

## ENERGY GAIN OF THE PF 2.5 GeV LINAC

A. Enomoto, H. Matsumoto, I. Sato, K. Takeda,  
N. Yamaguchi\*, Y. Iino\* and H. Taki\*

National Laboratory for High Energy Physics

\* Mitsubishi Heavy Industries, LTD, Nagoya Aircraft Works

### ABSTRACT

The accelerator guide structure was designed with quasi-constant gradient structure for two main reasons. The first consideration was the mitigation of beam blow-up difficulties. The other was that a simple structure increases the yield rates of the manufactured parts by avoiding the complicated structure required for a precise constant gradient. One accelerator guide was designed to be about 1.9 m long corresponding to 18 wavelengths and the guide has 54 cells. Acceleration of the beam through all five sectors was carried out with a dump located at beam switch yard 3, and energy of 2.535 GeV with a beam spread of less than 1 percent was achieved at a beam current of 54.8 mA.

The experiment indicated a beam blow-up limit of about 300 mA at the energy of 1.67 GeV.

### 1. まえがき

PF 2.5 GeV 電子線形加速管は、全長約2m (55空洞,  $2\pi/3$ モード)で、準定電界型構造のものである。又、ディスク穴径により5種類の加速管に分けられている。これには2つの主な理由からで、一つは加速ビーム電流が多くなるとビームパルスの後端が欠け始め、最終的には全てのビームが失われてしまう現象がある。これはビーム・ブロー・アップ(BBU)と呼ばれる。加速ビームが加速管に誘起する発散力を持つモードが原因である事が明らかになっている。もう一つは、構造を単純化して生産能率の向上を計る事である。導波管→加速管結合器は、空洞型を採用し、結合孔による電場の非対称性を補正してある。加速管本体は、高精度に機械加工された、ディスク・スペーサを銅の電鍍で一体化したもので剛性が高く、無調整で位相誤差が±2度以内が実現されている。これらのいくつかの特色をもつ加速管のエネルギー利得に関してある程度の結果が得られたので報告する。

### 2. 加速ユニット

夫々の加速ユニットは、ピーク電力30MWの1本のクライストロンと4本の加速管で構成される。加速管は直径50cmの円筒形の架台に2本1組で固定されている。架台には真空マニホールド、冷却水配管、アライメント用レーザー検出器等が配置される。(図1) 図1から解る様に、1つの特色として加速管へのマイクロ波電力は1方向から供給されている事である。この場合、結合器(空洞型の場合)の電場非対称がビームを曲げる原因となる為、我々の場合は結合空洞内の電場を測定して、結合孔の反対側の壁に断面が長方形をした凹みを設け、その深さを選ぶ事で最良点を決定した。この方法の利点は、SLACの様に立体回路が複雑にならない事である。

る。結合空洞内の電場（位相，強度）の非対称とビーム偏位量は次の様な関係にある。

今、図2-aの様に電場の位相と強度が分布している場合、図2-bに示した様に、あるエネルギーの電子が受ける力は進行方向（ $P_z$ ）と半径方向（ $SP_z$ ）のベクトル合成である。距離 $L$ での偏位量 $\Delta x$ は次式で与えられる。

$$\Delta x = L \cdot \tan \varphi = L \cdot \frac{SP_z}{P_z}$$

$$= \frac{L}{eV} \cdot \frac{e \cdot E_z(r=0) \cdot \lambda \cdot d}{2\pi \cdot (2a)} \left( \Delta\phi \cos \theta + \frac{\Delta E}{E_z(r=0)} \sin \theta \right)$$

$$\left[ \begin{aligned} SP_z &= \frac{e \cdot E_z(r=0) \cdot \lambda \cdot d}{2\pi \cdot 2a \cdot c} \left( \Delta\phi \cos \theta + \frac{\Delta E}{E_z(r=0)} \sin \theta \right) \\ P_z &= \left[ \left( \frac{E}{c} \right)^2 + (m_0 c)^2 \right]^{1/2} = \frac{E}{c} = \frac{eV}{c} \end{aligned} \right]$$

$L$  ; 距離 (cm) ,  $\lambda$  ; 波長 (cm)

$d$  ; 結合空洞の厚み (cm)

