

## PF入射器用ビームポジションモニター

高エネルギー研 榎本收志、松本 浩、中原和夫  
佐藤 勇、田中治郎

東大原子カ工学 長谷川賢一、細野米一、小林 仁  
東北大核理研 小山田正幸、武藤正勝、今野 收

## §1 序

現在建設中の高エネルギー物理学研究所放射光実験施設(KEK-PF) 2.5 GeV電子線型加速器用ビームモニターとして、従来用いられてきた電流モニター、プロファイルモニター(スクリーン)の他に、ビーム位相モニター、バンチモニター、ポジションモニター等の開発が進められている。これは、コンピューターによるビームの自動制御だけでなく、マニュアルで運転する場合でも短時間に効率よく又安定なビームを出すために必要なものである。PFリニアックは2mの加速管160本を40のユニットに分割し加速RFとビームの位相を合わせ、又ビームのエネルギーに合わせて30弱の集束用四極電磁石の磁場を調整せねばならない。ステアリング電磁石やバンチャー部の調整を含めると調整箇所は非常に多くなる。

Sバンド電子リニアック用のビーム位置<sup>ポジション</sup>モニターはSLACで多種開発検討されたが、精度が良く又信頼性が最も高いものとして現在迄常用されてきたのが空洞共振器型ビーム位置モニターであり、SLACをはじめMIT、仏オルセー等世界の大型リニアックで使用されている。昨年<sup>の</sup>研究会では、TM<sub>210</sub>モードの矩形空洞によるビームテストの結果を報告したが、今回これを改良し、RF信号処理回路の試作、実験、検討を行なったので以下に報告する。

## §2 空洞共振器型ビーム位置センサー

TM<sub>210</sub>モード矩形空洞共振器に図1の様にビーム孔とカップリングアンテナを設けると、ビーム変位の絶対値 $|\Delta x|$ と電流 $I$ に比例した出力が得られる。又、ずれの方向( $\Delta x$ の符号)によって出力RFの位相が180°反転する。このような空洞を水平、垂直方向に2個と、電流・位相基準用TM<sub>010</sub>モード円筒形空洞を組み合わせると

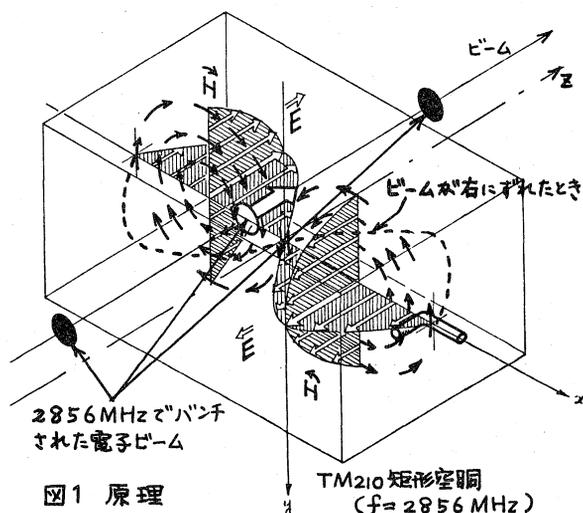


図2に示す様な1組のビーム位置センサーになる。即ちビーム位置  $\Delta X$  は、矩形空洞の出力を円筒形空洞の出力で割り、円筒形空洞の出力RFの位相を基準に矩形空洞の出力RFの位相及転を判別すればビーム位置の方向 ( $\Delta X$  の符号) がわかる。

今回新たに図3に示す様に、TM<sub>210</sub>モード矩形空洞の代りに、空洞を正方形に作り、TM<sub>210</sub>とTM<sub>120</sub>モードの共振が一空洞で同時に起こる構造にしてスペースとコストの節約を計った。この空洞を用いたビームテストの結果を図4に示す。実験は東大の35 MeV電子リニアックのビームを用いた。ビーム電流と位置を一定に保ち、空洞の方を水平方向に遠隔操作して、検波した出力電圧の変化を測定した。ビームのピーク電流は約30 mAで、空洞からのRF出力は80 Wの同軸ケーブルを制御室迄約50 m引いて検波し、オシロスコープで観測した。これはRF出力を検波器で直接検波しただけなので、 $\Delta X = 0$  付近で検波器の入力が小さく  $\pm 0.1$  mm 位不感帯になっているが、§3で述べる様に検波回路を工夫すれば更に感度が上がる。直線検波領域では  $140$  mV/mm の出力電圧があるので  $10 \mu\text{m}$  位の分解能は得られる。

