

平成27年12月1日発行(毎月1回1日発行) 通巻775号 昭和15年4月18日第3種郵便物認可 CODEN:KAKYAU ISSN 0451-1964

C H E M I S T R Y

化学

DECEMBER
2015
Vol.70

12

特別解説 • Special reviews

ノーベル賞を読み解く

2015年 化学賞, 生理学・医学賞, 物理学賞

インタビュー • Interview

リチウムイオン二次電池
研究開発の源流を語る



リチウムイオン二次電池 研究開発の源流を語る ——負極材料の開発史を中心に

話し手 山邊時雄

京都大学名誉教授・長崎総合科学大学特命教授

今年も日本人のノーベル賞受賞の報道に日本中がわき返っている。残念ながら化学賞での受賞はなかったが、そのノーベル化学賞受賞が有力視されているテーマに「リチウムイオン二次電池」がある。日本人研究者の貢献も大きく、新聞などのメディアには今年こそはと期待を込めて、日本人候補者の名前が踊る。

候補者の名前はあがるものの、よく調べてみると、誰がどのような経緯を辿ってリチウムイオン二次電池を創出したのか判然としない面もある。とくに、負極材料の開発に関しては不明な点が多く見られる。

このインタビューでは、リチウムイオンキャパシタやリチウムイオン二次電池の基礎研究に当初からかわってこれ、しかも二次電池開発のキーパーソンをよく知る山邊時雄先生(京都大学名誉教授)に、この辺の事情について“あまり知られていない”事実を語っていただいた。

それはポリアセチレンの研究から始まった

——リチウムイオン二次電池の源流を考えると、導電性高分子(ポリアセチレン)の基礎研究が原点にある、という事実に間違いございませんね。

山邊 負極の開発という点ではまさにその通りです。1977年の秋、分子性導電材料の国際会議がニューヨークでありまして、そこで白川英樹先生(2000年ノーベル化学賞受賞)が、合成した絶縁体に近いポリアセチレンフィルムがドーピングによって金属的導電性を示すという驚くべき事実を発表しました。ノーベル賞の対象となった高導電性ポリアセチレン(CH)_xの最初のデモンストレーションだったわけですが、すぐにこのポリアセチレンは量子材料化学の格好の対象であることに気づき、心が躍ったことを今でも鮮明に憶えています。

その後、白川先生とも共同研究をさせていただき、(CH)_xを対象として量子化学的手法による導電性高分子の電子物性と材料設計を新たに展開することになりました。今から思うと、そのころにはすでにポリアセチレンの二次電池への応用の話題もボチボチでていましたね。

——それは1980年ごろの話ですね。

山邊 そう、はじめにいい出したのはA. MacDiarmidやA. Heeger(いずれも2000年ノーベル化学賞受賞)らで、彼らは導電性高分子の発見(1977年)後まもない1980年には、その応用として電気化学的ドーピングを利用した再充電可能なバッテリーへの展開を、「合



やまべ・ときお●

1959年京都大学工学部燃料化学科卒業、1981年京都大学工学部教授、2000年(財)基礎化学研究所研究担当理事、2001年長崎総合科学大学学長、2005年長崎総合科学大学新技術創成研究所所長などを歴任。現在、京都大学名誉教授、長崎総合科学大学新技術創成研究所特命教授、NPO 産業技術推進機構長崎 理事長。

成金属の国際会議」(8月, デンマーク・ヘルシンガー)で発表し, きわめて軽量の蓄電池の可能性を指摘して注目を集めていました。これはポリアセチレンを正・負極としてリチウムをドーピングしたものを用いていますが, この辺のことは, 35年ほど前にあなたと一緒につくった『合成金属』(『化学増刊 87』, 白川英樹・山邊時雄 編, 化学同人, 1980 年刊)に詳しく載っていますよ^{*1}。

——そうでしたか, すっかり忘れていました(笑)。

山邊 しかも彼らは, 翌年の 1981 年には, “Secondary batteries based on reversible electrochemical doping of conjugated polymers” というタイトルで特許も取得しています。この特許はページ数も長大で, 相当しっかりした内容のもので, 彼らの意気込みが感じられますね。間違いなく, 彼らがポリアセチレンを二次電池に応用しようと考えた最初の人です。もちろん, 特許だけじゃなく論文もだしている^{*2}。

