

原子・分子の自在配列と特性・機能  
2021 年度採択研究者

2021 年度 年次報告書
------------------

関 岳人

東京大学 大学院工学系研究科  
助教

超低電子ドーズ STEM 法の開発と実空間原子・分子配列構造解析

## § 1. 研究成果の概要

走査透過電子顕微鏡 (Scanning Transmission Electron Microscopy: STEM) は細く絞った電子線を試料上で走査し、透過・散乱した電子を検出することで原子・分子配列を直接可視化する手法である。しかしながら、電池材料、多孔性材料、ソフトマテリアルなどの電子線敏感材料は、電子線照射により構造が損傷するため、STEM による観察は困難であった。従来、単一の環状検出器によって像を形成していたが、近年、多数の検出領域を有する分割型検出器が開発され、同時に複数の像を取得し演算することで、結像の自由度が大幅に上がった。本研究では、多分割検出器を用いて、超低電子ドーズでの原子・分子配列直接観察手法開発とそれを電池材料、多孔性材料、ソフトマテリアルなどの観察に活用し、局所原子・分子配列と機能発現の相関を解明することが目的である。

今年度は、原理実証をすでに行っている最適明視野法 (Optimum Bright Field: OBF) 法の実時間結像法の開発を行った。OBF 法は分割型検出器により同時取得した多数の STEM 像を、フーリエ変換を利用した空間周波数フィルターで処理した後、平均化することで、信号ノイズ比の高い像を再構成する。そのため、像全体の取得が完了してからでないと、再構成処理を開始できないため、STEM の電子プローブ走査と同期した像表示ができない。実時間表示された像を参照できない場合、視野や収差の調整などの電子顕微鏡の操作性に実用上問題が生じる。そこで、空間周波数フィルター処理を、実空間のカーネル畳み込み処理で近似することで、実時間での OBF 処理・表示機能を開発し、実際の電子顕微鏡の操作システムに実装した。実時間で OBF 像が表示できるため、操作性が大幅に向上し、記録した OBF 像もその場で確認ができるため、従来の STEM 法と同様に像が取得できるようになった。

今後は、開発した実時間表示機能を利用し、さまざまな電子線敏感材料の観察をすすめていく予定である。

### 【代表的な原著論文情報】

- 1) “Real-space visualization of intrinsic magnetic fields of an antiferromagnet”, *Nature*, vol. 602, 234-239, 2022
- 2) “Factors limiting quantitative phase retrieval in atomic-resolution differential phase contrast scanning transmission electron microscopy using a segmented detector”, *Ultramicroscopy*, vol. 233, 113457, 2022