



大飯発電所 3 号機の 加圧器スプレイライン配管溶接部の傷

2021年1月22日

加圧器スプレイライン配管溶接部における有意な信号指示確認箇所

1

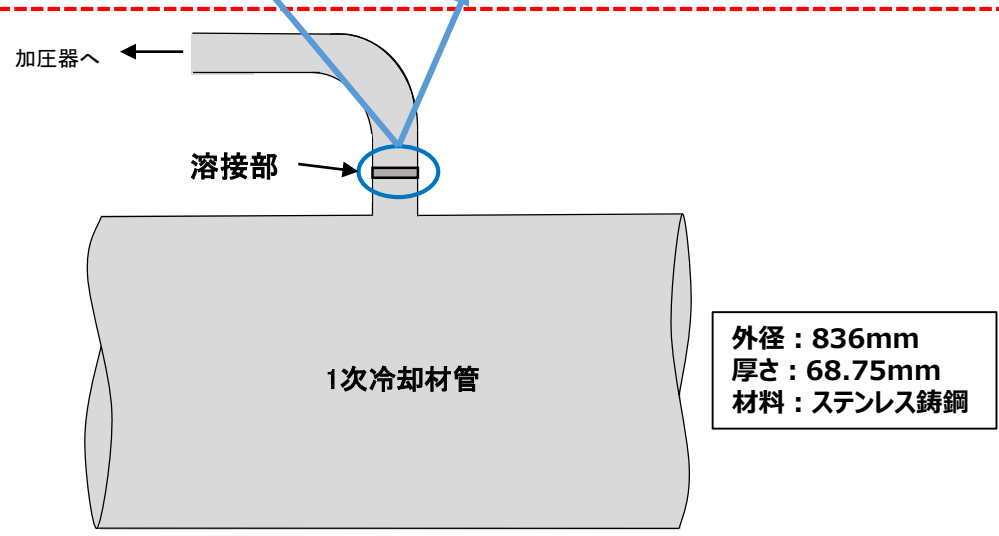
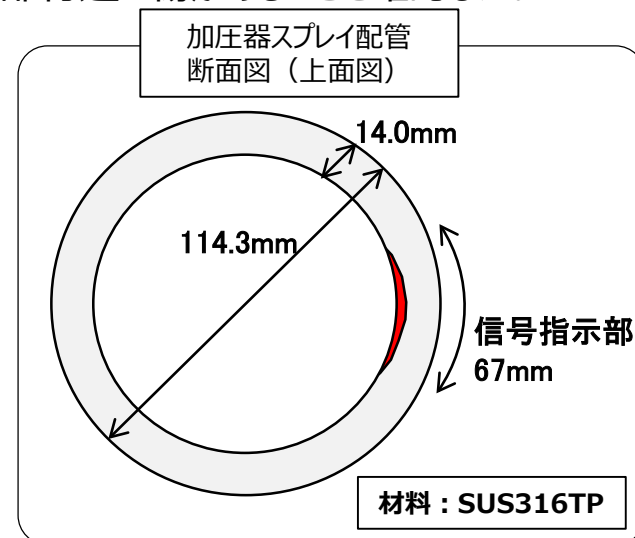
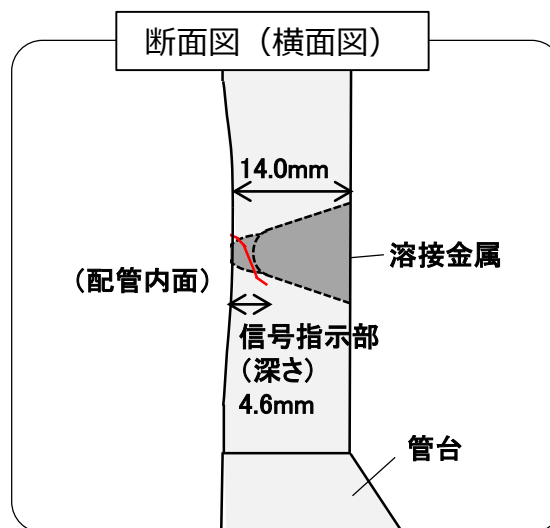
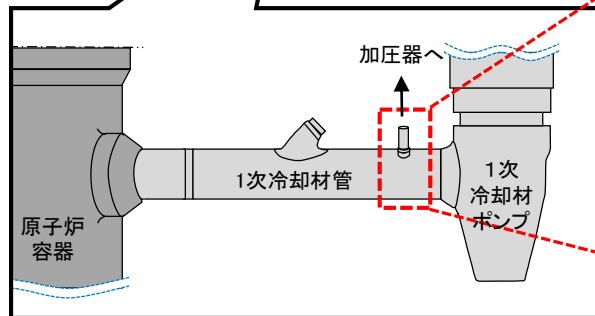
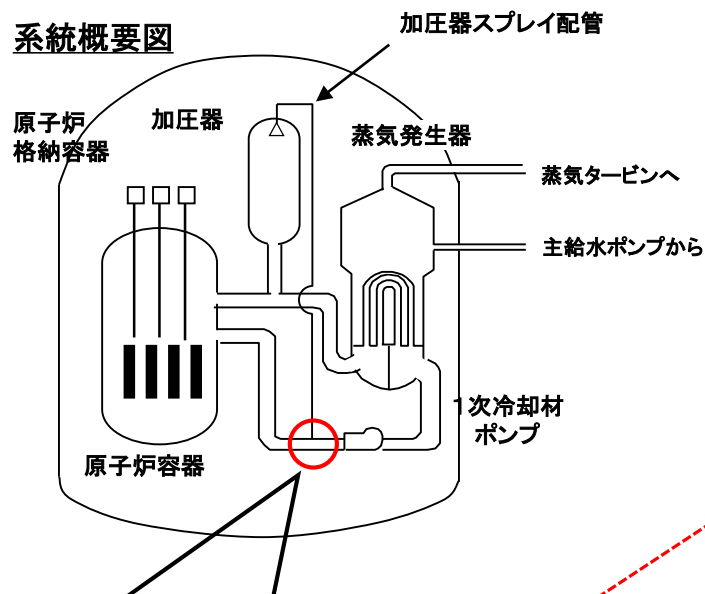
事象の概要

