

 <b>MLF Experimental Report</b>	提出日 Date of Report 2013/9/**
課題番号 Project No. 2013A0157 実験課題名 Title of experiment 突合せ溶接継手を対象とした板厚内部の残留応力測定 実験責任者名 Name of principal investigator 三津谷維基 所属 Affiliation 東京ガス株式会社	装置責任者 Name of responsible person ステファヌスハルヨ 装置名 Name of Instrument/(BL No.) 匠 BL19 実施日 Date of Experiment 2013/4/29～5/2

試料、実験方法、利用の結果得られた主なデータ、考察、結論等を、記述して下さい。(適宜、図表添付のこと)  
 Please report your samples, experimental method and results, discussion and conclusions. Please add figures and tables for better explanation.

1. 試料 Name of sample(s) and chemical formula, or compositions including physical form.
板厚 37mm の炭素鋼板の突合せ溶接部(図1参照)

2. 実験方法及び結果 (実験がうまくいかなかった場合、その理由を記述してください。) Experimental method and results. If you failed to conduct experiment as planned, please describe reasons.
<p><b>3. 試料準備</b></p> <p><b>3-1. 無歪標準試料の作成</b></p> <p>放電加工機にて突合せ溶接継ぎ手材の溶接部から試料の切り出し(L100×W15×T37mm、図2-①参照)を行った。切り出し試料は溶接部および熱影響部を明確にするため、電解研磨を行った。試料に切り込みを入れて応力開放試料(無歪標準試料)を作成するにあたり、切り込み時の試料のソリ防止のため、試料の板厚断面が上になるように当て板を接着した。切り込みは深さ 12mm、2mm 間隔で縦横に入れ、各方向の本数は縦方向に 10 本、横方向に 19 本である(図 2-②参照)。</p> <p><b>3-2. 化学研磨</b></p> <p>突合せ溶接継ぎ手材は試料表面が錆びているため、溶接部の特定が困難であったため、試料の化学研磨を行った。化学研磨は酸洗、化学研磨、中和の工程で行われた。酸洗は塩酸系溶液に 30 分間試料を浸し行った。その後、過酸化水素中の溶液で1分間化学研磨した後、アルカリ溶液中で中和を行った。</p>

## 2. 実験方法及び結果(つづき) Experimental method and results (continued)

### 4. 中性子回折による残留応力測定

#### 4-1. 測定装置

J-PARC内の物質・生命科学実験施設にあるBL19「匠」を用いて突合せ溶接継ぎ手材溶接部近傍の内部応力測定を行った。

#### 4-2. 測定方法

##### 4-2-1. 座標系

応力測定における試料座標系を図4に示す。L方向(溶接線並行方向)をX方向、T方向(溶接線垂直方向)をY方向、N方向(板厚方向)をZ方向とした。

##### 4-2-2. 測定位置

測定位置および原点座標は無歪標準試料断面を参考に決定し、各測定位置(■)および原点位置(●)を図5に示す。溶金中央部にあたるY座標=-19ではZ=-2、0、3、6、14、22、30、34、36の9点、Y座標=-11ではZ=-2、0、3、6、10、14、18、22、26、30、34、36の12点、最も母材側にあたるY座標=-3はZ=0、6、14、22、30の5点、合計26点について測定を行った。

##### 4-2-3. 試料セッティング

試料セッティング写真を図6に示す。L方向の残留応力は試料を縦置きにしてパルス中性子を当て、South bank側に入ったデータを解析して求めた。NおよびT方向の残留応力は試料を横置きにし、North bank側に入ったのがN方向、South bank側に入ったのがT方向のデータとなる。一方、無歪標準試料は試料バサミで治具と試料を固定して測定を行った。North bank側にL方向、South bank側にT方向のデータが検出される。

##### 4-2-4. 測定条件

測定体積および測定時間は測定試料や試料セッティングの向きによって異なる。各条件は下記の表1に示す。

表1 各試料における測定体積および測定時間

試料	試料セッティング	測定体積	測定時間
測定試料	縦置き	3×3×3mm	100min
	横置き	3×3×10mm	35min
無歪標準試料	-	3×3×10mm	10min

### 4-3. 解析方法

#### 4-3-1. 解析に用いる回折ピーク

解析には3本の回折ピークを用いて各格子定数を平均化したマルチピーク解析と1本のみのシングルピーク解析の2パターンで解析を行った。マルチピーク解析に用いた回折面は(110)、(200)、(211)、シングルピーク解析は(110)を用いた。また、解析ソフトは Z-Rietveld (<https://z-code.kek.jp/zrg/>)を用いた。

#### 4-3-2. 応力計算

測定によって得られた回折ピークは Z-Rietveld でピークフィッティングを行い、各測定位置の格子定数を求めた。各測定位置の歪み  $\varepsilon$  は式(1)から求めた。

$$\varepsilon = \frac{a - a_0}{a_0} \quad (1)$$

$a$  はある測定における測定試料の格子定数、 $a_0$  は測定試料と同一位置における無歪標準試料の格子定数である。 $a_0$ を当てはめる際の注意点として、検出器(North bank、South bank)によって装置定数が異なるため、 $a_0$ は  $a$ と同じ検出器(bank)で測定した値を当てはめている。

