

メッシュグリッド型電子銃におけるグリッド電流の測定

山崎 良雄^{1,A)}、平野 耕一郎^{A)}、野村 昌弘^{A)}、石川 雄大^{B)}、長谷川 信^{A)}

^{A)} 核燃料サイクル開発機構 ^{B)} (株) ペスコ

〒311-1393 茨城県東茨城郡大洗町成田町 4002

概要

サイクル機構、大電流電子線形加速器で使用している熱電子放出型 DC 電子銃は、EIMAC-Y646E を採用している^[1]。大電流加速試験において、グリッドの損傷、グリッドエミッションなどが問題となった^[2]。これらの問題に関しては、放電やビーム射出時のグリッドへの流入電流による影響が考えられる。そこで今回は、グリッド電流によるグリッドメッシュの耐熱負荷を評価するために、カソードからの電流をグリッドで引き出し、グリッドへの流入電流による影響を観察した。また、高電圧印加した実際の電子銃動作で、グリッド電流を測定評価した。

1. はじめに

現在、サイクル機構で開発した大電流電子線形加速器は、逆コンプトン散乱を用いた X 線源としての利用が検討されている。その目的のため、加速器のビーム輝度を大幅に改善することが必要で、特に入射部が重要になる。これまでの加速器体系^[3]は、加速部でのビーム損失を極力無くするための RF チョッパーシステムを持ち、電子銃からのビームを加速せず、長いドリフトスペースを輸送していた。そこで、改造ではチョッパー系を取り外し、電子銃のグリッドに RF 変調をかけチョッパーの役目を果たさせ、入射部を大幅に短縮し、エミッタンスの増大を防ごうとしている。グリッドに変調をかけると、カソードとグリッド間の電界が時間的に変わる。その結果、グリッドにトラップされる電子の挙動も変化することになる。また、大電流のビームを射出する場合、メッシュグリッドがグリッド電流による熱負荷で、損傷を受けたり、グリッドエミッションが発生したりということが懸念される。そこで、メッシュグリッドがどのくらい流入電流を受け入れても安全なものかを評価するとともに、ビーム射出時のグリッド電流を把握することは重要なことである。今回この測定を EIMAC-Y646E について測定したので報告する。

2. 電子銃の構成と試験体系

電子銃の仕様を表 1 に、電極構造を図 1 に示す。今回のグリッド電流を測定するための試験体系を図 2 に示す。本電子銃はグリッドアースであるため、グリッド電極から高電圧管体へのリターン配線中に、ビームラインで使用している電子ビーム電流測定用の CT を設置し、グリッド電流を測定した。この CT

は高電圧ステーション上に設置されているため、光ファイバアイソレータ (Sony/Tektronix A6906AS) を用いて高電圧印加時でも、グランド側のオシロスコープで観測できるようにした。また、アノードから射出される電子ビームはビームライン上に設置されている CT で測定した。

表 1 : 電子銃仕様

Max. Beam Energy	200 keV
Beam Current (Peak)	400 mA
Max. Average Beam Current	80 mA
Pulse Width	0.01~ 4 ms
Repetition Rate	50 pps
Duty Factor	20 %

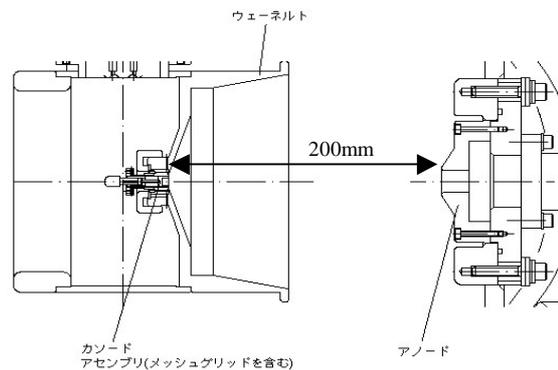


図 1 : 電子銃電極構造 (KA200mm, KG150 μ m, mesh ϕ 20 μ m, \square 180 μ m)

