

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	トカマクにおける垂直不安定性を解決するための機械学習技術
Title(English)	Machine Learning Techniques to Solve Vertical Instability in Tokamak
著者(和文)	JangSejung
Author(English)	Sejung Jang
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12910号, 授与年月日:2024年9月20日, 学位の種別:課程博士, 審査員:筒井 広明,小原 徹,相樂 洋,林崎 規託,長谷川 純
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12910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)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

(博士課程)

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	張 世中 (JANG SEJUNG)		
論文審査 審査員		氏名	職名		氏名	職名
	主査	筒井 広明	准教授		長谷川 純	准教授
	審査員	小原 徹	教授	審査員		
		相楽 洋	教授			
林崎 規託		教授				

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は「Machine Learning Techniques to Solve Vertical Instability in Tokamak」と題し、4章より構成されている。

第1章「Introduction」では、研究背景として磁場閉じ込め核融合装置の一つであるトカマク型装置の計測技術と核融合中性子の計測への影響、及び、プラズマの位置制御について説明し、垂直位置不安定性、及び、プラズマ・ディスラプションやVertical Displacement Event (VDE) がトカマク型装置の解決すべき課題であると述べている。次に、本研究で用いる小型トカマク装置「PhiX」の実験データと機械学習の概要を説明し、次章以降の準備としている。その後、位置不安定性に関する取り組みや、機械学習実用化以前に用いられたエネルギー閉じ込め時間に関するデータ解析研究、及び、データ科学に基づくディスラプション現象予測などの先行研究内容を説明し、残された課題とそれに対する本研究の位置づけを示し、核融合分野では用いられたことのない種類の機械学習によるプラズマ位置不安定性の再現・予測と、重要な制御パラメータの同定を目的とすると述べている。

第2章「Estimation of Plasma Vertical Position Using Time2Vec+LSTM」では、時系列データ解析に利用できる再帰的ニューラルネットワークの改良型である Long Short-Term Memory (LSTM) を PhiX 装置の実験データに適用し、プラズマ垂直位置を再現することができたと述べている。ニューラルネットワークは非線形解析手法で、入出力の因果関係を調べることは一般に困難であるが、Time2Vec という手法を導入することで、再現性能を改善するとともに、因果関係の根拠を示すための周波数解析も行っている。その結果、垂直位置再現性能は向上し、いくつかの特徴的周波数の抽出に成功したと述べている。しかし、実験データのパワースペクトルと比較しても、抽出周波数と対応する現象を見つけることはできず、因果関係同定には他の実験データを使うなどの検討が今後必要であると述べている。

第3章「Plasma Vertical Position Prediction Using BERT」では、大規模言語モデル、Bidirectional Encoder Representations from Transformers (BERT) をプラズマ垂直位置予測に適用する新たな試みについて述べている。言語モデルはそのままでは実験データを扱うことができないので、実験データを離散化し単語を割り当て、時系列データを擬似言語の文章に対応付けることを提案している。言語モデルの単語はベクトルで表され、文章データ学習後には意味の近い単語はベクトル空間での距離が小さくなるが、実験データによる擬似言語でも、データの事前学習後は関連するデータが単語ベクトル空間でクラスターになることを示し、この方法でデータ間の関連性を示すことができることを明らかにしている。また、文章中の単語の関連度を示す Attention という別の指標を用いて時系列データ間の関連度を調べ、位置予測のための学習後には、位置予測に重要な制御パラメータを抽出することができたと述べている。また、第2章で用いた LSTM を位置予測にも適用し、その結果を事前学習有りの BERT、及び、事前学習無しの BERT の結果と比較することで、事前学習有りの BERT が一番良い予測性能を示したと述べている。

第4章「Conclusions」では、各章で得られた成果を総括し、本論文の結論としている。

これを要するに本論文は、磁場閉じ込め核融合装置における計測データと、コイル電流など制御量からプラズマの垂直位置を再現、及び、予測する手法を提案し、その有効性を実験データに基づくデータ科学的手法により明らかにするとともに、従来の機械学習では困難であった入出力の因果関係についても、一定の関連性を示すことができることを明らかにしている。この手法は既存の実験装置に適用できるだけではなく、現在用いられている計測の多くが核融合中性子の影響で利用できなくなる将来の発電炉においても、計測を補いプラズマの位置を予測、再現することが可能になることを示しており、工学上および工業上貢献するところが大きい。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として十分価値あるものと認められる。

注意:「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチポジトリ(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。