

補償型カロリメータについての研究

24 Feb 1997

電子・宇宙物理学講座 竹下研究室

加賀 志穂佳

Contents

| | | |
|----------|-------------------------------|-----------|
| 1 | はじめに | 2 |
| 2 | カロリメータ | 2 |
| 2.1 | シミュレーションツール | 2 |
| 2.2 | JLC | 2 |
| 2.2.1 | バーテックス検出器 (VTX)、中央飛跡検出器 (CDC) | 3 |
| 2.2.2 | カロリメータ (CAL) | 4 |
| 2.3 | カロリメータ測定原理 | 5 |
| 2.3.1 | カスケード過程 | 5 |
| 2.3.2 | 測定装置 | 6 |
| 2.4 | 補償型カロリメータ | 8 |
| 3 | シミュレーション | 8 |
| 3.1 | EM CAL | 8 |
| 3.1.1 | EVENT 数の決定 | 9 |
| 3.1.2 | E_n と E_i の対応 | 10 |
| 3.2 | HAD CAL | 15 |
| 3.2.1 | EVENT 数の決定 | 15 |
| 3.2.2 | 入射エネルギーと測定されたエネルギーとの対応 | 16 |
| 4 | まとめ | 21 |
| 4.1 | カロリメータ分解能 | 21 |
| 4.2 | 今後の課題 | 23 |
| A | FULLJIM | 25 |
| B | 解析プログラム | 27 |

1 はじめに

高エネルギー物理実験の分野では、素粒子を研究するために衝突型線形加速器（linear collider）を用いて実験がおこなわれている。その実験において、高エネルギー粒子のエネルギーを測定する装置がカロリメータ（calorimeter）である。カロリメータの原理は、入射粒子にシャワー現象をおこさせて、それをシンチレーターでエネルギー情報を読み出すようになっている。そこで、今回の実験の目的は、入射したエネルギーとカロリメータが測定したエネルギーがどう対応しているかを知ることである。コンピューターシミュレーションによって、一定条件の粒子を様々なエネルギーレベルでカロリメータに入射させて、その特性を調べる。

2 カロリメータ

この章では、カロリメータとその周辺について述べる。

2.1 シミュレーションツール

今回のシミュレーションに使用したツールは、'FULL JIM' という JLC (Japan Linear Collider) の測定器用のシミュレーションツールである。これは JLC 測定器の R & D (Research & Development) のために開発されたものである。既にパッケージ化されていて、入射エネルギー・粒子の種類などの初期条件を入力すると、バンクと呼ばれるデータ情報が得られる。このバンクから必要な情報を取り出して解析を行なう。測定器のパラメータはすでに入力済である。入力されている情報は非常に基本的なことのみである。今のところこちら側でパラメータを変化させることはできていない。

2.2 JLC

JLC 計画とは：

リニアコライダーを用いて、中間質量のヒッグス粒子の探索と精密研究を目的とする計画。このような中間質量のヒッグス粒子は $e^+e^- \rightarrow ZH$ の反応で生成される。このヒッグス粒子の質量を精度よく測定するために高分解能のカロリメータが必要となる。現在は、準備段階であるが実現にむけての研究・開発が進められている。

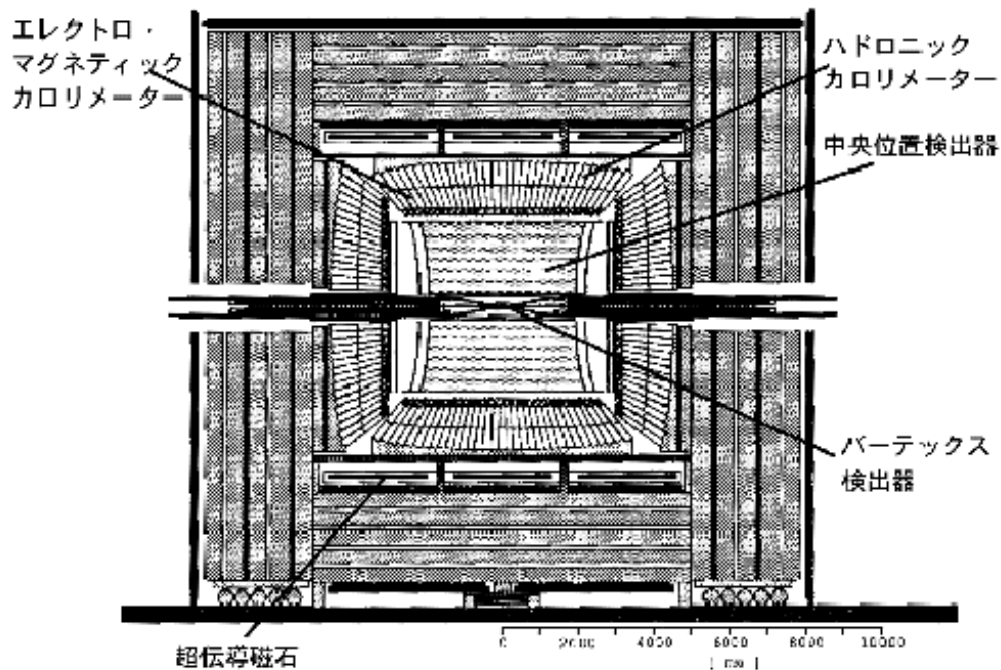


Figure 1: JLC 測定器の断面図

JLC 測定器構造：

シミュレーションに用いた JLC の測定器について説明する。JLC 測定器の断面図を図 1 にしめす。全体の体積は、ほぼ $16 \times 16 \times 16 m^3$ の立方体であり、総重量は $15,00t$ である。最外部の μ 粒子検出器を除きカロリメータを含む全ての検出器は超伝導磁石で作られる 2 テスラのソレノイド磁場中に設置されている。これは、荷電粒子の運動量を測定し、カロリメータの分解能を上げるために必要なことである。相互作用点（ビーム衝突点）に近いほうから概要を述べる。

2.2.1 バーテックス検出器 (VTX)、中央飛跡検出器 (CDC)

この二つの装置は粒子の飛跡を測定する装置である。測定器中に 2 テスラの磁場がかかっているため、その飛跡から荷電粒子の運動量を知ることができる。VTX はビーム衝突点付近

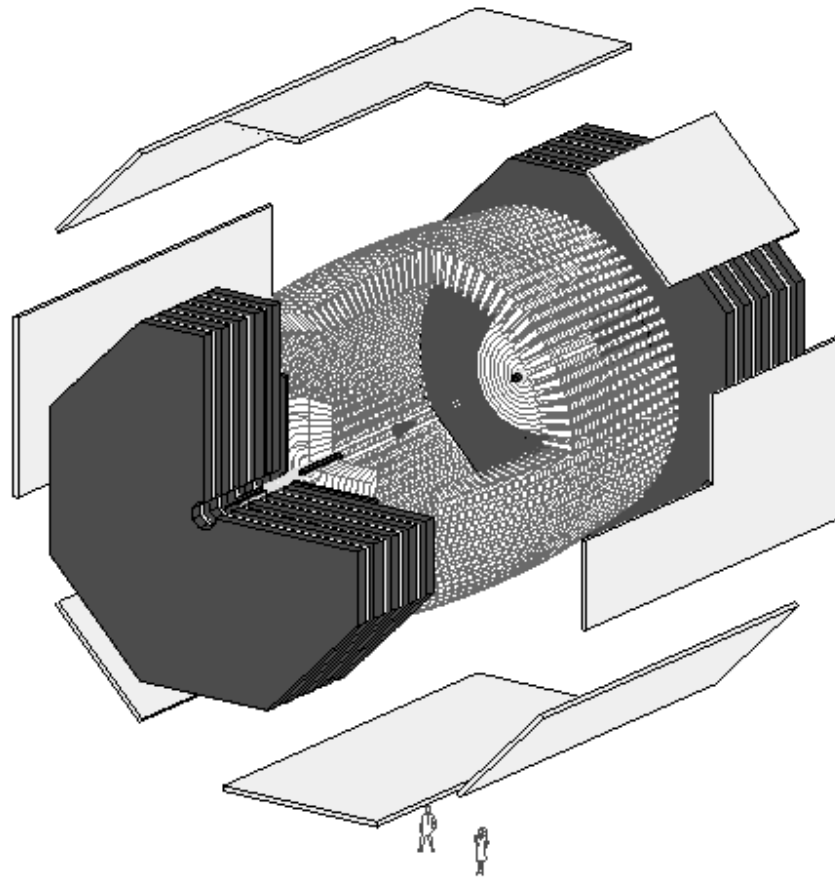


Figure 2: JLC 測定器分解図

のエネルギーの高く不安定な b クォークや c クォーク等を扱う。CDC はカロリメータのエネルギークラスターと対応させて粒子の解析を行なうために不可欠である。

2.2.2 カロリメータ (CAL)

カロリメータは一般に、入射粒子の全エネルギーを測定する装置である。図 2 に JLC の測定器の分解図を示す。中央部の円筒状のバレル部と、それに蓋をするようになっているエンドキャップ部からなっている。また、カロリメータは相互作用点に向くタワー構造をもっている。バレル部・エンドキャップ部ともに、2,500 本のタワーにより構成されている。さらに、電子を測定する部分：Electromagnetic CAL (EM CAL) とハドロンを測定する部分：Hadron CAL (HAD CAL) に分かれている。これは、電子とハドロンが異なるシャワー構造を持つためである。

2.3 カロリメータ測定原理

前述したようにカロリメータは粒子のエネルギーを測定する装置である。高エネルギー粒子が物質中へはいると、連鎖的に相互作用してシャワー現象を起こす。このシャワー現象をカスケード過程という。これを利用して、シンチレーターでエネルギー情報を読み出すようになっている。粒子の種類によって、シャワー形状が異なるので粒子を区別でき、荷電粒子だけでなく中性子や光子などの中性粒子の位置とエネルギーを知ることができるという特徴を持っている。

