

量子メス開発に向けたレーザー加速イオンの特性評価 Characterization of Laser Accelerated Ions for Quantum Scalpel Development

畑 昌育, 小島 完興, 近藤 公伯
Masayasu Hata, Sadaaki Kojima, Kiminori Kondo

量研
QST

近年、炭素イオンなどを用いた重イオンビームによるガン治療は成功を収めている。現在国内で稼働している重粒子線がん治療施設では、高エネルギー重イオンビーム生成のために、直線およびシンクロトロン型の粒子加速器が使用されているが、それらの加速器は広く医療機関に行き渡らせるにはサイズが大きすぎるという問題を持つ。そのためコンパクトな加速器の実現が求められており、レーザー粒子加速器は、未来の加速器の候補の一つとなっている。

量子科学技術研究開発機構では、高い治療効果が明らかになっている重イオンがん治療装置の高性能化・小型化を目指す“量子メス”プロジェクトを進めている。この次世代の小型重イオンがん治療装置は、重イオンビームの鋭いブラッグピークと、少ない内部散乱による腫瘍への高い線量集中性を持っている。これによって正常組織へのダメージを少なく抑え、より多くのがんを極めて短期間で治療できることが期待され、手術に代わる可能性を秘めている。

現在提案されている第5世代重イオンがん治療装置（量子メス）は、イオン入射器・超伝導シンクロトロン・ビーム輸送系・超伝導回転ガントリーから構成されている。装置を小型化するためには、体積の大部分を占める入射器とシンクロトロンの小型化が不可欠である。レーザー駆動イオン加速は非常に大きな加速勾配を持つことからこの小型化の要求に応える技術として期待されている。既存のイオン入射器をレーザー駆動方式で置き換えるためには、小型のレーザーモジュールの開発とそれを用いたレ

ーザー駆動による数 MeV/u の炭素イオンの加速が必要である。

そこで、三次元電磁粒子シミュレーションにより、加速炭素イオンの定量評価を試みた。ターゲットとして、炭素 (C) と炭化水素 (CH) の2種類を用意して、加速イオンのエネルギースペクトルの比較を行った。ターゲット厚は $1\ \mu\text{m}$ 、電子密度は $60n_{\text{cr}}$ として、スケール長 $1\ \mu\text{m}$ のプリプラズマを前面につけた。2種類のターゲットで電子密度プロファイルは同じである。レーザーの条件は、波長 $800\ \text{nm}$ 、強度 $2.1 \times 10^{20}\ \text{W/cm}^2$ 、パルス幅 $40\ \text{fs}$ 、スポット径 $1.2\ \mu\text{m}$ である。その結果、CH ターゲットの炭素イオンの最大エネルギーが、C ターゲットの炭素イオンの最大エネルギーの半分程度に留まることがわかった。この理由は、CH ターゲットに含まれるプロトンが、電荷質量比の違いから優先的に加速されてしまい、炭素イオンの加速効率が悪くなるからであった。

謝辞

本研究は JST 未来社会創造事業“レーザー駆動による量子ビーム加速器の開発と実証”の支援のもとで進められた。本研究の一部は、HPCI システム利用研究課題（課題番号：hp220124）を通じて、名古屋大学が提供するスーパーコンピュータ不老の計算資源の提供を受け、実施しました。本研究の一部は、量子科学技術研究開発機構の2022年度大型計算機利用課題を通じて、SGI8600の計算資源の提供を受け、実施しました。