

RIBF におけるシステム統合のためのガスストリッパー制御の更新 UPDATE OF GAS STRIPPER CONTROL SYSTEM FOR SYSTEM INTEGRATION AT RIBF

小山亮 *^{A), B)}、内山暁仁 ^{A)}、今尾浩士 ^{A)}、渡邊環 ^{A)}

Ryo Koyama *^{A), B)}, Akito Uchiyama^{A)}, Hiroshi Imao^{A)}, Tamaki Watanabe^{A)}

^{A)}RIKEN Nishina Center for Accelerator-Based Science

^{B)}SHI Accelerator Service Ltd.

Abstract

Most parts of the RIBF components are controlled by using EPICS, but NI LabVIEW is also widely used owing to its benefit that enables us to introduce a hardware interface in a short term at low cost. We have successfully upgraded the LabVIEW-based control system of the He gas stripper at RIBF, by introducing CA Lab: the interface between LabVIEW and EPICS. The upgraded system works as EPICS IOC, so we can operate a client control protocol integratively.

1. はじめに

1.1 RIBF 加速器の構成

理化学研究所仁科加速器科学研究センターの Radioactive Isotope Beam Factory (RIBF) [1] は、水素からウランまでの重イオンビームを加速し、世界最大強度の RI ビームを発生させ、新たな原子核モデルの構築・元素の起源の解明といった根源的な問いに答える研究に加え、新しい RI 技術による新産業の創出への貢献を目的とする加速器施設である。

Figure 1 に示す通り加速器は 3 台の入射器 (AVF、RILAC、RILAC2) と 4 台のリングサイクロtron (RRC、fRC、IRC、SRC) で構成される [2]。更に現在、超重元素合成実験に必要な低速度領域において大強度ビームを高加速勾配で加速するために、RILAC の後段に $\lambda/4$ 型超伝導線形加速器 (SRILAC) [3] が建設中である。重イオンはこれらを適宜組み合わせると多段加速される途中で、固体膜、あるいは気体を用いたガスストリッパーにより荷電変換される。これにより核子当たりのエネルギーが 345 MeV/u (質量/電荷比 ≈ 2 の場合は 400 MeV/u) まで加速することができる。

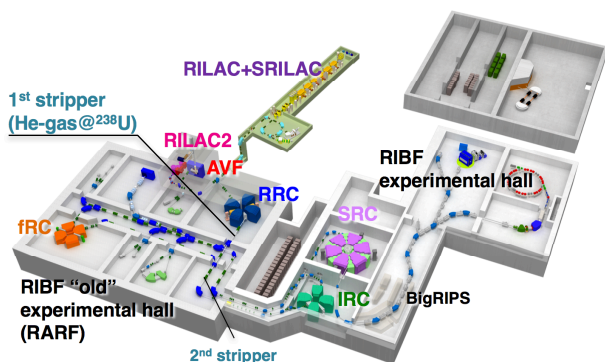


Figure 1: Schematic layout of RIBF at RIKEN Nishina Center for Accelerator-Based Science.

1.2 RIBF 制御系概要

電磁石電源・ビーム診断装置・真空制御機器を含む RIBF 構成装置のほとんどが Experimental Physics and Industrial Control System (EPICS) [4] を用いた分散制御システム [5] で構築されている。EPICS では、制御対象となるデバイスとオペレータインターフェースとなる端末を結ぶフロントエンド計算機を Input/Output Controller (IOC) と呼び、IOC 上で EPICS のベースプログラム及び各種コントローラ制御用に作成されたドライバプログラムが実行される。これらプログラムは IOC に定義された Process Variable (PV) と呼ばれるデータ群を Channel Access (CA) プロトコルに従って読み書きすることで目的の装置を制御している。

この一方で、いくつかのセクションにおいては制御デバイスと PC から成る二層制御システムも混在し、EPICS ベースなシステムとは独立に運用されている。これは RIBF の前身である RARF の旧システムが一部踏襲されていることも理由の一つとして挙げられるが、大きな理由はマンパワーや開発時間に制限があるためである。なぜなら EPICS では netDev [6] や stream device [7] といった、ハードウェアへのインターフェース部分であるデバイスサポート開発のしきい値を下げるツールが提供されているが、使用したいハードウェアのデバイスサポートが提供されていない場合は開発する必要があり、それなりのコストがかかるからである。

二層制御システムのうち、RIBF においてはナショナルインスツルメンツ (NI) 社の LabVIEW [8] が広く使用されている。LabVIEW ではハードウェアへのインターフェース部分は提供されているケースが多く、すでにあるものを利用するだけで低コストに導入できるという利点がある。また、データ読み出しに関しては EPICS と統一的に扱う手法を開発・運用しており、異なるシステムで取得したデータ同士も統一的な参照が可能となっている [9]。しかし、オペレータインターフェース、アーカイバといった加速器運転に必須なシステムを統合するためには、制御プロトコルはやはり統合されているべきであり、RIBF においては EPICS ベースなシステムとの統合のしきい値を下げる事が大きな課題であった。これを解決すべく今回導入したのが CA Lab [10] であり、2 項で詳しく述べる。

