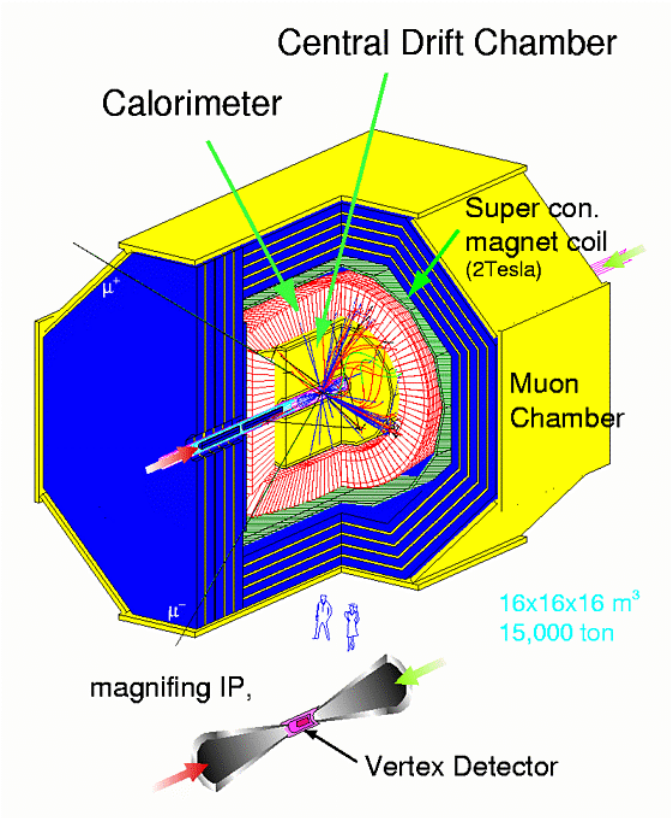
31- March 2000
JPS シンポジウム@近大

ＪＬＣ実験におけるエネルギー測定

ＫＥＫ 藤井芳昭
ＪＬＣ−ＣＡＬグループ
神戸大、甲南大、信州大、
筑波大、ＫＥＫ、ＵＣＬＡ
and cooperation by Texas A&M

CONTENTS

0. 序
1. カロリメータへの要求
2. カロリメータの構造
3. テストモジュールと
ビームテスト
4. 光検出器Ｒ＆Ｄ
5. まとめ



0.1) Ｒ＆Ｄの進め方

境界条件＝ＬＨＣと競えること

逆算スケジュール

２０００年　パラメタ最適化のための本格的
　　フルシミュレーションスタディ
２００１年　シミュレーションスタディ完了、
　　エンジニアリングスタディ
　　プロトタイプデザイン完了。
２００２年　プロトタイプ建設開始
２００３年　プロトタイプスタディ完了
２００４年　ＣＡＬ建設開始

３年間で作り上げる。

２００６年　ＣＡＬ建設完了

＊）本格的予算無しではプロトタイプ建設は不可能

⇒遅くとも 2002年には 本格的予算 が必要

0.2) これまでの流れ

1] 既存のシステムの調査、資料収集 (~ 1991)

2] 第 1 次デザイン ； ZEUS-type

Pb/Sci Sandwich+Si-pad ShowerMa

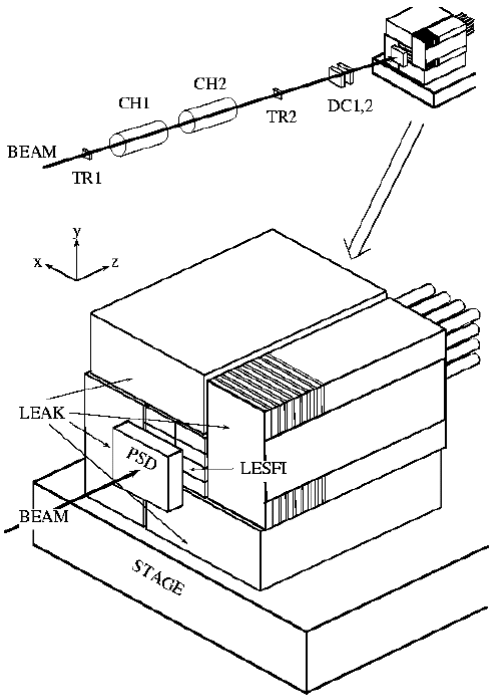
3] 第 1 段階 R & D (1992-1995)

Test Module& Beam Test

(ZEUS 型 及び 1mmシンチ EMcal)

Detector Simulation(Full)

Physics Simulation(Quick)



4] 第 2 次デザイン ； CDF-Endplug-type Tile/Fiber Sandwich

+ シンチストリップ ShowerMax

5] 第 2 段階 R & D (1996-1999)

Detector Simulation(Full) & Physics Simulation(Quick)

Test Module□1 ； Generic Study (Hanging-File)

Beam Test □1 ； at KEK (1 -4GeV)

Test Module□2 ； Realistic Module (Tile -Fiber)

Beam Test □2 ； at KEK and at FNAL (1-4,10-200GeV)

並行して

光検出器 R & D (1993- Now)

