PWO 解析レポート No.4

山形大学大学院 M2
乃万智洋

平成 12 年 10 月 31 日

Magnet を用いた運動量の決定

Magnet 上流側のドリフトチェンバー 1X、3X と下流側のドリフトチェンバー 4X、6X から上流と下流それぞれのビームトラックを求め Magnet で曲げられる粒子の角度から運動量を決定した。

Magnet で曲げられる角度と運動量の関係は、

$$sin\beta_i + sin\beta_o = \frac{0.3BL}{P}$$

を用いた。

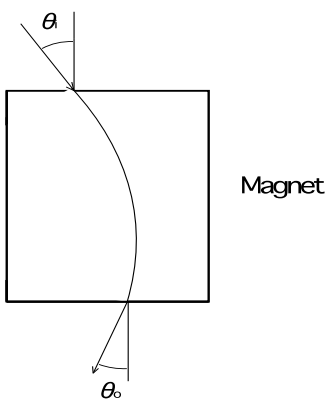

図 1: Magnet により曲げられる角度

角度と運動量、磁場の関係

荷電粒子の磁場中の運動は相対論に取り扱うと

$$\frac{d}{dt}(m_0\gamma\mathbf{v}) = q\mathbf{v}\times\mathbf{B} \longleftarrow \text{空間成分} \tag{1}$$

$$\frac{d}{dt}(m_0\gamma c^2) = q\mathbf{v}\cdot\mathbf{B} \longleftarrow \text{時間成分} \tag{2}$$

となる。(2) は電場 E がないとすると

$$\frac{d}{dt}(m_0\gamma c^2) = 0 \ \rightarrow \ \frac{d\gamma}{dt} = 0$$

となり (1) は

$$m_0\gamma\frac{d\mathbf{v}}{dt} = q\mathbf{v}\times\mathbf{B} \tag{3}$$

となる。

磁場中を運動する荷電粒子はローレンツ力を向心力とする円運動をする。

$$qvB = m_0\gamma\frac{v^2}{R} \tag{4}$$

$$R = \frac{m_0\gamma v}{qB} = \frac{P}{qB} \tag{5}$$

ここで R は曲率半径、P は運動量である。(5) から $P = qBR$ となるが $q = e$ とすると

$$P = 0.3BR \quad [GeV/c] \tag{6}$$

となる。

図 2、3 の幾何学的な関係より

$$\frac{L - Rsin\beta_i}{R} = sin\beta_o \tag{7}$$

となり、(6)(7) より

$$sin\beta_i + sin\beta_o = \frac{L}{R} = \frac{0.3BL}{P} \tag{8}$$

となる。

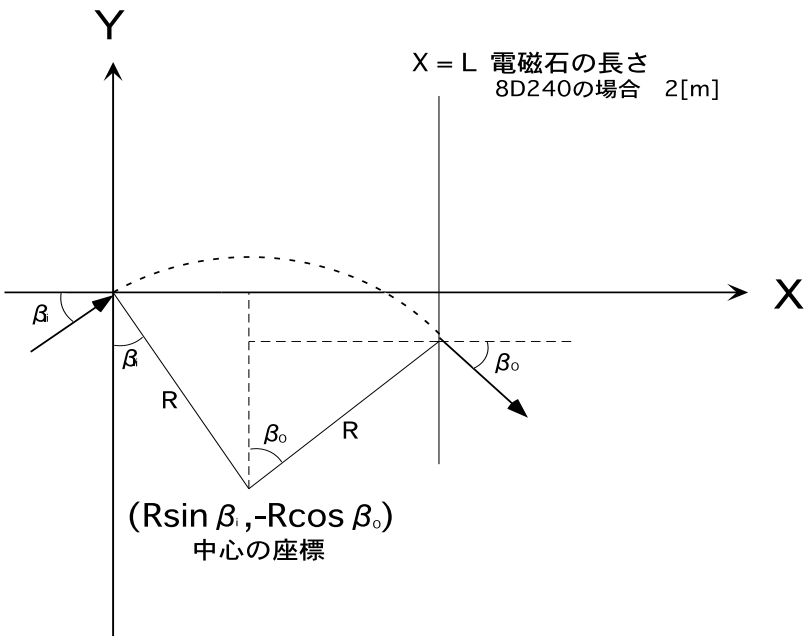

図 2: 曲げられる角度 1

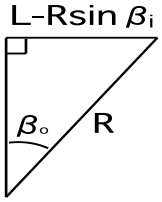

図 3: 曲げられる角度 2

磁場

KEK で $\pi 2$ beam line の bending Magnet 8D240 の磁場と電流の対応表を調べた。その結果が以下の図である。

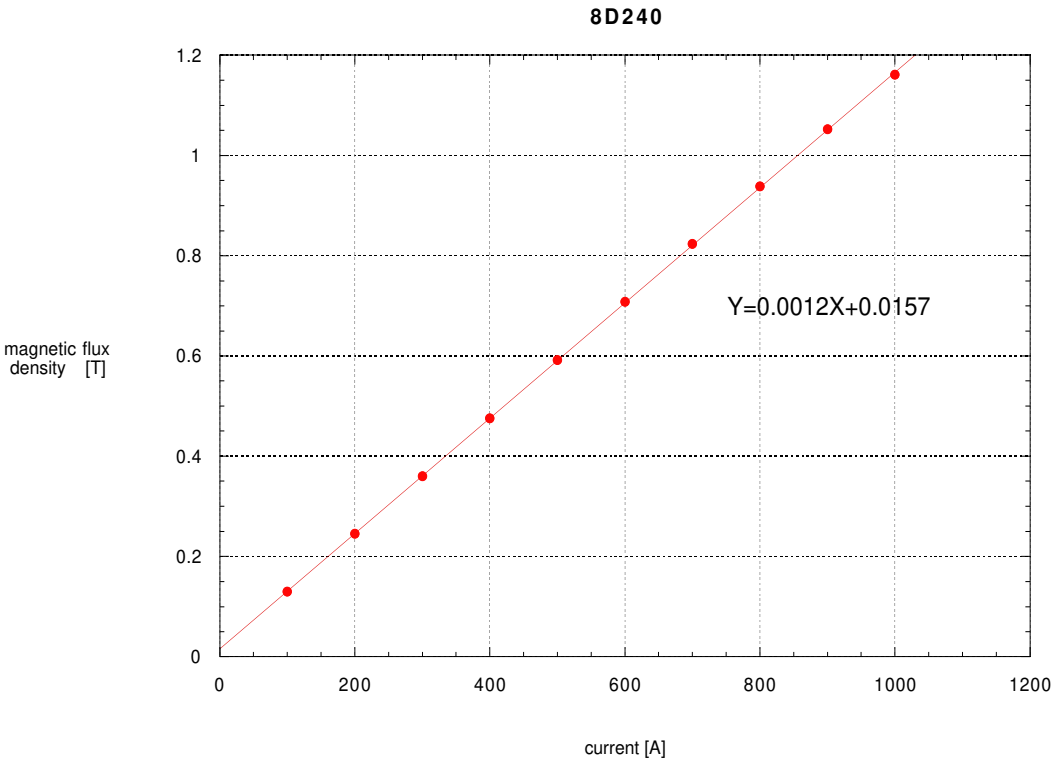

図 4: 磁場

ログノートから run70 の時にかける電流値は-430[A] であった。そのため run70 の時の磁場の値は 0.5317[T] を用いた。

イベントセレクト

1 つのドリフトチェンバー (以後 DC) ないでは 1 イベント毎に複数のワイヤーヒットが起こっている。1 つの DC は 4 つのワイヤーの層でできており理想的には 1 イベント起こるとビームトラックに一番近いワイヤーが 4 つヒットする。

今回ビームトラックを行う上で 1 つの DC 内であるワイヤーがヒットしたら違う層でおなじセルか半セルずれているワイヤーがビームトラック

の候補になる。つまり以下の図で× がヒットしたら大きい○ がトラックワイヤーの候補になる。

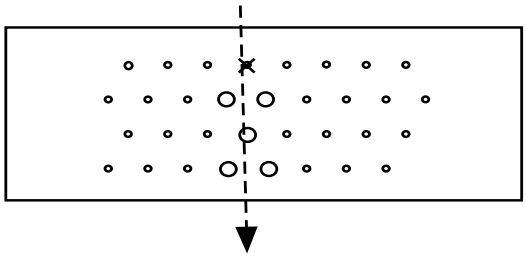

図 5: track 候補

このワイヤーの候補がヒットしたら DC 内で正確なトラッキングを行う。正確なトラッキングはヒットしたワイヤーの TDC のデータをドリフト距離に変換し、ワイヤーからドリフト距離だけ離れた地点をビームの通った場所としビームトラックを行い χ^2 を計算する。

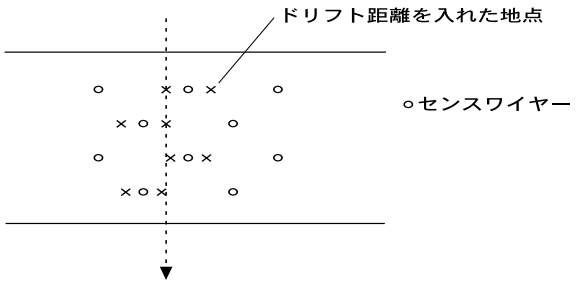

図 6: 正確なトラック

Magnet の上流側では DC1X と 3X でビームトラックを行い、下流側では DC4X と 6X でビームトラックを行い χ^2 をだす。

drift length

今回の解析ではDCのドリフト関数は直線を仮定した。そのためセンスワイヤーからのドリフト距離は

$$DL = \frac{TDC - SW}{FW - SW} \times 6 \tag{9}$$

となる。ここでDLはドリフト距離、TDCはヒットしたワイヤーのTDCの値、FWはTDC分布上で決定したフィールドワイヤーの値、SWはTDC分布上で決定したセンスワイヤーの値を表す。また数字の6はセンスワイヤーとフィールドワイヤーの間隔を表している。

FWとSWの決定方法はワイヤー毎のTDCのヒストグラムをみて最大カウントの半分の値を越えている範囲で最初にビンの差分がマイナスになる値をSW、最後にビンの差分がマイナスになる値をFWとした。以下にTDC分布のヒストグラムを載せる。

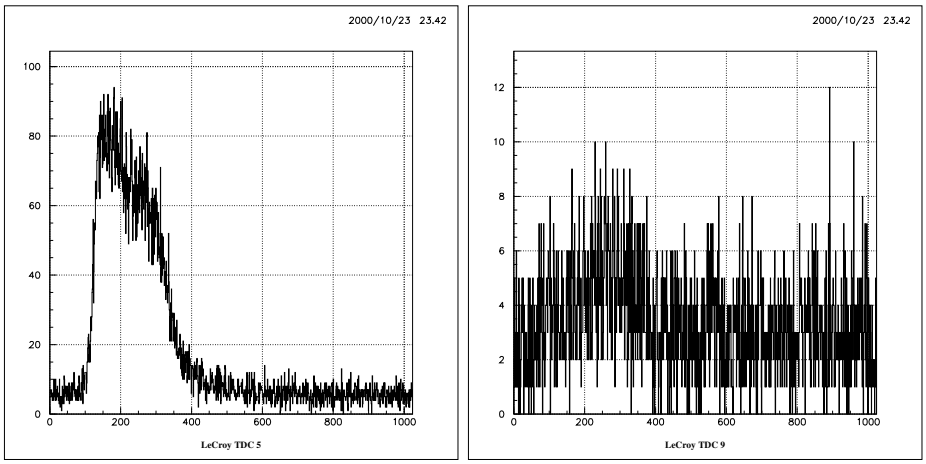

図 7: TDCヒストグラム

図7の左のヒストグラムの様にビームが多くヒットしているワイヤーでは上述の方法でFW、SWを決定できるが、右のヒストグラムの様にあまりヒットしていないワイヤーではうまくFW、SWが決定できない。そのため、同じドリフトチェンバー内で同じTDCモジュールを使っているワイヤーどうしを一つのグループにし、FW、SWをうまく決定できないワイヤーは同グループで他のワイヤーのFW、SWの平均をとり、その値をFW、SWをして使用した。

χ^2

粒子のビームトラックを求めるとき最小 2 乗法により一次関数を引いた。ある測定点 (Z_i, X_i) の一次関数からのずれを δX とし、一次関数 $X = AZ + B$ の Z_i での X の値を X_{it} とすると δX は以下の式で表される。

$$\delta X_i = X_{it} - X_i = AZ_i + B - X_i \tag{10}$$

そして、誤差 δX を 2 乗したものが最小になるように A 及び B の値を決めるのがカイ 2 乗検定である。本来のカイ 2 乗検定値は以下の式で与えられる。

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{\sigma_i^2}\{(AZ_i + B) - X_i\}^2 \tag{11}$$

n はビームトラックを行うときに用いたワイヤーの層の数を表す。今回の解析では位置測定の誤差をどのように評価すれば良いかわからなかったので χ^2 は

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^{n}\{(AZ_i + B) - X_i\}^2 \tag{12}$$

で与えられるように位置測定の誤差で割るということをしなかった。従って χ^2 はトラックと位置測定点のずれとダイレクトな関係にある。今回の解析では 1 イベントで複数のビームトラック候補があるのでそれぞれの χ^2 を計算しその中で一番小さな χ^2 を与えるトラッキングをイベントのビームトラックとした。

Y 方向のトラッキング

X 方向と同様に Y 方向のトラッキングを行った。まず座標の定義をしなければならないが、これについては実験ログノート 2 冊目 P6 を参考にし、LOS を Y 座標の原点にした。Y 方向のトラッキングは DC2Y と 5Y で行うので Z 座標は Magnet を通した座標を定義した。Magnet の長さは 2022[mm] とし Z 座標の原点は PWO box の前面とした。

結果

run70(1[GeV/c] electron trigger 全イベント数 78011) で解析を行った。fitting をかけているヒストグラムは double Gauss で fit した。パラメータは以下の様である。

P1 normalization factor
P2 mean value
P3 sigma
P4 normalization factor
P5 mean value
P6 sigma

始め χ^2 が 1 以下という条件でデータを fill した。この時 Magnet 上流ではイベント数が 20116 で全イベント数の約 26%、Magnet 下流ではイベント数が 29542 で約 38%、Y 方向のトラッキングではイベント数 22157 で約 28%である。更に運動量を求める条件ではイベント数 11108 で約 14%となる。

次に χ^2 をヒットした層 (n) で割った χ^2/n が 1 以下という条件でデータを fill した。この時 Magnet 上流ではイベント数が 29782 で全イベント数の約 38%、Magnet 下流ではイベント数が 34335 で約 44%、Y 方向のトラッキングではイベント数 31559 で約 40%である。更に運動量を求める条件ではイベント数 18906 で約 24%となる。

χ^2/n 分布

今回 Magnet 上流、下流、及び Y 方向 3 つでそれぞれトラッキングを行った。その 3 つについてそれぞれ χ^2/n 分布をだした。上から順に Magnet 上流、下流、Y 方向のトラッキングの分布となっている。

