

強磁性形状記憶合金における磁氣的・力学的機構のマルチモーダル解析

Multimodal analysis of magnetic and mechanical mechanisms in ferromagnetic shape memory alloys

東理大基礎工¹、物質・材料研究機構²

○(B)佐藤 駿丞¹、(M1)仙井 遼平¹、(P)Alexandre Lira Foggiatto¹、三俣千春²、小飼 真人¹

Tokyo Univ. of Science¹, NIMS²

Shunsuke Sato¹, Ryohei Seni¹, (P)Alexandre Lira Foggiatto¹, Chiharu Mitsumata², Masato Kotugi¹

E-mail : 8217050@ed.tus.ac.jp

強磁性形状記憶合金(FSMA)は磁歪効果を利用したエネルギー変換材料であり、IoT 機器のセンサーやアクチュエーターを支える磁性材料として注目されている^[1]。FSMA の磁歪効果は、応力・磁場によりマルテンサイト組織内で結晶学的再配向が促進される現象として知られている^[1,2]。その一方で、磁歪効果の理解には、巨視的な歪みと磁化の関係性だけでなく、マルテンサイト双晶と磁区構造の微細組織の関係性が重要となるが、微細組織の解析は極めて定性的で、定量的な解析が十分でない。

そこで本研究では、数理情報科学に基づくマルチモーダル解析により、微視的な磁区構造と巨視的な磁氣的エネルギーの双方向接続を試みた^[3]。磁区構造の大規模画像データを対象に、微細組織の特徴をパーシステントホモロジー(PH)とフーリエ変換(FFT)を用いて抽出し、磁気弾性エネルギーとの対応関係を説明能力の高い機械学習を用いて解析した。

開発では代表的な FSMA の一つである Fe-31.2at%Pd を対象に、Landau-Lifshitz-Gilbert (LLG)方程式と時間依存の Ginzburg-Landau (TDGL)方程式を併用し、磁気弾性エネルギーを共有しながら、磁区構造とマルテンサイト組織を計算した。条件として段階的に一軸応力を印加し、一連のデータセットを得た。機械学習では PH、FFT を用いた特徴量抽出の後、主成分分析で次元削減を行った。

Fig.1 は FSMA の磁区構造と磁気弾性エネルギーの微細組織である。磁区構造の磁壁が磁気弾性エネルギーの高い領域と対応しており、既往の磁歪現象を正しくシミュレートできていることがわかる^[4]。

また主成分分析による次元削減結果を Fig.2 に示す。各点は双晶境界の数で 3 領域に分類され、双晶境界の数とよく対応することが確認できる。また応力の増加に伴い、PH の PC1 が減少し、FFT の PC1 が増大するように変化している。この結果は、PH で短距離秩序に相当する双晶境界の減少を、FFT で長距離のストライプ状の磁区相の変化を上手く捉えられていることを意味する。さらに磁気弾性エネルギーの連続変化ともよく対応している。

本研究では、PH、FFT 及び PCA を組み合わせたマルチモーダル解析によって、FSMA の磁氣的・力学的機構における磁区構造と磁氣的エネルギーを対応付けた議論が可能となり、今後は、外部磁場印加や実材料を対象とした解析が期待される。

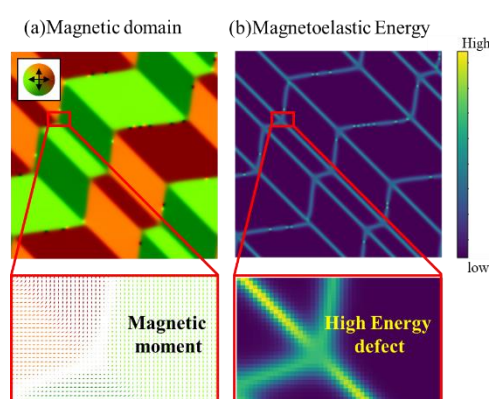


Fig.1 Relationship between Magnetic domain and Magnetoelastic energy

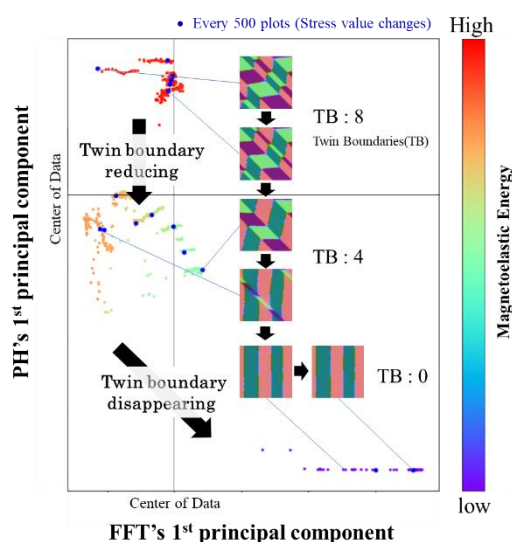


Fig.2 Dimensional reduction results by principal component analysis
(Each axis of the plot is 1st principal components of PH and FFT, colormap is magnetoelastic energy)

- [1] A. Sozinov et al, Appl. Phys. Lett, 102(2013), 021902
- [2] Medha Veligatla et al, Acta Materialia, 193(2020), 221-228
- [3] T.Yamada et al., Vac. Surf. Sci. 62, (2019) 15
- [4] Y. Ge et al, Journal of Applied Physics, 2159(2004), 96