



# X線回折を用いた 溶接欠陥と3次元残留応力の同時評価

小川 雅 工学部 機械システム工学科

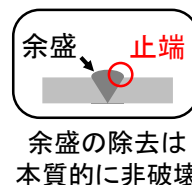
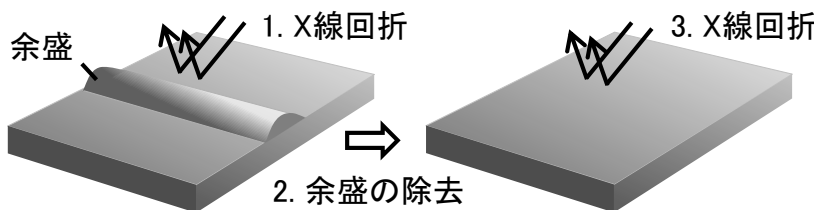
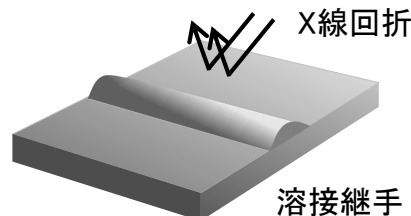
キーワード: 残留応力, 非破壊, X線, 回折, 溶接, 欠陥, き裂, 逆問題, 余寿命, 有限要素法, スポット溶接  
溶射, 表面改質, ひずみ, 接合, 金属, 3次元, 検出, 測定, 探傷, 自動車, 応力腐食割れ, 品質

## 概要 <本技術の特徴1>

中性子を用いず, X線回折法による表面計測結果から  
3次元残留応力分布を現場で非破壊に評価する。

### ● 従来の残留応力の非破壊評価法

1. X線回折法: 部材表面のみ計測できる。
2. 中性子回折法: 専用の照射施設でのみ適用できる。
3. 溶接シミュレーション: 温度依存性のあるパラメータなどの設定が難しい。  
シミュレーションによる定性評価に加え, 個体差の定量評価が重要である。



## <本技術の特徴2>

間隙のない未溶着部も検出する。

### ● 従来の溶接欠陥検出法

1. 放射線透過: 密着した面状欠陥は検出困難。
2. 超音波探傷: 面状欠陥の検出には間隙が必要。  
超音波を面に対して垂直方向に入射する必要がある。

### 本提案手法の特徴

残留応力 評価法	3次元	現場利用	非破壊
X線回折	× 表面のみ	○	○
中性子回折	○	× 専用施設のみ	○
切断法	○	○	× 破壊を伴う
<b>本手法</b>	<b>○</b>	<b>○</b>	<b>○</b>

## アピール ポイント

- 3次元の残留応力分布を現場で非破壊評価  
できる唯一の方法である。
- 必要なパラメータは材質(ヤング率, ポアソン  
比)と形状のみ。

## 利用・用途 応用分野

- 新幹線の台車, 応力腐食割れ(SCC)に晒される溶接配管の余寿命予測。
- 航空機材料の残留応力評価。リベット代替技術として注目される摩擦攪拌接合材の品質評価。
- 溶射材や表面改質材内部の品質評価。

## 関連情報

- 知的財産権:
  - ・残留応力推定方法, 残留応力推定システムおよびプログラム, (特許第6283866号)
  - ・残留応力推定方法, ひずみ推定方法, 残留応力推定システム, ひずみ推定システム  
およびプログラム, (特許第6163643号)
  - ・内部欠陥の検出方法及び内部欠陥の検出装置, (特願2018-234397)
- 関連論文:
  - ・小川雅, Vol. 80, No. 815 (2014), Paper No.14-00231, DOI: 10.1299/transjsme.2014smm0195  
(日本機械学会賞(論文))
  - ・小川雅, 日本機械学会論文集A 編, Vol. 79, No. 804 (2013), pp. 1266-1277.  
(マザック高度生産システム優秀論文賞)
- 関連 URL = <https://er-web.sc.kogakuin.ac.jp/Profiles/14/0001385/profile.html>

工学院大学 産学連携室

〒163-8677 東京都新宿区西新宿一丁目24番2号 〒192-0015 東京都八王子市中野町2665-1  
TEL:03-3340-3440 FAX:03-3342-5304 TEL:042-628-4940 FAX:042-626-6726

E-Mail: [sangaku@sc.kogakuin.ac.jp](mailto:sangaku@sc.kogakuin.ac.jp) URL: <https://www.kogakuin.ac.jp>

