

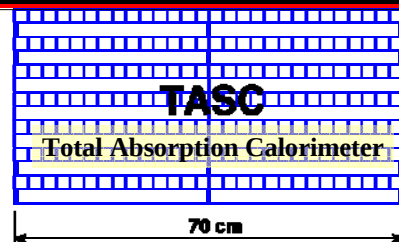
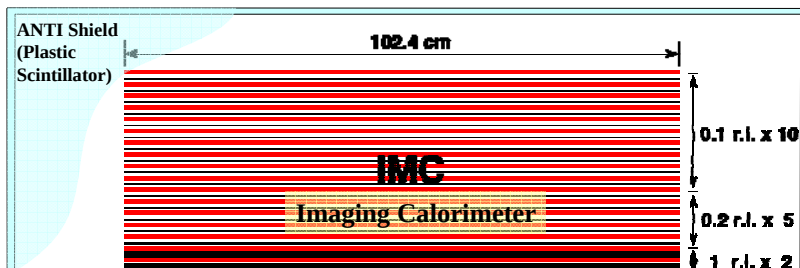
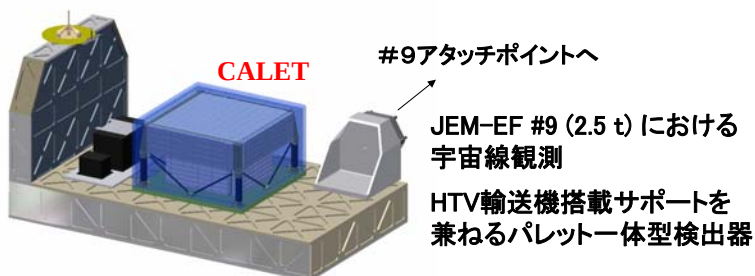
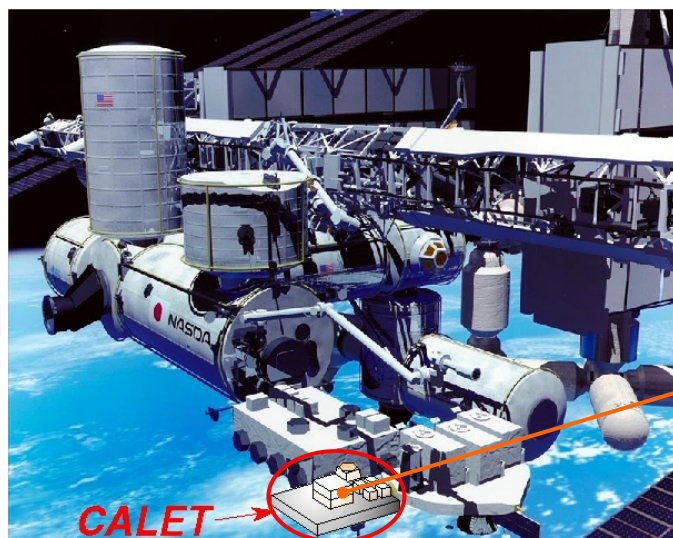
シャワー検出器のためのSciFi読み出し フロントエンド回路の開発

神奈川大 田村忠久 他 CALET チーム

<http://calet.n.kanagawa-u.ac.jp>

CALETによるスペースステーションでの宇宙線観測

電子 1 GeV - 10 TeV
ガンマ 20 MeV - 10 TeV
原子核 1 TeV - 1000 TeV



SciFi —
Lead —
BGO □

SciFi 1 mm x 1 mm x 1024 mm
18 Layers (1 Layer = X & Y = 2048 fibers)
36864 Fibers 37.7 kg

