

「もんじゅ」ナトリウム漏えい事故の原因究明対策班作業関連資料

## 溶接部試験の結果について

区分変更	
変更後資料番号	PNC TN9420 96-054
決議年月日	平成10年3月26日

1996年7月

動力炉・核燃料開発事業団  
大洗工学センター

この資料は、動燃事業団社内における検討を目的とする社内資料です。ついては複製、転載、引用等を行わないよう、また第三者への開示又は内容漏洩がないよう管理して下さい。また今回の開示目的以外のことには使用しないよう注意して下さい。

本資料についての問合せは下記に願います。

〒311-13 茨城県東茨城郡大洗町成田町4002

動力炉・核燃料開発事業団 大洗工学センター

システム開発推進部 技術管理室

「もんじゅ」ナトリウム漏えい事故の原因究明対策班作業関連資料

## 溶接部試験の結果について

原因究明対策班 原因解析・試験グループ \*

### 要 旨

本報告書は、1995年12月8日に発生した「もんじゅ」2次主冷却系ナトリウム漏えい事故の原因究明作業の一環として実施した、溶接部試験の結果についてまとめたものである。

---

\* 一宮 正和 (大洗工学センター システム開発推進部 プラント工学室)  
家田 芳明 (大洗工学センター 基盤技術開発部 熱流体技術開発室、現企画部)

## 溶接部試験の結果について

### 1. 試験目的

ナトリウム漏えい原因調査においては、熱電対ウエル部の破損の他に、溶接欠陥による熱電対ウエルの破損の可能性についても、念のため係る調査を行う。

このため、溶接部再確認試験として、

- (1)熱電対ウエルー管台および管台ー主配管の溶接部の組織を明らかにするために、溶接部のマクロ組織およびミクロ組織観察を行った。
- (2)ひずみゲージ法により、熱電対ウエルー管台及び管台ー主配管の溶接部の残留応力を測定した。
- (3)温度計ウエルと管台の溶接部近傍の材料表面状態を明らかにするために、溶接部の表面皮膜解析を行う。

### 2. 試験体

試験体は、実機当該部と同等材（化学成分：表1参照、機械的性質：表2参照）で、図1に示すモデルで製作した。なお、主配管は板で模擬した。

溶接は、建設当時のもっとも典型的施工条件である表3に従って実施した。及び管台ー主配管の溶接部について、溶接速度はいずれも10cm/min、又溶接入熱はそれぞれ7.9kJ/cm及び7.9kJ/cm（1パス）、8.6kJ/cm（2-9パス）である。溶接は4点仮付け後、熱電対ウエルー管台溶接部にあっては180°（アーク始点）から0°（アーク終点）へ、管台ー主配管溶接部にあっては90°（アーク始点/終点）、270°（アーク終点/始点）の振り分け溶接を行った。

### 3. 組織観察

#### 3.1 試験方法

##### (1) マクロ組織観察

#1000エメリー研磨の後、塩酸+過酸化水素水（濃度30%）+水（1:1:3）で約10秒間エッチングし、マクロ組織観察を行った。

##### (2) ミクロ組織観察

マクロ組織観察後の試験片を更にダイヤモンド研磨した後、JIS-G0571に従って、10%しゅう酸電解エッチし、溶接部のミクロ組織観察を行った。

#### 3.2 組織観察結果

##### (1) マクロ観察結果（図2参照）

1) 溶接部に、融合不良、ブローホール、割れ等の欠陥は認められなかった。

##### (2) ミクロ観察結果（図3～図5参照）

- 1) 観察位置（0°C、180°C及び270°C断面）によるミクロ組織的様相の相違はほとんど認められなかった。
- 2) 母材部は通常のステンレス鋼の組織（段状組織）であった。

- 3) 溶接金属部は通常の樹枝状晶組織であった。
- 4) 熱電対ウェルと管台の溶接影響部のほとんどは混合組織であり、図3中で黒塗りで示す箇所若干の溝状組織が認められた。
- 5) 管台と主配管（平板模擬）の溶接熱影響部もほとんど混合組織であり、一部に若干の溝状組織が認められるだけだった。
- 6) 上記2)～5)に示す様に、各々の組織は通常認められ溶接部の組織と同等であった。

#### 4. 残留応力測定

##### 4.1 試験方法

管台の外面及びウェルの内面側の $0^\circ$ （アーク終点）及び $270^\circ$ （アークの連続点）の位置に2軸ひずみゲージを貼り付け、その部分を約 $10\text{mm} \times (10\sim 20\text{mm}) \times$ （板厚）のサイコロ状に切断することで、応力を解放し、この時の解放応力（ひずみ）を求める。

##### 4.2 残留応力測定結果

ひずみゲージ法により得られた溶接部の軸方向及び周方向残留応力の測定結果をそれぞれ図6及び図7に示す。主な結果は次の通りである。

- 1) 測定方位（ $0^\circ$ ：アーク終点、 $270^\circ$ ：アークの連続点）により残留応力測定値にバラツキが認められた。
- 2) 熱電対ウェル－管台溶接熱影響部であるウェル内面側A部の $270^\circ$ 方向に、最大の引張側の軸方向残留応力（約 $23\text{kg}/\text{mm}^2$ ）及び周方向残留応力（約 $17\text{kg}/\text{mm}^2$ ）が認められた。同残留応力は、A部から軸方向に離れるに従って低下する傾向が認められた。
- 3) 熱電対ウェル－管台溶接部外面側B部の残留応力は、軸方向、周方向共に比較的小さく高々 $10\text{kg}/\text{mm}^2$ 以下であった。
- 4) 外面側溶接部から管台－主配管溶接部側に $10\sim 20\text{mm}$ 離れた箇所C部に、引張側の軸方向残留応力が認められた。
- 5) 管台－主配管の溶接部外面側D部には、軸方向では圧縮、周方向ではほぼゼロの残留応力が認められた。

#### 5. 表面皮膜解析

##### 5.1 試験方法

熱電対ウェル－管台溶接部より $16\text{mm}$ の範囲から試験片を採取した（図8参照）。表面分析は、X線光電子分光法（XPS）であり、表面エッチング（電子シャワー照射）を行い、深さ方向の原子成分濃度分析を行った。

