

Beam size measurement by Shintake monitor: Background separation using the Gamma ray detector

Yohei Yamaguchi^{1A)}, Takashi Yamanaka^{A)}, Masahiro Oroku^{A)}, Yoshio Kamiya^{B)}
Taikan Suehara^{B)}, Sachio Komamiya^{A)}, Toshiaki Tauchi^{C)}, Nobuhiro Terunuma^{D)}
Toshiyuki Okugi^{D)}, Sakae Araki^{D)}, Yosuke Honda^{D)}, Tatsuya Kume^{E)}, Junji Urakawa^{D)}

^{A)} Department of Physics, Graduate school of Science faculty, The
University of Tokyo, 7-3-1 Hongo, Bunkyo, Tokyo, 113-0033

^{B)} ICEPP, The University of Tokyo, 7-3-1 Hongo, Bunkyo, Tokyo, 113-0033

^{C)} Institute of Particle and Nuclear Studies, KEK, 1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801

^{D)} Accelerator Laboratory, KEK, 1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801

^{E)} Applied Research Laboratory, KEK, 1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801

Abstract

The Accelerator Test Facility 2, ATF2, is the final focus test facility for ILC to realize and demonstrate nanometer focusing. One of the goals of the ATF2 is a demonstration of a compact final focus system based on the local chromaticity correction. A designed focus size is to be 37 nm in vertical. To verify the goal, a beam size monitor capable of nanometer beam size measurement is inevitably needed. Shintake monitor satisfies the demand, and is installed at the virtual interaction point of the ATF2. A gamma detector for Shintake monitor is composed of multilayered scintillator. From this structure, the detector acquires information on shower development. Since the Compton signal and background is different in shower development, they can be separated. By this method for analysis, the detector has high resolution even in bad background conditions. We measured the resolution of the detector in the beam test performed at the ATF2 in spring 2009 and confirmed the effectiveness of the method.

新竹モニターによるビームサイズ測定： 多層構造 γ 線検出器を用いたバックグラウンド分離

1. 新竹モニター

国際リニアコライダー計画の最終収束系試験加速器であるAccelerator Test Facility 2 (ATF2) にインストールされているビームサイズモニター（通称：新竹モニター）は、レーザーの干渉稿と電子ビームのコンプトン散乱を利用したビームサイズモニターであり、2008年の夏にATF2の仮想衝突点 (IP) に設置され、現在開発が進められている。

新竹モニターは、鉛直方向に $6\mu\text{m}$ から 25nm のビームサイズを直接測定する能力を持ち、ATF2の最も重要な目標の一つである、鉛直方向 37nm のビームサイズに対して有効な分解能をもつ。

新竹モニターの測定原理は新竹積氏が考案したものであり、SLACでのFFTBプロジェクトで既に 60nm のビームサイズの測定に成功している^{[1], [2], [3]}。我々のグループは新竹モニターをATF2にインストールするにあたり、ATF2のより小さなビームを測定するためいくつかの改良を試みている。

本発表では、新竹モニター用の γ 線検出器と、その検出器によるバックグラウンド分離法、その分離能力について報告する。

新竹モニターの測定原理および改良点については大録^[4]から報告する。

2. γ 線検出器

2.1 検出器の構造

新竹モニターでは γ 線検出器に対して、コンプトンシグナルとバックグラウンドとを選り分ける高い分離能力が要求される。バックグラウンドの主なソースは、ビームハローのビームパイプへの衝突による制動放射である。30MeVにエッジを持つシグナルのスペクトルに対して、バックグラウンドは電子ビームのエネルギーである1.3GeVまでのなだらかなスペクトルをもっている。したがって単層のシンチレーターでは、高エネルギーバックグラウンドからくる誤差が大きくなる。そのため新竹モニター用の γ 線検出器では、CsI (Tl) シンチレーターの多層構造を採用することで、高い分離能を実現している。

