

PLC-BASED INJECTION LIMIT SYSTEM OF THE J-PARC MAIN RING I

Shigenobu Motohashi^{A)}, Dai Arakawa^{B)}, Jun-ichi Odagiri^{B)}, Yasunori Takeuchi^{B)} and Takeshi Toyama^{B)}

^{A)} Kanto Information Service (KIS)

8-21 Bunkyocho, Tsuchiura, Ibaraki, 300-0045

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

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

Abstract

An injection limit system of the J-PARC Main Ring has been designed and implemented based on FA-M3, a commercial Programmable Logic Controller (PLC), in order to keep the total amount of injected charge below a level allowed by the restriction for radiation safety. The system comprises of an analogue module with high resolution A/D converters (ADCs), a CPU module, some digital I/O modules and a FA-Link module, which allowed the CPU to communicate with other CPUs over the link. Triggered by an external trigger pulse, the system reads the charge of a batch, a pair of bunches, through the one of the ADCs. The system accumulates the charge batch by batch during the last one hour with checking if the accumulated value stays below the limit, and if not, it issues an alarm to the Personal Protection System (PPS) to stop the injection. The accumulated value of injected charge is reset to zero every one hour in accordance with the regulation. This paper describes the detail of the design and implementation of the PLC-based injection limit system.

PLCを用いたJ-PARC主リングの入射制限システム I

1. はじめに

平成20年5月から始まったJ-PARC主リング(MR)のコミッショニングは順調に進んでいる^[1]。J-PARCに代表される大強度陽子加速器にとって放射線管理は最重要の課題の一つであり、法令に基づく制限に従ったMRの適正な運転を保证するためには、信頼性の高い入射電荷制限システムの構築が不可欠である。このために図1のような入射制限システムを設計し、実装した。

本システムは、まず入射されるバッチ(近接する2バンチ)の通過に伴うFast Current Transformer

(FCT)からの出力をビームに同期した適切なタイミングで処理回路により積分する。バッチに亘る積分が終了した時点で、ADCに対して処理回路からの読出しを指示する。このサイクルの最大値(入射の最小間隔)は25Hz(40ミリ秒)である。

バッチの通過ごとに読み出した値は1時間に亘り積算し、その間に積算値が制限に達した場合には入射を止めるべくPPSに対して警報接点により通知を行う。積算は複数の運転モードの各々について独立に行うため、ある運転モードが制限に達した場合であっても、他に制限に達していないモードがあれば、

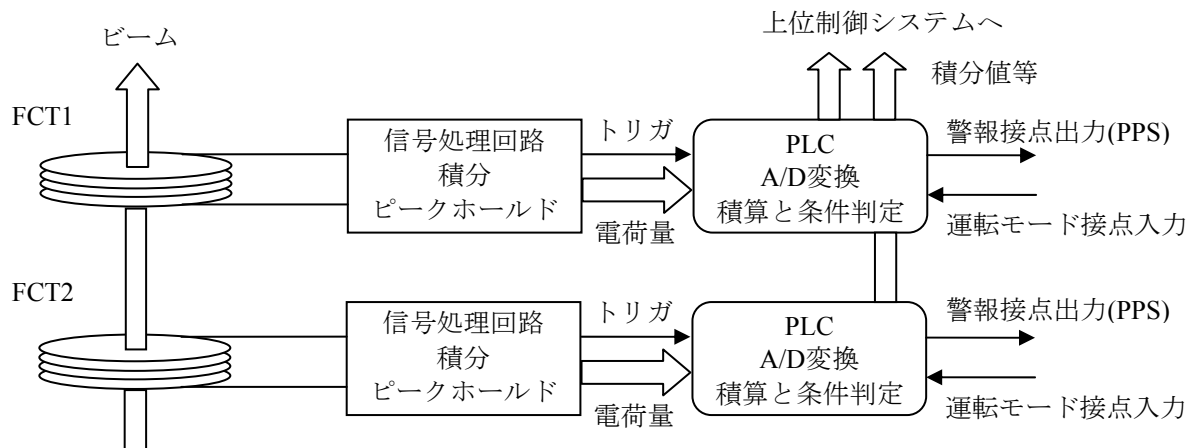


図1 主リング入射電荷制限システムの概要

そちらに切り替えることにより警報は解除し、切換先のモードでの運転が可能にする必要がある。

入射電荷の積算値と警報接点は毎正時にリセットし、次の1時間に亘る積算を初期状態から再開する。本システムは運転時にこのサイクルを繰り返すことにより、MRへの1時間当りの入射電荷量が許可された上限値を超えないことを保証する。なお、本システムの試験時には、随意、手動によりリセットが可能でなければならない。このため、キー・スイッチによりリセットを行う機能を設けた。

