



The Performance of the Physics Prototype of the CALICE ScWECAL for ILD

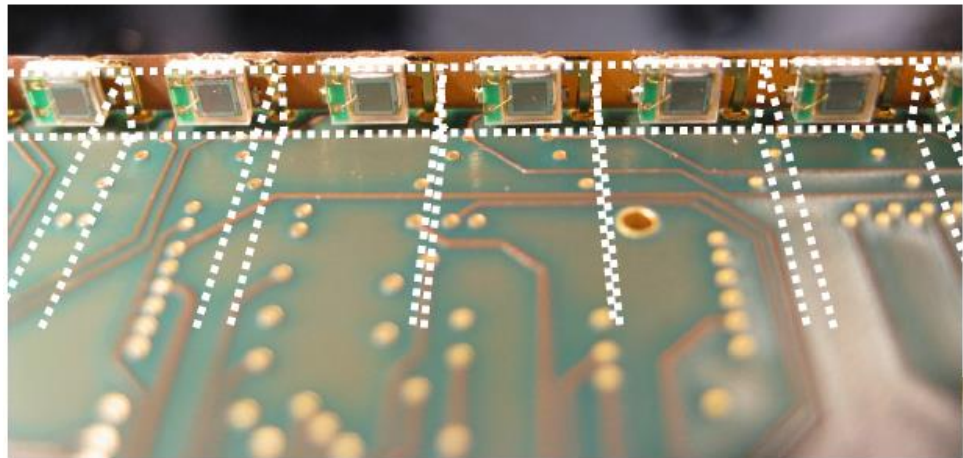
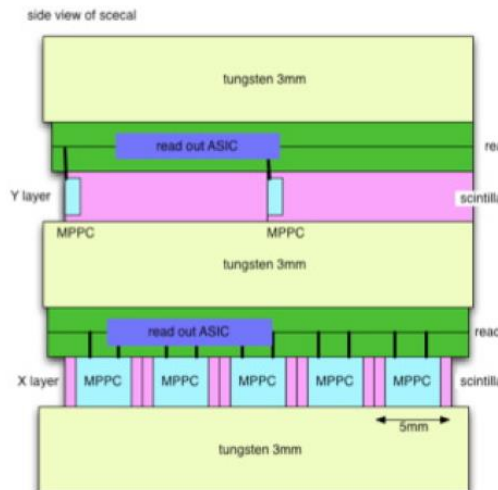
2013年7月23日

ILC夏の合宿@富山

須藤裕司 (九州大学)

ScWECAL for ILD

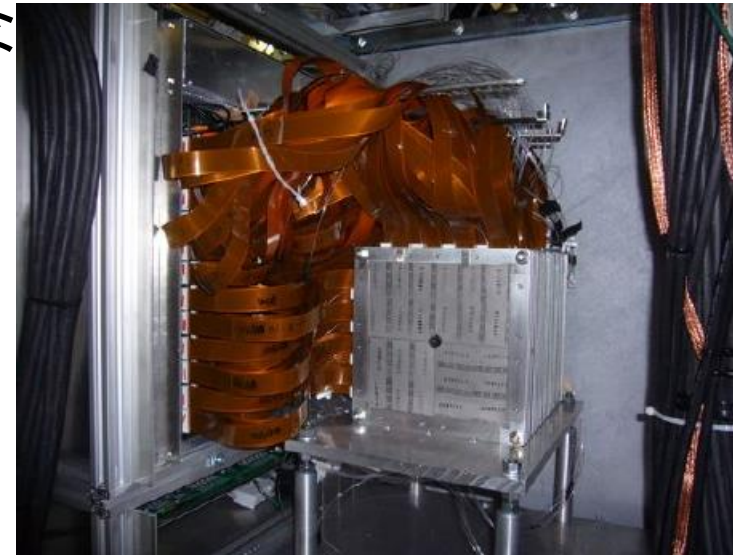
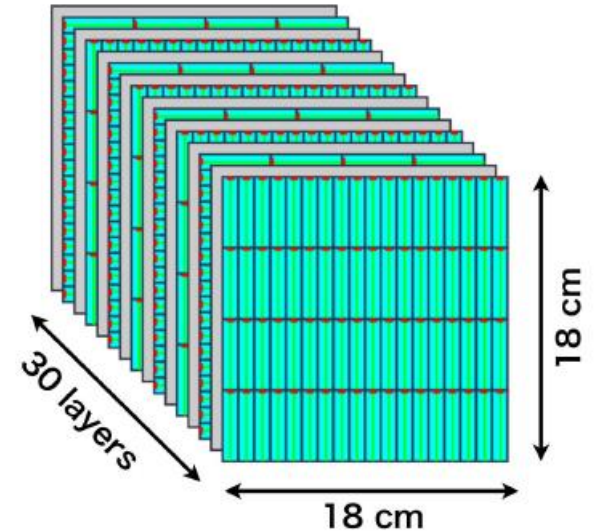
- Pixelated Photon Counter (PPD)の発達により大きなデッドスペースをなくしつつ、細かく分割したシンチレータを敷き詰めることが可能となった。
- ScWECALはシンチレータタンゲステン電磁カロリメータで30層の吸収層と検出層で構成される。
- ScWECALはILD検出器のコスト削減につながる



ScWECAL Physics Prototype

- 吸収層: 3.5mm タングステン
- 検出層:
10x45x3mm³ scintillator + WLSF + MPPC
- 面積 : 18x18 cm²
- 奥行き : 30 layers (~21X₀)
- 2160 channel

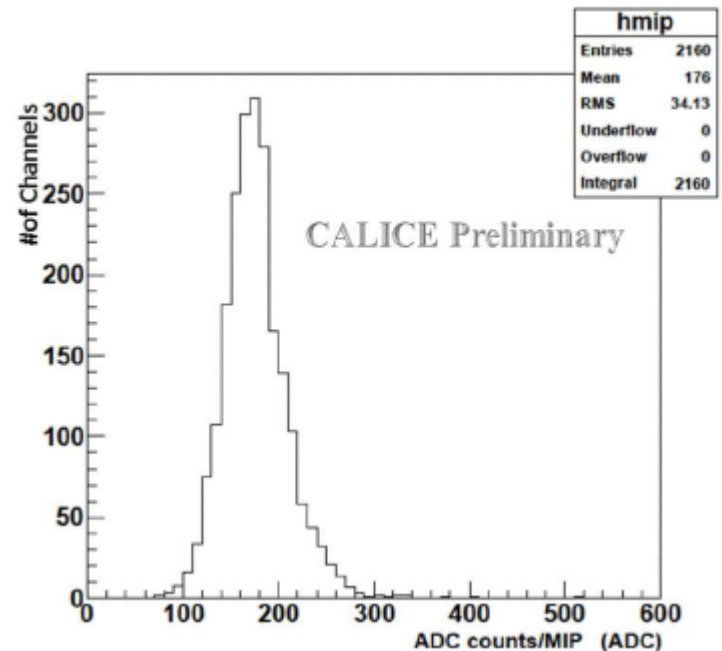
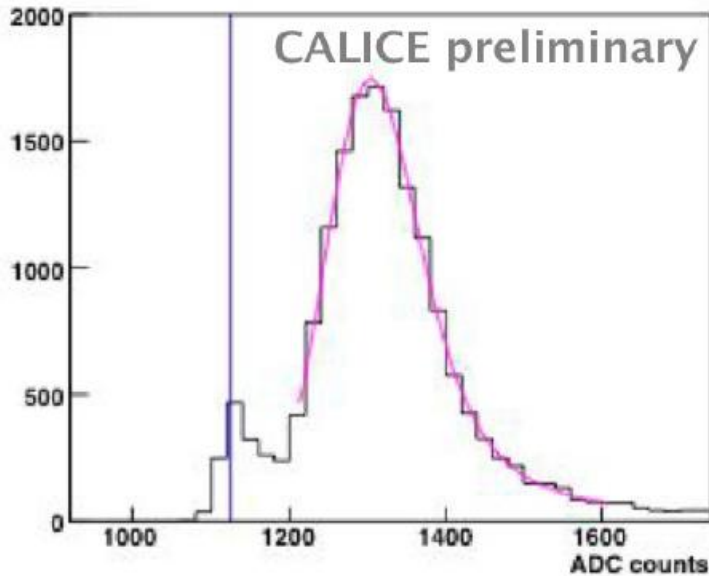
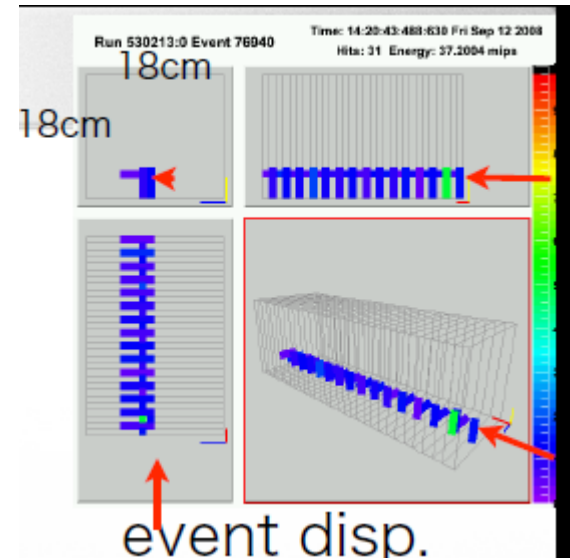
シンチレータストリップの検出層を直交するように積層することで 10x10 mm² の実質的な分割を可能にする。



