

## ALIGNMENT OF THE MAGNET SYSTEM FOR THE KEK-ATF FINAL DOUBLET

Sakae Araki<sup>1,A)</sup>, Mika Masuzawa<sup>A)</sup>, Ryuhei Sugahara<sup>A)</sup>, Nobuhiro Terunuma<sup>A)</sup>, Junji Urakawa<sup>A)</sup>,  
Mikio Takano<sup>B)</sup>, Satoshi Nozaki<sup>C)</sup>, Cherrill M. Spencer<sup>D)</sup>, Andrea Jeremie<sup>E)</sup>

<sup>A)</sup> High Energy Accelerator Research Organization (KEK)

1-1 Oho, Tsukuba-shi, Ibaraki, 305-0801, Japan

<sup>B)</sup> Saubi Corporation

3-17-3 Hanabatake, Tsukuba-shi, Ibaraki, 300-3261, Japan

<sup>C)</sup> SK-service INC.

18-5 shibasaki, Tsukuba-shi, Ibaraki, 305-0004, Japan

<sup>D)</sup> SLAC National Accelerator Laboratory

PO Box 4349, Stanford, CA 94309-4349, U.S.A.

<sup>E)</sup> Laboratoire d'Annecy-le-Vieux de Physique des Particules (LAPP)

B.P. 110, F-74941 Annecy-le-Vieux Cedex, France

### Abstract

The accelerator test facility (ATF) has been operated for the research and development for the low-emittance electron beam. The purpose of ATF is to develop the technologies for ILC and these technologies will also be useful for other accelerators. Construction of new beam line was completed near the end of 2008. The ATF2 is designed with the optics for the ILC final focus system and scaled to the ATF energy of 1.3 GeV. ATF2 will act as a center for the nano-meter-scale beam development research. The Final Doublet system is set up just before IP where the beam size is minimized. The ATF2 was commissioned as a joint developmental work of SLAC, LAPP and KEK. The ATF2 alignment was done by the technique of combined laser tracker and portable CMM. This paper presents a report of this novel alignment technique.

## KEK-ATFにおける最終収束系試験用電磁石のアライメント

### 1. はじめに

KEKの先端加速器試験装置(ATF)では、ダンピングリングでの低エミッタンスの電子ビームを実現する研究やビーム取り出しラインで先端的なビーム計測技術およびビーム制御技術の開発を行っている。これらの開発研究は将来のInternational Liner Collider (ILC)の実現のために必須なものであり、この高性能電子ビームの取り出しラインを変更・延長してILC最終収束系システムの技術開発を国内外の研究機関

と共同で進めている[1,2](図1)。この新しいビームライン後半部はILC最終収束系をスケールダウンしたビーム光学系になっている。その主たる目的は、IP(Interaction Point)において37nmのビームサイズを実現すること。また、そのIPにおいて2nmの精度でビーム位置を制御することである。そのため、軌道調整に使われる偏向電磁石が無く、四極電磁石のアクティブムーバ架台を用いて位置調整してビーム軌道の調整を行う。ビームサイズが最少となるIPの直

