EGS4によるBSO、PWOシミュレーションのまとめ

橋本 朋幸

平成10 年 9 月 18 日

1 目的

BSO、PWO クリスタル (20cm×2cm×2cm)9 本を 3×3 に並べ、真中のクリスタルの中心に 1000MeV の γ 線を入射させ、そのときの各クリスタルでの Deposit したエネルギーを計算しエネルギー分解能と位置分解能をシミュレーションする。

更に BSO クリスタルについては、一辺が 2cm のほか、4cm、3cm においても計算する。BSO、PWO のクリスタル特性を表 1 に示す。

2 方法

EGS4 のプログラムは mortran と言う言語で書いてあり、EGS4 を実行する時は mortran を fortran に変換して実行している。EGS4 はさまざまな物理法則が組み込んである egs4.mortran と、入射するエネルギーや位置また Detector の形などが組み込んである user code、そして Detector に組み込む物質データをリンクさせて実行する。egs4.mortran は普通は何も書き換える必要はなくそのままリンクさせる。物質データは pegs4 という物質データをつくるプログラムで欲しいデータを書式に従って書き実行させて作る。このときに物質中での electron と photon の Cut Off Energy を決めてやる。詳しいことについては、ここでは述べないことにする。

user code ははじめからある sample user code を自分が欲しいデータが出力されるようにかきかえる。今回使用した sample code は ucnai4p.mor で、3-Demensional Cartesian Geometry である。この code は 3 次元の立方体構造が組め、今回の目的に最も適していると思われる。今回組んだ構造を図 1 に示す。

R1、R2... はプログラムで決めた各クリスタルの位置で、R6 に 1000MeV のγを面に垂直に入射

表 1: クリスタルの特性

	BSO	PWO
desity(g/cm^3)	6.80	8.2
radiation lenght(cm)	1.15	0.92

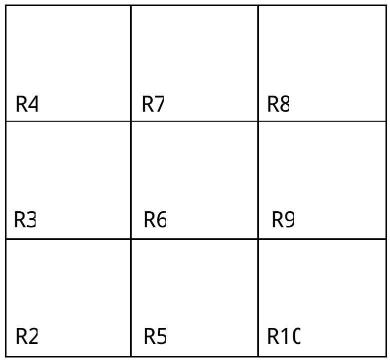

図 1: set up

させる。それから EGS では定義した region から粒子が抜けるとそこで粒子の追跡をやめ、抜けた面の外側の領域に吸収されたとして計算される。

3 結果と考察

まず始めに、Cut Off Energy の影響についてシュミレーションした。結果を図 2 に示す。Cut Off Energy の最低は electron、photon 共に 10keV である。まず両方の Cut Off Energy を 10keV にして、その時の各 Region での Deposit Spectrum を基準にする。その後、Cut Off Energy を 100keV、1MeV、10MeV に設定した時の Spectrum と比較した。

次に、electron と photon それぞれの Cut Off Energy による Spectrum への影響について調べてみた。図 2 と図 3 を見ててみると、photon の Cut Off Energy の違いが Spectrum に影響を及ぼしていることが分かる。これは photon が electron に比べて物質との相互作用を起こしにくいため、同じエネルギーでも photon の方が物質中での移動距離が長いためである。

これらのデータから、Cut Off Energy を 100keV に設定してもさほど結果が変わらないことが分かった。よって、今後のシミュレーションの Cut Off Energy を 100keV に設定して実行する。そうすることで、大幅に計算時間が短縮されるからである。

次に BSO クリスタルのエネルギー分解能を図 4 に示す。この図は 9 本のクリスタルすべての Diposit 量の和の Energy Spectrum を示している。

この結果から BSO の分解能が 20cm×2cm×2cm で 2.16% となった。実験ではこれにシンチレーション光による統計誤差がはいる。例えばこの BSO で一つの入射 γ から 10000 コのシンチレーション光のデータをとったとすれば、統計誤差は 1% となるから、どんなに良くても 2.38% 以下の分解能しか得られないと予想される。

