

I. Sato, H. Matsumoto, A. Enomoto and K. Takeda
 National Laboratory for High Energy Physics
 M. Oyamada
 Tohoku University

ABSTRACT

The beam blow up on the PF injector linac generates at the beam currents of 400 ma. It is a cumulative blow up and the generation is along the 5 sector. The blow up is observed from a single of directional coupler on the waveguide connecting the output coupler of accelerator guide. The frequency was searched at 4202 MHz and at 3980 MHz and it is measured by a spectrum analyzer. The former is the HEM₁₁ mode frequency of the input cavity of the 2m accelerator guide and the later is the new type BEU frequency except the accelerator guide. The paper reports about the details of the observation results.

1 はじめに 長い線形加速器に於いてビームが発散する原因となる要素は2種類あると考えられている。第1の要素はソイルソン型のビーム発散と云われているもので、一本の加速管内で生ずる現象である。即ち、周期構造した加速管のTM₁₁とTE₁₁の合成モードHEM₁₁と加速ビームが直接カップルすることによって発生する現象であり、そのメカニズムは、先発したビームが加速空洞とカップルして誘起されたマイクロ波が加速管の入口方向に伝播する後進波によって後続のビームが励起され、このビームが加速管内を進行中に次々と加速空洞とカップルし、ビームによる増幅作用が行われる。又、このマイクロ波が空洞内に励起する電磁界の向きは加速ビームの進行方向と直交するので、この電磁界によってビーム自身が曲げられ蛇行を始める。この蛇行によってHEM₁₁モードは更に増幅される。加速ビームはこの電磁場で強く曲げられやがて加速空洞に衝突する。加速管の各空洞が同一構造している場合には、増幅作用による電力利得が大きいので短い加速管でもビームの発散が発生する。これはモード結合を利用して遅波回路に沿って伝播する後進波と電子ビームの遅い空間電荷波とによって発振させる後進波管の動作状態と非常に良く似ている。第2要素は、多数の加速管によって電子ビームを高エネルギーに加速する際に発生するビームの発散で、累積発散現象 (Cumulative beam blow up) と云われているものである。これも、加速管内に先発の加速ビームが励起したHEM₁₁モードによって後続ビームが励起され、このビームが次の加速管を少し強く励起するよって、次々とHEM₁₁は増幅されるので、下流に行くに従ってHEM₁₁モードの電磁界は強くなる。この電磁場で上記と同様に加速ビームは蛇行をし、やがて加速管に衝突して消滅する。この場合のHEM₁₁モードの増幅作用は各々の高周波空洞間の結合が無いクライストロン管の増幅作用と同じであると考えて良い。加速管一本当りの増幅度が小さくとも、その増幅度は加速管数を指数とする回数となるので、HEM₁₁モードは急激に増幅される。従ってHEM₁₁モードの周波数が、全加速管の全加速空洞について異なっている状態が理想である。

2 PF入射器リアックのビーム発散 PF入射器は2m加速管162本で構成されている。これらの加速管は入射部に使用されている2本を除くと32本を1群とする、5種類に

大別される。それぞれの種類の加速管は第1加速空洞のデスク孔径(2a寸法)が25.25mmより0.3mmずつ小さく作っている。又、これらの加速管は加速電界がほぼ一定となる様に隣り合ったデスク孔径を75 μ mステップで変えた構造になっている。1) 2) これはSLACで発生した累積型のビーム発散を緩和する対策として考案されたものである。

PF入射器に於けるビーム発散の數居電流は、ビーム輸送路の集束条件によって変わる。今回の実験は、通常運転時($\pi/4$ shift)よりも強い集束条件下($\pi/2$ shift)で行った。運転条件は電子銃から627mA、第1セクターの入口で382mA、第5セクターの中央で320mA、のビーム電流分布であった。この時のビームのパルス中は1.8 μ sで、これ以上中を延べると電子銃が不安定になるので、この条件で実験を行ったが、第5セクターの電流モニター(CM5-5)ではビーム発散現象を観測することは出来なかった。そこで更にビーム電流を増し第1セクターの入口モニター(CM1-0)で464mAに作ったとき第5セクターの中央でわずかに観測され、第5セクター終端の下流にある電流モニター(CM6-3)には明確に発散現象が観測された。FIG 1には電子銃電流627mAのときの入射器の各場所に於けるビーム電流分布を示す。FIG 2はビーム電流モニターに観測されたビーム発散現象を示す。

ビーム発散現象を詳細に調べるため、第5セクターの終端に位置する加速ユニット(5-8)の加速管と無反射終端器の間の導波管に取り付けてある方向性結合器から信号をスペクトルアナライザーで分析し、ビーム発散周波数を求めた。

