

[P8-27]

Development of ATF Double Kicker System (II)

T.Imai, N.Terunuma*, H.Hayano* and J.Urakawa*

Department of Physics, Faculty of Science and Technology,
Science University of Tokyo

Yamazaki 2641, Noda, Chiba, 278-8510, Japan

*High Energy Accelerator Research Organization

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

Abstract

It is essential for a e^+e^- linear collider to extract low emittance multi-bunch beam from damping ring stably. Because position jitter of extraction beam cause transverse wake field in main linac and it can't achieve high luminosity. Therefore, to compensate kick angle jitter of extraction kicker magnet a double kicker system has been developed at the ATF (Accelerator Test Facility). This paper describes the development and the evaluation of the system by beam position measurement.

ATFにおけるダブルキッカーシステム開発 (II)

1 はじめに

電子・陽電子衝突型線形加速器 (リニアコライダー) において、要求される高いルミノシティを達成するために必要な加速器技術の一つとして、入射部 (ダンピングリング) での超低エミッタンスマルチバンチビームの生成と安定な取り出しがあげられる。

特に、メインリニアックにおける横方向のウェイク場によるビーム不安定性の問題から、ダンピングリングからの取り出しビームに対しては、各バンチの取り出し位置の変動を0.1%以下に抑えなければならない。そこで高エネルギー加速器研究機構 (KEK) のATFグループでは、ダブルキッカーシステムを考案し、開発研究を行っている[1,2]。本稿ではビーム測定によるシステム評価を中心に報告する。

2 ダブルキッカーシステム

ダンピングリングからのビーム取り出しにはパルス磁場を励磁するキッカー電磁石が用いられる。しかし、パルス磁場のflat topが一様でない場合、磁場が作用したバンチトレイン内で、バンチ毎に取り出し位置が変動してしまう。

そこでダブルキッカーシステムでは、1台の電源からパルスを供給された2台のキッカー電磁石でビームの取り出しを行う。このシステムでは、1台目でバンチに作用した磁場が設計値と異なり蹴り角がずれた場合でも、各々で励磁された磁場とビームに作用させるtimingが同一であれば、ビーム光学系の設定により2台目より下流のビームラ

インでは、ビーム軌道を基準軌道にもどすことが原理的に可能となる。

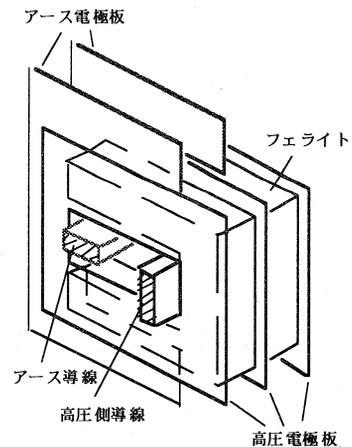


図1 取り出しキッカーの内部構造 (模式図)

(実際は電極・フェライトの組みが25段)

3 ダブルキッカーシステムにおけるビーム光学系

1台目のキッカーで、あるバンチに $\theta + \Delta\theta$ の蹴り角が与えられた場合のビームの運動を考える (θ : キッカーの設計蹴り角)。ここで、2台のキッカーに同一の磁場が励磁された場合2台目のキッカーでもバンチに $\theta + \Delta\theta$ の蹴り角が与えられることに注意すると、2台目の下流での (x, x') は

$$\begin{pmatrix} x \\ x' \end{pmatrix} = M_{1-2} \begin{pmatrix} 0 \\ \Delta\theta \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ \Delta\theta \end{pmatrix} \dots \text{(式1)}$$

と表される。ここで M_{1-2} は2台のキッカー間の transfer matrix を表す。2台目の下流でビームが基準軌道にもどる、すなわち $(x, x') = (0, 0)$ となるためには M_{1-2} の(1,2)成分が0、(2,2)成分が-1であることが必要である。ベータatron振動の transfer matrix の(1,2)成分 m_{12} 、(2,2)成分 m_{22} は

$$m_{12} = \sqrt{\beta(1)\beta(2)} \sin\Delta\phi_{12} \dots \text{(式2)}$$

$$m_{22} = \sqrt{\frac{\beta(1)}{\beta(2)}} \left(\cos\Delta\phi_{12} + \alpha(2)\sin\Delta\phi_{12} \right) \dots \text{(式3)}$$

