

東京大学大学院工学系研究科 総合研究機構

第9回「次世代電子顕微鏡法」講演会

2022年7月12日 15:30 - 17:30 オンライン開催



電子線トモグラフィーにおける最近の動向

波多聡

九州大学 総合理工学研究院・超顕微解析研究センター

透過型電子顕微鏡の二次元情報を補う目的で、コンピューター断層撮影 (Computed Tomography: CT) の原理を利用した電子線トモグラフィー (Electron Tomography: ET) が三次元電子顕微鏡法の一つとして開発・利用されている。二次元投影像は、観察対象を表す逆空間 (フーリエ空間) の原点を通る切断面の情報を与え、様々な方向から二次元投影像を収録することで三次元の逆空間情報が満たされていき、それを実空間に戻すこと (逆フーリエ変換) で観察対象の三次元画像が構築される (逆投影や再構築と呼ばれる)、いわゆるラドン変換にCTは基づいている。X線CTではこのラドン変換が良好に機能する。これは、観察対象を 0° から 180° まで一軸回転 (傾斜) しつつ全方向から投影像を収録できることと、投影像の強度が吸収係数と試料厚みを用いた式 $I = I_0 e^{-\mu t}$ あるいは一回散乱の式に概ね従う (投影要件を満たす) ことによる。

一方、ETの場合には、針状形状の試料を除いて、一軸試料傾斜角度の範囲は $120^\circ \sim 150^\circ$ が限界である。また、動力的散乱・回折の影響で像強度と試料の厚みや密度との間に単調関数関係 (投影要件) がしばしば成り立たなくなる。さらに、試料ステージの一軸傾斜スピードの違いやマルチビーム照射の可否など、X線CTとETでは技術的課題に大きな差があり、片方で開発した技術を直ちにもう一方に転用することがスムーズにいかない場合の理由がそこにある。

生物系ETでは、単粒子解析において多量の投影データを組み合わせると同様に、一軸傾斜軸の方向が異なる多くの連続傾斜像データを組み合わせて試料傾斜角度不足による情報欠落を補う方法が採られているようである。現在、in-situクライオETとして生物系ETが成功を収めていることはよく知られるところである。

材料系ETでは、高角度環状暗視野走査透過電子顕微鏡法による非干渉性コントラストの活用や、例えばナノ粒子の画像における試料領域と真空領域の情報を先見情報とした三次元画像再構成アルゴリズムの開発など、様々な工夫により上記技術的課題の克服がなされてきたが、まだ完全な解決には至っておらず、依然として手法開発研究が続いている。一方で、結晶や非晶質のナノ粒子を構成する個々の原子の位置がETで決定されたり、加熱や応力負荷に伴う観察対象の形態や組成の変化が三次元画像として可視化されたりするなど、応用面でインパクトのあるデータが報告されてきている。こうした三次元画像データと計算材料科学がデータ同化を通じて連携する材料ダイナミクスモデリングは、今後期待されるETの応用展開の一つと考えられる。



東京大学
次世代電子顕微鏡法
社会連携講座

主催: 「次世代電子顕微鏡法」社会連携講座
e-mail: info@ngem.t.u-tokyo.ac.jp