

セルオートマトンによる磁化特性の可視化 複雑系の物理とプライザッハモデル

宮坂 総 , 齋藤 兆古(法政大学大学院), 堀井 清之(白百合女子大学)

Visualization of Magnetization Characteristics by Cellular Automaton - Physics of complex systems and Preisach model - Sou MIYASAKA, Yoshifuru SAITO, Kiyoshi HORII

ABSTRACT

The cellular automaton is being widely used for analyzing complex physical systems as a deterministic methodology. Although theory of cellular automaton innovated in 1940 by Neumann, German scientist Preisach had worked out the same to the cellular automaton model to represent the nonlinear magnetization characteristics of ferromagnetic materials in 1935. In 1984, S. Wolfram pointed out that method of cellular automaton was a reasonable methodology to represent the complex physical systems but Preisach had derived as is called Preisach model by cellular automaton for typical nonlinear complex ferromagnetic physical system.

In this paper, we try to derive the Preisach type, i.e. cellular automaton, model by visualizing magnetic domain movements by Bitter method.

Keywords: Cellular Automaton, Preisach model, Hysteresis

1. 緒 論

セルオートマトンは、1940年代にノイマンによって提唱された。その後、1984年にウルフラムによって複雑系のシミュレーションを行う決定的な方法として紹介され、近年、多くの分野で新世代シミュレーション技術として研究・開発が行われている。特に、従来の方法ではモデル化が困難であった交通渋滞、雪崩、さらに火事などの自然災害のシミュレーションにも用いられており、今後さらなる研究開発と実用化が期待されている。

一方、磁性体は極めて複雑な磁化特性を呈するが、1930年代にこの磁化特性を表現するモデルがプライザッハによって提唱された。このプライザッハモデルは極めて具体的な磁区理論に基づくため、他に代替えとなるモデルが無く、現代でも磁気記録理論や磁性体を含む磁界計算に広範に使われている。

本稿は、セルオートマトンを用いてプライザッハモデルを導き、プライザッハモデルはセルオートマトン理論が提唱される以前に既に提案され実用化されたセルオートマトンによる磁化特性モデルであることを述べる。具体的には、ビッター法を用いた可視化磁区動画からセルオートマトンモデル導き、このセルオートマトンモデルから強磁性体の磁化特性を導く。¹⁾

2. セルオートマトン

2.1 セルオートマトンとは

セルオートマトンとは、格子サイトがいろいろな初期

値を持つ不連続な系からなり、これらのサイトはそれぞれのサイトがいくつかの局所的な隣接サイトの値に基づいた新しい値と有限な数の過去の時間ステップを仮定すると、離散的な時間ステップで状態が変化するものである。²⁾

また、セルオートマトンには、空間の広がりに応じて1次元、2次元、さらに3次元のセルオートマトンがある。

2.2 セルオートマトンの例

ある一定のルールを決め、実行した1次元のセルオートマトン例を示す。Fig.1は初期値(0 1 0 0 1 1 0 1 0 1 1 0 0 0 1 0)でセルオートマトンのルール30((左近傍 t の値 右近傍) t+1の値: (1 1 1) 0, (1 1 0) 0, (1 0 1) 0, (1 0 0) 1, (0 1 1) 1, (0 1 0) 1, (0 0 1) 1, (0 0 0) 0)を適用した場合をFig.1に示す。

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| t=0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| t=1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| t=2 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| t=3 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| t=4 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| t=5 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 |

Fig.1 Example of Cellular Automaton based on Rule 30.

3. 磁化特性のセルオートマトンモデル

3.1 プライザッハモデル

セルオートマトンを用いたプライザッハモデルのシミュレーションを行った結果をFig.2に示す。

P01-004

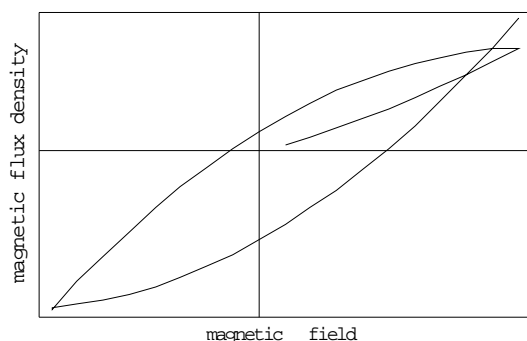


Fig.2 Magnetization Curve computed by Cellular Automaton, i.e. Preisach Model.

Fig.2 のシミュレーションに使ったセルオートマトンを Fig.3 に示す. Fig.3 の図の黒色部分は 1 の値を、灰色部分は - 1 の値を持つ. Fig.2 はそれぞれの画像の値の総和を各フレームの値とし黒に転移する場合はプラスに磁化され灰色に転移する場合はマイナスに磁化されると考える. Fig.3 はプライザッハが提案したプライザッハ線図そのものに他ならない.