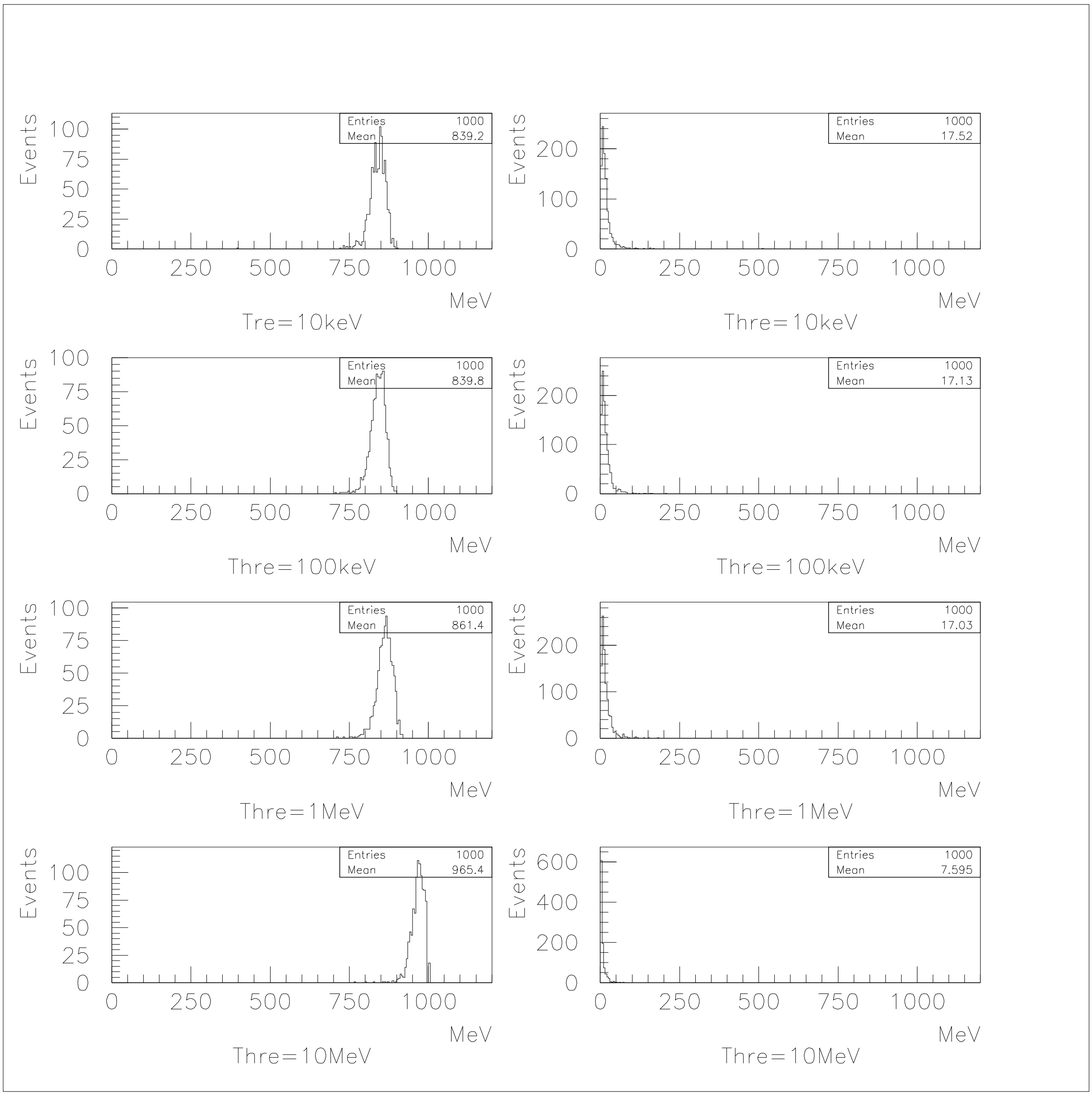

図 2: Cut Off Energy の違いによる R6 クリスタルとその後方

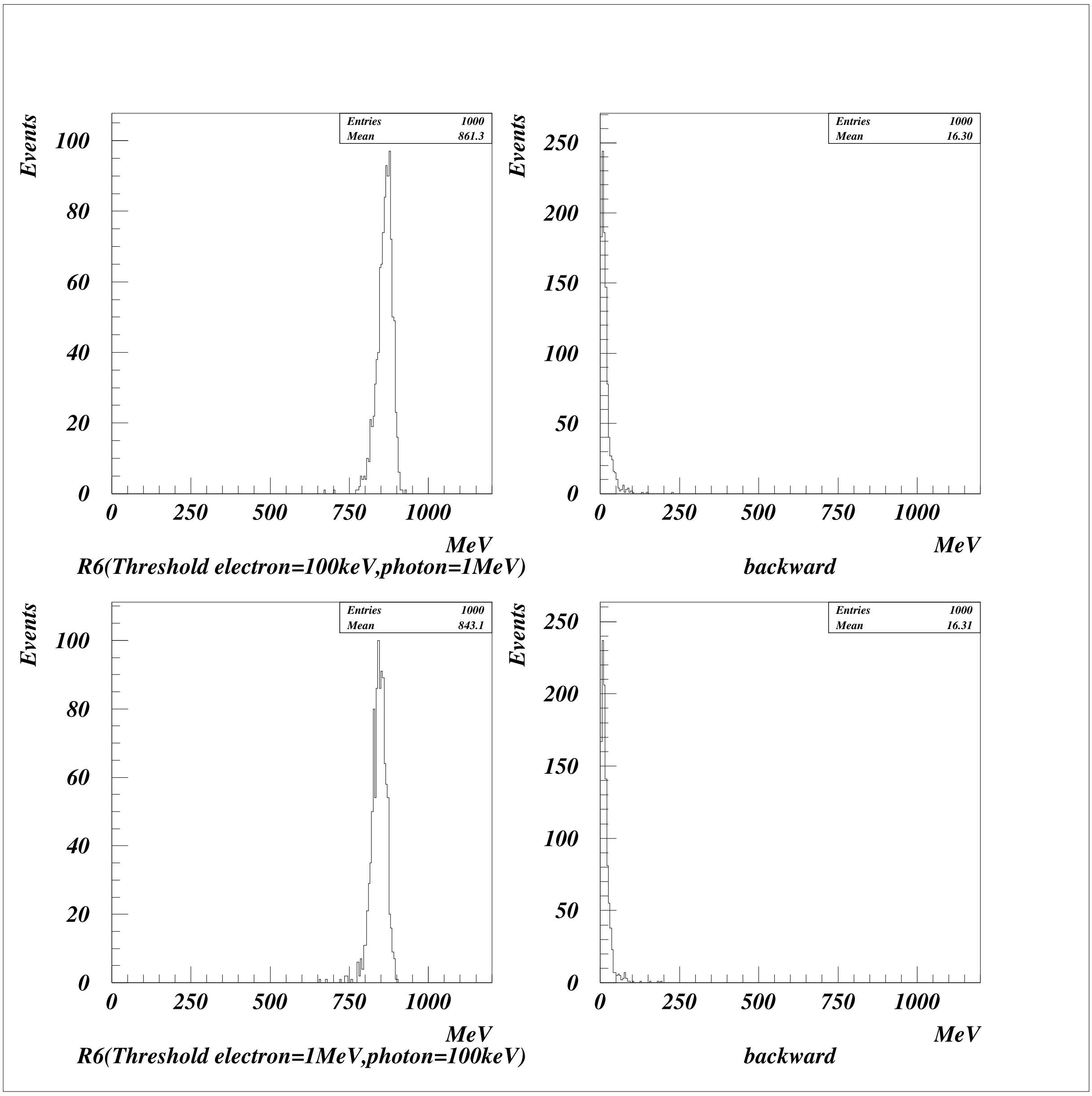

図 3: electron と photon の Cut Off Energy の違いによる影響

