

Transport Simulation of Electrons for the Design of X-band LINAC

Takeshita A., Kozawa T., Uesaka M., Kobayashi T., Ueda T. and Miya K.

Nuclear Engineering Research Laboratory, the University of Tokyo
2-22 Shirakata-Shirane, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki 319-11, Japan

ABSTRACT

The new X-band linear accelerator is under design in the Nuclear Engineering Research Laboratory, the University of Tokyo. And it is expected to generate 35 MeV femtosecond single bunch. In order to accomplish it, transport simulation of an electron beam has been carried out by using PARMELA and the design of X-band LINAC is discussed. Then it is found that an original electron beam can be successfully compressed to a pulse with a length of 1ps(FWHM) at the end of the accelerator. By using the magnetic pulse compression method, femtosecond pulse is thought to be generated.

Xバンドライナックのための電子輸送計算

1 序論

近年、放射線物理・化学、材料科学の分野でフェムト秒領域での現象の解明の必要性が高まっている。現在、東大・工・原子力工学研究施設ライナックでは現状のSバンドライナックで磁気パルス圧縮により、700fsのシングルパルスの生成に成功しているが^[1]、さらなる短パルス化にはSバンドよりも高周波であるXバンドによる加速が有望であると考えられる。Xバンドライナックは既にリニアコライダー用としてスタンフォード^[2]、高エネルギー研究所で検討されている^[3]。我々はフェムト秒加速器としてのXバンドライナックを検討中

である。Xバンドライナックによるフェムト秒シングル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。特に入射器系において、Xバンド加速管でのシングルパルス形成のためには、加速周波数の一周期以内(87.5ps)に電子ビームを集群する必要がある。

以上のことを踏まえて、本研究ではXバンドライナックの設計のための電子輸送計算を3次元輸送計算コードPARMELAを用いて行い、フェムト秒シングルパルス発生の可能性について検討した。

2 設計

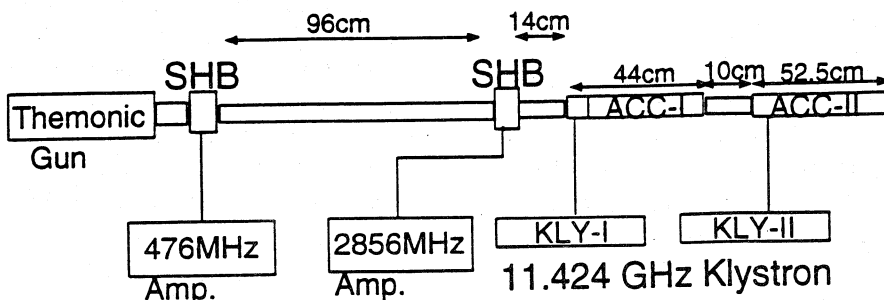


図1 Xバンドライナックの構成

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。

体系は熱電子銃、SHB、バンチャー付き加速管、主加速管から構成されており、入射器系におけるビームの収束はソレノイドコイルで行う。以下、各構成要素のパラメータと計算結果について説明する。

熱電子銃 これまでに熱電子銃の応答性能としてはY796で90kV,500ps(テール部分)という結果が得られている^[4]。本設計ではエミッション電流の増大と空間電荷力の減少を考え、加速電圧を200kVとした。このときの電子の位相速度は0.7cである。入射電子ビームのその他のパラメータはrms規格化エミッタンスが50mm・mrad、パルス幅(テール)600ps、ピーク電流が10Aと想定し、電子の空間分布はK-V分布に従うものとした。以上のパラメータを持つ電子ビームが直径10mmの電子銃出口から放出される。本研究における解析領域はここから加速管出口までである。

SHB SHBは476MV/cm一段でもシングルパルス形成のための集束は可能だが、0.09MV/cmの高い電界強度が必要となる。そこで本設計ではダブルSHBシステムを採用した。このシステムを採用した場合、各SHBに要求される電界強度がシングルSHBに比べて低くてすむため、工学的な設計余裕を生むことができる。各SHBの周波数として加速用マイクロ波の周波数(11.424GHz)の整数分の一である476MHz,2856MHzを選択した時、各SHBにおける最大のエネルギーゲインは0.05MeVとなった。

ソレノイドコイル 加速管入口は直径8mmを想定しているが、入射器系の低エネルギー領域では、空間電荷力の効果が大きく現れるため、進行方向の成分をもった外部磁場でビームの発散を押さえる必要がある。PARMELAにおける計算ではソレノイドコイルのつくる磁場の代わりに、半径と電流が異なる単コイルを配置することによって、進行方向に磁場をつくっている。入射部には28個のコイルを設置し、半径は5cmから15cm、電流は200Aターンから3000Aターンである。これらのコイルによって作られる磁場分布は図2に示す通りで加速管付近で400Gauss程度になっている。また、電子銃出口から加速管入口までのパルス幅とビームサイズの変化を図3に示した。入射部での条件を満たしていることが分かる。

