



エネルギーのたまご

—— 脇原研究室 ~ 化学工学科 ——



脇原 将孝 教授

人間が電化製品を利用するようになってから、すでに長い月日が経っている。今や必需品といえるこれらの製品のために、携帯できるエネルギーの源として、電池の需要もますます高まってきた。すでに我々の生活は電池なしでは語れなくなっていると言っても良いだろう。その中で、現在最も注目されているのが、充電できる電池つまり二次電池としてのリチウムイオン電池である。少し毛色の変わったこの電池。その研究をゆっくりと見ていくことにしよう。



周りから見たリチウムイオン二次電池

リチウムイオン二次電池は1990年に生まれた。今からちょうど8年前のことである。この電池、現在ではほとんどの携帯電話やノートパソコンのバッテリーとして採用されている。なぜ、これほどまでに短期間で広まったのか、その理由を見てみることにしよう。

リチウムイオン二次電池の大きな特徴は、高いエネルギー密度と高い放電電圧、そしてその軽さ

である。ニッケル水素電池やニッカド電池に比べて重量あたりのエネルギー密度が高い。(図1)しかし何よりも重要なのはその放電電圧の高さであり、そして、それらの特徴と軽量性が同居しているという点である。

もう少し詳しく見ていくことにしよう。リチウムが使用されているという点から、その軽さは予想できるかも知れない。だが、もちろんそれだけで全体が軽量化されるわけではない。いくら軽くても大量に使用すれば全体重量は変わらないし、かさばるだけだからだ。その点でもリチウムイオン二次電池は合格といえる。後述するが、その構造によるエネルギーの密度の大きさがその問題を見事にクリアしている。これらの点をみれば、この電池はまさに理想的な電池であるのだ。

だが、いくつか問題も抱えている。次に、そちらを見ていく。

リチウムイオン二次電池とは言っても、金属リチウムが単体で使用されているわけではなく、正極材料にコバルト酸リチウムという化合物が使われている。だが、そのコバルトはレアメタルでありニッケルやマンガンに比べて埋蔵量が少ない。

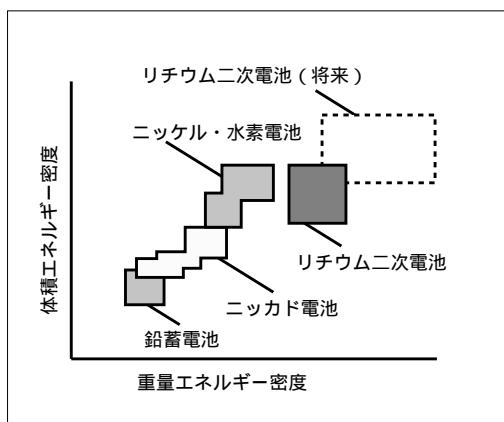


図1 色々な電池のエネルギー密度

それに加え、産地が限定されるので供給面において不安を抱えている。この様な理由のため、必然的に値段が引き上がってしまう。

さらに、レアメタル原料は一般にイオン化傾向が高いために水の分解電圧より高い電圧を持ってしまう。つまり電気分解を引き起こしてしまうので水溶液を電解液にすることができない。このことから、電解質水溶液よりも電気的に安定かつ高

価な有機電解液を使わなければいけない。

もう一つ通常の電池とは決定的に違う大きな問題がある。それは、充放電終始電圧を外部でコントロールしなくてはならない、ということだ。これは、リチウムイオン二次電池の構造に密接に関係している。では次にこの構造、そして内部で起こっている反応について説明をしていこう。



ハイテクの申し子

通常の電池、例えばマンガン乾電池などは、正極・負極それぞれの物質が電解質と化学反応を起こすことで電圧を生む。だが、リチウムイオン二次電池は化学反応を起こさずに電圧を生むのだ。電解液の中にあるリチウムイオンが、充電の時には負極の方へ、放電の時には正極の方へ動くことによって電圧が生まれる。このような、化学反応を伴わないイオンの移動のことをインターカレーション反応という。化学反応を伴わない、ということはつまり、電極の構造が変化するのではなく構造の隙間にイオンが入り出すことになるということを意味する。

リチウムイオン二次電池は、この反応機構を持つため、外部からの電圧の調整が必要になる。詳しく説明すると化学反応を利用した従来の電池（例えばニッカド電池など）は反応が終わりしだい電池としての役目を終えてしまう。反応が終わると、全体が均質になるために過放電状態になっても安定である。つまり、過放電に強い。しかしリチウムイオン二次電池は、有機電解液を利用しているため充電電圧が高くなりすぎても、また充電電圧が低くなりすぎても電解液自身が分解してしまうためだ。それゆえ過充電状態や過放電状態で放っておくことはできない。

