

## Performance Test of Wave Endless Recorder

Koji Miyamoto<sup>1</sup>, Naoki Kawamura, Ysushi Okuda, Masao Asako, Takeshi Nakamura  
One of Accelerator Facilities NICHIZOU ELECTRONIC & CONTROL Corporation,  
5-3-28, Nishikujyo, Konohana, Osaka, 554-0012

### Abstract

Some accelerator facilities construct the post-mortem system for investigating of beam loss. So we developed the wave form digitizer by such system development in J-PARC. We called this wave form digitizer Wave Endless Recorder. This Wave Endless Recorder was 10MS/s, it is unsuitable for a measurement of a short pulse beam. Therefore we developed the fast-response Wave Endless Recorder, 200MS/s, that can measure a short pulse beam. And this time, We doing performance test of 200MHz version Wave EndlessRecorder. This report shows performance test of the new type Wave Endless Recorder.

## ウェーブエンドレスレコーダの性能評価

### 1. はじめに

加速器開発のトレンドは、X線自由電子レーザーのような“高輝度・高品質な光の発生源”を目的にする電子加速器と、陽子物理実験や中性子源として利用される“プロトン・ドライバ”を目的にする陽子加速器が主流である。この両者の加速器には、加速される粒子に違いがあるものの、大強度で高安定なビームを常に提供することが共通して要求される。

一般的に、加速器を運転すると様々な外乱によってビームロスが発生し、ユーザーの利用効率が落ちてしまうことを経験する。特に、現在の加速器トレンドのような高いビーム品質が要求される場合、ロスが少しでも起こると利用効率を大きく落とすだけでなく、ビームロスによるマシンの放射化で速やかな保守を困難にする可能性もある。そこで、先駆的な加速器施設では、このような原因を監視し高性能なビームを維持できるように、“事後解析用データ収集システム”を構築している<sup>[1]</sup>。

我々は、現在原研東海研に建設中のJ-PARCの事後解析データ収集に特化させた“ビーム波形デジタルライザ”を製作した<sup>[2]</sup>。この記録装置はJ-PARCのビーム(500 $\mu$ 秒幅)にあわせたものであったために、10MS/s(サンプリング/秒)という仕様になっており、J-PARC以外の短パルスビームを扱う加速器では、この計測器の性能が活かせるものではなかった。そこで、短パルスビームの計測も可能になるよう200MS/sに高速化した同様の波形デジタルライザを開発した<sup>[3]</sup>。

以下、高速版波形デジタルライザ(Wave Endless Recorderと呼ぶ)の性能評価試験について記述する。

### 2. Wave Endless Recorderについて

Wave Endless Recorderは、J-PARCで要求された“トラブル発生原因を解析するためにビームを利用しなくても良い(安全な事後事象解析)こと”、“単体にてビームロス解析に必要な性能を備えていること”、“分散設置された加速器設備の同期計測が可能なこと”、“効率よく記録データから必要データを検索する”をベースに検討を行い、次のような機能を実装した。

原因特定のために加速器を再現運転等することなく、事後に事象発生原因が解析できるよう、波形記憶領域を設計リングメモリ(メモリ領域をリング状構造とし、エンドレスで最新波形を記録していく)方式を採用した。また、記録タイミングは、システム同期が可能なようにビームタイミングを示すトリガ信号が検知される毎にアナログ電圧値を収集(サンプリング)する記録方法とした。リングメモリは、40MB(メガバイト)用意することで4096点サンプルのときは、1280波形もの最新波形を記録することを実現した。

また、エンドレスで計測される膨大な波形データの中からビームロスなどのイベントが発生した前後のデータを、単体で効率よく目的のデータを抽出するために、Wave Endless Recorderでは波形形状を監視し、異常波形のトリガ番号を上位計算機に伝達する機能を組み込んだ。図1に異常波形の検出パターンを示す。

