Beam test of calorimeter of PWO crystals between 0.2GeV and1.0GeV

橋本 朋幸

平成 10 年 10 月 26 日

今回は、高エネルギー加速器研究機構田無分室で行なわれた、PWO($PbWO_4$) クリスタルのビームテストの解析結果をまとめた。

PWO クリスタルの特性については CERN において 10GeV ~ 100GeV の高エネルギーエレクトロンで研究されてきた。今回の実験は、0.2GeV ~ 1GeV の低エネルギーエレクトロンを使い、エネルギー分解能、位置分解能について述べる。PWO の物理的な特性を表 1 に示す。

1 測定方法

今回の測定のセットアップ図を図 1 に示す。使用した PWO クリスタルは $2.0\times2.0\times20.0\text{cm}^3$で、それを 3 個ずつ 3 段に重ねた。更にその 9 本にフォトマルをつけてアルミのケースに入れ、x 方向にスクロールする台の上にセットした。この台は、ビームをできるだけ正確にクリスタルに入射させるために使用した。y 方向にはリフトを使って移動させ、x 方向にはそのスクロール台を使って移動させることができた。

フォドスコープは、厚さ 3mm、幅 2mm、長さ 20mm のシンチが 8 本ずつ x と y 方向に並べてある。更に、図には描いてないが前方約 3m の所に、4.0cm×4.0cm×5mm のシンチレータがトリガー用としてセットされてある。

ビームエネルギーは、1GeV、0.8GeV、0.6GeV、0.4GeV、0.2GeV で測定を行ない、キャリブレーションは 1GeV で行なった。

Data taking system については、去年の卒業生である坂本さんの論文を参照せよ。取ったデータとしては、ADC9 チャンネルと coincidence16 チャンネルである。

表 1: PWO クリスタルの特性

density[g/cm^3]	Radiation length[cm]	Moliere Radius[cm]	Refractiv index
8.28	0.87	2.19	2.16

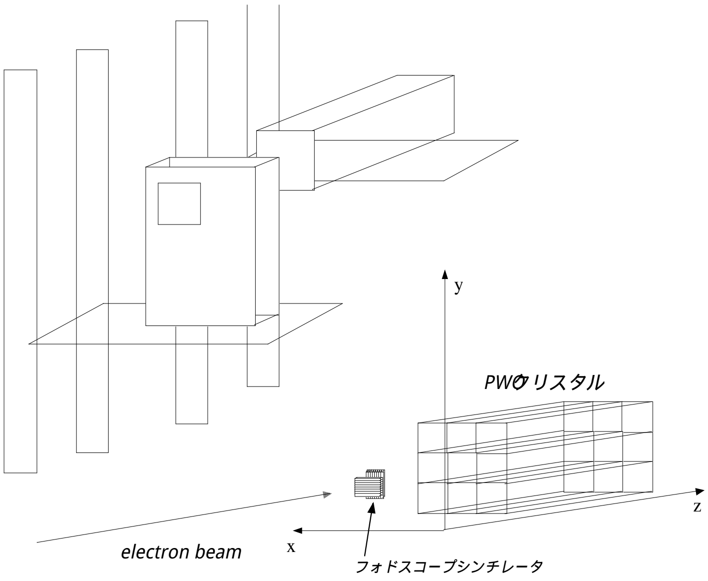

図 1: KEK 田無分室における PWO ビーム テストのセットアップ図

2 解析結果

解析するための簡単なプログラムを新潟大学大学院 D1 の坂本さんに書いて頂いた。それを、自分なりに書き換えて使用した。

2.1 キャリブレーション

raw Data をそのまま PAW で表示したものを図 2 に示す。各クリスタルに 1GeV のエレクトロンを入射させ、それぞれのデータからそれぞれの Pedestal チャンネルを引き、ピーク値を 1GeV としてチャンネル当たりのエネルギーを計算し、エネルギーで Data を表示してやる。

イテレーションは、1GeV で行なった。イテレーションと言うのは、1GeV のビームを 9 本のクリスタルの真中に入射させ、各クリスタルで Diposit したエネルギーの総和が 1GeV にくるようにし、そのときの Factor を各クリスタルの Diposit 量に掛けてやることである。各エネルギーと peak チャンネルとの関係を図 3 に示す。

