

SiW ECAL のシミュレーション研究 と Siセンサー測定

2013/7/23

@ILC夏の合宿、富山

小坂井千紘

陳詩遠

Daniel Jeans

駒宮幸男

神谷好郎

東京大学

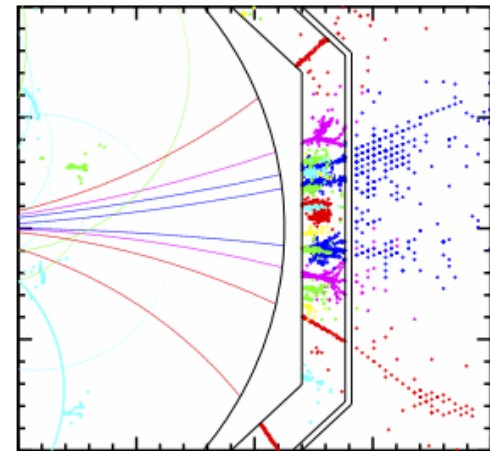
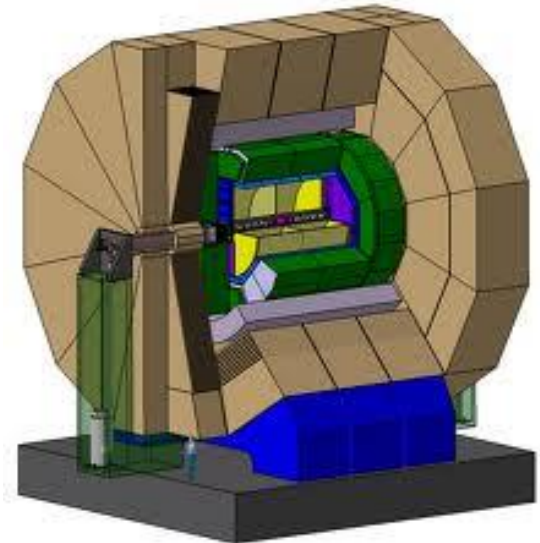
Outline –ILD SiWECAL simulation–

- ILD のDBD バージョンのモデルを元にしたシリコンタングステン ECALのシミュレーション
- ガードリングによるデッドエリアの影響
 - 光子の方向に対するエネルギー補正
- PCB（プリント基板）の厚み

ILD 検出器

–Particle Flow Algorithm (PFA)–

- PFA に最適化されて設計
- 適切な検出器を使って測定し、従来の2倍良い分解能を得る。
- ジェット中の粒子
 - 荷電粒子 (60 %) → TPC
 - 光子 (30 %) → ECAL
 - 中性ハドロン (10 %) → HCAL

