

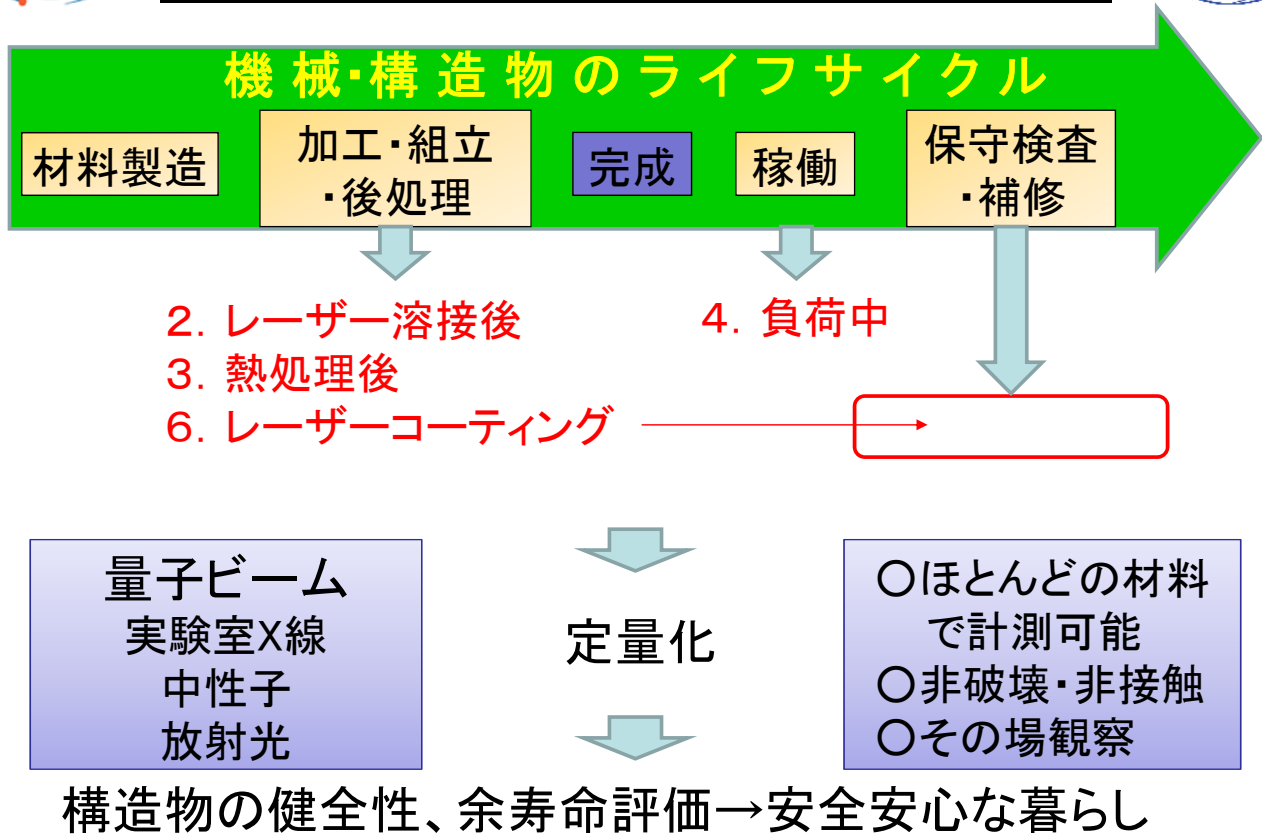
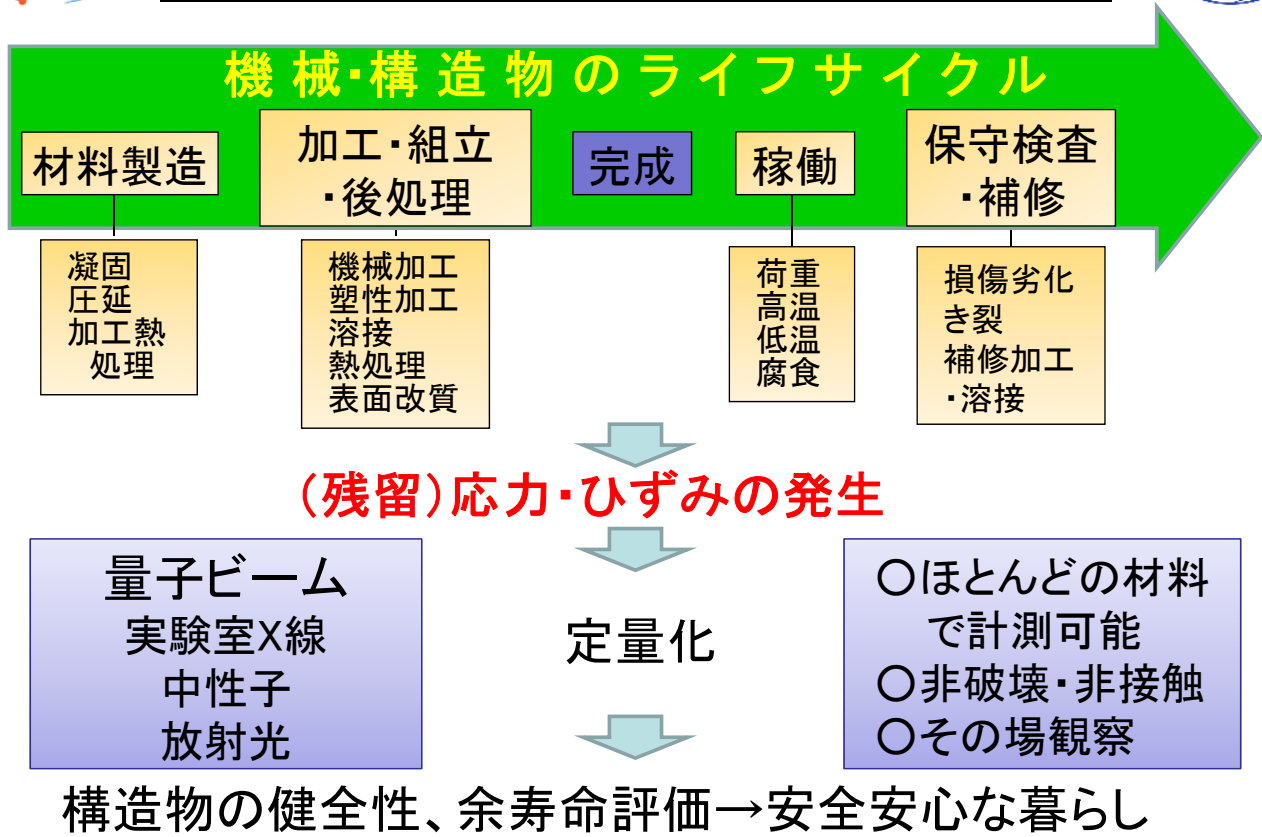
レーザー加工技術高度化のための 放射光を用いた金属材料評価

国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構
量子ビーム応用研究センター

菖蒲敬久

shobu@spring8.or.jp

1. 放射光を用いた応力・ひずみ測定の目的
2. レーザー溶接後の内部残留ひずみ分布
3. 熱処理によるレーザー溶接材内部残留ひずみ
4. 負荷中レーザー溶接材内部ひずみ分布
5. まとめ
6. レーザーコーティング技術開発のための金属溶融現象
その場観察(時間があれば)



