

21-P24

## DESIGN OF BEAM TRANSPORT SYSTEM OF KEKB INJECTOR LINAC

T. KAMITANI, A. ENOMOTO and I. SATO

National Laboratory for High Energy Physics (KEK)  
Oho 1-1, Tsukuba-shi, Ibaraki-ken, 305, JapanABSTRACT

The KEK 2.5 GeV electron/positron linac is upgraded to a J-shaped linac. It is for the injection of 8-GeV electron and 3.5-GeV

## KEKB 入射器ライナックのトランスポート設計

## 1. はじめに

KEKにおいて TRISTAN 加速器を改造して非対称エネルギー電子陽電子ビームの衝突により B 中間子の CP 非保存などの物理について研究を行う KEKB 計画が進められている。この計画では非常に高いミノシティーを達成するために衝突実験用のリングに非常に大きなビーム電流量を蓄積し、しかも頻繁にビームを補充することが必要になる。実験にとってはタイムロスとなるビーム入射の時間を短縮するには入射器から直接に衝突リングへ（電子 8.0 GeV、陽電子 3.5 GeV）ビームを入射することが必要になり、また入射陽電子ビームについてはその強度を大幅に増強しなければならない。そこで現在の PF 2.5 GeV 電子、陽電子ライナックのエネルギーアップ、陽電子増強のための改造、増設を行う。<sup>1),2),3)</sup>

まずエネルギーアップのために、クライストロンのパワーアップ、RF 圧縮装置による RF ピークパワーの増幅、加速ユニットの増設を行う。また既存の設備を有効利用してライナックの加速長を長くするため、陽電子ライナック部と 2.5 GeV 電子ライナックとの双方を現在の上方側に拡張してその端で 180 度ビームを偏向させる部分によって結合させて 1 つの加速器とする。すなわち、ライナックのレイアウトが現在の 400 m 直線型から、全長 600 m であるが途中で 180 度曲がった J 字型に変更される。また陽電子増強のために、陽電子生成用ターゲットおよびソレノイド磁場による集束システムを電子ビームのエネルギーが高い方へ移設する。なおこれにより陽電子生成用の大電流電子ビームを長い距離トランスポートすることになり、ウエーク場によるビーム不安定性が問題になる。以上述べたようなレイアウトの大幅な変更およびビームエネルギーの変更を考慮しかつ建設コスト

を下げるため既存の加速ユニットはなるべくそのまま或いは移設して再利用することを念頭においてトランスポート系の設計を行った。基本方針としてはまず KEKB ライナックにおけるビームのエミッタンス値を想定し、収束系がそれを通すのに十分なアクセプタンスを持つように Q マグネットの配置等を決定した。その詳細について以下に記述する。

## 2. ビームエミッタンスと収束系アクセプタンス

電子ビームのエミッタンス値は、バンチングセクションではほぼ決まる。すなわちエミッタンス（厳密にはエネルギーノーマライズド値  $\gamma\beta\epsilon$ ）は、電子銃から出たビームがバンチングされる過程でやや悪化するが、それを初期値としてそれ以降の Q 集束系では、ウエーク場の影響やエネルギー拡がりによるベータトロフフェーズシフト値の拡がり等が問題にならないような場合には、一定値のまま保存される。現在の PF ライナックバンチング部直後での値は  $\gamma\beta\epsilon = 60 \pi \text{ mm.mrad}$  程度である。KEKB ライナックではこのバンチング部を移設して再利用するため、この値が目安となる。収束系はビームの  $3\sigma$  拡がりまで通せるものとする、アクセプタンスとして、 $\gamma\beta u = 540 \pi \text{ mm.mrad}$  以上を確保しなければならない。ところでノーマライズドエミッタンス値が一定とするとエミッタンスの絶対値（アンノーマライズド値： $\epsilon$ ）はビームエネルギーに反比例して小さくなっていくのでアクセプタンス値 ( $u$ ) も小さくてすむ。

また陽電子の場合、ターゲットから出たところで非常に大きなエミッタンスを持つが、ソレノイド集束系のアクセプタンス（現陽電子生成部  $\gamma\beta u = 6000 \pi \text{ mm.mrad}$ ）でまず制限されるので、加速されるビームのエミッタンス

スの初期値は最大でもこれの値と同じになる。ソレノイド集束系もまた移設して用いるのでその後ろのQ収束系のアクセプタンスとしても、これより大きな値となるように設計する。

Qマグネットの周期系のアクセプタンスは系のアパーチャー  $a$  (開口径)、Qの設置周期長  $L$  およびベータatronフェーズシフトの値をいくらに取るかによって規定される。 $(u = f \cdot a^2 / L)$  KEKBライナックの収束系のベータatronフェーズシフトの値は1周期当たり90度となるようにする ( $f \sim \pi$ となる)。系のアパーチャー (開口径) はQマグネットのボア径よりは小さい加速管のアイリス径 (約20mm $\phi$ ) (但し計算上の有効口径として14mm $\phi$ とする) で制限されるからライナックのどこでも同様と考えてよく、こうすると系のアクセプタンスはQの設置間隔だけで決まる。

