



## ▶▶▶ contents

- 1 | 次世代社会の基幹デバイス：リチウムイオン電池
- 2 | 放射光に魅せられて
- 3 | アンモニアで目指すクリーン社会

## 1 | 次世代社会の基幹デバイス：リチウムイオン電池

今回は化学系学科の特集です。一人目のインタビューは、リチウムイオン電池について研究されている化学システム工学専攻の山田淳夫教授です。私たちが日ごろ何気なく使っている携帯電話やノートパソコンなどは、電源としてリチウムイオン電池が使われています。このリチウムイオン電池、電気自動車用の電池として実用化も徐々にされてきています。

**Q. 研究内容について教えてください。**

エネルギー変換機能・エネルギー貯蔵機能を有する新材料の開発やその仕組みの解明について、無機固体材料を中心に幅広く研究しています。研究テーマの一つが、次世代自動車用のリチウムイオン電池の開発です。三菱自動車工業とは「社会連携講座」を設置し、化学システム工学科の材料関連の研究室全体で共同研究をしています。

**Q. リチウムイオン電池とはどのようなものなのでしょうか？**

電池と一口に言っても、一次電池、二次電池、燃料電池の3種類に大きく分類されます。一次電池は、使い捨ての乾電池など。二次電池は何度でも充電して繰り返し利用できるもの。燃料電池は外部から反応物質を供給してエネルギーを得るものです。リチウムイオン電池は、二次電池に属します。時計などの低出力な機器ならば一次電池で十分ですが、パワーが必要で一回の使用時間が比較的短い

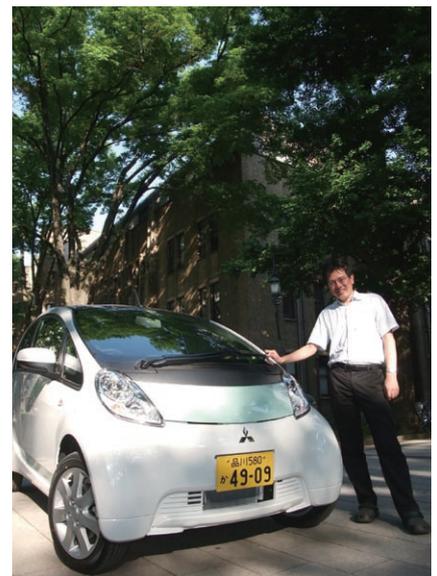
機器に対しては何度でも充電できる二次電池が有効です。

**Q. リチウムイオン電池とリチウム電池は違うものなのでしょうか？**

単にリチウム電池というと、二酸化マンガンリチウム (Li-MnO<sub>2</sub>) 電池などの一次電池のことを指す場合があります。これらは負極に金属リチウムを用いていますが、二次電池のように安全に繰り返し充放電することはできません。ここでいうリチウムイオン電池は、リチウムが常にイオン状態で電気を運ぶ働きをしているものです。

**Q. リチウムイオン電池が、他の二次電池と違う点は何ですか？**

この電池は、1990年にソニーが特殊な炭素材料の中にリチウムをイオンのまま入れ込む技術を採用することで商品化されました。近年のリチウムイオン電池の急速な発展には目を見張るものがあり、以前から実用化されている二次電池の鉛蓄電池、ニッカド電池、ニッケル水素電池に比べてはるかに高いエネルギー密度を実現可能



工学系研究科 化学システム工学専攻  
山田淳夫教授

共同研究を行う三菱自動車工業(株)のi-MiEVとともに、i-MiEVは2010年4月に発売された、リチウムイオン電池を用いた世界初の量産車。

です(図1)。リチウムイオン電池の利点は、エネルギー密度が高いこと以外に、軽いこと、出力電圧が高いことなどが挙げられます(リチウムは金属のうち最大のイオン化傾向を持ち、非常に低い電位

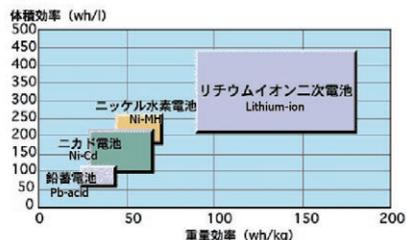


図1：さまざまな二次電池のエネルギー密度

を持つため、これを負極として用いると、正極との電位差が開き、高い電圧が得られる。

しかし、欠点も多くありました。まず、有機電解液を用いているので燃えやすいこと。ケータイの電池パックが発火したという事故を聞くことがあります。これはリチウムイオン電池内の有機電解液と正極材料が激しく反応することで起こる現象です。リチウムイオン電池を自動車用に実用化するとするとサイズが桁違いに大きくなるため、絶対に避けなければいけません。

