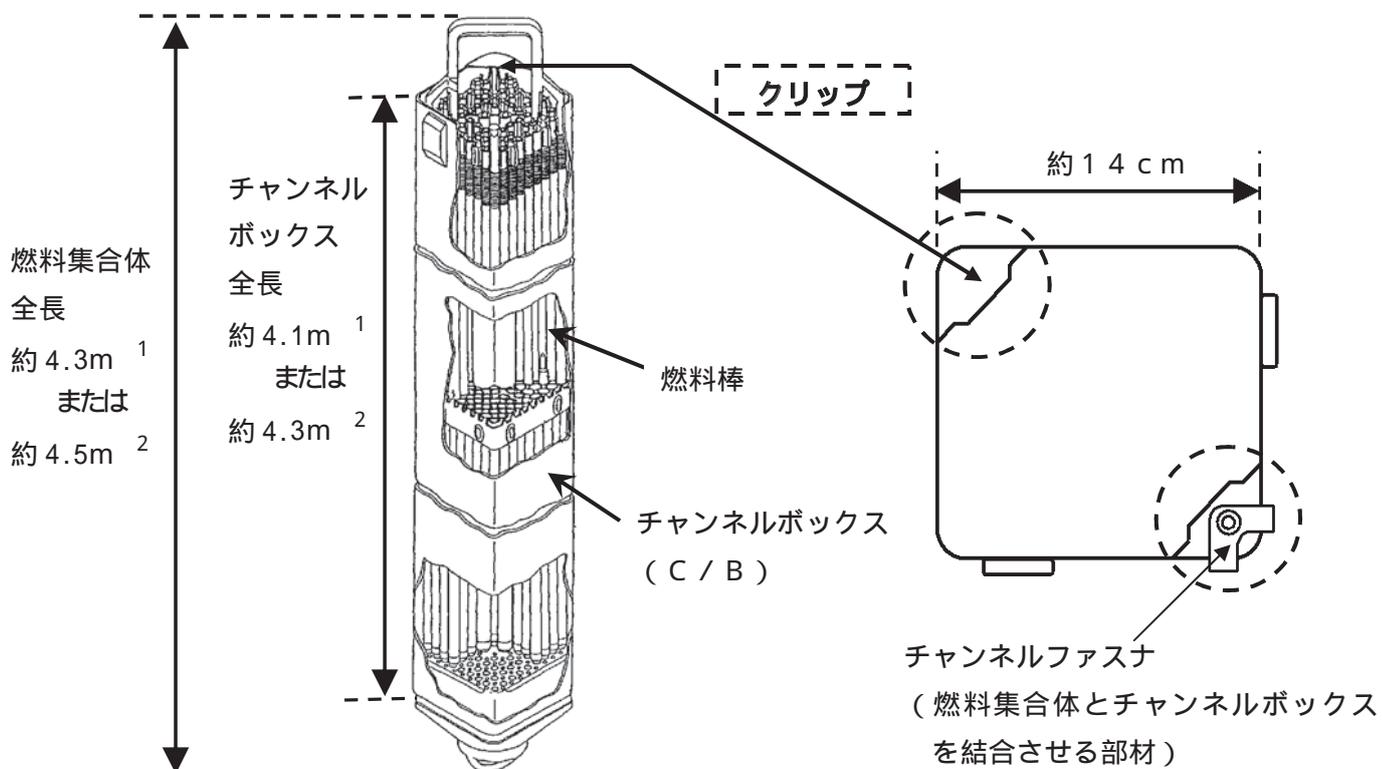


添付資料目次

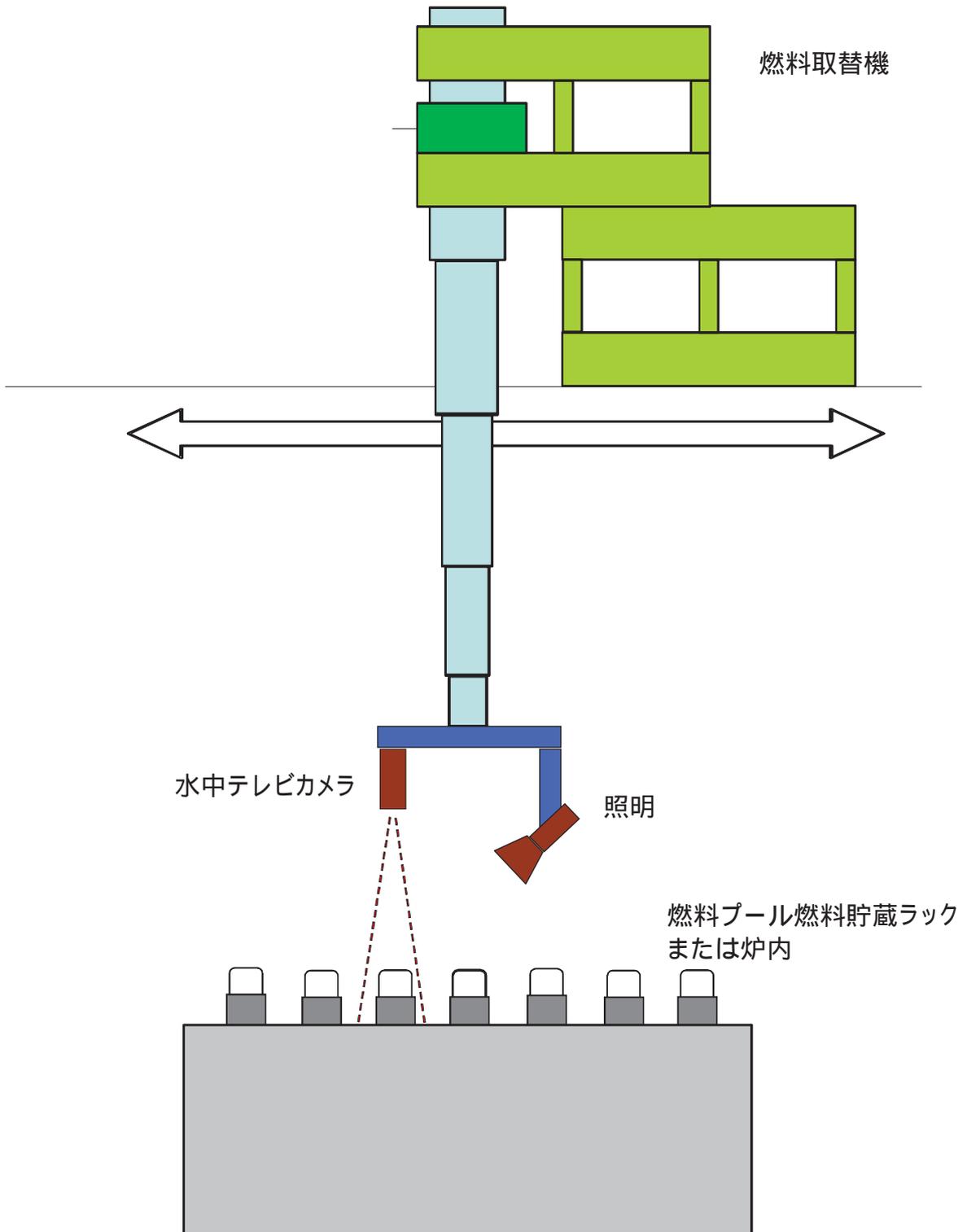
添付資料－1	C／B上部（クリップ）の概要図
添付資料－2	C／B上部（クリップ）外観点検概要図
添付資料－3－1	C／B上部点検結果（島根1号機）
添付資料－3－2	C／B上部点検結果（島根2号機）
添付資料－4	C／Bおよび燃料集合体外観点検結果（島根1号機）
添付資料－5	C／Bおよび燃料集合体外観点検結果（島根2号機）
添付資料－6	C／B上部（クリップ）一部欠損に対する燃料体健全性評価
添付資料－7	C／B上部（クリップ）一部欠損に係る要因分析
添付資料－8	製造欠陥に関する調査結果について



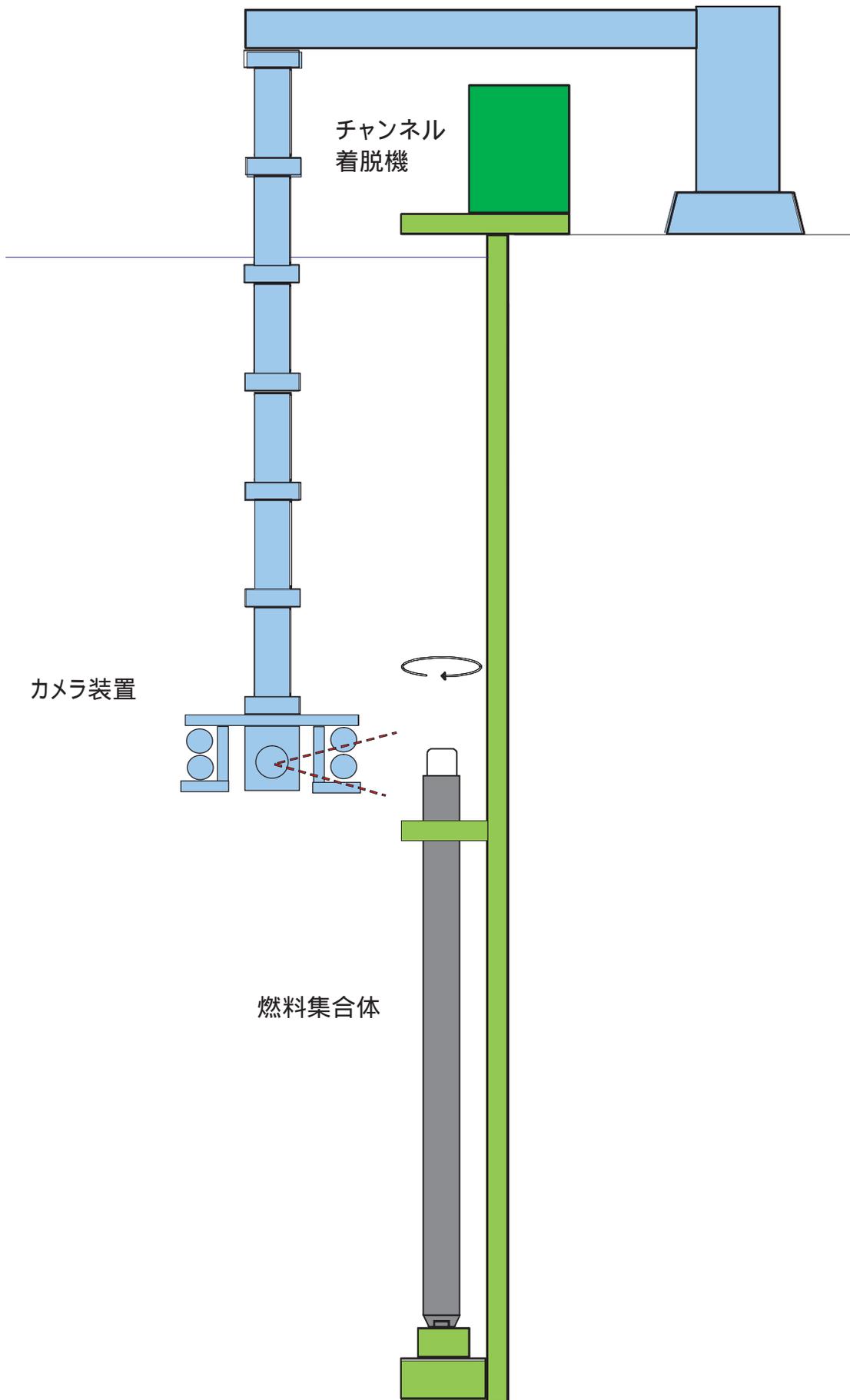
- 1 島根 1 号機の場合
- 2 島根 2 , 3 号機の場合

燃料集合体 (9 × 9 燃料) [例]

C/B 上部 (クリップ) の概要図



C/B上部 (クリップ) 外観点検概要図



C/B上部（クリップ）外観点検概要図（詳細確認）

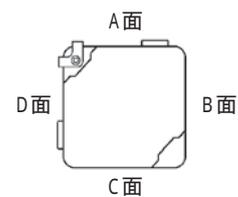
C/B上部点検結果(高根1号機)

欠損を確認したチャンネルボックス(燃料プールの)

No.	CB番号	チャンネルボックスデータ					製造データ			使用期間中 増分燃焼度 (MWD/t)	装着燃料データ		備考
		装荷 サイクル	装荷 年月	取出 サイクル	炉内滞在 サイクル	取出 年月	製造時期	製造者	欠損部長さ (mm)		燃料番号	製造者	
1	10661	27	2006.12	-	3	-	2005.8	神戸製鋼	約11	S1D 1	GNF-J	9 x 9	
2	10671	27	2006.12	-	3	-	2005.8	神戸製鋼	約12	S1D 11	GNF-J	9 x 9	
3	10680	27	2006.12	-	3	-	2005.8	神戸製鋼	約18	S1D 20	GNF-J	9 x 9	
4	10687	27	2006.12	-	3	-	2005.8	神戸製鋼	約10	S1D 27	GNF-J	9 x 9	
5	10707	28	2008.3	-	2	-	2005.8	神戸製鋼	約14	S1D 47	GNF-J	9 x 9	
6	10720	27	2006.12	-	3	-	2005.8	神戸製鋼	約13	S1D 60	NFI	9 x 9	
7	10732	27	2006.12	-	3	-	2005.8	神戸製鋼	約14	S1D 72	NFI	9 x 9	
8	11554	28	2008.3	-	2	-	2007.7	神戸製鋼	約17	S1E 54	NFI	9 x 9	
9	11561	28	2008.3	-	2	-	2007.7	神戸製鋼	約12	S1E 61	NFI	9 x 9	
10	9507	24	2002.6	29	6	2010.11 ¹	2000.1	神戸製鋼	約13	SNZ 57	JNF	9 x 9	

1:第29回定期検査のための燃料取出月

用語	9 x 9 燃料
JNF, GNF - J	現(株)グローバル・ニュークリア・フュエル・ジャパン
NFI	原子燃料工業(株)
神戸製鋼	(株)神戸製鋼所
日立, 日立GE	現日立GEニュークリア・エナジー(株)



欠損写真 (島根 1号機)

No. 1 10661 (神戸製鋼)
欠損部長さ 約11mm (B面)



No. 2 10671 (神戸製鋼)
欠損部長さ 約12mm (B面)



No. 3 10680 (神戸製鋼)
欠損部長さ 約18mm (B面)



No. 4 10687 (神戸製鋼)
欠損部長さ 約10mm (B面)

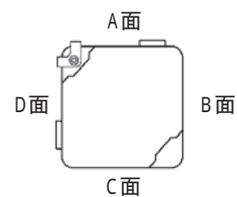


No. 5 10707 (神戸製鋼)
欠損部長さ 約14mm (B面)



No. 6 10720 (神戸製鋼)
欠損部長さ 約13mm (B面)





No. 7 10732 (神戸製鋼)
欠損部長さ 約14mm (B面)



No. 8 11554 (神戸製鋼)
欠損部長さ 約17mm (B面)



No. 9 11561 (神戸製鋼)
欠損部長さ 約12mm (B面)



No. 10 9507 (神戸製鋼)
欠損部長さ 約13mm (B面)



C / B 上部点検結果 (島根 2 号機)

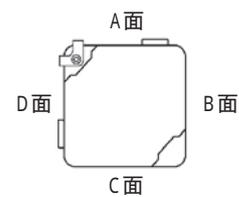
欠損を確認したチャンネルボックス(原子炉内)

No.	CB番号	チャンネルボックスデータ				欠損部長さ (mm)	使用期間中 増分燃焼度 (MWd/t)	装着燃料データ			備考	
		装荷 サイクル	装荷 年月	取出 サイクル	炉内滞在 サイクル			取出 年月	製造時期	製造データ		製造者
1	3308Y	14	2006.5	-	4	-	約20	42,970	S2NR 102	GNF-J	9 x 9	

欠損を確認したチャンネルボックス(燃料プール)

No.	CB番号	チャンネルボックスデータ				欠損部長さ (mm)	使用期間中 増分燃焼度 (MWd/t)	装着燃料データ			備考	
		装荷 サイクル	装荷 年月	取出 サイクル	炉内滞在 サイクル			取出 年月	製造時期	製造データ		製造者
1	H0664	2	1990.3	4	3	1994.2	約11	25,835	S2A 63	JNF	8 x 8BJ	
2	H0652	2	1990.3	4	3	1994.2	約20	26,170	S2A 183	JNF	8 x 8BJ	

用語	8 x 8 B J	新型 8 x 8 ジルコニウムライナ 燃料
	9 x 9	9 x 9 燃料
	JNF, GNF - J	現(株)グローバル・ニュークリア・フュエル・ジャパン
	神戸製鋼	(株)神戸製鋼所
	日立	現日立GEニュークリア・エナジー(株)



欠損写真 (島根2号機 原子炉内)

No. 1 3308Y (神戸製鋼)
欠損部長さ 約20mm (B面)

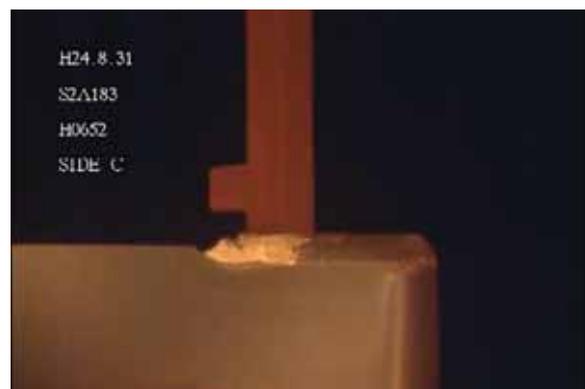


欠損写真 (島根2号機 燃料プール)

No. 1 H0664 (日立)
欠損部長さ 約11mm (C面)



No. 2 H0652 (日立)
欠損部長さ 約20mm (C面)

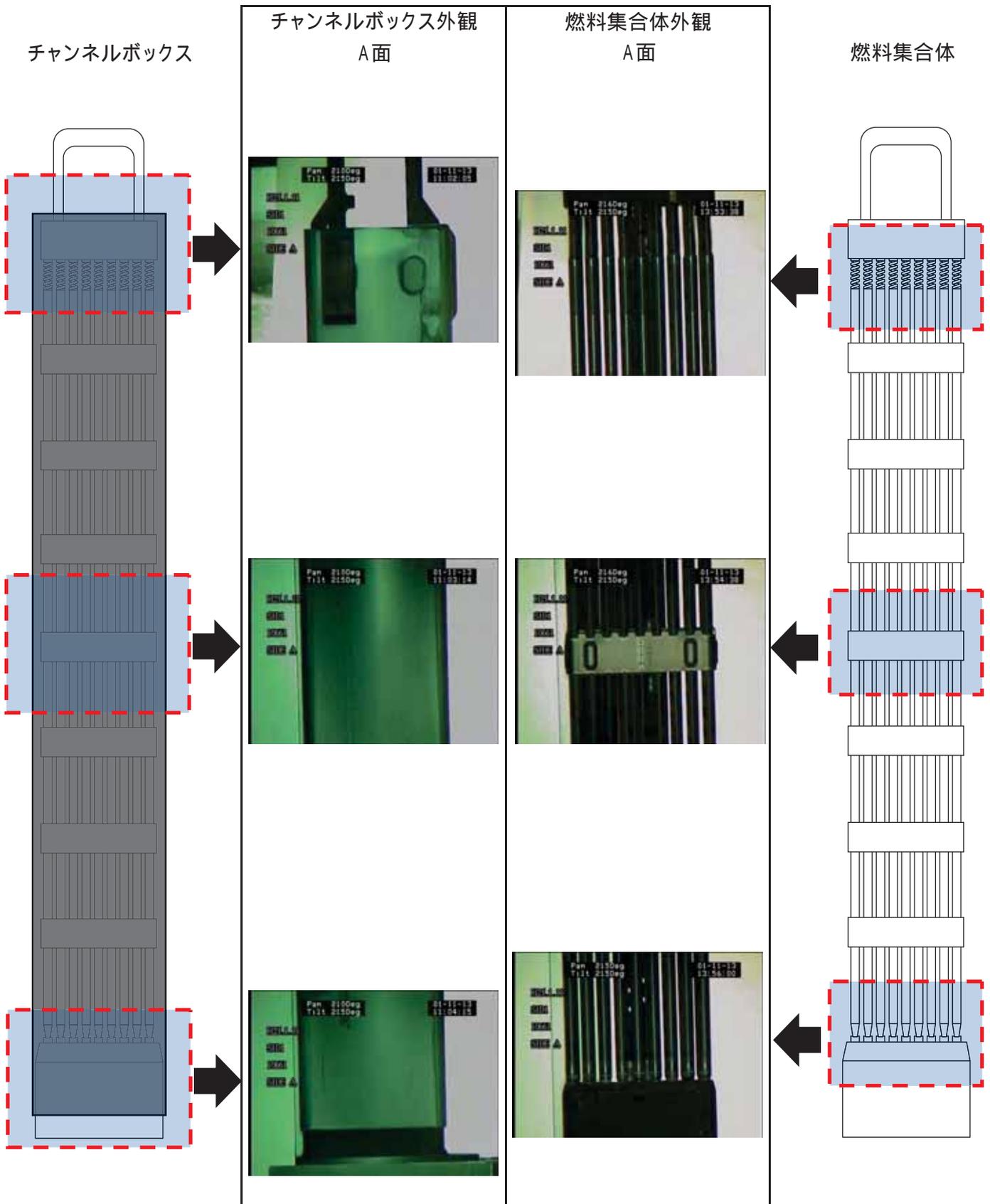


C / Bおよび燃料集合体外観点検結果(島根1号機)

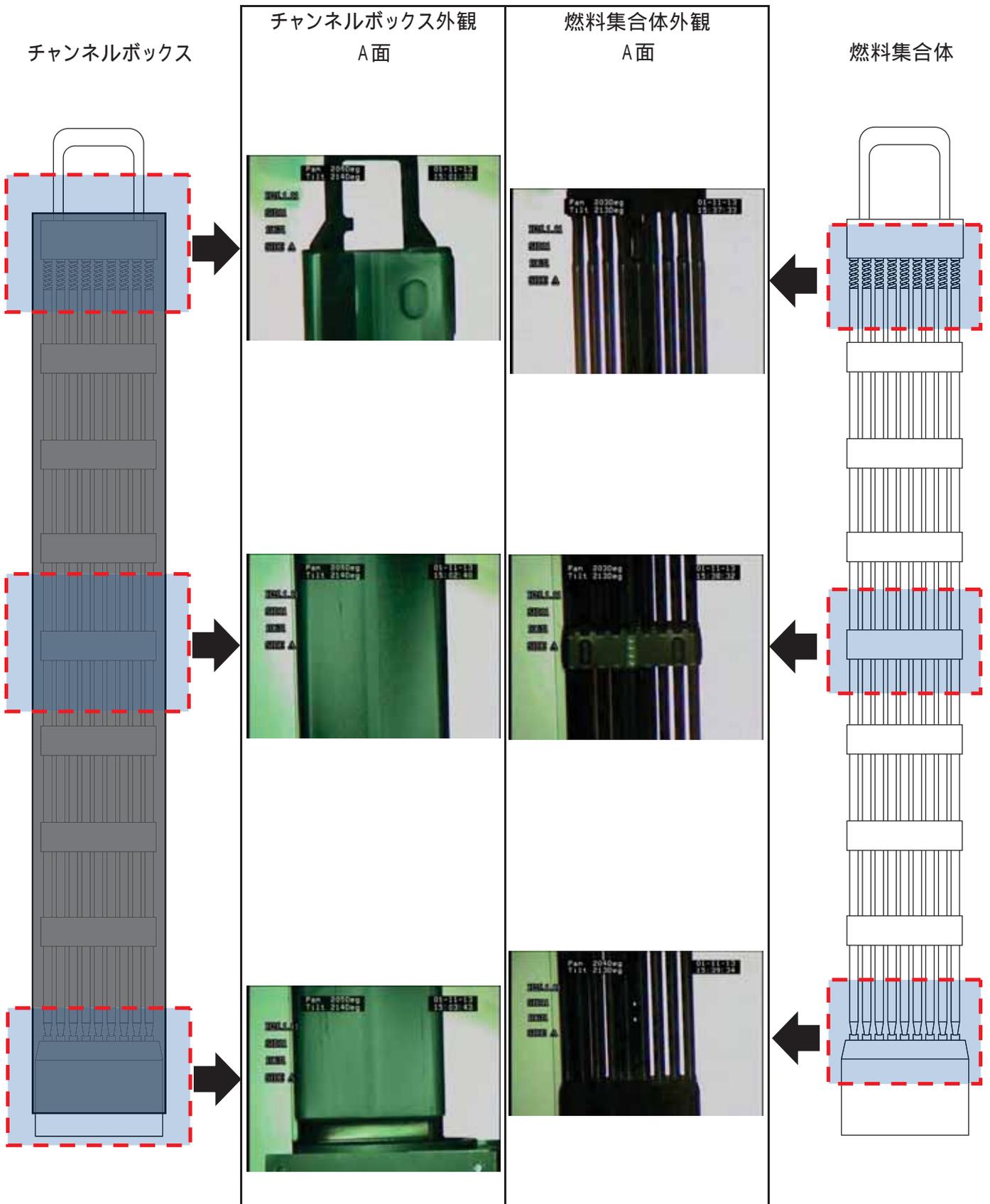
No.	チャンネルボックス			燃料集合体				備 考
	番 号	点検結果	製造メーカー	番 号	点検結果	製造メーカー	タイプ	
1	10661	異常なし	神戸製鋼	S1D 1	異常なし	GNF-J	9 × 9	添付資料 - 4 - 1
2	10671	異常なし	神戸製鋼	S1D 11	異常なし	GNF-J	9 × 9	添付資料 - 4 - 2
3	10680	異常なし	神戸製鋼	S1D 20	異常なし	GNF-J	9 × 9	添付資料 - 4 - 3
4	10687	異常なし	神戸製鋼	S1D 27	異常なし	GNF-J	9 × 9	添付資料 - 4 - 4
5	10707	異常なし	神戸製鋼	S1D 47	異常なし	GNF-J	9 × 9	添付資料 - 4 - 5
6	10720	異常なし	神戸製鋼	S1D 60	異常なし	NFI	9 × 9	添付資料 - 4 - 6
7	10732	異常なし	神戸製鋼	S1D 72	異常なし	NFI	9 × 9	添付資料 - 4 - 7
8	11554	異常なし	神戸製鋼	S1E 54	異常なし	NFI	9 × 9	添付資料 - 4 - 8
9	11561	異常なし	神戸製鋼	S1E 61	異常なし	NFI	9 × 9	添付資料 - 4 - 9
10	9507	異常なし	神戸製鋼	SNZ 57	異常なし	JNF	9 × 9	添付資料 - 4 - 10

用語	9 × 9	9 × 9燃料
	JNF,GNF-J	現(株)グローバル・ニュークリア・フュエル・ジャパン
	NFI	原子燃料工業(株)
	神戸製鋼	(株)神戸製鋼所

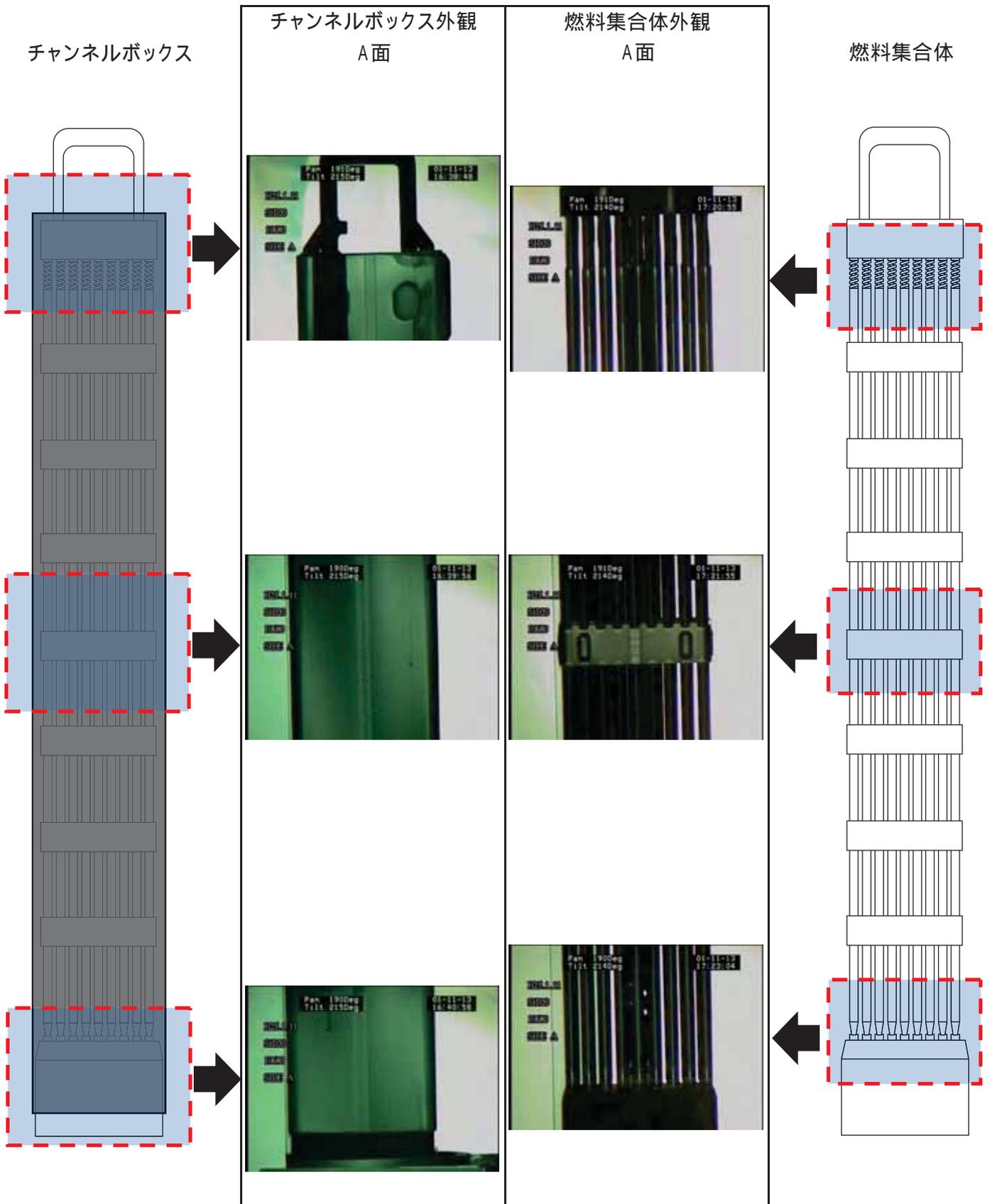
島根原子力発電所1号機 チャンネルボックスおよび燃料集合体(S1D1)



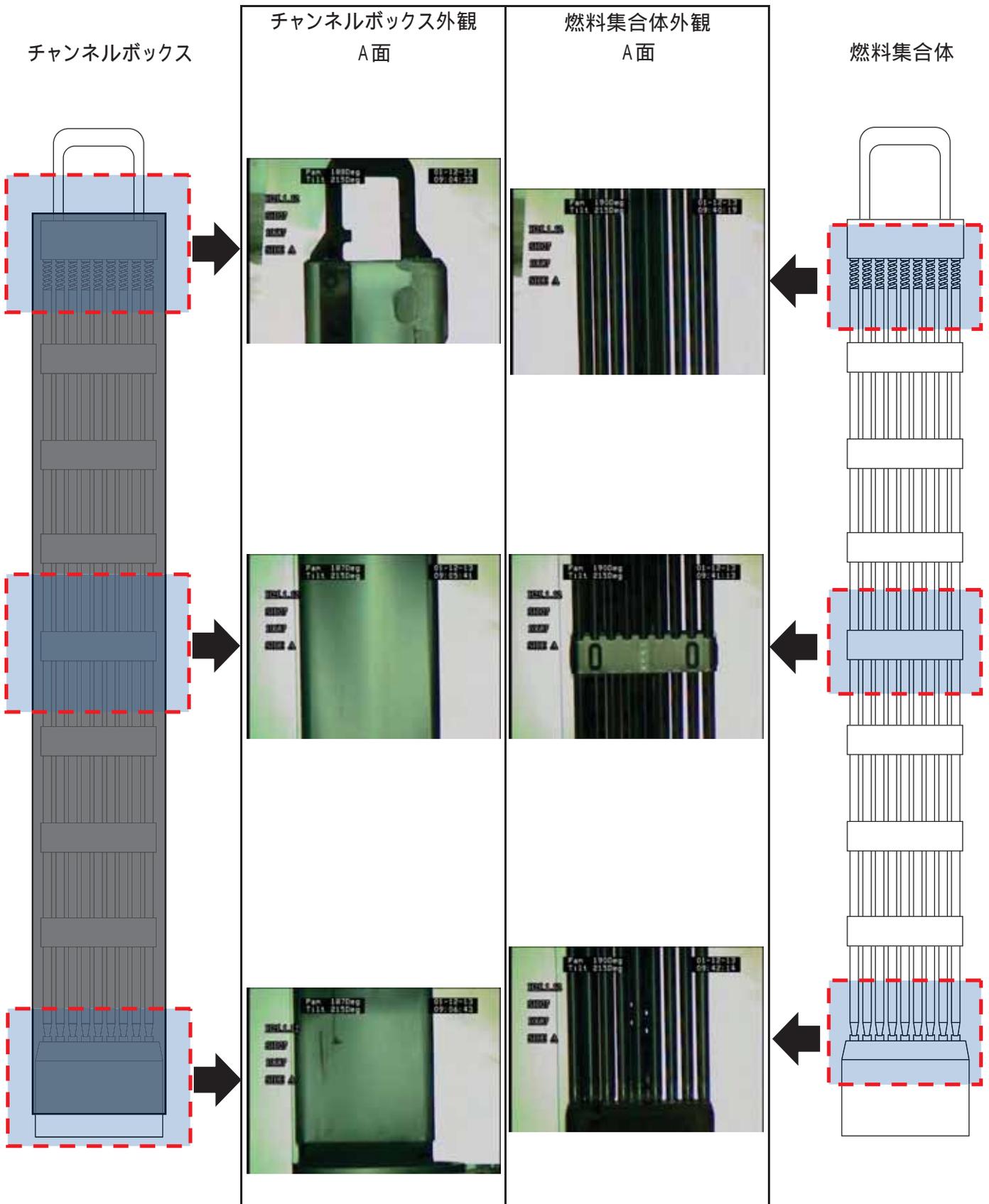
島根原子力発電所1号機 チャンネルボックスおよび燃料集合体(S1D11)



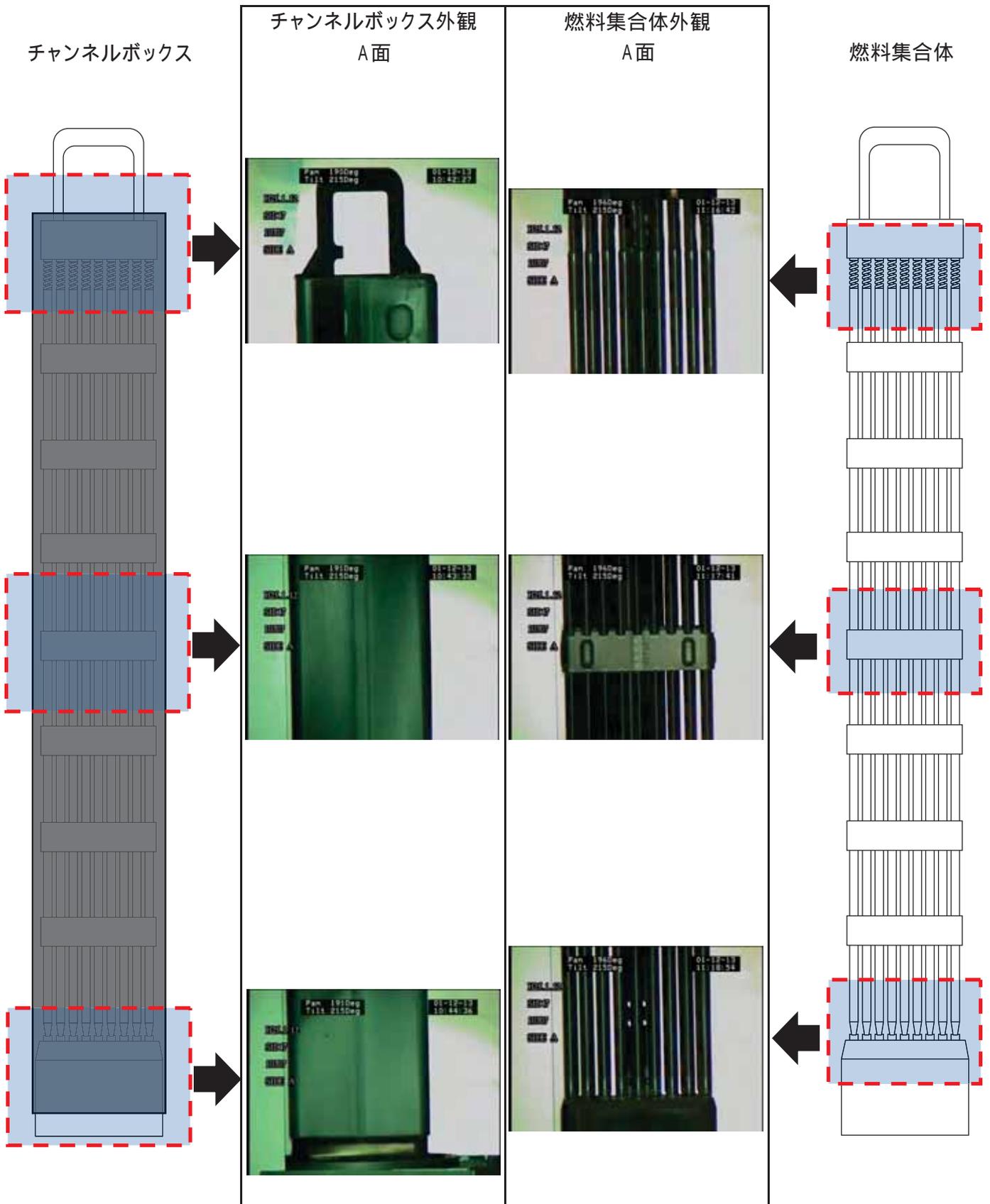
島根原子力発電所1号機 チャンネルボックスおよび燃料集合体(S1D20)



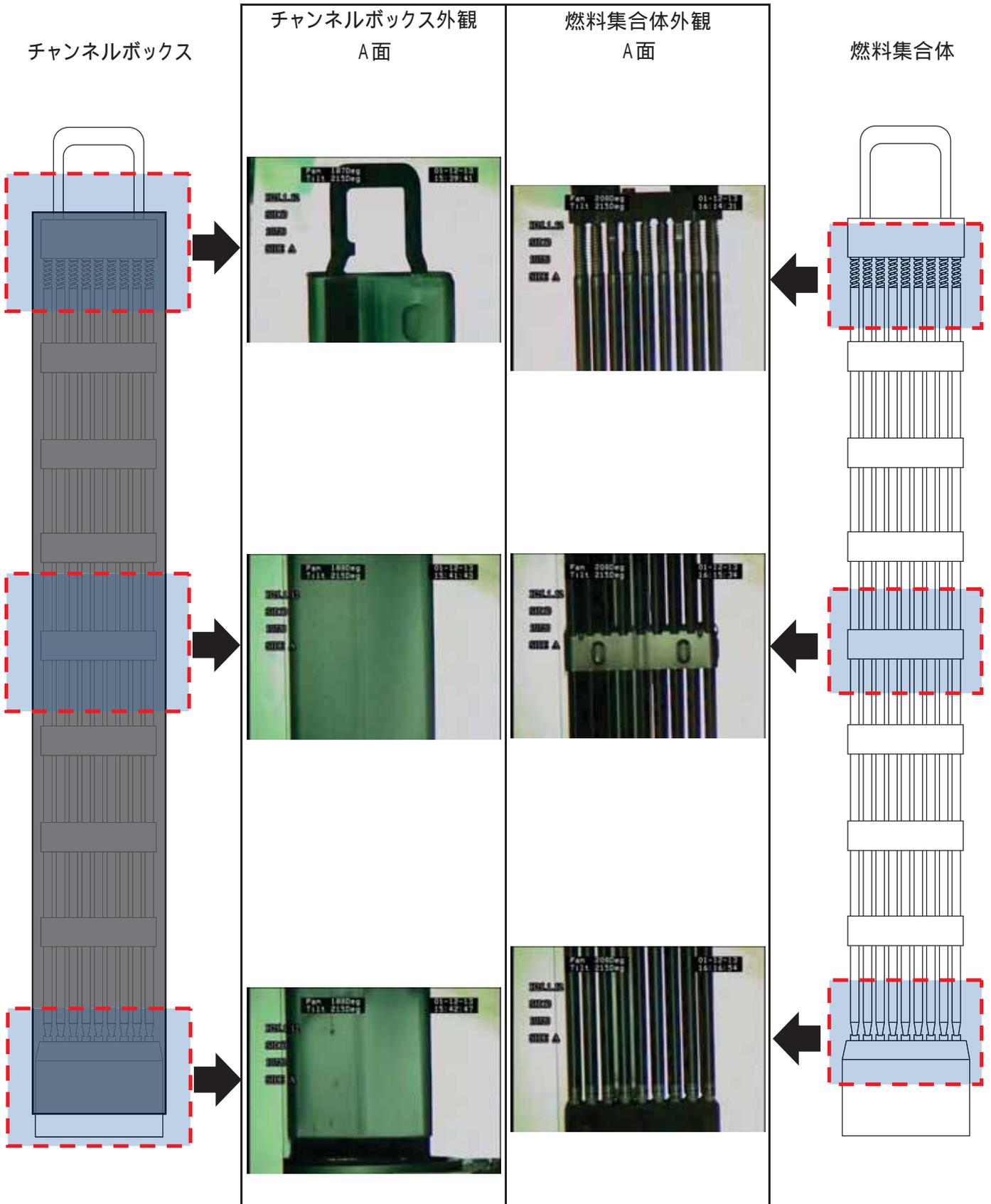
島根原子力発電所1号機 チャンネルボックスおよび燃料集合体(S1D27)



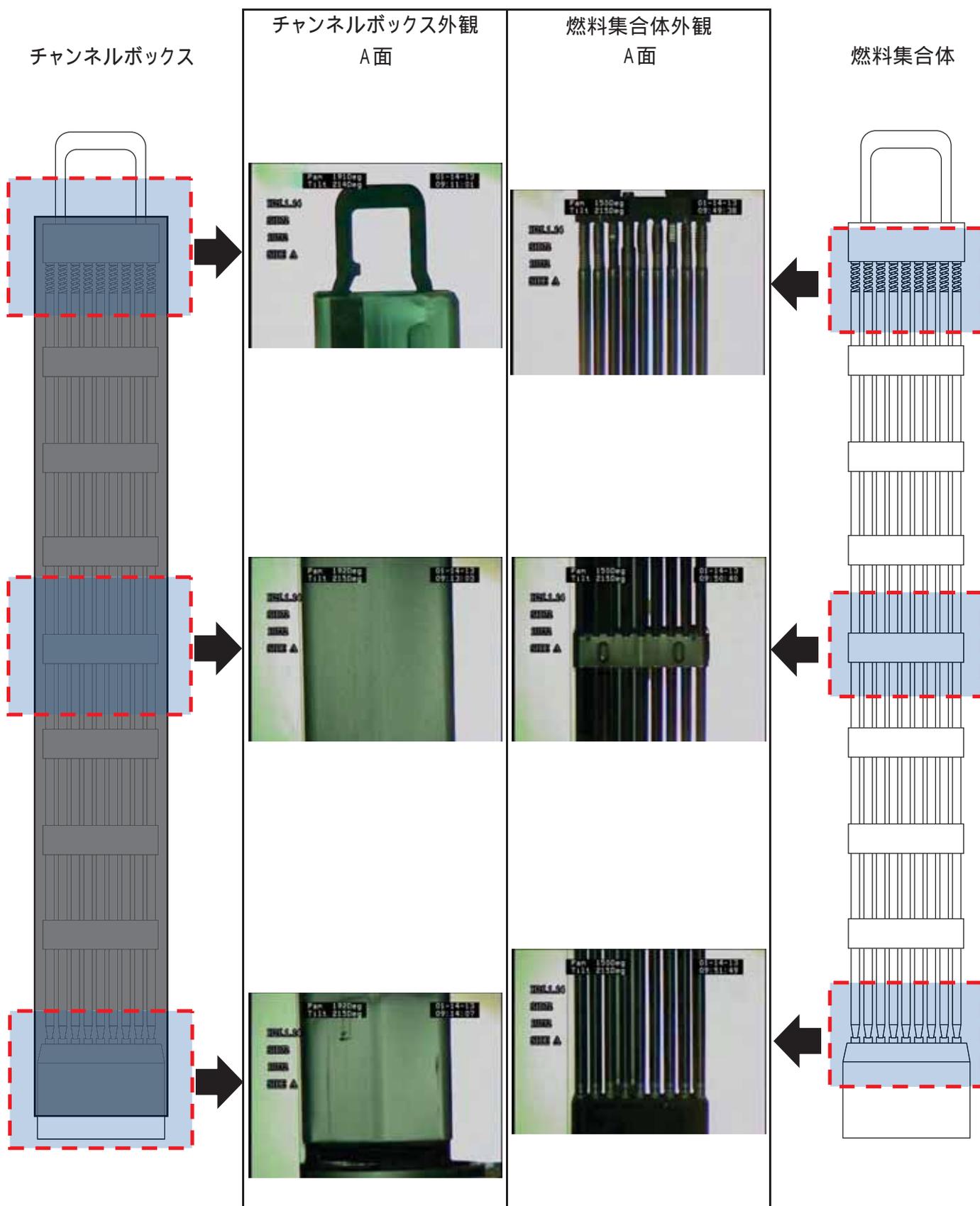
島根原子力発電所1号機 チャンネルボックスおよび燃料集合体(S1D47)



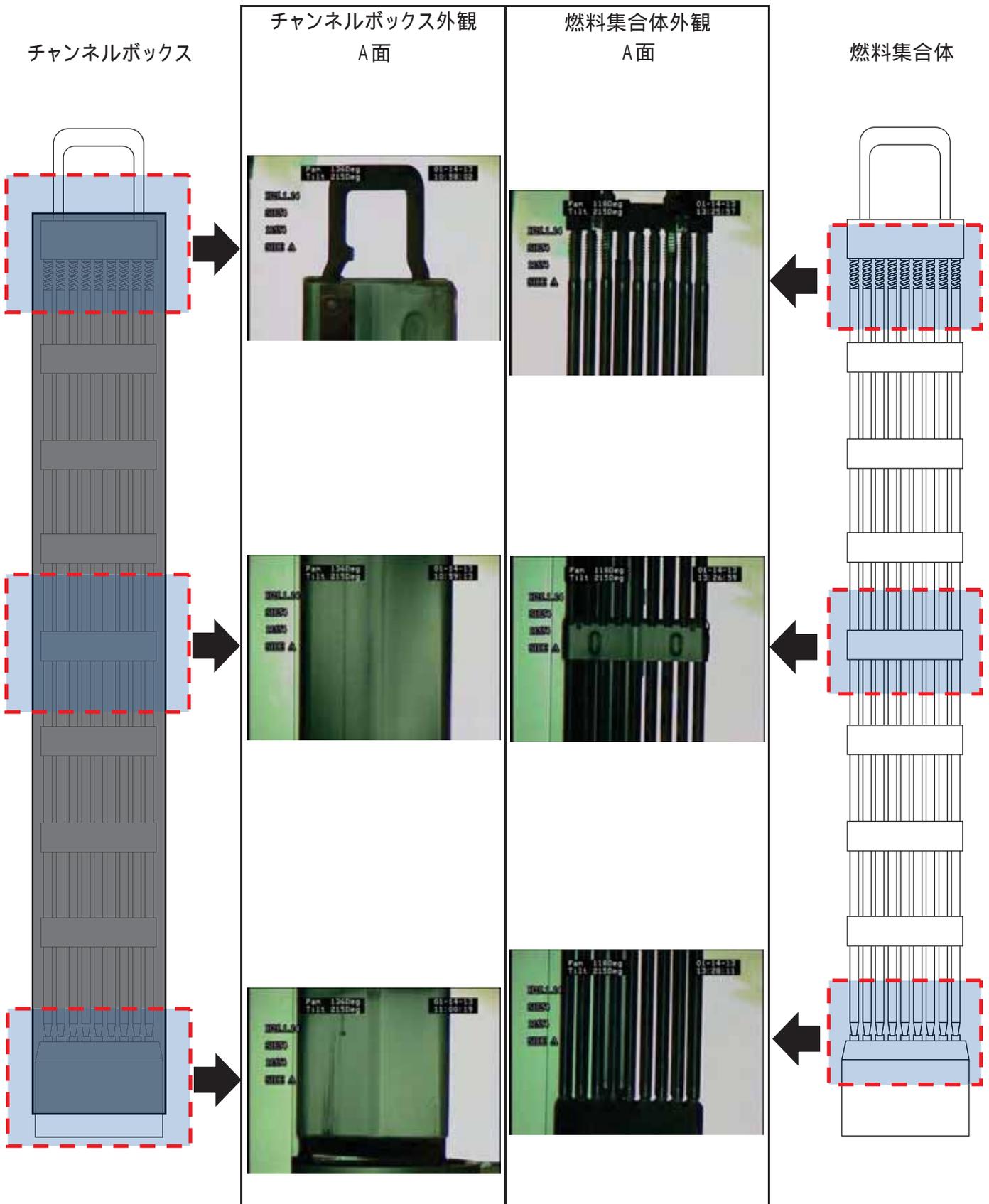
島根原子力発電所1号機 チャンネルボックスおよび燃料集合体(S1D60)



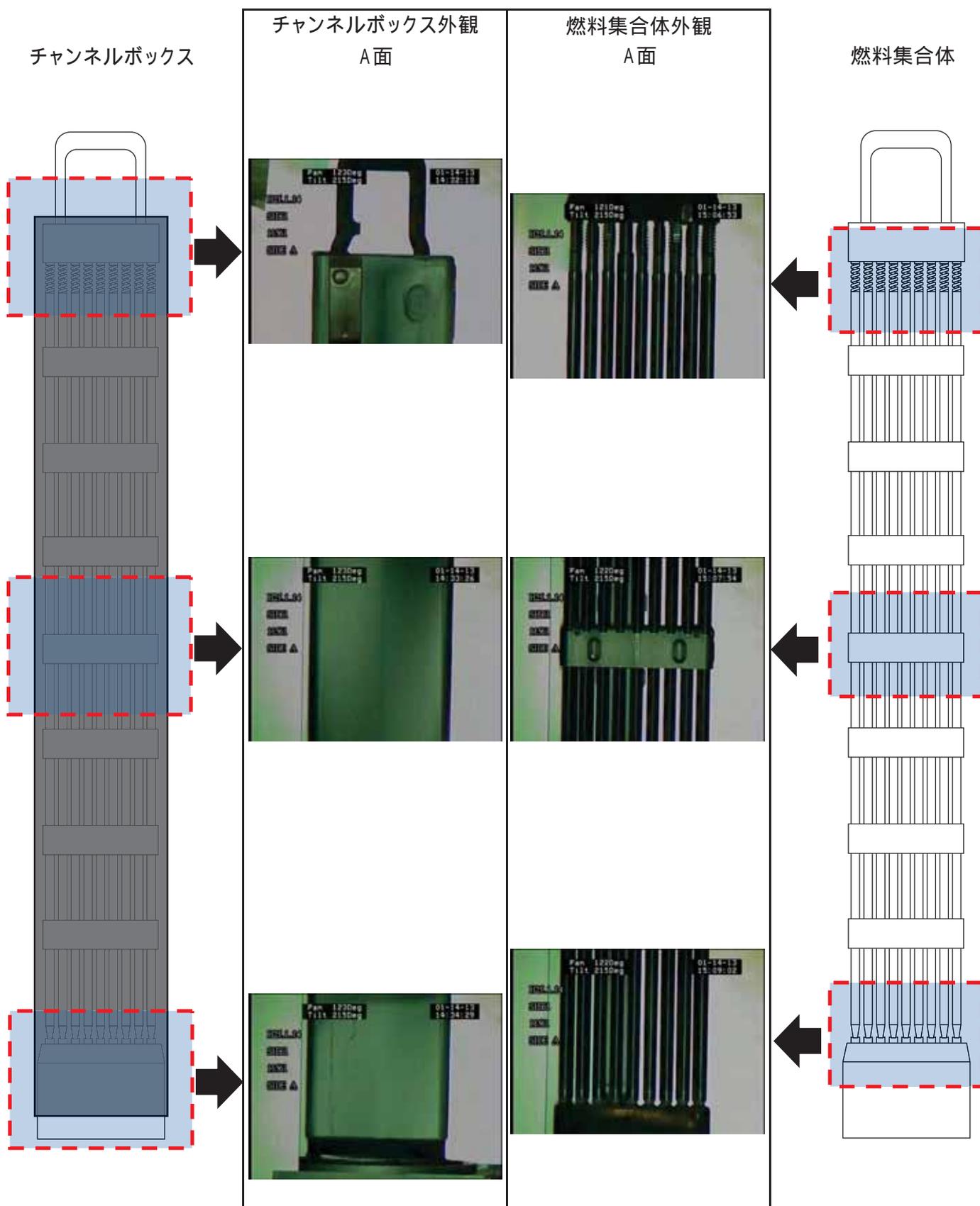
島根原子力発電所1号機 チャンネルボックスおよび燃料集合体(S1D72)



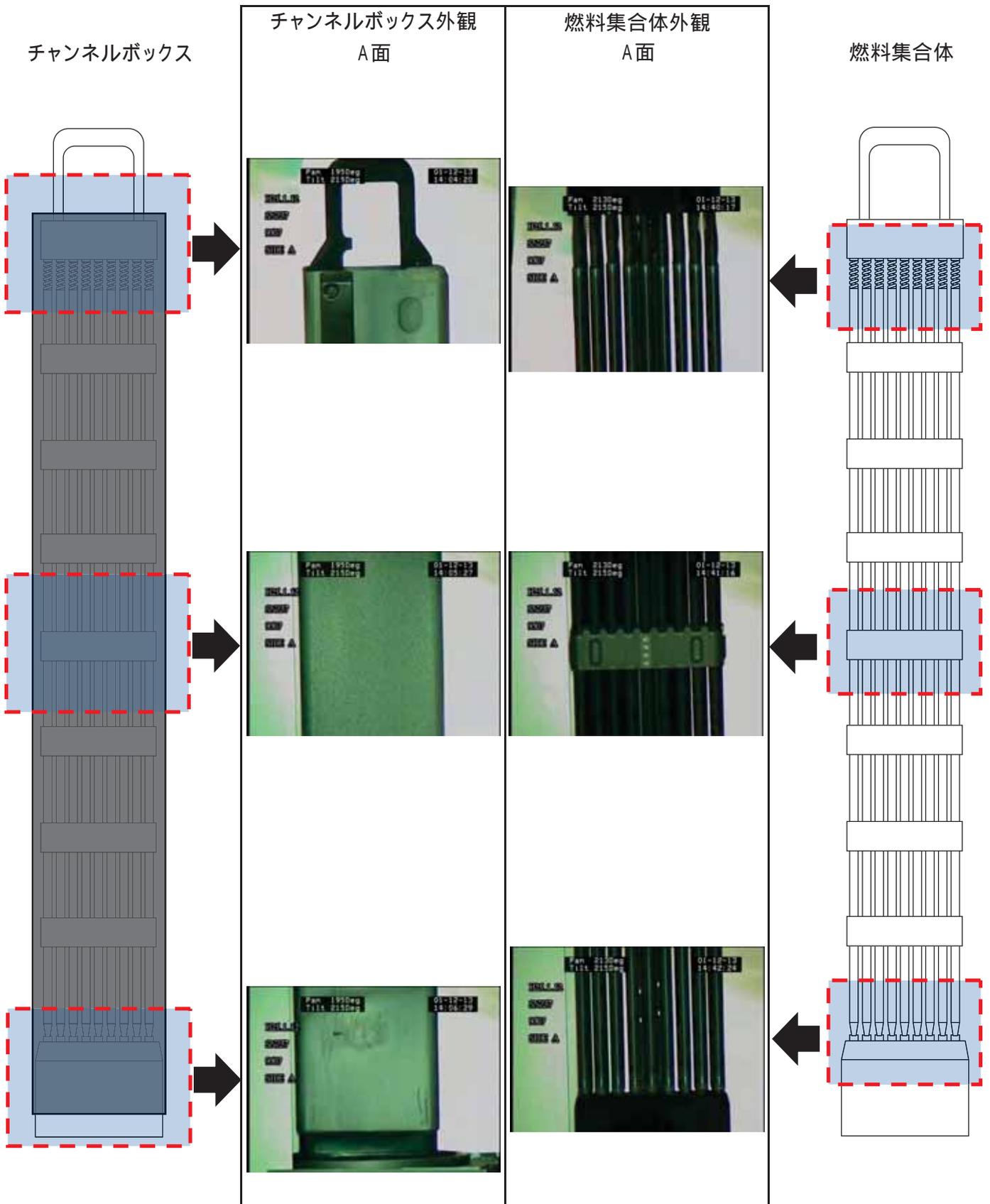
島根原子力発電所1号機 チャンネルボックスおよび燃料集合体(S1E54)



島根原子力発電所1号機 チャンネルボックスおよび燃料集合体(S1E61)



島根原子力発電所1号機 チャンネルボックスおよび燃料集合体(SNZ57)

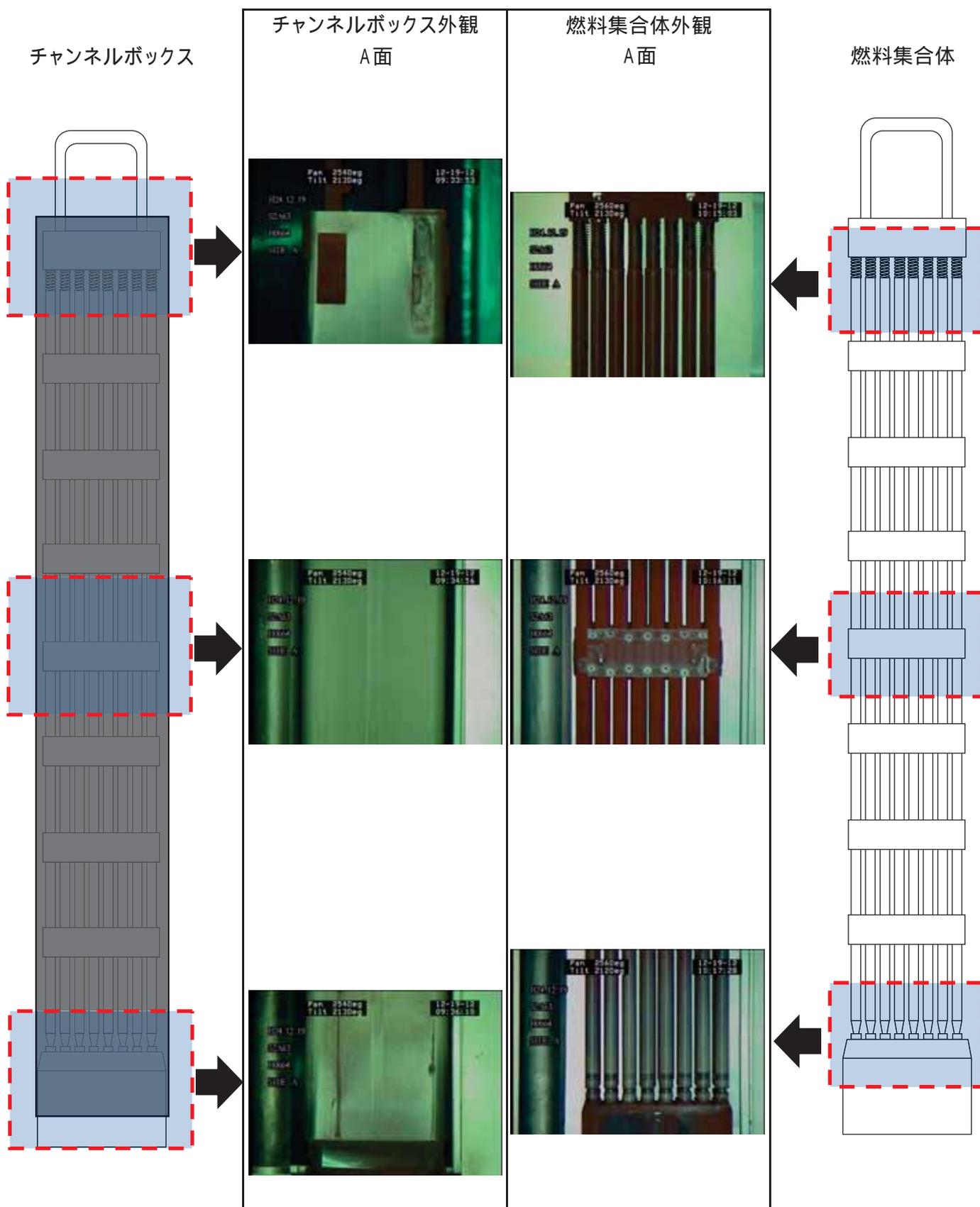


C / Bおよび燃料集合体外観点検結果(島根2号機)

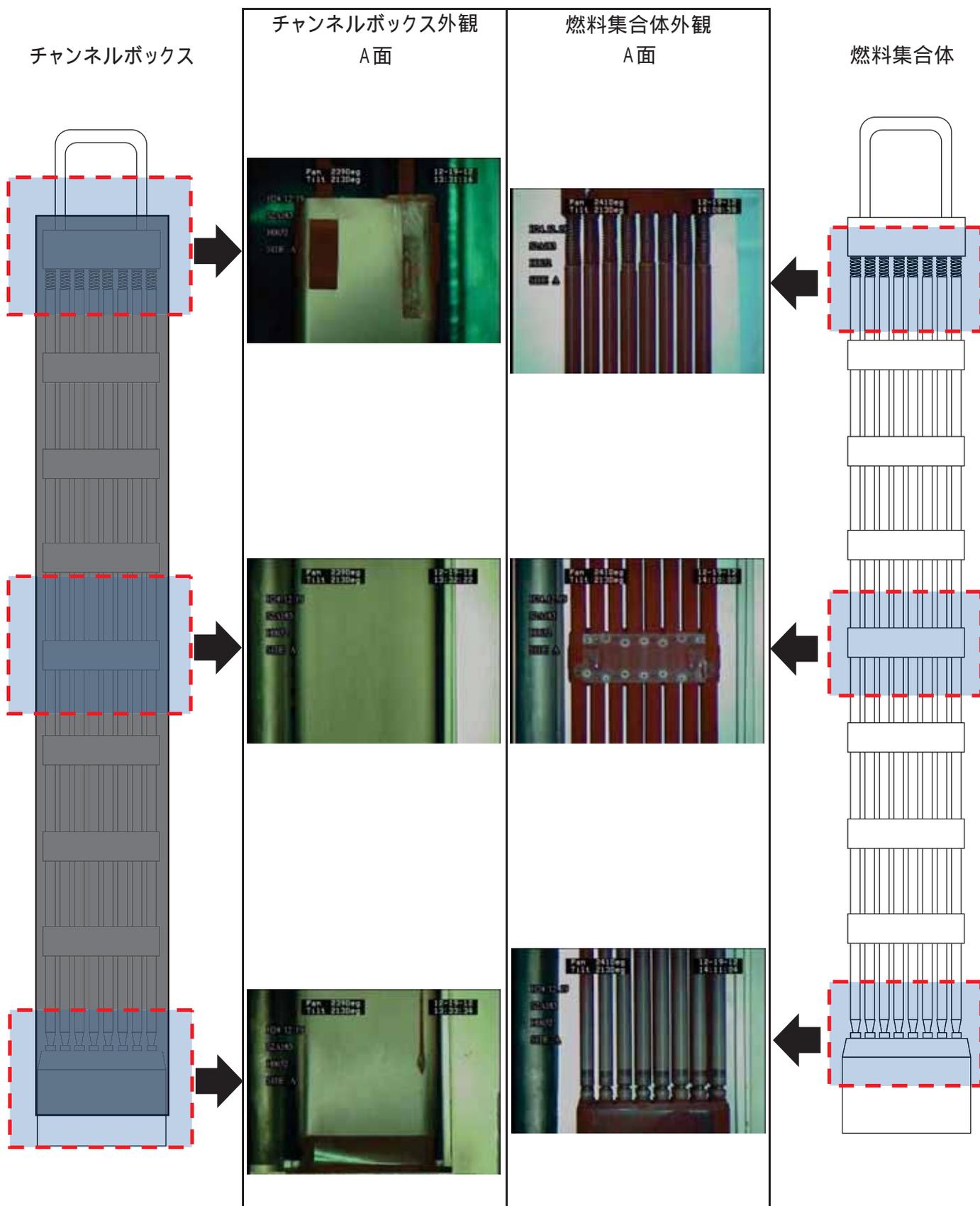
No.	チャンネルボックス			燃料集合体				備 考
	番 号	点検結果	製造メーカー	番 号	点検結果	製造メーカー	タイプ	
1	H0664	異常なし	日立	S2A 63	異常なし	JNF	8 × 8 B J	添付資料 - 5 - 1
2	H0652	異常なし	日立	S2A 183	異常なし	JNF	8 × 8 B J	添付資料 - 5 - 2
3	3308Y	異常なし	神戸製鋼	S2NR 102	異常なし	GNF-J	9 × 9	添付資料 - 5 - 3

用語	8 × 8 B J	新型8 × 8ジルコニウムライナ燃料
	9 × 9	9 × 9燃料
	JNF,GNF-J	現(株)グローバル・ニュークリア・フュエル・ジャパン
	日立	現 日立GEニュークリア・エナジー(株)
	神戸製鋼	(株)神戸製鋼所

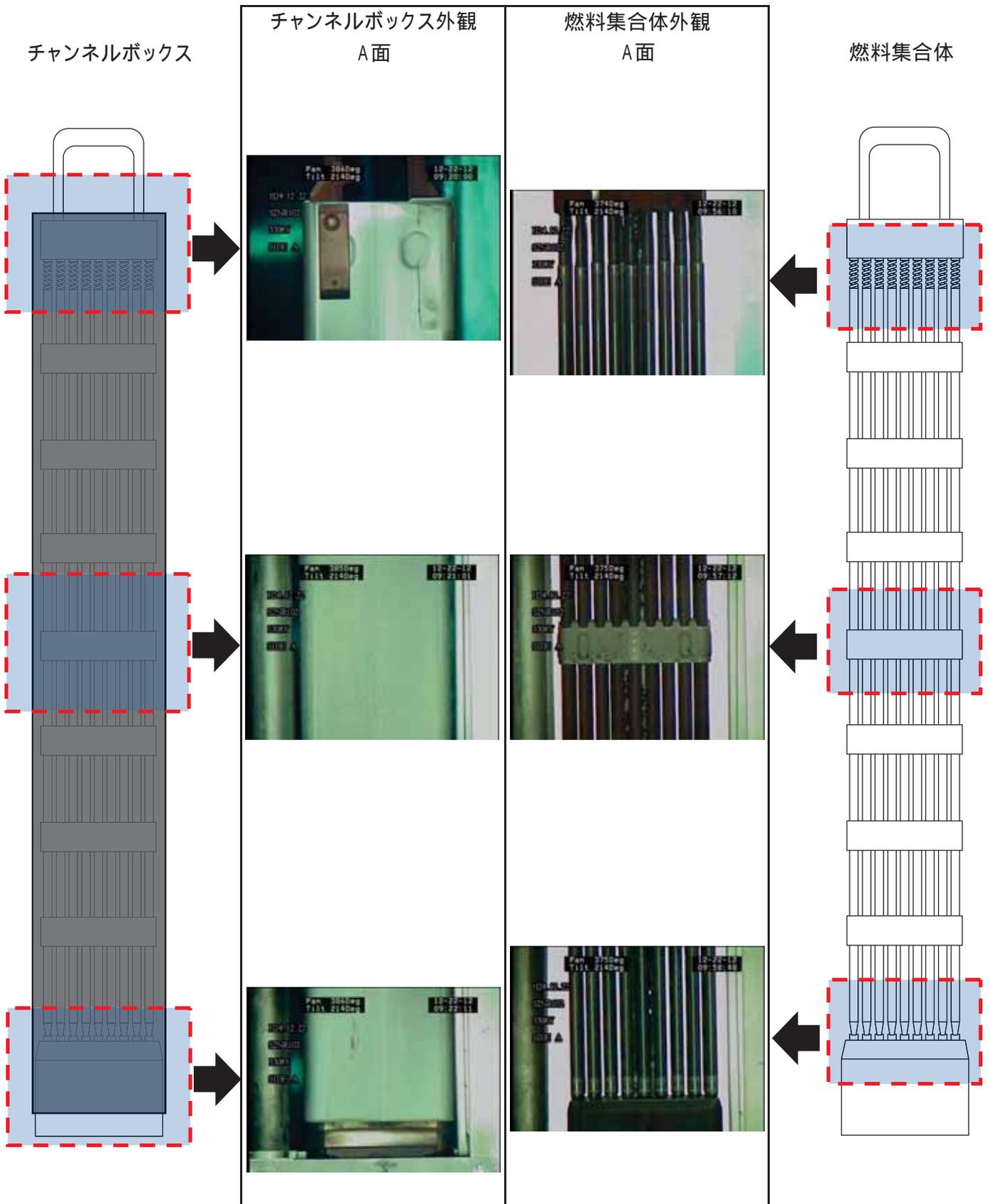
島根原子力発電所2号機 チャンネルボックスおよび燃料集合体(S2A63)



島根原子力発電所2号機 チャンネルボックスおよび燃料集合体(S2A183)



島根原子力発電所2号機 チャンネルボックスおよび燃料集合体(S2NR102)



C/B上部（クリップ）一部欠損に対する燃料体健全性評価

1. C/B上部（クリップ）の一部が欠損した場合のC/B機能への影響評価

C/Bは、燃料集合体を覆っている四角い筒状のもので、これにより炉心形状を維持させ、燃料集合体内の冷却流路を確保するとともに、制御棒のガイドおよび燃料を保護する。今回確認されたC/B上部の一部欠損は、クリップと呼ばれる燃料集合体からC/Bを脱着する際に使用する工具を取り付ける箇所であり、欠損部の大きさがわずかであること、図1のとおりC/B上部にあることから、先に述べたC/Bに要求される機能に影響を与えるものではない。

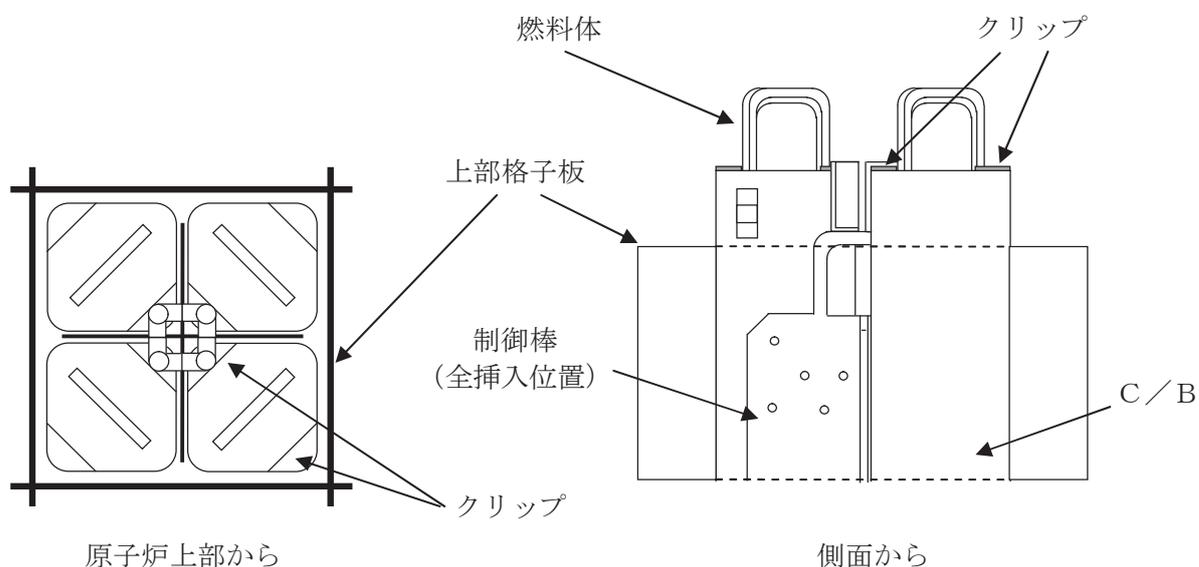
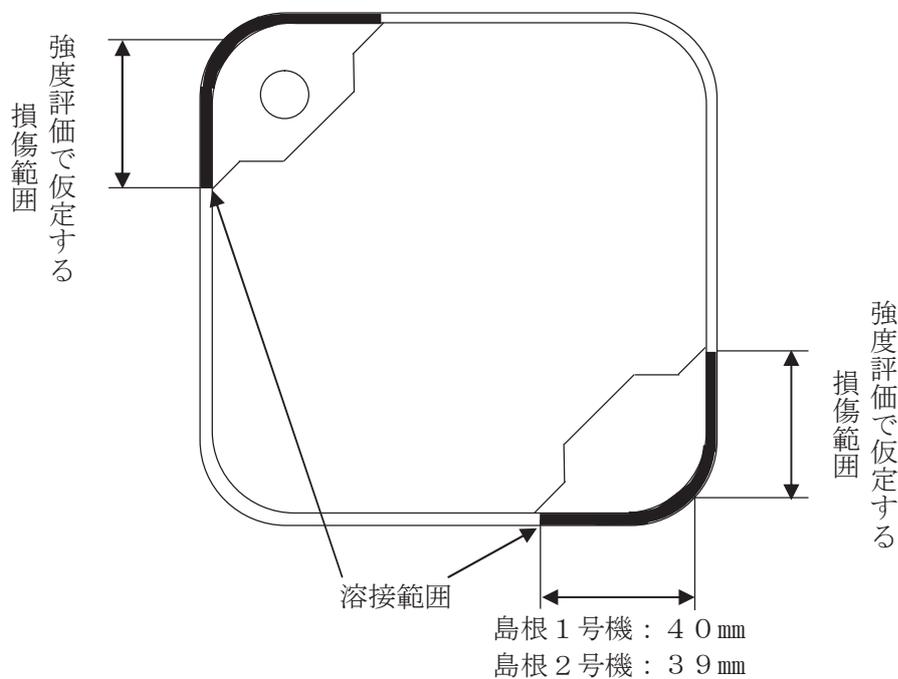


図1 C/Bにおけるクリップ位置

2. C/Bクリップの機能への影響評価

今回確認された一部欠損は、C/B上部のクリップ接合部付近で発生している。欠損部の寸法は大小様々であるが、島根1，2号機において保守的に各クリップとも接合部の溶接長さの半分にわたって欠損しているとの条件でクリップ強度を評価した。

その結果、クリップの許容最大荷重は島根1号機で約14.8 kN，島根2号機で約16.6 kNであり、燃料集合体とC/Bの合計荷重（島根1号機：約2.8 kN，島根2号機約3.0 kN）に対して十分な余裕があることから、C/B脱着時の取扱いに影響はない。



- ・本評価は、島根1，2号機9×9燃料に使用したC/Bを対象に実施した。
- ・クリップ接合部の一部欠損が確認された新型8×8ジルコニウムライナ燃料のC/Bは、9×9燃料より溶接長さが長いため、上記より許容荷重は大きくなる。

図2 C/Bクリップ強度評価

C/B上部（クリップ）一部欠損に係る要因分析

C/B上部（クリップ）の一部欠損（以下「当該部欠損」という。）が発生した原因について、要因分析（図1）に基づき以下のとおり調査を行った。

1. 設計欠陥

C/Bの設計状況について確認した。その結果、C/Bクリップ部は燃料集合体上部タイプレートにおいてチャンネルファスナにより燃料集合体と結合されているが、燃料集合体とC/Bの中性子照射による軸方向の伸び差は考慮された全長設計となっており、燃料集合体との干渉によりクリップ部に異常な応力が発生しないことを確認した。

2. 製造欠陥

当該部欠損が確認された原因について、製造欠陥の可能性を調査した。

(1) 材料不良

材料不良が原因で当該部欠損が生じた可能性について、当該部欠損を確認したC/Bを対象として製造記録を確認した。その結果、問題がないことを確認した（表1）。

(2) 溶接不良

溶接不良が原因で当該部欠損が生じた可能性について、当該部欠損を確認したC/Bを対象として溶接記録を確認した。その結果、問題がないことを確認した（表2）。

3. 腐食による損傷

水質変化による腐食に伴い当該部欠損が生じた可能性について、原子炉冷却材および燃料プールの過去の水質記録を確認した。その結果、調査期間において全て基準値内であることを確認した（表3）。

4. 接触による損傷

C/Bが燃料体、炉内構造物等と接触することで当該部欠損が生じた可能性について、調査した。

(1) 炉内構造物との接触

燃料体の移動中、上部格子板との接触により当該部欠損が生じた可能性について調査した。その結果、C/B上部クリップ接合部は上部格子板上面より約40mm上部にあり、燃料移動中により接触しないことを確認した。（図2）

(2) 燃料プール内構造物との接触

燃料体の移動中、使用済燃料貯蔵ラック（以下「貯蔵ラック」という。）との接触により、当該部欠損が生じた可能性について調査した。その結果、島根1号機では、貯蔵ラック上面がC/B上部クリップ接合部より約15mm上部にあることから、燃料体の移動中にクリップ接合部に欠損を生じさせるような異常がないことを燃料移動に係る作業記録により確認した。島根2号機では、C/B上部クリップ接合部が貯蔵ラック上面より約21mm上部にあり、燃料移動中により接触しないことを確認した。（図3）

(3) 燃料体またはダブルブレードガイドとの接触

移動中の燃料体またはダブルブレードガイド（以下「DBG」という。）が原子炉内に装荷した燃料体または貯蔵ラックに貯蔵した燃料体と接触することで、当該部欠損が生じた可能性について調査した。その結果、燃料移動に係る作業記録により問題がないことを確認した。

移動中の燃料体またはDBGにて当該部欠損が生じる要因として、上部格子板または貯蔵ラックへの装荷の際に移動に伴って生じる振れ量の観点と、実際に接触した場合の接触状況の観点で確認を行った。なお、本調査結果は東北電力株式会社で実施した模擬試験の結果に関する情報提供に基づき報告するものである。

① 模擬燃料を用いた燃料体振れ量測定

上部格子板または貯蔵ラックへの装荷の際に移動に伴って生じる振れ量が多い場合、燃料体の下部タイプレートの一つ又部が装荷位置の隣接燃料のクリップ部に衝突する可能性がある。そこで、模擬燃料体を用いて、想定される燃料移動状況を再現し、その時の振れ量を確認した。その結果、模擬燃料を貯蔵ラックへ装荷する際にわずかに下部タイプレートの一つ又部が接触する状況は確認されたが、下部タイプレートの一つ又部が隣接燃料へ乗り上げる様な状況にはならないことを確認した。（図4）

② 衝突試験

振れ量測定の結果、上部格子板または貯蔵ラックへの装荷の際に装荷位置の隣接燃料のクリップ部に衝突するような状況は確認されなかった。ここでは、念のため、模擬燃料体により、衝突を模擬したときの衝突試験を実施した。

衝突試験の結果、ひずみ測定によりわずかな塑性変形を確認したものの欠損は生じなかった。

以上により、当該部欠損は移動中の燃料体またはDBGの接触により発生したものではないことを確認した。

(4) 燃料取替機燃料つかみ具との接触

燃料体の取出時に燃料取替機の燃料つかみ具が接触することで当該部欠損が生じた可能性について調査した。

その結果、燃料つかみ具が本来の位置から数cm程度ずれた場合、燃料つかみ具が燃料体上部のクリップ接合部に接触する可能性があるが、燃料つかみ具は燃料取替機のマストと一体となっており、クリップ接合部と接触するような大きな揺れは起こらない。

(5) 核計装取替時に使用する治具の接触

核計装取替時に使用する治具がC/Bに接触したことにより当該部欠損が生じた可能性について調査した。

その結果、当該部欠損が確認された燃料体が原子炉内に装荷されている期間、核計装取替作業は行われておらず、治具がC/Bに接触することはなかったことを確認した。

(6) C/Bハンドリング時の接触

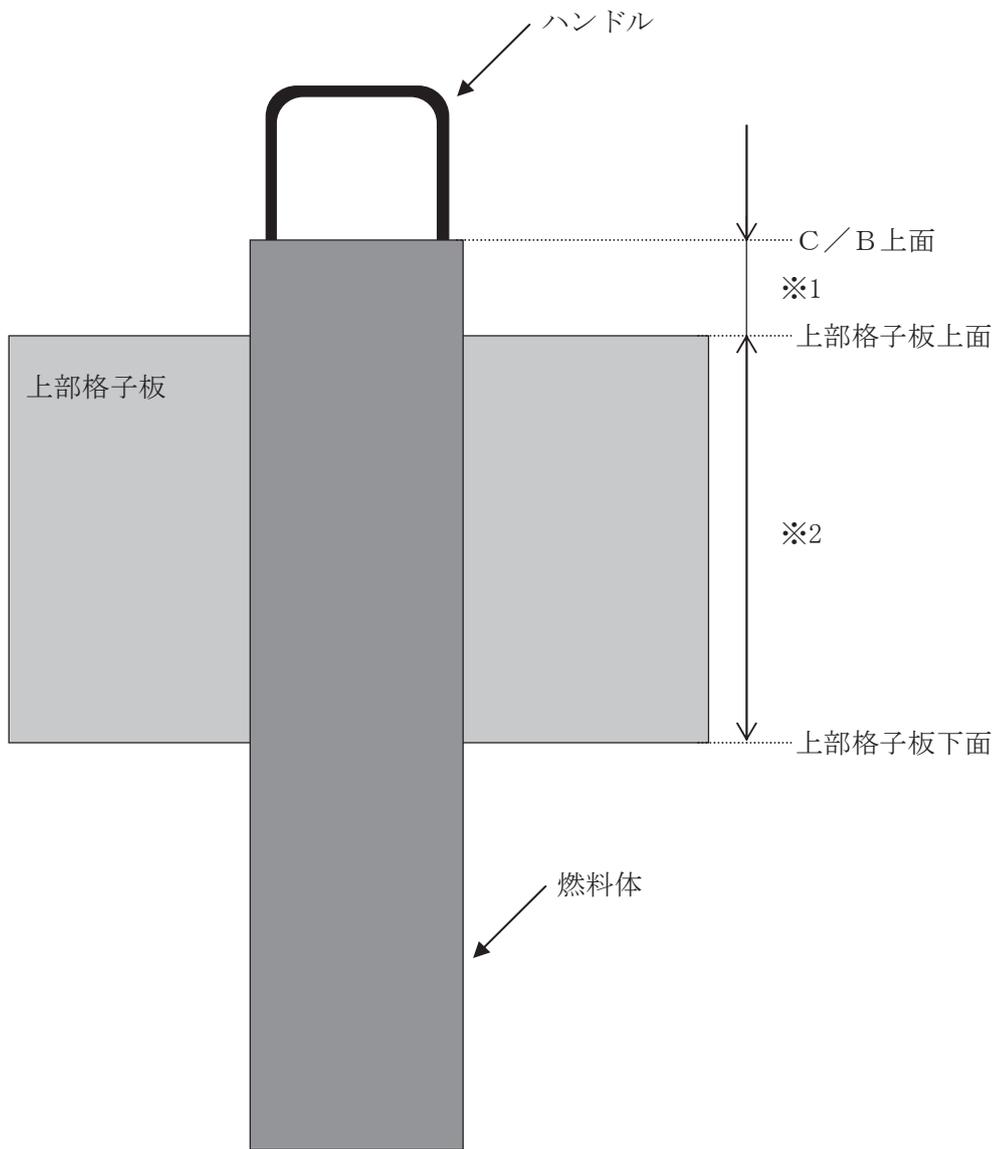
C/Bハンドリング時にC/B上部（クリップ）に接触することがある作業としては、新燃料へのC/B装着作業および定期検査中の燃料集合体外観検査があることから、当該部欠損が生じた可能性について調査した。

その結果、新燃料へのC/B装着作業については、当該部欠損が確認されたC/Bの新燃料へのC/B装着時の作業記録に問題となる所見がないことを確認した。また、当該部欠損が確認されたC/Bが装着されていた燃料体は、燃料プール内でのC/B脱着実績がないことを確認した。

以 上

大分類	小分類	要因	調査項目	調査結果	評価
C / B 上部 (クリップ)に 一部欠損発生	設計欠陥	設計不良	設計調査	燃料集合体とC / B 中性子照射による軸方向の伸び差は考慮された全長設計となっており、問題は確認されなかった。	×
	製造欠陥	材料不良	製造記録	製造結果からは製造欠陥を示すものは確認されなかった。	×
腐食による損傷	炉内構造物 との接触	溶接不良	溶接記録	溶接記録からは溶接不良を示すものは確認されなかった。	
		腐食による損傷	水質の確認	クリップ溶接部の組織観察及びFE - EPMA分析の結果より、針状組織が粗大化と鉄の粒界への析出を確認した。 針状組織の粗大化は溶接時の入熱量により影響を受けるが、他の溶接部に比較してクリップ端部の入熱量が大きいことを確認した。	
接触による損傷	燃料プール内 構造物との接触	上部格子板との接触	機器の位置関係	全て基準値内に含まれており、問題はなかった。	×
	隣接燃料体 または、 DBGとの接触	貯蔵ラックとの接触	機器の位置関係	C / B クリップ接合部は上部格子板より上部にあるため接触しない。	×
燃料取替機 つかみ具との接触	隣接燃料体 または、 DBGとの接触	上部格子または貯蔵ラックへの 燃料取替時の接触 および 隣接セルへのDBG装荷時の接触	振れ量測定 (衝突試験)	1号機はC / B クリップ接合部が貯蔵ラック上面より下部にあるため燃料移動に係る作業記録を確認した結果、問題はなかった。 2号機はC / B クリップ接合部は貯蔵ラック上面より上部にあるため接触しない。	×
		燃料取替機の燃料 つかみ具との接触	機器の位置関係	上部格子または貯蔵ラックへ装荷時の振れ量はわずかであり、下部タイプレートの三つ又部が隣接燃料へ乗り上げるとはならないことを確認した。また、仮に接触した場合でもその塑性変形はわずかであり、欠損には至らないことを確認した。 燃料移動に係る作業記録を確認した結果、問題はなかった。	×
核計装取替機 の接触	核計装取替機との接触	燃料取替時、グラブヘルヘッド 下端ガイドと当該セルC / B との接触	機器の位置関係	燃料つかみ具は燃料取替機と一体のため、C / B クリップ接合部と接触するような大きな揺れは起こらない。	×
		核計装取替機時の接触	機器の位置関係	当該部欠損が確認された燃料体が原子炉内へ装荷されている期間において、核計装取替作業は行われていないことを確認した。	×
C / B ハンドリング時の 接触	新燃料受入時等の接触	新燃料受入時等の接触	受入時の記録	記録を確認した結果、問題となる所見はなかった。	×

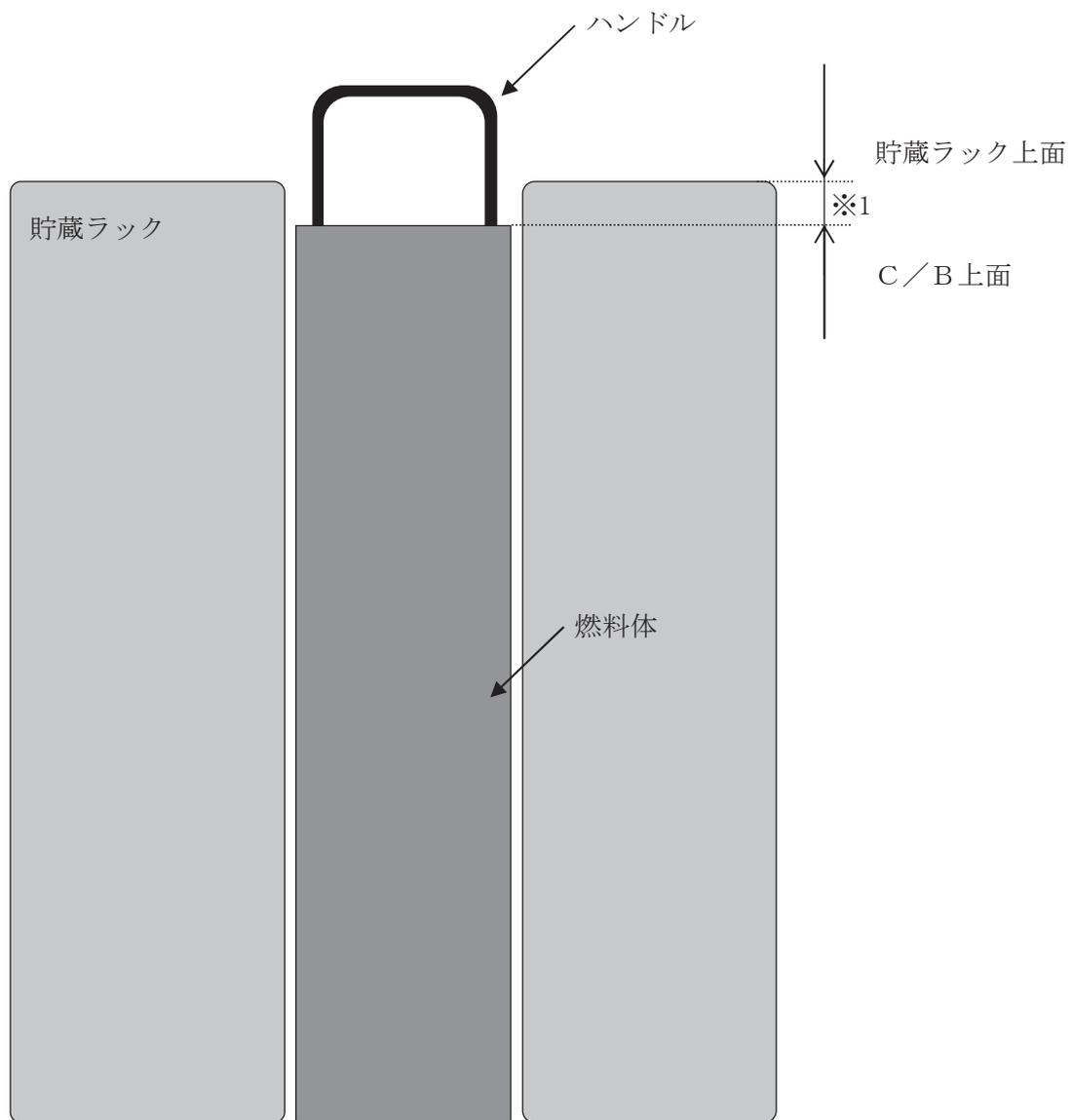
図1 C / B 上部クリップ接合部一部欠損発生の要因分析



※1 島根1号機：約 40mm, 島根2号機：約 42mm

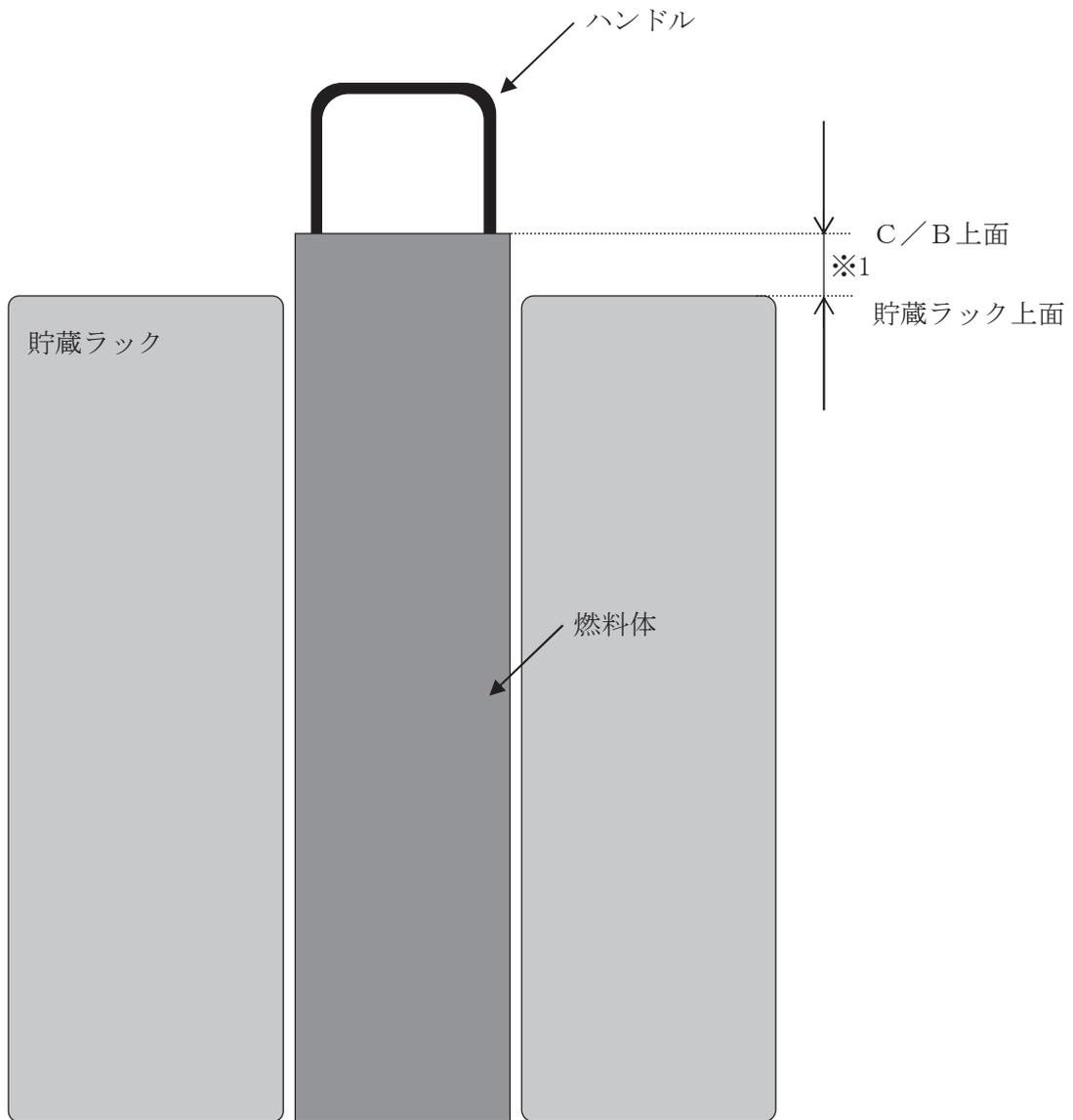
※2 島根1号機：約 330mm, 島根2号機：約 330mm

図2 C/B上部クリップ接合部と上部格子板の位置関係



※1 約15mm

図3-1 C/B上部クリップ接合部と貯蔵ラックの位置関係（島根1号機）



※1 約 21mm

図3-2 C/B上部クリップ接合部と貯蔵ラックの位置関係（島根2号機）

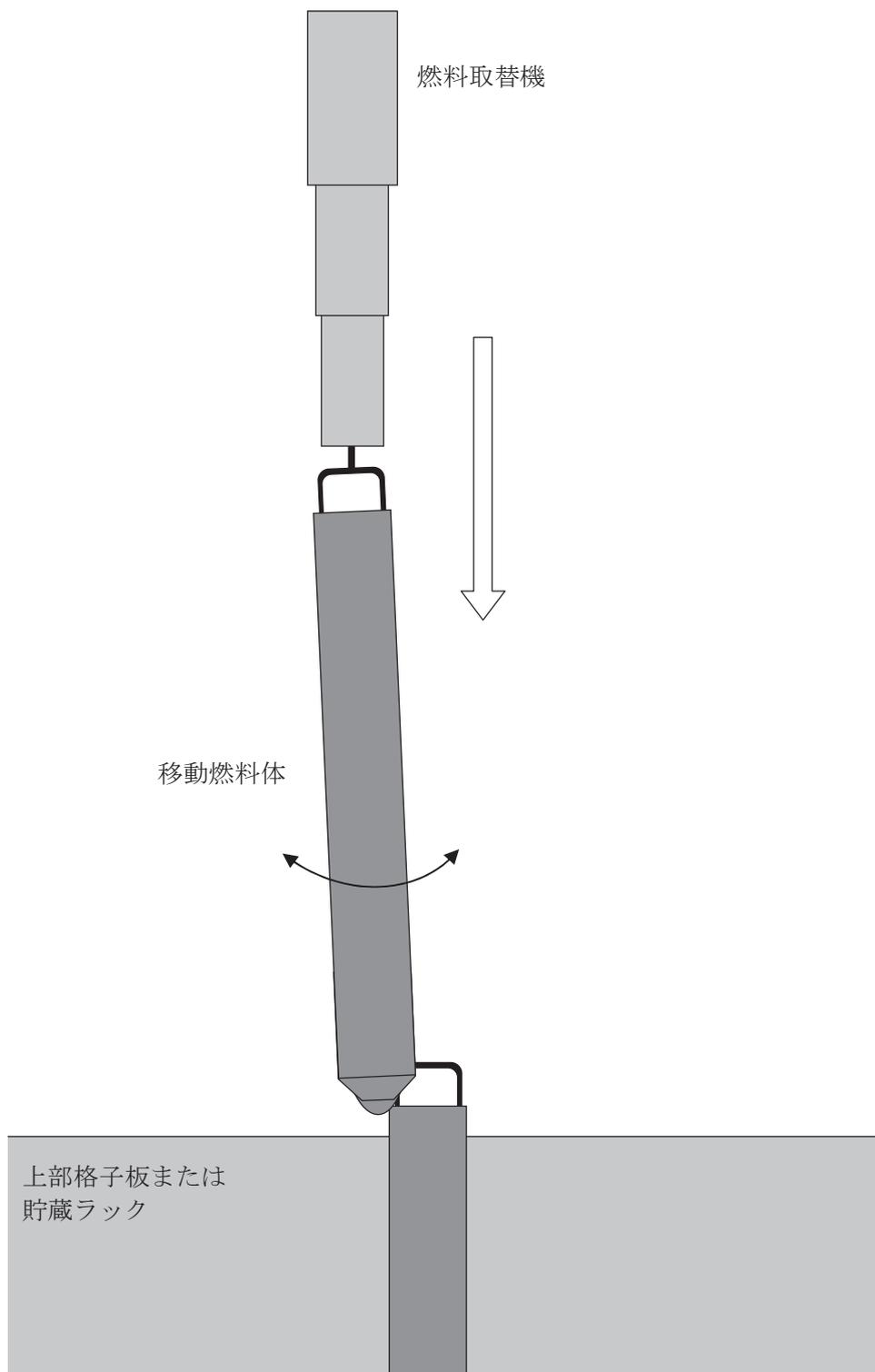


図4 燃料集合体下部タイプレートとC/B上部クリップ接合部の位置関係

表2 C / B 溶接記録まとめ

島根原子力発電所1号機 C / B 溶接記録確認結果

C / B 番号	電流 ¹	電圧 ¹	アルゴン流量 ¹
10661	良	良	良
10671	良	良	良
10680	良	良	良
10687	良	良	良
10707	良	良	良
10720	良	良	良
10732	良	良	良
11554	良	良	良
11561	良	良	良
9507	良	良	良

1 溶接に係る条件として確認する項目

島根原子力発電所2号機 C / B 溶接記録確認結果

C / B 番号	電流 ¹	電圧 ¹	アルゴン流量 ¹
3308Y	良	良	良
H0664	良	- ²	良
H0652	良	- ²	良

1 溶接に係る条件として確認する項目

2 溶接速度で管理（溶接速度：良）

表3 水質調査結果まとめ

島根原子力発電所1号機 原子炉冷却材の水質調査結果

調査期間 ¹	第24サイクル~第29サイクル			
確認項目	パラメータ	実績	基準値 ²	評価結果
	導電率	35 μS/m以下	100 μS/m以下	
	pH	5.9~7.3	5.6~8.6	
	塩素イオン	1.363ppb以下	100ppb以下	
	硫酸イオン	4.9ppb以下	100ppb以下	

島根原子力発電所1号機 燃料プールの水質調査結果

調査期間 ¹	第24サイクル~第29サイクル			
確認項目	パラメータ	実績	基準値 ²	評価結果
	導電率	139 μS/m以下	500 μS/m以下	
	塩素イオン	50ppb未満	500ppb以下	

島根原子力発電所2号機 原子炉冷却材の水質調査結果

調査期間 ¹	第2サイクル~第17サイクル			
確認項目	パラメータ	実績	基準値 ²	評価結果
	導電率	21 μS/m以下	100 μS/m以下	
	pH	6.3~7.8	5.6~8.6	
	塩素イオン	50ppb未満	100ppb以下	
	硫酸イオン	23.1ppb以下	100ppb以下	

島根原子力発電所2号機 燃料プールの水質調査結果

調査期間 ¹	第2サイクル~第17サイクル			
確認項目	パラメータ	実績	基準値 ²	評価結果
	導電率	251 μS/m以下	500 μS/m以下	
	塩素イオン	71ppb以下	500ppb以下	

1 調査期間はC/B上部(クリップ)一部欠損が確認されたC/Bが原子炉に装荷された以降の期間を示す。

2 C/Bの設計上の要求は無く、系統設計仕様に準じている。

製造欠陥に関する調査結果について

1. 目的

C/B上部（クリップ）の一部欠損（以下「当該部欠損」という。）が発生した要因のひとつとして製造欠陥のうち溶接不良が考えられることから、未照射のC/B試験片について、以下のとおり分析調査を実施した。

2. 調査対象

東北電力株式会社女川原子力発電所第2，3号機において当該部欠損が確認された神戸製鋼製C/Bのクリップ溶接の条件を模擬した試験片を製作し調査を実施した。今回、欠損が確認されたC/Bは、自動溶接で製作したものであることから、比較対象として欠損が確認されていない手動溶接^{※1}によるC/Bの試験片も製作し調査を実施した。

さらに、C/B本体溶接部である周溶接部^{※2}と長手溶接部の試験片も比較対象として製作し調査を実施した。

※1 C/B製造者である神戸製鋼では平成10年（1998年）納入分から溶接方法を手動から自動に変更している。

※2 島根原子力発電所においては、C/B本体溶接部の周溶接は実施していないが、BWR電力共同で調査を実施したことから、周溶接部の試験片も製作し調査を行った。

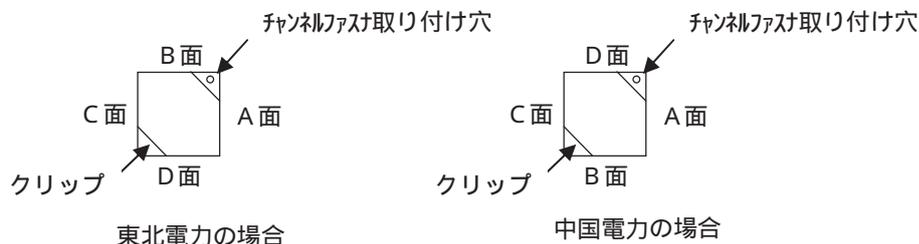
3. クリップ溶接方法

C/Bのクリップ接合部の自動溶接の概要を図1-1「クリップ溶接フロー」、図1-2「クリップ溶接手順」、図1-3「クリップ自動溶接装置」、図1-4「タンタル板取付け状況」に示す。

クリップ部の溶接は、チャンバ内にアルゴン（以下「Ar」という。）ガスを流すことでAr雰囲気とし、クリップ部を本体部に仮溶接したものを入れて実施する。溶接する際には、確実に裏波を出し、欠陥なく溶接するための当て金としてクリップにタンタル（以下「Ta」という。）板をつける。溶接時は、各面ともクリップ端部からコーナー部へ溶接トーチが移動する。クリップ端部の溶接開始時にはTa板を予熱するため、十数秒間程度アークを出した状態で溶接トーチを保持する。なお、D面^{※3}から溶接を開始する場合と、C面から溶接を開始する場合の二通りがある。

なお、手動溶接の場合には、Ta板を使用せずにクリップ部の溶接を行っていた。

※3 本報告書に記載しているC/B面の名称については、BWR電力でそれぞれ異なるため、BWR電力共同で調査するにあたり、代表して東北電力株式会社で採用している名称に合わせた。なお、島根原子力発電所では、D面はB面を、B面はD面を示すことになる。



4. 調査項目および結果

当該部欠損について、溶接不良という観点から、これまでの知見により以下の要因が考えられる。参考として、C/B材料であるジルカロイ-4（ジルコニウム（以下「Zr」という。）合金の一種）の組成を表1「ジルカロイ4の組成（ASTM B352）」に示す。表1に示すとおり、ジルカロイ-4には鉄（以下「Fe」という。）、クロム（以下「Cr」という。）、スズ（以下「Sn」という。）および酸素が添加されており、Fe, Cr, Snは耐食性を向上させるため、酸素は強度を向上させるためのものである。

- Zr合金に空気に含まれる酸素、窒素が混入した場合、耐食性が低下する。なお、酸素については、大量に混入した場合には、耐食性が大きく低下するが、影響の少ない範囲で強度を向上させるために少量添加している。また、溶接時の雰囲気中の湿度が増加した場合も、Zr合金の耐食性が低下する。
- ジルカロイ-4に添加されているFeおよびCrの濃度が低下すると耐食性が低下する。溶接時に大きな入熱があった場合には、Zr合金中の針状組織の粒径が大きくなり粒界にFeおよびCrが偏析する可能性がある（偏析のメカニズムは5.（3）参照）。なお、耐食性に対する影響については、CrよりもFeにおいて顕著である。
- ジルカロイ-4に添加されているSnの濃度が低下すると耐食性が低下するが、Snは低融点金属であり、溶接時に大きな入熱により揮発する可能性がある。
- 一般的に溶接部では、溶接後の熱収縮による熱ひずみで硬化することにより脆化する可能性がある。
- Zr合金においては、水素の拡散挙動に残留ひずみが影響を及ぼす可能性がある。また、Zr合金は水素化が進むと脆化する特性がある。

以上を踏まえて実施した溶接不良に係わる要因分析を図2「溶接不良に関する要因分析」に示す。要因として「酸素、窒素の混入」、「湿度による影響」、「溶接時の大きな入熱」および「溶接時の残留ひずみ」が抽出されたことから、この要因を絞り込むために、製作した試験片に対し、以下の項目について調査を実施した。なお、調査によっては通常のC/Bを製作する場合の溶接条件から条件を変更して製作した試験片を用いて実施

した。実施した試験の一覧を表2「試験項目一覧」に示す。

(1) 外観観察

a. 概要

C/B試験片について、製造時点での傷や変色の状況を確認するため、外観観察を実施する。観察対象は、自動溶接試験片、手動溶接試験片、周溶接試験片、長手溶接試験片とする。C/B本体溶接位置を図3「C/B本体溶接位置概要」に示す。

b. 結果

別紙1「外観観察」に外観観察結果を示す。自動溶接試験片、手動溶接試験片および周溶接試験片については、極端な変色は確認されなかった。長手溶接試験片については、変色は確認されなかった。また、いずれの試験片についても傷などの外観上の異常は確認されなかった。

(2) 組織観察

a. 概要

当該部欠損が確認されたクリップ端部とそれ以外の部位では溶接による入熱量が異なることから、組織的な差異があるかを確認することを目的として、溶接部の断面観察および側面観察を行い、溶着部から母材部にかけて組織の性状を調べる。また、同じC/Bの溶接部でありながら欠損が確認されていないC/B本体溶接部（周溶接部と長手溶接部）についても断面組織観察を行う。

b. 結果

組織観察結果を別紙2「組織観察」に示す。

(a) 断面観察結果

断面観察結果を別紙2の「3. 観察結果(1) 断面観察結果」に示す。

観察は、断面マクロ観察(10倍)とミクロ観察(400倍)を実施した。また、ミクロ観察については、偏光フィルタあり/なしの2条件で行った。偏光フィルタありは、Zr合金の結晶組織を観察でき、偏光フィルタなしは、表面のZrをエッチングしたことにより、残った結晶粒の大きさ、析出物を観察できる。なお、下記の結果については自動溶接試験片および手動溶接試験片に顕著な差は見られなかった。また、A~D面の試験片ごとの顕著な差も見られなかった。

i. 断面マクロ観察結果

断面マクロ観察結果から、溶着部と熱影響部の境界は明確ではないが、溶着部から離れるに従って粗大化した集合組織が徐々に小さくなることがわかった。

ii. 断面ミクロ結晶組織観察結果(偏光フィルタあり)