### 3. KEKB用ビームトランスポート系レイアウト

現在の2.5 GeV電子ライナックは長さ9.6 mの加速ユニットを単位とする周期構造として構成されている。一つのユニットには1台のクライストロンが対応しており、RFパワーが4本の2m長加速管に供給され、ユニット当たり約64 MeVの加速エネルギーを与える。KEKBライナックにおいてもこのユニット構成は保持されるが、クライストロンのパワーアップとRF圧縮により、ユニット当たり約160 MeVの加速エネルギーとなる。そしてビーム収束のために、標準的な(レギュラー)ユニットにはその一番後ろに1台のQトリプレットが設置されている。この加速管4本おきにQのトリプレットが置かれる収束系では、周期長が9.6mでありアクセプタンスはおおよそ  $u = 5\pi \cdot \text{mm} \cdot \text{mrad}$  である。このアクセプタンスでは不十分な部分については、Qを加速管2本おき、さらには1本おきに設置する。逆にビームが高いエネルギーで通過するユニットにおいては、2ユニットに1台のQでもアクセプタンスは十分であるのでそうしてある。このように現在の収束系はトリプレットの周期系になっており、そのQマグネットの多くを流用、或いは改造するので、KEKBライナックでも、やはり基本的にはトリプレット系となる。既存のユニットにおいて、トリプレットにするには磁場が強くなりすぎる箇所についてはダブルレットを用いる。このようにQマグネットは加速管と加速管の間に設置するのを基本とするが、それでもアクセプタンスが不十分な場合には加速管上の外側から巻き付くタイプのQを用いてQマグネットの設置間隔を短くする。例えば、陽電子のソレノイド集束のユニットの下流にある2つのユニットでは大きなアクセプタンスを確保するためにシングルレットQマグネットを加速管の外側から巻くFODO系にする。

これらの考察によりトランスポート系のレイアウトを決めたのであるが、KEKBライナックの場合のビームエミッタンスと収束系のアクセプタンスの比較をしたものが図1であり、このときのQマグネットの配置を表したものが図2である。またQの種類等についてまとめたものが表1である。

### 4. 現状

現在、このレイアウトに基づいて、Beam opticsの検討(特に180度偏向部が重要)、加速ユニットの詳細設計、Qマグネットの設計の作業を進めている。

### 参考文献

- "Upgrade of the PF 2.5 GeV electron linac and the positron generator regarding KEKB"  
A. Enomoto et al, 本研究会報告
- "Re-formation of the PF 2.5 GeV linac to 8 GeV"  
A. Enomoto et al, Linac94 (17th Int. Linac Conference, Tsukuba, Japan, 1994) proceedings
- "Design of beam transport system of KEKB injector linac"  
T. Kamitani et al, Linac94 (17th Int. Linac Conference, Tsukuba, Japan, 1994) proceedings

ユニット名	Qの台数	設置間隔	備考
A-1, A-2	4 triplets	3 m	旧INJ+新設
A-3, A-4	2 triplets	5 m	旧P-2, 3
B-1~B-8	1 triplet	9.6 m	新設
180度偏向部	7 singlets	3 m	新設
C-1~C-8	1 doublet	9.6 m	旧2-1~2-8
1-1~1-8	1 doublet	9.6 m	既設
2-1		ターゲット	
2-2		ソレノイド	旧P-4
2-3, 2-4	17 singlets	FODO系	旧P-5+新設
2-5, 2-6	4 triplets	3 m	旧P-6+新設
2-7, 2-8	2 triplets	5 m	新設
3-1~3-4	1 triplet	9.6 m	既設
3-5~5-8	1/2 triplet	19.2 m	既設

