

[P8-41]

Screen monitors by using random shutter cameras at KEK-ATF

T. Naito

KEK, High Energy Accelerator Research Organization

1-1, Oho, Tsukuba-shi, Ibaraki, Japan

Screen monitor system based on random shutter cameras and a video analyzer have been used at a linac, a beam transport and a extraction line in KEK-ATF. The system can take the profile which is synchronized the beam timing and can control an amount of the received fluorescent light by changing the shutter speed. The profile data are used not only for measurement of the beam size but also for measurement of the emittance by changing the focusing strength, the energy spread at the points where have dispersion and the correlation with the other measured values at the same beam pulse.

ランダムシャッターカメラを用いた光量可変型スクリーンモニター

0. はじめに

ATF ライナック、BT ライン、取り出しラインのスクリーンモニターは、撮像用のカメラとしてランダムシャッターカメラが用いられている。このランダムシャッターカメラを用いることにより、ビームの繰り返しに関係なくビームに同期して蛍光を撮像することが可能になり、撮像した画像を画像処理を用いることによって定量的な測定に用いることが可能になった。[1] また、ビーム電流の変化によって発光量が増しカメラの出力が飽和してしまうことがあるが、通常のカメラではこの症状に対し電動アイリスや電動フィルターなどで光量を調節する必要があった。しかし、ランダムシャッターカメラではシャッター速度を外部から制御することによって光量を調節することが可能である。ATFではシングルバンチ運転と20バンチのマルチバンチ運転とを行うため、粒子数の変化によって蛍光の発光強度が変わった時の定量測定が問題となっていたがランダムシャッターカメラのシャッター速度を外部から制御することによって解決した。

また、スクリーンが厚みを持つために発光にじみが生じ、ビームサイズを大きく測定してしまう効果を減少させるためにスクリーンを130 μm まで薄く削ったものを高分解能モニターとして使用している。このスクリーンモニターの特性について報告する。

1. ATFのスクリーンモニター

ATFでは、ライナックに16台、BTラインに4台、取り出しラインに4台のスクリーンモニターが

使われている。このスクリーンモニターはマシン調整時に人間がその画像を見て調整に使用するだけでなく、画像処理を使ってエミッタンスやエネルギー拡がりなどの定量測定に使われている。

システム構成図を図1に示す。圧空によるアクチュエータによって挿入されたスクリーン(Desmarquest:AF995R 99.5%Al₂O₃+Cr₂O₃)の発光をランダムシャッターカメラによって撮像している。放射線によるダメージを避けるためにミラーにより90°反射させ、CCDをスクリーンからの見通し角に置かないよう配置されている。スクリーンからレンズまでの距離は、~80cm。レンズは、75mm(f1.8)のズームレンズ+x2マクニファイアを使用して視野16mmx16mm(~40 $\mu\text{m}/\text{cell}$)を撮像している。カメラには、後述するランダムシャッターカメラを用い撮像のための外部トリガ入力、RS232Cによるゲート幅制御入力を持ち、NTSC信号で出された出力は複数のモニターからの出力を切り替えるビデオスイッチ、CATVを経て画像処理装置に入力される。

