# 検出器ゼミ

2021/11/4 河野研究室 M2 三宮梨紗子

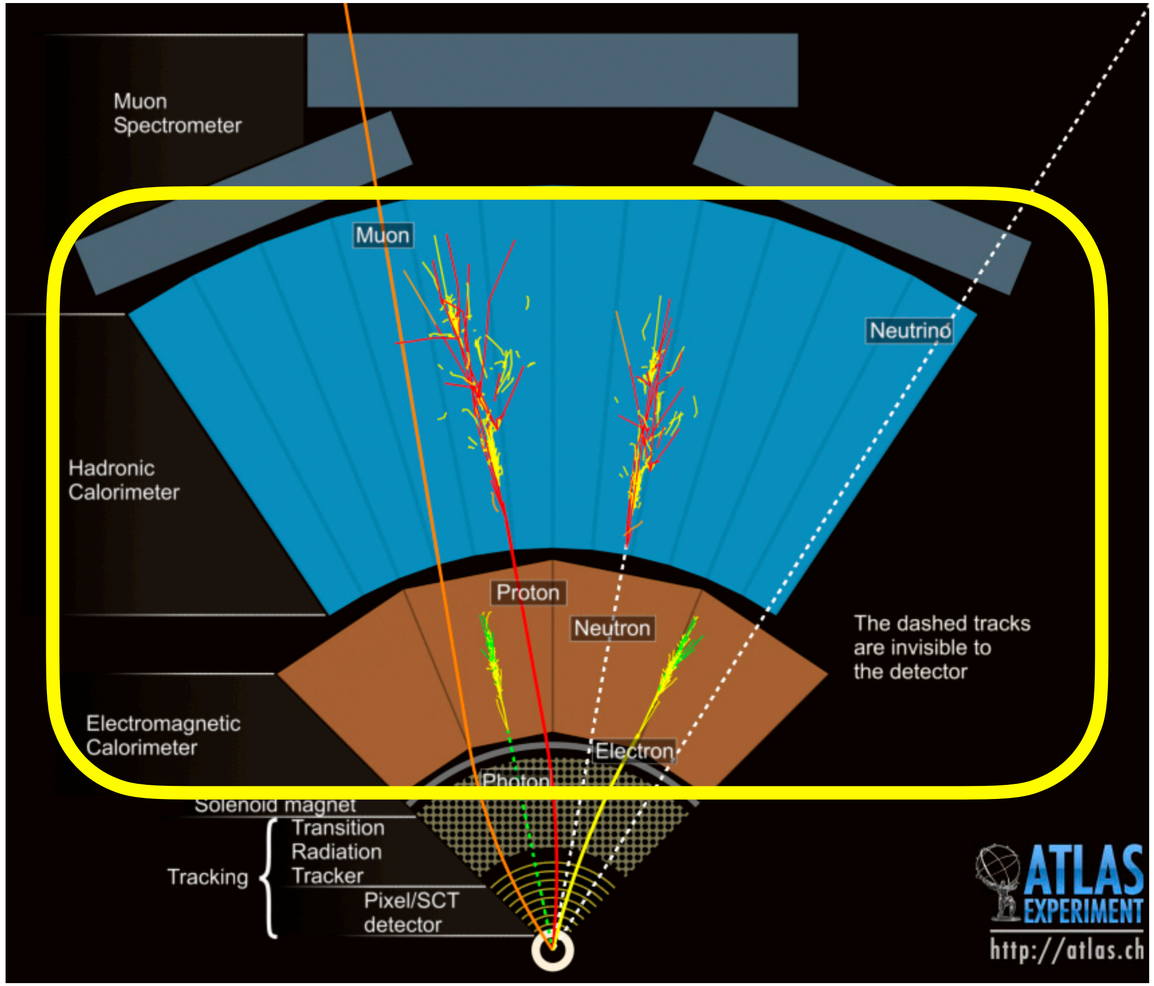
# Introduction

* ATLAS検出器 ... 複数の検出器で構成された大型汎用検出器
  検出器それぞれ違う特徴を持っており，効率良く信号を取り出すことができる

* 内部飛跡検出器 ... 飛跡を検出する
  衝突点近くの崩壊点を測定

* ソレノイド磁石 ... 粒子を曲げる
  運動量の測定に役立つ

* カロリメータ ... エネルギーを測定
  電磁カロリメータ → 電子，光子
  ハドロンカロリメータ → 陽子，中性子
  内部飛跡検出器の情報と合わせて識別する



