

Multi-bunch Beam Characteristics for 80MeV ATF Preinjector

T. Asaka, H. Hayano* and T. Naito*

Tohokugakuin University

1-13-1 Chuo, Tagajo-shi, Miyagi 985 Japan

*National Laboratory for High Energy Physics

1-1 Oho, Tsukuba-shi, Ibaraki 305 Japan

Abstract

Accelerator Test Facility (ATF) consists of 1.54GeV S-band injector linac and 1.54GeV damping ring for linear collider R&D. The 80MeV preinjector is an injector part of the S-band linac generates and supplies electron bunches to the linac. The design goal of the 80MeV preinjector is to produce the multi-bunch train of the 20 bunches of 2×10^{10} electrons with a 2.8ns of bunch spacing. Each bunch has to have less than 10ps (FWHM) of bunch length to get a small energy spread after acceleration by the regular accelerator section. The 80MeV preinjector consists of a triode type conventional thermionic gun, a beam chopper, two 357MHz standing wave subharmonic bunchers (SHB's), 2856MHz 7-cell traveling wave buncher, a 3m long regular accelerating structure and Helmholtz coil focusing system. In order to avoid a phase shift by the heavy beam loading in the bunching cavities, low R/Q SHB's were developed and tested. In this paper, we describe the multi-bunch beam generation test using the low R/Q SHB's.

80MeV ATF 入射器におけるマルチバンチビーム特性

1. はじめに

リニアコライダのための試験加速器(ATF)の主な目的は高電界でのマルチバンチビームの加速及びダンピングリングによる低エミッタンスビームの生成であり、そのためのマルチバンチビーム生成はリニアック入射部で行われる。リニアック入射部は熱電子銃、ビームチョッパー、バンチャーシステムおよび3m長初段加速管から構成されており、その出力ビームとして2.8ns 間隔の20バンチ、バンチ長は10ps (FWHM)、電子数は 2×10^{10} 個、エネルギーは80MeVを達成しなければならない。本稿ではビームローディングによる後続バンチのディバンチを避けるために開発された2台の低R/Qサブハーモニックバンチャーをバンチャーシステムの初段に導入したときのマルチバンチビーム試験結果について報告する。

2. バンチャーシステム

熱電子銃のグリッドへのパルス状RF電圧の印加により2.8ns 間隔で、バンチ長1nsの20バンチが生成される。このバンチトレインをエネルギーブレッドを小さく保って加速するために、各バンチに対してSバンド加速管で要求されるアクセプタンス内(~10ps)までバンチングする必要がある。この要求を満たすためのリニアック入射部のバンチャーシステムは2856MHzの1/8に相当する357MHzで運転される2台の定在波型サブハーモニックバンチャー(SHB)と2856MHzで運転される進行

波型7セルバンチャー(TWB)で構成されている。バンチング空胴が全てのバンチに対して均一にバンチングを行うためには、ビームから空胴へ誘起されるビーム誘起電圧により集群電圧が電圧変化及び位相変化をする現象を避けなければならない。この影響を抑制するために誘起電圧を下げることでできる低R/Q構造のSHBの開発を行った。ビーズ摂動法による測定で得られたSHBのR/Qは 48Ω であり設計値(45Ω)と良い一致が得られた。しかしながら空胴の内導体と外導体との接合部の銅メッキが不十分であったために Q_L が設計値の1/2程度の値である2600しか得られなかった。このため現状の5kWのパワーアンプを使用したときのSHBのギャップ間に発生する最大電圧は25kVとなり、シミュレーションによる設計値である32kV及び40kVより少ない電圧で運転しなければならなかった。

3. 試験目的と入射器の構成

本ビーム試験の目的はマルチバンチビームについて入射器の各部に設置してあるビームモニターによりビーム透過効率、バンチ長、ビームエネルギーを測定し、繰り返し最適化を行い、それらの測定値が設計目標値をどれくらい達成するかを試験することである。本試験で使用したリニアック入射部のセットアップは熱電子銃、バンチャーシステム(2台のSHB、TWB)、そして3m長加速管から構成される。また外部磁場によりビームの発散を抑えるために電子銃の直下流には2台の電磁レンズ