2020年8月31日に配管の健全性を確認するために、加圧器スプレイ配管の超音波探傷検査を実施したところ、1次冷却材管と加圧器スプレイ配管の接続部付近において有意な信号指示が認められた。

その後、9月1日に当該部の詳細な検査を行ったところ、加圧器スプレイ配管の溶接部付近に傷があることを確認した。

損傷発生箇所

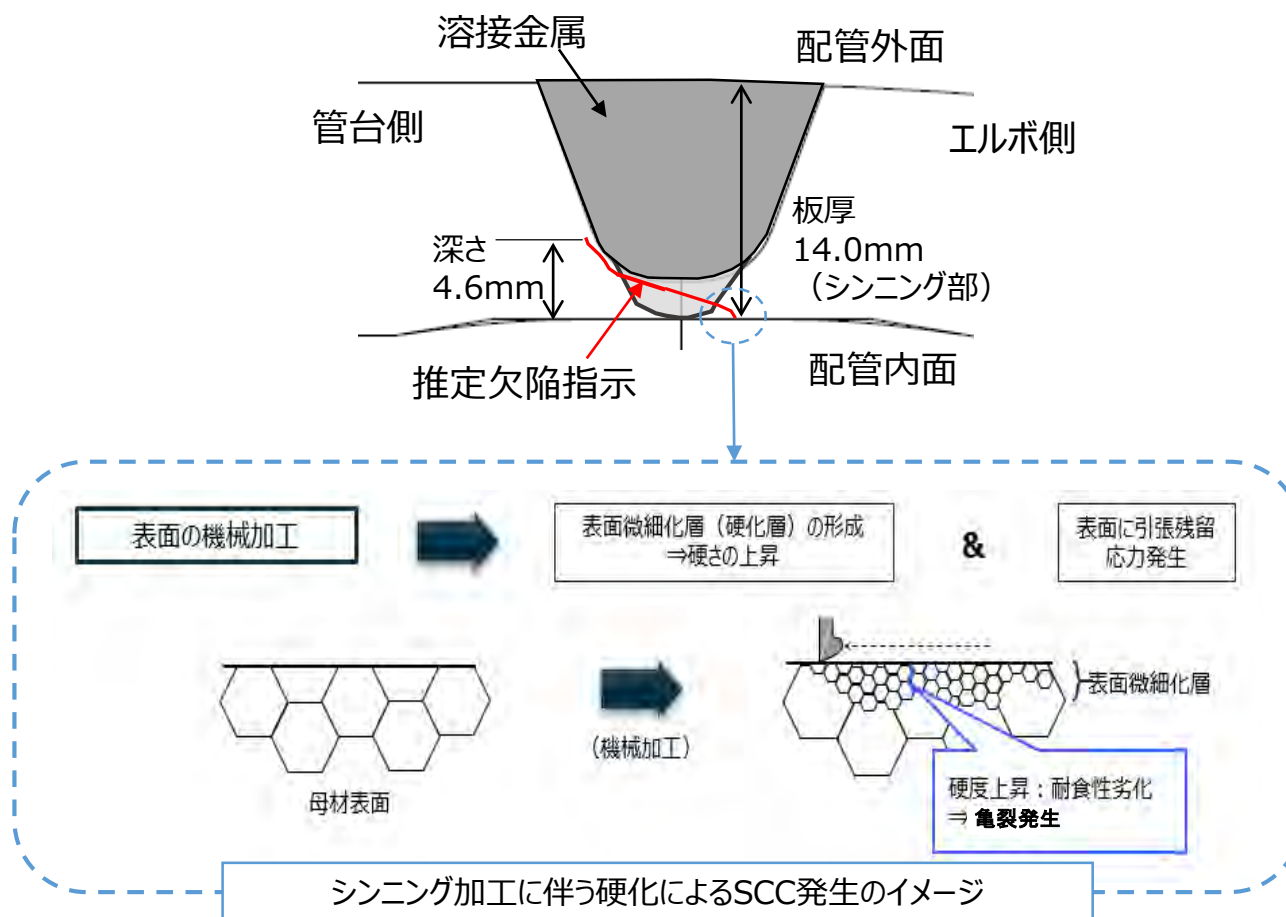
系統概要図



分析調査前に推定していたメカニズム

分析調査前においては、以下のメカニズムにて、亀裂が発生・進展したものと推定していた。

- シンニング加工による硬化を要因としたSCCと推定。
- 超音波探傷検査における検出限界以下のごく微小な欠陥が存在し、何らかの関与をした可能性も否定できない。



要因の特定について

FT図に基づき、調査結果を基に当該事象の要因を特定する。

事象	要因	因子	調査項目	調査結果	判定
加 圧 器 ス プ レ イ ン 配 管 溶 接 部 の 傷	機械的疲労	振動による疲労	破面マクロ・ミクロ観察	・破面からビーチマークやストライエーションは確認されなかった。	×
			断面マクロ・ミクロ観察		
	熱疲労	高サイクル熱疲労	破面マクロ・ミクロ観察	・破面からビーチマークやストライエーションは確認されなかった。 ・単一の亀裂であり、熱疲労のような亀甲状の亀裂は確認されなかった。	×
			断面マクロ・ミクロ観察		
