

# KEK Injector Linac 高周波源出力及び位相モニター用プログラム開発

川瀬 雅人<sup>1,A)</sup>、福田 茂樹<sup>B)</sup>、矢野 喜治<sup>B)</sup>、松本 利広<sup>B)</sup>、片桐 広明<sup>B)</sup>

<sup>A)</sup> 三菱電機システムサービス株式会社

〒305-0045 茨城県つくば市梅園 2 - 8 - 8

<sup>B)</sup> 文部科学省高エネルギー加速器研究機構

〒305-0801 茨城県つくば市大穂 1 - 1

## 概要

KEK Injector Linac では、現在、KEKB Ring (e+/e-)、PF-RING、PF-AR と異なる 4 つの Ring にビーム入射を行っている。KEKB Ring e+入射時で、最大 10nC の電流を加速する為、高周波源の安定性かつ再現性が重要視されている。Ring へ安定にビームを供給する為には、高周波源のマイクロ波や位相の監視が必要であることが認識されてきていた。

その為、高周波パルスの波形変動及び、位相変動等を常時監視することができるソフトウェアを開発し Linac 運転に役立ててきた。本編では、本ソフトウェアについて報告する。

## 1. はじめに

KEK Injector Linac では、PF-RING,PF-AR Ring には 2.5GeV で、KEKB Ring e+には 3.5GeV、KEKB Ring e<sup>-</sup> には 8.0GeV で入射している。KEK Injector Linac は、8 セクターから成り立っており、各セクターの構成は、1 台のドライバー・クライストロン及び、8 台の大電力クライストロンで構成されている。ドライバー・クライストロンの役割として、各大電力クライストロンに高周波を供給している。このドライバー・クライストロンからの入力の変動すると、大電力クライストロンのパワーにも影響し、ビーム全体が安定しない。また、大電力クライストロンでは SLED 空洞<sup>1)</sup>を用いた高周波パルス圧縮法を使用しているが、この SLED 空洞は環境温度変化に非常に敏感である為、高周波源のパルス波形や位相変動に直接依存してきてしまう。これらの課題を克服し加速器の安定性を確保する為には、ドライバー・クライストロンの入力と出力を制御室から随時確認することにより、ドライバー・クライストロンの状態変化を確認できること、温度や水温などの環境温度変化で起こりうる高周波パルスの波形変動及び位相変動等を常時監視することが有効な手段と考えた。この理由から、高周波源の変化が長期的にも、短期的にも監視することができる高周波源モニター用プログラムを開発した。

## 2. 高周波監視システム

高周波監視システム<sup>2)</sup>はクライストロンギャラリに設置してある 30 台の高周波監視システムと 3 台の UNIX 計算機で構成されている。このシステムは、KEK Injector Linac 制御ネットワークの 1 つである RF ネットワークに属して、全て TCP/IP 接続されている。図 1 は高周波監視システム、図 2 に制御ネットワークと RF ネットワークの関係を表す。

高周波監視システムは、VXI-Bus System をベースに、Disk-less Controller、Waveform Digitizer、Digital I/O、Phase Detector、Power Sensor から構成されている。

高周波監視システムの主要部分である Disk-less Controller、Waveform Digitizer 及び、Digital I/O について役割を説明する。

- ・ Waveform Digitizer

Phase Detector や Power Sensor で位相及び振幅波形のピーク・トゥー・ピークを測定し、それらのデータを取り込んでいる。

- ・ Digital I/O

1 台の VXI で 2 ユニットのクライストロンのデータを取り込む為、このモジュールでトリガーの切り替えを行っている。

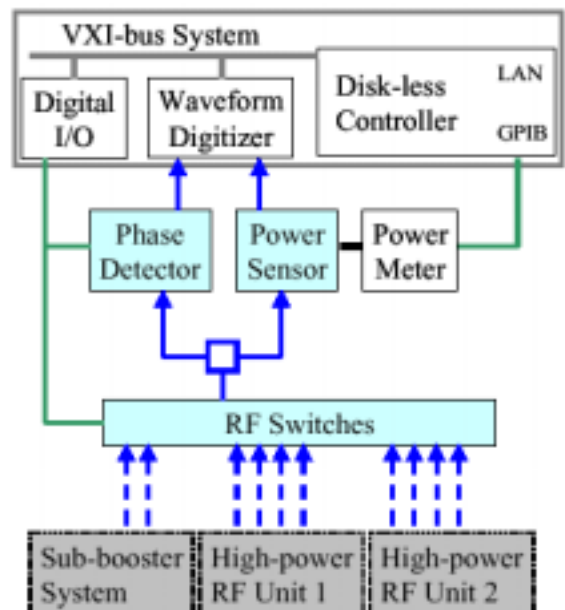


図 1：高周波監視システム

<sup>1)</sup> E-mail: kawase@mail-linac.kek.jp

- Disk-less Controller

VXI Controller はクライストロンギャラリーに設置されている為、ノイズや振動などの悪条件から、ハードディスクトラブルが予想される。これらのトラブルを避ける為、Disk-less Controller を採用した。また、Disk-less Controller を使用したシステムを実現させる為、Unix 計算機にてオペレーションすることにした。Unix 計算機は HP-UX を使用している。HP-UX にすることにより、HP 社製の開発ツールである HP-VEE<sup>2</sup>が使用可能であり、ソフト開発期間の短縮にもなった。また、Unix 計算機上でプログラムを起動することにより、処理速度も上がり、扱えるデータの種類も豊富になった。また、リモート操作ができることにより、オペレーターが制御室からプログラムを起動することができる。