なお本発表では分離能を、測定におけるシグナルの統計誤差 (RMS) をシグナル量で割った値で表わす。

図1に γ 線検出器の概略図を載せる。

¹ E-mail: youhei@icepp.s.u-tokyo.ac.jp

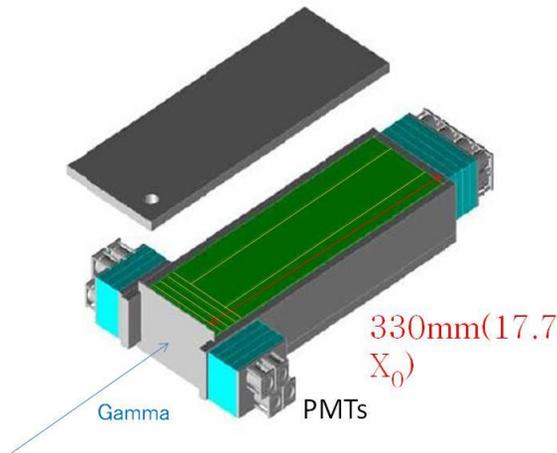


図1：γ線検出器

2.2 多層カロリメーター

検出器に入射したγ線はシャワーを起こす。カロリメーターは多層構造になっているので、各層のCsI(Tl)に落とすエネルギーからシャワー発展の情報取得することが可能である。検出器に入射するシグナルとバックグラウンドとはエネルギースペクトルが大きく異なり、検出器中でのシャワー発展は違ってくる。そのため得られたシャワー発展の情報から、シグナルとバックグラウンドのそれぞれのエネルギーを再構成することができる。

検出器は、シグナルとバックグラウンドで各層に落とすエネルギーの違いが大きく出るように層の厚さが決められている。設計にはGeant4を用いた。層は5個用意されており、前4層は厚さが1cmでシグナルのシャワー発展のピークはこの中に入る。後ろの層は29cmの厚さを持つ。各層に落とすエネルギーは図2のように計算される。ただし図2は面積が1になるように規格化している。

2.3 解析方法

コンプトンシグナルを算出する方法として、2種類の方法を使用している。

一つはレーザーのONとOFFでの全エネルギーデポジットの差分から求める方法である。この方法では統計のふらつきを抑えるため全層の情報を一緒に扱うため、1つのシンチレーションカウンタを使用した場合と同じ条件になる。この方法をON/OFF法と呼ぶ。

もう一つはシグナルとバックグラウンドのシャワー発展の違いを使って算出する方法である。この方法をShot by Shot法と呼ぶ。

2.4 Shot by Shot法

図2のシグナル、バックグラウンドのシャワー発展と、それぞれの入射γ線の全エネルギーをかけ合

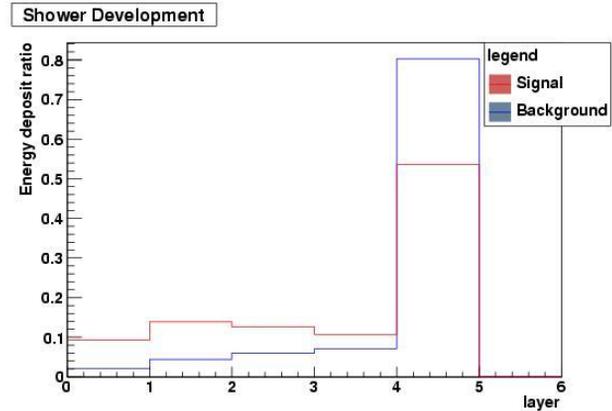


図2：シミュレーションによるシグナルとバックグラウンドのシャワー発展の違い

わせたものが測定で得られるシャワー発展となる。

Shot by Shot法では、図2をシグナル（バックグラウンド）の理想的なシャワー発展 s_i (b_i) として、各層のエネルギーデポジット ϵ_i を

$$\epsilon_i = s_i S + b_i B$$

（ただし S, B はシグナル、バックグラウンドエネルギー、 i は1～5の層の番号）

でフィットすることでシグナルとバックグラウンドの分離を行う。

2.5 Shot by Shot法とON/OFF法の比較

Shot by Shot法とON/OFF法の分離能を、Geant4によるシミュレーションで比較したヒストグラムを図3-A, Bに載せる。

図3よりShot by Shot法はON/OFF法に比べて、高い分離能をもつことがわかる。特にShot by Shot法を用いることで、バックグラウンドのふらつきが大きい条件下でも、分離能の悪化を避けることができる。

3. 2009年春のビームタイムの測定結果

2009年春のビームタイムでは、シングルレーザー（レーザーワイヤーモード）により、水平方向のビームサイズを測定した。図4は各測定点につき20アベレージ取得した場合の結果を表している。

このときのデータから検出器のON/OFF法、Shot by Shot法それぞれでの分離能の評価を行った。いくつかのシグナル量におけるON/OFF法とShot by Shot法の分離能の比較を図5に示す。

