



π造形科学 NEWS Vol. 23

身の回りの廃熱をエネルギー源に

中村雅一 博士(奈良先端大学)



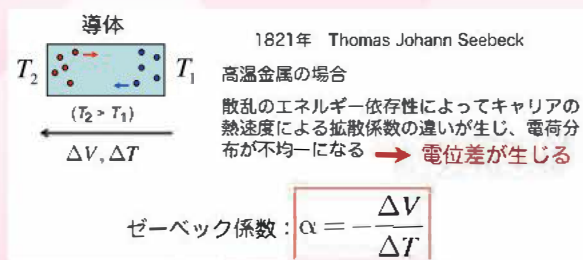
中村雅一 博士

——フレキシブル熱電変換素子の研究を行なっているとのことですが、その重要性についてお聞かせ下さい。

中村 近年よく言われる「モノのインターネット(IoT)」の進展のためには、身の回りの何千何万というセンサ回路が、電源を自給自足する必要があります。このため、体温などの熱を電気に変換する、薄型フレキシブルな発電素子が重要になると考えています。しかし、それに適した材料はこれまでありませんでした。

——そうした材料に求められる条件とは？

中村 単に柔軟で薄型、低コストであるだけでなく、熱伝導率が低いこと、ゼーベック係数(温度差に対する熱起電力の係数)が大きい素子が作れることが必要と考えています。そうした中で、我々が世界で初めて見出した有機半導体材料に現れる「巨大ゼーベック効果」が有望ではないかと期待しています。



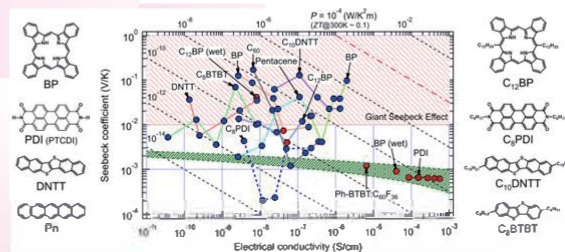
——どのようなものですか？

中村 0.1 V/Kを超える巨大なゼーベック係数が定常的に現れる現象です(H. Kojima et al., *Appl. Phys. Express* 8, 121301, 2015)。いくつかの高純度有機半導体材料で普遍的に起きることを確認しています。これは現在の教科書に載っている熱電理論では説明できません。実験・理論物理・理論化学の3面から、理解と制御法の確立に向けて研究を進めています。

——どの程度、解明が進んでいるのでしょうか？

中村 巨大ゼーベック効果の物理的起源については、まだ論文に書ける段階には至っていません。ただし、π造形メンバー

の協力を得て、いくつかの仮説のもとに研究を進め、分子間の距離や温度など、重要な因子がだいぶ絞りこまれてきています。1年以内に、ある程度の説明をつけたいと考えています。



多くの有機半導体材料で巨大ゼーベック効果が観測される

——有機材料でのみ起こることなのでしょうか？

中村 無機材料では起こり得ないか、極めて希な現象と見られます。有機材料における分子設計が特徴的な物性に影響を及ぼす例として、有機エレクトロニクスの特色を最もよく表した応用の一つとなるのでは、と考えています。

——実用化されると、画期的な材料になりそうですね。

中村 多数の素子を直列につなぐ必要のない、一見すると布や壁紙のような革新的熱電変換素子になると期待しています。ただ実用化のためには、今より1000倍程度導電率が高い状態で巨大ゼーベック効果を発現する材料が必要です。また、不純物に強い巨大ゼーベック材料の探索や、使用環境の温度域に合わせた材料設計が行えるようにする必要もあります。先は長いですね。

——先例のない研究で、大変な部分も多いのでは？

中村 巨大ゼーベック効果は、前例がないほど高抵抗な試料までゼーベック係数が測定できる装置を我々が自作することで発見されました。実験が難しかったために他のグループがなかなか追隨して来ませんが、研究の発展には同じ課題に取り組むライバルは必須です。ある程度物理的機構を解明したら、世界中にどんだんPRして仲間(ライバル)を増やしていきたいと思っています。

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ください。
<http://pi-figuration.jp>

