

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	非軸対称コイルによるプラズマ垂直位置安定化に関する研究
Title(English)	
著者(和文)	内藤晋
Author(English)	Shin Naito
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12775号, 授与年月日:2024年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:筒井 広明,林崎 規託,赤塚 洋,近藤 正聡,長谷川 純
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12775号, Conferred date:2024/3/26, 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

(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	内藤 晋	
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	林崎 規託	教授		
		赤塚 洋	准教授		
近藤 正聡		准教授			

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は「非軸対称コイルによるプラズマ垂直位置安定化に関する研究」と題し、全7章より構成されている。

第1章「序論」ではトカマクの概要や垂直位置不安定性、さらに上記の非軸対称磁場印加についての概略を記述し、非軸対称磁場による垂直位置安定化の有効性について説明し、サドルコイルが生成する非軸対称磁場による、プラズマ垂直位置の安定化効果の検証と、プラズマ磁場構造に及ぼす影響の解明を目的とすると述べている。

第2章「サドルコイルが生成する非軸対称磁場」では磁力線追跡により、サドルコイルの生成する非軸対称磁場とトロイダル磁場との合成磁場(以下、サドルコイル磁場と呼称)の磁力線構造が調べている。その結果として、サドルコイル磁場のポロイダル断面への射影が、垂直位置不安定性の指標となる軸対称垂直磁場における n -index が正となる磁場に似た湾曲した磁力線構造を取ることを確認している。さらに磁場を磁力線方向に積分平均して求めた磁力線平均磁場の計算により、サドルコイル磁場は垂直位置安定化に寄与する可能性がある水平磁場成分を持つことを明らかにしている。またサドルコイル磁場に適切な軸対称ポロイダル磁場を重畳すれば、閉磁気面の生成が可能であることを明らかにしている。

第3章「トカマク実験装置 PHI-X」では、サドルコイル磁場を用いた実験を行うために、小型トカマク装置 PHI-X への新規設計されたサドルコイルの組み込みや新たな干渉計視線の導入、プラズマ放電特性の改善、ノイズ対策等を行っている。加えて、フラックスループ信号の差分を用いた相関係数積法によるプラズマ位置推定法を確立し、放電ごとのプラズマ位置推定を可能にしたという成果を得ている。

第4章「PHI-X でのサドルコイル実験」では、以上の装置に関連した改良を基にトカマク放電実験を行い、サドルコイル磁場の垂直位置安定化効果を検証している。その結果として、サドルコイル磁場による垂直位置安定化効果を実験的に確認している。さらに、その垂直位置安定化効果はサドルコイル電流の2乗に比例することを実験的に明らかにしている。

第5章「VMEC を用いた3次元非軸対称 MHD 計算」では、サドルコイル磁場が印加された平衡がどのような磁気面形状を取るかを、3次元電磁流体力学(MHD) 平衡計算コード VMEC により検討している。VMEC により計算された平衡から、サドルコイル磁場により磁気面形状だけでなく磁気軸位置も非軸対称変形することを明らかにしている。また、サドルコイル磁場のプラズマ断面を縦長にする効果は小さいことを示している。さらに放電実験中の垂直位置が安定化されプラズマ中心が真空容器中心に維持され続けた放電の平衡を推定し、それらの平衡がトロイダル平均で縦長断面の平衡であった可能性を指摘している。またサドルコイル磁場は、トカマクの持つ本来の軸対称磁場分布を乱し、高エネルギー粒子閉じ込めや新古典輸送の劣化をもたらす可能性がある」と述べている。

第6章「TERPSICHORE による線形 MHD 解析」では、VMEC で計算された平衡を、3次元理想 MHD 安定性計算コード TERPSICHORE を用いて解析し、理想 MHD 方程式から予測されるサドルコイル磁場の垂直位置安定化効果を調べている。計算結果は、適切に印加されたサドルコイル磁場に垂直位置安定化効果があることを示している。加えて、実験でも確認されたように、垂直位置変位の線形成長率がサドルコイル電流の2乗に対しおおよそ線形で減少することを確認したと述べている。

第7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、トカマク型磁場閉じ込め核融合装置における縦長断面プラズマの垂直位置安定化に、サドルコイルにより印加された磁場が有効に働くことを実験、及び、数値解析で明らかにしている。この成果を既存、及び、新たに設計されるトカマク型装置に適用することで、トカマク型核融合炉の安定性が飛躍的に向上す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。