

セルラー・オートマトンによる磁化特性の表現

○宮坂 総 齋藤 兆古 (法政大学)

Representation of Magnetization Characteristics by Cellular Automaton

* S.Miyasaka and Y.Saito (Hosei University)

Abstract— After we classified the magnetization curve of a ferromagnetic material into three magnetization regions, we applied the Preisach type cellular automaton model to each of three magnetizing regions. As a result, it is shown that the magnetization curves can be represented by the cellular automaton model.

Keywords : 1/f Fluctuation, Preisach Model, Cellular Automaton

1 まえがき

セルラー・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¹⁻³⁾。

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ツハによって提唱された。このプライザツ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⁴⁾。

我々は既に磁化特性を表現するプライザツハモデルが、未だセルラー・オートマトンの概念が提唱されて無いにも拘わらず、一種のセルラー・オートマトンモデルであることを示した。

本論文では、まず古典磁区理論に基づき磁性体の磁化過程を3領域、すなわち、可逆的磁壁移動、非可逆的磁壁移動、さらに磁化ベクトルの回転磁化領域へ分割した後、これらの3領域へプライザツハ型セルラー・オートマトンモデルを適用した。その結果、磁性体の磁化特性がセルラー・オートマトン型モデルで表現可能であることを報告する。

2 セルラー・オートマトン

2.1 セルラー・オートマトンとは

セルラー・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変化する系を与える¹⁻³⁾。また、セルラー・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次元のセルラー・オートマトンがある。

2.2 セルラー・オートマトンの例

Fig. 1は初期値(0 1 0 0 1 1 0 1 0 1 1 0 0 0 1 0)でセルラー・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

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

3 磁化特性のセルラー・オートマトンモデル

3.1 プライザツハモデル

セルラー・オートマトンを用いたプライザツ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。

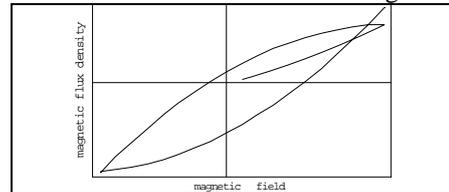


Fig.2 Magnetization Curve computed by Cellular Automaton, Corresponding to the Preisach Model.

Fig.2のシミュレーションに使ったセルラー・オートマトンを Fig.3 に示す。Fig.3 で、黒色部分は+1の値、灰色部分は-1の値を持つ。Fig.3 で、黒に転移する場合はプラスに磁化、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.2は、Fig.3の個々の画像の総和を縦軸の値、横軸は磁界とする。Fig.3はプライザツハが提案したプライザツハ線図そのものに他ならない。

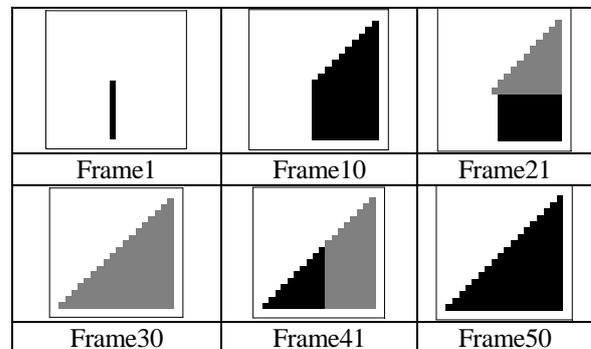


Fig.3 Cellular Automaton Images representing the Magnetization Processes

3.2 磁区挙動に基づく解析

磁性体表面磁区挙動をビット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回転磁化領域分けられる。本論文では、非可逆的磁壁移動範囲について考える。非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。その結果、得られた磁区画像 Fig.4 は Fig.3 の白色部が空間的にランダムに位置するセルラー・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 の磁化特性が得られる。

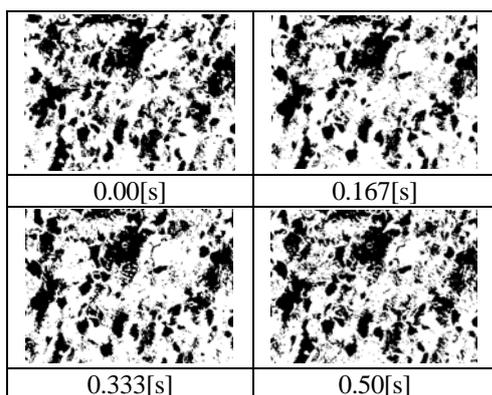


Fig.4 Binary Images of Magnetic Domains.

