慶應義塾大学学術情報リポジトリ
Keio Associated Repository of Academic resouces

Title	イオン源プラズマの流体-粒子統合シミュレーションモデルの開発
Sub Title	Development of integrated simulation model for ion source plasmas
Author	星野, 一生(Hoshino, Kazuo)
Publisher	慶應義塾大学
Publication year	2024
Jtitle	学事振興資金研究成果実績報告書 (2023.)
JaLC DOI	
Abstract	高周波放電型イオン源から引き出されるイオンビームは、素粒子物理、半導体微細加工、医療分野など様々な分野に応用されている。しかし、高周波放電に起因すると思われるビーム強度の振動がビームの収束性を悪化させるため、大きな課題となっている。ビーム収束性の改善には、プラズマ生成部からビーム引出部までを含む、イオン源プラズマ全体の数値解析によるビーム振動の物理機構の理解が必要となる。 従来、ビーム引出の数値解析には、プラズマが作る電位構造を解くことができるPIC(Particle-in-Cell)法を用いた粒子モデルが用いられてきたが、そのままイオン源全体へ拡張すると膨大な計算コストが問題となる。そこで、ビーム引出部に従来のPICモデル、プラズマ生成部には流体モデルを用いた統合モデルの開発を目指し、本研究では、その第一段階となる、流体モデルをプラズマ生成領域で空間平均した0次元モデルを構築した。 本モデルを用いた解析により、高周波加熱によるプラズマへの入力パワー、プラズマ抵抗、プラズマインピーダンス等の時間変化を評価することができた。しかし、ビーム引出に影響を与えると考えていたプラズマ密度の振動は確認できなかった。このような原因として、本モデルで行った空間平均の影響が考えられる。 この結果を確認するために、外部コイルやプラズマが作る電磁場を考慮可能な3次元の電磁PICモデルを導入し、解析を行った。コイル近傍で生成されたプラズマは時間と共に徐々に引出部へと広がっていくため、密度はあまり振動していなかった。温度については高周波振動に応じて系全体で振動しており、引出部近傍では10%程度の振幅であった。 今回の解析により、0次元モデルとPICモデルの結合では十分な解析が難しいことがわかった。今後は、電磁PICモデルをベースとした方針に変更し、統合モデルの構築、ビーム引出に関する物理機構の解明を進める。 Ion beams extracted from radio-frequency (RF) discharge ion sources are used in various fields, such as particle physics, semiconductor microfabrication, and medical applications. However, oscillations in the beam intensity due to the RF discharge have been observed, and the oscillations make the beam convergence poor. To improve beam convergence, it is necessary to understand the physical mechanism of beam oscillations by numerical analysis of the whole ion source plasma including the plasma generation region and the beam extraction region. Conventionally, a particle model using the particle-in-cell (PIC) method, which can solve the potential structure generated by the plasma, has been used for the numerical analysis of beam extraction. However, if its simulation region is extended to the whole ion source, a huge calculation cost becomes a problem. Therefore, this study aims to develop an integrated model that uses a PIC model for the beam extraction region and a fluid model for the plasma generation region. In this study, as a first step of model development, a zero-dimensional model, which is derived by averaging the plasma fluid equations in the whole plasma generation region, was developed. The analysis using this model showed the time variation of plasma resistance, plasma impedance and the resultant input power to the plasma due to RF heating. However, the oscillation in the plasma density was not large enough to affect the beam convergence. One of the possible reasons is the effect of spatial averaging in the model. To check this result, a three-dimensional electromagnetic PIC model that solves the electromagnetic field generated by the external coil and plasma was introduced, and numerical analysis was performed. The density did not oscillate much because the plasma generated near the coil gradually transported to the extraction region. On the other hand, the temperature oscillation was observed in the whole region in response to RF heating, with an amplitude of about 10%. These analyses showed that it is difficult to perform a sufficient analysis by coupling the 0D model with the PIC model. Therefore, the numerical model for the plasma generation region is changed to the electromagnetic PIC model and will be extended to the extraction region.
Notes	
Genre	Research Paper

URL https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=2023000010-20230216

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the KeiO Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

