

REMOTE CONTROL SYSTEM OF MAGNET POWER SUPPLIES AT J-PARC MR

Ryota Takai^{1,A)}, Kazuaki Niki^{A)}, Hisashi Akikawa^{A)}, Shu Nakamura^{A)}, Katsuya Okamura^{A)},
Jun-ichi Odagiri^{A)}, Makoto Takagi^{B)}

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

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

^{B)} Kanto Information Service (KIS)

8-21 Bunkyo-cho, Tsuchiura, Ibaraki, 300-0045

Abstract

Most of the devices that compose J-PARC Main Ring (MR) are controlled through a computer network remotely. The control system has been constructed based on the framework of EPICS. In this report, we outline the present structure of control networks for main magnet power supplies, steering magnet power supplies, and current waveform monitors using WE7000. In addition, we also introduce some GUI panels that were used in the first beam commissioning of MR.

J-PARC MRにおける電磁石電源の遠隔制御システム

1. はじめに

2001年から茨城県東海村で建設が進められてきた大強度陽子加速器施設 (J-PARC) は、この5月に最終段加速器であるメインリング (MR) へのビーム入射・周回に成功し、当面の目標である30GeVビーム加速・取り出しへ向けていよいよ佳境を迎えつつある^[1]。およそ1600mの周長を持つMRは、97台 (基準電磁石1台を含む) の偏向電磁石、216台の四極電磁石、72台の六極電磁石に加え、186台のステアリング電磁石から構成されている。これら600台近い電磁石に電力を供給する電源は、D1、D2、D3と呼ばれる3つの電源棟に分散配置されており、J-PARC全体の指揮所である中央制御棟からネットワーク経由で遠隔制御される。制御対象である各電源の数、配置、最大電流等を表1に掲げる。

遠隔制御システムの構築には“EPICS (Experimental Physics and Industrial Control System)”が使用されている^[2]。EPICSとは、ネットワーク分散型の機器制御システムを構築するためのツールキットであり、ソフトウェア開発環境と汎用アプリケーション群からなる。加速器の制御を目的として90年代初頭から開発が始まり、現在ではJ-PARCの他、多くの加速器施設、天文台等で採用されている。EPICSを使用した制御系では、様々な規格のネットワークベース機器を、“Channel Access (CA)”という同一のプロトコルで制御することができる。“デバイスサポート”と呼ばれるインターフェースプログラムさえ用意すれば、上位のハードウェア構成に手を加えることなく、容易にデバイスを追加できる。また、標準で装備されている各種アプリケーションが充実しており、例えば操作端末“Operator Interface (OPI)”で必要となるGUI画面も、直感的なマウス操作により短時間で作成するこ

とができる。OPIから制御対象機器のパラメータを参照する際には、そのパラメータに付けられた固有の名前 (チャンネル名) を指定するだけでよく、機器がどの制御端末“Input/Output Controller (IOC)”に接続されているかを意識する必要はない。これらの特徴は、EPICS制御系の拡張性の高さを端的に表している。

本報告では、

- ・主電磁石 (偏向、四極、六極) 電源
- ・ステアリング電磁石電源
- ・WE7000を用いた出力電流波形モニター

それぞれの制御ネットワーク構成を概説するとともに、2008年5月の初ビーム調整運転でも使用されたGUI画面の一部を紹介する。

表 1. J-PARC MRの電磁石・電源リスト

	Magnet	Family	PS	Location (D1/D2/D3)	Max current
BM	96 (+1)	1	6	2/2/2	3015 A
QM	216	11	11	7/2/2	1654 A
SM	72	3	3	3/0/0	660 A
Steer	186	6	186	62/62/62	±240 A

2. 主電磁石電源

図1(a)は主電磁石電源に対する制御ネットワークの構成図である。図中に示したとおり、主電磁石電源の制御系は、ルーターを介してひとつのローカルエリアネットワーク (LAN) を形成している。この中で制御の中心、すなわちEPICS IOCとなるのは、D3電源棟のローカル制御室 (LCR) に設置されたワークステーション (WS, MAGNIA LiTE31S, 東芝) である。OSはLinuxで、CAサーバーとして機能するのに必要なIOCデータベースやデバイスサポー

