



TOKYO UNIVERSITY OF SCIENCE  
6-3-1 NIJUKU, KATSUSHIKA-KU, TOKYO 125-8585, JAPAN

2014年11月28日

報道関係者各位

## ナトリウムイオン二次電池開発の歴史と現状、将来動向総説

新奇エネルギー貯蔵デバイスの創製を目指す34年間の開発動向

東京理科大学 研究戦略・産学連携センター

東京理科大学 理学部第一部応用化学科 駒場 慎一（こまばしんいち）教授、同大学・総合研究機構 久保田 圭（くぼたけい）助教らの研究グループは、ポストリチウムイオン電池として、ナトリウムイオン電池に関する研究を進めています。ナトリウムイオン電池の国際的な研究開発の歴史と最新研究動向をまとめた総説が、化学総説の最高峰に位置づけられている米国化学誌『Chemical Reviews』（<http://pubs.acs.org/journal/chreay>）に、2014年11月12日付で掲載されました。<論文掲載ページ><http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/cr500192f>

「リチウム及び次世代二次電池」を特集した本号での掲載は、ナトリウムイオン二次電池が次世代二次電池として評価されていることの現れであり、蓄電池分野での日本人の論文掲載は今回が初めてとなります。本総説はナトリウムイオン二次電池の正極及び負極材料を網羅し、組成・構造・反応メカニズムで分類してまとめたものです。（詳細につきましては、添付の参考資料をご参照ください。）

これまで駒場教授らの研究グループは、現在高性能電池に広く用いられているリチウムの代わりとして、資源が豊富なナトリウムを電気エネルギー貯蔵に利用するという基礎研究を2005年から進めており、これまでに炭素材料と層状酸化物を用いることにより、リチウムを全く用いずに常温で作動する新しいエネルギーデバイス「ナトリウムイオン電池」の立証に成功しました。その成果は2011年8月に独国科学雑誌『Advanced Energy Materials』に掲載されています。さらに、鉄、マンガン、ナトリウムという資源が豊富な元素を組み合わせることでレアメタルフリー構成を実現し、高いエネルギー密度を示す新規鉄系層状酸化物の創製に成功しました。その成果は2012年4月に英国科学雑誌『Nature Materials』に掲載され、世界中から大きな注目を集めました。

※今回のナトリウムイオン二次電池に関する総説は、東京理科大学・理学部第一部応用化学科 駒場 慎一 教授、同大学 総合研究機構 久保田 圭 助教と元 同機構 藪内 直明 講師（現 東京電機大学工学部 環境化学科 准教授）、応用化学科 ムアッドダビ ポスドク 研究員による共著論文として『Chemical Reviews』誌特集号に掲載されました。

『Chemical Reviews』誌は1924年より米国化学会から刊行され、文献引用度の指標となるインパクトファクターは45.661と極めて高く、化学総説誌の中で最高峰に位置づけられています。

※本研究成果の一部は、文部科学省元素戦略プロジェクト<研究拠点形成型>「京都大学 触媒・電池元素戦略研究拠点」（研究代表者：田中庸裕 京都大学大学院工学研究科教授）による支援を受けて行われました。

