

KEK 先端加速器試験装置(ATF2)におけるアライメントの現状

PRESENT STATUS OF ALIGNMENT FOR ATF2 BEAM LINE

荒木 栄^{#, A)}, 奥木 敏行^{A)}, 久保 浄^{A)}, 黒田 茂^{A)}, 田内 利明^{A)},

照沼 信浩^{A)}, 内藤 孝^{A)}, 清水 健一^{B)}, 大房 拓也^{C)}

Sakae Araki^{#, A)}, Toshiyuki Okugi^{A)}, Kiyoshi Kubo^{A)}, Shigeru Kuroda^{A)}, Toshiaki Tauchi^{A)}, Nobuhiro Terunuma^{A)},

Takashi Naito^{A)}, Shimizu Kenichi, Ohusa Takuya^{C)}

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

^{B)} SK-service INC.

^{C)} Kantou Information Service (KIS)

Abstract

Accelerator Test Facility (ATF) in KEK is starting the beam-study of ATF2 that is the final-focus beam line in 2009. We confirmed the vertical beam size smaller than 44 nm with low intensity by June 2014 in ATF2. After the several measurements, it was found that the length of the Damping Ring was different with the SAD design. The alignment of DR and ATF2 is good for the most part. We also undergo influence of a seasonal variation, so the measurement environment should be arranged and measured. A precise alignment is established. There is also a magnet by which an alignment error becomes big by a measurement result. We have to keep an alignment tolerance fixedly. It reports the alignment status.

1. はじめに

KEK の先端加速器試験装置(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[1]。ダンピングリング(DR)では、電子ビームを ILC で要求される程度の低エミッタンスビームで運転する事ができた。

現在、ILC 最終収束系の試験施設である ATF2 ビームラインを利用した研究開発で、極小ビームの実現やナノメートルでのビーム安定化に向けたビーム試験を進めている[2, 3]。その結果、2014 年 6 月には 44nm まで絞り込むことに成功した[4, 5]。ATF のアライメント・トレランスは、 σ Transverse < 90 μ m、 σ Vertical < 60 μ m、 σ Rotation < 0.2mrad である。既存の建屋内に設置した ATF ビームライン(Figure 1)は、長期的な地盤変動や気候・温度などの変動によるミスアライメントも発生している。また、ナノメートルレベルでのビーム位置制御を実現には、電磁石の振動対策も必要である。特に最終収束系電磁石の架台剛性はビーム振動に影響する可能性がある。ダンピングリング(DR)および ATF2 ビームラインアライメントの現状を報告する。

2. DR アライメント

測量には 3 次元測量器レーザートラッカー[FARO 製](LT)、高さ方向については Y レベル[ライカ製デジタルレベル](DNA03)を使用している。DR は 2011 年 3 月の東北・関東大震災の影響で ± 0.5 mm と大きく崩れ、低エミッタンスビームを維持する事が出来なくなった。2011 年秋に精密アライメントを終えて、動径・高さ方向共に設置残差:RMS=50 μ m に納める

事ができた。DR から取り出し直後のビームサイズで、震災以前の X=21.5 μ m、Y=13 μ m 程度の性能に戻す事もでき、アライメント・トレランスも達成した[6]。2014 年夏より、データ解析は、SpatialAnalyzer® (SA) の Unified Spatial Metrology Network (USMN)[7]を用いた。それ以前は独自解析を行っていた。その後 USMN の結果と比較しても DR 長径および短径距離に誤差は生じるがビーム軌

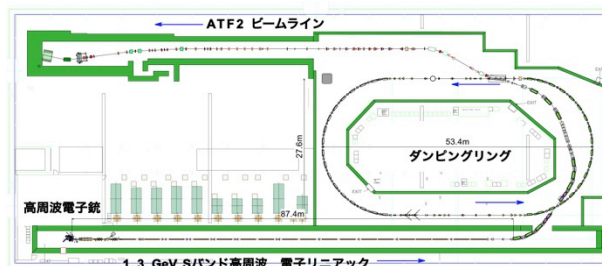


Figure 1: Layout of the ATF beam line.

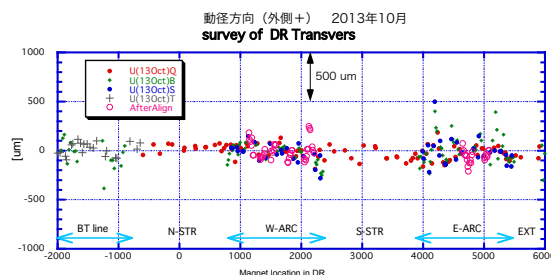


Figure 2: Transversers survey of the ATF-DR beam line.