		熱過渡による疲労	破面マクロ・ミクロ観察		
			断面マクロ・ミクロ観察		
	SCC	粒界型SCC	破面マクロ・ミクロ観察	・破面ミクロ観察の結果、粒界割れが主に認められた。 ・硬さ計測の結果、表層で350HV、内部で200HV～240HVが認められた。	○
			断面マクロ・ミクロ観察		
			硬さ計測		
			鋭敏化評価		
		粒内型SCC	破面マクロ・ミクロ観察		
			断面マクロ・ミクロ観察		
			付着物EDS分析		
			付着物EDS分析		
	溶接欠陥/ 溶接不良	溶接欠陥	PT	・破面観察の結果、ブローホール、スラグ巻き込み、融合不良、高温割れは認められなかった。 ・PT及び断面観察の結果、アンダーカットは認められなかった。 ・断面観察の結果、溶込不良は認められなかった。 ・付着物EDS分析の結果、高温割れの原因となるP(リン)は認められなかった。 ・低温割れの要因となる水素の混入が少ないTIG溶接と低水素系棒を使用した被覆アーク溶接を行っていた。 ・再熱割れの要因となる、溶接後熱処理は行っていなかった。 また、運転温度は[]であり、再熱割れの要因である500℃以上の高温運転にはさらされていなかった。	×
			破面マクロ・ミクロ観察		
			断面マクロ・ミクロ観察		
			付着物EDS分析		
		溶接不良	破面マクロ・ミクロ観察		
			断面マクロ・ミクロ観察		
			付着物EDS分析		
			外観観察		