* rkoyama@riken.jp

1.3 ガスストリッパー

RIBFにおけるウランやキセノンといった非常に重いイオンの加速においてはRRCの後段とfRCの後段の2箇所まで荷電変換が行われ、2012年までは炭素膜を荷電ストリッパーとして用いて来た。しかしウランの様な非常に重いイオンは電子束縛エネルギーが大きいため、軽いイオンに比べて必然的に膜厚が厚くなり、ビームエネルギー損失は増加し、ビーム品質の劣化および膜自身のダメージは避けられず、ビーム大強度化における課題となっていた。これを打開すべく開発されたのがHeガスストリッパー [11] であり、RRC後段にインストールされ、その制御システムにLabVIEWを用いている。Figure 2にHeガスストリッパーを用いる代表的なウランの加速スキームを示す。

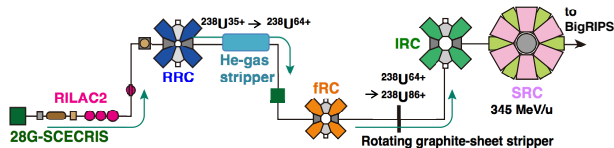


Figure 2: Schematic of 345 MeV/u ^{238}U acceleration.

尚、キセノン加速においてはfRC後段にインストールした空気ストリッパーも併用した実績と、Heガスの代わりに N_2 ガスをターゲットガスとして使用した実績があるが、本稿ではRRC後段のHeガスストリッパーについて述べる。

2. ガスストリッパー制御システムの更新

2.1 CA Labの導入

RIBFにおけるLabVIEWを用いた制御システムの一つがHeガスストリッパーの制御システムである [12]。このシステムはNI社から提供されているNI EPICS Client I/O Server [13]によってCAクライアントとしての機能は持たせていたが、二層制御システムであるため他のEPICSベースシステムと相互にアクセスすることが難しかった。また、NI EPICS Server I/O Serverを導入すればEPICS IOCの構築が可能ではあるものの以下の問題点があった：

- 1) PVを直接は扱えず、LabVIEWプロジェクトでPVを定義した上でネットワークシェア変数と1つ1つ紐付けして使用する必要がある点、
- 2) PVを直接扱えないが故に、端末毎にネットワークシェア変数との紐付けが必要な点、
- 3) プログラム上でポーリングすることでしかPVの変化を検出できない点、
- 4) VAL以外のフィールドを利用できない点。

これら問題点の解決と今後の拡張性を検討し、今回Heガスストリッパーの制御システムにおける中間層としてCA Lab SoftIOCを導入し、システムのアップグレードを行った。

CA Labとは、Helmholtz-Zentrum Berlin (HZB)で開発されたLabVIEWのVIライブラリであり、EPICS CAプロトコルに従ってLabVIEWとEPICSのインター

フェースとなる。CA Lab SoftIOCはネットワーク上にPVを提供し、このPVの変化をローカルなソケット通信としてCA Lab Event VIがイベントドリブンに検知しデバイスの制御を実現している。LabVIEWには様々な計測器ドライバが用意されているので、EPICSデバイスサポートに代わり、これらを流用することで低コスト短期間でのシステム開発を可能にさせている。一方、本家EPICSの手順ではランタイムデータベースとデバイスドライバを結ぶデバイスサポートを開発せねばならない場合が多く、システム開発にコストと時間がかかる傾向にある、と考えている。これらの関係をFig. 3に示す。

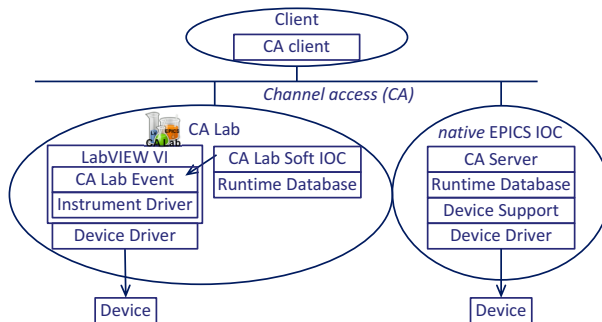


Figure 3: System configuration diagram for CA Lab SoftIOC and for native EPICS IOC.

2.2 Heガスストリッパー制御系のアップグレード

アップグレードしたHeガスストリッパー制御システムにおいて使用しているCA Lab SoftIOC (EPICS IOC)をFig. 4に、同制御システムのブロックダイアグラムをFig. 5に示す。

