

論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※ 乙 第 7306 号
------	--------------

氏 名 山本 悠太

論文題目

材料評価のための最先端電子顕微鏡による計測と取得デジタルデータの解析方法の研究
(Study on digital data processing for materials evaluation using advanced electron microscopes)

論文審査担当者

主査	名古屋大学	未来材料・システム研究所	教授	武藤 俊介
委員	名古屋大学	工学研究科	教授	増淵 雄一
委員	名古屋大学	工学研究科	准教授	丹羽 健
委員	名古屋大学	工学研究科	教授	薩摩 篤
委員	名古屋大学	未来材料・システム研究所	教授	齋藤 晃

論文審査の結果の要旨

山本悠太君提出の論文「材料評価のための最先端電子顕微鏡による計測と取得デジタルデータの解析方法の研究」は、最先端電子顕微鏡で計測したデジタルデータに、適切なデジタル演算処理を施して、材料評価の目的に応じた情報の取捨・分類する方法の開発及び実践を試みたものである。各章の概要は以下の通りである。

緒言では、本論文で取り上げるいくつかの先端的電子顕微鏡及び付随の分光法についての概略を紹介し、本論文の主題である最近のデジタル化された装置によって生み出されるデータを取り扱う指針を述べている。

第1章では、球面収差補正走査透過電子顕微鏡で得た多量のセラミックス担持金微粒子触媒の原子分解能Zコントラスト像にモフォロジー演算と呼ばれる手法を応用し、従来法に比べ著しく精度が改善された、原子一個から数十個という微小な原子クラスターの粒径分布を得る手法を確立した。

第2章では、集束イオンビーム/走査電子顕微鏡装置を用いて全固体リチウムイオン電池の複合電極からFIBでの試料断面のスライス加工とSEM観察の自動交互運転により取得した3次元構造データに各種のフィルターを組み合わせることで様々な大きさのボイドを抽出し、これに和集合演算を用いて、電池性能に大きな影響を及ぼす電極内の全ボイドの3次元分布を得ることに成功した。

第3章では、球面収差補正走査透過電子顕微鏡で得た、担持金微粒子触媒のZコントラスト像に、畳み込みニューラルネットワーク（CNN）を用いた深層学習法を適用し、結晶構造中の双晶の有無を分類することを試みた。担持金微粒子触媒は、その結晶構造中の双晶構造が触媒活性に影響を与えることが知られており、双晶構造の有無の評価が求められる。そのため、原子分解能での微粒子観察を基に、画像データから双晶の有無を迅速に識別する解析方法が必要である。CNN訓練用および解析用データセットとして、Zコントラスト像をHough変換した画像を設計したネットワークに学習させることにより、触媒の事前スクリーニングに実用上耐えうるだけの正答率を示すネットワークの構築に成功した。

第4章では、球面収差補正走査透過電子顕微鏡-電子エネルギー損失分光法で得た全固体リチウムイオン電池複合電極の界面のデータに、非負行列因子分解法（NMF）を用いて、従来解析における元素分布表示に加え、異なる化学状態ごとの分離及びその空間分布表示を試みた。その結果、複合電極中の電極材/固体電解質界面において、エアロゾル堆積法での原料粉体表面とは異なる、酸素欠損により結晶構造が乱れている構造が界面沿いに認められた一方、固体電解質が熱分解しない程度の温度で熱処理した複合電極中の界面においては、乱れた結晶構造は認められず、全固体電池複合電池の界面構造の熱処理による変化を初めて明らかにした。

第5章では、本研究のまとめと結論を与えている。

以上のように本論文では、装置のデジタル化に伴って近年発展した様々な先端電子顕微鏡が生み出す膨大なデジタルデータを効率よく、かつ精度を犠牲にすることなく必要な情報を抽出する画期的な手法を編み出し、先端材料解析に適用することに成功した。今後はここで取り上げた触媒及び電極材料のみならず、あらゆる材料開発分野への適用が期待され、工学の発展に寄与するところが大きいと判断できる。よって、本論文の提出者である山本悠太君は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格があると判断した。