

## DEVELOPMENT OF THE TRIGGER MANAGEMENT DEVICE FOR THE WAVEFORM RECORD DEVICE

H.Sakaki<sup>A)</sup>, Y.Itoh<sup>A)</sup>, Y.Kato<sup>A)</sup>, K.Miyamoto<sup>B)</sup>, N.Kawamura<sup>B)</sup>, T.Nakamura<sup>B)</sup>

A) Japan Atomic Energy Research Institute, 2-4 Shirakata, Tokai-mura, Naka, Ibaraki, 319-1195, Japan

B) Nichizou Electronic & Control Corporation, 5-3-28, Nishikujo, Konohana, Osaka, 554-0012, Japan

### Abstract

We developed the pulse wave form recorder with the flight recorder function, last year. The recorders are scheduled to be used for the beam status monitor system in J-PARC. If the pulse number between each recorder in the system has not synchronized, each waveform data can't match in the analysis software. As a result, we'll lose the time for the analysis. In this report, the design of the device that conform to all pulse number of each recorder is described.

### 波形監視装置用トリガ番号管理装置の設計

#### 1. はじめに

現在建設中の J-PARC は、リニアック (LINAC)、3GeV シンクロトロン (RCS)、50GeV シンクロトロン (MR) の 3 つの加速器と核変換実験施設 (ADS)、物質・生命科学実験施設 (MLF)、原子核素粒子実験施設 (NP)、ニュートリノ実験施設 (NU) からなる、多目的実験利用加速器施設である。

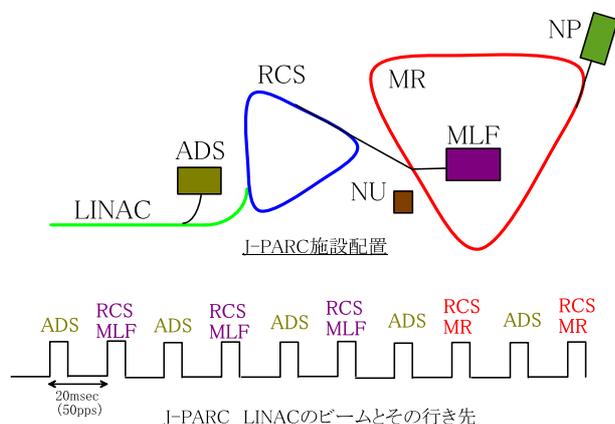


図 1: J-PARC の施設配置と、LINAC から出射されるビーム毎の利用先。

図 1 に、J-PARC 施設の概略配置と、LINAC から出射される 50pps のビームのそれぞれが利用される施設のイメージを記す。LINAC から出射される 50pps のビームは、25pps が ADS で利用され、さらに残りの 25pps が RCS を経由して、MLF と MR に渡されるように設計されている。

ところで、LINAC で発生されるビームは、ピーク電流 50mA、パルス幅 500  $\mu$  sec の大強度ビームであり、RCS では 1MW、MR では 0.75kW のビームパワーに

達する。このようなビームが、理想軌道からずれてロスした場合非常に大きな放射線が発生させる。各加速器のビームが、ある 1 点で 100 % ロスした事象があった場合の予想実効線量は下記の表 1 の通りとなる。放

加速器	実効線量/pulse
LINAC	0.042 $\mu$ Sv/pulse
RCS	0.17 $\mu$ Sv/pulse
MR	49 $\mu$ Sv/pulse

表 1: それぞれの加速器のある 1 点でビームロスした際の各施設近傍での実効線量の計算値。

放射線安全の観点から、J-PARC では建設場所の原研東海研の敷地境界において、50  $\mu$  Sv/year という値を守ることとなっている。この値は、ICRP (International Commission on Radiological Protection「国際放射線防護委員会」) 勧告値「全身に対し 1mSv/年」の 1/20 となっている (日本の加速器施設では、SPring-8 や KEK もこの値で建設)。よって、表 1 のようなロスイベントが発生した場合、MR では 1 イベントで MR 近辺地表面で 196 時間分の線量が発生することになり、その発生線量時間分運転を見合わせる必要が出る可能性がある<sup>[1]</sup>。加えて言えば、MR において同様な事象が 20 回発生すれば、トータル実効線量が 1mSv に到達してしまい、法律上 1 年間運転できなくなる可能性もある。よって、ロスイベントが発生したら、一般的な運転でよく行われる「原因を特定するためのビーム運転」をしなくとも、直ちにその原因が確実に把握できるようなシステムを検討する必要があった<sup>[2]</sup>。

