

Abstract

The phenomenon of electron beam deflection was observed by a position monitor, when the input microwave phase was shifted in the accelerator guide. It indicated that electron beams were modulated by the transverse fields induced by the higher space harmonics.

The experimental data were compared with the calculation of beam deflection.

§ 1 はじめに

大型直線加速器では、加速管の中心軸に対して入力空洞等の非対称加速電界は、加速ビームを偏向し、特に、電子ビームが、加速管中を伝播するマイクロ波の最大加速位相から大きくずれた時に、電子ビームの偏向量が大きくなるとの報告がなされている。¹⁾

しかし、PF入射器では、通常運転中にも、最大加速エネルギーを得るため、時折、クライストロンの入力マイクロ波位相を大きく移行するが、電子ビームが偏向して消失する現象は観測されない。これは、PF入射器の加速管を設計する時、この事態が予測されたので、加速管の入出力結合空洞の電磁場が軸対称になる様、その構造に工夫を加えた効果があったためと思われる。²⁾ 又、電子ビームを偏向させる要素としては、地磁気の影響、加速管アライメントの不出来、集束電磁石の中心軸とビームラインとのずれ等が考えられるので、これに対しても細心の注意を払った設計になっている。

ここでは、これ等の対策効果を観測するために、ビームを加速管の中心軸からずらしたり、或は、ビームとマイクロ波の加速位相を90度ずらして、ビームの偏向状態を観測したので、その結果について述べる。

§ 2 電子ビームの偏向

加速管の中心付近の電磁場は、Walkinshaw³⁾ によって次の式で与えられる。

$$E_r = \sum A_m (j B_m / X_m) J_1 (X_m R) e^{-j B_m Z} \quad (1)$$

$$E_z = \sum A_m J_0 (X_m R) e^{-j B_m Z} \quad (2)$$

$$Z \cdot H_\theta = \sum A_m (j K_\theta / X_m) J_1 (X_m R) e^{-j B_m Z} \quad (3)$$

ここで、 B_m は空間高調波の m 次の伝播定数： $B_m = B_0 + 2\pi m / D$ ($m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$)、 B_0 は $B_0 = 2\pi / \lambda_g$ (λ_g は管内波長)、 D はデスク間隔、 K_θ は自由空間の伝播定数、 $K_\theta^2 = B_m^2 + X_m^2$ 、 R は中心軸からのずれを、 Z はあるデスク間の真中を原点とする中心軸に沿った方向の距離を、それぞれ表わしている。図1 (a), (b), (c)は、加速管中を伝播する進行波マイクロ波の2次の空間高調波まで考慮した $|E_r|$, $|E_z|$, $|H_\theta|$ を R と Z の関数として計算し、その結果をグラフに示したものである。 E_r , H_θ はビームを曲げる偏向場であり、 R が大きくなるに従ってそれ等の値も大きくなる。

§ 3 電子ビームの偏向実験

電子ビームの偏向実験は、PF入射器の第一セクターの加速ユニット1-7、1-8と第4セクターの加速ユニット4-5-4-8を使って行った。図2に加速ユニット1

-5, ... 1-8, のブロック配置図を例として示してある。実験は次の要領で行った。

{1} ユニット1-7、1-8の集束電磁石と偏向電磁石を零にして、ユニット1-6、1-7の偏向電磁石を使って、電子ビームがユニット1-7、1-8、の加速管中心軸を通る様にプロフィールモニターで観察しながら調整を行った。

{2} ユニット1-7、1-8、のクライストロン入力マイクロ波位相を $\pm 90^\circ$ 、 $\pm 180^\circ$ 、変えてプロフィールモニターで電子ビームの動向を観測した。

{3} {1}の方法を用いて、電子ビームを加速管中心軸から5mmずらして、{2}の実験を行った。

{4} {1}と同様な方法で、第4セクターのユニット4-5、4-6、4-7、4-8、の加速管の中心を電子ビームが通る様に調整を行い、{2}と{3}と同じ方法で電子ビームの偏向実験を行った。