MIPによる応答較正

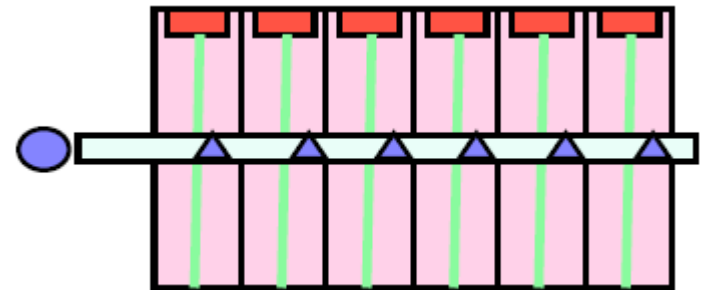
32 GeV muonを使って応答を較正

MIP like signalをガウシアンを畳み込んだランダウ分布でフィットし全チャンネル(2160ch)に対してMPVを求めた。

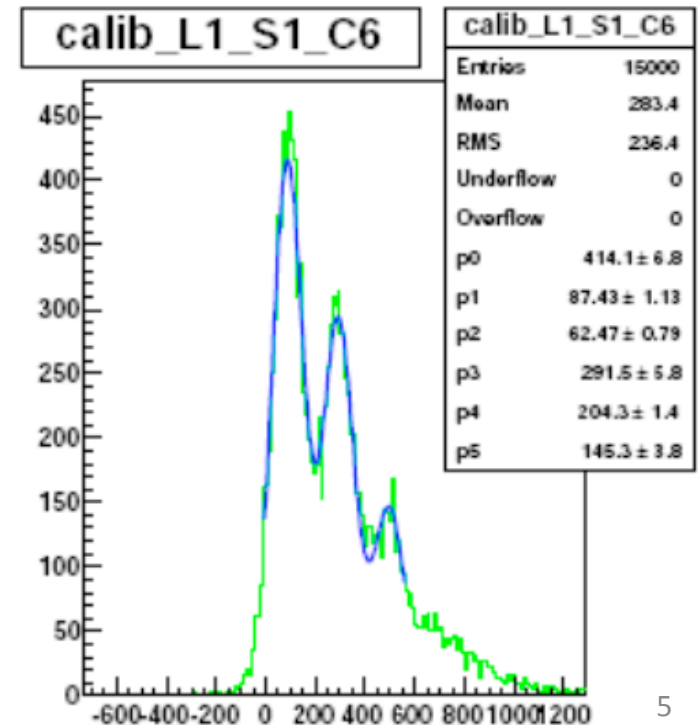
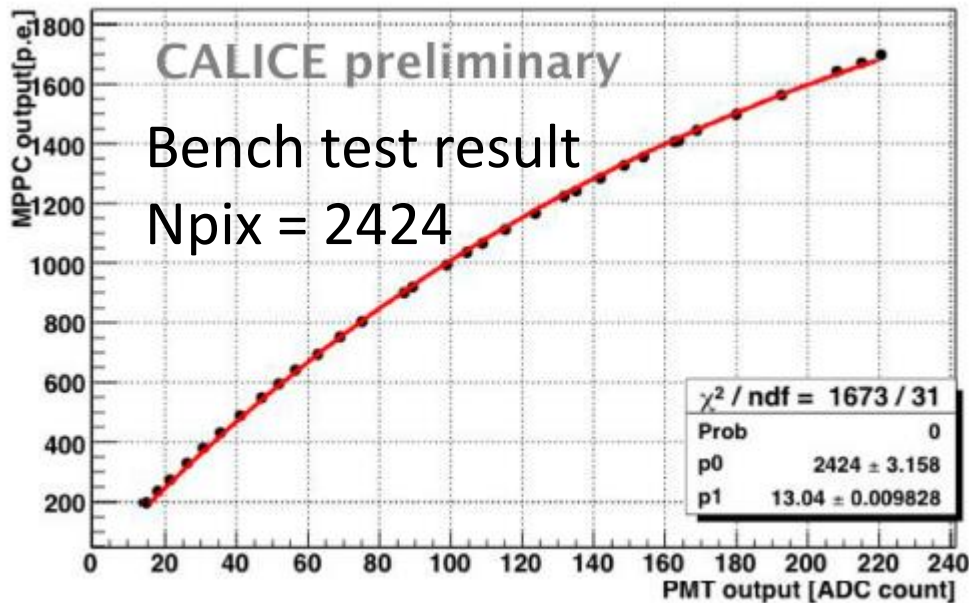


MPPC Gain Monitoring and Saturation Correction

- LED + fiberを用いてgainのモニタリングを行った。
- MPPC saturation correction

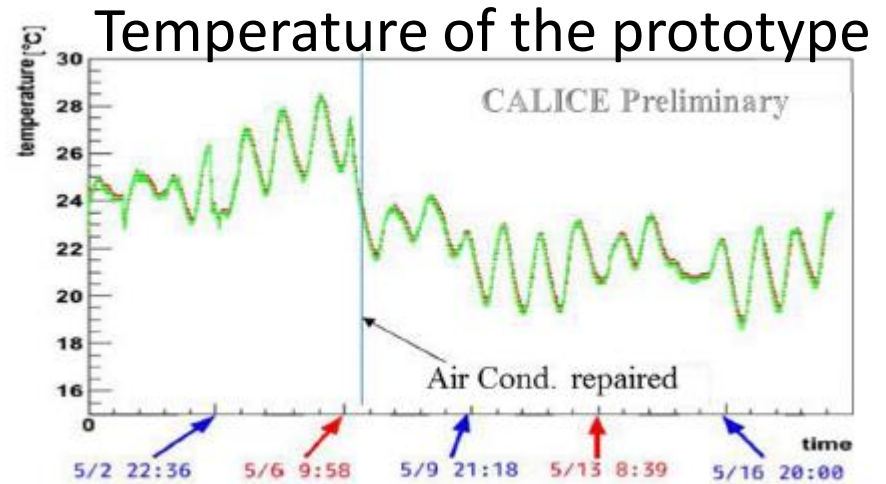


$$N_{\text{fired}} = N_{\text{pix}} \left(1 - \exp \left(\frac{-\epsilon N_{\text{in}}}{N_{\text{pix}}} \right) \right)$$