偏光フィルタありの断面マイクロ結晶組織観察結果から、断面で比較すると、溶着部から熱影響部にかけて粗大な集合組織状の様相が見られ、集合組織の寸法は溶着部から離れるに従って小さくなる傾向が見られた。母材部はこれらとは異なり、微細な集合組織からなっていた。一方、水平方向で比較すると、クリップ端部のほうの組織が大きく、コーナー部のほうの組織が小さくなる傾向が見られた。

iii. 断面マイクロ析出物観察結果（偏光フィルタなし）

偏光フィルタなしの断面マイクロ析出物観察結果からは、溶着部から熱影響部にかけて、針状組織が見られた。針状組織の周囲は黒いエッチング痕が見られ、粒界に沿って析出物が生成していることがわかった。

断面で比較すると、針状組織の幅は溶着部から離れるに従って広くなる傾向が見られた。母材部はこれらとは異なり、まだら状のエッチング痕が見られるのみであり、金属の析出は均一であることがわかった。一方、水平方向で比較すると、端部のほうの針状組織の幅が大きく、コーナー部のほうの針状組織が小さくなる傾向が見られた。

(b) 側面観察結果

側面の組織観察結果を別紙2の「3. 観察結果（2）側面観察結果」に示す。マクロ観察では熱影響部と母材部の境界が比較的明瞭に確認できた。

マイクロ観察では結晶組織および析出物ともに断面観察と同様の傾向が見られ、A～D面の試験片ごとの顕著な差は見られなかった。また、自動溶接試験片および手動溶接試験片に顕著な差は見られなかった。

(c) 本体溶接部（周・長手溶接部）

本体溶接部の組織観察結果を別紙2の「3. 観察結果（3）周溶接部観察結果」および「3. 観察結果（4）長手溶接部観察結果」に示す。

自動溶接試験片、手動溶接試験片と同様に、偏光フィルタなしの断面マイクロ析出物観察において針状組織が見られるなどの結果が見られた。しかし、長手溶接部においては針状組織の幅が明らかに小さい傾向が見られた。

(3) 硬さ測定

a. 概要

溶接部では溶接後の熱収縮による熱ひずみで硬化することにより、脆化する可能性がある。クリップ接合部の断面、側面および欠損発生部の硬さ分布を測定し、当該部欠損が確認された部位とそれ以外の部位の硬さを測定し比較することで、脆化の可能性を検討する。

b. 結果

硬さ測定結果を別紙3「硬さ測定」に示す。

(a) 断面硬さ測定

断面硬さ測定結果を別紙3の「4. 測定結果(1) 断面硬さ測定結果」に示す。組織観察を行った断面の各位置について、ビッカース硬さ試験機を用いて硬さ測定を行った。

本体およびクリップ接合部とも、母材部の硬さは約160～180HV^{※4}とばらつきのあまりない値を示したが、これはジルカロイ-4のミルシート値をビッカース硬さに換算した値である190～195HVとほぼ同等の値であった。熱影響部から溶着部にかけては概ね160～210HVと母材部に比べばらつきを示したが、脆化に至るほどの硬化は確認されなかった。なお、値のばらつきの要因は、組織観察で示した集合組織の寸法が硬さ測定の圧痕より大きく、硬さ測定部位の結晶方位の影響を受けているためと推測される。A～D面の試験片ごとの顕著な差は見られなかった。また、自動溶接、手動溶接とも同様の傾向を示した。

※4 HVとは材料の硬さを表す尺度の一つであるビッカース硬さの単位であり、四角すい型の圧子を材料に押し付けた際の試験力と、材料にできた圧痕の対角線長さから求めることができる。

(b) 側面硬さ測定

側面硬さ測定結果を別紙3の「4. 測定結果(2) 側面硬さ測定結果」に示す。断面硬さ測定と同様にビッカース硬さ試験機を用いて硬さ測定を行った。

熱影響部において硬さが僅かに低下する傾向がみられたが、硬化は確認されなかった。溶接方法や面の違いによらず、測定結果は同様の傾向を示していた。

(c) 欠損発生部硬さ分布測定

欠損発生部硬さ分布測定結果を別紙3の「4. 測定結果(3) 欠損発生部硬さ分布測定結果」に示す。欠損が確認されたクリップ端部については、1mm×1mm間隔で格子状に硬さ分布を測定した。熱影響部において、母材部に対して硬さが僅かに低下する傾向がみられたが、硬化は確認されなかった。A～D面の試験片ごとの顕著な差は見られなかった。また、自動溶接、手動溶接とも同様の傾向を示した。

(4) 残留ひずみ測定

a. 概要

Zr合金においては、水素の拡散挙動に残留ひずみが影響を及ぼす可能性があり、Zr合金は水素化が進むと脆化する特性がある。クリップ端部近傍の残留ひずみ分布と欠損発生部との相関性を調べることを目的として、残留ひずみを測定する。測定にはひずみゲージを用い、応力に換算して評価を行う。

b. 結果

残留ひずみ測定結果を別紙4「残留ひずみ測定」に示す。いずれの試験片、面

においてもクリップ端部直下の20mm程度離れた位置の残留応力が高い傾向にあり、自動溶接では33～56MPa、手動溶接では75～81MPaの引張応力を示した。また手動溶接では、コーナー部近傍でも残留応力が高く、55～88MPaの引張応力を示した。欠損発生部近傍のクリップ端部直下5mmの位置の残留応力は自動溶接で4～13MPa、手動溶接で6～22MPaの引張応力であり、他の部位に比べて低い値を示した。

(5) 元素分析

a. 概要

表1に示すジルカロイ-4に含まれる元素に対して元素分析を行う。ジルカロイ-4は溶接時に酸素、窒素の取り込みが起こることにより耐食性が低下することが知られている。また、ジルカロイ-4に含まれるSn濃度が低下することによっても耐食性が低下することが知られている。これらの元素の含有量を確認することを目的として成分分析を行う。自動溶接から採用しているクリップ溶接時の当て金としてTa板を使用していることから、Taが当て金からC/Bに移行する可能性を調査するためTaについても分析する。自動溶接試験片については、チャンバ内のArガス置換直後であるその日の初回溶接時と継続的に溶接が行われた後では、溶接時の雰囲気の違いがある可能性を考慮し、作業日の1本目に溶接を施工した試験片と5本目に施工した試験片を試験対象とする。

さらに、C/B試験片表面の元素濃度分布を確認することを目的として、電界放出型電子線マイクロアナライザ(Field Emission-Electron Probe Micro Analyzer: FE-EPMA、以下「EPMA」という。)分析を行う。EPMAの概要を図4「EPMAの概要」に示す。

b. 結果

元素分析結果を別紙5「元素分析」に示す。

(a) 成分分析

Sn、Ta、酸素および窒素の成分分析結果を別紙5の「3. 分析結果(1)成分分析結果」に示す。いずれの分析結果もSn、酸素および窒素はミルシート値と同程度の値であり、Snの揮発や溶接時の酸素、窒素の取り込みは確認されなかった。また、Taは検出限界以下で当て金からの取り込みは確認されなかった。

(b) EPMA分析

EPMA分析結果を別紙5の「3. 分析結果(2)EPMA分析結果」に示す。C/B試験片について組織観察におけるマイクロ観察を実施した位置において、酸素、窒素、Fe、Cr、Sn、Ta、Zr各元素のマッピング分析を行

った。クリップ端部の溶着部および熱影響部においては、FeおよびCrが筋模様で濃度増加を示す部分を確認された。逆にそれ以外の部分については、極低濃度を示していることが確認され、極低濃度部と高濃度部に二極化している傾向がある。これらの特徴は組織観察における断面マイクロ析出物観察結果（偏光フィルタなし）の観察結果と整合することから、組織観察で見られたエッチング痕はFeおよびCrと推定される。それに対して母材部のFeおよびCrは満遍なく分布していることが確認された。これらの結果は、母材部はFeおよびCrが満遍なく分布しているのに対し、溶着部および熱影響部ではFeおよびCrが偏析している部分と減少している部分に分かれていることを示している。また、筋模様の間隔は、熱影響部（母材部側）>熱影響部（溶着部側）>溶着部の順に広い傾向がある。Ta、酸素および窒素については、どの部分においても濃度が低く、また、分布に顕著な違いも見られなかった。Fe、Crの濃度分布の特徴について、C面とD面とを比較すると、両者の特徴はおおむね同等であった。また、自動溶接、手動溶接とも同様の傾向を示した。また、C/B本体溶接部（周溶接部と長手溶接部）についても同様の傾向が見られた。

（6）腐食試験

a. 概要

C/Bの腐食発生有無の確認および溶接パラメータが腐食に及ぼす影響を定性的に評価するため腐食試験を行う。試験対象は、自動溶接試験片、手動溶接試験片および溶接条件を変更して自動溶接にて製作した試験片（以下「溶接条件影響評価試験片」という。）とする。溶接条件影響評価試験片の溶接条件を表3「溶接条件影響評価試験片の溶接条件」に示す。なお、自動溶接試験片については、成分分析と同様に、作業日の1本目に溶接を施工した試験片と5本目に施工した試験片を試験対象とする。

b. 結果

腐食試験の結果を別紙6「腐食試験」に示す。自動溶接試験片、手動溶接試験片について、一部に小さな斑点状の様相が確認されたが、実機で確認されたような様相は確認されなかった。また、溶接条件影響評価試験片については、アフターシールドガス流量を下げてチャンバ内への空気混入を想定した試験片の一部およびチャンバ内の湿度を上げて溶接を行った試験片について腐食が見られた。実機C/B欠損発生部との比較を図5「実機C/B欠損発生部および腐食試験結果」に示す。図5に示すとおり、腐食が確認されたいずれの試験片も、実機で確認された溶着部の様相とは異なるものであった。溶接条件影響評価試験片のうち、溶接時の大きな入熱を想定した試験片については、今回の溶接条件および試験条件では、実機で確認された溶着部の様相を再現することはできなかった。

5. 要因分析

上記の調査結果を踏まえ、今回の製造欠陥が起こる要因としてあげられる「酸素、窒素の混入」、「湿度による影響」、「溶接時の大きな入熱」および「溶接時の残留ひずみ」について以下のとおり検討した。

また、今回の調査結果について、これまでの点検結果から得られた欠損の状況との比較を行った。実機で確認された神戸製鋼製C/Bおよび日立製C/Bの欠損の状況を図6「神戸製鋼製C/Bおよび日立製C/Bの欠損状況」に示す。神戸製鋼製C/Bの様相の特徴としては、クリップ端部に欠損が見られ多くの場合、欠損発生部近傍の熱影響部に腐食と見られる変色した様相が確認されている。一方、日立製C/Bについては、神戸製鋼製C/Bで見られた熱影響部の変色部分はほとんど確認されていない。

(1) 酸素、窒素の混入

溶接中に空気が混入した場合は、溶着部に酸素、窒素が取り込まれ耐食性が低下する。今回の調査において、酸素、窒素混入に関連する結果は以下のとおり。

- ・ 元素分析の成分分析において、欠損発生部の酸素、窒素の濃度は母材部およびミルシートと同程度の値であった。
- ・ E PMA分析において、母材部と比較して溶着部および熱影響部の酸素、窒素の増加はみられなかった。
- ・ チャンバ内に空気を混入して溶接を行った試験片の腐食試験において腐食が確認されたが、実機で確認された溶着部の様相とは異なるものであった。

以上のことから、溶接中の酸素、窒素混入が要因とはならないと考えられる。

(2) 湿度による影響

溶接雰囲気中の湿度が増加した場合、耐食性が低下する。溶接時にチャンバ内の湿度を上げて溶接を行った試験片の腐食試験において、腐食が確認されたが実機で確認された溶着部の様相とは異なるものであった。このことから、湿度による影響は要因とはならないと考えられる。

(3) 溶接時の大きな入熱

溶接時に大きな入熱があった場合、耐食性が低下する可能性がある。溶接時の大きな入熱を原因とした場合の調査結果は以下のとおり。

a. 析出物偏析

組織観察およびE PMA分析から、F eおよびC rが偏析していることが確認された。偏析のメカニズムについて、Z r合金を溶接する際の組織変化の概要を図7

－1「Zr合金の温度による結晶構造の変化」、図7－2「Zr合金における金属組織の変態過程」に示す。Zr合金の結晶構造は温度が上昇すると α 相から β 相に変態する。溶接時は高温のため β 相であり、冷却される際に β 相から α 相に遷移する。この遷移時に、溶接後に急冷した場合には、FeおよびCrが分散して存在している状態で安定するが、溶接時に入熱量が大きく冷却速度が低下した場合、徐々に針状組織の粒径が粗大化する。針状組織にはFeがほとんど固溶しないため粒界にFeおよびCrが移行することから、偏析が生じる。FeおよびCrは耐食性を向上させるためにZr合金に添加しているが、析出物として偏析した場合、FeおよびCrの濃度が低下した領域が増えることにより、耐食性が低下することになる。また、組織観察およびEPMA分析結果から、欠損が確認された溶着部だけではなく、熱影響部での針状組織の粒径が粗大化が見られ、実機で確認された熱影響部における腐食と見られる変色した様相と結果は一致する。

以上のことから、針状組織が粗大化することにより、FeおよびCrが結晶粒界に偏析し耐食性が低下した可能性が考えられる。

b. 硬化

溶接部では溶接後の熱収縮による熱ひずみで硬化することにより、脆化する可能性がある。硬さ測定において、ばらつきはあったが、欠損発生部において脆化に至るほどの硬化は確認されなかったことから、溶接時の硬化は要因とはならないと考えられる。

c. Snの揮発

SnはFeおよびCrと同様に耐食性に影響のある元素であり、Snは低融点金属であるため、溶接の入熱により揮発し耐食性が低下する可能性がある。成分分析において、Snの濃度はミルシートと同程度の値であり、Snの揮発はなく要因とはならないと考えられる。

(4) 溶接時の残留ひずみ

残留ひずみは、Zr合金における水素の拡散挙動に影響を及ぼす可能性があり、Zr合金は水素化が進むと脆化する特性がある。残留ひずみ測定において、欠損発生部に相当する位置では残留ひずみは低い値を示していたことから、溶接時の残留ひずみは要因とはならないと考えられる。

6. 推定原因

要因分析の結果、以下のことが確認された。

- ・今回発生した当該部欠損の要因として、溶接中の空気に含まれる酸素、窒素の混入および湿度の影響は該当しないことが確認された。また、残留ひずみ、および溶接時の硬化、Snの揮発も該当しないことが確認された。

- ・一方、溶接時の入熱量が大きく冷却速度が低下することで、F e、C rが粒界に偏析することが確認された。このことで、耐食性が低下した可能性がある。なお、耐食性に対する影響については、C rよりもF eにおいて顕著である。
- ・組織観察およびE PMA分析結果から、欠損が確認されたクリップ端部だけではなく、熱影響部での針状組織の粒径の粗大化が見られ、実機で確認された熱影響部における腐食と見られる変色した様相と結果は一致する。

以上のことから、溶接時の大きな入熱によってF eが粒界に偏析し、耐食性が低下したことが原因として考えられる。

C/B溶接部の入熱量を表4「C/B溶接における入熱量」に示す。表4のとおり、欠損が発生しているクリップ端部は欠損が発生していない他の溶接部位と比較して入熱量が高くなっていることがわかる。

7. 追加調査

今回発見された欠損については、すべてのC/Bでは発生しておらず、発生確率が低く、特定の面で発生する傾向があることから、ほかにも要因がある可能性がある。この要因としてT a板の影響が考えられることから、この影響評価を実施した。また、クリップ端部、周溶接部、長手溶接部およびT a影響評価の各溶接箇所について、組織観察およびE PMA分析の結果を用いて相対F e濃度の比較検討を行った。

(1) T a板の影響評価

図1-4「T a板の取付け状況」のとおり、溶接時には当て金としてT a板をクリップ部にボルトで固定する。この際に、T a板の片側はC/B本体の面から離れ、もう一方の面はC/B本体とT a板が密着状態となる可能性がある。C/B本体とT a板の接触状況により、溶接後の冷却速度が影響を受けることが考えられることから、T a板とC/B本体との接触状況を変化させた条件で溶接を行い、その際の温度変化を測定した。T a板がC/B本体の片側の面に密着（以下「密着面」という。）し、もう一方の面（以下「非密着面」という。）にすき間が空いている状態で溶接を行い溶接時の温度測定を行った。温度測定は密着面から溶接をスタートした場合、非密着面から溶接をスタートした場合および比較のため両面にT a板が密着した場合の3ケースについて実施した。なお、冷却速度の評価は溶接後の冷却時に結晶構造がβ相からα相に遷移する温度領域である850℃～800℃の範囲で実施した。結果を別紙7「溶接時温度測定」に示す。

両面密着した場合においては、両面とも冷却速度に顕著な差異は見られなかった。片側密着状態において密着面から溶接を開始した場合の温度測定については、クリップ端部（図中の①および③）で見ると、密着面側の冷却速度が低下したものがあつた。この部位の密着面の冷却速度は非密着面の1/2以下であり、T a板の接触

状況が冷却速度に影響していることが確認された。非密着面から溶接を開始したときの温度測定においては、クリップ端部（①および③部）で密着面の冷却速度が低下しその速度は非密着面の1/2以下であることが分かる。この結果より、T a板が片面に偏って接触した場合、密着面の冷却速度が低下することが確認された。

（2）組織観察および相対F e濃度比較

a. 組織観察比較

図8-1「溶接試験片（自動溶接 D面端部）における結晶組織，析出物観察結果」に代表面として通常溶接条件の試験片の密着面の断面組織観察結果を示す。溶着部から十分に離れた部位（図中の⑦）は微細な結晶組織となっており，これが板材製造時の組織と考えられる。これに対し，溶着部（図中の④）から熱影響部（図中の⑤および⑥）にかけて針状組織の粗大化が確認された。これらの傾向を定量化するために，析出物の間隔を測定した。その結果を図8-2「析出物間隔の定量評価結果（自動溶接 D面端部）」に示す。析出物に直交するように線を引き，析出物の間隔を測定して頻度分布と平均を求めた。その結果，溶着部および溶着部側の熱影響部の平均値は2.3 μmおよび2.5 μmであるのに対し，母材部側の熱影響部の平均値は4.3 μmと間隔が大きくなっていることが確認された。各溶接箇所について同様の評価を実施した結果をまとめて図8-3「各溶接方法における溶接部位と析出物間隔の関係」に示す。長手溶接部は熱影響部，溶着部とも2 μm程度と大差ない結果であったが，それ以外の部位は母材部側の熱影響部で最も平均析出物間隔が大きくなる傾向が見られた。さらに溶接方法ごとの比較をすると，通常施工条件である自動溶接が最も大きく，続いて手動溶接と周溶接部が同程度で，長手溶接部が最も小さいという結果であった。さらにT a板の片面密着状態で溶接を実施した場合の密着面，非密着面それぞれの断面組織観察結果を図8-4（a）「T a片面密着時の結晶組織，析出物観察結果（自動溶接非密着面端部）」図8-4（b）「T a片面密着時の結晶組織，析出物観察結果（自動溶接密着面端部）」に，析出物間隔の測定を実施した結果を図8-5「T a片面密着時の析出物間隔 定量評価結果」に示す。冷却速度の遅い密着面では，非密着面と比較して間隔が大きくなることが確認された。

b. 相対F e濃度比較

E PMA分析の結果を用いて，各溶接箇所の相対F e濃度の比較を行った。これまでのE PMA分析の結果では，F eの濃度増加を示す筋模様は熱影響部に比べて溶着部ではあまり明瞭ではなく，熱影響部で溶着部側と母材部側を比較すると，母材部側の方が筋模様の間隔が広い傾向がある。また，組織観察で見られたエッチング痕はF eと推定される。相対F e濃度比較として，最も析出物間隔が大きい母材部側の熱影響部と母材部の結果を図8-6「各溶接部位における相対

F e 濃度の比較」に示す。熱影響部については、筋模様を示している部分に対応してピークを示し、ピーク間は平均値より値が低下する。このことは、F e が筋状に偏析することにより、合金組成に対して粒内のF e 濃度が低下していることを示している。これに対し母材部では明瞭なピークや低下は見られなかった。同様の整理を各溶接箇所ごとに実施した結果を図8-7「各溶接方法における溶接部位と相対F e 濃度の関係」に示す。相対F e 濃度は溶着部から母材部側の熱影響部にかけて低下する傾向が見られた。また、溶接方法で比較すると、自動溶接の値が最も小さく、手動溶接と周溶接部がほぼ同程度で、長手溶接部が最も大きな値であった。これらの結果より、析出物間隔が大きくなると共に粒界にF e が偏析することによりF e 濃度が低下する領域が増加し、その傾向は母材部側の熱影響部で最も顕著となることが分かった。T a 板の片面密着状態で溶接を実施した場合のE P M A の測定結果に対しても、同様の評価を行った。図8-8「T a 片面密着時の相対F e 濃度の比較」に密着面および非密着面のクリップ端部（図中の①および③）の相対F e 濃度を示す。その結果、冷却速度の遅い密着面①部では非密着面①、③部と比較して相対F e 濃度が低下していることが分かった。各溶接方法における熱影響部の析出物間隔および相対F e 濃度をまとめて図8-9「各溶接方法における相対F e 濃度と析出物間隔の関係」に示す。このことから、本体溶接部やT a 板両面密着の場合のクリップ部に比較して、T a 板が片面密着した場合、析出物間隔が大きくF e 濃度の低下が顕著であることが確認された。

(3) 模擬熱処理試験片による腐食試験

T a 板の密着、非密着による冷却速度の違いと、組織観察および相対F e 濃度比較の結果から、Z r 合金の耐食性は熱履歴により影響を受けることが予想される。このことから、クリップ溶接時の熱履歴を模擬して熱処理を行った試験片を製作し腐食試験を実施した。熱処理は、最高到達温度は900℃と1100℃の2ケース、冷却速度は5℃/秒と25℃/秒の2ケースとした。試験結果を別紙8「腐食試験(模擬熱処理試験片)」に示す。

いずれの試験片の表面も茶褐色に変色し、一部の試験片の端面や刻印部で局部腐食が確認された。腐食量は、非密着面を模擬した試験片(冷却速度25℃/秒)より密着面を模擬した試験片(冷却速度5℃/秒)の方が大きいものも確認された。冷却速度が低下することにより耐食性が低下するという傾向については過去の知見でも述べられている。

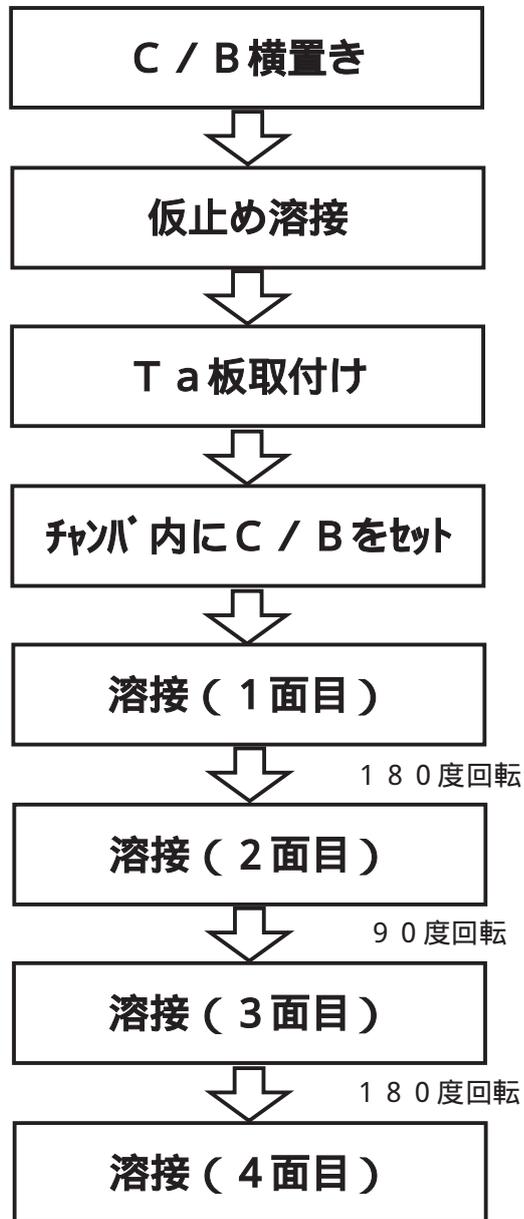
8. まとめ

神戸製鋼製C/Bの溶接不良についての調査の結果、以下のことが確認された。

- ・クリップ接合部の組織観察およびE PMA分析の結果より、針状組織が粗大化し、結晶粒界に沿ってF eが析出する。F eはZ r合金の耐食性を向上させるために添加されているが、F eの偏析によって、耐食性が低下している可能性がある。なお、Z r合金の析出物のサイズが大きくなる（定性的に偏析が多いことを析出物のサイズが大きいとみなす）と耐食性が低下するという傾向は過去の知見で述べられている。
- ・針状組織の粗大化については、溶接時の入熱量によって影響を受ける。クリップ端部の入熱量は、C/B本体の周溶接部および長手溶接部より大きく、実機ではC/B本体の周溶接部および長手溶接部において欠損が見られていない現象と一致する。
- ・今回発見されたクリップ接合部の欠損は発生確率が低く、特定の面で発生する傾向があるが、クリップ部を溶接する際に使用しているT a板のC/Bへの取り付け状況によっては、冷却速度が低下する可能性があることが確認された。冷却速度が低下することにより耐食性が低下するという傾向については過去の知見でも述べられている。なお、クリップ部の溶接方法を手動から自動に変更した際に施工法確認試験として、組織観察、強度試験、腐食試験等を実施し、問題ないことを確認した。ただし、T a板は溶接方法を自動にしたときから使用しているが、この試験においては、T a板を使用することによる影響評価および入熱量評価は実施しておらず、自動溶接の導入時には欠損発生の可能性があることを確認できなかった。
- ・元素分析、残留ひずみ測定、腐食試験等の結果より、「酸素、窒素の混入」、「湿度による影響」、「溶接時の残留ひずみ」は要因とはならないと考えられる。

以上のことから、当該部欠損が発生した推定原因は以下のとおりである。

- ・クリップ端部は溶接時の入熱量が大きいことから針状組織が粗大化してF e濃度の低下領域が増加する。
- ・さらに、クリップ溶接時に使用するT a板のC/Bへの取り付け状況によっては、溶接時の冷却速度が有意に低下することがある。
- ・以上のことから、T a板の取り付けの影響により、クリップ端部においてF e濃度の減少領域がさらに増えて、耐食性が低下し、腐食が発生して欠損に至るものと推定される。



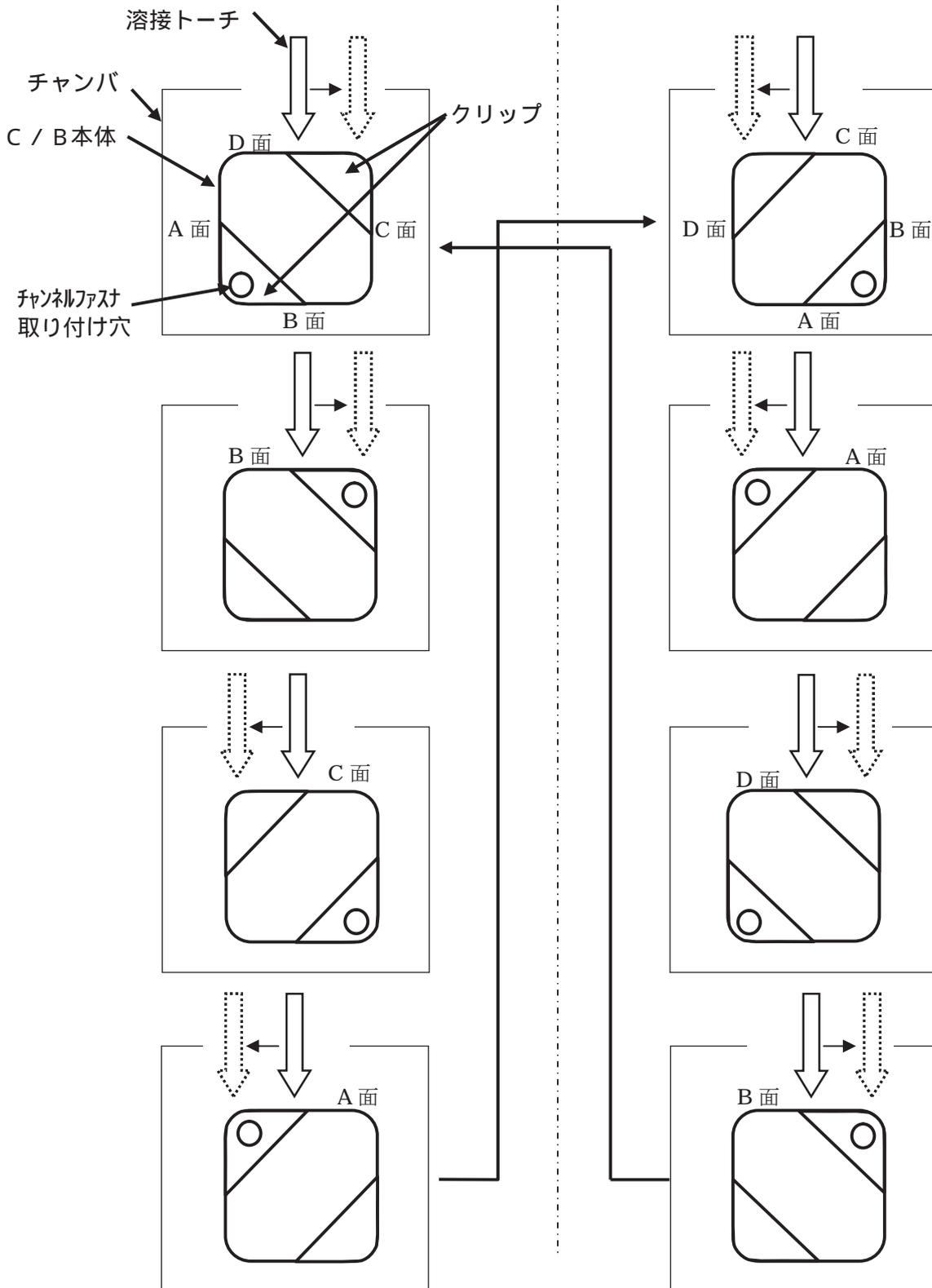
アフターシールドガスは溶接中常に連続供給。シールドガスは溶接時のみ供給。

図 1 - 1 クリップ自動溶接フロー

1本毎にケース1、ケース2のパターンで交互に溶接される

【ケース1】溶接トーチが機械右側にある場合

【ケース2】溶接トーチが機械左側にある場合



温度差を小さくするためにT a板を予熱する必要があり、溶接開始時に十数秒間程度アークを出した状態で溶接トーチを保持する。

図1 - 2 クリップ溶接手順

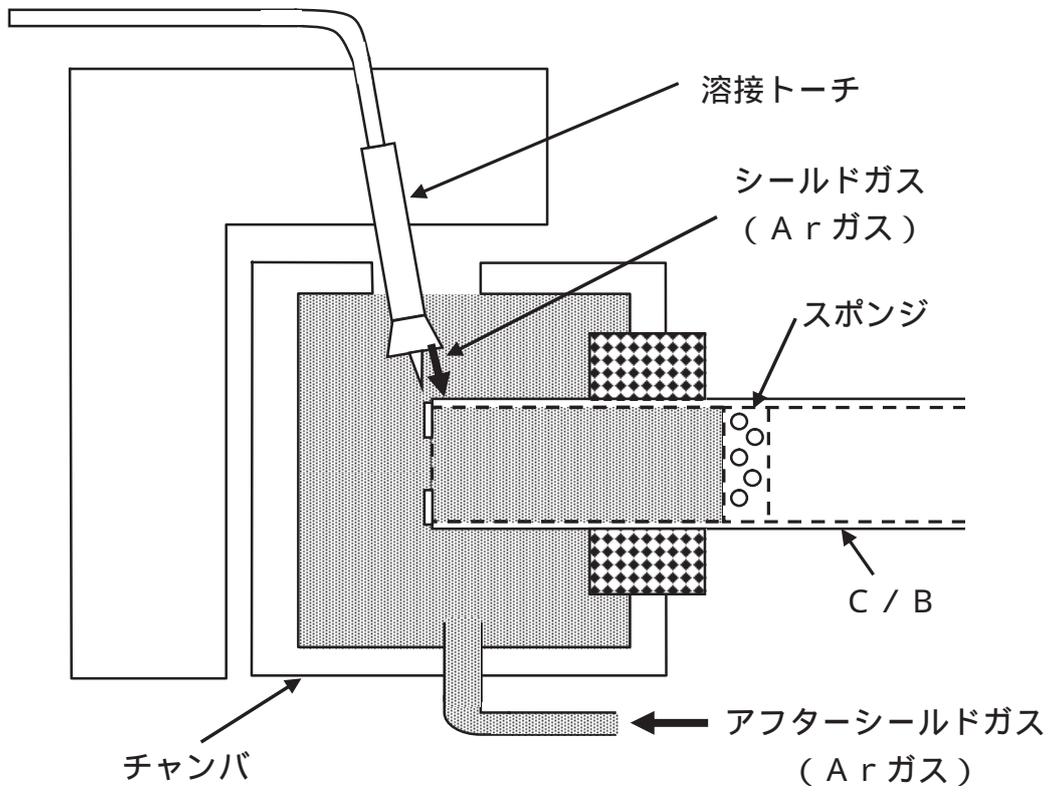


図1 - 3 クリップ自動溶接装置

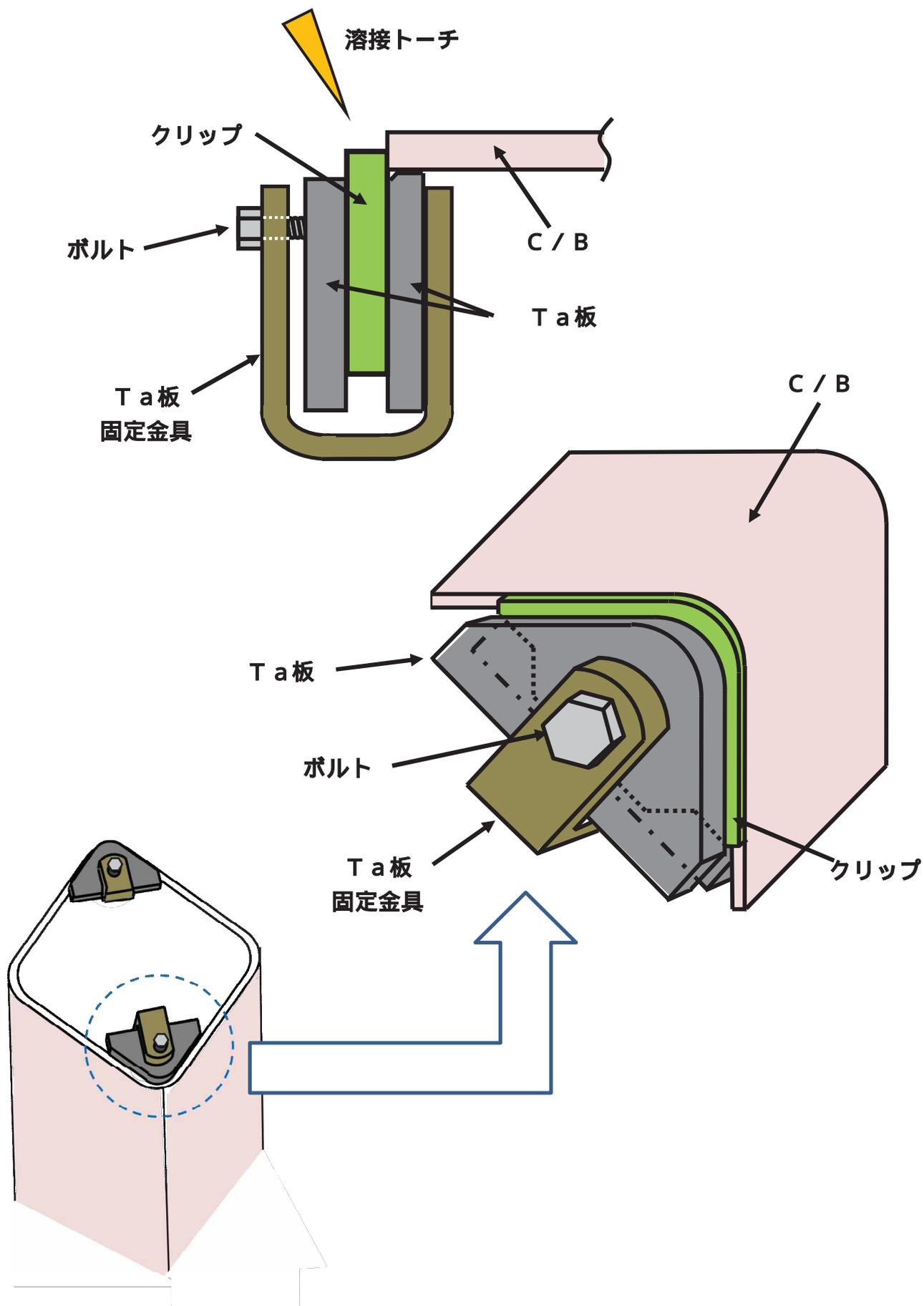


図1 - 4 Ta板の取り付け状況

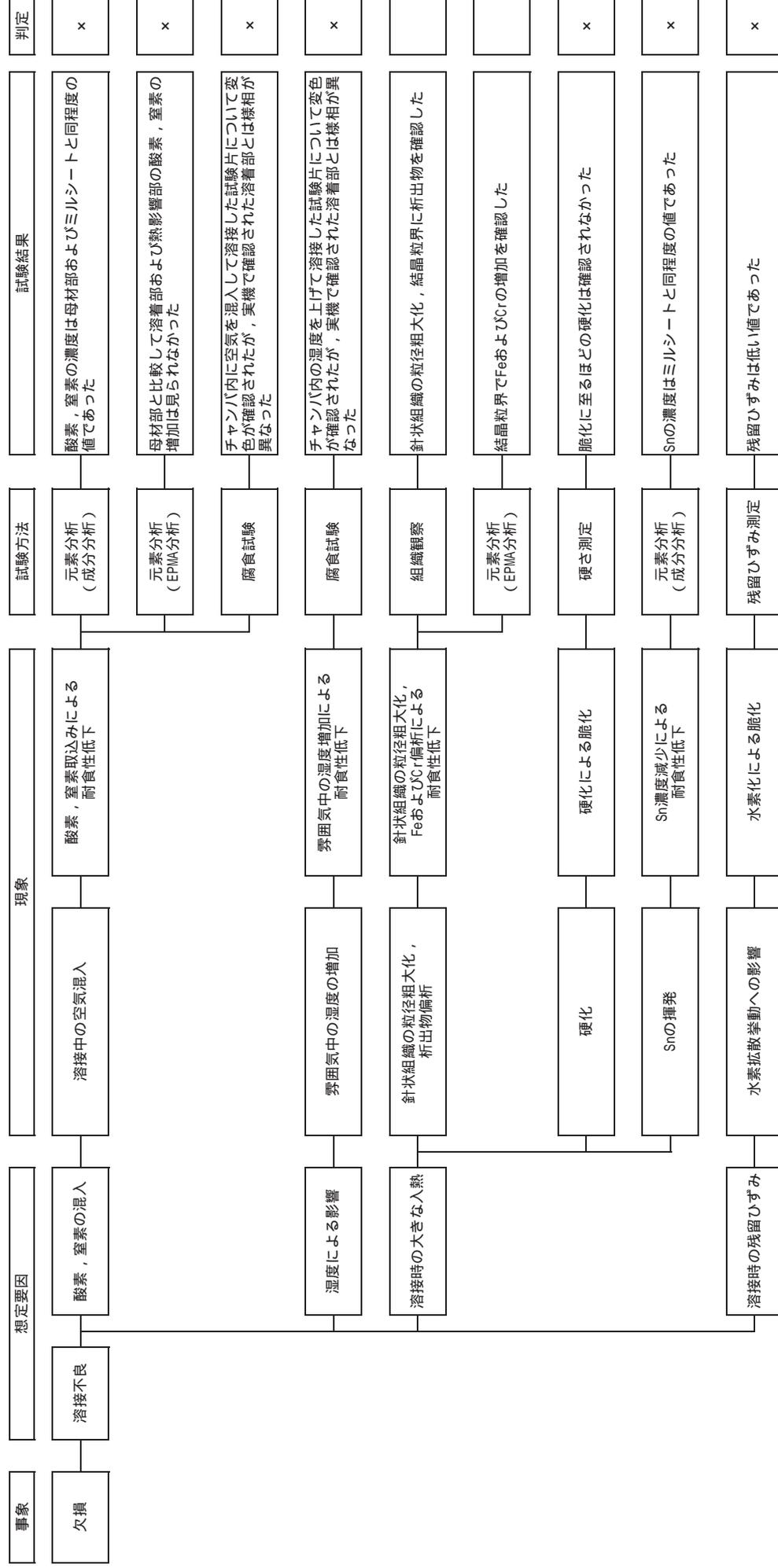
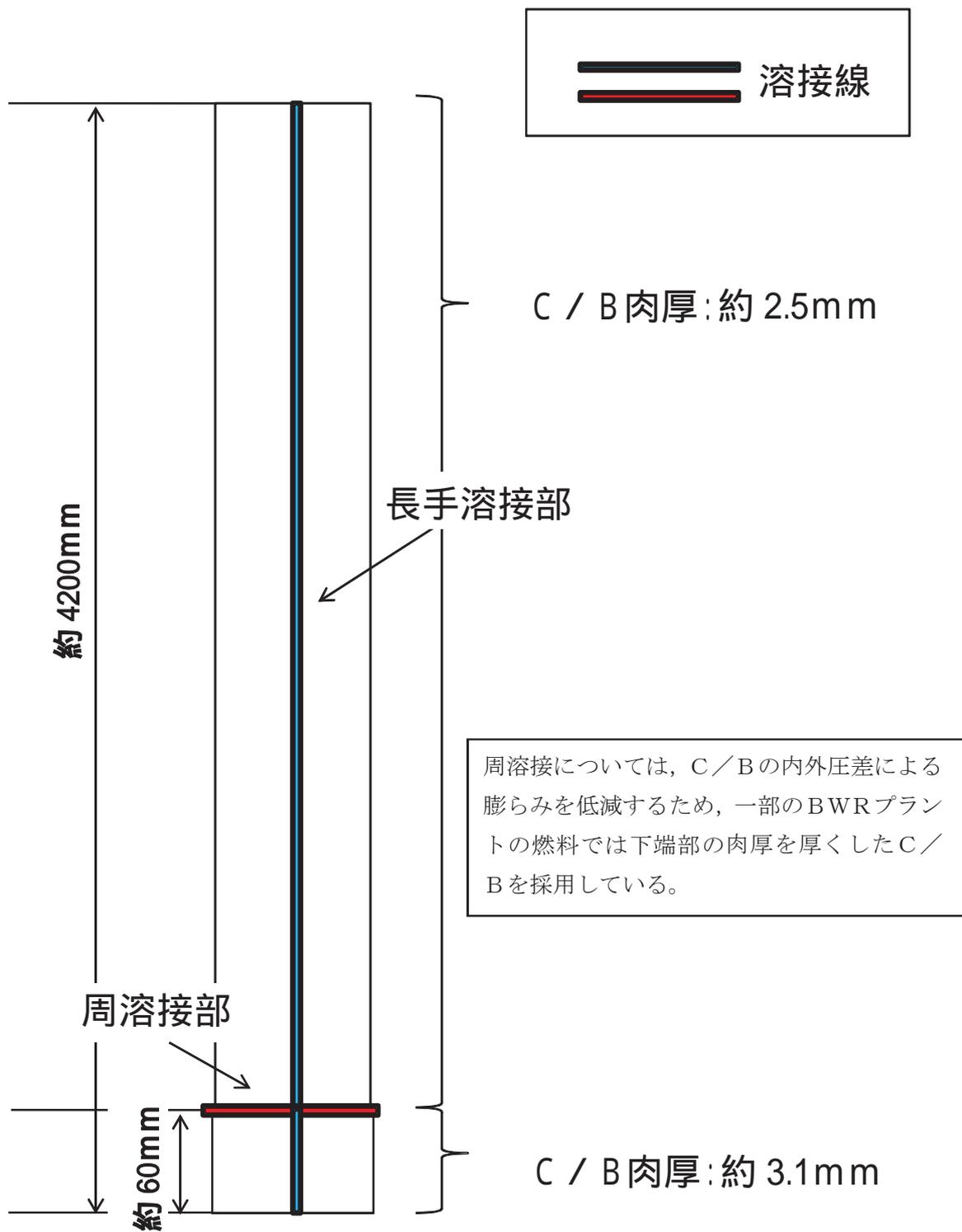
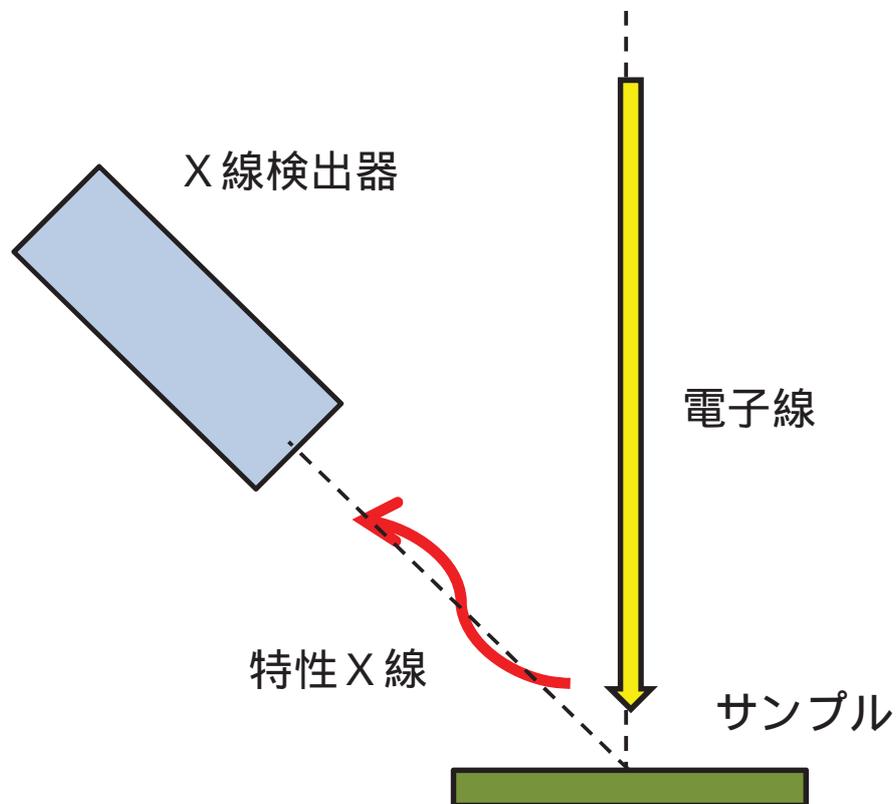


図2 溶接不良に関する要因分析



BWRプラントで使用しているC/Bの寸法を例として記載

図3 C/B本体溶接位置概要



電子線をサンプルに照射する。

サンプルに含まれる元素と電子線の相互作用によって特性X線が発生する。

(特性X線のエネルギー(波長)は元素の種類によって特有である)

各々のエネルギー(波長)のX線の強度を検出することで、サンプルに含まれる元素の種類やその量を知ることができる。

サンプルの様々な場所に電子線を照射することで、サンプルの元素マップを得ることができる。

図4 EPMAの概要

実機にて確認されているC / B欠損発生部例



溶接条件影響評価試験片の腐食例



アフターシールドガス流量を規定値の1 / 3とすることにより、空気混入を想定した試験片

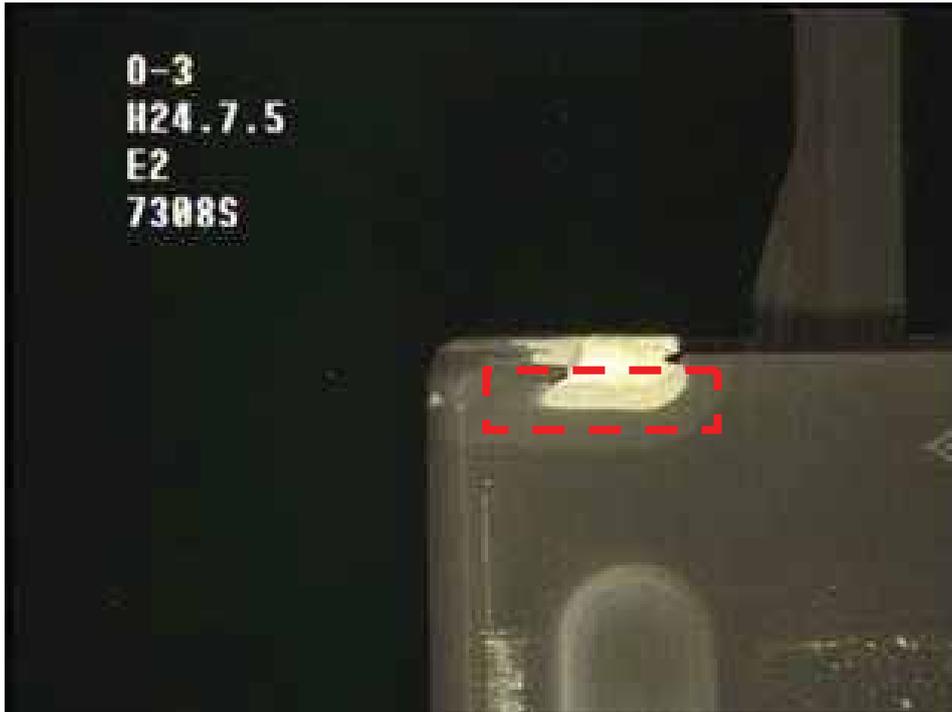
(別紙6 - 図7)



チャンバ内の湿度を上げて溶接を行った試験片

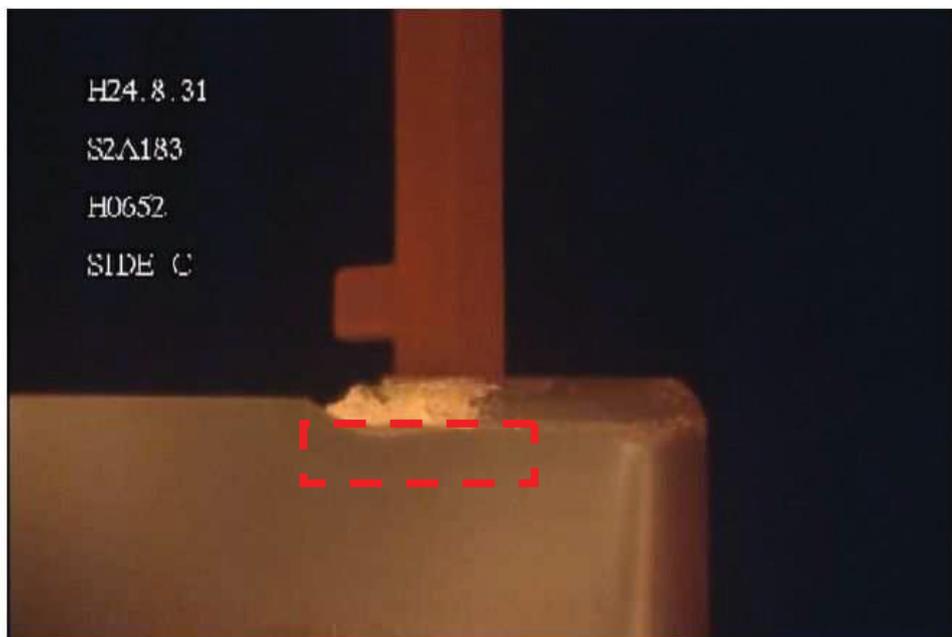
(別紙6 - 図10)

図5 実機C / B欠損発生部および腐食試験結果



欠損発生部近傍の熱影響部に腐食と見られる変色

神戸製鋼製 C / B の欠損状況（溶接時の大きな入熱が要因）



熱影響部に変色部分はほとんど見られない

日立製 C / B の欠損状況（酸素，窒素の混入が要因）

図 6 神戸製鋼製 C / B および日立製 C / B の欠損状況

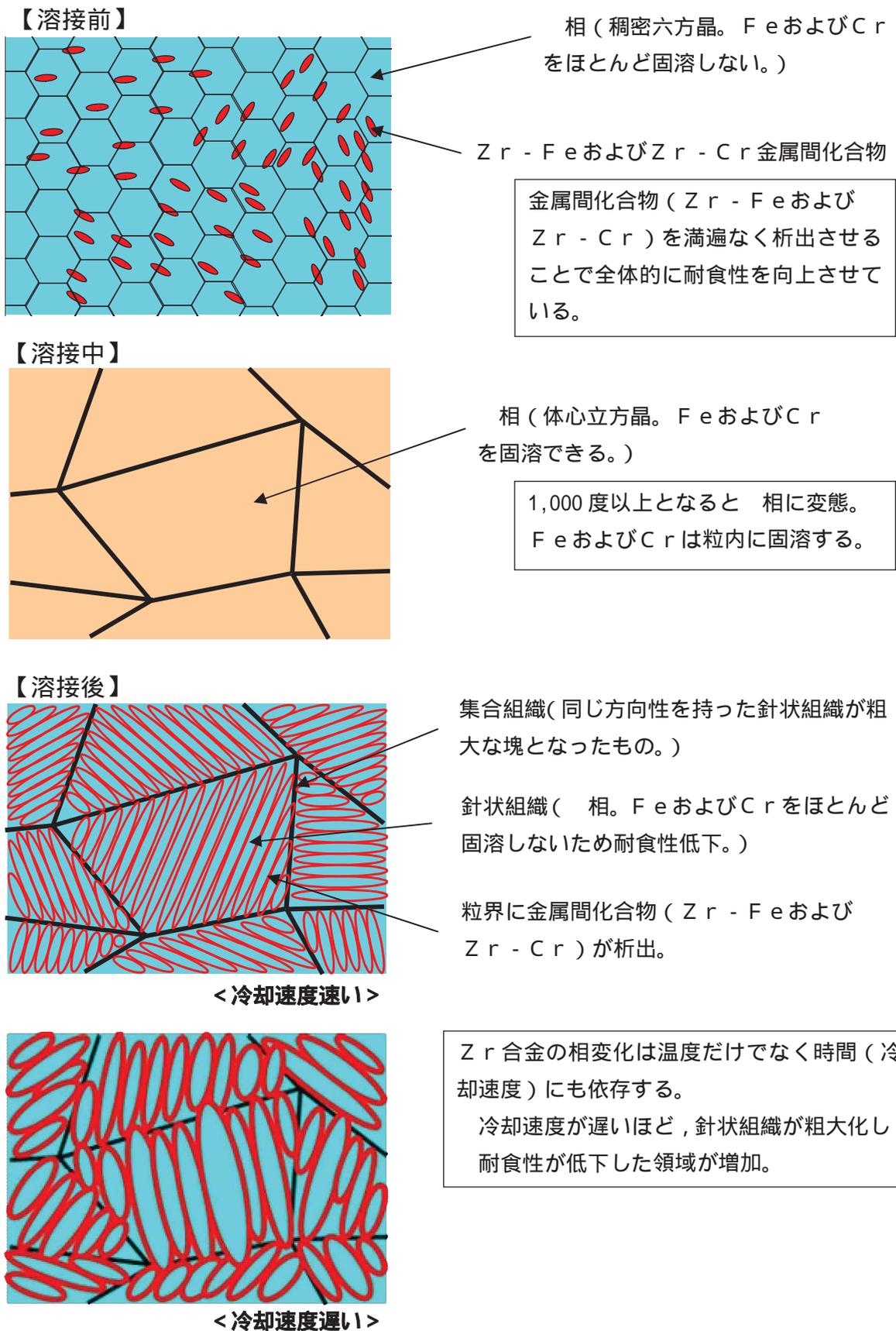
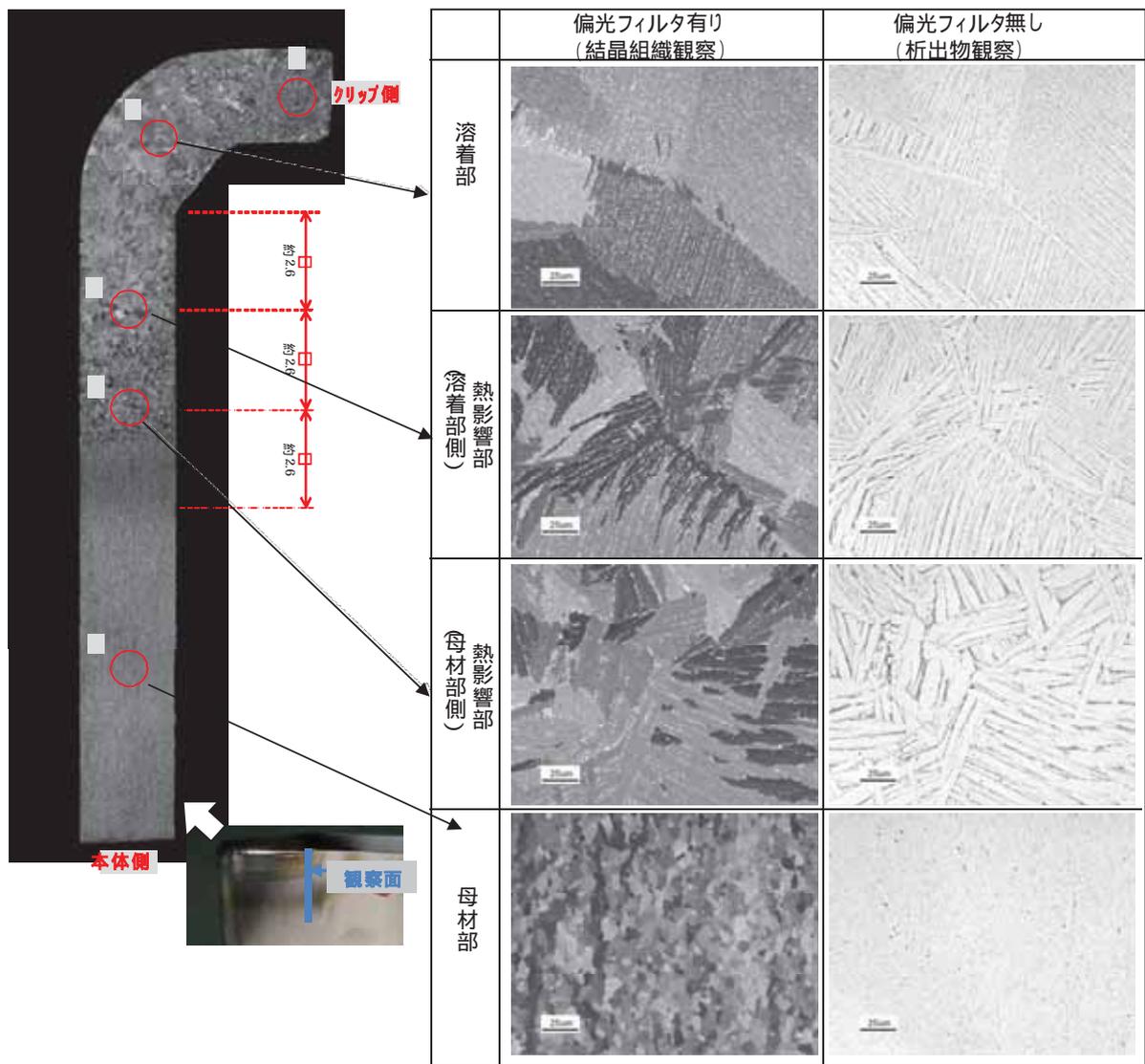
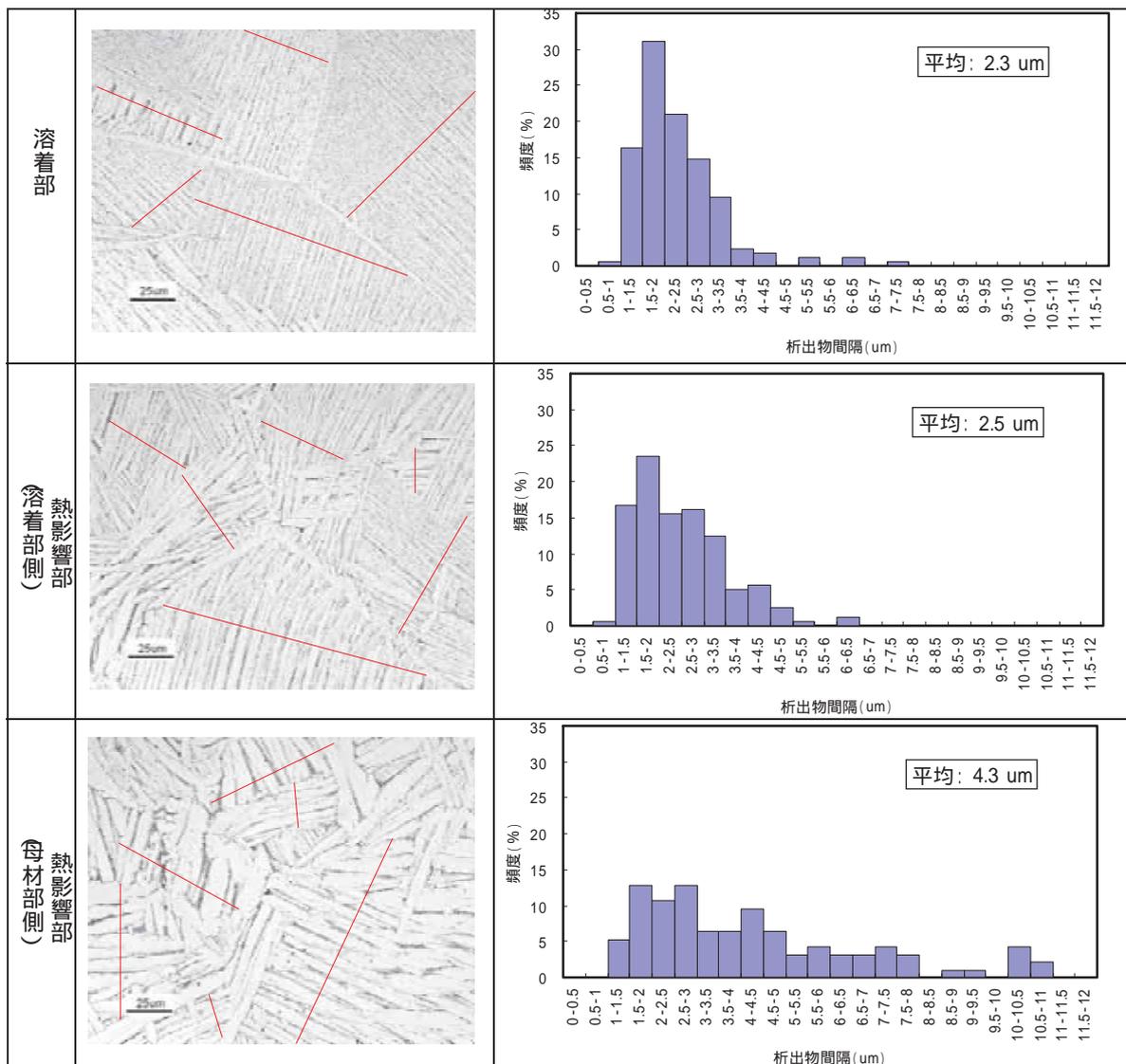


図7 - 2 Zr合金における金属組織の変態過程



析出物間隔・・・溶着部 < 熱影響部 (溶着部側) < 熱影響部 (母材部側)

図 8 - 1 溶接試験片 (自動溶接 D面端部) における結晶組織, 析出物観察結果



	溶着部	熱影響部 (溶着部側)	熱影響部 (母材部側)	
析出物間隔 (定量評価)	小			大

図 8 - 2 析出物間隔の定量評価結果 (自動溶接 D 面端部)

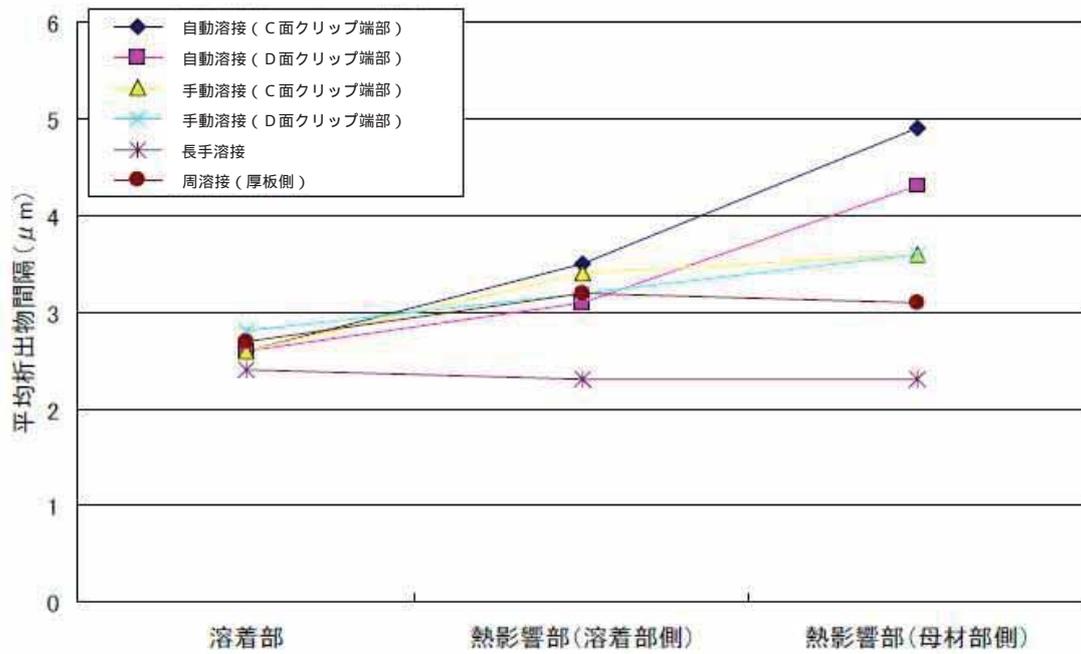


図 8 - 3 各溶接方法における溶接部位と析出物間隔の関係

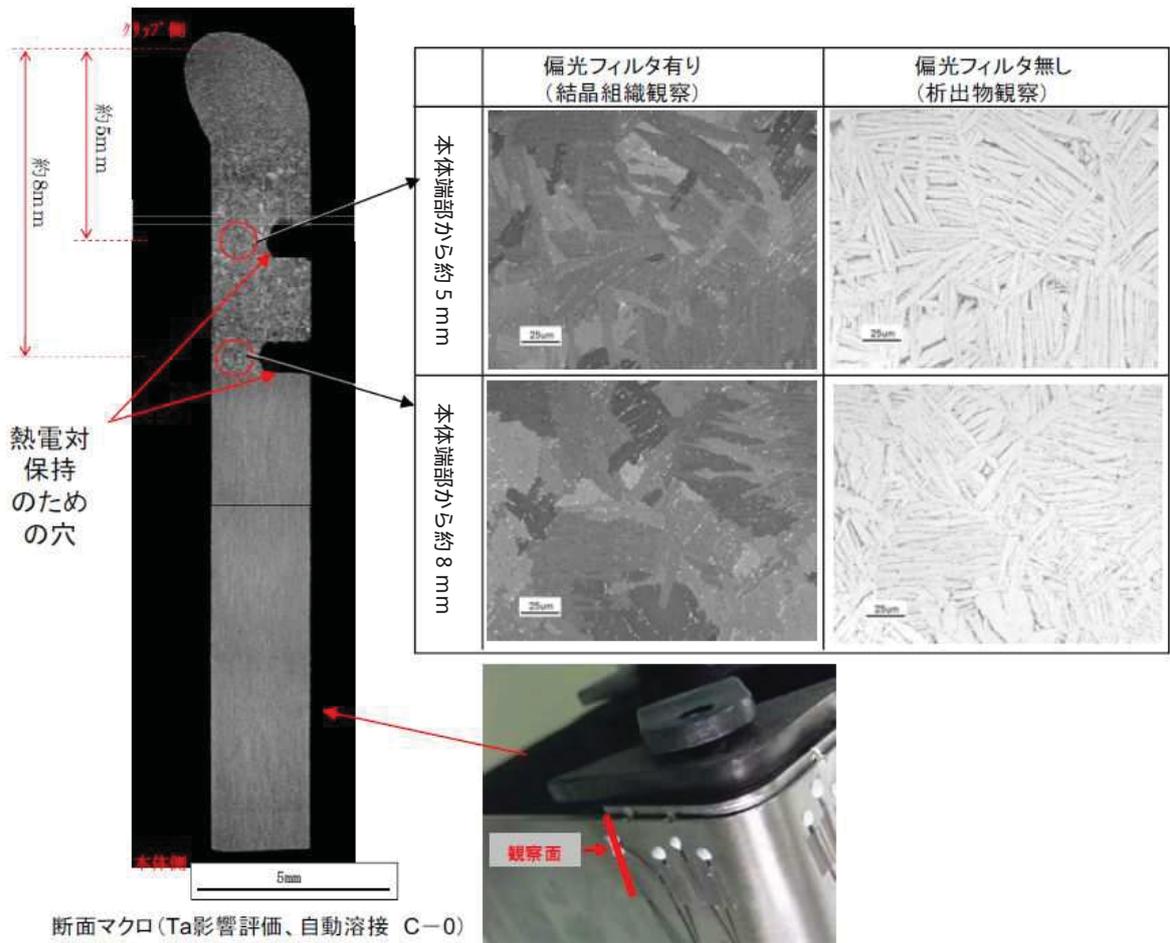


図8-4(a) Ta片面密着時の結晶組織，析出物観察結果（自動溶接非密着面端部）

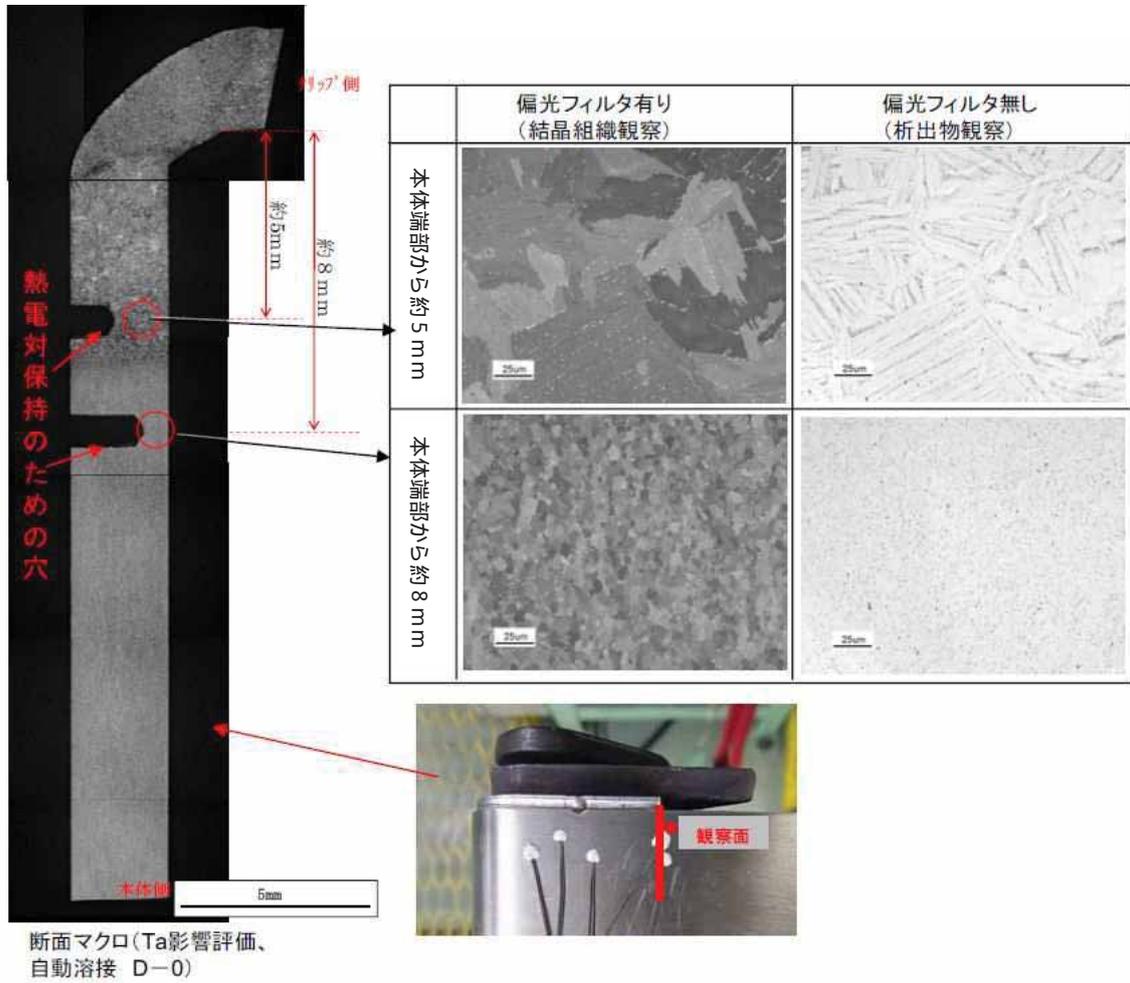


図 8 - 4 (b) T a 片面密着時の結晶組織，析出物観察結果 (自動溶接密着面端部)

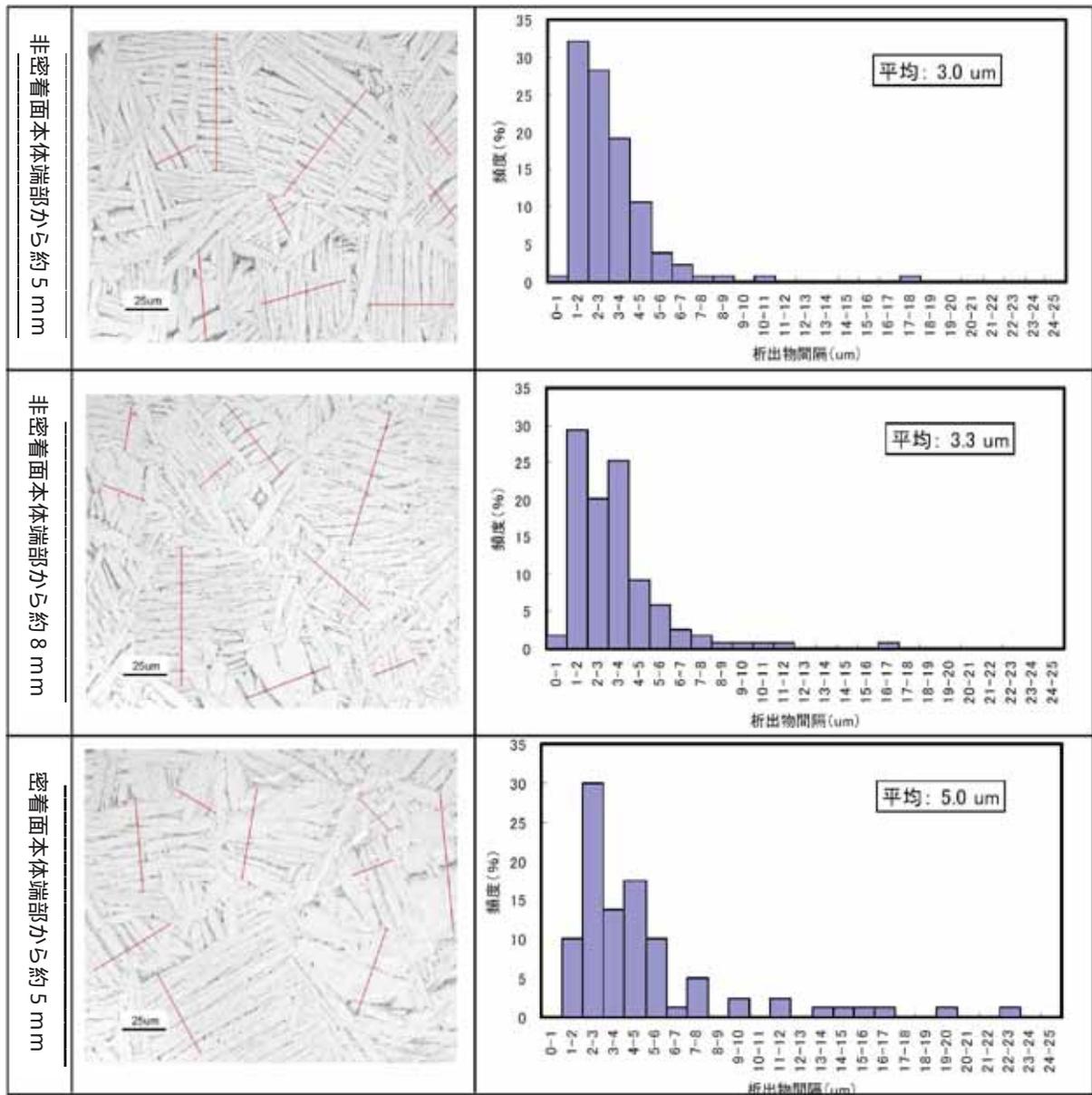
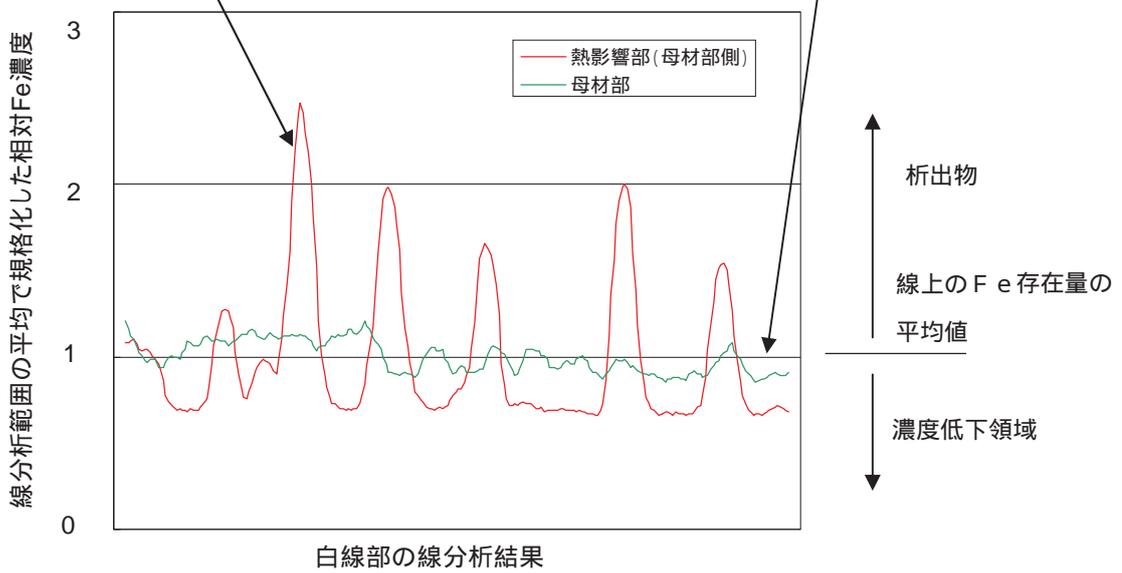
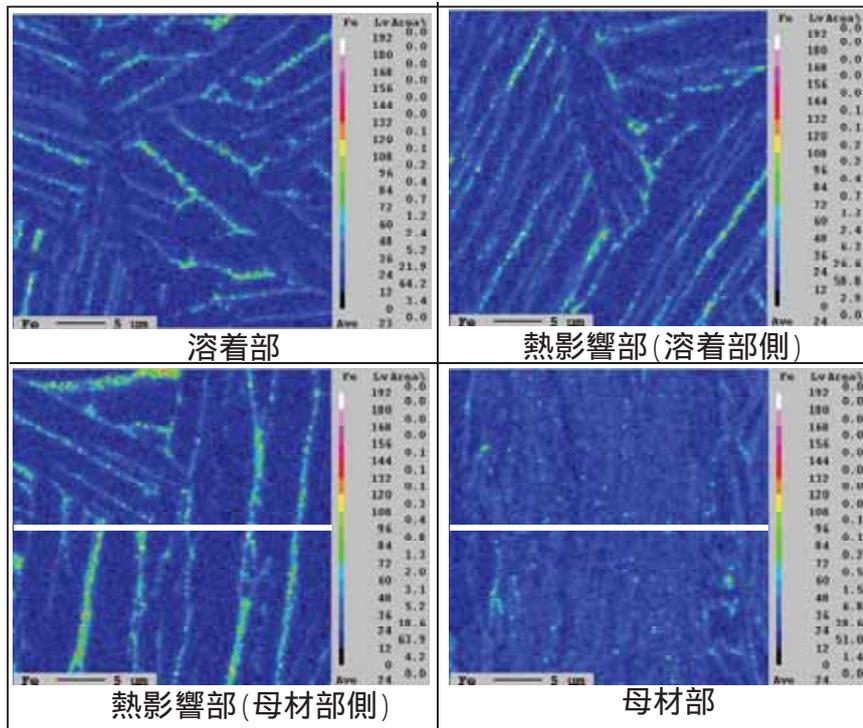


図8 - 5 T a片面密着時の析出物間隔 定量評価結果



相対 Fe 濃度：Fe 分布画像中に線を引き，線上の各位置での Fe の存在量を測定する。
各位置での値を線上の Fe 存在量の平均値で規格化したもの。

図 8 - 6 各溶接部位における相対 Fe 濃度の比較

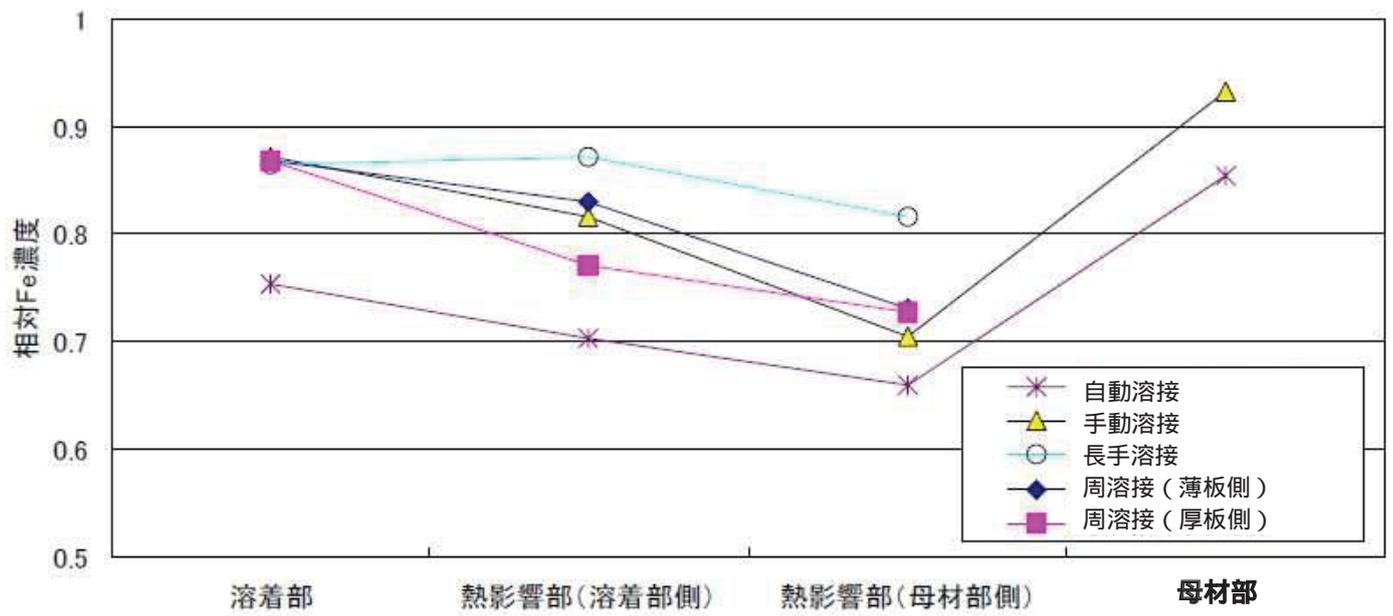
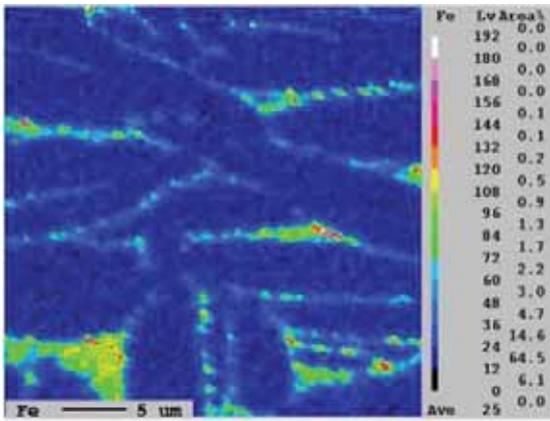
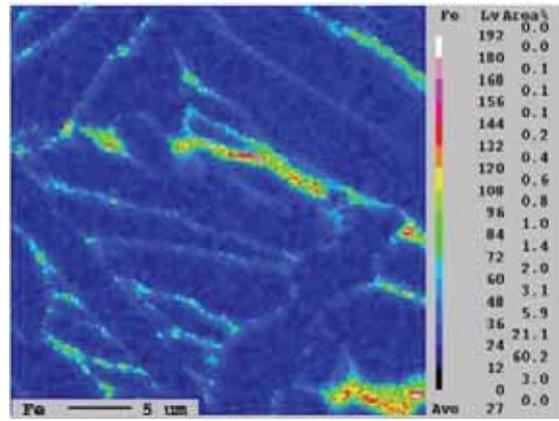


図 8 - 7 各溶接方法における溶接部位と相対 Fe 濃度の関係

(1) 密着面の 箇所



(2) 非密着面の 箇所



(3) 非密着面の 箇所

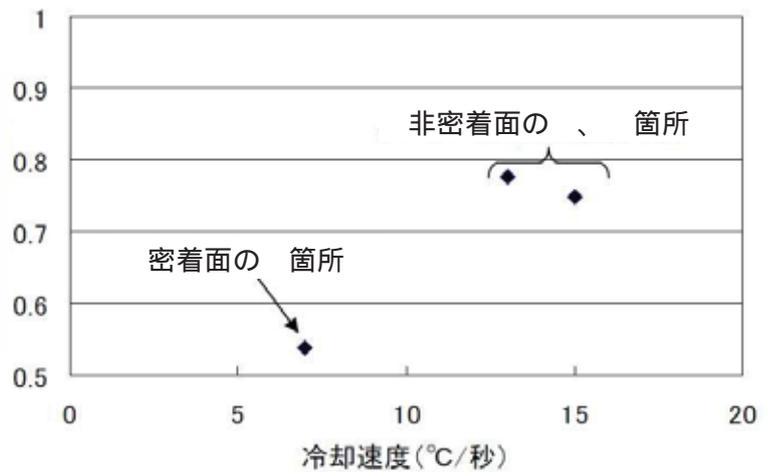
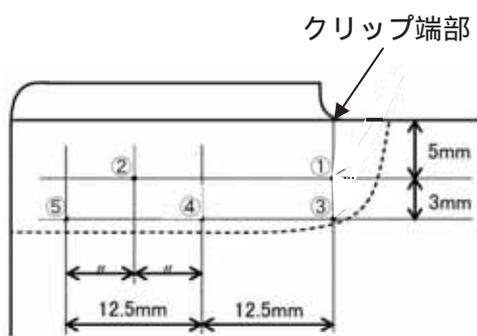
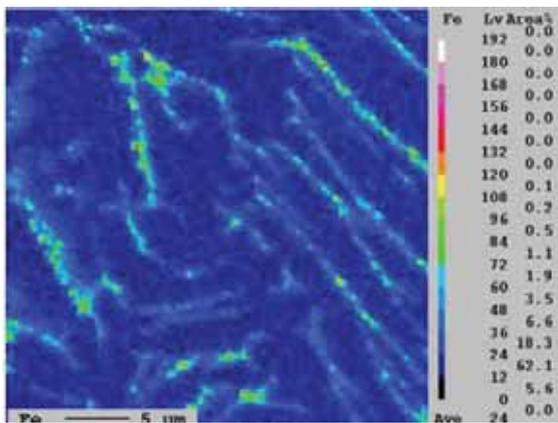


図 8 - 8 Ta 片面密着時の相対 Fe 濃度の比較

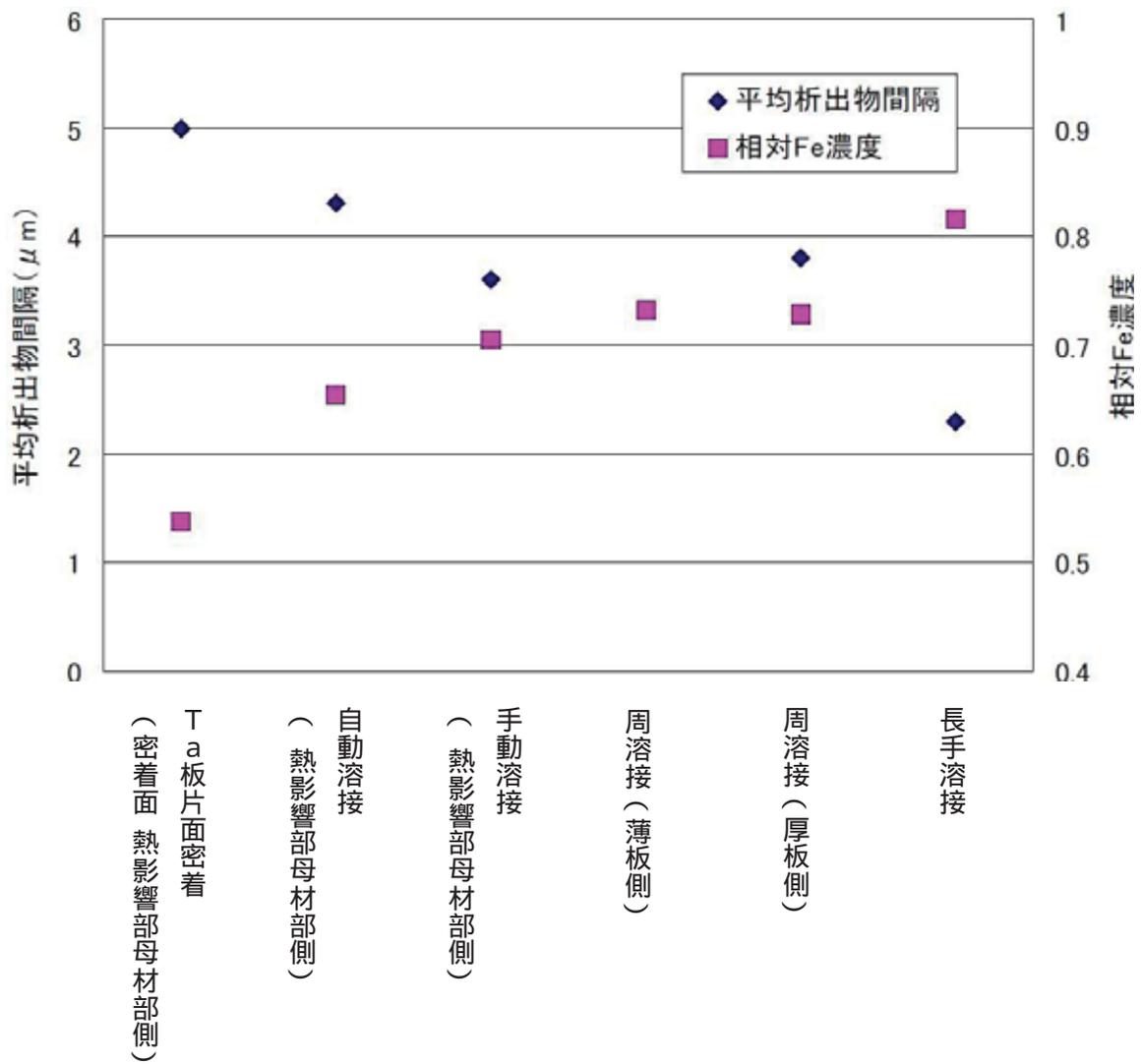


図 8 - 9 各溶接方法における相对 F e 濃度と析出物間隔の関係

表1 ジルカロイ - 4の組成 (ASTM B352)

合金元素	成分量 (wt%)
Sn	1.20 ~ 1.70
Fe	0.18 ~ 0.24
Cr	0.07 ~ 0.13
Fe + Cr	0.28 ~ 0.37
Zr	残り

その他不純物を含む

酸素含有量は、受渡当事者間の協定による。

表2 試験項目一覧

試験項目		製造方法	観察対象		備考	
外観観察		自動	クリップ接合部		-	
		手動				
組織観察		自動	クリップ接合部	断面	それぞれについて ・マクロ観察 ・マイクロ観察(結晶) ・マイクロ観察(析出物) を実施	
			本体溶接部	側面		
		手動	クリップ接合部	周溶接部		長手溶接部
				断面		側面
硬さ測定		自動	クリップ接合部	断面	-	
				側面		
		手動	クリップ接合部	欠損発生部		断面
				側面		欠損発生部
残留ひずみ測定		自動	クリップ接合部		-	
		手動				
元素分析	成分分析	自動(1, 5本目) ¹	クリップ接合部		-	
		手動				
	EPMA分析	自動	クリップ接合部	断面		
			本体溶接部	長手溶接部		
手動	クリップ接合部	周溶接部	断面			
		断面				
腐食試験		自動(1, 5本目)	クリップ接合部		-	
		手動				
		自動(パラメータ変更 ²)				
溶接時温度測定		自動	クリップ接合部	断面	-	

1 チャンバ内のArガス置換直後であるその日の初回溶接と継続的に行われた後での溶接では、溶接時の雰囲気の違いがある可能性を考慮

2 表3参照

表 3 溶接条件影響評価試験片の溶接条件 (1 / 3)

試験片	シールドガス流量 影響評価		アフターシールドガス流量 影響評価
	D 面	D 面	
溶接開始面	D 面	D 面	D 面
電流	規定通り	規定通り	規定通り
電圧			
Ar パージ時間	40 分以上	40 分以上	40 分以上
シールドガス流量	0 L / m i n	規定値の 2.5 倍	規定通り
アフターシールドガス 流量	規定通り	規定通り	規定値の 1 / 3
溶接開始時 溶接トーチ保持時間	規定通り (18 秒または 11 秒)	規定通り (18 秒または 11 秒)	規定通り (18 秒または 11 秒)
その他条件	-	-	-
目的	シールドガス流量不足による 空気混入を想定	シールドガス流量が大きい ことによる空気巻き込みを 想定	Ar 雰囲気環境が維持され ないことによる空気混入を 想定

表3 溶接条件影響評価試験片の溶接条件(2/3)

試験片	パージ時間 影響評価	空気混入 影響評価	湿度 影響評価
溶接開始面	D面	D面	D面
電流	規定通り	規定通り	規定通り
電圧	規定通り	規定通り	規定通り
Arパージ時間	1分	40分以上	40分以上
シールドガス流量	規定通り	規定通り	規定通り
アフターシールドガス 流量	規定通り	規定通り	規定通り
溶接開始時 溶接トーチ保持時間	規定通り (18秒または11秒)	規定通り (18秒または11秒)	規定通り (18秒または11秒)
その他条件	-	1	2
目的	溶接開始前のArパージ時 間の不足による空気残存を 想定	チャンバ内に空気が混入し たことによる影響を確認	チャンバ内に湿度が混入し たことによる影響を確認

- 1 アフターシールドガスに1L/minにて空気を混入
- 2 チャンバ内に水分を含ませたガゼを配置

表3 溶接条件影響評価試験片の溶接条件(3/3)

試験片	溶接面 影響評価	入熱 影響評価	電流値 影響評価	
溶接条件	溶接開始面	D面	D面	
	電流	規定通り	規定値の約1.5倍	
	電圧		規定通り	
	Arパーセント時間	40分以上	40分以上	
	シールドガス流量	規定通り	規定通り	
	アフターシールドガス流量			
	溶接開始時 溶接トーチ保持時間	規定通り (18秒または11秒)	99秒	規定通り (18秒または11秒)
	その他条件	-	-	-
	目的	溶接開始面の違いによる影響を確認	アークを出した状態で溶接トーチを長時間保持したことによる大きな入熱を想定	電流値を大きくしたことによる大きな入熱を想定

表4 C / B溶接における入熱量

溶接部位	範囲	入熱量 (kJ/cm)
クリップ端部(18秒溶接)	端部~6mm	約40
クリップ端部(11秒溶接)	端部~6mm	約33
クリップ中央端部寄り	6mm~18.3mm	約24
クリップコーナー部付近	31.0mm~39mm	約6
長手溶接部	全範囲	約4
周溶接部	全範囲	約10

18.3mm~31mmは一定で入熱量は減少

別紙 1 外観観察

C / B 試験片の製造時点での傷や変色の状況を確認することを目的に外観観察を実施した。

1. 観察対象

下記の C / B 試験片を外観観察対象とした。

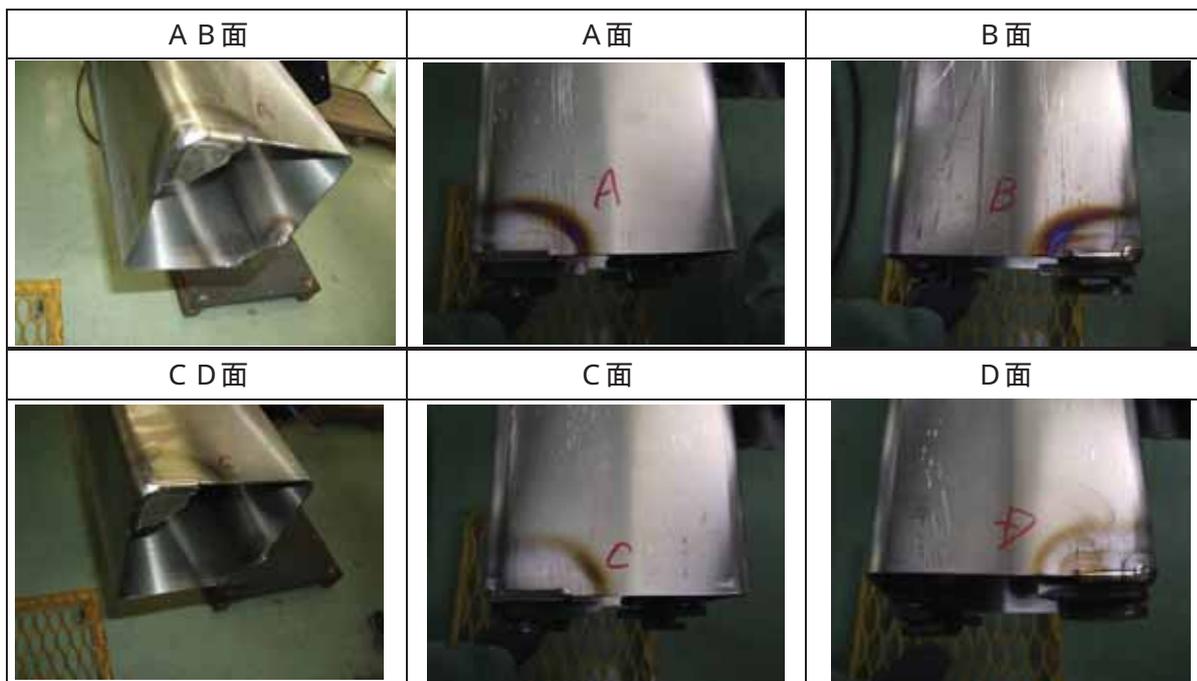
自動溶接試験片

手動溶接試験片

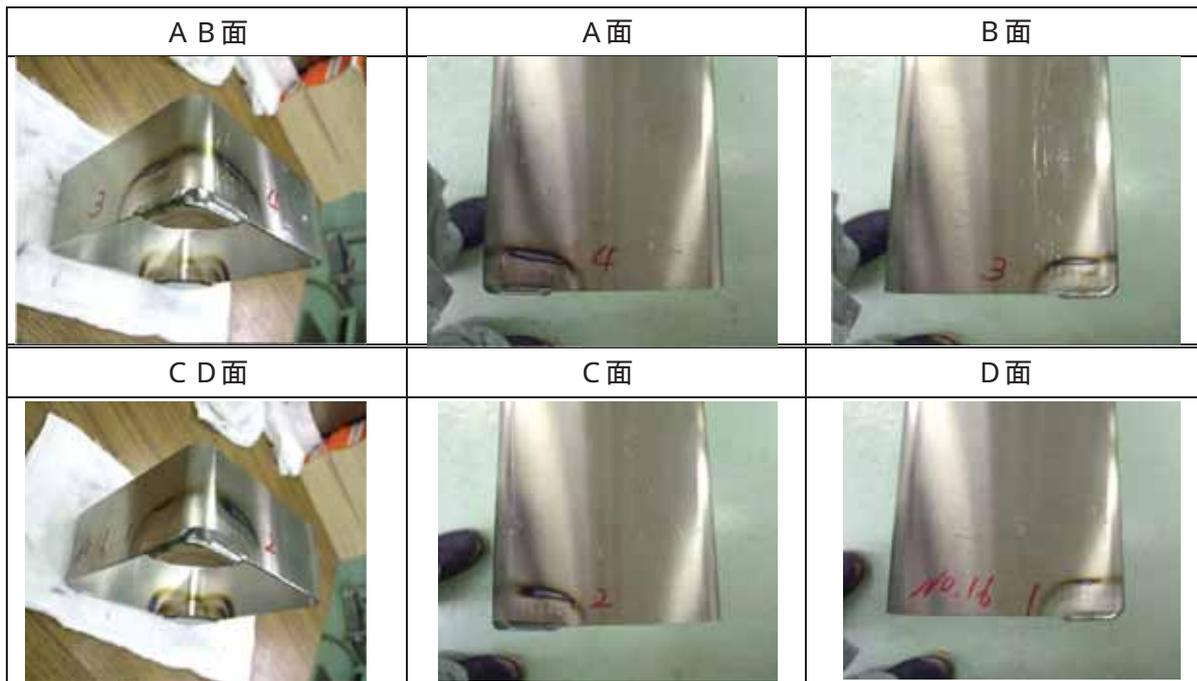
周溶接試験片

長手溶接試験片

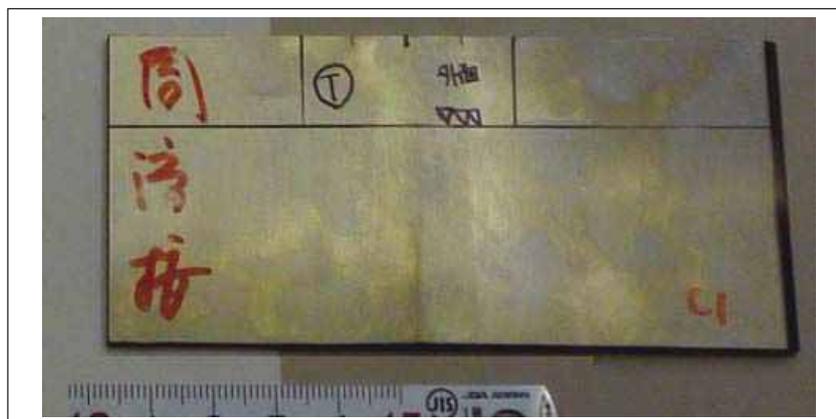
2. 観察結果



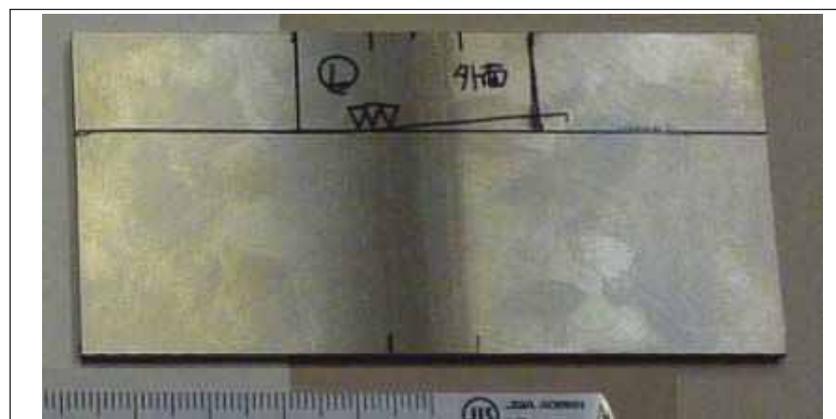
別紙 1 - 図 1 外観観察結果 (自動溶接試験片)



別紙 1 - 図 2 外觀觀察結果 (手動溶接試験片)



別紙 1 - 図 3 外觀觀察結果 (周溶接試験片)



別紙 1 - 図 4 外觀觀察結果 (長手溶接試験片)

別紙 2 組織観察

C / B 試験片の断面，側面，および C / B 本体溶接部である周溶接部断面，長手溶接部断面に対して結晶組織観察と析出物観察を実施した。

1. 観察条件

(1) 観察対象

- ・自動溶接試験片 (A, B, C, D 面)
- ・手動溶接試験片 (A, B, C, D 面)
- ・周溶接試験片
- ・長手溶接試験片

(2) 倍率

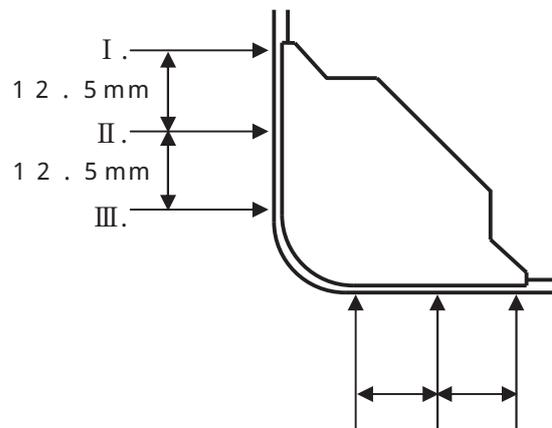
- ・断面マクロ観察：10倍
- ・側面マクロ観察：1倍
- ・ミクロ観察 (結晶組織 (偏光フィルタ有))：400倍
- ・ミクロ観察 (析出物 (偏光フィルタ無))：400倍

2. 観察位置

(1) 断面観察位置

a. 断面マクロ観察位置

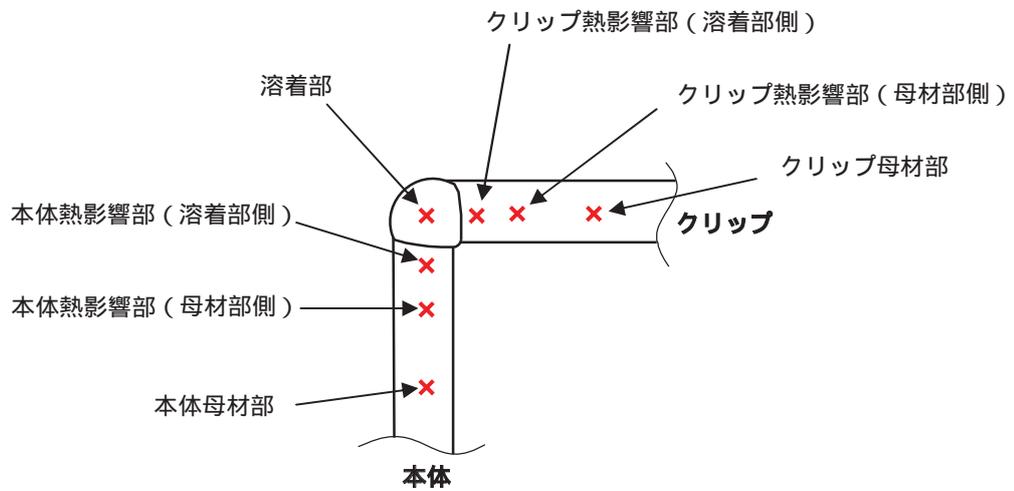
- ・クリップ端部 (欠損発生部)
- ・クリップ端部から 12.5 mm
- ・クリップ端部から 25 mm (欠損部外)



断面マクロ観察位置 (断面切断位置)

b . 断面ミクロ観察位置

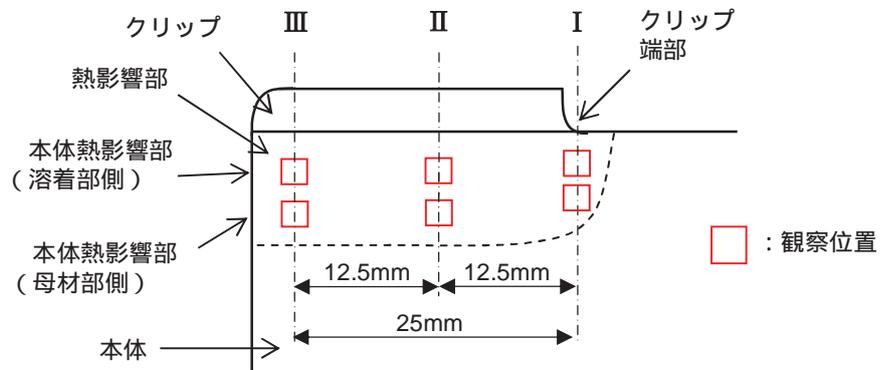
- : クリップ母材部
- : クリップ熱影響部 (母材部側)
- : クリップ熱影響部 (溶着部側)
- : 溶着部
- : 本体熱影響部 (溶着部側)
- : 本体熱影響部 (母材部側)
- : 本体母材部



