

[12P-11]

Performance of the Thermionic RF Gun Injector for Linac-based IR Free Electron Laser at the FEL-SUT

Fumihiko Oda, Minoru Yokoyama, Masayuki Kawai, Hidehito Koike and Masaaki Sobajima

Kawasaki Heavy Industries, Ltd.

118 Futatsuzuka, Noda, Chiba, 278-8585 Japan

Kawasaki Heavy Industries, Ltd. (KHI) has developed a linac-based compact IR free electron laser device and had installed it in the FEL-SUT (IR FEL Research Center of Science University of Tokyo). The FEL device adopts a combination of an RF gun with a thermionic cathode and an α -magnet as an injector. The fundamental design of this RF gun is the $\pi/2$ mode standing wave structure. It has two accelerating cells and a coupling cell located on the beam axis, so called on axis coupled structure (OCS). Output beam of more than 60pC per bunch (i.e. average current of more than 200mA during the macropulse) was obtained. Momentum distribution of the output beam was also measured. The results have a good agreement with beam dynamics simulations.

赤外自由電子レーザー用熱陰極 RFGUN の性能

1. はじめに

川崎重工業(株)は 32MeV リニアックを用いたコンパクトな中赤外(5 μm ~16 μm)域の自由電子レーザー装置を開発し、東京理科大学赤外自由電子レーザー研究センター (FEL-SUT) に設置を完了した [1]。電子発生・初段加速部には新設計の熱陰極型 RFGUN を用いており、本 FEL 装置コンパクト化の最大の要因となっている [2]。

熱陰極 RFGUN は従来の電子銃と比較して、RF コンポーネントを含めて大幅に小型化が可能であることに加えて、陰極から発生する電子を高電界で加速するため、エミッタンスの増大を抑制することができ、高輝度の電子ビームを得ることが可能であるという特徴を持つ。その一方で陰極から放出された電子の一部が RF 減速位相により陰極方向に逆加速され、陰極の温度が上昇する現象 (back-bombardment) により、マクロパルス幅が制限されることが最大の欠点である。特に FEL へ適用するためには back-bombardment を低減し、マクロパルス幅を確保する必要がある。

本 RFGUN の空洞形状を図 1 に示す。この空洞の基本構造は二つの加速空洞の間に結合空洞を持つ On-axis Coupled Structure (OCS) [3] であり、励振モードは $\pi/2$ 定在波モードであるためビームローディングに対して非常に安定である [4,5]。空洞形状は、出力ビームのエミッタンスを小さく保ちな

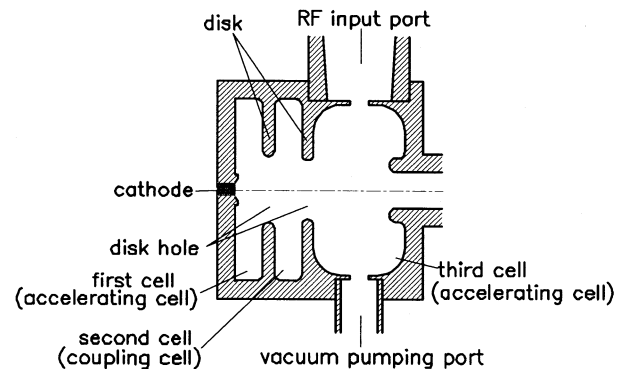


図 1 On-axis Coupled Structure RFGUN 空洞の断面図

がら back-bombardment が最小となるように設計した [6]。

製作した RFGUN 空洞については、共振周波数・Q 値・結合定数の測定、及び bead drop 法による軸上電界分布の測定を行い、ほぼ設計通りの性能が得られていることを確認した [7]。

