

ATF STATUS REPORT 2012

Nobuhiro Terunuma^{#,A)} and ATF International Collaboration

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

Oho 1-1 Tsukuba, Ibaraki, 305-0801

Abstract

Accelerator Test Facility (ATF) in KEK is a research center for studies on issues concerning the injector, damping ring, and beam delivery system for the ILC. The ATF damping ring reduces the vertical emittance of the beam down to 4 pm·rad. ATF2 is a final-focus test beam line that aims to focus the low emittance beam from the ATF damping ring to a vertical size of about 37 nm and to demonstrate the nanometer level beam stability, using numerous advanced beam diagnostics and feedback tools. The Great Eastern Earthquake affected the ATF in several damages. Recovery of the beam performance had been continued over a year especially for the alignment of the beamline. The ATF2 small beam size program had been resumed in early 2012. It reached about 165 nm, a half of that obtained before the earthquake.

ATF(Accelerator Test Facility)の現状

1. はじめに

KEK における ATF (先端加速器試験装置) では、国際リニアコライダー(ILC)計画[1]など将来の加速器で必要とされる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。ATF はマルチバンチビーム生成を行う photocathode RF gun、1.3GeV S-band Linac、低エミッタンスビームに変換するダンピングリング、さらにそのビームを利用し ILC 最終収束システムの開発試験を行う ATF2 ビームライン[2]から構成されている (図 1)。ATF での多岐に渡る研究開発[3]には、国内外の大学および研究機関が精力的に参加している。

昨年 3 月に発生した東日本大震災は ATF に大きな被害をもたらした。昨年のほとんどの時間は復旧に費やされたと言える。今年になって本格的なビーム調整ができる状態になり、それぞれの開発研究の進展も得られる様になった。今回の学会ではこの一年の状況を報告する。

2. 震災からの復旧

崩落した電力ラインをはじめとする施設設備関係の修復、破損したビームラインの応急修理などを最優先で行い、昨年 6 月には試験ビームによる運転を開始するところまで漕ぎ着けた。この時点でのビームラインのアライメントは極めて暫定的なものであったが、試験ビームによる主要機器の動作確認は比較的順調に進み、6 月末には震災前と同程度のビーム強度での輸送を確認することが出来た。しかしながら、ビームのエミッタンスは震災前のおよそ 3 倍であり、ATF における研究開発の要である低エミッタンスビームの復旧には、電磁石の再アライメントなど多くの作業が必須の状況であった。

昨年の夏期停止期間はダンピングリングのアライメント作業に集中して取り組んだ。低エミッタンスビーム実現のために精密な電磁石位置アライメントは極めて重要である。最初の測定の結果、多くの場

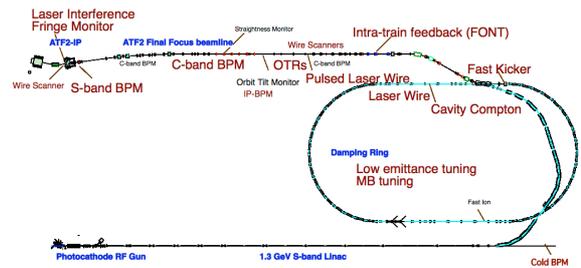


図 1 : ATF で行われている開発研究

所で数ミリのズレが生じており、約 200 個の電磁石を縦横方向 90 μm 以下に戻す必要がある事が判明した (図 2)。西側アーク部の乱れが比較的多く、また、リングが南北に 1.5 mm 延びた状態であった。修正作業と得られるリングの性能を検討した結果、この延びを取り込んだリングの設計 (但し、周長は以前と同じにする) を新たに行い、それに対してリングをアライメントすることになった。精密アライメント作業は 9 月一杯まで精力的に行われた[4]。