##### 5.2 表面皮膜解析結果

図9にA部（図8参照）の相対原子濃度XPS出力結果を示し、図10にA部のFe（3価）スペクトル出力結果を示す。同様に、図11にE部の相対原子濃度XPS出力結果を代表

的に示し、図12にE部のFe (3価) スペクトル出力結果を示す。また、表4に表面皮膜厚さを比較して示した。主な結果を次に示す。

(1) 皮膜の厚さに関して

- 1) 受け入れ状態のステンレス鋼表面の皮膜厚さは一般的に数nmであり、今回の分析でもほぼ同等な3~8nmが分析された。
- 2) 最も表面皮膜が厚い箇所は管台側溶接部近傍 (E部) で、650~1900nmであった。
- 3) 溶接部から離れるに従って、形成される皮膜の厚さは薄くなった。

(2) 皮膜の色調について

- 1) A部及びE部の皮膜の色は黒褐色であった。
- 2) B部およびD部の皮膜の色は黄褐色であった。
- 3) 比較的皮膜厚さの薄いCの色は淡黄色であった。

(3) 皮膜の分析に関して

- 1) 表面近傍には $\text{Fe}_2\text{O}_3$ が主体的に存在し (スペクトルピーク: 712eV)、材料表面から深さ方向に酸化物が減少する傾向が認められた。 (Feスペクトルピーク: 707eV)
- 2) 主体的な $\text{Fe}_2\text{O}_3$ と共に $\text{Cr}_2\text{O}_3$ が認められた。

表-1 供試材の化学成分 (wt%)

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni
熱電対ウエル及び管台	0.05	0.51	0.99	0.037	0.021	18.20	8.08

表-2 供試材の機械的性質

	0.2%耐力 (MPa)	引張強さ (MPa)	伸び (%)	絞り (%)
熱電対ウエル及び管台	293	633	60	75

表-3 (その1) 熱電対ウエルと管台の溶接部の溶接条件

	パス番号	溶接姿勢	棒径 (mm)	溶接電流 (A)	溶接電圧 (V)	層間温度 (℃)
実機施工 記録	—	全姿勢	2.4	60-160	8-14	<150
再確認 試験	1-3	全姿勢	2.4	120	11	<100

表-3 (その2) 管台と母管の溶接部の溶接条件

	パス番号	溶接姿勢	棒径 (mm)	溶接電流 (A)	溶接電圧 (V)	層間温度 (℃)
実機施工 記録	—	横向き	2.0	60-160	8-14	<150
	—	同上	2.4	60-160	8-14	<150
再確認 試験	1	同上	2.0	120	11	<100
	2-9	同上	2.4	130	11	<100

表-4 XPS分析による表面皮膜厚さ推定値

測定箇所	A	B	C	D	E	受入表面
皮膜厚さ (nm)	350	160~ 340	80~ 170	140	650~ 1900	3~8

(注) サーモウェルと管台の  
溶接時の天地関係

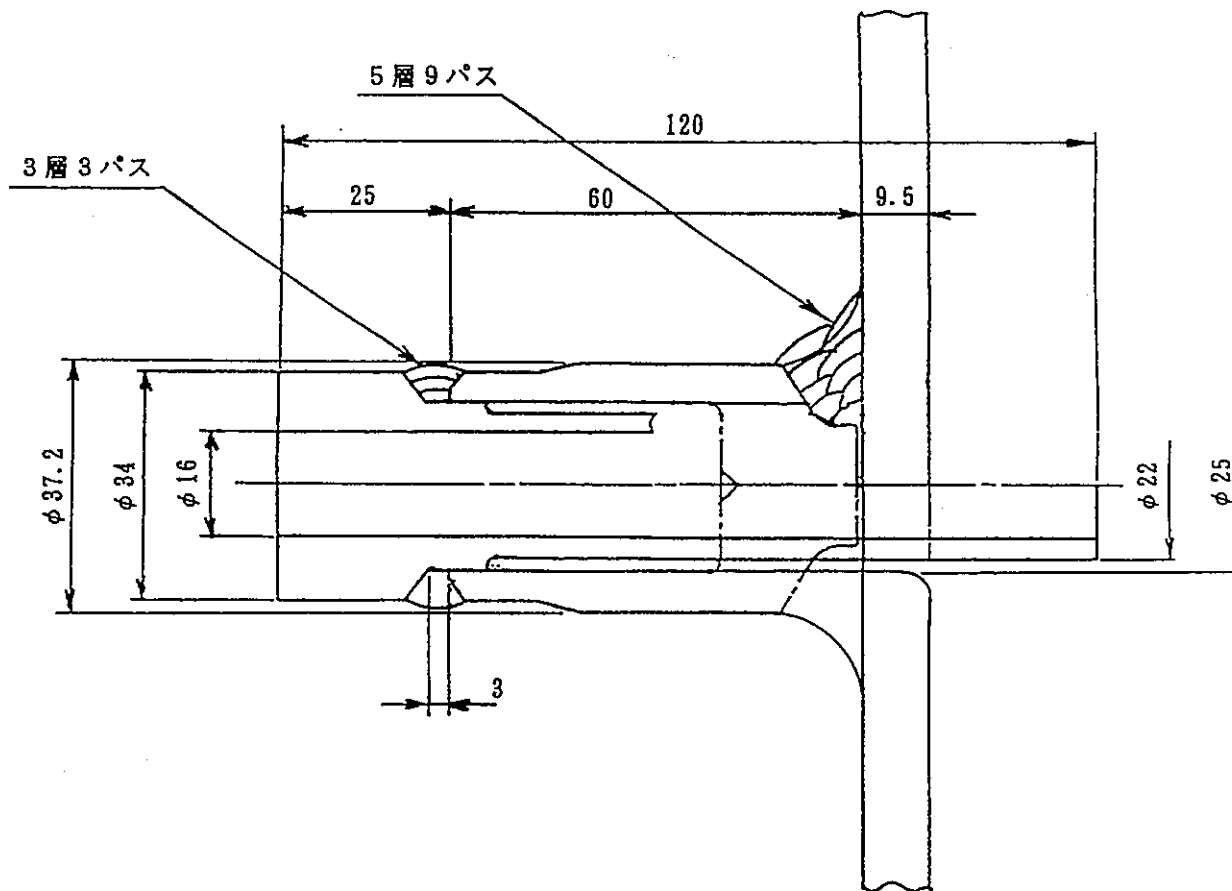
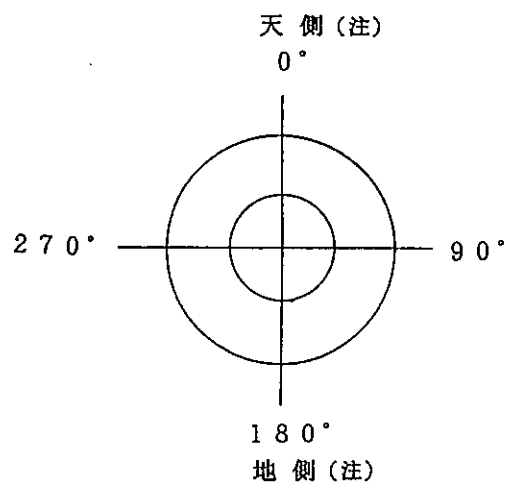