優れたドーピング性をもつポリアセン (PAS) の発見

山邊 ところが, このポリアセチレンという物質は不安定で電極としては使いものにならない, ということが徐々にわかってきました。そこで, それに代わる新しい導電性高分子や骨格が二次元に伸びた未知の炭素材料の探索, 設計が世界中で始まった。この一連の研究の流れのなかに, われわれが発見し, のちにリチウムイオン二次電池の負極材料として使われるポリアセン (PAS, 次ページのコラム参照) もあったのです。

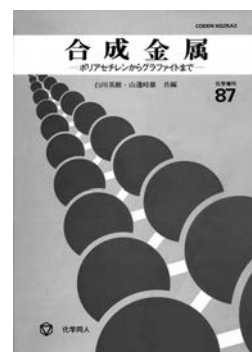
——いつごろの話でしょうか?

山邊 1980 年代初頭のことになりますが, 負極として導電性高分子からグラファイトまでの幅広い炭素材料を主対象に検討されました。私が矢田静邦さん[当時, 鐘紡(株)]らとはじめてこの PAS について研究を開始したのが 1980 年, そして学会発表(日本物理学会春季年会)が 1982 年の 3 月, 同年 6 月に PAS に関する論文も発表しています^{*3}。同時に矢田さんは特許^{*4}も出願している。そのなかで, 負極の PAS にリチウムイオンをはじめでドーピングすることに成功し, この炭素質負極材料の有効性を実証したうえで二次電池への応用についても記述しています。

当時は, 一般に有機電解液[おもに PC (propylene carbonate)]を用いた炭素材料へのリチウムの安定な電気化学的ドーピング・脱ドーピングは困難とされており, とくにグラファイトへの試みは電解液の分解などを伴って難しいものでした。ところが PAS は, PC 電解液に対しても有効であり, さらにスムーズなりチウムドーピング・脱ドーピングができるようになった。——その点が非常に重要だと思いますが, この物質を二次電池に応用するには, ポリアセチレンと同様にやはりリチウムイオンのドーピングが鍵に?

山邊 ええ, 負極にリチウムイオンをドーピングできるかどうか最大のポイント。炭素系の負極については, グラファイトがアルカリ金属などを取り込み, インターカレーションを形成することはかなり前から知られていましたし, 1975 年にはグラファイトがリチウムを取り込んでグラファイト層間化合物を形成することが報告されている。1977 年の M. Armand らの研究^{*5}もそれを用いたものですが, ほかに 1981 年に三洋電機(株)の池田宏之助氏による黒鉛負極の特許申請もあります。また 1982 年には, R. Yazami がグラファイト (HOPG: 高配向パイログラファイト) にリチウムイオンが固体電解質 (ポリエチレンオキッド系) 中で電気化学的に挿入・脱離可能なことを報告している。この固体電解質は一般的な有機電解液ではなく, いずれも実用的観点からは十分といえるものでなかった。

^{*1} 「ペンシルバニア大学グループは電気化学的ドーピングを利用して再充電可能なバッテリーへの応用を発表して注目を集めた。たとえば, 0.1 mm の厚さのポリアセチレンフィルムを二枚それぞれの電極として, ヨウ化リチウムを含む THF 溶液にこれを浸して 9 V の直流電源をつなぐとヨウ化リチウムが電解され, 陽極のポリアセチレンはヨウ素でドーピングされ, 陰極はリチウムでドーピングされる。この電解ドーピングが充電過程に相当することになる。ドーピングされた二つの電極に負荷をつなげばリチウムイオンとヨウ素イオンが反応して電力が取り出せる」(本文 p.171)



^{*2} P. J. Nigrey, D. MacInnes Jr., D. P. Nairns, A. G. MacDiarmid, A. J. Heeger, “Lightweight Rechargeable Storage Batteries Using Polyacetylene, (CH)_x as the Cathode-Active Material,” *J. Electrochem. Soc.*, **128**, 1651 (1981).

^{*3} T. Yamabe, K. Tanaka, K. Ohzeki, S. Yata, “Electronic Structure of Polyacetylene, A One-Dimensional Graphite,” *Solid State Commun.*, **44**, 823 (1982).