直交する三方向の歪み値を(2)式に代入して各成分の残留応力  $\sigma$  を求める。

$$\begin{aligned} \sigma_x &= \frac{E}{(1+\nu)} \left[ \varepsilon_x + \frac{\nu}{(1-2\nu)} (\varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z) \right] \\ \sigma_y &= \frac{E}{(1+\nu)} \left[ \varepsilon_y + \frac{\nu}{(1-2\nu)} (\varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z) \right] \\ \sigma_z &= \frac{E}{(1+\nu)} \left[ \varepsilon_z + \frac{\nu}{(1-2\nu)} (\varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z) \right] \end{aligned} \quad (2)$$

$E$ 、 $\nu$ はヤング率、ポアソンである。今回、応力計算には  $\alpha$ -Fe(211)の物性値である  $E=22330$  OMPa、 $\nu=0.28$ を用いた。

## 5. 測定結果

各方向、座標位置における測定試料と無歪標準試料の格子定数および歪み、応力計算結果を図7～図16に示す。図7～図11はグラフの X 軸を Z 座標(N 方向)で表した結果、図12～図16には X 軸を Y 座標(T 方向)で表した結果である。Z 座標で整理した結果は解析方法がマルチピークとシングルピークの2パターンで整理し、Y 座標で整理した結果はシングルピークのみで行った。また、格子定数の error bar が0.0005 Å 以上の場合は信頼度が低いと判断して格子定数のグラフから除外し、その測定位置に関しては歪みおよび応力計算を行わなかった。

測定結果を以下に示す。

- ① Z 座標で整理した結果はマルチピークとシングルピークの2パターンで解析を行ったが、この両方で格子定数および歪み、残留応力値に大きな差は見られなかった(図7～図10)。
- ② 各測定位置における無歪標準試料の格子定数は測定試料の格子定数と比較して値に差がほとんどなかった。このことから無歪標準試料は切り込みを入れることによって応力が開放されたと考えられる(図8、13)。
- ③ 図15(グラフの X 軸:Y 座標(T 方向))の残留応力結果から、L 方向は全ての測定位置で引張り応力を示した。また、T 方向の残留応力結果から、Z = +30位置において溶金部(Y=-19、-11)は-330～-370MPa 程度の圧縮残留応力を示した。