研究ハイライト

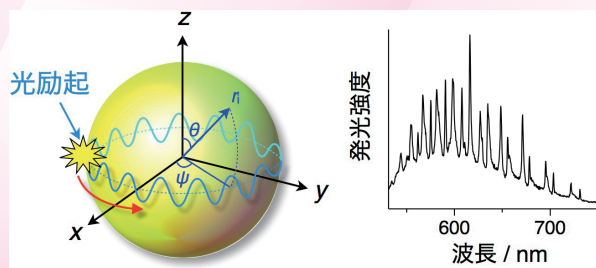
共役ポリマーブレンドを共振器に 山本洋平 博士(筑波大学)



山本研究室のみなさん

本領域の山本洋平博士(筑波大学)の研究グループでは、 π 共役ポリマーを用いた有機フォトニクス材料の開発に取り組んでいます。そうした中で、ある種の π 共役ポリマーが自己組織化によって直径数 μm 程度の形状の整った球体を自然に形成し、優れた光共振器として働くことが見出されました。

これは、「ささやきの回廊」(Whispering Gallery Mode, WGM)と呼ばれる現象によるものであることが解明されています。WGMとは、大聖堂など円形の建物内で、円形の壁に沿って声が伝播し、反対側にいる人にもささやき声をはっきり聞こえる現象を指します。これと同様に、 π 共役ポリマーから成る球体にレーザー光を照射すると、発生した光が球体内で屈折を繰り返し、位相が揃って強め合うことで、鋭い発光ピークとなって表れるのです。このことは、本連載第14回で紹介しました。



「ささやきの回廊」現象の概念図とWGM発光スペクトル

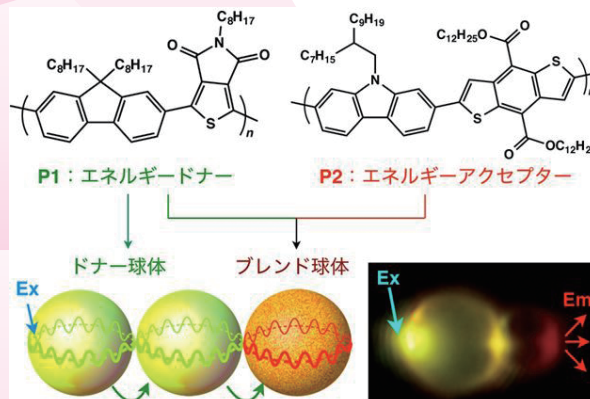
このほど山本博士らは、これをさらに一歩進め、励起エネルギー移動が100%近い効率で起こるポリマーブレンド球体の作製に成功しました。(ACS Nano 2016, 10, 5543)。

光照射によるエネルギー移動を効率的に起こすためには、エネルギーの供与体と受容体を、10nm以下の距離に配置する必要があります。しかし、構造の異なるポリマー同士を混ぜ合わせると相分離を起こしてしまい、均一に混じり合いにくいことが常識となっています。そこで、エネルギー供与体となるポリマー(フルオレン誘導体とチオフェン誘導体の交互共重合体)と、受容

体として働くポリマー(カルバゾール誘導体とベンゾジチオフェン誘導体の交互共重合体)を、均一にブレンドする手法が必要になります。

山本研究室の櫛田創さん(博士課程1年)は、図に示す2種のポリマーをうまくブレンドし、均質な球体を作成することに成功しました。2種のポリマーの析出するタイミングをうまく揃えることが、相分離を防ぐポイントでした。蛍光量子収率や発光スペクトルなどの測定から、この球体内では100%近いエネルギー移動が起きており、共鳴発光波長を自在にチューニングできることがわかっています。

また、エネルギーの伝播は球体内部のみでなく、球体間でも起こることも明らかになりました。接触した2つの球体の一方を励起してみると、もう一方からも発光が見られるのです。最高で、連結した5つの球体の間でエネルギーがWGMを介して伝播し、さらに波長変換が起きることが観察されています。



こうした、複数のポリマーの混合による集合体を形成する手法は、今後の光エレクトロニクスやフォトニクスの展開に、新たな戦略を提供するものです。 π 電子化合物の巧みな配置により、新たな機能を創出した本研究は、 π 造形という領域の理念がよく表現された成果といえます。

もっと詳しく→ <http://pi-figuration.jp>