

伊方発電所第2号機
原子炉容器入口管台内表面の微小な傷について

平成18年1月

四国電力株式会社

1. 件名

伊方発電所第2号機原子炉容器入口管台内表面の微小な傷について

2. 事象発生の日時

平成17年11月9日 9時30分(確認)

3. 事象発生の原子炉施設

原子炉本体 原子炉容器冷却材入口管台A

4. 事象発生時の運転状況

第18回定期検査中(平成17年9月5日より)

5. 事象発生の状況

伊方発電所第2号機(定格電気出力566MW)は、第18回定期検査において、原子炉容器冷却材入口管台(以下、「入口管台」という。)継手溶接部のレーザピーニング工事の施工前検査として、継手溶接部全周について、浸透探傷検査(以下、「PT」という。)を実施したところ、入口管台Aと1次冷却材入口管台セーフエンド(以下、「セーフエンド」という。)との溶接部付近の内表面に微小な3箇所の傷(最大長さ約2mm)を平成17年11月9日9時30分に確認した。

なお、運転中に1次冷却材の漏えいの兆候は認められておらず、同様の施工前検査を実施した入口管台Bについては、同様の事象は確認されなかった。

また、本事象による周辺環境への放射能の影響はなかった。

PTにより確認された微小な傷は、入口管台内表面の約16°の位置に最大長さ約2mmの指示1箇所と約1mmの指示2箇所であった。(原子炉容器側から見て管台上部を0°基準)

(添付資料 - 1 ~ 3)

6. 状況調査

入口管台Aの微小な傷3箇所について、外観点検、スンプ観察、超音波探傷検査により、傷の形態および深さ状況を調査した。

また、当該部に係る製造履歴、点検履歴および運転履歴調査を実施した。

(1) 外観点検

a. 溶接部の外表面

入口管台Aとセーフエンドとの溶接部について、定期検査開始後に保温材を取り外した際に、外面より外観点検を行った結果、ほう酸の析出は認められず、漏えいは認められなかった。

また、当該部に腐食は認められなかった。

(添付資料 - 4)

b. 溶接部の表面

当該部周辺をエッチング処理し観察した結果、微小な傷3箇所のうち2箇所到手直し溶接跡とみられる領域が認められた。このうち、PT指示Aが認められた領域(以下、「A領域」という。)は、ステンレスクラッドと600系Ni基合金の継手溶接部との境界部の約22mm×約4mmの楕円状の領域であり、PT指示Bが認められた領域(以下、「B領域」という。)は、ステンレスクラッド部にある約8mm×約4mmの楕円状の領域であった。

また、PT指示Cが認められた領域(以下、「C領域」という。)は、ステンレスクラッドの溶接ビードと溶接ビードの境界であり、手直し溶接跡は認められなかった。

(添付資料 - 5)

(2) スンプ観察

当該部について、スンプ観察を行った結果、以下を確認した。

・ A領域 :

A領域の端部に、長さ約2mm×約1.8mmの放射状の割れ、同領域の中央部に長さ約1mmの線状の割れが認められた。

拡大観察の結果、いずれも凝固組織(デンドライト等)境界に沿ったもので、枝分かれも認められ、手直し溶接跡と見られる楕円状の領域内であった。また、楕円状の領域内には、ステンレスクラッドに存在するフェライトは認められなかった。

・ B領域 :

長さ約2mm、約1.5mmの線状の割れなどが認められた。

拡大観察の結果、いずれも凝固組織(デンドライト等)境界に沿ったもので、枝分かれも認められ、手直し溶接跡と見られる楕円状の領域内であった。また、楕円状の領域内には、ステンレスクラッドに存在するフェライトは認められなかった。

・ C領域 :

ステンレスクラッドの溶接ビードと溶接ビードの境界に長さ1mmの凹みおよび幅約0.3mmのピットが認められた。

拡大観察の結果、割れは認められなかった。

なお、このPT指示Cは、スンプ観察結果より割れではなく、PTの判定基準を満足するものであった。

(添付資料 - 6)

(3) 超音波探傷検査

当該部について、内表面および外表面から超音波探傷検査により、傷の状況を確認した結果、検出限界(約3mm)を超える傷は確認されなかった。

(添付資料 - 7)

(4) 製造履歴調査

a. 材料調査

溶接施工の記録を調査した結果、問題ないことを確認した。

b. 溶接施工調査

溶接施工の記録を調査した結果、当該部の施工方法および検査に問題はないことを確認した。

なお、聞き取り調査の結果、当該部の検査前に手直し溶接を行った可能性があることおよび手直し溶接については記録を残す運用でなかったことを確認した。

(添付資料 - 8)

(5) 点検履歴調査

定期検査記録により、供用期間中検査において有意な指示は認められていないことを確認した。

(添付資料 - 9)

(6) 運転履歴調査

運転記録、定期検査記録により、温度・圧力が設計条件内で運転されていること、水質が管理値で運転されていることを確認した。

7. 詳細調査

これまでに得られた調査結果から要因分析をした結果、

- ・ A、B領域にて確認された傷は、いずれも凝固組織（デンドライト等）境界に沿った割れであり、このような特徴を示す割れには、製造時に生じる高温割れ、運転中に発生する1次冷却材環境下における応力腐食割れ（以下、「PWSCC」という。）が考えられる。

高温割れは早い段階で発生し、製造時の検査で発見される可能性が高いが、製造履歴調査で問題が認められなかったことから、その可能性は低いものと考えられる。

PWSCCは、材料、環境、残留応力に関する条件が重畳して発生することから、研削調査により、傷の性状把握および深さ推定を行うとともに、応力腐食割れ調査として、材料調査、環境調査および応力調査を実施した。

- ・ C領域は、ステンレスクラッドの溶接ビードと溶接ビードの境界であり、割れは認められないことから、溶接施工時に、溶接金属が部分的に溶け合わず、微小な凹みおよびピットが生じたものと考えられる。

このため、研削調査により、性状把握および深さ推定を実施した。

(1) 研削調査

内面および外面からの超音波探傷検査の結果、傷は約 3 mm 以下と考えられることから、当該部を研削し、各研削後にスンプ観察を行い、傷の性状等を調査した。

a . 第 1 回研削調査 (スンプ観察)

・ A 領域 :

A 領域の端部に、長さ約 2 . 6 mm × 約 2 . 4 mm の放射状の割れ、同領域の中央部に長さ約 0 . 6 mm の線状の割れなど微細な割れが認められた。

拡大観察の結果、いずれも凝固組織 (デンドライト等) 境界に沿ったもので、枝分かれも認められ、手直し溶接跡と見られる楕円状の領域内であった。また、楕円状の領域内には、ステンレスクラッドに存在する フェライトは認められなかった。

・ B 領域 :

長さ約 1 . 5 mm、約 0 . 6 mm の線状の割れなどが認められた。

拡大観察の結果、いずれも凝固組織 (デンドライト等) 境界に沿ったもので、枝分かれも認められ、手直し溶接跡と見られる楕円状の領域内であった。また、楕円状の領域内には、ステンレスクラッドに存在する フェライトは認められなかった。

・ C 領域 :

ステンレスクラッドの溶接ビードと溶接ビードの境界にあった凹みおよびピットは、消滅した。

(添付資料 - 1 0)

b . 第 2 回研削調査 (スンプ観察)

・ A 領域 :

A 領域の端部に、最大長さ約 2 . 2 mm × 約 2 . 2 mm の放射状の割れ、同領域の中央部に長さ約 1 mm の線状の割れなど微細な割れが認められた。

拡大観察の結果、いずれも凝固組織 (デンドライト等) 境界に沿ったもので、枝分かれも認められ、手直し溶接跡と見られる楕円状の領域内であった。また、楕円状の領域内には、ステンレスクラッドに存在する フェライトは認められなかった。

・ B 領域 :

割れは消滅した。

(添付資料 - 1 1)

c . 第 3 回研削調査 (スンプ観察および P T)

・ A 領域の割れは消滅した。

- ・ A、B領域に認められた手直し溶接跡は全て消滅し、ステンレスクラッドに存在するフェライトを確認した。
- ・ PTの結果、A、B、C領域ともに指示は認められなかった。
(添付資料 - 12、13)

d . E P M A (電子線マイクロアナライザー)分析結果
研削調査で発生した金属研削粉を用いて、E P M Aによる組成分析を行った結果、600系Ni基合金であると推定された。
(添付資料 - 14)

e . 傷深さ推定
傷の深さは、研削量およびスンプ観察結果より、A領域では約3.2mm以下、B領域では約0.8mm以下であり、手直し溶接跡内に留まっていたと推定される。また、C領域では、約0.5mm以下であった。
(添付資料 - 15)

(2) 応力腐食割れ調査

P W S C Cの発生には、材料、環境、残留応力に関する条件が揃う必要があることから、材料調査、環境調査および応力調査を実施した。

a . 材料調査
A、B領域は、スンプ観察およびE P M Aによる材料成分の分析結果から、600系Ni基合金溶接材料を用いた手直し溶接跡であると推定されるため、条件によっては、P W S C Cが発生する可能性がある。

b . 環境調査
当該部は、1次冷却材に接しており、A、B領域の600系Ni基合金は、条件によってはP W S C Cが発生する可能性が否定できない環境である。
なお、C領域等のステンレス材は、運転中の酸素および塩素濃度を低く管理している伊方発電所の1次冷却材水質環境下では、P W S C C発生領域を外れている。

c . 応力調査
A、B領域は、手直し溶接部であり、補修溶接方法によっては、600系Ni基合金溶接部については、P W S C Cが発生する十分な引張残留応力が発生している事例があり、手直し溶接に伴い高引張残留応力が発生したものと推定される。

以上のことから、A、B領域においては、応力腐食割れの3因子(材料・環境・応力)が重畳し、600系Ni基合金溶接部にはP W S C Cが発生する可能性があることを確認した。

8. 推定要因

以上の調査結果より、

A、B領域の傷は、

- ・ 600系Ni基合金溶接材料を用いた手直し溶接跡であると推定されたこと
- ・ 1次冷却材に接する環境にあること
- ・ 手直し溶接部であり、補修溶接方法によっては、600系Ni基合金溶接部は、PWSCCが発生する十分な引張残留応力が発生し得ること

から、局部的な手直し溶接に伴い高引張残留応力が発生したことで、応力腐食割れの3因子(材料・環境・応力)が重畳してPWSCCが発生し進展したものと推定される。

C領域は、溶接ビード間の境界の凹みおよびピットであり、割れ形態を呈しておらず、施工時の溶接ビード境界での融合不良により生じた微小な凹み等がPTにより確認されたものと推定される。

9. 対策と対応

(1) 当該部の対策

調査のため研削した当該部については、溶接施工時の施工性と健全性が確認され、耐応力腐食割れ性に優れた690系Ni基合金によるクラッド溶接を行った。また、溶接後、引張残留応力低減のため当該部および溶接部全周にレーザピーニングを行い復旧する。

(添付資料 - 16)

なお、原子炉容器冷却材出口管台A、Bおよび入口管台Bの継手溶接部のPTを実施し、問題ないことを確認した。

(2) 伊方1、2、3号機600系Ni基合金使用箇所への対応

国内PWR型原子炉の600系Ni基合金を使用し、かつ1次冷却材に接触する箇所については、原子力安全・保安院から検査指示(平成17年6月16日付)が出されており、伊方1、2、3号機においても、この指示に基づき、該当箇所(原子炉容器、加圧器および蒸気発生器の管台とセーフエンドの溶接継手等)について、超音波探傷検査およびベアメタル検査による健全性の確認を計画的に実施中である。

(添付資料 - 17)

以上

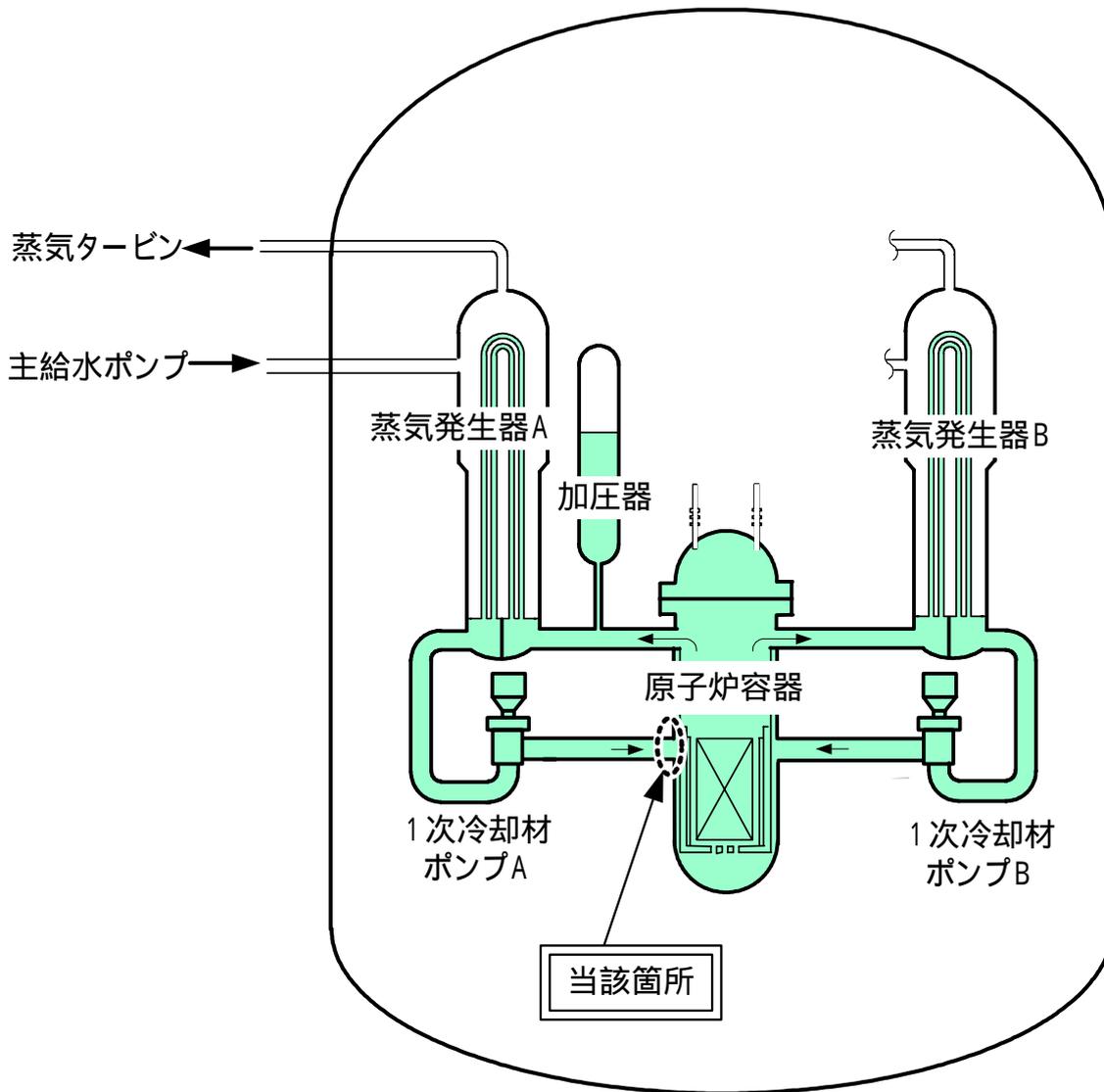
【添 付 資 料】

- 1 . 原子炉容器入口管台部概略系統図
- 2 . 原子炉容器入口管台部構造図
- 3 . 原子炉容器入口管台 A の浸透探傷検査 (P T) 結果
- 4 . 原子炉容器入口管台 A の外観点検結果
- 5 . 原子炉容器入口管台 A の継手溶接部内面観察結果
- 6 . 原子炉容器入口管台 A のスンプ観察結果 (研削調査前)
- 7 . 原子炉容器入口管台 A の超音波探傷検査結果
- 8 . 原子炉容器入口管台 A 製造履歴調査
- 9 . 原子炉容器入口管台 A 継手溶接部の過去の点検実績と計画
- 1 0 . 第 1 回研削調査結果 (スンプ観察結果)
- 1 1 . 第 2 回研削調査結果 (スンプ観察結果)
- 1 2 . 第 3 回研削調査結果 (スンプ観察結果)
- 1 3 . 研削調査結果 (浸透探傷検査結果)
- 1 4 . 研削調査結果 (楕円状領域の E P M A 分析結果)
- 1 5 . 研削調査結果 (研削量 (深さ) 測定結果)
- 1 6 . 原子炉容器入口管台 A 内表面の微小な傷に係る補修方法について
- 1 7 . 6 0 0 系 N i 基合金使用部位の検査計画