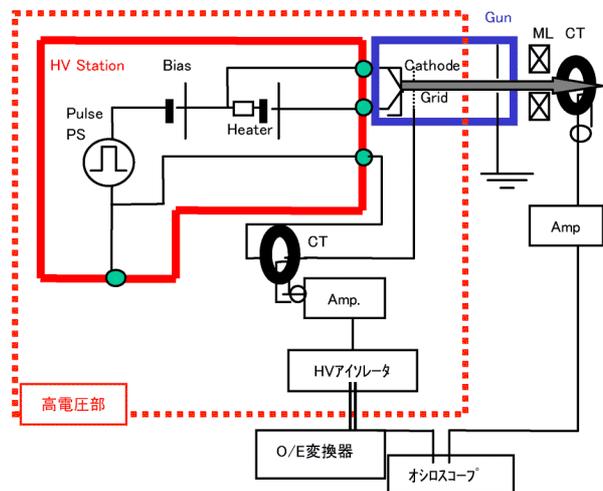


図 2 : グリッド電流測定試験体系

¹ E-mail: yamazaki@oec.jnc.go.jp

3. 結果と考察

3.1 グリッドへの電流引出試験

電子銃に高電圧を印加せず、カソードグリッド間に電圧をかけると、カソードからの電子ビームはほとんどグリッドにトラップされる。そこで、カソードグリッド間に表2に示す条件でパルス電圧を印加させ、グリッド電流及びパルス幅を増加させて、メッシュグリッドの熱負荷の影響を調べた。図3にパルス幅の増大による平均グリッド電流の増加を示した。最大で平均電流 26mA の流入電流を負荷させたが、メッシュグリッドに少なくとも熱的な損傷は起こらなかった。本加速器の出力電子ビームの最大平均電流は 20mA であるが、この全ビームがグリッドに流れ込むような場合よりも大きな電流に耐えたことになる。しかしながら、問題となるグリッドエミッションは評価できなかった。それは、使用経過時間、Ba の飛散付着による仕事関数の低下が影響するものと考えられ、一概に熱的に耐えたからといって問題がないわけではなく、使用条件によっては起こりうる。グリッドへの流入電流が少ないほうが好ましい。

表2：グリッドへの電流引出試験条件

Heater 1.5A, Bias 100V, Pulse 128V, 50Hz, Peak current ~100mA, Pulse width 100 μ s ~4ms
--

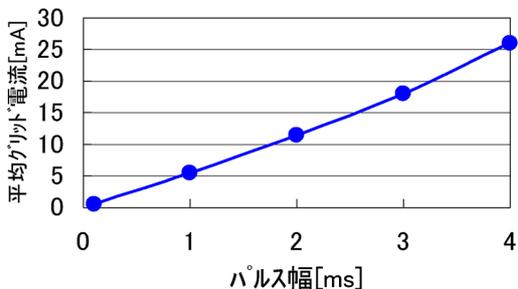


図3：グリッドへの流入平均電流

3.2 ビーム射出時のグリッド電流測定

次に、電子銃に高電圧を印加、ビーム電流を引き出した状態で、グリッド電流の測定をした。ビーム条件として、カソードヒータ電流及びバイアスは固定し、ビームの Duty は後段の関係で、低く抑えた。高電圧を固定し、グリッド電圧を徐々に増加させながらグリッド電流を測定した。グリッド電流波形を観察した結果、図4のように、3つのモードがあることがわかった。グリッド電圧が低い領域では、ビーム電流、グリッド電流の両方の波形が不安定で、パルスに周波数の高い成分の信号が重なっていた。この現象をはっきりとは理解できないが、グリッド電圧が低い領域では何らかの原因で、カソードグリッドを含めたアセンブリのインピーダンスが不安定になっているようである。したがって、この領域での電子銃動作は不安定で使用すべきではない。ある閾値以上に上げると、この現象はおさまリ、グリッ

