

日経サイエンスが見た広島大学

世界のトップ100大学に向けて挑戦する広島大学の取り組みをシリーズで紹介し、将来性を探っていきます。

キラリティーが拓く 新しい領域と新材料の世界

地球温暖化などエネルギー問題の解決策として期待

省エネに貢献し、地球温暖化問題に解決策を与えるとして、キラル物質が注目されている。広島大学には2017年に世界トップレベルの「キラル国際研究拠点」(拠点長=井上克也・大学院理学研究科教授)が設置され、キラル物質の合成から物性解明、さらには応用を見据えた研究を目指す。

右手と左手は鏡像関係にあって、重ね合わせることができない。こうした性質はキラリティー(対掌性)と呼ばれ、光学異性体はキラル構造を持つ化合物だ。キラリティーは形だけでなく、素粒子のスピンなどの特性にもみられる。そして、全部が右(あるいは左)といったように同じ“キラル単位”が集積すると、様々な物性が現れる。



キラル磁性体のモデルを示す井上克也拠点長

柔軟かつ堅牢な キラル磁性体

井上氏は1990年代、プリンやコンニャクなどの弾力のある食物が持つ性質に着目した。プリンタンパク質のアルブミン、コンニャクは糖鎖がキラルに連なり結合しており、これが柔軟かつ堅牢な構造を生み出す。こうしたキラルな結晶構造を磁石にも応用できないだろうか考えたのだ。

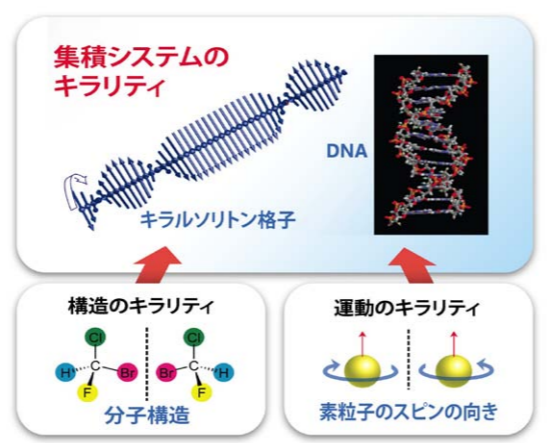
井上氏は、小さな磁石である電子スピンの位相をマイクロスケールで揃えてキラルに集積させ、磁気的に柔軟で堅牢(安定)なキラル磁性体を作ることに成功した。

例えば、光の粒(光子)の位相がそろっているレーザーは様々な新しい性質を持っている。それと同じように、キラル磁性体も従来の磁性体でない全く新しい性質を持つ。井上氏は「キラルな形の磁石を作ったら、中の電子の動きにもキラリティーが見られるようになり、大きなブレークスルーとなった」と語る。

形のキラルと 運動のキラル

キラルには、形(構造)のキラリティーと運動のキラリティーがあり、同じ種類の“キラル単位”が集積すると、様々な物性が現れる。

※キラルソリトン格子…スピンの巻き寄せに同期配列したキラルな磁気秩序。



月刊誌「日経サイエンス」は、科学・技術に関する話題の最新情報と知識を専門以外の読者に分かりやすく解説しています。研究者、ビジネスパーソン、学生が、科学技術の世界の視野を広げるために購読しています。2018年9月に創刊47年を迎えます。

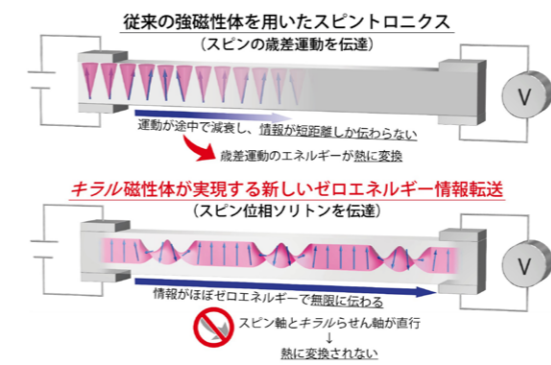


現在知られているキラル磁性体には、2つカテゴリーがある。まずキラルな分子磁性体は、世界で100余りが構築されているうち、9割は井上氏の研究室で作られた物質で、日本、米国、EUで特許を取得している。もう1つがキラルな無機磁性体で、こちらも約半数を井上氏が作り出した。

分子磁性体は可視光や赤外光に対して透明な強磁性体で、さらにキラルな分子磁性体であれば大きな磁気光学効果も有するため、次世代の光通信のための光アイソレーター(光を一方方向だけ通過させ逆方向からの光を切断する光学素子)や光磁気メモリーなどに応用可能だとみられている。現在用いられているガーネットなどの透明な磁性体は、磁化の情報で光信号の制御を行うため、入力情報は外部磁場に限定される。一方、キラル磁性体は、磁場だけでなく、右、左が区別されるため、情報量は1000~1万倍に上げられる。

一方、無機磁性体はコンピューターの

キラル磁性体と情報伝達



メモリーの磁気記録材料をはじめとして幅広い用途がある。現在使われているメモリーは、1か0かの2値で記録しているが、この新しいメモリーならば0から数百万の値を一つの素子に記録できるようになる。

