

ATFの現状2003

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 加速器研究施設
〒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入射部の低エミッタンスビーム生成開発を行っている試験加速器(ATF)では、シングルバンチおよびマルチバンチにおいて目標エミッタンス達成の後、さらなる低エミッタンスの達成と高安定なビーム生成を目標に研究開発が進められている。ダンピングリング部のビーム位置モニター回路は全数高分解能型に置き換えられ、軌道調整とディスページョン調整を高精度に行い、1%のエミッタンス比を0.5%に減らす事ができた。また、熱陰極電子銃はマルチバンチフォトカソードRF電子銃に置き換えられ、マルチバンチでの高品質ビーム生成をリニアックにおいて行っており、リングへの入射時のビーム損失を極力減らすようにしている。平行してレーザーワイヤーモニターのX、Y両方向検出という高度化、X線SRモニターの開発、ODRモニターの開発などの先端的モニターの研究、空洞型ビーム位置モニターや高速フィードバックによるnmビーム位置制御の研究も進められている。本報告ではエミッタンス開発について、そして各種エミッタンスモニターの開発状況およびnmビーム位置制御の研究についての現状報告を行う。

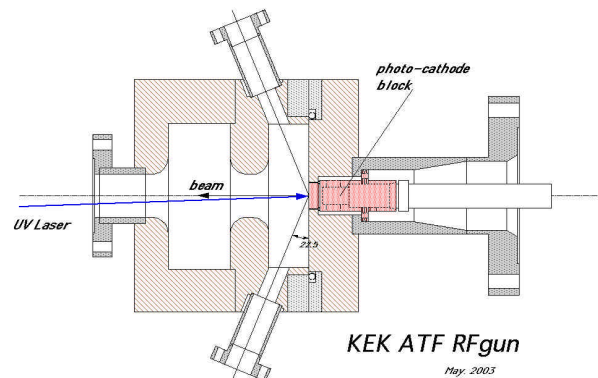
1. はじめに

2002年秋から2003年夏までのATF運転はマルチバンチでの低エミッタンスビーム生成とマルチバンチ時の縦方向ビーム振動の原因解明、シングルバンチでのさらなる低エミッタンスビーム生成を目標にビーム開発が行われてきた。平行して低エミッタンスビームのための各種モニターの開発が行われてきている。一方、リニアックの方は2002年夏の保守期間に熱陰極電子銃をマルチバンチフォトカソードRF電子銃に置き換え、2002年10月から2003年6月まで継続的に運転を続けて経験と改良を重ねてきた。その結果入射ビームの品質が向上し、電子銃出力からリングへの入射効率が50%程度であったのが90~100%へと改善されてビーム損失が減少している。本報告ではリニアックでのビーム品質改善の状況、ダンピングリングでのシングルバンチおよびマルチバンチエミッタンス開発の状況、あわせて進められているマルチバンチビームモニターや新たなエミッタンスモニターなどの開発状況を報告する。

2. マルチバンチフォトカソードRF電子銃

ATFリニアックでは熱電子銃からのマルチバン

チ発生での諸問題を解決し 1×10^{10} 程度で20バンチの均一強度高品質ビームをリングに損失なく入射できる電子銃としてマルチバンチフォトカソードRFガンを開発している。低出力マルチバンチレーザー(2 $\mu\text{J}/\text{pulse}$)を使用するので、CERNやDESYで実績のある量子効率が高く高電界RF場中でも量子効率寿命の長い Ce_2Te カソードを使用する事とした。このためフォトカソード研究に実績と経験の深い名古屋大チームと共同でカソードのロードロックシステムを開発し、高真空をやぶる事なくカソード蒸着生成できそれをRF空洞中に装着できるようにした。RFガン空洞はBNL型空洞のカソード端板を改造する事で、交換可能なフォトカソードを取り付けられるようにした。空洞はKEKのワークセンターで加工から口付けまで行い高精度な空洞を製作した。一方、マルチバンチレーザーは放医研のチームの協力を得る事ができATF



での共同試験が可能となった。

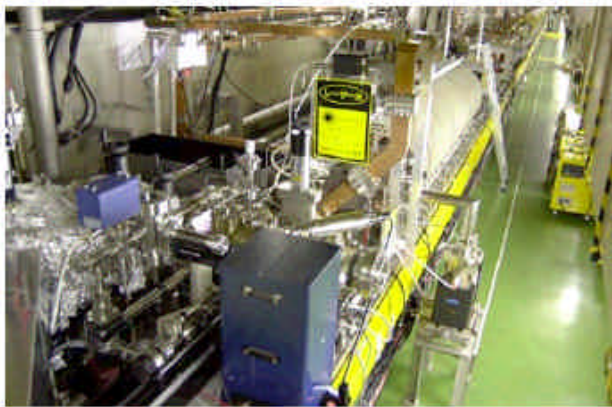
図1 RF電子銃の断面図



図2 フォトカソードブロック。表面の茶色の部分が Cs_2Te 蒸着膜部分。このブロックが空洞端板に挿入される。

出力されるビームの品質はレーザーの品質に大

大きく左右されるが、1バンチから20バンチまで自由にパルス数を選択できかつ様な強度のビームにするために高速切り出しが可能なポッケルセルを導入した。また、従来から使用されていた浅い角度からのレーザー斜め入射をやめ、下流ビームライン近傍ミラーから入射するほぼ垂直な入射方法に変更した。また、レーザーの入射位相のみを調整できるようにレーザー基準信号系に位相器を導入した。レーザー自身のプロファイルについては今後の改善が必要であるが、得られている典型的ビームエミッタンスは $\epsilon^n=4 \times 10^{-6}$ rad.m (2×10^9 /bunch intensity)であり、ビーム強度ジッターは310%程度である。またレーザーのポインティングスタビリティの悪さから発生している



