

ビッター法による磁区画像から磁化特性の評価

藤咲 忠晴 早野 誠治 齋藤 兆古* (法政大学)

Magnetization Characteristics Evaluation by Bitter Domain Images

Tadaharu Fujisaku, Seiji Hayano, Yoshifuru Saito*, (Graduate School of Hosei University)

Abstract

The Bitter method is most easily observing way of the magnetic domains even though it is limited to the surface. To observe the magnetic domains by Bitter method, magnetic liquid is put on the target magnetic material after electrical field polishing process. Applying magnetic field to this magnetic material covered by magnetic fluid makes it possible to observe the magnetic domain dynamics by a microscope.

Principal purpose of this paper is to develop a magnetization measurement device for quality control of the magnetic materials by visualizing the magnetic domains by Bitter method. As a first step of our project, we reveal that local magnetization characteristics could be evaluated by means of the Bitter method.

キーワード：準解析的方法，電気回路，過渡現象
(Magnetic domain dynamics, Silicon steel simulation)

1. はじめに

磁性鋼板は電気・電子機器を構成する主要な材料である。一般に、磁性材料は磁区と呼ばれる微小磁石の集合で構成され、外部磁界に応じて材料中の磁気エネルギーが最小となるように磁区が変化する。すなわち、磁性材料の磁化過程は外部磁界に対する磁区挙動である。所望の磁化特性を持つ材料開発・評価に、磁区挙動の可視化は磁化過程を掌握するために重要な役割を担う。磁区挙動の可視化は、磁性コロイド溶液を用いたビッター法、電子顕微鏡に拠る方法、磁気光学効果を利用した方法等で行われる⁽¹⁾。ビッター法は手軽な方法であるが、磁区間の磁壁しか観察できない。また、磁気光学的方法は磁性体表面の磁区挙動可視化に限定される。電子顕微鏡に拠る方法は磁性体内部の磁区挙動を観察可能とするが、高価な機器を必要とする。

従来、我々は磁区の電子顕微鏡画像から磁性体の磁化特性を抽出する全く新しい方法を提案した。現在、我々は安価な設備で磁性体の磁区を可視化可能とするビッター法を用いて磁性体の磁化特性を抽出する方法を開発している。第一段階として、磁性体の磁区画像と磁化特性の関係を把握するため、球状永久磁石を使ったハードウェアシミュレーションを行い、方法の妥当性を検証した⁽²⁾。本論文では実

際にビッター法で磁区動画の可視化を行い、その結果から局所的な磁化特性が把握出来るかを検証する。

本論文の構成は4章からなる。1章は緒論であり、本研究の社会的な背景と目的について述べた。2章は磁性体の磁区可視化法について述べる。すなわち、ビッター法を用いて磁性鋼板の動的磁壁移動を可視化する。3章では可視化した画像から平均値差分法を用いて静止部分を削減し、動的部分より磁化曲線を描く。4章はまとめである。



