

# $\alpha$ Beam Acceleration in the KEK PS Injector

K. Ikegami, A. Takagi, Z. Igarashi, C. Kubota, \*Y. Mori

National Laboratory for High Energy Physics(KEK)

1-1 Oho, Tsukuba-shi Ibaraki-ken, 305, Japan

\*Institute for Nuclear Study, University of Tokyo

Midori-cho, Tanashi-shi, Tokyo, 188, Japan

## ABSTRACT

Many experiments have been carried out for helium ion beam acceleration in the KEK 12GeV Proton Synchrotron throughout in 1994. A helium beam has been successfully accelerated(1).

The injector of the 12GeV Proton Synchrotron, the 20MeV Proton Linac is operated in  $4\pi$ -mode acceleration by the same scheme of the deuteron acceleration(2), the 750keV Pre-Injector has  $\text{He}^+$  ion source of multicusp type and a gas stripper cell installed in the low energy beam transport(LEBT). Maximum value of  $\text{He}^{2+}$  ion beam current at the exit of the Proton Linac was 1.6mA.

In addition helium-3 beam acceleration has been tried in the 20MeV Proton Linac in  $4\pi$ -mode acceleration.  $^3\text{He}^{2+}$  ion beam current of 1.8mA was observed.

## KEK陽子シンクロトロン入射器での $\alpha$ ビーム加速

### 1. はじめに

KEK 12GeV陽子シンクロトロンでは、その多機能化として重陽子イオンビームの加速に続いて、1994年にヘリウムイオンビームの加速実験及び、共同利用物理実験者へのこのビームの供給を行った。これは、通常の陽子加速運転に対して、PS入射器では次の点を変更した。ひとつは、従来の負水素イオンビームとの併用運転の必要から、2台ある前段加速装置の2号機にカスプ型のヘリウムイオン源を据え付け、そこで生成した1個の $\text{He}^+$ イオンビームを、前段加速器750kV加速管で加速した事、また前段ビームラインに新設したチャージストリッパーで、その1個のビームを2個の $\text{He}^{2+}$ イオンビームにして20MeV陽子リニアックに入射そして加速した事である。この時この陽子リニアックでは、陽子ビームの $2\pi$ モードに対して $4\pi$ モード加速方式とし、重陽子と同様な方法で加速を行なっている。

### 2. 前段加速器での $\text{He}^+$ ビームの加速

ヘリウムイオン源は、750kV高圧ステーション内に設置した50kVの高圧ステーション上に取り付ける方式としたことから、構造が

簡単なカスプ型のイオン源(図-1)とした。イオン源より取り出した50keVの初期加速後のビームは、アインツェルレンズにより、750kV加速ギャップに集束させる方法で最初セットアップを行った。イオン源のビーム電極は、中間電極を持った3枚構造の多孔型電極(図-2)とし、引き出し口総面積は約 $10\text{m}^2$ である。

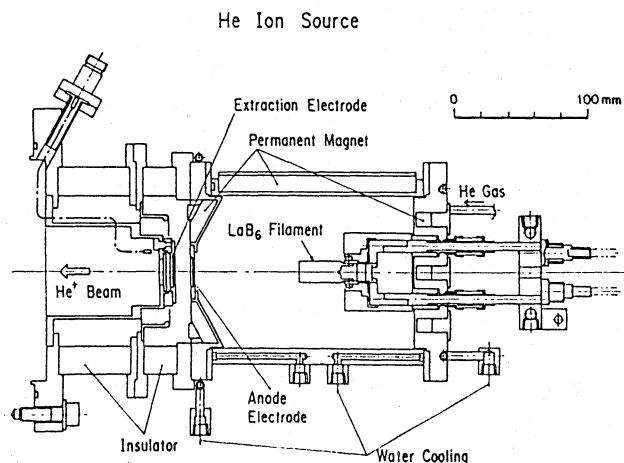


図-1 Heイオン源(初期のビーム電極は、抵抗分割電圧引加の中間電極を擁した3枚構成)

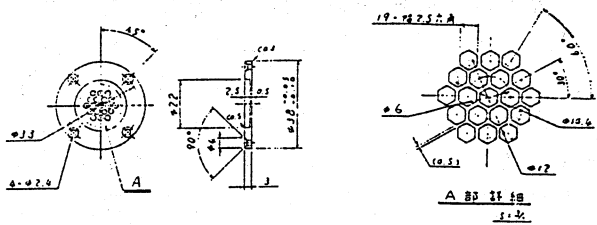


図-2 イオン源多孔型電極 (アノード)