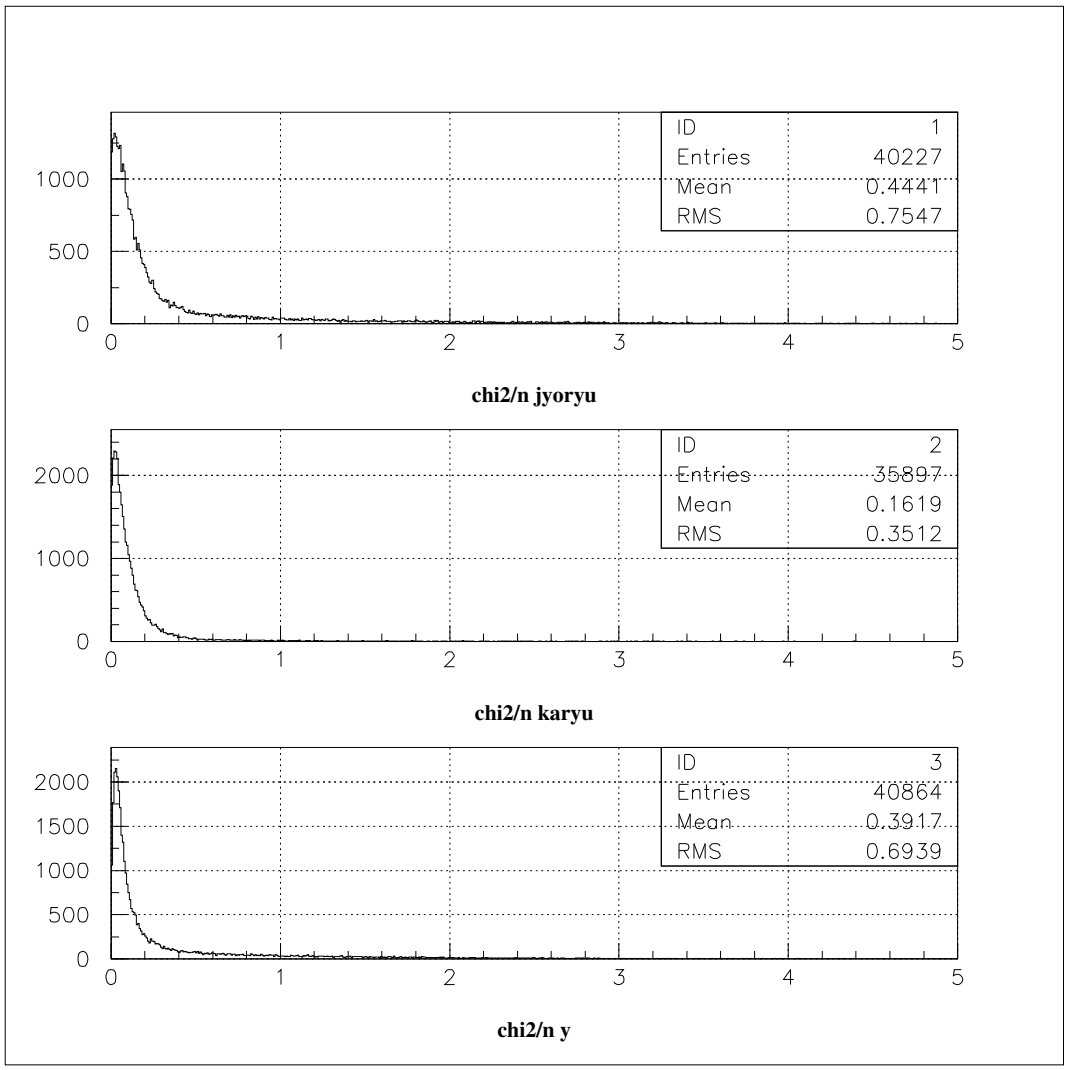

図 8: χ^2/n 分布

トラッキングの様子

ヒットしたワイヤの位置と drift length、及び最小 2 乗法で求めた直線 (ビームトラック) を示す。いずれも $0.02 < \chi^2/n < 0.03$ の範囲の時のトラッキングの様子である。

