

ATF の現状

早野仁司、および ATF グループ
高エネルギー加速器研究機構
〒305-0801 茨城県つくば市大穂 1-1

概要

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年の立ち上げから4年間にわたり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きており、昨年秋より最終目標であるマルチバンチでのエミッタンスの達成にも力を注いでいる。シングルバンチにおいては水平方向のエミッタンスは小ビーム強度の時ほぼ設計値 ($\epsilon_{xn}=2.6 \times 10^{-6}$ rad.m) に近い事を確認し、垂直方向のエミッタンスもその時 $\epsilon_{yn}=2.7 \times 10^{-8}$ rad.m となり目標である1%カップリングを達成した。一方、マルチバンチに切り替えてみると水平方向エミッタンスはシングルと同じ程度で変化はないが、垂直方向エミッタンスはテールバンチにおいて増大している事がわかった。しかしながらビーム調整を進めてその垂直エミッタンスも各バンチにわたって均一に $\epsilon_{yn}=7.5 \times 10^{-8}$ rad.m まで下げる事ができ目標達成に近付きつつある。本報告ではそれらのエミッタンス開発について報告を行い、現状ATFが目標エミッタンスに対してどの辺にいるかをお知らせしたい。

1. はじめに

リニアコライダー加速器開発のための試験加速器 (ATF (図1参照)、1.28GeV、1.5Hz) は、マルチバンチ低エミッタンスビームの実現という目標のもとビーム開発およびビームモニター開発を行っている。2001年2月にはシングルバンチでのエミッタンスがほぼ目標値に到達した事を取り出した

ビームで確認した。しかし垂直方向エミッタンスの測定値のふるまいがイントラビーム散乱をいれた予想計算と大きく異なっているため、その原因追求が引き続きなされている。一方、マルチバンチでのエミッタンス達成にも重点を移しつつあり2割から3割のマシントimeをそれに費やしている。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マルチバンチビームモニターの開発状況を報告する。

2. シングルバンチ低エミッタンスビーム

低エミッタンスビームをつくるために、現在行っているリングの調整法は以下のとおりである。まず軌道補正を行って±1mm以下に軌道を抑え、Y方向ディスパージョンを5mm以下になるようにステアリングを使用して補正する。この時、CODへの影響を最少とするようなディスパージョン補正とする。その後リング内のSkewQを使用し、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でカップリング調整を行う。さらに、チューンをカップリングレゾナンスの場所に移動し、X、Yのチューン差を測定しカップリングを測定する。この測定値が0.5%より小さくなるように調整をくり返す。



