

# DEVELOPMENT OF THE ELECTRON GUN CONTROL SYSTEM FOR LEBRA

Keisuke Nalao\*, Ken Hayakawa, Toshinari Tanaka, Yasushi Hayakawa, Kyoko Nogami, Manabu Inagaki  
 Laboratory for Electron Beam Research and Application (LEBRA), Nihon University  
 7-24-1 Narashinodai, Funabashi, Chiba, 274-8501

## Abstract

The control system of the electron gun was replaced at LEBRA. This system was developed using EPICS. EPICS is de-fact standard control framework. Device Support for the high voltage station controller and high frequency grid pulser was developed.

## 日本大学電子線利用研究施設における電子銃制御システムの開発

### 1. はじめに

日本大学電子線利用研究施設 (LEBRA:Laboratory for Electron Beam Research and Application) では、2004 年から、波長 1.5 から  $4\mu\text{m}$  の赤外領域の自由電子レーザー (FEL) および 6 から 20keV および 10 から 34keV のパラメトリック X 線のユーザ利用実験を行っている [1]。現在、バンチあたりの電荷量を増やすことによりパルスあたりの FEL の強度を増強することを目的として、間引き運転を可能にするために、電子銃高圧ターミナル内に高速グリッドパルサーを導入することとなった。これに伴い、電子銃高圧ステーションを更新することとなり、新たに電子銃の制御システムを開発した。

### 2. 現行の電子銃システム

現行の電子銃システムの運転時のパラメータを表 1 に示す。現行の高圧ステーションは、引き出し電圧 DC100kV、グリッドバイアス電圧 53V、グリッドパルス電圧 50V、パルス幅  $50\mu\text{s}$  で、エミッション電流約 200mA を、EIMAC Y646B から電子を引き出し、パルス幅  $20\mu\text{s}$  の RF で加速している。現行電子銃のパルス構造を図 2 に示す。現在この高圧ステーションは、ヒータ電圧、グリッドパルス ON/OFF、高圧は制御室から遠隔操作できるが、グリッドパルス電圧及びグリッドバイアス電圧は遠隔操作できない。これは、以前グリッドバイアスおよびグリッドパルス電源の安定度が不足していることが判明し、一時的に安定化電源を高圧ステーションの上に置いて運用しているためである。

表 1: 現行電子銃の運転時のパラメータ

カソード	EIMAC Y646B
引き出し電圧	-100kV
マクロパルス幅	$50\mu\text{s}$
グリッドパルス電圧	DC 50V
グリッドバイアス電圧	DC 53V

現在、運転中に非常にゆっくりではあるが、時間とともに、エミッション電流は低下することが確認されてい

\* nakao@lebra.nihon-u.ac.jp

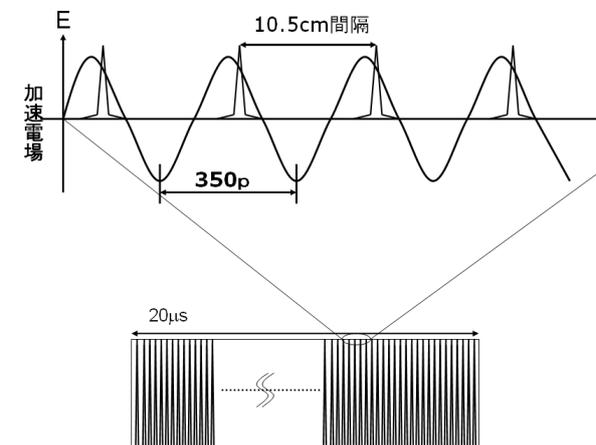


図 1: 現行電子銃のパルス構造。[2] より抜粋

る。しかしグリッドパルス電圧が遠隔制御できないために、運転中にこれを調整する事ができない。

### 3. 新電子銃システム

前述の通り、FEL のバンチあたりの輝度を増加させるため、高速グリッドパルサーを導入し電子銃の間引き運転を予定している。これに伴い、高圧ステーションおよび制御システムを更新することにした。カソードおよび高圧電源は現行のものを使用する。新電子銃システムの仕様を表 2 に、間引きモードのパルス構造を図 2 に、高圧ステーションの外観を図 3 に示す。

LEBRA では、FEL だけでなく PXR のユーザ利用実験も行っているため、常時間引き運転を行う訳ではない。そこで通常モードと間引きモードの切り替える必要がある。これを実現するために、高速グリッドパルスだけでなく、通常のグリッドパルスも高圧ステーションに搭載している。

間引きモード運転時は、マスターオシレータで作った 2856MHz の RF の一部を取り出し、32 分周し、グラビトン社製 E/O で光に変換して高圧ステーションに光ケーブルで伝送する。高圧ステーションにある O/E で電気

表 2: 新行電子銃の仕様 (間引きモード)

カソード	EIMAC Y646B
引き出し電圧	-100kV
マクロパルス幅	500ns 50 $\mu$ s
マイクロパルス幅	i 600ps FWHV
グリッドパルス電圧	DC 0 160V
グリッドバイアス電圧	DC 0 110V
電源安定度	100ppm / $^{\circ}$ C