図-1 試験体の詳細 (溶接積層シーケンスを含む)



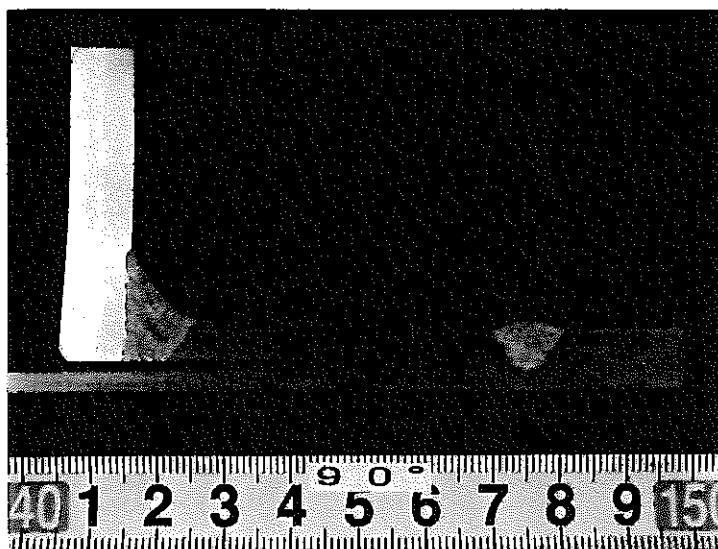


図-2 断面マクロ観察結果の例（観察断面90°）

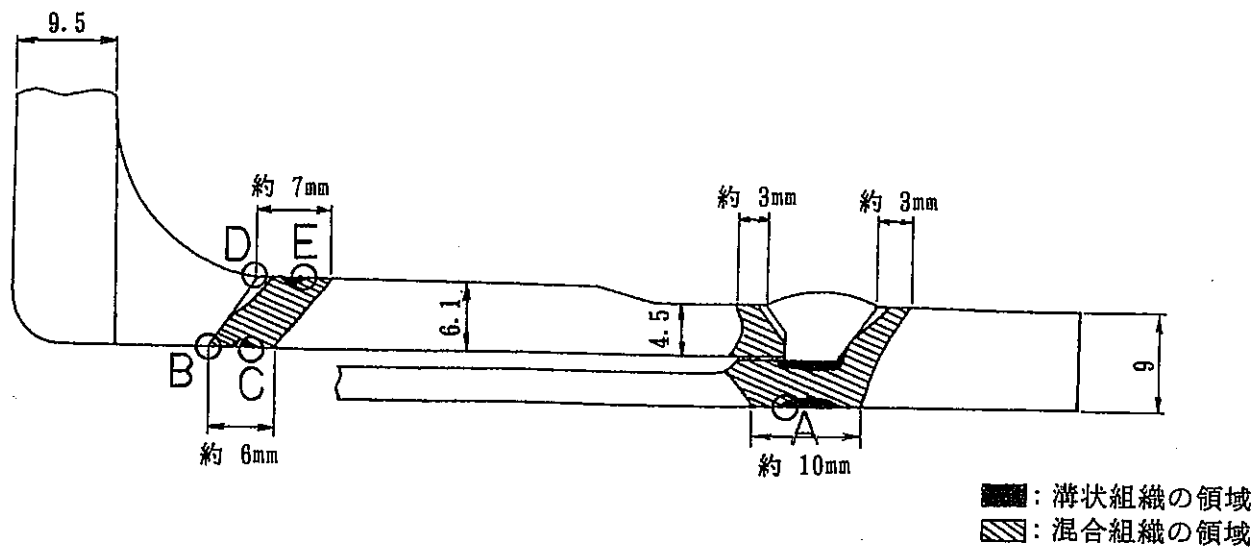


図-3 ミクロ組織観察結果のまとめ