2.2 Energy Resolution

図 3 を見てみると、1GeV 以降のエネルギーでは数十 MeV ほど大きい peak 値となっていることがわかる。これは 1GeV のビームが入射すると、後方や周りへのエネルギーの漏れが大きいためにチャンネル当たりのエネルギーの値が大きくなるためと思われる。

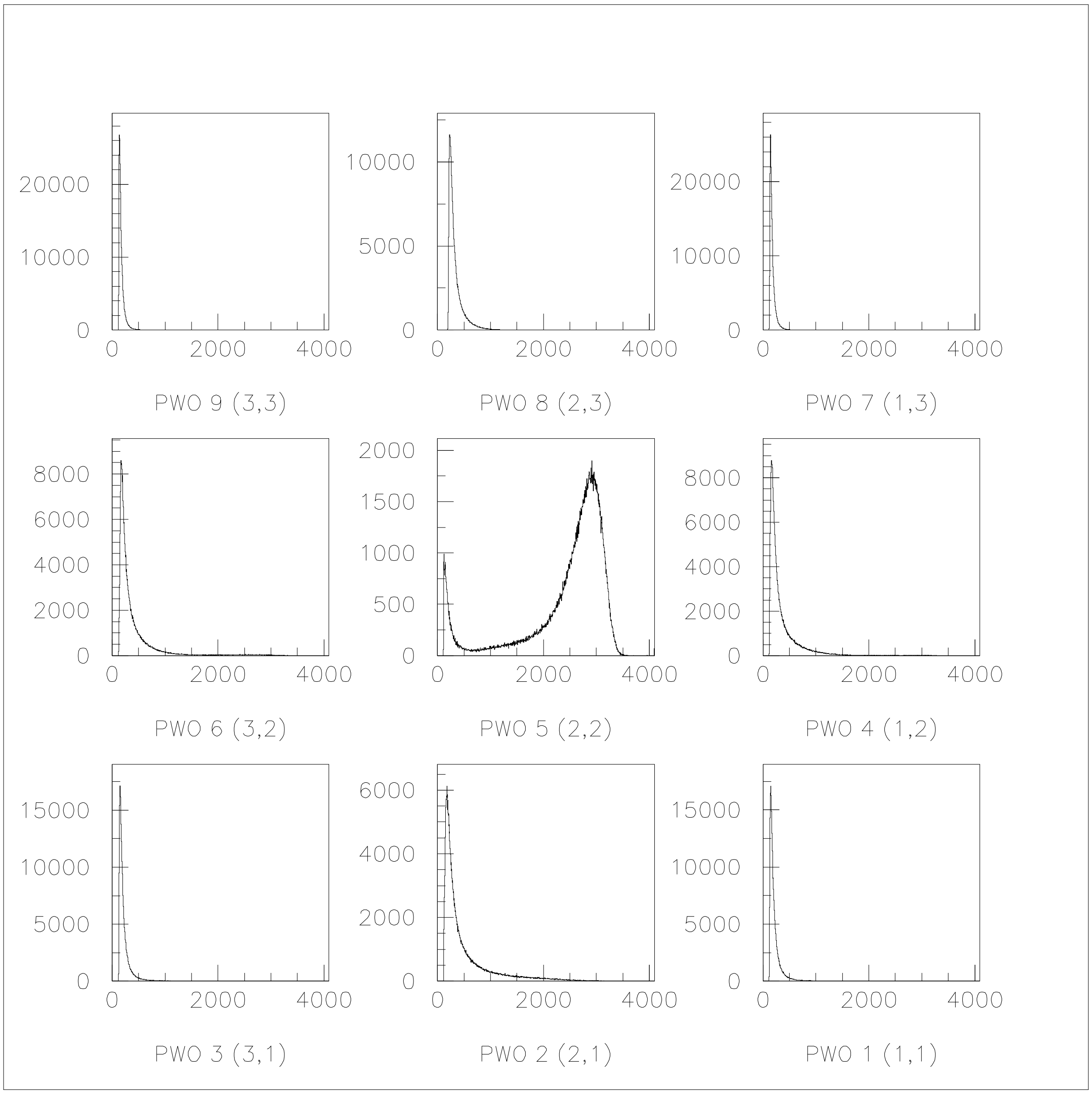

図 2: 真中のクリスタルに 1GeV のエレクトロンが入射した時の rawdata をそのまま PWO で表示したグラフ。

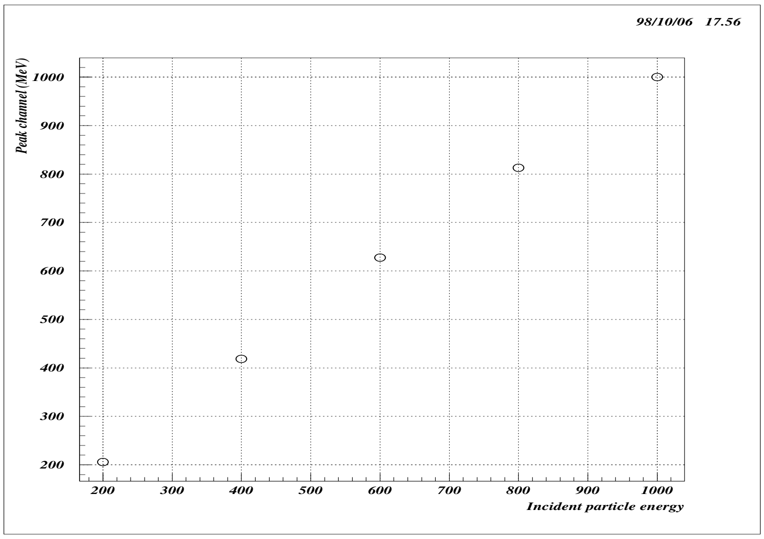

図 3: itaration 後の各エネルギーのピーク値

