

20-P1

Development of an Electron Gun for High Power CW Electron Linac

Yoshio YAMAZAKI, Masahiro NOMURA

PNC, Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation

4002 Narita, Oarai-machi, Ibaraki-ken, 311-13

ABSTRACT

An electron gun launching high average current beam has been designed for the high power CW electron linac at PNC. A peak electron beam current of 400mA with beam energy 200keV is required from the buncher design. However its average current is very high(duty factor 20%), a mesh grid is not able to be used for current control because of heating up or melting of grid. Furthermore, the beam current have to be variable up to 400mA to match with downstream modules, especially the accelerating guides including recirculating system. We employed the electron gun with two aperture grids to control beam current. The dimension of the electrodes, electron trajectory, the size of beam radius, and gun emittance was simulated by EGUN.

大強度CW電子線形加速器用の電子銃の開発

[目的] 現在、動燃事業団では、核分裂生成物の核種変換等に適用できる高出力の加速器開発を目指して、平均出力200kW(平均電流20mA、ビームエネルギー10MeV)の大強度CW電子線形加速器を開発中である。加速器の仕様を表1に示す。

性能項目	仕様値
エネルギー	10MeV
最大ビーム電流	100mA
平均ビーム電流	20mA
エネルギー分散	5×10^{-3}
パルス幅	4ms
繰り返し	50Hz
デューティー	20%
平均ビーム出力	200kW

表1 加速器ビーム仕様

本加速器の平均電流は、通常の電子線形加速器が μ Aオーダーなのに比べ、約2桁ほど高く、そのため開発要素が各構成機器に存在する。この加速器に使用する電子銃の仕様を表2に示す。このように平均電流が高いため、電流制御に用いる通常のメッシュグリッドが熱的に限界に達してしまい使用することができない。そこで、ビームを遮らずに電流制御が可能な方式を考案し、その有用性を数値計算によって実証する。

性能項目	仕様値
エネルギー	0.2MeV
電流値(ピーク)	100 μ A~400mA
パルス幅	100 μ s~4ms
繰り返し	50Hz
ビーム径	<1cm
規格化エミッタンス	<10 π mm \cdot mrad

表2 電子銃ビーム仕様

[設計指針] 電子銃のグリッドによるビーム電流の制御は、その引き出し電圧を変えることで行われるため、グリッドにかけられる電圧が、カソード、アノード間を二極管としたときに作られる電位から大きく離れると、グリッドの孔での等電位面がゆがむ。その結果、電子銃からのビームは、収束または発散作用を受け、グリッドが一種のレンズ効果を示す(図1)。グリッドには、編み目状のメッシュグリッドと単一孔のアパーチャグリッドがある。通常のメッシュグリッドを使用する限り、レンズ効果はそれぞれのメッシュでのレンズ効果の重ね合わせとなって、ビーム全体の大きさにそれほど影響は与えない。しかし、単孔のアパーチャグリッドの場合、ビームの大きさに比べて、電位面形状が大きく変形するため、ビーム全体の径の大きさにも少なからず影響を与えてしまう。また、レンズ効果によるビームの焦点距離も大きく変化するため、同じ幾何学形状の電子銃を使用する限り、アノード出口でのビーム径の大きさを保証することができないし、最悪の場合、アノードで大半が失われてしまう。そこで、何らかの方法による電流制御を検討しなければならない。

等電位面 ビーム軌道 (V_a :アノード電位、 V_g :グリッド電位)

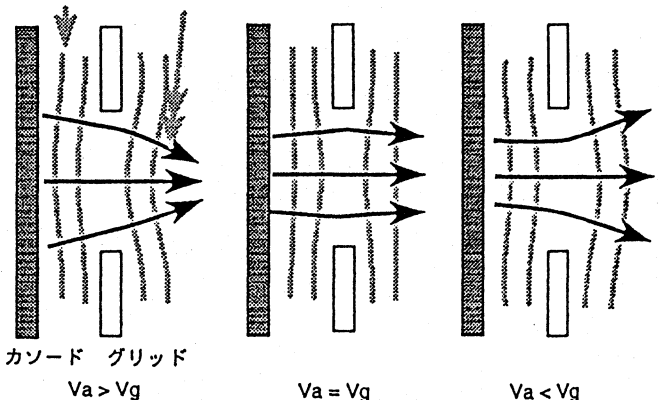


図1 グリッド孔のレンズ効果

基本的にはアパーチャグリッドを2段使用し、カソードと2段のグリッドとで1つの3極管を形成し、その出口からアノードまでは1種の加速部であるとする。電流制御は、1段目のグリッドのバルス電圧を変えることを行い、ビーム径の制御は2段のグリッドのレンズ効果を用いて制御する。

