

K. Takeda, H. Matsumoto, A. Enomoto and I. Sato

National Laboratory for High Energy Physics

ABSTRACT

PF linac has been operated for about one year since June 1982. Total machine running time was 1570 hours and the operation of 1320 hours was stand-by time for PF storage ring. The beam transmission from the first sector to the end sector was over 95% in the rate. Beam current was an average of 25 mA at 2.5 GeV. The status of operation is described.

1. はじめに

KEK PF 2.5 GeV リニアックは、1982年2月に、ビーム加速試験に成功し6月からは、通常運転に入り現在に至っている。その間、決定的なトラブルはなく、ストレージリング入射に必要なビームエネルギー、電流を得ている。しかしながら、ビーム加速を不安定にする要素もあるので、各グループでは原因究明、改良を進めている。ここでは約1年間の通常運転に於いて、ビームの安定性、エネルギーの減少等、一定の結果が得られたので報告する。

2. 運転

1982年度の運転は、6月1日から7週間、10月18日から6週間、1983年1月11日から8週間、計21週間行なわれた。この間の運転時間の内分けを図1に示す。斜線部分はリニアック単独運転を、白地部分はストレージリングの運転時間を、それぞれ示す。全運転時間は1570時間で、リニアックのみは250時間、ストレージリングの運転は1320時間であった。

1週間のマシンの一例を図2に示す。マシンタイムは、約2週間に1回行なわれる運転打合せで、年間予定に基づき決定される。

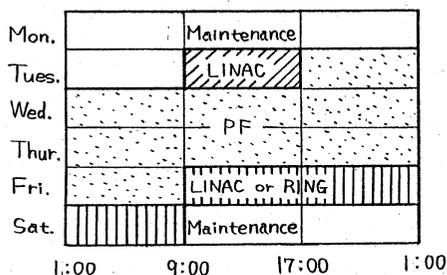


図2 マシンタイムの一例

この他にも色々なパターンがある。

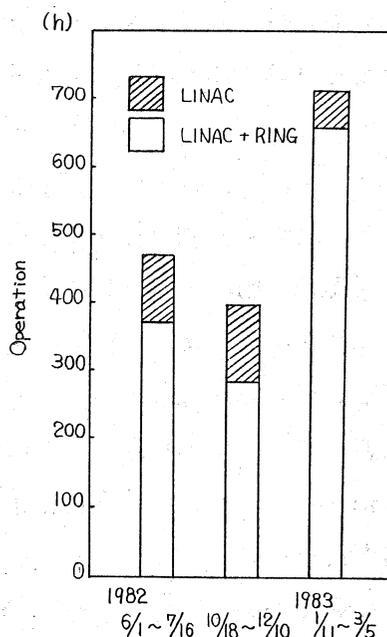


図1 運転時間の内分け

3. ビーム透過率

リニアック運転時に於けるビーム電流測定は、コアモニ

タ (CM) を使用して行なわれる。 コアモニタは各加速ユニット毎に設置されており、その出力は主制御室のタッチパネルで、任意に選択出来る。 図3はGun直後 (CM INJ-1) と、リニアック最終端 (CM ECS-4) の電流波形である。

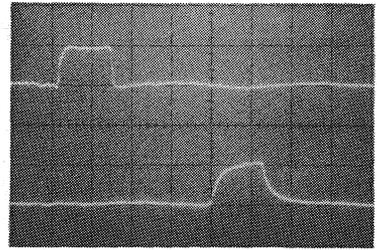


図3 コアモニタ波形
1μs/div.