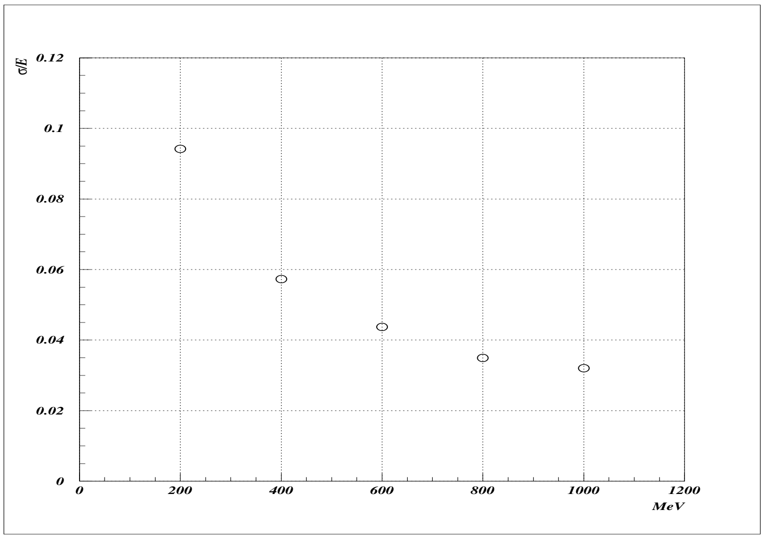

図 4: 各エネルギーにおける resolution

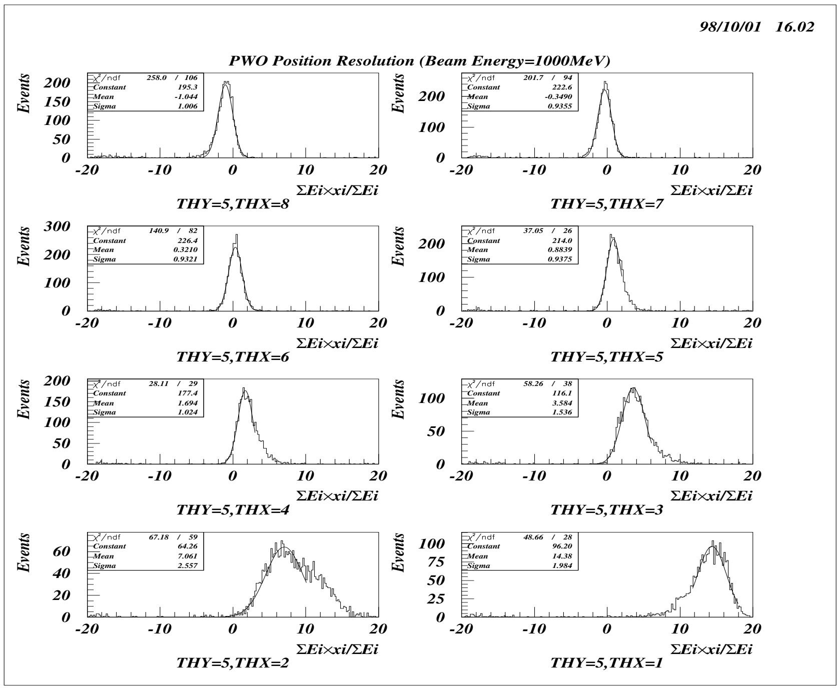

図 5: 1GeV の時のビームのエネルギー重心の分布をしめしている。この図のフィティング関数はガウス関数である。また各グラフのタイトル中の THY、THX はそれぞれ y 方向、x 方向のフォドスコープを表している。この図の THX=2 のグラフは、我々の計算によれば、ちょうど真中のクリスタルと隣のクリスタルの間ある時のデータを示しており、THX=1、2 については正しいエネルギー重心を示していないと思われる。

これらの結果から、各エネルギーでの分解能を計算することができる。エネルギー分解能を図 4 に示す。1GeV の時で 3%ほどになったが、この値は CERN の実験値とだいたい一致している。

2.3 Position Resolution

次に位置分解能についてであるが、x 方向についてだけ考えることにする。計算方法としては、x 方向のフォドスコープ 1 枚 1 枚にエレクトロンが入射したときのエネルギー重心の分布 (図 5 参照) をつくる。この図より、入射位置とエネルギー重心との関係が図 6 のようになることが分かる。この図の x 方向のエラーバーは、y 方向の sigma でフィティング関数から見積もられる x の広がりである。これらのことを、0.8GeV、0.6GeV、0.4GeV、0.2GeV についても行なった。これらの結果は最後のページに示してある。