図1 供試実験装置

Fig. 1 Experimental equipment

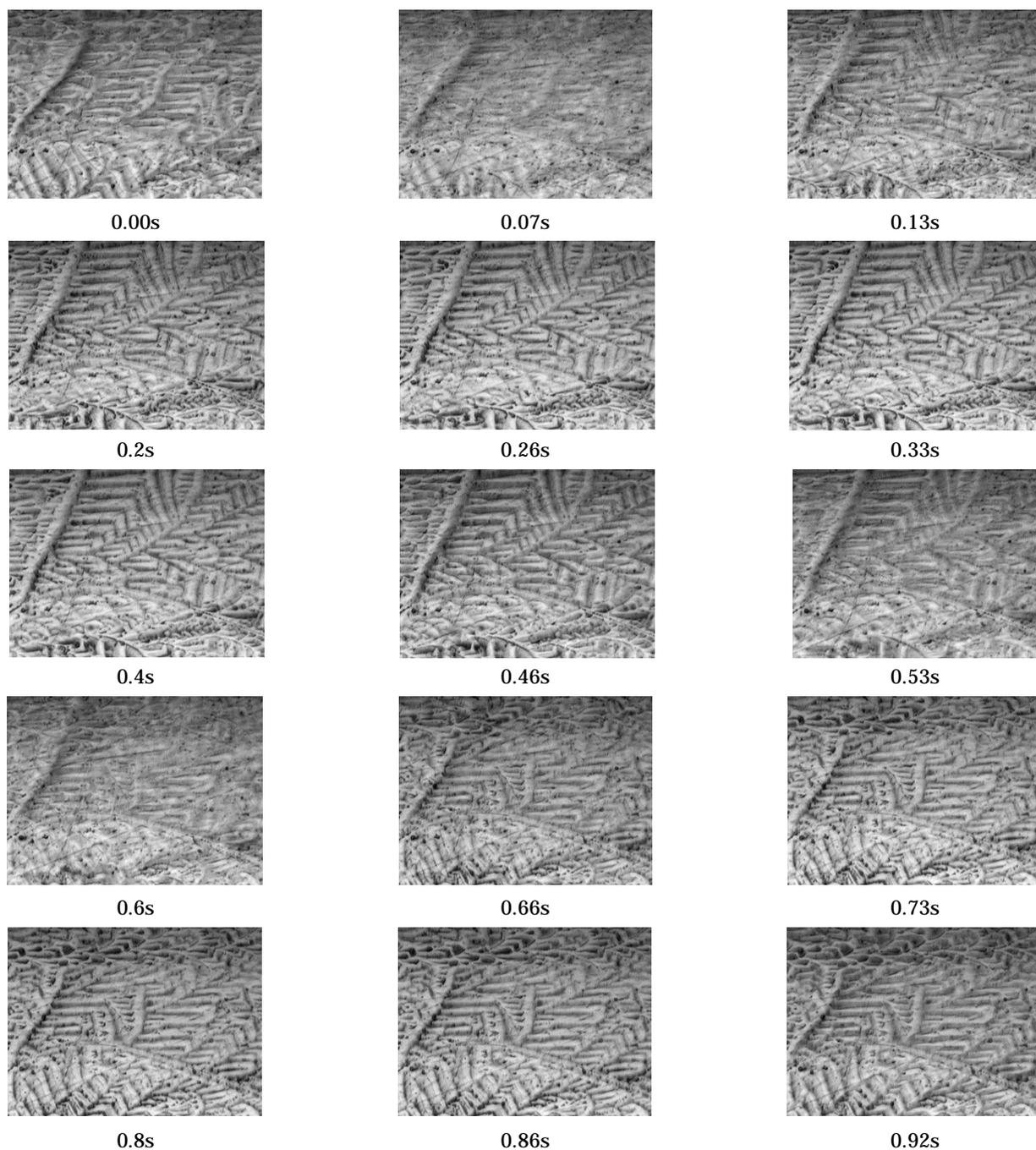


図 3 ビッター法による磁壁移動の可視化

Fig.2 Visualized Magnetic Domain Images by Bitter Method

2. 動磁区画像

2.1 ビッター法による磁壁移動の可視化 磁性材料の表面の磁区を観察するには、反射型の金属光学顕微鏡を用いる。試料台に試料を載せて、研磨した試料面にスポイトで磁性コロイド溶液をたらし、カバーガラスを載せて観察する。強磁性微粒子（酸化鉄）のコロイド液を強磁性体表面につけると、コロイド液内に分散していた酸化鉄の微粒子が、磁壁付近の急峻な磁化変化による表面への漏れ磁束の傾斜に引き付けられて集まり、表面近くの磁壁の観測ができる。この引き付けられた微粒子を光学顕微鏡で観

察する⁽³⁾。この原理はマグネットビューワー商品などに応用されており、比較的面倒な実験準備を必要とせずに、実行可能である。今回は珪素鋼板を電解研磨法によって研磨し、磁区観測用コロイド溶液をたらし、顕微鏡により観測を行った。顕微鏡の倍率は750倍である。