本システムに対しては、PPSの観点からは高い信頼性が、実験装置の制御としての観点からは高い柔軟性が求められる。これらの相反する要求に高いレベルで折り合いを付けるためにはProgrammable Logic Controller (PLC)の採用が適当であると判断し、J-PARC加速器制御システムにおいて多くの採用実績を持つFA-M3^[2]を採用し、システムの設計と実装を行った。本稿では、FCTの処理回路の出力からPPSへの警報の発報に至るまでの処理の実装について報告し、本システムと上位の制御システムとのインタフェースの開発については、本研究会への報告WP011^[3]に譲る。

2. FA-M3による実装

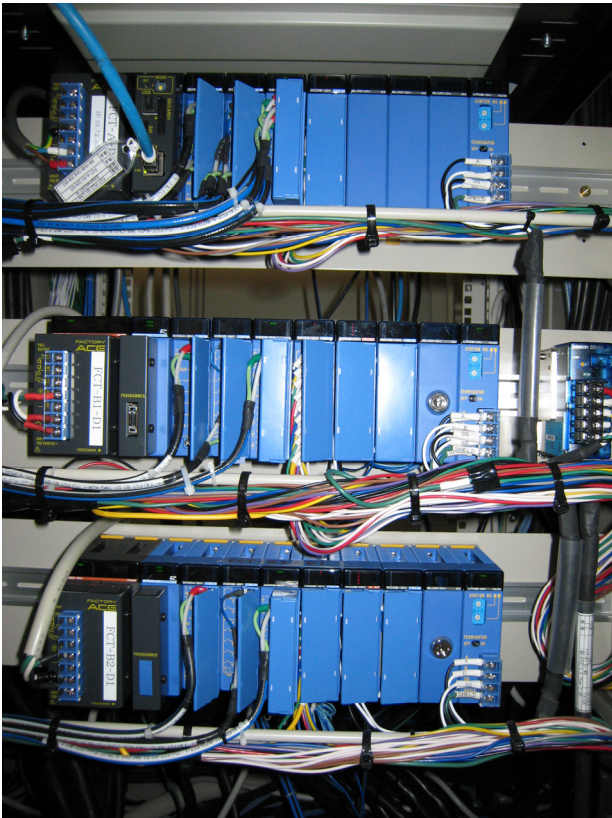


図2 FA-M3による実装

2.1 システム構成

本入射制限システムは図2に示すように、信頼性の向上を目的として同一構成のPLCユニット2機から構成される。2重化を実現するために用意する2つのユニットは完全に同じ構成と機能を持つため、以下ではそれらの1つについて述べる。1つのユニットが取り扱う信号を表1に示す。

表1：取り扱う信号

信号	接続先	点数
トリガ (25Hz) 入力	信号処理回路	1
入射電荷量入力	信号処理回路	1
運転モード入力	PPS システム	5
警報接点出力	PPS システム	1
試験用リセット入力	キー・スイッチ	1

2.2 トリガ信号による駆動

積分回路モジュールから出力されるトリガは高速入力モジュール (F3XH04-3N) に入力される。本システムでは、同モジュールの割り込み機能を使用し、トリガ入力により処理を駆動するシステムを実現している。トリガ信号を入力するチャンネルは、シーケンスCPUモジュール (F3SP53-4S) 上で実行されるラダー・プログラムの割り込み処理ルーチンに接続され、トリガが入力されるたびに同ルーチンが実行される。

割り込み処理ルーチンは、通常のスキャンで実行されるプログラムに対してADCからデータを読むことを指示するためのフラグを立てた後、直ちに処理を終了する。このフラグが立ったことを検出した通常のプログラムは、データを読み込み、モード指定接点を参照して然るべきレジスタに加算し、リンクレジスタにデータをコピー^[3]する。最後に、先のフラグを下げることにより処理の完了を記録する。

1回の処理 (データの読み込みと積算、および警報発報の条件判定) に要する時間はタイマによる遅延500マイクロ秒を含めて1ミリ秒程度に過ぎないため、40ミリ秒 (25Hz) の時間があれば1つ前のトリガに伴う処理が終了する前に次の割り込みが入ることはないはずであるが、念のため、割り込み処理ルーチンの先頭では実行指示フラグを検査することにより先行する処理の終了を確認している。万一、割り込み処理ルーチンが起動された際に実行指示フラグが立っていた場合は、直ちにPPSに対して警報を発報する。

