

THE STATUS OF PF INJECTOR UPGRADE FOR KEKB

I.Sato and Injector group

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

ABSTRACT

The B-factory (KEKB) project was proposed for study CP violation in the B quark system in 1989. The asymmetric collider in the KEKB consists to two accumulator rings of 3.5GeV positron and 8GeV electron. To increase integlated luminosities in the collider, the PF injector linac was required to inject electrons and positrons at full energy in the accumulator rings. For realizing the requirement, the PF injector linac is to be upgraded from 2.5GeV to 8GeV. The upgrade of the PF injector linac is performed by following three items, extension of linac lenth, upgrade of rf power sources with high power klystrons and amplification of rf supplying power by rf compressors. The project was authorised in FY 1994. This paper report the presents staus in progress.

KEKBのためのPF入射器増強の現状

1. はじめに

KEKBは、CP不変性の破れ、クォークのまじりなど、素粒子の基本的な性質を解明することを目的としたプロジェクト研究である。KEKBでは、bクォークを大量に生産するために、電子と陽電子の衝突頻度が世界最大の衝突型加速器をトリスタン・トンネルに建設する計画を提案し、1994年、概算要求が認められた。この加速器は、図1に示すように、蓄積電流が1.1Aの8GeV電子蓄積リングと蓄積電流が2.6Aの3.5GeV陽電子蓄積リングからなる。リングに蓄積する入射時間を短縮するために、入射器では陽電子のビーム強度を現在の20倍に増強し、電子ビームと陽電子ビームをリングへ直接入射する。

子ビーム強度の増強は、陽電子を発生させる電子ビームの照射エネルギーを現在の20倍に上げることで達成される。

入射器増強には、種々の制約が付いている。例えば、放射光利用実験を平年度並に維持することが、このプロジェクト建設を進める条件になっている。又、増強予算が少ないために、既設入射器の装置や設備を最大限に活用することを余儀なくされる。その上、敷地境界が近いために、入射器延長が制限された。一方、既設入射器棟の利用は、加速器を改造する構成部品の高さや長さを制限する。以上の理由から、入射器増強は、

- 1) 電子線形加速器を約1.4倍に延長
 - 2) クライストロンの出力電力を2倍
 - 3) 加速管へ供給する電力を約3倍に増幅
- の3要素を組み合わせて行うことになった。¹⁾

2. 電子線形加速器の延長

電子線形加速器の延長は、図2に示すように、既設陽電子リニアック棟(100m)とPF入射器棟(412m)をそれぞれ増築して、この2つのビームラインを180度の偏向電磁石で接合することによって達成される。新入射器のビームライン(偏向軌道ビームラインを含む)は約674mとなる。エネルギー加速に関わる加速ユニット数は、現在の41台(入射部1台を含む)から、約1.4倍の58台に増加する。入射器棟の増築工事は1995年度に着工し、1996年12月末に終了する予定である。

3. 大電力クライストロンの開発

入射器増強の最重要課題は大電力クライストロンの開発である。クライストロンの大電力化は、

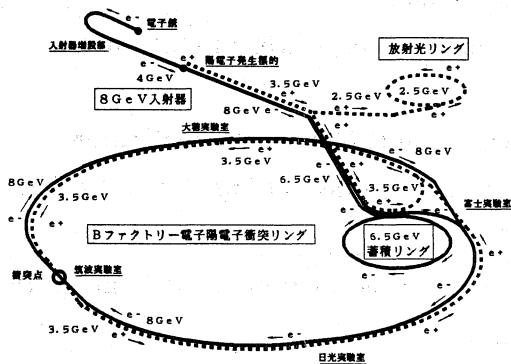


図1 Bファクトリー全体見取り図

この結果、入射蓄積リング (AR) は放射光専用リングとして活用する事が可能となった。しかし、このためには、入射器のエネルギーを2.5 GeVから8 GeVに増強する必要がある。陽電