本 RFGUN は FEL 装置への設置後、RF aging を経て調整運転を開始し、ビーム加速に成功した。以下本 RFGUN のビーム特性について述べる。

2. RF 系・排気系・冷却水系

RFGUN、 α マグネット、3m 加速管及び RF コンポーネントの配置を図 2 に示す。クライストロン

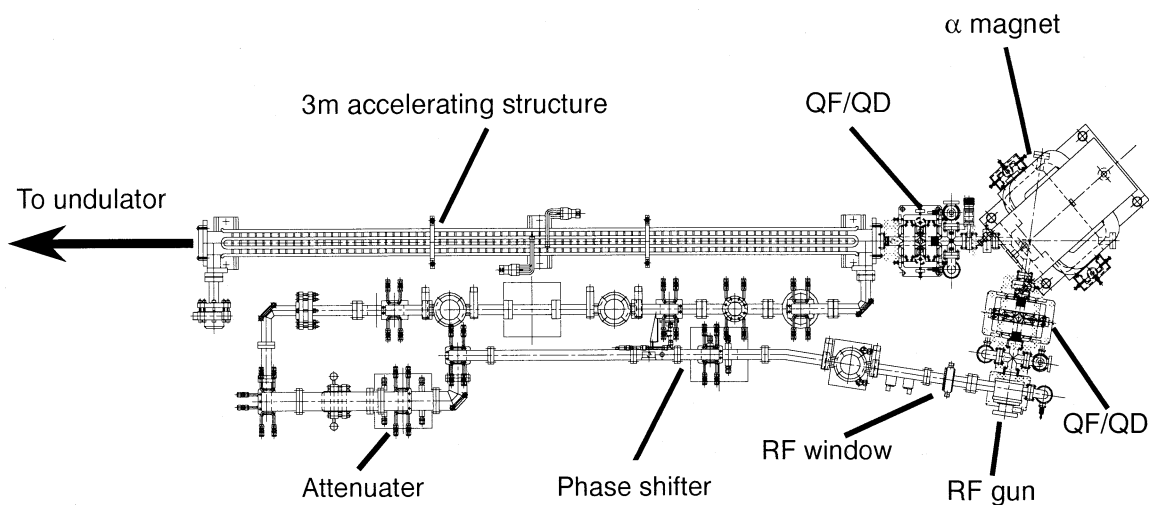


図 2 32MeV リニアック

(東芝製 E-3729)からの RF パワー(45MW)は 4:1 に分割し、9MW を減衰器、位相調整器を通して RFGUN 空洞に feed している [8]。

RFGUN 空洞内は 30 l/sec. イオンポンプで排気しており、ビーム加速時の真空度は約 7×10^{-7} Pa である。

RFGUN 空洞の冷却水系は 3m 加速管の冷却水系とは独立しており、空洞温度を $38 \sim 45 \pm 0.1^\circ\text{C}$ で制御することができる。これは RFGUN 空洞の共振周波数を tune するためであるが、実際には cold test での測定通り 40.0°C で問題無く運転しており、ビームローディングの変化に対しても tuning は全く不要であった。この事は $\pi/2$ 定在波モードのビームローディングに対する高い安定性を示している。

3. ビームカレント特性

本 RFGUN に使用したカソードは dispenser type (W-BaO, CaO, Al₂O₃) である。図 3 に使用したカソードのエミッション特性を示す。カソード温度 1100°C で約 $16\text{A}/\text{cm}^2$ の電流密度を得ることができる。カソード直径は 6mm であるのでカソードの放出電流は最大で約 4.5A である。ビームシミュレーションによるとこの時 RFGUN 空洞内で有効に加速・パンチングされる電荷量は $150\text{pC}/\text{bunch}$ である。

図 4 に加速ビーム電流の時間プロファイルを示す。電流値は約 200mA ($60\text{pC}/\text{bunch}$)、パルス幅は電流の flat top 部で約 $2.5\mu\text{sec}$ である。加速ビーム電流値及びパルス幅は back-bombardment によ

