

氏 名	濱 田 繁 雄
	はま だ しげ お
学 位 の 種 類	理 学 博 士
学 位 記 番 号	論 理 博 第 185 号
学位授与の日付	昭 和 42 年 3 月 23 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	Hydromagnetic Equilibria and Their Proper Coordinates (磁気流体力学的平衡とその固有座標)
論 文 調 査 委 員	(主 査) 教 授 林 忠四郎 教 授 武 藤 二 郎 教 授 巽 友 正

論 文 内 容 の 要 旨

地上で熱核融合反応を実現するためには、磁場によって高温プラズマを少なくとも数秒間閉じこめておく必要があると考えられている。このような装置として、これまで種々の型のトーラス状の磁気容器が考案されて実験が行われている。例えばステラレーターでは、真空での磁力線はトーラスの面上をラセンを画いて閉じることなしに何回も廻るという複雑な配位をしている。このような磁気容器にプラズマを入れた場合に、磁気流体力学的な平衡状態が存在するかどうか、また存在する場合にはプラズマの圧力分布、磁力線、電流線がどのような配位をもつかという問題を解くことは容易でない。

主論文は、任意の形をした有限領域内に閉じ込められた磁気流体の平衡状態を記述するのに極めて有用な曲線座標系が存在することを見出すとともに、この座標系を用いることによって流体が平衡にあるために磁力線の配位が満たすべき条件を導いたものである。さらにその応用として、トーラス状の磁気容器を3種の型に分類し、各々の場合について真空磁場を零次近似とすを逐次近似法で平衡解を求めることを試みたものである。

申請者はまず、磁気流体は有限領域内にあって磁力線と電流線が特異点をもたないという仮定のもとにその平衡状態において磁場、電流、プラズマ圧力がとるべき配位を詳しく考察している。磁力線と電流線が等圧面の上に乗っていることはよく知られているが、申請者は各等圧面について磁力線と電流線を独立な2組の座標曲線とする座標系を導入してその一般的な性質を詳しく調べている。任意の磁力線は同一面上のすべての電流線と交わり、また一つの電流線とは2回以上交わるので、この座標系では面上の点と座標との対応は一意的でない。しかし、この座標系から適当な一次交換によって新しい座標系に移ると、その独立な2組の座標曲線はすべて閉じるようになり、さらに一つの組に属する任意の座標曲線は他の組の各座標曲線とただ1回だけ交わるようになることを発見している。これより、等圧面、従ってまた磁力線が織りなす磁気面が位相幾何学的にトーラス面でなければならないという結論を導いている。第3の組の座標曲線としてプラズマの圧力勾配の方向をとると3次元の座標系が完成するが、これは直交座標系とち

がって磁気流体中の磁力線や電流線の配位を記述するのに極めて便利なものになっている。

ついで、上の座標曲線である一つの閉曲線を取り、その上の1点Pから出発して磁力線に沿ってトーラスを一周し、再び、同一閉曲線上の点Qに達するまでの積分 $\int_P^Q dl/B$ (dl は磁力線の線素、 B は磁場の強さ、 PQ の長さと閉曲線の全長との比を磁力線の回転変換比という) を考えると、この積分の値はP点の位置によらないことを証明している。このことから、上の積分の値が一定であるような閉曲線が各磁気面上に存在することが、与えられた磁力線の配位に対して平衡状態が存在するための必要十分条件であることを見出している。磁力線が閉じているような簡単な場合の平衡条件は似前から知られていたが、申請者は磁力線が一般に閉じていない場合に拡張した条件を発見したのである。また、この条件をもとにして、平衡の磁気流体では磁場についての知識だけが与えられている場合に、上述の閉じた座標曲線の形を決定することができ、さらにプラズマの圧力勾配が与えられると電流分布が定められることを見出している。

