

[P7-11]

Development of an Electron Gun for JNC High Power Electron Linac

Yoshio YAMAZAKI, Masahiro NOMURA, Tomoki KOMATA*

JNC, Japan Nuclear Cycle Development Institute
4002 Narita, Oarai-machi, Ibaraki-ken, 311-1393 JAPAN

ABSTRACT

Presently, the Beam Group of Oarai engineering center in Japan Nuclear Cycle Development Institute(JNC) completed the high power CW electron linac. Then we started full-scale beam experiments after the government permission for a radiation equipment had given last January. Measurements of basic performance for the mesh-grid type electron gun have been done to launch stable beam at 300mA peak current downstream of the accelerator. These experiments disclosed to increase beam loss in the electron gun in some cases of voltage applied the mesh-grid in spite of same beam current from gun. Consequently, we could find the best condition for mesh-grid voltage and heater current to supply stable beam at 300mA peak current for accelerator study.

JNC大強度電子線形加速器用電子銃の開発

1. はじめに

サイクル機構大洗では、平均電流の大きな大電力の電子線形加速器を開発してきた。ここでは開発された機器のうち、メッシュグリッド型電子銃について、その特性を報告する。

2. 装置体系

開発されたメッシュグリッド型電子銃の全体図を図1に示す。特徴としては、通常と同軸構造ではなく、カソードを支えているステムがビーム軸と直交する縦形構造を取っていることである。さらに、ステム軸中心にカソードヘッドを回転可能とすることで、ビームポートを複数設置することができ、真空を破ることなく、電子銃ビームのメインビームラインへの出射や、テストベンチでの電子銃の基本特性の測定等を行うことができる。また、電場の対称性を考慮すれば、側面に大きなメンテナンスポートも設置することができる。それは、カソードの交換だけでなく、カソードの観測や光電子カソードのためのレーザー光導入も可能となる。このように電子銃自身が電子銃カソードの総合的なテストチャンパーとしての機能を持ち合わせている。図2に電子銃カソードヘッド周辺の詳細断面図を、表1に電子銃ビーム仕様値を示した。

表1 電子銃ビーム仕様

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	20 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

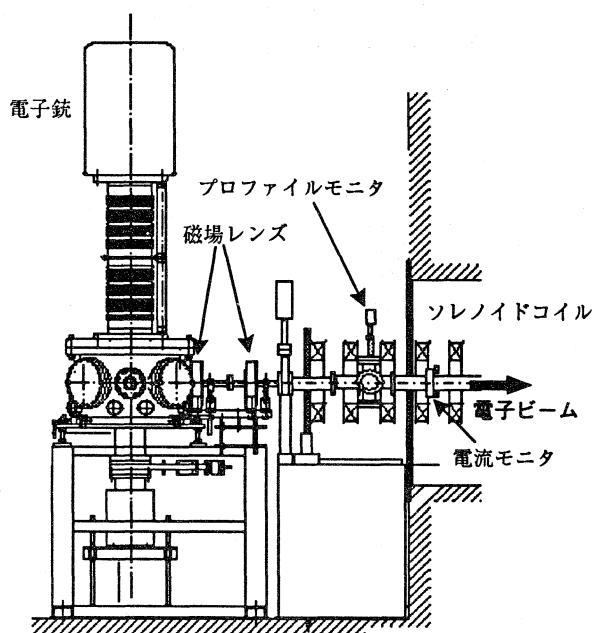


図1 電子銃及びビームライン

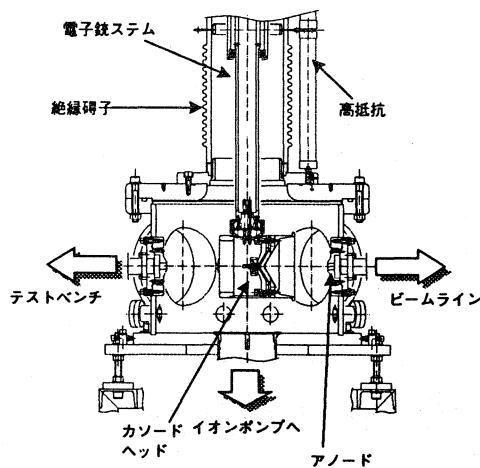


図2 電子銃断面図

3. 数値計算結果

本電子銃は、必要とされる最大電流が300mAであるため、空間電荷制限電流に多少余裕をもたせ、定格電圧200kV印加時に最大400mAを引き出せるように、電子銃ビーム軌道解析コードEGUNを用いて設計した。実際の電子銃のビームは、メッシュグリッドを含んだ3極管であり、カソードからの低エネルギーの電子ビームは容易にグリッド電圧の影響を受けるため、詳細な電子ビーム軌道を決定するのは困難である。しかし、電子銃の基本特性である引出電流の印可電圧の依存性を計算する上では、2極管として近似し、ウェーネルト電極やアノード電極の位置関係で計算することができる。図3に計算のための境界条件の形状を示す。典型的なビーム軌道の計算結果を図4に示す。特に、検討の過程では電子銃カソードからのビームがアノードホールで遮られないように、十分大きなものとした。また、図5にカソードから空間電荷制限領域で得られる電流値に関する数値計算の結果をまとめた。

