

2 2 a - 8

Beam Profile Measurement by OTR Monitor

T. Naito, H. Hayano, J. Urakawa, M. Yoshioka,
M. Oyamada*, M. Urasawa*, T. Nakazato*, T. Yamakawa*

KEK, National Laboratory for High Energy Physics,
1-1 Oho, Tsukuba-shi, Ibaraki-ken, 305 Japan

*Laboratory of Nuclear Science, Tohoku University,
1-2-1 Mikamine, Taihaku-ku, Sendai-shi, Miyagi-ken, 982 Japan

Abstract

A beam diagnostics system for multi-bunch beam in linacs was developed. At Accelerator Test Facility(ATF) in KEK, multi-bunch beam will be accelerated. The beam has 20 bunches of 2×10^{10} electrons with 2.8ns spacing. A fast gate camera with image intensifier(Hamamatsu C2925) has 3ns gate time. An optical transition right(OTR) is produced when the beam crosses the interface of two media which have different dielectric constants. A metal screen is used as an emitter of the OTR. The fast gate camera can observe bunch by bunch beam profile using the OTR when the synchronized gate timing signal of each bunch is provided to the camera. The beam test was carried out at Tohoku University 300-MeV Linac.

OTRモニターによるビームプロファイルの測定

1. はじめに

リニアコライダのための試験加速器(ATF)では、マルチバンチビーム(バンチ数: 20、単バンチあたりの電荷量: 2×10^{10} 個、バンチ間隔: 2.8ns、繰り返し: 25Hz)の加速実験が予定されている。実験では、おのおののバンチの特性を測定するモニターが必要となる。その中でもビーム位置、ビームサイズ、エミッタンス等は重要な測定項目である。これらを測定するために遷移放射光(OTR)を高速ゲートカメラで測定するシステムを開発し、東北大学原子核理学研究施設の300MeVライナックでビームテストを行った。また、このテストではマルチバンチビーム用のワイヤースキャナーのテストも同時に行ない、フォトンカウンティングによって検出信号の時間分析も試みられた。¹⁾

2. 測定システム

図1に測定構成図を示す。荷電粒子が密度の違う媒体を通過するとき、その境界面からOTRを発生し、その発光は、ビームの時間情報を持つ。²⁾³⁾⁴⁾このとき ω_1 から ω_2 の間の波長を持つ光子数は、

$$N \approx \frac{2\alpha}{\pi} \left| \ln(2\gamma) - \frac{1}{2} \ln \frac{\omega_1}{\omega_2} \right| \quad (5)$$

ここで $\alpha = e^2/\hbar = 1/137$ である。

高速ゲートカメラ(C2925浜松フォトニクス製)は、最短3nsまでのゲートをかけ光を観測することが出来る。⁶⁾このゲートをプログラマブルディレイを使い各ビームのタイミングに合わせることによって、それぞれのバンチごとのプロファイルを観測することが出来る。

3. 高速ゲートカメラの特性

高速ゲートカメラは、供給するゲート信号の立ち上がりが遅くても良いように ~ 15 nsのオフセットがかけられている。そのゲート特性を30psパルスレーザーによって調べた。図2の様にパルスレーザーの発光のタイミングをプログラマブルディレイを使って、高速ゲートカメラのトリガ信号に対してずらして行くことによってゲートの範囲を測定した。その結果を図3に示す。この測定では、ゲート幅が2ns以下まで設定可能な様に示されているが、光増幅のゲインは ~ 5 ns以下になると次第