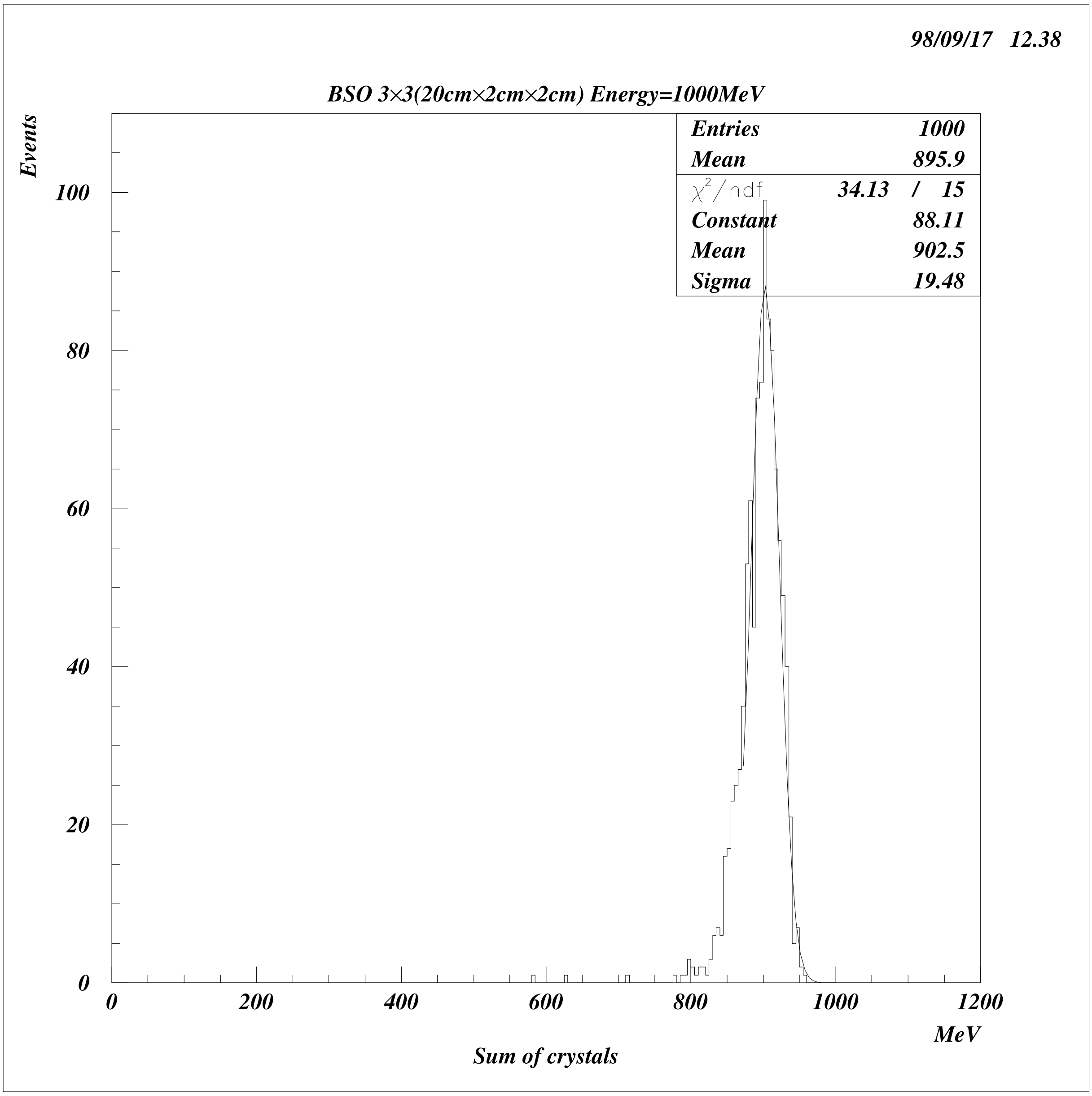

図 4: BSO クリスタル 9 本のエネルギー分解能

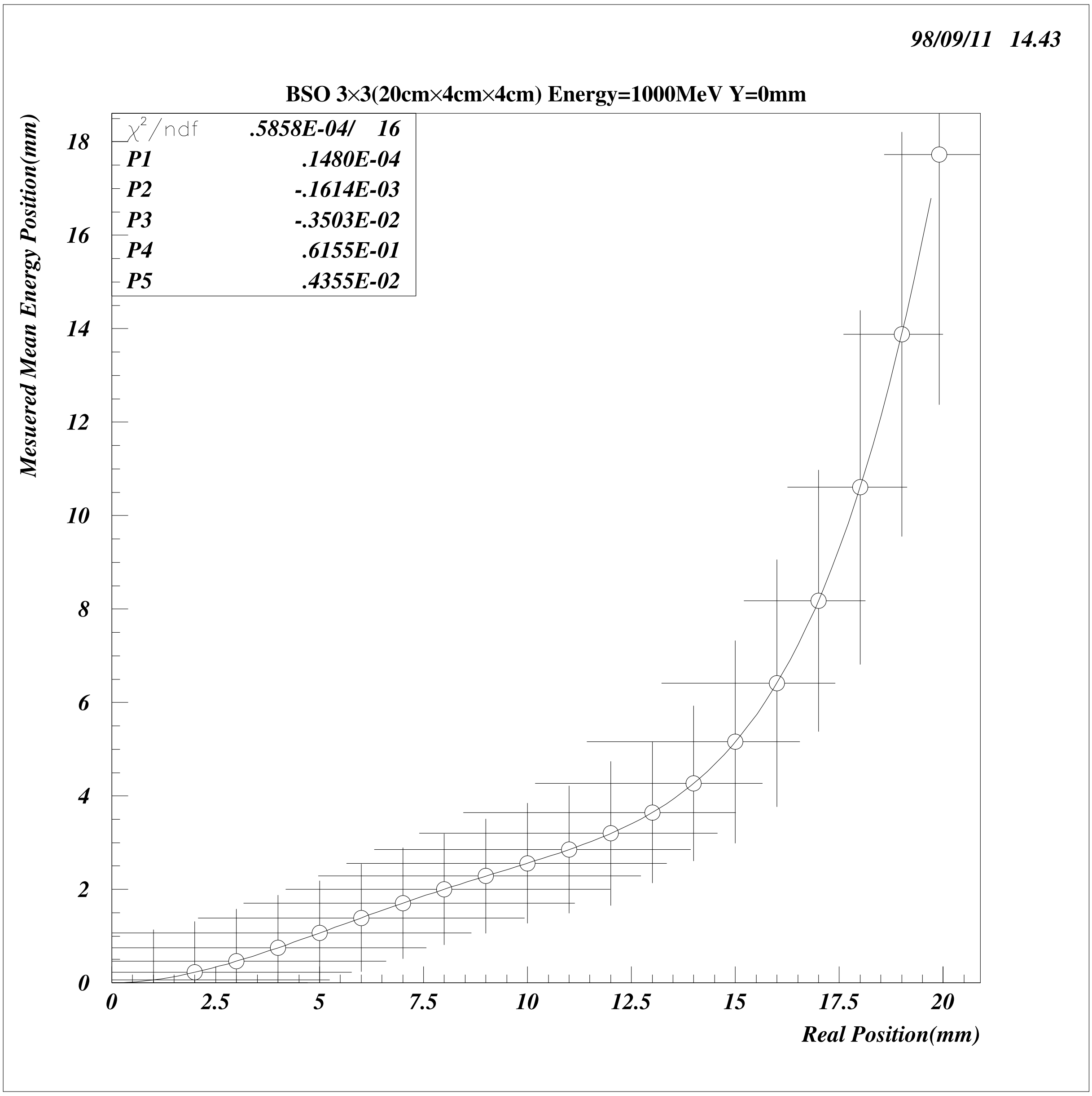

図 5: BSO クリスタル 9 本の位置分解能 (4cm×4cm)