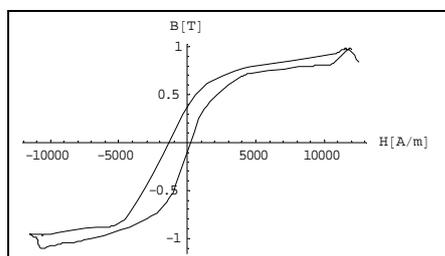


Fig.5 Magnetization Curve by obtained Binary Images of Magnetic Domains

しかし、Fig.4 の磁区挙動画像から得られた Fig.5 の磁化特性と 3.1 節で述べたシミュレーション結果には多少の相違がある。これは、Fig.4 に示す磁区画像は本来、中間的なグレイレベルを持つにも拘わらず、単純な2値化を行ったことに起因する誤差であり、磁化曲線の反転部で顕著に誤差が反映することに拠る。Fig.4 の2値化した磁区画像から、Fig.3 のプライザッハ型セルラー・オートマトンモデルの状態遷移ルールを抽出する。Fig.4 から以下の状態遷移ルールが導かれる。徐々に磁界を増加すると、しばらくはゆっくりと磁化され、その後、磁界が閾値を越えると、急激に磁化される。さらに、磁界の方向が反転する直前では、磁界が弱くなるためゆっくりと磁化される。これらのセルラー・オートマトンの状態遷移ルールをプライザッハ型セルラー・オートマトンモデルへ適用し、Fig.4 の磁

区挙動画像の画素値からプライザッハ型セルラー・オートマトンの磁化値を決定する。その結果得られたプライザッハ(型セルラー・オートマトン)線図を Fig.6 に示す。Fig.7 は Fig.6 から再現された磁化曲線である。

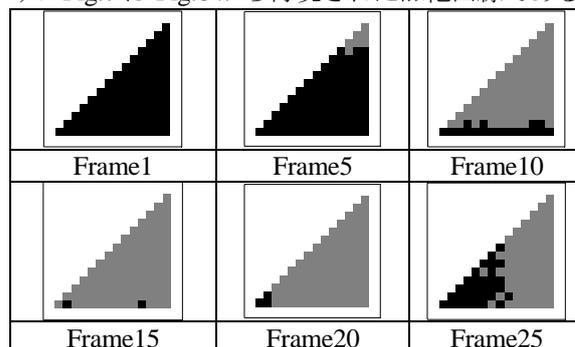


Fig.6 Cellular Automaton Images representing the Magnetization Processes taking into account the practical magnetization

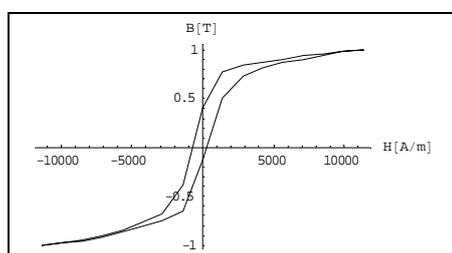


Fig.7 Magnetization Curve by Cellular Automaton Images obtained from the Preisach type cellular automaton model

4 まとめ

本論文では、最初に、2次元セルラー・オートマトンから古典プライザッハ型磁化特性モデルを導き、レイリーループを描いた。次に、ビット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、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。最後に、実際の磁区挙動画像から得られたセルラー・オートマトンモデルの状態遷移ルール、および画素値からプライザッハ型モデルのルールと磁化値を採用し、実際に観測した磁化特性に対応する磁化特性の再現に成功した。

参考文献

- 1) 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
- 2) 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ラーオートマタ・シミュレーション
- 3) 西成活裕 : セルラー・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>
- 4) 須永高志、齋藤兆古、堀井清之 : ビ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