図4に通常運転時のビーム透過率を示す。 CM INJ-1 から CM ECS-4までの透過率は約60%であり、第1セクターの最初を基準に取ると95%以上の透過率になる。

昨年以來2期間のビーム電流の変化を図5に示す。 このデータを見ても明らかな様に、運転開始日に比べて秋3日には、大きく電流値が低下している。 これは運転期間中にクライストロンが不調となり、rf出力を下げた結果、エネルギーを (2.5 GeVに) 調整する為ビーム電流を下げたことによるものである。 出力が大幅に低下したクライストロンは交換すれば良いのだが、導波管立体回路に設けてあるRF窓が、多数破損している事が明らかになった為、真空リークによるトラブルを避ける理由から、運転期間中の交換は行なわなかった。 1983年3月4日にはすでに全クライストロンの平均出力が低下している上、1本は完全に停止していた為、ビーム電流は非常に少なくなっている。

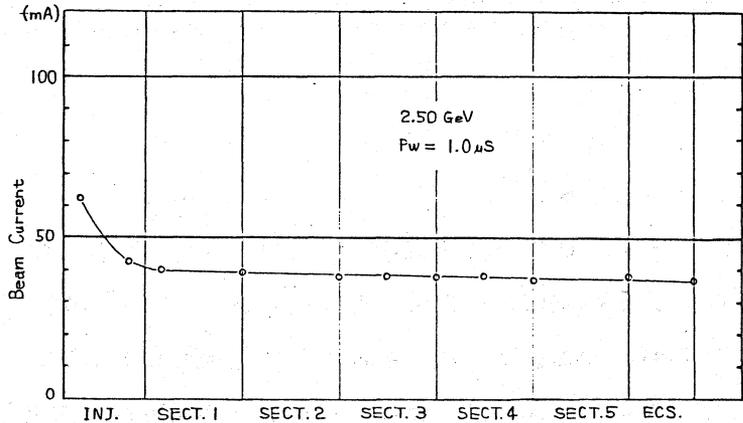


図4 ビーム透過率

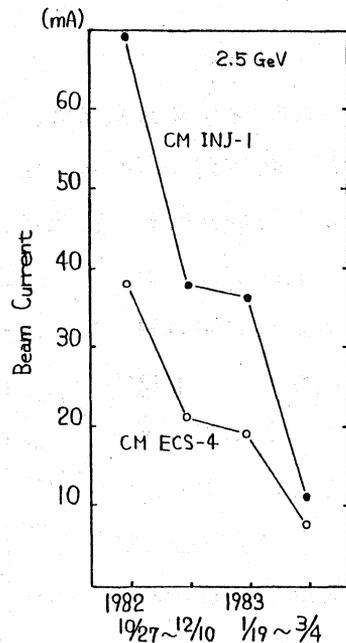


図5 ビーム電流値の
移り変り。

4. ビームエネルギーの安定性

エネルギーの測定はストレージリング・ビームトランスポート用5°偏向電磁石で曲げた後のビームに、スクリーンモニターを入れ、スクリーンに映ったビームスポットをテレビカメラで観測して行なっている (写真1)。 スクリーンには上下・左右20mmの位置にマーキングがあり、これは左右全幅で約2%のエネルギー幅に相当している。 通常の運転時にはビームエネルギーは比較的安定しており、ストレージリングに入射する際 CM ECS-4でビーム電流20mA, 1 pps の時、150mA ストレージする時間は約5分から10分間である。

現在まで数回エネルギー変動が起きている。 原因の明確なものとしては、メイン・ブースターのマスター・オシレーター故障、もう一つはサブ・ブースター クライストロンの出

力変動によるものである。これらはオシレーター交換、外部同調式クライストロンのキャビティ調整を行なう事によって解決した。又その他に立体回路、加速管等での放電の為エネルギー変動が起った。この場合にはこれらに該当するクライストロン出力を一旦下げ、再度上げるなどして対応している。

5. ビームエネルギーの拡がり

第1セクター第1加速管に入射する時点でのビームの拡がり ($\delta\phi$), 各々の加速管で生じるランダムな位相エラー ($\Delta\phi_i$) を考えると、ビームのバンチ内で最もエネルギーの低い粒子のエネルギー (E) は式で与えられる。(図6)

$$E = \sum_{i=1}^N E_0 \cos(\delta\phi + \Delta\phi_i)$$

$$\approx \sum_{i=1}^N E_0 \left\{ 1 - \frac{1}{2}(\delta\phi + \Delta\phi_i)^2 \right\} \quad (1)$$

