

プレコーディング機能つきパルス波形監視装置の開発

榊 泰直^{1,A)}、加藤裕子^{A)}、河村直樹^{B)}、宮元耕治^{B)}、中村豪志^{B)}

A) 日本原子力研究所 大強度陽子加速器施設開発センター 加速器グループ

〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方 2-4

B) ニチゾウ電子制御株式会社 電子機器システム事業部

〒554-0012 大阪市此花区西九条 5-3-28

概要

日本原子力研究所東海研究所内で建設が進んでいる大強度陽子加速器施設 (J-PARC) のような、強力なパワーを持つハドロンマシンでは、たった1発のビームオペレーションエラーでさえも、強烈な放射化・熱衝撃損傷を伴う可能性があり、加速器機器に大きなダメージを与えることが予想される。そこで、Linacで加速される全ビームを監視し、何らかのトラブルが発生した際には、その後トラブル原因を再現させるための運転を行わずとも、原因を究明されるような系が切望される。

今回、このような背景を基に、J-PARCだけでなく大規模な加速器施設で強力なツールと成り得る、新たな機能を有する監視装置を開発した。

1. 開発の背景

一般にどのような加速器施設であれども、加速器運転を行うと、何らかの機器トラブル等によるビーム不安定な状況が必ず観測される。このような場合、トラブル原因を確認するため、もしくは再現させるために、トラブルが解決されないうちに何回かビームを加速させてその原因を解明する方法がとられることが多い。ところが、現在建設中のJ-PARC/Linacでは、ビームエネルギー400MeV・ピーク電流50mA・ビーム幅500 μ 秒、繰り返し50ppsという、強力な陽子ビームを加速するために、ビーム運転中に何らかのトラブルが発生すると、その影響によって機器を強烈に放射化させたり、ブラッグピークによって特にRFコンポーネントに致命的な熱衝撃損傷を与える可能性がある^[1]。よって、ビーム不安定が発生した場合は、以降のビームを完全に停止させた状態で(たとえ原因究明のためであっても、ビーム運転による放射化・機器破損のリスクが少しでも予想される際には、それ以上の運転は厳禁)、その原因を明らかされる必要がある。

よって、J-PARCの加速器運転から、次のような仕様を有するビーム監視装置系が要求される。

： J-PARC/Linacの大規模空間に、一般的な高速通信ネットワークを介して多数設置が可能で、装置間の通信用アドレス等の保守管理が容易な装置。

： J-PARC/Linacビーム仕様を十分な精度で監視できるように、アナログ分解能は12ビット(最大 $\pm 10V$)・10MS/s以上、4ch独立信号入力可能な装置。

： 50ppsのビームが取りこぼし無く全パルス計測され、そのビームが要求範囲にあることが監視される装置。また異常がある場合には通知される装置。
： トラブルが発生した場合は、それ以降のビーム運転を行うことなく、直ちに原因が究明される系が構築できる装置。つまり、いつ発生するかわからないトラブルの原因を究明できる様に、そのトラブル前後の事象が記録・保存されていること。
： J-PARC/Linacの大規模空間に配置されるモニタ類で、同一のビームイベントを観測していることが保証されるように、全ての加速ビーム監視データ、が完全に一致したタグで管理されている装置。

これらの仕様が満たされる監視装置を検討したが、要求に適用できる装置は存在せず、J-PARCのコミッションングに向けて開発することになった。

2. パルス波形監視装置の設計

2.1 監視装置機能仕様

先の章で提示した条件を踏まえて、以下のような設計方針を採った。

： 図1で示されるように、監視装置は分散ネットワーク配置に適したイーサネット (TCP/IP、UDP/IP) で構築するものとする。計測・監視されたデータは、ネットワーク経由で上位PCに伝送される。なお、IPアドレスが容易に管理されるように、DHCP機能を有することにする。