断面ミクロ観察位置

(2) 側面観察位置

- ・ : クリップ端部 - 本体熱影響部 (溶着部側)
- ・ : クリップ端部 - 本体熱影響部 (母材部側)
- ・ : クリップ端部から 12.5 mm - 本体熱影響部 (溶着部側)
- ・ : クリップ端部から 12.5 mm - 本体熱影響部 (母材部側)
- ・ : クリップ端部から 25 mm - 本体熱影響部 (溶着部側)
- ・ : クリップ端部から 25 mm - 本体熱影響部 (母材部側)



側面ミクロ観察位置

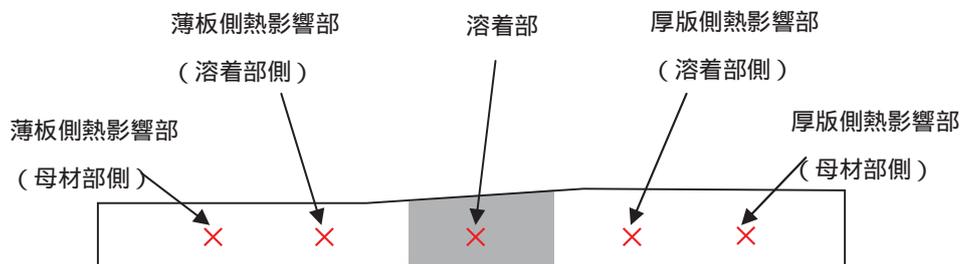
(3) 周溶接部観察位置

a . 断面マクロ観察位置

- ・周溶接部断面

b . 断面ミクロ観察位置

- : 薄板側熱影響部 (母材部側)
- : 薄板側熱影響部 (溶着部側)
- : 溶着部
- : 厚板側熱影響部 (溶着部側)
- : 厚板側熱影響部 (母材部側)



周溶接部ミクロ観察位置

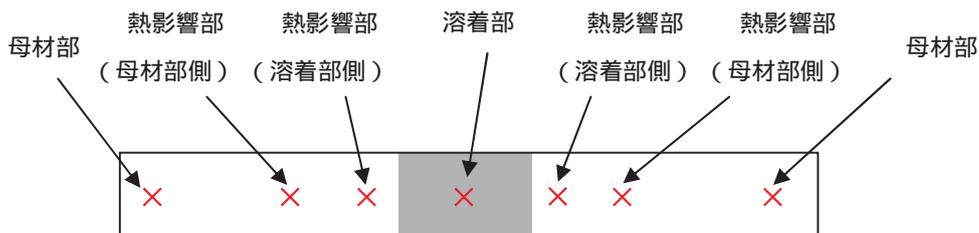
(4) 長手溶接部観察位置

a . 断面マクロ観察位置

- ・長手溶接部断面

b . 断面ミクロ観察位置

- : 母材部
- : 熱影響部 (母材部側)
- : 熱影響部 (溶着部側)
- : 溶着部

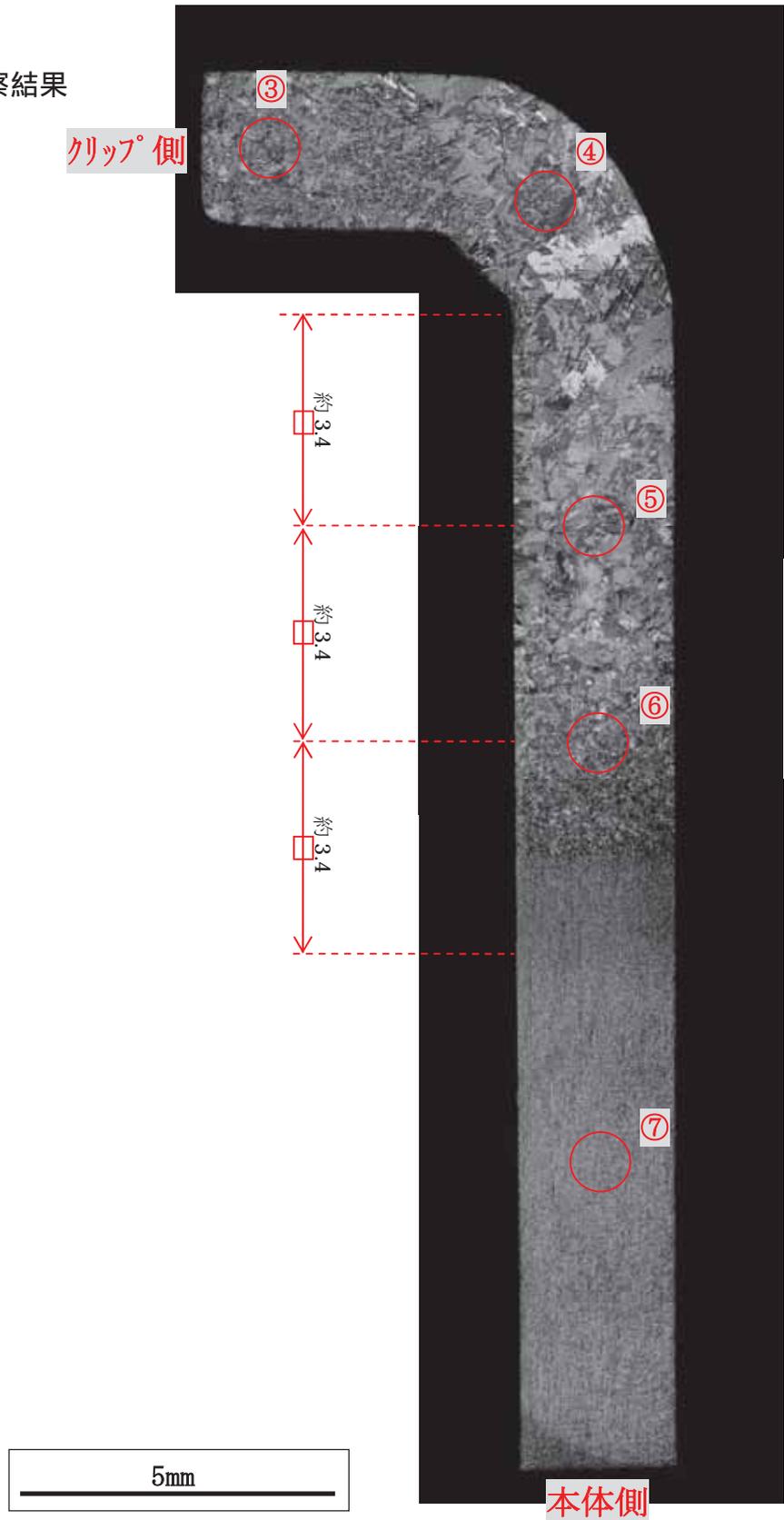


長手溶接部ミクロ観察位置

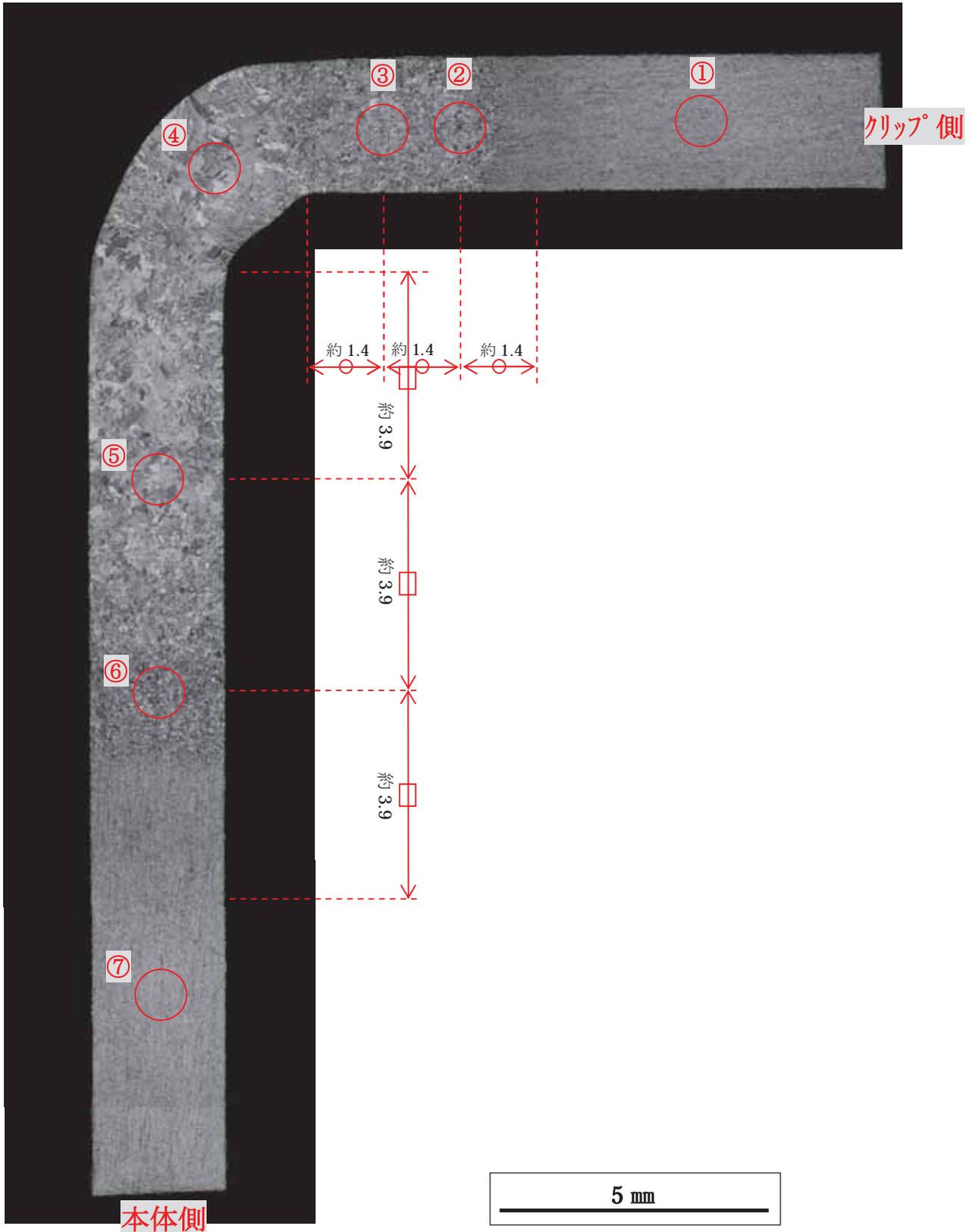
3. 観察結果

(1) 断面観察結果

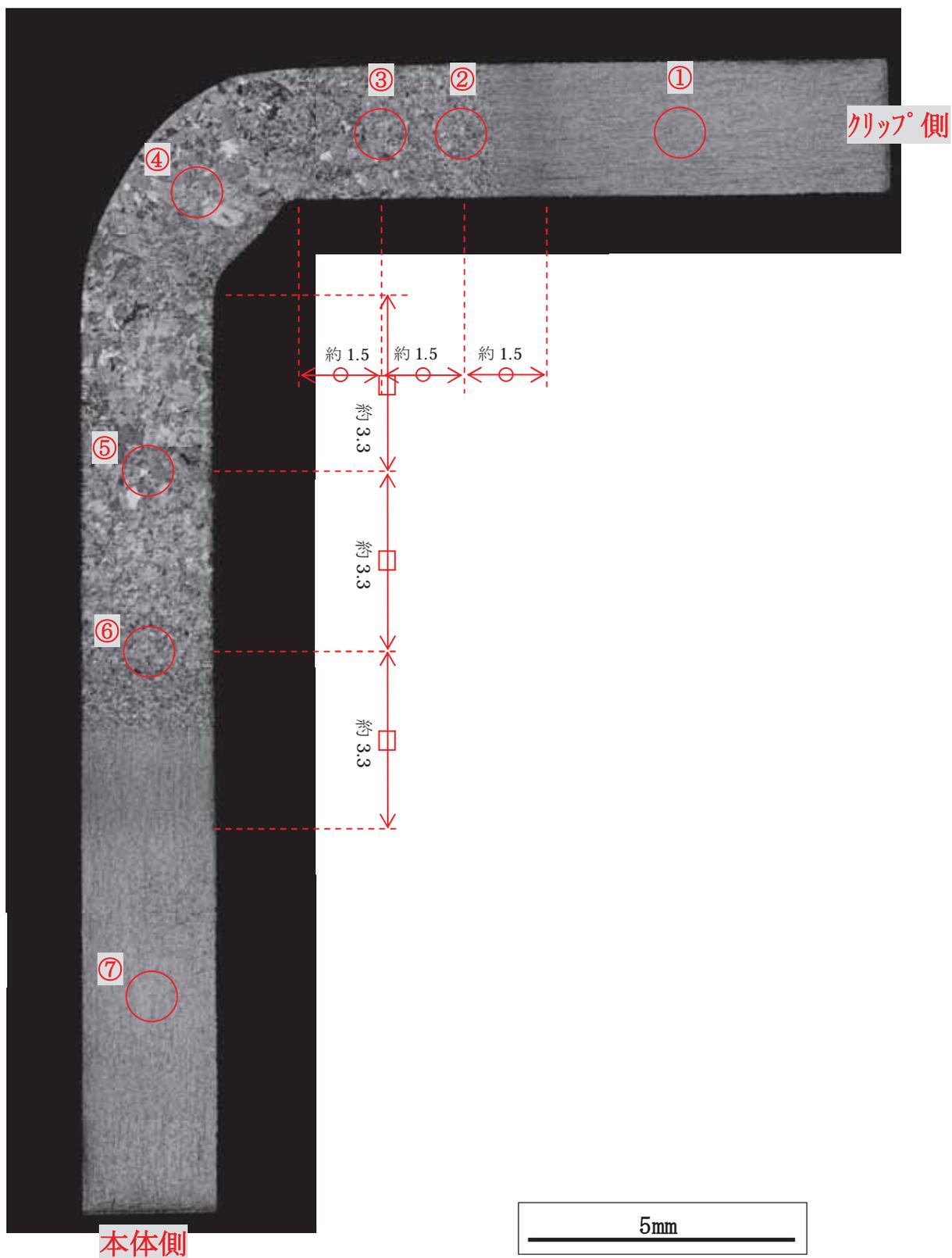
a. 断面マクロ観察結果



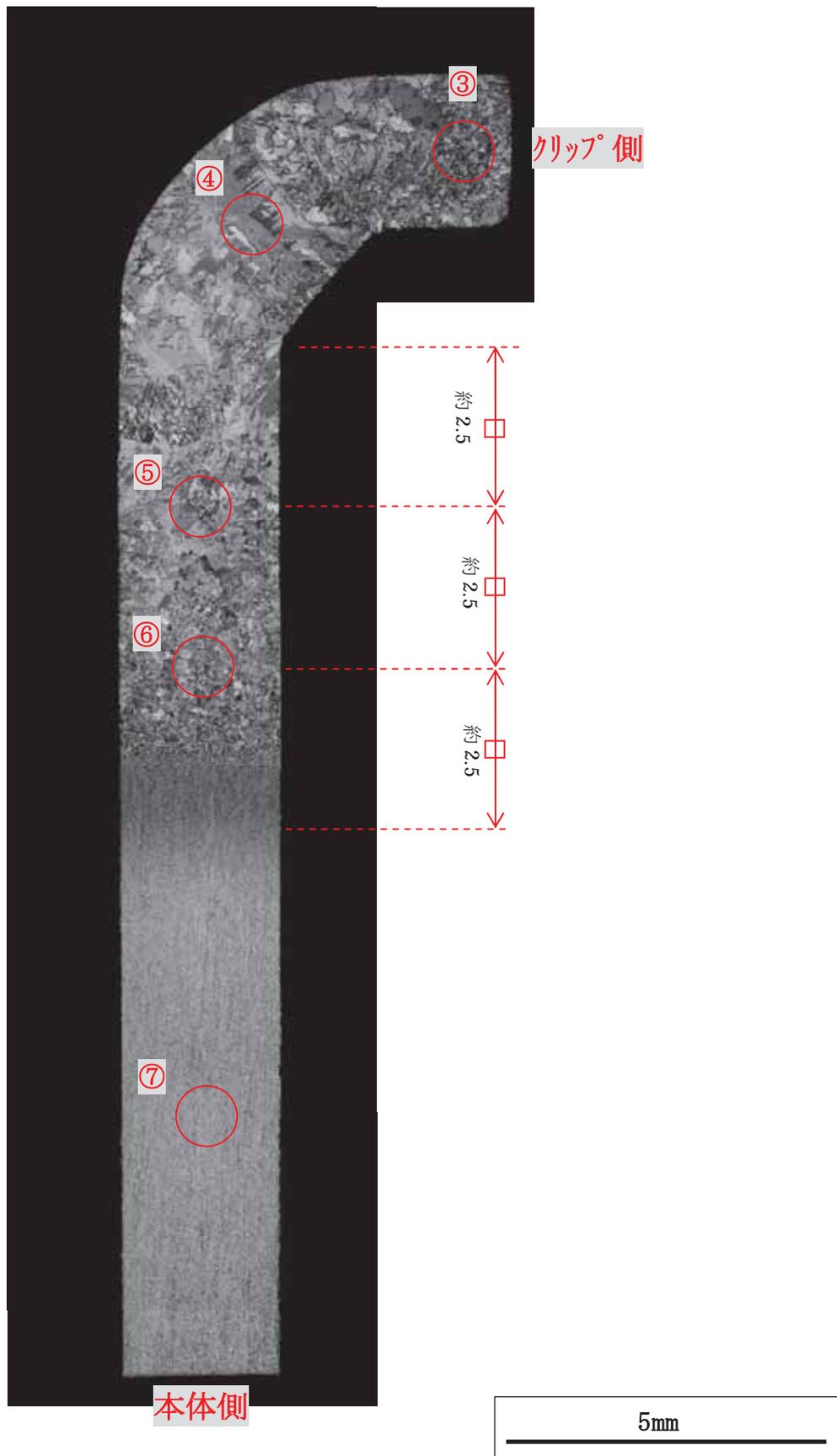
別紙 2 - 図 1 - 1 断面マクロ観察結果
(自動溶接 A面 クリップ端部)



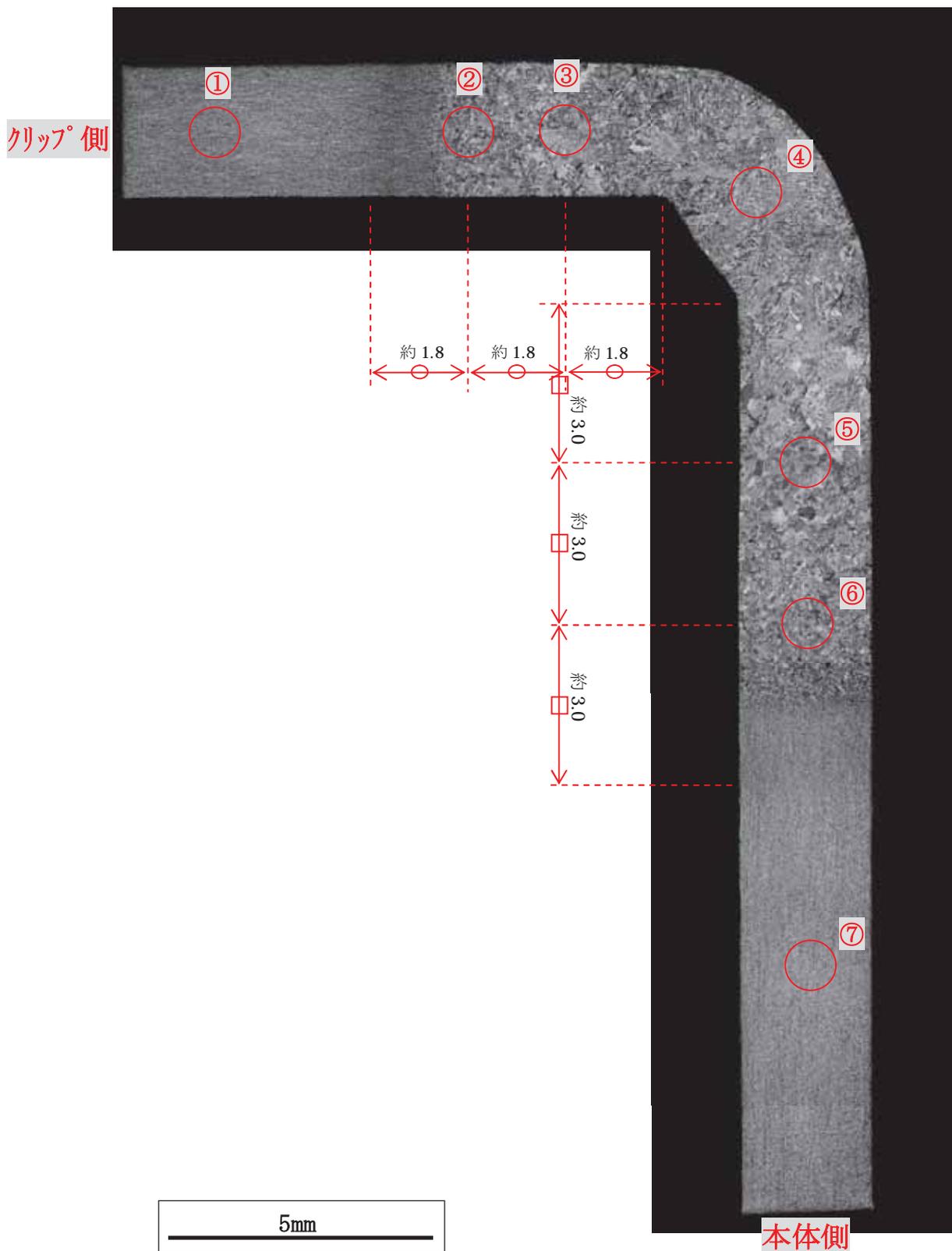
別紙 2 - 図 1 - 2 断面マクロ観察結果
 (自動溶接 A面 クリップ端部から 12 . 5 mm)



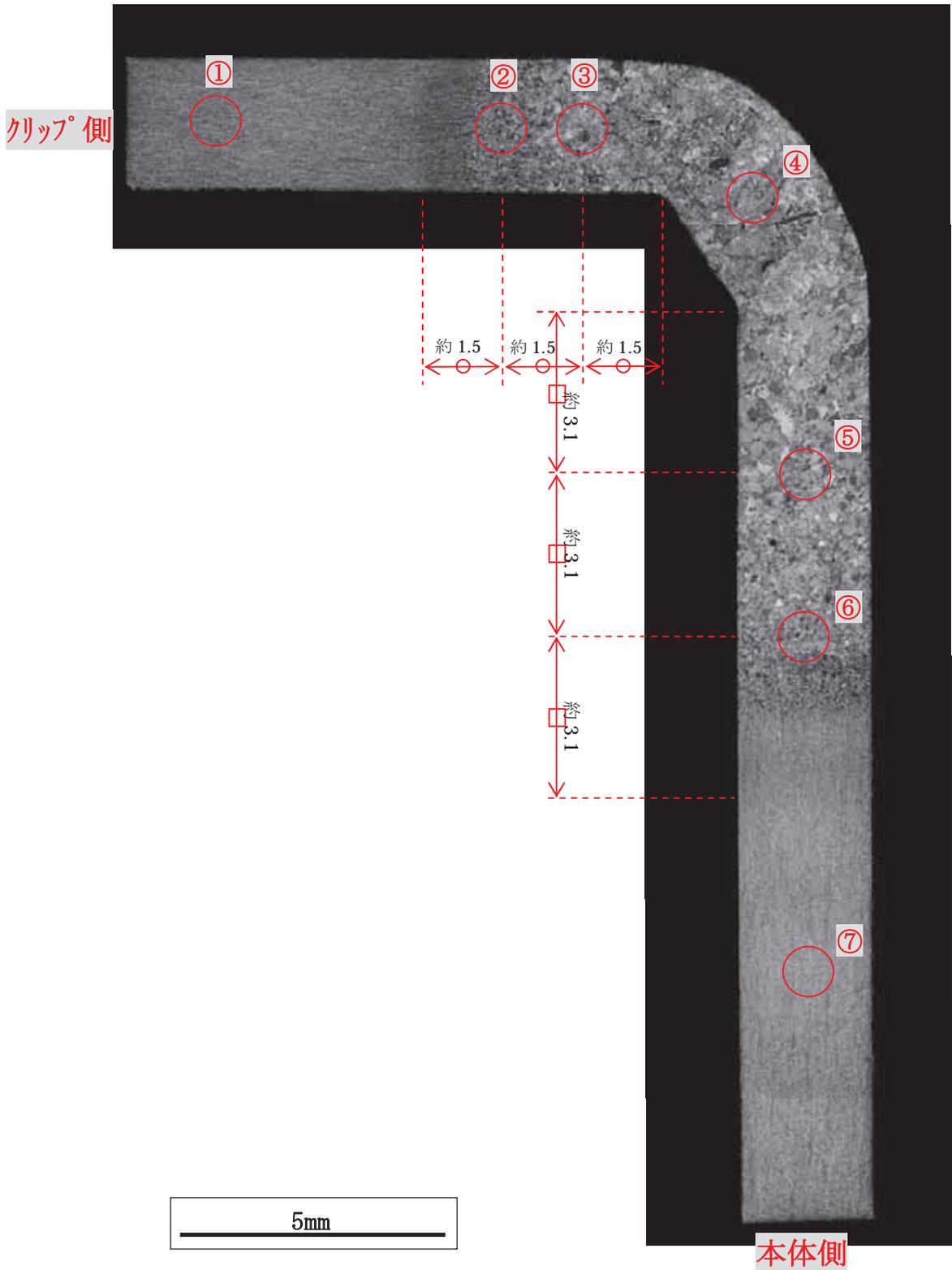
別紙 2 - 図 1 - 3 断面マクロ観察結果
 (自動溶接 A 面 クリップ端部から 2.5 mm)



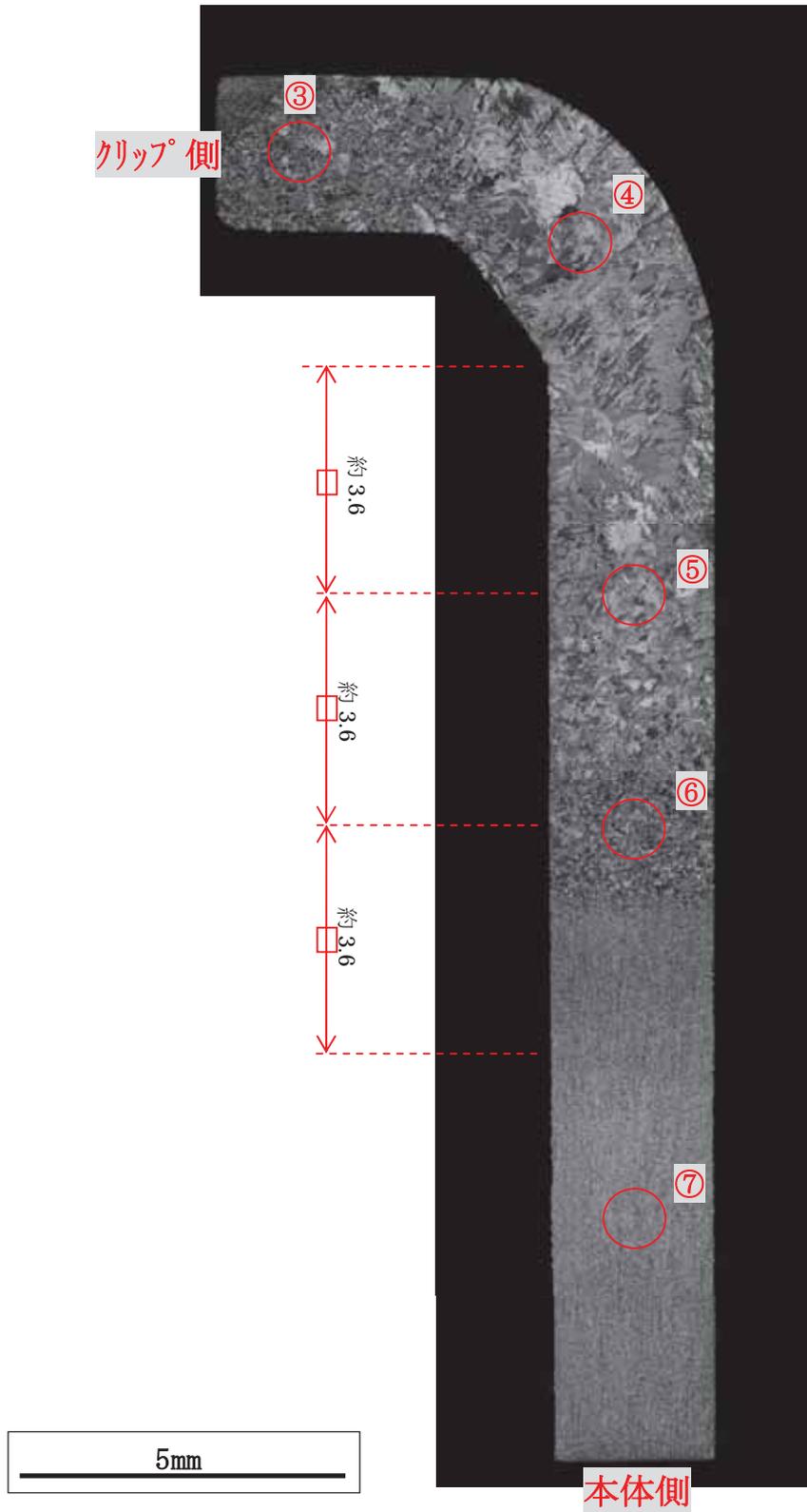
別紙 2 - 図 1 - 4 断面マクロ観察結果
(自動溶接 B面 クリップ端部)



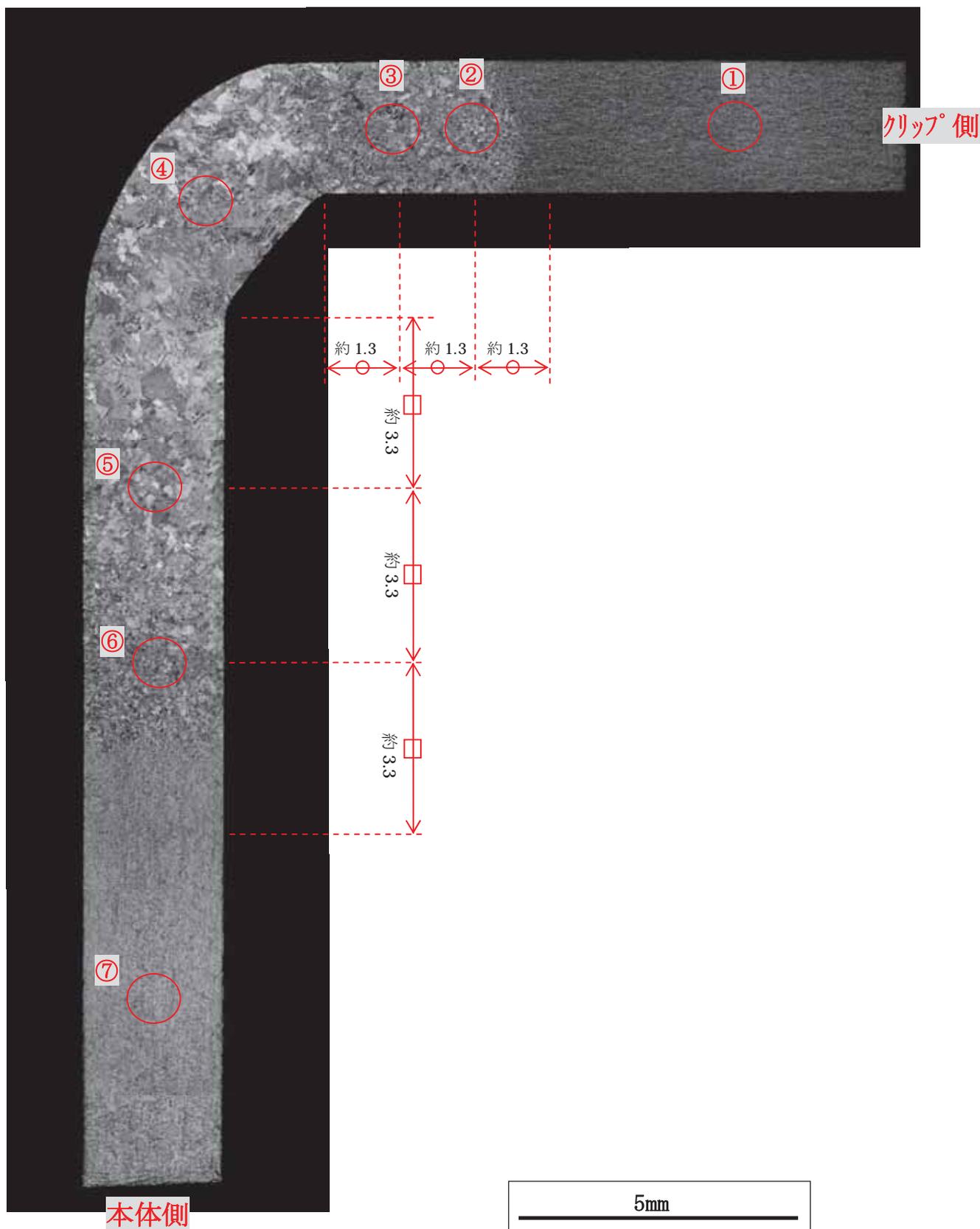
別紙 2 - 図 1 - 5 断面マクロ観察結果
(自動溶接 B 面 クリップ端部から 12 . 5 mm)



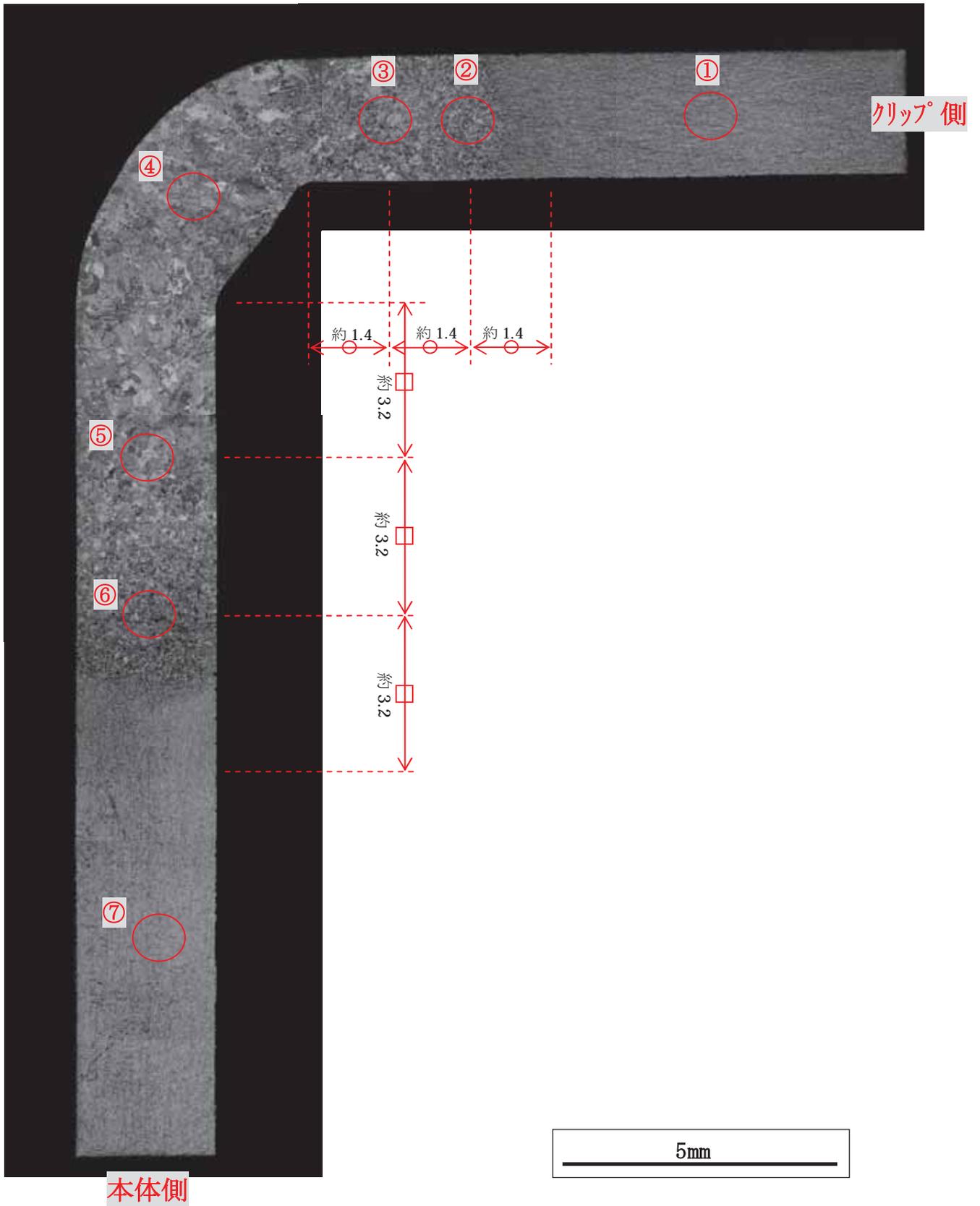
別紙 2 - 図 1 - 6 断面マクロ観察結果
(自動溶接 B 面 クリップ端部から 25 mm)



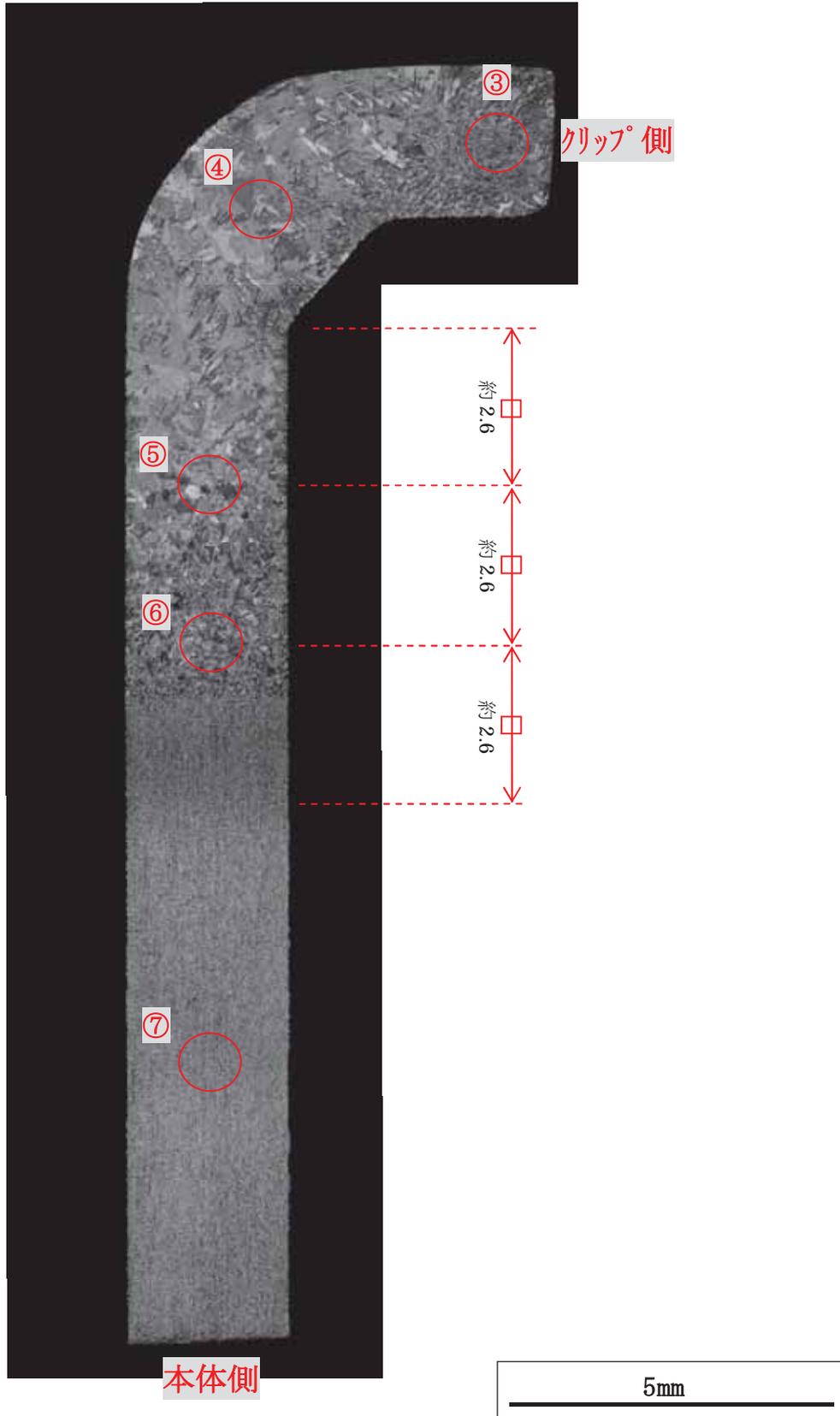
別紙 2 - 図 1 - 7 断面マクロ観察結果
(自動溶接 C面 クリップ端部)



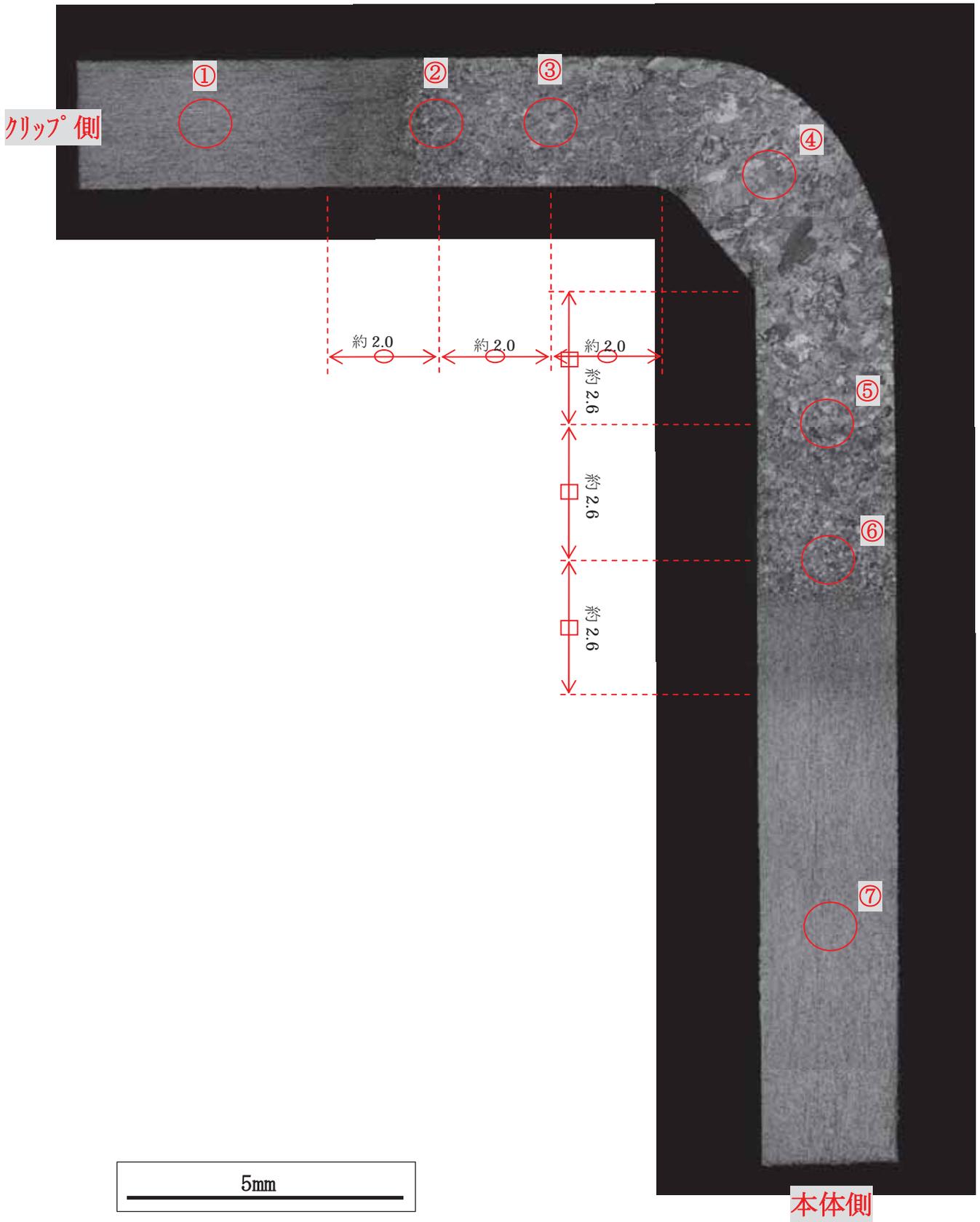
別紙 2 - 図 1 - 8 断面マクロ観察結果
 (自動溶接 C面 クリップ端部から 12 . 5 mm)



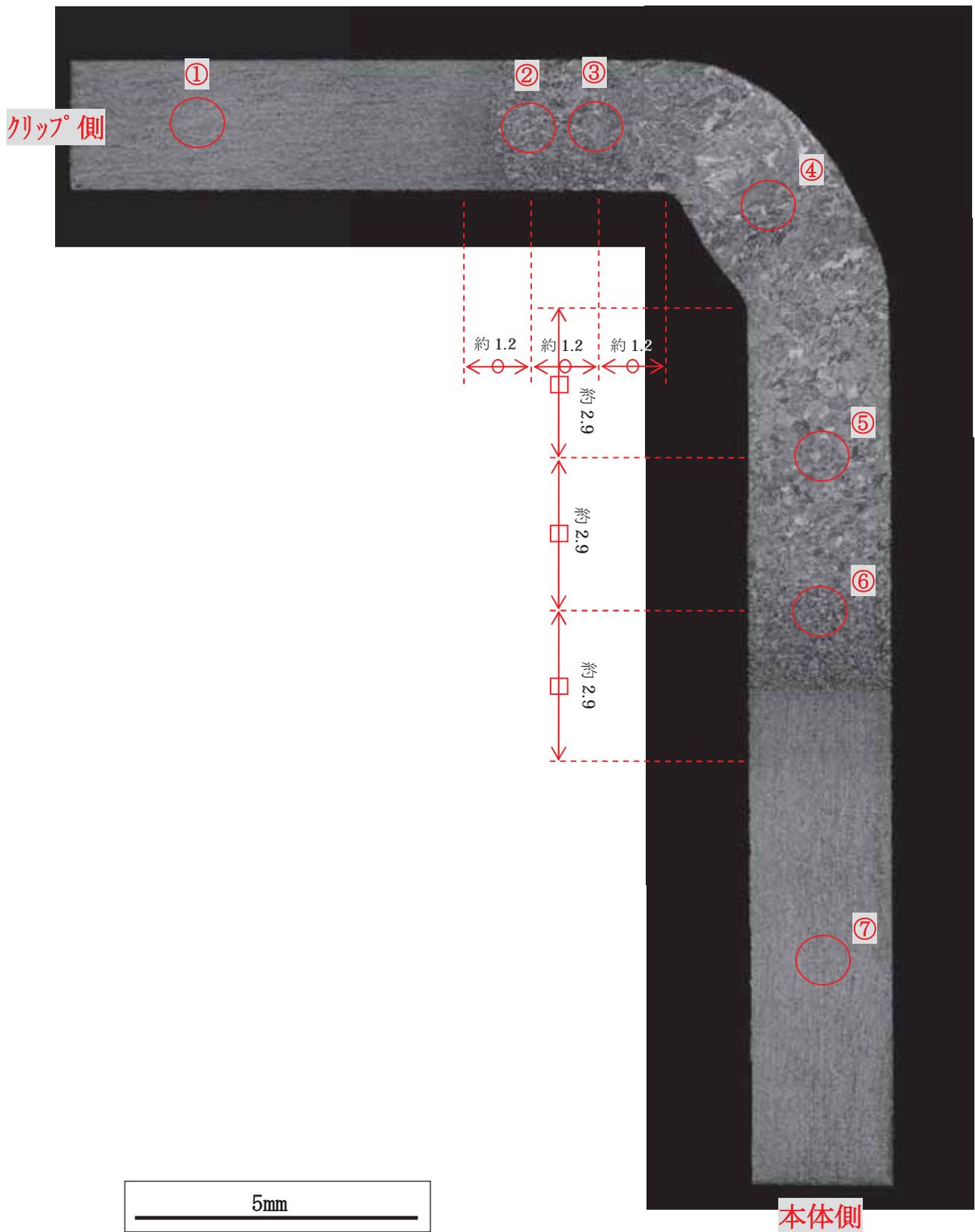
別紙 2 - 図 1 - 9 断面マクロ観察結果
(自動溶接 C 面 クリップ端部から 2.5 mm)



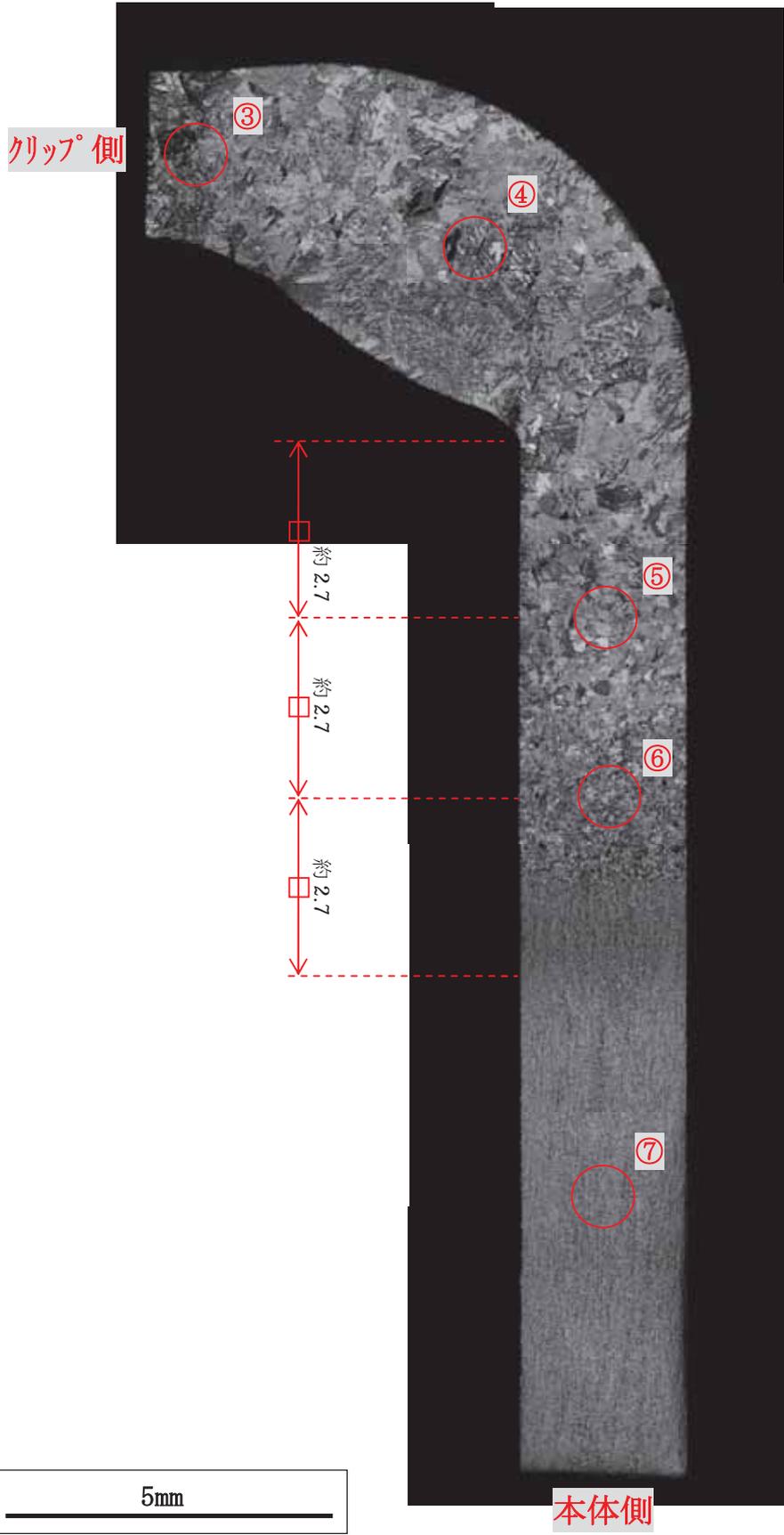
別紙 2 - 図 1 - 10 断面マクロ観察結果
(自動溶接 D面 クリップ端部)



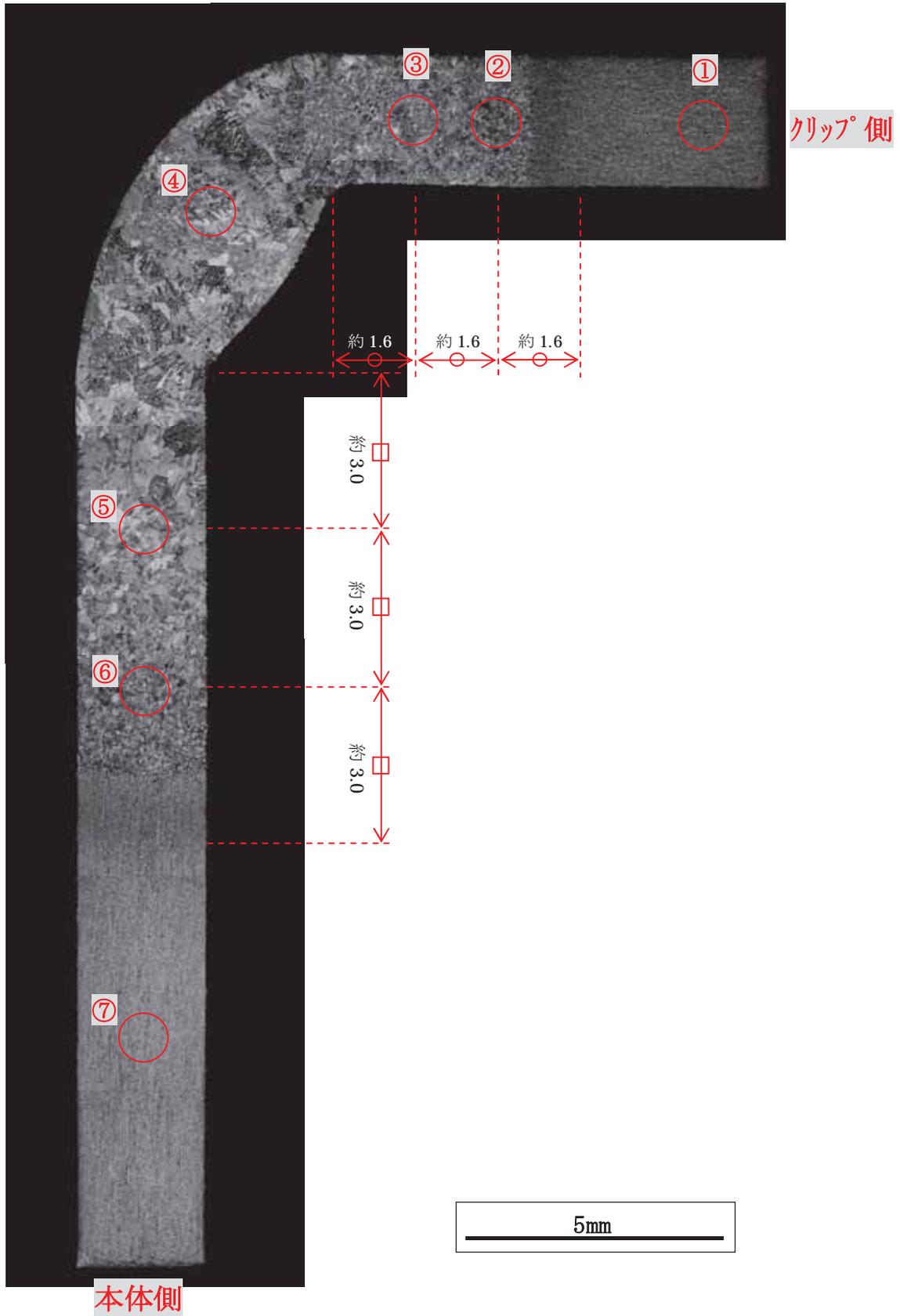
別紙 2 - 図 1 - 1 1 断面マクロ観察結果
 (自動溶接 D面 クリップ端部から 12 . 5 mm)



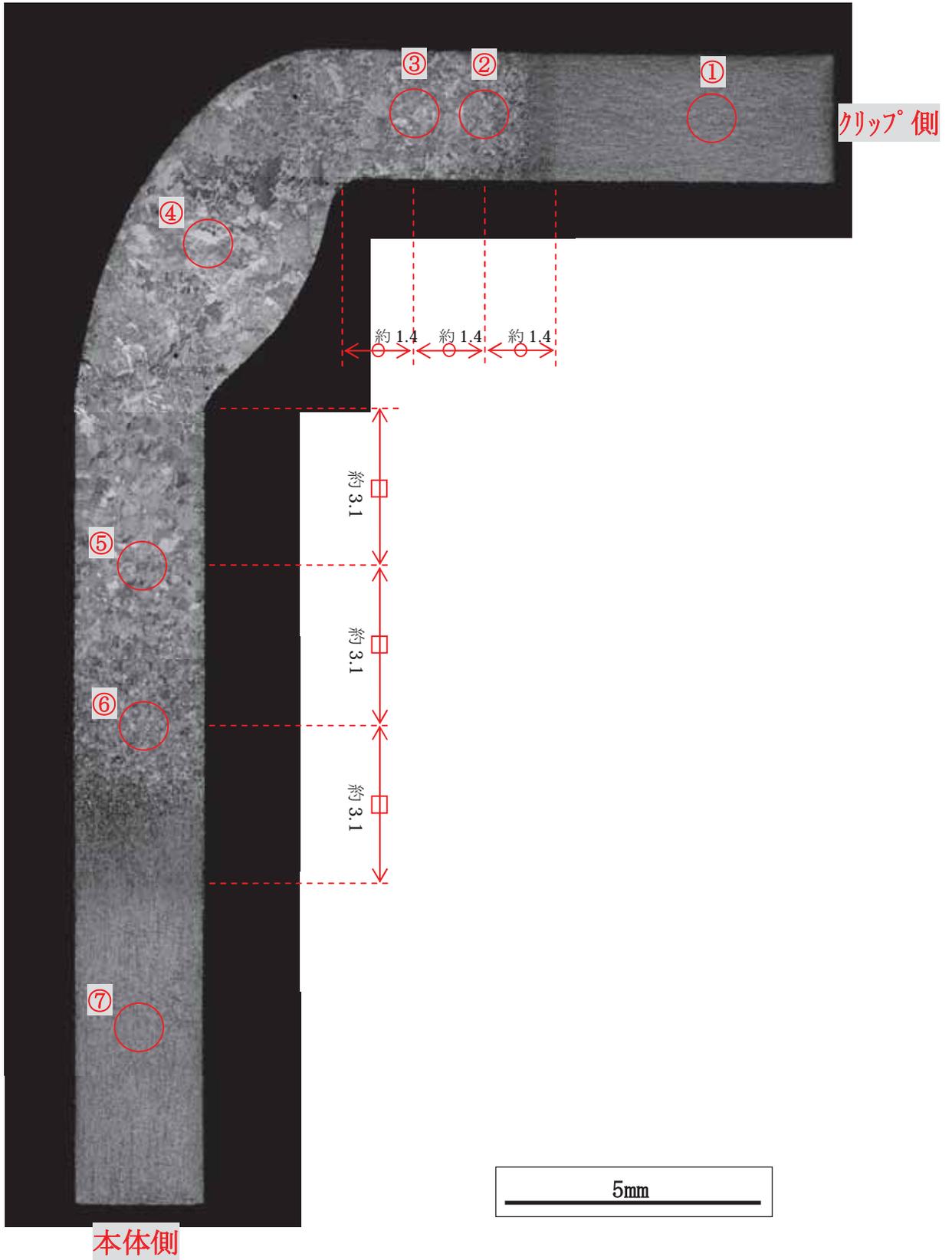
別紙 2 - 図 1 - 1 2 断面マクロ観察結果
(自動溶接 D面 クリップ端部から 25mm)



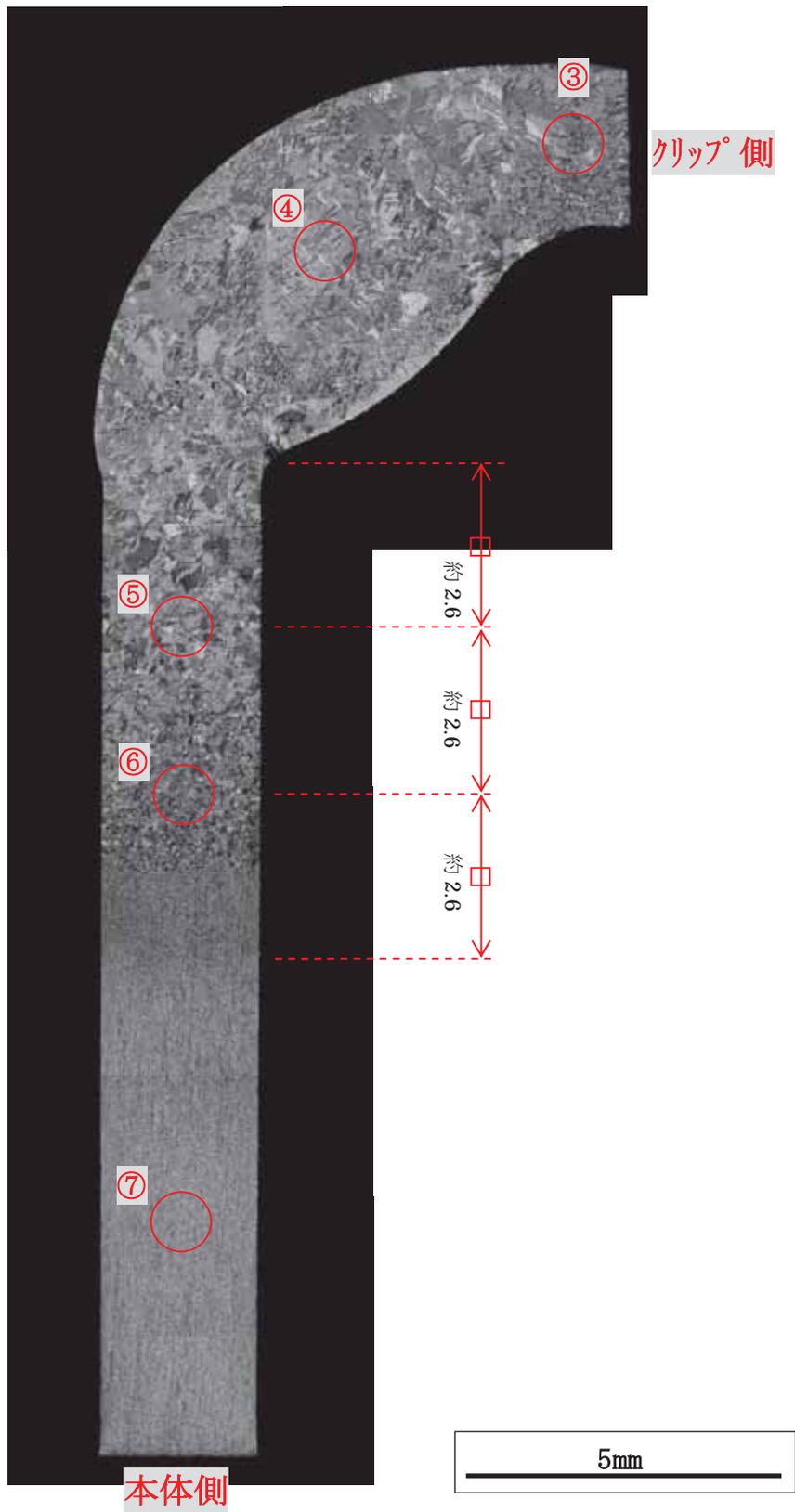
別紙 2 - 図 1 - 13 断面マクロ観察結果
(手動溶接 A面 クリップ端部)



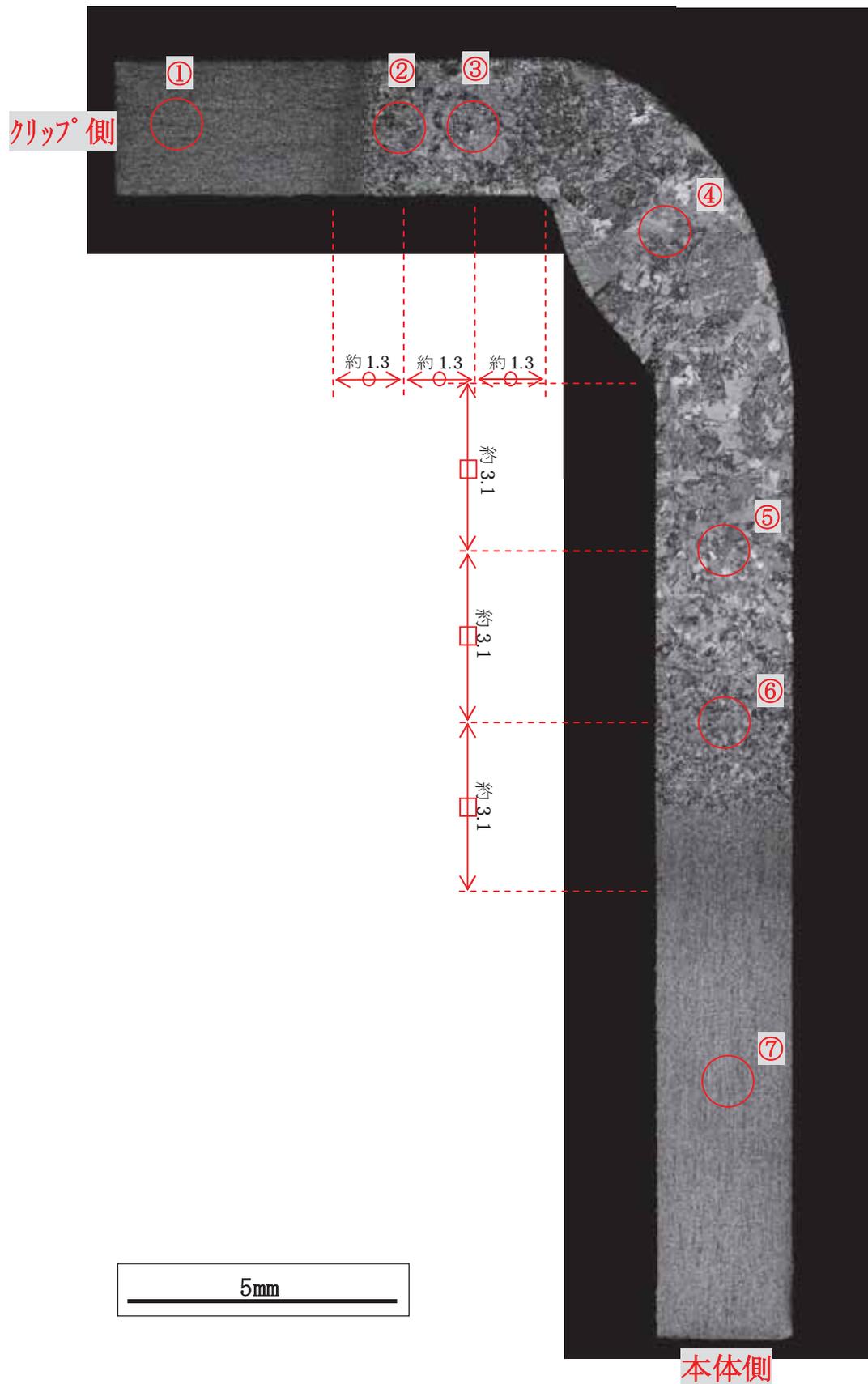
別紙 2 - 図 1 - 14 断面マクロ観察結果
 (手動溶接 A面 クリップ端部から 12.5 mm)



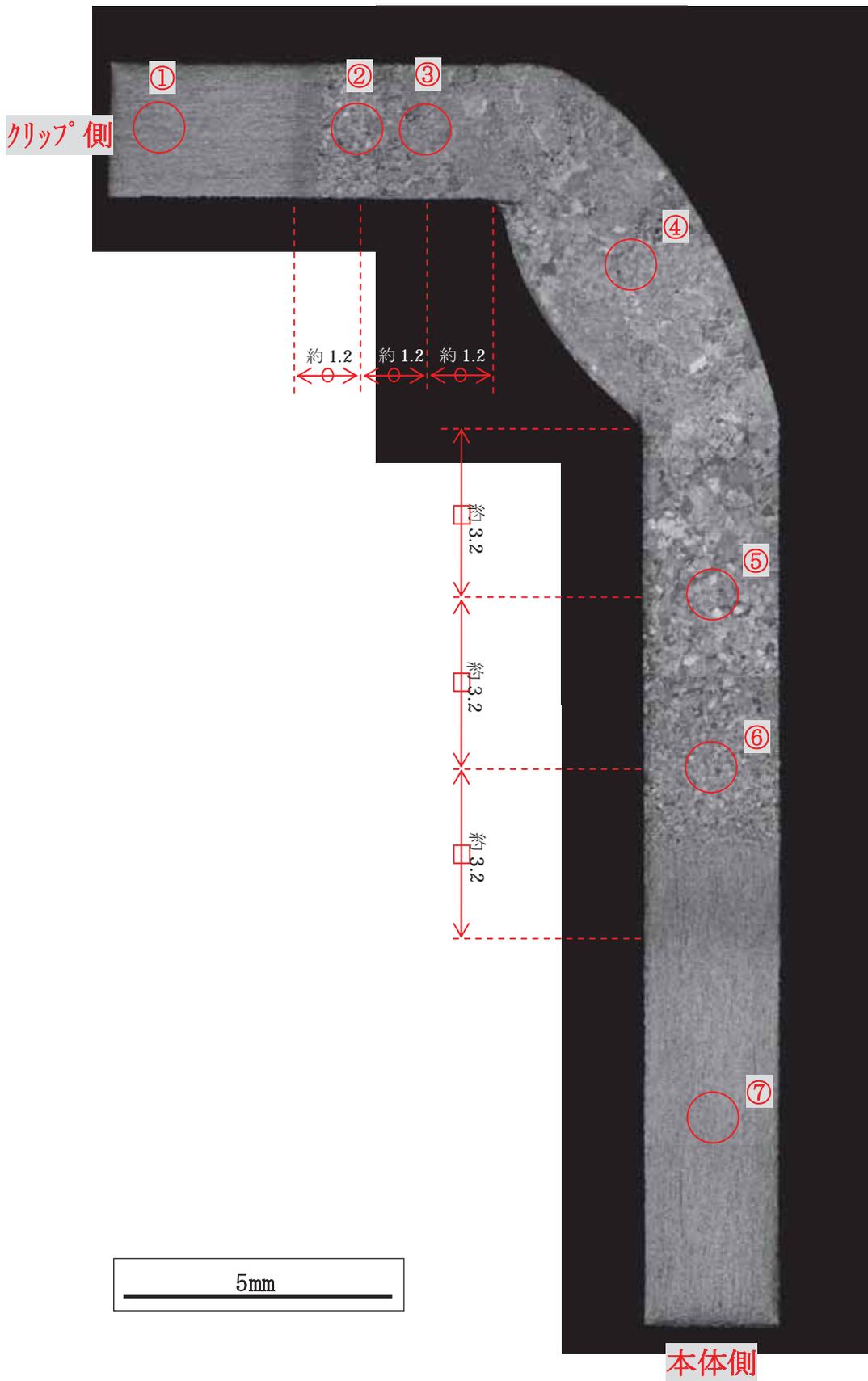
別紙 2 - 図 1 - 15 断面マクロ観察結果
(手動溶接 A面 クリップ端部から 25mm)



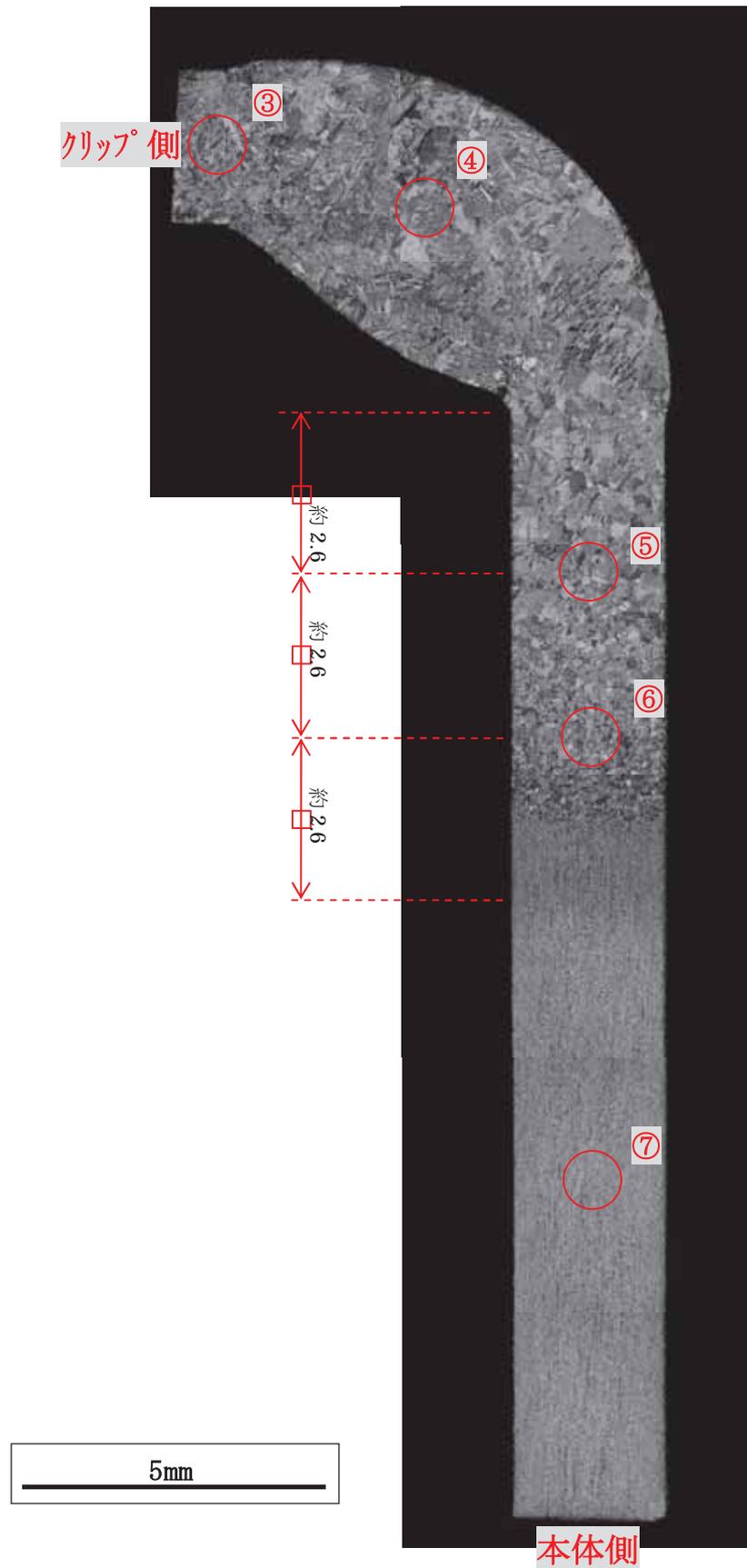
別紙 2 - 図 1 - 16 断面マクロ観察結果
(手動溶接 B面 クリップ端部)



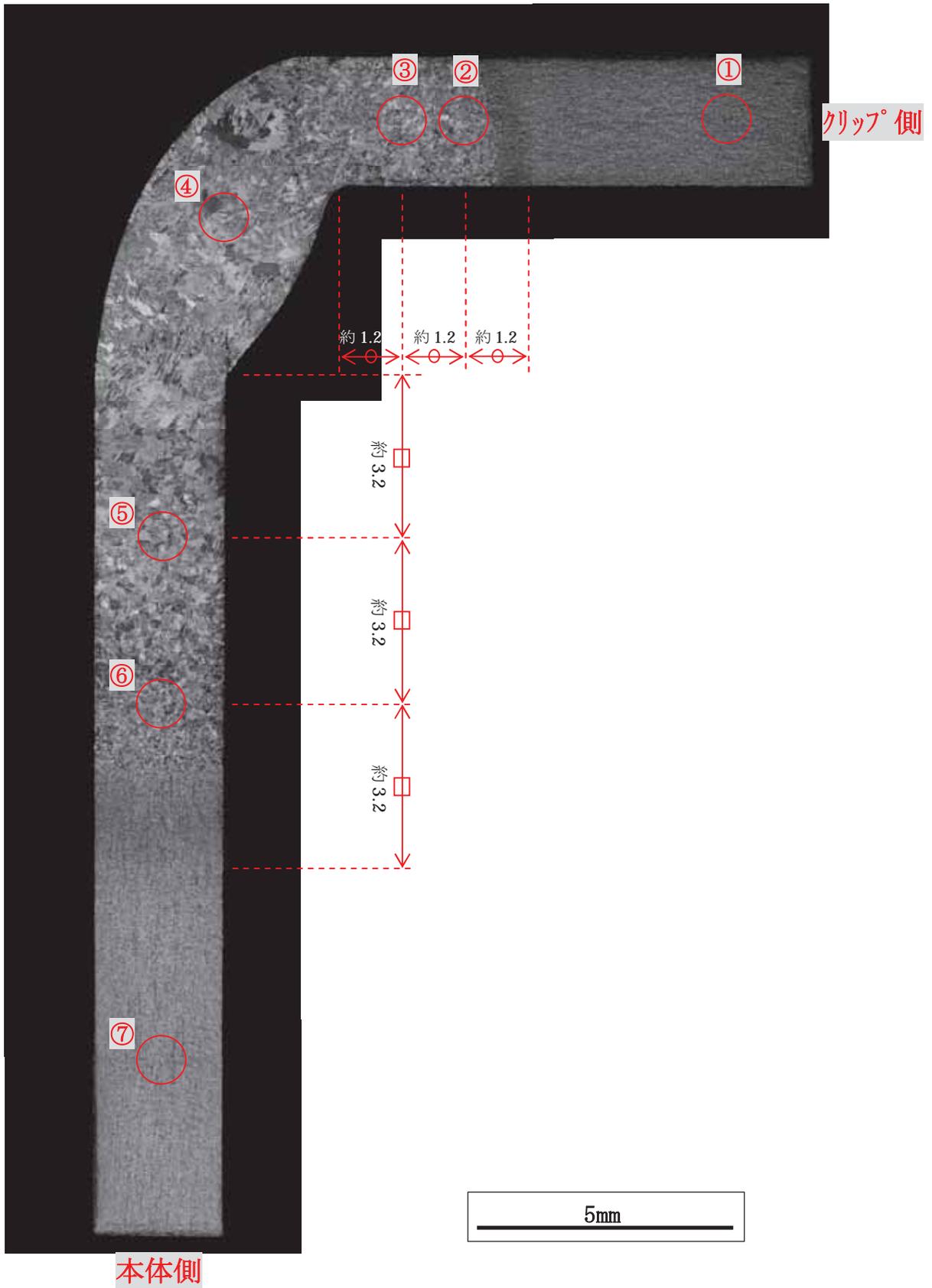
別紙2 - 図1 - 17 断面マクロ観察結果
 (手動溶接 B面 クリップ端部から12.5mm)



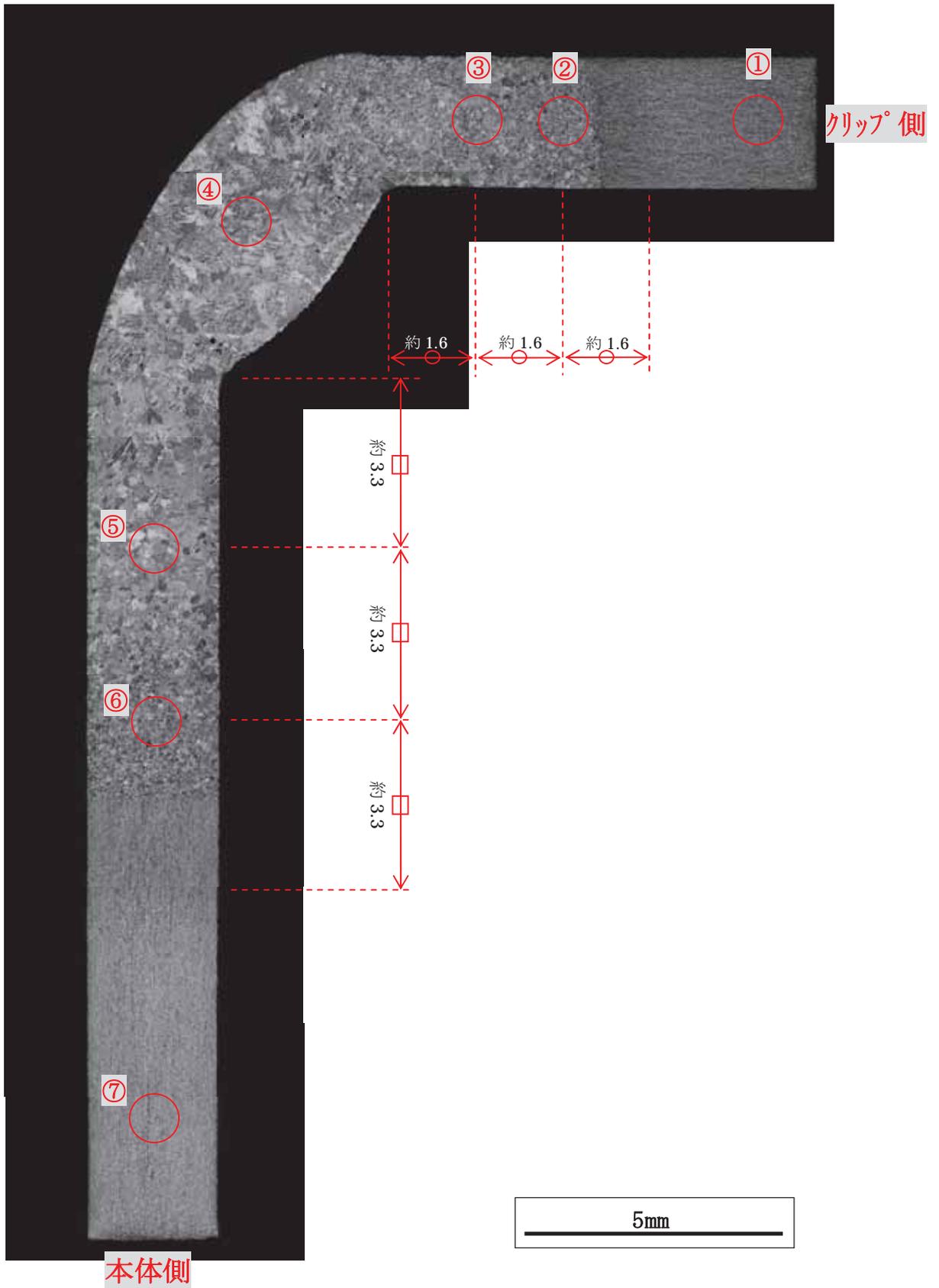
別紙 2 - 図 1 - 18 断面マクロ観察結果
(手動溶接 B 面 クリップ端部から 25 mm)



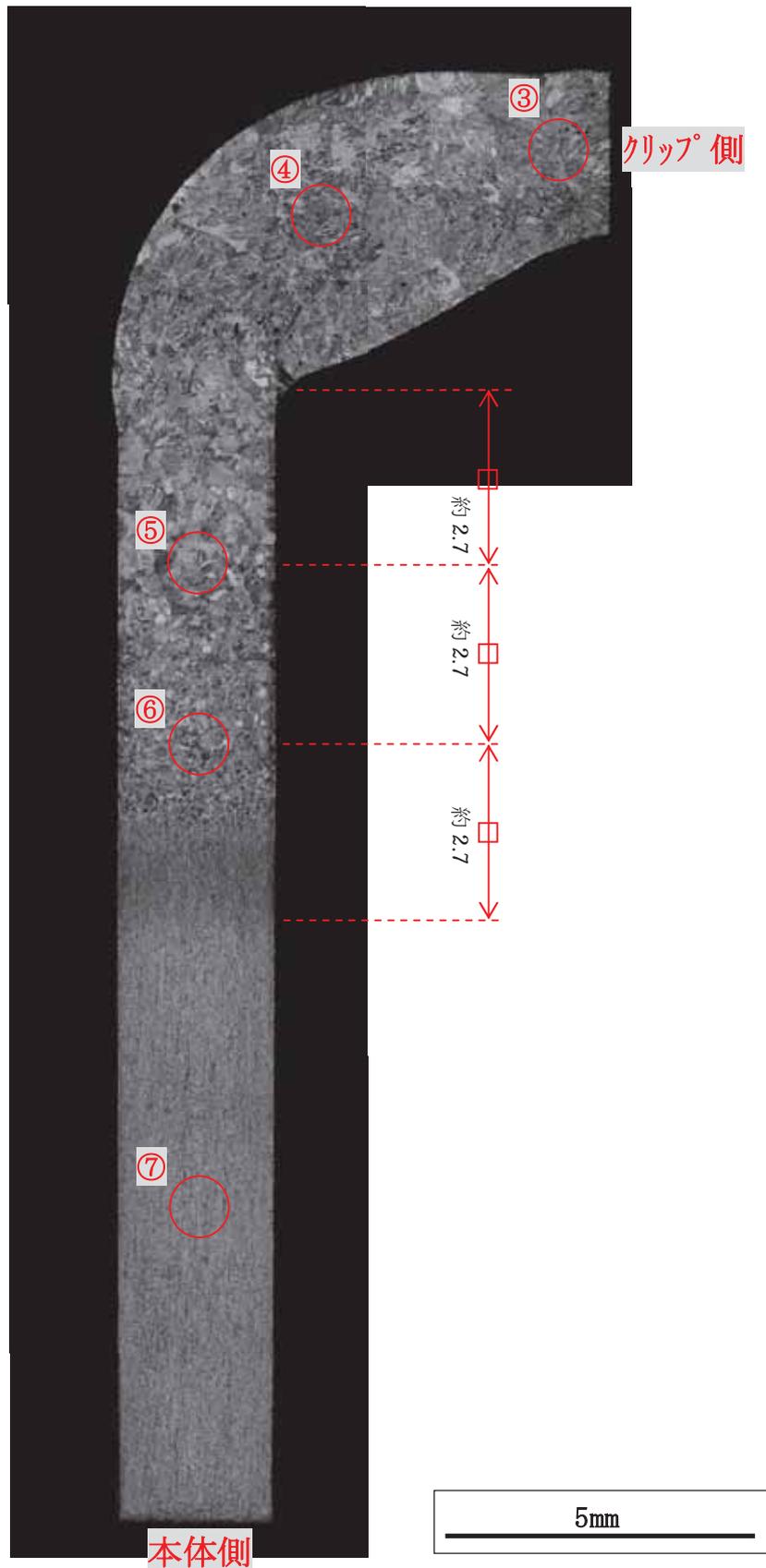
別紙 2 - 図 1 - 19 断面マクロ観察結果
(手動溶接 C 面 クリップ端部)



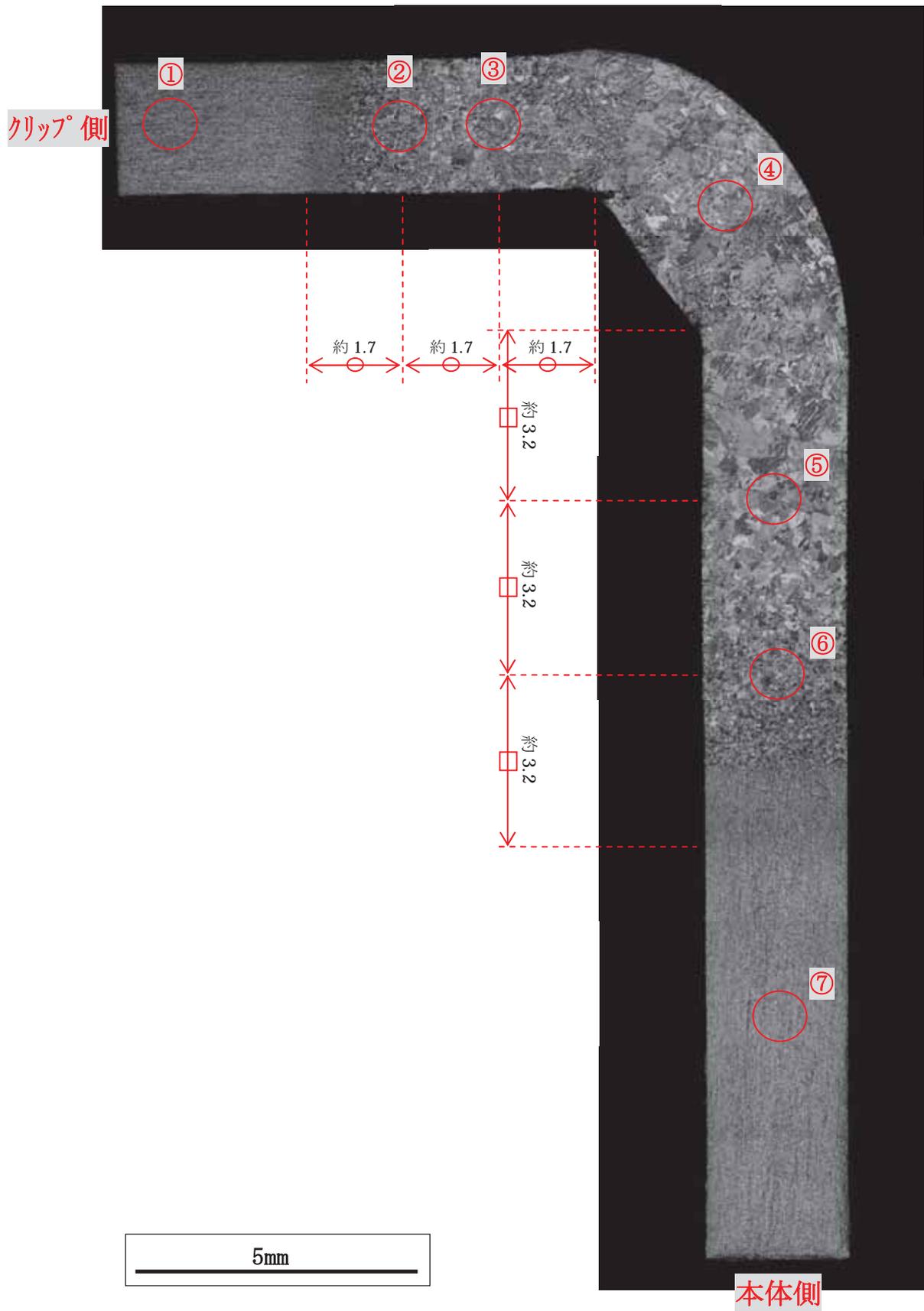
別紙 2 - 図 1 - 20 断面マクロ観察結果
 (手動溶接 C面 クリップ端部から 12 . 5 mm)



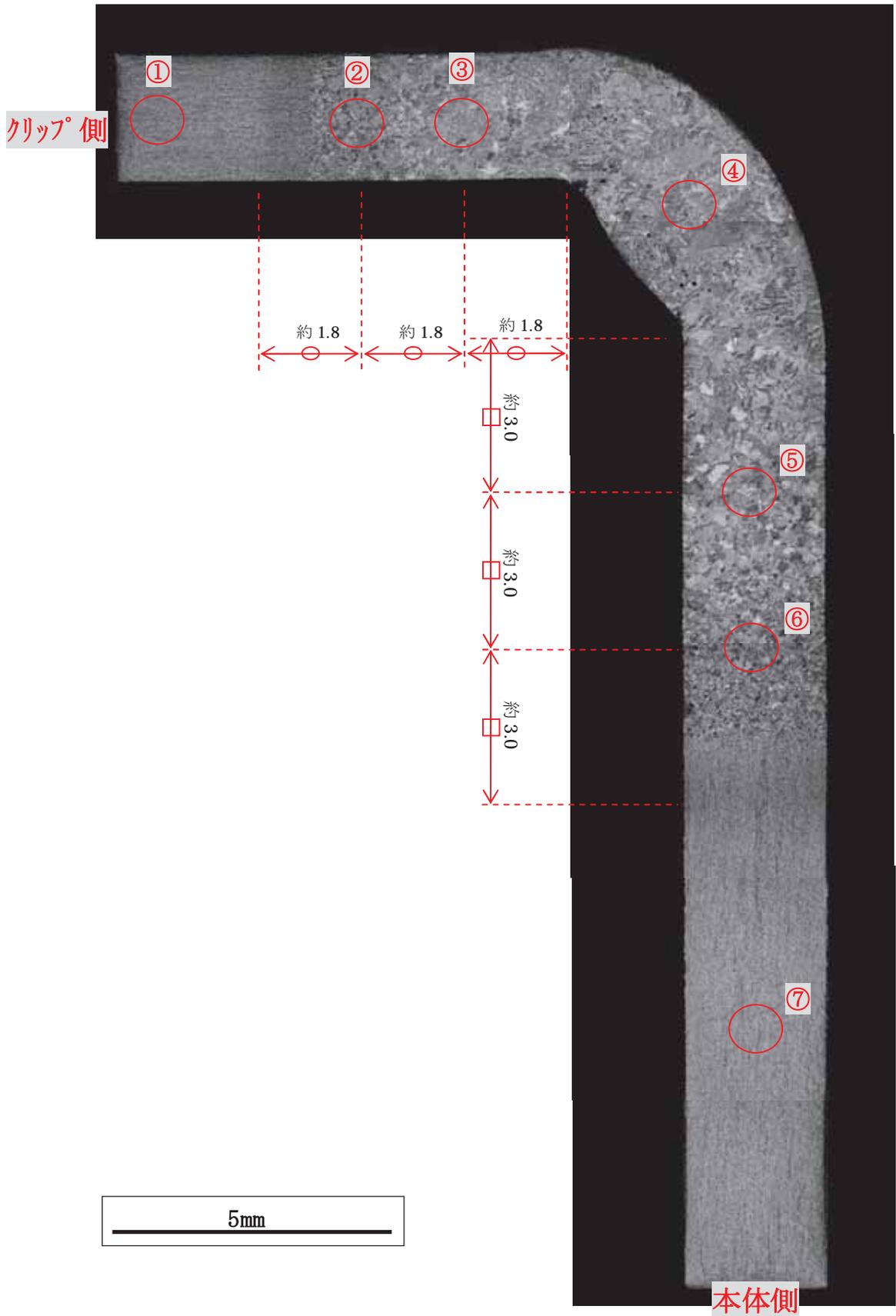
別紙 2 - 図 1 - 2 1 断面マクロ観察結果
(手動溶接 C 面 クリップ端部から 2 5 mm)



別紙 2 - 図 1 - 2 2 断面マクロ観察結果
(手動溶接 D面 クリップ端部)

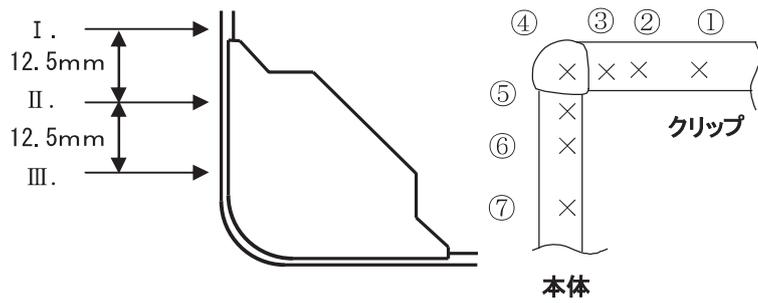


別紙 2 - 図 1 - 2 3 断面マクロ観察結果
(手動溶接 D面 クリップ端部から 12 . 5 mm)



別紙 2 - 図 1 - 2 4 断面マクロ観察結果
(手動溶接 D面 クリップ端部から 2 5 mm)

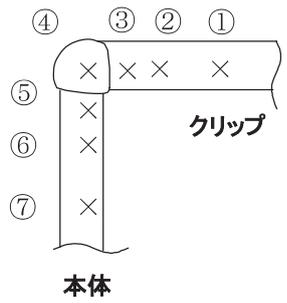
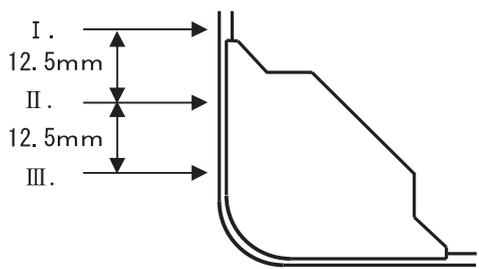
b. 断面ミクロ観察結果（フィルタ有）



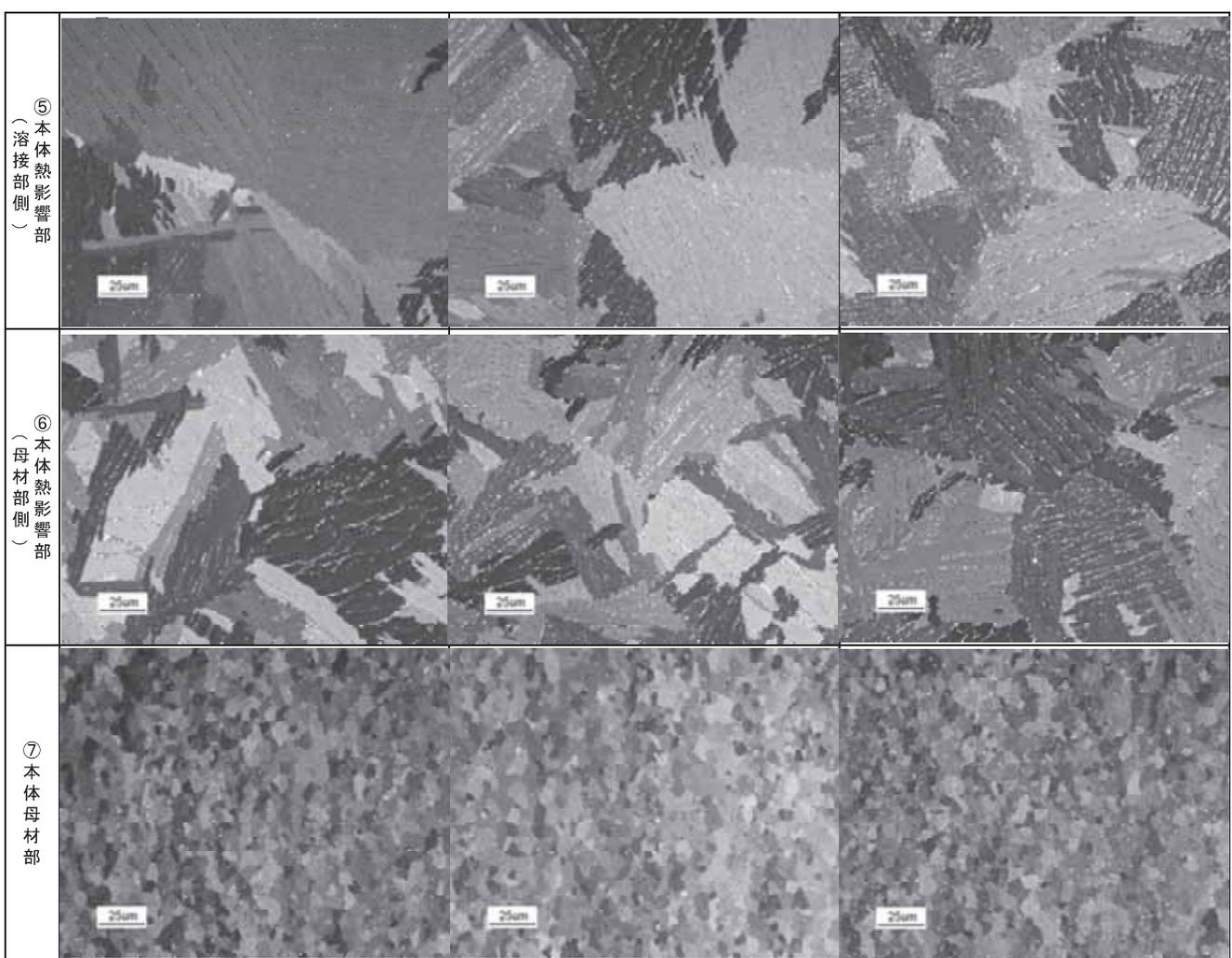
観察対象	結晶組織
溶接方法	自動溶接
観察部位	A面
観察倍率	400倍

観察断面	I. クリップ端部	II. クリップ端部から12.5mm	III. クリップ端部から25mm
① クリップ母材部	[Diagonal line]		
② クリップ(母材部)熱影響部			
③ クリップ(溶着部側)熱影響部			
④ 溶着部			

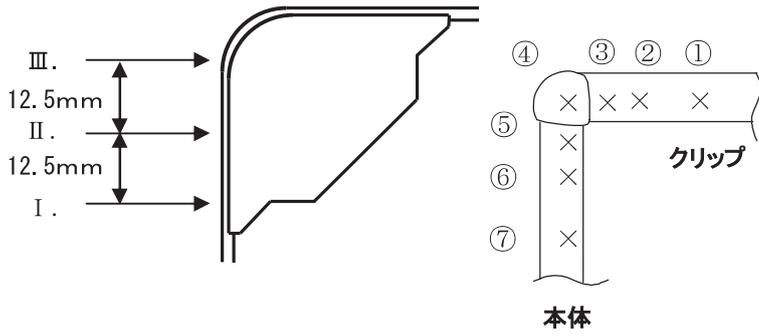
別紙2-図2-1 断面ミクロ結晶組織観察結果 (1/2)
 (自動溶接 A面 観察倍率400倍)



観察対象	結晶組織
溶接方法	自動溶接
観察部位	A面
観察倍率	400倍



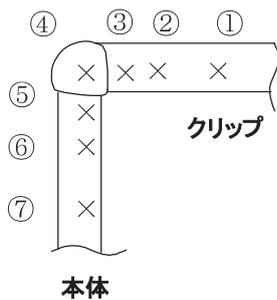
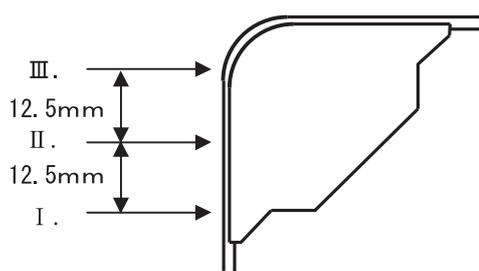
別紙2-図2-1 断面ミクロ結晶組織観察結果 (2/2)
(自動溶接 A面 観察倍率400倍)



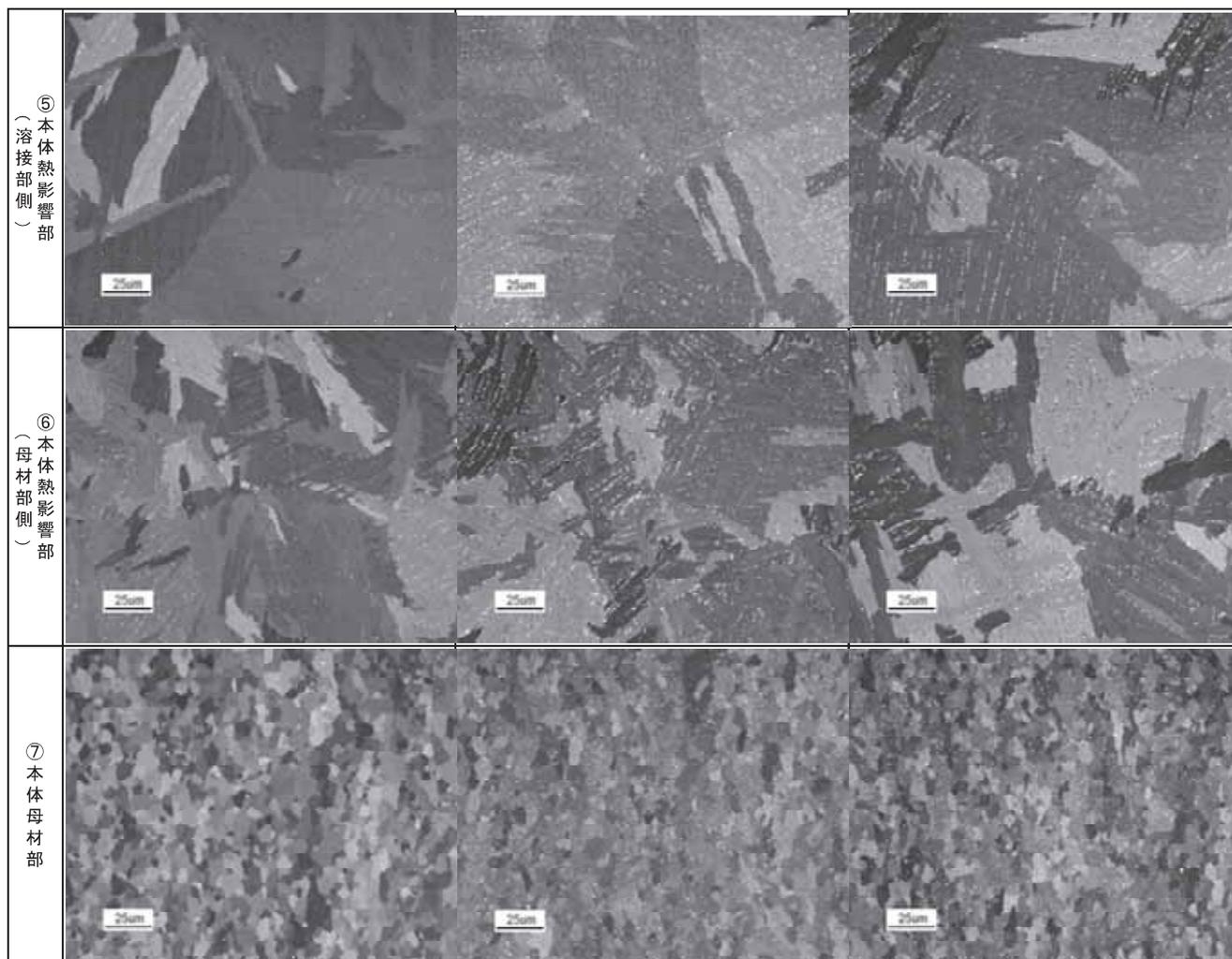
観察対象	結晶組織
溶接方法	自動溶接
観察部位	B面
観察倍率	400倍

観察断面	III. クリップ端部から25mm	II. クリップ端部から12.5mm	I. クリップ端部
① クリップ母材部			
② クリップ(母材部)熱影響部			
③ クリップ(溶着部側)熱影響部			
④ 溶着部			

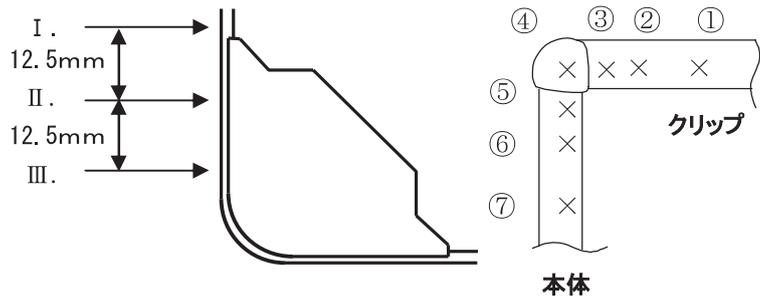
別紙2-図2-2 断面ミクロ結晶組織観察結果 (1/2)
(自動溶接 B面 観察倍率400倍)



観察対象	結晶組織
溶接方法	自動溶接
観察部位	B面
観察倍率	400倍



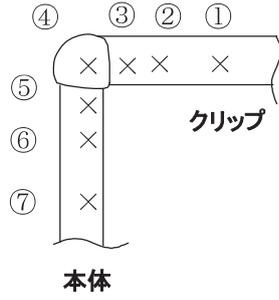
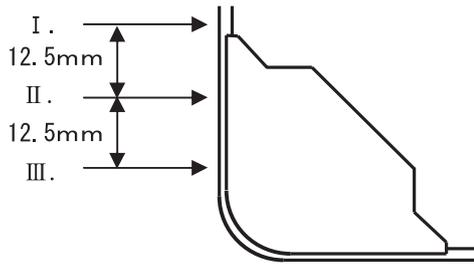
別紙2-図2-2 断面ミクロ組織観察結果 (2/2)
(自動溶接 B面 観察倍率400倍)



