

氏 名	かわ ぞめ はや と 川 染 勇 人
学位の種類	博 士 (エネルギー科学)
学位記番号	エネ博第 92 号
学位授与の日付	平成 16 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
研究科・専攻	エネルギー科学研究科 エネルギー基礎科学専攻
学位論文題目	Spectroscopic Study of Neutral Hydrogen Atoms in Helical Plasmas (ヘリカルプラズマ中の中性水素原子の分光学的研究)

論文調査委員 (主 査) 教授 近 藤 克 己 教授 佐 野 史 道 教授 前 川 孝

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、ヘリカル系磁場閉じ込め装置を代表する平面磁気軸配位の大型ヘリカル装置と立体磁気軸配位のヘリオトロン J 装置において生成されたプラズマ中の中性水素（重水素）原子の挙動を分光学的手法により実験的に研究し、その結果をまとめたもので、全 7 章から構成されている。

第 1 章は序論で、本研究の背景及び目的について記してある。磁場閉じ込め装置における分光学的手法による中性水素原子の挙動に関する研究の位置づけを述べている。

第 2 章では、大型ヘリカル装置での $H\alpha$ 線のスペクトルプロファイル測定のために新たに設計、製作された高分解能エッシェル分光器システムの構成について述べている。特に永久磁石による磁場中の放電を用いた光源を製作し、ゼーマン効果を利用した高波長分解能分光システムにおける絶対波長校正法を確立した。

第 3 章では、プラズマ中の水素原子と固体との相互作用を能動的に調べるための炭素製リミターと空間分解可能な可視分光器とプラズマ中の炭素を始めとする不純物イオンの測定のための真空紫外分光器からなるシステムをヘリオトロン J 装置に構築したことを述べている。

第 4 章では、高分解能エッシェル分光器システムにより大型ヘリカル装置の長時間放電中で測定された $H\alpha$ 線のスペクトルプロファイルの中心波長は短波長側に偏移しており放電中に電子密度の増加に伴いその大きさも増大することを示した。また、偏光子を用いて π 成分のみを取り出し非対称スペクトルプロファイルを測定した。その結果測定されたスペクトルプロファイルが高温、低温の二成分で構成されることを示した。二次元イメージファイバーアレーを用いた空間分布の測定から高温成分がダイバータ板を見込む視線で顕著に観察されることを確認した。ダイバータ板への粒子束分布との比較から、高温成分の発生機構として、ダイバータ領域に流れ込みダイバータ板で反射されるものが大きく関与していることを明らかにした。

第 5 章では、ヘリオトロン J 装置において、周辺プラズマ領域への炭素リミター挿入実験を行いプラズマ-固体相互作用における重水素原子の挙動を議論している。測定された $D\alpha$ 線のスペクトルプロファイルは、短波長側に伸びた非対称性を示しており、大型ヘリカル装置で観測されたように速度分布に高温、低温の二成分存在することを示した。高温成分の空間分布と炭素リミター表面への磁力線の衝突位置の分布を比較して、両者の間に良い一致を得た。また、周辺電子密度への高温成分の強度の依存性を調べた。これより磁力線が集中する場所とそうでない場所において、高温成分の増加率に違いがあることを確認し、高温成分は、炭素製リミター表面に流れ込みを反射した重水素原子からの発光に大きく起因することを明らかにした。さらに炭素不純物の発生機構を調べるため、CH ラジカルバンドスペクトルの空間分布を測定した。測定されたバンドスペクトルの分布と C II 干渉フィルターを用いて撮影された画像との間に良い一致を得た。これより炭素不純物の発生機構に化学スパッタリングが関与していることを示し、プラズマから流れ込んできた重水素束が集中する場所で化学スパッタリングが盛んに生じることを明らかにした。