1) カロリメータへの要求

ほとんどのプロセスの終状態には **Weak Boson** が存在。

↓

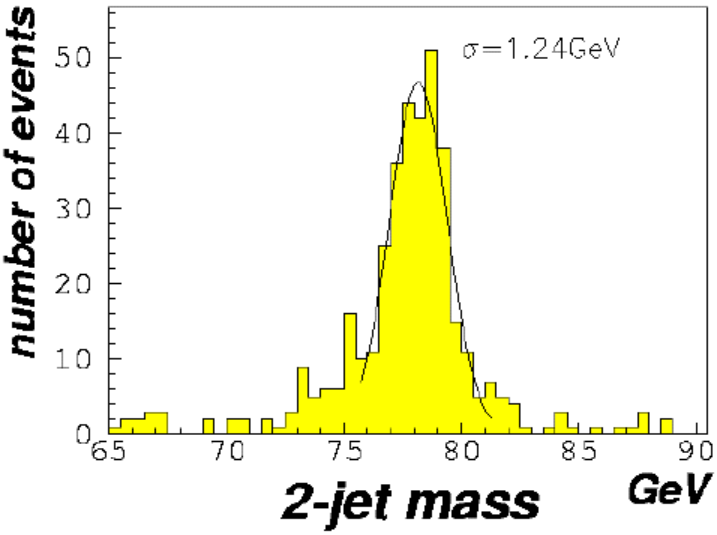
プロセスの再構成のためには **WとZが識別** できること

が不可欠。

↓

WやＺの自然幅と同等かそれ以上の

２ジェット質量分解能 が必要。



↓

このためには …

（後出のＣＤＣ/ＶＴＸの組み合わせた時）

要求性能

a) エネルギー分解能；テストモジュール＋ビームテストで検証

４０％/√Ｅ＋２％　for hadrons

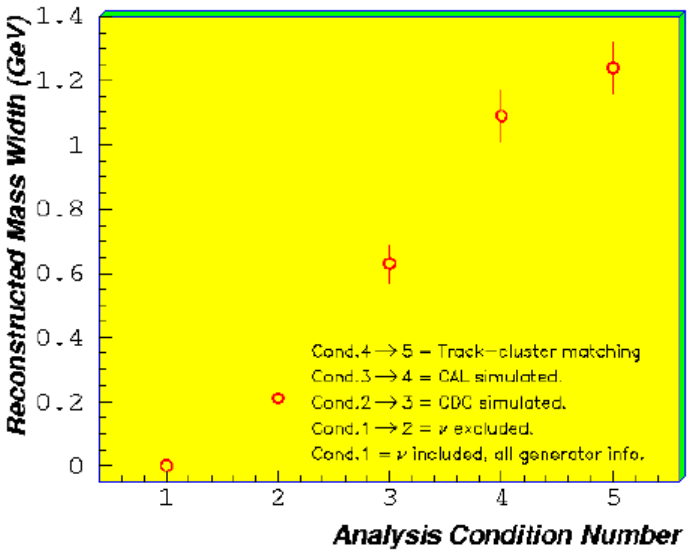
１５％/√Ｅ＋１％　for EM particles

b) グラニュラリティ；ベンチテスト＋シミュレーションスタディ

Quick Simulator では**δΦ =0.04rad** でほぼ十分

Full Simulator　でさらに検討する。

2ジェット質量幅に何が効くのか（Quick Simulator の結果）



ＺＨ→ννbb の場合

ＣＤＣ運動量分解能　～0.6GeV
ＣＡＬエネルギー分解能　～1.0GeV
Cluster - Track matching ～0.6GeV

WW→anything の場合

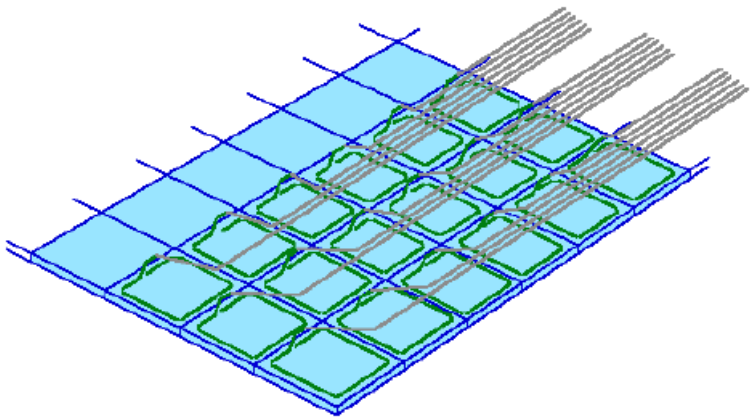
ニュートリノエスケープ　～0.8GeV
ＣＤＣ運動量分解能　～1.3GeV
ＣＡＬエネルギー分解能　～1.2GeV
Cluster - Track matching　～1.9GeV
ジェットクラスタリング　～1.1GeV

