

EMITTANCE PRESERVATION IN SUPERKEKB INJECTOR

Mitsuhiro Yoshida^{#, A)}, Naoko Iida^{A)}, Yujiro Ogawa^{A)}, Masanori Satoh^{A)}, Takuya Natsui^{A)}, Takako Miura^{A)},
Lei Zang^{A)}

^{A)} High Energy Accelerator Research Organization (KEK)
1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801, Japan

Abstract

The emittance growth in the KEKB LINAC is an important issue for the low emittance injection of SuperKEKB ring. The required beam parameters are 5 nC, 20 mm mrad and 4 nC, 6 mm mrad for the electron and positron respectively. The photocathode RF-Gun for the electron and the damping ring for the positron will generate enough low emittance beam. However the recent emittance measurement shows the emittance growth inside the LINAC. We will report the origin and the solution of the emittance growth.

SuperKEKB 入射器におけるエミッタンス保存

1. 背景

SuperKEKB では非常に高いルミノシティを得るため、低エミッタンス化によるダイナミックアパーチャーの減少とビーム寿命の減少はやむを得ない。これに対応して電子陽電子入射器も、電子で 5nC、20mm・mrad、陽電子で 4nC、6mm・mrad が要求性能である。電子源は RF 電子銃に改造すると共に、陽電子はダンピングリングの設置により、初期エミッタンスは従来に比べて大幅に改善される。しかしエミッタンス計測から、従来の電子銃での 1nC 程度の低電荷における規格化エミッタンスで 60mm・mrad 程度であるにも関わらず、入射器終端部では 300mm・mrad に増大している事が観測された。エミッタンス増大の原因としては、Q 磁石のミスアラインメントによる Dispersion、加速管での軌道オフセットによる航跡場、加速管カプラーにおける RF エミッタンス及び CSR 等が挙げられる。マシンスタディーにより、従来の低電荷でのエミッタンス増大の原因は Q 磁石のミスアラインメントによる Dispersion が原因であるという結果が得られ、さらに航跡場の影響についても測定を行った。最終的には、様々なマシンスタディー、解析的な計算や、シミュレーションを総合的に行い、要求性能を達成するための方法を見出しつつある。さらにエミッタンス増大の補正用のデバイスや、RF ディフレクターを用いたエミッタンスの診断系等の構築も計画しており、これらについて報告を行う。

2. エミッタンス増大の観測

電子陽電子入射器では図 1 (上)のようにエミッタンス測定のためのワイヤースキャナーが A セクターに 1 台、B、C、5 セクターにそれぞれ 4 台導入されている。SuperKEKB で低エミッタンス化が必要となり、1nC、3nC、5nC の電荷でエミッタンスの測定を行った所、1nC の低電荷でも図 1 (左及び

右)のような、X 方向、Y 方向共に C セクターから 5 セクターの間でのエミッタンス増大が観測された。

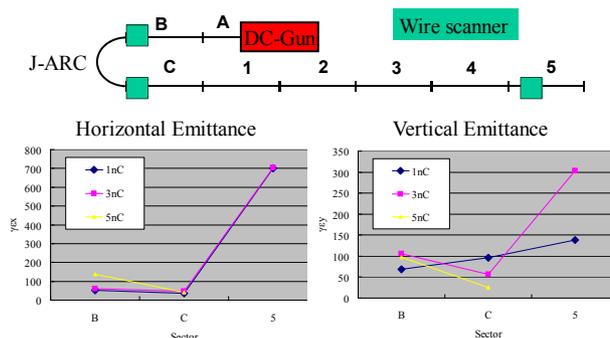


図 1 : ワイヤースキャナーによるエミッタンス増大の観測

3. 原因の検討

電子ライナックにおけるエミッタンス増大の原因としては、磁石のミスアラインメントによるディスパージョン、加速管のミスアラインメントによる Short Range Wakefield、加速管の単フィードカプラーによる RF エミッタンス、J-ARC における CSR やディスパージョンの漏れ等が考えられる。これらは ATF においてもエミッタンス増大^[1]の検討が行われており、またリニアコライダーでも詳しく計算されている^[2]。

この中で加速管の単フィードカプラーによる RF エミッタンスは 480 カプラーを足しても規格化エミッタンスで 1.2mm mrad 程度であり、また CSR もバンチ長が 10ps と比較的長い為、解析的な計算では 0.02mm mrad という評価である。また図 1 のエミッタンス増大は 1nC と比較的小さい電荷であるため、ディスパージョンの評価から始めた。