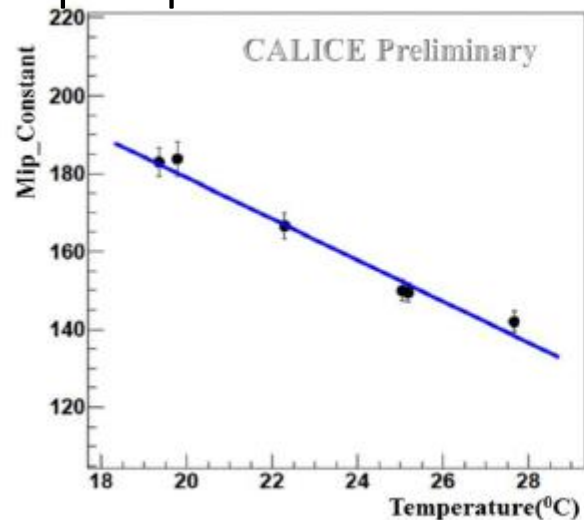


Temperature Correction

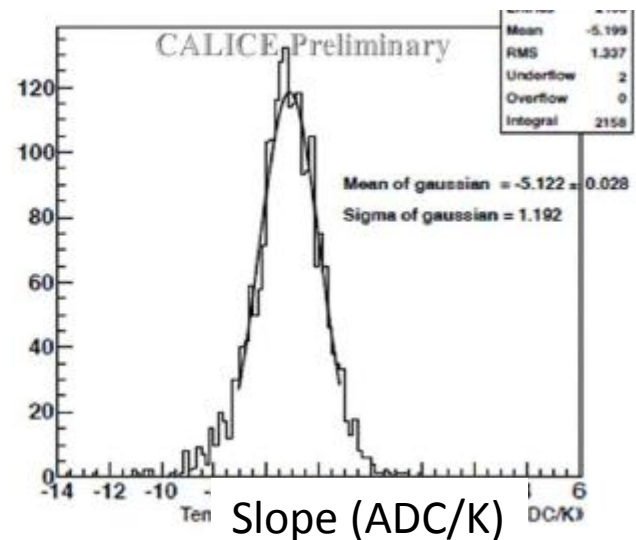
- MPPC gain is sensitive for temperature.
- We monitored temperature on the surface of the prototype.
- We fitted MIP response with linear function to estimate gain-temperature dependence.



Temp. dependence of one channel.

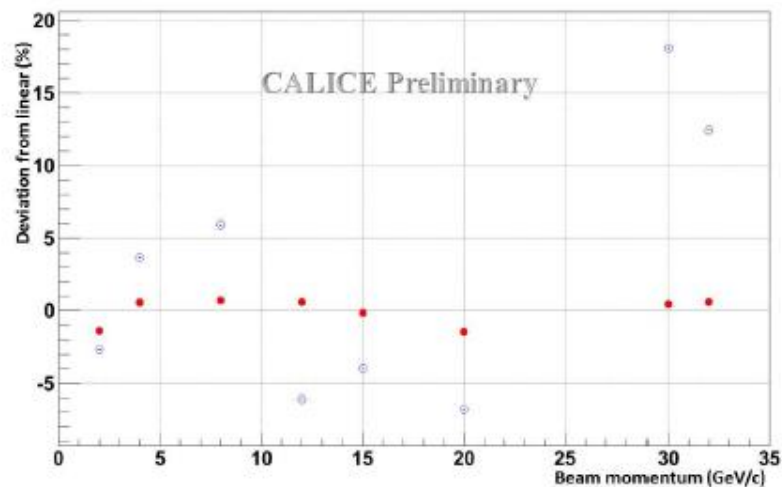
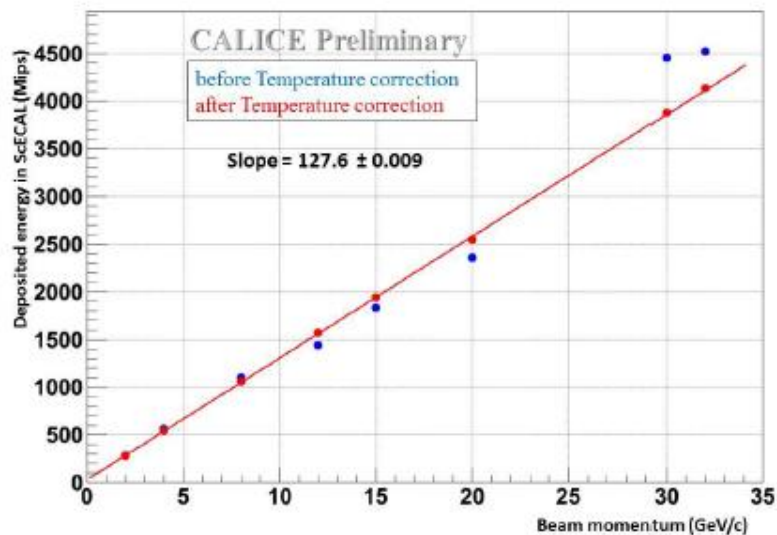
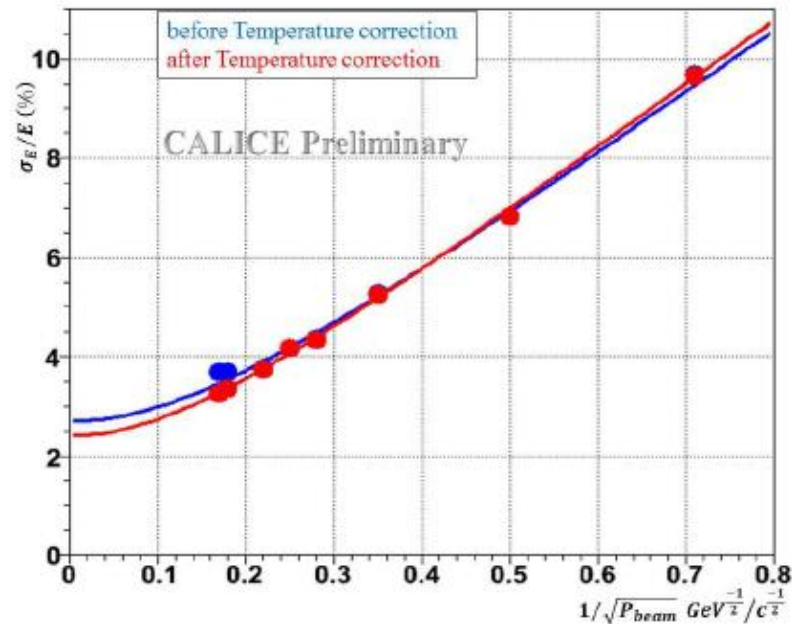


Temp. dependence of all channel.



ScWECAL の性能

- 2 – 32 GeV e^- beam
電子の事象選別後
- 線形フィットからのズレは < 2 %.
- エネルギー分解能は
 - $\sigma_{stoc.} = 13.13 \pm 0.03(\text{stat.}) \%$
 - $\sigma_{const.} = 2.41 \pm 0.01(\text{stat}) \%$



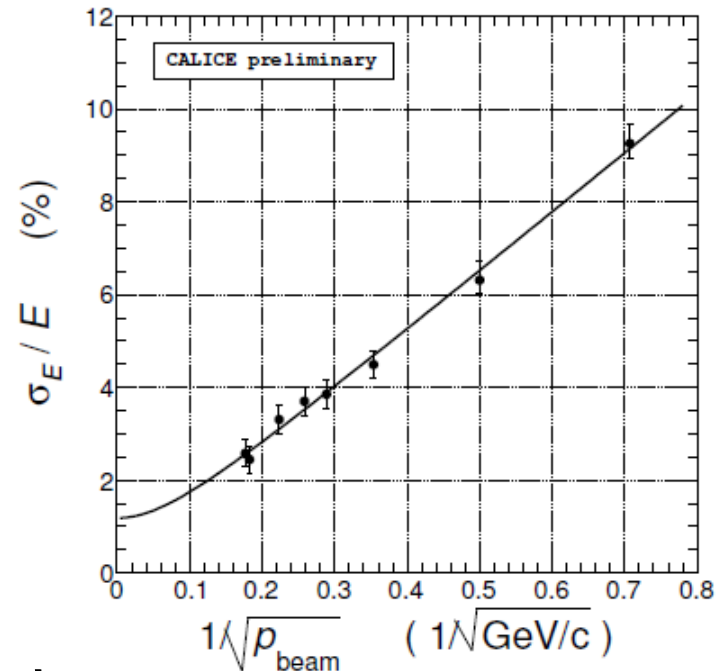
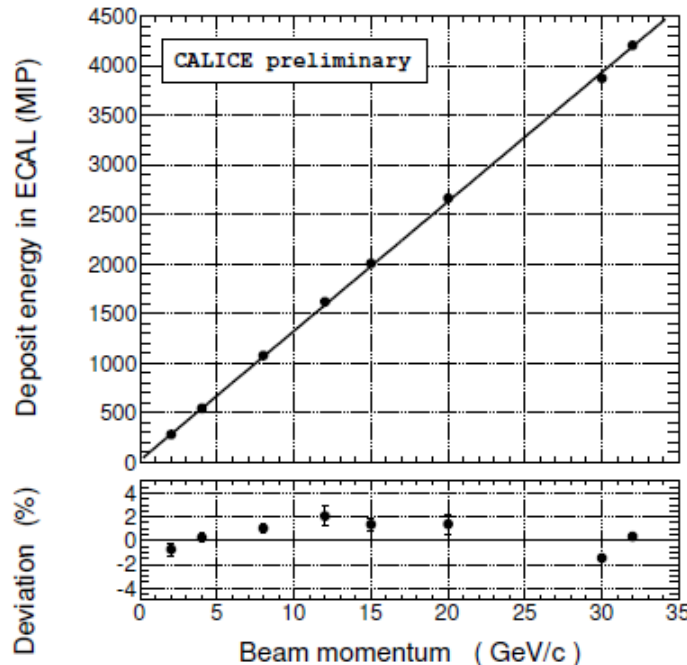
ScWECALの性能 続き

