

BEAM DYNAMICS SIMULATION FOR THE UPGRADED PF 2.5-GEV INJECTION SYSTEM

Jae-Young CHOI*, Ryuichi MATSUDA**, Satoshi OHSAWA,
Takuya KAMITANI, Atsushi ENOMOTO, Akira ASAMI***, and Isamu SATO

*The Graduate University for Advanced Studies

**Mitsubishi Heavy Industries,LTD.

***Naruto University of Education

National Laboratory for High Energy Physics(KEK)

ABSTRACT

High intensity and low emittance beam is required for the B-factory, under consideration as one of the future projects of KEK. In case of high intensity beams, the longitudinal as well as transverse emittance growth becomes serious by space charge effects in the bunching system of linac. Computer simulations were performed for a newly designed bunching system of KEK with PARMELA, beam dynamics calculation code.

PF2.5-GeVリニアック入射部改造のためのバンチャー系のビームダイナミクスの解析

1. はじめに

KEKの将来計画の一つとして検討されているB-ファクトリのためにはPFリニアックで数アンペアの電子ビームを加速することが要求される。このような大電流ビームを空間電荷効果によるエミッタンス増大を抑さえ、バンチング効率を上げるためには現在の入射部は大きく設計変更、改造される必要がある¹⁾。

大電流ビームのエミッタンスの増大はバンチングが急速に進むバンチャーで主に起こり、横方向だけでなく縦方向のエミッタンス、即ち、ビームの長さおよびエネルギーの分散もまた重要になる。特に、バンチャーの出口でのビームの長さはレギュラー加速部でのビームのエネルギー分散と直接関係されるので、バンチング部でできるだけ短いビームにするのは非常に重要である。

本報告では、低 β 領域での電子のビームダイナミクスコードのPARMELA(Phase and Radial Motion in Electron Linear Accelerators)で、改造されたPF2.5GeVリニアックのプリバンチャー、バンチャーのビームダイナミクス計算結果について報告する。

2. ビームダイナミクス

改造後のバンチング部は図1に示す。ここでは電子銃から出たビームをRFの約2波長に当たるドリフト空間を経て第1、第2プリバンチャーにはいることとした。そして、バンチャー部とレギュラー部の30個のセールまで計算した。これら第1、第2プリバンチャーおよびバンチャーはすべて進行波型の加速管である。表1に計算に用いた主な入力パラメータを示した。以下の計算ではビームを300個のマクロ粒子と置き換えて初期条件としてこのマクロ粒子が横方向は4次元位相空間で無作為分布を持ち、縦方向はエネルギー分散が無作為分布で、RFの1波長分の長さで位相に対して一様分布するビームを仮定した(図6(a)参照)。PARMELAは微小時間毎に粒子が加速管の中の電磁場および空間電荷からの力を計算して、加速管のある位置でのRFに対する位相、空間分布、およびリニアックの任意のエレメントの出口での空間分布、位相空間分布、RFに対する位相等を出力することができる。

バンチング部の入力RFの位相

一般の改造されたバンチング部は第1プリバンチャー、第2プリバンチャー、そしてバンチャーに分けてRFパワーを入れるようになっている。バンチャーはバンチャー部とレギュラー部が一体になっているた

めに非常に高いパワーを入れることになる。今度の設計の特徴の一つはプリバンチャーを二つにしたことが挙げられるが、第2プリバンチャーの電場のパラメーターがバンチングに大きく寄与することが予想されるので、特にこの部分のRFのパラメーターとして第1プリバンチャーに対する初期位相と加速電場を決めた。

バンチャーにはいるビームがバンチャーの入り口でバンチャーのRFに対する位相が30-60°の加速位相に乗せられるように第1プリバンチャーに対する第2プリバンチャー、バンチャーの初期位相を各々決定した。第1プリバンチャーでRF位相の0°を中心に加減速されたビームは、ドリフト空間を走りながら、ゆるやかにバンチする。第2プリバンチャーでおおよそ40°を中心とする加速位相に乗せるとさらにバンチングが促進される。第2プリバンチャーでさらにバンチングが進んでバンチャーで30-60°の位相にのせられたビームは加速と共にバンチングが完成される。表2のように決められた寸法では第1プリバンチャーに対する第2プリバンチャー、バンチャーの初期位相をそれぞれ90,150°にするとレギュラー加速管の出口での位相が約50°で、分散幅10°（最終粒子数の80%が集まる最大幅）の高効率のバンチングができることがわかった。図2にこの条件でのビームのバンチングの様子を示した。

