

RIBF 制御系への統合のための HYPER ECR イオン源制御システムアップグレード

UPGRADE OF HYPER ECR ION SOURCE CONTROL SYSTEM FOR CONTROL SYSTEM INTEGRATION AT RIBF

西村誠^{#, A)}, 内山暁仁^{B)}, 大城幸光^{C)}

Makoto Nishimura^{#, A)}, Akito Uchiyama^{B)}, Yukimitsu Ohshiro^{C)}

A) SHI Accelerator Service, Ltd.

B) RIKEN Nishina Center

C) CNS, University of Tokyo

Abstract

In RIKEN RIBF, Hyper Electron Cyclotron Resonance Ion Source (Hyper ECRIS) of CNS is used to produce a variety of metal ion beams for injection into the AVF cyclotron. The control system is constructed by stand-alone system with a closed network, and it consists of Xicom TWTA with serial communication and MELSEC-A series PLC as controllers. Hyper ECRIS is controlled by using a Windows-based client PC implemented in the ion source room. Therefore, the client PC in the ion source room is accessed by the accelerator operator from RIBF control room by Remote Desktop Protocol, when beam tuning of Hyper ECRIS is required. On the other hand, an unintegrated control system between Hyper ECRIS and the RIBF accelerator causes inefficient cross-operation. However, this control system cannot be replaced by the control method to EPICS by only convenience of RIBF accelerator side, because Hyper ECRIS is managed by CNS. For this reason, without renewing a controller, the upgrade system using EPICS was designed while leaving conventional method. Additionally, the useful operator interface was constructed by utilizing CSS/BOY for the accelerator operator.

1. はじめに

理研仁科センターRIBFにおけるAVF入射用イオン源の一つとしてHyper ECRイオン源は稼働している。2001年当時運用されていた10 GHz ECRイオン源より、大強度の多価イオンビームをCRIB (CNS Radio-Isotope Beam Separator)[1]へ供給する目的で、東大CNS田無からRIBF施設へHyper ECRイオン源は移設された[2]。

Hyper ECRイオン源の主制御系のコントローラは、MELSEC-AシリーズのPLC (Programmable Logic Controller) とGT SoftGOT2を用いて構築されたクライアントから成る[3]。RF源は、Xicom TWTA (Traveling Wave Tube Amplifier) XTRD-750であり、制御するために、現場に設置されたPC (Microsoft Windows 7 Professional)とTWTAをRS-232Cで直接接続し、メーカー標準の制御ソフトをクライアントとして使用していた。そしてこれらのネットワークは、加速器制御系ネットワークとは完全に独立していた。

これらを運用していく上で以下の問題が明らかになった。1つは、イオン源主制御とTWTAがRIBF制御室と離れた現場イオン源室に設置されたWindowsマシンでしか制御できないため、加速器調整時にHyper ECRイオン源のRFパラメータを変更する場合、Microsoft Windows リモートデスクトップを用いて、現場Windowsマシンにアクセスしなければならなかった。2つ目に、RIBF加速器制御システムは主にEPICS (Experimental Physics and Industrial Control System) を用いて構築されており[4]、それとは独立していたHyper ECRイオン源

制御システムとRIBFの加速器データを同時系列で解析することが困難であった。

これらの問題は、RIBFで採用しているEPICSをフレームワークとして、Hyper ECRイオン源制御システムに適応させれば解決する。しかし、Hyper ECRイオン源は東大CNSが運用しているため、理研側の都合で制御コントローラを置き換えたり、ネットワーク構成を変更したりする事はできない。

そこで、既存の制御方式を残したまま、Hyper ECRイオン源の全ての制御を加速器制御システムに統合することで、既存制御とEPICS制御を両立させる手法を検討し、開発を行った。

2. 制御システム統合手法

2.1 ネットワーク間コミュニケーション

システムの詳細をFigure 1に示す。Hyper ECRイオン源の主制御系ネットワークは、RIBF制御系とは独立している。よって、既存システムに変更を加えずに、RIBF制御系のクライアント端末からもイオン源制御系ネットワーク内のコントローラ (MELSEC-Aシリーズ) にアクセスするため、EPICS Input/Output Controller (IOC) を、両ネットワーク間のゲートウェイとして実装した。以上により、イオン源ネットワーク内は、RIBF制御系から見た時、一種のバスインターフェース層となった。