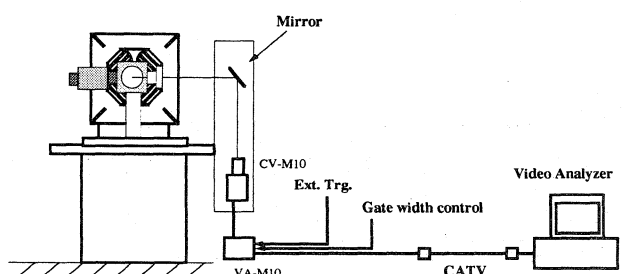


図1 システム構成

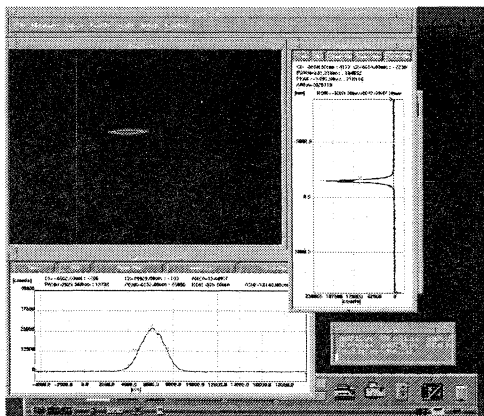


図2 取り出しラインでのプロフィール

1-1 高分解能モニタ

ATFダンピングリング取り出しラインでは、低エミッタンスビームの測定のために高分解能である必要がある。スクリーンモニタの分解能は、1) レンズの倍率と Diffraction limit、2) スクリーンを正面でない方向から見ているために中心以外はフォーカスがずれる効果、3) スクリーンが厚みを持つため表面近くの発光と深部からの発光とが重なり合いスポットサイズにじみを生じる効果によってきまる。[2] 1) に関しては、カメラを近距離に配置し、高倍率のレンズを使用している。2) に関しては、 45° のビューポートを設けスクリーンの正面にカメラを配置出来るようにした。(この場合、x方向の大きさは1.41倍になる。) 3) に関しては、1 mm厚のスクリーンを研磨により $130\mu\text{m}$ まで削ったものを使用している。図2は、取り出しラインでのプロフィールの例で、 $\sigma_y=110\mu\text{m}$ が測定されている。

1-2 同期測定

ATFでは、電流モニタ、BPMなどの測定を同一ビームに同期させて行っている。同期測定を行うことによってビームにショットごとの変動があっても、その相関を調べることができる。この同期測定の速度は、制御計算機で決まるが現在1~2秒である。スクリーンモニタの画像処理は、単独のデータ取得で2秒、制御計算機との同期、データ転送を含めると~5秒必要となる。スクリーンモニタの同期測定を行う場合は、一測定ごとにビームトリガにゲート信号を入れ、データ取得を行うハードウェアを用意した。

2. ランダムシャッターカメラ

撮像用のカメラとして(株)JAIコーポレーション製CV-M10とフレームメモリ付きアダプタVA-M10を使用している。このカメラの仕様を表1、2に示す。

このカメラは、通常のカメラが連続的に1秒間に60フィールド(30画面)撮像するのに対して、外部トリガのある時のみ電子シャッターにより撮像しフレームメモリに書き込み、書き込みとは独立に通常のビデオレートで読み出しビデオ信号としている。したがって、くり返しの遅いビームをこのカメラで撮像するとビームのタイミングで撮像された像が次のくり返しまで止まって見える。ATFは現在0.78Hzで運転されているがスクリーンモニタの画像はビームのくり返しで更新され、明るさが変化することはない。

CCD	1/2 inch monochrome ICX074ALA 648(H)x486(V)
Cell size	$9.9\mu\text{m} \times 9.9\mu\text{m}$
S/N ratio	>56dB(AGC off, $\gamma=1$)
Sensitivity	0.8Lx, F1.4
Shutter Speed	1/60~1/80000
Lens Mount	C-mount

表1 CV-M10の仕様

memory	640(H)x480(V)
A/D, D/A	8bit
S/N ratio	>50dB

表2 VA-M10の仕様

2-1 シャッター速度特性

電子シャッターは、外部トリガ入力後 $1\mu\text{s}$ で開き、ソフトウェアで設定したシャッター時間露光することが出来る。ATFではシングルバンチ運転と20バンチのマルチバンチ運転とを行うので20倍以上の粒子数の変化がある。カメラの特性としてはシャッター速度を変えることによって、出力の変化が十分な直線性を持つ必要がある。図1に同一光源をシャッター時間を変えて測定した時の特性を示す。ビデオ信号は、0~1Vであるが500mVを超えたあたりから直線性が悪くなっている様子が解る。同様の測定を実際のビーム測定でシャッター時間を変えて測定した時の特性として測定したが、同様にシャッ