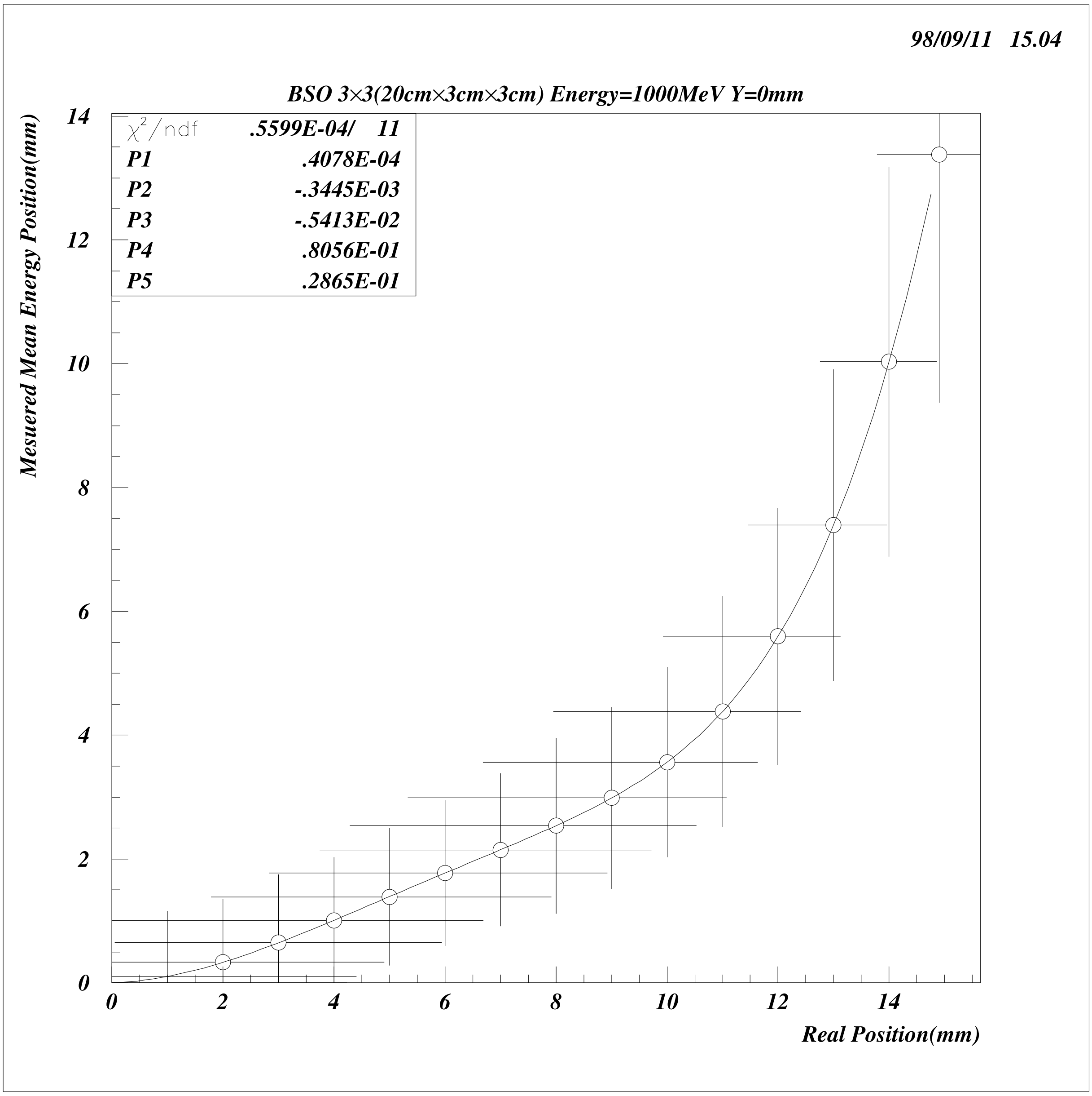
98/09/11 15.04
BSO 3×3(20cm×3cm×3cm) Energy=1000MeV Y=0mm
χ²/ndf .5599E-04/ 11
P1 .4078E-04
P2 -.3445E-03
P3 -.5413E-02
P4 .8056E-01
P5 .2865E-01
Mesuered Mean Energy Position(mm)
Real Position(mm)
0
2
4
6
8
10
12
14