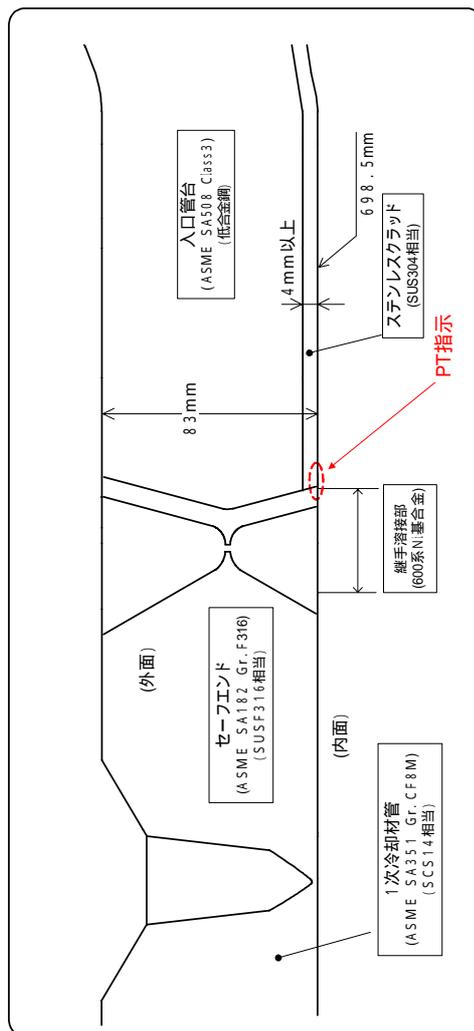
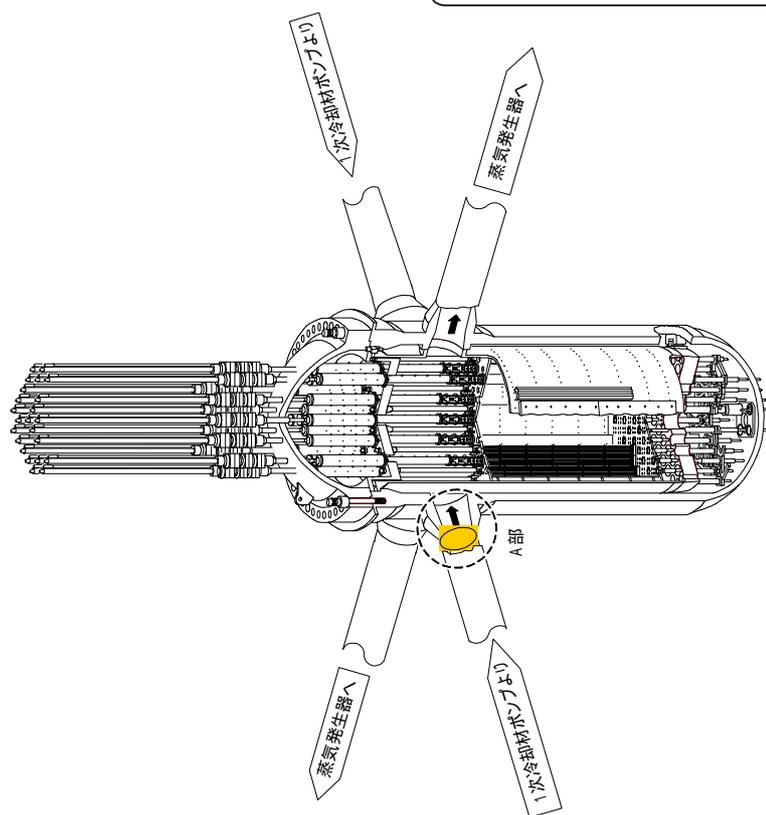
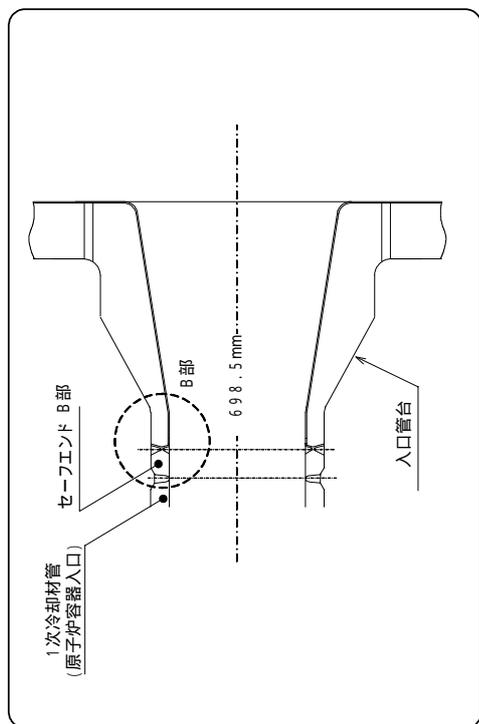
【参 考 資 料】

用語説明

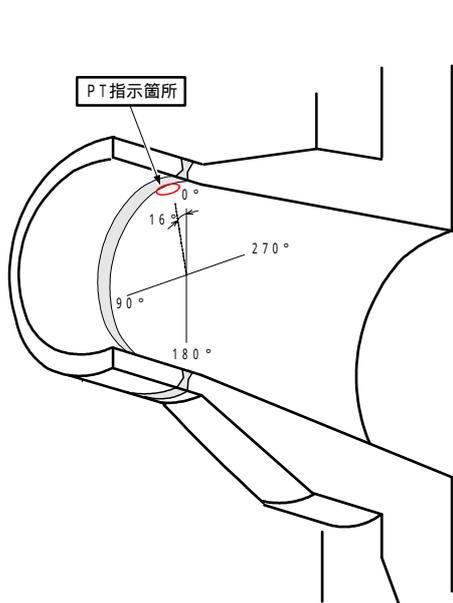
原子炉容器入口管台部概略系統図



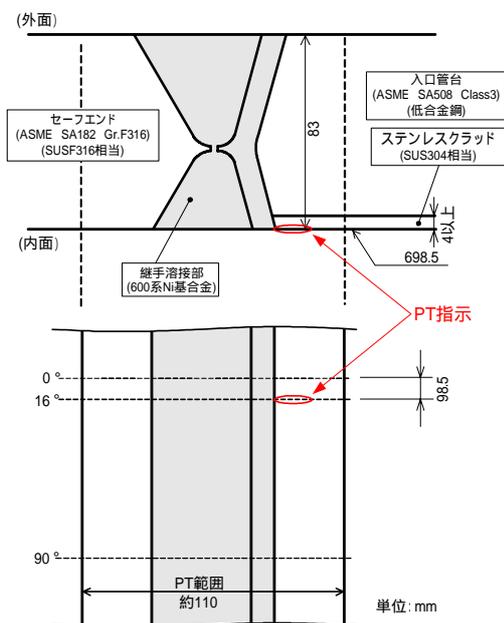
原子炉容器入口管台部構造図



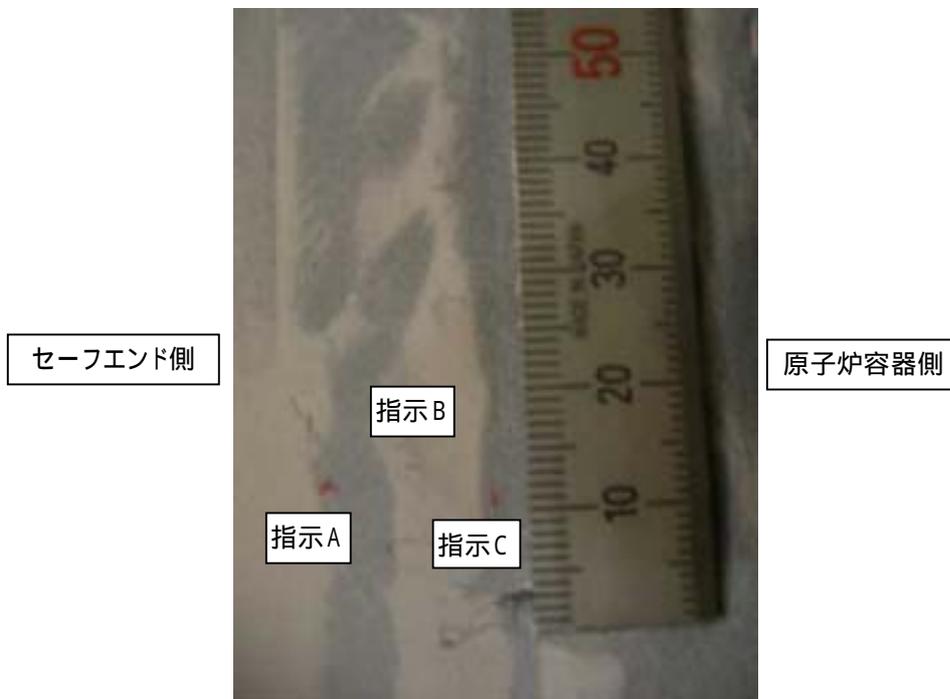
原子炉容器入口管台Aの浸透探傷検査 (PT) 結果



入口管台A構造図



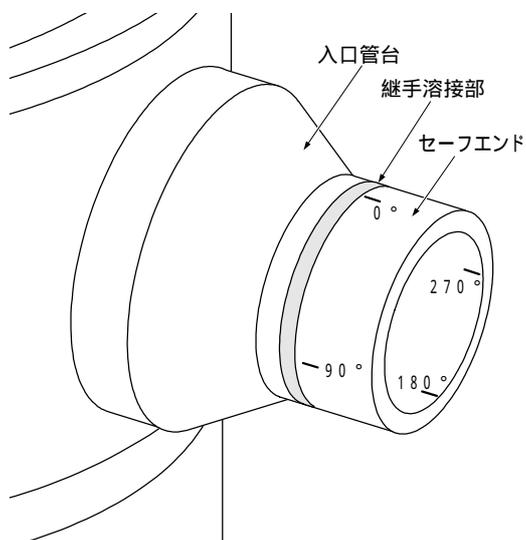
入口管台A断面およびPT指示箇所



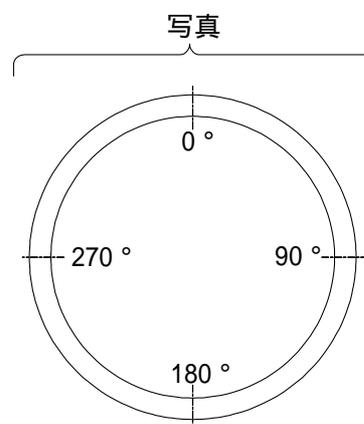
入口管台A PT結果

浸透探傷検査の結果、3箇所にPT指示が認められた。
指示は、最大長さ約2 mm (指示A)、長さ約1 mmが2箇所 (指示B、C) であった。

原子炉容器入口管台Aの外観点検結果



入口管台A外観図



入口管台A断面図

270°

0°

90°



セーフエンド
(SUSF 316相当)

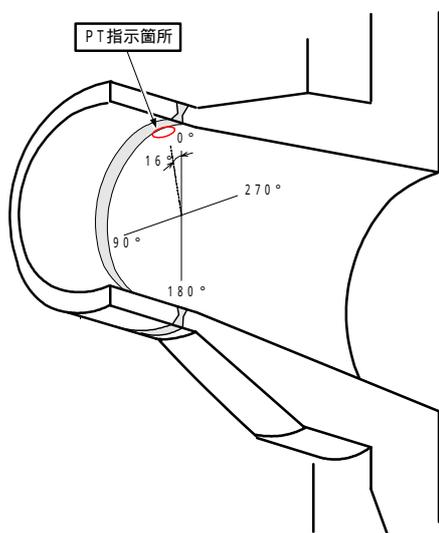
継手溶接部(600系Ni基合金)

入口管台
(低合金鋼)

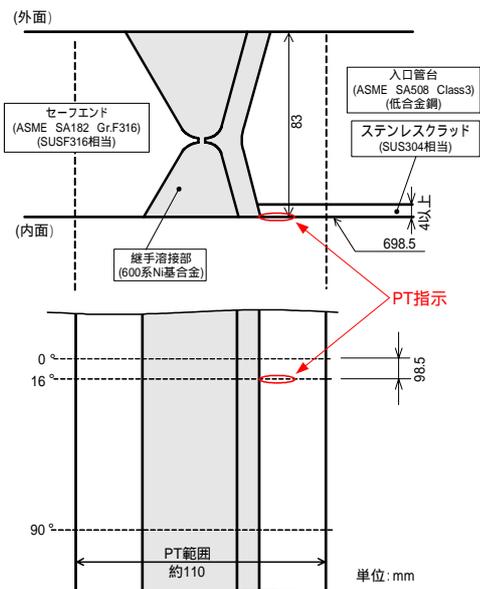
入口管台A外表面写真(0°中心)