- 他の溶接技術に比べて、
- パワー密度が極端に高い
 - レーザー光を吸収する材料であれば利用可能
 - 遠隔操作が可能



- ◆薄板材溶接による軽量化
- ◆金属異種材料接合
- ◆**金属-非金属材料接合への期待**



グリーン
イノベーション

ライフ
イノベーション

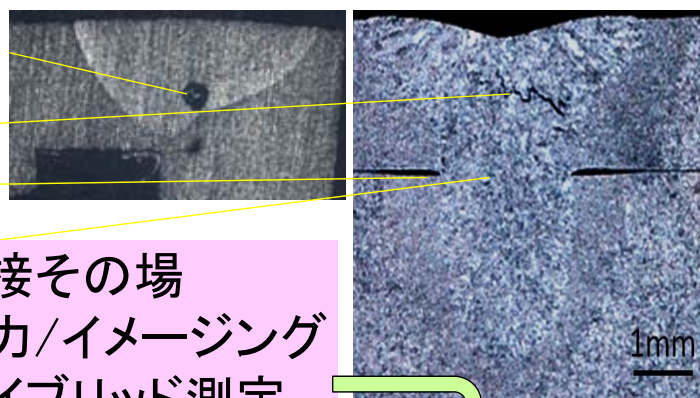


- 内部欠陥:ポロシティー
- 凝固割れ

- 空隙、変形
- 金属間化合物

◎**残留応力**

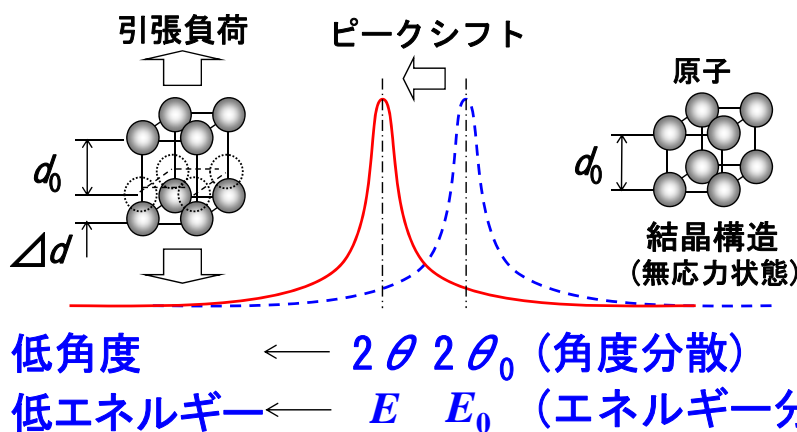
溶接その場
応力/イメージング
ハイブリッド測定



◆重合せ溶接内部ひずみ測定

**レーザー溶接技術
の高度化**

- レーザー溶接による発生する局所ひずみ分布
- 熱処理によるひずみ・応力除去
- 実環境下での材料強度

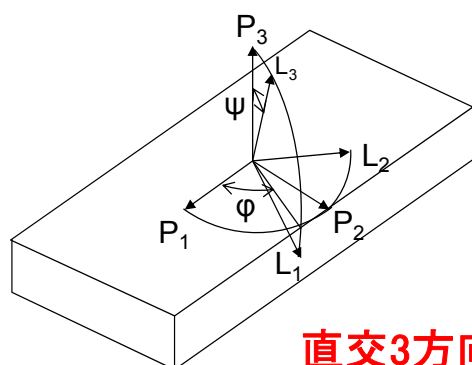


(角度分散)

$$\varepsilon = \frac{\Delta d}{d_0} = -\frac{\Delta 2\theta}{2} \cot \frac{2\theta_0}{2}$$

(エネルギー分散)

$$\varepsilon = \frac{\Delta d}{d_0} = -\frac{E - E_0}{E_0}$$



$$\varepsilon_{11} = \frac{1}{E} \sigma_{11} - \frac{\nu}{E} \sigma_{22} - \frac{\nu}{E} \sigma_{33}$$

$$\varepsilon_{22} = -\frac{\nu}{E} \sigma_{11} + \frac{1}{E} \sigma_{22} - \frac{\nu}{E} \sigma_{33}$$

$$\varepsilon_{33} = -\frac{\nu}{E} \sigma_{11} - \frac{\nu}{E} \sigma_{22} + \frac{1}{E} \sigma_{33}$$

平面応力状態が
仮定できれば・・・
・2方向で十分
・Sin²ψ法

直交3方向のひずみから直交3方向の応力に変換

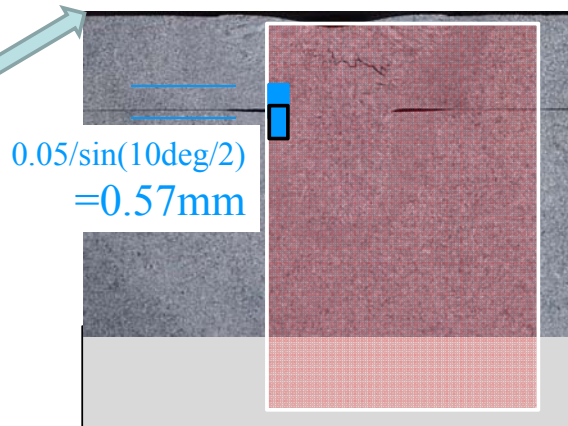
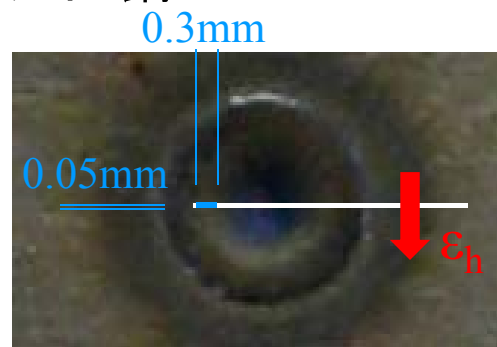
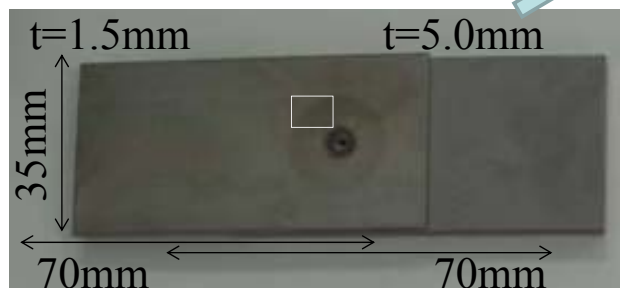
試験片: PNC-FMS → ほぼマルテンサイト鋼

成分	wt%	成分	wt%	成分	wt%
C	0.14	Cr	10.5	Ni	0.50
Si	0.04	Mo	0.40	V	0.20
Mn	0.70	W	1.80		

0.2%耐力: 855MPa

引張強さ: 1002MPa

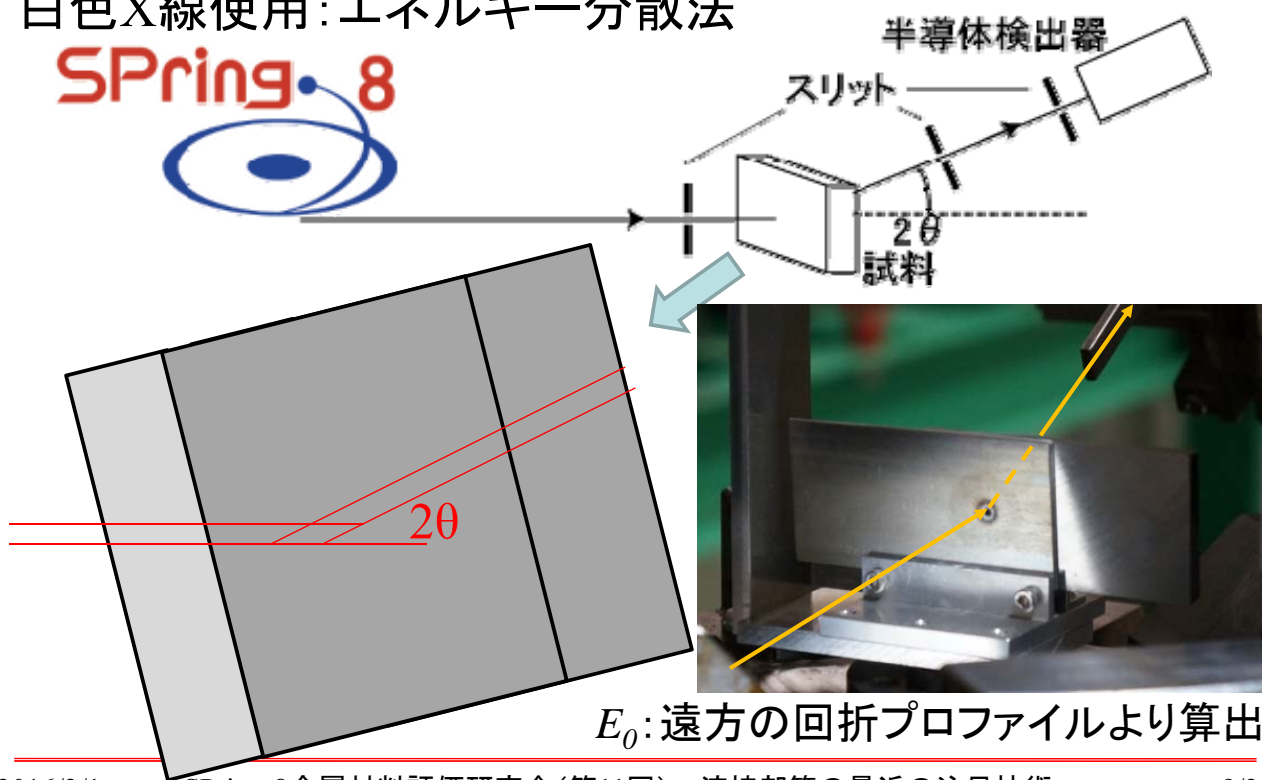
溶接: 1ショット重ね合わせ溶接
(YAG、1kW、1sec)



