

## INVESTIGATION OF BEAM-ORBIT FLUCTUATION OBSERVED IN DAILY OPERATION OF THE KEKB INJECTOR LINAC

T.Suwada<sup>1</sup>,

Accelerator Laboratory, High Energy Accelerator Research Organization,  
1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801

### Abstract

The KEKB injector linac steadily injects electron and positron beams to perform the KEKB B-factory experiment directly to the KEKB storage rings. We observe sudden transverse position displacement just after the pre-injector section for a primary high current electron beam for positron production once (or twice) in average in daily operation since the KEKB operation started in 1997. A lot of hardware devices have been developed in order to stabilize each component, and however, it has not been clear yet what kind of origin causes such strange phenomena. In this report the author will describe a hypothetical mechanism to induce the beam instability, which is caused by electrification and electric discharge of a ceramic insulator used for a wall-current monitor.

### KEKB入射器の運転時におけるビーム軌道変動の考察

#### 1. はじめに

入射器は、1997年9月にKEKB運転に向けた増強を終え、以来精力的に運転を続けている。2002年9月からは、陽電子の2バンチ同時入射を、2004年1月からは、入射中でも実験データの取得を行うために連続入射を開始している。その結果、入射器のビーム調整時間が大幅に制限されるようになり、入射ビームの安定性には、特に気をを使うようになってきている。入射器のビームをよく観察すると平均して1日に1-2回程度、入射部直後からビームが突発的に横方向にキックされる現象がみられている。キックされる個所を特定するために、位置モニター(BPM)データを調べたところ、入射部にその原因があると判断し、各種ハードウェア(RF, 電子銃、電磁石、電源、環境温度、冷却水温度)の安定性を調査したが、原因を特定するには至っていない。筆者は、この現象は、入射部に設置した電流モニター用セラミックダクトのビーム照射による帯電/放電によるものであると推定し、考えられるメカニズムを考察することにした。本報告は、今まで観察してきた現象のデータを整理することにより、なるべく定量的に考察したことをまとめたものである。

#### 2. ビーム軌道変動の観察と統計データ

図1は、入射器ビームラインに沿った陽電子生成用1次電子ビームの軌道及び電荷量の変化を示している。運転時は、このパネルで、ビーム安定性を常時モニターしている。この図は、入射器で観測する軌道変動の1例である。特徴的なのは、ほとんど全ての軌道変動は、入射部出口のBPMで、ビームが横方向に2mm程度“突然”変位した後、その変位が、そのまま保持されるか又は、同BPMで4mm程度までゆっくりと振幅が増大するという現象である。しば

らくしてもビーム軌道は元に戻ることはなく、一度この現象が起きるとベータートロン振動の振幅は、ビームライン下流で次第に増大し、アーク部で大きなビーム損失を引き起こす。変位の方向は、水平/垂直方向に偏ることなく、両方同時に生じることもある。ただし、ゆっくりとした軌道変動は、計算機制御により自動的にフィードバックされるのでここでは問題としない。このような変動が生じるのは、陽電子生成用1次電子ビーム(10nC/bunch)の場合のみで、入射電子ビーム(1nC/bunch)には観測されていない。

これまでに観測された軌道変動の統計データをまとめる。図2は、過去2年間に生じた10nCビームによる月毎の軌道変動回数を表したものである。この間、2回の夏期保守をはさみ、陽電子の2バンチ同時入射と連続入射を開始しているが、特に、これらに起因する現象には見えない。図中ヒストグラムは、10nCビームのショット数/月を表し、ショット数に比例して変動回数も増減しているように見える。最近の4ヶ月間の日毎の変動回数の統計を図3に示す。変動回数は、平均して1-2回/日と考えられるが、6月2日からは、その回数が2-3回/日と増えている。図中、定期保守日を矢印で示したが、これについては後述する。図4は、同期間に生じた時刻別の変動回数の統計である。変動は、特にある時刻に集中して起こっていることはない。

