

特集 “最近の磁気イメージングの話題” に当たって Introduction to “Recent Topics of Magnetic Imaging”

孝 橋 照 生

Teruo Kohashi

(株) 日立製作所研究開発グループ

最初は磁力を持っていない鉄の縫い針を永久磁石でこすると、その針自体も磁石となる。このような実験は磁性体が磁力を持つプロセスである磁化過程を、身近なものを使って感覚で捉えられるためよく知られている。つまり通常の鉄は軟磁性体であり、静磁エネルギーを安定させるために“磁区”という区域に分かれている。磁区内では磁化が一定であるが、磁区間では磁化ベクトルは異なる方向を向いており、全体として平均すれば磁化はキャンセルされている。その状態において外部磁場を印加すると（例えば縫い針を永久磁石でこすると）各部の磁化を一方向に揃え、磁力を持たせることができる。これは、多数の磁区からなる“多磁区構造”から、全体が一様な磁化を持つ“単磁区構造”に移ったとも言え、磁区構造の変化は磁性体の磁化過程を理解する上で基本となる。

従って、磁区構造の観察は、磁性体の研究に極めて重要である。ネオジム磁石等の永久磁石材料や、電磁鋼板等の軟磁性体の磁化過程は、モーターの高性能化、省エネルギー問題に重要な知見を与えるため、国の研究機関を始め、大学や企業において、精力的に研究されている。一方、磁気記録の高密度化やMRAM等の新メモリーの開発は、ビッグデータを利用する情報社会の更なる発展のために盛んに進められているが、このような磁気デバイスにおいては、微小領域での精密な磁化制御が重要であり、やはり磁化過程や磁区構造の評価が重要となる。

上記のような研究を調べる上で、磁化状態の顕微検査、磁気イメージングは極めて有用である。磁気デバイスの発展とともに磁気イメージング技術の重要性も注目され、その開発、進歩も重要な研究テーマであり、空間/時間分解能や検出量の精度等、目覚ましい進歩を遂げている。試料表面形状でもなく、元素種でもなく、結晶構造でもない磁気的な情報の抽出は、自ずと他の顕微手法とは原理や観察装置の構成が異なり、独自の開発要素、研究課題が存在する。また検知する物理量も磁束密度、磁化、磁束の勾配等様々で、それらを検知するプローブも先鋭な探針、光、電子線等、全く違ったものが各磁気イメージング技術で用いられている。そのため各技術にはそれぞれの特徴があり、ユーザーは目的に応じてその技術を選ぶ必要がある。今回、本特集においては、磁気イメージング技術のいくつかをピックアップし、その最近の進展に関して紹介頂いた。

まず光を使った磁気イメージング技術として、ネオアーク(株)の目黒氏に、Kerr顕微鏡に関して記述頂いた。Kerr顕微鏡は伝統があり、広く使われている手法であるが、目黒氏は本手法の更なる発展に尽力し、磁化方向の検出、時間分解測定、或いは磁化のみではなく試料表面の磁場を転写して可視化する技術、等、従来のKerr顕微鏡技術を様々な方向に発展させ、その適用範囲を広げている。今回はKerr顕微鏡の基本的な原理、構造から、上記の最新技術まで、解りやすく執筆頂いた。

また探針を用いた技術として、秋田大学の齊藤氏に磁気力顕微鏡に関して執筆頂いた。比較的容易に高分解能磁区観察が可能な磁気力顕微鏡はそのユーザーも多いが、齊藤氏は交番磁界を用いる斬新な技術を取り入れ、これまでの磁気力顕微鏡が苦手としていた定量解析等、新しい機能の開発に取り組み、成功させている。本稿ではその交番磁気力顕微鏡の原理から磁気デバイスへの応用例までご紹介頂き、今後の磁気力顕微鏡には更なる飛躍が期待できることを示して頂いた。

走査型電子顕微鏡を用いた技術であるスピン偏極走査電子顕微鏡(スピンSEM)に関して、(株)日立製作所の孝橋が執筆させていただいた。本技術は2次電子スピンを検出するメリットを活かして、基礎物理から磁気デバイスまで、多くの分野でユニークな観察を実現している。本稿では測定原理の説明の後、永久磁石の破断面観察等、スピンSEMの特徴を活かしたいくつかの観察例を紹介させていただいている。

最後に透過型電子顕微鏡を用いた磁気イメージングであるローレンツ顕微鏡を、小角電子回折法と組み合わせた技術に関して、大阪府立大学の森氏に執筆いただいた。実空間と逆格子空間での情報を、同一試料の測定において融合することにより、磁壁内部の磁化回転様式等、ナノメートルスケールの微小領域における磁化の興味深い振る舞いに関して、丁寧に解説して頂いた。透過電子顕微鏡における複数の技術を組み合わせることで得られる新規な測定データとして、今後も発展が期待できるものである。

本特集記事により、磁気イメージングならではの面白さ、また各手法の様々な特徴に少しでも関心を持っていただければと思う。また特に材料分野の方々には、新しい磁性材料やデバイス開発等の観点から磁気イメージングに興味を持って頂き、測定ニーズに関してご意見を頂ければ幸甚である。