2) カロリメータの構造

要求性能を満たしうるデザイン候補：

Pb/Sci サンドイッチによる**ハードウェア補償型**

CDF Endplug型**タイルファイバー**



要求ハドロンエネルギー分解能

⇨ **補償型が不可欠**

ソフトウェア補償型

超細グラニュラリティ＝高コスト

⇩ コストダウンが大事

比較的安価な**ハードウェア補償型**

CDF型タイルファイバー

不感領域が無い ⇨ 最高のハーメティシティ

縦方向のセグメンテーションが容易に安価にできる。

Well-Established なデザイン

反面：横方向のセグメンテーションがあまり細かくならない

☆ 全体を磁場中に入れる ⇒ 光検出器R＆D

3) ビームテスト

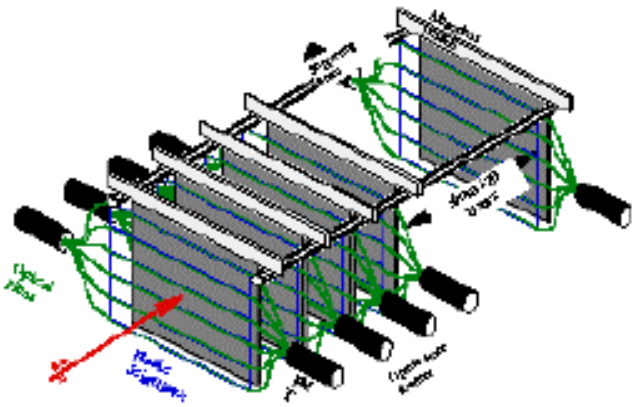
テストモジュール- 1 ；　測定器の基礎的特性の把握

(Hanging File 型)　ハドロンシャワーそのものの特性

➡ Tested at KEK-PS

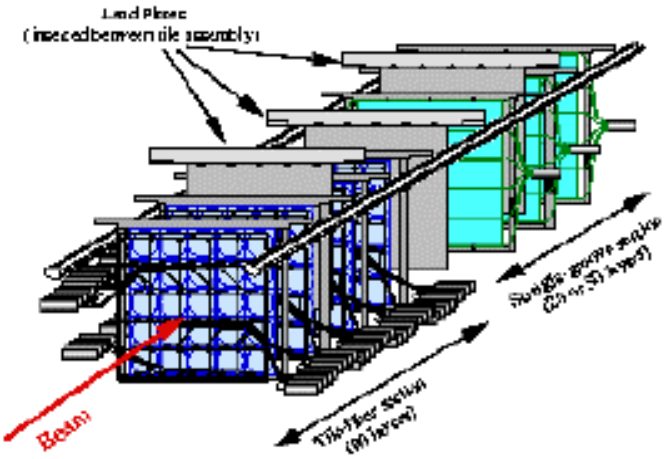
テストモジュール- 2 ；　タイルファイバー構造の具体的特性

