

最終収束ビームライン (ATF2) における重量物撤去と再アライメント REALIGN THE FINAL FOCUS BEAMLINE AND REMOVE BEAM DUMP SHIELD

阿部優樹^{A)}、照沼信浩^{B)}、荒木栄^{B)}
Yuki Abe^{A)}, Nobuhiro Terunuma^{B)}, Sakae Araki^{B)}
^{A)}SOKENDAI, ^{B)}KEK

Abstract

We aim to establish techniques to realize the nanometer beam size and its position stabilization at the final-focus beamline called ATF2 in KEK-ATF for ILC. ATF2 beamline was built as additional beamline in 2008. Beamlines of ATF2 and Dumping Ring(DR) are set on different floor blocks. Early September in 2018, we removed an iron shield used by previous beam dump located between ATF2 and DR and 2m from beamline. It weighs 62.5t and has been surveyed and confirmed to influence the position of the beamline. As a result, a remarkable ascent of $600\ \mu\text{m}$ was confirmed in the vertical direction, and had proceeded an alignment of the whole ATF2 beamline to minimize the influence. Magnet movers are installed to ATF2 beamline. Usually, The movers feed back the beam response to align to the optimal beam trajectory position in operation. We confirmed the operation of one of the movers. Hence, this paper reports the results of fine-alignment of ATF2 beamline and movement of magnet mover without feedback.

1. はじめに

KEKの先端加速器試験施設(ATF)では国際リニアコライダー(ILC)において必要とされるビーム計測・制御技術の開発を進めている。現在、最終収束系の試験ビームライン(ATF2)において、極小ビームの実現やビーム安定性を向上するためのビーム位置制御技術の開発が行われている[1]。ATF2のビームラインは2008年に拡張されたものであり、そのレイアウトをFig. 1に示す。ダンピングリング(DR)と建築基礎が異なり、より振動に対して強固な建築基礎の構造体の上にビームラインが建設された。そのため、ATF2とDRは別々の構造体の上にビームラインが構成されている。構造体の切目を境にATF2側とDR側で床面変動が異なると考えられている。

2018年9月初旬、Fig. 2に示す旧ビームダンプの遮蔽体(重量62.5t)を撤去した。この遮蔽体はATF2・DRの構造体の切目付近、ビームラインから2mの所に設置されていたため、ビームラインへの影響が予想された。測量を行ってその変動を確認したところ、ビームラインの段差が確認されたのでアライメントを行った。

極小ビームを実現する上でアライメント技術は重要であり、ATFダンピングリング(ATF-DR)やATF2のビームラインでは設置時のアライメント目標を σ Horizontal $< 90\ \mu\text{m}$ 、 σ Vertical $< 60\ \mu\text{m}$ 、 σ Rotation $< 0.2\ \text{mrad}$ と

している。ATF2後半部の電磁石にはSLACにて開発された位置調整機構が実装されており、 $100\ \mu\text{m}$ での精密なアライメントを可能とする。ビーム運転時はビームの応答をフィードバックすることで、より精密な位置調整を実現する。その内の1台にて駆動ズレがある事が以前から明らかになっていたので、その確認を行った。その結果と今年度行ったアライメント結果を合わせて報告する。



Figure 2: Removed beam dump shield.

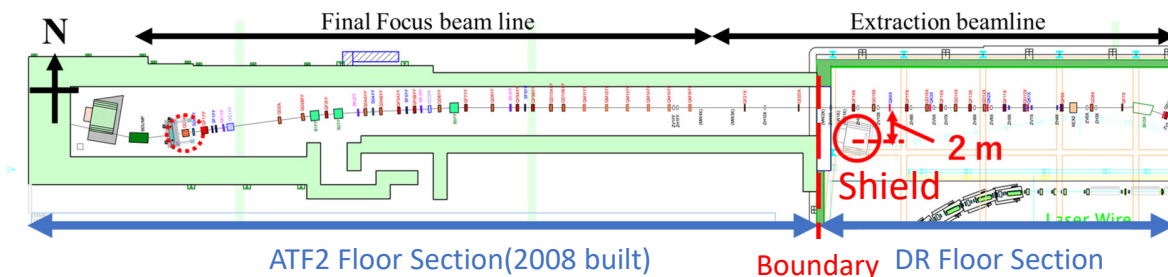


Figure 1: The locate of shield and boundary between ATF2 and DR.