図 6: 3cm×3cm

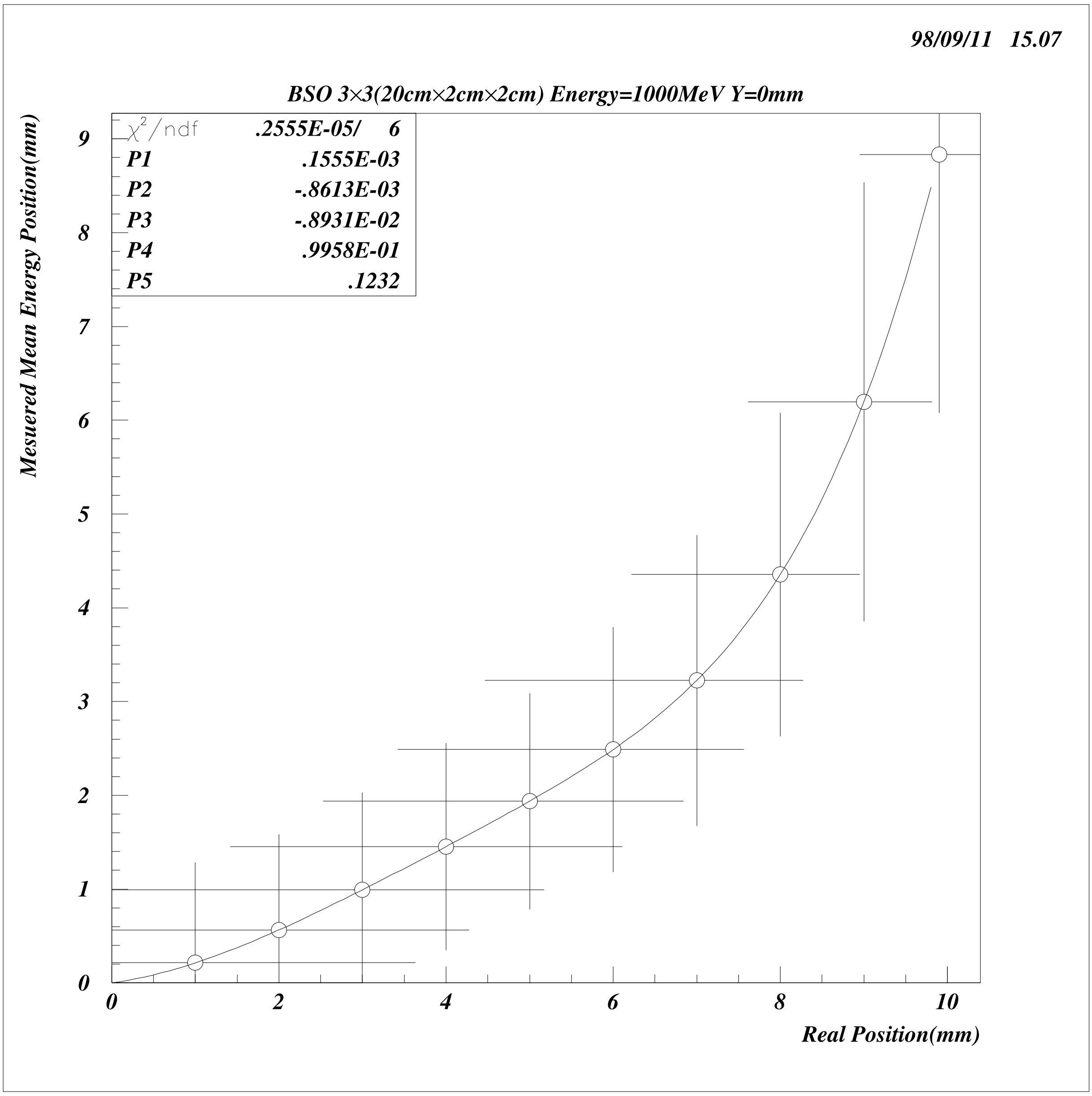
98/09/11 15.07
BSO 3×3(20cm×2cm×2cm) Energy=1000MeV Y=0mm
χ²/ndf .2555E-05/ 6
P1 .1555E-03
P2 -.8613E-03
P3 -.8931E-02
P4 .9958E-01
P5 .1232
Mesuered Mean Energy Position(mm)
Real Position(mm)
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10

図 7: 2cm×2cm

次に位置分解能についての測定を行なった。測定方法は 9 本のクリスタルの Energy Spectrum からエネルギー重心を計算し入射位置との関係をみる。入射位置を R6 の中心 (原点) から 1mm ずつ x 方向にずらして行った時のエネルギー重心を計算しプロットさせ、Gauss 関数でフィットさせたものと実際の入射位置の関係を調べた。図 5 に結果を示す。フィッティング関数は 5 次関数でパラメータの P1、P2、P3、... は順番に x^5、x^4... の係数である。

各点でのエラーバーについては、y 方向がエネルギー重心にフィットさせた時の σ で、 x 方向はその σ 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。クリスタルの縦と横が 2cm、と 3cm の場合の時の結果も図 6、図 7 に示す。

これらの結果を考えててみると、入射位置とエネルギー重心の関係は直線的では無く、入射位置の同じ移動度に対するエネルギー重心の移動度の割合は中心付近ではなだらかで、クリスタルの端の方では、急速に増加する。これは中心付近と端の方とでは、入射位置のちょとのずれに対する電磁シャワーの漏れの割合が違うためである。また入射位置がクリスタルの横の長さの 4 分の 1 ずれた時に、どの程度 x の広がりがあるかを 4cm、3cm、2cm で比べて見ると、4cm の時で 4mm、3cm の時 3mm、2cm の時 2.3mm となった。ただし、この値はエラーバーの端から端までの半分の値である。更に実際の実験ではこの値よりも悪くなると思われる。

次に PWO クリスタルの結果を図 8 図 9 に示す。PWO のエネルギー分解能は、1.723% となった。BSO より分解能が良い理由は、radiation length が BSO($17X_0$) より PWO($20X_0$) の方が長いためと考えられる。位置分解能は BSO とだいたい同じである。図 10 は、図 9 のデータの x と y を交換してフィットさせた関数である。実験では各クリスタルのデータから入射位置を予測すると思われたため作成した。

