

動的磁壁画像の可視化による強磁性体の磁化特性と $1/f$  ゆらぎ周波数特性

ISHII, Takashi / SAITO, Yoshifuru / 石井, 隆 / 齊藤, 兆古

---

(出版者 / Publisher)

法政大学情報メディア教育研究センター

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

法政大学情報メディア教育研究センター研究報告

(巻 / Volume)

23

(開始ページ / Start Page)

1

(終了ページ / End Page)

4

(発行年 / Year)

2010-06-01

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00006824>

## 動的磁壁画像の可視化による強磁性体の磁化特性と 1/f ゆらぎ周波数特性

# Magnetization and 1/f Fluctuation Frequency Characteristics of Ferromagnetic Materials by Visualizing the Dynamic Magnetic Wall Movements

石井 隆, 齋藤 兆古  
Takashi Ishii, Yoshifuru Saito

法政大学大学院工学研究科電気工学専攻

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

We have previously reported that local magnetization characteristics could be obtained from the visualized magnetic domain dynamics. Final purpose of our research on visualized magnetic domain dynamics is to work out a fully automatic quality control system. And also, we plan to deduce some rules governing the magnetic domain dynamics system from the visualized thin magnetic materials domain dynamics. Present paper, we try to visualize the magnetic domain wall dynamics of ferromagnetic materials when applying not only the anhysteretic magnetizing condition but also mechanical stress. We try to extract 1/f as well as  $1/f^\alpha$  fluctuating frequency characteristics from the magnetic domain wall dynamics, where  $\alpha$  is the generalization of 1.

**Keywords:** Ferromagnetic materials, Magnetic domain wall dynamics, Visualization

### 1. 緒論

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。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<sup>1)</sup>。現在、我々は安価な設備で磁性体の磁壁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<sup>2)</sup>。

本稿では、強磁性体の鉄を用いて、交流磁界中における強磁性体の磁壁移動および、交流磁界中に直流磁界を重畳させた場合の磁壁移動をビッター法で可視化し、その結果から直流偏磁した場合の磁化特性抽出を試みる<sup>3)</sup>。さらに、珪素鋼板に応力を加えた場合の磁区挙動をBitter法で観察し、応力下の磁区画像の特徴を  $1/f^\alpha$  ゆらぎ周波数分布特性で評価する。

**2. 磁壁移動の可視化と磁化特性**

**2.1 ビッター法による磁壁移動の可視化**

試料台に試料を載せて、研磨した試料面にスポッ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。強磁性体微粒子（ $\gamma$ 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起因する表面の漏れ磁束の傾斜に引き付けられて集まり、表面近傍の磁壁の観測ができる。この原理は、マグネットビューワーなどの商品に応用されており、比較的面倒な実験準備を必要とせず磁壁観察を可能とする<sup>2)</sup>。

Fig.1 に本研究で使用した実験装置と励磁コイルを示す。Table 1 に本実験で使用した励磁コイルと検出コイルの仕様を示す。

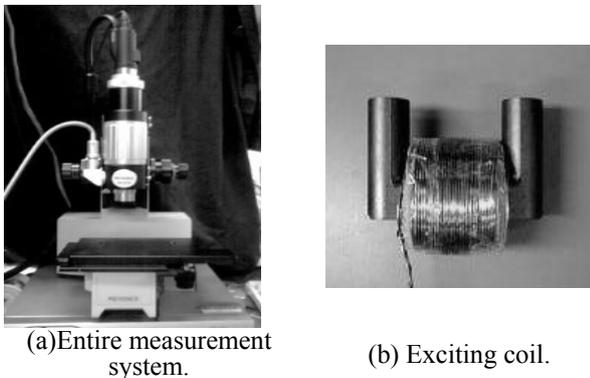


Fig.1 Experimental devices for magnetic domain wall observation.

