

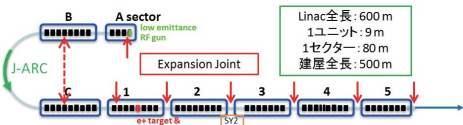


KEK 入射線形加速器トンネルの長周期床変動

Measurement of long-period floor movement in the KEK injector LINAC tunnel

○田中窓香、肥後寿泰、諏訪田剛、柿原和久、榎本嘉範 (KEK)、牛本信二、水川義和、久積啓一 (三菱電機システムサービス) E-Mail: madoka.tanaka@kek.jp

Linac アライメント概要

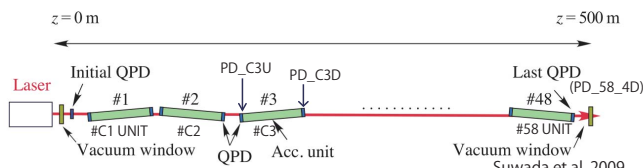


- SuperKEKB のエミッタンス保存のために要求されるアライメント精度: ~100 m で $\sigma=0.1$ mm、入射器全体では 0.3 mm 以下。
- 建屋は地上部分 (クライストロンギャラリーのある 1 階部分とその上の電源ケーブル、排水管を通すスペース) と、ビームラインのある地下トンネル部分から構成されている。地上部分は気象条件の影響を受けやすく、トンネルもそれに引きずられている。
- 建屋の膨張、伸縮の逃げを考慮して、約 1 セクター毎に高剛性の建屋を、低剛性の Expansion joint 部で繋ぎ合わせるように作られている。
- アライメント用レーザーと、各加速ユニット架台の両端の基準とする点に取り付けた、位置感度のあるフォトダイオード (QPD) デテクターで定義している。このシステムを用いた初期アライメントは 2014 年に完了している。

Summary

SuperKEKB へのアップグレードのためのエミッタンス保存のため、KEKB 電子陽電子入射器では、入射器全体約 600 m で $\sigma=0.3$ mm、~100 m あたり $\sigma=0.1$ mm の精度のアライメントが要求されている。これまでの測定より、ビームラインがあるトンネルの床が変動していることがわかっていて、このアライメント要求を満たすためにはトンネル内床変動の詳細を把握する必要がある。今回、入射器のアライメント基線となるアライメントレーザーと、架台に取り付けられた位置感度のあるフォトダイオードデテクターを用いて、床変動と直に関連する C-5 セクターの架台の位置変動測定を 2016 年 4 月から 2 年にわたって行った。測定の結果、特に Vertical 方向について、Exp. J 部付近において建屋中央部に対して逆位相に動いているように見え、変位量が大きい様子が確認された。この動きに注目して sin 関数でフィットを試みると、Exp. J 部直近の QPD の動きは 1 年の周期を持っていることがわかった。振幅も中央部に比べて 2 倍近くある。この結果を受けて今後のアライメントをどのように行うかは検討中である。また、今回の測定で変動の特徴を掴みきれない QPD もたくさんある。特に 2017 年夏以降からそれ以前と動きの様子が違う QPD がある。それに加え、トラッカーとの測定データとの相違も見つかって、測定結果の絶対値には大きな誤差が残っている。QPD のデータを今後どのように活用していくかにも議論の余地がある。2 週間毎の測定は継続中である。

レーザーアライメントシステムと QPD を用いた架台位置測定



基準となる直線は終端の QPD の終点の中心を通るように定義される。このレーザーからのずれ (レーザーに対する架台の位置) を測定している。2014 年の初期アライメント以降、数回の測定でアライメント基線からのずれが観測されたので、C-5 セクターに於いて 2016 年 4 月から約 2 週間の 1 度の頻度で定期的に測定を行った。

レーザー感度係数

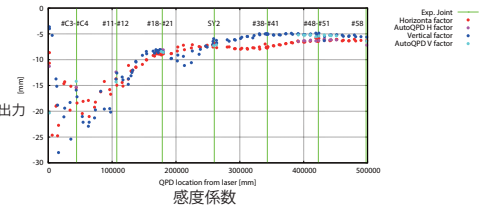
レーザー光軸の横方向の広がりに関連する QPD の感度係数が必要。レーザーからの距離に依存する。



$$x = S_x \frac{(V_A + V_B) - (V_C + V_D)}{V_A + V_B + V_C + V_D}$$

$$y = S_y \frac{(V_A + V_D) - (V_B + V_C)}{V_A + V_B + V_C + V_D}$$

VA~VD [V]: 各象限での出力
Sx, Sy [mm]: 感度係数
x, y [mm]: QPD 位置



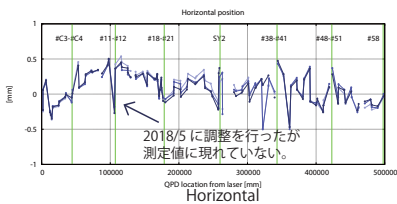
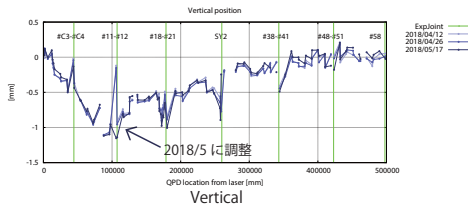
- 架台を調整した際のレーザートラッカーの測定値と QPD の測定値に相違があった。トラッカー: 1.6 mm、QPD: 0.9 mm
- 今回の測定結果は感度把握について大きな誤差が取り切れていない。相対的位置に関しては十分議論できるものである。

