

この人にきく

旭化成（株）顧問 吉野 彰氏



（よしの あきら）

1972年京都大学工学研究科修士課程修了。同年旭化成（株）（旧旭化成工業（株））入社。電池材料事業開発室室長、フェロー等を経て現在、旭化成名誉フェロー、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、九州大学エネルギー基盤技術国際教育研究センター客員教授、名城大学大学院理工学研究科教授。1999年日本化学会化学技術賞（リチウムイオン二次電池の開発の功績）、2002年全国発明表彰 文部科学大臣発明賞、2003年文部科学大臣賞科学技術功労者、2004年紫綬褒章、IEEE Medal for Environmental and Safety Technologies（2012）、ロシア The Global Energy Prize（2013）、全米技術アカデミー The Charles Stark Draper Prize（2014）、物質・材料研究機構 NIMS アワード 2016 ほか多数受賞。

— 本日はご多用中、お時間を割いていただき、ありがとうございます。まず初めに研究の背景からお聞きます。吉野先生は京都大学工学部石油化学科卒業と伺っておりますが、理系、とりわけ化学の世界に進まれたきっかけのようなものがあれば教えてください。

たしか小学校3、4年生の頃だと思いますが、担任が女性の化学出身の先生だったんです。そのときに化学とはこういうものだ、色々な話をしてもらったのがきっかけになっていると思いますね。

— 小学校の先生がきっかけで化学に興味を持たれたんですね。その後、大学ではこういったご研究をされたのでしょうか。

名前は石油化学科というものでしたが、実際はもう少しアカデミックな、分野としては福井（謙一）先生の流れの研究室でした。量子化学、今でいう計算化学と実験化学のちょうど間みたいなことをしていました。実験しながら理論計算との整合性を図るという計算化学のはしりの時期でしたね。

— 福井先生の流れとは知りませんでした。入社後はどのような研究に携わってこられたのでしょうか。

配属先は研究所で、基礎探索のグループでした。2年ほどの期間で、1人で考えて実験を行い、なんらかの芽を見いだすといった職務でした。2年目に筋がいいかどうかの判断をする、といったことを繰り返しました。

1つ目の仕事は新しい樹脂の開発でした。ガラスによくくっつくように樹脂を変性する、今でいう合わせガラスの中間膜のようなものです。それはいいところまでいったのですが、実用化は難しかった。2番目は不燃性断熱材です。1970年代に省エネ機運が高まってきたところで、発泡スチロール並みの断熱性の燃えない発泡体、セラミックス系のものですね。そして3番目が光触媒で、4番目がリチウムイオン電池の開発です。

— リチウムイオン電池は4番目の仕事なんですね。それまでのご研究は、後のリチウムイオン電池の開発に関係しているのでしょうか。

直接的な関係はありませんが、考え方などは共通のものがあったと思います。

— 先生は1981年にリチウムイオン電池の研究を始められたそうですね。先ほどのお話にも出てきましたが、1981年といえば福井謙一先生がノーベル化学賞を受賞されています。その福井先生の研究がリチウムイオン電池の開発にもかなり影響したと伺っておりますが、具体的にはどのような影響があったのでしょうか。

福井先生がフロンティア電子論を提唱されて、化学反応性とか物性とか、そういったものを理論的にシミュレートしていくようになりました。当然、対象となる材料はたくさんありますが、その中のひとつとしていわゆる共役系の化合物、 π 電子化合物がありました。理論上、 π 電子、共役が広がっていくと電気が流れるとか、光反応性が出てくるとか。そしてちょうどその頃、のちにノーベル賞を受賞される白川先生がポリアセチレンを見つけられた。ほぼ同時期なんですよ。福井先生のセオリーに沿って、実際にそれに相当するポリアセチレンという材料が見つかって、確かに電気が流れました。そういった意味では福井先生、白川先生の研究業績が原型にあって今のリチウムイオン電池があります。

— 福井先生と白川先生の両方の流れがあってこの研究につながったわけですね。順番からすると、ポリアセチレンの研究からリチウムイオン電池負極に展開されたのでしょうか。それとも電極探索をしていてポリアセチレンに注目されたのか、どちらでしょうか。