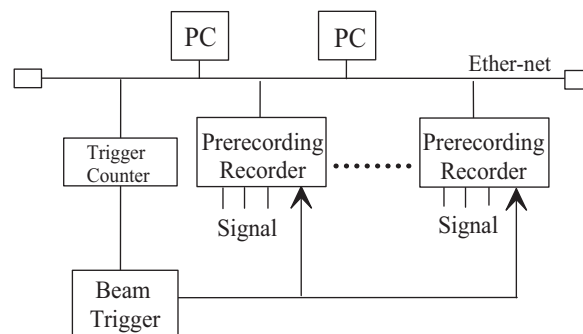
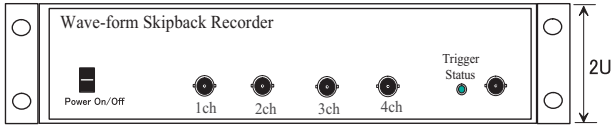


図1: 監視装置のネットワーク接続

¹ E-mail: sakaki@linac.tokai.jaeri.go.jp

：装置は、可能な限りコンパクトにし、EIA19インチ標準ラック内に収まる高さ2U以下のサイズにする(図2)。装置には、各chが独立の4chのBNC端子を用意し、12ビット・10MS/s分解能でデータ収集が可能にする。

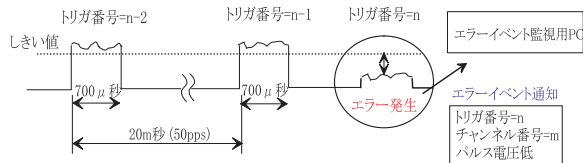


EIA19インチ標準ラック幅

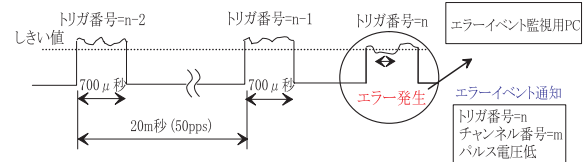
図2: 監視装置の外形図イメージ

：装置に接続されたパルス信号は、最大50ppsで取りこぼし無く全パルス異常監視されるようにする。なお、「波高値の高低、フラットトップ異常、パルス幅異常」のパルス異常監視条件が設定可能であり、その設定条件を満足しない場合は、エラーイベントを直ちに上位に通知できる様にする(図3)。

1: パルス波形が異常(波高値高低)を起こしたことを、上位計算機に伝える。



2: パルス波形が異常(フラットトップ異常)を起こしたことを、上位計算機に伝える。



3: パルス波形幅が異常(波形幅異常)を起こしたことを、上位計算機に伝える。

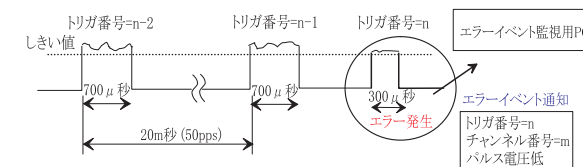


図3: 全パルス波形イベント監視

：プレレコーディング機能がない一般の計測器において、いつ発生するかわからないトラブル前後の事象を記録・保存するには、計測された50ppsのデータをネットワーク等で上位計算機に連続的に転送しなければならない。J-PARC/Linacの様に監視すべきパルス信号が非常に多い(100ch以上)にもなるような場合には、各chの波形デー

タを50ppsで上位にリアルタイムで上位に送信し記録させることは、ネットワークトラフィック、上位計算機処理の両面において全く現実的ではない。このような場合、監視装置自身に連続記録機能を持たせ、連続保存処理を分散させる方法をとるべきである。本装置では装置毎にリングメモリを持たせ50ppsで波形データを連続的にリアルタイムでメモリ内部に保存する。これにより、最新のデータからリングメモリのサイズに依存した波形数まで過去に亘って、データが保存(プレレコーディング)される。トラブルが発生した際に、保存されているデータを読み出せば、過去に遡って全パルス波形の状態を確認できる。なお、プレレコーディング中であっても、上位計算機からログの目的で最新波形の読み出しを要求されれば、最新波形情報を返送できるようにしておく(図4)。