# 残留応力推定手法の原理と推定結果 および溶接欠陥の検出方法

小川 雅 工学部 機械システム工学科

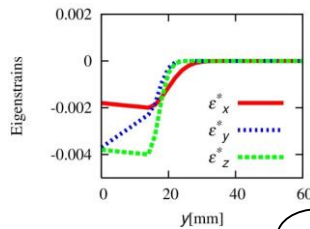
## 固有ひずみ理論

- 残留応力を直接計測せず、その原因となる固有ひずみを推定する。
- 本手法: 表面弾性ひずみと部材全体の固有ひずみとを関係づけた。

固有ひずみとは

残留応力場を再現するために有限要素モデルの節点、あるいは要素に入力する初期ひずみ。

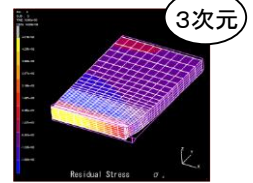
## [原因]



順解析

FEMモデルに固有ひずみを入力

## [結果]



残留応力

弾性ひずみ

表面

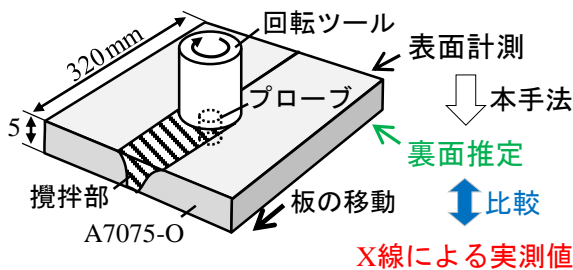
非破壊測定可

固有ひずみ

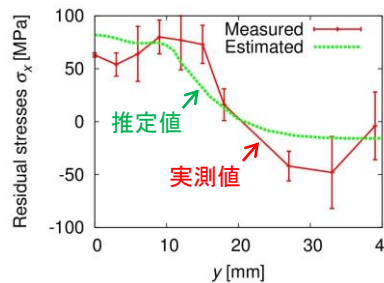
(初期ひずみ)  
(強制ひずみ)

逆解析

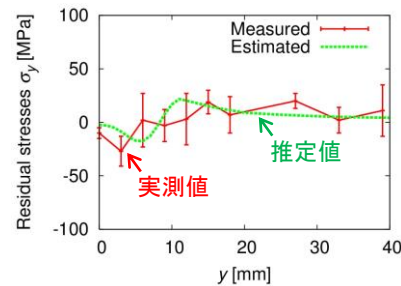
## 摩擦攪拌接合材の残留応力評価



## 本手法による残留応力の推定値と実測値との比較



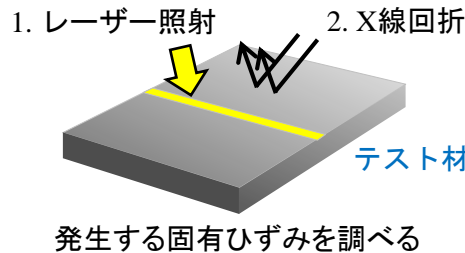
(a) 溶接線方向成分



(b) 溶接線垂直方向成分

## 溶接欠陥の検出方法

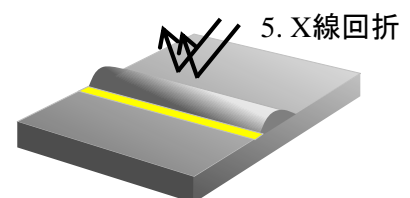
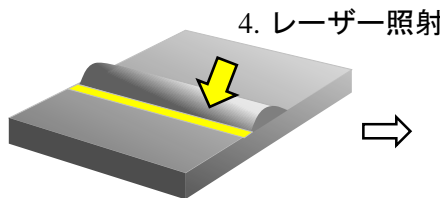
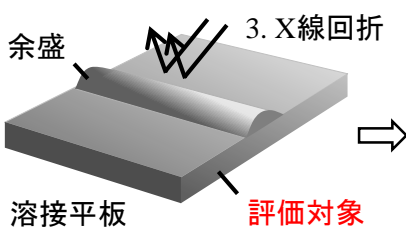
- 表面残留応力分布は、固有ひずみと欠陥の位置・寸法に依存する。
- 固有ひずみは既知(与える)。
- テスト材と評価対象は同じ材質。  
⇒ 寸法が違ってよい



※レーザー照射※

- ・ 結晶粒が超微細化
- ・ 疲労寿命が向上

本質的に非破壊



間隙のない未溶着部など、閉じた欠陥も検出可

※参考文献

山口ら, レーザ照射によるオーステナイト系ステンレス鋼の結晶粒微細化, 溶接学会論文集, Vol. 27, No. 4 (2009), pp.270-277.