26th Dec. 2014

1



平成26年度中性子イメージング専門研究会 於 京都大学原子炉実験所

パルス中性子ブラッグエッジイメージングの ためのひずみテンソルCT法の開発

<u>佐藤博隆</u>¹,

塩田 佳徳², 篠原 武尚³, 加美山 隆¹, 大沼 正人¹, 古坂 道弘¹, 鬼柳 善明²

¹北海道大学、²名古屋大学、³J-PARCセンター

J-PARC MLF BL22「螺鈿(RADEN)」

祝!ファーストビーム & 施設検査合格





ビームシャッターを開く 装置関係者の記念集合写真 ビームライン建設統括者の鬼柳善明 名古屋大学教授 (J-PARC News 第115号より)



ェネルギー分析型中性子イメージング装置 実験装置設置詳細計画書における装置名称:物質情報 3次元 可視化装置

パルス中性子TOF分析型イメージング



中性子透過「ブラッグエッジ」 スペクトル

1つの画素で測定される透過率スペクトルとそれに含まれている情報



画素毎の解析 → 結晶組織構造情報の2次元大面積マッピング

平均ひずみイメージング と 次の課題



平均ひずみのCTを実現するためには?

1. 新概念CT画像再構成アルゴリズム テンソルCT法 を開発する必要がある。

- 平均ひずみは 観測方向によって観測値が変わる テンソル物理量
- 従来のスカラーCT法ではテンソル物理量をCT処理することはできない。
- 例) 吸収コントラストCT: 密度 (スカラー物理量)のCT画像再構成 位相コントラストCT: 屈折率(スカラー物理量)のCT画像再構成
- 2. 汎用性の高いテンソルCT 咽喉用 X線を開発する必要がある。
- あらゆる対象のために:単純 ひずみ分布もCT処理が可
- さらなる情報のために:全 CT処理可能なアルゴリズ. CTが実現できる見込みが
- ・ 画像工学の将来のために を見据え、シンプルかつ制

ー ラストCTの例) か分布だけでなく非軸対称 いを開発する。

> (せん断ひずみも含む)を れにより、将来的には<mark>応力</mark>

> 題であるため、将来の発展 ゴリズムを開発する。

http://www.st-mary-med.or.jp/patient/me/me_ct.html

研究の目的と内容

<u>目的</u>

パルス中性子透過ブラッグエッジイメージングのための 汎用ひずみトモグラフィ法を開発する。

<u>内 容</u>

- ① テンソルCTアルゴリズムの開発
- ② **軸対称**ひずみトモグラフィの実験による検証
- 3 非軸対称ひずみトモグラフィのシミュレーション計算 による検証

テンソルCTアルゴリズムの開発





<u>ある位置で観測されるひずみ量 $\varepsilon_{\varphi\varphi}$ </u>

各位置における<mark>各テンソル要素(スカラー量: *ɛ*11, *ɛ*22, ···, *ɛ*31</sub>)を <u>個別</u>かつ<u>一斉</u>にCT画像再構成する。</mark>

ML-EMを基にしたテンソルCTアルゴリズム

Maximum Likelihood - Expectation Maximization (最尤推定-期待值最大化)



基本原理はML-EMスカラーCTと同じ。観測量の角度依存変化の 考慮だけが新しい計算要素。 → シンプル かつ 制限が小さい

2 軸対称ひずみトモグラフィの実験による検証

測定試料:VAMAS標準試料

中性子回折ひずみ解析用VAMAS国際標準試料 「Aluminum shrink-fit ring and plug (AI シリンダー 冷やし填め)」



Inner plug diameter 25 mm

緑色の矢印に沿って観測されるひずみ $\varepsilon_{_{d90^{\circ}}}(r,\theta) = \varepsilon_{_{\theta\theta}}(r,\theta)\cos^2\phi(r,\theta) + \varepsilon_{_{rr}}(r,\theta)\sin^2\phi(r,\theta)$ θ) ε_{AA} : Hoop strain (周ひずみ) ε_{rr} : Radial strain (径ひずみ)

2つのひずみ要素(周ひずみ・径ひずみ)が軸対称に分布



J-PARC MLF BL10 "NOBORU" ビームライン

J-PARC 3 GeV 陽子加速器の出力: 300 kW

VAMAS試料



GEM(Gas Electron Multiplier)型 中性子画像検出器(¹⁰Bベース) KEK 宇野グループ

中性子

中性子ビーム特性

中性子束:0.8×10⁶ n/cm²/s 中性子波長分解能:0.34% @ 4Å L/D(コリメーター比):600 (BL10ロータリーコリメーター「小」)-----

測定時間:16時間/run <~

中性子画像検出器特性

画素サイズ:800 µm×800 µm 検出面積:10 cm×10 cm →検出効率:1%以下 TOF分析速度:10 µs

試料は軸対称であるため、1方向の測定のみ行った。

測定データの解析とCT画像再構成条件



- 投影データ方向数: 16 (1方向の実験値で16方向分のデータを補完)
- ML-EM逐次近似のイタレーション回数: k = 30
- 入力した既知情報: 以下の式(角度依存係数)のみ

 $\varepsilon_{\phi 90^{\circ}}(r,\theta) = \varepsilon_{\theta\theta}(r,\theta) \cos^2 \phi(r,\theta) + \varepsilon_{rr}(r,\theta) \sin^2 \phi(r,\theta)$

● 最後に、結晶格子面間隔 dのCT画像をひずみ εの画像へ変換

CT画像再構成の結果:ひずみの断層分布



しりみ安条母に個別に円備成はくさている。同じりみの円備成は 精度良くできている。各ひずみ分布は各方向に重みを持つ。 15

CT画像再構成の結果:絶対値



③ 非軸対称ひずみトモグラフィの シミュレーション計算による検証



各々の要素は再構成できている。 しかし、各ひずみ要素は各々の方向に重みがかかった分布を示す。18



● 新概念テンソルCT法の開発

- 1箇所に存在する複数のテンソル要素を一斉にCT画像再 構成する。
- 観測対象の観測量が角度によって変化することを考慮に 入れて(重みを付けて)ML-EMの逆投影を行うことが重要

0

■テンソルCTアルゴリズムの検証

- ひずみ要素の各々の方向に重みを受けた画像が得られることがわかった。
- 「方向によって重みの異なるCT画像」は、テンソルCTに必須な「角度によって重みを変えた逆投影」により生じる。
- この逆投影過程を最適化することが、今後の重要な研究 課題。