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

 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 防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 量的な実験研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)これらの効果を捜した新しい負イオン源内のプラズマ解析モデルを構 業し、負イオン源認計に応用可能な、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、本研究の目的と意義を述べた. 第2章では、本研究の目的と意義を述べた. 第2章では、本研究の目的と意義を述べた. 第2章では、本研究の目的と意義を述べた. 第2章では、本研究の目的と意義を述べた. 第2章では、本研究の目的と意義を述べた. 第2章では、本研究の目的と意義を述べた. 第2章では、本研究の目的と意義を述べた. 第2章では、本研究の目的と意義を近くた. アーク放電用フィラメントからも完成され、シース 電場によって加速された高速電子は破壊にリフトによりチャンパー上部へと輸送される。その、 電子・電子間クーロブ緒理論と良く一致した. アーク放電用フィラメントからも完成され、シース 電場によって加速された高速電子は破壊に対したよりをしたが明らかくなった。一方、下部領域で は破壊に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 の参広分による HP生成レートに反応す影響について議論した. EEDF の参成分による HP生成少布との挑戦から、 原子主成分に見り、前途電子成分が強く影響することが明らかにた。さらに、100 負イオン 源実機において分光計測から得られた日。線発光強度分布と、約時による HP生成分布との比較から、 原子主成の日間かまで素を完全水素した。このモデルでは、分子所確による原子本にた. 第4章では、空間的非一様性を示す用の数式を定った。たちに、100 負イオン源実機においに分子計測から得られた日。線差解析結果から助応理解することが示された. 第4章で行んを構築した、から原子でかでは、分子解析によるHP生成分布と約地検索とた。 新潟電子による事件を読み始続によるHP生成分なためであれた. 第4章では、空間的非一様性を示す原子生成為短に加入ていた。ならに、100 負イオン源 実機において分光計測から得られた日。線差形が強め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為短に加入でかった。かかでは、今子解離による一様をした。このですかでは、今子構築したことのでかった。ころしためたとかの執続 によるの子子を認られた日。読みが強いないためことの一様にの参加 によるの子子のたたちょうのが強く影響することの一体におりる」となったまる. 第4章では、空間の時子様にたこのモデルでは、今子解析による日のことかったれためら、 第5章ですることの生成が強く手を広とがから、 度子のなりたちょうのとないたちょうのとのする。 第4章では、空間の時子様式からの、 原子のかっ強いたちょうのとの が成られたちょうのが強く影響することが確認されたち。 第4章では、空間の時子様になる「新校が強く影響することの一体になる一体になりまするこれたちょうのが強くとなったちょうのがないたちょうのがないたちます。 第4章では、空間の時子がないたちょうのがながないたちょうのがないたちょうのがないたちょうのがないたちょうのがないたちょうのがないたちょうのがないたちょうのがないたちょうのがないたちょうのがないたちょうのがないたちょうのがないたちょうのがないたちょうのがないたちょうのがないたちょうのがないたちょうのがないたちょうのがないたちょうのでいた			主	論	文	要	山田		
 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 集し、負イオン源内における非一様性免現機構を解明する。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が構築を目指す. 第1章では、本研究の目的と意義を述べた。 第2章では、本研究の目的と意義を述べた。 第2章では、本研究の目的と意義を述べた。 第2章では、本研究の目的と意義を述べた。 第2章では、本研究の目的と意義を述べた。 第2章では、本研究の目的と意義を述べた。 第2章では、本研究の目的と意義を述べた。 第2章では、本研究の目的と意義を述べた。 第2章では、本研究の目的と意義を述べた。 第2章では、本研究の目的と意義を述べた。 第2章では、本研究の目かと意義を逃べた。 第2章では、本研究の目かと意義を逃べた。 第2章では、本研究の目かと意義を通知における電子輸送解析モデルとついて述べた。本モデルで は、負イオン源内の3次元実破場面位中における電子輸送解析モデルについて述べた。本モデルで は、負イオン源にする構成している。 エれにより、高速電子の方法のを構成している。 これにより、高速電子には気ドリフトによりチャンパ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・原子目の非滞性確実による高速電子のあれ。や一線 電子)成分と高速電子によるデール成分の2度が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がいた度配子が成らたり、検査がによる14回や成とかした同様成 子である原子が、負イオン源に新したしEDDFの希成分による14回や成と和子、 第4章では、空間のホに対しEDDFの急速で指式のが強く影響することが示された。 第4章では、空間の非一様性を示すことを明らかにした。さいため、輸送を できる原子があたい。 第4章では、空間の非一様性を示すことを明らかにした。さらに、10A 負イオン 源素したこれできる 個々主人のの強いなりたため、施差価格による日や年成と一いは同程度 の値を持つ、したり、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、空間の非一様性を示すことを明らかにしたころ目がなった。 第4章では、空間の非一様性を示す意とを認られたころの「単なレートは同程度 の前までから、原子を読を描えたるの、素料でによる日や年成と一いは同程度 の値を持つ、しかし、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、空間の非一様性を示すすことを明らかにはたる日やなの強いなった。 第4章では、空間の非てもした日の意を記を示すことを明られたいためできいた。 第4章では、空間の非てもと目をのかすことなので強いなった。このモディンできる 第一次のできるころのできる 第一次の方でもとて取ります。 第4章では、空間の非てもとしたの事業を引くたころのできるころのできる のためたころのできる。 第4章では、空間の非てものできる。 第4章では、空間の非てものでものできたのできた。ころのため、転差であるのできるころのできる のから、たちのの強いなった。 第4章では、空間のに対しEDDFの高速電子成のが強く影響することが示された。 第4章では、空間の非てものである。ころのできるのできるのできるのできる。 第4章でに、空間の時でものである。 第4章でに、空間の時でものでものできるでものできるのできるのできるのできるのできるのできるのできるので	報告番号	(F)Z	第	号	氏名		柴田	崇統	
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 的非一様性が閉題となっている。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称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)これらの効果を複した新しい負イオン源の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差現機構を解明する。また、(2)解析結果と実験結果との比 較を行い、負イオン源内における非一様性差現機構を解明する。また、(2)解析結果と実験結果との比 較を行い、負イオン源内における非一様性差現機構を解明する。また(2)解析結果と支験結果との比 較を行い、負イオン源内における非一様性差現機構を解明する。また(2)解析結果とた、本モデルで は、負イオン源内における非一様性差現地構成で当時で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における範分通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)におけるブ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に応気ドリフトによりチャンパ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 EDDFのは、熱化された低エネルギー電子(緩 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が小さい熱電子が分かなが形成される。 