

日大 LEBRA リニアック電子銃におけるエミッション特性の長期的振舞い

LONG-TERM BEHAVIOR OF THE ELECTRON GUN EMISSION PROPERTY AT LEBRA LINAC

稲垣 学[#], 早川 建, 田中 俊成, 早川 恭史, 境 武志, 中尾 圭佐, 野上 杏子

Manabu Inagaki [#], Ken Hayakawa, Toshinari Tanaka, Yasushi Hayakawa, Takeshi Sakai, Keisuke Nakao,
Kyoko Nogami

Laboratory for Electron Beam Research and Application, Nihon University

Abstract

The electron beam from the 125MeV electron linac at the Laboratory for Electron Beam Research and Application in Nihon University has been used for generation of the infrared Free Electron Laser (FEL) and Parametric X-rays (PXR). The electron beam can be extracted from the electron gun in three different modes, the conventional full-bunch mode, the burst mode, and the superimposed mode of the full-bunch and the burst modes. Since the replacement of the gun cathode by a new one in 2012, a significant decay in the extracted beam current during the macropulse had been found in the burst and the superimposed mode beams. Gradually the decay in the beam current has been recovered by continuous cathode heating over more than 1 year. The vacuum leak that occurred at around the flange of the cathode assembly in the early stage of the cathode activation process is considered as the dominant cause of the behavior of the gun.

1. はじめに

日本大学電子線利用研究施設(LEBRA)の 125MeV 電子線形加速器は、最大パルス幅 50 μ s のグリッドパルスにより引き出された電子ビームのうち 20 μ s の部分を加速し自由電子レーザー(FEL)発振に提供している。加速 RF 周波数は 2856MHz で、フルバンチ加速ではバンチ間隔は 350ps となる。LEBRA の電子銃高圧ターミナルは、グリッドバイアス、グリッドパルス、ヒーター電力の制御と安定度を改善するため 2010 年に更新を行った。その際、佐賀 LS の電子銃システム^[1]と同様に Kentech 社の高速グリッドパルサーを搭載し、2011 年 4 月より従来のフルバンチビームに加え、バーストビームおよびフルバンチビームとバーストビームを重畳させたビームでも FEL 発振が可能となった。バーストモードのビームでは 2856MHz の 64 分周および 128 分周の高速グリッドパルスを用いて、22.4ns および 44.8ns 間隔で各 1 バンチの加速が可能である^[2-4]。カソードには EIMAC の Y646B を用いている。2012 年 9 月に電子ビームのエミッションが急激に不安定となり、電子銃カソードの劣化の可能性を疑いカソード交換を行った^[5]。しかしカソード交換前と比較すると、バーストモードと重畳モードのビームでは 20 μ s のマクロパルス内でエミッションの減衰が顕著であった。これはカソードの特性に原因があると考えていたが、1 年以上に渡り使用し続けた結果、次第にパルス内の減衰が低減し、ビーム平坦度が改善した。電子銃カソードの交換前後におけるエミッションの波形を比較したので、結果を報告する。

2. 電子銃

LEBRA の加速電子ビームは FEL およびパラメトリック X 線(PXR)の発生が主な用途であるため、バーストビーム加速を実現する際に、従来のフルバンチビームでの加速も選択できることが条件となり、通常のマクロパルス用グリッドパルサーと高速グリッドパルサーの両方が使えなければならない。したがって、通常のパルス幅 50 μ s のグリッドパルス(マクロパルス)と高速グリッドパルサー出力半値幅 600ps のパルス列を同時にあるいは選択的に印加して利用できるよう、これらのパルスを重畳するパルスカップラーを電子銃に組み込んだ(Figure 1)。Table 1 に LEBRA の電子銃の仕様、Figure 2 に 3 種類の加速モードにおけるビーム波形の違いを概念的に示す。



Figure 1: The photographs of the grid pulse coupler (left) and the electron gun (right).

Table 1: Specification of the Electron Gun at LEBRA

Cathode assembly	EIMAC Y646B
Extraction voltage	-100kV
Macropulse duration	50 μ s
High speed grid pulse duration	600ps (FWHM)
High speed grid pulse voltage	100 - 160V
High speed grid pulse interval	22.4ns (64 frequency dividing) 44.8ns (128 frequency dividing)

