

ATF STATUS REPORT 2011

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 vertical beam size reached in 2010 was 300 nm and would be tuned smaller by commissioning the beam size monitor. The Great Eastern Earthquake affected the ATF in several damages. Recovery of utilities, power lines and the cooling water system had been continued until the end of May. Checkouts of the ATF accelerator with a test-beam had been done in June. It was found that no critical damage was in ATF accelerator. A fine alignment of the beamline is essential for the low emittance and it has to be done before resuming the beam operation in October.

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。昨年も様々な R&D の進展・成果が得られている。ダンピングリングでは BPM 読み出し系の高度化により、垂直エミッタンス 2 pm を目指す取り組みが始まり、ナノ秒の立ち上がりを持つ高速キッカー開発では 10^{-4} 台の安定度を実現し、さらに 308 ns 間隔でのマルチバンチビーム取り出しに成功した。垂直方向 37nm の極小ビームの実現を目指す ATF2 は、現在までに 300nm の達成を確認し、モニターの高度化を進めている。その他、Pulsed laser wire, Fast intra-train feedback、Optical cavity による偏極陽電子源開発などが行われている (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。しかしながら、3 月に発生した東日本大震災により開発研究の中断を余儀なくされた。5 月末に施設関係が復旧し、電子銃から試験ビーム運転を開始した。この頃から、一時帰国していた海外の Collaborator 達が徐々に戻り初め、機器の修理や調整を一緒に行っている。6 月中旬には震災前のビーム強度までビームを回復、ビームラインの健全性を確認した。リングで測定したエミッタンスは約 30pm で震災前の 3 倍であった。いずれにせよ、経験の無い程の地震動 (震度 6 弱) であったため非常に心配したが、大き

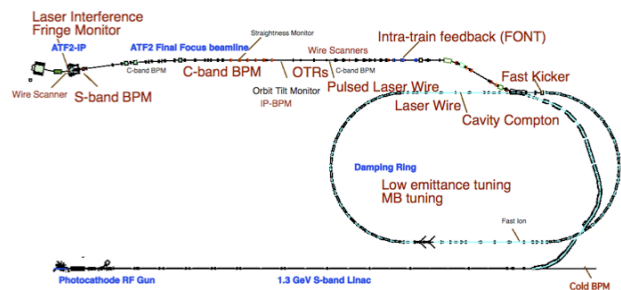


図 1 : ATF で行われている開発研究

な問題となる様な損傷を受けていなかったことは不幸中の幸いである。とはいうものの、低エミッタンスなどビーム性能の回復のためにも電磁石の精密アライメントなどが必須であり、残されている作業は多い。

2. 開発研究の状況

2.1 ILC 最終収束システムの開発試験 (ATF2)

ATF2 ビームラインのビーム位置モニターには ATF で開発してきた空洞型 BPM(Cavity BPM)が採用されている。この実践的運用も R&D の一部と言え、最終収束ビームラインの調整と平行して整備・改善をしてきた。昨年の夏に基準信号伝送系の改善、BPM 本体の微調などを行った。その結果ほとんどの BPM で 200 nm の位置分解能を得ている。これらは数 mm の広い位置測定の dynamic range を確保するために 20dB attenuator で信号を減衰させた上で得られた値であり、attenuator を外した場合には 27 nm の高い分解能を得ることを確認している[4]。

仮想衝突点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)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

[#] nobuhiro.terunuma@kek.jp

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。昨年のIPACや本学会で垂直ビームサイズ 300 nm に達したことを報告したが、残念ながらその後の更新は得られていない。

この 300 nm あたりでレーザーの交差モードを切り替える必要があるのだが、夏期停止後の 11 月に実験を再開してから、レーザーシステムのトラブルやリニアック高周波パルス電源の故障などが重なり、調整を十分に行うことが出来なかった。さらに不運は続き、これらの故障から復帰してビーム調整を再開したところで震災に遭ってしまった。しかしながら、震災までの間に Multi-OTR モニターなど高速にエミッタンス測定を行う機器や Optics 調整ツールなどの改良を進めてきており、ビーム実験再開後には比較的スムーズに 300 nm 以下の調整に復帰できるのではないかと期待している。図 2 に昨年 12 月までのビーム調整の結果と各種の調整ノブを繰り返して極小ビームを得る様子(simulation)を示す。このように調整を進め、目標の 37 nm 垂直ビームサイズを狙う。