[#] sakae.araki@kek.jp

道設計値との残差平均は $100\mu\text{m}$ 程度であり独自解析結果の整合性も確認した。2013 年秋に測量した DR 動径(横)方向の測量結果を Figure 2(赤印:4 極電磁石、緑印:バンディング電磁石、青印:6 極電磁石) に示す。当時の動径方向アライメント残差は、

全電磁石: $dT(\text{all})\text{rms}=120\mu\text{m}$
4 極電磁石: $dT(Q)\text{rms}=60\mu\text{m}$

であり少しばらつきが増えた。精密アライメントは LT で測量して、DNA03 で高さを確認しながら計測値を基に調整をする。季節変動と元に戻らない経年変動で再びアライメントエラーが増えている事が判明している。2015 年夏の DR 測量結果を Figure 3 に示す。設置残差は、

高さ(縦)方向: $dV(\text{all})\text{rms}=66\mu\text{m}$
 $dV(Q)\text{rms}=81\mu\text{m}$

動径(横)方向: $dT(\text{all})\sigma=175\mu\text{m}$ 、 $\text{ave}=-217\mu\text{m}$
 $dT(Q)\sigma=122\mu\text{m}$ 、 $\text{ave}=-178\mu\text{m}$

ビーム進行方向: $dL(\text{all})\text{rms}=291\mu\text{m}$
 $dL(Q)\text{rms}=193\mu\text{m}$

若干残差が大きくなり、秋からのビーム運転に備えて少し調整する必要がある。

3. DR 周長の変動

DR 水平方向の変動には、横方向だけでなくビーム進行方向の残差も伴う。ビーム進行方向のエラーはビームトレランスの許容値は大きい周長が変わってしまうと加速器運転時にリング周回軌道が変化してしまう。現在はウイグラーなどの DR 周長を調整する機構を持たないため、ビーム軌道が DR 周回上の電磁石センターを維持できなくなる。そのため、DR 基準周波数を振って、軌道センターを維持するように調整している。運転時の DR 基準周波数の推移を Figure 4(a)に示す。冬は周波数が上がり春は徐々に下がる。ほぼ年周期で変動している事が分かる。DR 周長の変化割合に換算すると $PP=4.3\text{mm}$ である。また、過去の LT 測量結果(Figure 4(b))からも電磁石の間隔が変化している。周長変化は通常の全点測量の他に測量時間を短縮するために、Figure 4(c)の様にリングを 8 区間に分けて 8 角形の辺の距

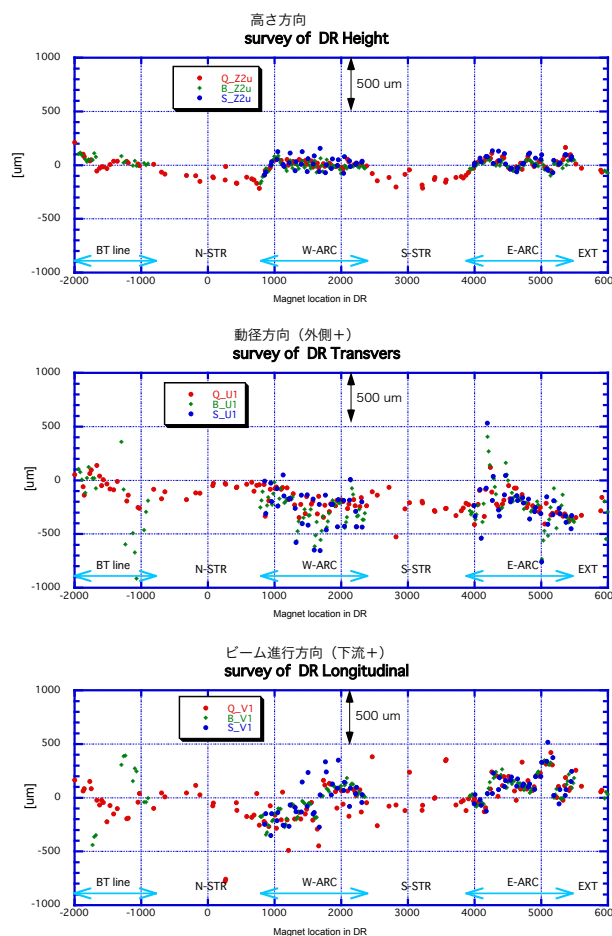
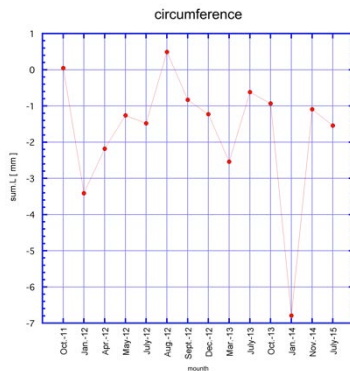


Figure 3: Survey of the ATF-DR beam line in July 2015.

