

リニアコライダー ストリップ・ファイバー 電磁カロリメータのビームテスト

報告 1 - エネルギー分解能, 応答一様性, 位置分解能 -

永野あい, 他リニアコライダーカロリメータグループ

筑波大物理, 高工研, 新潟大理, 神戸大理, 信州大理, 甲南大理

目次

目的

エネルギー分解能

位置分解能

角度分解能

角度再構成

応答一様性

まとめ

目的

ストリップ型シンチレータを用いたカロリメータの性能評価

リニアコライダー実験用電磁カロリメータの要求

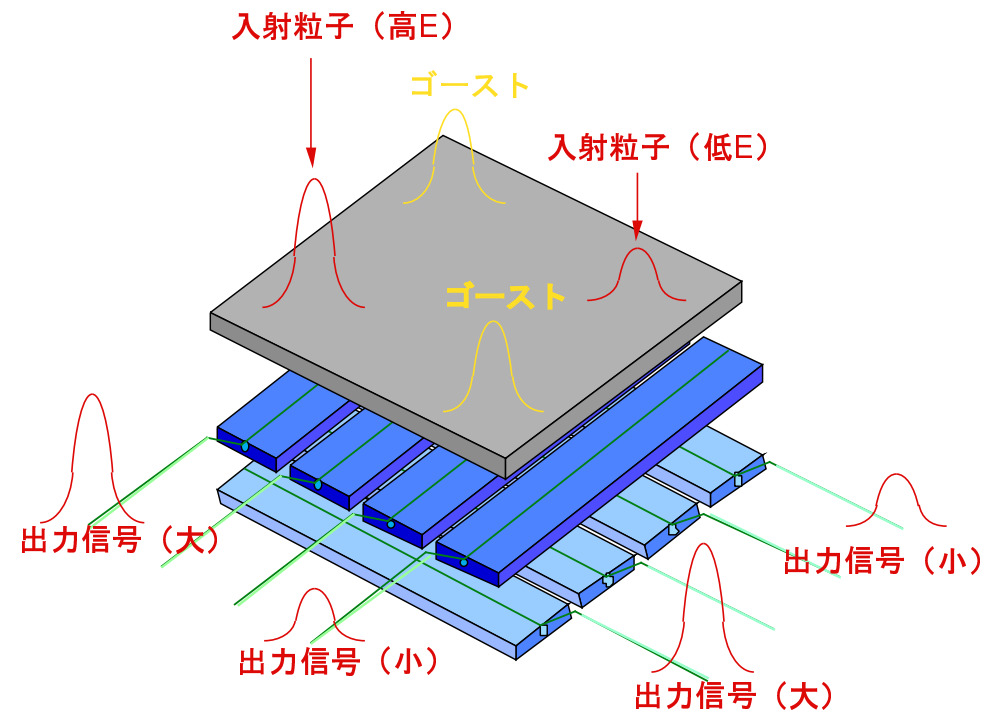
- グラニュラリティ
- エネルギー分解能 $(15\%/\sqrt{E(\text{GeV})} \oplus 1\%)$

幅 1 cm のストリップ型シンチレータを使用
粒子の入射位置精度が向上



- 2 クラスタ分離の精度向上
- シャワー角度測定 of 精度向上

ゴーストはパルス高解析で除去する

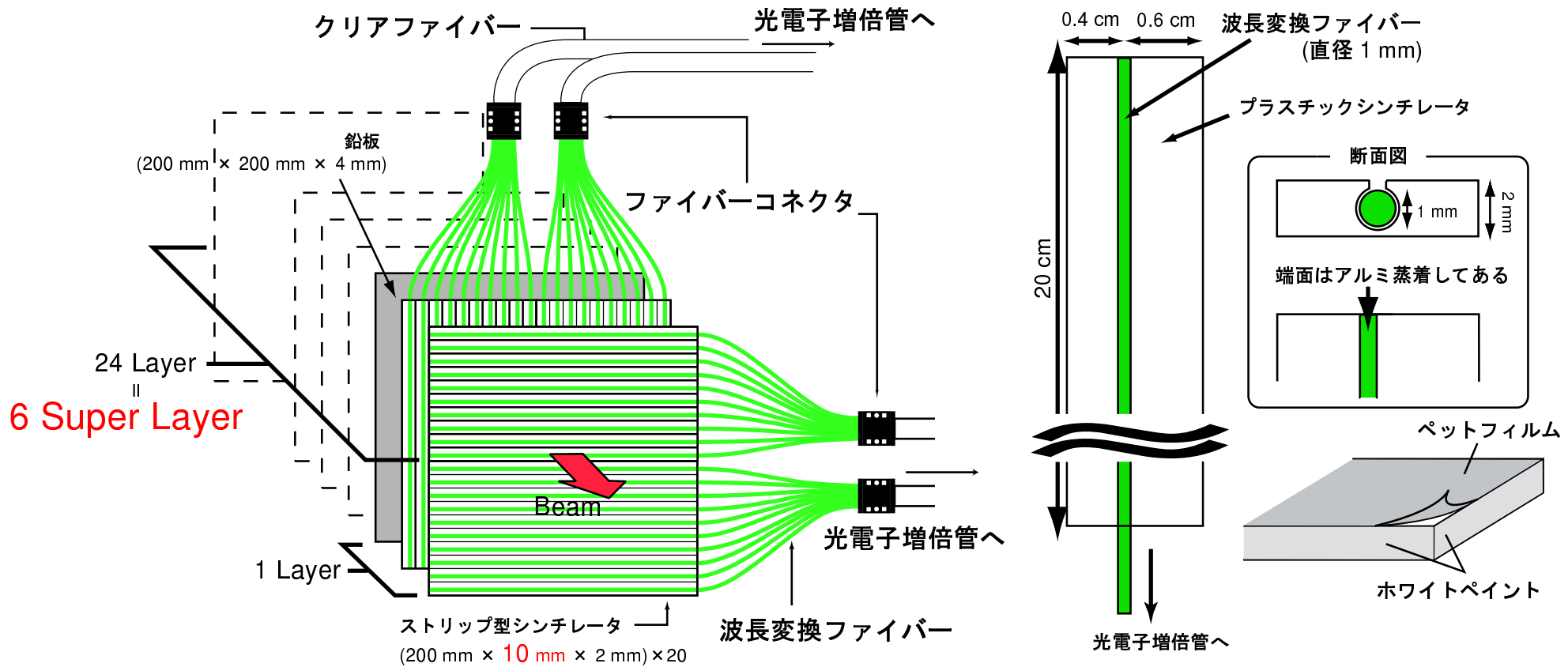
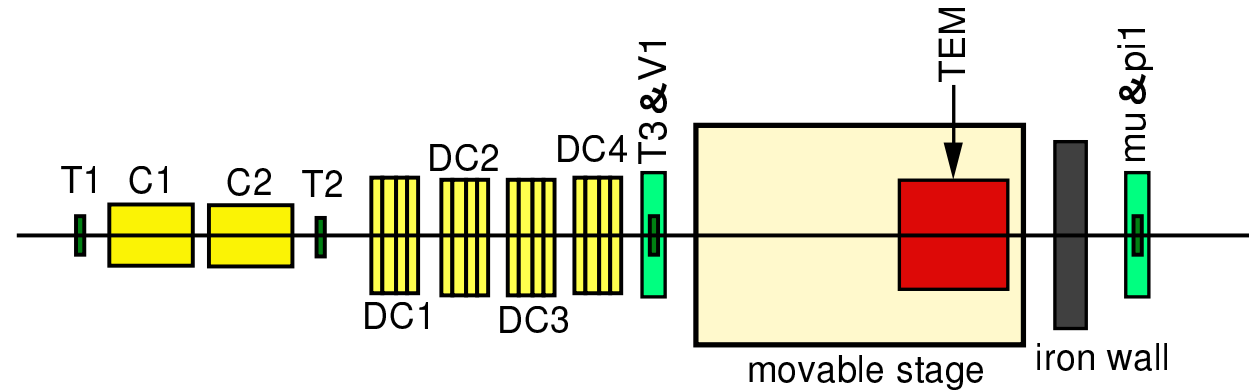


