

BEAM LOSS MONITORING SYSTEM FOR 2.5GeV ELECTRON LINAC

H. Nakagawa, S. Shibata, T. Katsura,
S. Enomoto and I. Sato

National Laboratory for High Energy Physics

ABSTRACT

A monitoring system for electron beam losses was installed in the 2.5GeV electron linac at the National Laboratory for High Energy Physics in Japan (KEK). The system consists of 40 air ionization chambers (AIC) for radiation detectors, 40 integrators, a 40ch multiplexer, an A/D converter with 256×12 bit memory, a computer interface circuit (GP-IB) and a high tension power supply. The characteristics of the system, time resolution, kinetic energy dependence of the sensitivity and the results of observation with the monitoring system are described.

0. 序

KEK-PF 2.5GeV電子LINACに、加速中のビームの損失量と損失を生じた場所を検出できるモニタシステムを設置した。本システムは空気イオンチェンバーで放射線 ($e^- \rightarrow \gamma \rightarrow e^- e^+$) を測定する。チェンバー、イオン電流の積分器全体の感度を高く設定してあるため、ビームの損失量を求めるには電流モニタに比べ桁違いに敏感である。また放射線の吸収線量に対する感度が測定と計算とでオーダーの範囲で一致する。

1. システム構成

長さ8mの空気イオンチェンバー(AIC)を放射線の検出器とすると、40本でLINACの加速領域全域のビーム損失を測定できる。図1にシステムの全体図を、図2にAICの構造を示す。図3に示すようにAICからの電流を積分し、その出力をマルチプレクサで切り替えてA/D変換を行い、データをメモリーに保存する。このデータを計算機のタイミングに合わせて転送する。システムのダイナミックレンジはA/D変換のビット数(=12)で決まり、最大電圧は10V、最小分解能は2.5mVである。2.5mVは放射線吸収線量で 10^{-5} Rad(8mの平均)又は1ppsの加速とすると40mRad/hである。

モニタシステムの電子回路の動作速度はLINACの最大繰り返し50pps以上である。各加速毎のビーム損失を測定しては放射線が設定値を越えたとき警報を発することができる。計算機によるデータ表示では通常計算機側の動作速度で制限される。現システムは計算機にPC-8001を使用しており、データ転送は16bitのデジタル入出力回路により任意のシステムと接続可能であり、処理時間の短縮は可能である。

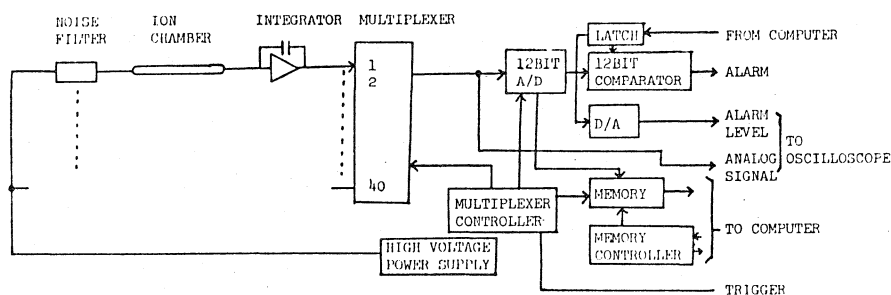


図1 システムダイアグラム

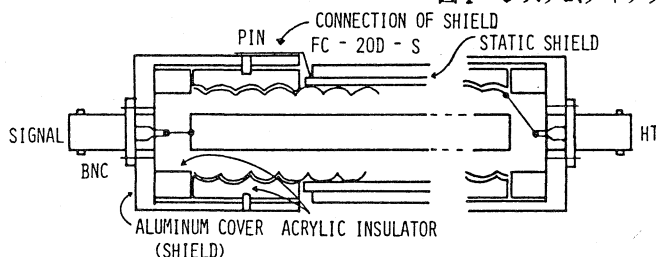


図2 イオンチェンバーの構造

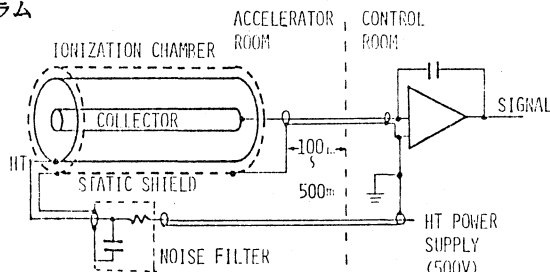


図3 回路構成

2. 信号の立ち上がりとシステムのタイミング

空気を電離気体とするイオンチェンバーでは、電離された電子は短時間で ($\sim 100 \text{ ns}$) O_2 に捕獲されるため正と負のキャリアは共にイオンである。信号の立ち上がりはイオンの移動度に依存する。図4に積分後の立ち上りを示す。通常の運転での 500 V の電圧では 0.5 ms である。