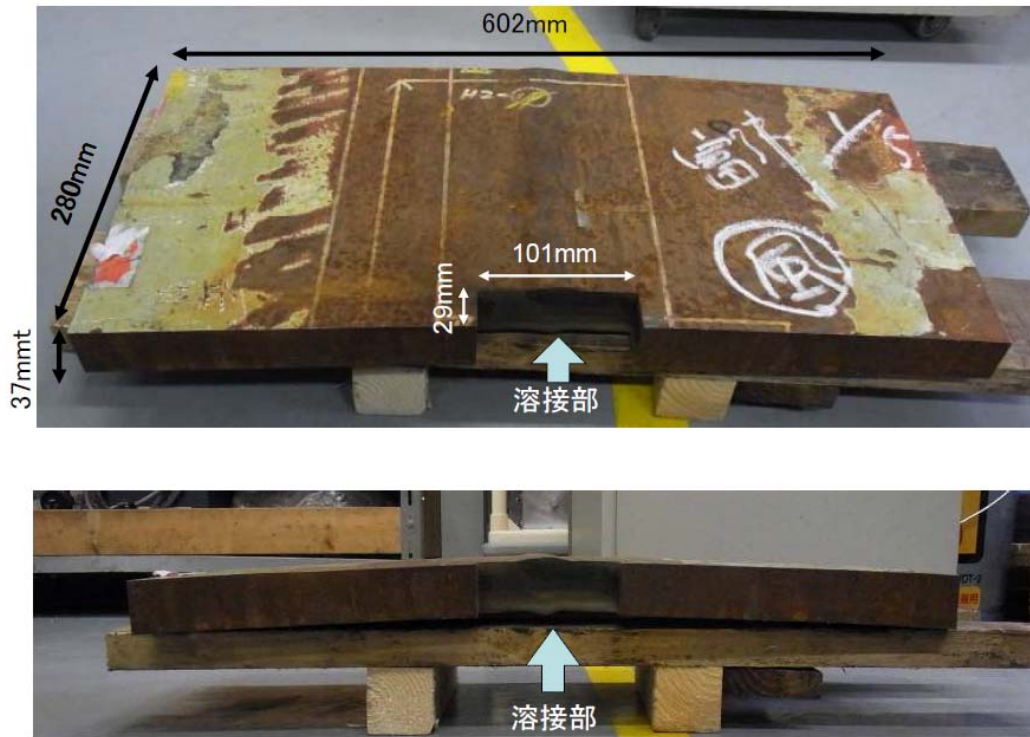


図1 突合せ溶接継手の概観写真

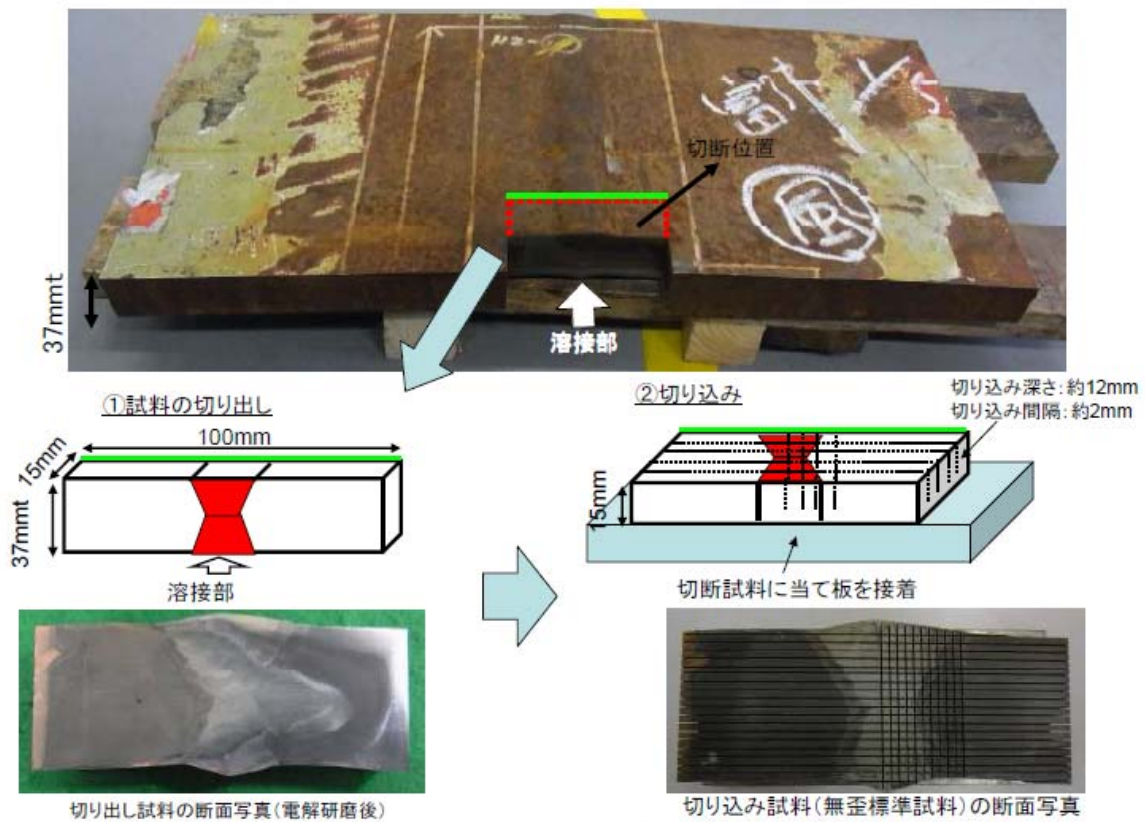
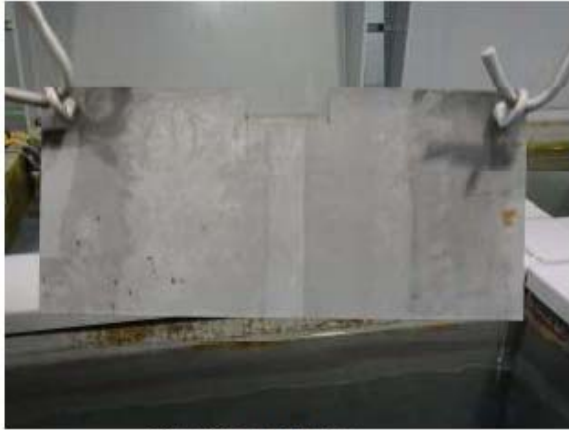
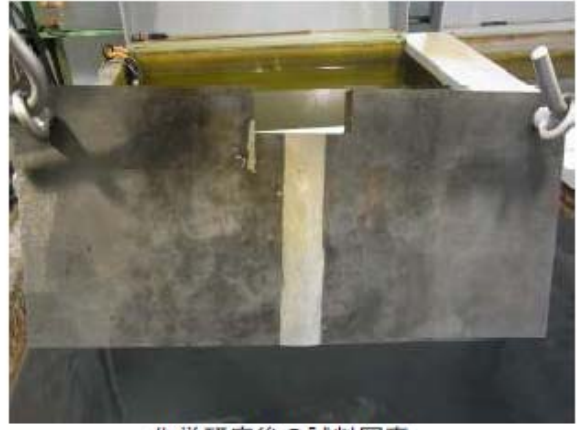