今回のコンディションの範囲では、Shot by Shot法がON/OFF法に比較して2倍ほど良い分離能をもつことが示された。

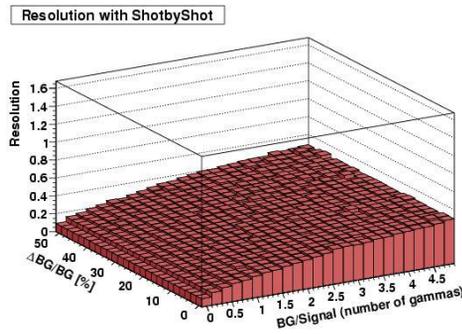


図 3-A : Shot by Shot法

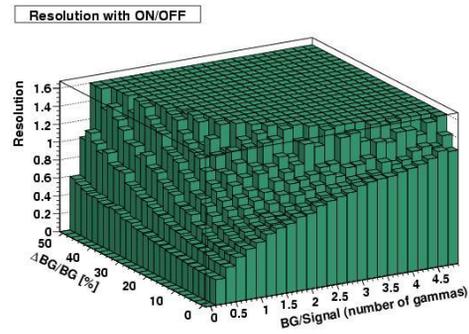


図 3-B : ON/OFF法

Geant4によるシミュレーションで、コンプトンシグナルを500個に固定し、バックグラウンドおよびバックグラウンドのふらつきをそれぞれx軸、y軸にとって分離能をプロットした。

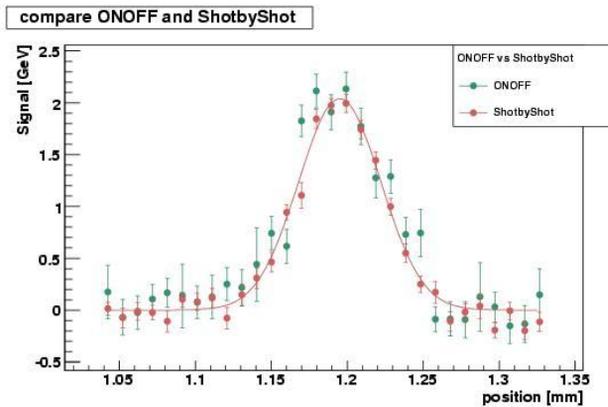


図 4 : 2009年春のビームタイムにおける
レーザーワイヤーモードでの水平方向
スキャン結果

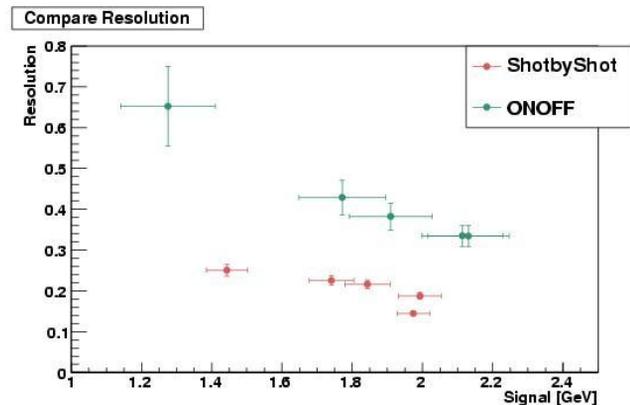


図 5 : 測定結果から求めた分離能
測定状況 バックグラウンド : 5.4 [GeV]
バックグラウンドのふらつき : 10%

4. 結論

ATF2で37nmのビームサイズを目指すにあたり、電子ビームサイズが小さくなるに従い、IP付近での収束角は大きくなる。IPの前後でのビームハローはそれに伴い広がり、ビームパイプとの衝突が増えるので、主なバックグラウンド源の制動放射は今後益々増加することが予想される。したがってバックグラウンドの分離は新竹モニターの開発の上で重要な役割を担う。

γ 線検出器はShot by Shot法という解析方法を用いることで、大量のバックグラウンドの状況下でも高いシグナル、バックグラウンド分離能を実現している。特にバックグラウンドのふらつきが大きい場合でも、分離能の悪化が小さく抑えられる。本実験ではバックグラウンドスペクトルがシグナルに比べて高エネルギー側になだらかな分布をもつので、バックグラウンドのふらつきは大きい。したがってこの解析手法は特に有効である。

2009年春のビームタイムでは、このShot by Shot法の有用性が測定によって実証された。

参考文献

- [1] P. Tenenbaum and T. Shintake, Annu. Rev. Nucl. Part. Sci. 49 (1999) 125.
- [2] V. Balakin, et al., Phys. Rev. Lett., 74, 2479 (1995).
- [3] T. Shintake, Nucl. Instru. Meth., A311 455 (1992).
- [4] M. Oroku, "The current status of ATF2 IP-BSM(Shintake Monitor)", Proceedings of the 6th Linear Accelerator Meeting in Japan,