

INVESTIGATION OF BEAM-ORBIT FLUCTUATION OBSERVED IN DAILY OPERATION OF THE KEKB INJECTOR LINAC (II)

Tsuyoshi Suwada¹,

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

Abstract

We have observed sudden transverse beam 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. Such strange phenomena and the investigated results were reported at the previous LINAC meeting. Since then, a test with the beam and a bench test were performed to further investigate and to understand the phenomena. These test results show that a sudden electric discharge after the electrification of a ceramic insulator used for a wall-current monitor were a main origin causing the beam-orbit fluctuation.

KEKB入射器の運転時におけるビーム軌道変動の考察(II)

1. はじめに

2004年度の研究会では、KEKB入射器の運転時におけるビーム軌道変動について、現象の整理と考察を報告した。この現象の理解を深めるために、引き続き調査した結果、入射部に設置している壁電流モニター用セラミックダクトの放電がビーム軌道変動を引起す主要因であることを特定した。本報告は、これまでの経緯を再度簡単にまとめ、要因特定に至った幾つかのテスト結果とその考察について議論したものである。

2. これまでの経緯

入射器は、1997年9月にKEKB運転に向けた増強を終え本格的な運転を開始した。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可能にする連続入射を開始している。運転開始以来、ビームが入射部直後から突発的に横方向にキックされるという現象が見られていた。この現象は、陽電子生成用大電流1次電子ビームにのみ見られること、RF系、電磁石系、環境温度、冷却水、電源等による要因との因果関係が明確ではないという特徴をもつ。位置モニターにより変動場所を特定したところ、入射部で生じている現象であることは判明したが、変動要因は明らかではなかった。昨年の研究会では、本現象の調査と考察をまとめている[1]。このような調査を始めたきっかけは、佐賀県立九州シンクロトロン光研究センターの吉田先生から、旧核研ESでは、入射キッカー用セラミックが帯電し、入射不能になったことが度々ある、とのご意見をお伺いしたことに始まる。その時は、リングとリニアックでは、デューティの違いが大きく、まさかりニアックでもこのような現象が現れるとは考えもしなかった。図1は、2002年

4月-2005年3月の間の月当りの1次電子ビーム(パルス幅10ps, 10nC/bunch)の総ショット数と突発的な軌道変動の回数(要因が明らかな場合は省く)の変化を示したものである。この図から、ショット数と変動回数は、ほぼ比例関係にあると思われ、セラミックの放電の疑いを強く持つようになり、入射部で使用している壁電流モニター(WCM)用のセラミックダクトの調査を始めた。

3. 放電波形の観測

3.1 電子ビームによる放電波形の観測

入射部には、3台のWCMを設置している[1]。2台は、電子銃から76cm下流に連続して、下流の1台は、571-MHzサブハーモニックバンチャーのすぐ後ろに設置している。モニター間距離は、約210cmである。WCMは、四端子を上下左右に取付けることにより、ビーム電荷量と位置の同時計測を可能にしている。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しセラミック内部に蓄積する、2)ビームが直接セラミックを照射し帯電させる、という2つのメカニズムが考えられる[2]。昨年の研究会では、1)の可能性は小さく、2)の可能性が大きいことを報告した。もし、セラミックの帯電が起因しているならば、モニター出力を見れば、帯電限界を越えた後の放電波形が見えるはずと考え、2004年度の夏期保守前の約1ヶ月間(2004年6月)、2台のWCMを運転から切離し、オシロスコープで直接観測することにした。オシロによる波形取得は、自己トリガー(ch1)とし、トリガーレベルをビーム出力の約1/10に設定し波形を蓄積することにした。これで、ビーム同期に関係