# カロリメータとは

* 一般的なカロリメータ = 熱量計

「熱量測定、すなわち化学反応・物理変化にともなって出入りする熱量や熱容量の測定に用いられる器具」

* ATLAS カロリメータ

【目的】

エネルギーを測定して，全横運動量の再構成を可能にする

【方法】

粒子をカロリメータ内で止める（物質量の大きなものが材質で作られる）

入射粒子と物質の相互作用によりエネルギーを失う　エネルギー損失量を測定 → 元々の粒子のエネルギーを測定

* 粒子によってエネルギーの落とし方に違いがある

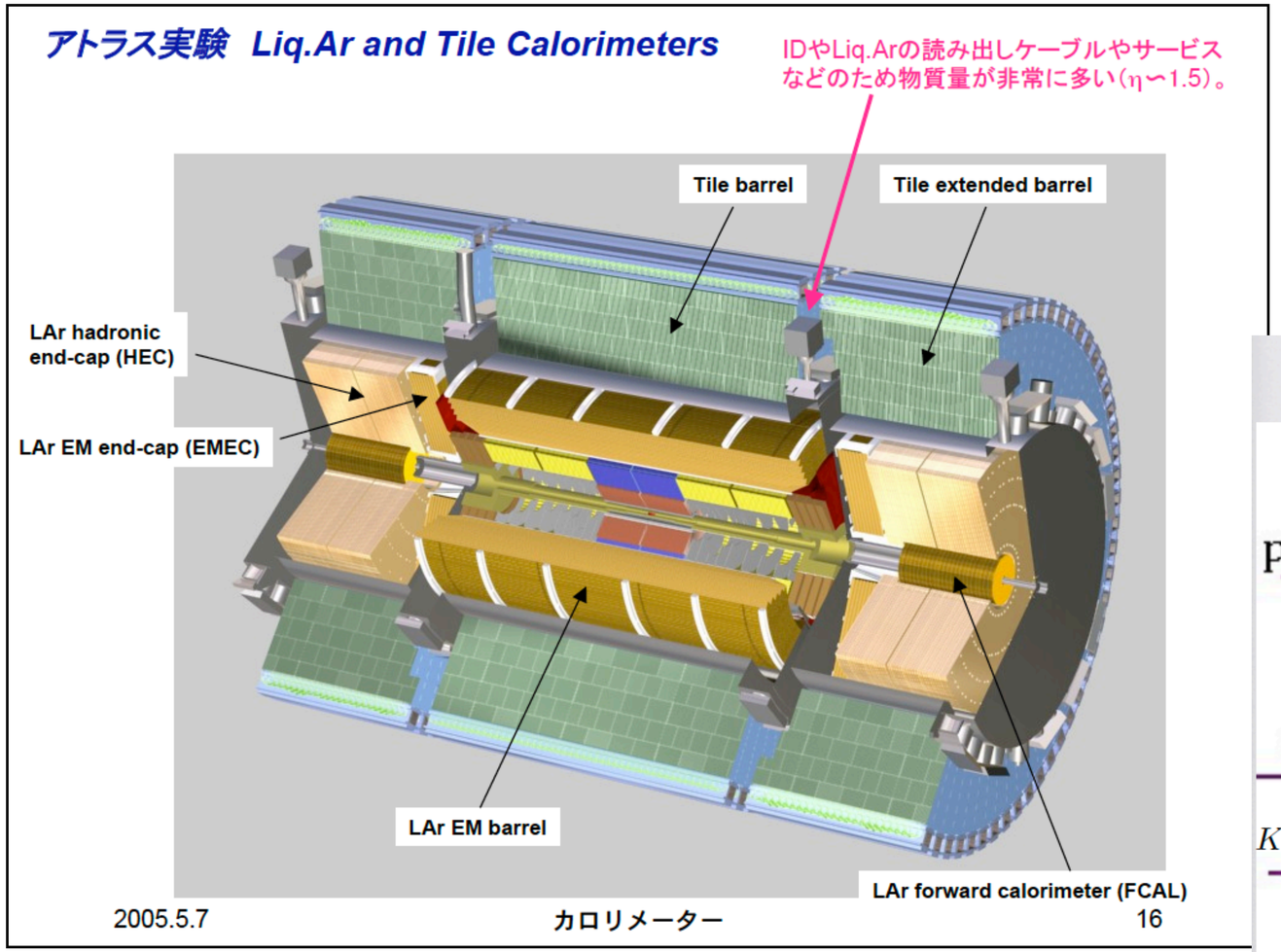
- 電子・光子 ... 電磁相互作用（制動放射，対生成）　による電磁シャワー

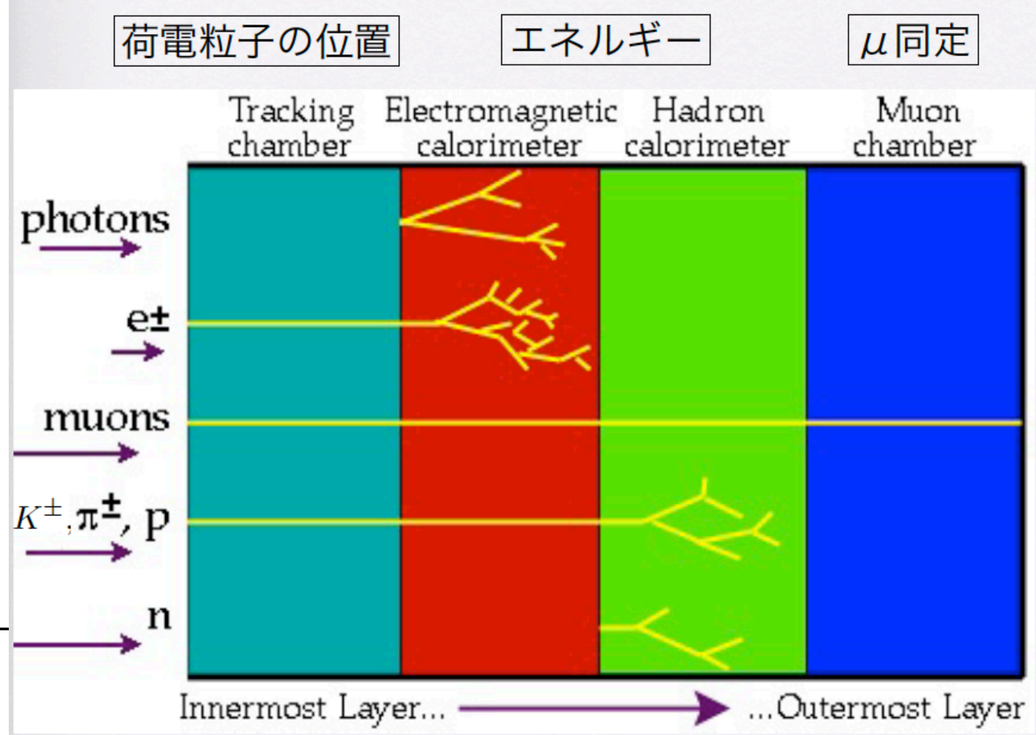
  → 電磁カロリメータ

- 陽子・中性子(ハドロン) ... 強い相互作用，電磁相互作用，原子核衝突　によるハドロンシャワー

  → ハドロンカロリメータ

# カロリメータとは


アトラス実験 Liq.Ar and Tile Calorimeters
IDやLiq.Arの読み出しケーブルやサービスなどのため物質量が非常に多い(η~1.5)。
Tile barrel
Tile extended barrel
LAr hadronic end-cap (HEC)
LAr EM end-cap (EMEC)
LAr EM barrel
LAr forward calorimeter (FCAL)
2005.5.7
カロリメーター
16


荷電粒子の位置
エネルギー
μ同定
Tracking chamber
Electromagnetic calorimeter
Hadron calorimeter
Muon chamber
photons
e±
muons
K±, π±, p
n
Innermost Layer...
...Outermost Layer