以上が、これまでに観測した変動の統計であるが、BPMは、ビームと同期してデータ取得を行なうので、ビーム停止時は当然のことながら変動はみえない。このことは、もし、ハードウェアに何らかの不安定性があり、統計的な揺らぎ(ドリフトではないということ)が、ビーム変動を引き起こすという可能性も否定はできない。しかしながら、ハードウェアの安定性は、それぞれ常時モニターされており、統計

<sup>1</sup> E-mail: tsuyoshi.suwada@kek.jp

的な不安定性は観測されていないことから、やはり、観測される軌道変動現象は、ビームに起因するものと推定している。

### 3. 考察

#### 3.1 セラミックの帯電

前記の議論から、電流モニター用セラミックダクトの帯電/放電が起因する可能性が推定された[1]。以下では、セラミックの帯電/放電による軌道変動のメカニズムを考察する。図5に入射部ビームラインを示す。電流モニターは、図に示すように、電子銃直後に2台、プレバンチャー手前に1台が挿入され、ビームの電荷量と位置(4端子から信号を引出しBPMとしても動作する)を計測する。図6に電流モニターの断面図を示す。セラミックの帯電には、1)セラミックギャップにビームが誘起する高電圧により金属ダクトから電荷が移動する、2)ビームが直接セラミックを照射する、という2つのメカニズムが考えられる。10nCビームのバンチ幅(10ps程度)を考慮すると先頭電流は~1kAにもなり電流モニターの抵抗値を $2.5\Omega$ とすると抵抗両端の壁電流による電位降下は、~2.5kVと算出され、高電圧が瞬間的にギャップに印加されることになる。有効ギャップ間隔を10mmとすると~0.25kV/mmの電界がギャップに生じることになるが、セラミックの放電限界である電界強度(数kV/mm)を考慮すると1桁程度小さいので1)による帯電の可能性は小さいと考えられた。筆者は、この可能性を見極めるために、入射部にある3台のモニターに対し、定期保守日を狙ってセラミックの外側からアルミホイルを巻きギャップ間を導通させた状態でモニターをその上から取り付けた。図3の先の保守日にその取付けを行い、次の保守日までの2週間変動の観測を行い、後の保守日に再度ホイルを取外し、変動回数の変化を調べた。先の保守日以降の数日間の変動回数は、それ以前と同程度であるが、それ以降は、若干ではあるが増えている。しかしながら、変動回数の変化があった日と保守日との同期性はなく、1)による可能性はやはり小さいと思われ、2)の可能性を考えざるを得ない。しかしながら、2)によりセラミックが帯電すると考えると、ビームの直接的な照射は考えづらく(スクリーンモニターによると直径10mm程度のスポットサイズである)、ビームハローが照射することによるゆっくりとした帯電が考えられる。セラミックの放電限界に達したところで放電が生じ、これが、横方向のキックをビームに与え、軌道が“突発的”に変化するというメカニズムである。しかしながら、このメカ

ニズムでは、ゆっくりとした帯電に対応するビーム軌道のドリフト的な変動は見られないこと、セラミックの軸方向に対称的に帯電/放電すれば、キック力は発生しないことが考えられる。一方、帯電は、軸対称的に蓄積し、放電は局所的に生じることによりキック力を与える等も考えられるが、いずれにせよ、これ以上の明確な現象の理解は現時点では困難である。

#### 3.2 定量的評価

以下では、セラミックに電荷が帯電するとしてこれまでの観測が再現できるのかどうかをやや定量的に議論する。入射部は、図5に示すように、電子銃、サブハーモニックバンチャー(114MHz, 571MHz)、プレバンチャー、バンチャーからなり、電子銃による1ns幅のビームが単バンチ(S-バンド10ps)に圧縮される。