続いて ATF2 ビームラインのアライメントが行わ

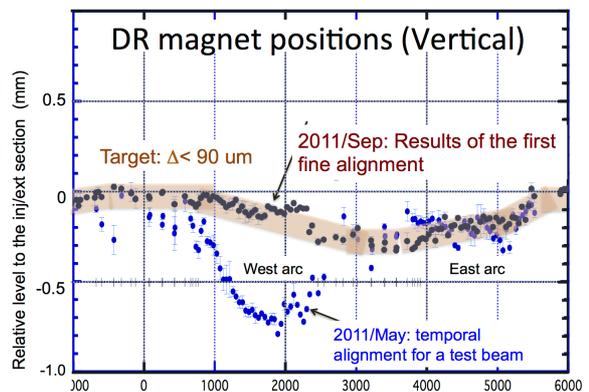


図 2 : ダンピングリング電磁石の垂直方向分布

[#] nobuhiro.terunuma@kek.jp

れた。リングからの取り出しビームラインおよび ATF2 ビームラインの全体を見てみると、ATF2 新設部が相対的に 1.5 mm 沈下している。床の改良工事から 2 年経っている部分である。一方、上流の取り出しライン部は建設から 20 年近く経過しており、地面の成熟度の違いが現れたものと考えている。

3. R&D の進展

3.1 Pulsed Laser Wire 開発

ILC の BDS(Beam Delivery System)などでの非破壊型のビームサイズ測定をターゲットとした Pulsed Laser Wire の開発が進められている。目標は 1 μm のビームサイズ測定が可能なモニター装置開発である。今年 2 月までは ATF2 matching section に設置して実験していたが、より小さな電子ビームが得られる様に Final Focus 上流部にある仮想衝突点の鏡像部に移動させた(図 3)。Pulsed laser wire system には独立に OTR モニターが組み込まれている。これは破壊型モニターであるが 1 μm の電子ビーム測定が可能であり、Laser wire による測定の検証を行うために用いられている。今年の 4 月に電子ビームとレーザーの衝突による Compton 信号を ATF2 ラインに移設後初めて検出し、5 月には OTR を用いて電子ビームを 1.4 μm までに調整、直後の Laser wire での測定で同程度のビームサイズを確認した。レーザーの大きさは M² 測定から評価されており、その寄与を除くと測定した電子ビームは 0.9~1.4 μm と評価されている。従って、このモニターの開発をほぼ達成したと判断している。

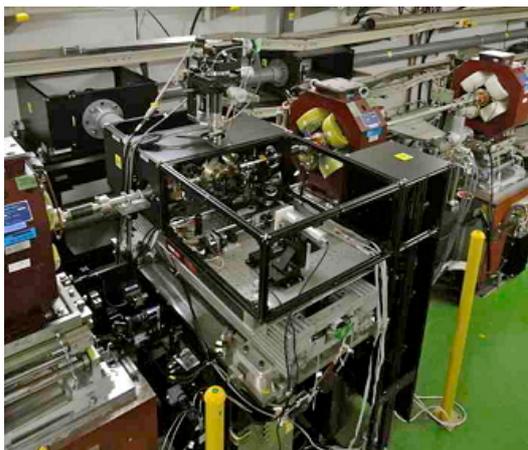


図 3 : ATF2 ビームラインに設置された Pulsed Laser Wire System。

3.2 偏極 γ 線生成のためのレーザー蓄積装置開発

偏極陽電子源開発のための偏極 γ 線の生成研究がダンピングリングで行われている。レーザー蓄積装置で光束の強度を高め、電子ビームと衝突させて偏極 γ 線を得る。昨年秋にレーザー蓄積装置を 2 枚ミ