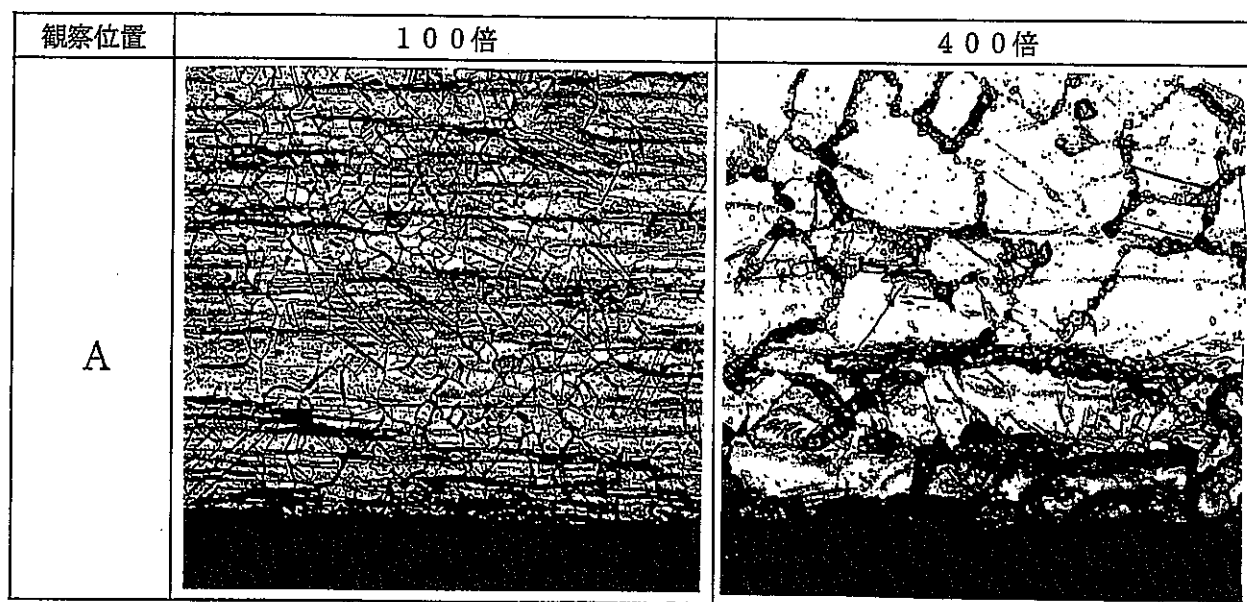


図-4 溶接部組織観察結果の代表例（観察位置：図-3参照）

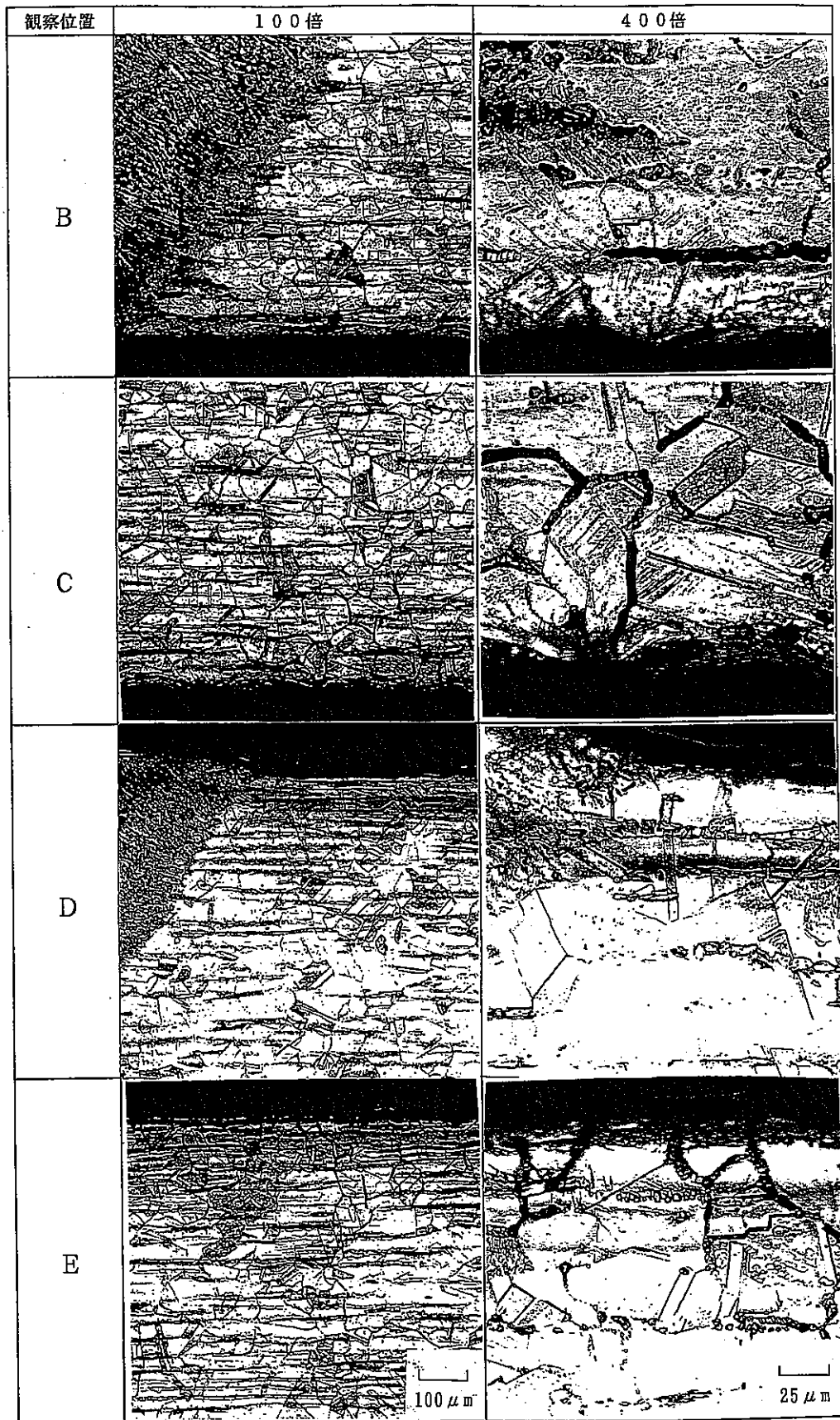


図-5 溶接部組織観察結果の代表例（観察位置：図-3参照）