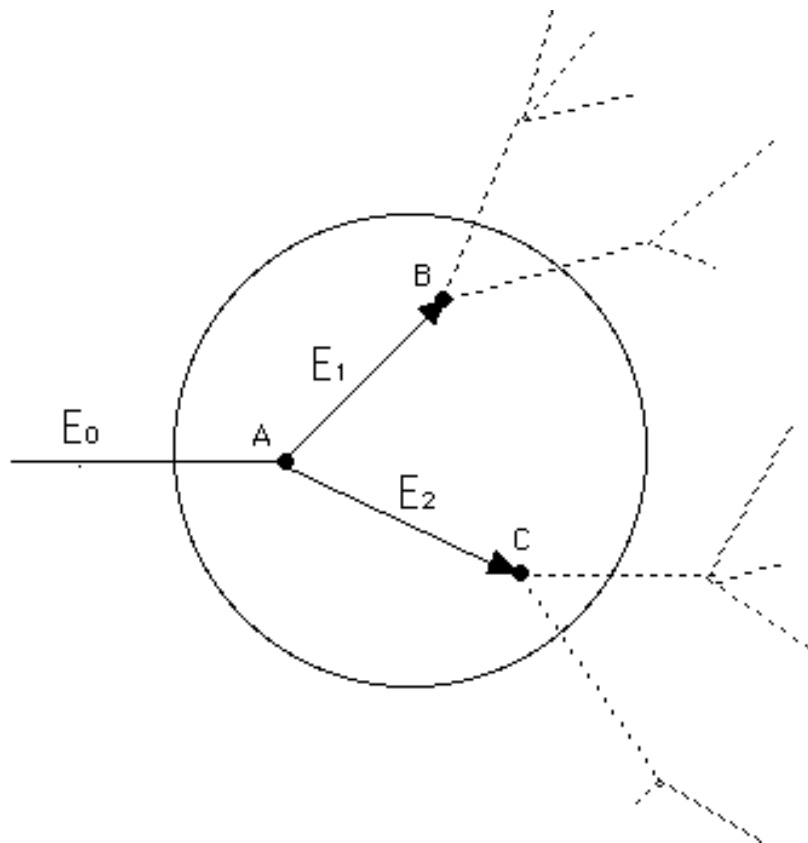


Figure 3: カスケード過程

2.3.1 カスケード過程

入射粒子が物質中で連鎖衝突して複数個の粒子を放出する反応をカスケード過程という。粒子のエネルギーが高くなると、その波動性が減少してあたかも古典力学のように起動を考えることができる。図3のように散乱現象がおこり、これが繰り返されて大きなシャワーに発展する。

・電子の場合

入射した電子が原子核とその原子核のもつ電子の作る磁場によって進行方向を曲げられると光子を放出する。その光子は、電子対生成をおこして電子と陽電子に崩壊する。さらにその電子が制動放射によって光子を生成する。この反応が繰り返されて、大きなシャワーに発展して行く。この現象を電磁カスケードシャワーという。電子・陽電子は電磁気力で反応するので、反応の確率が大きく、短い距離でシャワー発展をする。しかし、シャワーが大きくなるほど1つの粒子に分配されるエネルギーは小さくなるので、シャワーはある程度大きくなると減衰に転じる。

・ハドロンの場合

入射したハドロンの原子核内の核子と強い相互作用をして、様々なハドロンまたは光子に崩壊してシャワー現象を起こす。これをハドロンシャワーという。粒子はその半数以上が安定粒子である π 粒子に崩壊する。強い相互作用によってシャワーをおこすので、反応確率が低く、シャワー全長が電子シャワーに比して長くなる。

2.3.2 測定装置

以上に述べたように電子とハドロンとでは崩壊のしかたが異なる。そのためにカロリメータは電子を測定する部分（EM CAL）とハドロンを測定する部分（HAD CAL）の二つがある。EM CAL は電子のシャワーが短いので相互作用点に近い方（内側）に設置されている。（図1参照）また、ハドロンシャワーは全長が長いので、HAD CAL は EM CAL の6倍の長さを持っている。

入射粒子のエネルギー情報はシンチレータから得られるようになっているが、相互作用はシンチレータでは比較的起こりにくく、入射粒子の持つエネルギーを全てシンチレータで吸収しようとする事は不可能である。そこで、シンチレータに相互作用を起こしやすい重元素（鉛）をいくつか挟んでシャワー全長を短くし入射粒子の全エネルギーを吸収させるようにする。このように、シンチレータと鉛を交互に挟んだ構造をもつカロリメータをサンプリングカロリメータという。鉛の厚さを適切に変化させることによって、測定精度を上げることができる。ハドロンの方がシャワー全長が長いので HAD CAL は鉛が厚くなっている。このため失われるエネルギーが大きく測定エネルギーにふらつきがでてしまう。サンプリングカロリメータを図4に示す。この図はカロリメータの1つのタワーである。

カロリメータは CELL という小さな単位に分けられていて、この CELL ごとに情報を取り出す事ができる。よって、CELL より細かい情報を得る事はできない。図4のタワーは、EM CAL の4つの CELL と、HAD CAL の1つの CELL で構成されている。

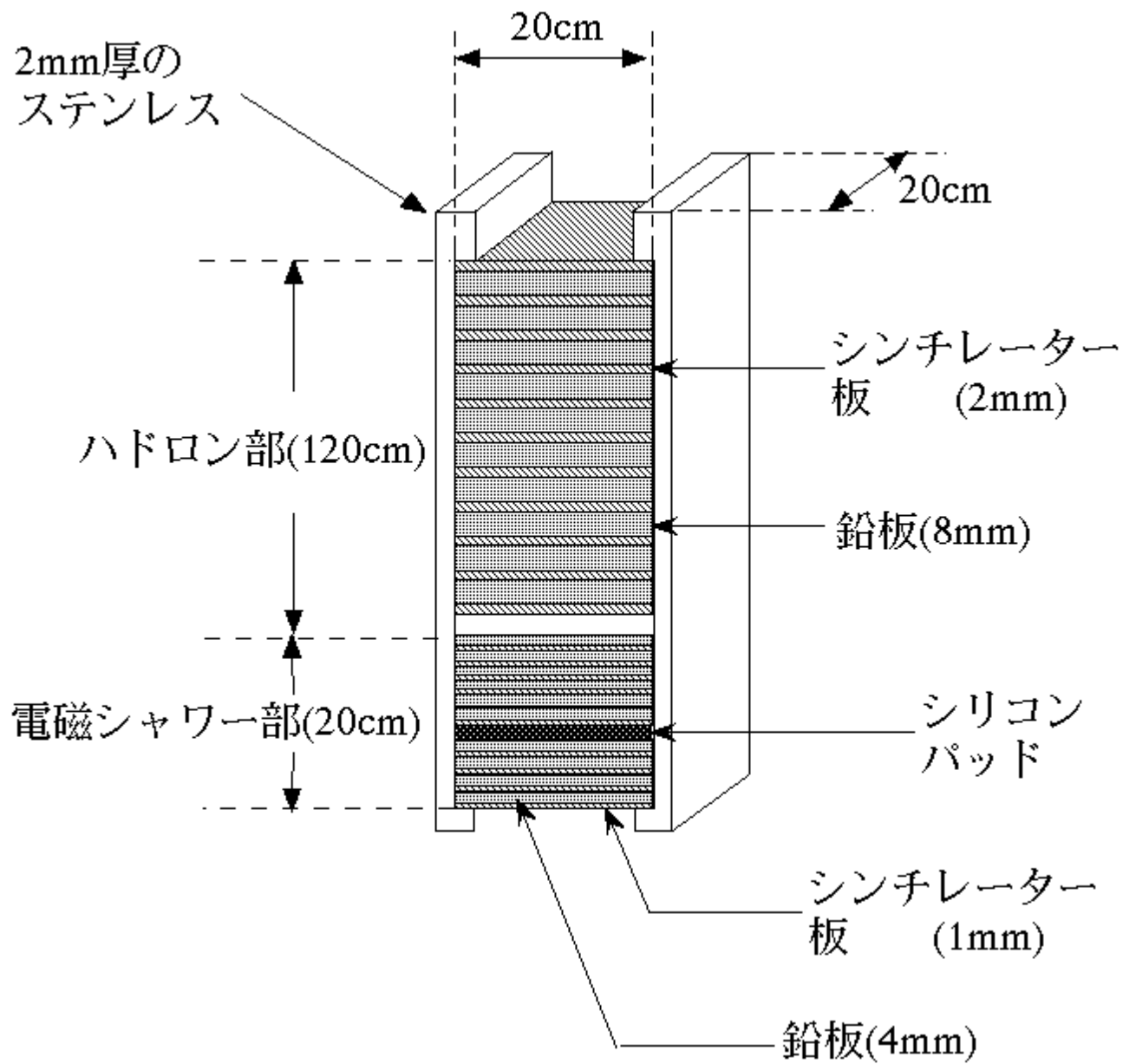


Figure 4: サンプルングカロリメータ

2.4 補償型カロリメータ

ハドロンがカロリメータに入射した時と電子が入射した時では、両者の入射エネルギーが同一でもカロリメータに与えるエネルギーは必ずしも同じにはならない。一般にはハドロンの方が小さくなる。それは、ハドロンシャワーにおいて、核の結合エネルギーに消費されたり、中性子がエネルギーを持って逃げてしまうためである。また π^0 粒子が生成されると、 $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$ の反応によって EM CAL にエネルギーを落してしまう。これによりエネルギー測定にふらつきがでてしまう。そこで、このふらつきを解消するために、電子が入射してもハドロンが入射しても、同じ入射エネルギーの時にはカロリメータに等しいエネルギーを与えるように設定しなければならない。この条件を満たすカロリメータを補償型カロリメータという。

粒子の質量分解能力はカロリメータによっているので、高い分解能をもつカロリメータが要求される。とくにふらつきの大きいハドロンに対して、優れたエネルギー分解能をもつためには、補償型でなければならない。即ち、補償型のカロリメータの開発が非常に重要である。実際に高い分解能を持つためには、以下の条件を満たさなくてはならない。

