

## INTENSE BEAM OPERATION AT THE ATF-INJECTOR

K. Hirano<sup>A)</sup>, M. Fukuda<sup>A)</sup>, M. Takano<sup>A)</sup>,  
Y. Yamazaki<sup>B)</sup>, T. Muto<sup>B)</sup>, S. Araki<sup>B)</sup>, N. Terunuma<sup>B)</sup>, M. Kuriki<sup>B)</sup>, M. Akemoto<sup>B)</sup>, H. Hayano<sup>B)</sup>, J. Urakawa<sup>B)</sup>  
A) National Institute of Radiological Sciences (NIRS), 4-9-1, Anagawa, Inage, Chiba, 263-8555, Japan  
B) KEK, Oho, Ibaraki, 305-0801, Japan

### Abstract

The injector of the Accelerator Test Facility (ATF) in KEK consists of a S-band linac and a multi-bunch photo-cathode RF gun. We measured the emittance and the bunch length of the high intense beam with 3.8 nC bunch charge at the ATF-injector and simulated the beam trajectory by the general particle tracer code (GPT).

## ATF入射部の高強度ビーム運転

### 1. はじめに

高輝度硬X線生成とその利用の可能性を実証するため、小型電子蓄積リングと光蓄積装置<sup>[1]</sup>でレーザーコンプトン散乱により超高輝度硬X線源開発を計画している。この電子源として、マルチバンチフォトカソードRF電子銃を採用し、その開発をKEKと共同で行っている。現在、放医研で計画中の超高輝度硬X線発生試験に利用するため、KEKのアッセンブリーホール内にマルチバンチフォトカソードRF電子銃のテストベンチ<sup>[2] [3]</sup>を準備している。

一方、アッセンブリーホール内の試験加速器施設(ATF)では、Cs<sub>2</sub>Teカソードを有するフォトカソードRF電子銃を電子源<sup>[4]</sup>として用い、その電子ビーム(バンチ間隔2.8nsec、電荷量4.8nC/bunch、パルス当たりのバンチ数20bunches)を各種開発実験に利用している。テストベンチで用いるRF電子銃はATFのRF電子銃と同型であり、ATF入射部はRF電子銃と加速管で構成されている。今回は、RF電子銃の特性を調べるため、ATF入射部を利用し、レーザー入射位相特性の測定及び電荷量3.8nC/bunchのビーム出

力試験を実施したので報告する。また、General Particle Tracer(GPT)コードを使用し、ビーム軌道計算も行い、実験結果との比較を行った。

### 2. 実験体系

#### 2.1 ATF入射部

ATF入射部の概略構成図をFig.1に示す。RF電子銃は1.6セル空洞、BNL-型である。ソレノイド電磁石は、110Aで軸上磁場1.65kGaussが得られる。RF電子銃に付属しているカソードシステム<sup>[5]</sup>によって、鏡面加工されたMoカソードプラグの表面にCs<sub>2</sub>Teを蒸着させ、真空を破ることなくカソードプラグを電子銃キャビティ内へ導入できる。運転時のカソードのQEは約1%である。

クライストロン出力電力62MWは6分配器で分配され、一部はフェーズシフタ、アッテネータを通り、RF電子銃へ最大15MW投入され、残りの47MWは加速管へ投入される。