このような背景から、我々は、いつ発生するか分からないロスイベントを捉える為に、エンドレスメモリを使った 50pps の全ビーム波形を一定時間記録できるフライトレコーダーのような機能をもつ「パルス波形監視装置」を開発し、昨年度の本研究会に於いて報告した<sup>[3]</sup>。

\* E-mail: sakaki@linac.tokai.jaeri.go.jp

## 2. 各装置間での波形番号

我々が開発した波形監視装置は、広範囲に分散設置された装置間で同期された高周期パルス波形を監視する目的で設計されており、本装置を用いたシステム構成は、図2の上図に示されるような、計算機ネットワークで構築される系となる。

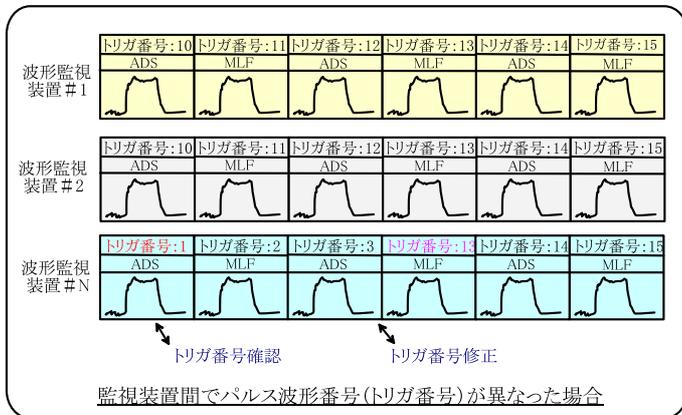
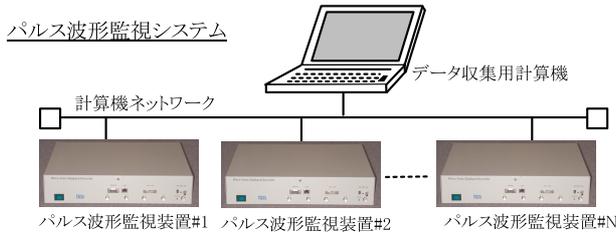


図2: パルス波形監視装置システムと、トリガ番号の修正。

ところで、監視系に求められる機能は、1章で記述されたように「いつ発生するか分からないイベントの為に、50ppsの波形を同期をとって監視すること」である。この機能は、各装置内に波形番号(トリガ番号)を付けたデータとして、波形を監視・保存することで、実現している。しかし監視中には、図2の下図中の「監視装置番号#N」のように、ノイズや、監視装置のリセットなどで、どうしても装置内のトリガ番号が異なるものがある可能性があり、監視系のデータの信頼性を落としてしまう。系統内で同期の取れた監視を行うには、このように異なるトリガ番号を示す場合は、早急に装置内トリガ番号を修正する必要がある。

## 3. トリガ番号管理装置の設計

トリガ番号が異なった場合、その修正を迅速に行うために、我々は監視系内でトリガ番号管理に特化した装置である「トリガ番号管理装置」を設計することにした。この装置のイメージを、図3で示す。

この装置は、加速器施設に分配されているトリガ(ビームトリガ)を、BNCコネクタから物理的に受信し、そのトリガ番号を計数スタート命令が送られたときから連続的に計数する。この計数値が、波形監視システムの「基準トリガ番号」となり、ある時