であるから ($\Delta\phi_{12}$: 2台のキッカー間の位相差、カッコ内の数字1、2は1台目のキッカー、2台目のキッカーを表す。) ダブルキッカーシステムでは、2台のキッカー間の位相差が π ($\sin\Delta\phi_{12} = 0$) で、各キッカーでの β が等しい ($\beta(1) = \beta(2)$) ビーム光学系でなければならない。

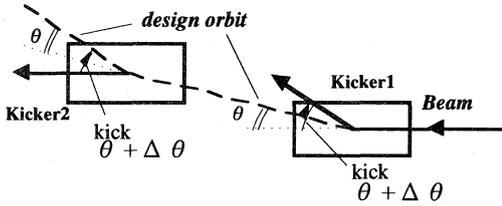


図2 ダブルキッカーシステムの原理

4 ビーム測定によるシステムの評価

システムの評価を行うため、キッカー電磁石1台によるビーム取り出し(single kicker mode)とダブルキッカーシステムによる取り出し(double kicker mode)のそれぞれの場合で、取り出しビームの位置変動を測定し比較を行う。(以下1台目のキッカーをFirst Kicker、2台目をSecond Kickerとする。)

4-1原理：水平方向のビーム位置変動

取り出しラインのある地点 (i) における水平方

向のビーム位置変動は次式で与えられる。

$$\Delta x_i = R_{12}^{\text{kicker1-i}} \Delta\theta_1 + R_{12}^{\text{kicker2-i}} \Delta\theta_2 + \eta_i \frac{\Delta p}{p} \dots \text{(式4)}$$

Δx_i : 基準軌道に対する水平方向の変位

$R_{12}^{\text{kicker1-i}}$: First kickerからiまでの R_{12}

$\Delta\theta_1$: First kickerの蹴り角の基準値からのずれ

$R_{12}^{\text{kicker2-i}}$: Second kickerからiまでの R_{12}

$\Delta\theta_2$: Second kickerの蹴り角の基準値からのずれ

η_i : iでの運動量分散関数

$\frac{\Delta p}{p}$: ビームの運動量の広がり

(ただし、2台目のキッカー電磁石より上流では第2項は存在しない。)

4-2測定・解析方法

測定はATFがシングルバンチ、繰り返し周波数0.78Hzでのビーム運転時に行った。

(1)取り出しラインに設置されたビーム位置モニター(BPM ML1X-ML14X)で、1ショットごとにビーム位置を測定する。

(2)測定した全ショットのうち、First kickerより上流に設置されているBPMでの通過位置から解析するショットを選別する。

(3)解析するショットについて、取り出しラインの各BPMでの位置の平均を求め、それを基準軌道と定める。

(4)1ショット毎に、各BPMで測定した位置と(3)で定めた基準軌道との差を求める。

(5)(4)で求めた各BPMでの基準軌道からの変位と(式4)を用いて、最小自乗法で1ショット毎にキッカーの蹴り角のずれと運動量の広がりを定める。

(式4)の R_{12} 、 η については、取り出しラインに設置されている電磁石の磁場強度をもとに計算したビーム光学系のモデルの値を用いた。モデル計算は加速器コードSADで行った。

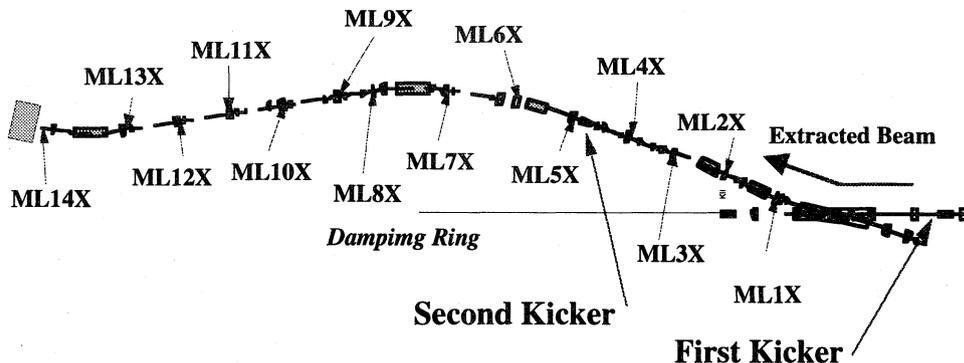


図3 ATF取り出しキッカーと取り出しラインBPMの配置

4-3結果

最小自乗法により求めた2台のキッカーの蹴り角のずれの関係を示したのが図4である。グラフでは45度の相関が見られ、両キッカーに励磁されている磁場の変動に相関があることがわかる。