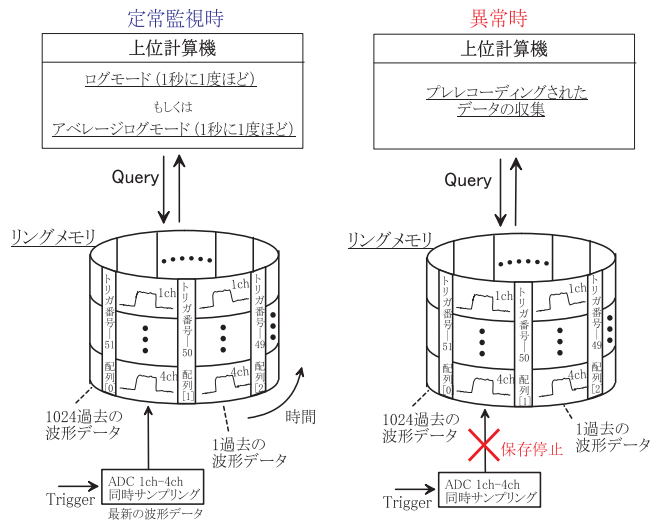


図4: 連続的なプレレコーディング機能

ところで、プレレコーディングする際に、パルス波形監視用のトリガの番号が同時に記録され、さらに、上位計算機からこのトリガ番号を指定することで読み出すことができれば、要求波形情報のみ選択的に上位計算機に転送することが可能となり、ネットワーク上のトラフィックの低減が図れる。J-PARC/Linacのように大規模空間に本装置が複数台配置される場合、各装置内で統一されたトリガ番号が利用されれば、同一のビームイベントを観測していることを保証することができる。

2.2 機能設定用画面

本監視装置が容易に利用可能なように、上記の機能を設定するための、図5で示されるような上位計算機用アプリケーションを作成した。

この画面から、本監視装置のすべての機能の設定が可能である。また、最新データの表示も行えるため、現状のパルス波形を1秒に1回(任意設定可能)のリフレッシュレートで確認できる。アプリケーションは、java言語で書かれているために、Linux、Windowsなどプラットフォームに依存することなく

