

DEVELOPMENT OF PIERCE TYPE HIGH-BRIGHTNESS ELECTRON GUN

M.Moriguchi, K.Emura, K.Tsumori, H.Takada and J.Okuma[†]Harima Research Laboratories, Sumitomo Electric Industries Ltd.,
1431-12 Harima Science Garden City, Kamigori, Hyogo 678-12, Japan[†]Radiation Laboratory, The Institute of Scientific and Industrial Research, Osaka University,
8-1 Mihogaoka, Ibaraki, Osaka 567, Japan

Abstract

A Pierce type electron gun has been developed. High voltage of 200kV DC is effective for the purpose of high brightness. A compact insulation gas tank of 600mm×600mm^φ, and a very simple structure of high voltage feeding is realized by insulation designing using an electric field analysis. At the test bench experiments, high voltage of 200kV was achieved, which justifies our design. After a measurement of electron beam characteristics, the gun has been installed into linac system and operated stably.

ピアスタイプ高輝度電子銃の開発
——高電圧絶縁システムの構築——

1. はじめに

住友電工（株）播磨研究所では、SR リングへの入射を主目的として 50MeV ライナックを開発した¹。将来、FEL の実験にも対応できる高輝度な電子ビームの発生を目指しており、その手段の1つとして電子銃の高電圧化に取り組んだ。一般に高電圧の発生方式には、DC とパルスの2つがある。DC はパルスに比べ電圧の安定度が高いというメリットがある反面、絶縁設計上の難しさが増大し、高電圧化に伴い必然的に絶縁装置の大型化を招く。これを解決し、よりコンパクトな装置で高電圧を印加することができれば、安価で性能の良い電子銃システムを実現できる。我々は電界解析シミュレーションによる絶縁設計を行い、電界集中を緩和することにより、コンパクトな電子銃システムを開発することができた。以下これについて報告する。

2. 設計方針

今回開発した電子銃の目標加速電圧は、高輝度化の要請より DC で 200kV に設定した。絶縁ガス (SF₆) 容器を含めた概略形状を図 1 に示す。

設計に際し、特に電界集中部の構造最適化により、ガス加圧等による装置規模の増大を避け、簡易なシステムにすることを旨とした。高電圧印加

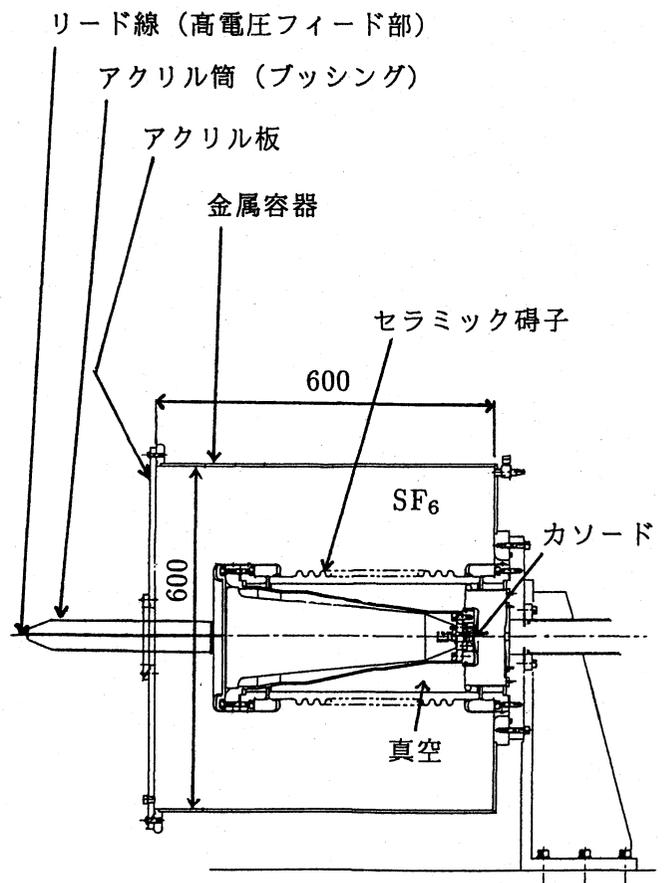


図 1. 電子銃の構造概略図

時に、電界が集中する部分は、(1) 電子銃内部のアノード・カソード間、(2) セラミック碍子の沿面、そして(3) 高電圧をフィードするためのリード線部の3点である。このうち(2)及び(3)が特に問題となる。