従って、このシステムでは積分時間はビーム損失後 1 ms とし、その後 $\sim 0.5 \text{ ms}$ で 40 ch をスキャンする。図5にタイミングチャートを示す。ビーム損失が生じた後信号処理が終了するまでに 1.5 ms と短いため積分回路の設計が楽になり、最小分解能を電荷で 8 pCoulomb と小さくすることが可能となる。 40 ch のスキャンが終了すると積分回路はリセット状態となり、次の加速に備える。

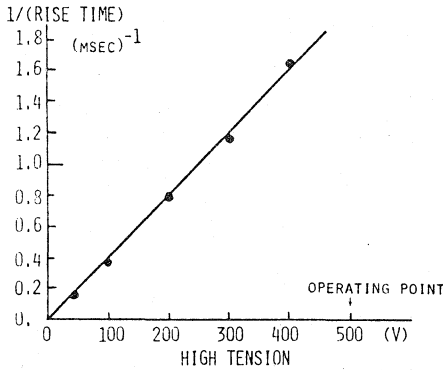


図4 積分後の信号の立ち上がり

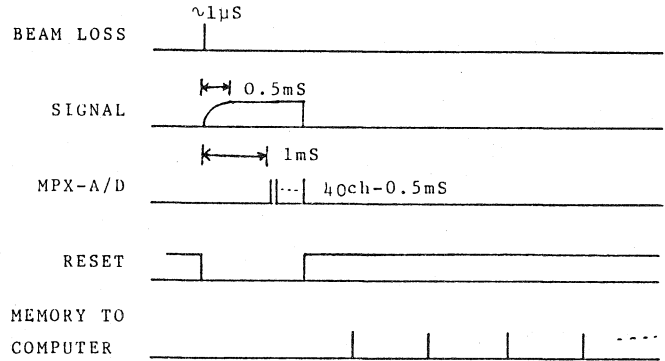


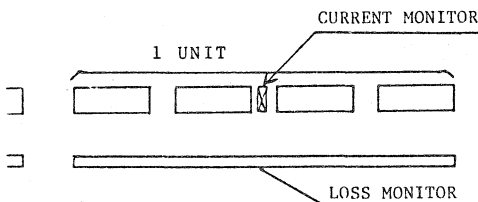
図5 タイミングチャート

3. ロスモニタの感度

ビームロスモニタの感度は二つの面で考察する必要がある。一つは加速器の放射線対策として吸収線量とモニタの感度との関係を知ることである。もう一つは少しでも多くの粒子を加速するために損失粒子数と、不良場所を知ることである。

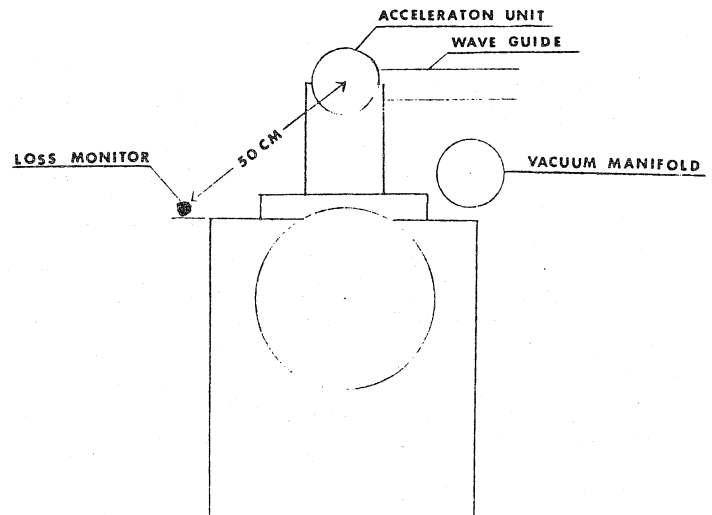
ロスモニタの信号と放射線の線量計 (イオンチェンバー) を比較すると、ビームロスモニタの出力が 1 V で放射線の線量率で $4 \sim 5 \text{ Rad/h}$ (1 pps で加速管から $\sim 50 \text{ cm}$ の所) である。ロスモニタの出力 1 V は計算上 $\sim 16 \text{ Rad/h}$ であり、検出器の感度特性が異なることを考慮するとオーダーとして 10 Rad/h 程度と考えると問題ないと思われる。

