

KOPIO実験の開発と現状

京都大学 高エネルギー研究室
森井 秀樹

Contents

- KOPIO実験とは
- 日本グループによる R&D
- KOPIO実験の展望

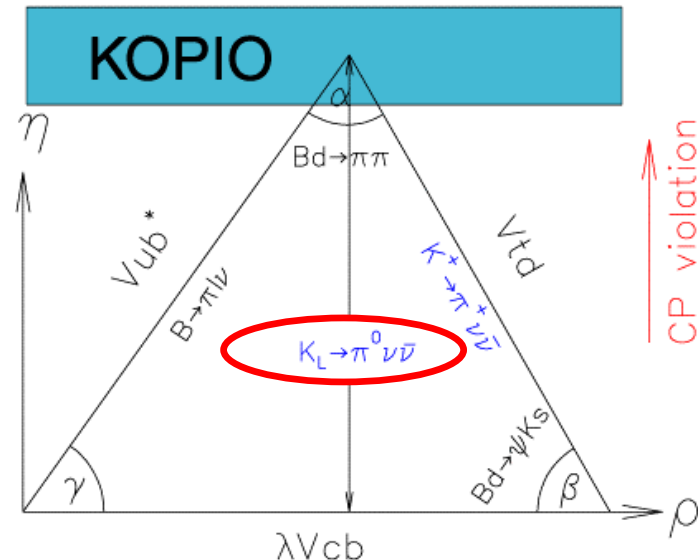
KOPIO実験の物理と目的

KOPIO: K_L^0 測定実験@BNL

- 小林・益川行列の複素パラメータ決定
 $Br(K_L^0 \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}) \sim 3 \times 10^{-11} (\text{SM})$
 - CP対称性の破れを特徴づける
 - 理論的不定性の少ない
 スーパークリーンモードの一つ
- K中間子系のみでユニタリ三角形を構成
 荷電K中間子の結果と合わせることで
- 標準模型を越える物理に感度
 K中間子系とB中間子系での比較

$$V_{\text{CKM}} = \begin{pmatrix} V_{ud} & V_{us} & V_{ub} \\ V_{cd} & V_{cs} & V_{cb} \\ V_{td} & V_{ts} & V_{tb} \end{pmatrix}$$

$$\simeq \begin{pmatrix} 1 - \lambda^2/2 & \lambda & A\lambda^3(\rho - i\eta) \\ -\lambda & 1 - \lambda^2/2 & A\lambda^2 \\ A\lambda^3(1 - \rho - i\eta) & -A\lambda^2 & 1 \end{pmatrix}$$