4. ディスパージョンの測定と補正

ディスパージョンは LINAC では直接測定する事

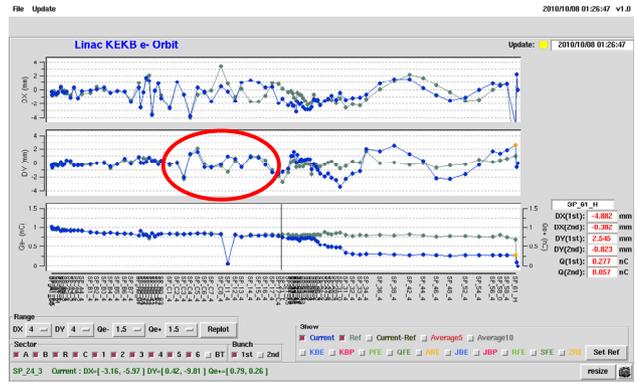
[#]mitsuhiro.yoshida@kek.jp

は難しいので、LINAC の終端から順に加速ユニットをスタンバイにしていき、ディスパージョンの発生点を特定して行った。図2、図3は、青線は、特定箇所クライストロンをスタンバイにした時の測定結果で、緑線は、スタンバイ前の測定結果を示している。これらの測定から X 方向、Y 方向のそれぞれに対して特定の箇所で大なディスパージョンが発生している事が分かった

X 方向については図2から、1ユニットのスタンバイ時のエネルギー差は 140MeV であり、2 セクター始めで $\Delta p/p = 0.035$ なので、R16 = 50mm 程度のディスパージョンが発生している事が分かる。この原因は、以前から 2-1 で曲りがある事が分かっており、この曲りがその後も曲がったままなのか戻っているのかは確認できていない。十分な磁石の数があれば、アクロマティックに曲げる事も可能であるが、現在の磁石の数では難しく、ディスパージョンの補正を試みたが現時点では補正できていない。

Y 方向については図3から C-3 ユニットと C-4 ユニットの間にディスパージョンのソースがある事が確認されたが、ここには建物のつなぎ目があり、Q 磁石に 2mm 程度の段差が原因であり、ディスパージョンのソースが Q 磁石のミスアライメントである事が分かった。SLAC における、LCLS における LINAC の設計^[3]においても、Phase advance / cell を変化させて最適化を行っている。そこで弱レンズにしてエミッタンス増大の評価を行った。図4は特にミスアライメントの大きいCセクターから1セクターまでの Q 磁石を弱くしつつ 5 セクターでのエミッタンス測定を行った結果である。

C-4 Standby



C-3 Standby

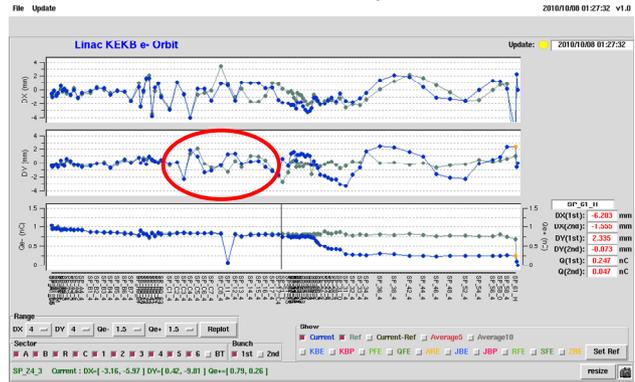
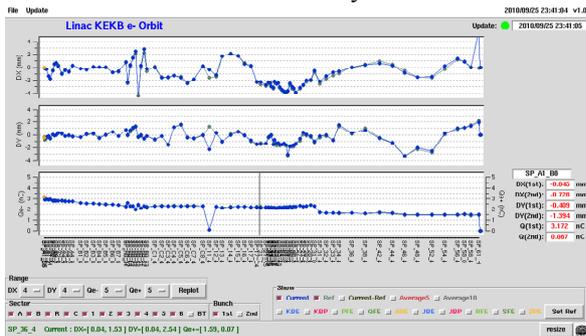


図3：垂直方向のディスパージョン (上段：X軌道, 中段：Y軌道, 下段：電荷量)