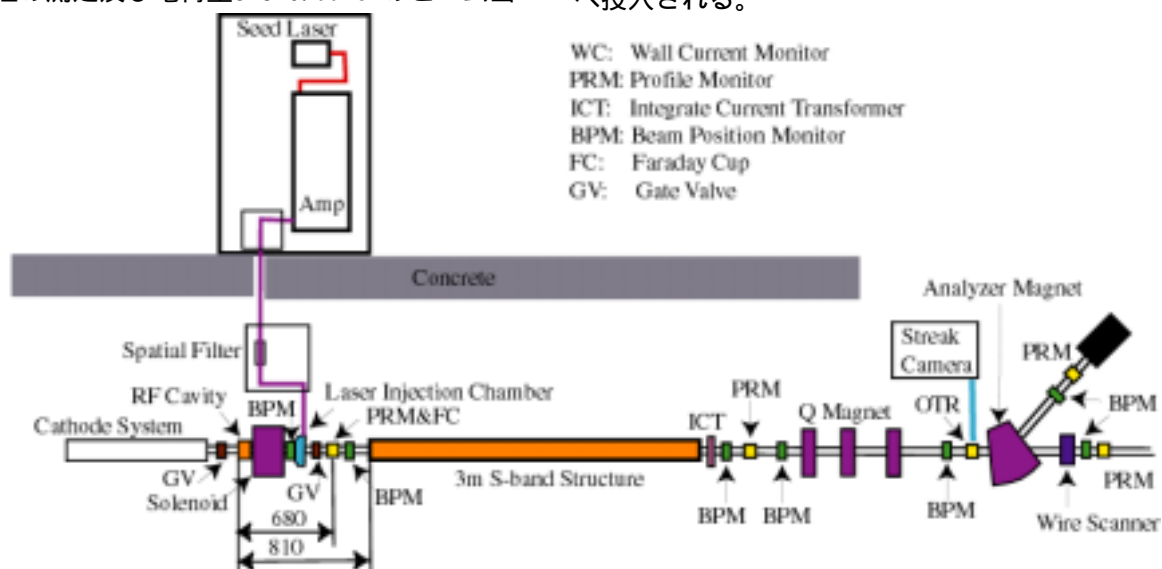


Figure 1: Schematic view of experimental setup

## 2.2 レーザーシステム

レーザーシステム<sup>[6]</sup>の概略構成図をFig.2に示す。シードレーザーはSESAM (semiconductor saturable absorber mirrors) を有する357MHz パッシブモードロックLD励起固体レーザーである。波長1064nm、出力410mW (CW) のIRレーザーをポッケルスセルで、1~20パルス (マクロパルス幅56nsec) を切り出し、Nd:YAGロッドフラッシュランプ増幅器を4台用いて増幅させる。今回の試験では、1パルスを用いた。第2高調波及び第4高調波用BB0結晶を用いて、波長266nmに変換し、レーザーエネルギー5 $\mu$ J/bunchを得た。この時のIRからUVへの変換効率は約10%である。アンプ出口に偏向ビームスプリッター及び $\lambda/2$ 板を設置し、 $\lambda/2$ 板の回転角を制御することによって、UVレーザーのエネルギーを変化させ、RF電子銃から出力される電荷量を調整した。UVのパルス幅はストリークカメラで測定し、10ps (FWHM) であった。UVレーザーはスペイシャルフィルターを用いてプロファイル整形を行った後、図1に示す入射用チャンパー内の金属ミラーに入射され、ビームラインから1.5°の角度でカソードへ正面入射される。入射用チャンパー入口のUVレーザーエネルギーは2.5 $\mu$ J/bunchである。入射用チャンパー入口のUVレーザーをミラーで反射させ、カソード表面と等距離におけるプロファイルプロファイルモニターで測定した。この時のプロファイルは、x幅1.2mm (FWHM)、y幅0.8mm (FWHM) の楕円形であった。

## 2.3 ビーム診断系

ソレノイド出口に2段式圧空システムが設置されている。1段目のデマルケストで電子ビームのプロファイルを観測し、2段目のファラデーカップ (内径穴 15mm) を用いてソレノイド出口の電荷量を測定した。Optical Transition Radiation (OTR) をストリークカメラで測定し、パンチ長を測定した。加速管側のQ電磁石及び分析電磁石下流のワイヤースキャナー用い、Qスキャン法によるエミッタンスの測定を行った。分析電磁石及びプロファイルモニターを用いて、ビームエネルギーを測定した。ICTを用いて加速管出口の電流を測定した。

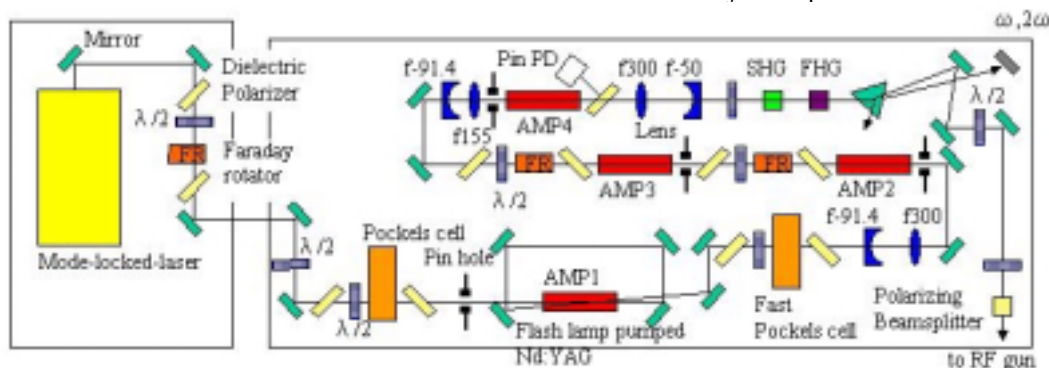


Figure 2: A schematic layout of the laser system.