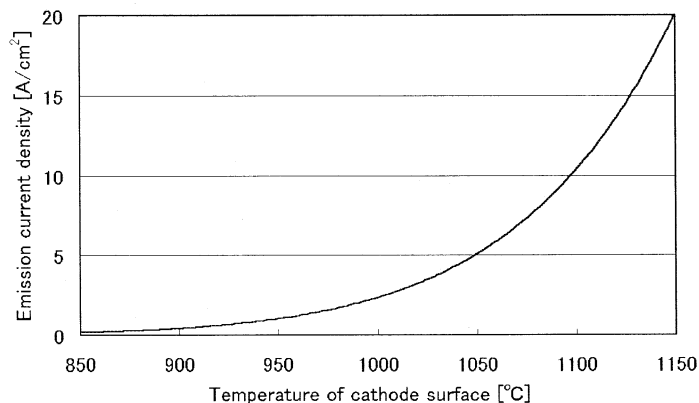


図 3 カソードの emission 特性

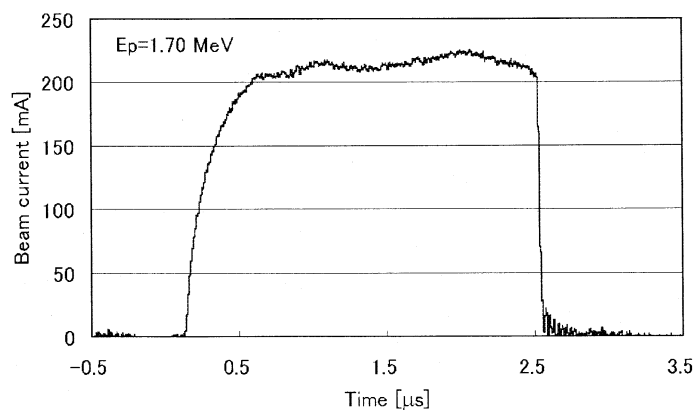


図 4 ビーム電流の時間プロファイル

るマクロパルス後半の電流増加により制限されている。

運転時のカソード温度は約 950~1000℃である。これまでの総運転時間は約 500 時間であるが、エミッションの減少やその他のトラブルは無く順調に運転している。

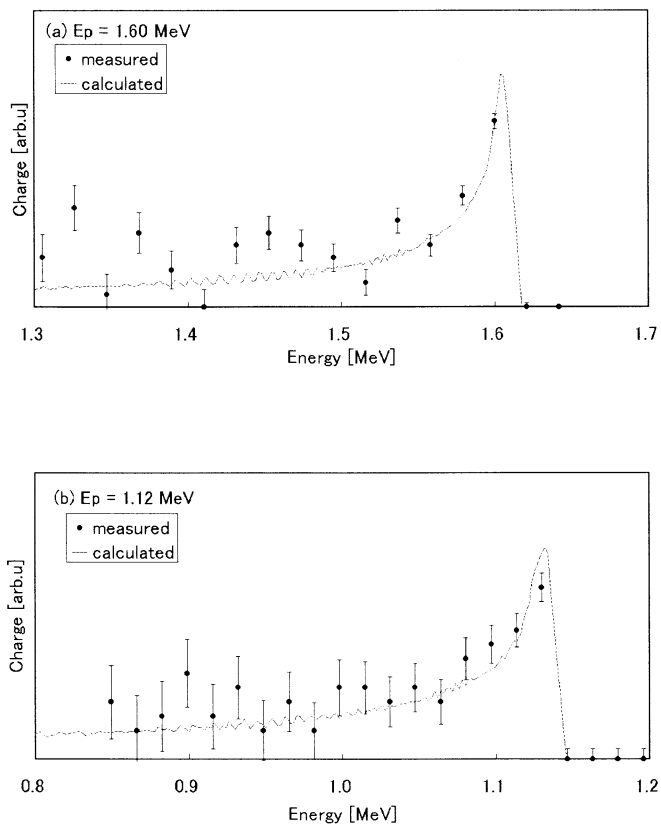


図5 ビームエネルギー分布 (a) $E_p=1.60$ MeV
(b) $E_p=1.12$ MeV の場合

4. ビームエネルギー特性

RFGUN からの出力ビームエネルギー分布を α マグネットの分散部にて測定した結果をビームシミュレーションの結果とともに図5に示す。ピークエネルギー1.6MeVの時、1.1MeVの時共にビームの多くはピークエネルギー付近に分布しており、シミュレーションの結果とよく一致している。

5. まとめ

中赤外域 FEL 装置の電子入射部用に新設計された熱陰極型 RFGUN (OCS type) により 200mA(60pC/bunch)のビーム加速に成功した。エネルギー分布はシミュレーションの結果と良く一致していた。

今後エミッタンス、バンチ長の測定を行うと共に、FEL 発振実験を行う予定である。

参考文献

- [1] H.Kuroda et al., Proc. of the 12th Russian Synchrotron Radiation Conference (1998)
- [2] F.Oda et al., Proc. 1998 Linear Accelerator Meeting in Japan (1998), p.136
- [3] T.Nishikawa et al., Rev. Sci. Inst. **37** (1966), p.652
- [4] Y.Yamazaki et al., Proc. 1992 Linear Accelerator Conference (1992), p.580
- [5] E.A.Knapp et al., Rev. Sci. Inst. **39** (1968), p.979
- [6] F.Oda et al., Nucl. Inst. and Meth. A **429** (1999) p.332
- [7] F.Oda et al., to be published in Nucl. Inst. and Meth. A
- [8] M.Yokoyama et al., Nucl. Inst. and Meth. A **429** (1999) p.269