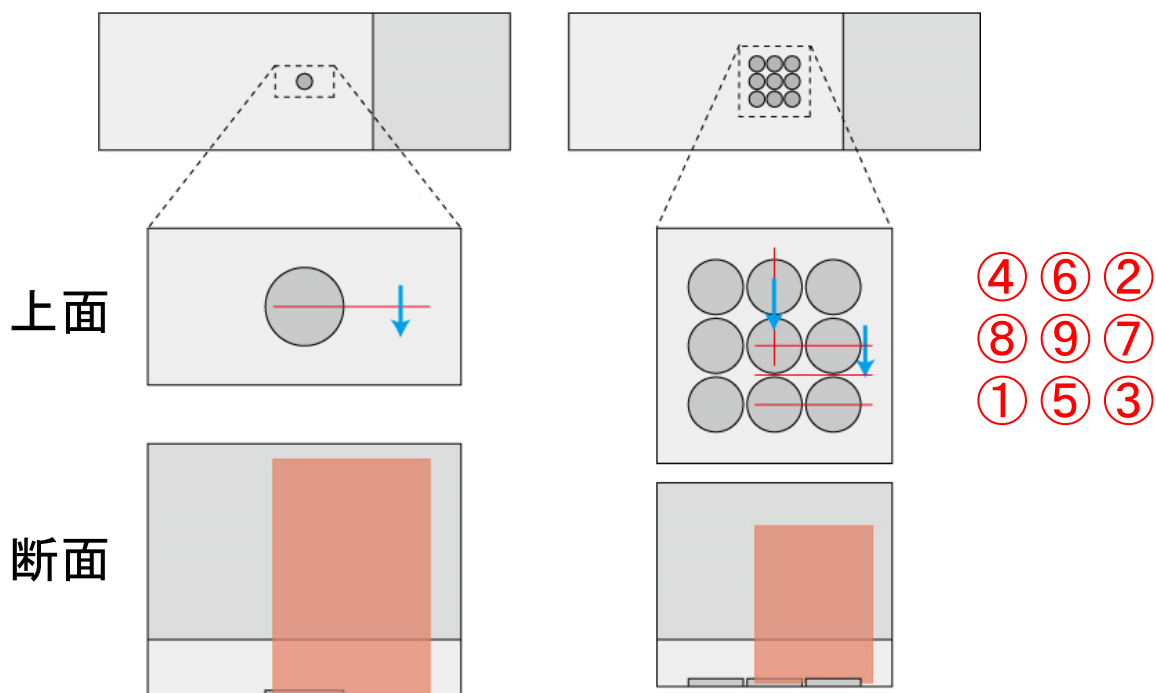
SPring-8、BL14B1

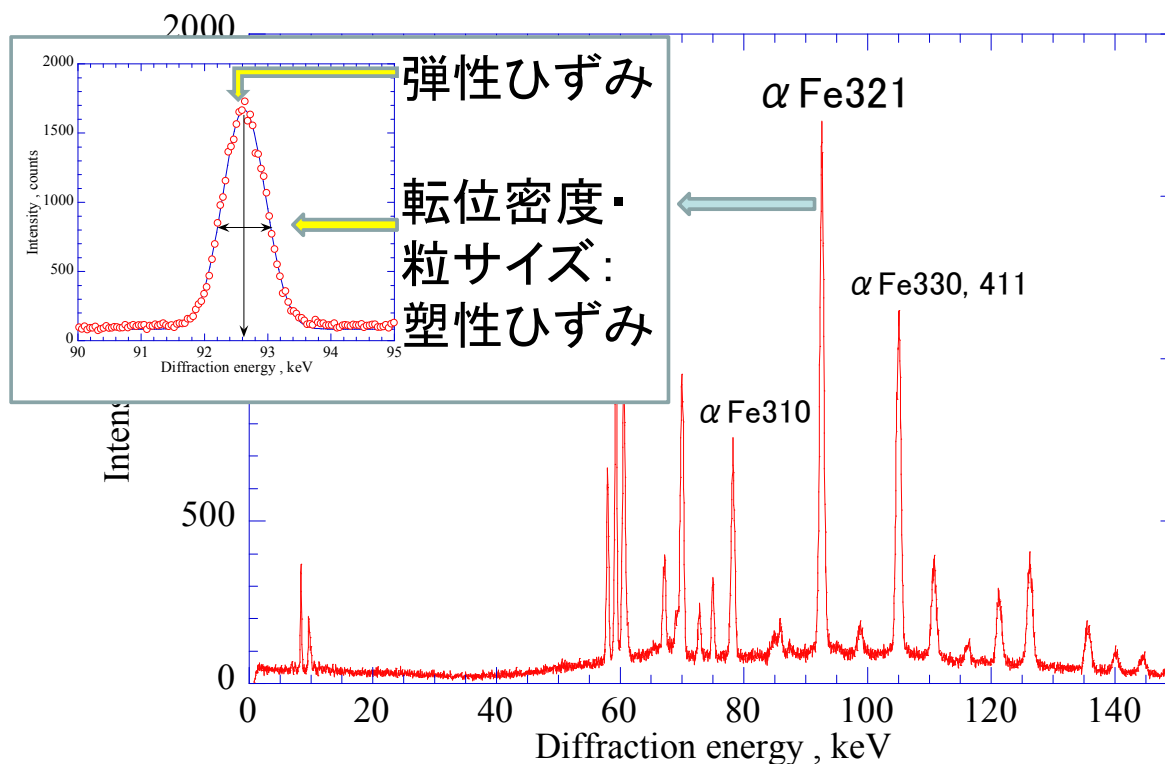
白色X線使用:エネルギー分散法

SPring-8

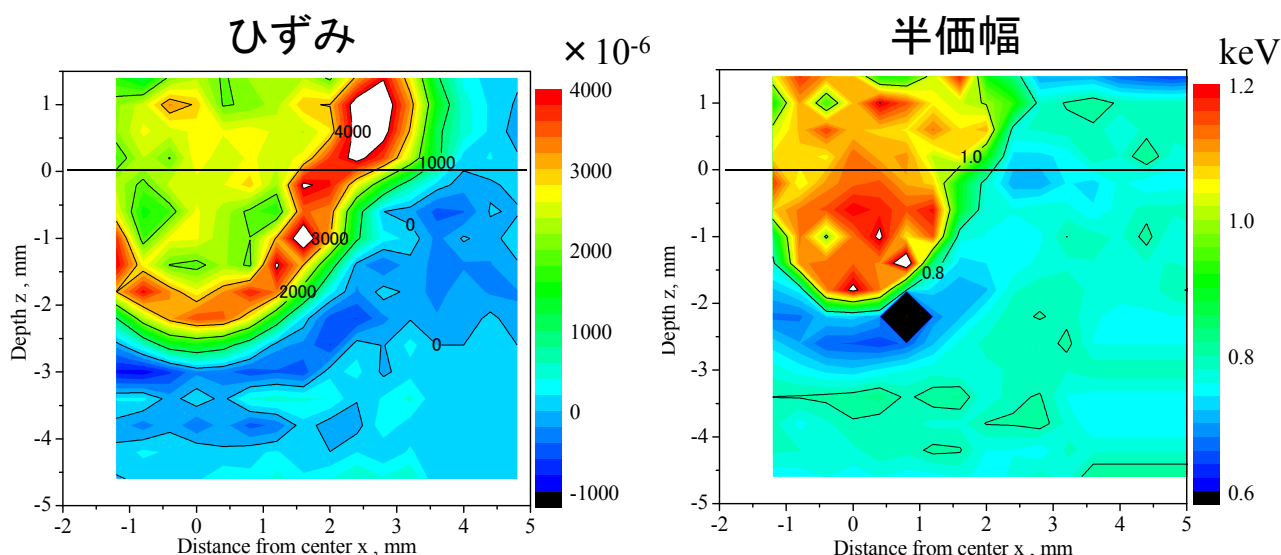


測定範囲