# 電磁シャワー

* 電磁相互作用（電子が光子を放出，光子が電子を対生成）の繰り返しで粒子数が増大，粒子の平均エネルギーが減少する

* $\chi_0$：放射長（ladiation length）

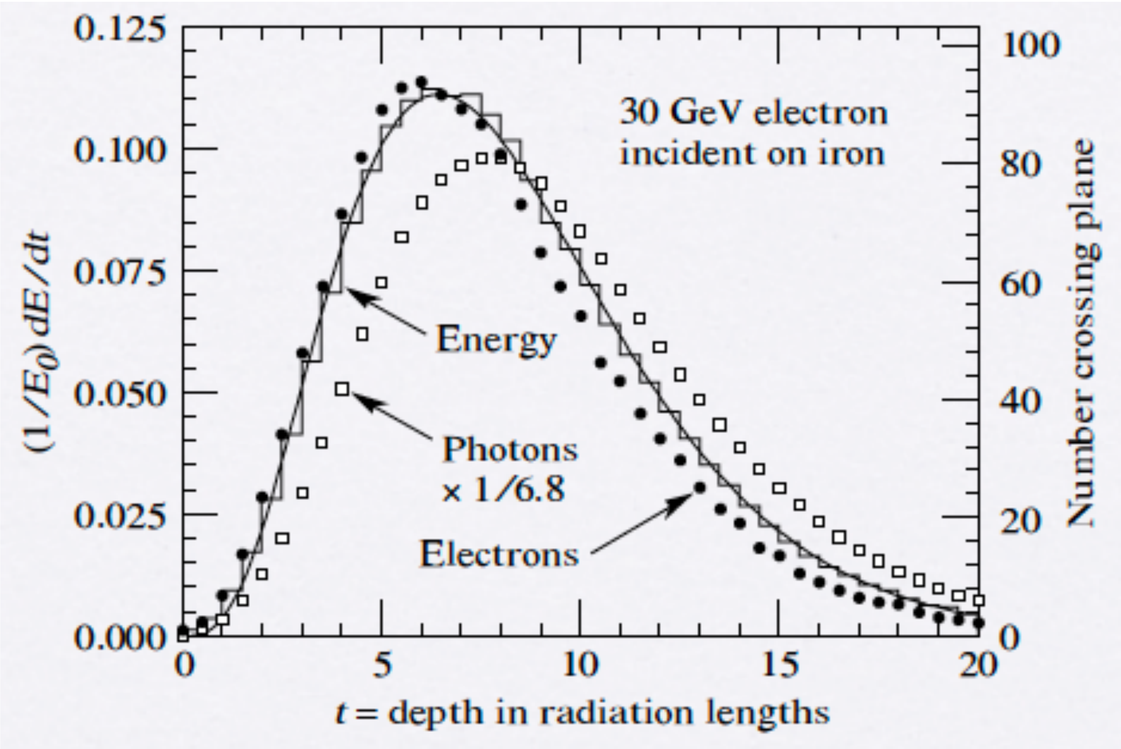
  エネルギーが1/eに減少するまでに通過する平均距離

$$\chi_0 = \frac{A}{4\alpha N_A Z^2 r_e^2 ln\frac{183}{Z^{1/3}}}$$

* 電磁シャワーは電子のエネルギーがCritical Energy $E_C$ になるまで続く

  縦方向：$ln\frac{E_0}{E_C}\frac{1}{ln2}$

  横方向：$\frac{21MeV}{E_C}\chi_0$



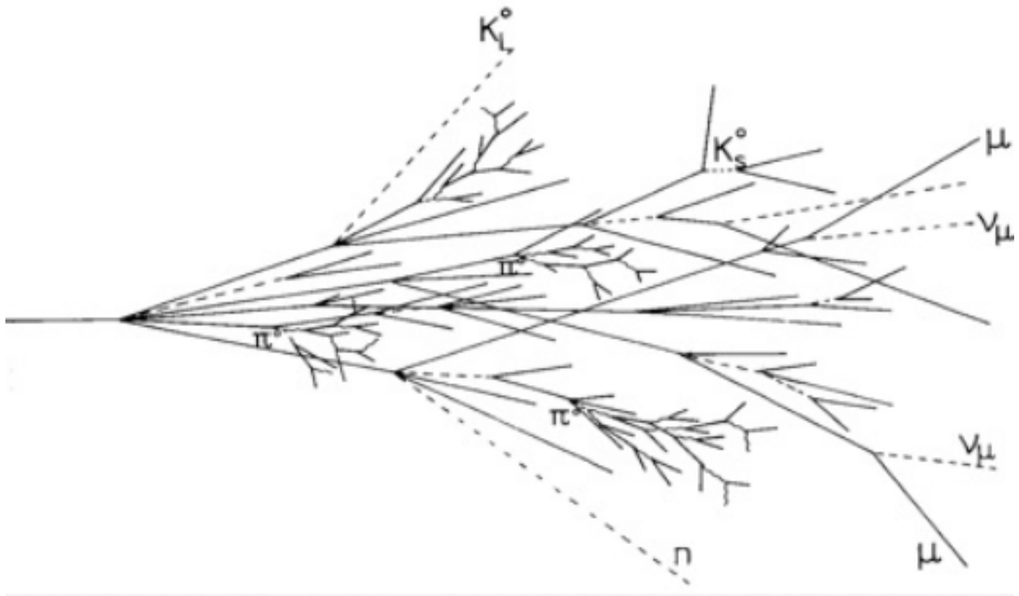
# ハドロンシャワー

* 強い相互作用によってシャワーを作る

* 電磁シャワーに比べて非常に複雑に発展
  - ハドロン成分と電磁成分が生成される（$\pi^0 \to \gamma\gamma$）

* 相互作用長 $\lambda_a >> \chi_0$