2024年4月11日

2023年度　学事振興資金（個人研究）研究成果実績報告書

研究代表者	所属	理工学部	職名	准教授	補助額	200千円（B）
	氏名	星野 一生	氏名（英語）	Kazuo Hoshino		

研究課題（日本語）

イオン源プラズマの流体-粒子統合シミュレーションモデルの開発

研究課題（英訳）

Development of Integrated Simulation Model for Ion Source Plasmas

１．研究成果実績の概要

高周波放電型イオン源から引き出されるイオンビームは、素粒子物理、半導体微細加工、医療分野など様々な分野に応用されている。しかし、高周波放電に起因すると思われるビーム強度の振動がビームの収束性を悪化させるため、大きな課題となっている。ビーム収束性の改善には、プラズマ生成部からビーム引出部までを含む、イオン源プラズマ全体の数値解析によるビーム振動の物理機構の理解が必要となる。

従来、ビーム引出の数値解析には、プラズマが作る電位構造を解くことができるPIC(Particle-in-Cell)法を用いた粒子モデルが用いられてきたが、そのままイオン源全体へ拡張すると膨大な計算コストが問題となる。そこで、ビーム引出部に従来のPICモデル、プラズマ生成部には流体モデルを用いた統合モデルの開発を目指し、本研究では、その第一段階となる、流体モデルをプラズマ生成領域で空間平均した0次元モデルを構築した。

本モデルを用いた解析により、高周波加熱によるプラズマへの入力パワー、プラズマ抵抗、プラズマインピーダンス等の時間変化を評価することができた。しかし、ビーム引出に影響を与えると考えていたプラズマ密度の振動は確認できなかった。このような原因として、本モデルで行った空間平均の影響が考えられる。

この結果を確認するために、外部コイルやプラズマが作る電磁場を考慮可能な3次元の電磁PICモデルを導入し、解析を行った。コイル近傍で生成されたプラズマは時間と共に徐々に引出部へと広がっていくため、密度はあまり振動していなかった。温度については高周波振動に応じて系全体で振動しており、引出部近傍では10%程度の振幅であった。

今回の解析により、0次元モデルとPICモデルの結合では十分な解析が難しいことがわかった。今後は、電磁PICモデルをベースとした方針に変更し、統合モデルの構築、ビーム引出に関する物理機構の解明を進める。

２．研究成果実績の概要（英訳）

Ion beams extracted from radio-frequency (RF) discharge ion sources are used in various fields, such as particle physics, semiconductor microfabrication, and medical applications. However, oscillations in the beam intensity due to the RF discharge have been observed, and the oscillations make the beam convergence poor. To improve beam convergence, it is necessary to understand the physical mechanism of beam oscillations by numerical analysis of the whole ion source plasma including the plasma generation region and the beam extraction region.

Conventionally, a particle model using the particle-in-cell (PIC) method, which can solve the potential structure generated by the plasma, has been used for the numerical analysis of beam extraction. However, if its simulation region is extended to the whole ion source, a huge calculation cost becomes a problem. Therefore, this study aims to develop an integrated model that uses a PIC model for the beam extraction region and a fluid model for the plasma generation region. In this study, as a first step of model development, a zero-dimensional model, which is derived by averaging the plasma fluid equations in the whole plasma generation region, was developed.

The analysis using this model showed the time variation of plasma resistance, plasma impedance and the resultant input power to the plasma due to RF heating. However, the oscillation in the plasma density was not large enough to affect the beam convergence. One of the possible reasons is the effect of spatial averaging in the model.

To check this result, a three-dimensional electromagnetic PIC model that solves the electromagnetic field generated by the external coil and plasma was introduced, and numerical analysis was performed. The density did not oscillate much because the plasma generated near the coil gradually transported to the extraction region. On the other hand, the temperature oscillation was observed in the whole region in response to RF heating, with an amplitude of about 10%.

These analyses showed that it is difficult to perform a sufficient analysis by coupling the 0D model with the PIC model. Therefore, the numerical model for the plasma generation region is changed to the electromagnetic PIC model and will be extended to the extraction region.

３．本研究課題に関する発表

発表者氏名（著者・講演者）	発表課題名（著書名・演題）	発表学術誌名（著書発行所・講演学会）	学術誌発行年月（著書発行年月・講演年月）