

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

平成 25 年度

柴田 崇統

主 論 文 要 旨

報告番号	甲乙第	号	氏名	柴田 崇統
主論文題目： 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				
(内容の要旨) 核融合プラズマ加熱など広い応用範囲を有する大型水素負イオン源では、負イオンビームの空間的非一様性が問題となっている。しかし、非一様性の改善に向けた従来の数値モデリングでは、定量的な実験再現性を有する解析結果は得られておらず、ビームの非一様性は十分に理解されていない。この原因として、従来の研究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、及びその影響を負イオンの親粒子である水素原子の輸送過程に考慮していなかった点が挙げられる。そこで、本研究では、(1) これらの効果を模した新しい負イオン源内のプラズマ解析モデルを構築し、負イオン源内における非一様性発現機構を解明する。また(2) 解析結果と実験結果との比較を行い、負イオン源設計に応用可能な、実験再現性を有するプラズマ解析モデルの構築を目指す。 第1章では、本研究の目的と意義を述べた。 第2章では、本研究で用いた運動論的な3次元電子輸送解析モデルについて述べた。本モデルでは、負イオン源内の3次元実磁場配位中における電子輸送過程及び詳細な衝突過程を考慮している。これにより、高速電子の実空間における輸送過程及びエネルギー緩和過程を正確に計算することに成功した。解析結果は、日本原子力研究開発機構の10アンペア負イオン源(以下、10A負イオン源)におけるプローブ計測結果と良く一致した。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チャンバー上部へと輸送される。その後、電子・電子間クーロン衝突、及び電子・原子・分子間の非弾性衝突による高速電子のエネルギー緩和が起こる。その結果、負イオン源上部領域における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成分を持つことが明らかになった。一方、下部領域では磁気ドリフトの影響が比較的小さい熱電子成分のみが形成される。 第3章では、第2章で得られたEEDFの熱電子・高速電子成分が、水素分子の解離による原子(H^0)生成レートに及ぼす影響について議論した。EEDFの各成分による H^0 生成レートは同程度の値を持つ。しかし、高速電子成分は負イオン源上部にのみ存在する。このため、負イオンの親粒子である原子が、負イオン源内で強い非一様性を示すことを明らかにした。さらに、10A負イオン源実機において分光計測から得られた H_α 線発光強度分布と、解析による H^0 生成分布との比較から、原子生成レートの空間分布に対しEEDFの高速電子成分が強く影響することが示された。 第4章では、空間的非一様性を示す原子生成過程に加え、輸送過程・消滅過程による一様化の影響をも考慮した原子輸送解析モデルを構築した。このモデルでは、分子解離による原子生成、輸送による原子輸送による壁損失、さらに電離による消滅過程を同時に計算する。また、分光計測から得られる H_α 線強度分布と比較するため、輸送解析結果から励起原子密度を計算することができる衝突輻射モデルを構築した。輸送解析結果から、原子の輸送と消滅過程による一様化の効果は小さく、 H^0 生成分布の強い空間的非一様性により、 H^0 密度分布にも非一様性が現れることが示された。さらに、負イオン源内の H_α 線発光強度分布に関する解析結果は分光計測結果と良い一致を示した。このことから、本研究で構築した解析モデルが定量的な実験再現性を有することが示された。 第5章は、本論文の成果についてまとめた。以上				

SUMMARY OF Ph.D. DISSERTATION

School of Fundamental Science and Technology	Student Identification Number	SURNAME, First name SHIBATA, Takanori
<p>Title</p> <p style="text-align: center;">Study of plasma transport process and spatial non-uniformity in hydrogen negative ion sources</p>		
<p>Abstract</p> <p>Spatial non-uniformity of negative ion (H^-) beam has been serious issue in large negative ion sources for fusion devices. However, physics of the non-uniformity is not fully understood. In the present analysis, kinetic modeling of electrons and atoms, which are the parents of H^- particles, are developed to clarify the non-uniformity. By the comparison between the numerical and the experimental results, it is also purposed to develop the plasma transport model which reproduces experiments and which is useful for the designing of negative ion sources.</p> <p>In Chap. 1, purpose of this study is mentioned.</p> <p>In Chap. 2, three-dimensional (3D) kinetic modeling of plasma electron transport is explained. The model takes into account the precise transport and energy relaxation of electrons in realistic magnetic configuration of negative ion sources. It has been clarified from the results that the electron energy distribution function (EEDF) has the thermal component and the high energy tail component in upper region of the JAEA (Japan Atomic Energy Agency) 10A negative ion source, while the EEDF only consists of the thermal component in the lower region.</p> <p>In Chap. 3, effects of the thermal and the high energy tail components to the production rate of H^0 atoms (parents of H^-) are discussed. While the both components have almost the same contribution to the H^0 production in the absolute value, the high energy tail component only exists in the upper region. It has been clarified that the enhancement in the H^0 production in the upper region is the main reason for the spatial non-uniformity.</p> <p>In Chap. 4, effects of H^0 transport and ionization which relax the non-uniformity of the H^0 production are also taken into account. The H^0 production due molecular dissociation, transport and wall loss of atoms, and loss due to ionization are simultaneously solved in the numerical model. From the analysis, it has been shown that the atomic density shows strong non-uniformity even with the relaxation due to transport and ionization processes. The calculated H_α line intensity shows quantitative agreements with the experiments. From these result, the numerical model developed in this study is validated.</p> <p>In Chap. 5, summary and conclusion of this thesis are given.</p>		