

小型商用電源の J-PARC MR 加速器への応用：問題と解決

EXPERIENCES OF COMMERCIAL AMPLIFIERS FOR J-PARC MR MAGNET POWER-SUPPLIES

上窪田紀彦^{#, A)}, 五十嵐進^{A)}, 山田秀衛^{A)}, 下川哲司^{A)}, 佐川隆^{B)}, 高野淳平^{A)}, 木村琢朗^{A)}, 村杉茂^{A)}
Norihiro Kamikubota^{#, A)}, Susumu Igarashi^{A)}, Shuei Yamada^{A)}, Tetsushi Shimogawa^{A)}, Takashi Sagawa^{B)},
Junpei Takano^{A)}, Takuro Kimura^{A)}, Shigeru Murasugi^{A)}

^{A)} J-PARC Center, KEK and JAEA

^{B)} Universal Engineering

Abstract

Recent years, in J-PARC MR, commercial amplifiers provided by NF Corporation have been introduced, and used as small power-supplies for pattern magnets. They are good enough for the performance, but their behaviors at remote-control, behaviors at interlock failures, did not match the J-PARC's control policy. Thus, we have developed junction control layers between amplifiers and the J-PARC MR control system.

1. はじめに

加速器の性能向上のために、小型の補正電磁石を少数追加することがある。この際、電磁石電源用に商用製品を利用して時間やコストを節約しようということはままあることである。

J-PARC MR 加速器は、2008 年のビーム運転開始以降、大強度化への挑戦を続けている。設計強度 750kW を目指して着実にビーム出力を上昇させており、2015 年 5 月～6 月には 360kW を実現した^[1]。MR では、継続的な性能向上の中で追加整備する小型パターン電源としてエヌエフ回路設計ブロック社（以下エヌエフ社）^[2]の商用電源を導入してきた。これらの電源の性能は十分だったが、遠隔操作系やインターロック時の振る舞いで MR 加速器の標準と理念があわず、本運用で使用する際の問題となった。このため、加速器制御システムとの取合い部分を追加改修して整合を取る必要があった。

本報告では、具体的に何が問題となったか、また解決に至る経緯について報告する。

2. 小型商用電源利用の問題

2.1 問題の発端：Skew-Q 電源

J-PARC MR では、2012 年に Skew-Q 4 台を導入したが、その電源にはエヌエフ社の商用製品 BP4620 を採用した。BP4620 は、ビームを使った試験で十分な性能を示した^[3]。

BP4620 は遠隔監視・操作用に外部制御入出力コネクタ (Dsub コネクタ) がある。それを利用して PLC module による信号取り合い系を整備した (図 1)^[4]。なお、J-PARC 加速器の制御システムは EPICS toolkit で開発しており^[5]、MR の標準的な信号取り合いには横河 PLC を使用している^[6]。

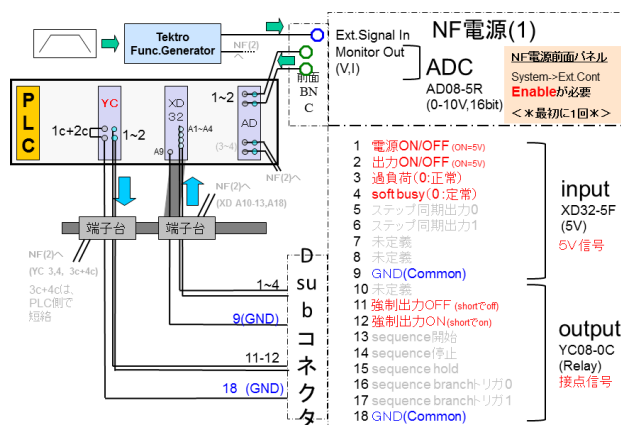


Figure 1: Connections between BP4620 and PLC.