(Tile - Fiber 型)　➡ Tested at KEK-PS & FNAL



テストモジュール- 1

1m x 1m x6λ@ KEK



テストモジュール- 2

1m x 1m x7λ@ FNAL

テストの要点

a) ハードウェア補償ができるか？

b) ハドロンエネルギー分解能が達成できるか？

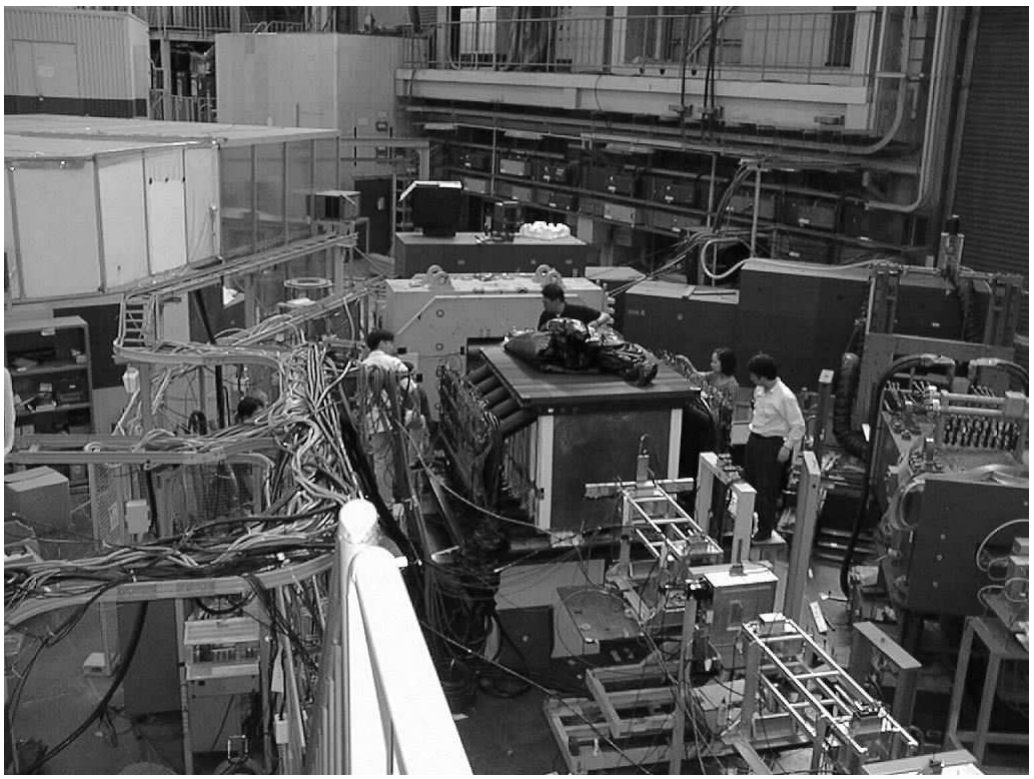
c) タワーレスポンスのユニフォーミティは？

d) リニアリティ、ダイナミックレンジは？

e) 粒子識別能力

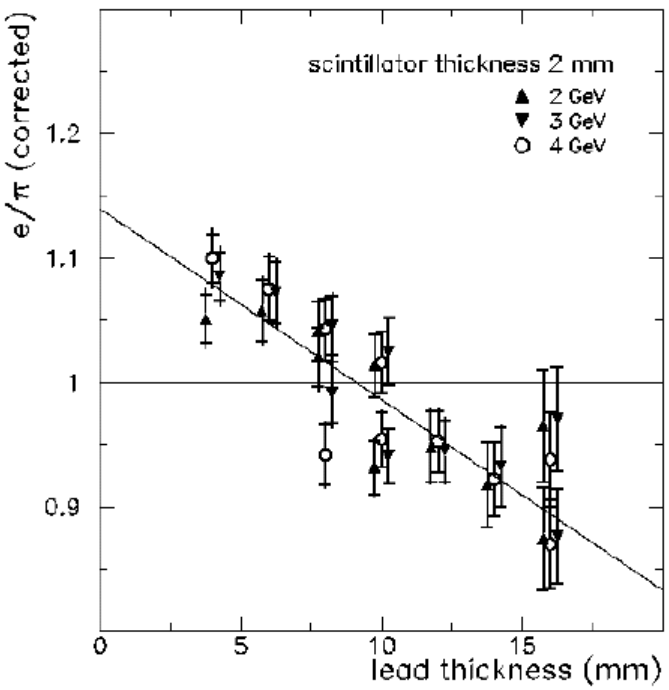
3.2) 結果

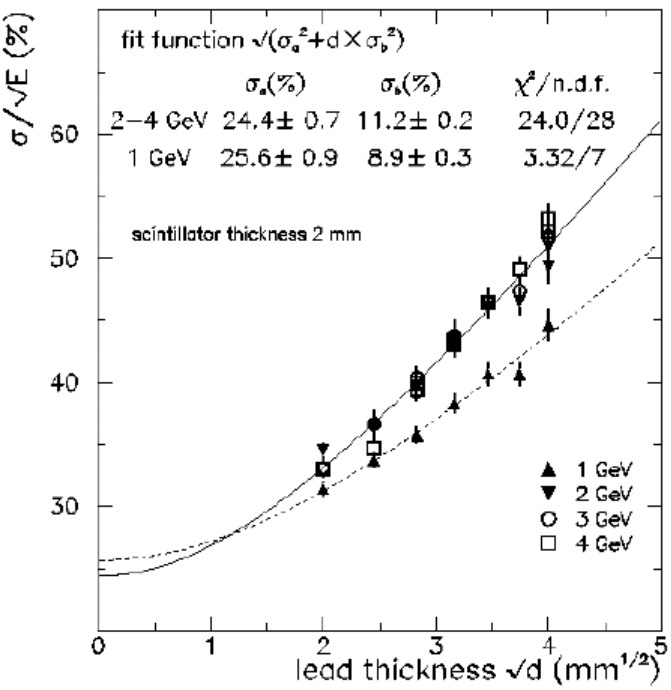
1) low-E test at KEK (1 - 4GeV)



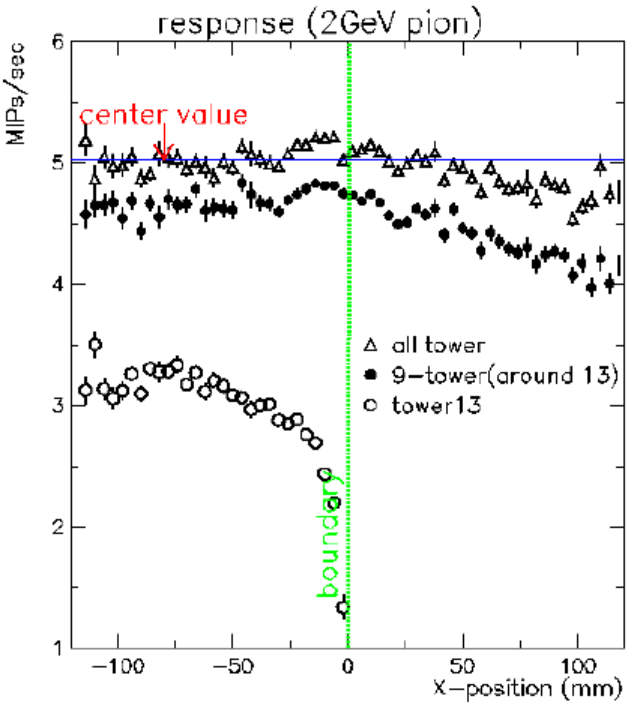
a) ハードウェア補償実証　　(e/ π =1.02@8:2)

b) エネルギー分解能(統計項) 達成(39.6%/ √ E + 1.0%@8:2)

