科学技術総合

磁気スキルミオンの磁場

東大

リアルタイムで可視化

STEMと独自開発の分割型検出器で

東京大学大学院工学系研究科附属総合研究機構の柴田直哉准教授、松元隆夫特任研究員らの研究グループは、走査型透過電子顕微鏡法（STEM）と独自開発の分割型検出器を用いることにより、磁気スキルミオン内部の磁場をリアルタイムで可視化することに初めて成功しま。これにより、材料中の局所磁場の直接観察が容易になり、ナノレベルの磁気構造解析に新しい展開が期待される。米国科学誌Science Advancesオンライン版で12日公開された。

磁気スキルミオンは、ナノメーターサイズの特異な渦状の磁気構造体であり、次世代磁気デバイス素子への応用が期待されている。磁気スキルミオンは特定の条件下でその配列が規則的になり、あたかも結晶のような周期構造を形成し、それは磁気スキルミオン結晶と呼ばれている。しかし、実際の磁気スキルミオン結晶には原子の結晶と同じようにその周期性が乱れる界面や欠陥が存在することが知られており、その挙動を理解することが工学応用するためには重要であると考えられている。しかし、従来の磁場観察では磁気スキルミオン結晶中の乱れた領域の磁気構造をリアルタイムで可視化することは難しく、新しい手法開発が望まれていた。

研究グループは、ナノスケール観察で有力な手法である走査型透過電子顕微鏡法を用いた観察を試みた。通常、この方法では試料を磁場環境にさらす必要があり、その外部磁場のために磁気スキルミオンに強い影響を与えてしまう危険性がある。そのため、これまでの磁気スキルミオン観察には用いられることはなかった。

そこで研究グループは、試料近傍を無磁場条件下に保ったままナノサイズにまで電子線を絞り込む電子光学系を構築し、独自開発の分割型検出器と組み合わせることで、磁気スキルミオンのリアルタイムでの内部磁場直接観察に成功した。観察では、ナノレベルに絞った電子線が、磁気スキルミオン中の局所的な磁場によってわずかに偏向される現象を利用しており、分割検出器によりその偏向を検出することで磁気スキルミオン内部の磁場分布をナノスケールで正確に決定することが可能になる。この手法は、微分位相コントラスト（DPC）法と呼ばれ、今後磁性材料解析に広く応用されることが期待される。

さらに、分割検出器により検出された電子線の偏向信号を瞬時に磁場分布に変換するソフトウエアを開発し、ナノスケールの磁場分布をリアルタイムで可視化することに成功した。この手法を利用して、磁気スキルミオン結晶中の欠陥であるドメイン境界を観察した結果、結晶中では一定の大きさかつ形状が保たれる磁気スキルミオンが、そのコア領域ではサイズ・形状を自在に変化させることで、結晶の乱れを吸収することを明らかにした。この結果は、個々の磁気スキルミオンがその構造自体をフレキシブルに変化させる能力を有しており、この特徴により磁気スキルミオン構造を壊すことなく結晶欠陥を安定化できることを示唆している。この知見は、今後磁気スキルミオンを制御しデバイス応用を目指す上で、重要な基礎知見になると考えられる。

近年、スピントロニクスデバイス、磁気メモリなどの研究開発において、材料内部のミクロな磁性構造を積極的に制御し、特性向上を目指す研究開発が精力的に行われている。今回の研究により、磁気メモリ素子としての利用が期待される磁気スキルミオンのフレキシブルで安定な形状変化能力が証明されたことは、今後磁気スキルミオンを制御しデバイス応用する上で極めて重要である。

また、開発した磁場直接リアルタイム可視化技術は、物理化学、電子情報工学、材料科学、生命科学などの先端的基礎研究分野や半導体デバイス、医療、IT、創エネ・省エネなどの多様な産業分野においての活用、これらにおける研究開発の水準と研究開発効率を格段に向上させるものと期待される。

科学新聞
2016年（平成28年）
2月19日（金曜日）４面