

「計測技術と高度情報処理の融合によるインテリジェント計測・解析手法の  
開発と応用」

H29 年度  
実績報告書

平成 29 年度採択研究代表者

矢代 航

東北大学多元物質科学研究所  
准教授

超圧縮センシングによるミリ秒X線トモグラフィ法の開発

## §1. 研究実施体制

### (1)「ミリ秒X線トモグラフィ実証」グループ

- ① 研究代表者: 矢代 航 (東北大学、准教授)
- ② 研究項目: ミリ秒X線トモグラフィの実証に向けた以下の項目に関して研究を実施
  - ・ ミリ秒X線トモグラフィの光学系の仮設計
  - ・ マルチビーム光学素子の試作

### (2)「画像再構成」グループ

- ① 主たる共同研究者: 工藤 博幸 (筑波大学システム情報系、教授)
- ② 研究項目: 主たる共同研究者である工藤らが提唱している既存の圧縮センシング(CS)を発展させた枠組みの「超圧縮センシングトモグラフィ」を基礎として、以下の項目に関して研究を実施
  - ・ 不完全データトモグラフィにおける解の一意性と安定性の新しい理論構築
  - ・ 半大域的及び大域的最適化に基づく不完全データトモグラフィ画像再構成法の開発
  - ・ 実験データへの応用研究

### (3)「マルチビーム光学素子および制御系開発」グループ

- ① 主たる共同研究者: ヴォルフガング・フォグリ (東京学芸大学、助教)
- ② 研究項目: マルチビーム光学素子およびその制御系の開発に向けた以下の項目に関して研究を実施
  - ・ マルチビーム光学素子の設計
  - ・ マルチビーム光学素子ホルダーの作製
  - ・ マルチビーム光学素子制御系の開発

## §2. 研究実施の概要

本プロジェクトでは、研究代表者らがこれまで先駆的に開発を進めてきた硬X線の位相を利用した高感度イメージング法の一つであるX線回折格子干渉法を発展させて、マルチビーム化と最先端の高度情報処理技術により、試料を高速で回転することなく、前人未踏の ms オーダーの時間分解能、10  $\mu\text{m}$  の空間分解能の 4D (3D+時間) X線トモグラフィを実現することを目指す。繰り返しが不可能な非平衡系のダイナミクスをそのまま観察できるという特長を活かして、生命・材料科学における新規現象の発見から、インテリジェント材料の開発、動的バイオミメティクス応用まで、基礎研究から新規イノベーション創出に至る新たなフロンティアの開拓をねらう。

本プロジェクトの 3 年目の中間目標として、単結晶型 (第一世代) マルチビーム光学素子の開発と、それを用いた 5 ms 時間分解能、数 10  $\mu\text{m}$  空間分解能 X線トモグラフィ (ただし、試料は回転してよいとする) の実現を目指している。平成 29 年度は、中間目標実現に向けた第一世代マルチビーム光学素子およびそのホルダーなどの設計、試作、ミリ秒トモグラフィ光学系の仮設計、さらにミリ秒トモグラフィ実現のために必須である、少数の投影方向からの投影像による CT 再構成を可能とする「超圧縮センシングトモグラフィ」に関する基礎的な研究を実施した。

本プロジェクトで開発するマルチビーム光学素子は、湾曲単結晶からの Bragg 反射を利用して白色放射光のマルチビーム化を行い、試料の多方向の投影像を同時に撮影することを目的とするものであり、本年度は単結晶型マルチビーム光学素子およびその湾曲ホルダーの設計、試作を行った。図 1 に湾曲ホルダーに取り付けた Si 単結晶マルチビーム光学素子の試作品の写真を示す。大型放射光施設 SPring-8 のベンディングマグネットビームラインである BL28B2 の白色放射光を用いて、試作品の評価などを行った。また、単結晶マルチビーム光学素子の反射ビーム強度を数値計算するプログラムの開発も行い、以下の「超圧縮センシングトモグラフィ」を基礎とする予備的な検討の結果を踏まえて、中間目標を実現するための光学系の設計について検討を行った。

また、マルチビーム CT で測定した投影データから CT 画像生成を行う画像再構成技術に関して、「超圧縮センシングトモグラフィ」を基礎として以下に述べる 2 つの項目の研究を実施した。一つ目として、マルチビーム CT において発生する「スパーズビューCT」、「インテリアCT」、「角度欠損CT」など多様な不完全データトモグラフィの問題に対

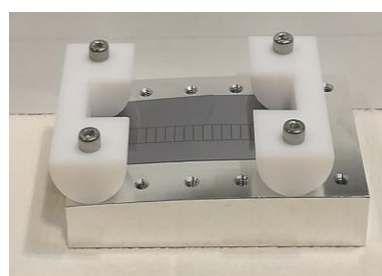


図 1 湾曲ホルダーに取り付けられた Si 単結晶マルチビーム光学素子の試作品。

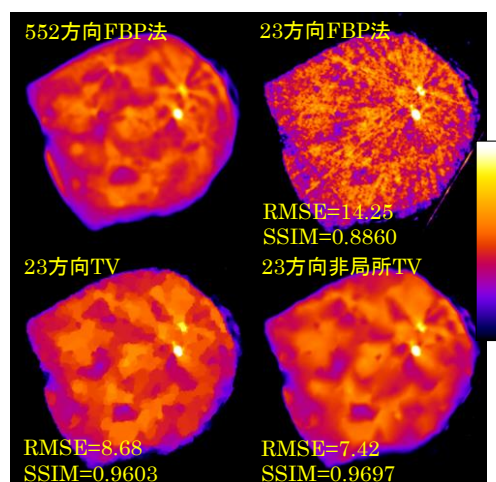


図 2 ポリマーブレンド小片試料の X 線位相 CT 再構成画像。

して、画像再構成問題の解の一意性を示す新しい数学的理論を構築し、これに基づき数学的に厳密な画像再構成が可能な幾つかの投影データ収集法を考案した。二つ目として、マルチビームCTにおいて測定される方向数が少ない「スパースビューCT」投影データから高画質の画像再構成を行う新しい圧縮センシング画像再構成法として、「非局所トータルバリエーション(TV)」と呼ばれる画像のある程度広い範囲の半大域的な濃度変化を拘束して正則化を行う手法を構築した。図2に、ポリマーブレンド小片試料(ポリメタクリル酸メチル(PMMA)rich相とポリスチレン(PS)rich相の2層からなる相分離構造)を位相X線CT装置で測定した僅か23方向投影データから提案手法で再構成した画像を示す。フィルタ補正逆投影(FBP)法及び画像の局所的な濃度変化を拘束する従来のTV法と提案する非局所TV法を比較しているが、数値評価(RMSE指標及びSSIM指標)と視覚評価の両方で提案手法により画質を大幅に改善できていることが分かる。