

# Injector for B-Factory

Isamu Sato and PF Injector Group

National Laboratory for High Energy Physics  
1-1, Oho, Tsukuba-shi, Ibaraki, 305 Japan

## Abstract

A collider with asymmetry energies was proposed for B-Factory<sup>1)</sup>, and have been designed intersecting rings of  $e^+$  beam of 3.5 GeV and  $e^-$  beam of 8.0 GeV. It requires to the collider to be over high luminosity of  $10^{33}$ . There are stored beam currents of ampere order into the collider for this requirement. In order to reduce injection time for the ring, we have been planned to inject directly the beams from PF-injector to the rings. For the purpose, we demand PF-Injector to be increased the electron beam energy from 2.5 GeV to 8.0 GeV. It is designed for increase energy to be realized by combined methods of an upgrade of klystron, an extension of injector length and an amplification of rf-power. This paper reports the specifications and the structures of the upgrade injector.

## B-Factoryのための入射器

### § 1. はじめに

B-Factoryの入射については色々な方式が検討された。しかし、最近はその共同利用実験活動を低下させず、且つ、総合的な建設費、運転の容易さ、リング入射時間の短縮等を考慮して、入射器からB-Factoryのコライダーリングへ $e^+e^-$ ビームを直接入射する案が有力になってきた。この場合、入射器は加速エネルギーを2.5 GeVから8.0 GeVへ増強する必要がある。このエネルギー増強は信頼度や安定性に優れ、且つ、技術的に実現性が高いものでなければならない。又、入射器のエネルギー増強に伴って、共同利用施設の実験活動が長期間停止する事態や、これらの施設の性能低下を招く事態は許されない。しかも、この様な条件を保証しつつ、且つ、エネルギー増強に必要な費用を最小限に止めるためには、現在の入射器施設を最大限に活用し、定期的な運転停止期間を利用して、改造工事を段階的に実施する事が必然となる。以上の事柄を勘案して総轄的な検討を開始した。

### § 2. 入射器のエネルギー増強案

電子線形加速器のエネルギー増強方法には、1) 高周波電力の増強、2) 加速器の延長、3) 高周波電力増強+加速器の延長、等がある。これらを2.5 GeVから8 GeVに増強する場合に当てはめてみる。

入射器の長さを変えないで、高周波電力増強のみのエネルギー増強では、加速管の加速電界は3.2倍、高周波電力は10.24倍となる。この方法では、クライストロン出力電力が205 MWへグレードアップとなり、現在のクライストロン開発状況から判断して、不可能である。加速器延長によるエネルギー増強は、現在の入射器を3.2倍延長すれば良いが、建物施設等を含む入射器の建設費が150億円を超え、費用の面から実現性が低い。高周波電力増強と加速器延長によるエネルギー増強では、420 mの入射器と78 mの陽電子リニアックをどのように配置して、加速器を延長するかがキイ・ポイントになる。陽電子リニアックの長さを約40 m増設して入射器に接合すると、電子線形加速器の有効長は約1.5倍に延長できる。この場合、高周波電力は4.55倍に減少し、クライストロンに要求される電力出力は91 MWとなる。しかし、現在のところ高周波窓の破損等の理由から、長期間に安定な使用に耐

える実用的なクライストロンの出力電力は60 MWである。60 MW級クライストロンを使用すると、この出力電力を約1.5倍に電力増幅する必要がある。この電力差は、加速管に高周波電力を貯蔵する進行波還流型、或いは、空洞に高周波電力を貯蔵するパルス電力圧縮型等を用いて補う。詳細は\$4に述べる。

