

理研 RILAC 電磁石電源制御の更新

UPGRADE OF ELECTROMAGNET POWER SUPPLY CONTROL AT RILAC

内山暁仁^{#, A)}, 込山美咲^{A)}, 熊谷桂子^{A)}, 池沢英二^{A)}, 大西純一^{A)}, 山内啓資^{B)}, 田村匡史^{B)},
Akito Uchiyama^{#, A)}, Misaki Komiyama^{A)}, Keiko Kumagai^{A)}, Eiji Ikezawa^{A)}, Junichi Ohnishi^{A)},
Hiromoto Yamauchi^{B)}, Masashi Tamura^{B)}

^{A)} RIKEN Nishina Center

^{B)} SHI Accelerator Service, Ltd.

Abstract

In the frequency-variable RIKEN heavy-ion linac (RILAC), about 140 electromagnet power supplies were controlled utilizing CAMAC, GPIB and VME-based devices. Among them, GPIB is a legacy communication, and its performance is inferior to current mainstream control protocols. Since EPICS IOC can only execute slow polling to GPIB-based device, it has been an obstacle to smooth accelerator operation. In order to solve the above problem, the GPIB-based device have been replaced with NIO module and programmable logic controller (PLCs), when upgrading of RILAC. In addition, the PLCs are also adopted for newly electromagnet power supplies control devices in low energy beam transport line. We will report on the update of electromagnet power supply control, the development method, and the operation concept in detail.

1. はじめに

2019年現在、理研 RIBF では原子番号 119 番以上の超重元素を探索する目的で線形加速器 RILAC のアップグレードが進行中である[1]。アップグレード計画の主な要点は次の 2 点である。1 つ目は RILAC 下流部に超伝導リニアック(SRILAC)を新たに実装し、エネルギーを増強させる。次にビーム強度を増強させるために RILAC で従来運用してきた 18GHz ECR イオン源に代わり、新たに 28GHz 超伝導 ECR イオン源を実装する事である。

RIBF 制御システムは主に、EPICS (Experimental Physics and Industrial Control System) を用いた分散制御システムで構築されている。今回のアップグレードによって RILAC ビームラインのレイアウトが変更され、それに伴い新規の電磁石電源が LEBT (Low energy beam transport) に導入されるが、効率よくオペレーションを行うためには、従来の RIBF 同様に EPICS で制御システムを構築し、上位アプリケーションにおけるプロトコルを Channel Access (CA) に統一すべきである。それら電源を制御するデバイスとしては、PLC (programmable logic controller) である横河電機 FA-M3 シリーズを用い、その際信頼性を上げると同時に開発コストを抑える手段を講じて、電源制御システムを構築すべきである。また従来使用していた電磁石電源も MEBT (Medium energy beam transport)、HEBT (High energy beam transport) でそのまま利用するが GPIB 通信を用いた制御方式は現在においては相対的にパフォーマンスが低くなっているため別の制御手法に置き換える事とし、開発を行った。上記電源の負荷となっている電磁石が置かれている LEBT, MEBT, HEBT の具体的な場所を Fig. 1 に示す。

2. 既存電源制御システム

RILAC では CAMAC、GPIB、VME ベースのモジュールを持つ電源約 140 台は EPICS によって制御システムが構築されていたが、一部ハードワイヤ制御の電源も残っており、混在している状態であった。2011 年に制御を EPICS に統一化するためにハードワイヤ制御は横河電機製 PLC を用いた EPICS ベースのシステムに置き換えられた。また CAMAC ベースの制御に関しても 2016 年に N-DIM と呼ばれる、理研仁科センターで独自に開発された TCP/IP ベースのネットワークデバイスによって、アップグレードされている。

VME ベースの電磁石電源制御は SPring-8 でも採用されている日立造船製 NIO (Network I/O) システムが利用されている[2,3]。NIO はマスタ(NIO-C)とスレーブ(NIO-S)から成り、VME シャーシに挿した NIO-C からブランチボードを経由して光ファイバで NIO-S と接続されている。VxWorks にインストールされた EPICS IOC (Input/Output Controller) は NIO-C の共有 RAM にアクセスすることで対象物を制御し、1台の NIO-C につき最大 43 台の NIO-S を接続することが可能である。

上記システムのうち GPIB 通信で制御されている電磁石電源制御は、Ethernet-GPIB コンバータを介して TCP/IP ネットワーク上で Linux ベースの EPICS IOC と接続していたが、転送速度が他のデバイスに比べ著しく遅く、かつ時々 EPICS IOC とのコネクションが切れるといった欠点があったため、電流値やステータスの情報取得スキューを 10 秒周期で運用していた等、オペレーションのボトルネックになっていた。また電石電源に故障が発生した時にビームを安全に停止させる仕組みであるマシンプロテクション用の信号出力も備えられていない。したがって、SRILAC の運用に向けて上記問題点の解決が必須になる。

