

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	トカマク型核融合炉内磁性体壁を考慮した磁気計測補正法に関する研究
Title(English)	
著者(和文)	小林孝行
Author(English)	Takayuki Kobayashi
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11513号, 授与年月日:2020年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:飯尾 俊二,小栗 慶之,林崎 規託,長谷川 純,筒井 広明
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11513号, Conferred date:2020/3/26, 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

論文審査の要旨及び審査員

(2000字程度)

報告番号	乙 第 号	学位申請者	小林 孝行	
	氏 名	職 名	氏 名	職 名
論文審査員	主査 飯尾 俊二	教授	筒井 広明	准教授
	小栗 慶之	教授		
	林崎 規託	教授		
	長谷川 純	准教授		

本論文は「トカマク型核融合炉内磁性体壁を考慮した磁気計測補正法に関する研究」と題し、全5章より構成されている。

第1章「序論」では、トカマク型核融合炉において、本研究で対象としている磁性体環境下における磁気計測が必要となる理由について概説している。プラズマの制御や平衡解析を行う上で、磁気計測に基づく炉心プラズマの位置・断面形状の推定は必要不可欠なものであり、原型炉以降においてもこの使用は避けられない。しかし、絶縁用セラミックスへの中性子照射によりセンサに生じるノイズや絶縁劣化等の問題から、炉心プラズマに直接対向する場所ではなく、遮蔽材の外側にセンサを設置しなくてはならない問題を指摘している。他方、現在検討されている原型炉において、炉内構造物の支持材として工業的生産性と大型構造への適用の観点から低放射化フェライト鋼のF82Hなどが使用の候補となっており、磁気計測のセンサがプラズマとの間に磁性体を挟む構造となるため、非線形かつ履歴現象をともなう磁性体の特性から磁気計測によるプラズマの位置・形状制御は困難になるとしている。磁気計測により磁性飽和を前提としないプラズマの位置・断面形状推定の補正法を提案し、その効果について検証することを目的とすると述べている。

第2章「トカマクプラズマの計測・制御」では、トカマク型の装置で主に用いられる計測器について概説し、磁気計測からプラズマ位置・断面形状の推定を行う手法と、磁性体環境下においてその補正を行う方法について詳述している。磁性体はその外部に作る磁場は、磁性体表面に磁化電流が流れているとするモデルで再構成することが可能であり、原型炉において設置される磁性体を含む炉内構造物は、ブランケットの支持構造として用いられるため、離散的ではあるものの非常に近接して回転対称形に近く設置されることに着目し、磁性体を作る磁場構造は、巨視的に見て軸対称の磁化面電流が作っているとみなすことが可能であると述べている。

第3章「2次元軸対称系での線形モデル磁性体における数値的検証」では、提案する手法の効果をまず磁性体が一定の比透磁率を持つモデルを利用して検証している。トカマク型核融合炉を単純化して模擬した軸対称モデルによる有限要素法を用いて、磁性体が外部の電流寄与によって作る磁場、およびプラズマの位置・形状推定の補正に扱う値である磁化面電流密度分布を解析している。トカマクプラズマの解析手法の一つとして広く用いられてきたフィラメント電流近似法を磁性体環境下において適用するために、磁化面電流密度分布を同時に推定することを提案している。磁性体の比透磁率を境界条件として磁化面電流密度を計算し推定する従来の手法は、比透磁率が一樣かつ既知の値であることが条件となるため、磁性体環境下の位置・形状推定手法の検討においては、まず比透磁率が一定である環境で有限要素法による解析を行い、それぞれの手法を用いて推定した値を比較し、提案手法においても従来の手法と同様に推定が可能であることを明らかにしている。

第4章「2次元軸対称系での非線形モデル磁性体における数値的検証」では、比透磁率が非線形に変化するモデルについて論じている。原型炉で使用が検討されるF82Hの非線形な比透磁率を数式でモデル化し、非線形磁場環境における有限要素法解析を行った模擬計測値を用いて、一般的な境界条件を用いた推定と、磁化面電流密度を推定する手法とで比較を行い、提案方法においてのみ推定が可能であることを示し、本研究の有効性を明らかにしている。さらに、トカマク型核融合炉を単純化して模擬した軸対称モデルの磁性体形状を変化させ、同様に推定が有効であることを検証している。比透磁率が非線形性を持ち、なおかつその磁性が飽和しないような磁場環境のような磁性体の位置によって比透磁率も磁化電流も変化してしまうような体系であっても、軸対称モデルにおいては単純な補正モデルを追加するだけで推定が可能となることを明らかにしている。様々な形状のモデルを扱っても、面電流密度関数に面対称一次関数型の関数を設置した場合は、安定して3%以内の誤差にとどまることを確認している。さらに、実際の形状に合わせた磁場解析をあらかじめ行い、解析対象となる磁場環境と磁性飽和の有無に合わせた適切な関数モデルを選ぶことができれば、さらに良い推定を得られると論じている。

第5章「結論」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、磁性体を作る外部磁場を表面磁化電流で計算できることに着目し、トカマク型核融合炉内に用いられる構造材の磁性飽和を前提とせず、磁気計測によるプラズマの位置・断面形状推定の補正法を提案し、数値モデルによる比較計算によりその有効性を明らかにしたもので、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、東工大リサーチポータル(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。