ラーによるものから 4 枚のミラーによるものに変更した(図 4)。この変更により、レーザー蓄積のためのミラー制御の許容度が上がり、結果として高い蓄積率を安定に実現することが出来る。昨年秋からのビーム運転とともにシステムの調整を始め、今年の 6 月までに Finesse は 2,000 から 5,000 に改善され、2.6 kW のレーザーが蓄積されるまでになった。検出された Compton γ 線も従来の 2 倍以上に改善されている[5]。現在は光共振器を構成するミラーを 99.996% の高反射率ミラーに改善し、finesse 28,000 以上を狙う準備を進めている。また、レーザーの digital feedback を導入しさらなる安定化を目指す予定である[6]。このレーザー蓄積装置開発は、リングに設置されている laser wire の高度化[7]や γ - γ コライダーの基本技術開発としても大いに成果が期待されるものである。



図 4 : 4-mirror レーザー蓄積装置

3.3 垂直方向 37 nm の極小ビーム開発

ATF2 計画における第一の目標は、垂直方向 37 nm の極小ビームの達成である。ATF2 ビームラインは ILC 最終収束ビームラインと同じ設計(energy scaled)であり、ATF2 での 37 nm は ILC での 5 nm と等価になる。ATF2 での仮想衝突点 (IP) のビームサイズ測定は、レーザー干渉縞を利用したモニター (IP-BSM、通称新竹モニター)で行う。干渉縞のピッチで測定できるビームサイズの範囲が制限されており、ビーム調整状況に応じてレーザーの交差角モード (3 種) を切り替える必要がある。別の言い方をすれば、測定したいレンジの最大程度までビームを絞り込まなければ測定を始められないのである。第一交差角モードでの測定開始までは、カーボンワイヤによるビームサイズ測定・調整で到達可能である。しかし、第二交差角モードでの測定からは 300 nm 以下のビームサイズが必要であり、第一のモードでのビーム絞り込みが進まなければ第二モードでの測定・ビーム調整が始まらない。実際、震災前には 300 nm 程度までビームを絞り込み、第二の交差角モードを立ち上げる努力をしていたのである。

震災後のビーム“性能”復旧は前述したアライメントの進捗と共にあった。ダンピングリングのエミッタンスが ATF2 開発研究に必要な 12 pm 以下に

なること、取り出しラインの Beam Based Alignment や故障した機器の交換などを経て、極小ビームサイズ調整を再開出来たのは昨年(2012年)の12月であった。その後の beam study において、上流の OTR モニターの Wakefield が下流 OTR での測定に優位に影響していることなど幾つかの装置起因のエラーを発見し解決しながらビームラインの調整を続けた。その甲斐あって、2月には初めて第二の交差角(30°モード)での信号を初めて検出し、絞り込み調整の結果、垂直ビームサイズで165 nm 程度まで絞り込めたことを確認した(図5) [8]。これは震災前の半分の値である。

