

# より効率よく、より安定した 太陽電池を次世代に

今後10年以内の有機薄膜太陽電池実用化を目指し、  
梅山有和さんは太陽電池の半導体に使う  
独自のアクセプター化合物の生成に挑んでいる。

兵庫県立大学  
大学院工学研究科応用化学専攻 教授

## 梅山有和

うめやま・ともかず 1976年、三重県生まれ。京都大学工学部工業化学科卒業。同大学院工学研究科高分子化学専攻博士課程修了、博士(工学)。同大学院工学研究科分子工学専攻助手、助教、准教授を経て2021年4月より現職。その間の2010年10月から2014年3月までは国立研究開発法人科学技術振興機構さきがけ研究員。趣味はジョギング。2022年には丹後100kmウルトラマラソンを13時間半で完走した。現在は妻子を京都に残して単身赴任中。  
[第25回・第37回 松籟科学技術振興財団研究助成受賞]

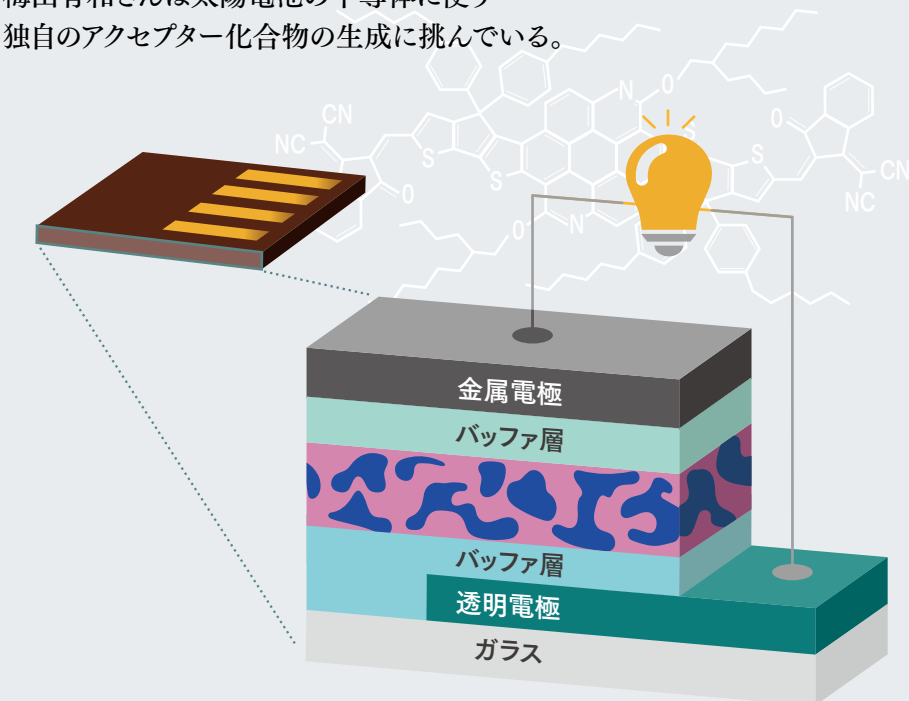
## 太陽電池の半導体に 非フラーレン化合物を採用

—先生の研究室は「エネルギー材料化学研究室」という名称ですが、具体的にはどのような研究をされているのですか。

エネルギー問題を材料化学の力で解決することを大きな目標にしています。研究テーマとしては大きく2つあります。1つは、有機薄膜太陽電池の材料開発。もう1つは、ナノ構造材料開発です。こちらは、グラフェンなどの化合物に有機化学の力で光の機能を持たせるのが目下の目標です。

—光の機能というのは、光ることですか。

それもあります。グラフェンはC(炭素)でできていますが、遷移金属と硫黄でできた化合物にグラフェンに似たものがあり、それに有機化合物を結合させたところ、固体状態でもよく光るものがありました。すでに学会での発表を終えており、今、論文を書いている



ところですよ。

—先生は松籟科学技術振興財団の研究助成を2回受けておられますが、今日は2回目の助成の研究テーマだった有機薄膜太陽電池の材料開発についてお話しいただけますか。

一般的に、太陽電池の半導体の材料にはシリコンが使われています。それを有機物でつくるのが、有機薄膜太陽電池です。有機薄膜太陽電池で使われる有機半導体の中では、電子をもらいたがっている化合物「アクセプター」と、電子をあげたがっている化合物「ドナー」が混ざっています。有機半導体に光が当たると、ドナーからアクセプターのほうに電子が移動します。光エネルギーによって電子の授受が起き、プラスとマイナスができ、電流として流れるわけです。