幅 1 cm のストリップ型シンチレータを用いたカロリメータのビームテストを行なった
エネルギー分解能, 位置分解能, 角度分解能, 角度再構成, 応答一様性について調べた

T517 ビームテスト セットアップ

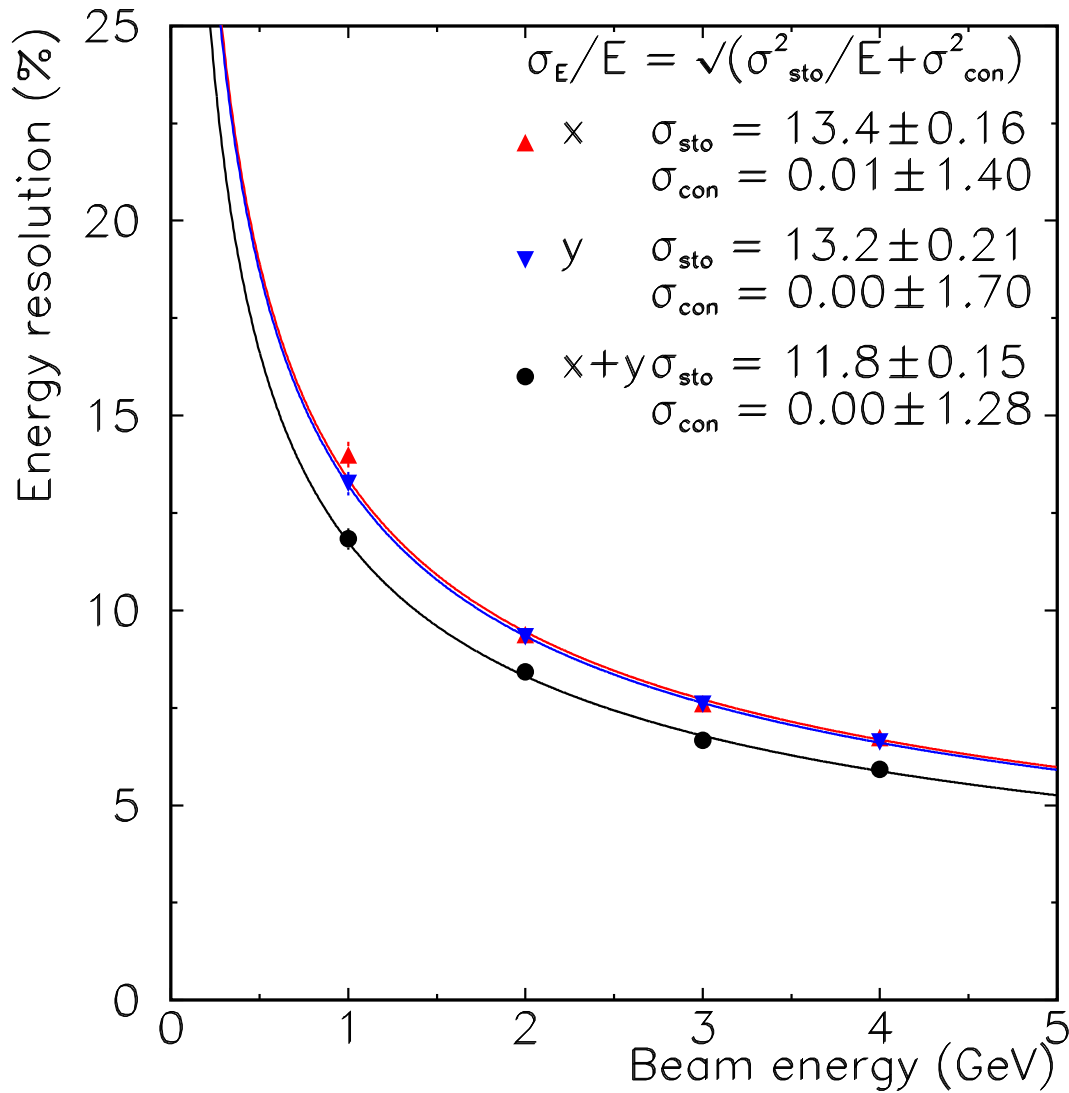
2002年 T517 Beamtest@KEK

1~4 GeV の e^- , μ^- , π^- を使用

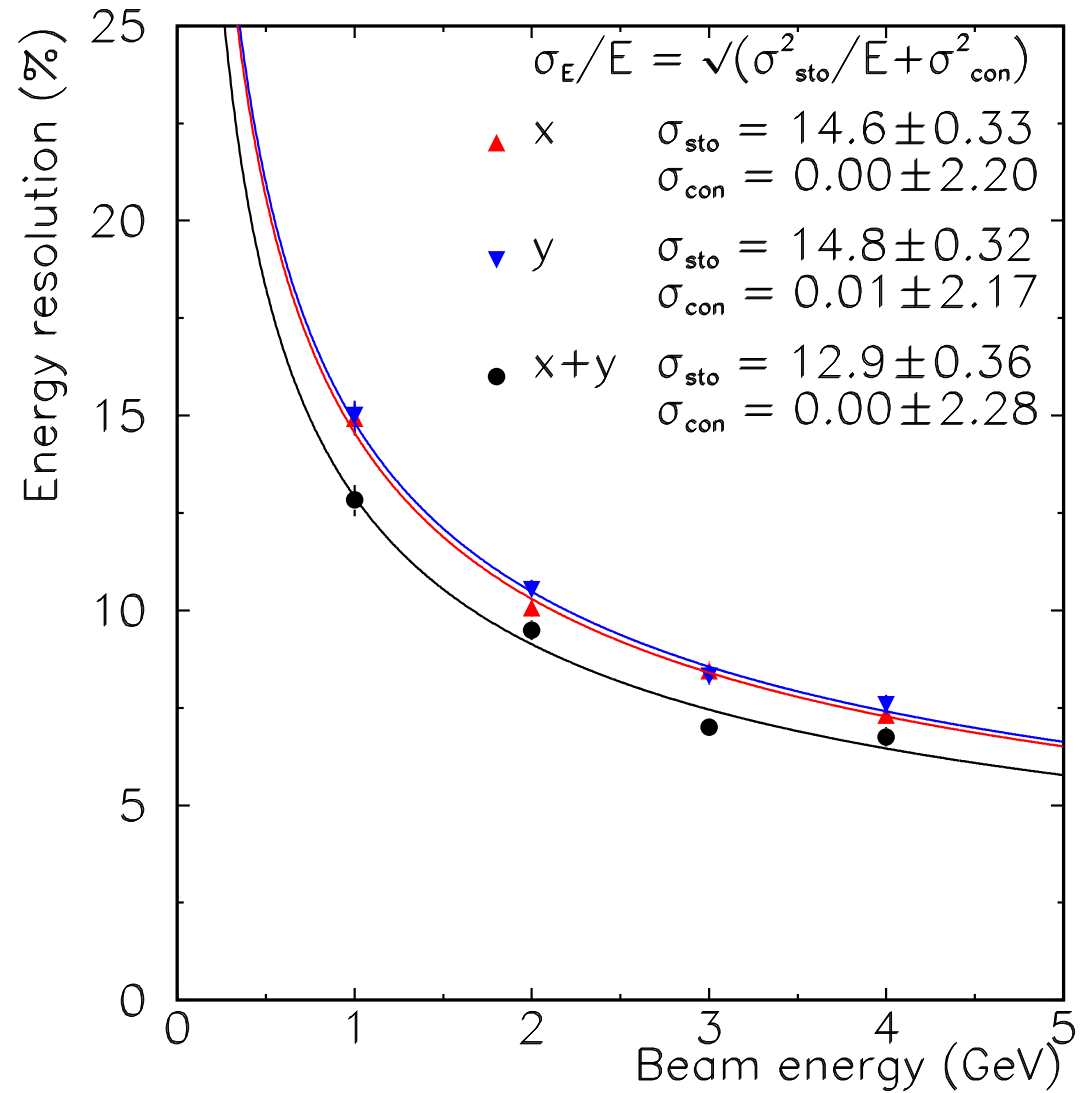


エネルギー分解能

Simulation



Beam Test (corrected)



Geant 3

最大ステップサイズ : 0.2 cm , カットオフ : 10 KeV

ジオメトリ : WLS, ペットフィルム, ホワイトペイントは省略

要求値 $15\%/\sqrt{E} \oplus 1\%$ を満たす

エネルギー分解能

エネルギー分解能は次の式で表せる

$$\frac{\sigma}{E} = \frac{\sigma_{sto}}{\sqrt{E(\text{GeV})}} \oplus \sigma_{con}$$

$$A \oplus B \equiv \sqrt{A^2 + B^2}$$

σ_{con} : 定数項

- カロリメータ応答の非線形性
- シャワーの漏れ
- カロリメータ応答校正の誤差

σ_{sto} : 統計項

- σ_{sample} : サンプルングによる粒子数の揺らぎ
- σ_{photo} : **Photo statistics** PMT の光電面から放出される **光電子数** の揺らぎ
- σ_{track} : **Track length fluctuation** 粒子の **シンチレータ中の通過距離** の揺らぎ

$$\sigma_{sto}^2 = \sigma_{sample}^2 + \sigma_{photo}^2 + \sigma_{track}^2$$

エネルギー分解能

σ_{photo} : Photo statistics