$2a$  ; ビーム直径 (cm)

$eV$  ; 電子のエネルギー (eV) ,  $e$  ; 電荷

$\Delta E/E_z(r=0)$  ; 電界非対称率 ,  $E_z(r=0)$  ; 電界強度 (V/cm)

$\Delta\phi$  ; 位相非対称量 (ラジアン)

$\theta$  ; ビームとマイクロ波の位相角 (ラジアン)

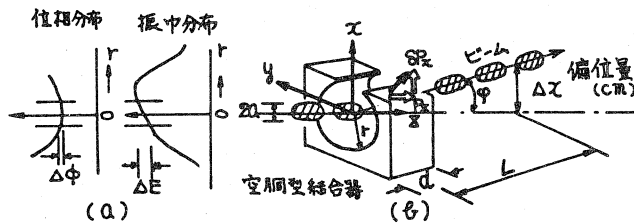


図2. 電場非対称とビーム偏位のメカニズム

図3にビーム加速に使用している結合空洞の電場の位相と強度を示した。電場強度は、補正なしの場合  $2a = 1\text{cm}$  で  $\Delta E/E_z(r=0) \approx 10\%$  もあり無視出来ない量である。補正後は  $0.1\%$  程度に改善されている。

図4に、 $\theta = 5^\circ$ 、 $L = 1$  ユニット (約  $10\text{m}$ ) に結合器が8ヶ (加速管が4本あるので) ある場合について、計算結果を示した。

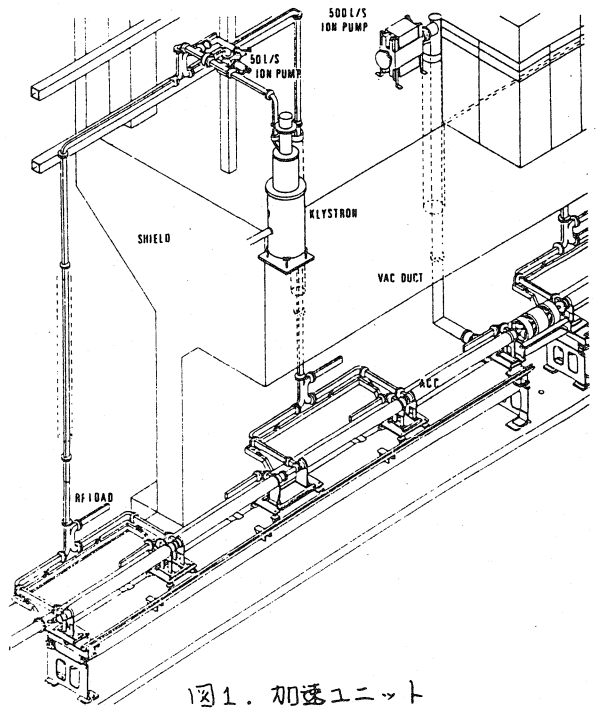


図1. 加速ユニット

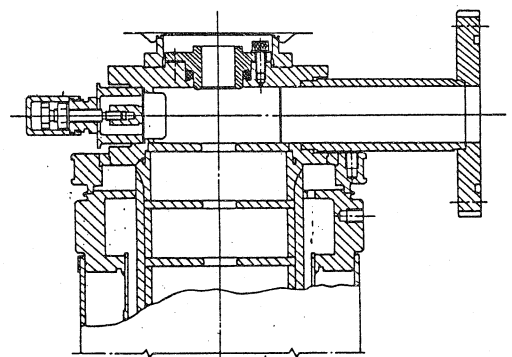
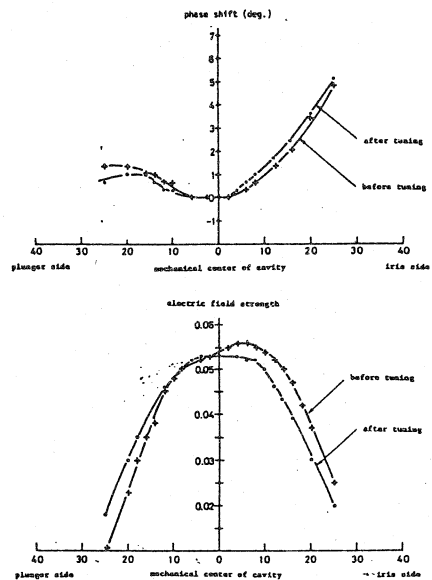


