

高分子合成で 有機太陽電池材料を創製

有機エレクトロニクス分野の先進的な研究で知られる山形大学。
東原知哉さんはそこで有機太陽電池の材料開発に挑み成果をあげている。

山形大学

大学院有機材料システム研究科
有機材料システム専攻 教授

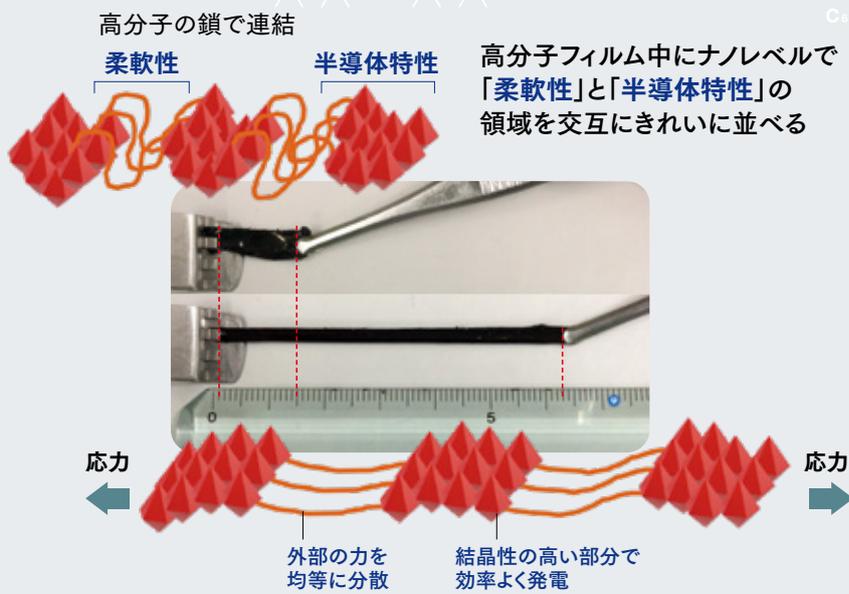
東原知哉

ひがしはら・ともや 1977年、香川県生まれ。東京工業大学工学部高分子工学科卒業。同大学院理工学研究科有機・高分子物質専攻博士課程修了。博士(工学)。日本学術振興会特別研究員、米マサチューセッツ州立大学ローウェル校博士研究員、東京工業大学大学院理工学研究科助教、科学技術振興機構(JST)さきがけ研究員、山形大学大学院准教授などを経て2019年より現職。2022年4月より山形大学学長補佐/有機エレクトロニクス研究センター・センター長も兼務。もともとの趣味は海外の大学巡りとカラオケだったが新型コロナのために今はできず、最近は「棚田めぐりにはまっている」という。
[第33・38回松籟科学技術振興財団研究助成 受賞]

有機エレクトロニクスに 特化したセンターで

——先生がセンター長を務めておられる山形大学有機エレクトロニクス研究センターとはどういうところですか。

2011年に本学が開設した有機エレクトロニクス分野の研究をする世界拠点の一つです。国内外の研究者がここに集結し、有機EL、有機太陽電池、有機トランジスタなどの分野で世界最先端の研究に取り組んでいます。有機エレクトロニクスに特化した材料合成設備やクリーンルーム・デバイス作製設備、有機材料およびデバイスの評価・解析設備などをそろえ、山形大学有機材料システムフロンティアセンターや有機エレクトロニクスイノベーションセンターなども連携しています。有機エレクトロニクスに特化したこのような研究施設は世界的にも珍しいと思います。



相反する機能の役割分担をしやすくなると期待されている
実物フィルムを使った伸び縮みする高分子の様子

——先生自身はどういう研究をされているのですか。

専門は高分子合成で、ポリマーを合成し、有機太陽電池などの有機エレクトロニクスの材料に応用する研究をしています。有機太陽電池パネル自体を開発する研究などと比較すれば、より川上に位置する研究といえます。環境に与える負荷の低いクリーンなエネルギーに使う材料を、有機物でつくる研究です。

——高分子合成についてももう少し詳しくご説明ください。

高分子は学問として扱いにくいといわれています。例えば低分子の酸素は32というように分子量が一定です。ところが合成した高分子は分子量が不規則で、大きさもまちまちです。なので、分子の大きさがそろうように制御しなが