ベンチテストより 1 GeV あたり 366 pes/GeV

- x ストリップ・シンチレータのみ読みだし $\sigma_{photo(x)} = 1/\sqrt{366} \times 100 = 5.2\%$
- x+y ストリップ・シンチレータ読みだし $\sigma_{photo(x+y)} = 1/\sqrt{2 \times 366} \times 100 = 3.7\%$

σ_{track} : Track length fluctuation

シュミレーションには Photo statistis の効果が入っていない

- x ストリップ・シンチレータのみ (シンチレータ中の通過距離 2 mm)
→ 統計項 $\sigma_{sto(x)}^{sim 2} = \sigma_{sample}^2 + \sigma_{track(2mm)}^2$
- x+y 両方のストリップ・シンチレータ (シンチレータ中の通過距離 4 mm)
→ 統計項 $\sigma_{sto(x+y)}^{sim 2} = \sigma_{sample}^2 + \sigma_{track(4mm)}^2$

$$\sigma_{track}^2 = \sigma_{sto(x)}^{sim 2} - \sigma_{sto(x+y)}^{sim 2}$$

$$\sigma_{track}^2 = \sigma_{track(4mm)}^2 - \sigma_{track(2mm)}^2 \text{ と定義する}$$

エネルギー分解能

	Beam Test σ_{sto}		Simulation σ_{sto}
x	$\sigma_{sto(x)}^{beam}$	$\leftarrow \sigma_{photo(x)} \rightarrow$	$\sigma_{sto(x)}^{sim}$
x+y	$\sigma_{sto(x+y)}^{beam}$	$\leftarrow \sigma_{photo(x+y)} \rightarrow$	$\sigma_{sto(x+y)}^{sim}$