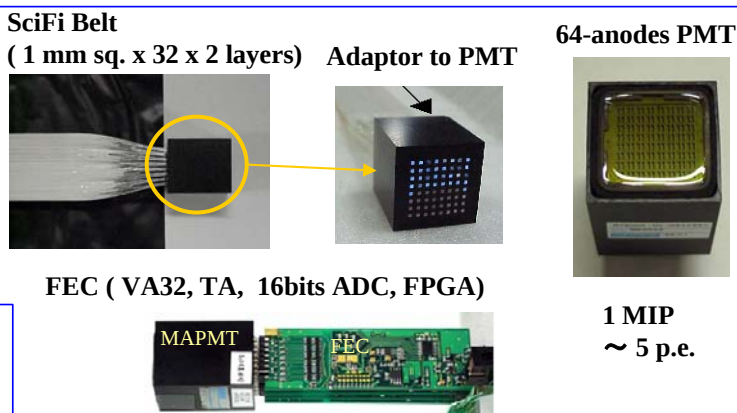
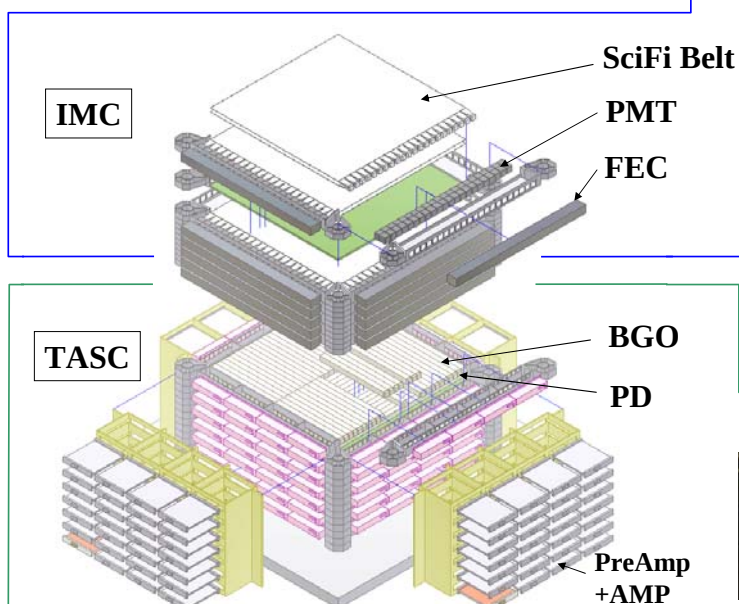
MA-PMT
576 PMTs (1 PMT = 64 ch Anodes)

Lead 1024 mm x 1024 mm
4 r.l. = { 0.1 r.l. x 10
0.2 r.l. x 5
1.0 r.l. x 2 } 266.6 kg
(0.13 m.f.p.)

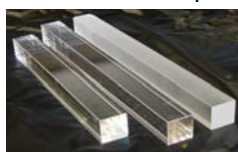
BGO 25 mm x 25 mm x 350 mm
784 logs 1222.8 kg
31.25 r.l. (1.6 m.f.p.)

Detector Total Weight 1527 kg
(+15% Support ⇒ 1760 kg)

