

The Study of Transmission Efficiency in ATF Linac

T. Okugi^A, H. Hayano^B, T. Naito^B and S. Takeda^B

^AFaculty of Science, Tokyo Metropolitan University
Minami-Osawa 1-1, Hachioji-shi, Tokyo-to, 192-03

^BNational Laboratory for High Energy Physics
Oho 1-1, Tsukuba-shi, Ibaraki-ken, 305

Abstract

The ATF Linac consists of 80MeV preinjector, eight regular accelerating units and two units of energy compensation structures. The commissioning of this linac was held on November 1995 and some problems appeared through the beam operation. One of them is low transmission efficiency of ATF Linac. The transmission efficiency of ATF Linac is about 70% for 2.6×10^{10} injected electrons of single bunch beam. The reason of low transmission efficiency is concluded that the energy tail of electron beam at the exit of 80MeV preinjector section is out of the energy acceptance for ATF Linac.

ATF リニアックのビーム輸送効率

1. はじめに

高エネルギー物理学研究所の次世代のリニアコライダーのための試験加速器 Accelerator Test Facility (ATF) [1] の運転が 1995 年 11 月より開始され、現在もなお、この高加速勾配リニアックに関する基礎研究が進められている。その結果として幾つかの課題が明らかになってきた。それら課題の一つとして電子ビームの輸送効率がある。1996 年 7 月までに行われたビーム運転の結果、図 1 に示すようなシングルバンチモードにおける ATF リニアックの加速電子数に対する電子輸送効率を得られた。図 1 より、加速電子数を増加させるとそれに伴い電子の輸送効率が減少していることがわかる。ATF ダンピングリングへの入射電子数に対する要求はバンチあたり 2×10^{10} 個であるので、現在の電子輸送効率ではこの要求を満足するためには、バンチあたり 3×10^{10} 個以上の電子をリニアックに入射しなければならない。電子銃への負担等を考慮に入れると、電子輸送効率の問題は、解決しなければならない重要な問題となる。本稿では、ATF リニアックでの電子輸送効率を低下させている原因をリニアックの前段入射器での電子ビームのエネルギー拡がりに的を絞り、その相関を調べるために行ったビーム実験の結果について述べる。

2. ATF 80MeV 前段入射器 [2]

ATF 前段入射器は電子銃、バンチング系、および、電子ビームを 80 MeV まで加速する加速管により構成されている (図 2)。電子銃により生成される電子ビームは 1ns という比較的長いバンチ長を持っている。ATF リニアック入射時には電子ビームのバンチ長を 20ps 以下にまで圧縮する必要