- ・ EM CAL : $15\% / \sqrt{E_n} = \sigma_e / E_i$
- ・ HAD CAL : $40\% / \sqrt{E_n} = \sigma_h / E_i$
 - ; σ = カロリメータに与えたエネルギー分布の幅
 - ; E_n = 入射粒子エネルギー (重心系)

今回のシミュレーションでは、JLCのカロリメータが補償型になっているのかを評価する。

3 シミュレーション

JLCのカロリメータが補償型であるかどうか評価するためにシミュレーションを行なった。評価するためには EM CAL と HAD CAL を独立で扱う必要がある。そこでまずは EM CAL について、次に HAD CAL について解析を行なう。

解析は、粒子がヒットした CELL の情報をあつめてヒストグラムにする方法で行なう。カロリメータにはバレル方向とエンドキャップ方向があるので、それぞれの方向と両方をたしたカロリメータ全体について情報を取り出してくることにする。

3.1 EM CAL

EM CAL に対しては、エネルギーレベルを変化させて、電子を入射させる。この時の入射したエネルギー E_n とカロリメータに与えたエネルギー E_i を測定して、どういう対応関係にあるかを探る。

3.1.1 EVENT 数の決定

粒子 1 個ずつを左右から入射させて 1 回衝突させることを 1 EVENT という。シャワーは統計的な確率で起こるので、EVENT を何回繰り返すかを決定しなければならない。EVENT 数を決定するために、電子を重心系のエネルギー 10 GeV で入射させてみる。EVENT 数は、10、30、50、100 EVENT である。このグラフを図 5 に示す。サンプルデータは EM CAL 全体の CELL ごとの全エネルギーのヒストグラムである。

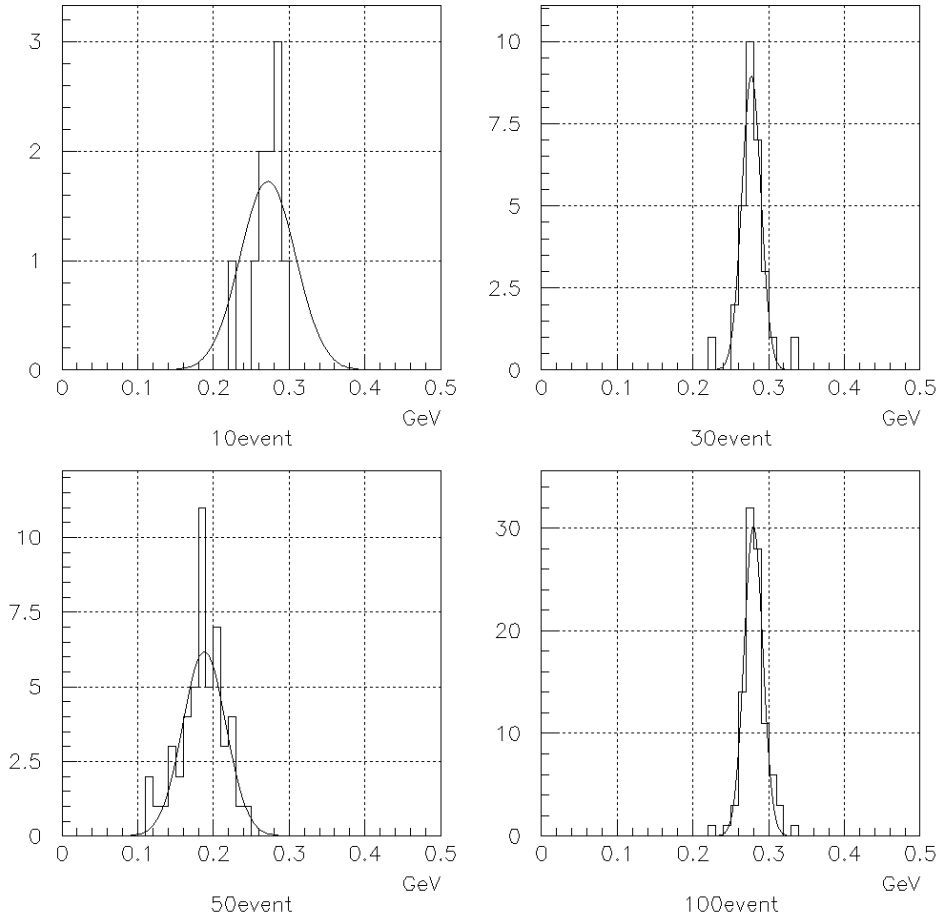
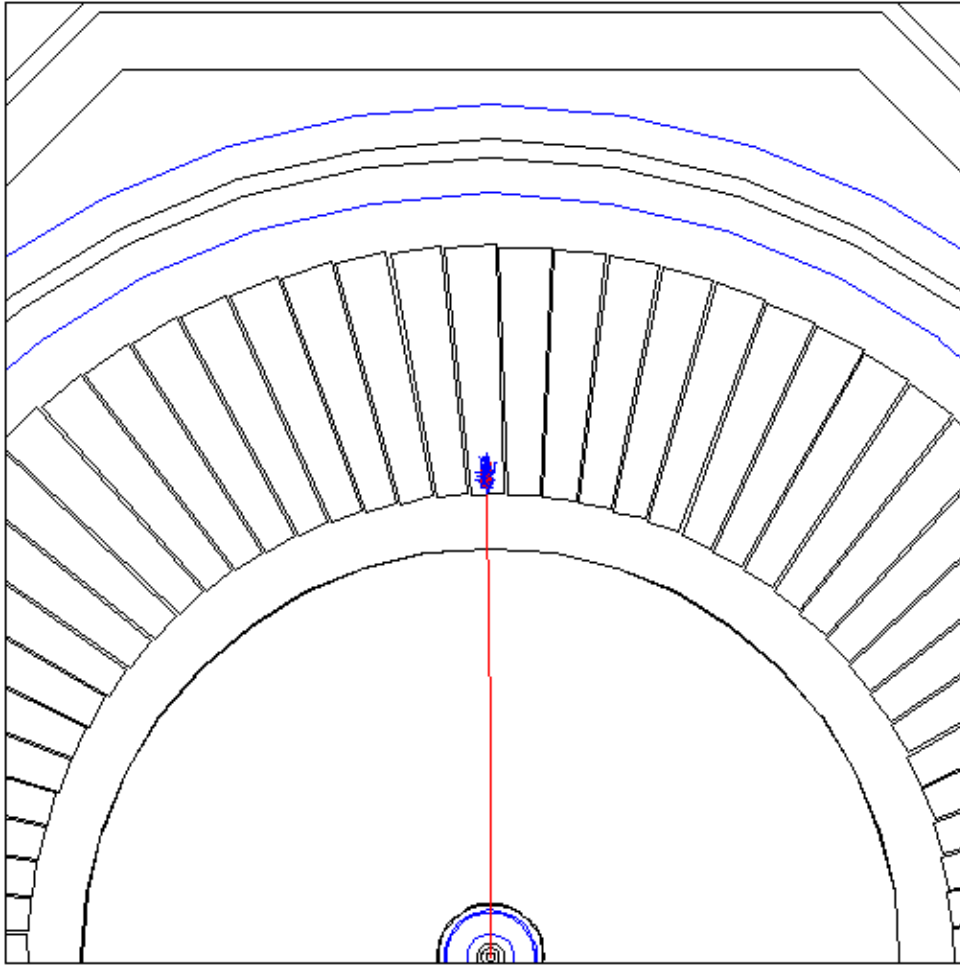


Figure 5: e^- の各 EVENT 数グラフ

このグラフから言える事は、EVENT 数は 10 EVENT では EVENT 数が少なすぎる。また、30 EVENT でよいフィットをしているので 100 EVENT は必要ないと思われる。よって、30～50 EVENT が妥当だと言える。ここでは、サンプルエネルギーが低いので 50 EVENT でデータをとることにする。

3.1.2 E_n と E_i の対応

1 EVENT の電子を測定装置に入射させると、図 6 のように粒子が反応していく。中心部が粒子の衝突点である。この図は、衝突した粒子をビーム方向（Z 軸方向）と垂直方向に粒子が飛ぶように設定した場合のものである。内側部分の EM CAL でシャワーをおこして、そのほとんどのエネルギーを落しているようすがわかる。



重心系のエネルギー 100 GeV の電子を入射した時のカロリメータ内の相互作用の様子。ここで、赤は荷電粒子（主に電子）、青は光子。
電磁シャワー（相互作用）が起きている部分が electromagnetic calorimeter であり、その後方が hadron calorimeter である。
ほとんど全部のエネルギーを electromagnetic calorimeter が吸収している。