アパーチャグリッドを用いる場合、カソードからの電子放出をカットオフするためには、少なくともカソード径ほどの間隔をカソードと開けなければならない。カソード径としては1~10mm程度を用いることを考えると、アパーチャグリッドの場合その距離は1~10mm程度必要である。メッシュグリッドの場合のカソードとグリッド間の距離が200 μ m程度であるので、アパーチャグリッドによって電流制御する場合には、メッシュグリッドを用いるときに比べて、その制御電圧が数倍から大きければ数十倍も大きい値になってしまう。グリッドに印加されるバルス電圧が小さいほど、制御の容易であるし、バルスの立ち上がり、立ち下がり特性も速いので、電流値の安定度が良い。よって必然的に、グリッド電圧を低くおさえるために、カソードとグリッドの間隔に比べ、アノードまでの距離を十分空けなければならない。図2に電子銃の幾何学条件を示す。

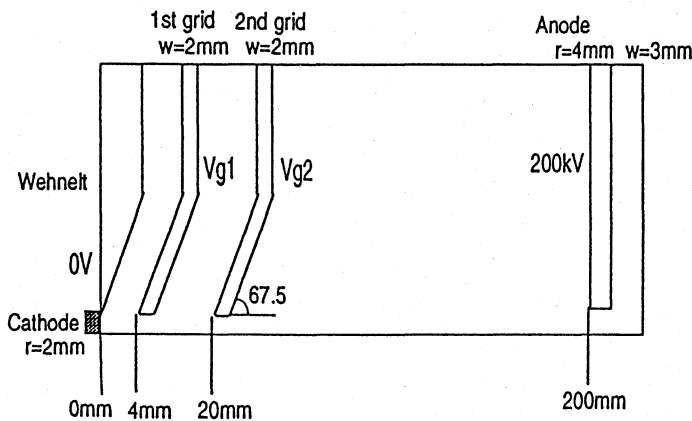


図2 電子銃幾何学形状

[解析結果] アノード電位を200kVに固定し、第1、第2グリッドの電位をパラメータとして、電流可変でビームがアノードにぶつからないかどうかを計算する。第1グリッドは最大で5kVで500Vステップで、第2グリッドは最大20kVで5000Vステップで、計算した結果を図3に示す。図3-1は第1グリッドの電圧に対する電流値、図3-2は第2グリッドの電圧に対する電流値、図3-3は電流値に対するアノード出口でのエミッタンスを示す。図4にEGUNの計算によるビーム軌道と位相空間図のグリッド電圧による違いの典型的な例を示した。

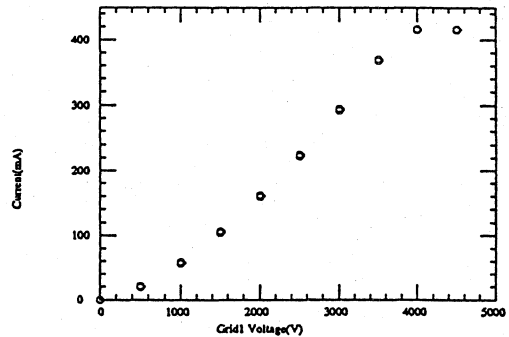


図3-1 グリッド1の電位に対する電流値

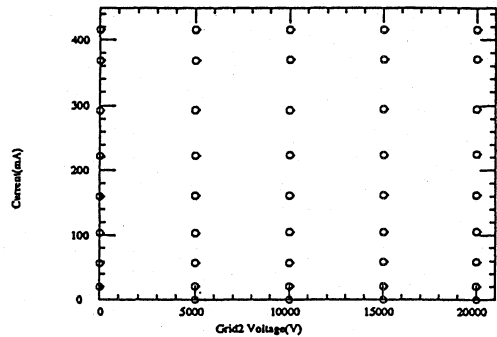


図3-2 グリッド2の電位に対する電流値

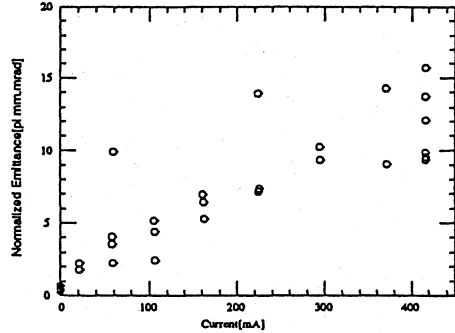


図3-3 電流値に対するエミッタンス

[考察および結論] ビームを遮らずに電流制御が可能で、ビーム径を制御できるダブルアパーチャグリッド方式を考案した。数値計算により、尖頭電流で100 μ A~400mAの範囲をアノードでビームを失うことなく制御できることがわかり、この方式によって、仕様にそった電流値可変大電流電子銃の設計が可能であることがわかった。与えた形状により、2段のグリッドに適切な電位を与えれば、電流値を10 μ A~400mA範囲で、アノードにぶつかることなく、エミッタンスも10 π mm \cdot mrad以下におさえ、ビームを後段に供給することができた。以下に今後の課題をあげる。①ビーム径が電流値によって変化するのでアノード以後の収束系が重要である。②電流値によって電子の位相空間分布が違う。この影響を考慮に入れた後段でのビーム軌道解析が必要である。③さらにエミッタンスを改善するにはカソード径を小さくすることが考えられる。

