

IMPROVEMENT OF CONTROL SYSTEM AT POWER SUPPLY OF STB RING

Kenichi Nanbu[#], Shigeru Kashiwagi, Masayuki Kawai, Fujio Hinode, Yoshinobu Shibasaki, Shigenobu Takahashi, Yuu Tanaka, Ikuro Nagasawa, Fusashi, Miyahara, Toshiya Muto and Hiroyuki Hama
 Research Center for Electron Photon Science, Tohoku University
 Mikamine 1-2-1, Taihaku-ku, Sendai, Miyagi 982-0826, Japan

Abstract

A new control system for magnet power supply of the booster synchrotron (STB ring) has been developed to ensure stable operation. The main magnet power supply of STB ring is composed of a bending magnet power supply, three Quadrupole magnet power supplies together with some steering magnet power supplies. Remote control of the magnet power supplies used to be performed using CAMAC type control module units. Since this CAMAC based control system become to have some problems in reliability and serviceability, the control system has been completely renewed employing a Field Programmable Gate Array (FPGA) module on PCI eXtensions for Instrumentation (PXI).

STB リング電磁石電源の制御システム更新

1. はじめに

東北大電子光理学研究センター（旧核理研）が保有する 1.2GeV ブースターシンクロトロン（STB リング）の偏向電磁石と 4 極電磁石の電源を制御している電磁石電源制御システムは設置から 13 年余り経過しており、システムの老朽化による信頼性、保守性低下を抜本的に解決するため制御システムを早急に更新する必要があった。新制御システムには従来の制御システムで問題となっていた信頼性と保守性の向上と高い拡張性が要求される。それらの要求を満足する制御システムとして PCI eXtensions for Instrumentation(PXI)上で動作する Field Programmable Gate Array (FPGA)搭載モジュール^[1]に着目し検討を行った結果、FPGA を搭載していることにより電磁石電源制御に必要な機能を 1 ユニットで実装でき、拡張性も高いことがわかった。そこで我々は新制御システムに PXI-FPGA モジュールを採用することを決断し制御システムの開発を行った。FPGA 及びデバイスドライバは LabVIEW 上で開発した。LabVIEW を使用したためテストベンチの構築が容易になりシステム開発期間を大幅に短縮することが出来た。開発した新システムは 2010 年 4 月より安定に稼動している。本報告ではこの新規開発した制御システムの詳細と今後の予定について報告する。

2. STB リング

東北大学電子光理学研究センターに設置されている STB リングは、最大エネルギー1.2GeV、周長 50m の小型リングである。LINAC からのパルスビームを連続ビームに変換するパルスストレッチャー機能と、最大 1.2GeV まで加速可能なブースター機能を有している。現在の加速器の利用運転は主として、高エネルギーガンマ線を用いた原子核実験であり、ブースターモード運転のみ行っている

^{[2][3]}。ブースター運転モードとは、フラットトップ時間が 5~60 秒程度のパターン運転を行う運転モードのことであり、蓄積されたビームは高エネルギーのガンマ線生成に用いられる。表 1 に STB リングの基本的なパラメータを示す。

表 1 : Parameters and status of the STB ring

Lattice type	Chasman-Green
Superperiodicity	4
Circumference	49.7 m
Maximum energy	1.2 GeV
Injection energy	0.15 GeV(nominal)
Betatron tune	(3.22, 1.15)*
Chromaticity	(~-5.5, ~-4.7)*
RF frequency	500.14 MHz
RF voltage	140 kV
Harmonics	83
Natural emittance	170 nmrad(@1.2 GeV)
Momentum compaction α	0.0378
Dispersion	<10 cm*
x-y coupling coefficient	0.005*
Beam current	<20 mA* (@1.2GeV)
Lifetime	~ 10min* (@1.2GeV)

* Measured value

3. 制御システムの更新

3.1 従来の制御システムの課題

従来の STB リング電磁石電源制御システムの課題は、信頼性・保守性そして拡張性が低いことであった。これまで制御対象機器の増加に伴い幾度かの改修を重ねたため、使用しているモジュールがかなり特殊なものとなり保守性が著しく低下していた。また設置から 13 年余り経過し、設置していた環境も悪かったためか老朽化による故障が多発するようになり、ダウンタイムが年々増加して信頼性が低下してきていた。

[#] nanbu@ins.tohoku.ac.jp

また従来の制御システムでは機能追加を行う場合にはモジュールを新たに開発するか既存モジュールを改造する必要があるとあり、容易に機能追加を行えるような構成でないため拡張性が著しく低かった。加えて電磁石電源の制御インタフェースが特殊であったため汎用品を使用して制御することも難しくこの点も大きな課題となっていた。