2-2 Standby



1-7 Standby

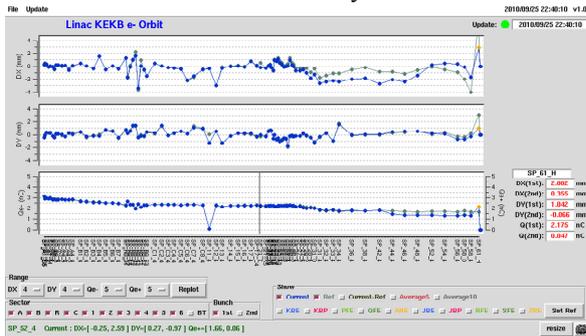


図2：水平方向のディスパージョン (上段：X軌道, 中段：Y軌道, 下段：電荷量)

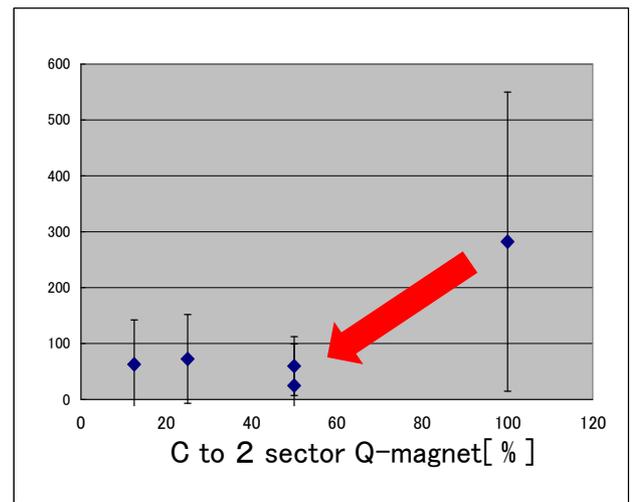


図4：弱レンズでのエミッタンス測定

これらから、現時点の 1nC の電荷で観測されている Cセクターから5セクターへのエミッタンス増大はディスパージョンであると結論付ける事ができた。今後はワイヤー・水管傾斜計・レーザー・ビーム等による複合的なアライメントを行うと共に、ディスパージョンの補正方法をさらに検討して行く。

5. ウェーク場の補正

ウェーク場の影響でバンチの後半の軌道が発生する事で、射影エミッタンスは増大するが、SLAC における実績^[4]として、初期オフセットを変化させる事で、ウェーク場の影響をウェーク場で相殺する事で、エミッタンス増大を抑える事ができる。

初期エミッタンスが 5nC、10mm・mrad、10ps のビームに対して、Elegant によるシミュレーションにより 0.5mm のランダムなミスアラインメントを与え、初期オフセットを変化させる事により補正されたエミッタンスを計算した。図5はミスアラインメントの乱数の初期値が異なる2つのケースについて、初期オフセットを変化させ、どちらのケースでも 20mm・mrad の要求性能以内になる事を確認した。

