

KEKB 入射線形加速器トンネル床変動の測定 (3)

MEASUREMENT OF FLOOR MOVEMENT IN THE KEKB INJECTOR LINAC TUNNEL (3)

田中窓香 *^{A)}、肥後寿泰 ^{A)}、諏訪田剛 ^{A)}、柿原和久 ^{A)}、榎本嘉範 ^{A)}、牛本信二 ^{B)}、水川義和 ^{B)}
Madoka Tanaka*^{A)}, Toshiyasu Higo^{A)}, Tsuyoshi Suwada^{A)}, Kazuhisa Kakihara^{A)}, Yoshinori Enomoto^{A)},
Shinji Ushimoto^{B)}, Yoshikazu Mizukawa^{A)}

^{A)}High Energy Accelerator Research Organization (KEK)

^{B)}Mitsubishi Electric System & Service Co., Ltd.

Abstract

We understand that the floor of beam line tunnel of the KEK electron/positron injector linac is moving according to the climate condition in conjunction with an above-ground part. Significant movements are seen at number of expansion joints in tunnel. For the emittance preservation through the injector linac of SuperKEKB, the local misalignment is required to be within 0.1 mm in sigma, while global one within 0.3 mm in sigma over the beam line of about 600 m in total length. In order to realize this tight alignment requirement, at first, linac re-installed a system which detects the position of accelerate standard girder by quadrant photodiodes with respect to laser reference line. Using this system, we conducted initial alignment in 2014. Since then we measured the girder position once a few months. As a result of this measurement, we found the floor movement of a few mm in a year at expansion joint. We also measured the relation movement of both sides between expansion joint. The measurement turns out that the floor moved up to 40 μm in a day, so this displacement doesn't affect at the alignment of beam line. On the other hand, the measurement shows that the floor moved 500 μm in a year. These movements have an effect on the beam operation. We discuss the future way of dealing with floor movement.

1. はじめに

現在、KEK 電子陽電子入射器では、SuperKEKB へのアップグレードが進められている。SuperKEKB でのエミッタンス保存のため [1]、入射器の直線部分での各コンポーネントのアライメント精度は、100~200 m で $\sigma=0.1$ mm、入射器全体 600 m で 0.3 mm 以下であることが要求されている [2]。

入射器は全長 600 m で、8つのセクターから構成されている [3]。~100 m の上流直線部 (1.5 GeV、セクター A-B) と、それに続く~500 m の下流直線部 (5.5 GeV、セクター C-1-2-3-4-5)、及びこれらを繋ぐ 180 度 ARC 部によって構成されている。各セクターは加速ユニット 8 台で構成されており、各加速ユニットに属する加速管などのビームライン要素は約 9 m 長の剛性の高い架台の上に搭載されている。各ユニット架台の両端には、ユニット内アライメントの基準となる 2 点があり、ここに位置感度のある分割型シリコンフォトダイオード (PD) デテクターが取り付けられている。この基準点をビームラインと平行な基準軸として定義するレーザー基準線に来るようにアライメントされる [4]。

入射器の建屋は全長約 500 m であり、地下に加速器トンネル、1 階部分にクライストロンギャラリーがある。建築の際、建屋の膨張、伸縮を考慮して、1 セクター約 80 m の床、建物を繋ぎ合わせるように作られたため、Figure 1 のように複数の結合部 (Expansion joint、以下 Exp. J) を持つ。2011 年に発生した東北地方太平洋沖地震では、この結合部に大きな負担がかかり、トンネル内が浸水する被害が起きており [5]、大雨の際に浸水の原因となることがしばしばあり、浸水の激しい

箇所は修理が行われている。また建屋の地上部分は気象変化の影響を受けやすく、地上部と連結したり、地下の温度や水分分布等の影響を直接受けたりして、トンネル内の床も変動することがわかっている [6][7]。これは、先述のビームラインコンポーネントのアライメント精度を満たす上で問題になっている。この変化を定量的に見積もるため、入射器ではレーザー PD、ダイヤルゲージ、傾斜計、レーザートラッカー等を用いて観測を行っている。その中で直接的な建屋同士の動きを測定しようと、何箇所かの Exp. J にダイヤルゲージを設置している。この計測結果について述べる。

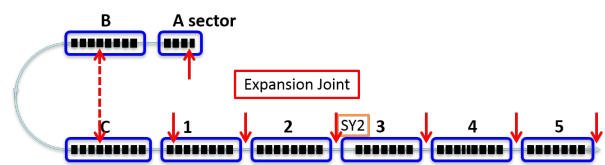


Figure 1: Linac layout.