順番からするとポリアセチレンが先ですね。研究の中でニーズが先か、シーズが先かという議論がありますが、どちらもある意味結果としては

一緒なんですよ、だからリチウムイオン電池の場合は、最初はポリアセチレンの研究そのもので、電池の研究とは無関係でした。だけど、ポリアセチレンという材料を実際に扱ってみて、電気が流れる、太陽電池もできる、などという色々な機能があることがわかりました。その中のひとつとして、イオンが出入りするという機能もあったんですね。イオンと電子が動いてくれるというのは、まさに電池の反応なんです。特に2次電池の材料にもなり得るというのもひとつの機能だったわけです。

—先生は元々、電池に興味がおありだったのでしょうか。電池は今でこそ多くの研究者がいますが、化学の知識と電気の知識などさまざまなものが必要になるため、難しい対象だったと思うのですが。

中間領域というか、難しいところでしたね。元々電池に興味があったというよりも、ポリアセチレンという材料に色々な機能があるということは、出口が色々あると考えられた。ポリアセチレンの持つ、どの機能をどういった出口に持っていくのが一番良いか、といった発想になっていきます。その時点における出口として、どういうものが求められているかということを調べていくと、新型2次電池でした。研究開発は多くされていましたが、ことごとく事業化に失敗していました。非常にニーズは大きいですが、シーズがついていない、そして商品化に失敗している理由が、負極材料に問題があるということがわかっていました。

—金属リチウムを負極にする限り、安全性が確保できていなかったということでしょうか。

そうです。そこで、ポリアセチレンという材料が負極にも使えるということがわかりました。まさにニーズとシーズが線でつながりそうだと感じました。それで2次電池の方向に持っていくのが一番おもしろいのではないかと思います。その辺りから電池の研究とオーバーラップしながら進めていきました。

—当時、金属リチウム以外の負極の探索をしている研究者は多かったのでしょうか。

そうですね、しかしなかなか見つからなかった。



—最終的には、ポリアセチレンを負極材にすることは断念し、カーボンを採用されたそうですね。その辺りの苦労話は著書にて拝見しました。1985年頃には負極にカーボン、正極に LiCoO_2 を用いたリチウムイオン電池の原型を作られています。そもそも素材メーカーである旭化成がこのような電気製品を開発することに社内で議論はなかったのでしょうか。

そうですね、両面あると思います。スタートはポリアセチレンという材料から入っているので、当初のシナリオでは2次電池に仕上げてポリアセチレンという材料を売りましょう、という発想です。幸いにもポリアセチレンを合成するときのチーグラナッタ系の触媒技術もありました。しかし、途中で色々あって負極材をポリアセチレンからカーボンに切り替えました。そうすると、そもそもポリアセチレンという材料を売るという研究テーマ設定では、製品を追いかけいったときに合わなくなってきてしまいました。今度はカーボンをビジネスにしようという話も出てくるんですが、場合によっては当然また同じようなことがあって、また別の材料になる可能性もあります。そうすると、材料だけにこだわるよりも、「製品側にとって最適な材料は何だ」という目で見ないといけないということになりました。電池という製品の開発に出航したのはそういった流れですね。当然、社内では、旭化成は電池には素人だし、生産技術もないし、とさまざまな議論がありました。そういった、「材料だけにこだわってはいけません」という面と、「製品をやろうとすると足りない技術がたくさんある」という面のアンバランスは当然議論になります。ただ、製品側に立つと良いことは、「こんな材料を開発すればいいんだ」ということがわかることです。

—ニーズがわかるということでしょうか。

そうです。ユーザーとサプライヤーの関係が材料メーカーの中に成立するわけです。そうすると、個々の材料開発がものすごく促進されるんです。一番恩恵を受けたのがセパレータですね。今でもトップシェアになっています。セパレータの開発は社内の別の研究者が元々やっていましたが、電池の評価という技術を持つと、セパレータの評価も社内ですることになるんですね。そうすると、どんなセパレータを開発すればよいか、という生の情報が伝わります。そういう意味で、製品側に立った時に材料メーカーの良さが出てきます。理想的には、正極、負極、電解液も全部同じパターンになればよかったのですが、結果的にはセパレータが特に恩恵を受けて、ここまで大きくなりました。

