

20-P10

BEAM DYNAMICS SIMULATION OF INJECTOR FOR HIGH POWER CW ELECTRON LINAC IN PNC

Masahiro NOMURA, Yoshio YAMAZAKI and Shin'ichi TOYAMA

Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation,
Oarai Engineering Center, Technology Development Division
4002 Narita, Oarai - machi, Ibaraki - ken, Japan

ABSTRACT

The injector consists of a 200kV DC gun, a RF chopper, a chopper slit, a prebuncher and a buncher. Solenoid coils covered from the exit of gun to accelerating tube 1 except between the RF chopper and chopper slit. Beam trajectories are simulated by PARMELA in order to design the injector. In this report, two simulation results are shown. One is for a beam trajectory from gun to solenoid coils. There is thick concrete wall between gun to RF chopper. Low energy electrons are transported through long solenoid coil area. The other is for a chopper part. The novel chopper system is designed to reduce the emittance growth.

大強度CW電子線形加速器の入射部におけるビームダイナミクスの解析

第1章 序

現在動燃では、核分裂生成物の核種変換等に適用できる大強度の電子線形加速器の開発を目的に、試験用の大強度CW(Continuous Wave)電子線形加速器の研究開発を行なっている。加速器の基本パラメータを以下に示す。

| | | |
|-----------|---|--------------|
| ・ 加速周波数 | = | 1249.135 MHz |
| ・ マイクロ波波長 | = | 24.0 cm |
| ・ 加速モード | = | $2\pi/3$ モード |
| ・ 加速管構造 | = | 進行波還流型 |
| ・ エネルギー | = | 10 MeV |
| ・ 最大ビーム電流 | = | 100 mA |
| ・ 平均ビーム電流 | = | 20 mA |
| ・ パルス幅 | = | 4 msec |
| ・ 繰り返し | = | 50 Hz |

この研究開発に伴い、出力1.2MWのL-Band連続波を供給するクライストロン[1]、進行波還流型の加速管[2]、加速器に電子を供給する源である電子銃[3,4]等の要素開発を行っている。

この加速器の入射部の特徴としては、電子銃を出てからチョッパーキャビティーに入るまでの距離が長い点、独自のチョッパーキャビティーを使用している点が挙げられる。そこで今回この2つの点に注目し、電子銃からチョッパースリットまでの電子軌道のシミュレーションを行ったのでそ

の結果について述べる。

第2章 入射部構成

まず初めに入射部の配置図を第1図に示す。入射部の主な加速器要素としては、電子銃、磁場レンズ、ソレノイドコイル、チョッパーキャビティー、プリバンチャー及びバンチャーが挙げられる。電子銃は200kV DCタイプの電子銃である。電子銃グリッドは、大電流を放出できるように通常使用されているメッシュグリッドではなくアパーチャグリッドを使用する。しかしアパーチャグリッドでは電流値を変化させたときに、レンズ効果によりビーム径が変化するという短所がある。この短所を補うために今回の電子銃では2つのアパーチャグリッドを使用し、電流値及びビーム径の制御を行う。つまりアパーチャグリッド1(カソードに近い側)で電流値を制御し、アパーチャグリッド2でビーム径を保つように制御を行う。磁場レンズは2台使用しソレノイドコイルと共にチョッパーキャビティーまでの電子ビームの収束を行う。チョッパーキャビティーでは、エミッタンスの増加を最小限に押さえるために、通常基本周波数 f_0 によりビームを水平方向に振るところを、2倍の周波数 $2f_0$ も使用してビームを振り、チョッパースリットを通過したビームは横方向の運動量変化を受けないようにしている。プリバンチャーはリエントラントタイプのキャビティーを予定し

ており、電場により位相角にして数十度までのバンチを行う。バンチャーは進行波還流型の加速管で、位相角にして約5度までのバンチを行う。

第3章 シミュレーション結果及び考察

先に述べたように、今回の入射部では電子銃を出てからチョッパーキャビティーに入るまでの距離が非常に長い。そこでこの間に長いソレノイドコイルが必要になってくる。電子銃から出た電子ビームの品質を落とさずチョッパーキャビティーまで持ってくる為の重要なポイントは、いかに電子ビームのウエストをソレノイドコイル入口に持ってくるかである。まず初めにシミュレーションの初期条件にあたる電子銃内での軌道を第2図に示す。この軌道計算には計算コードEGUNを使用した。計算条件を以下に示す。

- ・ 加速電圧 = 200 kV
- ・ グリッド1電圧 = 5 kV
- ・ グリッド2電圧 = 20 kV
- ・ 電流値 = 400 mA
- ・ カソード半径 = 2 mm