  - 電磁カロリメータの方が内側にある
  - ハドロンシャワーの方が長く，かつ横にも広がる

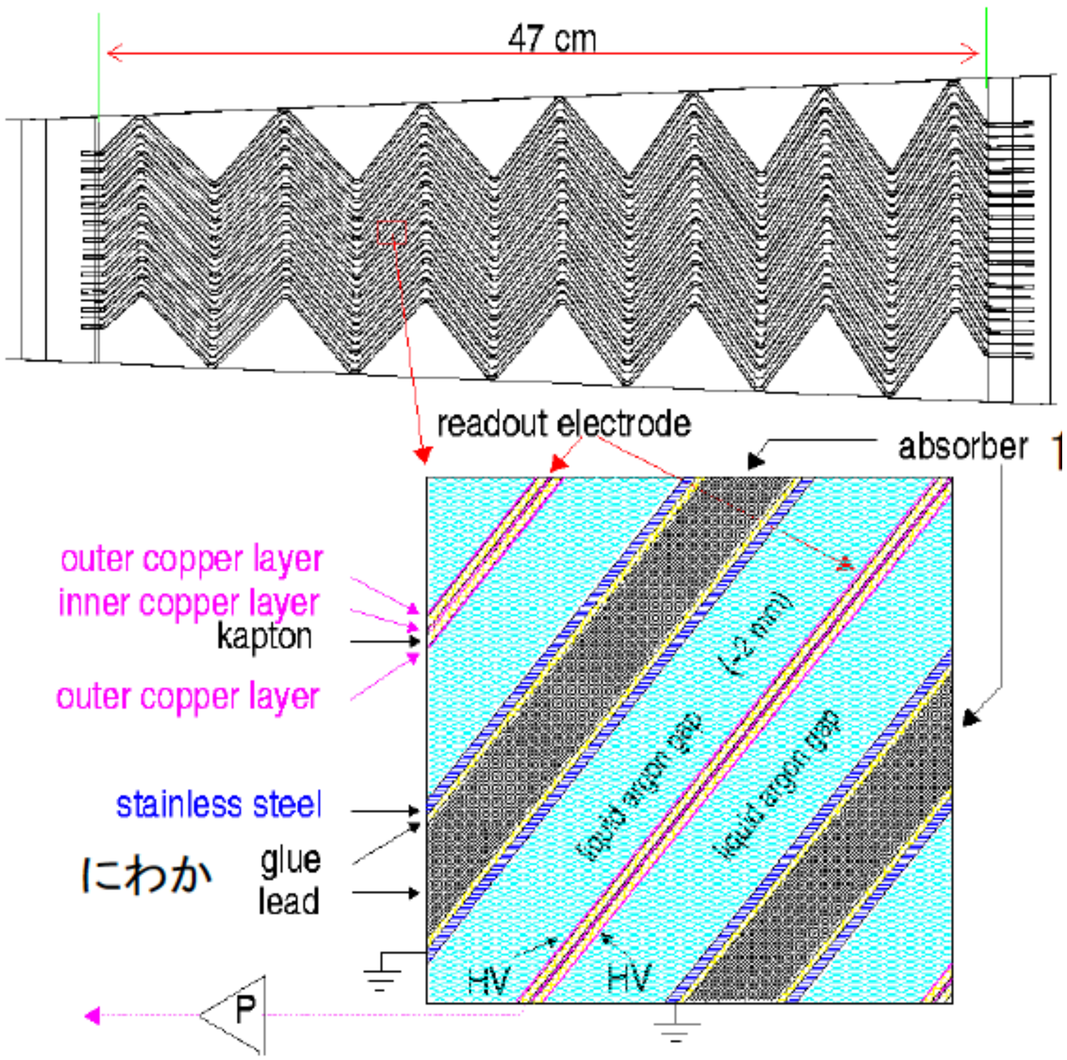
* エネルギー分解能は電磁シャワーに比べると悪い



# 設計

* サンドイッチカロリメータ
  - detector + absorber（吸収体）
    シャワーが止まりやすくなる
  - 電磁カロリメータ
    液体アルゴン + Pb（Zが大きい）
  - ハドロンカロリメータ
    シンチレータ + Fe, Cu（Aが大きく安価）

* アコーディオン型
  - デッドスペースがない
  - ケーブルを少なくできる
  - 読み出しが高速



# 電磁カロリメータ

## EM Calorimeter Performance

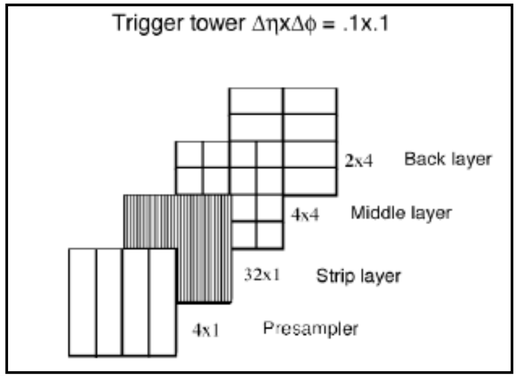
物理のベンチマーク・プロセス　H→γγ、4e±

検出器　… 4元運動量(E,**p**) or (t,**x**)を測定するのが良い。例：Kamiokande
ATLAS Liquid Argon カロリメーターは、これが出来る！