今回 EGS4 のシミュレーションの結果でクリスタル中での decay の様子を絵で表してみた。その図が図 11 と図 12 である。

この図から、どのような形状のクリスタルで、どのように Shower が広がっていくのかを見ることができる。

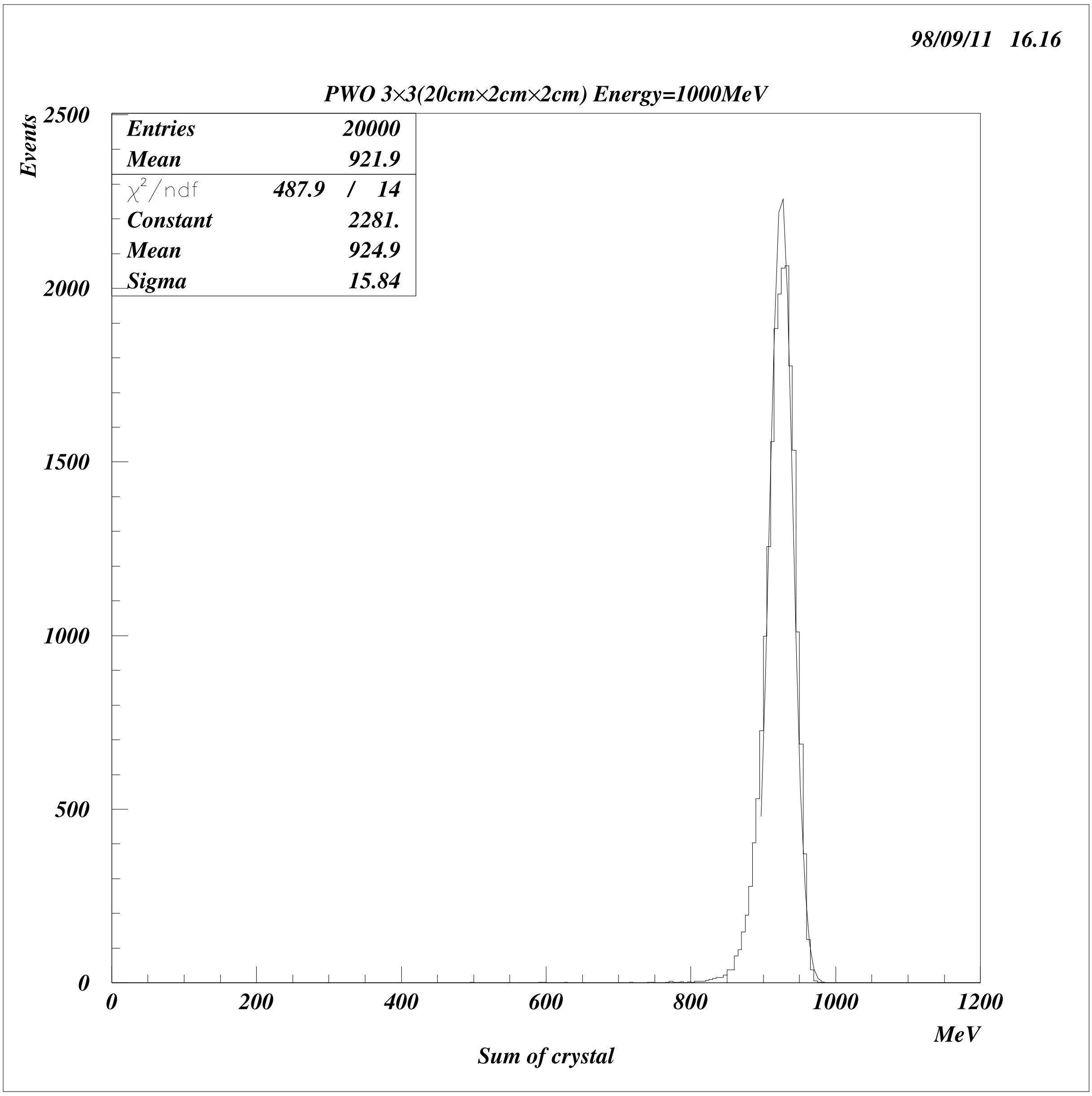

図 8: PWO クリスタル 9 本のエネルギー分解能

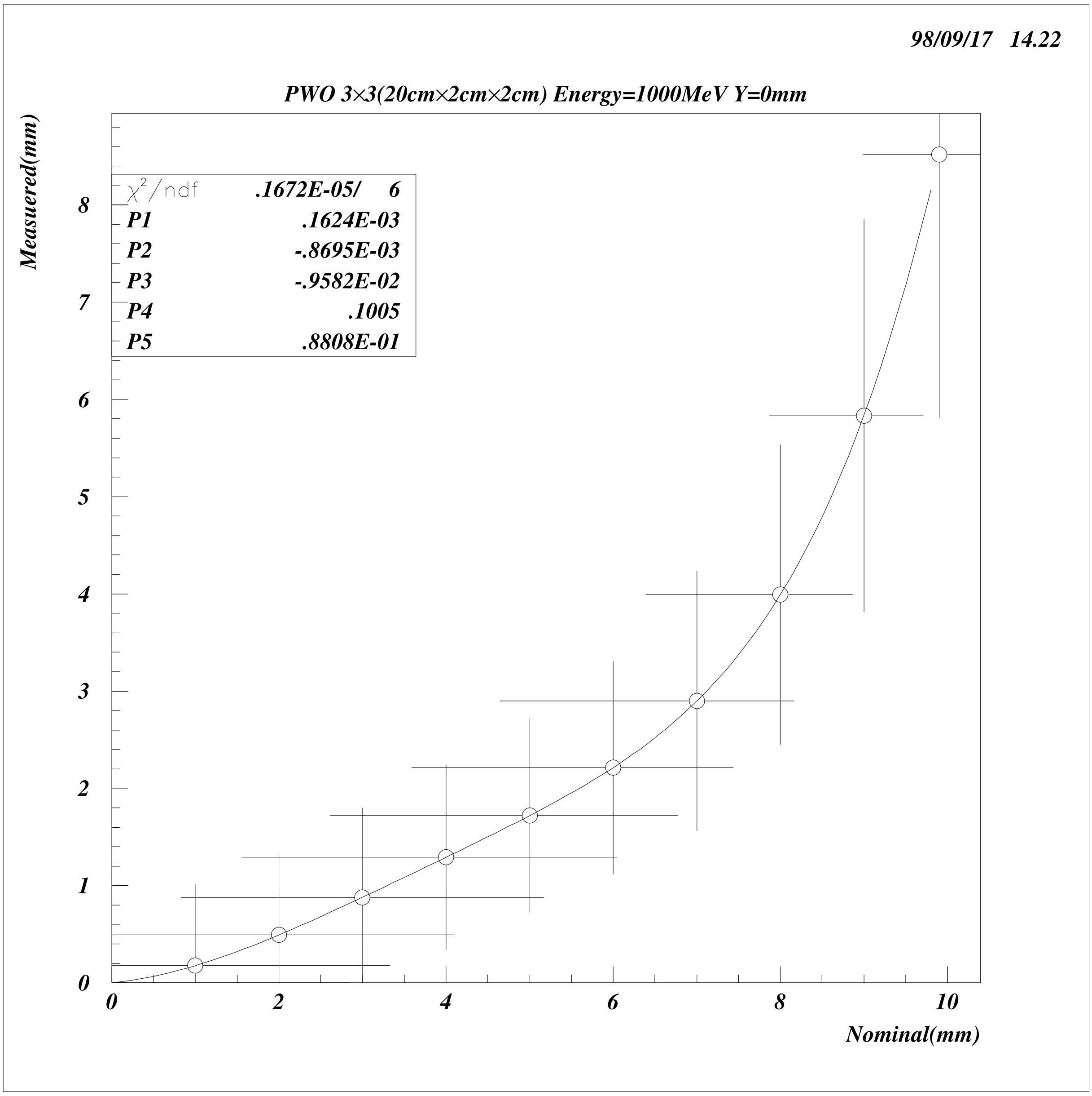

