

全固体電池の開発とその周辺のサイエンス

Development of all-solid-state batteries and battery science

東工大 ○菅野了次

Tokyo Institute of Technology, °Ryoji Kanno

E-mail: kanno@echem.titech.ac.jp

1. 超イオン導電体探索と全固体電池開発

固体中をイオンが高速で拡散する物質は、超イオン導電体や固体電解質などと呼ばれ、電池やセンサーへの応用が期待されてきた。最近リチウム系では、イオン導電率が室温で 10^{-2} Scm^{-1} を超え、有機溶媒系に匹敵する値を示す物質 $\text{Li}_{10}\text{GeP}_2\text{S}_{12}$ (LGPS) が 2011 年に、より高いイオン導電率を示す $\text{Li}_{9.54}\text{Si}_{1.74}\text{P}_{1.44}\text{S}_{11.7}\text{Cl}_{0.3}$ が 2016 年に見出されるとともに、その LGPS 型固体電解質を用いた全固体電池が他の電池系と比較して優れた出力特性を持つことが明らかになった。電池の固体化によって、電池のパッケージングの自由度が増し、安定性・信頼性が向上して作動温度が広がることによって、電解液を用いる電池では達成できなかった高容量や高速充放電が可能になると期待されている。このような成果を受けて、全固体電池の実用化のための電池作成プロセス開発が進んでいる。さらに、エネルギー密度や出力密度の向上を目的とした比較的大きな蓄電池のみならず、小型の電池の固体化も試みられている。蓄電池の固体化がに伴ういくつかのトピックスを講演では述べる。

2. 物質探索

固体電池の開発の成否の鍵を握るのが、固体電解質の物質開拓である。優れた特性をもつ物質を如何に効率よく見つけ出すかを目的とする物質探索研究は、長い歴史がある。固体電解質に用いる超イオン導電体でも数々の新物質が合成されており、優れた物質を見つけ出すのは探索研究の醍醐味である。経験と物質に対する知識に基づいた探索から、計算科学や AI を導入して探索が行われようとしている。リチウム系の LGPS を見いだした経緯を振り返り、未来の物質開拓への道筋を模索する。

3. 固体電池の利点

蓄電池を固体にすることによって得られる特性の利点を明示できなかったため、長年の間、固体電池は電池とは認められてこなかった。電解液に匹敵するイオン導電率を持つ物質が見いだされたことで、電池を固体にすると放電レートが向上するなどの特徴があきらかになった。一方、このデバイスの電池反応は未知のサイエンスの領域である。液系電池と何が同じでどこが異なるのか、これからの研究の課題である。

4. 電池反応

電池反応は、基本的に電極と電解質の界面で進行する。その電気化学反応を詳細に調べるには、電極・電解質界面を平滑化したモデル電池が必須である。リチウム電池でこのようなモデル電池を作成する試みは、ここ 20 年ほどの間で大きく進展した。例えば、単結晶基板上に結晶方位を制御して結晶成長させてできるエピタキシャル電極がある。平滑な界面に X 線や中性子線などの波を入射して、電気化学反応の詳細を物質の結晶構造変化や電子構造変化として捉えることができる。

5. 蓄電池のサイエンス

電気化学の教科書には、先人たちによって構築された巨大な学問の世界が広がっている。しかし、金属電極と水溶液系電解質で構築された基礎理論と、その後の蓄電池や他の実用デバイスの記述との間には大きなギャップがあり、実電池系の理論的な取り扱いはまだ不十分である。固体電池の発展に伴い、反応系の変化の詳細を検出できる物理化学的な実験手法が開発され、そのような測定が ex-situ から in-situ, operando 測定へと広がる。蓄電池の反応をより詳細に調べることが可能になると、そのサイエンスも一層深みを増す。蓄電池を固体にすることによって、液系の電池では観測できない事象が明らかになり、これまでにない蓄電池のサイエンスの確立が期待される。