Figure 6: e^- 1 EVENT の飛跡

そこで、まずは 100GeV（以下、エネルギー値はすべて重心系）の e^- を入射させた時のデータを示す。

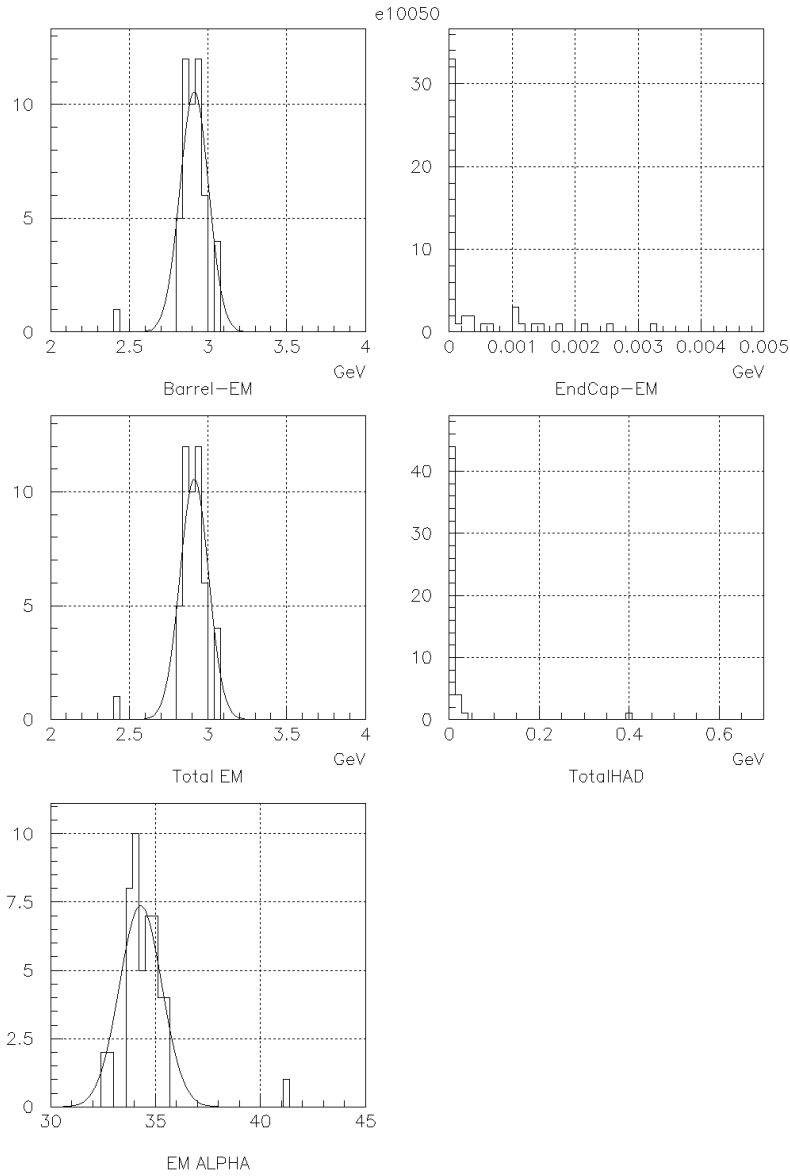


Figure 7: $e^-100\text{GeV}$ のヒストグラム

左上段：バレル方向、右上段：エンドキャップ方向、左中段：EM CAL 全体の CELL ごとの全エネルギーのヒストグラム。右中段：HAD CAL の全方向に対する CELL ごとの全エネルギーのヒストグラム。曲線はガウス曲線フィッティングを表している。

左下段は E_n と E_i の間には線形成が期待されるので、 $E_n = \alpha_e \times E_i$ という関係を仮定した時の α_e のヒストグラム。1 EVENT ごとに E_n/E_i を実行してデータをとった。

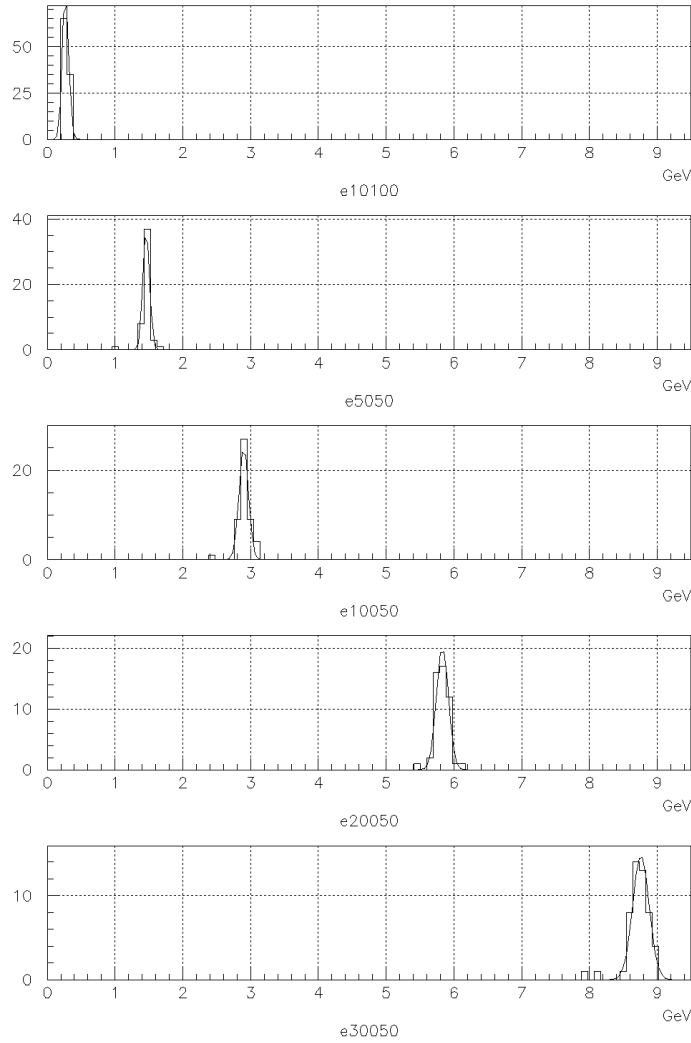


Figure 8: 各エネルギーにおける EM CAL の全エネルギー

図 6 で見たように、HAD CAL にはほとんどエネルギーを落していないのがわかる。またエンドキャップ方向にもほとんどエネルギーを落さない。落されたエネルギーは backscattering された粒子によるものと思われる。よって、EM CAL の E_n/E_i を見るためには、図 7 の左中段のヒストグラムで評価すればよいことがわかる。そこで、エネルギーレベルを変化させて EM CAL の全方向に対するヒストグラムをとる。これを図 8 に示す。

このときの $\alpha - e$ に対するグラフを次頁に示す。 α_e がどれくらいの広がりを持つかが見て取れる。 E_i を x 軸に E_n を y 軸にとったグラフを図 10 へとってみる。

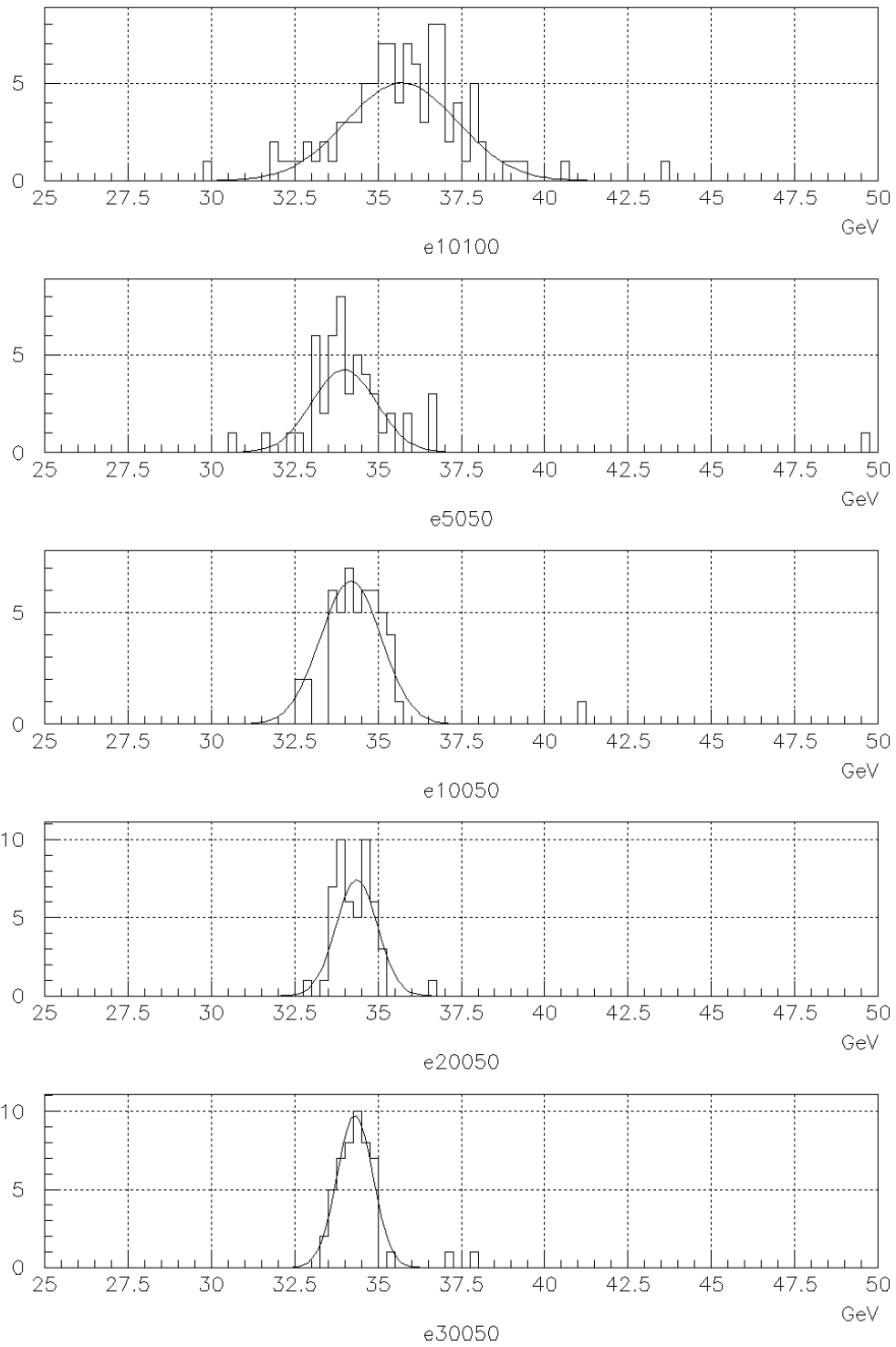
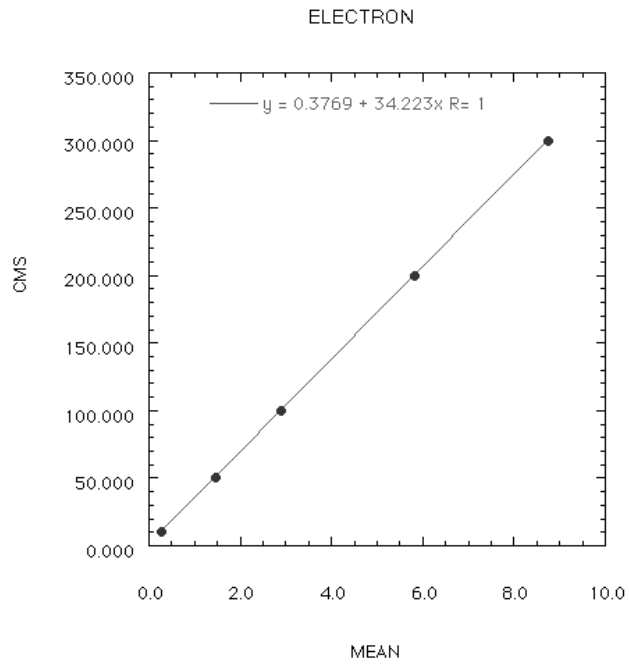
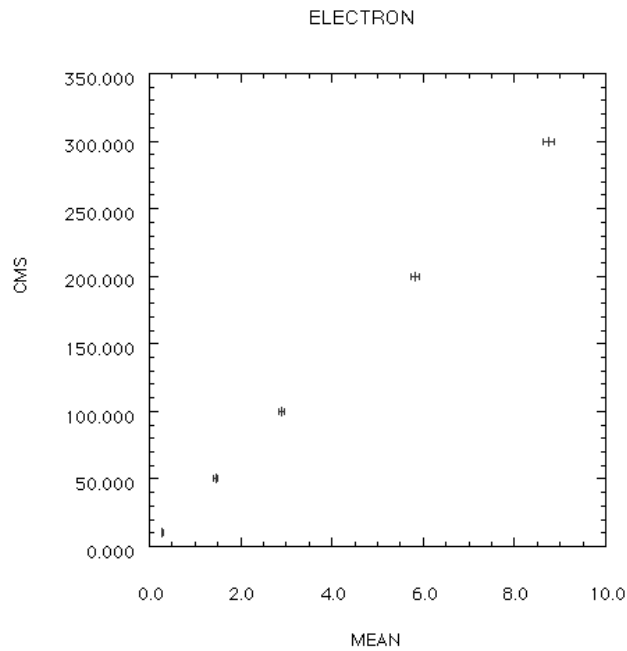