Table 1 Various constants used in the experiments.

| Coil.          | Turn.     | Diameter of coil. | Length of coil. |
|----------------|-----------|-------------------|-----------------|
| Exciting coil. | 300[Turn] | 11[mm]            | 20[mm]          |
| Search Coil.   | 200[Turn] | 2.5[mm]           | 15[mm]          |

**2.2 交流磁界中の磁壁移動と磁化特性**

Fig.2 に周波数 1 [Hz] の交流磁界を印加した場合の磁区のフレイム画像例を示す。Fig.3 は供試材料の B-H 磁化特性である。

**2.3 直流偏磁下の磁壁移動と磁化特性**

Fig.4 に直流偏磁下における磁区画像を示す。Fig.5 は供試材料の B-H 磁化特性である。

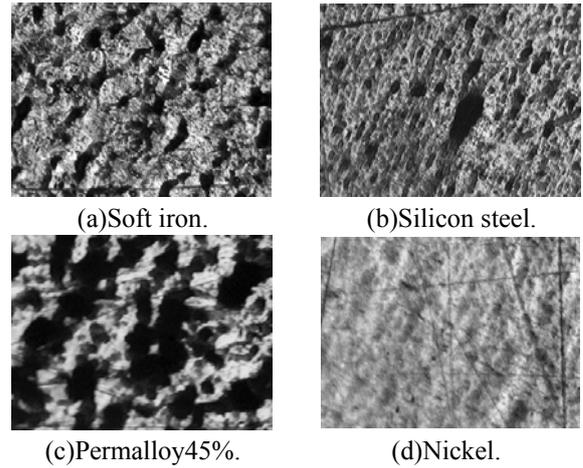


Fig.2 Flame images of magnetic domain dynamics under the alternating magnetic fields.

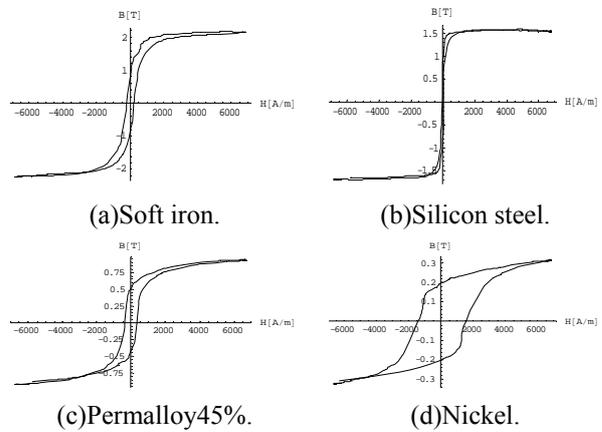


Fig.3 B-H Loops of the tested magnetic materials.

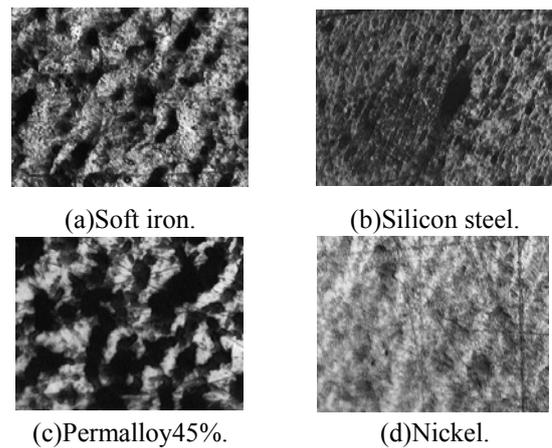


Fig.4 Flame images of magnetic domain dynamics under the anhysteretic magnetic fields.

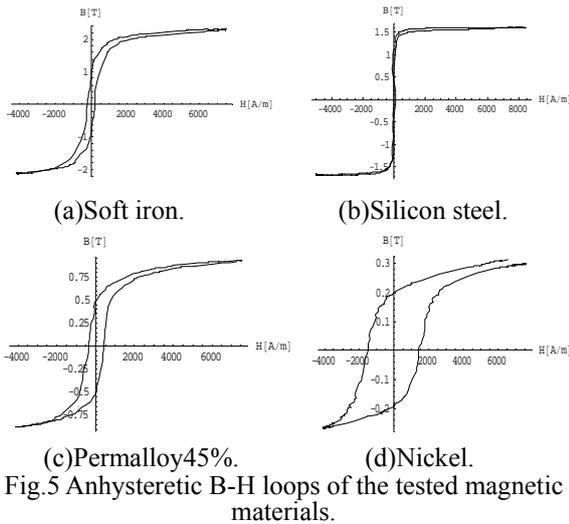


Fig.5 An hysteretic B-H loops of the tested magnetic materials.