KOPIO実験のConcept

■ イベントの同定

K_L $\textcircled{0}$ --- 「 0 からの 2 」 かつ 「他は何も検出しない」
 2

稀崩壊事象 & 終状態に検出可能な粒子が 0 のみ
バックグラウンドの除去が重要

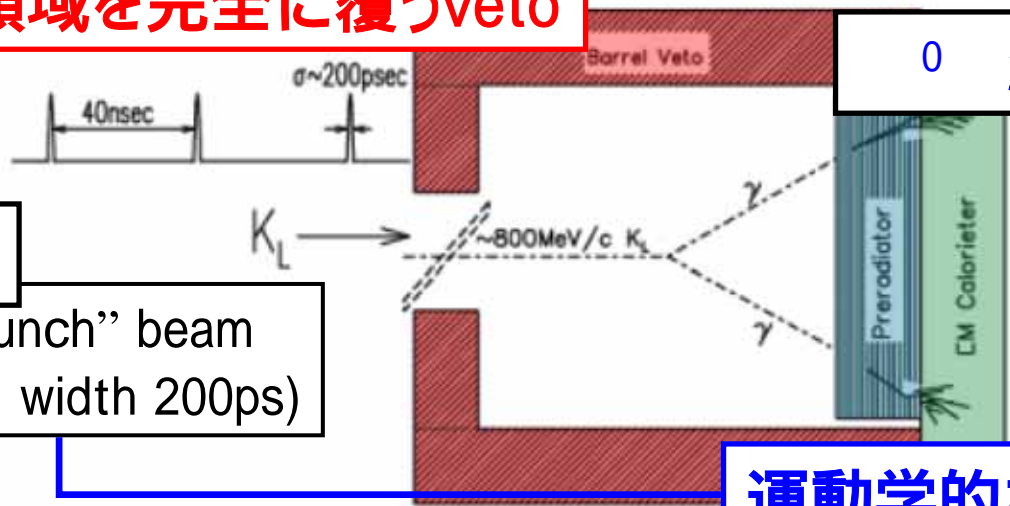
例えば... K_L 2 0 ---

崩壊領域を完全に覆うveto

0 2 **崩壊の再構成**

K_L の TOF

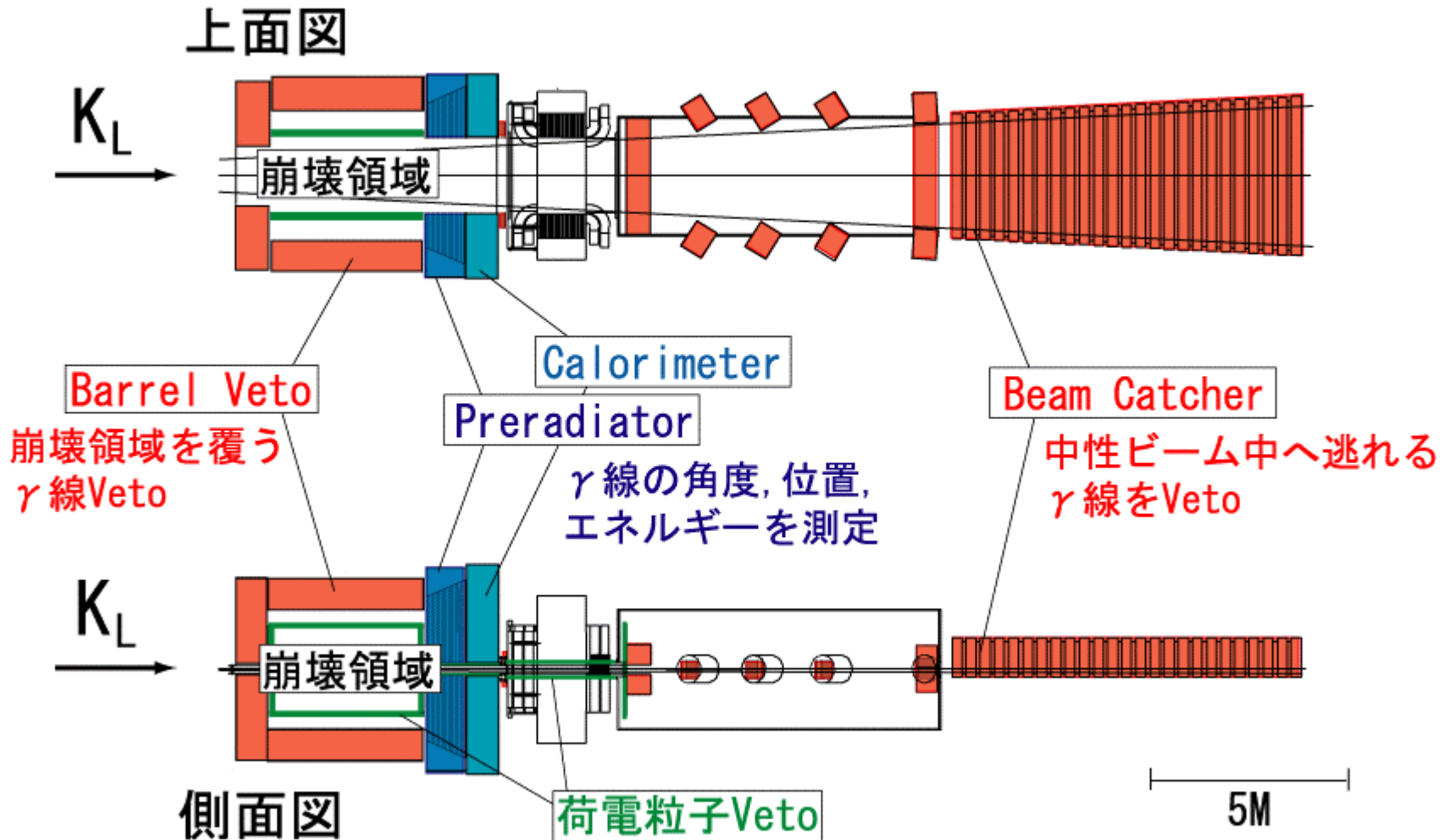
“microbunch” beam
 (25MHz, width 200ps)