¹ E-mail: tsuyoshi.suwada@kek.jp

なく放電に伴う特徴的な波形を蓄積できるはずである。軌道変動は、1日に平均してランダムに2回程度は生じているので、波形取得は容易であろうと考えたが、期待が外れ唯一取得した波形が図2(b)である。図2(a)は、参考波形として、放電を伴わないビームの信号波形を示し、2台のWCM信号波形を示している。ch1は、入射部上流の出力波形(WM-A1-G2)を、ch2は、下流の出力波形(WM-A1-S9)を示す。WCMの四電極信号は、信号合成器を通して1本の同軸ケーブルに合成される。4つの信号波形は、10ns間隔のパルス列(バースト波形)となるように遅延ケーブルでそれぞれ遅延させている。各チャンネルでバースト波形が2つあるのは、2バンチ同時加速(96ns間隔)であることを示す。一方、図2(b)は、WCM信号に放電を伴った信号波形を示している。残念ながら、放電波形は途中で切れており、その全容を検出していない(オシロのレンジを調整して、引続き波形を蓄積したが時間切れとなった)。しかしながら、この図から以下のことがわかる。2台のWCMでほぼ同様な放電波形を伴っている。ここで、同様とは、立上り時間(約61ns)と周期の速い振動成分がほぼ同様であることを意味する。ただし、2つの放電波形が同時に観測されたかどうかは、蓄積モードのため自明ではない。放電波形の線幅から考慮するとどちらも単発現象のようである。放電波形は、2バンチ間の真中あたりから成長を始め(第1バンチの先頭波形から60ns後)、第2バンチとほぼ同期して急速に成長し、立上り後も200ns以上持続している。放電波形の振動は、速い周期(9ns)と遅い周期の振動が見られ、WCM出力電圧をはるかに越えている(3.9V以上)。図3は、速い周期(Pulse)と遅い周期(Base)の振動成分を分離して、それぞれの成長の様子を示したものである。この図から、Pulse成分は、Base成分より約20ns遅れてほぼ同じ立上り時間で成長し、立上り後も減衰することなく振動を続けていることがわかる。このような信号は、ミスマッチによる反射信号やクライストロンからくる電磁ノイズでは見られない。Pulse成分をよく見ると、ビーム波形とほぼ同じパルス幅(立上り時間~3ns)を示している。これは、セラミックに帯電した電荷が、瞬間的に放電しモニター抵抗を流れたと考えられる。WCMを等価回路に置き換え[3]、並列RLC共振により電荷が振動したと考え、振動周期 T を計算すると、 $T \sim 8.9\text{ns}$ となりPulse成分の周期とよく一致する。このように、帯電した電荷の放電時の電荷振動を観測したと考えられる。しかしながら、放電波形の示す速い成分と遅い成分がどのようにマイクロな放電現象から説明できるのかは興味のあるところであるが、よくわからない。

3.2 テストパルスによる放電波形の観測

WCMの電流校正器に高電圧のテストパルスを入力

し、3.1で述べた1)の可能性を調べた[3]。入力パルスの電圧は1kV(パルス幅20ns, 50 Ω 終端)で、流れる電流は20Aである。1次電子ビーム(パルス幅10ps, ~1kA)と比べると尖頭電流値は約1/50である。パルサーの繰り返しを10Hzに設定し、約3日間オシロスコープに波形を蓄積した。図4に蓄積波形を示す。WCM応答波形から190ns遅延して約1/3の出力をもつ波形と220ns遅延して約1/5の出力をもつ2つの放電波形が観測された。どちらの波形も3パルスを伴ったパルス列(約30ns間隔)を構成しており、ビームで見られた放電波形とはまったく異なっている。WCMを同様に並列RCLによる共振回路として考えたとき、共振による振動周期 T は、 $T \sim 28\text{ns}$ となりパルス列の間隔にほぼ等しくなる。この現象も帯電した電荷の放電に伴う電荷振動であると考えられるが、遅延時間が大きく異なっており、マイクロに見た放電機構の理解は困難である。

4. その後の調査

これまでの議論から、入射部に設置したWCM用セラミックの放電が”突発的”なビーム軌道変動を引き起こすと推定された。そこで、2004年度の夏期保守時に入射部に設置した3台のWCMを全て取外し、その後の経過を調べることにした。図1に示すように、2004年9月の運転再開後、軌道変動はほぼ消失していることがわかる。このテストにより、ビーム軌道変動の主要因を特定することができたと考えている(完全には消失していないので、他に要因がまだありそうである)。

5. 今後の対策

今後の対策として、内面にTiNを成膜したセラミックダクトを検討した。図5にその写真を示す。これは、ビームがセラミックを照射したときに発生する2次電子生成を抑制する、帯電した電荷を金属ダクト部に逃がすためである。しかしながら、セラミックの奥深い所で帯電してしまうと2次電子発生は抑制されると考えられるが、逆に電荷移動が困難になり、帯電除去の効果は明らかではない[2]。いづれにしても、実際のビームで確認する他には適当な方法が今のところ見当たらない。TiN成膜の膜厚を実績のある2.5 μm とした結果DC抵抗値は3 Ω であった。WCM校正器用にセラミックダクトを試作し、本来のWCM抵抗を取外してパルス応答を確認したところ、従来とほぼ同様なパルス応答特性を得た。運転用にも同様のTiN成膜されたセラミックダクトを2005年夏期保守時に組込む予定である。

参考文献

- [1] 諏訪田剛, 第29回リニアック技術研究会報告集, p.622.
- [2] 斉藤芳男, 私信.
- [3] 諏訪田剛, “ビーム計測1” 高エネルギー加速器セミナー (OH02002) 講義録.