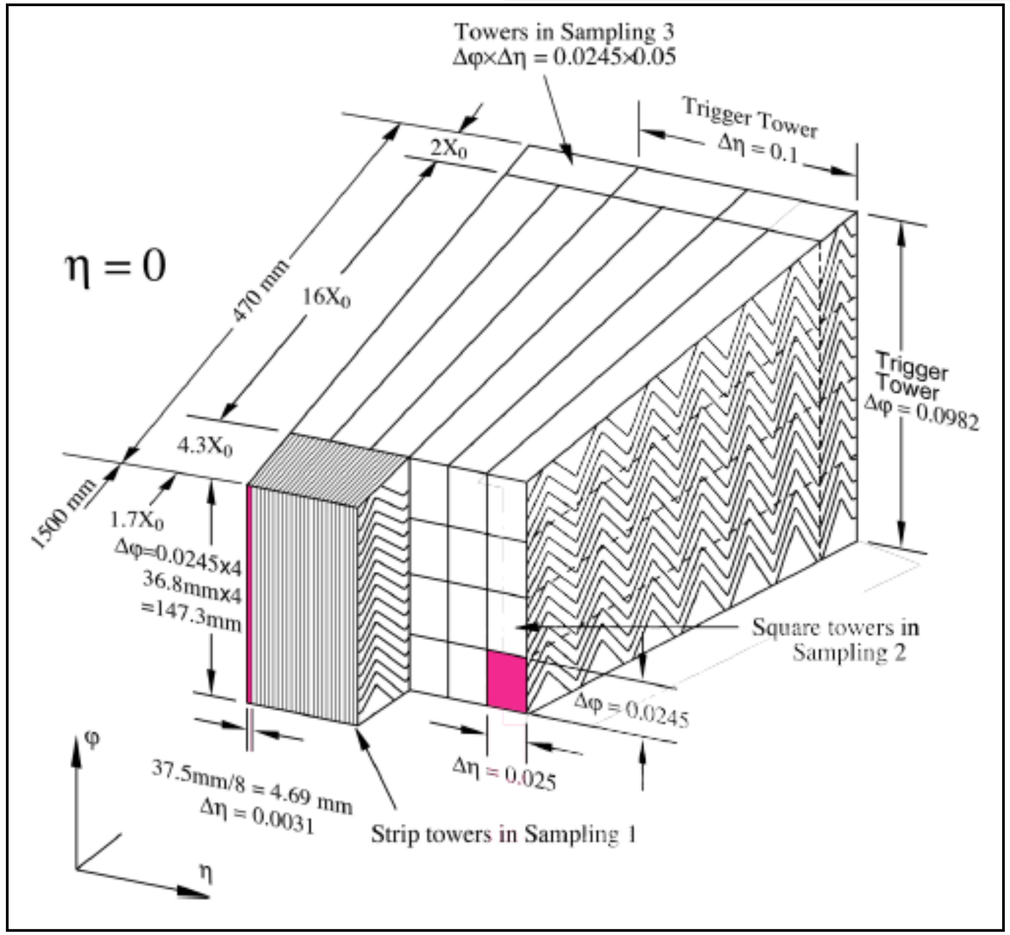
- エネルギー分解能　$\sigma/E=10\%/\sqrt{E} \oplus 200(400)\mathrm{MeV}/E \oplus 0.7\%$
- 角度分解能　$4\text{–}6\ \mathrm{mrad}/\sqrt{E}$ （φ方向、Middle Layer(第2層)）
  $50\ \mathrm{mrad}/\sqrt{E}$ （η方向、Strip+Middle Layer→Z vertexの測定）
- 時間分解能　100 ps (1ns at 1GeV)
- 粒子識別　$e^{\pm}$/jets, $\gamma/\pi^0 > 3$ at $E_T$=50GeV
- Linearity　< 0.1%
- Dynamic range　20MeV(MIP粒子μも検出可能) – 2TeV(余剰次元などの信号)

- ATLAS Liquid Argonカロリメーター
  - 鉛／液体アルゴンのサンプリング・カロリメーター(アコーディオン型)
  - Azimuthal角＝2π(クラック無し)、擬ラピディティー η<3.2 (FCAL <4.9)をカバー。
  - Liquid Argonは、intrinsicにrad-hard。
  - アコーディオン・ジオメトリー

# 電磁カロリメータ




* Presampler：カロリメータに入射する前のシャワーの広がりを測定
  - 厚さ：1cm
  - Δη × Δφ = 0.025 × 0.1
* Strip：$\gamma/\pi^0$の識別（検出器前に1.6$\chi_0$）
  - 厚さ：~6$\chi_0$
  - Δη × Δφ = 0.03 × 0.1
* Middle：50GeVまでのphotonシャワーを検出
  - 厚さ：~16$\chi_0$
  - Δη × Δφ = 0.025 × 0.025
* Back：Middleからのシャワーの漏れを検出，高エネルギーシャワーとハドロンを識別
  - 厚さ：>3$\chi_0$
  - Δη × Δφ = 0.005 × 0.025