一方、Xicom XTRD-750は、既存システムにおいて、RS-232C接続で直接現場PCとシリアル接続で制御されていた。Xicom XTRD-750は、RS-232CだけでなくRS-485通信が割り込みで同時に使用できるため、RS-485をEPICS専用の通信と位置づけ、イーサシリアルコンバータの実装を行った。このように、シリアル信号を

イーサネットフレームに変換したことで、EPICS 経由の伝送路を TCP/IP に統一することが可能になった。

(A シリーズは1E フレーム、Q シリーズは 4E フレーム)、KEK から提供されている NetDev[7]を用いて新たに

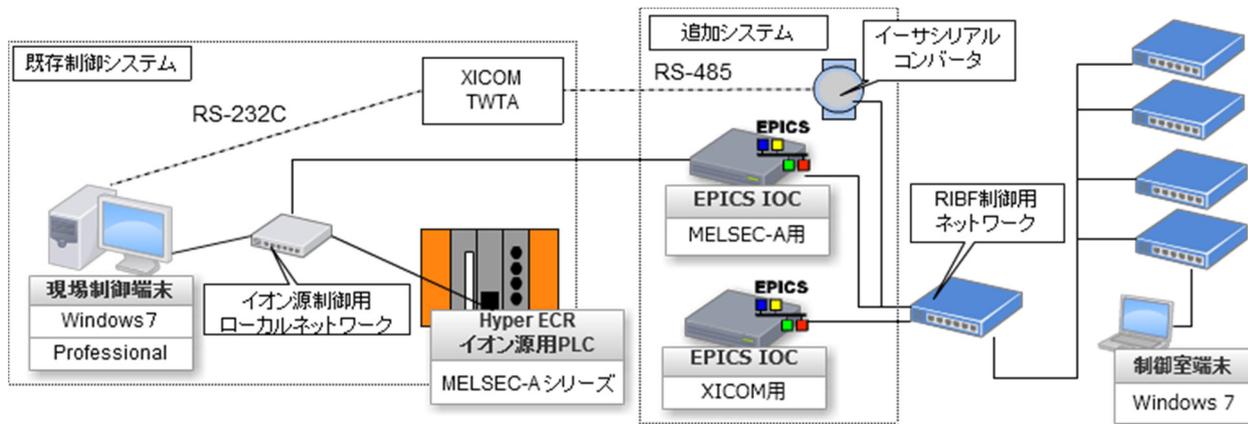


Figure 1: System diagram of upgrading system using EPICS and previous system.

2.2 EPICS Input/Output Controller

EPICS IOC は、RIBF 制御系での運用実績を考慮した。2007 年頃より RIBF 制御系では、PC Engines WRAP を、EPICS IOC が走るシングルボードコンピュータとして採用していた[5]が、現在はその後継機種である PC Engines ALIX 3d2 を採用している[6]。ALIX 3d2 はイーサネットポートを1つ備えているタイプであるが、Hyper ECR イオン源制御において、EPICS IOC はゲートウェイの役目を担うために、イーサネットポートを複数使用しなくてはならない。よって、イーサネットポートを2つ備えている ALIX 2d2 (Figure 2 参照) を採用し、EPICS R3.14.12 との組み合わせで運用する事とした。



Figure 2: Photograph of ALIX single board computer. This is utilized for EPICS IOC with a gateway between Hyper ECR ion source control network and RIBF control network.

2.3 デバイスサポート開発

本システムで開発しなければならない EPICS デバイスサポートは、MELSEC-A シリーズと Xicom XTRD-750 である。MELSEC-A シリーズは、RIBF 制御系でも実績が多い MELSEC-Q シリーズとプロトコルが異なるため

EPICS デバイスサポートを開発した。開発されたデバイスサポートでは、バイナリコードでの 1E フレームの利用をサポートする。

一方、Xicom XTRD-750 において、そのプロトコルは例えば”<ACK>A?PQLV<EXT><checksum>”の様に表される ASCII 形式のクエリを TCP/IP で送信し、レスポンスを受信する形になっている。よって StreamDevice[8]を用いて EPICS デバイスサポートを開発した。ASCII 形式でのデバイスサポート開発で広く用いられており、かつ Xicom XTRD-750 は XOR (排他論理和) のチェックサムが必要になるが、それがサポートされている事が StreamDevice を採用した理由である。チェックサムは StreamDevice のプロトコルファイルでは”<xor>”という形で表現される。