更に、図 7 は、ビームエネルギー 1GeV の時の入射位置とそのときの誤差について示してある。他のエネルギーの場合については、最後のページに載せておいた。

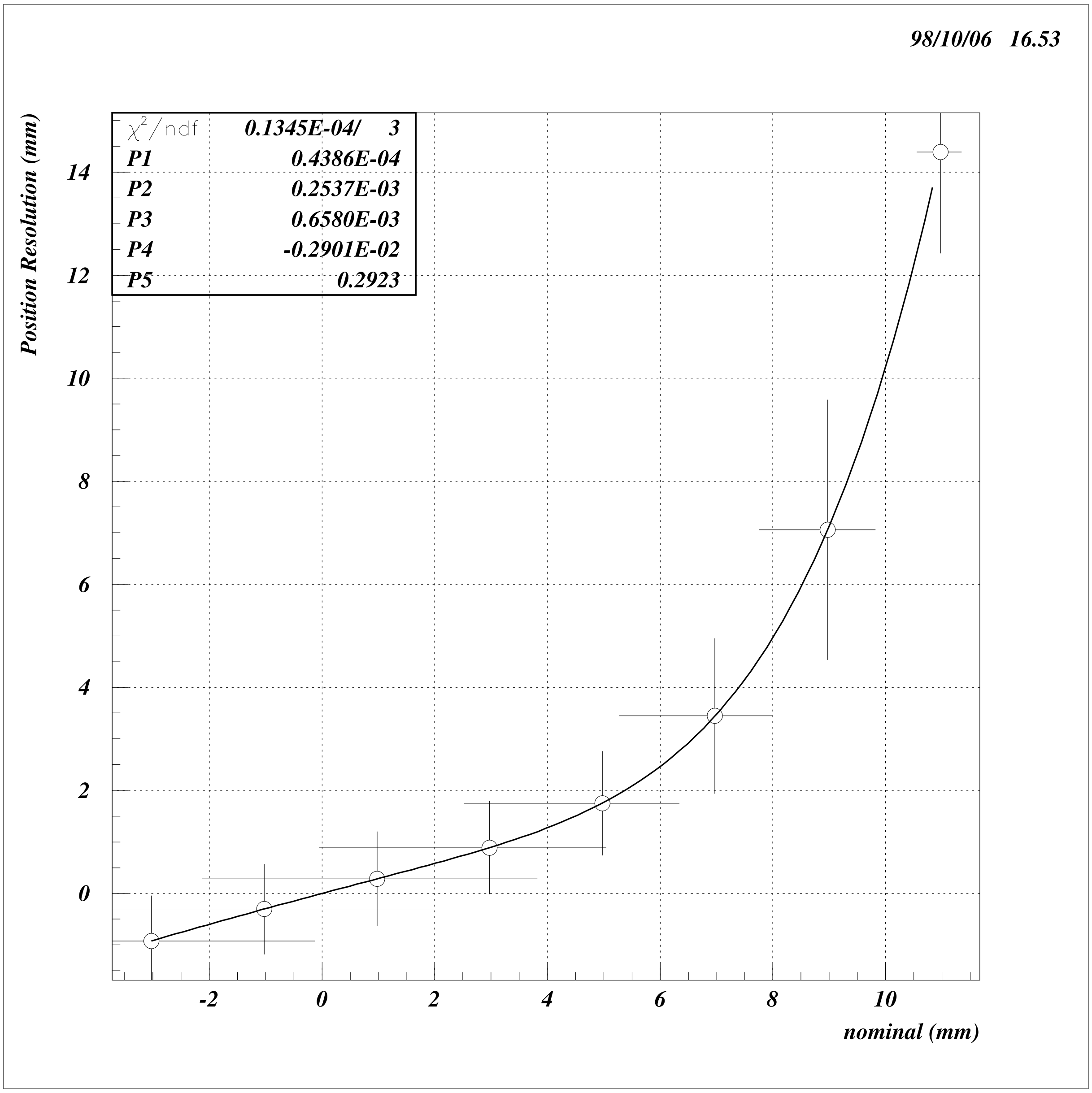

図 6: 1GeV における入射位置とエネルギー重心との関係 (この図では 5 次関数をフィッティング関数として用いた。図のパラメータについては、上から順番に高次の係数を表している。実際は関数上に点はのらなかったが、故意に関数上に点を移動させそこ点での誤差を表示させるようにしてある。y 方向のエラーバーは図 5 でフィットさせた関数の sigma を表しており、x 方向は y 方向のエラーバーのフィッティング関数から見積もられる x の広がりである。)