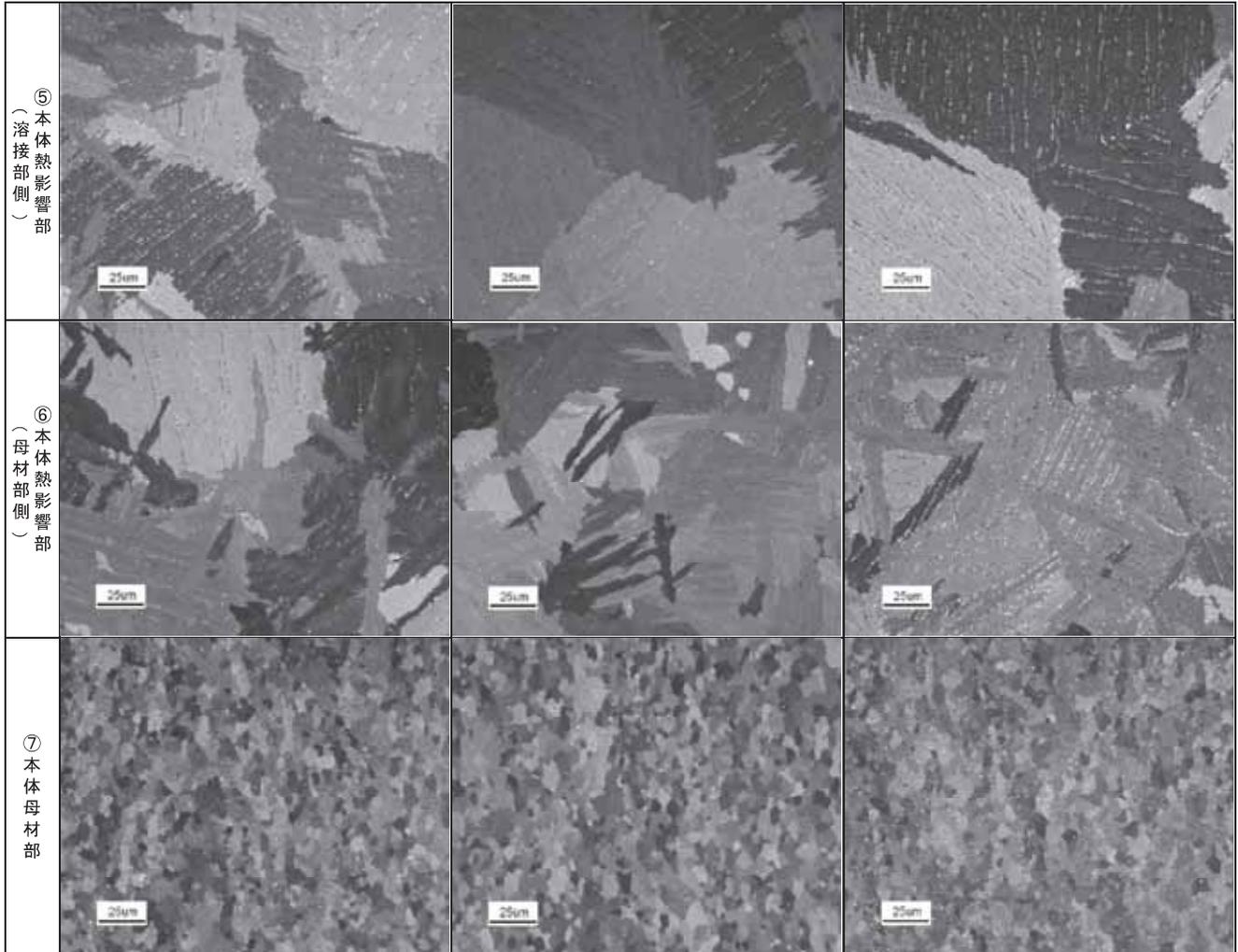
観察対象	結晶組織
溶接方法	自動溶接
観察部位	C面
観察倍率	400倍

観察断面	I. クリップ端部	II. クリップ端部から12.5mm	III. クリップ端部から25mm
① クリップ母材部			
② クリップ(母材部)熱影響部			
③ クリップ(溶着部側)熱影響部			
④ 溶着部			

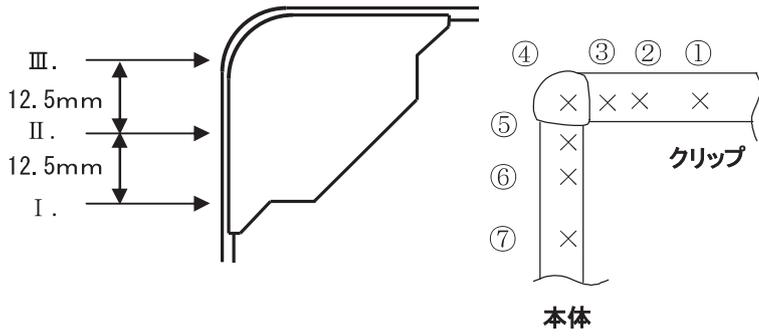
別紙2-図2-3 断面ミクロ組織観察結果 (1/2)
(自動溶接 C面 観察倍率400倍)



観察対象	結晶組織
溶接方法	自動溶接
観察部位	C面
観察倍率	400倍



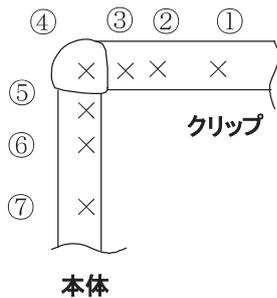
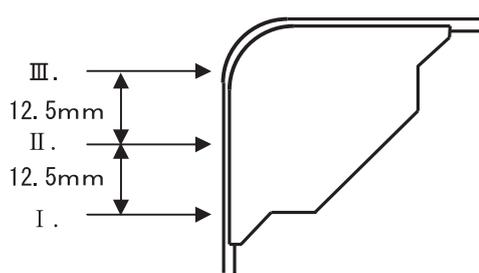
別紙2-図2-3 断面ミクロ組織観察結果 (2/2)
 (自動溶接 C面 観察倍率400倍)



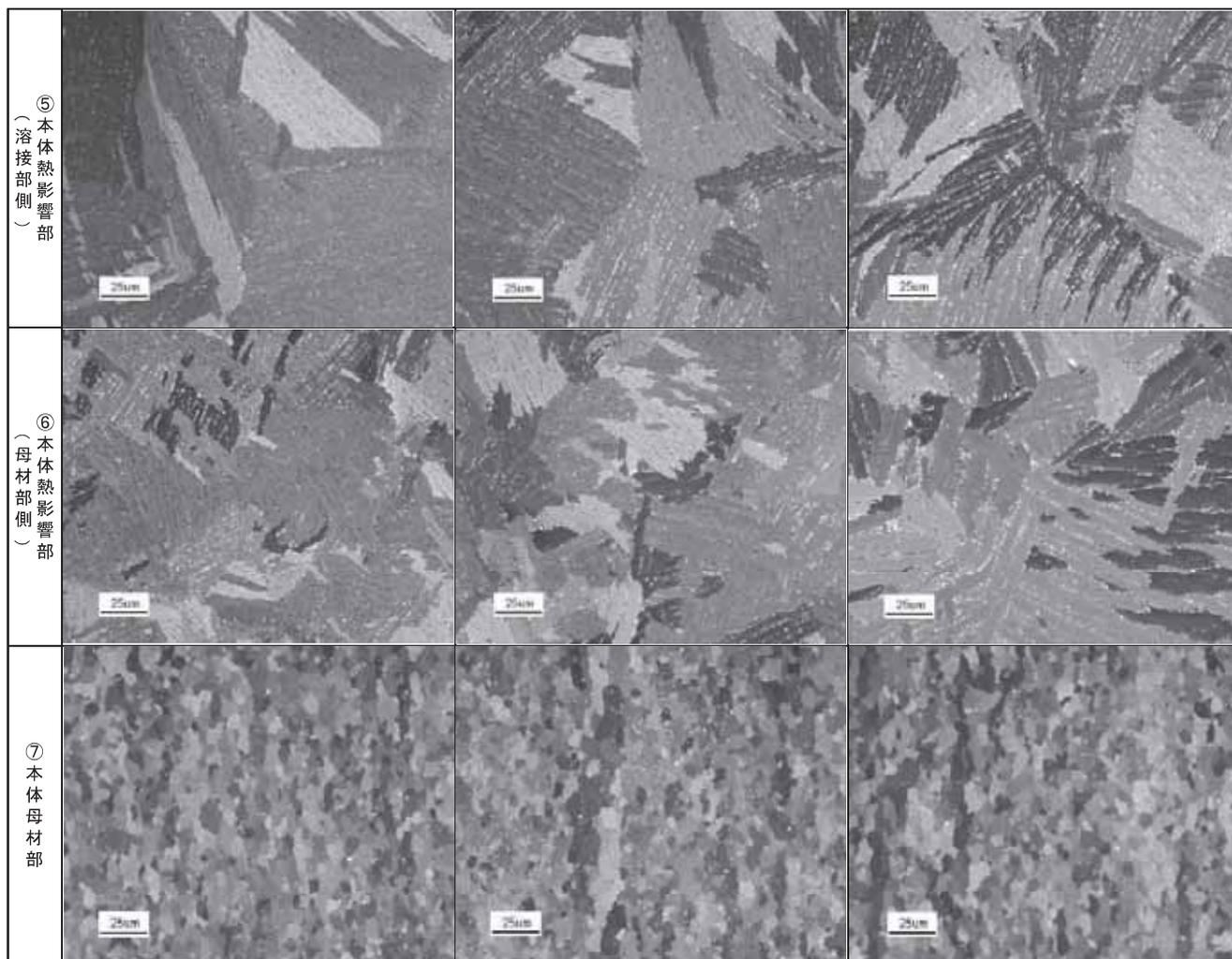
観察対象	結晶組織
溶接方法	自動溶接
観察部位	D面
観察倍率	400倍

観察断面	III. クリップ端部から25mm	II. クリップ端部から12.5mm	I. クリップ端部
① クリップ母材部			
② クリップ(母材部)熱影響部			
③ クリップ(溶着部側)熱影響部			
④ 溶着部			

別紙2-図2-4 断面ミクロ結晶組織観察結果 (1/2)
(自動溶接 D面 観察倍率400倍)

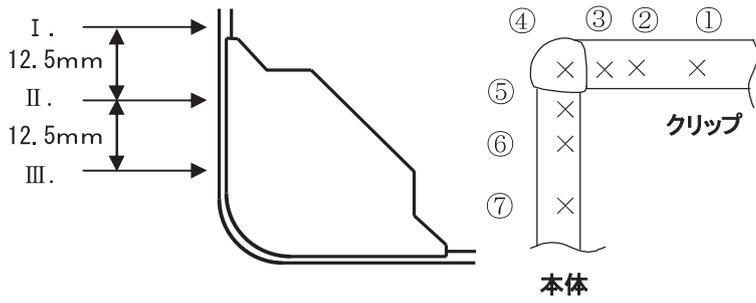


観察対象	結晶組織
溶接方法	自動溶接
観察部位	D面
観察倍率	400倍



別紙2-図2-4 断面ミクロ組織観察結果 (2/2)
 (自動溶接 D面 観察倍率400倍)

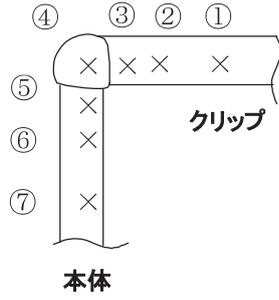
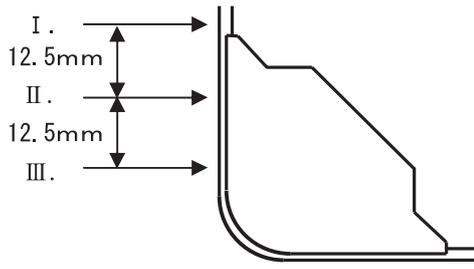
b. 断面ミクロ観察結果（フィルタ有）



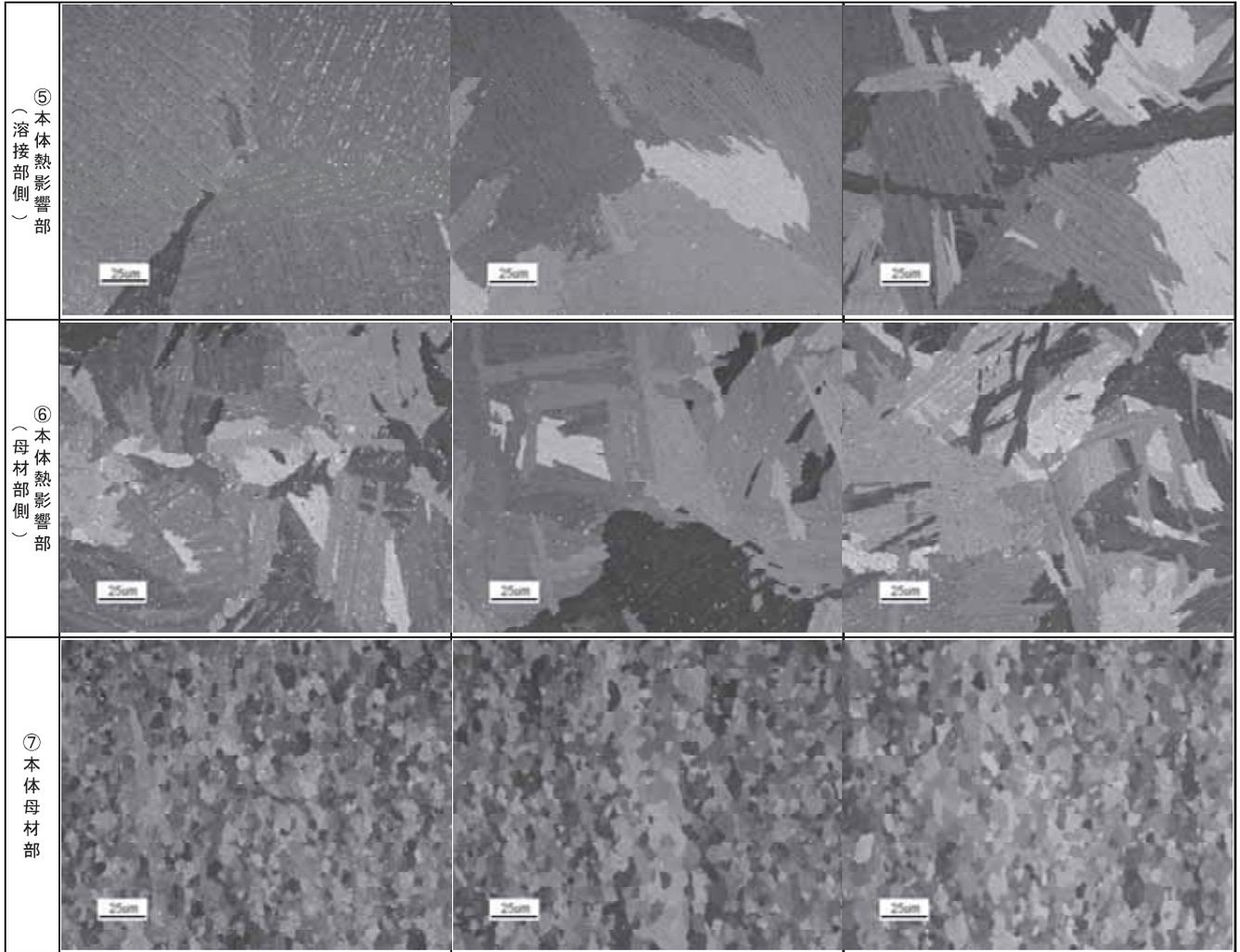
観察対象	結晶組織
溶接方法	手動溶接
観察部位	A面
観察倍率	400倍

観察断面	I. クリップ端部	II. クリップ端部から12.5mm	III. クリップ端部から25mm
① クリップ母材部			
② クリップ（母材部）熱影響部			
③ クリップ（溶着部側）熱影響部			
④ 溶着部			

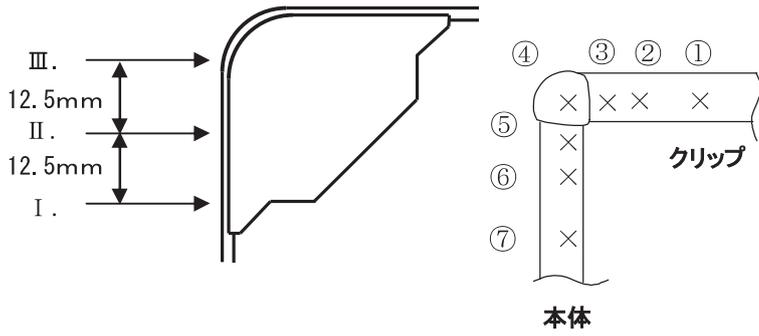
別紙2-図2-5 断面ミクロ結晶組織観察結果（1/2）
（手動溶接 A面 観察倍率400倍）



観察対象	結晶組織
溶接方法	手動溶接
観察部位	A面
観察倍率	400倍



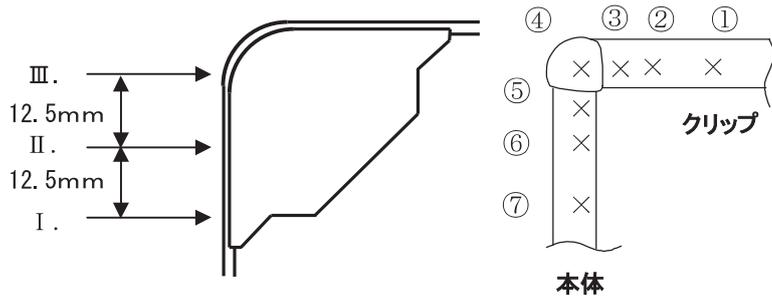
別紙2-図2-5 断面ミクロ組織観察結果 (2/2)
(手動溶接 A面 観察倍率400倍)



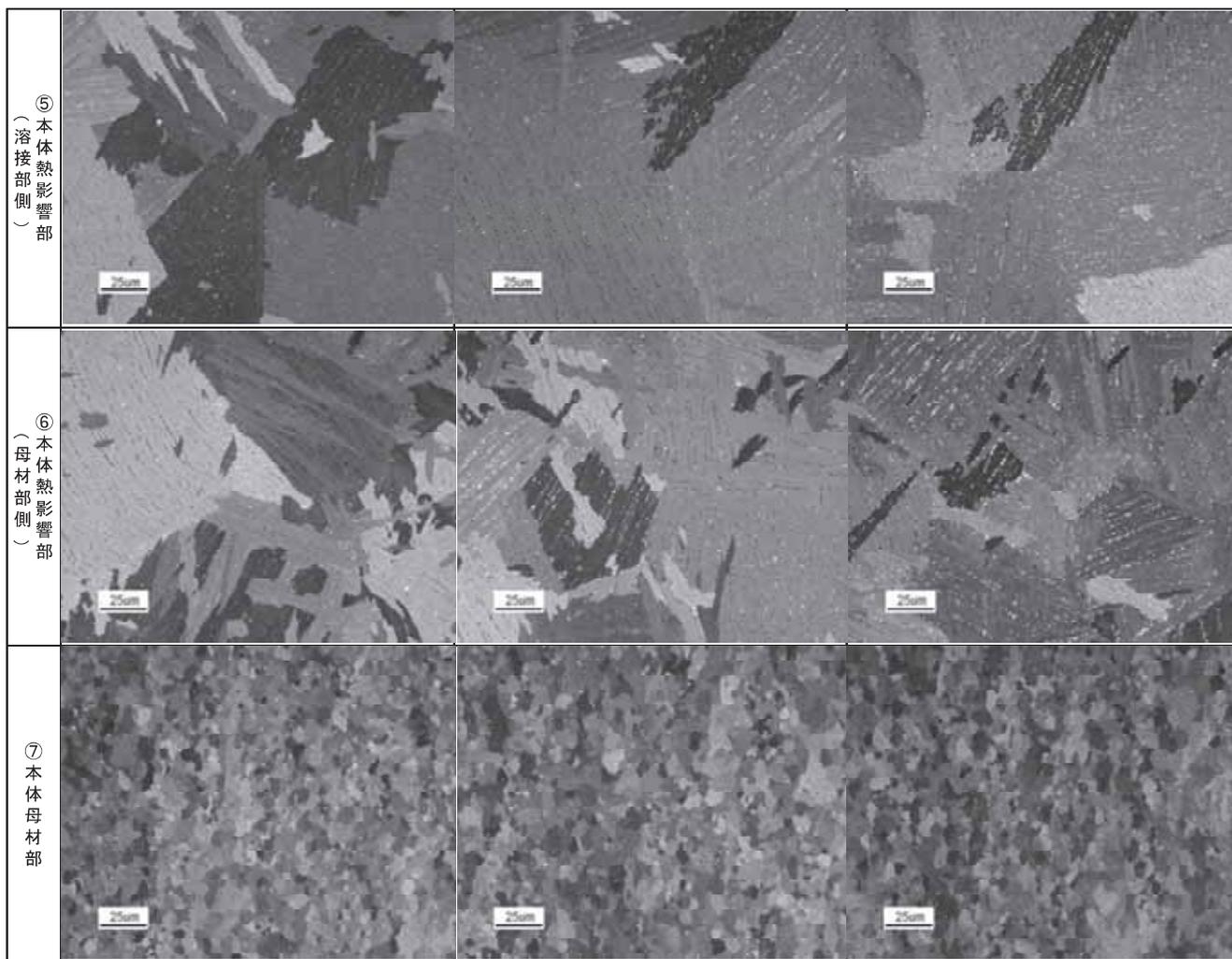
観察対象	結晶組織
溶接方法	手動溶接
観察部位	B面
観察倍率	400倍

観察断面	III. クリップ端部から25mm	II. クリップ端部から12.5mm	I. クリップ端部
① クリップ母材部			
② クリップ(母材部)熱影響部			
③ クリップ(溶着部側)熱影響部			
④ 溶着部			

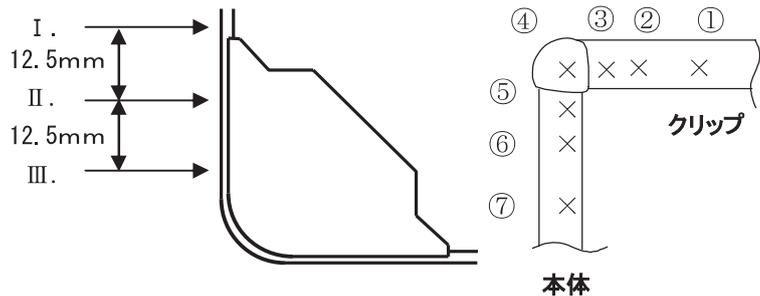
別紙2-図2-6 断面ミクロ結晶組織観察結果 (1/2)
(手動溶接 B面 観察倍率400倍)



観察対象	結晶組織
溶接方法	手動溶接
観察部位	B面
観察倍率	400倍



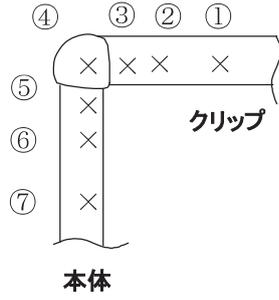
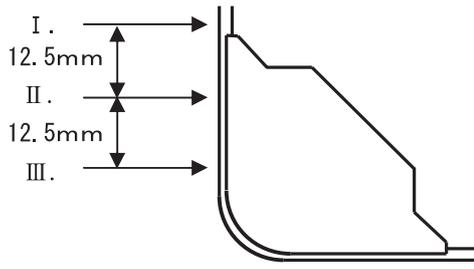
別紙2-図2-6 断面ミクロ結晶組織観察結果 (2/2)
 (手動溶接 B面 観察倍率400倍)



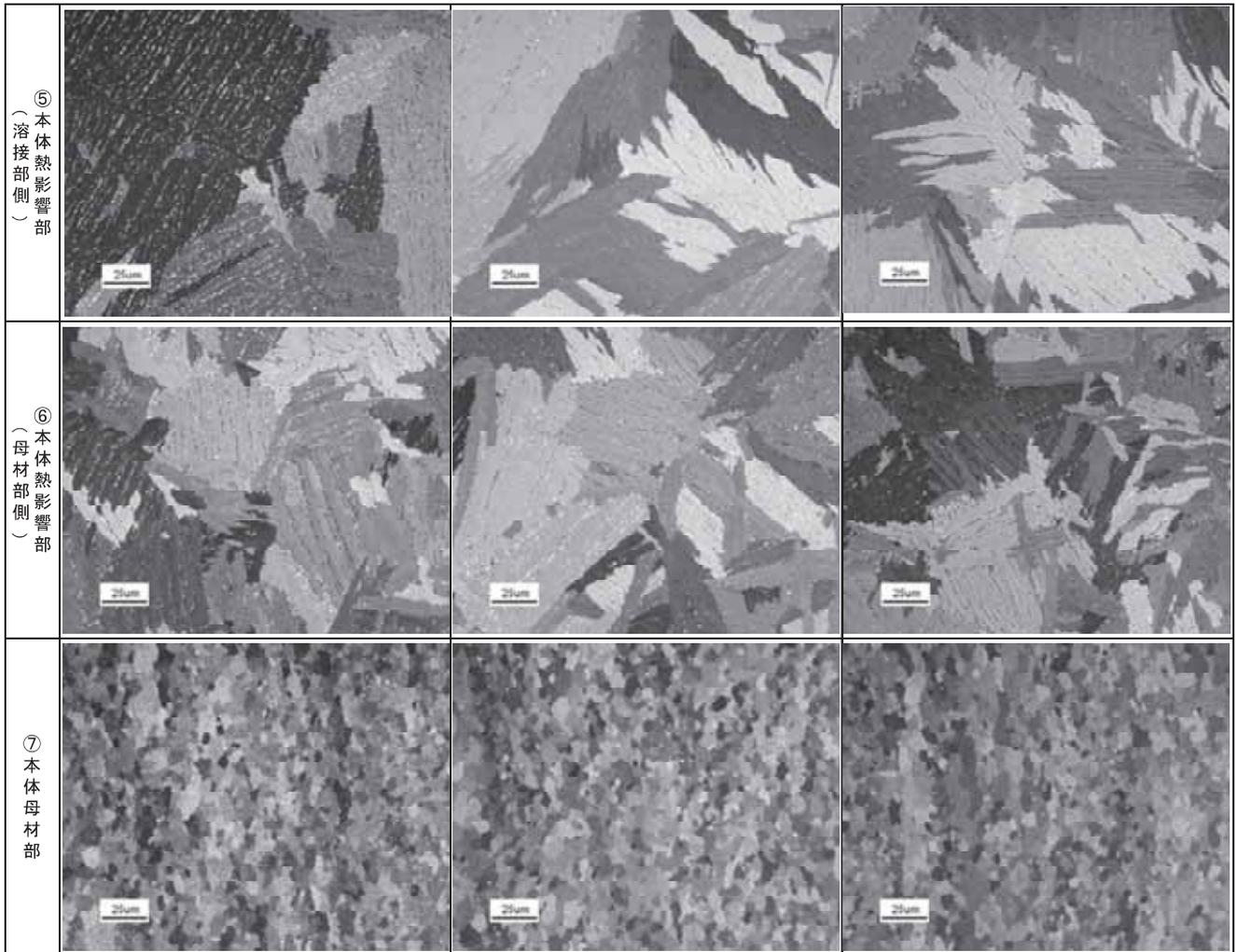
観察対象	結晶組織
溶接方法	手動溶接
観察部位	C面
観察倍率	400倍

観察断面	I. クリップ端部	II. クリップ端部から12.5mm	III. クリップ端部から25mm
① クリップ母材部			
② クリップ(母材部)熱影響部			
③ クリップ(溶着部側)熱影響部			
④ 溶着部			

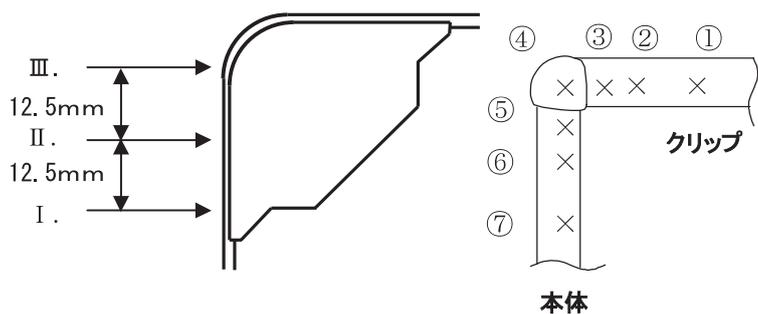
別紙2-図2-7 断面ミクロ結晶組織観察結果 (1/2)
(手動溶接 C面 観察倍率400倍)



観察対象	結晶組織
溶接方法	手動溶接
観察部位	C面
観察倍率	400倍



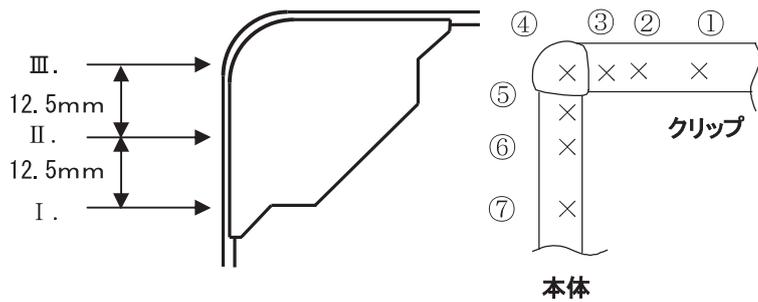
別紙2-図2-7 断面ミクロ結晶組織観察結果 (2/2)
(手動溶接 C面 観察倍率400倍)



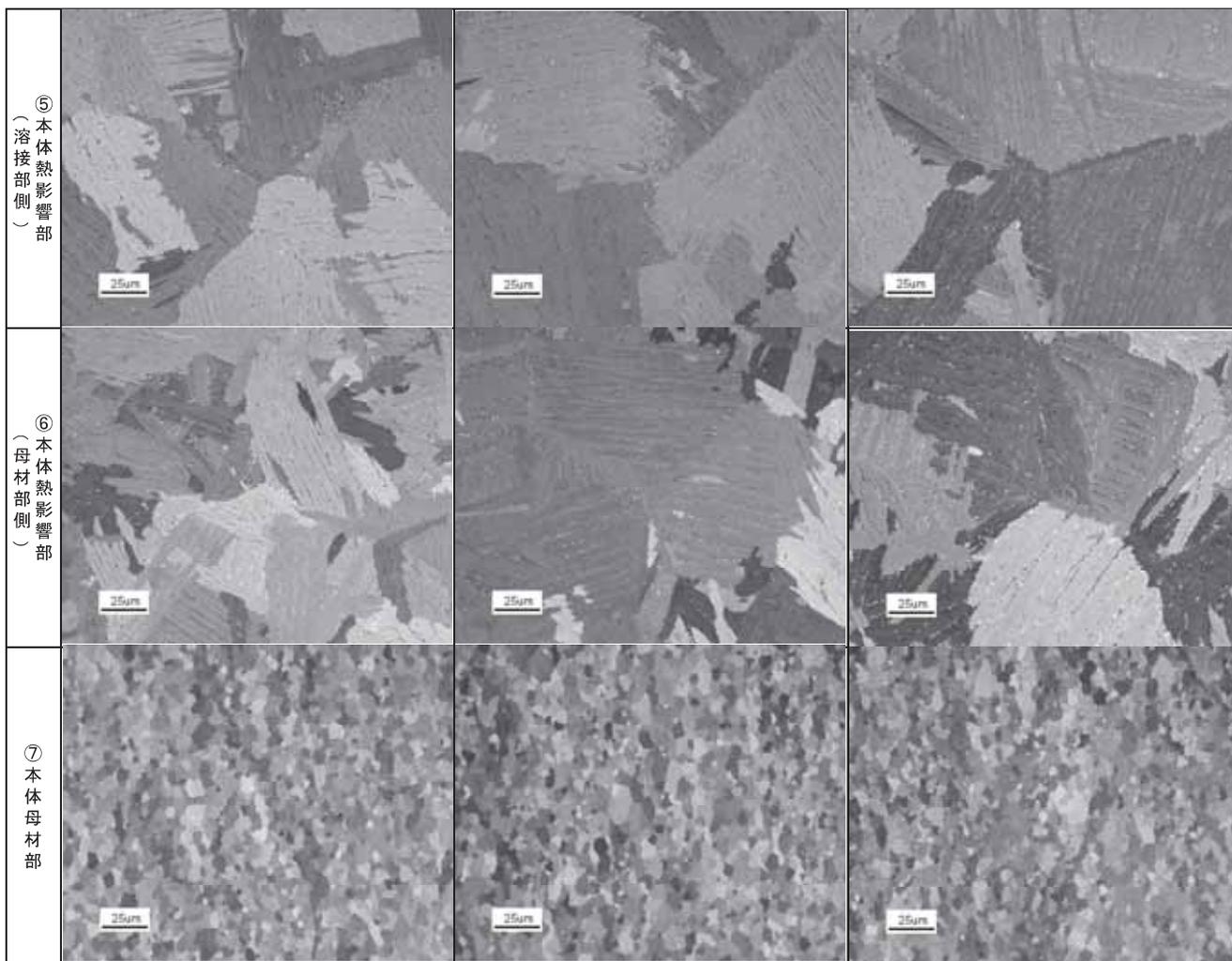
観察対象	結晶組織
溶接方法	手動溶接
観察部位	D面
観察倍率	400倍

観察断面	III. クリップ端部から25mm	II. クリップ端部から12.5mm	I. クリップ端部
① クリップ母材部			
② クリップ(母材部)熱影響部			
③ クリップ(溶着部側)熱影響部			
④ 溶着部			

別紙2-図2-8 断面ミクロ結晶組織観察結果(1/2)
(手動溶接 D面 観察倍率400倍)

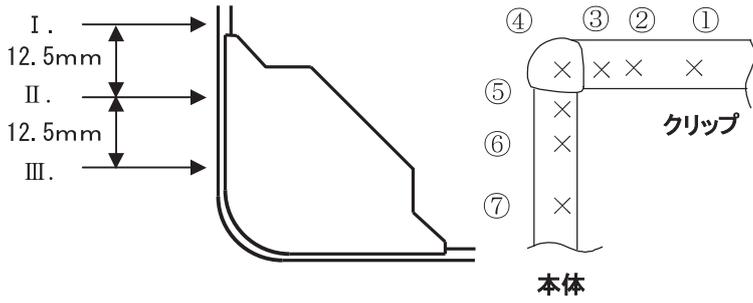


観察対象	結晶組織
溶接方法	手動溶接
観察部位	D面
観察倍率	400倍



別紙2-図2-8 断面ミクロ組織観察結果 (2/2)
(手動溶接 D面 観察倍率400倍)

c. 断面ミクロ観察結果（フィルタ無）

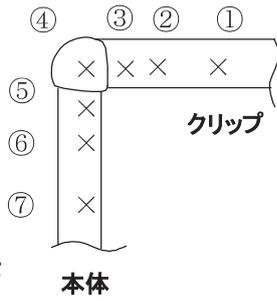
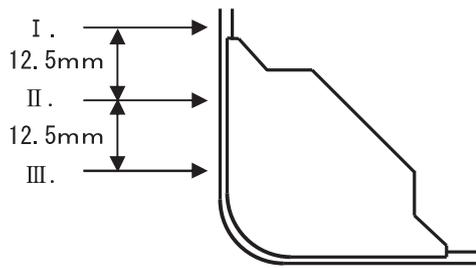


観察対象	析出物
溶接方法	自動溶接
観察部位	A面
観察倍率	400倍

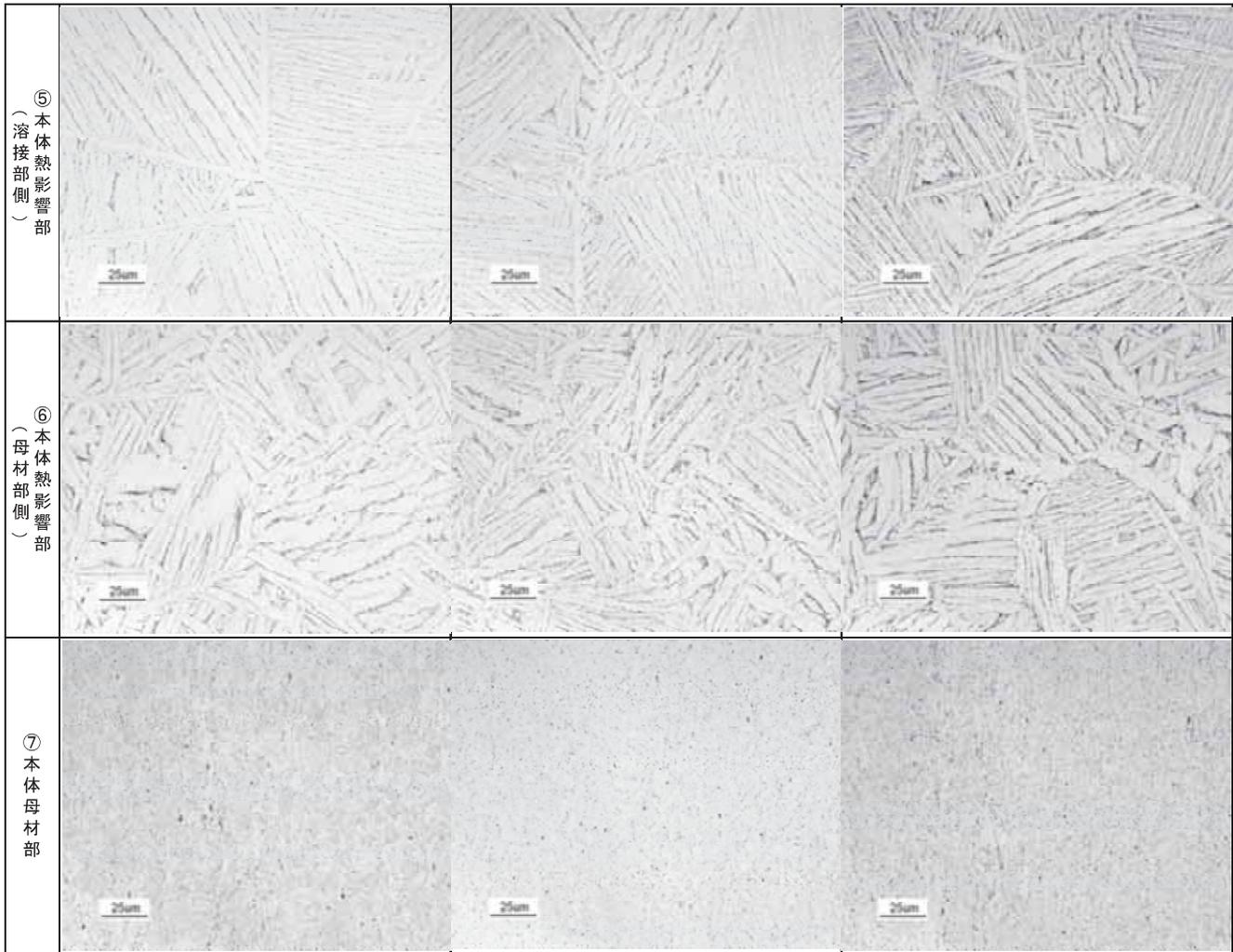
観察断面	I. クリップ端部	II. クリップ端部から12.5mm	III. クリップ端部から25mm
① クリップ母材部	[Diagonal line]		
② クリップ(母材部)熱影響部			
③ クリップ(溶着部側)熱影響部			
④ 溶着部			

別紙2-図3-1 断面ミクロ析出物観察結果 (1/2)

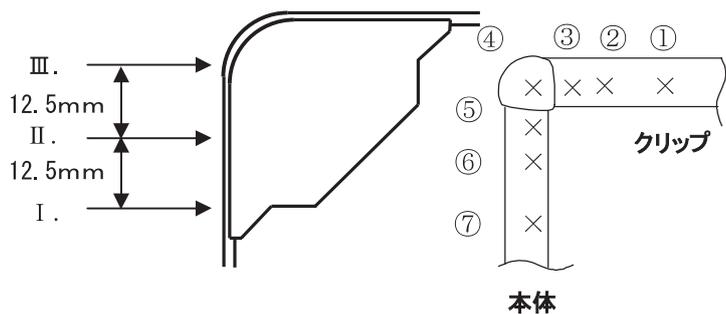
(自動溶接 A面 観察倍率400倍)



観察対象	析出物
溶接方法	自動溶接
観察部位	A面
観察倍率	400倍



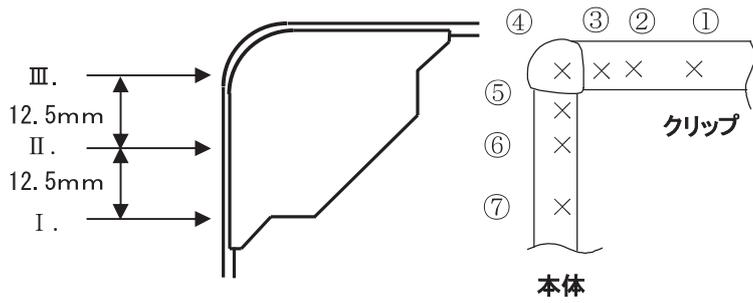
別紙2-図3-1 断面ミクロ析出物観察結果 (2/2)
(自動溶接 A面 観察倍率400倍)



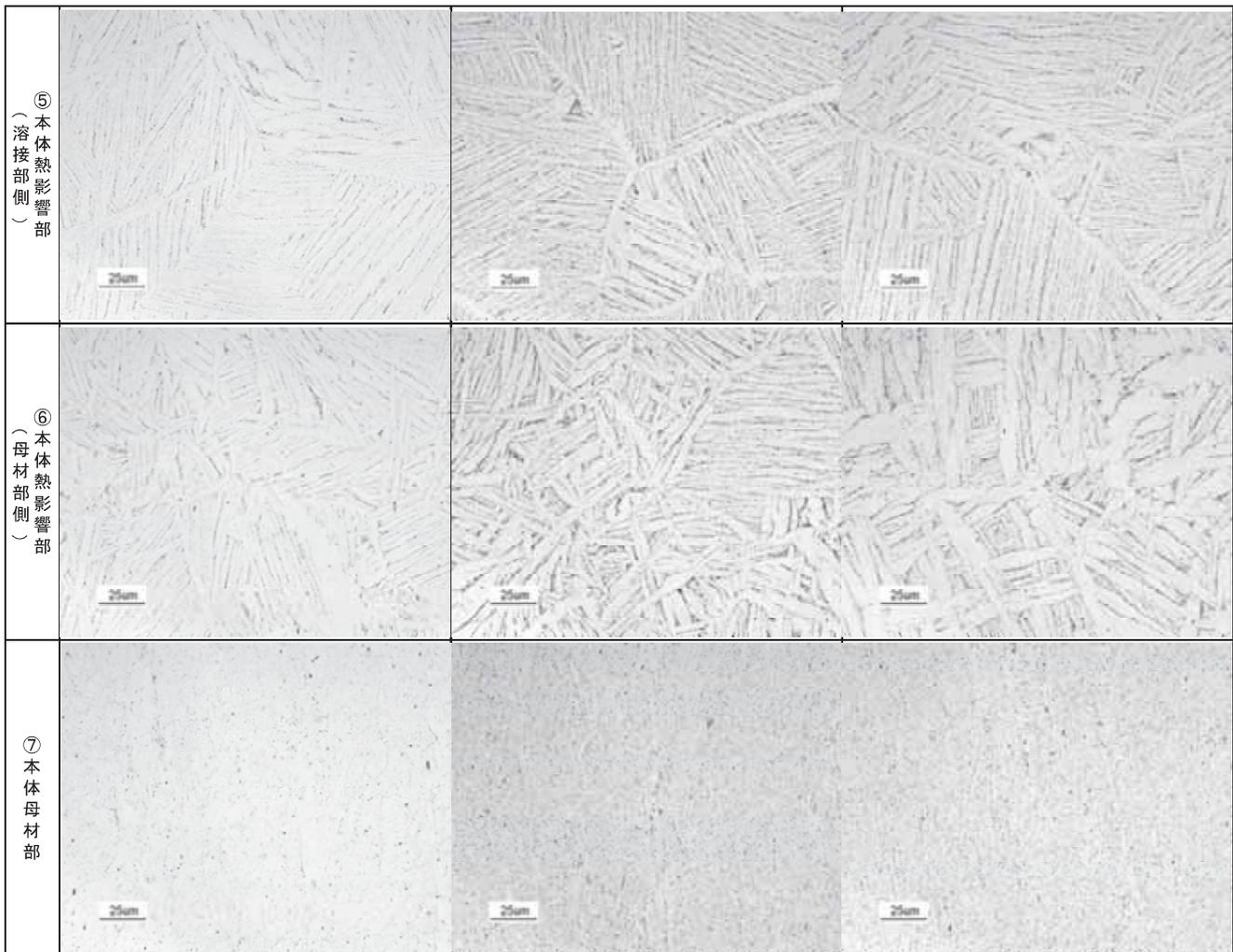
観察対象	析出物
溶接方法	自動溶接
観察部位	B面
観察倍率	400倍

観察断面	III. クリップ端部から 25mm	II. クリップ端部から 12.5mm	I. クリップ端部
① クリップ母材部			
② クリップ(母材部)熱影響部			
③ クリップ(溶着部側)熱影響部			
④ 溶着部			

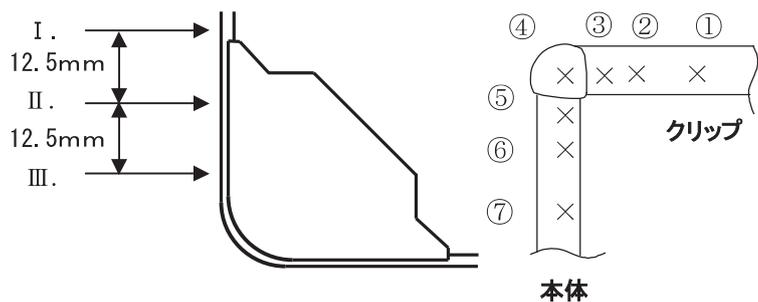
別紙2-図3-2 断面ミクロ析出物観察結果 (1/2)
(自動溶接 B面 観察倍率400倍)



観察対象	析出物
溶接方法	自動溶接
観察部位	B面
観察倍率	400倍



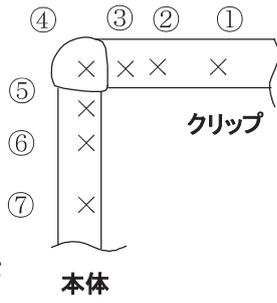
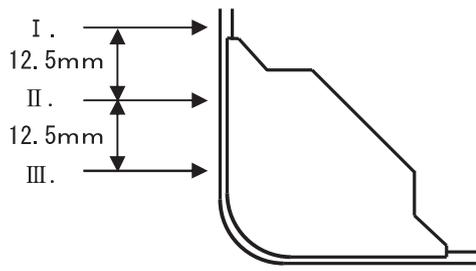
別紙2-図3-2 断面ミクロ析出物観察結果 (2/2)
(自動溶接 B面 観察倍率400倍)



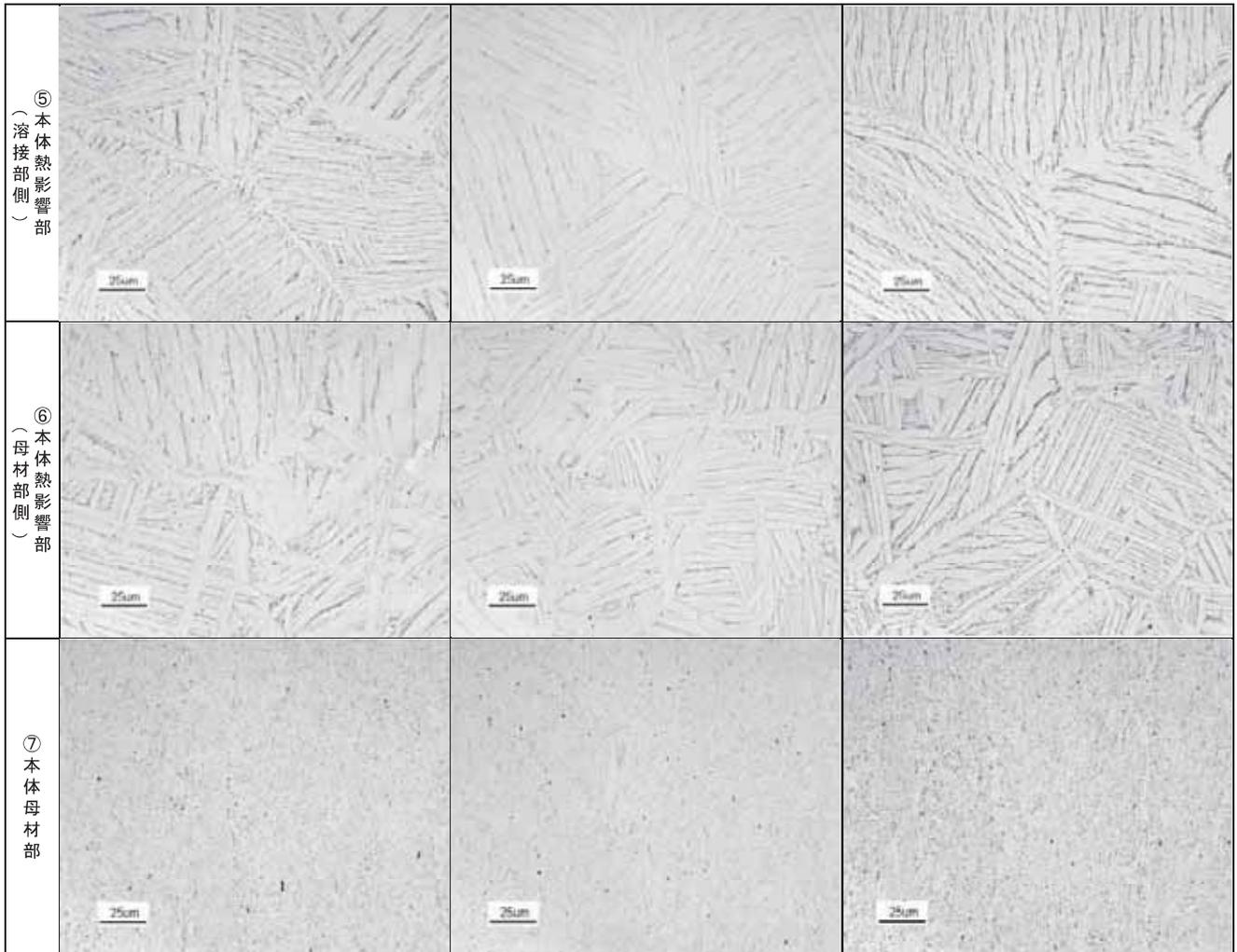
観察対象	析出物
溶接方法	自動溶接
観察部位	C面
観察倍率	400倍

観察断面	I. クリップ端部	II. クリップ端部から12.5mm	III. クリップ端部から25mm
① クリップ母材部	[Diagonal line]		
② クリップ(母材部)熱影響部			
③ クリップ(溶着部側)熱影響部			
④ 溶着部			

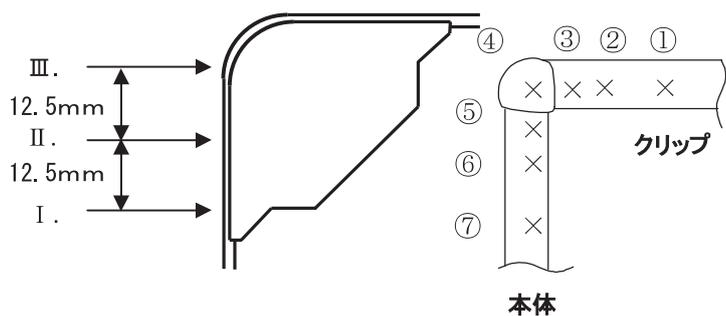
別紙2-図3-3 断面ミクロ析出物観察結果 (1/2)
 (自動溶接 C面 観察倍率400倍)



観察対象	析出物
溶接方法	自動溶接
観察部位	C面
観察倍率	400倍



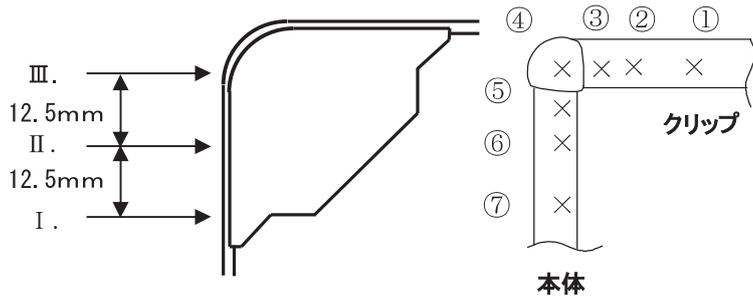
別紙2-図3-3 断面ミクロ析出物観察結果 (2/2)
(自動溶接 C面 観察倍率400倍)



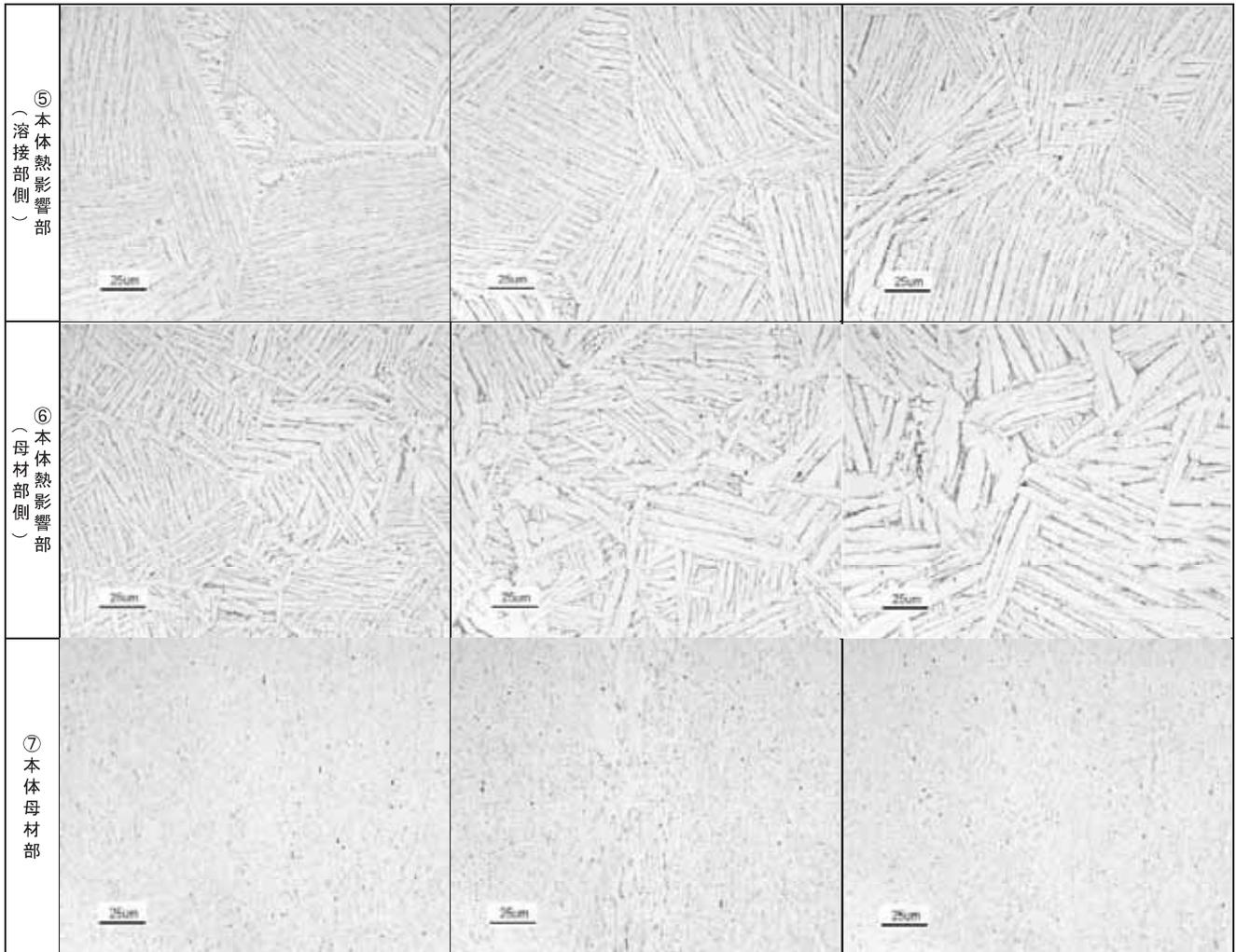
観察対象	析出物
溶接方法	自動溶接
観察部位	D面
観察倍率	400倍

観察断面	Ⅲ. クリップ端部から 25mm	Ⅱ. クリップ端部から 12.5mm	Ⅰ. クリップ端部
① クリップ母材部			
② クリップ(母材部)熱影響部			
③ クリップ(溶着部側)熱影響部			
④ 溶着部			

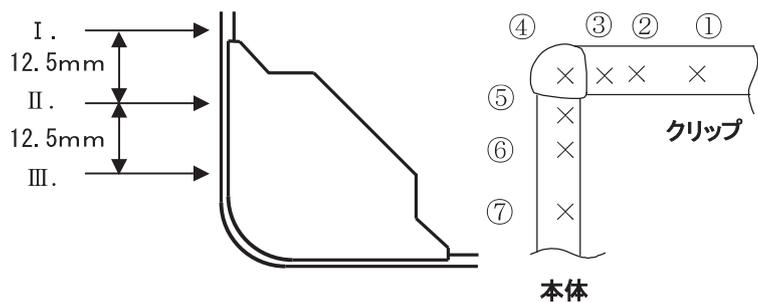
別紙2-図3-4 断面ミクロ析出物観察結果 (1/2)
 (自動溶接 D面 観察倍率400倍)



観察対象	析出物
溶接方法	自動溶接
観察部位	D面
観察倍率	400倍



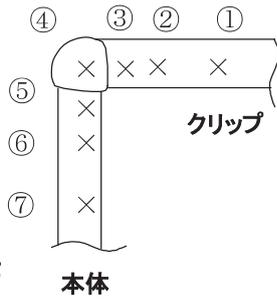
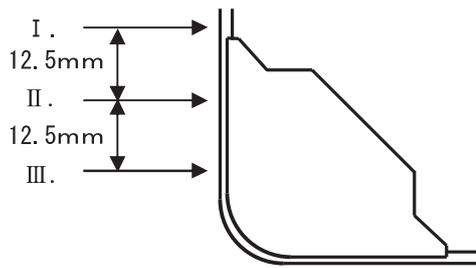
別紙2-図3-4 断面ミクロ析出物観察結果 (2/2)
(自動溶接 D面 観察倍率400倍)



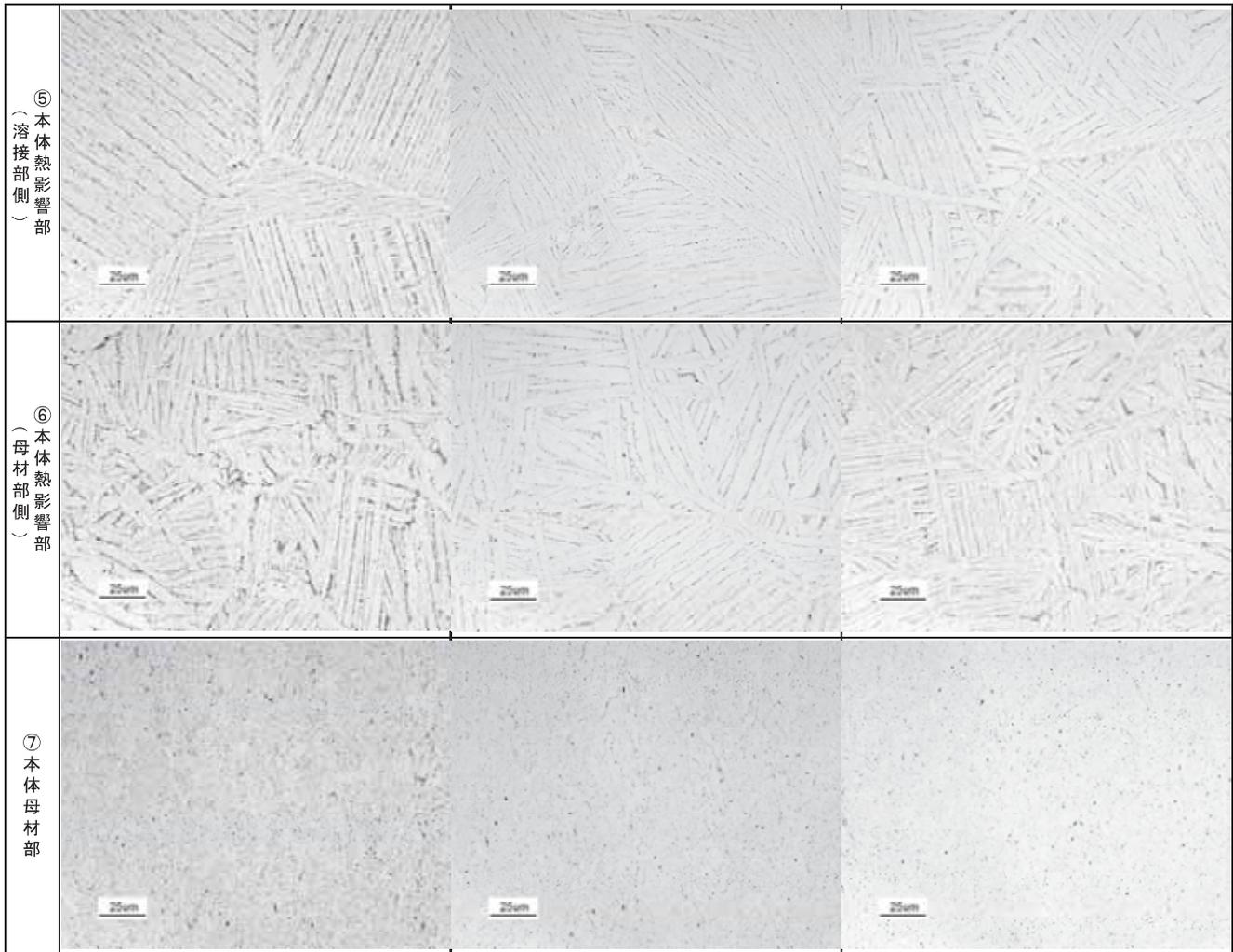
観察対象	析出物
溶接方法	手動溶接
観察部位	A面
観察倍率	400倍

観察断面	I. クリップ端部	II. クリップ端部から12.5mm	III. クリップ端部から25mm
① クリップ母材部	/		
② クリップ(母材部)熱影響部			
③ クリップ(溶着部側)熱影響部			
④ 溶着部			

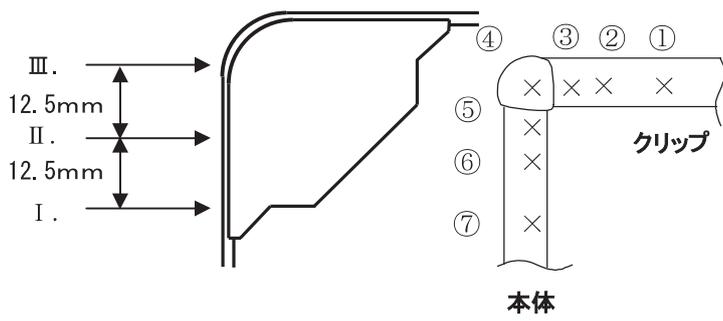
別紙2-図3-5 断面ミクロ析出物観察結果 (1/2)
(手動溶接 A面 観察倍率400倍)



観察対象	析出物
溶接方法	手動溶接
観察部位	A面
観察倍率	400倍



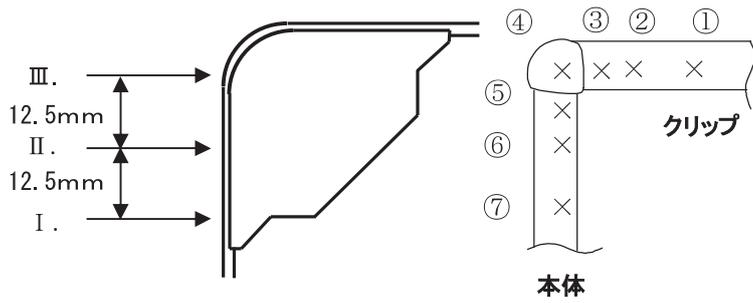
別紙2-図3-5 断面ミクロ析出物観察結果 (2/2)
(手動溶接 A面 観察倍率400倍)



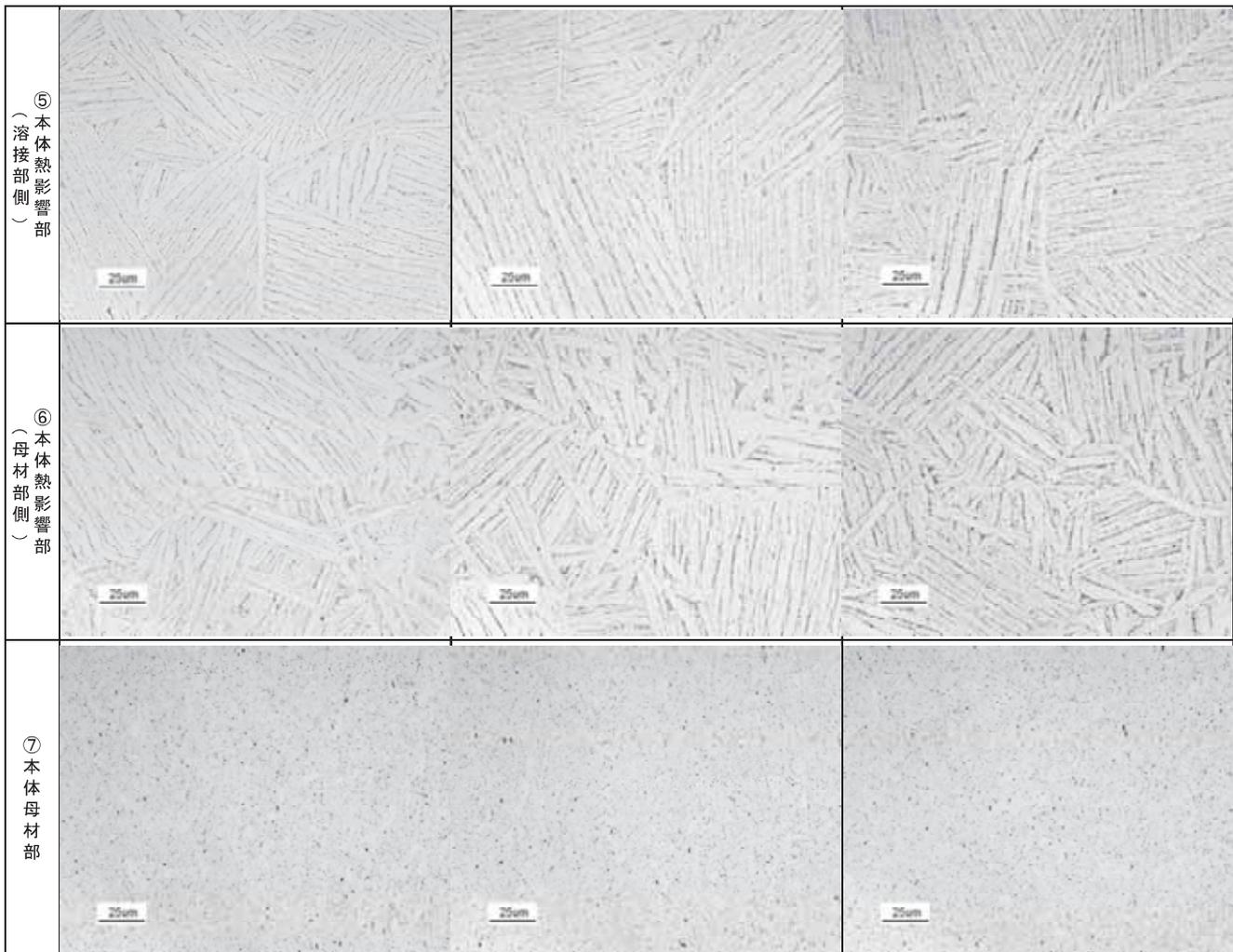
観察対象	析出物
溶接方法	手動溶接
観察部位	B面
観察倍率	400倍

観察断面	Ⅲ. クリップ端部から 25mm	Ⅱ. クリップ端部から 12.5mm	Ⅰ. クリップ端部
① クリップ母材部			
② クリップ(母材部)熱影響部			
③ クリップ(溶着部側)熱影響部			
④ 溶着部			

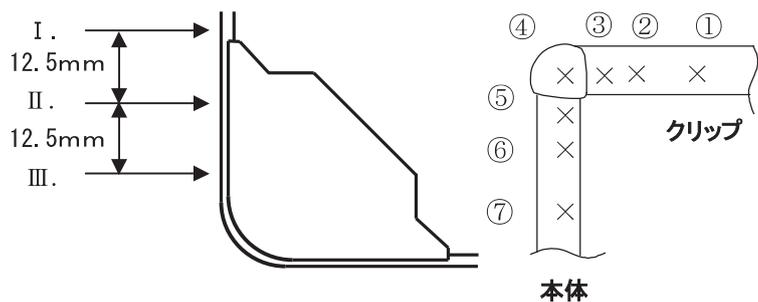
別紙2-図3-6 断面ミクロ析出物観察結果 (1/2)
(手動溶接 B面 観察倍率400倍)



観察対象	析出物
溶接方法	手動溶接
観察部位	B面
観察倍率	400倍



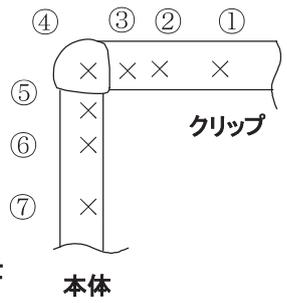
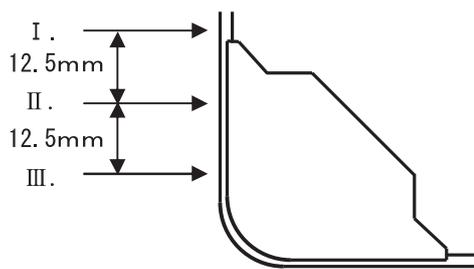
別紙2-図3-6 断面ミクロ析出物観察結果 (2/2)
 (手動溶接 B面 観察倍率400倍)



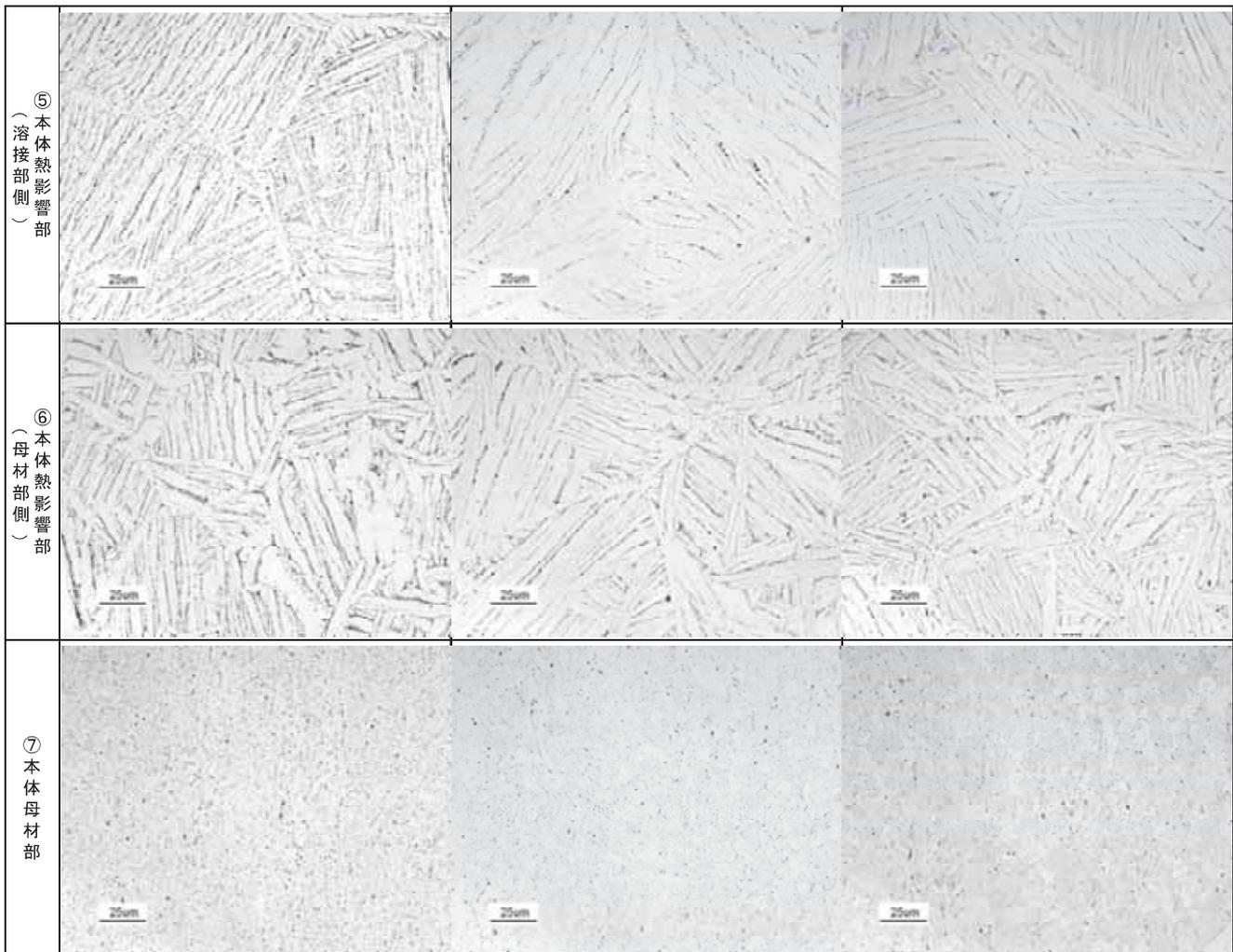
観察対象	析出物
溶接方法	手動溶接
観察部位	C面
観察倍率	400倍

観察断面	I. クリップ端部	II. クリップ端部から12.5mm	III. クリップ端部から25mm
① クリップ母材部	[Diagonal line]		
② クリップ(母材部)熱影響部			
③ クリップ(溶着部側)熱影響部			
④ 溶着部			

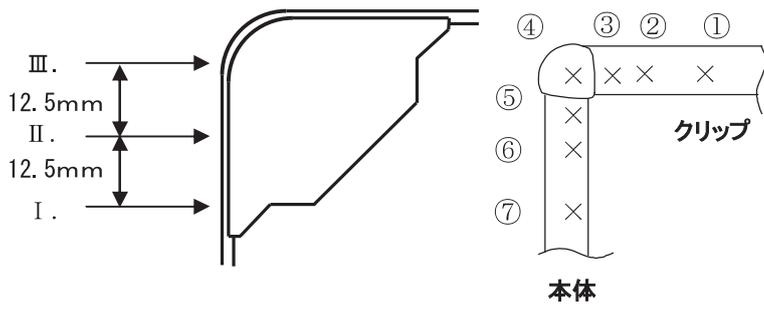
別紙2-図3-7 断面ミクロ析出物観察結果 (1/2)
(手動溶接 C面 観察倍率400倍)



観察対象	析出物
溶接方法	手動溶接
観察部位	C面
観察倍率	400倍



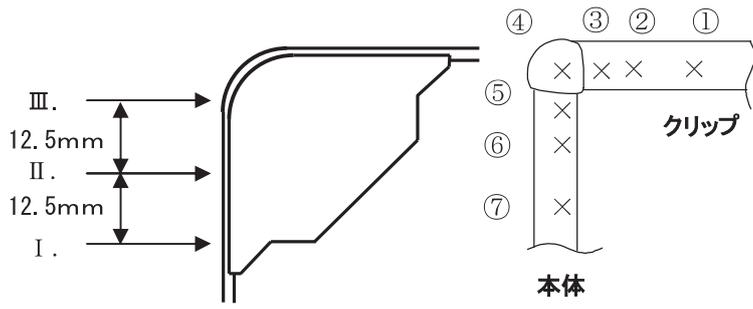
別紙2-図3-7 断面ミクロ析出物観察結果 (2/2)
 (手動溶接 C面 観察倍率400倍)



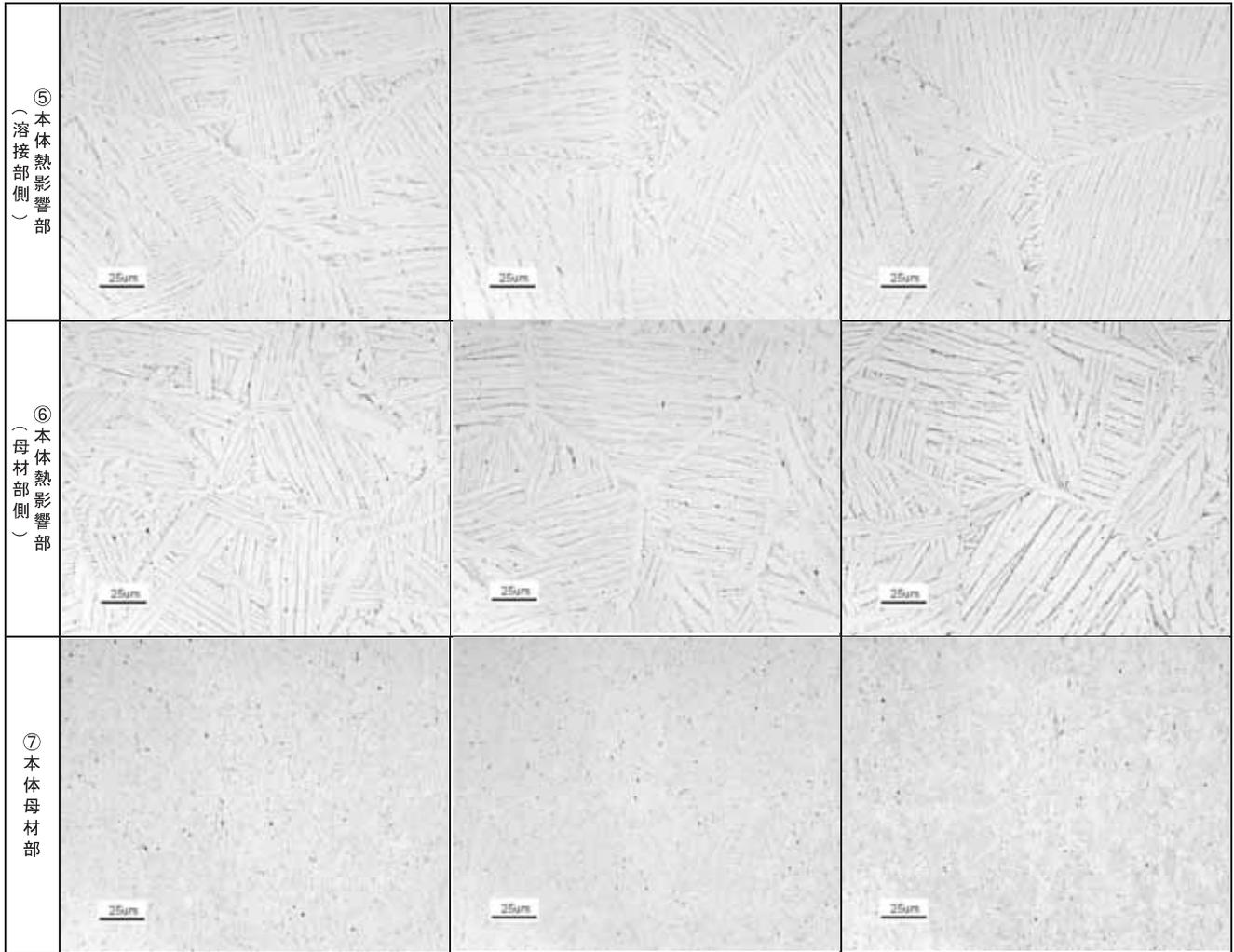
観察対象	析出物
溶接方法	手動溶接
観察部位	D面
観察倍率	400倍

観察断面	Ⅲ. クリップ端部から 25mm	Ⅱ. クリップ端部から12.5mm	Ⅰ. クリップ端部
① クリップ母材部			
② クリップ(母材部)熱影響部			
③ クリップ(溶着部側)熱影響部			
④ 溶着部			

別紙2-図3-8 断面ミクロ析出物観察結果 (1/2)
(手動溶接 D面 観察倍率400倍)



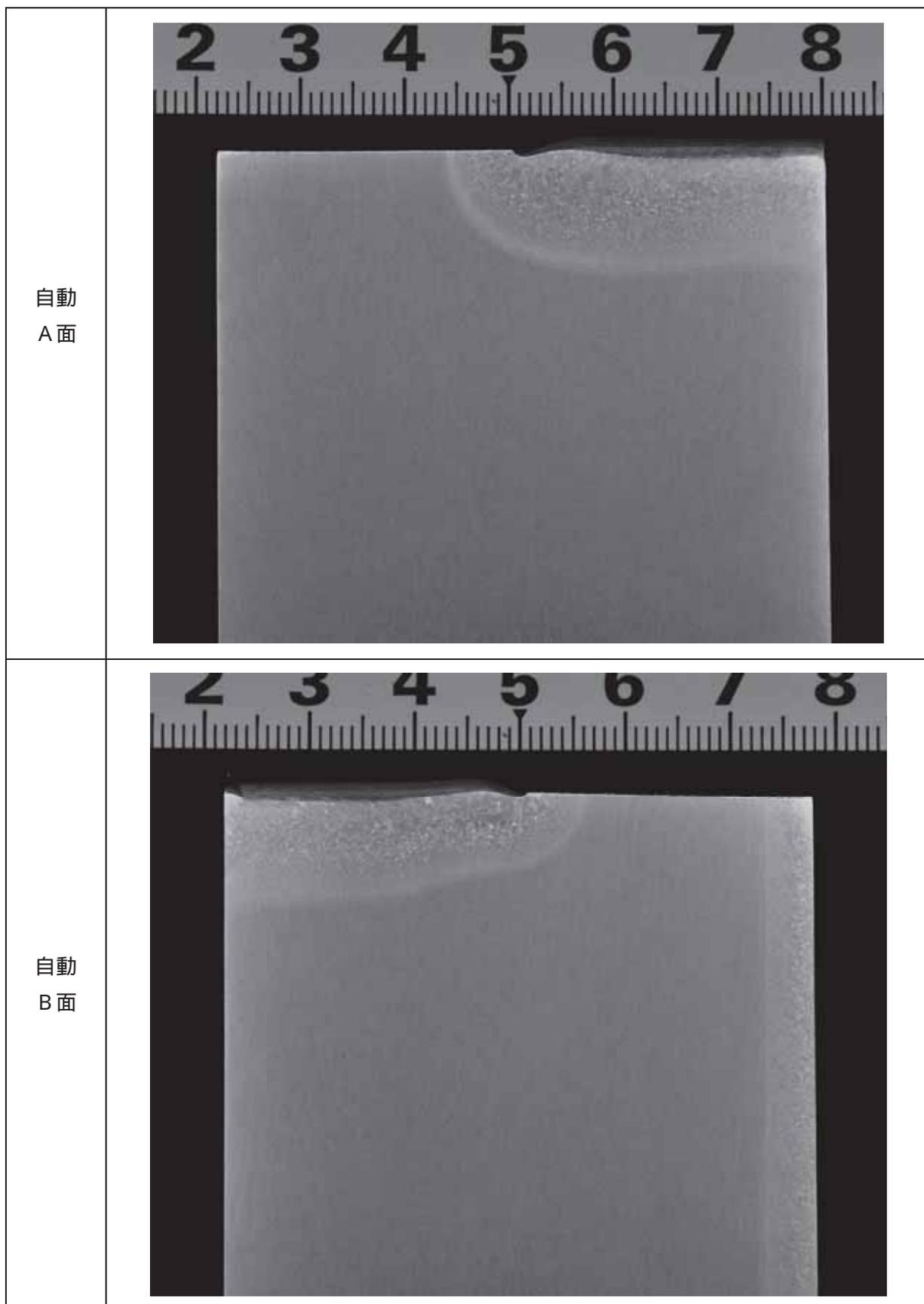
観察対象	析出物
溶接方法	手動溶接
観察部位	D面
観察倍率	400倍



別紙2-図3-8 断面ミクロ析出物観察結果 (2/2)
(手動溶接 D面 観察倍率400倍)

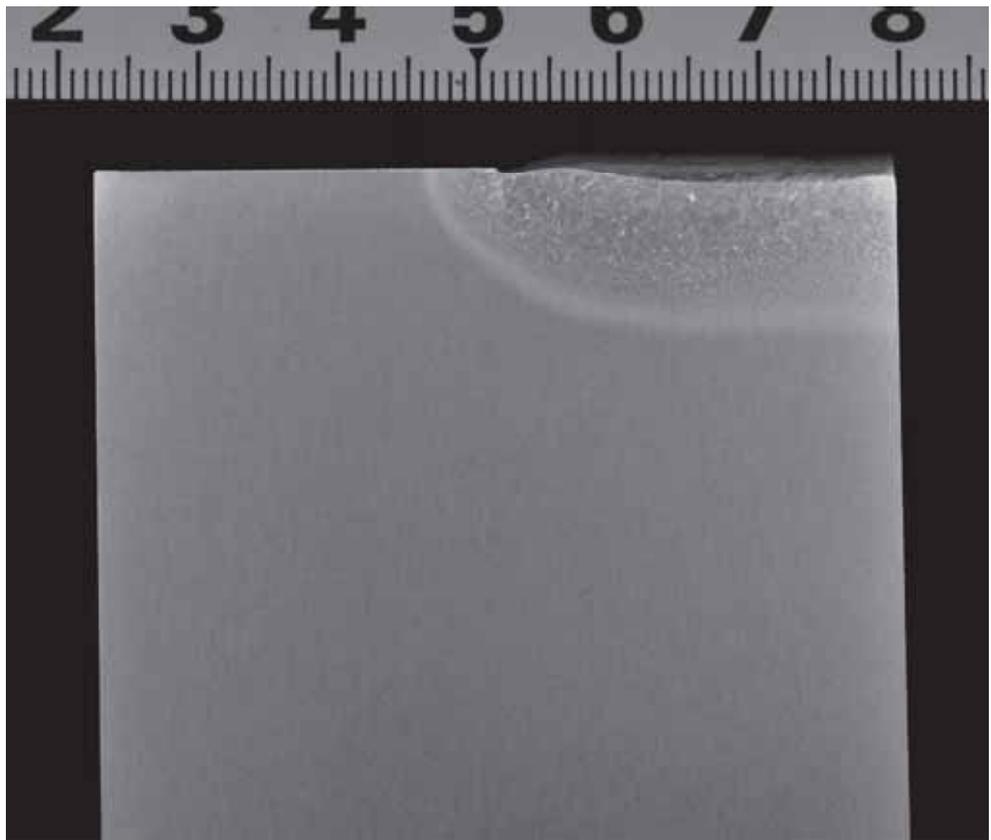
(2) 側面観察結果

a. 側面マクロ観察

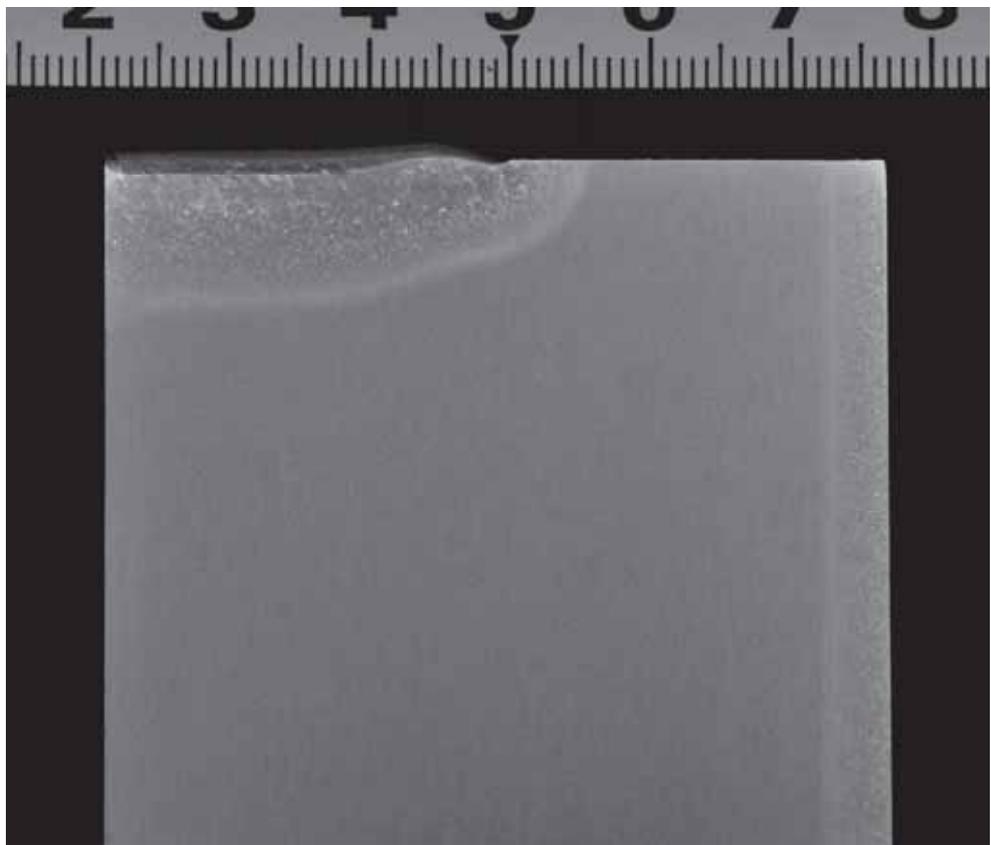


別紙2 - 図4 - 1 側面マクロ観察結果
(自動溶接 A, B面)

自動
C面

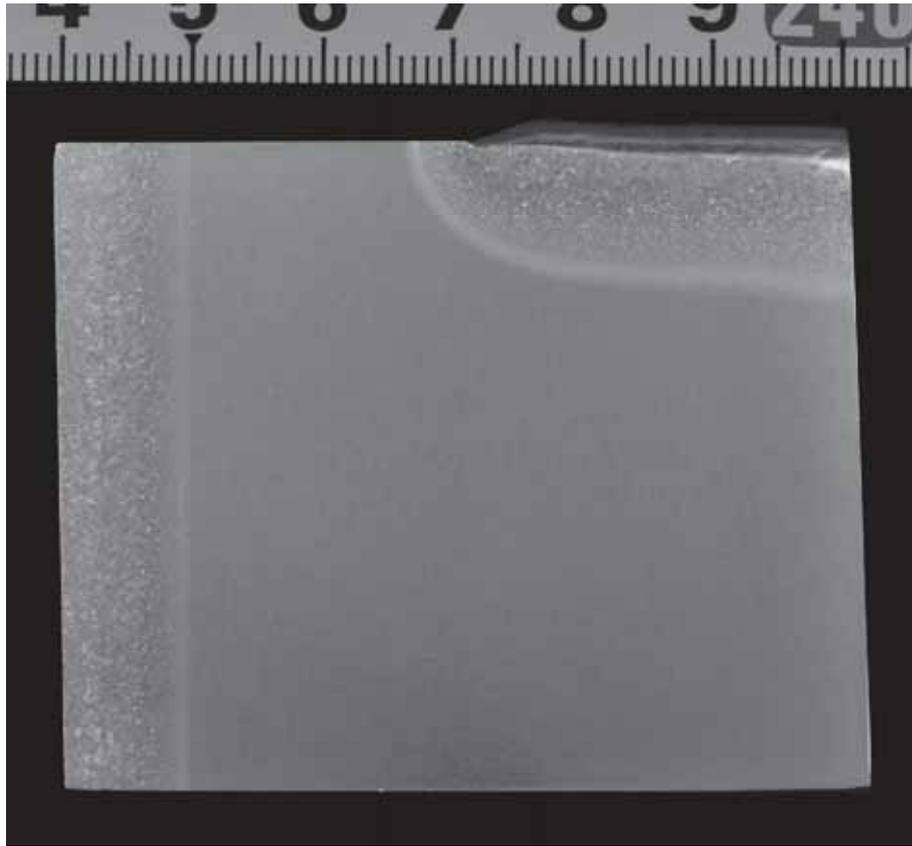


自動
D面

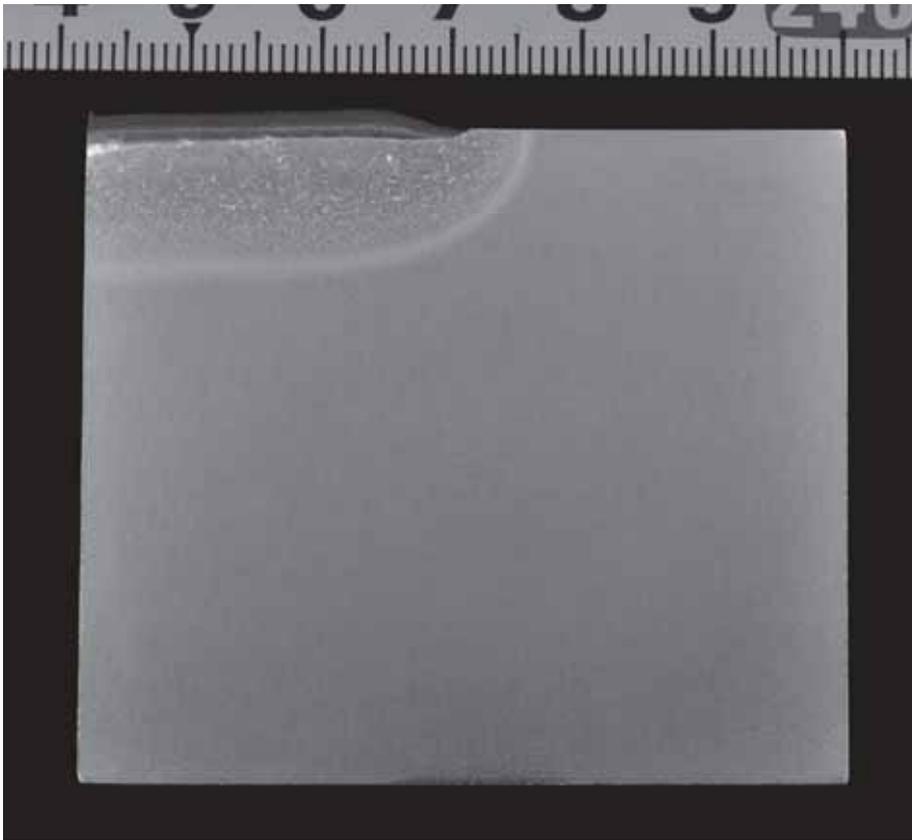


別紙 2 - 図 4 - 2 側面マクロ観察結果
(自動溶接 C , D面)

手動
A面

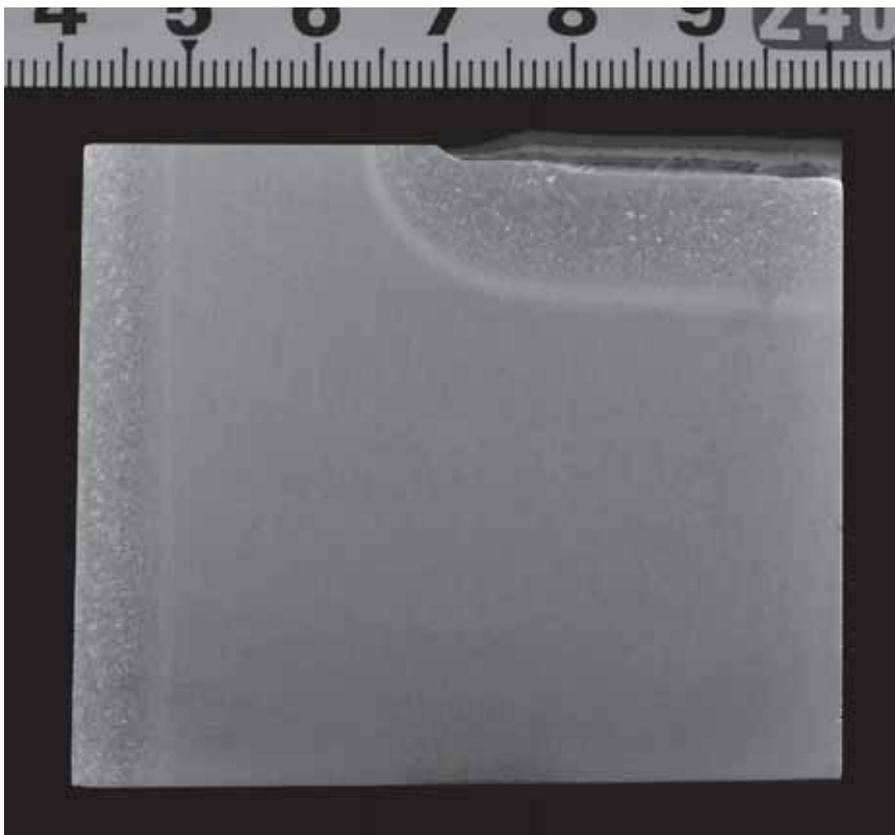


手動
B面

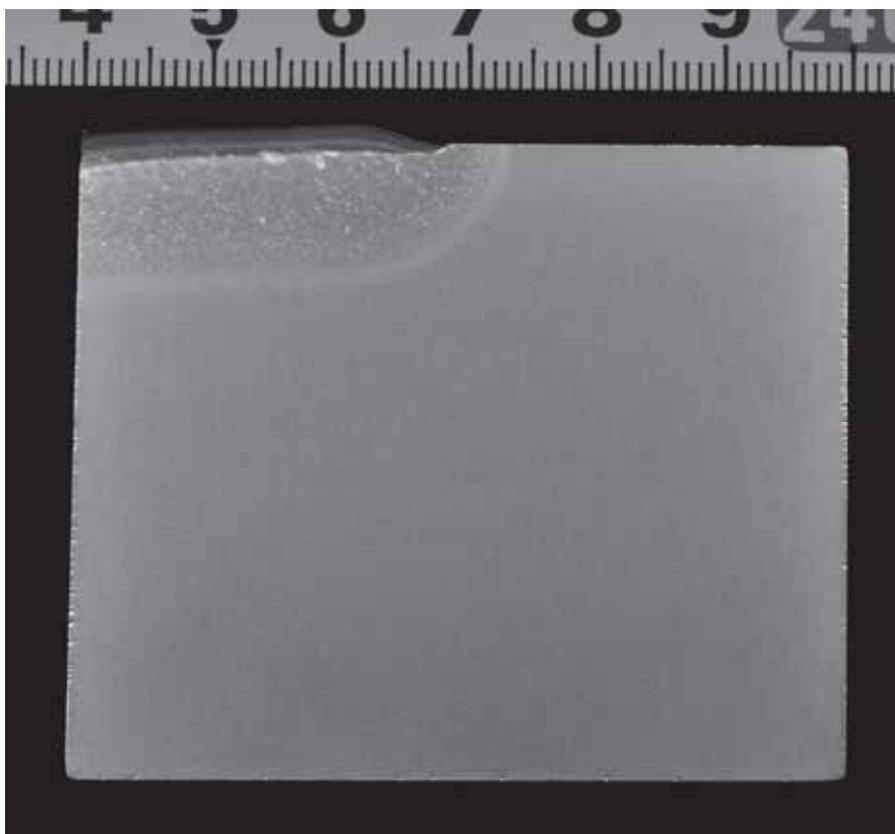


別紙 2 - 図 4 - 3 側面マクロ観察結果
(手動溶接 A , B面)

手動
C面

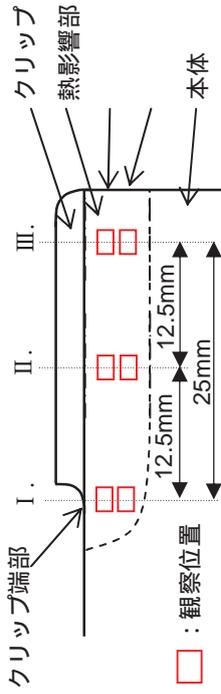


手動
D面

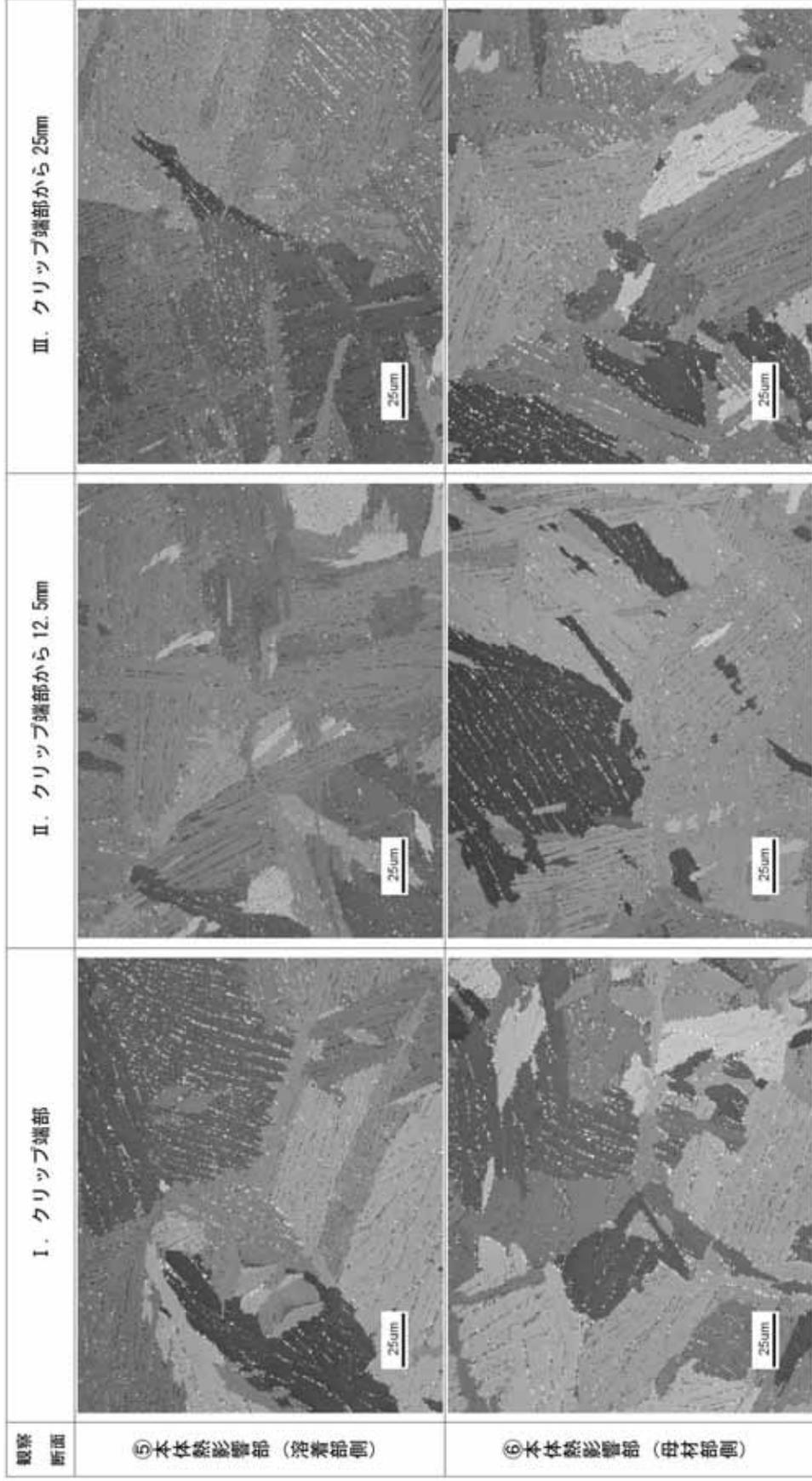


別紙2 - 図4 - 4 側面マクロ観察結果
(手動溶接 C, D面)

b. 側面ミクロ観察結果（フィルタ有）

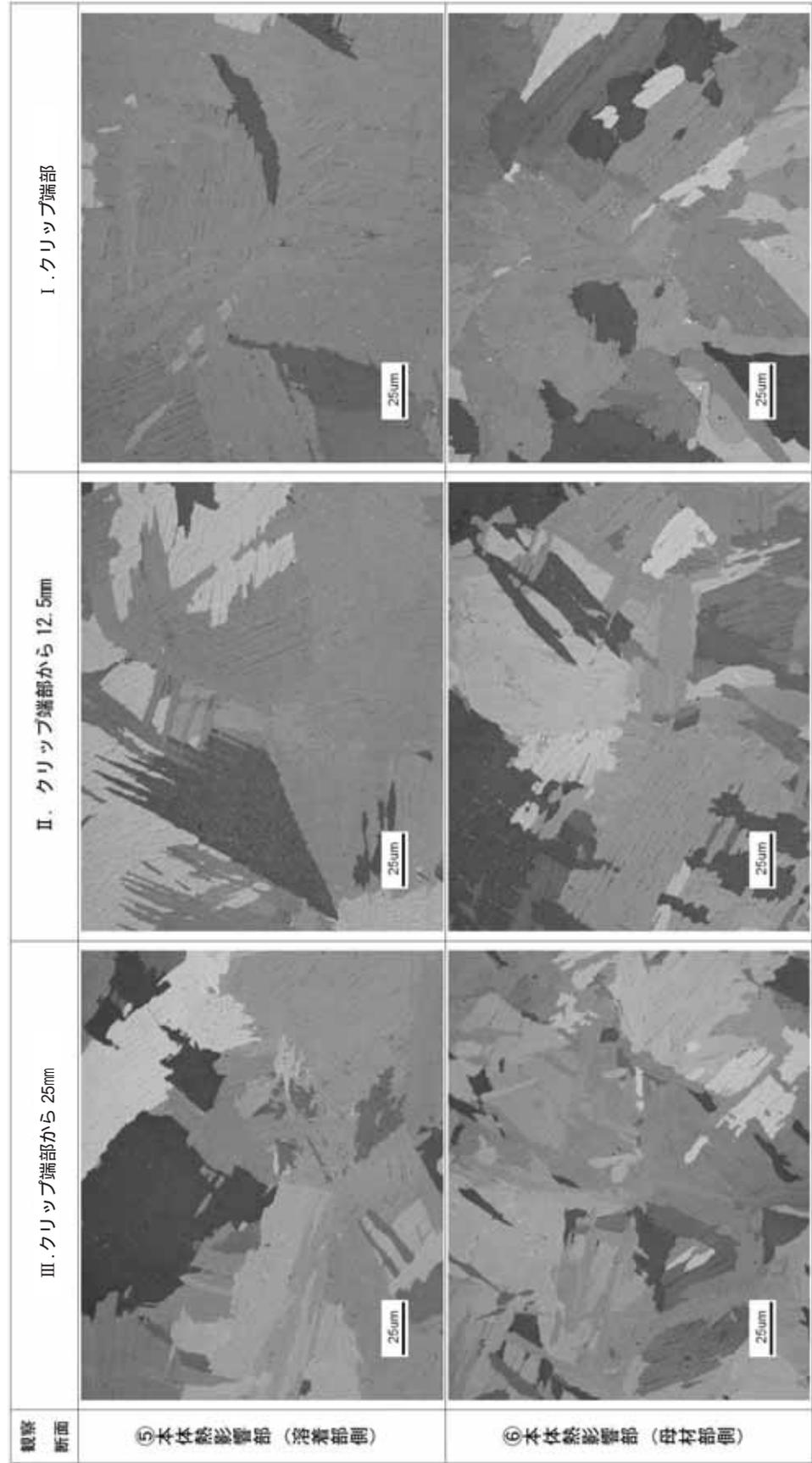
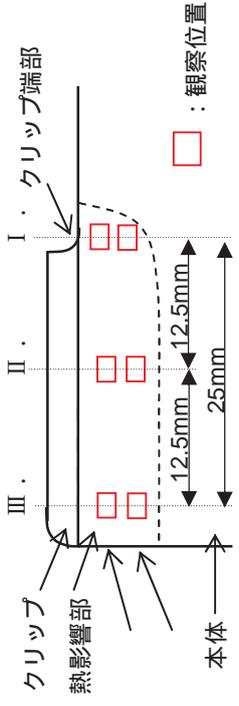