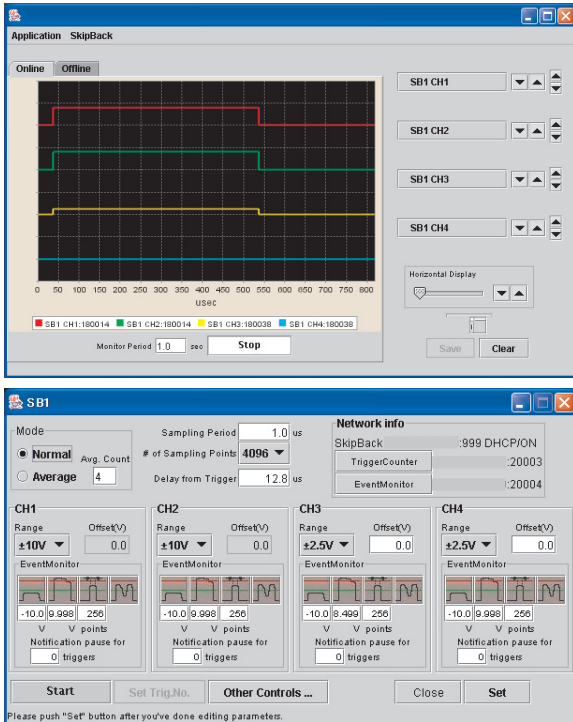


図5: 波形監視装置の操作・設定用画面

動作することが確認されている。

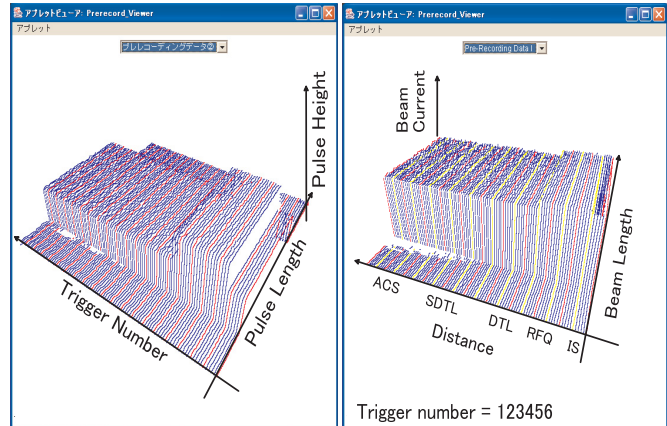
さらに、本アプリケーションにはプレコーディングされたデータを、アニメーション化して表示させる機能が用意されており、トラブルが発生した際の過渡的な現象を動画で確認することも可能である。

3. 加速器施設でのプレコーディング機能利用のアドバンテージ

3.1 時間的アドバンテージ

この章までに、プレコーディング機能付きの監視装置の仕様について述べた。この章では、J-PARCに限らず、加速器施設一般においてプレコーディングされた過渡的なデータを利用することのアドバンテージについて述べる。

プレコーディングされたデータは、加速器運転時に予期されなかった過渡的な現象を記録した重要なデータである。今回製作された監視装置では、50ppsでパルスデータを監視可能であり、加速ビームが刻一刻と変化情報をすべて記録している。このようなデータは、トラブルが発生した際にはもちろんのこと、それ以外の観測においても多くの情報を与えてくれるものとなる。たとえば極端な例ではあるが、図6の左側に示されるように、「100パルスのうち、25パルスだけが何らかの影響でパルス波高が高くなっている」というようなことも、信頼性の高い時間的な情報をもったデータとして記録することが可能である。この時間的なアドバンテージを、本監視装置の単体使用で得ることができる。



プレコーディング機能付き監視装置単体を利用した際の、過渡的な現象の計測イメージ

プレコーディング機能付き監視装置複数台で利用した際の、ビーム軸方向の加速過程の計測イメージ

図6: プレコーディングデータのアドバンテージ

3.2 空間的アドバンテージ

本監視装置の設計コンセプトでもっとも重要な部分であるが、加速器施設のように、広い空間に監視したいパルスデータが分散されて存在する際に、同一のトリガ番号でタグ付けされたプレコーディングデータが得られることは、大きなアドバンテージを持つ。図6の右側に、監視装置を複数台利用した際の空間的アドバンテージの例を示す。この図は、J-PARC/Linacをイメージして書かれたものであるが、Linacの上流部・IS(イオン源)～ACS(加速構造)までが、位置情報として横軸にかかれ、あるトリガ番号(number=123456)のときの、ビーム軸方向のビーム波形の変化をイメージしたもので、ビーム軸方向にトリガ毎の情報を表示している。さらに、時間的なアドバンテージと組み合わせれば、Linac内での各加速ビームのビーム軸方向の過渡的な現象も解析することが可能となり、パターンマッチングなどの技法^[2]を適応すれば、これまでに類のないような情報を作り出し、新たな制御方法を確立する可能性を秘めている。

4. まとめ

今回J-PARCの要求から、プレコーディング機能付き監視装置を設計・製作した。本装置は、まだ完成したばかりで、加速器機器のデータを十分に収集していない。しかし、本装置の機能が遺憾なく発揮されれば、これまでに類のない系を組めることは間違いなく、『最強のツール』になりえるであろう。

参考文献

- [1] 榊泰直など, “J-PARC LINAC用高速インターロックシステムの設計”, 本研究会予稿集, 2003.
- [2] H.Sakaki et al, “Cluster analysis server system using Self-Organizing Maps(SOM)”, Proceedings of the 13th Symposium on Accelerator Science and Technology, P479-481, 2001.