3.2 新制御システムへの要求

新制御システムには従来の制御システムで問題となっていた、信頼性、保守性の向上と高い拡張性が要求される。産業分野で広く用いられているシステムを採用することで、信頼性・保守性という点は確保可能であると考えた。またそれらの機器は拡張性が高いことも多い。しかしながら STB リング電磁石電源は、シンクロトロン電源であるにも関わらずパターン運転用のパターンメモリを内蔵していない。そのためパターン運転時には毎回出力電流値をデータベースを介して電源に送信する必要があり、さらに送信タイミングが 4 台の電源すべてについて同期している必要がある。このような特殊な制御インタフェースのため、そのまま汎用品を適用することは難しい。更には従来の制御系のように特殊なモジュールを開発すると信頼性・保守性、特に保守性が大きく低下してしまうことは容易に想像できる。よってハードウェア自体は汎用品であるが、ユーザー自身でハードウェアを自由に構成できるようなものが望ましい。

将来的には測定器の統合などを行う予定であり、拡張性が高く機能追加が容易に行える構成であることも強く要求される。

3.3 新システムの構成

前述の要求を満足するために、制御プラットフォームとして PXI を採用した。PXI は計測器向けの標準規格であり、高い拡張性を持ちながら低コストであるという特長を有している。PXI システムは一つの筐体で大規模な計測・制御システムを構築するのに適しており、そのためバックボードにモジュール間の同期信号が準備され、異なるモジュール間で容易に同期を取ることが可能である。またデータ転送速度も速く大量のデータを扱うことが可能である。加えて PXI システム採用の大きな要因として汎用的に使うことができる FPGA モジュールが準備されていたことも大きな利点として挙げられる。前述のとおり STB リングの電磁石電源はすべての電源に対して完全同期でパターンデータを送信する必要があること、パターンメモリ容量が変更可能であることなど汎用品での対応が難しいことが更新の上で大きな障害となっていた。しかし FPGA 搭載モジュールの使用によりこのような問題はすべて解決することが出来る。FPGA の内部ロジックを STB 電磁石電源に合わせて再構成することにより制御が可能となった。FPGA の使用によりハードウェアの自由度が飛躍的に向上するため、機能追加等は容易に行える構成と

なった。図 1 に新制御システムの構成を示す。この構成では主な制御機能は PXI-7854R に実装されており、コントローラ PXI-8102 はデータベースとの通信処理のみ行っている。

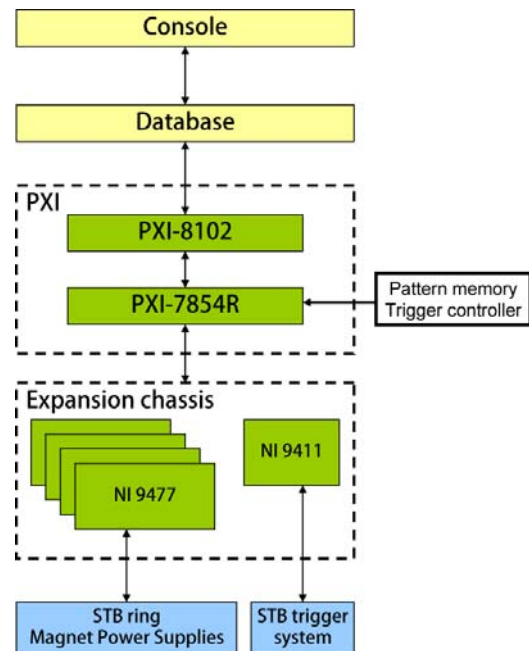


図 1 : 電源制御システムの構成図. PXI-7854R 上にパターンメモリ、ハードウェア I/F を構築し電源を制御している。Expansion Chassis は電気レベル変換と出力端子数の拡張のために使用している。

3.4 新制御システム

FPGA の ROM データ及び FPGA モジュール用デバイスドライバは LabVIEW 上で開発した。特に FPGA の開発を LabVIEW 上で行うことは初めての経験であったが Hardware Description Language(HDL) による開発と比較して、開発期間を大幅に短縮することが出来た。その要因としては FPGA のシミュレーション環境すなわちテストベンチ構築の容易さが挙げられる。FPGA 及びデバイスドライバの開発期間は運用試験まで含めて正味 1 ヶ月程度であった。図 2 に FPGA のブロック図を示す。FPGA リソースの使用率は 40%程度である。開発した PXI システムの写真を図 3 に示す。従来の CAMAC システムに比べ体積比で 1/4 以下となり小型化できた。本制御システムは雰囲気環境が外気とほぼ同じ建屋に設置される。対環境性を高めるために PXI システムを収納する制御ラックを密閉式とした。制御ラックの熱交換は純水が封入されたヒートパイプにより行われる。この方式は基本的にメンテナンスフリーであり制御盤や通信装置の熱交換に多用されている。