ド電圧と電流の関係は、比例関係になる。さらに、上昇させると、グリッド電流は高電圧に関係なく、約 250mA で飽和した。図5は、グリッド電流をプロットとしたもので、グリッド電流値はグリッド電圧によって安定したある極小値を持ち、その値は高電圧を上昇させていくと、グリッド電圧の条件が高いほうにシフトし、グリッド電流値は緩やかに増加する。極小値は、高電圧を大きくシフトさせても、それほど大きな変化はなく、約 30~40mA であった。図6は、グリッド電圧の変化に伴うビーム電流をプロットしたものである。グリッド電圧を増加させると、ビーム電流はしばらくは上昇していくが、ある電圧で飽和し一定となる。これは、空間電荷効果によるもので、高電圧を上げて行けば、この飽和値は高いほうにシフトしていく。注目すべきは、グリッド電流値の条件との比較で、ビーム電流が飽和値になる瞬間に、グリッド電流が極小値を取っていることがわかる。それ以上、グリッド電圧を上げていっても、ビーム電流は一定であるが、電圧に比例してグリッド電流は上昇していくことがはっきりわかった。これは、電子銃の安定した運転の最適条件を示唆している。以前の本電子銃の高出力試験^[1]で、電子銃からの漏洩 X 線線量を測定した。そのときの結果では、グリッド電圧の条件によって、漏洩線量が最小になる値が存在し、実際高出力の運転条件とした。それより外れた値で運転しようとするすると、線量が著しく上昇し、放電を起こしてしまった。これは、電子銃内部での微小なビーム消失が原因と思われた。このビーム損失の最小条件が、今回のグリッド電流最小の条件と完全に一致しているかどうかは不明であるが、少なくともグリッドへの負荷は少ないほうが良い。今後、詳細に検討していきたい。

4. おわりに

今回、EIMAC-Y646E を用いた電子銃のメッシュグリッドへの流入電流を測定した。平均電流 26mA を負荷させても、メッシュに異常は認められなかった。また、高電圧を印加し、ビーム射出時のグリッド電流を評価した。グリッド電流は安定な動作時には、極小値を持ち、30~40mA であった。ビーム射出時の電子銃グリッド電流の測定は、メッシュグリッドへの負担を評価する方法として有効で、高出力のビーム射出をする際の最適な条件を決定する重要な手がかりとなる。

参考文献

- [1] Y.Yamazaki, et al., "JNC 大強度電子線形加速器用電子銃の開発 "Proceedings of the 24th Linear Accelerator Meeting in Japan, Sapporo, Jul. 7-9, 1999
- [2] Y.Yamazaki, et al., "Performance of the Electron Gun for the JNC High Power Linac", The 12th Symposium on Accelerator Science and Technology, Wako, Oct.27-29, 1999
- [3] Y.Yamazaki, et al., "大電力電子線形加速器の入射部試験 "Proceedings of the 21th Linear Accelerator Meeting in Japan, Tokyo, Sep. 30-Oct.2, 1996

