

ATF Status Report 2010

高エネルギー加速器研究機構 ATF グループ
ATF International Collaboration

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. These tools have been developed through R&D at the ATF, and applied for the ATF2 beam line. Further improvements will be continued in parallel to the commissioning of the nanometer beam focus. A large number of accelerator scientists from SLAC, LBNL, FNAL, Oxford University, DESY, CERN, UCL, LLNL, IHEP, PAL, RHUL and other institutions participated in research programs at the ATF/ATF2.

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 ビームラインから構成されている (図 1)。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った。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の開発が進められている。ATF2 ビームラインの commissioning はビーム診断装置の開発調整と平行して行われており、現在までに仮想衝突点において垂直方向ビームサイズ 300nm(RMS)に達した。今年度をめどに 37nm の極小ビームの実現を目指し、その後、ナノメートルレベルのビーム制御技術開発に移行する計画である。これら以外にも Pulsed laser wire, OTR monitor、Optical cavity による偏極陽電子源開発などが精力的に行われている。本学会では最近の活動状況を報告する。

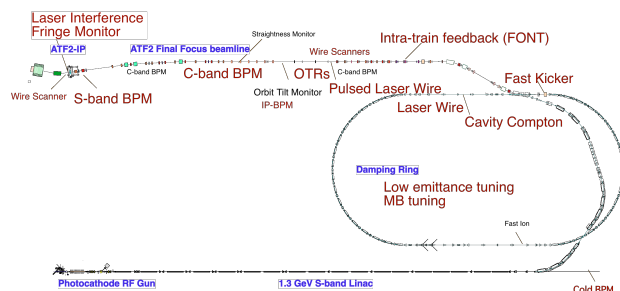


図 1 : ATF 構成と最近の開発研究

2. 運転状況

ATF での多岐に渡る研究開発には、国内外の大学および研究機関が精力的に参加している (図 2)。海外からの共同研究者は、年間で延べ 2000 人・日に達している。学生など若手研究者も多く、国際的な研究交流を通し、互いに刺激し合う貴重な経験をえられる場でもある。



図 2 : ATF International Collaboration 参加機関

ATF 加速器の運転は年間で約 21 週間である。夏期と年末年始の停止を除き、2~3 週間のビーム運転後に 1 週間の保守期間を設け、それを繰り返す。先端加速器技術開発を目的としている ATF にとって、この保守期間は、ビームラインでの装置の導入・改善の為に必須であり、結果として、ビーム時間を効率よく維持することにも寄与している。図 3 に最近のビーム時間使用実績を示す。ナノメートルビーム技術開発の ATF2 に関わる R&D が 6 割を占めているが、それ以外にも様々な加速器技術開発が行われている。

nobuhiro.terunuma@kek.jp

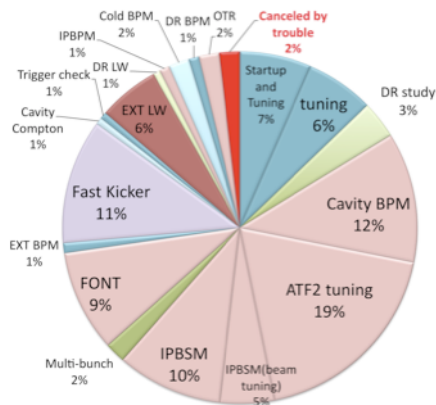


図3：ビーム使用実績

3. 主な開発研究の状況

3.1 ILC 最終収束システムの開発試験 (ATF2)

ATF2 ビームラインには、今まで ATF で開発してきたビーム診断装置が多く設置されている[1]。BPM には、Prototype で 16nm 分解能を実現した空洞型 BPM(Cavity BPM)が採用されている。この実践的運用も R&D の一部であり、最終収束ビームラインの調整と共に改善・調整を進めてきた。ATF2 ビームラインに仮定された BPM 分解能は ILC でのシステム運用を想定した 100nm である。いくつかの BPM では信号伝送系の改善が必要であるが、現在までに実ビームで 20nm 分解能を確認している。仮想衝突点での位置変動測定や feedback のために 2nm 分解能 Cavity BPM(IP-BPM)の開発も平行して進められている。現在は読み出し回路開発に重点を置き ATF2 ビームライン上で試験を行っている。

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。昨年秋に干渉縞でのビームサイズ測定に成功し、ビーム調整状況に合わせてシステムの整備を進めてきた。今年の5月には一週間連続の ATF2 ビーム調整専用の加速器運転を行い[2]、垂直ビームサイズ 300 nm に達したことを確認した(図4、5)。

