

SPring-8 蓄積リング主電磁石電源のための後継制御ボードの開発

DEVELOPMENT OF THE SUCCEEDING CONTROL BOARD FOR THE SPRING-8 MAIN MAGNET POWER SUPPLIES

増田剛正[#], 植田倉六, 清道明男, 深見健司, 満田史織
Takemasa Masuda[#], Souroku Ueda, Akio Kiyomichi, Kenji Fukami, Chikaori Mitsuda
Japan Synchrotron Radiation Research Institute

Abstract

For control of the main magnet power supplies at the SPring-8 storage ring, optical-link remote I/O system called RIO has been used since 1997. The RIO Type-B slave boards directly installed in the main magnet power supplies are communicated with the VME-based master boards and are controlled by the VMEbus computer. The RIO Type-B board is equipped with 32 bits digital input and 32 bits digital output to control and monitor the magnet power supply. Since some components on the slave board were already discontinued on the market, we have to revise the board and consequently we need much cost to prepare new boards. We therefore developed a succeeding board based on the OPT-VME system, which were also optical-linked remote I/O system developed by SPring-8. The new board retains the signal-level compatibility with the RIO Type-B slave board and supplies additional 36 bits (32 bits + 4 strobes) digital input and 16 bits digital output to newly monitor the output voltage of magnet power supplies, interlock signals and so on. In addition the succeeding board is equipped with pattern output function instead of the VME CPU board for reproduction process of magnetic field of main magnets.

1. はじめに

SPring-8 蓄積リング (SR) の電磁石電源の制御には、SPring-8 の建設当初より三菱電機製 RIO システムが使用されている。これは光リンクのリモート I/O システムであり、VME 計算機に実装されるマスターボード (RIO-M) と電磁石電源内部に直接実装される 2 種のスレーブボード (RIO Type-A ボード、RIO Type-B ボード)、および 6 ポートのブランチボード (RIO-B) から構成される。RIO システムの主な仕様を Table 1 に示す。RIO Type-A ボードは主にステアリング電磁石電源などの小型電源に使用されている制御ボードであり、SR 全体で 1,000 枚近く使用されている。一方、RIO Type-B ボード (Figure 1) は、偏向電磁石電源、四極電磁石電源および六極電磁石電源など主に大型電源の制御に使用されていて、全体で 100 枚程度が使用されている。RIO Type-B ボードの主な仕様を Table 2 に示す。

RIO システムは、導入開始から 20 年近くが経過しており、5~6 年前から既に購入出来ない実装部品が出ている。新規に購入するには基板の改版が必要で、そのために多大な費用が掛かってしまう状況にある。我々は、SPring-8 で開発を行った日立造船製光伝送ボードシステム^[1]を用いて、これら老朽化した制御システムの置き換えを可能とするよう適宜開発を進めている^[2]。RIO Type-A ボードについては、既に光伝送ボードシステムベースで互換ボードを開発しており^[2]、一部の Skew 四極電磁石電源の制御に導入を始めている。今回、新型の SR 六極電磁石電源の開発に合わせて、RIO Type-B ボードの互換ボードを、同じく光伝送ボードシステムをベースに製作を行う

事となった。

Table 1: Main Specification of the RIO System

Transmission speed	1Mbps
Protocol	HDLC compliant
Transmission distance	1km (optical fiber)
System configuration	1:N master polling/selecting
Response time	0.2ms/slave (in case of 6 bytes transmission /receive)
Number of slaves per master board	Max. 62
Optical fiber cable	Two core compound glass fiber (core 200 μ m / clad 230 μ m), JIS C 5977 F08 connector

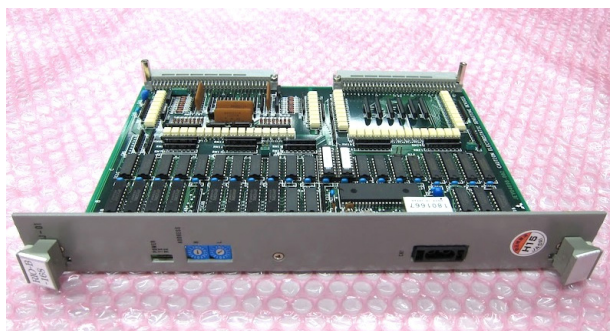


Figure 1: Photo of the RIO Type-B board.