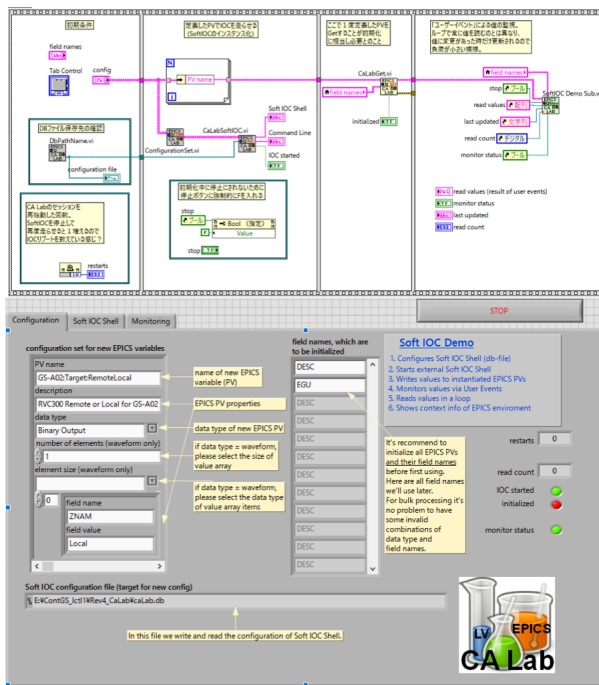


Figure 4: LabVIEW Block diagram (upper) and front panel (lower) of CA Lab SoftIOC (EPICS IOC).

き換えた。特徴としては、ディスクへの書き込みを保護することで、シャットダウンコマンドを無視して電源を落とす事が可能な点が挙げられる。また、昨今の PC としては珍しくシリアルポートが 2 ポート搭載されていることも大きなメリットであった (He ガスストリッパ制御に必要十分数)。それまで使用していた汎用的なマシン (Table 1 内の Backup) にはシリアルポートがなかったため、開発当初は USB/シリアル変換アダプタを使用していたが、概ね 1 ヶ月に数回は通信異常が発生していた。その後、Ethernet/シリアルインターフェース (NI Enet-232/4) に更新したがこれも 1 ヶ月に 1 回程度の頻度で通信異常が発生していた。

アップグレード後の本システムは 2018 年 10 月 2 日に起動し、現在も SoftIOC を含む制御システムとしては連続的に稼働中であり、連続約 10 ヶ月間一度もトラブルは起きていない。この期間のうち 345 MeV/u-²³⁸U 加速に 52 日間、345 MeV/u-¹²⁴Xe 加速に 28 日間、実際にガスストリッパにガスを流して連続運転した。He ガスストリッパ及びそれに続く N₂ ジェット導入は、ビーム強度増大に大きく貢献しており、345 MeV/u-²³⁸U は 72 pnA、345 MeV/u-¹²⁴Xe は 173 pnA を達成している。

3. まとめと今後の展開

ガスストリッパの制御システムにおける中間層として CA Lab SoftIOC を導入し、システムのアップグレードを行った。PCI バス、RS232、USB と数種類の異なる物理層へのアクセスに対しても、LabVIEW で提供されている計測ドライバをそのまま利用することで低コストにシステムを構築することができた。アップグレードされたシステムは、LabVIEW ベースにもかかわらず EPICS IOC として振る舞うため、クライアント制御プロトコルを統合的に扱うことができるようになった。2018 年 10 月に実運用を開始して以降、トラブルは 1 度も起きていない。RIBF においてはガスストリッパ以外にも LabVIEW ベースの制御システムが使用されており、

これらへ CA Lab SoftIOC を導入し更なるシステム統合を検討している。NI PXI システムを中核としたビームエネルギー測定・フィードバックシステム [17] への導入が第一候補である。

参考文献

- [1] Y. Yano, The RIKEN RI beam factory project: A status report, Nucl. Instrum. & Methods B261 (2007) p. 1009.
- [2] N. Tsukiori *et al.*, FSPH002, in these proceedings.
- [3] K. Yamada *et al.*, Proc. of PASJ2017, p. 17.
- [4] EPICS; <https://epics.anl.gov>
- [5] M. Komiyama *et al.*, Proc. of ICALEPCS2013, San Francisco, CA, USA, p. 348.
- [6] J. Odagiri *et al.*, Proc. ICALEPCS2003, Gyeongju, Korea, P494.
- [7] D. Zimoch, "StreamDevice2" ;
<http://epics.web.psi.ch/software/streamdevice>
- [8] LabVIEW;
<https://www.ni.com/ja-jp/shop/labview.html>
- [9] A. Uchiyama *et al.*, Proc. of PCaPAC2016, Campinas, Brazil, p. 35.
- [10] CA Lab;
https://www.helmholtz-berlin.de/zentrum/locations/it/software/exsteuer/calab/index_en.html
- [11] H. Imao *et al.*, Proc. of IPAC2018, Vancouver, BC, Canada, p. 41.
- [12] R. Koyama *et al.*, RIKEN Accel. Prog. Rep. 48, 2015, p. 192.
- [13] EPICS I/O Server;
<http://www.ni.com/product-documentation/14149/en/>
- [14] Classmation Devices (Interface Corp.);
[http://www.interface.co.jp/catalog/prdc.asp?name=EST-EM11A\(S7X\)GF00NS22](http://www.interface.co.jp/catalog/prdc.asp?name=EST-EM11A(S7X)GF00NS22)
- [15] M. Komiyama *et al.*, Proc. of PASJ2 & LAM30, p. 615.
- [16] A. Uchiyama *et al.*, Proc. of PASJ2017, p. 644.
- [17] T. Watanabe *et al.*, Proc. of PASJ2018, p. 49.