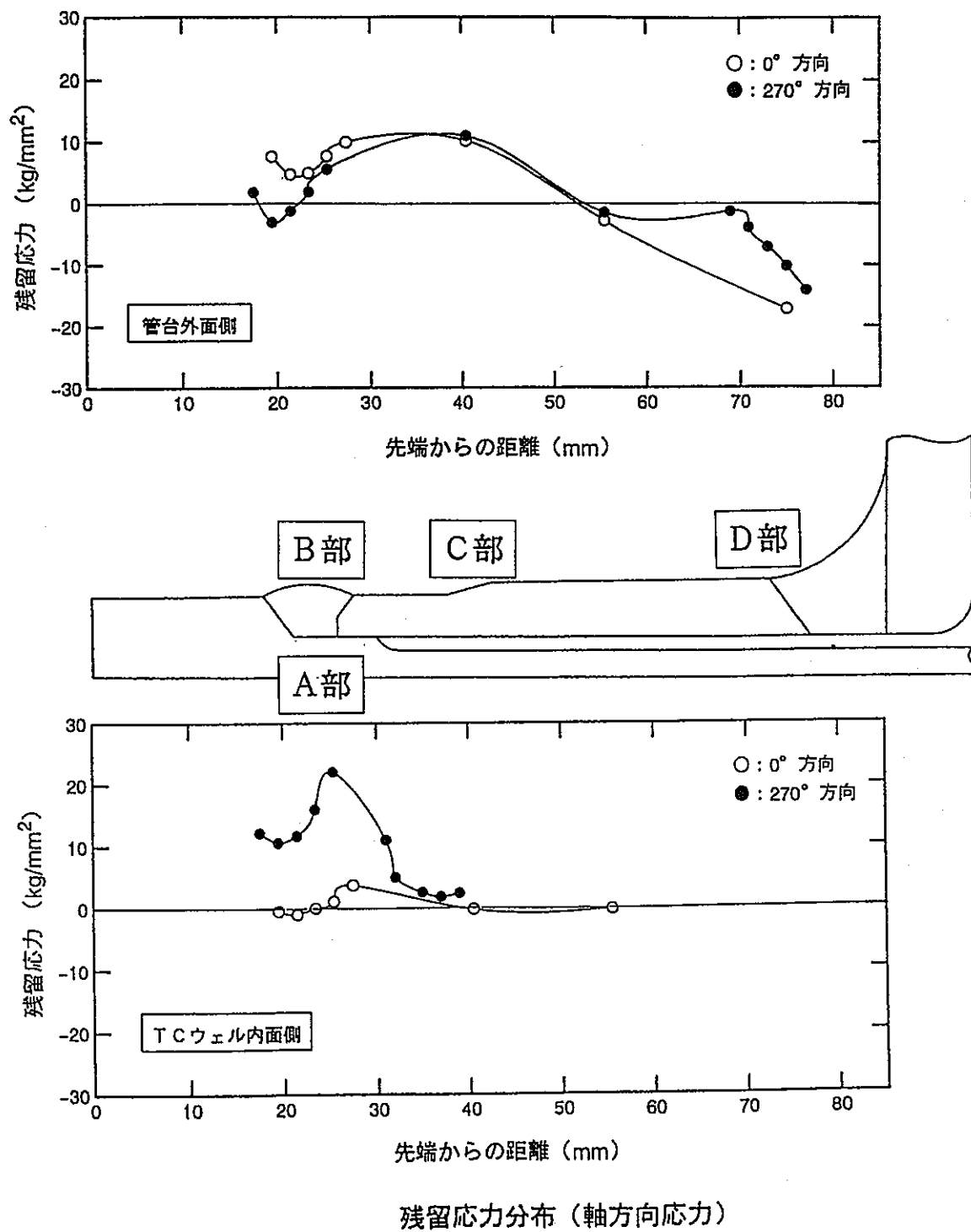


図 6 溶接残留応力測定結果（管台外面側およびサーモウェル内面側）

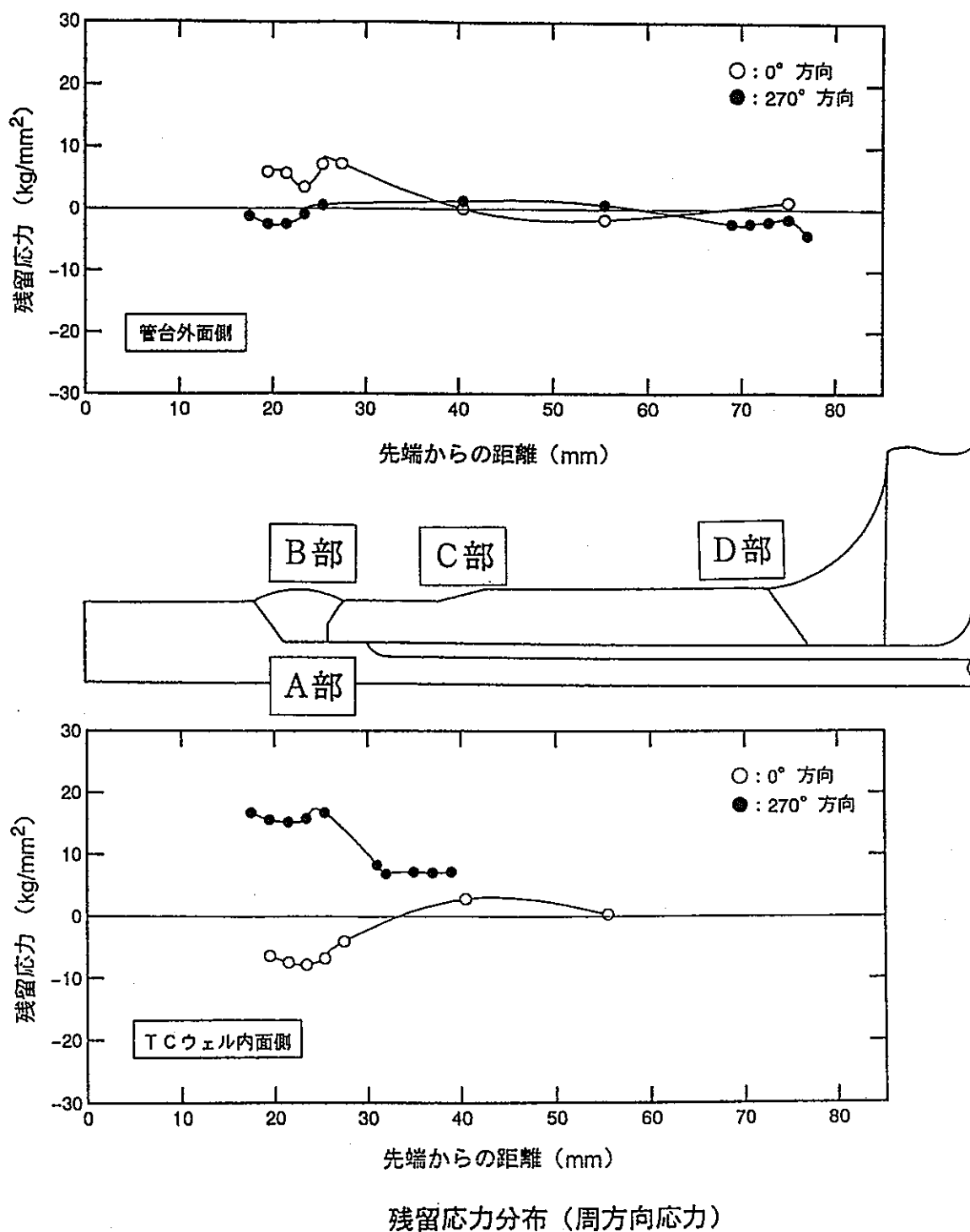


図 7 溶接残留応力測定結果 (管台外面側およびサーモウェル内面側)

