

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 17 日現在

機関番号：63902

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25249134

研究課題名(和文) 高密度イオン性プラズマからの負イオン引出機構の解明

研究課題名(英文) Investigation of negative ion extraction mechanism from a high-density ionic plasma

研究代表者

竹入 康彦 (Takeiri, Yasuhiko)

核融合科学研究所・その他部局等・所長

研究者番号：60179603

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 28,000,000円

研究成果の概要(和文)：負イオン源プラズマ中の負イオン引き出し機構の基本特性を明らかにし、負イオンビームの大電流化を図ることを目的として本研究を実施し、以下の点を明らかにした。

イオン性プラズマでは外部から印加した電界が引出領域に深く浸透すること。水素負イオンは、電子と正イオンとは逆にプラズマ電極側からドライバー領域側に輸送されること。水素負イオンが引出領域のほぼ全域から引き出されること。プラズマ電極の近くでは、ビーム引き出し前後の電子密度と負イオン密度が磁力線構造に強く依存すること。

これらの成果により、水素負イオンのダイナミクスの全体像が世界で初めて明らかになった。

研究成果の概要(英文)：The investigation of negative ion extraction mechanism in the negative ion source was performed, and it was found; 1) externally applied electric field can penetrate deeply inside the extraction region, 2) negative ions are transported from the plasma grid (PG) toward driver region, 3) negative ions are extracted through whole region in the extraction region, 4) electron density and negative ion density near the PG responds to the extraction voltage, and 3D magnetic field structure plays a role for particle dynamics. These observations contribute to reveal the negative ion dynamics for the first time.

研究分野：核融合学

キーワード：負イオン源 中性粒子ビーム入射 プラズマ加熱 イオン性プラズマ 負イオンダイナミクス

1. 研究開始当初の背景

中性粒子入射(NBI)加熱は、核融合プラズマの加熱方式の中で最も高い実績を持っており、閉じ込めプラズマの性能向上の点でも高い信頼性を有している。このため、現在建造が行われている国際熱核融合実験炉(ITER)、また将来の核燃焼プラズマ実験に向けた大型核融合実験装置に関しても、負イオン源を用いた高エネルギーNBIシステムの高性能化の研究が進められている。

現在、閉じ込め効率改善を目的とした核融合プラズマ実験装置は大型化に伴い、プラズマ中心部の加熱には数 100 keV から 1 MeV の高エネルギー中性粒子ビームが求められている。このようなエネルギー域では、高い中性化効率を有する水素、あるいはその同位体の重水素負イオンビームが必須となる。核融合科学研究所(NIFS)では日本原子力開発研究機構(JAEA)と同時期に、世界初の負イオン源型 NBI の開発と実用化を行い、NIFS 既設のプラズマ閉じ込め装置である大型ヘリカル装置(LHD)への 180keV、5MW の定格入射を達成した。

2. 研究の目的

NBI 高電力入射時における安定性には幾つかの問題が残っており、負イオン源の高効率化とともに安定性の改善が必要となった。そのために負イオン源の性能向上に最も有効なイオン源内での負イオンの生成からビーム引き出し孔への輸送に関する物理機構の計測研究を開始し、その初期実験として、負イオン源のビーム引き出し領域プラズマを静電プローブで計測した。静電プローブの電圧電流曲線は変曲点に対し正負飽和電流がほとんど対称な特性が得られた。これは負イオン源引き出し領域内に電子密度が極めて低く、正負イオンのみからなるイオン性プラズマが生成されていることを示している。キャビティ・リングダウン(CRD)法を用いて、引出領域における負イオン密度を計測したところ、 $3\sim 4 \times 10^{17}$ ions/m³ という水素イオン性プラズマが生成されていることが明らかになった。このような高密度水素イオン性プラズマの生成は世界で初めてである。

通常の電子・正イオン系プラズマでは、外部から与えられた電界は、正イオンよりも移動度が高い電子によって空間的にコンパクトに遮蔽される。一方、原子量がほぼ等しいイオン性プラズマでは、通常のプラズマとは異なる電界遮蔽構造を持つため、プラズマ中の電位分布、プラズマ中の粒子の輸送、プラズマ界面の構造などは十分に理解されていない。本研究は、負イオン源引出領域に形成されたイオン性プラズマの電位構造、粒子輸送、界面形成と負イオン引き出し機構等の基本特性を多角