バンチング部の加速電場

次に、第2プリバンチャーの加速電場によるバンチング効果を調べた。図3に加速電場を変化させた時の加速管の終端でのエミッタンスおよびビーム幅の変化を示した。そして、それぞれの加速電場値でピーク電流値は92A,114A,150A,177A,185Aで、第2プリバンチャーの加速電場が強くなるにつれてピーク電流値は高くなる。また、電場が強くなるほどビーム幅が縮められる反面、エミッタンスの増大も目立つようになるので、これらの兼ね合いが重要になることがわかる。0.4MV/mの場合、バンチング部でx方向のビームの広がりの変化および横方向のエミッタンスの変化を各々図4、図5に示した。予想どおりバンチャーでエミッタンスが急に増大する。図6にはビームの初期分布および第1,2プリバンチャー、バンチャーの出口でのRF位相に対する分布を示した。一方、横方向の収束はヘルムホルツコイルによって行ったが、磁場分布は、図7の通りである。図で四角の印は相対論的粒子のブリリアンフローのための理論値である²⁾。本計算では、ドリフト空間の端部で磁場の径成分を設定していないので、完全ブリリアンフローは起こらず、従って、実際の磁場は理論値より高くなる。

電流によるバンチング変化

これまでは電流値を3Aに固定してバンチングの様子を調べたが、電流値を5A, 8Aに変化させると、次第に空間電荷によるエミッタンス増大が著しくなる。現在の所、5Aまでは磁場の適切な調節でエミッタンスの増大なしに（約 27π mm mrad）,位相分散幅10°でバンチングが可能であった。8Aの場合は位相幅を10°までバンチングするのは横方向のエミッタンスの著しい増加（約 80π mm mrad）をもたらす事がわかった。

3. 結言および今後の課題

以上、PARMELAを使って大電流電子ビームのバンチングにおけるダイナミクスを調べた。大電流ビームのバンチングには空間電荷効果によるディバンチングを極力避けるためにバンチングに伴うダイナミクスをよく理解した上でバンチング条件の選定するのが大切である。本計算では計算に用いたビームとバンチング部についていくつかの仮定の下に計算を行ったが、その中、ビームの初期径の差異によるバンチングの様子の変化、そして、以上の計算では無視した進行波管のカプラー部分でのRFの乱れによる影響、そして、ブリリアンフローができる磁場の設定した上での計算を行う予定である。

参考文献

- 1) S.Ohsawa et al., this meeting
- 2) S.R.Farrell et al. IEEE Trans, NS-26, 4283

表1. 計算の主な入力パラメーター

RF frequency	2856MHz
current	3~8 A
initial energy	200keV
initial beam size	4mm x 73mm
emittance(rms)	6.7π mm mrad
accelerating field	
- prebuncher #1	0.15MV/m
- prebuncher #2	0.1 - 0.5MV/m
- buncher	15MV/m

表2. バンチング部の構成

Drift space	7.7987cm
Prebuncher #1	2.4329cm x 7
Drift space	15.871cm
Prebuncher #2	2.4329cm x 5
Drift space	4.227cm
Buncher	2.70 cm
	2.90 cm
	3.15 cm
	3.25 cm
	3.45 cm
	3.499cm x 24

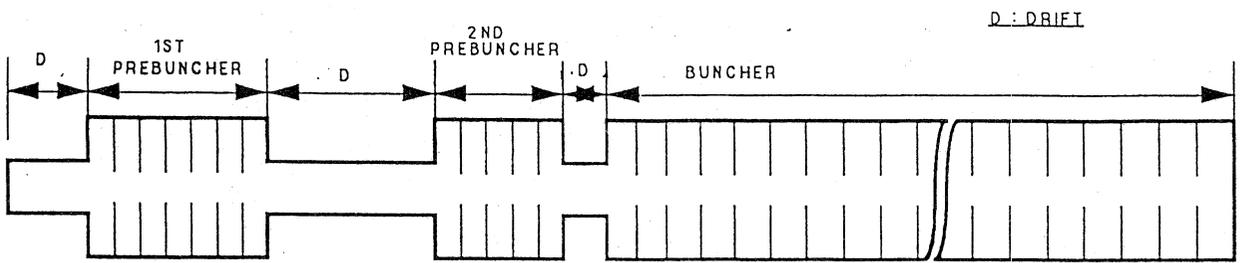


図1. バンチング部の概略図 (寸法は表2参照)