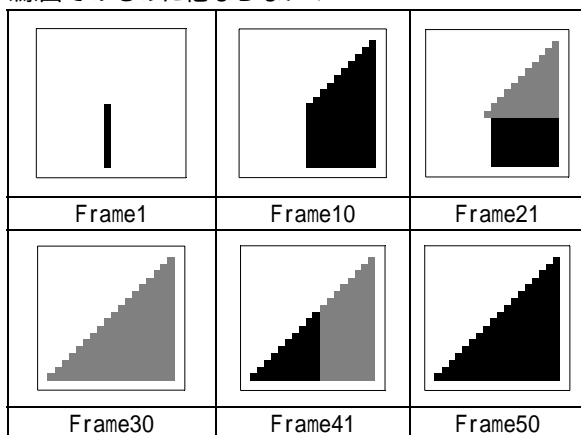


Fig.3 Cellular Automaton Images representing the Magnetization Processes.

3.2 磁区挙動からの解析

磁性体表面磁区挙動をピッター法によって可視化した. 得られた磁区挙動画像を、磁化過程によって 3 過程に分類した. 磁性体の磁化過程は、可逆的磁壁移動範囲、非可逆的磁壁移動範囲さらに可逆的回転磁化領域分けられる. 簡単のため、ここでは可逆的磁壁移動範囲について考える. 可逆的磁壁移動範囲で、正に単位磁化された部分を白色(数値 1)、磁化されていない部分を黒色(数値ゼロ)として 2 値化した磁区画像 Fig.4 は、Fig.3 の白色部がランダムに存在する、セルオートマトン画像に対応する. Fig.4 から Fig.3 と同様にして Fig.5 の磁化特性に対応する線図が得られる.

4. まとめ

本稿では、1) 簡単なセルオートマトンの例を述べ、2) 2 次元セルオートマトンとしてプライザッハ線図を示し、

3) プライザッハ線図からレイリーループを描き、4) ピッター法によって可視化された磁区画像を、磁化過程の相違で 3 領域へ分類し、5) 分類された領域の中で可逆的磁壁移動範囲に対する磁区画像を画素値に応じて 1 かゼロへ 2 値化してセルオートマトンモデルを作成した. 6) 磁区画像から得られたセルオートマトンモデルから磁化特性へ対応する線図を得ることに成功した.

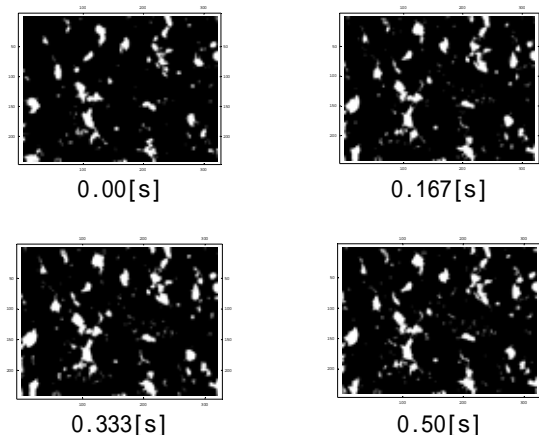


Fig.4 Binary Images of Magnetic Domains.

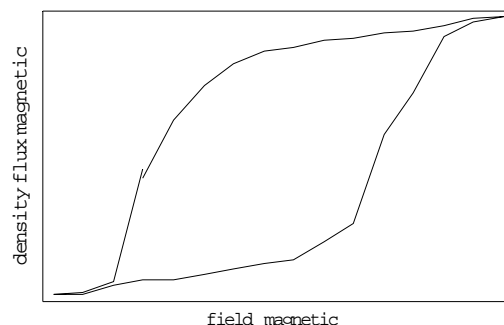


Fig.5 Diagram corresponding to the Magnetization Characteristics.

参考文献

- 1) 須永高志、齋藤兆古、堀井清之: ピッター法による磁性材料の鉄損分布の可視化、可視化情報学会シンポジウム(2007) C207
- 2) R.J.ゲイロード/P.R.ウェリン、荒井隆= 訳: Mathematica 複雑系のシミュレーション物理学と生物学の探求
- 3) R.J.ゲイロード/西舘数芽= 著、西舘数芽/西川清= 訳: Mathematica 自然現象の計算モデル化セルオートマトン・シミュレーション
- 4) 西成活裕: セルオートマトンによる複雑現象のモデル化、東京大学ホームページ、
<http://soliton.t.u-tokyo.ac.jp/nishilab/mypapers/rikouJ.pdf>