2. ATF2 ビームラインのアライメント

遮蔽体を撤去したビームラインの変動を調べるためにレーザートラッカー (Leica 製 AT401) [2] を用いた測量とアライメントを行った (Fig. 3)。アライメント時は電磁石上部に治具を装着し、その電磁石の位置変動を確認する。

2018 年 9 月のアライメント結果の鉛直方向を Fig. 4 に示す。赤の破線は ATF2 と DR の構造体の切目を示している。鉛直方向では、顕著に遮蔽体撤去の影響を受けており、構造体の切目を境に DR 側で $600\mu\text{m}$ の大きな浮き上がりが確認された (Fig. 4 赤印)。電磁石が複数台連動して上昇しているため、季節変動とは異なる変動と言える。過去の測量データ (Fig. 5) と比べると、2017 年 10 月、2018 年 1 月には切目での変動は生じているものの DR 側の浮き上がりは無い。また、2019 年 5 月 (Fig. 6) の測量・アライメントデータを見ても電磁石の並びに浮き上がりは確認され無かった。2018 年 9 月のアライメント結果の水平方向を Fig. 7 に示す。ATF2 側で北方向に $200\mu\text{m}$ の変動が見られた。2019 年 5 月の水平方向へのアライメント結果を Fig. 8 に示すが、ATF2 側で南方向に $200\mu\text{m}$ の変動が確認された。この影響を最小限にするためにアライメントを行い、図中緑印で示すようにビームラインの急激な段差を解消した。

以上のデータにおいてビームラインの変動が ATF2 側と DR 側で連動していないことも明らかとなった。ATF2 後半は、アライメント時間短縮のためムーバーでアライメントを行った。



Figure 3: View of alignment Work.

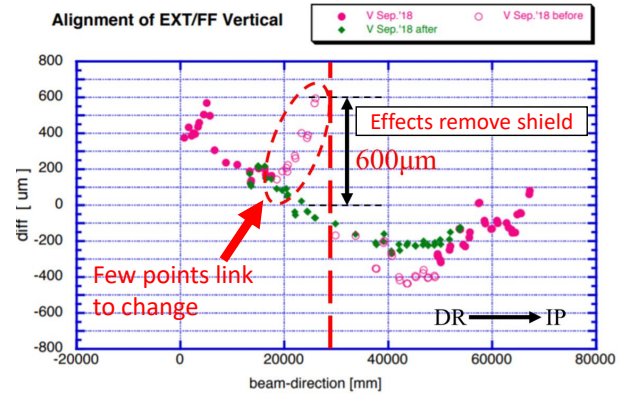


Figure 4: Survey of the ATF2 beamline to vertical in September 2018, red: before alignment, green: after alignment.

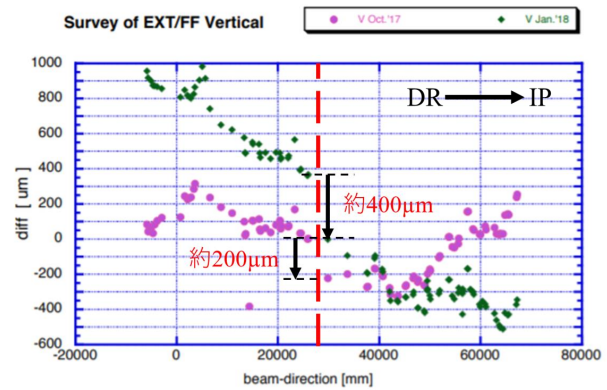


Figure 5: Survey of the ATF2 beamline in October 2017 and January 2018.

