

[P 1-18]

Optimization of Design of the 100fs 10kA X-band Linac

A. Takeshita, M. Uesaka, T. Watanabe and T. Ueda

Nuclear Engineering Research Laboratory, University of Tokyo,
22-2 Shirakara-Shirane, Tokai, Naka, Ibaraki, 319-11, Japan

Abstract

Femtosecond Ultrafast Phenomena Research Laboratory is under design at Nuclear Engineering Research Laboratory, the University of Tokyo. In that project, the X-band (11.424GHz) linac is expected to generate the 100fs 10kA electron single pulse. The simulation of electron dynamics is carried out including magnetic pulse compression by using PARMELA and SUPERFISH. It is found that 700ps (Tail-to-tail) electron emission from 150kV thermionic gun is successfully bunched to 100fs (FWHM) with the charge of over 1nC which gives 10kA.

100フェムト秒10kAXバンドライナックの最適設計

1. 序論

これまでに東大・工・原子力工学研究施設では現状のSバンド(2.856GHz)ライナックにおいてアクロマティック磁気パルス圧縮法により700fsの電子線シングルパルスの発生に成功している[1]。現在、東大・工・原施設では100fs,10kAの電子線シングルパルスを発生させ、フェムト秒高速量子現象を観測する計画を進めており、更なる短パルス化のアイデアとしてXバンドライナックを検討している。Xバンドライナックは既に高エネルギー研究所(KEK)[2]およびスタンフォード大学(SLAC)[3]で研究・開発が進んでいるが、これらはリニアコライダー用であり、フェムト秒加速器としてのXバンドライナックは本研究が初めてとなる。

Xバンドライナックによるフェムト秒パルス発生における最大の問題点は短パルス化に伴う空間電荷力の増大である。longitudinal方向において、シングルパルス生成のためには加速管入り口までに電子ビームを加速周波数の1周期である87.5ps以内に集群する必要がある。また、transverse方向に関して

もエミッタンスの増大は磁気パルス圧縮における圧縮効率の劣化を引き起こすことが分かっている。以上のことを踏まえて、本研究では磁気パルス圧縮を含めたXバンドライナック設計の最適化を電子軌道計算コードPARMELAを用いて行った。

2. Xバンドライナック

図1に本研究で想定したXバンドライナックの体系図を示す。体系は150kV熱電子銃、定在波型SHB、進行波型SHB、バンチャー付加速管、エネルギー変調加速管、磁気パルス圧縮のための磁気光学系から構成される。ソレノイドコイルがライナックに沿って配置されており、ビームのtransverse方向への発散を抑制するための外部磁場を印加している。

2.1 入射部

電子ビームの供給源として熱電子銃を採用した。これまでに熱電子銃の応答性能として、Y796で90kV,700ps(テール部分)という結果を得ていることから、本設計では空間電荷力の抑制を考慮し、

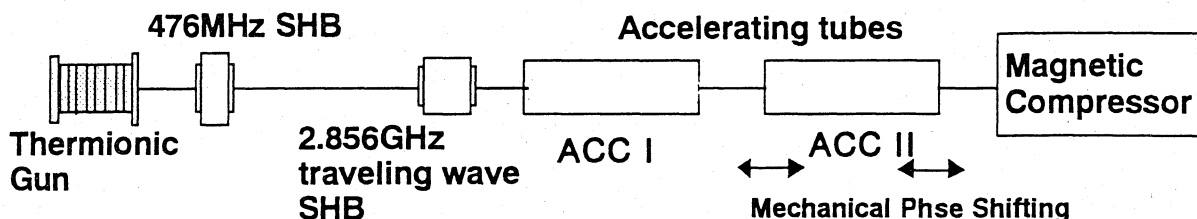


図1 Xバンドライナックの体系図

加速電圧は150kVを想定している。

サブハーモニックバンチャー (SHB) は2台のSHBを連結させるダブルSHBシステムを想定している。各SHBの周波数として加速管の主周波数11.424GHzの整数分の1である476MHz, 2.856GHzを採用した。前者は定在波型で、電子ビームの集群のみを行うのに対し、後者は6セル進行波型があり、集群と加速の両方を行う。

2.2 ソレノイドコイル

入射部の非相対論的領域では空間電荷力の効果が大きく現われるため、ビームのtransverse方向への発散を抑制する必要がある。加速管内部の相対論領域でもエミッタンスの増加はパルス圧縮の圧縮効率の劣化を招く。そこで、収束コイルにより進行方向の成分を外部磁場を印加する必要がある。図2にPARMELAの計算で与えた磁場分布を示す。加速管出口付近で約5000gauss程度になった。