CALET 検出器の構成



BGO+PbWO₄



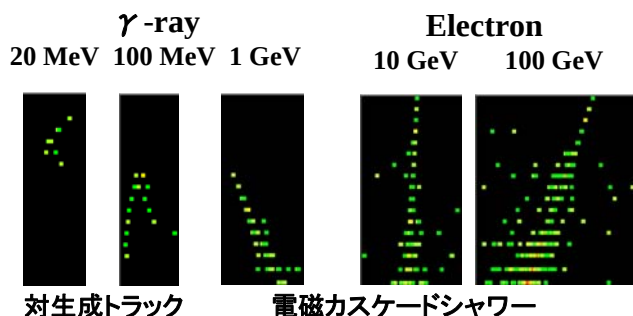
BGO+PD



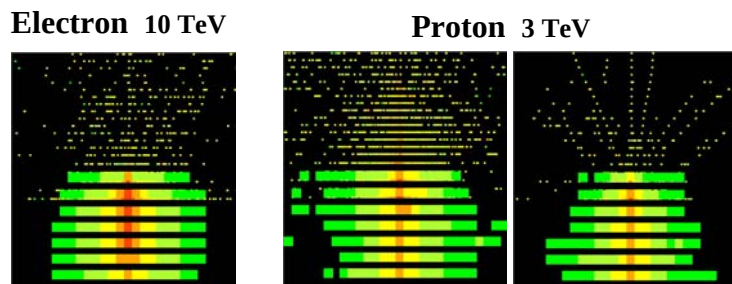
Connectors to
Pre-Amplifier



IMC によるイメージ検出



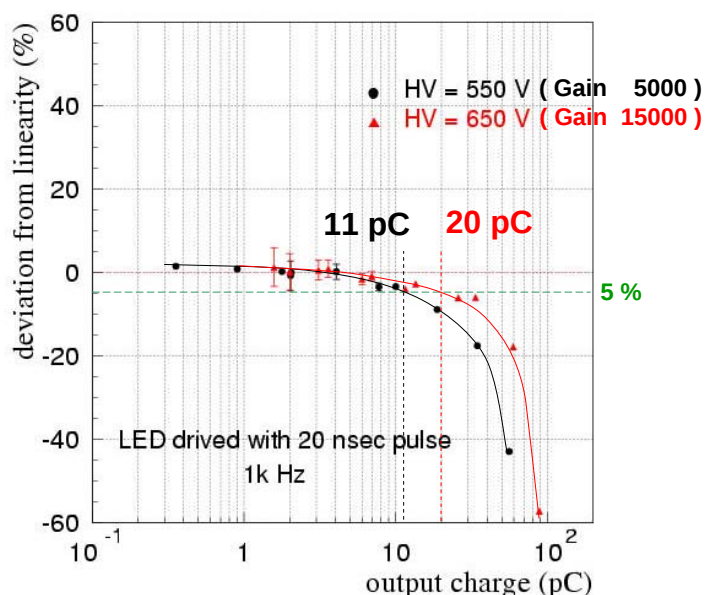
IMC+TASC によるイメージ検出



粒子入射位置・方向決定および粒子判別のために、IMCでは**1 ~ 3000 MIP** のダイナミックレンジが必要

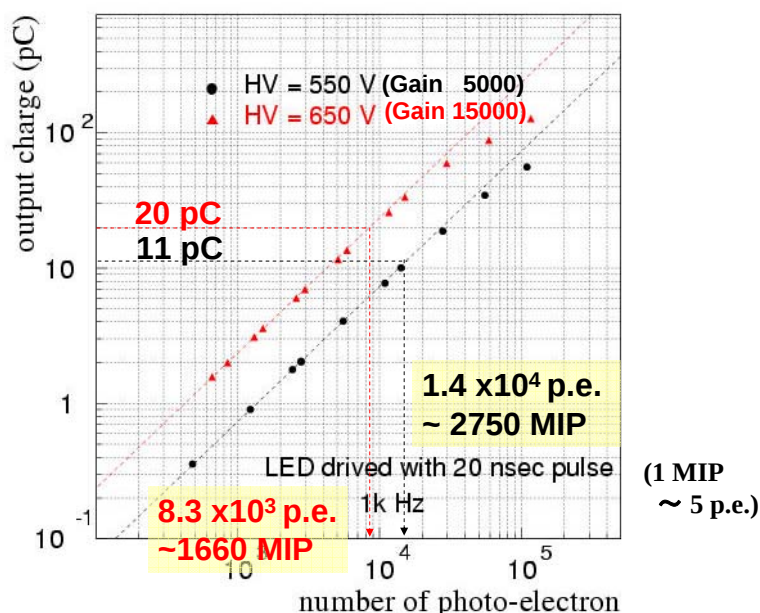
MAPMT (64ch) のLEDによるリニアリティテスト(ダイナミックレンジ)

Deviation from linearity as a function of the output charge



5%以内のリニアリティを許容すると、PMTのダイナミックレンジは出力電荷で、**11pC** (HV 550V)、**20pC** (HV 650V) までとなるが。