電子銃出口での規格化エミッタンスは 10π mm mradである。PARMELAによる電子銃からソレノイドコイルまでの軌道計算結果を第3図に示す。電子ビームの初期条件はEGUNによる計算結果を使用した。磁場レンズ1、磁場レンズ2及びソレノイドコイルの中心磁場はそれぞれ600,500,200 gaussである。2台の磁場レンズを用いることにより、先ず初めの磁場レンズで電子銃からの発散ビームを平行ビームに直し次の磁場レンズでソレノイドコイルの入口にビームのクレストを持ってくると言った軌道設計ができる。この設計思想は第3図の軌道計算結果に現われている。このように2つの磁場レンズを用いることにより1つ1つの磁場レンズの負担が減り、電流値の変化にともない電子銃からのビーム径が変化した場合でもソレノイドコイルの入口にビームのクレストを持ってくるのが容易に出きる。また規格化エミッタンスは、

$$(\epsilon_x, \epsilon_y) = (10.4, 9.7) \pi [\text{mm mrad}]:$$

磁場レンズ1出口

$$(\epsilon_x, \epsilon_y) = (14.7, 14.2) \pi [\text{mm mrad}]:$$

磁場レンズ2出口

$$(\epsilon_x, \epsilon_y) = (17.2, 19.0) \pi [\text{mm mrad}]:$$

チョッパーキャビティー入口

であり、エミッタンスの増加は低く押さえられている。

次に、チョッパーキャビティー近傍での軌道計算結果を第4図に示す。先に述べたようにエミッタンスの増加を押さえるために我々は基本周波数 f_0 だけでなく2倍の周波数 $2f_0$ も使用する。基本周

波数 f_0 と $2f_0$ との割合は1.00対0.28、チョッパーキャビティー内の磁場 B_y の大きさは50 Gaussである。チョッパースリット前後での位相に対する軌道の広がりを第5図に示す。チョッパーキャビティー前後での規格化エミッタンスを以下に示す。

$$(\epsilon_x, \epsilon_y) = (17.2, 19.0) \pi [\text{mm mrad}]:$$

チョッパーキャビティー入口

$$(\epsilon_x, \epsilon_y) = (105.4, 18.8) \pi [\text{mm mrad}]:$$

チョッパーキャビティー出口

$$(\epsilon_x, \epsilon_y) = (12.9, 9.7) \pi [\text{mm mrad}]:$$

チョッパースリット後

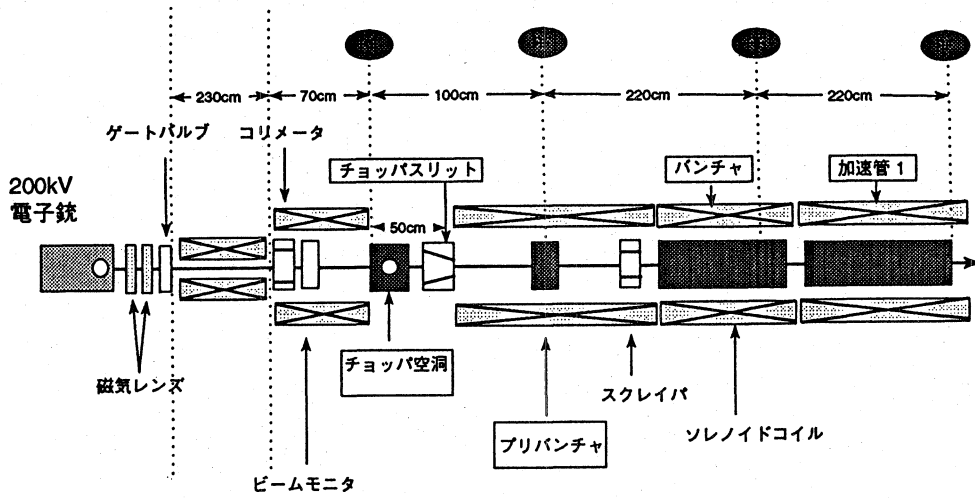
エミッタンスの変化から、 $f_0 + 2f_0$ を使用したチョッパーキャビティーシステムではエミッタンスの増加を押さえられることが確かめられた。但し軌道計算結果からチョッパースリット通過後の電子ビームの軌道は発散傾向にあることが分かった。これはチョッパーキャビティーとチョッパースリットの間は電子ビームを振る為には収束磁場を設ける事ができないので、ソレノイドコイルの磁場により収束させられていた電子ビームが発散したと考えられる。この問題を解決するためには、チョッパースリットの後に磁場レンズ等を用いて電子ビームを収束させる必要がある。