第6章では、真空紫外分光測定を基にヘリオトロンJ装置において、電子サイクロトロン加熱（ECH）加熱により生成されたプラズマ中に存在する不純物を同定した。酸素、炭素、チタン、鉄、クロム、ニッケルがプラズマ生成とともに発生する不純物として同定され、その発生源を明らかにした、また、ECHとNBIの重畳加熱において、金属不純物が増加することを確認した。プラズマ中への不純物浸入機構を明らかにするため、ヘリウムガス入射量を一定値に保ちプラズマへ入射し、その浸入量の電子密度依存性を調べた。この際、He II線強度が電子密度の増加に伴い減少することを明らかにし、この機構は周辺プラズマによる電子衝突電離による遮蔽効果であり電子密度の増加に伴ってその効果が大きくなることを示し、不純物制御において周辺プラズマの電子密度と磁力線構造を制御することが重要であることを指摘した。

第7章は総括であり、本論文で得られた成果について要約している。また、大型ヘリカル装置とヘリオトロンJ装置とで得られた水素（重水素）原子の挙動について比較検討を行っている。測定されたスペクトルプロファイルは双方ともに、非対称性を示しており、高温、低温の二成分から速度分布が構成されることを明らかにした。低温成分は、分子から解離した原子に起因するものでありその温度をFrank-Condonエネルギーで説明している。高温成分は、ダイバータ板や炭素リミター表面において、結合長の長い磁力線が集中するところで増加することを確認しており、高温成分の発生機構として、反射粒子からの発光が支配的であることを導いている。

論文審査の結果の要旨

本論文は、ヘリカル系磁場閉じ込め装置で生成されたプラズマ中の中性水素、重水素原子の挙動を分光学的手法により実験的に研究し、その結果をまとめたものであり、得られた主な結果は以下のとおりである。

1. ヘリカルプラズマにおける、詳細なH α 線のスペクトルプロファイル測定のために新たに高分解能エッシェル型分光器の設計、製作を行った。また、ゼーマン効果を利用した新しい絶対波長較正装置の設計、製作を行い、高分解能を有する分光システムの正確な絶対波長較正法を確立した。

2. 大型ヘリカル装置のダイバータ領域でH α 線のスペクトルプロファイルの微細構造を初めて測定し、水素原子の速度分布は低温、高温の二成分から構成されていることを明らかにした。低温成分は、分子からの解離によるもので、高温成分はダイバータ領域で顕著に観測されることから、ダイバータ磁力線にそって流れ込んだプラズマ粒子のダイバータ板での反射によるものであることを明らかにした。

3. プラズマ粒子の反射位置を変えるため、ヘリオトロンJ装置において炭素製リミター挿入実験を行い炭素製リミター表面から発光するD α 線のスペクトルプロファイルの微細構造を測定し、重水素原子の速度分布は高温、低温の二成分から構成されることを明らかにした。高温成分の強度分布と結合長の長いダイバータ磁力線の分布との比較により、高温成分は炭素製リミター表面で反射した粒子の寄与が大きいことを明らかにした。さらに、CHラジカルバンドスペクトルの測定を行い炭素不純物の発生機構に化学スパッタリングが支配的であることを明らかにした。

4. ヘリオトロンJプラズマ中には炭素以外に酸素、チタン、鉄、クロム、ニッケルの不純物が存在することを明らかにした。これらの不純物のプラズマへの浸入量を評価するために線強度の電子密度依存性を明らかにし、浸入量が周辺プラズマ領域での電離による遮蔽硬化で説明できることを示した。この結果から不純物制御においてダイバータ領域の磁力線構造と電子密度制御の重要性を指摘した。

以上要するに本論文は、平面磁気軸、立体磁気軸のヘリカル系磁場閉じ込め装置のダイバータ領域における磁力線構造が中性水素、重水素原子、不純物の挙動を支配することを明らかにし、ヘリカルダイバータ設計のための重要な知見をあたえたものであり、實際上、学術上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（エネルギー科学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成16年2月23日実施した論文内容とそれに関連した試問の結果合格と認めた。