¹ E-mail: ryota.takai@kek.jp

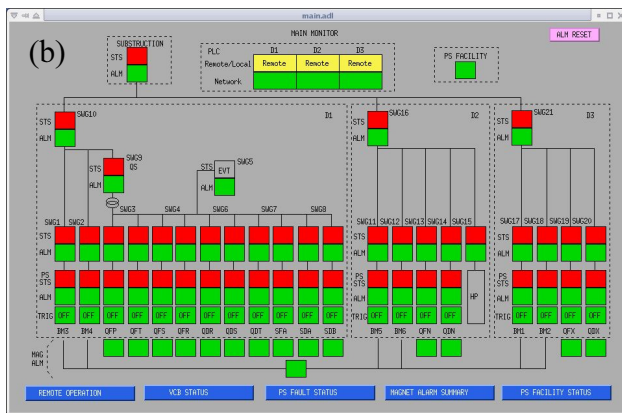
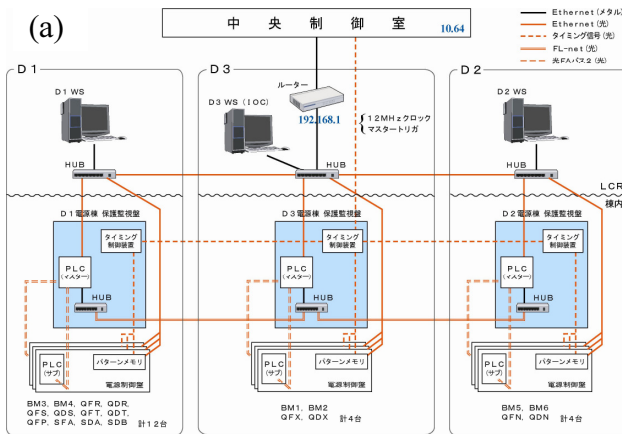


図 1. (a) 主電磁石電源の制御ネットワーク構成。通信速度とノイズ対策の観点から、電源棟間、およびLCR-電源間は光ネットワークで結ばれている。(b) 主電磁石電源のメイン制御パネル（東芝版）。

トの他、各種GUI画面のソースファイルを備えている。主電磁石電源の制御に関する全ての情報は、このWSを経由して上位とやり取りされることになる。D1とD2のWS 2台は、予備IOCとして設置されたものであり、機能的にはD3 WSと全く同等である。ルーターによる制御ネットワーク系へのアドレス変換（192.168.1.* → 10.64.*）は、IOCとなり得るこれら3台のWSに対してのみ行われる。

電源のステータスやインターロックの接点信号は、“Programmable Logic Controller (PLC)”によって管理・制御される。フロントエンドのPLC（FA-M3シリーズ、横河電機）は各電源の制御盤内にあり、これらは光FAバスによって保護監視盤内のマスターPLCと直列に接続されている。このようにして電源棟ごとに集められたPLCの各情報は、FL-netを通じて3つの電源棟間で共有される。

出力電流パターンの指令値は、D3 WS上の専用アプリケーションで作成され、各電源制御盤のパターンメモリ（20bit, TU100, 東芝）へ送信される。パターンメモリは、出力用と書き込み用の2つのメインメモリに加えて16のバッファ領域を有しており、あらかじめ設定されたシーケンスに従ってパターンデータを順次出力することができる。12MHzのクロック信号、および3.64秒周期（標準パターンの場