キラル磁性体で 省エネを実現

キラル磁性体は情報転送にも応用できる。現代のICT社会を支えているコンピューターは、金属製のワイヤを流れる電流により情報の伝送・処理を行っている。しかし、発熱に伴う膨大なエネルギー損失は近年深刻な問題となっている。

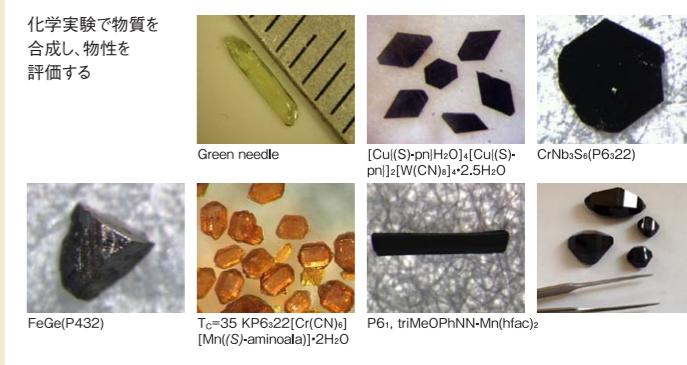
最新の中央演算処理装置(CPU)に用いられる金属ワイヤは10nmという細さだが、例えば理化学研究所のスーパーコンピューター「京」を稼働すると、冷却装置に13MWもの電力が必要だ。原子力発電所1基の発電量の10分に1に相当する量で、世界規模で考えると電力の約4分の1が家電や車に搭載されたマイコンを含めて、ありとあらゆるコンピューターの冷却のために用いられているという。

従来の強磁性体を用いた情報伝達では、電子の持つ磁気(スピン)の回転軸がその方向をゆっくりと変える歳差運動により情報が伝達されるが、運動が途中で減衰して、情報が短距離しか伝わらず、しかも歳差運動のエネルギーが熱に変換されてしまう。

しかし、電子のスピン向きがらせん状に連続的につながるキラル磁性体を用いると、スピンだけを動かし、エネルギーはほぼゼロで情報を無限に伝達でき

井上氏が合成したキラル磁性体

化学実験で物質を合成し、物性を評価する



る。理論計算により可能性が示され、大阪府立大学による実験で実現の可能性が見えてきた。

井上氏は「消費電力がゼロに近い素子は夢ではない」と期待を込める。残念ながら、現在のキラル磁性体は-150℃という低温下でしか磁石の性質を保てず、実用化には壁がある。

AIも取り入れて 実用化を目指す

井上氏は2004年、前職の自然科学研究機構分子科学研究所(愛知県岡崎市)から、広島大学大学院理学研究科化学専攻の教授に転じた。広大では2013年にキラル研究のインキュベーション拠点を立ち上げ、2017年から自立型研究拠点として、さらにスケールアップ。並行して、現在は日本学術振興会に「スピントロニクスを軸にした先端材料コンソーシアム」(2015~19年度)が採択され助成を受けている。

広大には40人のメンバーがおり、コン

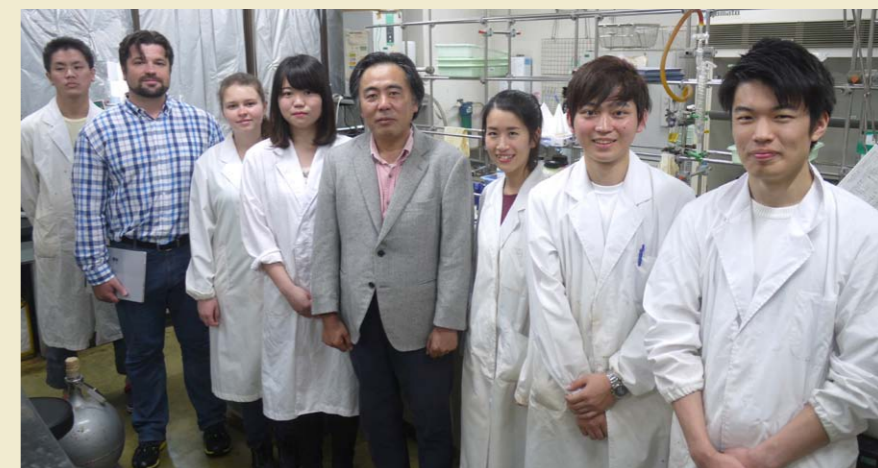
ソーシアムでは世界中の約200人が共同研究を行っている。人材育成にも努めており、博士号取得者5人が国内でポジションを得ている。

井上氏はドイツ人研究者と並び、この分野のバイオニアで、1999年に出した論文がこの分野を切り開き、環境問題とも相まって世界中でブームになった。現在、年間数百本の論文が出されているが、2016年度は日本物理学会誌の高引用論文10報のうち、井上氏らの論文は4報を占める。

井上氏は「学術成果が目立っているが、早く新素材につなげて人類に貢献したい」と語る。常温で動くキラル磁性体を作るため、様々な元素の組み合わせに人工知能(AI)によるシミュレーションを取り入れ、化合物の設計を進めている。まだ実際の合成にまでは至らないが、有望な物質を見いだしている。

企業からの共同研究の申し込みも多数寄せられ、これからが正念場。世界と切磋琢磨しつつ、競争が激化する中、研究組織運営と研究の両立が課題だ。

取材・文/日経サイエンス



国際色豊かな研究室のメンバー