

最先端・次世代研究開発支援プログラム
事後評価書

研究課題名	サステイナブルエネルギー社会を実現するナトリウムイオン二次電池の創製
研究機関・部局・職名	東京理科大学 理学部第一部 応用化学科 教授
氏名	駒場 慎一

【研究目的】

近年、サステイナブル・エネルギー社会の実現に向け、内燃機関を持たない電気自動車、また、自然エネルギーとしての太陽光や風力発電などに注目が集まっている。また、大震災以降、電気を大型電池で蓄える“蓄電技術”に期待が高まりつつある。このような社会的背景の下で、電気自動車の電源として用いられているリチウムイオン蓄電池であるが、定置型蓄電設備に必要とされる大きな蓄電池への応用も期待されている。電気自動車の普及はサステイナブル・エネルギー社会実現への大きな一歩であるが、同時に新たな問題をもたらすことになる。それは、“リチウム価格の高騰”である。リチウム資源は社会情勢が不安定な南アメリカに偏在しており、携帯型電子機器の普及、つまりは小型

リチウム二次電池の普及とともにリチウムの価格は上昇を続けてきた。さらに、我が国はリチウム資源を全て輸入に頼っており資源リスクが大きい元素の代表といえる。加えて、太陽光や風力発電により得られた電気を蓄える用途などでは、車載用以上の超大型電池が必要でありレアメタルであるリチウムを永遠に消費することは難しいと考えられる。これらの問題の全てを解決する可能性を持っているのが、本研究課題の目指す“ナトリウムイオン二次電池”である。

ナトリウムイオン二次電池はその基本動作原理はリチウムイオン二次電池と同じであり、充放電により正極と負極の間をイオンが移動する。しかし、移動するのはリチウムイオンの代わりとして海水や地殻に無尽蔵に存在するナトリウムイオンであるという点で全く異なっている。最先端・次世代研究開発支援プログラムの課題採択

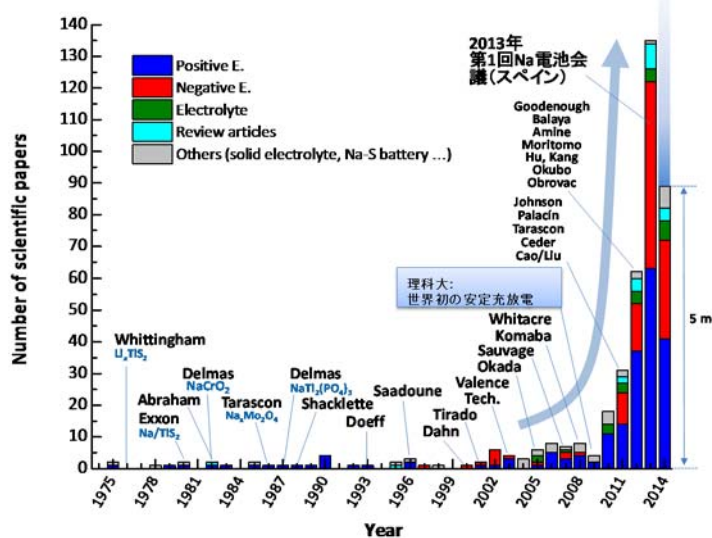


図. ナトリウムイオン電池の学术论文の変化, 2009 年の我々の発表を発端に, 2011 年から激増している。

時にはナトリウムイオン電池の研究報告例は両手で数えられる程で、極めて限られていた（上図）。しかし、我々の2009年の発表を皮切りに、現在ではエネルギーデバイスの研究における時代の潮流の一つにまでなりつつある。

本研究課題ではナトリウムイオン電池の基本構成部材となる、正極材料、負極材料、そして電解液、電解液添加剤、などについて包括的な検討を行い、それらの結果を基に低コストで既存のリチウムイオン電池の性能に匹敵するエネルギー密度実現を目指し、その実用化への道筋をつけることを最終目的として研究に取り組んでいる。

【総合評価】

	特に優れた成果が得られている
○	優れた成果が得られている
	一定の成果が得られている
	十分な成果が得られていない

【所見】

① 総合所見

ナトリウムイオン電池は、ポストリチウム電池の有力候補として期待されているが、その研究開発はごく最近までほとんどなかった。本研究代表者らがこの分野を世界的に先導している。ナトリウム二次電池の開発に正極・負極材料と電解液という総合的観点から具体的目標をもって独創的・系統的に取り組み、長寿命・レアメタルフリー・高エネルギー密度の実現に向けて、成果を出した。

ナトリウムイオン電池の基本構成部材となる、正極材料、負極材料、そして電解液、電解液添加剤、などについてこれまでブレイクスルーとなる結果、ナトリウムイオン電池の電解液の最適化と常温安定充放電の実証（世界初）、新規ナトリウムイオン電池用電解液添加剤の発見、新規鉄マンガン系高容量正極材料の発見、合金系高容量負極材料の高性能化、合金系高容量負極材料の表面被膜制御などを論文発表した。

