

授賞業績

リチウムイオン電池の開発

吉野 彰 博士

1948年1月30日生まれ(70歳 日本)
旭化成株式会社 名誉フェロー

概 要

リチウムイオン電池は充放電を行える二次電池の一種で、スマートフォンやノート型パソコンの電源として現在のモバイル社会を支えています。また、最近では、普及が進む電気自動車にも搭載され、走行時の環境影響物質の排出量を低減するのに貢献しています。吉野彰博士は、リチウムイオン電池を考案し、それが充放電を行えることを1980年代初めに実証しました。当時は、リチウム金属を負極とする電池が研究の主流で、正極材料や非水系の電解質溶剤に関する研究が盛んでした。吉野博士は、コバルト酸リチウムを正極、カーボン系材料を負極とし、独自のセパレーター技術、集電体技術と統合的に組み合わせることで、高電圧でエネルギー密度が高く、寿命の長い二次電池を考案、実証しました。リチウムイオン電池の性能は、材料や製造法の改良で向上を続けており、今後もさらに応用が広がるものと期待されます。

リチウムイオン電池はモバイル革命の立役者

電池には、一次電池と二次電池があります。一次電池は、使って放電してしまったら役目を終える電池で、代表例は、リモコンや懐中電灯などに使われるマンガン電池やアルカリ電池です。これに対して、二次電池は、いったん放電しても充電すればまた使うことができる電池です。

吉野博士が1980年代に開発したリチウムイオン電池は、二次電池の一種です。当時実用化されていた二次電池としては、鉛蓄電池とニッケルカドミウム電池があり、ニッケル水素電池が開発中でした。しかし、リチウムイオン電池は、これらにはない小型、軽量、大容量、長寿命という優れた特徴をもっています。このため、1991年に実用化されると、小型ビデオカメラを皮切りに、ノート型パソコンやスマートフォンなどの電源として広く使われるようになり、現在につながるモバイル革命の原動力となりました。

二次電池が放電するとき、正極では還元反応、負極では酸化反応が起こって、正極から負極へ電流が流れます。充電するときは外から逆向きの電流を与え、逆向きの反応を起こさせます。電池の中には電解質溶液が入っていて、正極と負極の間を電氣的につないでいます。リチウムイオン電池は、正極にコバルト酸リチウム(LiCoO₂)などのリチウムイオン含有金属酸化物、負極にカーボン系材料を用い、電解質溶剤に有機溶媒を用いた二次電池です。充放電の際に正極と負極の間をリチウムイオンが往復するという作動原理で機能し、3.9V程度という高い電圧をもっています。

リチウムイオン電池以前の二次電池には、水を電解質の溶剤に用いているため、水の電気分解が起こる1~2V

以下の起電力しか取り出せませんでした。しかし、リチウムイオン電池では、電気分解電圧の高い有機溶媒を用いており、高い起電力を取り出せます。このため高い電圧が必要な機器でも、1個の電池で駆動できるというメリットがあります。さらに、電池に蓄えられるエネルギー(蓄電容量)は放電電圧と放電できる電気量(電流×時間)に依存するので、起電力が大きいことは電池の容量を高めるのにも貢献します。

始まりは白川博士が発見したポリアセチレン

吉野博士は1972年、京都大学大学院工学研究科修士課程修了後、旭化成工業株式会社(現旭化成株式会社)に入社しました。同社でポリアセチレンの研究を始めたのは1981年のことです。ポリアセチレンは1967年に、東京工業大学の助手だった白川英樹博士(現 筑波大学名誉教授)が発見した物質で、有機物でありながら電気を通すという特徴があります。

リチウムを負極に用いた一次電池は1970年代にすでに実用化されており、1980年代にはリチウムを負極に使った二次電池の開発研究が各所で始まっていました。当時、今で言うモバイル機器の開発機運が高まっており、小型、軽量、大容量の二次電池が求められていました。リチウムは元素の中でもっとも酸化されやすいため負極の材料として理想的であり、また、単位重量あたりの電気量が金属元素中で最大です。このため、リチウム負極を用いた二次電池が実現すれば、高電圧、高エネルギー密度という特徴をもつはずであり、時代の要求に応えられるのではとの期待がありました。しかし、リチウムは発火しやすい金属であるうえに、負極に用いて充放電を繰り返すと樹枝状に成長し、正極との間でショートを起こすことがあるという問題を抱えていました。

ポリアセチレンを研究していた吉野博士は、リチウムの代わりに負極にポリアセチレンを使ってはどうかと考えました。しかし、すぐに適当な正極材料がないという壁にぶつかりました。硫化チタン(TiS₂)などの層状物質にリチウムイオンが出入りする現象は知られており、リチウムを負極に使う場合の正極として、こうした層状物質が検討されていました。しかし、ポリアセチレンを負極に使う場合には、肝心のリチウムイオンがどこからも供給されないので、電池にはならないのです。