このシステムでの獲得ビーム強度は、アインツェルレンズ直後のファラデーカップ (イオン源からの距離260mm、口径58mm) に於いて20mAのビーム強度を得た。しかし、アインツェルレンズを入れない状態ではこのビーム強度が半減してしまうことから、かなり大きなエミッタンスであることが予想された。そこでこのファラデーカップにスリットを取り付け、ビーム軸から上下に移動し、それぞれの位置でのビーム強度を測定することで概算のエミッタンスを求めた。その結果アインツェルレンズを入れない状態でのプロファイルは、ピーク強度の90%で幅57mmとなり、口径18mmのイオン源接地電極の大きさが初期ビームサイズとすると、予想されるエミッタンスは規格化サイズで $4.53\pi\text{mm}\cdot\text{mrad}$ であった。エミッタンス縮小化の為、ゼノンガス導入による空間電荷中和を試みたが効果は無かった。しかし、イオン源電極の形状変更、中間電極の電位調整によりプロファイルの減少が観られた。この時のファラデーカップで測定したイオンビーム強度は20mA弱、プロファイルは幅46mmであった

この状態に於いて750kV前段加速器でイオンビーム加速をテストを行った。加速直後のカレントモニター (CM-1) でこの時5.3mAが最大強度であり、そこに来る前にかんりのイオンビームが失われている。

そこで、できるだけ750kV加速ギャップに近い所での多量のイオンビームの生成を求めイオン源を加速管直付けのシングルギャップ多孔電極方式とした。シングルギャップは14.5mm、ビーム加速電圧48kVとしCM-1で9.8mAのイオンビーム強度を得た事から、これを今回の最終セッティングとした。この時のイオン源・加速管の配置を図-3に示す。

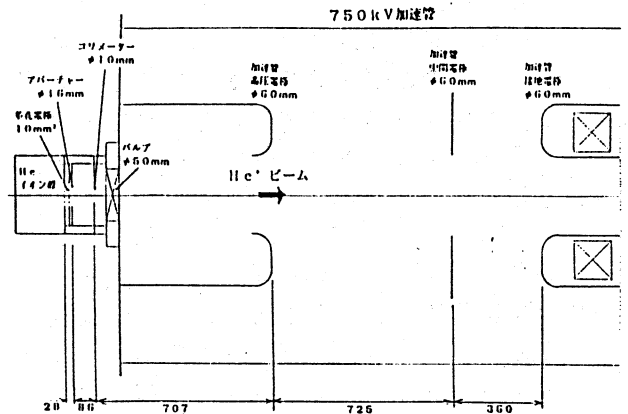


図-3 イオン源・加速管の配置

3. チャージストリッパーによる  $\text{He}^{2+}$  の生成  
チャージストリッパーは、アルゴンガスによる方式とカーボンフォイルによる方式の2通りをテストした。

750keVビーム輸送路 (図-4) において、ガスチャージストリッパーは最初の偏向磁石直後に設置した。このストリッパーのカナルは、内径30mm全長600mmあり、1価から2価へのヘイウムイオンの最大荷電変換率は粒子数で49%であった。これに対して、長い直線ビーム路の上流に設置したカーボンフォイル方式は、20mmφ厚さ $10\mu\text{g}/\text{cm}^2$ のフォイル、30mmφ厚さ $20\mu\text{g}/\text{cm}^2$ フォイル、それぞれ考察要件によって荷電変換率は変わるが50%程度であると思われた。

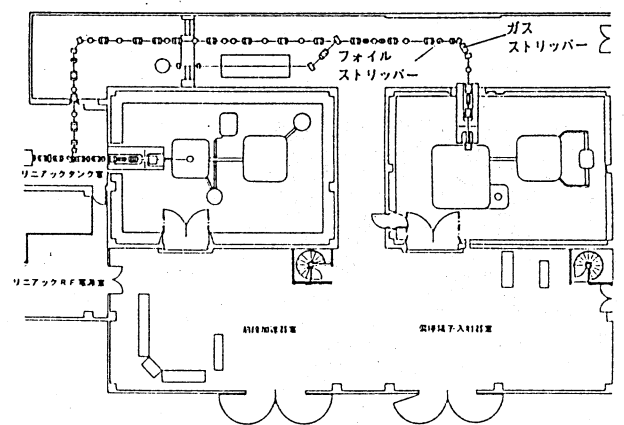


図-4 750keVビーム輸送路

次に実際リニアックで加速すると、カーボンフォイルではリニアックの最大捕獲率を得たコッククロフトの電圧は、ガスの759kVに対して $10\mu\text{g}/\text{cm}^2$ のフォイルで16kV、

