

重イオン慣性核融合のためのソレノイド磁場による レーザーイオン源の電流増加

CURRENT INCREASE IN LASER ION SOURCE USING SOLENOIDAL MAGNETIC FIELD FOR HEAVY ION INERTIAL FUSION

梅澤将充^{#,A)}, 内野拓海^{A)}, 池上京佑^{A)},
高橋一匡^{A)}, 佐々木徹^{A)}, 菊池崇志^{A)}, 原田信弘^{A)},
Masamichi Umezawa^{#,A)}, Takumi Uchino^{A)}, Keisuke Ikegami^{A)},
Kazumasa Takahashi^{A)}, Toru Sasaki^{A)}, Takashi Kikuchi^{A)}, Nobuhiro Harada^{A)}
^{A)} Nagaoka University of Technology

Abstract

A laser ion source (LIS) is expected as an ion source to realize heavy ion inertial confinement fusion (HIF). LIS provides high current ion beam, in which is generated dense plasma by irradiating a high strength laser to the solid target surface. However, the plasma density decreases with expanding plasma due to the drift distance. To obtain high flux ion source for HIF, the behavior of laser ablation plasma should be controlled. In this study, we demonstrated to suppress the decrease of plasma density using longitudinal magnetic field. The laser was used for a second harmonics of Nd:YAG laser (wavelength: 532 nm) with the energy of 407 mJ and irradiated on a copper target. The pulse width of the laser was 16-18 ns (FWHM). The results indicate that the ion current as a function of drift distance depends on z^{-1} in the longitudinal magnetic field. It means that the plasma expansion can be suppressed with the longitudinal magnetic field.

1. はじめに

重イオン慣性核融合を実現させるためには低価数で高フラックスな重イオンビームが必要になる。重イオン慣性核融合を実現させるための高フラックスイオン源としてレーザーイオン源が期待されている。

レーザーイオン源は固体表面に高強度レーザーを照射することで高密度プラズマを生成することができる。しかし、レーザーターゲットから引き出し電極の間でプラズマは膨張し、プラズマ密度が減少するためイオン電流が減少する。この問題を解決するためにプラズマの進行方向に縦磁場をソレノイド^{[1],[2]}や永久磁石^[3]を用いて印加し、プラズマの膨張を抑制する試みが行われてきた。

これまでの結果からプラズマを膨張させた後、磁場を印加し、ガイドすることでイオン電流が増加することが分かっている。本研究では印加磁場の位置を変化させることで磁場に侵入していく初期のプラズマ密度とイオン電流との関係を明らかにする。

2. 実験構成

Figure 1 にプラズマ輸送部に磁場を印加した場合の実験装置の概念図を示す。真空チャンバー内で銅のターゲットに波長 532 nm、パルス幅(FWHM)が 16-18 ns の Nd:YAG レーザーを集光し、照射することでプラズマを生成した。レーザーエネルギー及びレーザースポットの面積はそれぞれ 402 mJ、0.12 cm² であった。そこから求められるレーザー照射強度は 2.1×10^8 W/cm² である。生成したプラズマはターゲット表面に垂直なドリフト速度を持って 3 次元的に膨張する。測定器には穴径が 1 mm の

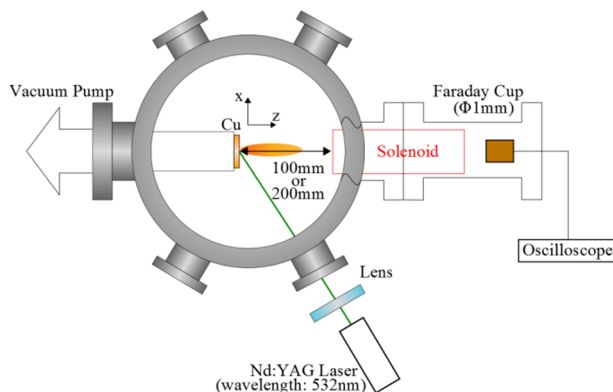


Figure 1: Schematic of experimental setup.

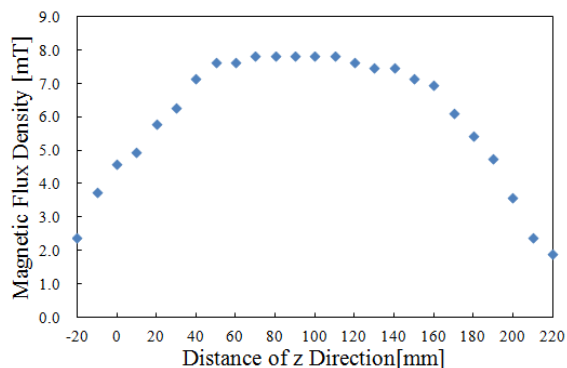


Figure 2: Magnetic flux density distribution.

