

## BEAM CHARGE FEEDBACK SYSTEM FOR THERMIONIC CATHODE RF-GUN

H. Ohgaki, T. Kii, K. Masuda, T. Yamazaki, K. Yoshikawa, H. Zen  
Institute of Advanced Energy, Kyoto University, Kyoto, 611-0011, Japan

### Abstract

A feedback system to stabilize a long-time operation of thermionic cathode RF-Gun has been developed in Kyoto University free electron laser (KU-FEL) facility where a 4.5-cell thermionic cathode RF-gun provides electron beam to drive a mid-infrared FEL. Since the back-bombardment effect seriously increases the temperature of the cathode surface and, consequently, increases the beam charge, a stable operation is difficult without continuous control of the thermal emission from the cathode. We have tried to stabilize the beam charge of the thermionic cathode RF-gun by using a feedback system. The beam charge was monitored with a current transformer (CT), which was located at the exit of the gun, was read by an oscilloscope. The total charge was calculated in a PC and the LabView PID-module controlled the cathode heater current. As the result, the long term stability of the beam charge was dramatically improved from 18%/h to 0.1%/h in variation. The variation at the undulator section was also improved, 1.2%/h.

### 熱陰極型高周波電子銃のビーム電流の安定化

#### 1. はじめに

中赤外自由電子レーザーのエネルギー科学への応用研究を目指し、京都大学エネルギー理工学研究所では、小型 FEL 装置 (KU-FEL) の開発を行っている [1]。FEL 施設の建設を 2004 年度に行い、FEL 駆動用 Linac の設置とコミッショニングを 2005 年度に終了し、40MeV で約 60mA の電子ビームの加速に成功している [2]。図 1 に KU-FEL 装置の概略図を示す。KU-FEL は装置の小型化を目標に電子銃として 4.5 空洞の熱陰極型高周波電子銃を採用しているが、この電子銃は構造上、逆流電子の影響を大きく受け、安定した出力を得ることが非常に困難な状況であり、FEL 発振実験の大きな妨げになっている。そこで、熱陰極型高周波電子銃の出力電荷量の長時間安定化を目標にフィードバック制御を行った。フィードバックに使用する制御変数 (Process Variable, PV) として、陰極表面の温度、あるいは電子銃からの出力電荷量を用い、これを電子銃のヒーター電源を制御する事でフィードバック制御を試みた。

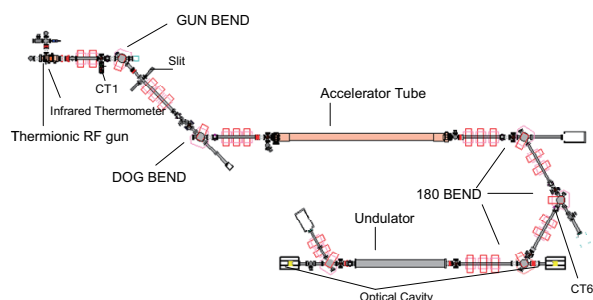


図 1 KU-FEL 装置の概略図

#### 2. フィードバックシステムの概要

今回試みた熱陰極高周波電子銃の出力電荷量安定化のためのフィードバック制御システムは、陰極表面温度を測定する 2 色放射温度計 (Chino, IR-FA) と、電子銃の出力電荷量を測定する CT 電流モニター並びにその波形観測のためのオシロスコープ、電子銃ヒーター電源からなる。これらのデバイスは KU-FEL の LabView ベース制御システム [3] 上で処理される。今回のシステムは、長時間安定化を目標にしているため、フィードバック制御も LabView 組み込みの PID モジュールを用いた。図 2 にフィードバック制御システムのブロック図を示す。

まず、フィードバック制御を行う前の、電子銃からの電荷量の時間変化を図 3 に陰極表面の温度変化と共に示す。この図から分かるように、電子銃からの電荷量は 18 分で 5.5% (18%/h) 変化していることが分かる。図中の大きな変化は電子銃内での高圧放電を示している。KU-FEL にはエネルギーフィルター部があり、電子銃での出力の僅かな変化が、下流での電荷量や、エネルギーの変化を生ずる事になり、FEL 実験に大きな障害をもたらす。図 4 に 180 度アーク部 (図 1 の CT6) での CT 波形を示す。この図にあるように、フィードバック制御を行わない場合、18 分後には電子ビームは殆ど 0 になってしまうことが分かる。

