

Update of the power supply control system for the pulsed injection magnets at the PF ring

Shinya Nagahashi ^{#A)}, Akira Ueda ^{A)}, Mitsuharu Oowada ^{B)}, Takashi Obina ^{A)}, Kentaro Harada ^{A)}, Yukinori Kobayashi ^{A)}

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

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

^{B)} Mitsubishi Electric System & Service Co., Ltd.

2-8-8 Umezono, Tsukuba, Ibaraki, 305-0045

Abstract

A top-up operation has been continued at the Photon Factory storage ring (PF-ring) since 2009. We update the power supply control system for the pulsed injection magnets to upgrade those stabilities and to modify for the epics-compliant system at the PF ring.

PF リングにおける入射用パルス電磁石電源制御系の更新

1. はじめに

2.5GeV の放射光源用電子蓄積リングである Photon Factory Storage Ring (PF リング) では、2009 年 10 月より Top-up 入射による本格的なユーザー運転が始まり、入射時の蓄積ビームの安定化が重要な課題となってきた。一方、PF リングにおける大半の制御系が Experimental Physics and Industrial Control System (EPICS^[1]) に対応したものへと更新されている中で、既存の入射用パルス電磁石電源制御系 (旧制御系) は旧来のまま使用されているため、信頼性と拡張性の低さが問題となってきた。そこで、今回、入射用パルス電磁石電源制御系も EPICS に対応したものへと更新することとなった (新制御系)。

本発表では、新旧制御系の概要と動作試験の結果について報告する。

2. 旧制御系

旧制御系の概要について簡単に説明する。旧制御系は、電源メーカー製の集中制御装置 (KS コントローラ)、Computer Automated Measurement and Control (CAMAC)、CAMAC Interface Board (CAMAC I/F ボード) を備えた Windows NT、ヒューレット・パッカー社製のワークステーション (HP-UX)、そして、Virtual Prototypes 社の商用ソフトウェア Virtual Avionics Prototyping System (VAPS) で書かれた Graphical user interface (GUI) で構成されている (図 1)。

KS コントローラは、ステータス表示用の LED や ON/OFF スイッチの付いた操作盤を備えているだけでなく、電源はもちろん、CAMAC や電流モニターの信号の中継まで行っている多機能な装置である。しかし、20 年以上も前に作られた専用品で予備品もなく、CAMAC とやりとりする信号の点数も少ないため、前章でも述べた通り信頼性と拡張性の低さが問題となっていた。また、インターロック発生時や ON/OFF 操作時に誤動作する問題も抱えていた。

CAMAC は、加速器の分野で多く使われてきた入出力装置だが、導入当時のまま使用されていることが多く、また、高価である。このため、同装置の更新や、同様の装置を新規に導入する際には、PLC 等別の方式が採用されるようになってきた。実は、システムを EPICS に対応させるだけであれば、既存の CAMAC クレートコントローラをボードコンピュータが内蔵された CC/NET 型ネットワーククレートコントローラに変更するだけで可能となる。しかし、今回は信頼性と拡張性の向上を目的に更新を行っているため、この方式は採用しない。

CAMAC I/F ボードは、OS が Windows NT のパーソナルコンピュータ (PC) に挿さっているが、他の OS やハードウェア上で動作するかどうかといった検証はなされていないため、この PC の故障は致命的である。

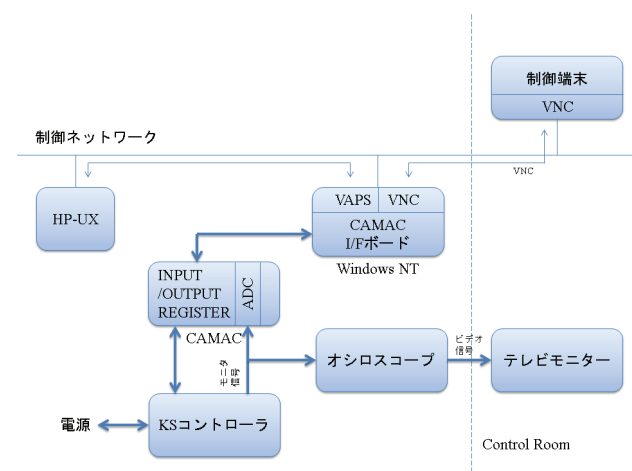


図 1 : 旧制御系の概念図

HP-UX 上では、CAMAC や VAPS で書かれた GUI と情報をやり取りしながら、制御プロセスが走っている。中でも、キッカー電磁石本体に短絡等のトラブルが発生すると電流波形が乱れることを利

shinya.nagahashi@kek.jp

用して、ADC に取り込んだ電流波形のピーク値を常に監視し、異常時にはキッカー電源を速やかに停止するインターロックをかけているが、近年、この誤動作が頻発している。更に、HP-UX のサポート期間が終了しているために修理が不可能となっており、HP-UX の故障は致命的である。事実、使用していた HP-UX は既に故障しており、現在は、代替の HP-UX 上で動作している。