以上の検討結果に基づき8 GeV入射器と現在のPF入射器の比較配置を図1に示す。又、入射器の延長部の詳細は図2に示す。

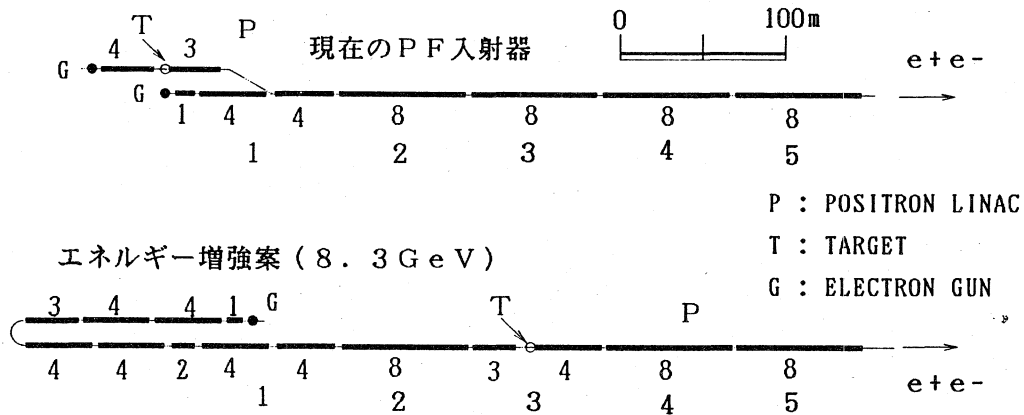


図1 8 GeV入射器と現在のPF入射器との比較配置図

### \$3. 8 GeV入射器のパラメーター

BFコライダーはルミノシティーを上げるために約 $20 \mu c$ を超える陽電子ビームをリングに貯蔵する。一般に、ルミノシティーを上げると $e^+e^-$ の電磁相互作用によってリングに貯蔵される寿命が短くなる。

従って、実験時間を相対的に多くするには、ビームの入射時間を可能な限り短縮しなければならない。入射時間を20分程度と仮定とすると、入射器は毎秒 $10^{11}$ 個の陽電子をコライダー・リングに供給しなければならない。

一方、陽電子の発生数は電子のエネルギーとそのビーム電流の積、即ち、ビーム電力に比例する。しかし、大電流ビームは空間電荷効果のためにエミタンスが大きくなるので、電子エネルギーを上げる事によって、陽電子発生量を増強する事になる。ここでは、陽電子を発生させる電子エネルギーは4.8 GeVとする。又、BF実験に於ける第1励起エネルギー(8.3 GeV)までに対応できるように、入射器のエネルギー増強を行う。シャント抵抗は5種類の加速管の平均値を示す。加速ユニットはクライストロンの出力電力を4分割して2 m加速管4本に供給する構造になっている。電子ビームの折り返し偏向エネルギーは1.66 GeVであり、偏向磁束密度を1 Tとすると曲率半径 $\rho$ は5.53 mとなる。

表1 入射器のパラメーター

	現状	増強案
電子エネルギー(GeV)	2.5	8.3
陽電子エネルギー(GeV)	2.5	3.5
陽電子発生エネルギー(GeV)	0.2	4.5
電子強度 $\times 10^{10}$ P/Pulse	12	12
陽電子強度 $\times 10^8$ P/Pulse	2	50
パンチ幅 (ns)	<2	<0.3
繰り返し数 (Hz)	50	50
加速器本体の長さ(m)	412	648
電界強度 (MV/m)	8.33	18.40
加速部の長さ(m)	300	450
加速管の長さ(m)	1.875	1.875
電界減衰率 (Neper/m)	.1773	.1773
シャント抵抗(Mohm/m)	55	55
加速管数	162	240
高周波電力 (MW)	3.6	17.4
電力増幅率	1.0	1.6
高周波電力ユニット(MW)	14.4	43.5
クライストロン出力(MW)	20	60
電子加速ユニット数	40+1	60+1
陽電子加速ユニット数	39	20
延長部の長さ	0	40

