

VERTICAL INJECTION ELECTRON GUN SYSTEM

S. Ohsawa, M. Ikeda, A. Enomoto, Y. Ogawa, and T. Kamitani
 High Energy Accelerator Research Organization (KEK)
 Oho, Tsukuba-shi, Ibaraki-ken, 305 Japan

ABSTRACT

We have introduced a vertical electron gun in the 2.5-GeV linac in order that we might manage to operate the linac and construct the J-linac at the same time. The electron gun was set downward above a bending magnet, which gives a 90° deflection and leads electrons to the beam line. Upstream the bending magnet there is a port closed with a vacuum gate valve, which will be connected with a beam line of the J-linac next Spring. We adopted the bending magnet of the double focusing type to control the beam optics. System configuration and performances of the new electron gun system will be described.

垂直入射電子銃システム

1. はじめに

既設 2.5GeV リニアックの入射部は、新しい J リニアックに移設されたが、そちらから PF リングにビームを供給できるようになるのは来年度以降である。従って、秋から始まる PF リング入射のためには、別の入射部が必要である。このため跡地に旧陽電子発生装置の入射部を設置した。ただし従来そのままでは J リニアックのビームラインと干渉するので、電子銃を図 1 に示したように縦置きにして、上流側から直進して来るビームも通せる構造にした。上流側のポートの先にはゲートバルブが付けてあり、来年の春に予定されている J リニアックのビームラインとの接続が直ちに出来るようになっている。

この電子銃は、資産を最大限活用するために、旧陽電子発生装置で使用していた電子銃を磁気コイルの所 (図 2 の矢印) で切り離し、真空系も含めて全て 90 度回転して垂直にしたものである。ただし、電子銃から垂直下向きに取り出したビームを 90 度偏向してビームラインに導くための偏向電磁石は新たに製作した。この電磁石を設置するために、集束コイルまでの距離が構造上どうしても長くなる。そのため、この間の空間電荷効果による発散が問題となる。そこで、これを抑制するために、偏向電磁石を $n=1/2$ の二重集束タイプにした。

2. 垂直電子銃のシステム構成

電子銃本体から真空のゲートバルブまで含めた全体を 1 個のシステムと考えることにする。途中には磁気レンズ (ML)、偏向電磁石 (B)、集束コイル (FC) 等の集束系とスクリーンモニター (SC) と電流モニター (WM) がある。また偏向電磁石の出入口にはそれぞれ 1 対のステアリングコイル (ST) がある。真空系は、電子銃のチェンバーに付属した 60 l/sec のイオンポンプ 2 台とターボポンプおよび真空モニター等から成る。この他に各種電源や制御系も含まれるが、これらについてはここでは述べない。

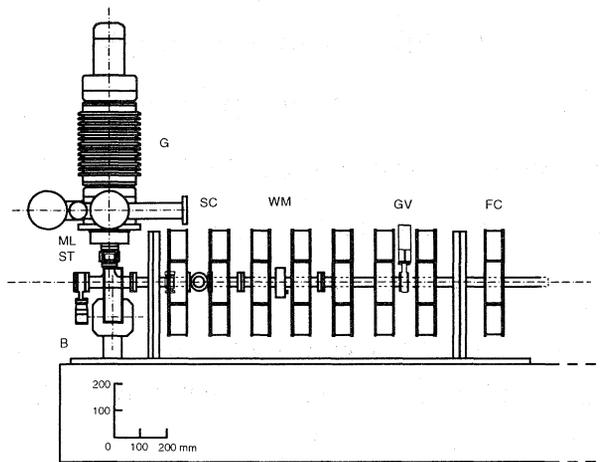


図 1 新たに採用した垂直電子銃システムの側面図

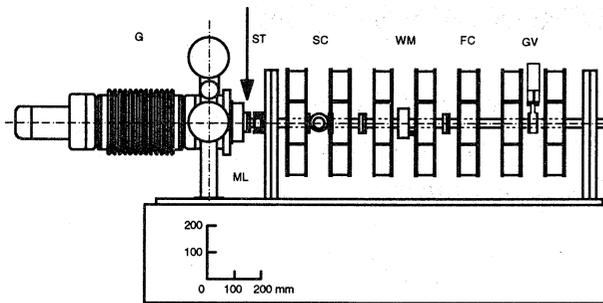


図2 変更前の電子銃システム
(旧陽電子発生装置で使用していた)