J-PARC では全機器を中央制御棟から監視・制御する。この点で、Skew-Q を MR の運転に本格利用するには問題があった。例えば Remote・Local が区別されない点：MR では電源が設置される電源棟は中央制御棟から km 程度離れた別建屋である。電源棟で作業中、遠隔地の中央制御棟から操作される可能性を Local にして回避したいが、出来ない。また、インターロック(過負荷など)時に自動復帰する点：J-PARC ではインターロック発生時は加速器を停止し、人による安全確認の後に運転を再開するのが原則だが、出来ない。さらに、発生元のインターロック情報が消えること、機器異常停止信号(MPS 信号)が取り出せないこと、なども問題となった。これらはリスクは低い及安全な加速器運用に影を落とす事項であり、放置するわけにはいかない。

2.2 MR のエヌエフ社電源

エヌエフ社電源には、カタログにある既成品と、若干のカスタマイズが可能な注文製造品の 2 種類がある。J-PARC MR 内で、Skew-Q 以外にも相当数の

[#] norihiko.kamikubota@kek.jp

エヌエフ社電源を導入している（表1）。

Table 1: NF Amplifiers in J-PARC MR

電磁石 (導入年)	エヌエフ 社電源	個数	KEK 担当者
Skew-Q (2012)	既製品 (BP4620)	4	高野、佐藤健一
RQ2 (2012)	カスタマ イズ品	1	村杉、木村、岡村
PB 補助 (2014)	カスタマ イズ品	1	白形、高野
八極 (2014)	カスタマ イズ品	6	五十嵐、佐藤健 一、上窪田
Trim 補正 (2015)	既製品 (4502)	6	山田、下川、佐川

2.1 では Skew-Q (BP4620)の問題を示したが、調査すると他の電源でも類似の問題が生じていた。次節以降、J-PARC MR でのエヌエフ社電源利用で分かった共通の問題点を整理して示す。

2.3 問題1：遠隔制御、停止機能

電源の ON・OFF など基本操作は、現場操作（機器本体のボタンやパネル）に加え、遠隔（外部制御入出力）でも可能である。この結果、現場（電源棟）で作業中に誤って遠隔（中央制御棟）から操作される可能性がある。また、Local で遠隔制御を禁止する改修をしたが、Remote か Local か遠隔から分からないという例があった。

J-PARC MR では、安全上機器の動作(ON)を禁止する入力(PPS-in)や、機器が異常停止した時に加速器全体を停止させるための出力(MPS-out)を、電源側に求めることがある。また、機器本体パネルに緊急停止ボタンを置くことも求められる。これらの機能はエヌエフ社電源の原型では考慮されていない。

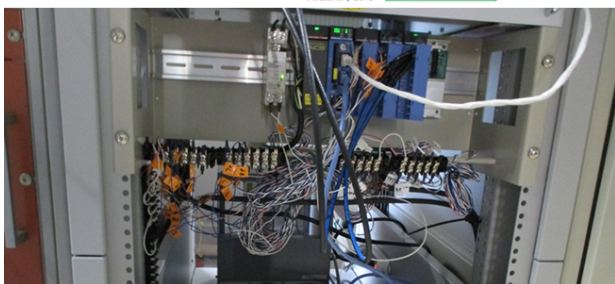
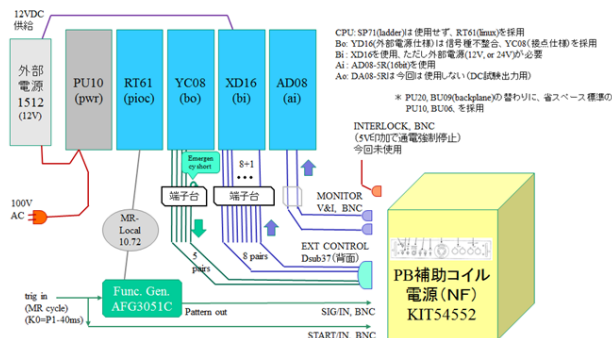


Figure 2: External control of the PB-correction coil.

