

サムコ科学技術振興財団 2021年度 第5回 研究助成金贈呈式 記念講演「リチウムイオン電池が拓く未来社会」

9月15日に京都リサーチパークにおいて開催されましたサムコ科学技術振興財団 研究助成金贈呈式での
旭化成株式会社 名誉フェロー 吉野 彰 様の記念講演要旨をご紹介します。

よしの あきら

旭化成株式会社 名誉フェロー **吉野 彰 先生**



プロフィール

学 歴 1970年 京都大学 工学部 卒業
1972年 京都大学 工学研究科 修士課程修了
2005年 大阪大学大学院 工学研究科 博士(工学) 取得
略 歴 1972年 旭化成工業株式会社(現 旭化成株式会社) 入社
2001年 旭化成株式会社 電池材料事業開発室長
2005年 旭化成フェロー 吉野研究室 室長
2010年 技術研究組合 リチウムイオン電池材料評価
研究センター 理事長(現在)
2017年 名城大学 理工学研究所 教授
2017年 旭化成株式会社 名誉フェロー(現在)
2019年 ノーベル化学賞受賞
2020年 産業技術総合研究所 フェロー、
兼 エネルギー・環境領域ゼロエミッション
国際共同研究センター長(現在)
2021年 名城大学 終身教授・特別名誉教授(現在)

受賞歴 2001年 関東地方発明表彰 文部科学大臣発明奨励賞
(発明協会)
2002年 全国発明表彰 文部科学大臣発明賞(発明協会)
2003年 文部科学大臣賞 科学技術功労者(文部科学省)
2004年 紫綬褒章
2012年 IEEE Medal for Environmental and Safety
Technologies(米国電気電子学会)
2013年 グローバルエネルギー賞(ロシア)
2014年 チャールズ・スターク・ドレイパー賞
(全米技術アカデミー)
2018年 日本国際賞(国際科学技術財団)
2019年 欧州発明家賞 非欧州部門(欧州特許庁)
2019年 スウェーデン王立科学アカデミー
ノーベル化学賞

▶ はじめに

サムコ科学技術振興財団の研究助成金を受けられました5名の研究者の皆様、おめでとうございます。「リチウムイオン電池が拓く未来社会」と題してお話をします。

今日は、過去編と未来編の2部構成です。まずは過去編として、リチウムイオン電池の開発経緯や、2019年にノーベル化学賞を受賞するまでの産業界での研究やアプローチについてお伝えします。その後、未来編として、カーボンニュートラル、サステナビリティ社会に向けて社会が大きく変わろうとしている今、リチウムイオン電池がどのように関わってくるのかをお伝えしたいと思います。

▶ リチウムイオン電池の定義、特許について

まず、リチウムイオン電池を専門的に定義すると、「カーボン材料を負極、リチウムイオン含有金属酸化物を正極とし、電気化学的インターカレーションに基づく非水系電解液二次電池。」ということになります。続いて、私と共に2019年ノーベル化学賞を受賞した2名を紹介します。英国のM.Stanley Whittingham氏、米国のJohn B.Goodenough氏です。M.Stanley Whittingham氏は1976年、電気化学的インターカレーションを電池に応用できることを提唱しました。John B.Goodenough氏は1980年、リチウムイオン含有金属酸化物(コバルト酸リチウム)という正極材料を発見しました。そして私は、その正極材料に対して負極材料にカーボン材料を組み合わせるというリチウムイオン電池の基本構成を世界で最初に提唱しました。

アカデミアの場合、自らの研究成果を論文誌に投稿し、世界で最初かどうかは吟味されます。前述のWhittingham氏、Goodenough氏の場合、学術ジャーナルに投稿した論文が、ノーベル賞の物的証拠となりました。産業界では基本技術のみである場合、学会発表や論文投稿ができないため特許取得に動きます。特許が固まりそうな段階で論文に投稿しますが、タイムラグは約5年ありま

す。ノーベル賞のような大きな賞のまな板に乗った際、証拠文献は必須です。特許の場合は時間的に不利になります。私のノーベル賞の受賞理由としてはリチウムイオン電池の構成を世界で最初に提唱したことが評価されましたが、この特許は1985年に出しました。特許が証拠文献として使用されたことが分かります。

