

## 研究室訪問記 2019 年度 矢崎学術賞 奨励賞

訪問日 2020 年 10 月 26 日

京都大学 大学院工学研究科物質科学エネルギー専攻 坂本 良太 准教授

研究題名：エレクトロニクス・スピントロニクスへ応用可能な「ボトムアップ型」金属錯体ナノシート

リモートインタビュー(図 1 )にて、学術賞受賞テーマの特長や研究に対する考え方などをお伺いしました。

### まず、「金属錯体ナノシート」について教えてください

私の研究している「ナノシート」はポリマー（高分子材料）ですが、ポリエチレンやテフロンなどの一般的な高分子とは違い、究極的には 1nm 以下の厚さの非常に薄いナノ素材です。その中で「金属錯体ナノシート」というのは、金属イオンと有機配位子が配位結合することを利用して六角形の骨格を紡ぎ合い「ナノシート」を形成したものになります。

合成法として、液液界面法と気液界面法の二つを開発しました。液液界面法は、有機配位子と金属イオンをそれぞれ油と水に溶かして、溶液を二層に重ねるとその界面で両者が反応し「ナノシート」の形成が進行します。この方法ではナノシートの「積層膜」が形成されます。一方、気液界面法(研究紹介文図 1 参照)では金属イオンを溶かした水溶液に有機配位子を溶解したジクロロメタン溶液を微量滴下します。ジクロロメタンはすぐに蒸散して気液界面で反応が進行するので、究極的に薄い「単層膜」が得られます。厚さとしては僅か 1.2nm、一方横のサイズは少なくとも 10 $\mu$ m 以上あり、厚さに対する横のサイズ、いわゆるアスペクト比が非常に大きい膜を作ることができます。

有機モノマーと金属イオンが原料なので、これらを変更することで様々な構造の「ナノシート」を作ることが可能です。物性の一例ですが、「ジチオレンナノシート」(研究紹介文図 1 参照)は 160S/cm という非常に高い導電性を示しました。「テルピリジンナノシート」は電圧変化によって色が変わるナノシートで、調光ガラスや電子ペーパーなどへの応用が期待されます。

### 助成研究以降で研究の方向性は変わっていますか

「金属錯体ナノシート」に関しては、配位子(有機分子)をチューニングして機能を様々に変化させる研究は継続しています。大きく変わったのは「グラフィジン」の研究をスタートしたことです。「グラフィジン」はグラフェンの親戚の様な物質で、炭素-炭素の結合だけでできたナノシートです(図 2 右)。炭素-炭素結合のナノシートの形成は基礎科学的・技術的に非常に難しい一方、応用的にも様々な可能性が考えられるためチャレンジしています。

「ヘキサエチルベンゼン(HEB)」(図 2 左)を原料モノマーにして、これまで研究してきた気液界面合成法を用いることで「グラフィジンナノシート」の合成に成功しています。7~9 層の積層膜で厚さとしては 3 nm、横のサイズとしては 1.5 $\mu$ m で、アスペクト比が非常に大きいものができています。更に、グラフィジンの積層構造はこれまで未解明でしたが、ABC の積層構造(図 3 )だということを明らかにできました。この ABC 積層グラフィジンに関して、物理分野の先生（大阪大学越野教授）との共同研究

で、トポロジカル物性の発現の可能性を見出しました。

また、「HEB」のベンゼン環コアを拡張し窒素原子を導入した原料モノマーから生成した「グラフィジン類縁体」が水素を発生させる反応の触媒能が高いということも見出しています。

### 「金属錯体ナノシート」に比べ「グラフィジン」の形成が難しいのはなぜですか

「ナノシート」を形成するには六角形の構造が連続して広がって生成することが必要ですが、反応においては七角形や五角形の構造できてしまうことがあります。「金属錯体ナノシート」の金属と配位子の結合(配位結合)は可逆的でくっ付いたり離れたりができるので、一旦七角形や五角形ができてしまっても六角形に戻ることが可能です。一方、「グラフィジン」の炭素-炭素の結合(共有結合)は不可逆なので一度間違っ出てきてしまうとそこで構造のエラーが固定されて欠陥になってしまいます。

