

次世代電池への挑戦 R & D for Next Generation Batteries

駒場 慎一

Shinichi KOMABA

東京理科大学

Tokyo University of Science

乾電池と東京理科大学

西暦1800年に発明されたボルタ（伊）の電池，それに改良を加えたダニエル（英）の電池が1836年に発明されたことは，理科の教科書でも扱われています。1868年にルクランシェ（仏）が発明した電池は，現代のマンガン乾電池の原型となりました。これら電池の近代史は西洋から始まりました。

一方で，乾電池を発明したのが日本人で，東京物理学校（現在の東京理科大学）に通った屋井先蔵^{やいさきぞう}であることはあまり知られていません（図1）。屋井は物理学校の職工として働きながら，電池の電解液にでんぷん糊などをまぜ流れにくくし，明治の時代に世界最初の「乾電池」を発明しました。当時使用されていた電池は電解液をこまめにかえなければならないうえ，大きくて持ち運びにも不便で，乾いた電池が必要と考えたのがきっかけでした。1894年（明治27年）からの日清戦争中の号外で，満州で使われた軍用乾電池の大成功に関する記事が掲載されます。当時は液体型の電池が使われていたのですが，満州の寒さに乾電池だけが

凍らずに無線の電源として使用できたため，号外で「満州での勝利はひとえに乾電池によるもの」と報道されました。新聞はこの乾電池が屋井のものであることを聞きつけ，翌日の新聞にこれを書き立てます。その後，国内乾電池の覇権を掌握するまでに発展し，「乾電池王」とまで言われました¹⁾。それから約100年の歳月を経た東京理科大学で私は電池材料の研究に携わっています。着任した頃に乾電池を発明した屋井先蔵が理科大学にゆかりある人物であることをはじめて知った時，感銘を受けつつ身の引き締まる思いがしたのを思い出します。

低炭素社会と電池技術

私が生まれた頃は昭和の高度経済成長まった当中，化石燃料の大量消費に頼り，環境破壊，大気汚染やゴミ問題などの公害問題が深刻でした。1990年代に，永續可能な地球環境を目指す動きが活発になります。最近では，二酸化炭素の排出が少ない「低炭素社会」という言葉が頻繁に聞かれます。低炭素社会の実現に向け，自動車等からの二酸化炭素排出量を格段に減らさなければならないのは明らかです。また2008年に原油価格が高騰したこともあり，低燃費で排出ガスの少ない自動車が益々注目されています。経済産業省は2006年8月に「次世代自動車用電池の将来に向けた提言」を公表しました²⁾。それによると，自動車エネルギー技術が多様化し中でも電池技術はハイブリッド自動車や電気自動車，燃料電池自動車の基盤となる技術で，電池開発に関する戦略も発表されています（図2）。市販されているハイブリッド自動車やプラグイ



図1 理科大ゆかりの屋井先蔵（左）と屋井乾電池（右）

	現状	改良型電池 (2010年)	先進型電池 (2015年)	革新的電池 (2030年)
	電力会社用小型EV	用途限定通勤用EV 高性能HV	一般通勤用EV 燃料電池自動車 Plug-in HV自動車	本格的EV
性能	1	1	1.5倍	7倍
コスト	1	1/2倍	1/7倍	1/40倍
開発体制	民主導	民主導	産官学連携	大学・研究機関

図2 新世代自動車の基礎となる電池技術の研究開発戦略 (2006年8月経済産業省発表資料より抜粋: <http://www.meti.go.jp/press/20060828001/press4.pdf>). 図中, EV は電気自動車, HV はハイブリッド自動車のこと

ンハイブリッド自動車は、ガソリンエンジンにモーターを組み合わせることで燃費が向上します。そのためには高性能バッテリーが不可欠です。

図2に示すように、提言では2010年を目途に用途限定通勤用型電気自動車とハイブリッド自動車の量産化を目指し、電池コストの半減を目標としています。2015年を目途に、通勤用型電気自動車やプラグインハイブリッド自動車の量産化を目指としています。さらに2030年以降に電気自動車を量産化することを目指し、電池性能は現状のリチウムイオン電池のエネルギー密度の約7倍、コストは40分の1を目標としています。目標の達成は今後の研究開発にかかっているわけですが、低炭素社会の実現に向けて、蓄電池技術に向けられる期待が大きいことは間違いありません³⁾。

日本発ハイテク電池

使い捨ての一次電池に対して、充電で繰り返し使える電池を二次電池（または蓄電池）と呼びます。図3

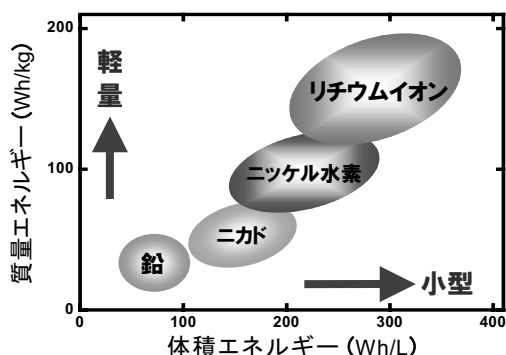


図3 実用二次電池のエネルギー密度の比較

に示すように、リチウムイオン電池は実用二次電池の中でエネルギー密度が最高です。そのため、ノートパソコンやデジタルカメラ用電源として既に普及し、電動工具や電動アシスト自転車電源へ応用され、さらに電気自動車やハイブリッド自動車用電源として2009年に本格的な市販が始まりました。