他にも、キッカー電磁石の電流波形をオシロスコープに入力して、そのビデオ信号を制御室まで送り、実際に目で見ることによってキッカー電磁石本体の健全性やタイミングのずれの監視を行っていた。また、セプタム電磁石の電流波形は監視していなかった。

最後に、近年、通信エラーによりこれらの制御ソフトウェアの起動に失敗することが多くなってきており、更新は急務となってきた。

3. 新制御系

3.1 新制御系の概要

旧制御系は、前章でも述べた通り信頼性と拡張性に問題を多く抱えていたため、電源から KS コントローラに繋がっている制御線のコネクタを、そのまま新制御系に繋ぎ換え、制御系全体を新規に構築することとした。新制御系の概念図を図 2 に示す。新制御系では、更に、オシロスコープの電流波形を画像として表示するとともに、デジタル化して波形のピーク値やタイミングを常に監視し、また、光ファイバセンサ温度計を追加して計測したキッカー電磁石本体の温度情報も一括して管理できる様にした。これにより、電磁石本体の異常時にも柔軟でかつ迅速に対応することが可能となり、信頼性は更に向上する。これらを実現するために、全ての制御情報を Programmable logic controller (PLC) で集中管理する方式を採用し、開発を行った。

次節より、各機器の詳細について説明する。

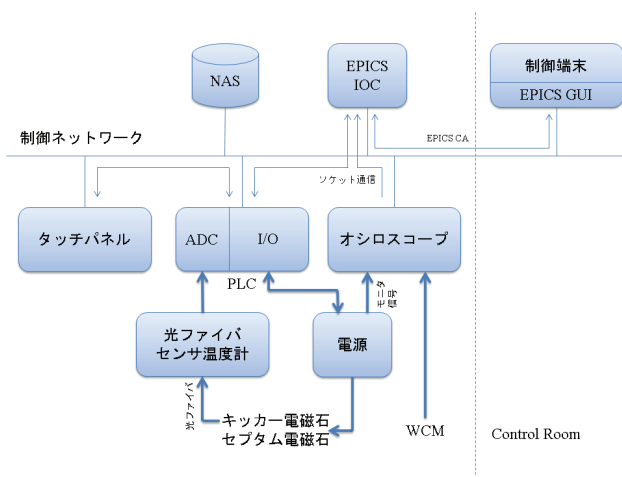


図 2：新制御系の概念図

3.2 パーソナルコンピュータ (PC)

EPICS の Input output controller (IOC) を動作させるために、1U サイズの Linux PC を導入した。実際のファイルは NFS マウントされた Network Attached Storage (NAS) 上に保存されているため、EPICS Base 等のソフトウェアをインストールする必要がなく、スムーズに導入することができた。また、PC が故障した場合には、応急的に他の PC 上で動作させることができるため、個別にバックアップを取っておく必要もない。

3.3 PLC、タッチパネル

PLC は、電源本体の制御機器として多くの電源に組み込まれており、電源への導入実績は十分である。また、横河、三菱、オムロン、キーエンス各社の PLC 用に、EPICS のデバイスサポートが用意されているため、これらの PLC を採用すれば EPICS 開発の手間を大きく省くことができる^[2]。今回は、その中から、プログラミングの容易さ、アナログ出力モジュールの出力レンジの多様さ、ATF における導入実績^[3]等を考慮し、キーエンス社の PLC を採用した。今回は、CPU モジュール、光ファイバセンサ温度計用のアナログ入力モジュール、電源ステータス読み込み用のデジタル入力モジュール、電圧電流値設定用のアナログ出力モジュール、電源制御用の接点出力モジュールを使用した。電源と信号をやり取りする各モジュールは、電源毎にコモン端子を分けたり、モジュールを分けたりして、ノイズによる他電源との混信を避ける様に工夫した。

タッチパネルは、一般的にはデジタル社のものが良く使われるが、キーエンス社のものはラダープログラムのアドレスやデバイスコメント一覧を直接取り込み、それらをデザインテンプレートにドラッグ & ドロップするだけでパーツを配置することができるため、同社のものを採用した。