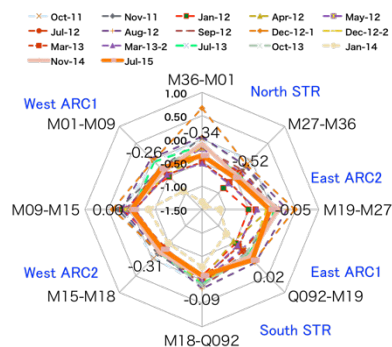
離を算出して簡易的に周長に準じた変動を観察している。どちらのデータも初夏の温かい時期に比べて寒い冬は周長が短くなり、季節変動している事が分かる。DR の東西を比べると、西側より東側の変動が大きい、建物内の中央部と東-外側の違いにより外乱を受けやすいのかも知れない。



(a) Change of the DR frequency



(b) Octagonal side measurement



(c) 8 distance measurement

Figure 4: History of the circumference of DR. Change in a circumference when beam on, and the simple circumference measurement when maintenance.

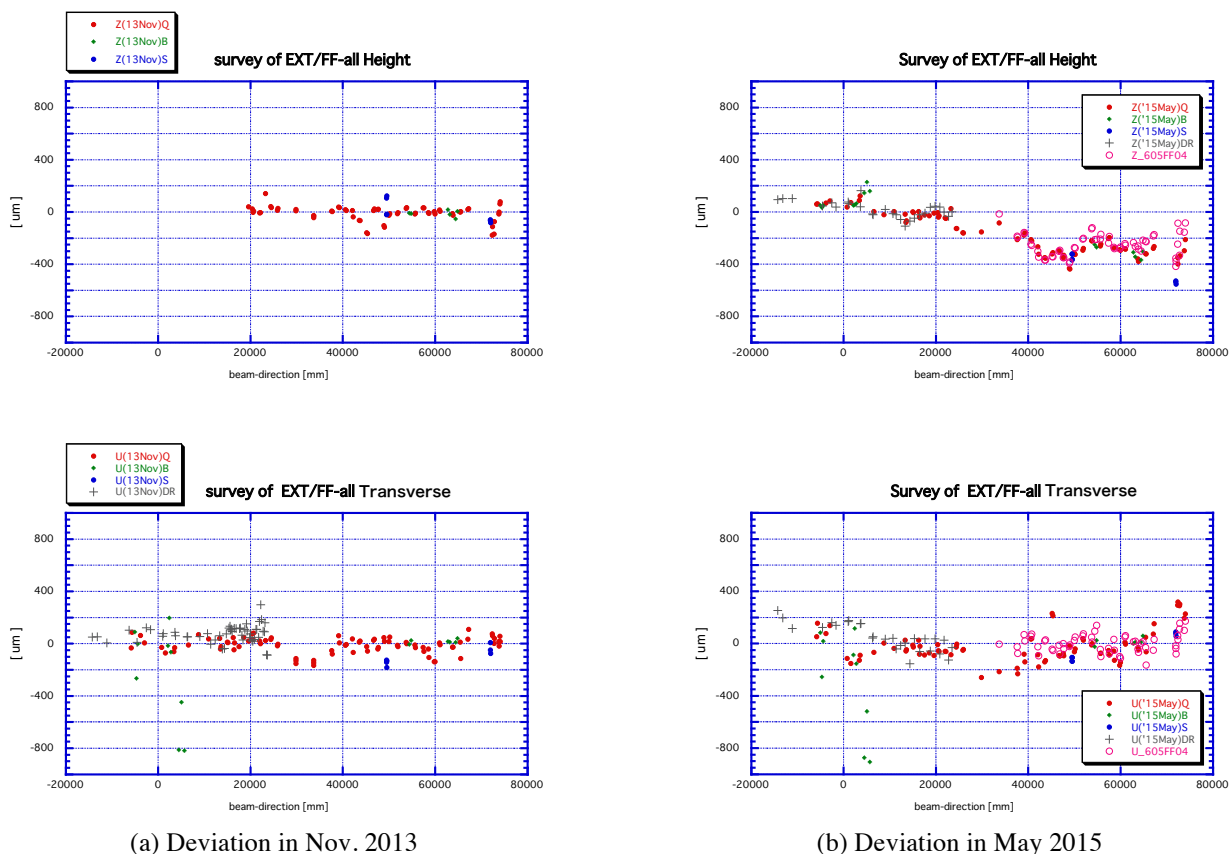


Figure 5: Survey of the height and transverse of ATF2 beam line.

