

150MeV-FFAG 加速器の制御システム

湯浅由将^{A)*}、小田切淳一^{A)}、相場政光^{B)}、大森千広^{A)}、菊池健^{A)}、木場紀世美^{C)}、酒井泉^{A)}、
 柴武二^{D)}、佐藤庸夫^{A)**}、柴田徳思^{A)}、高木昭^{A)}、中野譲^{A)}、町田慎二^{A)}、武藤厚俊^{A)**}、
 森義治^{A)}、山崎明義^{A)***}、横井武一郎^{A)}、吉井正人^{A)}、吉本政弘^{A)}、米村祐次郎^{E)}

^{A)} 高エネルギー加速器研究機構 〒305-0801 茨城県つくば市大穂 1-1

^{B)} 東京大学大学院理学系研究科 〒113-0033 東京都文京区本郷 7-3-1

^{C)} Fermi National Laboratory P.O. Box 500 Batavia, IL 60510-0500, USA

^{D)} 筑波大学陽子線医学利用研究センター 〒305-8575 茨城県つくば市天王台 1-1-1

^{E)} 九州大学大学院工学研究院 〒812-8581 福岡県福岡市東区箱崎 6-10-1

概要

高エネルギー加速器研究機構 (KEK) において 150MeV-FFAG 陽子シンクロトロン¹⁾の研究開発を行っている。ここで用いられる制御機器には、インターロックを含めた接点信号処理に PLC や、アナログ信号を処理する種々の計測機器が存在する。近年開発された Linux-PC 上で運用できる EPICS に注目し、制御のシステム化を検討し、構築し始めた。本加速器における制御システムの全体像を紹介するとともに、現在の開発状況を報告する。

1 150MEV-FFAG 加速器

150MeV-FFAG 加速器について概要と制御システムについての現状と今回の開発目的について記述する。

1.1 加速器

KEK では、陽子 FFAG (Fixed Field Alternating Gradient ; 磁場固定強集束) シンクロトロン²⁾の研究開発を行っている。

150MeV 陽子 FFAG シンクロトロンは、2000 年度より医療分野などの実用機を目指して研究開発を始めた。具体的な利用ターゲットとして陽子線癌治療機への応用を考えている。現在、建設が終了し、コミッショニング³⁾に対して研究を行っている[1]。

建設された加速器の概観図を図 1 に示す。加速器は KEK 東カウンターホールに施設している。リングの直径は約 12m である。各機器の電源装置類はコンクリートシールド脇に置かれている。遠隔操作はコントロール室で行われる。

サイクロトロンにより 12MeV まで加速された陽子は、入射ラインを通り、バンプ電磁石により形成されたリング入射軌道へ磁場セプタム及び静電セプタムで陽子を入射させる。時間的に磁場が変動しない動径方向に磁場勾配を持つ 3 極(発散-集束-発散)電磁石 12 台で形成されたリング内を、磁性体を用いた加速空洞により 150MeV まで陽子を加速する。加速するに従い陽子は外周へ移動し、キッカー電磁石及び磁場セプタムによりリング外へ取り出される。

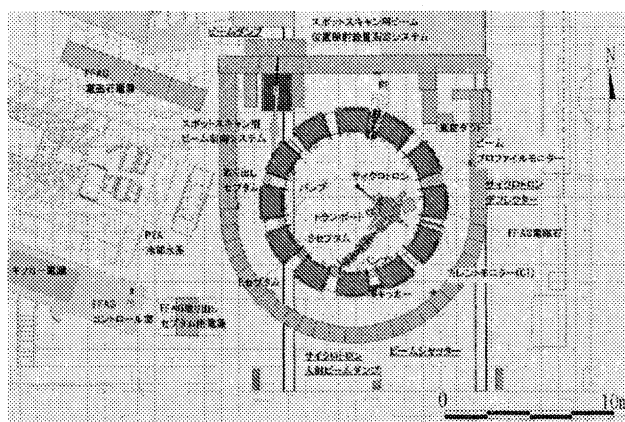


図1：150MeV-FFAG 加速器概観図

1.2 制御システム

現在、放射線管理上のインターロックを除く各種機器の制御はシステムとして連携はない。

放射線管理に関わるインターロックシステムはハードワイヤーにより完成しており、PLC(Programmable Logic Controller)によって動作し、運転モードの切り替えは手動スイッチで行っている。