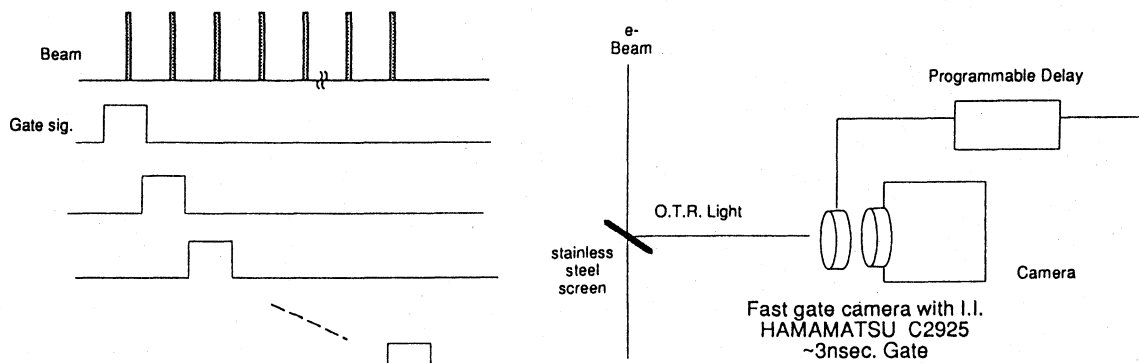


図1 プロファイルモニターの構成

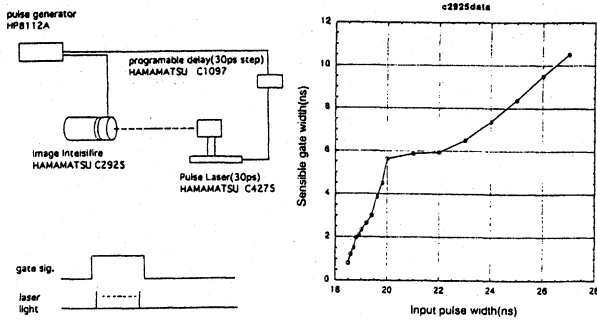


図2 ゲートカメラの特性測定 図3 ゲートカメラの特性

に減少して行く。また、光増幅のゲインはこのゲート幅になると全体に均一ではなくなり周辺からゲインがさがって行く。このような動作はアイリス効果と呼ばれている。この結果から3nsのゲート幅を得るにはこのパルサーでは19.5nsの入力パルス幅が必要であることが確認された。

4. 東北大学原子核理学研究施設(核理研)でのビーム試験

核理研ライナックのビームパラメーターとCTの波形を図4に示す。核理研ライナックでは、通常はこのような短パルスのビーム運転をしていないため、電子銃のグリッドパルサーを一時的に交換し、高速ゲートカメラと共通のトリガ回路からトリガ信号を供給した。その構成を図5に示す。実際に加速されているビームは、350psごとにパンチした~10ns幅のビームであるが高速ゲートカメラは3nsのゲート幅で2.8nsごとに分解したプロファイルを観測することになる。今回の実験では、信号伝送系の不備もあり電子ビームとトリガ信号の間に1ns近いジッターがある状態でテストを行なった。

Tohoku Univ. Linac

Energy 200 [MeV]
Charge Number 3.3 x 10⁹ [electrons/pulse]
Pulse length of Beam ~10 [nsec.]

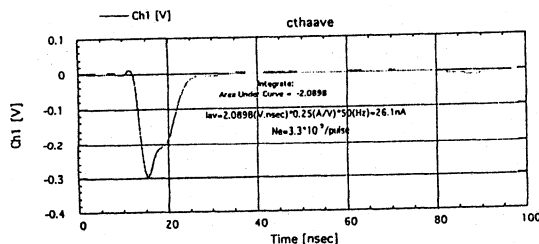


図4 核理研ライナックのビーム

4.1 OTRの強度

OTRの強度を核理研ライナックの場合について見積った。その結果を下に示す。

Resolution ~220 μm (at 200MeV)
Radiation angle ~2.5mrad.
Photon yield 0.02 photon/electron
Illuminance 2.2x10⁻¹² lx/electron
(in the case of the radation focus on 1cm² area)
2.2x10⁻⁴ lx
(in the case of 10⁸ electrons/gate width)
Sensitivity of
Fast gate camera ~10⁻⁵ lx

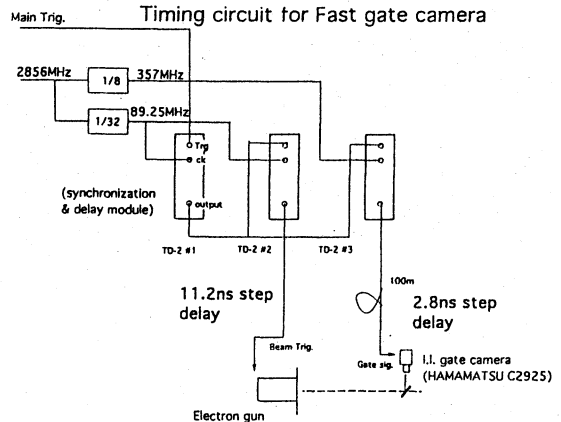


図5 トリガ回路

この計算からカメラの必要感度以上の光量が得られるのでOTRは観測可能である。

4.2 測定セットアップ

ビーム試験は、核理研の第二実験室で行なった。ライナックからのビームは90°曲げられ、エネルギースリットを通過させるため均一なエネルギー分布のビームが得られる。測定のセットアップは、図6に示すようにビームラインに1mm厚のSUS板を挿入することによってOTRを発生させ、約1mの距離に高速ゲートカメラを設置した。カメラは、放射線から守るために一度ミラーで反射して可視光のみを観測できるようにした。

4.2.1 プロファイルの測定

測定したプロファイルを図7に示す。T1~T4は、2.8nsずつタイミングを後ろへずらして行ったプロファイルである。インテンシティや形が変わって行く様子が観察される。この結果を画像処理を行ない、各タイミングについてのビームサイズ、ポジションの比較を図8に示す。x方向に関して後方のビームの位置とサイズが変化しているのが分かる。

4.2.2 エミッタンスの測定

上流のQマグネットの強さの変化に対するビームサイズを測定し、エミッタンスを求めた。各タイミングについてビームサイズの変化を図9に示す。エミッタンスを求めたのは、T1~T3の3つでT4はインテンシティが弱くデフォーカスしたときのビームサイズがうまく求められなかった。X方向についての1σの正規化エミッタンスは下記の様に求められた。

ϵ_{nx} (T1)	2.8×10^{-5}	m rad
ϵ_{nx} (T2)	3.5×10^{-5}	m rad
ϵ_{nx} (T3)	4.6×10^{-5}	m rad