図2 無歪標準試料の切り出しおよび切り込み写真



酸洗後の試料写真



化学研磨後の試料写真



化学研磨後の試料溶接部断面写真

図3 酸洗および化学研磨後の試料概観写真

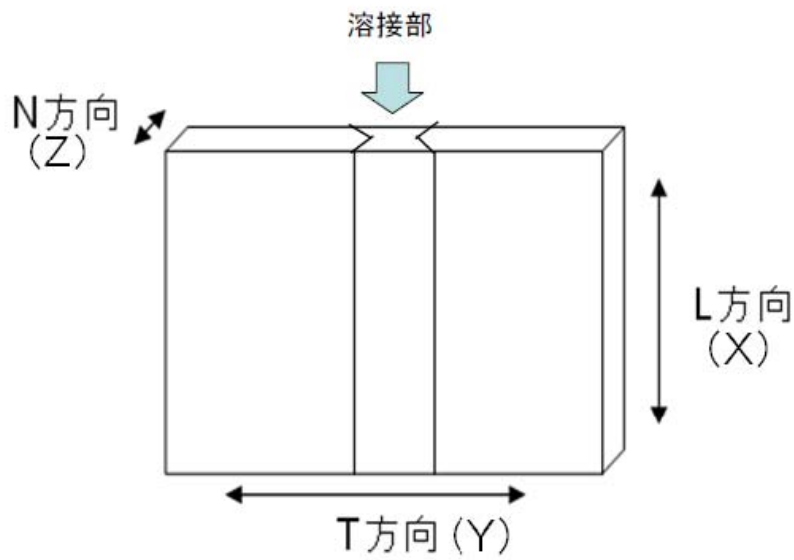
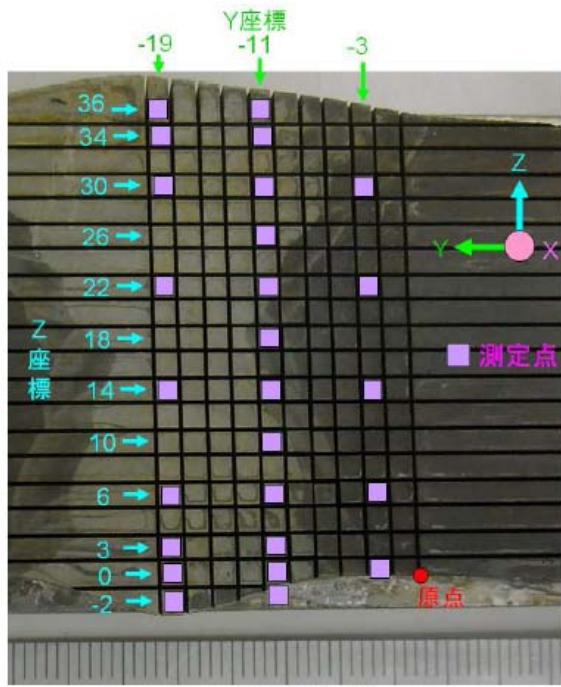


図4 中性子回折測定における座標系の設定



各測定位置

測定点数	
・Y=-19	9点
・Y=-11	12点
・Y=-3	5点
計26点	



測定試料の原点

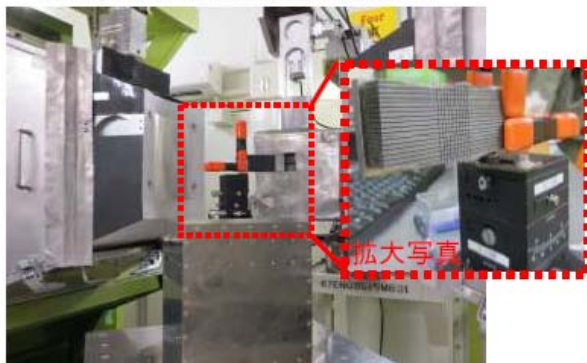
図5 原点および各測定位置



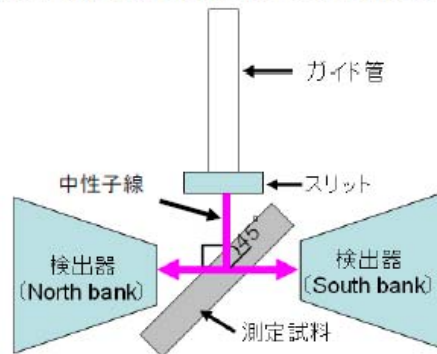
L方向応力測定時の試料セッティング(試料縦置き)



NおよびT方向応力測定時の試料セッティング(試料横置き)

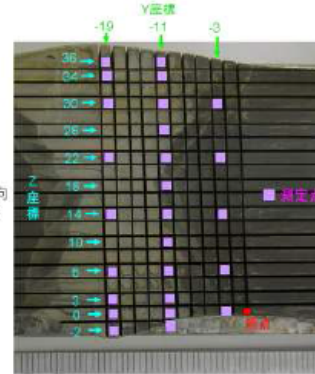
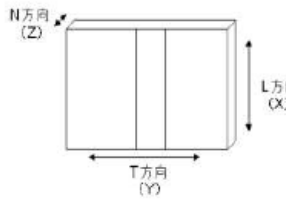
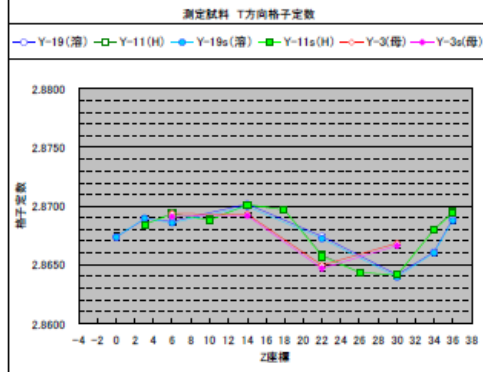
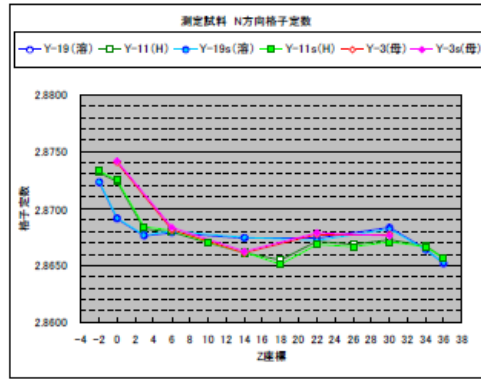
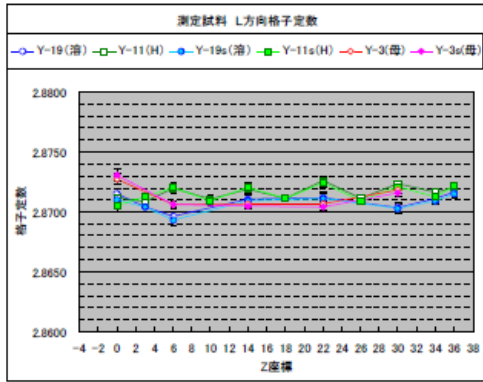


