

## J-PARC シンクロトロン、RF 電源制御機器の更新とアップグレード

### REPLACEMENT AND UPGRADE OF RF POWER SUPPLY CONTROL DEVICES IN J-PARC SYNCHROTRONS

古澤将司<sup>\*A)</sup>、大森千広<sup>A)</sup>、杉山泰之<sup>A)</sup>、長谷川豪志<sup>A)</sup>、原圭吾<sup>A)</sup>、吉井正人<sup>A)</sup>

沖田英史<sup>B)</sup>、島田太平<sup>B)</sup>、田村文彦<sup>B)</sup>、野村昌弘<sup>B)</sup>、山本昌亘<sup>B)</sup>

Furusawa Masashi<sup>\*A)</sup>, Chihiro Ohmori<sup>A)</sup>, Yasuyuki Sugiyama<sup>A)</sup>, Katsushi Hasegawa<sup>A)</sup>

Keigo Hara<sup>A)</sup>, Masahito Yoshii<sup>A)</sup>

Taihei Shimada<sup>B)</sup>, Fumihiko Tamura<sup>B)</sup>, Masanobu Yamamoto<sup>B)</sup>

<sup>A)</sup> High Energy Accelerator Research Organization, KEK

<sup>B)</sup> Japan Atomic Energy Agency, JAEA

#### Abstract

In J-PARC synchrotron RF system, we are updating RF power supply control devices. About the Devices for which support and sales have ended, we will upgrade for the latest model. We plan the schedule of updating process considering the schedule of J-PARC Beam time and effects of the RF system. First, the RF power supply PLC-CPU modules are expected to break down before long. If we upgrade the modules for the latest model, the program scan time is reduced to half, and the interlock signal will speed up. Therefore, we plan to upgrade the PLC-CPU module at all once. Next, the touch panel screen for RF control has frequently broken down in recent years. We plan to replace whenever the touch panel break down. We described the outlines of the upgrade and update of RF control devices in J-PARC synchrotrons.

## 1. はじめに

### 1.1 概要

現在、J-PARC シンクロトロン RF では、経年劣化が懸念される RF 電源の制御盤機器を更新している。製品販売と修理対応が終了した機器については、互換可能な最新機種に更新する予定である。各機器の更新手順は、加速器運転日程との調整、および更新による RF システム全体への効果を考慮しながら計画した。2020 年度までにシステムの入出力コントローラーを担う電源制御盤 PLC ユニット内の CPU モジュールと、ローカル制御時のオペレータインターフェースである電源制御盤タッチパネルの換装を実施した。

初めに、電源制御盤 PLC-CPU モジュールは、使用期間が製品寿命を超過し、近々の故障が懸念される。また、新機種に更新した場合、プログラム処理時間が短縮され、インターロック信号を高速化できる。このため PLC-CPU 全機種を一斉に換装する計画を立てた。2018 年に MR 空洞 7 号機の電源制御盤にて新機種換装と動作確認を行い、2019 年 7 月に MR の全 RF 電源制御盤にて新機種に換装した。2020 年度中に RCS の全電源制御盤の PLC-CPU も換装する予定である。

次に、電源制御盤タッチパネルについては、近年液晶画面 LED の寿命超過による機能停止が頻発している。この機器については、故障した旧機種から随時新機種に換装する計画を立てた。

本発表では、上記 RF 電源制御盤機器の更新作業の詳細、実施状況について報告する。

### 1.2 RF 機器の電源

J-PARC シンクロトロンの RF では、ビーム加速に使用する高周波電圧を加速空洞に供給するために、四極真空管二台を用いた終段増幅器を使用する。

四極真空管は電圧増幅器の一種である。内部は陽極、コントロールグリッド (CG)、スクリーングリッド (SG)、フィラメントの四種の電極で構成され、これらの電極に供給する電力を制御し、高周波高電力を生成する [1]。Figure 1 に RF システムで使用される終段増幅器の概要図を記載する。

真空管の電極に電力を印加するために、RF システムではインバータユニットを用いて真空管陽極に DC10kV を供給する陽極電源、フィラメントを加熱し CG と SG に電圧を供給する終段増幅器電源、CG に高周波信号を供給するための駆動段増幅器電源、以上の 3 種の大型電源が使用される。