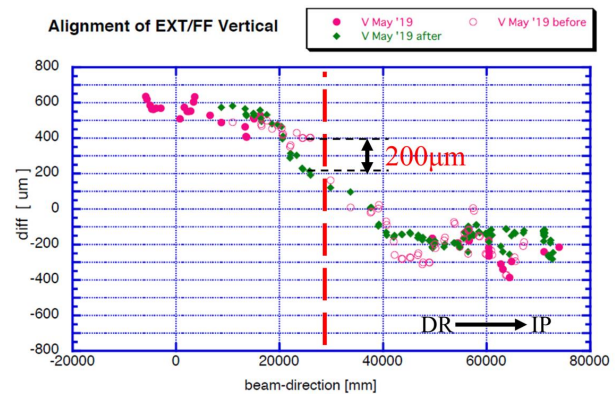


Figure 6: Survey of the ATF2 beamline to vertical in May 2019.

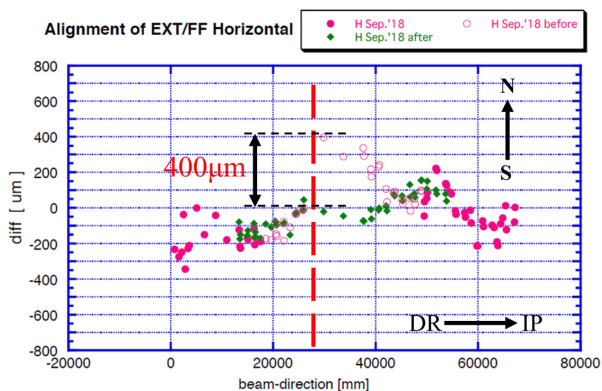


Figure 7: Survey of the ATF2 beamline to horizontal in September 2018.

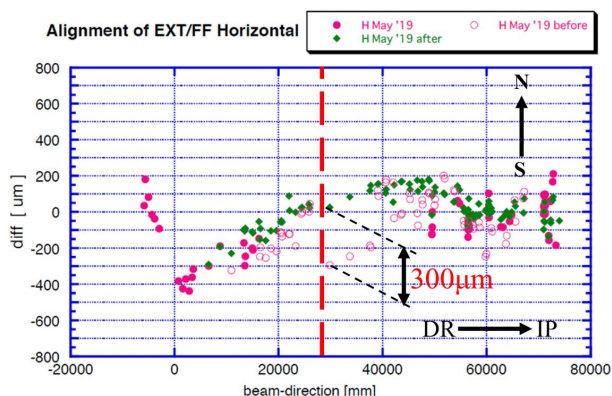


Figure 8: Survey of the ATF2 beamline to horizontal in May 2019.

3. ATF2 と電磁石ムーバー

ATF2 後半の電磁石には SLAC にて開発された電磁石ムーバー計 29 台が導入されている [3]。その外観を Fig. 9 に機構図を Fig. 10 に示す。SLAC 製電磁石ムーバーは Z 軸方向から見ると、3 つの偏心カムと 2 種類のフォロワーを配置した構造となっている。その回転角を制御することで並進 (X, Y) と回転 (Roll) α の位置調整ができる。ATF2 に実装されている電磁石ムーバーはストローク $\pm 1\text{mm}$ 、分解能 $100\mu\text{m}$ の位置調整性能を持つ。これは単純にムーバー自体を駆動した際の性能でフィードバック制御による目標点との相対位置の補正が無い状態である。ビーム運転時はビームの応答をフィードバックして、ビーム軌道が最適になるよう精密なアライメントを行う。偏心カムの回転角の読み出しは可変抵抗 (POT) [4] を用いて行っている。一部ムーバー (QD0FF 含め IP 直前の 4 台、六極電磁石 5 台) ではより高精度な位置調整が出来るように高分解能のロータリーエンコーダーを組み込んだモーションコントローラーシステム (NEWPORT 製 XPS) [5] を実装している。また、電磁石位置の変位量をモニターするために 3 つの接触式位置センサー (Linear Variable Differential Transformer: LVDT) [6] が Fig. 10 に示すように実装されている。