▶ 過去編:3つのノーベル化学賞について

リチウムイオン電池の開発は、3つのノーベル化学賞に支えられていることをご説明します。まず1981年、日本初のノーベル化学賞受賞者である福井謙一先生と、Roald Hoffman氏がフロンティア軌道理論で受賞しました。量子科学に基づき、様々な化学現象を理論的に説明しようという新しい理論が受賞理由です。続いて2000年、日本人として2人目のノーベル化学賞として白川英樹先生と、Alan Heeger氏、Alan MacDiarmid氏が受賞しました。「導電性高分子(ポリアセチレン)」というプラスチックでありながら電気が流れる新素材の発見が受賞理由で、このポリアセチレンは福井先生のフロンティア起動理論を元に合成された材料でした。ここから私のリチウムイオン電池の開発経緯に移りますが、元々は「ポリアセチレンが新型二次電池の負極材料に使えば面白そうだ」という研究から始まりました。つまり、リチウムイオン電池は、3つのノーベル化学賞、私を含めた計8名に支えられた上、完成に至ったのです。

前述の福井先生はアカデミアで、本当の意味での基礎の研究、真理の探究でした。この真理の探究がなければリチウムイオン電池は存在しませんでした。そして白川先生が実際にポリアセチレンを作り上げました。セオリーに基づき、役立ちそうなものを見出すことがアカデミアの責務です。その先の製品化は、市場やコストを踏まえた泥臭い研究が必要で産業界の世界になります。アカデミアから生み出された研究のおかげで、産業界の私がリチウムイオン電池を開発できたのです。

3つのノーベル賞を振り返ると、1981年、

2000年、2019年と、19年おきのインターバルがあります。真理の探究から製品化まで38年を要しました。当然、この延長線上で次は19年後の2038年になります。その頃は、サステナビリティ社会の中で、また異なった新しい研究成果が生まれていることでしょう。

▶ リチウムイオン電池の開発経緯

企業の研究は、探索研究・開発研究・事業研究の3つに分かれます。私は1972年に旭化成へ入社後、シーズを見出す「探索研究」を1人でやっていました。入社して3番目までの研究は失敗で、4番目のポリアセチレンの研究で成功しました。1981年のことです。ポリアセチレンは、電気を通し、半導体や太陽電池にもなり、電気化学的にイオンと電子を出し入れできる特徴を有しており、二次電池に使えるという考えに至りました。当時の電池業界は、小型かつ軽量の二次電池が求められ様々な研究がなされていましたが、新型二次電池の商品化は失敗続きでした。その原因は負極にあり、安全性に問題を抱えていました。世の中は新型二次電池の新しい負極材料を求めています。ポリアセチレンのシーズと、世の中のニーズが繋がった瞬間です。私の研究内容も新型二次電池の研究へと移行し、次の課題はポリアセチレンをしかるべき正極材料と組み合わせることでした。

▶ ポリアセチレン負極に合う正極材料を求めて

当時、二次電池の正極材料には、二硫化チタン、三硫化モリブデンなどが使われていましたが、これらの材料はポリアセチレンと組み合わせることができませんでした。充放電にはリチウムイオンが必要ですが、当時は負極に金属リチウムを使うことが前提で、金属リチウムから自動的にリチウムイオンを供給する仕組みでした。ただし、ポリアセチレンにはリチウムイオンが含まれていないため、正極材料にはリチウムイオンを含ませる必要があります。それまでの正極材料は全て適合せず、研究は暗礁に乗り上げました。

この難題を解決したのは1983年、コバルト酸リチウム (LiCoO₂) が二次電池の正極になるというJohn B. Goodenough氏の論文を見た時です。正極にコバルト酸リチウム、負極にポリアセチレンを組み合わせた電池を試作したところ、充放電がスムーズにできました。ここから実用化を検証する段階へ移行しました。小型化・軽量化が求められる中、軽量化に関しては当時のニッカド電池の約3分の1の軽さになる満点の評価でした。ただし、体積ではニッカド電池とほぼ同じで、小型化という点では期待ほどの成果は上がりませんでした。その後、複数の企業から「小型化が最優先で、軽量化だけでは魅力に乏しい」という回答がありました。ここでポリアセチレンの限界に気がきました。ポリアセチレンは比重が1.2と非常に小さく、軽量化では有利でしたが、体積がかさ張るため小型化では不利でした。小型化・軽量化の両立には、計算上、比重が2以上の必要があり、ポリアセチレンに代わる負極材料を探さねばなりません。そこで真っ先に思い浮かんだのは比重が2以上あるカーボンでした。次にカーボンの評価を進めましたが負極として機能するカーボン材料は見付かりませんでした。

▶ VGCFとの出会い

ポリアセチレンの限界が見え、次の材料のあてもない状態の中、全くの偶然ですが、新しいカーボン材料が同じ旭化成の別の研究所(延岡繊維研究開発センター)で見付かりました。それはVGCF (Vapor-phase Grown Carbon Fiber) という特殊なカーボンで、試しに電池として評価したところ、電池特性が図抜けて良かったのです。コバルト酸リチウムを正極、VGCFを負極にした電池は、小型化・軽量化を初めて両立させる現在のリチウムイオン電池の基本構成になりました。VGCFは非常に高価なため、現在はVGCFより性能は若干落ちますが、安価で入手しやすいカーボン材料が使われています。特性的には現在もVGCFが最高の負極特性を有しています。主材料には使えませんが、安いカーボン材料にVGCFを2~3%混ぜ、電池特性を改善する工夫も行われています。