当該部を含めた入口管台A溶接部の外表面全周の目視点検を実施した結果、ほう酸析出等漏えい跡は認められなかった。

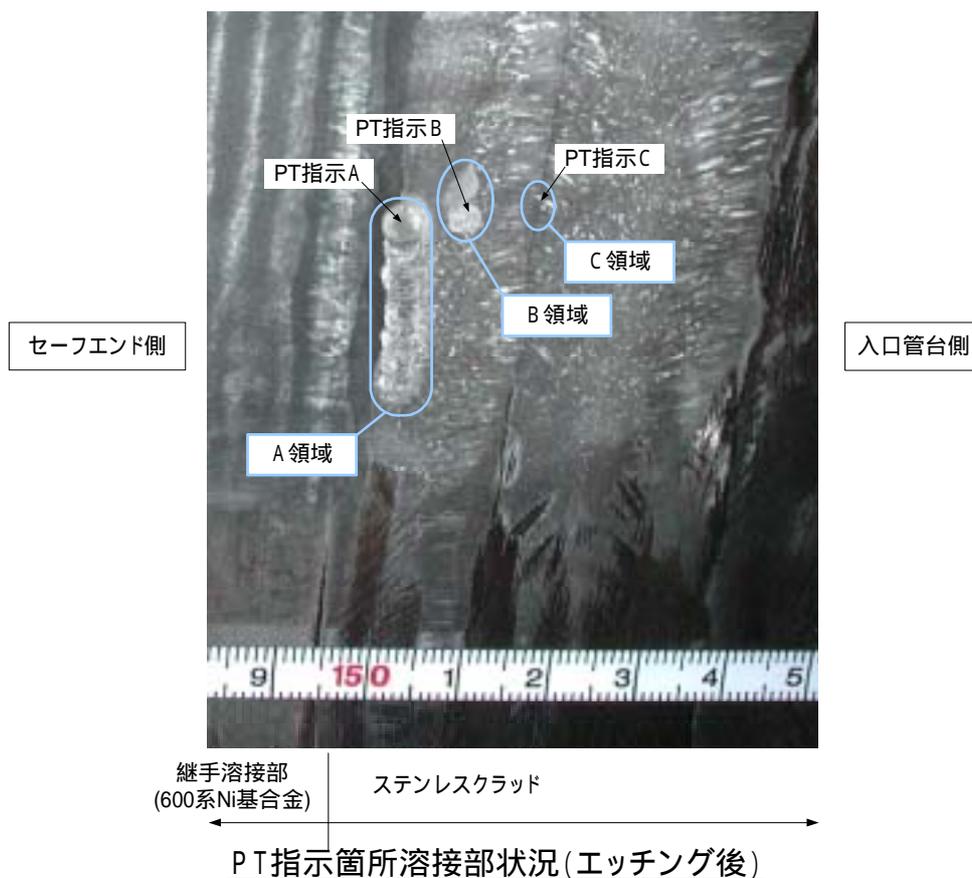
原子炉容器入口管台Aの継手溶接部内面観察結果



入口管台A構造図



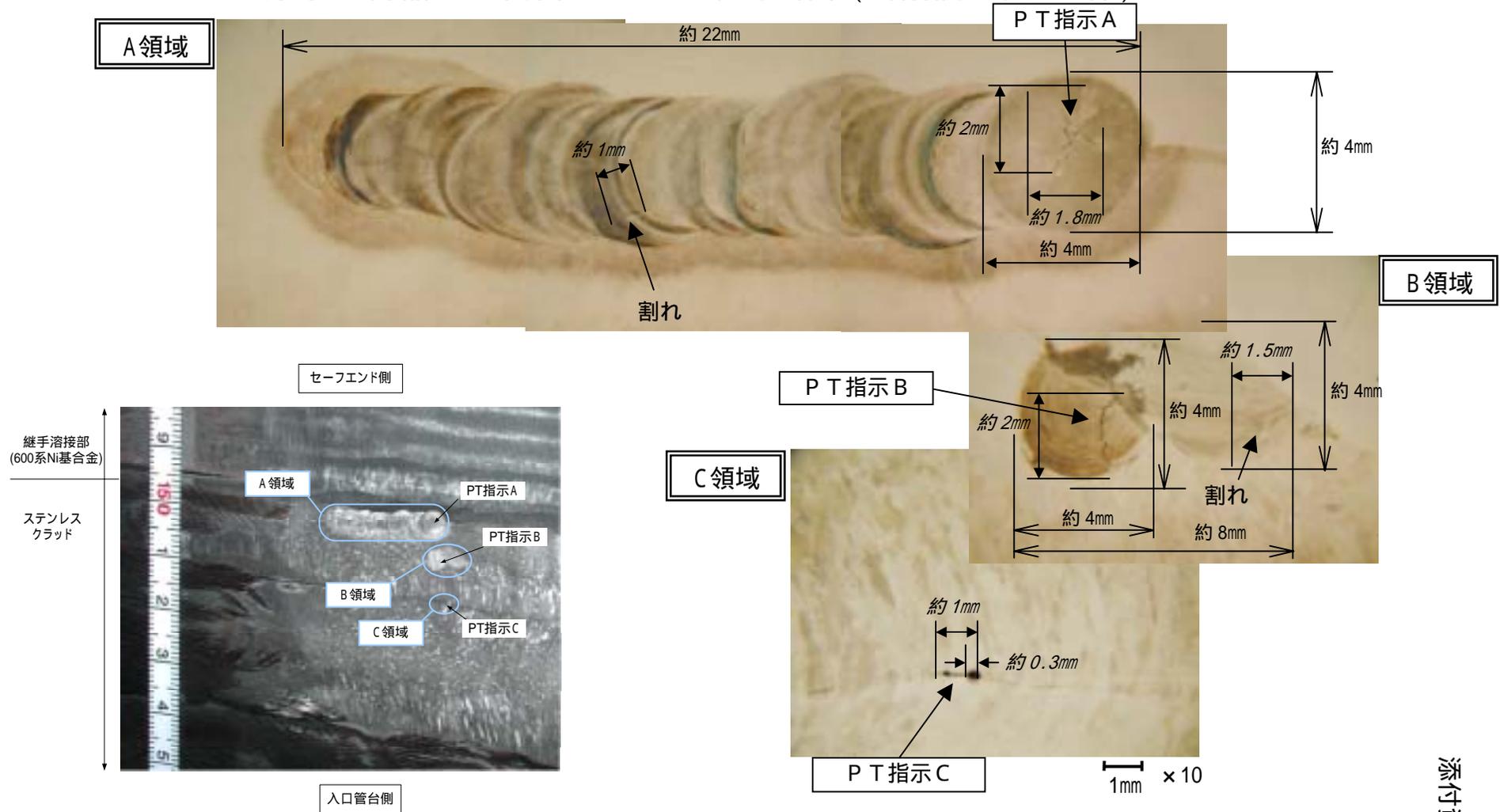
入口管台A断面およびPT指示箇所



PT指示箇所溶接部状況(エッチング後)

PT指示箇所(3箇所)についてエッチング後の状況を観察した結果、PT指示A、B部には手直し溶接跡とみられる領域が認められた。
また、C部には手直し溶接跡は認められず、ステンレスクラッドの溶接ビードと溶接ビードの境界であった。

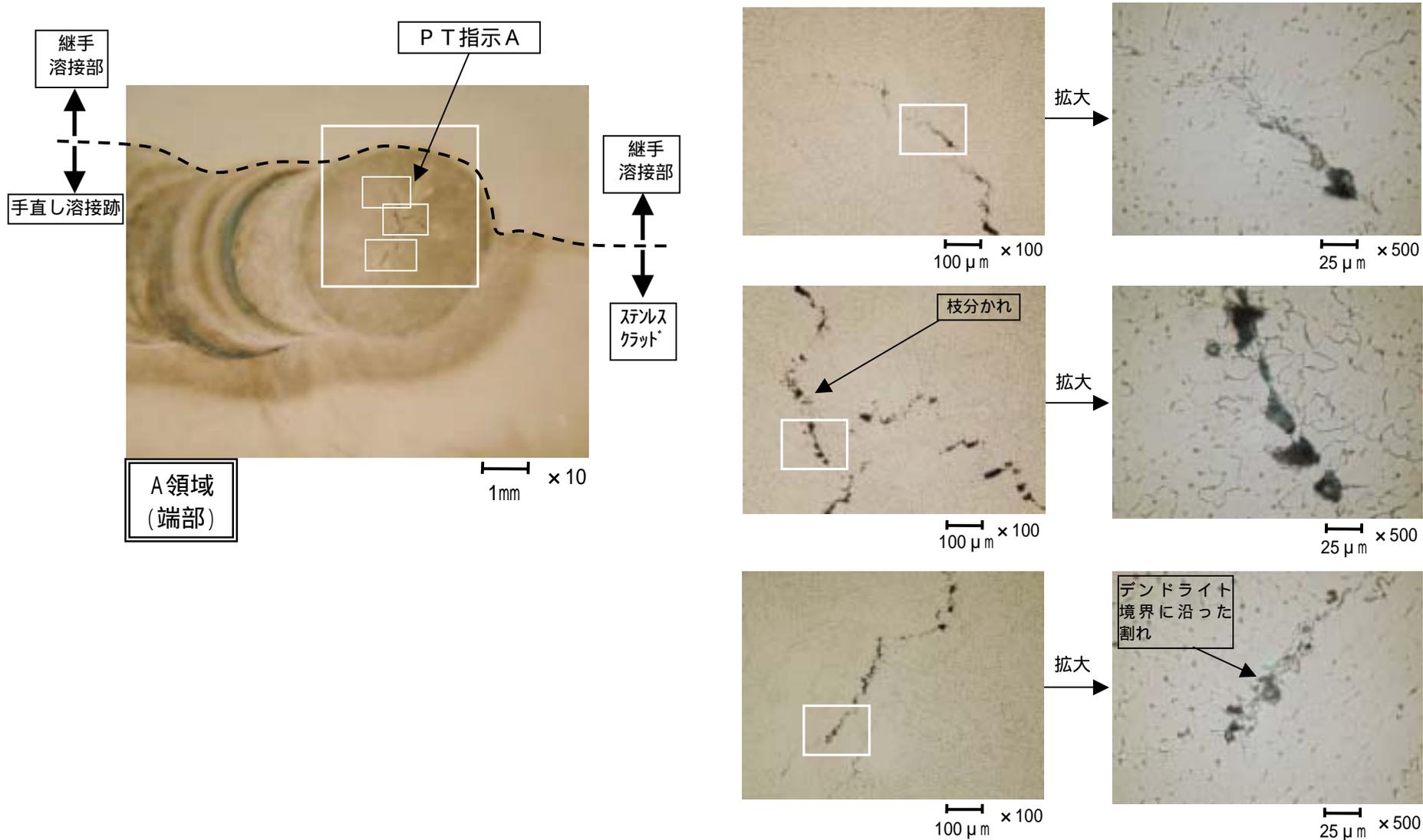
原子炉容器入口管台Aのスプ観察結果(研削調査前:全体)



【観察結果】

- ・A領域: 端部に最大長さ約2mm × 約1.8mmの放射状、中央部に長さ約1mmの線状の割れが認められた。
- ・B領域: 長さ約2mmの線状の割れのほか、最大長さ約1.5mmの線状の割れが認められた。
- ・C領域: ステンレスクラッドの溶接ビードと溶接ビードの境界に長さ約1mmの凹みおよび幅約0.3mmのピットが認められた。

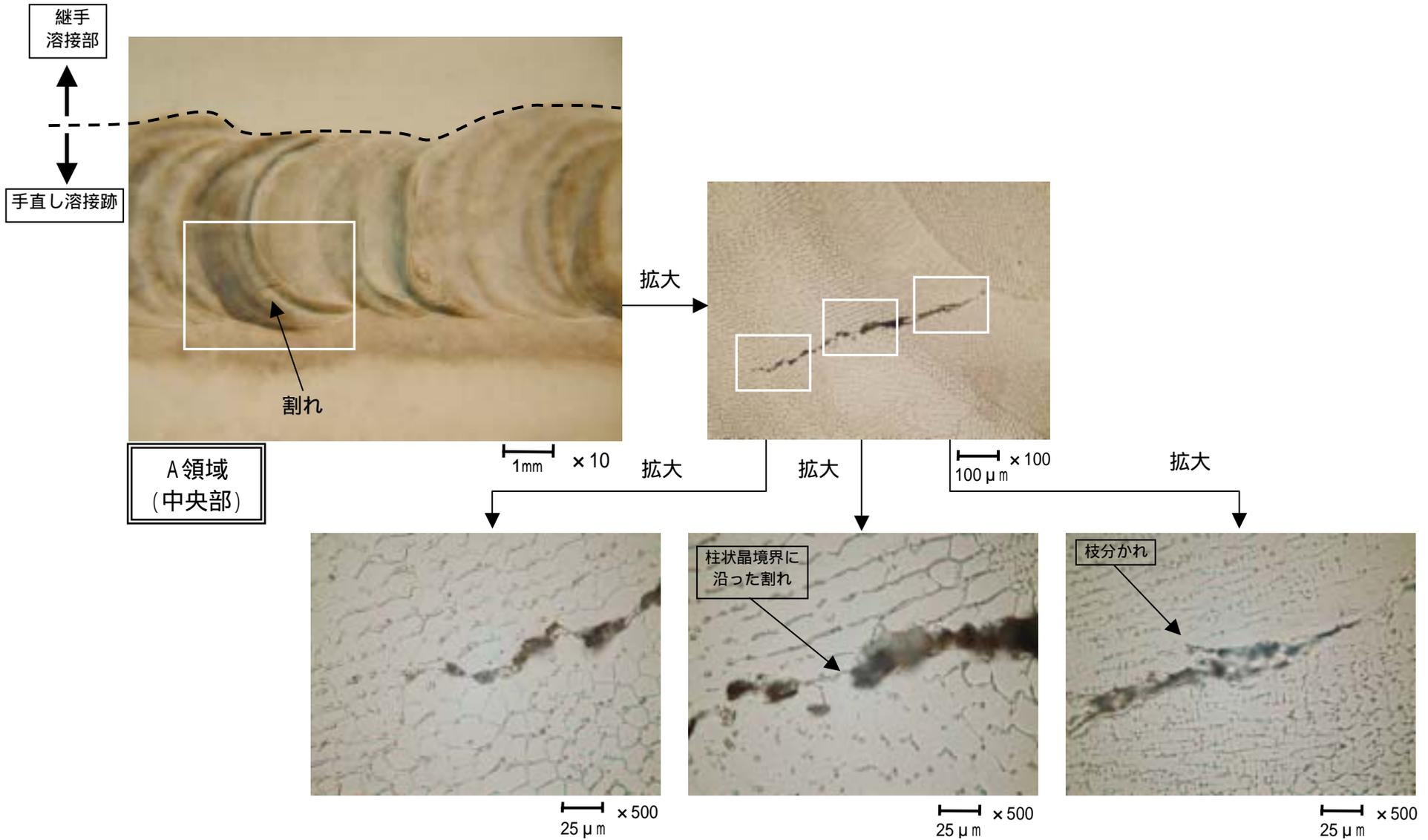
原子炉容器入口管台Aのスンプ観察結果(研削調査前:A領域(端部))



【観察結果】

- ・割れは凝固組織(デンドライト等)境界に沿ったもので、枝分かれも認められ、手直し溶接跡とみられる楕円状の領域内であった。
- ・楕円状の領域内には、ステンスクラッドに存在するフェライトは認められなかった。

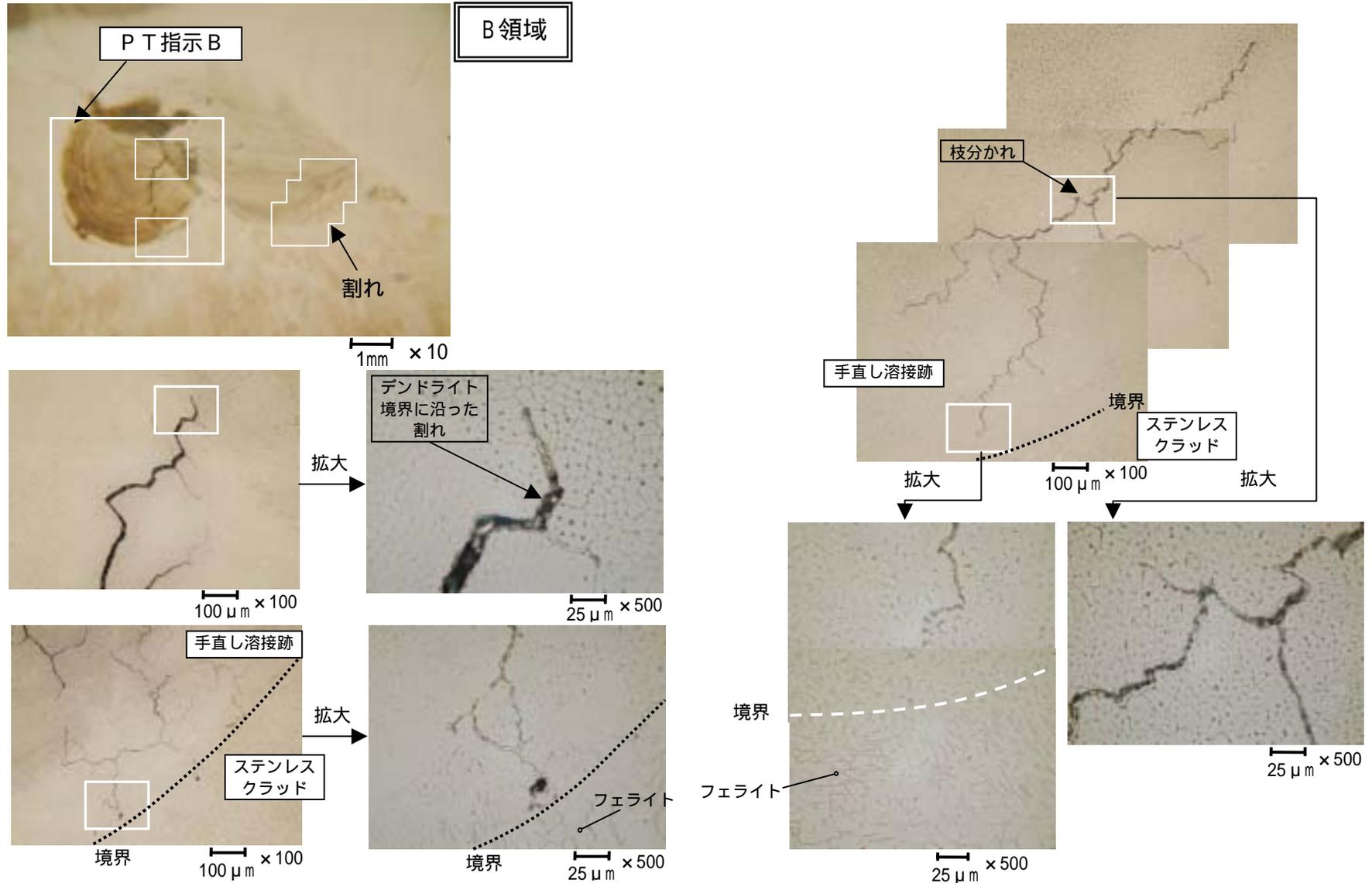
原子炉容器入口管台Aのスンプ観察結果(研削調査前:A領域(中央部))