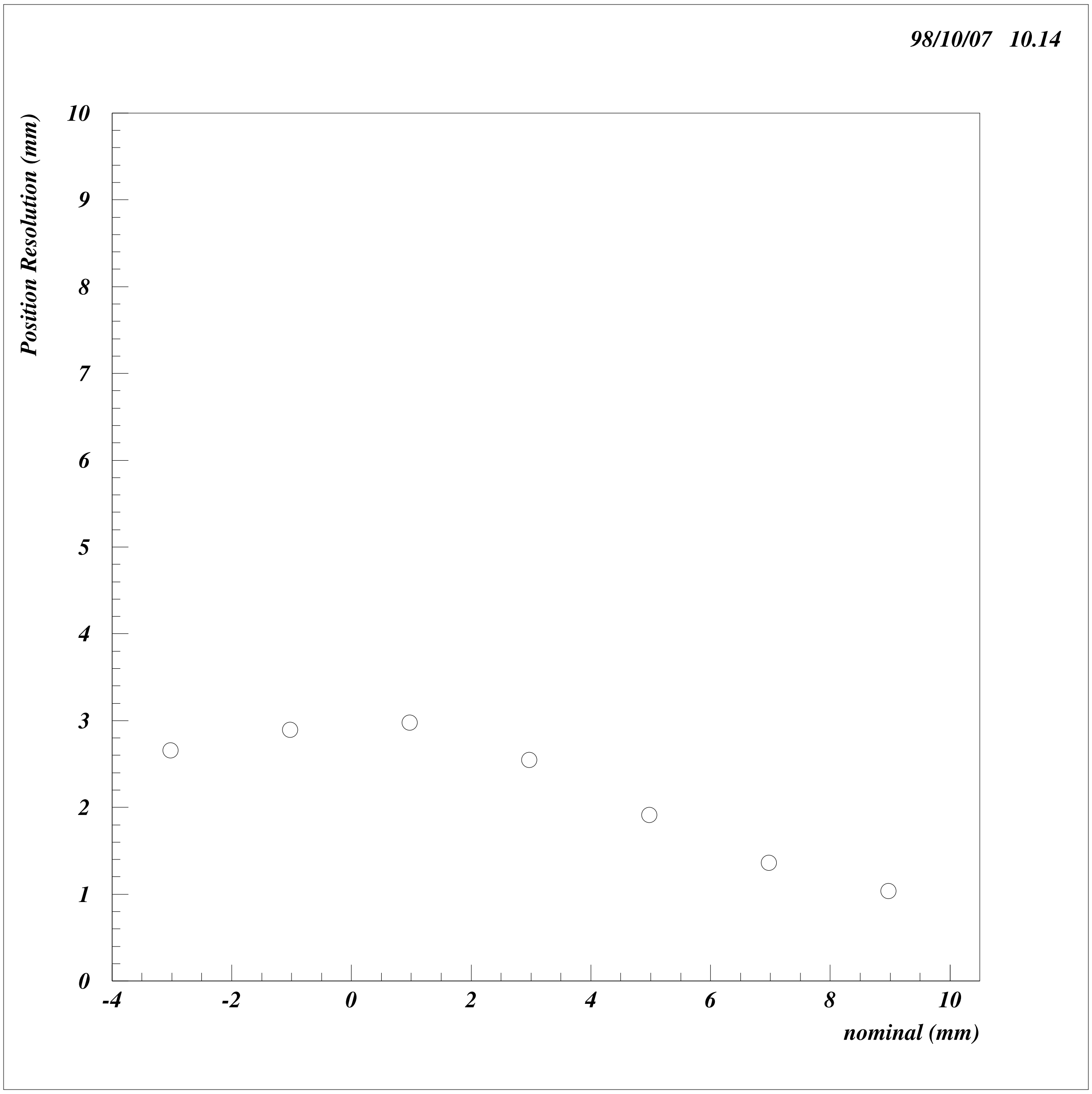

図 7: 入射エネルギーが 1GeV の時の入射位置とその時の誤差との関係を示している。誤差は、図 6 中の x 方向のエラーバーの端から端までの $1/2$ で表している。

3 考察

エネルギー分解能は、$1/E$ でよくなって行きこの傾向は、更に高いエネルギーに置いても同じような傾向を示すと思われる。このことについては、EGS4 モンテカルロコードにおけるシミュレーションにおいても、同じような傾向が現れた。しかし、EGS4 はシンチレーション光やフォトエレクトロン等の、統計的な誤差が含まれていないためもっとよい分解能を示している。

位置分解能については、エネルギーが高ければ高いほどよくなり、クリスタルの中心付近よりも境界に近いとこで分解能がよくなっている。ただし、図 6 と最後のページに載せた各エネルギーの時の図を比べて見れば分かるとうり、エネルギー重心が入射位置と共にエネルギーが低くなるにしたがって移動しなくなるため、y 方向のエラーバーのちょっとした違いで、x 方向の誤差が急激に変化する。そのため、図 7 における位置分解能は低エネルギーで不正確になっていくとおもわれる。

今回は、EGS4 シミュレーションとの比較も行なってみた。図 8 は、入射位置とエネルギー重心との関係を示した図である。曲線の方が、egs4 で得られたデータにフィットさせた関数でプロットした方がデータである。クリスタルの境界に近い所でデータとずれがあるが、これは図 5 の THX=1、2 の時のフィティングによる誤差と考えられる。この図より、位置分解能については、egs4simuletion と実験データの間に非常に正確な一致が見られた。

