

CONTROL OF THE J-PARC SLOW EXTRACTION LINE BASED ON EMBEDDED EPICS

Makoto Takagi^{1,A)}, Norihiko Kamikubota^{B)}, Akio Kiyomichi^{B)}, Shigeru Murasugi^{B)}, Ryotaro Muto^{B)}, Nobuaki Nagura^{C)}, Hidetoshi Nakagawa^{B)}, Jun-ichi Odagiri^{B)}, Katsuya Okamura^{B)}, Yoshihisa Shirakabe^{B)}, Masahito Tomizawa^{B)}, Noboru Yamamoto^{B)}

^{A)} Kanto Information Service (KIS)

8-21 Bunkyo, Tsutiura, Ibaraki, 300-0045

^{B)} High Energy Accelerator Research Organization (KEK)

1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801

^{C)} Nippon Advanced Technology Co.,Ltd. (NAT)

3129-45 Tokai, Naka, Ibaraki, 319-1112

Abstract

The J-PARC Main Ring supplies high energy proton beams to the Hadron Experimental Facility through the slow extraction line. It comprised of a series of septa, starting from a pair of electrostatic septa (ESS) followed by magnetic septa, and some of those septa are movable by using stepping motors to adjust their positions for a better optics. In order to control the power supplies of the septa, the stepping motors and the interlock status monitor, an EPICS-based control is implemented by a new type of Input / Output Controller (IOC), which runs Linux on a CPU module of FA-M3 Programmable Logic Controller (PLC). The CPU functions with normal I/O modules of FA-M3 on the PLC-bus. The most remarkable feature of the control system is that we replaced ladder programs with EPICS sequencer programs for the efficiency of the software development and ease of maintenance. The new type of IOCs have been working without any serious troubles during the beam commissioning period, from Run#21(Jan.2009) through Run#22(Feb.2009). This paper describes the details of the new IOC and its experiences in J-PARC operation including long term stability.

組み込みEPICSを利用したJ-PARC遅い取り出しラインの制御

1. はじめに

J-PARC主リングはハドロン実験施設、ニュートリノ実験施設への大強度の陽子ビームを供給することを目的として建設された陽子加速器であり、1MWのビームパワーの達成を目指している^[1]。ハドロン実験施設へのビームは遅い取り出しラインを通して供給される。遅い取り出しラインでは、静電セプタム(ESS)、低磁場セプタム(MS1)、中磁場セプタム(MS2)、高磁場セプタム(MS3)によりビームの取り出しが行われる(図1)^[2]。最初の3つのセプタムは、より良いオプティクスを得る為にステッピング・モータによる位置調整機能を備えている。

EPICSに基づくJ-PARCの制御システムにおいて、これらのデバイスを制御する標準的なコントローラとしてFA-M3 PLCが多用されている^{[3][4]}。これらはイーサネットを介してEPICSのIOCに接続され、IOCは上位からの指示、状態の読み返しを仲介する役割を担う。しかし、この方法ではPLCとIOCの各々でアプリケーション・プログラムの開発が必要となるため、ソフトウェアの開発コストは高くなる。また、PLCとIOC間の通信をサポートするEPICSデバイスドライバが複雑となるため、その開発と維持も大きな

負担となる。

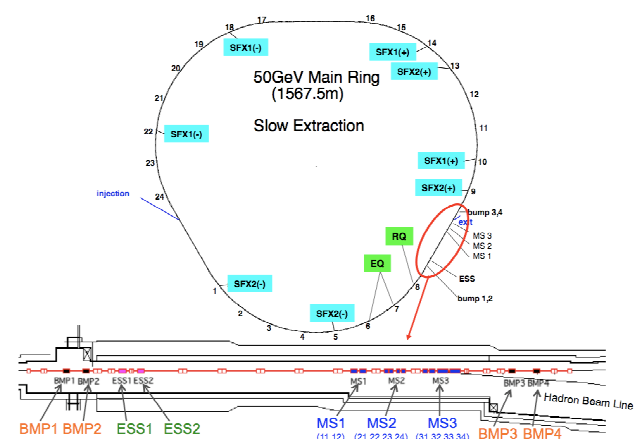


図1: J-PARC遅い取り出しラインのレイアウト

これらの問題を解決する為、FA-M3のCPUモジュールであるF3RP61をベースとして、新しい組み込みタイプのIOCが開発された(図2)。F3RP61はLinuxをOSとして搭載した汎用のコントローラであり、その上でEPICSのコア・プログラムを実行することができ