【観察結果】

- ・ 割れは凝固組織(デンドライト等)境界に沿ったもので、枝分かれも認められ、手直し溶接跡とみられる楕円状の領域内であった。

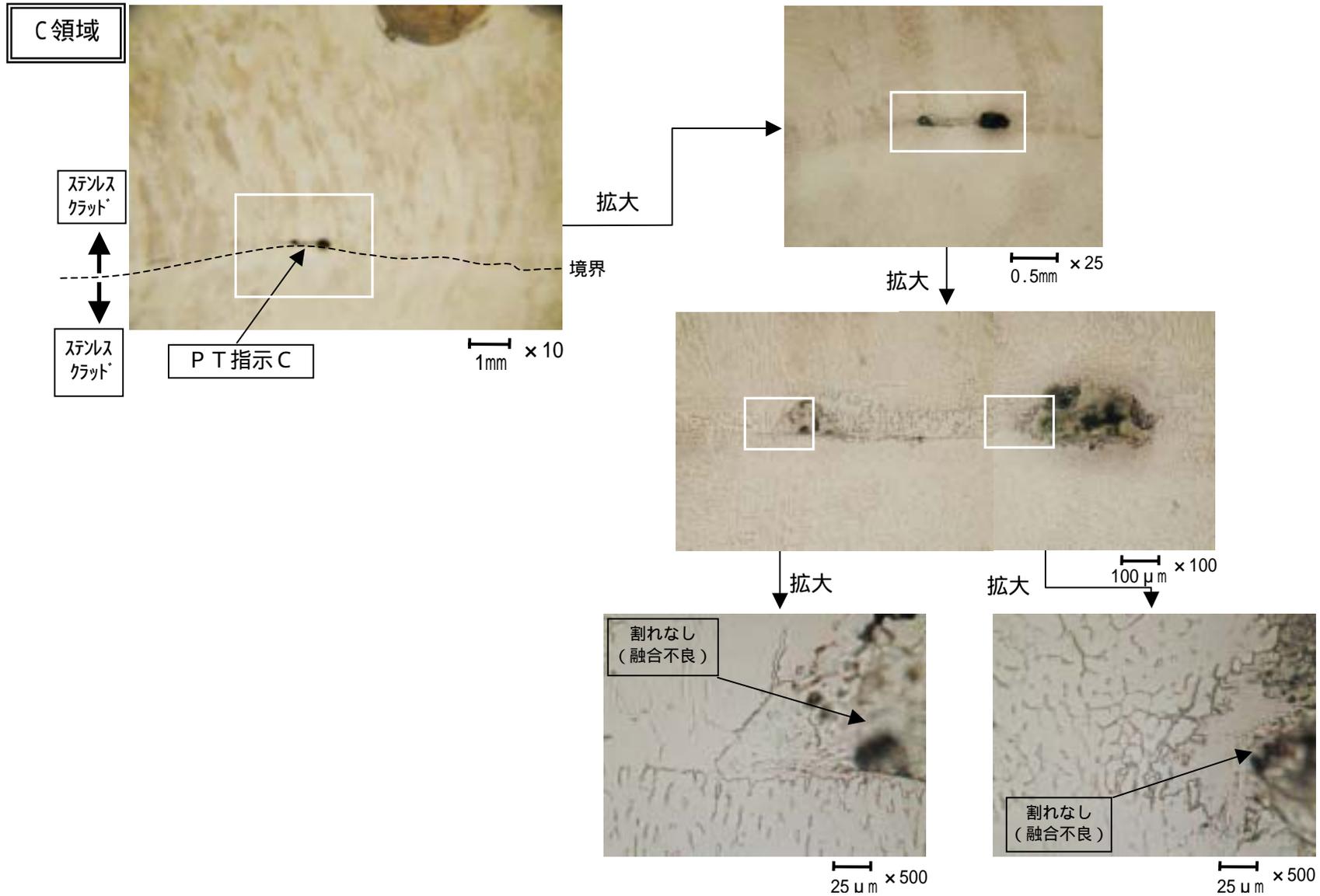
原子炉容器入口管台Aのスンプ観察結果(研削調査前:B領域)



【観察結果】

- ・ 割れは凝固組織（デンドライト等）境界に沿ったもので、枝分かれも認められ、手直し溶接跡とみられる楕円状の領域内であった。
- ・ 楕円状の領域内には、ステンレスクラッドに存在する フェライトは認められなかった。

原子炉容器入口管台Aのスンプ観察結果(研削調査前:C領域)

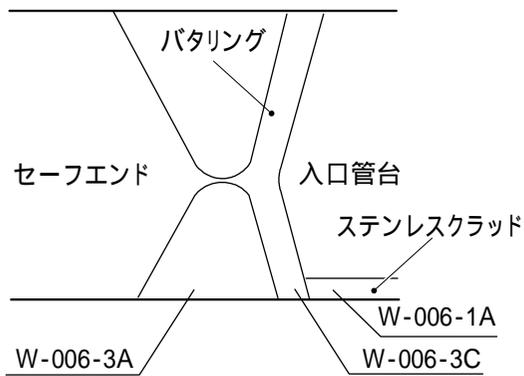


【観察結果】
 ・割れは認められなかった。

原子炉容器入口管台Aの超音波探傷検査結果

検査方法	検査範囲	検査結果								
内表面からの検査	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> </div> <div style="width: 45%;"> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 15%;">箇所</th> <th style="width: 85%;">検査範囲</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A領域</td> <td>PT指示部を中心に 長軸 約75mm×短軸 約50mmの 楕円形の範囲</td> </tr> <tr> <td>B領域</td> <td>PT指示部を中心に 長さ 約50mm×幅 約20mmの 長方形の範囲</td> </tr> <tr> <td>C領域</td> <td>PT指示部を中心に 長さ 約20mm×幅 約50mmの 長方形の範囲</td> </tr> </tbody> </table> </div> </div>	箇所	検査範囲	A領域	PT指示部を中心に 長軸 約75mm×短軸 約50mmの 楕円形の範囲	B領域	PT指示部を中心に 長さ 約50mm×幅 約20mmの 長方形の範囲	C領域	PT指示部を中心に 長さ 約20mm×幅 約50mmの 長方形の範囲	<p>A領域: 有意な指示を認めず B領域: 有意な指示を認めず C領域: 有意な指示を認めず</p> <p>検出限界(約3mm)より、傷深さは約3mm以下と推定される。</p>
箇所	検査範囲									
A領域	PT指示部を中心に 長軸 約75mm×短軸 約50mmの 楕円形の範囲									
B領域	PT指示部を中心に 長さ 約50mm×幅 約20mmの 長方形の範囲									
C領域	PT指示部を中心に 長さ 約20mm×幅 約50mmの 長方形の範囲									
外表面からの調査	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p style="text-align: center;">軸方向探傷</p> </div> <div style="width: 45%;"> <p style="text-align: center;">管台断面図(R/V中心より見る)</p> <p style="text-align: center;">周方向探傷</p> </div> </div>	<p>A領域: 有意な指示を認めず B領域: 有意な指示を認めず C領域: 有意な指示を認めず</p> <p>検出限界(約3mm)より、傷深さは約3mm以下と推定される。</p>								

原子炉容器入口管台A製造履歴調査



部 位 (溶接番号)		溶接材料	溶接方法	非破壊検査	結果
ステンレスクラッド (W-006-1A)		USB-309L PFB-1 (SUS304相当)	サブマージアーク溶接	PT, UT (開先面: MT)	
継手溶接部	バタリング (W-006-3C)	NIC-70A (600系Ni基合金)	被覆アーク溶接	PT, UT, RT (開先面: MT)	
	バタリング + セーフエンド (W-006-3A)	NIC-70A (600系Ni基合金)	被覆アーク溶接	PT, UT, RT (開先面: PT)	
全 般		-	-	水圧検査 PT, UT	

MT:磁粉探傷検査 PT:浸透探傷検査 UT:超音波探傷検査 RT:放射線透過検査
:問題を認めず

原子炉容器入口管台A継手溶接部の過去の点検実績と計画

A系(当該部)

	検査内容	結果	備考
実績	第4回定検 (S62.1.19~S62.4.24)	外面VT 外面PT 外面側からのUT	良 定期検査
	第7回定検 (H3.1.29~H3.5.16)	内面側からのUT	良 社内検査
	第9回定検 (H5.9.7~H5.12.24)	外面PT 外面側からのUT	良 定期検査
	第14回定検 (H12.4.23~H12.8.2)	内面側からのUT	良 社内検査
	第16回定検 (H15.1.27~H15.4.25)	外面PT 外面側からのUT	良 定期検査
	第17回定検 (H16.4.21~H16.8.6)	ベアメタル検査	良 定期事業者検査 (NISA文書 ¹ 対応)
計画	第20回定検 (H20年度予定)	外面側からのUT	定期事業者検査 (NISA文書 ² 対応)

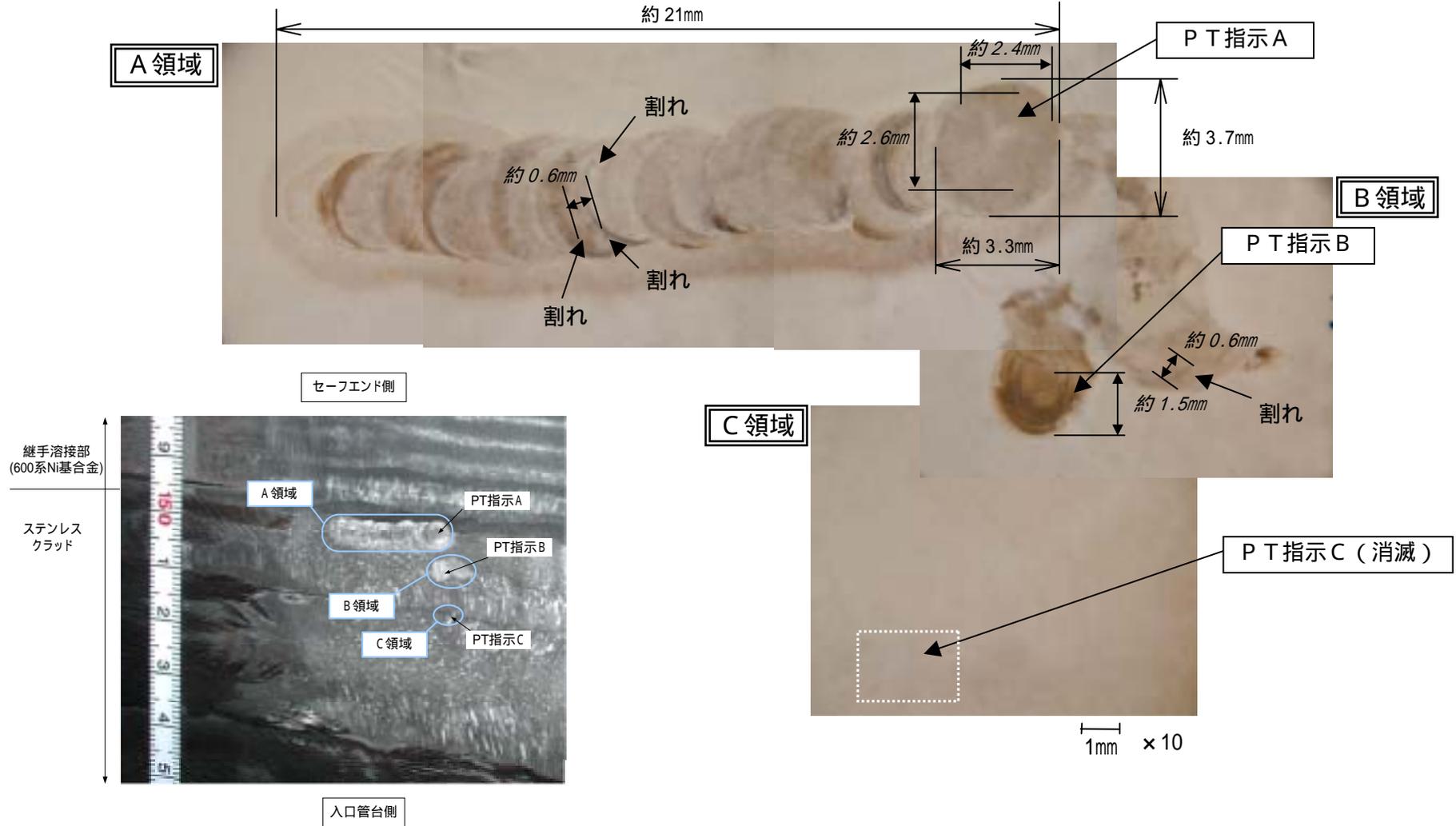
(参考)B系

	検査内容	結果	備考
実績	第5回定検 (S63.5.18~S63.9.6)	外面VT 外面PT 外面側からのUT	良 定期検査
	第7回定検 (H3.1.29~H3.5.16)	内面側からのUT	良 社内検査
	第11回定検 (H8.4.17~H8.8.1)	外面PT 外面側からのUT	良 定期検査
	第14回定検 (H12.4.23~H12.8.2)	内面側からのUT	良 社内検査
	第17回定検 (H16.4.21~H16.8.6)	外面PT 外面側からのUT	良 定期事業者検査 (NISA文書 ¹ 対応)
計画	第24回定検 (H24年度予定)	ベアメタル検査	定期事業者検査 (NISA文書 ² 対応)

VT:目視検査、PT:浸透探傷検査、UT:超音波探傷検査

- 1:「加圧水型軽水炉の一次冷却材圧力バウンダリにおけるNi基合金使用部位に係る検査等について」
(平成15年12月12日 経済産業省原子力安全・保安院)
- 2:「加圧水型軽水炉の一次冷却材圧力バウンダリにおけるNi基合金使用部位に係る検査等について」
(平成17年6月16日 経済産業省原子力安全・保安院)

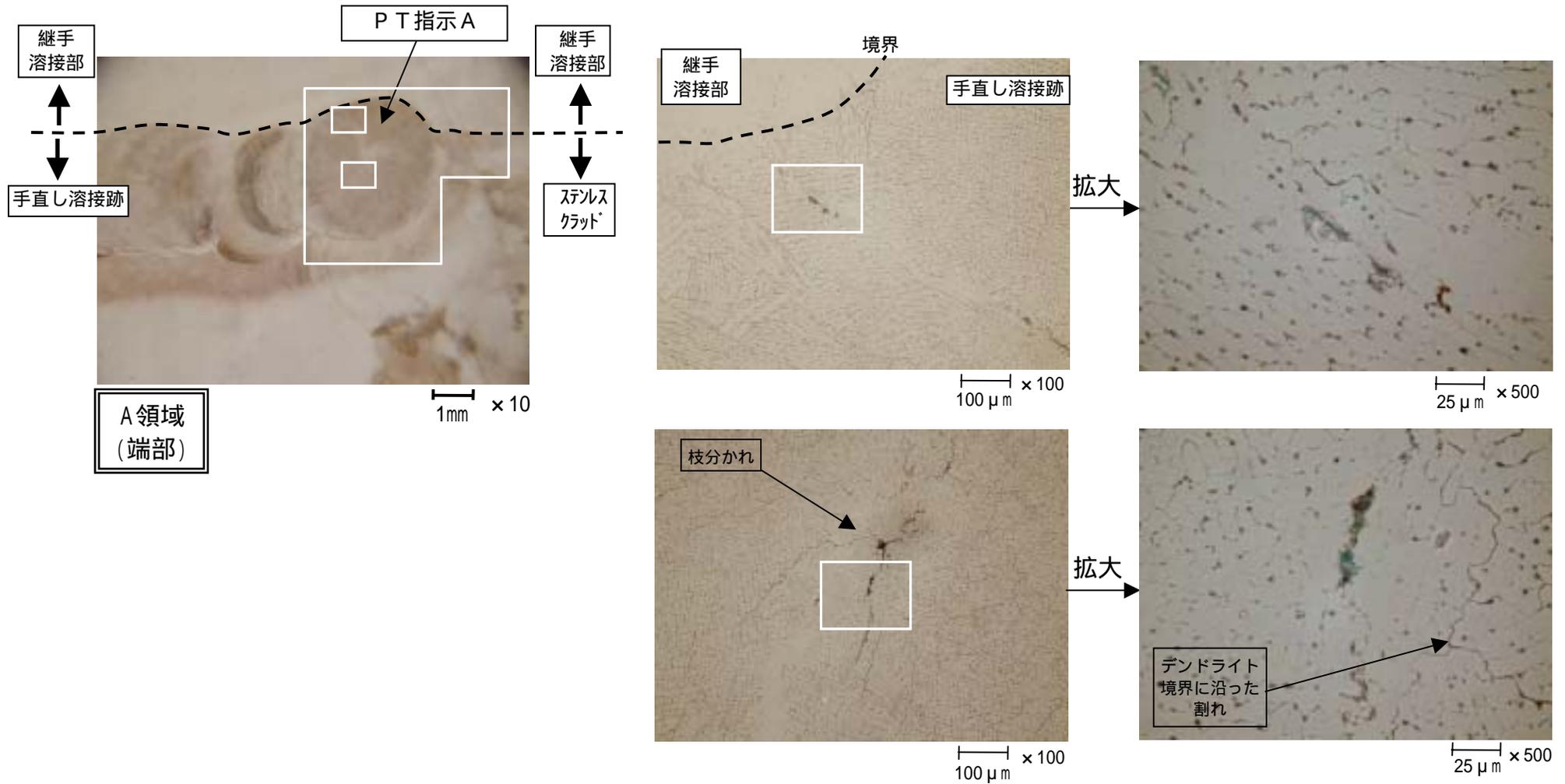
第1回研削調査結果(スンプ観察結果:全体)