ここまでの経緯が企業での探索研究の終点であり、ここから開発研究にステージが上がります。開発研究では、山積みの問題点を1つ1つ解決し、製品化に繋げることが必要になります。例えば、新技術を実用的な観点から評価する項目が100あった場合、図抜けて優秀な特性が1つで、残り99は問題を抱えている状態です。探索研究では良い点ばかり徹底的に追及するため、致命的な問題でない限りは前に進んでいきます。

さて、VGCFを負極材料にした電池を試作した後、安全性の評価に移りました。それは電池の上から鉄塊を落とすという単純な実験です。比較対象として金属リチウムを負極にした一次電池があり、耐久性でそれを上回っていれば安心と考えました。従来の金属リチウムを使った一次電池は、鉄塊の落下と同時に発煙、発火が起きました。次に、試作品の電池の上から鉄塊を落としたところ、電池は破壊されても発煙、発火は起こりませんでした。もしここで発火していたら、リチウムイオン電池も製品化されずノーベル賞も受賞できなかったかもしれません。本当の意味でリチウムイオン電池が誕生した瞬間だったと思います。ここから研究が加速し、5年後、世の中に製品として出て行って現在に至ります。

▶ 未来編：サステナビリティ社会の実現に向けて

さて、ここから未来編のお話です。2019年のノーベル化学賞の受賞理由は、①モバイルIT社会の実現に大きな貢献、②サステナビリティ社会の実現に大きな期待、の2つでした。モバイルIT社会は既に実現していますが、サステナビリティ社会はまだ実現しておらず、私自身もう一働きしなさいという激励であると感じました。今、世界中でサステナビリティ社会に向けた動きが活発化しており、リチウムイオン電池が果たす蓄電技術は重要であると考えます。リチウムイオン電池の用途別の出荷容量を見ますと、2010年は99%がモバイルIT向けでしたが、2011年以降はEV用途が増加し、2017年にはモバイルIT用途を逆転しました。今後も確実に増加の一途をたどると予想しておりますが、2025年時点でもEV車は新車販売台数の15%程度を占める程度の見通しです。2025年以降、EV車の割合が増加し100%となるシナリオもあり、全く新しい世界が広がる可能性もあります。

▶ ET革命の先陣を切る自動車

今、未来の車社会はどうなるのか議論されております。サステナビリティ社会の実現に向け、ET (Environment & Energy Technology) 革命が起ころうとしており、先陣を切るのが自動車です。CASE (Connected-Autonomous-Shared-Electric)、MaaS (Mobility as a Service) など、車がインターネットと繋がって情報を共有し、無人自動運転車が街を走る時代がやってきます。マイカーの文化が無くなり、スマホ1台でいつでも車を呼び出すことができる未来社会です。私はAIEV (Artificial Intelligence Electric Vehicle) と呼んでいます。もし実現すれば、地球環境への貢献だけでなく、総コストが7分の1以下になると予想しています。

最後になりますが、未来の車社会を議論する中で、1つは既存の自動車産業がどうなるのか、もう1つはIT産業が車産業に参入してくるという視点があります。これは現在のモバイルIT社会と似ております。現在のキーデバイススマートフォンで、潤っているのはサービス産業のGAFです。Googleは基本OSを無償提供し、Appleは自前のiPhoneを生産しOSはiOSを開発し、技術の基本部分を2社が握っている状態です。未来も全く同じ構造になると思います。前述のCASEを利用した途方もない巨大産業が生まれるでしょう。Googleは自動運転の実証実験をしており、そのOSを世界の自動車メーカーに無償共有すると宣言しています。Appleも同様、自動運転のOS開発を進め、近いうちにリンゴマークの付いた車を発表してくるでしょう。またiPhone同様、彼らは設計図のみを作り、製造は安く作ってくれる企業に委託するはずで、既存の自動車メーカーと真正面からぶつかる図式が予想されます。この戦いは2025年から始まると見ています。

環境・エネルギー問題、サステナビリティ社会の実現は人類の課題であり、同時にとんでもないイノベーションが起こります。この競争に勝ち残った者がサステナビリティ社会を作り上げていくでしょう。その中で私の開発したリチウムイオン電池が重要な役割を果たしてくれることを期待しつつ、本日の話を終わりたいと思います。ご清聴ありがとうございました。