2. 床変動の測定

2.1 測定の概要

測定場所、期間を Table 1 に、設置状況を Figure 2、Figure 3 に示す。28 ユニット下流部、38 ユニット下流部、48 ユニット下流部の 3 箇所測定を行った。ジョイント部を挟んで左右の壁または床に鉄のプレートを設置し、その上を渡したステンレスの棒に東西、南北、上下の 3 方向についてダイヤルゲージを設置し、下流側の建屋に対する上流側の建屋の動きを観察している。

*madokat@post.kek.jp

28 ユニットの梁ラインを挟んで東西の壁、38、48 ユニットの西側の壁に設置した。28 ユニットの測定は2014年秋から測定を行っているが、2015年夏にExp. Jにおける水漏れ工事を行った際に一度撤去したため、秋から再度設置、測定を行っている。48 ユニットの測定は2016年夏から東側の壁及び床にも設置している。

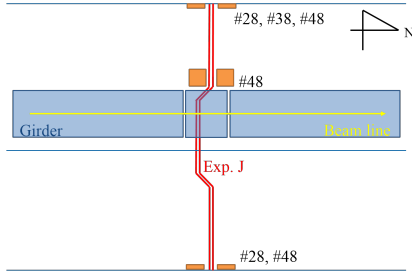


Figure 2: Setting of iron plates.



Figure 3: Setting of dial gauges.

Table 1: Dial Gauge Locations

Measurement location	Start month
#28 West of Beam line	201409-201508, 201509-
East	201409-201508, 201509-"
#38 West	201509-
#48 West	201509-
East	201606-
Floor	201606-

2.2 測定結果

2014年9月から1年間の測定結果を Figure 4、2015年9月からの測定結果を Figure 5 に示す。また2015年9月以降の28 ユニットの、38 ユニットの、48 ユニットのそれぞれのダイヤルゲージ及び室温の測定結果を Figure 6、Figure 7、Figure 8 に示す。38、48 ユニットの通信系の不調が続いたため、データの取得はそれぞれ2015年10月、2016年2月以降となっているが、設置をした2015年9月からの変位となっている。

日変動について見てみると、最大 $40 \mu\text{m}$ 程度である。2016/2/14、3/7、3/20 頃に特に上下方向（ユニットによっては南北方向も）に急に変動しているところがある。室

温とほぼ同期しているが、ちょうどこの頃は他の日に比べ外気温が高い日であった。また2014/10に台風によるトンネル内浸水があった際に一日で $20 \mu\text{m}$ 程度の変動が観測された日があったが、同じく2016/7に大雨による浸水があった際の変位は $10 \mu\text{m}$ 程度で、他の日と比べ特に大きく動いたということではなかった。また、半月～2、3ヶ月の期間で見ると、特に38、48 ユニットの測定において 0.1 mm 、南北方向については 0.2 mm 変動しているところもある。さらに1年の期間で見ると、南北方向において最大 1.5 mm 程度も変動していて、ビームのエミッタンスに大きな影響を与えるビームに垂直な方向でも最大 0.3 mm の変動が見られる。

Linac の冬の運転停止期間は2014年度は12月末から3月末まで、2015年度は12月末から1月末までである。2015年12月末の運転停止時に室温が $3 \text{ }^\circ\text{C}$ 程度低下し、それに伴い床も大きく変動している。特に28 ユニットの東側は約半月の間に $200 \mu\text{m}$ 以上も北側へ動いている。これは2014年末に運転を停止した時と同じ現象である。2014年は4月まで運転が再開されなかったのに対し、2015年は1月末から運転再開しているが、両年とも運転開始時期に依らず室温は徐々に上昇している。また、運転停止期間中は運転期間中に比べて日変動が大きくなっている。

28、48 両ユニットにおいてはビームラインを挟んだ両側では、南北、東西方向は同じような動きをしているが、上下方向では逆の方向に動いている。これは建屋が回転している可能性を示唆している。また各ユニットとも東壁に比べて西壁のほうが変位が大きく出る傾向がある。

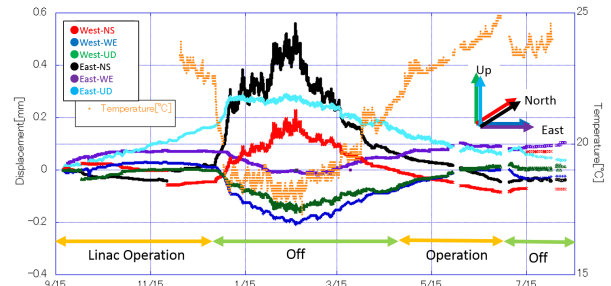


Figure 4: Dial gauge data from 201409 to 201608 at 28.