最後に、申請者は上の一般理論を種々の型の磁気容器に応用して、零次近似としての真空磁場から出発し、プラズマ圧と磁気圧との比を展開のパラメーターとする逐次近似法で平衡解を求める問題を考慮している。前述の磁力線の回転変換比Rの値によって、申請者はトーラスの磁気容器を次の3種に分類した。

(1) Rが磁気面によって連続的に変化する場合 (twisted field), (2) Rが一定で無理数の場合 (unclosed field), (3) Rが一定で有理数の場合 (closed field)。平衡解の逐次近似の収束を調べた結果として、

(1) の場合には回転対称性をもたないようなほとんどすべての磁場に対しては、その一次補正の項が発散して平衡の条件が満たされない。(2) の場合にはRが一つの連分数であれば逐次近似が成立して平衡解が存在する。(3) の場合には平面对称であれば、逐次解法が可能であるという結論を導いている。

参考論文1は、主論文に発展するもととなった初期の研究結果を述べたものである。参考論文2と3はテータピンチ放電の初期の衝撃波によるプラズマ圧縮の機構を実験的に調べたものである。参考論文4は、テータピンチ放電における温度変化を知るために新しい方法を用いてスペクトル線の形の時間変化を4 μ sの間隔で測定したものである。参考論文5は、磁気鏡をもったテータピンチ放電の実験において、両端から流出するプラズマの影響をうけて磁気鏡内のプラズマが安定化されることを見出したものである。参考論文6は、断熱圧縮と不可逆膨張との組み合わせによってプラズマを高温に加熱するという新しい考えを提出して、その理論としての熱力学的考察と予備的な実験結果について述べたものである。

論文審査の結果の要旨

磁場によって有限領域に閉じ込められているプラズマについて、一般的な磁場の配位に対する磁気流体力学の平衡の式を解くためには極めて複雑な数理解析を必要とする。主論文は、平衡状態における磁力線や電流線の配位の様子を記述するのに極めて有用な曲線座標系が存在することを見出し、この座標系を用いることによって平衡の必要十分条件を明らかにするとともに、一般のトーラス状の磁気容器に少量のプラズマを入れた場合の平衡解を逐次近似の方法で求めることを試みたものである。

まず、平衡状態では磁力線、電流線、および圧力勾配のベクトルが系の物理的配位を記述するのに極めて都合のよい独立な座標曲線の群を構成していることに着目して、これらの座標曲線のもつ幾学的な性質

を明らかにしている。この座標系では点の座標値は一意的でないが、各等圧面において電流線と磁力線を座標曲線とする座標系から適当な一次変換によって面上の点と座標が一对一対応をもつような新しい座標系が導入できることを発見している。この座標系を構成する独立な2組の座標曲線群はすべて閉じていて、同じ組の座標曲線は相互に交わることがなく、他の組の座標曲線の各々とはただ1回だけ交わるという特性をもっているため、この座標系は磁力線や電流線の複雑な配位を記述するのに極めて便利である。この座標系は諸外国の核融合の研究者によって平衡解の存在やその性質を調べるのに広く用いられ、申請者の名をとって Hamada 座標と呼ばれている。

ついで申請者は、この座標系を用いることによって、磁気流体の平衡状態が存在するために磁力線の配位が満たすべき条件を極めて簡単な形に表わすことに成功している。さらに、この条件を種々の複雑な磁力線配位をもったトーラス状の磁気容器に適用して、真空磁場を零次近似とした逐次近似の方法で平衡解を求める際の解の収束性を論じ、磁力線の配位と解の存在との関係について興味ある結果を導いている。

以上の主論文は、磁気流体の平衡状態の記述に有用な曲線座標系の存在を発見するとともに、平衡解の存在のための必要十分条件を明らかにするなど極めて独創性に富んだものであり、プラズマ物理学と核融合の理論の発展に大きな寄与をしている。なお、参考論文はいずれも、申請者がプラズマ物理学と核融合の理論、実験の両分野にわたって豊富な知識とすぐれた研究能力をもっていることを示している。

よって、本論文は理学博士の学位論文として価値があるものと認める。