

## AXIAL MAGNETIC FOCUSING FIELD ON BUNCHING SECTION

H. Yoshikawa, N. Nakamura, A. Mizuno, S. Suzuki,  
K. Yanagida, T. Hori, K. Mashiko and H. Yokomizo  
Accelerator System Development Team,  
Office of Large Synchrotron Radiation Facility Project,  
Japan Atomic Energy Research Institute,  
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, JAPAN.

### ABSTRACT

A part of the injector linac for SPring-8, the electron gun, bunching section and monitors, has just constructed this summer in 1992. This part is designed to get high current beam for the positron generator. Low energy beam is usually superimposed axial magnetic field to suppress transverse diffusion. Relation of Brillouin field and defocusing effect of high current beam is discussed.

### バンチングセクションと集束磁場

#### 1 はじめに

大型放射光施設 (SPring-8) の入射系線型加速器は既に製作が進んでおり、本年8月にその性能を確認するために電子銃からバンチャまでが日本原子力研究所東海研に設置された。SPring-8は当面のコミッショニングを電子ビームで行うが放射光の供与開始の時期には陽電子を用いることを想定している。そのため入射系線型加速器の初段部分のスペックには、質のよい電子ビームを発生することと、陽電子発生のための大電流電子ビームを発生することの両方が要求される。ある意味で相反するこのふたつの要求を満足するには低エネルギー領域でのビーム輸送部分で、機器構造を変更せずに調整できる集束磁場とバンチング電界を如何に最適化するかが非常に重要となる。

#### 2 バンチングセクションの構成

SPring-8の入射系線型加速器は、200kVの電子銃からのビームをSバンドのプリバンチャ2台と13セルのサイドカップル型バンチャで5ps程度までバンチングする。バンチャの出口までは8台のヘルムホルツコイルによる軸方向磁場が重畳され、これにより径方向の発散を抑制する。電子銃が1nsから1μsまでの段階的なパルス幅に対応しており、各モードにおける電子銃の性能を調べるための各種モニタが電子銃直後に設置されている。そのため1台目のプリバンチャまでのドリフト長が730mmと長くなっている。プリバンチャの1台目と2台目の間のドリフト長が220mm、2台目のプリバンチャからバンチャ入り口までのドリフト長が142mmになっており、そこまでで40°にバンチングされる。プリバンチャはノーズタイプのシングルセル、バンチャもノーズタイプのサイドカップルキャビティ13セルでどちらも定在波型である。

軸方向磁場を重畳するための8台のヘルムホルツコイルは、高精度で磁場アライメントが可能なマイクロメータ付きのジンバルで支持されている。誤差磁場を極力避けるため巻き方にも配慮し、専用の治具を用意して磁場中心を測定してビームラインに磁場中心が正確に重なるように調整されている。電源は8台独立に用意されており、一台ごとに励磁量が調節できる。

### 3 Brillouin磁場の計算

空間電荷効果と軸方向磁界によるビームのトランスバースモーメントの計算から得られる、ビームが軌道中心の回りに剛体回転しながら進行するための磁場をBrillouin磁場という。

$$\text{運動方程式} \quad \frac{m_e v^2}{r} - eE - e v B_z = 0 \quad \text{と}$$

$$\text{ガウスの定理} \quad \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (rE) = -\frac{N_e e}{\epsilon_0}$$

及び、プラズマ周波数 $\omega_p$ 、 $B_z$ のまわりのサイクロトロン周波数 $\omega_c$ から、 $\omega = \omega_c/2$  のときにビームが剛体回転する。

この条件が満たされるときポテンシャルと磁場の関係は、

$$\frac{\partial V}{\partial r} = \frac{r e B_z^2}{4m_e} \quad \text{で表され、ポアッソンを用いて電荷密}$$

度 $\rho$ に置き換えれば、 $\rho = \frac{\epsilon_0 e B_z^2}{2m_e}$  となる。

200 kVは $\beta = 0.7$ で、1 ns、20 Aのビームを非相対論的に考え、10 mm  $\phi$ の円筒に均一に電子があるとすれば、 $\rho = 8.49 \times 10^{-4}$  (C/m<sup>3</sup>)で、Brillouin磁場は330 Gとなる。

プリバンチャ、バンチャ内部の電場がある領域では、バンチングによる斥力を打ち消すために、 $B_z = \frac{4m_e (1 - \beta^2)^{1/2} \pi E}{e \beta \lambda} \sin \phi$  をさらに重畳するものとして、最大700 Gを重畳する設計とした。

### 4 TRACEでの計算

電子銃からバンチャーまでのビームトランスポートにおけるソレノイド磁場強度の評価として空間電荷によるバンチの径方向の発散を抑えるためのソレノイド磁場をTRACE-PCを使って3次元の計算を行ったが、大電流モードと小電流モードでトランスポート系を共用することの問題点が明らかになった。今回の計算に用いたTRACE-PCはロスアラモスで開発された2次元のビームトランスポート計算コードTRACEを原研杉本氏がPCへ移植すると同時に3次元化したものである。電子銃からのビームは空間電荷力によって半径方向に広がるだけでなく、それを抑えようとする磁場の効果によって軸方向にもバンチが伸びて電荷密度が低くなり、その結果、径方向の発散力が徐々に弱くなる。