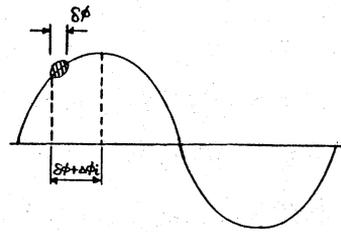


図6 マイクロ波と電子ビームの位相

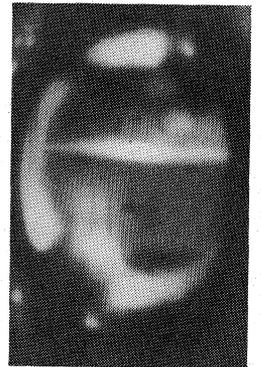


写真1 スクリーン上のビームスポット

160本の加速管の平均共振周波数 (f_0) のまわりに各加速管が $\pm f_0$ でランダムに分布しているので位相エラーの平均値はゼロになる。したがって

$$E = E_0 \sum_{i=1}^N \left\{ 1 - \frac{1}{2}(\delta\phi^2 + \underbrace{\delta\phi \cdot \Delta\phi_i}_{\bar{0}} + \Delta\phi_i^2) \right\}$$

$$= E_0 \left(N - \frac{N}{2} \delta\phi^2 - \frac{N}{2} \overline{\Delta\phi^2} \right)$$

$\overline{\Delta\phi^2}$ は

$$\overline{\Delta\phi^2} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\Delta\phi_i)^2 \rightarrow \overline{\Delta\phi} = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\Delta\phi_i)^2 \right]^{1/2}$$

N番目加速管での累積位相誤差は平均値からのばらつきの絶対値が決める事が解る。エネルギーの拡がり $\Delta E/E$ は

$$\Delta E/E = \frac{1}{2}(\delta\phi)^2 + \frac{1}{2}(\overline{\Delta\phi})^2 \quad (2)$$

(2)式の第1項は入射ビームの位相の拡がり、

第2項は加速管の中心周波数のばらつきによる位相の拡がりである。図7にビームのバンチ幅 ($\delta\phi$)

をパラメータとした場合の加速管の位相シフト量とエネルギー幅 ($\Delta E/E$) の関係を示す。リニアアーク全体の加速管、導波管系の位相シフトは 10° 程度有ると思われ、バンチ幅は約 5° であるのでエネルギーの拡がりは理論値で約 1% である事が解る。写真1を見ると拡がり大きい様に見えるが、これはビームのトランジェント部分が主に影響しており、さらにクライストロンの phasing 不良と他のパラメータの相乗効果があると思われる。

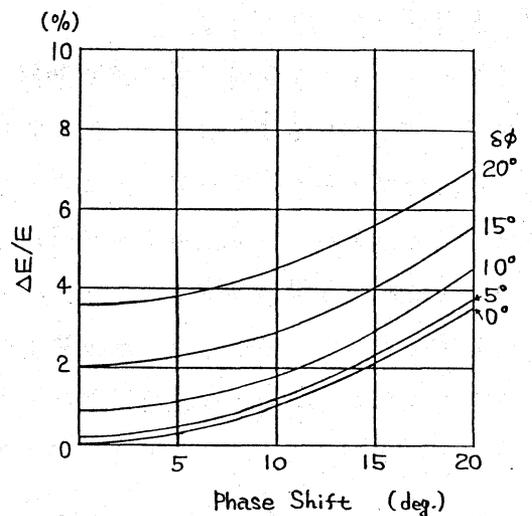


図7 ビームバンチ幅-加速管位相-エネルギーの拡がり

Reference: 加速管中心周波数のバラツキによるエネルギー-スペクトラムの拡がりについて H. Matsumoto