

KEK 電子陽電子入射器におけるフェージングシステムの開発

工藤拓弥^{1,A)}、草野史郎^{A)}、古川和朗^{B)}、上窪田紀彦^{B)}

^{A)} 三菱電機システムサービス(株)

〒305-0045 茨城県つくば市梅園 2-8-8

^{B)} 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

現在、高エネルギー加速器研究機構の電子陽電子加速器 (KEK-LINAC) では、KEKB リング (e^- -8.0GeV, e^+ 3.5GeV)、PF リング、AR (e^- 2.5GeV) に常時ビームを供給している。加速器運転を行うにあたり、高い再現性、安定性のあるビームの供給が求められており、その要求を満たすためには、安定した rf の供給が不可欠である。KEK-LINAC では高周波増幅器である大電力クライストロンの最大加速位相 (クレスト位相) の測定を定期的に行っている。これまではオペレーターが複数のプログラムを組み合わせて測定を行ってきたが、人的ミスをなくし、測定したデータを効率的に使用するために開発したのが本システムである。その測定方法やプログラム構成について説明する。

1. はじめに

KEK-LINAC では、各リングに 8.0GeV、2.5GeV の電子、3.5GeV の陽電子の入射を行っており、安定したビームの供給を求められている。

現在、KEK-LINAC では約 60 台の大電力クライストロンを用いてビームの供給を行っており、安定したビームの供給を行うためには rf 位相の安定が重要である。しかし、様々な要因により、加速 rf の出力、位相に変動があるため、常に rf のクレスト位相を測定、把握しその変動に合わせて調整 (フェージング) を行うことが必要である。

当初 KEK-LINAC では、加速管中のマイクロ波の

rf 電力が、ビームにエネルギーを付与した分だけ減少する現象を利用して位相調整するビームローディング測定法を用いてフェージングを行っていた。しかし、KEKB の為の KEK-LINAC 増強により rf パワーパルス圧縮器 (SLED) を使用することで、 $1\mu s$ のビームを供給することが出来なくなりビームローディング測定法によるフェージングは不可能となった。

KEKB コミッショニング当初は加速管からのビーム誘起波の位相を測定しクライストロン rf の位相と比較して直接フェージングする方法を予定していたが、この方法では加速管の中心周波数のずれがあると位相のずれとして見えてしまうので、絶対位相の測定に使う事ができないことがわかった。このような事情により現在はビームエネルギー測定法によるフェージングを行っている。

これまでフェージングの測定は、オペレーターが複数のプログラムを用いて行っていたが、人的ミスをなくし測定したデータを効率的に使用するために本システムを開発した。本稿はシステム概要、測定方法、問題点について述べる。

2. システム構成

現在 KEK-LINAC には、先端から終端まで約 90 個のビーム位置モニター (BPM) が設置されている。その中でディスパージョン関数の大きな箇所は BPM を使用して、X 方向の変位量をビームのエネルギーの変化と考えフェージングを行っている。

KEK-LINAC のビームエネルギー測定法では、KEKB に供給している e-ビームを使用して測定対象

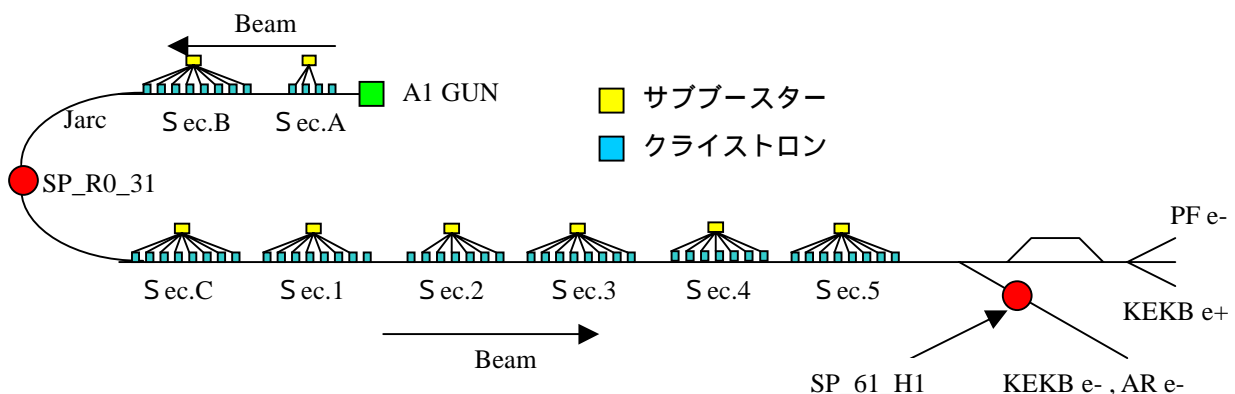


図 1: KEK-LINAC 全体図とフェージングに使用する BPM の位置

であるクライストロンの位相を変更し、最大エネルギーが得られる位相を測定することでクレスト位相を測定している。フェージングを行うクライストロンの位置により2箇所のBPMを使い分けて測定しており、A,B セクターは Jarc 部 BPM (SP_R0_31)、C ~ 5 セクターは KEK-LINAC 終端の BPM (SP_61_H1) を用いている (図 1)。