3. 偏向電磁石の特性

ビームの発散を防ぐために、偏向電磁石の磁極面を円錐形（磁場勾配 $n=1/2$ ）にして、 x, y の両方向に集束力を持たせた。磁極は偏向角が90度の扇形で、C点が円錐の頂点である。また磁極端と中心軌道が、入射側と出射側でともに垂直になるようにした。

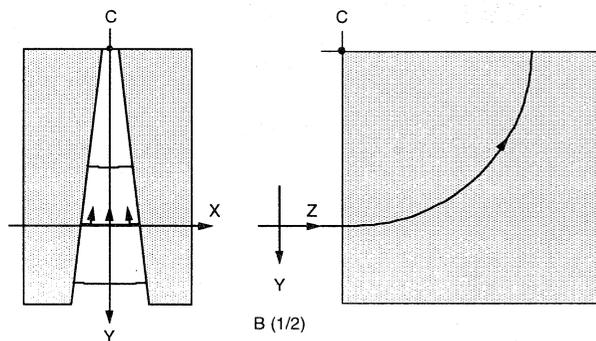


図3 2重集束の偏向電磁石と座標の関係

磁極から物点及び焦点までの距離 L が等しい場合は、よく知られているように L は

$$L = R(1 + \cos \epsilon_y \Phi) / \epsilon_y \sin \epsilon_y \Phi$$

となる [1]。ここで R は中心軌道の回転半径で、 Φ は偏向角、また $\epsilon_y = 1/\sqrt{2}$ である。このとき分散 y は、ローレンツ因子を γ とすると

$$y = 2R\gamma$$

で与えられる。電子銃の加速電圧が160 kVの場合に計算すると、これらの具体的な値は、表1の様になる。

ところで、アノードを通過した後の電子銃ビームは、一般に電流値によってビーム径の最小にな

る位置が異なる。これは空間電荷による反発力が異なるためである。この径の最小点を、磁気レンズによって調節すると、偏向電磁石を通った後でも、ビーム径の最小になる位置を最適化することができる。この調整によって後続の集束コイルと整合させることが出来る。

表1 偏向電磁石の諸元

偏向角	回転半径	磁極間隔	焦点距離	分散
90°	5.0 cm	5.3 cm 中心軌道	11.4 cm	13.1 cm

さて次に、偏向電磁石の分散の影響について考察する。この系は分散が零でないために、原理的に電子銃ビームのエネルギーが変わると、偏向後の位置が変化する。エネルギーが変わる要因は2種類考えられる。まず第1は、電子銃の加速電圧がパルス毎に変化する効果である。この変化を実測したところ、約 ± 0.3 kVであった。第2の要因は、電子銃からビームを取り出すと、その負荷により加速電圧がドロップする効果である。これは電子銃の高圧パルス電源が抵抗を負荷としており、ビームがこの抵抗と並列になるために起こる現象である。我々が使用している負荷は、8.2 k Ω のエレマ抵抗を9本並列にしたものを2組作り、それらを直列に接続したものである。従って、負荷の合成抵抗は1.82 k Ω になり、ビーム電流が1 Aの場合には、電圧ドロップが1.8 kVと見積もられる。

これら2種類の効果によって集束コイルの入口

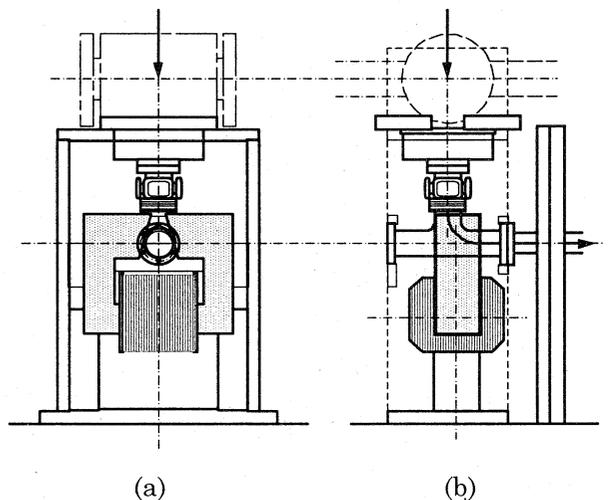


図4 偏向電磁石部分の構造
蔭影の部分が磁極とコイルである。
(a) 正面図、(b) 側面図

ではビームが僅かではあるが縦長になる。その効果をまとめると、表2のようになる。ビーム電流が1 A の場合には、縦方向のビームサイズが2 m m程大きくなるのが予想される。

