

[P8-26]

THE LOW ENERGY ACCELERATION AT THE HIMAC INJECTOR

H.FUJIWARA, T.FUJIMOTO, C.KOBAYASHI, Y.KAGEYAMA, H.ISA

T.YOKOYAMA, W.TAKASUGI, M.YAMAMOTO, T.MIYATA, K.JINTYOU

H.OGAWA, T.FUKUSHIMA, T.OKADA, *¹H.SAKAMOTO, *²Y.SATO, *²K.NODA

Accelerator Engineering Corporation (AEC)

2-13-1 Konakadai, Inage, Chiba

*¹Sumiju Accelerator Service

5-9-11 Kitashinagawa, Shinagawa, Tokyo

*²National Institute of Radiological Sciences (NIRS)

4-9-1 Anagawa, Inage, Chiba

Abstract HIMAC injector delivers the heavy-ion beams from proton to Xenon, which are extracted at 8keV/u from Ion Source and accelerated to 6MeV/u through two linacs (RFQ and DTL), and transported to two synchrotron rings and a medium energy experimental cave. DTL consists of three Tanks. According to the rf ON and OFF at each Tank, beams can be accelerated to the lower energies 4.3MeV/u, 2.6MeV/u, 0.8MeV/u. This paper mainly reports the calculation and experiment for low-energy acceleration.

HIMAC 入射器の低エネルギー加速

1. abstract

HIMAC入射器では3台のイオン源、低エネルギービーム輸送系、RFQライナック、アルバレ型ライナック、中エネルギービーム輸送系および各種モニター系で構成されており、イオン源から8keV/uで引き出された重イオンビームをRFQで800keV/u、DTLで6MeV/uまで加速し、上下2台のシンクロトロン及び中エネルギービーム利用室の3コースに供給している。

6MeV/u というエネルギーは、HIMACシンクロトロンが受け取るのに必要なエネルギーであるが、中エネルギービームの利用者は6MeV/uのビームしか利用できないのが現状であった。しかし中エネルギービームの利用者の中には6MeV/u以下の(高LET)ビームを利用したいという要望も有ることから、HIMAC入射器では6MeV/u以下のビーム供給の可能性を検討、調査してきた。ここでは調査内容及び結果について述べる。

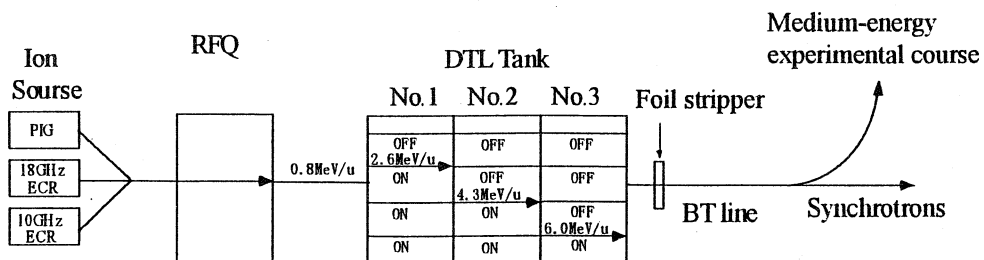


Fig.1 image of low energy acceleration. RFQで0.8MeV/uまで加速されたビームはDTL各TankのON, OFFにより0.8MeV/u(ALL OFF), 2.6MeV/u(No.1 ON), 4.3MeV/u(No1, 2 ON), 6.0MeV/u(ALL ON)のエネルギーになる。

2. はじめに

HIMAC入射器 DTL は 3 台のタンクから構成されており、RFQ で 0.794MeV/u まで加速されたイオンビームを No1 タンクで 2.65MeV/u、No2 タンクで 4.35MeV/u、No3 タンクで 6.01MeV/u まで加速している。よって各 DTL タンクの RF の ON、OFF の組み合わせにより 6.01MeV/u を含めて 4 通りのエネルギーのビームを原理的に供給できるはずである (Fig.1)。そこでまず各エネルギーのビームを輸送したときに、ビームダクトやスリット等にビームがぶつかるようなことがないか、MAGIC による軌道計算を行った。その結果全てのエネルギーにおいてビームがダクトにぶつからないことが確認でき、その結果をふまえて実際にビームを使って輸送試験を行った。

