

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	磁場閉じ込めプラズマの放射光線追跡を用いたトモグラフィーの開発
Title(English)	Development of Tomography using Radiation Ray-tracing of Magnetically Confined Plasmas
著者(和文)	宗近 洸洋
Author(English)	Koyo Munechika
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12776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,小原 徹,赤塚 洋,木倉 宏成,長谷川 純
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12776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	宗近 洸洋		
論文審査 審査員		氏 名	職 名		氏 名	職 名
	主査	筒井 広明	准教授	審査員	長谷川 純	准教授
	審査員	小原 徹	教授			
		赤塚 洋	准教授			
		木倉 宏成	准教授			

論文審査の要旨（2000 字程度）

本論文は「磁場閉じ込めプラズマの放射光線追跡を用いたトモグラフィーの開発」と題し、全6章より構成されている。

第1章「序論」では、研究背景として磁場閉じ込め核融合プラズマにおける放射現象に対する取り組みや、核融合プラズマに対するトモグラフィーの開発について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、トモグラフィー解析によるプラズマ放射分布の再構成手法の開発を目的とすると述べている。

第2章「放射と測定の物理」では、プラズマ中の放射現象の物理を説明し、プラズマパラメータとの関係を明らかにするとともに、高速カメラやボロメータに共通の計測光学の原理を解説することで、今後モデル化する際の原理式を幾何光学の立場から与えている。また、ボロメータには抵抗性ボロメータ (RB) と赤外イメージングビデオボロメータ (IRVB) の2種類が存在すると述べ、それぞれの測定原理を述べている。大型ヘリカル装置ではこの2種のボロメータが取り付けられており、3次元トモグラフィーを行うためには両者を利用することが必須であることを指摘し、これらに共通する物理を示している。

第3章「トモグラフィー理論」では、計算機上で計測を模擬するためのモンテカルロレイトレーシング手法について述べている。モンテカルロレイトレーシングは Computer Graphic の分野で幾何学的な反射・屈折などを表現するためによく用いられるが、幾何光学に基づいている放射計測装置においても利用可能であり、且つより現実に近い模擬が可能であることを明らかにした後、トモグラフィー原理について述べている。放射分布再構成は不適切な逆問題に帰することが多く、最小フィッシャー原理に基づく正則化 (MFR) を用いてこれを解決したと述べている。正則化には最適な正則パラメータを決めることが必要だが、L-curve 法に基づく最適化法でこれが求まることを明らかにしている。

第4章「PHiX における再構成」では、小型トカマク装置 PHiX の仮想放射分布を用いて、反射を考慮したカメラ画像を計算で求め、トモグラフィーの有効性を評価している。さらに、実験で得られたカメラ画像を用いて、PHiX の放射光分布を再構成していると述べている。また、反射の有無、正則化方法を変更することの影響を解基底を用いて調べ、可視光トモグラフィーでの反射光考慮が重要であると述べている。

第5章「LHD における再構成」では、仮想放射分布を用いて、大型ヘリカル装置 LHD におけるトモグラフィーの有効性を評価している。LHD における3次元トモグラフィーでは、再構成解に EMC3-EIRENE コードに基づく計算グリッドを用いた非直交空間基底を活用することで解の自由度を減らすことに成功している。さらに、計算グリッドを曲線座標とみなすことで、MFR における等方・非等方勾配計算にグリッドを用いることができ、磁場構造に即した平滑化効果をもたらすことに示している。MFR は非線形な繰り返し計算に基づくため、再構成解は従来では生じる、物理的にはあり得ない負の放射強度を低減させる効果を確認できると述べている。また、プラズマ中心で弱く表面で強い放射分布に関しては、非等方的な勾配を用いた再構成像がより誤差の少ない結果を得ているので、プラズマ表面から中心部分への不純物の輸送や滞留状況を把握できることを明らかにしている。

第6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、磁場閉じ込め核融合装置における放射光分布をプラズマから発せられた放射からトモグラフィーにより再構成する手法を提案し、その有効性を数値解析、及び、実験で明らかにしている。この結果は既存の実験装置に適用できるうえ、さらに核融合中性子の影響で現在用いられている計測の多くが利用できなくなる将来の発電炉においてもプラズマの放射分布を再構成することが可能とな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。