観察対象	結晶組織
溶接方法	自動溶接
観察部位	A面
観察倍率	400倍



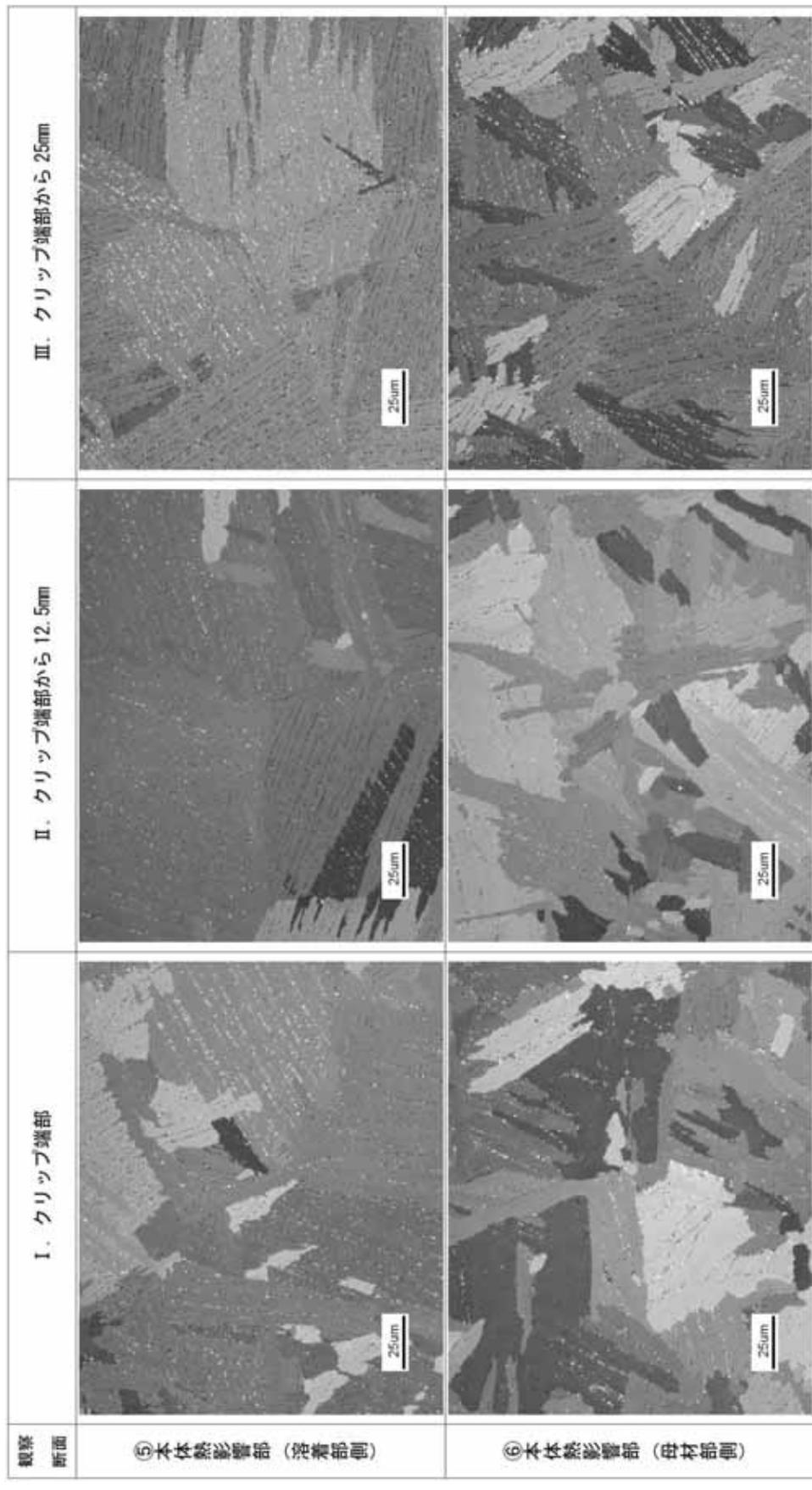
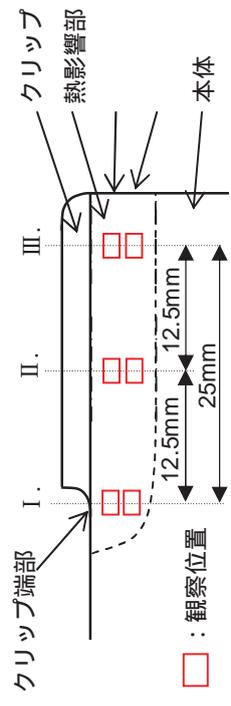
別紙2 - 図5 - 1 側面ミクロ結晶組織観察結果（自動溶接 A面 観察倍率400倍）

観察対象	結晶組織
溶接方法	自動溶接
観察部位	B面
観察倍率	400倍

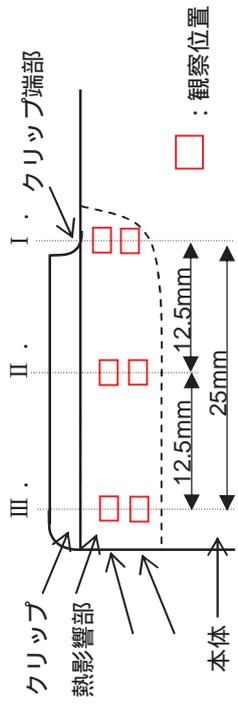


別紙 2 - 図 5 - 2 側面ミクロ結晶組織観察結果 (自動溶接 B面 観察倍率 400倍)

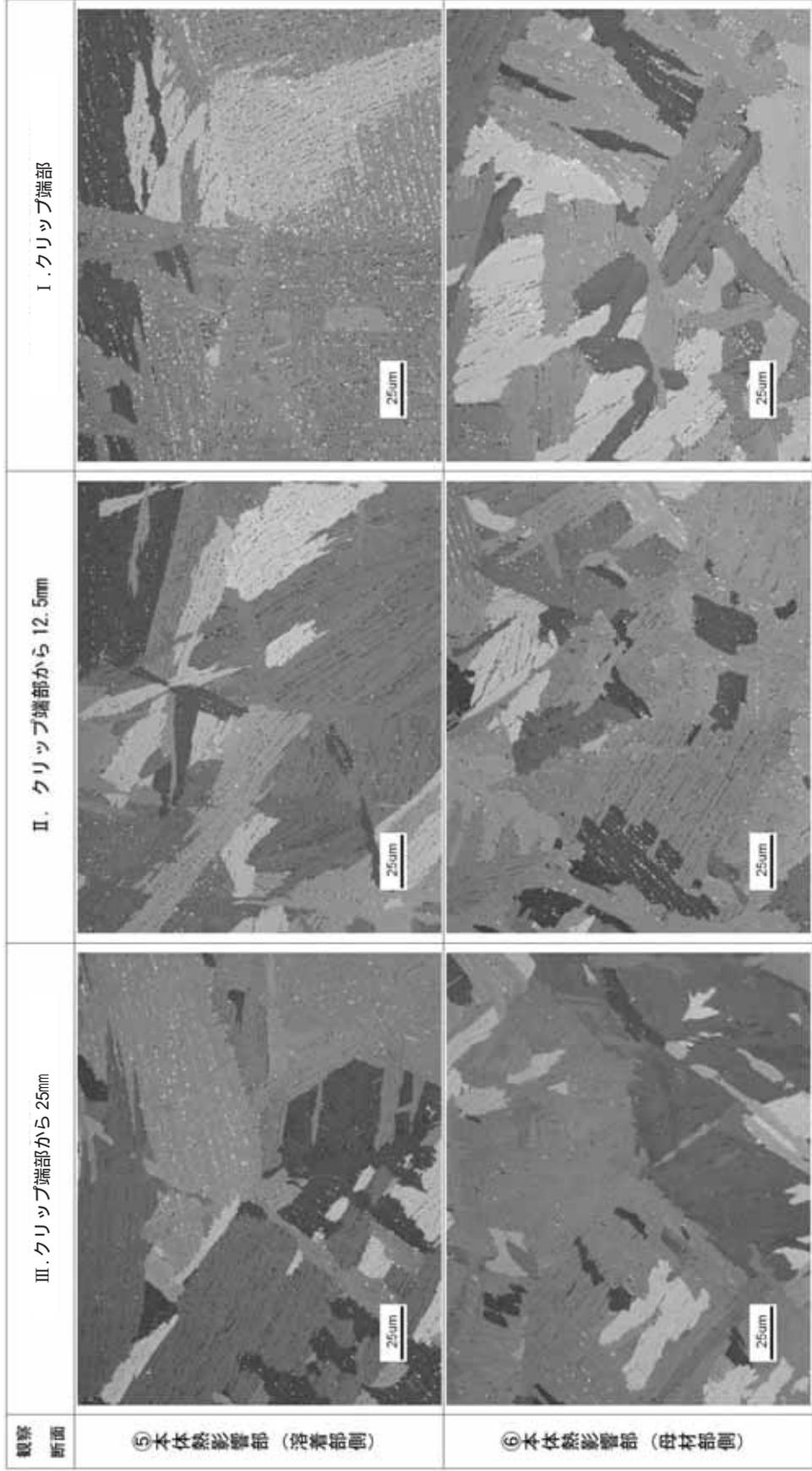
観察対象	結晶組織
溶接方法	自動溶接
観察部位	C面
観察倍率	400倍



別紙2 - 図5 - 3 側面ミクログラフ結晶組織観察結果 (自動溶接 C面 観察倍率400倍)

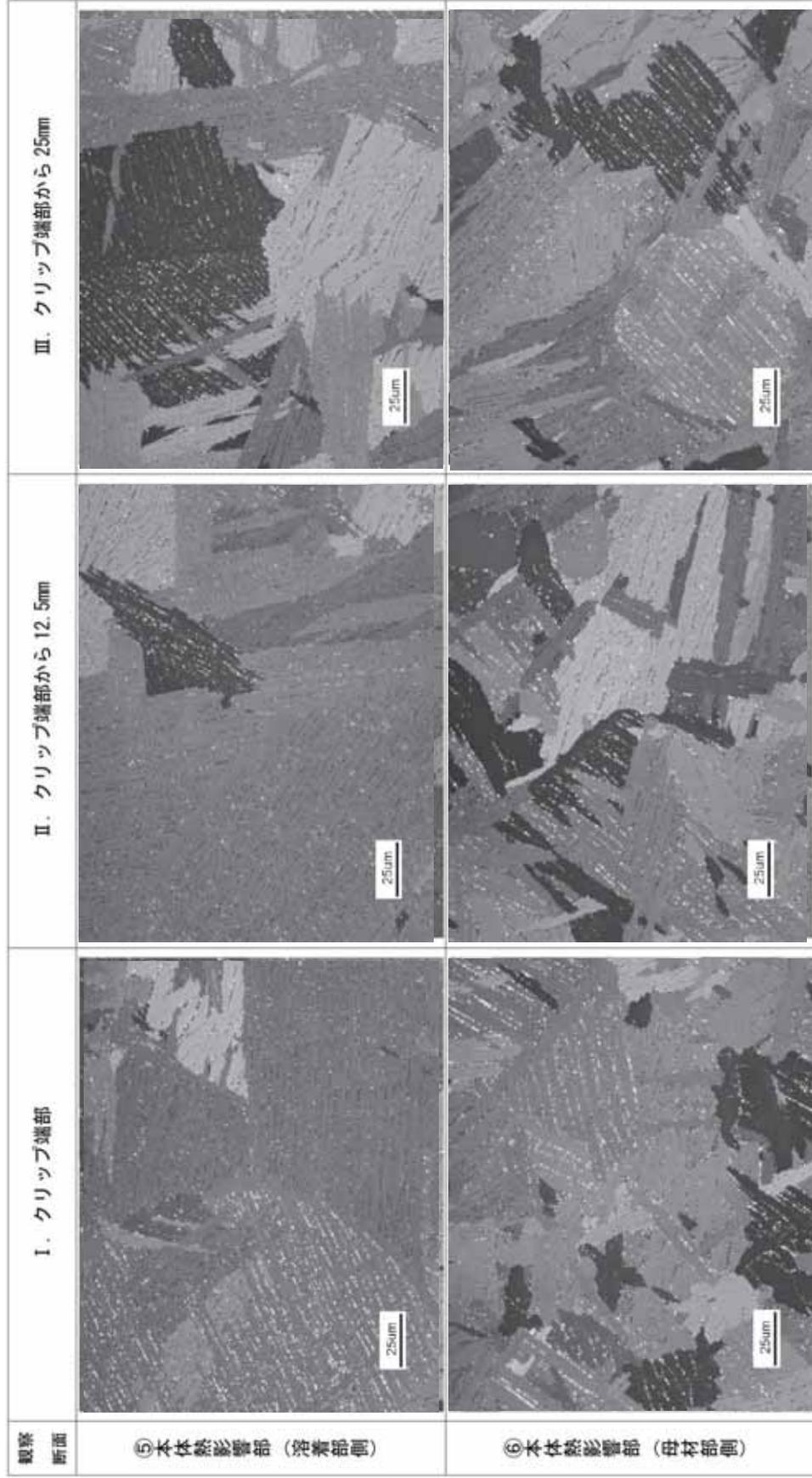
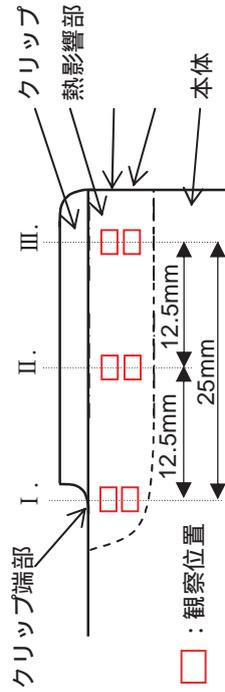


観察対象	結晶組織
溶接方法	自動溶接
観察部位	D面
観察倍率	400倍



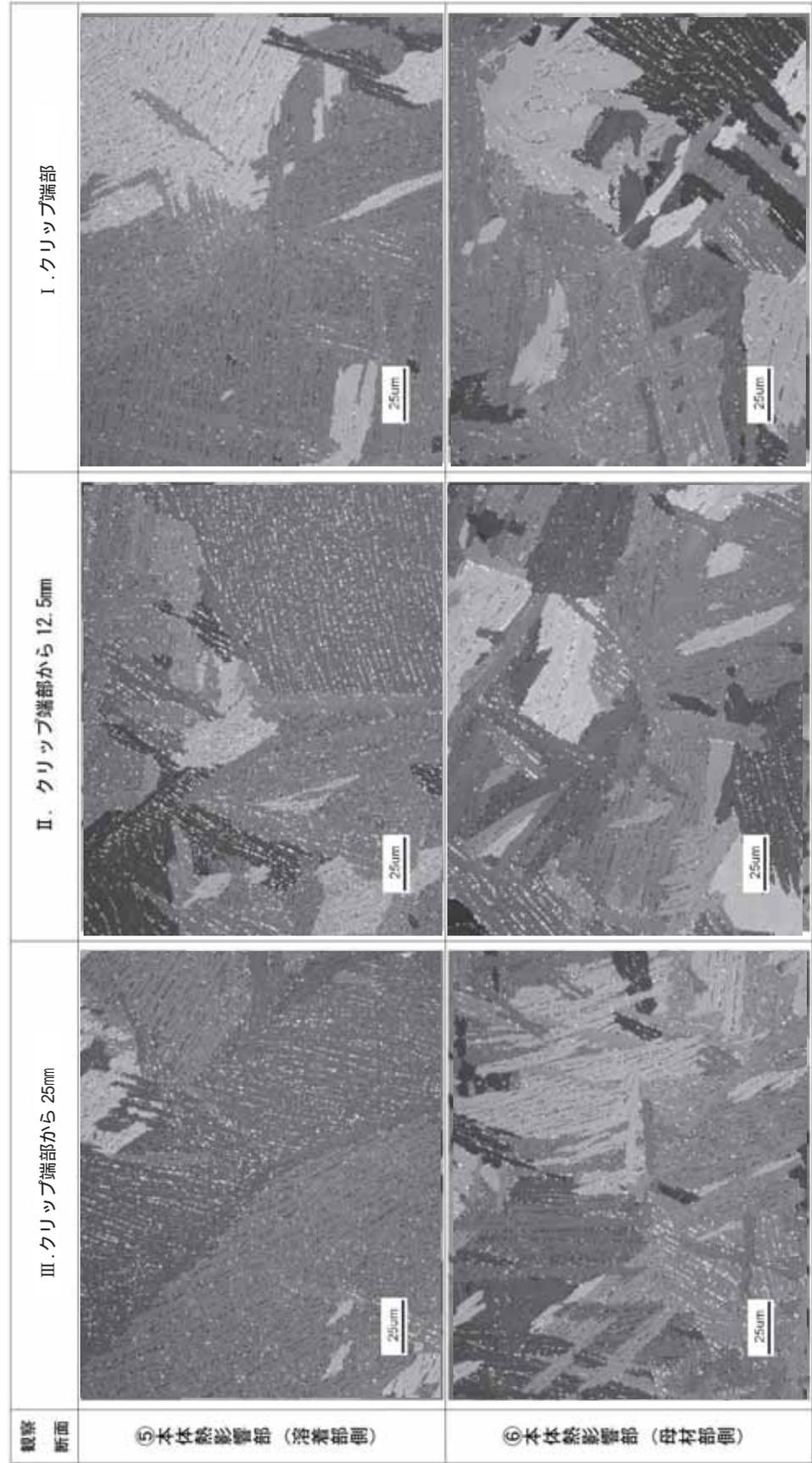
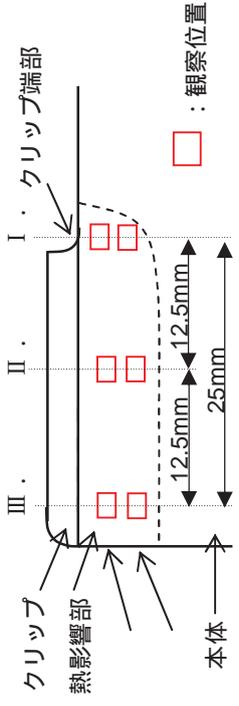
別紙2 - 図5 - 4 側面ミクロ結晶組織観察結果 (自動溶接 D面 観察倍率400倍)

観察対象	結晶組織
溶接方法	手動溶接
観察部位	A面
観察倍率	400倍



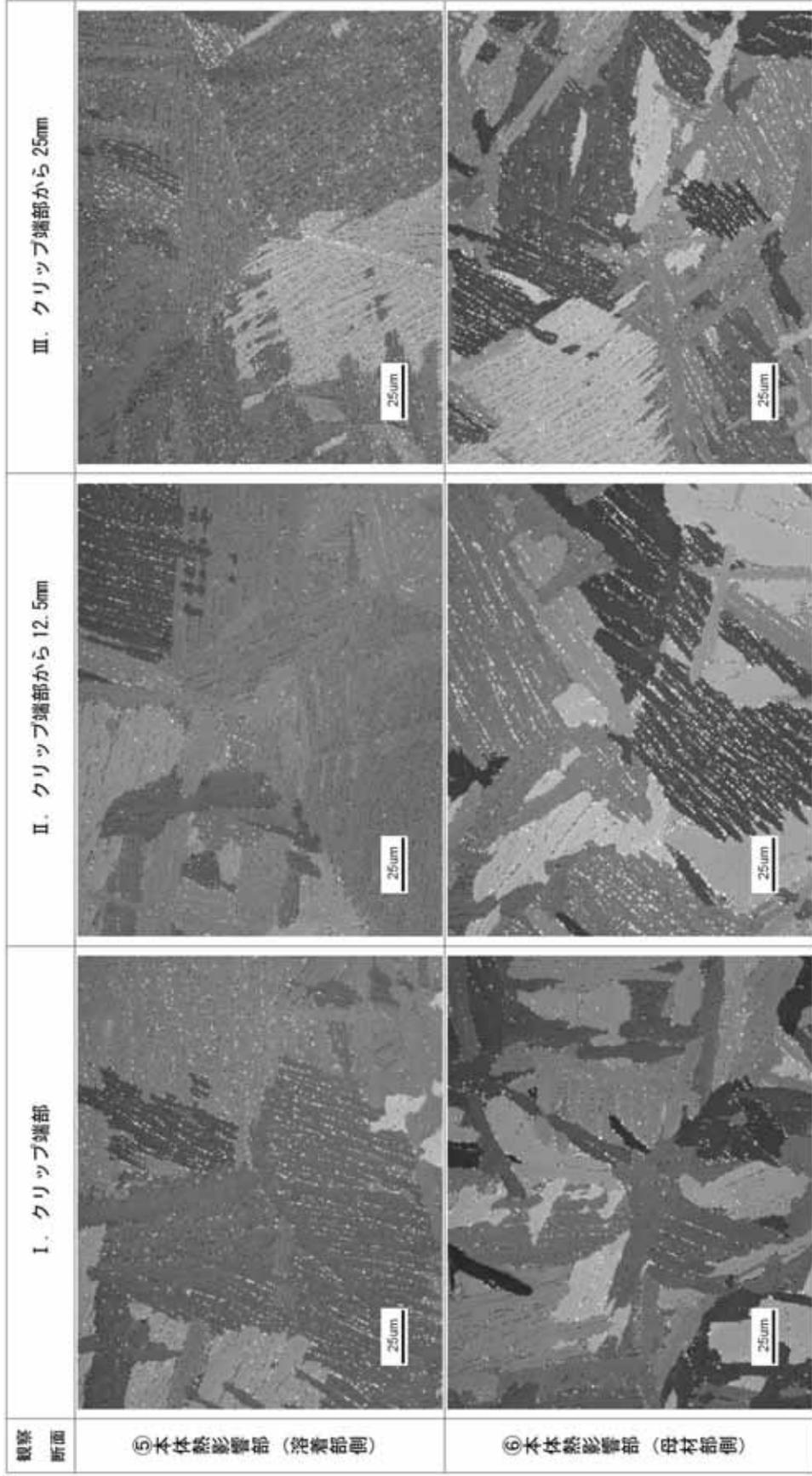
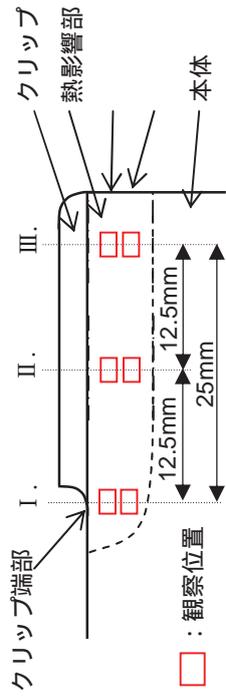
別紙2 - 図5 - 5 側面ミクログラフ結晶組織観察結果 (手動溶接 A面 観察倍率400倍)

観察対象	結晶組織
溶接方法	手動溶接
観察部位	B面
観察倍率	400倍

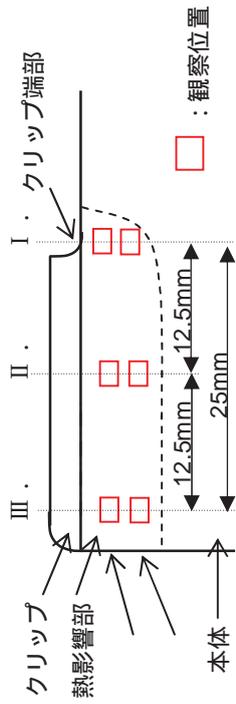


別紙 2 - 図 5 - 6 側面ミク口結晶組織観察結果 (手動溶接 B面 観察倍率 400倍)

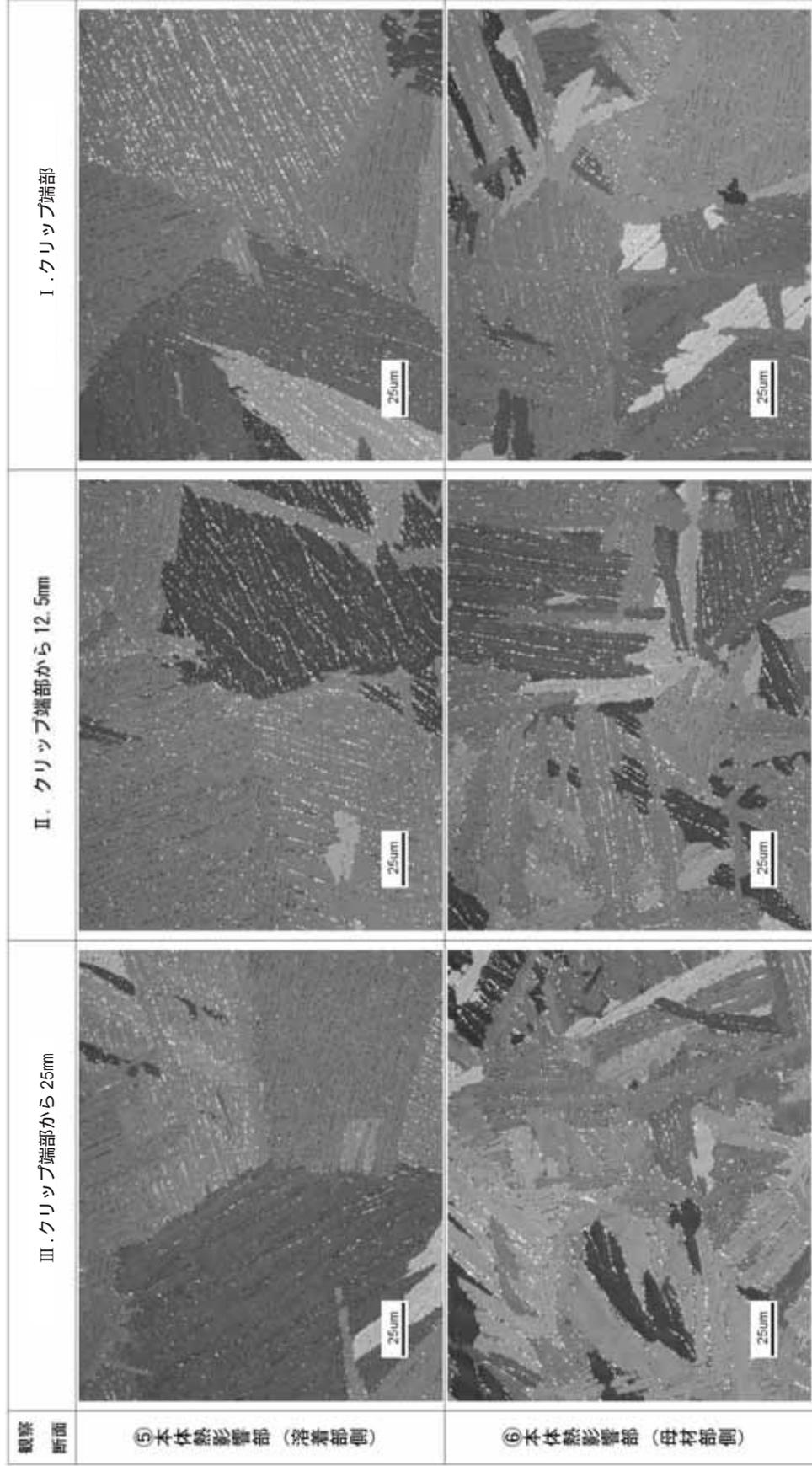
観察対象	結晶組織
溶接方法	手動溶接
観察部位	C面
観察倍率	400倍



別紙2 - 図5 - 7 側面ミクロ結晶組織観察結果 (手動溶接 C面 観察倍率400倍)

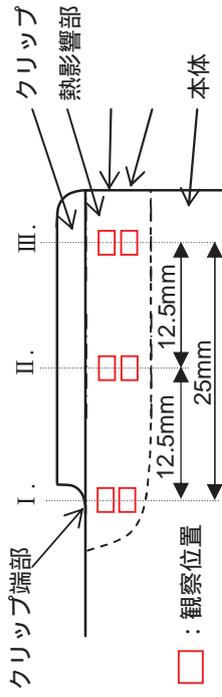


観察対象	結晶組織
溶接方法	手動溶接
観察部位	D面
観察倍率	400倍

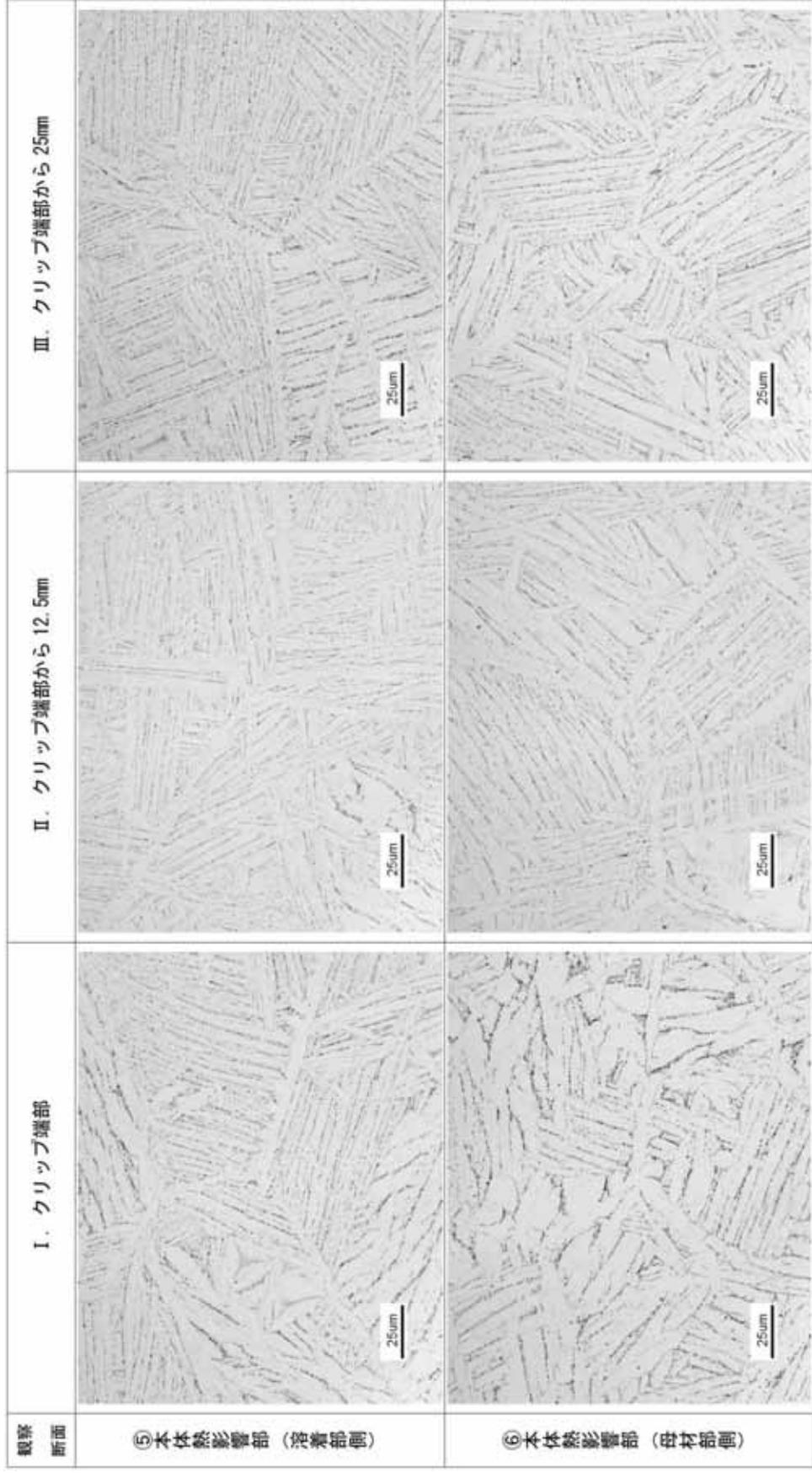


別紙 2 - 図 5 - 8 側面ミク口結晶組織観察結果 (手動溶接 D面 観察倍率 400倍)

C. 側面ミクロ観察結果（フィルタ無）

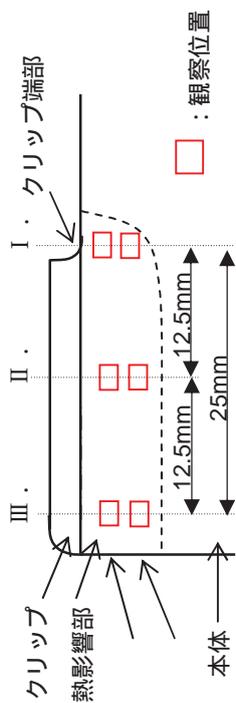


観察対象	析出物
溶接方法	自動溶接
観察部位	A面
観察倍率	400倍



別紙 2 - 図 6 - 1 側面ミクロ析出物観察結果（自動溶接 A面 観察倍率 400倍）

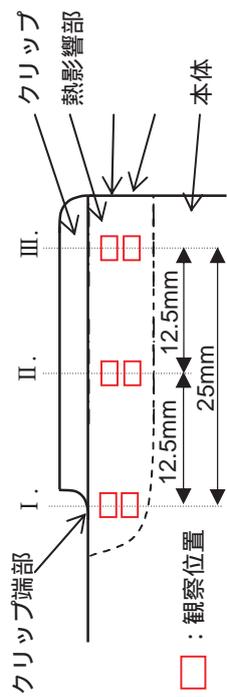
観察対象	析出物
溶接方法	自動溶接
観察部位	B面
観察倍率	400倍



観察断面	III. クリップ部から25mm	II. クリップ端部から12.5mm	I. クリップ端部
⑤ 本体熱影響部 (溶着部側)			
⑥ 本体熱影響部 (母材部側)			

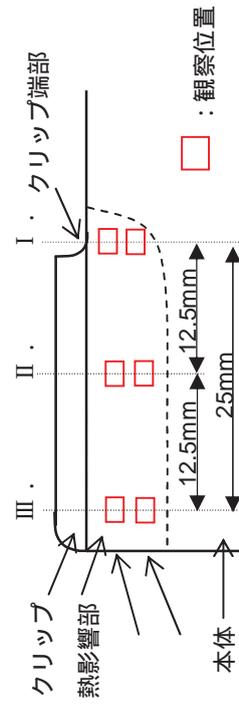
別紙2 - 図6 - 2 側面ミクロ析出物観察結果 (自動溶接 B面 観察倍率400倍)

観察対象	析出物
溶接方法	自動溶接
観察部位	C面
観察倍率	400倍

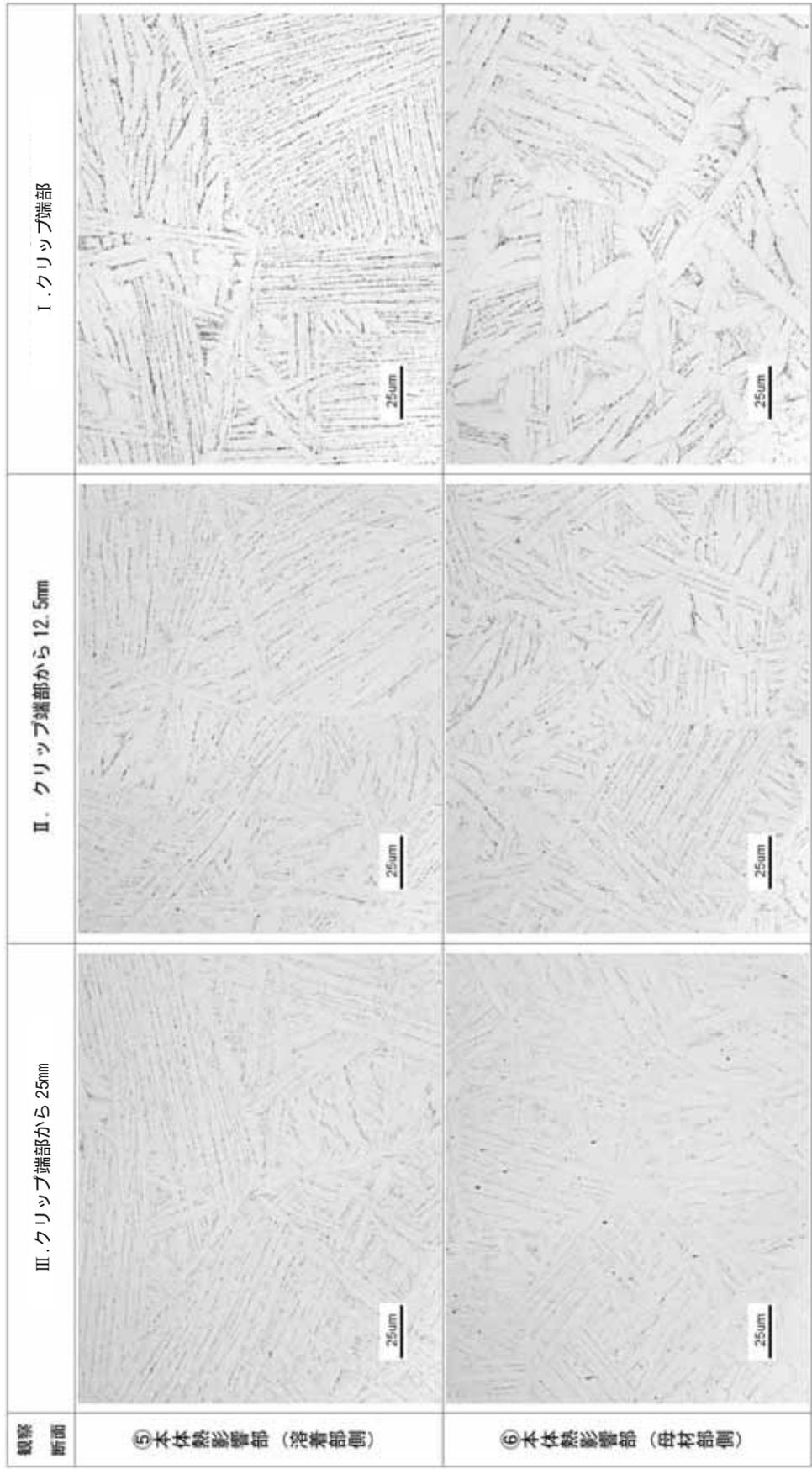


観察断面	⑤ 本体熱影響部 (溶着部側)	⑥ 本体熱影響部 (母材部側)
I. クリップ先端部		
II. クリップ先端部から 12.5mm		
III. クリップ先端部から 25mm		

別紙 2 - 図 6 - 3 側面ミクロ析出物観察結果 (自動溶接 C面 観察倍率 400倍)

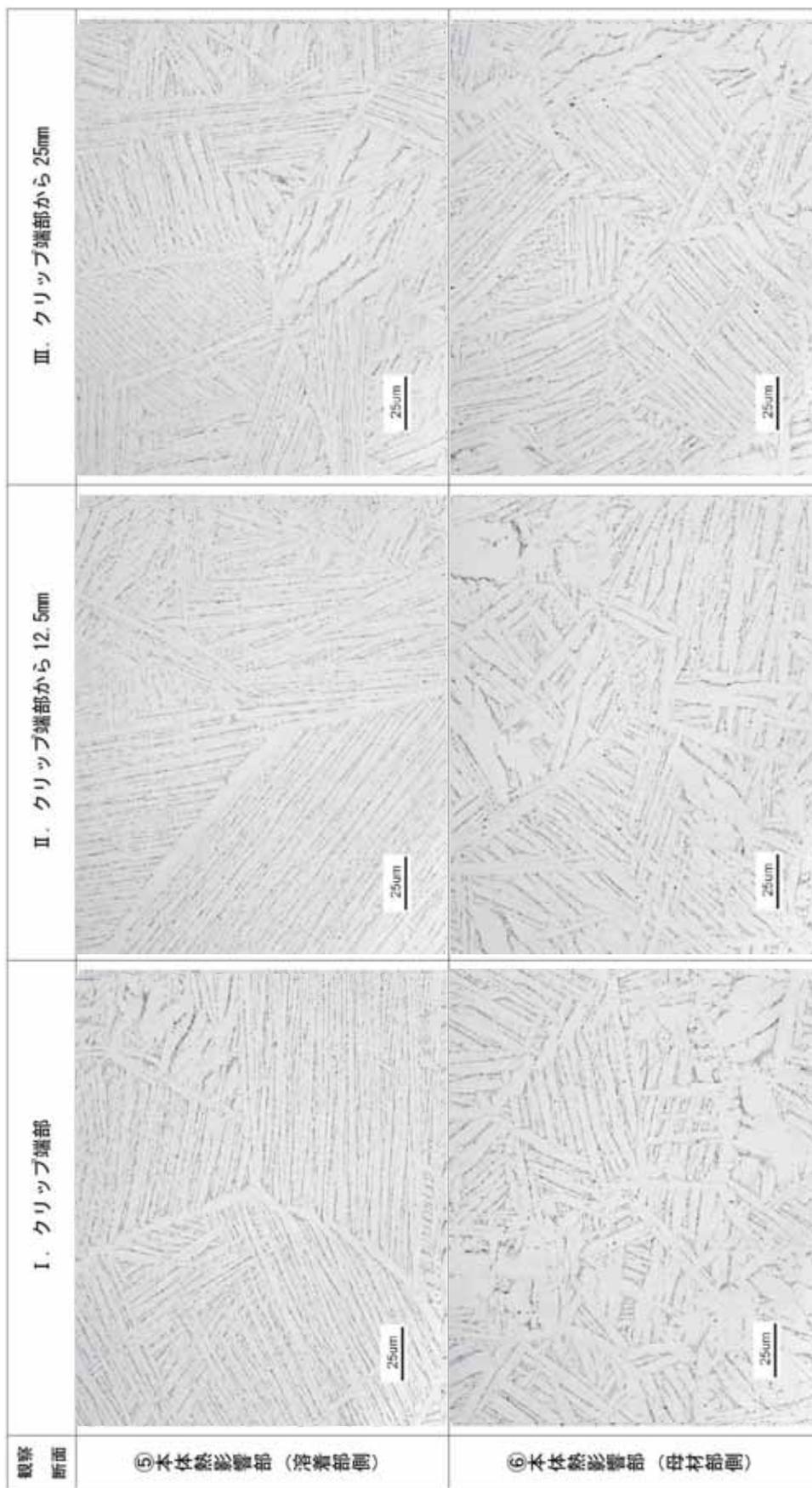
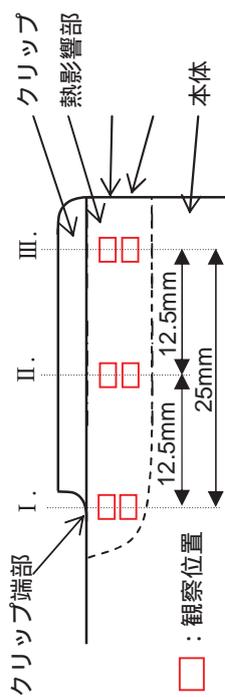


観察対象	析出物
溶接方法	自動溶接
観察部位	D面
観察倍率	400倍



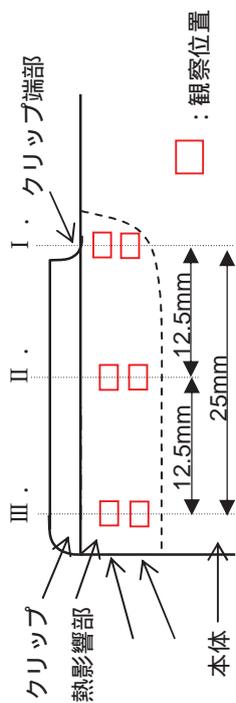
別紙 2 - 図 6 - 4 側面ミクロ析出物観察結果 (自動溶接 D面 観察倍率 400倍)

観察対象	析出物
溶接方法	手動溶接
観察部位	A面
観察倍率	400倍



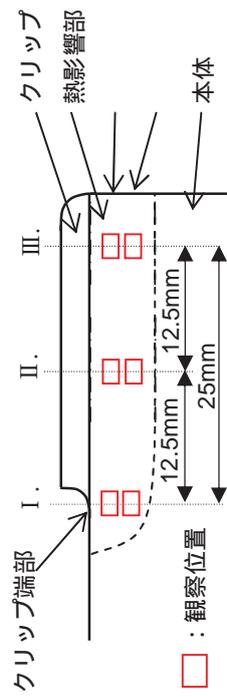
別紙2 - 図6 - 5 側面ミクロ析出物観察結果 (手動溶接 A面 観察倍率400倍)

観察対象	析出物
溶接方法	手動溶接
観察部位	B面
観察倍率	400倍

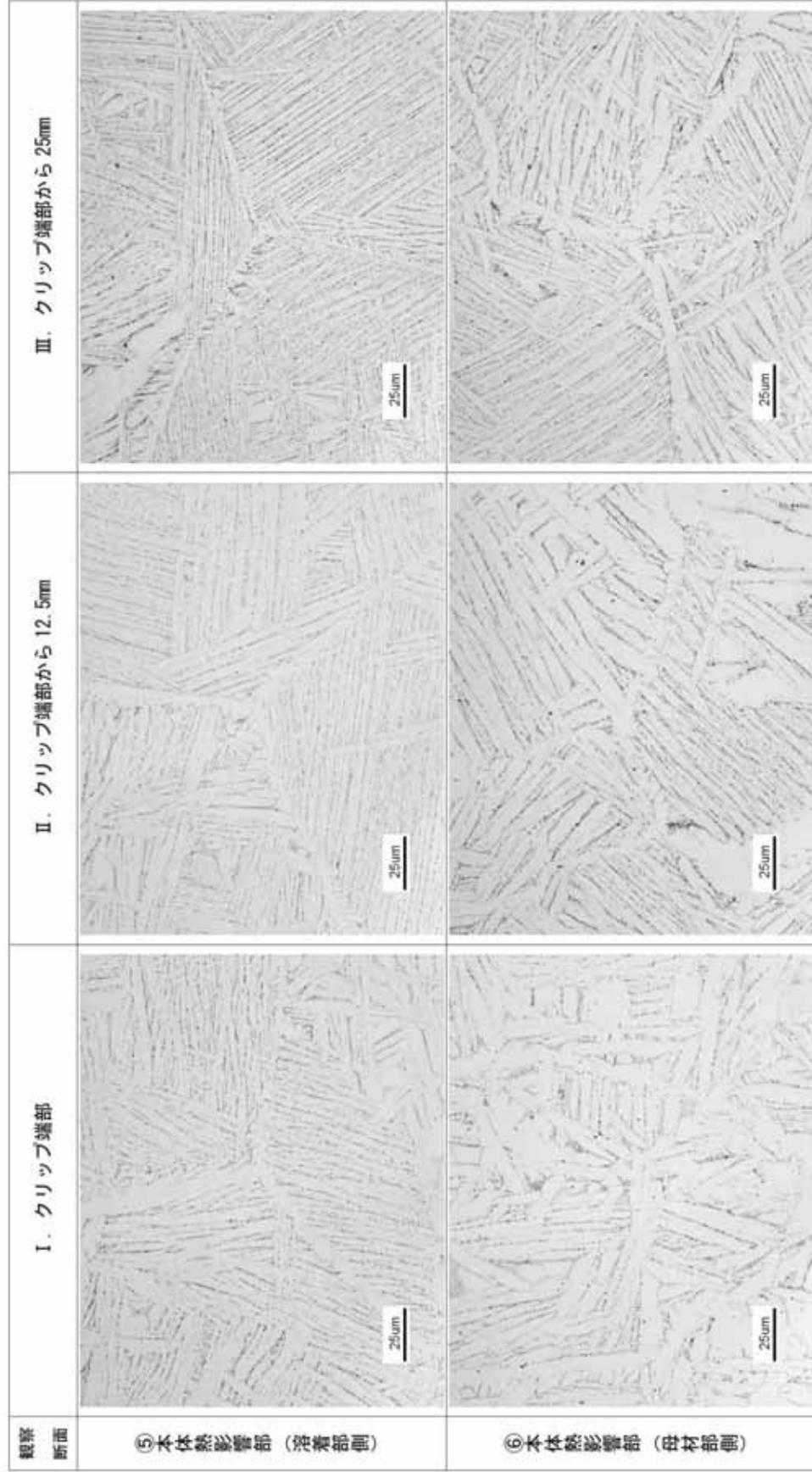


観察断面	III. クリップ端部から25mm	II. クリップ端部から12.5mm	I. クリップ端部
⑤ 本体熱影響部 (溶着部側)			
⑥ 本体熱影響部 (母材部側)			

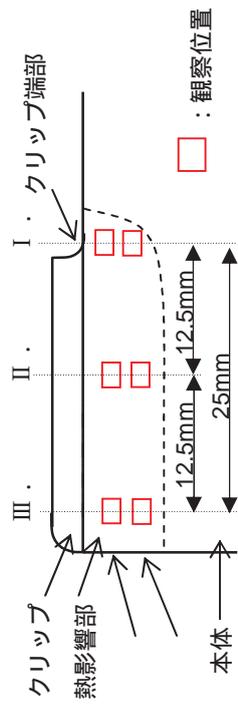
別紙2 - 図6 - 6 側面ミクロ析出物観察結果 (手動溶接 B面 観察倍率400倍)



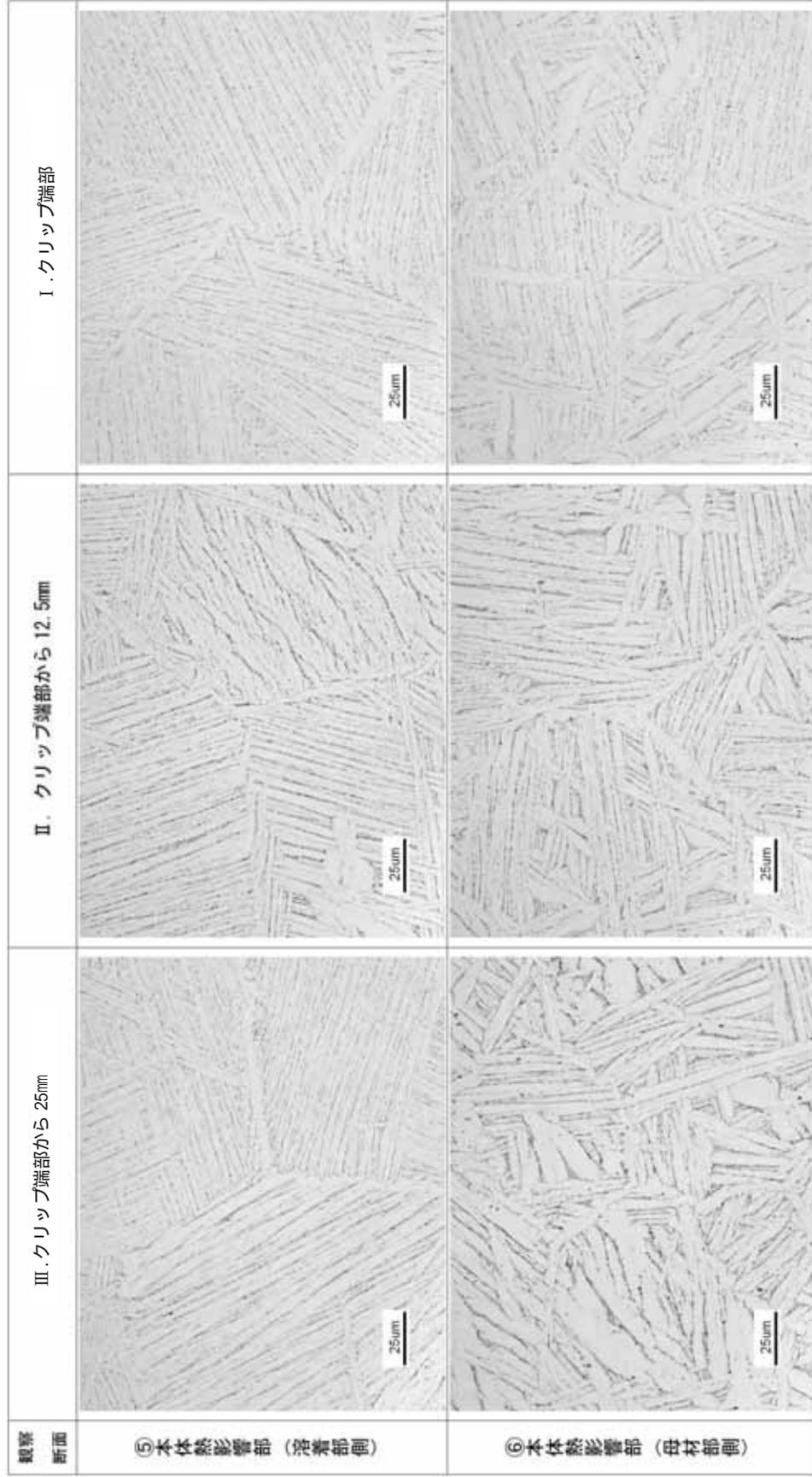
観察対象	析出物
溶接方法	手動溶接
観察部位	C面
観察倍率	400倍



別紙2 - 図6 - 7 側面ミクロ析出物観察結果 (手動溶接 C面 観察倍率400倍)



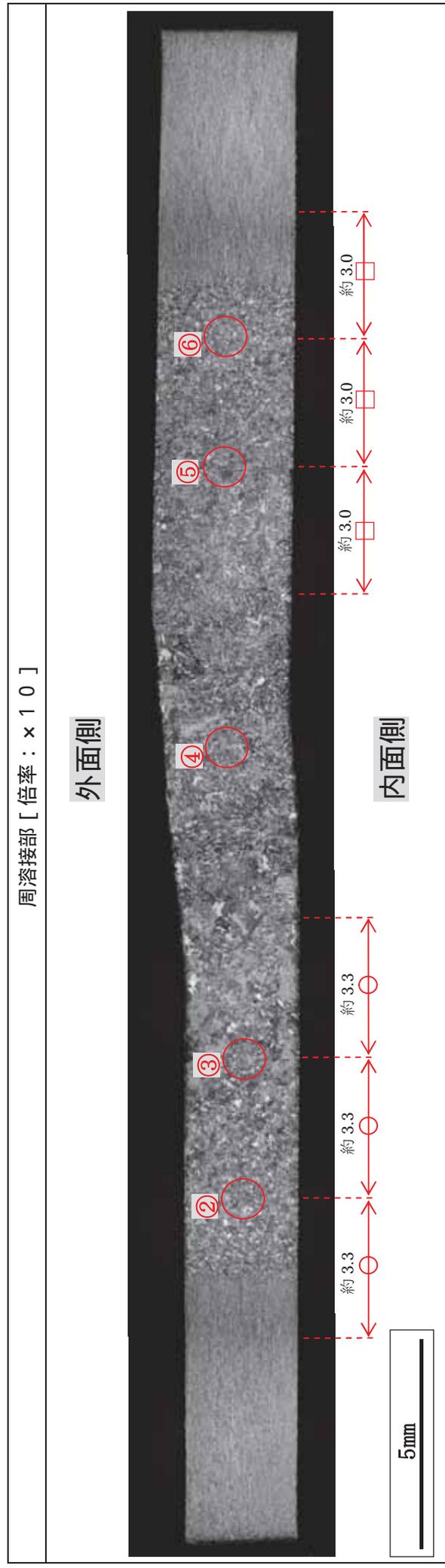
観察対象	析出物
溶接方法	手動溶接
観察部位	D面
観察倍率	400倍



別紙 2 - 図 6 - 8 側面ミクロ析出物観察結果 (手動溶接 D面 観察倍率 400倍)

(3) 周溶接部観察結果
a. 周溶接部マクロ観察結果

単位：mm

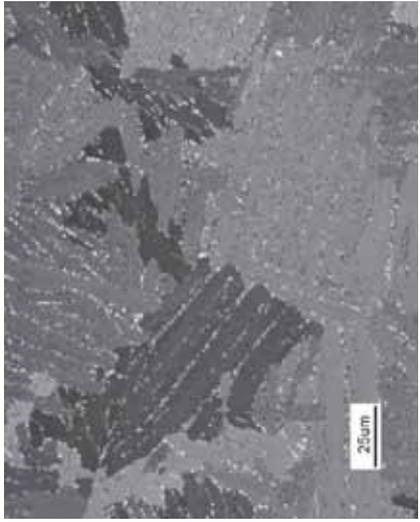
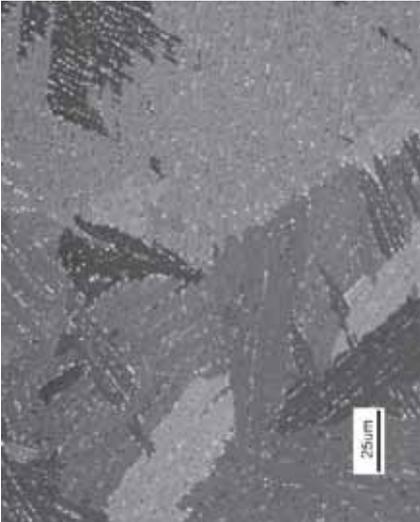
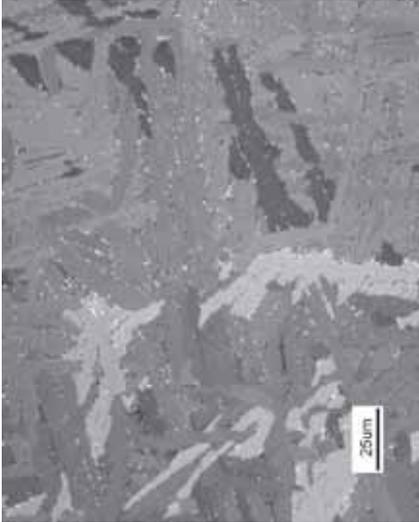
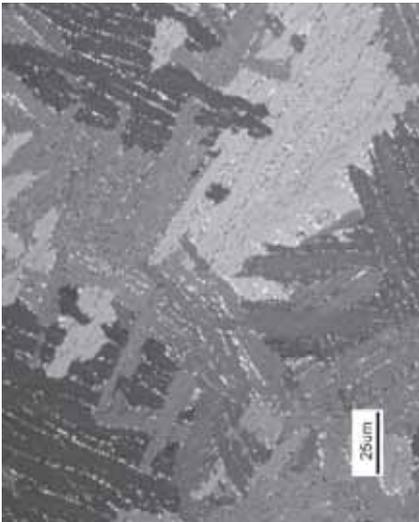
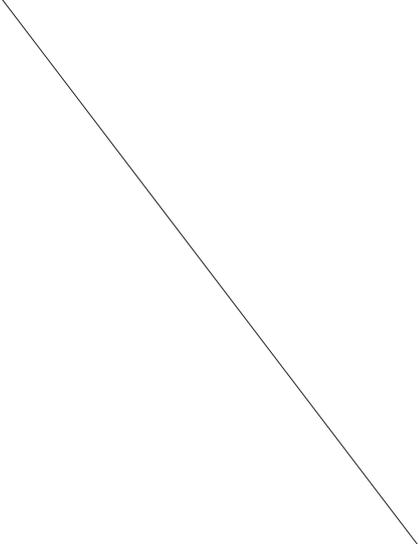


別紙 2 - 図 7 断面マクロ観察結果 (周溶接部)

b. 周溶接部ミクロ観察結果（フィルタ有）

観察対象	結晶組織
溶接方法	自動溶接
観察部位	周溶接部
観察倍率	400倍

×	×	×	×	×
---	---	---	---	---

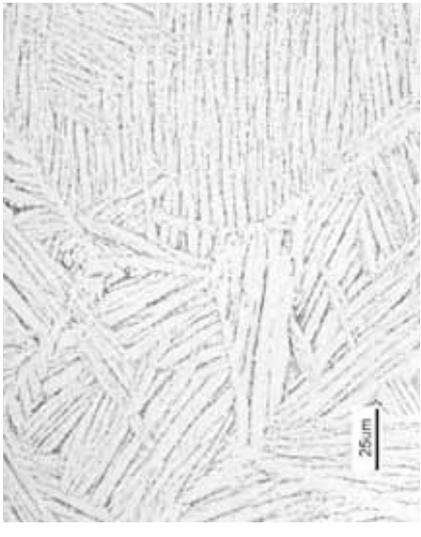
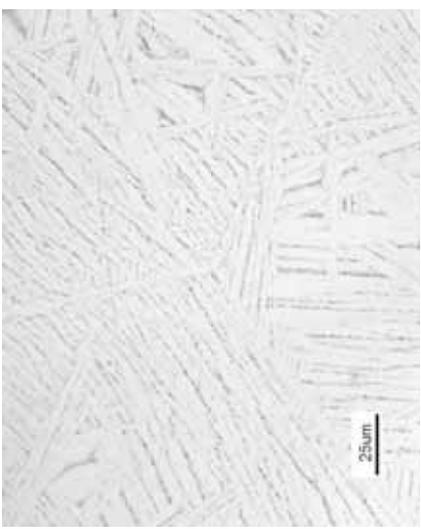
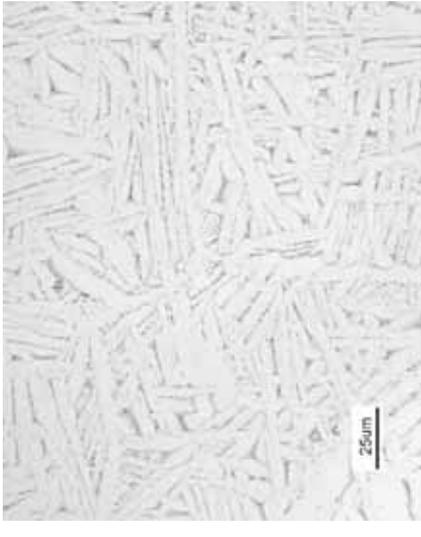
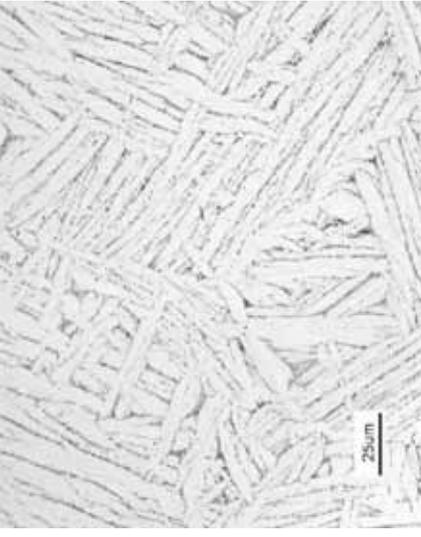
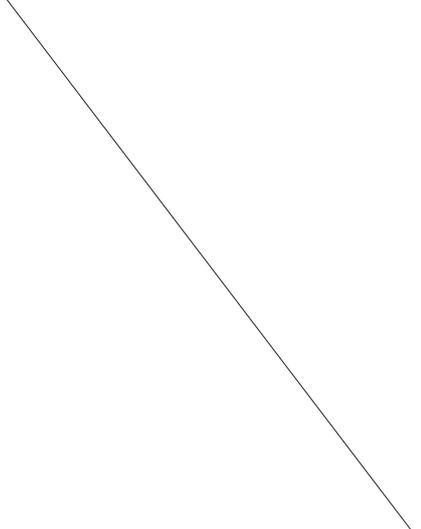
	薄板側熱影響部（母材部側）	薄板側熱影響部（溶着部側）	溶着部
			
	厚板側熱影響部（溶着部側）	厚板側熱影響部（母材部側）	
			

別紙2 - 図8 断面ミクロ結晶組織観察結果（周溶接部 観察倍率400倍）

c. 周溶接部ミクロ観察結果（フィルタ無）

×	×	×	×	×	×
---	---	---	---	---	---

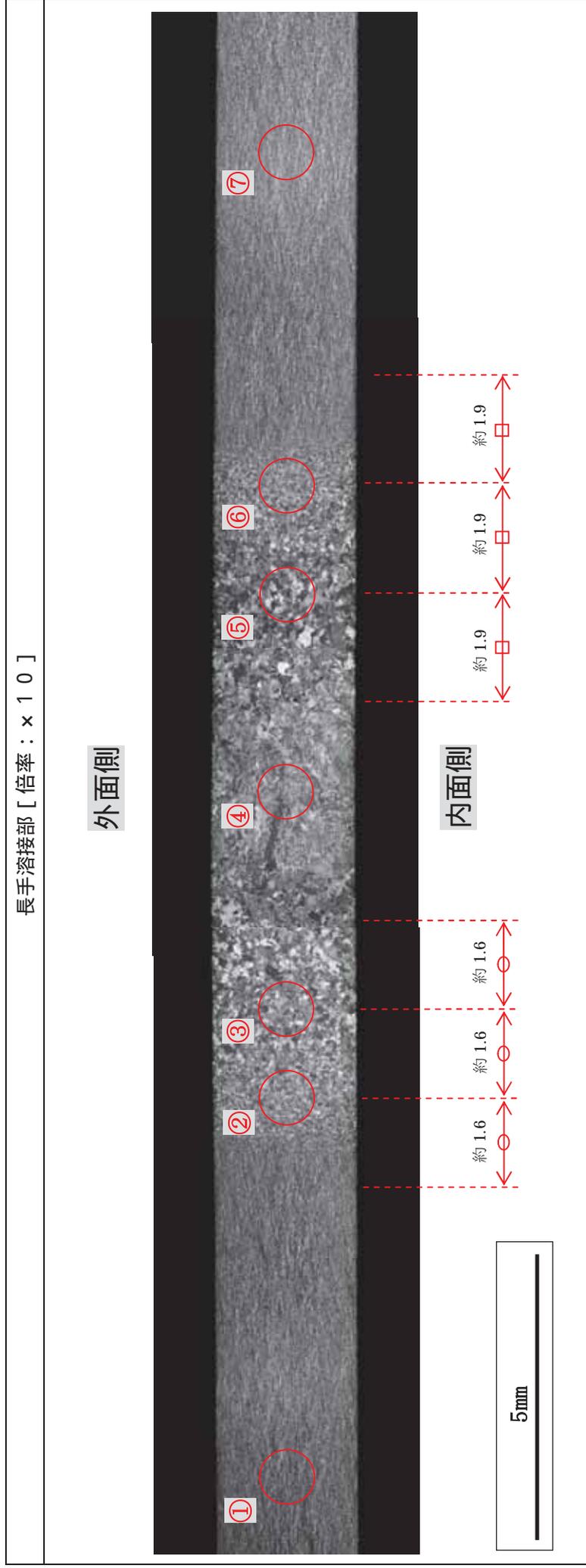
観察対象	析出物
溶接方法	自動溶接
観察部位	周溶接部
観察倍率	400倍

	薄板側熱影響部（母材部側）	薄板側熱影響部（溶着部側）	溶着部
			
	厚板側熱影響部（溶着部側）	厚板側熱影響部（母材部側）	
			

別紙2 - 図9 断面ミクロ析出物観察結果（周溶接部 観察倍率400倍）

(4) 長手溶接部観察結果
a. 長手溶接部マクロ観察結果

単位：mm

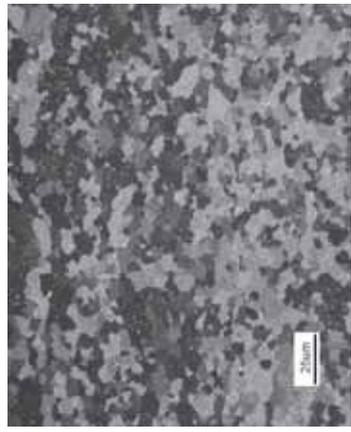
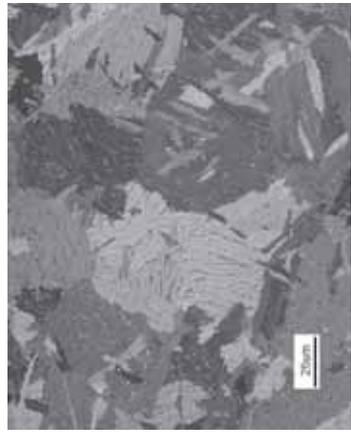


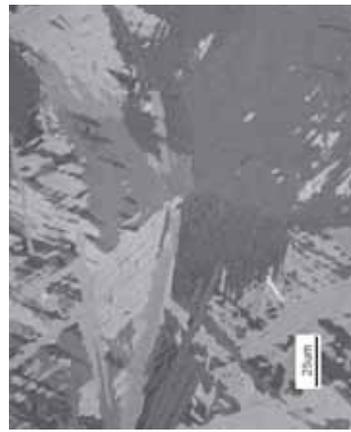
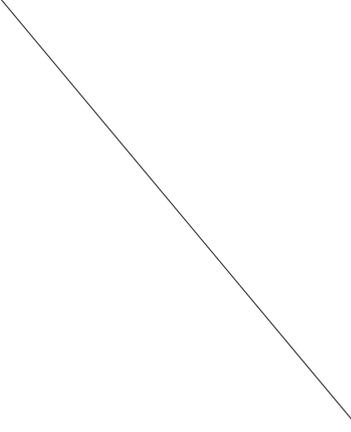
別紙 2 - 図 10 断面マクロ観察結果 (長手溶接部)

b. 長手溶接部ミクロ観察結果（フィルタ有）

観察対象	結晶組織
溶接方法	自動溶接
観察部位	長手溶接部
観察倍率	400倍

× × × × × × × × × ×

母材部	熱影響部（母材部側）	熱影響部（溶着部側）	溶着部
			

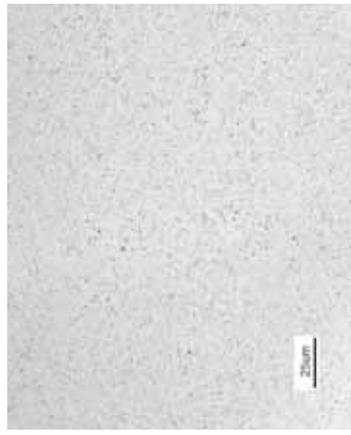
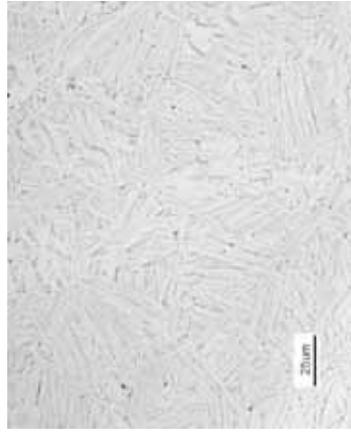
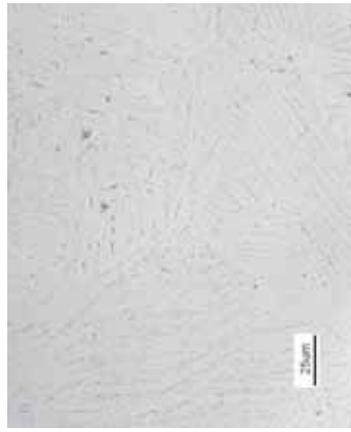
熱影響部（溶着部側）	熱影響部（母材部側）	母材部	
			

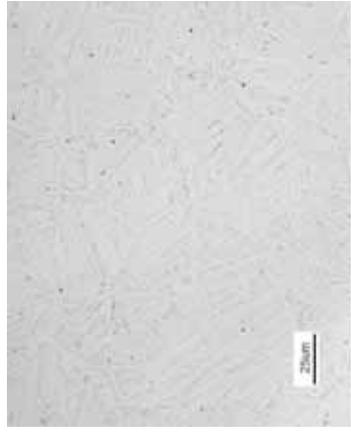
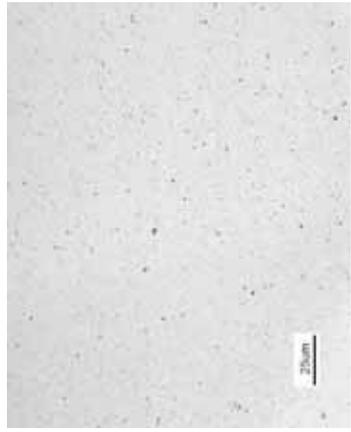
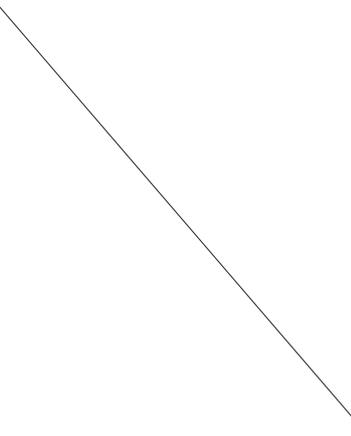
別紙2 - 図11 断面ミクロ結晶組織観察結果（長手溶接部 観察倍率400倍）

c. 長手溶接部ミクロ観察結果（フィルタ無）

観察対象	析出物
溶接方法	自動溶接
観察部位	長手溶接部
観察倍率	400倍

×	×	×	×	×	×	×	×
---	---	---	---	---	---	---	---

母材部	熱影響部（母材部側）	熱影響部（溶着部側）	溶着部
			

熱影響部（溶着部側）	熱影響部（母材部側）	母材部	
			

別紙2 - 図12 断面ミクロ析出物観察結果（長手溶接部 観察倍率400倍）

別紙3 硬さ測定

1. 測定方法

クリップ端部とそれ以外の部分での相違有無の確認を目的に、ビッカース硬さ試験機を用いて溶接部の断面、側面および欠損発生部の硬さ分布を測定した。

2. 測定対象

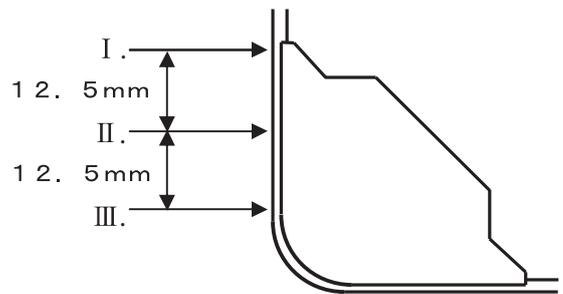
自動溶接試験片および手動溶接試験片

3. 測定位置

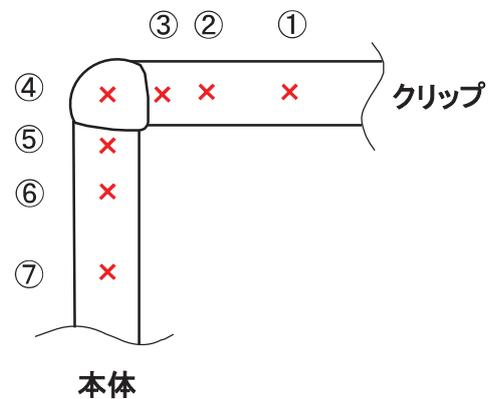
(1) 断面硬さ測定位置

クリップ端部、クリップ端部から12.5mm、およびクリップ端部から25mmの3断面について、下記の7箇所の測定を行った。

- I. クリップ端部
- II. クリップ端部から12.5mm
- III. クリップ端部から25mm



- ① : クリップ母材部
- ② : クリップ熱影響部 (母材部側)
- ③ : クリップ熱影響部 (溶着部側)
- ④ : 溶着部
- ⑤ : 本体熱影響部 (溶着部側)
- ⑥ : 本体熱影響部 (母材部側)
- ⑦ : 本体母材部

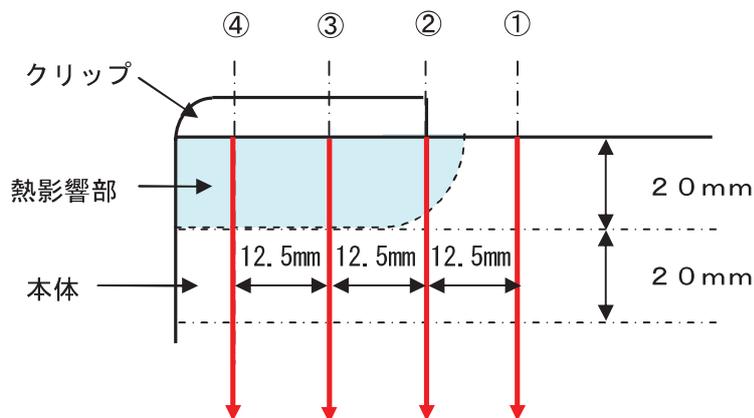


(2) 側面硬さ測定位置

①～④の座標を設定し、下記の間隔で測定を行った。

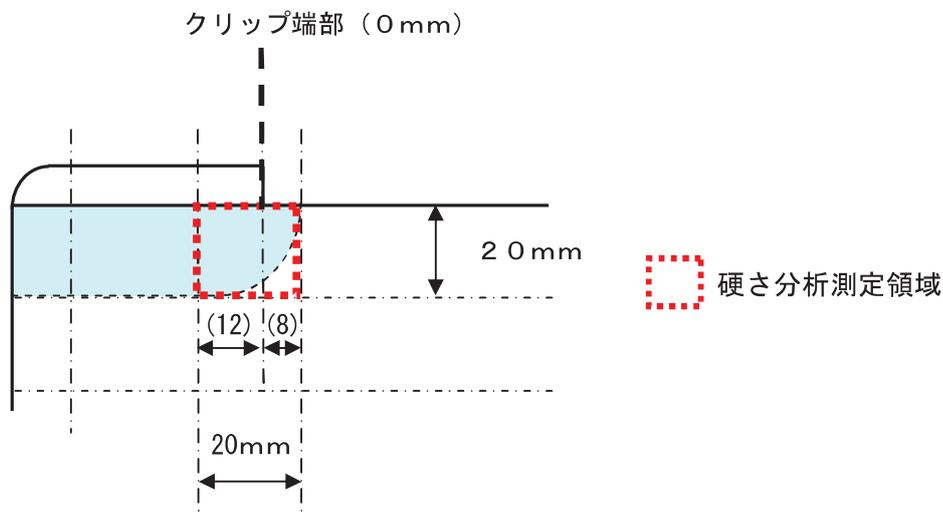
- ①：熱影響部の外側（クリップ端部から12.5mm）
- ②：クリップ端部
- ③：クリップ端部から12.5mm
- ④：クリップ端部から25mm

C/B上端から下方20mmまでの範囲は1mm間隔で測定し、C/B上端から下方20～40mmの範囲は2mm間隔で測定した。



(3) 欠損発生部硬さ分布測定位置

クリップ端部を基準に、コーナーに向かって12mmおよび反対の方向に8mmの計20mmおよび上端から20mmの範囲の硬さ分布を、1mm間隔で格子状に測定した。



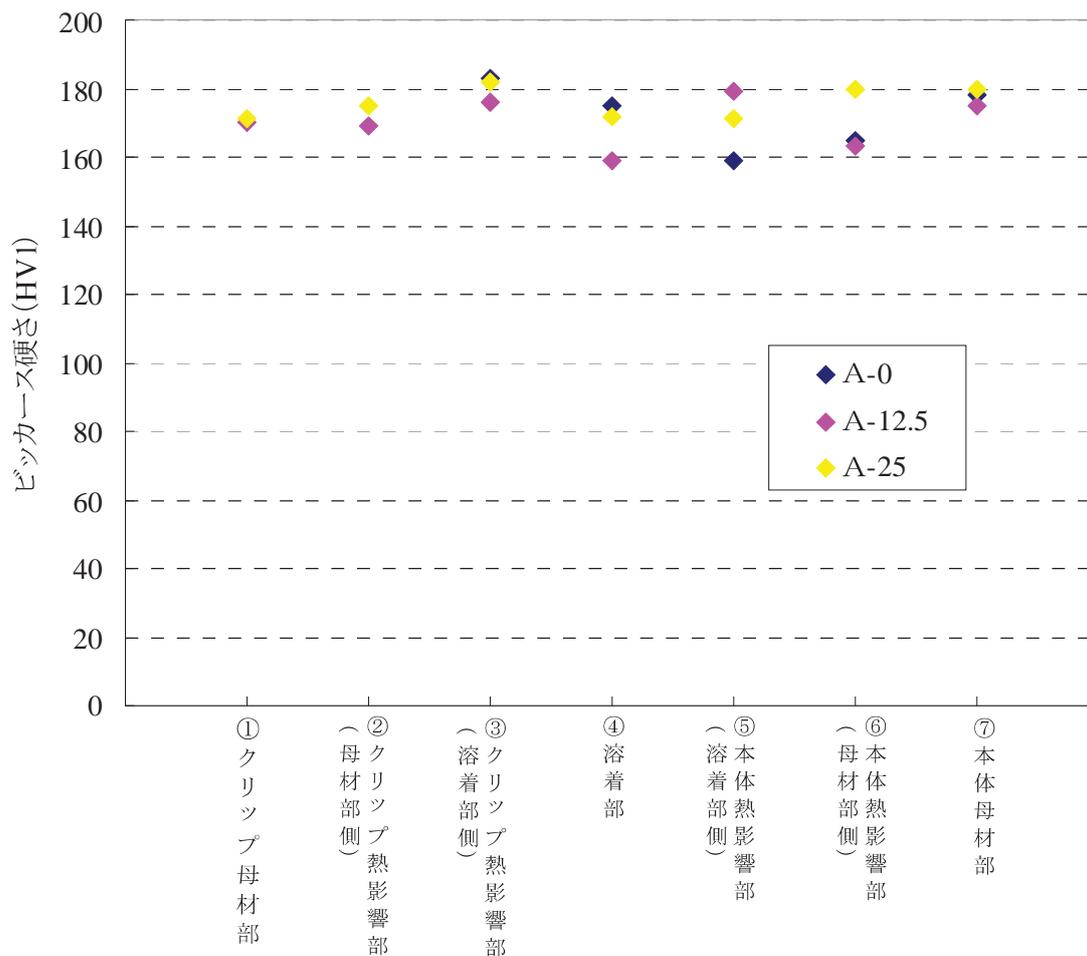
4. 測定結果

(1) 断面硬さ測定結果

(HV 1※)

サンプル 断面位置	自動溶接		
	A-0	A-12.5	A-25
①クリップ母材部	—	170	171
②クリップ熱影響部(母材部側)	—	169	175
③クリップ熱影響部(溶着部側)	183	176	182
④溶着部	175	159	172
⑤本体熱影響部(溶着部側)	159	179	171
⑥本体熱影響部(母材部側)	165	163	180
⑦本体母材部	178	175	180

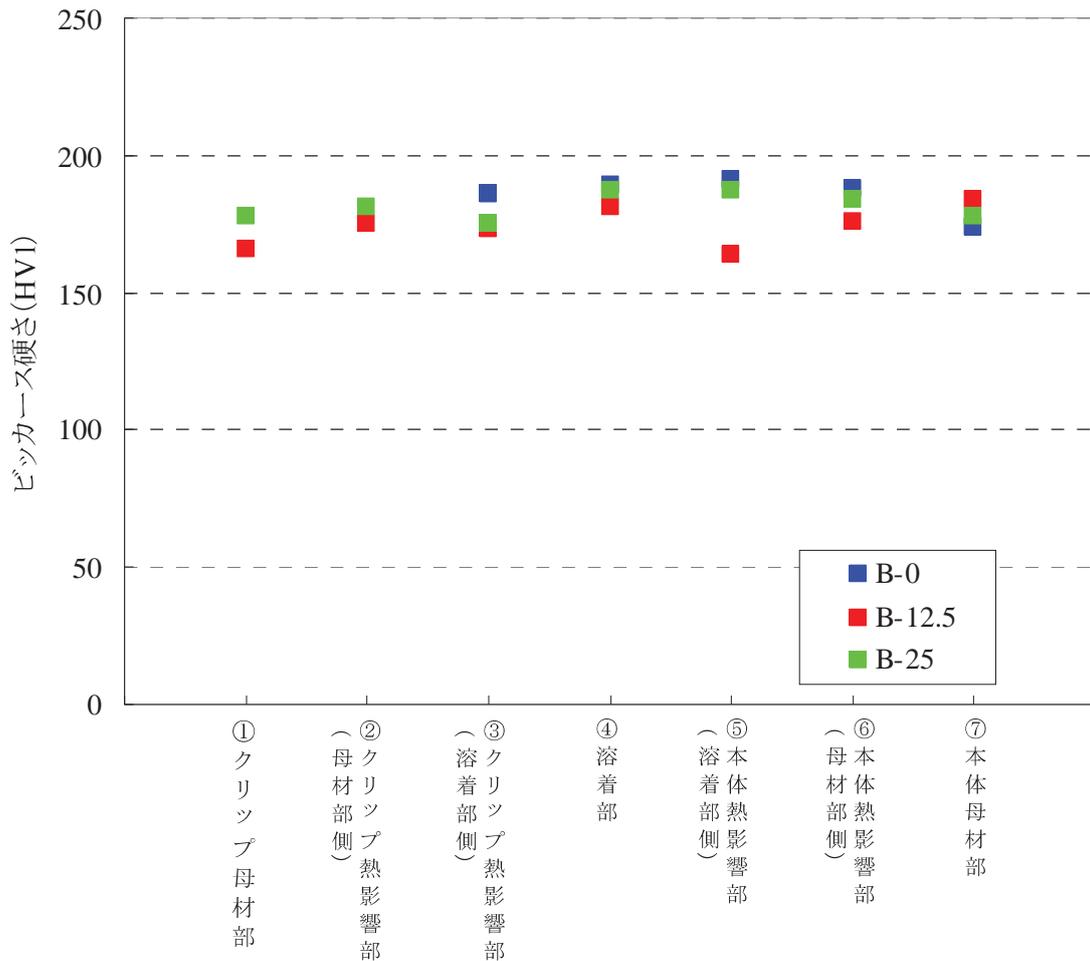
※HVの後の1は、9.807Nの試験力で測定したビッカース硬さであることを示す。



別紙3-図1-1 断面硬さ測定結果 (自動溶接 A面)

(HV1)

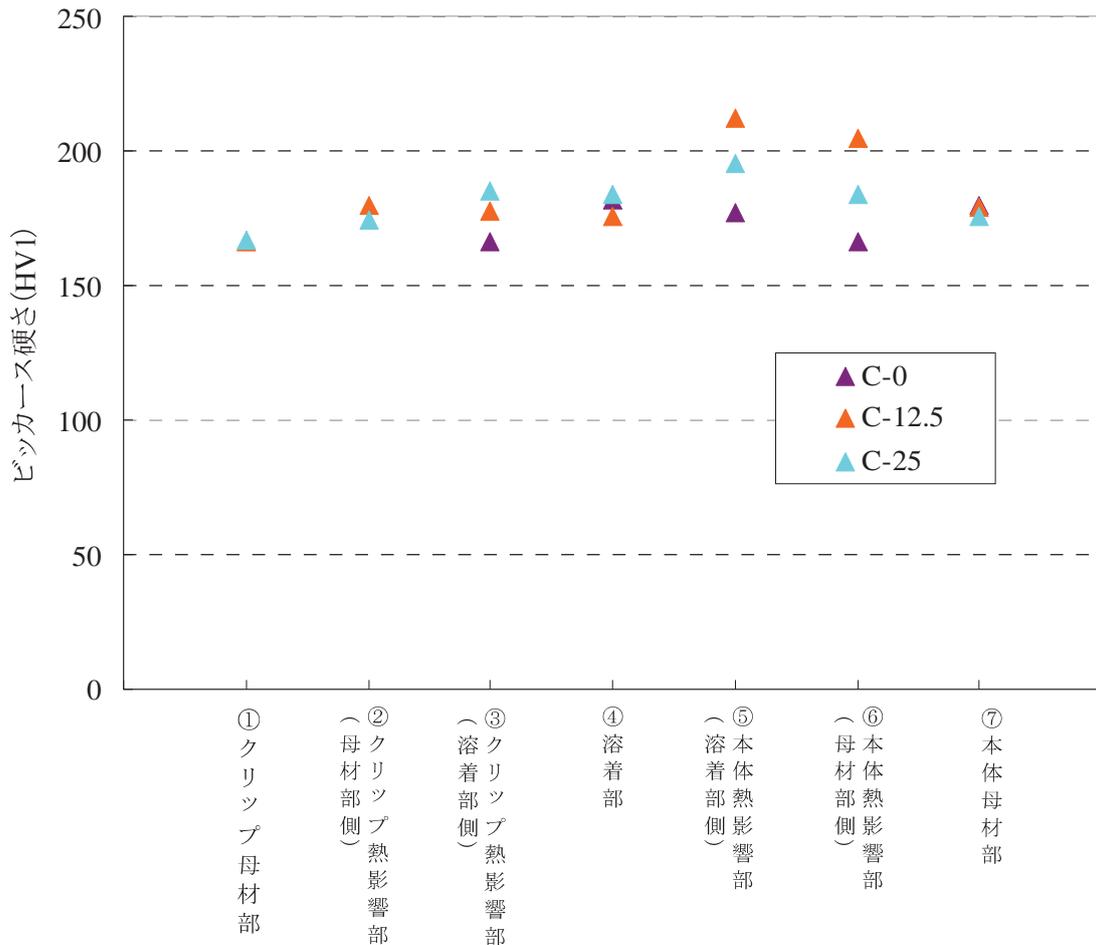
サンプル 断面位置	自動溶接		
	B-0	B-12.5	B-25
①クリップ母材部	—	166	178
②クリップ熱影響部(母材部側)	—	175	181
③クリップ熱影響部(溶着部側)	186	173	175
④溶着部	189	181	187
⑤本体熱影響部(溶着部側)	191	164	187
⑥本体熱影響部(母材部側)	188	176	184
⑦本体母材部	174	184	178



別紙3-図1-2 断面硬さ測定結果 (自動溶接 B面)

(HV1)

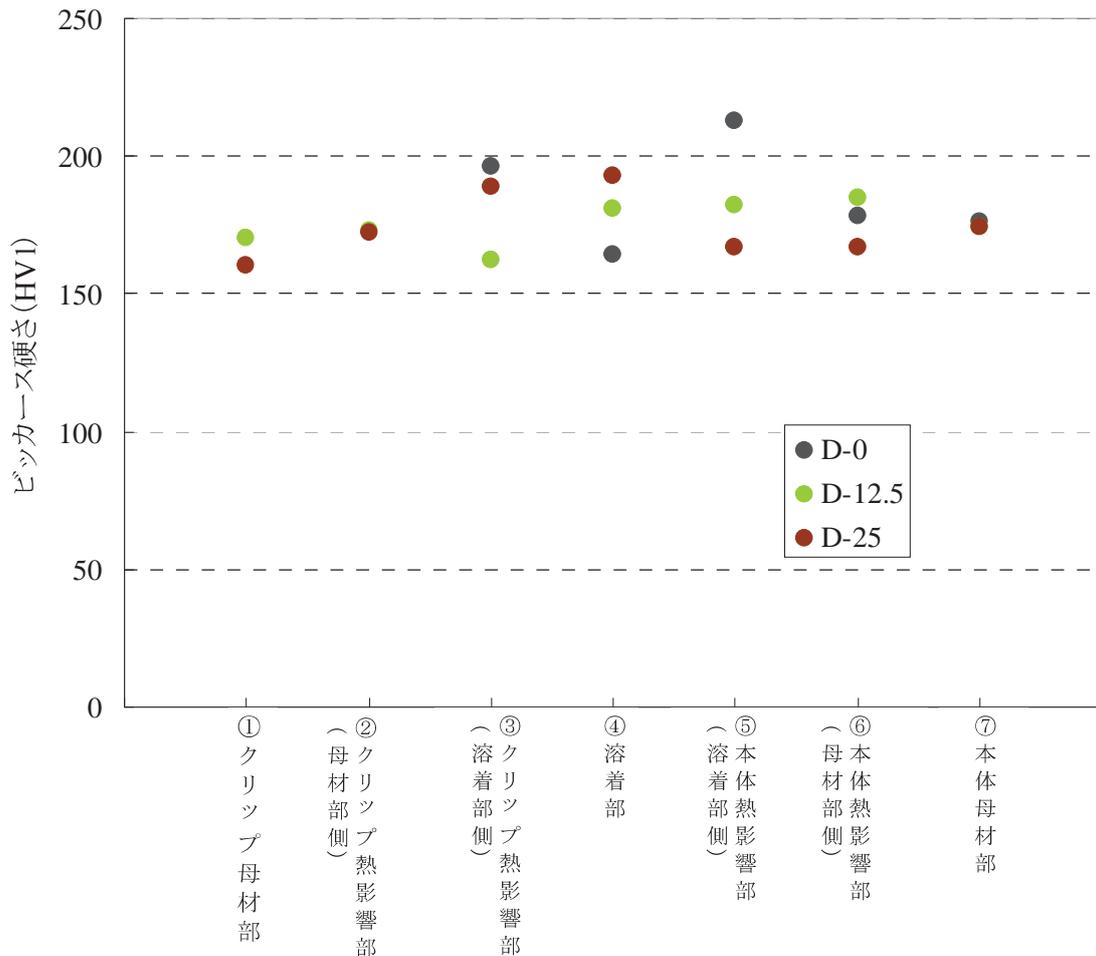
サンプル 断面位置	自動溶接		
	C-0	C-12.5	C-25
①クリップ母材部	—	166	167
②クリップ熱影響部(母材部側)	—	180	174
③クリップ熱影響部(溶着部側)	166	178	185
④溶着部	182	176	184
⑤本体熱影響部(溶着部側)	177	212	195
⑥本体熱影響部(母材部側)	166	205	184
⑦本体母材部	180	179	176



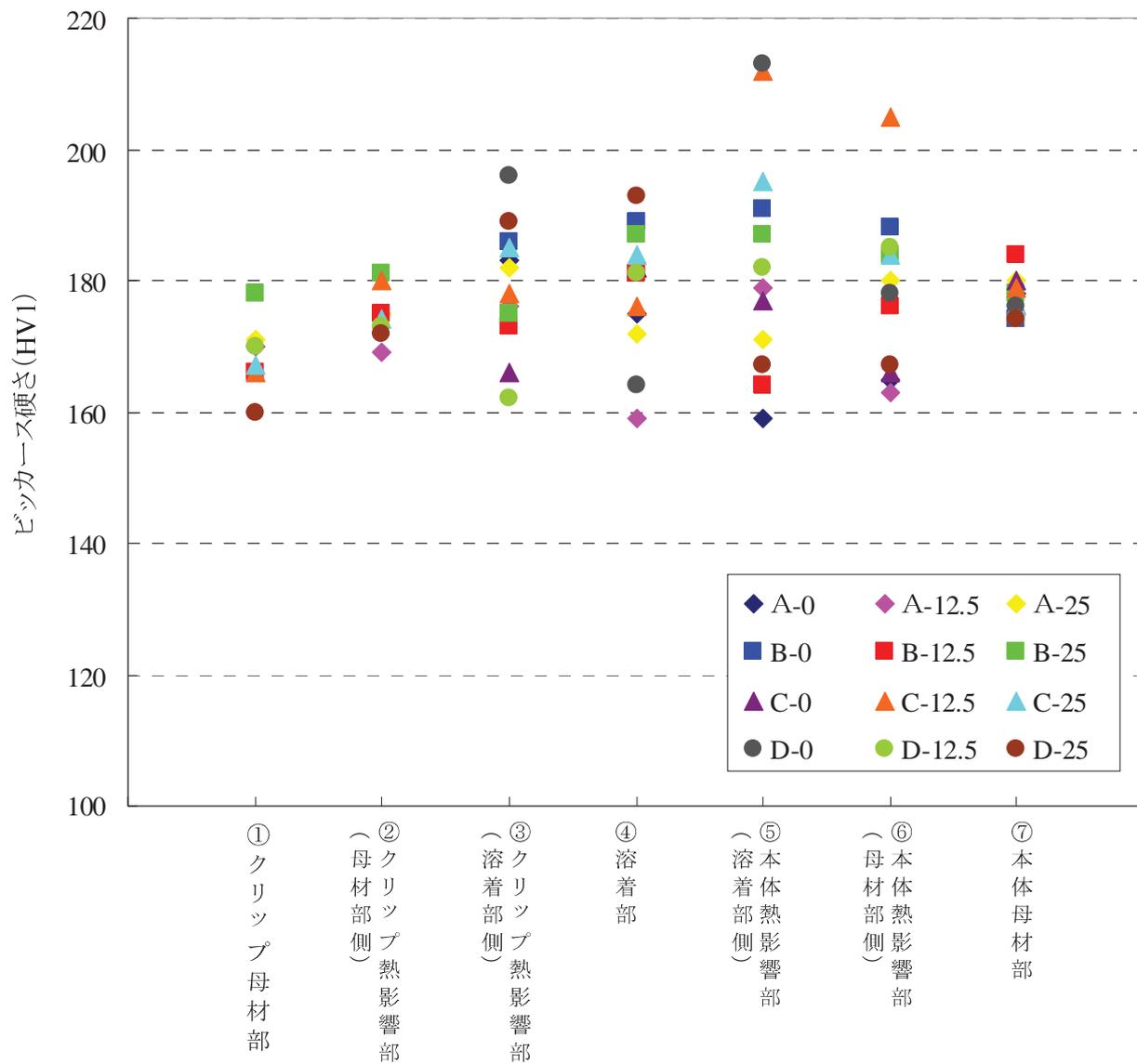
別紙3-図1-3 断面硬度測定結果(自動溶接 C面)

(HV1)

サンプル 断面位置	自動溶接		
	D-0	D-12.5	D-25
①クリップ母材部	—	170	160
②クリップ熱影響部(母材部側)	—	173	172
③クリップ熱影響部(溶着部側)	196	162	189
④溶着部	164	181	193
⑤本体熱影響部(溶着部側)	213	182	167
⑥本体熱影響部(母材部側)	178	185	167
⑦本体母材部	176	174	174



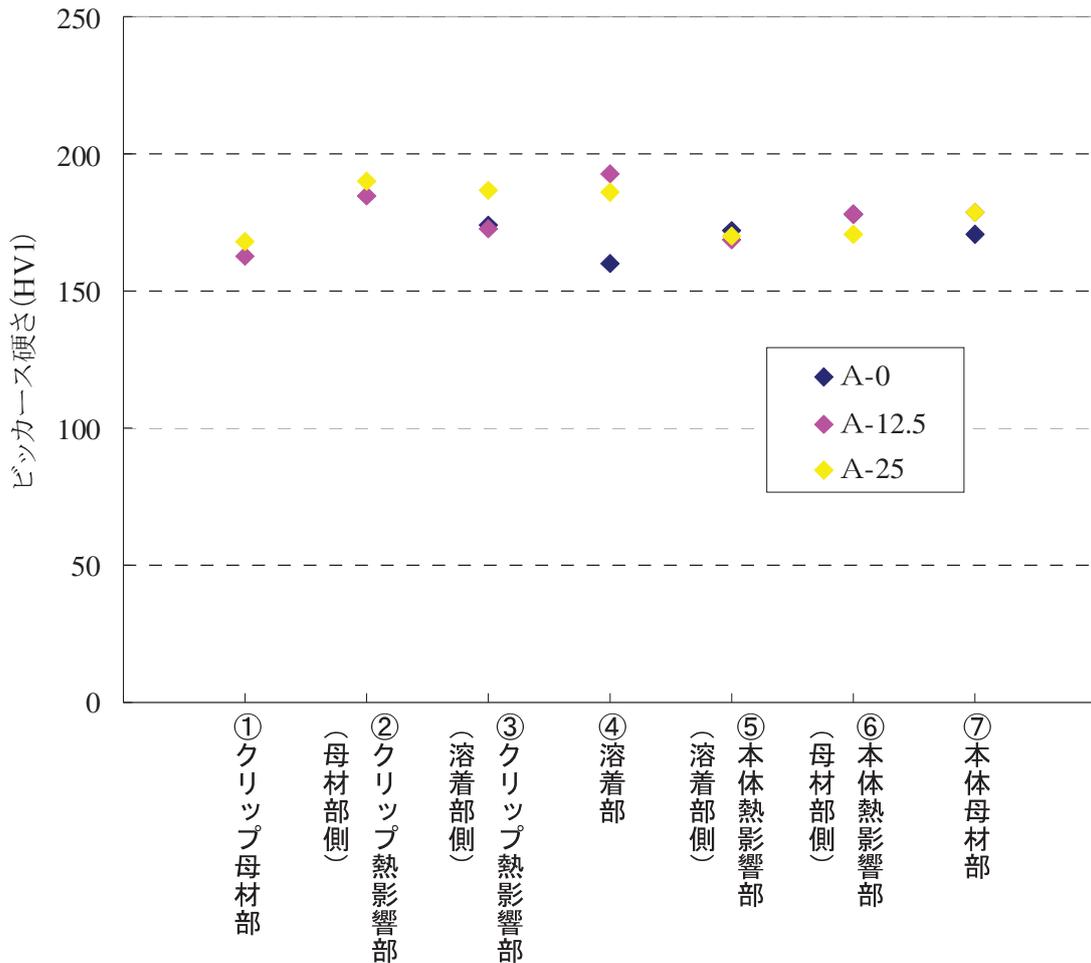
別紙3-図1-4 断面硬度測定結果(自動溶接 D面)



別紙 3-図 1-5 断面硬度測定集約結果 (自動溶接)

(HV1)

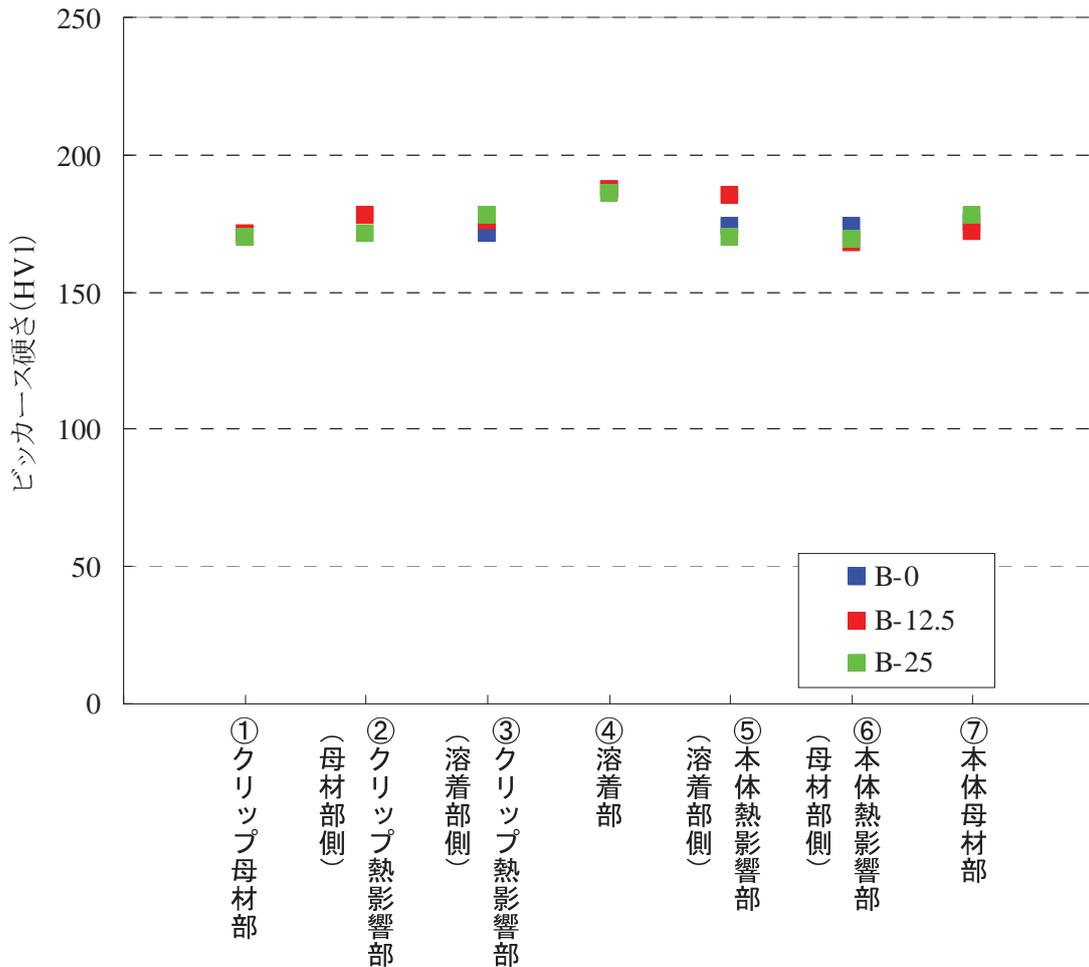
サンプル 断面位置	手動溶接		
	A-0	A-12.5	A-25
①クリップ母材部	—	163	168
②クリップ熱影響部(母材部側)	—	185	190
③クリップ熱影響部(溶着部側)	174	173	187
④溶着部	160	193	186
⑤本体熱影響部(溶着部側)	172	169	170
⑥本体熱影響部(母材部側)	178	178	171
⑦本体母材部	171	179	179



別紙3-図1-6 断面硬さ測定結果(手動溶接 A面)

(HV1)

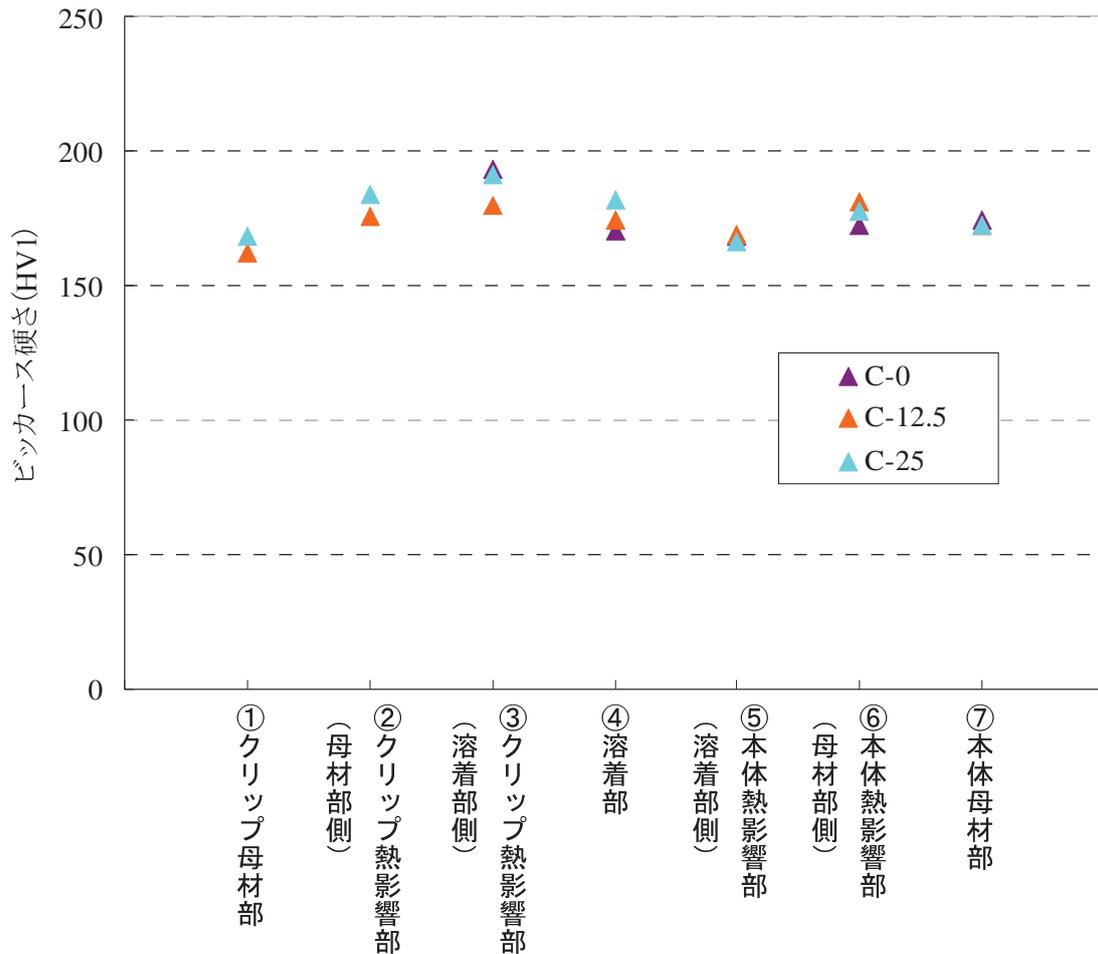
サンプル 断面位置	手動溶接		
	B-0	B-12.5	B-25
①クリップ母材部	—	171	170
②クリップ熱影響部(母材部側)	—	178	171
③クリップ熱影響部(溶着部側)	171	176	178
④溶着部	187	187	186
⑤本体熱影響部(溶着部側)	174	185	170
⑥本体熱影響部(母材部側)	174	168	169
⑦本体母材部	175	172	178



別紙3-図1-7 断面硬さ測定結果 (手動溶接 B面)

(HV1)

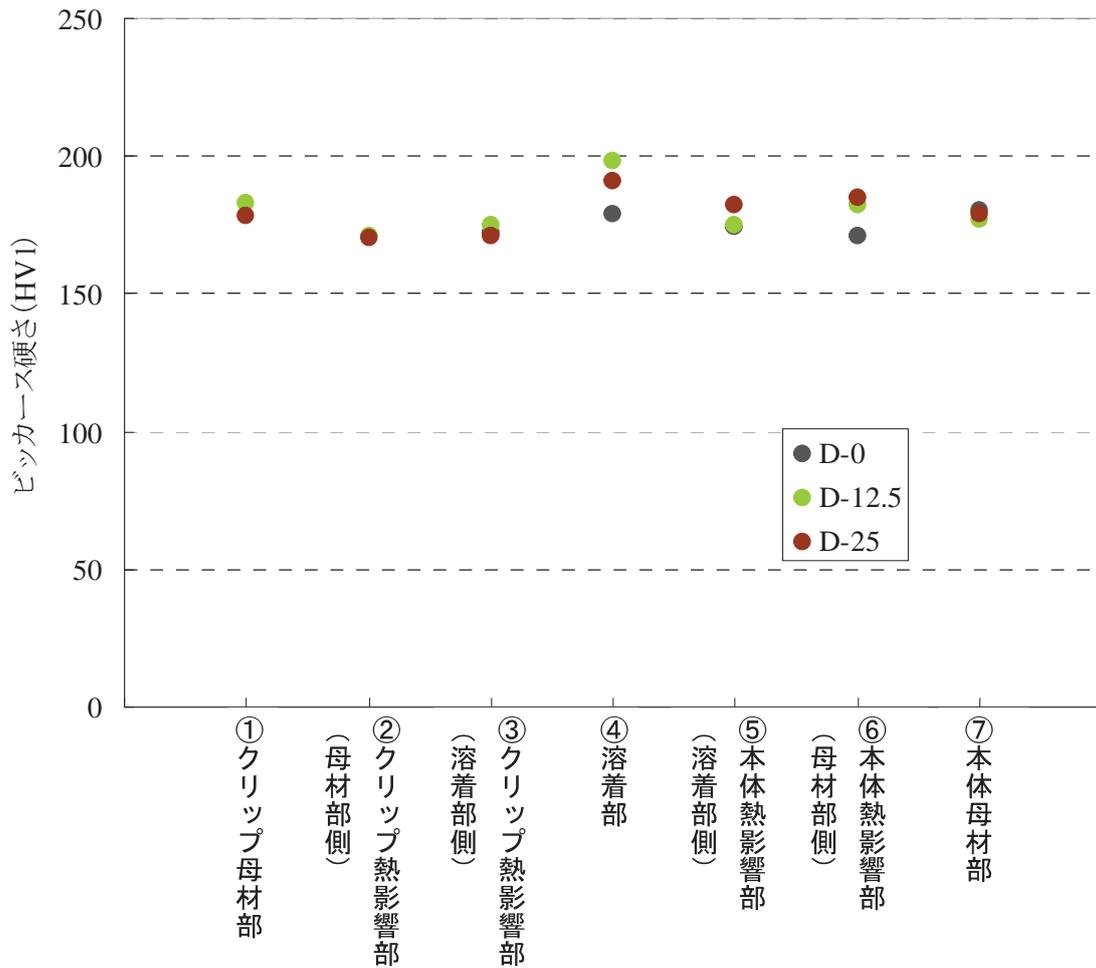
サンプル 断面位置	手動溶接		
	C-0	C-12.5	C-25
①クリップ母材部	—	162	168
②クリップ熱影響部(母材部側)	—	176	184
③クリップ熱影響部(溶着部側)	193	180	191
④溶着部	170	174	182
⑤本体熱影響部(溶着部側)	168	169	166
⑥本体熱影響部(母材部側)	172	181	178
⑦本体母材部	174	172	172