4. ATF2 ビームライン (EXT/FF) アライメント

EXT/FF ラインの精密アライメント後、2013 年秋の結果、高さ方向: $\sigma = 57\mu\text{m}$, 横方向: $\sigma = 60\mu\text{m}$ (Figure 5(a)), 2015 年春の測量結果、高さ方向: $\sigma = 151\mu\text{m}$, 横方向: $\sigma = 122\mu\text{m}$ (Figure 5(b))である。横軸はビーム進行距離でビームダンプまで約 90m。ほぼ中間に床基礎の切れ目があり、DR 側と拡張基礎部分の FF 側で異なる動きをしている。2015 年 5 月にサポート架台の調整を施した。その結果は Figure 5(b)の桃丸で示す。アライメント残差は経年変化により大きくなったが後半の FF エリアの 4 極電磁石はアクティブムーバ架台に設置されている。全体に大きな段差もなく稼働調整範囲内を超えていないので問題ではない。

5. IP-BPM アライメント

ATF2 ビームラインの仮想衝突点(収束点)は、スクリーンモニタ、ビームサイズモニタ(IP-BSM)、空洞型ビームポジションモニタ 3 台(IP-BPM)が設置されている[4]。IP-BPM は 2 セットのピエゾムーバが組み込まれており、ダイナミックレンジは $300\mu\text{m}$ である(Figure 6)。その可動範囲内に 3 台の IP-BPM を高精度で設置する必要がある。その目標精度は $50\mu\text{m}$ である。組立調整には多関節 3 次元測量器(FARO-ARM)を用いて組上げた。また、組上げ結果(Figure 7)に基づき収束点チェンバーの角度補正を行った。

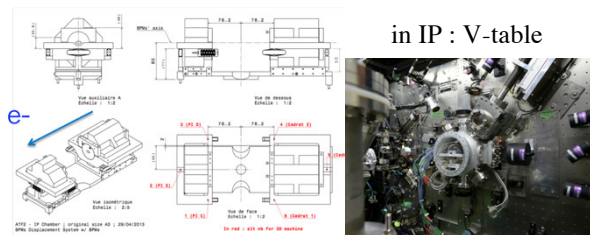


Figure 6: IP-BPM A, B, C drawing and picture. Target of the alignment accuracy is 50 microns.

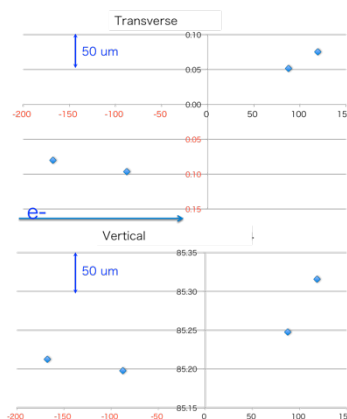


Figure 7: Alignment Result of IP-BPM. Pitch alignment of IP-Chamber was adjusted on the V-table.

6. 最終収束系電磁石の振動

ATF2 の仮想焦点(IP)は $37\mu\text{m}$ である。そこまで絞るためには、ビームパイプの繋ぎ目などの段差も Wakefield に影響するので対策やアライメントも必要になる。IP 直前にある最終収束系の電磁石の振動も抑えるため、防振台に設置されている(Figure 8)。また、2012 年夏に QF1FF(4 極電磁石)は、より大型の電磁石(重量 1.2t)に入れ換えをおこなった。この大型電磁石も他と同様にアクティブムーバに設置される。電磁石群が非同期で早い振動があるとビームジッターの要因になり、収束や計測に影響するので振動測定をしている。KEK サポート架台の剛性を上げるため、シムの挟み込みや強化(Figure 9)を進めたが、2015 年春に国際協力を進めている LAPP(フランス)[8]による剛性を上げた T プレート型に交換した(Figure 10)。KEK 下部サポート架台(桃線)と T プレート型サポート架台(緑線および黒線)のサポート方法の違いによる振動測定結果を Figure 11 および、パワースペクトラムの一部を Figure 12 に示す。T プレート型は測定範囲全域では良好な振動抑制は得られたが、それでも(a)横方向に 17-19Hz、(b)縦方向に 44-48Hz ピークの雑振動がある。未だこの付近の震動源は判明していない。