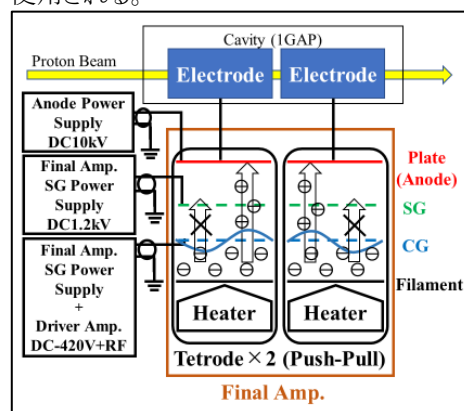


Figure 1: The final amplifier in J-PARC RF.

# masashi.furusawa@kek.jp

### 1.3 RF 電源制御とステータス監視

RF システムの終段増幅器電源、駆動段増幅器電源、陽極電源は、それぞれの電源の制御盤に設置された PLC ユニットにより制御される。

制御方法は、電源設置場所である電源棟から、各電源制御盤 PLC ユニットに接続されたタッチパネルを操作し電源制御とステータス監視を行うローカル制御、RF 機器の全ステータスを終段増幅器電源制御盤 PLC ユニットに集中し、PLC ユニットのイーサネットに繋ぐことで、イーサネットに繋がれた遠隔地のオペレーターインターフェースから操作ができるリモート制御の 2 種類になる。

また電源棟内の電源やトンネル内の機器からのインターロック信号は、一度終段増幅器電源の制御盤 PLC ユニットの経路で、上位の制御系に送られ、ビーム停止や廃棄に利用される。これを Machine Protection System (MPS) と呼ぶ。

Figure 2 に、J-PARC,MR での電源制御とステータス監視の構成を記載する。

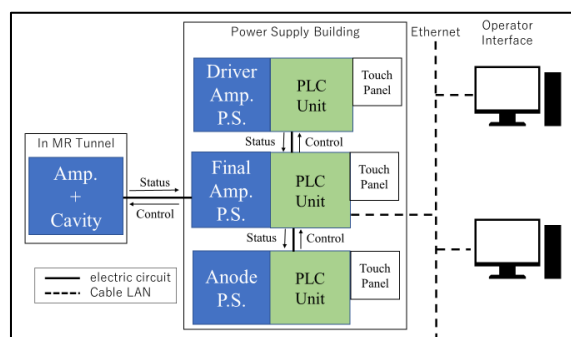


Figure 2: The configuration of MR-RF Control System.

## 2. PLC-CPU モジュール

### 2.1 Programmable Logic Controller

RF システムでは、終段増幅器、駆動段増幅器、陽極電源の入出力コントローラーとして、Programmable Logic Controller (PLC) が利用される。

PLC とは、プログラムによりリレー回路を再現し、シーケンス制御を実行する装置であり、運転や操作の省力化、自動化、無人化の役割を果たす。ユニット全体は、各モジュールを接続するベースモジュール、各モジュールへ電力を供給する電源モジュール、機器へ信号の送受信を行う入力、出力モジュール（それぞれアナログ、デジタル版あり）、動作のためのプログラムを書き込み、他のモジュールに指示を送る CPU モジュール等で構成される。

RF 電源制御盤では、横河電機の FA-M3 シリーズの PLC が使用されている。Figure 3 に終段増幅器電源制御盤で使用される PLC ユニットの構成を記載する。

### 2.2 PLC の CPU モジュール換装によるプログラムスキャンタイム高速化

2018 年まで全 RF 電源制御盤で使用されていた PLC-CPU は製品寿命の経過、メーカーサポート停止等の理由で今後の継続使用が難しい。また 2017 年までの調査で、PLC-CPU 換装によりプログラムスキャンタイムが短縮されることが分かった。これは、新旧機種で比較して、各命令実行時の処理時間が短縮されたためである [2]。