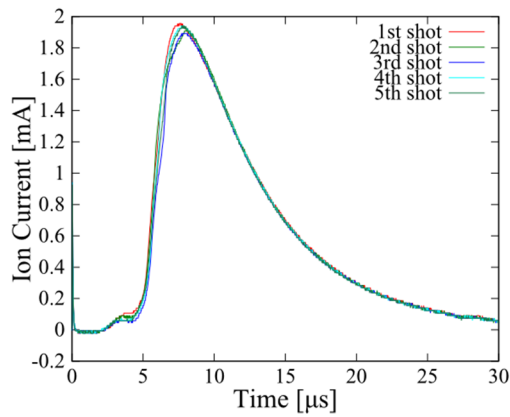


Figure 3: Time evolution of ion current at 200 mm from target without magnetic field.

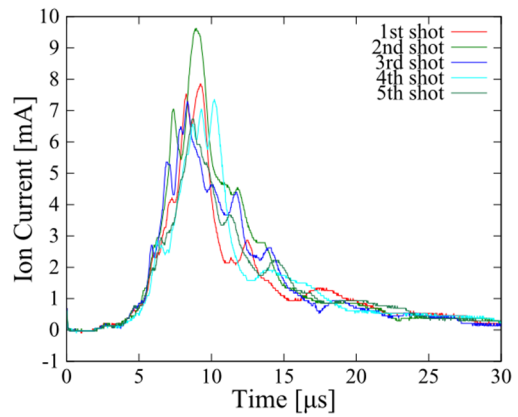


Figure 4: Time evolution of ion current at 200 mm from target with magnetic field.

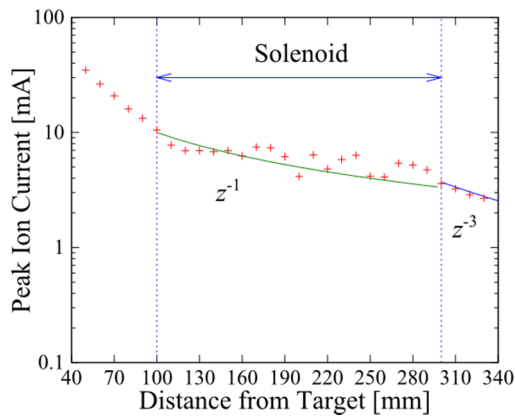


Figure 5: Peak ion current dependence on the drift distance in the case of 100 mm of target-solenoid distance.

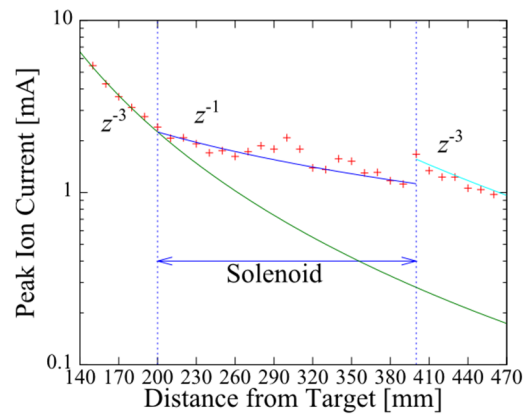


Figure 6: Peak ion current dependence on the drift distance in the case of 200 mm of target-solenoid distance.

Faraday Cup を用いた。プラズマから電子を追い返すための印加電圧は-30 V ~ -80 V まで印加し、イオン電流の変化が見られなくなる印加電圧で測定した。

ソレノイドの全長は 200 mm であり、ターゲットからソレノイドの入口が 100 mm または 200 mm となるように設置した。また、磁場は定常的に印加した。Figure 2 にソレノイドの中心における z 方向の磁束密度の変化を示す。0 mm の位置はソレノイドの入口を表わしている。

3. 実験結果と考察

Figure 3 にターゲットから 100 mm の位置にソレノイドを設置し、磁場を印加していない場合のターゲットから 200 mm におけるイオン電流を示す。時刻 0 μs はレーザーを照射したタイミングである。5 回レーザーを照射し、各回のイオン電流を測定した。Figure 4 に Figure 3 と同様の条件でソレノイド磁場を印加した場合のイオン電流を示す。その結果、イオン電流波形がショットごとにばらつく様子が確認された。これらの結果より、磁場を印加した場合にはプラズマ流に変調がかかり、ソレノイド磁場を通過したあとのイオン電流が振動することが明らかになった。