3. クライアントシステム

3.1 オペレータインターフェース

Hyper ECR イオン源用オペレータインターフェースを KEK 版 Control System Studio (CSS ver. 3.2.16) の BOY[9,10] を用いて構築した。CSS は EPICS 環境におけるユーザインターフェースを開発するための Eclipse ベースのフレームワークである。本システムは、Microsoft Windows7 Professional で運用を行った。RIBF 制御系では、MEDM/EDM を用いてオペレータインターフェースを構築してきた[11,12]が、CSS は GUI コンポーネントの種類やプロパティが豊富かつ、今までオペレータインターフェースとは独立に運用していたクライアントシステム(例えばアラームシステム)も統合的に管理する事が可能である。また Eclipse ベースのため、プログラミング開発環境に慣れたユーザにとって開発の閾値を下げる事が可能である。

従来独立してクライアントシステムが運用されていた MELSEC-A シリーズと Xicom XTRD-750 において EPICS を用いた制御が可能になったことから、統一的手法でクライアントシステムも構築する事が可能になった。構築された Hyper ECR イオン源用オペレータインターフェースを Figure 3 に示す。この GUI 上では、ビーム電流、引き出し電流、真空度やプラズマ分光信号電圧をト

レンドグラフでモニタしながら、Hyper ECR イオン源のミラーコイル、TWTA、ガス圧、ロッド位置、分析電磁石、引き出し電圧等を調整する事が可能である。

また、CSS/BOY には手軽にストリップチャートを作成可能にさせる機能 (Data Browser) があるので、これを用いて真空度やビーム強度等の監視も行っている。

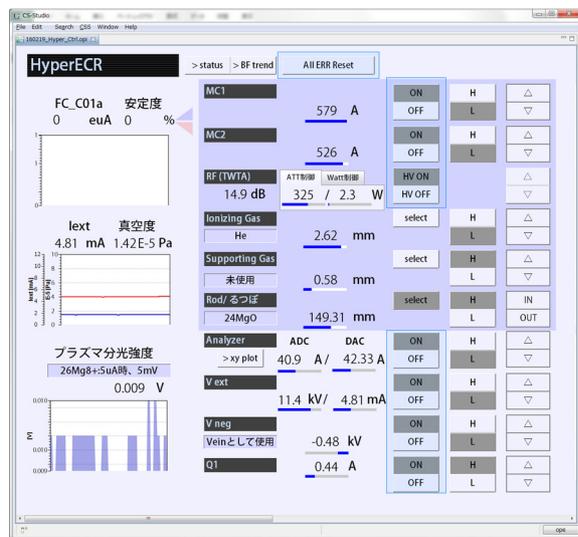


Figure 3: Screenshot of the operator interface utilizing CSS/BOY for Hyper ECRIS control.

3.2 イオンスペクトル解析とイオン源調整

本システムは、イオンスペクトル解析においても有用である。イオン価数分布測定では、分析磁石の磁場強度を変化させ、イオンスペクトルを取得する。従来、イオンスペクトルはペンレコーダによって分析電磁石の磁場とビーム電流値を方眼紙に描き出していた (XY プロット)。今回、EPICS に統合されたことよって CSS/BOY でも XY プロットを実装した。取得したスペクトルのデータを CSV ファイルに一旦保存し、スペクトル解析システム (イオンの判別、イオンの分布傾向や焼き出し状況の確認のために Microsoft Excel で開発したシステム) に読み込ませると、イオンスペクトルがグラフに表示され、 α , $^{16}\text{O}^{4+}$ ピーク位置を基にすべてのイオンピーク位置を自動計算する準備が完了する。目的のイオンの質量、価数をパラメータとして入力すると、瞬時にイオン種のピークが現れるはずの位置 (分析磁石の磁場に対応する電流値) に矢印が表示される。実際運用されているシステムのスクリーンショットを Figure 4 に示す。

システムの具体的な使用例は以下の通りである。Hyper ECR イオン源は比較的判別の難しいイオンを生成することが多い。例えば $^{18}\text{O}^{6+}$ と $^{12}\text{C}^{4+}$ は M/q が近い値のためスペクトル上で分離し辛い。よって、 ^{12}C の各イオンピークが下がっていくことで焼き出しの進み具合を確認しつつ、 ^{18}O が多くなるようイオン源調整していく。同様