電子ビームの運動量のばらつき

FNAL MT6での電子ビームのふらつきは

$2.7 \pm 0.3 \%$ for 1-4 GeV, $2.3 \pm 0.3 \%$ for > 8 GeV

このふらつきを引くと $\sqrt{(\text{幅})^2 - (\text{ふらつき})^2}$



エネルギー分解能は

Stoc. = $12.9 \pm 0.1(\text{stat.}) \pm 0.4(\text{syst.})\%$

Const. = $1.2 \pm 0.1(\text{stat.}) \begin{matrix} +0.4 \\ -1.2 \end{matrix}(\text{syst.})\%$

Mokkaを使ったシミュレーション

- ビームテストの結果をMokkaを使って評価した。

Mokka : mokka-07-06-p02

Geant4 : geant4-09-04-pathc-01

- 使ったilcsoftとMarlin.

Ilcsoft : v01-11

Marlin : v01-00

- 大きなサイズのScWECALを設定

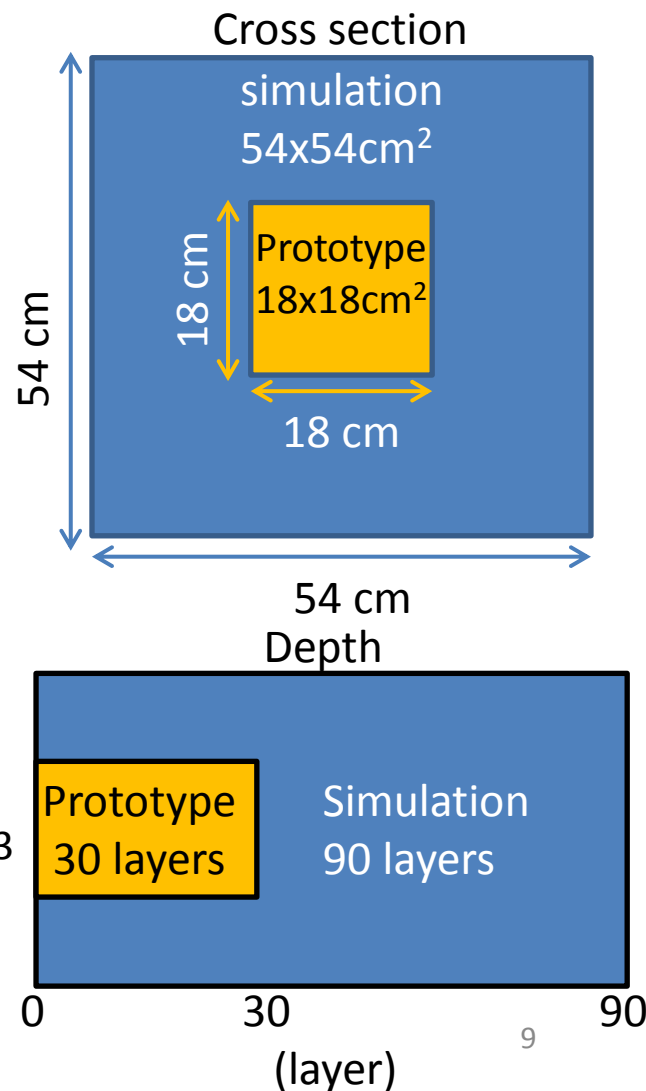
- 90 layers, 54x54cm²

- シンチレータのサイズ10x45x3 mm³

- prototype volumeは中央の2160ch

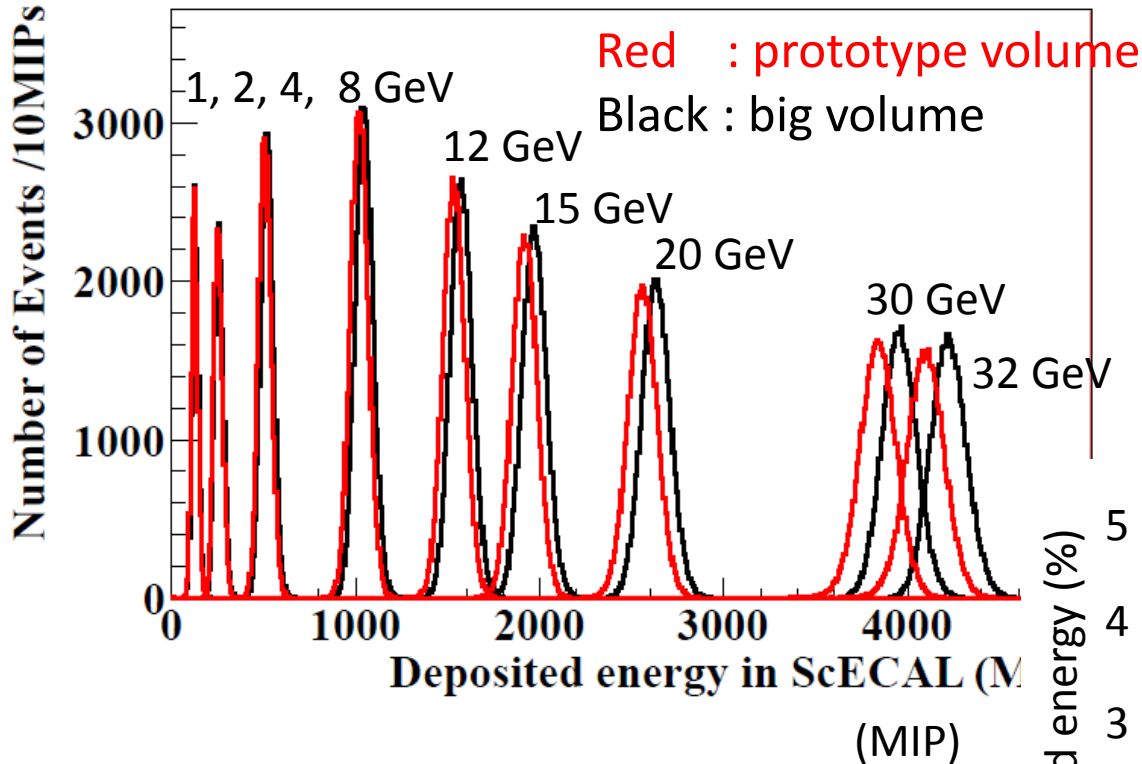
- 全体では58320 ch

- 吸収層 : W+C+Co+Cr 3.49mm , 14.25 g/cm³

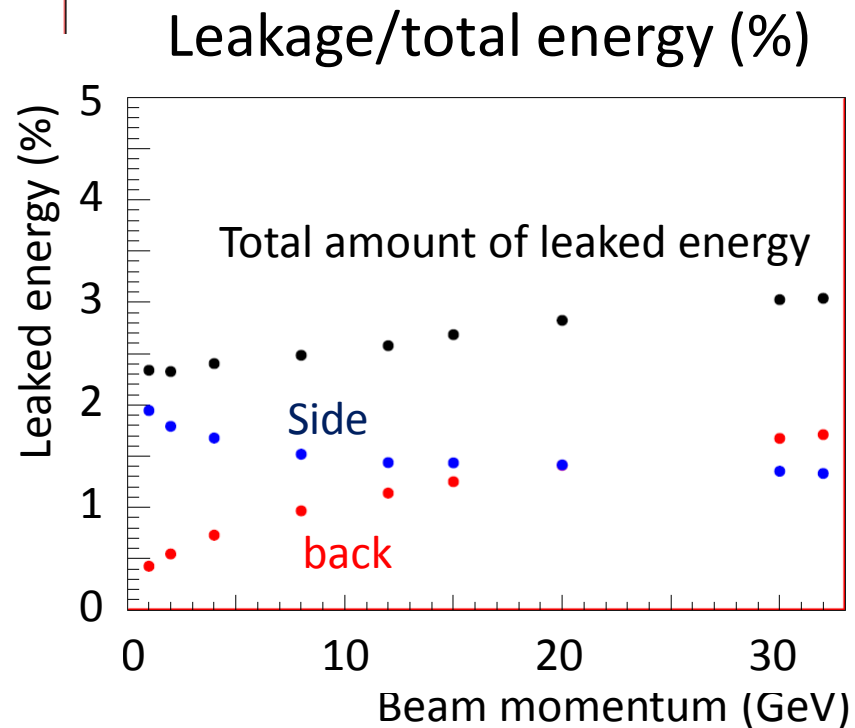


エネルギーの漏れ

各エネルギーでの分布



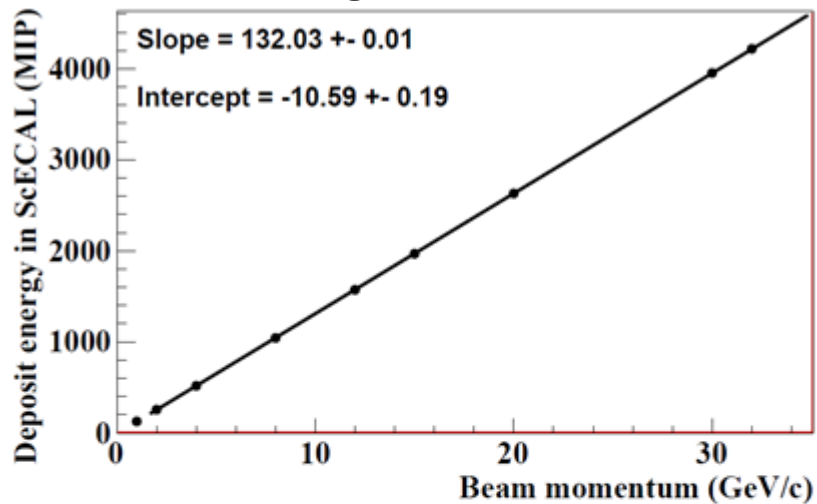
2.3 – 3 % が試作機の外にもれてしまう。



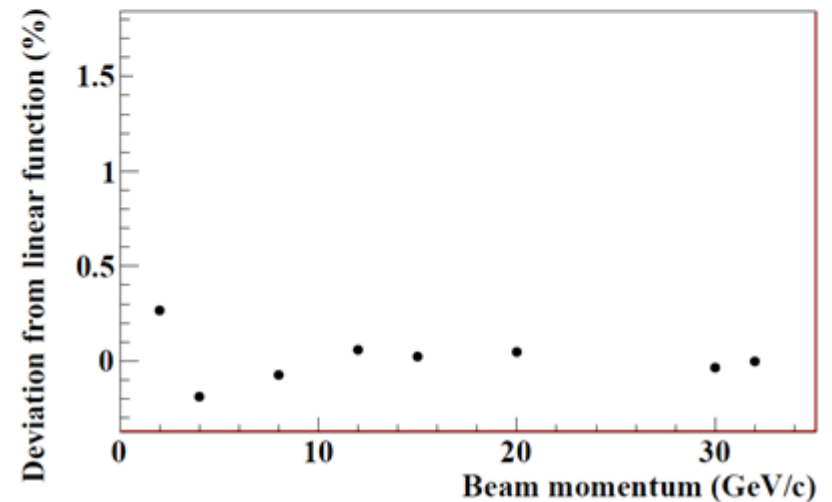
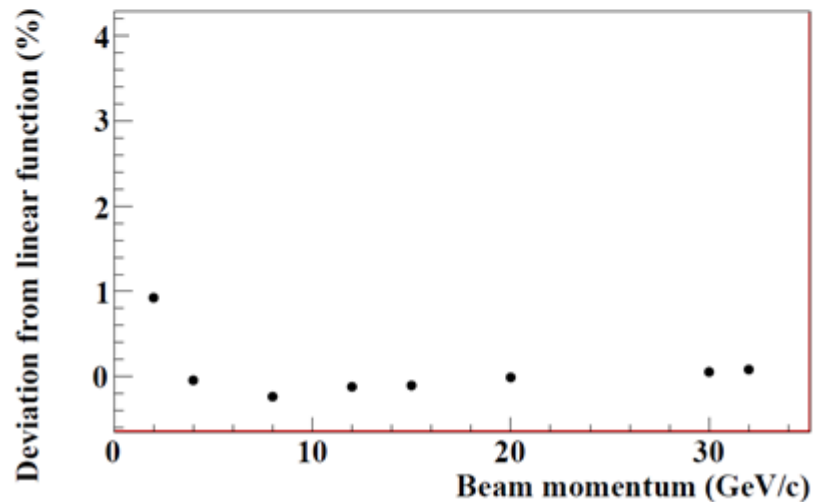
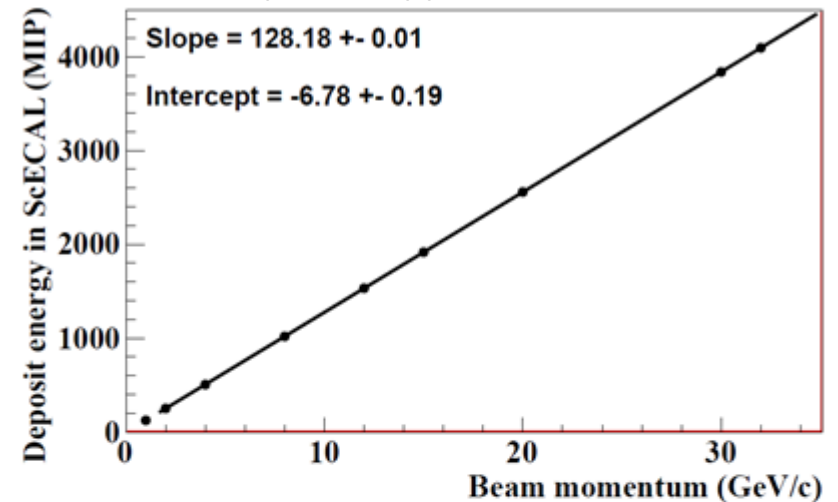
ScWECAL Response