と考えられるリニアック中の軌道ジッターは下流のほうで数100 μ mにもなる。ビームの強度ジッターや軌道ジッターについてはまだまだ改善の必要性がある。

図3 ATFリニアックで使用中的RF電子銃空洞部とロードロックシステム部。

3. マルチバンチ低エミッタンスビーム生成

マルチバンチRF電子銃による低損失リング入射が実現できたのでリング蓄積電流が規定最大電流70mA近くまで上げる事ができるようになった。この電流によるリング焼き出し運転によりリング内の真空度をさらに下げる事ができ、現在では 0.4×10^{-6} paに改善している。これと相まってリング内のビーム位置モニター回路を全数更新し、分解能20-30 μ mだったものを3 μ mのものに置き換えた。この変更によりBBA測定が再現性よくかつ高精度になり、ディスパージョン測定やカップリング測定が信頼できるものとなった。そしてそれらの補正を施す事により再現よく従来の半分のY方向エミッタンスを生成できるようになった。レーザーワイヤーによるY方向エミッタンスはシングルバンチ、マルチバンチともにバンチ強度で比較すると矛盾なく $\epsilon_y^n=1.5 \times 10^{-8}$ rad.mと得られデザイン目標値の半分であった。レーザーワイヤーの測定においては全バンチの全投影計測の他、個々のバンチのビームサイズも計測できるように改造されており、個々のバンチのエミッタンスも特別なグロー

スもなく一様に全投影エミッタンスと一致している。残る問題点はマルチバンチ時に縦方向振動が発生し、バンチトレインの後方になるに従って振動振幅が大きくなるという現象が観測されている。これはエミッタンスには影響を与えないが後方バンチがバンチ自体としてエネルギー振動を起こしている現象である。シミュレーションによるとR/Q=40、Q=1000程度で起こるものと予想されるがそのようなインピーダンスは加速空洞ぐらいにしか予想されない。現在加速空洞との関連を調べている。

4. 低エミッタンスビームモニターの開発

2002年秋から2003年夏までに改造などが行われ進展のあったモニターについてのみ報告する。

4.1 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

リング内でのエミッタンスモニターとして北直線部に設置されているレーザーワイヤーは2002年夏に改造されX方向とY方向のビームサイズ計測ができるようになり、さらに使用しているレーザーの大出力化により測定統計数を大きくできるようになったためSN比の増大およびマルチバンチの個々のビームサイズも短い時間で計測できるようになった。X方向のサイズ計測のための垂直ワイヤーとY方向計測のための水平ワイヤーは別々のチェンバー内の別々のオプティカルキャビティーで生成され、入射するレーザーは光路を切り替えて使用できるようになっている。Y方向を測定する水平ワイヤーのサイズは5 μ m程度であるので電子ビームサイズ5-6 μ m ($\epsilon_y^n \sim 1.0 \times 10^{-8}$ rad.m)が測定限界である。現在の測定値7.2 μ m ($\epsilon_y^n = 1.5 \times 10^{-8}$ rad.m)は測定限界に近いものである。

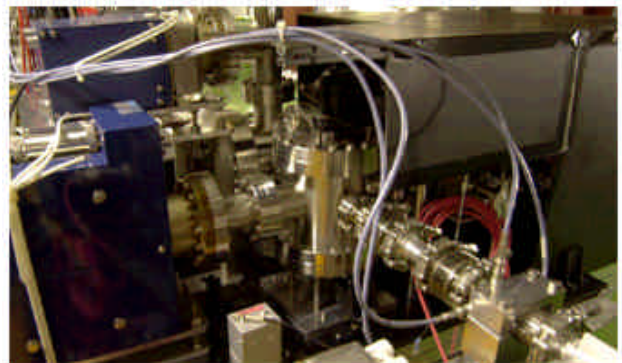


図4 Xワイヤー（手前のチェンバー）とYワイヤー（奥のチェンバー）を備えたレーザーワイヤー装置。

4.2 リング内ビームのX線SRモニターによる測定

2001年夏からX線ビームラインが設置され2002年5月になって周回ビームのイメージングに成功したX線を利用したSRモニターは、測定精度や安

定性を増すための各種改造の後に2003年6月から再稼働している。現在立ち上げ調整中であるが、きれいなビーム像がX線CCD上に観測されており、X方向45 μm 、Y方向7 μm という測定値が得られている。これからY方向のエミッタンスを計算するとレーザーワイヤーやSR干渉計の結果より3倍ほど大きく、まだ検討が必要である。今後は光学系の微細調整を行い信頼できるビームサイズ計測ができるようにし、さらにリアルタイムエミッタンスモニターとして使用できるように遠隔制御ソフトウェアを導入する予定である。