Relation between number of p.e. and output charge



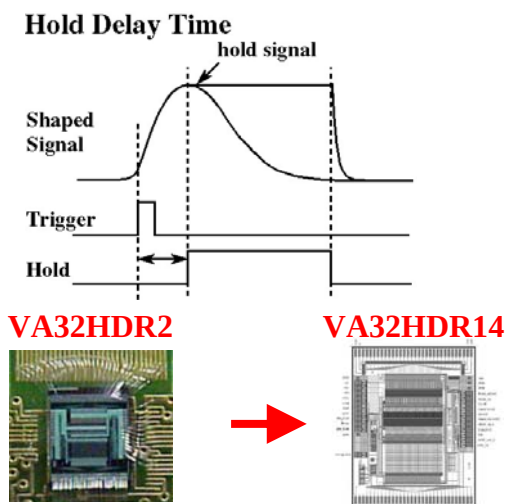
PMTの各出力電荷をそれぞれのGainをもとに光電子数(入力光に比例)に戻すと、**HV 550Vの方がPMTへの入力光に対してダイナミックレンジが広い**

Analog ASICの開発: MAPMT読み出しのためのViking Chipの最適化

Viking Chip (VA32)

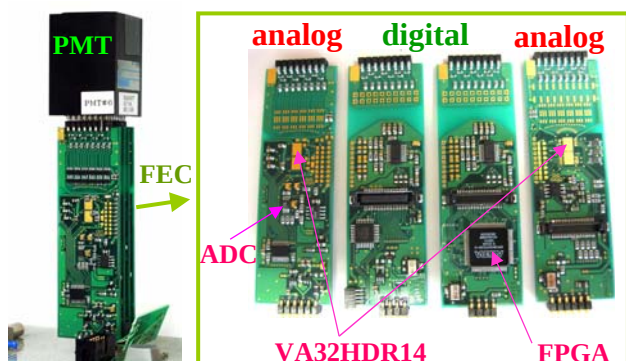
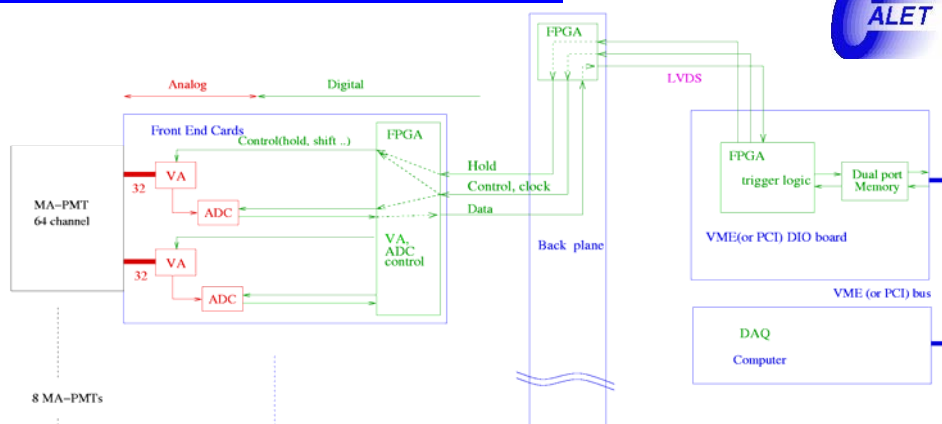
(Pre.Amp.+Shaping Amp.+Sample Hold) × 32ch

Multiplexer 読み出し



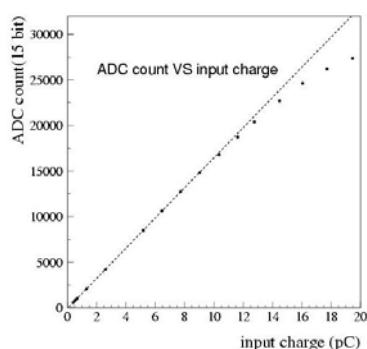
	VA32HDR2	VA32HDR14 (design spec.)
Noise (RMS)	0.2 fC (1.2x10 ³ e)	0.75 fC (4.7x10 ³ e)
1MIP	3.6 fC (2.2x10 ⁴ e)	3.75 fC (2.3x10 ⁴ e)
1MIP/Noise	18	5
Maximum Input Linearity	±0.8 pC (5.2x10 ⁶ e)	±15 pC (9.4x10 ⁷ e)
Gain	370 μ A/pC	73 μ A/pC
Dynamic Range	230	4000
Peaking Time	1~3 μ s	~1.85 μ s
Supply Voltage	±2 V	±2.5 V
Power	1.5 mW/ch	3.4 mW/ch
Size [mm ²]	3.642 x 3.355	4.375 x 3.330

