

触媒反応促進機構の 解明に挑む

マイクロ波は、さまざまな触媒反応を加速させる作用を持つ。
その研究に20年取り組んできた椿俊太郎さんは、
“マイクロ波のプロ”を自認する。

九州大学大学院
農学研究院生命機能科学部門
九州大学カーボンニュートラル・エネルギー
国際研究所（兼任）准教授

椿 俊太郎

つばき・しゅんたろう 1981年、東京都生まれ。
京都大学農学部森林科学科卒。同大学院農学
研究科地域環境科学専攻博士後期課程修了。博
士（農学）。高知大学特任助教、東京工業大学
助教、JST さきがけ研究者、大阪大学特任講師
などを経て2022年4月より現職。2024年7月に九
州大学伊都キャンパスで行われたマイクロ波の
国際会議（5GCMEA 2024）では、そのオーガ
ナイズを担った。

[第38回 松籟科学技術振興財団研究助成受賞]

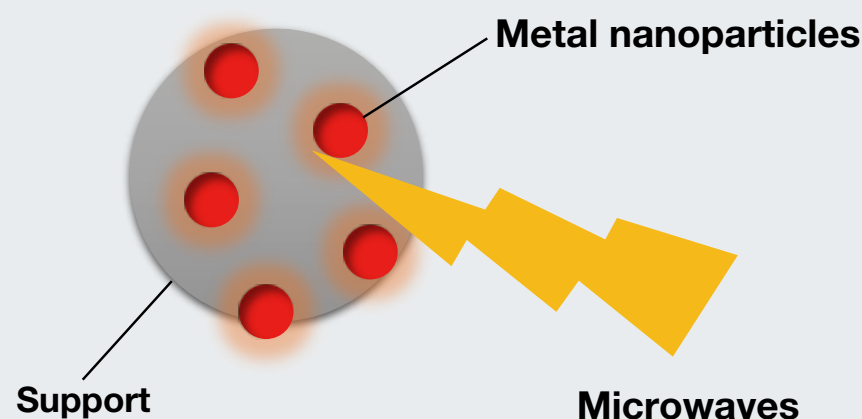
高まるマイクロ波への注目

—先生はいつ頃からマイクロ波に着
目するようになったのですか。

学部生のときは体育会のアメフト部にいたので、研究の「け」の字もしていませんでした。大学院の修士課程に進学し、生化学の研究室に入ったところ、指導教官から「君は体力がありそうだから、マイクロ波をやりなさい」といわれて、それからです。しっかりプロセスを設計すると思っていた結果が出るようになり、マイクロ波研究の面白さに取り憑かれました。それから、気づいたら20年が経っていました。

—今、マイクロ波に対する注目が高まっていると聞きました。なぜなのでしょう。

いくつか理由があります。例えば、従来の化学プロセスでは、重



油などの化石燃料を大量に使って
燃焼させていました。その結果、
CO₂を大量に排出し、大気を汚染
するなどの問題が生じています。
このような状況に対処するため、
再生エネルギーを化学プロセスに
使うケースが増えており、風力発
電などが盛んに行われている欧州
では余剰電力が生まれるようなケ
ースが出てきています。日本でも
九州は太陽光発電が多いため、
発電抑制が行われることがありま
す。マイクロ波を活用したプロセ
スが実現すると、そのような余剰
電力をうまく使うことができます
ようになります。

—それはどうしてですか。

マイクロ波による加熱は、電力
を素早く、効率的に熱に変換する
ことができるからです。太陽光発
電や風力発電などの再生可能エネ
ルギーは、気象条件などによって

発電力が大きく変動します。余剰
電力が出た場合、マイクロ波はそ
の電力を使って瞬時に化学プロセ
スを駆動させることができます。
ですから、オンデマンドでプラント
を動かすことに適しているとさ
れています。

CO₂排出量を90%削減

—そのほかにもマイクロ波が注目さ
れている理由はあるのですか。

マイクロ波にさまざまな反応を
加速させる作用があることも、注
目される理由の1つです。例えば
難分解性のバイオマスを活用する
には、高い反応温度や長時間の反
応が必要になります。この分野で
多くの技術開発が行われてきたに
もかわらず、実用化がなかなか
進まない原因の1つがそこにあり
ます。しかしマイクロ波を使うと、

バイオマス変換のみならず、さまざまな物質の加熱、食品の殺菌、乾燥凍結といったプロセスを早く行うことができるのです。

反応やプロセスが速くなれば、消費エネルギーも減ることになります。例えば、化石燃料を使った従来の電気炉加熱をマイクロ波加熱に置き換えると、CO₂の排出量は最大でおよそ90%削減できるといわれています。化石資源を大量消費する重厚長大の化学プロセスを、超低消費エネルギーで駆動するマイクロ波のプロセスに置き換えることが期待されています。

——それなら、どんどんマイクロ波に置き換えればいいのではないのでしょうか。

実は2010年代には、有機合成のラボならどこにでも置かれているくらいにマイクロ波の合成装置は普及していました。ところがオーストリアの著名な先生が「マイクロ波はただ加熱するだけだ。反応を加速させる効果などない。マジ

ックは起きない」と報告したことをきっかけに、有機合成の世界からマイクロ波の研究が消えてしまったのです。

しかし、私たちはマイクロ波に日の当たらない時期もコツコツと研究を続けてきました。そして最近、再びマイクロ波に日が当たり始めています。特に、気液・気固・固液・固固などの界面にマイクロ波が集中することが電磁界シミュレーションで明らかになるなど、マイクロ波の効果が明らかになりつつあり、世界中のマイクロ波研究者が盛り返しています。私としては、しつこく頑張ったかいがあったと痛快な気分です。

