

EPICS と CSS を用いた偏極イオン源制御システムの開発

DEVELOPMENT OF THE POLARIZED ION SOURCE CONTROL SYSTEM USING EPICS AND CSS

大和良広

Yoshihiro Yamato

University of Tsukuba Research Facility Center for Science and Technology

Abstract

The Polarized Ion Source (PIS) at the University of Tsukuba was seriously damaged by the Great East Japan Earthquake. On this occasion, the control system of the PIS was improved by adapting the EPICS and the real-time OS controller with the F3RP61 CPU made by Yokogawa Electric Corporation. The control system has rich functionality and good stability although it was built at low cost. This paper describes the constructional characteristics and operational experience of the new control system.

1. はじめに

2011年3月11日の東日本大震災で筑波大学の12MV 静電加速器は全損した。建物9階に設置された偏極イオン源(PIS)も壊滅的な被害を受けた。加速器は縦型12MVから横型6MVに更新され、PISも筑波大学オリジナルの国内で唯一のラムシフト型偏極イオン源であること、ユーザーからの継続使用要望があることなどにより移設・復旧が行われた。[1-4]

PISは震災当日まで NEC PC-9801 シリーズで計測制御しており継続使用するなら更新が必要であった。PIS本体の復旧作業に大変な時間とマンパワーが必要なため制御系はなるべく手間がかからず安定したものを探していた所、第11回日本加速器学会年会の「SuperKEKB制御のための EPICS ON F3RP61」[5]を拝見しこのシステムの使用を検討し、導入に至った。Control System Studio (CSS)の公開時期も重なったためシステム全体の開発時間を短くすることが出来た。

急激な変動を起こす PIS 前段部の操作時には、アナログメータ Graphical User Interface (GUI) を用いた Windows タブレット用の Operator Interface (OPI) を作成した。偏極イオン源棟現場と制御室、居室等での操作には PIS 全体図の各コンポーネント直近にコントロールとリードバックを配置して操作者への難しさを極力排除した OPI とした。速い操作が必要な部分もリアルタイム対応のカーネルのおかげか全く問題なく使用できた。CSS データブラウザは状態の確認に大変役立っている。

2. 偏極イオン源(PIS)の震災復旧

PISの復旧にはほぼ6年を要した。置き場所を検討し、新たに建屋を設計・建築した。その間、震災で破壊された物品の取り外し、廃棄。再利用可能な物品の修理、清掃を行い新棟への引っ越し準備と新規に必要な物品の準備を進めた。真空系、機械系、電気系、電源系、制御系等を全て同時に進行するのは大変な作業量であった。

自分たちで出来る作業はなるべく外注せず、これらの努力により使用予算を大幅に減らすことが出来た。

Figure 1 に完成した PIS の写真を示す。

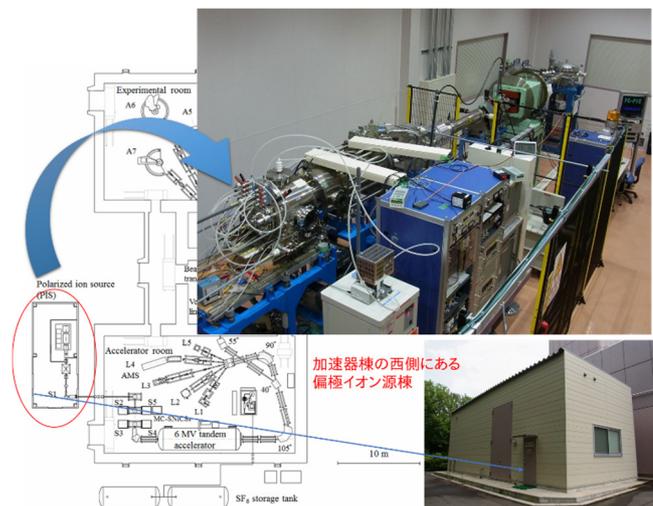


Figure 1: Polarized Ion Source after the reconstruction.