^{*4} 特許のタイトルは「有機電解質電池」となっている。

^{*5} 1977 年に M. Armand らが, グラファイト層間化合物と金属リチウム箔を組み合わせた蓄電池の構想を発表していたが, 適切な電解液は見いだせなかった。M. Armand, P. Touzain, *Mater. Sci. Eng.*, **31**, 319 (1977).

コラム

● 鍵物質 PAS はこうして発見された！ ●

——鍵物質ともいえる PAS はどのようにして発見されたのでしょうか。

山邊 実はそれにはいろいろ面白い話があります。このポリアセン系の炭素質材料を理論的側面から追究した研究論文を最初に発表したのは 1982 年。電子状態解析に基づく材料設計から予見したのですが、それとほとんど同時に、それがフェノール樹脂を熱処理して得られることが、共同研究者の鐘紡(株)(2001 年カネボウ株式会社に改称)の矢田静邦さんらの研究によって幸運にも偶然発見されました。当時、鐘紡(株)では炭素材料の研究開発も行っており、その炭素材料を得る目的で、フェノール樹脂の熱処理試験中にたまたま途中の 400～700℃の低温で取りだしたところ、思いがけず金属光沢をもった黒色の固体物質が得られたことがきっかけです。これがいわゆるポリアセン系半導体材料(PAS; polyacenic semiconductive material)で、一種の合成金属といえます(図 1)。

——これもセレンディビティ？

山邊 偶然ですから、そういえるかもしれないね。早速、磁気測定、固体 NMR、電気化学などの手法を使って、半導体的電子材料としての基礎物性を丹念に調べました。具体的には構造、電気輸送特性、p, n 両ドーピング性などです。1982 年ごろのことで、結果的にこれがナノサイズの非晶質半導体で、優れたドーピング性、脱ドーピング性、高イオン蓄積性をもつことがわかりました。のちにリチウムイオン二次電池の負極材料としても使われます。

——物質としての PAS の特徴を、もう少し詳しくご説明いただけますか。

山邊 一般にポリアセン族というと、ポリアセンと同様にベンゼン環が縮合してできた構造をもっている、ポリフェナントレン系列、ポリアリーレン系列などを含む、いわゆる一次元ナノサイズグラファイト族材料の総称です。ただ、実際にフェノール樹脂を不活性雰囲気中で焼成して得られる物質は、X 線回折などの結果か

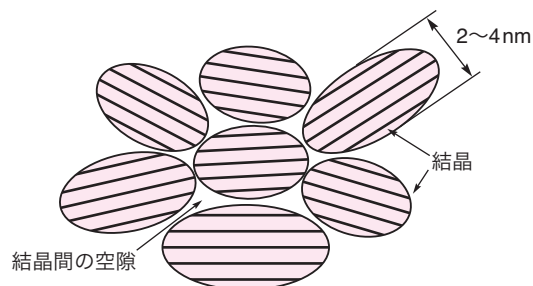


図 2 ナノグラフェンブロックの模式図

ら、整ったポリアセンの骨格とはなっていません。ナノサイズポリアセン構造の骨格を主体とする難黒鉛化非晶質炭素で、アモルファスカarbonの一種と捉えることができます。現在の言葉でいえば、「ナノグラフェンブロック」の集合体ということになるでしょうか(図 2)。この構造によってリチウムのブレドーピングが容易にできるのです。

フェノール樹脂の熱処理では、その温度、時間を制御することによって、さまざまな H/C 比、比表面積、面間隔、導電率をもつ PAS を得ることが可能です。矢田さんの 1984 年の特許では、H/C 比が 0.05 から 0.5 としています。その意味では PAS は、ポリアセン(H/C = 0.5)からグラファイト(H/C = 0)に近い範囲までを視野に入れた炭素質材料で、フェノール樹脂の熱処理物はその有力なプロトタイプといえます。

——その意味では、当時、いろいろな企業で開発された炭素質材料はこの PAS に収束すると…

山邊 断言はしませんが、私はそう考えています。PAS のブライオリティーを主張する根拠はまさにそこにある。そのことを学術的に記した論文もでています(1997 年の *Chem. Rev.*[†])。たとえば、ソニー(株)が市場にだしたリチウムイオン二次電池負極の炭素質材料はまさに PAS そのものと見なせると、はっきり書いている。

——ということは、現在市場にでているリチウムイオン二次電池の負極材料開発の原点は PAS にあると考えてもよいのでしょうか。

山邊 そう考えて間違いのないと思います。企業秘密になっているのですが、イメージ的にはグラファイトがぶつ切れ状態になって、リチウムイオンが入りやすくなり、デンドライトが発生しにくい構造がまさに PAS の構造ですから。

[†] P. Novák, K. Müller, K. S. V. Santhanam, O. Haas, “Electrochemically Active Polymers for Rechargeable Batteries,” *Chem. Rev.*, **97**, 207 (1997).

