

## DATA TAKING SYSTEM OF THE RF MEASUREMENT AT KEK $e^-/e^+$ INJECTOR LINAC

H. Katagiri<sup>1</sup>, T. Takenaka, K. Nakao, T. Matsumoto, S. Michizono, Y. Yano, M. Yoshida, S. Fukuda  
High Energy Accelerator Research Organization (KEK)  
Oho 1-1, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801

### Abstract

KEK injector linac provides  $e^-/e^+$  beam to four rings (PF, PF-AR, KEKB LER, KEKB HER) and the operation time exceeds 7,000 hours a year. About 60 high-power klystrons are used for the beam acceleration and stable rf operation is essential to the beam quality. In case of the serious troubles related to the total rf system (such as rf windows, SLED's and accelerating structures), the quick failure-analysis is expected especially at the continuous injection mode since January, 2004. Automatic data-taking is inevitable because of the large number of the klystrons and the limited number of the human resource. In this report, some examples of the data-taking system are summarized.

## KEK電子陽電子入射器のRFデータ収集

### 1. はじめに

高エネルギー加速器研究機構の電子陽電子入射器では、ビーム加速のために大電力クライストロン（2856MHz、最大50MW、繰り返し50pps）を約60台使用しKEKBリング（8GeV  $e^-$  / 3.5GeV  $e^+$ ）、放射光リング（2.5GeV  $e^-$ ）、大強度放射光リング（2.5GeV  $e^-$ ）に4種類のビームを供給している。2004年1月よりKEKBリングへの連続入射が開始された<sup>[1]</sup>。これまで1時間毎に5分程度の入射を行っていたが、現在は連続的にビームを供給している。従来、入射の合間には入射器単独でのビーム調整や各種保守作業が行われてきた。高周波グループでも、高周波源維持管理のための統計データ収集、加速管を含めた高周波システムでのトラブル調査のための測定を適宜実施している。連続入射が開始されたことで空き時間が大幅に少なくなり、従来の作業方法を見直す必要が生じた。一方でビームを供給する時間が長くなり、高周波源にはより安定した運転が求められることとなった。

ビーム運転への影響を避け、効率よく測定作業を行うためデータ収集の自動化を進めている<sup>[2,3]</sup>。ここでは、この内の幾つかの具体例について報告する。

### 2. RF投入時の加速管真空悪化調査

#### 2.1 RFシステム概要と調査内容

電子陽電子入射器は全長方向に沿って8つのセクターに区切られ、各デバイスの管理が行われている。1つのセクターには基本的には8台の高周波源が設置されている。2003年12月にユニット3-2で高周波投入時に加速管の真空が悪化する現象が起きた。

図1に電子陽電子入射器の典型的な加速ユニットの構成を示す。大電力クライストロンから出力され

た高周波は、SLEDによりパルス圧縮を受け、ハイブリッドカプラで分割、4台の加速管に供給される。クライストロン出力部及びSLED下流側に設置されたベータホールカプラで各々進行波と反射波を、4本中2番目の加速管出力部ダミーロード手前のベータホールカプラで、加速管を通過した高周波をモニタすることができる。

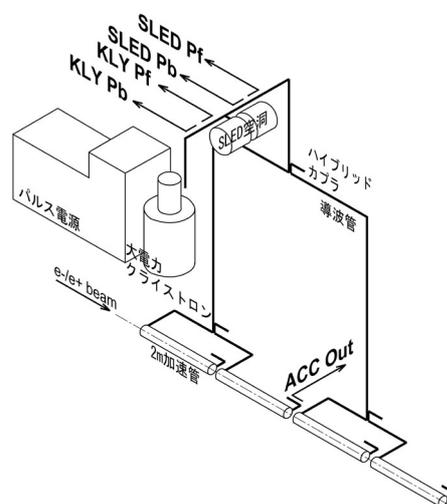


図1：高周波源と加速管ユニットの構成

現在電子陽電子入射器ではVXI (VME eXtension for Instrumentation) をベースとした計測システム<sup>[4]</sup>により、大電力クライストロン、励振系の電力と位相の長期的な変動を監視しており、ビーム調整に役立てられている。しかし、この計測系は図2に示す通り最大で2台の高周波源と励振系の信号、計8点をスイッチで切り替えて測定する構成であり、全ての信号を同時に取り込むことはできず、同一パルス内での各信号の相関までは得られない。

