

Beam Test of Wire Scanner Beam Size Monitor

H. Hayano, M. Kikuchi T. Naito, J. Urakawa and M. Yoshioka

National Laboratory for High Energy Physics

Oho 1-1, Tsukuba, Ibaraki 305 Japan

T. Nakazato, M. Oyamada S. Urasawa and T. Yamakawa

Laboratory of Nuclear Science, Tohoku University

1-2-1 Mikamine, Taihaku-ku Sendai, Miyagi 982 Japan

1. Abstract

A beam size monitor for emittance measurement is required to have around $10\mu\text{m}$ resolution for injector linac, and to have a few tenth μm resolution for an extracted beam from a damping ring in Accelerator Test Facility (ATF). A wire scanner is a one of the candidate of a beam size monitor with a high resolution. The design and development study of the wire scanning stage has been done. The beam test using Tohoku 300MeV Linac was done and the emittance was measured by this wire scanner. A detection of beam size signal was done by a scintillator gamma detector placed at downstream of the wire stage. All of the measurements are taken by the computer. The beam test results are described.

2. はじめに

本稿ではワイヤスキャナーのビームテスト結果のみについて報告する。そのデザインその他については参考文献 [1] を参照していただきたい。ビームテストは東北大学原子核理学研究所の300MeVリニアック第二実験室を使用して93年1月12日および2月16、17日に行われた。このビームテスト時には高精度スクリーンモニター、高精度ビーム位置モニターを同時に使用し、クロスチェックやパルス毎のジッター補正ができるようにした。

3. 実験に使用したビーム

2月16日と17日とは、電子銃グリッド条件が異なるので、ビーム条件が異なる事に以下いずれのデータでも注意しなければならない。さて、ビーム電流を高精度に測定するために、アマルファスコアを使用したカレントトランス型電流モニターをスクリーンモニターのすぐ上流に設置した。(なお、実験セットアップおよび装置は参考文献 [2] 参照の事。) このカレントトランスは1ns幅のビームにも応答する高速の物であり、 $Q/25A/V$ の変換係数を持つ。

電流波形を図1に示す。それぞれの日の電流波形の3つのシングルショットと256回平均波形を示してあるが、ショット毎の波形変化が非常に激しく起きている事に注意してほしい。平均の総電子数は、16日のビームで 3.0×10^9 、17日で 4.4×10^9 であった。このショット毎の波形変化は後に示すように、ビーム強度変化を引き起こし1ショットワイヤスキャンでのプロファイルにガンマ線強度のふらつきを引き起こしている。また、ビームセルフトリガーで働いているビーム位置モニターにトリガー位置ジッターを引き起こし、ビーム位置測定のジッターの1原因となっている。

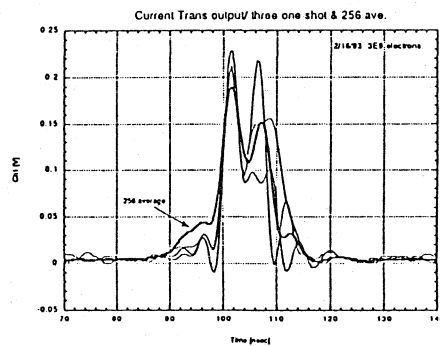
4. ワイヤーからの信号強度、S/N比

ワイヤーからの信号観測を2月16日に行った。1月

の実験と異なり、今回はQマグネットアライメントを行い、ビームトランスポートも注意深く行った結果、バックグラウンドを著しく小さくすることが出来た。信号波形の記録は直下流のイオンチェンバーと90度方向のシンチレーターPMTについて行われ、図2のようになった。これらの波形はアベレージをしていないシングルショットである。