現在使用中の入射器棟や加速装置に適合する大きさで、進める必要がある。大電力クライストロンの開発は、1) 350KV以下の定格電圧で最大定格電力が60MW以上、2) 全長が1360m以下で変換効率が50%以上、3) 出力窓が1個でパルス幅4 μ s以上の性能を得ることを目標にしている。クライストロン開発の当初は、現在PFで使用中のクライストロン(PV3030)をベースにして進められた。1993年、陰極を新タイプに交換したクライストロン(PV3030A1)に、300KVの電圧を供給し、44%の変換効率で47.3MWの出力電力を得た。又、陰極絶縁碍子を交換したクライストロン(PV3030A2)に、310KVの電圧を供給し、44%の変換効率で51.5MWの出力電力を得ることに成功した。1994年、更に改良を加えたクライストロン(PV3030A3)のテストでは、4 μ sのパルス幅で約50MWの高周波出力が得られ、変換効率も49%を越えた。一方、新型クライストロン(E3726)の開発を進めており、1994年、340KVの電圧を供給し、63MWの高周波出力電力を得た。このテストでは出力窓の破壊を避けるためにパルス幅を1 μ sにした。その後、更に改良したクライストロン(E3730)では、1995年、308KVの電圧を供給し、パルス幅4 μ sで約51MWの高周波出力電力を得ている。この時の変換効率は約46%であった。

これまでの開発努力が実り、現在、出力窓1個のクライストロンとしては世界最高の性能に到達している。入射器のエネルギー増強に必要なクライストロンの開発には、一応の目途がついたと認識しているが、更に大電力と高効率を目指して、新型クライストロン(PV3050)の開発を進めている。

4. パルス圧縮器の開発

入射器増強のもう1つの重要課題にクライストロンの出力高周波電力を約3倍に増幅する装置(パルス圧縮器)の開発がある。1976年、SLACではクライストロンから供給される電力のパルス幅を狭めて、高周波電力を増幅する装置(パルス圧縮器)を考案し、20GeV電子線形加速器のエネルギー倍増計画を提案した。

高エネルギー研のJLCグループでは、SLED型パルス圧縮器の結合方式を改良し性能向上を計った。PF入射器では、1992年、入射器増強仕様で設計した改良SLED型パルス圧縮器を試作し、1993年から加速ユニットに取り付け、加速管の耐圧試験も兼ねて、その性能テストを行い、好成績を得ている。又、日米協力の共同研究として、SLED型パルス圧縮器1台をSLACから導入し、加速ユニットに挿入して、性能比較

テストを行っている。

SLED型パルス圧縮器は構造が複雑で価格も高い。そこで、コストの低減を目指して構造が単純な進行波が環流するパルス圧縮器を考案し、そのモデルを製作し、動作確認テストを行った。又、大電力モデルも製作し、動作特性の測定を行い、定在波比は良好(1.03)であったが、Q値は設計値の80%(約48000)で低かった。

この新型パルス圧縮器にパルス全幅4 μ s、位相反転時間3.46 μ sの高周波電力(44MW)を供給し、大電力テストを行った。Q値が設計値の80%のため、電界増幅度(1.75)が予測より5%低く、その原因を調査中である。大電力テストの結果は、新型パルス圧縮器がエネルギー増強用として利用可能なことを示唆した。

一方、このタイプのパルス圧縮器に於ける予測できない課題は、空洞内に励起する高電界による放射線の発生量であった。44MWの大電力テストでは、放射線のレベルが2mの距離で30 μ sV/hであった。パルス圧縮器を加速トンネル内に設置する場合は問題ないが、クライストロン回廊に設置する場合はX線シールドが必要となる。

新型パルス圧縮器は単純な構造にするため矩形ドーナツ型導波管を基本にしているが、現在、改良SLED型パルス圧縮器より更にQ値の大きい円形ドーナツ型導波管を基本としたパルス圧縮器の開発を進めている。

5. クライストロン・モジュレーター

入射器増強の重要課題の1つは建設スケジュールである。即ち、共同利用実験のマシントイム(3600時間/年)を維持しながら、既設のクライストロン・モジュレーター(48台)を改造し、1998年前半まで、新設のクライストロン・モジュレーター(9台)を増築部に増設することである。難題は既設のモジュレーター(84MW \times 3.5 μ s \times 50Hz)を約2.3倍の定格パルス出力(117MW \times 5.6 μ s \times 50Hz)に改造する作業である。改造する台数が多いので、1993年度から改造作業を開始し、既に20台の改造が終了した。1995年度中には更に12台の改造と2台の製造を行う予定である。残りの改造台数は16台となる。これらの改造は1996、1997年度の2年間で終了する予定である。又、新設のモジュレーター9台の製造も既に終了した。これらの改造作業は入射器の運転停止期間中(約3ヶ月)に終了しなければならない。特に慣らし運転を必要とする場合、運転再開の2週間前までに、作業を完了させなければならない。改造されたクライストロン・モジュレーターは、クライストロンの変換効率が52%を越えると、60MW以上の高周波電力を出力する能力をもつことになる。