このことより、egs4simulation が位置分解能の測定において、大変有効なシミュレーションであることが予想される。

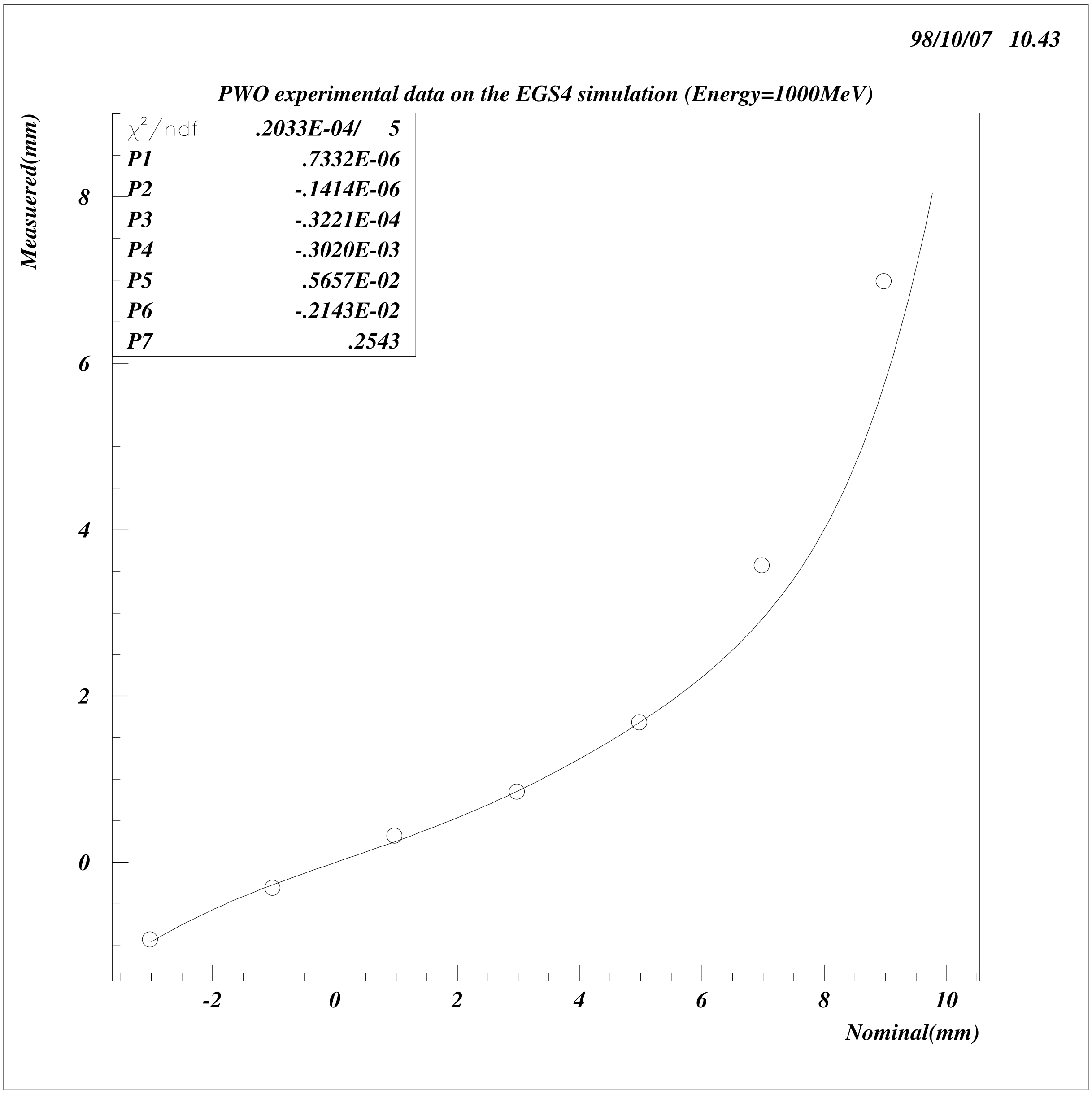

図 8: 実験データと EGS4simulation データとの比較。曲線の方は、egs4 でシミュレーションしたデータにフィットさせた関数で、点の方は実験データである。