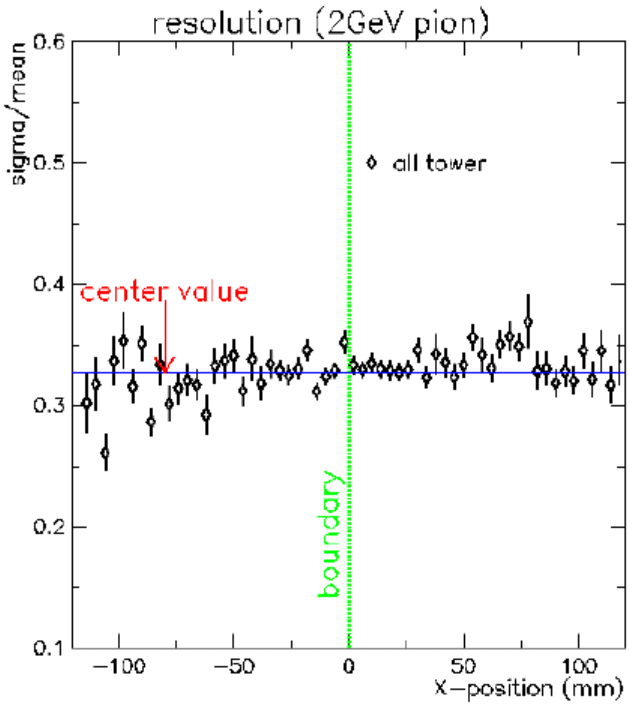




c) タワー境界のレスポンスも特異性は十分小さい

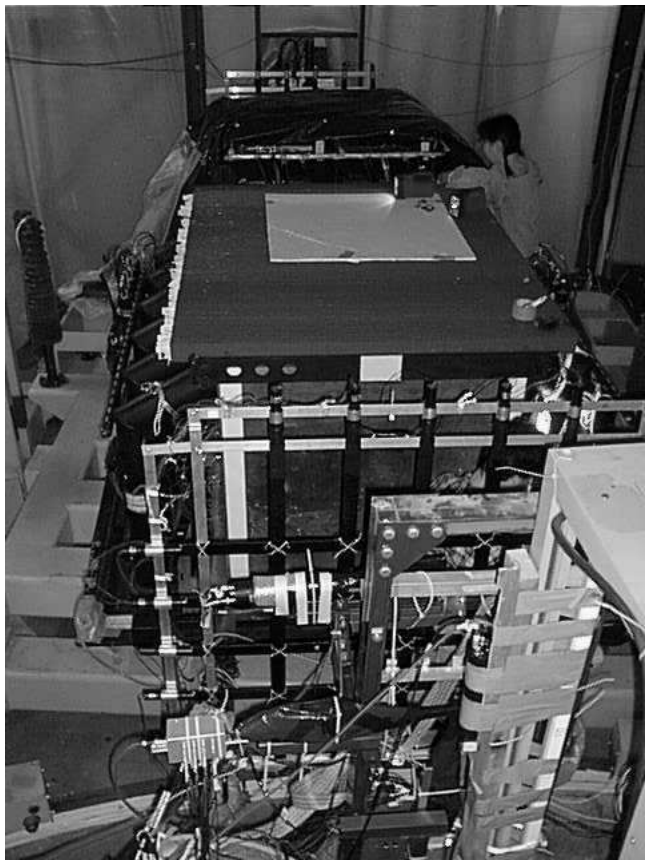


πエネルギー測定値



πエネル ギー分解能

2)high - E test at FNAL



低エネルギーでの e/π =1 から

・定数項も小さい

・リニアリティが良い

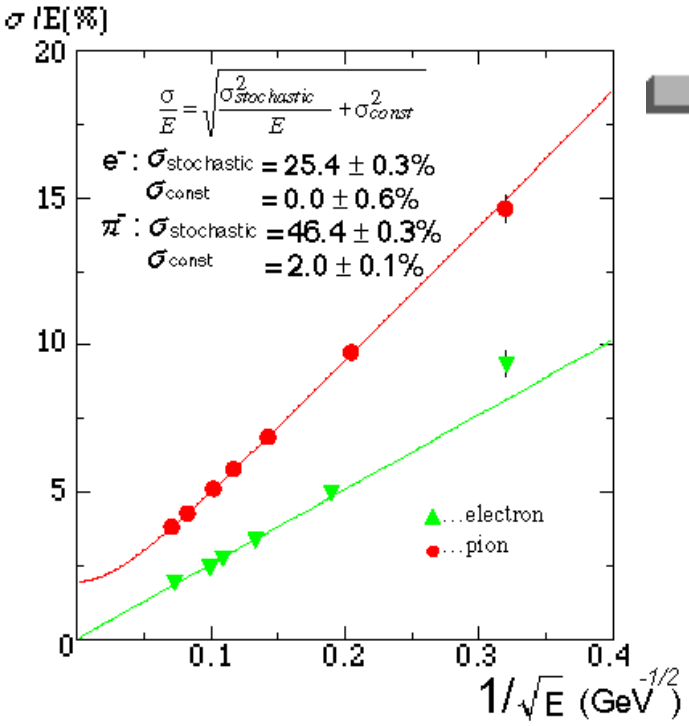
が予想されるが、実際に検証。

エネルギー分解能ほぼ達成

（統計項＆定数項とも）

リニアリティ ~ 2 %

（ 1 0 − 2 0 0 GeV)



全イベントでの

πエネルギー分解能

46.4%/√ E ＋ 2.0%

後方シャワーリークを除去した

イベントでの分解能は

43.6%/√ E ＋ 0.0%

(JPS Talk by S.Uozumi on 3/30)