ら高分子をきれいにつくるのは難しいのです。ノーベル化学賞を受賞された白川英樹先生は導電性高分子の飛躍的発展に貢献されましたが、私たちはそれをさらに1歩進めて、高分子で新しい半導体材料をつくらうとしています。導電性と不導電性、両方の性質を持つような高分子材料です。分子量をコントロールできる新しい重合法を開発し、触媒・温度・濃度・時間などの重合条件を最適化していきます。こうして、狙ったとおりの物性値を出すような半導体高分子をつくりたいと考えています。とはいえ、狙いどおりにいかないのが研究の常ですが……。

フレキシブル化への挑戦

——今の目標は？

いくつかありますが、10年くらい前から取り組んできたテーマの一つでもある、有機太陽電池に関する研究です。光が当たるとプラスの電気になるp型と、マイナスの電気になるn型の2種類の半導体高分子を混合してつくろうとしています。このとき、混合の仕方を適切に制御することで、エネルギー変換効率を最適化することができます。

——資料には、フレキシブル化とストレッチャブル化がポイントだとあります。

最近の医療工学や健康診断の技術分野では、皮膚に貼り付けたり、体内に埋め込んだりして稼働する生体センサーやウェアラブル端末が注目されています。この素材分子のフレキシブル化とストレッチャブル化が期待されています。例えばペースメーカーは従来、手術によって体内に埋め込んでいましたが、薄いフィルム状にして、胸に貼り付けて使うものが登場すれば、患者さんの身体的な負担は大きく軽減されるでしょう。ただ、皮膚に貼るものや体内に埋め込むデバイスを駆動するにはエネルギーが必要になります。重いバッテリーは患者さんの負担になりますので、電池も軽量・フィルム化していく必要があるわけです。

——そのためにフレキシブル化やストレッチャブル化が必要だということですね。

私たちが特に注目しているのは、半導体高分子をいかに柔らかくするかということです。今主流になっているシリコン太陽電池は、エネルギーの変換効率の面では利点があるのですが、割れやすいという問題を抱えています。さらに、製造過程でシリコンの純度を上げるために高温を必要とし、電気を多く使うことも問題といえます。その点、有機物なら低温プロセスで製造可能ですし、しかも印刷で

つくることもできるため、コストが下がるメリットもあります。ただし、半導体高分子を柔らかくすることは簡単ではありません。変換効率を上げるためには、分子がきれいに並んだ結晶質にする必要があります。電気は結晶化した部分のほうが流れやすくなるからです。しかし、柔らかくするためには結晶質ではなく、分子の配列が乱れたような構造にすることが必要です。

10%の差を埋めるためには……

——非晶質ということですか。

そうです、非晶質です。でもこれはトレードオフの関係になっています。変換効率を上げようとすると硬いほうがよく、柔らかくすると変換効率は下がります。皮膚上で稼働する太陽電池をつくらうとすれば、最低限10~20%の伸び縮みを許容する材料でないと難しいでしょう。この二律背反をいかに解決するかが私たちの命題であり、課題でもあります。

——解決する方法はあるのですか。

いくつかあると思っています。今注力しているのは、結晶質の硬い部分と非晶質の柔らかい部分が

ナノレベルオーダーできちんと棲み分けしながら両方を入れた構造にする技術です。硬い部分に電気が流れ、柔らかい部分で伸び縮みを行う。高分子合成の制御技術を駆使することで、相反する機能を発現できるのではないかと検討しています。2020年、松籟財団に助成金をいただいた「ブロックチェーン精密制御による半導体高分子材料の系統合成と弾性付与」という研究がまさにこれです。

