

## LIMITATION SYSTEM OF INJECTION BEAM CHARGE USING PLC

Shinya Nagahashi<sup>1,A)</sup>, Tsuyoshi.Suwada<sup>B)</sup>, Kazuro.Furukawa<sup>B)</sup>, Jun-ichi.Odagiri<sup>B)</sup>, Takashi.Obina<sup>A)</sup>, Toshio.Kasuga<sup>A)</sup>

<sup>A)</sup> Institute of Materials Structure Science, High Energy Accelerator Research Organization

<sup>B)</sup> Accelerator Laboratory, High Energy Accelerator Research Organization

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

### Abstract

In the Photon Factory Advanced Ring (PF-AR) we implemented the system to monitor and limit the amount of the injection beam charge to the ring, and have been operated since January 2002. Moreover, we developed an independent system using Programmable Logic Controller (Sequencer, PLC), and started to operation system in April 2003. ([1], Old system) Though old system has high reliability and stability in the present stage, we reviewed the old system because it came to be able to expect the improvement of further reliability and stability by the advance in technology and developed this system.

In this report we introduce the operation result of an old system that had been operated since April 2003 and the outline of this system.

## PLCを用いた入射ビーム電荷量制限装置

### 1. はじめに

X線領域の放射光源用ストレージリングである Photon Factory Advanced Ring (PF-AR) では、2002年1月より、リングへ入射されるビーム電荷量の監視と制限を行うシステムを導入し、運用を行っている。また、2003年4月には、システムの二重化による信頼性の向上を図るため、Programmable Logic Controller (シーケンサー、PLC) を用いたそれとは独立したシステムを開発し、運用を開始した ([1]、旧システム)。旧システムは、現段階でも高い信頼性を有しているが、後述の通り、度々システムが停止するという問題を抱えていた。停止する原因の調査とシステムの改良を行っているうちに、周りの技術が進歩し更なる信頼性と安定性の向上が見込めるようになったため、システムの見直しを行い、本システムを開発した。

Photon Factory Ring (PFリング) やPF-ARへは25Hz/N (N=1,2,3,...) の繰り返し周波数で入射を行っているため、このシステムには25Hzのデータを安定して処理する能力が要求される。

### 2. 旧システムの運用結果

2003年4月より運用を開始した旧システムは、KEKB、PF-AR共通入射路のビームダクトに設置してある壁電流モニター (Wall Current Monitor、WCM)、LeCroy製オシロスコープ、PC Linux、OMRON製PLCで構成されている。このシステムは約3年間に66回停止しているが (図1)、PLCを用いることによりシステムの停止時にも確実に入射を止めることができるため、制限システムとしての信頼性は高いと言える。

#### 2.1 システム停止の原因

図1より、システムの停止は、そのほとんどが各機器間の通信エラーにより起きていることがわかる。さらに細かく見てみるとオシロスコープ-PC間では一度も起きていないが、PC-PLC間やPC-EPICS間では毎シーズンの様に起きている。特に、2004年1月から3月のシーズンではPC-PLC間の通信エラーが頻繁に起きている。

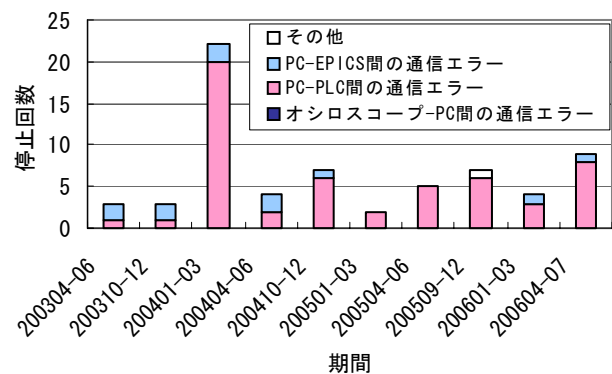


図1. システムの停止回数

PC-PLC間で通信エラーが起きる原因は良くわかっていないが、プログラムの遅延時間を変更すると全く通信できなくなることや、2004年1月から3月のシーズンに頻発した時にスイッチングハブを交換したら頻度が減ったことから、双方の送受信のタイミングが合わないと思われ通信エラーが起きやすくなるのではないと思われる。また、通常、TCP/IP接続では通信エラーが起こることを想定して再送信を行う

<sup>1</sup> E-mail: shinya.nagahashi@kek.jp

ようにプログラムするのだが、旧システムではそれを行わずシステムを即停止するようにプログラムしてある。これは、PCの同じプログラムでオシロスコープとも通信を行っているために再接続中は波形データのサンプリングができなくなってしまうため、システムを停止して入射を止める方が安全だと判断したからである。