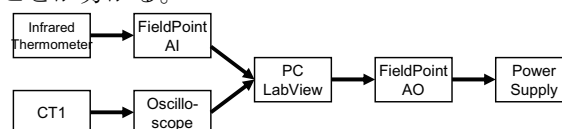


図 2 フィードバックシステムのブロック図

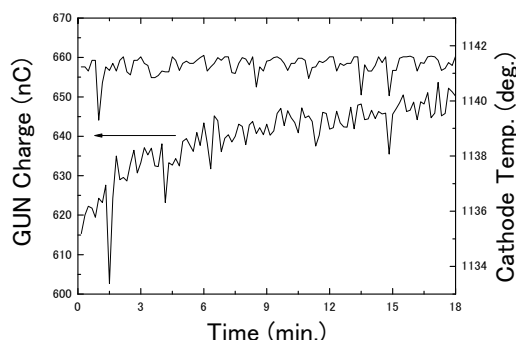


図 3 フィードバック制御を行わない場合の電子銃出力電荷量と陰極表面温度の時間変化

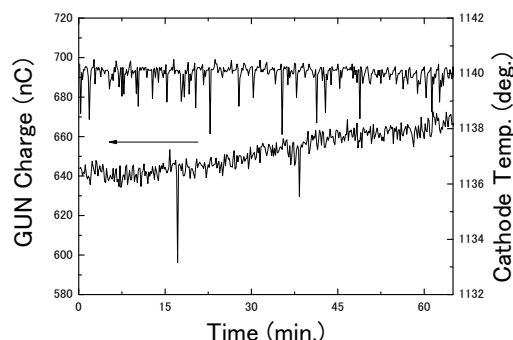


図 5 陰極表面温度での制御の場合の電子銃出力電荷量と陰極表面温度の時間変化

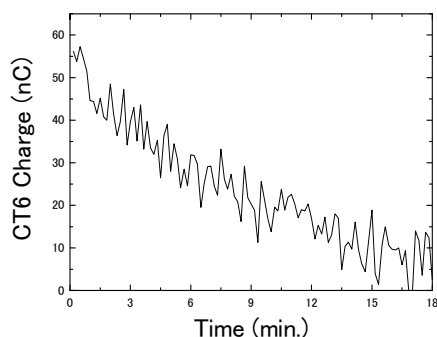


図 4 フィードバック制御を行わない場合の 180 度アーク部でのビーム電荷量の時間変化

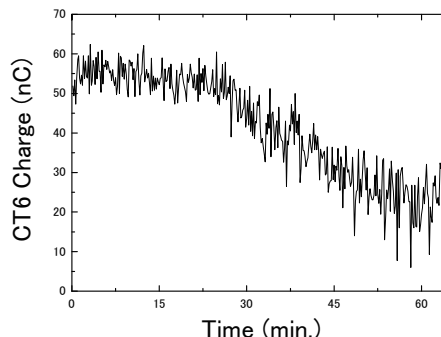


図 6 陰極表面温度での制御の場合の 180 度アーク部でのビーム電荷量の時間変化

### 3. フィードバック制御実験

#### 3.1. 陰極表面温度によるフィードバック制御

電子銃からの出力電流量は、主に陰極表面の温度によって決まるため、まずフィードバック変数として、陰極表面の温度を用いた制御を試みた。2 色赤外放射温度計からの出力を制御系のアナログ入力モジュール (FieldPoint FP-AI) に入力し、ActiveX-CA の PV に変換した後、これを一定にするように制御室の制御 PC 上にて PID 制御を行った。制御の結果の CT1 での電荷量の時間変化を、陰極表面温度と共に図 5 に示す。CT1 での変動は 65 分で 4.2% (3.9%/h) 程に抑えられているが、電荷量は一方向的に上昇を続けており、十分な制御が出来ていないことが分かる。これは電子銃の出力電荷量が、陰極表面温度のみならず、その近傍の真空度の影響等を受けているためと考えられる。図 6 には CT6 での電流量の時間変化を示す。この図からも分かるように陰極表面温度を制御変数に用いた場合、20 分程の制御は可能であるが、それ以上の安定化は困難である。