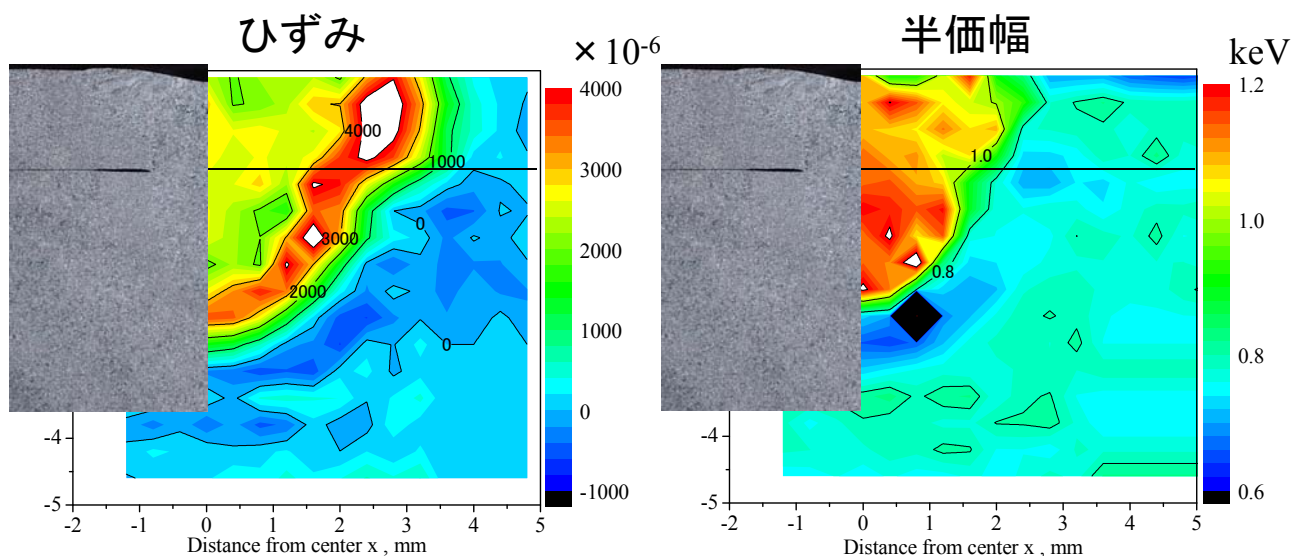




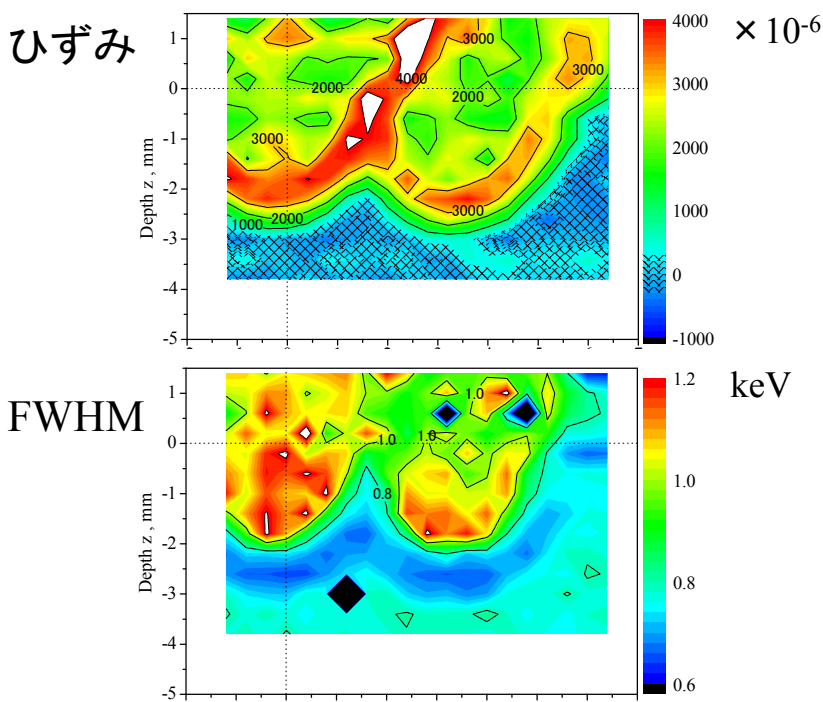
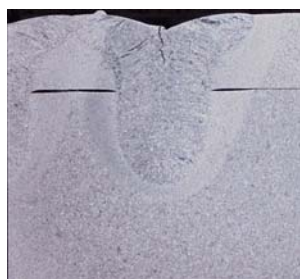
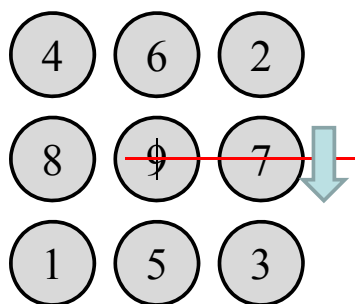
α Feの回折線および蛍光X線が観測