断面マクロ・ミクロ観察に基づく考察

断面のマクロおよびミクロ観察を実施する。

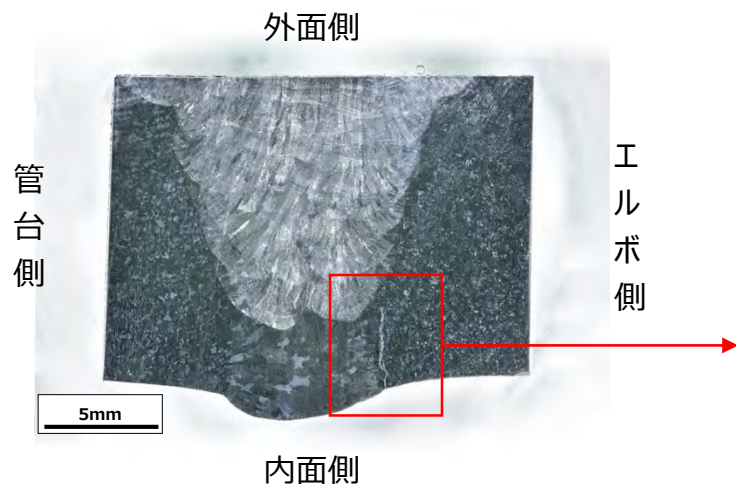


図1：断面マクロ観察

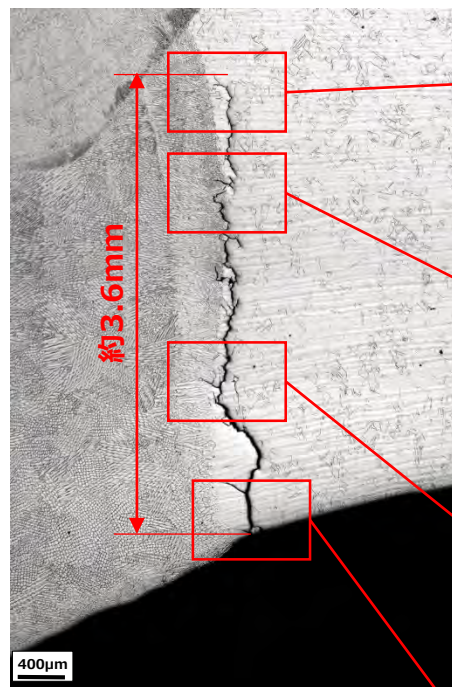
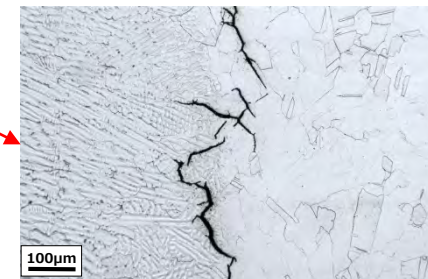
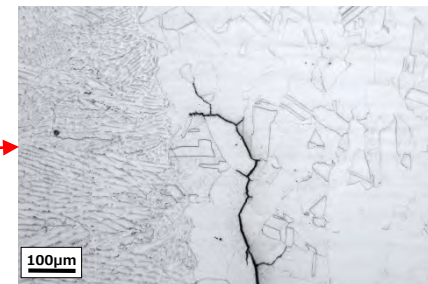


図2：断面ミクロ観察



- 断面マクロ・ミクロ観察の結果、当該部の割れは溶接境界極近傍の母材部を起点としており、主亀裂の進展経路は母材部の溶接境界付近を粒界に沿って進展している。（分岐した亀裂が溶接金属に接したものも一部あり）

硬さ計測に基づく考察

<表層>

- ・内表面からの距離
0.02mm~0.5mm
- ・マイクロビッカース計 (10g)

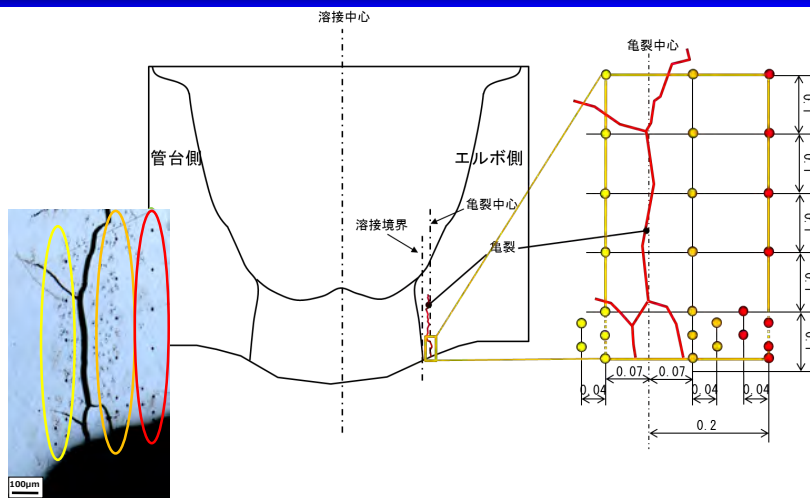
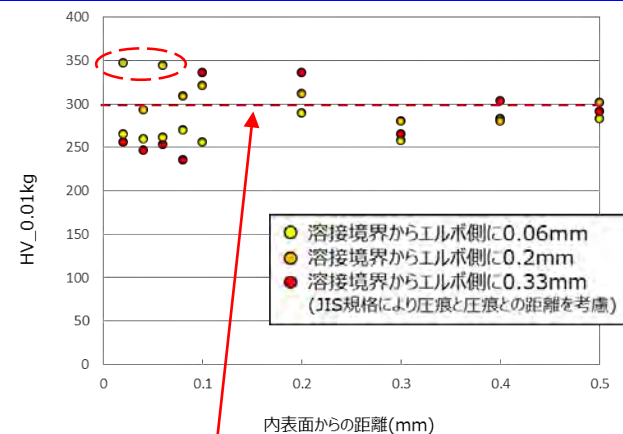