- FEC 1組で64chPMTを1本読み出す
- FEC 1組に、VA(32ch)とADCを各々2チップ搭載
- ADCは16ビット(内15ビット使用)
- AD変換は10 μ 秒(100kHzで使用、Max250kHz)
⇒ 1イベントあたり320 μ 秒(DAQ~3kHz)
- ノイズ低減のためにアナログ部分を最小化
- FECはフォトカブラによってデータ読み出しのバックプレーンから絶縁



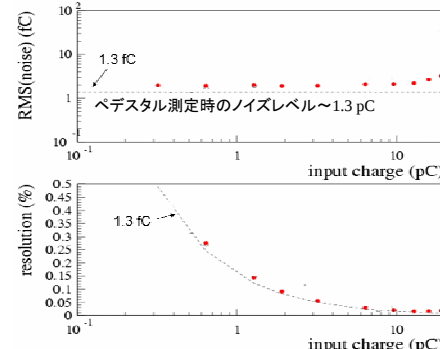
消費電力はFEC1ユニット(64ch)で ~420 mW
⇒ 36864 ch に対しては 242W

テストパルスによるダイナミックレンジとノイズの測定



VA32HDR14への入力電荷は最大18 pC (リニアリティ10%)

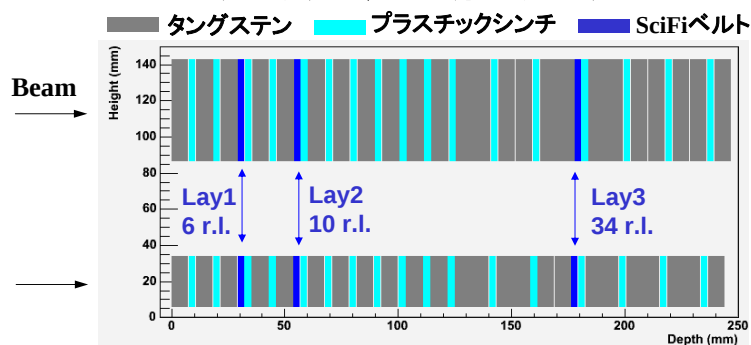
VA32HDR14のダイナミックレンジは~3000 (1 MIPが6 fCの場合)
⇒ PMTゲインを7500にすると1 MIP~5 p.e. が6 fCになる



入力電荷の増大と共にノイズも増加するが
入力に対するノイズの相対値は極めて小さい

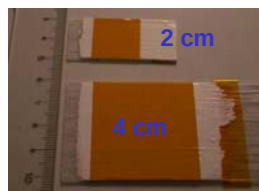
新FEC(VA32HDR14)を用いたCERNでのビーム実験

LHCf(CERN-LHCにおける最前方散乱実験)のための
シャワー-カロリメータ(2cm、4cm四方の2タワー)



SciFiベルト

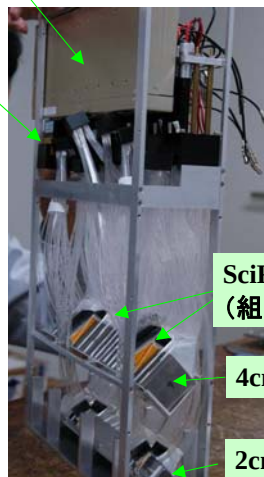
FEC (PMT8本分 = 512 ch)



SciFiベルト(4cm四方)
+ライトガイド+PMTアダプタ



PMT



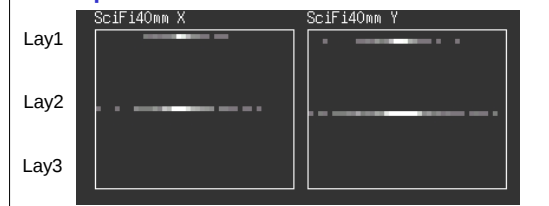
SciFiベルト
(組込中)

