

Title	高分解能電子顕微鏡における能動型画像処理による球面収差補正に関する研究
Author(s)	谷口, 佳史
Citation	
Issue Date	
oaire:version	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/37906">https://hdl.handle.net/11094/37906</a>
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed</a> 大阪大学の博士論文について <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed</a> をご参照ください。

*Osaka University Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

氏名	谷口佳史
博士の専攻分野の記号	博士（工学）
学位番号	第 10247 号
学位授与年月日	平成 4 年 3 月 25 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当 工学研究科 応用物理学専攻
学位論文名	高分解能電子顕微鏡における能動型画像処理による球面収差補正に関する研究
論文審査委員	(主査) 教授 志水 隆一 (副査) 教授 一岡 芳樹 教授 中島 信一 教授 興地 斐男 教授 樹下 行三 教授 増原 宏 教授 南 茂夫 教授 後藤 誠一 教授 豊田 順一 教授 岩崎 裕 教授 山本 稔 教授 池田 和義

## 論文内容の要旨

透過型電子顕微鏡は、試料の微小領域の構造を拡大して直接観察する装置である。しかしながら電子顕微鏡に通常使用されている磁界型電子レンズには凸レンズしか存在せず、性能の向上における最大の問題点となっている。本論文では、能動型画像処理手法を透過型電子顕微鏡に適用し、球面収差補正への応用についてまとめたものであり、全体の構成は下記の 6 章よりなっている。

まず第 1 章では、波面収差関数に基づく結像理論をもとに、透過型電子顕微鏡の分解能について述べた。また、電子顕微鏡の球面収差補正に関する現状について述べ、本研究の位置づけを行った。

第 2 章では、能動型画像処理法の基本原理、透過型電子顕微鏡像の球面収差補正原理を理論的に述べた。さらにコヒーレント光学系における 3 次元 OTF を導出し、3 次元結像特性の立場から球面収差補正手法の解釈を行った。

第 3 章では、能動型画像処理による球面収差補正の原理的な妥当性の検証のために本研究で開発した、透過型電子顕微鏡 JEM-100C-FEG 用画像データ収集処理システムについて述べた。また、このシステムを用いた結像パラメータの精密測定法を提案し、具体的な実験結果を示すと共にその特徴について考察を行った。

第 4 章では、本研究で開発した透過型電子顕微鏡用画像データ収集処理システムを用いて球面収差補正実験を行い、収差補正処理の妥当性を確認した。さらに、電子顕微鏡 HF-2000 を行った球面収差補正処理による実験について述べ、収差補正により分解能が大幅に向上することを実証した。

第 5 章では、能動型画像処理による球面収差補正の実時間処理への応用について述べた。2 種類の実時間処理方式を紹介し、各々について基本的な実験結果を示した。

第6章では、球面収差と色収差の両方を同時に除去し得る新しい結像法について述べた。光学顕微鏡を用いた検証実験、及び、透過型電子顕微鏡を用いた予備実験を行った。

最後に総括として、本論文のまとめと今後の課題について述べた。

## 論文審査の結果の要旨

透過型電子顕微鏡は微小領域の構造解析装置として材料科学の分野のみならず、医学生物学の分野においても主力機器となっている。しかしながら、レンズ固有の球面収差のために分解能が制限されるのみならず、複雑な像解釈を強いられているのが現状である。また、軽元素から構成されている生物試料は弱位相物体と呼ばれ、重元素による染色処理を施さなければ観察できないという問題点が残っている。本論文は能動型画像処理と呼ばれる新しい画像処理法の高分解能電子顕微鏡に適用し、位相コントラスト及び振幅コントラストの無球面収差観察を実現することを目的として研究を行ったものでその結果を要約すると次の通りである。

- (1) 能動型画像処理による透過型電子顕微鏡の球面収差補正法についてその妥当性を理論的に裏付けており、その適用限界について詳細に検討すると同時に3次元結像理論に基づく解釈を試みている。
- (2) 透過型電子顕微鏡 JEM-100C-FEG 用画像データ収集処理システムを開発し結像パラメータの精密測定を行っている。特に、ここで試みられた3次元パワースペクトルによる分解能の測定法は、電子顕微鏡の最も基本的な性能を評価する上で重要である。
- (3) (1)の画像処理システムを用いて球面収差補正法の有効性を実証し、球面収差補正後では分解能が色収差によって最終的に制限されていることを確認している。さらに、色収差の小さい透過型電子顕微鏡 HF-2000 に本手法を適用し、大幅に分解能を向上させることに成功している。
- (4) 本研究で得られた無収差スルーフォーカス像を用いて、試料の振幅成分、位相成分のデフォーカス量依存性を独立に評価する手法を開発している。この振幅位相成分分離法により、従来弱位相物体と考えられていた薄膜試料であっても振幅成分が無視できないことを実証し、従来から用いられてきたパワースペクトルによる性能評価法は実際より分解能を過小評価する危険性があることを指摘している。
- (5) 能動型画像処理法の特徴一つである実時間性を利用した実時間無球面収差観察について述べ、この方法が試料の形状変化の動的観察などへの広い応用範囲が期待できることや、動的変化の有効な解析手段となることを指摘している。
- (6) 球面収差と色収差を同時に除去できる能動型無収差高分解能結像法を提案し、光学顕微鏡による検証実験と透過型電子顕微鏡による予備実験によりその有効性を実証している。

以上のように、本論文は、透過型電子顕微鏡の球面収差の補正について論じたものであり、応用物理学、特に材料工学、医学生物学などの分野に寄与するところが大きい。よって、本論文は博士論文として価値あるものと認める。