入射器の低エネルギー側(400MeV)と高エネルギー側(1775MeV)の2箇所で実験したのは、エネルギー依存性を調べるためである。

§3 実験結果

実験結果は、電子ビームに対して加速管のマイクロ波位相を $\pm 90^\circ$ ずらした場合、些細ではあるが、ビームの偏向が観測された。この時、入射器のビーム電流は約40mAであった。観測結果の代表例を表-1に示す。

表-1 電子ビームの中心位置の移動量

クライストロン番号		電子ビームの中心位置		ビーム径	Q電磁石
1-7	1-8	左右 (mm)	上下 (mm)	横 * 縦 (mm ²)	
位相角	位相角				
0°	0°	0.0	0.0	9.2 * 10.9	* OFF
+90°	+90°	+1.7	+2.7	7.4 * 13.7	OFF
-90°	-90°	-1.7	-1.7	9.4 * 9.2	OFF
-180°	-180°	-0.4	0.0	9.7 * 10.9	OFF
0°	0°	-5.0	0.0	7.4 * 10.3	* OFF
+90°	+90°	-3.7	+3.5	7.4 * 13.7	OFF
-90°	-90°	-9.4	-2.0	10.3 * 9.7	OFF
0°	0°	-1.4	+1.9	8.6 * 9.2	* ON
+90°	+90°	-1.7	+1.4	11.4 * 11.1	ON
-90°	-90°	-1.6	+2.7	7.7 * 10.6	ON
4-5 . . . 4-8					
0°		0.0	0.0	9.1 * 9.7	* OFF
+90°		+0.8	-1.7	11.1 * 16.5	OFF
-90°		-2.5	+1.0	10.3 * 9.4	OFF
0°		-3.9	+3.1	6.0 * 6.0	* ON
+90°		-2.3	+3.3	8.0 * 7.4	ON
-90°		-3.7	+3.4	6.3 * 6.3	ON

* はビームの基準位置を示している。

§4 結論

この実験からの結論として、加速ビームがビームラインからずれるのを防ぐ効果的な方法は、ビームのベータートロン波長を短縮する事、ビームラインを高精度にアライメントする事、の2点である。この事は、大型直線加速器等を長期間安定に運転するため必要

条件でもある。一般の平常運転に於いては、電子ビームは常に最大加速電場を受ける位相にあり、加速管中心付近の電磁場 E_r , H_θ は、式 (1) と (3) から明らかな様に、加速電場に対して位相が 90° 遅れているので、電子ビームを偏向する力が弱い。しかし、ビームと加速電場の位相がずれると、 E_r と H_θ の影響力を無視出来なくなる。この影響は電子ビームのエネルギーが、低い程大きいので低エネルギー側の位相合わせは、特に念入りに行う必要がある。

