

クライオ標的を用いた高電離炭素イオン供給のための
長寿命レーザーイオン源の開発

Development of a Long Life Laser Ion Source for Highly Charged
Carbon Ion Supply Using a Cryogenic Target

井上湧次¹, 長谷川純¹, 高橋一匡², 田村潤³, 堀岡一彦⁴, 高山健⁴
Yuji INOUE¹, Jun HASEGAWA¹, Kazumasa TAKAHASHI², Jun TAMURA³,
Kazuhiko HORIOKA⁴, Ken TAKAYAMA⁴

東工大¹, 長岡技科大², JAEA³, KEK⁴
Tokyo Tech¹, Nagaoka Univ.², JAEA³, KEK⁴

重粒子線治療は放射線がん治療の1つであり、従来のX線を用いた治療と比較して高い安全性と治療効果を持っている。しかし、治療システムの導入コストの高さが普及の妨げとなっている。現在の重粒子線治療システムはECRイオン源等を用いて C^{4+} を生成し、入射機で加速したのちに C^{6+} を作り出している。一方、レーザーイオン源は直接 C^{5+} , C^{6+} のイオンを生成できることが確認されており [1], その特性を利用し、レーザーイオン源を利用することで大型の入射機をなくした小型の重粒子線治療システムの開発が進められている [2]。従来のレーザーイオン源はレーザー照射により固体標的にダメージが蓄積するため、連続長時間運転には適さなかった。本研究では固体標的の代わりに、炭素を含む気体分子を低温下で固体に昇華させたクライオ標的を使用することで、レーザーイオン源の連続稼働時間を飛躍的に伸ばし、高電離炭素イオンを長期間安定して供給する技術を開発している。

本研究の実験配置図を Fig. 1 に示す。プラズマ生成部では液体窒素で冷却した金属円筒の周囲に CO_2 ガスを流入させてクライオ標的を生成し、パルスレーザー照射によりアブレーションプラズマを生成した。下流部ではプラズマの特性を調べるため、ファラデーカップによるイオンフラックス電流の計測と、静電アナライザーによる炭素イオンの価数とエネルギーの分析を行った。クライオ標的にレーザーを照射すると照射スポット周辺の昇華層が失われるため、レーザー照射と同期した自動標的送り機構を開発した。Fig. 2 は静電アナライザーの偏向電極への印加電圧を変えながら価数分析を行い、高電離炭素イオンの時間分布波形を求めたものである。この結果から、クライオ標的を用いた場合でもエネルギー密度 $10^{10}W/cm^2$ 程度のレーザー照射により、高電離炭素イオンが生成可能であることを確認した。

講演では、生成されるプラズマの再現性や安定動作のための条件、プラズマ中の炭素の価数分布、長期間動作を想定した場合の再生成クライオ標的から得られるプラズマの分析などについて報告する。

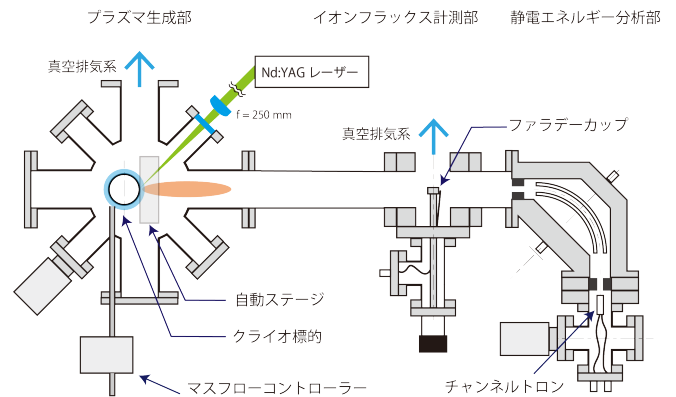


Fig. 1: 実験配置.

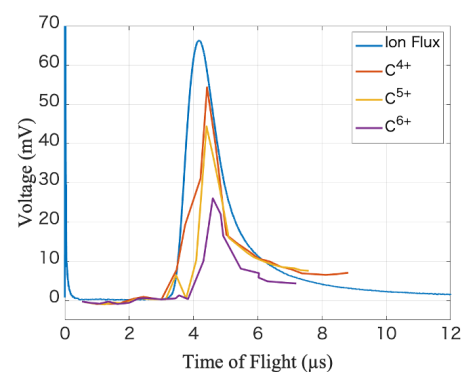


Fig. 2: 高電離炭素イオンの時間分布波形.

- [1] Naoya Munemoto, *et al.*, Rev. Sci. Instrum. **85**, 02B922 (2014)
[2] Ken Takayama, *et al.*, Phys. Rev. Accel. Beams **24**, 011601 (2021)