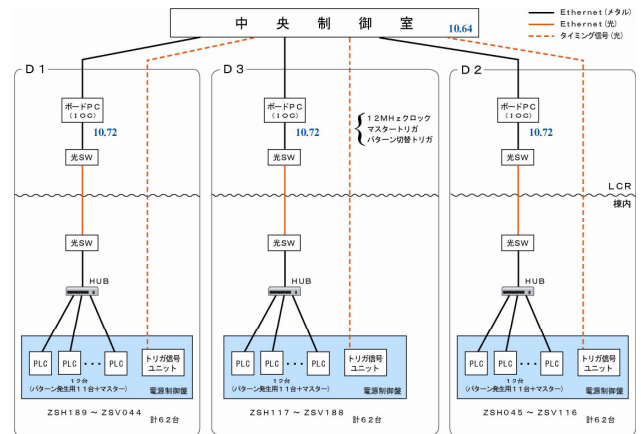


図 2. ステアリング電磁石電源の制御ネットワーク構成。IOC-電源間は制御ネットワークとは独立したサブネットワークとなっている。

合)のマスタートリガは、中央制御棟からD3のタイミング制御装置に送られ、そこからD1、D2の各電源棟へ分配される。合計20台のパターンメモリは、このタイミング信号によって同期を取り、一斉動作する。

図1(b)に東芝が製作した主電磁石電源の制御パネルを示す。各所のVCBや電源の運転状態、アラーム情報等が網羅されており、主電磁石電源の運転操作は一通りこのパネルから実行できる（パターンデータの作成と送信は除く）。ただし、電源の現場調整に主眼を置いて作成された経緯から、一般の加速器オペレータには分かりにくい項目や混乱を招く表現（正常運転状態を赤色で表す等）が含まれている。そのため、掲載項目を必要最小限に限定し、電源の運転状態を一目で把握できるバージョンも別途用意されている。

3. ステアリング電磁石電源

図2にステアリング電磁石電源の制御ネットワーク構成を示す。主電磁石電源の場合、制御系全体が専用のLANに含まれており、D3電源棟を中心に展開されていた。一方、ステアリング電磁石電源の場合は、互いに独立した3並列のネットワーク構成となっており、3つの電源棟間で特に差はない。EPICS IOCには、LinuxをOSとしたシングルボードコンピュータ（SVA041, サンリツオートメイション）を採用している。このVME CPUボードは2つのEthernetインターフェースを備えているため、IOCと制御対象機器間を独立したサブネットワーク（10.72.*）にすることができる。これにより、制御ネットワーク基幹部のネットワーク負荷を軽減できるだけでなく、セキュリティの向上も期待できる。

3つの電源棟に1ユニットずつ配置されているステアリング電磁石電源は、62台分の電磁石容量を賄う統合入力コンバータ部と、それに並列接続された62台の電流出力部からなる。これらの制御は、1台のマスターPLCと11台のパターン発生用PLC（FA-M3

シリーズ、横河電機、電流出力部6台につき1台設置)で行われる。電流パターンの指令値は、テキストファイルからの読み込み、あるいはEPICS CAを通じた直接データ送信により、パターン発生用PLCのメモリ(16bit)へ書き込まれる。各PLCは、1台の電流出力部あたり4つのパターン格納領域を持っており、どのパターンをどういう順番で出力するか(シーケンス)は自由に設定可能となっている。12MHzクロック、マスタートリガ、パターン切替トリガの各タイミング信号は、電源ユニットごとに設けられたトリガ信号ユニットで電気信号に変換され、各PLCへ分配される。

4. WE波形モニター

各電源が実際に出力している電流波形を常時監視・保存できるようにするため、WE7000(横河電機)を用いた波形モニターの開発を行った。WE7000とは、豊富な計測モジュールを持つネットワークベースの計測器である^[3]。これをEPICSから制御するためのデバイスサポートは既に作製済みであったが^[4]、今回の実践的な開発の中で、外部トリガによる波形取得機能やイベント機能等、多くの重要な機能に関する部分をブラッシュアップすることができた。

図3(a)にWE波形モニターの制御ネットワーク構成を示す。基本的な構成はステアリング電磁石電源の場合と同じであるが、サイズの大きな波形データを扱うことを考慮し、主電磁石電源に対するWEのIOCには、より高速のCPUボード(VMIVME7807, GE Funac)を採用している。いずれのIOCもOSはLinuxである。

