

Stability study of ATF injector

T. Naito, H. Hayano, H. Matsumoto,
M. Ross*, K. Jobe*, D. McComick*

KEK, National Laboratory for High Energy Physics,
1-1 Oho, Tsukuba-shi, Ibaraki-ken, 305 Japan
*Stanford Linear Accelerator Center(SLAC),
Stanford, California 94309, USA

Abstract

A shot by shot data acquisition system has been constructed to study the beam stability of ATF injector linac. It consist of a PC and a GPIB network which can aquire data from each point of monitors(current monitors, BPMs, RF phases, profile monitors, etc.,) and strage to the computer. These data are treated statistically and evaluated. 'Correlation plot' is effective to find the cause of the fluctuation. The correlation coefficient exhibits strength of connection between the two measured quantities. By using this system, it was found unstable behavior of the SHB which fluctuate the beam intensity.

ATFインジェクターのビーム安定性の測定

1.はじめに

リニアコライダーで要求される性能は、高効率の加速と同時にショットごとの変動の少ない安定なビームの供給である。KEKの試験加速器(ATF)では、より安定なビーム加速を行なうためにSLACのリニアコライダーSLCの調整としてよく行なわれている"Correlation plot"をとる実験を行なった¹⁾。また、そのための計測システムを構築した。

このシステムは、ライナックでのビーム不安定要素を発見するためにそれぞれのモニター値を各ショットごとに同時に計測する。そのデータから各モニター値の間に因果関係があるかを調べるために相関図"Correlation plot"を作る。"Correlation plot"から得られる相関係数は、その因果関係の指標となる。例えば、ある点Aに於けるモニター値の変動が他の点Bに於けるモニター値の変動の原因になっているとすれば(または、その逆)、相関係数は大きな値を示す(1または-1に近づく)。従って、点Bの変動を小さくしたければ点Aの変動を小さくするように調整すれば良いこ

とが解かる。このデータを蓄積することによってライナックの数多くある調整項目のうち、どれをどのような手順で調整すれば良いかを経験に拠らず知ることが可能となる。

また、それぞれのモニター値の頻度分布は統計的に変動幅を把握するのに有効である。

2.測定システム

2.1 システム構成

図1にATF入射部と測定システムの構成図を示す。ATF入射部にある各モニターの信号をオシロスコープなどの計測器によって取り込み、GP-IBネットワークを通じて計算機のデータファイルとして蓄積する。計算機は、パルスジェネレーターを使ってソフトウェアからシステムトリガを制御することができ、単発のビームを発生させたあとデータの収集を行ない、次のサイクルに移行する。このようなシステムとすることによって、ショットごとに同期したデータの収集を行なうことが出来る。