電気や水等の不具合による機器の運転管理は、各種機器のインターロックに依存している。本来、系統的な停止や、逆に運転の自動化が望まれる。

各種機器の調整については、例えば、電磁石の磁場を変更する場合、電磁石の電源に備えられている制御パネルに対して手動で入力している。将来的に運転時は、遠隔で自動かつ系統的に各種機器の設定が行えることが望まれる。

今回の制御システム導入の目論見を以下に挙げた。

- 制御システムの試作
- 運転時の機器調整の効率化
- 既存の加速器へ制御システムの導入

第一や第二の目的は先に述べた現状を改善に起因する。この試みは、一般に制御システムを改善する場合と等価で、既存装置は様々なプロトコルを持つので、それらの対応に対して最も困難が予想される。しかし、機能的な制御シ

* 現所属: 川崎重工業株式会社技術研究所

** 現所属: 株式会社日本製鋼所

*** 現所属: 東北大学サイクロトロン RI センター

テム EPICS を採用することで、様々なプロトコルに対してブリッジ機能を持つ機器を導入して、LAN 上で統合することができる。これにより、第三の目的が達成される。

採用する制御システム EPICS について、その概要と FFAG 加速器での制御システムの全体像を次章で述べる。次に、現在の開発状況、そして今後の展開について述べる。

2 EPICS を用いた制御システム

150MeV-FFAG 加速器の制御システムに、EPICS を導入する。EPICS の開発状況を述べ、それを受けて制御システムの全体像について構想を述べる。

2.1 EPICS

制御システムに用いられている EPICS は Experimental Physics and Industrial Control System の略称で、ネットワーク分散型の制御システムを構築するためのツールキットである。これはアルゴンヌ国立研究所で開発が始まり、KEK では KEK-B に採用され、J-PARC への適用に向けた開発が進められている。

EPICS は、元来 VME ベースに開発が進められてきたが、近年公開された R3.14 により、EPICS/IOC(I/O Controller)が Linux-PC 上で動作できるようになった[2]。リアルタイム性を必要とした制御が必要な場合は VxWorks-VME を選択することになるが、一般的には Linux-PC でも高性能な PC を容易すれば、高速に大容量データを取り扱うなど十分な性能が得られる[3]。

EPICS に組入れるデバイスは、デバイスサポートの充実により、GP-IB や Serial を備える機器に対して TCP/IP へブリッジするネットワーク機器を介して通信できる[4]。EPICS がサポートするこの装置はアジレントテクノロジー社製 LAN/GPIB ゲートウェイ装置 E5810A である。また、EPICS からネットワーク機能を持つ PLC に直接通信することもできる[5]。PLC は各種メーカの製品があり、EPICS でサポートされているのは、EPICS でサポートされている PLC モジュールには横河、オムロン、三菱電機製がある。

逆に見れば、EPICS/IOC から LAN を用いて機器制御を行う手段が開発されている。

2.2 制御システム構想

150MeV-FFAG 加速器の制御システムに、EPICS を導入することにした。制御システム概念図を図 2 に示す。

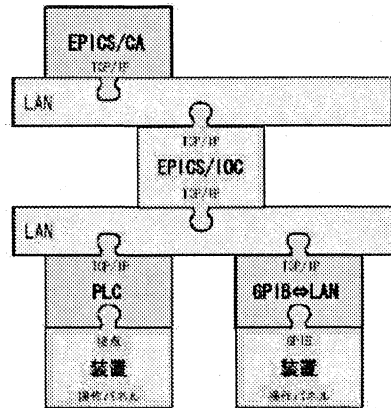


図2：制御システム概念図

スイッチ操作や状態監視を行う接点による制御を行う装置については、PLC をネットワークハブのように用いて、各装置からの接点を入力あるいは出力モジュールにつなげておき、TCP/IP モジュールにより LAN へ接続する。

