

## RF Waveform Acquisition System at Nextef

Shinji Ushimoto<sup>1,A)</sup>, Naoyuki Toyotomi<sup>A)</sup>, Toshiyasu Higo<sup>B)</sup>, Kazue Yokoyama<sup>B)</sup>, Masanori Sato<sup>B)</sup>

A) Mitsubishi Electric System & Service Co.Ltd.

2-8-8 Umezono, Tsukuba, Ibaraki, 305-0045

B) High Energy Accelerator Research Organization (KEK)

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

Abstract ( 英語 )

The every-RF waveform acquisition system at Nextef mainly consists of DPO7054 (Digital Phosphor Oscilloscope) . This oscilloscope works under "Windows XP ". Therefore it is possible to operate two programs, one of them the oscilloscope operation and the other the data retrieving from the oscilloscope. The stable acquisition of the 1k points X 4 channel data was proven at 50Hz operation.

## Nextef における RF波形データ 収集システム

### 1. はじめに

Nextef<sup>[1][2]</sup>はKEKのX-band RF 試験施設である。施設は電子陽電子入射器 (LINAC) 棟内の加速管組立てホールを中心に、隣接するクライストロン組立てホールの一部も含んでいる。クライストロン組立てホールでは2007年5月から、クライストロンの単体試験を開始し、現在は狭導波管<sup>[3]</sup>の放電データ収集を行っている。一方、加速管組立てホールでは同年11月から2台のクライストロン使用した合成運転試験を開始した。現在は既存の加速管をインストールし、プロセッシングへ向けた準備を進めている。

NextefではX-band RFによる高電界加速<sup>[4]</sup>に向けた基礎研究として、導波管や加速管内での放電現象について解析を行う。その一環として、通常時に対する放電時のRF波形の変化を解析することを目的として、各パルスの波形データを収集するシステムを開発した。本稿ではこのシステムについて紹介する。

### 2. システム概要

本システム開発においては、まずNextefの運転に使用するRFパルス仕様を考慮する。繰り返しは最大50Hz、パルス幅は最大で400nsであることから、1  $\mu$  secあたり1000点の波形データを50Hzで安定して解析できることを条件とした。その為、Nextefと同様に50Hzで運転を行っているLINACのBPMモニター<sup>[5]</sup>で使用しているTektronix社の同系列のデジタルオシロスコープDPO7054を選択した。図1に開発したシステムの概要を示す。

DPO7054は、OSにWindows XPを搭載したオシロスコープである。本システムはこのオシロスコープが主体となってデータの収集・解析及び保存を行なう。DPO7054ではオシロスコープの機能自体も一つのアプリケーション(TekScope.exe)として動作する。その為、別のアプリケーションでデータの解析を行

うことで、一台のオシロスコープでデータの解析・収集を可能としている。また、従来のネットワークを経由したPCとオシロスコープの通信に比べ、このシステムではネットワーク負荷によるロスが無いため、当初の条件である50Hzでの安定したデータ収集(4Ch×1000点)が実現できる。

Nextefでは制御システムにEPICS<sup>[6]</sup>を導入しており、クライストロンやモジュレータに関するデータはEPICSのCAコマンドを用いることで、様々なプログラム言語から呼び出すことができる<sup>[7]</sup>。今回のシステムにおいても、RFのパルス幅やクライストロンへの入力レベルなどのシステムに必要なパラメータはEPICS経由で取得する。

一方、DPO7054で収集したデータは、オシロスコープの外部トリガーがOFFとなった時点で、データ収集プログラムが自動的に運転制御用PC(Windows XP)の指定したフォルダに保存する。これは、データ解析時にDPO7054の負荷軽減を図るのが目的である。

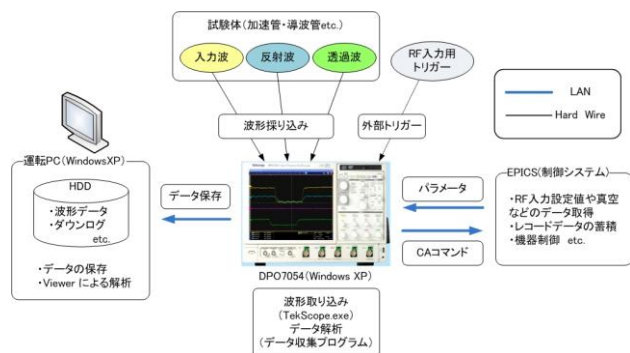


図1 システム概要

<sup>1</sup> E-mail: [ushimoto@post.kek.jp](mailto:ushimoto@post.kek.jp)