ATF自体は、VAXとCAMACを使った制御システ

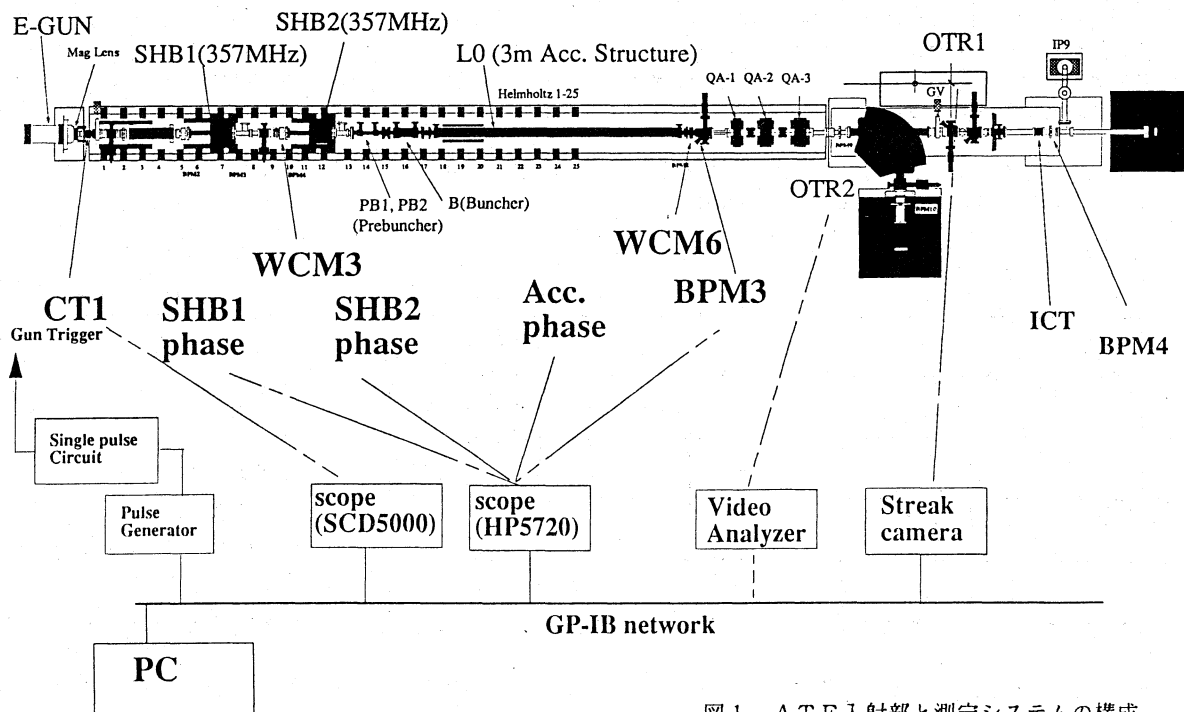


図1 ATF入射部と測定システムの構成

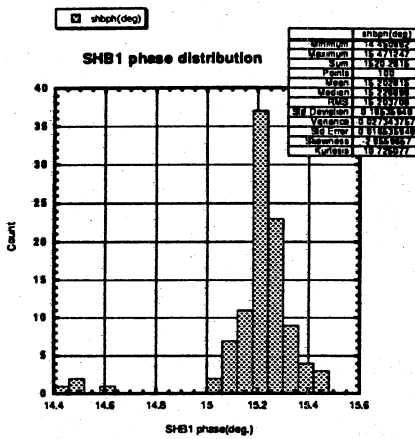


図 2a) SHB 1位相の頻度分布

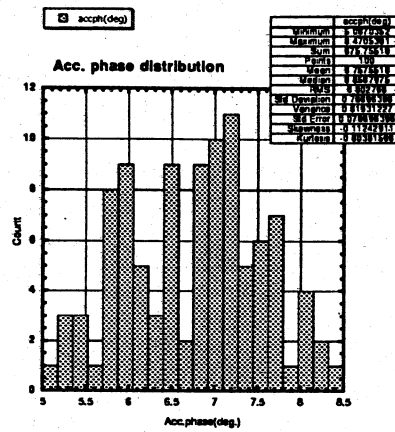


図 2b) 加速管位相の頻度分布

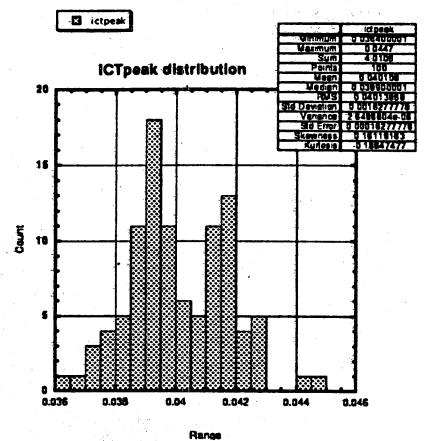


図 2c) 電流モニター(ICT)の頻度分布

ムで制御されており、最終的にはこれらのモニターの信号はCAMACに入れられより高速に処理することが可能となる予定であるが現在はインターフェースが整備されていない。GP-IBネットワークは、各クライストロンごとに観測しているオシロスコプの設定値制御などを主な目的とした副制御システムとして用意したものであるが、このような計測器の接続には自由度が高い。計算機も現在はPCを使用しているが、ワークステーションに変更し制御用計算機とネットワークを通じて接続する予定である。

2.2 計測項目

A. 電流値

a) アモルファスCoACT (CT)