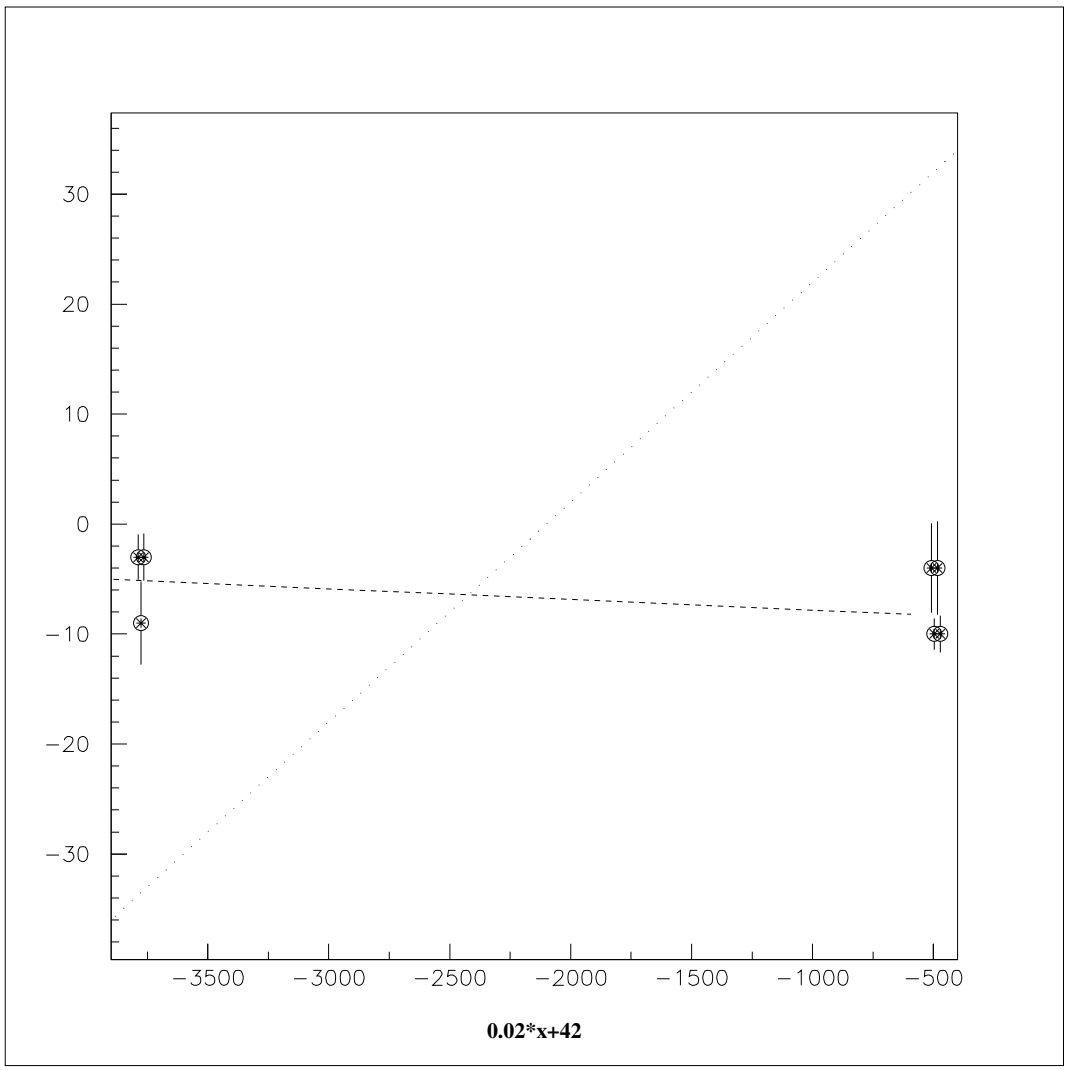

図 9: Y 方向のトラッキング

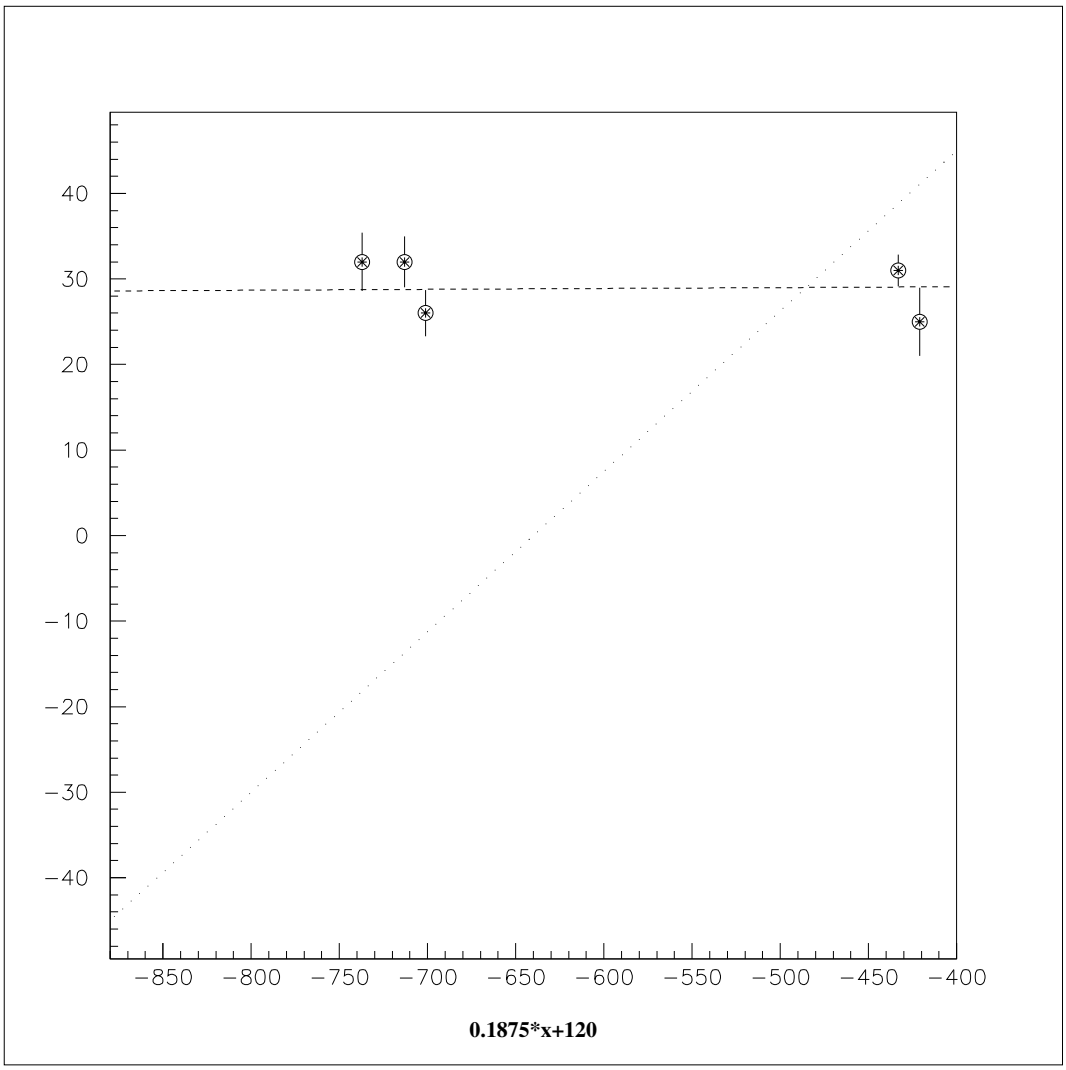

図 10: X 方向上流のトラッキング

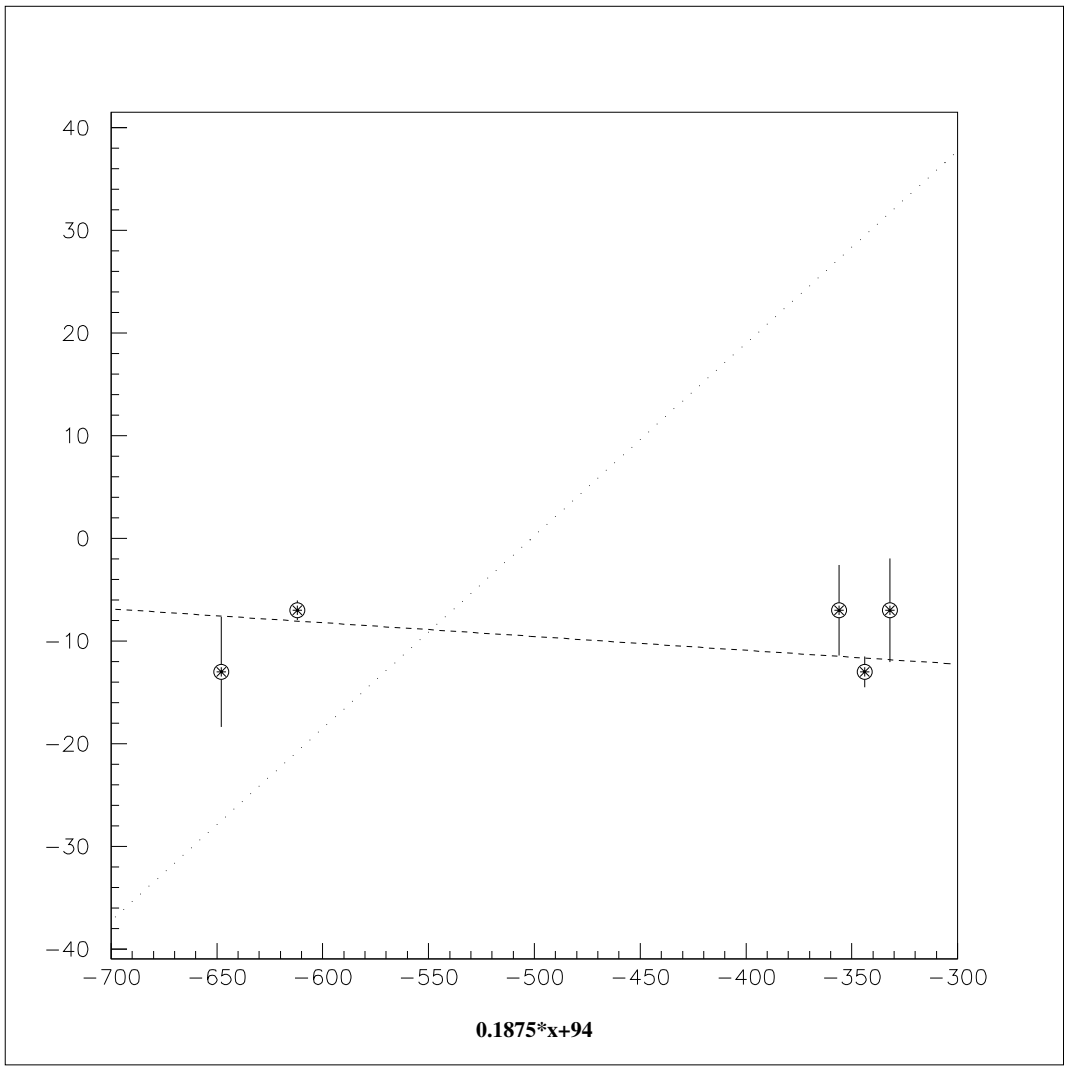

図 11: X 方向下流のトラッキング

運動量

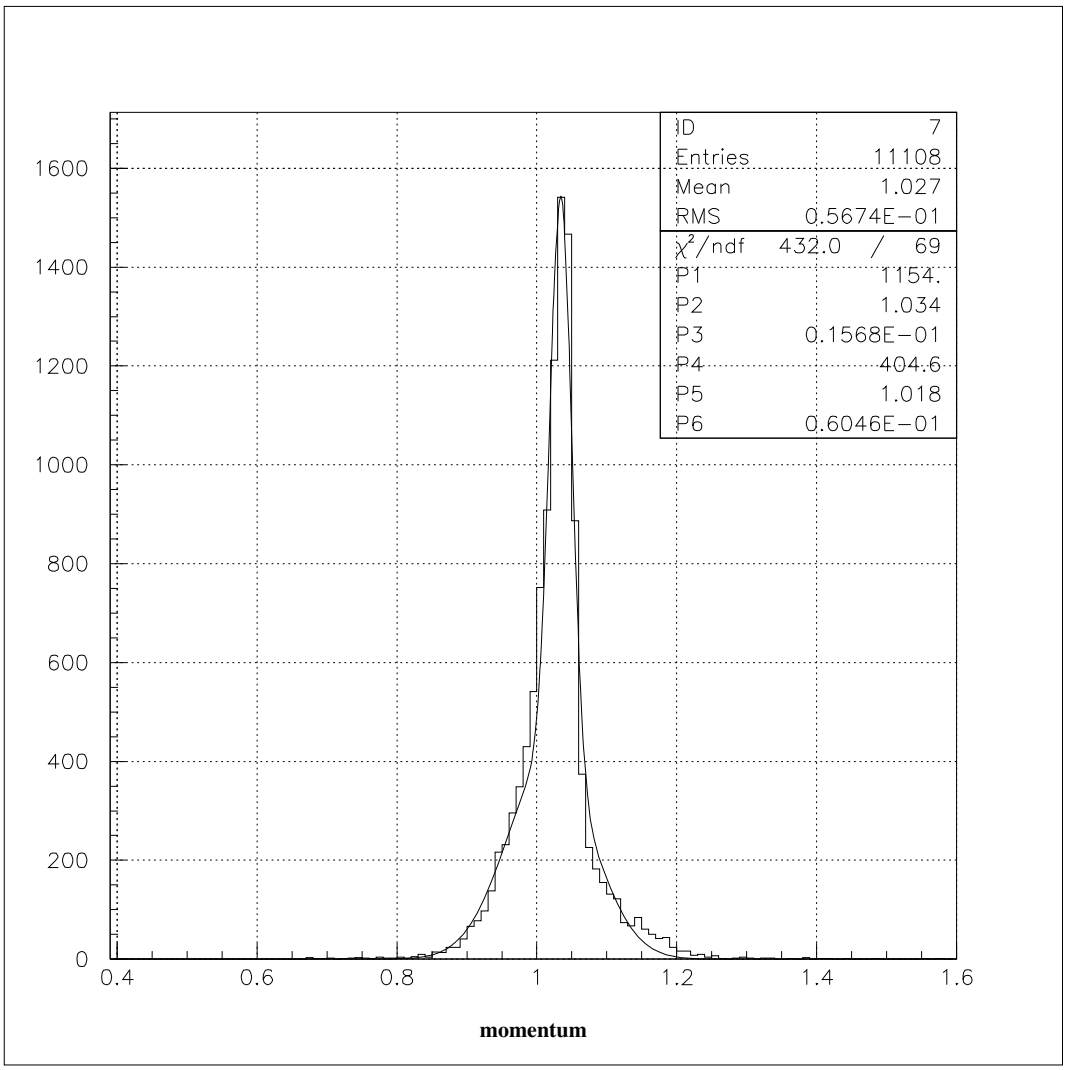

図 12: $\chi^2 \leq 1$

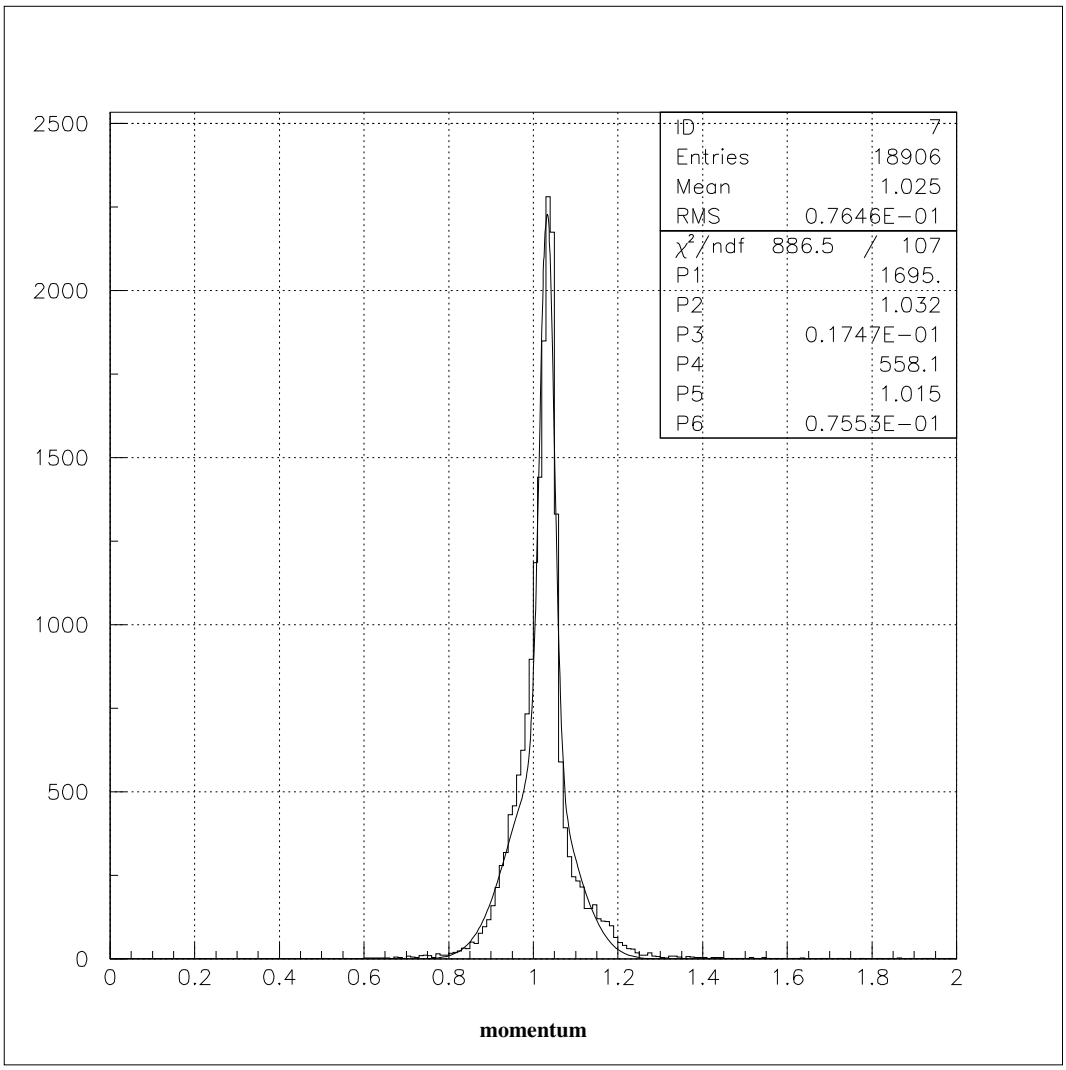

図 13: $\chi^2/n \leq 1$

マグネット上流の X の傾き

ドリフトチェンバー 1X と 3X を使い求めたトラックのビームの傾き。

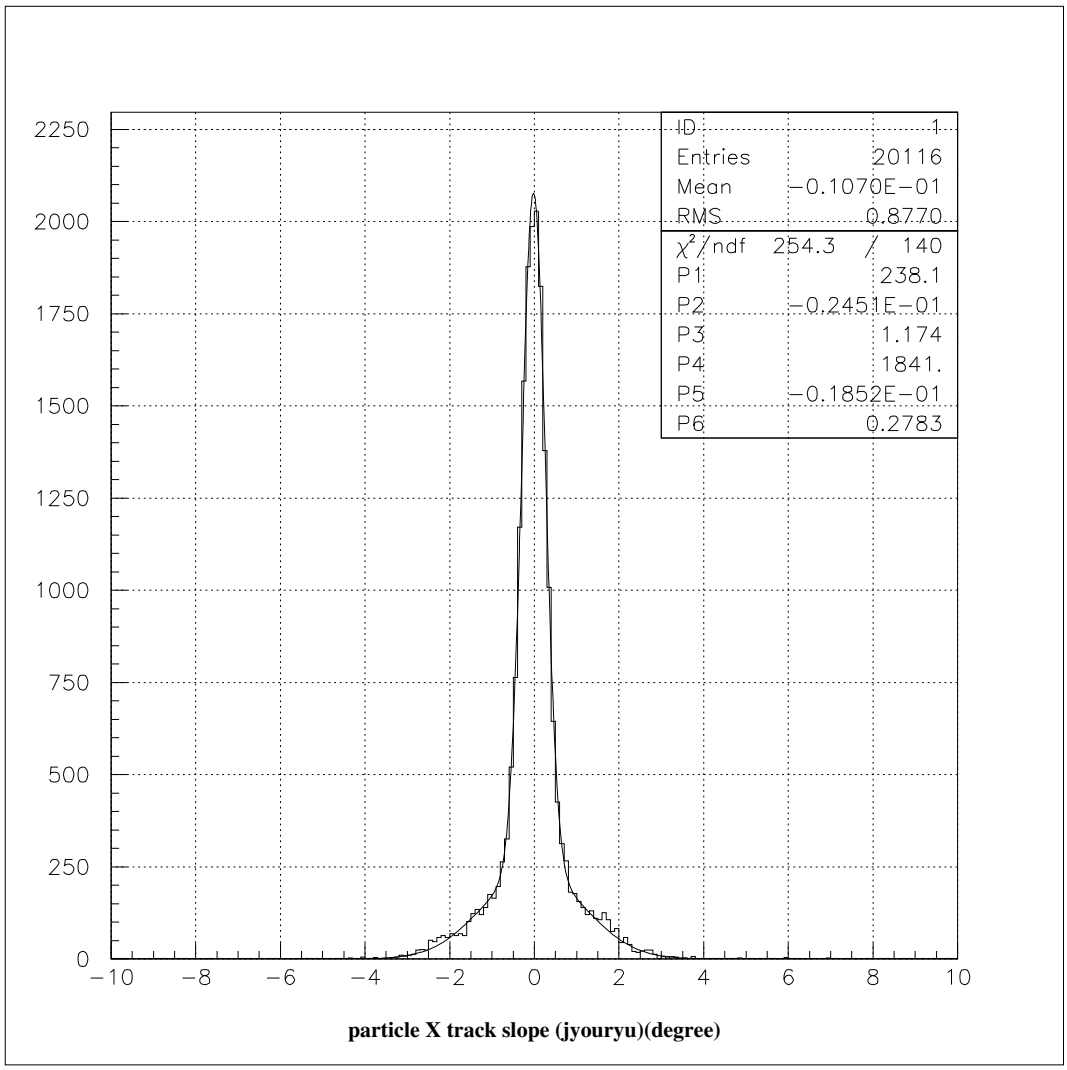

図 14: $\chi^2 \leq 1$

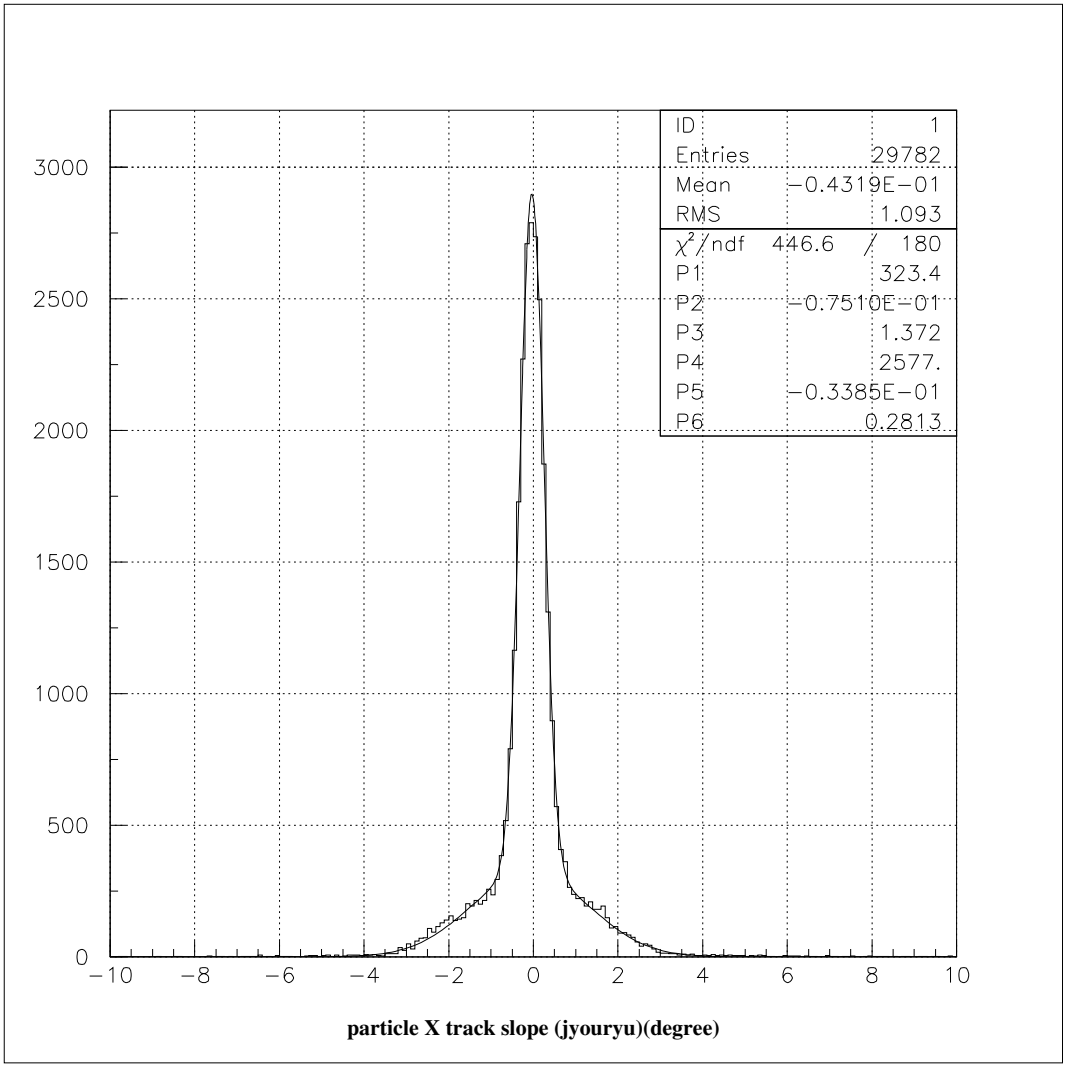