[#] masuda@spring8.or.jp

Table 2: Main Specification of the RIO Type-B Board

Size	H 233.35mm × D 160mm × W 35.56mm
Connector	Optical interface: JIS C 5977 F08 connector Signal I/O interface: 64pin DIN connector × 2
Digital input	32 bits (Photo coupler isolation, Input voltage: DC+5~+24V, Input current: 3.5mA(Typ.))
Digital output	32 bits (Photo coupler isolation, Output voltage: DC+30V(Max), Output current: 10mA(Max))
Power supply	DC+5V

2. 光伝送ボードシステムについて

光伝送ボードシステムは、SPring-8 の線型加速器制御システムの更新を行うため、2001 年に SPring-8 で開発を行った VME ベースの光リンクリモート I/O システムである^[3]。RIO システムなどに比べてより高速なデータ転送の実現を優先するため、開発当初は、マスターボード (OPT-VME) のフロントパネルに実装された 4 つの光ポートのそれぞれが、スレーブボードと 1:1 接続される方式のみをサポートしていた。また、マスター・スレーブ間のデータの送受信はオンデマンドで行う方式を取っていた。より安定なデータの送受信の実現と、中継ボードの導入により光ポート当たりのスレーブボードの接続枚数を 11 枚まで増やせるよう、2006 年に通信プロトコルをサイクリック転送方式に変更している。光伝送ボードシステムの主な仕様を Table 3 に示す。

Table 3: Main Specification of the OPT-VME System

Transmission speed	10Mbps
Protocol	OPT-Protocol 2006
Transmission distance	300m
System configuration	1:1 communication per optical port in a master board
Response time	50μs (Direct connection) / 260μs (Max) (Via relay mode OPT-CC)
Number of slaves per master board	Max. 132 (in case of a 12 ports master mode OPT-CC + 11 ports delay mode OPT-CC)
Optical fiber cable	Two core HPCF (core 200μm / clad 230μm), JIS C5976 F07 connector

光伝送ボードシステムは、SPring-8 制御系で多数の使用実績がある。線型加速器新制御系や蓄積リング Skew 電磁石電源への適用加えて、ブースターシンクロトロン制御系では、新しい SSBT 電磁石電源への適用や、老朽化した NIO システムの更新^[4]にも

適用している。

3. 後継互換ボード (OPT-RMT DIO Type-B Plus ボード) の開発

3.1 開発の方針

RIO Type-B ボードは、大半が電磁石電源筐体内部に実装して使用されている。開発する光伝送ボードシステムベースの後継ボード (OPT-RMT DIO Type-B Plus) が互換ボードとして機能するためには、信号レベル、入出力コネクタのピンアサインなどの電氣的な取り合いと、機械的な取り合いの両方で互換性を保つ必要がある。それらを確保する事を境界条件に、現状の RIO Type-B ボードの使用下で改善が望まれていた 2 つの機能 (入出力信号数の拡張、磁場再現化処理のファームウェアによる実装) を新たに加える事とした。

3.2 入出力信号数の拡張

RIO Type-B ボードは、ボード背面に実装されている中抜き 2 列の 64 ピン DIN コネクタ 2 個を用いて、電磁石電源と 32 点ずつの入出力信号を取り合っている (Figure 2)。OPT-RMT DIO Type-B Plus では、この部分を 3 列 96 ピン DIN コネクタに変更することで、電氣的・機械的な互換性を維持しつつ、RIO Type-B ボードでは使用していなかった中央列 32 ピンずつの計 64 ピンを用いて、入力信号を 36 点 (32 点 + 4 ストロブ)、出力信号を 16 点拡張した (Figure 3)。RIO Type-B のピンアサインから変更のあった箇所は、背景色が黄色になっている部分である。

P1 (64pin DIN Connector)				P2 (64pin DIN Connector)			
	A	B	C		A	B	C
1	+5V	-	+5V	1	NC	-	NC
2	GND	-	GND	2	NC	-	NC
3	DI-PS(+5~+24V)	-	DI-PS(+5~+24V)	3	NC	-	NC
4	NC	-	NC	4	NC	-	NC
5	DI-GND	-	DI-GND	5	NC	-	NC
6	RS485+	-	RS485-	6	NC	-	NC
7	RS485+	-	RS485-	7	NC	-	NC
8	GND	-	GND	8	NC	-	NC
9	NC	-	NC	9	NC	-	NC
10	NC	-	NC	10	NC	-	NC
11	NC	-	NC	11	NC	-	NC
12	DI-COM	-	DI-COM	12	DO-COM	-	DO-COM
13	DI0-0	-	DI0-1	13	DO0-0	-	DO0-1
14	DI0-2	-	DI0-3	14	DO0-2	-	DO0-3
15	DI0-4	-	DI0-5	15	DO0-4	-	DO0-5
16	DI0-6	-	DI0-7	16	DO0-6	-	DO0-7
17	DI-COM	-	DI-COM	17	DO-COM	-	DO-COM
18	DI0-8	-	DI0-9	18	DO0-8	-	DO0-9
19	DI0-10	-	DI0-11	19	DO0-10	-	DO0-11
20	DI0-12	-	DI0-13	20	DO0-12	-	DO0-13
21	DI0-14	-	DI0-15	21	DO0-14	-	DO0-15
22	DI-COM	-	DI-COM	22	DO-COM	-	DO-COM
23	DI1-0	-	DI1-1	23	DO1-0	-	DO1-1
24	DI1-2	-	DI1-3	24	DO1-2	-	DO1-3
25	DI1-4	-	DI1-5	25	DO1-4	-	DO1-5
26	DI1-6	-	DI1-7	26	DO1-6	-	DO1-7
27	DI-COM	-	DI-COM	27	DO-COM	-	DO-COM
28	DI1-8	-	DI1-9	28	DO1-8	-	DO1-9
29	DI1-10	-	DI1-11	29	DO1-10	-	DO1-11
30	DI1-12	-	DI1-13	30	DO1-12	-	DO1-13
31	DI1-14	-	DI1-15 (strobe)	31	DO1-14	-	DO1-15 (strobe)
32	DI-COM	-	DI-COM	32	DO-COM	-	DO-COM