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 (H9)生成レートに及ぼす影響について議論した。EEDFの音成分が、水素分子の解離による原子 (H9)生成レートに及びかたいたい電論した。EEDFの表示がなった。ため、「キャンの報鑑 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。さめに、10A負イオン 源実機において分光計測から得られたH-線発光強いため、解析によるH9生成分についた成から、 原子中成レートに及び示いの研究で強い非一様性を示すことを可応された。ため、 第4章では、気力の影響が比較がっため、輸送解析結果からの新造を指定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も成分が、効素がなったのため、 第4章では、空間の方面に対しをEDFの高速電子は成分が、水素の子の解離による原子 (H9)生成したした気が引着いため、近分のなった。ため、「かく子の解離による原子 (H9)生成した気がためため、EDFの高速電子成分が、水素の子の解離による原子 (H9)生成となってかためためたため、 第4章ではながので強い非一様性を示すによる使用をなった。ため、 第4章では、気力で使用ので強い非一様性を示すことを明らかにためため、ためでする。 第4章では、気力で使用ので強い非一様性を示すことを明られたまる。 ためるのできためためためためが、 第4章ではながしためためが強いなからからからのによる。ためため、 のかっためためためためためからが、 ためることなっためためためためため方式でなった。ためためために まれためためためため方法を描しためためためためためためためためためためためためためためためためためまままままま	主論文題	目:			·	·			
 (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税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、負イオン源説記に応用可能な、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、本研究の用いた運動論的な3次元電子輸送過程及び詳細な確実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電子輸送過程及びTF細心を確実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電子輸送過程及びTF細心を輸送される。そのぞれ、 な功した.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)におけるプロープ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パ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・分子間の非弊性確実には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デール成分の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 (H9)生成レートに及ぼす影響について議論した。EEDF の名成分による H0 生成み一とにのかけ、新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 米である原子が、負イオン源い時ー様性を示すことを明らかないた.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.線発光強度分布と、解析による H0 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ことのモデルでは、分子解離による声能となうかれたた。 第4章では、空間的非一様性を示す原子生成過程に加え、輸送過程におる一様化の影響 とよる原子輸送による壁積失、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_線接換分布と、輸送を指索した。高速電子成本の先のよう。 	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								
さらに、負イオン源内のH _a 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	 (内容の要日) 「教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、負イオン源規力で認らなまた。 なった、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、負イオン源はおける二、 第2章では、本研究では、(1)これらの効果を模した新しい負イオン源ののプラズマ解析モデルを構築し、負イオン源はおける第二番に、 第2章では、(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で構築とし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で構築と目指す. 第2章では、本研究で目いた運動論的な3次元電子輸送層程及びギネルギー緩和過程を実施している。これにより、高速電子の実空間における電子輸送層程及びギネルギー緩和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電子輸送層程及びギネルギー緩和過程を考慮している。これにより、高速電子の安空間における範述過程及びギネルギー緩和過程を正確に計算することになめった。 第3章では、国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) におけるプロープ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に最近くドリフトにより赤症子・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ホルギー緩和が起こる。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総合、 第3章では、第2章で撮られた EEDF の熱電子・高速電子成分が、水素分子の解離による振歩では磁気にリフトの影響が比較的小さい熱電子に成分のみが形成される. 第3章では、第2章で撮られた EEDF の急速電子の気分が、水素分子の解離による原子(H)の生成したしたの最高になけなののあが形成される。 第3章では、第2章で撮られた EEDF の高速電子の気分が、水素分子の解離による原子(H)の生成したいた。このため、負イオンの親粒子である原子(H)の生成したの光帯進行が強くとといった。 第4章では、定間的非一様性を示すことを明らかにした。とちに、10A負イオンの親粒子である原子が、負イオン源内の中、特性を示す原子生な分が強く影響することが示された。 第4章では、20時かに特徴を完成した。このため、負イオンの親粒子である原子(M)の強いために、方子輪運行なるため、輸送経済が、水素分子の解離による「株人しの影響をも考慮した原子(H)の生成したが、 第4章では、第2章で構造した。このデルでは、会気にため、テキャンの装置者、このため、負イオンの親粒子である原子(M)負イオン源子生成番茄(1)、水洗剤(1)、(1)、(1)、(1)、(1)、(1)、(1)、(1)、(1)、(1)、								

SUMMARY OF Ph.D. DISSERTATION

School of Fundamental Science and Technology Student Identification Number

SURNAME, First name SHIBATA, Takanori

Title

Study of plasma transport process and spatial non-uniformity in hydrogen negative ion sources

Abstract

Spatial non-uniformity of negative ion (H^{\circ}) 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^{\circ} 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.

In Chap. 1, purpose of this study is mentioned.

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.

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.

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.

In Chap. 5, summary and conclusion of this thesis are given.