【観察結果】

- ・A領域: 端部に最大長さ約2.6mm x 約2.4mmの放射状の割れが認められた。
中央部に長さ約0.6mmの線状の割れなど微細な割れが認められた。
- ・B領域: 長さ約1.5mmの線状の割れのほか、最大長さ約0.6mmの微小な割れが認められた。
- ・C領域: 凹みおよびピットは消滅した。

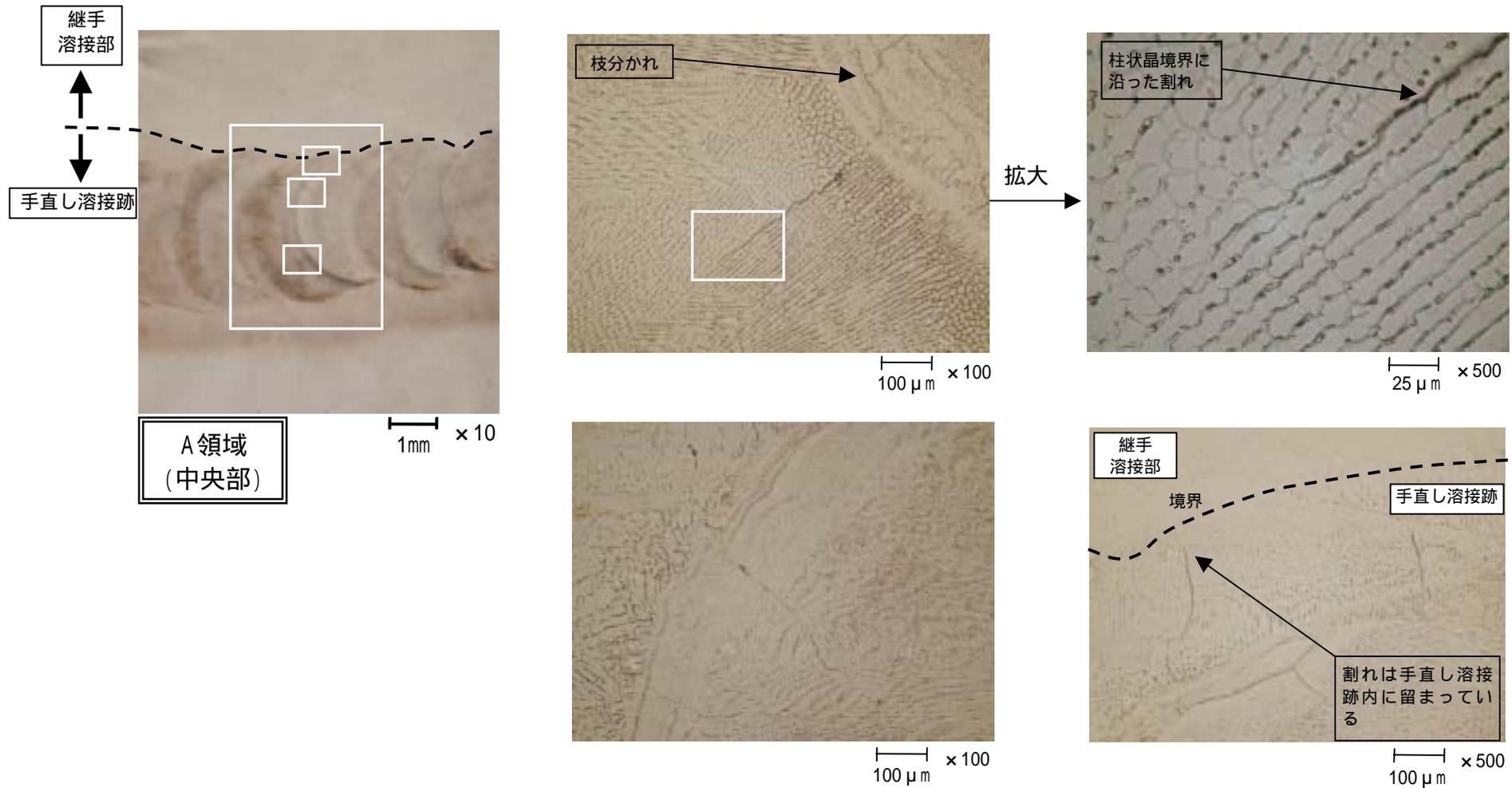
第1回研削調査結果(スンプ観察結果:A領域端部)



【観察結果】

- ・割れは凝固組織(デンドライト等)境界に沿ったもので、枝分かれも認められ、手直し溶接跡とみられる楕円状の領域内にあった。
- ・楕円状の領域内には、ステンスクラッドに存在する フェライトは認められなかった。

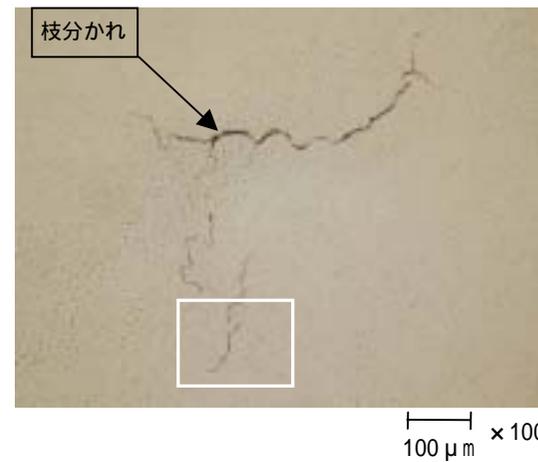
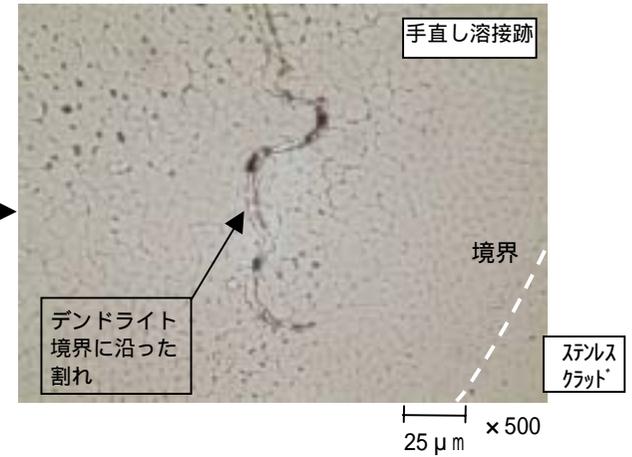
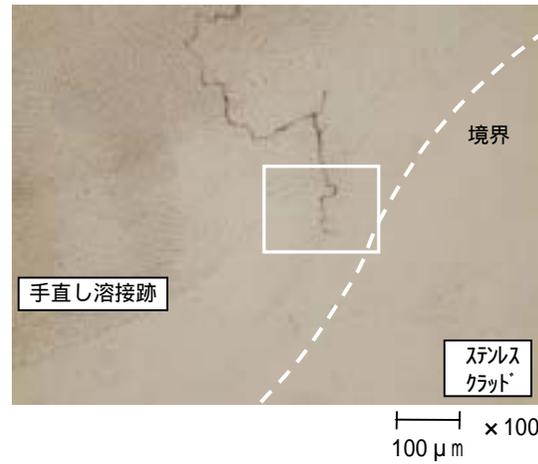
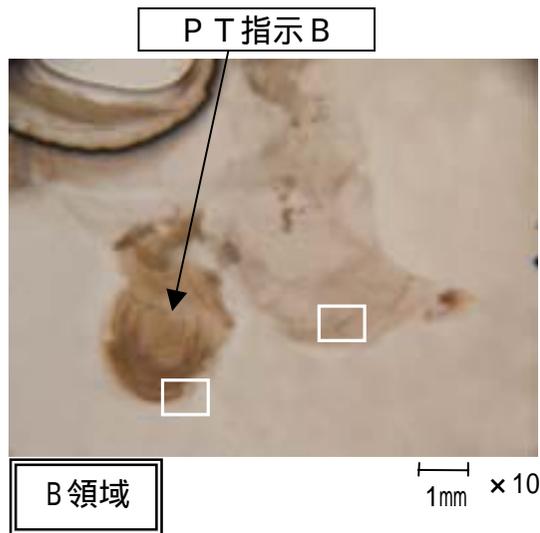
第1回研削調査結果(スンプ観察結果:A領域中央部)



【観察結果】

- ・割れは凝固組織(デンドライト等)境界に沿ったもので、枝分かれも認められ、手直し溶接跡とみられる楕円状の領域内であった。
- ・楕円状の領域内には、ステンスクラッドに存在する フェライトは認められなかった。

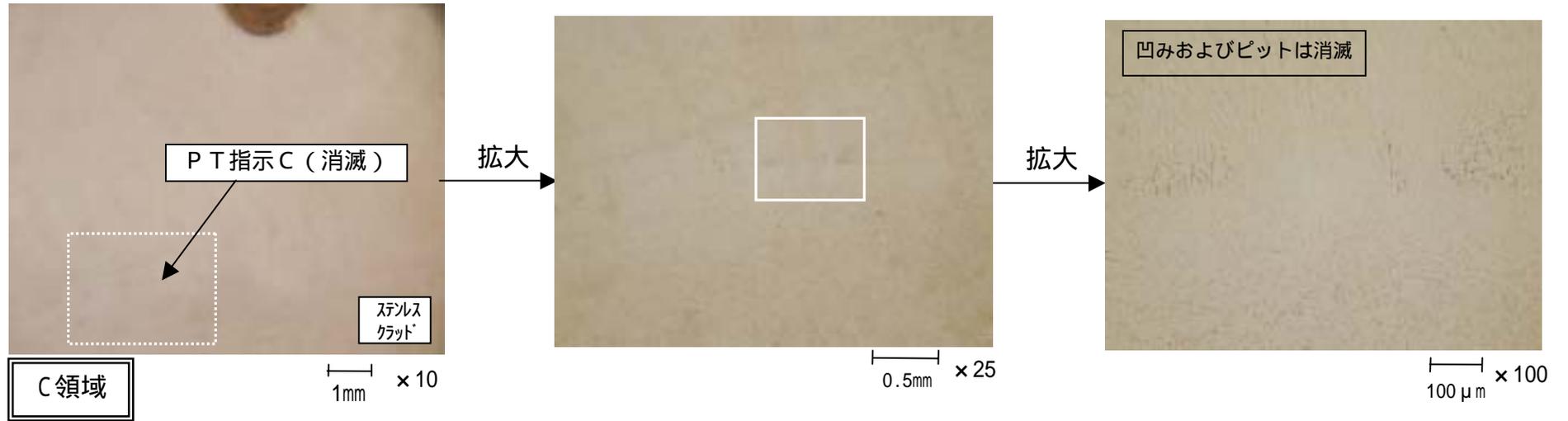
第1回研削調査結果(スンプ観察結果: B領域)



【観察結果】

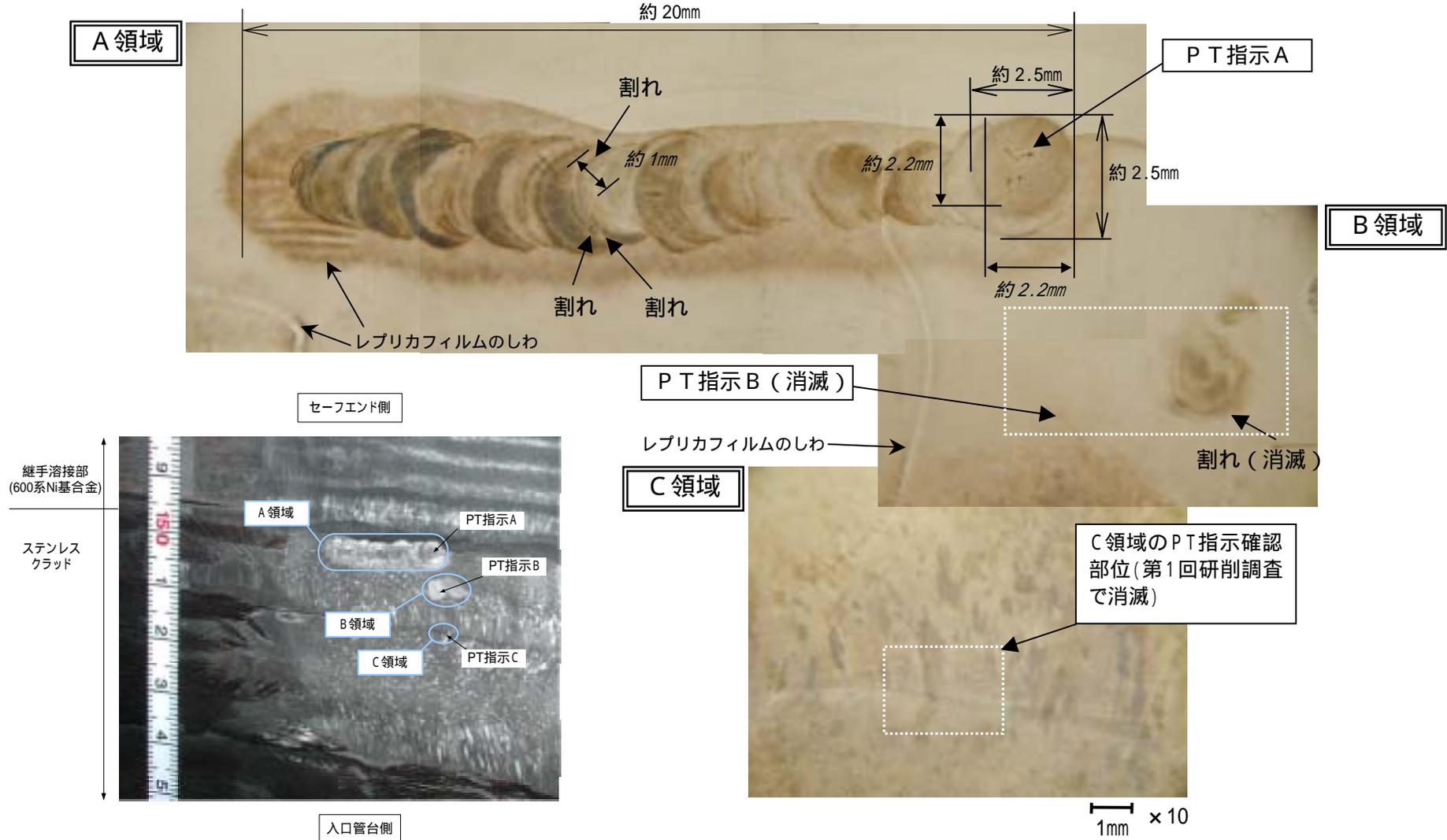
- ・割れは凝固組織(デンドライト等)境界に沿ったもので、枝分かれも認められ、手直し溶接跡とみられる楕円状の領域内であった。
- ・楕円状の領域内には、ステンレスクラッドに存在するフェライトは認められなかった。

