

## LEBRA 100kV DC 電子銃電極形状の最適化シミュレーション

### DESIGN OPTIMIZATION OF 100 KV DC-GUN WEHNELT ELECTRODE FOR LINAC AT LEBRA

境 武志<sup>#,A)</sup>, 田中 俊成<sup>A)</sup>, 早川 建<sup>A)</sup>, 早川 恭史<sup>A)</sup>, 中尾 圭佐<sup>A)</sup>, 野上 杏子<sup>A)</sup>, 稲垣 学<sup>A)</sup>  
 Takeshi Sakai<sup>#,A)</sup>, Toshinari Tanaka<sup>A)</sup>, Ken Hayakawa<sup>A)</sup>, Yasushi Hayakawa<sup>A)</sup>, Keisuke Nakao<sup>A)</sup>, Kyoko Nogami<sup>A)</sup>,  
 Manabu Inagaki<sup>A)</sup>

<sup>A)</sup> Laboratory for Electron Beam Research and Application (LEBRA), Nihon University

#### Abstract

The 125-MeV electron linac at the Laboratory for Electron Beam Research and Application (LEBRA) in Nihon University has been used for the generation of the near infrared FEL and the Parametric X-ray Radiation (PXR). In addition, by using the FEL optical beam line, the terahertz-wave coherent synchrotron radiation (CSR) beam line has been expanded to the FEL irradiation laboratory since 2012. The electron 100 kV DC gun system for the LEBRA can extract the electron beam in three modes, the full bunch, the superimposed and the burst modes. However, the shape of the electron gun wehnelt electrode has not been optimized for operation with respect to the superimposed or the burst modes; the wehnelt was in designed for use in the full bunch mode operation. The beam transmission is slightly lower due to the beam spread at the operation modes of the superimposed and the burst modes. The optimization of the electron gun electrode corresponding to all operating modes is needed to increase of the beam transmission. Therefore, the optimization simulation of the wehnelt shape was carried out to increase the beam transmission at all beam operation modes. The present paper describes shape optimization of the electron DC gun for the burst and the superimposed modes.

#### 1. はじめに

日本大学電子線利用研究施設 LEBRA では 125 MeV リニアックを用い、近赤外 FEL 及び、パラメトリック X 線放射 (PXR) の実用化、ユーザー利用実験を行なっている。また 2012 年には、産総研との共同研究によるコヒーレント放射光 (CSR) 実用化の一環として、THz 光導入チェンバーを設置し、実験室まで輸送している<sup>[1]</sup>。昨年度までに行った高速グリッドパルサーを導入した電子銃伝送路系の改良により、LEBRA 125 MeV リニアックの電子銃システムは、フルバンチモード、バーストモード、重畳モードの 3 モードでの運転が可能となった<sup>[2][3][4]</sup>。しかし、この電子銃の電極形状は通常のフルバンチモードの場合を想定して設計しており、バーストモードや重畳モード運転では最適化されていない。そのため、ピーク電流の多い重畳モードやバーストモード運転時は、通常のフルバンチモード運転に比べビームの広がりが予想される。そこで、すべてのビーム運転モードに対応した電極形状の最適化検討をビームシミュレーションから行った。

#### 2. LEBRA-100 kV DC 電子銃

##### 2.1 電子銃スペック

LEBRA では 2000 年に電子銃部のウェーネルト電極の形状変更、EIMAC Y-646E カソードから Y-646B カソード<sup>[5]</sup>へ変更を行い、入射部の高度化を進めた<sup>[6][7]</sup>。それまで使用していた電極形状は電流値がか

なり大きい場合を想定しており(数 A 程度)、集束力が強くなる形状にしていた。そこで、使用する電流値 (200~400 mA 程度) 付近に対応させるため、改良後は電極の角度を緩やかにし、フルバンチモード運転時に適切な集束力が働くようにし、ビーム軌道の平行性を良くしている。またカソードの電子放出面積を 1.0 cm<sup>2</sup> から半分の 0.5 cm<sup>2</sup> である EIMAC Y-646B にすることで、エミッタンスを小さくしている。Figure 1 に電子銃部分の断面図を、Table 1 に電子銃及び、使用している Y-646B カソードのパラメータを示す。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、平板タイプを用いている。

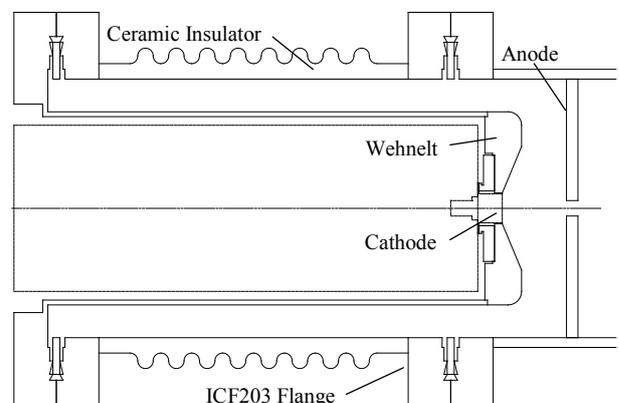


Figure 1: LEBRA electron 100 kV DC gun system. In order to suppress the focusing power, wehnelt is inclined gently. Anode shape is a flat plate.