図 9: PWO クリスタルの位置分解能

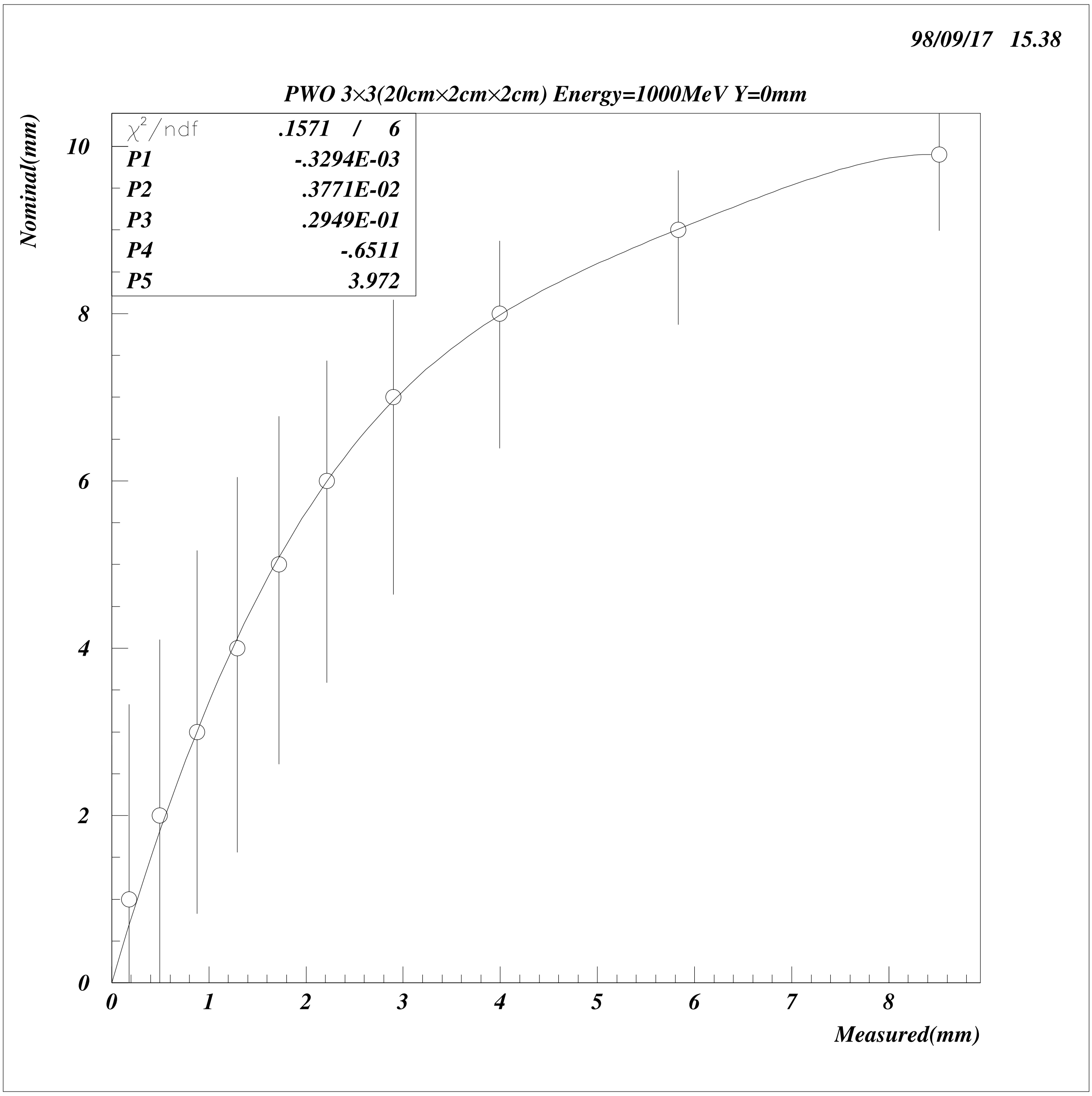
98/09/17 15.38
PWO 3×3(20cm×2cm×2cm) Energy=1000MeV Y=0mm
χ²/ndf .1571 / 6
P1 -.3294E-03
P2 .3771E-02
P3 .2949E-01
P4 -.6511
P5 3.972
Nominal(mm)
Measured(mm)
0
2
4
6
8
10
0
1
2
3
4
5
6
7
8