無歪標準試料応力測定時の写真

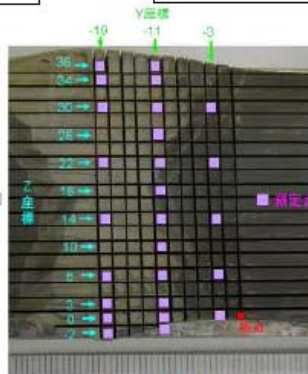
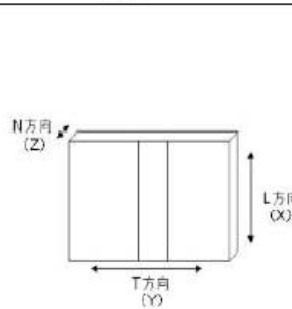
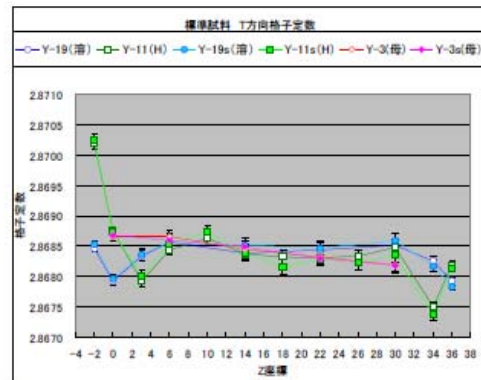
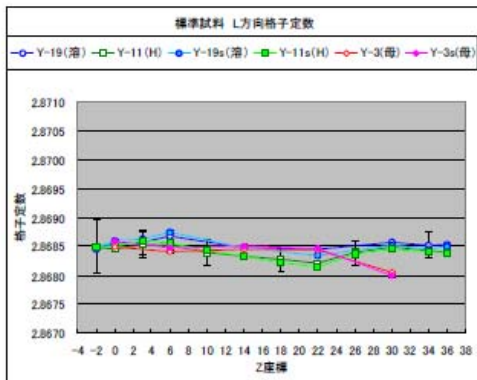


匠における回折系概念図

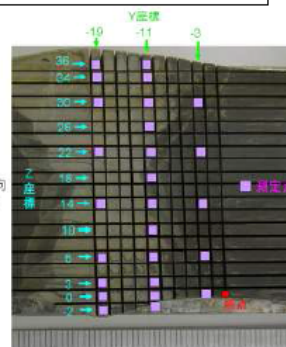
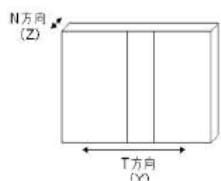
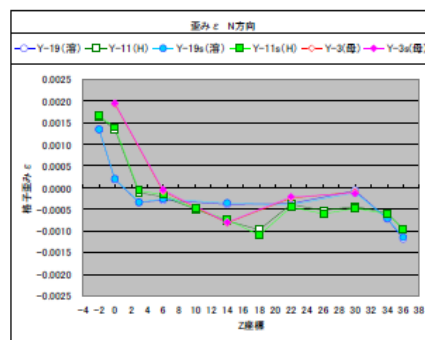
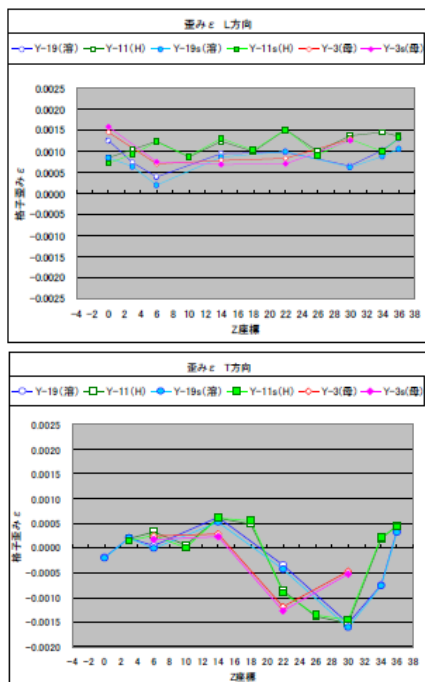
図6 測定時の試料セッティング写真および匠の回折系概念図



※白抜きプロット: マルチピーク解析、塗りつぶしプロット: シングルピーク解析  
 図7 各方向および各座標位置における測定試料の格子定数(グラフのX軸: Z座標(N方向))