測定時には、クライストロンからこの加速ユニットへ、マイクロ波電力の供給は停止した。

3 ビーム発散周波数 スペクトルアナライザーを使って加速ビームの発散周波数を測定すると発散周波数以外の多数の周波数スペクトルが観測される。これは発散周波数 f_b とビームの加速周波数 f_0 との干渉波、並びにスペクトルアナライザーの局部発振周波数 f_c との干渉波が発生するため、観測される周波数を f とすると、 f は

$$f = m f_0 + n f_b + r f_c \quad (m, n, r = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots)$$

なる組み合わせ数となる。特に f_b が2つ以上ある場合には更に複雑となり、解析は困難を極めるので、低域通過回路や高域通過回路を利用し、低高次モードをカットして測定する必要がある。

又、加速ビームは、パルス中が数 μ s、繰り返す回数1~数ppsの場合、周波数の掃引時間を長くしほいと観測すべき目的の周波数を見失う可能性がある。特に f_b は f_0 より更に狭いパルスのため一層の注意を必要とする。

測定データの解析は、測定されたデータから、 $m f_0 + r f_c$ を消去し、残ったデータから $m f_0 + n f_b$ と $m f_b + r f_c$ の関係を満足する f_b の値を決定した。この結果として4202MHzと3980MHzの2つの発散周波数と思われるもの存在する。前者は予想されていた加速管の入口付近に発生する累積型の発散周波数であると思われるが、後者は新しい型の発散で予想していなかったもので、現在検証中である。

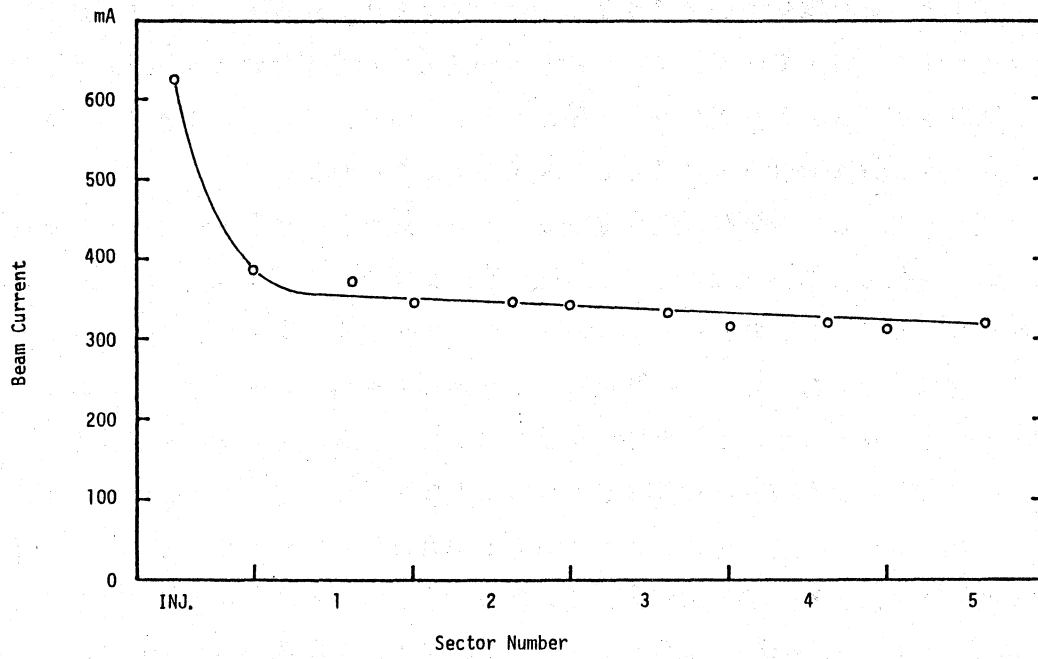


Fig. 1 Current distribution along beam line.

BBU phenomenon

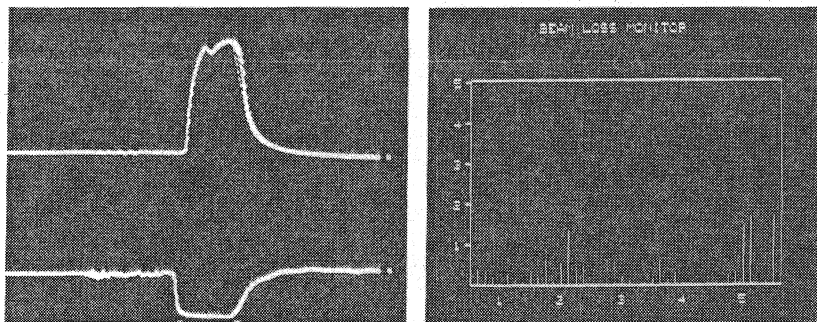


FIG 2. (a) Beam current shapes
 Upper : CM 6-3
 Bottom : CM 5-5

(b) Beam loss distribution along the beam line.