

固体標的レーザーイオン源におけるレーザー照射条件の最適化

Optimizations of laser irradiation conditions in a laser ion source using a solid target

西下 匠摩¹, 長谷川 純¹, 高橋 一匡², 田村 潤³, 堀岡 一彦¹, 高山 健⁴
Shoma Nishishita¹, Jun Hasegawa¹, Kazumasa Takahashi², Jun Tamura³, Kazuhiko Horioka⁴,
Ken Takayama⁴

¹東京工業大学, ²長岡技術科学大学, ³JAEA, ⁴KEK

¹Tokyo Institute of Technology, ²Nagaoka University of Technology, ³JAEA, ⁴KEK

重粒子線治療では、加速された完全電離炭素イオン (C^{6+}) を患部に照射することで治療を行う。従来の方式では、ECR イオン源などで生成した部分電離炭素イオン (C^{4+}) を線形加速器で加速し、炭素薄膜で C^{6+} に変換してからシンクロトロンに入射する。一方、レーザーイオン源と誘導加速シンクロトロンを組み合わせることで、レーザーイオン源で生成した 5 価や 6 価の炭素イオンをシンクロトロンに直接入射し加速することが可能になる[1]。この方式では、前段の線形加速器が不要となり、がん治療装置の小型化と建設コストの低減が期待される。

レーザーイオン源は固体標的にレーザーを照射して高価数イオンを得る。標的表面には照射のたびにクレーターが形成され、同じ箇所へレーザーを繰り返し照射すると、生成プラズマの再現性がショットと共に大きく低下することが知られている。従来は、この問題を避けるためにレーザースポットが重ならないようにレーザー照射をずらしながら運転し、連続動作時間は標的サイズによりその上限が決められていた。一方、先行研究によると、銅標的の場合はレーザースポットが重なる条件下でも非常に再現性の高いプラズマ生成できることが明らかになった[2]。そこで本研究では、グラフィットなどの炭素固体標的においてもレーザースポットが重なる条件下で再現性の良いプラズマ生成が可能かどうかを明らかにすることを目的とし、プラズマイオンの価数分布やフラックス波形の再現性について詳細に調べた。

図 1 に示した実験装置は、プラズマ生成チャンバー、Nd:YAG レーザー、ファラデーカップ、価数分析器により構成される。プラズマ生成チャンバー内に設置された炭素標的に Nd:YAG レーザーを集光し、アブレーションプラズマを生成した。ターゲットは XY 自動精密ステージ上に設置され、レーザー照射位置を $0.5 \mu\text{m}$ の精度で制御した。図 2 に重ねて照射した際のレーザースポットの移動方向とイオン電流のピーク

値の推移を示す。1 回照射ごとに図の矢印方向に、レーザースポットを移動させて計測を行った。このときの移動量は、横方向 $150 \mu\text{m}$ 、縦方向 $125 \mu\text{m}$ である。この結果より、レーザーエネルギーとイオンピーク電流値との相関は高くはないが (相関係数 ~ 0.45)、上述の条件下でのレーザーの重ねうち照射では、ピーク電流値が大きく低下しないことがわかった。発表では、価数分布の変動について調べた結果を加え、より詳細に生成プラズマの再現性について議論する。さらに、標的の長寿命化が期待されるグラフィットシートを用いた結果についても報告する。

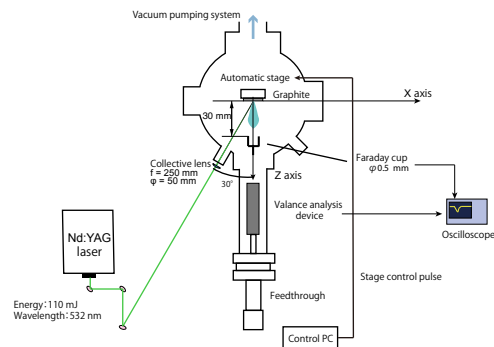


図 1 実験装置

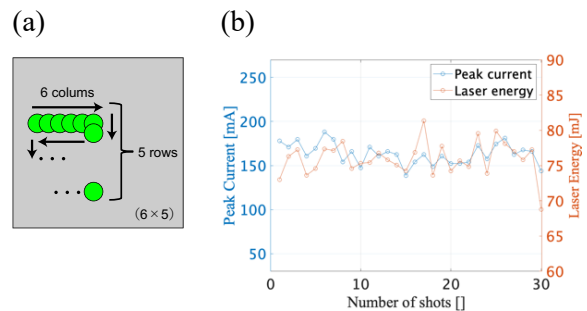


図 2 (a) レーザースポットの移動方向. (b) レーザーエネルギーとピーク電流値の関係

[1] N. Munemoto, K. Takayama, et al. "Development of the C^{6+} laser ablation ion source for the KEK digital accelerator", Review of Scientific Instruments, 85(2), 02B922, 2014.

[2] 谷亮太郎. "収束・発散磁場を通過する高速プラズマ流の分光イメージング", 修士論文, 東京工業大学, 2021.