[#] a-uchi@riken.jp

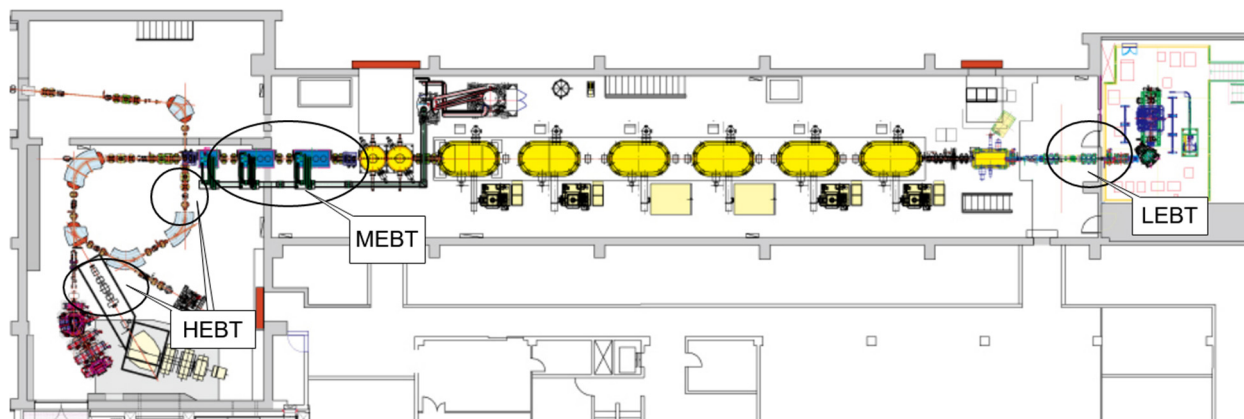


Figure 1: LEBT, MEBT and HEBT are shown the location of the electromagnets in layout of RILAC. The devices for these electromagnets are replaced with FA-M3 PLC series in this upgrade.

3. NIO システム

3.1 プロトコル

NIO は電磁石電源制御用に開発されたシステムであり、RIBF 加速器施設立ち上げ当初より運用され、現在までほぼ安定した制御ができています。NIO のプロトコルの概要は次の通りである。

- NIO-C は指定ノード番号の複数 NIO-S と接続状態を確認し、その時接続されている NIO-S を加入状態として認識する。
- NIO-C は加入状態の NIO-S と 0.1 秒間隔でポーリング通信を行い、取得したモニタ情報は共有 RAM に書き込まれる。
- DAC 制御や電源 ON といった、命令を送信する時は、NIO-C 上の共有 RAM にコマンドコード、送信データを書き込む、その後 NIO-C が指定した NIO-S ヘデータを送信し、NIO-S からのレスポンスが返る。

NIO システムの構成を Fig. 2 に示す。

3.2 NIO-C

NIO-C は 2002 年夏より VxWorks にインストールされた EPICS から VME モジュールとして利用されている [3]。しかし VME 版 NIO-C は生産終了になった部品が含まれることから、今後新規に制作する事が難しくなり 2016 年に FA-M3 版 NIO-C が開発された[4]。開発された NIO-C は FA-M3 スペシャルモジュールとして動作し、VME 版の NIO-C 同様に共有 RAM に命令を書き込む事で NIO-S がインストールされた電磁石電源の制御を行う。

4. LEBT 電磁石電源

LEBT の Q、ステアリング、ソレノイド電磁石向けに新規電源が導入された。そこで採用された電源は菊水電子工業 PAV シリーズと高砂製作所 HX シリーズである。RIBF において従来このような汎用電源の制御には、ハードウェアよりの制御シーケンスを PLC で開発し、ネッ

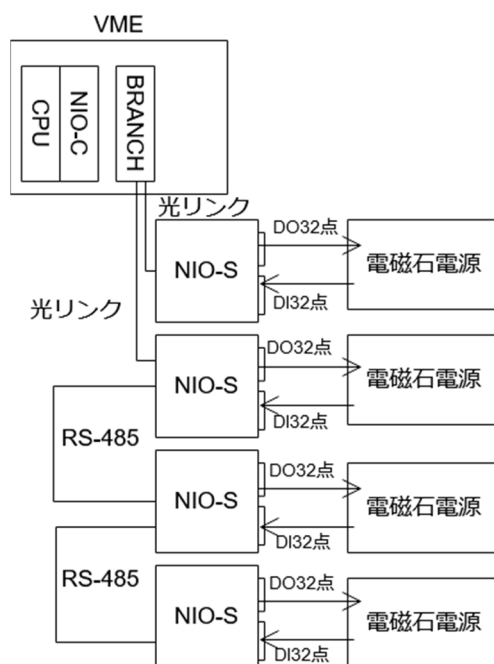


Figure 2: System outline of VME-based NIO system.