§3 RF信号処理回路

空洞からのRF出力をただ検波器で検波しただけでは図4の様にビーム変位方向かわからず、又  $\Delta X = 0$  付近で感度が悪くなる。そこで考えられたのが図5(b)~(d)の回路である。その他にもいくつかの回路が考えられ使用され

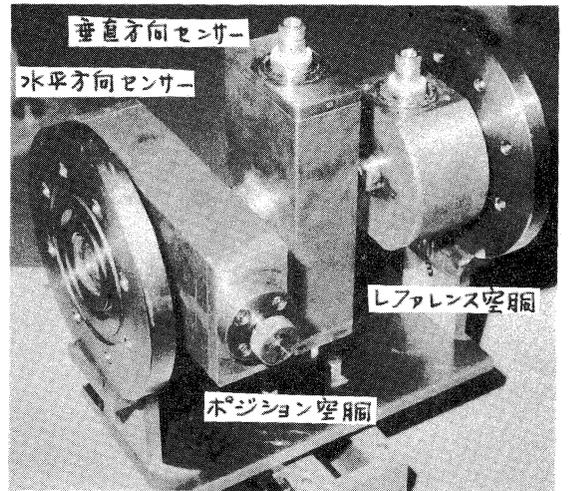


図2 TM<sub>210</sub>矩形空洞型ビーム位置モニター(試作機)

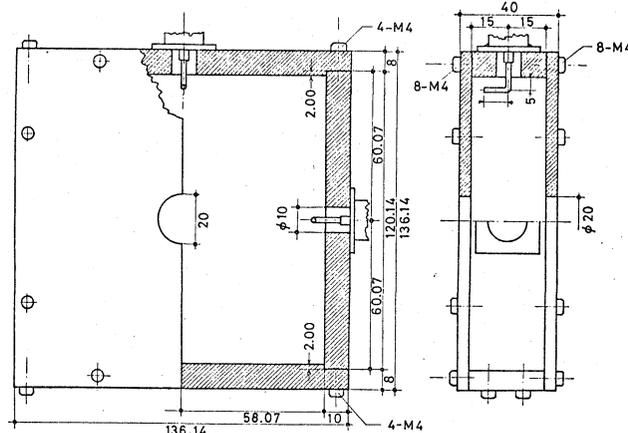


図3 TM<sub>210,120</sub>方形空洞(実験用)

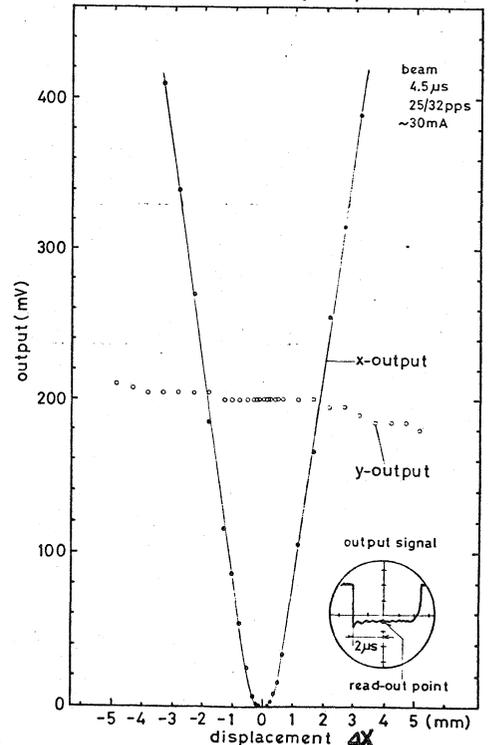


図4 ビームテスト結果

ているが、(b)~(d)の回路は簡単で実用的である。

回路(b)は TM<sub>210, 120</sub> ポジション空洞と TM<sub>010</sub> レファレンス空洞(円筒形)からの RF出力をハイブリッドを用いて重ね合わせて、 $E_1 = E_R + E_P$ ,  $E_2 = E_R - E_P$ をつくる。(90° 3dBハイブリッドに  $E_R, E_P$  を 90° の位相差で入力する) この検波出力  $E_1, E_2$  により

$$\frac{E_1 - E_2}{E_1 + E_2} = \frac{\pm E_P}{E_R} \propto \frac{\pm I|\Delta|}{I} \propto \Delta X$$

