

超低速ミュオン顕微鏡用線形加速器の開発

Development of linear accelerators for ultra slow muon microscope

*林崎 規託¹, 吉田 光宏², 足立 泰平², 三宅 康博²

¹東工大原子炉, ²KEK

J-PARC 物質・生命科学実験施設において開発が進められている超低速ミュオン顕微鏡に組み込まれる予定の超低速ミュオン線形加速器の開発をおこなっている。

キーワード: ミュオン顕微鏡、線形加速器

1. 緒言

本研究は、文部科学省科学研究費補助金の新学術領域研究「超低速ミュオン顕微鏡が拓く物質・生命・素粒子科学のフロンティア」において必要とされる、超低速ミュオン線形加速器の開発をおこなうものである。超低速ミュオン顕微鏡のように、ミュオンを超低速化後に再加速をおこなう超低速ミュオン加速器の先行研究は皆無であり、モデルケースは存在しない。このため本研究では、ミュオニウムをレーザー解離することで得られた超低速ミュオンを再加速するための低エネルギーミュオン線形加速器として、Interdigital-H (IH) 型ドリフトチューブ線形加速器 (DTL) とシングルギャップ型加速空洞の開発をおこなっている。

2. IH-DTL

ミュオンの平均寿命は $2.2 \mu\text{s}$ と短いため、ミュオン加速器には、小型でビーム通過時間が短いことが求められる。そこで、DTL のタイプとしては、低速領域 ($\beta < 0.2$) において優れた加速効率 (シャントインピーダンス) を有する IH-DTL を選んだ。なお、その特徴ゆえに、これまで IH-DTL は低エネルギーの重イオン加速のために用いられることが多く、運転周波数は $30 \sim 200 \text{ MHz}$ の範囲にあったが、本研究では J-PARC 線形加速器と同じ 324 MHz となっており、このように高い運転周波数での開発は初めてのものである。ミュオニウムのレーザー解離によって得られる超低速ミュオンビームのパルス幅は $1 \sim 2 \text{ ns}$, 繰り返しは 25 Hz である。加速空洞内でのビーム収束方法については、ドリフトチューブ (DT) 電極のなかに収束磁石を配置せず、加速位相の正負の調整により横方向と進行方向の両方のビーム収束を可能とする、Alternating Phase Focusing (APF) 法を採用することにした。加速空洞の製作方法には、東工大において数多くの製作実績をもつ、無酸素銅の一枚板から全ての DT 電極を立体的に削り出したセンタープレートに、半円筒形のサイドシェルを両側面から取り付ける 3 ピース構造を採用し、加工精度と性能向上の両立を図った。

3. シングルギャップ型加速空洞

あらかじめパルス化されたミュオンビームを再加速するのであれば、リソース有効活用の観点から検討してきた高周波四重極 (RFQ) 線形加速器の代わりに、シングルギャップ型の高周波加速空洞を利用することも可能である。シングルギャップ型は電極配列の制約がなく、加速エネルギーも自由に変化させることができるため、H ラインにおける超低速ミュオン顕微鏡の展開や、U ラインにおけるエネルギー可変の小型加速空洞としての利用も考えられる。シングルギャップ型加速空洞の構造としては、対向する 2 本の電極が各々 $\lambda/4$ ($1/4$ 波長) の長さを持ち、お互いに正負逆極性の高周波電場を発生する $\lambda/4$ 型を選んだ。再加速をおこなう超低速ミュオンのビーム時間幅の目標値が $1 \sim 2 \text{ ns}$ とされていることから、既存の高周波機材を考慮して、運転周波数は 100 MHz とした。

*Noriyosu Hayashizaki¹, Mitsuhiro Yoshida², Taihei Adachi², Yasuhiro Miyake²

¹RLNR, Tokyo Tech, ²KEK