## 3. 実験結果とシミュレーション

### 3.1 レーザー入射位相に対する電荷量

カソードからソレノイド出口のファラデーカップまでのビームの軌道をGPTで計算し、電荷量が3.8nC及び1nCの場合について、電子ビームの輸送率を求めた。ソレノイド磁場を一定にした状態で、カソード最大電界及びレーザー入射位相を変化させたときのビーム輸送率をFig.3に示す。カソード上の電界が最大になるとき、RFに対するレーザー入射位相を90°とした。カソードからファラデーカップまで100%輸送できるレーザー入射位相の範囲は、カソード最大電界が低くなるほど狭くなる。レーザー入射位相が90°に近くなるほどビームのエネルギーが低くなり、かつ、エネルギー幅が大きくなる。このため、同じソレノイド磁場ではビームのこぼれる割合が多くなり、輸送率が急に低くなる。電荷量が3.8nCになると、ビームが空間電荷効果により広がり、また、カソード最大電界が低いほど、ソレノイド付近のビームダクト (内径 32) に当たり、輸送率が低下する。

次に、レーザー入射位相を変化させて、ファラデーカップで電荷量を測定した。RF電子銃のキャビティ電力及びソレノイド磁場を一定にした状態で、シードレーザーのモードロック信号 (357MHz) の位相を変化させることによりレーザー入射位相を変化させた。Fig.4に示すファラデーカップによる電荷量の測定値と上述の計算結果とを比較した。

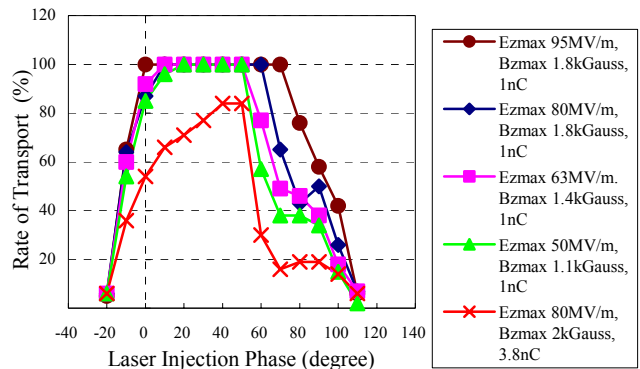


Figure 3: Rate of the beam transport as a function of the laser injection phase.

ビーム輸送率が100%になるレーザー入射位相の付近で、Fig.4に示すように電荷量が増加する。この電荷量の増加は、レーザー入射位相が大きくなるとカソード上の電界が増加するため、仕事関数が減少するショットキー効果によるものである。カソード最大電界が高くなると、レーザー入射位相0°からビーム輸送率が100%となり、ショットキー効果が現れ始める。よって、レーザー入射位相0°の位置はFig.4の立ち上がりの折れ曲がった点付近であると推測される。

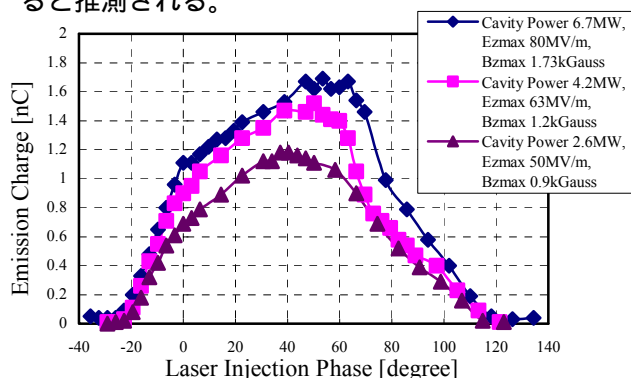


Figure 4: Emission Charge as a function of the laser injection phase.