文献によれば、(2)について、セラミック沿面のコロナ放電開始電界（フラッシュオーバー電界） E_{FO} は、真空中で $\sim 5\text{kV/mm}$ 、常圧の SF_6 ガス中で $\sim 7\text{kV/mm}$ であり²、(3)について、我々が用いた 1.25mm^2 のリード線の場合、リード線直上の気中コロナ放電開始電界 E_C は $\sim 4\text{kV/mm}$ と見積もることができる。しかし、上記の値は一応の目安を与えるものである。沿面放電の場合、その表面状態によって放電開始電界の値は変化し、特に、セラミックと金属の接合面（トリプルジャンクション、TJ）にあるろう材が電子を放出し易く、放電開始電界を低下させる可能性があるからである。そこで設計に際し、SLACの資料³を参考にして、上記 E_{FS} 、 E_C の値に対して安全率3を見込むことにした。従って最大電界強度を真空中で 1.7kV/mm 以下、 SF_6 中で 2.3kV/mm 以下、そしてガス容器への高電圧フィード部において 1.4kV/mm 以下になるように設計を行った。

3. 電界解析による絶縁設計

電子銃全体の電界分布は図2のようになる。まずセラミック碍子上で電界の集中する部分を調べた。周囲が自由空間の場合、アノード側のTJ付近で電界の集中が起こり、電子銃に 200kV 印加時、真空側で約 2.9kV/mm 、 SF_6 側で約 2.6kV/mm の電

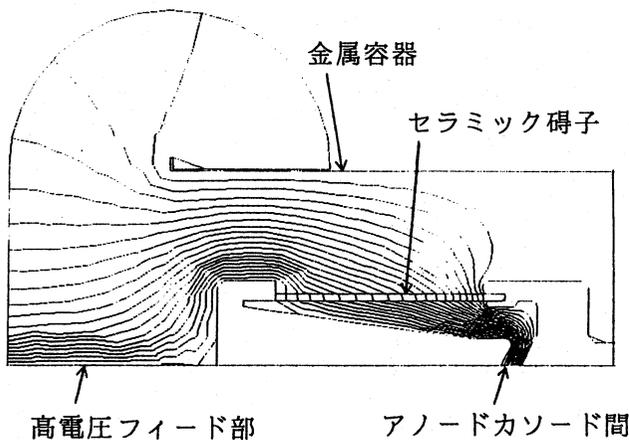


図2. 電子銃全体の電界分布

界強度になる。この部分の電界を緩和するために電子銃の周囲を金属製の容器で覆い、さらにコロナリングを長くしてTJ付近の電界強度を下げるようにしたところ、図3に示すように、真空側で約 1.6kV/mm 、 SF_6 側で約 1.8kV/mm になり、目標値をクリアした。

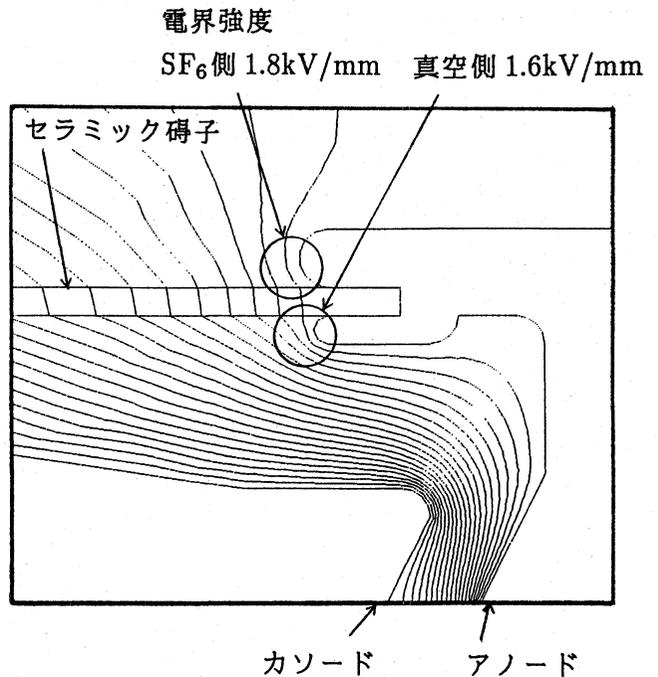


図3. セラミック沿面の電界分布

次に、高電圧をフィードする大気側のリード線部について解析を行ったところ、約 5.9kV/mm の電界強度があることが判った。これを緩和するためリード線のフィード部に比誘電率が約4の亚克力円筒（ $400\text{mm} \times 60\text{mm}^\phi$ ）を取り付け、それを通してフィードするようにした。その結果、この部分の電界を約 1.4kV/mm まで下げることができた。更にプッシングの先端部の形状をテーパにすることにより界面における電界を緩和するようにした。フィード部の電界解析結果を図4に、プッシング径を変化させたときの電界強度の変化を図5に示す。