#### 3.2. 電子銃出力電荷量によるフィードバック制御

次に、電子銃からの出力電荷量を制御変数に用いたフィードバック制御を試みた。電子銃からの出力電荷量は CT1 により測定され、オシロスコープ (LeCroy, WaveRunner) でマクロパルス長の間、積分されたのち、ActiveX-CA の PV に変換され、これを一定にするように制御室の制御 PC 上にて PID 制御を行った。なおバックグラウンドノイズやベース変動の影響を除去するために、計算器内でソフト的にベース処理を行っている。

図 7 に CT1 での電流量の時間変化を陰極表面温度と共に示す。この図から分かるように、CT1 での電流量の変化は 2 時間で 0.2% (0.1%/h) 程度である。さらに図 8 に示すように、CT6 での電流量の時間変化も 1.2%/h 程度に抑えられており、電子銃の出力の長時間安定化に成功したと言える。

しかしながら短時間での電流量の変化は、依然として 18% (peak-to-peak) 程残っており、今後はこれを抑えるような制御を考える必要がある。

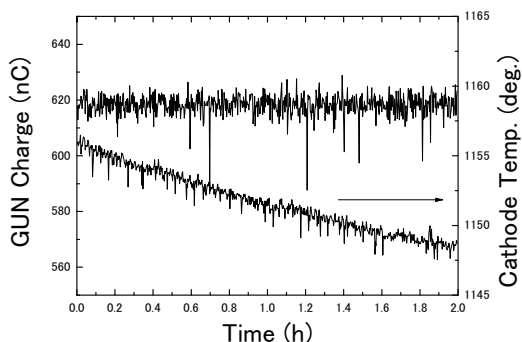


図7 電子銃出力電荷量による制御の場合の電子銃出力電荷量と陰極表面温度の時間変化

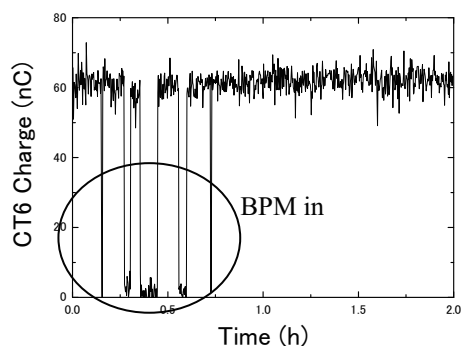


図8 電子銃出力電荷量による制御の場合の180度アーク部でのビーム電荷量の時間変化。図中の丸の部分には上流部でBPMを挿入したことによるビームストップイベント。

#### 4. 結論

FELの安定した発振のために、KU-FELの熱陰極高周波電子銃の陰極ヒーター電流をフィードバック制御することで、出力電荷量の安定化を試みた。今回構築したフィードバックシステムは、長時間安定

化を目標に、LabView上で動くソフトウェアPID制御を利用した遅い制御システムである。

まず、フィードバック制御を行わない場合、電子銃直下の電荷量は18%/h程変化し、180度アーク部での電荷量は18分後には殆ど0になってしまった。

陰極表面温度でのフィードバック制御の場合、電子銃直下の電荷量に関しては3.9%/h程変化にまで抑えられた。しかしながら180度アーク部での電荷量については、制御開始後20分程は安定していたが、その後徐々に減少して行った。これより、陰極表面温度でのフィードバック制御では、十分に安定化できない事が分かった。

次に電子銃からの出力電荷量でのフィードバック制御を試みた結果、電子銃直下の電荷量の変化は0.1%/hに抑えられ、180度アーク部での電流量も1.2%/hに抑えることが出来た。

短時間(ショット毎)での電荷量の変動は今回の制御システムでは対象外としているが、安定なFEL実験を実現するためには、短時間の変動も極力抑える必要があり、今後、フィードフォワードや、制御変数を増やしたシステムを試みる予定である。

#### REFERENCES

- [1] T. Yamazaki et al., "KU-FEL, A compact and economical S-band linac based FEL for advanced energy science", Proc. of the 23rd International Free Electron Lasers Conference, and the 8th FEL User Workshop, pp.13-14 (2002).
- [2] N. Ohkawachi et al., "PRODUCTION OF ELECTRON BEAM WITH CONSTANT ENERGY BY CONTROLLING INPUT POWER INTO A THERMIONIC RF GUN", Proceedings of the 28th International Free Electron Laser Conference, pp.664-667 (2006).
- [3] H. Ohgaki et al., "PC-LABVIEW BASED CONTROL SYSTEM IN KU-FEL", Report on Cooperative Researches in Laboratory for Complex Energy Processes, IAE, pp.66-67 (2006) in Japanese.