表2 加速電圧変動によるビームの位置変化

	パルス変動	電圧降下
電圧変化	$<\pm 0.3 \text{ kV}$	*1.8 kV
位置変化	$<\pm 0.25 \text{ mm}$	*1.47 mm

(* ビーム電流が1 A の場合)

4. ビーム特性と試験結果

昨年の夏に、この垂直電子銃を単体で試験したところ、図1のスクリーンモニター上で、ビームの位置が安定しており、小電流の場合にはほぼ円形に集束しているのが確認された。この時、磁気レンズの強度を調整すると、小電流の場合には、グリッドメッシュ像も鮮明に見られた。また偏向電磁石の電流を変えると、設計通りにビームの位置が中心から移動することもわかった。

図5は、電子銃ビームのプロファイルの1例である。この例はビームが2 ns, 1A の場合である。縦方向のビームサイズが横より約3 mm大きくなっているが、これは概ね表2の計算と一致する。尚この写真では、斜め方向にビームが大きくなっているが、これはビームが集束コイルの中で回転しているためである。

更に今年の7月には、この垂直電子銃のビームを既設 2.5 GeV リニアックの終端まで加速して、新しい電子銃システムでも特に大きな問題が無いことを確認した。図6は、この時の2ナノ秒ビームを、リニアックの各部分で測定したものである。



図5 電子銃ビームのプロファイル (2 ns, 1A)

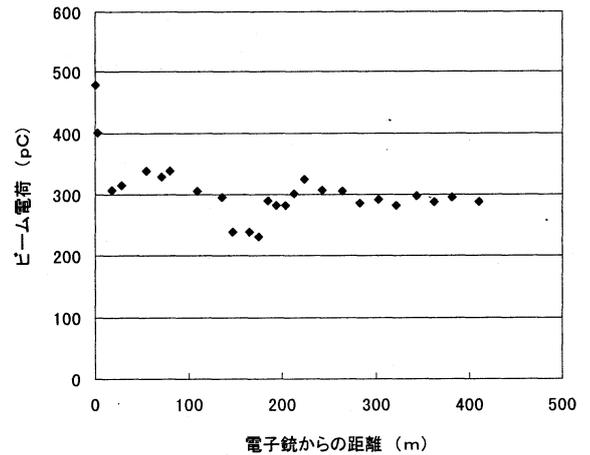


図6 リニアック各部におけるビーム電荷

最初の所でバンチの集束効率を反映した減少が見られるが、それ以外の所では、ビームがほとんど減少していないことがわかる。

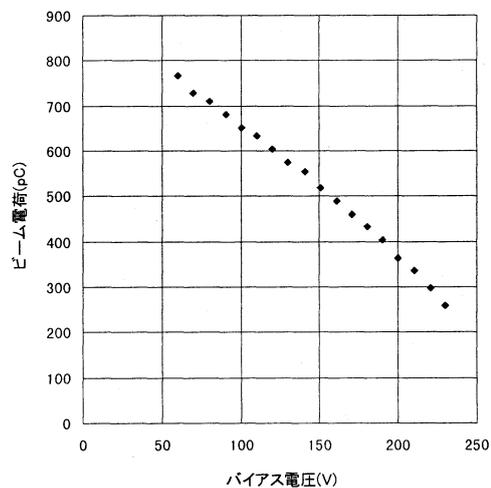


図7 エミッション電流のバイアス電圧依存性

最後にエミッション電流の測定例を示す。図7は、バイアス電圧を変えてエミッション電流の変化を測定したものである。PF入射は200pC/パルス程のビームを予定しているから、電流も充分である。勿論パルス電圧を変えても、ビーム電流を変えることができる。

以上の結果から、Jリニアックが完成するまでの間、暫定的にこの垂直電子銃を使ってPFリングに入射することが可能であると結論される。

参考文献

[1] Introduction to the electron and ion optics, Poul Dahl, Academic Press (1973)