3 . ソフトウェア

3.1 概要

現在のソフトウェアは、サブブースタークライストロン及び大電力クライストロンの位相を変更する KLY PHASE SHIFT、測定対象であるクライストロンの位相を一定幅ごとに变化させデータを測定する MEASURE、測定したデータを処理しクレスト位相を算出する FIT で構成されている。それぞれを以下に説明する。

3.2 KLY PHASE SHIFT

rf 位相についてはセクター全体にかかわるサブブースター位相器と個々の大電力クライストロンの位相器の双方で変更が可能であるが、運転上の都合からサブブースターのクレスト位相は 100 ° とすることにしている。運転時にはクレスト位相から 5~10 ° 傾けてビームを加速するが、それはサブブースターの位相を調整して行う。しかし長期運転を行っていると様々な要因によりサブブースター、クライストロンの位相が変動することがある。また rf コンポーネント交換などを行うと大きく位相がずれる。クレスト位相測定時は、後からデータを扱いやすくするためにサブブースター位相を基準値である 100 ° に変更するが、基準値から大きく離れてしまっているとビームエネルギーが大きく不足してしまったり、ビームの形状が広がりすぎてしまったりとフェージング測定上好ましくない。このような問題点を解決

File	Sec	KLY PHASE SHIFT		14:20 v1.0
Unit	Current	Reference	Measurement	
SB_1	40.4	--> 100.0	100.0	
KL_11	107.0	--> 407.4	407.5	
KL_12	340.5	--> 280.9	281.0	
KL_13	195.5	--> 135.9	136.0	
KL_14	117.5	--> 57.9	58.0	
KL_15	118.5	--> 58.9	59.0	
KL_16	91.0	--> 391.4	391.5	
KL_17	27.5	--> 327.9	327.5	
KL_18	129.5	--> 69.9	70.0	

SB Set 100 degree
recover phasing

図 2 : KLY PHASE SHIFT

するために KLY PHASE SHIFT では、サブブースターの位相の変更量と同じだけ各クライストロンの位相も変更することで入射に使用しているビームとほぼ変わらないビームエネルギー及びビーム形状でフェージング測定を行うことができる (図 2)。

3.3 MEASURE

測定用プログラム (MEASURE) では、測定対象であるクライストロンの位相を一定幅ごとに变化させて BPM の値を測定している。(図 3 下) 同じ位相で 2 回データを取り、測定による誤差の影響が少なくなるようにしている。以前のソフトウェアでは、測定対象のクライストロン名、位相の変更間隔、測定時間の間隔、実際の測定範囲、測定する BPM 名などオペレーターが手入力していたが、本ソフトウェアではそれらのデータを入力する必要がなく (図 3 上) 測定時間の短縮、および人的ミスをなくしている。また測定したデータはテキストファイルにて保存することができ、後から参照することが容易にできようになっている。

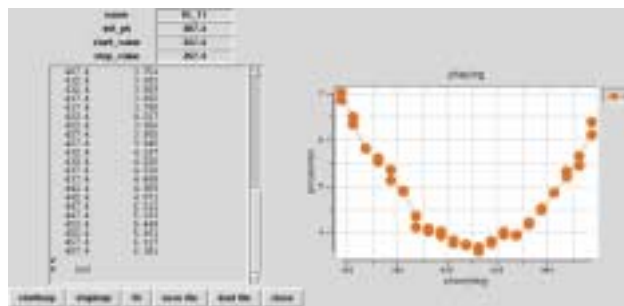
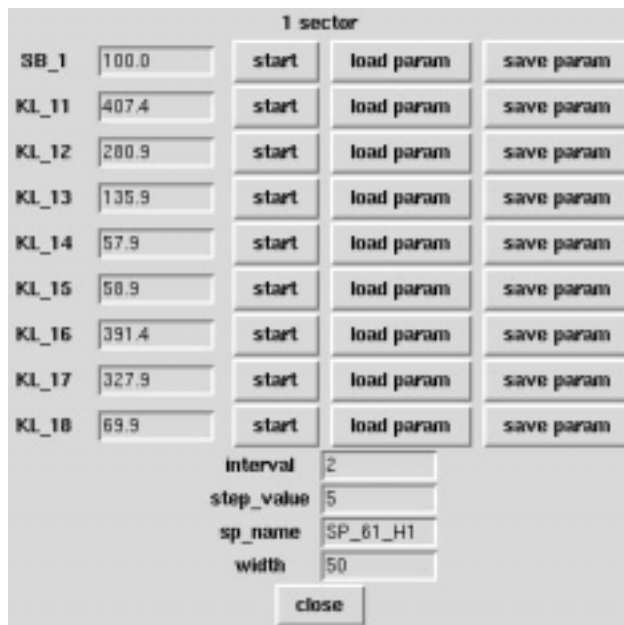