<sup>1</sup> E-mail: hiroaki.katagiri@kek.jp

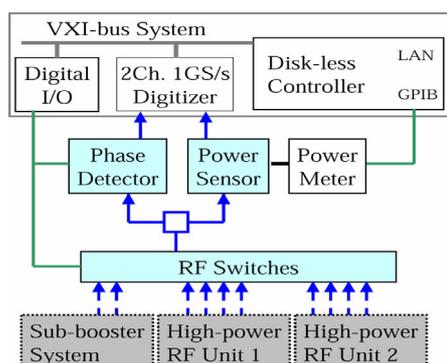


図 2 : VXI ベース RF モニタシステム

この調査では、4 Ch. デジタルオシロスコープを設置し、1) クライストロン出力進行波 (図 1 の KLY Pf)、2) クライストロン出力反射波 (KLY Pb)、3) SLED 出力反射波 (SLED Pb)、4) 加速管出口 (ACC Out) の各信号を観測することにした。

## 2.2 計測系の構成とプログラム開発

デジタルオシロは Tektronix 社 TDS420 を使用し、ノート型 PC と GP-IB で接続、計測制御ソフトウェア開発ツールである LabVIEW6i にて定期的又はプログラム画面操作時にデータを取得、保存するルーチンを作成した。取り込むデータはオシロ画面の TIFF 形式ハードコピー、各チャンネルの波形バイナリデータ、波形パラメータ測定機能により得られた振幅値である。波形バイナリデータ及び、振幅測定値はスプレッドシート形式で保存されるため、Excel で容易にグラフ化することができる。図 3 に得られた振幅測定値の履歴を示す。

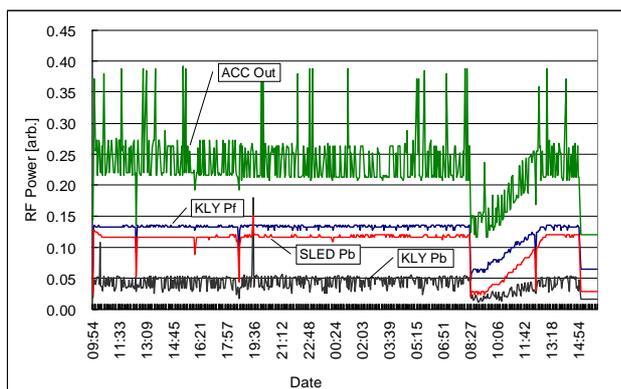


図 3 : 観測された波形と振幅測定値の履歴

LabVIEW では作成したプログラム全体又は一部分をサブVI と呼ばれる一種のサブルーチンとして定義することができる。プログラムの中で同じルーチンを何度も実行する場合にも有効であるが、他のプログラムからでも呼び出すことが可能なため、利用価値が高い。他の用途のプログラムでも使用することを考慮して、計測器との I/O 部分を中心に幾つかのサブVI を作成した。

## 2.3 調査結果

調査期間中に真空の悪化が再現されず原因の特定には至らなかったが、この測定により高周波パルス波形には異常がないことが確認された。測定システムについてはパルス電源のノイズによる誤動作が懸念されたが、特に問題は見られず安定に動作した。

## 3 . VSWR インターロック調査

### 3.1 調査内容

大電力クライストロン用パルス電源に組み込まれた VSWR メータにより、図 1 で示した高周波出力の進行波と反射波信号を常時監視、VSWR の演算が行われる。VSWR インターロックとは、大電力クライストロンを反射波から保護するため VSWR が設定値 (通常 1.40) を超えた場合にクライストロン印加高電圧のトリガを遮断し、次のパルスまでに高周波出力を停止する機構である。電子陽電子入射器での高周波源のトリップ要因としては、この VSWR によるものが最も多いが、ユニット 5-6 で頻度が特に高かったため調査を実施した。

