

[12B-02]

## Status of ATF

S. Takeda, J. Urakawa, H. Hayano, K. Kubo, N. Terunuma, S. Kuroda, M. Kuriki, T. Okugi, T. Naito, S. Araki, N. Toge, T. Higo, T. Omori, Y. Kurihara, S. Kamada, T. Suzuki, M. Takano<sup>1</sup>, K. Dobashi<sup>2</sup>, I. Sakai<sup>2</sup>, T. Muto<sup>2</sup>, M. Fukuda<sup>2</sup>, Y. Kamiya<sup>2</sup>, T. Kobuki<sup>3</sup>, I. Higurashi<sup>3</sup>, R. Kuroda<sup>3</sup>, T. Oshima<sup>3</sup>, T. Aoki<sup>3</sup>, T. Imai<sup>4</sup>, T. Okawa<sup>4</sup>, K. Hasegawa<sup>4</sup>, H. Sakai<sup>5</sup>, Y. Honda<sup>5</sup>

High Energy Accelerator Research Organization  
Oho 1-1, Tsukuba, Ibaraki 305 Japan  
1Tohou University, 2Tokyo Metropolitan University, 3Waseda University,  
4Science University of Tokyo, 5Kyoto University

### Abstract

We almost achieved the design horizontal and vertical emittance with single bunch beam of low intensity. However, emittance growth rate with beam intensity is greater than the expected growth by the estimation of intra-beam scattering. The multibunch operation is now facing the problem of the weak radiation shielding and the leakage of neutron. Even with the single bunch operation only, many instrumentation developments and beam experiments are now under way. We report it briefly such developments and also discuss the emittance problems and radiation problems.

## ATFの現状

### 1. はじめに

リニアコライダー加速器開発を行っている試験加速器(ATF)では、97年の立ち上げ運転から、98年には低エミッタンスビーム開発運転に移行し99年および2000年とシングルバンチでのエミッタンス達成を第一目標として開発研究を行っている。リング自体の開発はもちろんの事、リングへビームを供給しているリニアックの性能改善がリングのビーム開発を左右している状況であったので種々のリニアックビーム開発も並行して行ってきた。98年夏までの早い内に水平方向のエミッタンスは小さいビーム強度の時ほぼ設計値( $\epsilon_x^n = 2.7 \times 10^{-6}$  rad.m)に近い事を確認し、その後は垂直方向のエミッタンス達成( $\epsilon_y^n = 2.7 \times 10^{-8}$  rad.m)に主力を注いできた。その間、約2年間の様々なR&Dの結果2000年4月にそれまで最小でも $\epsilon_y^n = 11 \times 10^{-8}$  rad.mであった測定値が $\epsilon_y^n = 4.2 \times 10^{-8}$  rad.mと大きく目標に近づける事ができ状況が一変した。本報告ではそのエミッタンス開発の状況、および、あわせて進められているその他のR&D項目についてもその状況を報告する。それらの項目は以下のとおりである。

- (1) シングルバンチでの垂直方向エミッタンスの開発
  - (2) リニアックのビームエネルギーおよび強度の短期的ジッター低減と長期的エネルギー変動の安定化。
  - (3) マルチバンチ運転に向けての漏洩放射線の低減。
  - (4) リング内のエミッタンス計測のためのレーザーワイヤーモニターの開発。(京都大)
  - (5) リングからの高安定ビーム取出し開発のための高分解能CavityBPMの開発。(BINP、東京理科大)
- これらの他にもマルチバンチ生成、偏極陽電子生成開発(東京都立大)、RFgun開発(早稲田大)、マルチバンチモニター(東北大、東北学院大、SLAC)、コヒーレント放射光によるバンチ長モニター(東北大)、ODR

モニター(東京都立大)、SRモニター改造などが共同開発などで進められているが別の機会にゆづる事とする。

### 2. ダンピングリングのビーム開発状況

リングの開発状況について要約する。99年夏までには垂直方向エミッタンスは目標の0.01nm.rad(1.3GeV)に対して到達しているのは0.044nm.radであり、あとファクター4下げる事を目標に99年秋以降さらなる開発を行ってきた。この間のハードウェア改善とソフトウェア開発を具体的に示すと以下の様になる。