2.4 問題2：外部信号取り合い

エヌエフ社電源の外部制御入出力は接点信号や TTL 相当信号なので、MR 標準の PLC module の組み合わせで取込むことが出来る。しかし中継配線部分では、コネクタや Common の変換、中途短絡、場合によっては外部電源(24V)が必要となり、複雑になる（図1、図2参照）。

表1の電源は、おおむね制御スタッフが仕様資料を読みこんで信号取り合い部を設計・製作・実装している。図2は PB 補助電源の実装例（初期）であるが、複雑なため空中配線を駆使した信頼性に欠けた実装になっている。また、電源が異なれば信号割り当てや種類も異なるため、取り合いの設計や実装に対応する制御スタッフの負担は非常に重い。

2.5 問題3：インターロック時の振る舞い

エヌエフ社電源はインターロック時には自動復帰するが、2.1 で説明したように J-PARC の理念と整合しない。理想としては、インターロック時はその情報を保持したまま停止を維持し MPS 信号を発報、人が RESET 操作して復帰、としたい。

3. 解決に向けて

3.1 エヌエフ社との相談

上記の問題についてのエヌエフ社との折衝は2013年末に始まった。2014年、エヌエフ社と八極電源（カスタマイズ品）の開発と平行し、2章で紹介した共通の問題について意見を交換した。

エヌエフ社では、電源をデスクトップ的に利用（遠隔ナシ）すると想定する。エヌエフ社の用意する外部制御は、見える範囲で ON や OFF のスイッチを増設することを想定している。一方、J-PARC は電源を遠隔で使用するのが大前提で、遠隔地に設置する見えない電源には追加機能が必要になる（それらはデスクトップでは無駄な機能であろう）。問題はエヌエフ社の製品に原因があるわけではなく、使用する環境の前提が全く異なることで生じたと考えられる。ある種の文化衝突と言える。

では、如何にして問題を解決するのか。KEK スタッフとエヌエフ社スタッフが協力して解決の方向を模索した。以下に解決例を2つ示す。

3.2 解決例1：上位制御層の追加

既製品を使用する場合、MR の理念に合わせるには上位制御層を追加して整合させるしかない。この方向で解決を目指したのが Trim 補正電源である。

Trim 補正電源用のエヌエフ電源既製品(4502)と MR 加速器制御システムとの間に「上位制御層」を追加した。内部の PLC で MPS-out や PPS-in など MR で必要な信号の取り合いを作り、また緊急停止ボタンも実装した。現場での電源操作はタッチパネルで行う（図3）。

上位制御層の設計・開発はそれなりの作業となる。既製品は有効に利用できるが、全体としてかかる労力・コストを考えると良い選択ではない。Trim 補

正の場合、導入の決断（2015年2-3月）から実装（2015年5月）まで期間が短く、手持ちの4502の利用以外に手段が無かったという事情がある。

を考慮しつつ解決への対応が進んだ（表2）。現在では、八極電源の「取り合いコントローラ」方式が最善と考えている。今後の標準としたい。

Table 2: Solutions for NF Amplifiers Problems

電磁石 (導入年)	エヌエフ社 電源	解決への対応
Skew-Q (2012)	既製品 (BP4620)	「上位制御層」追加予定(2015夏)
RQ2 (2012)	カスタマイズ品	今後検討
PB 補助 (2014)	カスタマイズ品	カスタマイズ品の取り付け部の追加改修
八極 (2014)	カスタマイズ品	「取り合い」追加で対応
Trim 補正 (2015)	既製品 (4502)	「上位制御層」追加で対応

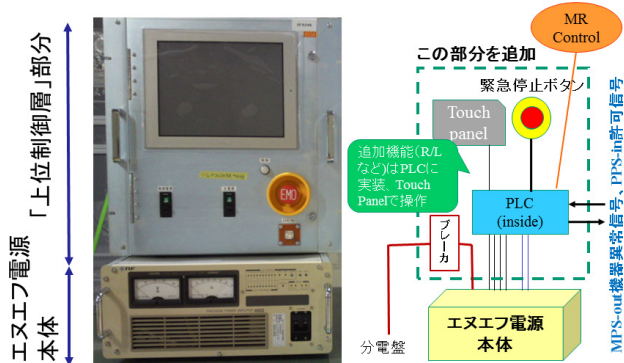


Figure 3: Add an over-layer for Trim-coil control.