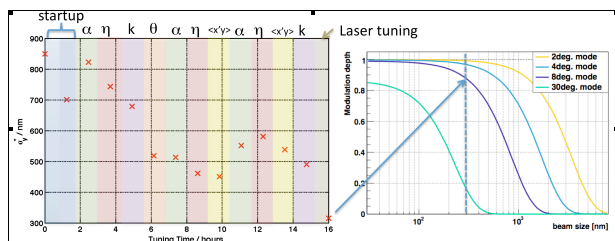


図4：ATF2 調整方法と垂直ビームサイズの変移

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。今回の連続運転では 300nm までのビーム調整であったため、第一から第二のモードに切り替え、測定の整合性を確認した段階である。秋からの運転で

は最終的な第三のモードでの 37nm の実現・測定を目指す。

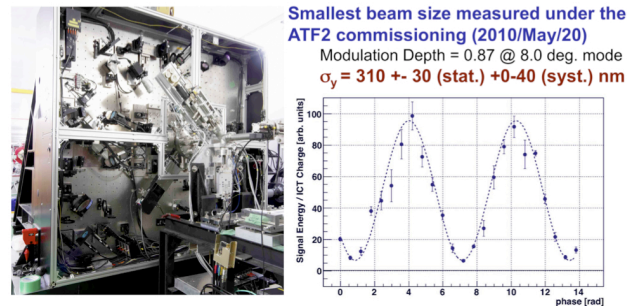


図5：レーザー干渉縞型ビームサイズモニター

3.2 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、リングからのビーム取り出し実証試験を行っている。取り出したビームが他の R&D で利用できるようになるまでは、年間で数回の専用期間を設定し、その都度、damping ring 内でビーム取り出しキッカーを入れ替えることになる。昨年10月に Fast Kicker による Single bunch 取り出しに成功した。Single bunch 取り出しで測定したキック角安定度は、従来の Double Kicker と同程度の 10^{-4} であることを確認した[3]。Multi bunch 取り出しシステムも平行して開発が進められており、本年6月には 308ns 間隔で最大 30 バunchの取り出しに成功した(図6)。現在は Fast kicker システムを恒久的にビームラインに設置し、ATF2 開発研究で利用できるようにタイミングシステムや高速パルサーの改造・安定化を進めている。

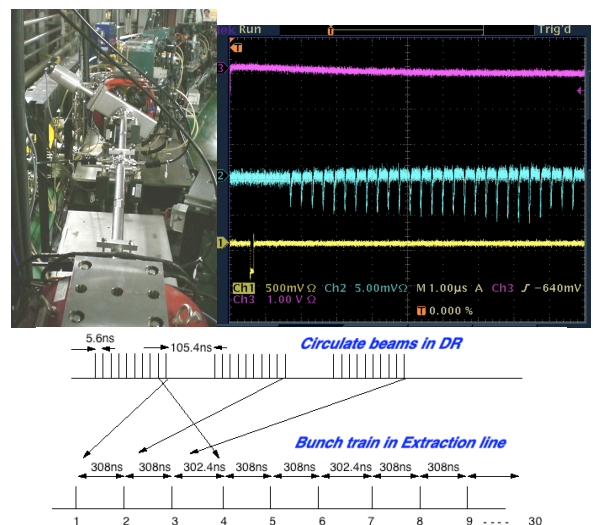


図6：Fast Kicker によるマルチバunch取りだし

3.3 Intra-train 高速フィードバック開発 (FONT)

ATF2 で予定されているナノメートルレベルでのビーム位置調整技術の開発で鍵となる高速フィード

バック技術開発が行われている。これは ILC 衝突点におけるマルチバンチのフィードバック技術開発でもある。先頭バンチ位置情報により、後続バンチを 140ns 以下の高速で補正することを目指している。ATF2 ビームライン上流に試験装置があり、通常のパルスキッカー運用時に、同一パルスで取り出される 154ns 間隔の 3 バンチを用いて開発試験している [4]。(最終的には前述の Fast Kicker で取り出される multi bunch で開発試験を行う。)

先頭バンチ位置を検出して後続バンチを補正(蹴る)までの latency は 133ns を実現している。図 7 に最新の結果を示す。feedback 無しで 3 バンチとも 2 μ m の jitter であるが、feedback で第 2 第 3 バンチの jitter が 0.4, 0.8 μ m に改善されている。このビームが仮想衝突点まで(理想的に)転送されるとした場合、衝突点でのジッターが 15 μ m から 3 μ m に軽減されると期待される。実際は、ビームラインでの床振動などの影響を受けるため、ナノメートルでの位置安定化技術開発では、(1)リングから取り出したビームを、現システムを用いて ATF2 入射前に補正、(2)仮想衝突点では高分解能 IP-BPM を用いて feedback を形成し、ATF2 ビームライン振動などの影響を補正することを想定している。