的な計測により明らかにし、高密度負イオンの生成と引き出しの最適化による負イオンビームの大電流化を図ることを目的としている。

3. 研究の方法

本研究では、実際の NBI 用大型水素負イオン源と同等なサイズの容器内で生成される負イオン、イオン性プラズマ、そして静電界によるビームの引き出しを対象としているため、ほぼ完全な NBI に近い施設が必要となる。そのため、LHD 用 NBI の開発期に用いた実績がある NIFS-NBI テストスタンドと、LHD 用 NBI に設置されている負イオン源放電室内容積が半分

の体積を持つ開発用負イオン源を用いた。本研究では、このイオン源で生成されるイオン性プラズマを調べるために、新たに電子密度計測用ミリ波干渉計の設置、4-pin 方向性光脱離静電プローブ法の開発、He レーザー吸収分光測定、CRD(キャビティ・リングダウン)による水素負イオン温度計測などを実施することで、負イオンを含めたプラズマ中の粒子のダイナミクスを調べる実験を推進した。また、慶応大学のグループとの連携により粒子シミュレーションに基づく負イオンダイナミクスの理論モデルの研究を合わせて実施した。

4. 研究成果

負イオン源プラズマに形成されたイオン性プラズマの電位構造、粒子輸送、界面形成と負イオン引き出し機構の基本特性を明らかにし、高密度負イオンの生成と引き出しの最適化による負イオンビームの大電流化を図ることを目的として、本研究を実施した。

本研究の結果、イオン性プラズマでは外部から印加した電界が電子・正イオンプラズマに比べて引出領域に深く浸透することが明らかになった。粒子輸送については、水素正イオンと電子がドライバー領域の方向から両極性拡散によりプラズマ電極へ輸送されること、一方で水素負イオンは、電子と正イオンとは逆にプラズマ電極側からドライバー領域側に輸送されることを明らかにした。さらに、水素負イオンが引出領域のほぼ全域から引き出され、プラズマ電極の近くでは、ビーム引き出し前後の電子密度と負イオン密度が電子偏向磁石による磁力線構造に強く依存して変化することが明らかになった。また、3D3V-PIC シミュレーションにより、現状では実験的に測定することが難しい引出領域内のメニスカス構造と荷電粒子分布を求めた。

以上の結果は、高密度負イオンの生成と引き出しの最適化による負イオンビームの大電流化に大きく貢献するものである。

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 29 件)