図 3 : MEASURE プログラム

3.4 FIT

FIT 用プログラムは、測定したデータを BPM の X 方向検出値を縦軸、クライストロンの位相を横軸と

し、最小二乗法で二次曲線に Fit し、クレスト位相を算出する。(図4) MEASURE で測定したデータは FIT で直接処理することもでき、過去に測定したデータも処理することができる。

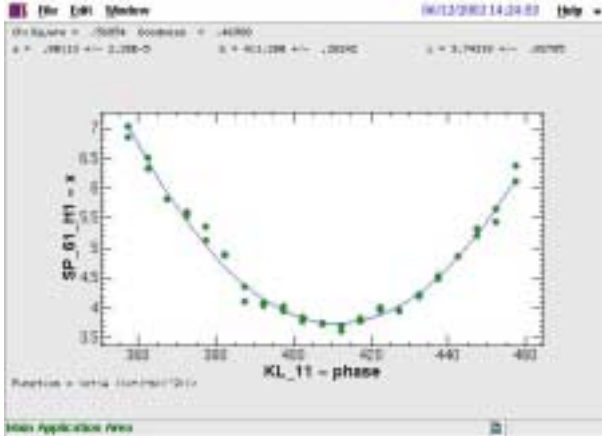


図4：FIT プログラム

4．考察

4.1 2つのプログラム言語

KLY PHASE SHIFT、MEASURE は Tcl/Tk、FIT は SADscript と 2 種類の言語で記述されている。Tcl/Tk にはデータを二次曲線にするための Fit 機能がないため 2 つの言語を使うことになった。今後プログラム処理を Tcl/Tk で行うよう書き換える予定である。

4.2 データベース

これまではフェージングの結果をスプレッドシート (Excel) にオペレーターが手入力しており、測定結果を運転に直接役立てるということは困難であった。そこでこのソフトウェアに

- Beam Mode, Beam Charge に応じて クレスト位相 から傾けた位相の Beam Parameter データベース
- KEK-LINAC に沿った Energy Profile を計算するソフトウェア(abot) のためのデータベース
- Energy Feedback のためのデータベース

といった機能を追加しようとしている。これによってビームプロファイルや、ビーム光学の最適化がさらに容易になると期待される。

4.3 自動化

以前よりはオペレーターによる手作業は減ったが、完全に自動化できていない。

- 測定中にクライストロンがトリップしたときオペレーターが測定しなおさなければならない。

- 現在、ビームエネルギー安定のために動作しているエネルギーフィードバックプログラムをオペレーターが止めなければならない。

これらの対処のため、ソフトウェアの改良を検討している。

5．まとめ

本ソフトウェアの開発により、フェージングに要する時間が各セクターあたり、旧システムの約 2/3 へ短縮することができ誤りの入り込む余地が格段に減った。現在 2 週間に 1 回フェージングを行っており、安定したビームの供給に役立っている。より安定したビーム供給のために今後更に改良していきたいと思う。

参考文献

- [1] H.Hanaki, "Low-Power rf Systems for the KEKB Injector Linac Proceedings of the APAC'98, Tsukuba, Japan, March 23 - 27, 1998".
- [2] H.Katagiri, "RF Monitoring System in the Injector Linac Proceedings of the ICALEPCS'99, Trieste, Italy, October 4 - 8, 1999".
- [3] T.Matsumoto, "Phase Variation of 60-kw Driver Klystron at KEKB 8GeV Linac Proceedings of the 24th Linear Accelerator Meeting in Japan, 1999, pp.326-328".
- [4] K.Furukawa, "Microwave Control and Measurement System at the KEKB Linac Proceedings of the ICALEPCS'97, Beijing, China, November 3 - 7, 1997".
- [5] K.Furukawa, "Energy Feedback Systems at the KEKB Injector Linac Proceedings of the ICALEPCS'99, Trieste, Italy, October 4 - 8, 1999".