図 15: $\chi^2/n \leq 1$

マグネット下流の X の傾き

ドリフトチェンバー 4X と 6X を使い求めたトラックのビームの傾き。

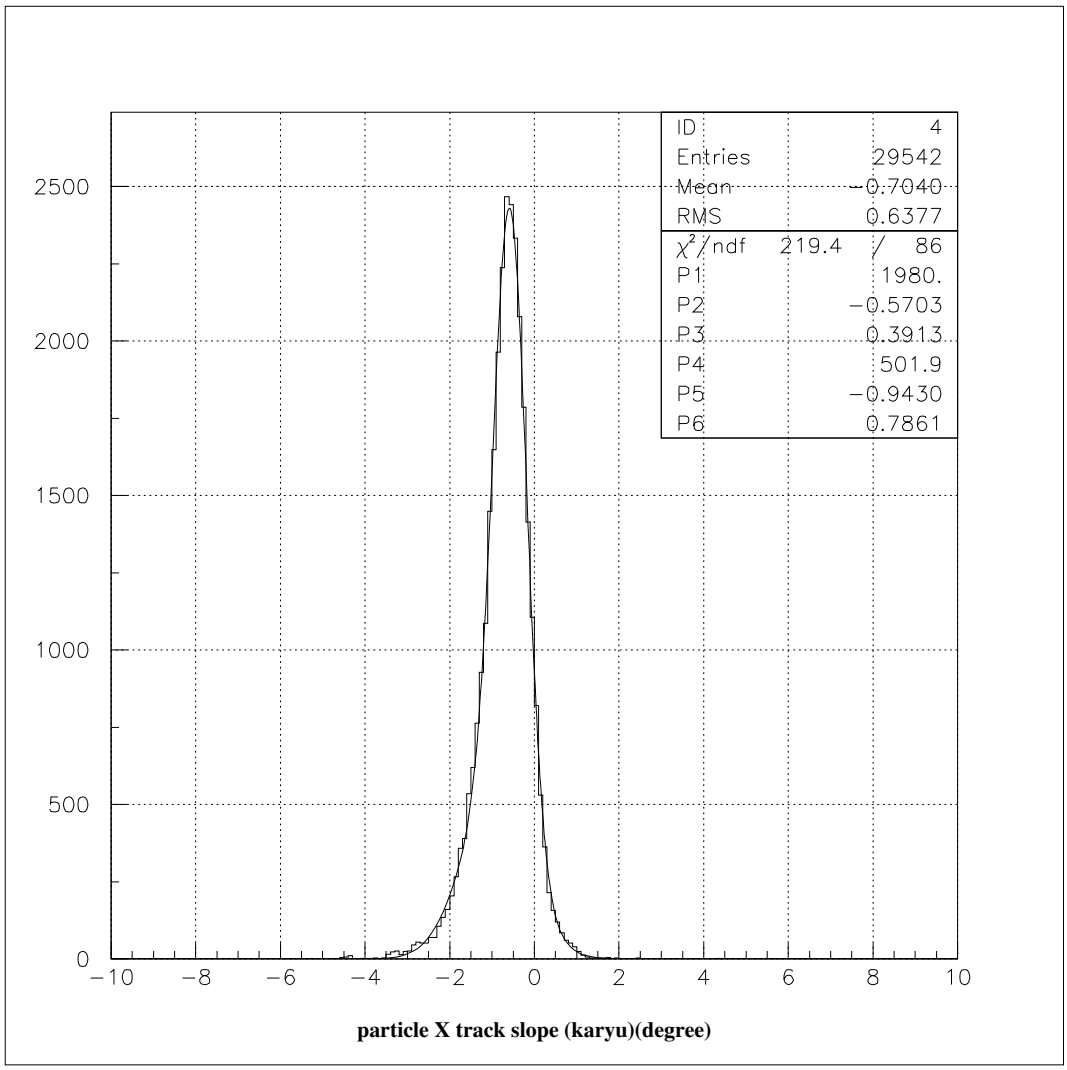

図 16: $\chi^2 \leq 1$

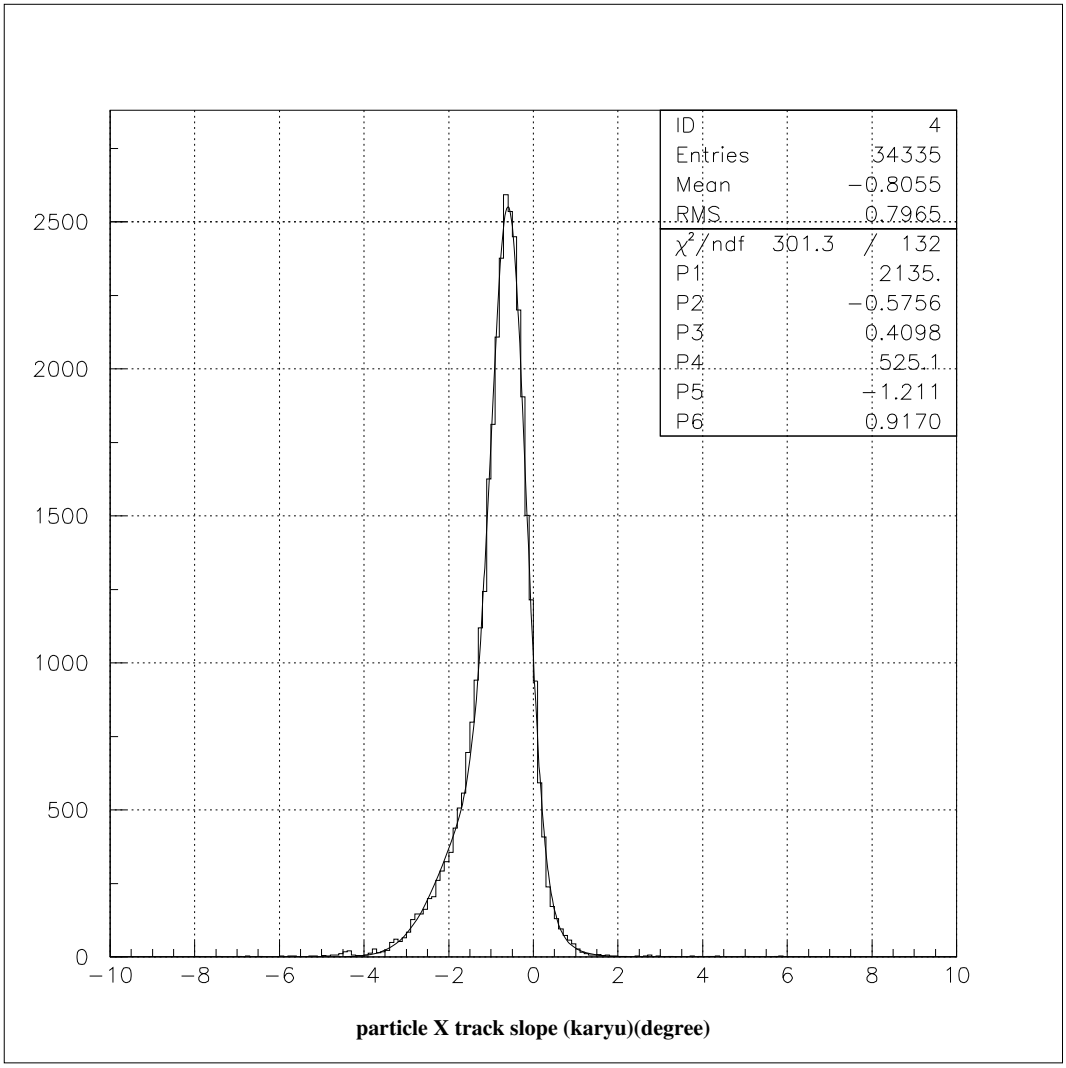

図 17: $\chi^2/n \leq 1$

Y 方向の傾き

ドリフトチェンバー 2Y と 5Y を使い求めたトラックのビームの傾き。

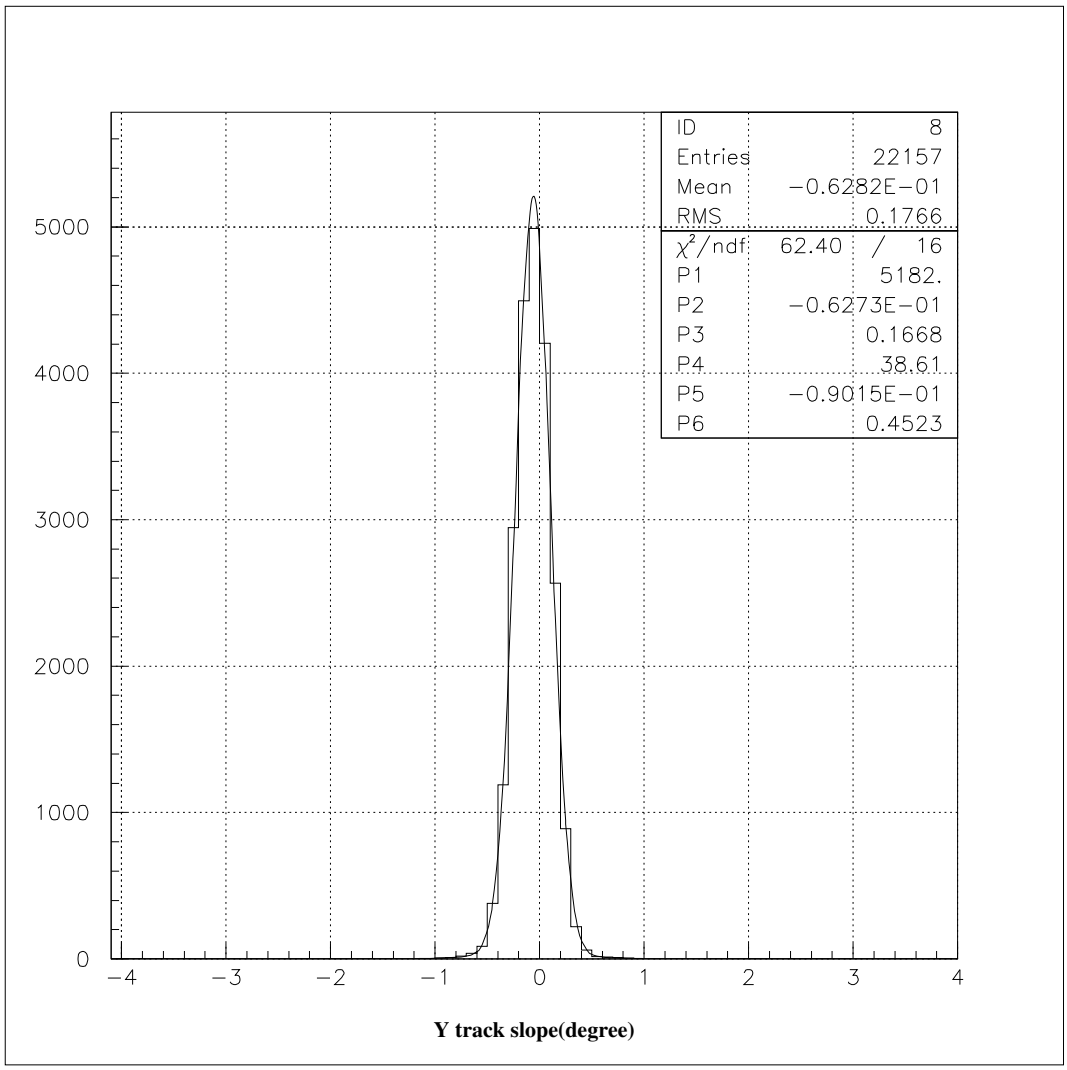

図 18: $\chi^2 \leq 1$

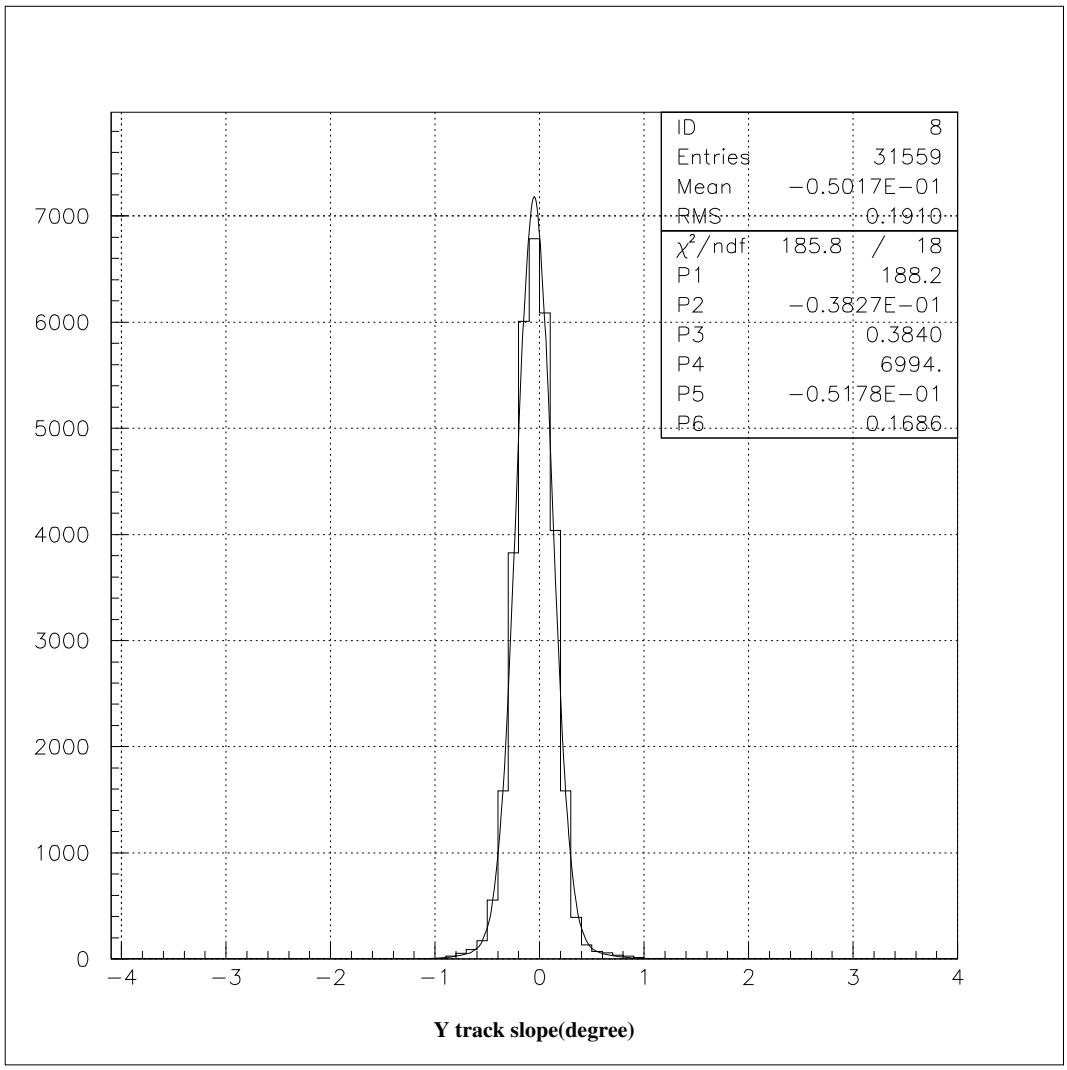

図 19: $\chi^2/n \leq 1$

T2 の位置でのビームの広がり

トラッキングで求めた直線にトリガーカウンター T2 の Z の位置を代入して求めた値。左上が X の広がり、右上が Y の広がり、下が X と Y の 2 次元プロットである。