3.4 オシロスコープ

既存のオシロスコープには Ethernet Port がなかったため、Agilent 製の DSO5000 シリーズを導入した。パルス幅約 1.2μsec のキッカー電磁石用には 300MHz 帯域、パルス幅約 80μsec のセプタム電磁石用には 100MHz 帯域のものを採用した。また、キッカー電磁石とビームとのタイミングを正確に合わせるため、壁電流モニター (Wall Current Monitor、WCM) の信号をキッカー電磁石用のオシロスコープに入力している。

最新のファームウェアをインストールすれば、内部で安定した VNC サーバーが動作しており、ネットワーク上から表示や制御が可能である点が優れている。また、この機能は EPICS 動作時にも使用可能であり、開発の手助けとなった。しかし、制御コマンドの送信するタイミングが良くなかったり、不正なコマンドを送ってしまったりと、動作が不安定になるため、最終的には開発に多くの時間を費やしてしまった。

オシロスコープで補足した全ての波形を、約 1Hz



図3：現場制御の動作試験時に使用したタッチパネル画面の一例。左からステータス表示、スタンバイ入切操作とその状態、運転停止操作とその状態。

で EPICS の WAVEFORM レコードに格納し、GUI で波形を表示する(図4)とともに、EPICS シーケンサで波形のピーク値やタイミングを計算させる様、EPICS デバイスサポートを開発した。まだ、これらの値をインターロックに取り込むにあたって、ノイズやエラー処理、長時間安定性の評価といった作業が必要だが、これも本年9月のユーザー運転開始までにはクリアできると思われる。

3.5 温度計

キッカー電磁石の表面温度を測定するために、高電圧充電部、強電磁界中でも温度の測定が可能な、高岳製作所製の光ファイバセンサ温度計を採用した。この温度計には、標準で0~200°C/0~10Vのアナログ出力端子が備えられており、この信号をPLCのアナログ入力ユニットに取り込むことにより、PLCで温度を監視することができる。ただし、光ファイバを使用しているため、放射線によるダメージには十分気を付ける必要がある。幸いにもPFリングでは一度も放射線によるトラブルは発生していないが、最大8GeVの電子を加速する電子・陽電子線形加速器(LINAC)の最下流に設置したパルス偏向電磁石に取り付けられた同温度計のセンサ部は、幾度となく故障し、交換を行っている。

4. 動作試験結果

4.1 現場制御

タッチパネルから実際に電源を制御し動作試験を行った。ここで、タッチパネルは、ネットワークを介してPLCと通信を行っているため遠隔制御とも言えるが、タッチパネルが電源横(現場)にあるので現場制御として話を進めさせていただく。この時使用した操作画面の一例を図3に示す。ステータス表示、フィラメント入切や運転停止操作、電圧電流設定を行い、問題のないことを確認した。また、PF



図4：遠隔制御の動作試験時に使用したGUI。左上がステータス表示と運転停止操作、右上がキッカー電磁石表面温度の監視、右下がキッカー電磁石とセプトム電磁石の電流波形とそのピーク値。

リングの入射用パルス電磁石電源は最高25 pulse per second (p.p.s)で運転することが可能だが、1p.p.sで実際に電磁石を励磁してみたところ、30分程度ではあったが、誤動作等もなく問題ないことが確認できた。

4.2 遠隔制御

EPICSのGUIより動作試験を行った。この時使用したGUI群を図4に示す。GUIはEPICS標準ツールである、Motif Editor and Display Manager (MEDM)やExtensible Display Manager (EDM)を使用して作成した。PLCのアドレスを書き替えることによりGUI上の表示が変化する事、GUIを操作することによりPLCのアドレスが書き換わる事を確認した。時間の都合上、実際に電源を制御させることはできなかったが、先の現場制御の動作試験結果と併せて考えれば、全て問題ないことが確認できたといえるだろう。

5. まとめ

旧制御系を新制御系へと更新する作業は、機器の設置や機器間の接続も完了し、動作試験まで問題なく終了した。まだ、細かい修正やインターロックシーケンスの追加、安定度の検証といった作業が残されてはいるが、本年9月のユーザー運転開始までには十分な時間があるため、それまでには実運転に十分耐えられる性能を有しているものと思われる。

参考文献

- [1] <http://www.aps.anl.gov/epics/>
- [2] J.Odagiri, et al., “ネットワーク・ベースのデバイスのためのEPICSデバイス/ドライバサポート・モジュールの開発”, 第3回加速器学会年会 Proc., pp925-927
- [3] J.Ozawa, et al., “ATF放射線安全インターロックシステム”, 第6回加速器学会年会 Proc., pp499-501