図1：硬さ計測結果（荷重：10g）



硬さによるSCC発生の知見のある値（300HV5）

<内部>

- ・内表面からの距離
0.5mm~7.5mm
- ・ビッカース計 (1kg)

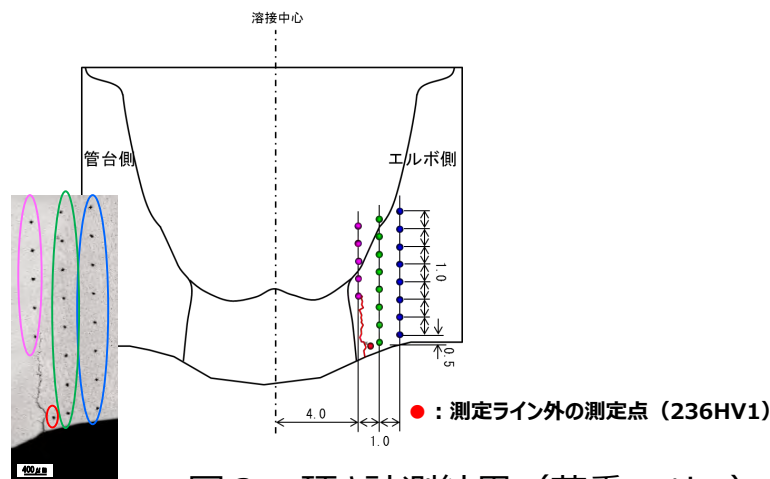
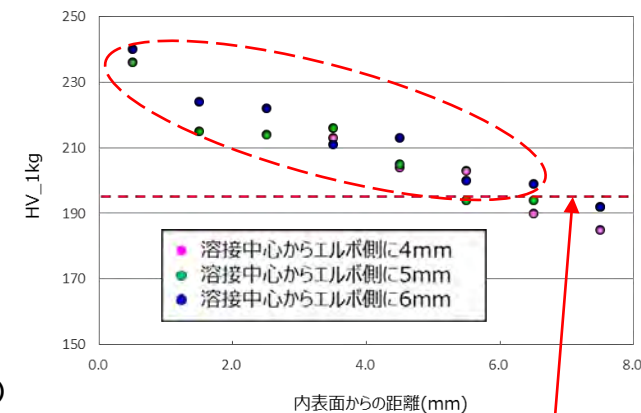


