

LASER-BASED ALIGNMENT SYSTEM FOR THE 500-M-LONG KEK ELECTRON/POSITRON INJECTOR LINAC

Masanori Satoh^{1, A)}, Tsuyoshi Suwada^{A)}, Eiichi Kadokura^{A)}, Takuya Kudou^{B)}, Shiro Kusano^{B)}, Yoshihisa Mizukawa^{B)}, Keiichi Hisazumi^{B)} and Kazuro Furukawa^{A)}

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

^{B)} Mitsubishi Electric System & Service Co., Ltd
2-8-8 Umezono, Tsukuba, Ibaraki, 305-0045

Abstract

A new laser-based alignment system is under development at the 500-m-long KEKB injector linac. The new system is strongly required in order to increase the stability and to enhance the quality of electron and positron beams towards the KEKB upgrade since the previous alignment system has become obsolete. We will present the overview of the new alignment system and the preliminary test result in detail.

500m長KEK電子陽電子入射器におけるアライメント

1. 概要

KEK電子陽電子入射器(以下、入射器)では、アライメントシステムの再構築を計画している。入射器のアライメントシステムは、建設当初に導入された後、1995年のKEKB建設時に再構築及び再測定が行われた^[1]。しかしながら、1998年6月を最後に、この10年間は測定が行われていない。これは、測定の簡便性に欠ける事や、システムの老朽化が主な理由である。現在、KEKBアップグレードに向けた入射器の高度化に伴い、システム全体が再度見直される事となった。本稿では、レーザーアライメントシステムの構成及び予備的な測定結果について報告する。

2. はじめに

入射器は、4つの異なるリング(KEKB電子/陽電子、PF、PF-AR)へビームを供給している。1993年に始まったKEKB計画のための入射器改造^[2]から16年が経過したが、現在でも、日々のビーム運転安定化を目指し様々な改善が継続して行われている。KEKBリングへは、2004年初めより連続入射運転を開始し、積分ミノシティーの向上に大きく寄与した。一方、PFリングでは、放射光リングに於いて近年主流になりつつあるトップアップ運転への要望が高まっている。KEKB連続入射及びPFトップアップ運転を同時に行うために、入射器の機器パラメータをパルス毎(最大50Hz)に切り替えるためのアップグレード計画が2004年より開始された。2005年夏の新PF-BT建設を皮切りに、KEKB電子/PFへの同時入射を達成し^[3, 4]、2009年4月には、KEKB電子/陽電子及びPFへの同時トップアップ入射が実現された^[5]。このような複雑な入射方式に於いて、より安定なビーム運転を目指すために、アライメントの重

要性が再認識される事となった。

3. アライメントシステム

3.1 システム構成

入射器は、180度偏向部を挟み100m長(A及びBセクター)及び500m長(C~5セクター)の2つの直線部から構成される全長600mの線形加速器である(図1)。2つの直線部には、それぞれレーザー光源が置かれ、独立したアライメント計測が可能である。レーザーを用いたアライメントシステムは、入射器建設当初に導入された物であり、レーザー出射部及び検出部から構成される。入射器の加速管架台の上流及び下流側には、光位置センサー(Position Sensing Detector; 以下、PSD)が設置されている。

図2に、入射器基本ユニットの構成図を示す。基本ユニットは、円筒形(Φ508mm)の10m長加速管架台を基本とし、この上部には、加速管及び電磁石を設置するための基準プレートが設けられている。1台の架台には、2m加速管が4本設置され、基本ユニット8台で1つのセクターが構成される。加速管架台の内部には、アライメント用レーザー管(Φ115mm)が設置されており、上下流側にはPSD用チェンバーが設置される。この様に、レーザー管を二重管構造としたのは、空気の揺らぎによるレーザー光の変動を抑制するためである。