$\updownarrow \sigma_{track}$

1. シミュレーションの結果を比較, σ_{track} を求める

$$\sigma_{track} = \sqrt{\sigma_{sto(x)}^{sim 2} - \sigma_{sto(x+y)}^{sim 2}} = \sqrt{13.4^2 - 11.8^2} = 6.35\%$$

2. ビームテストの結果を比較

$$\sigma_{sto(x+y)}^{beam 2} - \sigma_{photo(x+y)}^2 + \sigma_{track}^2 + \sigma_{photo(x)}^2 \quad \text{と} \quad \sigma_{sto(x)}^{beam 2} \quad \text{を比較}$$

$$\sqrt{\sigma_{sto(x+y)}^{beam 2} - \sigma_{photo(x+y)}^2 + \sigma_{track}^2 + \sigma_{photo(x)}^2}$$

$$= \sqrt{12.9^2 - 3.70^2 + 6.35^2 + 5.23^2} = 14.8 \pm 0.34\%$$

$$\sigma_{sto(x)}^{beam} = 14.6 \pm 0.33\% \quad \text{と誤差の範囲で一致}$$

位置分解能, 角度分解能

1 ~ 4 GeV 電子を入射

1. シャワーの横方向の広がりから各スーパーレイヤーでシャワー重心を再構成

イベントごとに横方向のシャワーの広がりをガウス分布でフィットし平均を求める
波高が最大値をとるストリップ・シンチレータを中心として7点でフィットする

2. ビームドリフトチェンバーで再構成された各スーパーレイヤーでの飛跡の外挿とのずれの分布をガウス分布でフィット

位置分解能を求める

・ドリフトチェンバーで再構成された各スーパーレイヤーでの
飛跡の外挿の位置分解能は $\simeq 500\mu\text{m}$

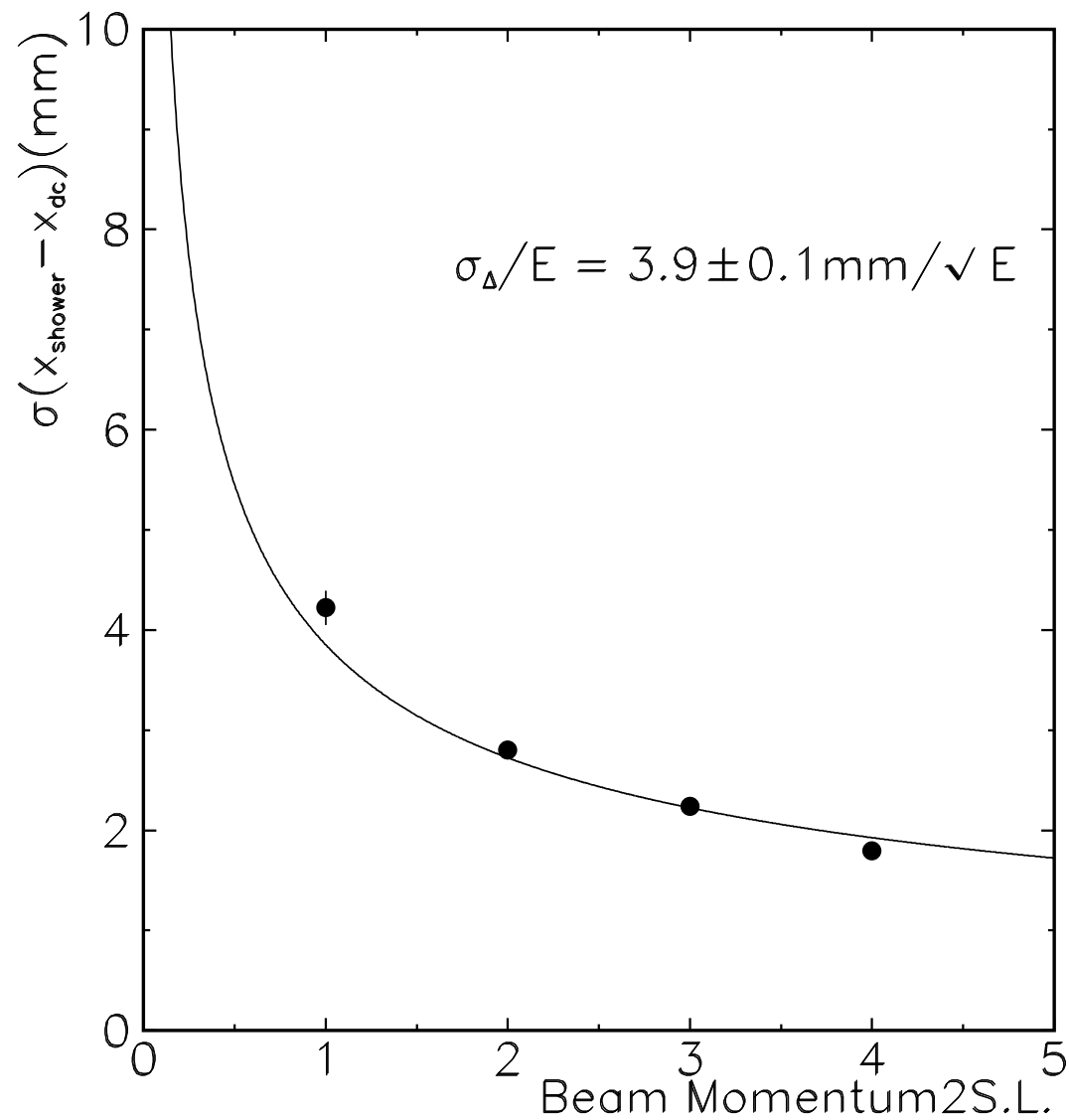
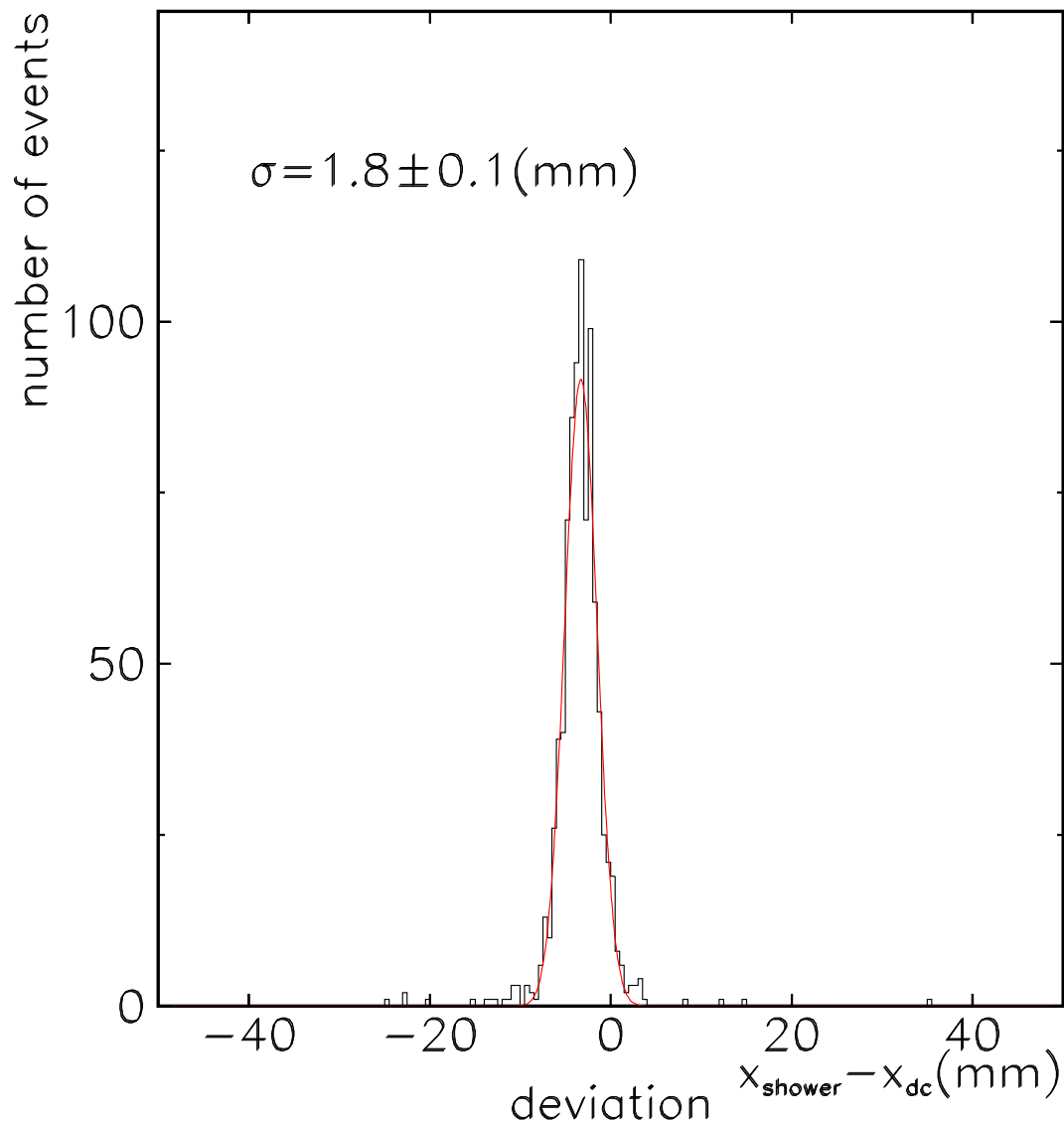
3. 再構成されたシャワー重心を奥行き方向に直線フィット