ちょうどそのころ、吉野博士はLiCoO₂という新しい正極材料を報告した論文に出会いました。この材料ならリチウムイオンを供給してくれるので、ポリアセチレン負極との組み合わせにうってつけです。吉野博士はさっそくこの組み合わせを実験し、二次電池として見事に機能することを確認しました。1983年のことでした。「これが一つの発明の瞬間であったと思う」と吉野博士は当時を振り返って記しています。

その後も、吉野博士は研究チームを率いて研究を進め、負極としてよりよい性能をもつカーボン系材料の探索などを行ったうえ、1985年にLiCoO₂正極とカーボン系負極からなる現在のリチウムイオン電池の構成に関する特許を出願しました。この特許は1995年に成立しています。

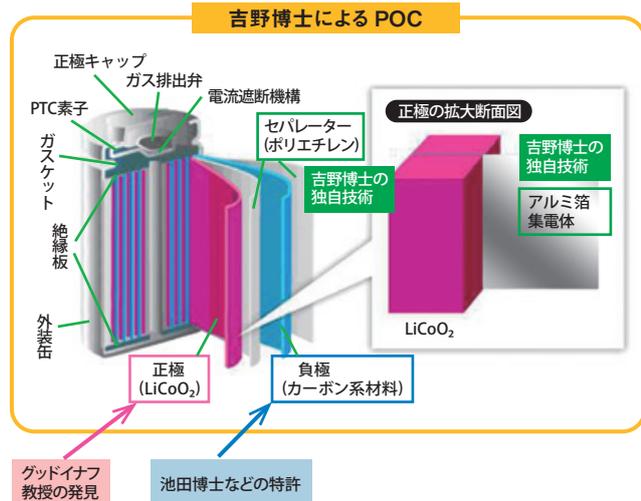
システムの実証することの重さ

吉野博士がこのような新しい電池を生み出すまでには、多くの研究者・技術者が積み重ねてきた研究開発の成果がありました。

吉野博士が正極に用いたLiCoO₂は、1979年にテキサス大学のジョン・B・グッドイナフ教授が、日本から(教授の研究室に)留学していた東京大学の水島公一博士とともに発見した材料です。グッドイナフ教授はこの物質を発見しただけでなく、固体科学の基礎的分野で顕著な業績をあげたことから、2001年のJapan Prizeを授与されています。

一方、吉野博士は当初、負極にポリアセチレンを用い、その後、別のカーボン系材料を用いました。リチウムイオンは正極と負極の間を往復するので、負極もリチウムイオンを取り込んだり、離したりする必要がありますが、こちらについても先行研究があります。1975年には黒鉛へのリチウムイオンの取り込みが報告され、1980～81年には、ペンシルベニア大学のアラン・マクダイアミッド教授がポリアセチレン負極、三洋電機の池田宏之助博士が黒鉛負極について特許を出願しています。また、リチウムを挿入した酸化タングステン(LixWO₂)を負極に、TiS₂を正極に用いてリチウムイオンを往復させる電池も1980年に考案されています。

しかし、二次電池は複雑なシステムです。どんなに優れた正極・負極材料を開発しても、それらを組み合わせ



リチウムイオン電池は、吉野氏が既存技術と独自開発技術を組み合わせることでシステムをつくりあげ、「正極と負極の間をリチウムイオンが往復することで充放電する」という概念と実応用に供し得る性能を実証したことによって誕生した。

たものが実用的な性能や安全性を備え、繰り返し充放電ができるまで到達しなければ、「二次電池を開発した」とは言えません。吉野博士は正極・負極材料をうまく組み合わせる上に、独自の要素技術開発を行い、リチウムイオン電池をシステムとして成立させました。

独自技術の一つは、電池の中で正極と負極を隔てるセパレーターにごく薄いポリエチレン系の多孔膜を用いていることです。ふだんはリチウムイオンが膜の孔を通過して往復できますが、万一電池が異常発熱した場合には、膜が溶けて孔がふさがり、電池としての反応が止まるようになっています。吉野博士は、特定構造・組成のポリエチレン膜が、実際に電池の発熱時に電池の爆発を防ぎ得るものであることを、電池の信頼性試験により実証しました。

もう一つの独自技術は、正極から電気を取り出すための集電体に、アルミニウム箔を用いていることです。集電体についても、さまざまな工夫により、高電圧・大容量等の必要な性能を実現しています。

こうして、「リチウムイオンが正極と負極の間を往復することで充放電が行われる」というリチウムイオン電池のPOC(proof of concept、概念の実証)に成功したことが、吉野博士の最大の功績です(図)。その後、材料や製造法の改良によってリチウムイオン電池の性能は年々向上し、現在では、モバイル機器にとどまらず電気自動車にも搭載され、走行時の環境影響物質の排出量を低減するのに大きく貢献しています。さらに、電気自動車での役目を終えたリチウムイオン電池を、太陽光発電などの電力貯蔵に用いる「カスケード利用」も今後進むと期待されています。吉野博士が世に送り出したリチウムイオン電池は、私たちの生活を飛躍的に便利にただけでなく、資源・エネルギーや環境問題の解決にも大きな貢献をしつつあるのです。