第1回研削調査結果(スンプ観察結果:C領域)



【観察結果】
・凹みおよびピットは消滅した。

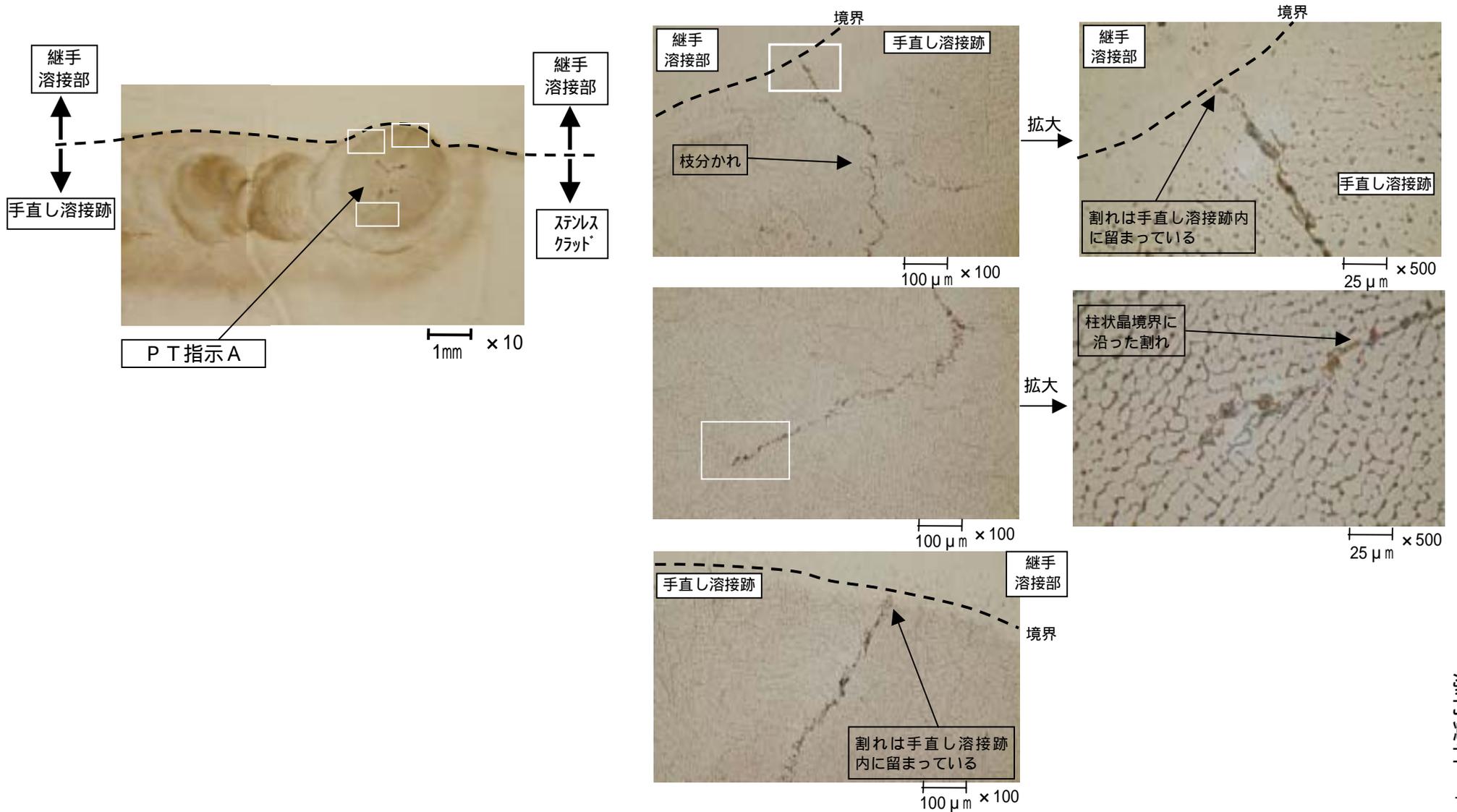
第2回研削調査結果(スンプ観察結果:全体)



【観察結果】

- ・ A領域: 端部に、最大長さ約 2.2mm × 約 2.2mm の放射状の割れが認められた。
中央部に最大約 1mm の線状の割れなどの微細な割れが認められた。
- ・ B領域: 割れは消滅した。

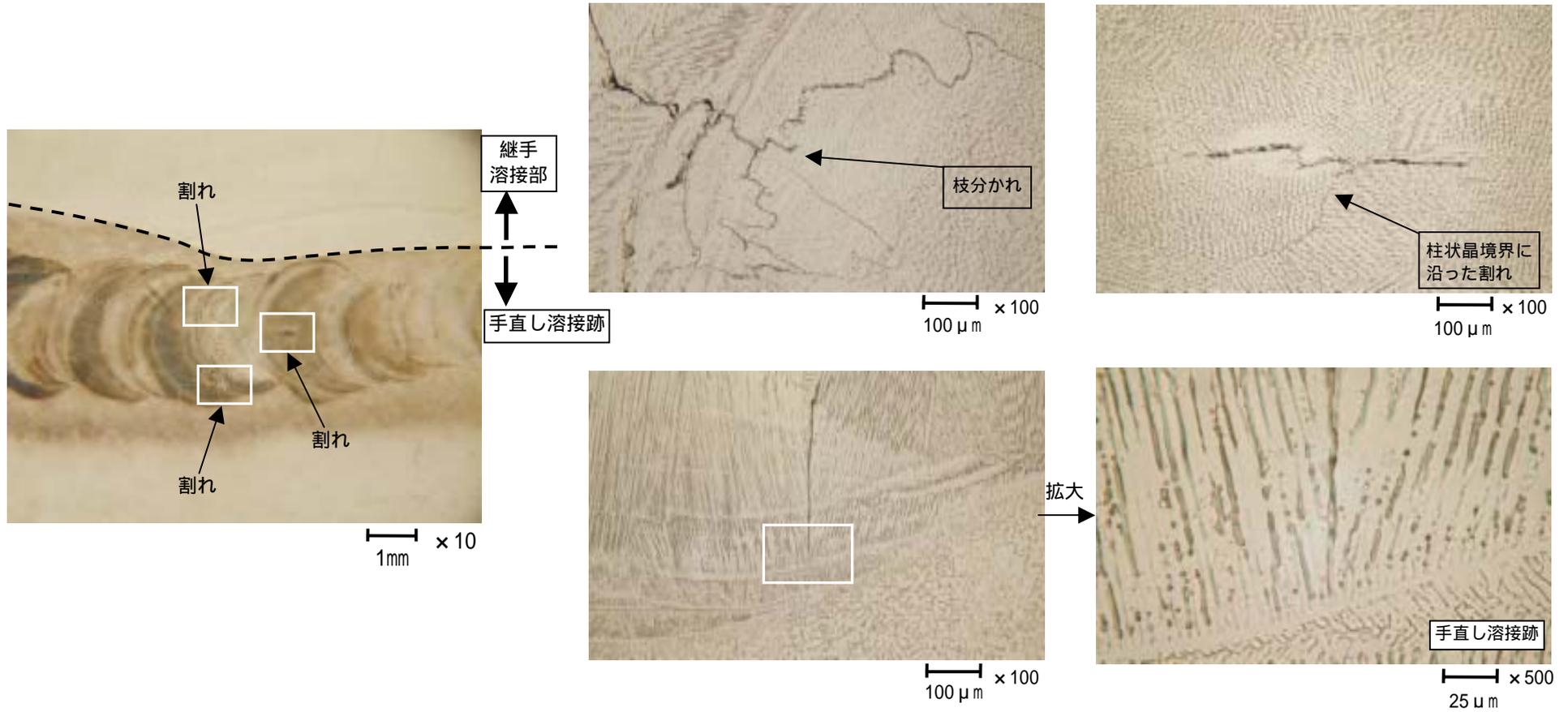
第2回研削調査結果(スンプ観察結果:A領域端部)



【観察結果】

- ・割れは凝固組織(デンドライト等)境界に沿ったもので、枝分かれも認められ、手直し溶接跡とみられる楕円状の領域内であった。
- ・楕円状の領域内には、ステンレスクラッドに存在する フェライトは認められなかった。

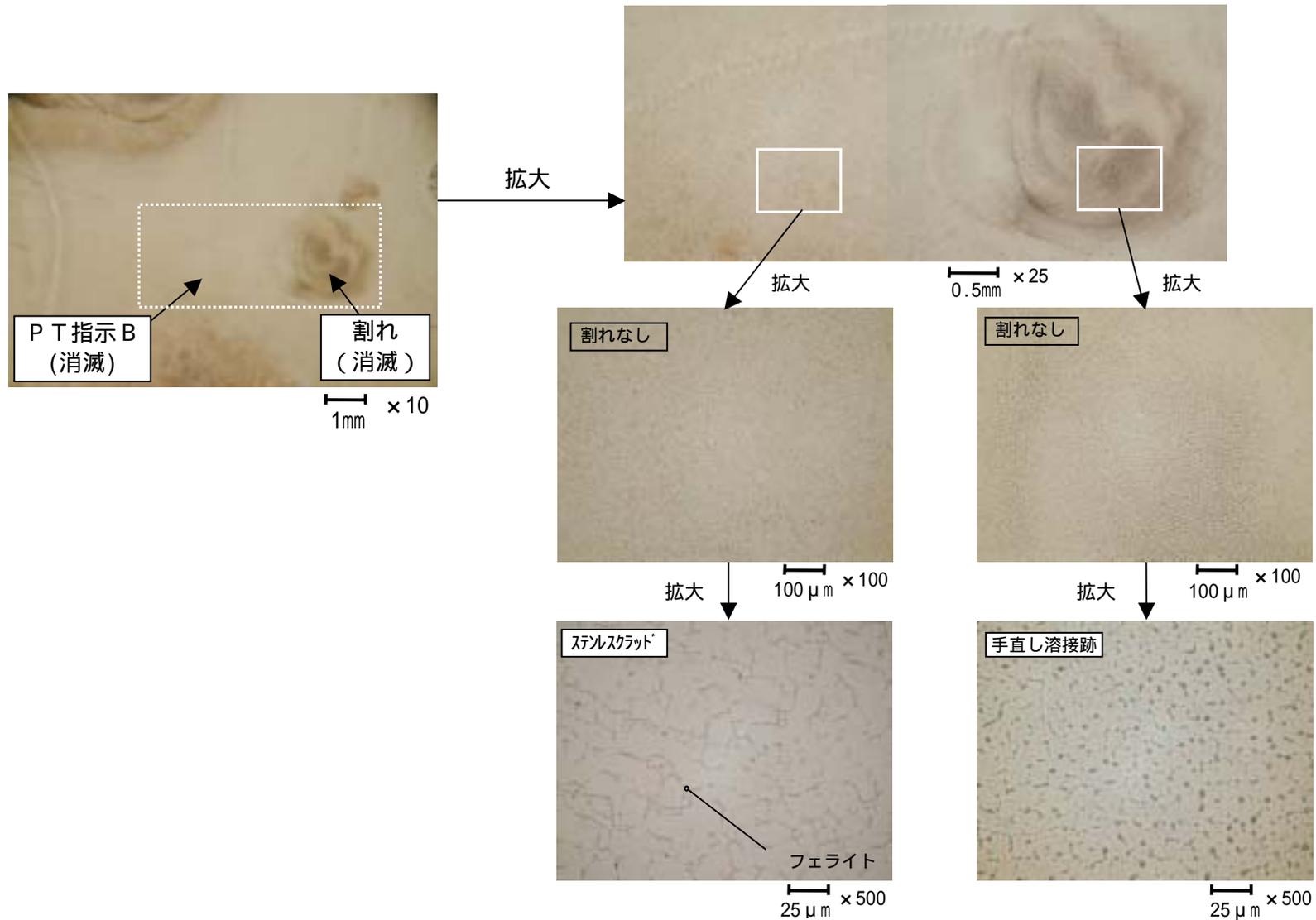
第2回研削調査結果(スンプ観察結果:A領域中央部)



【観察結果】

- ・割れは凝固組織(デンドライト等)境界に沿ったもので、枝分かれも認められ、手直し溶接跡とみられる楕円状の領域内であった。
- ・楕円状の領域内には、ステンレスクラッドに存在する フェライトは認められなかった。

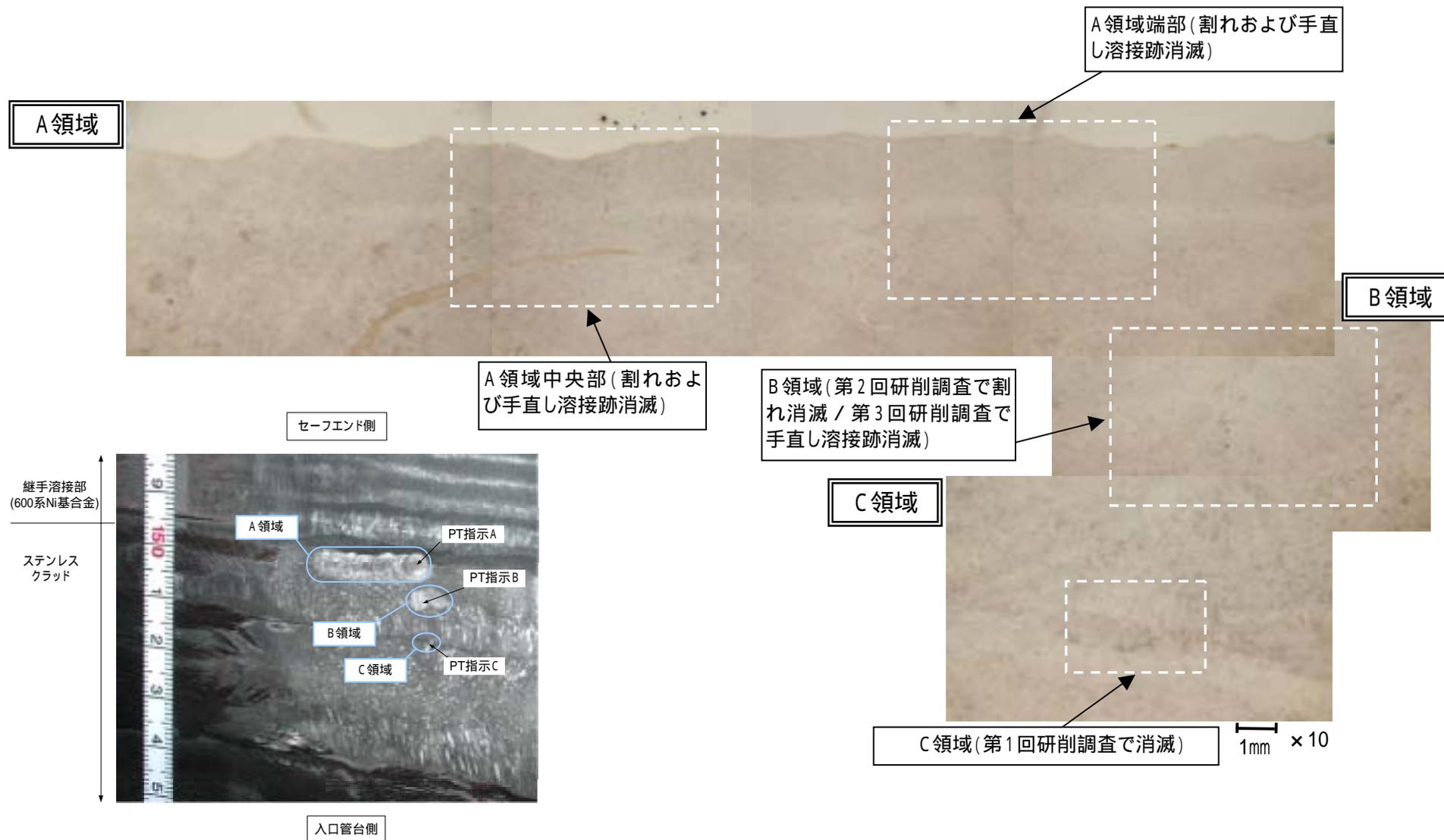
第2回研削調査結果(スンプ観察結果: B領域)