2.3 自動 PD データとの比較

かねてよりの課題であった長期間の連続的な変動の測定のため、2015年1月より、先述した Linac アライメントの基準となるレーザー PD の測定の自動化が進められている [9]。2015年9月にさらに追加され、現在10台の自動センサーが取り付けられて、床面変動の連続観測が行われている [10]。28 と 48 ユニットの測定では Exp. J を挟んで2台の自動 PD が取り付けられている。2016/1～2016/7における下流側 PD に対する上流側 PD の動きをプロットしたものが Figure 9 である。この測定によると、28 ユニットの測定について x 方向（東西方向）については少し西寄りに、y 方向（上下方向）については下方向に動いている。48 ユニットの測定についてはほぼフラットであるが、3月以降、東方向、上方向に変位し

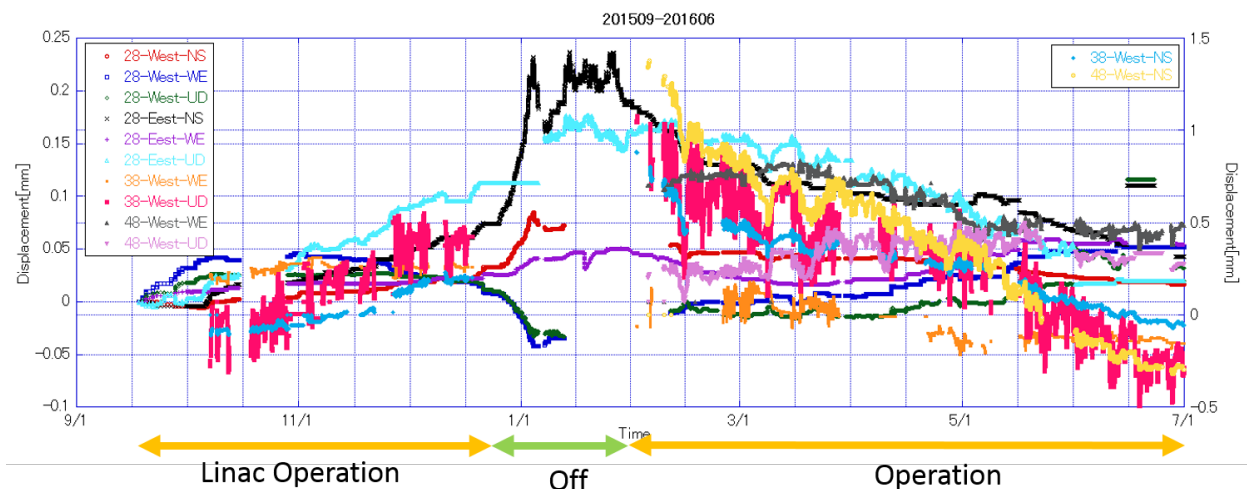


Figure 5: All dial gauge data from 201509 to 201610.

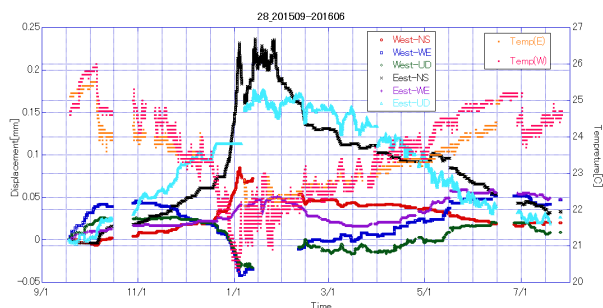


Figure 6: Dial gauge data from 201509 to 201608 at 28.

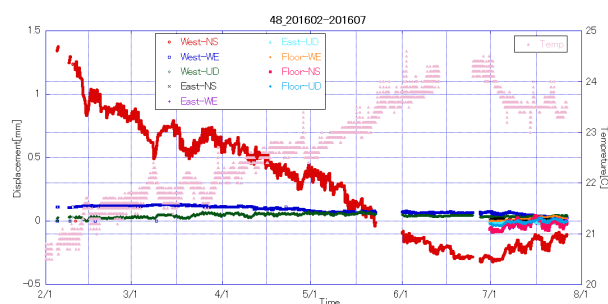


Figure 8: Dial gauge data from 201602 to 201607 at 48.

