

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)	論文要旨
Type(English)	Summary

(論文博士)
(Dissertation Doctorate)

論文要旨

(和文2000字程度)

Dissertation Summary (approx. 2000 characters in Japanese)

報告番号 For administrative use only	乙 第 号	氏 名 Name	小林 孝行
<p>磁気計測に基づく炉心プラズマの位置・断面形状推定は、トカマク型のプラズマにおいて炉心プラズマの制御や平衡解析を行う上で必要不可欠なものであり、かつ他に置き換えられるものが開発されていない。従って、この計測手法は現在建設が進められているトカマク型核融合の実験炉ITERや、その先の開発が検討されている原型炉においても、センサ構造が単純で頑強であることから使用は避けられない。しかし、磁気センサの絶縁に用いるセラミックスが放射線にさらされると、照射誘起伝導、照射誘起絶縁劣化と照射誘起起電力と呼ばれる問題が生じるため、磁気センサは炉心プラズマに直接対向する場所ではなく、遮蔽材の外側に設置されなくてはならない。</p> <p>他方、現在検討されている原型炉において、トリチウムの増殖ブランケットのような炉内構造物を支える支持材の材料は、「放射線耐性」、「高温耐性」、「低放射化特性」、「工業的生産性」の観点から低放射化フェライト鋼のF82Hなどが候補となっている。</p> <p>このため、磁気計測のセンサとプラズマとの間に磁性材が挟まれる構造となり、実時間制御を目的とした磁気計測による収束計算を用いないプラズマの位置・形状推定は磁性を持つ材料の特性から困難になる。過去の研究では、多くのトカマク型核融合炉において用いられる2テスラ以上のトロイダル磁場に伴う磁性体の飽和現象を利用して、磁性体の計測器への影響を補正する研究がなされている。しかし、検討されているトカマク型核融合炉の中には、球状トカマクのように磁性体が飽和しない程度の背景磁場となるものも存在するため、非飽和の磁性体に対しても有効な補正方法が必要となる。</p> <p>本研究はこのような背景のもと、磁性飽和を前提としない磁性環境におけるプラズマの位置・断面形状推定の補正方法を提案し、その効果について検証することを目的とした。</p> <p>磁性体はその外部に作る磁場は磁化を用いて表されることが多いが、外部に作る磁場に限ってその磁場を考える場合には、磁性体表面に磁化電流が流れているとすることで磁束分布を再構成することも可能である。また、原型炉において設置される磁性材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、離散的ではあるが非常に近接して回転対称形に近く設置される。このためこれらの磁性体は軸対称に設置されるものとして扱える可能性がある。これらのことを合わせると、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となる。本研究ではこれを前提とし、磁化面電流密度としていくつかの関数形を仮定することで推定を行った。</p> <p>本研究ではまず、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を解析した。また、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」も、有限要素法において同</p>			

様に解析した。解析によって得られた磁場の分布を用いて、一般的なトカマク型のプラズマの磁気計測において用いられる磁束や磁束密度といった物理量を、計測器位置における模擬的な計測値として作成した。これによって得られる値は、磁性体のない環境であれば、トカマク型プラズマにおいてプラズマの解析手法の一つとして用いられてきたフィラメント電流近似法によって逆問題として解かれ、その位置・形状が推定されるが、磁性体環境下においては従来の手法では正しく解くことができない。このため、この補正を行う手段として従来の方法では扱われない物理量である磁化面電流密度分布を同時に推定し、位置・形状を推定した。

磁性体について扱う従来の方法としては、磁性体の持つ比透磁率を境界条件として設定することで、磁化面電流密度を計算し推定する手法があるが、この方法は比透磁率が既知の値であることが条件となる。このため、比透磁率が一定ではない非線形性を持つ磁性体においては、この手法を使うことは困難となる。このため、位置・形状推定においてはまず、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た。そののちに、非線形磁場環境における有限要素法解析による疑似計測値を用いて、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、本研究の有効性を確認した。

本研究の成果として、軸対称の非線形磁場環境における一定の形状をしたモデルにおいて、位置に依存して線形に変化する、あるいは定数であるような単純な関数形を持つ面電流密度分布を仮定することで、面電流密度分布の推定に基づくプラズマの位置・形状の評価が可能であることを示した。特に、磁性体の断面で支配的な長さを持つ方向の面に、表裏で対称的な線形の面電流密度分布を与えたとき、比透磁率の大きさや飽和の有無にかかわらず安定して 3% 以内の誤差で電流重心の推定を行えることを明らかにした。

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: Dissertation summaries must be written in either of the following formats: (A) both in Japanese (approx. 2000 characters) and in English (approx. 300 words), or (B) in English (approx. 800 words).

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。

Important: Dissertation summaries will be published online on the Tokyo Tech Research Repository (T2R2). Do not include information treated as confidential under certain circumstances.

(論文博士)
(Dissertation Doctorate)

論 文 要 旨 (英 文) (300語程度)

Dissertation Summary (approx. 300 words in English)

報告番号 For administrative use only	乙 第 号	氏 名 Name	小林 孝行
<p>Estimating plasma position and cross-sectional shape of the main plasma is essential for plasma control and MHD analysis in tokamak devices. This estimation based on magnetometry is the only method for the plasma control. Due to this reason and its toughness from simpleness of sensor, this method is going to be used in future fusion reactor. However, when ceramics used for sensor insulation is exposed to radiation, phenomena such as Radiation Induced Conductivity (RIC), Radiation induced Electric Degradation (RIED) and Radiation Induced Electromotive Force (RIEMF) occur, causing noise and malfunctions in the sensor. Therefore, the sensors cannot be installed in a location facing the core plasma inside blankets.</p> <p>On the other hand, low activation ferritic steel such as F82H is a candidate for the blanket material facing the core plasma from the viewpoints of "radiation resistance", "high temperature resistance", "low activation characteristics", and "industrial productivity". For this reason, magnetic material is put between the sensors and the plasma, and it may be difficult to estimate and control plasma position and shape due to the characteristics of the magnetic materials. Therefore, the purposes of this study are to suggest a correction method for the surface shape estimation of plasma in magnetic environment and to verify the effect.</p> <p>In this study, magnetic field generated by magnetic materials is expressed as the one generated by surface currents on the axisymmetric magnetic materials surface in the estimation. This is because the magnetic materials are densely installed rotationally symmetrically. In this estimation, the surface currents were defined as simple distribution function and were estimated with filament currents. The measured values were simulated by FEM, and the error between those and estimated values were evaluated. It was shown that this estimation method is effective not only when the relative permeability is given linearly but also when is given nonlinearly.</p>			

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: Dissertation summaries must be written in either of the following formats: (A) both in Japanese (approx. 2000 characters) and in English (approx. 300 words), or (B) in English (approx. 800 words).

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。

Important: Dissertation summaries will be published online on the Tokyo Tech Research Repository (T2R2). Do not include information treated as confidential under certain circumstances.