※誤差は統計誤差のみ

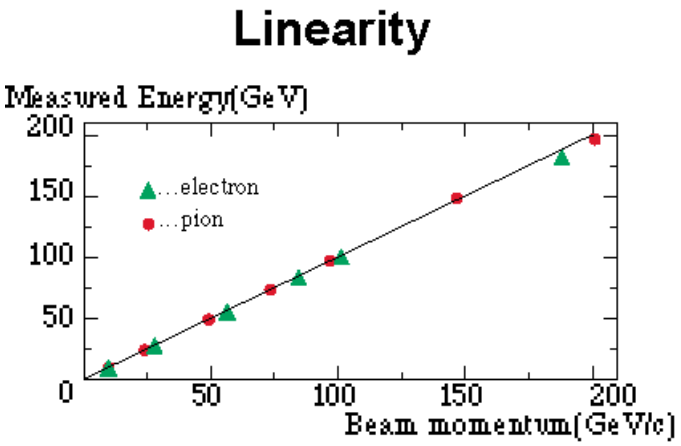
d) リニアリティ

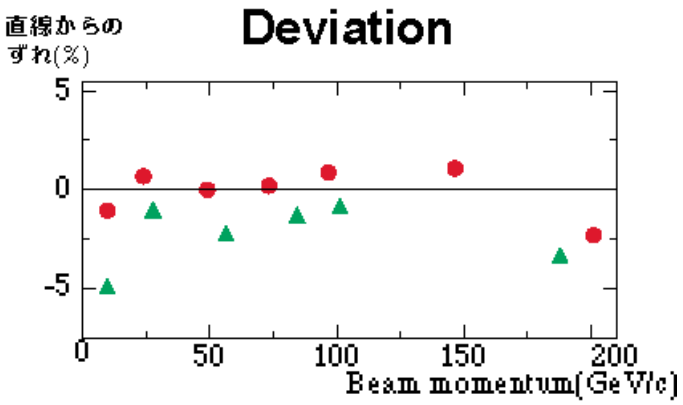
ほぼ２％以内

（10GeV電子は若干悪い）

電子とπで２％位

出力が違う





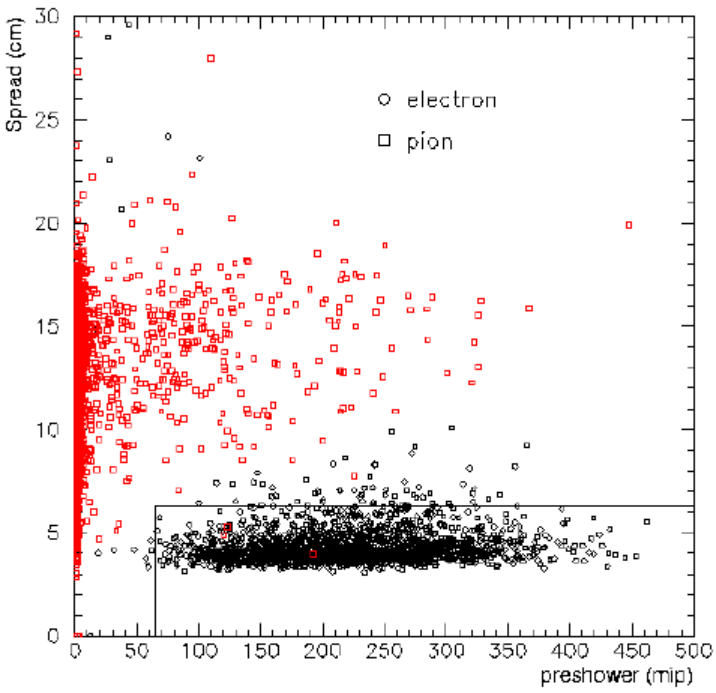
※誤差は統計誤差のみ

e)PreSH/Shmaxによる e/π識別

電子検出効率９６％

この時

πの混じり　　1/565



テストモジュールレベルのスタディはほぼ一段落

次の段階は**プロトタイプ**。その前に．．．

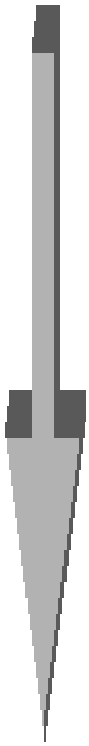
Full - Simulation Study が必要

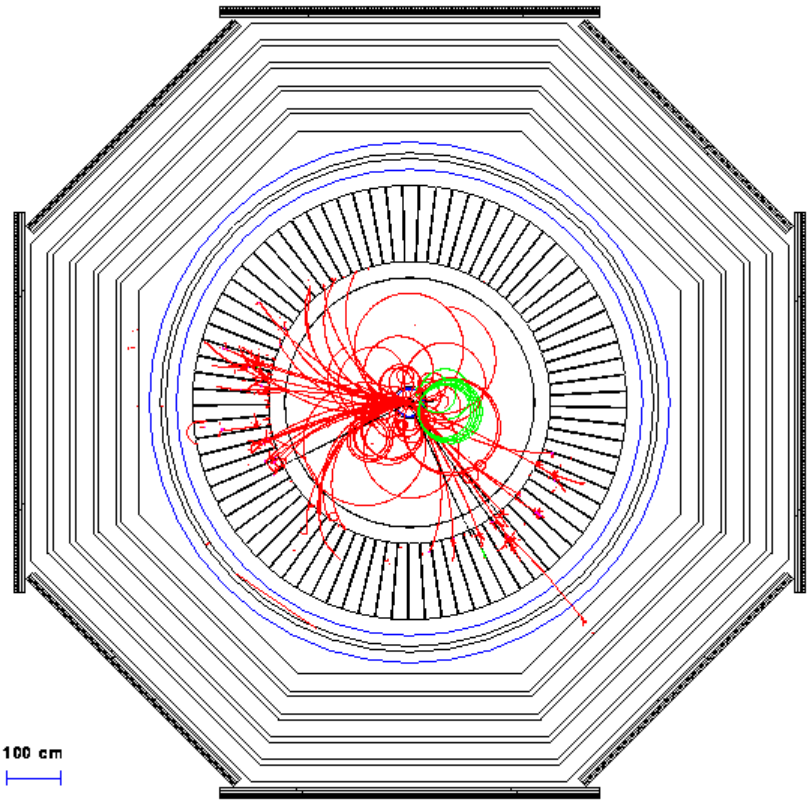
1) 具体的な構造の最適化；特に **グラニュラリティ**