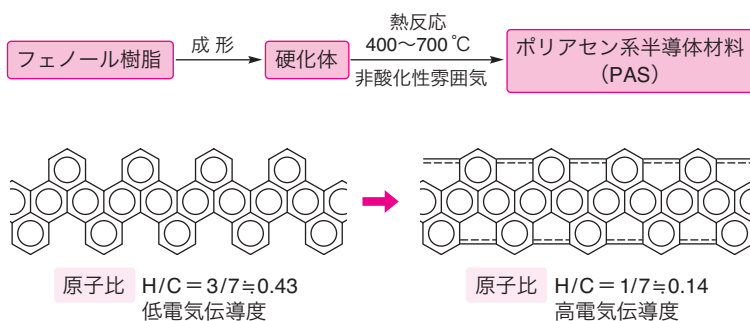


図 1 ポリアセン系半導体材料 (PAS) の作製法

おわかりのように、リチウムイオン二次電池の負極材料の研究開発には二つの方向があって、グラファイト層間化合物を中心とする電気化学分野からの流れと、ポリアセチレンを源流とする新しい炭素半導体材料分野の流れがあります。実用化に向かつては、結論的には後者が主導的な役割を演じたと、私は思っている。

——なるほど、で、当時はおもに負極材料の探索に向けられていたのでしょうか。

山邊 もちろん正極の問題もありますが、電気をため込むという意味では負極がもっと重要でした。ご存知のように、それまで負極に使われていた金属リチウムは活性が非常に高く、安全性などに問題^{*6}があり、当時の電池の研究者たちは、金属リチウムの代わりになる活物質をやっきになって探し求めていたわけです。

1970年代後半から1980年代前半にかけてはまさにこのような状況で、今から振り返ると、リチウムイオン二次電池やリチウムイオンキャパシタの黎明期で、論文や特許が集まってきています。白川先生やMacDiarmidらの成果を受けて新たな開発が始まり、ちょうど次の成果(特許や論文)がでてくる時期だったと思います。

——そんななかで、誰が何を始めて発明したかを特定するのはそう簡単ではないですね。

山邊 まさにおっしゃるとおりで、論文、学会発表、特許、いずれも目的や手続きが違いますから、誰が先かを決めるのは難しいのは事実。ですが負極に関していえば、最初に非水系有機電解質を用いて、炭素質材料でリチウムイオン二次電池の絶対的要件とされる安定なリチウムドープ・脱ドープが可能なることを示したのは、PASを用いたわれわれの研究ではないかと思っています。それも特許だけではなく、学術論文もきちんとだしている。

PASを用いた蓄電デバイスの開発

——確かにこの辺のことはあまり知られていませんね。実際、矢田さんとの共同研究をどう進められたのでしょうか。

山邊 基礎研究は私、製品化応用研究は共同研究者の矢田さんが中心となって、鐘紡(株)が進めていきました。矢田さんとは1980年に、私のポリアセチレンに関する講演を聴きにいられたときにはじめてお目にかかりました。その講演のなかで、量子化学的に予測できる有望なものとして、先ほどのポリアセチレンの話をちょこっとしたわけです。矢田さんはそれに関心をもたれたようで、高分子の熱処理によって何か「ポリアセチレン」のようなものができるかなということ、それで一緒にやることになった。

——先に「ポリアセチレン」という物質の理論的な予測があったのですか。

山邊 そうです、量子化学的な計算でそれができた。で、矢田さんが実験で焼いていたフェノール樹脂を見せていただいたときは薄くて黒光りするチョコレート板のようなもので、とてもポリアセチレンのような金属光沢の薄膜といえるものではなかった。なんとかこれをものにしたいという一念で、その後ずっと一緒に研究を進めてきました。論文はほとんど矢田さんらとの共著になっています^{*7}。ただ矢田さんは惜しいことに2012年3月に亡くなりました。

