

[P8-29]

BEAM MONITOR SYSTEM FOR THE JHF LINAC

T. Watanabe, Z. Igarashi and J. Kishiro

KEK: High Energy Accelerator Research Organisation
1-1 Oho, Tsukuba-shi, Ibaraki-ken, 305-0801 Japan

Abstract

Beam monitor system for the JHF linac is presented emphasizing on the bunch phase monitor which is essential to operate the multi-tank proton linac, and the beam position monitor which have a problem due to the beam velocity or energy dependence of the position sensitivity.

JHFリニアック用ビームモニターシステム

はじめに

現在、KEKではJHFリニアックの内、60MeV(RFQ、DTL×3、SDTL×2)までの建設が進められている。JHF加速器はリニアック、3GeVリングそして50GeVリングより構成され [1]、大強度ビームの生成をめざしている。この大強度ビーム実現の成否はビーム損失を如何にして抑えるかにかかっており、リニアックには良質なビームを安定して供給することが強く求められている。

ビーム電流	30mA
パルス幅	最大500 μs
繰り返し	最大25Hz
バンチ周波数	324MHz
RFチョップ周波数	2MHz

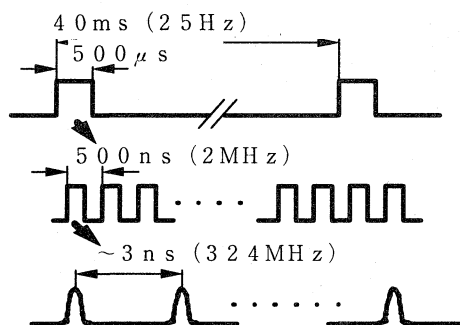


図1 ビームのパルス構造

表1および図1にJHFリニアックのビーム・パラメーターとパルス構造を示す。ここでRFチョップとは次段の加速器である3GeVリングのRFに同期してビームをON/OFFしてビーム損失を極力抑えて入射するために行うものである。このRFチョップを行うことによりビーム

表1. ビーム・パラメーター

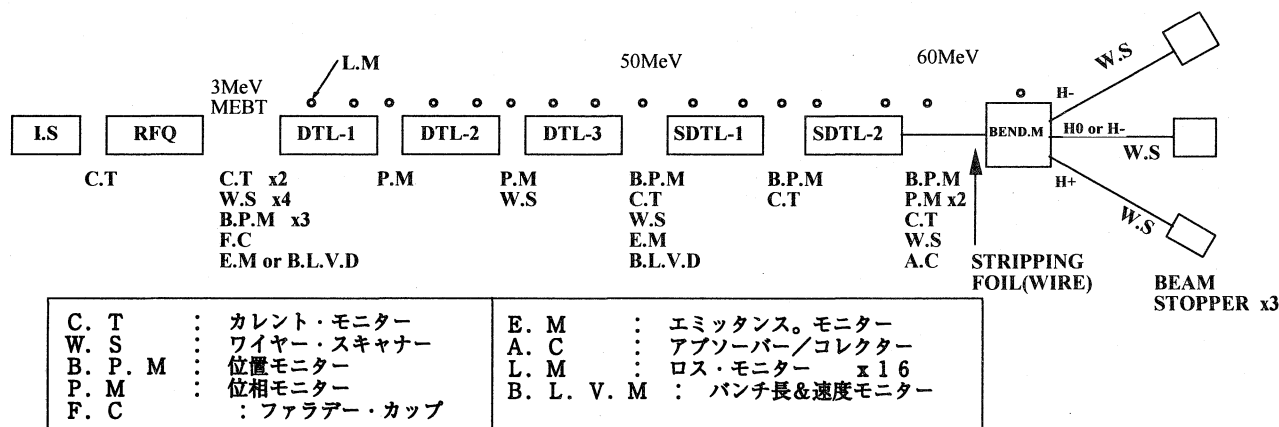


図2. ビーム・モニターの配置

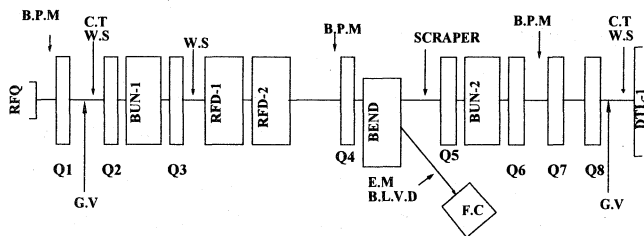


図3. MEBTの構成

のパルス幅は数百nsとなり、モニターによっては、これに十分応答出来る特性が求められる。

本稿では多空洞陽子リニアックを運転する上で極めて重要なバンチ位相モニターならびに位置モニターとその感度のビーム速度(エネルギー)依存性の問題等に重点を置いて報告を行う。なお図2および図3にリニアック全体のモニターの配置(案)とMEBT(RFQとDTL間のトランスポートライン)のそれを示す。

