

[12P-14]

## ANALYSIS OF THERMIONIC DC ELECTRON GUN FOR 125MeV LINAC

K.Kanno<sup>\*)</sup>, I.Sato<sup>A)</sup>, K.Sato<sup>A)</sup>, K.Hayakawa<sup>A)</sup>, T.Tanaka<sup>A)</sup>, Y.Hayakawa<sup>A)</sup>, H.Nakazawa,  
K.Yokoyama, T.Sakai, K.Ishiwata, H.Inokawa, Y.Nakamura, S.Michizono<sup>B)</sup>, S.Ohsawa<sup>B)</sup>,  
S.Fukuda<sup>B)</sup>

Graduate School of Science and Technology, Nihon University  
7-24-1, Narashinodai, Funabashi, 274-8501 Japan

<sup>A)</sup>Atomic Energy Research Institute, Nihon University  
7-24-1, Narashinodai, Funabashi, 274-8501 Japan

<sup>B)</sup>High Energy Accelerator Research Organization, KEK  
1-1, Oho, Tsukuba, 305-0801, Japan

### Abstract

The beam trace calculation for the 100kV thermionic DC electron gun with EIMAC 646E cathode, which is currently used for the 125MeV linac at Nihon University, has been performed using EGUN code. The result showed a strong focus of the beam at the exit of the anode. A better geometry of the gun has been investigated by varying the shape of the wehnelt electrode. Also the trace calculation has been performed for the case of EIMAC 646B, which showed a considerably small emittance compared with that estimated for the present gun.

### 125MeV リニアック用電子銃の解析

#### 1. はじめに

自由電子レーザーの発振には高輝度・低エミッタンスの電子ビームが要求される。日本大学電子線利用研究施設(LEBRA)においても自由電子レーザーの発振とその応用のため高品質の電子ビームを発生させる研究が進められている。その実現には加速器の安定化も必要であるが、ビームの質がある程度決まる、電子銃の高性能化も重要な研究であると思われる。相対論的電子軌道解析コードEGUN[1],[2],[3]を使って、現在125MeVリニアックに使用している電子銃の解析を行い、エミッタンスを最適化する電極形状の検討、さらにより優れた電子銃の可能性の検討を行ったので報告する。

#### 2. 使用中の電子銃

図1に現在使用中である電子銃の断面構造図、表1にそのパラメータを示す。グリッドパルサーはTTLとトランジスタ回路を使い2~20 $\mu$ sの間でパルス幅可変である[4]。グリッド・カソードアッセンブリはEIMAC 646Eを用いている。電極形状は電子ビームにかかる電場を直接に制御するものである。電場の電子進行方向成分(加速成分)の強さはカソード-アノード間の電圧・距離で、また電場の横方向成分(集束成分)は陰極と同電位にあるウェーネルト(集束)電極およびアノード形状で制御される。

使用中の電子銃のアノード形状は電子ビームを集束させるような形状ではなく平板である。

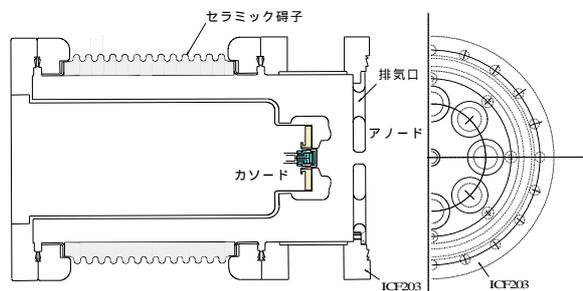


図1. 電子銃断面構造図

表1. 電子銃パラメータ

カソードの半径	5.5mm
カソード グリッド間の距離	0.2 mm
グリッド アノード間の距離	30 mm
カソードの電位	-100 kV
グリッド電圧	150 V
バイアス電圧	50 V

#### 3. 解析

EGUN では空間電荷効果を考慮して電子軌道を解析することができ、電子銃の設計に広く用いられている。ここでは計算条件としてカソード半径5.5mm、電流400mA、引出し電圧100kVと設定し、

<sup>\*)</sup> k.kanno,047-469-5489,kanno@acc.phys.cst.nihon-u.ac.jp

実際の電極形状を与えシミュレーションを行なった。ただし、グリッドは無視し、カソードでの電子の熱運動も考慮していない。図2にカソードからの距離Zが80mmの所までの電子軌道と等電位線を示す。図3にZ=50mm、60mm、70mm、80mmでの電流密度分布とビームの広がり角度を表すパラメータである ( $=\arctan(dR/dZ)$ )のグラフを示す。この図は本質的に位相図であり、エミッタンスが小さいほど分布は直線的になる。また、シミュレーションの結果、Z=80mmの点でのエミッタンス $e$ 、および規格化エミッタンス $e_n$ は

$$e = 34.96 \quad [\text{mm} \cdot \text{mrad}]$$

$$e_n = 22.92 \quad [\text{mm} \cdot \text{mrad}]$$

と求められた。

EGUNによって得られた図2の電子軌道を見ると、カソードの端部では中心部よりも等電位線が大きく歪んだ電場を電子が通過することにより特に集束されていることがわかる。このため、空間電荷効果を含めても現在の電極形状では集束が効きすぎていてアノードを出たあとの発散が大きいと推察される。アノードから最初の集束系(マグネティッ