所期の目標をすべて達成し、残されている課題はなく、目的以上のより高次の研究へ展開中である。

ナトリウムイオン電池では、充放電の際電極と電解液間を移動するのは、海水などに無尽蔵にあるナトリウムイオンであり、正負電極材料もレアメタルフリーの合金などで実用化されれば、我が国のエネルギー・資源における自立に寄与し、電気自動車や自然エネルギー発電の蓄電分野など社会的・経済的効果は極めて大きい。サステイナブルエネルギー社会の実現へと向けて、将来的にそれが実現した場合にはグリーン・イノベーションと呼ぶに相応しく、産業界への波及効果も大きいと期待できる。

研究実施体制やマネジメントは適切であり、助成金の活用も極めて有効であった。一流の学術雑誌へ発表された論文、多くの特許出願、新聞・テレビ・一般雑誌への報道・掲載、会議発表など、研究成果の発信は適切に、かつ活発に行われた。多くの受賞に繋がっている。

国民との科学技術対話が適切に実施された。一般国民向けの講演についても積極的に行った。とくに所属機関を通じては、様々な展示会、JST等の主催する講演会を通じた成果の発信にも取り組んだ。

② 目的の達成状況

・ 所期の目的が

(全て達成された ・ 一部達成された ・ 達成されなかった)

ポストリチウム電池の有力候補として期待されているナトリウム二次電池の開発に正極・負極材料と電解液という総合的観点から具体的目標をもって独創的・系統的に取り組み、長寿命・レアメタルフリー・高エネルギー密度の実現に向けて、成果を出した。

二次電池という性質上、リチウム電池を対照にして数値目標は明確化されており、着実にそのレベルに到達しつつある。

二次電池は極めて実用志向の研究であり、素材の高性能化だけでは実用につながらない場合が多く、正極の高容量化開発と同等以上に負極の開発が重要であり、この研究では、カーボン系負極の開発について進展があった。その結果、ナトリウムイオン電池の基本構成部材となる、正極材料、負極材料、そして電解液、電解液添加剤、などについてこれまでブレークスルーとなる論文を報告した。それらの内容のキーワードは、ナトリウムイオン電池の電解液の最適化と常温安定充放電の実証（世界初）、新規ナトリウムイオン電池用電解液添加剤の発見、新規鉄マンガン系高容量正極材料の発見、合金系高容量負極材料の高性能化、合金系高容量負極材料の表面被膜制御などである。

所期の目標をすべて達成し、残されている課題はなく、目的以上のより高次の研究へ展開中である。

企業との共同研究を推進し、特許出願を進め、順次その成果を開示した。

③ 研究の成果

・ これまでの研究成果により判明した事実や開発した技術等に先進性・優位性が
(ある ・ ない)

・ ブレークスルーと呼べるような特筆すべき研究成果が
(創出された ・ 創出されなかった)

・ 当初の目的の他に得られた成果が (ある ・ ない)

・ 本研究で得られた研究成果の先進性・革新性・優位性がある。

次の成果は、独創的で先進性だけでなく、次世代エネルギー分野で優位性がある。ナトリウムイオン電池の電解液溶媒として炭酸プロピレン、炭酸エチレン/炭酸ジエチル (1:1) が、最適で良好なリサイクル特性を示すことを見つけ、室温で安定充放電を実現した。正極材料として鉄マンガン系を新しく開発し、世界最高エネルギー密度を実現した。負極材料としてポリアクリレートをバインダーとするスズ粉末電極を開発した。

・ 本研究で得られた研究成果で特筆すべきものがある。

ナトリウムイオン電池は、ポストリチウム電池の有力候補として期待されているが、その研究開発はごく最近までほとんどなかった。本研究代表者らがこの分野を世界的に先導しており、レアメタルフリーの新しい正極材料、電解液の最適化、負極材

料などの開発によりエネルギー密度や充放電特性を大幅に向上させた成果は、実用化へのブレークスルーと呼べるものである。さらに炭酸エチレンの水素原子を一個フッ素に置き換えたフルオロ炭酸エチレン(FEC)を炭酸プロピレン電解液に 10%添加するとリサイクル特性が大幅に向上した。これも実用化を考えると特記すべき成果である。

正極材料として新規層状酸化物である $\text{Na}_{2/3}[\text{Fe}_{1/2}\text{Mn}_{1/2}]\text{O}_2$ の合成に成功し、現在の最高のエネルギー密度である 500 mWh/g (Na 金属基準)を得ることに世界で初めて成功した。