以上の説明から明らかなように、割り込み機能はトリガの入力から処理の起動までの遅延時間を最小化することを目的として使用されてはいない。割り込み機能は、1回のトリガ入力に対し、必ず1回、しかもただ1回だけ確実に処理を起動することを目的として使用されている。(同じ目的のために同モジュールが提供する他の機能 (パルスキャッチ機能) も使用可能であるが、本システムでは割り込み機能を選択

した。)

なお、トリガ信号は、そのパルス幅 (4ミリ秒) により、信号処理回路からの出力信号 (電荷量) が有効である期間を告げるゲートとしての役割も兼ねている。

2.3 電荷量の読出し

本システムはビーム強度が極めて低いコミッションの初期段階から、定格のビーム強度に達した後の運転までをカバーする必要があるため、電荷量を読み出すADCには高い分解能が求められる。この要求を満たすため、16ビットの分解能を有するアナログ入力モジュール (F3AD08-5R) を採用した。

同モジュールのADCの変換周期は、複数の選択肢から選ぶことができる。本システムでは有限な変換時間に起因するデータ取得時刻の不定性を最小化するために、最小の変換周期 (50マイクロ秒) を設定するとともに、使用しないチャンネルについてはAD変換をスキップするようにしている。

入力信号レンジは -10~10V DCを使用するが、ノイズやバックグラウンドの影響により負の値を読んだ場合にはレジスタへの積算は行わない。

2.4 運転モードの指定

運転モードは入射されたビームがダンプされる場合の行き先によって、当面以下の4つに分類される (将来、拡張される可能性がある)。PPSは、各々のモードに対応する1個の接点によって、以下のモードの中から1つを指定する。

- 入射ダンプモード
- アボートダンプモード
- 遅い取り出しモード
- 速い取り出しモード

これらのモードの各々に対して入射電荷量を積算するためのレジスタ、及びトリガが入った回数を積算するためのレジスタが用意される。

モード切換の過渡的状態で、一時的に複数のモードの接点がON状態であった場合には、ON状態の全てのモードに積算するように論理が組まれている。また、モード切換の過渡的状態、またはシステムの不具合発生時において、如何なるモードも選択されていない場合は全てのモードについて積算する。

2.5 警報信号の出力

本システムの警報出力は1つの接点に集約され、以下の何れか1つに該当した場合に当該接点をOFFすることにより警報を発報する。

- 何れかのモードの入射制限を超過した場合
- 割込みが入った時点で、1つ前の割込みに伴う処理が完了していなかった場合
- CPUモジュールが自己診断により異常を検知した場合
- データの有効性を示すゲートから外れてADCモジュールからの読出しを行った場合
- ADCモジュールからの読出し命令を実行した結果がエラーとなった場合

2.6 手動リセットおよび正時リセット

本システムの試験時、運転開始時にリセットを掛ける接点入力を設けている。この接点の操作は本システムが設置される現場のラック内に用意したキー・スイッチにより行う。ADCへの入力異常など、万一PLCのステータス異常が発生した場合に、運転員がこのキー・スイッチを使った手動リセットできるようにしている。

手動リセットとは別に、正時毎に積算値やカウンタのリセットを行う機能を有する。万ステータス異常が発生した場合は、原因究明のため正時リセットを行わないようにしている。正時リセット直前のデータを正時毎に保持する機能も設けている。

3. 実機運用

J-PARC主リング (MR) の運転前の平成20年4月にはPPSシステムの安全確認のために、入射電荷の積算値を越えて発報するかどうかのテストを行い、問題なく動作することを確認した。

平成20年5月6月のJ-PARC主リングのビームコミッションでは、運転中の入射電荷量の監視に本システムが使用され、入射制限システムとして問題なく動作していた。

運転中に、PPSの警報接点出力とは全く独立した問題で、入射電荷を制限する機能自体に関わるものではない不具合が1点見付き、現在その不具合を解決するために対応中である。当初25Hz運転のみ想定して実装したため、過去20分間のADCデータを記録する機能^[3]に関して、3.64秒周期での運転に対応できずに不具合が発生した。しかし今後の運転に向けて、当機能も25Hz運転以外の運転に対応できるよう変更する予定である。

4. 結論

横河電機社製FA-M3 PLCを用いてJ-PARC主リングの入射制限システムを実装した。運転前試験、運転を通じ、本システムは入射電荷制限システムとして十分な機能を備えていることを確認した。今後の運用に向けて、一部機能の不具合を修正する予定である。

参考文献

- [1] T. Koseki, "Beam commissioning of J-PARC MR", WO06 in this meeting
- [2] <http://www.fa-m3.com/jp/>
- [3] S. Motohashi, WP011 in this meeting