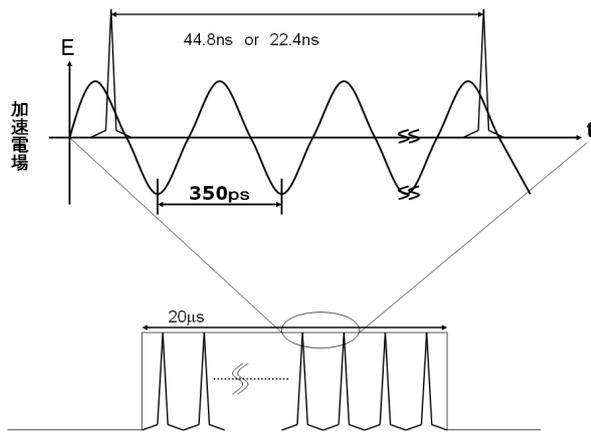


図 2: 間引きモード時のパルス構造。[2] より抜粋

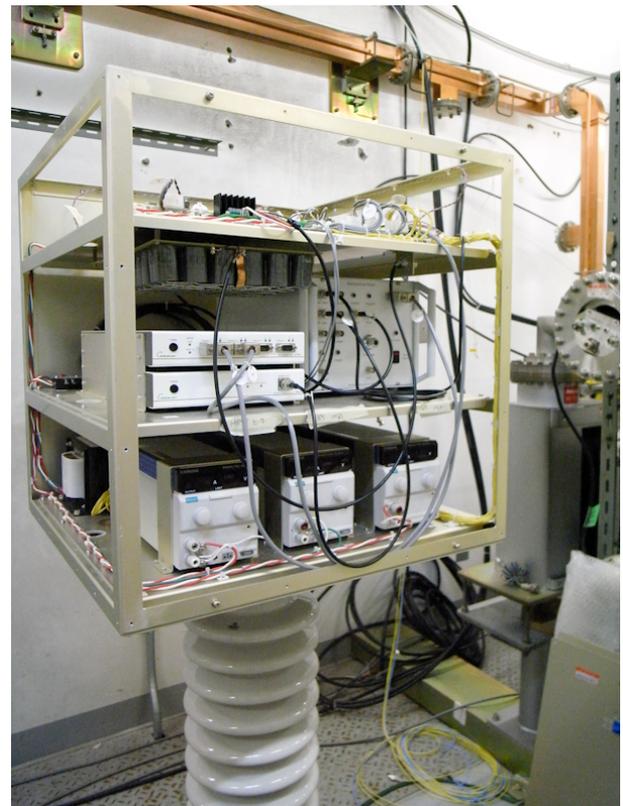


図 3: 高圧ステーションの内部写真

信号に変換し、高速グリッドパルサに入力する。高速グリッドパルサから出力されたパルス幅 600ps 程度、パルス間隔 22.4ns または 44.8ns のパルスはカソード直前にあるカップラーで、グリッドバイアスに重畳する。カップラーの外観を図 4 に示す。

通常運転時は、高速グリッドパルサをパルスが出力されない INHIBIT モードに設定し、通常のグリッドパルサで 50 $\mu$ s のパルスを作り、カップラーでグリッドバイアスと重畳する。

図 5 に、エミッション電流とグリッドパルス電圧との関係を測定した結果を示す。これからグリッドバイアス電圧がおよそ 80V 付近からエミッション電流が飽和し始め、約 1500mA で飽和する。高速グリッドパルサの最大出力電圧は 160V であるから、間引き運転時の最大ピークエミッション電流は 1500mA 程度である。現状では 200mA 程度の電流を引き出しているの、間引き運転によって、ピーク電流をおよそ 7.5 倍に増強することができると思われる [2]。

#### 4. 新電子銃制御システムの概要

新高圧ステーションの制御システムの構成を図 6 に示す。本システムの制御対象は、高速グリッドパルサ、グリッドパルス電源、グリッドバイアス電源、ヒーター電源であるが、後 3 つに関しては、高圧ステーションに搭載されたコントローラにコマンドを送信する事で制御する事が出来る。よって制御室から、これら二つの機器と通信すればよい。高速グリッドパルサおよび、高圧ステーションのコントローラは、それぞれ 9600bps、38400bps の EIA/232 シリアルで通信する。これらは高



図 4: カップラの外観

圧ステーション内部にあるため、グラビトン社製 Optical Modem で光に変換し通信を行う。

制御フレームワークとして、EPICS を LEBRA で初めて採用した。LEBRA では多くの機器が Ethernet を利用して遠隔制御、遠隔監視されているが、それぞれの制御、監視プログラムの通信プロトコルは開発者が独自に実装したもので、一貫性がなく保守性に問題がある。またプロトコルの文書化も積極的に行われていないため、結局ソースコードを読んでプロトコルを解析するということがままある。