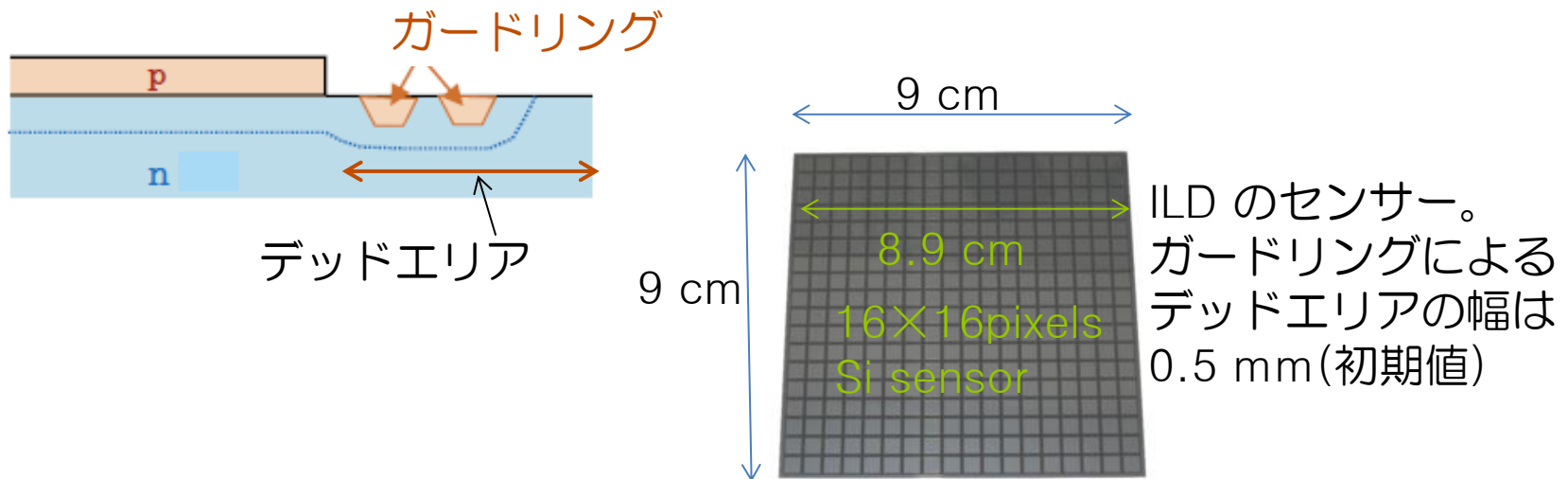


ILD の ECAL の設計

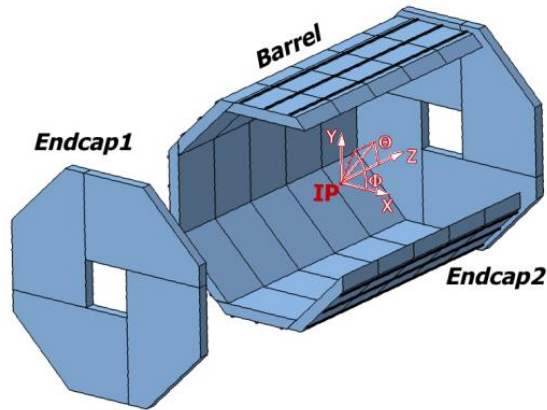
- 吸収層タングステンの特長：
短い放射長 X_0 (0.35 cm) → コンパクト
小さいモリエール半径 (0.93 cm) → 小さなシャワー半径
大きい放射長に対する相互作用長の比 (27.4)
→ 電磁シャワーとハドロンシャワーの区別がしやすい
PFA に適している！
- PFA でクラスターの分離をするために、高い *granularity* が求められる。5 mm × 5 mm のピクセルに分割されている。
- ECAL は 30 層で、全体で $24X_0$ の厚みになる。

Si センサーのガードリングについて

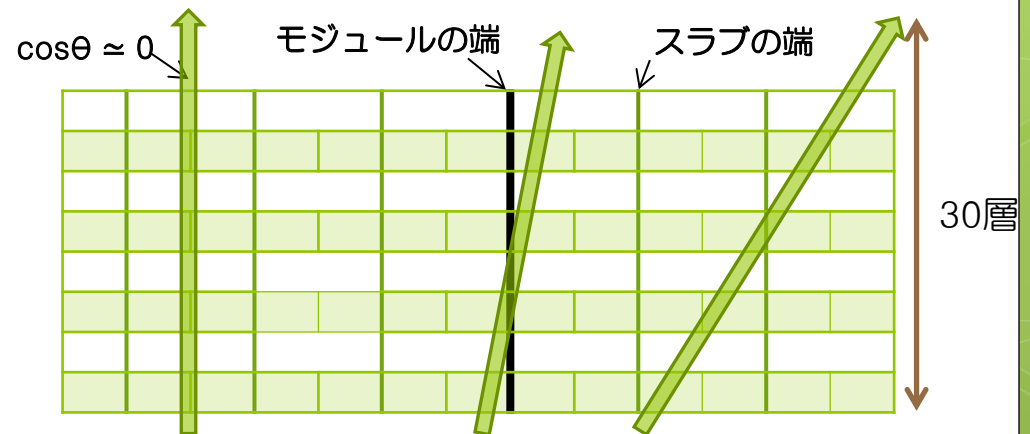
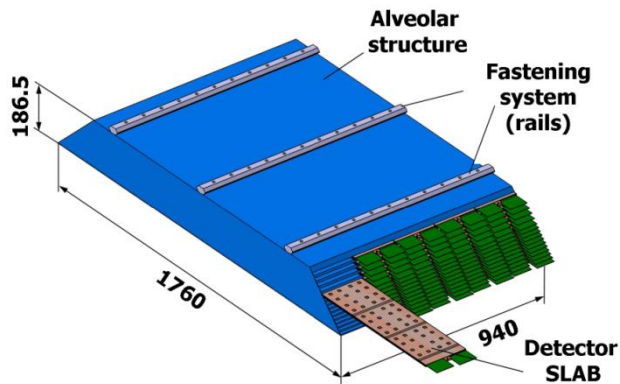
- Si PIN ダイオード
- ガードリングにより、表面の漏れ電流を抑えることができる。ノイズを減少させ、ダイナミックレンジを保つことができる。