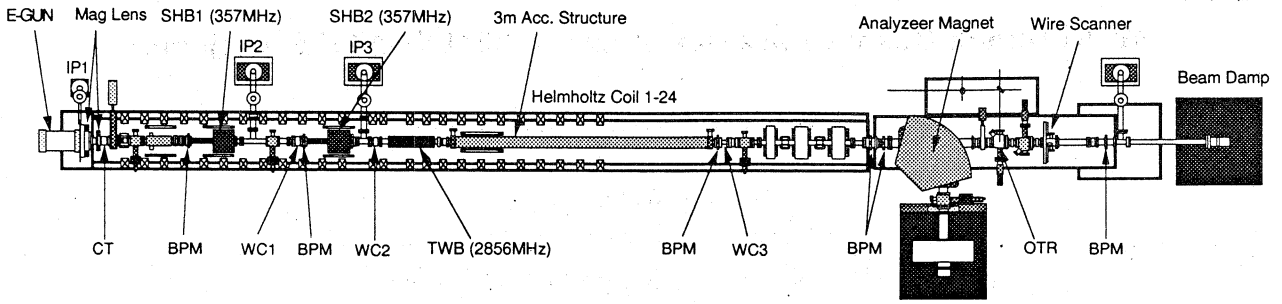


図 3-1 ATF リニアック入射部の構成

を設置し、さらに加速管の中央部まで 25 台の収束用ヘルムホルツコイルにより取り囲まれている。またビームの軌道を調整するためのステアリングコイルは各コンポーネント部分に設置された。その調整は各空胴の前後に設置されたビーム位置モニターによりビーム位置を測定し、中心を通るようになされた。バンチャーシステムは PARMELA からの結果に基づき 2 台の低 R/Q の 357MHz-SHB と 2856MHz-TWB を配置した。このリニアック入射部の構成を図 3-1 に示す。

4. マルチバンチビーム生成試験結果

本マルチバンチビーム生成試験で使用したビームは図 4-1(a) に示した様に電子銃出口に設置してあるカレントトランス型電流モニター (CT) の波形より 2.8ns 間隔で 29 バンチが放射されていることがわかる。電子銃の RF アンプの立ち上がりに約 14ns 程度要するため、電子数が一定となる 5 番目のバンチから 20 バンチについて調整を行った。またビームローディングによる後続バンチのエネルギー減少を抑えるため、3m 長加速管への入力電力の立ち上がり部分でバンチトレインが通過する様に電子銃のトリガータイミングを設定した。ビーム調整は 20 バンチにおいて均一なバンチング、及び均一最大な透過効率となる様にバンチャー系の位相を調整することで行った。さらに繰り返しヘルムホルツコイルの励磁電流の設定値に修正を加えることで最適化された。図 4-1(b) に示した 3m 長加速管出口のウォールカレントモニター (WC3) によるビーム波形から得られるビーム透過

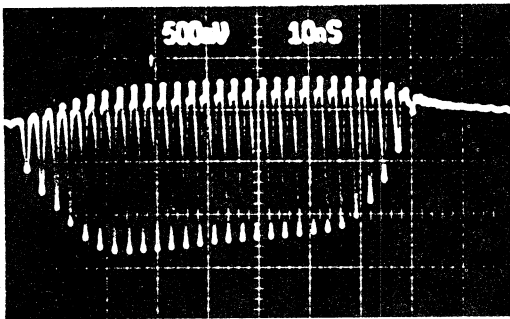


図 4-1(a) 電子銃出口の CT におけるマルチバンチビーム波形

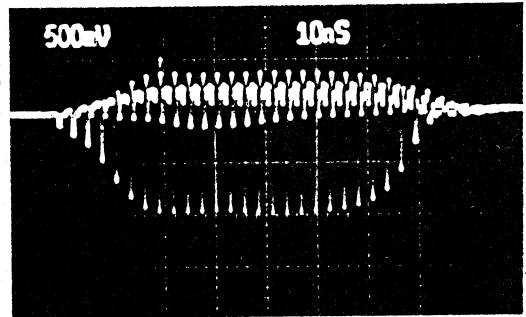


図 4-1(b) 3m 長加速管出口の WC3 におけるマルチバンチビーム波形

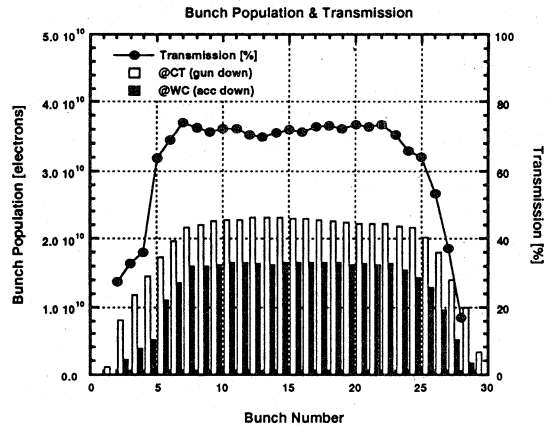


図 4-2 各バンチに対するビーム透過効率

効率を図 4-2 に示す。

バンチ長測定は電子ビームと SUS 板との相互作用で発生する遷移放射光 (OTR) を最大分解能 0.6ps のストリークカメラで観測することで得られる。図 4-3 に 3m 長加速管出口で測定された各バンチに対するバンチ長を示す。さらに OTR を利用したアナライザーマグネットによる各バンチに対するエネルギーとエネルギーブレッドの測定結果を図 4-4 に示す。