1. K. Tsumori, K. Ikeda, H. Nakano, M. Kisaki, S. Geng, M. Wada, K. Sasaki, S. Nishiyama, M. Goto, G. Seriani, P. Agostinetti, E. Sartori, M. Brombin, P. Veltri, C. Wimmer, K. Nagaoka, M. Osakabe, Y. Takeiri, and O. Kaneko, “Negative ion production and beam extraction processes in a large ion source (invited)”, Review of Scientific Instruments 87, pp. 02B936/1-6 (2016). <http://dx.doi.org/10.1063/1.4938254>. (査読有)
2. K. Ikeda, D. Wunderlich, U. Fantz, B. Heinemann, M. Kisaki, K. Nagaoka, H. Nakano, M. Osakabe, K. Tsumori, O. Kaneko and Y. Takeiri, “Installation of Spectrally Selective Imaging System in RF Negative Ion Source”, Review of Scientific Instruments 87, pp. 02B113/1-3 (2016). (査読有) <http://dx.doi.org/10.1063/1.4932987>
3. M. Kisaki, K. Ikeda, M. Osakabe, K. Tsumori, H. Nakano, S. Geng, K. Nagaoka, O. Kaneko, and Y. Takeiri, “Improvement of accelerator of negative ion source on the Large Helical Device”, Review of Scientific Instruments 87, pp. 02B321/1-3 (2016). <http://dx.doi.org/10.1063/1.4936249> (査読有)
4. S. Geng, K. Tsumori, H. Nakano, M. Kisaki, K. Ikeda, M. Osakabe, K. Nagaoka, Y. Takeiri, M. Shibuya, and O. Kaneko, “Charged particle flows in the beam extraction region of a negative ion source for NBI”, Review of Scientific Instruments 87, pp.02B103/1-4 (2016). (査読有)
5. M. Wada, T. Kenmotsu, M. Kisaki, H. Nakano, M. Nishiura, and K. Tsumori, “Balmer- α spectrum measurements of the LHD one-third ion source”, Review of Scientific Instruments 87, pp. 02B107/1-3 (2016). (査読有) <http://dx.doi.org/10.1063/1.4932319P>.
6. Veltri, V. Antoni, P. Agostinetti, M. Brombin, K. Ikeda, M. Kisaki, H. Nakano, E. Sartori, G. Seriani, Y. Takeiri, and K. Tsumori, “Optics of the NIFS negative ion source test stand by infrared calorimetry and numerical modelling”, Review of Scientific Instruments 87, 02B908/1-3 (2016). <http://dx.doi.org/10.1063/1.4932982>(査読有)
7. Y. Takeiri, K. Tsumori, K. Ikeda, H. Nakano, M. Kisaki, K. Nagaoka, T. Tokuzawa, S. Geng, M. Osakabe, O. Kaneko, T. Kondo, M. Sato, M. Shibuya, S. Komada and H. Sekiguchi, “Research progress on ionic plasmas generated in an intense hydrogen negative ion source (invited)”, AIP Conference Proceedings 1655, pp. 060004/1-8 (2015). <http://dx.doi.org/10.1063/1.4916473>(査読有)
8. K. Ikeda, H. Nakano, K. Tsumori, M. Kisaki, S. Geng, K. Nagaoka, Y. Takeiri, O. Kaneko, “Evaluation of Negative Ion Distribution Changes by Image Processing Diagnostic”, AIP Conference Proceedings 1655, pp. 040005/1-8 (2015). (査読有) <http://dx.doi.org/10.1063/1.4916447>
9. H. Nakano, S. Nishiyama, M. Goto, K. Tsumori, M. Kisaki, K. Ikeda, K. Nagaoka, M. Osakabe, Y. Takeiri, O. Kaneko, and K. Sasaki, “Hydrogen atom temperature measured with wavelength-modulated laser absorption spectroscopy in large scale filament arc negative hydrogen ion source”, AIP Conference Proceedings 1655, pp. 020018/1-7 (2015). (査読有) <http://dx.doi.org/10.1063/1.4916427>
10. S. Geng, K. Tsumori, H. Nakano, M. Kisaki, K. Ikeda, Y. Takeiri, M. Osakabe, K. Nagaoka, and O. Kaneko, “Laser photodetachment diagnostics of a 1/3-size negative hydrogen ion source for NBI”, AIP Conference Proceedings 1655, pp. 040014/1-7 (2015). (査読有) <http://dx.doi.org/10.1063/1.4916456>
11. N. Fonnesu, P. Agostinetti, G. Seriani, M. Kisaki and P. Veltri, “A Multi-beamlet analysis of the MITICA accelerator”, AIP conference proceedings 1655, pp. 05008/1-8 (2015). <http://dx.doi.org/10.1063/1.4916465> (査読有)
12. Shaofei GENG, Katsuyoshi TSUMORI, Haruhisa NAKANO, Masashi KISAKI, Yasuhiko TAKEIRI, Masaki OSAKABE, Katsunori IKEDA, Ken-ichi NAGAOKA, Osamu KANEKO, Masayuki SHIBUYA and NIFS NBI Group, “Spatial distributions of charged particles and plasma potential before and during beam extraction in a negative hydrogen ion source for NBI”, Plasma Fusion and Research 10, pp. 3405016/1-4 (2015). <http://dx.doi.org/10.1585/pfr.10.3405016>. (査読有)
13. V. Antoni, P. Agostinetti, M. Brombin,