2.2 磁壁移動の可視化 図1は磁壁移動の可視化に使用した実験装置である。検出コイルと励磁コイルを設けてある。励磁コイルへ周波数1Hzの正弦波交流電流を通電し、磁界をサンプル珪素鋼板に印加する。珪素鋼板に磁界を印加すると、印加磁界に対して磁気エネルギーが最小

になるために磁壁が移動し、その結果として、磁壁に吸着された酸化鉄の微粒子が移動する。従って、酸化鉄の微粒子、すなわち、磁性流体の動きを撮影することで磁壁の挙動が可視化される。本実験では画像はNTSC方式のモノクロ動画である。図2は可視化された磁区動画の各フレームを示す。



図3 図2の全動画を構成する数値データの平均値から求められた無方向性珪素鋼板の静的磁区画像
 Fig. 3. Static Magnetic Domain Image derived as an average of entire frame images in Fig. 2.

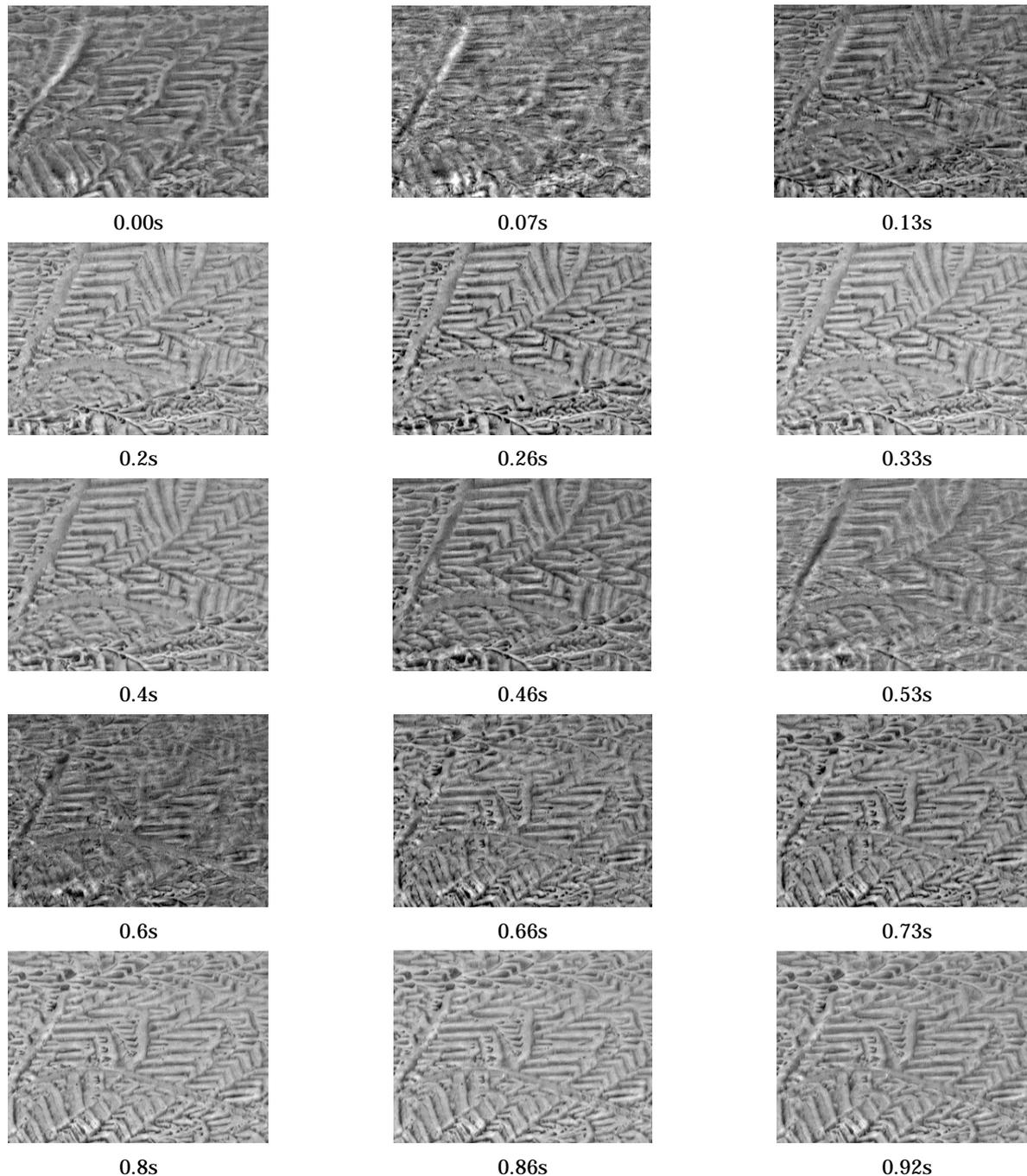


図4 図2の画像から図3の静的部分を削除した動的磁区画像
 Fig.4 Dynamic Magnetic Domain Images not Including Static Background Image in Fig.3

3. 磁区動画像と磁化特性

3.1 背景画像と磁区動画像 前節では、磁壁移動に対応する磁性流体の動画像を図2に示した。図2のフレーム画像では、磁性流体の不動部分と珪素鋼板そのものの物理的な傷などが背景画像として含まれている。

図2のフレーム画像から背景画像を削除して動画像部分のみを抽出することを考える。従来、対称境界条件を設定した2階偏微分方程式から導かれるモーダルウェーブレット変換のマザーウェーブレット部分が背景画像であることが知られている(4)。このマザーウェーブレット部分は全フレーム画像で同一画素位置の画素値の平均値に対応するから、全フレームから背景画像が抽出可能であり、図3が結果として得られた背景画像である。