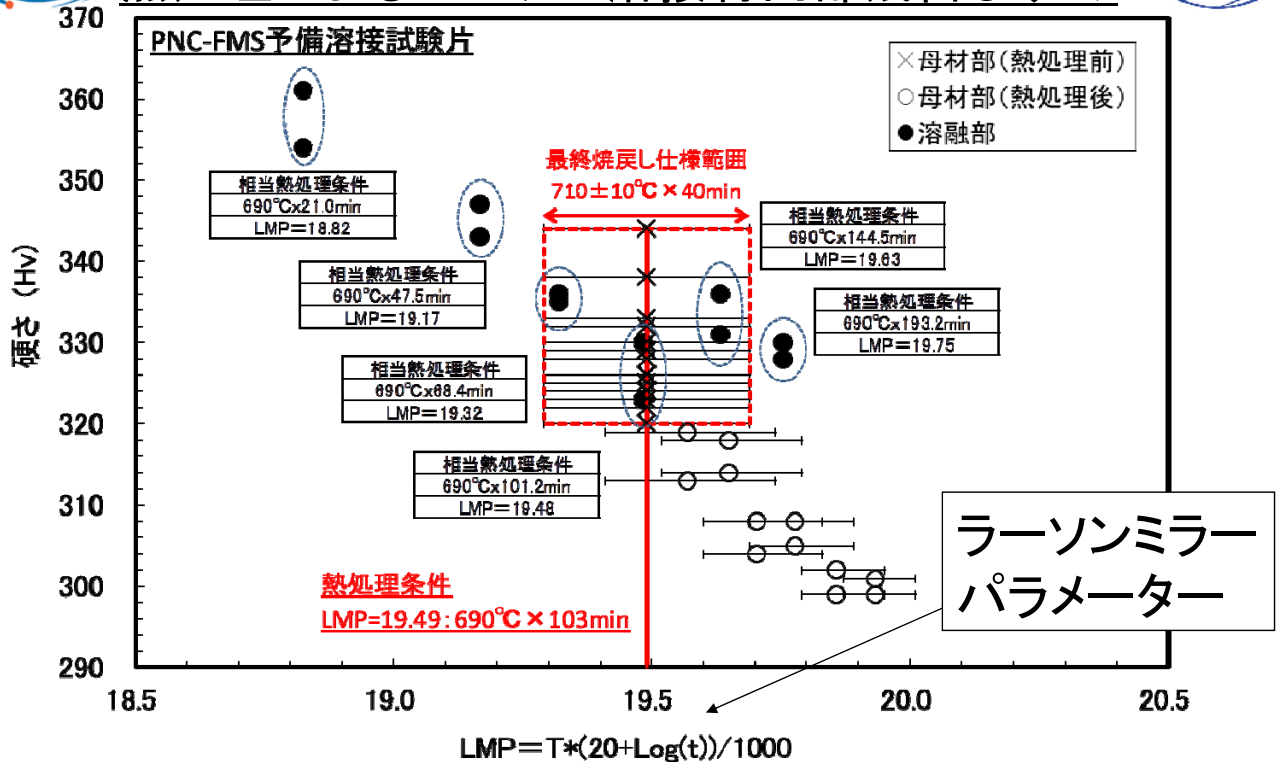
- 1) 溶接部内部は半価幅が広く、強い引張ひずみ
- 2) 1)の外周は、半価幅は普通、最も強い引張ひずみ
- 3) 2)の外周は、半価幅が狭く、急激なひずみ勾配



- 1) 溶接部内部は半価幅が広く、強い引張ひずみ : 溶融部
- 2) 1)の外周は、半価幅は普通、最も強い引張ひずみ : HAZ
- 3) 2)の外周は、半価幅が狭く、急激なひずみ勾配 : 母材



