

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

|                   |                                                                                                                                                                              |
|-------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 題目(和文)            | 高エネルギー密度型電池の電極材料研究：ナトリウムイオン電池とリチウム空気電池                                                                                                                                       |
| Title(English)    | Studies on Electrode Materials for High Energy Density Secondary Batteries: Sodium Ion Batteries and Lithium Air Batteries                                                   |
| 著者(和文)            | 由井悠基                                                                                                                                                                         |
| Author(English)   | Yuhki Yui                                                                                                                                                                    |
| 出典(和文)            | 学位:博士（理学）,<br>学位授与機関:東京工業大学,<br>報告番号:甲第10366号,<br>授与年月日:2016年12月31日,<br>学位の種別:課程博士,<br>審査員:菅野 了次,中村 二郎,富田 育義,北村 房男,松下 伸広,平山 雅章                                               |
| Citation(English) | Degree:,<br>Conferring organization: Tokyo Institute of Technology,<br>Report number:甲第10366号,<br>Conferred date:2016/12/31,<br>Degree Type:Course doctor,<br>Examiner:,,,,, |
| 学位種別(和文)          | 博士論文                                                                                                                                                                         |
| Category(English) | Doctoral Thesis                                                                                                                                                              |
| 種別(和文)            | 審査の要旨                                                                                                                                                                        |
| Type(English)     | Exam Summary                                                                                                                                                                 |

(博士課程)

論文審査の要旨及び審査員

|                 |     |       |      |         |       |       |  |
|-----------------|-----|-------|------|---------|-------|-------|--|
| 報告番号            | 甲第  |       | 号    | 学位申請者氏名 |       | 由井 悠基 |  |
| 論文審査<br><br>審査員 |     | 氏 名   | 職 名  |         | 氏 名   | 職 名   |  |
|                 | 主査  | 菅野 了次 | 教授   | 審査員     | 松下 伸広 | 准教授   |  |
|                 | 審査員 | 中村 二郎 | 特任教授 |         | 平山 雅章 | 准教授   |  |
|                 |     | 富田 育義 | 教授   |         |       |       |  |
|                 |     | 北村 房男 | 准教授  |         |       |       |  |

論文審査の要旨（2000 字程度）

本博士論文は「Studies on Electrode Materials for High Energy Density Secondary Batteries: Sodium Ion Batteries and Lithium Air Batteries」と題し、ナトリウムイオン電池(SIBs)の負極に関する電気化学特性の評価、及び、リチウム空気電池(LABs)の空気極触媒/担体の合成と電気化学特性の評価をまとめたものであり、英語で記述され六章から構成されている。

第一章「General introduction」では、現状のリチウムイオン電池(LIBs)の課題を述べ、その課題解決をはかるポスト LIBs について述べている。各電池の特徴を概説し、その中でも、資源戦略的に優位である SIBs と理論的に高エネルギー密度を有する LABs が有望な電池系であることを述べた上で、本研究の意義と、解決を目指す課題について記述している。

第二章「Mechanism of electrochemical sodium deposition/dissolution on sodium electrode」では、SIBs にとって有望な負極材料、且つ、電極材料研究の際の対極として使用される金属ナトリウムの電気化学的溶解・析出挙動について記述している。光学顕微鏡を用いた *in situ* 測定により、溶解・析出メカニズムを明らかにし、金属ナトリウムのクーロン効率との関連を述べた。析出表面の組成分析を行い、金属ナトリウムが均一に析出した箇所ではフッ素成分が高いことを明らかにし、添加剤などにより電極表面に良好な被膜を作製することで金属ナトリウムの析出形態の制御が行える可能性を示唆した。

第三章「Electrochemical properties of Sn-Co anode for sodium ion batteries」では、SIBs の負極として有望である Sn-Co 材料に着目し、そのサイクル特性改善を目的に、種々の結着剤を用いた負極を作製し電気化学特性を評価した。従来の結着剤であるポリフッ化ビニリデン(PVdF)では、数サイクルで容量が大幅に減少する一方で、ポリアクリル酸(PAA)またはメチルセルロースナトリウム(CMC)を用いた場合には放電容量 400 mAh/g 以上を保ち安定して作動することを明らかにした。切削法による結着力測定により、これらの結着剤は PVdF よりも結着力が強いことが明らかとなった。また、光学顕微鏡による *in situ* 測定による膨張収縮率の測定の結果、PVdF を用いた電極では放電により 2.2 倍に膨張する一方で PAA 及び CMC を用いた電極では 1.4 倍程度に抑制され、更に、充電時には収縮することを明らかにした。これらの結果から、適切な結着剤の選択が良好な電気化学特性を得るための重要なファクターであることを示した。

第四章「Pt-Ru electrocatalysts for air electrodes of lithium air secondary batteries: Optimization of Pt/Ru composition ratio」では、ギ酸還元法を用いて合成した  $Pt_xRu_{100-x}$  触媒を用いて LABs のサイクル特性を改善した。Ru 添加量を増やすことで触媒粒子が微細化され、高分散担持されることを見出し、中でも、 $Pt_{10}Ru_{90}$  の組成が 2 nm 程度の粒径で最も微細となった。本触媒を LABs の空気極に適用した結果、8 サイクル後においても 805 mAh/g と比較的大きな放電容量を示し、安定した充放電サイクルが可能であることが明らかとなった。

第五章「Highly-ordered mesoporous carbon support materials for air electrode of lithium air secondary batteries」では、ナノオーダーの細孔が規則的に配列したカーボンを担体として用い、放電生成物のサイズ及び形状を制御することによって電気化学特性の向上を試みた。規則性カーボン多孔体として、細孔が 2 次元に配列した CMK-3 と 3 次元配列したカーボンレプリカ (CR) を用い、触媒は第四章で見出した  $Pt_{10}Ru_{90}$  触媒を用いた。 $Pt_{10}Ru_{90}$ /CMK-3 及び  $Pt_{10}Ru_{90}$ /CR の初回放電容量はそれぞれ 103, 1000 mAh/g であり、大きな差がみられた。これは、CR の比表面積が 1135  $m^2/g$  と CMK-3(361  $m^2/g$ )に比べて大きく、CR の放電生成物析出サイトが多いためと想定している。また、 $Pt_{10}Ru_{90}$ /CR を用いた電池の方が過電圧が小さく、サイクル特性が良好であることを明らかにした。

第六章「Summary」では、本論文を総括している。

これを要するに、本論文は SIBs と LABs の電極及び電極材料の合成、物性、電気化学特性について記述し、本電池系がポスト LIBs として有力であることに言及している。SIBs と LABs の電極設計指針となる材料の特性を提案しており、理学的貢献するところが大きい。よって本論文は博士（理学）の学位論文として十分な価値があると認められる。

注意：「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。