- V. Cervaro, R. Delogu, M. De. Muri, D. Fasolo, L. Franchin, R. Ghiraldelli, K. Ikeda, M. Kisaki, F. Molon, A. Muraro, H. Nakano, R. Pasqualotto, G. Serianni, Y. Takeiri, M. Tollin, K. Tsumori and P. Veltri, "Design, installation, commissioning and operation of a beamlet monitor in the negative ion beam test stand at NIFS", AIP conference proceedings 1655, pp.060005/1-10 (2015). (査読有)
<http://dx.doi.org/10.1063/1.4916474>.
14. K. Ikeda, H. Nakano, K. Tsumori, M. Kisaki, K. Nagaoka, M. Osakabe, Y. Takeiri, and O. Kaneko, "Development of spectrally selective imaging system for negative hydrogen ion source", Review of Scientific Instrum 85, pp. 02A724/1-3 (2014). (査読有)
<http://dx.doi.org/10.1063/1.4842318>
 15. M. Kisaki, K. Tsumori, K. Ikeda, H. Nakano, M. Osakabe, K. Nagaoka, Y. Takeiri, and O. Kaneko, "Characteristics of Plasma Grid Bias in Large-scaled Negative Ion Source", Review of Scientific Instrum 85, pp. 02B131/1-3 (2014). (査読有)
<http://dx.doi.org/10.1063/1.4854295>
 16. S. Nishioka, K. Miyamoto, S. Okuda, I. Goto, A. Hatayama and A. Fukano, "Study of plasma meniscus and beam halo in negative ion sources using three dimension in real space and three dimension in velocity space particle in cell model", Review of Scientific Instrum 85, pp. 02A737/1-3 (2014). (査読有)
<http://dx.doi.org/10.1063/1.4854976>
 17. A. Hatayama, T. Shibata, S. Nishioka, M. Ohta, M. Yasumoto, K. Nishida, T. Yamamoto, K. Miyamoto, A. Fukano and T. Mizuno, "Kinetic modeling of particle dynamics in H⁻ negative ion sources (invited)", Review of Scientific Instrum 85, pp. 02A510/1-7 (2014).
<http://dx.doi.org/10.1063/1.4852300>(査読有)
 18. I. Goto, K. Miyamoto, S. Nishioka and A. Hatayama, "Study of the Negative Ion Extraction Mechanism from a Double-Ion Plasma in Negative Ion Sources", Proceedings of the 4th International Symposium on Negative Ions, Beams and Sources, Oct.6-10 (2014). (査読有)
<http://dx.doi.org/10.1063/1.4916420>
 19. K. Tsumori, et al., "Polar distribution of ions and electrons in extraction region of a large-scaled caesium seeded ion source", AIP conference proceedings 1515, pp.149-156 (2013).
<http://dx.doi.org/10.1063/1.4792781>(査読有)
 20. K. Ikeda, H. Nakano, K. Tsumori, M. Kisaki, K. Nagaoka, M. Osakabe, Y. Takeiri and O. Kaneko, "Identification of the extraction structure of H⁻ ions by H α imaging spectroscopy", New Journal of Physics 15, pp.103026/1-18 (2013). (査読有)
<http://dx.doi.org/10.1088/1367-2630/15/10/103026>
 21. Katsunori Ikeda, Haruhisa Nakano, Katsuyoshi Tsumori, Masashi Kisaki, Kenichi Nagaoka, Masaki Osakabe, Yasuhiko Takeiri and Osamu Kaneko, "Visualization of H⁻ Dynamics in Extraction Region of Negative-Ion Source by H α Imaging Spectroscopy", Plasma and Fusion Research 8, pp.1301036/1-4 (2013). (査読有)
<http://doi.org/10.1585/pfr.8.1301036>
 22. H. Nakano, K. Tsumori, M. Kisaki, K. Ikeda, K. Nagaoka, M. Osakabe, O. Kaneko, E. Asano, T. Kondo, M. Sato, M. Shibuya, S. Komada, H. Sekiguchi, and Y. Takeiri, "H⁻ density profile and response to applied bias and extraction voltages in H⁻ source", AIP conference proceedings 1515, pp. 237-245, (2013). (査読有)
<http://dx.doi.org/10.1063/1.4792790>
 23. Tsumori, K., Nakano, H., Kisaki, M., Ikeda, K., Nagaoka, K., Osakabe, M., Takeiri, Y., Kaneko, O., Shibuya, M., Asano, E., Kondo, T., Sato, M., Sekiguchi H., and Komada, S.: "Polar Distribution of Ion and Electron Saturation Currents of Electro-Negative Plasma in Caesium-Seeded Negative Ion Source" Annual Report of National Institute for Fusion Science April 2012 - March 2013. 202 (2013). (査読有)
<http://dx.doi.org/10.1063/1.4792781>
 24. M. Kisaki, P. Veltri, P. Agostinetti, K. Tsumori, K. Ikeda, H. Nakano, G. Serianni, M. Osakabe, K. Nagaoka, Y. Takeiri, and O. Kaneko, "Behavior of Negative Ion and Secondary Particles in Multi-Aperture Accelerator", Plasma and Fusion Research 8, pp. 2405060/1-4 (2013). (査読有)
<http://doi.org/10.1585/pfr.8.2405060>
 25. K. Miyamoto, S. Okuda, S. Nishioka, and A. Hatayama, "Effect of basic physical parameters to control plasma meniscus and beam halo formation in negative ion sources", Journal of Applied Physics 114, pp.103302/1-7

(2013). (査読有)
<http://dx.doi.org/10.1063/1.4820571>

〔学会発表〕(計 35 件)