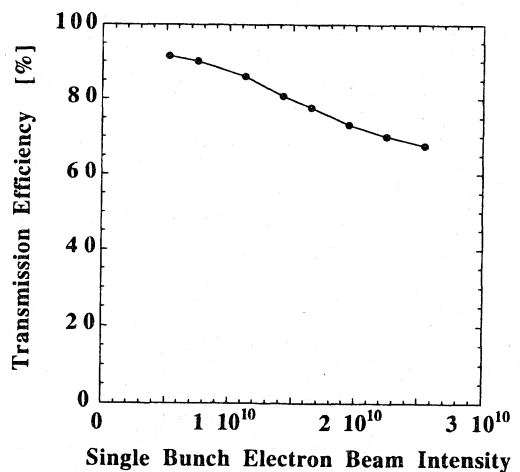


図1 1996年7月まで行ったシングルバンチモードでの入射電子数に対するATFリニアックの電子輸送効率。電子数を増やすと電子輸送効率が低下する。

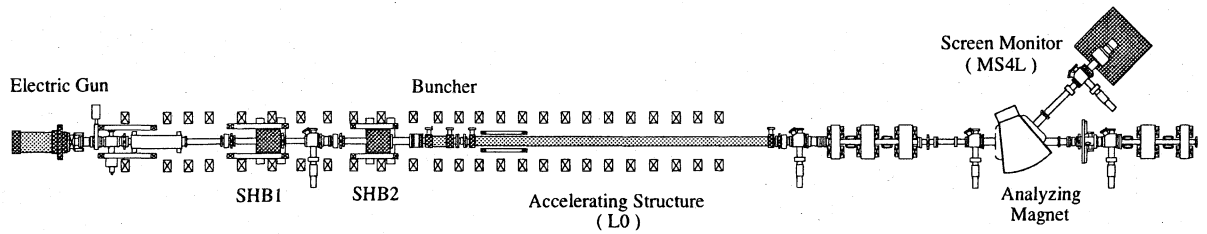


図2 ATF リニアック前段入射器

があるため、ATF では、2 個の Subharmonic Buncher (SHB) と進行波型バンチャからなるバンチング系によりバンチ長圧縮を行っている。SHB はリニアックの基本加速周波数の 1/8 の周波数である 357MHz の定在波型空洞であり、2つのSHB によりバンチ長を約 170ps まで圧縮することができる。また、バンチャは基本加速周波数 2856MHz の進行波型空洞であり、電子ビームを最大 2MeV まで加速することが可能である。バンチャは電子ビームを相対論的エネルギーにまで加速しながらバンチ長圧縮するので、バンチャ通過後は空間電荷力の効果が薄くなり、電子ビームの速度も高速に近づくため電子ビームのバンチ長は保存されることになる。

また、リニアックの前段入射器直後にはエネルギー及びエネルギー拡がりを測定するための偏向電磁石とスクリーンモニターが配置されている(図2)。本実験では、CCD カメラによるスクリーンの像を画像処理プログラムを用いて解析し、エネルギー拡がりの測定を行った。

3. ATF 1.54GeV リニアックの入射エネルギー

ATF リニアックにおいて、電子ビームは図3に示されるようなビームサイズで加速管を通過するように設計されている。ここで図中の L1-L16 は加速管を示し、加速管の間には4極電磁石が配置されている。1996年7月までのリニアックの運転の結果、入射部の加速管(L1、L2付近)でのビーム損失が大きいことが観測されている。

その原因として、入射部分のビームサイズが大きいことがあげられる。また、ATF リニアックでの前段入射器直後のエネルギー拡がりは1%程度の大きさになっている。それに対して、前段入射器部分で電子ビームを20psのバンチ長に圧縮しているため、リニアックを通過した後ではエネルギー拡がりを0.5%以下にまで小さくすることが可能である。このことは、リニアック入射部分のエネルギー拡がりがリニアックを通して最も大きくなっ

ていることを意味する。さらに、リニアックを通過した後の電子ビームのエネルギーは、計算値と非常によい一致を示しているが、個々の加速管を通過したときの電子ビームが得るエネルギーが計算値と比べ若干ずれているという事実も1996年7月までのビーム実験で観測された。この個々の加速管のエネルギーのずれは、実際のビームのエネルギーがリニアックの入射部分の加速管付近のオプティクス設定に使用したエネルギーとずれている可能性を示唆している。このエネルギーオフセットのため、リニアック入射部分でのビームサイズが大きくなり、電子ビームがリニアックを通過するためのエネルギーアクセプタンスが狭くなる可能性がある。以上のことがリニアックの上流部分での電子輸送効率の低下の原因であると推測される。これらの原因のうち、入射部分でのエネルギー拡がりがどの程度この電子輸送効率の原因となるかを考える。

