

## 論文審査の要旨および学識確認結果

報告番号	甲 第 号	氏 名	柴田 崇統
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	工学博士 畑山 明聖
	副査	慶應義塾大学准教授	工学博士 横井 康平
		慶應義塾大学教授	理学博士 佐々田 博之
		慶應義塾大学准教授	博士（工学） 中野 誠彦
<p>(論文審査の要旨) 学士（理学）、修士（工学）柴田崇統君提出の博士学位請求論文は「水素負イオン源におけるプラズマの輸送過程と空間的非一様性に関する研究」と題し、全5章から構成されている。</p> <p>水素負イオン源は、核融合プラズマ加熱、陽子加速器、微細加工などにおける負イオンビーム源として、現在、幅広く用いられている。しかしながら、最近、その大型化に伴い、イオン源から引き出される負イオンビームの空間的非一様性が問題となっている。このため、非一様性の理解・改善に向けた数値モデリングが現在まで精力的に行われてきた。しかし、現状では実験結果を十分に再現する解析結果を得ることは困難であり、ビーム非一様性発現機構の完全な理解には至っていない。その理由として、従来のモデリングでは、負イオン源プラズマ中の高速電子のエネルギー緩和過程及び負イオンの親粒子である水素原子の生成過程及び輸送過程への高速電子の影響が考慮されていなかったことが挙げられる。以上を踏まえ、本研究では、これらの過程を考慮した新しい負イオン源プラズマ輸送解析モデルを提案し、実験との比較により上述の非一様性発現機構の解明を行うことを目的としている。</p> <p>第1章では、本研究の目的と意義を述べている。</p> <p>第2章では、本研究で用いた電子輸送解析モデルとその解析結果について述べている。本モデルでは、負イオン源内マルチカusp磁場配位中の3次元電子軌道を運動方程式により追跡する。衝突過程は、モンテカルロ法により模擬している。電子衝突による分子解離過程などの非弾性衝突過程に加えて、電子-電子間のクーロン衝突過程を考慮している点が大きな特徴になっている。本モデルを日本原子力研究開発機構の大型アーク放電型負イオン源の解析に適用している。その結果、アーク放電用フィラメントから生成され、シース電場によって加速された高速電子は磁気ドリフトによりイオン源上部へと輸送され、その後、非弾性衝突及び電子-電子衝突によるエネルギー緩和が起こることを初めて明らかにしている。このため、負イオン源上部領域における電子エネルギー分布関数(EEDF)は、熱化された低エネルギー電子(熱電子)成分と高速電子によるテール成分の2成分を持つ。この結果から計算された熱電子成分に対する電子温度及びその空間分布は、実験におけるラングミュアプローブ計測結果と良く一致している。以上の結果は、本モデルが負イオン源内の電子輸送及びそのエネルギー緩和過程を十分正確に模擬するものであり、プラズマ非一様性解析に有用であることを示している。</p> <p>第3章では、第2章で得られたEEDFの熱電子及び高速電子成分が分子解離による中性原子(<math>H^0</math>)生成に及ぼす影響について議論している。特に、前章の結果より高速電子成分は負イオン源上部に局在化し、このためイオン源上部で分子解離による原子生成が促進されること、すなわち、原子生成レートの空間分布に非一様性が現れることを明らかにしている。</p> <p>第4章では、前章で議論された原子生成レートの空間的非一様性に対して、生成された原子の輸送過程・消滅過程による一様化の影響を議論するため、原子輸送解析モデルを構築している。このモデルでは、分子解離による原子生成、輸送による壁損失、さらに電離による消滅過程を同時に計算する。加えて、分光計測から得られる<math>H_\alpha</math>線強度分布を調べている。これと計算結果とを直接比較するため、原子輸送解析結果から<math>H_\alpha</math>線発光強度分布を計算することができる衝突放射モデルを構築している。これら原子輸送及び衝突放射モデルから計算された負イオン源内の<math>H_\alpha</math>線発光強度分布は、実験結果と良い一致を示している。以上から原子の輸送過程と消滅過程による一様化の効果は小さく、<math>H^0</math>生成分布の強い空間的非一様性により、<math>H^0</math>数密度分布にも非一様性が現れることを明らかにしている。</p> <p>第5章は結論であり、本論文の成果と今後の展望がまとめられている。</p> <p>以上、要するに本論文は、大型負イオン源設計に応用可能な水素負イオン源プラズマの新しい輸送解析モデルの開発と非一様性発現機構の解明に関するものであり、その成果は工学上寄与することが少なくない。よって、本論文の著者は博士(工学)の学位を受ける資格があるものと認める。</p>			
学識確認結果	学位請求論文を中心にして関連学術について上記審査委員会で試問を行い、当該学術に関し広く深い学識を有することを確認した。 また、語学（英語）についても十分な学力を有することを確認した。		