### 3.2 計測系の構成

LAN インターフェースを装備したデジタルオシロスコープ、Tektronix 社 TDS3034B、TDS3014B を使用し、インターロックが作動し高周波出力が停止した際にオシロに保持されたデータを PC に取り込む。プログラム開発は 2 章と同様に LabVIEW で行い、オシロ画面イメージ及び波形バイナリデータを取り込み、それぞれ PNG 形式、Excel スプレッドシート形式で保存する。この調査では大電力クライストロン用パルス電源の ON/OFF 情報を得る必要があり、パルス電源制御用の横河電機製 PLC と UDP/IP で通信し運転情報を取り込むことにした。これには LabVIEW が標準で持つ UPD ソケット通信機能を利用した。

パルス電源は通常“Auto RF on”と呼ばれるモードで稼働しており、トリップの要因が VSWR の場合は一定時間経過後、自動的に高周波が投入される。データ取り込みは、この待ち時間内に終了するため手動での高周波再投入や測定系リセットの必要はない。ビーム運転に影響せずに、またオペレータや保守作業員に負担を掛けることなく調査を行うことが可能となった。

今回使用した LAN インターフェース付オシロスコープには以下のような利点があると考えられる。

- ・ GP-IB などのインターフェースが不要
- ・ PC を現場におく必要がない
- ・ Web ブラウザで表示・操作可能

特に、この調査では複数のオシロスコープを離れた場所に設置にする必要があり、GP-IB 接続で計測系を構成するのは困難であった。さらに、制御コマンド自体は GP-IB の場合と基本的には変わらないため、既存のサブVI 等を流用し短時間でプログラムを作成することができた。

### 3.3 調査結果

当初は加速管からの反射があるものと推測され、大電力クライストロン出力部を中心に調査した。図4はVSWRによるトリップ時の波形データである。クライストロン出力波形(KLY Pf)が歪み、SLED出力(SLED Pf)も影響を受けているのがわかる。

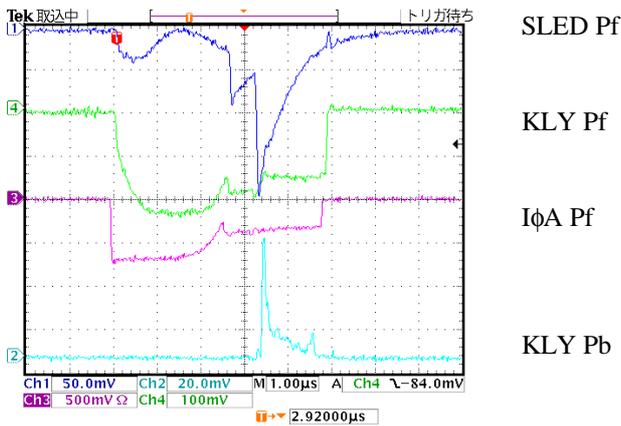


図4：クライストロン入出力、SLED出力波形

さらに、クライストロンの入力波形(IφA Pf、図6参照)でも同じタイミングで歪みが見られたため、IφA前後についても調査した。この段階ではKLY Pfの位相も測定し、図5のように振幅だけでなく位相も大きく変わっていることが判明した。この影響を受け、帯域の狭い加速管では反射が生じたものと推測される。波形歪みについては、IφA入力段(IφA Pin)で既に発生していることから、その原因は更に上流側、サブスタ出力もしくはドライブラインまで絞り込まれた。