Figure 2: Pin assignment of the signal I/O connectors of the RIO Type-B board.

P1 (96pin DIN Connector)			P2 (96pin DIN Connector)		
	A	B	A	B	C
1	+5V	+5V	DI-COM	DIS1-strobe	DI-COM
2	GND	GND	DIS1-0	NC	DIS1-1
3	DI-PS(+5~+24V)	NC	DI-PS(+5~+24V)	NC	DIS1-3
4	NC	NC	NC	NC	DIS1-5
5	DI-GND	NC	DI-GND	NC	DIS1-7
6	NC	NC	DI-COM	DI-COM	DI-COM
7	NC	NC	DIS1-8	NC	DIS1-9
8	NC	NC	DIS1-10	NC	DIS1-11
9	NC	NC	DIS1-12	NC	DIS1-13
10	NC	NC	DIS1-14	NC	DIS1-15
11	DIS9-strobe	DIS9-strobe	DI-COM	NC	NC
12	DI-COM	DI-COM	DI-COM	DI-COM	DI-COM
13	DIO-0	DIS9-0	DIO-1	DIS9-0	DIO-1
14	DIO-2	DIS9-1	DIO-3	DIS9-1	DIO-3
15	DIO-4	DIS9-2	DIO-5	DIS9-2	DIO-5
16	DIO-6	DIS9-3	DIO-7	DIS9-3	DIO-7
17	DI-COM	DI-COM	DI-COM	DI-COM	DI-COM
18	DIO-8	DIS9-4	DIO-9	DIS9-4	DIO-9
19	DIO-10	DIS9-5	DIO-11	DIS9-5	DIO-11
20	DIO-12	DIS9-6	DIO-13	DIS9-6	DIO-13
21	DIO-14	DIS9-7	DIO-15	DIS9-7	DIO-15
22	DI-COM	DI-COM	DI-COM	DI-COM	DI-COM
23	DIO-0	DIS9-8	DIO-1	DIS9-8	DIO-1
24	DIO-2	DIS9-9	DIO-3	DIS9-9	DIO-3
25	DIO-4	DIS9-10	DIO-5	DIS9-10	DIO-5
26	DIO-6	DIS9-11	DIO-7	DIS9-11	DIO-7
27	DI-COM	DI-COM	DI-COM	DI-COM	DI-COM
28	DIO-8	DIS9-12	DIO-9	DIS9-12	DIO-9
29	DIO-10	DIS9-13	DIO-11	DIS9-13	DIO-11
30	DIO-12	DIS9-14	DIO-13	DIS9-14	DIO-13
31	DIO-14	DIS9-15	DIO-15 (strobe)	DIS9-15	DIO-15 (strobe)
32	DI-COM	DI-COM	DI-COM	DI-COM	DI-COM

Figure 3: Pin assignment of the signal I/O connectors of the OPT-RMT DIO Type-B Plus board.

新型六極電磁石電源との取り合いでは、入力側を電圧値モニター (16bit)、電流値モニターの高分解能化 (現状 16bit に対し最大 24bit まで拡張可能)、各種インターロックモニター信号の追加 (8bit) に、出力側を電流設定値の高分解能化 (現状 16bit に対し最大 24bit まで拡張可能) に割り当てる予定である。

3.3 磁場再現化処理のファームウェアによる実装

電磁石の磁場再現化処理は、磁石を最初に励磁する際に、ある決められたパターンで電源を操作して所定の電流値に設定する処理である。現在は、オペレータコンソール上の GUI ソフトウェアにおいて時間と電流値の変化点の座標を決定し、VME 計算機上のソフトウェアに 20Hz での直線補間出力処理を依頼している。磁場再現化処理はトータルで数分程度掛かる処理であり、次の座標に到達するまでの最大 70 秒間にわたって VME 計算機上のソフトウェアが占有されてしまい、他の電磁石関係の処理が行えないという課題があった。VME 計算機の CPU を別の処理のために解放し、電磁石電源全体の制御のスループットを向上させるため、パターン出力を後継互換ボードの FPGA で実装することとした。