### 3.2 ビーム出力試験

レーザー入射位相を変える毎にレーザーエネルギーを調整して、電荷量が3.8nC/bunchで一定になるようにした。加速管後のビームエネルギーが77.5MeVで最大になった。また、ビームエネルギー幅が3~4%程度になるようにRF電子銃のRF位相に対する加速管のRF位相を調整した。このとき、分析電磁石で曲げられたビームのプロファイルを見ながら、ビームがビームエネルギー幅の最小値を通り越して減速位相に乗らないよう注意した。レーザー入射位相に対するバンチ長をFig.5に示す。また、Fig.6にエミッタンスを示す。レーザー入射位相0°の位置は前項のように設定した。キャビティパワーは6MWであり、カソード最大電界が75MV/mと低いため、低レーザー入射位相によるバンチ圧縮率は低い。バンチ長はレーザー入射位相0°でレーザーパルス幅にほぼ等しくなっている。低レーザー入射位相領域において、エミッタンスが極端に悪くなっていない。

### 4. まとめ

ATF入射器を用い、RF電子銃のレーザー入射位相特性を測定し、レーザー入射位相0°を特定した。また、電荷量3.8nC/bunchのビーム出力試験を行い、レーザー入射位相0°でビームのバンチ長はレーザーのパルス幅にほぼ等しくなっている。高い電荷量のビームは、カソード最大電界が75MV/mと低いためソレノイドのダクトで一部損失するが、レーザー入射位相10°で運転することにより、バンチ長及びエミッタンスを悪化させずに加速部へ供給することができる。また、高い電荷量を損失無く輸送させる

には、より高いカソード最大電界が必要である。

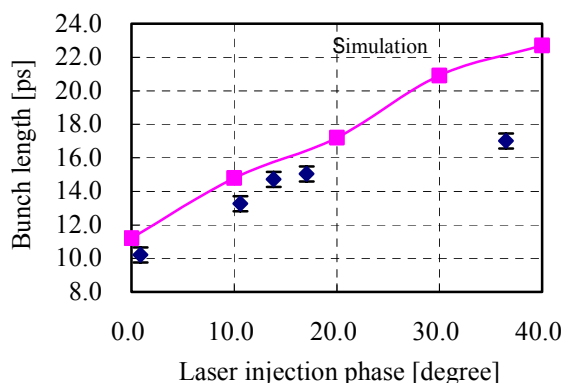


Figure 5: Electron beam bunch length as a function of the laser injection phase.

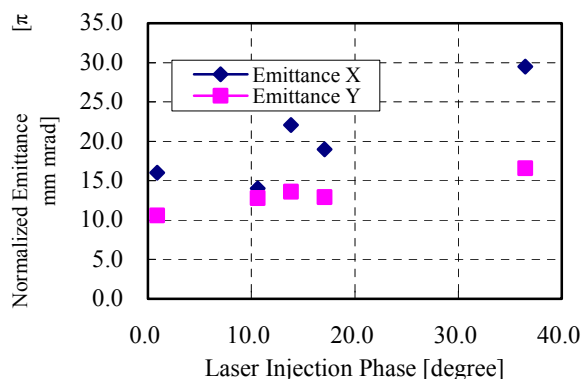


Figure 6: Normalized emittance as a function of the laser injection phase.

### 5. 謝辞

この研究開発は放医研・先進小型加速器計画として進めているもので、本推進委員会のご理解に感謝致します。この実験に関し、KEK、ATFグループの方々の協力に感謝します。GPTの計算に関する助言及び議論をして頂いた日本大学、菅野浩一殿に感謝致します。

### 参考文献

- [1] K. Takezawa, et al., “大強度X線生成のためのファブリペロー共振器内レーザーパルス蓄積”, 第1回加速器学会, Aug. 2004.
- [2] K. Hirano, et al., “Development of A Multi-bunch Photo-cathode RF gun System”, EPAC'04.
- [3] K. Hirano, et al., “マルチバンチフォトカソードRF電子銃のテストベンチ”, The 14<sup>th</sup> SAST, Japan, November 2003.
- [4] M. Kuriki, K. Hirano, et al., Proceedings of the 28th Linear Accelerator Meeting in Japan, pp194-196
- [5] N. Terunuma, et al., “First Results of the Caesium Telluride Photo-cathode for ATF RF-GUN”, The 14<sup>th</sup> SAST, Japan, November 2003.
- [6] <http://www.slac.stanford.edu/pubs/slacwps/slac-wp-025.html>. [slac-wp-025-a10-nomura](http://www.slac.stanford.edu/pubs/slacwps/slac-wp-025-a10-nomura)