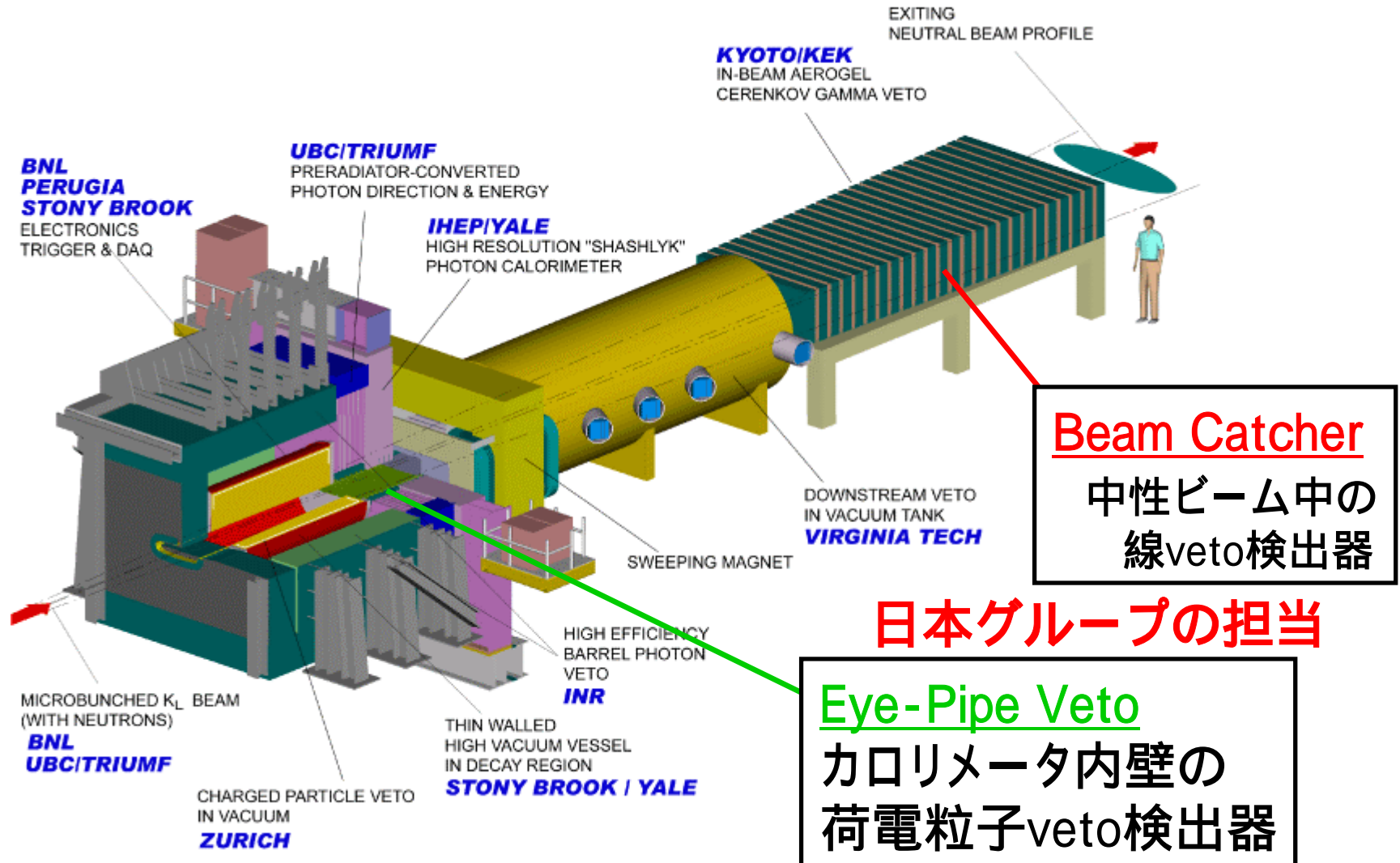
光子の位置、
 エネルギー、
角度、時間
 を測定

運動学的なカット

KOPIO Detector



KOPIO Detector – 日本グループの役割



日本グループの担当

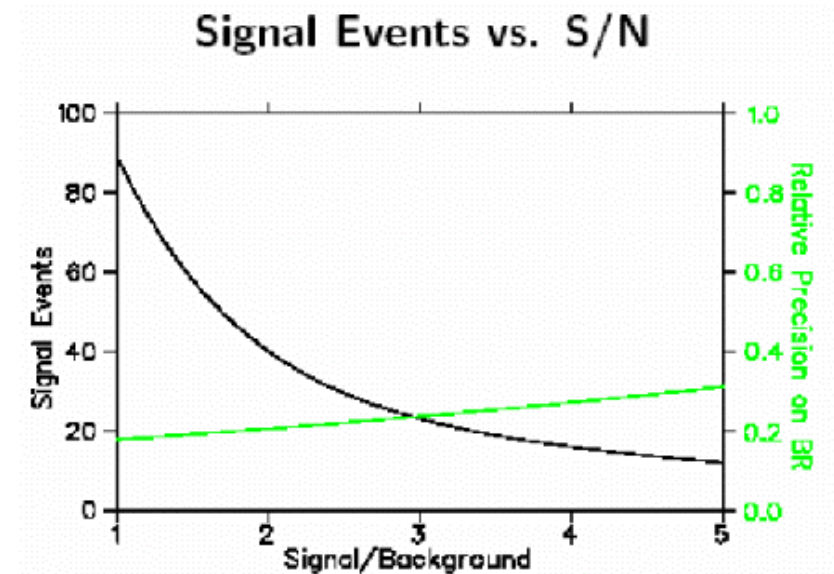
Eye-Pipe Veto
カロリメータ内壁の
荷電粒子veto検出器

KOPIO実験のGoal

- 約40信号イベントの観測
- S/N比 ~ 2

バックグラウンド

K_L	0	0		13
K_L	0	+	-	1
K_L	e^+			4



日本グループの活動 2002-2003

■ Beam Catcher

- 第二次プロトタイプによる原理テスト
- シミュレーションによる具体的な設計
- エアロジェル品質管理システムの開発
 - 透過率測定システム
 - チェレンコフ発光量測定システム

■ 荷電粒子Veto

- 高量子効率PMTの性能評価
- シンチレータ + 波長変換ファイバーでの光量測定

Beam Catcherとは

ビームホールを覆う 線veto検出器

光子に対しては高検出率

300MeVの に対して98%以上

高レート中性ビーム中に置かれる

ビーム中に大量にある中性子に対して不感

0.8GeVの中性子に対して0.2%以下

このような要求を満たすため...

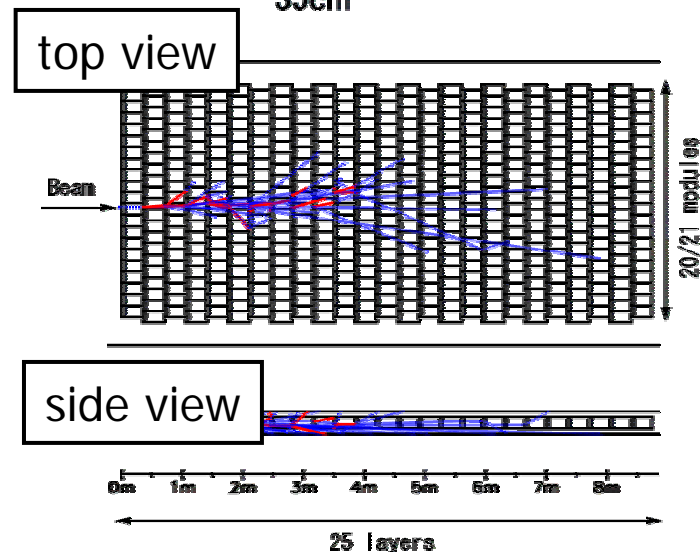
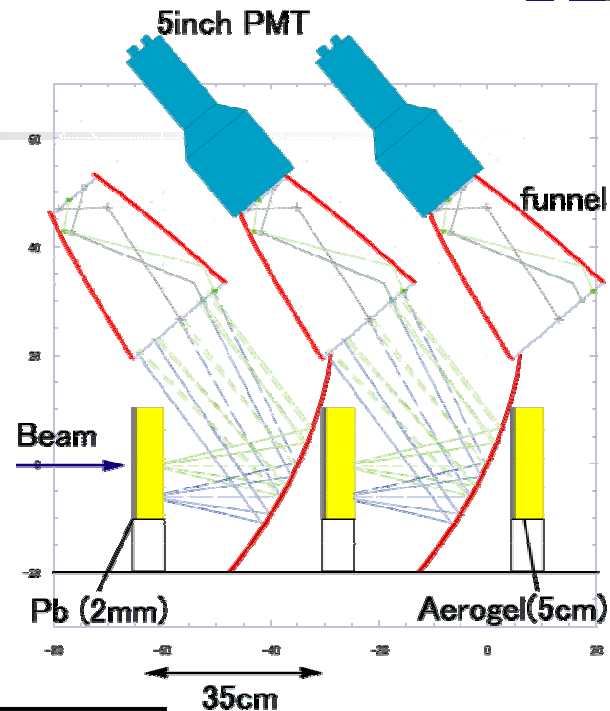
チェレンコフ閾値型カウンタを分散配置