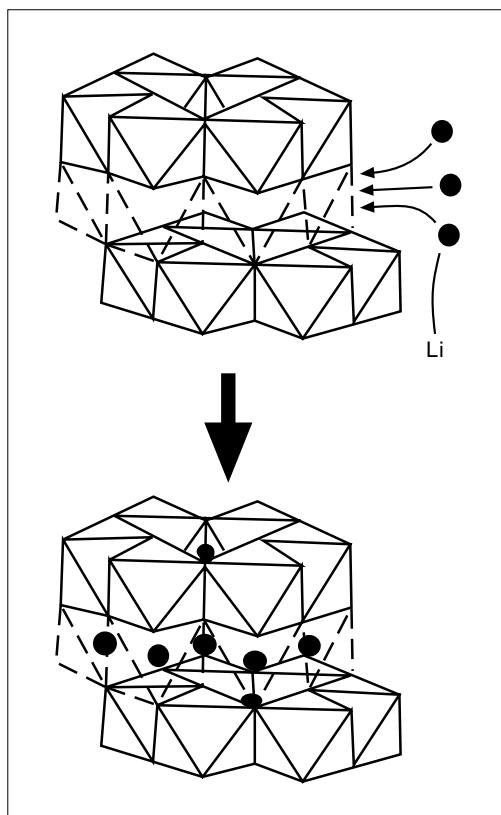


図2 リチウムイオンの出入り



構造の中を泳ぐ

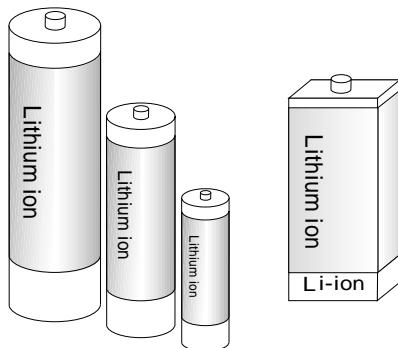
ここまでリチウムイオン二次電池自体の説明をしてきたが、それではこの研究室では実際にどんな研究をしているのだろうか。一般に電池の研究は、正極材料と負極材料、そして電解質が中心になる。この研究室では、特に前の二つの研究を中

心に行っている。それではまず正極材料について見てみよう。

リチウムイオン二次電池の正極材料には、現在はコバルトが使われている。コバルトは問題が多いことは前に述べた。そこでここ脇原研究室では

コバルトの代わりにマンガンを使用することを考えている。マンガンの酸化物をならば、产地も多く供給も安定しているので、コストの面では安心できる。しかし、マンガンという異なった材料を使ってコバルトと同じ効果が得られるのだろうか。この研究室では、それをスピネル構造の酸化物を使用することによって解決しようとしている。では、スピネル構造とはどんな構造なのか。まずは図3を見てもらいたい。

ちょうどリチウムイオンが、この構造の中で波打っているような構造なのである。スピネル構造の物質はコバルト酸リチウムよりも安定である。つまり、スピネル構造をとれば、外からの変化に対し強くなるから加工が容易となる。そのかわりコバルト酸リチウムより多少エネルギー容量



隙間に詰めると大きくなる

負極材料はどうだろうか。現在、実用電池に使用されている材料の多くは炭素系である。炭素といえばグラファイトが思い浮かぶのではないだろうか。その蜂の巣状の六角形が一様に広がる間をリチウムイオンが拡散していくのだ(図4)。この拡散の速度が電池のパワー、つまり起電力につながるのだ。だが、その間には電子雲があるためにその拡散の速度は弱められてしまう。将来例えれば自動車の動力源として使うには、このパワーの低下は致命的である。そこで、構造の隙間を出入りする、という特性に注目して考えられているのが硫酸スズやシリコンである。シリコンは半導体などにも利用されているのであるが、従来の物に比べてエネルギーの密度がかなり高い。シリコンを利用すると、約10倍もの高さになるのだ。つまり