1980年代までは、電池と言えば使い捨ての乾電池、鉛電池、ニカド電池（ニッケルカドミウム電池）と、その種類は限られていました。主な用途も、玩具やラジオ、懐中電灯、カセットテープのウォークマンなどでした。それが1990年代に入ると、ニッケル水素電池やリチウムイオン電池といったハイテク電池が日本で登場します。ハイテク電池は、ノート型パソコンや携帯電話の普及と小型・軽量化の要求とともに爆発的に普及しました。私が大学院生だった頃、携帯電話やPHSの普及が始まり、電話機の軽量化で1グラム刻みの競争が繰り返され、電池をいかに軽くするかに注目が集まった頃が懐かしく感じます。

リチウムを用いた電池は、1970年代に日本で一次電池が実用化され、その二次電池化に向けた研究開発が世界的に始まります。電池開発には電極活物質や電解質に関する研究はもちろん、周辺技術や実験ノウハウも不可欠で、製品では安全対策も重要です。これら総合的な電池技術の成熟に合わせて、インターネットや携帯電話の普及による情報化社会が到来しました。ハイテク電池の普及は、時代の要求と科学技術の進展が偶然にかみ合った結果と言えるでしょう。いまでは、デジタルカメラ、ビデオカメラ、音楽プレーヤーやゲーム機などに不可欠な電池となりました。これら新型電池は日本で実用化され、電池技術と研究開発は現在も日本が世界をリードしています。

“リチウム”は原子番号3番の元素です。その特徴

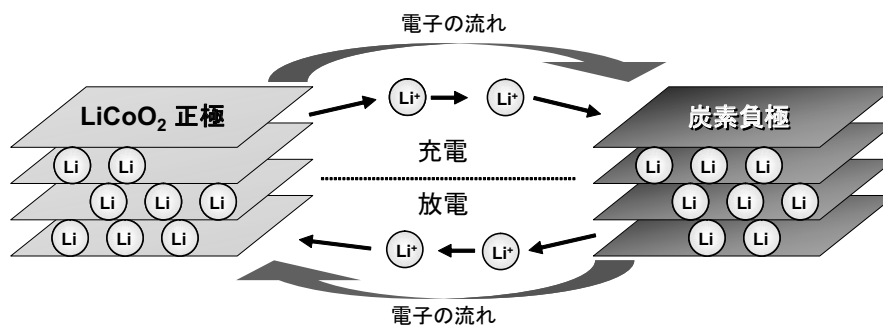


図4 リチウムイオン二次電池の充電・放電の様子

は、金属元素の中で原子量が最小で最もイオンになりやすいことです。つまり、理論的には金属リチウムを電池の負極に用いれば最高の電池性能を引き出すことが可能となります。しかし金属リチウムの活性が非常に高く二次電池の負極として使うには危険です⁴⁾。そこで、安全性を確保するために、負極活物質として炭素を用い、炭素中にリチウムイオンがインターカレーション（挿入）する反応を利用したのが現在のリチウムイオン二次電池です。1991年に日本ではじめて実用化されました。

リチウムイオン電池の充放電反応

リチウムイオン電池の正極にはLiCoO₂（コバルト酸リチウム）、負極には黒鉛などの炭素系材料が一般に用いられます。図4に示すように、充電では正極から負極へ向かって外部回路を電子が移動すると同時に、正極で脱離したLi⁺（リチウムイオン）が負極へ挿入されます。放電は、電子とLi⁺の動く向きが逆です。この電池で3.7～3.8Vという高い作動電圧を実現するには、水の電解液では電気分解が起こり使えませんが、そこで、有機電解液が一般に使われています。水

を電解液に用いた鉛電池、ニカド電池やニッケル水素電池の電池1つの電圧は1～2Vですから、リチウムイオン電池の電圧は2～3倍となります。電圧の高いリチウムイオン電池はエネルギー密度を高めるのに本質的に有利です。

多種多様なリチウムイオン電池

リチウムイオン電池の電極材料はバリエーションに富んでいます。図4の充放電でリチウムイオンを脱挿入できる様々な電極活物質が使用できるからです。仮に正・負極活物質にそれぞれ5つの物質が使用できるならば、最大で25種の電池が考えられます。つまり電極材料の開発によって、電池の性能向上が図れるわけです。実用化から20年近くが経過し、用途に合わせて電極活物質を選択する時代になりました。例えば、携帯電子機器ではエネルギー密度重視、自動車用電池では安全性重視と言ったように、それぞれの用途や企業戦略に合わせた材料選択と電池設計が進んでいます。