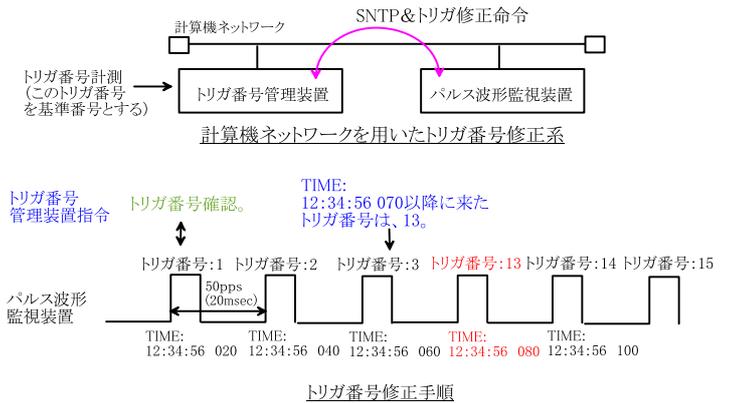


図3: トリガ番号監視装置の配置と番号修正手順。

間においてこの番号と異なる装置が存在したら、その番号を「基準値」に修正する。

ただし、計算機ネットワークでは、時間保証がなされないために、管理装置、監視装置間でトリガ番号を比較しても、いつのトリガ番号が明らかにすることができない。そのため、トリガ番号を確認、さらには修正するには、時刻を同期させるための一般的なプロトコル「SNTP(Simple Network Time Protocol)」を用いて、管理装置、監視装置間において高い精度で時刻を一致させた上で行われなければならない。よって、50pps(20msec)でトリガ番号管理を行うには、どの時刻のパルスを明らかにさせるために、周期の半分未満の時刻精度(10msec未満)で、系統内機器の時刻を一致させておく必要がある。

## 4. $\mu$ ITRON 上での SNTP

パルス波形監視装置、およびトリガ番号管理装置の両者は、国産リアルタイム OS である「 $\mu$ ITRON」を用い制御されている。先に述べたトリガ番号修正に当たっては時計機能が必要となるが、標準では $\mu$ ITRONには実時間時計機能(SNTPを含む)が用意されていない。そこで、我々は実時間時計を構築することから作業を開始した。なお、トリガ番号監視装置は、100ppsであっても番号保証が可能ないように、実時間時計の精度目標を $\pm 5\text{msec}$ 未満とした。

### 4.1 SNTPの実装<sup>[4]</sup>

**4.1.1 高分解能時計** まず、高分解能時計を製作した。この時計は、SH4 CPUに内蔵のTMU(32ビットカウンタ/タイマユニット)を利用している。

本高分解能時計ではクロックソースとなる水晶振動子の周波数精度で時計の精度が決まる。例えば、ソースの周波数精度が $20 \times 10^{-6}$ の場合、一日あたり1.7secのずれが生じる。よって、常に $\pm 5\text{msec}$ の確度を保証しようとするれば、一日に345回すなわち250secに一回程度の時刻校正が必要となる。250台の監視装置が存在する系においては、1secに一回いずれかの装置が時刻あわせを行うことになり、ネットワークへの負担が大きくなる。しかし、本高分解能時計ではTMUの32ビットダウンカウンタ(TCNT)によ

り周波数を微調整することが可能なため、ソースの周波数安定度が十分なら、周波数を微調整することで、時刻校正の周期をより長くとれて、ネットワークおよびNTPサーバにかかる負担を減らすことができる。

**4.1.2 時刻校正周期** この高分解能時計を利用し、SNTPを用いてNTPサーバとなるトリガ番号管理装置間で時刻合わせを行う。

ところで、SNTPで測定される時刻オフセット(番号管理装置、波形監視装置間の時刻ズレ)が生じる要因としては高分解能時計の周波数偏差、監視装置側の残留偏差、ネットワーク遅延時間などが考えられる。あらかじめこれらを定量的に評価して校正周期を定めておくことは困難であり、また固定の校正周期では環境などの変化に追従できないため実用性に乏しい。よって、本実装ではSNTPで測定される時刻オフセットの大小から判断して校正周期を動的に可変する方式を用いる。ただし、周期が短くなりすぎるとネットワークやNTPサーバへの負荷が増し、さらには、長すぎると温度変化によるソースクロックの周波数ドリフトなどに対して追従効率が落ちるため、校正周期には最小最大値を設けその範囲に収まるようクランプしている。

## 4.2 $\mu$ ITRON SNTPの実装試験

製作された $\mu$ ITRON SNTPの試験を行った。試験システムは、図4で示されるように、トリガ番号管理装置を模擬したワークステーション(WS)と、開発されたSNTPが実装された波形監視装置で構成され、WSと監視装置間の同期の差を検出している。

上位NTPサーバ(研究所外)