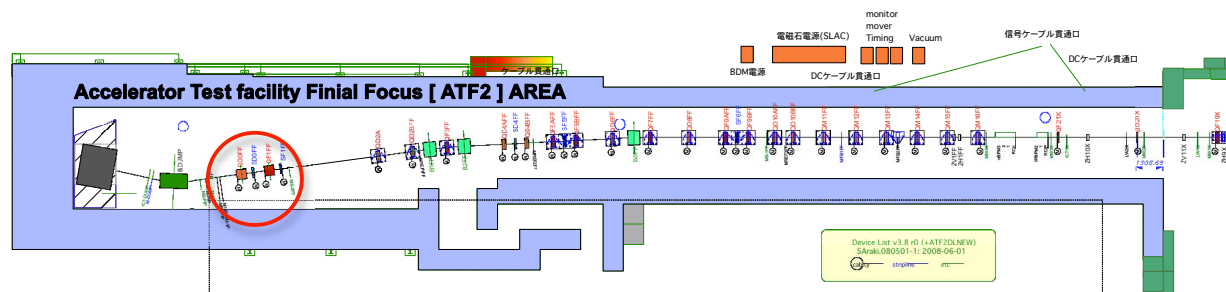


図1、ATFの新しいビームライン配置図。右端のダンピングリングからビームラインが伸びている。左にIPとFDシステム(赤丸内)が設置されている。

<sup>1</sup> E-mail: sakae.araki@kek.jp

前に設置される最終収束系試験用電磁石(Final Doublet / FD)システムは、SLAC(米国)、LAPP(フランス)、KEKの共同開発で製作された。その電磁石はSLAC製で他の電磁石とアライメント基準座が大きく異なる。そのため、レーザートラッカとポータブルCMMを組み合わせた手法でアライメントを試みたので、その方法と結果を報告する。

## 2. 最終収束系試験用電磁石 (Final Doublet / FD)システムの構成

FDシステムは、2個の四極電磁石と2個の六極電磁石で構成されている(図2)。IPでのVertical beam size =37nm を達成するための重要なシステムである。SLACチームはFFTB実験での経験を踏まえて、そこで使用された電磁石を再利用して、ATF2で使用できるように改造してアクティブムーバと共に準備してフランスに輸送した。LAPPグループはそのサポートテーブルに防振対策した架台と電磁石サポートを担当した。また、FD用のビーム位置モニターは、通常部より太いビームパイプのために、S-band Cavity型をPAL(韓国)で開発した。それらを2008年夏にKEKに集めて組立・設置を行った。

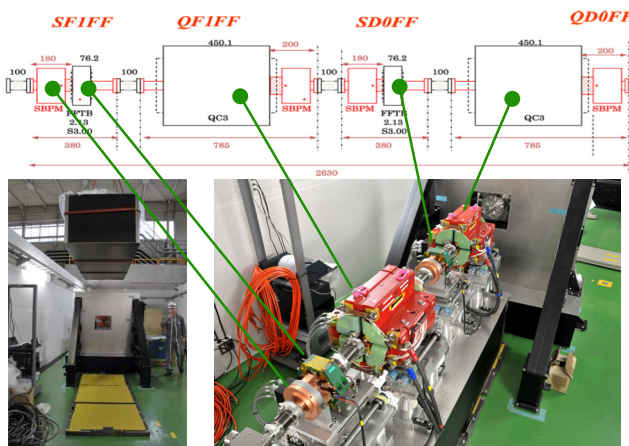


図2、FDシステムのレイアウト設置と組立の様子。

## 3. 基礎測量および組立

ATF2の主なベース架台はコンクリートブロックで、それを床にポリマーコンクリートで接着固定されている。その上にアクティブムーバ架台、粗調整機構、電磁石が固定されている。電磁石最上部には、アライメント用に基準平面が設けられており、必要に応じて測量用ターゲットホルダが取り付け可能である。これらのATF2電磁石システムの設置については、本学会のFOCEB01[3]で報告されているので参照して頂きたい。その一方、FDシステムは床の凹凸を避けるため、3つの厚さ30mmの鉄板をアンカー止めして、ハニ

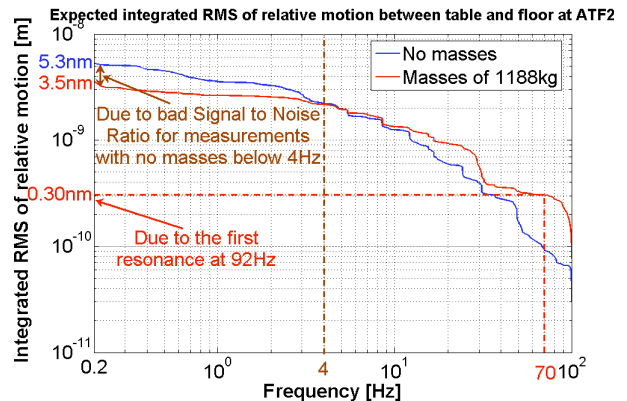


図3、ハニカムテーブル上面の振動測定結果  
テーブル上に1.2tの荷重がある場合の0.2Hzの振動は3.5nm程度(ATFの床振動だと0.2Hz:164nm)であり、ATF2で要求される精度10nmを満たしている。