表. 1

### emittance vs acceptance

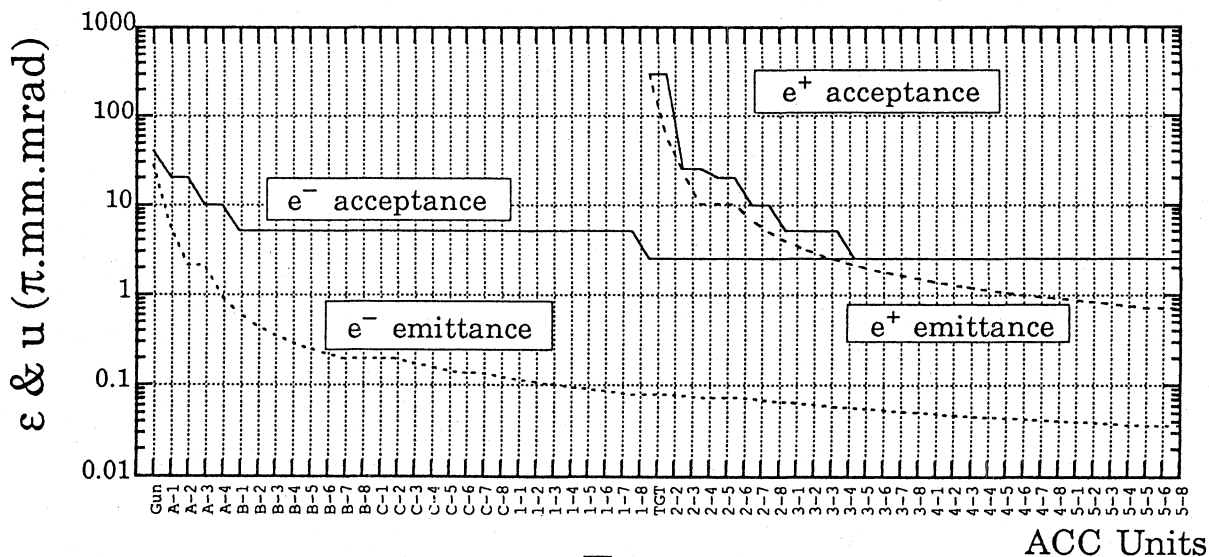


図. 1

### KEK-B Injector J-Linac

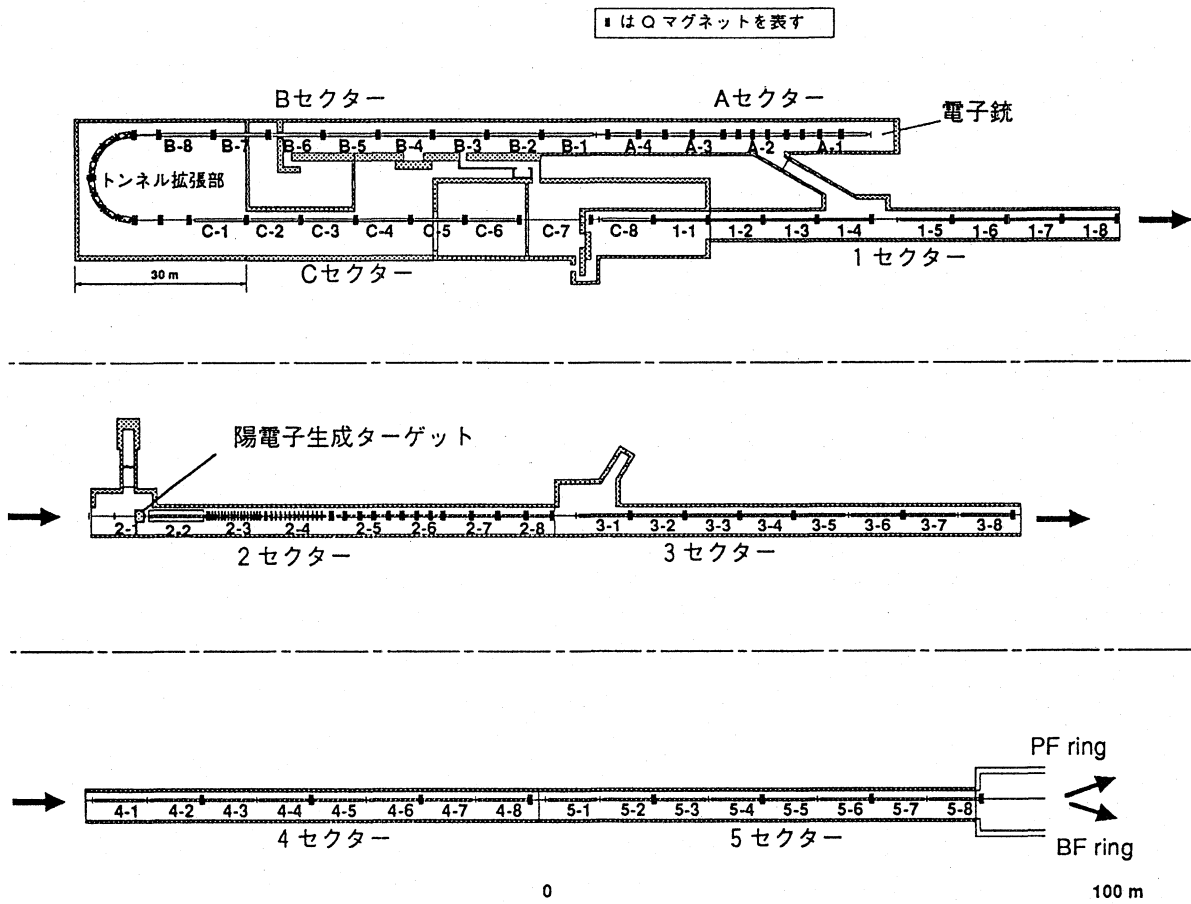


図. 2