図2(a)によると、イオンチェンバーの信号には前回と同様に約400nsの台形状の信号が、強度の差はある

(a) 2月16日実験時



(b) 2月17日実験時

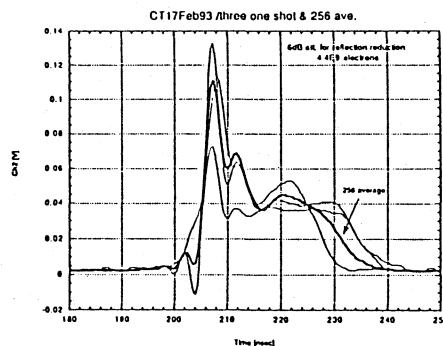


図1 CTによるビーム電流波形

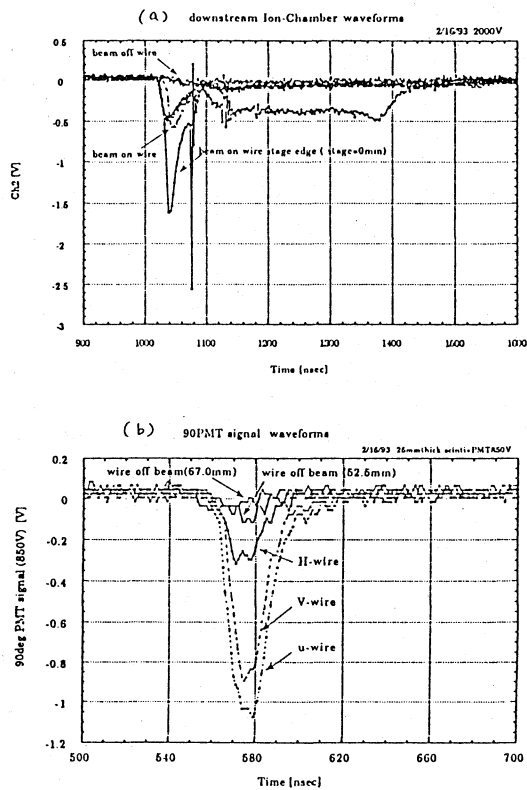


図2 ワイヤーからのガンマ線信号波形

が、ビームが何にもあたっていないくてもワイヤーにあたってもまたステンレスのワイヤー台にあたっても出てきている。ビームは最初の20 nsのみなので(後ろに子ビームがないことは確認した)、ビーム信号そのもの(ビームによるイオンチェンバーのワイヤー付近の対生成電子流)ではない。気体(95% A + 5% CO₂)中の電子の浮遊移動速度は約4.5 × 10⁶ cm/secであるので、半径17 mmのチェンバーでは対生成された端の電子は約370 ns かかってワイヤーに到達する事になる。この現象がみえているものと考えられる。

また、図2 (b) は90度方向のシンチレーターPMTの信号波形であるが、これは菊池氏の解析によるとノックオン電子によるシンチレーター内のチェレンコフ放射を見ている。Hワイヤーの信号が低い理由としてセラミックサポートによる電子の吸収があることを示している(参考文献[3])。

さてビーム直下流の2つの検出器(シンチレーターPMT、イオンチャンバー)に対してそのハイテンション電圧を変え、信号振幅(ピーク値)変化をみたのが図3で、S/N比をみたのが図4である。S/N比はHVを上げていくとだいに上昇し、リニアリティーが損なわれるところで減少に転じる。これを考慮してHV設定値を決めるのであるが、シンチレーターPMTではHV500Vでバックグラウンド信号レベルが0 mVとなり、S/N比が計算出来なかった。しかし700Vぐらいから急に減少に転じるのでその手前の600V設定(標準)

とした。一方、イオンチャンバーは1900Vまで設定可能であったが信号チャージ量が多かったのでチャージADCの入力にあわせて1600V設定(標準)で行った。この結果、ピーク値比較でのS/N比はシンチレーターPMTで80、イオンチャンバーで3であった。(チャージADCを使った時のS/N比はこれとは異なった。)

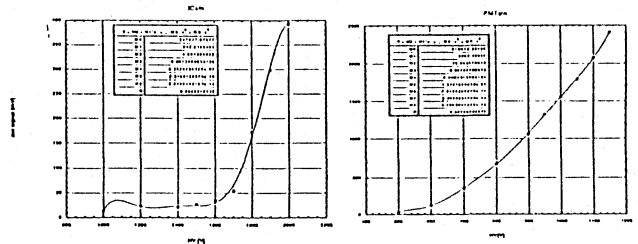


図3 検出信号のHV電圧依存性

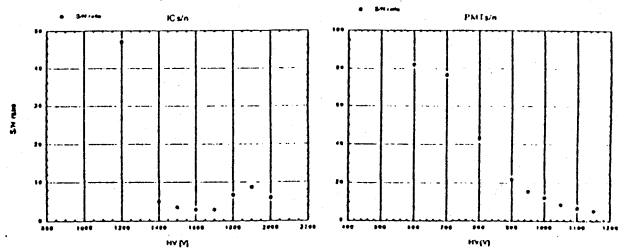


図4 検出信号S/N比のHV電圧依存性

S/N比のビーム軸からの角度依存性を測定しておく事は検出器を置く場所の選定のために有用である。このためシンチレーターを適当な角度の場所に設置しガンマ線信号をみた。