- 鉛コンバータ+エアロジェル

エアロジェルを用いることで低速粒子に不感

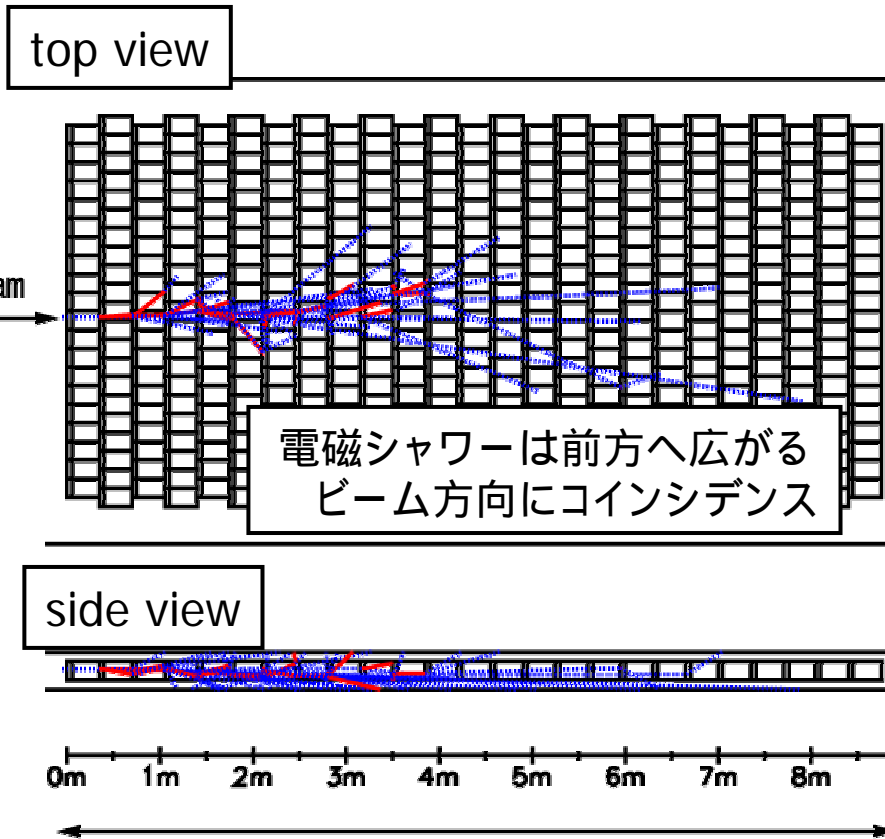
- モジュールを多数配置し、ビーム方向に Coincidenceをとる

中性子からのBackgroundを落とす



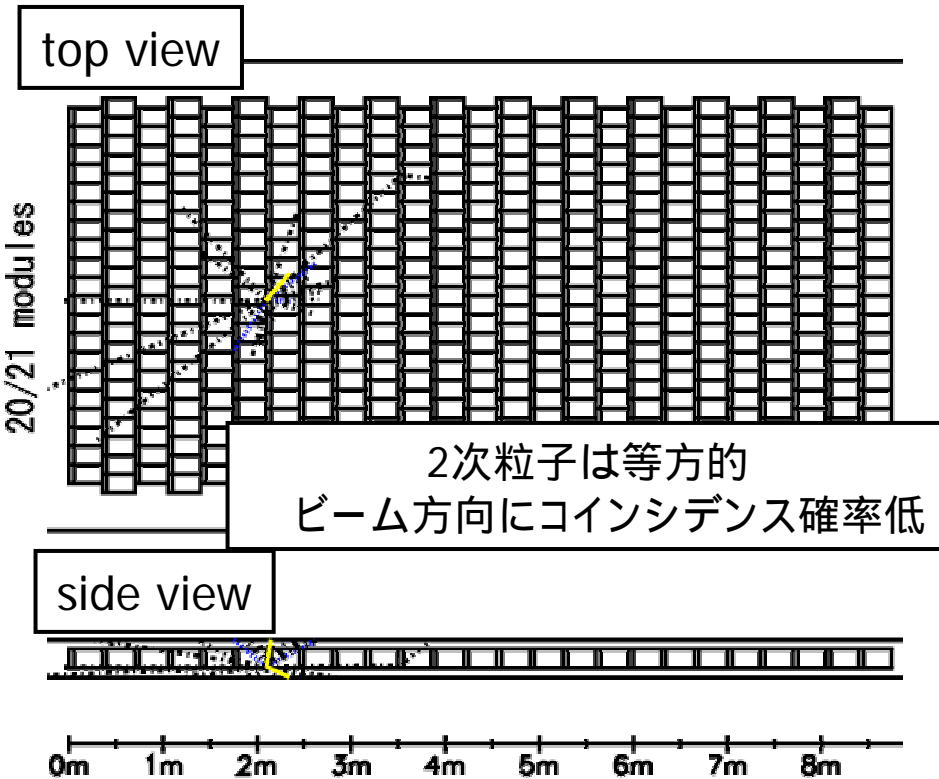
Beam Catcherとは

■ 線に対するイベントディスプレイ



25 layers

■ 中性子に対するイベントディスプレイ



Beam Catcher Prototype

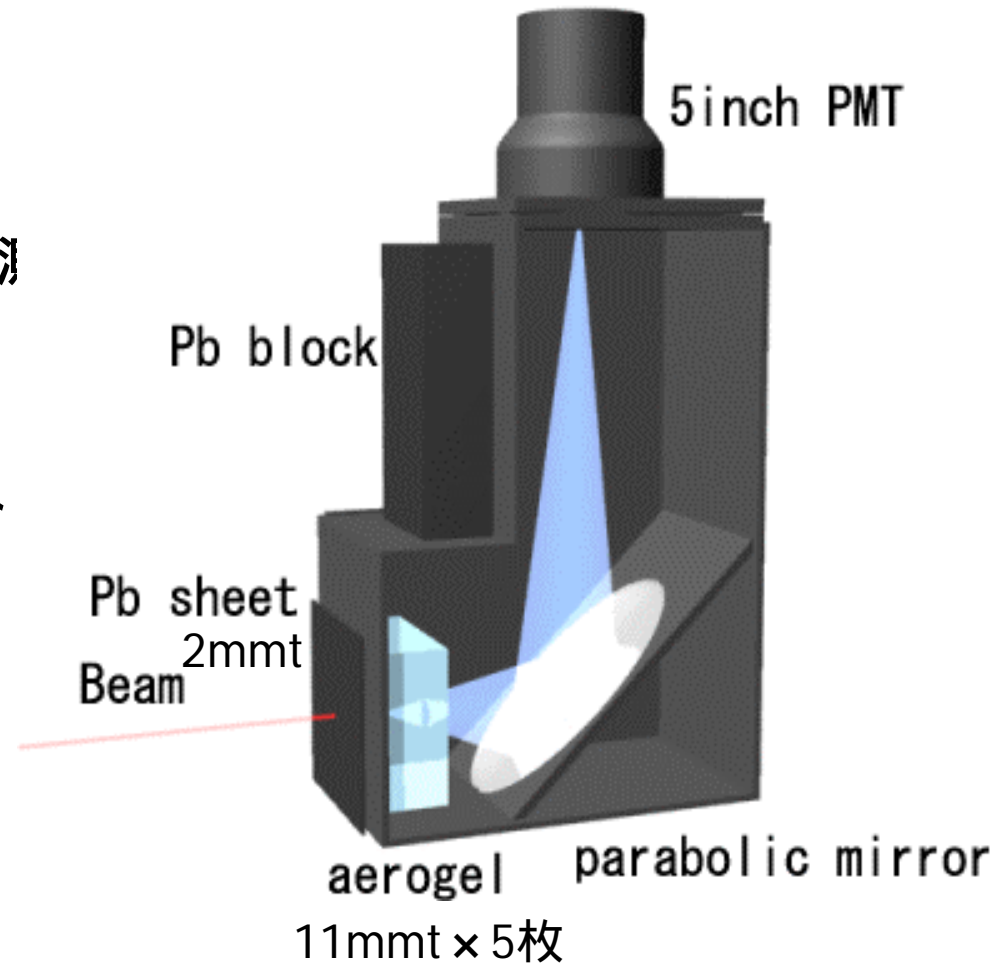