- エネルギーの漏れにより~3%傾きが減少
- 線形性からのズレはどちらも 1%以内

Large volume

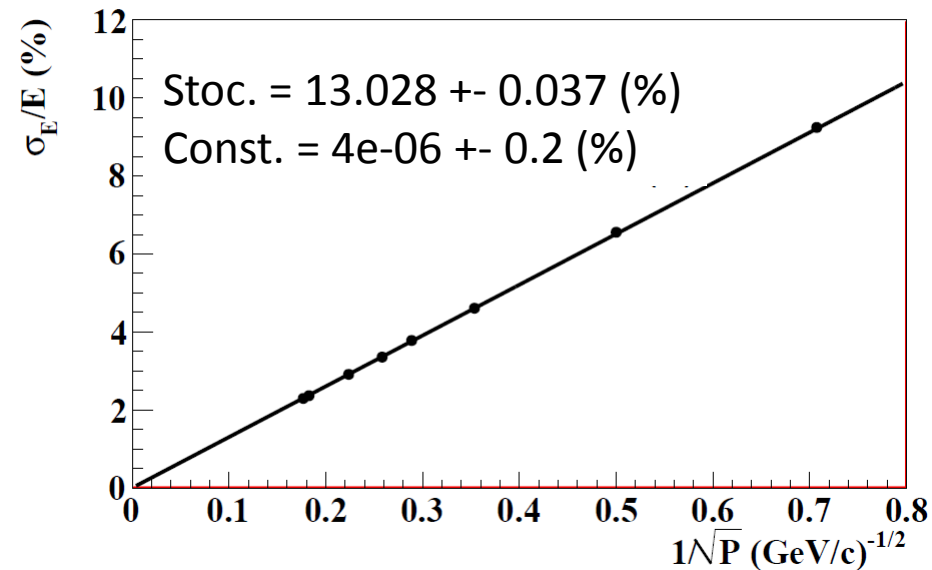


prototype volume

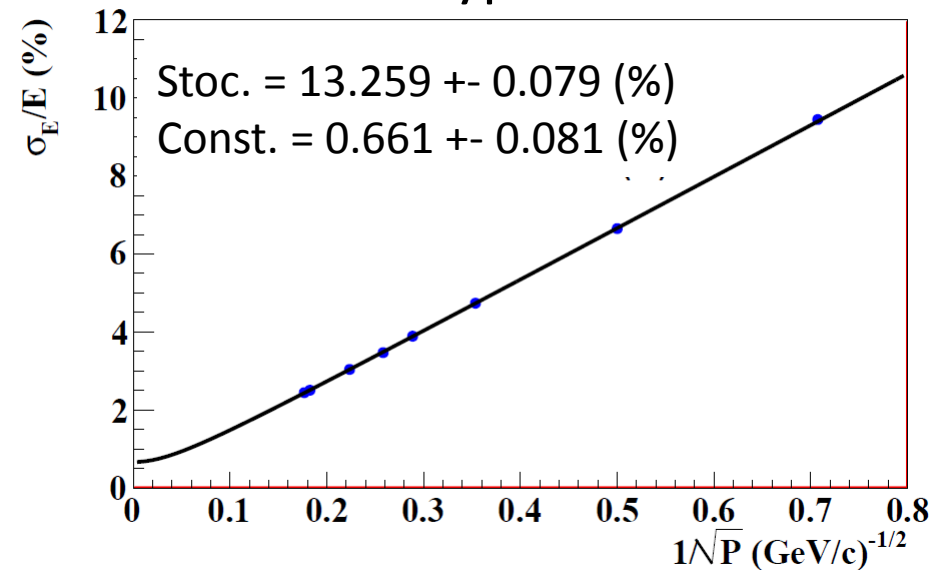


エネルギー分解能

Large Volume



Prototype Volume



~ 3% の漏れにより**0.66%** の定数項が生じた。

統計項は ~ 0.2% 増加した

漏れの中央値から ± 1 sigma の値から系統誤差を評価

+ 1σ : const. = 0.676, -1 σ = 0.657

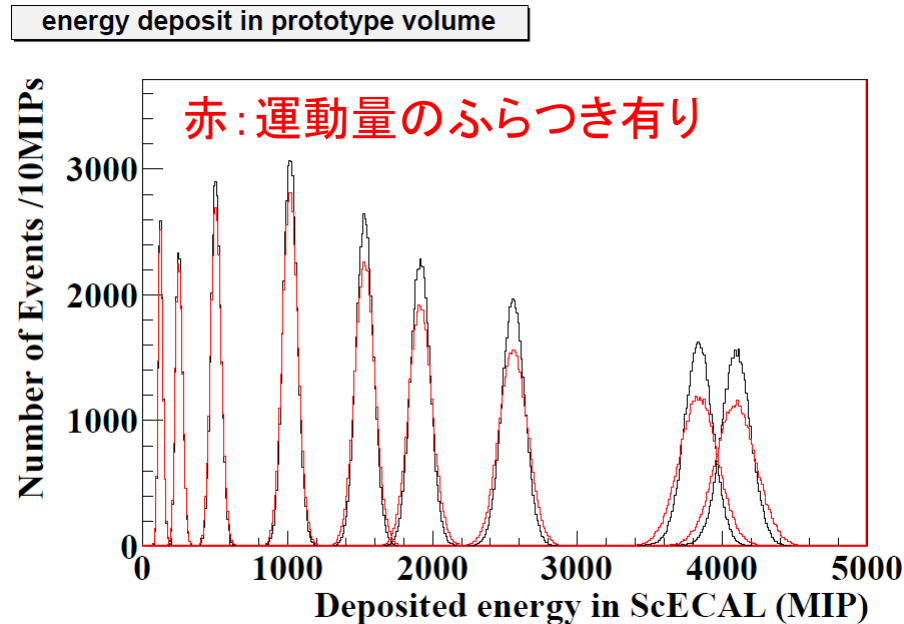
Δconst ± 0.02%

Const = 0.66 ± 0.08 ± 0.02 % (Δσ_{const.} フィットの不確実性が支配的) 12

電子ビームの運動量のふらつき

FNAL MT6 でのふらつきは

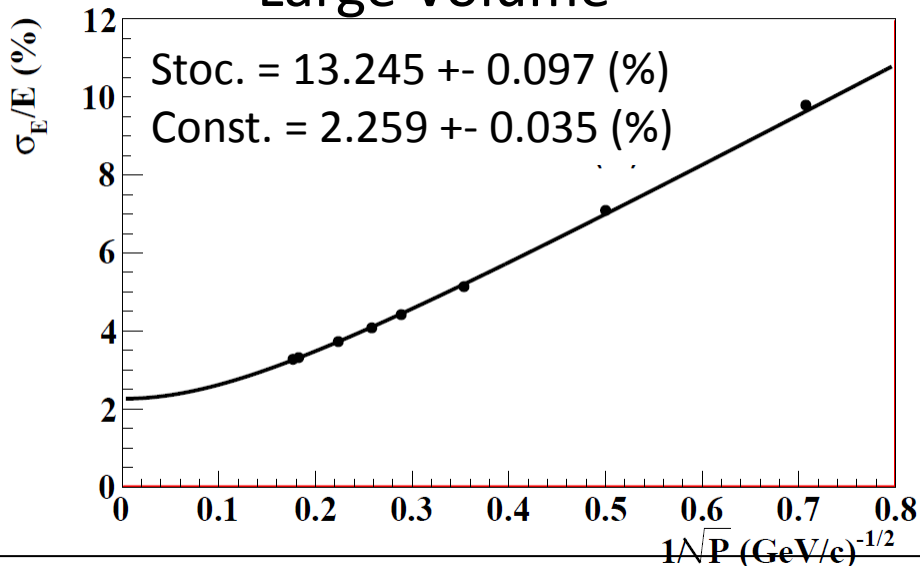
- $2.7 \pm 0.3 \%$ 1-4 GeV
- $2.3 \pm 0.3 \%$ > 8 GeV