図4は図2の各フレーム画像から背景を削除して得られた動画像の各フレーム画像である。

3.2 磁化特性 図4の各フレーム画像の濃淡で表されている画素値とサーチコイルを使って得られる平均的磁束密度を対応させて、画像の画素値から各画素位置の磁化特性を算出する。平均的磁束密度は式(1)のファラデーの法則に基づく誘起電圧 $v(t)$ を積分して得られた磁束鎖交数から算出した(5)。図5に平均的磁化曲線を示す。

$$v(t) = -N \frac{d\phi(t)}{dt} \dots\dots\dots (1)$$

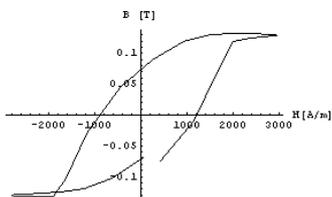


図5 供試全体としてのB-Hループ
Fig.5 Averaged Magnetization Characteristic Curve

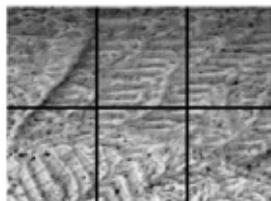


図6 全体を6分割し各部分の磁束密度を求める
(0s 750倍)
Fig.6 Sample Area for Local Magnetization Characteristic Extraction

図6は無方向性珪素鋼板の磁界印加直前の0sにおける動的磁区画像である。この画像全体を6分割し、局所的磁化曲線を書く。

図5に各磁界と平均的磁束密度が与えられているから、図4の各フレーム画像の平均画素値と磁束密度値を対応させることで、相対的に長方形の範囲における局所的磁化特

性を求めることができる。図7は得られた局所的磁化特性である。

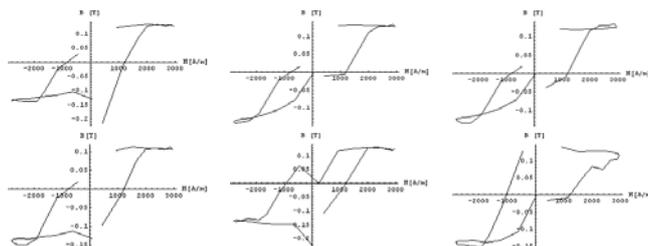
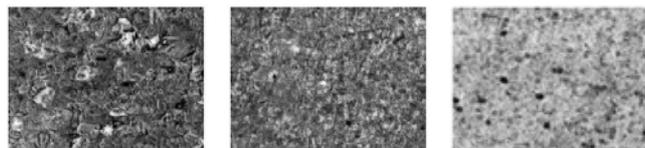