なる演算をして、変位  $\Delta X$  に比例する量を得る。図6にこの回路の電子ビームによる実験の結果を示す。実験は東北大学核理300 MeV電子リニアックのビームを用いて行なわれた。TM<sub>210, 120</sub> 正方形空洞と TM<sub>010</sub> 円筒形空洞からの RF出力を 8D2W の同軸ケーブル 20m で測定場所を導き回路(b)により検波出力  $E_1, E_2$  を得、これを2現象オシロスコープに入力し差をとって観測した。この回路ではビーム変位  $\Delta X = 0$  のとき  $E_P = 0$  ぞ  $E_1 = E_2$  となるはずであるが、実際にはハイブリッドの電力分配比等のアンバランスにより  $E_1 \neq E_2$  となるので、 $\Delta X = 0$  が得られない。このオフセット分は、補償する必要がある。

回路(c)はダブルバランスミキサの RFポートにポジション空洞の出力、LOポートにレファレンス空洞の出力を入力する。RF, LOポートに入力する電圧を各々  $V_{RF} = V_R \cos(\omega t + \varphi_R)$ ,  $V_{LO} = V_L \cos(\omega t + \varphi_L)$  とすると、IFポートにあらわれる出力電圧  $V_{IF}$  は直流で

$$V_{IF} = a V_R V_L \cos(\varphi_R - \varphi_L)$$

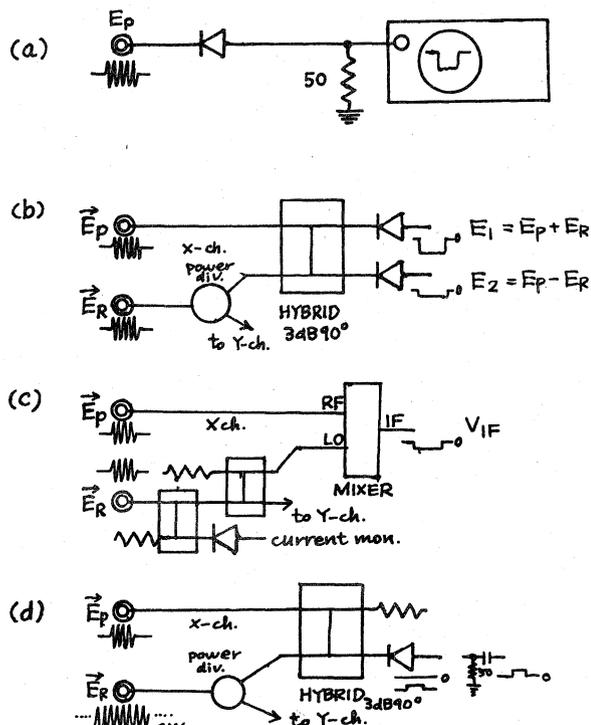


図5 RF検波回路

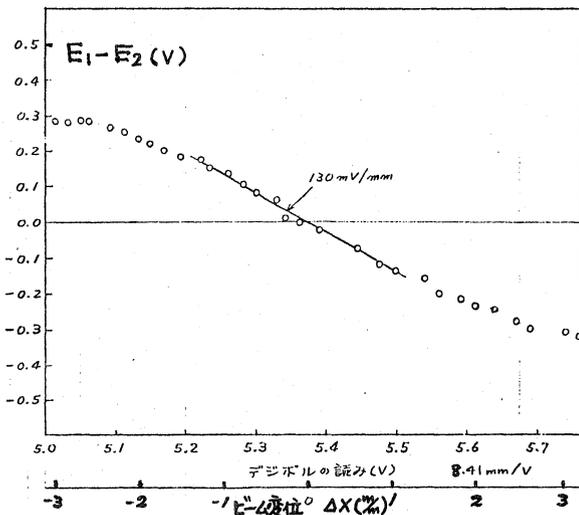


図6 回路(b)のビームテスト

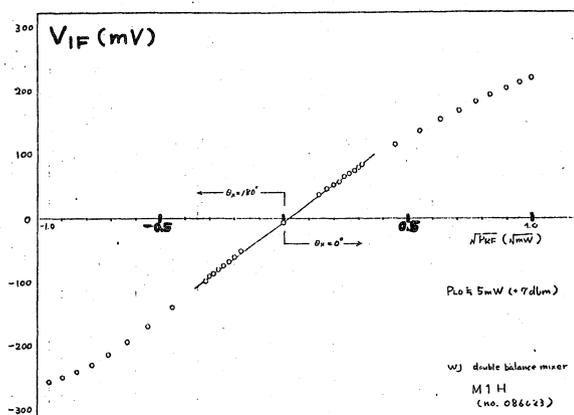


図7 回路(c)のベンチテスト

となる。この回路は部品点数も少なく製作が容易であるが、図7に示す様に $\Delta X=0$ でも出力は0にならずオフセットを生ずるのでやはり補償が必要である。