ビームロスモニタの感度と損失粒子数の関係はビーム電流モニタとの比較から求めることができる。加速管、ビーム電流モニタとビームロスモニタの検出器の位置関係を図6と図7に示す。測定のために強制的にビーム損失を生じたときビームロスモニタとビーム電流モニタのあいだに図8のような関係が得られる。局所的ビーム損失の場合、一本のAICに出力が限られる。またビーム電流モニタのわずかな変化 (ビーム損失) がビームロスモニタでは大きく表現されることもわかる。このデータからビームロスモニタの感度の場所の依存性 (場所 = エネルギー) がわかる。図9に 1 mA のビーム損失に対するビームロスモニタの出力の場所の依存性を示す。このときの最終エネルギーは 1.7 GeV であり、これらをまとめると、エネルギー 2.5 GeV で $1 \text{ mA} \times 1.5 \mu\text{s}$ のビームロスが生じたときビームロスモニタの出力は 10 V が得られ、ビーム損失を生じたときのエネルギーに比例する。AICの長さが長いので、感度はAICと加速管の距離に反比例する。



↑ 図6 電流モニタとロスモニタの位置関係

図7 加速器とロスモニタの位置関係 →



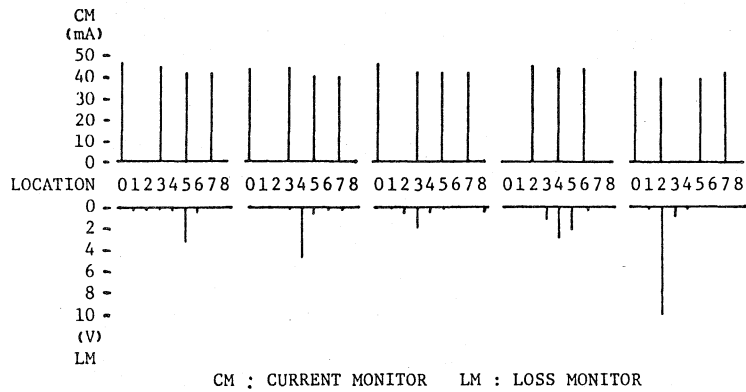


図8 電流モニタ (CM) とロスモニタ (LM) の信号の比較

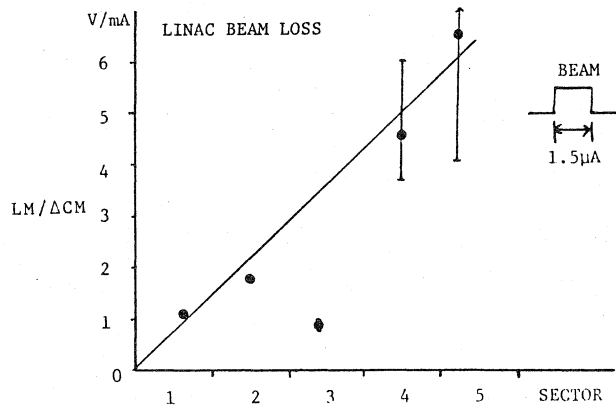


図9 各場所での感度、最終エネルギー 1.7 GeV。

4. 運転に利用して。

このモニタの最大の特徴は運転に非常に役立ったことである。感度を高く設定してあるため加速器完成直後の微弱電流しか加速できないときもビーム損失がどこで生じたか (逆に言えばビームがどこまで来たか) を表示することができた。1ユニットの分解能を持ち、しかも全体を8秒程度で表示できることも大きなメリットである。8秒は遅く感じられるが40本の信号をオシロスコープで順次観測することを考えると50倍以上速い。

このモニタを運転に利用したときの例が図10 (a) と (b) である。(a) はビーム電流が220 mAで "beam blow-up" を起こす前、(b) は270 mAで "beam blow-up" を生じたときである。通常の運転ではビーム電流が1桁低いときビーム損失は図10 (a) よりさらに1桁くらい下がり、放射線の面でも問題ないことがわかる。

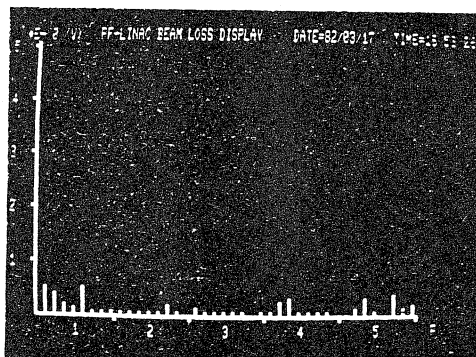
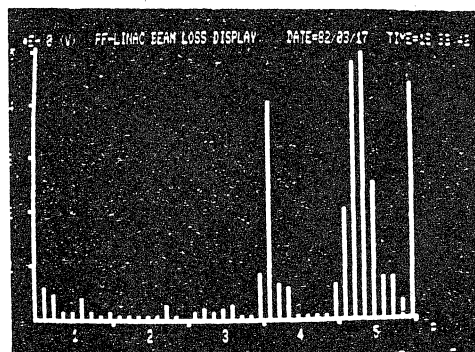


図10 (a) I = 220 mA



(b) I = 270 mA
beam blow-up 発生