2)Physics Performance の再確認

このために現在 Full Simulator を改造中

今までの **2テスラ大型測定器**バージョン





3テスラコンパクト測定器 バージョンにも対応させる

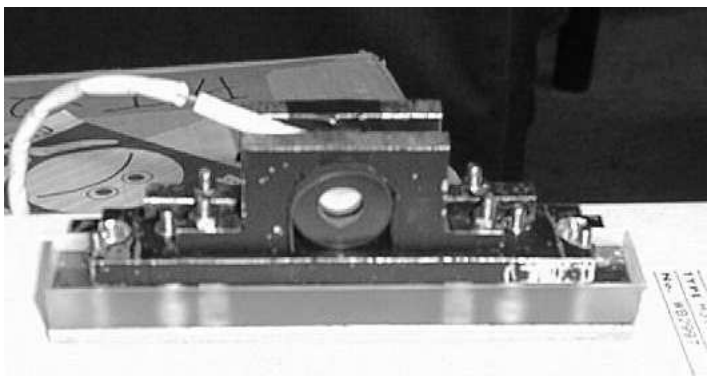
4) 光検出器Ｒ＆Ｄ

カロリメータ全体が磁場中に置かれる（２Ｔ or ３Ｔ）

補償型のサンプリングなので光量が少ない。

強磁場中で働く高感度高ゲインの光検出器が必要

1993年からＲ＆Ｄ継続中



これまでテストしたデバイス

a) ＦＭＰＭＴ　　... Ｎｏ

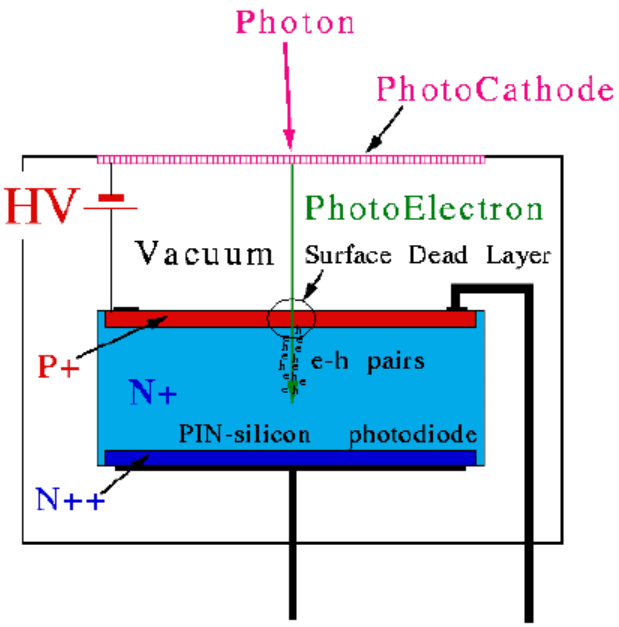
b) ＡＰＤ　　... SHmaxに使える可能性あり

c) ＨＰＤ　　... ＣＡＬ本体の最有力候補

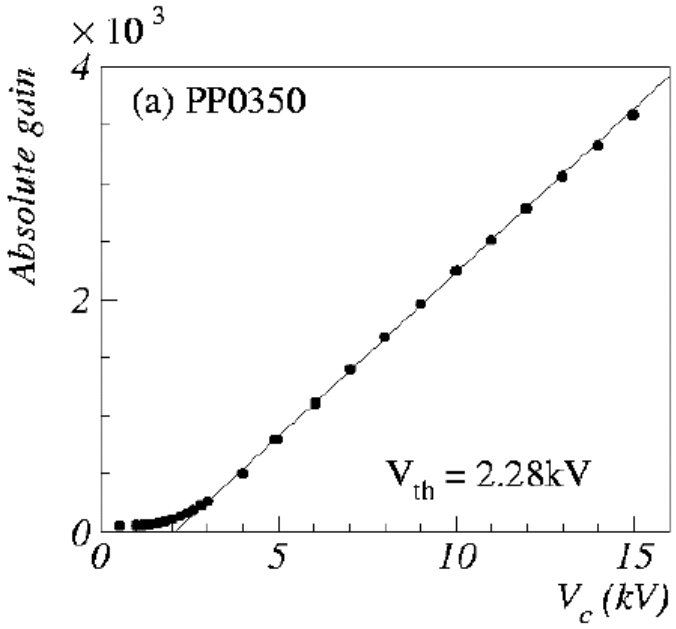
d) ＶＡＰＤ　　... PreSH/SHmaxの有力候補

e) HCCD(EBCCD)