Figure 9: α_e のヒストグラム



入射エネルギー: E_n とカロリメータに与えたエネルギー: E_i の関係を示すグラフ。
 x軸に E_i (mean)、y軸に E_n (CMS) をとった。



中心に mean の値をとり、分布の幅をとったグラフ

Figure 10: EM CAL の E_n と E_i の関係

上は 1 次関数でフィッティングしたもので、傾きが α_e を表している。

$$\alpha_e \sim 34.2$$

となった。また下の図は各エネルギー値における平均値 (mean) と分布の幅 (σ_e) の関係を表したものである。 σ_e が小さく、精度よく測定できていることがわかる。

3.2 HAD CAL

EM CAL と同様にして、シミュレーションを行なう。入射粒子は π 粒子である。解析に使うエネルギー値も同じように、10、50、100、200、300 GeV について調べる。

3.2.1 EVENT 数の決定

電子ではサンプルエネルギーが低く傾向がつかみにくかったので、100 GeV で統計的精度に付いて調べる。一般にハドロンの方が分布の幅が広がる傾向にあるので、少し EVENT 数を多めにとる。各 EVENT 数のグラフを図 11 に示す。

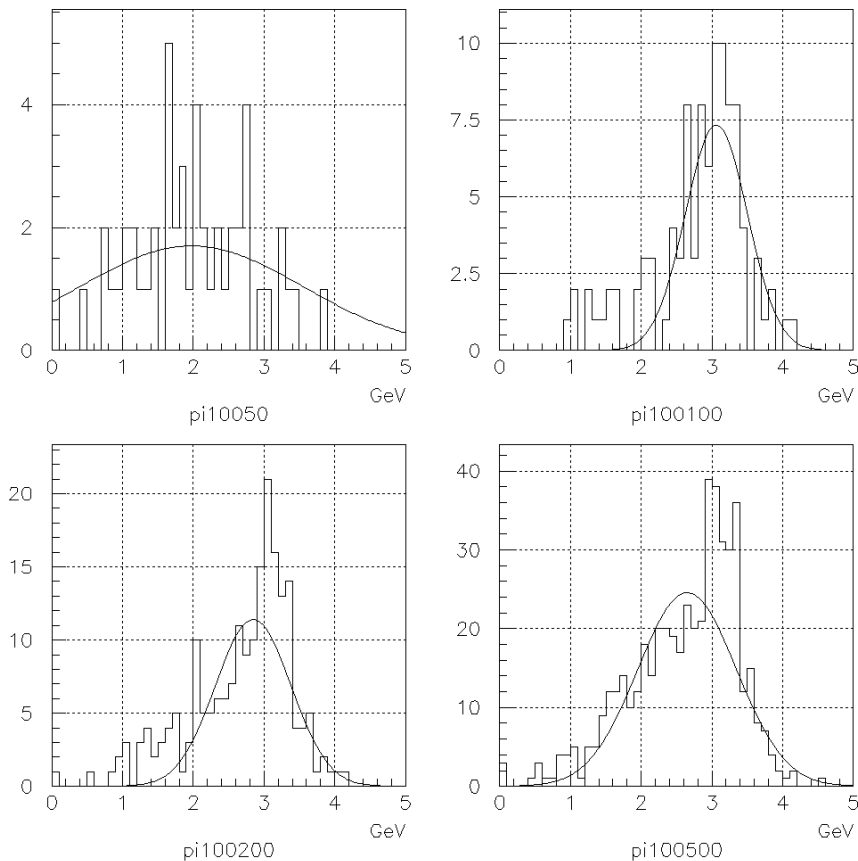
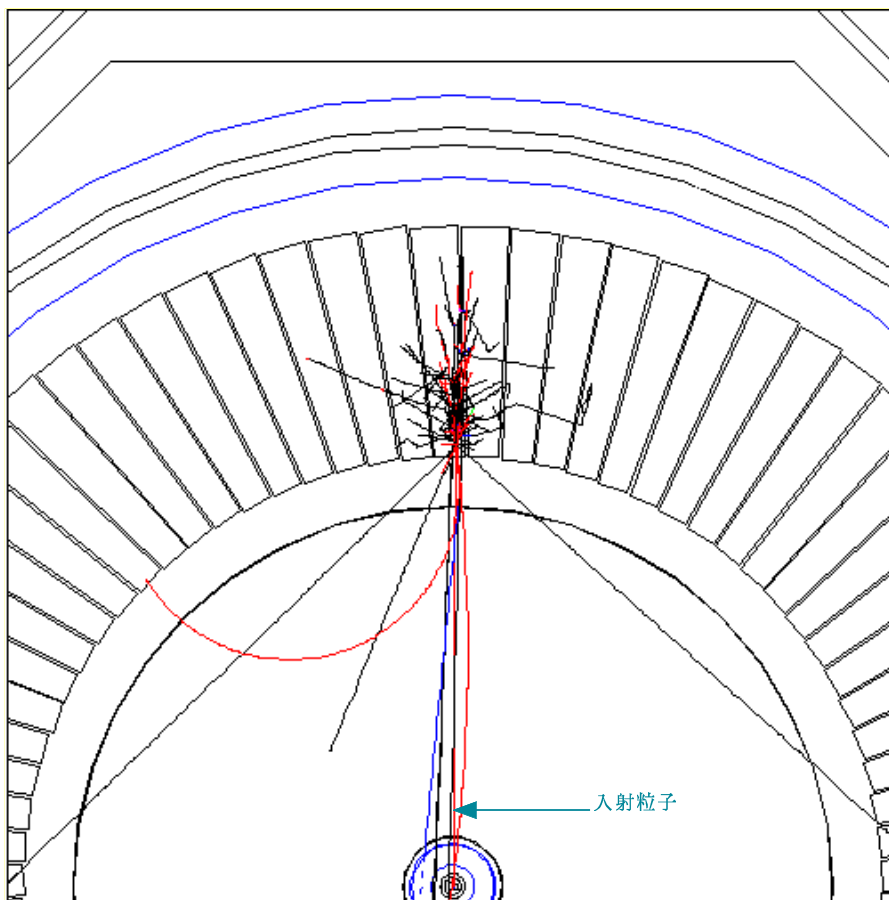


Figure 11: π^+ の各 EVENT 数のグラフ

このグラフより、EVENT数は200 EVENT以上は必要であろう。そこで、 π 粒子の場合は500 EVENTに設定する。

3.2.2 入射エネルギーと測定されたエネルギーとの対応

1 EVENTの π 粒子を入射させると、図12というようにシャワーをおこす。はっきり読みとるのは難しいが、EM CAL部分はまだ相互作用せずにまっすぐな飛跡になっている。つまり相互作用があまり起きていない。よって、EM CALに落ちエネルギーは小さく、主にHAD CALでエネルギーを落しているといえる。電子1 EVENTを入射した時(図5)と比べると、シャワー全長が長い事がはっきりとわかる。



重心系エネルギー100 GeVの π -onのカリメータ内での相互作用の様子。ここで、赤は荷電粒子、黒は中性子または中性ハドロン、青は光子を表わしている。主に、ハドロンカリメーター内でエネルギーを落しているのがわかる。入射粒子と逆方向へ飛んでいる粒子はbackscattering particleである。

Figure 12: π 粒子 1EVENTの飛跡

入射エネルギー: E_n と カロリメータに与えたエネルギー: E_i は EM CAL と同様に、 $E_n = \alpha_h \times E_i$ という関係が期待される。 π 粒子 100 GeV を入射させた時のヒストグラムを次の図 13 に示す。