トワーク上に Linux IOC を別装する[5]、もしくは e-RT3 Linux CPU モジュール (F3RP61-2L) を IOC として用い制御シーケンスとマンマシンインターフェースよりのプログラムを EPICS で同時に実装する[6]、上記二つの手法が採られてきた。

新規 LEBT 電磁石電源制御には RIBF で多くの実績がある FA-M3 シリーズが採用されていたが、従来のシステムとは異なる次の特徴を持つ。その特徴とはは第一スロットにシーケンス CPU モジュール(F3SP71-4S)、第二スロットに Linux CPU モジュール(F3RP61-2L) をインストールした構成でシステム構築している点である。このように異なる種類の CPU 二台体制で運用する理由は、ハードウェアよりの制御シーケンス部分とマンマシンインターフェースよりのプログラムを分けて実装したいからである。特にインターロック機能を実装するには、リアルタ

イム性や保守性の観点から、シーケンス CPU の方が優れていると考えている。これにより、シーケンス CPU 部分と Linux CPU 部分での開発を別な担当者で対応するという事も簡便にできる。その際の実開発コストを抑える手段として、EPICS 側で扱うレジスタ種類や番号を、例えば DAC 値を変化させる時は D00111、ADC 値は D00124、といった様に予め統一ルールを決めた。このため、電源の型番に関わらず EPICS データベースファイルはスタートアップスクリプトにマクロで引数を持たせることで流用することが可能である。

5. MEBT 電磁石電源

5.1 モジュール構成

従来 MEBT で GPIB 通信によって遠隔制御を実現していた Q 電磁石電源は、SRILAC が実装されても、そのまま流用することになった。GPIB から NIO へ制御方式を変更するにあたり電源の GPIB 通信ボードを NIO-S に変更するように IO 基板の改造を行った。また同時にマシンプロテクション用のインターロック出力機能も追加した。

現在、NIO のマスターとなるコントローラは、3.2 で挙げた FA-M3 版 NIO-C、シーケンス CPU モジュールである F3SP71-4S、そして Linux CPU である F3RP71-2L での構成が第一の選択肢である。新たに実装された FA-M3 版 NIO システムと従来の VME 版 NIO システムを Fig. 3 に示す。

5.2 F3RP71-2L

今回 RIBF 制御系では初めて F3RP71-2L を IOC として採用した。F3RP61 用のデバイスサポートが ver. 1.2.0 にアップデートされた事により F3RP71 も共通で利用できる[7]。したがって従来とほぼ同様の手法でソフトウェア開発が可能である。また RIBF 制御系における F3RP61 はコンパクトフラッシュブート方式を採用していたことから F3RP71-2L の Linux ブート方式は SD ブート方式を採用した。EPICS アプリケーションは CentOS 6.10 x86_64 でクロス開発され、NFS で F3RP71 に提供されている。F3RP71 に採用したソフトウェアのバージョンを Table 1 にまとめる。

5.3 CPU 役割分担

NIO-S と NIO-C との通信手順は F3SP71-4S 上で走っているシーケンシャルプログラムで規定されている。また F3RP71-2L が EPICS IOC となり、マンマシンインターフェースに必要な F3SP71-4S の内部レジスタを EPICS process variable として CA で提供する。

6. HEBT 電磁石電源

HEBT では電磁石電源を従来そのまま使用することになっている。一方でこれら電磁石電源のうち6台が MEBT 同様 GPIB 通信によって遠隔制御されており、またマシンプロテクション用のインターロック出力も実装されていなかった。これら電源は 20 年以上前に製造され

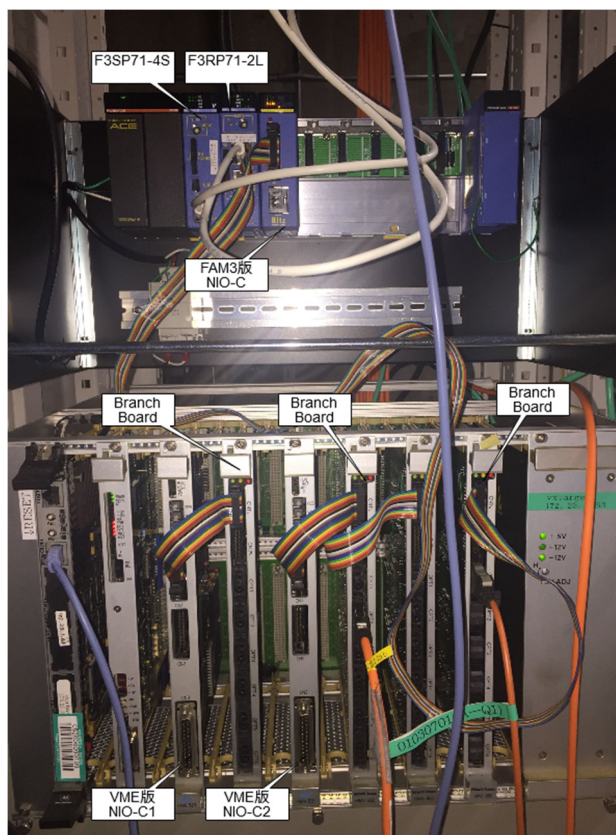


Figure 3: Comparison of NIO system based on VME (conventional system) and FA-M3 (new system). Even if using FA-M3 NIO-C, it needs to use branch board as a VME-based board.