角度分解能を求める

位置分解能

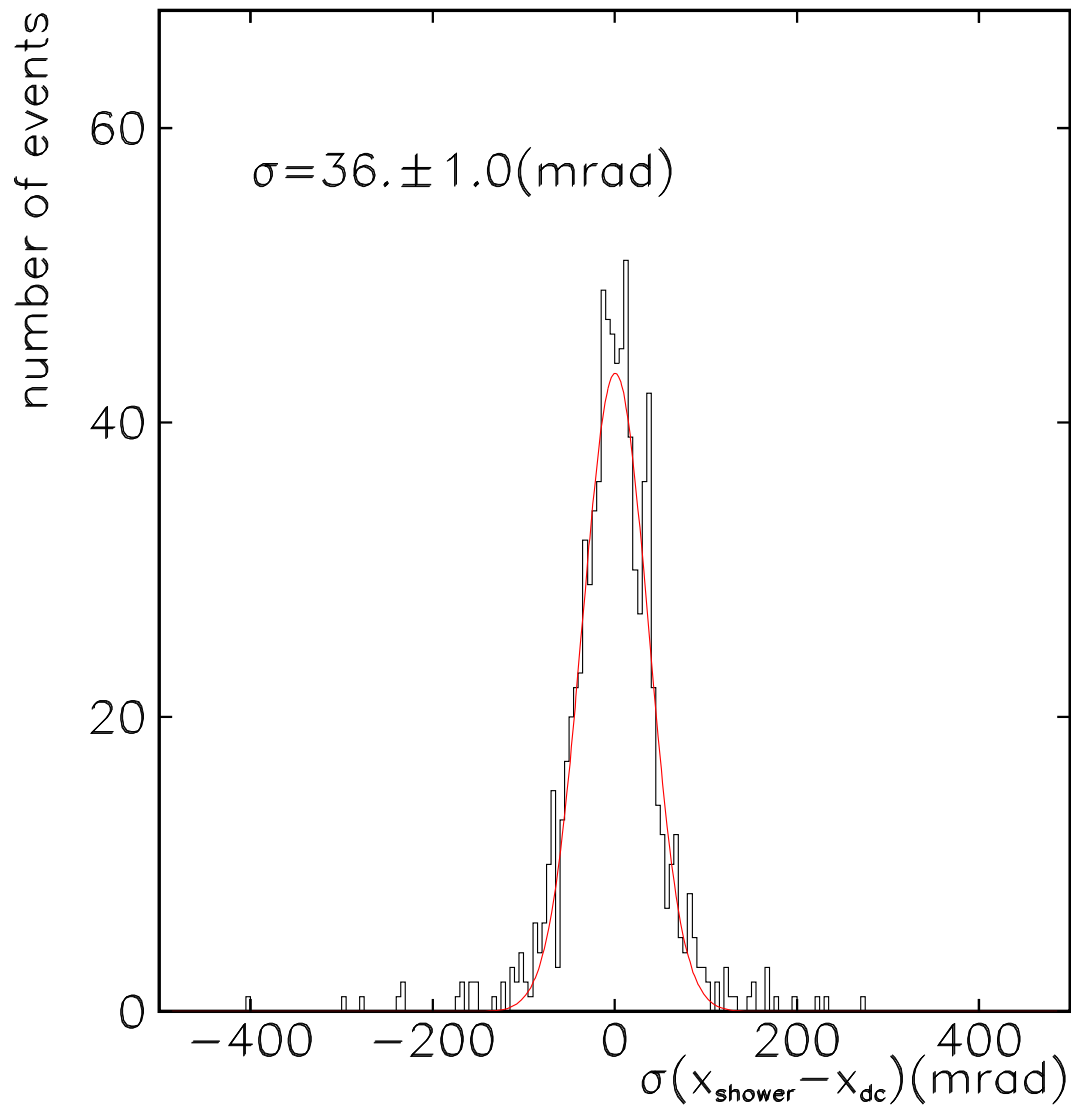
4 GeV e^- 入射, x 軸第 2 スーパーレイヤー

x 軸第 2 スーパーレイヤーに対する位置分解能

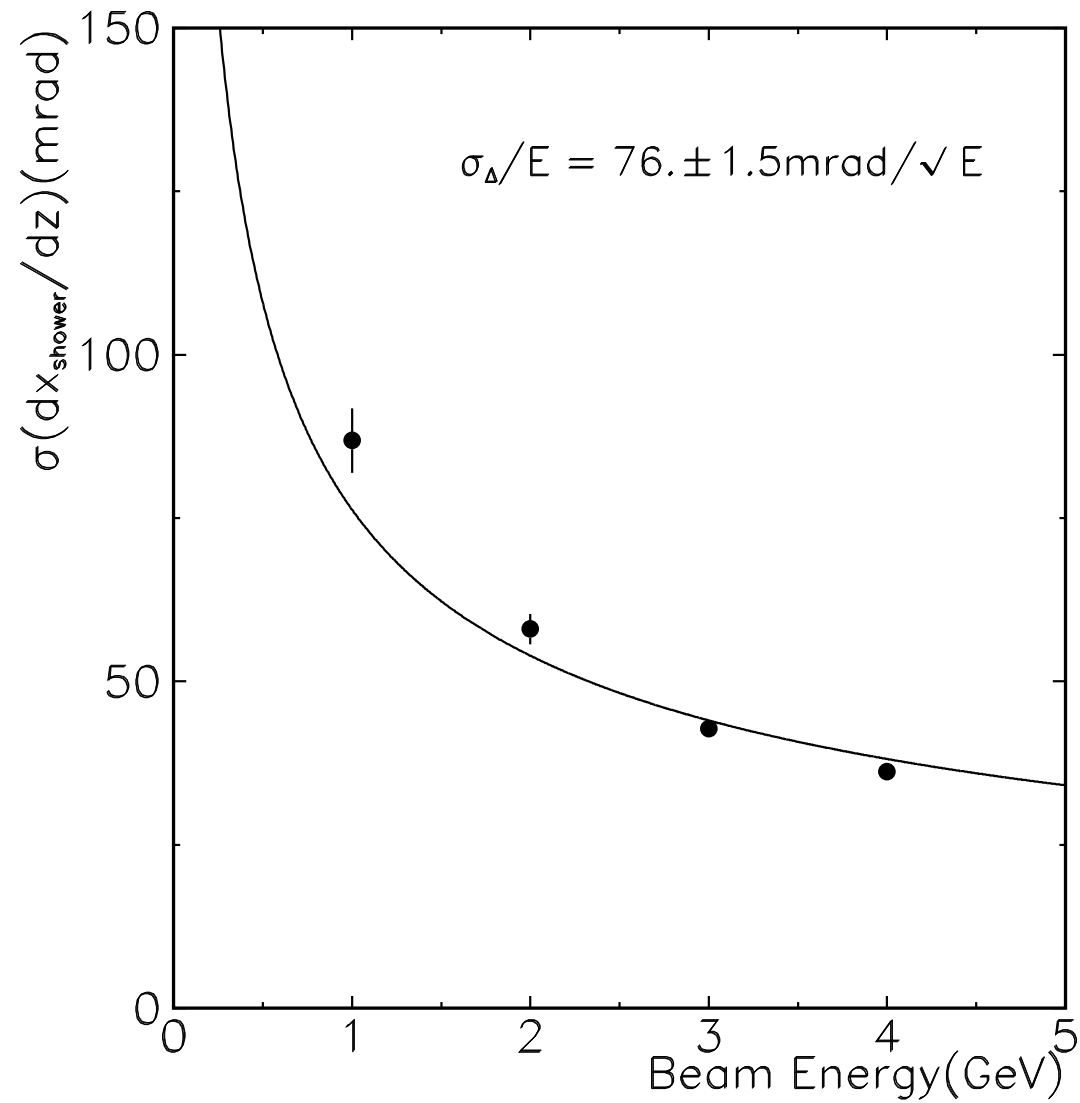


角度分解能

4 GeV e^- 入射, x 軸



x 軸 に対する角度分解能



シャワー角度再構成