4cmタワー

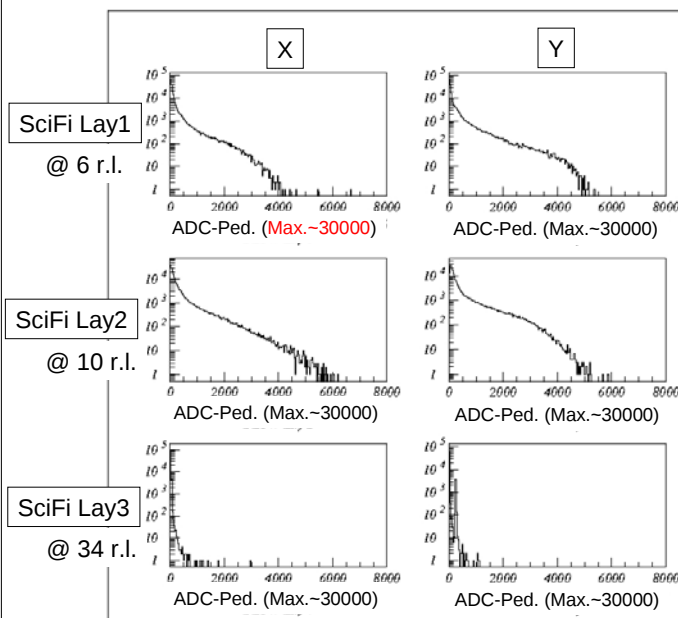
2cmタワー

Electron 200 GeV/c (HV -600 V)

Example of One Event



約1万イベントの各シンチファイバーのADC分布の重ね合わせ



⇒ CALET(4 r.l.)では10TeV(3000 MIPs)までOK

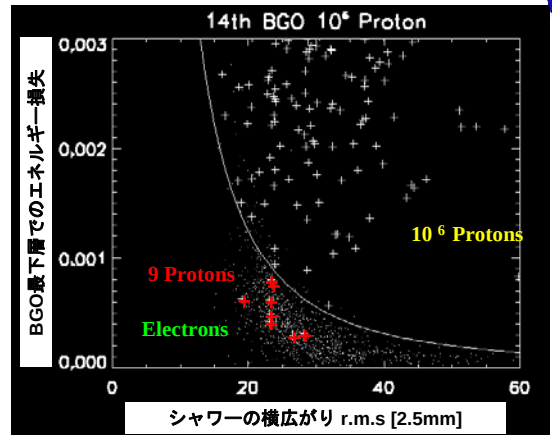
- ・シンチレータの発光量の和 → エネルギー決定
- ・発光量とその横広がりとの関係 → 粒子選別
- ・飛跡 → 粒子の到来方向

無機シンチレータの選定 (重量、サイズの制限)

高質量密度、放射長が短い、モリエールユニットが小さい
⇒ BGO, PbWO₄ ...

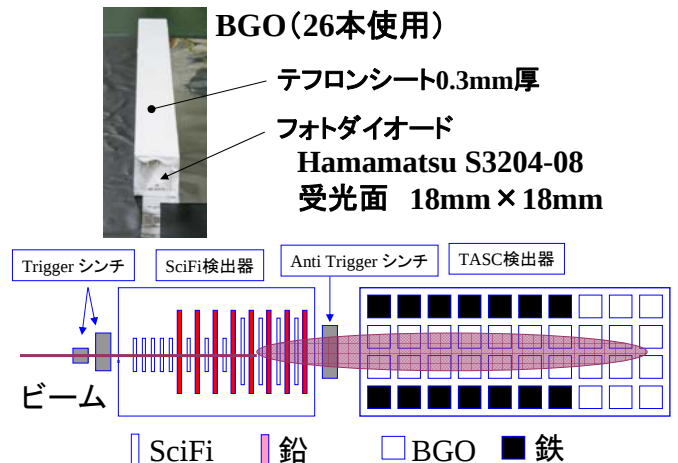
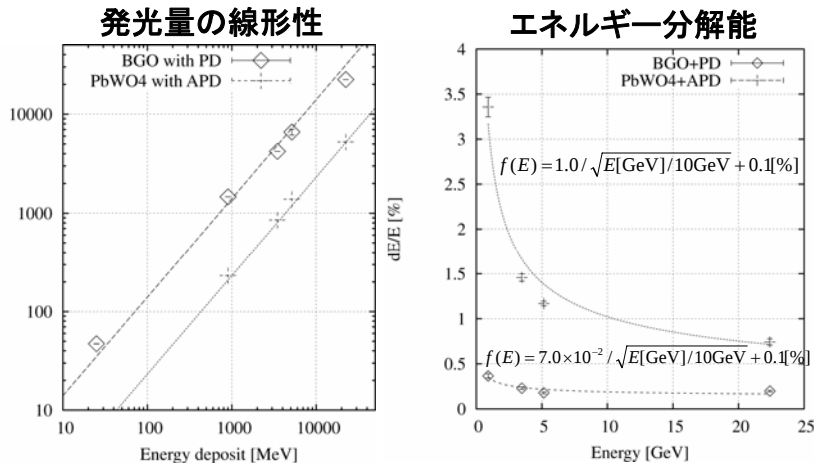
ダイナミックレンジ (シミュレーションより)