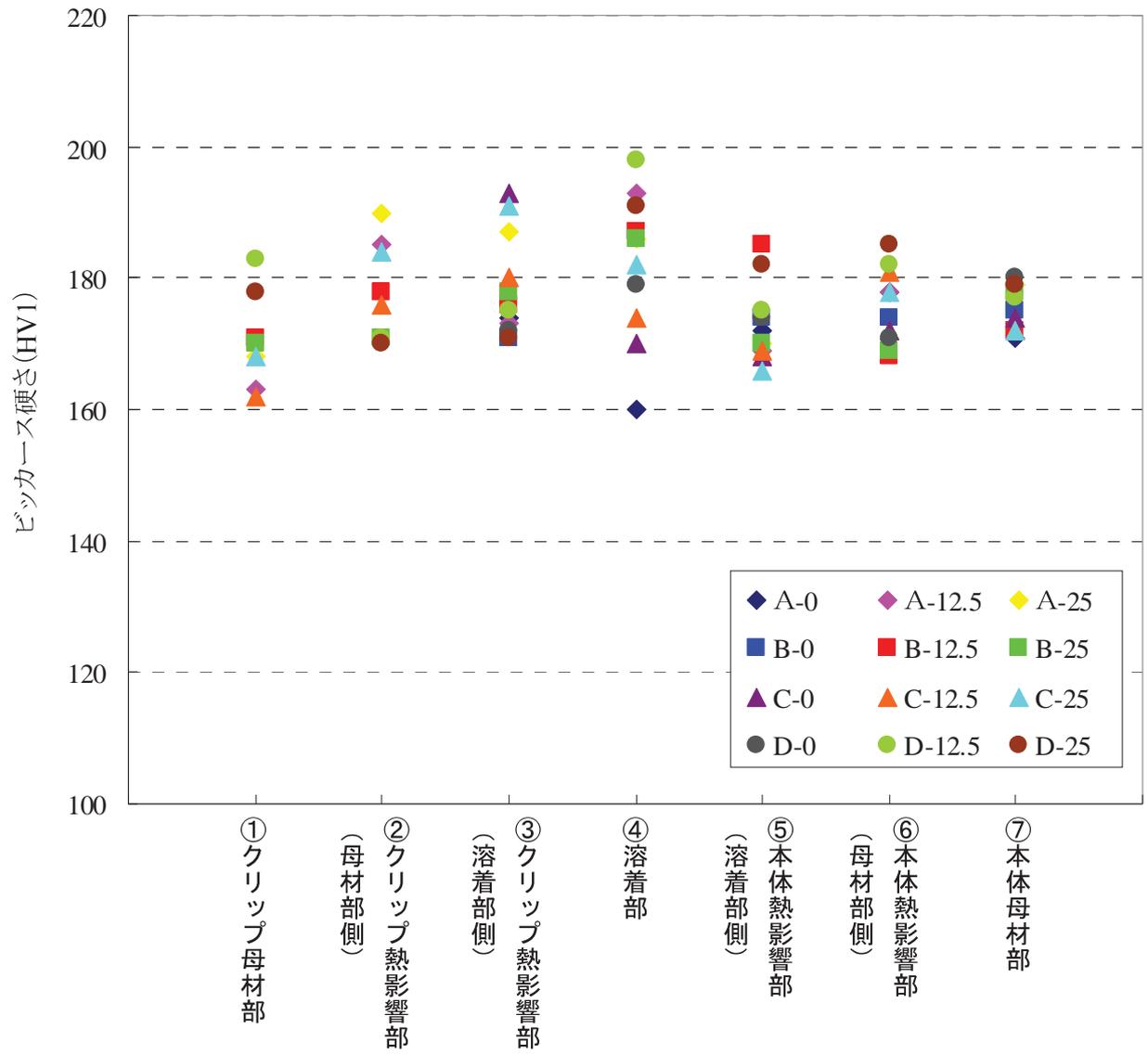
別紙3-図1-8 断面硬さ測定結果(手動溶接 C面)

(HV1)

サンプル 断面位置	手動溶接		
	D-0	D-12.5	D-25
①クリップ母材部	—	183	178
②クリップ熱影響部(母材部側)	—	171	170
③クリップ熱影響部(溶着部側)	172	175	171
④溶着部	179	198	191
⑤本体熱影響部(溶着部側)	174	175	182
⑥本体熱影響部(母材部側)	171	182	185
⑦本体母材部	180	177	179

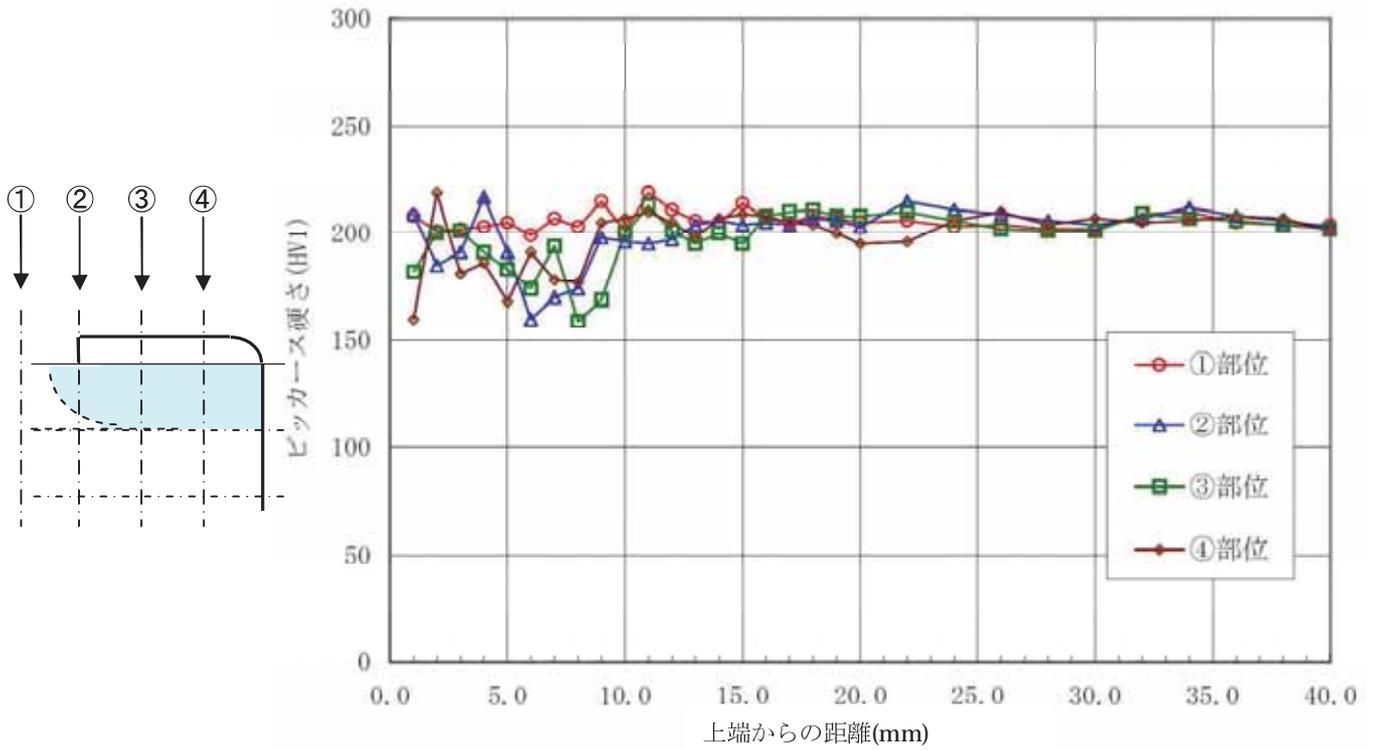


別紙3-図1-9 断面硬度測定結果(手動溶接 D面)

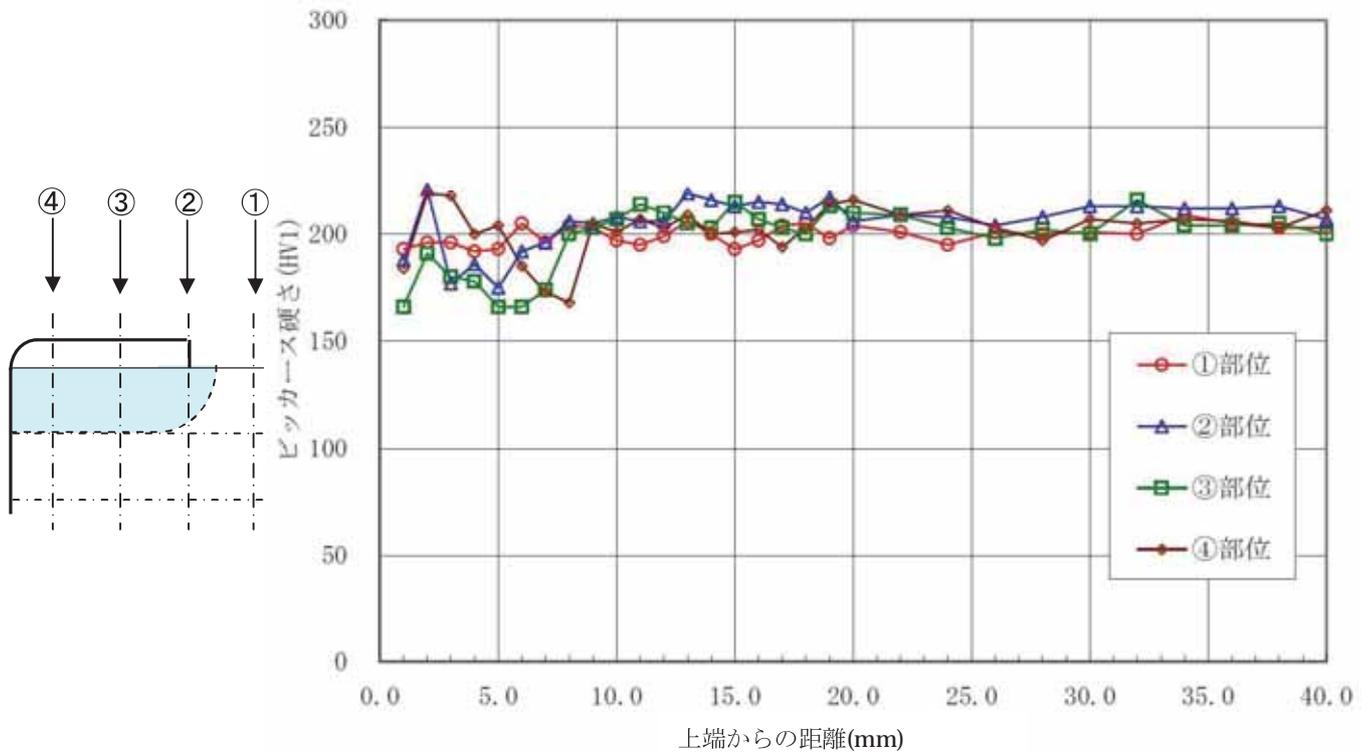


別紙 3 - 図 1 - 10 断面硬度測定集約結果 (手動溶接)

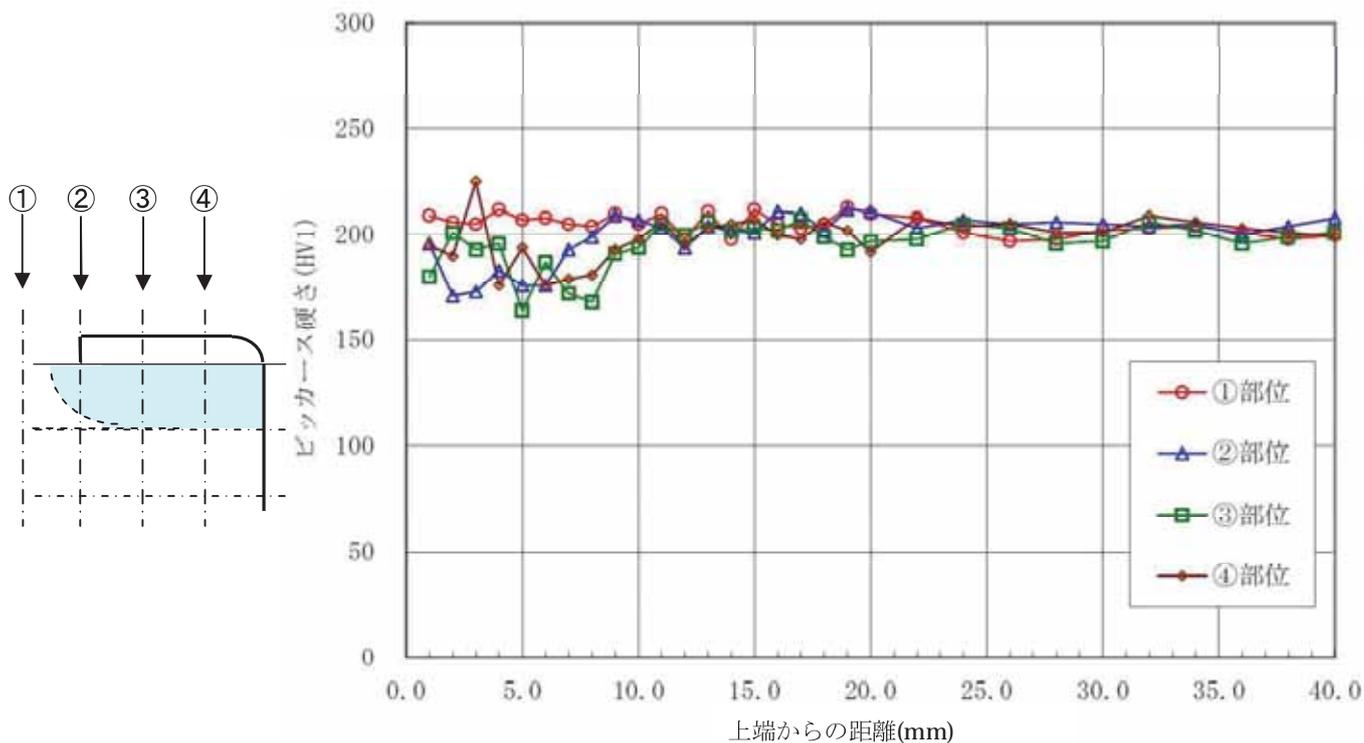
(2) 側面硬さ測定結果



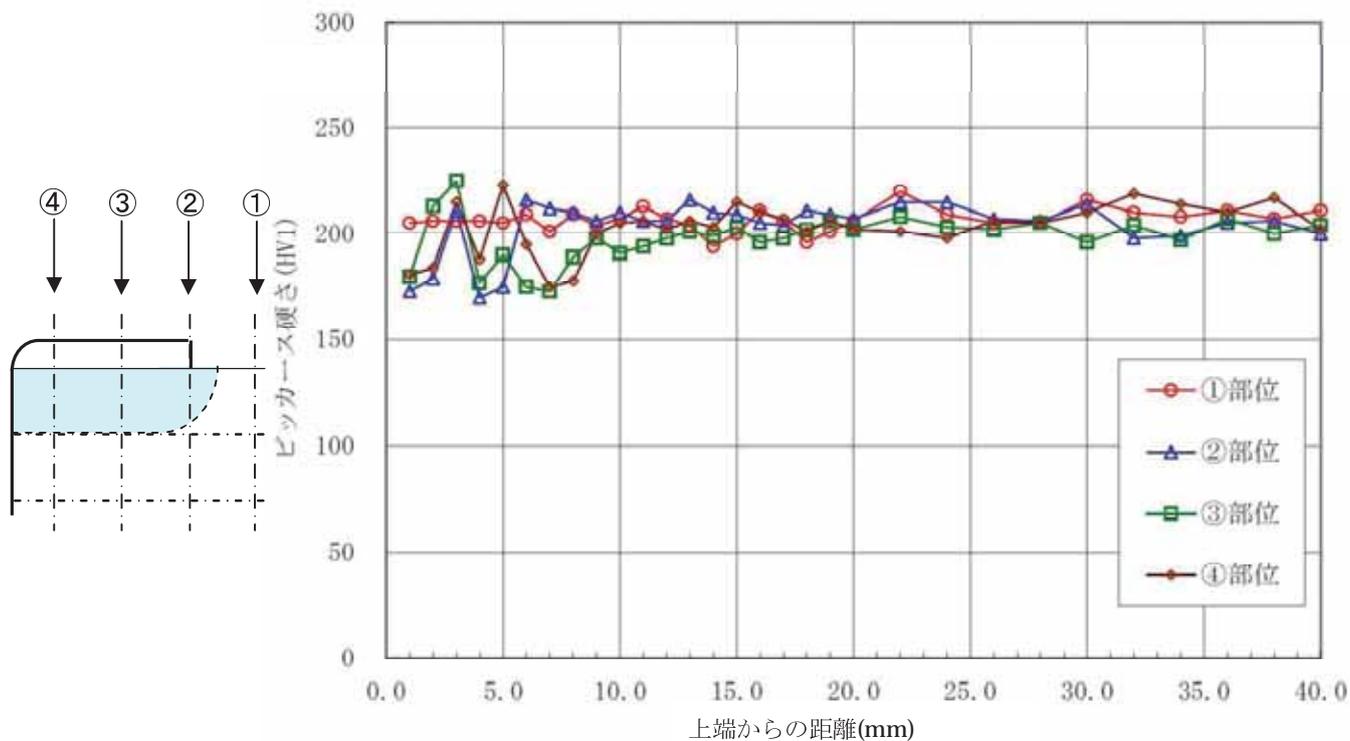
別紙3—図2—1 側面硬さ測定結果 (自動溶接 A面)



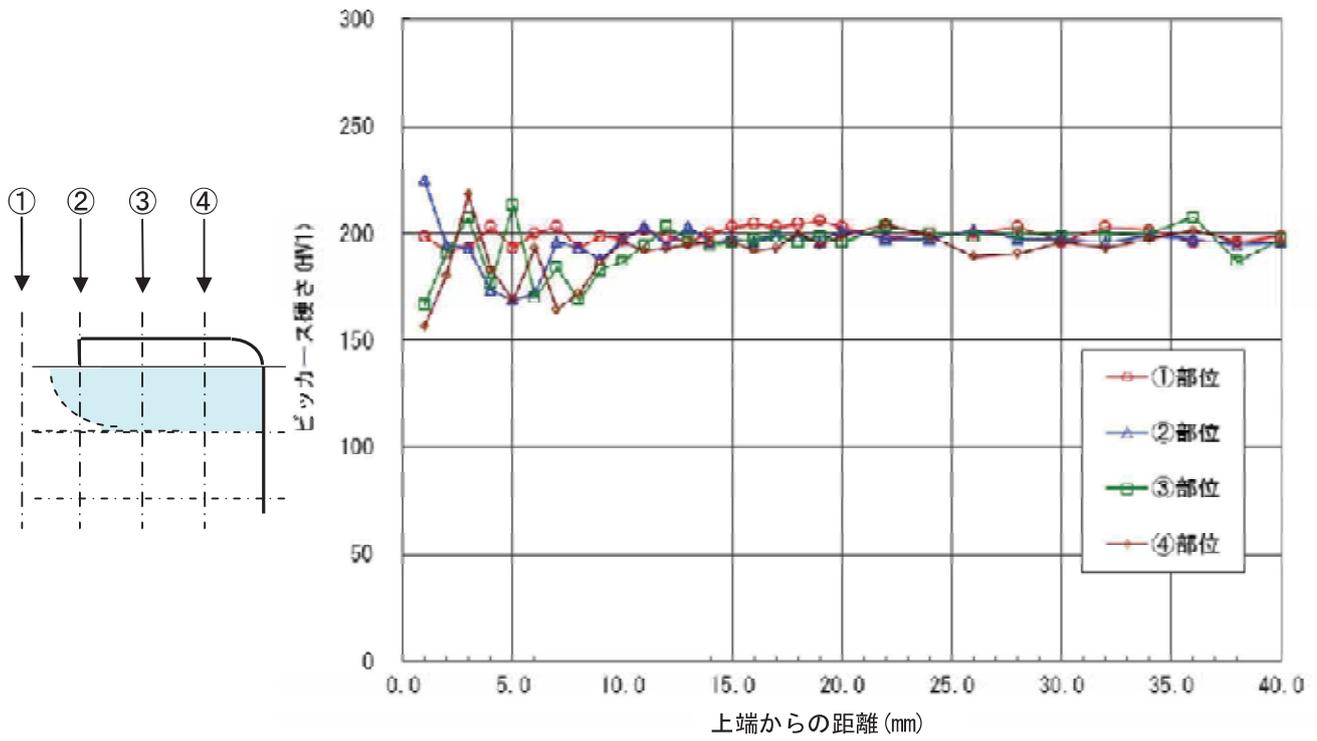
別紙3—図2—2 側面硬さ測定結果 (自動溶接 B面)



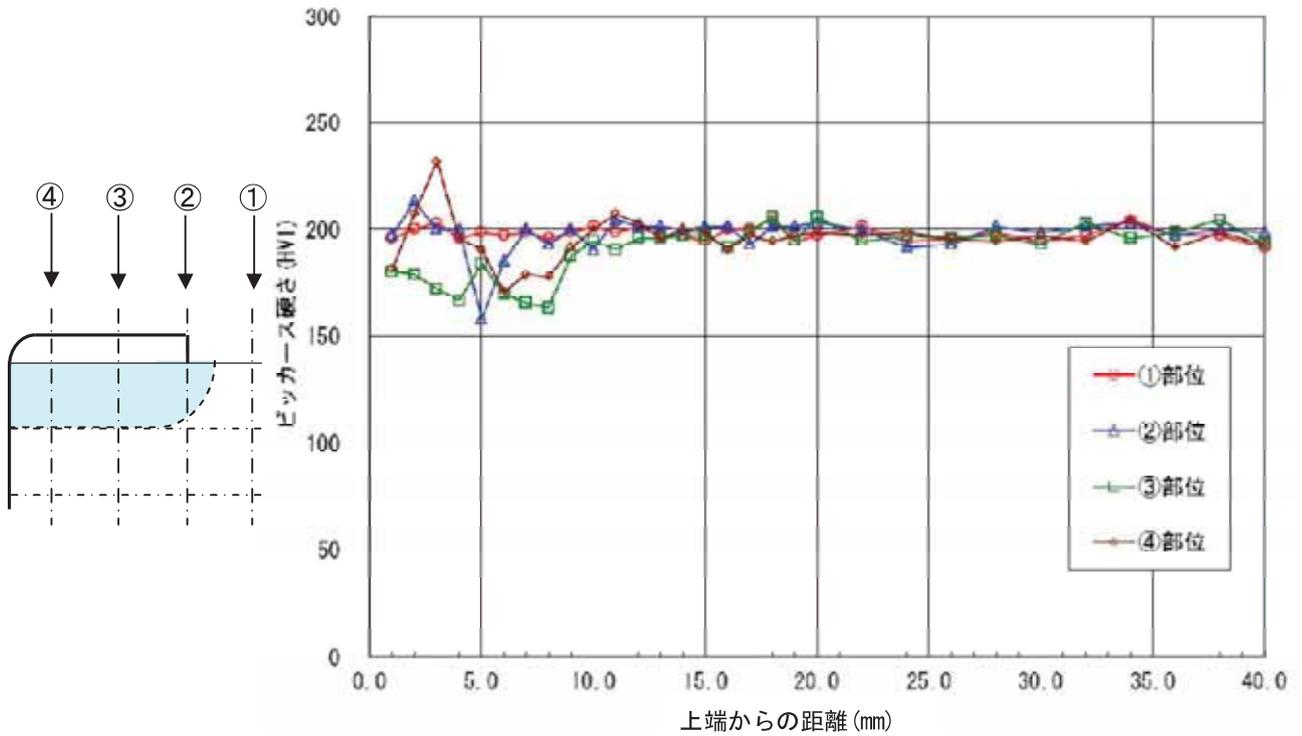
別紙3-図2-3 側面硬度測定結果 (自動溶接 C面)



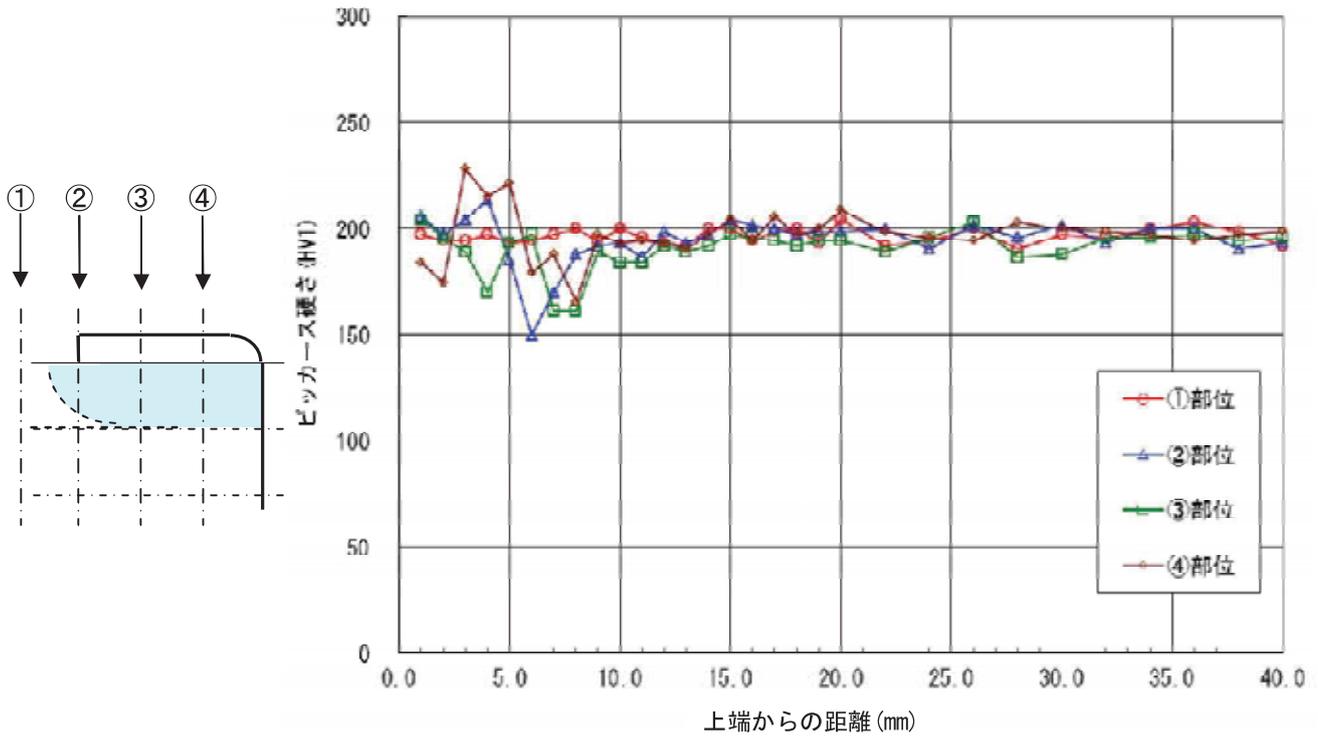
別紙3-図2-4 側面硬度測定結果 (自動溶接 D面)



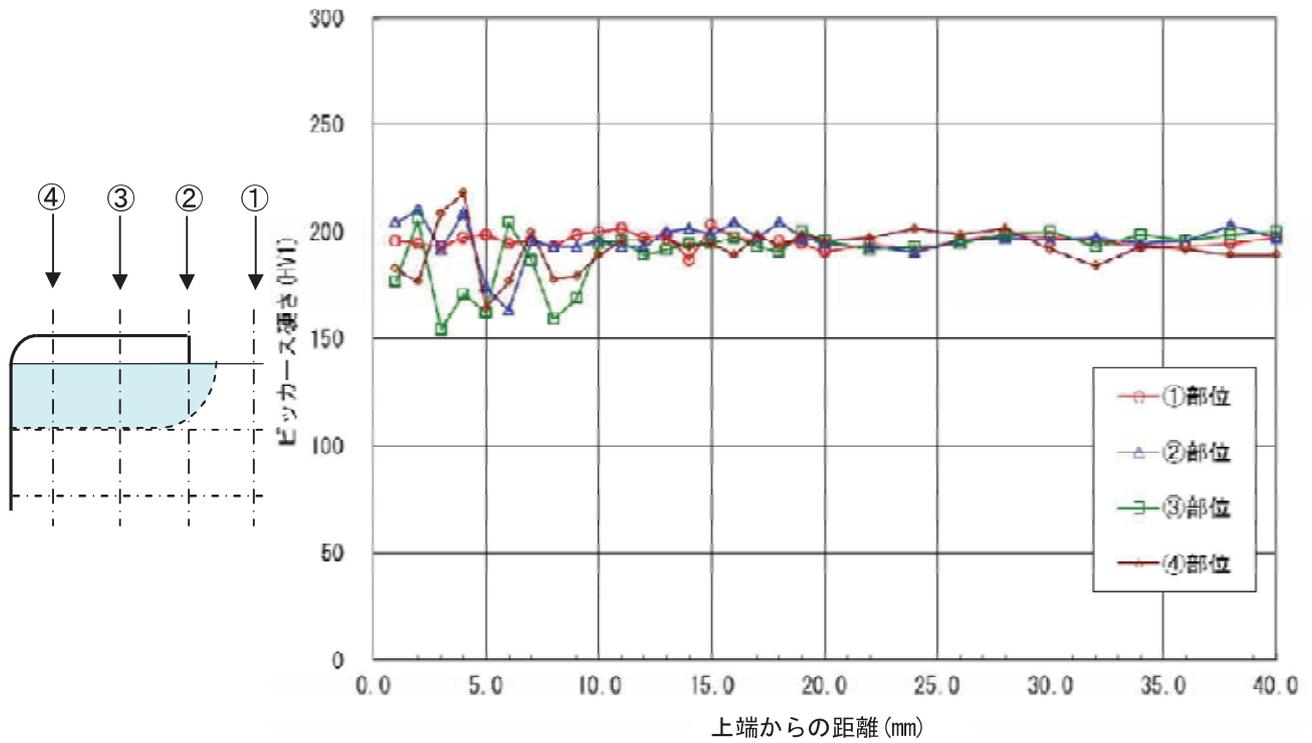
別紙 3-図 2-5 側面硬さ測定結果 (手動溶接 A面)



別紙 3-図 2-6 側面硬さ測定結果 (手動溶接 B面)



別紙 3-図 2-7 側面硬さ測定結果 (手動溶接 C面)

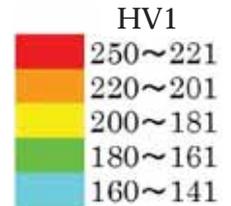


別紙 3-図 2-8 側面硬さ測定結果 (手動溶接 D面)

(3) 欠損発生部硬さ分布測定結果

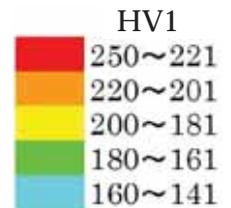
上端からの距離 (mm)	クリップ端部からの距離 (mm)																				
	左側									端部	右側										
	8	7	6	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	168	167	166	190	203	190	-	-
1	198	199	196	166	179	183	191	194	216	203	164	195	185	185	194	216	186	169	181	178	
2	196	198	196	190	164	182	184	171	183	190	219	160	213	199	188	194	203	209	177	193	
3	194	203	193	200	186	164	184	176	183	210	191	172	209	177	162	232	179	186	170	193	
4	199	200	210	199	169	174	188	176	204	174	196	168	203	181	170	200	206	194	181	166	
5	195	200	202	190	201	182	171	171	190	156	160	188	186	171	195	203	169	199	167	200	
6	193	194	202	200	198	189	171	188	177	183	172	183	159	172	177	182	189	206	171	178	
7	190	202	195	199	196	189	195	172	166	172	179	189	169	188	189	175	162	178	165	181	
8	195	196	193	198	198	191	207	185	193	172	166	167	170	173	176	179	164	170	176		
9	193	196	198	200	194	195	202	190	195	195	195	163	188	166	160	164	173	175	184	185	
10	199	194	200	195	194	194	195	194	195	191	190	188	193	183	186	183	193	188	185	190	
11	193	194	199	205	191	190	199	196	191	195	196	191	196	189	189	196	190	196	188	194	
12	195	193	193	202	204	195	200	200	195	195	194	196	191	194	192	191	200	198	200	196	
13	203	202	202	196	199	200	191	198	196	192	190	196	191	198	193	195	202	194	191	198	
14	199	202	196	194	196	197	195	198	194	195	198	194	196	191	191	199	191	199	195	196	
15	193	194	198	198	198	204	196	201	186	203	200	196	197	191	189	194	196	199	193	194	
16	195	203	203	196	194	200	198	202	191	200	195	191	196	204	196	198	196	195	195	194	
17	190	196	199	194	196	204	193	198	202	200	193	199	202	194	196	194	190	196	196	202	
18	189	194	190	199	196	206	198	200	196	202	195	195	198	186	195	196	194	196	194	198	
19	199	199	200	199	203	202	196	199	202	201	190	199	200	198	194	195	200	202	199	194	
20	192	202	194	198	199	202	195	202	202	198	191	200	196	198	194	195	196	199	196	194	

別紙 3 - 図 3 - 1 欠損発生部硬さ分布測定結果
(自動溶接 A 面)



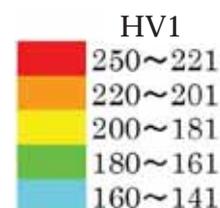
上端からの距離 (mm)	クリップ端部からの距離 (mm)																			
	左側									端部	右側									
	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0	177	178	195	172	177	167	185	175	225	182	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1	207	199	178	202	181	200	181	193	167	170	199	184	179	170	172	167	184	191	189	190
2	194	202	182	195	184	224	177	250	207	190	172	157	179	176	167	172	189	183	190	197
3	163	189	219	178	199	185	169	188	193	219	181	181	196	171	171	186	189	184	191	193
4	195	181	186	194	176	181	183	185	207	170	194	175	168	157	170	193	189	193	191	189
5	175	195	194	185	181	198	167	168	190	166	185	167	178	181	189	190	194	190	194	194
6	198	167	173	167	175	165	172	171	178	168	173	189	198	191	190	190	193	194	196	194
7	172	166	191	196	193	195	203	206	193	203	198	198	195	194	193	190	191	193	194	189
8	195	190	198	202	207	207	198	202	196	198	202	200	203	190	190	195	195	194	190	197
9	202	198	203	200	196	200	198	207	202	200	202	203	203	194	198	193	195	192	191	197
10	202	200	202	204	199	200	206	206	196	204	211	206	206	194	190	196	194	190	194	190
11	199	202	200	196	195	206	199	203	203	204	206	202	207	192	195	190	193	194	193	190
12	202	195	209	198	200	198	196	209	199	200	202	204	200	195	190	191	193	198	193	195
13	204	196	206	198	198	200	203	206	200	200	195	204	199	193	195	195	190	193	196	194
14	199	200	199	196	203	204	202	199	199	198	203	198	199	193	191	196	196	193	191	194
15	198	199	196	204	195	195	203	203	204	196	202	200	196	193	194	194	195	193	194	191
16	207	200	195	204	195	199	198	195	195	200	200	202	198	202	190	192	190	194	191	194
17	196	190	204	194	195	194	199	203	195	195	207	203	195	196	193	190	193	192	190	193
18	204	198	195	200	204	202	200	196	199	196	203	199	198	199	191	196	190	192	195	190
19	193	195	196	194	195	194	200	200	199	202	198	200	202	195	194	198	195	191	191	191
20	202	200	207	196	202	203	203	207	204	203	200	198	202	210	195	195	198	190	194	194

別紙 3 - 図 3 - 2 欠損発生部硬さ分布測定結果
(自動溶接 B 面)



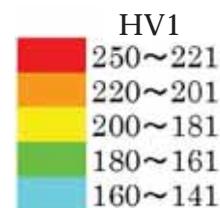
上端からの距離 (mm)	クリップ端部からの距離 (mm)																			
	左側								端部	右側										
	8	7	6	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	196	196	200	196	164	162	188	190	-	225	182	171	224	162	179	179	-	-	-	
1	210	200	196	202	176	181	172	225	191	216	221	185	203	165	183	221	169	184	221	186
2	195	196	202	198	194	167	170	169	189	204	193	188	217	165	175	206	168	175	176	228
3	196	200	203	198	193	178	176	161	174	173	161	195	165	203	158	185	200	198	163	186
4	202	198	203	202	195	191	164	163	171	168	206	184	174	193	190	174	175	177	186	185
5	200	200	198	194	199	193	198	167	176	169	203	184	170	172	200	174	189	181	203	158
6	199	199	198	200	196	202	190	195	164	173	170	186	183	173	204	178	155	183	172	160
7	198	203	203	195	202	200	200	198	194	196	160	173	184	174	174	189	190	177	181	191
8	200	194	193	194	194	190	194	194	193	200	194	185	165	165	168	182	172	166	186	172
9	193	203	198	194	200	199	198	199	194	193	195	191	191	194	172	152	178	175	178	166
10	196	200	200	195	193	200	194	194	194	196	195	198	198	196	194	199	190	188	190	184
11	199	200	198	200	199	192	199	200	196	199	194	191	191	198	191	193	194	185	191	190
12	217	189	199	196	198	194	198	199	202	196	196	196	193	198	193	199	194	196	195	195
13	196	190	202	198	196	200	200	203	196	200	199	196	193	191	194	195	194	196	200	200
14	202	203	194	199	198	195	190	200	204	198	200	194	200	198	196	206	195	195	200	198
15	194	202	204	195	190	198	200	198	196	199	198	196	198	198	195	195	198	202	196	198
16	196	198	198	198	203	196	202	198	199	194	196	193	193	196	195	200	196	194	199	200
17	197	196	191	196	200	194	194	199	199	195	199	193	200	198	195	200	199	199	195	194
18	196	193	191	200	206	203	202	204	200	202	191	199	195	195	198	195	200	194	195	193
19	194	195	200	199	203	200	190	202	202	199	196	199	193	195	198	200	200	193	194	200
20	194	198	206	199	198	206	200	196	203	195	193	200	190	202	200	198	202	193	193	196

別紙 3 - 図 3 - 3 欠損発生部硬さ分布測定結果
(自動溶接 C 面)



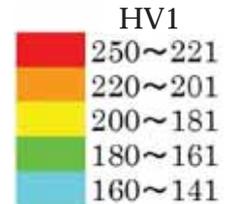
上端からの距離 (mm)	クリップ端部からの距離 (mm)																			
	左側											端部	右側							
	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0	196	200	191	167	194	182	204	200	171	177	171	221	162	179	179	-	-	-	-	
1	184	191	210	183	193	175	193	193	206	221	154	191	189	177	191	183	189	199	199	190
2	191	185	237	191	176	164	195	173	188	178	184	195	194	171	162	175	195	200	196	198
3	221	198	182	195	186	176	220	202	185	163	183	195	172	185	175	193	198	194	195	196
4	169	166	168	177	207	174	185	198	189	214	190	213	167	178	195	199	202	200	206	198
5	204	178	175	181	170	177	176	169	172	174	180	182	174	190	203	198	200	199	203	198
6	193	176	168	177	161	171	191	165	177	178	164	203	196	191	198	198	191	213	210	198
7	169	173	164	166	164	193	188	198	202	193	186	204	194	194	196	198	198	204	196	199
8	196	169	190	203	196	193	195	196	200	203	206	213	202	194	200	198	202	200	199	189
9	196	194	199	189	199	200	200	206	199	200	196	216	194	206	196	198	198	200	195	196
10	195	202	191	200	198	199	199	195	199	194	198	211	195	194	194	195	195	195	198	202
11	200	203	210	209	199	194	200	195	199	191	196	206	195	199	199	193	200	193	190	202
12	206	195	200	200	200	194	200	204	198	179	192	217	196	191	191	200	196	200	195	202
13	198	199	191	199	210	199	202	190	196	199	190	199	195	199	202	194	198	202	200	193
14	189	200	203	200	194	191	195	200	203	198	189	199	200	202	195	193	196	203	198	196
15	193	203	198	200	202	199	209	200	195	204	199	210	196	203	199	199	198	198	196	198
16	204	204	207	204	200	196	193	198	203	198	195	210	194	202	194	207	210	203	194	198
17	199	196	200	199	196	204	198	198	198	202	202	210	198	209	195	206	202	206	191	203
18	199	198	198	204	202	202	196	204	206	200	200	214	203	193	200	195	200	193	199	188
19	199	200	200	200	193	204	203	198	207	190	202	214	195	199	200	191	195	199	195	195
20	194	198	200	204	209	204	204	202	206	199	203	207	200	198	195	194	203	196	190	195

別紙 3 - 図 3 - 4 欠損発生部硬さ分布測定結果
(自動溶接 D 面)



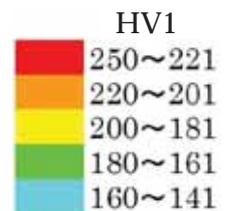
上端からの距離 (mm)	クリップ端部からの距離 (mm)																			
	左側									端部	右側									
	8	7	6	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1	191	192	196	202	194	163	173	188	164	177	187	172	163	202	207	172	168	214	202	189
2	214	204	196	202	197	163	167	214	186	207	184	167	170	195	164	161	220	177	173	198
3	199	201	202	203	198	198	176	174	167	179	171	179	183	154	174	164	163	178	187	168
4	198	199	202	200	195	194	170	160	188	172	189	203	164	164	178	181	180	168	181	178
5	201	201	202	198	198	204	195	171	194	181	155	191	172	169	190	205	177	162	181	173
6	205	198	201	205	200	199	202	189	166	175	162	183	189	171	196	173	205	181	183	169
7	203	204	198	200	200	192	193	194	202	189	198	161	163	179	165	176	199	192	153	165
8	200	197	199	202	199	190	202	195	199	200	197	191	179	163	165	171	164	178	170	162
9	204	201	205	196	196	200	198	205	202	198	204	205	195	194	187	179	152	177	174	163
10	194	203	201	199	196	197	198	198	204	209	206	197	195	197	188	194	192	197	195	206
11	199	201	200	198	198	199	197	201	194	190	197	196	196	198	202	197	196	204	208	213
12	207	202	201	203	201	202	202	198	203	201	204	189	200	197	207	193	198	196	195	201
13	201	199	192	201	194	200	203	198	202	200	203	203	203	198	209	196	206	203	197	197
14	201	207	193	197	205	207	200	196	206	203	205	203	200	201	203	196	194	198	195	197
15	197	199	205	200	198	201	200	198	208	205	211	200	202	206	209	192	207	201	198	199
16	204	199	197	208	201	202	200	201	199	196	212	207	200	208	205	197	197	197	190	195
17	206	203	201	200	199	201	200	197	209	203	207	201	200	192	198	198	193	200	192	198
18	191	199	200	214	211	207	201	198	201	200	202	201	205	197	201	197	197	200	189	201
19	201	201	197	194	200	198	196	205	200	199	203	204	213	204	201	197	202	202	201	193
20	194	200	190	201	205	198	210	201	205	195	203	199	201	203	200	197	200	197	201	202

別紙 3 - 図 3 - 5 欠損発生部硬さ分布測定結果
(手動溶接 A 面)



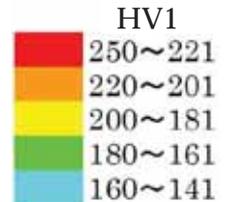
上端からの距離 (mm)	クリップ端部からの距離 (mm)																			
	左側										端部	右側								
	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1	191	206	143	153	183	238	173	176	183	161	170	185	192	157	162	165	199	197	201	195
2	171	187	185	171	165	182	199	225	154	163	168	184	180	162	170	181	192	200	202	199
3	162	178	175	172	164	192	183	170	207	202	182	211	182	175	186	199	199	199	203	202
4	182	172	194	210	181	200	165	172	157	203	168	210	168	179	175	199	200	199	205	203
5	165	190	167	189	213	197	187	202	180	185	189	191	160	164	197	198	200	208	197	200
6	178	174	187	185	194	189	165	180	159	177	224	167	153	197	191	199	198	200	196	204
7	201	190	178	207	197	162	156	183	153	163	158	169	198	202	198	201	200	199	204	200
8	215	167	183	170	179	171	175	184	166	170	190	193	195	198	193	199	191	195	196	206
9	155	165	165	166	165	157	191	188	193	201	200	202	194	192	192	199	192	198	200	198
10	187	188	187	196	194	193	187	190	190	192	194	205	197	197	191	198	198	194	202	200
11	201	195	192	198	198	203	188	202	196	195	197	205	207	204	193	194	199	199	197	199
12	200	198	193	195	194	200	200	198	193	207	196	205	198	201	193	196	193	203	202	194
13	198	188	194	200	195	198	199	190	195	193	194	201	195	202	200	198	196	203	200	197
14	199	188	197	200	196	196	195	196	201	200	196	202	197	196	200	195	197	200	201	198
15	197	192	199	201	193	197	198	196	198	200	202	205	203	207	200	199	205	199	204	198
16	191	187	203	195	191	196	196	202	197	197	194	201	203	195	209	201	191	205	201	196
17	201	195	195	198	200	195	193	200	195	195	201	201	205	199	205	197	194	205	189	195
18	203	185	195	200	202	194	193	197	200	205	197	202	203	198	193	202	197	202	212	201
19	198	197	196	204	207	193	195	200	195	198	194	203	208	202	198	201	197	197	199	198
20	197	197	200	190	191	191	192	191	202	205	196	209	204	202	196	208	202	202	193	193

別紙 3 - 図 3 - 6 欠損発生部硬さ分布測定結果
(手動溶接 B 面)



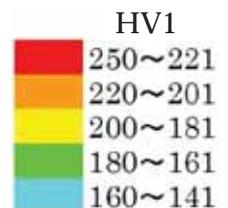
上端からの距離 (mm)	クリップ端部からの距離 (mm)																			
	左側									端部		右側								
	8	7	6	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1	200	206	202	201	165	176	180	208	170	176	189	210	224	211	214	189	171	158	183	226
2	196	206	206	205	175	167	175	198	165	199	161	173	170	173	196	193	174	200	173	218
3	204	194	217	198	197	158	158	183	200	169	168	227	192	171	228	176	184	194	173	194
4	202	204	212	197	207	188	191	182	196	162	190	161	193	176	205	182	167	182	212	175
5	204	208	212	197	201	181	171	173	167	168	189	222	199	189	188	188	170	231	160	196
6	201	203	202	201	202	203	179	168	171	174	172	181	171	208	156	162	178	210	181	176
7	201	206	197	198	209	202	197	145	178	181	197	185	202	177	196	211	155	192	173	198
8	200	202	203	205	195	208	203	193	185	161	172	163	165	181	166	194	168	165	164	178
9	201	204	200	203	207	206	203	199	199	200	171	160	169	178	164	185	178	170	181	171
10	197	200	201	197	206	198	201	203	194	199	199	189	175	158	151	173	167	163	174	210
11	201	205	210	205	205	193	198	202	192	198	202	191	193	197	192	194	190	203	199	196
12	197	201	211	199	201	200	204	201	201	197	197	199	196	200	200	195	195	195	203	204
13	195	202	200	199	200	203	198	195	189	199	200	195	192	192	196	197	217	196	205	200
14	200	200	198	200	201	199	199	198	201	202	202	196	195	193	201	202	199	197	196	203
15	197	204	197	208	202	205	208	199	201	194	205	198	199	201	202	190	202	194	191	199
16	201	202	204	203	201	197	192	209	201	197	202	199	202	202	192	201	203	198	206	202
17	198	191	210	198	198	201	204	199	193	200	201	198	200	201	190	202	193	191	197	193
18	195	202	204	200	202	200	207	199	190	195	200	193	208	201	195	202	195	197	197	202
19	200	199	201	212	205	202	204	203	202	192	197	203	196	195	202	198	198	191	198	200
20	190	200	203	207	198	197	198	202	203	199	199	195	195	193	200	205	208	213	203	206

別紙 3 - 図 3 - 7 欠損発生部硬さ分布測定結果
(手動溶接 C 面)



上端からの距離 (mm)	クリップ端部からの距離 (mm)																			
	左側										端部		右側							
	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0	-	152	173	151	163	160	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	202	193	192	221	172	181	207	209	204	197	217	246	216	176	187	167	210	197	210	201
2	180	190	183	197	171	177	179	210	217	187	216	228	205	157	191	193	199	200	200	205
3	218	158	170	176	194	156	173	186	199	176	195	194	164	160	171	199	203	199	199	203
4	182	154	175	179	169	201	193	207	228	205	161	210	168	183	172	196	202	208	211	203
5	201	181	167	176	198	182	171	180	166	156	227	156	172	159	195	206	202	206	210	211
6	170	184	175	234	159	191	173	178	178	177	169	175	168	197	201	200	197	200	196	201
7	174	195	179	191	196	165	187	159	173	183	178	161	191	197	200	203	198	205	203	202
8	169	175	165	176	175	169	166	170	206	159	194	207	195	202	196	202	213	205	208	207
9	190	165	162	188	153	170	157	187	195	199	199	202	192	202	206	215	207	205	207	200
10	166	163	179	187	191	184	190	193	197	198	200	205	193	207	193	203	202	204	208	196
11	200	199	190	199	188	196	201	192	195	202	205	202	199	196	204	206	201	201	206	201
12	202	187	192	202	202	199	200	196	196	200	201	199	191	196	200	197	210	193	205	206
13	199	197	204	200	191	194	199	205	198	199	205	200	199	204	197	202	214	203	197	195
14	205	199	200	197	193	193	193	203	199	196	200	198	193	200	201	193	203	200	210	200
15	187	200	192	197	197	195	196	202	196	201	202	206	202	198	201	205	209	197	201	208
16	197	193	205	194	190	207	199	199	200	206	207	207	189	197	200	206	202	199	192	204
17	194	194	196	201	200	195	205	198	209	207	210	199	200	197	191	202	198	201	195	196
18	201	198	194	200	192	193	200	197	198	204	205	198	207	202	190	198	199	185	199	196
19	203	199	199	198	192	202	200	203	206	200	208	197	191	197	201	192	188	200	194	199
20	207	197	198	194	192	200	198	203	204	204	208	204	192	202	202	199	205	198	197	209

別紙 3 - 図 3 - 8 欠損発生部硬さ分布測定結果
(手動溶接 D 面)



別紙4 残留ひずみ測定

1. 測定方法

ひずみゲージにより，A，B，C，D面それぞれについて計12箇所を測定

2. 測定対象

自動溶接試験片および手動溶接試験片

3. 測定位置

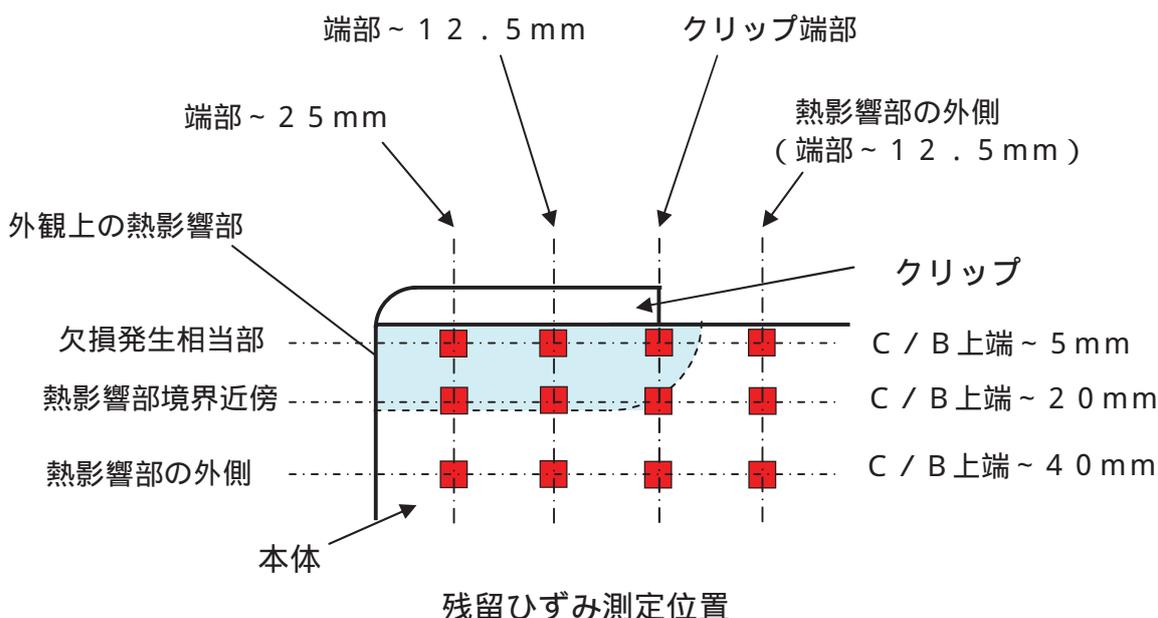
～ の水平方向座標を設定し，それぞれの座標において上端から5mmの位置，上端から20mmの位置，上端から40mmの位置，計12箇所の測定を行った。

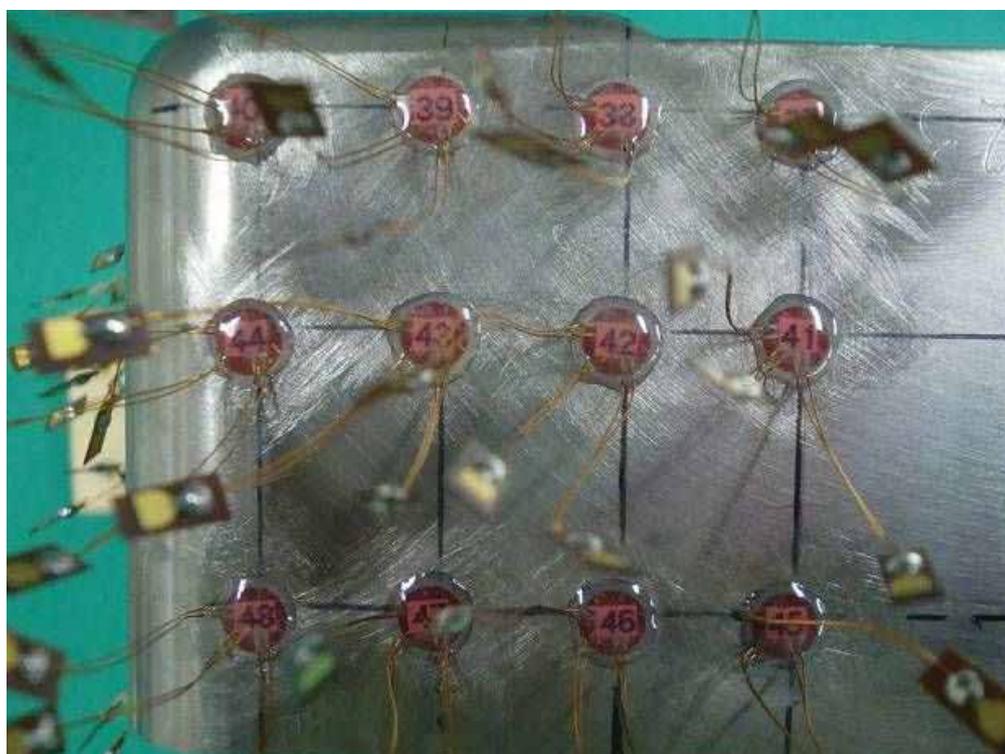
：熱影響部の外側（クリップ端部から12.5mm）

：クリップ端部

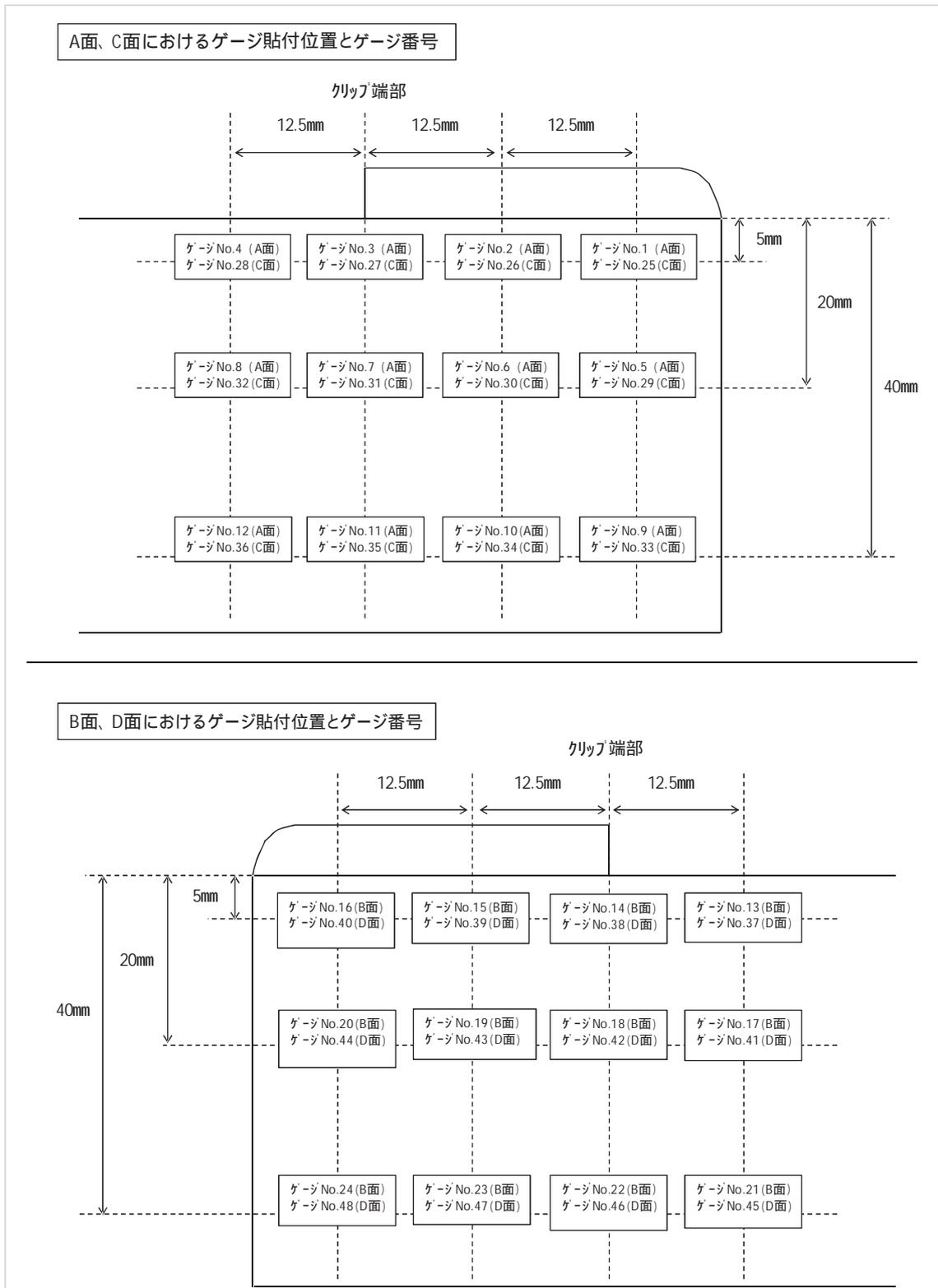
：クリップ端部から12.5mm

：クリップ端部から25mm



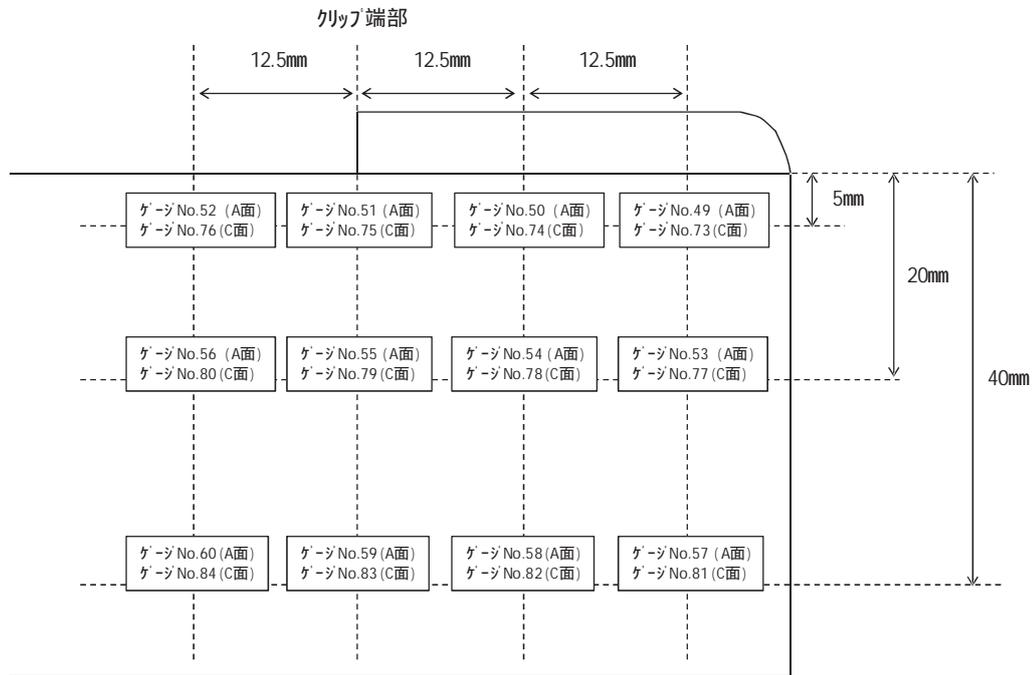


残留ひずみ測定位置

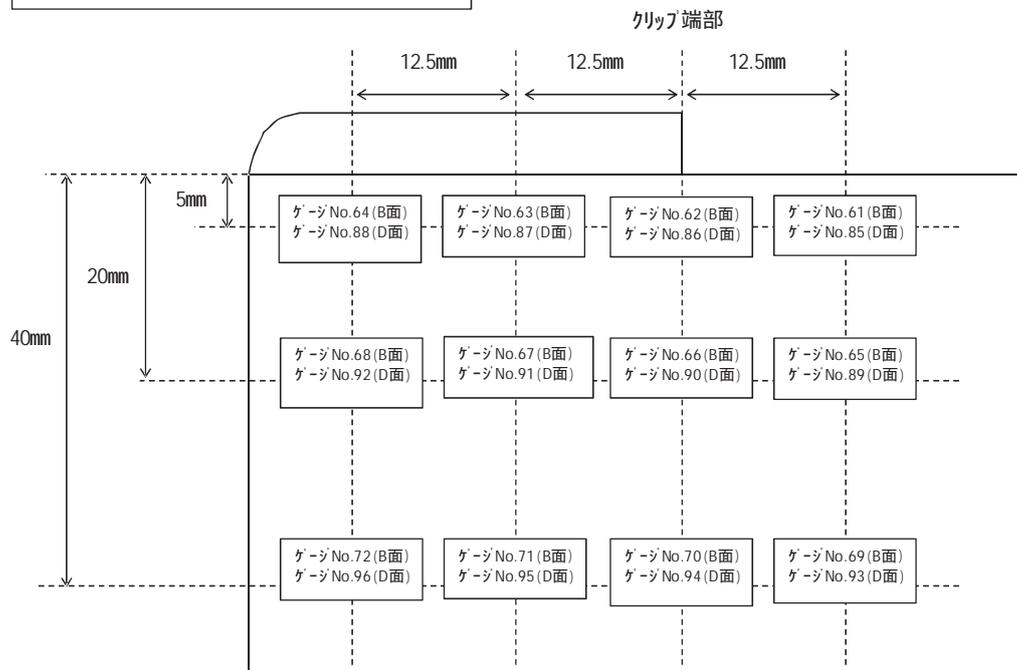


別紙 4 - 図 1 - 1 ひずみゲージ貼付位置とゲージ番号 (自動溶接)

A面、C面におけるゲージ貼付位置とゲージ番号



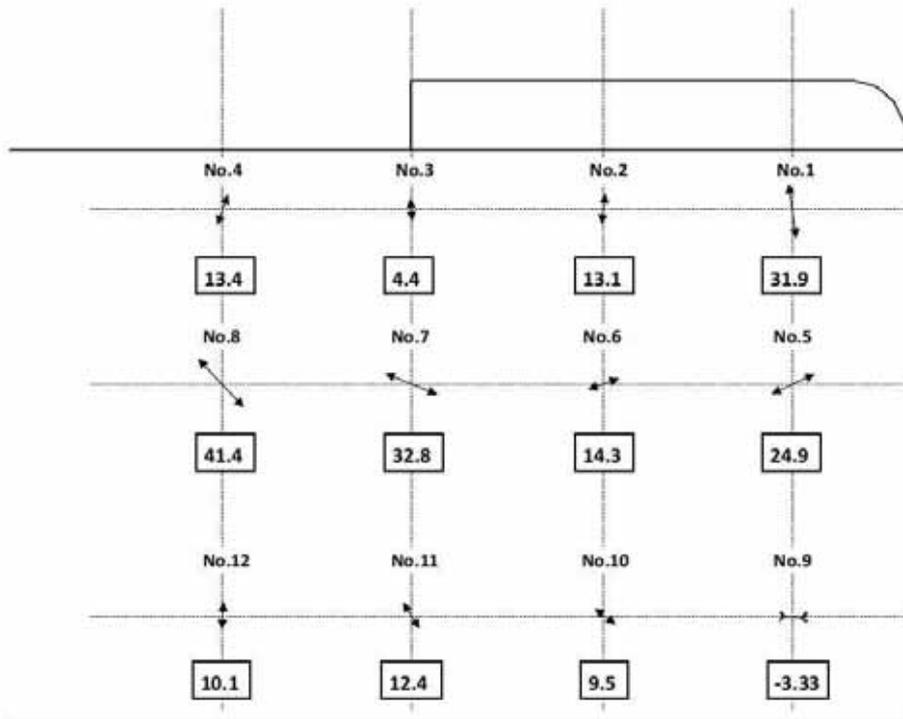
B面、D面におけるゲージ貼付位置とゲージ番号



別紙4 - 図1 - 2 ひずみゲージ貼付位置とゲージ番号 (手動溶接)

↑ :主応力方向

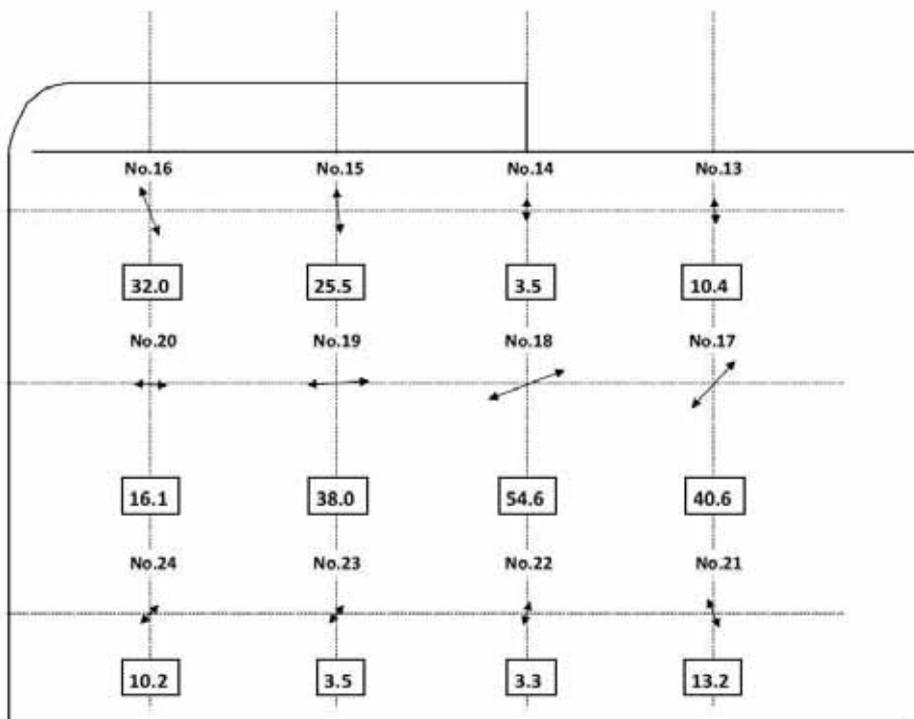
□の値:最大主応力(MPa)



別紙 4 - 図 2 - 1 残留ひずみ測定結果 (自動溶接 A面)

↑ :主応力方向

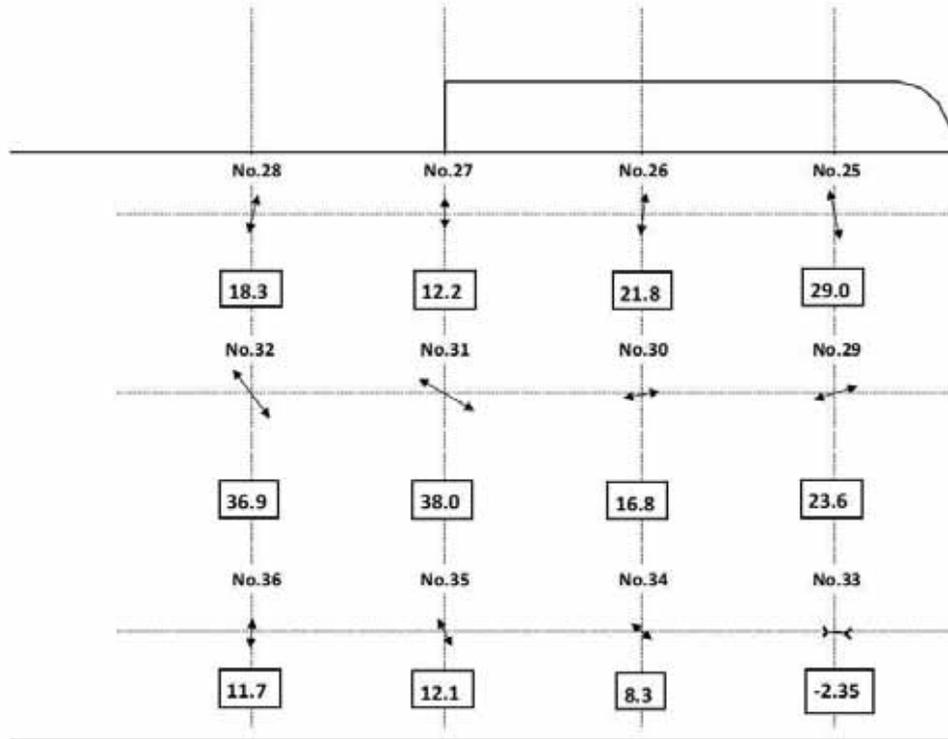
□の値:最大主応力(MPa)



別紙 4 - 図 2 - 2 残留ひずみ測定結果 (自動溶接 B面)

↑ : 主応力方向

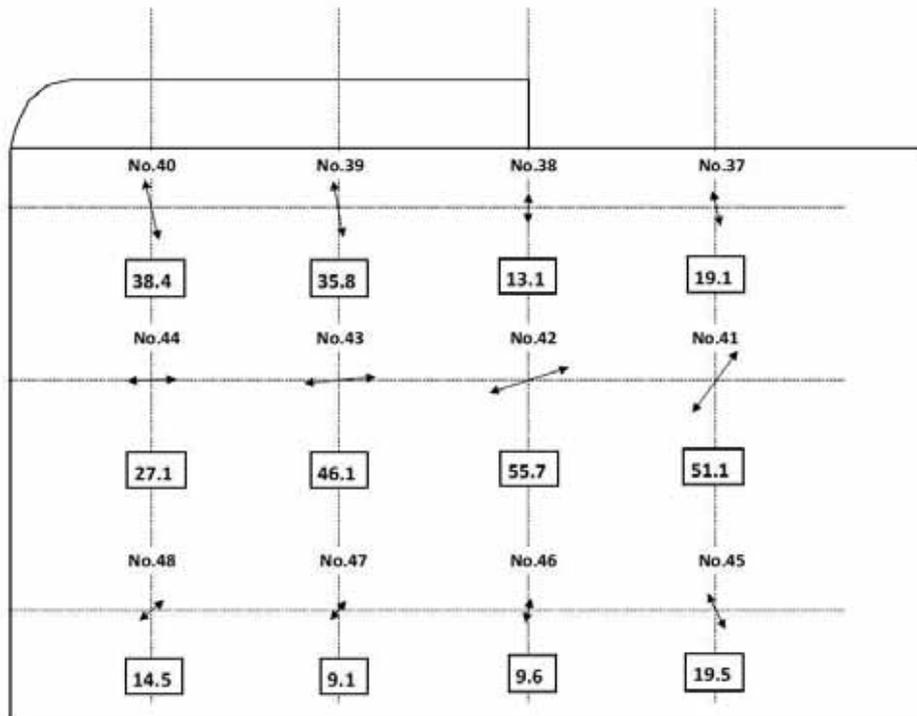
□の値: 最大主応力 (MPa)



別紙 4 - 図 2 - 3 残留ひずみ測定結果 (自動溶接 C 面)

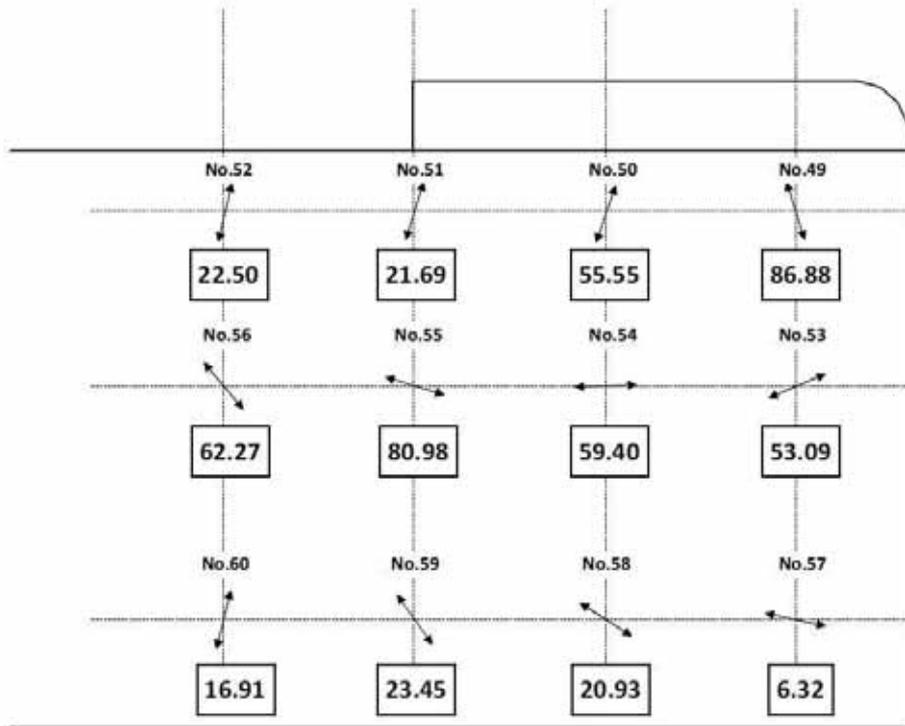
↑ : 主応力方向

□の値: 最大主応力 (MPa)



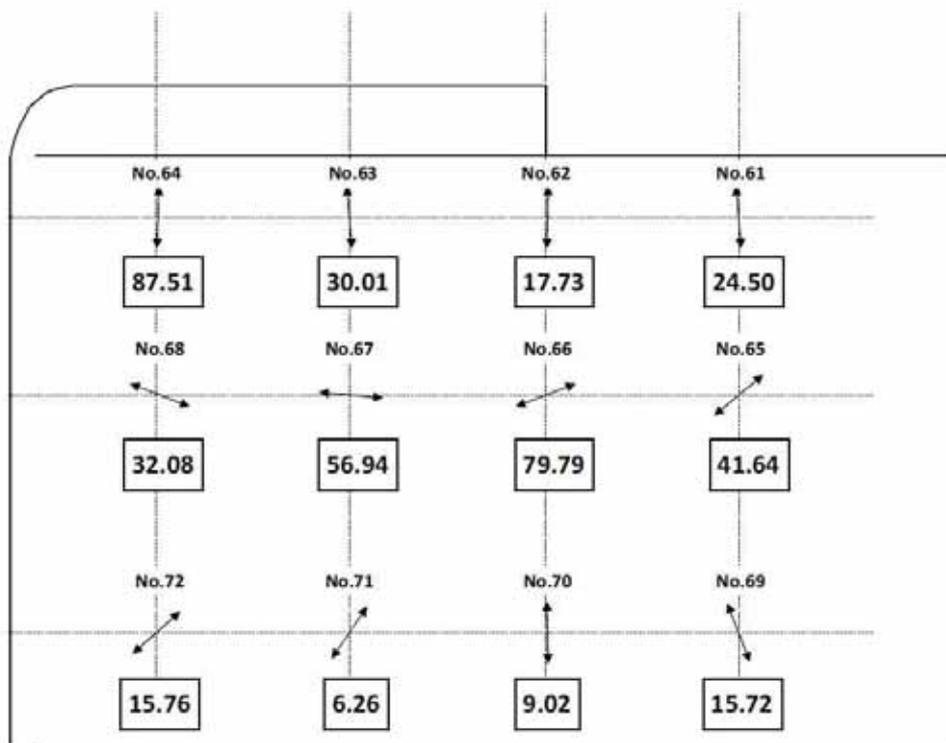
別紙 4 - 図 2 - 4 残留ひずみ測定結果 (自動溶接 D 面)

↑ :主応力方向 □の値:主応力(MPa)



別紙 4 - 図 2 - 5 残留ひずみ測定結果 (手動溶接 A面)

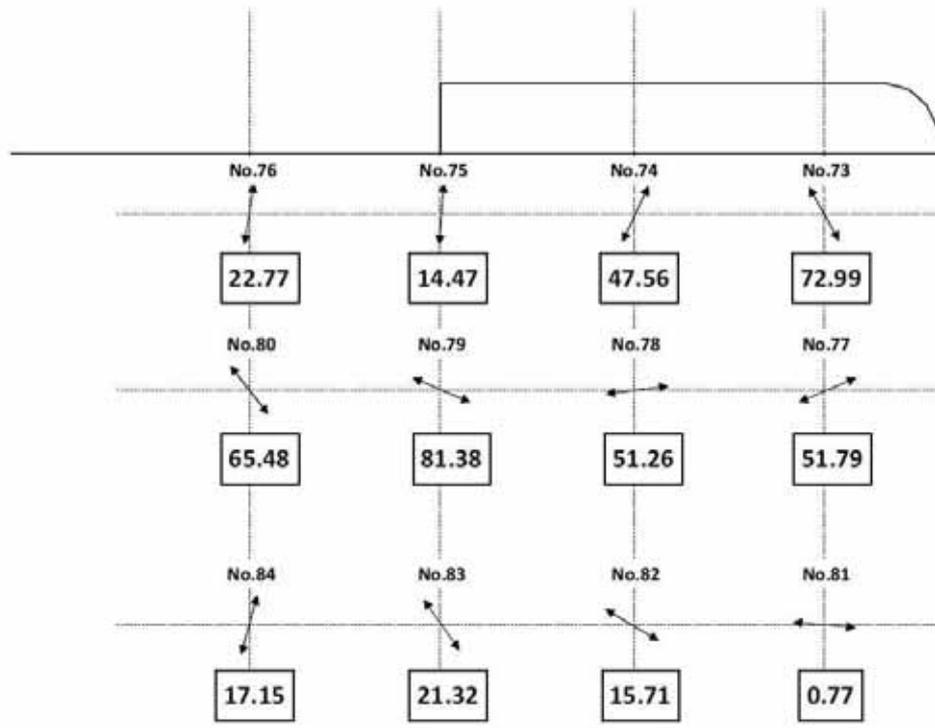
↑ :主応力方向 □の値:主応力(MPa)



別紙 4 - 図 2 - 6 残留ひずみ測定結果 (手動溶接 B面)

↑ :主応力方向

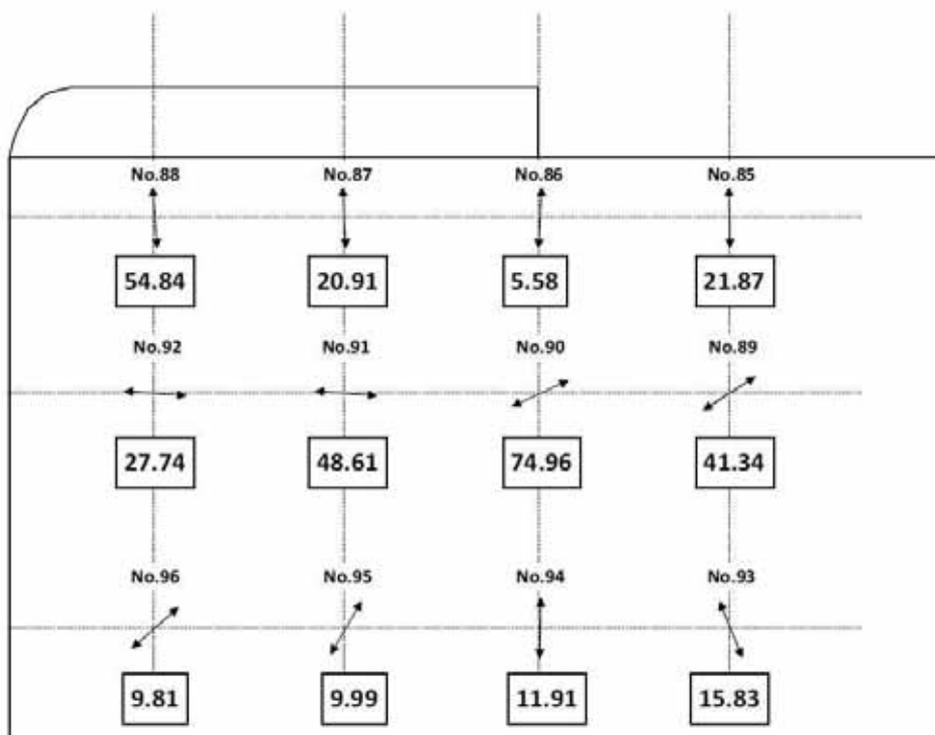
□の値:主応力(MPa)



別紙 4 - 図 2 - 7 残留ひずみ測定結果 (手動溶接 C面)

↑ :主応力方向

□の値:主応力(MPa)



別紙 4 - 図 2 - 8 残留ひずみ測定結果 (手動溶接 D面)

別紙 5 元素分析

1. 分析条件

(1) 成分分析

a. 試験対象

- ・自動溶接 1 本目および自動溶接 5 本目 (A , B , C , D 面)
- ・手動溶接 (A , B , C , D 面)

b. 分析方法および測定元素

(a) 赤外吸収測定

- ・酸素
- ・窒素

(b) I C P 発光分光分析法

- ・スズ
- ・タンタル

(2) E P M A 分析

a. 試験対象

- ・自動溶接 (C , D 面)
- ・手動溶接 (C , D 面)
- ・周溶接部
- ・長手溶接部

自動溶接 , 手動溶接それぞれ代表面として , C , D 面を選定

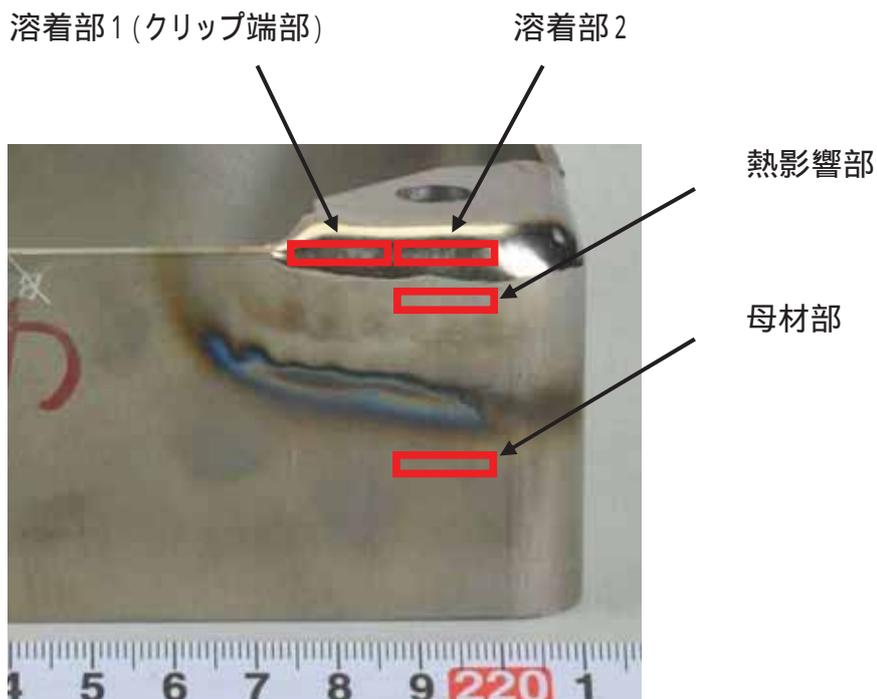
b. E P M A 分析

- ・酸素 (O)
- ・窒素 (N)
- ・鉄 (F e)
- ・クロム (C r)
- ・スズ (S n)
- ・タンタル (T a)
- ・ジルコニウム (Z r)

2. 元素分析位置

(1) 成分分析

- : 溶着部1 (クリップ端部)
- : 溶着部2
- : 熱影響部
- : 母材部 (溶接焼けの外側)



別紙5 - 図1 元素分析試料採取位置 (成分分析)

(2) EPMA分析

組織観察で断面ミクロ観察を行った位置と同じ位置において実施する。

a. クリップ端部近傍

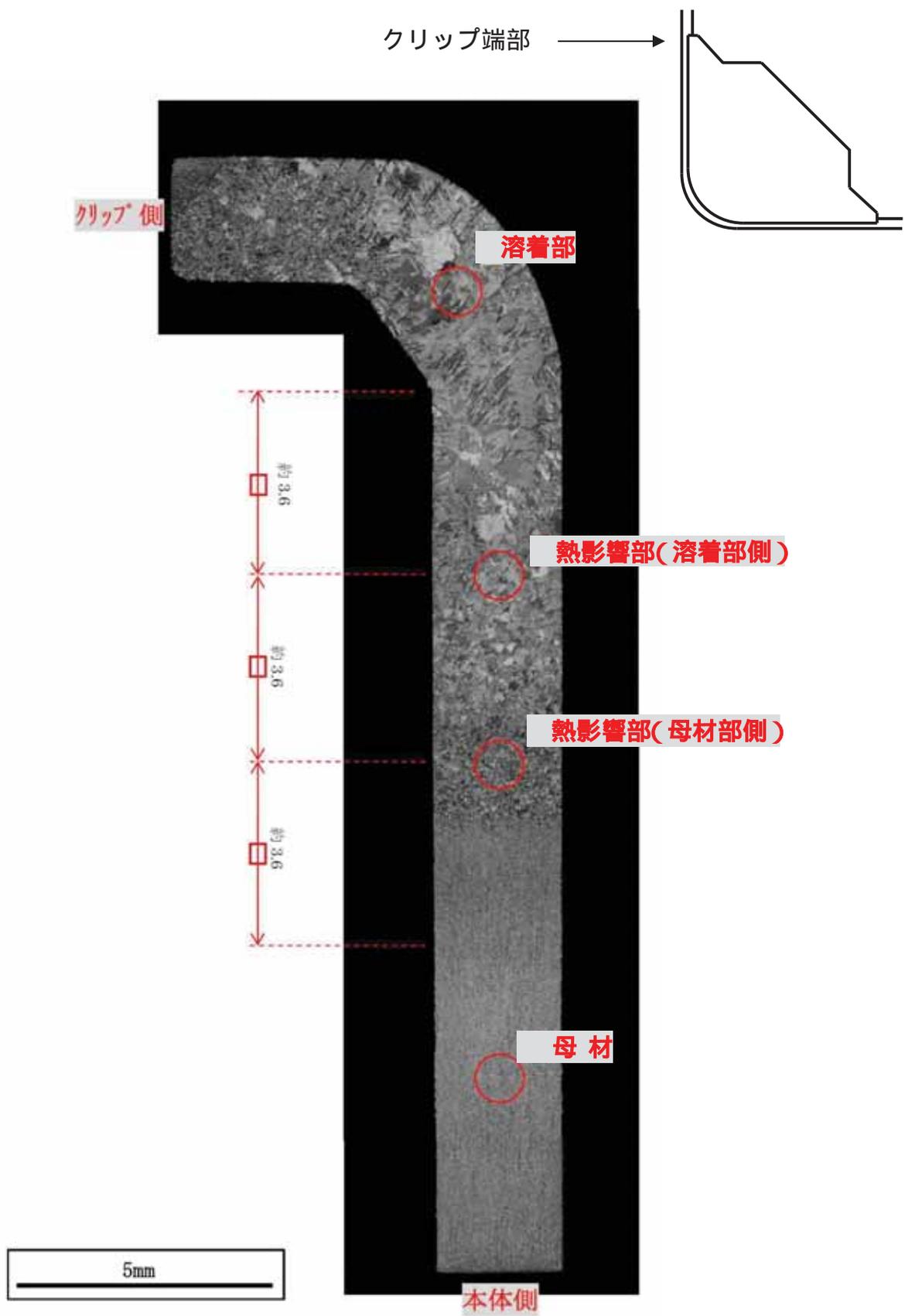
- : 溶着部
- : 熱影響部 (溶着部側)
- : 熱影響部 (母材部側)
- : 母材部 (本体側)

b . 周溶接部

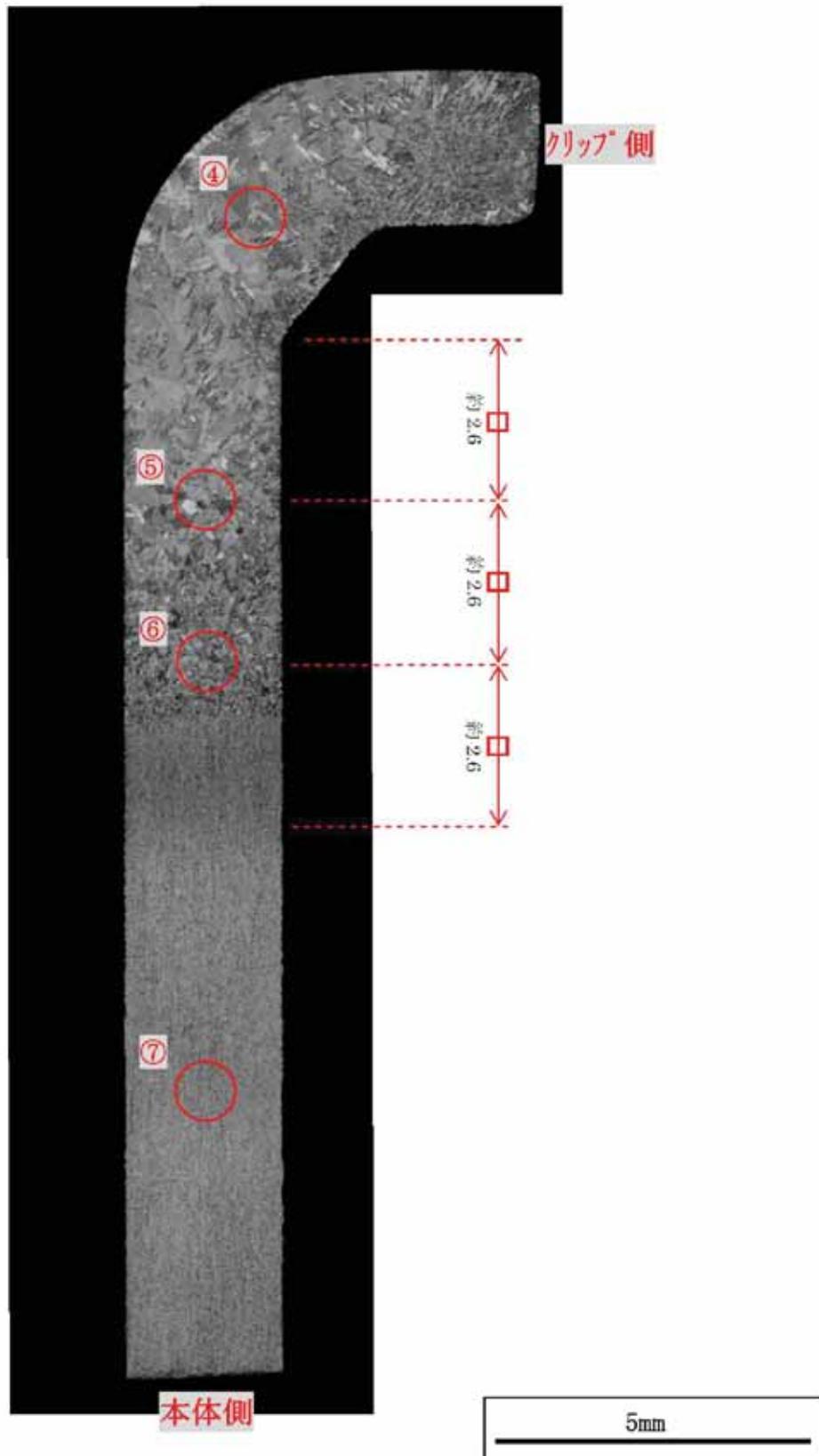
- : 薄板側熱影響部 (母材部側)
- : 薄板側熱影響部 (溶着部側)
- : 溶着部
- : 厚板側熱影響部 (溶着部側)
- : 厚板側熱影響部 (母材部側)

c . 長手溶接部

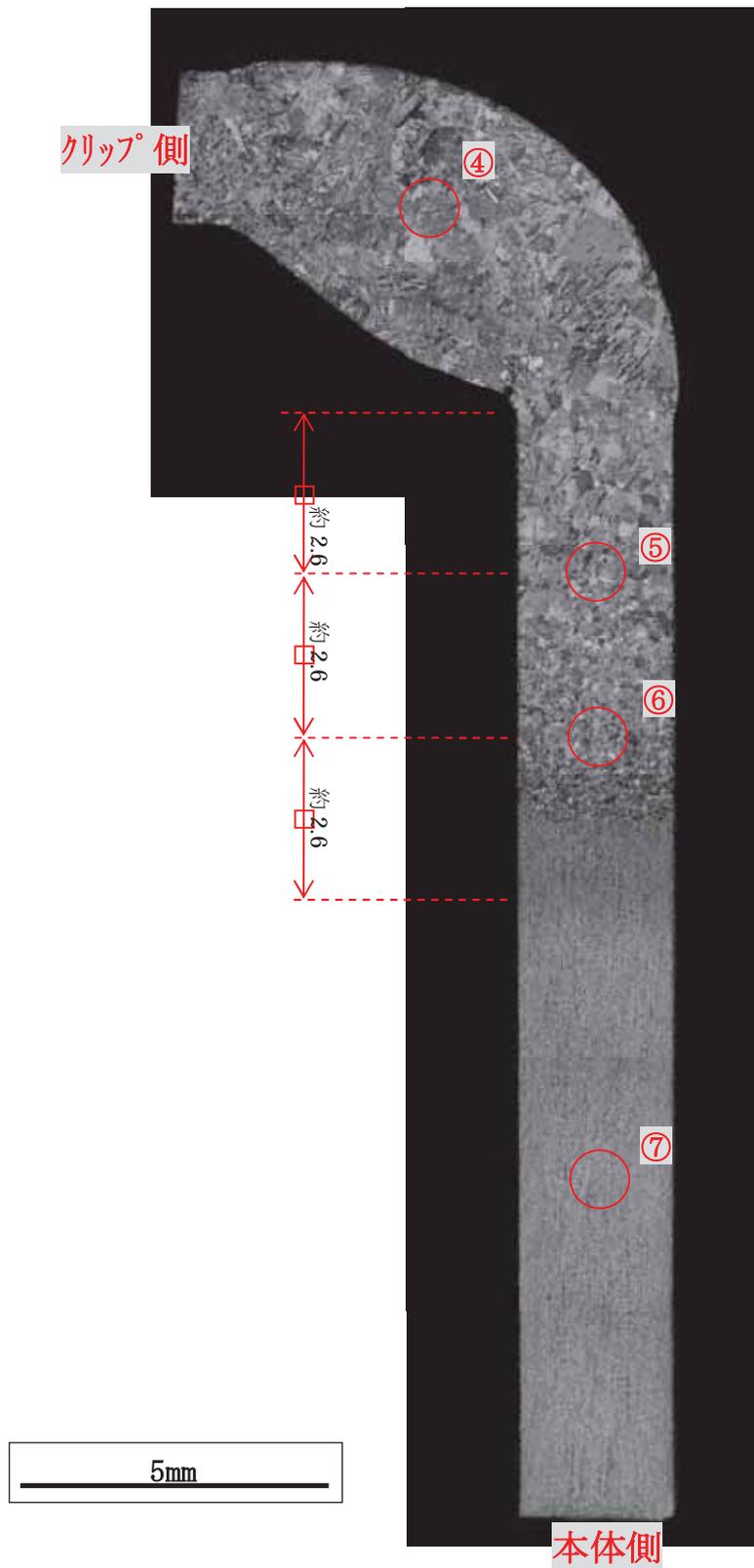
- : 熱影響部 (母材部側)
- : 熱影響部 (溶着部側)
- : 溶着部



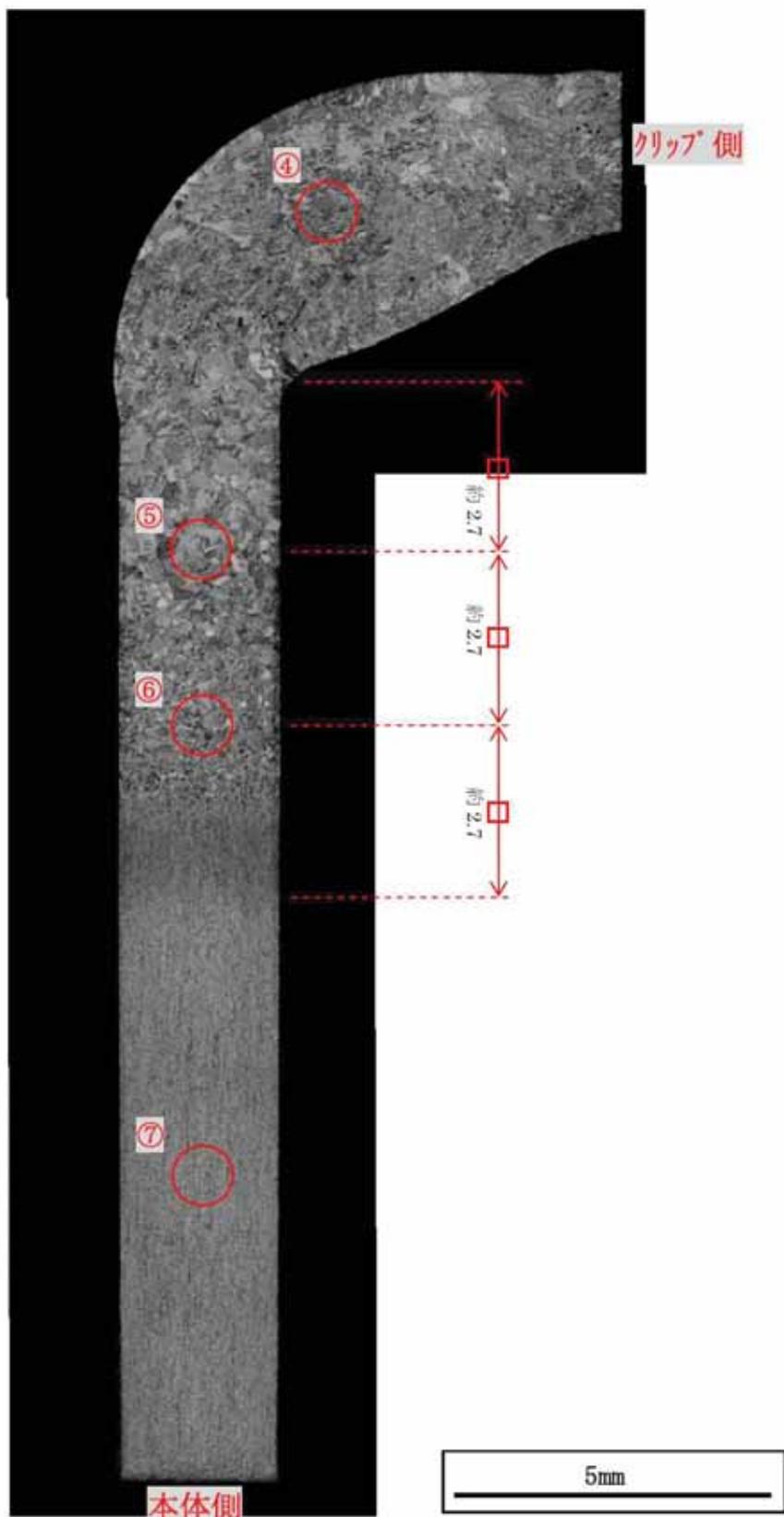
別紙 5 - 図 2 - 1 E P M A分析位置 (自動溶接 C面)



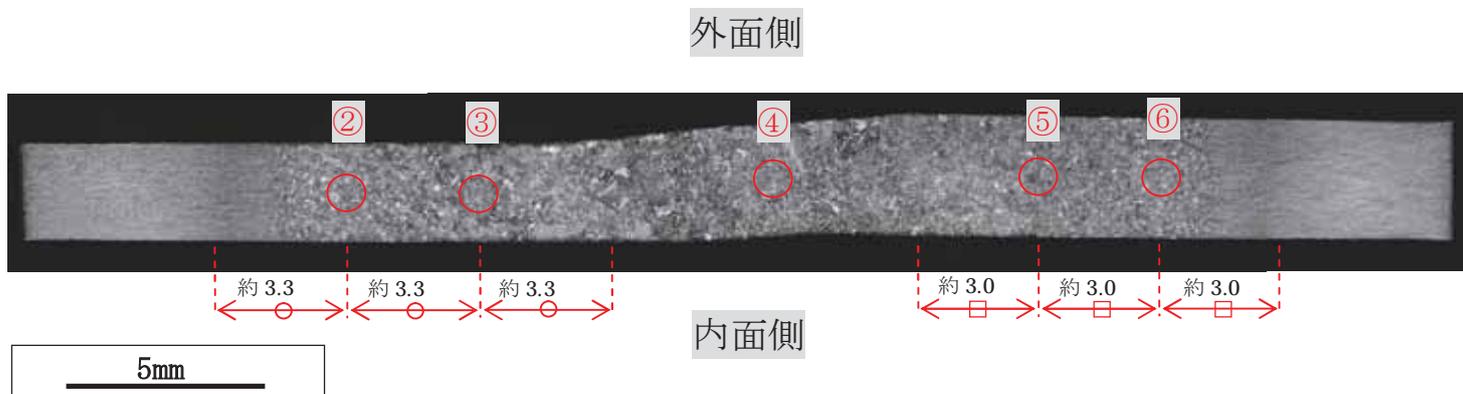
別紙 5 - 図 2 - 2 EPMA分析位置 (自動溶接 D面)



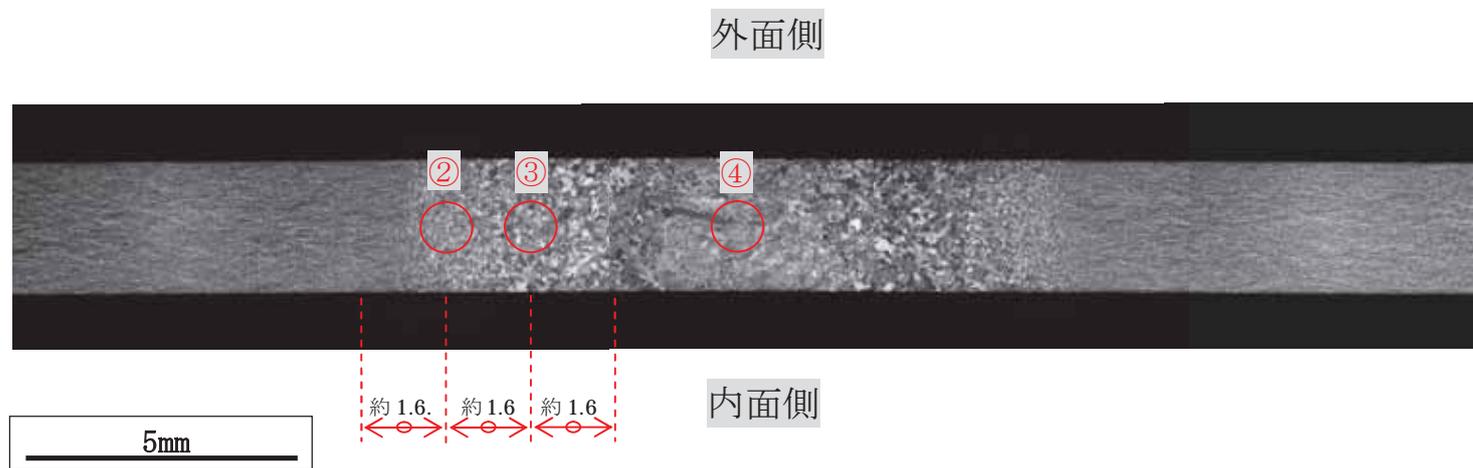
別紙5 - 図2 - 3 EPMA分析位置 (手動溶接 C面)



別紙5 - 図2 - 4 EPMA分析位置 (手動溶接 D面)



別紙 5 - 図 2 - 5 E P M A分析位置 (周溶接部)



別紙 5 - 図 2 - 6 E P M A分析位置 (長手溶接部)

3 . 分析結果

(1) 成分分析結果

別紙 5 - 表 1 酸素分析結果

(w t %)

溶接条件	自動 溶接 1 本目	自動 溶接 5 本目	手動 溶接	自動 溶接 1 本目	自動 溶接 5 本目	手動 溶接
ミルシート値	0.13	0.11	0.13	0.13	0.11	0.13
分析面	A 面			B 面		
①溶着部 1 (クリップ端部)	0.122	0.110	0.122	0.122	0.109	0.119
②溶着部 2	0.120	0.109	0.120	0.123	0.110	0.118
③熱影響部	0.123	0.111	0.122	0.123	0.113	0.128
④母材部	0.121	0.110	0.122	0.123	0.113	0.122
分析面	C 面			D 面		
①溶着部 1 (クリップ端部)	0.118	0.105	0.125	0.118	0.105	0.124
②溶着部 2	0.121	0.111	0.123	0.121	0.106	0.120
③熱影響部	0.124	0.110	0.124	0.124	0.107	0.125
④母材部	0.124	0.109	0.130	0.123	0.110	0.123

別紙 5 - 表 2 窒素分析結果

(w t %)