Results of P2 \rightarrow K1 loop (measured)

(April 16 2010)

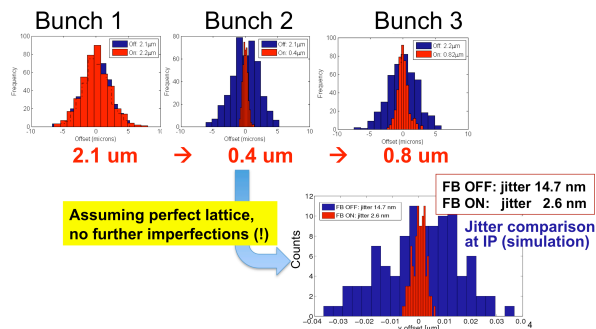


図 7 : FONT feedback によるバンチ位置補正

3.4 偏極 γ 線生成のためのレーザー蓄積装置開発

ダンピングリング内にレーザー蓄積装置を設置し、Compton 散乱による偏極 γ 線生成試験を行っている。これは偏極陽電子源の開発研究である。現在まで 2-mirror optical cavity によるレーザー蓄積装置を開発してきた。今後は、optical cavity としての acceptance が大きく、高強度化が期待される 4-mirror system の試験を開始する [5]。

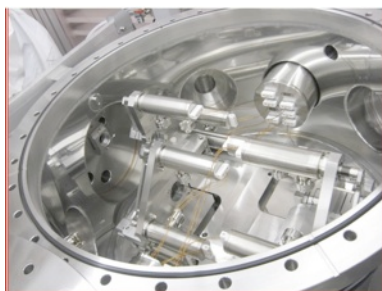


図 8 : 4-mirror optical cavity system

3.5 低エミッタンスビーム開発

ATF damping ring では 2003 年に垂直エミッタンス 4pm を実現し、当時の LC 設計値を達成した。その後、超伝導 ILC 計画となり、設計値は 2pm になった。ATF でこのエミッタンスを実現し、安定化の調査研究をすることが期待されている。そのためには、ビーム調整のために damping ring の BPM 分解能を 1 μ m 以下にする必要があり、読み出し系の開発が行われてきた。このシステムでは高分解能 Narrow band mode での測定と、turn by turn での位置測定を行うことができ、多様なビーム軌道診断が期待される。本年 5 月に、全 96BPM システムの更新が完了し、調整中である (図 9)。

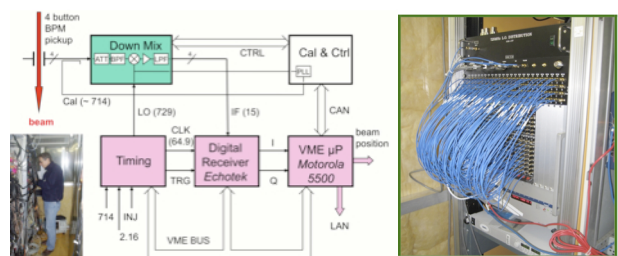


図 9 : New BPM readout system for ATF-DR

3.5 その他

Damping ring から取り出されたビームのエミッタンスを shot by shot で測定するための Optical Transition Radiation (OTR) monitor、ILC 用 1 μ m 分解能 pulsed laser wire monitor、beam tilt monitor、さらには ILC main linac 用 Cavity BPM などの開発・ビーム試験も行われている。

4. まとめ

ATF/ATF2 では ILC 技術開発を中心に様々な加速器技術開発を行っている。国内外の大学・研究機関から多くの研究者が参加しており、若手研究者の育成の面からも有意義な研究の場を提供している。今後は ATF2 での 37nm 極小ビームの実現や damping ring での 2pm 低エミッタンスビームの実現など挑戦的な課題を国際協力体制の下で進めていく予定である。

参考文献

- [1] N. Terunuma, Proceedings of IPAC10, WEZMH02.
- [2] 奥木 敏行ほか、本学会口頭発表 WELH02, "ATF2 ビームラインのビーム調整"
- [3] 内藤 孝ほか、本学会ポスター発表 WEPS003, "高速キッカーによるビーム取り出しシステムの開発"
- [4] P. Burrows et al., Proceedings of IPAC10, MOPE074 and WEPEB044.
- [5] Bonis J., et al., 本学会ポスター発表 THPS104, "偏極ガンマ線/陽電子生成のための 3d-4 mirror レーザー蓄積装置"