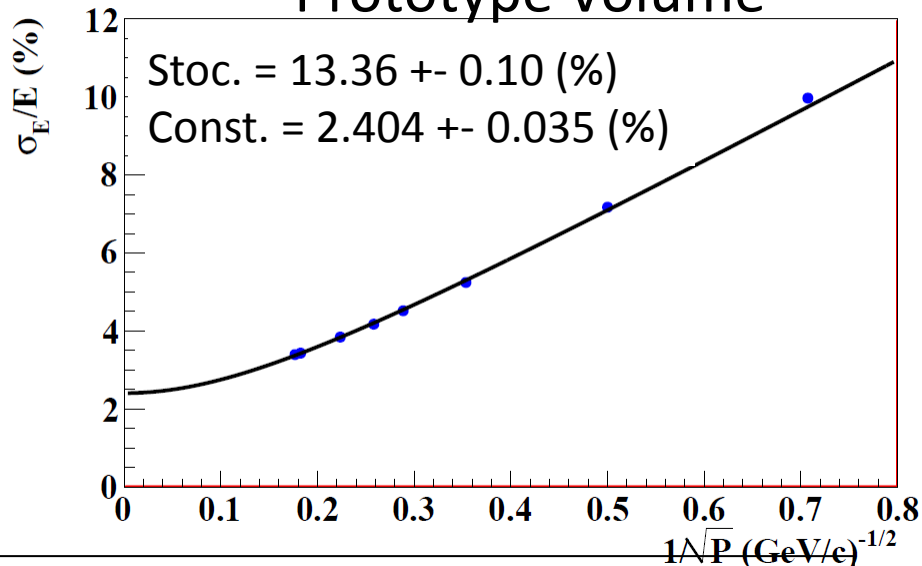
運動量のふらつきは幅を太くするが、
線形性は変えない

エネルギー分解能

Large Volume



Prototype Volume



ビームの運動量のふらつきにより**2.26%** の定数項が生じた。

ふらつきを ± 1 sigmaして系統誤差を評価

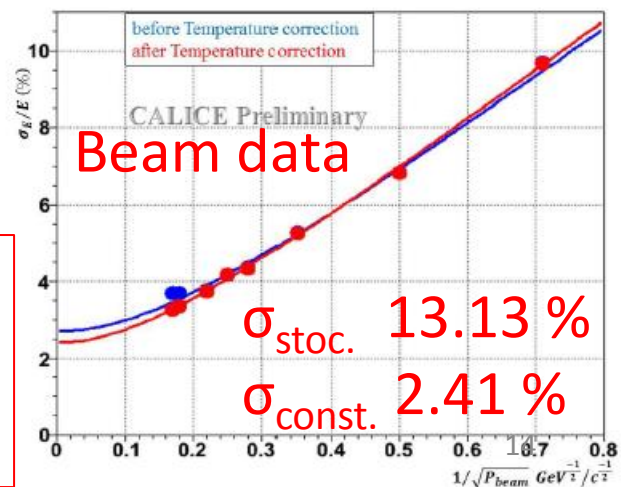
+ 1σ : const. = 2.56%, -1 σ const. = 1.94%

const. = 2.26 ± 0.04 (stat.) ^{+0.30}/_{-0.33} (syst.)%

ここまでのエネルギー分解能

Stoc. = 13.36 ± 0.1 (stat.) ± 0.45 (syst.)%

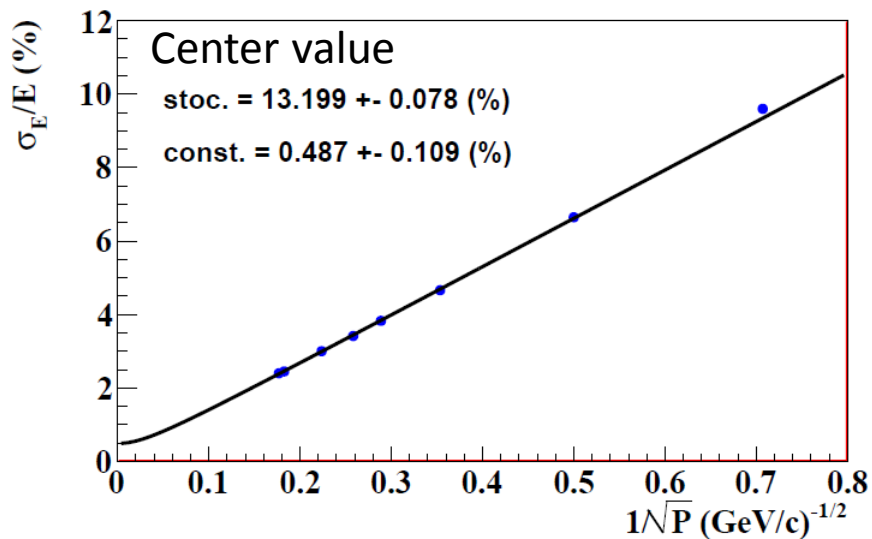
Const. = 2.40 ± 0.09 (stat.) ^{+0.30}/_{-0.33} (syst.) %



エネルギー分解能 データと同じ扱いをしてみると

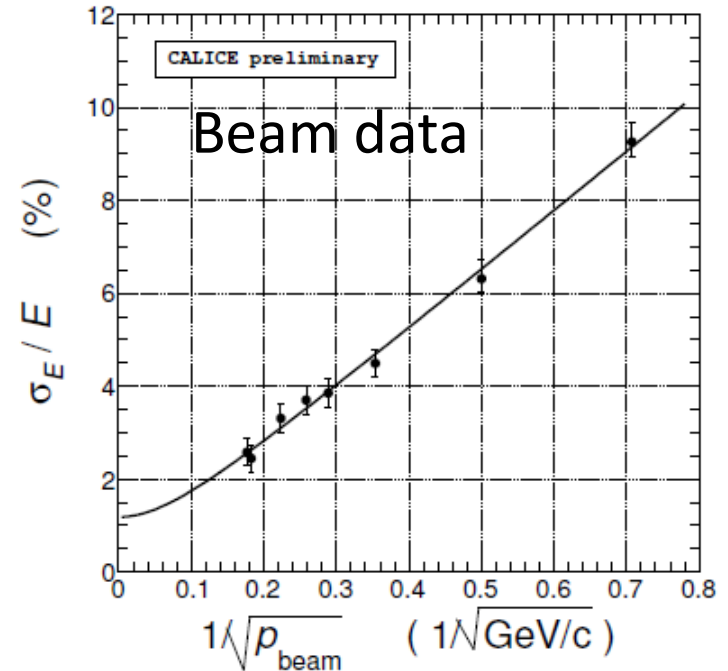
$\sqrt{(\text{幅})^2 - (\text{ふらつき})^2}$ をすると

Simulation Prototype Volume



13.20 ± 0.08 (stat.) ± 0.45 (syst.)

0.49 ± 0.1 (stat.) $^{+0.80}_{-0.49}$ (syst.)%



12.9 ± 0.1 (stat.) ± 0.4 (syst.)%

1.2 ± 0.1 (stat.) $^{+0.4}_{-1.2}$ (syst.)%

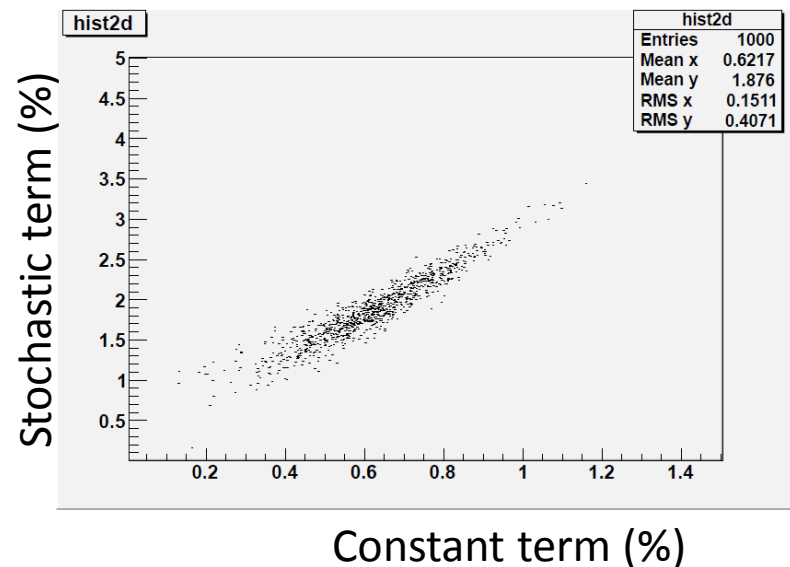
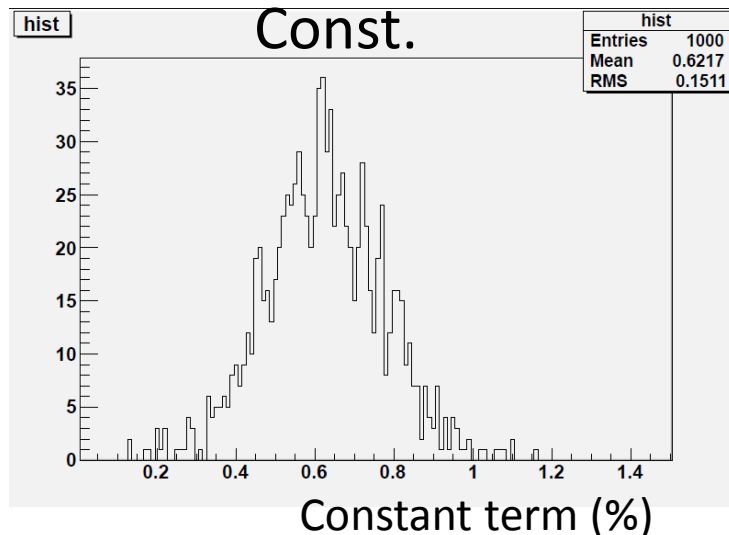
誤差の範囲であっている。