[#] inagaki@lebra.nihon-u.ac.jp

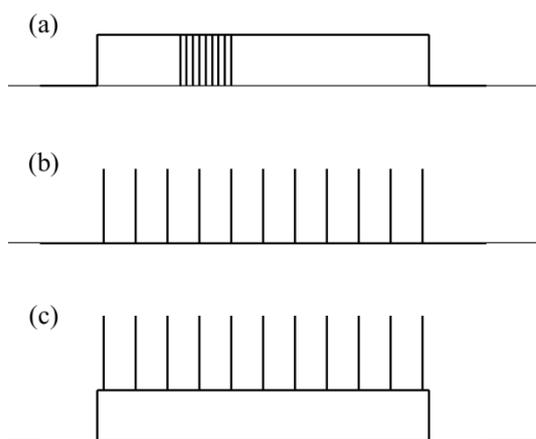


Figure 2: Rough images of the beam pulse waveforms corresponding to the three different modes of the electron beam acceleration; (a) full-bunch mode, (b) burst mode and (c) superimposed mode.

3. 電子銃エミッションの出力波形の観測

電子銃からの出力ビーム電流はアノードの下流にあるフェライトコアモニター(CT1)で観測した。カソードアッセンブリ交換前に測定された電子銃エミッション電流波形の例を Figure 3 に示す。Figure 3(a)はフルバッチモード加速でマクロパルス 50 μ s 幅のビーム波形(グリッドバイアス電圧: 53V、グリッドパルス電圧: 62V)、Figure 3(b)はマクロパルスにゲート幅 25 μ s で高速グリッドパルス(高速グリッドパルス電圧: 160V、64 分周)を重畳させたときのビーム波形(グリッドバイアス電圧: 53V、グリッドパルス電圧: 35V)である。オシロスコープの帯域幅を狭くして観測したため、高速グリッドパルスによるバーストビームの波形が正しく表示されていないが、バーストビームを重畳させた部分には顕著な電流の減衰は見られない。

カソードアッセンブリ交換後、CT1 で観測したフルバッチモードと、64 分周したバーストモードを重畳させたモードにおけるエミッション電流波形をそれぞれ Figure 4(a)と(b)に示す。これから、交換後間

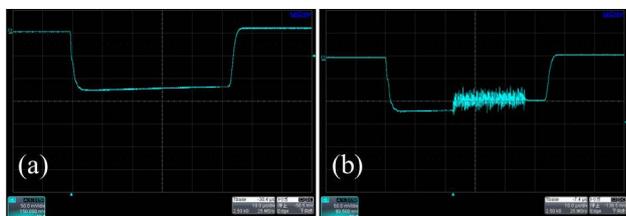


Figure 3: The gun emission current waveforms by the cathode before replacement measured at CT1 just downstream of the electron gun. The horizontal scale is 10 μ s/div and the vertical scale is 50mV/div. (a): full-bunch mode (grid bias voltage 53V, grid pulse voltage 62V). (b): superimposed mode (high speed grid pulse voltage 160V, frequency dividing ratio: 64, grid bias voltage 53V, grid pulse voltage 35V).

もない時期はマクロパルス内でバーストビームのピーク電流が顕著に減衰していたことがわかる。交換前のカソードでもパルス先頭の数 μ s 以内では若干の減衰が見られたが、その後は平坦だった。この違いは、カソードの大電流取り出し特性の違いによるものだと考えられる。これに対して、交換後のカソードを使い続け、20 ヶ月経過した時点では Figure 4(d)と(e)に示すように、バーストモードでも重畳モードでもバーストビームのピーク電流には減衰がほとんど見られなくなった。時間経過によってパルス内における減衰が低減された原因の詳細は不明であるが、電子銃カソード交換の際にカソードフランジ取り付けの不具合からスロリークが発生し、真空度の回復に長時間費やした。このため真空度が十分高くない状態でカソード活性化を行い、その後も数回大気暴露を繰り返す必要が生じたことから、カソードの活性化に影響したことが考えられる。