1. K. Ikeda, P. Agostinetti, M. Brombin, U. Fantz, S. Geng, O. Kaneko, M. Kisaki, K. Nagaoka, H. Nakano, M. Osakabe, E. Sartori, G. Serianni, Y. Takeiri, K. Tsumori, P. Veltri, C. Wimmer, and D. Wunderlich “Recent Studies of Hydrogen Negative Ion Source and Beam Production for NBI in Large Helical Device (invited)”, The 25th International Toki Conference, held at Seratopia Toki, Toki Gifu, Japan, on 3rd – 6th November, 2015
2. T. Tokuzawa, M. Kisaki, K. Nagaoka, K. Tsumori, K. Ikeda, H. Nakano, S. Geng, M. Osakabe, Y. Takeiri, and O. Kaneko, “Development of millimeter-wave interferometer for electron density measurements with beam extraction in the negative ion source”, 25th International Toki Conference, November 3-6, 2015, Ceratopia Toki, Toki-city, Gifu, Japan.
3. H. Nakano, K. Tsumori, M. Kisaki, K. Ikeda, K. Nagaoka, M. Osakabe, Y. Takeiri and O. Kaneko, “Behavior of Negative Hydrogen Ion and Its Beam by Bias and Beam Extraction Voltages”, The 68th Gaseous Electronics Conference, the 9th International Conference on Reactive Plasmas and the 33rd Symposium on Plasma Processing, (October 12 – 16, 2015) Hawaii Convention Center Honolulu, U.S.A.
4. H. Nakano, “Cavity ringdown method for negative-hydrogen-ion measurement in ion source for neutral beam injector (invited)”, The 17th International Symposium on Laser-Aided Plasma Diagnostics, held at Chateraise Gateaux Kingdom Sapporo, Hokkaido, JAPAN, on 27th September.-1st October. 2015
5. K. Tsumori, K. Ikeda, H. Nakano, M. Kisaki, S. Geng, M. Wada, K. Sasaki, S. Nishiyama, M. Goto, G. Serianni, P. Agostinetti, E. Sartori, M. Brombin, P. Veltri, C. Wimmer, K. Nagaoka, M. Osakabe, Y. Takeiri, and O. Kaneko, “Negative Ion Production and Beam Extraction Processes in a Large Ion Source (invited talk)”, the 16th International Conference on Ion Sources, TueM06, held at New York, USA, on 23rd – 28th September, 2015
6. S. Geng, K. Tsumori, H. Nakano, M. Kisaki, K. Nagaoka, K. Ikeda, Y. Takeiri, M. Shibuya and O. Kaneko, “Charged Particle Flows in the Beam Extraction Region of a Negative Hydrogen Ion Source for NBI”, Proceedings of the 16th International Conference on Ion Sources, MonPE11, held at New York, USA, on 23rd – 28th September, 2015
7. M. Wada, T. Kenmotsu, M. Kisaki, H. Nakano, M. Nishiura, K. Tsumori, “Balmer- α Spectrum Measurement of the LHD One-Third Ion Source”, Proceedings of the 16th International Conference on Ion Sources, TuePE35, held at New York, USA, on 23rd – 28th September, 2015
8. K. Ikeda, D. Wunderlich, U. Fantz, B. Heinemann, M. Kisaki, K. Nagaoka, H. Nakano, M. Osakabe, K. Tsumori, O. Kaneko and Y. Takeiri, “Installation of Spectrally Selective Imaging System in RF Negative Ion Source”, Proceedings of the 16th International Conference on Ion Sources, MonPS32, held at New York, USA, on 23rd – 28th September, 2015
9. P. Veltri, V. Antoni, P. Agostinetti, M. Brombin, K. Ikeda, M. Kisaki, H. Nakano, E. Sartori, G. Serianni, Y. Takeiri and K. Tsumori, “Optics of the NIFS Negative ion source test stand by infrared calorimetry and numerical modeling”, Proceedings of the 16th International Conference on Ion Sources, TuePS34, held at New York, USA, on 23rd – 28th September, 2015
10. S. Geng, K. Tsumori, H. Nakano, M. Kisaki, K. Ikeda, M. Osakabe, K. Nagaoka, Y. Takeiri, M. Shibuya, and O. Kaneko, “Charged particle flows in the beam extraction region of a negative ion source for NBI”, 16th International Conference on Ion Sources, August 23-28, 2015, New York, USA.
11. Y. Takeiri, K. Tsumori, K. Ikeda, H. Nakano, M. Kisaki, K. Nagaoka, T. Tokuzawa, S. Geng, M. Osakabe, O. Kaneko, T. Kondo, M. Sato, M. Shibuya, S. Komada and H. Sekiguchi, “Research progress on ionic plasmas generated in an intense hydrogen negative ion source (invited)”, The 4th International Symposium on Negative Ions, Beams and Sources, invited talk, 2014/10/6-2014/10-10, IPP Garching, Germany.
12. K. Tsumori, G. Serianni, P. Veltri, M. Kisaki, Y. Takeiri, M. Brombin, P.