図2：硬さ計測結果（荷重：1kg）

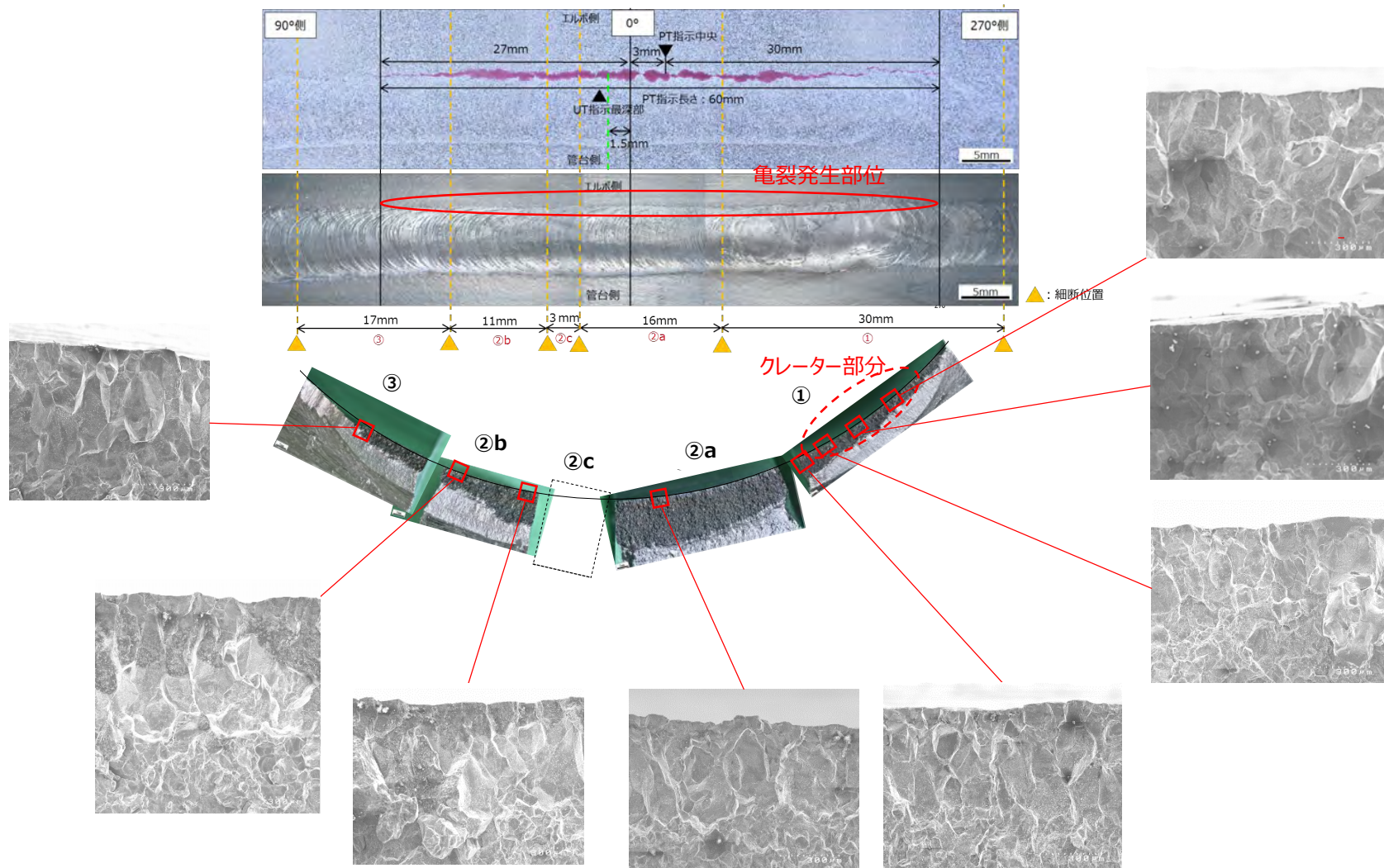


硬さによるSCC進展の知見のある値（195HV1）

- 硬さ計測の結果、割れ近傍の表層で350HV、内部で200HV~240HVが認められ、SCC発生・進展の知見のある値を超えて著しく硬くなっている※ことを確認した。

※機械加工や溶接の影響がない、通常の母材部の硬さは約150HV1であった。

亀裂の起点に関する考察



- 破面マクロ・ミクロ観察の結果、亀裂の起点に関連するような情報は破面からは**確認できなかった**。
- 亀裂の形状および最深部の位置を考慮すると亀裂の中心付近が起点と考えられる。

＜亀裂の位置、形状＞

- 亀裂は、溶接境界極近傍の母材部を起点として粒界に沿って進展していた。
- 亀裂の起点に関連するような情報は破面からは確認できなかった。

＜破面、断面等の性状＞

- 破面ミクロ観察から、破面全体にわたってSCCでよく見られる粒界割れが認められた。
- 疲労による割れの特徴であるビーチマークやストライエーションは認められなかった。
- Cl-SCCの特徴である粒内割れは破面観察から殆ど認められず、Cl等の有害な元素についても付着物EDS分析から認められなかった。
- O₂SCCの特徴である鋭敏化の兆候（溝状組織）は認められなかった。
- 硬さ計測の結果、割れ近傍の表層で350HV、内部で200HV～240HVが認められ、SCC発生・進展の知見のある値を超えて著しく硬くなっていることを確認した。
- 亀裂の断面からは、溶接欠陥や補修溶接の痕跡は認められなかった。

