

氏 名	近 藤 克 己
学位の種類	工 学 博 士
学位記番号	論 工 博 第 2108 号
学位授与の日付	昭 和 63 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	ヘリオトロンEプラズマ中の不純物の分光学的研究

(主 査)
論文調査委員 教授 宇尾 光治 教授 飯吉 厚夫 教授 若谷 誠宏

論 文 内 容 の 要 旨

プラズマ中の不純物イオンは、少量であってもプラズマの閉じ込めや加熱に重大な影響を与えるおそれがあり、磁場閉じ込め装置における不純物の挙動に対する全体的な定量的理解が必要である。ヘリオトロンE装置に於ては、これまで不純物に関して十分に体系的な測定がなされておらず、解明すべき多くの問題が残されていた。本論文は高度な分光測定法を駆使して、不純物イオンの発生機構、種類、電荷数、数密度、それによる輻射損失及び輸送過程を系統的に研究し、その結果をまとめたもので、七章から構成されている。

第一章序論では、磁気閉じ込め装置における分光学的方法による不純物計測の位置づけと研究の方針について述べている。

第二章では、ヘリオトロンE装置の特徴及び、プラズマ閉じ込めと加熱に関するこれまでの研究成果を総括し、不純物イオンの挙動の研究の重要性を指摘している。

第三章では、ヘリオトロンE装置における諸計測法を概説し、その中での分光学的方法による不純物計測の意義について述べ、分光学的プラズマ計測の重要性について説明している。

第四章では、高温プラズマ中の不純物計測に重要な波長 1000 \AA 以下の真空紫外領域測定のための斜入射真空紫外分光器を用いた不純物計測について検討し、その結果を述べている。分光写真に基づくイオン種の同定結果からヘリオトロンEプラズマでは軽不純物として酸素、炭素が主要なものであり、金属不純物として鉄、チタン、クロム等が主な不純物であることを示した。また、絶対感度較正法の新しい方法を提示し、その結果に基づき、不純物密度、有効電荷数 (Z_{eff})、輻射強度について定量的に検討し、ヘリオトロンEプラズマの特徴について述べている。

第五章では、プラズマ中の不純物の輸送過程を調べるために、トレーサーとして適当な不純物を外部から入射するレーザーブローオフ法について詳述してある。ヘリオトロンEプラズマへ適用した実験データを、不純物イオンの拡散係数と、内向速度をパラメータとする拡散方程式を用いて評価を行い、プラズマパラメータに対する依存性を調べ、一連の考察を加えている。

第六章では、ヘリオトロン E で主要な不純物である鉄イオンの挙動を調べるために、レーザー誘起蛍光法を用いて中性鉄原子を励起し、その密度分布を調べ、その発生機構の解明を試みている。そのために同軸光学系による測定法を初めて開発し、これまで二つの測定ポートが必要であった計測法を一つの測定ポートのみで測定が可能であることを示した。その測定結果からプラズマ中への不純物の混入は、中性粒子加熱に伴う荷電交換中性粒子による壁からの物理的スパッタリングが原因であると考察している。また、同時にプラズマ中心部での多価電離鉄イオンの光強度と輸送過程の相関を調べた結果も、このプロセスで発生する鉄がプラズマ中の鉄の量を決めていることを示唆した。

第七章は、以上の研究結果の要約である。最後に、附録として、ヘリオトロン E プラズマで始めて測定された禁制線のスペクトルも示されている。

論文審査の結果の要旨

核融合研究に必要な炉心プラズマの研究において、少量とは言え、プラズマ中に混在する不純物の振舞いを定量的に理解し、その混入抑制法を研究する事は、重要な研究課題である。しかし、不純物に関してその発生機構、数密度、電荷状態、輸送過程等を系統的に理解する研究は、比較的新しくまだ解明すべき問題も多く、体系づけられたものとして確立されていない。同時にプラズマ分光学的にも新しい知見が得られている分野でもある。

本研究は、プラズマ中の不純物の挙動の物理的課程の解明と不純物イオンの定量的評価を目的に、ヘリオトロン E プラズマ中の不純物の振舞いを分光学的方法で解明しようとしたものであり、得られた結果の主なものは次の通りである。

1. 斜入射真空紫外分光器を用いた分光写真による不純物イオンの同定の結果、金属イオンとして鉄、チタン、クロム、軽不純物として酸素、炭素、窒素の存在が認められた。また、光電測定によってこれら不純物イオンの密度は、ヘリオトロン E で安定に定常的に得られるプラズマに対しては、 $10^{10} \sim 10^{11} \text{ cm}^{-3}$ の範囲にあることが示された。

2. レーザーブローオフ法によって不純物イオンの拡散について測定された結果では、拡散係数が、シリコンとチタンではほぼ同様で、注入する不純物の種類に大きく依存せず、典型的な ECH プラズマでは、拡散係数が、 $2000 \sim 4000 \text{ cm}^2/\text{sec}$ 、また、NBI プラズマでは、 $1000 \text{ cm}^2/\text{sec}$ であった。同時に、NBI プラズマでは、 $300 \text{ cm}/\text{sec}$ 程の大きさの内向き速度がなければ実験データの説明が出来ないことが示された。この内向き速度の原因と拡散係数の関係は、プラズマ中の径方向電場の違いによる可能性があるかと考察されている。

3. プラズマ真空容器壁から発生する中性鉄原子密度をレーザー誘起蛍光法を用いて測定するために、唯一の測定ポートを用いる同軸光学系を開発し、ヘリオトロン E 装置に適用する前に、クヌーセンセルを用いて全系の空間分解能の測定および絶対感度較正を行い、有力な測定法として稼働することを実験的に示した。また、その発生機構として荷電交換中性粒子束による壁での物理的スパッタリングが重要な役割を果たしていることを示した。

以上要するに、本論文は、ヘリオトロンE装置における不純物イオンの振舞いを種々の分光学的方法によって系統的に検討し、不純物イオンの発生機構とその種類、数密度、電荷状態、輸送過程等を明らかにし、かつ新しい測定システムの開発を行ったものであり、實際上、学術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1月12日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。