

電界放出形走査電子顕微鏡画像の画像品質改善ソフトウェアの開発

○蟹屋敷 祐介^{a)} 今村 幸祐^{b)} 杉山 博則^{c)}

^{a)} 金沢大学総合技術部情報部門 ^{b)} 金沢大学理工研究域電子情報通信学系

^{c)} 金沢大学総合技術部機器分析部門

1. 概要

FE-SEM (電界放出形走査電子顕微鏡) で撮影された画像では、撮影条件や撮影技術によりボケやノイズなどが現れることがある。そこで撮影による品質劣化が測定に悪影響を与えることを防ぐために、プログラムによってノイズ除去などにより画像品質を改善するソフトウェアを開発した。当該ソフトウェアでは、フーリエ変換を用いたローパスフィルタによる空間フィルタリングの平滑化と反復逆投影法(IBP)による高精細化を併用して画像品質の改善を行うものである。実際にボケやノイズが見られるFE-SEM 画像に対して開発ソフトウェアによる品質改善を行い、その有用性を確認した。また、解析を行うため、画像内の対象を指定して測長、面積の算出を行うソフトウェアを開発した。

2. 開発環境と画像品質改善

まず、開発環境について説明する。表 1 に開発環境の詳細を示す。画像品質改善ソフトウェア及び測長、面積算出ソフトウェアは、プログラミング言語の Python を用いて実装した。画像の入出力のため、画像処理ライブラリの OpenCV[1]、PIL[2]を使用している。また、GUI で実装するため Python に標準でインストールされている tkinter を使用した。

表 1 開発環境

OS	Windows10
開発環境	PyCharm[3], Anaconda3[4]
プログラミング言語	Python 3.8
ライブラリ	OpenCV 4.0.1, PIL, tkinter

次に画像品質改善処理を説明する。ダウンサンプリングにより、ノイズ除去を含む低微細化を行う。ダウンサンプリングの際には、エイリアシング防止のために 2 次元離散フーリエ変換[5]により画素値を周波数成分に変換し、ローパスフィルタを適用する。2 次元離散フーリエ変換の式を(1)に示す。

$$F(u, v) = \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{M-1} f(x, y) \cdot e^{-j2\pi(\frac{ux}{M} + \frac{vy}{N})} \quad (1)$$

$I(x, y)$ が画像の画素値であり、x 方向、y 方向の画像サイズがそれぞれ M、N である。ローパスフィルタを式(2)に示す。

$$G(u, v) = F(u, v) \cdot \exp\left(-\frac{u^2 + v^2}{2\sigma^2}\right) \quad (2)$$

σ はローパスフィルタの帯域幅を表す。フーリエ変換による周波数成分から画素値へ変換するための 2 次元離散フーリエ逆変換を式(3)に示す。

$$f(x, y) = \sum_{u=0}^{N-1} \sum_{v=0}^{M-1} G(u, v) \cdot e^{-j2\pi(\frac{ux}{M} + \frac{vy}{N})} \quad (3)$$

ダウンサンプリングされた画像にアップサンプリングと反復逆投影法(IBP) [6]により、画像の高精細化を行う。反復逆投影法(IBP)は入力低品質画像 I_L と観測低品質画像 I_H^t との差をとり、Back Projection カーネルを通して、暫定の高精細画像へ逆投影することで推定高精細画像を更新する。この処理を繰り返すことで最終的な高精細画像を推定する。反復逆投影法(IBP)の定義を式(4)に示す。

$$I_H^{t+1} = I_H^t + \tau(I_L - (I_H^t * G)) * P \quad (4)$$

ここで、 τ : ステップ数、 t : 繰り返し回数、 G : ガウシアンフィルタ、 P : Back Projection カーネルを表す。これらの処理により、画像品質の改善を行う。

3. 測長及び面積算出

品質改善を行った補正画像及び原画像のデータを解析するため、撮影対象に対する測長・面積の算出を行うソフトウェアを開発した。「折れ線」「円」「楕円」の3つのモードで測定が可能であり、それぞれ、外周長と面積の測定を行うことが可能である。その際、画像下部の基準線から、撮影スケールを自動的に認識し、対象の実測値を自動で算出する機能も備えている。また、得られたデータは複数個登録を行うことが可能であり、出力として CSV ファイルに保存できるようになっている。

4. 動作検証・評価

画像品質改善ソフトウェアの外観を図 1 に示す。GUI 上の操作で、ローパスフィルタの帯域幅設定、反復逆投影法の繰り返し回数を対話的に設定することが可能である。

画質改善結果評価として、原画像と画像品質改善後の画像を主観的に比較する。処理画像の比較を図 2 に示す。図 2 より、処理画像では輪郭が明確になり、ノイズが低減された画像となっている。また、エイリアシングの影響は確認できず、画像の特徴が明確な高精細な画像となっていることが確認できた。