### 【本研究内容に関するお問合せ先】

#### ■駒場研究室

教授 駒場慎一 03-5228-8749

助教 久保田圭 03-5225-3165

### 【当プレスリリースの担当事務局】

#### ■東京理科大学 研究戦略・産学連携センター

Tel: 03-5876-1530 Fax: 03-5876-1676

## 【研究の背景】

限られたエネルギー資源を効率良く利用するために、電気自動車や余剰電力を有効的に使うことを目的とした電力スマートグリッドシステムなどの技術開発に期待が集まっています。また、太陽光、風力など自然エネルギーの有効利用に、高度な蓄電技術が求められています。電気自動車や自然エネルギーの積極利用に際し、共通した根幹技術となるのが電気エネルギーを蓄える「蓄電池」です。現在、蓄電池としてリチウムイオン蓄電池が日常生活において広く利用されています。近年では電子機器用の小型電源（～10 Wh）だけではなく、電気自動車用の大型電源（～20,000 Wh）として利用されるまでになっています。リチウムイオン蓄電池はエネルギー密度の観点では、非常に魅力的ですが、リチウムイオン電池の基本構成要素であるリチウムに目を向けてみると、リチウムそのものが地球の地殻中にわずか 20 ppm (0.002 %) 程度しか存在しない元素、いわゆるレアメタルであり我が国はリチウム資源を輸入に依存しているという問題を抱えています。またコバルト、ニッケル、銅などのレアメタル無くしては作ることができません。結果として、余剰電力や自然エネルギーの蓄電目的（～1,000 kWh クラス）にはリチウムイオン蓄電池を用いることはコスト的にも資源的にも制約を受けると考えられています。

これまでに、本研究グループはレアメタルの一種であるリチウムの代わりとして、日本においても無尽蔵な資源である「ナトリウム」に着目して研究を進めてきました。これまでに炭素材料とニッケル・マンガン層状酸化物を用いることにより、リチウムを全く用いずに常温で作動する新しいエネルギーデバイス、「ナトリウムイオン電池」の立証に成功しています。その成果に関しては2011年8月に独国科学雑誌『*Advanced Functional Materials*』に掲載されています。さらに、鉄、マンガン、ナトリウムという資源が豊富な元素を組み合わせることでレアメタルフリー構成を実現し、高いエネルギー密度を示す新規鉄系層状酸化物の創製に成功し、その成果は2012年4月に英国科学雑誌『*Nature Materials*』に掲載されています。このような成果によって、ナトリウムイオン電池は将来的には定置用大型電池や電気自動車用途へと応用が可能な技術として世界中から大きな注目を集めています。