正極では、酸化物を中心に数多くの材料が研究されてきました。代表的なコバルト酸リチウム（LiCoO₂）の結晶構造を図5に示します。CoO₂層の間にLiがは

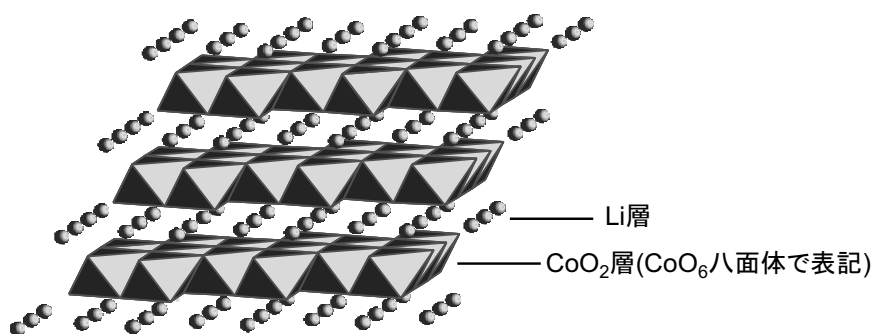


図5 LiCoO₂正極の結晶構造

さまれた層状構造を有しており、リチウムは二次元的に自由に動くことができます。スピネル構造を有するマンガン酸リチウム (LiMn_2O_4) は、低コストで高速充放電に優れています。さらに、リン酸鉄リチウム (LiFePO_4) は1997年に論文発表されて以来、世界中で研究が進んでいます。電池電圧が約0.5V 低くなるのが欠点ですが、鉄やリン酸の原料コストが安いという電池の安全性を高めることが可能なので、大型電池として主にアメリカで実用化が進んでいます。

負極には主に炭素材料が使われています。最も典型的な黒鉛は、層状の結晶構造を持ち、充電によってその層間にリチウムを取り込み LiC_6 なる組成の層間化合物を形成します。黒鉛より結晶性の低いハードカーボンは、容量は大きくはありませんがサイクル寿命が長いのが特徴です。さらに、スズおよびケイ素負極は超高容量を示すのですが、充放電時に電極体積変化が大きく電極が崩壊してしまい、長期の安定充放電が困難です。最近、高分子バインダーを選ぶことでケイ素でも安定充放電が可能となり、次世代負極技術の候補として期待されています。

正極と負極の間でリチウムイオンを運ぶのが電解質の役目 (図4) で、一般に有機溶媒にリチウム塩を溶かした電解液が使われています。十分に高い純度が要求され、特に水分は性能劣化を引き起こすので大敵です。電解液をポリマーでゲル化したポリマーリチウムイオン電池は液漏れしないのが特徴で1998年頃から市販されています。最近では、難燃性のイオン液体電解液や無機固体電解質の研究も進んでいます。

今後、低炭素社会を実現するためのキーテクノロジーとしてリチウムイオン電池の果たす役割は益々重要となると同時に、高性能電池の出現も切望されています。電池技術は化学反応に基づいており、元素の性質や原子量、ファラデーの法則など普遍的な制約を受けるためその進化は決して速くはありません。リチウムイオン電池の高性能化には地道な材料研究が不可欠でしょう。1990年代の情報化社会の到来に合わせて電子機器の電源に用いられた二次電池が、省エネルギーと環

境へ貢献する新しい時代がすぐそこまで来ています。

参考資料

- 1) 東京理科大学報, 第153号, 2004.7.7, または東京理科大学ホームページ (http://www.tus.ac.jp/info/publish/gakuhou/153/space3_3.html).
- 2) 経済産業省, 2006年8月28日発表, 「次世代自動車用電池の将来に向けた提言について」, 経済産業省ホームページ (<http://www.meti.go.jp/press/20060828001/20060828001.html>).
- 3) 日経BP社, 「次世代電池2007/2008」2007年6月30日発行, 日経BP社, 「ハイブリッド・電気自動車のすべて2007」2006年11月13日発行, 日経ビジネス「電池を制す者世界を制す」2008年9月29日号, ニューズウィーク日本版『さよなら非力な電池たち』の2009年1月21日号 など.
- 4) 例えば, 日経BP社, 「事故は語る」, p. 48, 1998年9月28日発行, 日経BP社, 日経エレクトロニクス2007年2月26日号, 特集「燃えない電池」.

Captions

- Fig. 1 Photos of Mr. Sakizo Yai (left) and his manganese 'dry' batteries (right). Mr. Yai worked and studied at Tokyo University of Science, Japan
- Fig. 2 R & D strategy of rechargeable batteries for next generation eco-cars. (from the press release by MITI, Japan in Aug. 2006, URL: <http://www.meti.go.jp/press/20060828001/press4.pdf>)
- Fig. 3 A comparison of energy densities of commercialized rechargeable batteries
- Fig. 4 Lithium-ion battery: charge and discharge mechanism accompanied with lithium insertion and extraction
- Fig. 5 Crystal structure of layered lithium cobaltate for positive electrode