これが本質的な難しさですが、困難だからこそそれを打ち破りたい、更に応用的なメリットも高い、ということがこの研究のモチベーションです。

### 「困難だからこそ」は研究への取組み姿勢だと思いますが、研究に対する考え方をお聞かせ下さい

理学部出身だからというわけではないのですが、基本的には「基礎研究をやる」ということが研究のスタンスです。昔は企業にも基礎研究所がかなりあったのですが、最近は大いぶ少なくなってきましたので、やはり基礎研究は大学の役割だ、ということでもあります。基礎研究は簡単に言えば0から1を生み出す、ということですが、科学が発展してきた現在においては全くの0から1というのはほぼあり得ないでしょう。ですから、「できるだけ0に近い」ところから1でなくてもいいので「1に近づく」、そういった研究をやっていきいたいというのが研究に対する想いです。

また、「化学」の分野、特にその基礎研究領域は大いぶ飽和してきている、と感じるところがあります。もちろん応用としては、電池やセンサなどまだまだやることはあるのですが、基礎研究としては大いぶ飽和してきている、ということです。ですから、これからは分野横断の研究や境界領域の研究への取り組みが重要だと言えます。先ほどの例ですと、物理分野の先生と理論計算で共同研究を行い「化学」だけでは到達できない新しい知見を生み出す、こういった取り組みを上述のグラフィジンの研究行っていますが、今後更に強化していきたいと考えています。

### 若い頃から考えが変わってきたのでしょうか

昔はただ単純に実験して楽しい、などと思っていたんですが、その辺の考え方は変わってきました。30年程前であればただ純粋な興味で研究していれば基礎研究的には何とかあったのかと思いますが、今は一つのことをやり続けていけば良いというわけではなく、時代としても基礎研究のあり方が変わってきていると感じます。ただ単に論文にすればよい、と考えていた時期もありましたが、それが基礎研究としてすら、必ずしも本質的に意味があることではないと考えを改めました。

### 基礎研究で本質的な価値(0から1へ)を生み出すのに重要なことは何でしょうか

研究者としてはチャレンジングであること、失敗を恐れないこと、が重要だと思います。また、アカデミアが

エンカレッジするのが大事で、ことさら基礎研究においては、新規性・萌芽性・分野横断性の高い研究に資金を充てることをより明確に打ち出していないと、これからの日本の学術研究は一層厳しくなってくるのではないかと感じています。

## 後記

「応用的には必ずしも強みにはならない」「昔考えていたことは今思うと間違っていた」などなど、坂本先生はとてもフランクに(ここには書けないことも含めて)何でも本音で話してください、とても楽しいインタビューになりました。研究内容だけでなく、これからの「基礎研究のあり方」の追及はとても興味深く聴かせていただきました。

素人目にも幾何学的な美しさに魅かれる「ナノシート」。今後更に「基礎研究としての本質的価値」を創出していくことと期待しています。

(矢崎財団技術参与 池田実)



図1 坂本先生

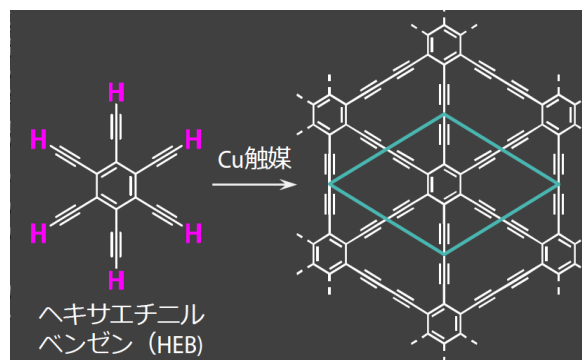


図2 HEBとグラフィジン

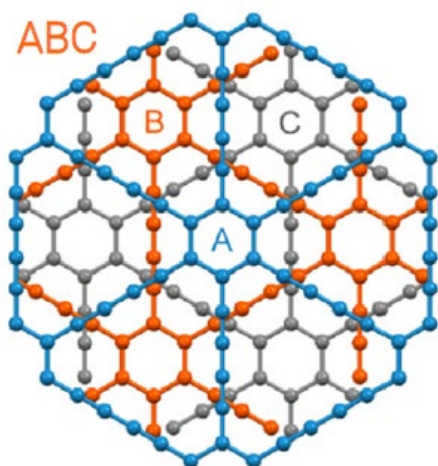


図3 グラフィジンの積層構造