測定結果

測定期間: 2016 年 4 月 ~ 2018 年 6 月
測定場所: C-5 セクターの QPD 全 119 台 (途中で取外したものの、不良のもの、自動化されたものも含む)
※2017 年 5 月 ~ 9 月は夏のメンテナンス期間にレーザー光軸管が外されたため、測定は行っていない。

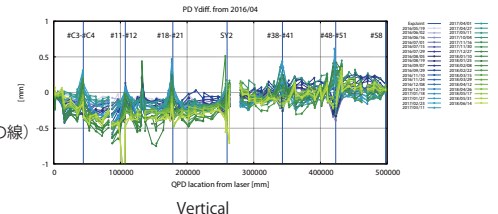
現在の QPD 位置

2018/4-5 月の 3 回分の測定結果。いくつかの 0.2 ~ 0.3 mm 程度の局所的な変動を除けばなめらかにつながっている。これらの局所変動の原因はよくわかっていない。



2016/4 月からの変位

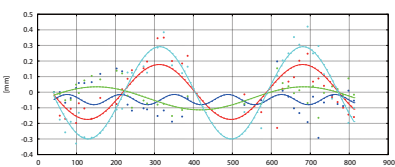
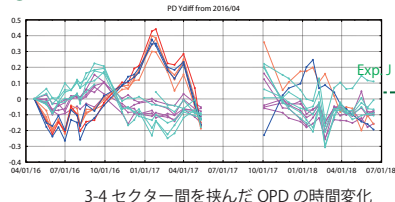
2016/4 を基準としたときの QPD 位置の時間変化。2 年間の変動は概ね ± 0.5 mm 以内に入っている。特に Vertical で Exp. J 付近 (緑の線) でその場所と違う特別な動きをしているように見える。



Horizontal でも 2-3 セクター間 (SY2)、4-5 セクター間で顕著な動きが見える。また Horizontal では 0 を中心変動しているように見え、Vertical では SY2 の上流でマイナス側、下流でプラス側で変動しているようにも見える。

時間変化

Vertical

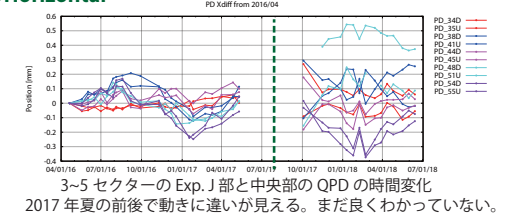


4 セクター両端、中央部の QPD の時間変化を sin 関数で fit

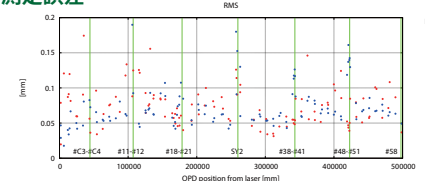
| PD Name | Cycle [day] | Amplitude [mm] | RMS [mm] |
|---------|-------------|----------------|----------|
| PD_41_U | 369±11 | 0.18±0.03 | 0.10 |
| PD_44_D | 38±8.4 | 0.033±0.03 | 0.070 |
| PD_45_D | 532±39 | 0.074±0.02 | 0.10 |
| PD_48_D | 368±4.8 | 0.30±0.02 | 0.078 |

- Exp. J 直近の QPD とそれ以外で動きの違いがはっきりと見える。
- 3-4 セクター間も 4-5 セクター間も Exp. J 直近の QPD の動きが似ている。
- Exp. J 直近はその他の場所に比べて振幅が 2 倍程度ある。位相も逆位相のようだ。
- sin fit の結果、Exp. J 直近は年周期を持っていることがわかった。
- 建屋中央部付近については見られなかった。
- この結果は 2017 年の夏の前後で動きの様子が変わってしまった影響があると考えられる。
- 位置変動が発散せず元の位置に戻ってくるのが事実であれば、架台の位置調整で補える可能性がある。
- 詳細はわからないことが多いため、測定は継続している。

Horizontal



測定誤差



- 連続する 2 回の測定結果の差の RMS
- 概ね 0.05 ~ 0.1 mm 以内。
- 特に Vertical については Exp. J 部付近で 0.1 ~ 0.15 と他より大きい。
- 測定直前のフィードバックで終端 QPD が ± 0.05 mm 以内の状態に測定可能としている。
- この程度は誤差の範囲内。