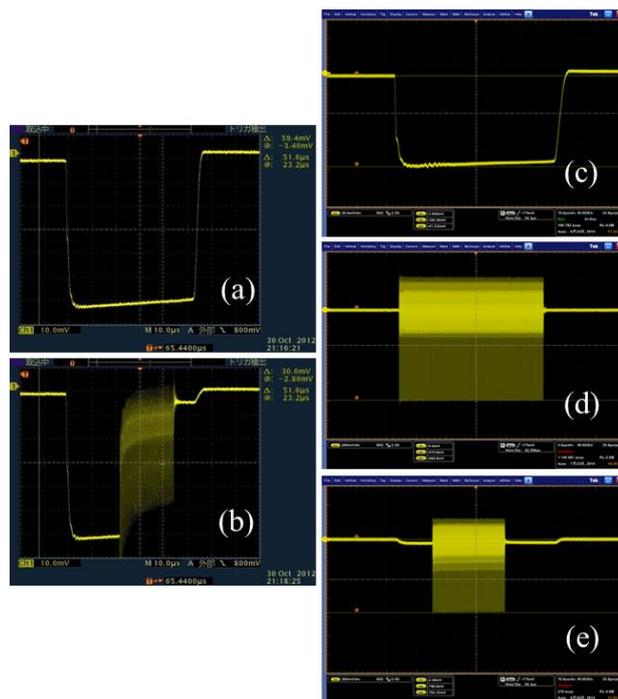


Figure 4: The electron gun emission current waveforms after replacement of the cathode assembly. (a) and (b) are the results obtained shortly after replacement. As seen in (d) and (e) the burst mode beam has not shown significant decay in the peak current during the macropulse after 20 months of operation. (a): full-bunch mode (grid pulse voltage: 53V), (b): superimposed mode (grid pulse voltage: 53V, frequency dividing ratio: 64), (c): full-bunch mode (grid pulse voltage: 67.4V), (d): burst mode (high speed grid pulse voltage: 160V, frequency dividing ratio: 64), (e): superimposed mode (grid pulse voltage: 55V, high speed grid pulse voltage: 160V, frequency dividing ratio: 64). The horizontal scales are 5 μ s/div in (d), and 10 μ s/div in the other waveforms. The vertical scales are 10mV/div in (a) and (b), 20mV/div in (c), and 200mV/div in (d) and (e).

交換前および交換後のカソードについて、グリッドパルス電圧に対するビーム電流出力特性を測定した結果を Figure 5 に示す。交換後 2 ヶ月経過時点では、グリッドバイアス電圧を 53V、ヒーター電圧 6.7V、6.9V、7.2V に設定し、グリッドパルス電圧 38 - 102V の範囲で 2V 毎に測定した。図の横軸の電圧はグリッドバイアス電圧とグリッドパルス電圧の和で、グリッド電圧を表している。

交換 2 ヶ月後の測定では、グリッド電圧 0V 以下では測定していないが、グリッド電圧に対する出力電流の特性に問題があったことが推定できる。一方、交換 22 ヶ月後の測定では全体的に出力電流が低くなっているが、明らかに低出力側においてもグリッド電圧とともにより直線的に出力電流が増加する特性へと改善されている。

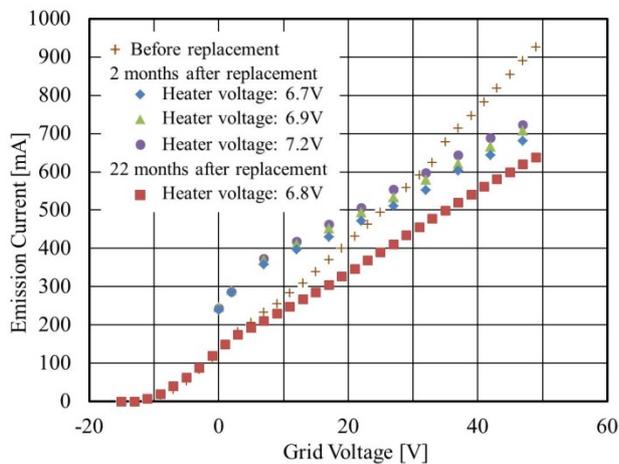


Figure 5: The beam current characteristic of the electron gun for the cathodes before and after replacement.

4. まとめ

電子銃高圧ターミナルの更新の際、高速グリッドパルサーを搭載したことにより、従来のフルバンチビームモードに加えバーストビームモード、フルバンチビームとバーストビームを重畳させたビームモードの 3 モードの電子ビーム引き出しが可能となった。電子銃カソード交換後、バーストモードではマクロパルス内でビーム電流が減衰する問題が生じた。しかし、1 年以上カソードを使用し続けた結果、パルス内における減衰が見られなくなった。この原因の詳細は不明であるが、使用開始間もない時期にはカソードの活性化が不十分であったことが考えられる。

参考文献

- [1] K.Hanakawa et al., Proceedings of the 1st Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan and the 29th Linear Accelerator Meeting in Japan, Funabashi, Aug. 4-6, 2004.
- [2] T.Tanaka et al., Proceedings of the 8th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Tsukuba, Aug. 1-3, 2011.

- [3] K.Nakao et al., Proceedings of the 8th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Tsukuba, Aug. 1-3, 2011.
- [4] T.Tanaka et al., Proceedings of the 2nd International Particle Accelerator Conference, San Sebastian, Sep. 3-9, 2011.
- [5] K.Nogami et al., Proceedings of the 10th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Nagoya, Aug. 2-6, 2013.