

1. 評価対象研究課題

- (1) 研究課題名：AI的画像解析によるオペランド電子顕微鏡計測技術に関する研究
- (2) 研究代表者：一般財団法人ファインセラミックスセンター 平山 司
- (3) 研究期間：令和2年度～令和6年度（予定）

2. 中間評価の実施概要

日時：令和4年10月21日

場所：ビジョンセンター浜松町

評価委員：未来工学研究所 理事長、上席研究員／東京大学 名誉教授
平澤 洽（委員長）
東京工業大学 環境・社会理工大学院 特任教授
岩野 和生
理化学研究所 革新知能統合研究センター 副センター長
上田 修功
情報セキュリティ大学院大学 情報セキュリティ研究科長 教授
大久保 隆夫
玉川大学 名誉教授
大森 隆司
NTT コミュニケーション科学基礎研究所 NTT フェロー
柏野 牧夫
東京工業大学 名誉教授
佐藤 誠
兵庫県立大学大学院 情報科学研究科 教授
田中 俊昭

（委員長以外は五十音順・敬称略）

3. 研究の進捗状況

研究の概要

従来の計測限界を超えた超高速／超高感度な革新的オペランド電子顕微鏡計測システムを開発し、先端的な材料やデバイスの研究開発に役立てることを目的とし、最先端の電子顕微鏡と超高速演算が可能な高速計算機を結合させ、数理に基づく高度画像解析により、上記計測システムの実現を目指す。画像解析には、いわゆる人工知能（AI）的画像解析の一種である機械学習（スパースコーディング、または3D テンソル分解法、または深層学習）を用いる。

進捗状況

- (1) 超高速オペランド TEM (透過型電子顕微鏡) 計測技術の開発
特注の TEM/STEM 両用機を導入し、超高速・超高感度・超低ダメージなオペランド電子顕微鏡計測システムを構築した。これを用い、フレームレート 3860 (fps) で一旦撮影・保存した画像群 (動画) に対し、3D テンソル分解法を適用し、非常に優れた画質改善 (Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR) : 2.4→22.3) を実現した。
- (2) 超高速リアルタイムオペランド TEM 計測技術の開発
(1) で構築した計測システムに高速計算機を接続、TEM 画像を超高速で送受信させることを可能とし、撮影と同時に画像処理を行うシステムを開発した。これにより、Au ナノ粒子を 30 fps で動画撮影すると同時に、リアルタイムでスパースコーディング処理を行うことに成功した。
- (3) 高速原子分解能リアルタイムオペランド STEM (走査透過型電子顕微鏡) 計測システムの開発
STEM 照射レンズ系とソフトウェアを開発し、それを (1) で構築したシステムに搭載した。この STEM を用いて SrTiO₃ の原子構造像を 32fps で撮影し、3D テンソル分解法による画像解析を行い、優れた画質改善 (PSNR : 14→21) を実現した。
- (4) 超高感度オペランド STEM-EDS (エネルギー分散型 X 線分光法) 計測技術の開発
(1) で構築したシステムに超高感度 Dual-EDS システム (2 台の EDS 検出器を用いた同時検出) を導入し、これを用いて 1.2fps で SrTiO₃ の原子分解能元素マッピング像を撮影した。保存後に 4D テンソル分解法で解析することで、画像解析前には全く見えなかった原子レベルの元素分布像を明瞭に観察することに成功した。
- (5) 超高感度オペランド STEM-EELS (電子エネルギー損失分光法) 計測技術の開発
(1) で構築したシステムに超高感度 EELS 分析器を導入し、これを用いて 1.3fps で軽元素を含む多層膜の元素分布像を撮影した。保存後に 3D テンソル分解法で解析することで、画像処理前には判別し難かった C 元素の分布像を明瞭に観察することに成功した。
- (6) 生体材料のその場観察が可能な超低侵襲電子顕微鏡技術の開発
真空状態で干からびてしまったり、電子線で破壊されてしまうといった問題点のある生体試料の TEM 観察において、フェリチンおよび大腸菌をイオン液体 (真空中でも蒸発しない) の中で観察することに成功した。また、大腸菌をナノスーツ溶液 (試料の表面に薄い膜を形成) の中で観察することにも成功した。

4. 中間評価の評点

A 研究計画を超えた成果を挙げており、さらなる発展を期待する。

5. 総合コメント

有望な観測系が実現しつつあり、機械学習を利用することで電子顕微鏡の画像の解像度向上に関する成果について、高く評価することができる。ただし、現在の中間評価の達成状況を見る限りでは、チャレンジングな内容が不足している印象が拭えない。中間評価の時点では読み切れなかった応用事例など有用性の検証に関して、一例を終了評価までに示していただきたい。

また、ツールを作る者だけではなく、「具体的にこうしたプロセスを計測したい」と考える者と連携するなど、新たな課題に挑戦できる研究体制の強化を行い、学問的な成果につなげていくことを強く期待する。

6. 主な個別コメント

- 目標の達成状況は順調で、有望な観測系が実現しつつある。
- 論文や学会発表があり、効率的な研究が行われている。マネジメントも積極的に行われている。
- ハードウェアは高い技術を持っていると評価できる。
- 円安の中で適切に研究計画実施に対応している。
- 残りの期間で学問的・産業的に価値のあるデータを生むことを期待して、高い評価とした。
- 画像の再構成とノイズ除去は、従来のAI技術を応用した平凡な成果で、今後の実施予定も月並みだ。
- より有用な学問的な成果を得るためにも、新たに研究協力者との連携が必須と思われる。
- インパクトのある応用事例での有用性の検証を最終目標に追加すべき。
- 中間目標達成はよいが、このツールを使って応用分野でどのようなインパクトを生み出すのかなど、具体的な最終目標を新たにセットしていただきたい。大いに可能性のあるツールだと思われるので、応用分野における新しいインパクトを生み出すことに挑戦してほしい。そのためにそれらを最終目標に追加することも検討されたい。