

超常磁性探針を用いた交番磁気力顕微鏡による永久磁石の破断面の磁気イメージング手法の開発

曹永澤, 江川元太, 吉村哲, 齊藤準
(秋田大学)

Development of magnetic imaging for fractured surface of permanent magnets
by alternating magnetic force microscopy with superparamagnetic tip

Y. Cao, G. Egawa, S. Yoshimura, H. Saito
(Akita Univ.)

はじめに 現在, 磁区観察に広く用いられている磁気力顕微鏡の観察対象である磁性材料については, 従来の表面平滑な磁性薄膜の他に, 近年, バルク材料である永久磁石において, 機械研磨を施さずに粒界で破断させた面(破断面)での磁区観察が求められている. その背景として, 希土類磁石の磁区観察において, 機械研磨した面では, 内部の結晶粒と比較して磁化反転が弱い磁場で起こるのに対して, 破断面では磁化反転がバルク体と同等の磁場で起こることが, 放射光を用いた走査型軟X線 MCD 顕微鏡の観察¹⁾により報告されていることがある. 本発表では, 永久磁石の破断面等の表面凹凸の大きな試料における磁区観察を, 磁気力顕微鏡により実現することを目的として, 我々が開発を進めている超常磁性探針を用いた交番磁気力顕微鏡 (Alternating Magnetic Force Microscopy; A-MFM) を用いて, フェライト磁石の破断面の観察を行った結果を報告する.

方法 A-MFM は機械的に励振させた磁性探針に対して, 交流磁場印加により探針磁化を周期的に変化させることで発生する探針試料間の交番磁気力が誘起する探針振動の周波数変調現象を利用して, 探針振動信号を周波数復調後にロックイン検出して試料からの直流磁場を計測する.

A-MFM では超常磁性探針を用いることで, 計測磁場方向を交流磁場の印加方向に一致させた直流磁場の計測を行うことができる. 本研究では A-MFM を市販のプロブ顕微鏡 (日立ハイテクサイエンス製, L-trace II) の試料ステージの下に交流電磁石を設置して構成し, 交流磁場を試料ステージに垂直方向に印加して, 直上の超常磁性探針 (Gd_2O_3 -FeCo 等自作) を励磁し, Sr フェライト異方性焼結磁石 (結晶粒径: 約 $1\mu m$, 保磁力: 約 $3.0 kOe$) の破断面を大気雰囲気中で観察した.

結果 Fig. 1 に消磁状態の c 面 (磁化方向が面に垂直) の破断面において超常磁性探針を用いた A-MFM により観察した, (a)表面形状像, 計測磁場方向が紙面に垂直方向の(b)垂直磁場像およびそのラインプロファイル[(d)], (c)磁場極性像およびそのラインプロファイル[(e)]を示す. 表面の凹凸は約 $1.5\mu m$ であり, 通常の磁気力顕微鏡では磁区の識別が困難であったが, A-MFM では表面の結晶粒の形状を反映した明瞭な磁区構造が垂直磁場像で観察され, 磁場極性像では垂直磁場の上向き/下向き (表面磁極の極性) が明瞭に識別できる. これらのラインプロファイルに見るように, 垂直磁場の強度がゼロになる垂直磁場の上向き/下向きの境界で, 位相が 180° 変化しており, 表面凹凸が大きいにもかかわらず, 磁区構造が明瞭に観察できることがわかる. 破断面で磁区観察ができるのは, 超常磁性探針が磁場の計測方向である探針の真下からの垂直磁場を主に捉えているためと推察される. 講演では, 試料からの直流磁場計測の詳細に加えて, 試料の磁化が交流磁場で可逆的に変化する箇所が発生する交番磁気力を利用した, 試料からの交流磁場のイメージング結果についても報告する. 測定試料は日立金属(株)様からご提供いただきました.

参考文献 1) 中村哲也, 小谷佳範, 広沢哲, 第 39 回日本磁気学会学術講演概要集 10pA-1, 2015.

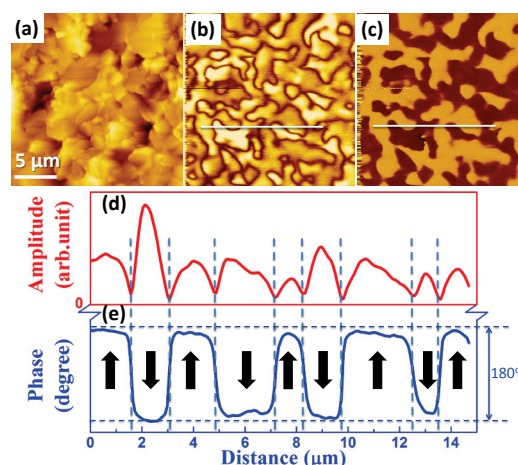


Fig.1 (a) topographic image, (b) perpendicular magnetic field image, (c) polarity image of magnetic field for fractured surface of sintered Sr ferrite magnet. (d) and (e) are the line profile of (b) and (c), respectively.