<sup>#</sup> sakai@lebra.nihon-u.ac.jp

Table 1: Electron Gun Parameter

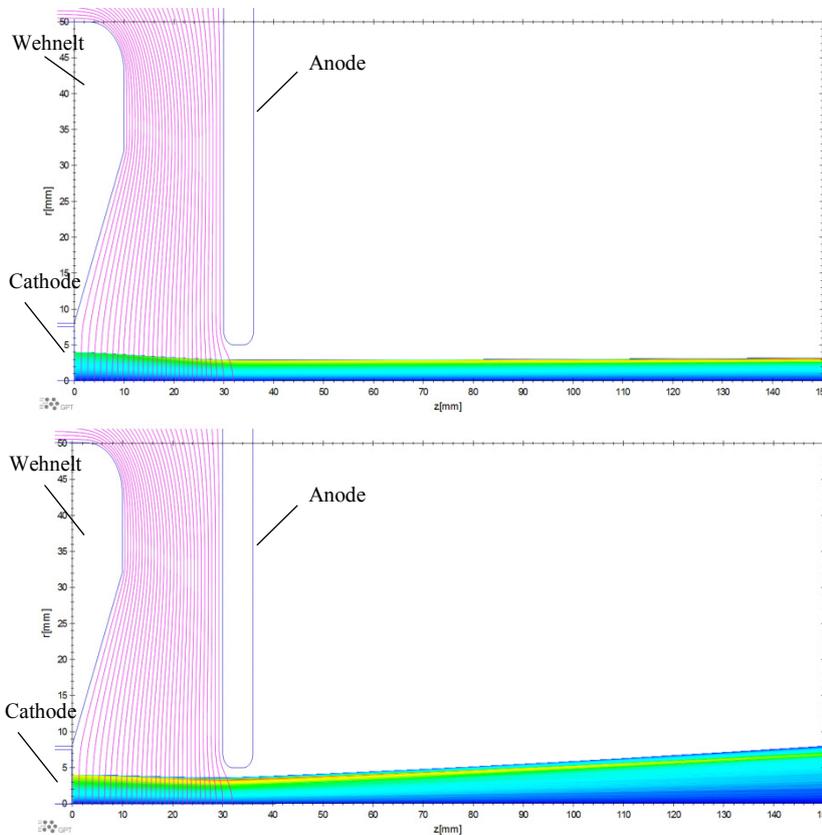
Electron Sources	Eimac Y-646B
Cathode Area	0.5 cm <sup>2</sup>
Cathode Filament voltage	6.0 V
Cathode Filament Current	1.3 A
Control Grid Gap	150 μm
Grid Wire Diameter	25.4 μm
Grid Wire Spacing	150 μm
Transparency of grid	69 %
Cathode Voltage	-100 kV
Cathode to anode distance	30 mm
Gridpulse voltage	53 ~ 63 V
Grid bias voltage	53 V

## 2.2 電子ビーム軌道シミュレーション

現状の電極形状での電子ビーム軌道シミュレーションを行った。電子銃部分の軌道計算には General Particle Tracer (GPT)<sup>[8]</sup>を用いて行った。計算に用いた電場分布は Poisson Superfish<sup>[9]</sup>でシミュレーションし、その電場のマップファイルを用いて行った。Figure 2 にフルバンチモードと重畳・バースト

モードを想定した場合のビームシミュレーション結果を示す。図は GPT の結果と Poisson Superfish の結果を重ねて示している。カソード表面の位置を  $z = 0$  mm とし、 $z = 140$  mm の位置にマグネティックレンズが設置されているため、 $z = 150$  mm の位置まで計算を行った。シミュレーション条件は、ビーム電流はフルバンチモードを想定した場合を 200 mA、重畳モード、バーストモード時を想定した場合には、2 A として行った。アノードとカソード、ウェーネルト間の電圧は-100 kV とし、カソードサイズ等のデータは Table 1 の値を用いた。カソード周辺部の計算では、グリッド部分の詳細は無視し、カソードでの電子の熱運動も考慮していない。またカソード表面から電子は平行に発生させている。シミュレーションに用いたマクロ粒子数は 20000 個で、空間電荷効果は含んで行なっている。