# 電磁カロリメータ

Signal Layer Electrode

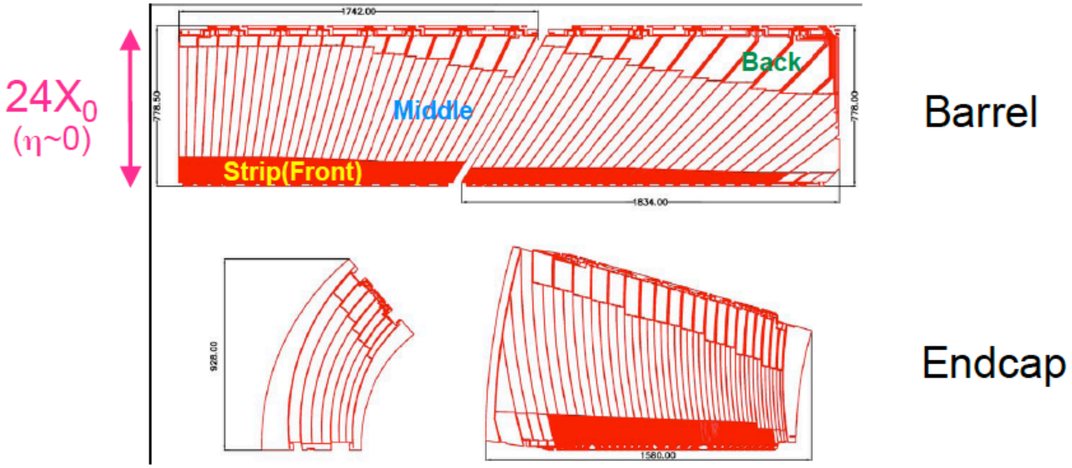
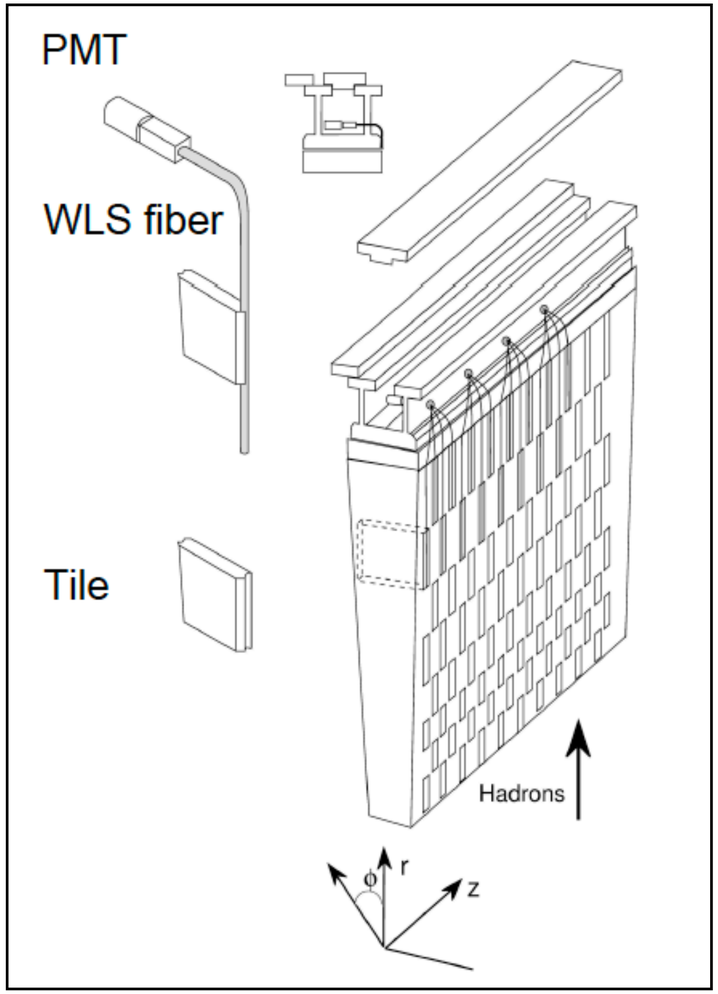



Table 1
Granularity in units of $\Delta\eta \times \Delta\phi$ of the calorimeter cells

| Electrode | $\eta$ range | Front | Middle | Back |
|---|---|---|---|---|
| A | [0–0.8] | ~0.003 × 0.1 | 0.025 × 0.025 | 0.05 × 0.025 |
| B | [0.8–1.350] | ~0.003 × 0.1 | 0.025 × 0.025 | 0.05 × 0.025 |
| | [1.350–1.400] | ~0.003 × 0.1 | 0.025 × 0.025 | – |
| | [1.400–1.475] | 0.025 × 0.1 | 0.075 × 0.025 | – |
| D | [1.375–1.425] | 0.050 × 0.1 | 0.050 × 0.025 | – |
| | [1.425–1.5] | 0.025 × 0.1 | 0.025 × 0.025 | – |
| | [1.5–1.8] | ~0.003 × 0.1 | 0.025 × 0.025 | 0.050 × 0.025 |
| | [1.8–2.0] | ~0.004 × 0.1 | 0.025 × 0.025 | 0.050 × 0.025 |
| | [2.0–2.4] | ~0.006 × 0.1 | 0.025 × 0.025 | 0.050 × 0.025 |
| | [2.4–2.5] | 0.025 × 0.1 | 0.025 × 0.025 | 0.050 × 0.025 |
| C | [2.5–3.2] | – | 0.1 × 0.1 | 0.1 × 0.1 |