4. 前段入射器におけるエネルギー拡がり

電子輸送効率と前段入射器直後でのエネルギー

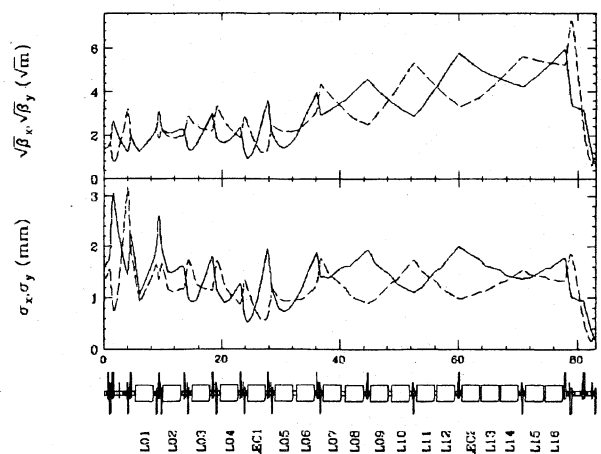


図3 ATF リニアックの Twiss パラメーターとビームサイズ

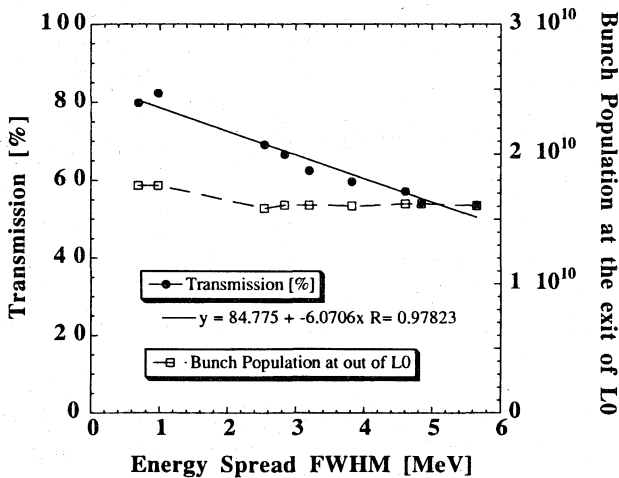


図4 前段入射器直後の電子ビームのエネルギー拡がりとりニアックの電子輸送効率

拡がりとの相関を調べるために、バンチャの位相を変化させることにより意図的に前段入射器直後のエネルギー拡がりをつくった。

それぞれのバンチャ位相に対する前段入射器直後のエネルギー拡がりとりニアックの輸送効率を測定した。測定結果を図4に示す。図4から今回の測定においてリニアック入射部での電子数はほぼ一定値を示し、全ての測定において約 $1.6 \sim 1.8 \times 10^{10}$ 個であったことがわかる。また、エネルギー拡がりが小さいほど、電子輸送効率が良くなることがうかがえる。しかしながら、エネルギー拡がりを無限に小さくしたときの電子輸送効率は約85%であり、完全に100%にはならないことがわかる。このような極限における電子輸送効率は、図1からも推測されるようにバンチャあたりの電子数が多くなればなるほど低くなる。その原因を考

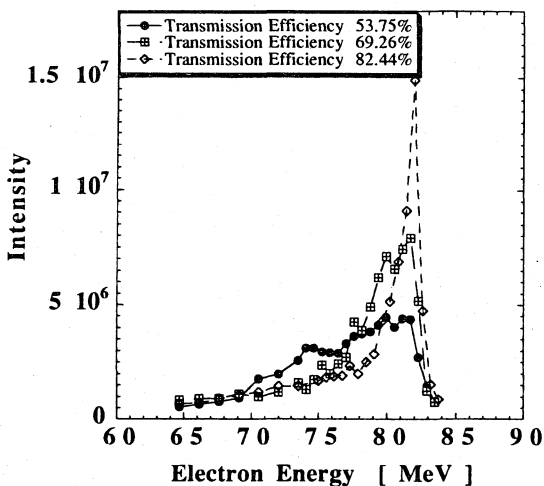


図5 前段入射器直後の電子ビームのエネルギー分布

えるため、前段入射器直後での電子ビームのエネルギー分布を図5に示す。

図5には、図4の図中に示した3つの代表点(輸送効率53.75%、69.26%、82.44%)での電子ビームのエネルギー分布を示してある。図5から低いエネルギーの電子は、エネルギー拡がりを最小にするようにバンチャ位相を調整したとき(輸送効率82.44%のとき)も、他の位相のときと大差無く存在していることがわかる。即ち、バンチャ位相の調整により半値全幅を小さくすることは可能だが、その場合も依然としてエネルギー分布の低エネルギー側のテールは存在することになる。今回の測定の結果として、エネルギー分布のテールが電子輸送効率を低下させている要因となっていると推測することができる。エネルギー分布のテールの原因としてSHBまたはバンチャのパワー不足が考えられるが、現在シミュレーションプログラム"PARMERA"を使用して解析中である。

5. まとめと今後の課題

ATFリニアックの課題の一つとして、電子輸送効率が挙げられる。この電子輸送効率を低下させる要因として、前段入射器のエネルギー拡がりに注目し、電子輸送効率と前段入射器におけるエネルギー拡がりとの関係を調べてみた。その結果、エネルギー分布の低エネルギー側テールが電子輸送効率を低下させている要因であると推測できた。今後は、この前段入射器直下におけるエネルギー分布のテール部分を少なくする前段入射器のバンチャ系の再構築を行わなければならない。

謝辞

本稿を書くにあたり、ATFグループの諸氏には、数々のご助言、ご指導をはじめとし、多方面にわたり大変お世話になりました。ここに心から感謝いたします。

References

- [1] H. Hinode et al., ATF Design and Study Report, KEK Internal 95-4 (1995)
- [2] T. Asaka et al., Multi-bunch Beam Characteristics for 80MeV ATF Preinjector, Proc. of 20th Linear Accelerator Meeting in Japan (1995)