図3に、本システムを用いたアライメント方法を

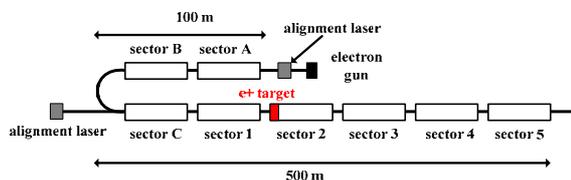


図1: KEK入射器の構成

¹ E-Mail: masanori.satoh@kek.jp

示す。本方式では、二箇所の基準PSD位置に於いて中心を通る様にレーザー光軸を調整し、各PSD上でのレーザー位置を計測する。これにより、基本ユニットの基準レーザー光軸からの相対位置が測定される。基本ユニット内のアライメントについては、加速管架台のPSD中心、加速管中心及び基準プレート間の相対位置が事前にアライメントされているため、ユニット間のアライメントを実行すると、加速管及び電磁石のアライメントも必然的に達成されることとなる。入射器では、加速管設置誤差による横方向ウェーク場の影響や、四極電磁石設置誤差によるビーム変位の影響から、0.1mm以下のアライメント精度が要求されている。

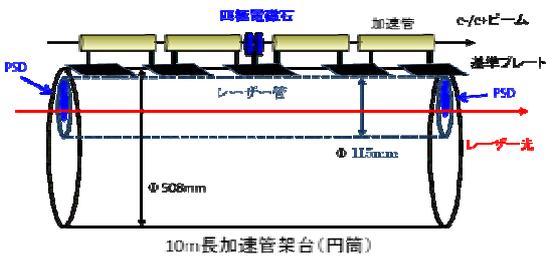


図2：入射器基本ユニットの構成図

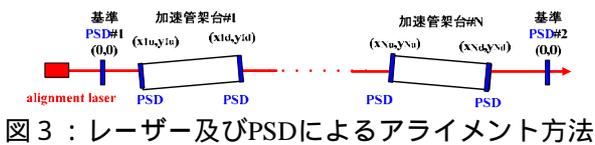


図3：レーザー及びPSDによるアライメント方法

3.2 レーザー及び姿勢制御システム

今回のアライメントシステム再構築に於いては、主にレーザー出射部の置き換えを行った(図4)。出射部は、赤色レーザーダイオード(波長660nm)、自動ステージ及びコリメーターレンズ(Φ80mm)ユニットから構成される^[6]。レーザー及びレンズユニット間はシングルモードファイバー(コア径3.5μm)にて接続され、レーザー自身の指向安定性の影響を抑制すると共に、モードスクランブラによるクラッドモードの除去を行っている。また、ファイバー接続方式の採用によって調整の簡便化を図ると共に、レーザー及びドライバを放射線の影響が少ない地上部へ設置し、ビーム運転中に於いてもアライメント測定を行う事を可能とした。

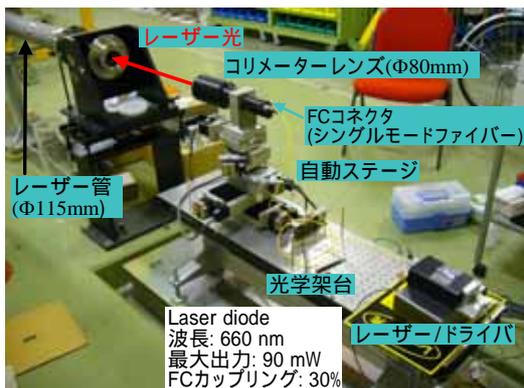


図4：レーザー及び位置制御システムの写真

3.3 PSD及び検出装置

図5に、PSD(左)及び検出装置(右)の写真を示す^[7]。PSDには、Φ10mmの四分割シリコンフォトダイオードが用いられている。PSDチェンバー側部には稼働レバーが装備されており、測定箇所以外に於いては、PSDホルダーを機械的に倒してアライメントレーザー光を通過させる。

PSD面上にレーザー光を照射すると、各シリコンフォトダイオードには検知した光強度に比例した電流が流れる。この電流値は、図5(右)の検出装置を用いて読み出され、割り算回路による演算処理の後、レーザー光の重心位置として計測される。本検出装置は、前面のメーターパネルにより、水平及び垂直方向に対応した重心位置を目視にて読みとることが可能である。また、パネル背面のBNC端子より、各ダイオードに流れた電流及び水平・垂直位置に対応した電圧を出力することができるため、オシロスコープ等を用いることにより、測定値のデジタル化が可能である。