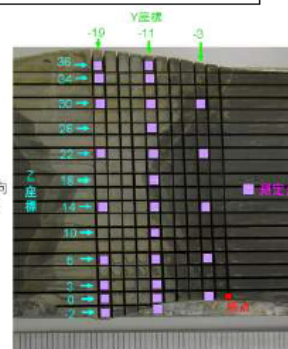
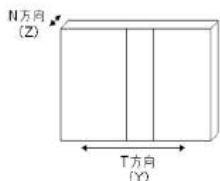
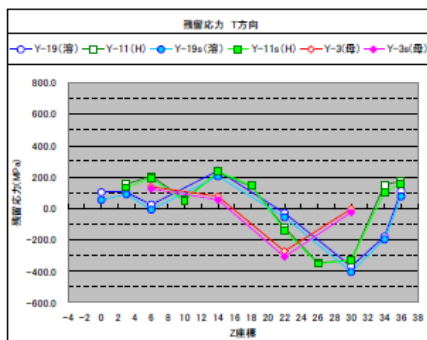
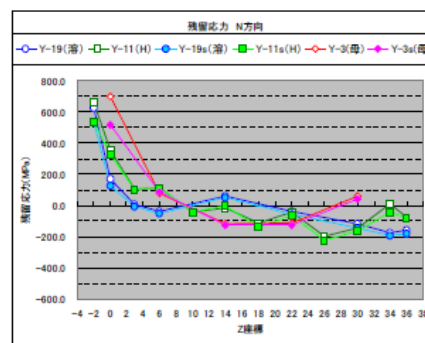
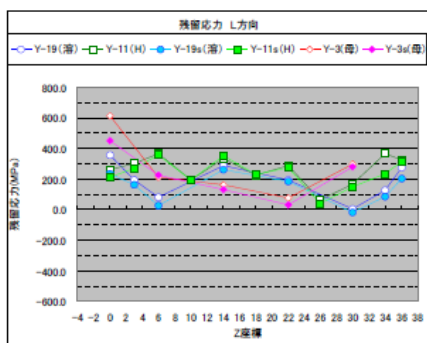


※白抜きプロット: マルチピーク解析、塗りつぶしプロット: シングルピーク解析  
 図8 各方向および各座標位置における無歪標準試料の格子定数(グラフのX軸: Z座標(N方向))



※白抜きプロット: マルチピーク解析, 塗りつぶしプロット: シングルピーク解析

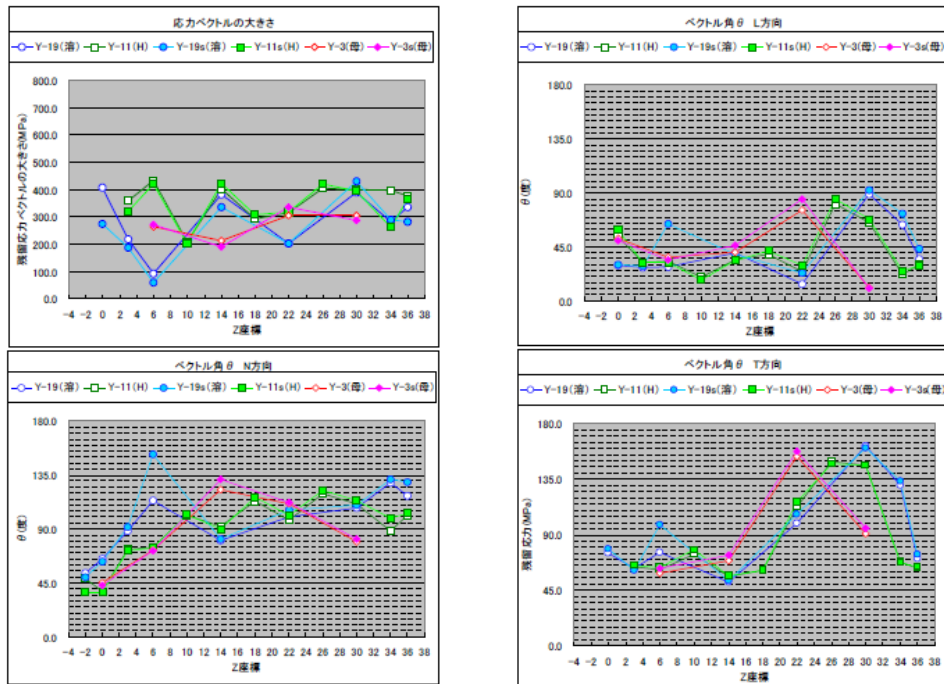
図9 各方向および各座標位置における歪み  $\epsilon$  (グラフのX軸: Z座標(N方向))



※白抜きプロット: マルチピーク解析, 塗りつぶしプロット: シングルピーク解析

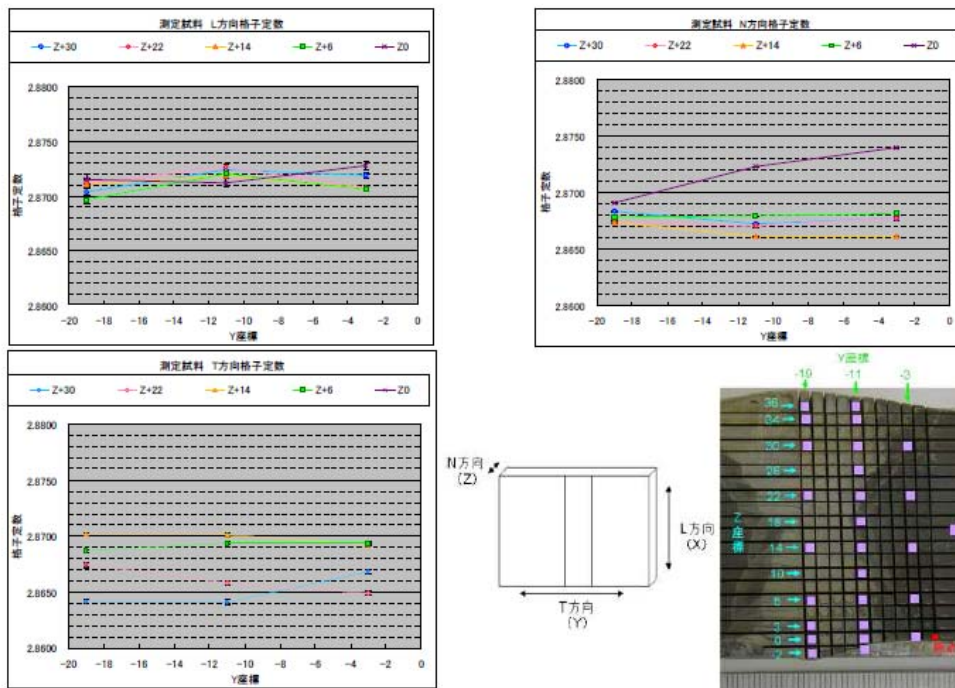
図10 各方向および各座標位置における残留応力  $\sigma$  (グラフのX軸: Z座標(N方向))