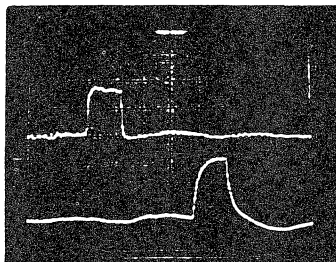
図3. 結合空洞電場分布 (位相, 強度)

### 3. ビーム試験

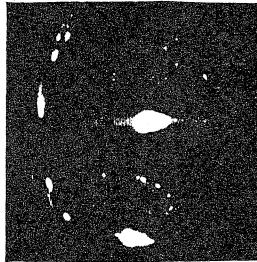
2.5 GeVのエネルギー利得に対して加速管の有効長を300mとした。従って8.33 MeV/mの利得が必要である。

1本の加速管は1.9mで、これは生産性と取扱いを考慮して決定された。これに5MWのマイクロ波電力が供給された時に全体で、電流が50mA、エネルギーは2.5 GeVが得られる様に設計してある。図5にビーム試験の結果を示す。

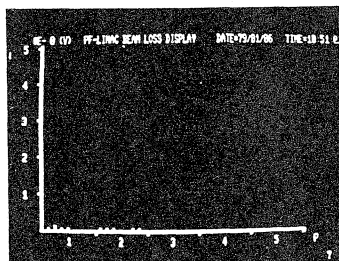
図5-aは通常運転モードで得られたデータで、SECTOR 1の最初を基準に取ると95%以上の透過率になる。又図5-bはBBUがSECTOR 5の端で発生している時にビームが広がった為にECS部分で透過率が下っている。エネルギーの測定は、偏向電磁石で5°曲げて、スクリーンに映ったビームスポットをテレビカメラで観測した。スクリーンには、上下左右に20mmの間隔の所にマーク(穴が空いている)があり2%のエネルギー幅に相当する。これから算出して図5-aの場合エネルギー幅は0.5%程度である。図6に電流波形(コアモニタ)、偏向電磁後のビームスポット、ロスモニタを示す。



電流波形 上; 1-0, 下; 6-4



ビームスポット



ロスモニタ・グラフ

図6. ビームモニタ

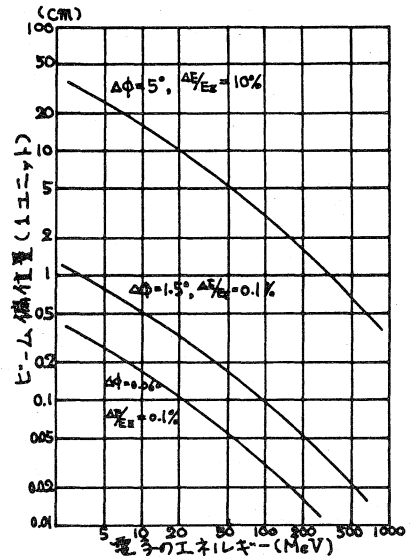


図4. 結合空間電場非対称とビーム偏位置の関係

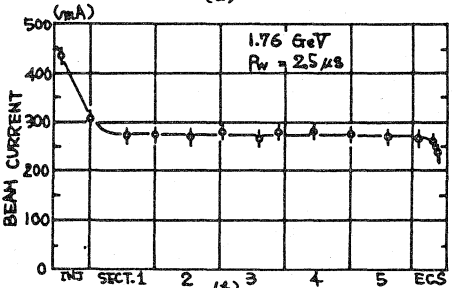
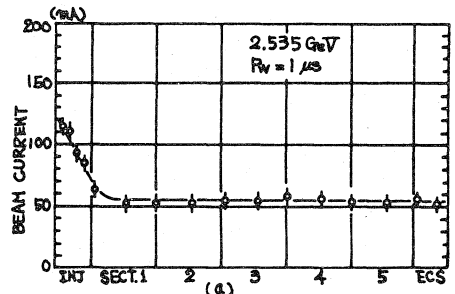


図5. ビーム透過率