

氏名(本籍)	生野 壮一郎 (福岡県)		
学位の種類	博士(工学)		
学位記番号	博甲第2,127号		
学位授与年月日	平成11年3月25日		
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当		
学位論文題目	低アスペクト比トロイダル・プラズマの電磁流体力学的平衡及び安定性に関する数値的研究		
主査	筑波大学教授	工学博士	名取 亮
副査	筑波大学教授	Ph. D.	平沢 一 紘
副査	筑波大学教授	工学博士	石橋 幸 男
副査	筑波大学助教授	工学博士	櫻井 鉄 也
副査	山形大学助教授	工学博士	神谷 淳

## 論 文 の 内 容 の 要 旨

姫路工業大学のHIST装置では、Marshall gunにより生成されたプラズマが、flux conserver (FC)と呼ばれる金属製容器内に射出され、同容器内で平衡配位を形成する。その際、プラズマが射出される充分前に、バイアス・コイルにプラズマ電流と同方向の電流を流し、中心対称軸に沿って電流（中心対称軸電流）を流しておく。これらの2種類の電流が生成するバイアス・ポロイダル磁場とトロイダル磁場は、gunからFCに打ち込まれたプラズマの作る磁場との相互作用により、平衡配位を形成するのである。

本研究の目的は、HIST装置内低アスペクト比トロイダル・プラズマの電磁流体力学的平衡を数値的に求め、Mercier条件を用いて同平衡の安定性に中心対称軸電流  $I_s$  とバイアス・ポロイダル電流  $I_D$  が及ぼす影響を調べることにある。

本博士論文は6章より構成され、第1章は序論で本研究の目的及び本論文の構成を述べる。

第2章では、第3章以降の話を円滑に進めるためプラズマ物理の理論的な領域を説明し、第3、4章で用いる非線形固有値問題の数値解法および境界適合型曲線座標系の自動生成法を説明している。

第3章では、プラズマがFC内だけに閉じ込められていると仮定することにより、中心導体をもつ球形FC内低アスペクト比トロイダル・プラズマの平衡を数値的に求めて同平衡の安定性をMercier条件を用いて調べている。本章で得られた結果を以下に示す。Mercier条件を満たすベータ値の上限  $\beta_{max}$  は  $I_s/I_P$  を増加するとともに減少・一定(零)・増加と変化する。但し、 $I_P$  はプラズマ電流を示す。この  $\beta_{max}$  の振る舞いは、次のように説明が付くことがわかった。 $I_s/I_P$  を増加するとともにプラズマ表面での磁気シアによる安定化効果が減少していき、ピッチミニмум領域をもつ ultra-low  $q$  配位に変化するため、 $\beta_{max}$  は減少し零で一定となる。その後、さらに  $I_s/I_P$  を増加するとピッチミニмум領域は消滅し、再びプラズマ表面での磁気シアによる安定化効果が増加していく。そのため、 $\beta_{max}$  は増加する。即ち、磁気シアの減少・ピッチミニмум領域の出現、消滅・磁気シアの増加という現象により  $\beta_{max}$  の振る舞いは説明が付くのである。

第4章では、HIST装置をヘリシティ・インジェクタまで含めてモデル化することにより、現実的な平衡配位を求め、その安定性を評価している。本章では、平衡配位を求める際に有限差分・境界要素併用法を用いている。得られた結果をまとめると次のようになる。HIST装置内プラズマの平衡配位は、プラズマ表面でプラズマ電流が滑らかに変化し、より現実的な平衡配位であると云える。また、 $\beta_{max}$  は  $I_s/I_P$  の増加、もしくは  $I_D/I_P$  の減少にともない、減少・一定(零)・増加と変化する、球形FC内で得られた結果と定性的に一致することがわ

かった。第3章と同様に $\beta_{max}$ の振る舞いは、磁気シアの減少・ピッチミニマム領域の出現、消滅・磁気シアの増加という現象により説明が付くことをプラズマ表面の安全係数 $q_s$ 及び磁気軸上の安全係数 $q_{axis}$ の変化を調べることにより数値的に示した。

第5章では、モデルを単純化することにより第4章で用いた有限差分・境界要素併用法の高速化を考えた。従来法に比べ高速化された有限差分・境界要素併用法は最高で約70倍程度の速度向上が得られた。

第6章では、上述の各章において得られた結果を総括して、本論文の結論をまとめている。

## 審 査 の 結 果 の 要 旨

本研究では、HIST装置内低アスペクト比トロイダル・プラズマの電磁流体力学的平衡を数値的に求め、同平衡に対して中心対称軸電流及びバイアス・コイル電流双方の作る外部磁場が及ぼす影響を評価している。境界適合型曲線座標系を用いた電磁流体力学的平衡の数値解法は、プラズマ核融合の分野では非常に珍しい解析手法である。さらに、同法と境界要素法を組み合わせることにより独創的な解析手法である有限差分・境界要素併用法を開発し、HIST装置内低アスペクト比トロイダルプラズマの平衡配位を求めている。また、理論的な立場からトロイダル磁場関数、プラズマ圧力の関数形を決定しており、より現実的なMHD平衡を求めることが可能であると云えよう。一方、安定性解析では、Mercier限界 $\beta_{max}$ を $I_s/I_p$ 及び $I_D/I_p$ の関数として求め、磁気シアの減少・ピッチミニマム領域の出現、消滅・磁気シアの増加という現象より $\beta_{max}$ の振る舞いを説明付けた。即ち、HIST装置内低アスペクト比トロイダル・プラズマの定常維持実験に重要な指針を与えていると思われる。

本研究で開発した、MHD平衡及び安定性解析手法は境界適合型曲線座標系に基づいた有限差分・境界要素併用法を用いているため2次元任意形状領域内の低アスペクト比トロイダル・プラズマ平衡及び安定性解析に適応できる。そのため、実用範囲が広く非常に価値のある研究であると考えられる。

よって、著者は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。