



後藤 穰 研究室

先進工学部 物理工学科 准教授
ごとう みのり
後藤 穰 先生



後藤研究室メンバー

スピントロニクスは物理学と電子デバイスの 新しい可能性を開く

電子が電荷を持っていることは知られているが、電子自体は惑星の自転のような回転の性質を有していて、このスピンによって小さな磁石のような性質も帯びている。スピンと電荷は相互に影響し合っており、エネルギー変換可能だ。この性質を利用して、電子が構成する原子や物質に特別な機能を与えることもできる。21世紀になって活発に研究されるようになった、このスピントロニクスという新しい分野が先進工学部物理工学科の研究室の研究テーマだ。

「電子の電荷を利用してコンピュータなどを動かしてきたのがエレクトロニクス。一方、発電機やモーターなど、磁石を使ったテクノロジーはマグネティクスという名称で独立して発展してきた。しかし、元を辿ればどちらも電子が持つ性質だ。この電子の電荷とスピンをうまく組み合わせて利用することで、新しい物理現象や新しい機能の発見につなげることができるという研究領域がスピントロニクスだ」と、後藤穰先生は説明する。

電子のスピンは電荷との相互影響だけでなく、光や音波、熱、ひずみなどからも影響を受ける。また、スピンは磁石としての性質を持つ以外に、量子力学や相対性理論のような非日常的な物理現象が身近で結びついている興味深い存在だ。

しかも、スピントロニクスは基礎物理の研究領域にとどまらず、さまざまな電子デバイスに利用されることで、社会的にも大きな影響を与えている。

量子現象でハードディスクの 高密度化を実現する

「スピントロニクスが最初に社会に大きな影響を与

えたのはハードディスクへの利用だ」と後藤先生は指摘する。ハードディスクの記録媒体は表面が磁性体でコーティングされ、細かく区切られている。微小な磁石が敷き詰められたような状態だ。この磁石の区切り一つ一つの磁極を読み取ることで、データを利用できる。区切りを細かくすればするほど、大量のデータ保存が可能になる。

しかし、そのためにはデータの読み書きに用いるヘッドのセンサーの精度を高め、微小な区画の磁気の検出を可能にする必要がある。このセンサーの先端にスピントロニクスのデバイスを使用することで精度が向上し、ハードディスクの高い記録密度が可能になっている。

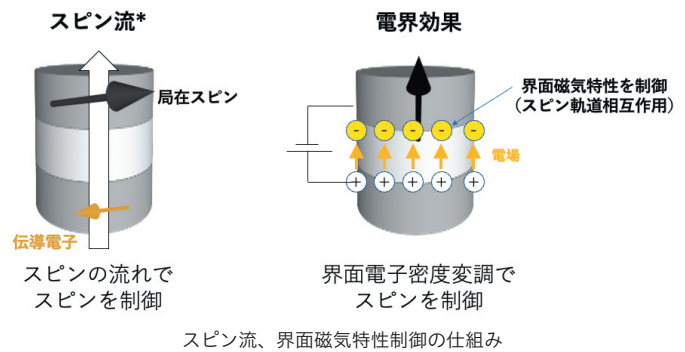
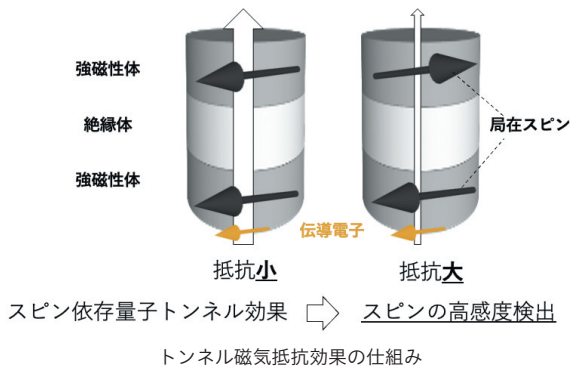
ハードディスクの高密度化に役立っているのは、スピントロニクスの代表的な現象の「トンネル磁気抵抗効果」だ。