### 3. 波形データ収集プログラム

図2にDPO7054上で動作する波形データ収集プログラムを示す。このプログラムは、

- i) プログラムの高速化 (50Hz運転に対応)
- ii) GUI作成ツールの充実
- iii) Windows XP 上での安定動作

という点から、Visual C++2005を用いて開発した。下記1)~5)に各データ処理の項目を示す。

現在、クライストロン組立てホールでの狭導波管データ収集において、これらの機能を用いた定常状態での放電によるダウン (ブレイクダウン) 頻度の測定を行っている。

#### 1) バックグラウンド

高圧動作等からオシロスコープの入力信号に入り込むベースラインを測定する。

実際に測定する波形データをより精密に評価する為、データ収集を行う直前にRF以外のパラメータは同じ状態にして測定する。RF信号のみがOFFの状態ではユーザーが設定したパルス数だけ波形をサンプリングし、平均したデータ。

#### 2) 連続した波形データの保持

外部トリガーON時から波形データを最大10パルス分DPO7054上のメモリに保持する。このデータはリングバッファで常に最新の波形データが保持される。

#### 3) 外部トリガーOFFによる波形データの保存

プログラムは外部トリガーOFFによりデータ収集を停止し、それまで保持していた10パルス分の波形データを外部計算機に保存する。

インターロックによってOFFされるRF用トリガー信号を外部トリガーに入力することで、放電などによるRFダウンを検知し、ダウン直前の波形データを保存する。

#### 4) 波形変動データ (ヒストグラム)

外部トリガーがONからOFFするまでの全パルスを対象として、その期間内の全てのパルス波形からその積分値とピーク値を算出し、頻度分布を作成する。

これにより、安定時の波形に対する特性分布を把握することができる。

#### 5) 異常パルス波形検知

インターロックが動作しない程度の小規模放電やパルス欠けを捕らえるための機能。

定常状態で、まず100パルス分の波形をサンプリングし、リファレンスとなるパルスの積分値とピーク値を作成する。ユーザーは事前に各チャンネルの積分値とピーク値に対する閾値 (%) を設定しておき、プログラムは入力波形の値がリファレンスに対して閾値以上もしくは以下の状態であったとき、異常波形と判断し、ログファイルへの記入と直前の10パルス分の波形データを保存する。

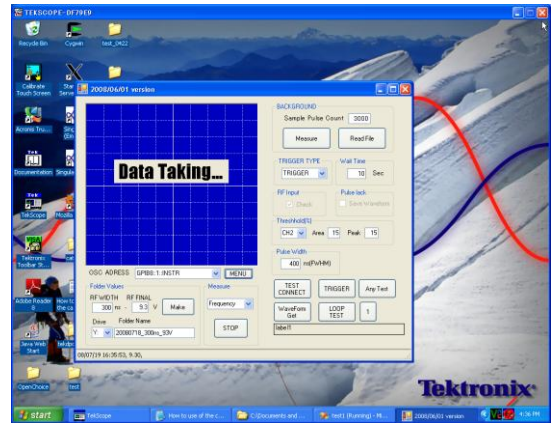


図2 DPO7054上で動作する波形データ収集プログラムパネル

実際にクライストロン組立てホールで使用している設定では、入力信号に狭導波管に関わる入力波、反射波、及び透過波、更にクライストロンへの反射波の4つの波形を入力している。外部トリガーはクライストロンへの入力RF用トリガー信号を使用している。本プログラムにより収集した放電によるダウン直前の反射波形データ例を図3に示す。パルスは、(a)から(f)の順番で、6パルス分示したが、(f)が放電を検知してINTLKが作動したパルス波形である。この例では、INTLK作動したパルスの1パルス前にも大きな反射発生があり、また4パルス前にはパルス波形の減少 (パルス欠け) があることがわかる。

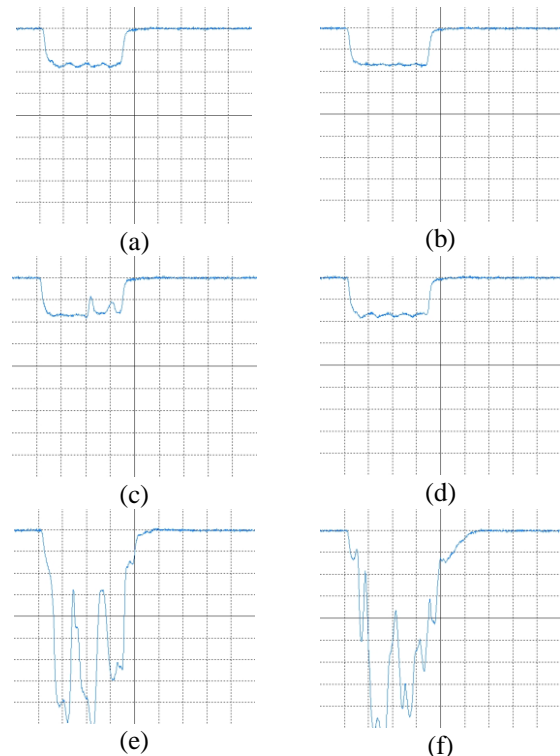


図3 狭導波管試験時に収集したブレイクダウン直前の反射波形

## 4. データ閲覧プログラム

### 4.1 Waveform Viewer

これは前述のデータ収集プログラムにより収集されたCSVファイルの波形データをオシロスコープと同様に可視化する為にVisualBasic6.0を用いて開発したプログラムである。波形データを表示した例を図4に示す。

