

革新的 GX 技術創出事業 (GteX) チーム型研究
「蓄電池」領域
年次報告書

令和6年度
研究開発年次報告書

令和5年度採択研究開発代表者(チームリーダー)

[研究開発代表者(チームリーダー)名: 駒場 慎一]

[東京理科大学理学部第一部応用化学科・教授]

[研究開発課題名: 資源制約フリーなナトリウムイオン電池の開発]

実施期間 : 令和6年4月1日～令和7年3月31日

§1. 研究開発実施体制

(1)「セル設計・評価」グループ

① グループ参画者:

グループリーダー:

駒場 慎一 (東京理科大学理学部第一部、教授)

主たる共同研究者:

大久保 将史(早稲田大学先進理工学部、教授)

虞 有為(物質・材料研究機構、エネルギー・環境材料研究センター、グループリーダー)

KO, Seongjae(東京大学大学院工学系研究科、講師)

林 克郎(九州大学工学研究院、教授)

中村 崇司(東北大学多元物質化学研究所、准教授)

② 研究項目

- ・電池部材の調達と基礎評価(駒場)
- ・フルセル作製プロトコルの構築とラミネートセル試作(大久保)
- ・分厚い電極の作製、電極と電池の厚み変化の評価(虞)
- ・材料評価プロトコルの開発&ハードカーボンの高クロストーク耐性の解明(KO)
- ・酸化物系全固体 Na イオン電池の構築(林)
- ・正極酸素脱離現象の実験的評価(中村)

(2)「材料開発」グループ

① グループ参画者:

グループリーダー:

大久保 将史(早稲田大学先進理工学部、教授)

主たる共同研究者:

小林 玄器(理化学研究所、主任研究員)

中山 雅晴(山口大学大学院創成科学研究科、教授)

江口 美陽(早稲田大学先進理工学部、准教授)

中村 崇司(東北大学多元物質化学研究所、准教授)

関 志朗(工学院大学先進工学部、准教授)

KO Seongjae(東京大学大学院工学系研究科、講師)

松本 一彦(京都大学大学院エネルギー科学研究科、准教授)

多々良 涼一(横浜国立大学大学院工学研究院、准教授)

後藤 和馬(北陸先端科学技術大学院大学、教授)

松尾 吉晃(兵庫県立大学応用化学工学科、教授)

長谷川丈二(名古屋大学大学院工学研究科、特任准教授)

③ 研究項目

- ・正極材料の開発(大久保)
- ・新規正極材料の探索(小林)
- ・高性能 PBA のための安全・効率的な合成プロセスの構築(中山)
- ・層状ナトリウム金属酸化物の特性評価(江口)
- ・正極酸素脱離現象の実験的評価(中村)
- ・電解質の物性調査(関)
- ・低密度電解液の開発(KO)
- ・電解質・界面の設計・評価(松本)
- ・電解質・界面の設計・評価(多々良)
- ・ハードカーボン系炭素負極の開発(後藤)
- ・グラフェン系炭素負極の特性評価(松尾)
- ・モノリス前駆体を用いたハードカーボンの合成(長谷川)

(3)「機構解明」グループ

① グループ参画者:

グループリーダー:

館山 佳尚(東京工業大学科学技術創成研究院、教授)

主たる共同研究者:

久保田 圭(物質・材料研究機構、エネルギー・環境材料研究センター、主任研究員)

大石 一城(中性子科学センター、主任研究員)

安野 聡(高輝度光科学研究センター、主幹研究員)

梅垣 いづみ(高エネルギー加速器研究機構、助教)

④ 研究項目

- ・第一原理計算を用いた材料安定性、Na イオン伝導性解析(館山)
- ・NIB の高性能化に向けたオペランド計測技術開発と反応機構解明(久保田)
- ・オペランド中性子小角散乱による Na イオン挙動の調査(大石)
- ・硬 X 線光電子分光法によるナトリウムイオン電池材料の評価(安野)
- ・ミュオンによるナトリウムイオン電池のオペランドイオン拡散計測(梅垣)

§2. 研究開発成果の概要

資源制約フリーで、しかもリチウムイオン電池の従来技術も十分に活用でき、そのエネルギー密度等の諸特性に匹敵する二次電池として、ナトリウムイオン電池がひとつの現実解として注目されている。2024 年以降、ナトリウムイオン電池の実用化が急速に進んでおり、エネルギー密度では LiFePO_4 を用いたリチウムイオン電池と同等の値が発表され、さらにサイクル寿命や入出力特性、低温・高温での電池特性や安全性能を改善する技術も発表され、リチウムイオン電池に対する優位性の理解も進んでいる。それらの最新動向の調査結果を踏まえて、当チームでは鉄マンガン系の正極活物質、炭素への Na 吸蔵反応を利用する負極活物質、およびナトリウムイオン伝導性の電解質材料を開発するグループ、その機構解明に取り組む、計算および計測の専門家からなるグループ、そして、それらを統合してフルセルの設計と実証を行うグループの計三つのグループが分担をしつつ密な連携を図って研究開発を行っている。

セル設計・評価グループでは、目指すべきエネルギー密度からバックキャストして、合剤電極や電解液、セパレータの材料絞り込みの結果を基に、フルセルの試作を重ねている。材料開発グループでは、過去 40 年のリチウムイオン電池の技術動向も参考に、正極ではコストとパフォーマンスの両立できる鉄マンガン系の酸化物、オキソ酸、およびシアノ錯の化合物について、合成条件の検討、組成および表面構造の最適化に取り組みながら、材料研究を進めた。例えば、正極では層状酸化物の組成最適化と表面保護被膜、耐水性向上の成果を、負極ではハードカーボンの鋳型合成に加え、グラファイトライクグラファイト、ヘテロ元素導入材料を調査し、負極容量 300 - 480 mAh/g を安定的に示す材料や作動電圧を制御する手法を見つけている。電解質では、広い温度域での作動かつ高入出力特性を向上する有機電解液の開発が進んでおり、これらを組み合わせる電極反応や電解質界面について、計測および計算から作動機構の解明を図っている。フルセルの設計のために必要なバインダーや集電箔や電解液への添加剤の開発についても検討を開始し、本電池系の高エネルギー密度設計と耐久性向上ならびに長寿命化を進めている。

【代表的な原著論文情報】

1. B. Xun, J. Wang, Y. Sato, S. Jia, S. Ohno, H. Akamatsu, K. Hayashi, “Bifunctional Al Dopant for Enhancing Bulk and Grain Boundary Conductivities in Sodium Ion Conducting NASICON Ceramics” *Advanced Energy Materials* (2025) 15, 2402891.
2. S. Sekine, T. Hosaka, H. Maejima, R. Tatara, M. Nakayama, and S. Komaba, “ $\text{Na}[\text{Mn}_{0.36}\text{Ni}_{0.44}\text{Ti}_{0.15}\text{Fe}_{0.05}]\text{O}_2$ predicted via machine learning for high energy Na-ion batteries” *J. Mater. Chem. A*, **12**, 31103 (2024). *2024 Most Popular Articles collection*
3. H. Ando, K. Hashi, S. Ohki, Y. Hatakeyama, Y. Nishina, N. Kowata, T. Ohkubo, K. Gotoh, “State change of Na clusters in hard carbon electrodes and increased capacity for Na-ion batteries achieved by heteroatom doping,” *Carbon Trends* (2024), **16**, 100387(1-9).