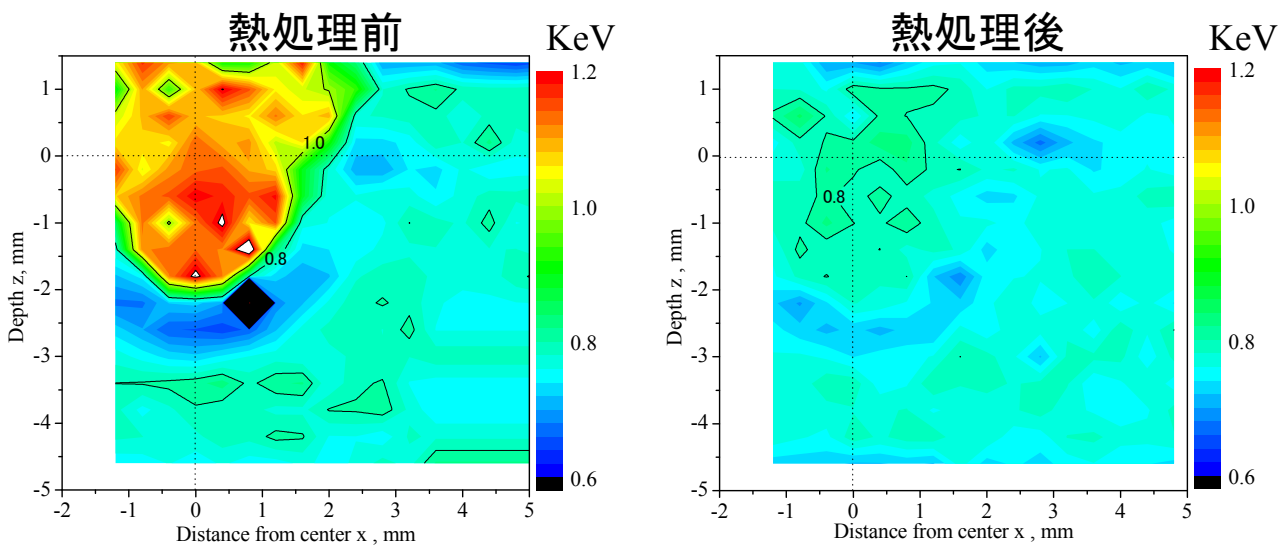
- 1shot同様の分布
- 後から照射した部分の影響が最も強い



残留応力はほぼ除去されているか？

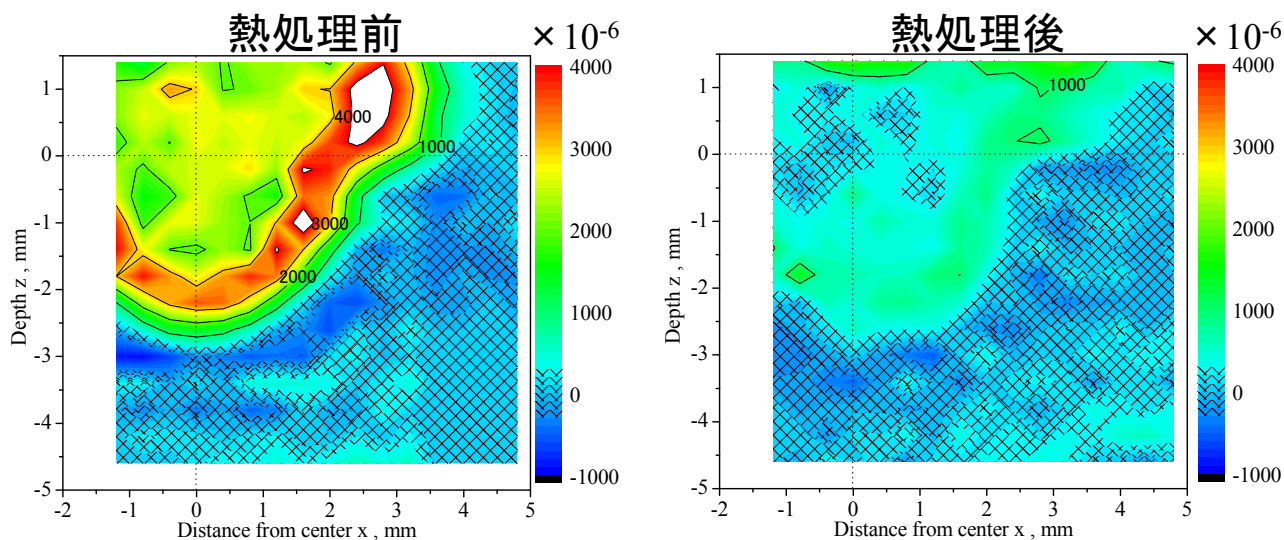
測定結果

同一の試験片を熱処理し再度測定
FWHM



○熱処理前後で半価幅の絶対値はずいぶん減少していることから
転位密度(塑性ひずみ)はかなり軽減している

同一の試験片を熱処理し再度測定 ひずみ



○熱処理前後でかなりの残留ひずみは除去できているが、最も残留ひずみが高かった領域が除去出来ていない
→溶融部のマクロ変形は元に戻らないために弾性ひずみが残留？

4. 負荷中レーザー溶接材内部ひずみ分布

SPring-8、BL22XU、 $E = 69.93\text{keV}$

ひずみスキニング法によるひずみ分布測定

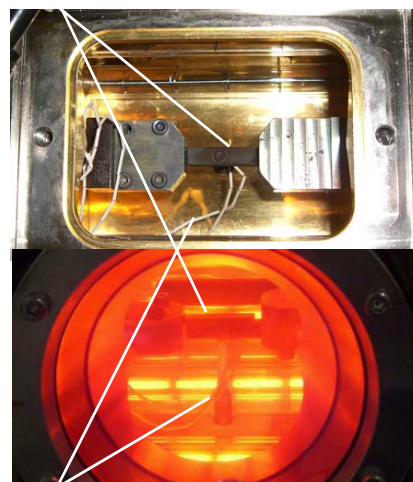
コリメータ

0.05mm × 5.0 mm

入射スリット

0.05mm × 0.15 mm

試料



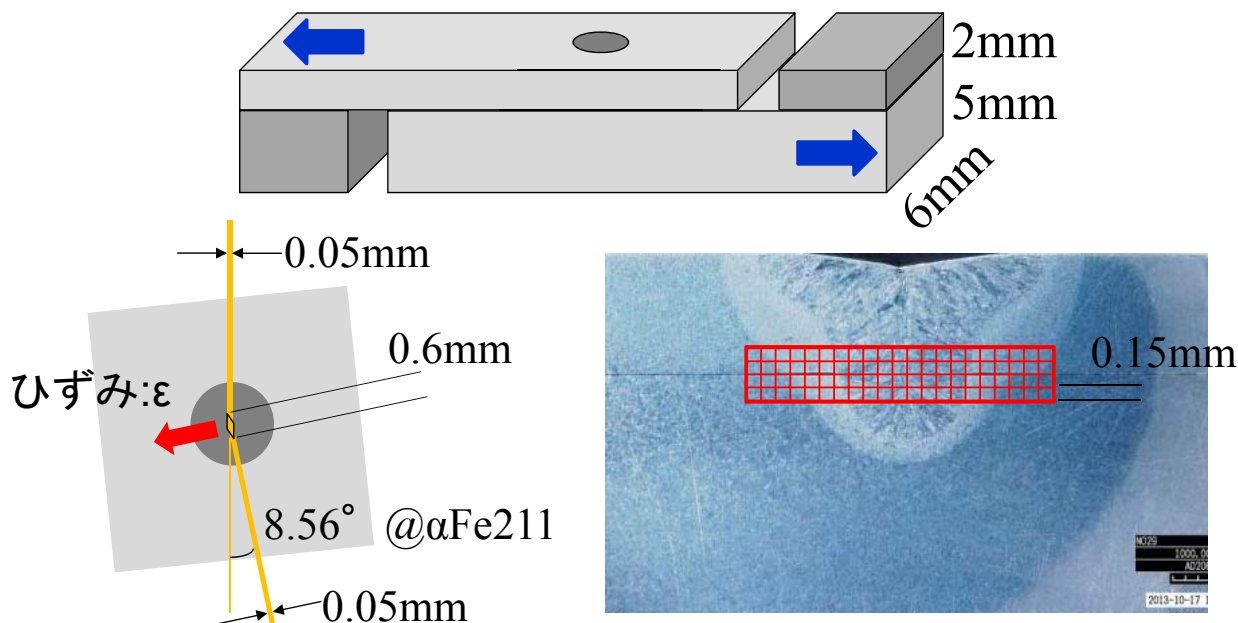
CdTe 受光スリット
検出器 0.05mm × 3.0 mm

高温負荷装置

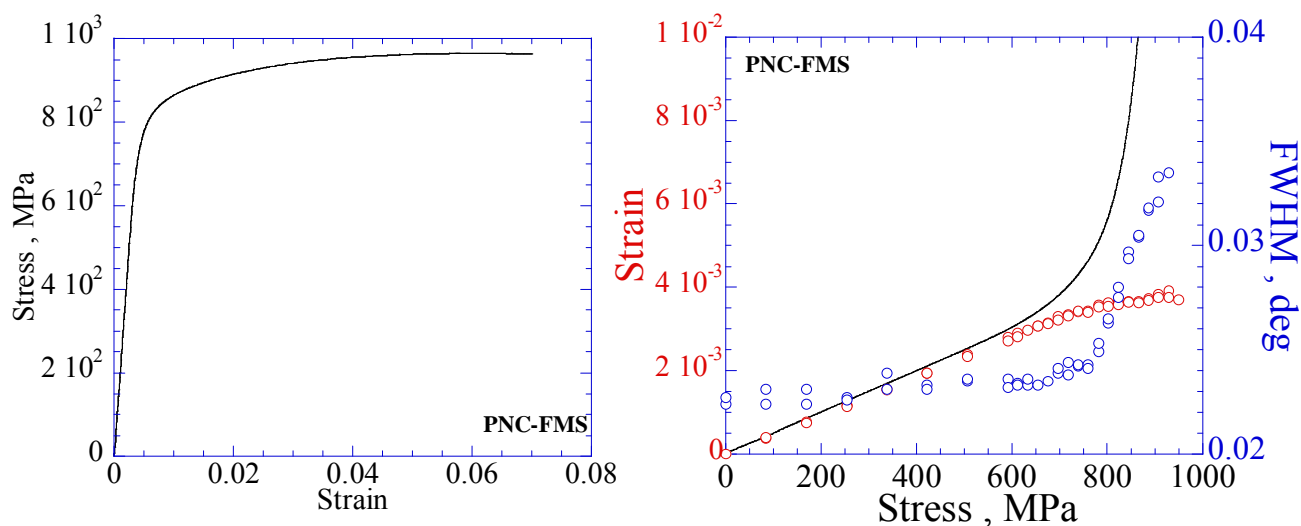
熱電対

PNC-FMS (Ferrite Martensite Steel)

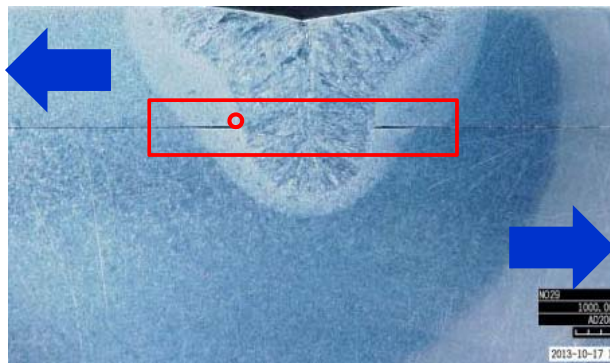
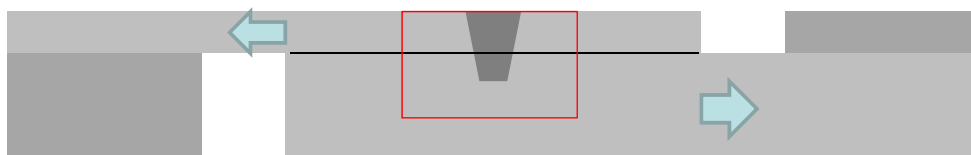
Ybファイバーレーザー, 出力: 1.3kW, 入熱量: 1500J