次に測長及び面積算出ソフトウェアの外観を図 3 に示す。このソフトウェアにより品質改善を行った画像の解析を高精度で行えることを確認済みである。

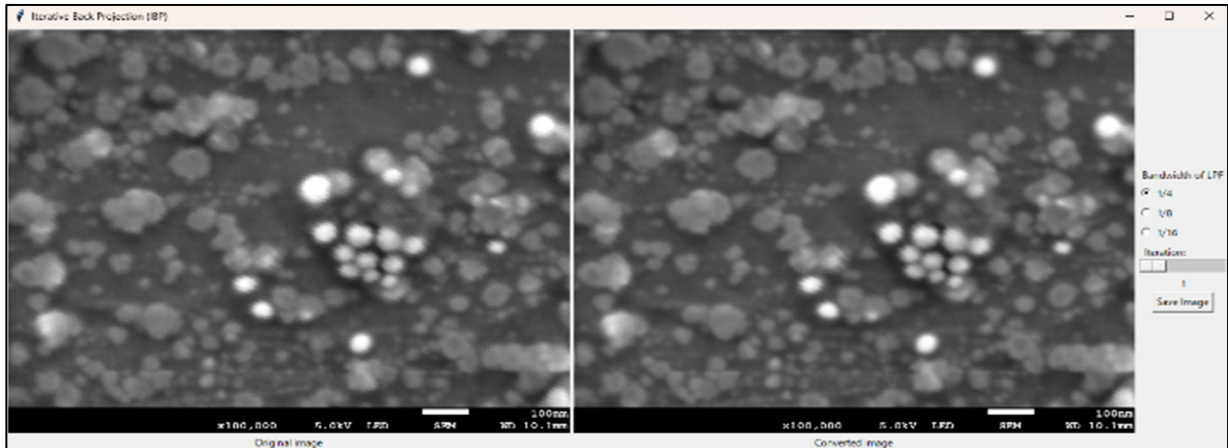


図 1 画像品質改善ソフトウェア外観

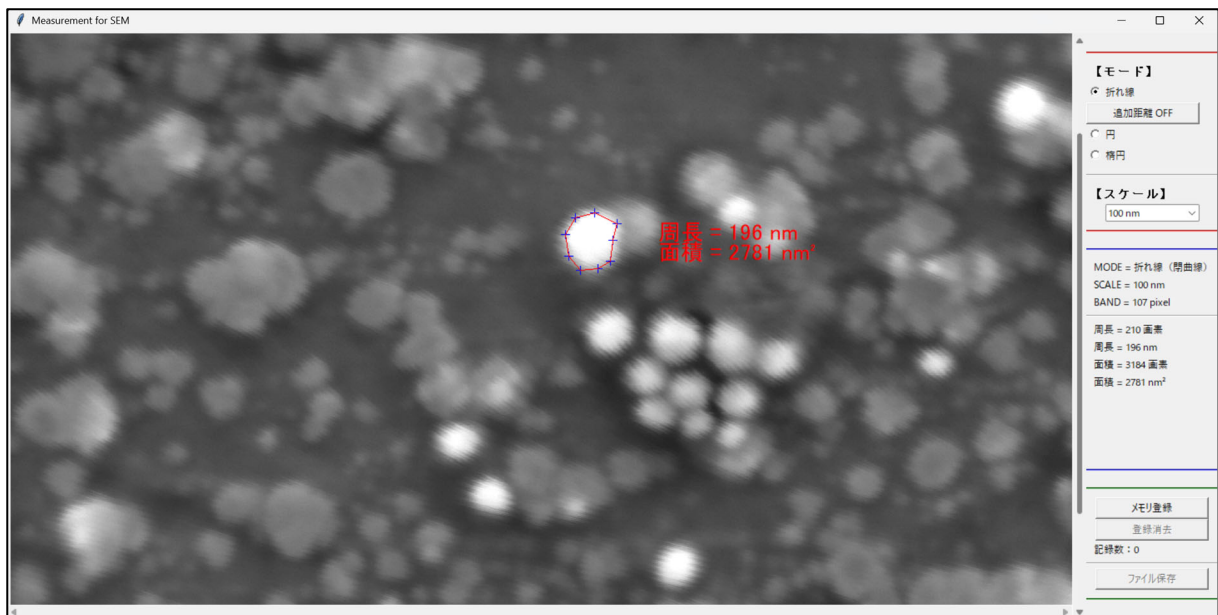
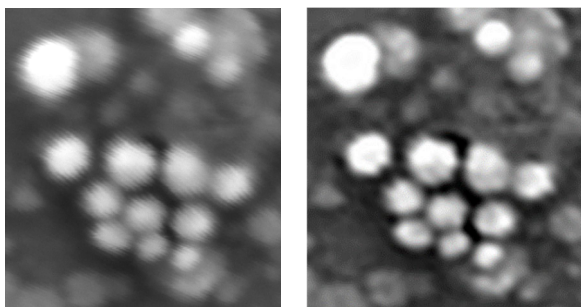


図 3 測長・面積算出



原画像 処理画像
図 2 処理画像の比較

5. まとめ

画像品質改善ソフトウェアを開発した。主観的な評価により、ボケを取り除き、高精細な画像となっているのが確認できたので、画像品質を改善するこ

とが出来た。また、データを解析するために測長、面積算出ソフトウェアを開発した。こちらも正常に動作し、高精度なデータを取得することを確認できた。

参考文献

- [1] OpenCV, <https://opencv.org/>
- [2] Pillow, <https://pillow.readthedocs.io/en/stable/>
- [3] PyCharm, <https://www.jetbrains.com/pycharm/>
- [4] Anaconda3, <https://www.anaconda.com/>
- [5] デジタル画像処理委員会, “デジタル画像処理 改訂第二版”, 画像情報教育振興協会, 2020.
- [6] M. Irain and S. Peleg, "Improving Resolution by Image Registration," Graphical Models and Image Processing, vol.53, No3, pp.231–239, 1991.