クレンズ)までは100mmくらいであるが、図ではアノードから40mm(カソードから80mm)のところまで既に大きくビームが広がっている。図3からはビームが広がるにつれ、電流密度が小さくなってゆく様子が見える。(a)点では電流密度分布が図のようになるのは集束しようとする電子と発散しようとする電子が電子ビームの中に混在しているためである。

#### 4. シミュレーション

現行の電子銃では集束が強すぎてビームの平行性があまりよくなかった。そこでウェーネルト電極を図4のように、電場の集束成分を減らした。形状に変更してシミュレーションした結果を図5に示す。このときのエミッタンス $e$ 、規格化エミッタンス $e_n$ は

$$e = 30.04 \quad [\text{mm} \cdot \text{mrad}]$$

$$e_n = 19.69 \quad [\text{mm} \cdot \text{mrad}]$$

であった。現在のウェーネルト電極形状の場合と比べるとエミッタンスも小さく、電子ビームの平行性もよくなった。

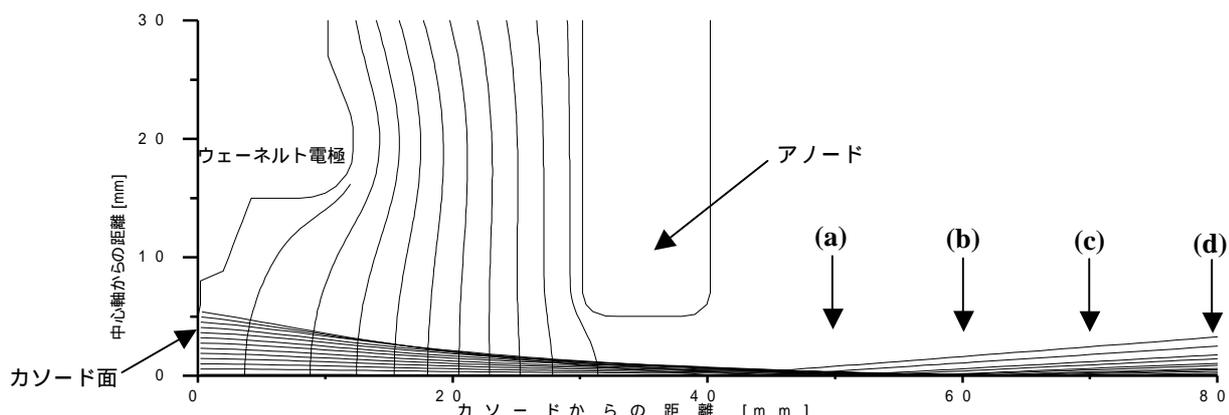


図2. EGUNによる計算の結果得られた電子軌道と等電位線

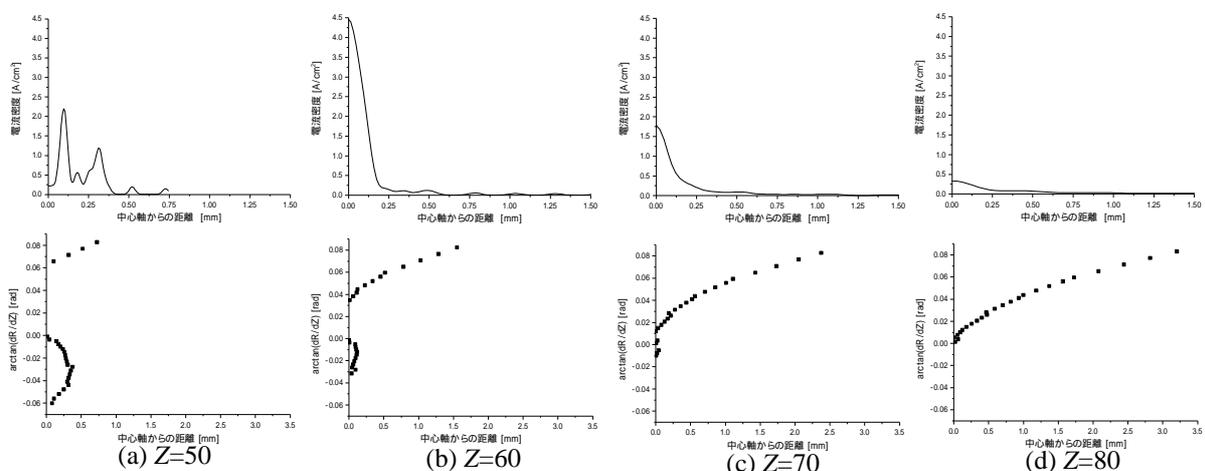


図3. EGUNによる計算の結果得られた電流密度分布とビーム角度の広がり。アノードを出た後のビームが広がってゆく様子が示されている。

また、グリッド・カソードアセンブリに EIMAC 646B(カソード半径 3.5mm)を使う場合、つまり放出電流は同じでカソード半径を 5.5mm から 3.5mm に小さくした場合のシミュレーションも行った。このときの電子軌道は図 6 のようになり、エミッタンス  $e$ 、規格化エミッタンス  $e_n$  は

$$e = 6.684 \quad [\text{mm} \cdot \text{mrad}]$$

$$e_n = 4.383 \quad [\text{mm} \cdot \text{mrad}]$$

となった。エミッタンスがこれほど抑えられたのは、中心軸へ行くほど電場の集束成分が小さくなるため、EIMAC 646B のようにカソード径が小さければウェーネルト電極による集束の影響と空間電荷による影響とのバランスがよくなるためと考えられる。