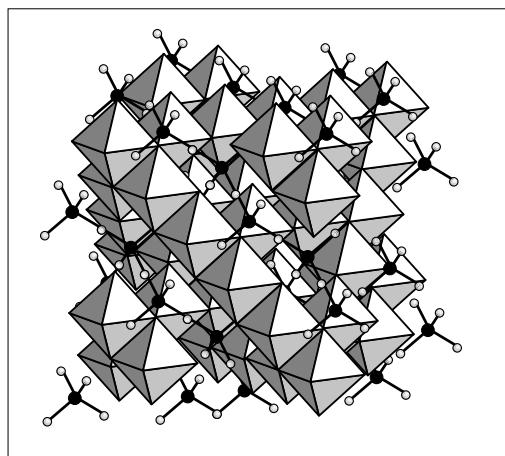


図3 スピネル構造

が少なくなる。

高価なコバルトを使用しない事によるコストダウンも利点である。だが、このような複雑な構造は、このままで安定しない。安定にするためには、一部のマンガン原子を他のもっと安定な原子、つまりクロムやコバルトそしてアルミニウムなどで置換する必要がある。その上で、構造がどのようになるか、リチウムイオンの出入りがあるときに、マンガンの電子状態がどのように動いてゆくか。このようなことが、この研究室で検討されているのである。

同じ重量で10倍のエネルギーが利用できる。まさに理想的である。

だが、ここに一つ問題点がある。シリコンはリ

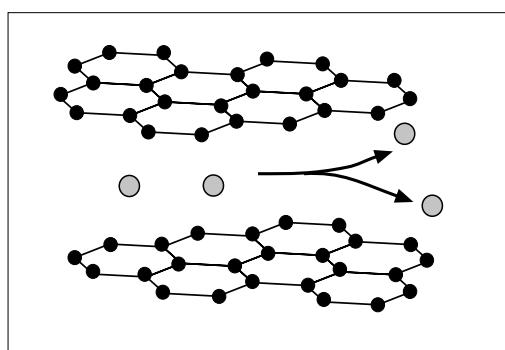


図4 グラファイトの中の電池イオン

チウムイオンを取り込むと体積が膨張する。現在シリコン1つに対して、リチウムイオンが4つまで入るがその状態では体積が通常の4倍にもなるのだ。リチウムイオンが出入りするだけで膨張収縮が4倍にもなるということは、容積の問題がでてくるということだ。この体積の膨張収縮をどうやって吸収するかもしくは抑えるか。そのような



ゼロエミッションへの道

リチウムイオン二次電池は、小型家電製品用の軽量大容量電池として利用されてゆくだろう。しかし、そのほかにも大きな期待が寄せられている分野がある。それが、電気自動車である。

今のところ実用化されているのは、ハイブリッドカーと呼ばれる電気モーターとガソリンエンジンの両方を併用して排気ガスの排出量を抑えるというものである。現在のモデルに採用されているのはニッケル水素電池であるが、重さにして1.5倍有利であるリチウムイオン二次電池が、唯一の欠点である値段を克服できれば使用される公算が高い。リチウムイオン二次電池が採用されれば、その重量とパワーの点で、ハイブリッドではない完全な電気自動車すなわちゼロエミッションカー(ZEV)の実現も可能である。排気ガスを出さない理想的な自動車。それがすでにもう目の前にあるのだ。エネルギー効率も石油燃料の燃焼で得られる数値10～15%に比べ、50%近くにのぼるリチウムイオン二次電池は断然有利である。

だが、環境問題を考えるには、このような使用過程のみを考えるだけでは完全ではない。製造過

高エネルギー密度を維持するために脇原研究室では新しいテクノロジーを開発しているのである。そのうちの一つとして、ポリマーの利用が考えられている。負極材料を高分子物質と複合することにより、それ自身をクッションとして体積の変化を吸収するのだ。

ゼロエミッションへの道

程で排出される排ガスも考慮せねばならない。つまり、トータルのバランスで考えるのだ。このような視点で見てみると、クリーンなイメージを持つ太陽電池なども、製造過程で莫大なエネルギーを必要としていることが分かり、その過程で出すCO₂の量も甚大なものとなっていることが分かる。結果として、あまりクリーンでないわけだ。その点でも、リチウムイオン二次電池は、製造に費やされるエネルギーがこれまでと変わらないため、その生ずるエネルギー量の差で、よりクリーンな電池といえるだろう。



脇原研究室ではこの様にこれから世界をリードしてゆく電池であるリチウムイオン二次電池の研究を精力的になさっている。その上環境の問題にも非常に気を使われており、まさに次の世代、の研究をなされている。まだまだ始まったばかりのリチウムイオン二次電池。どのようななかたちで活用していくか非常に楽しみとも言われます。そして、その他にもページの都合上載せることができませんでしたが、層状の硫化物の研究を純粋にアカデミックな視点で研究もなされている。理

学的な視点、工業的な視点このどちらの面をもち合せているという教授の姿にひどく感銘を受けた。

最後になりましたが、急な取材の依頼を快く引き受けてくださった脇原先生に深い感謝の意を表するとともに、これからのお先生の研究のさらなる発展とリチウムイオン二次電池のこれからの進展を祈りつつ筆を置きたいと思う。

(斎藤 晃)