7. まとめ

DR と ATF2 のアライメントは震災以降、高さ方向の変動は小さくなり概ね良好である。季節変動を受けつつも環境温度の影響も受けるので、運転状況に近い環境で測量すべきである。精密アライメントは確立しているが、最近の測量結果では、年々ズレが大きくなっている箇所もある。今後も定期的に測量を行い、アライメント・トレランスを一定に保つ必要がある。また、振動の影響を受けやすい箇所はこれからも振動対策を進めなければならない。

参考文献

- [1] ATF Collaboration, Phys. Rev. Lett., 88, 194801 (2002).
- [2] ATF2 Collaboration., "ATF2 Proposal", KEK Report 2005-2(2005).
- [3] P.Bambade et al., "Present status and first results of the final focus beam line at the KEK Accelerator Test Facility", Phys. Rev. ST-AB 13, 042801 (2010).
- [4] N.Terunuma et al., "先端加速器試験施設(ATF)の現状", 本加速器学会.
- [5] T.Okugi et al., "ATF2 ビームラインでの微小ビームサイズの達成", 本加速器学会.
- [6] S.Araki, et al., "KEK 先端加速器試験装置(ATF)におけるアライメントの復旧", Proceedings of the 9th Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Toyonaka, Aug. 8-11, 2012.
- [7] <http://www.kinemematics.com/spatialanalyzer/usmn.php>
- [8] S.Araki, et al., "KEK-ATF における最終収束系試験用電磁石のアライメント", Proceedings of Particle Accelerator Society Meeting 2009, JAEA, Tokai, Aug. 5-7, 2009.

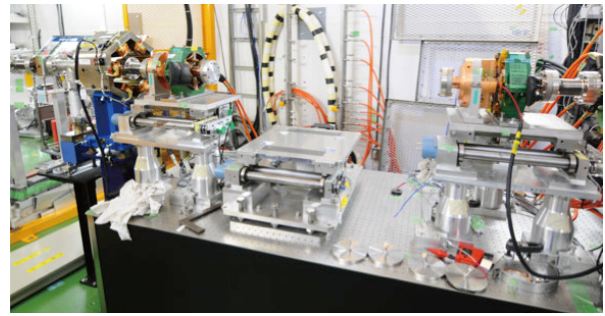


Figure 8: Vibration isolated table and active-mover.

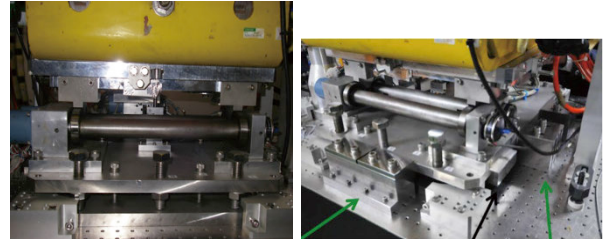


Figure 9: KEK-support and shims+ side blocks.



Figure 10: LAPP-support and side blocks.

QF1FF/tabletop	Vertical (nm)	Horizontal (nm)
No cooling (red)	20	150
No shims		
Cooling (blue)	16	120
Shims		
Cooling (pink)	15	109
Shims + side blocks		
LAPP support low position (green)	14	161
LAPP support (black)	17	244
Operation position		

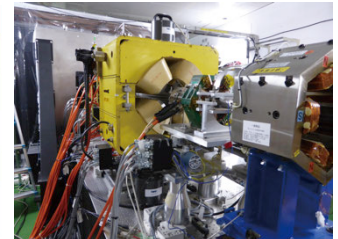
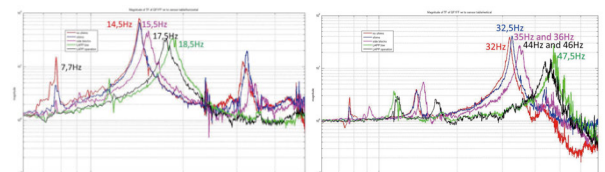


Figure 11: Summarizes the relative displacements at 1Hz for the different configurations. Photo is measurement set-up.



(a) Horizontal direction (6-50Hz)

(b) Vertical direction (6-70Hz)

Figure 12: Transfer function measurements between the top of the FD table and the top of QF1FF.