—新型2次電池ができた後、安全性の試験はダイナマイト試験場で行ったそうですね。鉄塊の落下試験で金属リチウム電池との比較をされたそうですが、もし新型電池がその場で発火していたらリチウムイオン電池は世に出ていなかった可能性があるのでしょうか。

まず出ていないでしょうね。それは間違いないと思います。



—電池はセラミックス、有機材料、カーボン、金属、塗工技術、等とさまざまな分野にまたがった技術だと思います。本当によく作り上げられたと驚くばかりですが、どのようなチームで開発にあたったのでしょうか。

研究探索の段階では1人でした。2年くらいですね。この研究は面白いかもしれない、という開発研究の段階では、試作なども入ってくるので5、6人です。本来ですと、それがさらに進展していき、20人30人になると思うのですが、これは電池の研究になってしまったものだから間に合わないわけです。全部自前でやろうとするとね。それで開発研究も7、8人くらいで、あまり人を増やさなかったんですよ。試作関係は社外の装置を借りたり、外注をうまく使いました。

—そうすると、あまりいたずらにチームを大きくしても良くないということでしょうか。

それは失敗の原因ですね。研究者のひとつの性なのかもしれないですけど、いいデータが出ると予算や人を増やすように言い出しますね。ある程度の範囲でうまくつないでいくのがいいやり方だと思います。

—リチウムイオン電池の実用化に向けてはハードルが多かったと思いますが、一番のハードルはどこでしたか。

やっぱり一番は安全性の試験ですね。マシン関係もそうでしたけど、コーティングマシンも自分たちで扱くと、できたものはもうシワだらけで、今のマシンなんてもう芸術的な、よくあそこまで制御するなっていうくらい完璧な出来ですけどね。ただ、こういうマシン関係は流れさえ作ってしまえば、あとは他の人がやってくれますからね。そういう意味では安全性をクリアしているかどうかというのは大変でした。

—先生の著書を拝見したときに、基本特許も大切ですが、ものごとが進んでいくと基本特許も化けていく悪魔のサイクルというものがありました。しかし、その中でもどこか大事な特許を取る必要がある。どこが関所になるかはわかりにくいと思うのですが、色々と特許を出しておさえなければいいのでしょうか。

基本的にはそうなんですが、自分が研究を進めていく上で一番困った部品なり材料に注目してみるといいです。わかってみると実につまらない材料かもしれないですけどね。そういったところは、しょうもない部品かもしれないけど、誰もが困るはずで、自分が困ったところは特許対象にすると誰もが嫌がります。

—話は変わりますが、2次電池の研究を開始された1980年代初めから、Windows95が発売されてIT変革が始まる1995年頃まで、つまりリチウムイオン電池の市場が形成されるまでに15年ほどありましたが、IT技術がここまで大きなものになると予測はされていたのでしょうか。

とても予測はできませんでした。ただし、いろんなものがこれから持ち運べるようになる、ポータブル化という言葉は当時もありました。しかし、マーケット的に大きいのはビデオカメラくらいだったでしょうか。ましてや電話やコンピュータを持ち運ぶというのは当時誰も考えていなかったと思います。今、リチウムイオン電池のマーケットのうち、いわゆるビデオカメラ用は大体1%なんです。そして、当時我々が一番のターゲットとしたのが、そのビデオカメラです。電池として、「月に100万個くらいいくんじゃないの」という当時としてはすごいマーケットという位置付けでした。

—そうすると、実際は想像以上に大きなマーケットだったわけですね。

当時考えていたものが1%ということですから、実際は100倍ですね。

—小型高性能な2次電池が求められていたということを含んできて考えるとわかりますが、当時、電池が小さくなることで将来こういったものができるようになるというニーズが捉えられるものでしょうか。



電池が小型化されないとどうにもならないということになったのは、8ミリビデオカメラなんです。商品化は1980年代から始まっています。8ミリビデオは、そのメーカーにとって大プロジェクトだった。設計などでカメラ本体はかなり小さくなりましたし、2時間撮れるテープも入るんですが、