本来電子は絶縁体を通り抜けることはできないが、磁石の性質を持つ金属と非常に薄い絶縁体、もう一つの磁石を順に貼り合わせた構造では、電子が絶縁体をすり抜けることがある。量子力学のトンネル効果（本来超えられない壁を粒子が通り抜ける）で説明される現象だ。

それぞれの磁石にはもともとスピンによる磁極の向きがあり、2つの磁石の磁極の向きが一致すれば電子が流れやすく、逆方向ならば抵抗が大きくなる。この素子は磁場に対して非常に高感度に抵抗変化するのので、ハードディスクのヘッドに使用する場合、とても小さな磁石の、磁極の向きの検出が可能になる。

他にもスピンの流れを表すスピン流を利用して特定の方向のスピンを持つ電子を磁石に大量に流すと、磁

トンネル磁気抵抗効果



石の磁極の向きを変更できるため、磁極の情報を書き換えられる。また、電圧をかけると、磁石と絶縁体が接している界面に電子が溜まり、界面の特性が変更されることで磁極の方向が変わる界面磁気特性制御など、スピンには興味深い物理現象が多く発生する。

実験に必要な薄膜構造体を自作機械で製作する

電子のスピンは電気以外にも熱やマイクロ波、光、音波などの影響も受ける。後藤研では、こうしたスピンの性質を検証し、新しい物理現象を探索している。また、そうした技術を用いて、センサーやメモリ、通信機器などの新しい次世代IoTデバイスの開発も目指している。

現在、通信規格は5Gから6Gへと移って行こうとしているが、6Gでは100GHzを超える高周波帯や、将来的にはテラヘルツ帯の利用も視野に入っている。高周波数を検知するのは困難だが、後藤研でテラヘルツの電磁波を当ててテラヘルツ帯の応答の検知を実証している。

また、スピンは温度に由来する熱揺らぎによってゆらぎが起き、磁極の集団がブラウン運動のような動きを示す。このゆらぎのエネルギーを利用することで、外部から電気等のエネルギーを補給することなく微細なデバイスのオンオフを実行し、低電力で動作するデバイスを実現するための実証にも取り組んでいる。

スピン効果を実験するための「ナノ磁性薄膜」は、磁性体で非常に薄い絶縁体を挟み込んだもので、自然界には無い構造体であり、自作する必要がある。後藤研究室が有する超高真空ナノ磁性薄膜作製装置は、磁性体や絶縁体をそれぞれ原子層レベルで重ね合わせたナノ磁性薄膜を作製するための装置だ。気体などの不純物を排除して作製しなくてはならないため真空状態

での作製が必要で、装置内の圧力は大気圧の1兆分の1程度になる。この装置で製造された薄膜を切り出し、電子デバイスに使用することで、スピンの効果を検証することができる。

実験と解析を研究の両輪にする学生たち

後藤研究室は2025年4月に、後藤先生以外は学部4年が5人というメンバーでスタートした。先述した超高真空ナノ磁性薄膜作製装置を組み立てるところから、研究室全員での作業が始まった。

2026年4月から修士に進んだ水取陽光さんは、スピントロニクスへの興味と、「装置を触って条件を詰めたり、データ処理して傾向を掴むのが好きなので、実験・解析ができる研究室」が自分に適しているとの思いから後藤研を選択した。

テラヘルツ周波数帯が研究テーマで、常に新鮮な実験の検出結果と向き合い、何が影響しているのか考えるのも面白いという。将来的には「実験屋として培った武器を持った研究者/エンジニア」を目指したいそう。

今春企業に就職した増尾亮汰さんは、スピントルクダイオード効果による整流作用によって検出される直流電圧のピークを調べる研究に取り組んでいた。「特定の条件で現れるピークや、予想外の実験結果について後藤先生と議論を重ねながら考察を深めていく過程も、大きな楽しさの一つでした」と振り返る。後藤研では、実験と解析が研究の両輪だ。

「これからも物理が好き、実験が好きという人に研究室に入ってきてほしい」と、後藤先生は希望している。

狐塚 淳（インプレス・デジタル・バリューズ）