——実際、商品化されたのはいつですか。

山邊 PASの優れた特徴を生かして、鐘紡(株)により2種類の蓄電池が商品化されました。一つは、正・負極にPASを用いた「ポリアセチレン電池」(写真1左)というもので、1989年に商品化。作動はキャパシタ的なもので、小型・高容量で信頼性が高く、携帯電話などの民生用機器のバックアップ電源として、現在も広く全世界で使用されています。導電性の炭

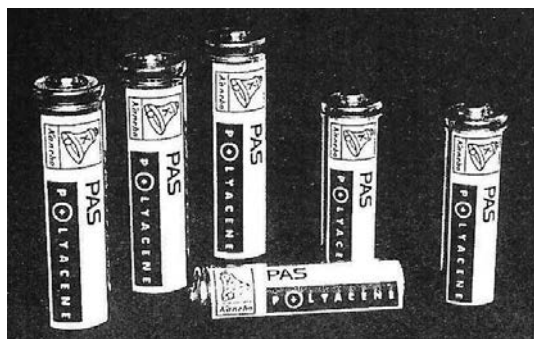
^{*6} 当時、正極に二酸化マンガ、負極に金属リチウムを使用したリチウム一次電池がすでに商品化されていた。この延長上にリチウム二次電池の研究開発も進められていたが、負極に金属リチウムを用いると、充放電で電極上にリチウムの樹枝状結晶(デンドライト)が成長してショートし、発火や爆発を起こすなど安全性に課題があった。



矢田静邦 氏

^{*7} PAS関連の研究論文は約60報。

写真1 PAS電池(左)と
リチウムイオンキャパシタ(右)



太陽誘電(株) ホームページより

表1 一般的にいわれているリチウムイオン二次電池の開発史

年	おもな事例
1977	白川英樹ら、化学ドーピングによってポリアセチレンの導電性が增大することを発見。
1980	オックスフォード大学のJ. B. Goodenoughら、正極にコバルト酸リチウム(LiCoO_2)を用いることを発表。
1981	三洋電機(株)の池田宏之助ら、黒鉛を負極に用いた「再充電可能なリチウム電池」の特許出願。
1982	仏・国立科学研究センターのR. Yazamiら、固体電解質中で、負極の黒鉛にリチウムイオンが電気化学的に挿入・脱離可能なことを報告。
1983	旭化成(株)の吉野 彰らが、正極にコバルト酸リチウム、負極にポリアセチレンを用いた二次電池の特許出願。
1985	吉野 彰らが、正極にコバルト酸リチウム、負極に炭素質材料を用いた新しい二次電池(リチウムイオン二次電池の原型)の特許出願。
1991	ソニー(株)の西 美緒らが、リチウムイオン電池を商品化。

素質材料を、蓄電デバイスの電極として使ったのはじめての製品といえるものです。

もう一つは、両極ともPASを用いていますが、負極のPASはリチウムイオンをあらかじめドーピングしておく。この技術は、矢田さんが世界に先駆けて開発したもので、リチウムイオンのプレドーピング技術と呼ばれています。PASの上にリチウム板を密着させるだけで、簡単にリチウムを挿入できる。これによって負極はリチウムイオン二次電池と同じように作動します。つまり、正極はキャパシタとして、負極は二次電池として作動するきわめて独創的なデバイスです。これは「リチウムイオンキャパシタ」(写真1右)として1991年に商品化されましたが、ちょうどリチウムイオン二次電池が市場にでた年です。現在も携帯電話、ICメモリーカードなどの情報通信機器用に広く世界中で利用されています。

——ところで、このキャパシタと二次電池は何がどう違うのでしょうか。

山邊 リチウムイオンキャパシタは正極と負極の原理が異なり、負極でのリチウムイオン二次電池の酸化還元反応と正極での電気二重層キャパシタの物理吸着反応を組み合わせたハイブリット構造になっています。基本的にはリチウムイオン二次電池と同じものですが、ためた電気を速くだすかゆっくりだすかの違いです。長寿命、高容量密度で、リチウムイオン二次電池に比べて安全性が高い、などの優れた特長をもっています。今後、自動車用や太陽光などの再生可能エネルギーの補充デバイスとして、将来大きく伸びる可能性があります。