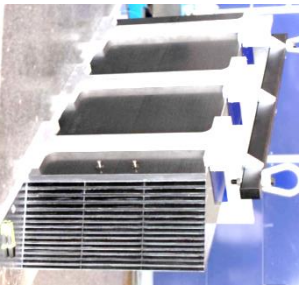
SiECAL structure



- ガードリングの影響は、特にビームに垂直な方向で大きく見える。

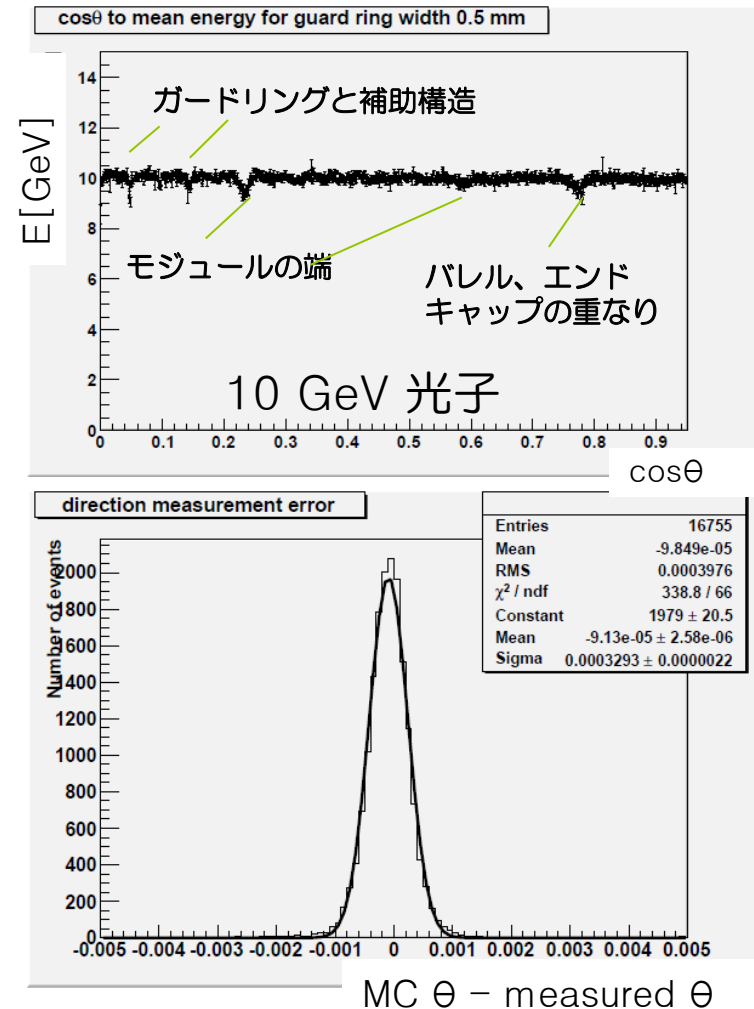


デッドエリアの影響大 デッドエリアの影響小



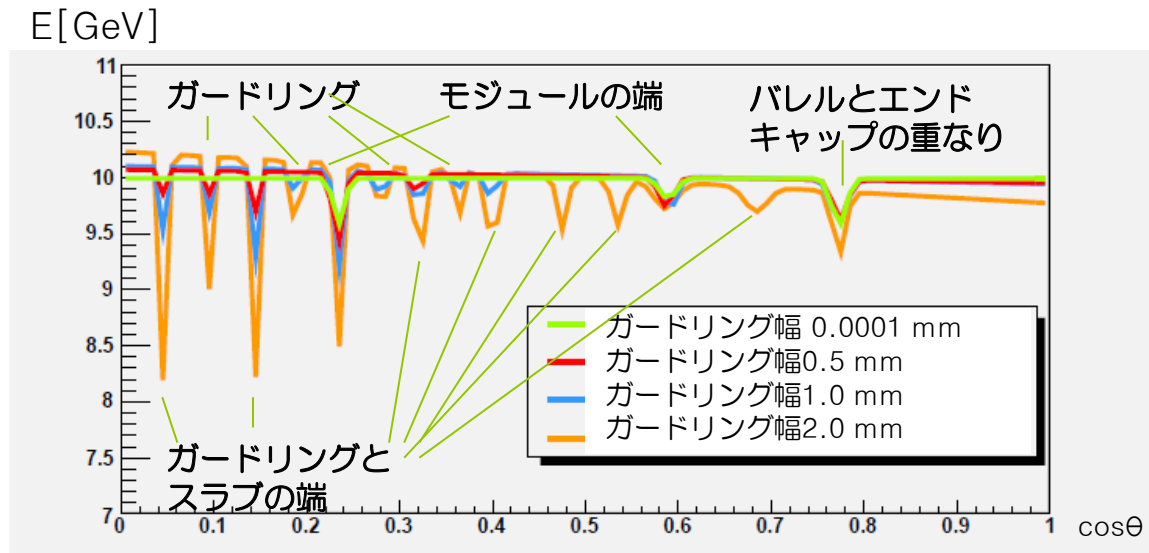
光子のエネルギー補正

- 角度によって、エネルギー測定値が低くなることがある。
- ビーム軸に対する粒子の角度 θ の分解能は 3.3×10^{-4} rad。エネルギー補正をするのに十分。
- 一次関数＋ガウス関数でフィットし、補正関数として使う。