の理由で、 $^{56}\text{Fe}^{15+}$ は $^{63}\text{Cu}^{17+}$ とスペクトル上で分離し辛い。そのため、 $^{56}\text{Fe}^{15+}$ ビームを AVF に渡したはずが、AVF でビームが回らないため、イオン源を再調整することが度々起きていた。しかし、本システムで ^{63}Cu の価数分布がスペクトルに現れていることを突き止め、焼き出し時に ^{56}Fe と ^{63}Cu の価数分布全体を確認しながらイオン源調整をする手法が確立されたことで加速イオンの取り違えがなくなった。ちなみに ^{63}Cu はプラズマチェンバーの材質である。このように、高精度にスペクトル解析できるようになったことで、Hyper ECR イオン源から供給されるビームの信頼性が向上した。

3.3 RIBF 制御系との連携

通常のオペレーションでは、最初に目的イオン種のビーム強度が最大になる様にイオン源下流のファラデーカップでイオン源調整を行い、その後加速器側の調整を行う。最終的には加速器からビーム取り出し後に全体調整 (イオン源を含めた RF、磁場等全てのパラメータ) を行う。従来の手法では、この全体調整時に、リモートデスクトップで Hyper ECR イオン源のオペレーションをせざるを得ず、不便な点が多かった。しかし、本システム構築で RIBF 制御系と統合された事により、クライアントシステム間の横断がなくなり、オペレーションの操作性が向上した。また、今まで行っていなかった Hyper ECR イオン源と加速器のデータを同時系列で比較する事ができるようになり、加速器から取り出した後のビーム電流に Hyper ECR イオン源が与える影響を迅速に判断する事が可能になった。

4. まとめと今後の課題

Hyper ECR イオン源制御の更新を行った。従来の制御手法を残したまま、EPICS においても制御可能にさせるため、Xicom TWTA XTRD-750 と MELSEC-A シリーズ用の EPICS デバイスサポートを開発し、運用を開始した。Hyper ECR イオン源制御が EPICS に対応した事により CSS/BOY を用いてオペレータインターフェースを構築可能になり、その有用性も確認した。また、RIBF 制御系とシステム統合された結果、加速器からビーム取出し後の全体調整時におけるクライアントシステムの操作性が向上した。さらにイオンスペクトル解析のためのアプリケーションを開発したことにより Hyper ECR イオン源から供給されるビームの信頼性が向上した。引き続きビーム調整効率向上を実現するクライアントシステムの開発を行っていく予定である。

一方、MELSEC-A シリーズは 2006 年 9 月に既に生産を中止しており[13]、また当然現在主流の MELSEC-Q シリーズに比べ CPU 性能が劣る。よって、今後の課題としてレスポンスの改善や老朽化対策が必要になるのであれば PLC の置き換えを検討せざるを得ないと考えている。



Figure 4: Screenshot of the Excel-based system for analyzing ion spectrum data. In this case, Hyper ECRIS produce the $^{26}\text{Mg}^{8+}$ beam and this graph shows ^{26}Mg and ^{24}Mg distribution.

参考文献

- [1] T. Teranishi *et al.*, CNS Ann. Rep. 2001 (2002) 7.
- [2] Y. Ohshiro *et al.*, RIKEN Accel. Prog. Rep. 36 (2003) 279.
- [3] Y. Ohshiro *et al.*, RIKEN Accel. Prog. Rep. 37 (2004) 271.
- [4] M. Komiyama *et al.*, Proc. HIAT2015, Yokohama, Japan, P.101- P.103.
- [5] A. Uchiyama *et al.*, Proc. ICALEPCS2007, Knoxville, U.S.A, P.334-P.336.
- [6] M. Komiyama *et al.*, Proc. ICALEPCS2011, Grenoble, France, P.90-P.92.
- [7] J. Odagiri *et al.*, Proc. ICALEPCS2003, Gyeongju, Korea, P.494-P.207.
- [8] D. Zimoch, "StreamDevice2";
<http://epics.web.psi.ch/software/streamdevice>.
- [9] Kay-Uwe Kasemir *et al.*, Proc. ICALEPCS2011 Grenoble France, P.1178-P.1181.
- [10] <http://www-linac.kek.jp/cont/epics/css/>
- [11] M. Komiyama *et al.*, Proc. The 4th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Wako, Japan, P.416-P.418.
- [12] A. Uchiyama *et al.*, Proc. ECRIS2012, Sydney, Australia, P.61-P.63.
- [13] <http://www.mitsubishielectric.co.jp/fa/>