カロリメータ全体を $0 \sim 3^\circ$ 傾けて

2 GeV 電子入射

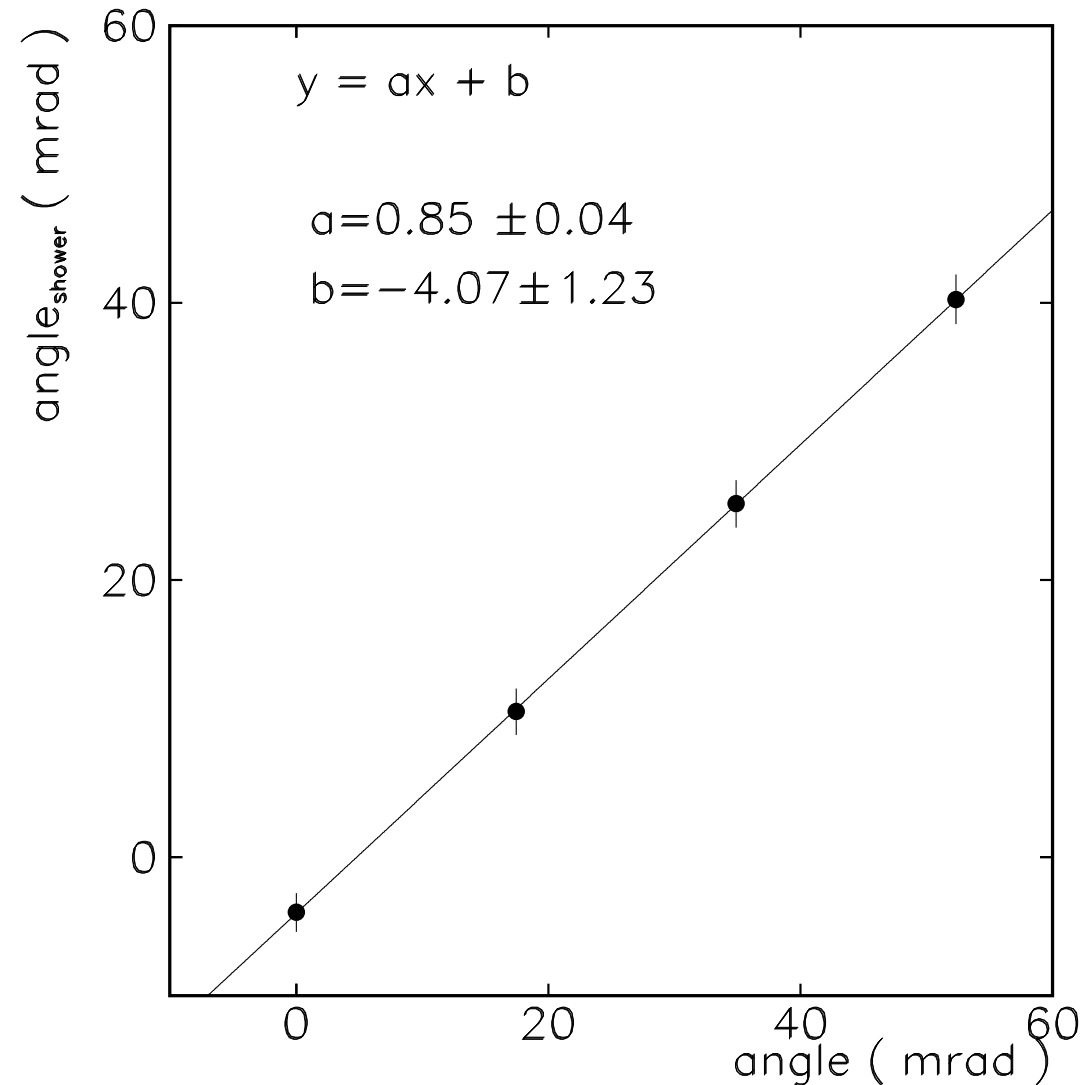
実際に傾けた角度と

シャワーから再構成された角度のプロットを
直線フィット, 傾きは 0.85 ± 0.04

傾きが 1 より小さい

→ 奥行き方向の座標は各スーパーレイヤーの
中央の位置を用いているため

→ 直線フィットをする際,
