

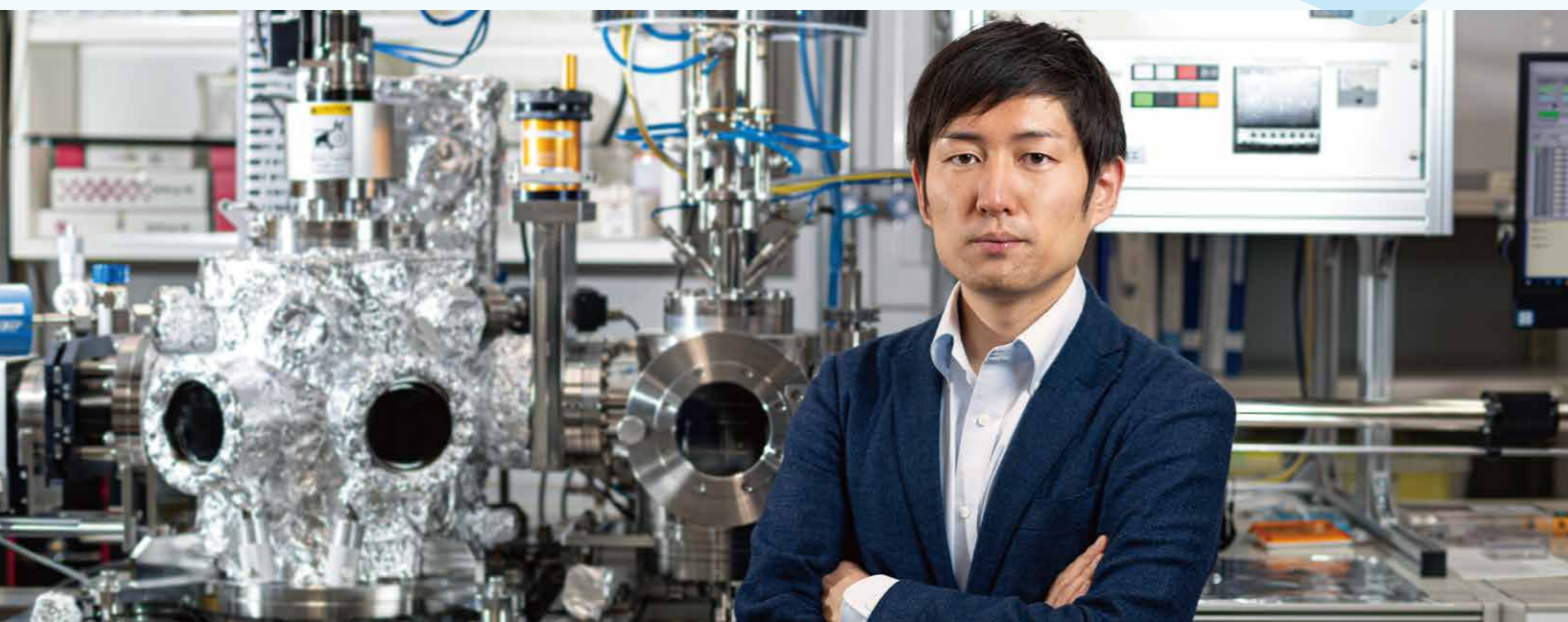
# スピンで熱制御を究める 次世代の熱電変換に挑戦

磁気の源である電子のスピンと熱の相互変換現象の観測に世界に先駆けて成功してきたのが、物質・材料研究機構 磁性・スピントロニクス材料研究拠点の内田健一グループリーダーだ。次なる目標に、スピンを用いる熱エネルギー制御原理の解明を掲げ、扱いにくい熱を自在に操る技術の確立や次世代エネルギー変換材料の開発を目指す。

2013年8月号vol.16登場

うちだ けんいち  
内田 健一

物質・材料研究機構  
磁性・スピントロニクス材料研究拠点  
スピンエネルギーグループ  
グループリーダー  
2012年～18年さきかけ研究者、  
17年よりCREST研究代表者



## 熱スピン変換現象を発見 日本から新たな研究分野

スピンと熱を融合した新たな研究分野「スピントロニクス」は、物質・材料研究機構の内田健一グループリーダーらによる数々のスピン物理現象の発見と解明で、飛躍的な発展を遂げた。「自分たちの研究がきっかけとなってスピントロニクスが世界中で盛り上がり、研究が成熟していくさまを見られたのは幸運なことでした」と語る。内田さんは慶應義塾大学の卒業研究で、磁性体に温度差を付けて、磁気の流れであるスピン流を生成する「スピンゼーベック効果」を発見し、2008年に「Nature」に発表した。卒業研究が著名な雑誌に掲載されるのは、極めてまれなことだ。

スピン流の存在は理論的には知られていたものの、流れる距離が短いため観測が難しく、その生成・検出方法が確立してきたのは21世紀に入っ

てからのことだった。スピン流と熱の相互作用を確認できたことは、物理学の教科書に新たなページを加える画期的な成果といえる。世界から称賛を浴びる一方で、批判や疑問も届いた。「スピンゼーベック効果を証明するために、ひたすら実験を繰り返して、実験結果を地道に発表し続けました」。10年には電気を通さない絶縁体でもスピンゼーベック効果が生じることを見だし、絶縁体を用いた熱電変換技術の可能性を世界に示した。