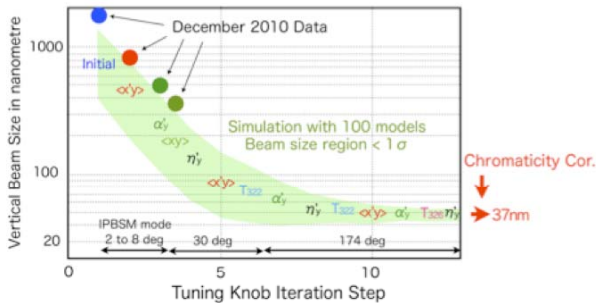


図 2：垂直方向 37nm へのビームサイズ調整

2.2 ナノ秒高速パルスキッカー (Fast Kicker)

ATF で開発されてきた立ち上がり 3ns の高速キッカーを用いて、リングからのマルチバンチビーム取り出し実証試験が行われてきた[5]。一昨年の時点では、高速パルサーのパルスごとのタイミングずれにより均一な蹴り角でのビーム取り出しが出来なかったが、昨年度はパルスごとにトリガータイミングを微調して均一な蹴り角を得ることができた(図 3)。これは ILC ダンピングリングに必須であるビーム入射取りだし技術をほぼ実証したことになる大きな成果である。

2.3 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強度を高め、電子ビームと衝突させて偏極 γ 線を得る。従来から開発している 2 ミラー光共振器に加えて、昨年夏には新たに LAL 研究所(仏)が製作・担当する 4 ミラー光共振器[6](図 4)をリングに導入した。装置は真空槽内に多数の密閉されたアクチュエーターがある複雑なものであるが、立ち上げは順調に進み、10 月には最初の Compton 信号を

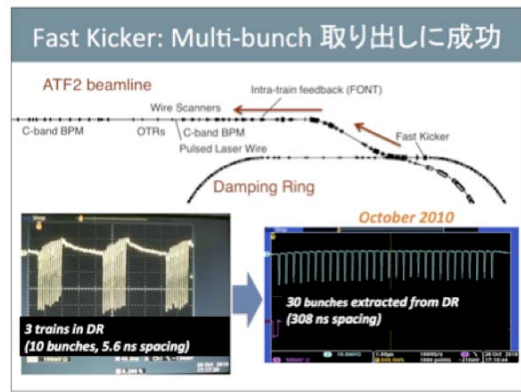
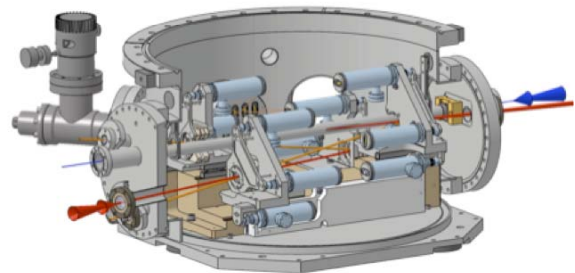


図 3：Fast Kicker によるビーム取り出し実証試験：5.6ns 間隔 10 バンチをリングに 3 トレイン蓄積し、一つずつ fast kicker で取り出す。



(a)ダンピングリングに設置された装置(LAL 製)



(b)装置内部：真空気密の筒(水色)に納められたアクチュエーターでミラーを駆動する。

図 4：4-mirror レーザー蓄積装置。

検出している。現在はレーザーの安定化・高強度化を進めている。一方で、今年の夏には 2 ミラー光共振器の経験を基に構造をシンプルにした 4 ミラー光共振器(広大、KEK)の導入を予定している。これらのレーザー蓄積装置開発は、 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ている。

3.7 低エミッタンスビーム開発

ATF ダンピングリングでは 2003 年に最小の垂直エミッタンス 4pm を達成している。現在の ILC 設計エミッタンスは 2pm であり、ATF でこれを実現・安定化の研究をすることが期待されている。こ

のためには 30 μm 以下の精密な電磁石アライメントと共に 1 μm 以下の分解能での軌道測定が必要である。昨年夏に FNAL と開発を進めてきた BPM 読み出しシステム[7]をリング全周 96 台の BPM に取り付けた。現在は各種運用モードの調整を進めている。暫定的ではあるがビームによる性能試験により、高分解能 Narrow-band mode で 0.65 μm の分解能と評価されている。本システムはダンピングリングでの