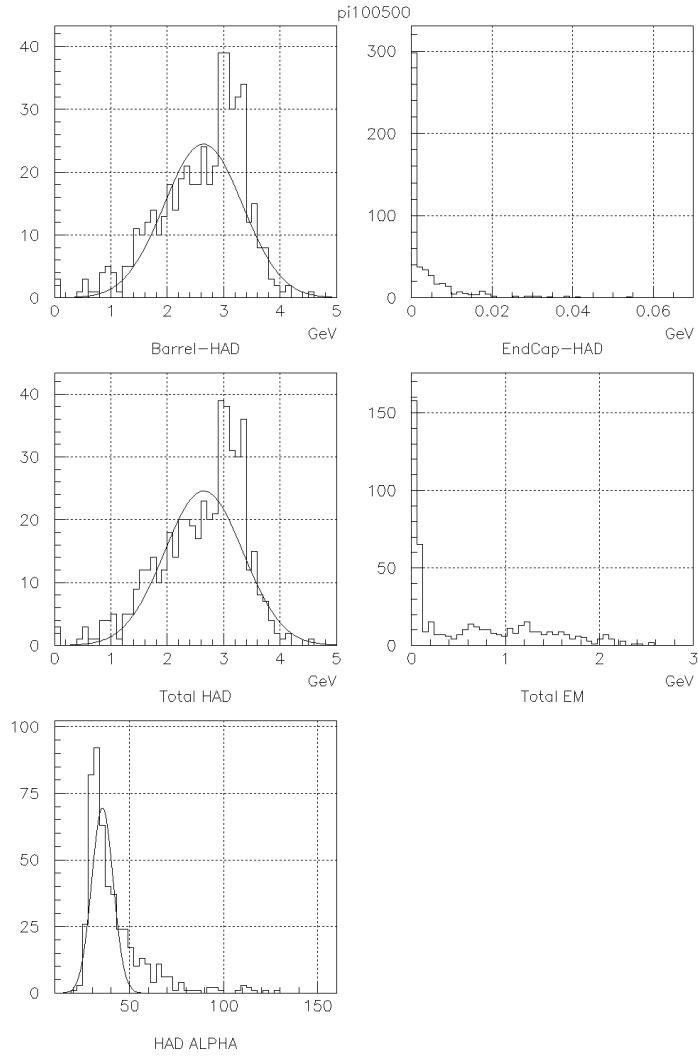


Figure 13: π^+ 100 GeV のヒストグラム

曲線はガウスフィッティング。すこし強引に 1 つのガウス曲線にフィットさせた。EM CAL と同じようにバレル方向にほとんどのエネルギーを落しているが、エンドキャップ方向のエネルギー値は割合と大きい。しかし値が 2 オーダー違うので、全体に影響を与える程ではない。また、EM CAL にも HAD CAL に落されているエネルギーと同じオーダーでエネルギーが落されている。

各エネルギーレベルでの HAD CAL 全体に対する CELL ごとのエネルギーのヒストグラムにすると、図 14 になる。また、 α_h に対するヒストグラムを図 15 に示す。

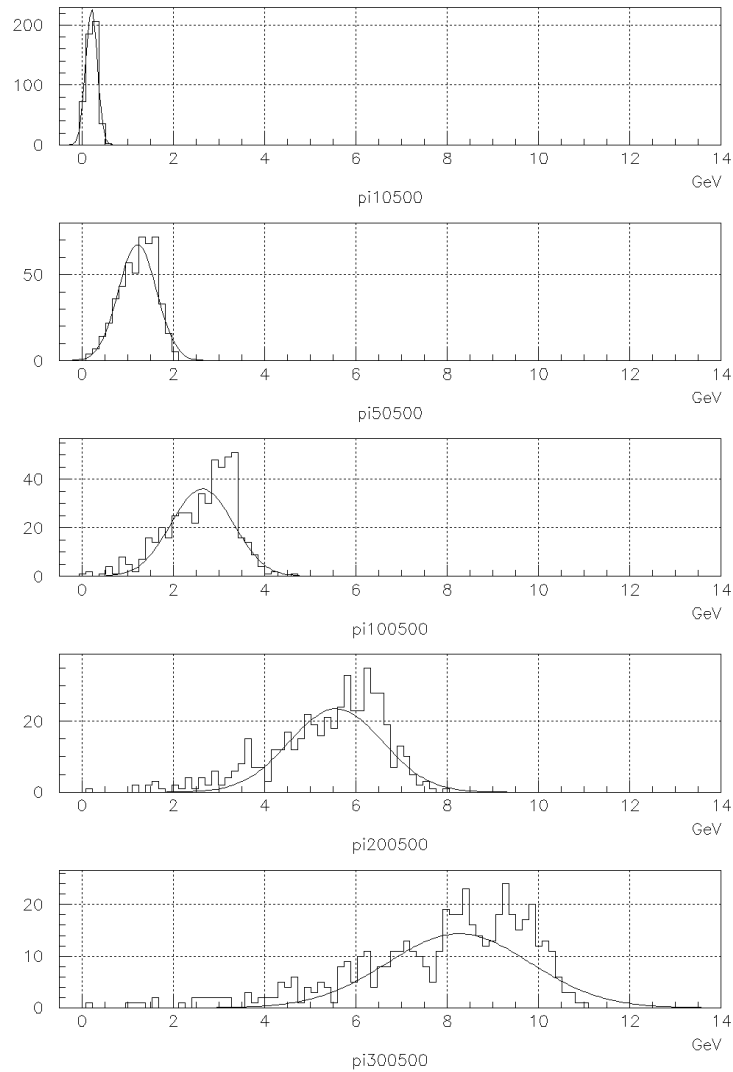


Figure 14: 各エネルギーレベルの HAD CAL 全体に対するエネルギー

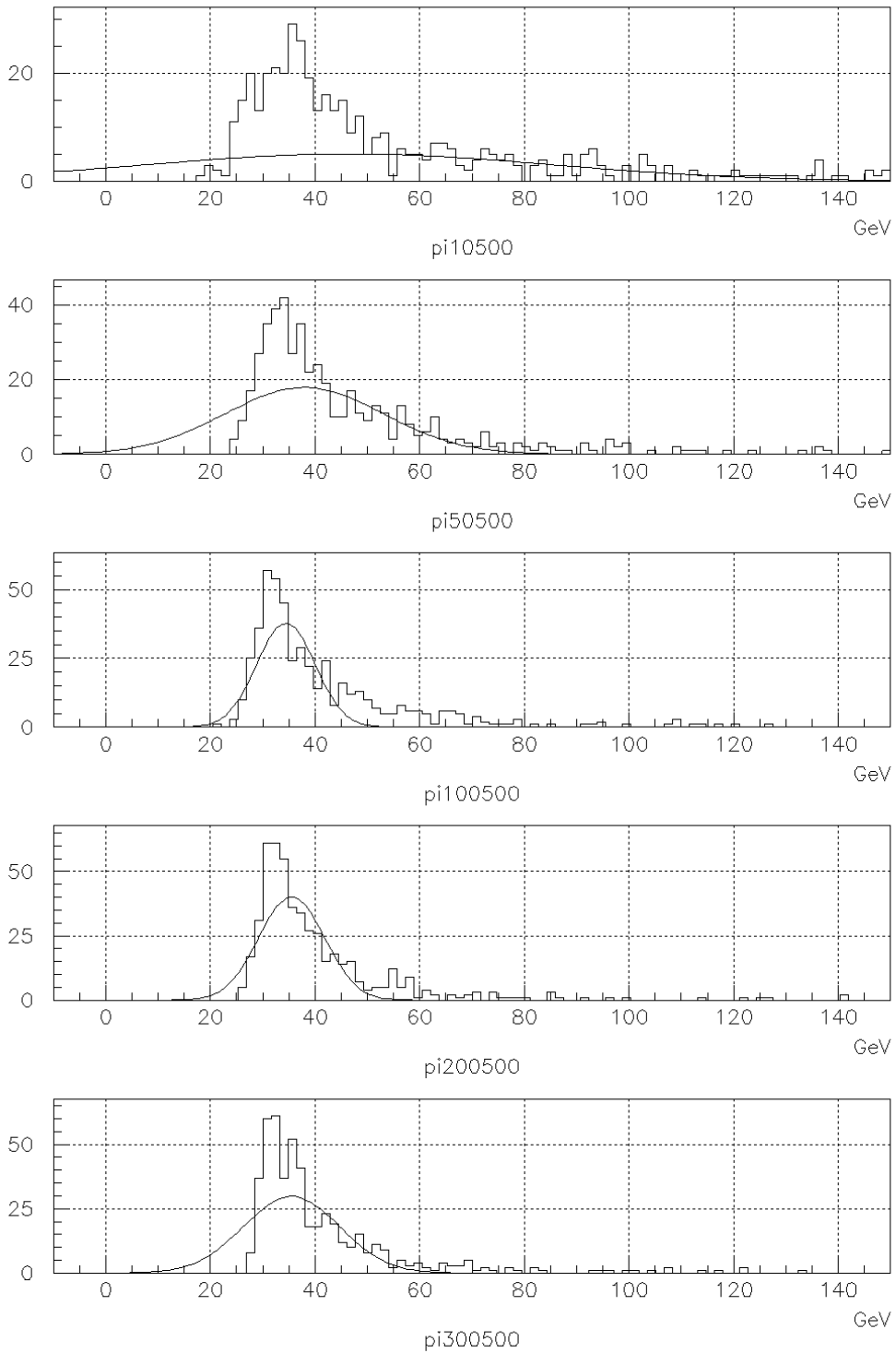
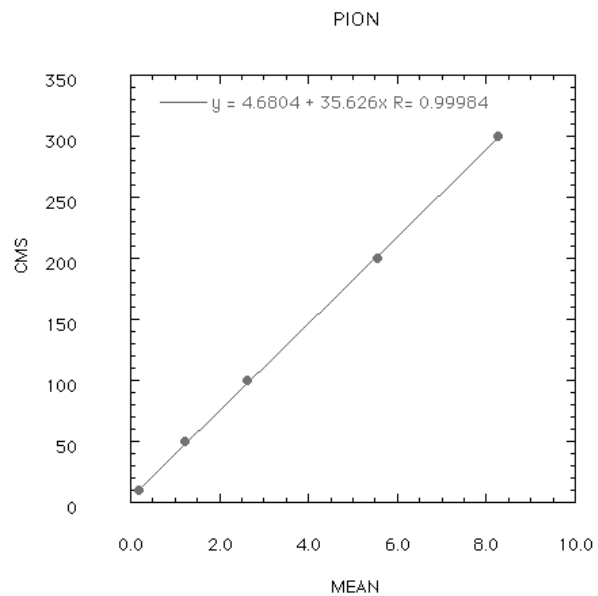
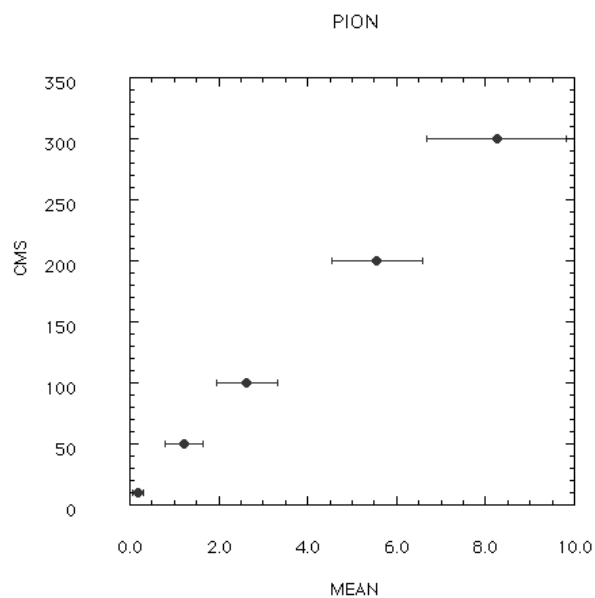