4.3 回折放射を用いたビームサイズモニターの開発

回折放射光は金属ターゲットの端ぎりぎりのところをビームが通過したときに金属端から放射される光であり、この光を利用すれば不要な放射線発生のないリニアック中で使用できるビームサイズモニターが実現する。この原理実証をするべく回折放射ビームサイズモニター(ODRモニター)の提案が東京都立大とトムスク大よりなされATFと共同開発を行っている。可視光領域での回折光自体は世界に先駆けて2001年12月に観測しており、現在はスリットターゲットを使用してスリット中をビームが通過した時スリット両端からの回折放射光の干渉検出を行っている。ビームサイズは干渉の度合いから推定される。問題はビームライン上流からビームとともにやってくるベンドマグネットやQマグネットによるSR光がバックグラウンドとして重なる事である。現在このバックグラウンド光をいかにして最小にするかの研究をしている段階である。

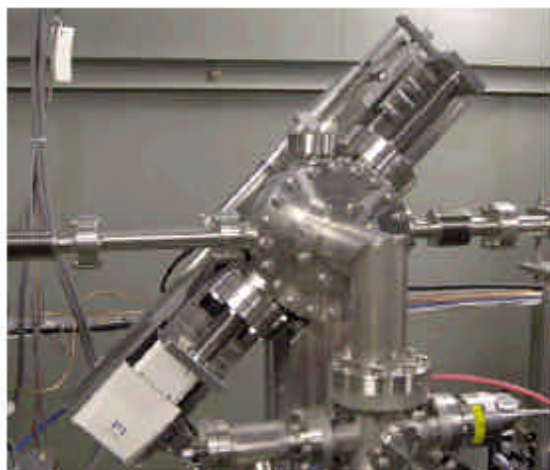


図5 ODRモニターチェンバー。ビームは右側から入射し、ODR光は下側に放射される。

4.4 空洞型高分解能ビーム位置モニター

ATFの取り出しビームを使用しnmでのビーム位置制御の研究を行いリニアコライダーの衝突点でのビーム衝突維持制御を開発する計画の検討が始まっている。このためにはダンピングリングの

ビーム位置やエネルギーの安定化、取り出しキッカーの安定化、そしてnmを検出できるビーム位置モニター開発が必要である。現在BINP研究所との共同開発である空洞型ビーム位置モニターを3台並べて高分解能回路のテストをSLACと共同で行っている。現在までに得られている最高分解能は0.13 μm であり、モニターの振動安定性や空洞間の相対アライメントのための高精度ムーバーの開発、さらなる高分解能回路の開発などを行っている。また、トレイン内ビーム位置制御のための高速フィードバックシステムも検討中でありnm領域での位置制御の実現を目指している。

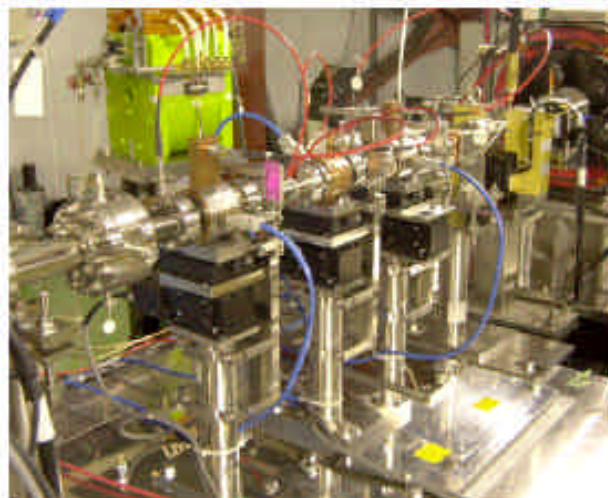


図6 高分解能開発のための3空洞BPMセットアップ。

5. 今後の課題と展望

マルチバンチのエミッタンスはシングルバンチ時と同等というところまで下げることができているが、縦方向振動が起きておりその原因についてはリングのRF空洞のHOMが疑われている。空洞の精密な温度制御を施して縦方向振動を最小化できるようにする予定である。また、運転できる最大電流値の更新を申請中であるが、許可後直ちにリニアコライダーでのビーム強度(7×10^9 /bunch intensity)でのマルチバンチ低エミッタンスビーム生成の確認を急ぎたいと考えている。より長い展望としてATFにおいてnm領域でのビーム位置制御の実現を検討しているが、そのためのリングビームの超安定化、取り出しダブルキッカーによる超安定取り出し、高速フィードバックによる超ビーム安定化の開発を行っていく予定である。

6. 謝辞

ATFの運転維持および開発研究はシフトに参加しビーム開発を担当して下さる皆様と、技術サポートをして下さる(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、本著者は戸塚機構長、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研究系主幹の方々およびGLC計画関連の方々のご理解とご指導に感謝致します。また、ここに報告しましたATFの研究開発が皆様の研究の一助になれば幸いです。