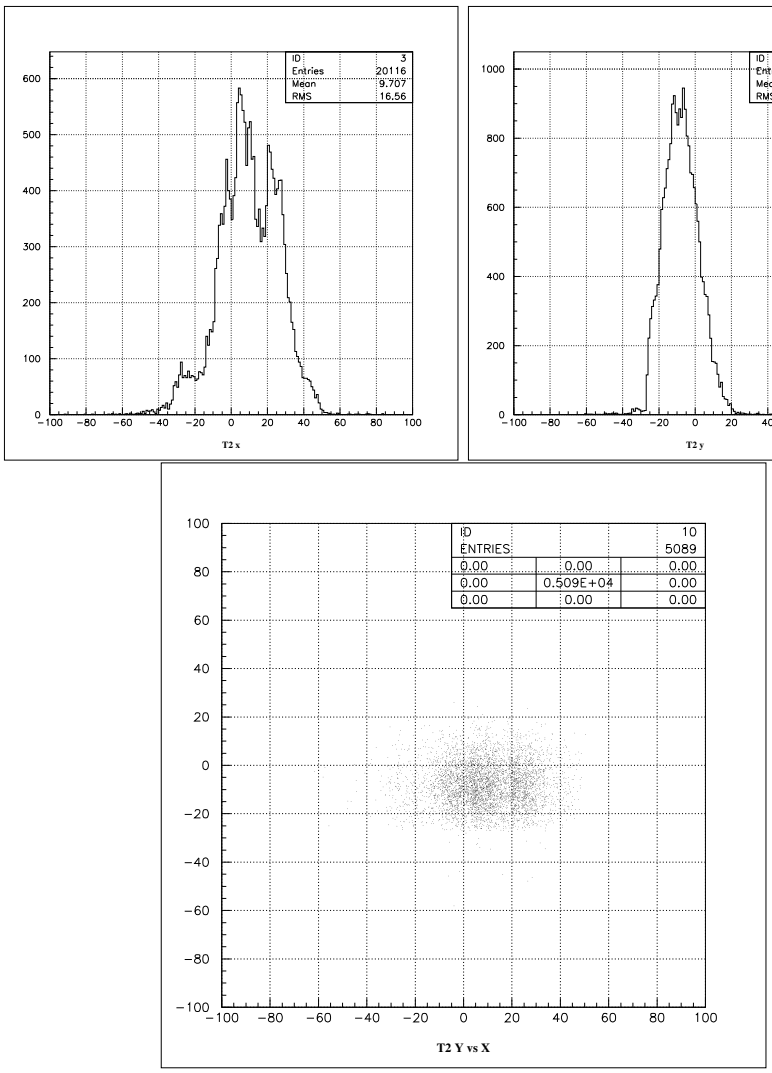

図 20: $\chi^2 \leq 1$

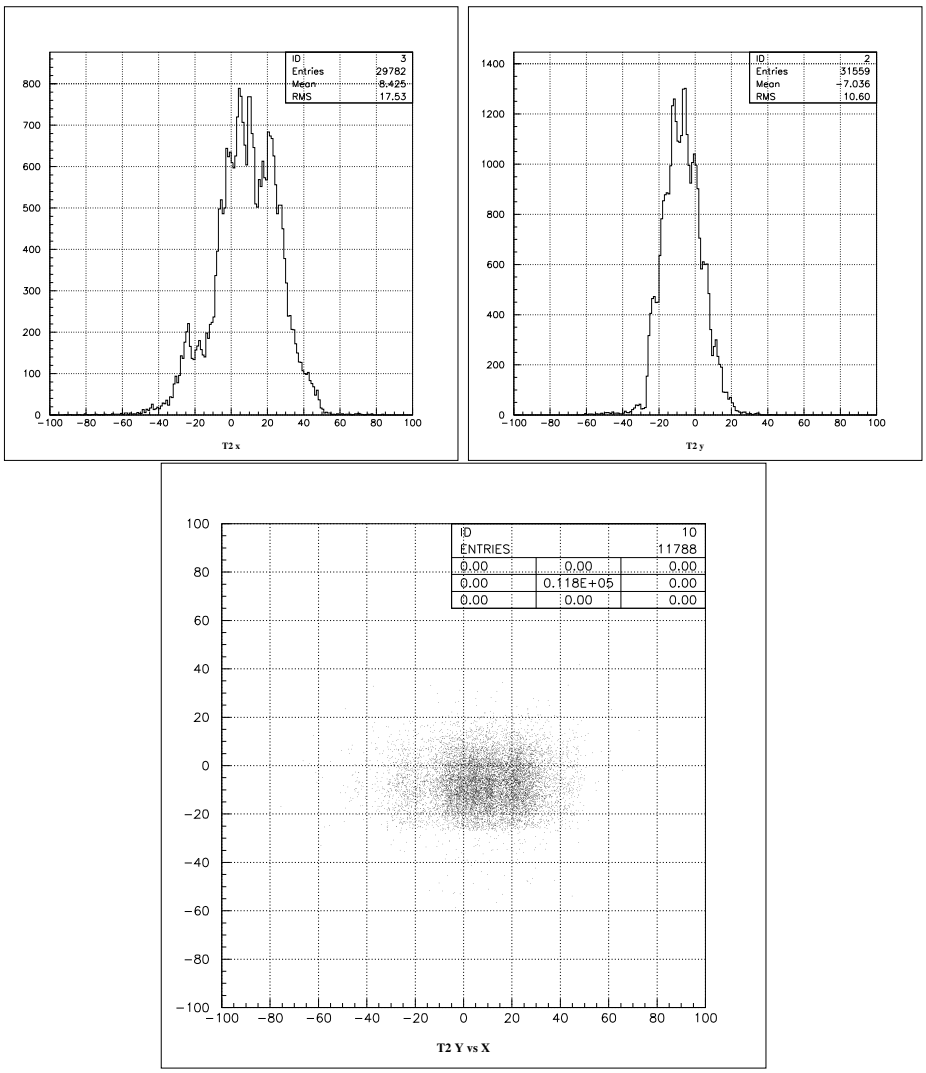

図 21: $\chi^2/n \leq 1$

T3 の位置でのビームの広がり

トラッキングで求めた直線にトリガーカウンター T3 の Z の位置を代入して求めた値。左上が X の広がり、右上が Y の広がり、下が X と Y の 2 次元プロットである。