<sup>1</sup> E-mail: miyamoto\_k@ndssf.co.jp

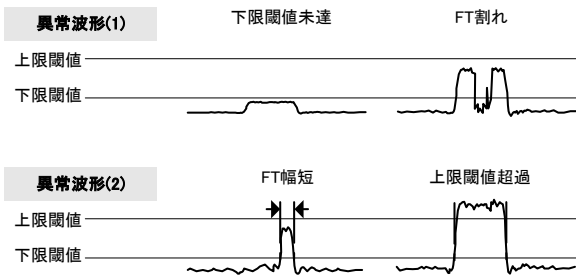


図1 異常波形の種類

なお、上位計算機ソフトウェアへの波形異常の伝達は、イーサネット通信で伝達するが、大量の波形エラー検出が発生しても波形デジタイザの波形収集動作への影響を除くために、これらはコネクショナル型のプロトコルUDP/IPで伝達している。

さらには、Wave Endless Recorderが空間的に分散設置された複数のWave Endless Recorder間の収集データの整合性のために記録されたデータはトリガ番号により時間軸上データを一致させることも可能にしている。

下表に、Wave Endless Recorderの基本仕様を示す。

表1 Wave Endless Recorderの基本仕様

アナログ信号入力	チャンネル数: 4ch 入力電圧: ±2.5V 入力抵抗: 50Ω 分解能: 12bit 誤差: ±3LSB サンプリング周波数: 97.7kHz~200MHz チャンネル間絶縁
トリガ信号入力	入力レベル: TTLレベル (1ch) (トリガ番号カウンター付き)
サンプリングクロック	内部・外部切替可能 外部クロック (ECL or LVDS)
波形記録	リングメモリ方式 総容量: 40MB
異常波形検出	パルス波形監視 楕型波形監視
通信インタフェース	LAN (操作用) シリアル (初期設定用)

下図にWave Endless Recorderの外観写真を示す。



図2 Wave Endless Recorderの外観図(写真)

### 3. 性能試験

開発したWave Endless Recorderでは、高速サンプリング可能ではあるが、特に、“高分解能”、“チャンネル間の高い独立性(絶縁性)”を重点に開

発した。このため性能試験項目は、これら開発重点項目が評価できる試験を選定した。

高速サンプリングの評価として“周波数特性の計測”を、高分解能の評価として“直線性誤差の計測”を、チャンネル間の独立性の評価として“クロストーク試験”を実施した。

以下に試験方法を述べる。

#### 3.1 周波数特性

周波数特性の計測には、sin波ジェネレータを用い次の要領で計測を実施した。

- (1) Wave Endless Recorderのアナログ入力チャンネルにジェネレータで発生させるsin波を入力する。
- (2) サンプリングを実施し、サンプリング前と後で振幅の減衰量を記録した。

このとき、ジェネレータから出力するsin波の周波数は、エイリアシングの影響を軽減させるようサンプリング周波数とは位相をずらした周波数を設定した。例えば、50MHzの周波数を測定するときは、50.1MHzのsin波を用いた。計測は、100MHz以上の計測を行い、計測点は、振幅が大きく減衰すると予想される100MHz付近の周波数の計測を多くなるように選定した。

#### 3.2 直線性誤差測定

直線性誤差の計測においては、基準電圧発生器を用い、Wave Endless Recorderの入力電圧範囲である-2.5V~+2.5Vの各電圧にDC電圧を与え、計測値との誤差を記録した。また、本測定では温度の影響も調べるものとし恒温槽で作り出した10℃~40℃の温度環境下で実施した。

#### 3.3 クロストーク試験

クロストーク試験では、一つのチャンネルに入力したアナログ波形が他のチャンネルへどれだけ影響を及ぼすかを測定するため、次の要領で実施した。

- (1) 一つのチャンネルにsin波を入力し、sin波の入力を行っていないチャンネルのサンプリングを行う。
- (2) 得られたサンプリングデータの周波数解析を行い、入力したsin波の周波数に該当するデータを漏れ量であるとシデータを記録した。

また、影響調査は、入力したsin波の周波数のみならず、その通倍周波数が影響することも考慮に入れ、8通倍までの漏れ量も記録した。なお、本試験で計測した周波数は100Hz~100MHzの間である。