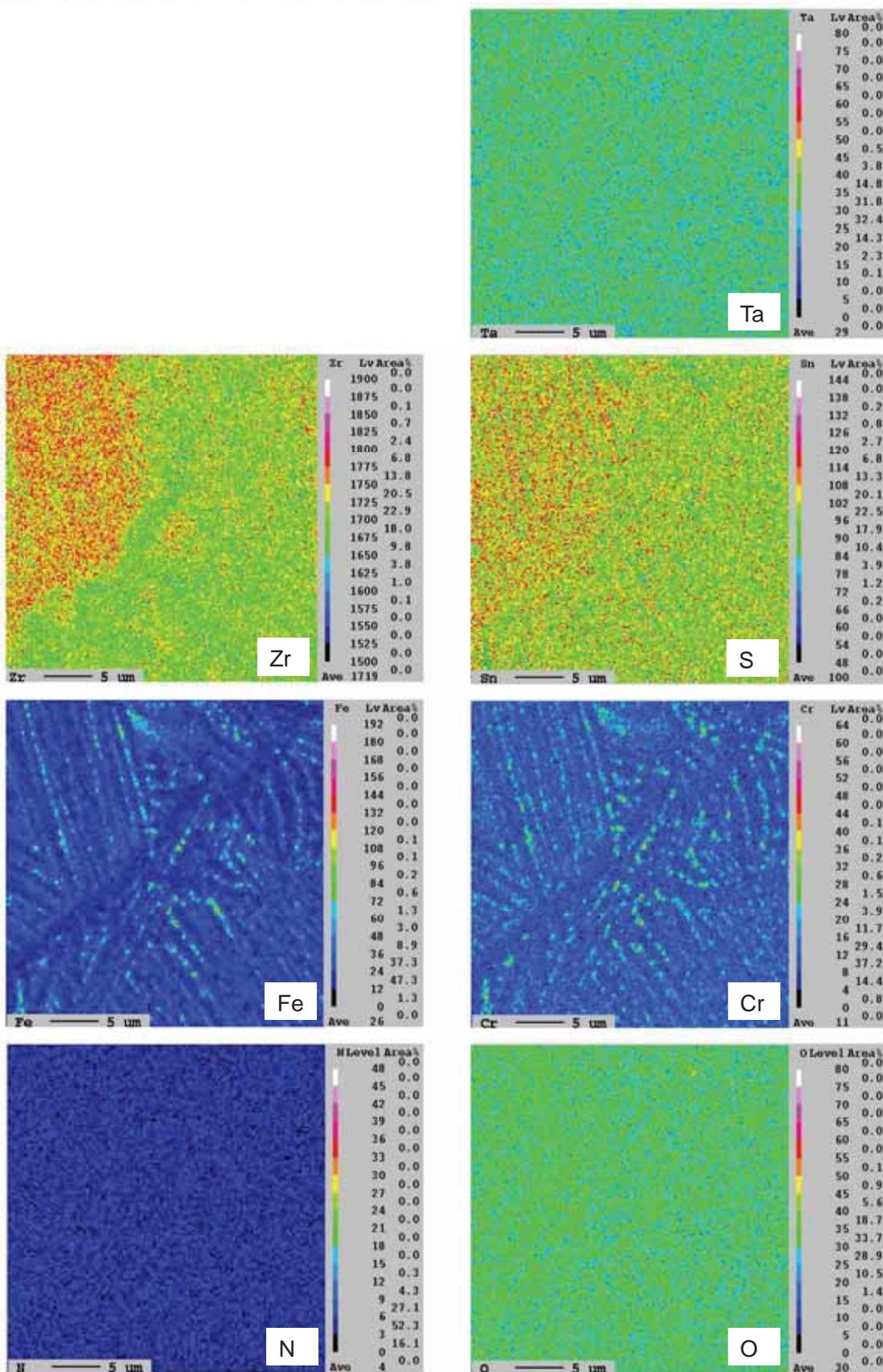
溶接条件	自動 溶接 1 本目	自動 溶接 5 本目	手動 溶接	自動 溶接 1 本目	自動 溶接 5 本目	手動 溶接
ミルシート値	0.0029	0.0025	0.0029	0.0029	0.0025	0.0029
分析面	A 面			B 面		
①溶着部 1 (クリップ端部)	0.0040	0.0024	0.0029	0.0032	0.0025	0.0029
②溶着部 2	0.0036	0.0023	0.0030	0.0034	0.0025	0.0030
③熱影響部	0.0034	0.0020	0.0029	0.0033	0.0025	0.0034
④母材部	0.0030	0.0021	0.0029	0.0030	0.0023	0.0028
分析面	C 面			D 面		
①溶着部 1 (クリップ端部)	0.0032	0.0025	0.0030	0.0029	0.0026	0.0030
②溶着部 2	0.0030	0.0027	0.0028	0.0030	0.0018	0.0030
③熱影響部	0.0030	0.0021	0.0034	0.0028	0.0021	0.0030
④母材部	0.0037	0.0019	0.0033	0.0031	0.0023	0.0028

別紙 5 - 表 3 S n分析結果

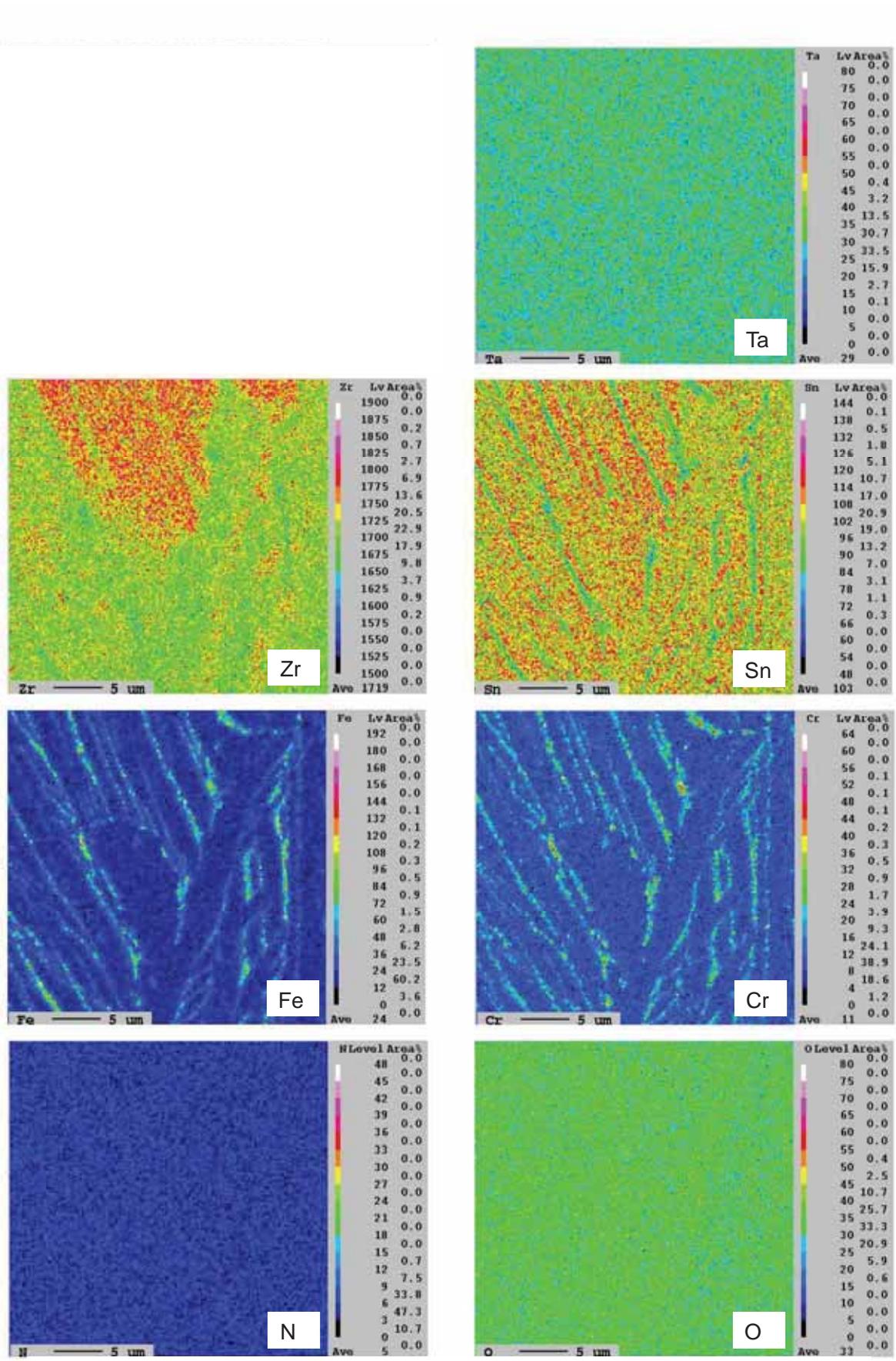
(w t %)

溶接条件	自動 溶接 1 本目	自動 溶接 5 本目	手動 溶接	自動 溶接 1 本目	自動 溶接 5 本目	手動 溶接
ミルシート値	1.31	1.34	1.31	1.31	1.34	1.31
分析面	A 面			B 面		
①溶着部 1 (クリップ端部)	1.25	1.35	1.28	1.24	1.27	1.35
②溶着部 2	1.31	1.34	1.31	1.26	1.33	1.32
③熱影響部	1.30	1.32	1.32	1.29	1.34	1.34
④母材部	1.27	1.33	1.31	1.28	1.31	1.33
分析面	C 面			D 面		
①溶着部 1 (クリップ端部)	1.25	1.30	1.32	1.30	1.28	1.29
②溶着部 2	1.29	1.34	1.30	1.28	1.32	1.31
③熱影響部	1.28	1.35	1.33	1.27	1.33	1.30
④母材部	1.28	1.34	1.31	1.28	1.34	1.30

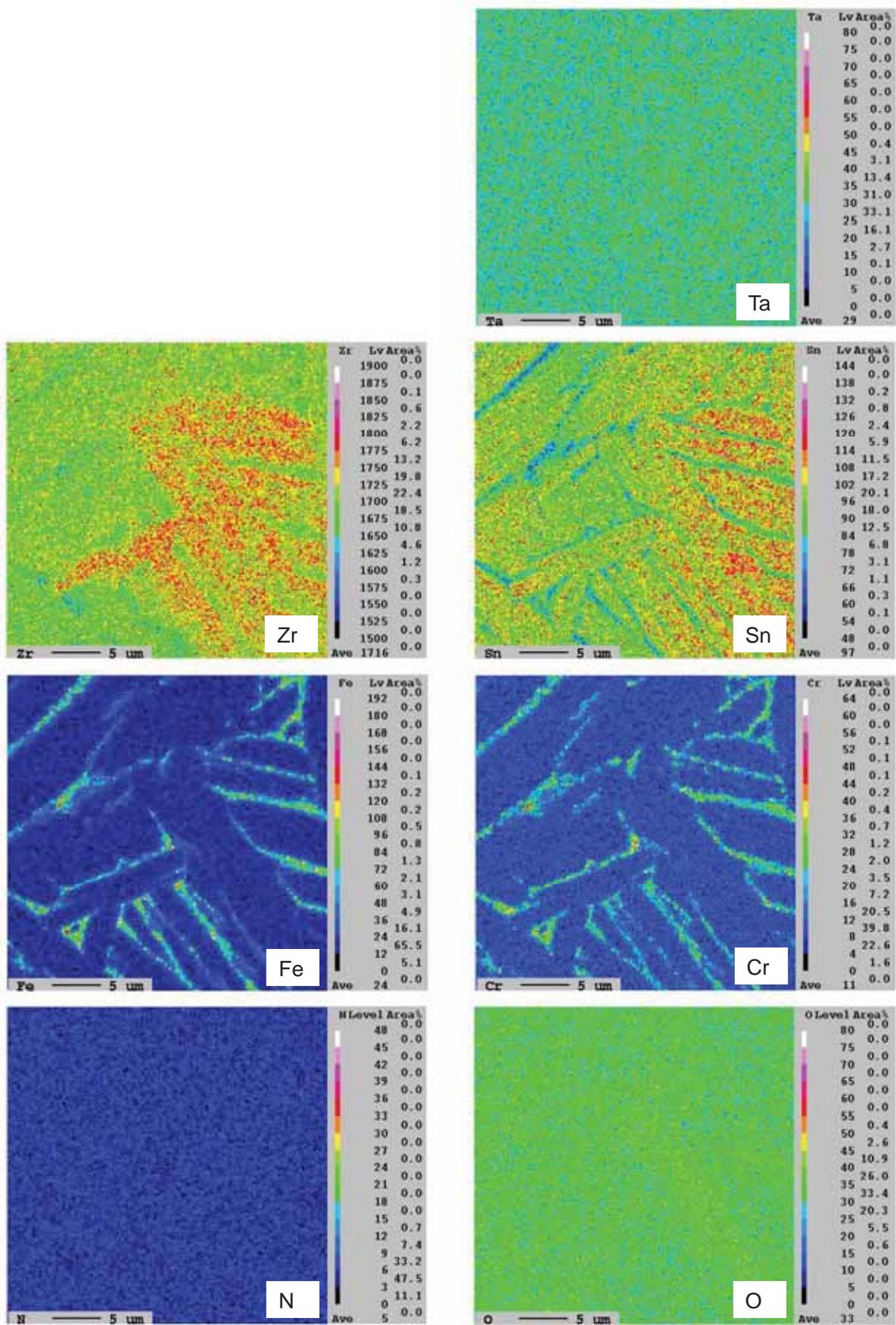
(2) E P M A分析結果



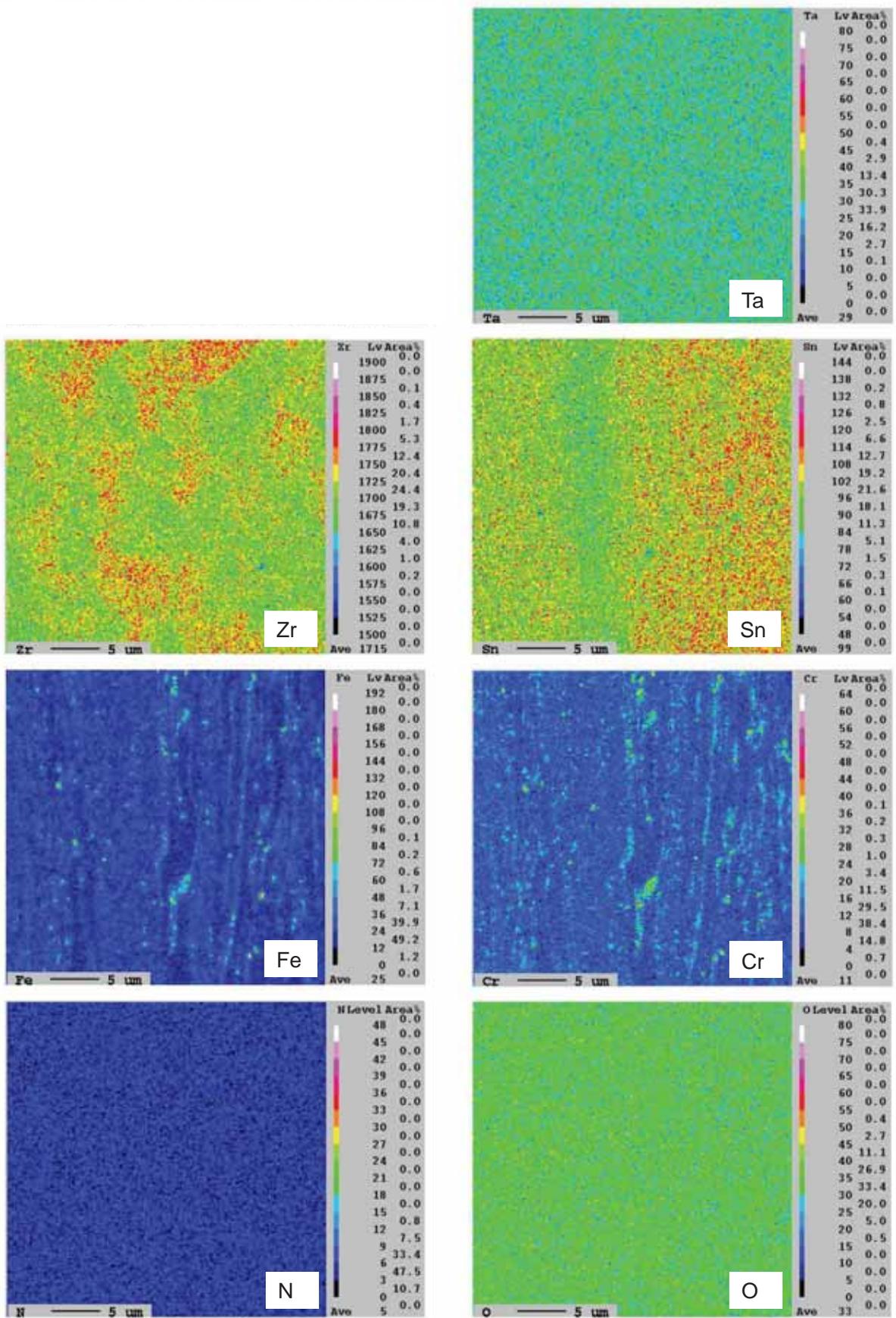
別紙 5 - 図 3 - 1 EPMA分析結果
(自動溶接 C面 溶着部)



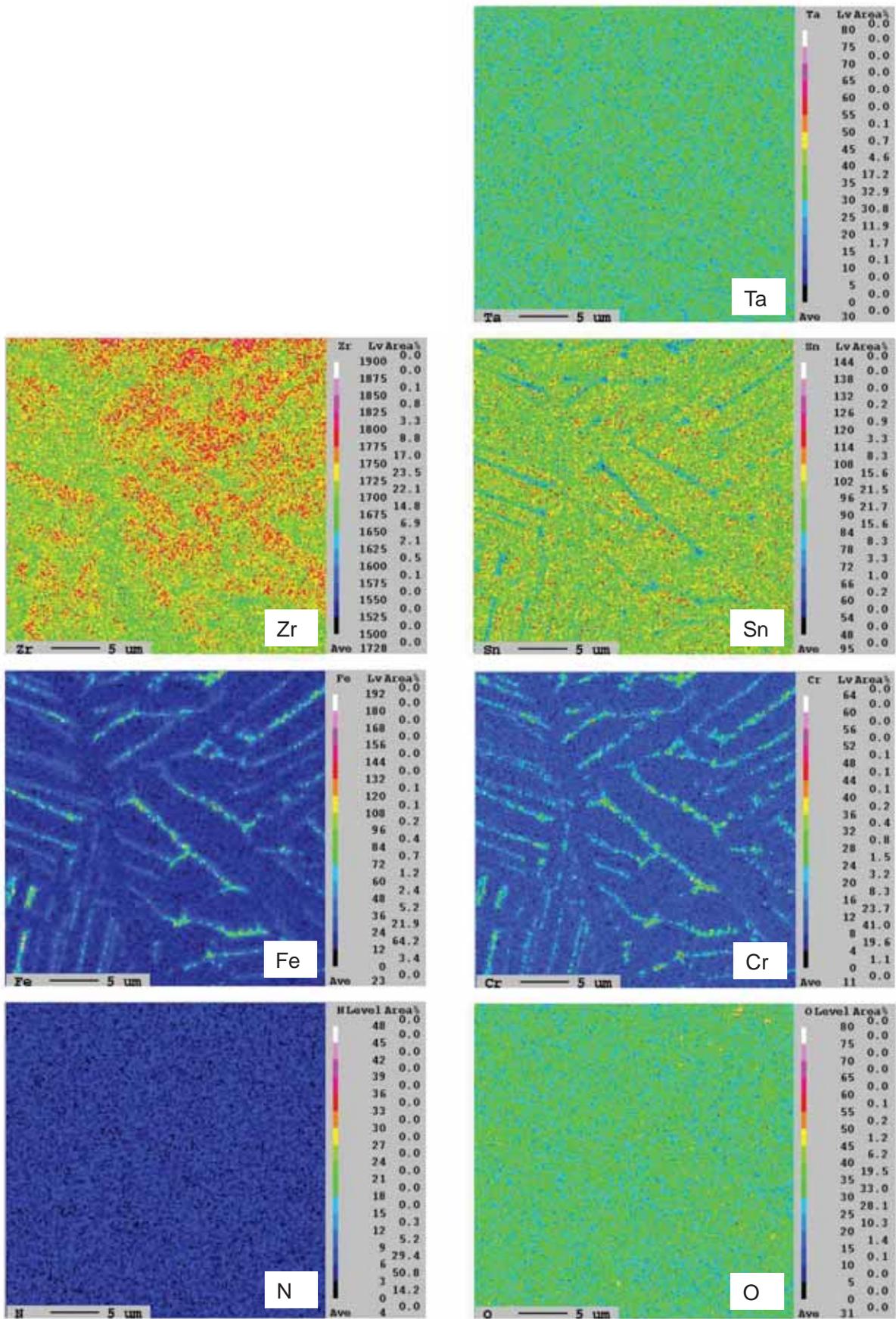
別紙5 - 図3 - 2 EPMA分析結果
 (自動溶接 C面 熱影響部 (溶着部側))



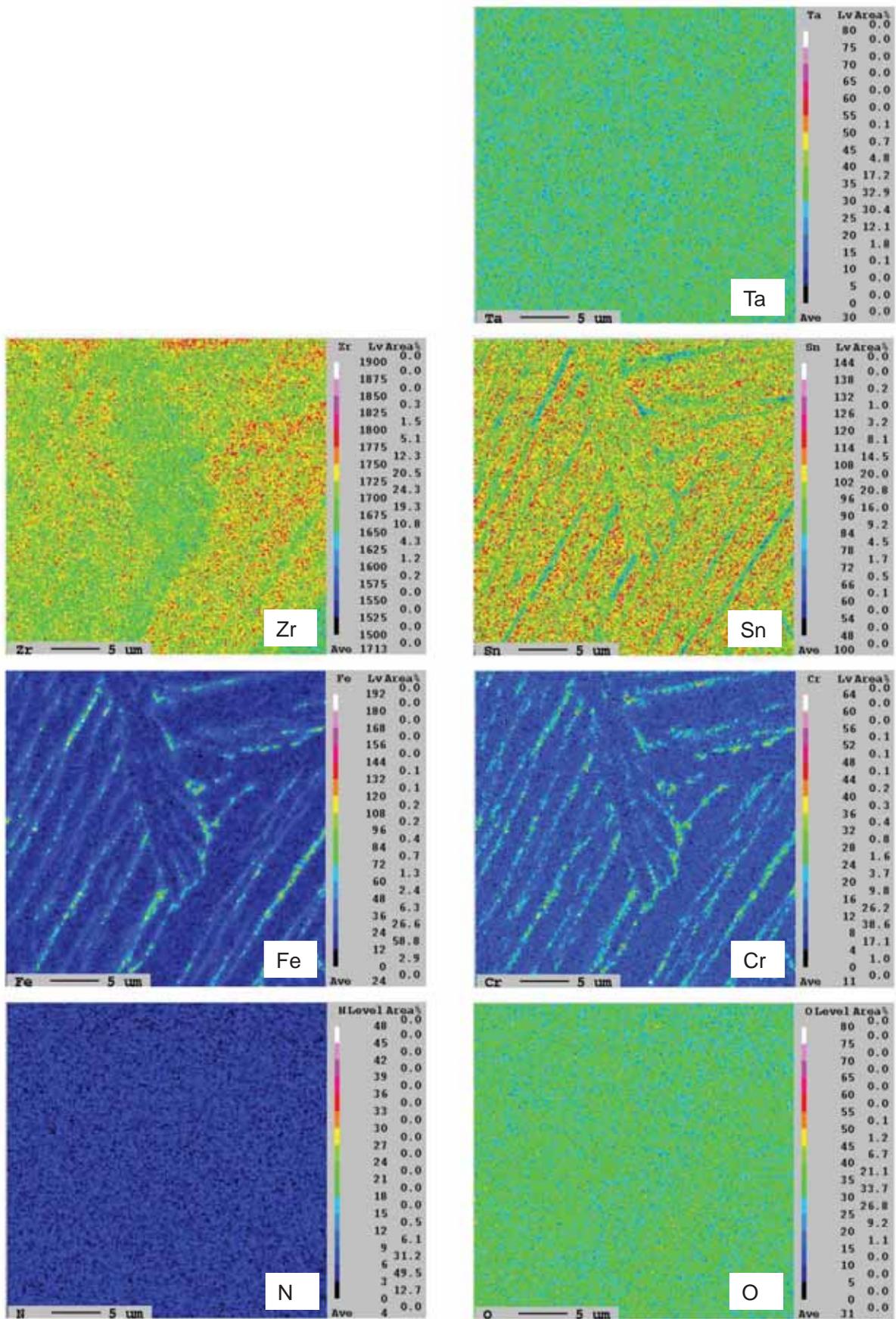
別紙5 - 図3 - 3 EPMA分析結果
 (自動溶接 C面 熱影響部(母材部側))



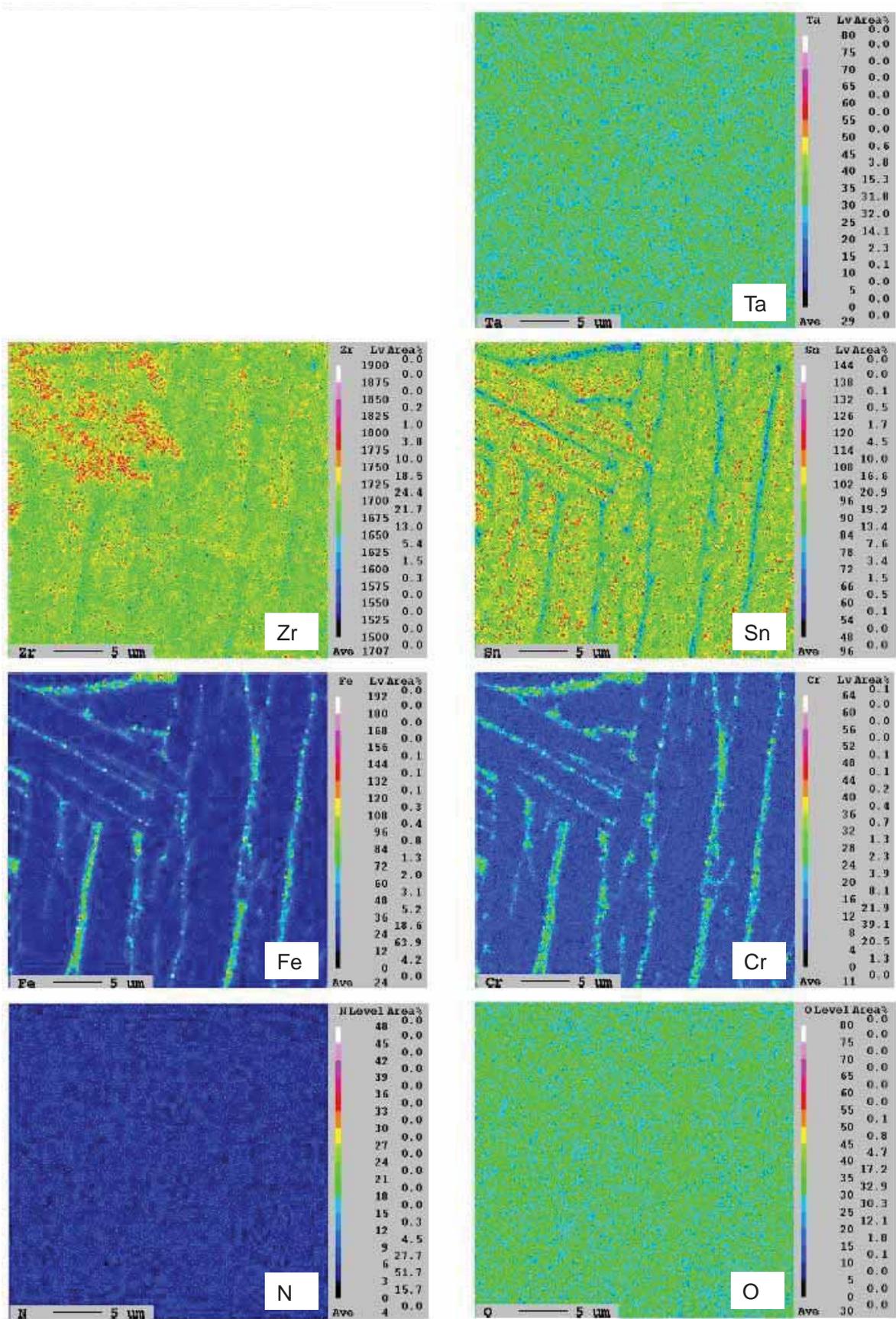
別紙 5 - 図 3 - 4 E P M A分析結果
 (自動溶接 C面 母材部)



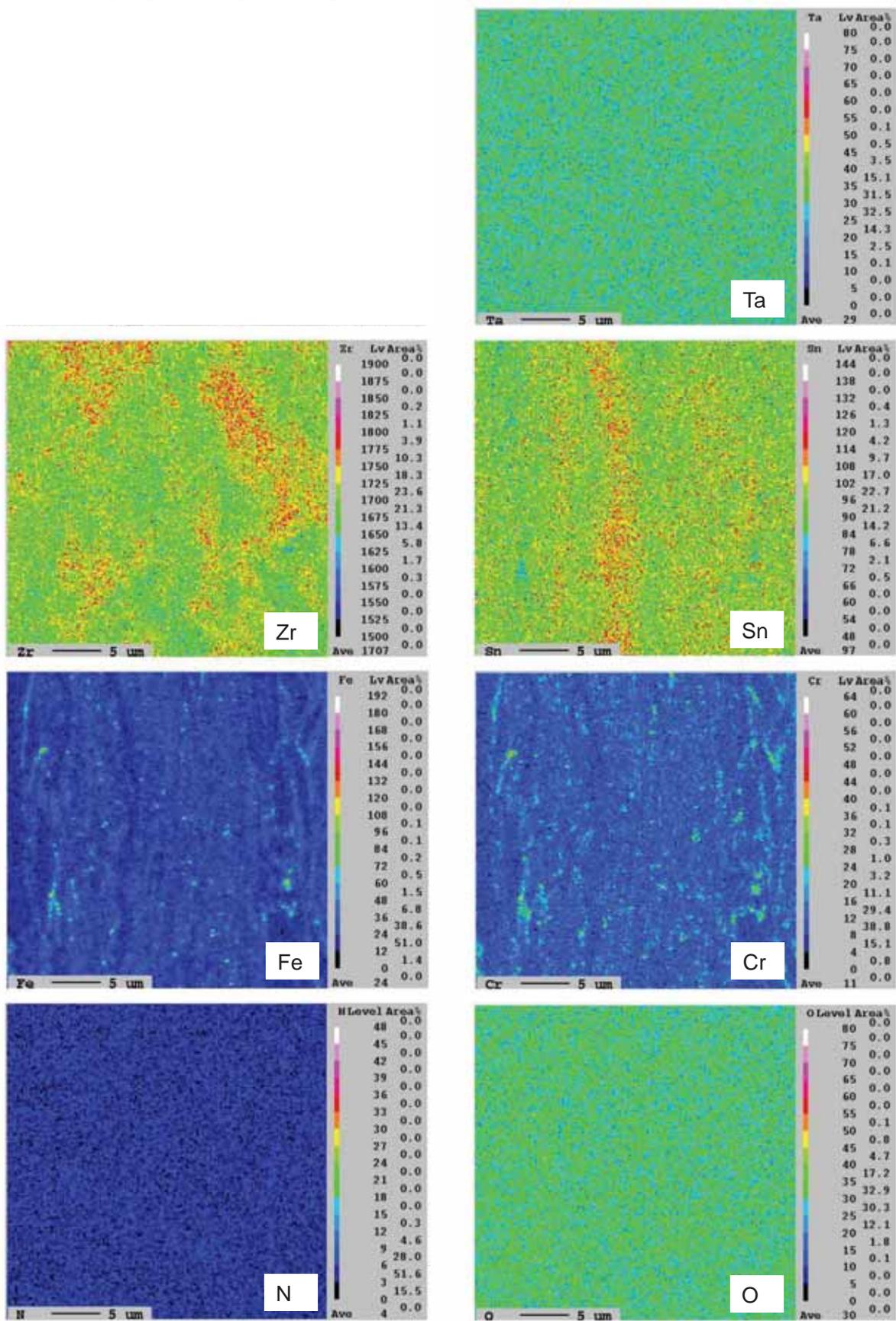
別紙5 - 図3 - 5 EPMA分析結果
(自動溶接 D面 溶着部)



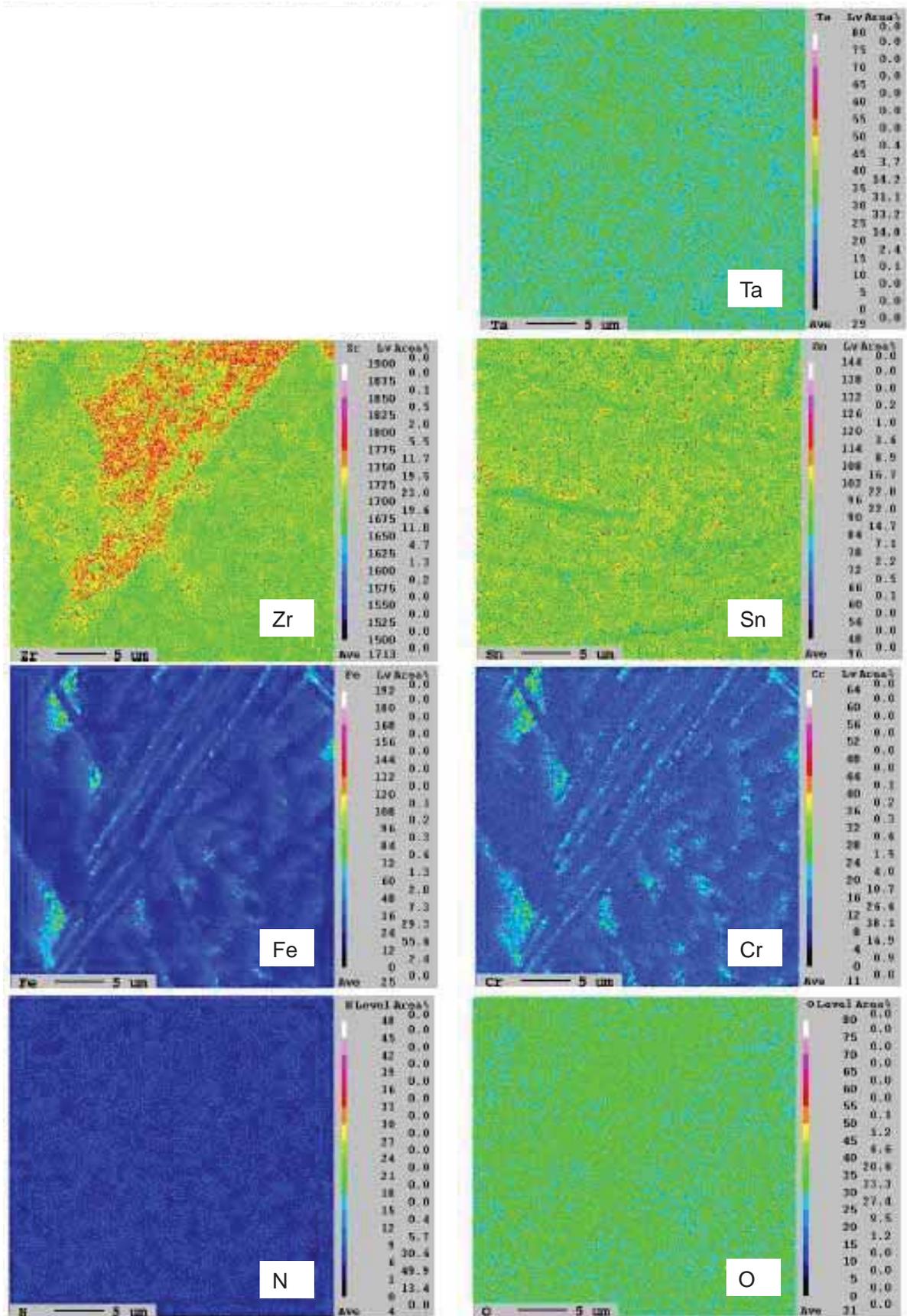
別紙 5 - 図 3 - 6 EPMA分析結果
 (自動溶接 D面 熱影響部 (溶着部側))



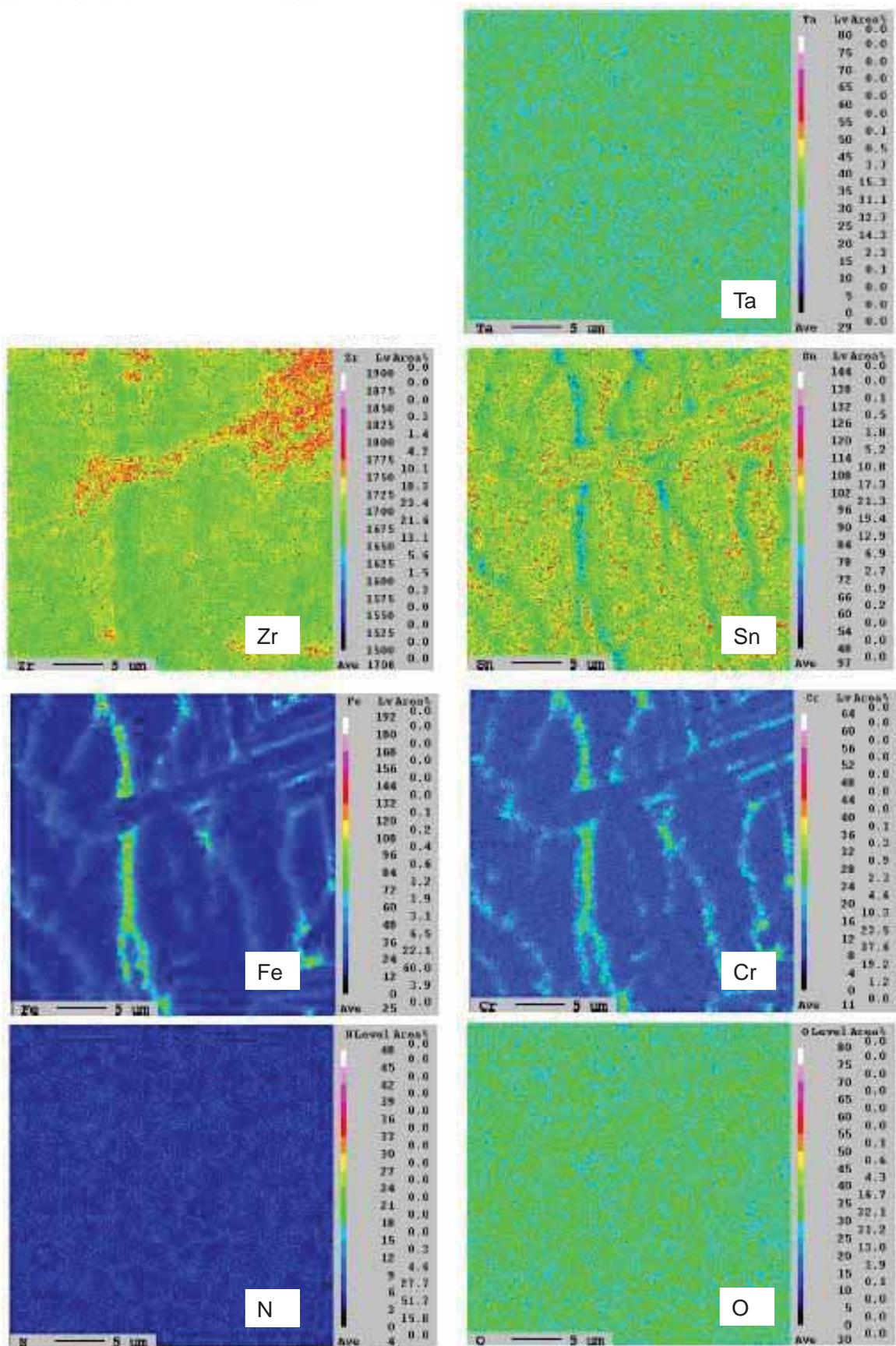
別紙 5 - 図 3 - 7 EPMA分析結果
 (自動溶接 D面 熱影響部(母材部側))



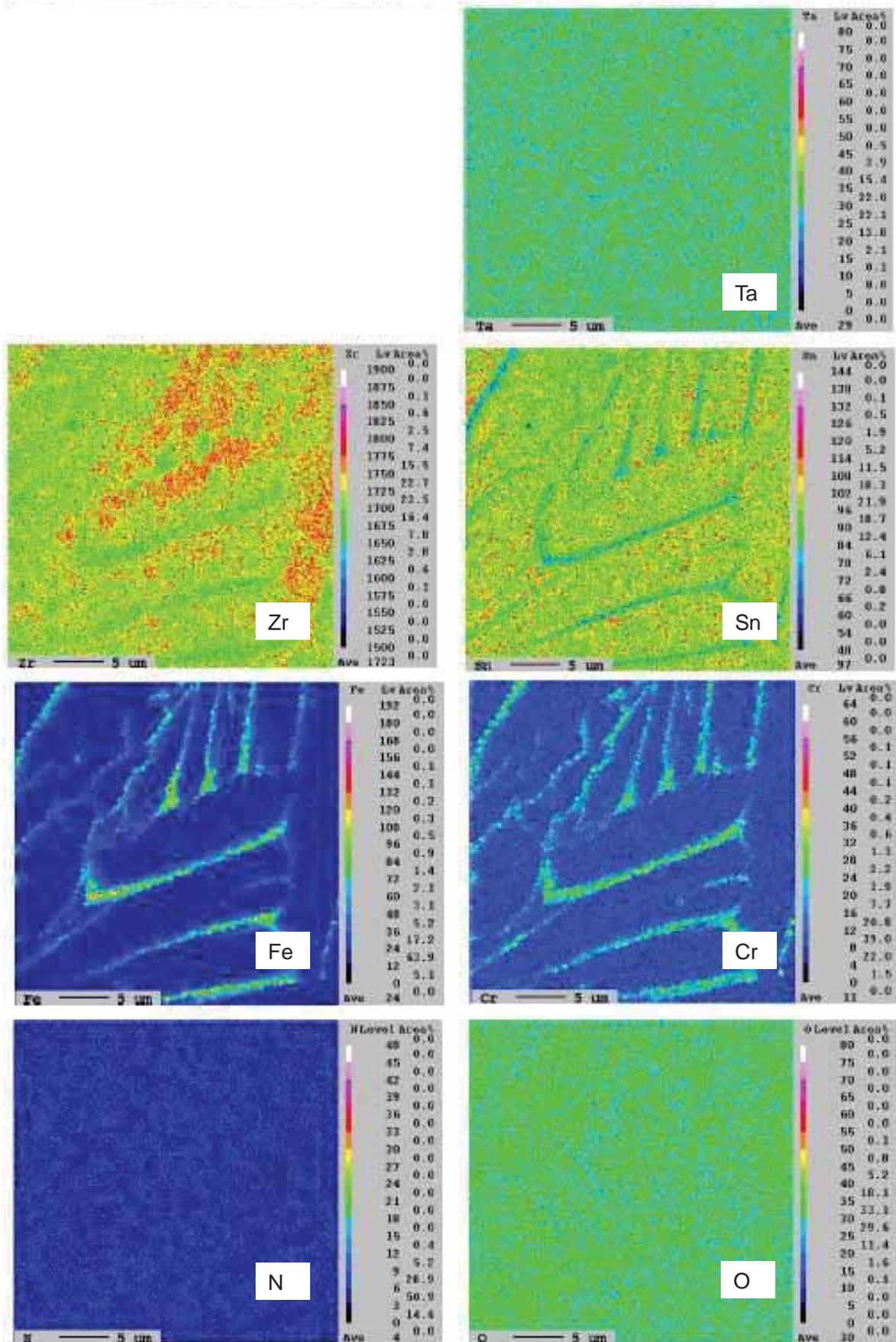
別紙 5 - 図 3 - 8 EPMA分析結果
 (自動溶接 D面 母材部)



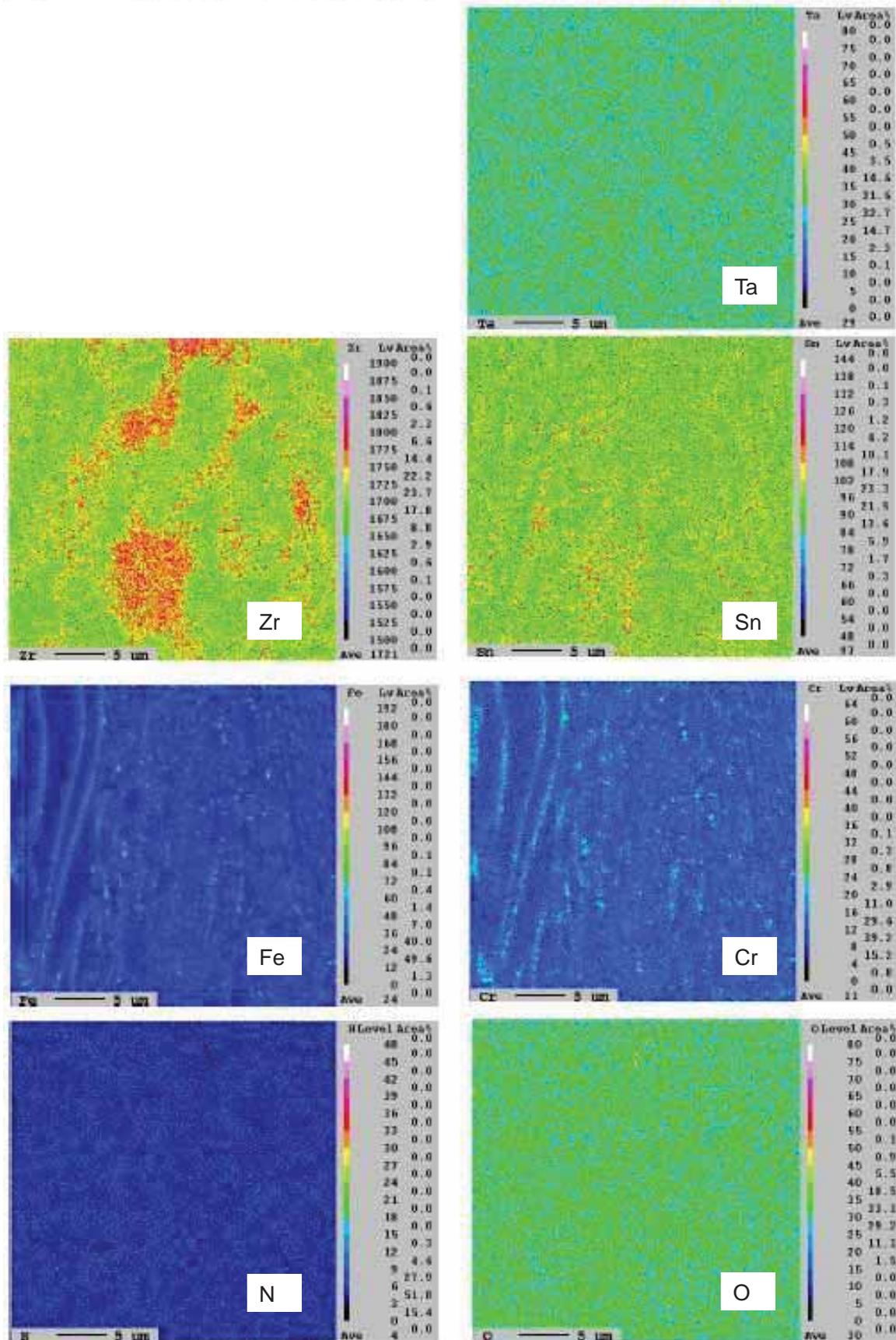
別紙 5 - 図 3 - 9 EPMA分析結果
(手動溶接 C面 溶着部)



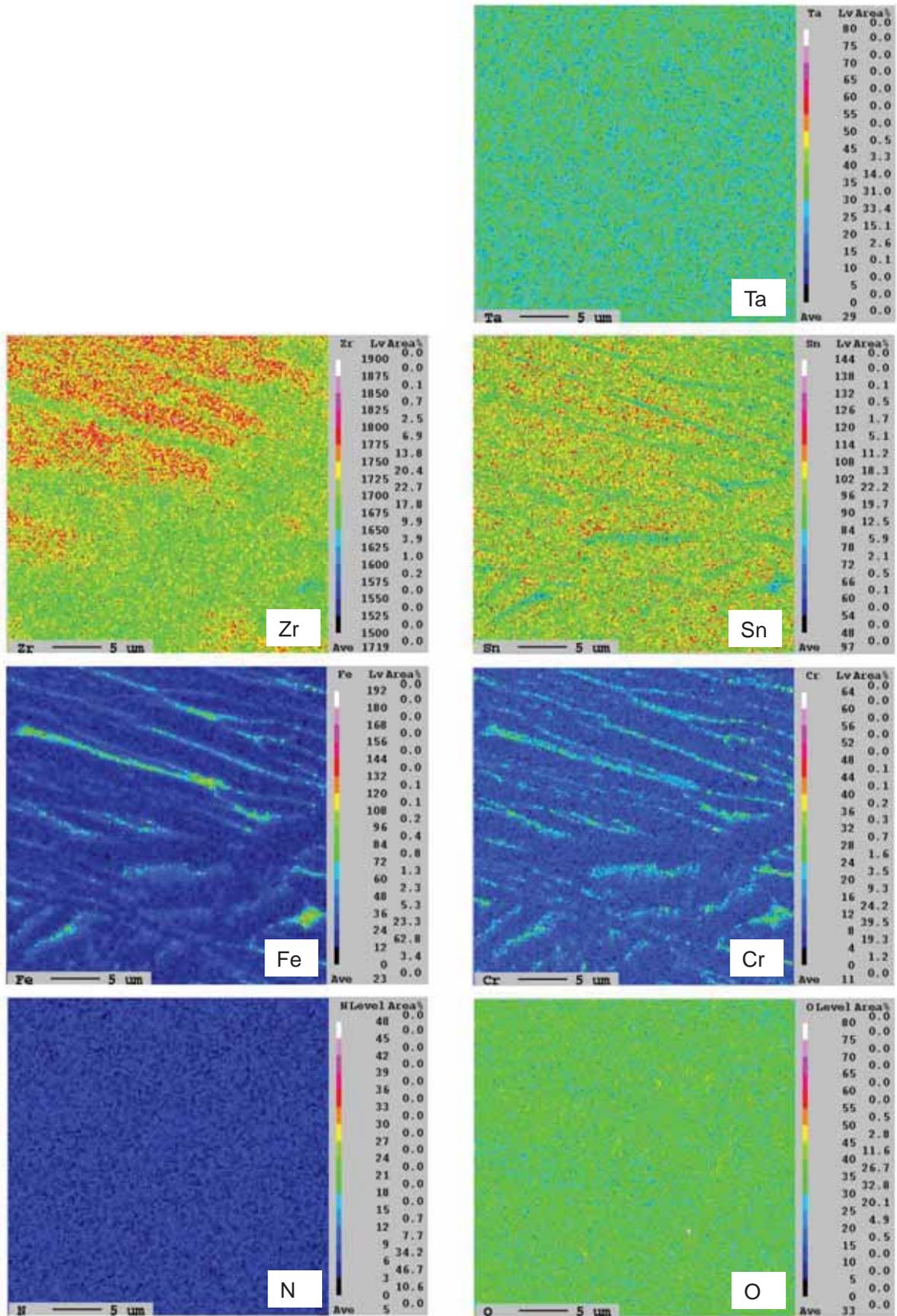
別紙5 - 図3 - 10 EPMA分析結果
 (手動溶接 C面 熱影響部 (溶着部側))



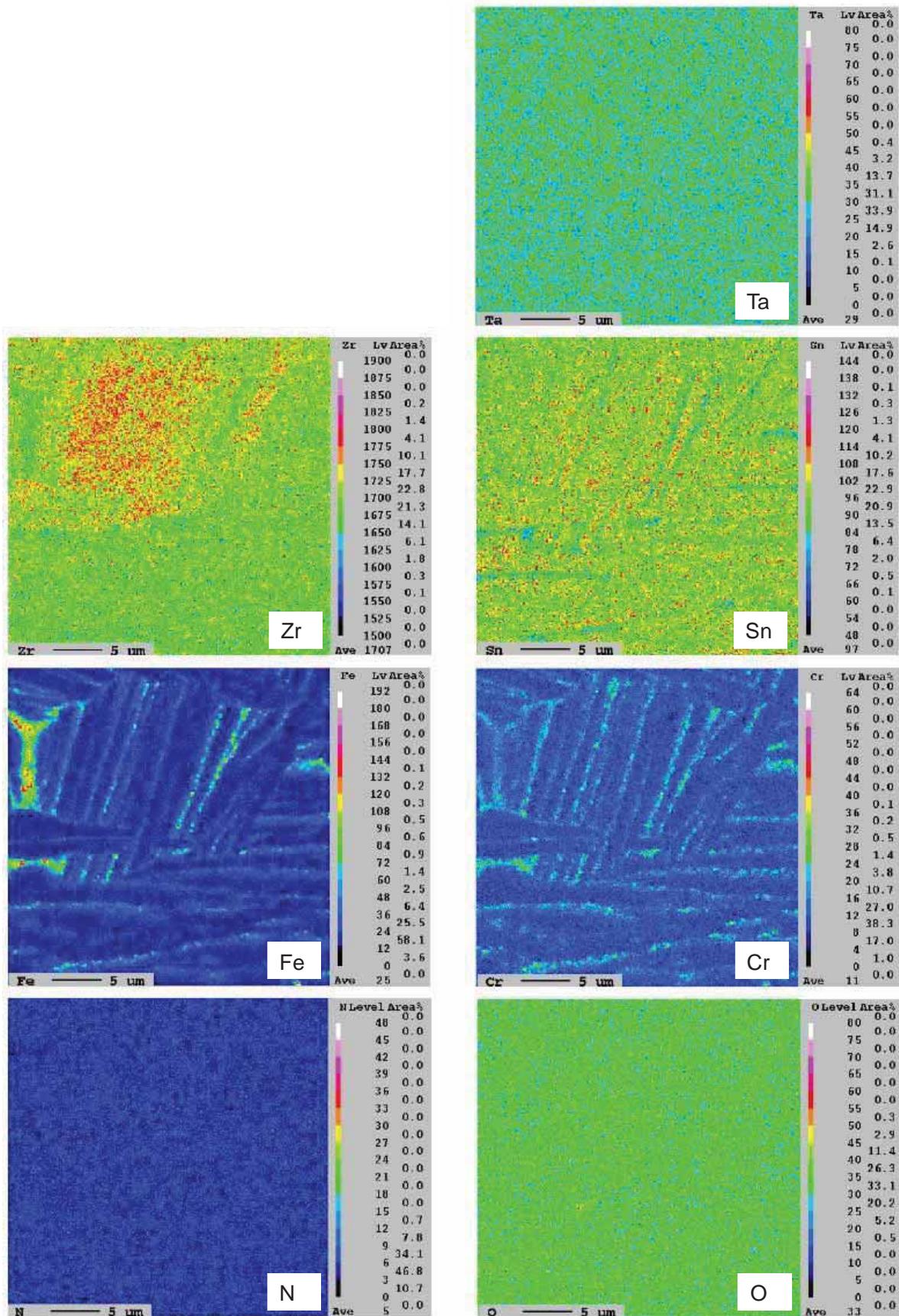
別紙 5 - 図 3 - 1 1 EPMA分析結果
 (手動溶接 C面 熱影響部 (母材部側))



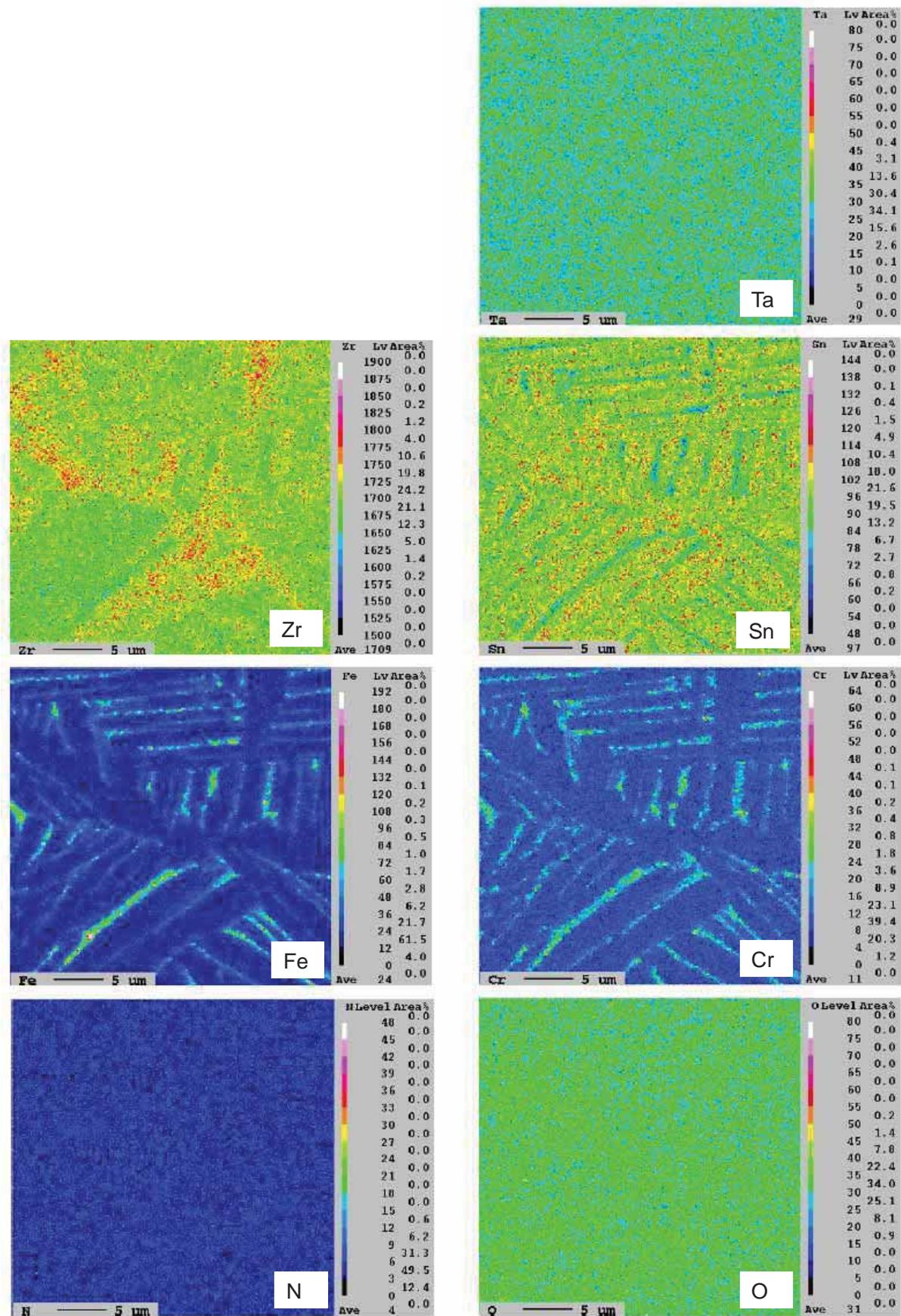
別紙5 - 図3 - 12 EPMA分析結果
(手動溶接 C面 母材部)



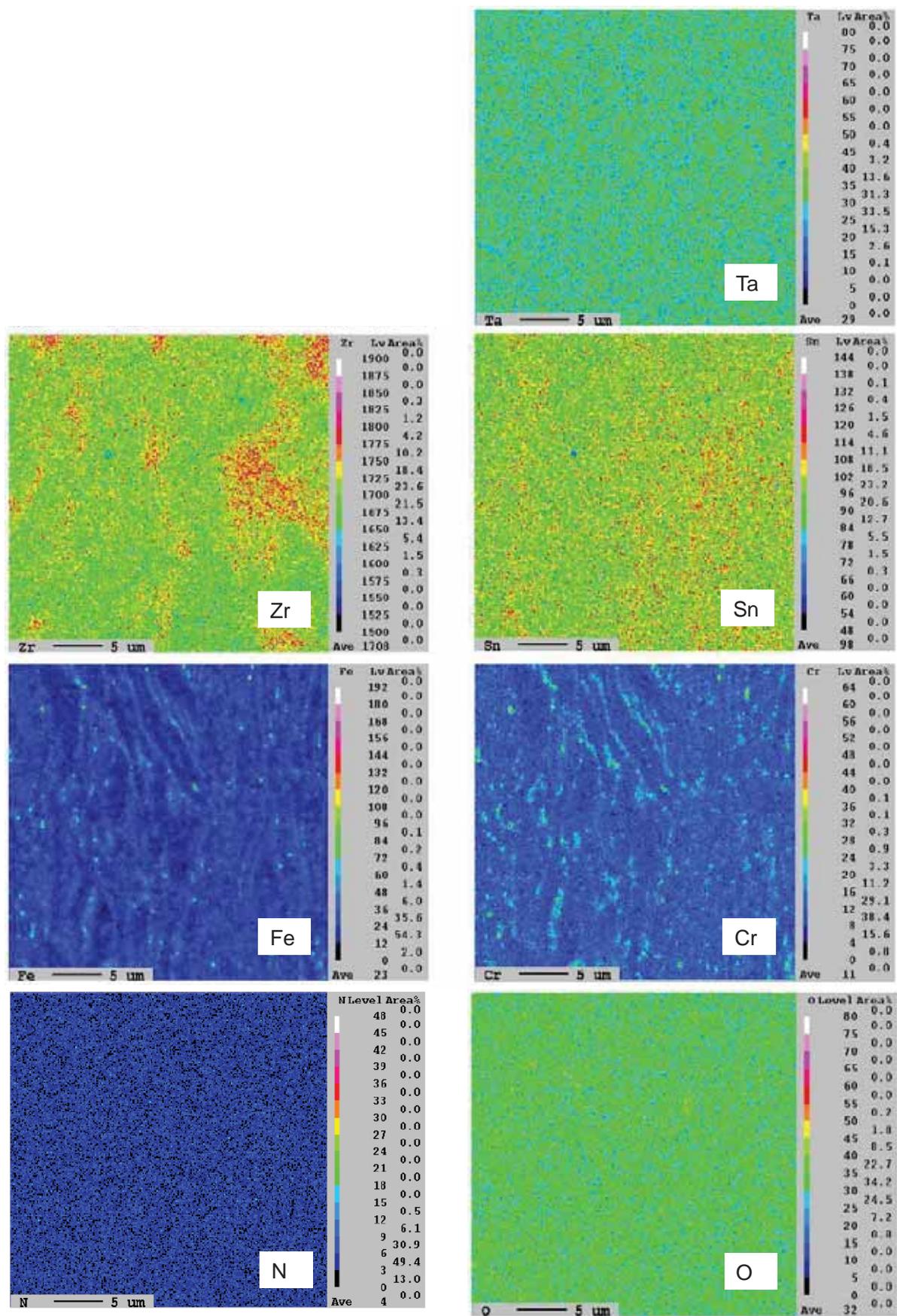
別紙5 - 図3 - 13 EPMA分析結果
(手動溶接 D面 溶着部)



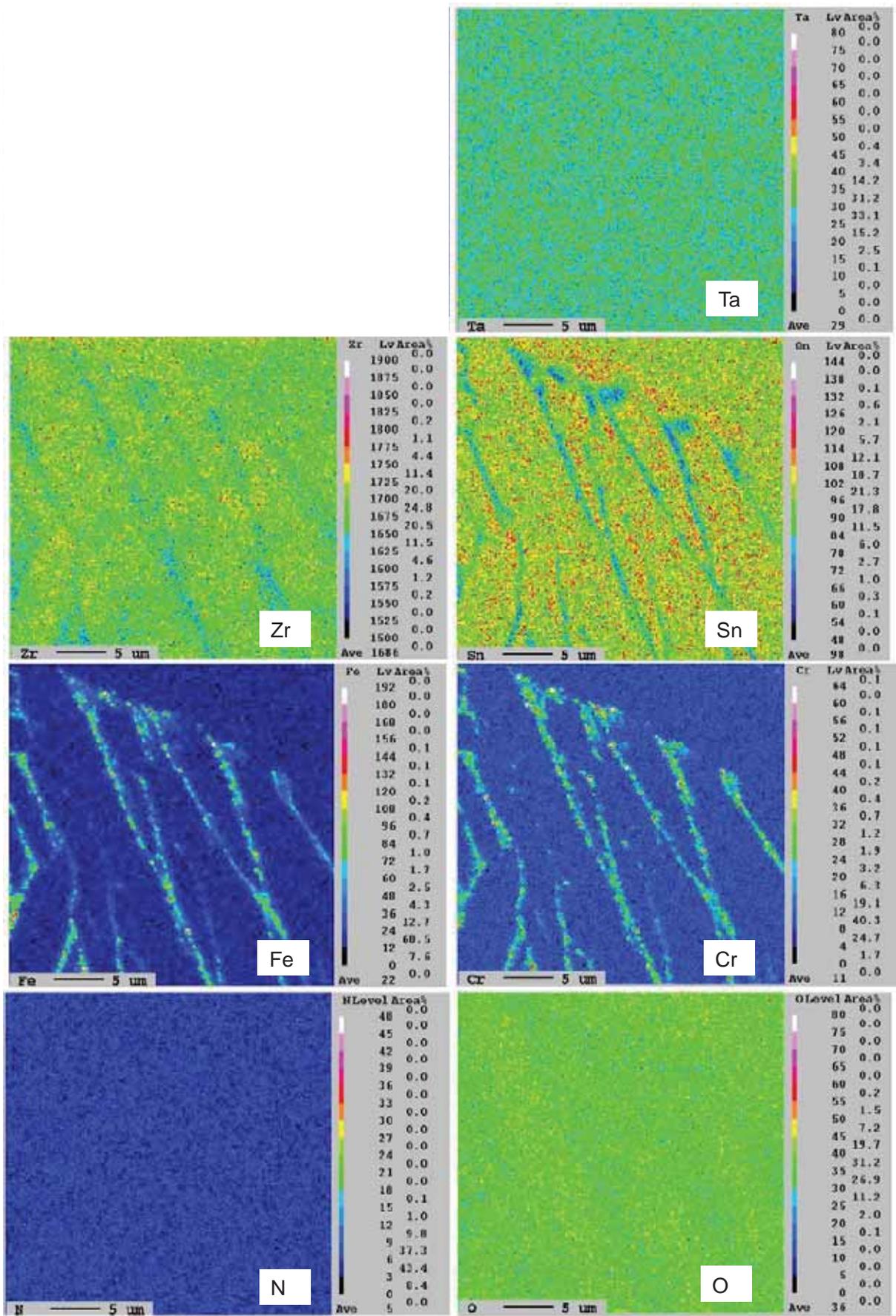
別紙5 - 図3 - 14 EPMA分析結果
 (手動溶接 D面 熱影響部(溶着部側))



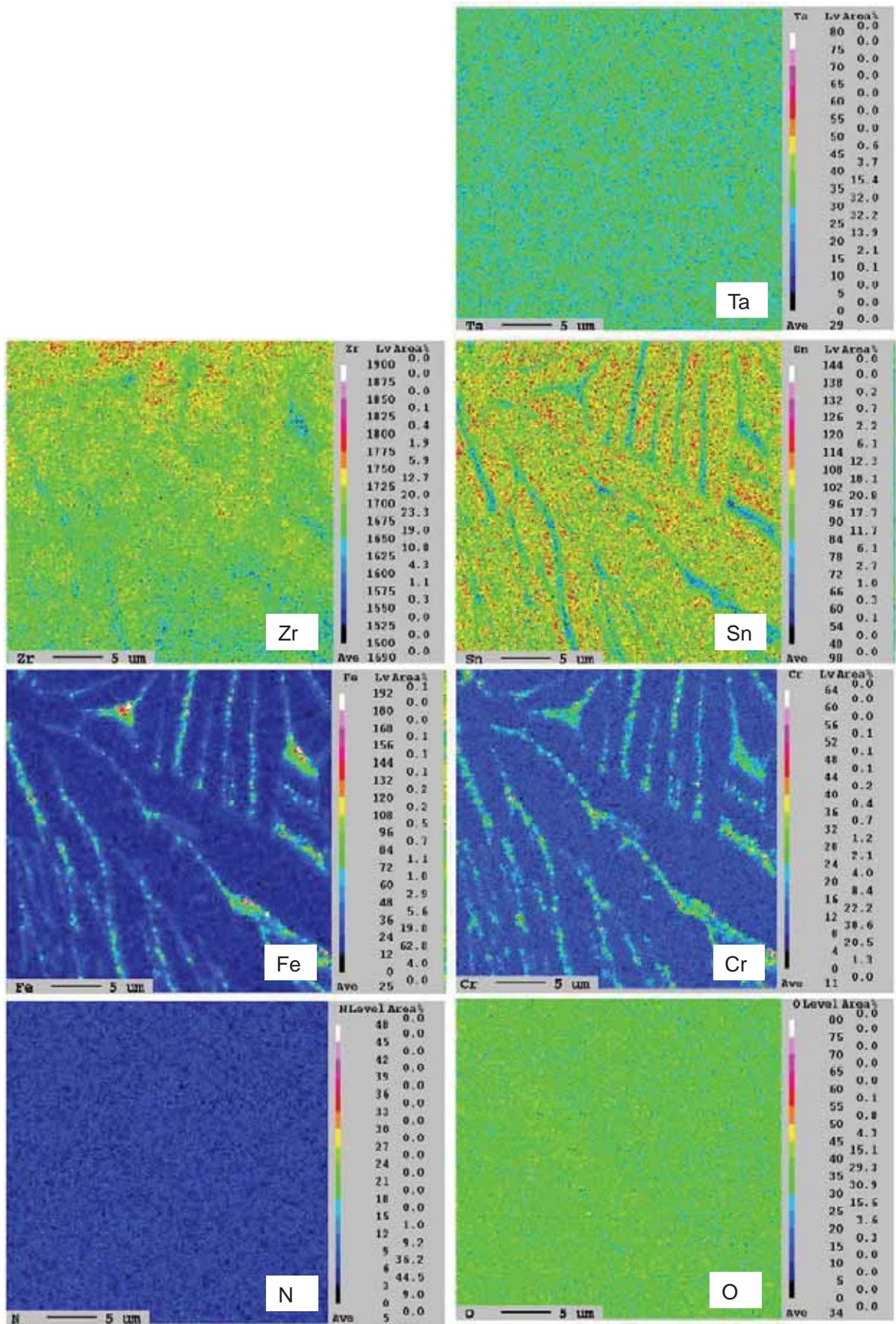
別紙5 - 図3 - 15 EPMA分析結果
 (手動溶接 D面 熱影響部(母材部側))



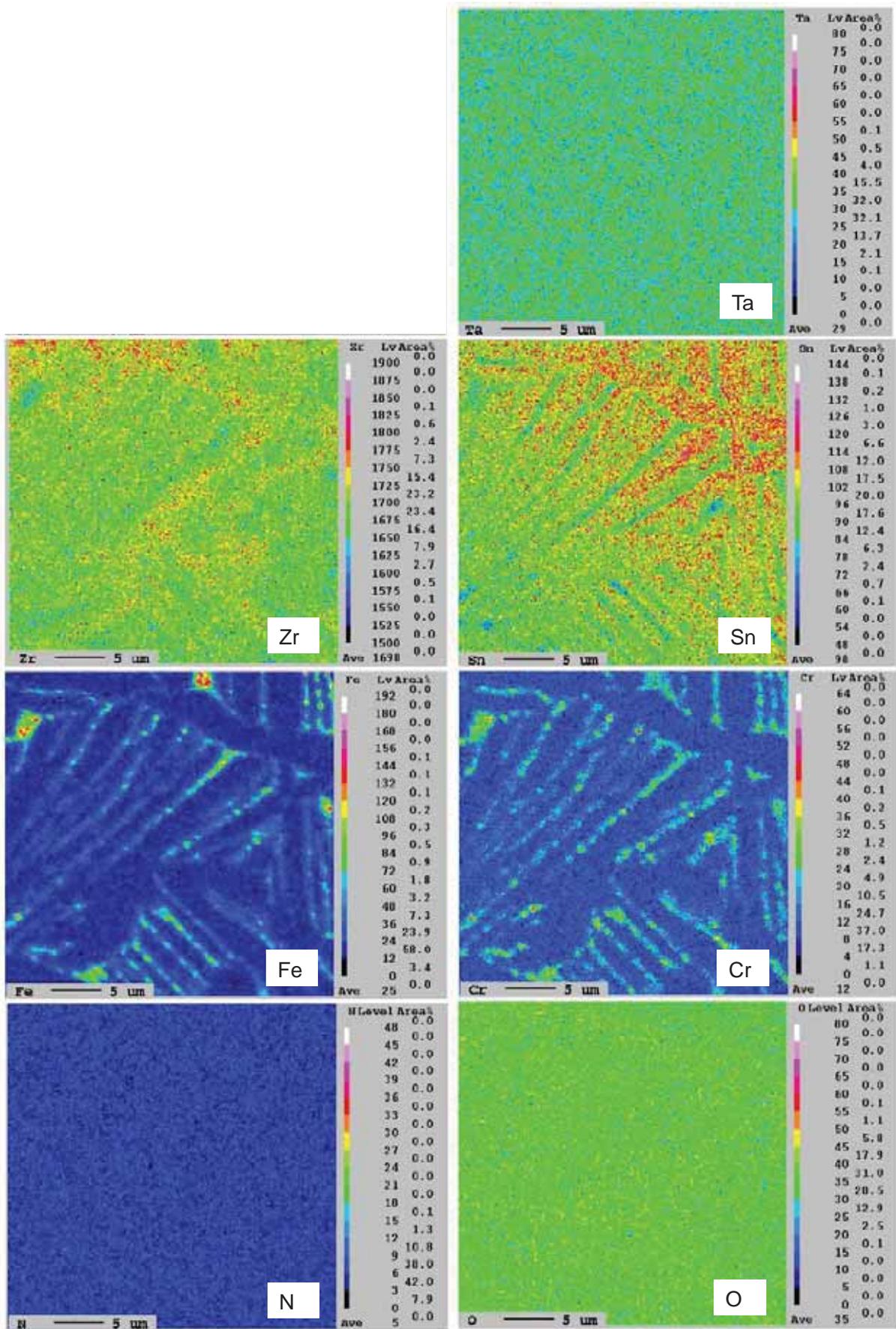
別紙 5 - 図 3 - 16 EPMA分析結果
(手動溶接 D面 母材部)



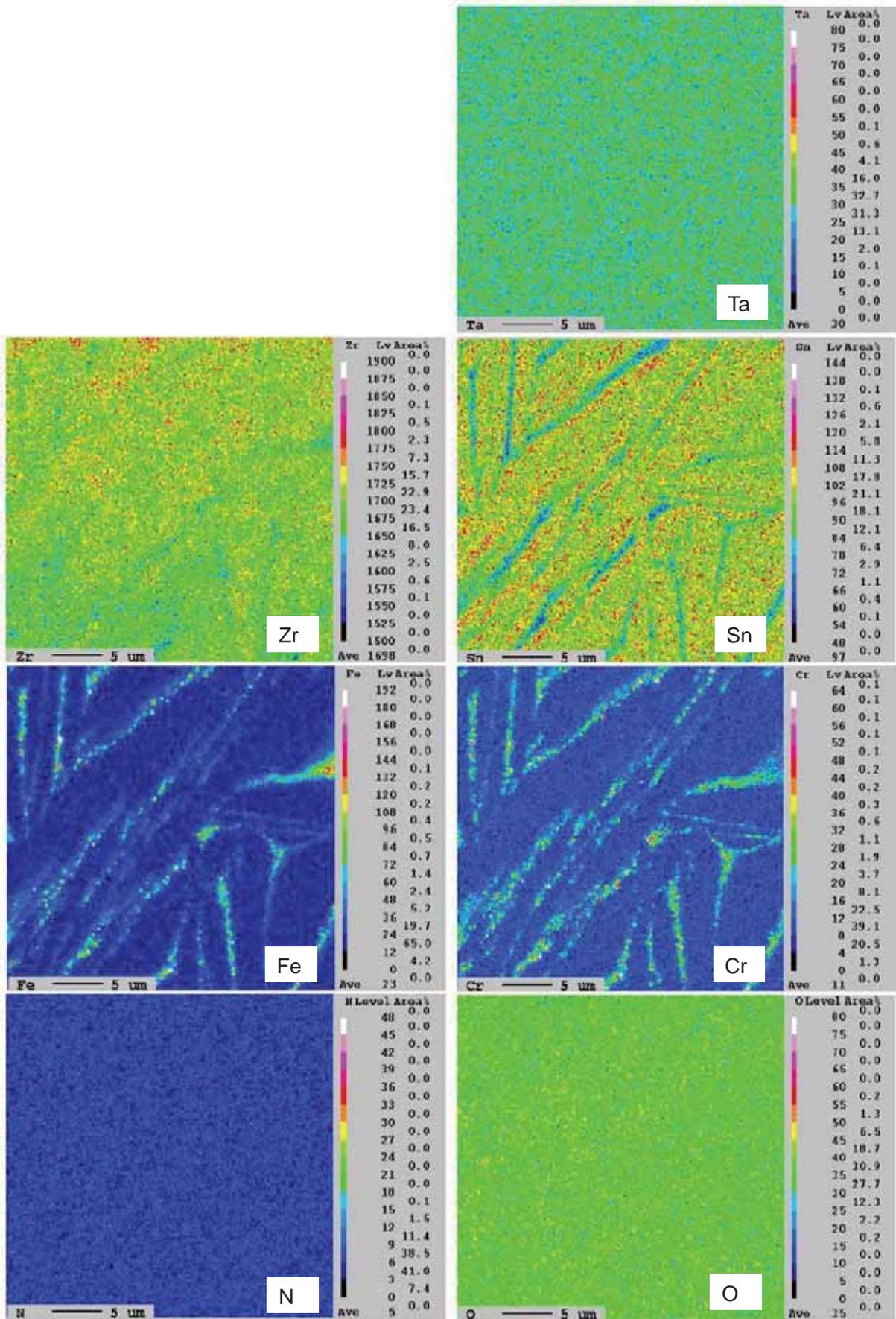
別紙 5 - 図 4 - 1 EPMA分析結果
 (周溶接部 薄板側熱影響部 (母材部側))



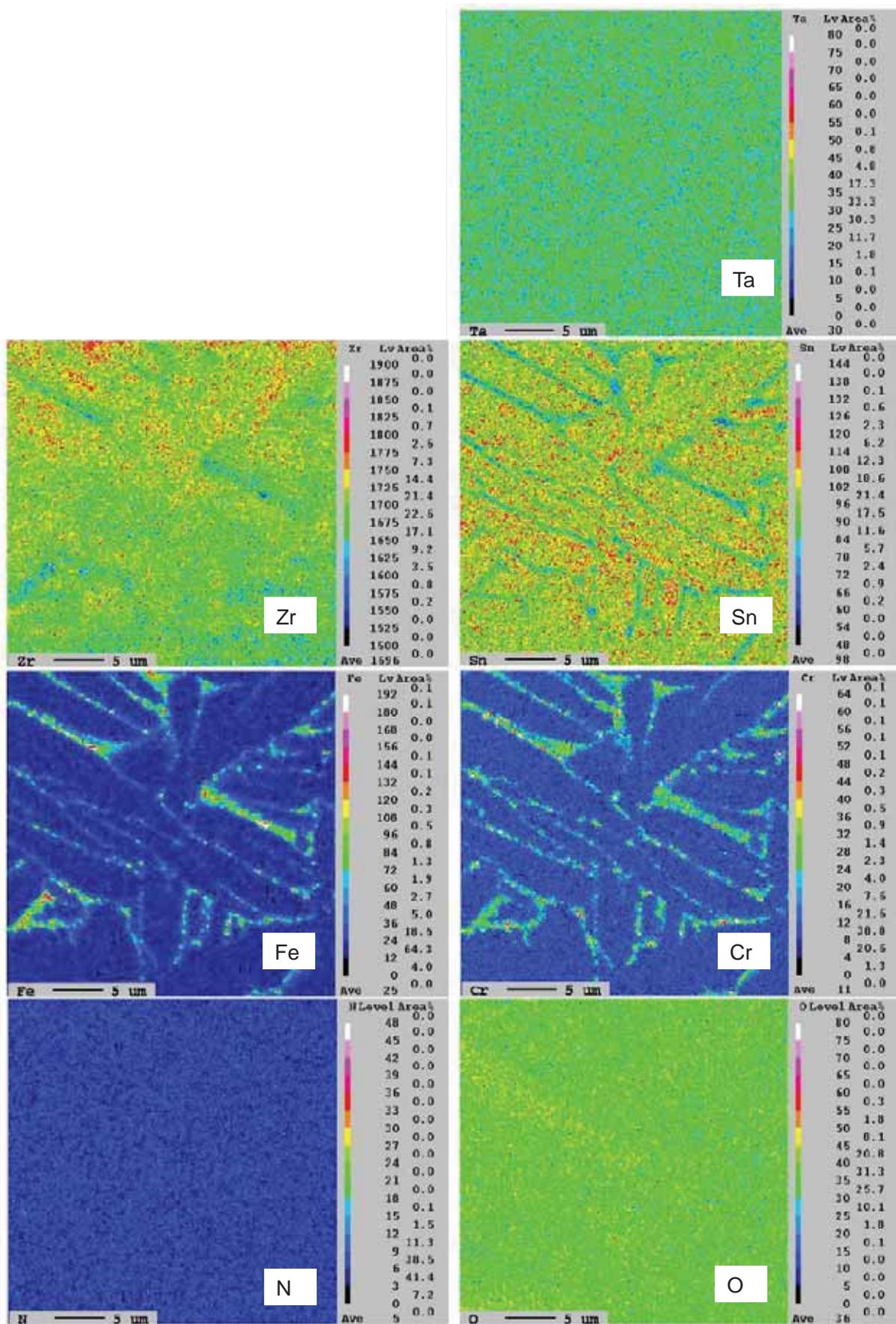
別紙 5 - 図 4 - 2 EPMA分析結果
 (周溶接部 薄板側熱影響部 (溶着部側))



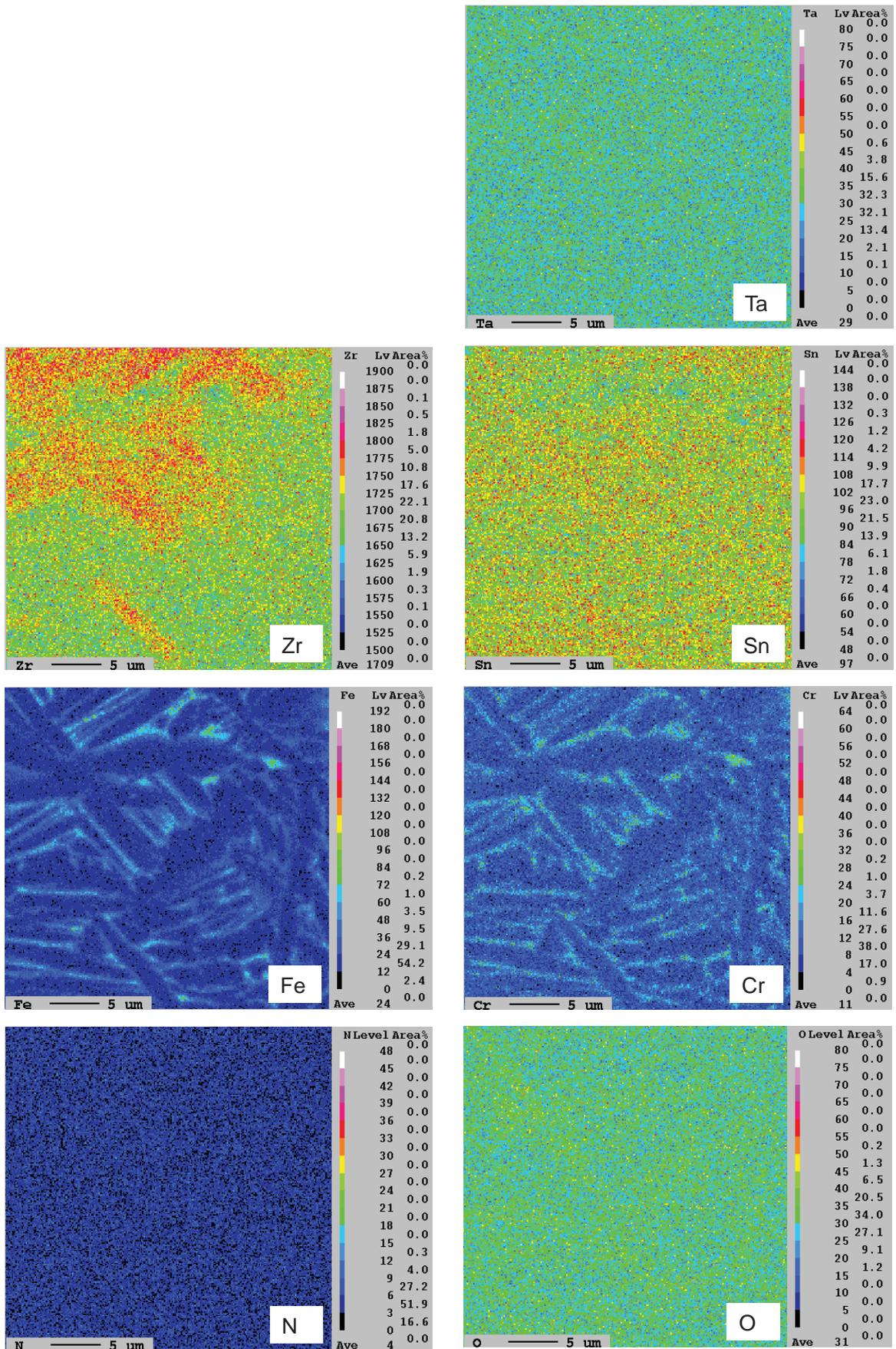
別紙 5 - 図 4 - 3 E P M A 分析結果
(周溶接部 溶着部)



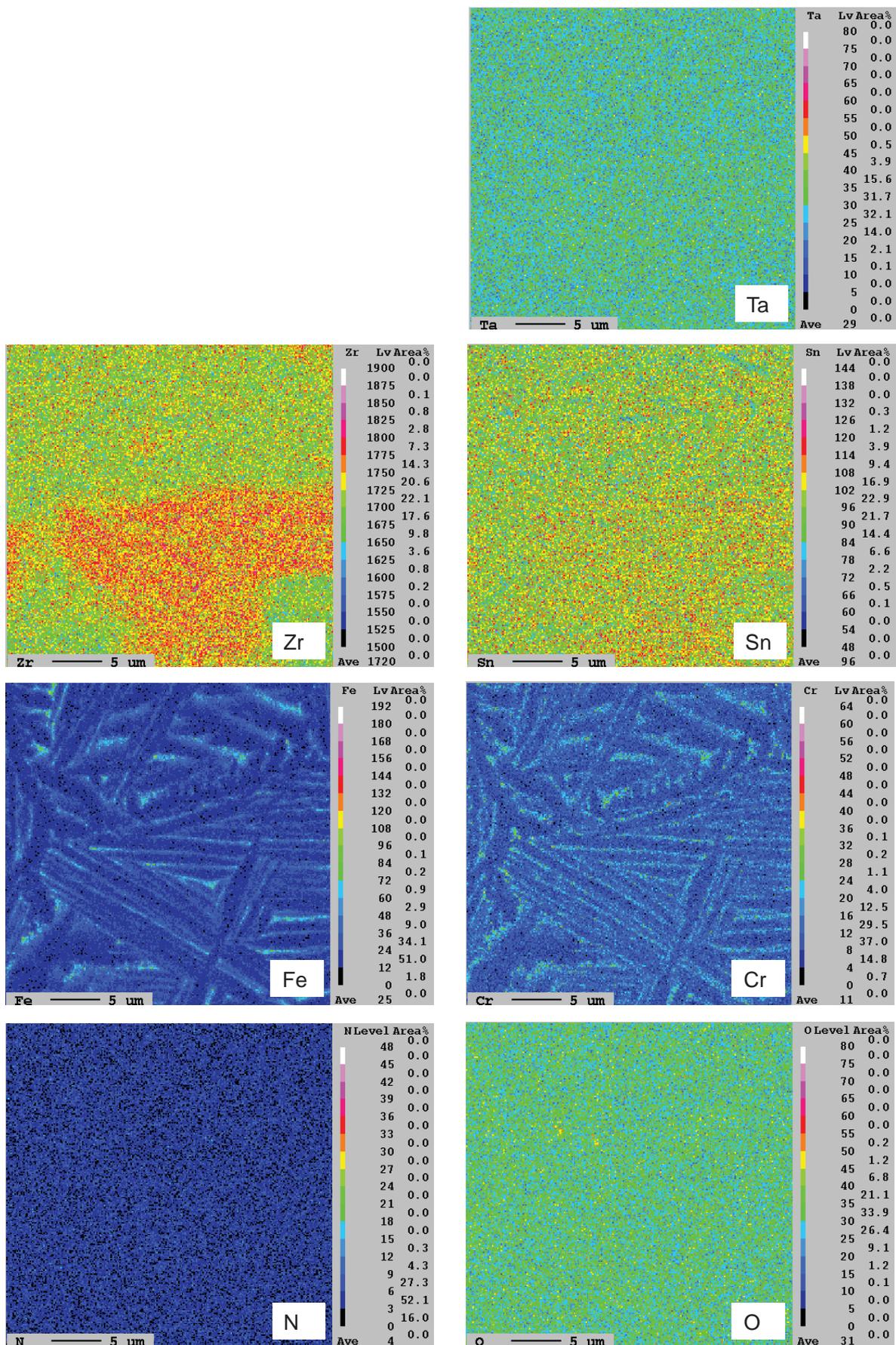
別紙 5 - 図 4 - 4 EPMA分析結果
 (周溶接部 厚板側熱影響部 (溶着部側))



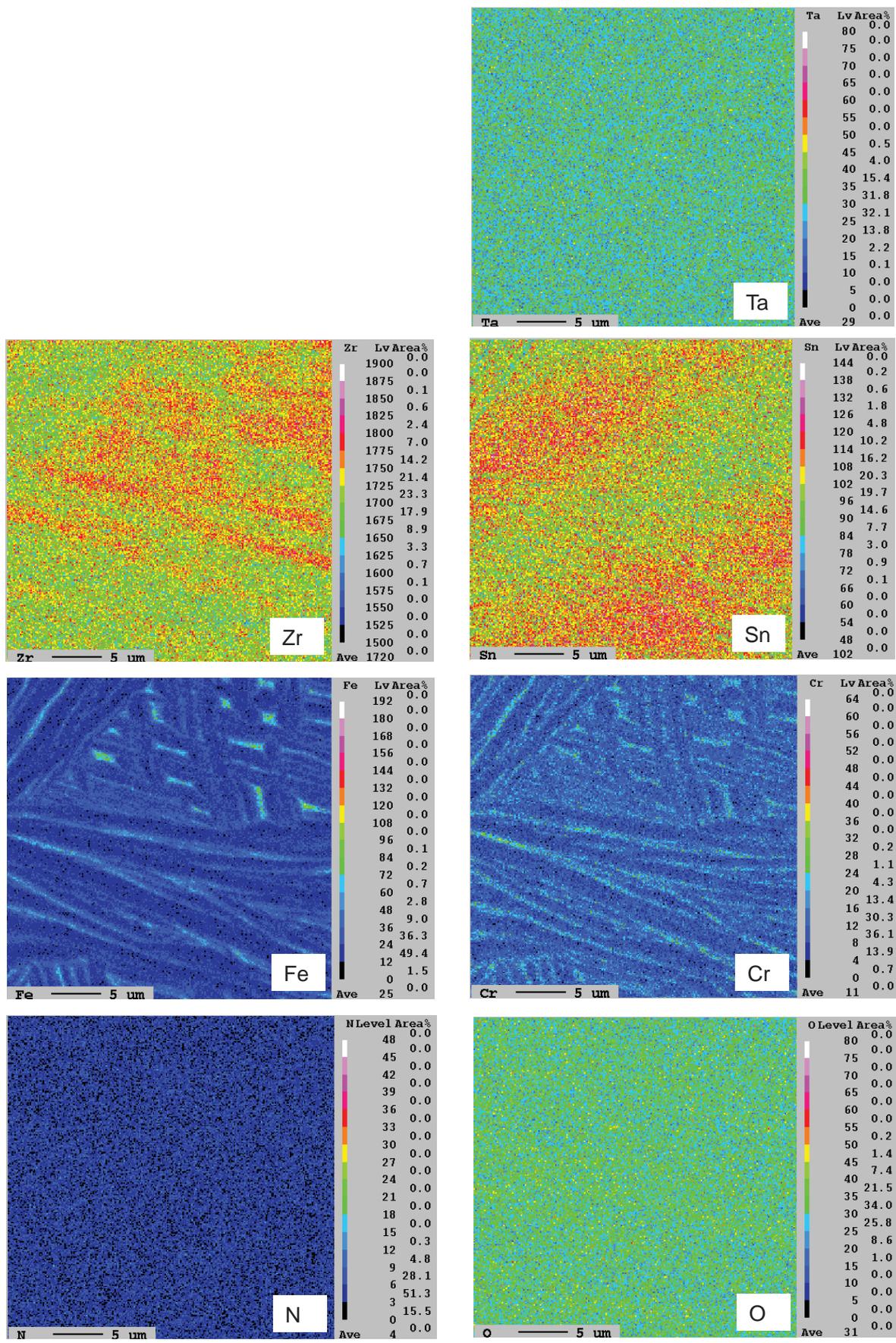
別紙 5 - 図 4 - 5 EPMA分析結果
 (周溶接部 厚板側熱影響部 (母材部側))



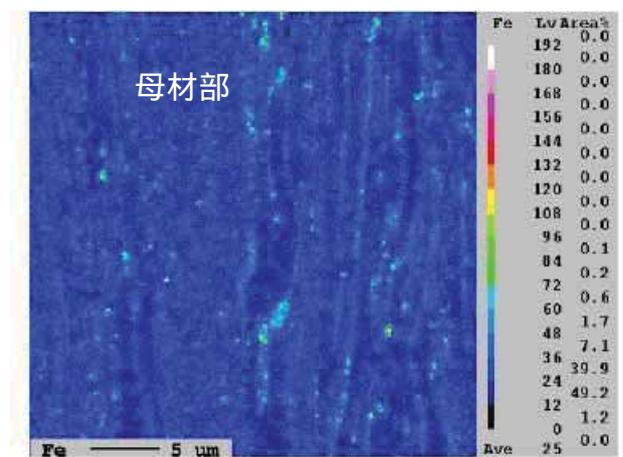
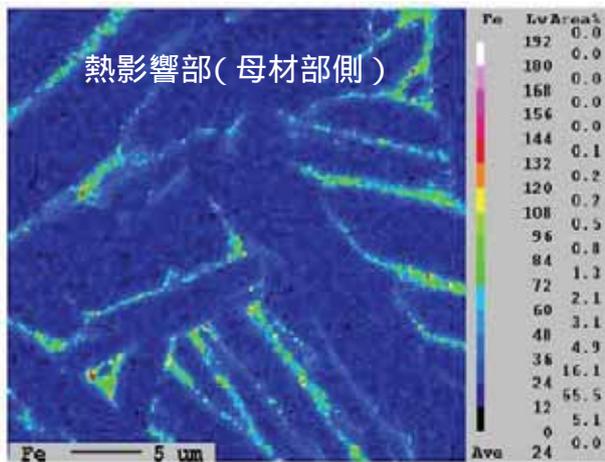
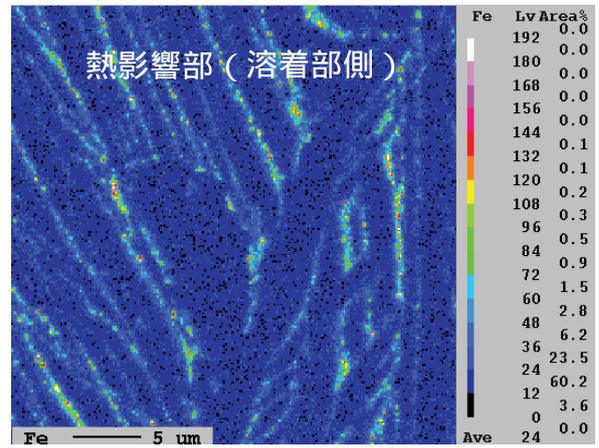
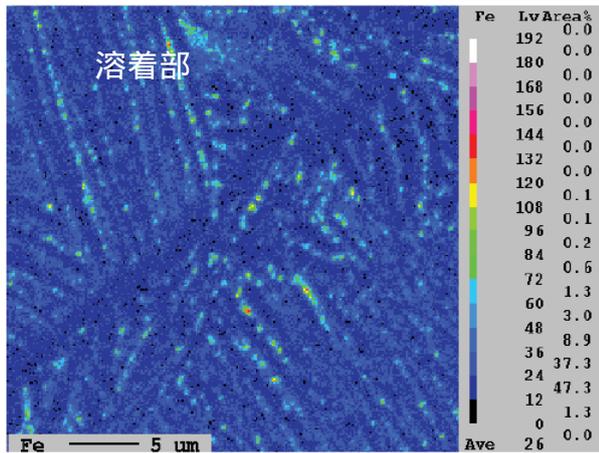
別紙5 - 図4 - 6 EPMA分析結果
 (長手溶接部 熱影響部 (母材部側))



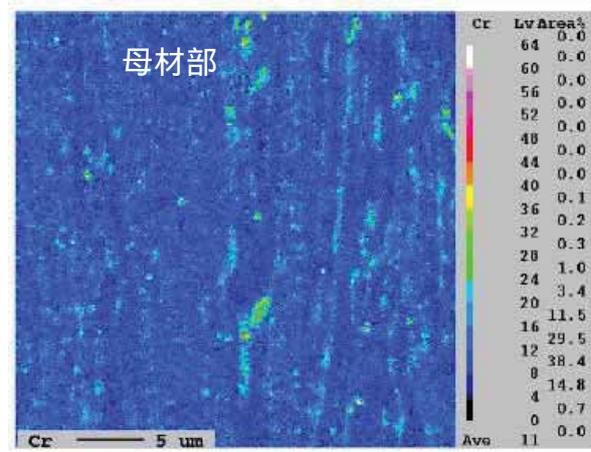
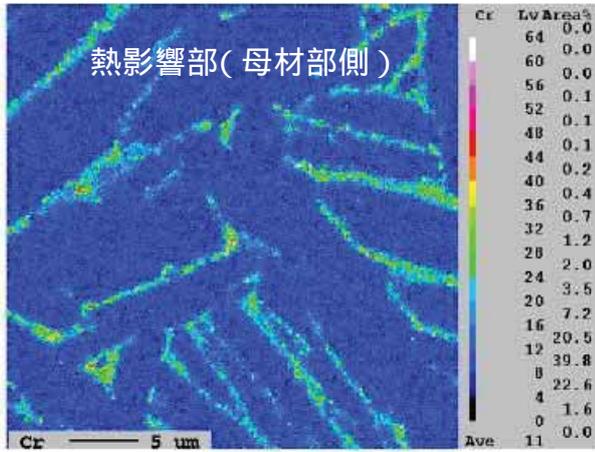
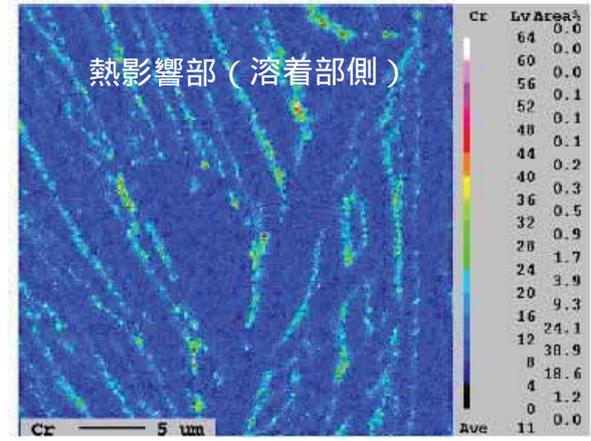
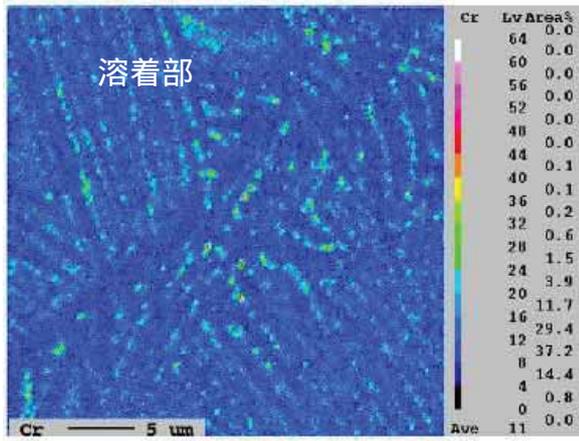
別紙 5 - 図 4 - 7 EPMA分析結果
 (長手溶接部 熱影響部 (溶着部側))



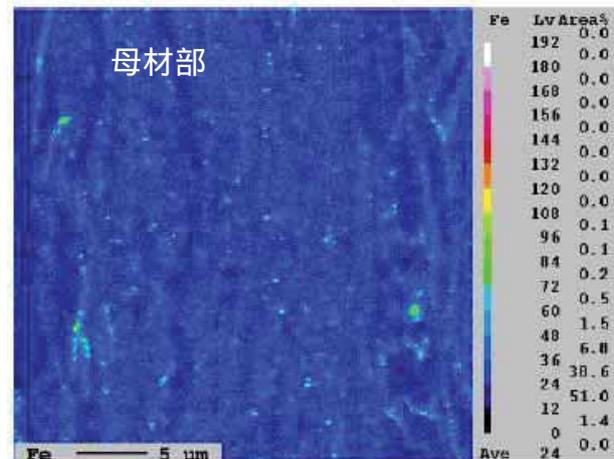
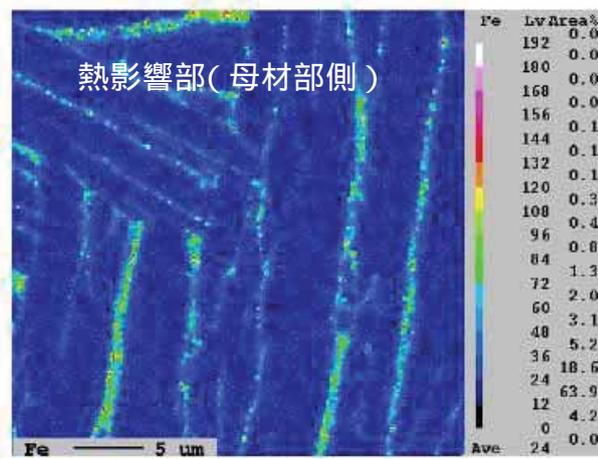
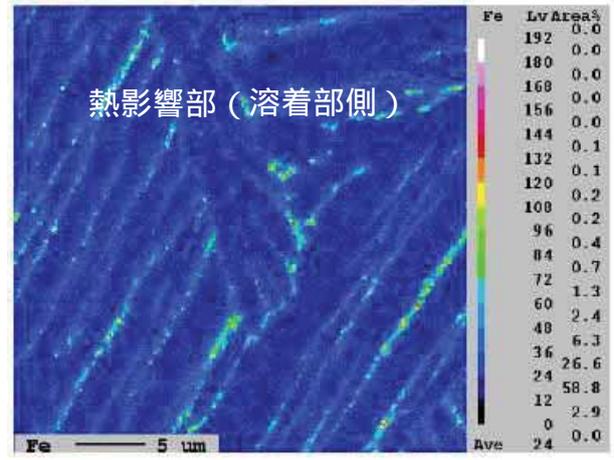
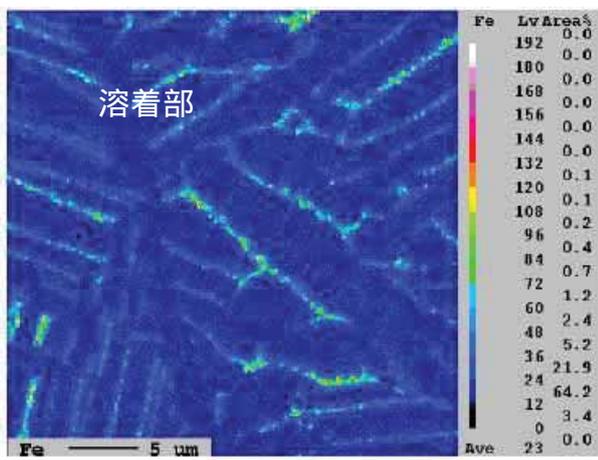
別紙 5 - 図 4 - 8 E P M A 分析結果
 (長手溶接部 溶着部)



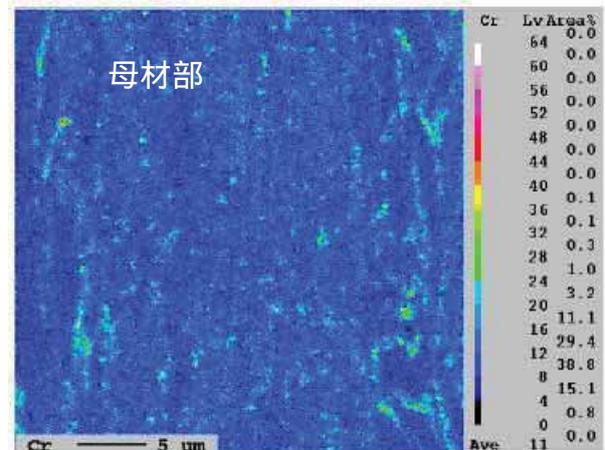
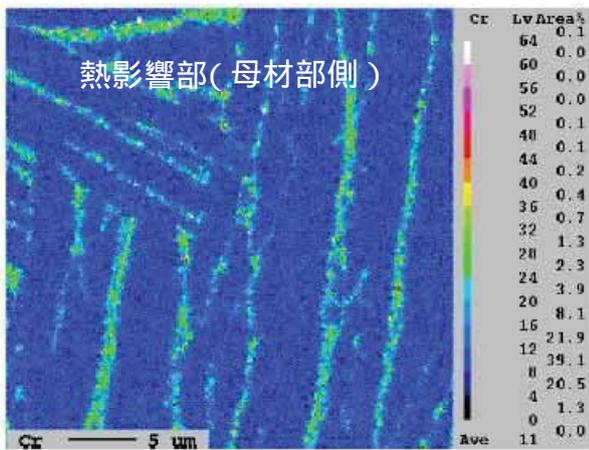
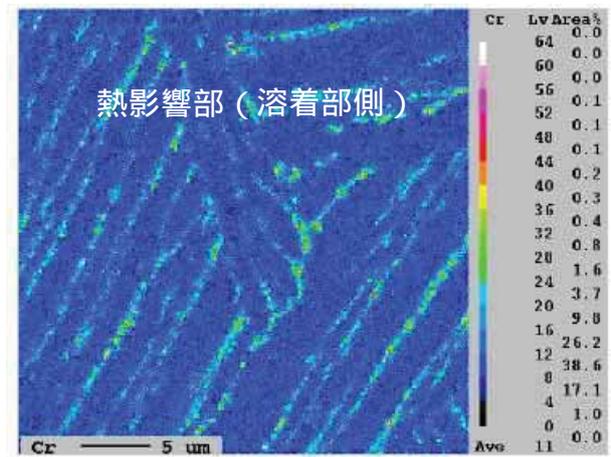
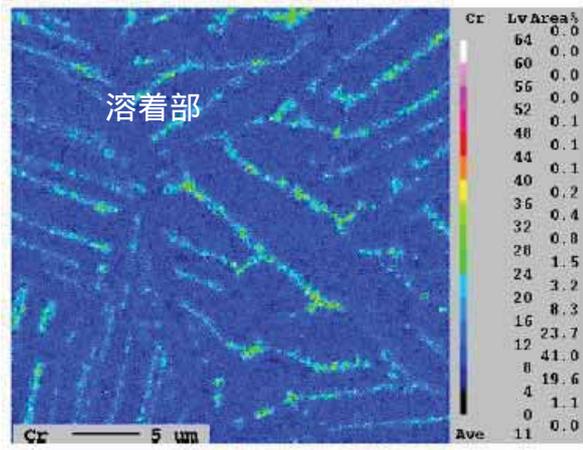
別紙 5 - 図 5 - 1 各測定点における Fe の EPMA 分析結果
(自動溶接 C 面)



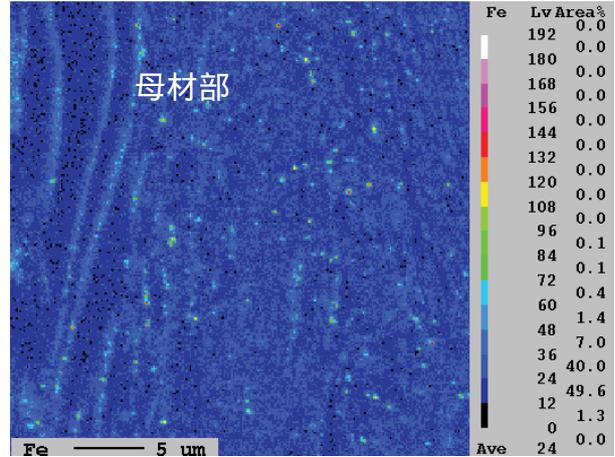
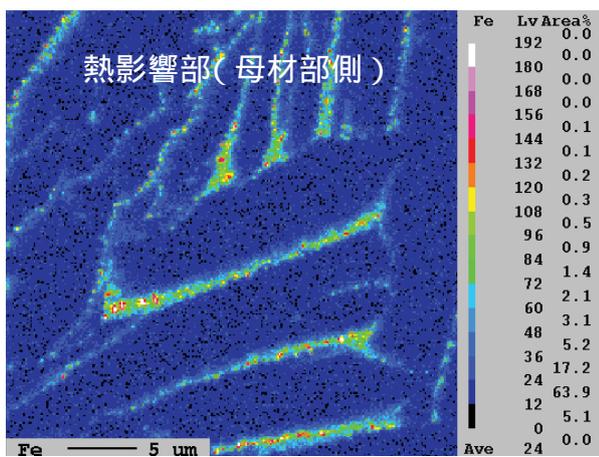
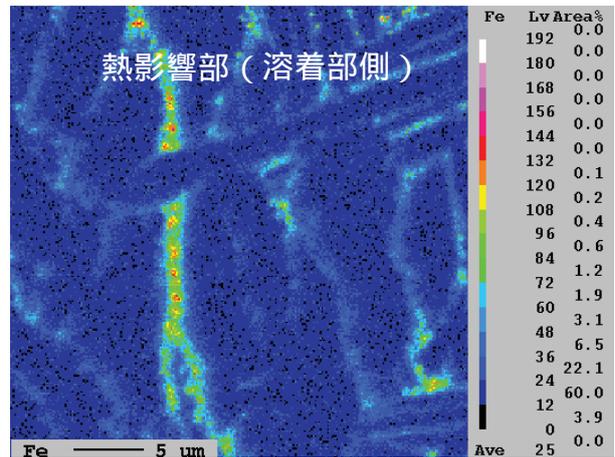
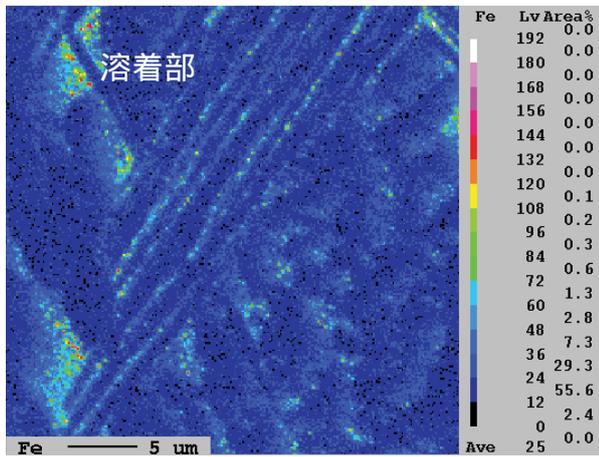
別紙5 - 図5 - 2 各測定点におけるCrのEPMA分析結果
(自動溶接 C面)