6. 陽電子源の増強

陽電子ビーム強度の増強は、蓄積リングの入射時間を短縮し、積分ミノシティーをあげることに貢献する。蓄積リングは多重入射をするためにアクセプタンスが小さい。入射器からエミッタンスとエネルギー分散が小さく、高輝度の陽電子ビームを供給することが重要となる。陽電子ビーム強度は集束系を強化することで増大させることができるが、入射条件を満たす高輝度ビームが増加するわけでない。従って、入射陽電子ビームの増強は、低エミッタンスで高エネルギーの電子ビームを利用するが重要となる。

入射器では、1991年に陽電子源の集束系を増強し、陽電子数の捕捉率を上げた。その結果、入射器終端の陽電子ビーム強度が約2倍になった。又、入射蓄積リングの蓄積率も約50%程増加した。この陽電子源は、トリスタン物理実験終了に伴って1995年6月に閉鎖され、1部を改造し現在、PF入射器の第2セクターに移設中である。又、性能向上を計るために、1996年度に、陽電子源のテスト実験を再開する予定である。

7. 大電荷加速の問題点

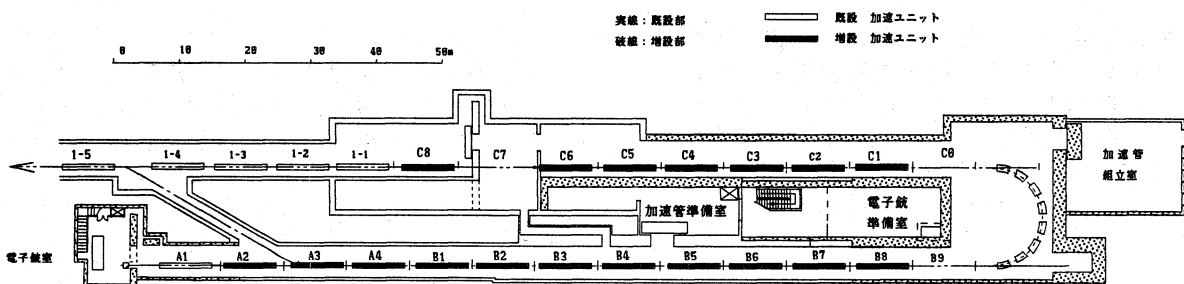
KEKB計画に対応するために、1992年、

電子線形加速器入射部の大改造に着手した。電子銃電圧を160KVから200KVに昇圧し、サブハーモニックバンチャー (SHB)、ダブル・プリバンチャー (DPB)、新型バンチャーを導入し、ビーム集束系と真空系を増強した。1993年には、SHBの電源を導入した。トランジション放射光を使って入射部でも単バンチビームを測定できるようになった。

大電流加速テストでは、6ncの単バンチビームは、60%を入射器終端まで輸送できるが、13ncの単バンチビームは第1セクターの終端で消滅した。これは非対称のウェーク場によって電子ビームが偏向されたためである。このテストから、大電流加速におけるアライメントの重要性が示唆され、入射器のアライメントを是正した。7ncの単バンチビーム加速では明確な差は認められなかった。しかし、その後の入射器運転は非常に容易になった。13ncの単バンチ加速の追跡実験は、マシンタイム不足のため、残念ながら出来なかった。

1) I.Sato, et al, "Upgrade of PF injector linac for B-factory", Proc. of 18th Linear Accelerator Meeting in Japan, 1993, p46-47

8 GeVリニアックの増設部地下トンネル平面図



2. 5 GeVリニアックの入射部

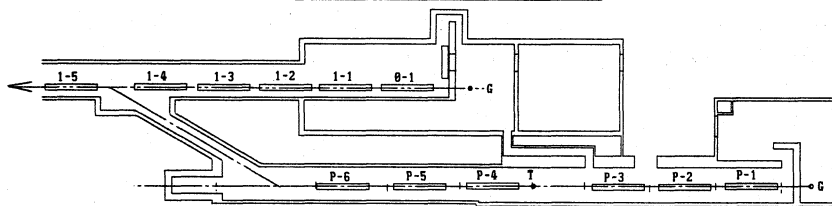


図2 2.5 GeV入射器と8 GeV入射器の比較図