

全樹脂電池の研究開発

(APB 株式会社) ○堀江 英明

The study of All Polymer Battery (APB Corporation) ○Hideaki Horie

Since the invention of the battery, batteries have evolved to the present day while retaining their metal-based structure, including the case and current collector. A completely new battery design concept, using resin as the basic structure, was proposed for the first time in the world by the speaker, and is being created through research and development of the principle, design, and mass production process in the past 20 years or more. By changing the battery backbone to resin and adopting a bipolar structure, this new design concept aims to (1) end thermal runaway in principle, (2) achieve higher battery performance, (3) lower cost through ultra-simplification and acceleration of the manufacturing process, (4) greatly increase the degree of freedom of shape and structure, and (5) create a completely new method of recycling.

Lithium-ion batteries have been applied to high-performance information equipment since the 1990s, and have been a brilliant success in human history. In the future, they are expected to be applied in earnest in the field of massive energy storage for large stationary devices and EVs. The addition of the magnificent and solid science and technology of polymers as a new pillar is expected to promote even greater development. We believe that this new design concept will be applied to various applications in the future and will greatly expand the concepts and domains of the various artifacts that will be created in the future.

Keywords : Polymer Current Collector; Gel Polymer; 3D Electrode; Bipolar; Thermal Runaway

電池が発明されて以来、電池はケースや集電体等、金属をベースとした構造を保持しつつ、今日まで進化してきた。一方、樹脂を基本構造とした、全く新しい電池デザイン/設計思想が、講演者によって世界で初めて提唱され、原理・設計・大量生産プロセスの研究・開発を通して、創成されつつある¹⁾。これは、<1> 電池骨格を樹脂に変える、<2>バイポーラ構造の採用、により、(1) 熱暴走を原理的に終止、(2) 電池の高性能化、(3) 製造プロセスの超簡素化・高速化による低コスト、(4) 形状/構造の自由度大幅向上、(5) 材料リサイクルの転換、を目指すものである。この新たな設計思想の構築により、将来、様々なアプリケーションに適用され、今後生み出されるであろう未来の多彩な人工物の概念・領域を、大幅に拡張してゆくに違いないと考えている。電池はしばしば人類の歴史を大きく変革してきた。19世紀半ばの鉛酸電池の発明により、19世紀での電磁気学の学問及び応用開発が一気に加速し、社会を根底から変えた。電池構造を、現行の19世紀の金属加工技術から、20世紀に大発展した高分子技術の上に移植し、電池を再デザインすることで、あたかも哺乳類が海から陸地に上がり全く異なる進化・発展を遂げた様に、全く新たな地平が出現すると信じている。

電池内部で短絡が発生した場合、原因となった混入した金属片のみならず、電流経路である金属集電箔に大電流が流れ、大きなジュール発熱が発生する。この短絡に伴う急激な温度上昇が、発火や爆発に直結する。リチウムイオン電池は、極めて高性能

であり、鉛酸の 10 倍程度のエネルギー密度を有する。蓄えた電池エネルギーを内部で短時間に放出した場合、数百℃まで短時間で温度上昇する。短絡における急激な温度上昇は、抵抗の小さいループ経路形成の可能性が、電池内の様々な箇所に無数に内在する事を強く示唆する。電池反応を促進するために薄膜・広面積の電極を用意し、またそこからの電流を全て取り出し束ねる必要から、電池内部の隅々まで、この金属集電体が配置されている事が、実際これに相当する。電池が生み出されて以来、この様な電池構造が用いられ利用されてきた。

一方、全樹脂電池においては、金属集電体の代わりに樹脂集電体を用い、しかも電流は電極面に平行に移動させるのではなく、電極面に垂直に電流を流すバイポーラ構造を用いる。従来の電池では、電極面に平行に電流を流すため、電流経路 L が長く、その断面積 A は極めて小さい。このため、電子抵抗を低減するためには、集電体として抵抗の小さい金属を用いる必要があった。一方、樹脂を用いたバイポーラ構造であれば、例えば体積抵抗率 ρ の大きい樹脂材料を用いたとしても、電流経路 L は電極面に垂直で短く、一方断面積 A は電極面積と同等であり大きく、 $[\text{抵抗}] \propto \rho L/A$ は極めて小さくなる。これにより、例えば抵抗の大きい金属以外の材料で集電体を構成しても、電池としての出力は確保しつつ、一方、短絡時に流れる電流は大変小さく、熱暴走を根本的に抑制する事が可能となる。

更に、ゲル・ポリマー材料を用いる事で、電極を柔構造にすることができる。リチウム二次電池のエネルギー密度を上げるためには、正負極活物質において、リチウム吸蔵量を増加させる事は有力な方法の一つである。一方、リチウム吸蔵・脱離に伴う体積変化の増大を伴う。この観点から、内部応力を緩和するための、柔構造電極デザインは有力な手法の一つと考えられる。

現在のリチウムイオン電池のリサイクルにおいては、金属集電体面に強固に固着した活物質層を剥がすことが困難で、粉碎し燃焼させブラックマスとした後、Ni や Co 等の貴重な金属を化学的に抽出し、再度、正極材料等に合成する必要がある。このような方策では、不純物の混入が懸念され、元素回収と活物質再合成に多大な費用とエネルギーを要する。一方、全樹脂電池においては、活物質表面の樹脂を剥がし、再度ポリマー層を形成する事で、高価な活物質を破壊する事無く、そのまま再利用することが出来る。

リチウムイオン電池は、1990 年代より、高性能情報機器に適用され、人類史上、輝かしい成功を納めた。今後、大型定置用やEV用という膨大なエネルギー蓄積分野に、本格的に適用されると期待される。この際、高分子という壮麗で盤石な科学技術を新たな柱として加える事で、更なる大きな発展が推進されると期待される。

1) H. Horie, Creation of a New Design Concept for All-polymer-structured Batteries, Chapter 7, "Future Lithium-ion Batteries", ed. Ali Eftekhari, Royal Society of Chemistry (England), 2019.