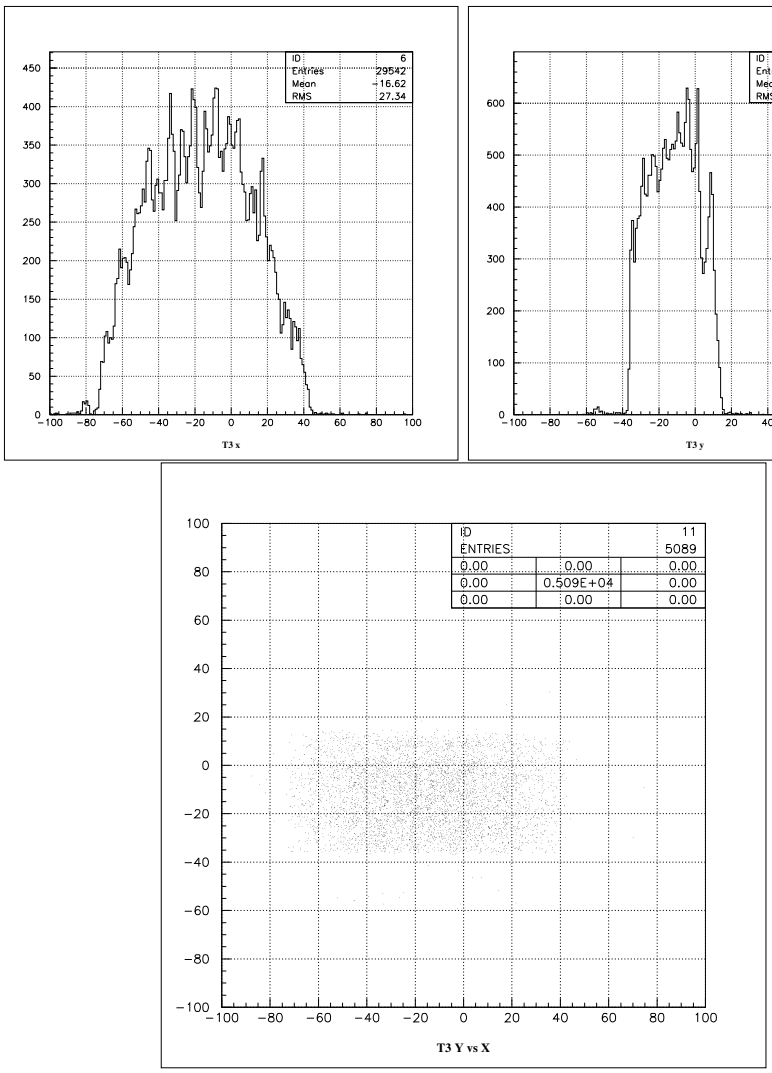

図 22: $\chi^2 \leq 1$

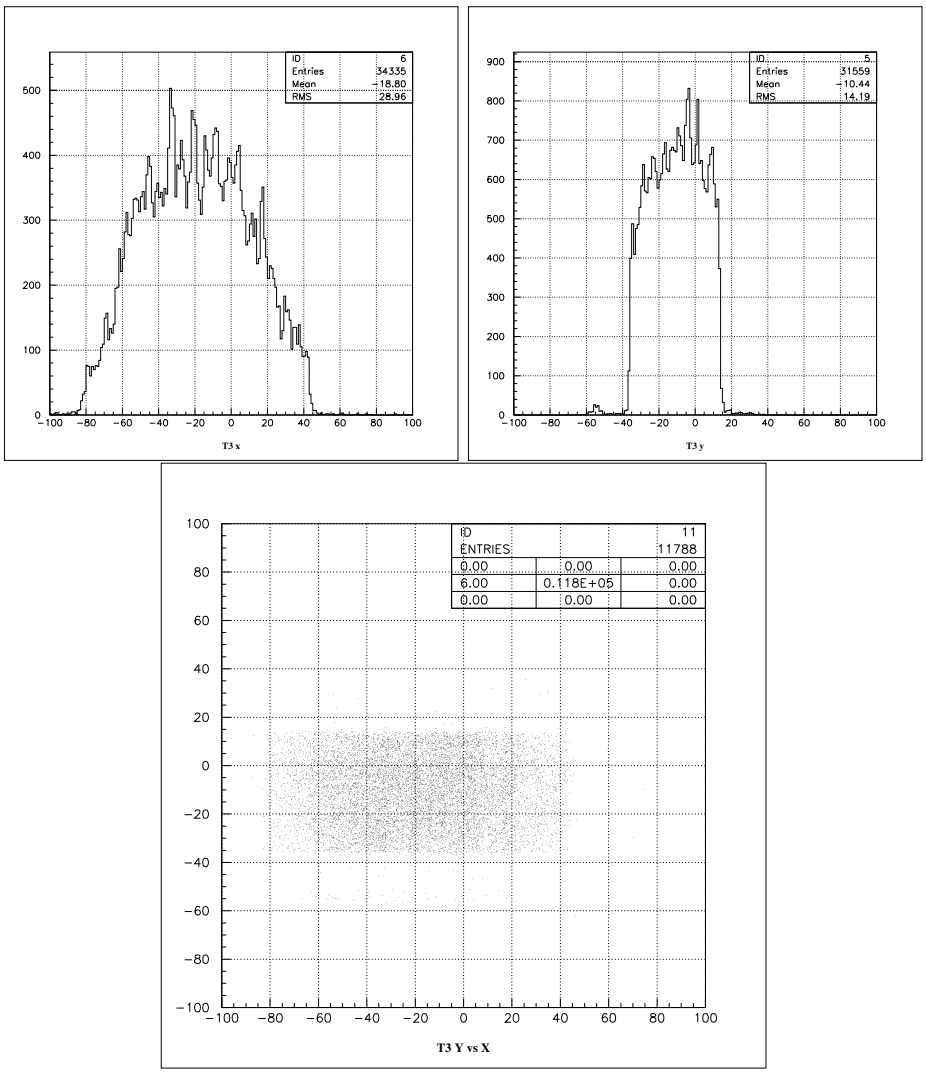

図 23: $\chi^2/n \leq 1$

PWO box 前面でのビームの広がり

X、Y 両方のビームトラッキングを行うことにより求めたそれぞれの直線から PWO box 前面でのビームの広がりを求めた。

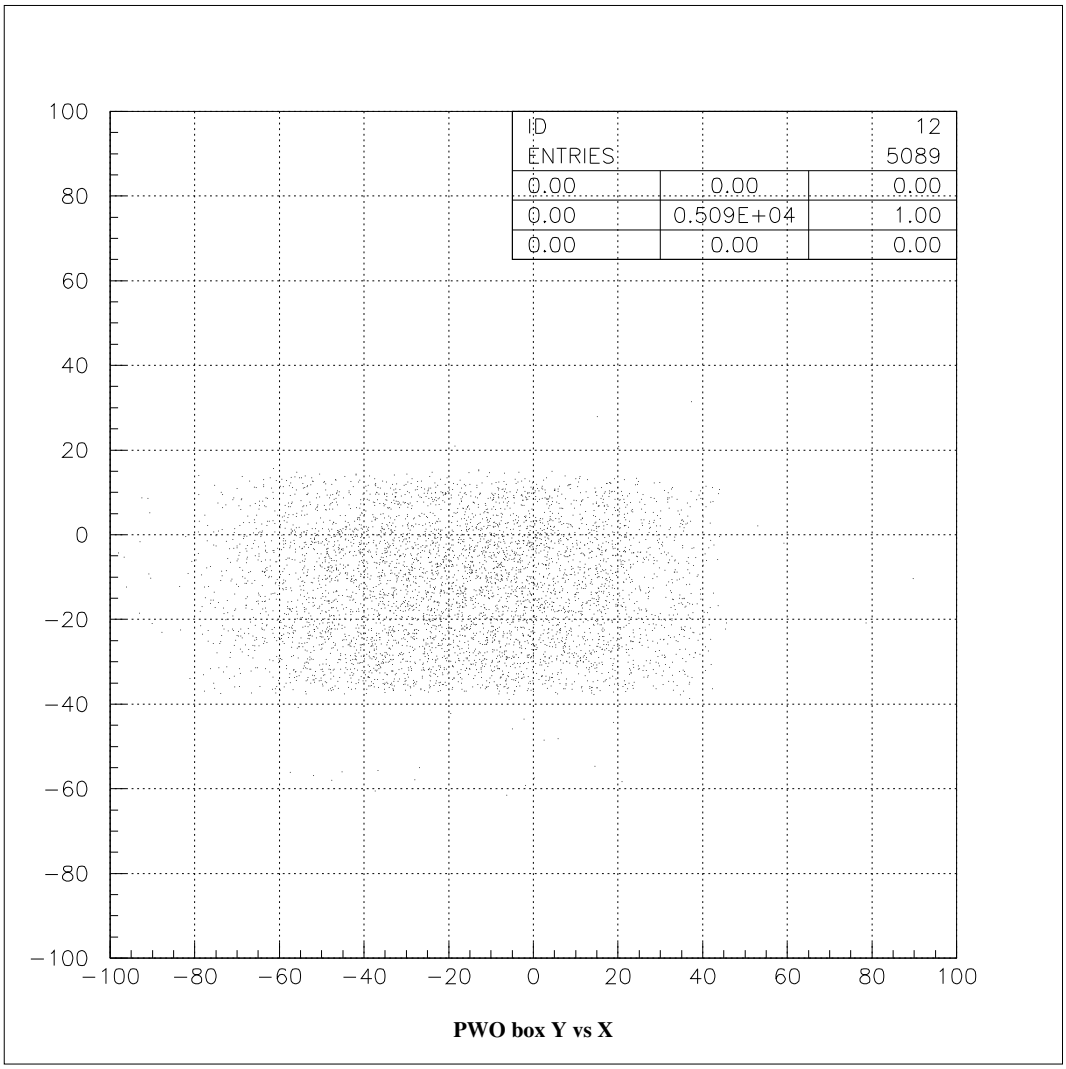

図 24: $\chi^2 \leq 1$

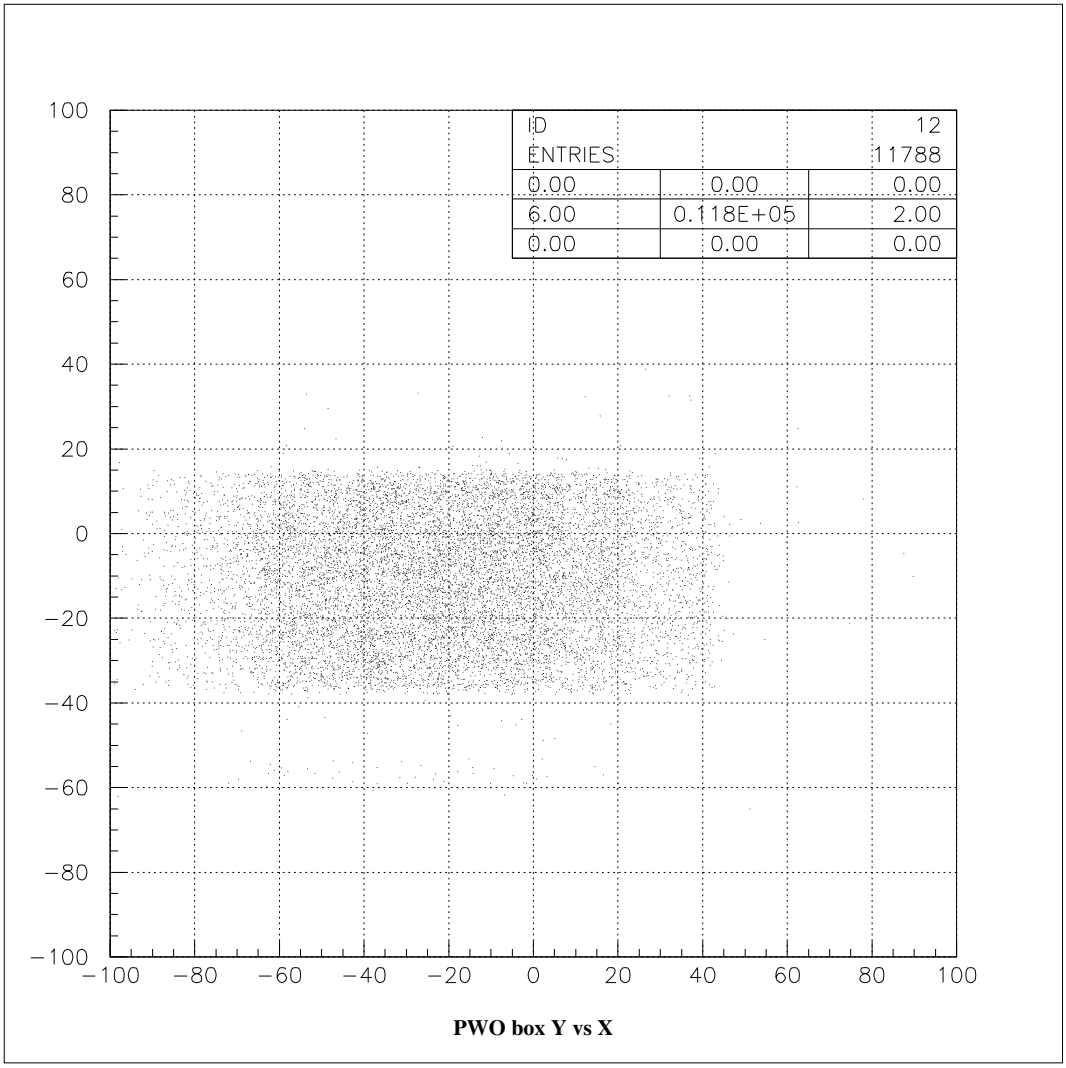

図 25: $\chi^2/n \leq 1$

Trigger TDC による cut

Run70 のトリガーカウンター及びチェレンコフカウンターの TDC、ADC のヒストグラムは以下の図のようである。

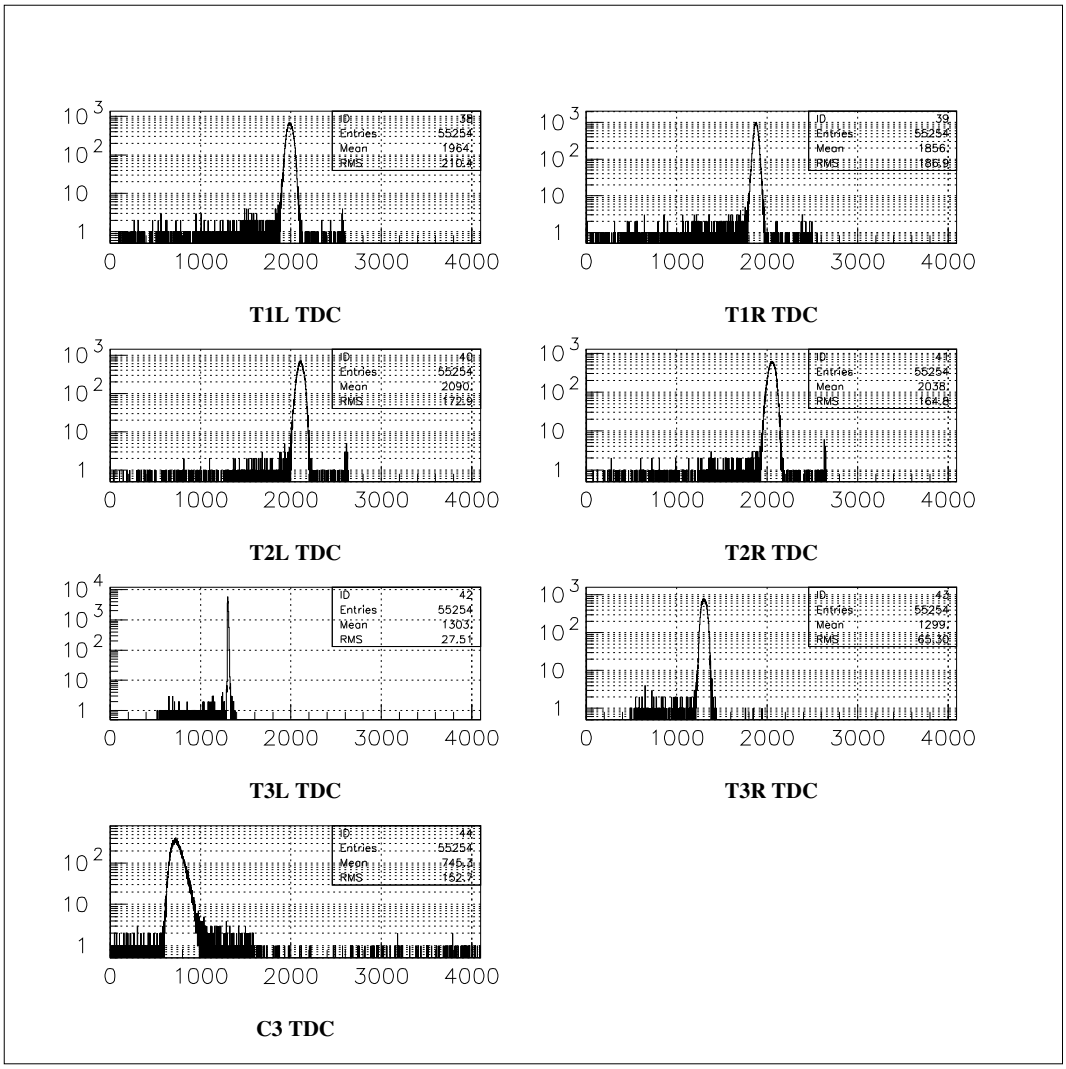

図 26: TDC のヒストグラム

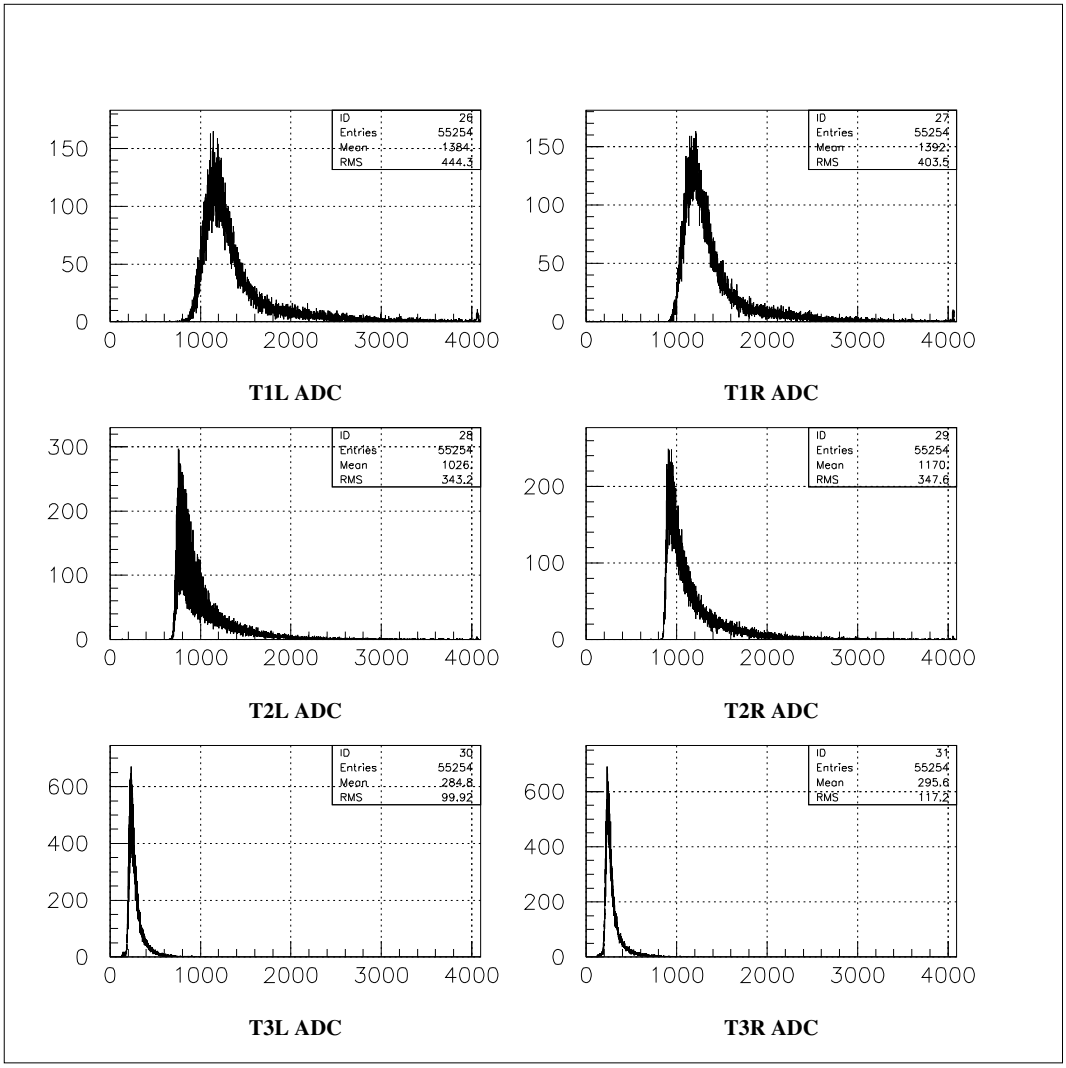

図 27: トリガーカウンター ADC のヒストグラム

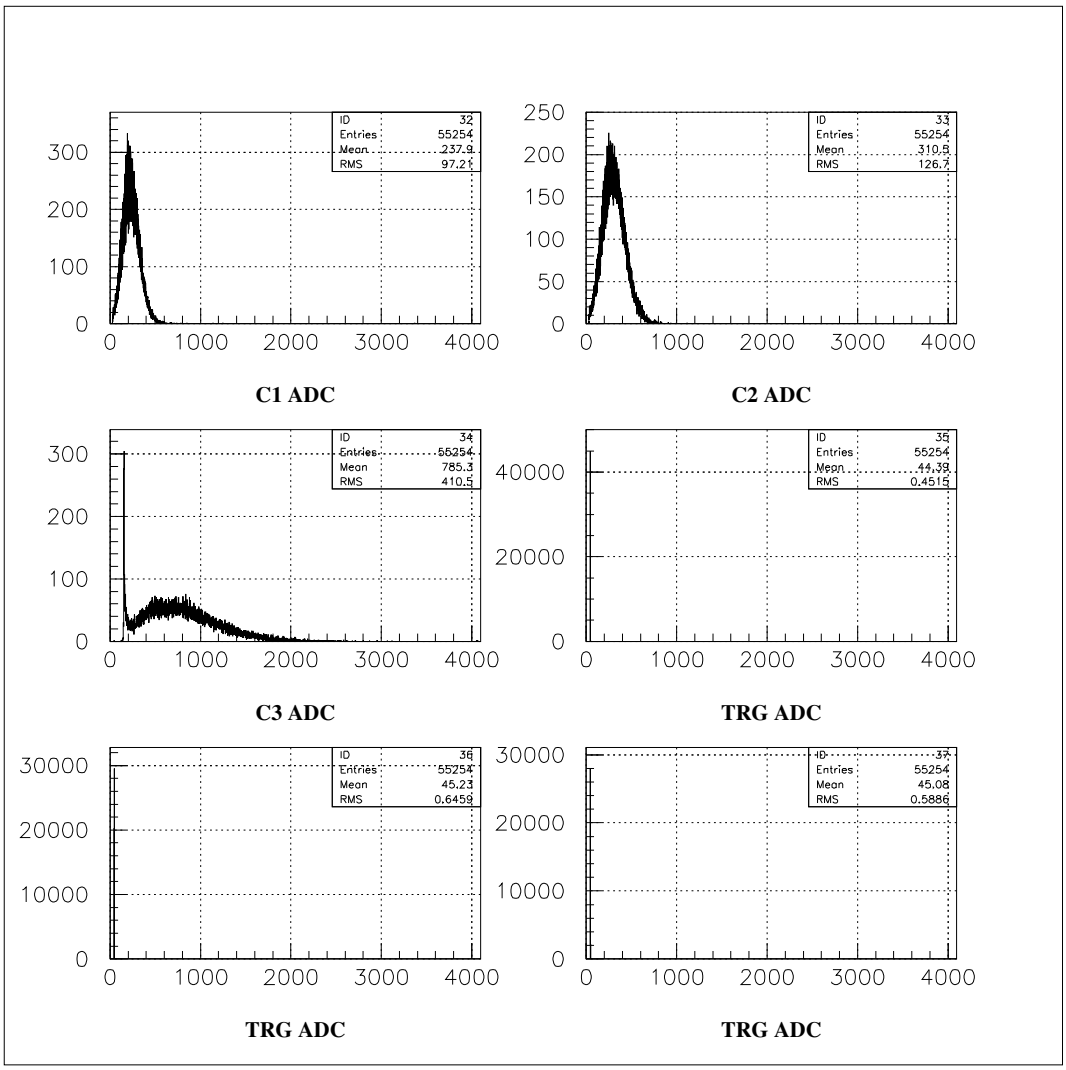

図 28: cerencov カウンター ADC のヒストグラム

今回はTDCのカットをいれてデータをfillした。fillする条件は$\chi^2 \leq 1$である。

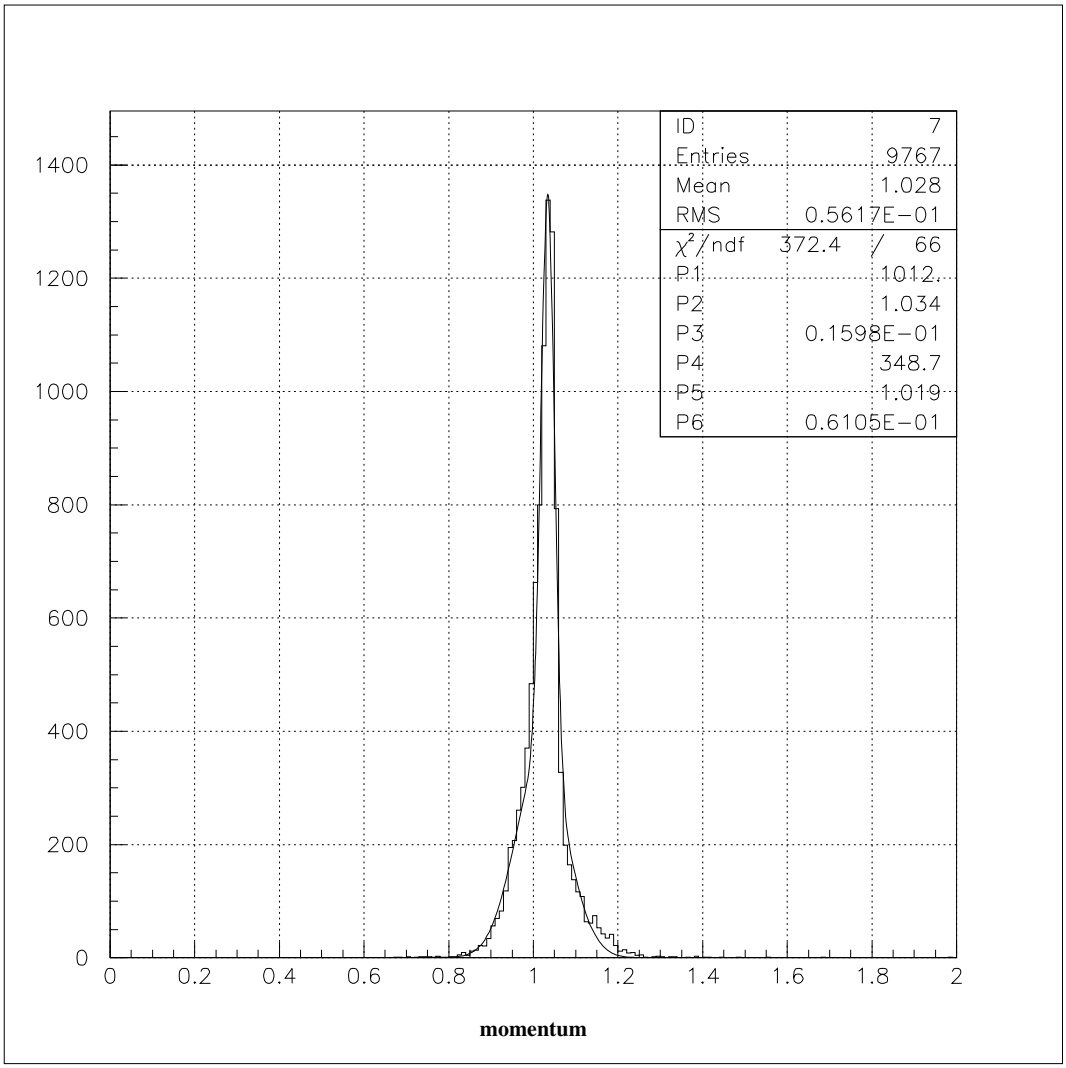

図 29: 運動量 (TDC cut)