カムテーブル(2400x1000x610mm)をbeeswax(蜜蝋=図2-左下の黄色)で挟み込み接着しているだけで、横ずれ防止の治具のみでボルト固定はしていない。また、振動対策重視(図3)で粗調整機構を持っておらず、電磁石はSLACスタイルで基準平面も無い、代わりにコンストラクションボール用の穴(TB)が数点あるのみで、通常のレーザートラッカと水準器を組み合わせたアライメント方式が行えない。そのため設置には、割心を利用してミリ精度でラフ・アライメントすることにした。

使用機器は、デジタルレベル(Leica: DNA03)と直線割り出し用にローテータングレーザ(Topcon: RL-VH3G)を用いた。上流の四極電磁石を証として、レベルを確認しながらシム調整(50μm単位)、床ケガキのbeam方向を合わせてビームダンプまでビームラインが完成する事を重視した。

## 4. NewレーザートラッカとポータブルCMM

初期アライメント後、最初のATF2ビーム実験が2008年秋より開始した。その後、不幸にして今まで使用していたライカ製のレーザートラッカが老朽化により故障した。そこで、新たなトラッカを購入することになった。旧型と異なる点は、

- FARO製 LTXi (レーザ三次元測定器)[4]

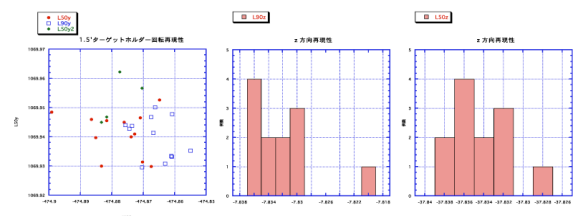


図4、ターゲットホルダの脱着再現性テスト  
RMS=10μmで再現性がある。

- 絶対距離計搭載 (ADMモード+IFモード)
- 反射リフレクター(SMR)のサイズがΦ75mm球  
→Φ1.5inch (38.1mm)球に変更。



図5、左:LTXiと基準長、右:FAROARMの測定風景。

それに伴い、ターゲットホルダの互換性を保つため変換アダプタなど(図4-左)を用意したので、それらの検証をした。また、新たな試みとしてポータブルCMM(Fusion, FARO-ARM[4]:図5-中)を入手したので併せて考察する。ターゲットホルダは、問題なく測定精度内で再現性がある。また、レーザートラック(FARO-LTX)の精度検証とSMRおよびSMR変換アダプタの再現性はインバル基準長を用いて行った。

表 1 インバル基準長測定テスト(2~5m範囲)

Leica Scaleber75	半径方向 (A-B)	RMS	胴径方向 (C-D)	RMS
Scaleber	800.075	←基準長さ		
IF mode	800.108	0.006		
ADM mode	800.108	0.006	800.126	0.007
ADM (φ75)	800.110	0.015	800.129	0.013
SMR	1.5"to 75mm	φ75mm Leica	1.5"to 75mm	φ75mm Leica
Scaleber	A-B	A-B	C-D	C-D
P = 0°	800.102	800.110	800.124	800.121
P = 120°	800.114	800.124	800.124	800.114
P = 240°	800.121	800.129	800.096	800.094
SMR			1.5"to 75mm	φ1.5" (35.1mm)
Scaleber			C-D	71A-71B
LTX			800.118	550.021
ARM			800.160	550.040