シンチレーターNo.	角度	物質	PMT II V	bcannonwire ピーク振幅	bcannonwire ピーク振幅	ncsignal	S/N
#1	0°	0.577kg	1kV	168.5mV	127.0mV	155.8mV	12.3
#7	4.61°	0.577kg	1kV	58.5mV	6.25mV	52.25mV	8.4
#6	8.98°	40SUS 207kg	1kV	86.2mV	18.6mV	67.6mV	3.6
#9	11.20°	45SUS 207kg	1kV	85.8mV	20.2mV	65.6mV	3.2
#2	12.40°	50SUS 207kg	1kV	29.9mV	7.7mV	22.2mV	2.9

この表1のような測定を行った。#1のシンチレーターについてはHV1kVでは大信号でサチュレートしていると思われるのでS/N比がそれほど大きくはならない。PMTの違いによるゲインの違いがあるので信号振幅では比較できないが、S/N比では#1を除いて他は比較できる信号レベルである(#1は600V設定時の80と考えてよい)。図5に上表のS/N比をプロットした。

次節に述べるように自動ワイヤースキャンができるようにPMT電圧を調整後、2月17日に上記各シンチレーターを使ってワイヤースキャンし、再度角度依存性を見た。その時の代表的な3点のワイヤースキャンプロファ

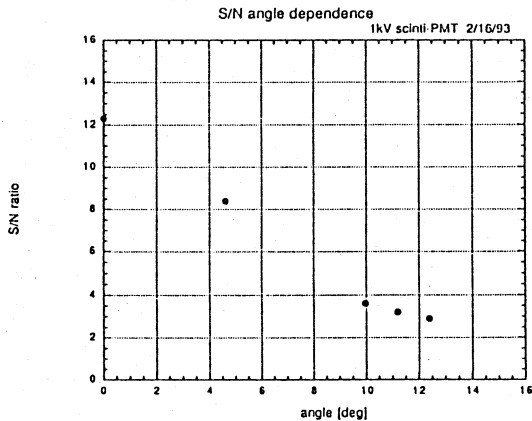


図5 S/N比の検出角度依存性

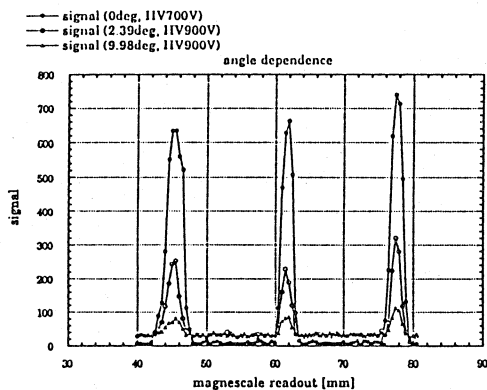


図6 ワイヤスキャンプロファイルの検出角度依存性

イルを図6に示す。

5. コンピューターによるビーム同期ワイヤスキャンのテスト

図7に示す様なエレクトロニクス構成で、コンピューターによる自動ワイヤスキャンのテストを行い、完動することを確認した。データテータキングは1つのビームパルスのビーム位置とワイヤからのガンマ線量が同時に測定できるように(ビーム同期)供給しているゲートをシングルショットで働かせた。シングルショットの動作は、CAMACモジュールのAIOからのスタートパルスがダイレーモジュール内でフリップフロップに

セットされ、その後最初のCTからのビームパルスのみによりゲート信号を出力し、フリップフロップはリセットされる事で行われる。このシングルショット動作を使って、今回のデータテータキングのソフトは、以下の様に動作する。まず、ワイヤステージを指定された場所に移動するためそれに要するパルス数をHPTGにセットし、パルススピードで決まる時間だけ待ち(2048ppsで動作し、 $0.5\mu\text{s/pulse}$ で動くので、例えば0.5mm動かすには1000パルス必要で500ms待たなければならない)、マグニスケールから位置を読み込んで記録する。その後、シングルショットトリガーのためAIOをセットし、34msだけ待ち(マックの最小ウェイト時間は17msであり、ビームが50Hzなら20ms以上待たなければ確実にデータはとれない)、ビーム位置とガンマ線量をTNHおよびchargeADCに読みいき記録する。これらを繰り返しワイヤス