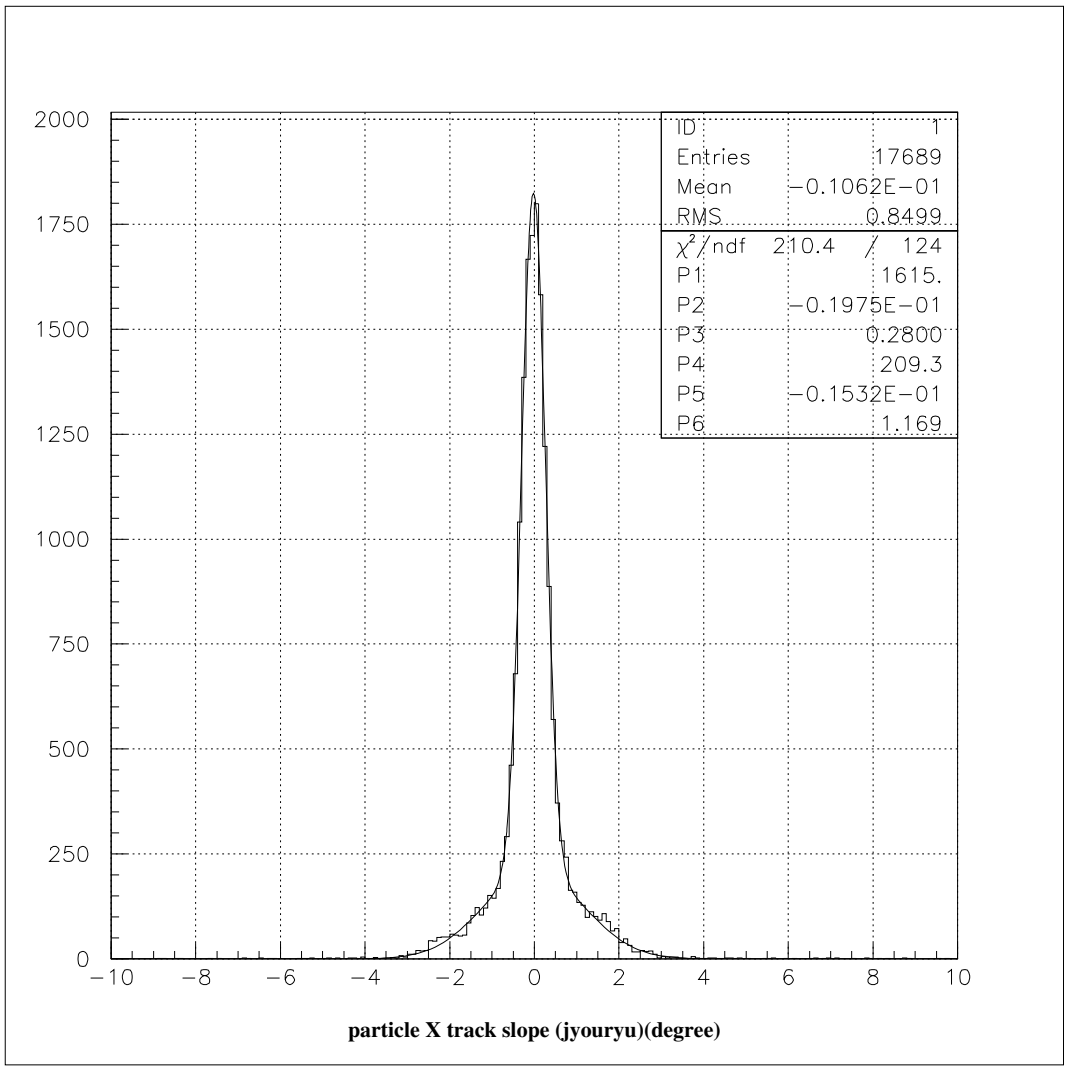

図 30: 上流 X の傾き (TDC cut)

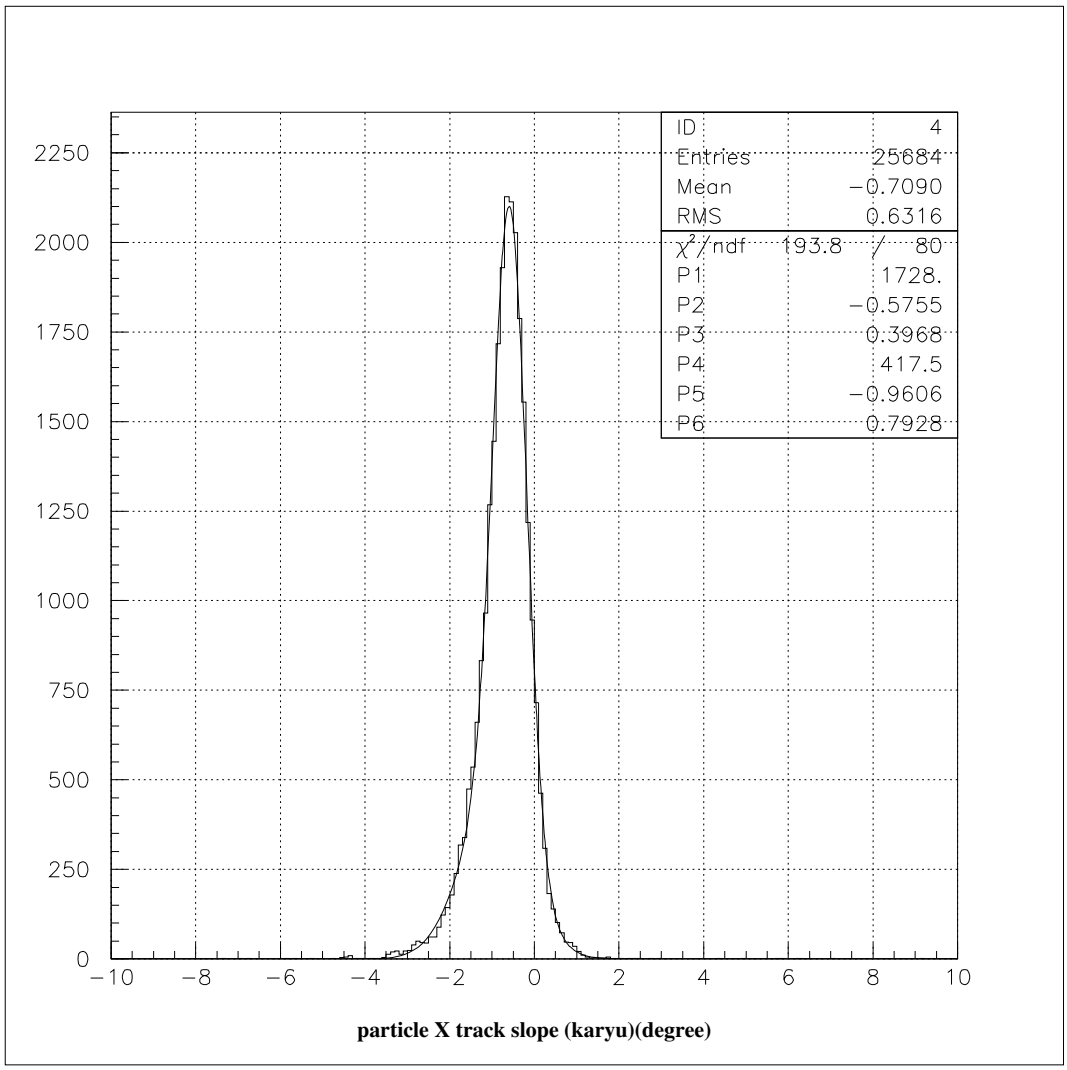

図 31: 下流 X の傾き (TDC cut)

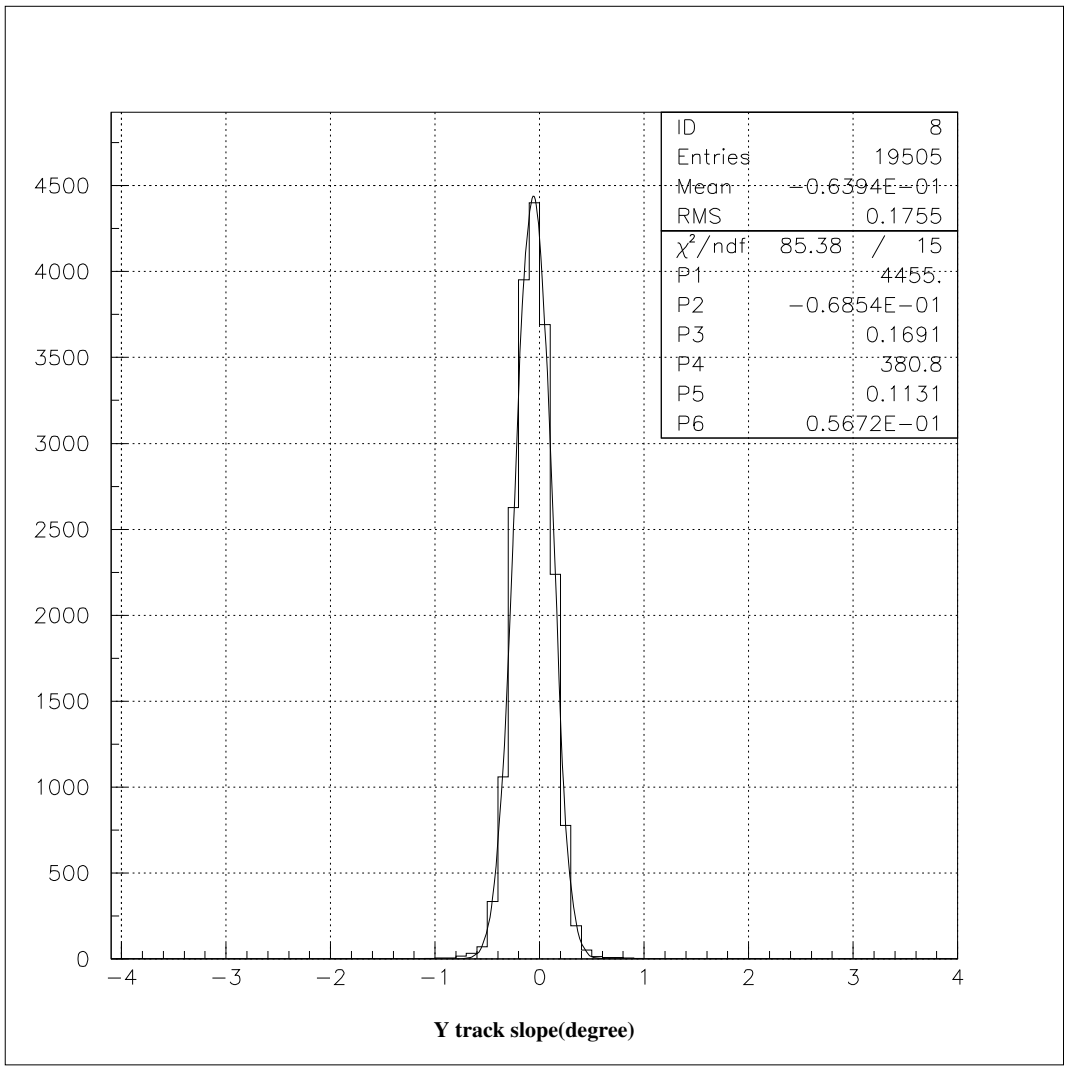

図 32: Y **の傾き** (TDC cut)

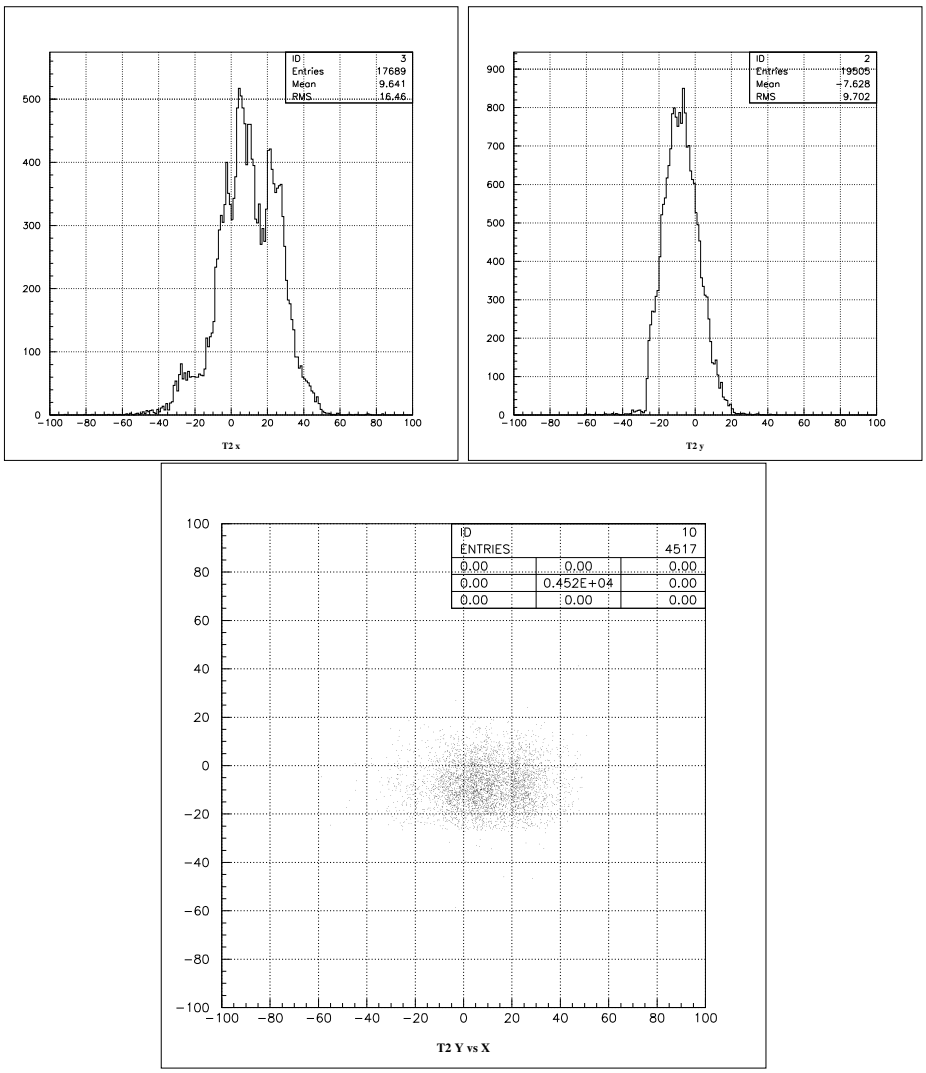

図 33: T2(TDC cut)