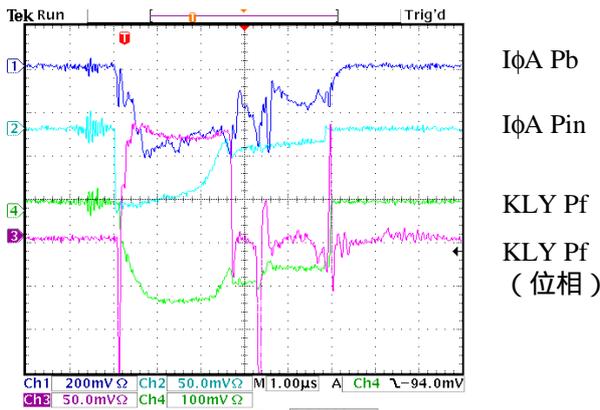


図5：クライストロン出力位相との相関

図6は大電力クライストロン励振系のブロックダイアグラムである。各セクターの先頭に設置されたサブスタ・クライストロンからドライブラインを介し大電力クライストロンの入力高周波電力が供給される。この経路の途中で反射が発生していると考えられるため、サブスタ・クライストロン出力部とドライブラインに挿入された方向性結合器の反射ポートを測定した。その結果を図7に示す。

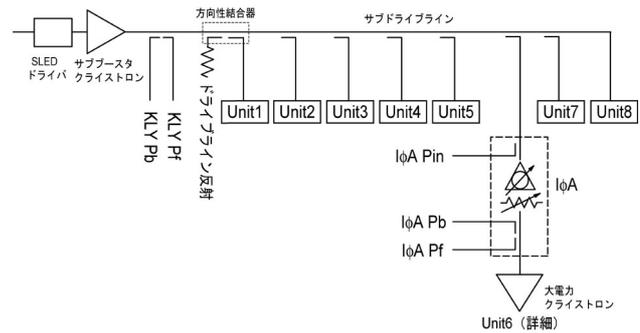


図6：励振系ブロック図

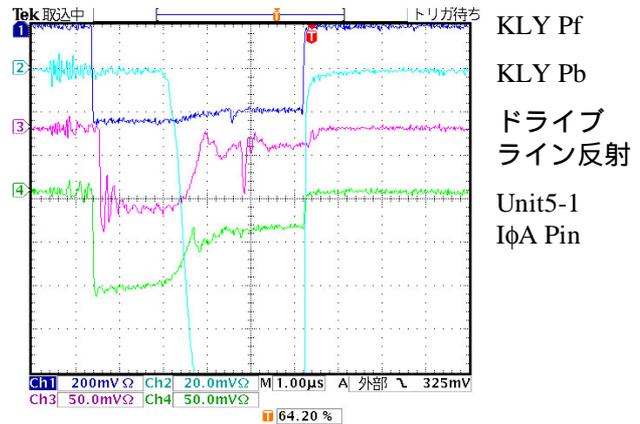


図7：励振系調査結果

サブスタ出力部では進行波(KLY Pf)には変化がなく、大きな反射波(KLY Pb)が観測された。このときドライブラインでは進行波、反射波ともにレベルが下がっていることから、サブスタ出力直後の導波管変換部に問題があることが示唆された。

### 4. まとめ

報告した2種類の測定について、定期的なデータ収集及び異常時のデータ収集を自動化することで、効率が向上された。今後、他の測定への応用が期待される。また、ユニット5-6の調査ではVSWRによるトリップの原因がドライブラインにもあることが明らかになるなど、成果があった。

一方で、収集されたデータの管理、解析は手作業によるところが大きい。今後、蓄積されるデータ量が大幅に増加することが予想されるため、データベース化、データ解析の自動化が課題となっている。

### 参考文献

- [1] Y. Ogawa, "Present status of the KEK electron/positron injector linac", presented in this proceeding.
- [2] K. Nakao, et al., "Results of High- Power klystron Dip Test in the KEK Linac", presented in this proceeding.
- [3] Y. Imai, et al., "Maintenance Activity of RF Source in KEK Electron-Positron Linac", presented in this proceeding.
- [4] H. Katagiri, et al., "RF Monitoring System in the Injector Linac", Proceedings of the 7th international conference on accelerator and large experimental physics control systems, ICALEPCS'99, Trieste, Italy, 1999, pp. 69-71