Table 1: Software Version for Electromagnet Power Supply Control System using F3RP71-2L

Software	Version
EPICS base	R3.14.12.8
Linux (Development machine)	CentOS 6.10 x86_64
F3RP61/F3RP71 device support	1.2.0pre4
F3RP71 BSP	R1.04
EPICS Sequencer	2.1.12
Autosave	5.0
procServ	2.6.0

たという事もあり、MEBT 電磁石電源の様に NIO に変更するには制限が多く、それなりにコストがかかる。よって GPIB 通信ボードを取り外し、IO を直接 TTL によって PLC DI/DO で制御するシンプルな手法を採用し、GPIB 通信を扱いやすい形に変更した。

CPU モジュールは MEBT 同様に F3SP71-4S と F3RP71-2L の 2CPU 構成を採っている (Fig. 4 参照)。シーケンス CPU 部分で電源基板への BIT 出力やストロブ信号のタイミング等ハードウェアよりの部分を実現

し、Linux CPU は EPICS IOC となり、シーケンス CPU の内部レジスタを通じてマンマシンインターフェースへ CA プロトコルとして電源情報を提供している。この場合も EPICS 側で使用する内部レジスタの仕様を 4. で示した LEBT 電磁石電源と同様の手法で統一し、ルールに基づき開発をしている。

7. まとめ

SRILAC 運用にむけて、既存電源制御システムの問題点を解決するため電源制御を更新した。 GPIB 制御方式は RIBF で標準的に運用されている NIO 制御方式への置き換え、もしくは IO を取り出して PLC に直接入出力させる手法を取った。また新規に電磁石電源をインストールしたケースでは、PLC 内部レジスタの仕様にルールを持たせることで EPICS における開発コストを下げる事が出来ている。いずれの場合もコントローラは横河電機 FA-M3 シリーズで構成されており、シーケンス CPU モジュールと e-RT3 Linux CPU モジュールの 2CPU 構成で運用される。Linux CPU には従来 RIBF で採用されていた F3RP61-2L だけでなく、新たに F3RP71-2L も採用し、EPICS IOC を走らせて CA プロトコルによって上位アプリケーションへサービスを提供している。また F3SP71-4S はインターロックといった主にハードウェアよりの機能を実現し、高い信頼性を持つ構成とした。

LEBT でのビーム入射試験において、電磁石電源と FA-M3 間のシリアル通信を起因とした問題が判明したが、この夏に改修予定である。また MEBT で使用される FA-M3 版の NIO 運用試験において VME 版の NIO-C に比べレスポンスが遅い事がわかった。こちらについても現在製造元と協力して NIO-C 内部プログラムの改修を進めている。HEBT 向け電磁石電源制御の運用試験においては、現在まで大きな問題なく制御ができています。

参考文献

- [1] M. Tamura *et al.*, “Present status of RILAC”, in these proceedings, No. FSPI010.
- [2] S. Ueda *et al.*, “Upgrade of the control system for steering magnet power supplies at SPring-8 booster synchrotron”, Proceedings of the 9th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Toyonaka, Japan, Aug. 8-11, 2012, pp. 694-697.
- [3] M. Komiyama *et al.*, “EPICS を用いた理研加速器研究施設制御系の現状”, Proceedings of the 14th Symposium on Accelerator Science and Technology, Tsukuba, Japan, Nov. 2003, pp. 272-274.
- [4] M. Komiyama *et al.*, “Recent development of the RIKEN RI beam factory control system”, Proceedings of the PCaPAC2018, Hsinchu, Taiwan, Oct. 16-19, 2018, pp. 66-68.
- [5] M. Komiyama *et al.*, “Status of the RIKEN RI beam factory control system”, Proceedings of the ICALEPCS2013, San Francisco, CA, USA, Oct. 6-11, 2013, pp. 348-351.
- [6] A. Uchiyama *et al.*, “Control system renewal for efficient operation in RIKEN 18 GHz electron cyclotron resonance ion source”, Review of Scientific Instruments 87, 02A722 (2016).
- [7] GitHub EPICS-F3RP61;
<https://github.com/EPICS-F3RP61/epics-f3rp61>