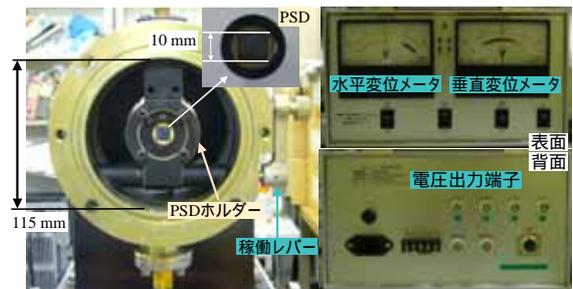


図5：PSD(左)及び検出装置(右)

4. アライメント測定

4.1 PSD測定及びレーザー調整

アライメント測定に先立ち、500m直線部に設置されている全116台のPSDユニットを撤去し、テストベンチに於いて感度誤差測定を行った^[8]。この結果、約2割のPSDに5%以上のダイオード間感度誤差が認められたが、これらの物は新規品と交換することとした。今回の測定では、他のビームライン工事と作業が干渉するため、C~2セクター間のアライメント測定を試みた。まず始めに、感度誤差5%未満のPSDチェンバーを再装着し、レーザー管中をレーザー光が真直に伝搬する様な光学軸を構築した。その後、レーザー光の径がΦ30mm程度になる様に調整を行った。図6に、Cセクター上流で測定したレーザー光プロファイルを示す。PSD面上に照射される部分は、図6内の赤点線に示したΦ10mmの領域である。今回開発したコリメーターレンズでは、Φ30mmのビーム径を実現することが困難であったため、レンズユニット上流側に円形スリットを挿入した。このため、レンズユニットからの出射光には、円形開口からの回折に起因する干渉縞が現れた。

図7に、PSD位置依存感度係数の測定結果を示す。本測定結果は、Cセクター上流にある可動式PSDを

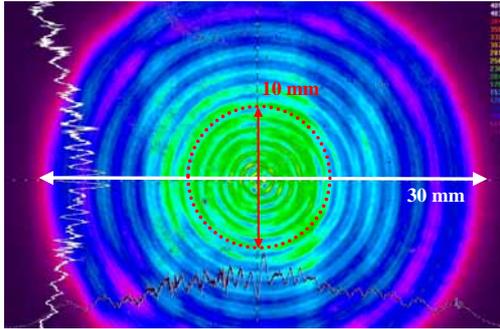


図6：レーザー光プロファイル

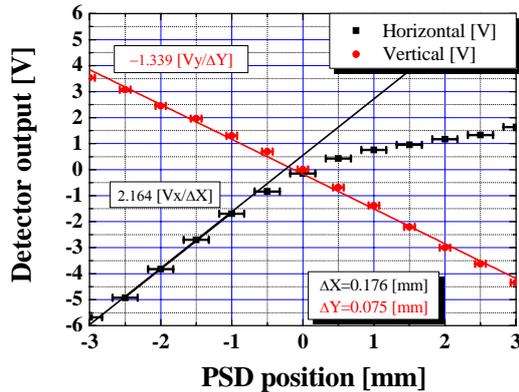


図7：可動式PSDによる感度測定結果

±3mmの範囲で変位させた物である。図7より、垂直方向の直線性は高いが、水平方向の正領域に於ける感度が著しく低くなっている。また、直線領域の傾きを比較したところ、水平・垂直方向では傾きが異なる結果となった。これは、レーザー光に干渉縞が現れ、水平・垂直方向のレーザー強度分布が不均一であることに起因する。本格的なアライメント測定に於けるには、このようなレーザー強度分布の不均一性を除去することが不可欠となる。また、本測定に於ける測定誤差は、±0.176mm(水平)及び±0.075mm(垂直)であった。