■ 第2次プロトタイプを製作

- Cherenkov発光量
- ハドロン反応

これらがシミュレーションの予測
と一致するか？

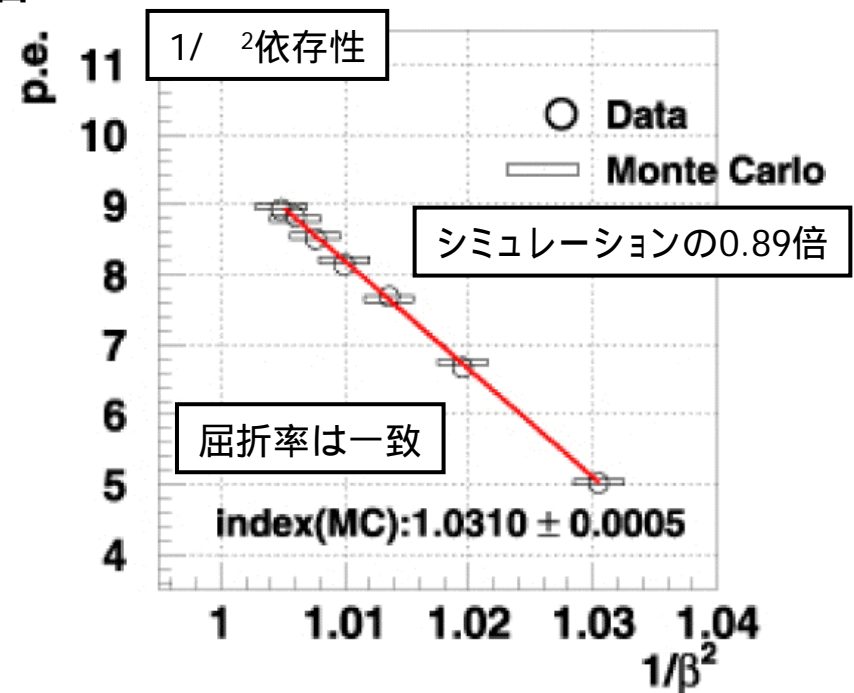
■ Beam Test

- KEK PS T1 ビームラインでテスト



Prototypeによる性能評価1：発光量の評価

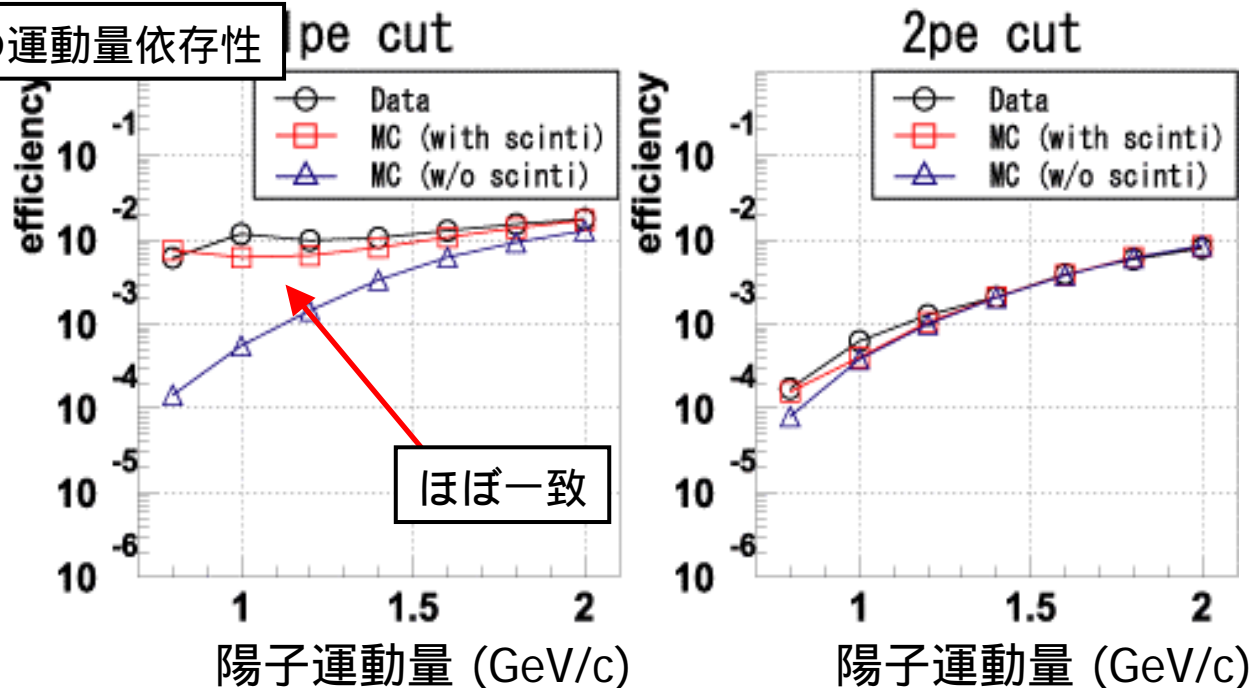
- Cherenkov発光量測定
 - 線(or電子)の代わりに γ を使用
- 測定結果
 - シミュレーションによる予測の0.89倍
 - 依存性はよく一致