回路(d)はTM<sub>010</sub> レファレンス空洞の代わりにマスターオシレーターからのCWを位相基準にして、ビーム変位の方角(TM<sub>210</sub>ポジション空洞出力RF位相の180°反転)を判別する。ポジション空洞出力はパルス、レファレンスRFはCWであるので、これらを位相差0°又は180°でハイブリッドした後検波しACカップルで観測すると、CWはDC電圧でカットされ、ポジション空洞出力RFだけが信号出力となる。図8に示す様に、この回路では $\Delta X=0$ での出力電圧オフセットが出ないのが特長である。

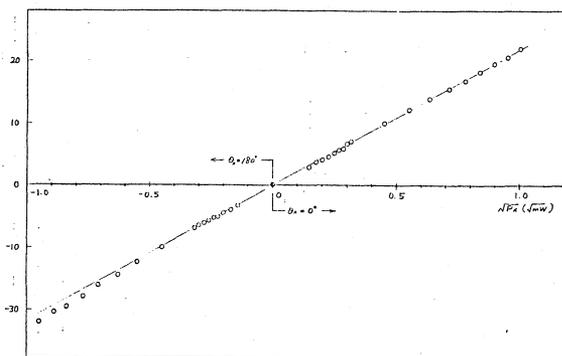


図8 回路(d)のベンチテスト

#### §4 ビデオ信号処理エレクトロニクス

図9に信号処理回路のブロックダイアグラムを示す。この回路は図10(a)の様な信号入力に(b)のゲートパルス間だけ信号入力をサンプリングしパルスストレッチ信号(d)を得る回路である。パルスストレッチされた方形波をA/Dコンバータにだけコンピューターと通信する。

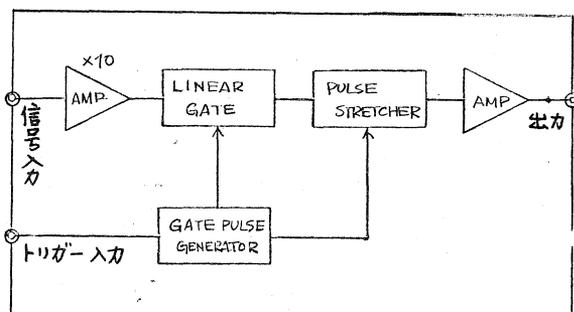


図9 ビデオ信号処理回路(ブロックダイアグラム)

#### §5 結論

ビーム位置センサーとしてはTM<sub>210,120</sub> 方形空洞がスペースコスト的に有利である。図4に示す様に水平ビーム変位 $\Delta X$ による出力と垂直ビーム変位 $\Delta Y$ による出力の分離度も十分である。

RF信号処理回路としては回路(d)が簡易でオフセットも出ないので良い。

今後A/D変換後のコンピューターとの通信回路の試験を行ないシステムとしてまとめたい。

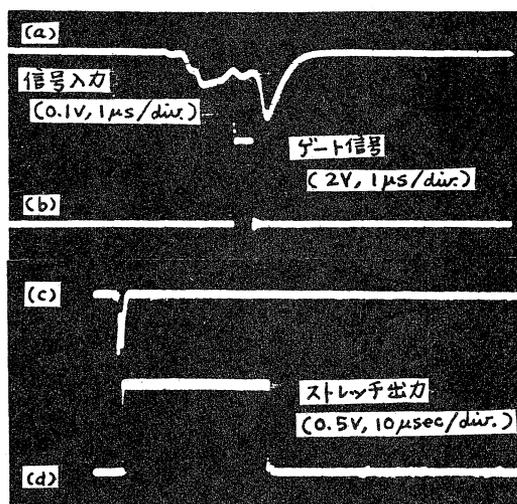


図10 信号波形(ビームテスト)