BGO (2.5 × 2.5 × 35cm³) ログ1本について 0.5 ~ 10⁶ MIP
1MIP は(μオンの等方的な入射の場合) 27.6 MeV



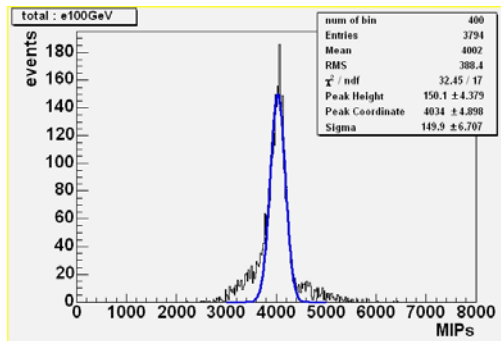
無機シンチレータ (BGO, PbWO₄) の特性の評価

ビームテスト用プロトタイプ検出器



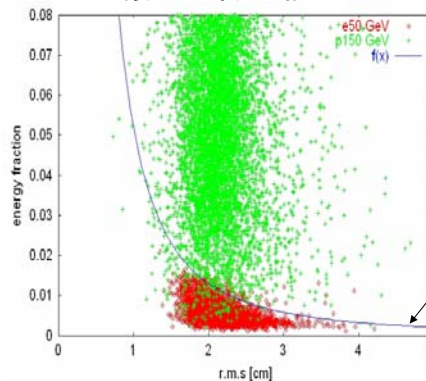
プロトタイプ検出器による CERN でのビームテスト結果

エネルギー分解能 (26本の合計)



Electron 100 GeV : $\sigma_E / E = 3.7\%$

陽子の除去能力



データ数

電子 50 GeV 3008イベント
陽子 150 GeV 13835イベント

このラインで陽子を除去すると

電子 : 2915個 96.9 %
(シミュレーション 98.0 %)
陽子 : 176個 1.3 %
(シミュレーション 0.6 %)

まとめ

○ SciFi読み出し

MAPMT + Analog ASICによって0.2 ~ 2750 MIPs のダイナミックレンジを実現し、低消費電力で10TeVの電子まで検出可能であることをビーム実験で確認した。

フライトモデル開発のための今後の課題

- 1) 耐放射線性の高いVLSI (0.35 μmプロセス, SOIなど)を検討。これによって同時に低ノイズ化、低消費電力化も期待できる。
- 2) ADCも処理速度5倍 (500kHz) のものを用いて、FECの高速化または低ノイズ化をはかる。

○ BGO読み出し

・重粒子によるビームテストにより、リニアリティについてBGOは3.7%、PbWO₄は6%、エネルギー分解能はBGOで1.1%、PbWO₄で0.17% (10GeV)を得た。

・CALETプロトタイプによるCERNビーム実験で、エネルギー分解能3.7% (電子100GeV)を確認し、装置の性能を確認できた。

今後の開発方針

10⁶のダイナミックレンジを実現するために、複数のPDを用いた読み出しと、Analog ASICによるフロントエンド回路のVLSI化を行う。

本研究は財団法人日本宇宙フォーラムが推進している「宇宙環境利用に関する地上公募研究」プロジェクトの一環として行われている。