【観察結果】

・割れは消滅した。(PT指示Bでは、ステンスクラッド(フェライトが分布)を確認した。また、割れがあった部位には手直し溶接跡が認められる。)

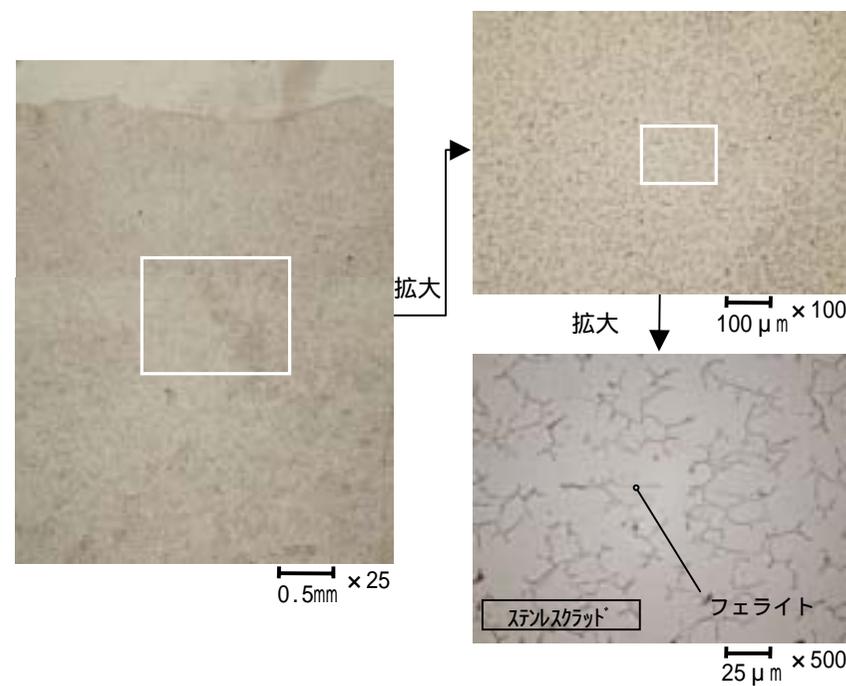
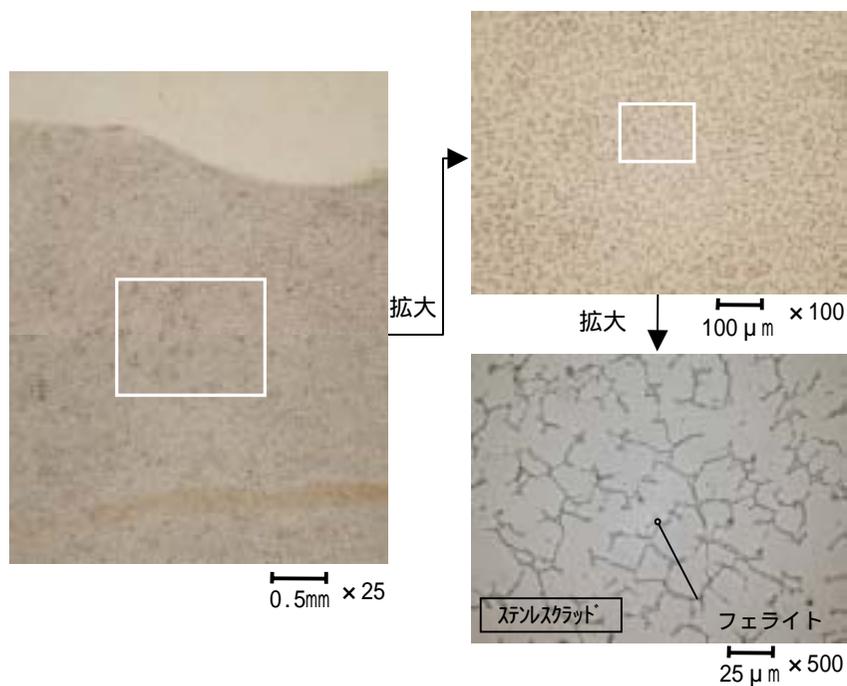
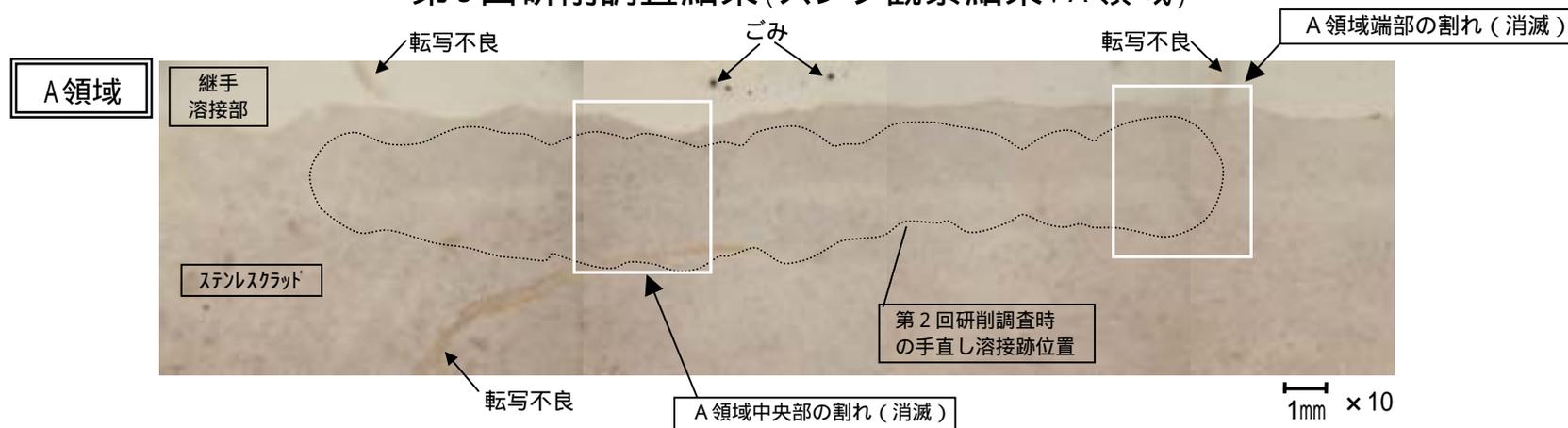
第3回研削調査結果(スンプ観察結果:全体)



【観察結果】

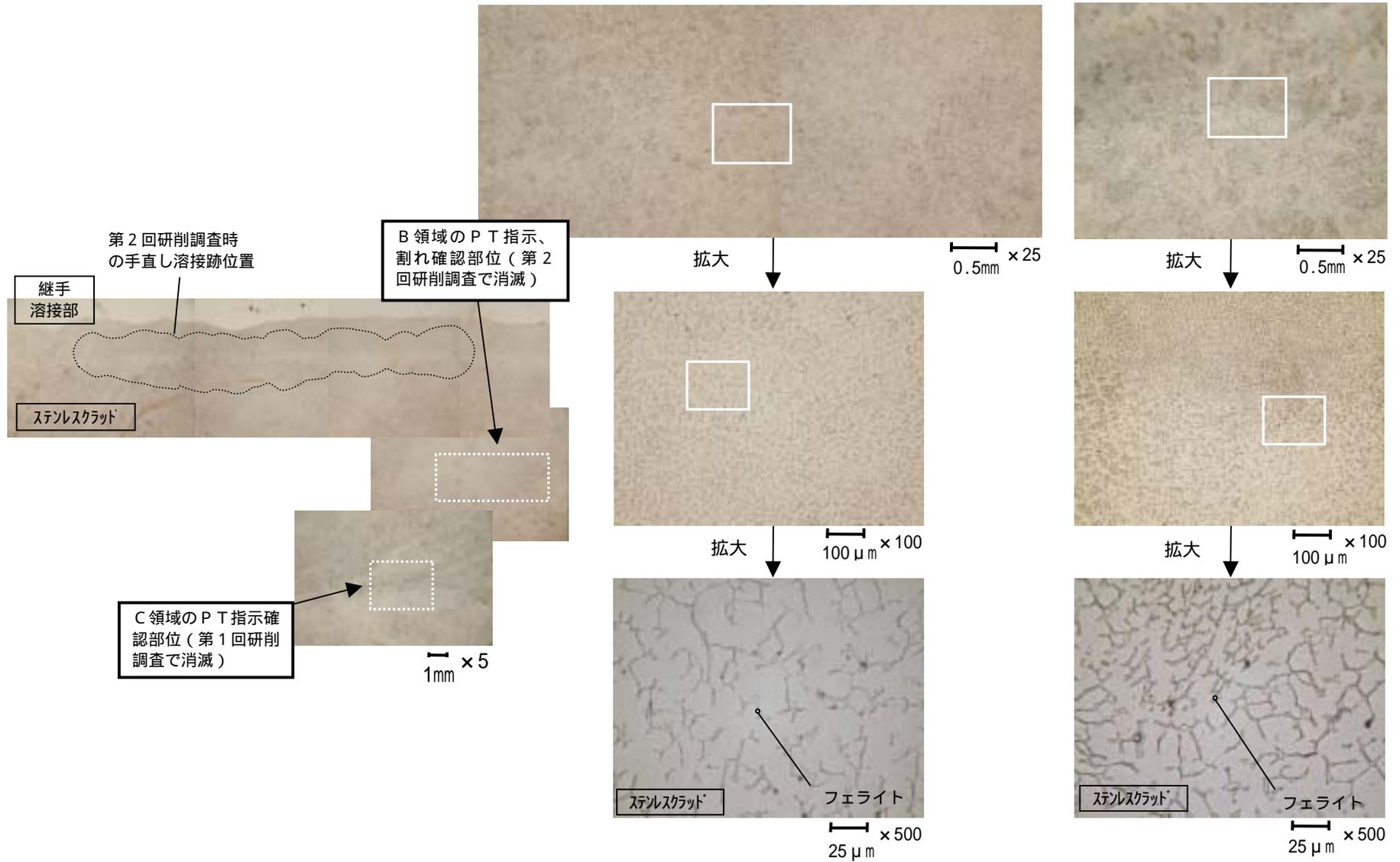
・A領域の割れを含め、手直し溶接跡は全て消滅した。

第3回研削調査結果(スンプ観察結果:A領域)



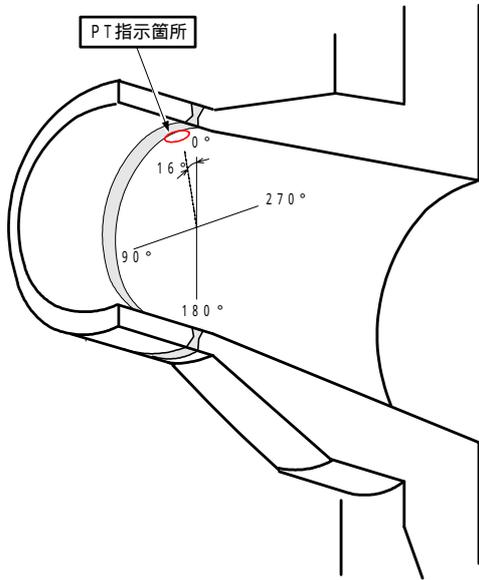
【観察結果】
 ・A領域の割れを含め、手直し溶接跡は全て消滅した。(ステンスクラッドの フェライトを確認)

第3回研削調査結果(スンプ観察結果: B, C領域)

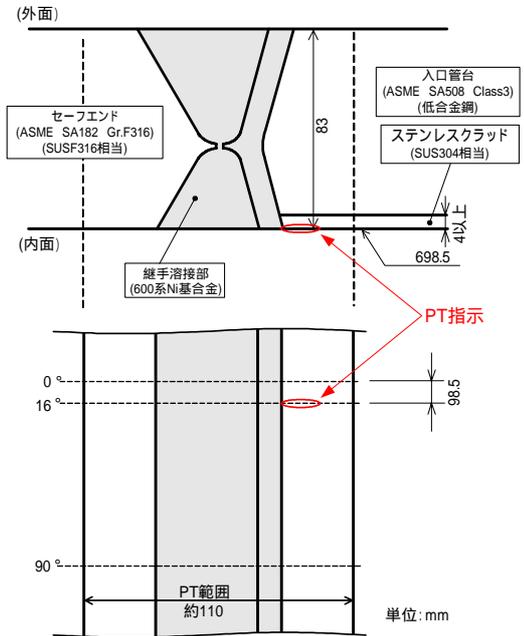


【観察結果】
 ・B領域の手直し溶接跡は全て消滅した。(ステンレスクラッドの フェライトを確認)

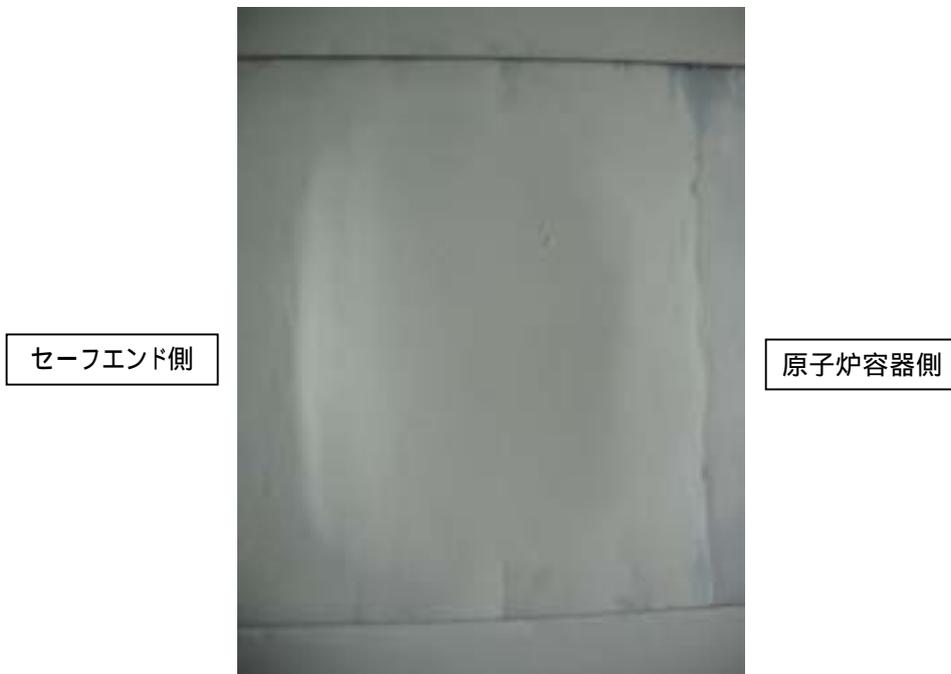
研削調査結果 (浸透探傷検査結果)



入口管台A構造図



入口管台A断面およびPT指示箇所



入口管台A PT結果

第3回目の研削調査のPTの結果、指示は認められなかった。

研削調査結果
(楕円状領域のEPMA分析結果)

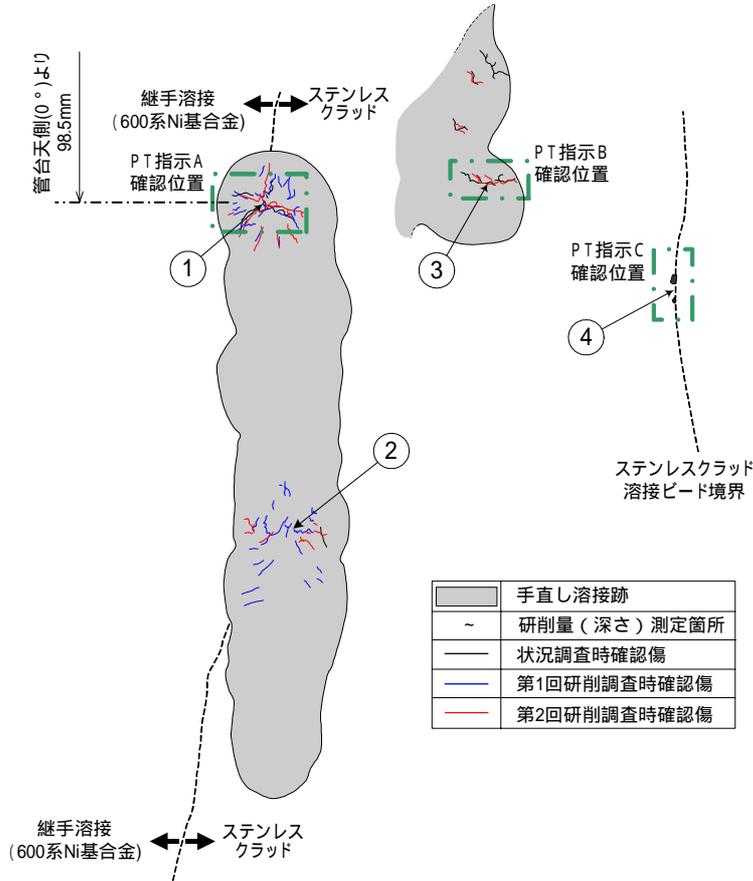
		化学成分(mass%)			
		Ni	Cr	Fe	その他
EPMA分析結果		約 29	約 17	約 45	約 9
参考 (注)	ステンレスクラッド部	約 9	約 20	約 59	約 12
	600系Ni基合金	約 69	約 14	約 11	約 6