3. 計算方法

3-1Q-magnet の励磁電流

6MeV/u 以下の低エネルギーのビームを輸送するとき、DTL 以降の QM、SWM、BM および(RF を OFF した)DTL 内 DTQ の励磁の大きさを輸送するビームのエネルギーに合わせる必要がある。励磁電流の大きさ I は、マグネットの焦点距離が 6MeV/u のときと同じになるようにして求めることもできるが、ここでは

$$I(\text{low}) = I(6\text{MeV/u}) \times PC(\text{low}) / PC(6\text{MeV/u}) \dots (1)$$

から求めた。ここで、(low)が付いているのは求めるエネルギー(6MeV/u 以下)のパラメータである。

3-2magic による軌道計算

3-1 で求めた電磁石の電流値でドリフトチューブやダクトにビームが当たらないか確認するために、MAGIC による軌道計算を行った。MAGIC に必要な入力パラメータは、マグネットの K、有効長、ドリフトスペースの長さ、そして計算開始のビーム入射条件としてビームの大きさと傾きを表す α 、 β である。この α 、 β には PARMILA の計算結果を使用した。使用した α 、 β および規格化エミッタンス(ϵ [mm*mrad]) は表1の通りである。

ドリフトチューブのアーチャー直径は DTL1 で 20mm、DTL2,3 で 30mm ビームダクト直径は 60mm であるが、以上のパラメータで軌道計算させたところ、全てのエネルギーでビームがダクトにぶつからないことが確認で

きた。

表 1 MAGIC の入力パラメータ α 、 β と規格化エミッタンス ϵ

Tank状態	方向	α	β	ϵ
ALL OFF	X	1.1198	3.5198	0.0471
	Y	-1.0154	2.3737	0.0488
2,3 OFF	X	-0.8424	7.0711	0.0488
	Y	1.3292	11.5564	0.052
3 OFF	X	-0.8157	13.4877	0.041
	Y	1.5169	14.8257	0.0565

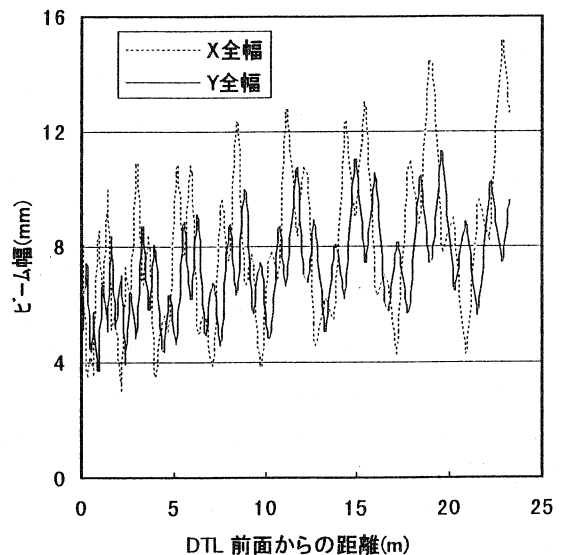


Fig.2.1 DTL No1Tank 前面からビーム進行方向の距離 vs DTL 内のビーム幅。X 方向最大ビーム幅 15.2mm,Y 方向最大ビーム幅 11.3mm.

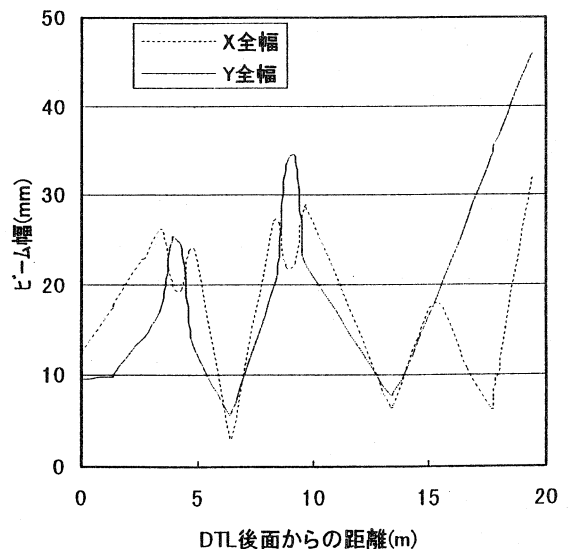


Fig.2.2 DTL No3Tank 後面からビーム進行方向の距離 vs BT line のビーム幅。X 方向最大ビーム幅 33mm,Y 方向最大ビーム幅 46mm.