- 1) ターンバイターンBPMで見つかった20 $\mu$ m、100Hzの軌道振動は主バンド電源から発生している事がわかり、負荷マッチングをとるインダクタンス追加によってリップル除去がなされ、100Hz振動が除かれた。
- 2) 取出しライン中のエミッタンス測定箇所にskew-Qを導入した。これにより傾きのあるビームのビームサイズ測定に補正を加え縦横比の大きな偏平ビームでもエミッタンス測定に精度がだせるようにした。
- 3) トンネル外部のマグネット電源に対し強制排熱ファンを導入し、そしてマグネット冷却水温度変動を精密に調整して変動幅を1程度以下とし、さらにマグネットケーブルや冷却水ホースの床からの断熱と空中露出部分の断熱を施した。その結果、運転週内での床温度安定が計られ日を追って周長が変化する事が少なくなった。しかしながら季節変化はいまだ避けられていない。
- 4) リング内のSkewQ調整の指針として、X方向にステアリングマグネットによるキックをいれそのY方向への漏れ軌道を測定しそれをキャンセルするようなSkewQセットをSADにより求めるという方法が導入された。これによりX-Yカップリングを減少させる事ができたが取出した後の垂直方向エミッタンスには十分な効果はなかった。
- 5) リング内のSkewQ調整のもう一つの方法として、チュー

ンをdifference resonanceに移動させ、そこでのXチューンとYチューンとの差を最小にするようなSkewQセットをトライアンドエラーにより求め、もとのチューンに戻ってくるという方法が試された。これによるX-Yカップリングの減少は取出した後の垂直方向エミッタンスの減少に効果はあったが十分ではなかった。

6) リングからビームを取出した後のワイヤースキャナー部分でのSkewQ導入に伴い各種の調整手法が試された。5台のワイヤースキャナーによりビーム傾きを計測しそれを補正するSkewQセットを4Dフィットにより求める方法、ビームマトリックスの非対角要素を制御する4つのSkewノブを生成し傾きが補正され最小ビームサイズが得られるノブを探し出す方法が試され、垂直エミッタンスの計測を行ったが予測されたほどの効果はなかった。その原因の一つにはワイヤースキャナーによる傾き測定ではビームのショット毎のふらつきにより3°以下の精度では測定ができない事による。

7) これまでの経験を活かし、以上の方法を組み合わせ使用しかつワイヤースキャナー領域での水平垂直ディスパージョンを1cm以下に調整する事、およびリングの軌道と垂直方向ディスパージョンの補正に細心の注意をはらって調整すると、ワイヤースキャナー部分でのSkewQをマニュアルで調整するだけでワイヤーによる垂直エミッタンスは0.017nm.rad(ビーム強度 $2 \times 10^9$ /bunch)となり目標値の0.01nm.radに大きく近づいた。その時のビーム強度に対するエミッタンス計測値を図1に示す。図にはビーム強度に対するエミッタンス増大が水平垂直両方向に見られるがイントラビームスキャタリングによる効果以上に増大しており、現在その原因について調査中である。

### 3. リニアックビームの安定化

ビームエネルギー変動およびリング内でのビーム強度変動は98年から99年にかけてのリニアック改修でシングルバンチではリニアークライダの仕様に近いところまで達成されてそれほど大きな問題なくリング入射されているが、その後のなされた改造改修として、2000年春から行われたリニアックの全変調器へのdeQフィードフォワード回路の付加があり、短期的エネルギー変動(ジッター)がよく補正されるようになった。またRF位相の長期的変動を抑えるためパルス位相検出器を導入し、その単体評価は終了しており現在位相フィードバックをかける準備をしている。

リングへの入射蓄積強度安定度は依然と1~2%の変動があり目標値の1%以下には未だ到達していない。その原因として考えられるのはビームトランスポート部で常時発生しているビームロスがエネルギー変動に敏感である事によるもの、SHB空洞が原因と考えられるバンチングジッターによるエネルギーブレッド変動によるものなどである。