図 10: 図 9 の逆関数

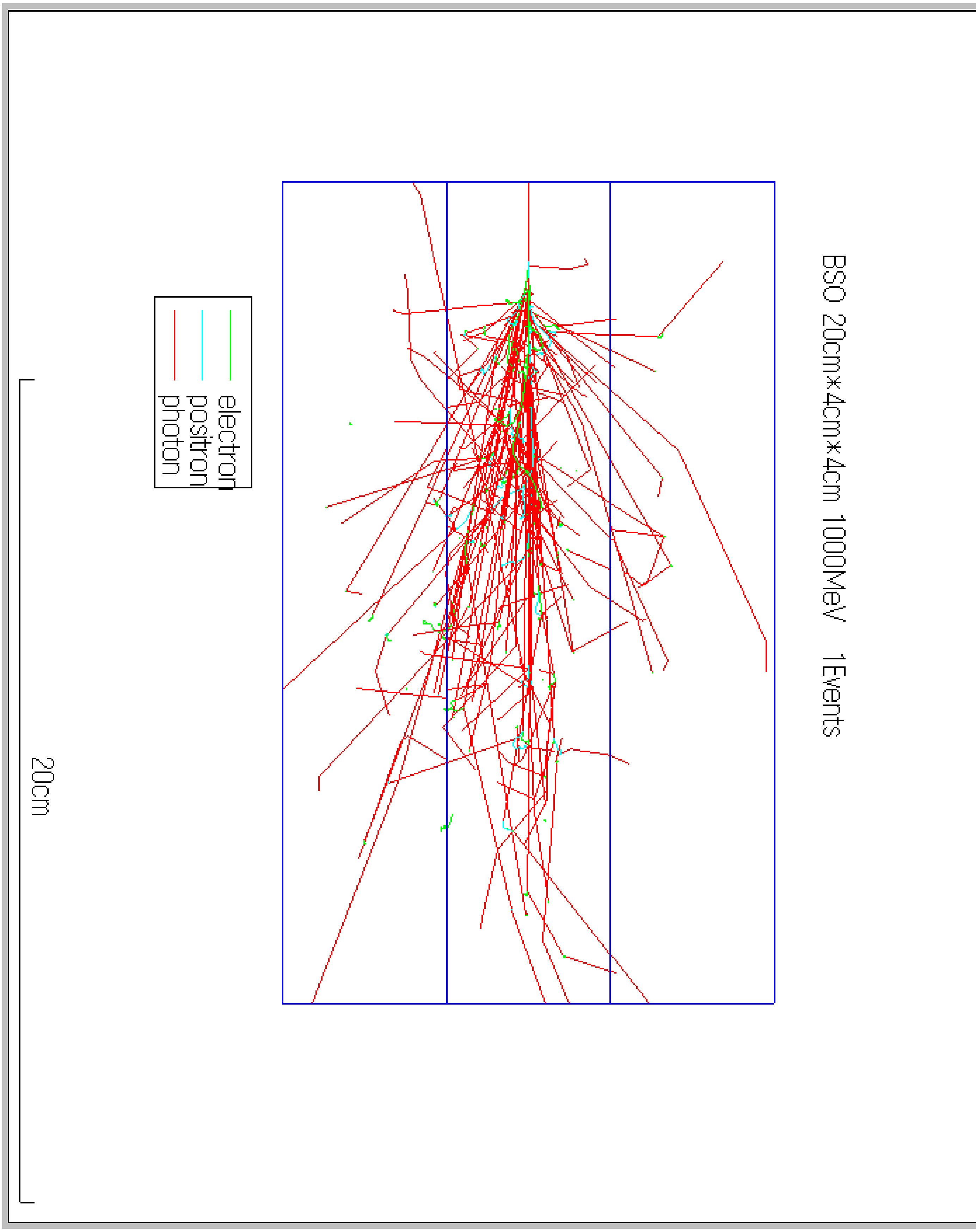

図 11: EGS4 シミュレーション画像 (横から見た図)

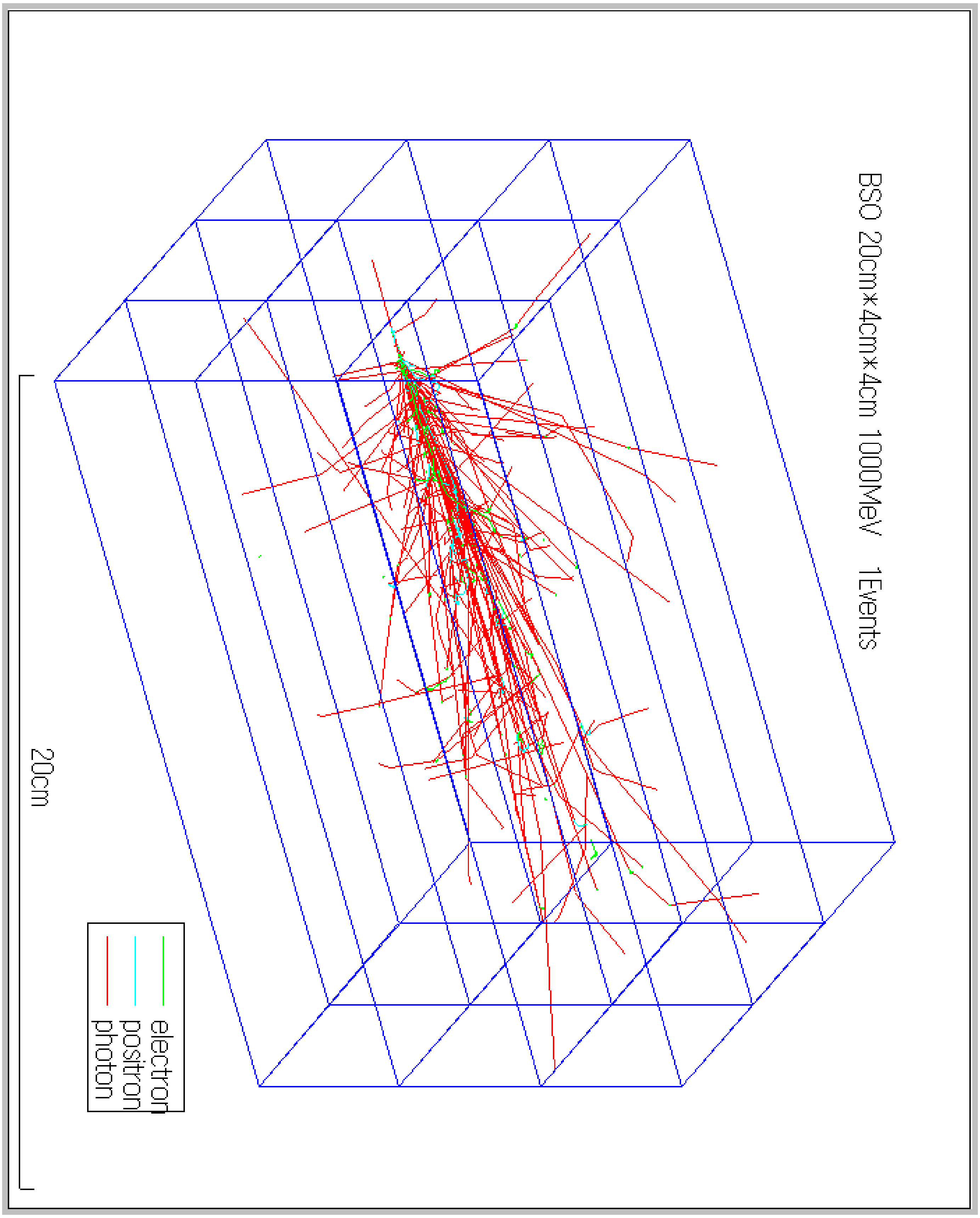

図 12: EGS4 シミュレーション画像 (斜めから見た図)