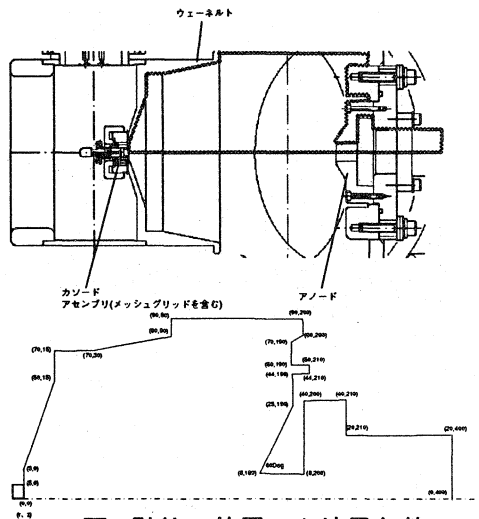


図3 計算に使用した境界条件

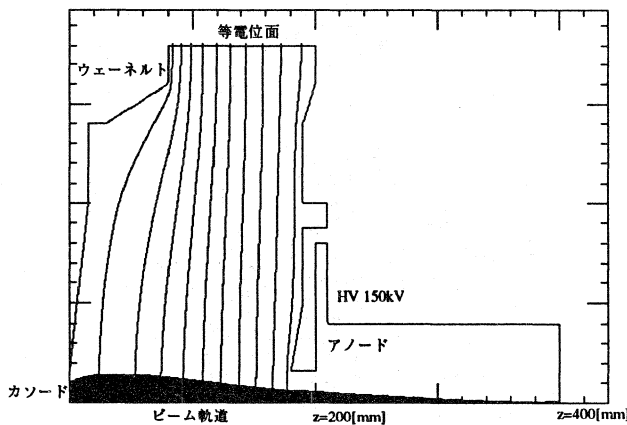


図4 ビーム軌道計算結果(HV150kV)

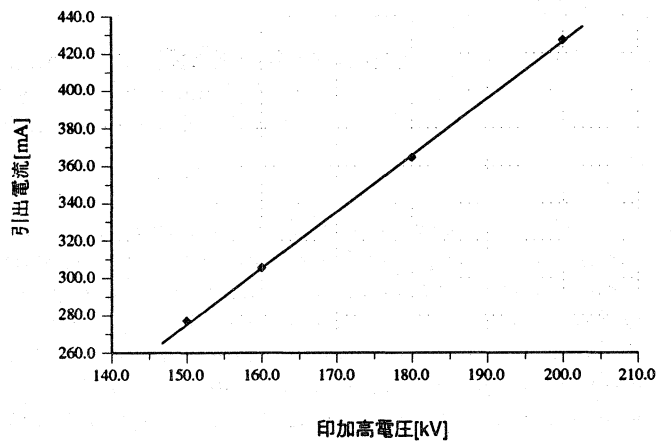


図5 引出電流の計算結果

4. 測定結果

電子銃からのビームは、磁場レンズによってソレノイドコイル中に輸送され、発光体にデマルケスト板を用いたプロファイルモニターでビーム断面のプロファイルを観測、ソレノイドコイルの中のビームライン上に設置されたコアモニターで電流値を測定した。しかし、この体系では電子銃アノードからモニターまでの距離が長く、かつ磁場による輸送系が設置されているために、ビームの一部がこぼれ落ち後段に輸送されない場合は、モニターの信号を過小評価する恐れがある。そこで、極力電子ビームがこぼれないような条件で測定するために、電子銃の観測窓付近と磁場レンズのビームライン付近に、ビームがこぼれた場合の判断の目安として、放射線モニター (SSD) を配置した。

電子銃の定格電圧は200kVであるが、高電圧印加で生じる放電現象のため安定した測定条件がまだ得られていない。このため、今回の試験では150kVと180kVの場合で測定を行った。この結果をもとに後段に供給するビーム条件を決定した。

今回用いたカソードアセンブリはEIMAC社製のY646Eである。メッシュグリッド型3極管電子銃において、メッシュグリッド引出電流に関する電流特性は重要である。図6に印加電圧150kVと180kVでの測定結果を示す。数値計算では、150kVでは300mAに達しないが、グリッド電極で強く引き出すため、2極管の場合よりも電流値が高い。180kVの場合は測定結果から、空間電荷領域に達していないと判断される。また、引出電圧が低い場合にはパルス波形が乱れるため、これも考慮に入れる必要がある。

測定結果から、電流300mAを引き出すための条件としては、150kVでも180kVでも可能であることがわかった。しかし、後段のバンチャ管の設計がビームエネルギー200keVを前提にした設計になっているため、エネルギーが低いと輸送中にバンチャからビームがこぼれる。したがって、電子銃の動作条件は180kVを前提に条件サーベイを行った。