電子銃直下流の電流強度をCTによってピックアップしその信号をストレージスコープ(SCD5000)によって計測した。システム信号でトリガすることによって時間ジッターも計測した。SCD5000は、高帯域(5GHz)を持つ半面、入力が1チャンネルのみであり、入力信号もある程度の大きさ(~5V)を必要とする。以下の電気信号はデジタルスコープ(HP5720)で計測した。HP5720は、複数の入力を同時サンプリング出来る半面、単現象計測する場合速い時間スケールではADCの特性が影響するため、ある程度遅い信号(10ns以上)に変換して測定する必要がある。

b) ウォールカレントモニター(WCM)、積分型CT(ICT)

WCMは精度がないので参考値として30MHzのLPFを通して計測した。ICTは、~50nsの積分した信号として出力される。

B. ビーム位置

ビーム位置モニターからの信号をヘッドアンプをとうして~20nsのパルスになったものを計測した。

C. RF位相

SHB1、SHB2、加速管のRFについてミキサーによる位相検出回路を付加し、キャビティに加えられているRFの位相がどのように変動しているかを計測した。

D. ビームエネルギー

アナライザーマグネットで90度曲げたビームをOTRモニター²⁾で計測した。この画像処理装置は、現在はGP-IBネットワークから起動出来ないため、同時にスタートキーを押して測定した。

E. バンチ長

OTRスクリーンからの光をストリークカメラで測定した。

2.3 ソフトウェア

データ収集のプログラムは、HP社製ビジュアル言語V E Eを使用した。V E Eは、計測ツールとして良く使われているLabviewと同じように機能を示すアイコンを接続するだけでプログラムを組むことが出来、計測器用のドライバーも豊富に用意されている。また、収集したファイル処理や統計計算にはMATLABを用いてソフトウェア開発の時間を短縮した。

3. 測定結果

今回の測定のパラメータは、シングルバンチ、電荷量~ 1.5×10^{10} electrons、エネルギー80MeVで行なった。統計データとして100個のデータを収集した。データ量は、1個のデータが10kbyte~20kbyteあり、収集の時間は5~20分必要であったがその殆どはフロッピーディスクへの書き込み時間である。

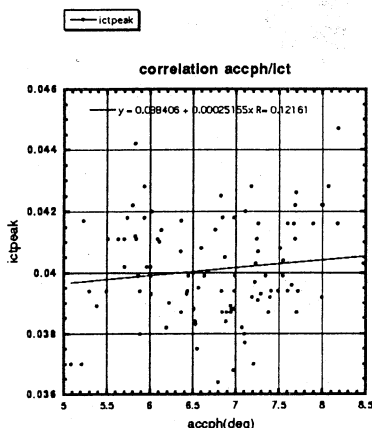


図 3a) 加速管の位相-ICTの相関

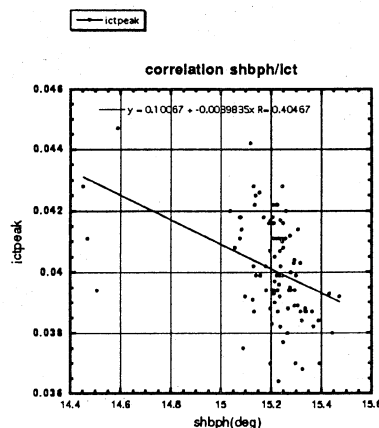


図 3b) SHB 1の位相-ICTの相関

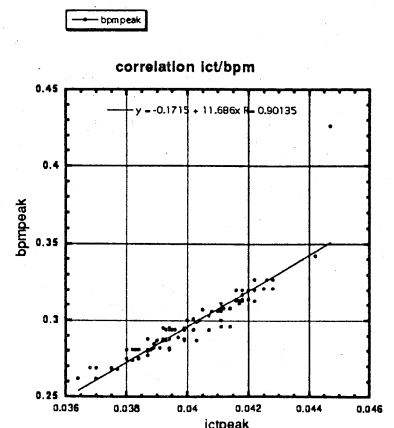


図 3c) ICT-BPM1電極のピークの相関

	Acc. phase	SHB1 phse	ICT	BPM peak
Acc. phase	0.78 deg.			
SHB1 phse	0.015	0.16 deg.		
ICT	0.12	0.40	4 %	
BPM peak	0.22	0.48	0.90	7 %