(注) 製造時の溶接金属分析結果を参考にした。

楕円状の手直し溶接跡とみられる箇所から採取した研削粉のEPMA(電子線マイクロアナライザー)による分析結果より、ステンレスクラッドよりもNi量が高く、Fe量が低いため、600系Ni基合金にて手直し溶接を行ったと推定される。

研削調査結果 (研削量(深さ)測定結果)

[測定位置]



[測定結果]

研削量(深さ)

単位: mm

測定点		A領域		B領域	C領域
状況調査	研削量(エッチング処理時)	(0.1)			
	研削量(スンプ観察時)	0	0	0	0.2
研削調査	第1回研削量	0.4	0.4	0.4	0.2
	第2回研削量	0.4	0.4	0.3	0
	第3回研削量	2.2	2.3	2.4	1.7
計		(3.1)	(3.2)	(3.2)	(2.2)

注:()内は推定値

ステンレスクラッド残存厚さ

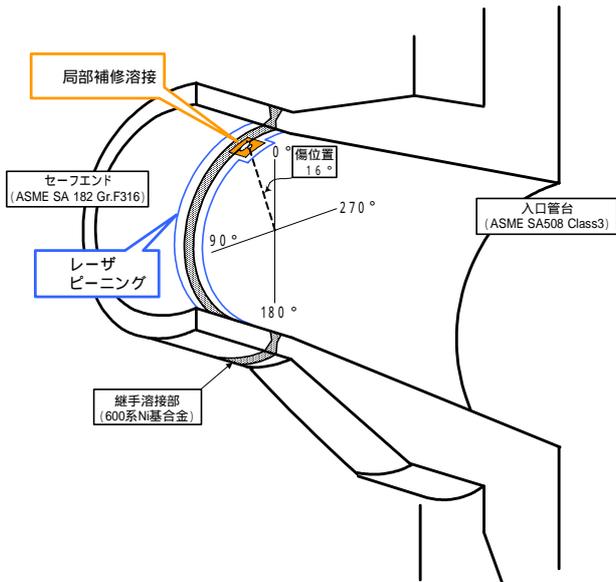
単位: mm

測定点				
元厚さ	(5.5)	(5.3)	(5.3)	(5.8)
研削調査前	5.4	5.2	5.2	5.5
研削調査後	2.4	2.1	2.1	3.6

注:()内は推定値

原子炉容器入口管台A内表面の微小な傷に係る補修方法について

原子炉容器入口管台A内表面の微小な傷に係る調査のために研削した部位については、溶接施工時の施工性と健全性が確認され、耐応力腐食割れ性に優れた690系Ni基合金によるクラッド溶接を行うとともに、溶接後、引張残留応力低減のため、当該部位にレーザピーニングを実施する。



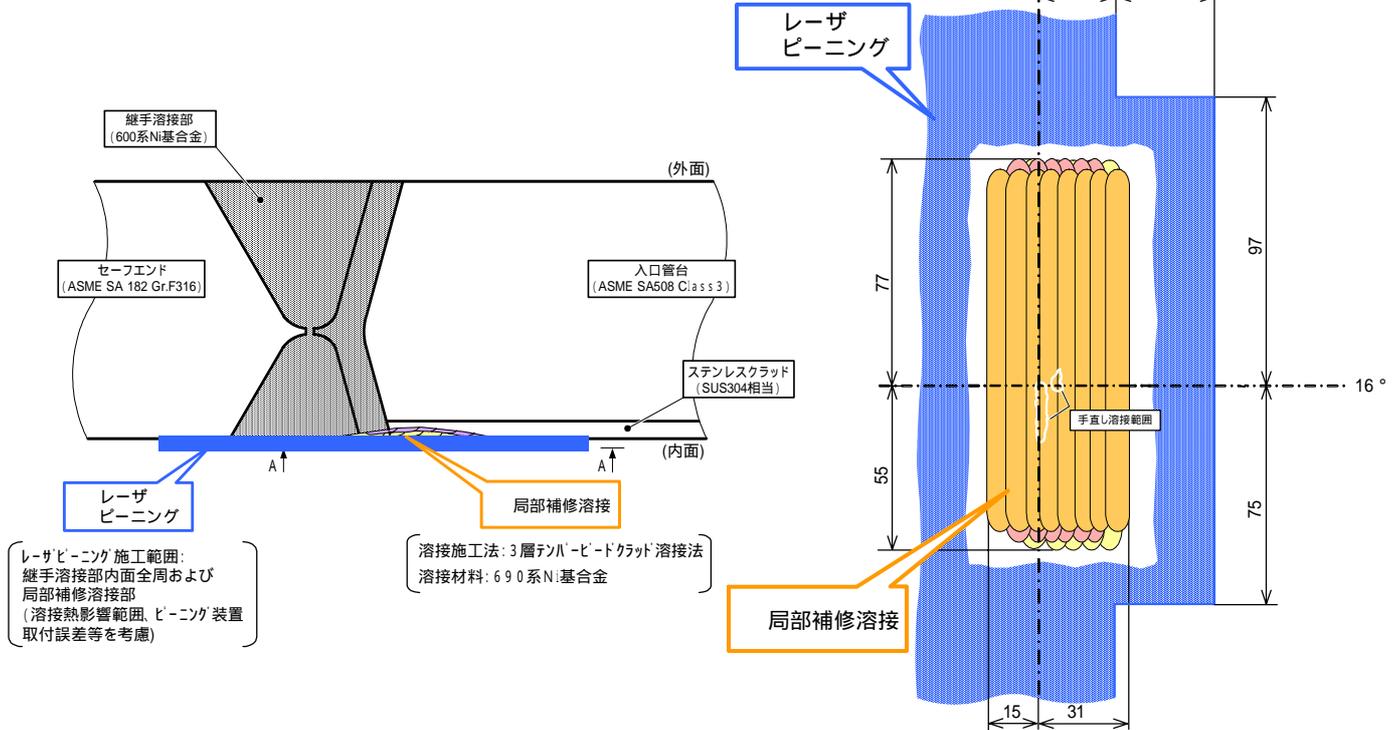
補修範囲概要図

局部補修溶接

国により溶接技術基準への適合性が確認されている3層テンパービードクラッド溶接法により研削部位を690系Ni基合金にてクラッド溶接。

レーザピーニング

局部補修溶接による引張残留応力を低減するため、レーザピーニングによる応力改善を施す。



補修範囲、工法詳細図

矢視A

600系Ni基合金使用部位の検査計画

(伊方1, 2号機)

部 位			検査方法	1号機 定検回		2号機 定検回			
				22	23	17	18	19	20
原子炉容器	管台とセーフエンドとの継手溶接部	出口管台A, B	BMV	1(A,B)			1(A,B)		
			UT	(A,B)			(A,B)		
		入口管台A, B	BMV		1(A,B)	(A), 1(B)			
			UT		(A,B)	(B)			(A)
		安全注入管台A, B	BMV	1(A,B)			1(A,B)		
			UT	(A,B)			(A,B)		
炉内計装筒管台			BMV						
加圧器	管台とセーフエンドとの継手溶接部		BMV						
			UT		2		2		

注: 1, 2号機の原子炉容器上蓋管台および蒸気発生器出入口管台については、690系Ni基合金のため検査不要

(伊方3号機)

部 位			検査方法	定検回				
				7	8	9	10	11
原子炉容器	上蓋管台		BMV					
	管台とセーフエンドとの継手溶接部	出口管台A, B, C	BMV		(A)	1(B), (C)		
			UT	(A,B,C)		(B)		
		入口管台A, B, C	BMV		(A), 1(C)	(B)		
			UT	(A,B,C)	(C)			(B)
	炉内計装筒管台			BMV				
蒸気発生器	管台とセーフエンドとの継手溶接部	出口管台A, B, C	BMV		1(C)	(A), 1(B)		
			UT		(C)	(B)		(A)
		入口管台A, B, C	BMV		1(C)	(A), 1(B)		
			UT		(C)	(B)	(A)	
加圧器	管台とセーフエンドとの継手溶接部		BMV					
			UT			2		

BMV: ベアメタル検査 UT: 超音波探傷検査 : 計画または実施中 実施済

1: 当該定期事業者検査においてUTを実施する場合はBMVは免除できる

2: 当該定検において継手溶接部を690系Ni基合金に変更するため以降の定検において検査不要(BMV, UTとも)

用語説明

- 1 . 管 台
- 2 . セーフエンド
- 3 . ステンレスクラッド
- 4 . バタリング
- 5 . 600系Ni基合金
- 6 . 690系Ni基合金
- 7 . 浸透探傷検査 (PT)
- 8 . 超音波探傷検査 (UT)
- 9 . 端部エコー法
- 10 . 縦波斜角法
- 11 . 磁粉探傷検査 (MT)
- 12 . 放射線透過検査 (RT)
- 13 . ベアメタル検査
- 14 . エッチング
- 15 . スンプ観察
- 16 . EPMA (電子線マイクロアナライザー)
- 17 . 高温割れ
- 18 . 応力腐食割れ
- 19 . PWSCC
(Primary Water Stress Corrosion Cracking : 1次冷却水中応力腐食割れ)
- 20 . 残留応力
- 21 . 溶接ビード
- 22 . デンドライト (樹枝状晶)
- 23 . フェライト
- 24 . クラッド溶接
- 25 . 被覆アーク溶接
- 26 . サブマージアーク溶接
- 27 . レーザピーニング

- 1 . 管 台
容器本体に配管等を接続するために設けた部材であり、容器本体に溶接構造で取り付けられている。
- 2 . セーフエンド
低合金鋼の圧力容器管台とステンレス鋼配管を接続するための短管。
- 3 . ステンレスクラッド
炭素鋼表面を覆う様にステンレス材を溶接したもの（内張り）。
- 4 . バタリング
異種材料間で突合せ溶接をする場合、母材成分その他の影響を防ぐために開先面に緩衝材を肉盛りすること。
- 5 . 6 0 0 系 N i 基合金
ニッケル、クロム、鉄を主成分とする耐熱・耐食性に優れた合金。
（ N i 基合金：粒界割れを呈する。）
- 6 . 6 9 0 系 N i 基合金
ニッケル、クロム、鉄を主成分とし、6 0 0 系 N i 基合金よりクロム量が多く耐応力腐食割れ性に優れた合金。
- 7 . 浸透探傷検査（ P T ）
部材表面に開口している傷を検出するため、蛍光物質または可視染料の入った高浸透性の液（浸透液）を浸透させた後、余分な浸透液を除去し現像剤により浸透指示模様として観察する方法である。
- 8 . 超音波探傷検査（ U T ）
超音波を試験体中に伝えたとき、この試験体が表示音響的性質を利用して、内部欠陥を検出する検査。
- 9 . 端部エコー法
傷端部のエコーの最大値が得られるときのビーム経路と探触子の屈折角から傷の高さを測定する方法
- 1 0 . 縦波斜角法
探傷面に対して斜めに進行する超音波（縦波）を用いて探傷する方法
- 1 1 . 磁粉探傷検査（ M T ）
鉄鋼材料等（強磁性体）を電磁石により磁化し、欠陥部分に生じた磁極による磁粉の付着を利用して、欠陥を検出する検査。

1 2 . 放射線透過検査 (R T)

放射線が物質を透過する度合は、物質の種類と厚さなどによって変化する。物質中に空洞などの欠陥があると、欠陥とその周辺の健全な部位を透過した放射線の強さに変化が起こる。この強度変化から欠陥の状態を調べる検査

1 3 . ベアメタル検査

保温材を剥がして地金にほう酸の付着がないことを目視により確認する検査。

1 4 . エッチング

金属表面の組織を観察しやすくするため、専用の薬品を金属表面に塗布して、表面処理 (腐食) を行うこと。

1 5 . スンプ観察

スンプとは、Suzuki Universal Micro Printing の略である。被検体表面について研磨、エッチングを施し、金属組織を現出させ、純水にてエッチング液を取り除いた後、その箇所にフィルム状のアセチルセルロースを酢酸メチルで一部溶かして貼り付け、乾燥後剥離すると、金属組織がそのフィルムに転写される。それを光学顕微鏡を用いて、詳細観察する手法である。

1 6 . E P M A (電子線マイクロアナライザー)

非常に細かく絞った電子線を試料に照射し、分析エリアから発生する各元素に特有な X 線 (特性 X 線) を検出することで、試料の微量分析 (元素同定、定量分析および化合物特定等) を行う装置。

1 7 . 高温割れ

溶接中または溶接直後の高温時において、溶接部の自己収縮および外部変形などによる引張応力によって生じる割れ。

1 8 . 応力腐食割れ

腐食環境下で金属に引張応力が働いている場合、腐食環境下でない場合に比べて低い応力で割れが発生する事象を言う。

応力腐食割れは、材料、環境、応力の 3 つの要因がそろった場合に発生する。

1 9 . P W S C C

(Primary Water Stress Corrosion Cracking : 1 次冷却水中応力腐食割れ)

P W R プラントの 1 次冷却材環境下でニッケル基合金などに発生する応力腐食割れを言う。

2 0 . 残留応力

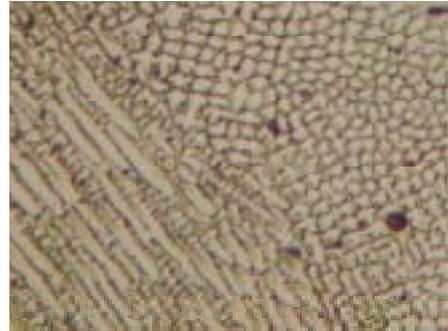
引張・圧縮・曲げ・熱処理などの外力に対して物体内部に生じ、外力を除いたあとも保留される応力。

2 1 . 溶接ビード

溶着部分にできる帯状の盛り上がりのこと。

2 2 . デンドライト (樹枝状晶)

金属が凝固する際に樹枝状に成長した結晶組織。(写真参照)



2 3 . フェライト

オーステナイト系ステンレス鋼が凝固する際、常温状態で残存したフェライト相をいう。

通常、溶接金属の高温割れ (凝固割れ) を防止するため、5 ~ 10 % のフェライトが存在するよう成分設計される。

2 4 . クラッド溶接

母材表面に防食の目的でステンレス鋼、Ni , Ni - Cr - Fe 合金等の耐食、耐熱合金を密着させる溶接を言う。

2 5 . 被覆アーク溶接

直径 1.6 ~ 8.0mm 程度の金属棒のまわりに有機物、無機物または両者の混合物からなる被覆材を塗った、いわゆる被覆アーク溶接棒 (手溶接棒) をホルダでささえ、棒と母材との間に交流又は直流電流のアークを発生させて溶接する方法。

2 6 . サブマージアーク溶接

粒状のフラックス (母材および溶加材の酸化物等の有害物を除去し、母材表面を保護し、又は溶接金属の精錬を行う目的で用いる材料。) をあらかじめ母材の上に散布しておき、その中に裸のワイヤを送給し、アーク熱によって母材およびワイヤを熔融接合する溶接方法。

2 7 . レーザピーニング

部材表面にレーザー光を照射し、応力腐食割れの「応力因子」である引張残留応力を低減させる技術。