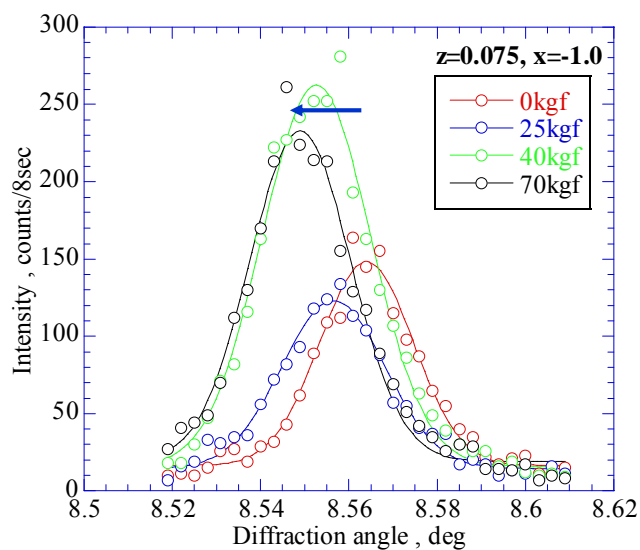
530°Cで4段階の引張負荷中のひずみ分布を測定



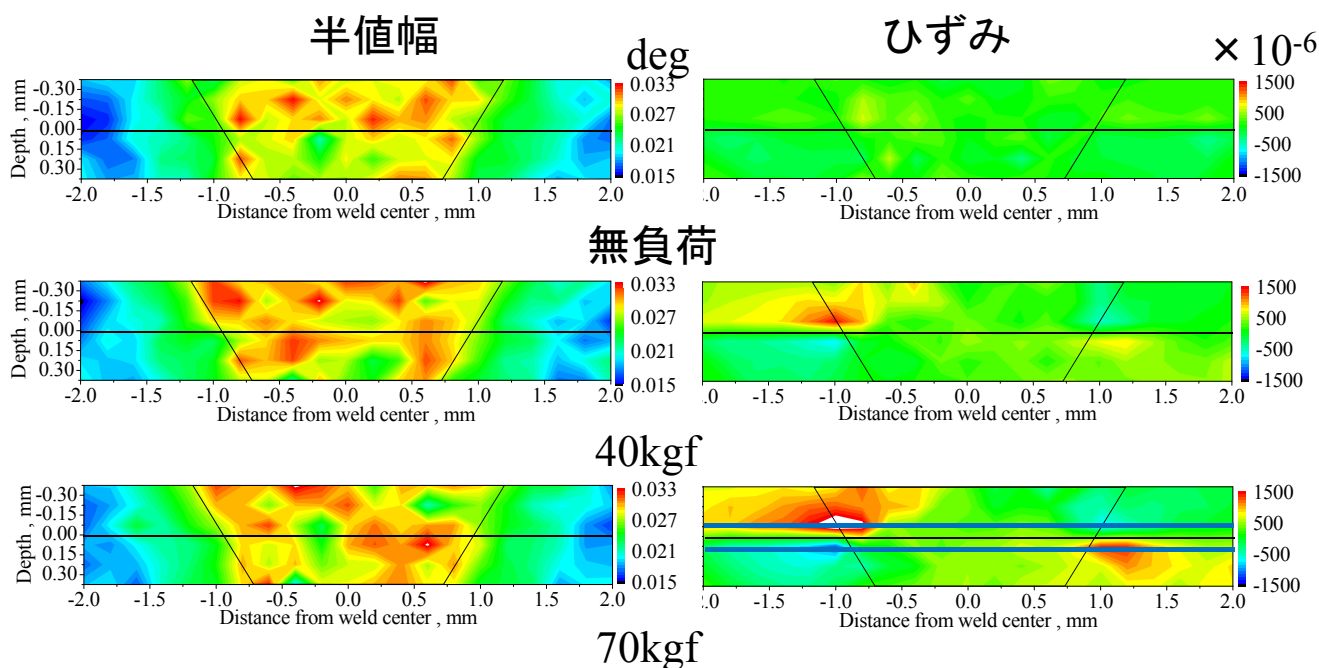
格子ひずみ : 弾性域ではマクロとほぼ一致
 塑性域ではマクロより大きく下回る
 半価幅 : 弾性域ではほとんど変化しない
 塑性域で急激に増加する



