

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

2017 年度採択研究代表者

2021 年度 年次報告書

矢代 航

東北大学 国際放射光イノベーション・スマート研究センター・多元物質科学研究所
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. 研究成果の概要

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 μm の空間分解能の 4D (3D+時間) X線トモグラフィ(CT)を実現することを目指してきた。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目標としている。

本プロジェクトでは、3年目の中間目標として、単結晶型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 μm 空間分解能(画素サイズ 20 μm) X線 CT(ただし、試料は回転してよいとする)の実現を目指してきたが、中間目標を大きく上回る 1 ms の撮影時間で、かつ試料回転なしで 38 μm の空間分解能での CT 再構成に成功した。

2021年度は、 π 偏光型マルチビーム光学系で、1 ms の時間分解能で 4D 動画撮影に成功した。また σ 偏光型についても CT 再構成の原理実証に成功した。最終目標の達成に向けて、画素サイズ 10 μm 化など、マルチビーム光学系の抜本的な改良を進めている。圧縮センシングに基づく CT 再構成についても、マルチエネルギー画像再構成法の開発や、異常値を自動的に除外して画像再構成を行う新しい枠組みの異常データ検知トモグラフィ ABD-CT の開発、従来は困難であった超スパースビューCT や角度欠損 CT のデータに対しても高精度で画像再構成が可能なパラメトリックレベルセット(PALS)法による画像の形状モデルに基づいた新手法の開発など、多くの進展があった。

§ 2. 研究実施体制

(1)「ミリ秒 X 線 CT の実証」グループ

- ① 研究代表者: 矢代 航 (東北大学 国際放射光イノベーション・スマート研究センター 教授)
研究員: 梁 暁宇 (東北大学 多元物質科学研究所 助教)
研究員: 達久 将成 (東北大学 国際放射光イノベーション・スマート研究センター 学術研究員)
技術補佐員: 高橋 真麗子 (東北大学 国際放射光イノベーション・スマート研究センター 技術補佐員)
- 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
 - ・ 最終目標達成に向けた π 偏光型マルチビーム光学系の高度化
 - ・ マルチビーム画像検出器系のリモート制御化による高速アライメント
 - ・ 応用研究に向けた実験データ予備解析の自動化とその場 CT 再構成環境の整備
 - ・ σ 偏光型マルチビーム光学系の原理実証

(2)「ミリ秒 X 線 CT の高度画像再構成技術の開発」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)
分担者: 滝沢 穂高 (筑波大学 システム情報系 教授)
研究員: 藤井 克哉 (筑波大学 システム情報系 常勤研究員)
研究員: 橋本 康 (筑波大学 システム情報系 常勤研究員)
- 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
 - ・ ミリ秒トモグラフィ装置で取得した測定データの画像再構成
 - ・ 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正則化に基づく圧縮センシング画像再構成法の構築

(3)「ミリ秒 X 線 CT の応用研究」グループ

- ① 主たる共同研究者: 虻川 匡司 (東北大学 国際放射光イノベーション・スマート研究センター 教授)
- ② 研究項目: ミリ秒 X 線 CT の応用研究の展開に向けた以下の項目に関して研究を実施
 - ・ ダイナミクス観察のための共通基盤整備
 - ・ 材料破断/変形のダイナミクス観察

(4)「走査型 CT 用マルチビーム光学系の開発」グループ

- ① 主たる共同研究者: 小川 紘樹 (京都大学 化学研究所 准教授)
- ② 研究項目: 走査型 CT 用マルチビーム光学系の開発

- 走査型 CT のための 2 ビーム化光学系の設計および原理実証
- フィラー充填ゴム材料の破壊過程の走査型 CT による研究

【代表的な原著論文情報】

- 1) M. Selim, E. A. Rashed, M. A. Atiea, and H. Kudo, “Sparsity-based method for ring artifact elimination in computed tomography”, PLOS ONE (2022), accepted.
- 2) S. Harasse, K. Kajiwara, M. Datekyu, X. Liang, and W. Yashiro, “Regularized phase shift estimation in X-ray grating interferometry”, OSA Continuum 4 (2021) 2813–2820.
- 3) A. A. Haytham and H. Kudo, “Sparse shape reconstruction based on level set method and its applications to binary tomography”, Computers, Materials & Continua (2022), accepted.