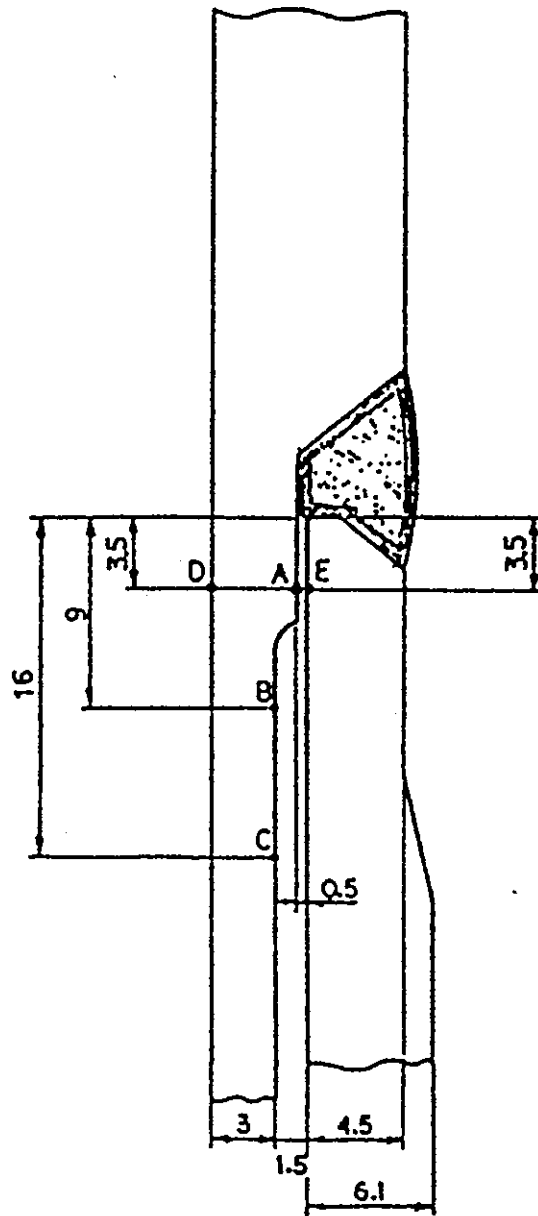


图 8 XPS分析箇所

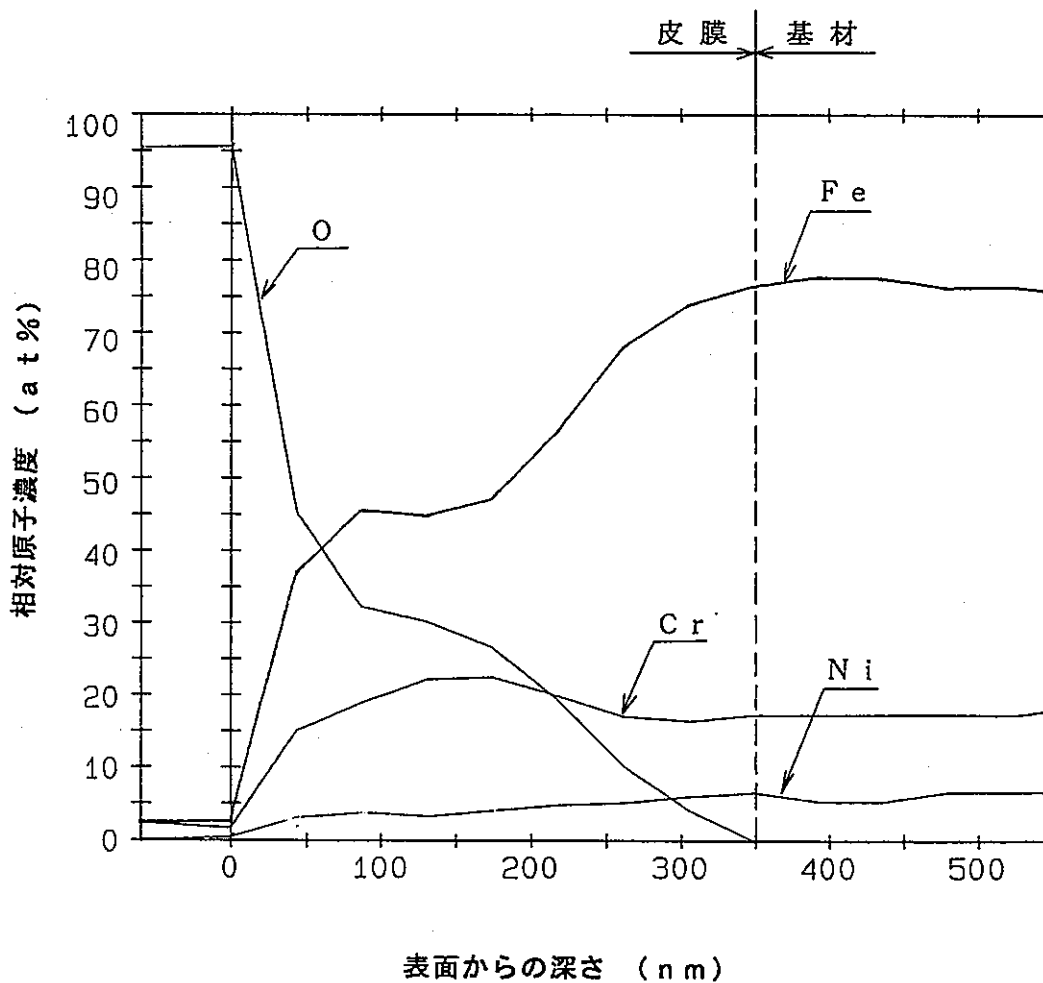