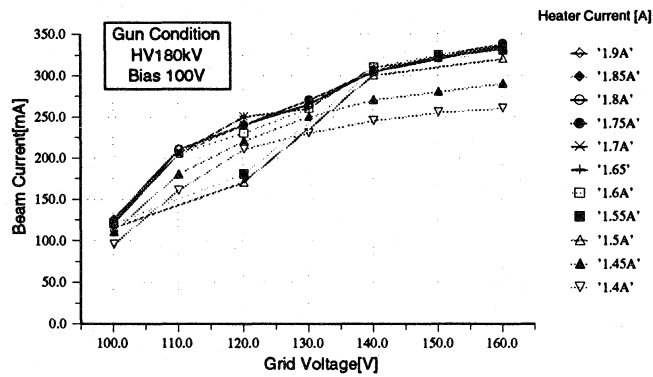
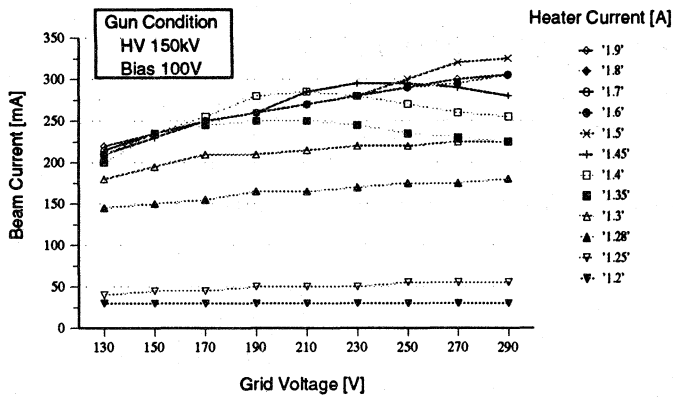


図6 グリッド電圧による電流特性

まず、グリッドの最適電圧は、直接的に確認することが困難であるために、電子銃出口からソレノイドコイルに入る領域での漏れビームが最小となるように条件を設定した。図7は、ピーク電流を300mAに固定し、カソードヒーターの電流値とグリッドの引出電圧をパラメータとしたSSDの測定値をプロットしたものである。SSD1は電子銃本体の観測ポートに設置され電子銃本体でのビームロスが判断できる。また、SSD2は磁場レンズ付近に設置されており、磁場によるトランスポートによるビームロス反映している。ただし、このときの磁場レンズの条件は、ビームの主な成分をほぼ後段に輸送できることをプロファイルモニターで確認した条件を用いている。ヒーター電流はできる限り低く設定した方が良いが、300mAを引き出すためにはグリッド引出電圧を高くしなければならない。逆に、カソードヒーターの値を高くすることで、ある程度グリッド電圧を低くできるが、カソード温度が上昇することで、グリッドを加熱しグリッドエミッションが増える可能性がある。図7のSSD1から、ヒーター電流1.5から1.6あたりに極小値があることがわかる。また、同時に、SSD2もほぼ一致していることから、ヒーター電圧を1.55付近に設定し、グリッド電圧を145Vから150V程度で動作させることが最適であると判断された。これらの条件から今後、動作条件としてはこの付近に設定し、加速器後段にビームを供給するものとした。

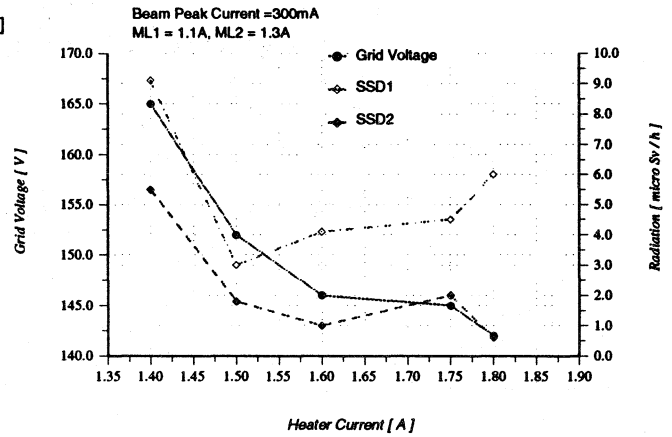


図7 グリッド電圧、ヒーター電流とビームロスの関係

5.まとめ

今回のメッシュグリッド型電子銃ビームに関する測定で、加速器からの要求であるピーク電流300mAの電流値を安定して供給することができた。また、数値計算による、設計段階の引出電流の値もほぼ満足することができた。その過程で、メッシュグリッドの設定値によっては電子銃内部での漏れビームが増加し、後段へのビームが減少することがわかった。このことは、ビームの質から判断するとメッシュグリッドの引出電圧に最適値が存在することが、実験的に確認された。

謝辞

本研究を行うにあたり、サポートをして頂いたビームグループのスタッフ全員に感謝いたします。また、本電子銃の開発に当たり高エネルギー研究開発機構(KEK)の小林仁教授には、有益な議論を頂き深く感謝いたします。