

## 次世代電池のプロトタイプが完成 ～脱希少元素を実現へ～

### 1. 発表者

山田淳夫（東京大学 大学院工学系研究科化学システム工学専攻 教授）  
大久保將史（東京大学 大学院工学系研究科化学システム工学専攻 准教授）  
王憲芬（東京大学 大学院工学系研究科化学システム工学専攻 特任研究員）  
梶山智司（東京大学 大学院工学系研究科化学システム工学専攻 特任研究員）  
飯沼広基（東京大学 工学部 化学システム工学科 学部生）  
森口勇（長崎大学 大学院工学研究科 教授）  
小路慎二（長崎大学 大学院工学研究科 大学院生）

### 2. 発表のポイント

- ・リチウムなどの希少元素を使用しない次世代電池の候補であるナトリウムイオン電池（注1）のマイナス極を開発した。
- ・急速充電、急速放電が可能なマイナス極の実現により、既知のプラス極と組み合わせたナトリウムイオン電池のプロトタイプを完成した。
- ・本プロトタイプの実現により、電気自動車などの大型機器への汎用性を備えた低コスト電池の実現が可能となり、電池分野における特定国への資源依存を解消できる。

### 3. 発表概要

現在広く普及しているリチウムイオン電池（注2）は希少元素であるリチウムやコバルトを使用しており、さらなる低コスト化、特定資源産出国への依存脱却のために、リチウムをナトリウムに置換したナトリウムイオン電池の実現が急がれている。

ナトリウムイオン電池を実現するためには、ナトリウムイオンを吸蔵・放出する化合物の対（プラス極とマイナス極（注3））が必要であり、特に、高性能なマイナス極の開発により、ナトリウムイオン電池をシステムとして完成することが求められていた。

東京大学大学院工学系研究科化学システム工学専攻の山田淳夫教授、大久保將史准教授のグループは、長崎大学大学院工学研究科の森口勇教授らとの共同研究により、チタンと炭素から構成されるシート状の化合物が多量のナトリウムイオンを吸蔵・放出することを発見した（図1）。この化合物をマイナス極として、既知のプラス極と組み合わせたナトリウムイオン電池のプロトタイプを作製したところ、急速充電、長時間の電流供給、充放電を繰り返しても劣化しない安定性などの、次世代電池に必要な性能を満たすことを確認した（図2）。

なお、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ユニット」（研究代表者：田中康裕 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た。

#### 4. 発表内容

##### ①発表の背景・先行研究における問題点

ノートパソコンやスマートホンなどの小型携帯機器に使用されているリチウムイオン電池は、近年の脱原発や省エネルギー化への社会的要請から、更なる低コスト化により、電気自動車などの普及を後押しすることが求められている。しかし、リチウムイオン電池は希少元素であるリチウムやコバルトを使用しており、本質的に大幅な低コスト化は難しい。また、特定の希少元素産出国に依存するため、需給バランスに関して国家間の紛争等によるリスクが大きい。そこで、希少なリチウムを使用しないナトリウムイオン電池の開発が盛んに行われている。

ナトリウムイオン電池を実現するためには、電流を流すために化合物の対(プラス極、マイナス極)が必要となり、それぞれ共にナトリウムイオンを可逆的に吸蔵・放出する特性が求められる。プラス極については、これまでの研究からナトリウムイオンを可逆的に吸蔵・放出できる化合物が多数報告されている。一方、マイナス極については、急速充電、長時間の電流供給、充放電の繰り返しに対する安定性などの条件を満たす化合物が見つかっておらず、ナトリウムイオン電池のプロトタイプを作製するための障害となっていた。

##### ②研究内容

東京大学大学院工学系研究科化学システム工学専攻の山田淳夫教授、大久保将史准教授、長崎大学大学院工学研究科の森口勇教授らのグループは、ナトリウムイオン電池をシステムとして完成させるための鍵となるマイナス極を開発した。具体的には、東京大学と長崎大学が共同で合成したチタンと炭素から構成されるシート状の化合物を、東京大学においてナトリウムイオン電池のマイナス極として応用した。このシート状の化合物は多量のナトリウムイオンを吸蔵・放出する特性を示し(図1)、ナトリウムイオン電池の長時間の電流供給を可能とするマイナス極であることが分かった。また、シート構造を反映して高速でのナトリウムイオン吸蔵・放出も可能であり、急速充電にも対応可能であった。さらに、ナトリウムイオン吸蔵・放出を繰り返しても特性が劣化することではなく、長期間安定に作動することも分かった。

今回発見したマイナス極を、これまでに当グループが発見した安価な鉄と硫黄で構成されるプラス極(<http://www.t.u-tokyo.ac.jp/epage/release/2014/2014071801.html>)と組み合わせることで、ナトリウムイオン電池のプロトタイプが完成した。作製したプロトタイプは、長時間の電流供給が可能であり、充電・放電を繰り返すことによる劣化もなく、さらに、急速な充電や放電にも対応可能であった(図2)。

### ③社会的意義・今後の予定

本研究の成果により、ナトリウムイオン電池を実現するためのボトルネックとなっていたマイナス極の課題が解決され、ナトリウムイオン電池のプロトタイプを完成することができた。このプロトタイプはナトリウム、鉄、硫黄、酸素、チタン、炭素などの汎用元素のみで構成され、全く希少元素を使用する必要がない。