リチウムイオン二次電池の源流は？

——現在市販されている最も標準的な「リチウムイオン二次電池」(表1参照)は、正極にコバルト酸リチウム(LiCoO_2)、負極に炭素質材料を使用したものですが、それがどのようにしてできあがってきたのか、いろいろ諸説があって少し不確かな情報がまぎれ込んでいることも確かです。とくに負極の炭素質材料に関しては、企業それぞれの思惑もあって…

山邊 各企業の立場もありますから、情報が錯綜していることは否めません。工業的な製品の多くがそうだと思いますが、リチウムイオン二次電池も、単独の発明者によって実現したものではなく、多くの研究者の成果がもとになって達成できたもの。とくに負極については、かなり以前から電気化学、材料科学を主体とする研究者のさまざまな努力と蓄積があったことは確かですね。

ただ、先ほどもいいましたように、1980年代はじめ、一般にグラファイトへのリチウムイオンの有機電解液を用いた安定な電気化学的ドーブ・脱ドーブは困難とされていました。ところが、われわれのポリアセン系材料(PAS)では、スムーズで安定なドーブ・脱ドーブが可能であることがわかった。

名称	構造式	H/C 比	名称	構造式	H/C 比
ポリエチレン (CH ₂) _x		2	炭素 (C ₁₀ H) _x		0.1
ポリアセチレン (CH) _x		1			
ポリアセン (C ₂ H) _x		0.5			
ポリアセノアセン (C ₃ H) _x		0.33	グラファイト		0

図3 ポリアセン族(アミ伏せ)の構造と H/C 比

H/C とは、炭素質材料を構成する水素(H)と炭素(C)の原子比、この指標は、山邊氏らによつてはじめて導入されたもので、その後の負極に使用される炭素質材料の構造を評価する際に重要な意味をもつ。

——このころにグラファイトに近い炭素質材料があちこちで探索されていますが、そのことがきっかけになっているのでしょうか？

山邊 実は1982年に願したポリアセンの特許(表2参照)が1983年12月に公開になりました。それを見たいろいろな企業が、その権利範囲をどうにか回避しようとして、グラファイトに近いH/C比(図3)の小さなものにまで探究の範囲を広げていった、という感じをもっています。

そして、1980年代なかばに、これらの炭素質材料を負極にLiCoO₂を正極として組み合わせることによって、負極に金属リチウムを用いない現在のリチウムイオン二次電池の原型ができあがった。正極のLiCoO₂は、1980年にJ. B. Goodenoughらの遷移金属酸化物の研究によって見いだされたものですね。実用化に当たっては、旭化成(株)の吉野彰さん、ソニー(株)の西美緒さんの貢献が大きかったと思います。

——今名前のあがった吉野氏はリチウムイオン二次電池の発明者、西氏は世界ではじめて商品化した技術者として世間では知られていますね(表1参照)。

山邊 ええ、そうです。私がここでこういうお話ができるのも、このお二人をはじめ多くの方がたの実用化・商品化に向けた努力と成功があつてのことです。とにかく当時の活気はたいへんなもので、吉野さんは同門ということもあり、1980年代初期から私の研究室に出入りしていました。そこで、ポリアセチレンの存在を教えたのをきっかけに、ポリアセチレンの研究から始め、リチウムイオン二次電池の電極へと展開された。

——吉野氏とはお互い近いところで研究していたわけですね。あらためてお聞きしますが、あえてその源流を辿れば……

表2 リチウムイオン二次電池
関連のおもな特許の流れ

出願日	おもな特許
1979年 4月5日	J. B. Goodenough ら, "Electrochemical cell and method of making ion conductors for said cell".
1981年 2月28日	A. Heeger, A. MacDiarmid ら, "Secondary batteries based on reversible electrochemical doping of conjugated polymers".
1981年 6月18日	三洋電機(株)の池田宏之助ら, 負極に黒鉛を用いた「再充電可能なリチウム電池」.
1982年 5月31日	鐘紡(株)の矢田静邦ら, ポリアセン負極リチウムイオンドープの二次電池「有機電解質電池」.
1985年 4月30日 (優)	東芝電池(株)の平塚和也ら, 金属カルコゲン化合物などの正極と、擬黒鉛構造をもつ炭素質材料よりなる再充電可能な「非水溶媒二次電池」.
1985年 5月10日 (優)	旭化成(株)の吉野彰ら, 正極にコバルト酸リチウム、負極に炭素質材料を用いた「非水二次電池」.
1990年 2月21日	ソニー(株)の西美緒ら, 「炭素質材料およびその製造方法ならびにこれを用いた非水電解液二次電池」.

