

Title	計算機シミュレーションによるトカマク・プラズマの安定性の研究
Author(s)	徳田, 伸二
Citation	大阪大学, 1984, 博士論文
Version Type	VoR
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/2603">https://hdl.handle.net/11094/2603</a>
rights	
Note	

*Osaka University Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

氏名・(本籍)	とく 徳	だ 田	しん 伸	じ 二
学位の種類	工	学	博	士
学位記番号	第	6613	号	
学位授与の日付	昭和59年9月29日			
学位授与の要件	学位規則第5条第2項該当			
学位論文題目	計算機シミュレーションによるトカマク・プラズマの安定性の研究			
論文審査委員	(主査) 教授 伊藤 博			
	教授 石村 勉	教授 西田 俊夫	教授 牧之内 三郎	
	教授 渡辺 健二			

### 論 文 内 容 の 要 旨

本論文は線形理想磁気流体安全性解析コードERATOを使用してトカマク・プラズマの安定性を解析し議論をしたもので、7章からなっている。

第1章では、プラズマ平衡の安定性において、線形理想MHD安定性が重要であることを述べている。

第2章では、本研究の基礎となるプラズマの平衡と線形理想MHD安定性理論(エネルギー原理)の定式化を行っている。

第3章では、軸対称トロイダル・プラズマの平衡を決定するグラッド・シャフラノフ方程式を導き、その方程式の性質および磁気面量について論じるとともに、FCT平衡を含めたグラッド・シャフラノフ方程式の数値解法について述べている。

第4章では、線形理想MHD安定性を数値的に解析するERATOコードについて述べている。本研究においてERATOコードは以下の3点について改良されている。

- (1) 自然座標系以外に、ポロイダル角を任意に選んだ座標系が使える、固有関数の特徴をよく表現することができる。
- (2) 変位ベクトルに準モード表示を採用することにより、安定性を数値的に解析する場合のトロイダルモード数の制限を取り除くことができる。
- (3) 真空領域における摂動磁場をベクトル・ポテンシャルで表わし、スカラー・ポテンシャルを用いた場合の困難を除いている。

第5章では、第3章で述べた方法から求めた平衡に対して、その安定性をERATOコードで解析する時に必要になる写像法について論じている。スプライン補間を用いた高精度の写像法を開発し、内部キ

ンク・モードのような成長率の低いモードについても信頼性の高い安定性解析を可能にしている。

第6章では、ERATOコードを用いて、トカマク・プラズマにおける $m=1$  ( $m$ :ポロイダル・モード数)内部キンク・モードの安定性を解析している。安定性のポロイダル・ベータ値( $\beta_p$ 値)依存性に着目し、 $(q_0, \beta_p)$ 空間( $q_0$ :磁気軸の安定係数)での安定図を求め、 $m=1$ 内部キンク・モードの第2安定領域が存在することを示している。また、磁場のシアーおよびプラズマ断面の形状が安定性に与える影響を調べ、シアーの高い場合や形状が楕円の場合、 $m=1$ 内部キンク・モードはより不安定になることを示している。さらに安定性の解析結果と実験との対応について論じ、プラズマ加熱実験時に観測される軟X線信号の鋸歯振動から連続振動への変化と $m=1$ 内部キンク・モードとの関連について述べている。

第7章は、結論である。

### 論文の審査結果の要旨

核融合研究は制御された核融合反応を地上で実現し、無限といわれるエネルギー源を獲得することを目的としている。研究開始よりすでに30年近い年月が経過し、研究開発の速度は近年とくに早まっている。数ある核融合研究装置のなかで現在最も成果の上っているのはトカマク型閉じ込め装置であり、現在日本原子力研究所ではJT-60という世界最大級の大型トカマクを建設中で、これにより零出力を目指す開発研究が行われようとしている。

本論文は、上記トカマクによって発生したプラズマの安定性につき、計算機シミュレーションを使用した理論的検討を行い、実験と比較して議論を行ったものである。その主な成果は以下の通りである。

- (1) 円柱座標系から磁束座標系へ平衡の式の写像を行い、ERATOコードによるMHD安定解析の数値的信頼度を高めている。
- (2) 変位ベクトルに準モード表示を採用することにより、ERATOコードで高モードの安定解析を可能にしている。
- (3) トカマク・プラズマの不安定性のうち、最も重要な $m=1$ 内部キンク・モードの解析を行い、現在実験的に知られていない第2安定領域の存在を示している。この安定領域に対応するベータ値は大きく、トカマク研究の新しい発展を示唆するものである。
- (4) 磁場シア及びプラズマ断面の形状が安定性に与える影響を調べ、シアの高い場合や形状が楕円の場合、 $m=1$ 内部キンク・モードはより不安定になることを示している。
- (5) 安定性の解析結果と実験との対応について論じ、プラズマ加熱時に観測される軟X線信号の鋸歯状振動から連続振動への変化と $m=1$ 内部キンク・モードとの強い関連について述べている。

以上の研究成果は、今後の大型トカマク実験研究に新たな知見を与えるものであり、核融合研究の進歩に寄与するところが大きく、博士論文として価値あるものと認める。