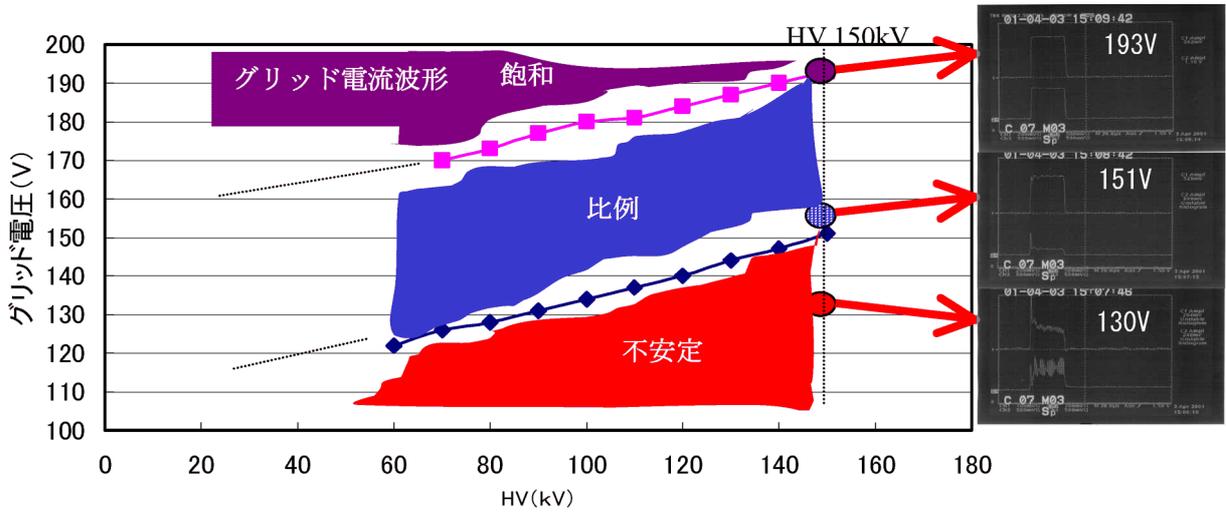


図4：グリッド電流波形のHV-グリッド電圧依存性 (Ch1-ビーム電流, Ch2-グリッド電流)
 ビーム条件 (Heater 1.5A, Bias 100V, Pulse Duty 40 μ s, 1 Hz)

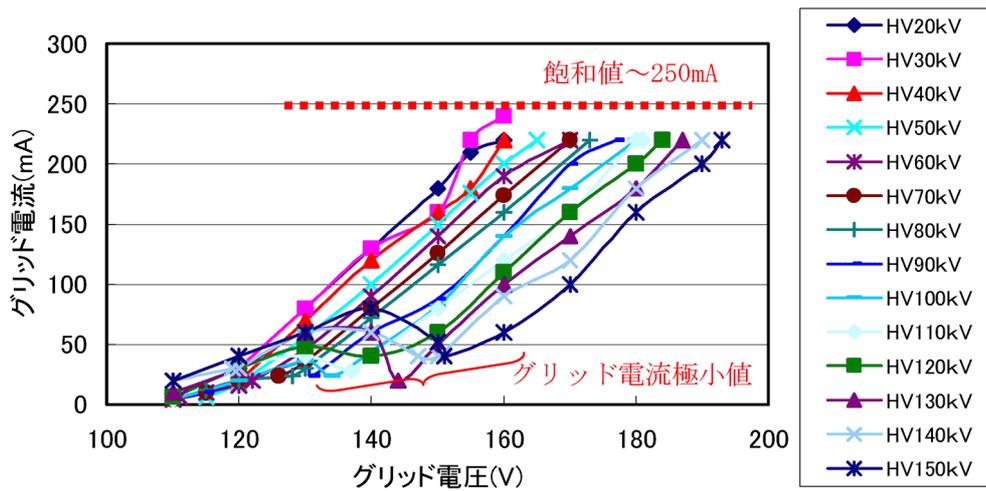


図5：グリッド電流のグリッド電圧、HV 依存性

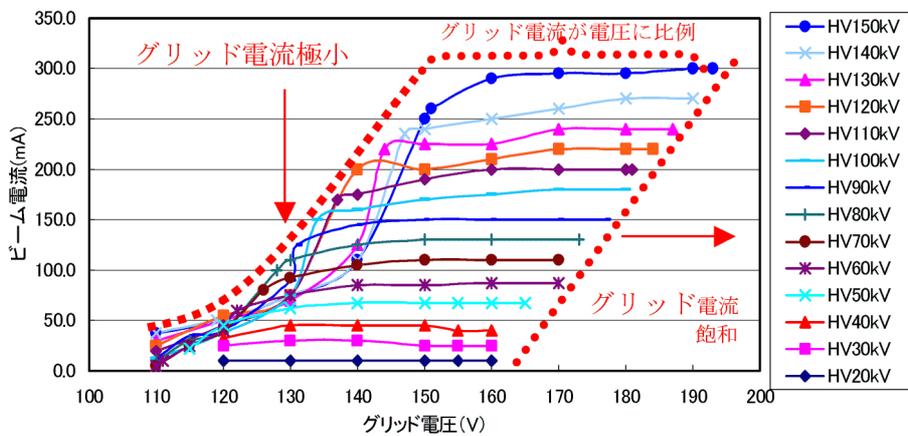


図6：ビーム電流のグリッド電圧、HV 依存性