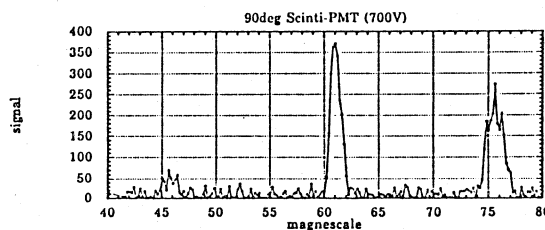
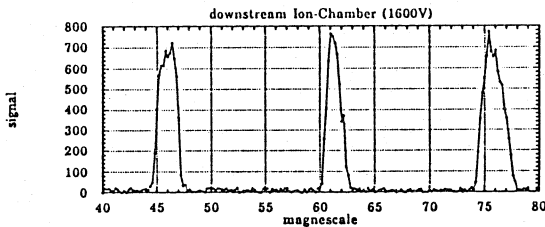
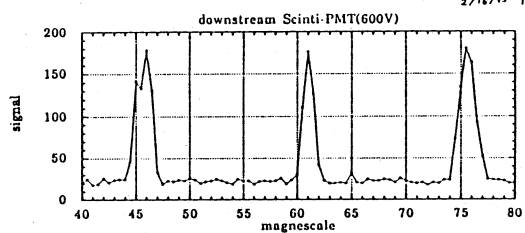


図8 コンピューターによるビームスキャン例

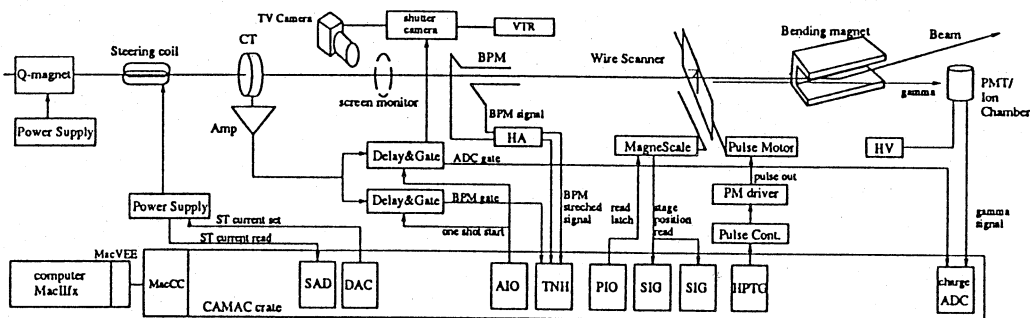


図7 コンピューターによるデータ取得ブロック図

キャンをすることになる。今回のプログラムでは、1ワイヤー位置に対し1回のガンマ線量測定だったのでスキヤンされたデータは平均化できず、ビーム強度変化の影響を受けている。ビームの形が一定であれば、位置モニターからビーム強度を出すことができ、それでノーマライズできるのであるが、そうではなかったためそのノーマライズはできなかった。スキヤンスピードは、使用したステージが精密なものであったため、ワイヤー位置移動に大部分の時間が費やされ、それほど高速にはならなかった。たとえば3本のワイヤーをスキヤンするためには50mmのストロークが必要であり、0.5mmステップで一様にスキヤンすると55秒、0.1mmステップでは1分53秒もかかった。ステージの移動のみでこのストローク長では47秒もかかっているため、最速でもこれより速くはならない。これはステージの分解能でまってしまう。

図8にこの自動スキヤンで得られたデータの例を示す。3つの検出器についてそれぞれビームプロファイルを示した。直下流のシンチレータを使った場合は0.5mmステップで、他は0.2mmステップである。また、図9には特にXワイヤーによるYプロファイルで0.2mmステップと0.05mmステップで比較してあり、よく一致していることがわかる。また、自動スキヤンの再現性をみるために0.1mmステップという微小ステッ