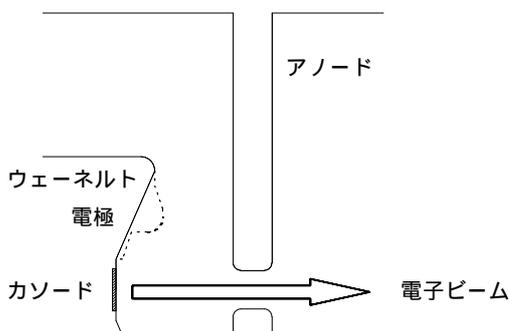


図 4 . 集束をおさえたウェーネルト電極。点線部を切り落としたと考えた。

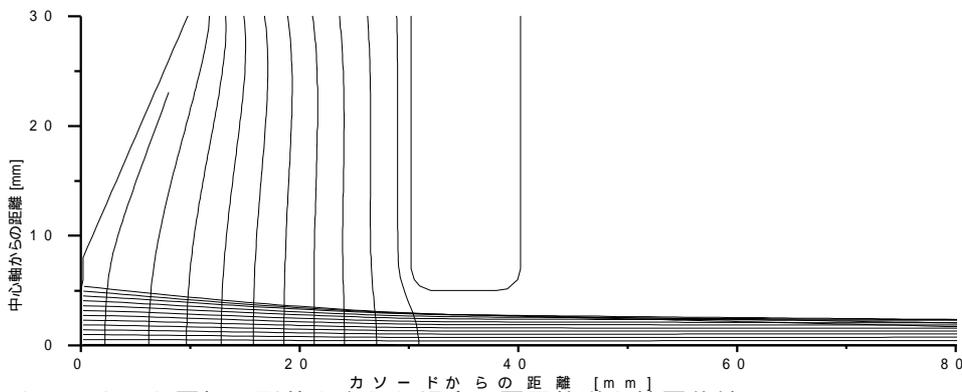


図 5 . ウェーネルト電極の形状を変えた場合の電子軌道と等電位線のシミュレーション結果

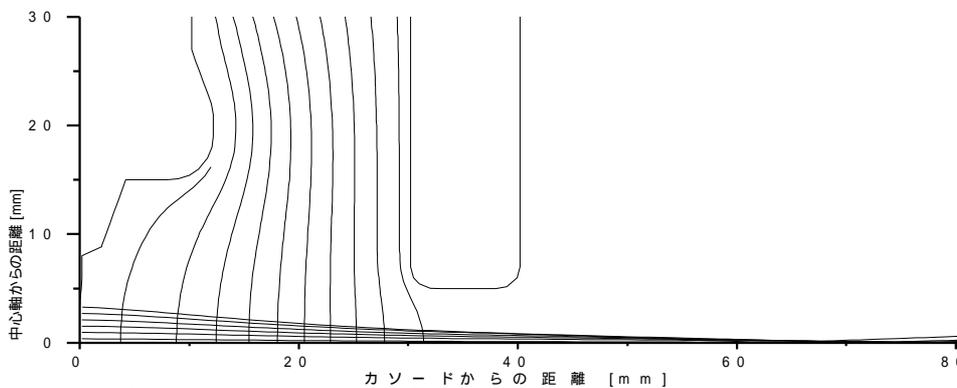


図 6 . カソードの半径を 3.5mm した場合の電子軌道と等電位線のシミュレーション結果

## 5 . まとめ

EGUN によるシミュレーションの結果、現在の電子銃ではビームの集束が強すぎるものが推察された。そこで、集束が緩やかになるようにウェーネルト電極の形状を変えたところ、平行性が良くなりエミッタンスの低いビームを得られる可能性があることがわかった。また、放出電流が同じでカソード半径が小さい場合もエミッタンスが小さくなること示唆する結果が得られ、カソードを EIMAC 646E から EIMAC 646B に変更することは有効であると考えられる。

空間電荷による影響で電子ビームが広がるため、ウェーネルト電極で集束を行うが、あまり強く集束させるとかえって質の悪いビームを発生することになる。今後、さらに低いエミッタンスが得られる最適な条件を調べる。

### 参考文献

- [1] W.B.Herrmansfeldt, "Egun-an electron optics and gun design program". slac report 331,1988.
- [2] W.B.Herrmansfeldt," Electron Trajectory Program". slac report 166,1973.
- [3] W.B.Herrmansfeldt," Electron Trajectory Program". slac report 226,1979.
- [4] T.Tanaka, et al., "Proceedings of 23rd Linear Accelerator Meeting in Japan". 25,1998.