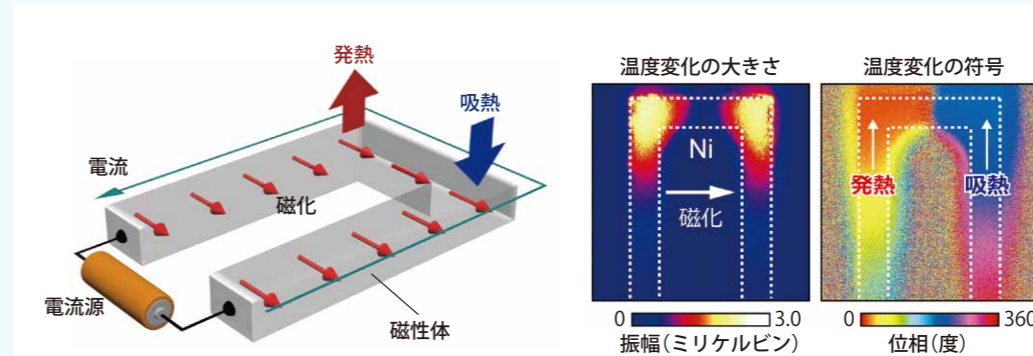
16年に物質・材料研究機構のグループリーダーに着任した。「初めて自分の研究グループを率いることになり、独力で新たな研究を確立しようと決意しました」。そこで研究の旗印としたのが「スピンを用いて熱を自在に制御する」ことだった。スピンゼーベック効果の研究において熱はスピン流の駆動力であったが、逆にスピンで熱エネルギーを制御することもできるのではないか、というアイデアだ。熱

は身近に豊富に存在し、エネルギー源として注目されているが、光や電気と比較すると制御が難しい。しかしスピントロニクスの発展は、スピン・熱・電気を相互変換する基礎物理や機能の発見に道を拓いた。

スピンを使うからこそ実現できる熱エネルギー制御技術の確立を目指し、スピンによって生じる多彩な熱電効果の観測を始めた。タイミング良く、ナノスケールでの熱制御を目標に掲げるCREST研究領域が立ち上がり、採択されたことも、内田さんの挑戦を後押しした。「研究者として大きな分岐点となりました」と振り返る。

## 熱流生成現象を直接観測 成功の秘けつは実験設計

「特にうまくいった実験は、18年に発表した『異方性磁気ペルチェ効果』の世界初の観測です」。これはニッケルなどの強磁性体中で、電流を曲げるだ



けで加熱や冷却ができる熱電変換現象だ。「ペルチェ効果」とは、金属や半導体に電流を流すと、その方向に沿って熱流が流れる現象をいう。従来、ペルチェ効果による温度変化は異なる2種類の物質を接合した界面のみで起こるとされてきたが、内田さんは、接合のない単一の物質でも、スピンの向きが異なる領域を作れば発熱と吸熱を制御できるという新しい熱制御機能を実証した(図1)。

「異方性磁気ペルチェ効果の存在は数十年前から予想されていましたが、現象を直接観測する手段がありませんでした」。内田さんの強力な武器は、ロックインサーモグラフィ法と呼ばれる熱計測技術だ(図2)。試料に電流などの周期的な信号を加え、電流にตอบสนองして生じる温度変化を赤外線カメラで高感度に捉えて画像化する。内田さんはこの手法を用いて、スピン流から熱流をつくる「スピンペルチェ効果」や、温度差を付けた導電体に電流を流すと生じる吸熱・発熱が磁場に依存して変化する「磁気トムソン効果」の熱イ



図2 熱物性計測に欠かせないロックインサーモグラフィ。実験室には自作や特注の装置も多く並ぶ。

メージング計測にも世界で初めて成功している。

装置があれば必ず現象を測れるものではない。成功の秘けつは、内田さんの類いまれな実験設計のセンスだ。学生時代から実験に没頭してきた経験によって磨かれ、熱電・熱スピン変換現象の振る舞いに当たりをつけられるまでになった。「良い意味で心配性。ミスがないように何度も徹底的に実験設計や条件を確認します。予想していた物理現象を自分の目で確認できた瞬間が研究者としての醍醐味ですね」。

## 人との出会いが成果を最大化 アイデアの融合で新たな研究へ

「研究者になろうとは全く考えていなかった」と語る内田さん。博士課程を修了し、12年に東北大学の助教になった後も、研究者として独立していけるか不安だったという。「人よりも多く努力しなければ」と常に心掛け、「流行には飛びつかず、他人の研究の後追いはしない」と、独自の研究を貫いてきた。「勉強と研究は全くの別物。学力と研究力は必ずしも比例しません」と強調する。「勉強はわかっていることを学ぶこと、研究は教科書を勉強してもわからない最先端を開拓していくことです。研究には困難や失敗が伴います。だからこそ研究を楽しむには、自分が本当にやりたいことを信じて突き進む意欲が大切です」。

多くの人との出会いがあったからこそ、今の成果を達成できた実感している。さきかけ研究者との交流は現在も続き、多様なアイデアを得られる大きな財産になっているという。「研究は

1人ではできません」と、学生時代の指導教官だった齊藤英治教授(現東京大学)について振り返る。「熱でスピン流を生成できるのではないかと当時としては突飛な発想に、齊藤先生は真剣に向き合って議論し、助言を与えてくれました。独立した今、グループ員が効率良く最大限の成果を出せるように、リーダーとしての役割を果たしたい」と心構えを語る。

夢は「自分が成長させた研究分野が将来社会に役立つようになるまでを見届けること」。高い熱電・熱スピン変換効率を達成すれば、環境発電や熱流計測など省エネルギー化に役立つ技術の実現が期待できる。内田さんは、異分野の研究者や産業界がスピントロニクス研究に参入しやすいように、学術誌や講演では計測方法を包み隠さず公開している。アイデアが融合して、これまでの延長線上にはない新たな研究が生まれることを期待しているからだ。そのためにも「まだ眠っている現象をくまなく測り、未知の原理や材料を探求していきます」と、内田さんの言葉は強く、揺るぎない。



使いやすく分類された工具棚。内田さんの精緻な研究姿勢がうかがわれる。