ター時間に対する直線性を確認した。

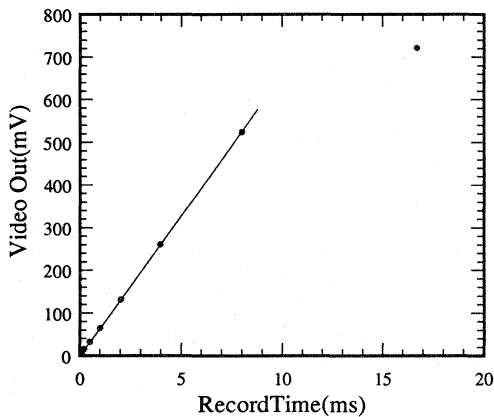


図3 基準光源によるゲート幅特性

2-1 発光時間特性

蛍光板の発光時間特性は、既に光増倍管を使って測定されているが[3]、ランダムシャッターカメラのゲートタイミングを変えることによっても測定することが出来る。図4にゲートタイミングを変えた時の出力特性を示す。発光の半減時間は約3msであり1/80000までのシャッター速度で十分光量を制御出来ることを確認した。

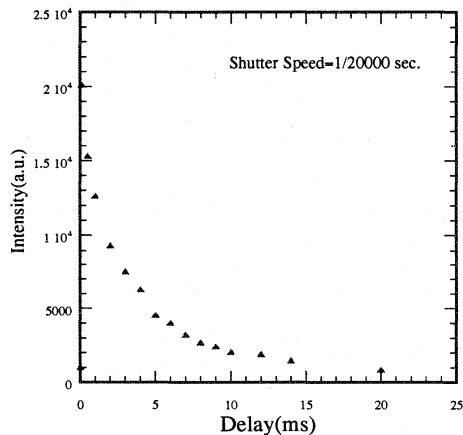


図4 AF995Rの発光時間特性

3. スクリーンモニタを使った測定

ATFでは、スクリーンモニタを使ってエミッタンスやエネルギー拡がりなどの定量測定を行っている。図5はエミッタンス測定の例で、80MeV入射部の出口でフォーカス電流を変えた時のビームサイズからエミッタンスを含むツイスパラメータを計算し、下流部のオブティクスを決定している。80MeV入射部の出口にはビームを45°曲げるアナライザーマグネットが設置されており、その下流のスクリーンでビームのエネルギーとエネルギー拡

がりを測定している。また、BTラインの最初のベンディングマグネットの下流でも同様の測定を行っている。この2つのモニタは、2段式になっており蛍光板とOTR用のSUSプレートが設置されており、マルチバンチ運転時にイメージインテンシファイアを使ってバンチごとのビームプロファイルを測定することができる。[4] スクリーンモニタのデータは、その処理速度から同期測定 of データとして扱うことが出来なかったが、ビーム繰り返しを制御するハードを付加することによって同期測定が可能となった。今後、ビーム安定性解析のための相関測定に有効と思われる。

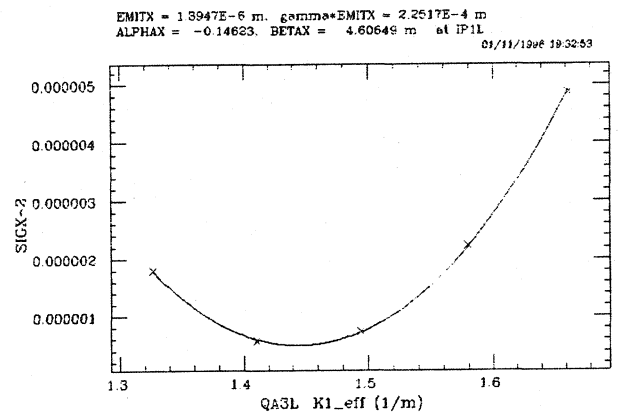


図5 Q Scanによるエミッタンスの測定

4. 謝辞

今回の測定に関し、ATFオペレーショングループの協力に感謝致します。データ取得及び制御計算機とのGUI接続に関するソフトウェアは、関東情報サービス(株)小沢氏に協力していただきました。また、木原施設長、高田総主幹をはじめとした関係者の方々のこのプロジェクトに対するご尽力に感謝いたします。

References

- [1] T.Naito et. al., "Design of Profile Monitors for ATF", Proc. of The 9th sym. of Acc. Sci. and Tec., Tsukuba, 1993
- [2] F.J. Decker, "Beam Size Measurement at High Radiation Levels", SLAC-PUB-5481 May 1991
- [3] 柴田 他, "デマルケストビームモニタの特性", 第17回ライナック技術研究会, 1992, p222
- [4] T.Naito et. al., "OTR Monitor for ATF Linac", KEK Prepri. 96-109, Sep. 1996