エネルギー補正関数

- 10 GeV 光子のシミュレーションのエネルギー測定結果のフィッティングにより、それぞれのガードリング幅について関数を決定。
- 幅が大きいほどガードリングの影響が大きくなる。

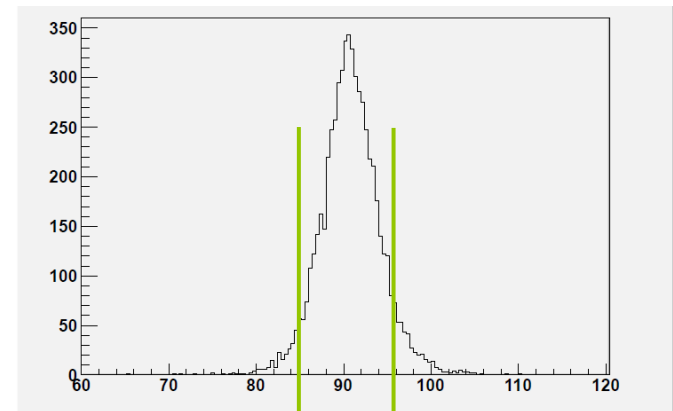


ジェットエネルギー分解能の評価

- Zボゾンが静止系で軽いクォークに崩壊するイベント

“ $Z \rightarrow u\bar{u}/d\bar{d}/s\bar{s}$ ” を使う。

- バレル部分のみを用いる。
- RMS90
 - 定義：全イベントの90%を含む最小測定エネルギー範囲のイベントでのRMS。
 - ミスクラスタリングによるテールの影響を無視できる。



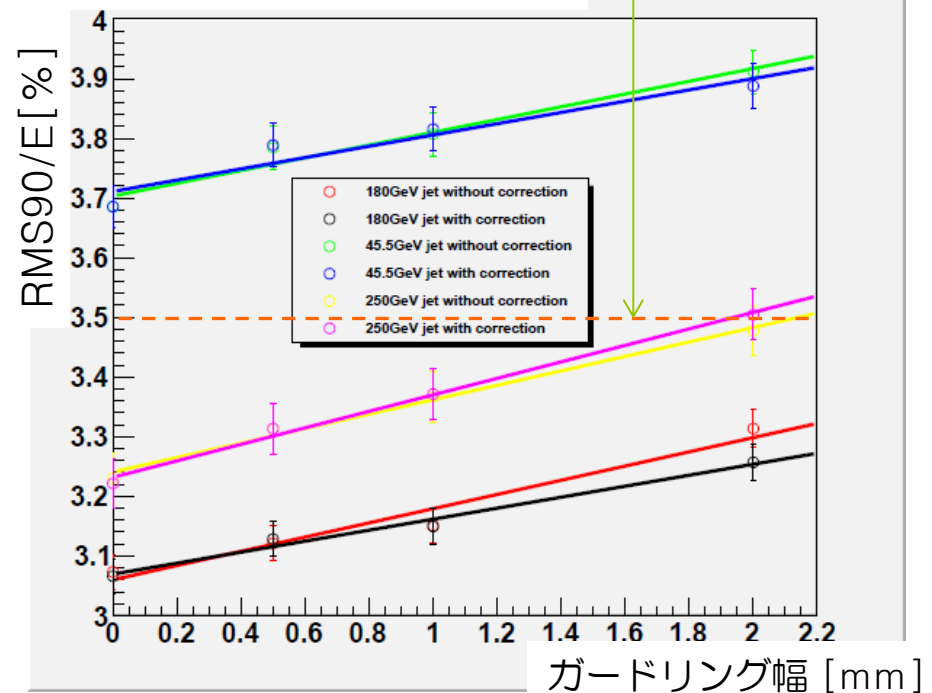
RMS90 はこの90%の範囲で計算される。

ジェットエネルギー分解能のガードリング幅依存性

- ほぼ1次で増加していく。
- 0 mm から 2 mm の変化で約 6% 増加する。
- 角度によるエネルギー補正の効果は非常に小さく、ほとんど見えない。

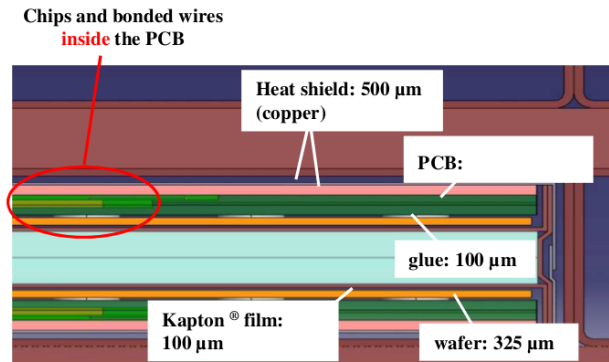
W ボゾンと Z ボゾンのハドロン崩壊を良く区別できる分解能のベンチマークは 3.5 %。