- Agostinetti, K. Ikeda, G. Shaofei, H. Nakano, K. Nagaoka, M. Osakabe, V. Antoni, and NIFS-NBI Group, “Beamlet Tilting due to Magnetic Field in Beam Accelerator of NBI Source”, The 4th International Symposium on Negative Ions, Beams and Sources, 2014/10/6-2014/10-10, IPP Garching, Germany.
13. M. Kasaki, K. Tsumori, K. Ikeda, H. Nakano, S. Geng, K. Nagaoka, T. Tokuzawa, M. Osakabe, Y. Takeiri, O. Kaneko, “Spatial distribution of electron density in large-scaled negative ion source”, The 4th International Symposium on Negative Ions, Beams and Sources, 2014/10/6-2014/10-10, IPP Garching, Germany.
14. S. Geng, K. Tsumori, H. Nakano, M. Kasaki, K. Ikeda, Y. Takeiri, M. Osakabe, K. Nagaoka, and O. Kaneko, “Laser photodetachment diagnostics of a 1/3-size negative hydrogen ion source for NBI”, 4th International Symposium on Negative Ions, Beams and Sources (NIBS 2014) 6 - 10 October 2014, IPP Garching, Germany.
15. T. Tokuzawa, M. Kasaki, K. Nagaoka, K. Tsumori, K. Ikeda, H. Nakano, S. Geng, M. Osakabe, Y. Takeiri, and O. Kaneko, “Development of millimeter-wave interferometer for measuring electron density with beam extraction”, 4th International Symposium on Negative Ions, Beams and Sources (NIBS 2014) 6 - 10 October 2014, IPP Garching, Germany.
16. K. Ikeda, H. Nakano, K. Tsumori, M. Kasaki, K. Nagaoka, M. Osakabe, Y. Takeiri, O. Kaneko, “Evaluation of H-behavior using a spectrally selective imaging method in hydrogen negative ion source”, European Physical Society Conferences on Plasma Physics 2014, 2014/6/23-2014/6/27, Berline, Germany.
17. K. Tsumori, “Hydrogen Ionic Plasma and Particle Dynamics in Negative Ion Source for NBI (invited)”, the 55th Annual Meeting of the APS Division of Plasma Physics, session NI3.00001, Denver Colorado, USA, 11-15 November 2013.
18. M. Kasaki, K. Tsumori, K. Ikeda, H. Nakano, M. Osakabe, K. Nagaoka, Y. Takeiri, and O. Kaneko, “Characteristics of Plasma Grid Bias

in Large-scaled Negative Ion Source”, the 15th International Conference on Ion Source, Makuhari Messe, Chiba, Japan, September, 2013.

19. A. Hatayama, “Kinetic Modeling of Particle Dynamics in H⁻ Negative Ion Sources - Recent progress and Open Questions -”, the 15th International Conference on Ion Source, Makuhari Messe, Chiba, Japan, September, 2013.

6 . 研究組織

(1)研究代表者

竹入 康彦 (TAKEIRI Yasuhiko)

核融合科学研究所 所長

研究者番号 : 60179603

(2)研究分担者

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 : 50236949

(3)連携研究者

池田 勝則 (IKEDA Katsunori)

核融合科学研究所ヘリカル研究部助教

研究者番号 : 20321614

中野 治久 (NAKANO Haruhisa)

核融合科学研究所ヘリカル研究部助教

研究者番号 : 90442524

木崎 雅志 (KISAKI Masashi)

核融合科学研究所ヘリカル研究部助教

研究者番号 : 70598945

永岡 賢一 (NAGAOKA Kenichi)

核融合科学研究所ヘリカル研究部准教授

研究者番号 : 20353443

長壁 正樹 (OSAKABE Masaki)

核融合科学研究所ヘリカル研究部教授

研究者番号 : 90280601

畑山 明聖 (HATAYAMA Akiyoshi)

慶応義塾大学 理工学部 教授

研究者番号 : 10245607

(4)研究協力者

徳沢 季彦 (TOKUZAWA Tokihiko)

核融合科学研究所ヘリカル研究部准教授

研究者番号 : 90311208