第4章 まとめ

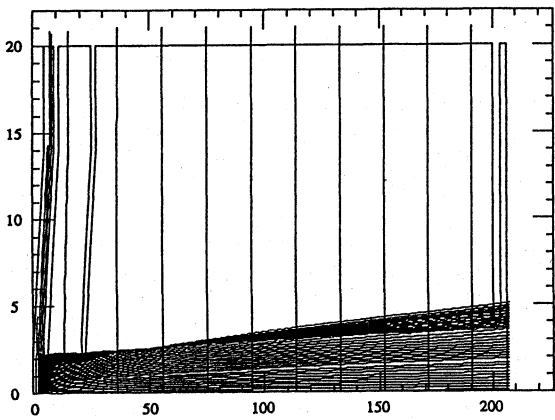
大電流高品質の電子ビームを得るための入射部の設計及び軌道解析をPARMELA等を用いて行った。以下に得られた結果をまとめる。電子銃からチョッパーキャビティー入口までは、2台の磁場レンズ及びソレノイドコイルを用いることにより、エミッタンスの増加を低く押さえることができた。また $f_0 + 2f_0$ を使用したチョッパーシステムではエミッタンスの増加を押さえられることが確かめられた。しかしチョッパースリット通過後の電子ビームは発散傾向にあることが分かった。これに対する対策としては、チョッパースリットの後に磁場レンズ等を用いて電子ビームを収束させる方法が考えられる。

参考文献

- [1] K.Hirano *et. al.*: Proc. of the 18th Linear Acc. Meeting in Japan, **228** (1993)
- [2] H.Oshita *et. al.*: Proc. of the 18th Linear Acc. Meeting in Japan, **280** (1993)
- [3] M.Nomura *et. al.*: Proc. of the 17th Linear Acc. Meeting in Japan, **37** (1992)
- [4] M.Nomura *et. al.*: Proc. of the 18th Linear Acc. Meeting in Japan, **73** (1993)

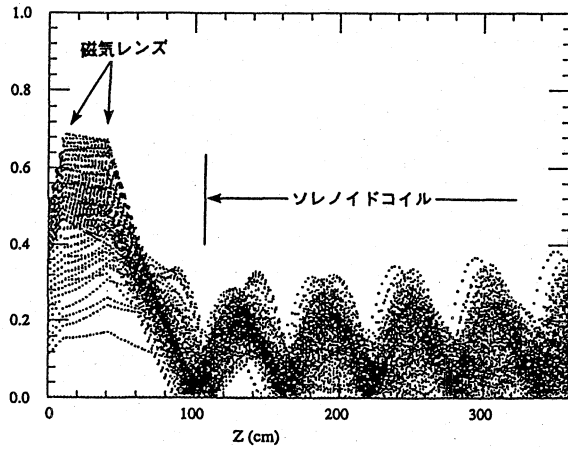


第1図 入射部概念図



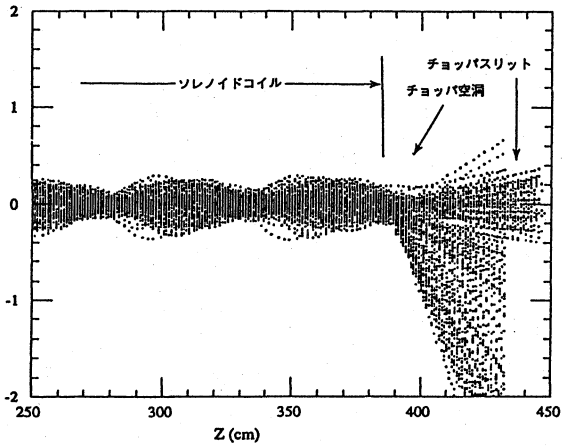
第2図 電子銃中での電子軌道 (EGUN)

Z-R profile



第3図 電子銃出口からソレノイドコイルまでの軌道。

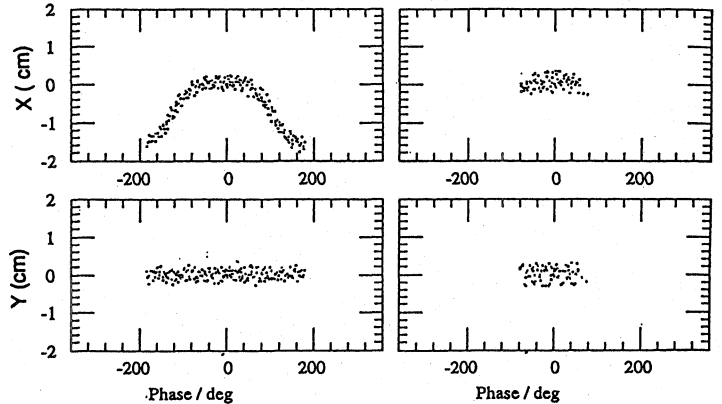
Z-X profile



第4図 チョッパー近傍での電子軌道。

チョッパスリット前

チョッパスリット後



第5図 チョッパスリット前後での電子軌道の広がり。