図 9 A部相対原子濃度分析結果

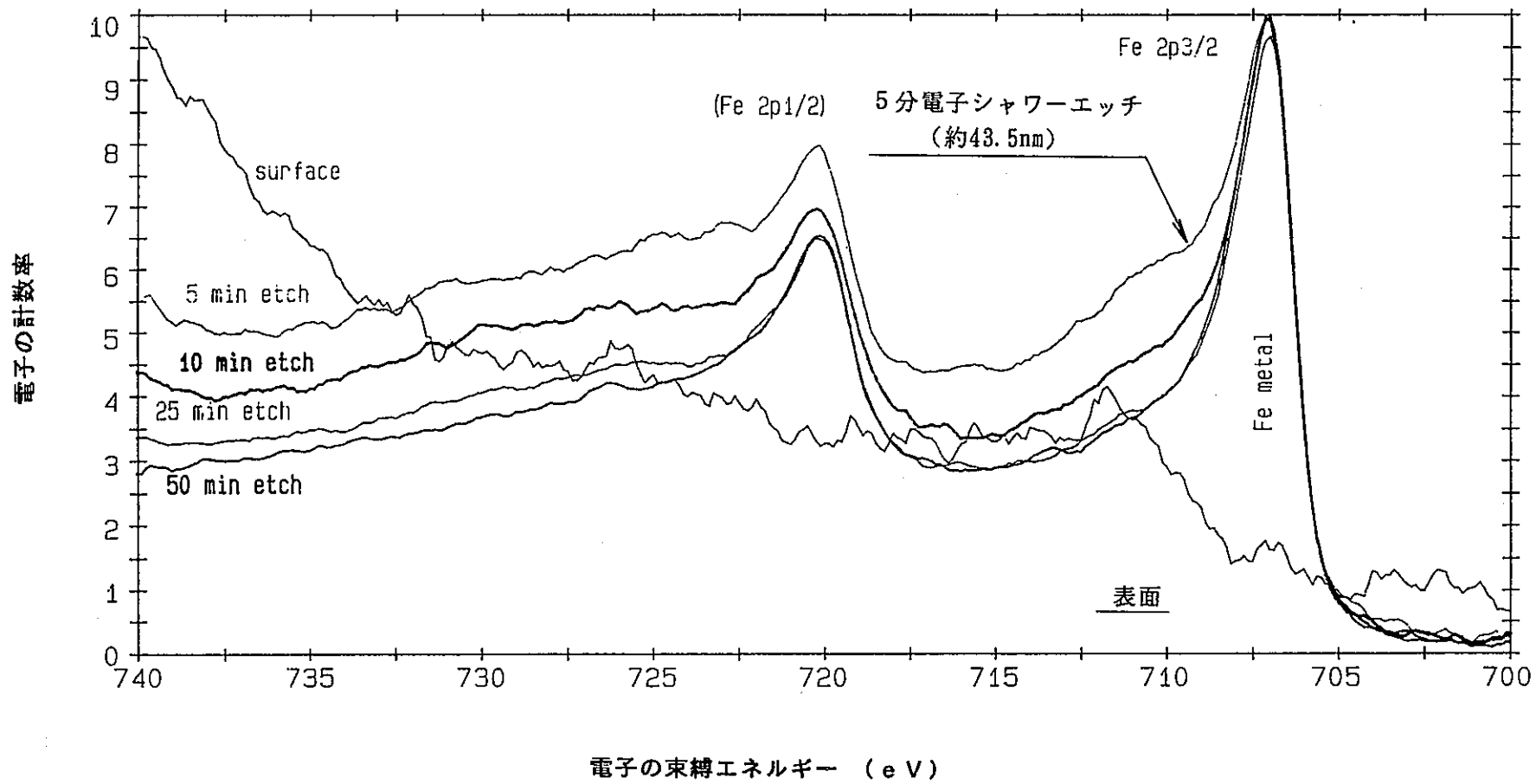


図10 A部のFeスペクトル分析結果



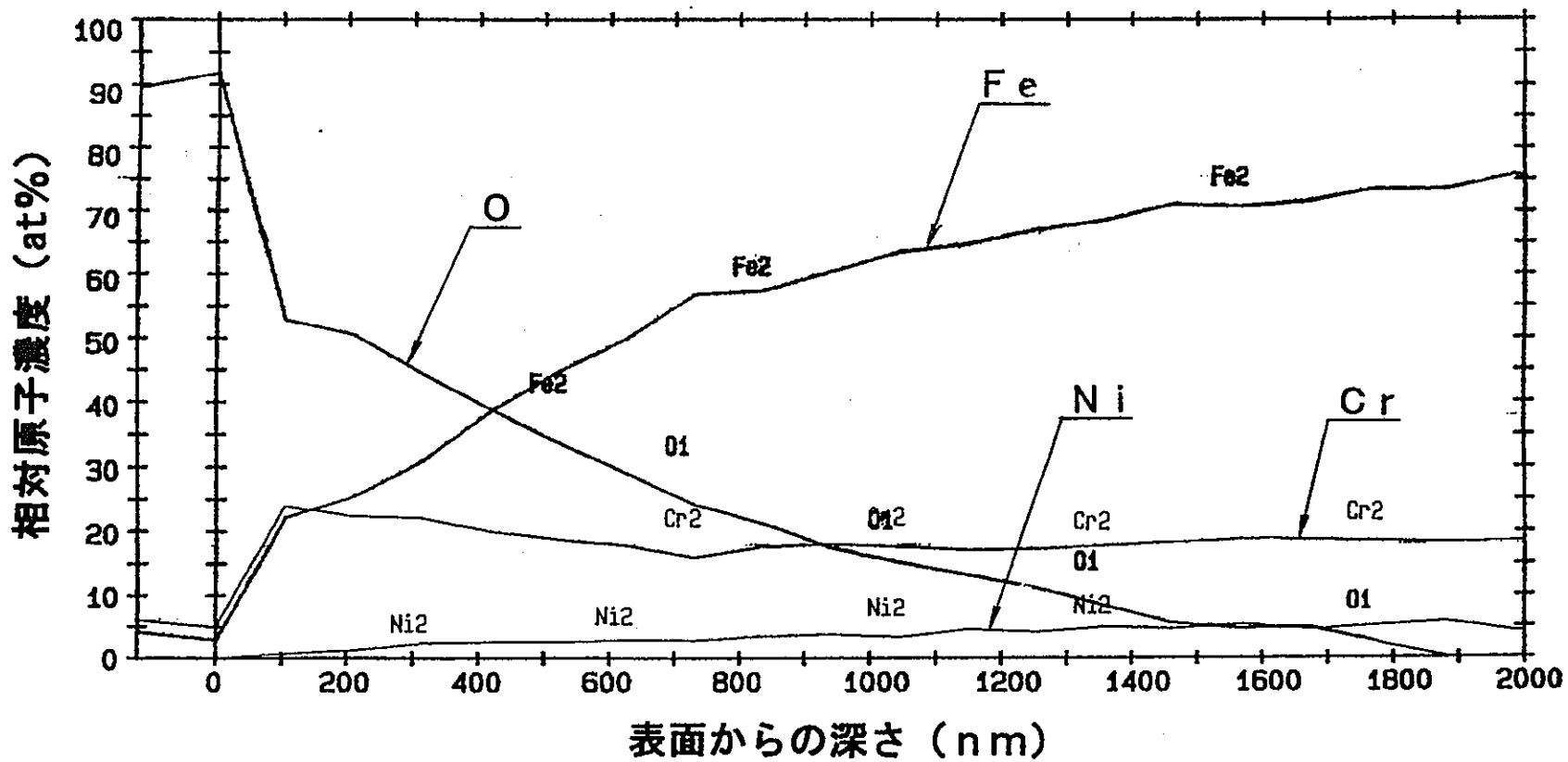