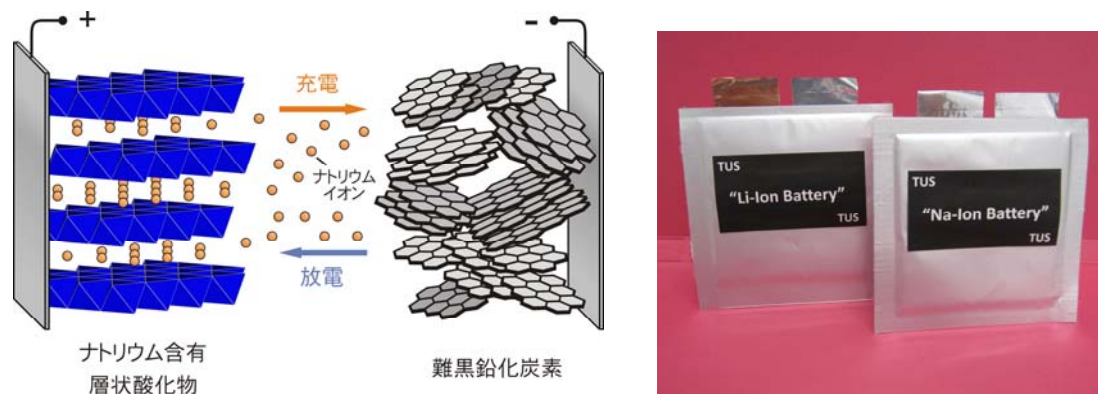


図 1 : (左) ナトリウムイオン電池の動作原理模式図、(右) ラミネート型リチウムイオン電池とナトリウムイオン電池（試作）の写真

【本総説の概要】

ナトリウムイオン二次電池の原型は、 $\text{Na}_x\text{CoO}_2$  や  $\text{TiS}_2$  を正極材料とし、対極にナトリウム金属を用いて、1980 年に初めて報告されており、リチウムイオン電池の原型とほぼ同時期に誕生しています。これまでの 34 年間のナトリウムイオン二次電池の研究開発動向を電極材料の紹介と共に解説しています。ナトリウムイオン二次電池の正極及び負極材料を、含有する元素やそれぞれの電極材料に特徴的な構造で分類し、リチウムイオン二次電池の電極材料との比較や電極材料の充放電反応機構、目指すべき開発方針の提案にまで及ぶ包括した総説に仕上げています。本総説で紹介している電極材料の平均放電電位と容量から算出したエネルギー密度を図 2 と図 3 に示します。ナトリウムイオン二次電池の正極材料として、電気自動車用のリチウム電池で広く用いられているスピネル型リチウムマンガン酸化物 ( $\text{LiMn}_2\text{O}_4$ ) に匹敵するか、それ以上のエネルギー密度がすでに得られていることがわかります。また、負極材料においても、リチウムイオン電池の典型的な負極材料である黒鉛のエネルギー密度を超える材料がすでに報告されております。