20  $\mu\text{g}/\text{cm}^2$  のフォイルで24 kV高くなった。これに対してガス方式では750 kVビームラインの透過率が落ちたが、フォイル方式はコッククロフト電圧を昇圧しなければならないということから、ガス方式での運転の方を採用とした。

#### 4. 陽子リニアックでのHe<sup>2+</sup>ビーム加速

KEK陽子リニアックでは、D<sup>+</sup> ビーム加速と同様に、フルストリップされた2価のヘリウムイオンを、マスチャージレシオが同じことから4 $\pi$ モード加速方式で加速できる。但し、入射エネルギーは、D<sup>+</sup> の場合555 kV ( $\beta=0.024$ ) としたが、今回前段加速器では1価のHe<sup>+</sup> を加速するため、加速エネルギー760 kV、D<sup>+</sup> に対応すると380 keV ( $\beta=0.02$ ) の入射エネルギーにしなければならない。この入射エネルギーによるイオンビーム強度は、760 keV加速直後のHe<sup>+</sup> ビームで8.8 mA (CM-1)、ガスチャージストリップ直後のHe<sup>2+</sup>ビームで8.2 mA (CM-3)、陽子リニアック入り口において6.0 mA (CM-6)、20 MeV加速後は、25%以上の捕獲効率を保って1.6 mA (CT-1) のビーム強度が得られた。20 MeVでのエミッタンスは規格化サイズで縦方向3.76  $\pi\text{mm}\cdot\text{mrad}$ 、横方向3.0  $\pi\text{mm}\cdot\text{mrad}$ と妥当な値であった。尚この時のイオン源の設定値は、初期加速電圧52.8 kV、アーク電流・電圧 20 A・60 V、Heガス量7 sccmである。

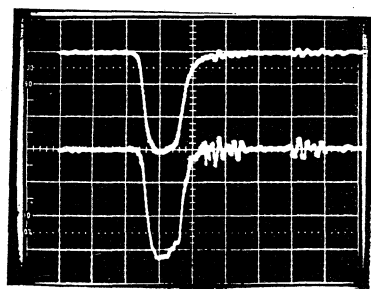


図-5 20 MeVリニアックHe<sup>2+</sup>ビーム

次にこの陽子リニアックに於いて、4 $\pi$ モード加速方式でヘリウム3の加速テストを行った。<sup>3</sup>He<sup>2+</sup>ビーム加速に備えて、 $\beta=0.02$ のリニアック入射条件値に、コッククロフト電圧、ビ

ーム路電磁石磁場を設定しなおし、リニアック透過後それらの微調整を行った結果、コッククロフト電圧567 kV、CM-1で10 mA、CM-3で8.4 mA、リニアック入り口で7.0 mA、20 MeV CT-1で1.8 mAのビーム強度を得た。これにより、マスチャージレシオが異なるイオンについても、この陽子リニアックで問題なく加速することがわかった。

#### 5. 結果及び今後の課題

カスプ型ヘリウムイオン源使用の前段加速器及び陽子リニアックでのヘリウムイオンの加速結果は、KEKPSへのヘリウムイオンの入射器としての機能を十分に持ち合わせていることがわかった。今後このイオン源で、より高強度のイオンビームを得る為には、750 kV加速管加速ギャップ直前にイオン源を直付けすることが良いが、より多機能化を狙った750 kV高圧ステーションとする為、イオン源側の加速管内に四極磁石を設置し、これに対応するよう現在改良している。これにより、イオンビームが加速ギャップに当たることによる加速管の放電を抑えられることも期待される。またこれは、高圧ステーション内での50 kV初期加速で、加速管の負荷を下げられる。他のビーム強度増加手段は、750 kV加速ギャップを今回の低電場勾配の長いギャップ長から短縮することが考えられ、既に、ギャップ間隔を1080 mmから720 mmに短縮した。

他方において結果として、<sup>3</sup>He<sup>2+</sup>ビームが陽子リニアックで問題無く加速されたことは、12 GeV陽子シンクロトロンが多機能化を推進する上で、前段加速器としてのタンデム加速器を使用活用する事も今後考慮しなければならない。

#### 6. REFERENCES

- (1) I.Sakai, "Helium Beam Acceleration in the KEK Proton Synchrotron with A Newly Developed Injection System for Positive/Negative Ions", Proc. 1995 Particle Accelerator Conf.
- (2) Y.Mori, "Acceleratin of deuteron beam in the KEK proton synchrotron", Proc. 1993 Particle Accelerator Conf. Vol.5, 3754-3756 (Washington, 1993)