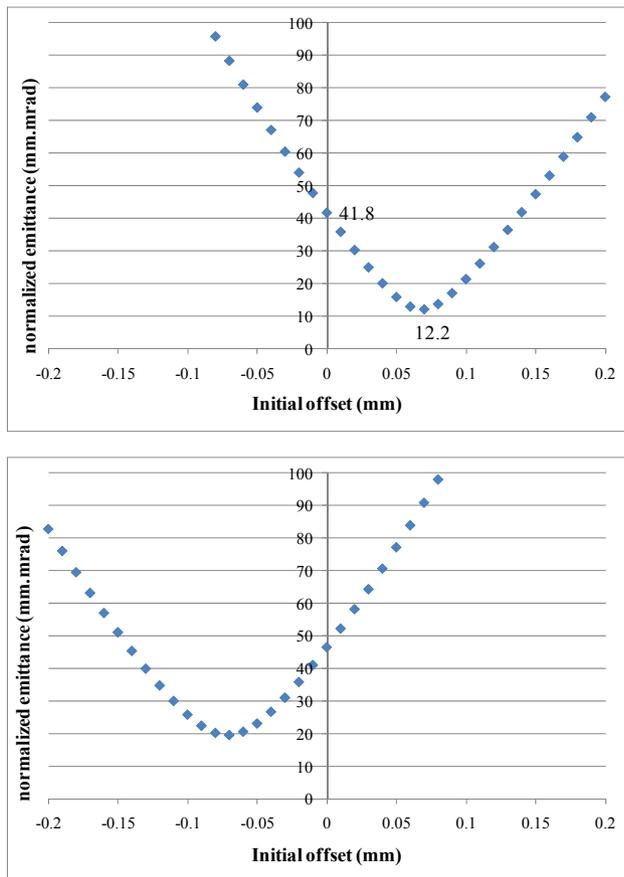


図5：Elegant で計算したウェーク場によるエミッタンス増大の初期オフセットによる補正

図6は 1nC と 5nC の電荷において、電子銃から B セクターの後半におけるエミッタンス増大を、初期オフセットを変化させてプロットしたものである。5nC の時のエミッタンス増大を、初期オフセットによりエミッタンス増大を抑制できる事を実験的に示す事ができた。

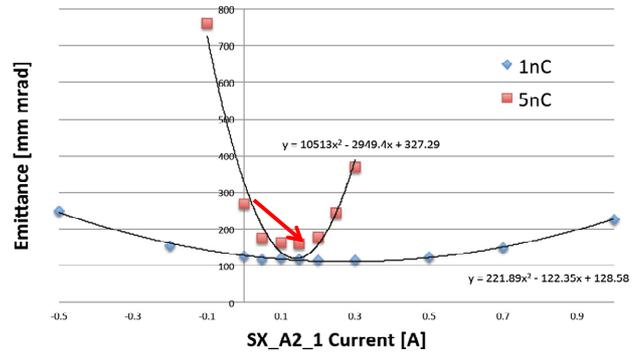


図6：電子銃から B セクター終端へのウェーク場によるエミッタンス増大の初期オフセットによる補正

6. ビーム診断系

ウェーク場の補正には、バンチの時間構造を観測し、それを補正する仕組みが必要である。バンチの時間構造を観測するために RF ディフレクターを導入する予定である。RF ディフレクターの S/N は以下のように表わせる。

$$\Delta x_{screen} = \sqrt{\beta_{deflector} \beta_{screen}} \left(\frac{eV_{deflector} \omega_{RF} \Delta t}{E_{beam}} \right) \sin \left(\phi_{deflector \rightarrow screen} = \frac{\pi}{2} \right)$$

$$\sigma_x = \sqrt{\beta_{screen} \epsilon_{screen}}$$

$$\Delta x_{screen} / \sigma_x = \sqrt{\frac{\beta_{deflector}}{\epsilon_{screen}}} \left(\frac{eV_{deflector} \omega_{RF} \Delta t}{E_{beam}} \right) \quad (1)$$

S バンドでは 10MV の電圧でも S/N = 3 程度だが、X バンドの 20MV では S/N = 27 となる。そこで、SLAC で開発された X バンドの RF ディフレクターを用いて、10MW 程度の RF 電力で駆動する事とした。RF システムも地下に設置する方向で開発を進めており、第三スイッチヤードのビーム振り分けを活用して、ビームラインを設置する事を検討している。

7. まとめ

SuperKEKB の低エミッタンス入射に向けたエミッタンス増大のスタディーを行い、現時点でのエミッタンス増大が磁石のミスアラインメントによるディスパージョンである事が分かった。またウェーク場についても初期オフセットによりある程度補正可能である事が実証でき、今後 5nC の低エミッタンス RF 電子銃のインストールや、アラインメントと合わせて、エミッタンス増大のスタディーを進めて行く。

参考文献

- [1] M. Matsuda, S. Nakamura, H. Hayano, et al., “27aZR-1 Acceleration of Low Emittance Beam in KEK ATF Linac”, 日本物理学会講演概要集 59(1-1), 104, 2004-03-03
- [2] Tor O. Raubenheimer, “The Generation and Acceleration of Low Emittance Flat Beams For Future Linear Colliders”, SLAC-R-387
- [3] LCLS CDR Chapter 7 - Accelerator
- [4] Karl L. F. Bane, “Wakefield Effects in a Linear Collider”, Proceedings of the U.S. Summer School on High Energy Particle Accelerators, Batavia, Illinois, Aug. 13-31, 1984.
- [5] J. Wang, “X-Band Deflectors Development at SLAC”, X-Band RF Structure and Beam Dynamics Workshop - 44th ICFA Advanced Beam Dynamics Workshop, December 2008