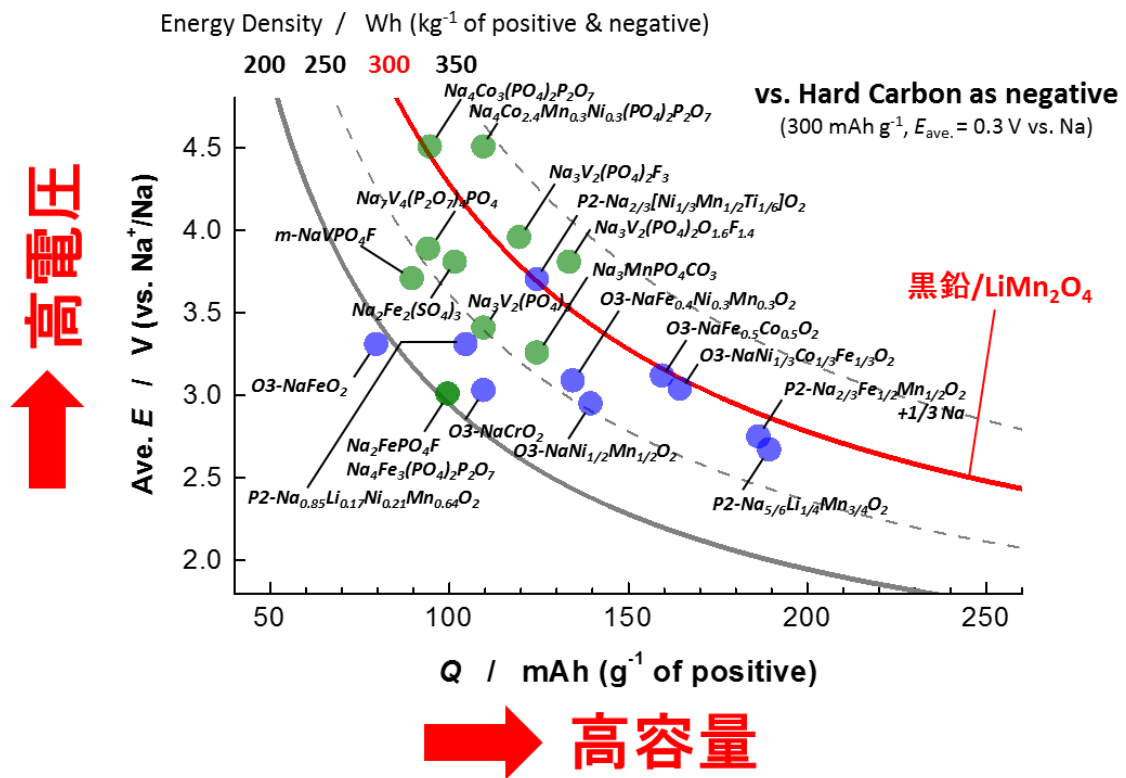


図 2：各種ナトリウム含有正極材料の容量と平均放電電位との関係。図中の曲線は、ハードカーボン負極を想定した際のナトリウムイオン電池のエネルギー密度。

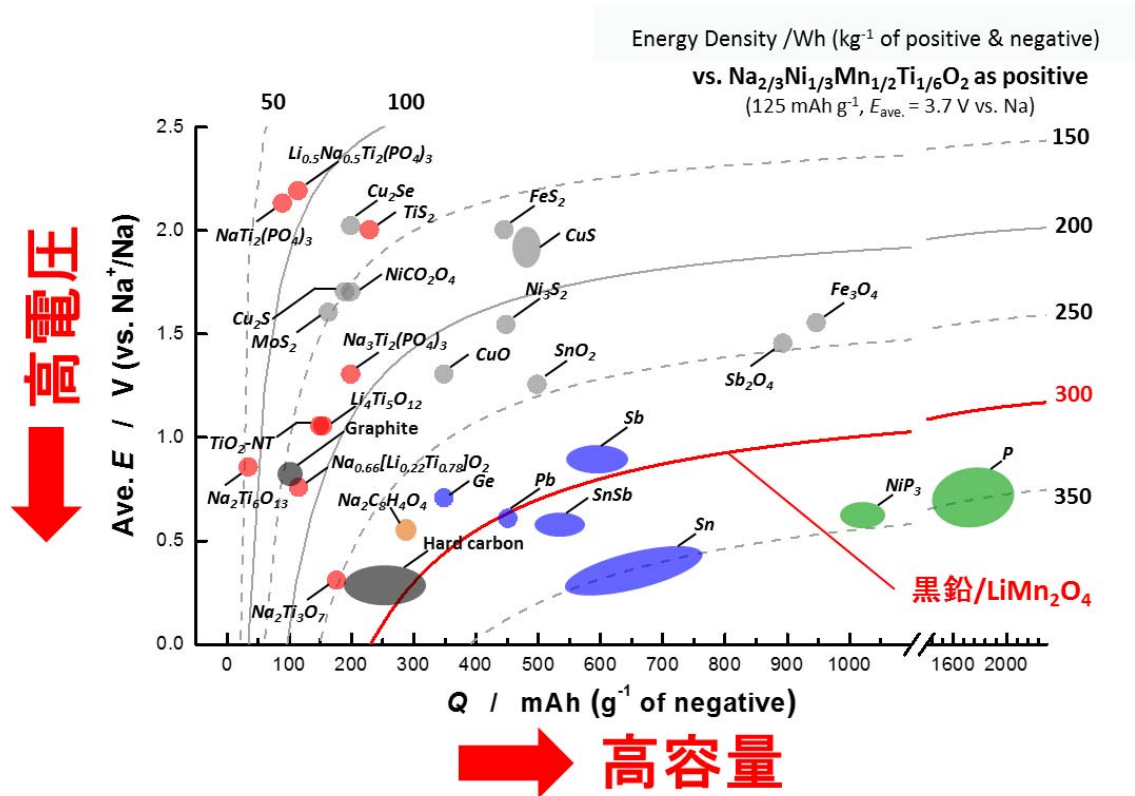


図 3: 各種負極材料の容量と平均放電電池の関係。図中の曲線は、Ni-Mn-Ti 系正極を想定した際のナトリウムイオン電池のエネルギー密度。

正・負極を合わせた電池トータルとしての性能改善に課題はありますが、現状のリチウム電池に匹敵する高エネルギー密度の蓄電池が実現可能であることがわかります。資源が豊富で低コストな材料を利用したナトリウムイオン蓄電池は、将来的には自然エネルギーの有効利用、スマートグリッド用の定置用電力貯蔵システムとしての実用化が期待されます。

■論文について：

### Research Development on Sodium-Ion Batteries

Naoaki Yabuuchi,<sup>†,‡</sup> Kei Kubota,<sup>†,‡</sup> Mouad Dahbi,<sup>†,‡</sup> and Shinichi Komaba<sup>\*,†,‡</sup>

<sup>†</sup> Department of Applied Chemistry, Tokyo University of Science, 1-3 Kagurazaka, Shinjuku, Tokyo 162-8061, Japan. <sup>‡</sup> Elements Strategy Initiative for Catalysts and Batteries (ESICB), Kyoto University, Katsura, Kyoto 615-8520, Japan.