外部サーバ#1 stratum1  
外部サーバ#2 stratum1

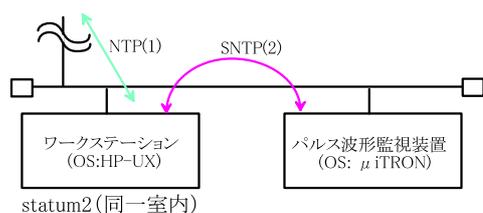


図4:  $\mu$ ITRON用SNTPの実装試験のシステム図。

計測された同期誤差を図5に示す。これは約52時間の計測結果である。このデータの標準偏差は、0.59885msecであり、この同期精度を達成する為に197回の時刻合わせを行っている。少ない時刻合わせ回数で、目標の $\pm 5$ msec未滿を十分に達成することが可能であることが実証された。

なお、本プログラムは、無償提供(非商用限定)されるソフトウェアとして原研所外利用可能プログラムに登録されており、希望者は誰でも利用可能である。

## 5. まとめ

我々は、昨年製作したパルス波形監視装置による監視系を実現する為に、トリガ番号管理装置を設計

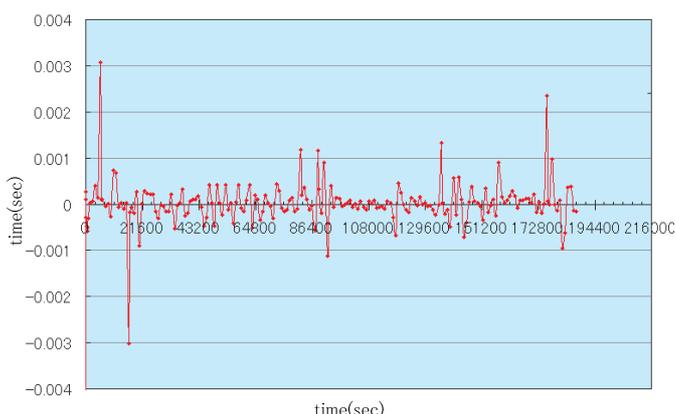


図5: 開発されたSNTPを使った際のワークステーションと波形監視装置間の時刻ズレ。

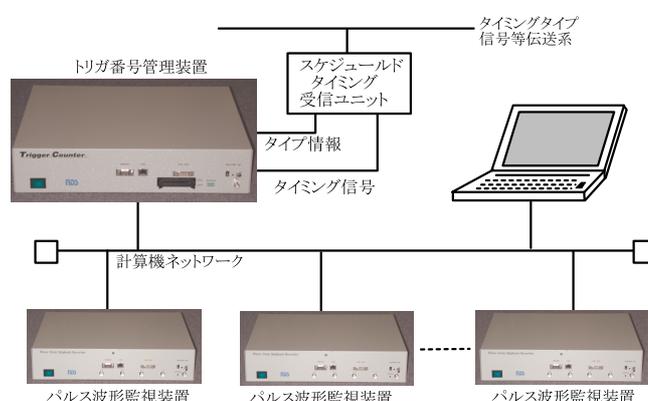


図6: J-PARCビーム波形監視システムのイメージ図。

した。この装置を用いたシステムは、今回説明を割愛したスケジュールドトリガシステム<sup>[5]</sup>と組み合わせられて、最終的に図6で示される形になる。今後、波形監視システムを統合するソフトウェアの開発等を進め、早急な実用化を図りたい。

## 参考文献

- [1] J-PARC project, "ACCELERATOR TECHNICAL DESIGN REPORT FOR HIGH-INTENSITY PROTON ACCELERATOR FACILITY PROJECT, J-PARC", JAERI-Tech 2003-044, March 2003.
- [2] H.Sakaki, et al., "THE CONTROL SYSTEM FOR J-PARC" Proceedings of the 3th Asian Particle Linear Accelerator Conference in Korea, 2004.
- [3] 榊 泰直等, "ブレコーディング機能つきパルス波形監視装置の開発", Proceedings of the 28th Linear Accelerator Meeting in Japan, P96/98, 2004.
- [4] 伊藤雄一, " $\mu$ ITRON用SNTP自動時刻補正機能つき高分解能時計モジュール", 日本原子力研究所 所外利用登録プログラム「uNTP」使用手引書, 2004.
- [5] F.Tamura, "J-PARC TIMING SYSTEM", The 9th International Conference on Accelerator and Large Experimental Physics Control Systems, 2003.