α Fe(211)回折

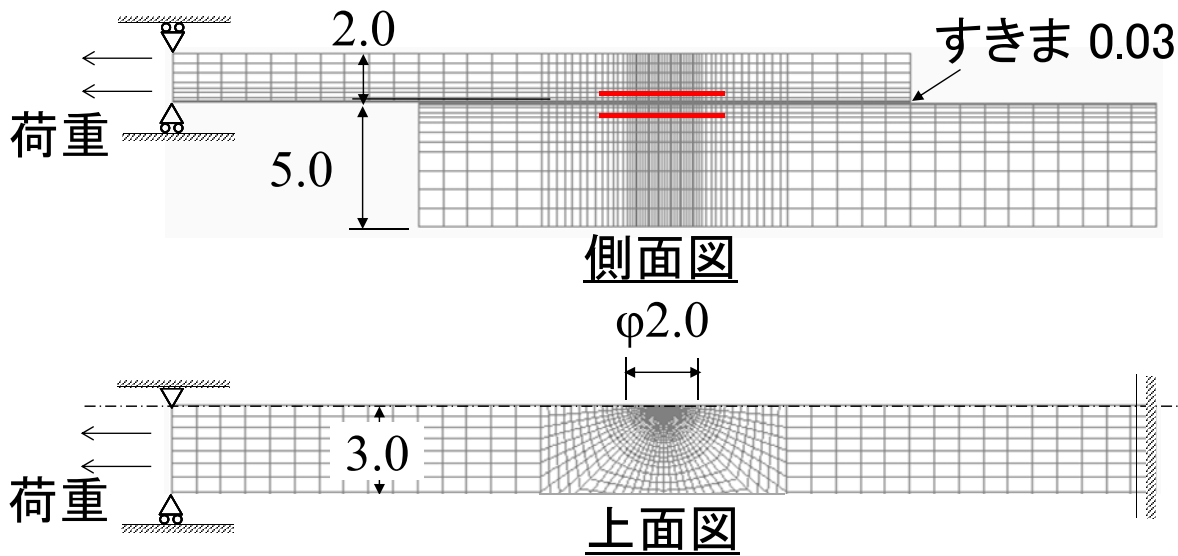


引張負荷に対して、低角側にシフト

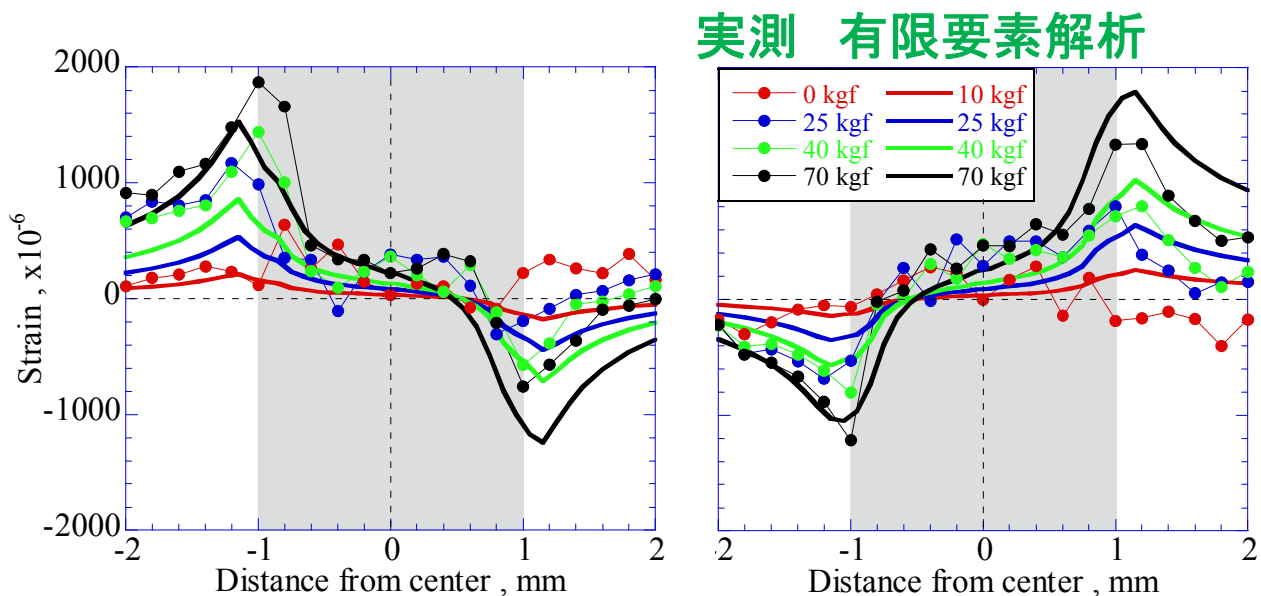


荷重に対して幅の変化はなし
界面で引張と圧縮ひずみが上下板で対象的に出現

非線形FEM構造解析システム(FINAS)を使用

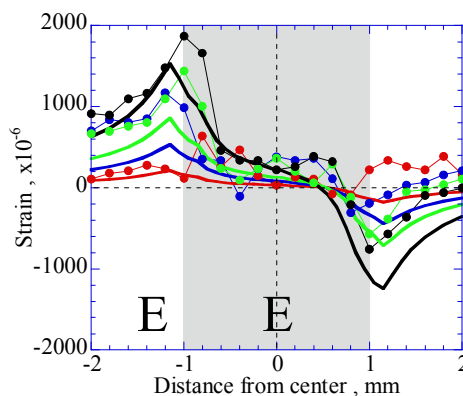


高温負荷測定結果



定性的にはかなり良い一致を示している
 定量的には若干値が大小にずれている

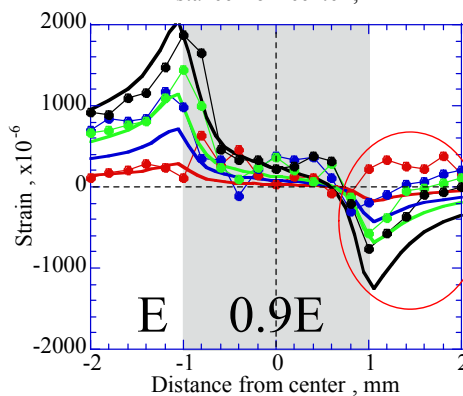
○欠陥
 ○モデル差



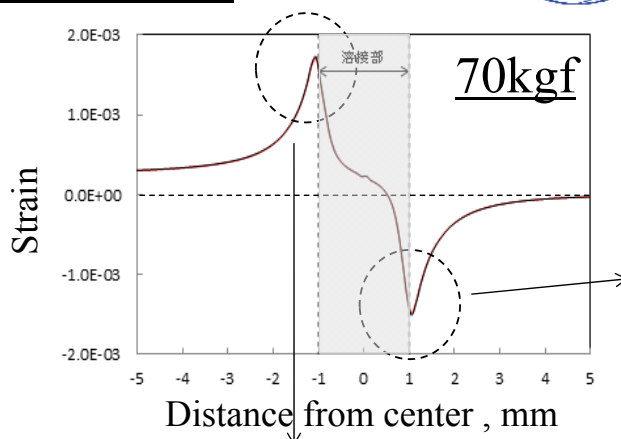
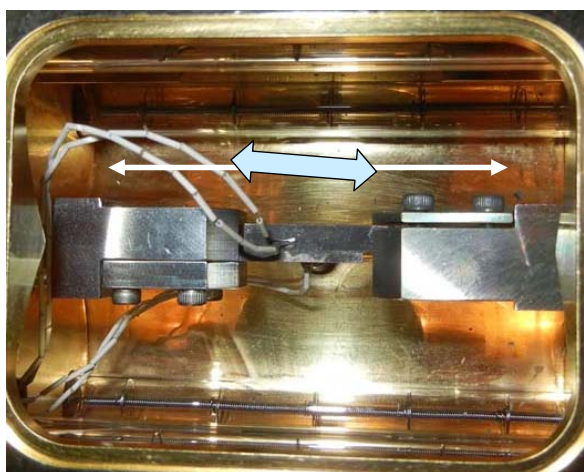
○溶融部の組織は母材と異なることからヤング率も多少違うのでは？



○左上は改善するが右下は改善せず



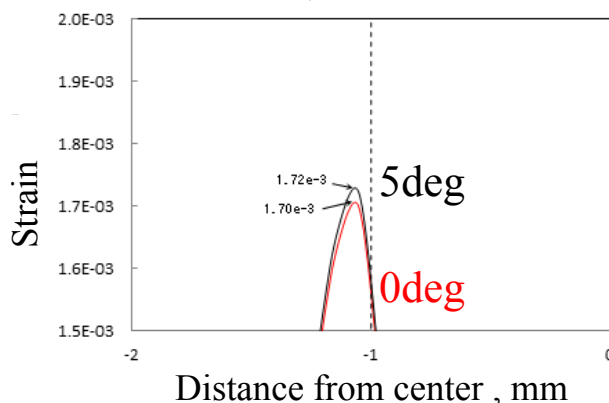
上側金属板

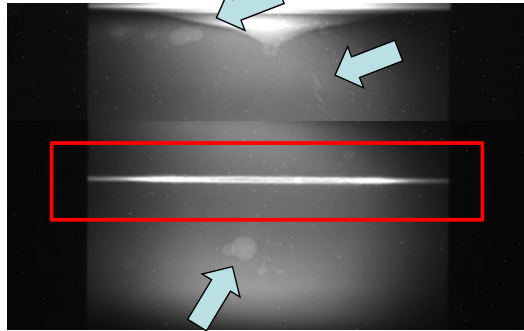
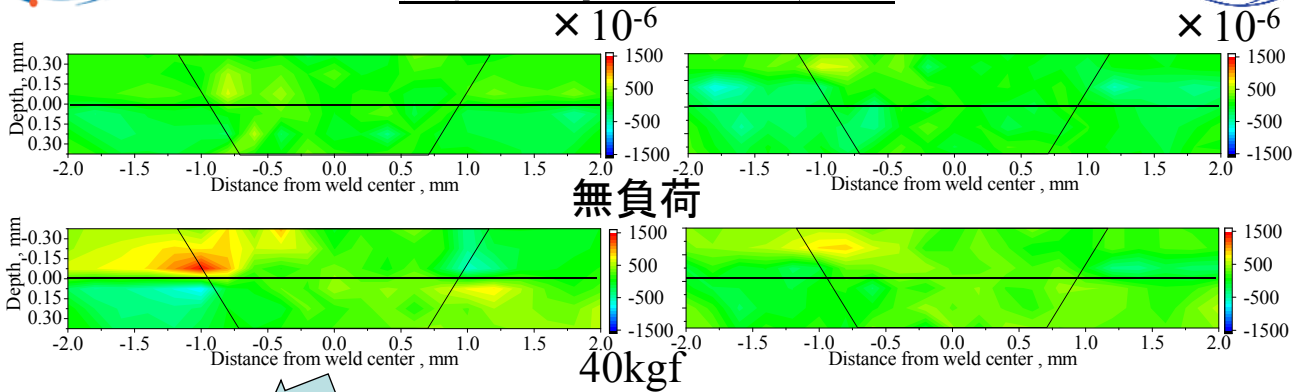


○荷重方向と試料軸方向がずれているのを修正

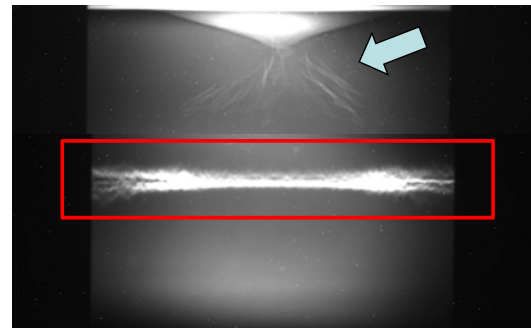


○数度程度のずれではほとんど変化しない





内部欠陥が局所



内部欠陥が放射状

欠陥の形状によりひずみ分布が大きく異なる

以下の内容に関する研究例を紹介した。

2. レーザー溶接後の内部残留ひずみ分布

→局所に弾塑性ひずみ、欠陥が発生

3. 熱処理によるレーザー溶接材内部残留ひずみ

→転位密度の減少、弾性ひずみがわずかに残留

→非破壊法の利点を生かし、熱処理前後でのひずみ評価が可能: 材料品質評価としての役割

4. 負荷中レーザー溶接材内部ひずみ分布

→有限要素とほぼ一致する局所ひずみが発生。ただし、欠陥が多い試験片では局所ひずみが発生しない

→実使用環境におけるひずみ評価が可能: 有限要素解析の評価、変形・破壊メカニズム解明に有効