(優): 優先権主張日。

山邊 これまでお話しした技術開発の大きな流れをみると、今日のリチウムイオン二次電池の負極に関しては、われわれのPAS由来のリチウムイオンキャパシタの技術に由来するものといえるかもしれません。さらにその源流を辿れば、先ほどお話ししたように白川先生らの導電性高分子の発見が糸口となって、MacDiarmidやHeegerらのポリアセチレンリチウムイオン電池から始まったと考えてもよいと思います。もちろん正極はGoodenoughの成果ですね。

電池の独創性を決定づけるものは？

——では、このリチウムイオン二次電池の独創性を決定づける要因は何とお考えですか？

山邊 正極、負極も含めてすべて単独でリチウムイオン二次電池を創出したのであれば、文句なくその人が発明者ということになる。そう考えると、今回の場合は、やはり正極、負極に使う物質それぞれのサイエンス、すなわちそれらの物質の発見、創出ということになるでしょうか。この点については今述べてきたとおりで、あとはそれを誰が最初に組み合わせたかですが、Goodenoughの論文を電池の研究者が読めば、グラファイトそのものを負極として、リチウムイオン二次電池を構成できることは誰でも容易に思いつく、という意見さえあります。

——負極材料の開発も、正極と負極の組合せの妙もまったく関係ない？

山邊 今のは極端な意見ですが、正極(LiCoO₂)と負極(炭素質材料)を最初に組み合わせたことがリチウムイオン二次電池創出のきっかけになった。そのことは否定できないと思います。ただ、組合せの優位性を主張するのであれば、それなりのはっきりした科学的な根拠と証拠が必要になる。

——確かに特許だけでは科学的な根拠は薄いという意見もありますね。

山邊 動かしがたい科学的なエビデンスという意味では、特許だけではダメでしっかりした学術論文をだしておくことが肝要。科学の世界では、最終的な判断は論文にゆだねられる。

それともう一点、リチウムイオン二次電池開発の場合、ぜひとも言及しておかねばならない重要なポイントがあります。使えるものにするという意味では、“安全性”をどうクリアするかということ、この点は絶対に欠かせません。現在でもなお、リチウムイオン二次電池の発火リスクをいかに抑えるかが重要な課題です。この製品が生き残ったということは、開発当初この課題に果敢に挑みそれをクリアしてきた技術者たちがいたからです。この点はおおいに称賛されるべきです。いくら性能がよいからといって、危険なものは普遍的な製品として生き残れませんからね。この安全性の問題は避けて通れない要件でしょう。——これまでのお話で、リチウムイオン二次電池開発をめぐる不透明さは大分はっきりしてきました。最後に一言お願いします。

山邊 第一発明者が誰であろうとも、このリチウムイオン二次電池という技術は日本発であることには変わりありません。この点はぜひ強調しておきたい。それともう一つ、負極の開発プロセスを振り返ってみると、日本における「炭素学」*8ともいえる学問の先端性、層の厚さを考えずにはいられません。たとえば炭素繊維に代表されるように、間違いなく日本が世界をリードしている。そういう学問的な裏づけと煮つまった環境があったからこそ、難問を突破して独自の技術を開発することができた。炭素は未知の部分がいまだに残っている物質で、21世紀においてもさらに大きく発展する可能性のある非常に興味深い材料であるといえます。

(聞き手・構成・文 ■ 平 祐幸)

*8 『炭素学』(田中一義・東原秀和・篠原久典 編, 2011 年刊) という名の名著が、化学同人から出版されている。炭素のサイエンスや炭素材料研究と応用の現状を体系的にまとめた良質の専門書で、たいへん示唆に富む内容を含んでいる。

謝 辞

このインタビューに際しては、村上信明氏(長崎総合科学大学新技術創成研究所特命教授)よりたいへん有益なコメントをいただいた。とくに特許に関する情報は非常に示唆に富むものであった。ここに記して感謝申し上げます。

(山邊時雄)