Prototypeによる性能評価2：ハドロン反応測定

- ハドロン反応測定
 - 中性子の代わりに陽子を使用
- 陽子に対する検出効率
 - ガスシンチレーションを含めるとシミュレーションによる予測と一致

陽子検出効率の運動量依存性



シミュレーションを用いたBeam Catcherの設計

■ 設計の指標

- プロトタイプの約2倍のサイズ
均一かつ高い光子検出効率を持つこと
- 約500モジュールを分散配置
量産が容易であること

■ 設計の手順

- 光学系の設計 (1モジュールでの最適化)

均一で高い集光率
シンプルなデザイン



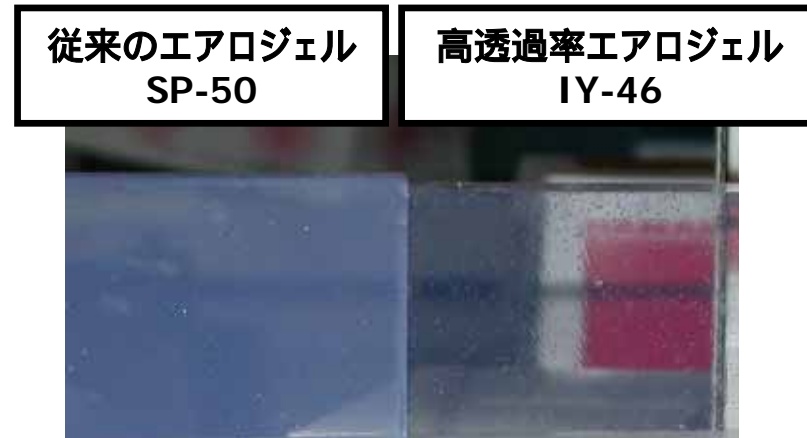
光子検出効率を高める

- 分散配置での最適化 (多数モジュールでの最適化)