バレルでのJERの
ガードリング幅依存性



PCB (プリント基板) の厚みの効果

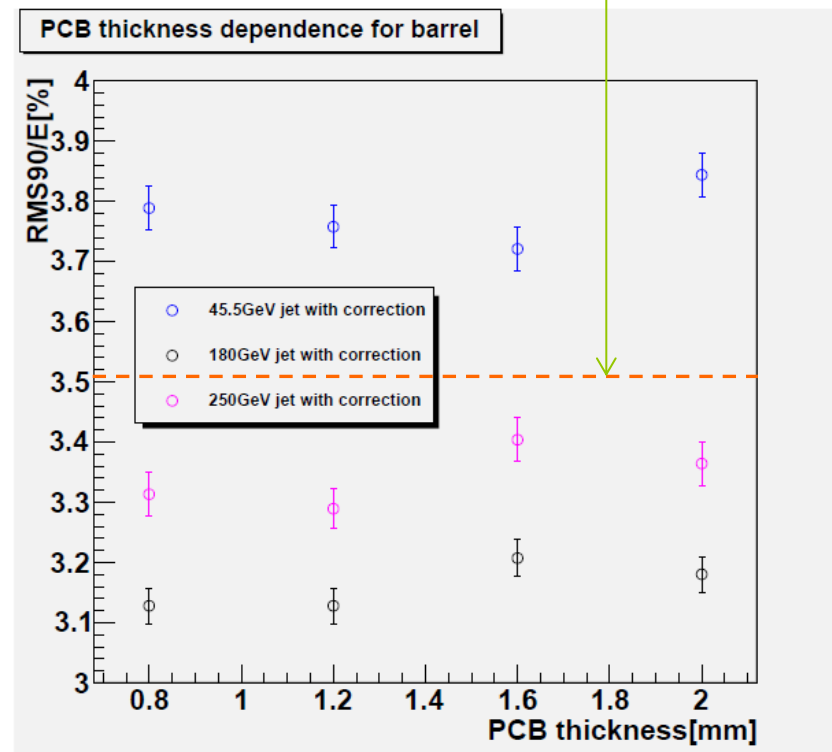
- ECALはチャンネル数が非常に多いため、各層にPCBと読み出しチップをいれ、複数チャンネルの情報を時間で区切って送るシリアライズをする。これにより、ケーブル数を大きく減らす。
- 厚いPCBはシャワーの横方向サイズを大きくするので、薄い方がよいと予想される。
- しかし、薄すぎるPCBは技術的に難しく、コストもかかる。



ジェットエネルギー分解能の PCB厚み依存性

- 0.8 mm から 2.0 mm の範囲では、ジェットエネルギー分解能の変化が特にみられなかった。
- ただし、厚いPCBでは ECAL自体も、外側の HCAL や超伝導ソレノイドもおおきくなってしまふ。

