

電子線トモグラフィーにおける 密度定量化手法へのノイズの影響除去

Removing Influence of Noise in Quantitative-Density Electron Tomography

阪大院工¹, 阪大超高压電顕センター², 名大未来研³

○(M2)照屋 海登¹, 山崎 順^{2,3}

Grad. School of Eng., Osaka Univ.¹, RC-UHVEM, Osaka Univ.², IMaSS, Nagoya Univ.³

○K. Teruya¹, J. Yamasaki^{2,3}

E-mail: teruya.kaito@uhvem.osaka-u.ac.jp

一般に TEM トモグラフィーでは、試料厚さ増加に伴う像強度の指数関数減衰を前提とした三次元再構成を行う。しかし現実には多重散乱による非線型な透過率減衰が生じるため、不正確な試料内部密度がしばしば再構成されてしまう[1]。我々は問題解決の糸口として、3 パラメータのみを含む関数で非線型減衰曲線を精度よく再現できることを発見した[2]。この知見に基づき、対象物質のパラメータ値を推定できさえすれば、非線型補正によって密度の正しい三次元再構成が原理的には可能となるはずである[3]。このパラメータの決定方法として、再構成画像の微分総和値(Total Variation 値)を評価値とするイタレーション手法を我々は提案しているが、電顕像ノイズの影響を大きく受けてしまうことが判明している。そこで本研究では、このノイズの影響を回避すべく、パラメータ推定手法の改良を試みた。

真球の非線型な投影像にノイズを加えた傾斜シリーズデータを作成し、三次元再構成を行った結果の断面像および密度プロファイルを Fig.1(a), (b)に示す。非線型減衰の影響で球内部の密度が不自然に凹んだ再構成結果となっている。このデータに先述のイタレーション手法を適用してパラメータ値を推定し、非線型性を補正して再構成した結果を Fig.1(c)に示す。ある程度内部密度の凹みが補正されているものの、正しい一様密度には至っておらず、ノイズの影響によりパラメータ推定が妨げられている。このノイズの影響を除去すべく、球中心部での S/N 比が 29 dB 以上になるまで投影像のスムージングを行うと、Fig.1(d)に示すように正しい密度分布を与えるパラメータ値に収束することが判明した。しかし、スムージングの副作用として矢印で示すようにエッジがぼやけた再構成像となってしまう。この再構成結果のぼけを解消するために、エッジや構造物を保持したままデノイズする Nonlocal Means フィルタ処理を投影像に施し、Fig.1(d)の結果から推定されたパラメータ値を用いて非線型補正を行うと Fig.1(e)のようになり、ぼけ・ノイズ・非線型性のすべてを同時解決した再構成像を得ることに成功した。このシミュレーションデータに基づいて定まった手順を Latex 球の TEM 実験像に対しても適用し、手法の有効性が確認された。

[1] J. Yamasaki, *et al.*, *Microscopy* **63**, 344-355 (2014).

[2] J. Yamasaki, *et al.*, *Ultramicroscopy* **200**, 20-27 (2019).

[3] 山崎 順, 顕微鏡, **54**(3), 149-152 (2019).