近距離(2~5m)での検証であるが、測定モードの違いや個々のSMRによる顕著な差は確認できなかつ

た。基準長の保証値は近年確認検査をしていないのでその値と異なっても問題は無い。測定値は製品精度の18μm+3μm/mに収まっている事を確認した。また、レーザートラック・ヘッドからSMRが直視出来ない場所(レーザが届かない所)に於いて、それをカバーして測定すること(測定範囲が3m以内と限られている)が、ポータブルCMMを併用することで可能になった。FARO-ARMの扱いには技能経験を要するが製品精度 0.1mm以内であることも同様に確認した。今後はBPMなどの基準座を持たない機器のアライメントにも活用できると期待している。

### 5. FD電磁石の測量とまとめ

FARO-ARMを用いて各々の電磁石のTBポイントを測定した。各電磁石は平均60μm±10μmで設計値とフィットできた(図6)。その結果、ビーム方向に5ミリを超える差分を確認した。その原因としては、レベルのアライメントを重視する際(シム調整時)に、横方向にずれたと思われる。

また、測定データをFARO-LTXと組み合わせることで、図6-右のように測定器の区別無くデータが扱える。この測定箇所はビームラインエンド付近ということもあり、測量網が確立していないので水平位置の角度が定義できていない。そのフィットを青丸で示すが、0.1mradの誤差を仮定すると約1mm(灰点)横へずれることがよく解る。今後、IPの位置測定を行い、正確な測量を進めて再アライメントを夏に進めることにする。

### 参考文献

- [1] ATF2 Collaboration., “ATF2 Proposal”, High Energy Accelerator Organization, 2005.
- [2] 照沼信浩, “ATFの現状報告(ILC最終収束系ビームラインの稼働)”, In this meeting (WOOPD01).
- [3] 菅原龍平, “CONSTRUCTION OF THE MAGNET SYSTEM FOR THE ATF2 BEAM LINE”, In this meeting (FOCEB01).
- [4] <http://www.faro.com/japan.aspx>

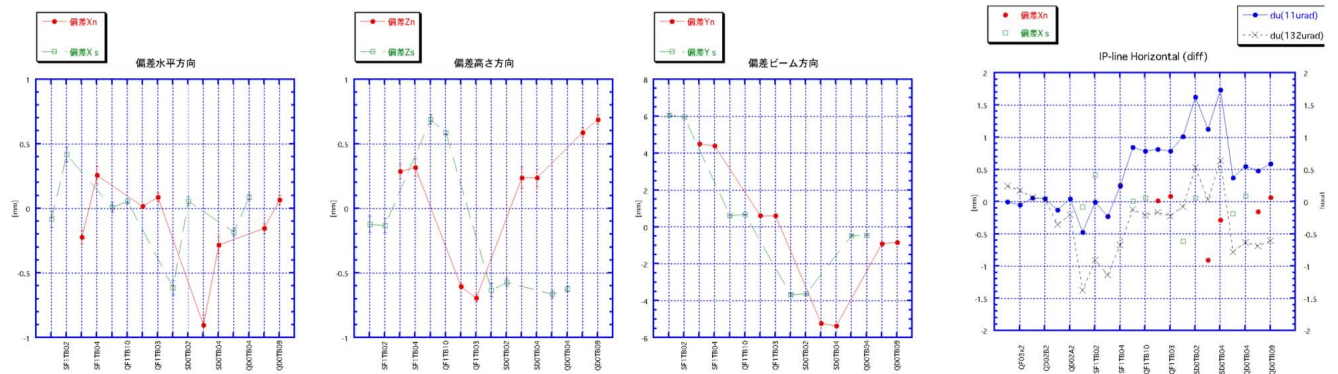


図6、四極・六極電磁石各2台のFARO-ARMによる測定値と設計位置の差分である。(南側基準を赤丸、北側基準を緑角で示す)

右図はFARO-LTX測量値とマージさせて水平方向の設計値との差分を示す。