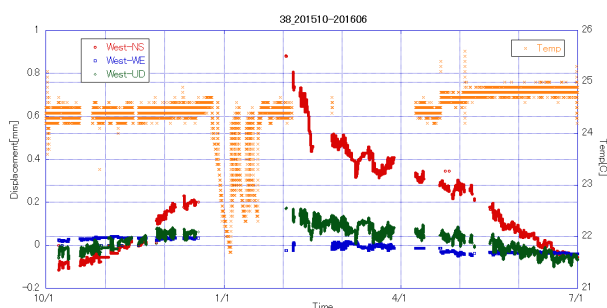
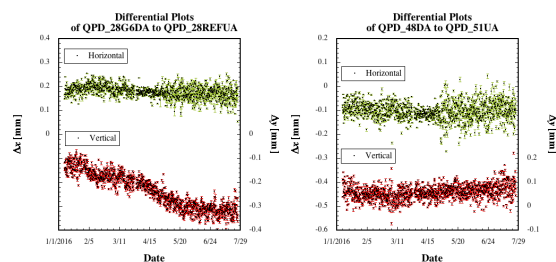


Figure 7: Dial gauge data from 201510 to 201608 at 38.



(a) Auto PD data at 28 unit. (b) Auto PD data at 48 unit.
Figure 9: Two auto PD of difference across the Exp. J.

ているように見える。同じ時期のダイヤルゲージによる測定は、28ユニットは西側が東、下方向、東側が西、上方向に、48ユニットの西壁は西、上方向に動いて、必ずしも自動PDのデータとは一致していない。

3. まとめ

2014年秋からの28ユニットの観測では、最大で40 μm 程度の日変動が観察されていたが、2015年秋以降の観測でも、最も日変動の大きな南北方向においても最大で40 μm 程度で、ビームラインのアライメントには大きな影響は及ばさないと考えられる。それに対し、2回の1年弱に渡る測定期間中、年周期のような動き

が見えている。2014年時の最大変位量0.5 mmの半分程度の0.25 mmであった。両年とも、12月に運転が止まった後に急激に変動している様子が見える。38、48両ユニットではまだ1年を通しての測定は実現できていないが、データが取れた期間内でも1~1.5 mm程度動いている。これはビームラインのアライメントに大きな影響を与えたと考えられる。現在、高精度アライメント実現の手段として、来年夏に3セクター以降にインストールされるパルスマグネットの架台にムーバーと取り付ける検討が行われている [11]。このパルスマグネットの一部はExp. Jを渡すように設置されるため、Exp. Jでの床変動を補正するために有効な手段になる

と考えている。

また、センサーとロガーの距離のある測定系でビーム運転中に通信系のエラーで止まる現象が頻発しているので、通信系の改善が必要である。

参考文献

- [1] K. Furukawa *et al.*, “ High-Intensity and Low-Emittance Upgrade of 7-GeV Injector Linac Towards SuperKEKB ”, TUPME010, IPAC2013, Shanghai, China, May, 2013.
- [2] M. Satoh, “ Injector commissioning ”, The 19th KEKB Accelerator Review Committee, KEK, Tsukuba, March, 2014; <http://www-kekb.kek.jp/MAC/2014/>
- [3] I. Sato *et al.*, “ KEK Report 95-18 ”, National laboratory for high energy physics, March, 1996.
- [4] T. Suwada *et al.*, “ Propagation and stability characteristics of a 500-m-long laser-based optical line for high-precision alignment of long-distance linear accelerators ”, Rev. Sci. Instrum.84,093302(2013).
- [5] A. Enomoto *et al.*, “ Quick Recovery of the KEK e+/eInjector Linac from the Great East Japan Earthquake ”, WEPPD064, IPAC2012, NewOrleans, USA, 2012.
- [6] T. Higo, “ Linac alignment ”, ICFA Mini-Workshop on Commissioning of SuperKEKB and e+/eColliders, KEK, Tsukuba, November, 2013; <http://kds.kek.jp/confRegistrationFormDisplay.py?confId=12760>
- [7] M. Tanaka *et al.*, “ Linac alignment for SuperKEKB injector ”, TUPRI090, IPAC2014, Dresden, Germany, June, 2014
- [8] M. Tanaka *et al.*, “ Measurement of floor movement in the KEKB injector LINAC tunnel ”, SAP130, PASJ2014, Aomori, Japan, August, 2014.
- [9] T. suwada, “ Dynamical Observation of Slow Tunnel Floor Motion at the KEKB Injector Linac ”, THOM06, PASJ2015, Tsuruga, Japan, August, 2015.
- [10] T. suwada *et al.*, “ Dynamical Observation of Slow Tunnel Floor Motion at the KEKB Injector Linac (II) ”, TUP134, PASJ2016, Chiba, Japan, August, 2016.
- [11] S. Ushimoto *et al.*, “ Motor-driven Control of Support Structure for Pulse Magnets ”, TUP060, PASJ2016, Chiba, Japan, August, 2016.