

## J-PARC ハドロン実験施設における電磁石用電源制御システムの開発

### DEVELOPMENT OF POWER SUPPLY CONTROL SYSTEM FOR J-PARC HADRON EXPERIMENTAL FACILITY

上利恵三<sup>#</sup>, 里嘉典, 豊田晃久, 森野雄平, 秋山裕信

Keizo Agari<sup>#</sup>, Yoshinori Sato, Akihisa Toyoda, Yuhei Morino, Hironobu Akiyama  
High Energy Accelerator Research Organization, KEK

#### Abstract

A new control system of magnet power supply at J-PARC Hadron experimental facility has been developed to work with a Programmable Logic Controller (PLC). The control PLC consists of sequence CPU, input, output, A/D and D/A modules. The control PLC handles status and signals of interlock, the power supply and magnet with input and output modules. The PLC also outputs reference voltage from a D/A module and monitors current and voltage values of the power supply with an A/D module. The PLC can be remotely controlled with a touch panel. In addition, we measured the stability of the power supply controlled with the PLC. This paper reports the current development of power supply control system at the J-PARC Hadron experimental facility.

#### 1. はじめに

Japan Particle Accelerator Research Complex (J-PARC) では加速器により 30GeV に加速された陽子ビームはハドロン実験施設[1](図 1)に輸送される。ハドロン実験施設では加速器から遅く取り出された陽子ビームを直流電源で通電した常伝導電磁石を使用し偏向・収束・拡散させ、二次粒子生成標的[2]やビームダンプ[3]まで導いている。現在ハドロン実験施設内で電磁石用直流電源は 1 次ビームラインで 42 台、2 次ビームラインで 40 台以上の直流電源を使用してビーム運転を行っている。

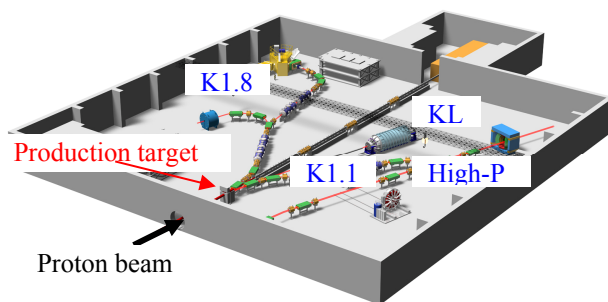


Figure 1: Illustration of Hadron experimental facility.

#### 2. 電源制御システム

##### 2.1 概要

現在のハドロン実験施設は 2005 年までビーム運転した KEK12GeV-PS カウンターホール電源制御システム[4]を使用しており、老朽化が問題となっている。またハドロン実験施設の 2 次ビームラインは物理実験によりビームラインの形状、構成が頻繁に変更し、電源や電磁石は

設置場所、電流・電圧値、極性なども変更する。例えば 2016 年 8 月現在では High-P、COMET ビームラインが新たに建設されている。上記より電源制御システムの追加や更新も必要になるため、機器の老朽化のため、もしくは制御システムにトラブルが発生した時の可搬型代替制御システムとして使用するため、新しい電磁石用電源制御システムの開発を行っている。

直流電源と制御システム間ではプログラム電圧を出力し、電源の電流・電圧値を監視するためのアナログ入出力信号、インターロックの状況と信号(扉開、過電流、漏水、重故障)、電源の状態(極性、ON 状態、遠隔操作可能)、電源操作信号(ON、OFF、インターロックリセット、転極操作)、電磁石状態(冷却水温度異常、流量)の接点入出力信号を通信している。

##### 2.2 PLC

新しい電源制御システムは Programmable Logic Controller (PLC)を使用した。PLC は横河電機 FA-M3V シリーズを採用した。PLC はシーケンス CPU、アナログ入力(A/D)、アナログ出力(D/A)、入力、出力モジュールから構成される。使用したモジュールの型番は表 1 に示す。

Table 1: PLC Modules

Sequence CPU	F3SP71-4S
A/D	F3AD08-5R
D/A	F3DA04-6R
Input	F3XD16-3F
Output	F3YC16-0N

