

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 鶴田 繭子

本論文は「球状トーラス実験装置 TS-4 における各種プラズマ配位の合体生成に関する研究」と題し、磁気核融合プラズマ研究において注目されている球状トーラスと呼ばれるアスペクト比（トーラスの主半径÷副半径）が 1.6 程度以下の各種内部電流系トーラスプラズマに関して、新設の合体実験装置 TS-4 を用いて行なった研究成果をまとめたもので、全体は 7 章より構成されている。

第 1 章は序論であって、球状トーラスの特徴、特に磁界構造の違いにより、球形トカマク (ST)、スフェロマク、逆転磁界配位 (FRC)、およびコンパクト逆磁界ピンチ (コンパクト RFP) 等の配位が含まれることを述べ、それらの合体効果を調べることの核融合プラズマ研究における意義、および、この合体においては内部トロイダル磁界の向きに関し同極性合体および異極性合体の異なる方式があること、等を説明している。

第 2 章は「TS-4 プラズマ合体実験装置」と題し、新設の実験装置である TS-4 の仕様、構造、製作上の工夫について説明し、プラズマ生成に一对の誘導方式のフラックスコアを用い、合体の進行を中央部に設置したセパレーションコイルで制御できること、中心導体アセンブリの導入により外部トロイダル磁界を加えることができ、多様な自由境界を有する磁気配位が生成可能であること、等を述べている。

第 3 章は「トロイダルモード $n=1$ 不安定性による磁気面計測誤差に関する検討」と題し、球状トーラスでしばしば発生する代表的な $n=1$ トロイダルモード不安定性が、軸対称性を仮定して計算される磁気面形状に与える影響について理論的考察を行っている。 $n=1$ モードは傾斜型 (ティルト) と横ずれ型 (シフト) の二種類のモードがあるが、それらは磁気面上に特徴的変形として現れることを指摘し、TS-4 装置の磁気面計測においてしばしば見られる磁気面異常の解釈について、その混乱をある程度回避できることを指摘している。

第 4 章は「スフェロマク配位の生成と合体実験」と題し、外部トロイダル磁界を持たない自由境界スフェロマク配位の生成、およびその同極性および異極性合体実験について述べている。寸法において従来の TS-3 装置の約 2 倍の TS-4 装置においては、低次のトロイダルモード不安定が抑制されて自然減衰する場合には、寿命もそれに応じて約一桁伸びていることを確認し、その寿命増大効果によって、同極性合体においては過剰トロイダル磁束状態における磁束緩和によってトロイダル磁束の増加が観測されることを見出した。一方、異極性合体においては、合体配位が高ベータ FRC に安定的に緩和する現象の観測が期待されていたが、水素プラズマの場合、本装置に於いては従来の TS-3 装置ほどにはその緩和が明瞭には観測されないことを見出した。このことより配位減衰の時定数が

増大した場合には、配位が減衰する以前に何らかの不安定特性が出現して寿命が制限されている可能性を指摘し原因を検討した。

第5章は「外部トロイダル磁界中の各種配位の生成および比較」と題し、外部トロイダル磁界を変化させた場合に生成される各種の自由境界球状トーラス配位に関して、それらの緩和特性の相互比較を行った結果について述べている。コンパクトRFPからSTに至る各種自由境界配位の同極性合体生成においては、端部安全係数 q_a の大きい ($q_a > \sim 3$) いわゆる高 q 配位のSTは、コンパクトRFPおよびスフェロマクなど q_a の小さい、いわゆる低 q 配位に比しておよそ3倍のプラズマ減衰時定数を持つこと、合体終了後からの緩和過程においては、低 q 配位は無力磁界配位であるテーラー状態の理論曲線へ近づく一方、高 q 配位のSTでは、無力配位の理論曲線へ接近する過程で、テーラー平衡状態とは異なる配位へ緩和していることを指摘した。また、STの生成においては、低 q 配位から高 q 配位へ移る中間の外部トロイダル磁界において、生成プラズマの減衰時定数が極端に短くなるというフラックスコア生成方式特有の異常現象があることを指摘した。

第6章は「外部トロイダル磁界中の異極性合体実験」と題し、異極性合体による高ベータ配位生成において、予め外部トロイダル磁界を付加することによってその安定性向上を図る試みについて述べている。この場合、合体する二つの配位はそれぞれコンパクトRFPとSTとなるが、実験ではコンパクトRFP生成に比較的有利な低 q 領域、およびSTに有利な高 q 領域に分けて研究する必要性を述べている。実験の結果、低 q 領域においてはこの異極性合体により最終的には内部トロイダル磁界がホローとなるいわゆる反磁性構造の生成が示され、高ベータを有するSTに類似した磁界構造の生成に成功した成果を述べている。しかしこの時の磁界構造は過渡的なもので平衡配位としての長時間維持の可能性については今後の課題であることを指摘している。一方、高 q 領域においては、実験を成功させるためにはRFP側の生成法に特別な工夫を必要とすることを指摘している。

第7章は結論であり、本研究によって得られた主要な成果をまとめ、TS-4実験装置を用いた本研究によって各種球状トーラスの理解が進展したことを述べている。

以上要するに、本論文においては、外部トロイダル磁界中において、自由境界を有する各種球状トーラスプラズマの合体実験が可能なTS-4装置の製作と整備を行い、その磁気面計測結果の信頼性を評価するとともに、実験によって合体生成された各種配位の磁束緩和過程の特徴を整理し、特に、合体によって内部磁束の増大が可能であること、および外部トロイダル磁界の増大によって配位の安定性が格段に向上すること、等を明らかにして、球状トーラスプラズマ研究の展開についての可能性を示したもので、電気工学、特にプラズマ核融合工学に貢献するところが多い。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。