### 3. 磁区画像の 1/f ゆらぎ周波数特性

#### 3.1 1/f ゆらぎ周波数特性

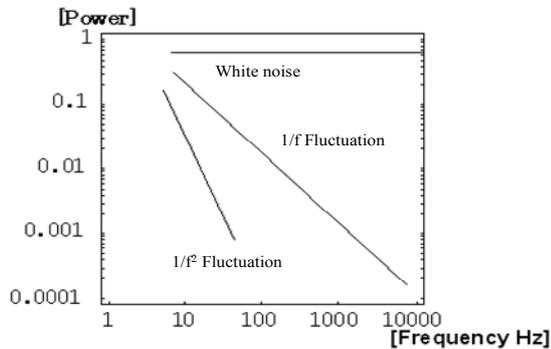


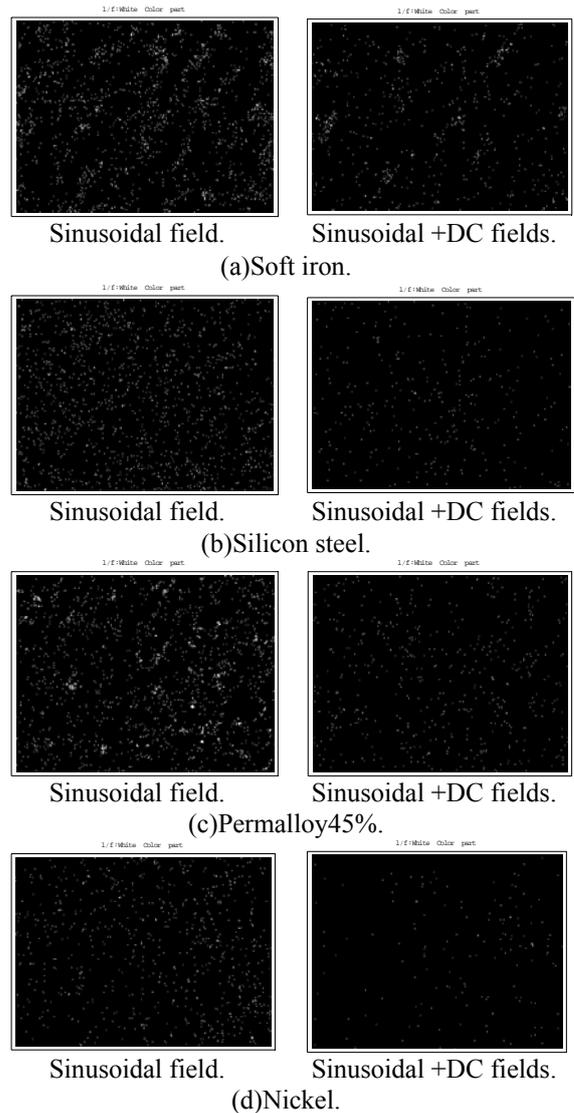
Fig.6 Typical fourier power spectrum.

「1/f ゆらぎ」は小鳥の囀りなどの自然界に多く存在する。Fig.6のように、直線の傾きが0の場合は主にホワイトノイズである。また、直線の傾きが急になる程単調な信号である。そしてホワイトノイズと単調な信号の中間的な信号で傾きが約-1の場合を「1/f ゆらぎ」と呼び、人間が心地よいと感じる信号と言われている。

磁区動画の 1/f ゆらぎは磁区画像のフレーム方向変化、すなわち、時間の変化によって生成される。

#### 3.2 磁区画像の 1/f ゆらぎ

Fig.7 に交流磁界中と直流偏磁下における磁区画像の 1/f ゆらぎ周波数分布を白黒二値化させて示す。白色の点は 1/f ゆらぎを表し、それ以外は黒色である。直流偏磁下では 1/f ゆらぎが削減することが判明した。



White : 1/f frequency  
Fig.7 Extracted 1/f frequency fluctuation.

#### 3.3 応力下の 1/f<sup>α</sup> 周波数特性

Fig.8 示すように、強磁性体材料の珪素鋼板に応力を加え、たわみを 1mm~4mm まで変化させた。交流磁界を印加させた場合の 1/f<sup>α</sup> 周波数を抽出した磁区画像を Fig.9 に示す。同図で、1/f 周波数分布特性を式(1)で評価した結果を Table 2 に示す。さらに、平均値の 1/f<sup>α</sup> 周波数分布の可視化磁区画像を Fig.10 に示す。

$$\frac{1/f \text{を呈する画素数}}{\text{全画素数}} \times 100[\%] \quad (1)$$

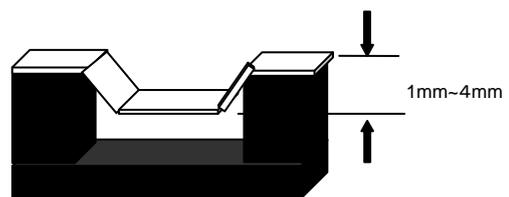


Fig.8 Ferromagnetic under downward stress.