奥行き方向もシャワー重心を求めて
直線フィットする



π^- ビームに対する応答一様性

2 GeV π^- ビーム入射

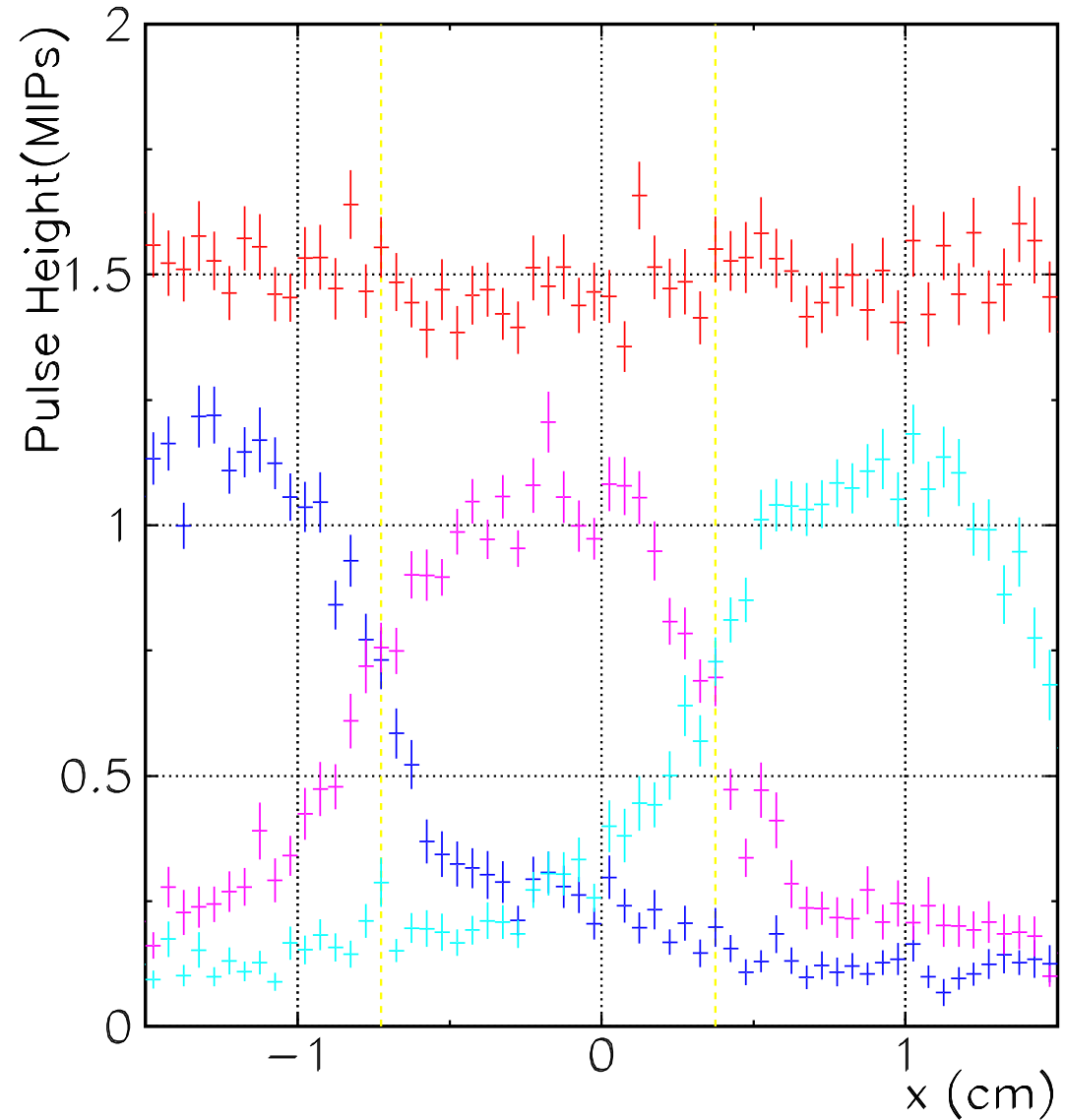
x 軸第 1 スーパーレイヤーに対する 応答一様性

1. シンチレータを 0.5 mm 間隔で分割し, その中を通過した粒子からの応答の平均を求め応答の位置依存性を調べた
2. シンチレータ 1cm 幅方向の応答のばらつきを求めた