# ハドロンカロリメータ

* Barrel：タイルカロリメータ
  - 3層に分けられたタイル状のシンチレータから構成
  - absorberは鉄
  - Central Barrel部($|\eta| < 1.0$)とExtend Barrel部($0.8 < |\eta| < 1.7$)に分かれている
  - Central Barrel部とExtend Barrel部の間にはギャップ(クラシック領域)があり，クラシック領域にはケーブル等があるため大きなエネルギー損失が起こる
    エネルギー損失をみるためにギャップシンチレータがある




* EndCap：Liq.Arカロリメータ

# まとめ

* カロリメータではエネルギーを測定

* 粒子によってエネルギー損失の主な要因に違いがあるため，2種類のカロリメータで構成される

  電子・光子 → 電磁カロリメータ

  陽子・中性子 → ハドロンカロリメータ

* 電磁カロリメータ：Liq.Ar+Pb アコーディオン型

* ハドロンカロリメータ：

  Barrel：タイルカロリメータ

  EndCap：Liq.Arカロリメータ

# 参考文献


* icepp 資料

  Link：http://www.icepp.s.u-tokyo.ac.jp/~asai/lhcwg/LEC-DETEC-03.pdf

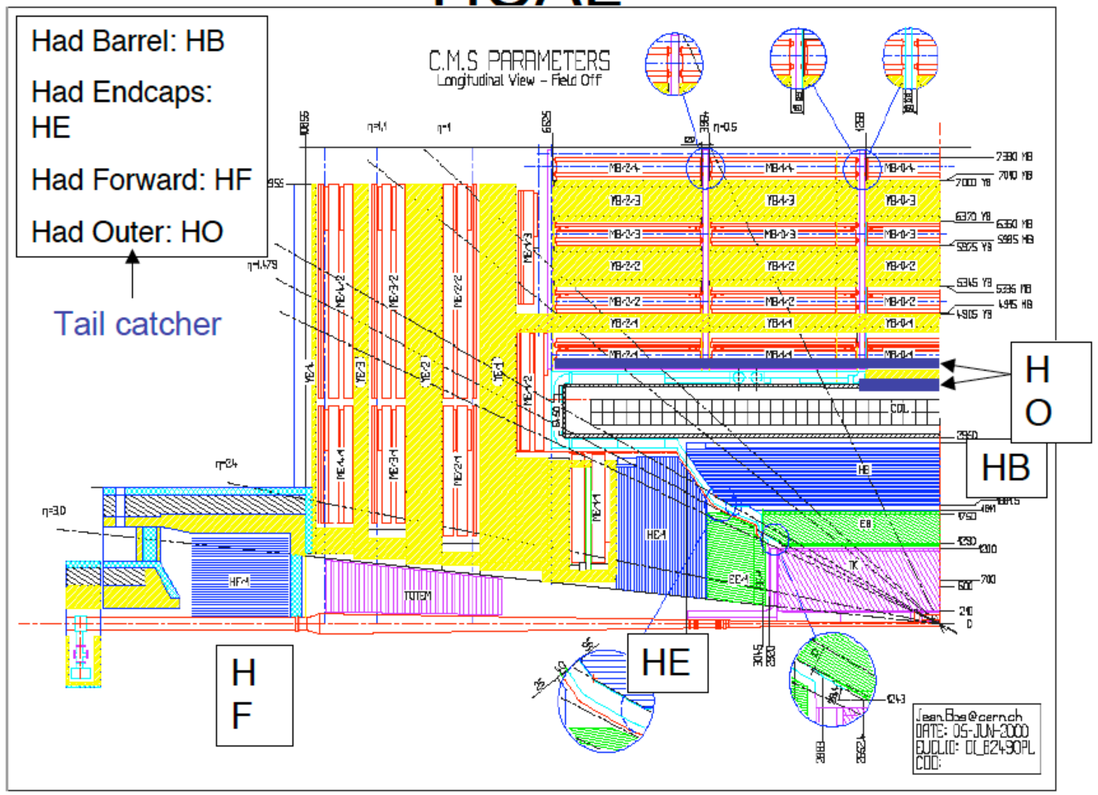
* icepp 講義ノート

  Link：http://www.icepp.s.u-tokyo.ac.jp/~asai/Lecture/nagoya02.pdf

* 2019 検出器ゼミ

  Link：http://hpx.phys.ocha.ac.jp/wiki/ATLASDetectorSemi?action=AttachFile&do=view&target=191031DetectorSeminar.pdf

# Backup

# ハドロンカロリメータ

## HCAL