

文部科学省科学研究費補助金「新学術領域研究(研究領域提案型)
 π 造形科学: 電子と構造のダイナミズム制御による新機能創出領域略称名「 π 造形」
 領域番号2601(平成26~30年度)



π 造形科学 NEWS Vol. 15

π 電子化合物 + α から生まれる機能

村岡 貴博 博士(東京工業大学)



村岡 貴博 博士

——現在の研究テーマを教えて下さい。

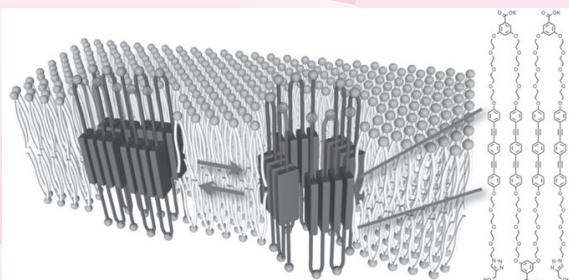
村岡 硬軟や親水/疎水のように、相反する性質のユニットを交互に並べたマルチブロック構造に興味を持っています。クモの糸やエラスチンなど、自然界にも多く見られます。膜受容体なども、疎水部分が膜に埋まり、親水部分が外部に露出することで、あの構造ができています。これを、人工分子で再現できなかいか考えました。

——具体的には?

村岡 疎水性で硬い構造と、柔らかくて親水性のPEGを交互につないだ構造を合成しました。これはリン脂質膜内で、想定した通りジグザグに折りたたまれて、自然に受容体に似た構造をとることがわかりました。

——機能面ではどうですか?

村岡 電圧をかけることでカリウムが透過する、イオンチャネルとしての機能を持ちます。解析の結果、4分子が集まって菱型の孔を作り、カリウムイオンを通過させることができました。



T. Muraoka, et al. JACS 2012, Chem. Commun. 2011 (Hot Article)

——自己組織化で人工イオンチャネルができるのですね。

村岡 ただし、人工イオンチャネルの例はいくつかあります。自然界のイオンチャネルは、あるリガンドが結合するとチャネルが開くという機能を持ちますので、この再現に挑みました。

——リガンドでチャネルが塞がれるならわかりますが、開くのは難しそうです。

村岡 はい。我々は、アドレナリンなど、生体でもよく見られる骨格フェニルアミンをリガンドとして選びました。

——マルチブロック分子側はどのような戦略で?

村岡 フェニルアミンとの静電相互作用及び π スタッキングを期待して、フェニルリン酸部分を組み込みました。また、膜内でターンできるよう、鎖の途中に柔らかいアルキル鎖部分をはさんでいます。ここにフェニルアミンを添加したところ、期待通り合計6分子が集まってチャネルを形成しました。この状態ではイオンを透過させますが、フェニルアミンを除くとイオンが通らなくなります (J. Am. Chem. Soc., 136, 15584 (2014).)。

——見事な設計ですね。天然のイオンチャネルに比べるとどうですか?

村岡 効率などはまだ改善の余地がありますが、天然では1500 kDaもの分子量であるのに対し、我々はわずか3 kDaという簡素な分子でチャネル機能を実現した点では満足しています。

——その他のテーマは?

村岡 実は副生成物から見つかった、面白い現象があります。やはり硬い部分と柔らかいPEG鎖を持った大環状分子の針結晶が、加熱によって大きく動くことを見つけました。



(T. Muraoka, et al. ACIE 2014, 53, 7173.)

——結晶が動くのですか?

村岡 はい。分子内のPEG鎖がコンホメーション変化を起こし、結晶が曲がるように動きます。光で動く結晶は知られていますが、熱でこのように巨視的な変化を示すものは例がないようです。ここに付加価値を持つユニットを組み込むなど、展開を考えているところです。

——これは面白い応用がありそうですね。期待しています。

本領域では、領域外の博士課程学生や若手研究者向けのインターンシップとして
 π 造形スクールを開校します。詳しくは、本領域ウェブサイトをご覧下さい。
<http://pi-figuration.jp>

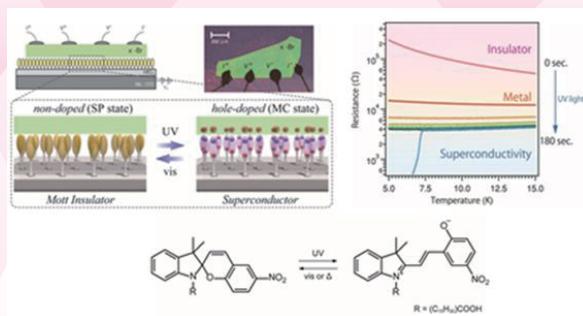
強相関電子を操る 須田 理行 博士(分子科学研究所)



須田 理行 博士

——最近のトピックについて教えて下さい。

須田 スピロピランを用いた光駆動型トランジスタがあります。スピロピランは通常は非極性の分子ですが、紫外線を照射することで双性イオンとなり、巨大な双極子を持ちます。この分子を基板上に規則的に並べ、この電気二重層の上に有機強相関物質を貼り付けたものです。これにより、これまで出来なかった光による超伝導のオン・オフを実現しました。



——もう一つ、「歪み制御型電界効果トランジスタ」の原理について、解説いただけますでしょうか？

須田 柔らかい有機物質はそれ自体でデバイス化することは困難ですので、基板への固定化が必須です。しかし、有機物と基板材料では熱膨張率が異なり、温度変化に伴い歪み(圧力)がかかるため、単体の時とは全く異なる物性を示します。これを逆手にとって有機物質にあえて歪みをかけることで、超伝導転移が可能なトランジスタを実現しました。

——今後の方向性についてどう考えておられますか？

須田 歪みによる物性の制御という概念は、既存のSiエレクトロニクスにも使われている現実的な手法です。より柔軟な有機物を使えば、歪み効果をより効果的に使えるでしょう。強相関物質を用いるこの手法をさまざまな物質に適用することで、現実的なデバイス応用も可能であると考えています。そのためにも、 π 造形内での合成化学者との連携を楽しみにしています。



——強相関電子系といふものは、研究者の立場からはやはり魅力的でしょうか？

須田 通常の電子系においては電子が独立した存在として扱われていたのに対して、強相関電子系では電子が集団的に相互作用して運動します。デバイス開発の視点から見ると、わずかな数の電子を外部から刺激することで、集団的な電子の運動を誘起することができるので、大変魅力的です。我々のデバイスにおいて、電界効果や光照射という小さな入力で、超伝導転移という集団的な出力を得られているのは、強相関電子系ならではです。

—— π 造形領域で行ってみたいこと、すでに動いている共同研究などありますでしょうか？

須田 光駆動型トランジスタに関しては、既に櫻井グループとの共同研究を進めていて、より多機能なトランジスタの開発を進めていますし、竹延グループとは歪み制御型トランジスタに関する共同研究を行う予定です。歪み制御型トランジスタ、光駆動型電気二重層トランジスタはいずれも、超伝導を始めとして分子単体では発揮することのできない潜在的な機能を引き出すためのツールだと思っていますので、領域内で開発された分子から予想もつかない機能を発見することが出来ればと思っています。

もっと詳しく→ <http://pi-figuration.jp>