GPIB や Serial のような通信機能を備えている装置については、TCP/IP へのネットワークブリッジ装置を用いて、LAN へ接続する。

機器との通信を行う EPICS/IOC は Linux-PC で運用する。LAN への接続は一般的な Ethernet カードで接続する。

大規模施設では、地理的条件により EPICS/IOC を分散して配置しなければならない。しかしながら、150MeV-FFAG 加速器は、図 1 の様に、比較的小規模であるので、EPICS/IOC を運用する PC は 1 台でまかなえる。

このシステム構成によって次の様な利点が挙げられる。

- 制御システムに掛かる装置のメンテナンスに対する労力が少ない。
- EPICS の運用や管理が容易である。

既存の装置に対して、LAN 接続のデバイスを取り付けるだけで、制御システムへの組み込み作業は終わり、EPICS からの制御のために LAN 接続デバイスの設定を行う。

全体制御と装置は LAN で切り分けられているので、全体制御の更新は装置に影響はない。また、装置間も同様で、互いのメンテナンス作業に影響はない。

EPICS の管理を一元化することで、各装置の担当者レベルまで、EPICS を周知する必要はなくなる。

150MeV-FFAG 加速器の制御システム構成を図 3 に示す。

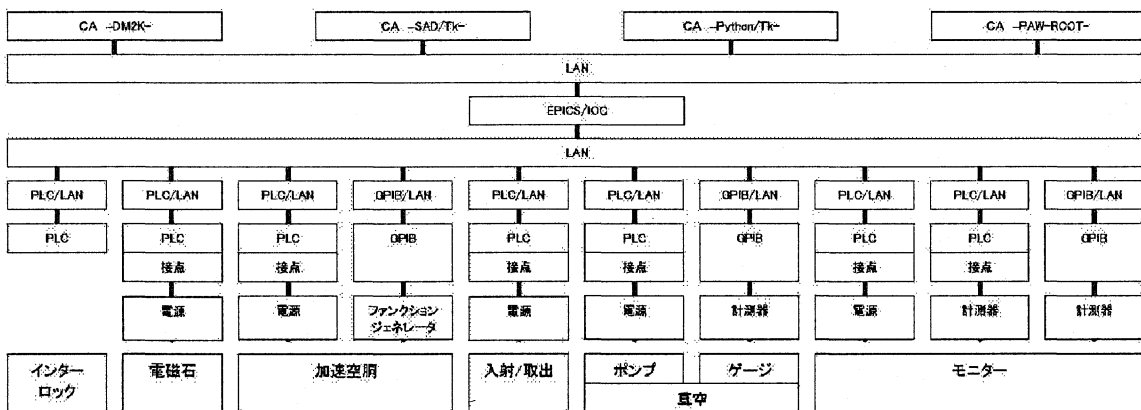


図3：150MeV-FFAG 加速器制御システム構成図

3 開発状況

制御システムの整備について検討を進めている。ここでは各機器ごとに検討内容を記述する。

3.1 インターロック

放射線や運転管理上必要なハードワイヤーレベルの制御は PLC 上で実装している。横河製 PLC を用いている。

PLC は産業用に確立された技術で、ネットワークを介した EPICS/PC より信頼性が高いと思われる。そこで、EPICS でインターロックのロジック部分を取り扱わない。一方、EPICS では状況について監視、及びインターロックに関わる運転モードの切り替えを行う。