磁場再現化のパターンデータは、時間と電流値の変化点の座標を FPGA に与え、処理を開始する際に FPGA 内部で Bresenham の線形アルゴリズムを使用し、直線補間によってデータを生成する。パターン出力は、現在のソフトウェア処理と同じ 20Hz と将来オプションとして 100Hz がソフトウェアにより選択できるようになっている。座標点は最大 32 点まで与えることが出来、時間設定の最大値は 16bit で、20Hz 出力時は 50ms/bit、100Hz 出力時は 10ms/bit となる。また、電流設定は最大 24bit まで設定が可能である。FPGA が生成した全パターンデータは、VME 計算機から読み出せるようになっている。

電流設定値の出力とストロブ信号の出力のタイ

ミングは Figure 4 の通りで、20Hz 出力の場合は現状のソフトウェアと同一である。ストロブ信号のパルス幅についてもソフトウェアにより変更可能とした。

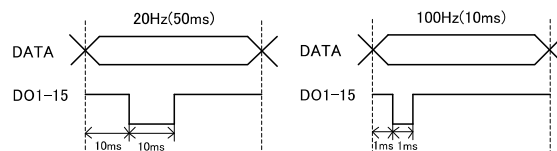


Figure 4: Timing chart of DAC data and strobe signal.

3.4 インプリメンテーション

製作した OPT-RMT DIO Type-B Plus ボードを Figure 5 に示す。また、その主な仕様を Table 4 に示す。パターンの生成も担う FPGA には Altera 社製 Cyclone V 5CEFA4F23 を使用している^[5]。また、生成したパターンデータを格納するために ST マイクロエレクトロニクス社製 2Mbit EEPROM M95M02 を実装した^[6]。

また、電磁石電源に実装した状態で離れた場所からもボードが動作していることが確認できるよう、ボードフロントパネルの中央付近に入出力の状態を示すインジケータを新たに装備している。



Figure 5: Photo of the newly developed OPT-RMT DIO Type-B Plus board based on the OPT-VME system.

Table 4: Main Specification of the OPT-RMT DIO Type-B Plus Board

Size	H 233.35mm × D 160mm × W 35.56mm
Connector	Optical interface: JIS C5976 F07 connector × 1 Signal I/O interface: 96pin DIN connector × 2
Digital input	68 bits (64 bits + 4 strobes) (Photo coupler isolation, Input voltage: DC+5~+24V, Input current: 3.5mA(Typ.))
Digital output	48 bits (Photo coupler isolation, Output voltage: DC+30V(Max), Output current: 10mA(Max))
Power supply	DC+5V

3.5 現状

ハードウェアは既に完成し、20Hz および 100Hz での再現化パターン出力を含む FPGA ロジックの製作

も完了した。工場での動作試験において、ボードが持つ全ての機能が正しく動作していることを確認した。現在 Solaris 用デバイスドライバの詳細仕様を検討中で、決まり次第製作を開始する。

4. 今後の予定

今年度末または次年度の出来るだけ早い時期に、今年度より実稼働している新六極電磁石電源 7 台に本ボードを適用する予定である。現在は RIO Type-B ボードを用いて制御を行なっているため、新六極電磁石電源側に実装済みの電圧値モニター機能、インターロックモニター信号の追加、高分解能（18 ~ 20bit 程度）電流値設定およびモニター機能が使用できない状況にあるが、本ボードの適用によりこれらの機能を使用できるようになる。合わせて、ボード上のファームウェアによる磁場再現化パターン出力機能が期待通り動作するかどうかを確認し、実導入を目指す。

参考文献

- [1] T.Fukui, et al. “Applications of Reconfigurable Logic Devices for Accelerator Controls”, Proc. of ICALEPCS’03, Gyeongju, Korea, 2003.
- [2] T. Masuda et al., “Development of OPT-VME Board towards the Unification of Optical-Linked Remote I/O System at SPring-8”, Proc. of 7th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Higashi-Hiroshima, Japan, 2008, p.377.
- [3] T. Masuda, et al, “Upgrade of the SPring-8 Linac Control by Re-engineering the VME Systems for Maximizing Availability”, Proc. of ICALEPCS’03, Gyeongju, Korea, 2003.
- [4] S. Ueda et al., “Upgrade of the Control System for Steering Magnet Power Supplies at SPring-8 Booster Synchrotron”, Proc. of 9th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Osaka, Japan, 2012, p695.
- [5] <http://www.altera.co.jp>
- [6] <http://www.st.com/web/jp/home.html>