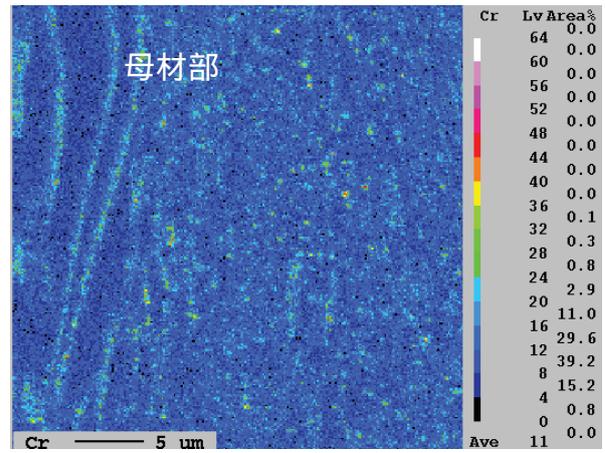
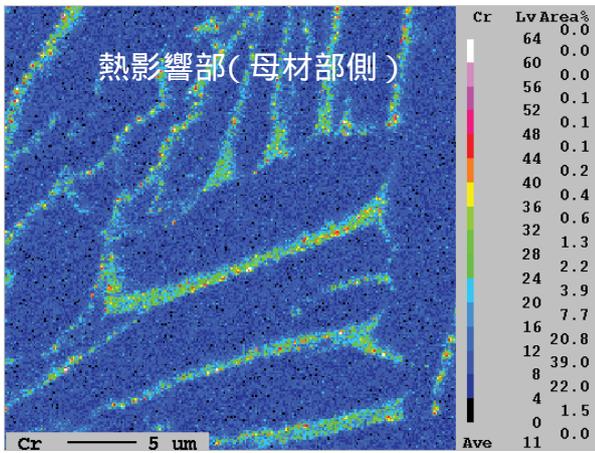
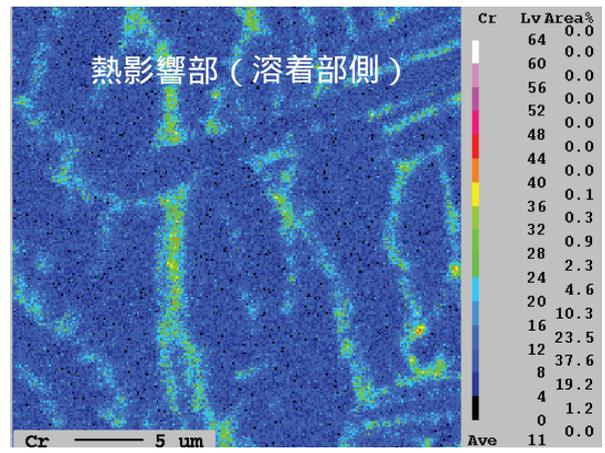
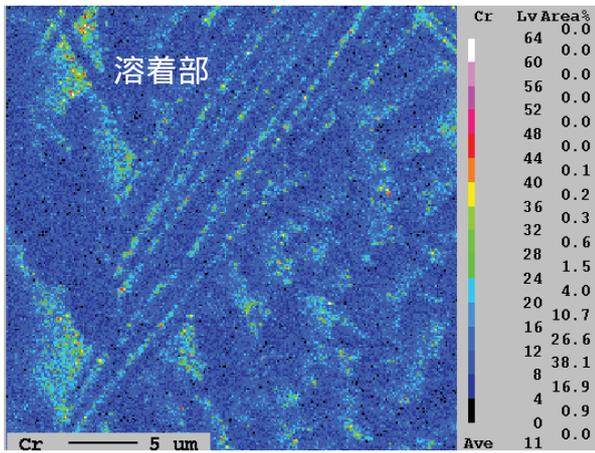
別紙 5 - 図 5 - 3 各測定点における Fe の EPMA 分析結果
(自動溶接 D 面)



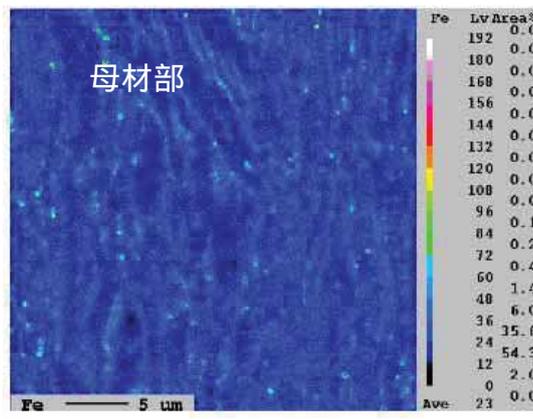
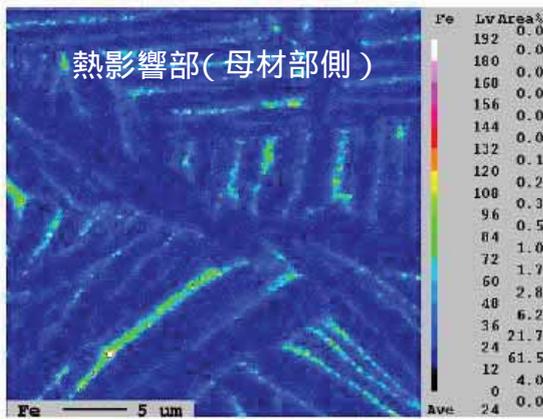
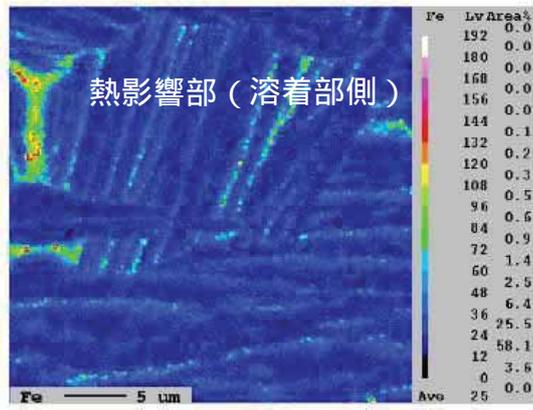
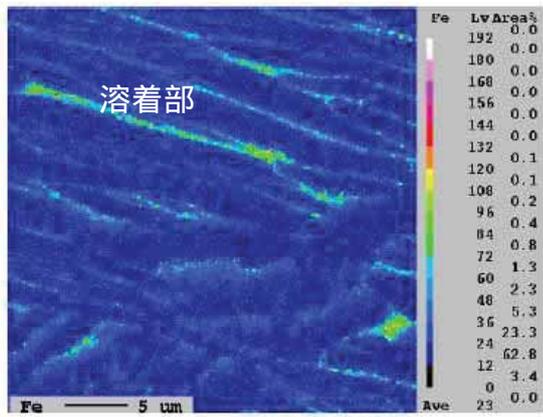
別紙 5 - 図 5 - 4 各測定点における Cr の EPMA 分析結果
(自動溶接 D 面)



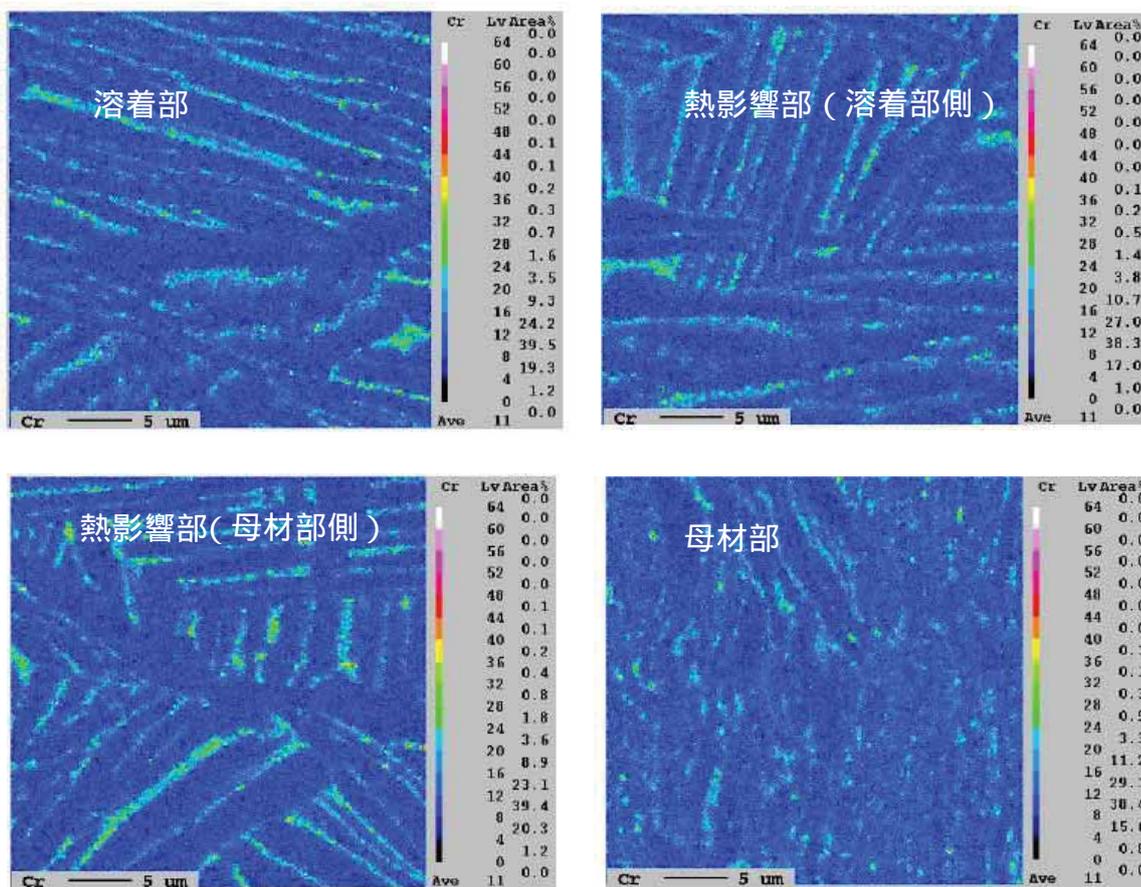
別紙 5 - 図 5 - 5 各測定点における Fe の EPMA 分析結果
(手動溶接 C 面)



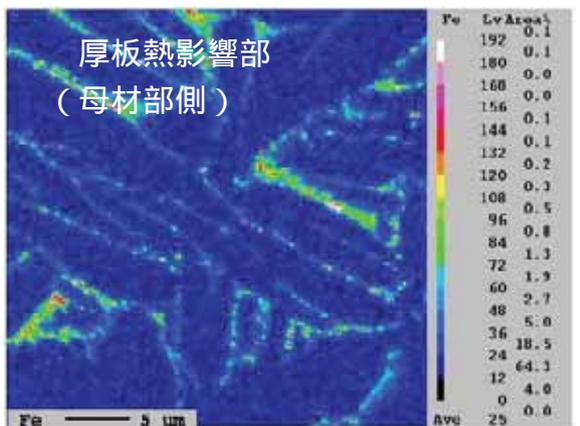
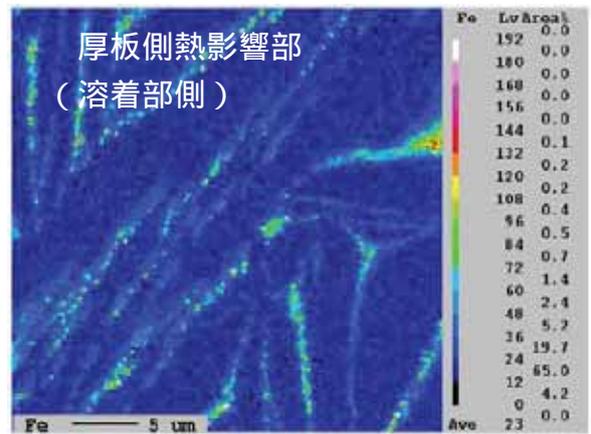
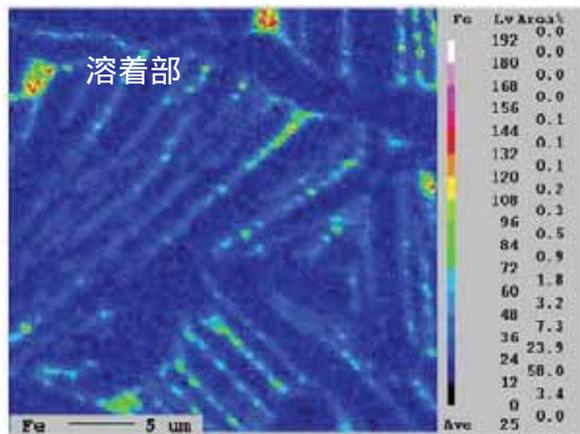
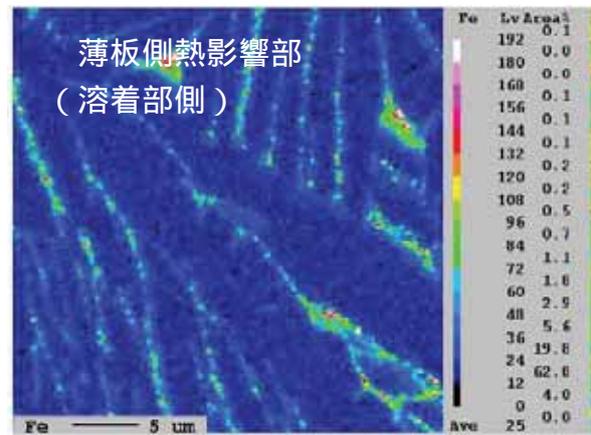
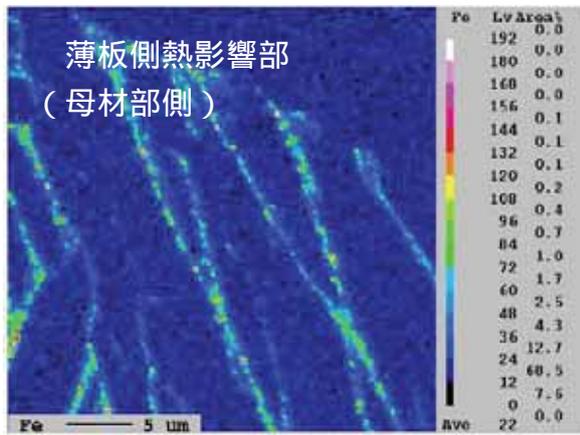
別紙 5 - 図 5 - 6 各測定点におけるCrのEPMA分析結果
(手動溶接 C面)



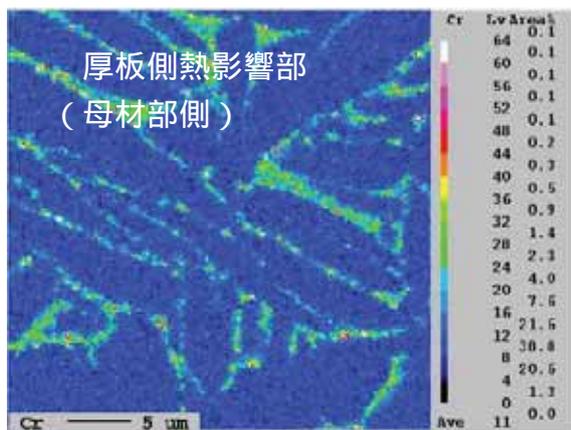
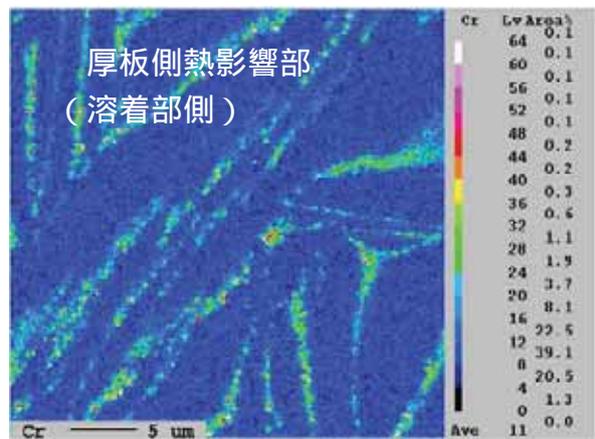
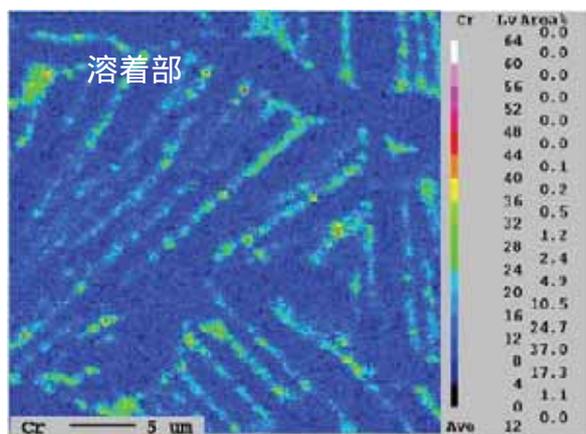
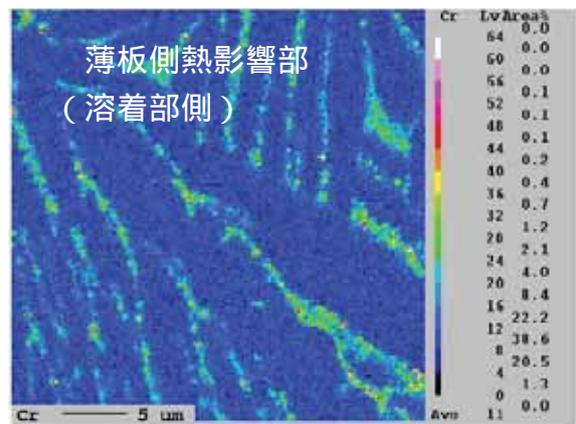
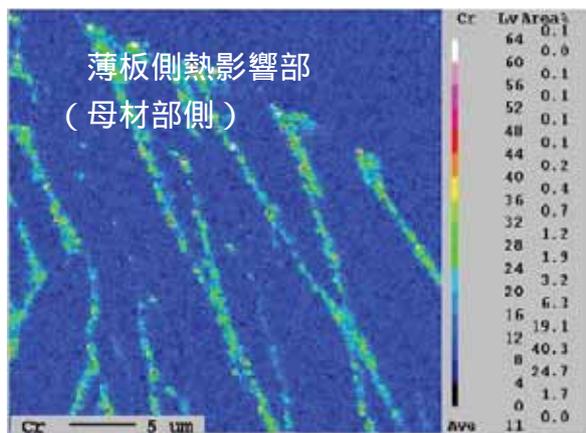
別紙 5 - 図 5 - 7 各測定点における Fe の EPMA 分析結果
(手動溶接 D 面)



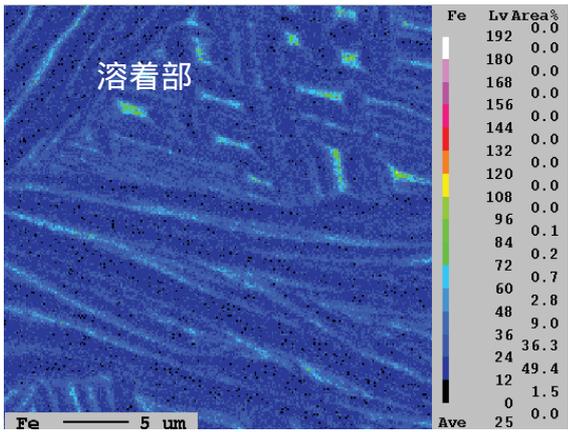
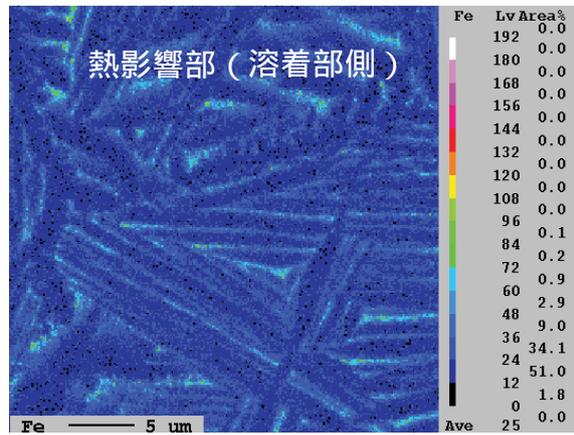
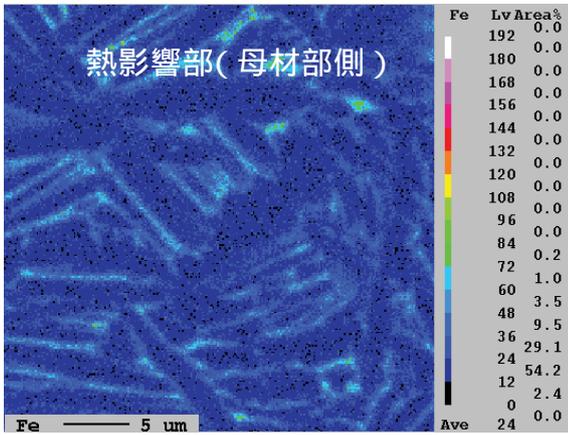
別紙 5 - 図 5 - 8 各測定点における Cr の EPMA 分析結果
(手動溶接 D面)



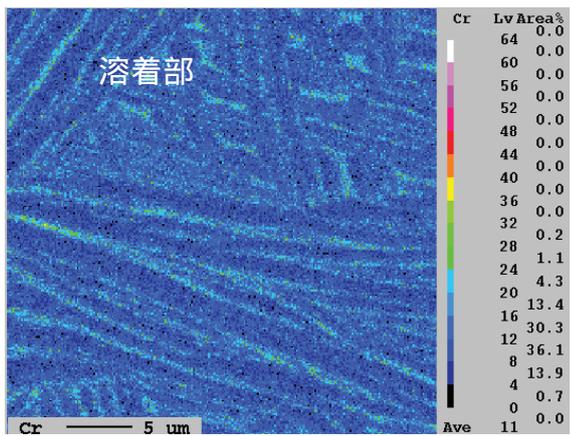
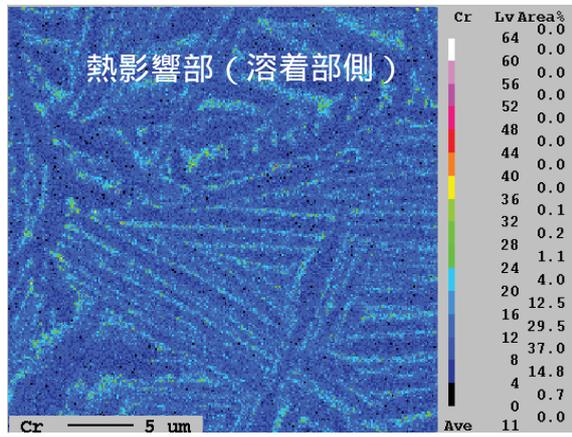
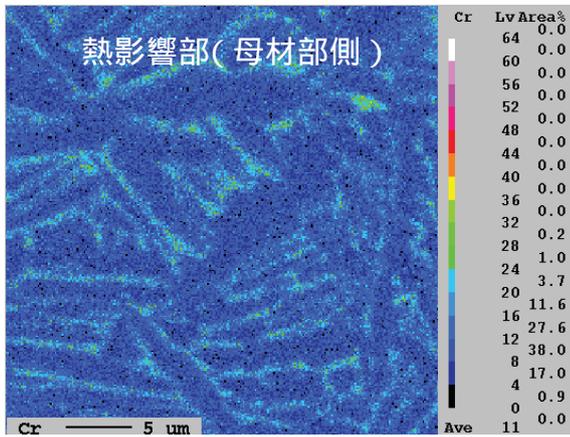
別紙 5 - 図 5 - 9 各測定点における Fe の EPMA 分析結果
(周溶接部)



別紙 5 - 図 5 - 1 0 各測定点におけるCrのEPMA分析結果
(周溶接部)



別紙 5 - 図 5 - 1 1 各測定点における F e の E P M A 分析結果
(長手溶接部)



別紙 5 - 図 5 - 1 2 各測定点における Cr の EPMA 分析結果
(長手溶接部)

別紙 6 腐食試験

C / B の腐食再現性の確認および溶接パラメータが腐食に及ぼす影響を定性的に評価することを目的に腐食試験を実施した。

1 . 試験対象

下記の C / B 試験片を対象に腐食試験を実施した。

自動溶接試験片 (1 本目) および自動溶接試験片 (5 本目)

手動溶接試験片

溶接条件影響評価試験片 (自動溶接にて製作)

溶接条件影響評価試験片	溶接条件
シールドガス流量影響評価試験片 (シールドガス流量 : 0 L / m i n)	シールドガス流量を 0 L / m i n
シールドガス流量影響評価試験片 (シールドガス流量 : 規定値の 2 5 倍)	シールドガス流量を 規定値の 2 5 倍
アフターシールドガス流量 影響評価試験片	アフターシールドガス流量を 規定値の 1 / 3
パーシ時間影響評価試験片	A r パーシ時間を 1 分
空気混入影響評価試験片	アフターシールドガスに 1 L / m i n にて空気を混入
湿度影響評価試験片	チャンバ内に 水分を含ませたガーゼを配置
溶接面影響評価試験片	C 面より溶接開始
入熱影響評価試験片	溶接開始時溶接トーチ保持時間を 9 9 秒
電流値影響評価試験片	電流値を 規定値の約 1 . 5 倍

2 . 試験条件

腐食試験の試験条件を別紙 6 - 表 1 に示す。

別紙 6 - 表 1 腐食試験条件 (1 / 2)

試験片	腐食試験の分類	試験温度・試験時間	
自動溶接試験片 (1 本目)	バッチ式腐食試験	5 0 0 ・ 2 4 時間	
自動溶接試験片 (5 本目)			
自動溶接試験片 (1 本目)			
試験片	腐食試験の分類	試験温度・試験時間	
手動溶接試験片	バッチ式腐食試験	5 0 0 ・ 2 4 時間	
試験片	腐食試験の分類	試験温度・試験時間	
溶接条件影響評価試験片	バッチ式腐食試験	5 0 0 ・ 2 4 時間	
			シールドガス流量影響評価試験片 (シールドガス流量 : 0 L / m i n)
			シールドガス流量影響評価試験片 (シールドガス流量 : 規定値の 2 5 倍)
			アフターシールドガス流量影響評価試験片
			パージ時間影響評価試験片
			空気混入影響評価試験片
			湿度影響評価試験片
			溶接面影響評価試験片
			入熱影響評価試験片
			電流値影響評価試験片

バッチ式腐食試験：酸素を添加していない水蒸気雰囲気内の試験容器内で行う試験

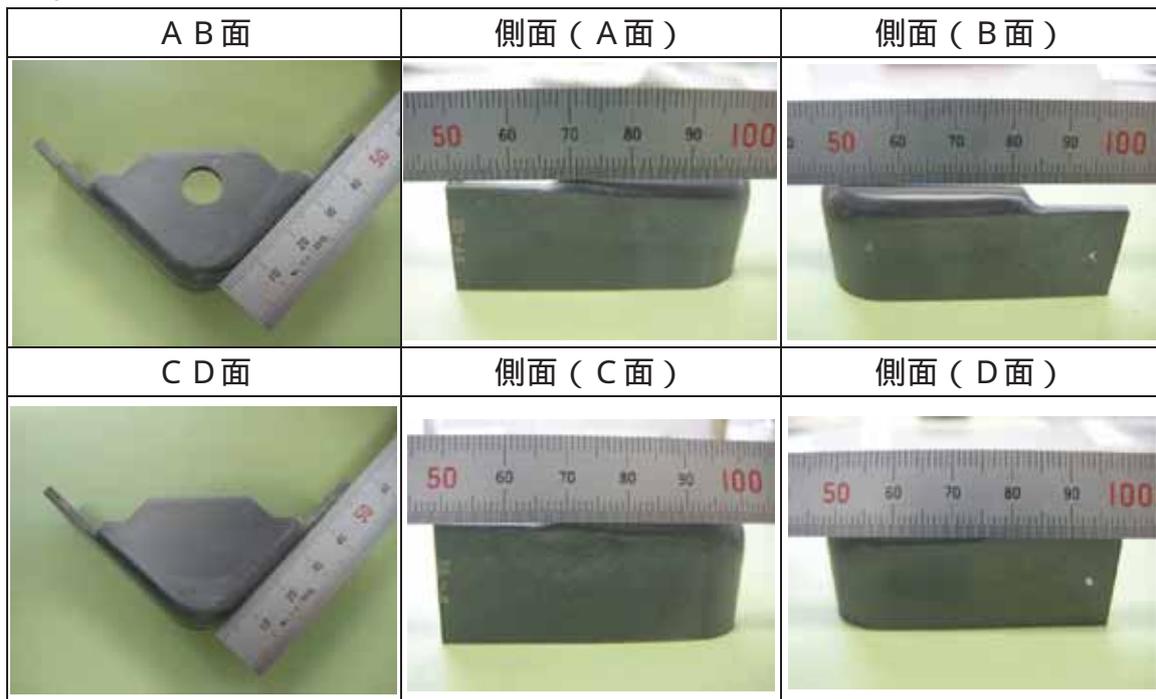
別紙 6 - 表 1 腐食試験条件 (2 / 2)

試験片		腐食試験の分類	試験温度・試験時間
溶接条件影響 評価試験片	入熱影響評価試験片	バッチ式腐食試験	5 0 0 ・ 7 2 時間
	電流値影響評価試験片		
	入熱影響評価試験片	5 2 5 ・ 7 2 時間	
	電流値影響評価試験片		
	入熱影響評価試験片	ループ式腐食試験	5 2 5 ・ 7 2 時間
	電流値影響評価試験片		

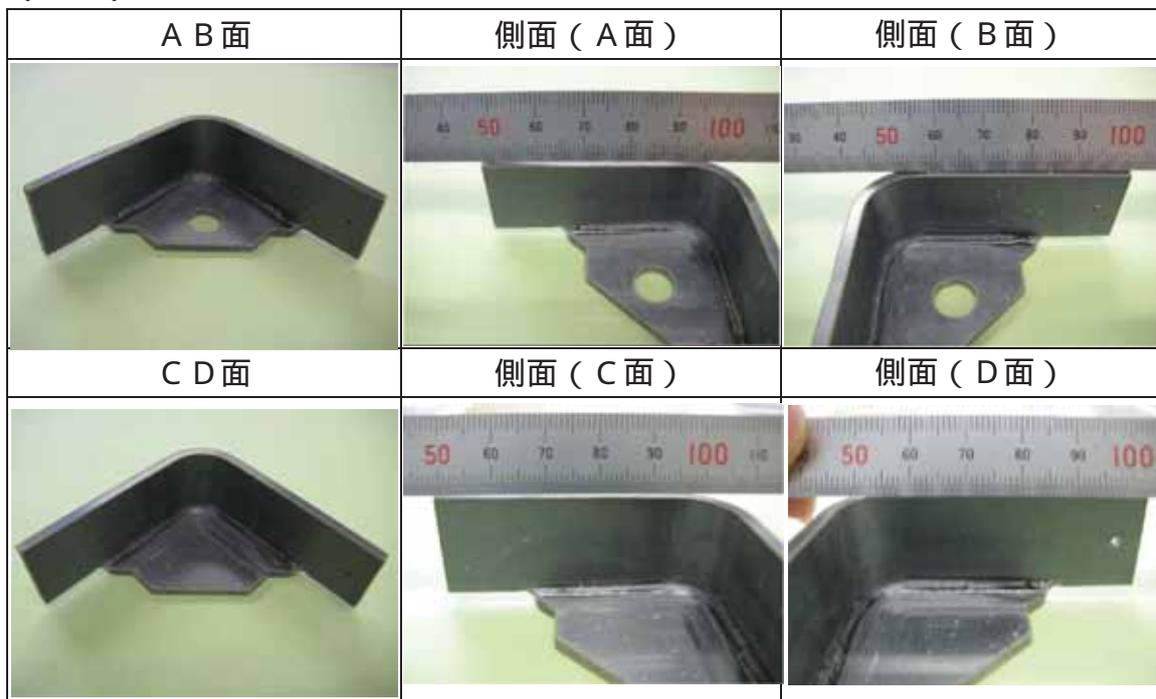
バッチ式腐食試験：酸素を添加していない水蒸気雰囲気中の試験容器内で行う試験

ループ式腐食試験：溶存酸素量を 1 0 p p m に調整した純水を水蒸気化し，試験容器内を循環させて行う試験

3. 試験結果
(表面)

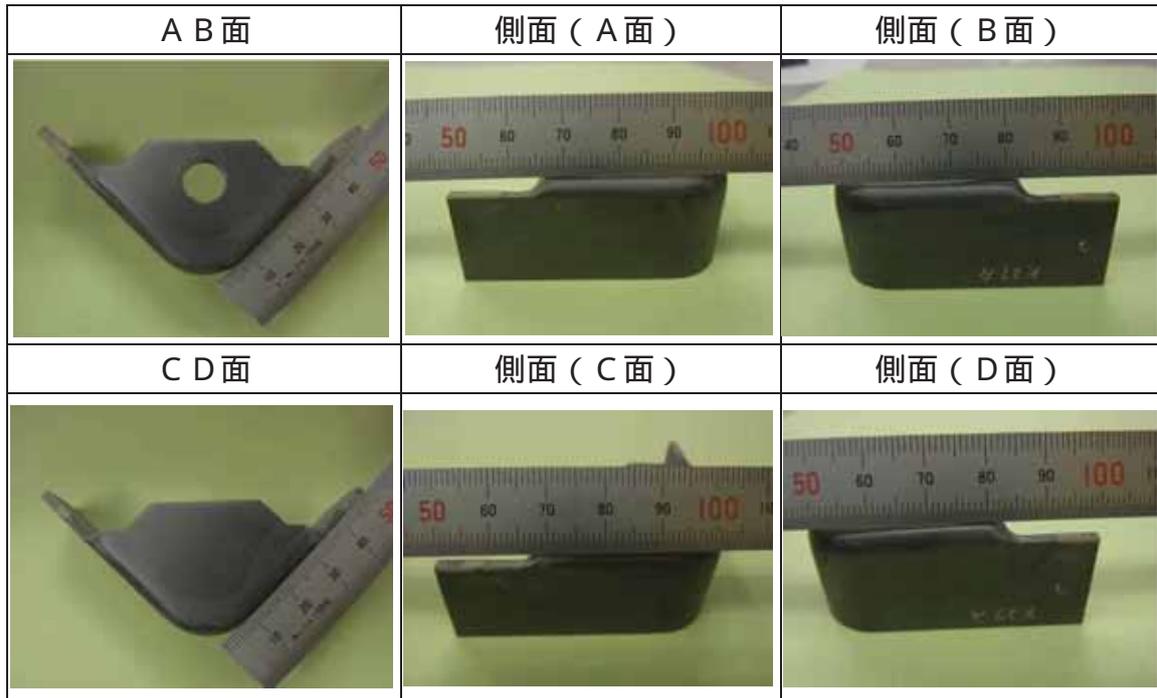


(裏面)

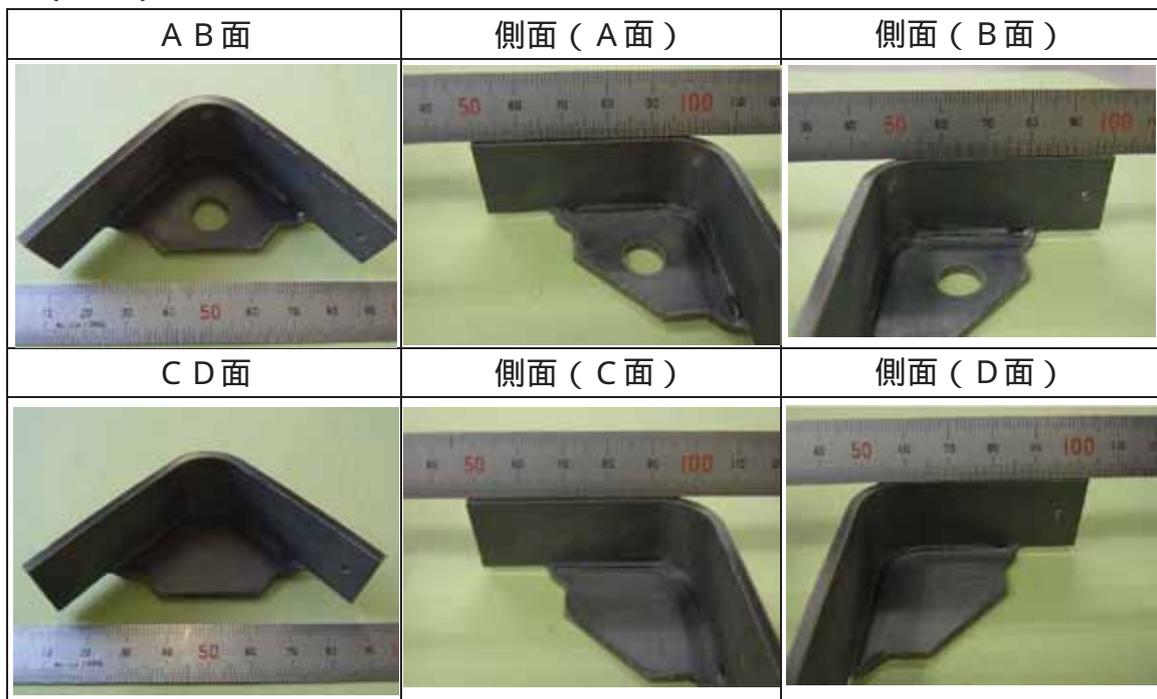


別紙 6 - 図 1 腐食試験結果
(自動溶接試験片 (1 本目))
(バッチ式 , 5 0 0 水蒸気 , 2 4 時間)

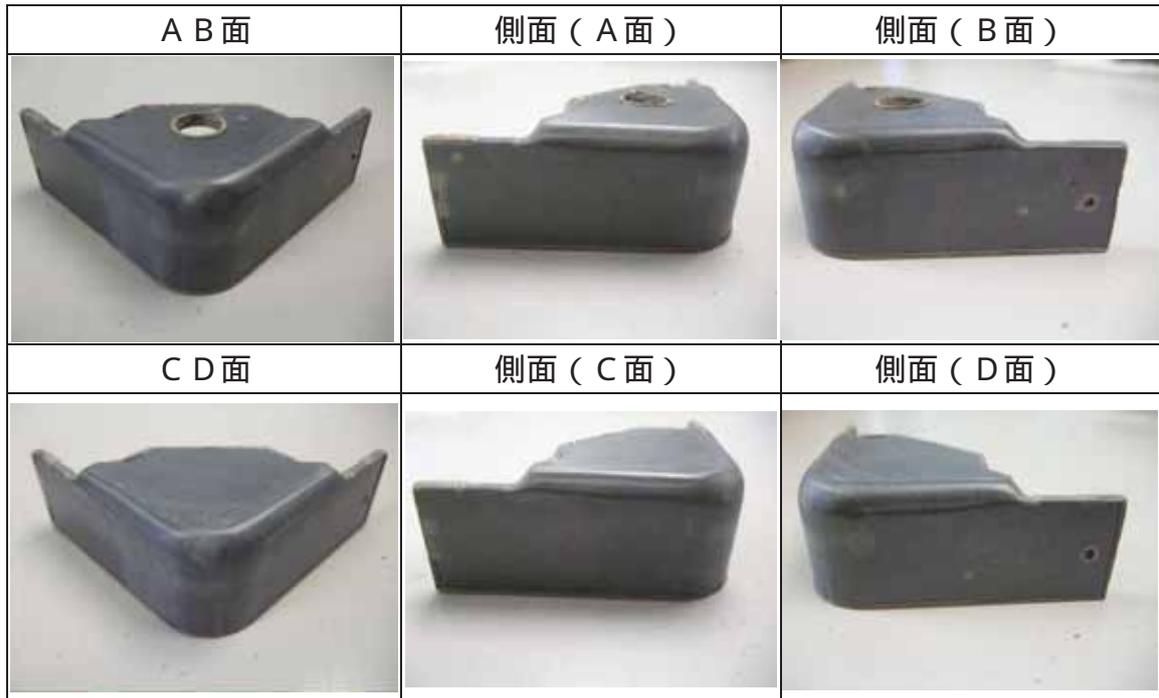
(表面)



(裏面)

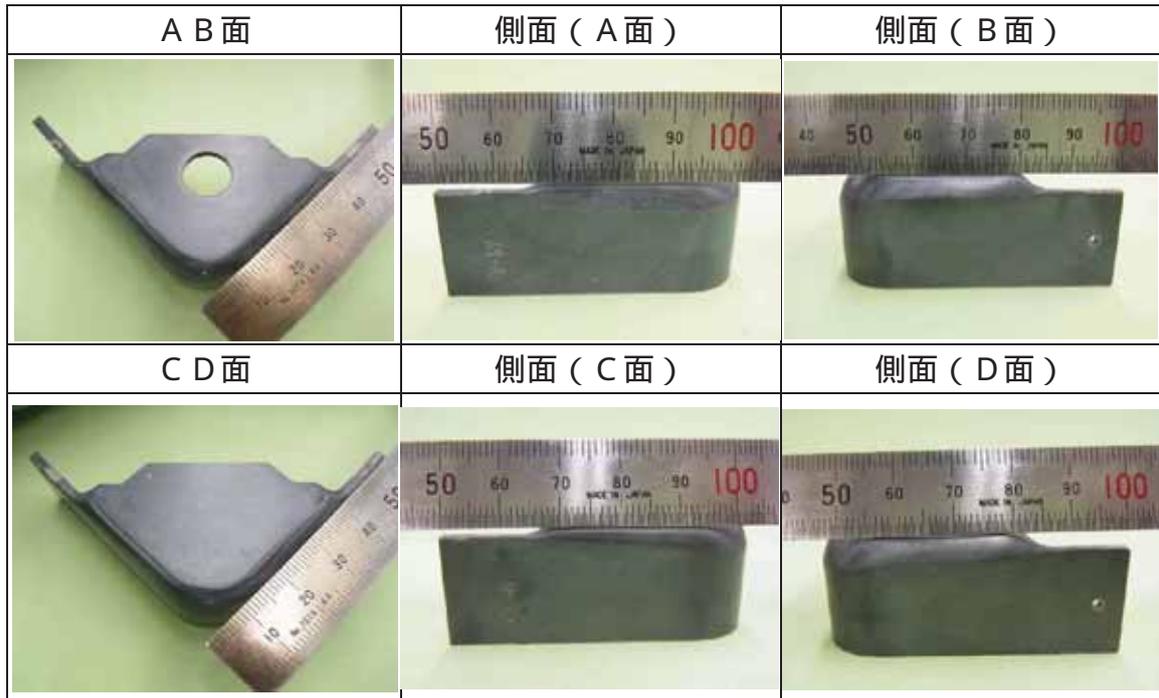


別紙 6 - 図 2 腐食試験結果
(自動溶接試験片 (5 本目))
(バッチ式 , 5 0 0 水蒸気 , 2 4 時間)

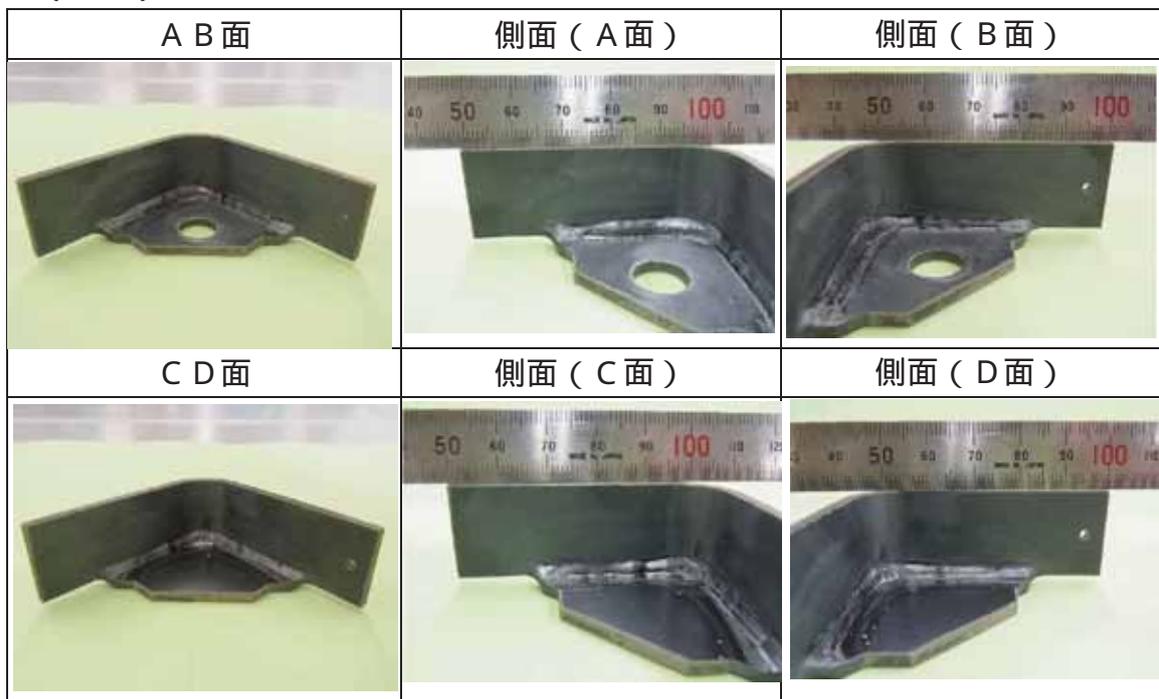


別紙 6 - 図 3 腐食試験結果
(自動溶接試験片 (1 本目))
(バッチ式 , 5 0 0 水蒸気 , 7 2 時間)

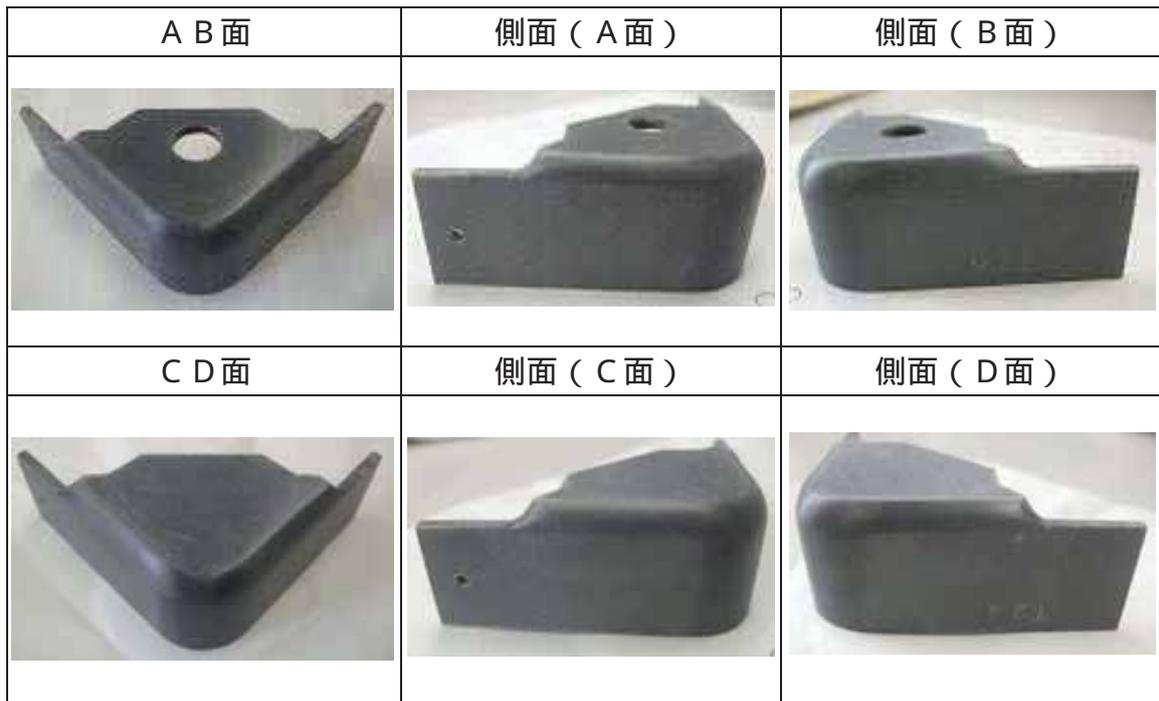
(表面)



(裏面)



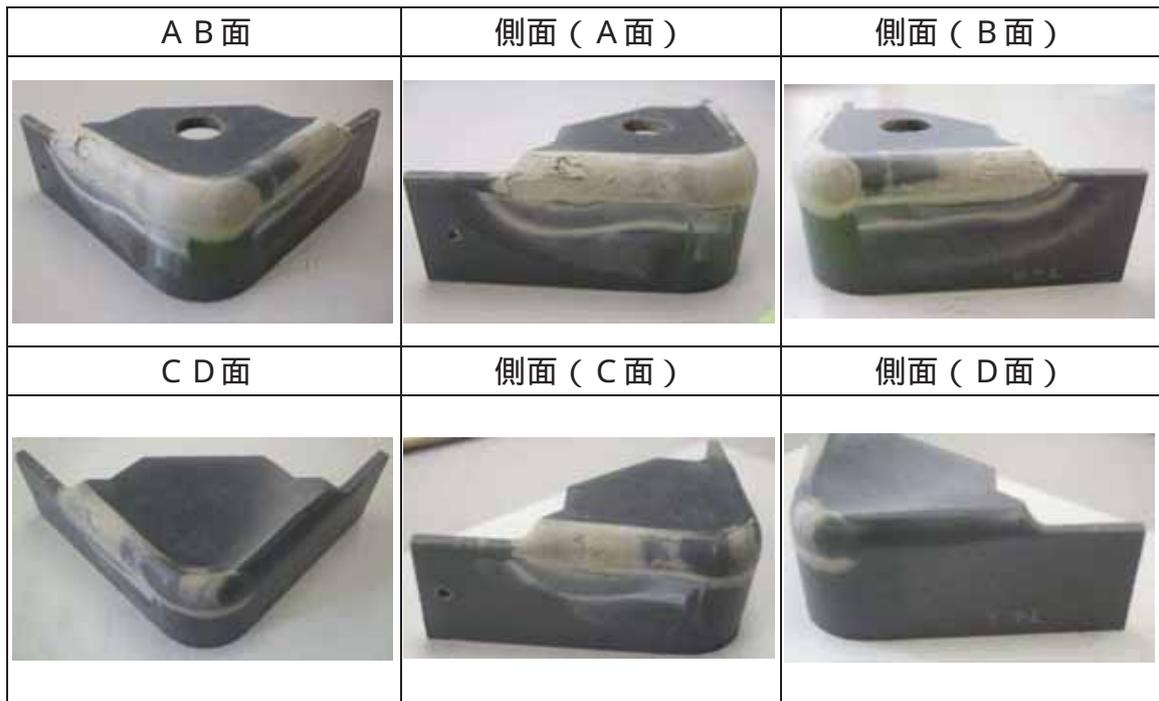
別紙 6 - 図 4 腐食試験結果
 (手動溶接試験片)
 (バッチ式, 500 水蒸気, 24 時間)



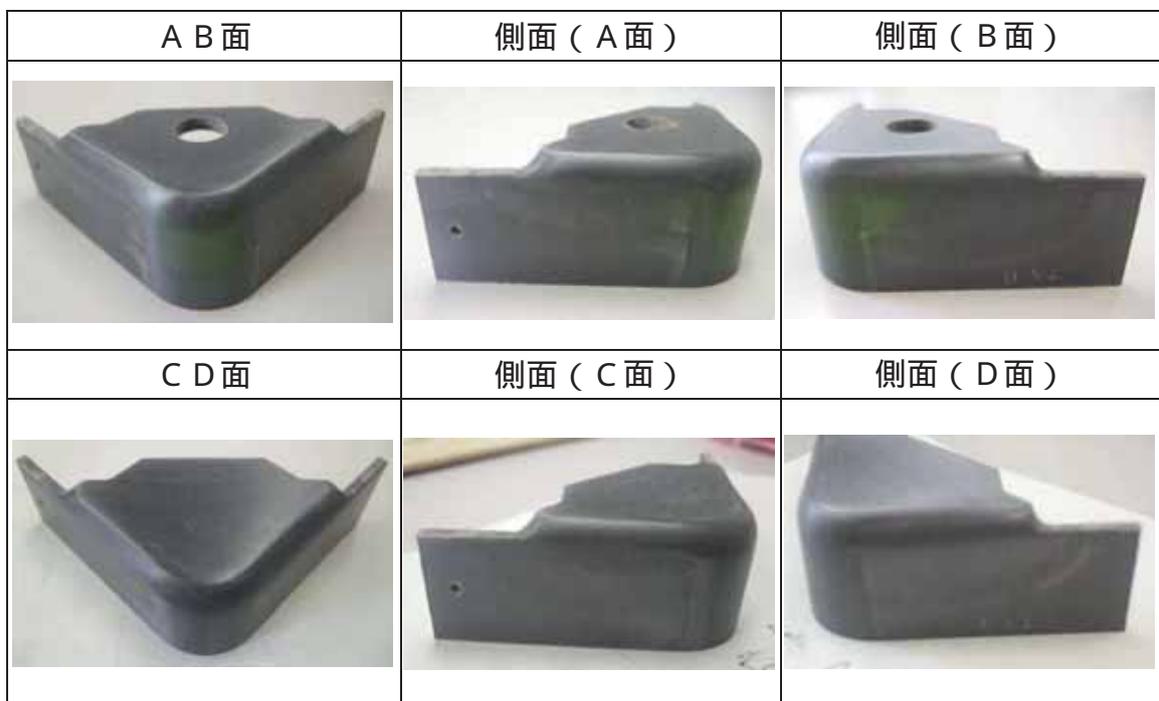
別紙 6 - 図 5 腐食試験結果
(シールドガス流量影響評価試験片 (0 L / m i n))
(バッチ式 , 5 0 0 水蒸気 , 2 4 時間)



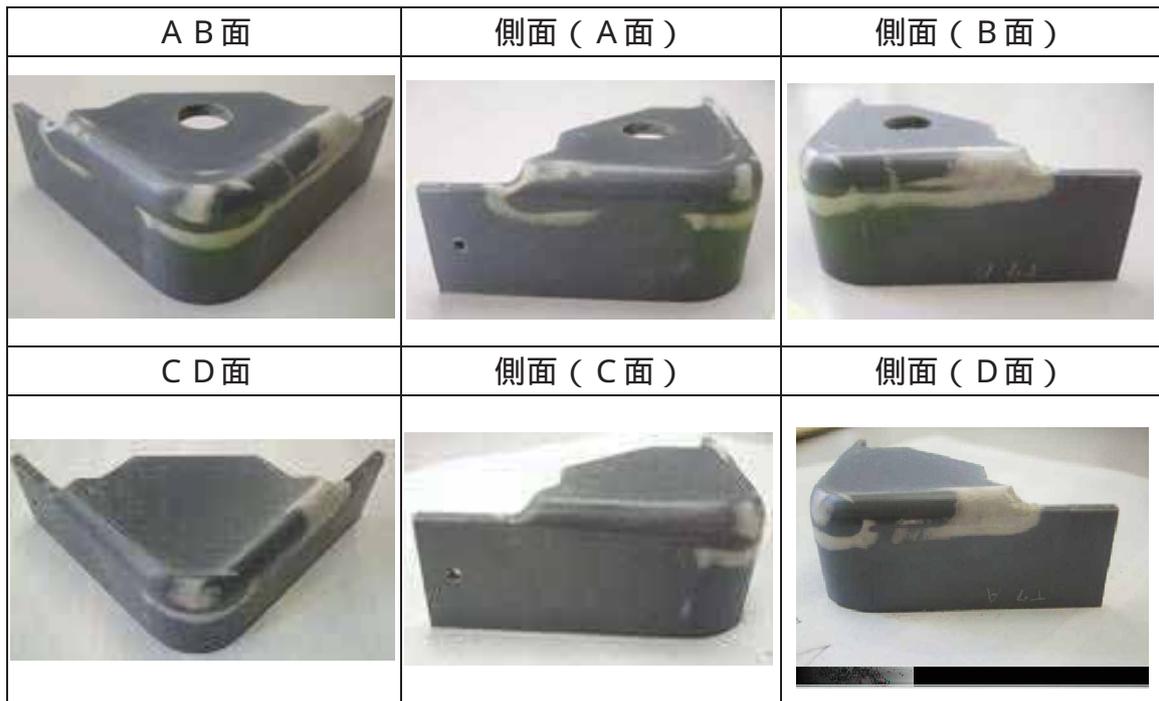
別紙 6 - 図 6 腐食試験結果
(シールドガス流量影響評価試験片 (規定値の 2 5 倍))
(バッチ式 , 5 0 0 水蒸気 , 2 4 時間)



別紙 6 - 図 7 腐食試験結果
 (アフターシールドガス流量影響評価試験片)
 (バッチ式, 500 水蒸気, 24 時間)



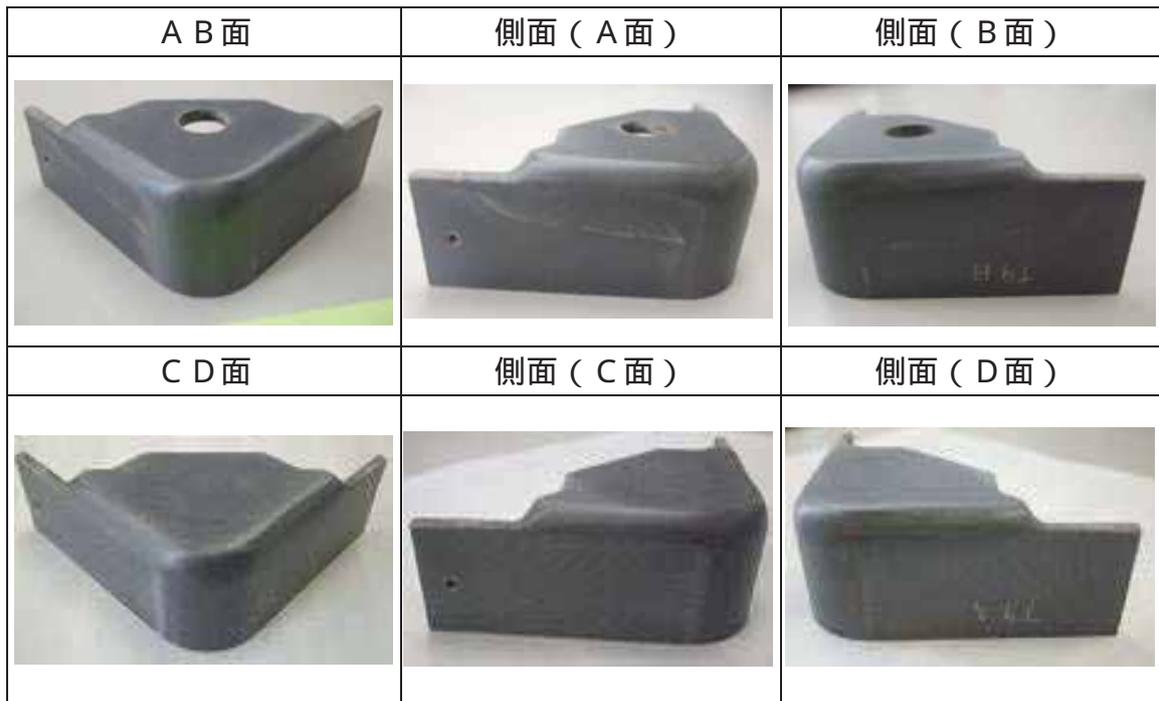
別紙 6 - 図 8 腐食試験結果
 (パージ時間影響評価試験片)
 (バッチ式, 500 水蒸気, 24 時間)



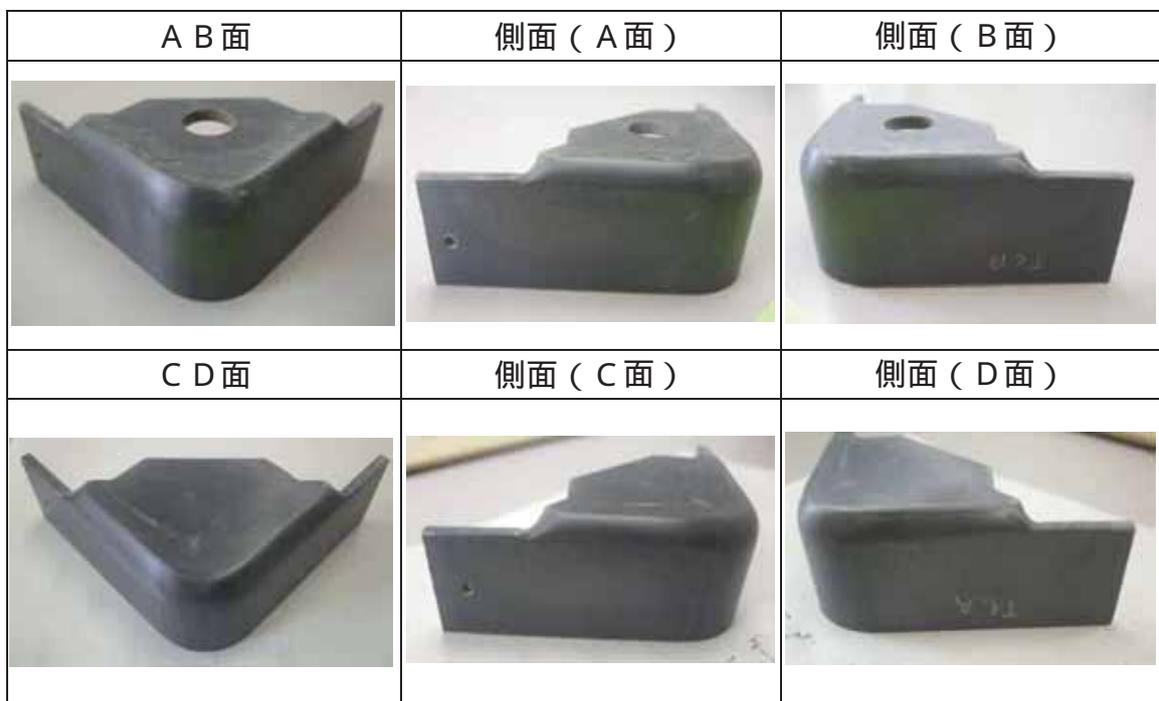
別紙 6 - 図 9 腐食試験結果
 (空気混入影響評価試験片)
 (バッチ式 , 5 0 0 水蒸気 , 2 4 時間)



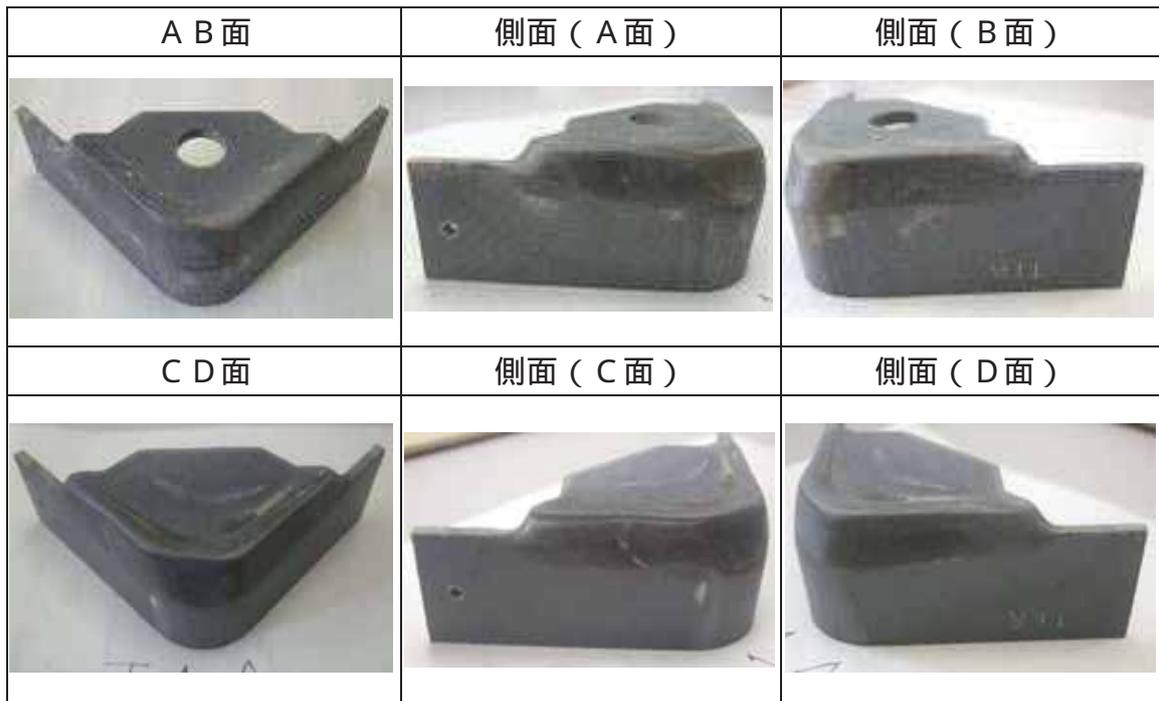
別紙 6 - 図 1 0 腐食試験結果
 (湿度影響評価試験片)
 (バッチ式 , 5 0 0 水蒸気 , 2 4 時間)



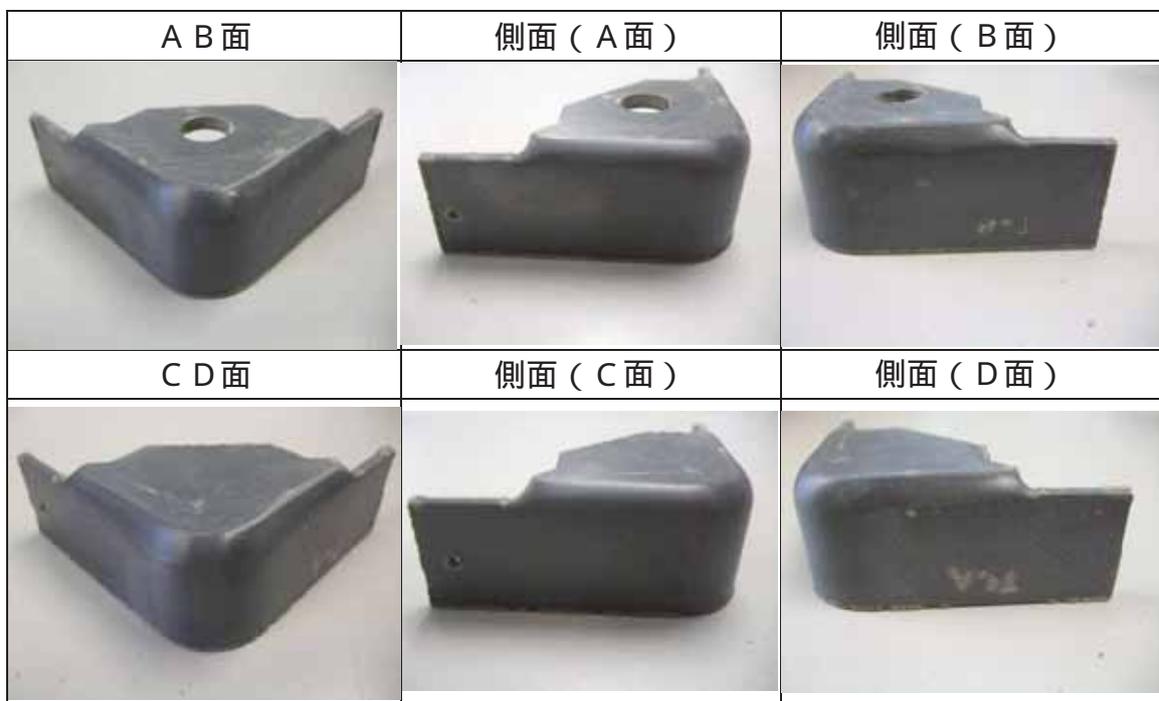
別紙 6 - 図 1 1 腐食試験結果
 (溶接開始面影響評価試験片)
 (バッチ式, 500 水蒸気, 24 時間)



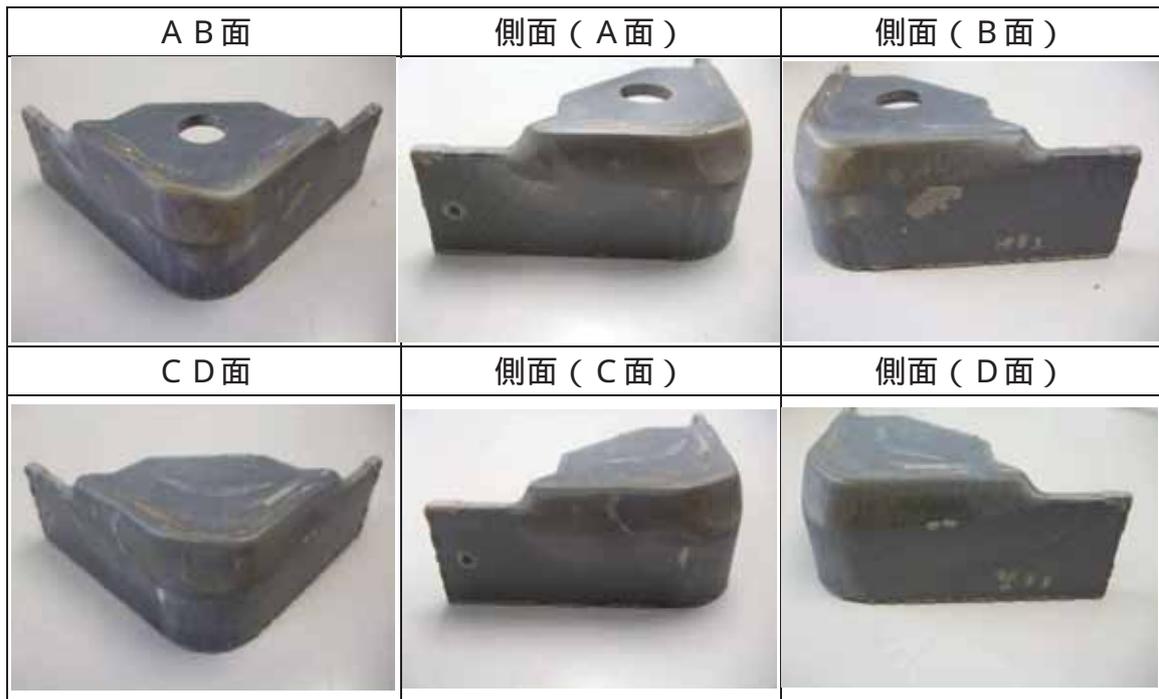
別紙 6 - 図 1 2 腐食試験結果
 (入熱影響評価試験片)
 (バッチ式, 500 水蒸気, 24 時間)



別紙 6 - 図 1 3 腐食試験結果
(電流値影響評価試験片)
(バッチ式, 500 水蒸気, 24 時間)



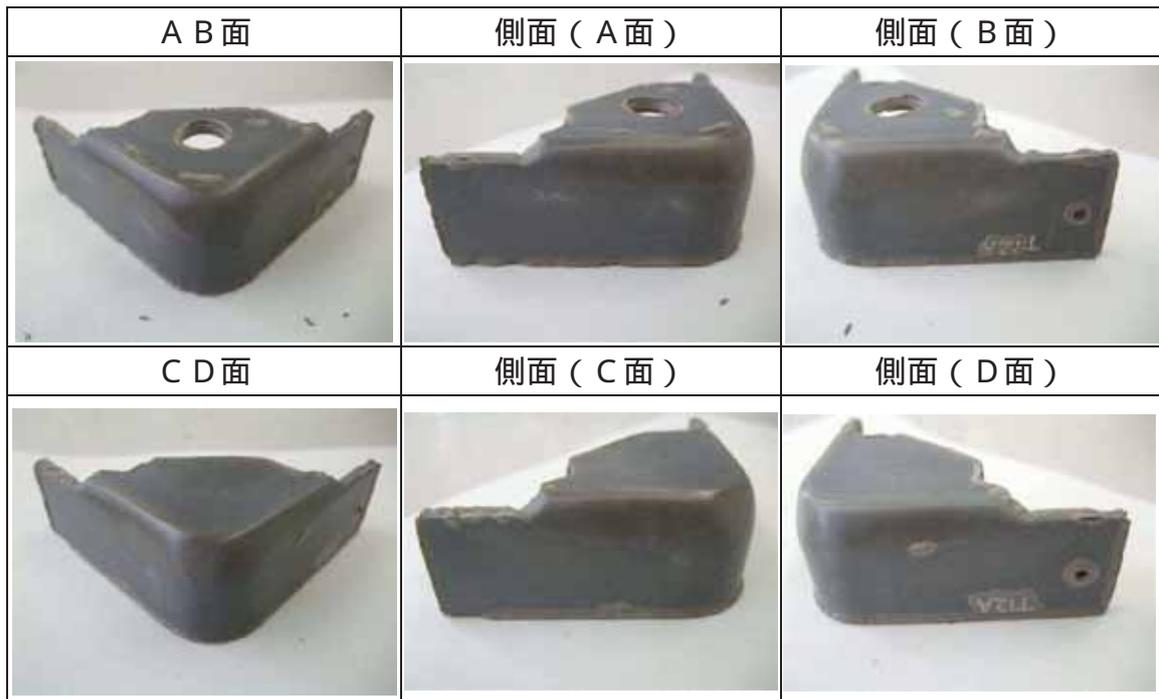
別紙 6 - 図 1 4 腐食試験結果
(入熱影響評価試験片)
(バッチ式, 500 水蒸気, 72 時間)



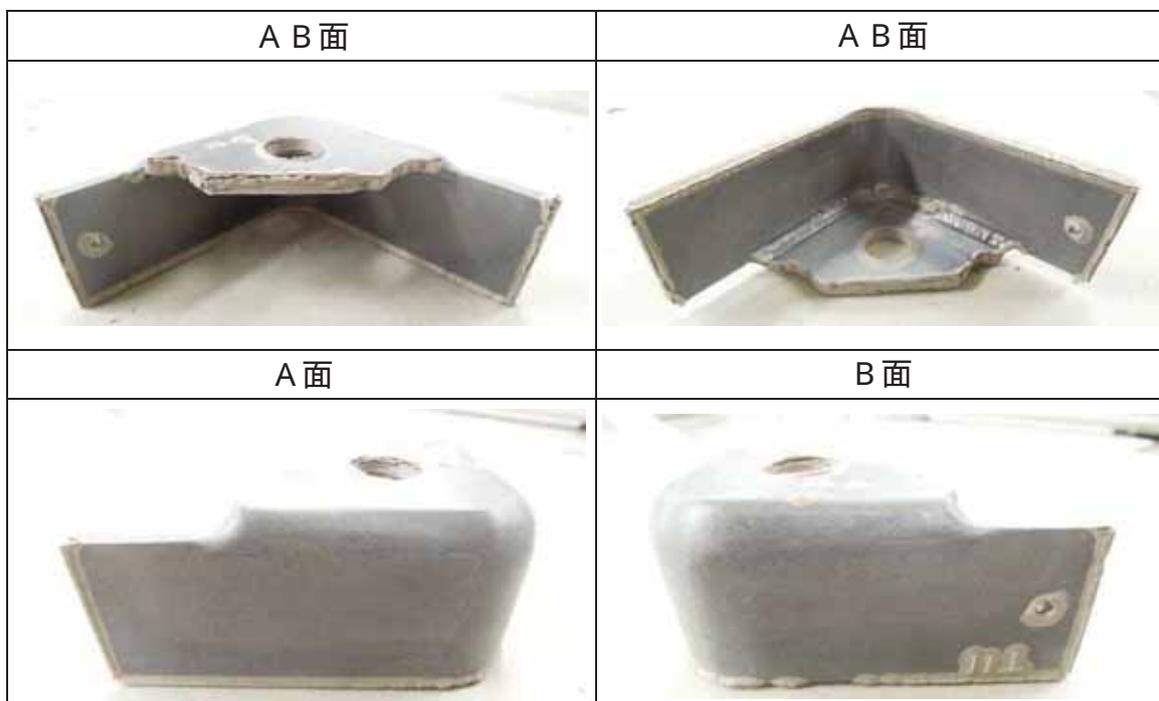
別紙 6 - 図 1 5 腐食試験結果
 (電流値影響評価試験片)
 (バッチ式 , 5 0 0 水蒸気 , 7 2 時間)



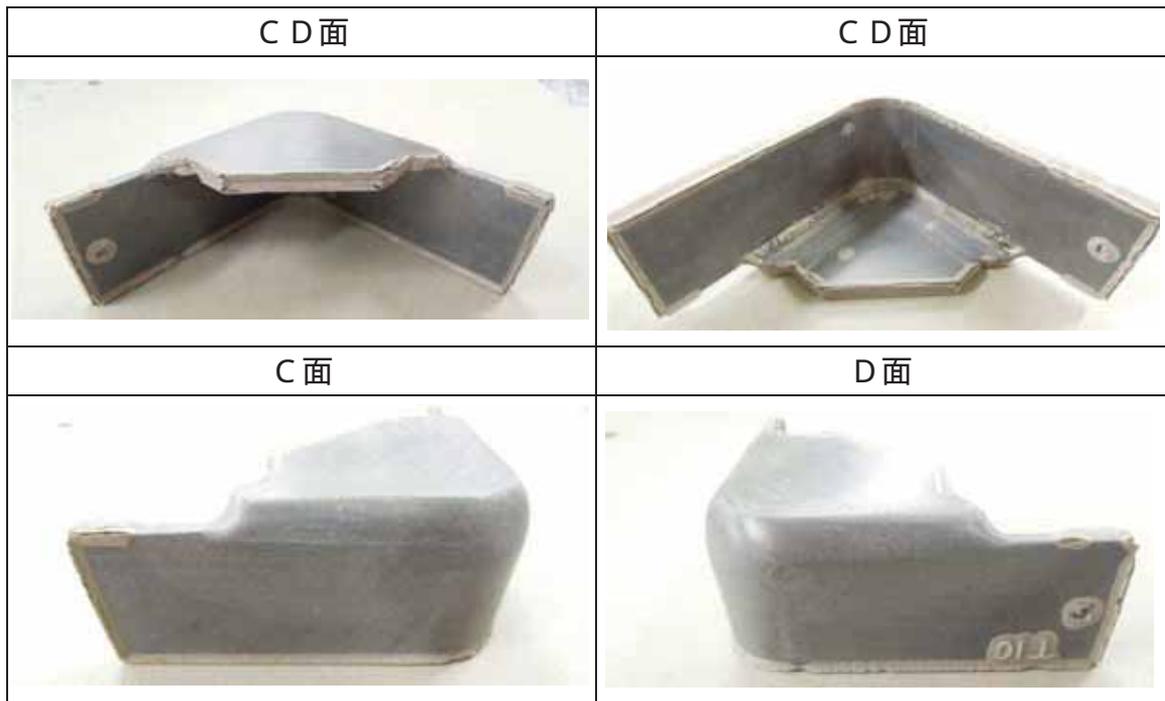
別紙 6 - 図 1 6 腐食試験結果
 (入熱影響評価試験片)
 (バッチ式 , 5 2 5 水蒸気 , 7 2 時間)



別紙 6 - 図 1 7 腐食試験結果
 (電流値影響評価試験片)
 (バッチ式 , 5 2 5 水蒸気 , 7 2 時間)



別紙 6 - 図 1 8 腐食試験結果
 (入熱影響評価試験片)
 (ループ式 , 5 2 5 水蒸気 , 7 2 時間)



別紙 6 - 図 1 9 腐食試験結果
 (電流値影響評価試験片)
 (ループ式, 5 2 5 水蒸気, 7 2 時間)

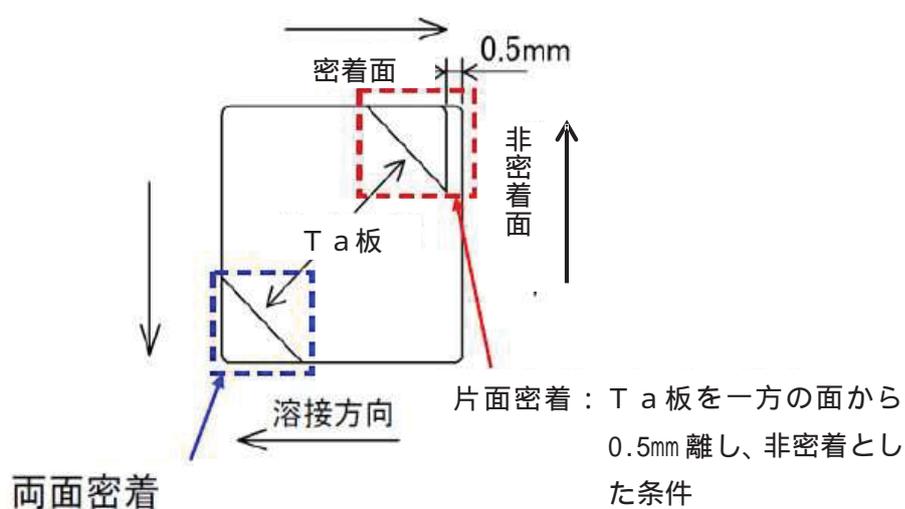
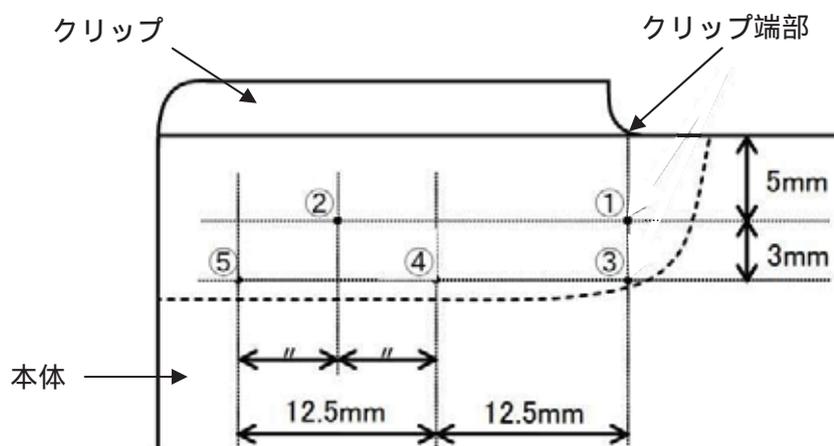
別紙7 溶接時温度測定

1. 試験方法

T a 板の接触状態による、溶接時の温度変化の違いを確認することを目的に、熱電対による温度測定を行った。

2. 測定位置および測定条件

- C/B 上部クリップ熱影響部における下記①～⑤の5カ所について、T a 板を両面密着および片面密着させた場合の温度測定を行う。
- 溶接開始面は、片面密着の場合は比較のため非密着面スタートと密着面スタートの両方で測定する。



3. 測定結果

(1) 両面密着

別紙7-表1 溶接時温度測定結果 (両面密着)

n数	対象面	測定箇所	D面溶接時の温度			C面溶接時の温度					
			最高温度 (°C)	冷却速度 (°C/sec)	800°C-850°Cの滞留時間 (sec)	最高温度 (°C)	冷却速度 (°C/sec)	800°C-850°Cの滞留時間 (sec)			
1回目	C	①	/	/	/	1050	10	5.5			
		②				1389	22	3			
		③				876	8	6.5			
		④				1091	22	2.5			
		⑤				983	16	3.5			
	D	①				1210	11	5	/	/	/
		②				1389*	9	4			
		③				984	8	6.5			
		④				1145	21	3			
		⑤				1040	39	2			

*最高温度が測定機のレンジを越えたため参考値とする

(2) 片面密着 (溶接密着面スタート)

別紙7-表2 溶接時温度測定結果 (片面密着 (溶接密着面スタート))

n数	対象面	測定箇所	密着面溶接時の温度			非密着面溶接時の温度		
			最高温度 (°C)	冷却速度 (°C/sec)	800°C-850°Cの滞留時間 (sec)	最高温度 (°C)	冷却速度 (°C/sec)	800°C-850°Cの滞留時間 (sec)
1回目	非密着面	①	/			測定不能*	(計算不可)	(計算不可)
		②				測定不能*	(計算不可)	(計算不可)
		③				1090	11	5
		④				1271	18	3
		⑤				1184	20	3
	密着面	①	933	6	8	/		
		②	1375	23	2.5			
		③	770	—	—			
		④	1102	19	3.5			
		⑤	1188	44	1.5			
2回目	非密着面	①	/			1411	16	3.5
		②				測定不能*	(計算不可)	(計算不可)
		③				1161	15	3.5
		④				1283	17	3
		⑤				1226	21	2.5
	密着面	①	1143	15	4	/		
		②	1418	29	2.5			
		③	835	5	30			
		④	1126	24	2.5			
		⑤	1155	41	2			
3回目	非密着面	①	/			1316	15	4
		②				1418	19	3
		③				1091	13	4.5
		④				1199	17	3.5
		⑤				1146	19	3
	密着面	①	1011	7	7.5	/		
		②	1286	23	2.5			
		③	773	—	—			
		④	1110	21	3			
		⑤	1085	24	2.5			

*溶接中に熱電対が外れたため、3回の測定を実施した

(3) 片面密着 (溶接非密着面スタート)

別紙7-表3 溶接時温度測定結果 (片面密着 (溶接非密着面スタート))

n数	対象面	測定箇所	密着面溶接時の温度			非密着面溶接時の温度					
			最高温度 (°C)	冷却速度 (°C/sec)	800°C-850°Cの滞留時間 (sec)	最高温度 (°C)	冷却速度 (°C/sec)	800°C-850°Cの滞留時間 (sec)			
1回目	非密着面	①	/	/	/	1235	12	5			
		②				1291	24	2.5			
		③				994	12	5			
		④				1120	24	2.5			
		⑤				978	20	3			
	密着面	①				1068	7	8	/	/	/
		②				1255	19	3			
		③				857	5	10			
		④				1070	20	3			
		⑤				1146	25	2			

別紙 8 腐食試験（模擬熱処理試験片）

熱処理条件を変化させて製作した試験片を対象に腐食試験を実施した。

1. 試験対象

下記に示す4つのケースで熱処理を実施した模擬熱処理試験片を対象に腐食試験を実施した。

試験片	熱処理条件		備考
	最高到達温度	冷却速度	
模擬熱処理 試験片	1100	5 / 秒	Ar ガス雰囲気 にて熱処理を実施
	1100	25 / 秒	
	900	5 / 秒	
	900	25 / 秒	

最高到達温度：ジルコニウム合金が 相領域となる温度（1100 ）と
（ + ）二相領域となる温度（900 ）を設定

冷却速度：クリップ溶接時の実績より，冷却速度が速い場合，遅い場合
を設定

2. 試験条件

腐食試験の試験条件を別紙 8 - 表 1 に示す。バッチ式腐食試験は 3 回，ループ式腐食試験は 2 回試験を実施した。

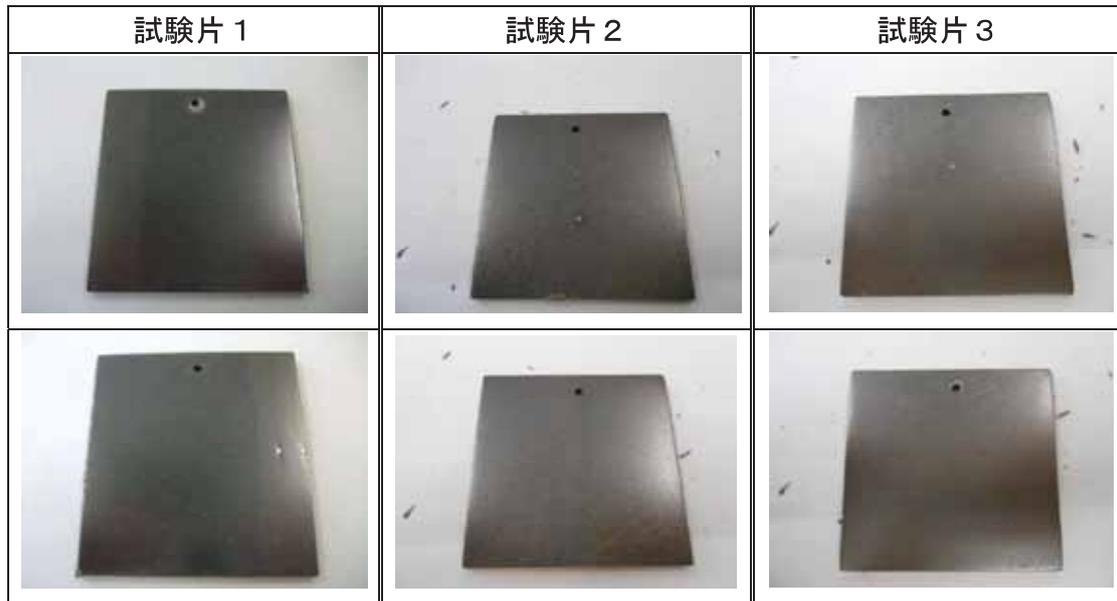
別紙 8 - 表 1 腐食試験条件

模擬熱処理試験片		腐食試験 の分類	試験温度 試験時間
熱 処 理 条 件	最高到達温度 1100 ・冷却速度 5 / 秒	バッチ式 腐食試験	525 72 時間
	最高到達温度 1100 ・冷却速度 25 / 秒		
	最高到達温度 900 ・冷却速度 5 / 秒		
	最高到達温度 900 ・冷却速度 25 / 秒		
	最高到達温度 1100 ・冷却速度 5 / 秒	ループ式 腐食試験	525 72 時間
	最高到達温度 1100 ・冷却速度 25 / 秒		
	最高到達温度 900 ・冷却速度 5 / 秒		
	最高到達温度 900 ・冷却速度 25 / 秒		

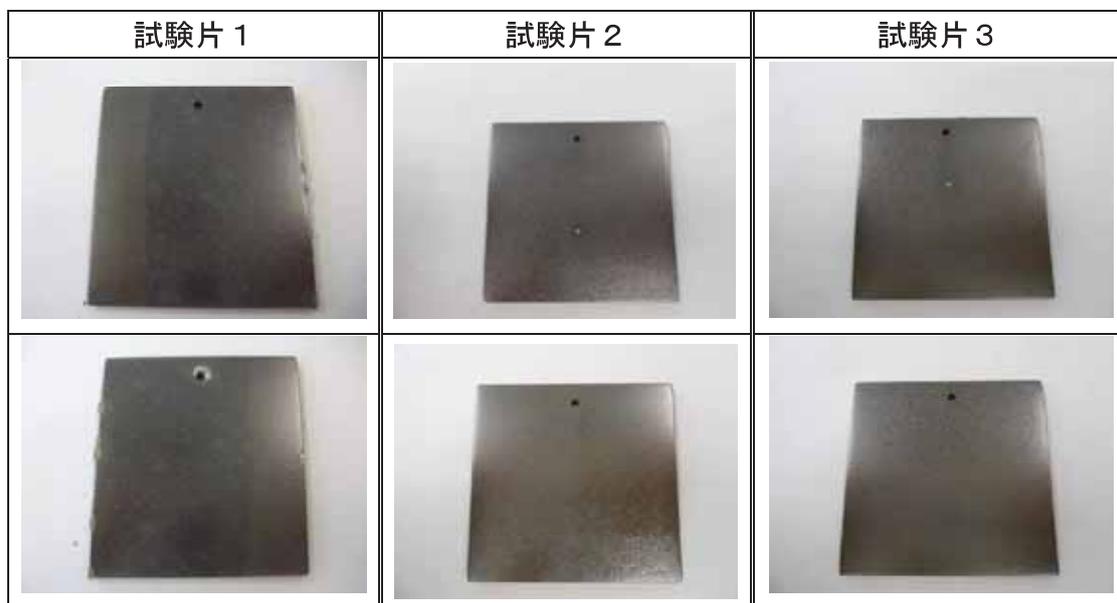
バッチ式腐食試験：酸素を添加していない水蒸気雰囲気内の試験容器内で行う試験

ループ式腐食試験：溶存酸素量を 10 ppm に調整した純水を水蒸気化し試験容器内を
循環させて行う試験

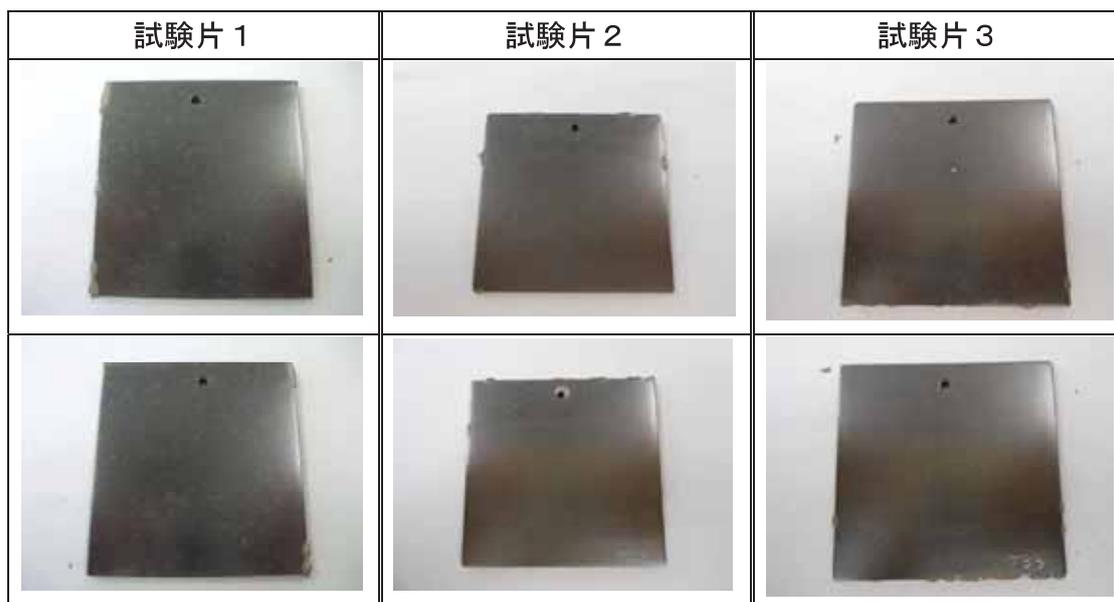
3. 試験結果



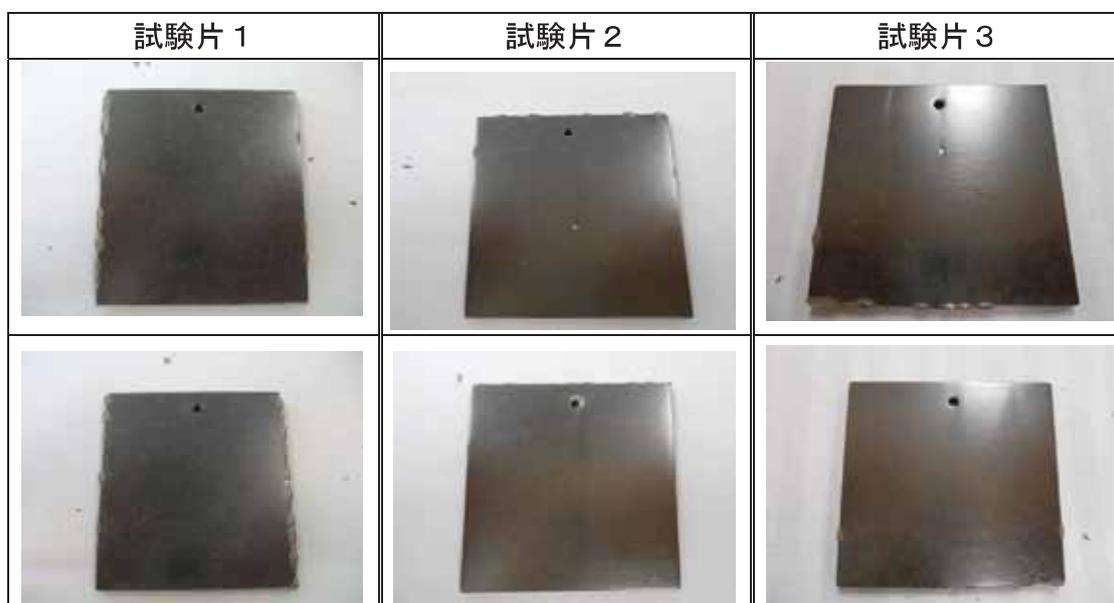
別紙 8 - 図 1 - 1 腐食試験結果
(バッチ式, 熱処理条件: 最高到達温度 1100 , 冷却速度 5 / 秒)



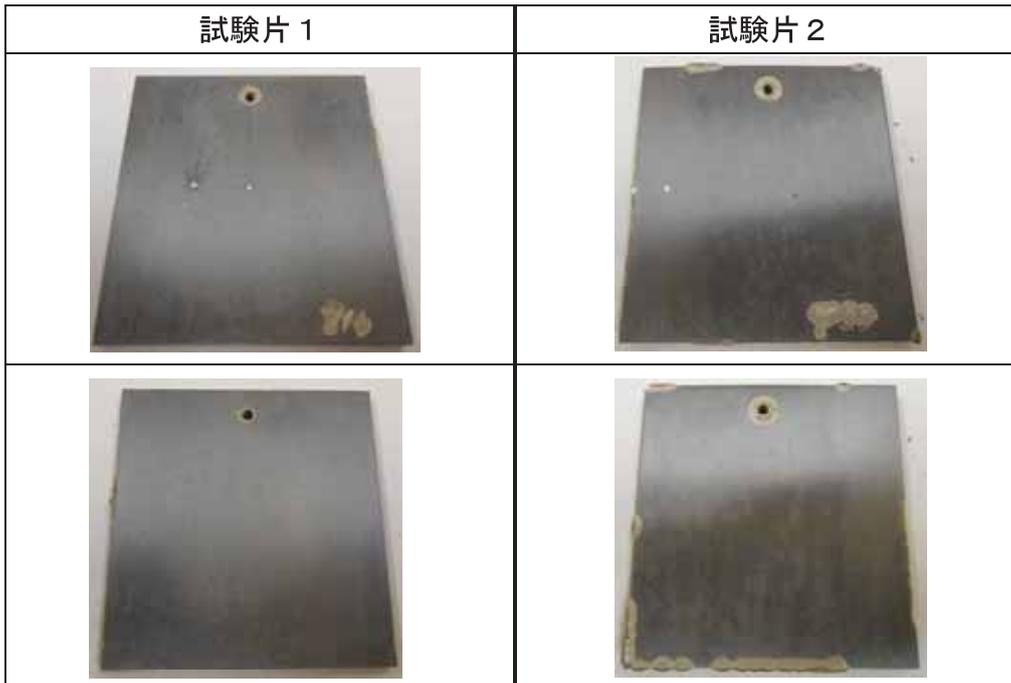
別紙 8 - 図 1 - 2 腐食試験結果
(バッチ式, 熱処理条件: 最高到達温度 1100 , 冷却速度 25 / 秒)



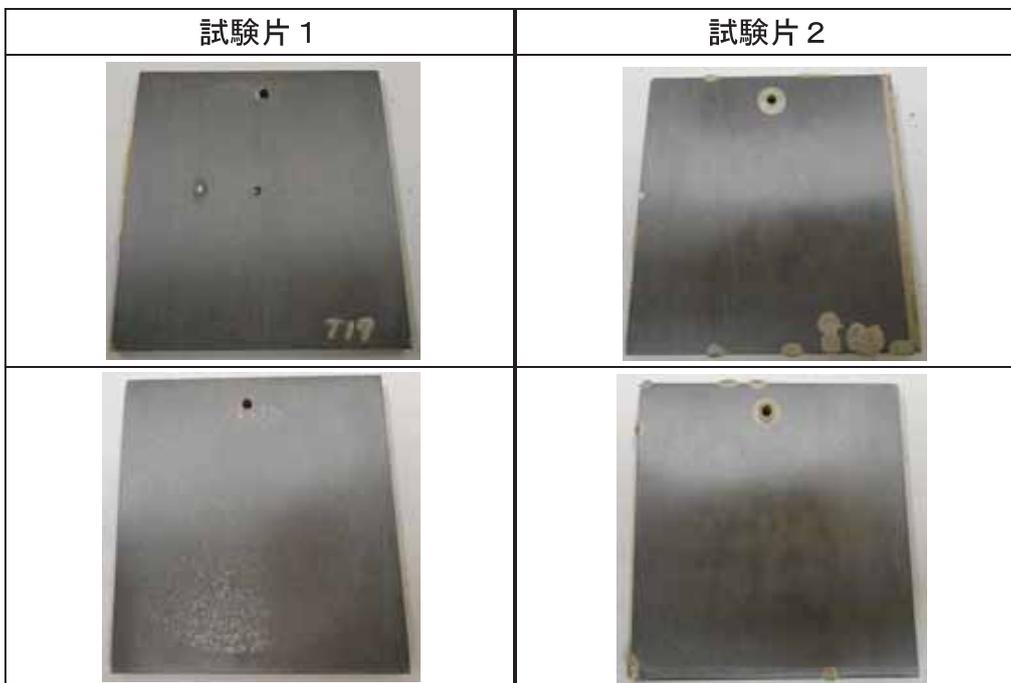
別紙 8 - 図 1 - 3 腐食試験結果
 (バッチ式, 熱処理条件: 最高到達温度 900 , 冷却速度 5 / 秒)



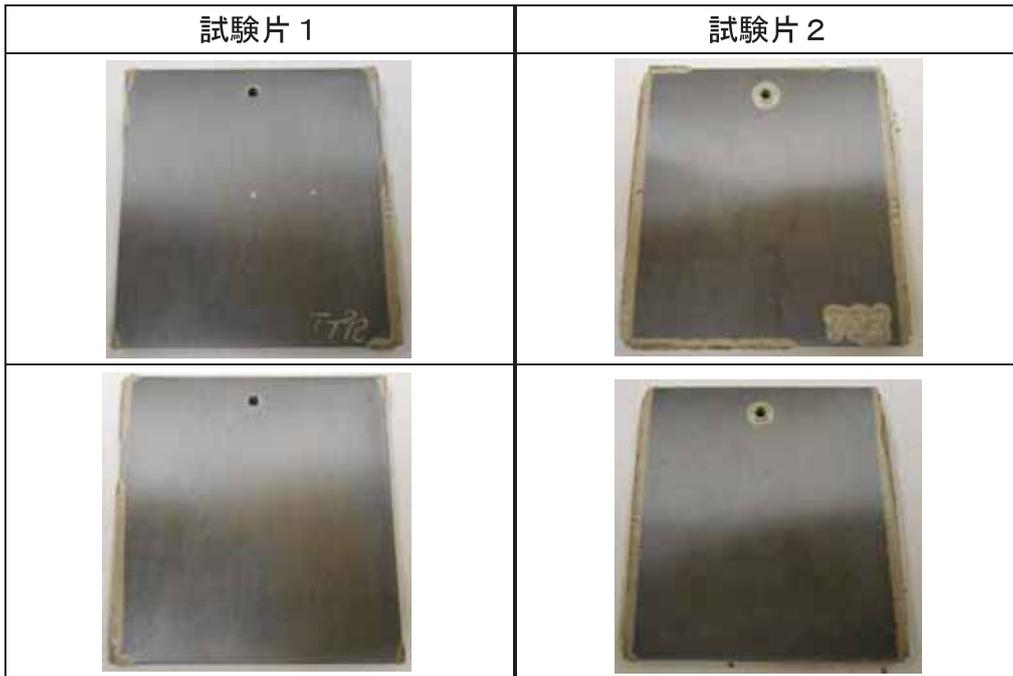
別紙 8 - 図 1 - 4 腐食試験結果
 (バッチ式, 熱処理条件: 最高到達温度 900 , 冷却速度 2.5 / 秒)



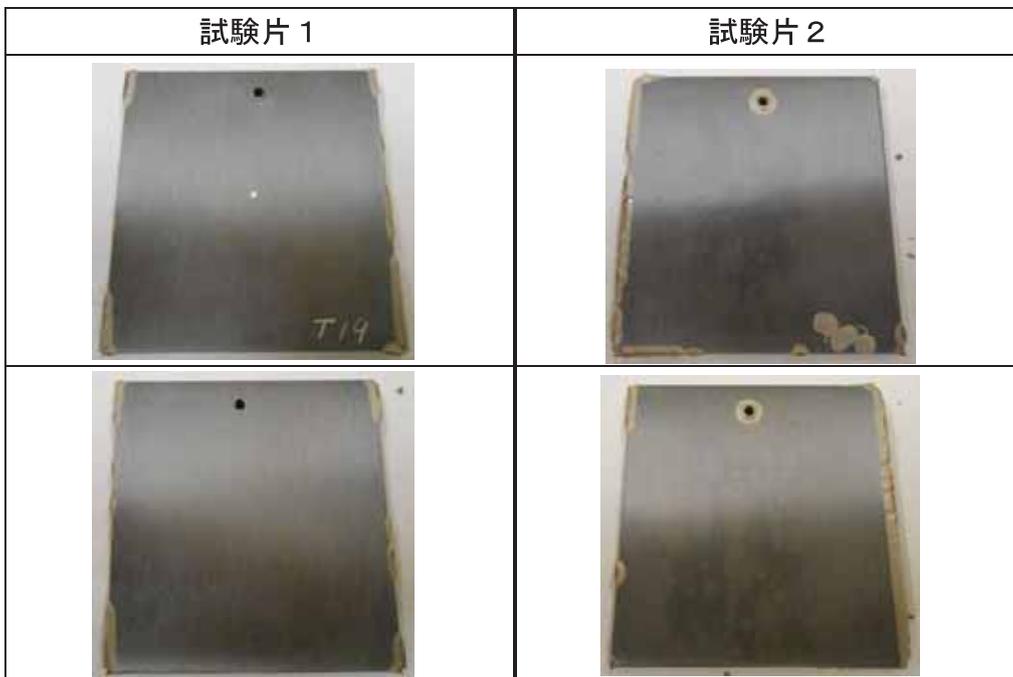
別紙 8 - 図 2 - 1 腐食試験結果
 (ループ式, 熱処理条件: 最高到達温度 1100 , 冷却速度 5 / 秒)



別紙 8 - 図 2 - 2 腐食試験結果
 (ループ式, 熱処理条件: 最高到達温度 1100 , 冷却速度 2.5 / 秒)



別紙 8 - 図 2 - 3 腐食試験結果
 (ループ式, 熱処理条件: 最高到達温度 900 , 冷却速度 5 / 秒)



別紙 8 - 図 2 - 4 腐食試験結果
 (ループ式, 熱処理条件: 最高到達温度 900 , 冷却速度 25 / 秒)

別紙 8 - 表 2 バッチ式腐食試験 腐食増量

熱処理条件		試験片 番号	腐食増量 (g/m ²)	平均の腐食増量 (g/m ²)
最高到達温度	冷却速度			
1100°C	5°C/秒	1	13.9	14.4
		2	14.2	
		3	15.2	
1100°C	25°C/秒	1	22.9	16.6
		2	12.9	
		3	13.9	
900°C	5°C/秒	1	23.6	26.8
		2	30.5	
		3	26.4	
900°C	25°C/秒	1	57.7	37.2
		2	26.7	
		3	27.1	

別紙 8 - 表 3 ループ式腐食試験 腐食増量

熱処理条件		試験片 番号	腐食増量 (g/m ²)	平均の腐食増量 (g/m ²)
最高到達温度	冷却速度			
1100°C	5°C/秒	1	14.8	28.6
		2	42.3	
1100°C	25°C/秒	1	21.8	35.8
		2	49.8	
900°C	5°C/秒	1	61.9	103.4
		2	144.8	
900°C	25°C/秒	1	54.0	64.4
		2	74.8	