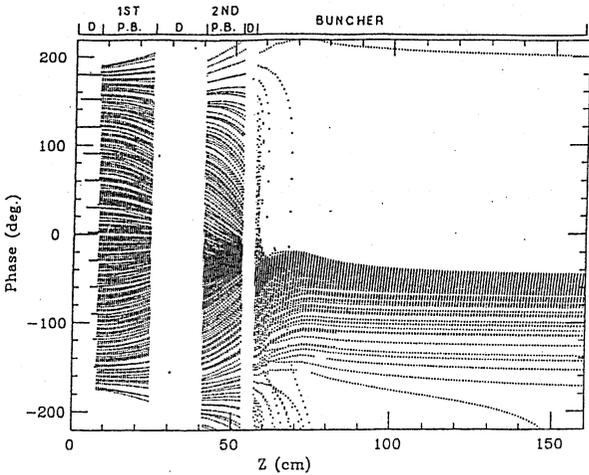


図2. バンチング部で粒子がバンチングされる様子

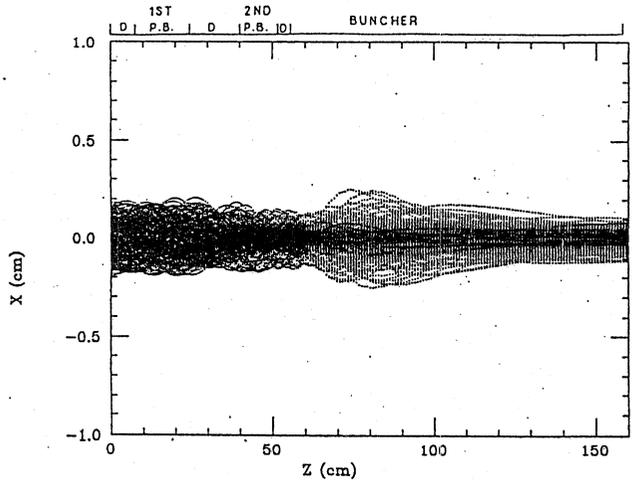


図4. バンチング部での横方向のビームの広がりの変化

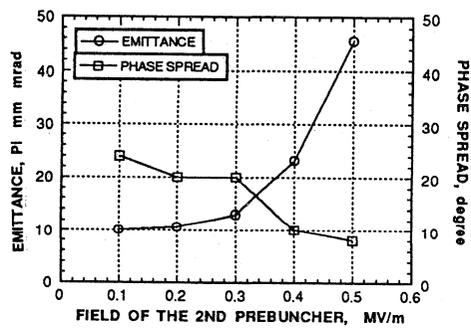


図3. 第2プリバンチャーの加速電場による 図5. バンチング部でのエミッタンスの変化
加速管終端でのエミッタンスと位相分散幅

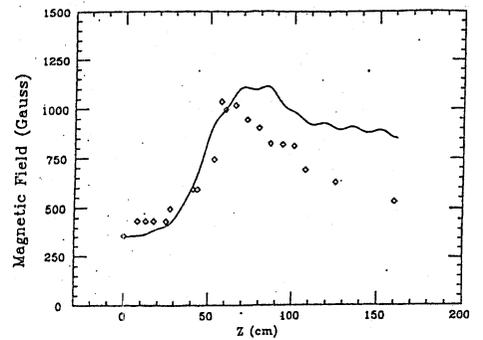
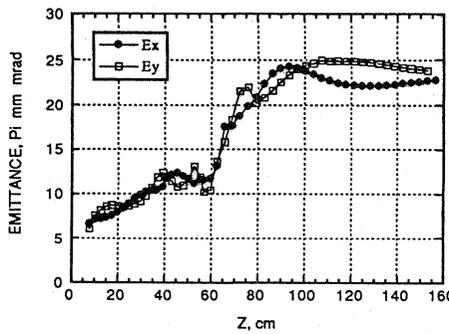


図7. バンチング部の磁場分布

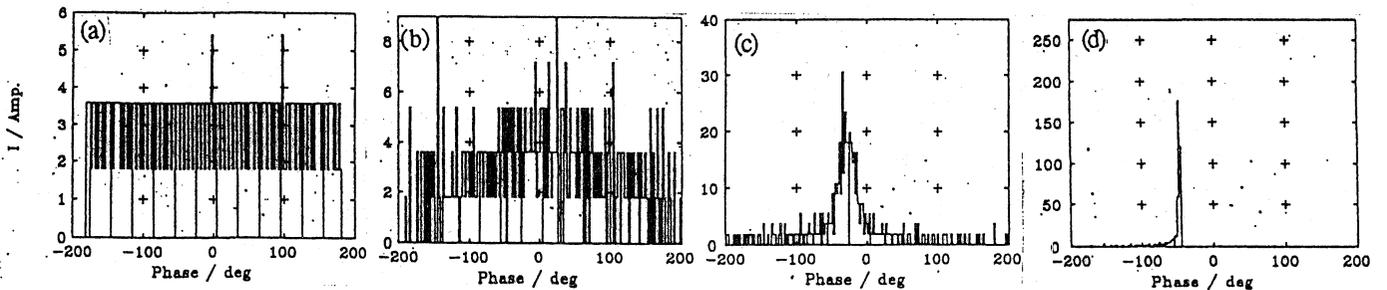


図6 RF位相に対するビームの分布

(a) 初期分布, (b) 第1プリバンチャーの出口, (c) 第2プリバンチャーの出口, (d) バンチャーの出口