半導体式発振器の導入で研究がスムーズに

——その間にもマイクロ波の技術は進化してきたのですか。

従来のマイクロ波装置は、マグネトロンとマルチモード型アプリ

ケーターを用いたタイプが広く使われていました。要するに、電子レンジのようなものですね。こうした装置は比較的安価で、庫内も広く、いろいろな試料の加熱に用いることができました。

ただ、従来のマイクロ波装置に搭載されているマグネトロンは、幅広いスペクトルのマイクロ波を出力し、しかも発振中にスペクトルが揺らぐことがありました。つまり、きれいなマイクロ波が出ていなかったのです。そのようなマイクロ波が定量的に照射されていない状態で加熱していると、マイクロ波による反応加速効果を正確に解析することができません。

——それではデータが安定しないし、再現性にも問題が出てしまいますね。

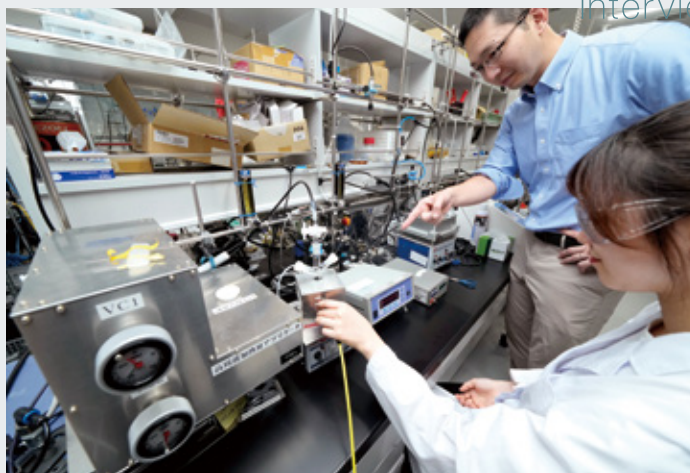
そこで私たちが目つけたのが、半導体式のマイクロ波発振器です。当初は、出力が低い、価格が高いという問題がありましたが、高出力の半導体式発振器がこの10年間に多く出ており、価格も安くなっ



椿准教授（3列目、左から3人目）と研究室の皆さん



研究室には外国人ポスドクも在籍し研究を進めている



マイクロ波発振器の使い方を指導する樫津教授

てきました。今は、蛍光灯がLEDに代わるように、マグネトロン式に代わって半導体式のマイクロ波発振器が増えています。

——先生はいつ頃、半導体式発振器に切り替えたのですか。

2015年頃で、比較的早かったほうだと思います。半導体式に切り替えることで、安定してきれいなマイクロ波を照射することができ、多周波数の装置の開発や、小型装置の開発も進めることができました。自分で独自装置が製作できるようになると、その後はドンドン発展するようになりました。

触媒反応の研究に注力

——マイクロ波をどのようなことに使っているのですか。

いろいろありますが、今、一番力を入れているのは触媒反応です。例えば、植物油由来の廃食用油や藻類由来の油から基幹化合物をつくるプロセスを開発しています。固体触媒にマイクロ波を照射すると、触媒反応を促し、高選択的かつ効率的に目的化合物をつくることのできるのです。そのほかにもさまざまな触媒反応の研究を進めており、触媒自体を合成することもしています。

最近、廃食用油を航空機のジェット燃料に使うことが注目され、そのため廃食用油の価格が上がっ

ているという話を聞きます。このような持続可能な航空燃料はSAFと呼ばれますが、SAFの精製にも触媒は使われるため、マイクロ波を応用することが考えられます。

——先生は、マイクロ波のプロを自認されているそうですが、そういう方は結構いるのですか。

最近では、マイクロ波のことで困ったら樫津に聞けという形でいろいろ相談をいただきます。マイクロ波と化学を組み合わせた技術を持っている研究者は、世界的にも少ないので、重宝されています。

「なぜ」の解明を重視

——マイクロ波の研究者として、先生の独自性はこういったところにあるのでしょうか。

海外には、マイクロ波を照射したらこんな反応が起きたとか、こんなものができたという論文が結構あります。しかし、私たちはなぜそうなったのかという機構を解明することを重視しています。反応が起きた機構がわかれば、そのプロセスを自在にデザインできるようになりますから。

そのために、私たちは放射光X線などを使って、「その場観察 (in situ/operando)」といわれる方法でマイクロ波を照射した際の物質の構造変化を見ています。その場観察というのは、簡単にいえば試

料に起こっている変化を連続的に見るものです。実は世界的にはマイクロ波でこういうことをしている研究者は極めて少なく、そこが私たちの大きな強みだと思っています。こうした機構の解明を通じて、新しい反応をつくる研究も行っています。

——研究に使う装置も自分たちで開発することが多いそうですね。

もちろん実際の製作は装置メーカーなどに依頼しますが、自分たちでアイデアを出し、自分たちでデザインすることは多いです。今、私たちは27MHzから30GHzのマイクロ波発振器を持っていますが、これだけ広帯域の装置を持っているのはおそらく世界でも私たちだけでしょう。

——マイクロ波を使った触媒の研究は現状、どこまで進んでいるのですか。

マイクロ波で局所の温度を高くする現象を説明できるところまでは来ています。なおかつ、こういう材料にはこの触媒を使うと温まりやすいといったプロセスのデザインもできつつあります。

ただ、原理のようなものはわかってきましたが、まだまだ難しいことがたくさんあります。光触媒のように、マイクロ波触媒という言葉で教科書が書けるくらいに理解するのが最終のゴールです。そこに向かって、これからも研究に励みたいと思っています。