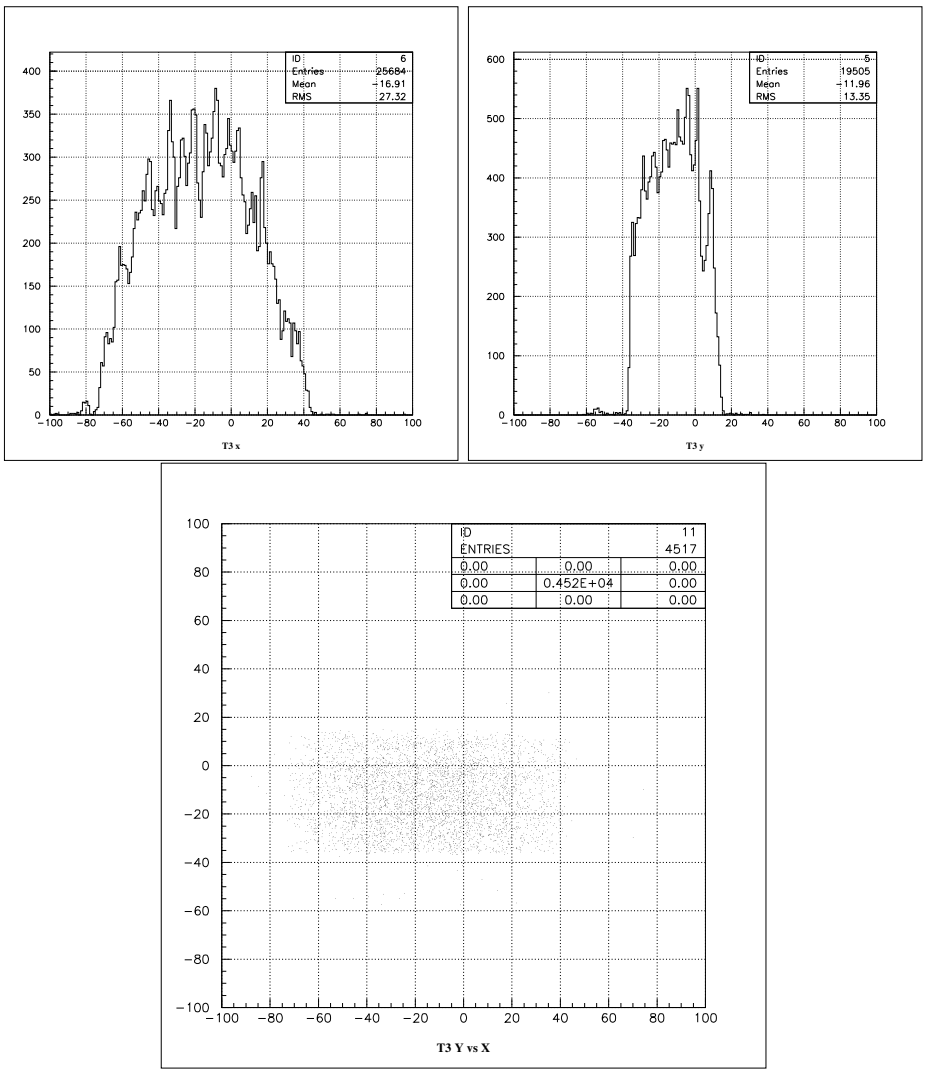

図 34: T3(TDC cut)

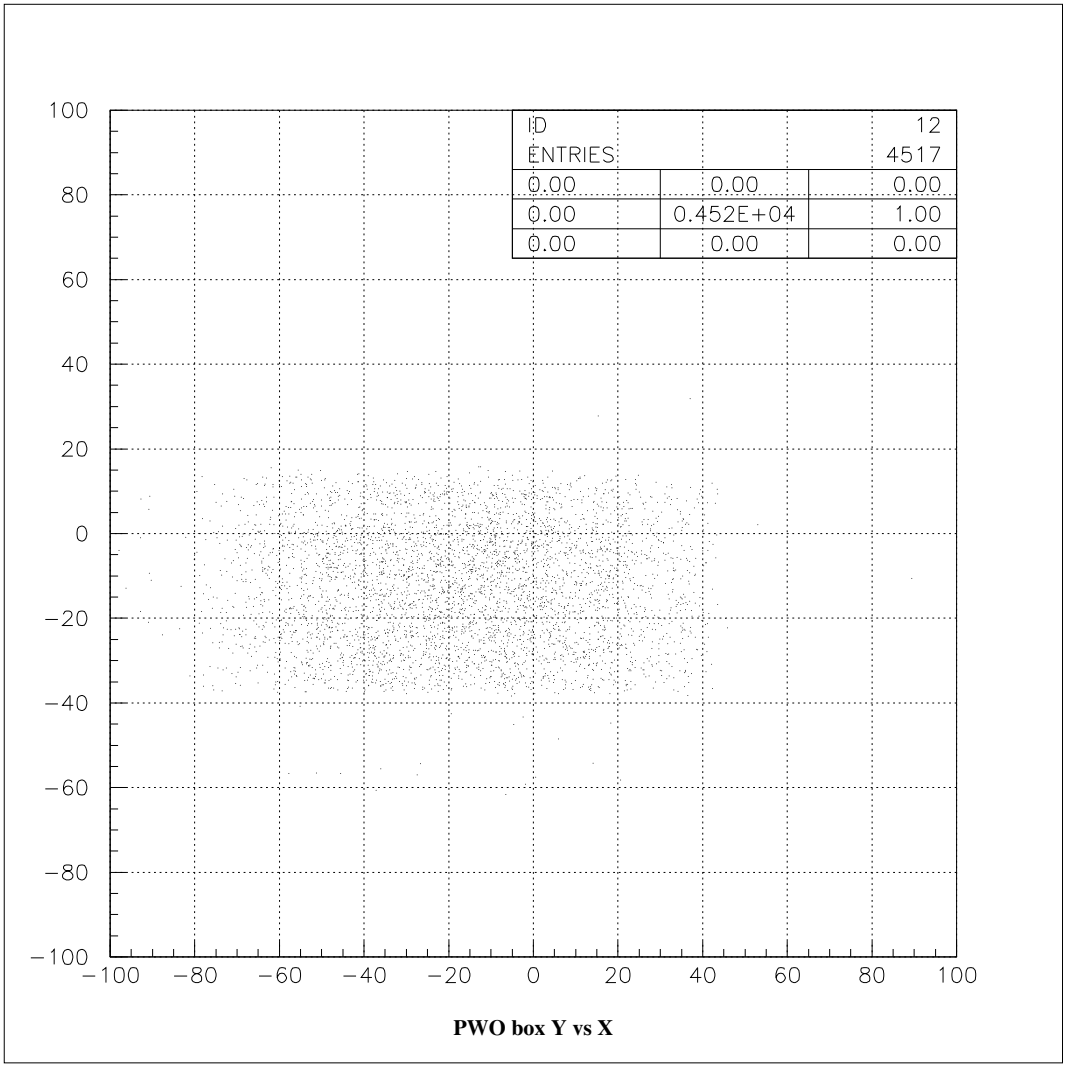

図 35: PWO 前面でのビームの広がり (TDC cut)

Trigger 系の相関

トリガー TDC と ADC の相関を見てみた。

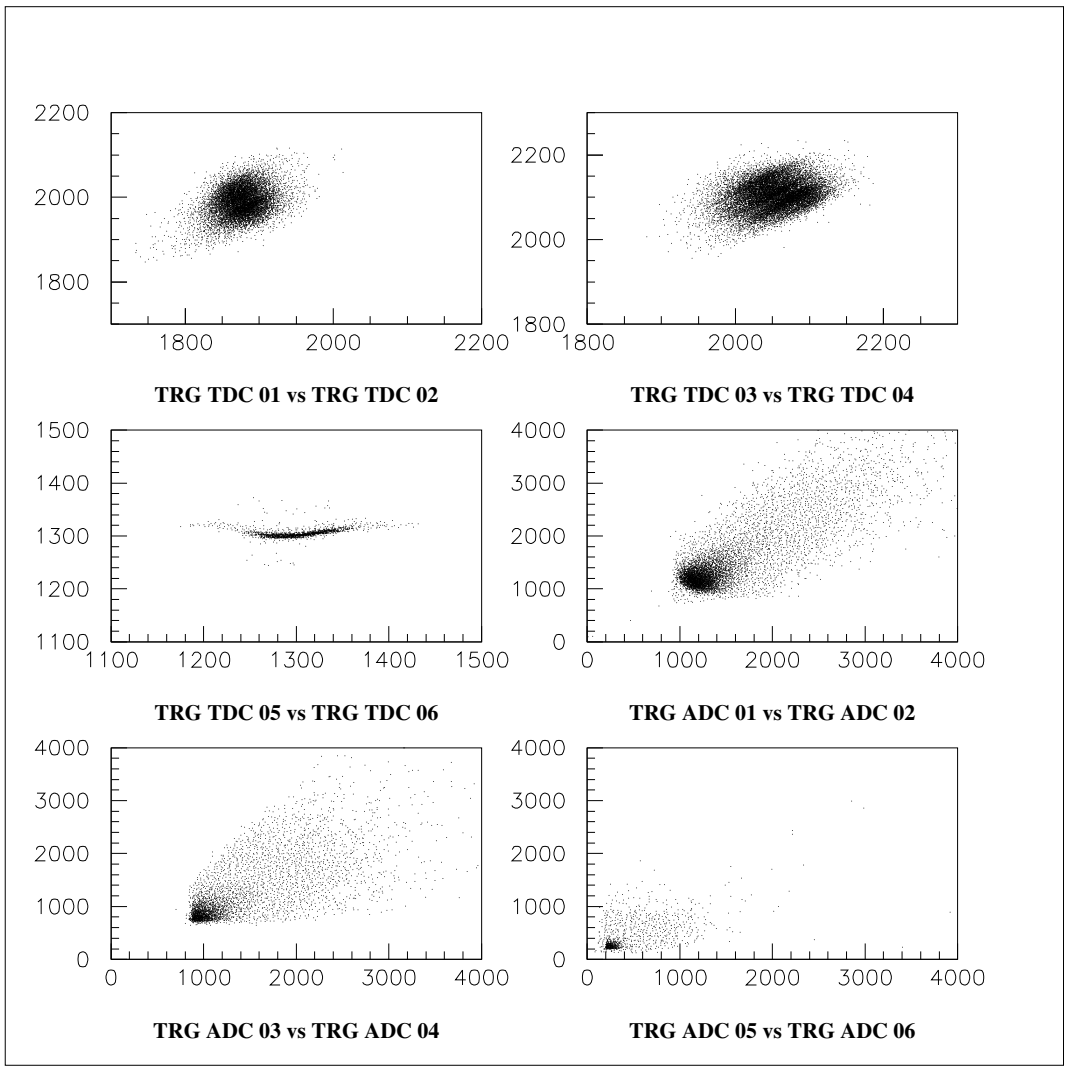

図 36: correlation 1

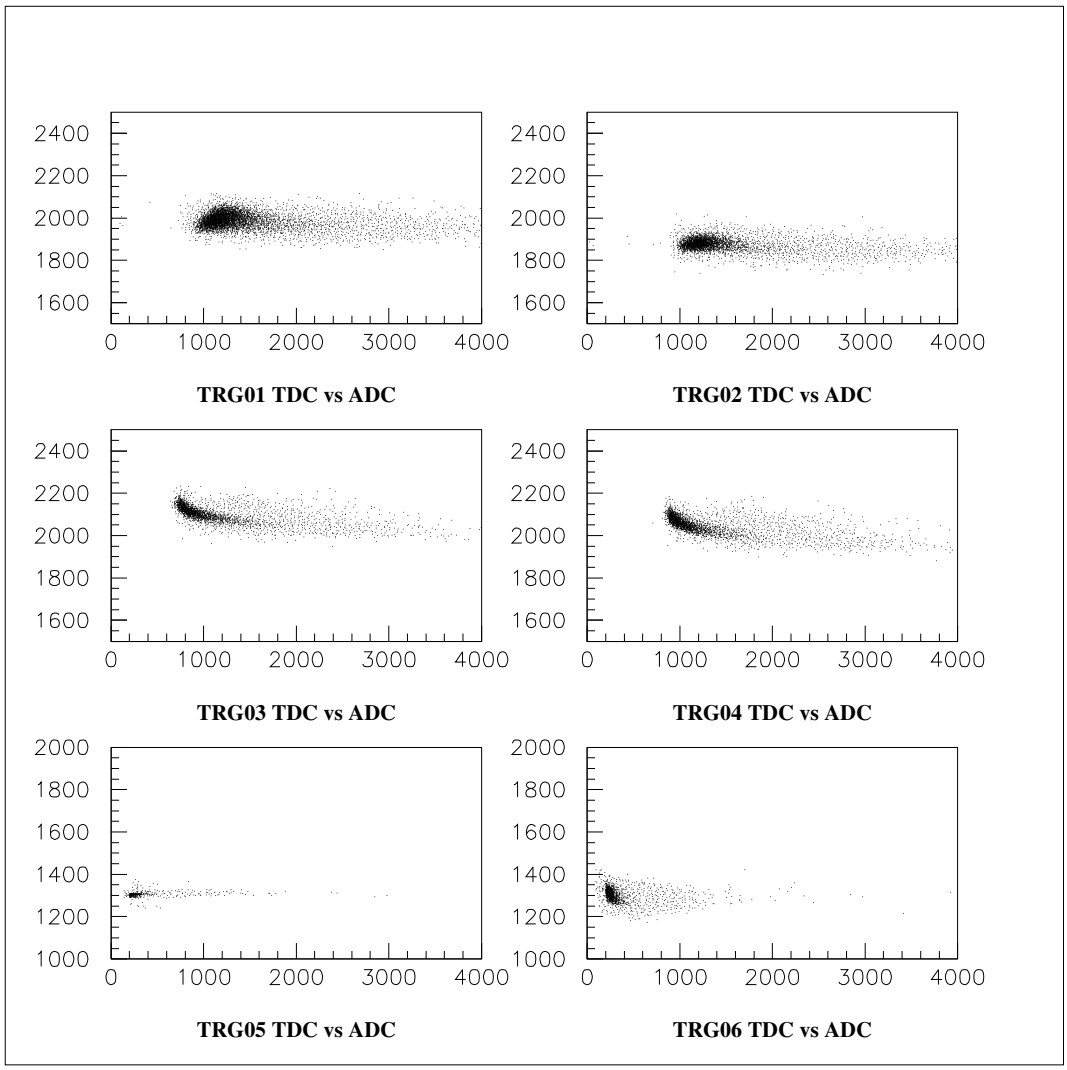

図 37: correlation 2