小電流モードとして100 mAのビームを300 Gのソレノイド磁場を重畳して輸送する場合の計算結果をFIG.1に示す。小電流モードにおいては空間電荷による発散力も弱く3 mm  $\phi$ 程度のビームを精密にバンチングさせることができると思われる。

大電流モード(20 A)で全く磁場を重畳しないと、径方向に発散していくと同時に、軸方向に働く空間電荷力によって前方の電子が加速され、また後方の電子が減速されながら軸方向に伸びていくことが解る。この計算によると16 mm  $\phi$ のビームは160 mmのドリフトで40 mm  $\phi$ のダクトにあたる。

大電流モードで300 Gを重畳した場合をFIG.2に、600 Gを重畳した場合をFIG.3に示す。磁場が強いほどベータ長が短くなり、エンベロープを見る限りBrillouin磁場に相当する300 Gで径方向のサイズはアパチャ内に抑えられているが、その影響と電荷密度が高いことにより軸方向への空間電荷力によるデバンチング効果が強く現れ、300 Gの場合は300 mmのドリフトで $\pm 180^\circ$ 、 $\pm 60$  kVに、600 Gの場合には230 mmのドリフトで $\pm 180^\circ$ 、 $\pm 80$  kVに広がってしまう。

## 5 まとめ

前述の結果からパンチの広がりを抑えるためには径方向の発散を抑えられる最小の磁場を重畳しなければならないことがわかるが、現状のまま大電流モードのビームを輸送するには、Brillouin磁場よりも強い磁場を重畳せざるを得ない。これはビームの強集束を招き、散失してしまう可能性が高い。対策は電子銃からプリバンチャまでのドリフト長を短くすることであり、電子銃の性能確認が終了した段階でこの部分のモニタ等を取り除き短くできる様に架台が分割できるようになっている。定性的に大電流モードのビームはできるだけドリフトを短くし、できるだけ早い段階で高いエネルギーまで加速して空間電荷力の効果を抑えてしまうことが必要であるといえる。

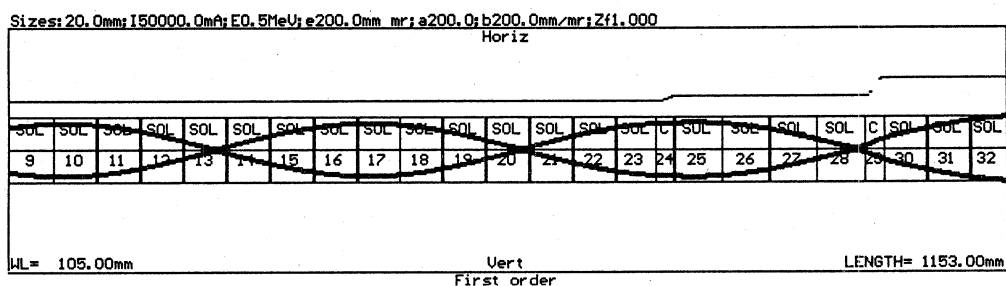


FIG. 1 300 Gを重畳した小電流モード

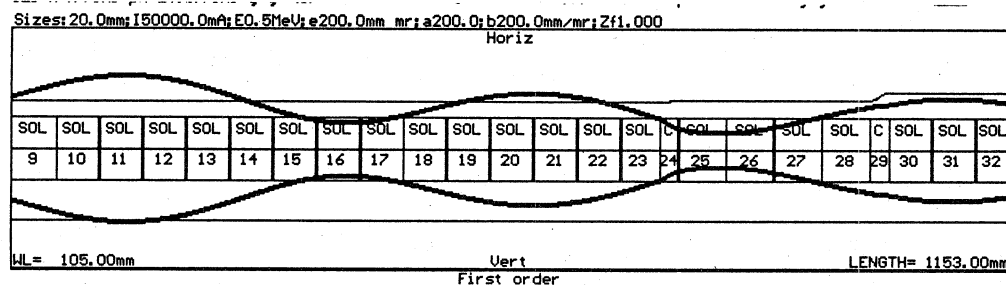


FIG. 2 300 Gを重畳した大電流モード

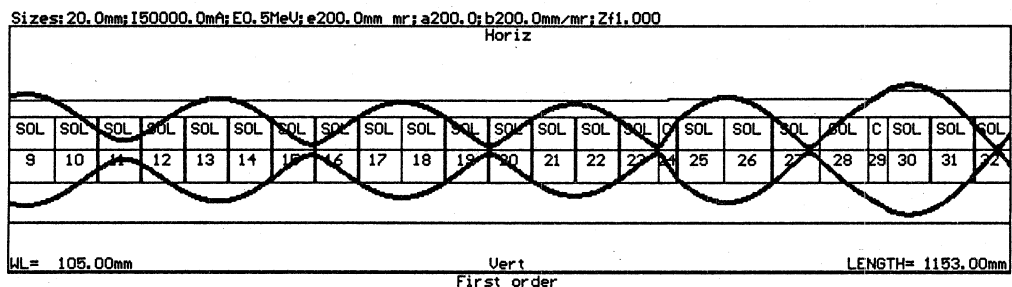


FIG. 3 600 Gを重畳した大電流モード