PC-EPICS間の通信エラーは、全て制御ネットワークの不調や保守によりネットワークが停止したことが原因であった。

その他は、2005年9月から12月のシーズンに1度だけ起きていたが、これは変電所内の故障により停電したことが原因だった。このような場合でも確実に入射を止めることができている。

### 2.2 オシロスコープ-PC間のサンプリング周波数

約25分間、25Hzの繰り返し周波数でPF-ARへ入射し続けた時のサンプリング周波数を図2に示す。

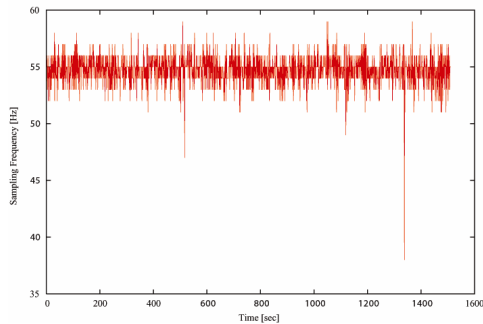


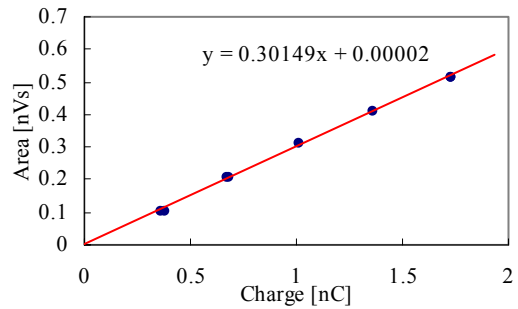
図2. 25Hzの繰り返し周波数でPF-ARへ入射し続けた時のサンプリング周波数

サンプリング周波数は55Hz近傍で概ね安定しているが、約1350秒後に約38Hzまで落ち込んでいる時があり、同時に波形補足回数も減少している。PCのOSがリアルタイムではないために割り込み処理が起きてこの様になると思われるが、1秒間の電荷量の積算値を波形補足回数で割り最大入射繰り返し周波数である25を掛けて補正することによって、安全性を担保している。

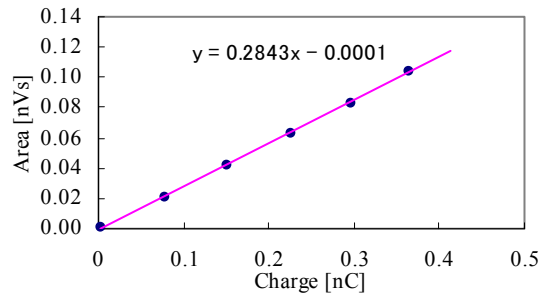
### 2.3 WCMの応答測定

2003年冬の運転停止後にWCMのビーム信号に対する応答を測定した。測定ではビーム信号の代わりにテーバ同軸管にテストパルスを入力して行った[2]。WCM、ケーブル、オシロスコープは運転に使用しているものをそのまま用いた。測定結果を図3に示す。それぞれの応答には6%程度の差が見られ測定誤差とも取れるが、PFリングやPF-ARへの入射ビームのパルス幅はほとんど変化しないのでこの差は考えないことにする。

入射ビームの電荷量は1パルス当たり約0.1nCであり、その近傍では直線的な応答を示していることから、運転に使用する較正係数は1つで良いことがわかる。



(a)パルス幅依存性



(b)パルス波高値依存性

図3. WCMの応答測定結果

運転には、較正されたBPMの測定結果から求めた較正係数を使用しているが、WCMの応答測定結果から得られた較正係数に比べて約44%も大きかった。WCMの信号には、クライストロンから発せられる電磁ノイズが含まれているためだと思われる。このノイズのパルス幅はビームのパルス幅に比べてはるかに大きく (~ms)、また、ビームに同期しているため、DCだと仮定して測定し評価してみたが、解は得られていない。

## 3. システムの構成

本システムの構成は旧システムと同じだが、データの経路と各機器の役割を単純化することにより、信頼性と安定度を向上させている (図4)。

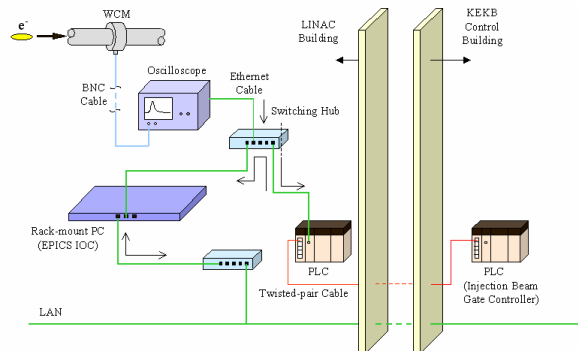


図4. システム概略図

### 3.1 壁電流モニター

電荷量の測定には旧システムと同じ、位置依存性の少ない4電極タイプのWCMを用いる。WCMは、ビームダクト内を電子ビームが通過すると、ダクト内壁に逆電荷をもつ電流（壁電流）が誘起され、ダクト上を流れる壁電流を回路抵抗に流すことによりパルス電圧を取り出し、そのパルス面積に校正係数を用いてビーム電荷量を求めることができる。