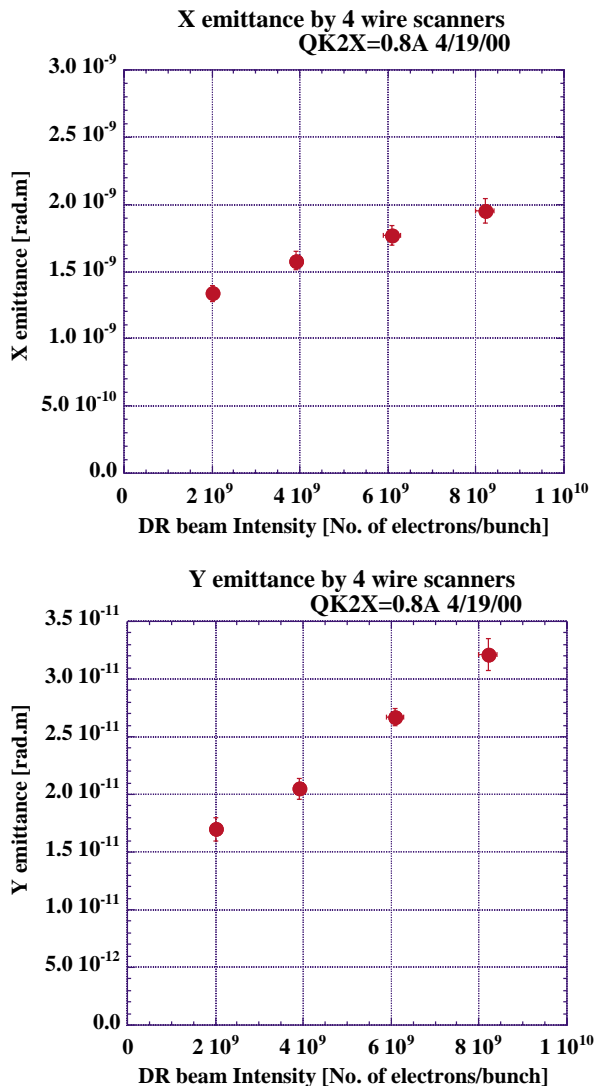


図1 ワイヤースキャナーにより測定された水平および垂直方向エミッタンスのビーム強度依存性

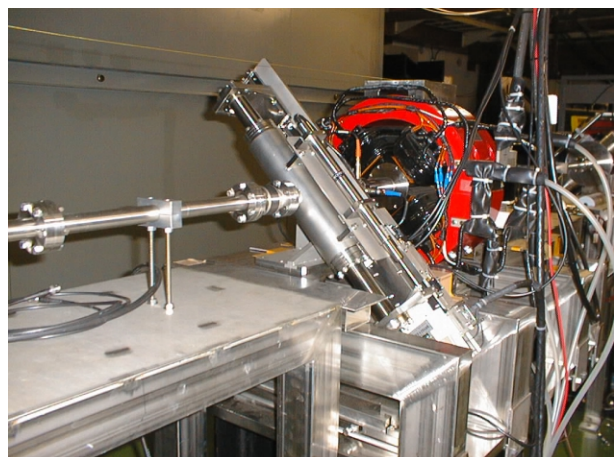


図2 取出しラインで使用されているワイヤースキャナー

### 4. マルチバンチに向けての漏洩放射線の低減

マルチバンチ運転で現在一番深刻な問題は放射線シールドである。シングルバンチで6Hzの高繰り返し回転により各所に配置してある環境放射線モニターで計測して

みるとATFからの寄与は中性子が大部分でありしかもATFからの距離に対してその強度をプロットしてみるとスカイラインの計算と合値していた。線はトンネル内での鉛シールドにより十分に小さいレベルまで抑える事ができている。したがって中性子低減のためにはビームロスをさせない様にするかあるいはもっと十分な物質により囲い込む方法をとらざるを得ない。すなわちビームロスを抑えるためにはエネルギーブレッドの小さいかつエミッタンスの小さいビームをリニアックで生成しなければならないし、中性子を遮蔽するためには50 cm以上のコンクリートで囲まなければならない。

