

氏 名	津 田 孝 つ だ たかし
学位の種類	工 学 博 士
学位記番号	論 工 博 第1373号
学位授与の日付	昭 和 56 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	トカマクにおける径電界の振舞と不純物輸送についての理論的研究

論文調査委員 (主 査) 教 授 板 谷 良 平 教 授 飯 吉 厚 夫 教 授 秋 宗 秀 夫

論 文 内 容 の 要 旨

核融合研究において、トカマク形装置は科学的実証の第一候補として各国において鋭意研究されているが、プラズマの閉じ込めおよび加熱が依然としてその中心的課題となっている。本論文は、プラズマの閉じ込めに関する基礎的事項のうち、プラズマ内で発生する小半径方向の電界の緩和過程と不純物イオンの輸送現象に関する理論的研究の成果をまとめたものであって5章より成る。

第1章は序論で、トカマク装置による制御核融合の概要、トカマク研究の現状と内外の動向、および本研究の目的と意義について述べている。

第2章では、プラズマを閉じ込めるための磁界中のプラズマの輸送過程が、両極性拡散によって支配されるとの基礎に立って、各種の磁場配位における両極性拡散が達成されるための条件を導出している。すなわち、均一磁界中では、プラズマの半径方向の電界の値に無関係に両極性拡散となるが、軸対称トーラス系では、磁力線方向のプラズマ流とこの径方向電界との間に一定の関係をもつこと、さらに非軸対称トーラス系では、径方向電界は、密度並びに温度の勾配できまる一定の値をもつべきことを示している。

第3章では、トカマクに中性粒子ビーム入射加熱を行なった際や、核融合反応によって α 粒子が多量に発生する際などに生ずるプラズマの径方向電界の緩和過程を取扱っている。軸対称トーラスではプラズマの角運動量が保存されることを基礎としてドリフト運動方程式とマクスウェルの電磁方程式よりトーラスプラズマの実効的な誘電率を導き、これを用いて、発生した径方向電界の時間変化率を評価している。また、トロイダル磁界にリップルが存在して軸対称性がわずかに破れた場合に径方向電界の緩和に対する影響について述べている。さらに、これらの結果を用いて、トカマク装置に大電力中性粒子入射を行った際に発生するプラズマの回転に督の不安定性の発生を指摘している。

第4章では、高温プラズマ中に混入すれば非常に大きな輻射損失を引起して、プラズマの加熱に重大な妨げとなる不純物イオンのプラズマ柱の中における振舞いをプラズマの角運動量保存則を基礎にして調べ、不純物イオンの径方向粒子束を評価している。すなわち、軸対称トーラス系では、不純物イオンの拡散係数は均一磁界の場合より大きくなること、重い不純物イオンはプラズマ柱の内側に入ってゆくことなどを

示している。また、不純物イオンが存在する場合のドリフト波を解析し、その不安定性を調べている。

第5章は結言で、本研究の成果と残された問題を要約している。

論文審査の結果の要旨

トカマク装置は、制御核融合の実現に向けて最も勢力的に研究が進められているものの一つであるが、プラズマ中における粒子の輸送は依然として不明な点が残されており、プラズマのエネルギー収支を明確にする上での問題の一つとなっている。トカマク装置におけるプラズマの輸送の理論は、従来は一種類のイオンのみでしかも両極性拡散が最初から成立しているものとして展開されて来た。しかし、大電力中性粒子入射加熱を実施する際には明らかに新たな径方向電界の発生が予想され、また、不純物イオンの混入を完全には防ぎ得ない状況にある。本論文は、トカマク装置において遭遇することが予想されていたこの種の問題に関する基礎的考察を行い、理論的研究をまとめたものであって、その主な成果は次の通りである。

- (1) 軸対称トーラス磁界中のプラズマの輸送理論をプラズマの角運動量保存則を基にして再構築し、プラズマを構成する粒子の径方向の粒子束を算出し、両極性拡散の成立条件を明らかにした。
- (2) 軸対称トロイダルプラズマ中に発生した径方向電界はポロイダル方向のプラズマの回転を生ずるが、このエネルギーの一部は緩和の過程で磁力線方向のプラズマの流れに変換されることを導出し、この緩和の時定数はイオンの衝突時間の程度であること、および、これより長い時間の尺度でおこる現象に対しては、トロイダルプラズマの誘電率は均一磁界中のプラズマの誘電率に対し、トロイダル磁界との比の自乗倍 (Θ^{-2}) だけ大きくなることを明らかにした。
- (3) トーラス磁界に弱いリップル磁界が重畳された場合には、磁力線方向のプラズマの流れはこのリップルの効果によって減速され、イオン温度の勾配できまる特定の値に近づくことを明らかにした。
- (4) プラズマ中に発生した径方向電界の緩和時間については、イオンの平均自由行程とアスペクト比などからきまるパラメタ領域の各部におけるそれらの値を求め、リップル磁界の効果も示した。
- (5) 不純物イオンが存在する場合の輸送現象の性質を明らかにした。すなわち、トロイダルプラズマにおいても、均一磁界中のプラズマと同様に、定常状態においては両極性拡散を示し、プラズマのイオンとの衝突によって内向きの粒子束を生じ、プラズマの中心部に集中する傾向をもつことを示した。
- (6) 重金属不純物イオンに対しては、径方向電界に基づく磁力線方向のプラズマ流の影響が大きくなり、粒子束の向きが逆転する場合があることを示した。
- (7) 不純物イオンが存在する場合の各種のドリフト不安定性の分散式を導き、これらの不安定化条件を明らかにした。

以上、要するに本論文はトカマク装置における径方向電界の緩和過程と荷電粒子の径方向粒子束について、プラズマの角運動量保存則を基にして理論的な解析を展開し、トロイダルプラズマの拡散過程に統一的な理論を与え、今後のトカマク実験の解析上重要な知見を加えたものであって、学術上、實際上寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として価値あるものと認める。