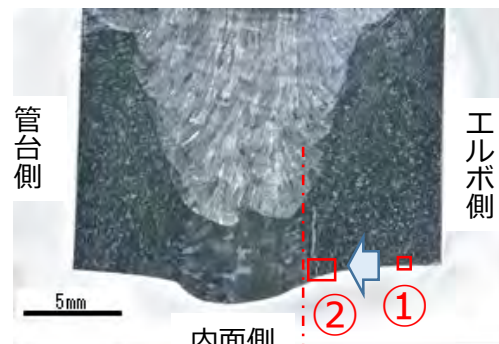
＜SCC発生・進展の3要素＞

- SCC進展の知見のある200℃以上の温度環境である。
- 引張残留応力が生じる部位であることに加え、発生応力が比較的高いターミナルエンド部である。
- 硬さ300HV以上においてSCC発生・進展の知見のある材料である。

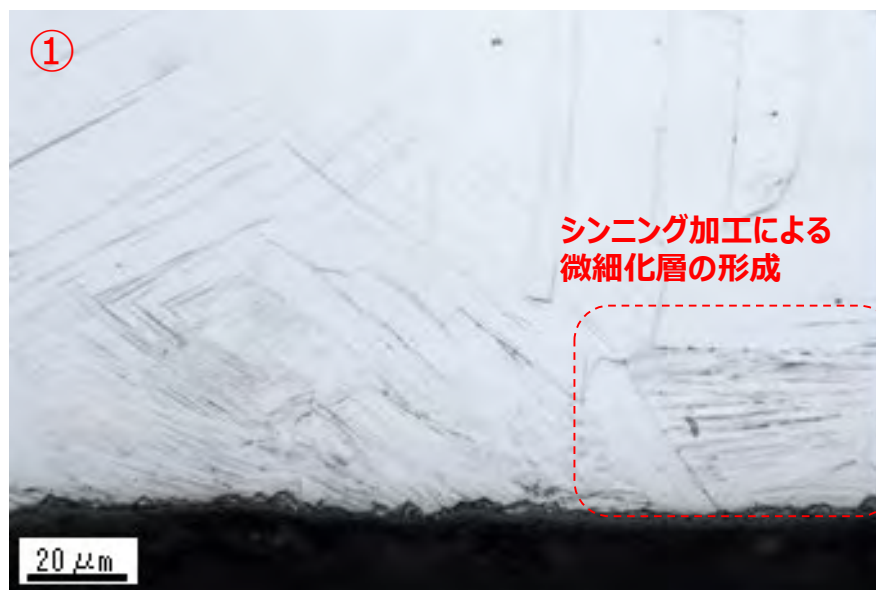
- 当該部の亀裂は、**SCCにより発生、進展したもの**と判断する。
- SCCの発生、進展に**材料の硬化が寄与したもの**と推察する。