<sup>#</sup> agari@post.kek.jp

電源と制御システム間のアナログ信号は A/D、D/A モジュールで、また接点信号は入力、出力モジュールで通信を行う。これらの信号の制御はシーケンス CPU モジュールで行い、D/A モジュールは電源の電流値を制御するプログラム電圧を出力する。D/A モジュールの精度は $\pm 0.1\%$  ( $23 \pm 2^\circ\text{C}$ )、 $\pm 0.3\%$  ( $0-55^\circ\text{C}$ )である。

遠隔操作は PLC と Ethernet 接続しているタッチパネルで行い、電源の ON、OFF が可能で、設定電流値の入力もできる。PLC とタッチパネルの画像を図 2 に示す。

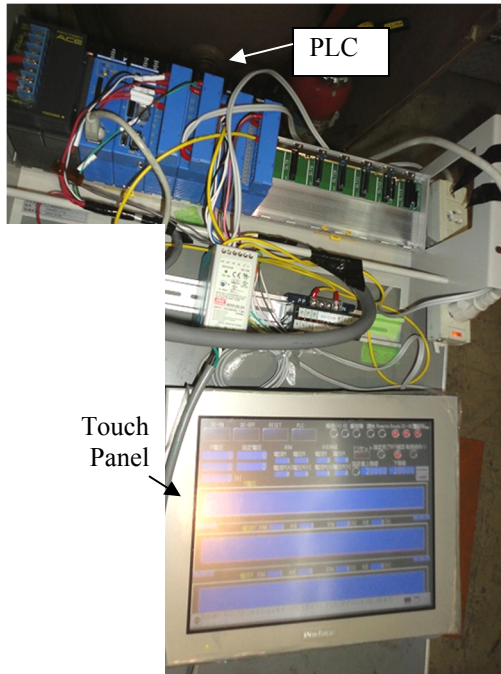


Figure 2: Photograph of PLC and touch panel.

### 2.3 制御方法

電源制御の ON 操作順序は下記になる。

1. タッチパネルにより遠隔操作し PLC は電源 ON 信号を受信。
2. PLC から電源へインターロックリセット信号を送信。リセット不可能であれば、通電不可。
3. リセット後、極性を確認し、必要であれば転極操作。
4. PLC から電源へ電源 ON 信号を送信。
5. PLC は電源の ON 状態を確認し、設定電流値までプログラム電圧を出力。
6. 設定した電流値に到達したか確認し、運転状態となる。

また電源 OFF 操作順序は下記になる。

1. タッチパネルにより OFF 信号を出力し、PLC が受信。
2. PLC によりプログラム電圧を徐々に低下させ、最終的に 0[V]に設定。
3. PLC から電源へ電源 OFF 信号を送信。
4. 電源の OFF 状態を確認。

上記の制御ロジックを実際の電源で遠隔操作させたところ、問題無く通電できたことを確認した。

## 3. 安定度試験

### 3.1 試験概要

タッチパネルにより PLC の遠隔操作を行うことが可能になったため、電源を設定電流値にまで遠隔操作させ、電源の安定度を測定した。

### 3.2 安定度の測定方法

電源の安定度測定の方法を図 3 に示す。

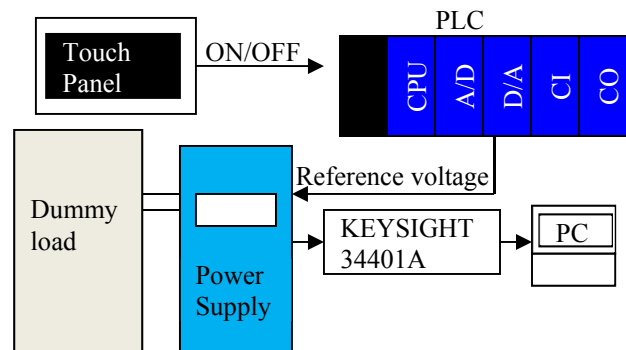


Figure 3: Conceptual diagram of stability test.