- ・ 当初の目的の他に得られた成果はない。

④ 研究成果の効果

- ・ 研究成果は、関連する研究分野への波及効果が

(見込まれる ・ 見込まれない)

- ・ 社会的・経済的な課題の解決への波及効果が

(見込まれる ・ 見込まれない)

- ・ 本研究の成果は、関連する研究分野の進展に寄与が見込まれる。

Na イオンの可逆的吸脱着を高容量で行う「材料」の創製という点では、この技術を他のデバイス（電気化学キャパシタなど）に横展開できる可能性はある。

レアメタルフリーの新しい正極材料や合金系負極材料などは、まだまだ改良の余地や新しい構造の可能性もある。二次電池分野はもちろん無機機能材料など関連研究分野の進展に寄与が見込まれる。

ナトリウムインサージョン材料の学術的な意義の一つとして、リチウムインサージョン材料との比較が挙げられる。時には似た挙動を示すこともあるが、鉄系やクロム系酸化物材料のようにナトリウム系でのみ活性になるという特異的な挙動を示す場合がある。このような比較研究はナトリウムインサージョンのみならず、リチウムを含めた他のアルカリ金属やマグネシウムなどの研究を進める上においても重要で有益な知見になる。

- ・ 本研究の成果は、グリーン・イノベーションへの貢献が見込まれる。

ナトリウムイオン電池では、充放電の際電極と電解液間を移動するのは、海水などに無尽蔵にあるナトリウムイオンであり、正負電極材料もレアメタルフリーの合金などで実用化されれば、我が国のエネルギー・資源における自立に寄与し、電気自動車や自然エネルギー発電の蓄電分野など社会的・経済的効果は極めて大きい。

サステナブルエネルギー社会の実現へと向けて、大型蓄電池としてのナトリウムイオン蓄電池の社会的インパクトは非常に大きい。将来的にそれが実現した場合にはグリーン・イノベーションと呼ぶに相応しく、産業界への波及効果も非常に大きいと期待できる。

⑤ 研究実施マネジメントの状況

・適切なマネジメントが（行われた ・ 行われなかった）

- ・ 研究目的達成に向けての研究計画の適切性、研究実施体制の適切性、マネジメントの適切性は高い。助成金の有効な利活用、指摘事項への対応状況は適切である。研究実施体制やマネジメントは適切であり、助成金の活用も極めて有効であった。指摘事項への対応も適切であった。
- ・ 論文発表、会議発表、知的財産権の出願・取得状況、その他への研究成果の積極的な公表や発信が適切に行われた。
一流の学術雑誌へ発表された論文、多くの特許出願、新聞・テレビ・一般雑誌への報道・掲載、会議発表など研究成果の発信は適切に、かつ活発に行われた。多くの受賞に繋がっている。
- ・ 国民との科学技術対話が適切に実施された。
所属機関研究戦略・産学連携センターの主催で、2度のプレスリリース、プレスセミナーにより報道機関に対して成果を発信した。広く国民との科学・技術対話および成果の普及を行うことを念頭に、一般の人に分かり易く研究内容を説明するよう、報道のスペシャリストに相談し、綿密なチェックを行いながら、プレス資料の作成を工夫した。また、報道各社等からの個々の取材にも丁寧に応じて、研究成果を普及する努力を行なった。新聞各紙、テレビ局の報道番組が大々的に全国的な記事として取り上げたので、当初の期待を遙かに超えて、日本全国の国民に成果を発信し、化学技術的対話が行われた。
一般国民向けの多くの講演を行った。とくに所属機関を通じては、様々な展示会、JST等の主催する講演会を通じた成果の発信にも取り組んだ。具体例は以下のとおりである。
 - 1) 「新しい蓄電デバイス“ナトリウムイオン電池”」、広域産学交流ネットワーク in Nagano 2011, 長野, 2011.5.11.
 - 2) 「新しい蓄電デバイス“ナトリウムイオン電池”」、東京理科大学 新技術説明会（主催：東京理科大学 科学技術交流センター、独立行政法人科学技術振興機構）、JSTホール（東京・市ヶ谷）、2011.7.29.
 - 3) 「ナトリウムイオン電池のトータル設計」、2012（第20回）バッテリー技術シンポジウム（E6：次世代高性能電池）（主催：一般社団法人 日本能率協会）、ビックサイト、東京、2012.7.13.
 - 4) 「ナトリウムイオン電池の創製」、新技術セミナー 『レアメタルフリー次世代二次電池の研究開発動向』（主催：株式会社 化学工業日報社）、青学会館、東京、2012.7.23.
 - 5) 「高容量化の可能性を秘める、ナトリウムイオン電池」、日経エレクトロニクスセミナー・「次世代電池の開発最前線 2013」（主催：日経エレクトロニクス）、JA 共済ビル、東京、2013.2.28.