

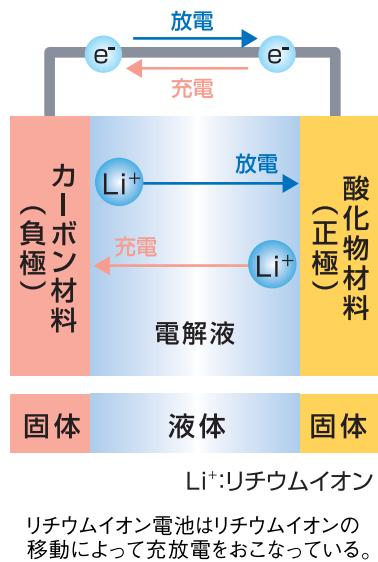
大阪大学大学院 理学研究科 化学専攻 物性有機化学研究室

もりた やすし
森田 靖 准教授

新たな有機分子の開発で大容量電池を実現

レアメタル不要の二次電池を開発

携帯電話やノート型パソコン、電気自動車などに欠かせないものにリチウムイオン電池があります。リチウムイオン電池は、繰り返し充電ができる二次電池の一種で、その充放電は、電池内部でリチウムイオンが電極間を移動することによって起こります。この電池に外部から電圧を加えると、正極にあるリチウムイオンが電解液の中を通過して、負極に移動し、電気エネルギーを化学エネルギーに変換して蓄電します。そして、負極から正極にリチウムイオンが戻ると、電気エネルギーが発生します。



リチウムが用いられています。コバルトは、希少金属（レアメタル）なので、常に価格の高騰が懸念されます。また、使用後の廃棄処理も大きな問題です。そこで、私たちは、正極に石油由来の成分から化学的に合成した有機分子を使った二次電池を開発しました。基本的な構造は通常のリチウムイオン電池と似ていますが、リチウムイオン電池に比べて、最大二倍の容量の電気エネルギーを蓄えたり放出することができます。

大阪大学豊中キャンパスの研究室で、森田靖先生がこう話されます。大阪市立大学の工位武治特任教授とチームを組まれての研究結果が、昨年十月に発表されると、イギリスの国際学術誌『Nature Materials』のオンライン版をはじめ、国内外の学術誌に掲載されるなど、広く注目を集めました。森田先生のご専門は物性有機化学で、有機分子が示す電子や光、磁気的な性質を分子個々のレベルまで掘り下げて追究しておられます。ご出身の名古屋大学では、のちにノーベル賞を受賞される野依良治先生の研究室に所属し、新しい分子を設計し、簡単な分子から精密かつ効率的に組み立てて行く技術を身につけられました。

新しい有機分子を一から設計

有機分子を正極に使う電池を作るという試みは、森田先生が二〇〇〇年頃に、「6-オキソフェナレノキシル（6OPPO）」という分子を設計し合成されたことから始まりました。この6OPPOという物質は、私たちの身の回りにあふれている有機分子とは大きく異なる特徴を有しています。

「有機分子内では通常、電子は偶数個存在しており、二個ずつペアになっています。しかし、中には、電氣的に中性でありながら、ペアを形成しない電子（「不対電子」）を持つ有機分子も存在し、それらは『有機中性ラジカル』と呼ばれています。この奇数個の電子を持つ有機分子は、電子を受容したり放出したりすることで電子数を偶数個にしうという性質があります。この性質は、電子が持つエネルギーを蓄えたり放出する性質とも見なすことができ、電池の活物質に使った場合、電気エネルギーの貯蔵・放出が容易です」

有機中性ラジカルの基礎的な性質に関する研究は、半世紀以上前から行われていましたが、どの研究も、不対電子が分子の限られた場所にしか存在しない『電子スピン局在型』の有機中性ラジ

カルについてのものでした。これに対して、森田先生が開発した『6OPPO』は、分子の広い範囲に不対電子が存在する『電子スピン非局在型』であることが大きな特徴です。

二〇〇二年、森田先生は、さっそく電池の技術者と協力して電池を試作されました。6OPPOを手始めに様々な種類の有機分子を用いて実験されましたが、リチウムイオン電池と同程度の電気容量を得ることができても、充放電の繰り返しによる劣化の速さが問題でした。そこで、一年以上の試行錯誤を重ね、完成したのが「トリオキソトリアンギレン（TOT）」と名付けられた電子スピン非局在型の有機中性ラジカルです。

「TOTは安定性が高く、空気中三〇℃で加熱しても分解しません。また、一分子当たり四個の電子を貯蔵・放出できるようにデザインしました。その結果、電気容量はリチウムイオン電池の約二倍に高まりました。さらに、三個の臭素原子を結合させた分子（Br3TOT）では、分子間のネットワークも強く、充放電による性能劣化も大幅に改善できました」

こうして「分子スピン電池」が完成しました。材

料である有機分子は設計の自由度が高いため、電池設計の可能性も広がります。森田先生は数千億円規模の産業に成長すると考えておられます。「この有機中性ラジカルを活用することにより、二次電池の軽量化や大容量化、充電時間の短縮が可能です。また、用途も携帯機器だけでなく、太陽光発電の蓄電池や電気自動車などへと広がっていくでしょう」

これらの研究は、文部科学省産学連携の元素戦略プロジェクトとして進められています。

さらに広がる有機中性ラジカルの活用

有機中性ラジカルを活かした商品は、これまでもいろいろあり、例えば食品や化粧品に含まれるビタミンEは、空気に触れると、酸化されて有機中性ラジカルが発生し、肌などの細胞を害する活性酸素を無害化してくれます。

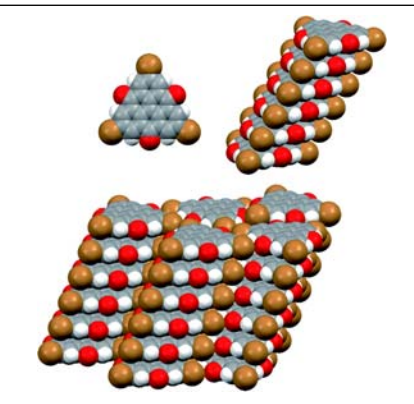
「一般に『有機中性ラジカル』は不安定なので、空気中での扱いは困難であると考えられてきました。ところが、私たちが生み出した『6OPPO』や『TOT』は、電子スピンの非局在化により空気中でも非常に安定的で、二次電池だけでなく、さ



石油由来の成分から化学的に合成したBr3TOT（臭化トリオキソトリアンギレン）。



TOT類を使って開発した、レアメタルを必要としない「分子スピン電池」。従来のリチウムイオン電池と比べると最大2倍の容量の電気エネルギーの充放電ができる。



Br3TOTは分子間のネットワーク構造が強力なため、充放電に伴う電池性能の劣化が少ない。

大阪大学 大学院理学研究科化学専攻
物性有機化学研究室
博士（理学）
（略歴）

1989年、名古屋大学大学院理学研究科博士後期課程修了。同年から1990年5月まで、米国ハーバード大学博士研究員（Stuart L. Schreiber教授）に。帰国後、分子科学研究所助手、大阪大学大学院理学研究科助手、科学技術振興機構さきがけ研究21「合成と制御」領域研究者（兼任）、大阪大学大学院理学研究科講師、助教授を経て2007年から現職。