高透過率エアロジェルの採用
コンバータ配置
レイヤー数
検出条件



光子検出効率を高める
and/or
中性子感度を落とす



シミュレーションによる性能評価

光子検出効率

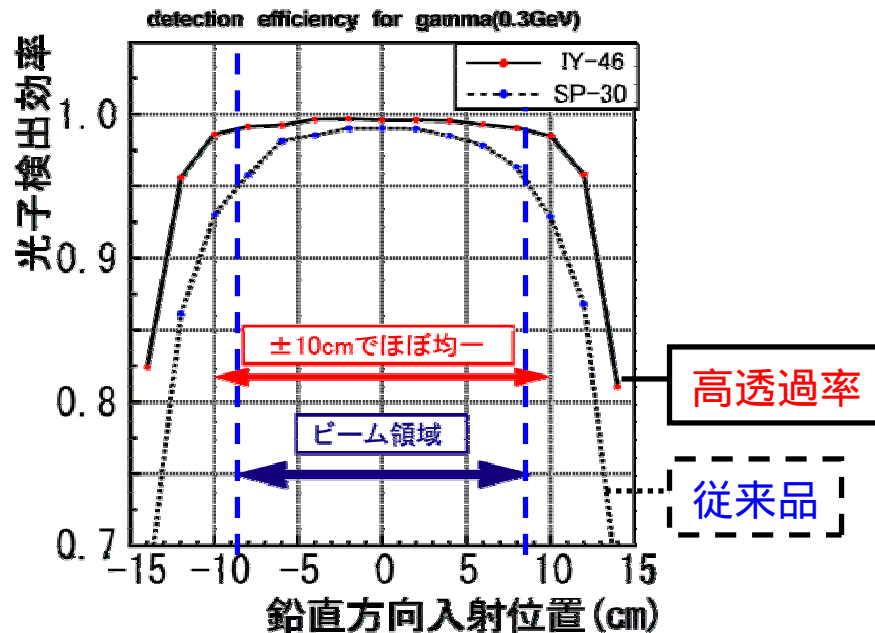
光子検出効率

- 入射位置依存性

鉛直方向が問題

電磁シャワーが上下に漏れる

鉛直方向 ± 10cm でほぼ均一

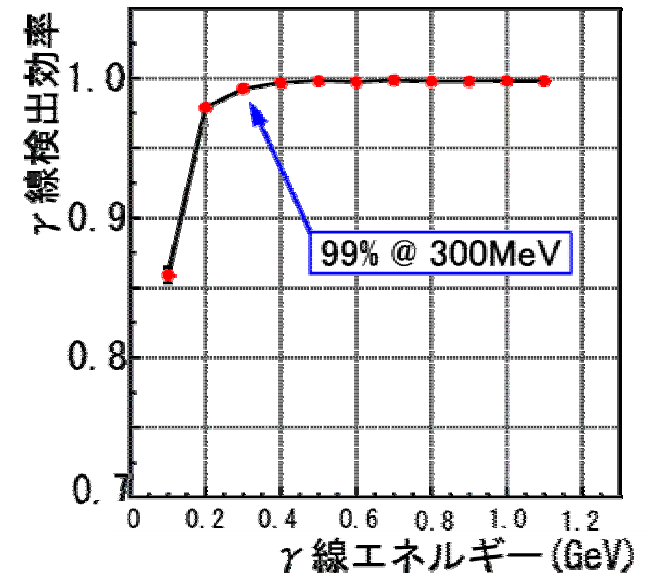


- エネルギー依存性

鉛直 ± 10cm の範囲で

99% @ 300 MeV

要求を十分満たす



シミュレーションによる性能評価

中性子不感性

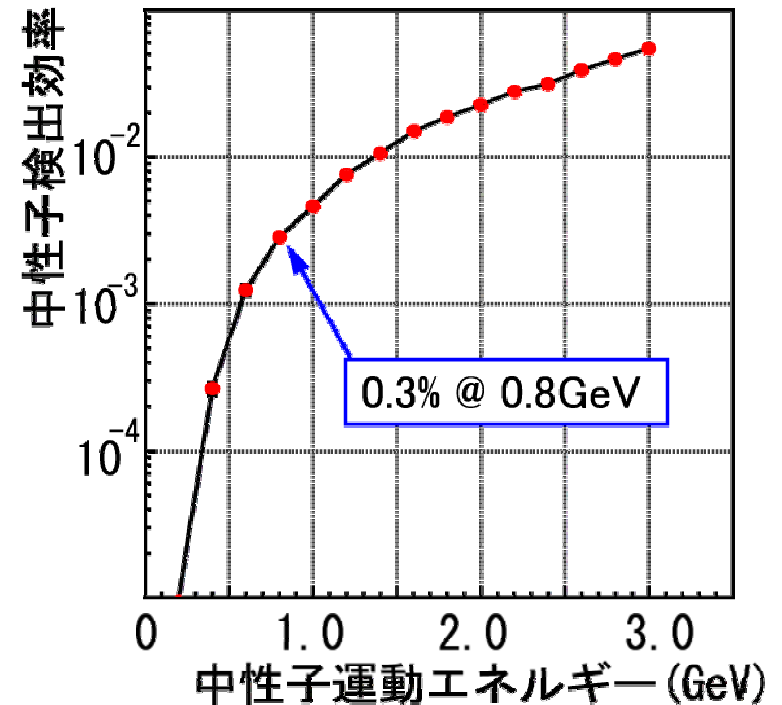
■ 中性子に対する検出効率

- エネルギー依存性

0.3% @ 0.8 GeV

要求をやや上回る

要改善：時間分解能の向上など



Beam Catcher R&Dのまとめ

■ 第二次プロトタイプ

- チェレンコフ発光量測定

シミュレーションによる予想と概ね一致

- ハドロン反応測定

ガスシンチレーションを含めると予想に一致

原理テスト完了

■ シミュレーションを用いたBeam Catcherの設計

- 光子検出効率

十分要求を満たす

- 中性子検出効率

やや要求を上回る 時間分解能の向上で補える範囲

ほぼ完了

KOPIO実験の現状と今後の展望

■ 米国NSF予算要求

- RSVP(KOPIOを含む)は2005米国年度(2004年10月)から建設開始

■ 日本グループ

- 2004年度
実機サイズプロトタイプによる性能評価
- 2005年度
プロトタイプアレイ(小規模量産試験)
- 2006-2007年度
Beam Catcher量産
- 2008年度
インストール

■ KOPIO全体

- 2004年度
検出器R&D
- 2005-2006年度
ビームライン建設開始
検出器量産
- 2007-2008年度
検出器インストール

- 2009年度 ~



エンジニアリングラン、物理ランへ

科研費特定領域研究会「質量起源と超対称性物理の研究」

@エポカルつくば

Summary

- KOPIO実験 : K_L^0 測定実験
- 日本グループは検出器R&Dを進行中
- Beam Catcherの開発
 - プロトタイプを用いた性能評価
 - シミュレーションによる具体的な設計検出器の量産に向けて順調に準備を進めている
- 今後
 - 日本グループは今年度の実機プロトタイプの製作を行い、その後少量産試験を経て検出器の量産を行う
 - KOPIO全体では来年度から検出器の量産、ビームラインの建設を開始する

Beam Catcherの設計 光学系の設計

- “Base Design”

平面鏡 + Winston coneファネル
+ 5インチPMT
平均集光率約23%

- Top-and-Bottom型

集光率

Base designの約1.35倍

欠点

費用が約2倍

- 2軸パラボラ型

集光率

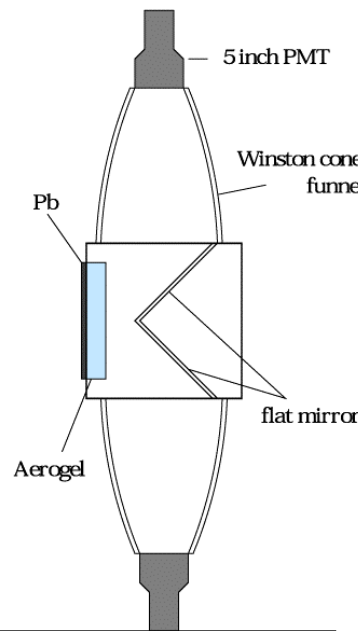
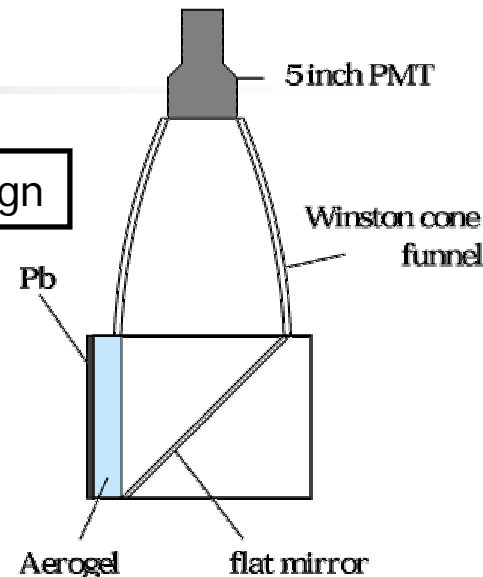
Base designの約1.7倍

欠点

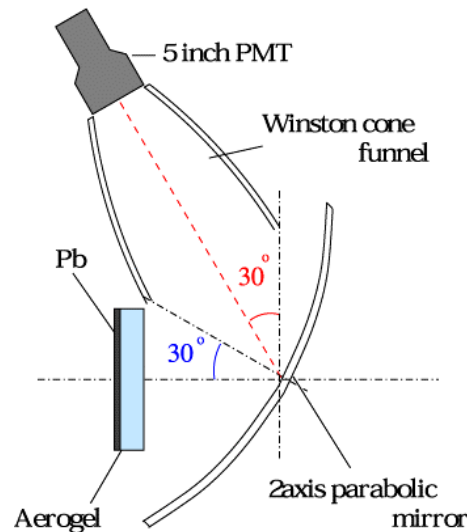
光学系が複雑

量産性を考慮して“Base-design”を採用

Base Design



Top-and-Bottom



2軸パラボラ

Beam Catcherの設計 配置のパラメータと検出条件

■ 基本デザイン

● 屈折率

屈折率を高くすると 光量が増加

低速粒子に対して感度上昇

中性子不感性は?

