

ナノ物性化学 研究室

カーボン ナノチューブの 持つ可能性に 魅せられて



野々口斐之 講師
[材料化学系]

[経歴]
2013年07月- 奈良先端科学技術大学院大学 助教
2016年10月- 科学技術振興機構 さきがけ研究者（兼任）
2021年01月- 京都工芸織維大学 講師

[研究分野]
熱電発電、環境発電、水素社会



[研究概要]
黒いダイヤと呼ばれる
カーボンナノチューブを用いた
革新的なエネルギー材料の開拓に向け、
有機・無機・物理化学を総動員する
未来の鍊金術を追求します。
あらゆる学術領域との協業を視野に、
基礎研究から社会実装まで、
縦横無尽に新時代のサイエンスを
探求します。

鉛筆の芯やインクから電子部品、自動車部品まで
さまざまなところで使われている炭素。
ナノ物性化学研究室では、その炭素でつくられた物質、
「カーボンナノチューブ（CNT）」に注目した研究を行っています。
CNTの可能性と面白さについて、野々口先生にお話を伺いました。

優れた材料特性を持つCNT

CNTは非常に魅力的な物質です。この物質を研究対象にしたからこそ、社会ともつながりが生まれ、たくさんの人と楽しさを共有しながら研究ができます。そう熱を込めて語るのは、ナノ物性化学研究室の野々口斐之先生。CNTを用いた革新的な材料の創出に取り組んでいます。ここまで先生の心を惹きつけてやまないCNTとは、いったいどのような物質なのでしょうか。先生は次のように教えてくれました。「カーボン、炭にはいろいろな形があるので、例えば炭素を三次元のジャングルジム状に組んだものとして、ダイヤモンドという構造があります。『電池を入れればいいんじゃない?』と思いますが、大量にあるセンサーの電池を交換するのはとても大変です。そこで、電池を交換しなくても長期間動いてくれるようなシステムはないかと考えた時に解決策となるのが、環境からエネルギーを取ってくる『環境発電』です。太陽光発電や振動発電、そして温度差発電などがこれに当たります」

下水道の氾濫を検知するための水位センサーに温度差発電システムを組み込むなど、実際に多くの事例が出ていていると先生は言います。こうした温度差発電の実用化が進む中、先生はCNTを用いてどのような革新を起こそうとしているのでしょうか。「今ある発電素子は固体型で固いんですね。マンホールのような平らな面に設置するのであれば問題ないのですが、熱源は平らなものばかりではありません。例えば私たちの体もおよそ100Wの熱を放出している熱源ですが、体は丸みを帯びていて、固い板状の素子ではうまく熱を伝えられません。また動きもあります。そこで我々は、『発電素子に使われる半導体そのものを柔らかくしてみよう』というアプローチを試みました。そしてCNTを用いて、そのアイデアを実現しました」

温度差発電とはその名の通り、高い温度と低い温度との温度差を利用して発電する方法です。現在は捨てられている熱エネルギーを有効活用する方法として注目が集まっています。この技術はどこまで進み、どのような場面で役立てられているのでしょうか。「温度差発電技術はすでに一般的になっていて、ネットショッピングなどでも温度差発電素子が売っています。電気を流すとセラミックスでできたプレートの片面にはある理由があったと先生は言います。『温度差発電用の材料としては、プラスの電荷を持つp型半導体と、マイナスの電荷を持つn型半導体というものが通常必要になります。しかし、カーボンのような有機半導体はn型を示さないという問題点がありました。私たちはクラウン

19世紀頃からあるような技術なのですが、発電効率の低さからなかなか実用化には至りませんでした。それが最近になって、「小さなエネルギーでもいいので環境からエネルギーを取ってきて、デバイスを駆動させるために使いたい」というニーズが出てきたのです。『サイバーフィジカルシステム』という言葉をニュースで聞いたことがあるかもしれません、私たちが生きているフィジカル空間とサイバー空間の融合が進みつつあります。そうした社会においては、あらゆるところにセンサーが取り付けられ、膨大な情報が収集されるようになります。すると問題になるのが、どのようにセンサーを動かすのかということです。『電池を入れればいいんじゃない?』と思いますが、大量にあるセンサーの電池を交換するのはとても大変です。そこで、電池を交換しなくても長期間動いてくれるようなシステムはないかと考えた時に解決策となるのが、環境からエネルギーを取ってくる『環境発電』です。太陽光発電や振動発電、そして温度差発電などがこれに当たります」

下水道の氾濫を検知するための水位センサーに温度差発電システムを組み込むなど、実際に多くの事例が出ていていると先生は言います。こうした温度差発電の実用化が進む中、先生はCNTを用いてどのような革新を起こそうとしているのでしょうか。「今ある発電素子は固体型で固いんですね。マンホールのような平らな面に設置するのであれば問題ないのですが、熱源は平らなものばかりではありません。例えば私たちの体もおよそ100Wの熱を放出している熱源ですが、体は丸みを帯びていて、固い板状の素子ではうまく熱を伝えられません。また動きもあります。そこで我々は、『発電素子に使われる半導体そのものを柔らかくしてみよう』とい



Fig.1——オープン・フラットな雰囲気の研究室で、学生たちはのびのびと活躍



Fig.2——分子合成から材料プロセス、物性評価まで行える最先端の装置群



Fig.3——クリーンな化学実験室から次々と新しいアイデアが誕生

エーテルという化合物をCNTに加えることでこの問題を解決し、n型半導体に変えることに成功しました。こうして開発された柔らかい発電素子は多くの反響を呼び、ビルやスポーツウェアなど、さまざまな場所での活用が期待されています。

まだまだ広がるCNTの可能性

これまでの知見を活用して、今は新しい非破壊検査技術の開発にもチャレンジしています。CNT熱電変換素子を使って、壁の向こうやパッケージの中身を透視できないかというアイデアである技術です。

す。例えば食品の異物混入検査。ステックシュー ガーの中に異物の金属片が入っていたとしま しょう。ステックシューに赤外線を照射すると、 金属片は赤外線を反射します。CNTの赤外線をよく吸収する特性を利用し、その反射した赤 外線を吸収させます。すると赤外線によって熱 が生じ、温度差が生まれ、電気が発生します。 その電気をうまくセンシングすることによって透視 が可能となるのです。さまざまな波長の赤外線 を使い分けてあげると、非常に高感度に検出で きることが分かってきました。化学分析や血液 検査など、いろんな場面で活用できる可能性が あります。

CNTの応用先を次々と開拓していく野々口 先生。やりたいことはまだたくさんあると話し、 今後の目標について、こう語ってくれました。「温 度差発電一つとっても、まだポテンシャルを全部 引き出しているわけではありません。発電量を 増やすためには、CNTそのものの物性を最適 化していく必要があります。CNTの構造を変え ると発電力はどう変化するのか、その関係性か ら探っていくなければなりません。まだまだ手付 かずの領域が広がっていることに面白さを感じま すね。そこで新たな発見を得て、また社会実装 につなげていきたいと考えています」