

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	畳み込みニューラルネットワークを用いた磁性薄膜上の磁区パターン解析に関する研究
Title(English)	
著者(和文)	俣田直也
Author(English)	Naoya Mamada
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第12911号, 授与年月日:2024年9月20日, 学位の種別:課程博士, 審査員:小野 功,瀧ノ上 正浩,山村 雅幸,関嶋 政和,井上 中順,青西 亨
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12911号, Conferred date:2024/9/20, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	論文要旨
Type(English)	Summary

(博士課程)
Doctoral Program

論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース：

Department of, Graduate major in

学生氏名：

Student's Name

情報工学

知能情報

系
コース

俣田 直也

申請学位(専攻分野)： 博士

Academic Degree Requested Doctor of

審査員主査：

Chief Examiner

(工学)

小野 功

要旨(和文 2000 字程度)

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

要素間の相互作用により多様なパターンが形成される。このような自己組織化現象は自然界に広く見られる。一般的に、非線形性、非平衡性や非一様性により、生成パターンよりその背後にある生成過程を同定するのは困難な問題である。本研究では磁性薄膜の磁区パターンに着目し、機械学習を用いて、パターンからその生成過程を求める逆解析を行なう。カーネル回帰分析とディープラーニングを用いて、シミュレーションで生成した磁区パターンを解析し、パターン生成に用いたパラメータを推定できることを確認した。本研究は機械学習を用いて自己組織化現象を解析する成功例であるとともに、磁性薄膜という広範な応用分野を持つ素材の特性解析において、機械学習による新しい新しい解析手法を提供するものである。

本論文は、5つの章から構成される。

第1章「序論」では、複雑系における自己組織化の例を挙げ、特に本研究で扱う磁性薄膜に生じる磁区パターンの生成の機序と、本研究でシミュレーションのために用いた数理モデル Time-Dependent Ginzburg-Landau (TDGL)方程式について説明した。磁性薄膜の工学的応用を複数挙げ、それぞれ磁性薄膜に求められる特性が異なることから、特性の最適化の重要性を説明した。磁区パターンから磁性薄膜の特性を推定することで磁性薄膜の開発の高度化を目指すという本研究の目的を述べ、最後に関連研究を紹介し本研究の位置づけを示した。

第2章「機械学習」では、教師あり機械学習の概説を行ったとともに、本研究で用いた five-fold cross validationによるモデル選択の方法を説明した。さらに、本研究で用いた機械学習モデルである畳み込みニューラルネットワーク(Convolutional Neural Network, CNN)とカーネルリッジ回帰(Kernel Ridge Regression, KRR)について詳しく説明した。

第3章「磁気クエンチで生じる磁区パターンの解析」では、KRRと小規模なCNNによって磁区パターンからパラメータを推定できることを確認したとともに、KRRとCNNの比較を行った。磁性薄膜に垂直に付加した磁場を一定速度で弱めるクエンチ過程のシミュレーションで得た磁区パターン画像と、TDGL方程式のパラメータの組のデータセットを作成した。KRRと小規模なCNNを用いて、このデータセットによって磁区パターンからTDGL方程式のパラメータを回帰分析し、パターン生成に用いたシミュレーションパラメータの一つである磁気異方性係数を推定することに成功した。学習データとテストデータで、異なったクエンチ速度のデータを用いることでモデルの頑強性を評価したところCNNではクエンチ速度の変化に頑強であったのに対して、KRRではクエンチ速度が異なる場合は推定精度が大幅に低下した。一方、CNNは学習結果の解釈が困難であるが、KRRにはパラメータ推定のための磁区パターンの特徴量が物理的に解釈可能であるという利点があった。

第4章「ヒステリシスループで生じる磁区パターンの解析」では、CNNの精度を高めるため、自然画像分類のために開発された大規模モデルおよび自然画像データセットによる事前学習の導入により、推定精度の向上とともに、パラメータの空間変動の検出を実現した。TDGL方程式を用いてヒステリシスループ過程をシミュレーションし、ノイズ係数および双極子相互作用係数が異なる磁区パターンデータセットを作成した。このデータセットで、小規模CNN、大規模CNN、大規模かつ事前学習ありのCNNを学習・評価した。これらのモデルの中で、大規模かつ事前学習ありのCNNが、ノイズ係数と双極子相互作用係数の同時推定精度が最も高いことを確認した。また、ノイズ係数が空間的に不均一な場合において小領域のウィンドウをスライドしながら小領域におけるパラメータを推定し、推定値のマッピングを得ることを試みた。大規模かつ事前学習ありのCNNにより、ノイズ係数の空間変動が検出できることを確認した。

第5章「総合討論」では、本論文を要約するとともに、関連研究との比較を行って本研究の位置づけを議論した。また、実材料への適用に向けての問題点を示し、解決策を議論した。さらに研究の今後の課題について議論し、最後に本研究の結論を与えた。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note: Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1 copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

(博士課程)
Doctoral Program

論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース :

Department of Graduate major in

学生氏名 :

Student's Name

情報工学 系
知能情報 コース

俣田 直也

申請学位 (専攻分野) : 博士

Academic Degree Requested

Doctor of

(工学)

審査員主査 :

Chief Examiner

小野 功

要旨 (英文 300 語程度)

Thesis Summary (approx.300 English Words)

Interactions between elements lead to the formation of various complex patterns. Such self-organizing phenomena are observed in wide objects. Generally, due to nonlinearity, nonequilibrium, and non-uniformity, it is challenging to identify the underlying generation process from the resulting patterns. This paper focuses on magnetic domain patterns in magnetic thin films and performs inverse analysis to determine the generation process from the patterns using machine learning. By employing kernel regression analysis and deep learning, we analyze magnetic domain patterns generated through simulations and confirm that the parameters used for pattern generation could be estimated. This study not only serves as a successful example of analyzing self-organizing phenomena using machine learning but also provides a new analysis method for characterizing functional materials, such as magnetic thin films. The paper is composed of five chapters.

The first chapter introduces the concept of self-organization, particularly in magnetic thin films, and explain the mathematical model used for simulations in this study. It also mentions that the purpose of this study is to enhance the development of magnetic thin films by estimating their properties from magnetic domain patterns.

The second chapter provides an overview of supervised machine learning and explains the machine learning models used in this study: Convolutional Neural Networks (CNN) and Kernel Ridge Regression (KRR). It also briefly explains the model selection methods.

The third chapter analyzes magnetic domain patterns formed in the magnetic quenching process and demonstrates that KRR and CNN can estimate parameters in the simulation process from the magnetic domain patterns.

The fourth chapter improves the CNN by introducing pre-training and large-scale models. It also shows that the improved CNN can detect spatial changes in simulation parameters with the sliding window method.

The fifth chapter discusses future work and concludes this study.

備考 : 論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note : Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意 : 論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).