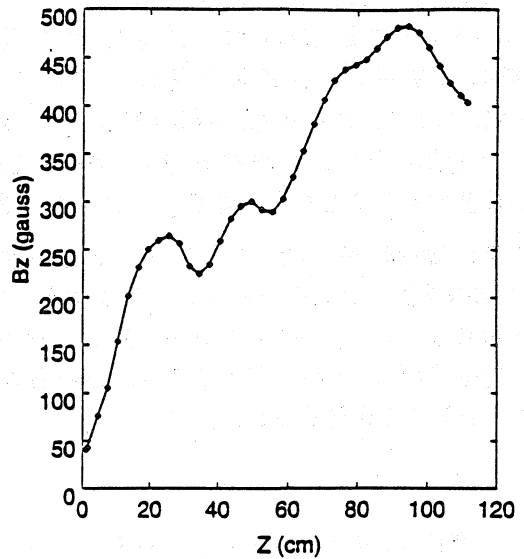


図2 入射器系における磁場分布

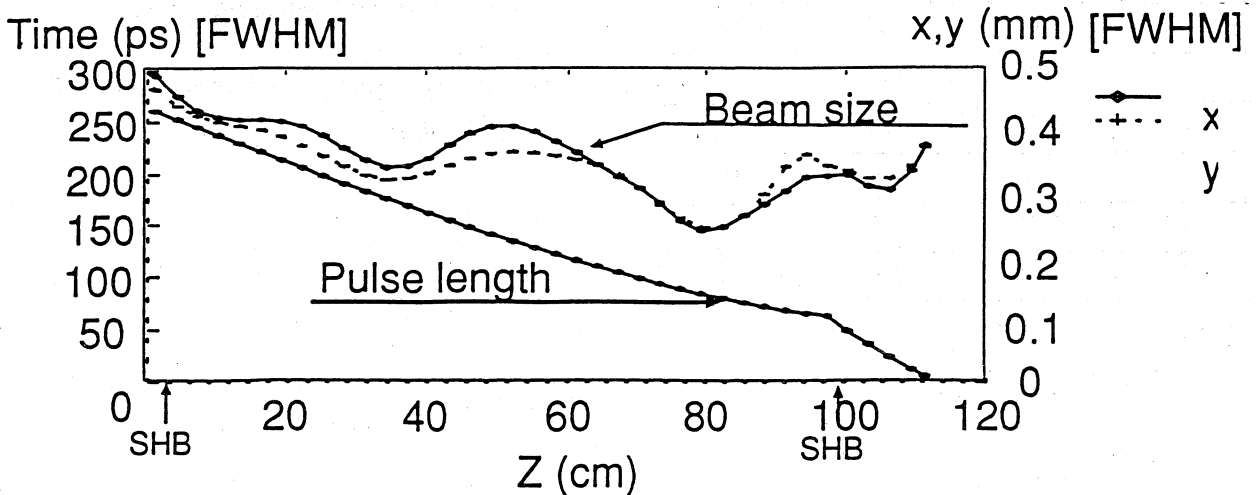


図3 軸方向距離に対するビームサイズとパルス幅

加速管 加速管はバンチャー付き加速管と主加速管の2段構成になっている。加速管を2本に分ける理由は磁気パルス圧縮によるフェムト秒パルスの生成を計画しているためであり、主加速管はエネルギー変調用加速管として使用する。加速管は定インピーダンス型 $2/3\pi$ 進行波型加速管を想定し、クライストロンからの入力電力はそれぞれ15MWとした。このとき加速管入口での電界強度は35.6MV/mとなる。

第一加速管は最初の6セルがバンチャー部で、残りの45セルがレギュラー加速管となる。第二加速管はレギュラー部のみで60セルから成る。バンチャー部の各セルの長さ及び通過する電子の位相速度とエネルギーゲインは表1に示すとおりであり、バンチャー部出口で電子ビームの位相速度は0.975cになる。加速管出口における電子ビームの出力パラメータを表2に示す。計算上では輸送する電荷は初期の99%が保存され、パルス幅(FWHM)は1.03psとなった。現状のS-バンドライナックの加速管出口におけるパルス幅(半値)は10ps程度であることから、現有システムでの磁気パルス圧縮効率が1/10である[1]ことを考慮すれば100fs程度のシングルパルス発生が可能であると考えられる。従って、フェムト秒シングルパルス発生に関してXバンドライナックは有効な手段であることが確認された。

表1 バンチャー部のパラメータ

Cell No.	length of a cell [cm]	energy of electron [MeV]	phase velocity
1	0.63	0.27	0.77c
2	0.7	0.53	0.87c
3	0.79	0.84	0.92c
4	0.82	1.16	0.95c
5	0.84	1.5	0.965c
6	0.85	1.8	0.975c

表2 出力ビームのパラメータ

[F.W.H.M.]

パルス幅 (ps)	1.03
ビームサイズ (半径) (mm).	$x=1.4, y=1.2$
運動量(mrad)	$P_x=5.4, P_y=6.5$

3 結論

フェムト秒シングルパルス生成のためのXバンドライナックの設計に関連して、電子ビームの輸送計算をPARMELAを用いて行った。加速器の構成は入射器系において2段のSHBを配置し、加速器系ではプレバンチャーを使用せず2本の加速管で電子を加速することを想定した。計算の結果、電荷量は99%保存され、パルス幅(FWHM)は1.03psとなった。このことから、磁気パルス圧縮を駆使して100フェムト秒シングルパルスの発生の実現性が確認された。

4 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 (1994)
- [3] H.Sakai et.al., Preceedings of the 18th Linear accelerator Meeting July (1993) pp.21-23
- [4] 古澤 他 第55回 応物学会学術講演会 予稿集 (1994) 秋季