この Unix 計算機の最も重要な役割として、ファイルサーバーであるという点である。これらのサーバーは、個々の VXI が採取したデータをテキストベースのファイルにし、ユニット別に保存し管理している。

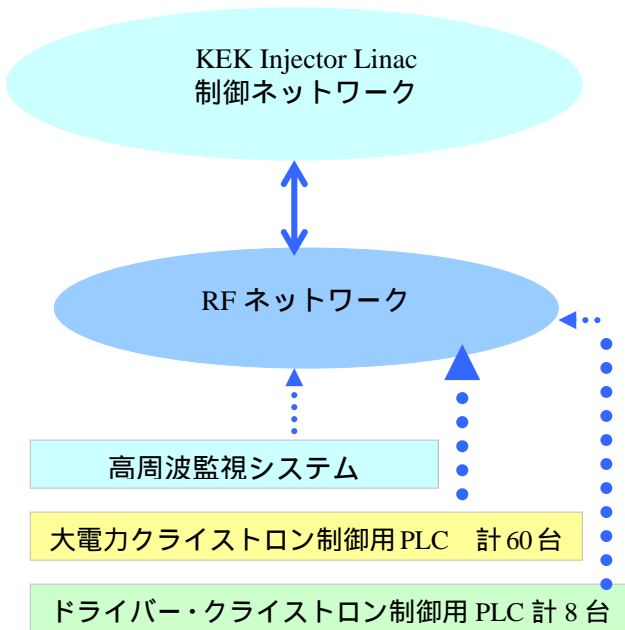


図 2: KEK Injector Linac 制御ネットワークと RF ネットワーク

### 3 . ソフトウェア

#### 3.1 ソフトウェア概要

大電力クライストロン、ドライバー・クライストロン、サブ・ハーモニックバンチャーの位相や振幅の測定データと、ドライバー・クライストロンの入

力・出力データを Linac オペレーターが容易にモニターできるように、RF Trend Graph、ドライバー・クライストロン入力・出力監視プログラムの 2 つのユーザーインターフェースプログラム開発を行った。これらのユーザーインターフェースは、Tcl 言語というスクリプト言語で記述し、Tk Widget を用いて画面上に表示させている。以下に、それぞれのユーザーインターフェースについて詳細を述べる。

#### 3.2 RF Trend Graph

RF Trend Graph は高周波源のパルス波形の振幅や位相変動を随時監視するユーザーインターフェースプログラムである。X 軸に時間、Y 軸に測定した位相や振幅の値を表している。RF Trend Graph では、高周波監視システムで保存されたファイルを読み込み、表示させている。現在、測定対象にしている項目は以下のようなものがある。

- KLY Out Pf (Amplitude,Phase )
- ACC Out (Amplitude,Phase )
- SLED Out Pf (Amplitude,Phase )
- KLY IN (Amplitude,Phase )
- Buncher Out (Amplitude,Phase )
- Prebuncher Out (Amplitude,Phase )

これらの項目のデータは、一つのグラフにパルス波形の平均値、偏差の最大値と最小値をプロットさせている。グラフ上にはパルス波形の電力及び位相の平均値と偏差を表示できる為、環境温度変化に依存するような長期的な推移や、パルスごとの早い短期的な変動にも位相や振幅の推移がわかるようになった。データは 1 日から 2 ヶ月まで確認することができ、データを確した期間を任意に変更できる。また、マウス操作でグラフを X 軸、Y 軸共に拡大することができる。このソフトウェアの主な使用目的の例は以下のようなことである。

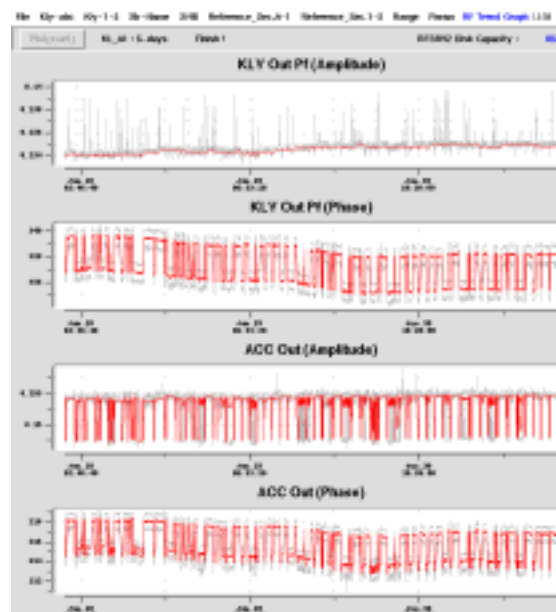


図 3 : RF Trend Graph

<sup>2</sup> HP 社製プログラム開発ツール。バージョン 4 使用。

- ・ Linac メンテナンス前後のデータを確認することで、位相もしくは振幅が元の状態に戻っているかどうかの判断ができる。
- ・ 各 Ring に入射中、ビーム変動や、エネルギーが減少している場合に、RF Trend Graph でのデータを参考にして、位相が変動していないか、振幅が変動していないかの判断ができる。