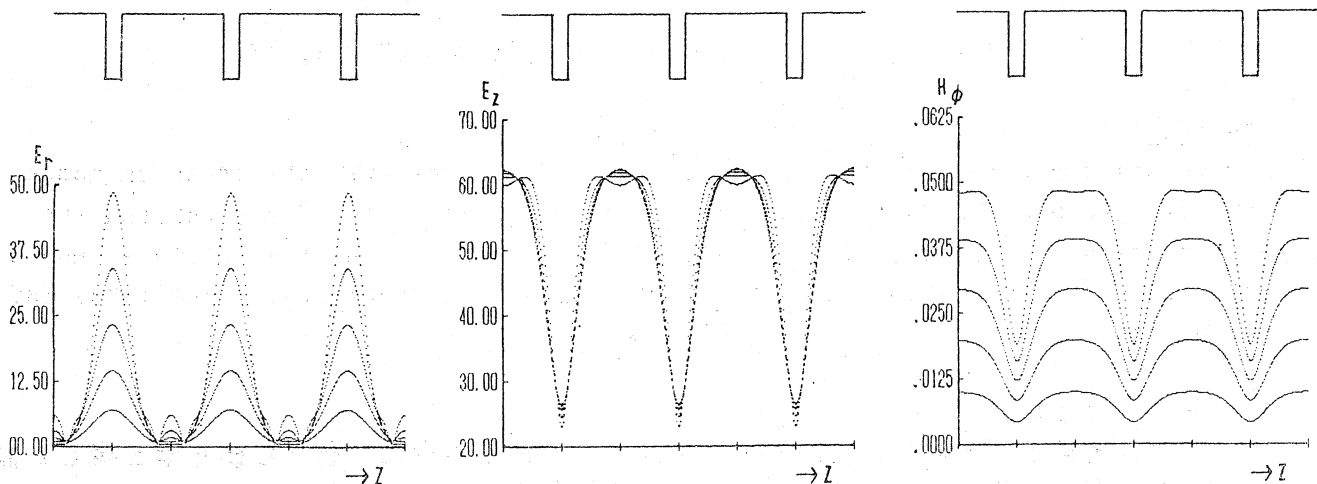


図 1 (a)

加速管の半径方向の電界強度分布で加速管の中心軸から 2, 4, 6, 8, 10 mm の電場を表わす。

(b)

加速管の軸方向の電界強度分布であり半径方向は (a) と同じである。

(c)

加速管の半径方向の磁界強度分布で半径方向は (a) と同じ。

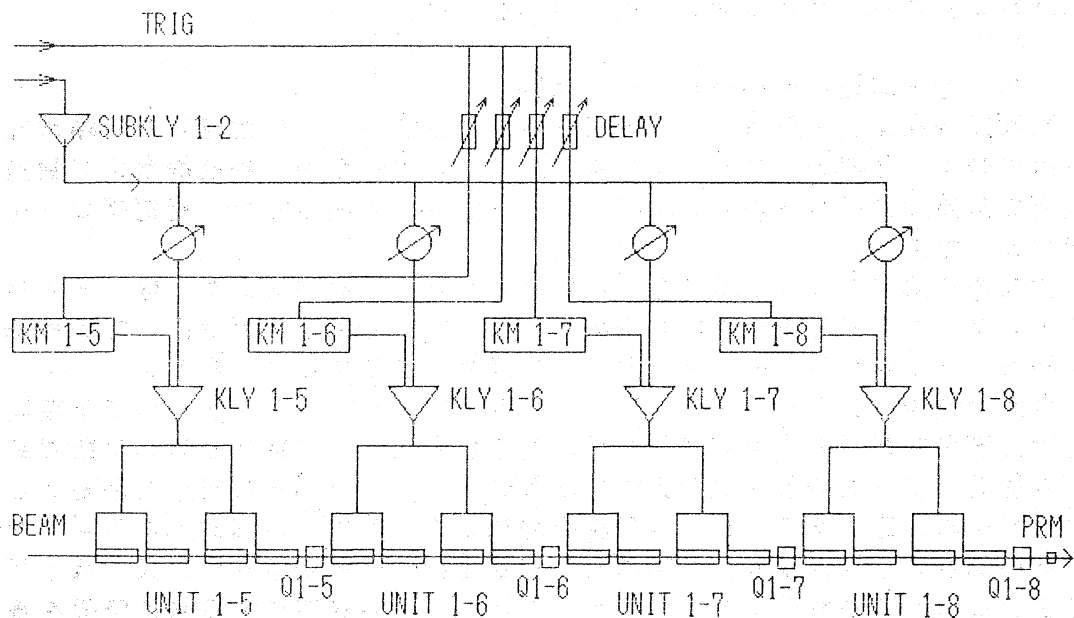


図 2 加速ユニット 1-5, --->1-8, の配置図

- 1) G. LOEW at SLAC, Private communication
- 2) I. Sato, Nucl. Instr. Meth. 177(1980)91-100
- 3) W. Walkinshaw, Proc. Phys. Soc. 61(1948)39