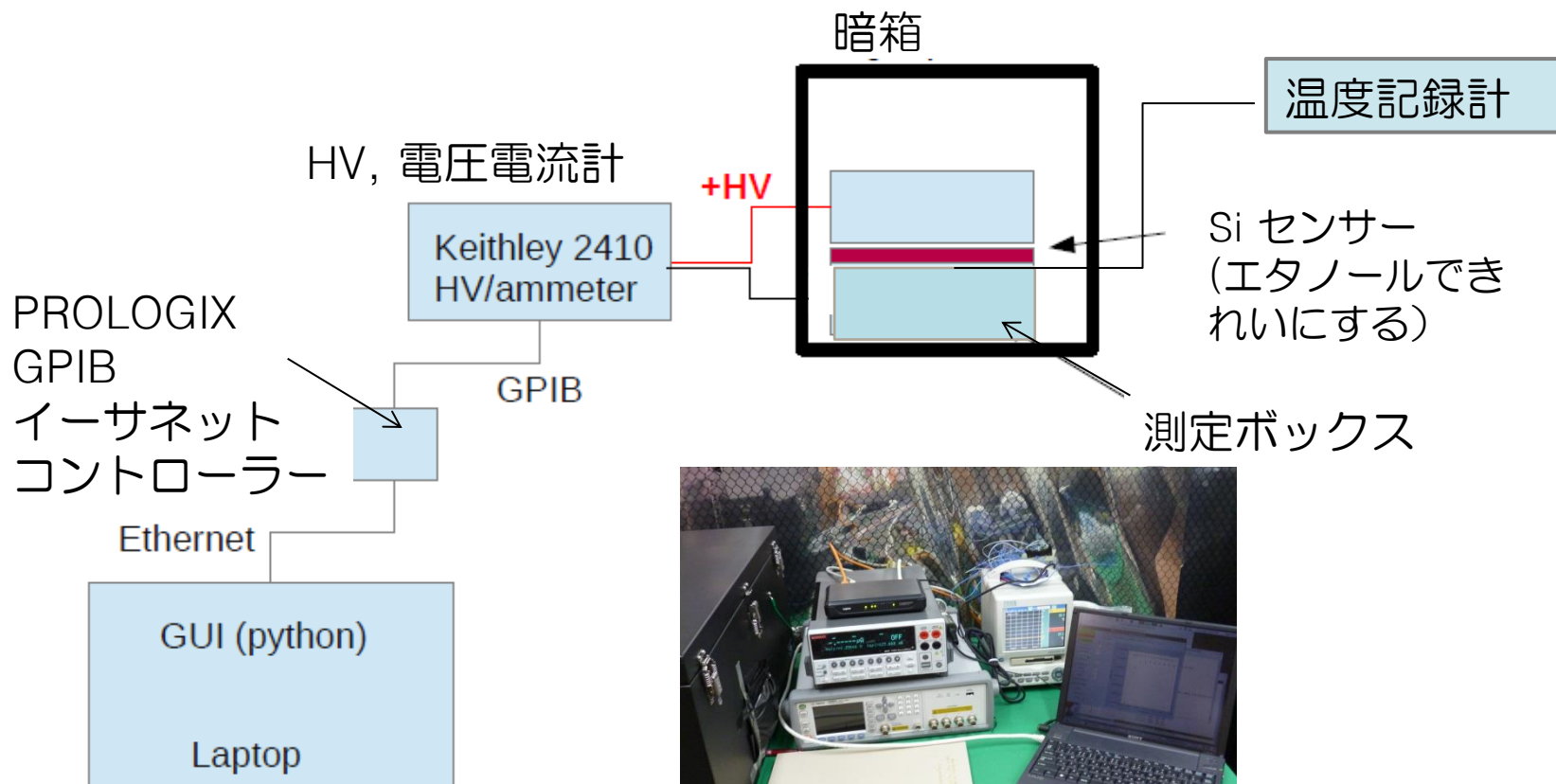
W ボゾンと Z ボゾンのハドロン崩壊を良く
区別できる分解能のベンチマークは 3.5 %。



シリコンセンサー測定

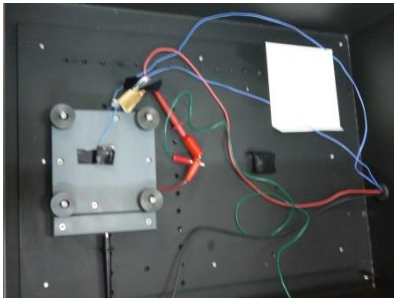
- 目的：
 - ILDのECALで大量に必要なになるSiセンサーの試験の設計
 - 放射線によるダメージの大きさの測定
- Outline
 - 実験の方法
 - 暗電流の温度依存性

実験セットアップ

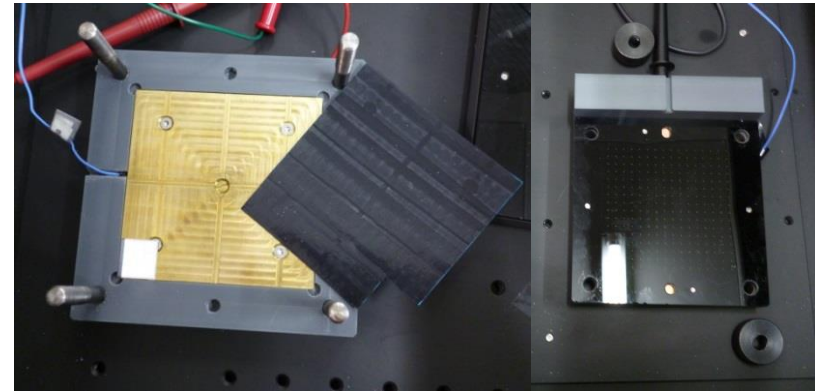


測定ボックス(LLRより) Si センサー(九州大より)