バンチャー出口のBPM (SP-A1-B8)で2mm程度の横方向変位が生じるとして、セラミック表面での帯電量を見積もることとする。ビームは、プレバンチャー上流のセラミックでキックを受けるとして、ここでのエネルギーを $E=200\text{ keV}$ 、バンチャー出口のエネルギーを $E=18\text{ MeV}$ 、ソレノイド集束磁場( $B=1\text{ kG}$ )の中心軌道を通るものとする。ビームは、セラミックの位置でシングルキックを受け回転運動を始める。簡単のために、この回転直径が、横方向のビーム軌道変位と考えると、要求されるキック角は、~1mrad程度となる。一方、このキック角は、セラミックを通過する間にビームが得る横方向運動量の変化として算出できるので、必要な電界強度は~7kV/mと算出される。セラミック表面に局所的に帯電したとして、この電界を与えるのに必要な電荷量は、~ $6 \times 10^{-3}\text{ nC}$ である。これは、ビーム電荷量の~ $10^{-3}$ 程度がセラミックに帯電する必要があることを示す。このような電荷量がビームハローにより蓄積され、放電によりビームをキックするという描像であるが、実際には、セラミック表面からの2次電子放出も伴い難しい問題を含んでいる。

### 4. 今後の対策

上記に述べたように、入射部に設置したセラミックダクトの帯電/放電が“突発的”なビーム軌道変動を引き起こしていると推定し、幾つかの統計データ及び観測からその可能性を議論した。本夏のシャットダウンまでに、直接的な証拠として電流モニターの抵抗に回り込む放電電流による信号波形が捕らえられないかと目論んでいる。なお、シャットダウン時には、入射部の全ての電流モニター取外し、セラミックダクトを金属パイプに置換えて、本現象の正否を直接確認するつもりである。