Linac 高周波源（クライストロン）の立ち上げ時の位相や振幅が、Linac 運転時の状態に戻ったかの確認や、Linac 高周波源のトラブルでの位相や振幅の変動を確認する為への Linac オペレーターの判断基準の一部として役立っている。

### 3.3 ドライバー・クライストロン入力・出力監視プログラム

データの入手は、ドライバー・クライストロンのモジュレータ内に入力・出力を確認することができるデジタルマルチメータが設置しており、このデジタルマルチメータに表示されたそれぞれのデータはドライバー・クライストロン制御機器である PLC に送られる。全てのドライバー・クライストロン PLC のデータは、Unix 計算機の共有メモリ上のキャッシュに展開されている<sup>[3]</sup>。本プログラムは、このキャッシュを用いて、ドライバー・クライストロンの入力・出力のデータを取得している。このプログラムは 5 分おきにデータを取り、画面上段の表にてデータを表示させ、中段、下段のグラフにてデータをプロットさせている。中段が入力、下段が出力を表している。X 軸は時間、Y 軸は測定データである。また、グラフはマウス操作で拡大することができることにより、細かくデータを確認することができる。

基準とされるデータは Linac 立ち上げ時の値や、調整時の値を基準にし、基準値から  $\pm 10\%$  の変動を起

こすと画面上段の表にて対象となる部分が赤表示となり、異常が起きている事をオペレーターが確認できるようにになっている。また、本プログラムはデータ表示のみを行っており、別のソフトウェアにてテキストファイルを作成し、1 分に 1 度データを読み取り、より細かなデータを日付ごとのファイルとして保存している。このプログラムにより、ドライバー・クライストロンの状態を知る上でファイルのデータからも状態の変化を確認することができるようになっている。

## 4. 考察とまとめ

これらのソフトウェアを使用することによって、KEK Injector Linac 高周波源の位相や振幅が安定しているか、変動しているかを確認できるようになり、高周波源のトラブルが起きた際、早めの対処が行なえるようになった。しかしながら、参考にしたいデータの期間が長くなると、データを表示までの時間がかかる。例えば、1 ヶ月のデータを読み込み、グラフにデータを表示するまでに約 5 分近く要する。現状では、テキストファイルからのデータを全てグラフに表示させており、データ量が増加するにしたがい、データ表示に時間がかかる事になる。できるだけデータ表示を速くさせる為、現在プログラムの改良に臨んでいる。また、この測定データを使用し、常にビームが安定に入射できるようなソフトウェアを開発されていない。例えば、振幅を確認しながら位相をクレスト位相にする、このようなソフトウェアを開発することにより、より安定的なビーム入射が可能になるとと思われる。

ドライバー・クライストロン入力・出力監視プログラムはファイルからデータを読み込めるようにし、オペレーターが確認したい日付のデータを表示できるように改良を進め、安定なビーム運転に役立てていきたい。

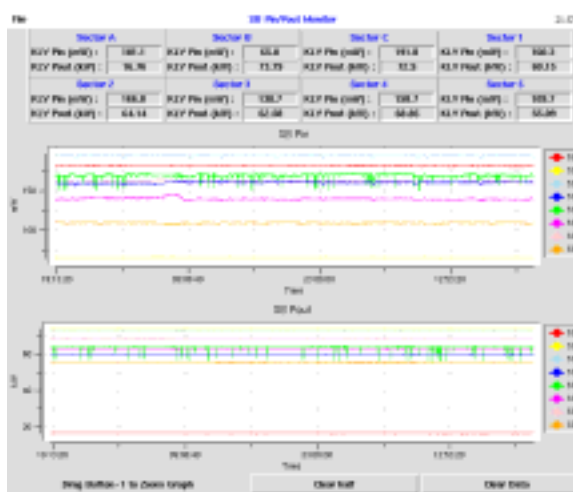


図 4：ドライバー・クライストロン入力・出力監視モニター

## 参考文献

- [1] H.Hanaki, et al., "LOW-POWER RF SYSTEM FOR KEKB INJECTOR LINAC".
- [2] H. Katagiri, et al., "RF MONITORING SYSTEM IN THE INJECTOR LINAC", Proceedings of the 7<sup>th</sup> Accelerator and Large Experimental physics Control Systems In Italy, Trieste, 1999
- [3] 草野史郎、他、"Linux PC を用いたデバイスの監視"、第 26 回ライナック技術研究会、つくば、2001 年 8 月