そこで大型加速器施設ですでに実績のある制御フレームワーク EPICS を採用し、EPICS の Channel Access Pro-

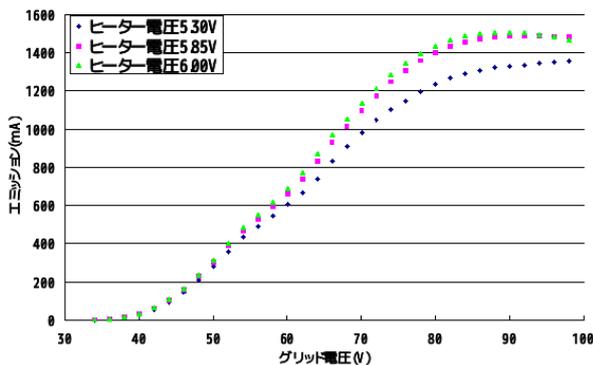


図 5: エミッション電流とグリッドパルス電圧の関係の測定結果。[2] より抜粋

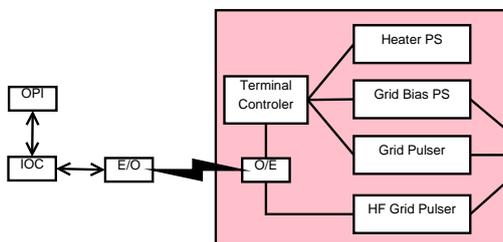


図 6: 新電子銃制御システムの構成

ocol で、各制御機器、監視対象機器を隠蔽することでこのような状況を打開することを試みた。

EPICS は、前述の通り ANL を中心として国際協調で開発されているオープンソースの制御フレームワークであり、国内では KEK、J-PARC、理研でも使用されている実績のあるフレームワークである。EPICS のアーキテクチャーを図 5 に示す。EPICS は主に OPI (Operator Interface) と IOC (Input Output Controller) で構成されており、これらが Channel Access Protocol (CA) と呼ばれる通信プロトコルで Ethernet を経由して通信する。OPI は読んで辞の如くオペレータが操作するプログラムで、IOC に対して値の設定、取得コマンドを送信する。IOC は CA を経由して OPI や他の IOC からの要求に応じて実際の機器の操作を行う。すなわち IOC はネットワークから見て機器の詳細を隠蔽しており、CA で通信することができれば当該機器を遠隔操作することができる [3]。

IOC は Device Support というレイヤを持っており、実際の制御ルーチンは Device Support に記述する。いくつかの機器は既実装されているものが公開されているが、今回の高圧ステーションコントローラと高速グリッドパルスは特注品なので、それぞれの Device Support を実装した。IOC は Linux で動作する。

OPI は、GUI を Qt version 4 で実装し、Channel Access ライブラリを用いて作成した。EPICS では既に MEDM 等といったウィジェットツールキットが公開されている。LEBRA では制御 PC の OS は WindowsXP を使っている。しかし MEDM は UNIX ベースのプログラムであるために使用しなかった。Qt は、マルチプラットフォーム

ムのオープンソース GUI ツールキットである。Qt で書かれている部分は、ソースコードをコンパイルし直すだけで他の OS に移植できるという特徴がある [4]。

## 5. 高速グリッドパルス用 CACHE 機構

Device Support が、高速グリッドパルスの状態を取得するのに利用できるコマンドが、一種類しかなく、そのコマンドを発行すると全てのステータスが一度に送られてくる。また、コマンドを発行してから値が返ってくるまで 500ms かかる事がわかった。EPICS はシーケンシャルに処理を行っていくため、一つの処理に時間がかかってしまうと、システム全体の応答性に影響する。このため、高速グリッドパルスの状態を共有メモリにキャッシュする事にした。高速グリッドパルスから値を取得し、共有メモリに書き出すチャンネルを作っておき、SCAN パラメータを使って一定期間毎に更新させる。高速グリッドパルスの状態を保持するチャンネルは、値を取得せよというコマンドが発行されると、キャッシュにアクセスし値を返却する。この処理は共有メモリへのアクセスだけなので、瞬時に終了する。よってキャッシュ更新用のチャンネルを非同期で実装すれば、高速グリッドパルスの処理速度不足によるシステム全体の応答性への影響を小さくする事が出来る。

## 6. まとめと今後の課題

現行の電子銃システムには、グリッドパルス電圧等が遠隔操作できないという問題があったが、高圧ステーションの更新に伴い、制御システムを更新した。制御フレームワークに LEBRA としては初めて EPICS を採用し、必要な Device Support を実装した。これにより、各制御対象の詳細が CA によってネットワークから制御および監視できるようになった。また、高速グリッドパルスの状態の取得に時間がかかるという問題は、キャッシュ機構を導入する事により解決した。

現在高圧ステーションの更新作業中であり、制御システムの動作試験を行う。またグリッドパルス電圧が遠隔制御できるようになったので、エミッション電流のフィードバックを試みる予定である。

## 参考文献

- [1] T.Tanaka, et al., "日本大学電子線利用研究施設における加速器及び光源の現状" Proceedings of the this conference FSRP17.
- [2] N.Sato "電子銃制御システムの開発" 日本大学大学院理工学研究科量子理工学専攻 2008 年度修士論文
- [3] EPICS Home <http://www.aps.anl.gov/epics>.
- [4] Qt Home <http://qt.nokia.com>