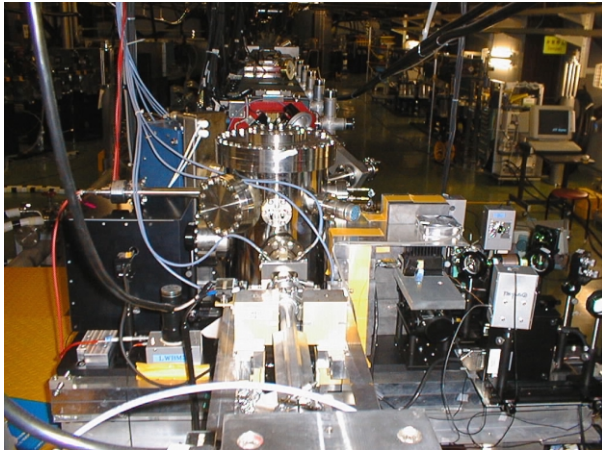


図3 リング内に設置されたレーザーワイヤー

### 5. レーザーワイヤーモニターの開発

リング内でのエミッタンスモニターは現在のところSR干渉モニターが唯一のものであるが、その測定値は振動の影響を受けたり光学素子等のシステムティックエラーの影響をうけビームサイズの小さいところで信頼性を失っており、独立なエミッタンスモニターが必要とされている。レーザーワイヤーはリングに設置してもビームに影響を与える事なくビームサイズを計測できるので有望なモニターである。2000年春からリング内北直線部にレーザーワイヤーが設置された。このレーザーワイヤーは小電力CWレーザーを用いオプティカルキャビティーにより光子を蓄積した10 $\mu\text{m}$ 径のワイヤーをつくり出す。スキャンされたビームとのコンプトン散乱後の線を下流検出器で検出しビームサイズを計測する。問題点は線の生成率が低いので加速器バックグラウンドを如何に抑えるかである。現在レーザーワイヤーはリング内に実装され、線検出器はバックグラウンド低減するよう研究中であり、すぐにもビームスキャンを開始しようという段階である。

### 6. 高安定取出しのための高分解能BPMの開発

リング内のビームを高安定に取出し、引き続き線形加速器に軌道ジッターなく入射するために考案されたダブルキッカーシステムの調整には0.1 $\mu\text{m}$ 程度の高分解能のシングルショットBPMが必要である。この要求を満たすのは現在のところ空洞型BPMであり、ロシアの

BINP研究所の協力を得て2000年5月から導入された。現在その評価試験が行われている最中であり、簡易回路によるビーム試験では0.8 $\mu\text{m}$ 分解能が得られており、軌道ジッターは垂直方向で3.6 $\mu\text{m}$ 程度と計測されている。問題の水平方向軌道ジッターは未だ評価中でありそれでも10 $\mu\text{m}$ 以下であろう事は推測がついている。秋からのビーム運転では、このモニターがオンラインで機能しだし、ダブルキッカー調整の目となってさらなる高安定取出しが可能となるであろう。

### 7. 今後の課題

2000年夏のシャットダウン中に漏洩中性子対策のためリングシールド天上部に50 cm厚のコンクリートシールドを部分的に積み増し、そこからの中性子を1/10にする計画である。これにより10月からのマルチバンチシングルトレイン運転あるいはシングルバンチマルチトレイン運転が継続的に進めるようにし、マルチバンチでのエミッタンス開発を行う予定である。そのためのマルチバンチビームモニター開発が現在進行中であり、ワイヤースキャナーではマルチバンチからの線を高速のチェレンコフ光検出器で一度に20バンチ分検出する予定であり、BPMも高周波検出と専用処理ソフトウェアによりビーム位置のバンチ分解をする予定である。

今後ここに述べた諸問題を解決し大強度で高安定低エミッタンスのビームを実現することはリニアコライダーを実現する技術の確立に最重要であり試験加速器の意味がそこにあると考えています。また、ここで得られた経験と結果が皆様の参考になり種々の問題解決の糸口になれば幸いです。

### 8. 謝辞

ATFの運転維持および開発研究はシフトに参加してくださる皆様と、技術サポートしてくださる(有)イーキューブ、(株)関東情報サービスの方々によって行なわれています。あらためてここに感謝致します。さらに、本著者は菅原機構長、木村物質構造科学研究所長、木原加速器研究施設長、高田加速器総主幹、山崎加速器第一研究系主幹の方々のご理解とご指導に感謝致します。

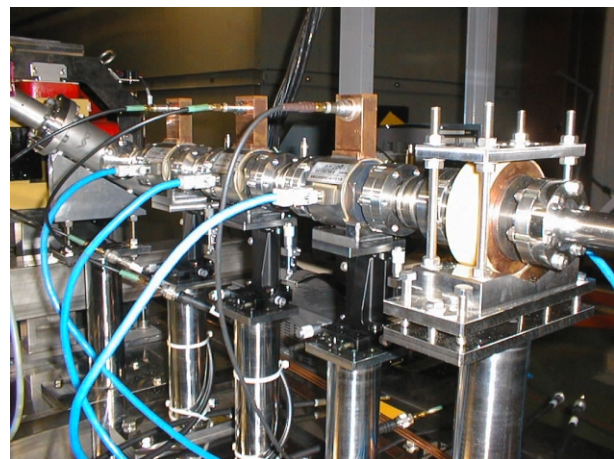


図4 取出しラインに設置された空洞型BPM