて、溶接施工における注意点等を再度確認した後に溶接を行う。
- 他部位について追加検査を37箇所実施し、現時点で割れないことを確認している。また、今後も37箇所のうち、溶接時の大入熱の影響及び形状による影響が大きい溶接部について、定検時に継続的にUTを実施し、割れないことを確認する。（運用管理での対策）
- JEAG4613で言及されている既知のSCC（O2SCC,CISCC）に対しては従前同様の対策※を行って

※従前同様の対策

- ・O2SCC・・・SUS316材の使用（C≤0.05%）
- ・CISCC・・・製作施工段階での塩化物イオン混入防止