校正係数も旧システムと同様に、校正されたBPMの測定値を用いている。

### 3.2 オシロスコープ

本システムでは旧システムと同様、オシロスコープの面積計算機能を用いてビーム電荷量を求めている。そこで、面積計算機能を有し、イーサネットによる高速データ転送が可能なLeCroy製のオシロスコープ（型番：LT372）を引き続き使用すつ事とした。2章でも述べた通り、このオシロスコープは25Hzの送受信を安定して行えることが証明されている。

### 3.3 Programmable Logic Controller

旧システムでは、WCMからの波形をオシロスコープに取り込み、オシロスコープの面積計算機能を用いてビームパルス内の電荷量を求め、求めた電荷量データを一旦PCに取り込んで積算し、積算したデータをPLCに取り込んで制限していた。これは、旧システムに採用した10BASE-Tタイプのイーサネットユニットの伝送遅延時間が約60msec以上と長く、25Hzのデータを直接PLCに取り込むことができなかったためである。今回採用した100BASE-TXタイプのイーサネットユニットでは、伝送遅延時間が約30msec以上と短くなったため、オシロスコープのデータを直接PLCに取り込むことが可能となった。しかし、このモジュールを使用しても25Hzで送受信を行うことはできない。そこで、このモジュールのバッファを利用し、1秒間のデータをまとめてPLCに取り込む事とした。この方法では制限も最大で1秒遅れることになるが、旧システムでもPLCには1秒に1回しかデータ取り込んでいないことから、従来に比べて劣るとは考えていない。また、制限を100%ではなく90%に設定しているため、1秒間の遅れは問題にならない。

本システムではPLCがクライアントとなったことにより、2つの問題が解決した。1つ目は、2章でも述べた通り、データの経路が複雑であったために再接続ができなかった問題で、2つ目は、PLCをサーバーにするとTCP/IP接続が切れてから1分間は再接続できないという問題である。

2章ではPC-PLC間で通信エラーが頻繁に起きることを紹介したが、開発中に1度もオシロスコープ-PLC間では通信エラーが起きなかった。運転時間に比べれば非常に短い時間であったが、上記の問題が解決されたことと合わせれば安定性は増したと考えている。

### 3.4 PC

旧システムでは、PCがオシロスコープで求めた電荷量データを取り込んで積算し、その積算値をPLCへ送信、データの保存、ネットワークの分離、EPICSとの情報の授受、といった複数の役割を担っていたが、本システムでは、情報の授受とネットワークの分離だけを行っている。これは、前述した理由とともに、EPICSのバージョンが3.14となりEPICSをPC Linux上でも実行できるようになったことと、PLCのデータをイーサネット経由で送受信できるEPICSデバイス/ドライバ・サポート・モジュールが開発されたこと[2]により可能となった。

今回採用したMSI製のラックマウントPCには、3つのイーサネットポートが標準で装備されている。本システムは制御ネットワークと、オシロスコープ、PLC、PCで構成されたローカルなネットワークを分離して安定性を向上させているが、この様な環境を構築するために新たにネットワークカードを追加する必要がないので、すっきりとした外観をしている。

## 4. システムの導入

本システムは、PF-ARの電荷量制限装置のバックアップ用として運用していた旧システムに代わり、2006年9月より運用を開始する。また、現在、PFリングでもこの様なシステムの導入を検討しており、PF-ARで安定していることが証明できれば、PFリングの入射ビーム電荷量の制限システムとして積極的に導入を進める予定である。

## 参考文献

- [1] 長橋進也, 他, "PF-ARのビーム電荷量制限装置", Proceedings of the 14th Symposium on Accelerator Science and Technology, Tsukuba, November 2003, URL: <http://conference.kek.jp/sast03/>
- [2] 諏訪田剛, "ビーム計測I", OHO'02高エネルギー加速器セミナー「電子線形加速器の基礎」テキスト, Tsukuba, August 2002, URL: <http://acc-physics.kek.jp/OHO/OHO02/>
- [3] 小田切淳一, 他, "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", 本学会