4. 結果

実際にビームを使った輸送試験は中エネルギービームラインを使用して行った。またイオン種は He⁺を使用した。通常は、DTL 直後にあるカーボンフォイルを利用して荷電変換を行っているが、低いエネルギーの場合カーボンフォイルによるエネルギーロスが大きく、またビームが広がってしまうことから[1]、まずはカーボンフォイルを通さないで輸送調査を行った。そしてプロファイルモニタでビームラインの軸を通るように調整した結果(Fig.3)、全てのエネルギーで DTL 以降 100%の効率でビームを輸送することに成功した。

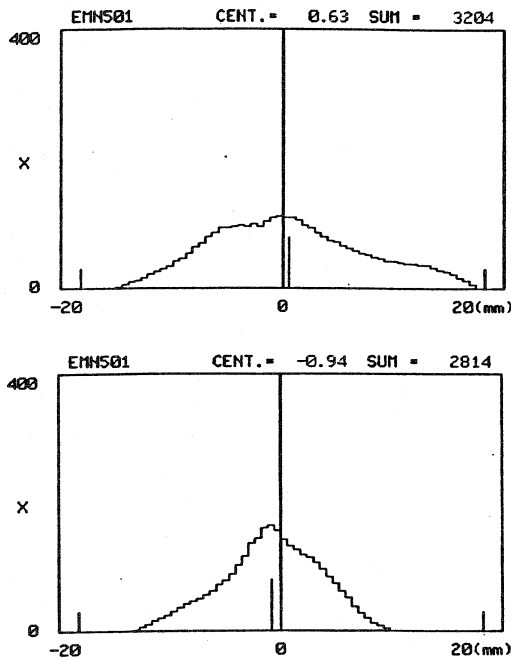


Fig.3 BT line のプロファイルモニタで得られたビーム波形 (x 方向)。上図 0.8MeV/u(Tank ALL OFF), 下図 2.6MeV/u (Tank No1 ON)。両図ともビームは 0mm をピークに緩やかに広がっている

中エネルギーラインの偏向電磁石のパラメータからビームのエネルギー計算を行った。求めるエネルギー T は次の計算式から求めることができる。

$$B\rho = \frac{A}{qc} \sqrt{T^2 + 2E_0 T} = \frac{A}{qc} \sqrt{(T + E_0)^2 - E_0^2} \dots (2)$$

ここで ρ : 曲率半径(1m)

A: 質量数(He は 4)

E_0 : 静止エネルギー(931.5MeV/u)

c: 光速(2.9979×10^8)

q: 価数(1)

(2)式を変形すると

$$T = \sqrt{PC^2 + E_0^2} - E_0 \dots (3)$$

(3)式に従って計算した結果を以下の表2にまとめる。

表2 エネルギーの計算値と実測値

Tank状態	計算値		実測値	
	PC	T(MeV/u)	PC	T(MeV/u)
ALL OFF	38.472	0.794	38.449	0.793
2,3 OFF	70.308	2.650	70.416	2.658
3 OFF	90.163	4.353	90.574	4.393
ALL ON	106.036	6.016	106.005	6.012

以上のように実測値は計算値と 1%以内の誤差でおさまっており、ほぼ正確にエネルギー測定が出来たと言える。多少の誤差には、通常与えている DTL の RF 設定値が計算値と多少異なっている事も含まれると考えられる。

5.まとめ

HIMAC入射器では 6MeV/u 以下のビーム供給の可能性を調査してきたが、3 台の DTL の ON, OFF の組合せで、0.794MeV/u、2.658MeV/u、4.393MeV/u の 3 通りのビームを 100%の効率で中エネルギービーム利用室まで輸送することに成功した。現在中エネルギービーム利用室での使用がはじまっている

なお、HIMAC入射器ではパルス毎に質量荷電比の異なるビームを加速するタイムシェアリング運転が 98 年 4 月以降実用化されている[2]。このため、中エネルギービームコース用の DTL 各タンクの RF LEVEL を O にすることで 上下のシンクロトロンに 6MeV/u のビームを供給しながら中エネルギービーム利用室に異なるエネルギーのビームを供給するタイムシェアリング運転も可能となっている。

参考文献

[1]C.Kobayashi, et al. "Status of time-sharing-acceleration at the HIMAC injector" 23th LINAC meeting

[2]T.Fujimoto, et al. "HIMAC injector technique file"