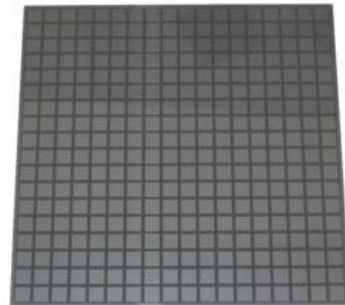
測定ボックスの中



暗箱の中



16×16ピクセル
のmain chip。
ピクセルサイズ
は5mm×5mm。



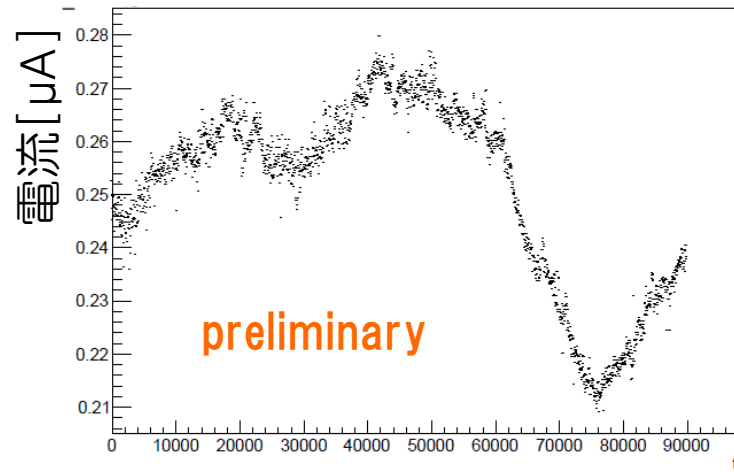
ふたの方には各ピクセルにつなぐ
ピンがあり、内側でつながってい
てまとめて並列で読みだす。

裏側の電極の下には温度計として
熱電対を設置。

固定電圧での測定

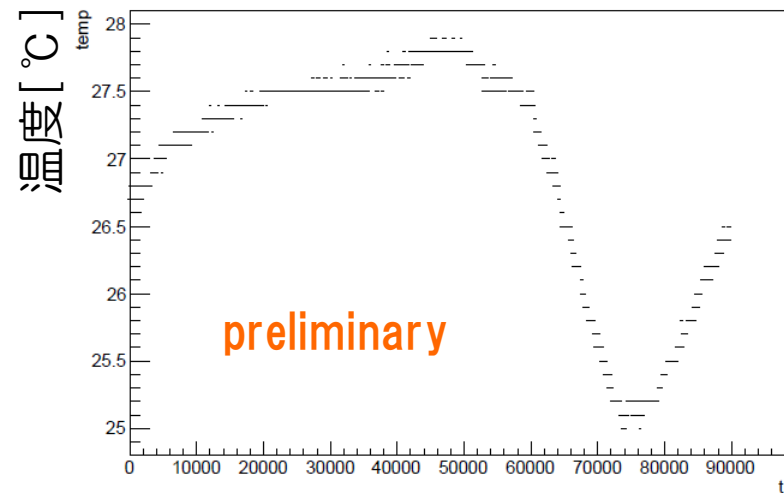
- $V = 100 \text{ V}$ で約1日、45秒間隔で測定

電流の時間変化



時間[sec]

温度の時間変化



時間[sec]

電流の温度依存性

○ 理論

- 伝導帯のキャリアは、ボルツマン分布に従ったエネルギー分布を持ち、拡散によって移動する。

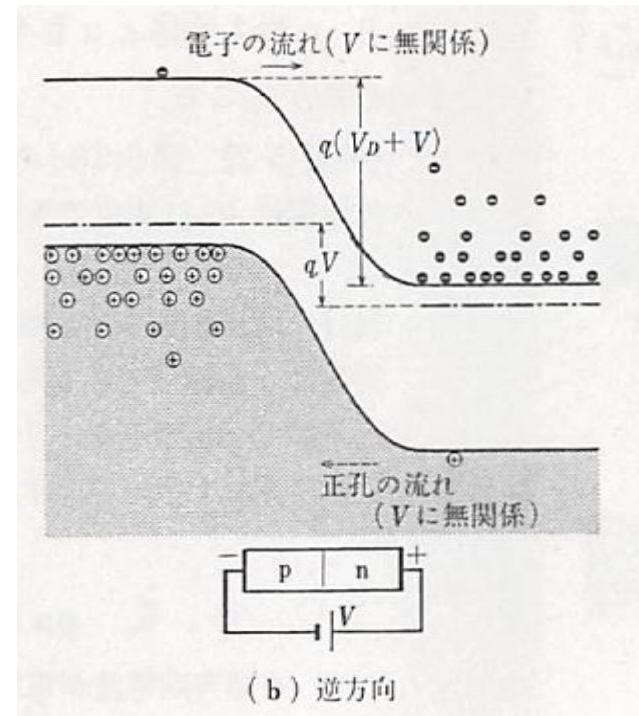
$$I_{np} = K_1 e^{-q(V_D + V)/kT}$$

- p型からn型への電子の移動は、障壁がないので電圧Vによらない。

$$I_{pn} = K_2$$

- V=0では電流も0になる。

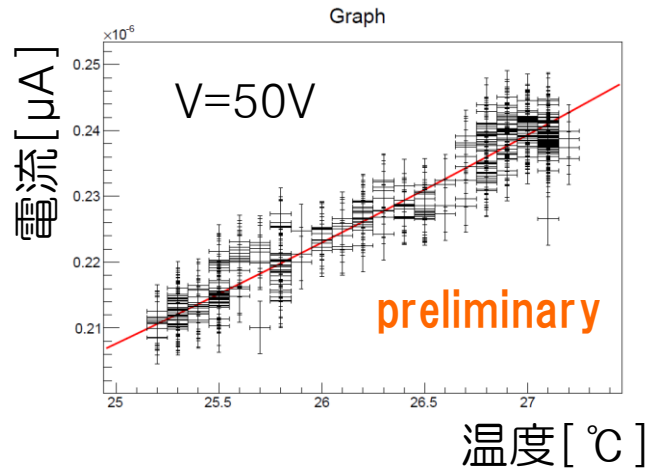
$$\rightarrow I = I_0 \exp\left(-\frac{V_D}{kT}\right) \left[\exp\left(\frac{\alpha e V}{kT}\right) - 1 \right]$$