放射線管理に関わるインターロックは整備されており、EPICS への組み込みを行った。DM2K を用いた監視ウィンドウを図 4 に示す。

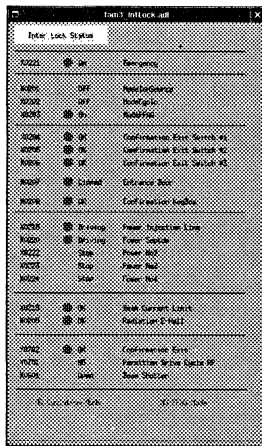


図4: インターロック監視画面

3.2 真空

ロータリポンプやターボ分子ポンプによる粗引き装置は、手動により制御することとしている。一方、主ポンプであるイオンポンプについて、コントローラは接点による制御のため、PLC を介して EPICS から制御を行う。

これについて EPICS の組み込みを行い、図 5 に示す DM2K を用いた操作ウィンドウを作成した。

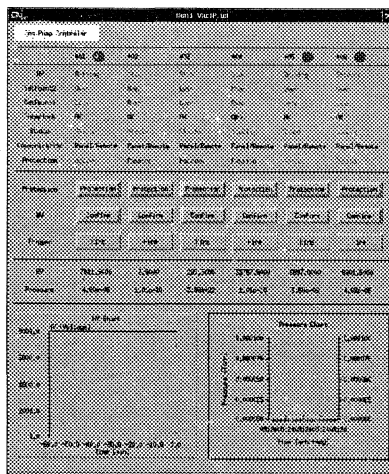


図5: イオンポンプ操作画面

真空ゲージは GP-IB 通信が行える装置を採用し、EPICS に組み込み、制御が行える。ここで得られた真空圧力に対して、イオンポンプコントローラが接続される PLC へ情報提供すれば、適当な真空圧力に対して、イオンポンプを動作させるシーケンスを PLC 上で実現することができる。

3.3 電磁石

電磁石電源は、電源操作だけでなく電流値の設定も接点による制御である。一方、設定された電流値は DCCT の出力としてアナログ値で出力されている。これらの制御信号は PLC に接続し、EPICS で制御できる。

電流値の設定は、アナログ値による設定でなく、各桁のビットパターンに対応した接点操作によって設定する仕組みである。設定値に対して、適切な接点への操作のための工夫を EPICS のレコードサポートで行う必要がある。

3.4 加速空洞

アンプ電源は接点による制御のため、PLC を介して EPICS で制御ができる。

加速パターンを作成するファンクションジェネレータは GP-IB 通信を備えた機器なので、ブリッジ装置を介して EPICS で制御ができる。

3.5 入射/取出装置

電源制御は接点による制御のため、PLC を介して EPICS で制御ができる。

3.6 モニター

駆動装置などの電源は接点による制御のため、PLC を介して EPICS で制御ができる。

計測器はそれぞれの制御方法に伴った LAN へのインターフェースを用意して、EPICS による制御を行う予定である。代表的な計測装置としてオシロスコープがある。高速なデータ収集を行う場合は、別途に要領や計測装置の見直しが必要となる。例えば、横河製 PC ベース計測器 WE7000 が候補に挙げられる[4]。

4 今後の計画

EPICS による制御はインターロックや真空系について既に組み込みが完成しており、その他装置についても継続的に EPICS による制御を実現させ、システム化を図る。

ユーザインターフェースは図 4 や図 5 のような DM2K での実装で簡便な操作画面を作ることができる。一方、コミッショニング等で系統的に電磁石や入射や取出機器への制御を行う必要がある。SAD などを用いた系統的制御ツールの導入を行う必要がある。

参考文献

- [1] 吉本政弘, 他, 第 14 回加速器科学研究発表会報告集.
- [2] L. Dalesio, Proceedings of PAC 2001, USA
- [3] Y. Yuasa, et al., Proceedings of ICALEPCS 2003.
- [4] K. Furukawa, et al., Proceedings of ICALEPCS 2001.
- [5] J. Odagiri, et al., Proceedings of ICALEPCS 2003.