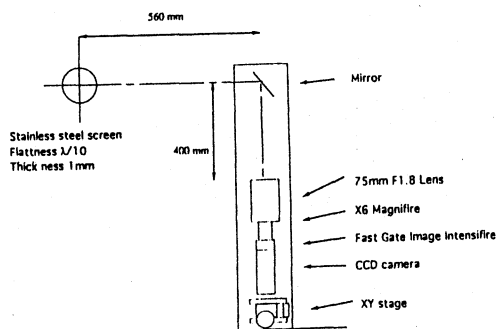


図6 測定セットアップ

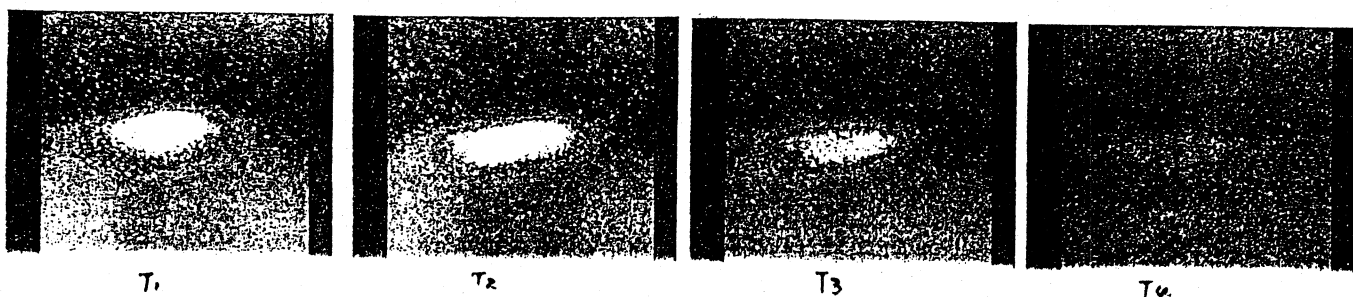


図7 プロファイル

エミッタンスは、後方のビームのビームの方が大きくなっている。

5. まとめ

核理研でのビーム試験を通してバンチごとのビームプロファイルを測定する技術を確認した。ATFでは、このシステムをビームアナライズセクションで使用し、バンチごとのエネルギー分布を測定する予定である。また、高速ゲートカメラを使用する技術はダンピングリングのモニターとしても応用でき、リングからのシンクロトン放射光をこのカメラで観測することによってリング内の各バンチごとのプロファイルを測定することも可能である。

6. 謝辞

今回のビームテストには、核理研のスタッフの方々大変お世話になりました、また(株)ATC松井隆明氏には多大な協力をいただきました、心から感謝致します。

6.参考文献

- 1) H.Hayano, "Beam Size Measurements of Multibunch Beam Using Wire Scanners", Proc. of the Fifth International Workshop on Next-Generation Linear Colliders, SLAC-436 (1993)
- 2) 小方 厚, "遷移放射光によるビームモニター" Internal Report
- 3) L.Wariski et al., "Interference phenomenon in optical transition radiation and its application to particle beam diagnostics and multiplescattering measurements", J. of Appl. Phys. 46 3644
- 4) Y.Ogawa et al., "Beam Monitor Utilizing Transition Radiation", KEK prepr 93-37
- 5) J.Bosser et al., "Optical transition radiation Proton beam profile monitor", NIM A238(1985) p45
- 6) 超高感度高速ゲートイメージングユニット TECHNICAL DATA, 浜松フォトリクス

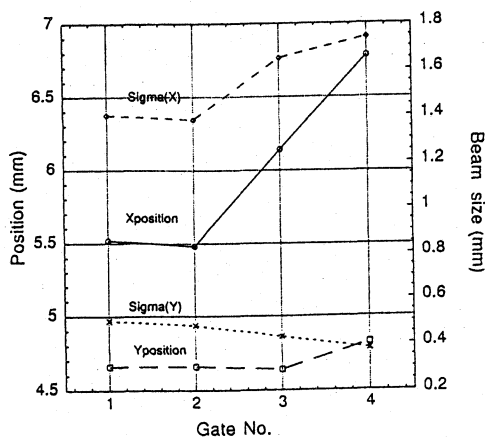


図8 ビームサイズ、ポジションの変化

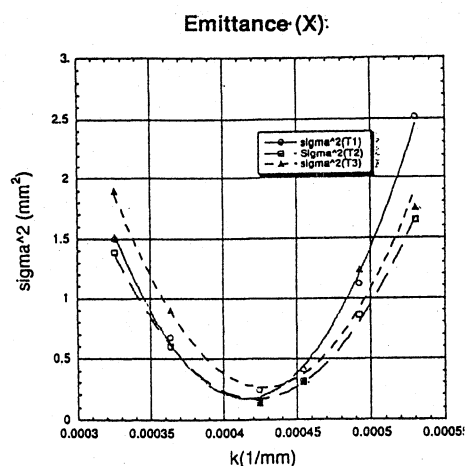


図9 Q磁場の強さに対するビームサイズの変化 (エミッタンス測定)