3. 偏極イオン源制御システムの開発

3.1 開発環境の整備

当初、練習のため Windows7-64bit+VirtualBox の PC に CentOS6 を入れて Experimental Physics and Industrial Control System (EPICS) 開発環境を整えた。横河電機(株) RTOS コントローラ(e-RT3) F3RP61 用の EPICS デバイスドライバ・サポートのインストールには、「Device and Driver Support for Yokogawa's F3RP61」[6]を参考にさせて頂いた。Figure 2 にテスト時の写真を示す。

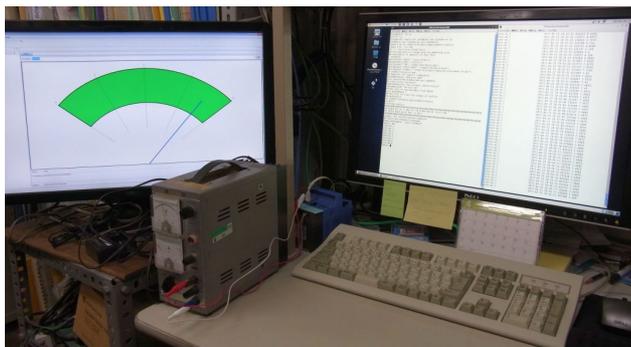


Figure 2: Studying development by EPICS.

テスト動作完了後、本番開発運用用に Scientific Linux 6 (SL6) の 32bit 版を SYSTEM WORKS の Linux 動作保証付きのデスクトップ PC (POWER MASTER A8714) にインストールして使用している。F3RP61 のシステム CompactFlash (CF) の作成もこの PC で行っている。インターネットから見ると数段のファイアウォールの内側で運用しているがセキュリティー対策のためシステム (主にカーネル) や JRE などのアップデートは確実にしている。一般的には制御システムの安定動作のため OS 等のアップデートは慎重にする所であるがこれまでの所、アップデートによる障害は JRE を 1.8.0_131 以上にした時 `css.ini` 内で `-Xss2m` 等とスタックのサイズを 2MB 以上設定しないと CSS が起動しないと言う現象だけであった。

3.2 使用ハードウェア

Figure 3 に筑波大学 PIS で使用している制御系ハードウェアの写真を示す。

使用したハードウェアは、CPU に F3RP61 を 1 個、16bit 8/4ch のアナログ入出力モジュール 8 個、デジタル入力モジュール 1 個、RS-232C 入力のためのラダー通信モジュール 3 個などで操作側のグラウンド電位、イオン源の乗っている 75kV 電位、アノードの 75kV+1kV-100V 電位の 3 箇所ベースモジュールを光 FA バス 2 モジュール 3 個で光ファイバを介して結んでいる。



Figure 3: PIS power supply and control system hardware.

高電圧の電氣的絶縁が必要なため、横河電機(株)から標準品として購入した光 FA バス 2 モジュール用の光ファイバケーブル(KM65-*)を使用した。ところが、プラスチックモールドされた導電性のワイヤーケーブルがテンションメンバ(敷設補強線)として付いていたのになかなか気づけずグラウンド電位の操作側ラック背部で「パチン、パチン」と放電音を立てていた原因究明に時間がかかった。KM65-* が原因(Figure 4)とわかったので、住友電工の HPCF コネクタ付き 2 芯光ケーブルと交換した。



Figure 4: Discharged with this optical fiber cable

3.3 EPICS による Input / Output Controller (IOC) プログラム開発

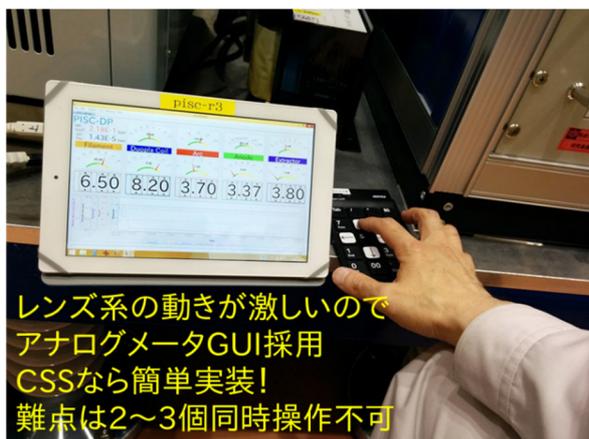
ランタイム・データベースファイルは、電位の違う 3 箇所のベースモジュール毎の 3 ファイルとシリアル通信専用の 1 ファイルの計 4 ファイルに分けた。電源装置のコントロールのための analog output (ao)、電圧・電流の読み出しのための analog input (ai) の record が大多数で基本 DC 0~10V であり、いくつかのバイポーラ電源のみ -10~+10V で計測・制御している。

ao, ai に関しては試行錯誤の末、スキャンフィールド 0.1 秒毎の受動プロセスとした。

コールドカソードピラニーゲージやクリスタルイオンゲージなどの真空計と熱電対のデジタル指示調節計の RS-232C 出力はラダー通信モジュール F3RZ82 で受け、stringio とデータブラウザで使用するための浮動小数点レコードとして ai に 1 秒毎 SCAN とした。