バンチ位相モニター

多空洞陽子リニアックでは各空洞のRFフィールドの設定は空洞間毎に設置されたモニターによりバンチ位相をTOF(Time of Flight)法を用いて測定することにより行われる[2, 3]。またトランスポートライン上の2カ所にモニターを設置してその信号の位相差からエネルギーの絶対値も測定出来る。

JHFリニアックでは全空洞のRFフィールドはレベルで $\pm 1\%$ 以下、位相で $\pm 1^\circ$ 以下の設定精度が要求されており、バンチ位相

モニターはこれに答えられるものでなければならない。

このバンチ位相モニターとして、PS40MeVリニアックで使用しているもの[4]と同様のCT(電流トランス)型と新しく静電型のを現在検討中である。CT型は低域まで周波数特性がのびていてバンチ波形を観測するのに適しており、静電型は電極に100Ωの特性インピーダンスを持たせ、出力端子の他に電極のサポートを兼ねた端子を取り付けて校正用ポートとして使うことが出来るメリットがある。また位置モニターで使用する4つの電極の和信号も、バンチ位相の検出に利用する。

このモニター・システムで最も難しいのが位相検出器である。導入予定の位相検出器では2つの入力RF信号は先ず、IF信号にダウン・コンバートされリミッター・アンプでレベルを一定とされた後、ECL信号に変換される。この2つのECL信号はEXCLUSIVE-OR回路に入力され2信号の位相差に比例したパルス幅の信号が出力される。この信号はさらに、ローパスフィルターにより位相差に比例したアナログ信号に変換される。位相検出器の誤差の原因は主に入力レベルの変動にある。PS40MeVリニアックの経験では30dBの入力範囲で位相誤差は $\pm 2\sim 3^\circ$ である。この精度をさらに上

げるには各入力レベルでの誤差をあらかじめ計算機に取り込んでおいて、ソフト上で補正を行う等の必要がある。

位置モニター

非破壊型位置モニターとして、静電型位置モニターの感度の検討を行っている。図4に静電型位置モニターの等価回路を示す。ここで、 L は電極の縦方向の長

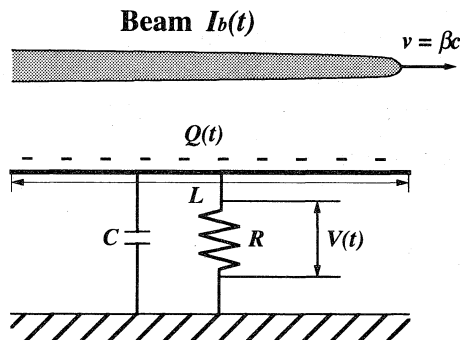


図4. 静電型位置モニターの等価回路

さ、 $v(\beta c)$ はビームの速度、 C は電極の静電容量である。ビームの通過によって誘導された電荷により、負荷抵抗 R の両端に電圧 $V(t)$ が現れる。ここで、ビーム電流の時間分布 $I(t)$ が次のようなガウス関数で表せると仮定する。

$$I(t) = (qN) / (\sqrt{2\pi}\sigma) \exp(-t^2 / (2\sigma^2))$$

ここで、 q は粒子の電荷、 N は一つのバンチを構成する粒子の数、 σ はこのガウス関数の標準偏差(二乗平均バンチ長)を表している。上記の等価回路において微分方程式を解くと、RF周波数の n 番目の出力電圧 V_n は以下の式で表すことができる[5]。

$$V_n = Z_n I_n$$

ただし、

$$I_n = \frac{2qN}{T_0} \exp\left(-\frac{n^2 \omega_0 \sigma^2}{2}\right)$$

$$Z_n = \frac{\phi}{2\pi} \frac{j n \omega_0 R}{(1 + j n \omega_0 R C)} \frac{L}{\beta c}$$

ここで、 Z_n は電極とビーム間のカップリングインピーダンスであり、 I_n はビーム電流の n 番目の成分である。この式から解るように、静電型位置モニターは抵抗と入力容量で形成されるハイパスフィルターであり、カットオフ周波数(f_c)は

$$f_c = 1/(2\pi RC)$$

で表される。以下に示す設計のパラメーターを使うと、カットオフ周波数は(f_c)は約 318 MHz 程度になり、従って電極の容量設計には配慮が必要である。次に出力電圧 V_n から出力パワー P_n を求めると、

$$P_n(\text{dBm}) = 10 \log \left(1000 \frac{1}{R} \left(\frac{V_n}{\sqrt{2}} \right)^2 \right)$$