現状の電極形状では、シミュレーションの結果 figure 1-(a)を見てわかるように、ビーム電流 200 mA 程度のフルバンチモードでは、ビームの発散がよく抑えられている。それに対し、重畳モードやバーストモード時を想定した電流値が増えたシミュレーション結果 figure 1-(b)では、ウェーネルト電極での集束力が低いため、空間電荷効果によりビームが広がってしまっていることがわかる。マグネティックレンズの位置でのビーム径は、カソード付近に比べ 2 倍以上に広がっていることがわかり、エミッタンスもかなり悪化している。



(a) Full bunch mode beam simulation.

- Cathode Voltage: -100 kV
- Beam Current : 200 mA
- Macro Particle Number : 20000
- Within Spacecharge

(b) Superimposed and the burst modes beam simulation.

- Cathode Voltage : -100 kV
- Beam Current : 200 mA
- Macro Particle Number : 20000
- Within Spacecharge

Figure 2: Full bunch, the superimposed and the burst modes beam simulation. (a): Full bunch mode operation. (b): Superimposed and the burst modes operation. The details of a grid are disregarded.

### 3. 電極形状の最適化

#### 3.1 電極形状変更後シミュレーション

現状のウェネルト電極形状では、集束力が抑えられているため、集束力を上げるようにウェネルト形状の変更を行った。変更の際は、実際の製作時において簡単な変更で対応できるようにするために、できるだけ変更箇所を少なくし検討を行った。

シミュレーションは2章と同様に、電場分布計算はPoisson Superfishで行い、軌道計算にはGPTを用いた。シミュレーション結果をFigure 3に示す。カソード部分の取り扱いや、その他パラメーター条件は先程と同じにした。

シミュレーションの結果、フルバンチモードでは、アノードを出て50~60 mmの位置で絞られているが、マグネティックレンズの位置付近(z = 140 mm)でもカソード径の半分程度の広がりには抑えられている事がわかる。また、重畳・バーストモード時では、マグネティックレンズの位置付近でもカソード径と同程度か同程度であり、広がりが抑えられていることがわかる。

#### 3.2 エミッタンスの比較

電極形状を変更した場合と現状の電極形状での規格化エミッタンスの変化の比較をFigure 4に示す。ただし、シミュレーションでは、ビームはカソード面から平行に取り出しているため、カソード表面で

は0としている。現状の電極形状の値に比べ、フルバンチモードでは若干悪化しているが、重畳・バーストモードでは広がりが抑えられ、エミッタンスは良くなっている。

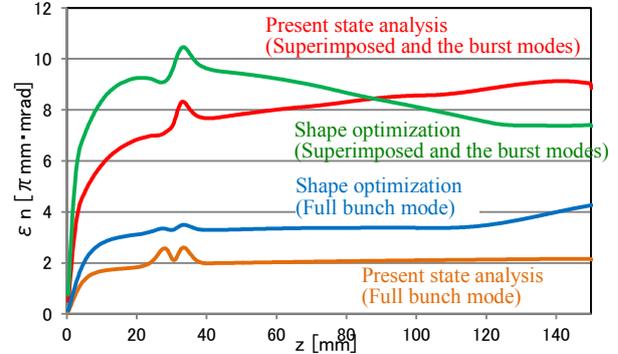
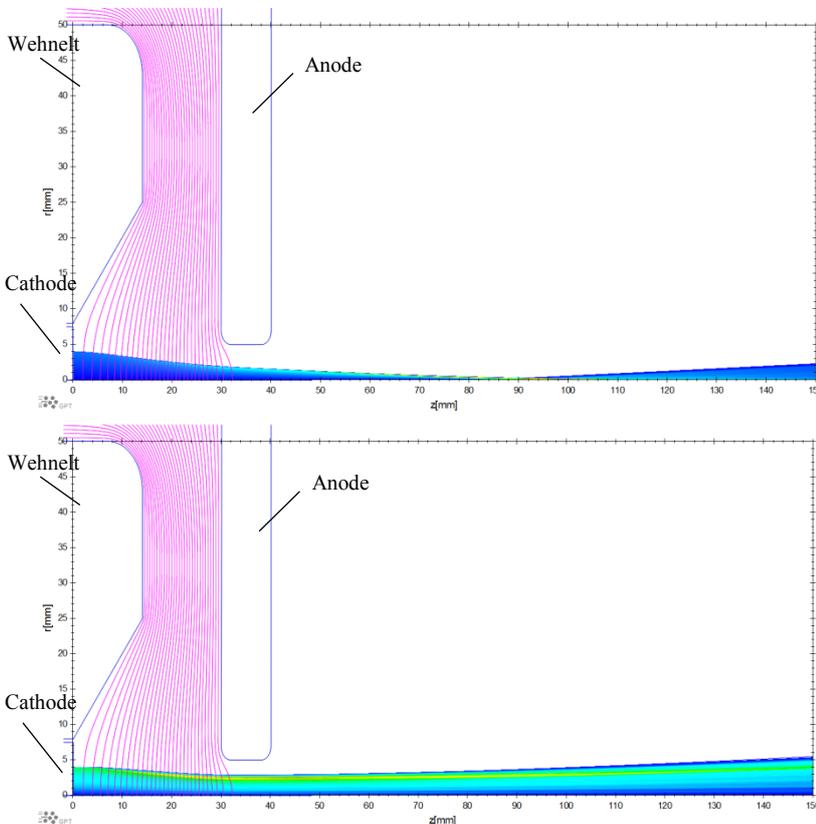