3.3 解決例 2：取り合いコントローラの追加

カスタマイズ品の場合、エヌエフ電源側である程度 MR 仕様向けの修正が出来る。八極電源ではこの方向で解決を目指した。例えば緊急停止ボタンは、電源本体パネルに追加できた。一方電源のコネクタ都合を考慮すると、電源本体と MR 加速器制御システム (PLC) の間に「取り合いコントローラ」を入れることが現実的であった（図4）。この手法で PLC 周辺の信号配線をまとめることにも成功し、配線は単純化した（図2と図4を比較されたし）。

4. まとめと謝辞

ここ数年、複数のエヌエフ回路設計ブロック社の電源を J-PARC MR に導入してきた。これらの電源は、遠隔制御や停止信号、外部信号取り合い、インターロック時の振る舞いで、MR の理念と整合せず、MR の運転で本格利用するには問題があった。背景に、遠隔制御が前提の MR にデスクトップ利用を想定した製品を導入した、という齟齬がある。個々の事情に合わせ、上位制御層や取り合いコントローラを追加することで、問題は解決に向かっていく。

問題への対応や解決策の模索には、エヌエフ回路設計ブロック社スタッフの協力があつた。本件に関わって頂いた安里 優一 氏、渡邊 大樹 氏、菊原 聡 氏、高橋 浩文 氏、山口 英樹 氏に対し、深く感謝致します。またこの協力関係は、お互いの立ち位置を相互に理解する大変貴重な体験であり、我々 KEK スタッフにも意義のあるものとなった。

参考文献

- [1] 佐藤洋一、他、”J-PARC Main Ring 大強度運転の進歩と展望”、加速器学会 (敦賀), Aug.2015, WEP031, (this meeting).
- [2] <http://www.nfcorp.co.jp/>
- [3] 高野淳平、他、”J-PARC MR におけるスキュー四極電磁石を用いた線形結合共鳴の補正”、加速器学会 (大阪), Aug.2012, WEPS017, pp.391-393.
- [4] 佐藤健一、他、”VXI-11 プロトコルを用いた J-PARC MR におけるスキュー四極電磁石の EPICS 制御システム”、加速器学会 (名古屋), Aug.2013, SAP097, pp.739-741.
- [5] N. Kamikubota et al., “J-PARC Control toward Future Reliable Operation,” ICALEPCS 2011, Grenoble, France, Oct. 2011, MOPMS026, pp. 378-381; www.JACoW.org
- [6] 小田切淳一、”F3RP61-2L をターゲットとした組込み EPICS の開発”、加速器学会 (東広島), Aug.2009, pp.240-242.

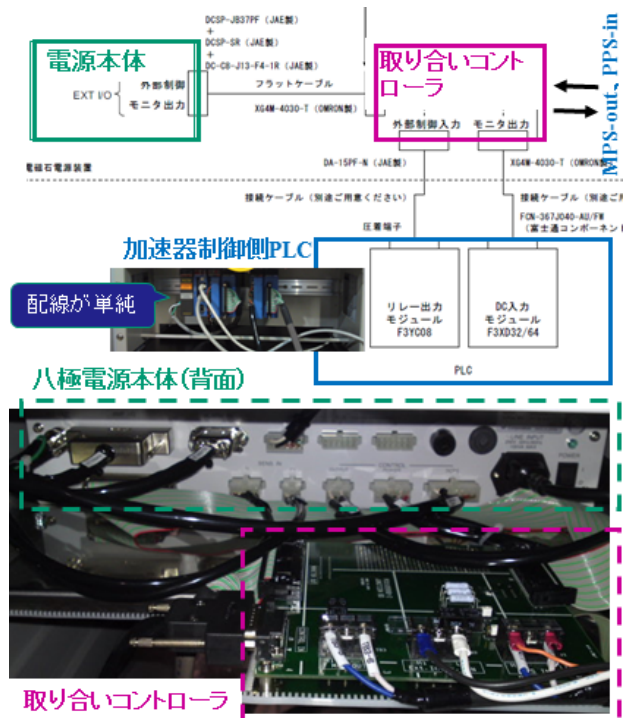


Figure 4: Octo-pole control with a junction card.

3.4 解決への対応

表1で示したエヌエフ電源では、それぞれの事情