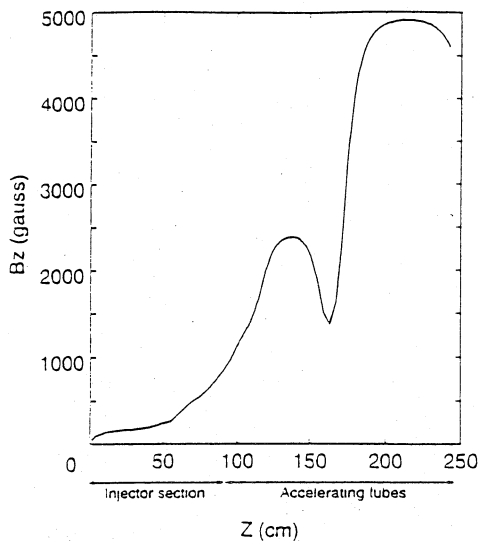


図2 外部磁場の分布

2.3 加速管

加速管はバンチャー付加速管とエネルギー変調用加速管の2段構成になっている。加速管の構造はRF周波数11.424GHz、定インピーダンス $2/3\pi$ 進行波型を想定し、加速内部の電磁界解析をSUPERFISHを用いて行った。クライストロンからの入力電源は1本目に30MW、2本目に10MWとした。このときの最大電界強度はそれぞれ35.6MV/m、25.6MV/mである。一本目の加速管は最初の6セルがバンチャーセクションで残りの72セルがレギュラーセクション、2本目の加速管は78セルすべてがレギュラーセクションから構成されている。

パルス幅とビームサイズの変化を図3に示す。パルス幅700psで放出された電子ビームは加速管入り口で20ps(tail-to-tail)程度になっており、入射部における条件を満たしていることが分かる。また加速管出口において出力パルスはパルス幅が6.8ps(tail-to-tail)であり、電荷量が3.5nC(初期電荷の100%規格化エミッタンスが $70\pi\text{mm}\cdot\text{mrad}$ になった。

3. 磁気パルス圧縮

磁気パルス圧縮法は電子ビームのエネルギー差を光路差に変えてビームを圧縮する方法であり、本設計ではarc-typeアクロマティック磁気パルス圧縮法とchicane-typeを検討した。Xバンドライナックにおける磁気パルス圧縮の問題点として、短パルス化に伴う必要な光路差の減少が挙げられる。

本設計で想定したarc-typeアクロマティック磁気パルス圧縮システムを図4に示す。体系は2つの偏向電磁石と3つの4極磁石から構成される。この体系ではエネルギーの高い電子のほうが光路が長くなるため、前半の粒子が高エネルギーになる

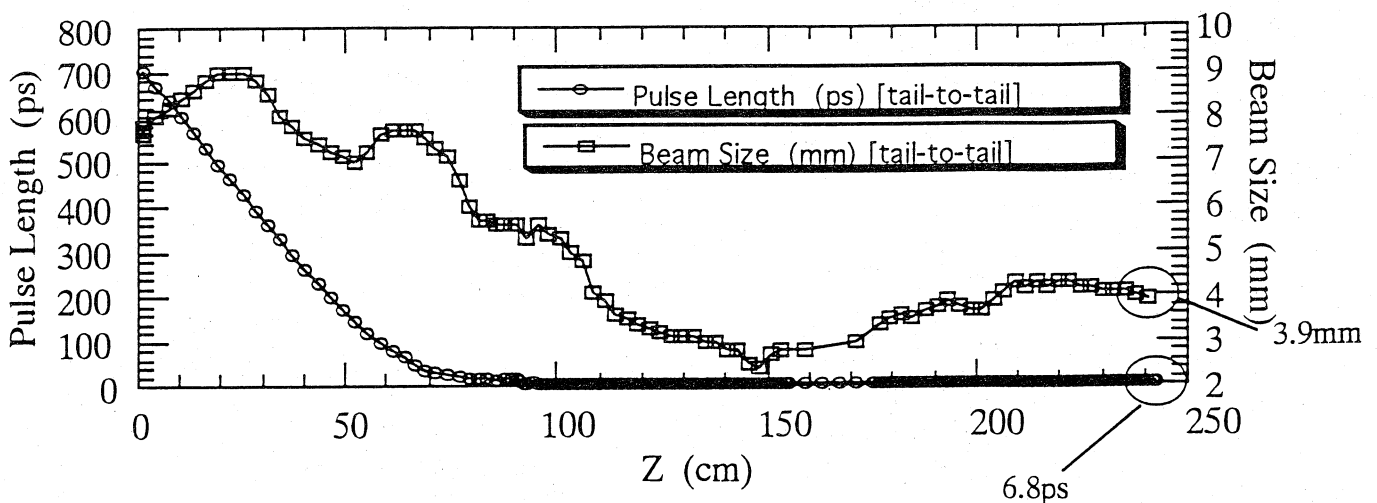


図3 ビームサイズとパルス幅の変化

ように2本目の加速管でエネルギー変調をかける必要がある。加速管出口における位相図を図5、パルス圧縮後の出力パルスを図6に示す。出力パルスのパルス幅は100fs 電荷量は1.17nCになった。このときのピーク電流は11.7kAである。