Table 1 に RF システムの PLC-CPU の新旧機種を、Table 2 に終段増幅器電源盤 PLC-CPU 新旧機種を比較を、Table 3 に CPU 換装による新旧機種のスキャンタイムの比較を記載する。

スキャンタイムが短縮されることにより、インターロック信号が高速化され MPS の向上につながる。2017 年度より、加速中のビーム廃棄システム (ms アバート) が導入された [3]。現在、MR 各機器の MPS の向上が求められている。RF システムにおいては、スキャンタイムが短縮されることにより、インターロック信号が高速化され MPS の向上につながる。

以上の通り、機器自体の老朽化、換装による MPS 向上の可能性から、RF システムでは、速やかな PLC-CPU の換装を実施する必要が出た。このため RF 電源制御盤の PLC-CPU の一斉換装を計画した。

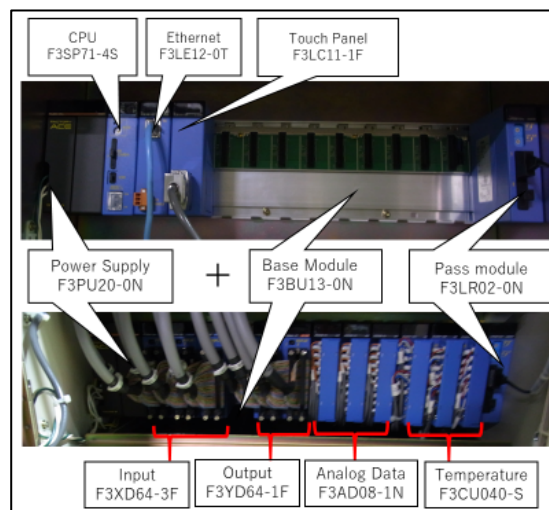


Figure 3: The PLC unit of RF final amp.

Table 1: The Old and New PLC-CPU Modules Used in J-PARC RF

CPU	Old	New
Final Amp.	F3SP53-4S	F3SP71-4S
Driver Amp.	F3SP21-0N	F3SP22-0S
Anode PS	F3SP58-6S	F3SP76-7S

Table 2: The Old and New PLC-CPU Modules in RF Final Amp

	F3SP53-4S	F3SP71-4S
Scan time		
Basic program	0.0175 $\mu$ s~	0.00375 $\mu$ s~
Application program	0.07 $\mu$ s~	0.0075 $\mu$ s~
Number of program types		
Basic program	37	40
Application program	324	445

Table 3: The Scan Times of the Old and New PLC-CPU Modules Used in J-PARC RF

Program Scan time	Old	New
Final Amp.	1.5ms	1.0ms
Driver Amp.	2.0ms	0.5ms
Anode PS	0.4ms	0.1ms

## 2.3 PLC-CPU 換装作業

換装する PLC-CPU 1 台につき、以下の作業を実施した。

- 電源制御盤に設置されている旧 PLC-CPU のプログラムのバックアップをダウンロード
- 旧 PLC-CPU をユニットから取り外し、新機種を取り付け
- 旧 PLC-CPU から取り出したプログラムの設定を、ラダープログラム編集ソフトで変更し、新旧換装で既存のプログラムが使用可能か確認
- 新規 PLC-CPU に、設定変更したプログラムをアップロード

MR-RF の電源制御盤に関しては、下記の工程で PLC-CPU の全機種換装を実施した。

- MR-RF7 号機の PLC-CPU 換装 (2018 年 2 月)  
第三電源棟に 9 組設置されている MR-RF 電源制御盤の全 PLC-CPU 一斉換装に先立ち、動作確認のために MR-RF7 号機電源制御盤の PLC-CPU を全て換装した。2019 年の長期メンテナンスまで大きな問題が出なければ、残りの MR-RF 電源についても換装する計画を立てた。
- MR-RF 全電源の PLC-CPU 換装 (2019 年 6 月)  
2019 年の長期メンテナンスまで、新規 PLC-CPU を組み込んだ 7 号機では特に大きな問題は発生せず、RF システムにおける新機種の正常動作を確認できた。このため 2019 年の 6 月に、MR-RF 全電源盤の PLC-CPU を換装した。