シンニング加工に関する考察

外面側



溶接境界



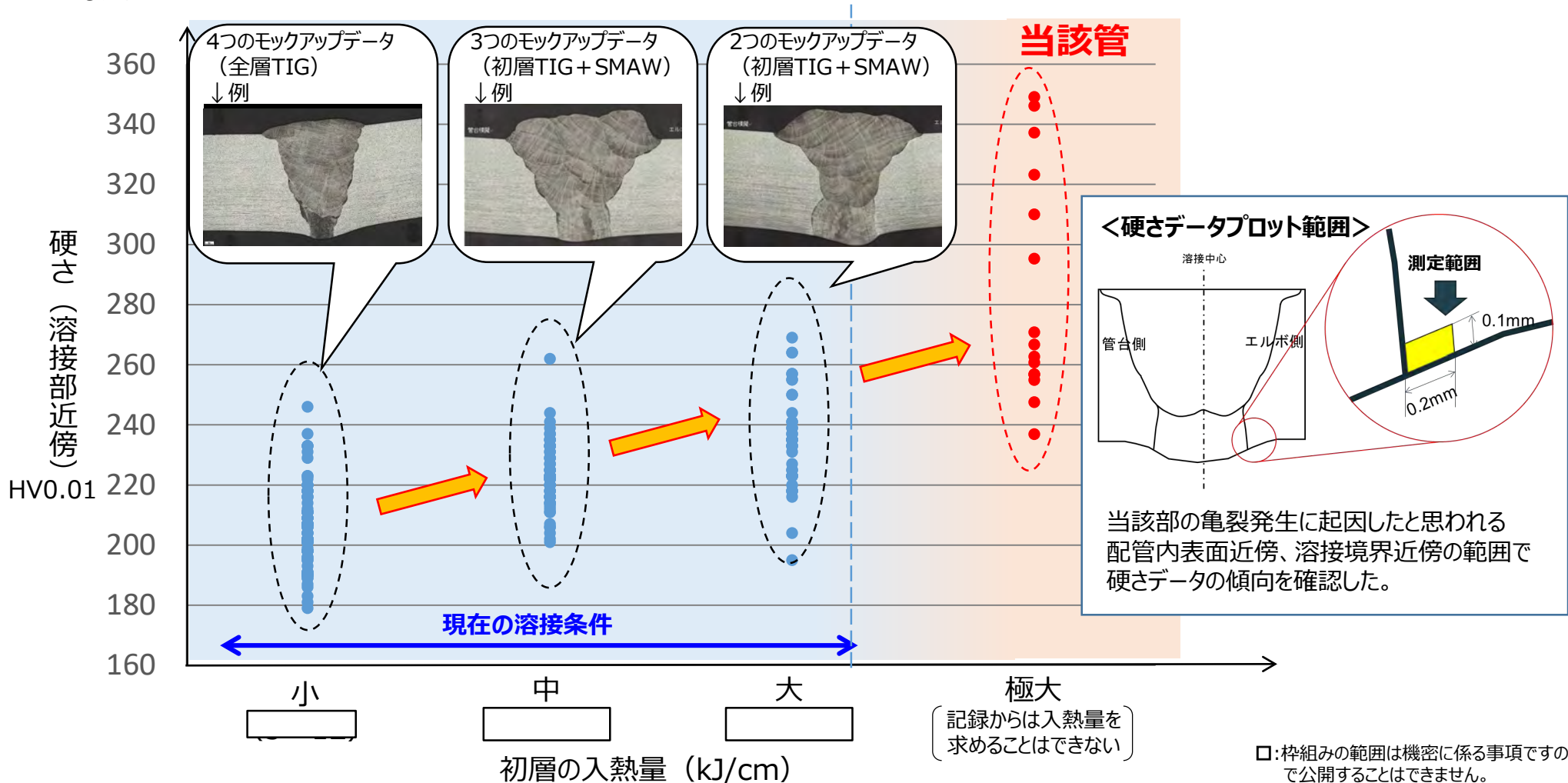
溶接入熱の影響



- 割れが認められた溶接部近傍の表層②では、シンニング部①と同様の350HVを超える硬さが認められるものの、シンニング加工による微細化層は確認されないため、②における硬化はシンニング加工以外の要因によるものと考えられる。

溶接時の入熱による硬化について

- 一般的に溶接の入熱により溶接部近傍に塑性ひずみが蓄積し、硬化されることが知られている。
- 当該管が大きな入熱で溶接された様相であることから入熱量等の種々の溶接条件を変えてモックアップを作成し、入熱量と硬さの関係を調査した。



- モックアップ調査の結果、**入熱量が増加するに伴い硬くなる傾向が認められた。**
- このことから**当該部においては、大きな入熱が付与されたものと推察される。**
- なお、**現在の溶接条件では、当該管と同程度の硬さまで硬くならないことは確認された。**

○ 硬化の要因

＜シンニング加工の影響＞

- 当該の亀裂発生部の表層では、シンニング加工による微細化層は認められず、亀裂近傍での硬化はシンニング加工以外の要因によるものと考えられる。

＜溶接の影響＞

- 当該管の亀裂発生部近傍の溶接金属は、サンプル管と比較して、デンドライトの成長方向から溶接速度が遅く、ビード幅も広いことから、大きな入熱で溶接されたものと推察する。
- 当該部は現地溶接であり施工性が悪く、丁寧・慎重に溶接し入熱量が大きくなったものと考察する。

＜入熱量と硬さの関係＞

- 入熱量と硬さの関係をモックアップ調査で確認した結果、入熱量が増加するに伴い硬くなる傾向が確認された。
- FEM解析および文献調査においても、同様の傾向が確認された。
- 現在の溶接条件では、当該管と同程度の硬さまで硬くならないことが確認された。

○ 亀裂発生・進展の推定メカニズム

- SCCが発生する環境・応力条件に加え、当該部は大きな入熱で溶接され材料が著しく硬化したことにより、SCCが発生・進展したものと判断する。



入熱量のみで硬化することについては再整理が必要と考えており、今後拘束条件による硬化への影響を確認する。