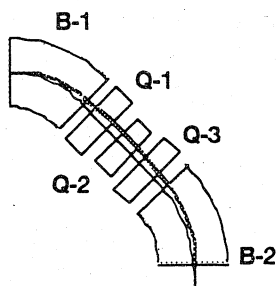


図4 arc-typeアクロマティック磁気パルス圧縮体系

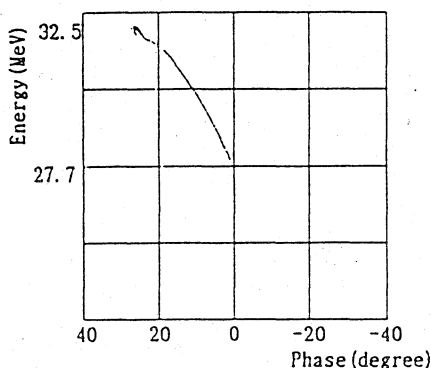


図5 加速管出口における位相図

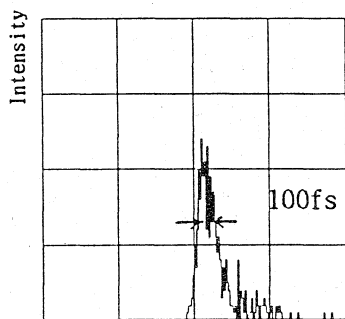


図6 パルス圧縮後

つぎにchicaneの体系図を図7に示す。体系は3つの偏向電磁石から構成される。この体系ではエネルギーの高い電子のほうが光路が短くなる。後半

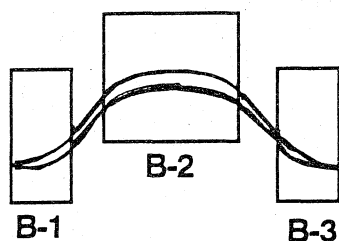


図7 Chicaneの体系図

の電子が高エネルギーになるようなエネルギー変調をかける。加速管出口における位相図を図8、パルス圧縮後の出力パルスを図9に示す。出力パルスのパルス幅は100fs 電荷量は1.29nCになった。このときのピーク電流は12.9kAである。

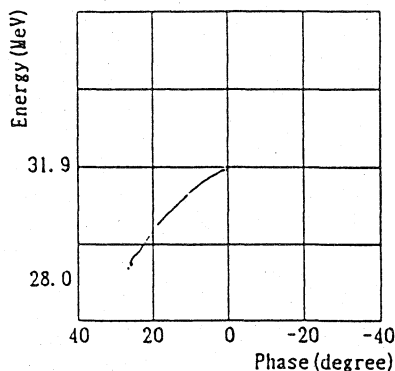


図8 加速管出口における位相図

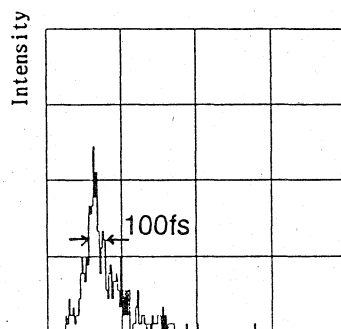


図9 パルス圧縮後

4. 結論

100fs,10kAXバンドライナックの設計の最適化に関連して、電子ビームの輸送計算をPARMELAを用いて行った。体系は熱電子銃、SHB、加速管および磁気パルス圧縮のための光学系から構成される。磁気パルス圧縮はarc-typeアクロマティック磁気パルス圧縮とchicane-typeの2つの方法について検討した。その結果、いずれの方法においても100fs,10kAの出力パルスが得られ、フェムト秒加速器としてのXバンドライナック成立の有効性がPARMELA解析レベルで確認できた。

参考文献

- [1] M. Uesaka et., al Physical Review E Vol.4 (1994) pp.3068-3076
- [2] A. D. Yaremian et. al. SLAC-PUB-6610 August(1993)
- [3] H. Sakai et., al. Proceedings of the 18th Linear Accelerator Meeting July(1993) pp.21-23
- [4] 古澤 他 第55回 応用物理学学会講演会 予稿集 (1994) 秋季