大強度重イオンビーム加速のための 4 ビーム IH-RFQ 線形加速器の開発

Development of a four-beam IH-RFQ linear accelerator for high-intensity heavy ion beam acceleration

*池田 翔太 [1]，林崎 規託 [2]
[1] 理研，[2] 東工大研究院

重イオンビーム加速の大強度化に向けて、未だ実現されたことのない 4 ビーム IH-RFQ 線形加速器の原理実証機を新しく開発した。更に、専用のイオン源と高周波電源を組み合わせて、ビーム加速試験をおこなった結果、炭素イオンビームを加速することに成功し、4 ビーム同時加速を世界で初めて実証した。

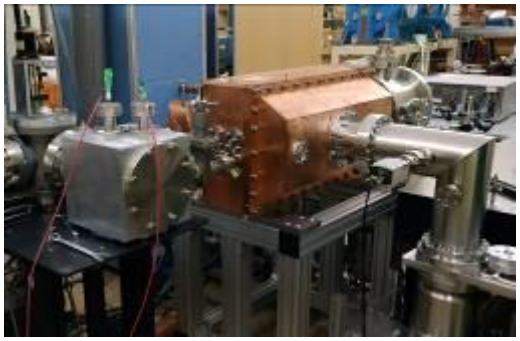
キーワード：IH-RFQ 線形加速器、マルチビーム加速、イオンビーム加速技術

1. 緒言

RFQ 線形加速器はイオンビームの空間電荷効果によるビーム発散や、高周波電場の放電限界（Kilpatrick 放電限界）による四重極電場強度の上限があることから、100 mA 級の重イオンビーム加速は従来の RFQ 線形加速器では困難である。その解決策として，大強度のビームを複数のビームに分割することで空間電荷効果の影響を緩和させ，1 台の加速器で同時加速した後に分割ビームを再び統合する，マルチビーム型 RFQ 線形加速器が考案されており、東工大で 2 ビーム IH-RFQ 線形加速器が開発され、108 mA（54 mA/channel）の炭素イオンの加速に成功し、その有効性が証明された[1]。一方で、マルチビーム型 RFQ 線形加速器の概念設計として、過去に 4 ビーム加速や 9 ビーム加速も取り上げられているが、前述のように実証されたマルチビーム型 RFQ 線形加速器は 2 ビーム加速までであり、加速ビームを 2 ビームより多チャンネル化した場合における加速器特性は明らかになっていないのが現状である。そこで本研究は、4 ビーム IH-RFQ 線形加速器の開発と原理実証を通じて、それらの特性を明らかにすることを目的とする。

2. 4 ビーム IH-RFQ 線形加速器の原理実証機の開発

3 次元電磁場シミュレーションソフトウェア CST MWS と 3 次元粒子軌道シミュレーションソフトウェア GPT を組み合わせて、ビームチャンネル毎の RFQ 電場分布のばらつきを最小に抑えられる電極レイアウトを考案し、共振周波数 47.8 MHz、消費電力 100 kW 以内で 4 ビームあわせて 159.2 mA の C^{2+}ビームを 3.6 keV/u から 41.6 keV/u まで加速可能な原理実証機を設計した。そして実際に原理実証機を製作し、ネットワークアナライザーを用いた低電力試験をおこない、必要に応じて調整作業をすることで、4 ビーム IH-RFQ 線形加速器の原理実証機を開発した。



4 ビーム IH-RFQ 線形加速器

3. 4 ビーム加速実証試験

開発した 4 ビーム IH-RFQ 線形加速器の原理実証機と専用のイオン源に、高周波源、真空系、ビーム測定系を組み合わせてビーム加速試験システムを構築し、加速試験をおこなった結果、炭素イオンビームをデザイン値のビームエネルギー41.6 keV/u まで加速することに成功し、4 ビーム同時加速を実証した。

参考文献

[1] T. Ishibashi, N. Hayashizaki, and T. Hattori Phys. Rev. ST Accel. Beams 14, 060101 (2011)

---

*Shota Ikeda[1], Noriyosu Hayashizaki[2]
[1]RIKEN, [2]Tokyo Tech