また、コバルトなどの希少金属（レアメタル）を用いているために値段が高いことも欠点の一つでした。

これらの理由から、自動車へのリチウムイオン電池の応用は成功しませんでした。例えば、2009年以前までに実用化されたハイブリッドカーの「プリウス」（トヨタ）や「インサイト」（ホンダ）にはニッケル水素電池が使われています。その後数々の研究により、リチウムイオン電池の安全性は確立されていき、2010年に発売されたi-MiEV（前ページ写真参照）に、ようやくリチウムイオン電池が採用されたのです。ただし、このi-MiEVに搭載されたリチウムイオン電池にはコバルトやニッケルほどではないにしても希少な金属であるマンガンが使われていますから、i-MiEVはまだまだ高価です。

Q. より安価な材料でリチウムイオン電池が作れば、実用化に向けて飛躍的に前進するのですね。

はい。私の研究成果のひとつは、90年代後半に可能性が示された新しい材料である、オリビン型リン酸鉄リチウム（ $\text{LiFePO}_4$ ）に着目し、その高い実用性を初めて示したのです。

当時は電池への応用はほとんど考えられていませんでしたが、この成果によりオリビン型リン酸鉄リチウムを用いたリチウムイオン電池の可能性は広く世界に認知されるようになりました。

この材料は安価な鉄を基本元素とし、しかも非常に高い安全性を有しているという特徴があります。オリビン型リン酸鉄リチウムを用いたリチウムイオン電池は電動工具や、北京オリンピックの電気自動車、さらにはF1レースの加速システム等に次々と採用され、内燃機関を凌駕する出力特性が実証されています。

このように、リチウムイオン電

#### Clark No.

元素	クラーク数
Fe	2,000
Mn	38
Ni	3
Co	1

#### Toxicity

元素	有害性値
Fe	0.0025
Mn	0.004
Ni	0.053
Co	1

図2：コバルトを1とした時の、各材料のクラーク数と有害性の値をグラフにしたもの。鉄はマンガン、ニッケル、コバルトに比べ格段に多く存在し、有害性も少ない（クラーク数が大きいほど地表付近に存在する元素の量が多い）。

池は優れた動力技術となってきています。しかし、化石燃料技術と比べるとまだまだ持久力がないのが現状です。たとえば、ガソリン車はガソリンを満タンにしてから500キロメートルまで走れるのに対し、リチウムイオン電池を使った電気自動車は充電してから180キロメートルしか走れません。さらに次の段階の研究が必要になります。

Q. 今後の展望をお聞かせください。

応用と基礎の視点のバランス感覚を重視し、これからも科学と技術の本当の境界分野に身をおいて研究をしてきたいですね。流行に流されず、自己満足に陥らずといったところでしょうか。

Q. 読者へのメッセージをお願いします。

研究をやっていくときに、重要になってくるのが人とのネットワークです。現在進行中の研究や、本当の最先端の情報は、論文にも、本にも、ネットにも載っていません。人とのコミュニケーションからこそ、着想が得られるのだと考えてください。また、そういったコミュニケーションの中から有意義な情報を得るためには、自分自身の強みを確立していることや、相手を尊重できる姿勢を持つことが大前提になります。

（インタビュアー 清水 裕介）

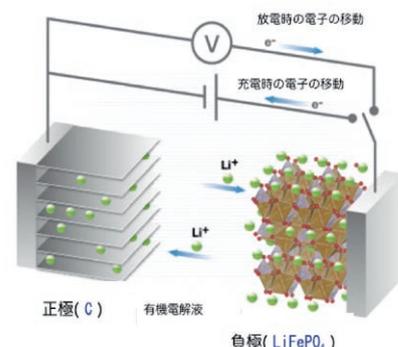


図3：オリビン型リン酸鉄リチウム（ $\text{LiFePO}_4$ ）イオン電池の概念図

## 2 | 放射光に魅せられて

応用化学専攻、尾嶋正治教授にお話を伺いました。主には放射光を用いた、幅広い研究をしていらっしゃいます。JST-CREST ナノ界面、NEDO 燃料電池、STARC 民間共同研究といった大きなプロジェクトを動かす傍ら、教育に、趣味に、アクティブに活動していらっしゃいます。