以上の解析結果に基づいて電子銃の設計、及び製作を行った（図1）。ガス容器を含めた全体の大きさは $600\text{mm} \times 600\text{mm}^\phi$ とコンパクトにまとめた。また、ガス容器内の SF_6 ガスは常圧であるの

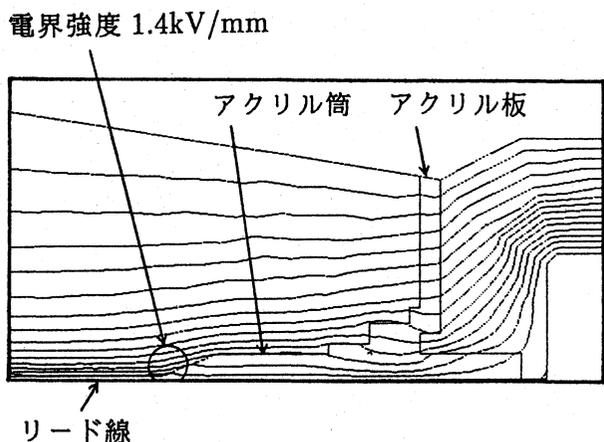


図4. 高電圧フィード部の電界分布

電圧出力回路には、 $0.1\mu\text{f}$ (250kV 耐圧) のコンデンサを接続して電子銃のパルス負荷による電圧の低下を少なくしている。また負荷側で放電が発生したときのサージ電流を防ぐために、 $160\text{k}\Omega$ の抵抗を挿入した。この抵抗は、パルス幅 $10\mu\text{s}$ 、ピーク電流 1A のエミッションにおいて電圧のサグが 1%以下に収まるように値を選んだ。

印加試験では、DC150kV を越えたあたりから高電圧のフィード部で微少なコロナ放電が観測された。対策として熱収縮チューブ (5mm 厚、2層) で電界を緩和することにより DC200kV まで印加できることを確認した。また、セラミック碍子部での耐圧は問題が無かった。

5. まとめ

高輝度化を目的とした電子銃の高電圧化において、電界解析を用いた絶縁設計により、コンパクトで簡単な構造の絶縁方式と、安定性の高い DC 電源を併用することにより、優れたシステムを構築することができた。

テストベンチでの電子ビームの性能評価の結果、エミッション電流値 1.5A、及び規格化エミッタンス $7\pi\text{mmrad}$ が得られた。この装置は現在、ライナックシステムに組み込まれ、安定に稼動している。

参考文献

1. K.Emura *et al.*: in Proc. of the present 19th Linear Accelerator Meeting, Tokai, July (1994)
2. 電気学会編: 電気工学ハンドブック pp. 502-509
3. R.B.Neal *et al.*: The Stanford Two-Mile Accelerator p.247, W.A.Benjamin, Inc.

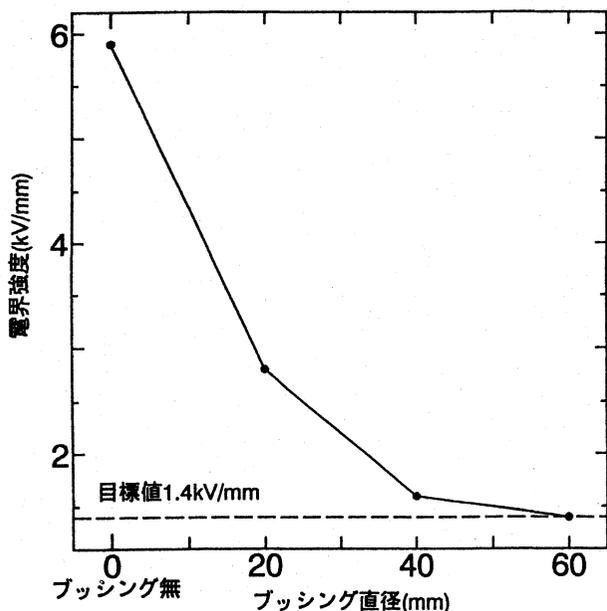


図5. ブッシング径の変化に対する電界強度の変化

で、加圧設計をする必要がなく、高電圧のフィード方法もアクリル製の板と筒を組み合わせただけの簡単な構造にすることができた。

4. 高電圧印加試験

設計の妥当性を確かめるため、高電圧の印加試験を行った。

DC 電源は Glassman 社製の Model PG200N2.5 (電圧安定度 0.1%以下) を用いた。この高圧整流部 (コロナリング付き) と電子銃用 100V 絶縁トランス (220kV 耐圧) は油タンク内に入れ、高電圧ブッシングを通して外部に取り出している。高