Table 2 1/f frequency fluctuation characteristic.

| The stress situation. | Extraction rate. |
|-----------------------|------------------|
| 0mm                   | 3.59%            |
| 1mm                   | 1.89%            |
| 2mm                   | 1.59%            |
| 3mm                   | 1.01%            |
| 4mm                   | 0.88%            |

1/f 周波数を抽出した磁区画像 (Fig.9) と平均値  $1/f^\alpha$  周波数の磁区画像 (Fig.10) を観察すれば、たわみ 0mm の場合は、単調な揺らぎから、1/f ゆらぎ周波数、ホワイトノイズまでバランス良く分布している。しかし、応力の微小な増加がホワイトノイズ喚起し、1/f ゆらぎ周波数を削減している事が分かる。

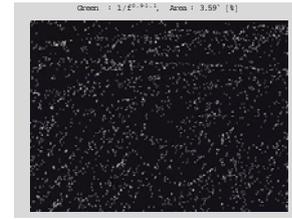
磁性体に応力を加えると磁区間の接合が密となり、磁区移動の条件が変わり、磁化は比較的ランダムに近い形でなされるため、これがホワイトノイズを喚起していると考えられる。

4. まとめ

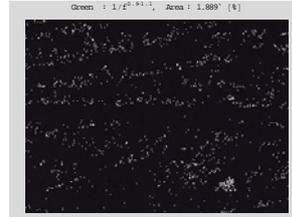
本稿では、従来から我々のグループで開発している可視化磁区動画から局所磁化特性および 1/f ゆらぎ周波数の抽出法を直流偏磁下へ拡張を試みた。その結果、直流偏磁が起きた場合、どのように局所的な磁壁移動へ反映するかを可視化した。1/f ゆらぎ周波数で直流偏磁特性を評価すると、1/f ゆらぎ周波数は直流偏磁が無い場合よりも減少する。応力下では、たわみの長さが長くなるにつれて、ホワイトノイズが顕著となり、1/f ゆらぎが減少した。従って、直流偏磁と同様に一種の磁気飽和された状態とも見なしえる。しかし、ホワイトノイズの磁壁運動は単純な磁気飽和では説明出来ない。

参考文献

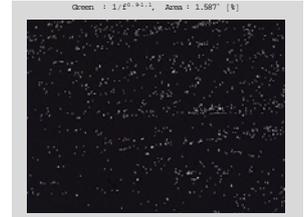
- 1) Hisashi Endo, Seiji Hayano, Masahiro Fujikura, Hisashi Mogi, Chikara Kaido and Yoshifuru Saito; Magnetic domain dynamics visualization, International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics 15 (2001/2002) 409-416
- 2) 須永高志, 寺西正晃, 齋藤兆古, 堀井清之: ビッター法による可視化画像から1/fゆらぎの抽出、可視化情報学会シンポジウム、2006年7月、A311
- 3) 石井隆, 齋藤兆古, 堀井清之: 動的磁壁画像の可視化による強磁性体の磁化特性、可視化情報学会シンポジウム、2009年7月、P01-004



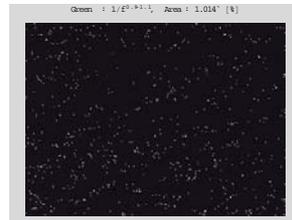
(a)0mm.



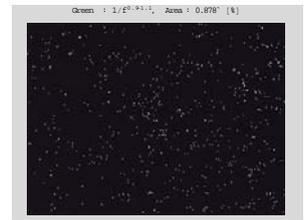
(b)1mm.



(c)2mm.



(d)3mm.

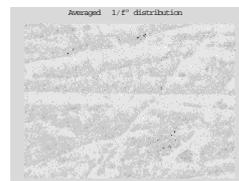


(e)4mm.

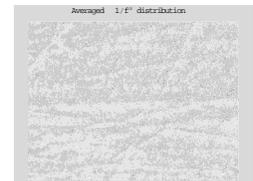
White : 1/f frequency  
Fig.9 Extracted 1/f frequency fluctuation.



(a)0mm.



(b)1mm.



(c)2mm.



(d) 3mm.



(e) 4mm.

Fig.10 Averaged  $1/f^\alpha$  distributions.