4.2 Cセクター予備測定

今回、500m直線部の本格測定に先立ち、予備試験としてCセクターのアライメント測定を行った。本試験では、各加速管架台上流側PSDについてのみ測定した。図8の測定結果は、図7の位置感度係数を用いてプロットした物である。図8の結果は、垂

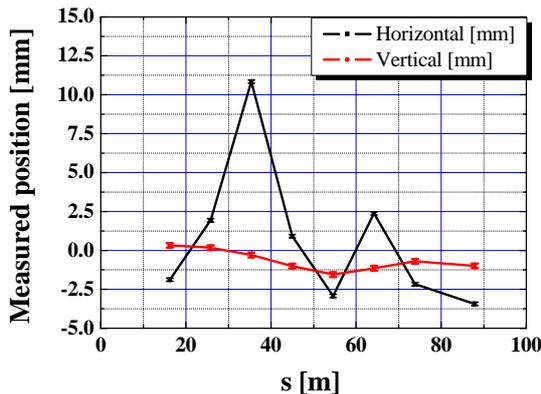


図8：Cセクターに於ける予備測定結果

直方向はほぼ±1mm強の範囲で真直であるのに対して、水平方向については、一部の架台が負方向に大きくずれている事を示している。

2003年秋頃に発生した地震直後、Cセクターに於けるビーム軌道が乱れたため、ビーム軌道によるアライメント測定の結果を基にして、Cセクターの四極電磁石の内4台を正方向へ最大0.5mm変位させた。これは、加速管架台が負方向へ変位したと等価と考えられる。図8の結果は、過去のこのような事象と定性的に一致する物であり、アライメントシステムの重要性が再認識された。

5. まとめ

入射器では、レーザーアライメントシステムの再構築が進行中である。Cセクターの予備的な測定結果から、水平方向に大きなずれがあることを確認した。また、現状での測定分解能は、水平方向0.352mm、垂直方向0.15mmであり、目標の0.1mmは達成できなかった。これは、理想的なレーザー光強度分布が実現されていないことが原因である。また、1セクター以降に於ける測定では、空気の揺らぎに因るレーザー光の不安定性から測定が困難であった。

今後は、レンズユニットの改良により、レーザー光の干渉縞を除去すると共に、加速管架台間をレーザー管で接続した状態にて再測定を試みる。さらに、レーザー管内を真空状態にすることにより、入射器500mラインでのアライメント測定精度0.1mmを目指す。

6. 謝辞

PSDチェンバー脱着作業及び感度測定に協力して頂きました、運転員の方々に感謝致します。また、システム全体に関して様々な助言を頂きました、飯野陽弼氏に感謝の意を表します。

参考文献

- [1] Y. Ogawa, et al., *Procs. of the PAC'95*, p.2087.
- [2] 榎本收志, 他, 日本加速器学会誌 第6巻1号 2009, p.69.
- [3] 佐藤政則, 日本加速器学会誌 第3巻2号 2006, p.171.
- [4] 佐藤政則, 日本加速器学会誌 第5巻2号 2008, p.144.
- [5] K. Furukawa, et al., "Global and Fast Beam Control System for Simultaneous Top-up Injections to 3 Rings at KEKB and PF", in these proceedings.
- [6] T. Suwada and M. Satoh, "LASER-BASED ALIGNMENT SYSTEM FOR THE 500-M-LONG KEK ELECTRON/POSITRON INJECTOR LINAC: DESIGN OF THE OPTICAL SYSTEM", in these proceedings.
- [7] T. Suwada and M. Satoh, "LASER-BASED ALIGNMENT SYSTEM FOR THE 500-M-LONG KEK ELECTRON/POSITRON INJECTOR LINAC: DESIGN OF THE MEASUREMENT SYS", in these meeting.
- [8] E. Kadokura, et al., "LASER-BASED ALIGNMENT SYSTEM FOR THE 500-M-LONG KEK ELECTRON/POSITRON INJECTOR LINAC: CALIBRATION OF SILICON PHOTODETECTORS", in these proceedings.