### Q. 研究のきっかけは何ですか？

修士修了後、日本電信電話公社（現 NTT）で21年間働いていました。電子デバイスのナノ加工や表面物性などについて研究していましたが、留学先で放射光に出会いました。放射光で緑色に輝くダイヤモンドを見て魅せられて以来、放射光研究を29年間続け、応用化学科でも15年間研究を続けています。

### Q. どんな研究をなさっていますか？

結晶成長などの手法を用いて、窒化物半導体や酸化物薄膜、カーボンアロイ触媒など（注1）を作り、さらにそれらを放射光で解析する、という研究をしています。

放射光とは、電子などの荷電粒子を光速近くまで加速し、磁場中でローレンツ力により曲げることで、放射される光です。普通の光が全方位に対して広がるのに対し、指向性の高い強力な光が得られます。放射光を用いて光電子分光法（注2）を行うことで、従来よりも高精度な観測が可能になります。

### Q. 作っているものについて教えてください。

酸化物の例をあげましょう。酸化物は、その組成や欠陥を制御することで電気抵抗をコントロールできます。レーザー光をあててAlやMn酸化物を昇華させ、1層ずつ積み上げることで、原子オーダーで制御された綺麗な薄膜を作ることができます。

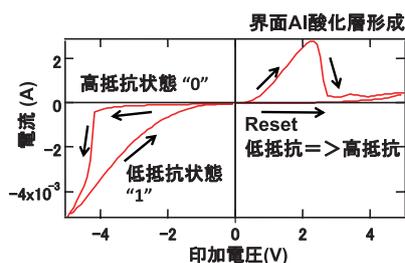


図1：Al/PCMO/Auの電流－電圧曲線

これにより、USBメモリーより2ケタ速い、不揮発性抵抗変化メモリー ReRAM を作ることが出来ます。次世代メモリーとして、企業でも研究が盛んに行われているホットな分野です。

### Q. どのように解析していますか？

作った不揮発性メモリーに電圧をかけ、電流値をはかって解析することで、そのメカニズムを調べ、より高性能なデバイスの開発に役立てようとしています。

Al電極に正の電圧をかけると、 $O^-$ が引き寄せられ、界面（物質の境界）で酸化層が形成され、抵抗が大きくなります。（図1参照）負の電圧が $-4V$ になると、薄膜の欠陥をホッピングしながら電子が流れます。高抵抗状態を0、低抵抗状態を1とすれば、電流の流れやすさで1か0かを区別することができ、情報を記録することが可能になります。LSI関連のみならず、他にも様々な研究をしています。

### Q. 他の研究についても教えてください。

絶縁体は、電子を通さないはずですが、しかし、絶縁体  $LaAlO_3$  と  $SrTiO_3$  を接合させると、界面で電流が流れる、つまり金属層ができる、という不思議な現象があります。

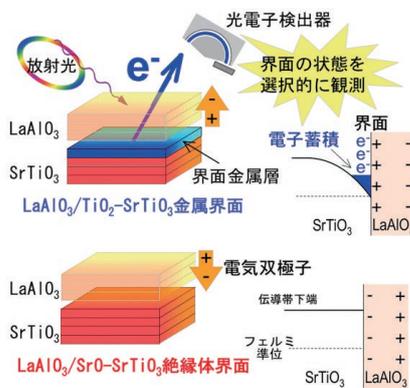


図2： $LaAlO_3/SrTiO_3$ 絶縁体界面における界面金属層の形成



工学系研究科 応用化学専攻  
尾嶋正治教授

何故そのような現象が起こるのか分かっていませんでしたが、放射光を用いた光電子分光法により、界面金属層ができるメカニズムを解明しました。（図2参照）

$LaO^+$ と $AlO_2^-$ の間に働く電気双極子により電子が界面に蓄積され、金属層となり、電気を通すようになるのです。

### Q. 最後に、読者に一言お願いします。

何かをマスターするためには、短期間で集中することがお勧めです。試行錯誤だけでなく、10冊以上本を読むなどして、まず理論を頭に入れることで、効率良く物事を進められます。放射光については、12月にBLUE BACKSから面白い本を出しますので、興味があれば是非読んでみてください。

注1) 窒化物半導体の一例 GaN は青色発光ダイオードとして用いられる。カーボンアロイ触媒は燃料電池の白金代替触媒として研究を進めている。

注2) 光を当てると、光電効果により光電子が出る。このエネルギーを測り、入射光のエネルギーとの差をとると、結合エネルギーが分かり、物質の電子状態が得られる。放射光は指向性が高く、エネルギー分散が小さく、そろっているために、入射光としては最適である。