3.4 CSS による OPI 開発

PIS の最初の立ち上げに必要な操作(デュオプラズマトロンでアークプラズマを立てて、フィラメント、コイル、アノード電極、引き出し電極のパラメータを現場で H₂ ガス圧調整をしながら高速に操作)をするために安価な Windows8.1 タブレット(ATOM)を購入し(Figure 5)、それ用の OPI (PISC_DP.opi) を作成した。立ち上げ時はレンズ系の放電等でパラメータの動きが激しいのでアナログメータ GUI 採用した。また、短時間の状況を把握しやすくするため、データブラウザの横軸スケールを 10 分としている(Figure 6)。なお、タブレットの通信は部門内専用 WiFi で IOC とつながっている。IEEE802.11g の 54Mbps という比較的遅い通信規格のままであるが通信速度による遅延で問題になったことはない。



レンズ系の動きが激しいので
アナログメータGUI採用
CSSなら簡単実装!
難点は2~3個同時操作不可

Figure 5: Tablet for on-site operation.

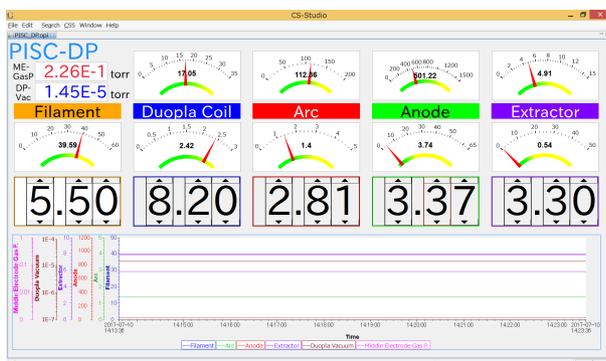


Figure 6: Snapshot of PISC_DP.opi.



アナログメータを見ながら
上下キーで調整

Figure 7: Operation during beam adjustment.

Figure 7 は、偏極イオン源棟内でのビーム調整中の操作部写真である。

主に使用する制御画面として、偏極イオン源棟現場と制御室、居室等での操作用には PISC 全体図の各コンポーネント直近にコントロール(SET)用 Thumb Wheel とリードバック用 Text Update を配置してわかり易くした OPI (PISC_07.opi) を開発した。Figure 8 に p 偏極ビーム実験準備時のスナップショットを示す。

イオンビーム電流を計測するピコアンメータ (Keithley 6485) のアナログ出力から Figure 7 水色下矢印のアナログメータにつなぎそれを見ながら PISC コンポーネントを選択して上下キーでビーム調整する。CSS の Thumb Wheel Widget で実現しているが、桁数の増減も簡単でビームへの影響を見ながら変えられるので重宝している。分解能切り替えも左右キーの桁カーソル移動で簡単に操作できる。

開発にあたって web ページ Epics Users JP [7] が大変参考になった。

なお、Figure 8 の画面は 1 時間に 1 回スナップショットを撮ってサーバに ftp put するスクリプトを cron で走らせている。適宜 web で閲覧可能である。

4. まとめ

F3RP61, EPICS, CSS の三者セットで「なるべく安価」「ネットワークで好きな場所から監視・操作」「開発・修正が楽」などの希望が叶った。開発が大変なネットワーク通信部やエラー処理、GUI の作成は EPICS と CSS のおかげで省力化出来た上、実運用でも安定動作している。用途に応じた変更も簡単にできこの選択は正解であった。

現在の問題点は、2 つ以上の電源等を同時に動かす手段が PC を 2 台以上並べるくらいしか無く、多数の制御点を素早く同時に動かすのが難しい事である。今後、静電加速器制御系では一般的なアサインブルホイール(ロータリーエンコーダ)を使用した Man-Machine Interface (MMI) を EPICS+CSS-OPI で使用できるように準備を進めたい。

5. 謝辞

EPICS 開発環境構築に当たり、KEK 小田切淳一氏には大変お世話になりました。筑波大学までご足労頂いたこともあり感謝に堪えません。

東日技研 芳藤直樹氏には RS232C 通信 F3RZ82 ドライバサポートでお世話になりました。

KEK 帯名崇氏、中西功太氏、照井真司氏、山田秀衛氏、Cosylab 中本崇志氏、東日技研 路川徹也氏はじめ epics-users メーリングリストのみなさまには EPICS,CSS について多数の支援を頂きありがとうございました。この場をお借りしてお礼申し上げます