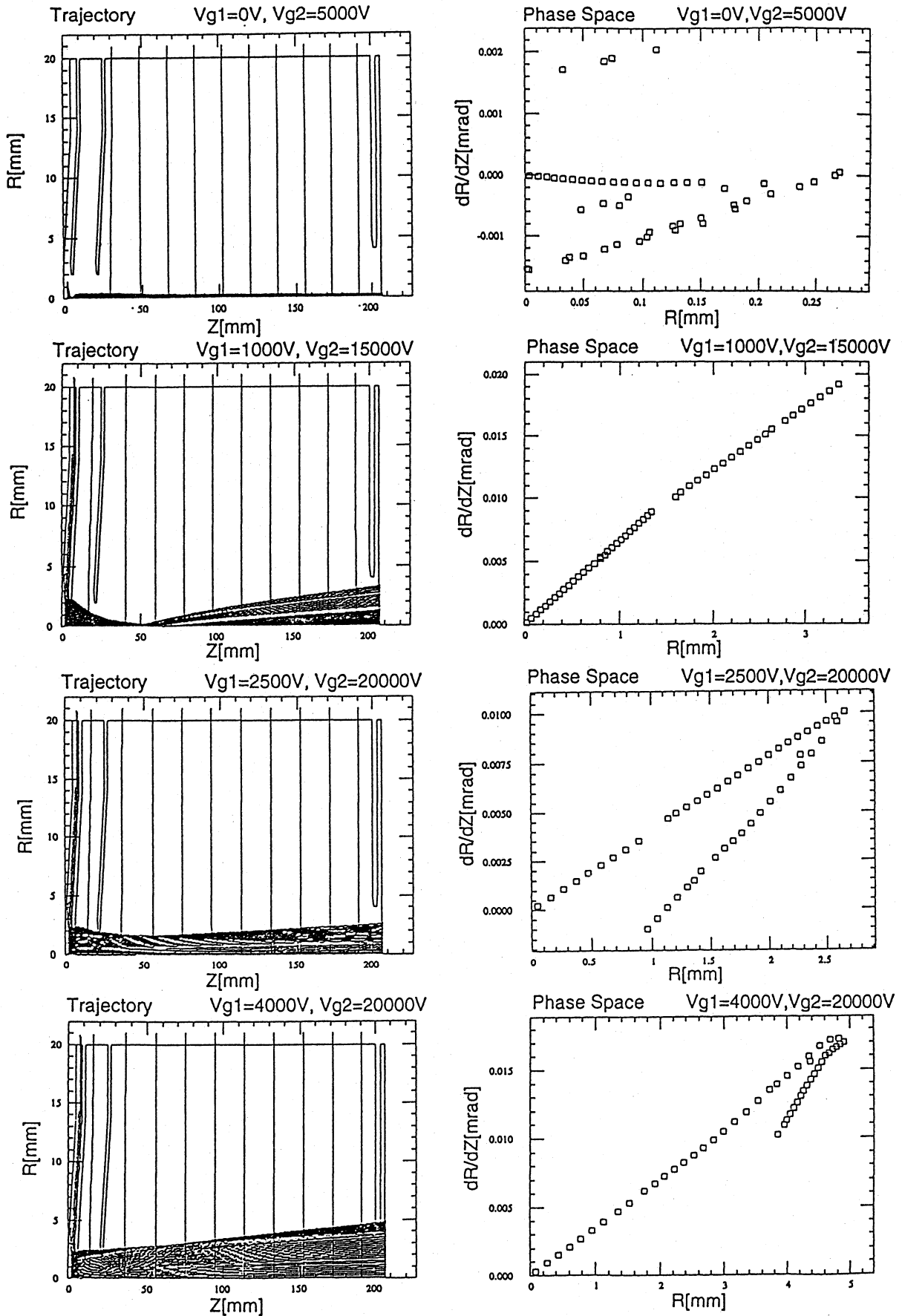


図4 EGUNの計算によるビーム軌道と位相空間図のグリッド電圧による違い