で表すことができる。この式を用い周波数に対する出力パワー P_n の計算結果を図5にプロットした。この図中において、黒丸はライナックの RF 周波数である 324 MHz の信号成分を示している。

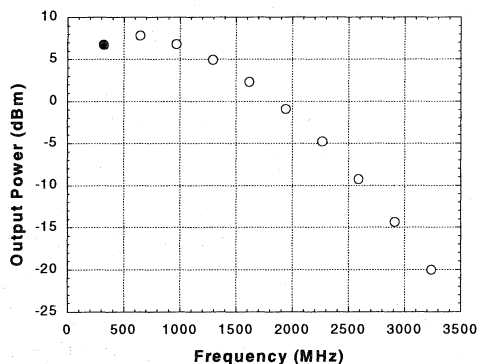


図5. 周波数に対する出力パワー P_n の計算結果

計算に用いた諸パラメーターを以下の表に記す。

N	バンチ中の粒子の数	5.780×10^8
β	ビームの高速比	7.979×10^{-2}
f_0	RF 周波数 ($=\omega_0/2\pi$)	324 MHz
σ	ビームの二乗平均バンチ長	0.129 nsec
L	電極の縦方向の長さ	20 mm
ϕ	電極のビームを取り囲む角度	60deg
C	電極の静電容量	10 pF
R	負荷抵抗	50 Ω

設計に関して以下の2点を検討中である。可能な限り雑音を減少させる観点から、フィードスルーの個所で一点アースを取れるような設計を考案中である。また、ライナックビームの様に低速ビームの場合には Lorentz 収縮が不完全であり、縦方向の電磁場成分が残存し、ビーム位置モニターとして電極を使用した場合、感度に速度依存性を持ってしまう。現在、RFQ によって加速されたビームを MEBT 中の偏向電磁石によって曲げ、ワイヤースキャナーを用い、ビームによって校正を行う事を計画しており、現在設計中である。

その他のモニター

カレント・モニター (C. T) はコア材としてファインメット (日立金属製) を使用する。図4は432MHzテスト・リニアックで用いた C. T のブロック図と応答波形である。この回路の入力インピーダンスは 0Ω に近く、 L が小さくても時定数を大きくすることが可能である。RF チョップ時の速い応答に対処するため、回路の高速化とコアの浮遊容量と L とによる共振を抑えるダンピング抵抗を加えること等を考えている。

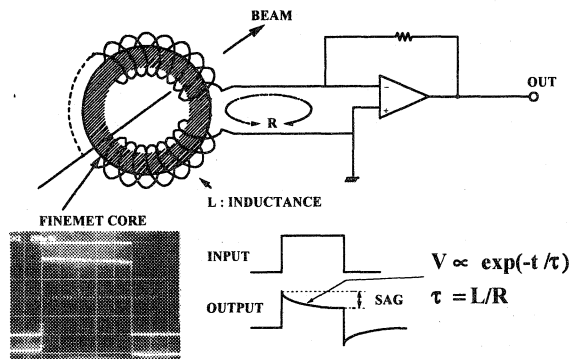


図4 C. T とそのパルス応答
(上:入力、下:出力 100 μ s/div)

今後の課題

今後の検討課題として以下の点が挙げられる。

1. 限られたスペースに如何に各種のモニターを設置するか。
2. ロス・モニターはイオン・チェンバーまたはシンチレーターの何れかを選ぶつもりであるが、RF チョップの影響をどのように避けるか。
3. ソフトを含めた制御システムの建設。

References

- [1] JHF Project Office "JHF ACCELERATOR DESIGN STUDY REPORT" KEK Report 97-16, JHF-97-10, March 1998
- [2] K.Crandall, et al., "The Δt Tuneup Procedure for the LAMPF 805-MHz Linac" LA-6374-MS
- [3] T.L. OWENS, et al., "PHASE SCAN SIGNATURE MATCHING FOR LINAC TUNING" Particle Accelerator, 1994, Vol. 48, pp. 169-179
- [4] Z.Igarashi, et al., "BEAM VELOCITY MONITOR FOR KEK 40MEV PROTON LINAC" Proc. of the 17th Linac Meeting, Sendai, 1992, pp198-200
- [5] T. Watanabe, et al., "Beam Position Monitoring System and COD correction at the Cooler Synchrotron TARNII" Nucl. Instr. and Meth. A, 1996, Vol.381, pp.194-208