私たちは、このアクセプターに適した新しい化合物をつくらうとしています。以前は、炭素原子が

球状の構造をしているフラーレンがアクセプターとして主に使われていましたが、最近ではフラーレンではない非フラーレン化合物のほうが高性能ではないかといわれるようになり、世界中で研究が進んでいます。私たちも非フラーレンの化合物開発に取り組んでいます。

## ナノ構造の研究がヒントに

—この研究テーマにはいつ頃から取り組んでこられたのですか。

私は高分子合成で学位を取ったのですが、その後に京都大学の助手になったときには、光有機化学の研究室に入りました。その研究室でちょうど太陽電池の材料について研究が始まったため、私も太陽電池に使うポリマーの合成研究を始めました。2007年頃のことです。当時も今もドナー化合物にはポリマーが広く使われており、面白いポリマーもいくつかつくる

ことができましたが、一方でフラーレン誘導体の研究も行っていました。

—非フラーレン化合物といっても非常に幅が広いと思われます。先生が扱っているのはどのような化合物なのでしょう。

確かに幅は広いのですが、太陽電池の材料として高い変換効率が得られるものはある程度、構造のパターンが決まっているのです。強く電子をもらいたがるアクセプターのユニットがあり、その真ん中に電子をあげたがるドナー性のユニットを持ってきて挟むという構造です。

7~8年前からそうした構造が注目を集めていて、私もその分子設計を参考にしながら、自分の特徴を出すような分子がつかれないか研究をしています。

—「先生の特徴」とはどんな特徴なのでしょう。

非フラーレンのアクセプターに、有機合成でできるナノグラフェンのような構造を組み込むところが1つの特徴です。これはナノ構造材料の研究から発想を得たものでした。

## 励起状態の寿命を55倍に

—ナノ構造材料の研究もされていることが功を奏したわけですね。それ

を組み込むことによってどのようなメリットが得られるのでしょうか。

有機薄膜太陽電池の弱点の1つに、エネルギーが高い励起状態になってもすぐに基底状態に戻ってしまうということがあります。励起状態にあるアクセプターがドナーと出会うことで電荷分離が起き、電子が移動するのですが、励起状態の寿命が短いと出合わずに失活してしまいます。励起状態の寿命を長くすれば、アクセプターがドナー分子と出会う確率が高くなり、電荷分離が起きやすくなります。私たちの開発した化合物は、一般的によく使われているものと比べると励起状態の寿命が55倍くらいあります。

—それはすごいですね。

今はその材料をさらに改良しようとしています。ただ、この化合物でなぜ励起状態の寿命が長くなるのか、そのメカニズムはまだよくわかっていません。励起状態が失活してしまう原因の1つは、分子が動いて熱としてエネルギーを放出してしまうことにあります。それがナノグラフェンの構造を持たせることで、分子の動きを抑制するような効果があるのではないかと推測しています。今、京都大学の理論化学の先生や膜構造に詳しい先生方と共同研究しながら、その解明にも取り組んでいます。

—励起状態の寿命が長いということは、変換効率の向上につながるのでしょうか。

効率の向上にも、安定性の向上にもつながります。有機薄膜太陽電池の変換効率は現状で世界最高が17~18%くらいで、私たちの化合物は14%くらいです。もちろんこれはラポレベルでの話ですが、この研究を始めたときは1%以下でしたから、大きな進歩だと考えています。

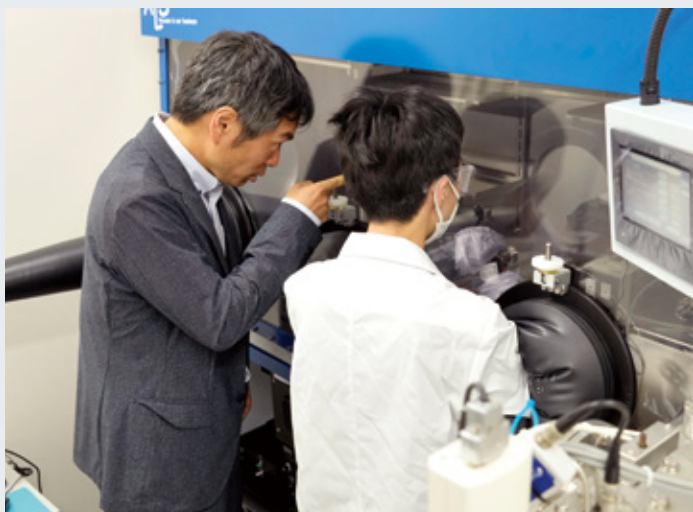
## 実用化のメドは「10年後」

—これまでで一番ご苦労されたのはどのような点ですか。

太陽電池では、光から電力への変換効率が重要な要素になります。ところが、同じ材料で同じようにつくっても、学生によって変換効率が大きく違うことがしばしばあります。試薬を垂らすタイミングとか、そういうところで違ってくるのです。そこは苦労というか、悩ましいところですね。実用化するには、安定して高い変換効率を出す必要がありますから。