¹ E-mail: mtakagi@post.kek.jp

る。また、PLCバスを介してFA-M3の全てのI/Oモジュールにアクセスすることが可能である。このため、PLC自体がIOCとしての機能を果たすことになる。このF3RP61を利用した組込みEPICSの採用により、従来、PLCとIOCの二層から構成されていた制御システムのフロントエンドを一層にまとめ、簡素化することができる。この場合、従来、シーケンスCPU上で動作していたラダー・プログラムは、より可読性の高いEPICSシーケンサ・プログラムに置き換えられることになり、開発コストが低減するとともに、運用時の保守性も向上する^[5]。

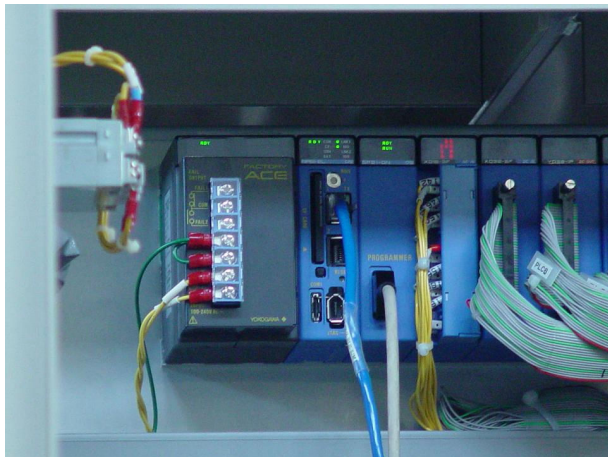


図2：F3RP61 (OSとしてLinuxが利用可能)

2. セプタム電源の制御

予算的な制約から、遅い取り出しラインではESSを除く全てのセプタム電源について既存品が再利用された。表1に遅い取り出しラインで再利用された電源を示す。再利用された電源には、それぞれに専用制御装置としてPLCが組み込まれている。それらのPLCは古いモデルである為、IOCと通信する為のイーサネットモジュールを備えていない。遠隔制御はアナログおよびデジタル入出力モジュールへ直接、信号を入力することが想定されている。そこで、F3RP61をベースとしたIOC (PLC) のI/Oモジュールと電源内蔵のPLCのI/Oモジュールをメタル・ケーブルで結線し、EPICSによる遠隔制御を可能にした。(図3)

表1：再利用される既存の電源

セプタム電源	利用開始時期
低磁場	約10年前
中磁場	約20年前
高磁場(前段)	約10年前
高磁場(後段)	約20年前

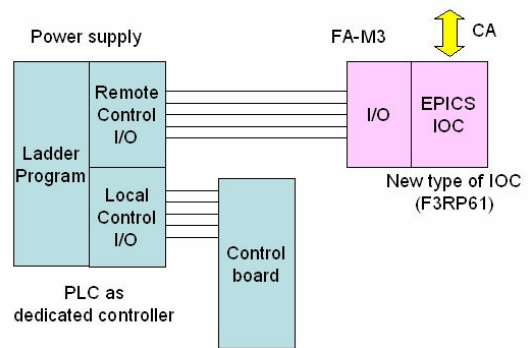


図3：F3RP61をIOCとした既存の電源の制御

既存のPLCとF3RP61ベースのIOCの役割分担については、前者が電源のON/OFF、及び出力電流の設定とモニタなどのプリミティブなロジックを実行するのに対し、後者は出力電流値のランピング、インターロック動作後のリセットなど、現場制御においてオペレータが手動で行う操作を自動化する役割を担う。

IOCにより実現する機能は可読性と保守性に優れたEPICSシーケンサによって実装された。図4に低磁場セプタムの制御パネルを示す。目標の出力電流値、電流上昇の間隔、電流上昇のステップを指定し電流上昇操作をONする事により、EPICSシーケンサが動作を開始し出力電流値のランピングが開始される。

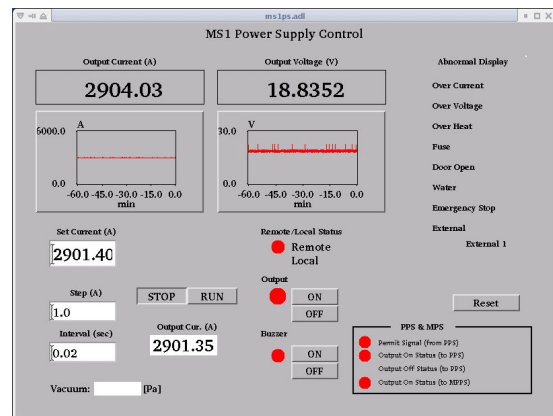


図4：低磁場セプタム制御パネル

3. ステッピング・モータ制御

遅い取り出しラインでは静電セプタム、セプタム電磁石の位置決調整にステッピング・モータを使用する。駆動軸は制御対象を合計して17軸ある。内訳を表2に示す。

表2：ステッピング・モータの制御対象と軸数

制御対象	軸数
ESS1, 2 (chamber/york, up/down)	8
MS1 (up/down)	2
MS2 (up/down)	2
スクリーンモニタ	5