ビーム運用に有益なように、リングへのビームの入射・蓄積および取り出しに対して、同一パルスでの測定が可能である。また、任意のトリガーを起点に Turn-by-turn 測定を行う事も出来、多様なビーム軌道診断が可能であり、2 μm 低エミッタンスビーム実現の有効なツールとして期待される。



図 5 : ビームラインに設置された BPM 信号用 Down Converter (FNAL 製)

3. 震災とその後

3 月 11 日に東日本大震災が発生した時に ATF 加速器は運転中であり、300 nm のビームサイズをさらに絞るための study をしていた。初めは弱い地震から始まった。ビームを停止して様子を見ていたが一向に収まらず、その後、激しい揺れ（震度 6 弱）に襲われた。揺れの中で全域停電となり、全員屋外の避難所に待避した。

3.1 震災の影響

ATF 施設では建屋である先端加速器試験棟に大き



図 6 : 震災後の加速器棟内部。主動力ケーブルがラックごと崩落した。

な被害を受けた。図 6 は ATF2 ビームライン脇の通路から入口方向を撮ったものである。動力ケーブルとラックが崩落している（奥）。東西に分ける形で棟の受電設備があり、崩落したものは大部分をまかなう西側である。このケーブルを復旧させて通電を再開出来たのは 1 ヶ月後の 4 月中旬であった。その間、もう一つの受電設備から一時的に配線を行い、ビームラインの真空を立ち上げたり軽微の修復作業を進めたりして本格復旧に備えていた。受電設備の復旧後、直ちに冷却水・空調施設の復旧、クレーンを使用してシールドの修正作業が開始された。

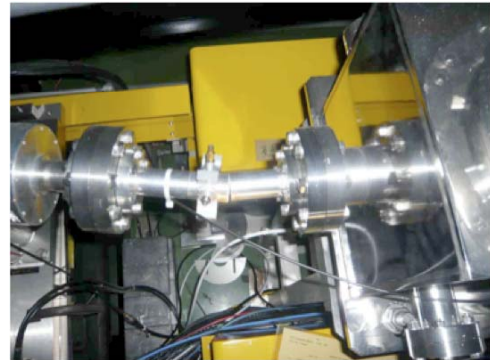


図 7 : 破断した BPM チェンバー

一方、加速器の被害は主に架台間の揺れの違いを受ける所に集中していた。図 7 はリニアックの試験用 BPM（アルミ製）である。地震動により小型架台が揺らされ、ムーバーの V 字受けを乗り越えてしまい前後の真空チェンバーが破断した。リニアックおよびリングへの輸送路では、ベローズが大きく変形したり、CT のセラミックスチェンバーが割れるなどの被害が数カ所あり、全て交換した（図 9）。