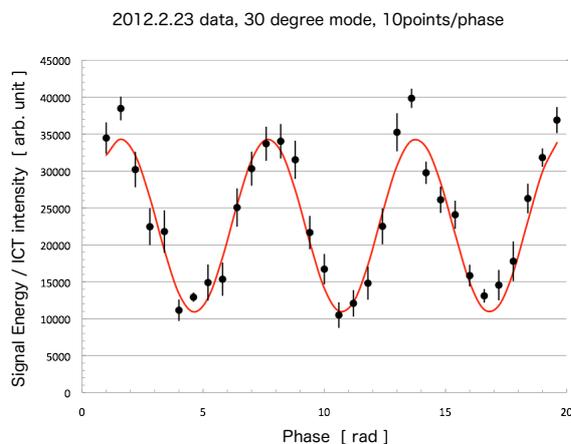


図5：レーザー干渉縞型 Beam Size Monitor にて測定した Compton signal modulation

ビームが絞られて第二の交差角モードに入り出したあたりから、レーザープロファイルの局所的な hot spot が原因とみられる光学素子の破壊やレーザーの pointing stability などの問題点が顕著になってきた。これらの対応にやや時間を要したが、レーザー発信器の素子を交換、共振器にレーザー位置フィードバックを追加することで解決した。しかし、最終交差角(174°モード)での測定はまだ出来ない。現在の光学レイアウトでは、交差させる二つのレーザーの位置をそれぞれに対応するミラーで微調整する。これらのミラーは全ての交差角モードで共通に使用するため、交差角を変更する度に再設定が必要で、これがモード変更時の再現性の低下、運用上の大きな時間ロスに繋がっている。レーザー制御の再現性を高めた測定システムの運用が急務かつ必須である。光学系レイアウトの改造は既に始められており、各交差モード毎に独立したミラー制御になる予定である。10月から再開されるビーム研究開発では目標 37 nm の達成を期待したい。

3.4 高速ビーム位置フィードバック技術開発

垂直方向 37 nm の極小ビームの達成後、さらに挑戦的な目標が控えている。ILC 実験を想定し、極小ビームの位置を nm レベルで安定化させることである。この目的のため、バンチトレイン内高速フィードバック技術開発(FONT)が行われており、今までに ATF 取り出しライン上でマルチバンチビームの後続

バンチ安定化を実証している。現在はこのフィードバックシステムを ATF2 の仮想衝突点で組み上げる準備をしている。来年春には 2 nm の位置分解能を目指す Low-Q Cavity BPM (図6)を3台導入し、FONT システムと組み合わせて実験を開始する予定である。

4. まとめと今後の予定

昨年は震災からの復旧作業に集中した結果、今年初めには震災前のビーム実験レベルまでほぼ復帰させることができた。ATF2 計画の第一目標である 37nm 極小ビームの研究開発では、ビームラインの調整とビームサイズモニターの改良が進んだ結果、震災前の半分にあたる 165 nm まで到達していることを確認している。パルス型レーザーワイヤー開発では 1.4 μm のビームサイズを測定し、目標とする分解能をほぼ達成した。光共振器型レーザー蓄積装置開発では4枚ミラー型への改造により従来の2倍以上のレーザー蓄積を達成している。

現在、我々の最優先研究課題は 37nm 極小ビームの実現である。そのため、10月に運転を再開させてからの3ヶ月間はこの課題に集中的に取り組むことになっている。夏期停止前までのビーム調整で明らかになったビームサイズモニター運用上の改善、ダンピングリングや ATF2 ラインの精密アライメント

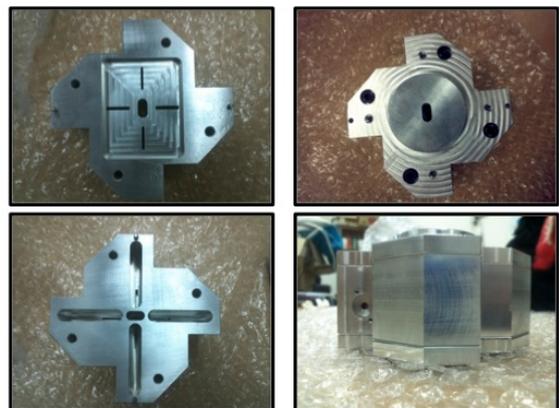


図6：仮想衝突点用 Low-Q Cavity BPM

など、ビームモニター類の整備改善を着実に進め、この特化したビームタイムに望みたい。また、次の主たる課題であるナノメートルレベルでのビーム位置安定化の技術開発も、来年の春に装置を組み込む予定で準備を進めている。

参考文献

- [1] ILC RDR, ILC-REPORT-2007-001.
- [2] P. Bambade et al., Phys. Rev. ST-AB 13, 042801 (2010).
- [3] N. Terunuma et al., Proceedings of PAC11, NY (2011).
- [4] 荒木栄ほか、本学会報告 WEPS137
- [5] 赤木 智哉ほか、本学会報告 FRLR15
- [6] 田中 龍太ほか、本学会報告 FRLR14.
- [7] Arpit Rawankar ほか、本学会報告 THPS118
- [8] 奥木敏行ほか、本学会報告 THPS034