

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 6月 8日現在

機関番号：82110

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21560864

研究課題名（和文）負イオンビームプローブ法による新方式大強度正イオンビームモニターの開発

研究課題名（英文）Development of a high intensity positive ion beam monitor using a negative ion probe beam

研究代表者

神藤 勝啓 (SHINTO KATSUHIRO)

独立行政法人日本原子力研究開発機構・核融合研究開発部門・研究副主幹

研究者番号：80322999

研究成果の概要（和文）：

本研究では、既存のビームプロファイルモニターでの問題点であるイオンビームの残留ガスやモニターで使用するワイヤーなどによる散乱、それに伴って生じる装置の放射化を抑えるために、負イオンビームを用いた新方式の大強度イオンビームのプロファイルモニターを考案し、その原理検証実験を進めた。

研究成果の概要（英文）：

We proposed and have conducted a new scheme of high intensity positive ion beam monitor by using a negative ion probe beam. The monitor conquers the disadvantages of conventional beam profile monitors.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	2,600,000	780,000	3,380,000
2010年度	600,000	180,000	780,000
2011年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,700,000	1,110,000	4,810,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：総合工学、核融合学

キーワード：核融合システム工学

1. 研究開始当初の背景

- (1) 国内外において、J-PARC、SNS、LHC などの大強度ビームのイオン加速器の計画、建設、運転が進められてきた。
- (2) 研究代表者は、2007年12月より IFMIF/EVEDA 事業チームの加速器専門家として、核融合炉材料開発のための重陽子線形加速器の研究・開発に携わってきた。
- (3) 線形加速器で加速されたビーム品質を

調べることは、適切な中性子束発生観点からも、重要な課題の一つである。

2. 研究の目的

- (1) IFMIF を含めた線形加速器の大強度イオンビームのプロファイルを計測するには、測定方式、ビームの散乱、損失、装置の放射化等の問題がある。
- (2) そこで、これらの方式に替わるものとして、負イオンビームをプローブビームに用いた新方式のビームプロファイル

モニターを考案したので、その原理検証を目指す。

3. 研究の方法

- (1) 水素負イオン (H^-) のように電子親和力が小さいが、安定で壊れにくい負イオンをプローブビームとして用いる。
- (2) ターゲットとなる正イオンビームに対して、 H^- ビームを垂直に入射したときに、位置ごとでの H^- ビームの減衰量を調べることで、正イオンビームのプロファイルを測定する。

4. 研究成果

- (1) これまでに核融合科学研究所で開発されてきた大強度ヘリウム正イオン (He^+) ビームをターゲットビームとして用いた負イオンビーム法による原理検証実験を行うために、その設計検討を行った。実験原理の概念図を図1に示す。

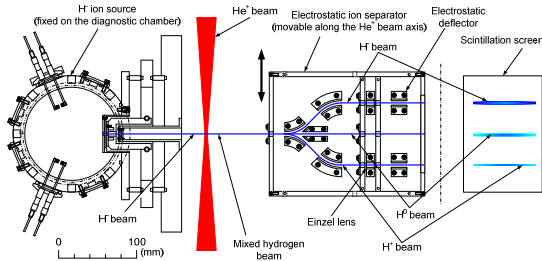


図1 実験原理の概念図

負イオン源は He^+ ビームの進行方向に対して垂直に入射される。 He^+ ビームとの相互作用により、負イオンビーム内には、負イオンから電子が脱離した原子や正イオンが混入した形でビームとして飛行している。これら各種の粒子について、下流に設けた静電偏向型粒子検出器を用いて、それぞれのイオン種に分離し、粒子検出器の後方に設置したアルミナ蛍光板にビームが衝突した際に発する光の強度を調べることで、 He^+ ビームの密度プロファイルを測定する。

- (2) プローブビーム用に $70\text{mm} \times 2\text{mm}$ の矩形ビームを引き出せる H^- イオン源の設計、製作を行った。製作した H^- イオン源の断面図を図2に示す。プラズマ源はアルミナ合金製の真空容器であり、熱陰極放電により生成されたプラズマを閉じ込めるために、永久磁石を用いてテントフィルター型の磁場配置を形成している。 H^- ビームは、3枚の電極から成るビーム引き出し系で生成される。