図1：低エミッタンスビームを作り出すATFダンピングリング アーク部

Single bunch emittance

SAD calculation : 0.4% coupling

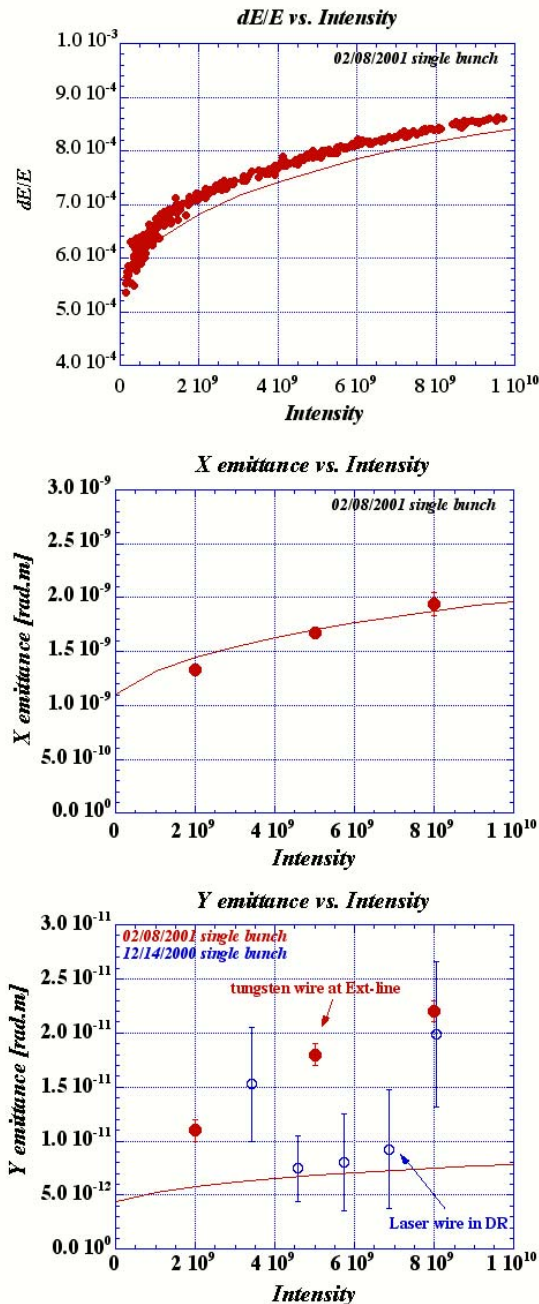


図2：シングルバンチ エミッタンス測定値

一方、取り出しラインではワイヤースキャナーを使用しビームサイズを測定しエミッタンスを計算するが、ディスパージョンからくるビームサイズ増大の効果を最少にするためワイヤー領域の区間では X、Yともディスパージョンを10mm以下に調整する。この時 X 方向の補正には上流の Q マグネットを使用し、Y 方向の補正にはやはり上流の skewQ マグネットを使用する。

2.1 リング内ビームの SR 干渉モニターによる測定

リング内でのエミッタンスモニターのひとつとして SR 干渉モニターを使用しているが、その測定値は光学系の振動およびビーム自身の振動の影響を受けビームサイズの小さいところではいまだに信頼性は高くはない。しかしながらそのリアルタイム性と簡便性からビーム調整の大部分で調整に使用されている。ここ1年で立ち上がった SR 第2ポートは X 方向ディスパージョンの小さいところを光源としているため X 方向ビームサイズの測定にも精度を上げられるようになった。さらに光路上には真空チェンバー内の狭いスリット窓のような障害物がなく Y 方向に広いアパーチャーをもっているので干渉モニターも広いスリット幅までスキャンできる。光学系の振動対策も十分に進み、調整がよくできている時には最少 $6 \mu\text{m}$ 程度の Y 方向ビームサイズを計測できている。これは $\epsilon_{\text{yn}}=3.3 \times 10^{-8}$ $\text{rad}\cdot\text{m}$ に相当する。

2.2 リング内ビームのレーザーワイヤーモニターによる測定

もう一つのリング内でのエミッタンスモニターとして北直線部にレーザーワイヤーが設置され、ビームサイズ計測が行われている。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 $1\sigma = 7 \mu\text{m}$ のワイヤーをつくり出す。レーザー装置自体を Y 方向に動かしビームをスキャンするが、その時発生するビームとのコンプトン散乱後の γ 線を下流検出器で検出しビームサイズを計測する。 γ 線の生成率が低いのでビーム計測はリングにビームを蓄積し γ 線計数蓄積で行うのでライフの短い大電流領域は計測できないが、小電流域ではきれいなビームプロファイルを計測できており最少 Y 方向エミッタンスとして $\epsilon_{\text{yn}}=1.9 \times 10^{-8}$ $\text{rad}\cdot\text{m}$ が得られている。

2.3 取り出しビームのタングステンワイヤーモニターによる測定

取り出しラインのワイヤースキャナー領域での X、Y ディスパージョンを 10mm 以下に調整する事により、Y 方向エミッタンス計測値はレーザーワイヤーにより測定されているリング内の Y 方向エミッタンスに近付ける事ができた。このディスパージョン測定は高分解能 cavityBPM でも精度よく行われている。ビーム強度を変えた時の取り出したビームのエネルギー Spredd、X 方向エミッタンス、Y 方向エミッタンスの測定値 (unnormalized) を図2に示す。イントラビームスキュアリングによる効果を考慮に入れた予測では、エネルギー Spredd と X 方向エミッタンスとを良く表すカップリングは SAD によると 0.4%程度と考えられ、取り出しラインで測定された Y エミッタンスはその予測より高いところにある。その原因については継続して調査中である。しかしながら、小電流域では、 $\epsilon_{\text{xn}}=3.2 \times 10^{-6}$

rad.m, $\epsilon_{yn}=2.7 \times 10^{-8}$ rad.m となり目標である1%カップリングは達成できている。さらにリング内のレーザーワイヤーデータの1部は予測どおりであるので、状況によっては0.4%カップリングを達成していると考えられる。