中央部から ± 0.25 cm 範囲での

1 つのストリップ・シンチレータに対する
応答のばらつきは 6.8%

1 スーパーレイヤーに対する
応答のばらつきは 4.6%



e^- ビームに対する応答一様性

2 GeV e^- ビーム入射

x 軸第 1 スーパーレイヤーに対する

応答一様性

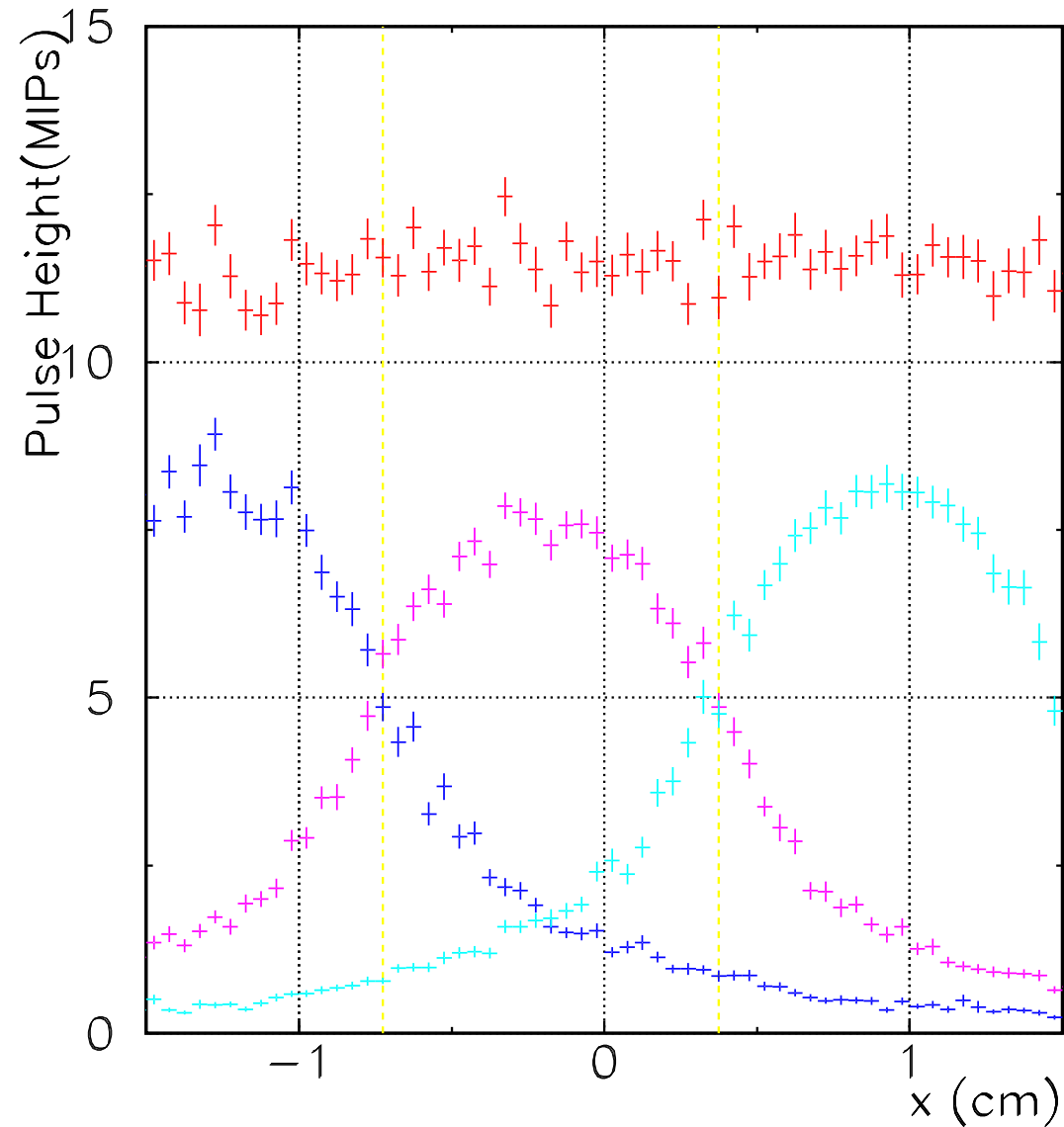
中央部から ± 0.25 cm 範囲での

1 つのストリップ・シンチレータに対する

応答のばらつきは 3.9%

1 スーパーレイヤーに対する

応答のばらつきは 3.5%



まとめ

エネルギー分解能：

$$\frac{\sigma_E}{E} = \frac{(12.9 \pm 0.4)\%}{\sqrt{E(\text{GeV})}} \oplus (0.0 \pm 2.3)\%$$

位置分解能：

1 ~ 4 GeV の電子, x 軸 2 スーパーレイヤーに対する位置分解能は

$$\sigma_{\Delta} = (3.9 \pm 0.1)\text{mm}/\sqrt{E(\text{GeV})}$$

角度分解能：

1 ~ 4 GeV の電子, x 軸 に対する角度分解能は

$$\sigma_{\Delta} = (75. \pm 1.5)\text{mrad}/\sqrt{E(\text{GeV})}$$

シャワー角度再構成：

0 ~ 3 °傾いたビームに対する相関は

$$0.85 \pm 0.04$$

応答一様性：

2 GeV π^- 入射に対する応答のばらつきは

1 ストリップ：6.8%, 第 1 スーパーレイヤー：4.6%

2 GeV e^- 入射に対する応答のばらつきは

1 ストリップ：3.9%, 第 1 スーパーレイヤー：3.5%