

氏名	木島 滋 この しま しげる
学位の種類	工学博士
学位記番号	工博第430号
学位授与の日付	昭和50年7月23日
学位授与の要件	学位規則第5条第1項該当
研究科・専攻	工学研究科電気工学第二専攻
学位論文題目	ヘリオトロンDに於けるプラズマの閉じ込めとジュール加熱に関する研究

論文調査委員 (主査) 教授 宇尾光治 教授 飯吉厚夫 教授 板谷良平

### 論文内容の要旨

ヘリオトロンD装置とはヘリカルヘリオトロン磁場を閉じ込め磁場として採用したトーラスプラズマ閉じ込め装置である。本論文はそのヘリオトロンD装置の閉じ込めに対する有効性を実験的に検証し、さらにジュール加熱法を用いて高温・高密度のプラズマを得る可能性を追求するための一連の研究を内容とし、6章より構成されている。

第1章の序論では、各種トーラス装置によるプラズマの閉じ込めを中心とする制御核融合研究の歴史的推移と独自の発展をたどって来たヘリオトロン研究の変遷について述べ、合せて本論文の位置づけおよび目的と意義が明らかにされている。

第2章では、本研究で用いられたヘリオトロンD実験装置について説明し、閉じ込め実験に用いられたプラズマ生成法ならびに温度・密度などのプラズマ諸量が示されている。先ず、ヘリカルヘリオトロン磁場の説明がなされ、大きな磁場のひねり(回転変換角)とねじり(チャー)をもつ磁場配位であること、およびヘリオトロン磁場の構造から、閉じ込め領域が金属性リミッターを用いることなく決められること、すなわち磁気リミッターの働きが期待されること等が述べられている。次に装置の構成、特徴が詳しく述べられ、最後にプラズマ生成法として用いられたマイクロ波による電子サイクロトロン共鳴加熱法、同軸型プラズマガン、ジュール加熱アフターグロープラズマについて述べ、生成されたプラズマの温度・密度などの諸量の測定結果が示されている。

第3章では、非軸対称系トーラスでの拡散理論の概略が述べられ、前記生成法によりつくられた低温度(1万度~10万度)、低密度( $10^9/\text{cc}$ ~ $10^{10}/\text{cc}$ )プラズマの閉じ込め実験の比較検討が行われている。実験結果は閉じ込め時間の衝突周波数、磁場、回転変換角等への依存性が理論的予測とよい一致を示しており、安定なプラズマの閉じ込めが確かめられている。又測定された等密度面と等電位面が計算によって求められた磁気面とほぼ一致することが示され、プラズマが平衡状態にあることが検証されている。更にプラズマの内部電場についても言及されている。

第4章では、より高温・高密度のプラズマを発生する方法としてヘリオトロンD装置にジュール加熱を適用した場合の幾つかの物理的、技術的諸問題が論じられている。誘導電場励起のための空心一次巻線の配列の最適値、高温プラズマ計測法および導電率から電子温度を導出する際の問題点等である。更にジュール加熱時において、プラズマ中に電流が流れている場合のプラズマのエネルギー収支等のプラズマの基本的性質を調べることにより高温のプラズマを発生するための条件について考察がなされている。最後にヘリカルヘリオトロン磁場の特徴の一つである磁気リミッター作用が実現されていることを裏づける二、三の実験結果が示されている。そしてこの場合の不純物の混入の軽減化およびエネルギー閉じ込め時間の改善が確かめられている。

第5章では、ジュール加熱を行う際に問題となるプラズマの巨視的な平衡と安定性に関する実験的検討がなされている。垂直磁場によるプラズマ柱の変位、或いは電気ポテンシャルの変化を観測することにより、ヘリカルヘリオトロン磁場のように回転変換およびジャーの大きな磁場では、プラズマの平衡を容易に達成することが出来ることが示されている。又積極的に金属製リミッターを挿入した回転変換の小さい磁場配位では巨視的不安定性が観測されること、そしてそれはほぼキック型不安定性理論と対応して説明されることが示されている。更に、磁気リミッター配位では、電流は理論的予測値を越えて流れ得るといふヘリオトロン特有の実験結果も示されている。

第6章では、本研究で得られた結論のまとめが述べられ、今後に残された幾つかの問題点が示されている。

## 論文審査の結果の要旨

熱核融合反応によるエネルギーを制御する最も有効な方法の一つとして高温プラズマをドーナツ状の磁場によって閉じ込める方法が考えられている。代表的な磁場配位としてトコマク型、ステラレータ型、ヘリオトロン型がある。ヘリオトロン型は京大独自の方式であり、類似の装置もまだ少く、その閉じ込めの性質についての詳しい実験も少ない。

本論文はヘリカルヘリオトロン磁場のプラズマ閉じ込めに対する有効性をヘリオトロンD装置を用いて実験的に検討を加えたもので得られた主な成果は次の通りである。

1) 温度・密度は共に低い生成及び測定が容易な各種のアフターグロープラズマを用いてプラズマ閉じ込めについての基本的な諸性質が明らかにされた。即ち、測定によって求められた等密度面、等電位面は共に計算によって求められた真空磁気面によく一致していることが確かめられ、プラズマが平衡状態にあることが明らかにされた。

2) プラズマ粒子の閉じ込めに関しては、閉じ込め時間が新古典拡散理論とよい一致を示し、プラズマの損失が磁場を横切る拡散現象によるものであること、即ち安定なプラズマの閉じ込めが実現されていることが明らかとなった。

3) 磁場配位の理論計算から、ヘリオトロン磁場ではプラズマを金属リミッターを用いることなく、真空中に浮かしておくことが可能であることが期待されるが、この磁気リミッターの有効性が密度分布、電流分布の測定から実験的に検討された。同時に、磁気リミッターを用いる場合では、金属リミッターを用

いた場合に比し顕著な不純物の低減効果が認められ、エネルギーの閉じ込めが改善され、より高温高密度のプラズマが生成されることが示された。このことはヘリオトロン磁場が融合炉としての一つの有利な性質を有するものとして注目される結果である。

4) 大きな磁場のひねり（回轉變換）とねじれ（チャー）を持つヘリオトロン磁場では、プラズマ柱の平衡な保持の観点からも良好な性質をもつことが示された。即ち、回轉變換角が大きい磁場配位ほどプラズマ柱の変位が少ないことが認められ、回轉變換角と変位との関係が定量的に明らかにされた。また同時に測定された電荷分離に帰する電気ポテンシャルの変化からもそれを裏づける結果が示された。

5) ヘリオトロン磁場でのジュール電流の安定性については、実験的立場から幾つかの特徴的性質が検討された。金属リミッターを用いてつくられる回轉變換の小さな磁場配位では実験条件に応じた電流不安定性が観測され、この不安定性はキンク型不安定性の理論とのよい一致を見たが、磁気リミッター配位の大きな回轉變換をもつ磁場配位では電流は安定にこの理論による限界値を越えて流れ得ることが示された。このことは、磁場の大きなチャーによる安定化効果とも考えられ、ヘリオトロン磁場の特徴の一つを示す実験結果と言えよう。

以上要するに本論文はヘリオトロンD装置を用いてヘリカリヘリオトロン磁場のプラズマ閉じ込めの性能の基本的性質を種々の観点から実験的に検討し、その特徴を明らかにし、ヘリオトロン磁場の核融合炉実現のためのプラズマ閉じ込め磁場としての有効性を考察したものであり、学術上、工学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。