今後は、本研究で示されたプロトタイプを軸とした低コストな電池の実用化が加速し、小型の携帯機器から大型の電気自動車まで幅広い用途への展開だけではなく、ナトリウムイオン電池が普及することで電池分野において特定の希少元素産出国への依存から脱却できると期待される。

なお、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ユニット」（研究代表者：田中康裕 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た。

### 5. 発表雑誌

雑誌名：Nature Communications

論文タイトル：Pseudocapacitance of MXene Nanosheets for High-Power Sodium-Ion Hybrid Capacitors

著者：Xianfen Wang, Satoshi Kajiyama, Hiroki Inuma, Eiji Hosono, Shinji Oro, Isamu Moriguchi, Masashi Okubo, Atsuo Yamada

DOI：10.1038/ncomms7544

### 6. 問い合わせ先

山田淳夫（やまだ あつお）

東京大学 大学院工学系研究科 化学システム工学専攻 教授

大久保将史（おおくぼ まさし）

東京大学 大学院工学系研究科 化学システム工学専攻 准教授

森口勇

長崎大学 大学院工学研究科 物質科学部門 教授

## 7. 用語解説

### (注1) ナトリウムイオン電池

広く実用化されているリチウムイオン電池のリチウムをナトリウムに置き換えた電池。

### (注2) リチウムイオン電池

繰り返し充電して使用できる電池の一種。他の電池と比較して電圧が高く、充電できるエネルギーが重量・サイズに比して大きいため、携帯機器を中心に広く普及している。しかし、リチウムやコバルト等の希少元素を使用しているため、電気自動車や電力貯蔵を含めたさらなる大規模な普及は難しく、代替技術の開発が望まれている。

### (注3) プラス極とマイナス極

電池を充電する時、プラス極は電子とプラスイオン（リチウムイオンやナトリウムイオン）を放出する一方、マイナス極は電子とプラスイオンを吸蔵する。電池を放電する際は、逆にプラス極は電子とプラスイオンを吸蔵し、マイナス極は電子とプラスイオンを放出する。したがって、プラス極とマイナス極は、電子とプラスイオンを吸蔵・放出する性質が求められる。

8. 添付資料

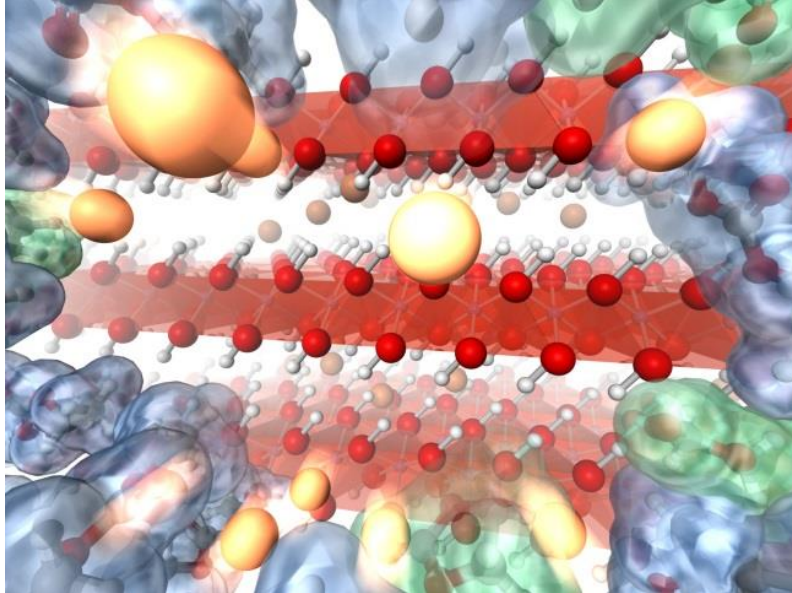


図1. ナトリウムイオン電池のマイナス極のイメージ  
チタン（赤）と炭素（灰色）から成るシート状物質がナトリウムイオン（黄色）を吸蔵・放出する。

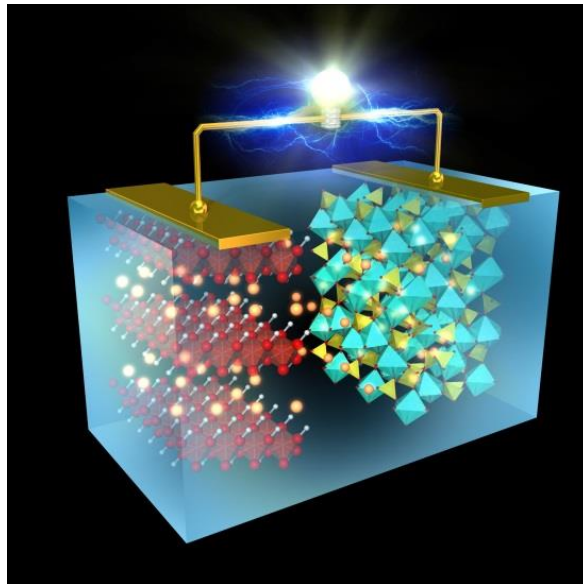


図2. 今回完成したナトリウムイオン電池のプロトタイプ  
プラス極（水色）とマイナス極（赤色）の両方が揃うことで初めて、ナトリウムイオン電池のプロトタイプを完成した。