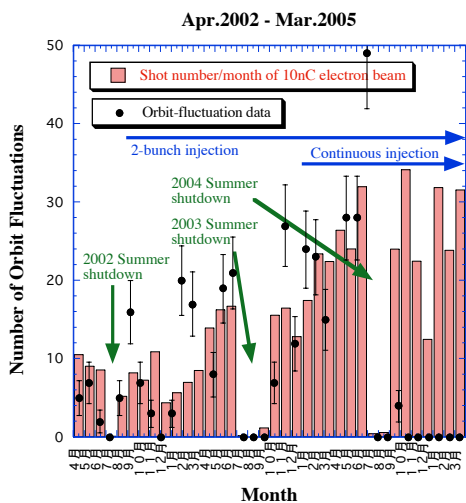
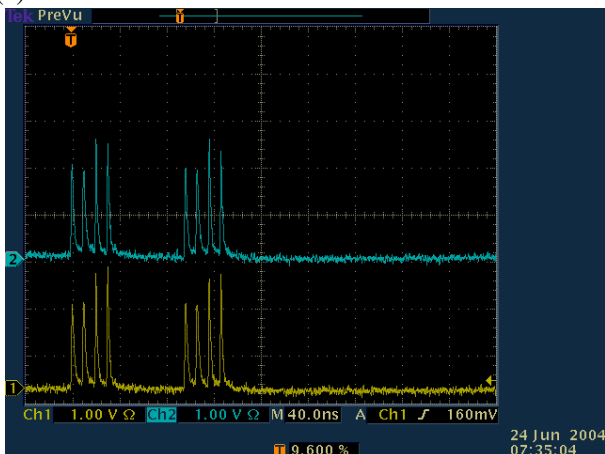


図1. 過去3年間に観測された軌道変動回数/月の変化。ヒストグラムは、10nCビームの積分ショット数/月を変動回数の平均値で規格化したものである。

(a)



(b)

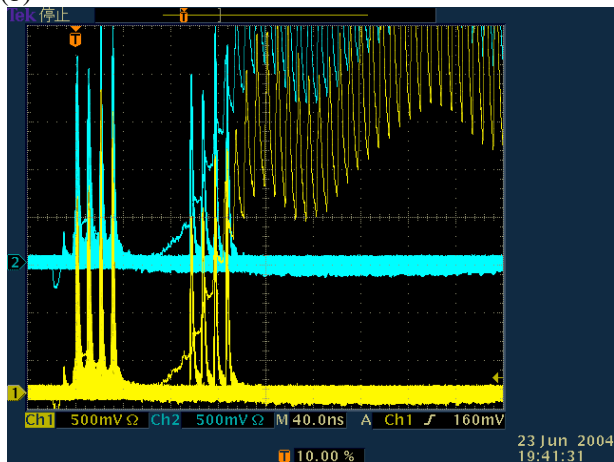


図2. (a) 壁電流モニターのビーム応答波形と (b) 放電を伴ったビーム応答波形をそれぞれ示す。

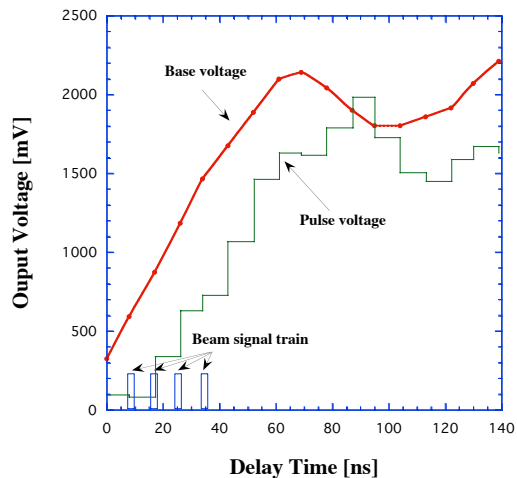


図3. 放電波形(図2(b))を速い成分と遅い成分に分離してプロットしたもの(ch1による)。

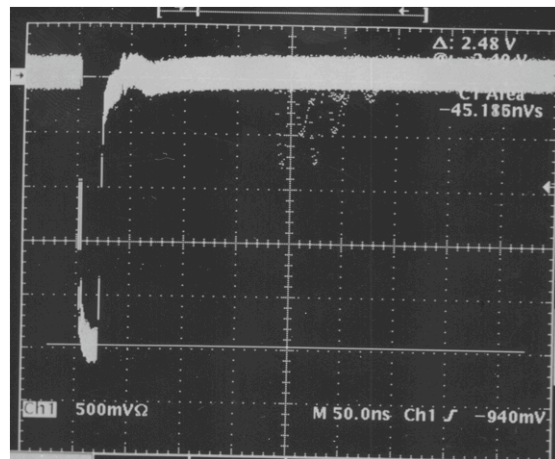


図4. テストベンチにおける壁電流モニターのパルス応答波形と放電波形。



図5. 内面にTiN成膜を処理したセラミックダクト。