新規 PLC-CPU を組み込んだ RF 電源は、現時点では特に問題を起こさずビーム運転に利用されている。RCS の全 RF 電源盤の PLC-CPU についても、2020 年の長期メンテナンス中に換装を予定している。

## 3. 電源制御盤タッチパネル

### 3.1 電源制御盤タッチパネルの機能停止と換装

RF 電源の操作とパラメータ監視は、各電源に据え付けられたタッチパネルで行う。タッチパネルは、各電源制御盤 PLC のデータ送受信モジュールと接続され、PLC-CPU 内のデータレジスタに格納された数値の表示し、またパネル操作により PLC ユニットに動作の命令を出す。Figure 4 に終段増幅器電源盤で使用されるタッチパネルについて記載する。

2017 年度より、終段増幅器電源に取り付けられたタッチパネルにて、液晶画面 LED の寿命超過による機能停止が頻発している。現在据え付けられている機種は販売と修理対応が終了しているため、後継機種を選定して故障した旧機種と交換する必要がある。Table 4 に RF 電源で使用されるタッチパネル新旧機種の詳細を記載する。電源盤タッチパネルの更新作業は、故障した旧機種から随時新機種に換装する計画を立てた。

Table 4: The Old and New PLC-CPU Modules Used in J-PARC RF

Touch Panel	Old	New
Final Amp.	GP2500-TC11	GP4501-TA
Driver Amp.	GP2301-SC41	GP4301-TA
Anode PS	GP2500-TC11	GP4501-TA

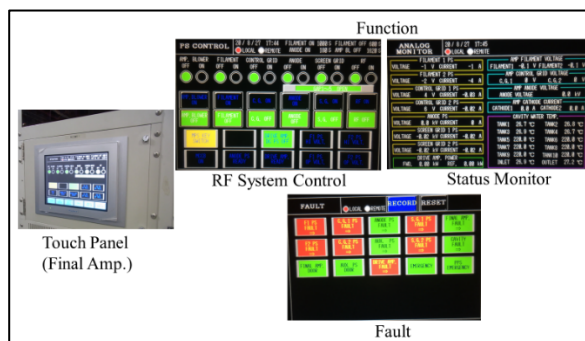


Figure 4: The touch panel used in RF final amp.

### 3.2 タッチパネル換装作業

換装機器 1 台につき以下の作業を実施した。

- 電源制御盤に取付済の旧機種からパネルデータをダウンロード
- 旧機種を電源盤から取り外し、新規機種を取り付け
- 旧機種から取り出したパネルデータを編集用ソフトにて形式変更し、使用不可のデータが無い確認
- 形式変更されたパネルデータを、タッチパネル新機種にアップロード

タッチパネルの換装は、現時点では MR 終段増幅器で 2 台、RCS 終段増幅器で 4 台が完了している。稼働している新機種については、特に問題は発生していない。今後も故障した機種から順次新機種に換装する予定である。

## 4. まとめ

本紙では、現在経年劣化が懸念される J-PARC シンクロトロン RF システムの電源制御盤機器の更新について、現在までに実施した PLC-CPU モジュールと電源盤タッチパネルについて記載した。

PLC-CPU については、換装によってインターロック信号の高速化につながるため、全機種の一斉換装を計画した。2020 年度までに RF システムの全 PLC-CPU モジュールの換装が完了する予定である。

近年液晶画面の故障が多発している電源盤タッチパネルについては、故障した旧機種から随時新機種への換装を行っている。

新機種への換装が完了した機器については、現時点では大きな問題は発生せず、ビーム運転に利用されている。

## 参考文献

- [1] 朝倉書店, “電磁気学応用 II”, p. 17, 1.5 四極管および五極管.
- [2] M. Furusawa *et al.*, “J-PARC Main Ring 高周波システムの Machine Protection System 高速化”, Proceedings of the 15th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, August 7-10, 2018, Nagaoka, Japan, pp. 480 – 483.
- [3] T. Kimura *et al.*, “J-PARC MR-MPS を用いた即時アポートシステムの開発”, Proceedings of the 15th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, August 7-10, 2018, Nagaoka, Japan, pp. 609 – 612.