### 4. 試験結果について

それぞれの試験結果を図3~図5に示す。

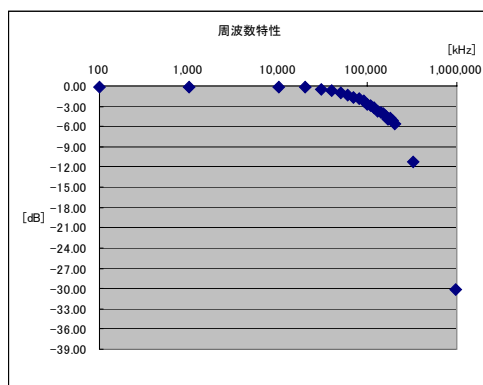


図3. 周波数特性

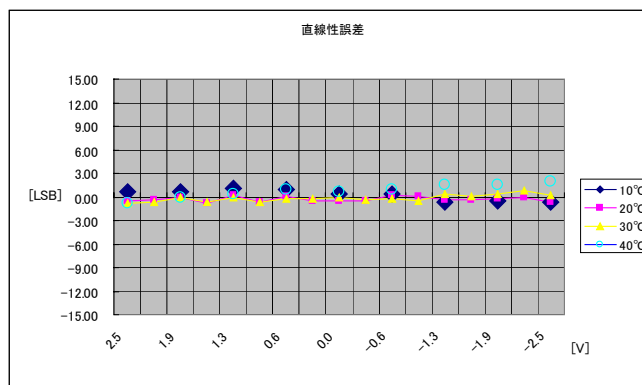


図4. 直線性誤差

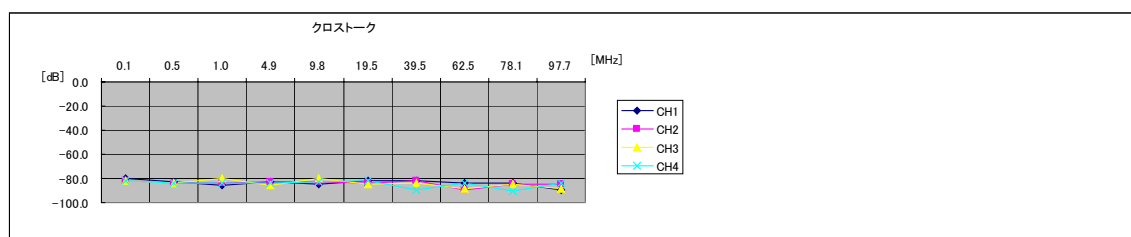


図5. クロストーク

#### 4.1 周波数特性

図3に周波数特性の結果を示す。横軸に周波数を示し、縦軸に減衰量を示す。100MHzのとき-2.8dBという結果が得られた。

#### 4.2 直線性誤差

図4に直線性誤差の結果を示す。横軸に入力電圧を示し、縦軸に入力電圧との誤差を示している。10°C~40°Cのいずれの温度において装置の目標スペックである±3LSB以内であることが計測できた。

#### 4.3 クロストーク

図5にクロストークの結果を示す。横軸に周波数を示し、縦軸に干渉量を示している。図5はsin波を入力したチャンネルごとに最も影響を受けたchの干渉量を記録した。クロストークは、チャンネル間で-79dBという成績が計測できた。

### 5. まとめ

今回の性能評価を行うことで、開発目標をクリアされていることを確認することができた。開発時から、性能向上のためにシールドケースでノイズ発生源をシールドするなど対策を講じてきたため、特別な性能改善を実施することなく本結果を得ることができた。

特に、クロストークにおいては、-79dBという高成績が得られた。このことは、測定対象機器間の影響が少なく計測を実施できるため全チャンネル(4CH)を有効利用でき、かつ、高速サンプリングかつ高分解能で波形収集が行えることが期待される。

### 参考文献

- [1] J.S.Laster, et al., "POST MORTEM SYSTEM-PLAYBACK OF THE RHIC COLLIDER", Proc. of ICALEPCS2001, p600-6002, (2001).
- [2] 榎 泰直等, "プレレコーディング機能つきパルス波形監視装置の開発", Proc. of the 28<sup>th</sup> Linear Accelerator Meeting in Japan, (2003)
- [3] 宮元耕治等, "大容量リングバッファ付き高性能波形デジタルの開発", Proc. of the 30<sup>th</sup> Linear Accelerator Meeting in Japan, (2005)