... SHmaxの有力候補



ＤＥＰ製ＨＰＤの磁場中でのゲイン



特徴

磁場に極めて不感

中程度のゲイン（数千）

光電面面積大（直径～ 1 inch ）

温度係数が小さい

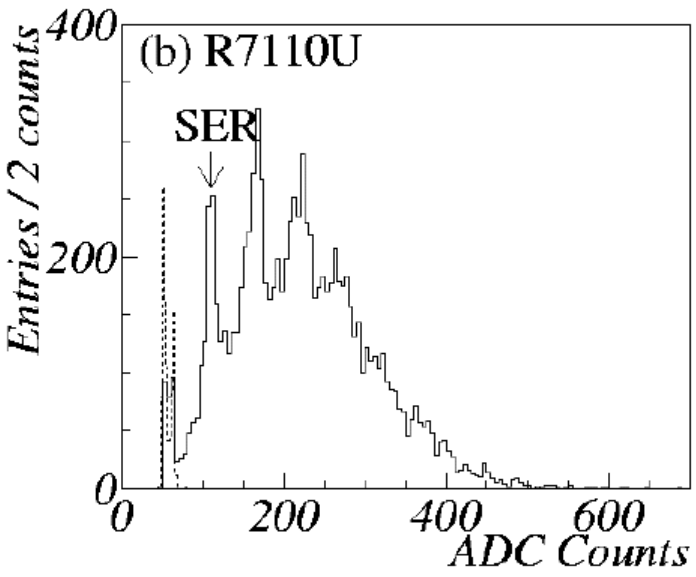
⇒ ＣＡＬ本体に適当

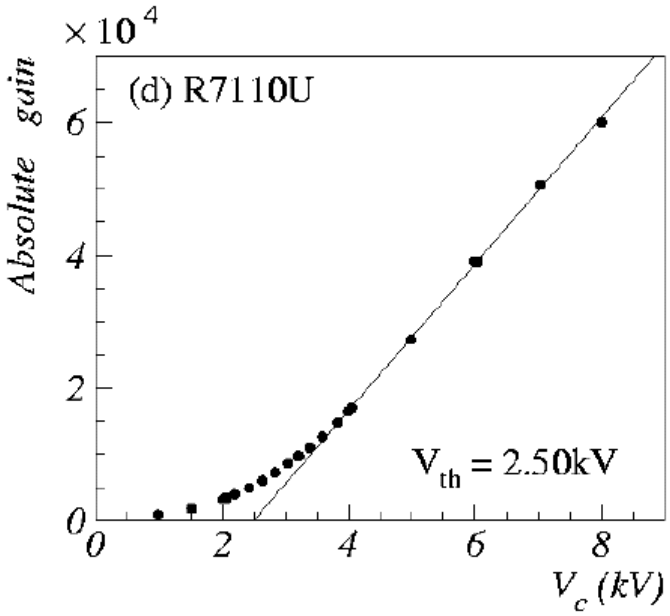
浜松製ＶＡＰＤ

高ゲイン（数万）、高感度（シングルフォトン）

光電面面積小さい（直径数ｍｍ）

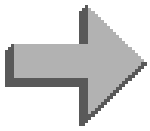
APDなので温度係数多少大 ⇒ PreSH/SHmaに適当





シャワーマックス測定器

クラスタートラックマッチング
off - VTXフォトンの方向の測定



複数層のシャワー
位置測定器が重要

第１次デザインではSi - padをスタディした。

第２次デザインではコスト、本体との構造的相性から

シンチストリップ型をＲ＆Ｄ中

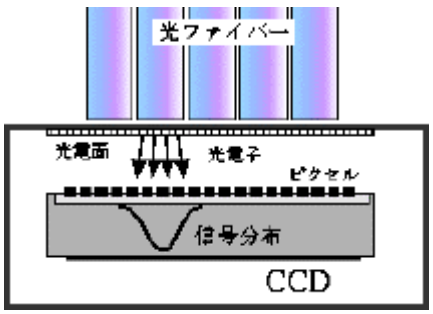
超多チャンネル高感度高ゲイン光検出器が必要

・ＡＰＤ直付け?

・Multi - channel VAPD? or VAPD array ?

・HybridCCD(EBCCD)?

等を検討しているが、未だ決定打なし。



EBCCDの構造

EBCCD超マルチチャンネルの
光ファイバー読み出しに
最適か？

5) まとめ

a) 物理プロセスからの要求を決定した。

b) 要求を満たす性能のうち**エネルギー分解能**については、

具体的要求水準を確定し、

この要求を満たす構成をデザインし、

テストモジュールを製作・ビームテストを行い、

要求性能を満たすことを確認した。

c) また**グラニュラリティ**についても、

Quick Simulator を用いて要求を満たすデザインを行った。

d) 光検出器については

ほぼ目途がついた部分とこれからの部分とがある。

今後の展開

1) Full - Simulation によりデザイン(特にグラニュラリティ) を詰め、

プロトタイプのデザインを行う。

2) 本格的予算を待ってプロトタイプの製作、テストを行う。