5. 考察

1) ビーム透過効率について

3m 長加速管出口での WC3 により得られるビーム透過効率は最高 79% まで達成した。しかしバンチャー系

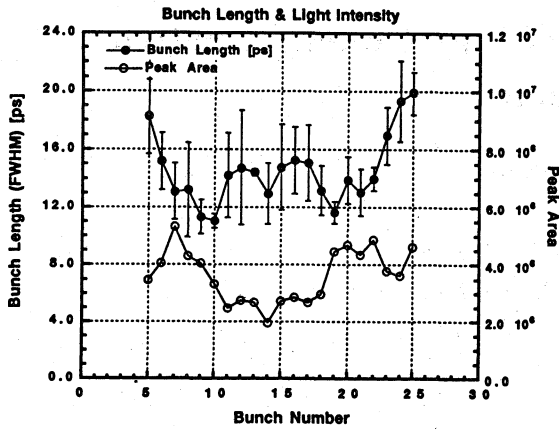


図 4-3 各バンチに対するバンチ長測定結果

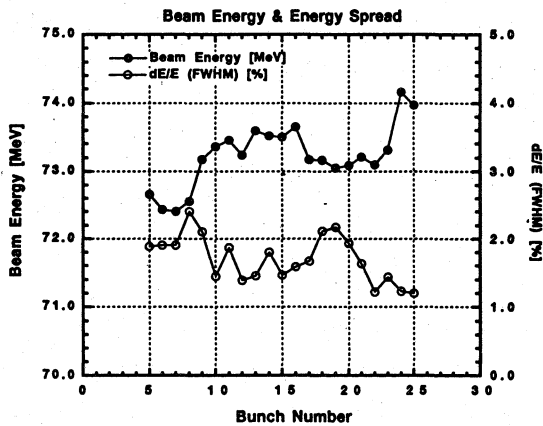


図 4-4 各バンチに対するビームエネルギーとエネルギーブレッド

の電力と位相調整によりエネルギーブレッドの縮小を行うと、ビーム透過効率が減少する傾向にあった。この原因として SHB での効果的なバンチングが空洞の Q 値の低下に伴うギャップ電圧の低下より得られていないことが考えられる。また 3m 長加速管下流部のヘルムホルツコイルのない部分でガンマ線が検出されたため横方向のビーム発散による損失も考えられる。

2) バンチ長について

本ビーム生成試験において得られたバンチ長は図 4-3 に示した様にビーム電流が均一なフラットトップ区間では均一に 11~14ps (FWHM) が得られたが、ビーム電流が変化している部分では 20ps (FWHM) まで増大している。各バンチのバンチ長の電流依存が見られたことより、集束電圧がまだ低く相対的にビーム誘起電圧の効果が大きいと推測できる。また測定値には ±2ps のジッターがあった。このバンチ長の変動は SHB のループアンテナ部分のセラミックにおける帯電から出来る放電が考えられる。この放電によるビームのゆらぎは下流のスクリーンモニターでも確認された。放電を抑制するためにはセラミック表面に TiN コーティングを行い帯電を防ぐこと

で改善できると思われる。

3) ビームエネルギーとエネルギーブレッドについて

ビームエネルギーが 73MeV 程度となったのは 3m 長加速管への入力電力の立ち上がり部分にバンチトレインの入射タイミングを設定したことで、クライストロンが供給する最大のエネルギーが得られなかったためである。バンチ毎のエネルギー推移は図 4-4 に示す様にバンチ長の場合と同じで立ち上がり部、フラット部、立ち下がり部の三段階で推移しており、各所でビームローディングがだいたい補償されていることがわかる。またエネルギーブレッドの値にはバラツキが見られたが 3m 長加速管へ電力供給しているクライストロンのカソード電圧の 1% 程度のジッターが寄与しているものと考えられる。

6. まとめ

大電流ビームからのビームローディングを抑制し、マルチバンチビームに対して効果的なバンチングを行うための 357MHz-SHB を入射器のバンチングシステムの初段に導入し、80MeVビーム生成試験を行った。試験結果からバンチ長とビーム透過効率に関しては約 20 バンチにわたって 11~20ps (FWHM) 及び 64~74% 程度の均一なものとなり、従来のバンチング空洞で発生していたビームローディングによる影響を軽減できたことを確認した。今後 TWB に変わる低 R/Q バンチャーを導入し、ビーム生成試験を行う予定である。

謝辞

本研究を行うに当たり終始助言とご協力を頂いた高エネルギー物理学研究所 ATF グループの方々に深く感謝致します。また RF 測定とビーム試験の際に助言とご協力を頂いた ATC (株) の松井隆明氏、森田成基氏に感謝致します。

参考文献

[1] JLC Group, "JLC-1", KEK Report 92-16, 1992
 [2] H.Hayano et al, "An 80MeV Injector for ATF Linac", Proceedings of the Linear Accelerator Conference, September (1994)
 [3] T.Naito et al, "Bunch by Bunch Beam Monitor for ATF Injector Linac", Proceedings of the Linear Accelerator Conference, September (1994)
 [4] T.Naito et al, "Stability study of ATF injector", in this meeting.