3. マルチバンチ低エミッタンス

漏洩中性子対策としてリングシールド天上部に50cm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全体として約1/3にできたため、マルチバンチ運転が0.78Hzで継続的に運転できるようになった。熱電子銃からのマルチバンチ発生(20バンチ)はグリッドに357MHzのバーストRFを印可する事で行っている。バンチング、加速はシングルバンチと同様にして行っているが、トランジェントローディングによるエネルギー差を補正するため4MHzほど周波数の異なる加速管1本で補正をかけている。電子銃から取り出しラインまでのビーム強度透過率は50%程度であり、シングルバンチ運転と大差ない。しかし放射線安全規定上電子銃での発生最大電流が規定されているので、各バンチ強度はシングルバンチ時の約1/3が現状最大である。(すなわちリニアコライダービームの1/3のバンチ強度、1/5のバンチ数。)

調整はまずシングルバンチで行った後にリング、取り出しラインに触らずにマルチバンチを効率よく入射する様にリニアック、トランスポートラインを調整するという方法で行っている。入射の調整箇所は、バンチング、マルチバンチエネルギー補正、リングへのマッチング、リングのRF入射位相などである。約9ヶ月ほどの運転経験(ただし実質40シフト程度)、調整経験および大電流での焼きだし運転の後、Y方向エミッタンスは全ビーム強度 5.5×10^{10} の時(各バンチ強度は約 3.7×10^9)、 $\epsilon_{yn}=8.3 \times 10^{-8}$ rad.mと目標の3倍の大きさに測定されている。なお、X方向エミッタンスはシングルバンチ時と同様である。エミッタンスの測定はシングルバンチ時のモニターが全バンチの平均射影で計測しているのを、それを使用して調整やスタディーが進められているが、同時に各バンチのエミッタンスを計測するモニターも開発中である。マルチバンチワイヤースキャナーはほぼ実用的に使用できるまできており、それら5台により取得したデータの例を図3に示す。各バンチのプロファイルがきれいに測定されていくつバンチ中心がわずかにずれていっているのが見て取れる。これは取り出しラインに存在するX-Yカップリングによるものと考えられる。

4. 今後の課題

マルチバンチでのエミッタンスの状況は約1年前のシングルバンチ時の状況と同じである。現在シングル運転時とマルチ運転時でのリングの状況の違いは真空度と縦方向振動の激しさ(マルチの後方バンチほど激しい)であるが、エミッタンスに関与しているのは真空度であろうと推測している。それに対してはこの夏にイオンポンプを増強する予定である

ので、2001年秋の運転ではエミッタンスは改善が見込める予定である。また、各種モニターも鋭意改善中であり今後一層の高分解能、高精度、広帯域化が進む予定である。

5. 謝辞

ATFの運転維持および開発研究はシフトに参加して下さる皆様と、技術サポートして下さる(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、神谷加速器研究施設長、黒川加速器総主幹、榎本加速器第3研究系主幹、高田教授の方々のご理解とご指導に感謝致します。

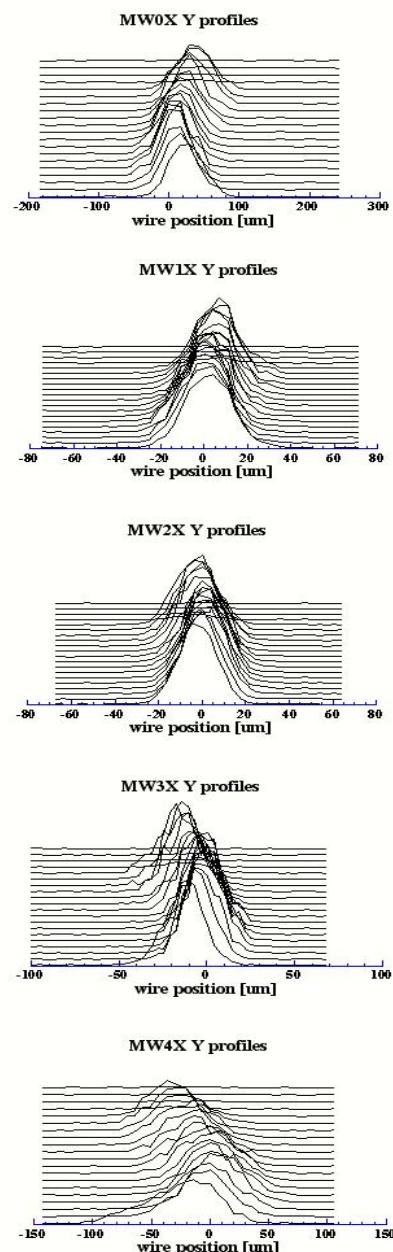


図3：マルチバンチ 各バンチのYプロファイル