電池が持たないんですよ。本体がどんどん小型化されていったときに電池がボトルネックになっていたと思います。

ただ、よく材料メーカーの研究者などでは、上司が客先のニーズを掴んで来いと言いますが、基本的に本当のニーズというのは、客先にとってトップシークレットなんです。そこを掴まないといけないうけど、手ぶらで行ってもそんな情報はなかなかくれない。でも、さっき言ったようにこの研究は、電池の開発の研究になってしまったものだから、社内的にはどちらかというと優等生テーマではなくて、鬼つ子的なテーマの扱いでした。だから、相当フライングしながらデータやサンプルを出したり、ある程度自由にやることができました。そうすると客先からもレスポンスがありますから、それを詰めていくことで、本当のニーズを引き出すことができました。

—今回、セラミックス誌の取材ですので是非お聞きしたいのですが、リチウムイオン電池に限らず、セラミックスという材料に対して期待することを教えてください。

ひとつは今、固体電解質が話題になっていますよね。今、色々議論されている固体電解質のイオン伝導機構であったりとか、固体電解質を用いた電池の特性とか、従来の古い電池研究者では説明しきれない部分がいっぱい出てきています。固体の中だからそういうことが起こるんでしょうね。もう1回、固体物理的な観点で、リチウムやナトリウムのイオンの動きを見直す時期だだと思います。これから、今まで誰も手をつけていない、さまざまな現象が出てくる可能性があります。そういうことができるのはセラミックス系のイオン伝導体だと思います。固体電解質の特性を見ると、ごく一部で、ひょっとしたら「裸の」リチウムイオンがいるような挙動を感じることがあります。もちろん、裸のリチウムイオンは現実にはきわめて存在しにくいもので、固体の中でもリチウムは配位により安定化されています。ただ、液中に比べればはるかに緩いから、何かの拍子で飛び出すこともあるのかもしれないと思っています。

—もしかしたらそういうところには、フロンティア軌道電子論、そういう考え方でイオンの挙動というものを、固体の中でどうなっているのか基礎のところから見てみる必要があるかもしれないですね。

セラミックス研究者に期待したいのは、セラミックスの粒子の中だけではなくて、粒界まで含めたセラミックスミストリーですね。粒界という特殊な環境下においては、想像以上にイオンが速く動くというような特殊なことが起きるのではないかと。今はどうしても、セラミックス粒子の中のきっちりとした構造を考えていることが多いですから。リチウムイオン電池の固体電解質に限らず、ナトリウムイオン電池や燃料電池、NaS電池なんかも同じような考え方ができると思いますね。

—勉強になります。次に日本セラミックス協会を含む学協会への期待があれば教えてください。

私は有機に近い物理化学が専門なので、あまり固体物理そのものの世界はよくわからないのですが、本当の固体物理に長けた人はすごいですね。セラミックスの固体の中の設計が頭の中でサッとできるんでしょうね。例えば、Goodenough先生は典型的な固体物理学者ですが、新しい正極材料もこんなふうにしたらリチウムが出入りする構造になる、ということがわかっているんでしょうね。だからセラミックス協会のような場で交流して、実際に作れる人とやってみる、みたいなことができるといいですね。

—理論家と実験家の人たちのいい協調ですね。頭の中でイメージできる人の考え方を使得、合成が得意な人が実際に作ってみる。作ってみると違うかもしれないですけど、当たりも出てくるかもしれない。そういうことができるといいですね。

最後に若手の研究者に対して思うこと、伝えたいことをお願いします。

今はまさに情報過多の世界になっているでしょう。すべてのことが既に知り尽くされて、若い人にとっては自分たちが今から新しいことをやろうとしても、新しいことは何もないんじゃないか、というような感覚に陥っていると思います。でも、まだまだわかっていない部分、現象がいっぱいあります。さっきの粒界の話であったりね。普通の人はネット中毒みたいになって、そういう発想を持っていないから、逆にチャンスなんです。情報過多な社会だからこそ、情報に惑わされている人達をかきわけて新しいものを発見してほしいですね。

—大変勉強になりました。本日は、どうもありがとうございました。

文 献

吉野 彰, “リチウムイオン電池物語—日本の技術が世界でブレイク”, シーエムシー出版 (2004).

(インタビュアー: 編集委員 梅田隼史・桑原彰秀)