WEの計測ステーションは合計で24台使用しており、モジュールはWE7272(主電磁石電源用, 4ch 100kS/s Digitizer)を15台、WE7251(ステアリング電磁石電源用, 10ch 100kS/s Digitizer)を21台使用している。これらのモジュールは、各電源の電流出力部に設置されたカレントモニター(DCCT)からの信号を受け、デジタル化して内蔵メモリ(16bit)に取り込む。取り込まれた波形データは、IOC内で「実時間 vs. 電流値」の2次元データに変換され、OPI上のGUI画面に表示される。波形の更新は、上位から送られてくる波形取得トリガに基づいて行われる。主電磁石電源のWEの場合、このタイミング信号の光-電気変換は、計測ステーションごとに設けられた専用の変換モジュールで行っている。一方、ステアリング電磁石電源のWEの場合は、上述したトリガ信号ユニットがこの役割も兼ねている。

図3(b)は我々が製作した電流波形の個別表示パネルである。「できるだけシンプルに」をモットーに作られており、数ある測定パラメータの中でも比較的可変性のあるもの(レコード長, サンプル間隔等)のみが表示してある。ただ、これらの主要パラメータは、取得波形の周期に合わせて自動的に最適値となるよう設定されているため、ユーザーが個別に書き換える必要はほとんどない。この

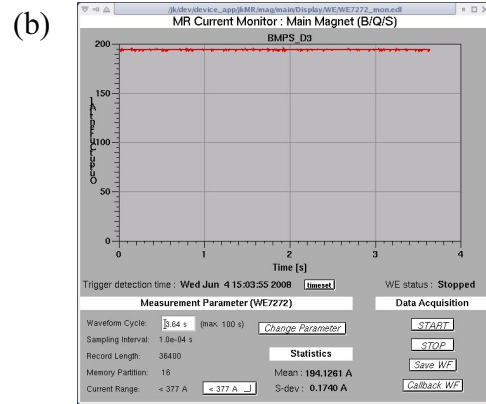
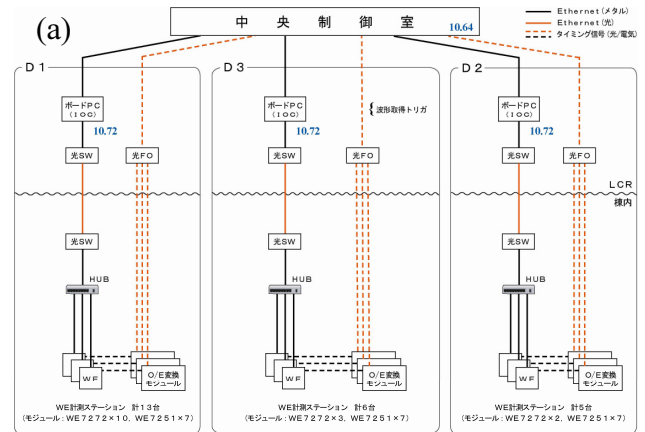


図 3. (a) WE波形モニターの制御ネットワーク構成。(b) 出力電流波形の個別表示パネル。

他、IOCで計算した取得波形の統計量表示や、波形データの保存機能、過去波形の呼び出し機能(WE内蔵メモリの分割機能を利用)等を備えている。

5. まとめと今後

J-PARC MRを構成する機器の中から主電磁石電源、ステアリング電磁石電源、出力電流波形モニターの3つを取り上げ、それぞれの遠隔制御システムの現状を概説した。また、MR初のビーム調整運転でも使用されたGUI画面の一部を紹介した。

2008年12月に予定しているパターン運転本番へ向けての課題としては、現在、独自の伝送サーバーを利用している主電磁石電源のパターン送信部を、EPICSに完全移行することが挙げられる。これにはパターンメモリのデバイスサポートが必要であり、今後東芝と共同で開発を進める予定である。

参考文献

- [1] T. Koseki, et al., "Beam Commissioning of J-PARC MR", in this meeting.
- [2] <http://www.aps.anl.gov/epics/>, and links therein.
- [3] <http://www.yokogawa.co.jp/tm/Bu/WE7000/>.
- [4] M. Takagi, et al., "Linux Support of WE7000 EPICS Driver for J-PARC MR", Proceedings of the 3rd Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Sendai, Aug. 2-4, 2006.