——目指すゴールから見たとき、今はどのあたりまで進んでいるのでしょうか。

まだ道半ばというところです。無機の半導体に比べると、半導体高分子はエネルギー変換効率で10%ほどの開きがあります。

——その10%を埋めるにはブレークスルーが必要ですか。

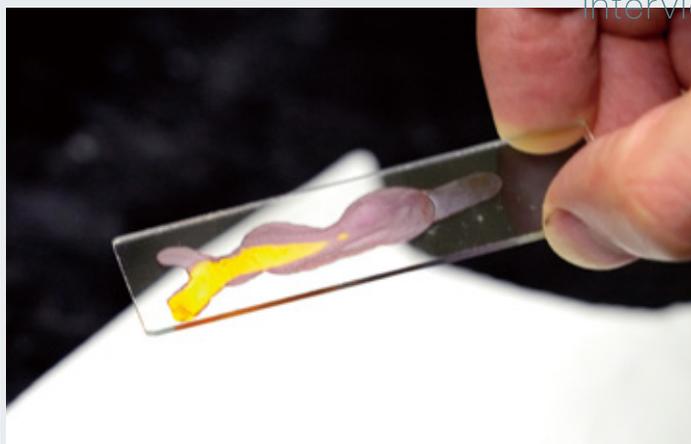
そうですね。効率を上げるために材料設計の抜本的な見直しが必要です。太陽電池のブレークスルーだけでなくトランジスタ材料の革新も重要です。今は有機物トランジスタも印刷プロセスでフィルム化できるようになっていて、それを体内や皮膚上で稼働させられるようにできないかと考えています。しかし、そこは私たちだけでは難しく、バイオに詳しい方と組



東京教授（後列中央）と研究室の皆さん ※写真撮影時のみマスクを外しました



半導体高分子の合成。窒素気流下で原料（モノマー）に遷移金属触媒を加えて制御しながら重合している。



半導体高分子でできたフィルムの作製。ガラス基板上に塗布した高分子溶液から溶媒が揮発していくと、紫色のフィルムが形成される。

んで研究を進める必要があります。

論文被引用数で トップ10%入り

——研究費の面でご苦労はありませんか。

毎日しています（笑）。今は、大学に交付される国の予算が下げ止まった感じもありますが、この10年くらいは毎年1%くらいずつ減らされてきました。その結果、若手の登用が減り、教員の高齢化が進みました。そうすると学内業務にこれまで以上に時間を割きつつ研究に必要な資金を自分たちで確保していかないといけません。ただ幸い、共同研究のパートナー企業や松籟財団などの支援が非常に力になっています。私も助成をお願いするための申請書を毎日のように書いていた時期がありました。

——研究者の方にはそれが負担になると聞いたこともあります。

私は申請書を書くことで自分の考え方が整理でき、アイデアやモチベーションにつながると感じています。

——先生は松籟財団の助成を2回受けておられますが、これはかなり珍しいケースのようです。

ありがたいことです。助成をいただいた有機太陽電池の論文は、被引用数でトップ10%に入りました。私自身のモチベーションと

プロモーションの両方につながりましたよ。

——論文数が同世代の研究者の中で突出して多いと評価されているそうですね。これまで書かれた論文はどれくらいになりますか。

論文数よりも被引用数のほうが重要と思いますが、現時点（2022年6月）で原著論文が220報ほどです。これは自分一人では無理なことで、共同研究者の多大な協力や学生が一所懸命やってくれているおかげです。

ジャーナルに残る仕事を

——学生のモチベーションを高める方法はありますか。

自分自身が楽しんで研究していないとだめでしょうね。毎週月曜日と火曜日にゼミの学生と集まって、こんなアイデアがあるけどどうだろう、と議論する場を設けています。昨年度からはお昼に意見を交換するランチタイムミーティングも行うようになりました。アイデアを出し合ったり意見交換する時間はとても楽しいですね。面白そうなアイデアは実験して検証しています。その場合、失敗することのほうが多いのですが、その失敗データをきちんと蓄積することを大切にしています。学生は失敗を恐れる傾向にありますが、間違えることはとても大事ですよ。

——失敗も前進ですよ。

おっしゃるとおりです。うまくいかないパターンがわかるわけですから、それは新しい情報、知見です。失敗もプラスだと自分にいい聞かせれば、失敗を第三者的な目で見ることができるようになっていきますし、失敗を恐れなくもなります。

——研究者になってよかったと思うのはどういうときですか。

学生との共著論文が採択されたときですね。建設関係の方がよく「地図に残る仕事」といいますが、あれと似た感覚があります。海外の著名なジャーナルだと、1800年代まで遡って論文を見ることができます。論文は、永遠とはいませんが、私が死んだあとも永く残ります。自分の単著論文だとそれほど感じないのですが、学生との共著論文は、この時代に学生と教員が同じ課題に向き合って試行錯誤して成果を出したエビデンスが残るということで、それはとてもうれしいことです。

——論文は研究の成果であると同時に教育の成果でもあるというわけですね。

ただ、その一方で「論文を出して終わり」では意味がないと思っています。企業共同研究や事業化を通して社会に還元できるところまで結びつく研究成果を出したい、というも目標にしています。