—実用化を目指すのであれば、変換効率はやはり高くないといけないのですか。

そうですね。それに加え、つくりやすさも重要です。現在、変換効率の高い材料としては、10ナ



不活性ガスで満たされたグローブボックス中で薄膜作製を行う梅山教授と学生



合成した有機物半導体の精製を行う学生

ノメートルレベルでドナーとアクセプターが複雑に入り組んだ複合膜がいいとされています。しかし、これを再現性よくつくるのは難しいです。実用化するためには、簡単につくることができ、歩留まりのいい材料である必要があります。その中で、変換効率が極めて高いというほどではなくても、長持ちして使いやすいものができると思っています。そういう点で、励起状態の寿命が長い材料は可能性がります。

—つくりやすさはコストにも関わってきますよね。

そのとおりで、何段階もの有機合成を繰り返してつくる材料だと、製造コストがかさんでしまいます。これからはシンプルにつくって長持ちするような材料が、より求められるようになっていくでしょう。

—そういう材料が開発され、有機薄膜太陽電池が実用化されて量産化されるとしたら、いつ頃になりそうですか。

10年後くらいではないでしょうか。もし10年でできなければ、難しくなるかもしれません。同じ薄膜系の太陽電池の材料として、日本でも研究が進んでいるペロブスカイトがあります。ペロブスカイトは塗布や印刷技術で量産できるため低コスト化が期待でき、薄くて軽い形状もフレキシブルにできます。これを上回るメリットを出せるかどうか、キーになるでしょう。ペロブスカイトは鉛を使うという課題と、水に弱いという弱点があります。もしペロブスカイトがそうした課題を克服できたら、有機薄膜系は不要ということになってしまう可能性もあります。

## 人と研究は互いに育て合う

—有機薄膜太陽電池が実用化されたら、世の中はどう変わりますか。



梅山教授（前列中央）と研究室の皆さん

光さえあれば発電できますし、透明性を持たせることもできるので、窓ガラスに貼って使うことも可能です。つまり、いろいろところで電源を取ることができるようになるわけです。微弱な光で発電する場合は現在使われているシリコンより効率がいいですし、それが新しいテクノロジーの開発につながることも期待できます。

—2021年にこちらの大学の教授に就任されて研究室を立ち上げられましたが、そのときは大変でしたか。

「エネルギー材料化学研究室」は私が着任してできた研究室です。つまり、前任の先生の研究室を引き継いだわけではありません。着任したときにあったのは、私のデスクだけ。周りの先生方のご厚意で実験台や事務用のデスクなどをいくつか譲っていただきましたが、研究に必要なものはピーカー1つから買いそろえる必要がありました。新しい研究室を立ち上げるにはこんなにお金が必要なのかと驚きました。

—こちらの大学の印象は？

他専攻ですが、本学にはもともと親しくしている先生がいて、その方がとてもアクティブなので大学にもいいイメージを持っていま

した。現在私が在籍している専攻にもアクティブな先生がたくさん在籍されていて、とてもいい研究環境だと感じています。学生に関しては、素直な学生が多い印象です。素直なことはもちろんいいことですが、研究に関してはもう少しとがってもらってもいいかなと思います。私自身、結構生意気なところがある学生だったと思いますし（笑）。

—財団や企業による研究助成についてはどう思われますか。

これはもう、ありがたいの一言に尽きます。感謝の気持ちしかありません。

—最後に今後の目標についてお聞かせください。

1つでも社会の役に立つような材料をつくることですね。それと大学は教育機関でもありますから、うちを出た学生は企業でもしっかり活躍してくれるという評判を得られるような研究室をつくりたいと思っています。人が育っていれば、研究も育ちます。そして、しっかりとした研究をしていれば、人が育ちます。そういう相乗効果があると思います。研究も教育も、つねにそのことを意識して取り組みたいと考えています。