Saturation Effect

CALICE-Note16b

実効ピクセル数 $N_{\text{pix}} = 2428 \pm 29$ pixel, ばらつき **245 pixel**

- Gaussian をつかって各チャンネルの N_{pix} を決めた
(mean 2424, sigma $2424 * 0.1$)
- 1000 pseud-ex.
- Saturationの効果は 定数項 **$0.62 \pm 0.15 \%$**
- 統計項 **$1.49 \pm 0.43 \%$**



まとめ

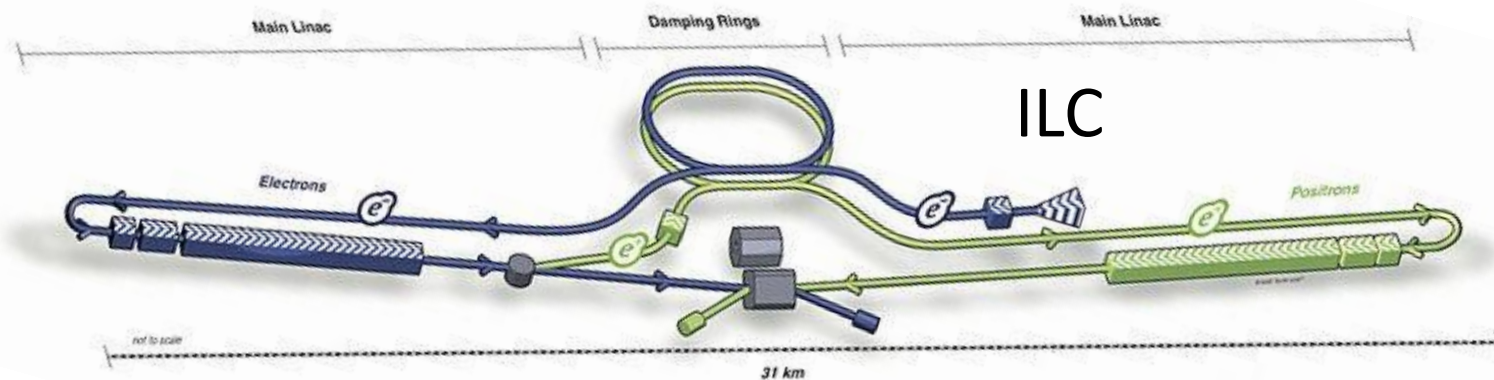
- ScWECAL試作機は2-32GeVの電子に対して線形な応答を示し、エネルギー分解能も良い
- シミュレーションとデータのエネルギー分解能はよく一致している
→試作機を良く理解できている
- ScWECALの実現可能性が示された。

Backup

ILC experiment and ILD detector

- ILC : e-e+ linear collider $\sqrt{s} = 250 \text{ GeV} \sim 1 \text{ TeV}$
 - Higgs factory
 - W and top mass precise measurement
 - new physics search
- ILD : one of the multi purpose detector for ILC
 - Excellent jet energy measurement using **Particle Flow Algorithm**
 - Calorimeter is required fine granularity to identify each particle in a jet
 - number of readout channel $\sim 10 \text{ M}$

ILD

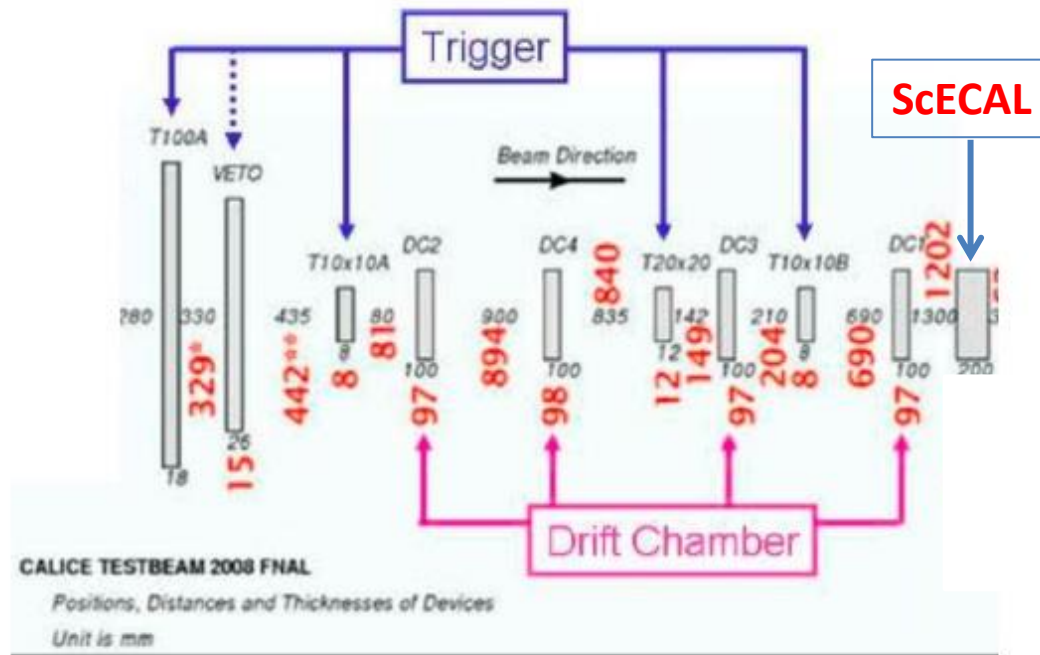


Systematic Uncertainties

These systematic uncertainties are estimated with measured data

Source	$\Delta\sigma_{\text{stochastic}}$ (%)	$\Delta\sigma_{\text{constant}}$ (%)
Beam momentum fluctuation	± 0.41	$+0.43$ -1.18
Event selection	$< \pm 0.01$	$< \pm 0.01$
ADC-MIP conversion (stat. uncertainty of conversion factor)	± 0.08	± 0.07
ADC-MIP conversion (uncertainty of temp. correction)	± 0.01	± 0.01
ADC-photon conversion factor	$< \pm 0.01$	$< \pm 0.01$
Inter calibration constant	$< \pm 0.01$	$< \pm 0.01$
Number of effective pixels of the PPD	± 0.07	± 0.06

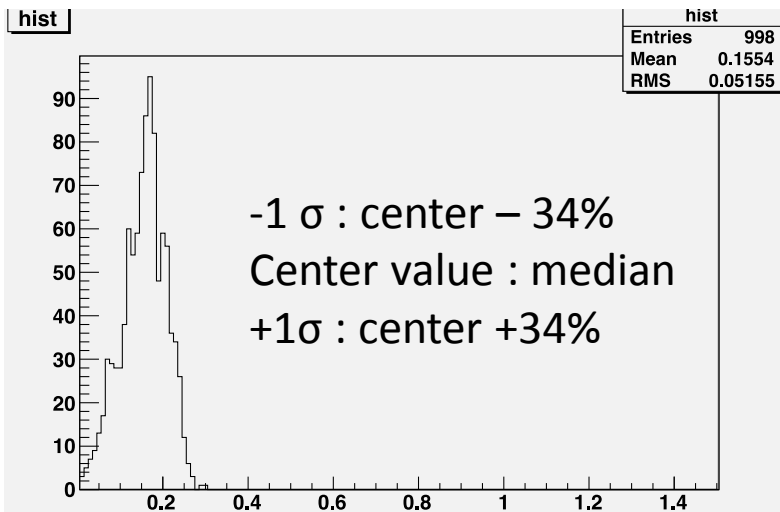
Materials in the Simulation



- 4 trigger and 1 veto scintillators
- 4 drift chambers
- ScWECAL (54x54cm²x90layers)
 - Absorber : W+C+Co+Cr 3.49mm , 14.25 g/cm³
 - Active layer : scintillator 10x45x3 mm³
- No HCAL

Saturation Effect

- Npix for each strip is defined by Gaussian (mean 2424, sigma 2424*0.012)
- 348 pseud-ex.
- Saturation effect on constant term $0.63 \pm 0.21 \%$



$$\text{can16b } \Delta\sigma_{\text{const.}} \pm 0.06$$

MC study (998 pseudo-experiment)

Constant term

$$0.16 +0.04 -0.06 \%$$

In this case, saturation effect is very small.
But it is underestimate saturation effect. 22