Figure 15: 各エネルギーの α_h についてのヒストグラム



入射エネルギー: E_n とカロリメータに与えたエネルギー: E_i の対応を示すグラフ
 $CMS = E_n$, $mean = E_i$ の平均値



中心に $mean$ の値をとり、分布の幅 σ をとったグラフ

Figure 16: HAD CAL の E_n と E_i の関係

ハドロンシャワーは、ばらつきを持つので α_h は高エネルギー領域に長いテールを持つ。分布の幅: σ が大きい程、そのテールは長くなる。図 15 においては、エネルギーが高くなる程 σ が一定になってくるのがわかる。HAD CAL は EM CAL と比べると σ が大きくて、精度よく測定できていない。これは、ハドロンシャワーの起こる確率が電磁シャワーよりも低いためである。

前頁に E_n と E_i についてのグラフを示した。上図の一次関数の傾きが α_h である。

$$\alpha_h \sim 35.6$$

となり、 α_e と非常に近い値になっている。値としては 1σ 程度のふらつきは許容範囲なので、ほとんど一致しているとみなしてよい。この結果から、

$$E_n/E_i \sim 35$$

という関係が得られる。ここから、電子を入射してもハドロンを入射しても、入射エネルギーに対してカロリメータが吸収するエネルギーは一定であるといえる。即ち、JLC で計画されている (JIM に入力されている) カロリメータは補償型であるといえる。

4 まとめ

前章で JLC カロリメータは補償型であることが判った。そこで、このカロリメータの分解能について少しまとめてみる事にする。

4.1 カロリメータ分解能

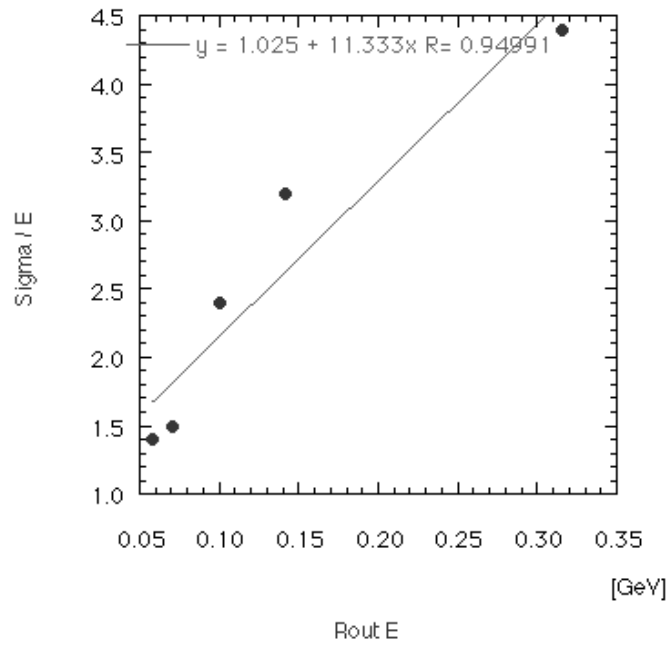
カロリメータの分解能の目標としては、補償型カロリメータのところで述べたように、

- ・ EM CAL : $15\% / \sqrt{E_n} = \sigma_e/E_i$
- ・ HAD CAL : $40\% / \sqrt{E_n} = \sigma_h/E_i$
 ; σ = カロリメータに与えたエネルギー分布の幅
 ; E_n = 入射粒子エネルギー (重心系)

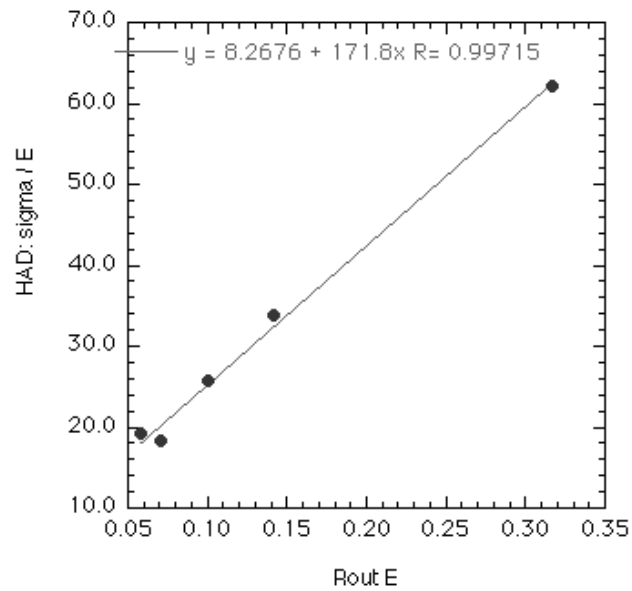
であった。今回のシミュレーションで得られたデータで分解能を評価すると、図 17 になる。

上段の EM CAL は 11% と値としてはよいものの、データにばらつきがあってこのデータの信頼性はあまりないといえる。下段の HAD CAL は全く意味のないものになってしまっている。これはおそらく、ガウス曲線のフィッティングに問題があるためであろう。強引に 1 つのフィッティングにしてあるが、ヒストグラムとはあっていない。これを複数のガウス曲線でフィッティングして、ヒストグラムとできるだけ一致させるようにして、 σ をとるべきであろう。

EM resolution



HAD resolution



x軸に $\sqrt{E_n}$ y軸に σ / E_i をとった。
傾きが分解能を示す。(%)

Figure 17: カロリメータの分解能

4.2 今後の課題

今回のシミュレーション実験からでてきた課題は、

1. 図 14に関して

前述のようにヒストグラムとガウスフィットのピークがうまくあっていないので、最適なフィッティングを探しだす。また、どうしてそのフィッティングになるのかの理由を見つけること。

- π 粒子 1 EVENT に対して HAD CAL がどのように反応するかを調べる。
- ヒストグラムのピークを説明するために、粒子がどう崩壊したのかという視点から調べる。

2. 最適なフィッティングを得たら、もう一度カロリメータの分解能について評価してみること。

3. JLC 測定器のパラメータを変化させてより高分解能なカロリメータを探索する。

である。特に 1 番目はもっと深く行ないたい課題である。 π 粒子がなぜ複数のフィッティングを必要とするのか?、ということはとても興味深いことである。また、測定器が補償型カロリメータではあることは示せたと思うが、エネルギー分解能についてはあまり良い結果が得られなかったのはなぜなのか、ということについても調べて見たいと思う。

謝辞

この卒業論文を作成するにあたり、非常に興味深いテーマを与えて下さり、粘り強く御指導して頂いた竹下徹先生に深く感謝いたします。また、FULLJIMの開発や解析の仕方など細かい所まで丁寧に指導して下さった松田宣幸氏の多大なるご助力にも深く感謝します。Texに関しては長田剛氏と中島典昭氏に、篠田恵子女史にはプログラムのチェックに協力して頂きありがとうございました。その他、御協力いただいた先生方、研究室の皆様
に感謝いたします。

A FULLJIM

ここでは、シミュレーションに使用した FULLJIMJIM（以下単に JIM と記す）について少し具体的に説明する。JIM は geometry を計算する 'GEANT' 部分と、data を管理する 'BANK system'、EVENT を作る 'PHYSIA & JETSET' から成っている。次頁に JIM のフローチャートを示す（図 19）。

'GEANT' は 'CERN' のシミュレーションツールである。このツールは測定器の geometry 情報を計算するもので、JLC 測定器のパラメータはすでに入力されている。実際に JIM を実行する時に、ユーザーが入力できるパラメータは、

- 重心系の入射粒子エネルギー
- EVENT を作るタイプ（INTERNAL or EXTERNAL）
- 粒子の種類
- EVENT の回数（toriger）
- 衝突後の粒子の飛び出す方向
- cut-off エネルギー（このエネルギー以下の粒子の情報は bank に入力されない。）
- グラフィック表示について

である。このパラメータに欲しい EVENT の内容を入力して JIM を実行すると、必要とする EVENT の bank が得られる。そして、その bank をもとに解析を進めることが出来るのである。

また、JIM の良い点はグラフィック（EVENT DISPLAY）が用意されていて、粒子の飛跡を視覚的に確かめることが出来る点である。図 6 と図 12 はこの EVENT DISPLAY である。計算された順に DISPLAY に表示されていくので、粒子がどんな飛跡をたどったかを追っていくことができる。解析の結果と見比べることで、その解析が正しかったのかどうかをチェックすることが可能である。こうして色々な角度から解析を行なえるようになっている。