（インタビューアー 沼田 恵里）

### 3 | アンモニアで目指すクリーン社会

アミノ酸、アンモニアなど窒素原子を含む化合物を我々は生活の中のいたるところで利用していますが、その生成は容易ではありません。西林仁昭准教授は触媒反応工学を専門とされており、工学系研究科総合研究機構が取り組んでいる「若手育成プログラム」に採用された通称「スーパー准教授」です。先生のご専門であるアンモニアの生成法について伺いました。

**Q. 「若手育成プログラム」とはどのようなものなのでしょう？**

将来世界に発信できる研究成果を上げることを目標に国内外から研究者を公募して、工学系研究科が独自に支援するプログラムです。現在私も含めて5人の教員が採択されており、学内の研究以外の仕事は極力省いてもらっています。また、研究室のスペースとして200㎡、着任してから3年間は1000万円を通常の研究費以外にもらっていました。5年（3年を限度とした1回の再任可）という任期付きですし、最初の実験器具も何もないところから研究室を立ち上げなければならなかったので大変な部分もありましたが、研究に没頭できる良い環境を与えてもらっています。

**Q. 先生の取り組んでいらっしゃる「窒素固定」（空気中の窒素分子を窒素化合物に変換すること）の研究について教えてください。**

人間の体内で生命維持に必要な核酸やアミノ酸には窒素が含まれ

ていますが、人間は空気中の窒素を体内に取り込んで窒素化合物に変換することはできません。しかし、マメ科の植物の根に存在する根粒菌はニトロゲナーゼという酵素を用いて非常に温和な条件の下で窒素からアンモニアを合成できます。それを植物が取り込み、人間が植物を食べることで体内に取り入れているのです。

一方で、医薬品や繊維などにも含まれているアンモニアは工業的にはハーバー・ボッシュ法と呼ばれる方法を用いて生成されていますが、高温高圧という厳しい条件下で、しかも全人類の消費するエネルギーの数パーセントとも言われる非常に大きなエネルギーを必要とします。そこで我々の研究室ではニトロゲナーゼを模した「窒素錯体」を触媒として用いる方法を研究しています。モリブデンを使った窒素錯体では実際に穏やかな条件下で効率よくアンモニアを作り出すことに成功しました。また、将来的にアンモニアを窒素・水・光



工学系研究科 総合研究機構  
西林仁昭准教授

から合成することができるようになれば、アンモニアをエネルギー媒体として用いる「アンモニア社会」が実現すると考えています。

**Q. 「アンモニア社会」を目指すメリットはなんでしょう？**

従来の化石燃料は燃やせば二酸化炭素を排出します。一方で、水素は水しか排出しませんが、貯蔵・運搬が非常に困難です。その点アンモニアは窒素と水素への分解反応で二酸化炭素を出さずにエネルギーを得られ、少し圧力をかければ液体になり取扱いも容易になります。つまりアンモニアをエネルギー媒体にできれば現代の環境・エネルギー問題を解決し得るのです。実現するのはまだまだ先かもしれませんが、窒素固定の研究の一つの目標だと考えています。

（インタビューー 藤島 孝太郎）

#### 広報室から

##### 編集後記

化学生命系三学科は、化学を共通のキーワードに、物理～生命、基礎～応用と幅広く活動しております。化学と言えば、フラスコの中で薬品を混ぜているイメージをお持ちかも知れませんが、実際には様々な方法・装置を使って、原子・分子レベルを制御してモノを作っています。今回も、様々な物質が“化ける”話が登場しましたが、如何でしたでしょうか？化学の魅力と夢が伝われば幸いです。最後になりましたが、お忙しい中、取材にご協力いただいた皆様に感謝いたします。どうも有難うございました。

（野田 優）

##### （広報アシスタント）

伊與木健太、大嶽 晴佳、大原 寛司、北野 美紗、柴田 明裕、清水 裕介、須原 宜史、西村 知、藤島孝太郎、矢田祐一郎、本田 信吾

##### （広報室）

野田 優（化学システム工学専攻）  
中須賀真一（広報室長・航空宇宙工学専攻）

# Ttime!

平成 22 年 8 月 2 日 発行

編集・発行 | 東京大学  
工学部広報室

無断転載厳禁



この印刷物は、FSC森林認証紙を使用しています。