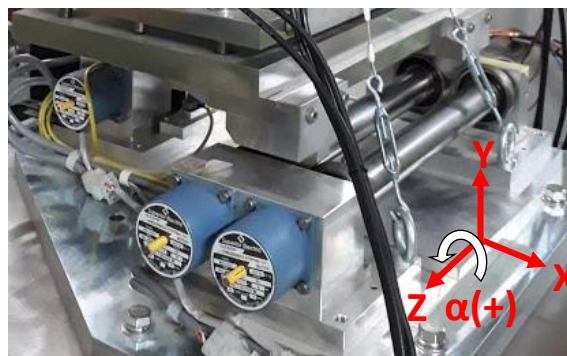


Figure 9: Overview of SLAC magnet mover.

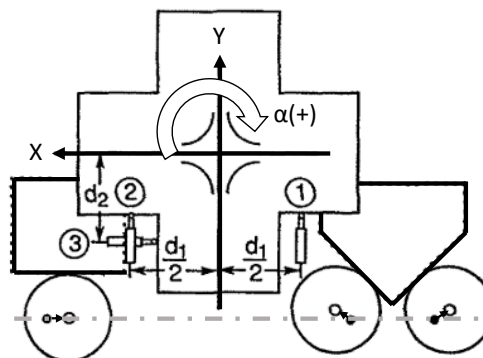


Figure 10: Mover schematics and LVDT layout [7].

4. 電磁石ムーバーの動作確認

ビーム運転時はビームの応答をモニターしながら、電磁石を最適な位置に動かしている。それに対して今回、ムーバーを動かすと残差が生じるので、その確認を行った。

4.1 評価方法

電磁石ムーバーの位置決め精度を確認するため、Fig. 11 に示すようにレーザー変位計 (LKG-5000) [8] で X 軸および Y 軸方向の変位を傾斜計 (Leica 製 NIVEL [9]) で Z 軸周りの回転 (Roll) を測定し、目標位置との差を評価した。

4.2 動作確認

$\alpha=0[\mu\text{rad}]$ で $200\mu\text{m}$ の間隔で X・Y 方向にそれぞれ $\pm 1000\mu\text{m}$ 駆動した際に得られる位置決め残差の結果を X 軸方向を Fig. 12、Y 軸方向を Fig. 13 に示す。両結果とも、電磁石ムーバーの分解能 $100\mu\text{m}$ 以下であるため、電磁石ムーバーの性能は満たしている。

一方で、 $(X, Y)=(0, 0)$ において $500\mu\text{rad}$ ずつ角度方向に駆動した際の角度方向の残差を Fig. 14 に示す。横軸に入力した角度、縦軸に測定した角度を示す。この図から、入力角度に対して実際は約 65% の回転であることが示された。原因として、計算上のパラメータに誤りがあると考えられ、パラメータの修正やフィードバック制御等の補正システム等を実装することで修正可能である。ビーム運転時はビーム応答をフィードバックして補正を

行うため、問題はなかった。

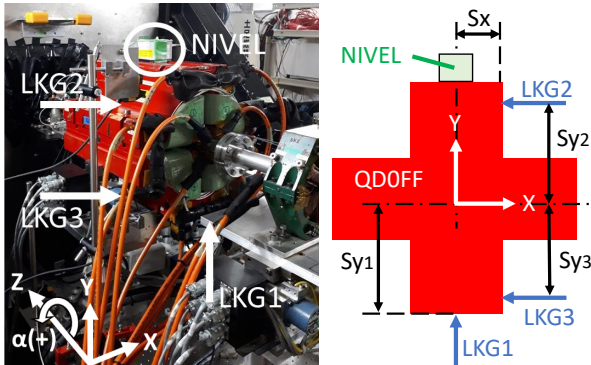


Figure 11: Layout of LKG and NIVEL.