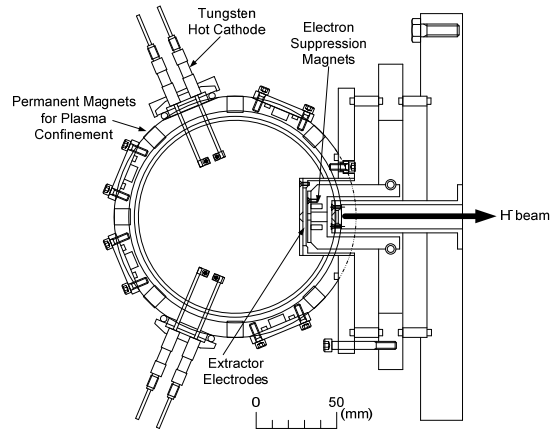


図2 今回製作した H^- イオン源の断面図

- (3) 小型のテストベンチを製作して、このイオン源より引き出される H^- ビームの試験を行った。 H^- ビーム電流量の引き出し電圧依存性の試験結果を図3に示す。電源の出力による制限があったが、引き出し電圧 2kV で H^- ビーム電流はイオン源出口直後で $25 \cdot \text{A}$ まで引き出すことができた。また、 H^- ビームのプロファイルは 70mm の幅に対してほぼ一様に出ていることが分かった。本イオン源のような矩形のビームを生成することは世界的にもあまり行われておらず、本研究での成果の一つである。

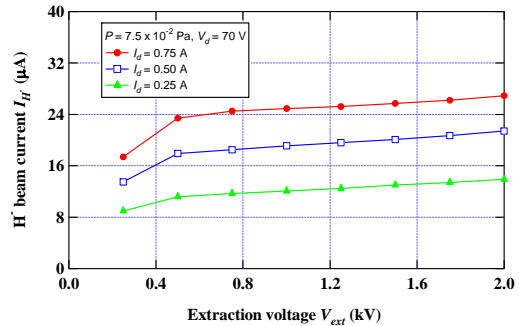


図3 イオン源より引き出された H^- ビーム電流量の引き出し電圧依存性

- (4) 小型テストベンチでの試験終了後、 H^- イオン源を核融合科学研究所のNBIテストスタンドに設置された He^+ ビーム測定用真空容器に H^- イオン源を設置して、原理検証実験を始めた。図4に装置外観の写真を示す。真空容器の上部に大強度 He^+ イオン源が設置されており、 He^+ ビームは写真上では上から下にビームが引き出される。それに対して、 H^- イオン源は真空容器側面に設置されており、 H^- ビームは写真上では右から左にビームが引き出される。

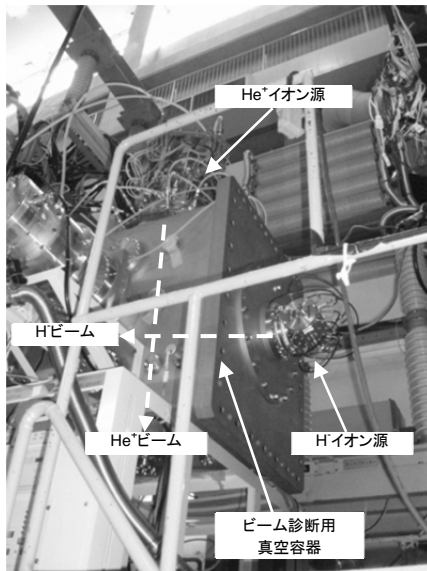


図4 大強度 He⁺ビーム診断用真空容器に設置したときの H⁺イオン源

(5) He⁺ビームを通過した後、ビームは H⁰、H⁺ 及び H⁻ の混合ビームとなるため、これらを各イオン種に分離して検出するための粒子検出器を製作し、He⁺ビーム測定用真空容器内に取り付けた。図5にビーム診断用真空容器内部の写真を示す。