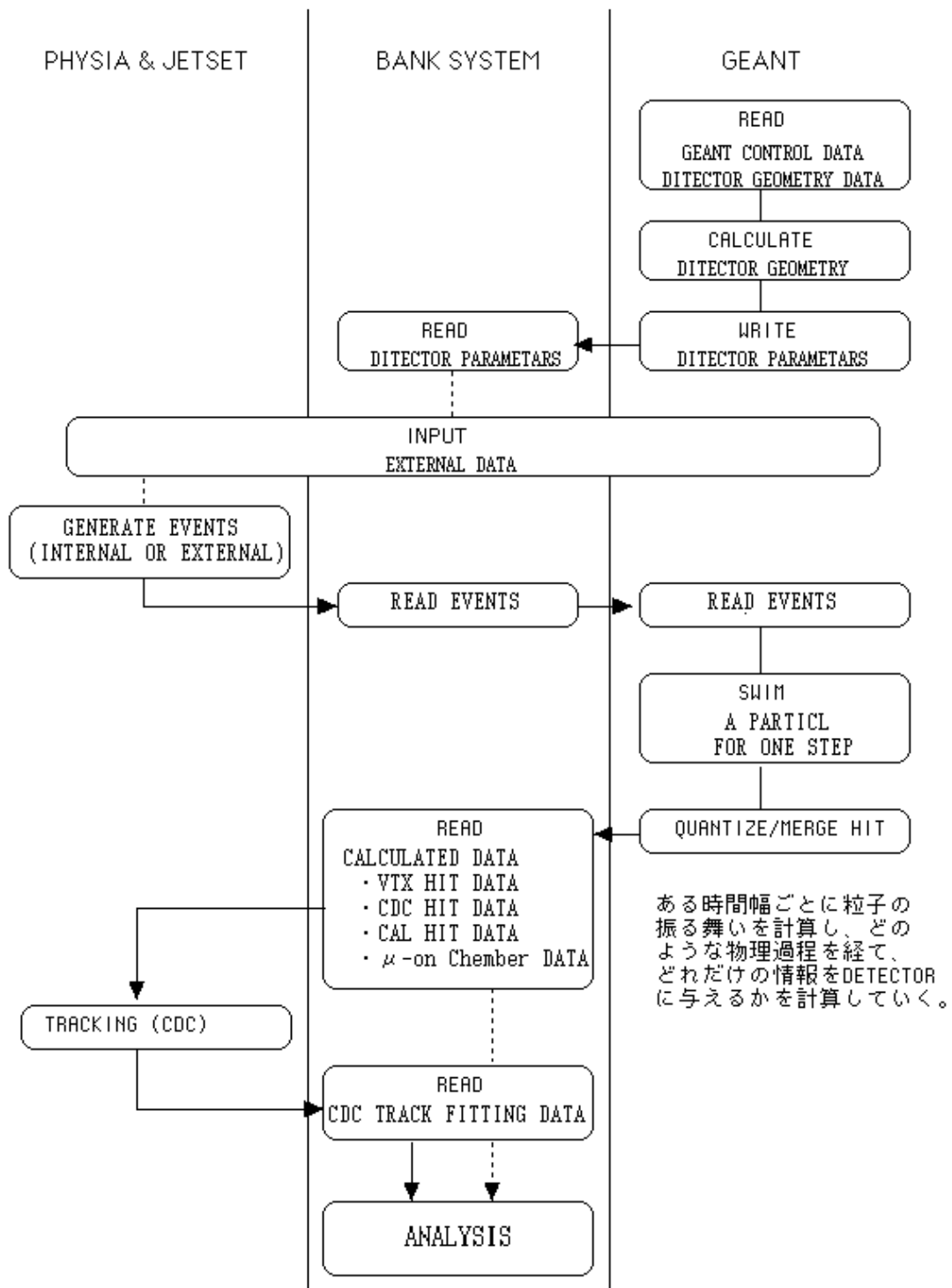


Figure 18: FULLJIM フローチャート

B 解析プログラム

解析に用いたプログラムのフローチャートを示す。

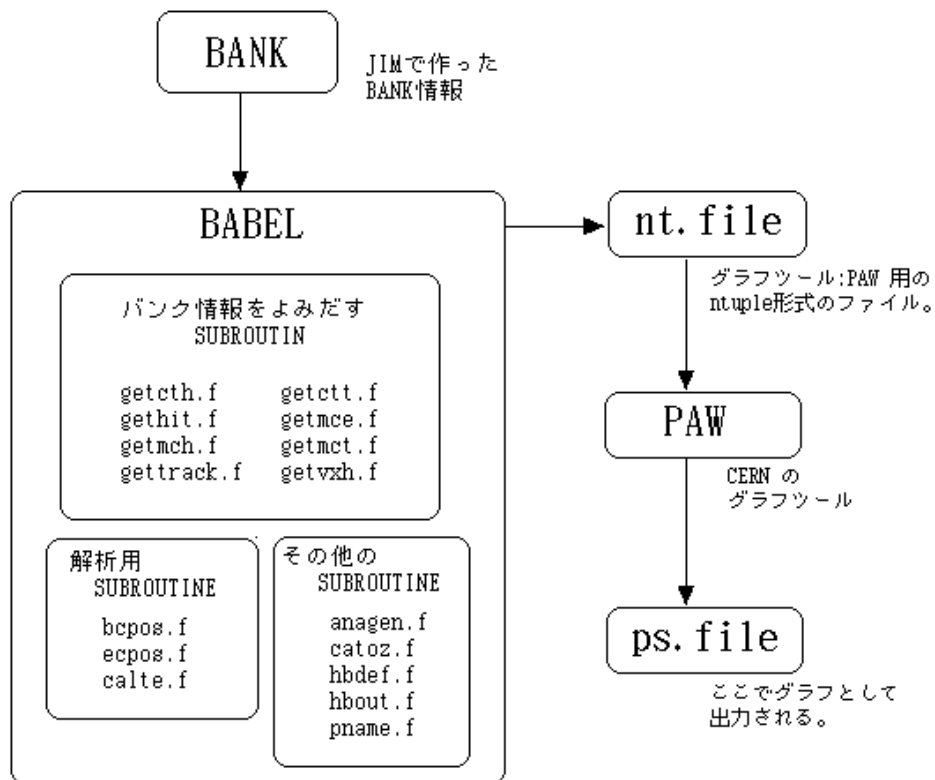


Figure 19: BABEL フローチャート

BABEL はメインプログラムで、たくさんのサブルーチンから構成されている。

その解析に直接関わっているファイルは以下のようにになっている。

```
#####  
      SUBROUTINE CALTE  
*-----  
*  OUTPUT BANKDATA FOR TOTAL ENERGY OF CALORIMETER  
*  26-DEC-96 BY KAGA  
*-----  
      INCLUDE 'unumcn.h'  
      INCLUDE 'prfeld.h'  
      INCLUDE 'bankdt.h'  
      INCLUDE 'bankdtc.h'  
      INCLUDE 'bankdtmch.h'  
      INCLUDE 'bankdtap.h'  
      INCLUDE 'calte.h'                /.include file の読み込み /.  
  
      REAL    TBE, TEE, TEM, TBHK, TBH, TEHN, TEH, THAD,  
&            TOE, TOECM, TBMCM, THADCM, ZEN  
      INTEGER BE, EE, BH, EH  
  
      TBE =0.0  
      TEE =0.0  
      TEM =0.0  
      TBHK=0.0  
      TBH =0.0  
      TEHN=0.0  
      TEH =0.0  
      THAD=0.0  
      ZEN =0.0                        /. 変数の初期設定 /.  
  
*.*.*.*.* analysis *.*.*.*.*.*  
  
*-----< BARREL-EM CAL >-----  
      BE=NBEHIT                        /. hit のあった CELL の数 ./  
      DO 10 I=1, BE  
          TBE=TBE+ETBEHT(I)  /. barrel-EM の全エネルギー ./  
10  CONTINUE
```

```

*.-----< ENDCAP-EM CAL >-----
      EE=NEEHIT
      DO 20 J=1,EE
            TEE=TEE+ETEEHT(J)  /.EndCap-EMの全エネルギー./
20  CONTINUE

*.-----< EM CAL >-----
      TEM=TBH+TEE          /.1 EVENTでEM CAL全体がひろったエネルギー./
      TEMCM=CMS/TEM       /.(入射エネルギー)÷(EM CAL全体のエネルギー)./

*.-----< BARREL-HAD CAL >-----
      BH=NBHHIT
      DO 30 K=1,BH
            TBHK=DEPFBE(K)+DEPSBE(K) /.Barrel-HADの1つのCELL全体のエネルギー./
            TBH=TBH+TBHK          /.Barrel-HADの全エネルギー./
30  CONTINUE

*.-----< ENDCAP-HAD CAL >-----
      EH=NEHHIT
      DO 40 N=1,EH
            TEHN=DEPFEB(N)+DEPSEH(N)
            TEH=TEH+TEHN          /.EndCap-HADの全エネルギー./
40  CONTINUE

*.-----< HAD CAL >-----
      THAD=TBH+TEH          /.1 EVENTでHAD CAL全体がひろったエネルギー./
      THADCM=CMS/THAD       /.(入射エネルギー)÷(HAD CAL全体のエネルギー)./

*.-----< TOTAL ENERGY >-----
      TOE=TEM+THAD          /.1 EVENTでCalorimeter全体が得たエネルギー./
      TOECM=CMS/TOE

      ZEN=ZEN+TOE

*.-----
      NTDATA(1)=TBE

```

```
NTDATA(2)=TEE
NTDATA(3)=TEM
NTDATA(4)=THAD
NTDATA(5)=TBH
NTDATA(6)=TEH
NTDATA(7)=TOE
NTDATA(8)=TOECM
NTDATA(9)=TEMCM
NTDATA(10)=THADCM
```

```
CALL HFN(10,NTDATA)
```

```
/.PAW用の nt.file に入力される DATA./
```

```
RETURN
```

```
END
```

```
#####
```