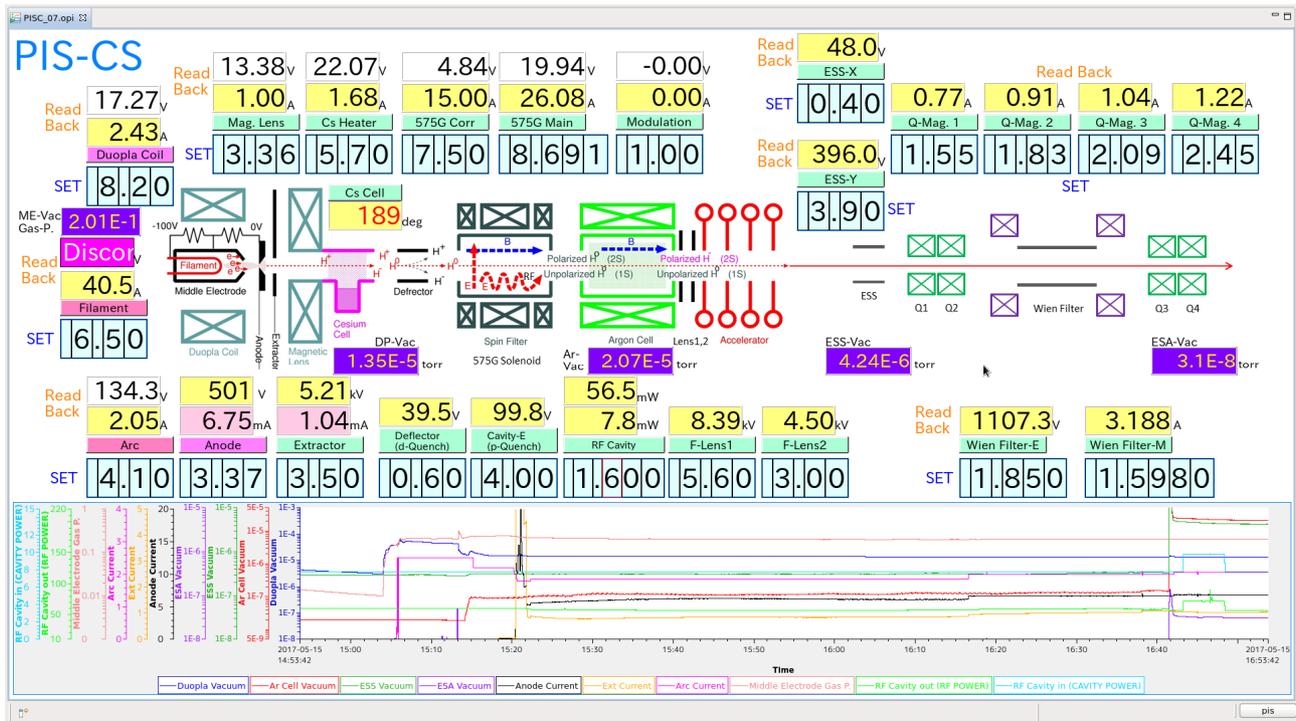


Figure 8: The developed control screen (PISC_07.opi).

参考文献

- [1] K. Sasa *et al.*, “INSTALLATION STATUS OF THE 6 MV TANDEM ACCELERATOR SYSTEM AT THE UNIVERSITY OF TSUKUBA, TANDEM ACCELERATOR COMPLEX”, Proceedings of PASJ’14, Aomori, Japan, 9-11 Aug, 2014.;
http://www.pasj.jp/web_publish/pasj2014/proceedings/PDF/FSP0/FSP007.pdf
- [2] Y. Yamato *et al.*, “偏極イオン源の移設（震災復旧1）”, 第 27 回タンデム加速器及びその周辺技術の研究会報告集, Kyoto, Japan, 4-5 Jul, 2014.
- [3] Y. Yamato *et al.*, “偏極イオン源の移設（震災復旧2）”, 第 28 回タンデム加速器及びその周辺技術の研究会報告集, Sendai, Japan, 3-4 Jul, 2015.
- [4] Y. Yamato *et al.*, “偏極イオン源の現状（震災復旧3）”, 第 30 回タンデム加速器及びその周辺技術の研究会報告集, Toki, Japan, 6-7 Jul, 2017.
- [5] J. Odagiri *et al.*, “EPICS ON F3RP61 FOR SUPERKEKB ACCELERATOR CONTROL”, Proceedings of PASJ’14, Aomori, Japan, 9-11 Aug, 2014;
http://www.pasj.jp/web_publish/pasj2014/proceedings/PDF/SAP1/SAP100.pdf
- [6] Device and Driver Support for F3RP61;
<http://www-linac.kek.jp/cont/epics/f3rp61/>
- [7] Epics Users JP;
<http://cerldev.kek.jp/trac/EpicsUsersJP>