表1 σ 値と相関係数(Phase, ICT, BPM)

	Acc. phase	SHB1 phse	WCM peak	BPM peak	Energy	dE/E
Acc. phase	0.47 deg.					
SHB1 phse	0.060	0.11 deg.				
WCM peak	0.079	0.068	2.3%			
BPM peak	0.095	0.25	0.11	2.9%		
Energy	0.095	0.077	0.015	0.044	0.086%	
dE/E	0.017	0.057	0.21	0.092	0.10	13%

表2 σ 値と相関係数(Phase, WCM, BPM, Energy)

	Acc. phase	SHB1 phse	SHB2 phse	Gun HV	BPMx	BPMsum
ATF	0.5~1. deg.	0.16~0.4 deg	0.11 deg.	0.07%	20~100 μ m	1.3%
SLC	0.07 deg.	0.02 deg.	0.03 deg.	0.01%DC	15 μ m	0.5%

表3 変動量 (σ 値) の比較

3.1 頻度分布

図2に頻度分布の例を示す。図2 a)、b)、c)はそれぞれ、SHB1の位相、加速管の位相、電流モニターICTの分布を表している。SHB1の位相が少ない頻度ではあるが大きく変化している様子が現われている。

3.2 相関分布

図3に"Correlation plot"の例を示す。図3 a)、b)、c)はそれぞれ、加速管の位相-ICTの相関、SHB1の位相-ICTの相関、ICT-BPM1電極のピークの相関を表している。図3 a)に関しては全く相関が見られない、図3 b)に関しては相関係数が0.4とSHB1の位相の変化と電流量の変化がある程度関係づけられている。図3 c)は、殆ど同じ量を測定しているので相関係数が0.9と強い相関が見られる。

このような測定を入力を変えて何回か行なった。表1、2にこれらの結果をまとめた例を示す。表は、自分自身の交点は頻度分布の σ 値を表し、その他は相関係数を表す。表1では加速管位相の変動の 1σ 値は0.78 deg.であり、同時に計測した他のSHB位相、ICT、BPM信号との相関係数が、それぞれ0.015、0.12、0.22と測定された。同様に他の測定項目どうしについても対戦表の形で示してある。表に載せた以外にも、パンチ長などいくつかの項目について相関分布をとったが明らかな相関は見られなかった。

4 まとめ

今回の測定結果とSLCの安定度の比較を表3に示す。この結果ではATFの測定結果はSLCの値に対して2~数倍大きな値となった。

この測定では、ノイズのため本来相関があるべき入力間に対しても相関がない結果となった場合があった。したがって今回の測定値は本当にビームの変動なのか、測定信号に載っているノイズなのか信頼性に疑問が残る。これは信号配線が試験的に追加した配線で長距離延ばした配線となっていたことが一因で配線系を整備することである程度改善されることが期待できる。また、このノイズの影響量や原因もこの測定をいろいろな入力信号について行なううちに理解できるものと期待している。

今回の測定により、SHBに小さな放電が発生し、この放電がビーム強度の変動の一因になっていると予想された。実際にSHBキャビティのカップリングループの真空境界をなしているセラミックに放電痕が発見された。このように、このシステムはビーム変動量の把握やその原因究明に有効であると思われる。

5. 謝辞

今回のビームテストは、ATFのスタッフに多方面にわたり大変お世話になりました。また(株)ATC森田氏には機器のセットアップ全般にわたり協力していただきました、心から感謝致します。

6. 参考文献

- 1) L. Hendricson et al., "Correlation Plot Facility in the SLC Control System", SLAC-PUB-5464 May 1991
- 2) T. Naito et al., "Bunch by Bunch Beam Monitor for ATF Injector Linac", Proc. of the 17th International Linac Conference, Tsukuba, Aug. 1994, KEK 94-102(1994)