Figure 5 にソレノイドをターゲットから 100mm の位置に設置した場合の距離によるイオン電流の最大値の変化を示す。ターゲットから Faraday Cup までの距離を 50 ~ 330 mm まで 10 mm ずつ変化させた位置で電流波形を測定した。この結果、ソレノイドに入るまでの 50 ~ 100 mm ではイオン電流が距離の 3 乗に反比例して減少している。ソレノイド中の 100 ~ 300 mm の間ではイオン電流は距離の 1 乗に反比例して減少している。ソレノイドを通過した後の 300 mm 以降のイオン電流は距離の 3 乗に反比例して減少している。このことから、ソレノイド磁場によってイオン電流の減少量が抑制されることが分かる。

Figure 6 にソレノイドを 200 mm に設置し、100 mm に設置した場合と同様にして 140 ~ 470 mm まで 10mm ずつ測定した際のイオン電流の最大値の変化を示す。ソレノイドを 100 mm に設置した場合と同様に磁場のある位置でイオン電流の減少を抑えられた。このことから、磁場に入っていくプラズマの密度に関係なく、イオン電流の減少を抑えられると考えられる。

100 mm 及び 200 mm にソレノイドを置いた場合の各測定点のイオン電流を積分した結果を Figure 7 及

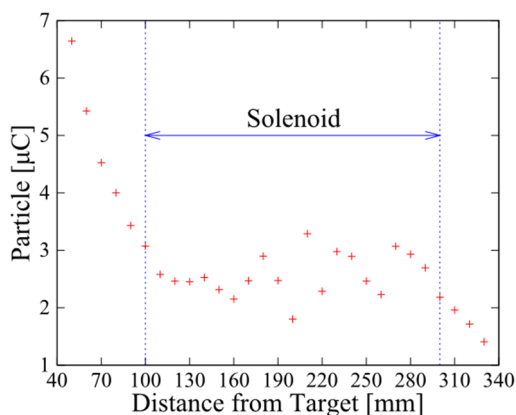


Figure 7: Ion charge dependence on the drift distance in the case of 100 mm of target-solenoid distance.

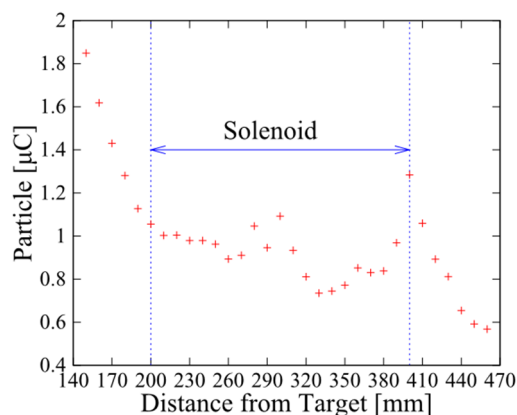


Figure 8: Ion charge dependence on the drift distance in the case of 200 mm of target-solenoid distance.

び Figure 8 に示す。どちらの場合においてもソレノイドに入るまで減少していた電荷が、ソレノイド中では減少していない。ソレノイドを出てからは再度、電荷量が減少している。このことから、縦磁場中では電荷量の低下を抑制することができる。

4. まとめ

レーザーイオン源のイオン電流の増加を目的として、ソレノイド磁場に入っていくプラズマの密度とイオン電流の関係を調べた。イオン電流はソレノイドを設置する位置に関わらず、磁場が無い場所では距離の 3 乗に反比例して減少し、磁場がある場所では距離の 1 乗に反比例して減少した。結果から、磁場に入っていくプラズマ密度に関わらず、ソレノイド磁場によってイオン電流の減少を抑えられた。

参考文献

- [1] L. G. Gray, Hughes and R. J. Anderson: J. Appl. Phys. 53 (1982) 6628. 0.
- [2] M. Okamura, A. Adeyemi, T. Kanesue, J. Tamura, K. Kondo and R. Dabrowski: Rev. Sci. Instrum. 81 (2010) 02A510.
- [3] K. Takahashi, S. Ikeda, F. Isono, K. Takayama, J. Hasegawa, M. Nakajima, and K. Horioka: J. Plasma Fusion Res. 8 (2013) 1206005-1.