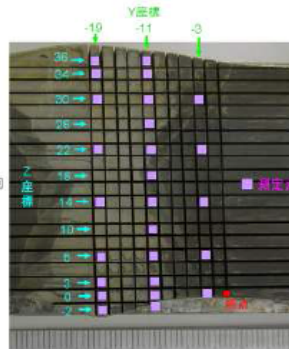
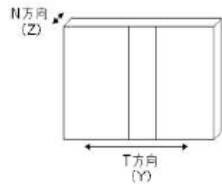
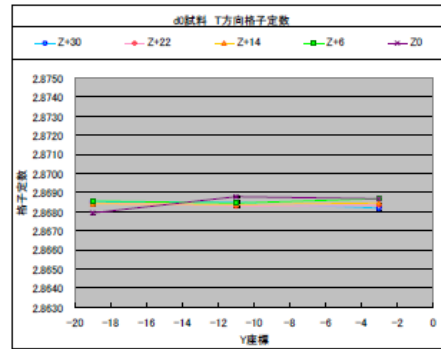
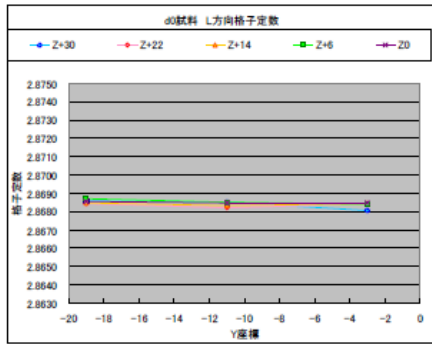
※白抜きプロット: マルチピーク解析、塗りつぶしプロット: シングルピーク解析

図11 応力ベクトルの大きさおよび各方向におけるベクトル角θ (グラフのX軸: Z座標 (N方向))



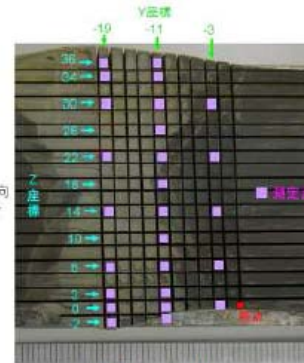
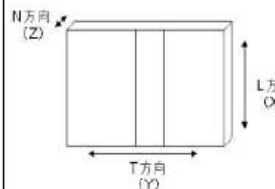
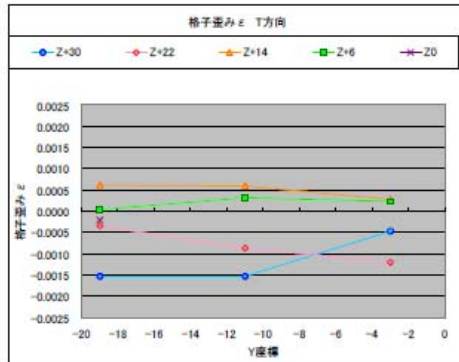
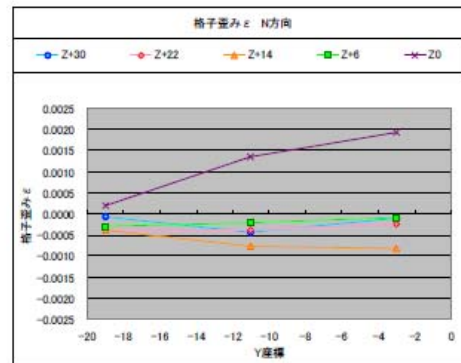
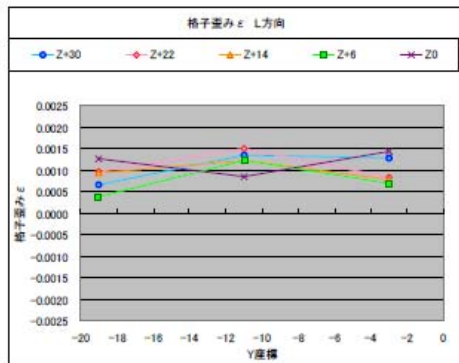
※マルチピーク解析のみ

図12 各方向および各座標位置における測定試料の格子定数(グラフのX軸: Y座標 (T方向))