### 参考文献

[1] 齊藤、私信

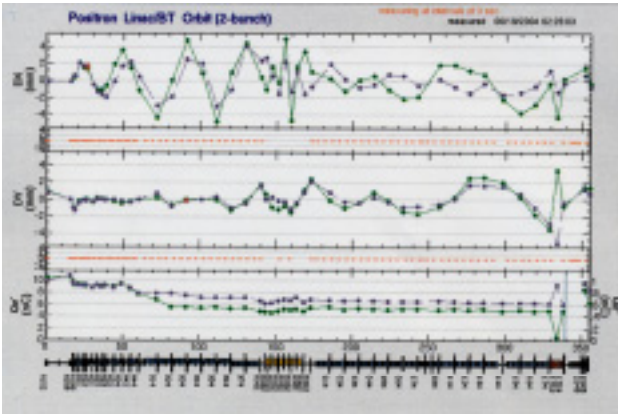


図1. 入射器で観測する“突発的”な軌道変動の典型例。

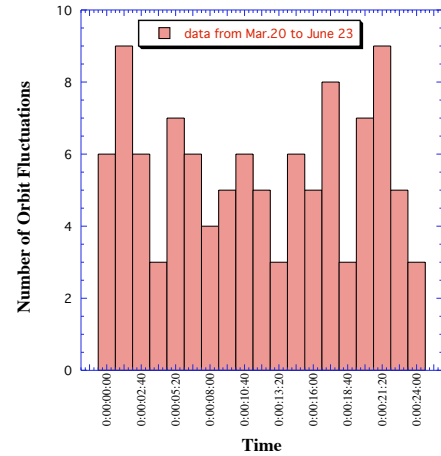


図4. 同期間に生じた軌道変動の時刻別の統計分布。

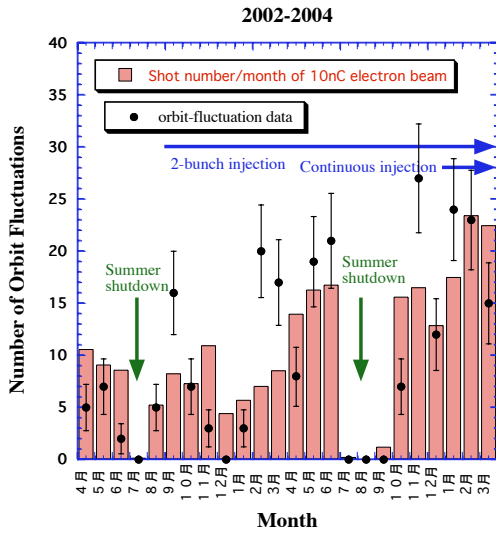


図2. 過去2年間に観測された月毎の軌道変動の統計分布。ヒストグラムは、10nCビームのショット回数/月を変動回数の平均値で規格化したものを示す。

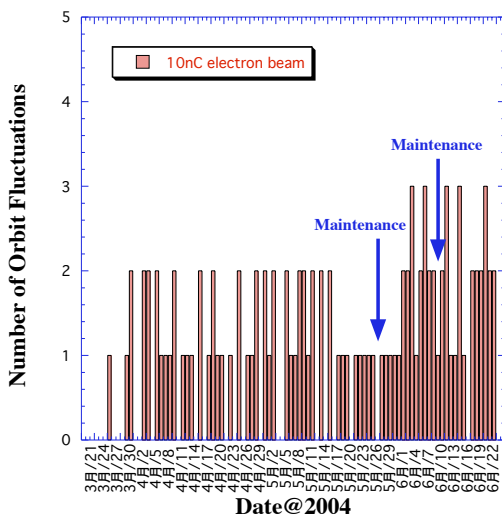


図3. 最近の4ヶ月間に生じた軌道変動の日毎の統計分布。

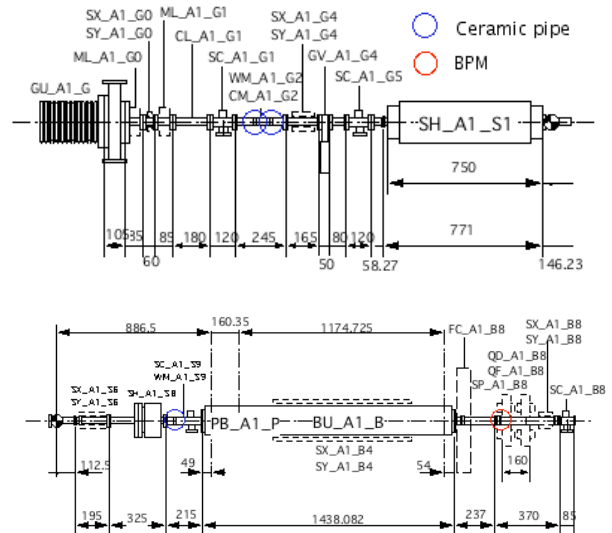


図5. 入射部ビームライン。電子銃直後からバンチャー出口までフォーカスコイルが設置されているが図には示していない。図中、セラミックダクト（3ヶ所、青丸）と軌道変動を観測するBPM（赤丸）を示す。

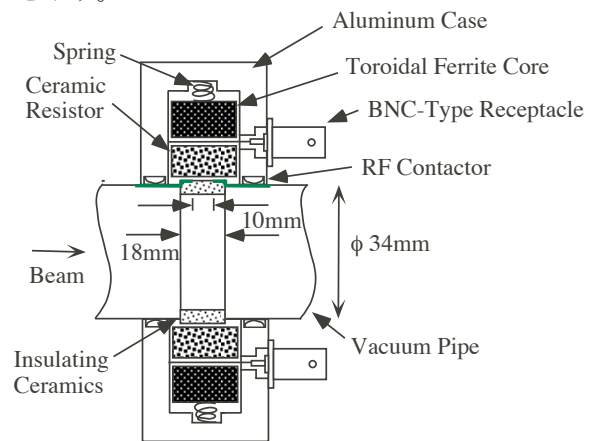


図6. セラミックダクト付き電流モニターの断面図。セラミックは、コバルパイプに銀鍍付けで接続され、有効的なセラミックギャップ長は10mmである。