電源は IDX 社製、50kW (50V、1000A)サイリスタ型直流電源で 1970 年代に製造されたものを使用した。この電源の安定度は定電流モードで $\pm 0.05\%$ 以内である。電源の負荷はステンレス配管に冷却水を流したダミー負荷を使用した。

測定機器は KEYSIGHT 社 34401A デジタルマルチメータを使用した。34401A は  $6\frac{1}{2}$ 桁分解能を持つ。34401A のデータはパーソナルコンピュータによりサンプリング時間を 440msec とし記録した。また安定度の測定に並行して K 型熱電対を用いて周囲温度も 5 秒周期で測定した。

安定度の測定はまず PLC により電源を動作し電流値を 900[A]に設定し 3 時間、定電流モードで通電した。電源の出力電流値は実際の電流値 0-1000[A]を 0-10[V]に変換した出力電圧を測定した。

試験時の画像を図 4 に示す。



Figure 4: Photograph of power supply and measurement devices.

### 3.3 試験結果

安定度の測定結果を図5に示す。縦軸は出力電流値を0-10[V]に変換した電圧値と周囲温度(第2縦軸)、横軸は時間を示す。緑色の線は電流値を変換した電圧値、赤色の線は周囲温度を示している。

PLCのD/Aモジュールのアナログ信号を電源に入力した結果、安定度は全通電時間では0.0286[%]で、図5の青色線のように局所的に20分間のみの通電時間だと0.0229[%]であった。この電源の仕様内の安定度は0.05[%]以内なので、仕様を満たすことがわかった。また通電前後の周囲温度差は3.7[K]であった。

この安定度で加速器運転は可能であるが、さらに安定度が良い通電方式としては、ソース源をPLCのD/Aモジュールではなくソースメジャーユニットなどに置き換え、それをPLCと接続すれば可能である。

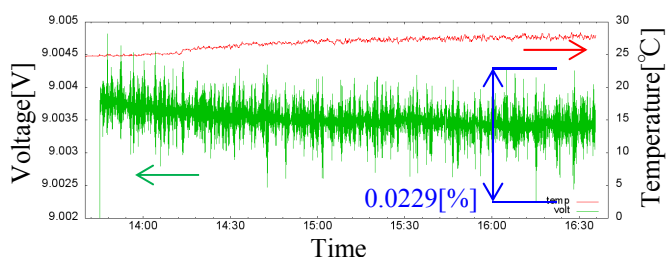


Figure 5: Stability and temperature of magnet power supply.

## 4. まとめ

PLCを使用した電磁石電源制御システムを構築し、安定度を測定した結果、下記のことが分かった。

- J-PARC ハドロン実験施設の電源制御システムはKEK つくばキャンパス 12GeV-PS で使用されているため、老朽化が問題となっている。
- PLC で電源制御システムのラダーを構築し、実際の電源を通電することにより、遠隔操作できることを確認した。
- PLC の D/A モジュールをソース源とした電源の安定度測定を行った結果、電流値 900[A]では通電 3 時間の安定度は 0.0286[%]であることがわかった。この安定度は電源仕様の安定度より低い。
- この安定度で加速器運転を行うことができるが、より精度が欲しいのであれば、ソースメジャーユニットなどでソース源を代替したのも PLC では構築可能である。

## 謝辞

本研究は、JSPS 科研費 JP26800153 の助成を受けたものです。

## 参考文献

- [1] K. Agari, *et al.*, "Secondary charged beam lines at the J-PARC hadron experimental hall", Progress of Theoretical and Experimental Physics (PTEP), 2012.
- [2] H. Takahashi, *et al.*, "Indirectly water-cooled production target at J-PARC hadron facility", Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, September 2015, Volume 305, Issue 3, pp. 803-809.
- [3] K. Agari, *et al.*, "Development and Construction of The Beam Dump for J-PARC Hadron Hall", Proceedings of the 2nd International Particle Accelerator Conference (IPAC), San Sebastian, Spain, Sep. 4-9, 2011, pp. 1608-1610.
- [4] Y. Suzuki *et al.*, "UPGRADE OF A LOW-LEVEL CONTROLLER OF MAGNET POWER SUPPLY", Proceedings of ICALEPCS 2003, Gyeongju, Korea, Oct. 13-17, 2003, pp. 182-184.