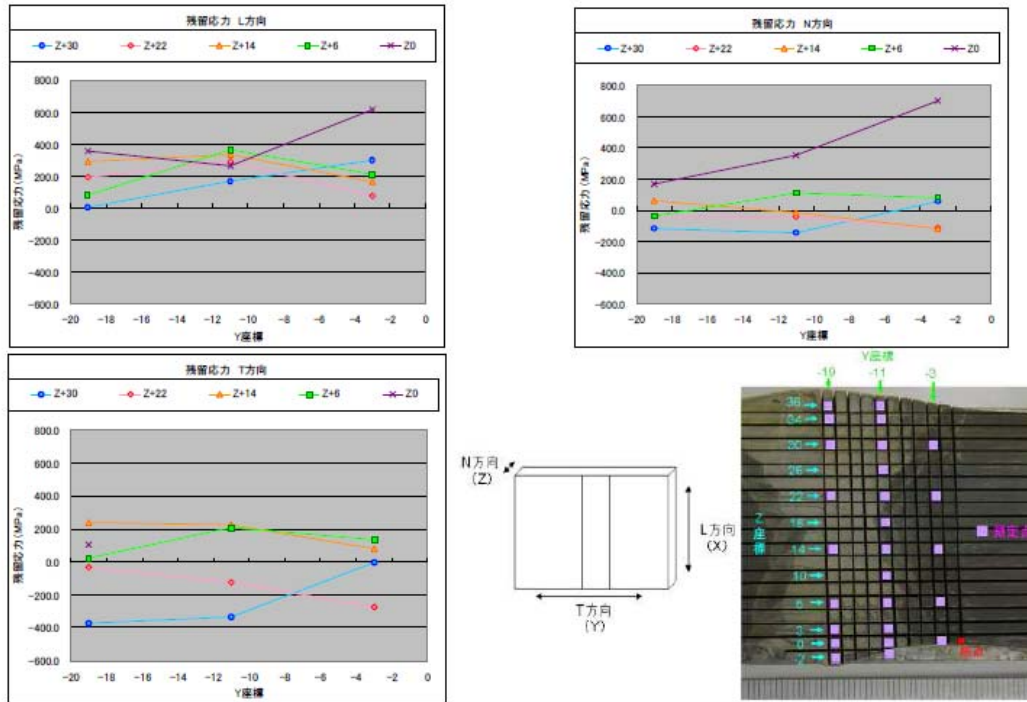
※マルチピーク解析のみ

図13 各方向および各座標位置における無歪標準試料の格子定数(グラフのX軸:Y座標(T方向))



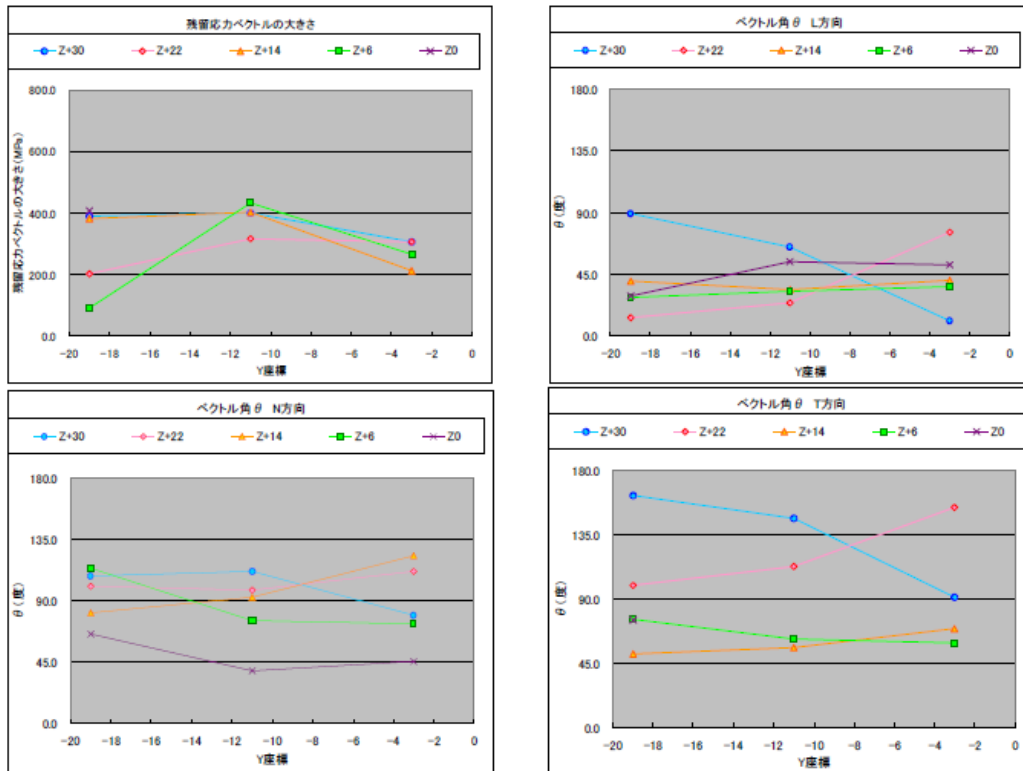
※マルチピーク解析のみ

図14 各方向および各座標位置における歪み  $\varepsilon$  (グラフのX軸:Y座標(T方向))



※マルチピーク解析のみ

図15 各方向および各座標位置における残留応力 $\sigma$  (グラフのX軸:Y座標(T方向))



※マルチピーク解析のみ

図16 応力ベクトルの大きさおよび各方向におけるベクトル角 $\theta$  (グラフのX軸:Y座標(T方向))