このプログラムは波形データ確認を容易にする目的で、データが格納されているフォルダをアプリケーション上にドラッグアンドドロップすることでファイルを展開する仕様とした。またプログラムに上の矢印ボタンを使用すると、連続した10パルス分のデータを時系列に確認できる。これによりダウン直前の波形に至る詳細な変化を把握することが可能である。

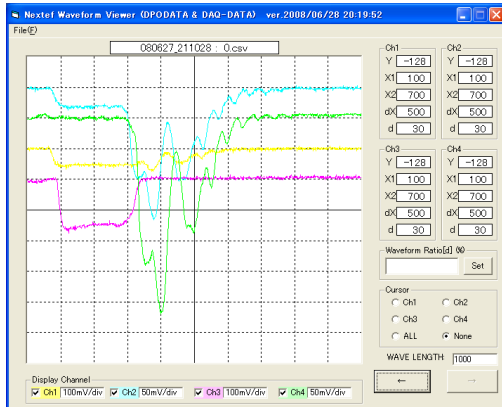


図4 Waveform Viewer

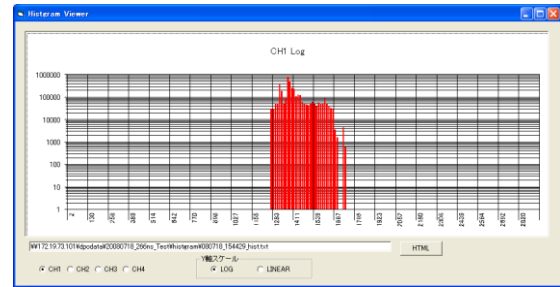
### 4.2 Histogram Viewer

図5は3-4項で紹介したヒストグラムデータを表示するプログラムである。このプログラムもVisualBasic6.0で作成した。前述のViewerと同様に、ドラッグアンドドロップでデータファイルの展開ができる。

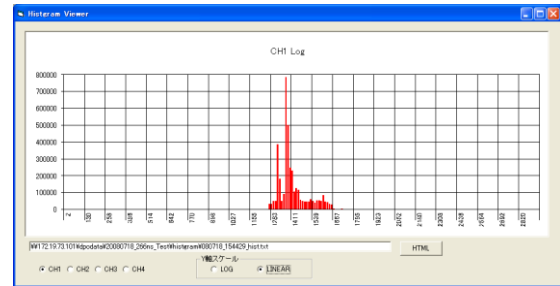
例として表示したグラフは、Y軸にパルス数、X軸に波形の積分値を使用した。このプログラムではラジオボタンでY軸の対数と整数の表示切替えができる。

図5-1、5-2は共に試験体への入力RFパワーに関する分布で、Y軸のみ二通りのスケールで表示した例である。通常は図5-1の整数表示を用いることで、おおよその波形の変動が把握できる。一方、図5-2の対数表示では、稀な波形の変化を確認することができる。

これらのデータから、異常波形を検知する際の閾値をデータ収集プログラムにフィードバックすることになる。



1) 整数表示



2) 対数表示

図5 Histogram Viewer

## 5. 今後の課題

本システムは、試験体に大きな変化が生じた時とその直前のパルスを解析できるようにすると共に、定常状態における波形の微小変化を捉えることも可能にするよう開発を行った。Nextefは今秋から加速管組立てホールで加速管のプロセッシングを開始するが、プロセッシングでは入力パワーレベルが常に変化するため、データ収集プログラムの改良が必須となる。

現段階では加速管への入力波及と反射波の比からVSWRを算出し試験体に関する放電等の異常を検知する方法を検討中である。

## 参考文献

- [1] Nextef WEB SITE "<http://www.linac.kek.jp/nextef/>"
- [2] S.Matsumoto, et al., "100MW級Xバンド加速管試験施設 Nextef(こついで)", Proc. of the 33<sup>th</sup> Linear Accelerator Meeting in Japan, Hiroshima, 2008
- [3] K.Yokoyama, et al., "狭導波管を用いた高電界放電特性", Proc. of the 33<sup>th</sup> Linear Accelerator Meeting in Japan, Hiroshima, 2008.
- [4] T.Higo, et al., "Xバンド高電界加速の研究", Proc. of the 33<sup>th</sup> Linear Accelerator Meeting in Japan, Hiroshima, 2008.
- [5] M.Satoh, et al., "WindowsオシロスコープベースEPICS-IOCを用いた高速BPM-DAQシステムの開発", Proc. of the 32<sup>th</sup> Linear Accelerator Meeting in Japan, Wako, 2007.
- [6] EPICS WEB SITE "<http://www.aps.anl.gov/epics/>"
- [7] S.Ushimoto, et al., "X-bandテストスタンドにおける制御システム", Proc. of the 32<sup>th</sup> Linear Accelerator Meeting in Japan, Wako, 2007