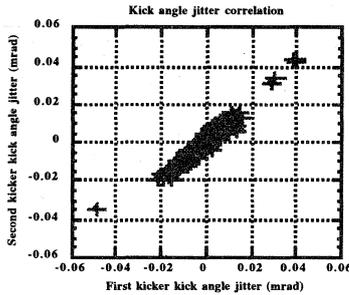


図4 両キッカー間の蹴り角変動の相関 (double kicker mode)

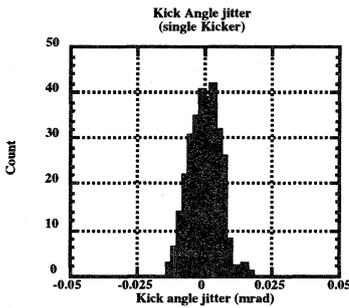


図5 First Kicker の蹴り角の変動分布 (single kicker mode)

また、取り出しビームの位置変動については、測定に用いたBPMの分解能が $20\mu\text{m}$ あるので、2つのmode (single kicker modeとdouble kicker mode) で位置変動の差が大きく表れる R_{12} の大きいML8Xで比較を行う。

mode	測定数	ΔX (sigma)
single	60	$78 \pm 20 \mu\text{m}$
double	115	$37 \pm 20 \mu\text{m}$

表1 $\Delta\theta_1 \geq 0.007\text{mrad}$ の測定における ΔX (ML8X)

mode	測定数	ΔX (sigma)
single	248	$34 \pm 20 \mu\text{m}$
double	181	$24 \pm 20 \mu\text{m}$

表2 $\Delta\theta_1 \leq 0.007\text{mrad}$ の測定における ΔX (ML8X)

表1、表2より次のことが言える。

- (1) $\Delta\theta_1 \geq 0.007\text{mrad}$ では2つのmodeの差がBPMの位置分解能に対して有意であることから、ML8Xではダブルキッカーシステムによる位置変動抑制の効果がみられる。
- (2) single kicker mode では $\Delta\theta_1 \geq 0.007\text{mrad}$ と $\Delta\theta_1 \leq 0.007\text{mrad}$ での ΔX の差がBPMの位置分解能に対して有意であるが、double kicker mode ではキッカー電磁石の蹴り角の変動に依存していない。

5今後の予定

今回の測定はシングルバンチビーム運転で行ったものである。上で述べたシステムの開発目的からわかる通り、マルチバンチビームでの評価は不可欠である。今後本格的に行われるATFマルチバンチ運転において測定を行う予定である。

そのためには、より高い位置分解能を持ち、各バンチを識別できるBPMが必要となる。ATFではマルチバンチ用高位置分解能BPMの開発を行っており[3]、マルチバンチ運転における測定で使用する予定である。

またキッカー本体については、電流波形測定でケーブルコネクタのインピーダンスミスマッチングによるリングングが見られる。ダブルキッカーシステムでは高圧・高速のパルス伝送系として十分なインピーダンス整合が取られていることが必要であり、コネクタの改造に着手する。

6. 謝辞

ダブルキッカーシステムの開発研究は、ATFグループの皆様をはじめ、多くの方々の御協力・御支援のもと行っております。皆様に厚く御礼申し上げます。

7参考文献

- [1] H.Nakayama and Y.Sakamoto, in the Proceedings of LC93,SLAC(1993)
- [2] T.Imai et al.:ATFにおけるダブルキッカーシステム開発 ;Proc. of 23th Linear Accelerator Meeting in Japan(1998)
- [3] I.Yoshida et al.:マルチバンチ用高分解能BPMの開発 ;Proc. of 24th Linear Accelerator Meeting in Japan(1999)