図7 図6を6分割し得られた各部分のB-Hループ
Fig.7 Local Magnetization Characteristic Curve Divided into 6 Uniform Size



Soft Iron Permalloy Nickel
図8 軟鉄, パーマロイ, ニッケルの磁区画像それぞれ全体を6分割し各部分の磁束密度を求める
Fig.8 Local Magnetization Characteristic Curve Divided into 6 Uniform Size

図8は図4と同様にして得られた軟鉄, パーマロイ, およびニッケルの動画像の1フレームである。さらに、図9は図6と同様にして得られた軟鉄, パーマロイ, およびニッケル, それぞれの局所的B-Hループである。

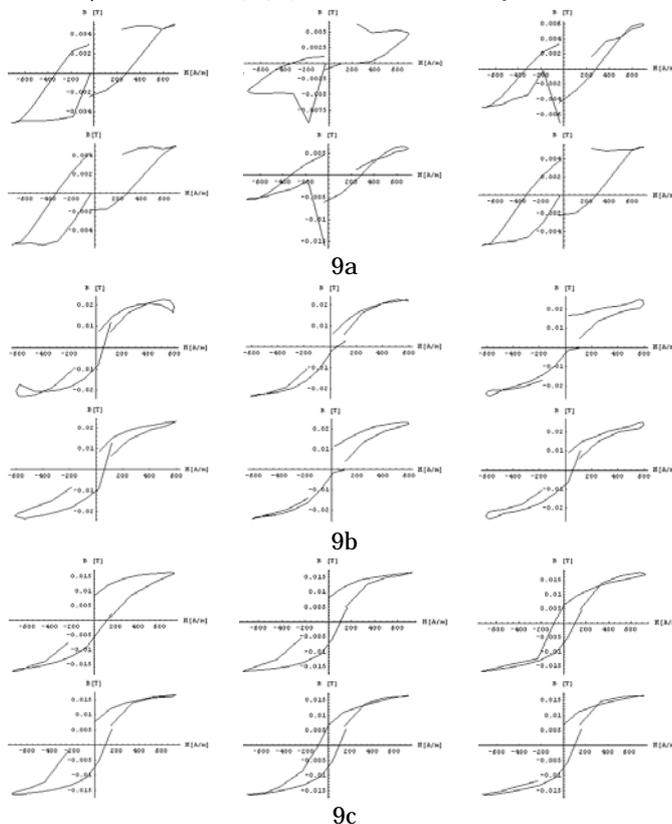


Fig.9 Local Magnetization Characteristic Curve Divided into 6 Uniform Size

4. まとめ

本論文では、磁区挙動、磁壁移動が磁性体の磁化過程に結びついていることに着眼し、磁壁移動を可視化した画像から、局所的磁化特性を評価する方法を提案した。実際の磁性鋼板の磁壁移動をピッター法により可視化し、可視化された磁壁移動の画像の濃淡値から局所的磁化特性を評価する方法を提案した。従来、筆者らが提案した球状永久磁石を用いたハードウェアシミュレーション結果と同じ傾向の結果を本論文で提案した手法で得た。これは、これまで経験豊かな技術者の目視により行われてきた磁性材料の磁化特性評価が計算機を用いて自動化され高精度・高速に行える可能性を示唆している。

文 献

- (1) Alex Hubert, Rudolf Schaefer : "Magnetic Domains", (Springer,1998)
- (2) 大窪雄亮・遠藤久・早野誠治・齋藤兆古・堀井清之：「球状永久磁石を用いて模擬した磁性鋼板の動的磁区挙動の可視化」, 可視化情報, Vol. 23, No. 1 pp. 263-266 (2003)
- (3) 川西健次・近角聰信・櫻井良文：「磁気工学ハンドブック」, 朝倉書店, (1998)
- (4) H. Endo, I. Marinova, S. Hayano, Y. Saito and K.Horii : "Modal-Wavelets and Their Applications", IOS Press, No. 14 pp. 279-284 (2003)
- (5) 山田直平：「電気磁気学」, 電気学会 オーム社