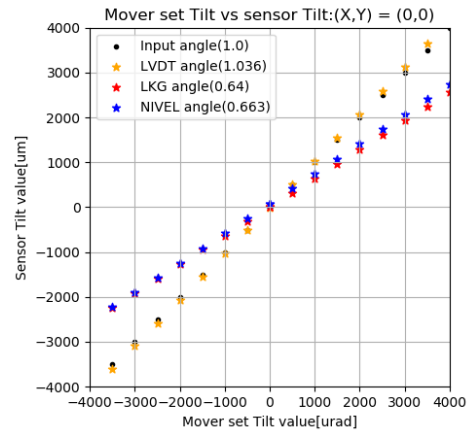


Figure 14: Magnet mover tilting : $(X,Y)=(0,0)$.

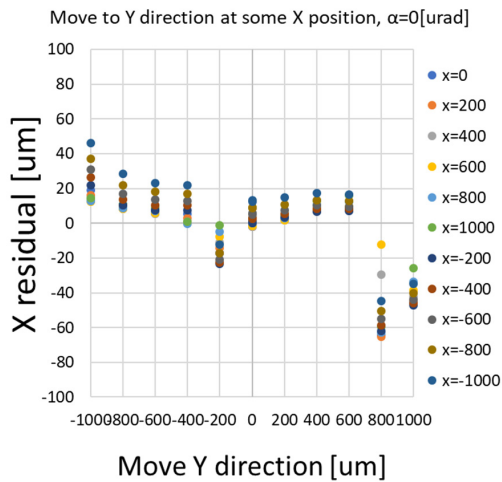


Figure 12: Magnet mover position residual X : $\alpha=0[\mu\text{rad}]$.

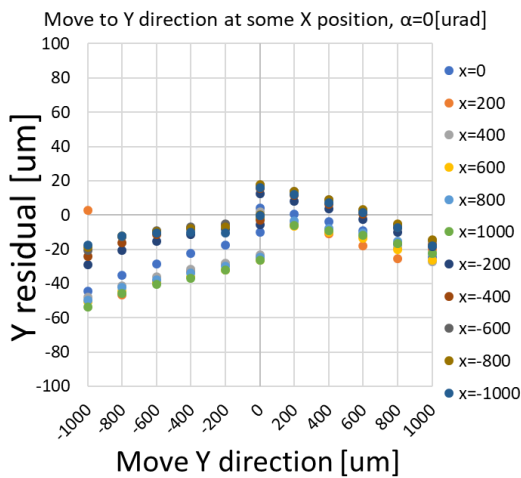


Figure 13: Magnet mover position residual Y : $\alpha=0[\mu\text{rad}]$.

5. まとめ

遮蔽体撤去や季節変動に伴う鉛直方向への浮き上がりは顕著であった。2018年9月、2019年5月にビームラインの段差を解消するためにビームラインのアライメントを行った。ATF2後半部の後半部は電磁石ムーバーによる精密アライメントを行っている。ムーバーの動作確認を行ったところ、1台の電磁石ムーバーのパラメータが誤っていることが分かった。

参考文献

- [1] N. Terunuma, "STATUS REPORT OF THE ACCELERATOR TEST FACILITY", Proceedings of the 15th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, 2018, pp. 1276-1280; https://www.pasj.jp/web_publish/pasj2018/proceedings/PDF/FSP0/FSP004.pdf
- [2] <http://www.alignmentservices.com/wp-content/uploads/2017/08/Leica-AT401.pdf>
- [3] S. Araki, "ALIGNMENT OF THE MAGNET SYSTEM FOR THE KEK-ATF FINAL DOUBLET", Proceedings of Particle Accelerator Society Meeting, 2009, pp. 353-355; https://www.pasj.jp/web_publish/pasj6/papers/wpcea08.pdf
- [4] Series 6670 cermet potentiometer, Beckman Industrial. Fullerton, CA.
- [5] <https://www.newport.com/c/xps-universal-multi-axis-motion-controller>
- [6] Model DS190A LVDT. Daytronics Corp. Miamisburg, OH 45342.
- [7] G. Bowden, "Precision magnet movers for the Final Focus Test Beam", Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 368, 1996, pp. 579-592; <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0168900295006931>
- [8] <https://www.keyence.co.jp/products/measure/laser-positioning/lk-g5000/>
- [9] https://leica-geosystems.com/products/levels/leica-nivel210_220