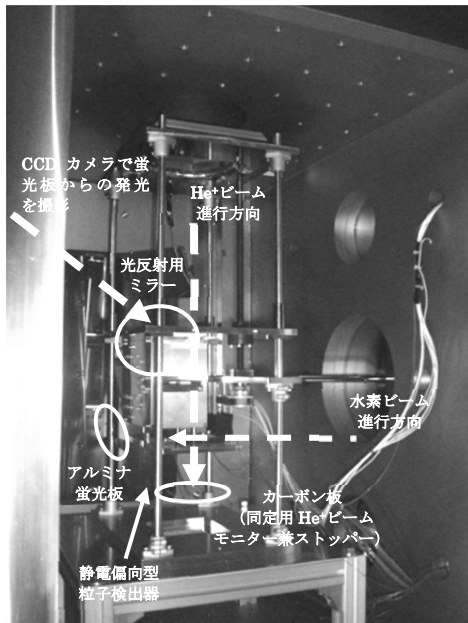


図5 He⁺ビーム測定用真空容器内に設置した粒子検出器

(6) He⁺ビームとのビーム=ビーム相互作用で水素原子・イオン混合ビームが生じる。この混合ビームは静電偏向型粒子検出器でイオン種を分離した後に、アルミナ蛍光板に入射することで、蛍光板から光を発する。この光を真空容器外部に設置した CCD カメラで撮影して、発光強度から各ビームの電流強度を求めて、元の He⁺ビームのプロファイルを測定する。図6に H⁺ビームを蛍光板に入射したときの



図6 H⁺ビームによるアルミナ蛍光板の発光発光の様子を示す。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計2件)

- ① K. Shinto, M. Wada, O. Kaneko, K. Tsumori, M. Nishiura, M. Kasaki and M. Sasao, “A Negative Ion Beam Probe for Diagnostics of a High Intensity Ion Beam”, Proceedings of the 1st International Particle Accelerator Conference (IPAC’10), 査読無、pp.999-1001 (2010).
- ② K. Shinto, M. Wada, T. Nishida, Y. Demura, D. Sasaki, K. Tsumori, M. Nishiura, O. Kaneko, M. Kasaki and M. Sasao, “Development of a Negative Hydrogen Ion Source for Spatial Beam Profile Measurement of a High Intensity Positive Ion Beam”, AIP Conference Proceedings 1390 - Second International Symposium on Negative Ions, Beams and Sources, 査読有、pp.675 -683 (2011).

[学会発表] (計4件)

- ① 神藤 勝啓、和田 元、今北 真輔、金子 修、津守 克嘉、「負イオンビーム入射による大強度正イオンビームモニターの開発」、プラズマ・核融合学会第26回年会、2009年12月3日、京都市国際交流会館(京都市)
- ② 和田 元、神藤 勝啓、金子 修、津守 克嘉、笹尾 真実子「負イオンビームを

- 用いた高エネルギービームプロファイル診断」、日本物理学会第 65 回年次大会、2010 年 3 月 23 日、岡山大学（岡山市）
- ③ 西田 睦聡、出村 康弘、佐々木 大地、神藤 勝啓、粕谷 俊郎、和田 元「水素負イオンを用いたイオンビームの空間分布測定」、プラズマ・核融合学会第 27 回年会、2010 年 12 月 1 日、北海道大学（札幌市）
- ④ 神藤 勝啓、和田 元、西田 睦聡、木崎 雅志、津守 克嘉、西浦 正樹、金子 修、笹尾 真実子、「負イオンプローブビームを用いたビームプロファイルモニターの開発」、Plasma Conference 2011（プラズマ・核融合学会第 28 回年会）、2011 年 11 月 22 日、石川県立音楽堂（金沢市）

6. 研究組織

(1) 研究代表者

神藤 勝啓 (SHINTO KATSUHIRO)

独立行政法人日本原子力研究開発機構・核融合研究開発部門・研究副主幹
研究者番号：80322999

(2) 研究分担者

和田 元 (WADA MOTOI)

同志社大学・大学院生命科学研究科・教授
研究者番号：30201263

金子 修 (KANEKO OSAMU)

核融合科学研究所・ヘリカル研究部・教授
研究者番号：00126848

(H21 のみ)

津守 克嘉 (TSUMORI KATSUYOSHI)

核融合科学研究所・ヘリカル研究部・准教授

研究者番号：50326946

(H22～H23)

(3) 連携研究者

小栗 英知 (OGURI HIDETOMO)

独立行政法人日本原子力研究開発機構・J-PARC センター・研究主幹
研究者番号：30354757