Figure 4: Comparison of the emittance due to the difference in wehnelt shape in each operation mode.

### 4. まとめと今後の課題

現在のウェネルト電極形状は、電流が少ないフルバンチモード時を想定して製作されているため、ピーク電流量が高い重畳、バーストモード運転時では、最初のマグネティックレンズ付近ではカソード径に比べ、2倍以上にビームが大きく広がっていることがわかった。そこでウェネルト電極の角度を



(a) Full bunch mode beam simulation.

- Cathode Voltage: -100 kV
- Beam Current : 200 mA
- Macro Particle Number : 20000
- Within Spacecharge

(b) Superimposed and the burst modes beam simulation.

- Cathode Voltage : -100 kV
- Beam Current : 200 mA
- Macro Particle Number : 20000
- Within Spacecharge

Figure 3: Beam simulation which changed the wehnelt electrode shape. (a): Full bunch mode beam simulation. (b): Superimposed and the burst modes beam simulation. The details of a grid are disregarded.

変え、集束力を強くする電極形状を検討した結果、フルバンチモードでは、若干エミッタンスは悪化するがビーム径は抑えられ、また重畳、バーストモードではビーム広がりも抑えられ、エミッタンス増加も抑えられた。

今後の課題として、電極形状の若干の変更で重畳・バーストモード時のビーム広がりやエミッタンスを抑えられる事がわかったが、この状態での入射器全体を通したシミュレーションを行い、検討する必要がある。また今回はアノード部の形状の変更を行わなかったが、アノード部の変更を含め、更に広がりも抑えられ、エミッタンスの良いビームが取り出せるよう検討を行う。

## 参考文献

- [1] N. Sei et al., Transport of terahertz-wave coherent synchrotron radiation with a free-electron laser beamline at LEBRA, Proceedings of FEL2013, New York, USA, (2013).
- [2] K. Nogami et al., "Status of Electron Linac Operation and Application of Light Source at LEBRA in Nihon University", in these proceedings.
- [3] K. Nakao et al., Lasing of near infrared FEL with the burst-mode beam at LEBRA, Proceedings of FEL11, Shanghai, China, (2011),p535-538.
- [4] K. Nakao et al., "Pulse Structure Measurement of Near-Infrared FEL in Burst-Mode Operation of LEBRA Linac", Proceedings of FEL2012, Nara, Japan,(2012),p472-474.
- [5] [http://www.cpii.com/docs/datasheets/131/Electron Guns Data Sheet1.pdf](http://www.cpii.com/docs/datasheets/131/Electron_Guns_Data_Sheet1.pdf)
- [6] K.Kanno et al., "ANALYSIS OF THERMIONIC DC ELECTRON GUN FOR 125MeV LINAC", Proceedings of the 25th Linear Accelerator Meeting in Japan (July 12-14, 2000, Himeji, Japan), 2000, p.168-170.
- [7] K. Kanno et al., "電子銃の低エミッタンス化による入射部の高度化", Proceedings of the 26th Linear Accelerator Meeting in Japan (Aug.1-3, 2001, Tsukuba, Japan), 2001, p.73-75.
- [8] <http://www.pulsar.nl/gpt/>
- [9] [http://laacg.lanl.gov/laacg/services/serv\\_codes.phtml#ps](http://laacg.lanl.gov/laacg/services/serv_codes.phtml#ps)