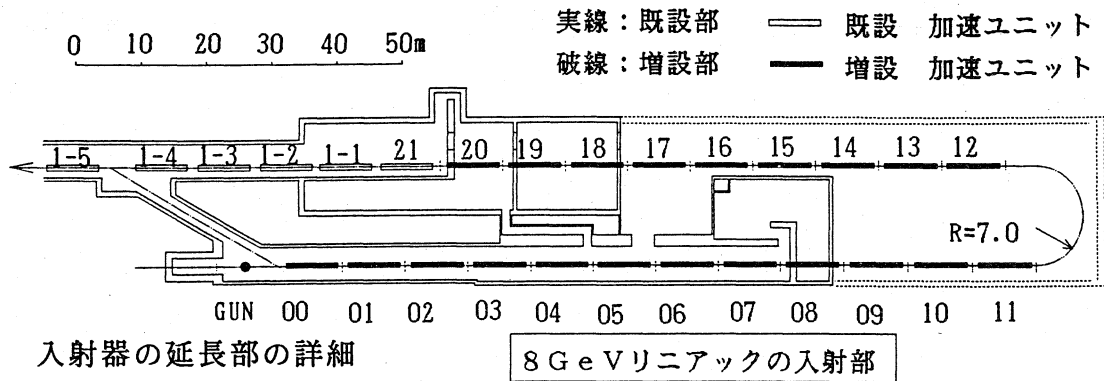


図2 入射器の延長部の詳細

8 GeVリニアックの入射部

§ 4 高周波電力増幅方法

進行波還流型は導波管で加速管の入力端と出力端をリング状に結合した構造である。詳細は図3に示す。電力増幅率は電力損失が少ない短い加速管ほど大きい。最大電力増幅率は、供給電力を  $P_s$ 、還流電力を  $P_r$  とすると

$$P_r / P_s = 1 / \{1 - T^2\}$$

で表される。但し、 $T$  は還流部の電界減衰量、 $T^2$  は加速管を含む還流部の1周あたりの電力損失率を表わす。還流部の電力損失が加速管だけと仮定し、加速管の電界減衰量を  $\tau$  とすると、 $T = \exp(-\tau)$  で与えられる。PF入射器の加速管の長さは約2mであり、進行波還流型による最大電力増幅率は約2倍となる。従って、入射器のエネルギー増強には充分対応できる。進行波還流型はSLACに於けるエネルギー増強(21 GeVから50 GeVに増強)でも検討したが、しかし、加速管の電界減衰量が大きいために電力増幅率が1.5より低く、この方法によるエネルギー増強は断念せざるを得なかった。進行波還流型による電力増強をKEKとSLACを比較し表2に示す。そこで、クライストロンの出力電力を空洞に貯蔵し、空洞の電力振幅が増大した時にこれを短時間に取り出して、加速管に供給する方法を開発した。その具体例を図4に示す。これをパルス電力圧縮型の電力増幅という。これらの電力増幅法にはそれぞれ特色があるので、テスト実験を行った上で比較判断する予定である。これらのテスト実験は現在準備中である。

表2 還流型高周波電力増幅率

	KEK	SLAC
電界減衰量 $\tau$	0.33	0.57
加速管の長さ L(m)	1.88	3.04
電力増幅率 $P_r/P_s$	2.07	1.47

§ 5 まとめ

入射器は8 GeVにエネルギーを増強するための準備として、加速管の大電力耐久試験、進行波還流型とパルス電力圧縮型による電力増幅テスト、大電力クライストロンの耐久試験と、現在のクライストロン電源を大電力用電源に改造するための試作等を開始した。2m加速管1本に約25 MWの高周波電力を供給して大電力耐久試験を行った。このテスト結果から、現在使用中の加速管は約20 MV/mの加速電界に十分耐える事が明らかになった。

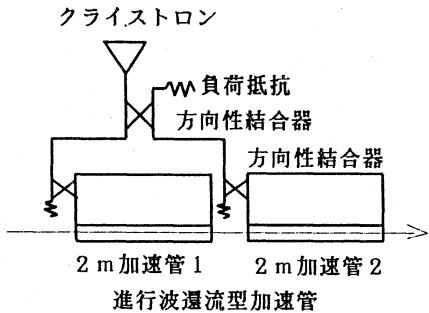


図3 進行波還流型による電力増幅

1) KEK Report 90-7 June 1990 A/H

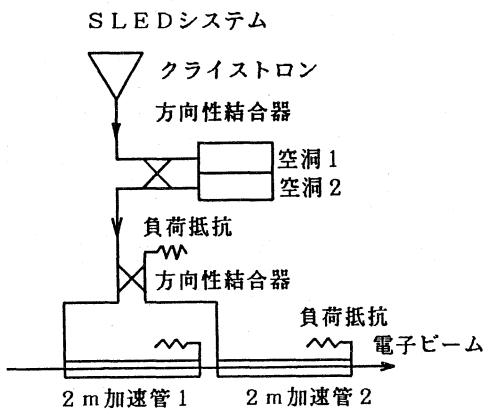


図4 パルス電力圧縮型による電力増幅