

|         |                                 |
|---------|---------------------------------|
| 氏名      | はな 谷 清<br>たに きよし                |
| 学位の種類   | 工学博士                            |
| 学位記番号   | 論工博第2178号                       |
| 学位授与の日付 | 昭和63年9月24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  | ヘリオトロンEプラズマにおける高速イオンの閉じ込めに関する研究 |

論文調査委員 (主査) 教授 飯吉厚夫 教授 大引得弘 教授 若谷誠宏

### 論文内容の要旨

本論文は、ヘリオトロンE装置における中性粒子ビーム入射加熱の基礎となる高速イオンの粒子軌道の解析および加熱効率の理論的評価を行う手法を開発し、実験データとの比較検討を行った結果をまとめたもので、8章からなっている。

第1章では、ヘリオトロンE装置のような非軸対称トラス磁場の利点と問題点を調査し、非軸対称系において高エネルギー粒子の閉じ込めが可能かどうかが本質的な問題であることを説明し、本研究を行うに至った理由と研究の目的を述べている。

第2章では、ビオ・サバル則を用いた磁場計算コードおよび、その磁場における案内中心方程式による粒子軌道計算コードについて説明すると同時に、ヘリオトロンE磁場の特徴と荷電粒子軌道の性質についてまとめている。

第3章では、非軸対称トラスにおける荷電粒子軌道の計算を高速化するための工夫について述べている。基本的な考え方は、隣接したヘリカル対称性を持つ磁場成分と非軸対称性をもたらず摂動として扱える磁場へ分解することであり、計算速度についてこれまでの手法との具体的比較を行っている。

第4章では、中性粒子ビーム入射加熱過程の解析に不可欠なモンテカルロ・モデルについて説明している。現実的な非軸対称トラス配位における計算が可能になるように多くの工夫を行っていて、それらについて説明している。

第5章では、高速イオンの速度空間における緩和過程をモンテカルロ・モデルを用いて論じ、ヘリオトロンEにおいて理想的な加熱が可能になる条件についてまとめている。

第6章では、ヘリオトロンEにおける高速イオンの軌道の性質をWVII-Aステラレータにおけるものと比較し、非軸対称トラスにおいて磁場に垂直な方向に中性粒子ビームを入射しても加熱が期待できる条件を明らかにしている。ヘリオトロンEの場合には、径方向の電場が無視できる場合の方が効率がよく、WVII-Aステラレータでは、径方向電場がなければ加熱できないことを示し、両者の実験結果とよく対応していることを確認している。特に径方向電場によるE×Bドリフトが磁場の不均一性によるドリ

フトを打ち消す場合に生じる共鳴に注目し、この現象が重要であることを指摘している。

第7章では、ヘリオトロン E の中性粒子入射加熱実験における垂直入射ビームにともない荷電交換中性粒子スペクトルの実験データの解釈を試みている。垂直入射ビームにより発生する高速イオンが閉じ込められていること、また、径方向電場が有限である場合には共鳴現象により高速イオンの損失があることを、理論と実験を比較し確認している。

第8章では、本論文の主要な成果と結論を要約している。

## 論文審査の結果の要旨

磁場内に閉じ込められたプラズマを核融合反応が十分に発生する温度まで加熱する手法の研究は核融合炉開発にとって不可欠である。本論文は高速イオンの閉じ込めが基本となる中性粒子入射加熱に着目し、高速イオンの粒子軌道の解析および加熱効率の理論的評価を行い、実験データと比較検討を行ったものである。得られた主要な結果は次の通りである。

1. ヘリオトロン E のような三次元構造を持つ磁場における荷電粒子の軌道計算を高速化するために、磁場データを隣接する対称配位（ヘリオトロン E の場合にはヘリカル対称配位）と対称性を破る摂動磁場に分けるという新しいアルゴリズムを開発し、粒子軌道計算コードとして完成させた。

2. 高速イオンの速度空間における減速過程をシミュレートするためのモンテカルロ・モデルを高速粒子軌道計算コードと組み合わせ、中性粒子入射加熱実験の解析用コードを開発し、ヘリオトロン E 装置の中性粒子入射加熱の最適条件を明確にした。

3. ヘリカル系装置として、ヘリオトロン E とは異なるステラレータ配位であるヴェンデルシュタイン VII-A 装置（西独）における中性粒子入射加熱の解析を行い、ヘリオトロン E との比較研究を行い、両者の実験データの差異が高速イオンの粒子軌道に基づいて説明できることを示した。特に、WVII-A ステラレータでは径方向電場が高速イオンの閉じ込めを改善するのに本質的であることを明確にした。

4. プラズマ内の径方向電場は、電場によるドリフト運動が磁場の勾配によるドリフト運動を打ち消す条件（共鳴条件）を作り出す場合があることを示した。ヘリオトロン E 装置では、高速イオンの閉じ込めは径方向電場がない場合の方がよく、径方向電場は共鳴条件を作り出し閉じ込めを悪化する可能性を指摘した。

5. ヘリオトロン E の中性粒子入射加熱実験のデータから、垂直入射中性粒子ビームのある場合の実験とない場合の実験を選びだし、解析用コードの結果と比較することにより、垂直入射ビームにより発生した捕捉粒子が理論の予測通りよく閉じ込められていることを示した。

6. ヘリオトロン E の中性粒子入射加熱実験における中性粒子のエネルギースペクトルデータを解析し、イオンのエネルギーが (3—6) keV の領域におけるスペクトルのへこみが、径方向電場による共鳴条件がもたらす高速イオンの閉じ込めの悪化で説明できることを示した。

以上要するに、本論文は、ヘリオトロン E における高速イオンの閉じ込めの原理を明らかにし、実験データとよく対応することを定量的に示したものである。開発された解析手法並びに解析結果は、広く磁場閉じ込め方式に応用されることが期待され、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。

また、昭和63年8月22日、論文内容とそれに関連した事項につき試問を行った結果、合格と認めた。