3.5 FPGA 搭載モジュール

使用した FPGA モジュールは National Instrument(NI)製 R シリーズマルチファンクション RIO デバイスの PXI-7854R である。FPGA は Xilinx 製 Virtex-5LX110^[4]を搭載しており、デジタル及びア

ナログ入出力を有している。また拡張シャーシにより入出力信号点数の拡張や様々な電気レベルに対応することが可能である。図4に示すように今回開発したシステムにも電気レベル変換と出力信号数拡張のために NI-9477 (シンク出力モジュール) と NI-9144 (差動入力モジュール) を使用した。故障頻度の比較的高い電気レベル変換部が別モジュールになっていることから保守の点からも望ましい構成と思われる。

また本来電磁石電源制御用にこれほど大規模な FPGA は必要ないが、電磁石電源のパターン動作を格納するメモリ容量や将来的な拡張性から本モジュールを採用している。

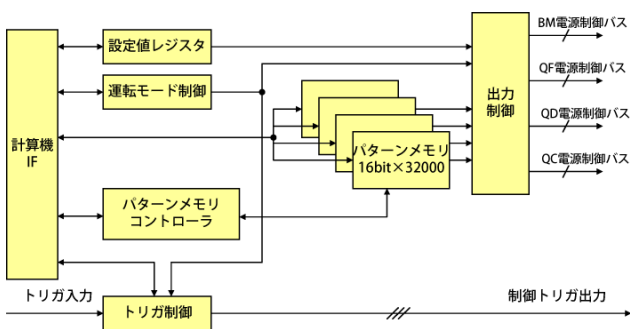


図2: PXI-7854R 搭載 FPGA のブロック図。パターンメモリ、出力信号制御、運転モード制御、トリガ制御ブロックなどから構成される。FPGA の動作クロックは 40MHz である。



図3: PXI 制御部の写真。PXI と Expansion chassis は、対環境性を高めるために密閉型 19 インチに収納した。

3.6 上位装置との通信

従来の制御システムでは、上位制御システムとの通信に Open DataBase Connectivity(ODBC)を用いて直接データベーステーブルにアクセスする方式とプロセス間通信である Named Pipe を用いてアクセスする方式を併用していた。今回の更新では開発期間の制限と上位制御システムの変更によるデグレージョン発生を嫌い、変更部分を最小限に抑える必要があった。しかし将来の拡張性を考慮しプロセス間通信部分のみを試験的に Simple Transmission and

Retrieval System(STARS)^[5]に置き換えた。今後は ODBC を用いて通信を行っている部分も順次更新していく予定である。

4. 今後の予定

現在の STB 電磁石電源の出力電流測定方式は直流電流を前提としているため過渡的に変化する部分の測定はほぼ不可能である。そのため PXI-7854R の AD 変換機能を用いた出力電流のリアルタイムモニターを追加する予定である。またビームの安定化に向けて BPM による COD 測定とステアリング電源制御を PXI に取り込むことにより、加速毎の COD 補正を実施することも検討している。

本制御システムは STB リング制御系の一部を更新したに過ぎないが、今後は老朽化が進む他の制御システムも順次更新していく予定である。

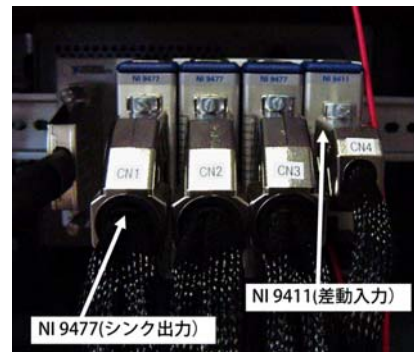


図4: Expansion Chassis は PXI-9854R の入出力信号の電気レベル変換を行う。様々な電気レベルに対応することが出来る。

5. まとめ

PXI と FPGA モジュールを用いて STB 電源制御システムを更新した。PXI の採用により、高い拡張性と信頼性・保守性を有したシステムとすることが出来た。FPGA モジュールの採用によりハードウェアを変えずに内部回路の変更が可能となり、容易に機能追加を行うことが可能となった。PXI システムは導入が容易であり、開発期間の短縮を図れるため、本制御システムのような小規模な制御システムには最適であると思われる。今後は、更新した STB リング電磁石電源制御システムに、電磁石電源の出力電流モニターシステムや BPM 及びステアリング磁石電源の統合制御による COD 補正機能など種々の機能を追加するなどし、ビームの安定度向上を図っていく予定である。

参考文献

- [1] <http://www.ni.com/>
- [2] M. Kawai, et al., "Present Status of the accelerator in Research Center for Electron Photon Science, Tohoku University" in these proceedings
- [3] H. Hama, et al., "Electron Accelerator Complex at Tohoku University, 42-Year-Operation and Future." WAO10
- [4] <http://japan.xilinx.com/products/virtex5/>
- [5] <http://stars.kek.jp/>