図11 E部相対原子濃度分析結果

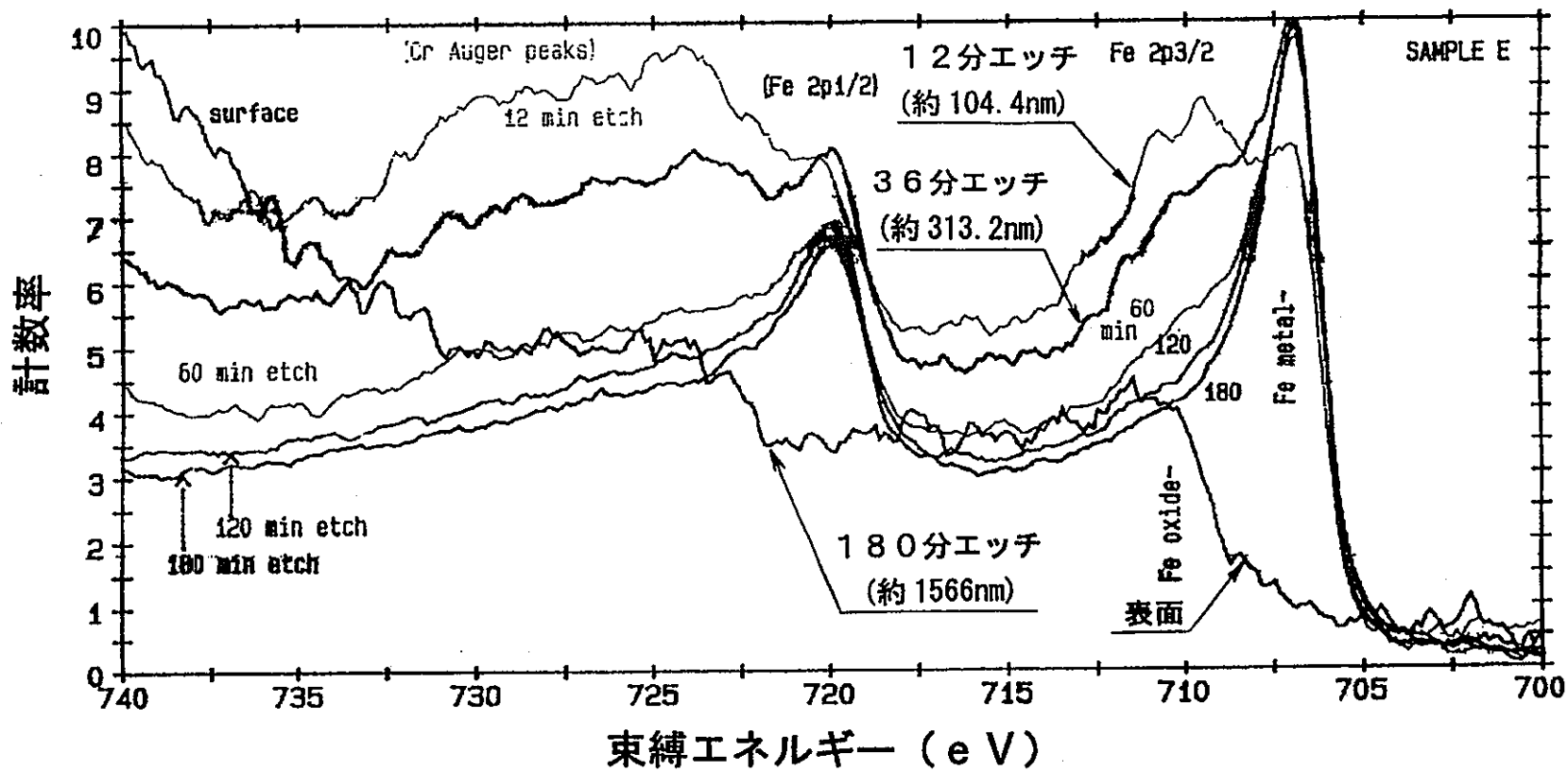


図12 E部のFeスペクトル分析結果