V_D : 拡散電位 ($V = 0$ V での伝導帯エネルギー差)
 — フェルミ準位

α は他の原因による電流または抵抗の影響

各電圧での電流の温度依存性

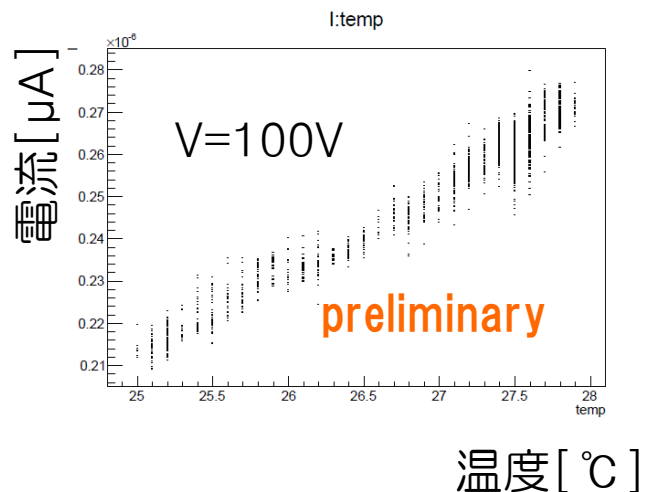


- V=50Vのデータをフィット

$$V_D = 0.54 \text{ V}$$

$$\alpha = 7993$$

$$I = I_0 \exp\left(-\frac{V_D}{kT}\right) \left[\exp\left(\frac{\alpha eV}{kT}\right) - 1 \right]$$



期待される値と大きく違う
 →3つ目の因子がほぼ-1なので、 α はあまり見えてない？

ギャップエネルギー

- 不純物が作るトラップ準位を考慮

$$I \propto T^2 \exp(-E_g/kT)$$

- フィットティングパラメータ

- $V = 50 \text{ V}$

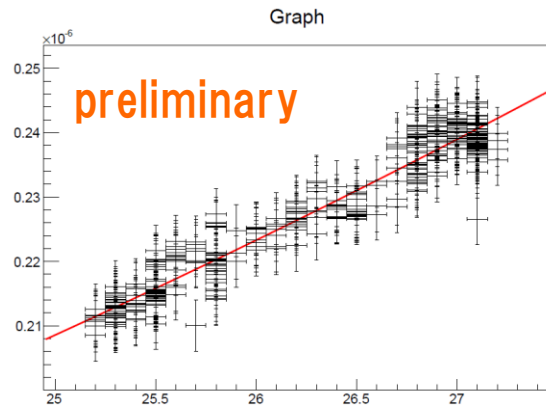
$$E_g = 0.945 \pm 0.010 \text{ eV}$$

- $V = 100 \text{ V}$

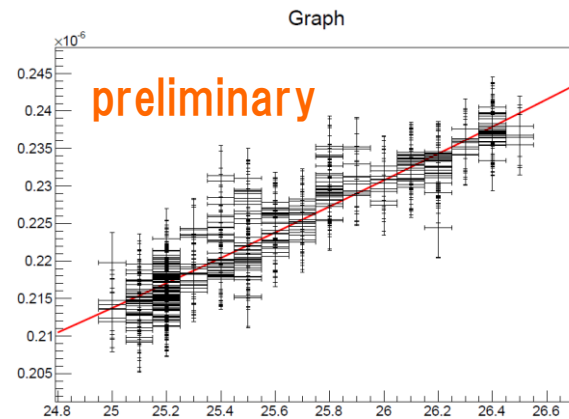
$$E_g = 1.074 \pm 0.009 \text{ eV}$$

一致していない？

少しエネルギーが低い。



$$V = 50 \text{ V}$$



$$V = 100 \text{ V}$$

まとめ

- SiW ECAL について、ジェットエネルギー分解能のガードリング幅とPCBの厚みの依存性をシミュレーションで研究した。
 - ガードリング幅については、1次で悪くなる。
 - PCBの厚みについては依存性は見られなかった。
- Siセンサーのダークカレントの温度依存性を測定した。
 - 拡散電位、ギャップエネルギーについて、予想されている値からずれた結果がでており、原因を解明する必要がある。