ステッピング・モータのドライバ・ユニットはFA-M3の位置決めモジュールにより制御される。各軸の位置決め制御は独立（単軸位置決め制御）であり、特に複雑なロジックは必要としないが、上位から与える操作司令を位置決めモジュールに実行させるためのシーケンスを実装する必要がある。従来のシーケンスCPUを使用する場合はラダー・プログラムにより実装される処理であるが、ここでもF3RP61ベースのIOCとEPICSシーケンサを利用した。各軸に共通な処理を実装したシーケンサ・プログラムのテンプレートと、各軸に固有のパラメータを記述するファイルの組合せに分離することにより、簡潔で保守性の高いプログラムの作成が可能となった。

4. インターロック状態監視

機器保護、人的保護などの高い信頼性を必要とするインターロックシステムでは、従来のシーケンスCPUによりインターロックのロジックを実装し、F3RP61ベースのIOCは上位からインターロック状態をモニタする為だけに利用することが望ましい。この場合、F3RP61ベースのIOCはシーケンスCPUと同一のバス上で動作する。IOCとシーケンスCPUの通信はPLCバスを介して行うため、IOCとPLCをイーサネットで接続する従来方式に比べて通信に要する時間が桁違いに短くなる。このため、waveform型レコードを利用して多くのデータを一度に読む必要がなくなり、上位から個別のビット情報にアクセス可能なmbbiDirect型を使ってインターロック状態を読み出すことが可能になる。これより、EPICSデータベースの構造が簡単になり、保守性が高くなる。

現在、F3RP61ベースの2台のIOCが遅い取り出しのインターロック状態監視の為に利用されている。1つはIntermediate Distribution Frame(IDF)で、トンネル内の磁石の温度と冷却水の状態を監視している。もう1つはPersonal Protection System(PPS)で、放射線および高電圧から人間を保護する為のシステムである。図5はPPSの状態監視パネルである。



図5：PPS状態監視パネル

5. 運転実績

合計で8台のF3RP61ベースのIOCがセプタム電源制御、ステッピング・モータ制御、インターロック状

態監視の為に2008年11月にインストールされ、ソフトウェアの安定性を確認する為のテストが行われた。遅い取り出しラインのビームコミッショニングは2009年1月に開始され(Run#21)、F3RP61ベースのIOCは大きな問題もなく安定稼動することが確認された。

6. 新しい電源の制御

遅い取り出しラインの次のコミッショニングは2009年10月に予定されている。次のコミッショニングでは、スピルフィードバック制御の為に、Extraction Quadrupole(EQ) 磁石と Ripple Quadrupole(RQ)磁石が新たにインストールされる。新しい電源はEQ、RQ磁石の為に設計、構築されており、制御ロジックはメーカーによってFA-M3のシーケンスCPUとラダー・プログラムによって実装された。また、同一のPLCバス上にF3RP61ベースのIOCがインストールされた。IOCからPLCのメモリにアクセスし、電流値の設定、状態のモニタを行う事によって電源の制御を行う。これにより、外部のIOCからネットワーク経由でPLCとコミュニケーションする従来の方法より簡潔なシステムとなる。

7. まとめ

F3RP61をベースとした組み込みタイプのIOCは遅い取り出しラインのセプタム電源制御、ステッピング・モータ制御、インターロック状態監視に採用された。ラダー・プログラムをEPICSシーケンサ・プログラムに置き換える事によってソフトウェアの開発効率は格段に向上し、以後のメンテナンスも容易になった。インターロック状態監視においては、ネットワーク上の余計なトラフィックを減らす事に貢献している。2009年1月の遅い取り出しラインのビームコミッショニング開始以降、合計8台のF3RP61ベースのIOCが遅い取り出しラインの制御システムで利用されており、大きな問題もなく安定稼動する事が確認された。

参考文献

- [1] T.Koseki, et al., "Status of J-PARC Main Ring Synchrotron", PAC07, p736-738.
- [2] M.Tomizawa, et al., "J-PARC MRの遅い取り出し", in this meeting.
- [3] <http://www.aps.anl.gov/epics/>
- [4] <http://www.fa-m3.com/jp/>
- [5] J.Odagiri, et al., "F3RP61 を利用した組込み EPICS の加速器制御への応用", in this meeting.