1.03と1.05で中性子不感性はほとんど同じ

● 検出条件

- コインシデンスに使用するモジュール数

- ビーム方向に広げると光量が増加?

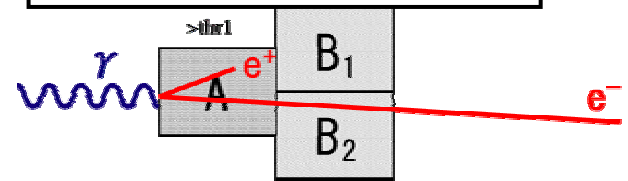
直後1層の2モジュールの和で十分

- 検出の閾値

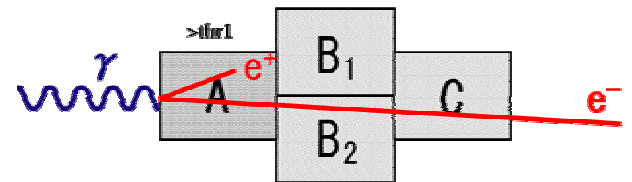
前段:後段 = 4pe:2peが最適

検出条件

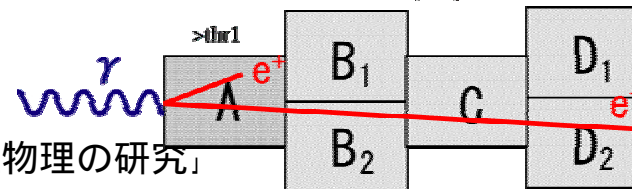
後段1層 : Aかつ(B₁+B₂)



後段2層: Aかつ(B₁+B₂+C)



後段3層 : Aかつ(B₁+B₂+C+D₁+D₂)



最終デザインでの性能評価

最終デザイン

■ Beam Catcherの最終デザイン

● モジュールサイズ

30cm × 30cm 鉛直方向にアクセプタンスを持たせるため

● 光学系

Base-design (平面鏡 + Winston coneファネル + 5インチPMT)

● エアロジェル

高透過率エアロジェルIY-46 光量増加によって光子検出効率を高めるため
透過率 82% @ 470nm (従来品 68% @ 470nm)

● 鉛コンバータ

各層2mm厚

● モジュール数

横方向14/15 × ビーム方向25層

● 検出条件

前段4pe以上、かつ

後段2モジュールの和2pe以上

従来のエアロジェル
SP-50

高透過率エアロジェル
IY-46



最終デザインでの性能評価

K_L 不感性

■ K_L に対する検出効率

- 運動量依存性

0.14% @ 1GeV/c

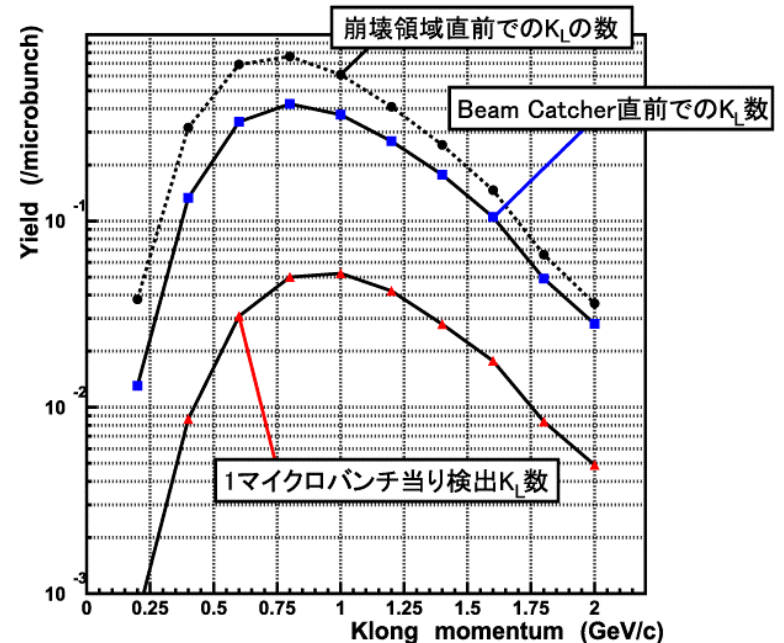
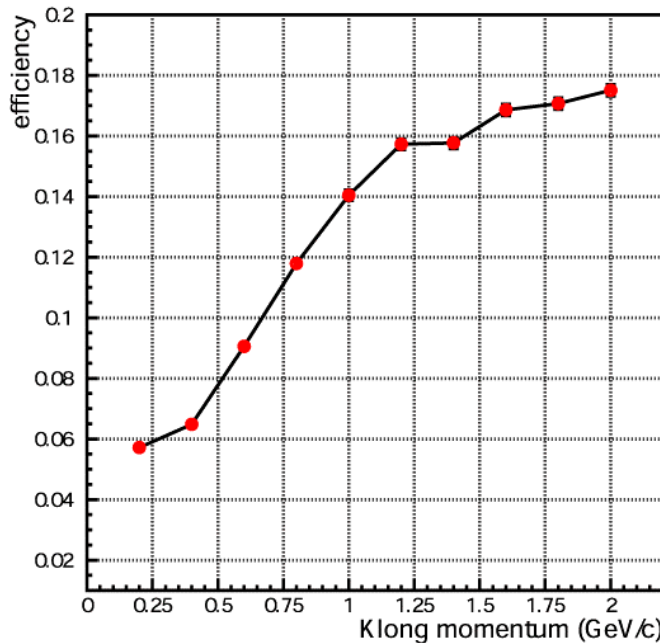
崩壊による 線が検出の原因

- K_L によるFalse veto確率

検出数 : 0.24イベント/マイクロバンチ

On-Timing条件 3ns/24ns

false veto確率3.0%



「質量起源と
@エポカルつくば