

2023 年度年次報告書

革新的光科学技術を駆使した最先端科学の創出

2021 年度採択研究代表者

石井 祐太

東北大学 大学院理学研究科

助教

時分解軟 X 線トモグラフィーによる磁気ダイナミクスの 4 次元観測

研究成果の概要

本研究では、高空間・時間分解能を持つ、時分割軟 X 線トモグラフィー測定法の確立により、磁気ダイナミクスの 4 次元観測を目標としている。

・本年度は、放射光施設 PhotonFactory にて、以下の事柄を中心に進めた。

(i) 集光 X 線を用いた時分割 2 次元磁気イメージングの確立

(ii) コヒーレント X 線回折イメージングの確立

(iii) 圧縮センシングを用いたタイコグラフィー測定の解析手法の確立

(i)これまで確立してきたマイクロ波を用いた時分割 XMCD(X-ray magnetic circular dichroism)測定に、集光 X 線を用いたイメージング手法を組み合わせることで、空間分解能 100 nm 程度の時分割イメージング測定を可能にした。これにより、薄膜中に誘起されるマグノンに対する実空間イメージングを可能にした。この手法は、既存手法に比べて 1~2 桁程度の高空間分解能が望める手法であり、波数空間のより大きな領域のマグノンまで実空間イメージングが可能になる。更に実験の過程で、薄膜中に現れるマグノンの非相反性を精度良く観測することに成功した。

(ii) 次に、より高空間分解能(数 nm 程度)が期待できるタイコグラフィーの光学系を立ち上げた。この光学系では、サンプル走査をしながら、回折像を取得し、それらを合わせて元の実空間像を取得する方法である。この立ち上げのため、CCD 検出機に対するシールド等を設置し、サンプル由来のコヒーレント回折像を高精度に観測することに成功した。現在は、実験で得られた回折画像の解析を行い、実空間像の回復のため解析を進めている。

(iii) 最後に、圧縮センシングを取り込んだタイコグラフィーの解析手法の確立を目指した。本研究では、タイコグラフィーに時分割測定を組み合わせ、高時間・空間分解能(<10 nm)をもつ磁気イメージングを達成することが目標である。一方で、時分割測定と組み合わせることで、観測される磁気散乱信号は非常に微弱なものになることが予想される。圧縮センシングでは、事前情報として解析に正則化を取り込むことで、劣決定問題を解くことを可能にする手法である。この手法の運用を、シミュレーションにより確認した。S/N 比の低い回折画像をまず用意し、正則化を適用することで収束条件が向上し、実空間像が正しく戻ることが確認された。今後は、この手法を実際のタイコグラフィー測定に適用していく。