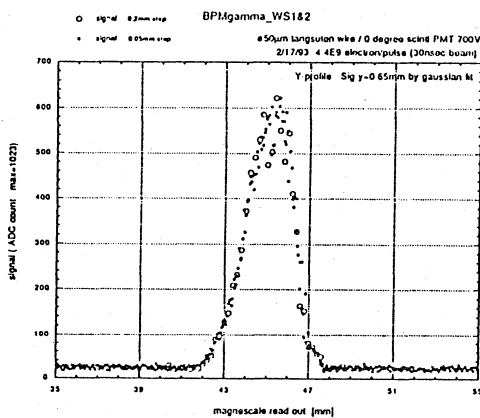


図9 ステップ量の違いによるプロファイル比較

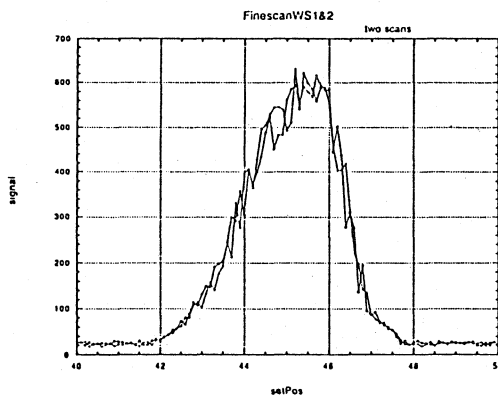


図10 ビームスキヤンの再現性

プでの2スキヤンのプロットを重ねたものを図10に示す。強度の変化が大きいところで30~40%あり安定したプロファイルの測定では無かった。

以前にM. Rossらが測定したように、このワイヤースキヤナーはワイヤー振動は非常に小さく問題とならないが、確認しようとして、ワイヤースキヤンとビームスイープとを比較測定してみた。結果を図11に示す。ビームスイープは上流の空心コイルを使用してビームをY方向に0から4Aまで0.05Aステップで行った。(ビーム移動は水平方向1.603mm/A、垂直方向1.286mm/Aであった。)図よりわかるように、2つのプロファイルは強度の変化が大きいので詳細な比較はできないが平均的には一致している。ビームの強度安定化が望まれるが、さらにCTの積分値をADCにより同期測定し(今回はしていない)、ビーム強度のノーマライズとしなければならないことを痛感した。

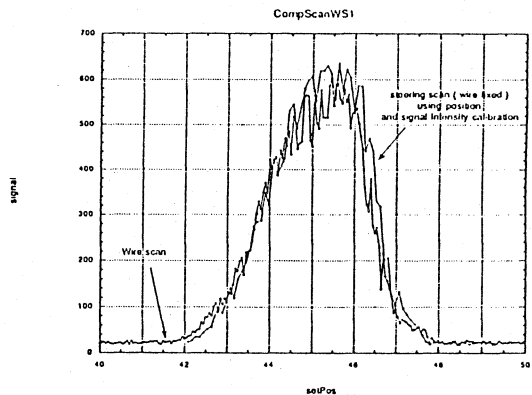


図11 ワイヤースキヤンとビームスイープの比較

6. ビーム位置モニターとワイヤースキヤナーとの同期測定テスト

本ストリップライン型BPMをエレクトロニクスまで使用してビームテストするのは今回が初めてである。そのため、まずノイズサーベイが行われた。リニアックが運転していないときのノイズ源は、大きいものがパルスモータードライバーのスイッチングノイズでヘッドアンブ後で70mVppあった。他にターボポンプからもあったが1桁以上も小さい。このパルスモーターからのノイズは6MHzHPFにより11mVppまで落とせるが依然所期のノイズレベル0.6mVrmsより大きい。しかしリニアックが運転を開始すると、このパルスモーターのノイズより大きなノイズがビーム信号近辺に付随して現われ、その振幅は240mVppにも達した。このノイズのビーム位置測定にたいする影響はビーム信号位置でのノイズ振幅の変化であるので、ノイズ振幅が毎パルス変化しなければ問題ないのであるが、現実にはそうではないので測定された位置に1シグマで2.4ミクロンのばらつきが出た。また位置オフセットが各チャンネルの振幅すなわち信号レベル変化に伴い大きく変化していたので、信号処理がうまく行われていなかったことを