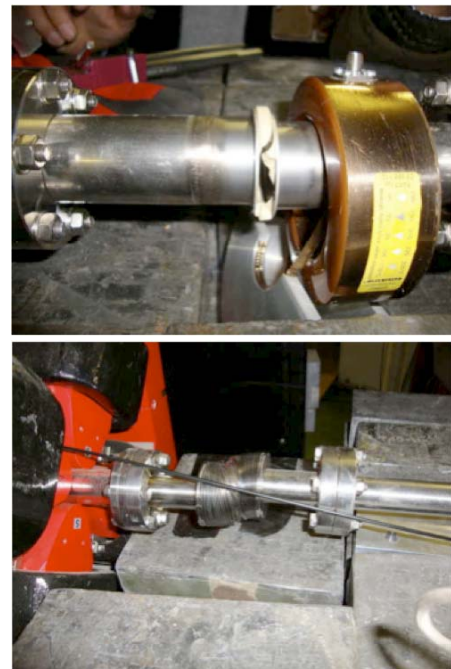


図 9 : ビーム輸送路のベローズと ICT モニター

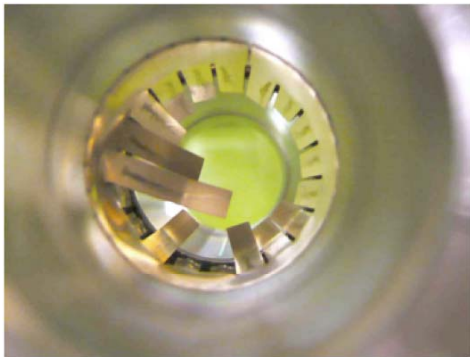


図 10 : ダンピングリングのベローズ内部

ダンピングリングのベローズは、内部に Wake field を低減させるための finger contact がある。この損傷はビーム運転に与える影響が大きく、やむなく真空を開放して全数目視検査を行うこととした。図 10 は被害を受けたベローズ内部である。Contact finger が外れて曲げられ内側に突き出ている。程度の差はあれ全体の 1/10 に損傷があり、全て修理又は交換をしている。その他、固定が弱かった部分（鉛ブロック、蛍光灯、信号ケーブルラックなど）が落下していた。一部のコンクリートシールドブロックにずれが生じたため、周辺も含めて設置・固定のやり直しを行った。

全体的に被害の様子を見渡してみると、ビームライン上の機器は、長時間の振動の中で相対的に数 cm 程度揺らされたのではないかと見受けられる。加速器のビーム試験を開始できるまでには暫く時間が必要であったため、4 月の初旬からビームラインの測量・修正を進めることにした。架台が外れたところは別にして、多くの点で数ミリ程度のずれが確認されたが、極端に大きく壊れたものはなかった。アライメントのやり直しは全体的に徐々に追い込む必要がある。精密な修正は夏の停止期間中に行う事を決め、暫定的に 1 mm 程度以下に収まるように粗アライメントを行い、ビームによる機器の健全性確認を早く実現する方針で作業を進めた。

3.5 試験ビーム運転

一連の作業の結果、5 月下旬に放射線安全関係の検査を受けビーム再開の承認を得た。しかし、リングの粗アライメント作業が継続していたため、日中はアライメントを行い、準夜にビーム運転という体制とした。作業者に限りがあり深夜および週末は停止とした。また、この頃から一時帰国していた海外の共同研究者達が戻り始め、担当機器の確認・立ち上げを共同で進めることとなった。

ビームの立ち上げは、リニアック、ビーム輸送路、ダンピングリング、最後に ATF2 ビームラインと順調に進み、大きな問題がないことを確認できた。さらにリングの調整を進め、6 月中旬にはビーム強度を震災前の 1×10^{10} electron/bunch まで回復した(図 11)。同時にビームモニター機器などの立ち上げを進め、XSR モニターでリング内での垂直エミッタ

スを測定、約 30 pm と評価した。これは震災前の 3 倍大きい値である。ビームの質・性能はまだ不十分ではあるが、幾つかの R&D を試験的に行った。6 月中旬にはレーザー蓄積装置（2 ミラー）を動かして Compton 信号を確認、検出器の改良のためのデータ収集を行った。また、6 月末には FONT 高速フィードバック装置の確認とビーム応答試験を行っている。

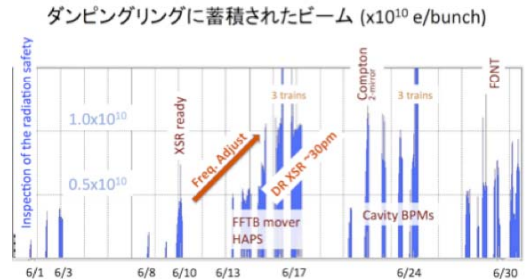


図 11 : ダンピングリングのビーム回復の様子

3.5 今後の予定

現在、ATF 加速器は夏期停止中である。ビーム性能を回復するためには数十 μm 程度の精密アライメントが必須である。ダンピングリングおよび ATF2 ビームラインが重要であり、この作業は 10 月中旬に予定している運転再開直前までかかるものと見込んでいる。

10 月に運転を再開してからも、リングの再調整および ATF2 ビームラインの再調整に暫く時間が必要であろう。関係者一丸となって復旧・調整を進め、出来るだけ早く 2 pm の低エミッタンス化や 37 nm の極小ビームを目指す実験を開始したい。

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] S. T. Boogert et al., Proceedings of IPAC10, Kyoto (2010), MOPE070.
- [5] T. Naito et. al., Nucl. Instr. Meth. A571, 599 (2007).
- [6] A. Valiora et al., Phys. Rev. ST-AB 14, 031001 (2011).
- [7] P. Prieto, et al., Proceedings of BIW08, Lake Tahoe, California, (2008).