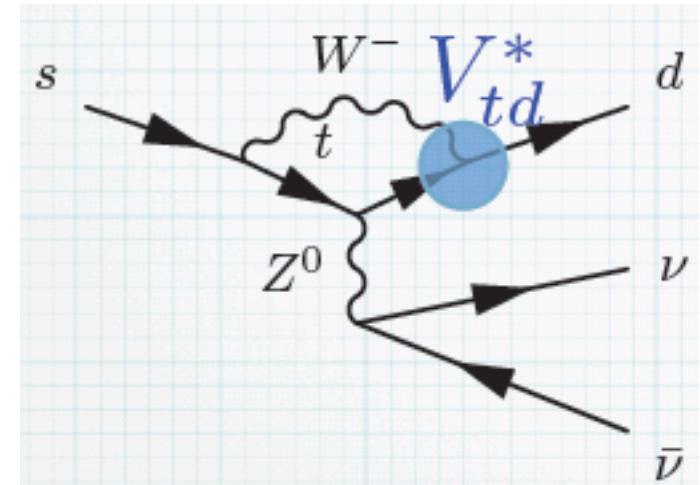


KOTO実験のための
中性K中間子ビームラインでの
KL生成数測定実験

京都大, KEK^A
塩見公志 笹尾登 野村正^A
南條脩 森井秀樹 河崎直樹
増田孝彦 前田陽祐 内藤大地 高橋剛
他 KOTO Collaboration
2010/09/14 物理学会@九州工業大学

KOTO実験

- $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \nu$ 崩壊
 - 崩壊率が小林益川行列の η に比例
 - 理論的不定性が小さい (1~2%)
 - 非常に稀な反応 ($\text{Br} = 2.8 \times 10^{-11}$)



→標準理論の精密検証、New Physicsの探索

- E391a result
 - $\text{Br} (K_L \rightarrow \pi^0 \nu \nu) < 2.6 \times 10^{-8}$



- KOTO実験のゴール
 - シグナル事象の発見

KOTO 実験成功の鍵

E391a実験での
KL崩壊数 8.7×10^9 個


- シグナルの発見

- とにかくたくさん K_L が必要 ($> 10^{12}$)



大強度陽子加速器(J-PARC)で
新しいビームラインを建設し実験を行う

	E391a 実験(KEK-PS)	KOTO実験(J-PARC)
陽子エネルギー	12GeV	30GeV
陽子数	2.5×10^{12}	2×10^{14}
K_L 生成数/spill	3.3×10^5	7.8×10^6


25倍



K_L の生成数をきちんと押さえることが重要

Neutral KL beam line

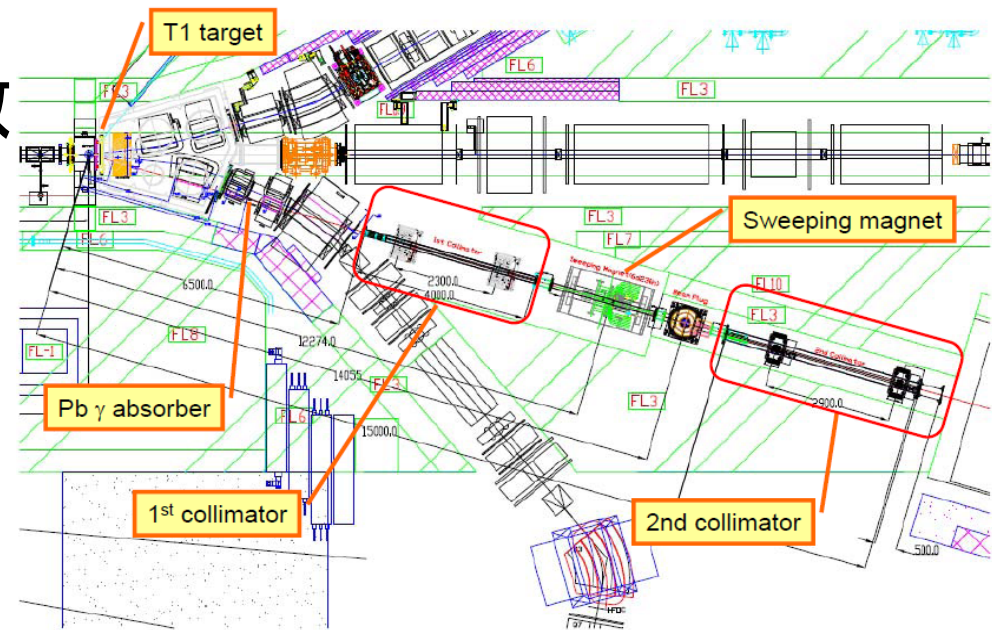
- KOTO beam lineの特徴

- “Pencil beam”

- 非常に細く絞ったbeam
($7.8\mu\text{Str}$)

- “Clean beam”

- Halo n/Core n = 10^{-4}

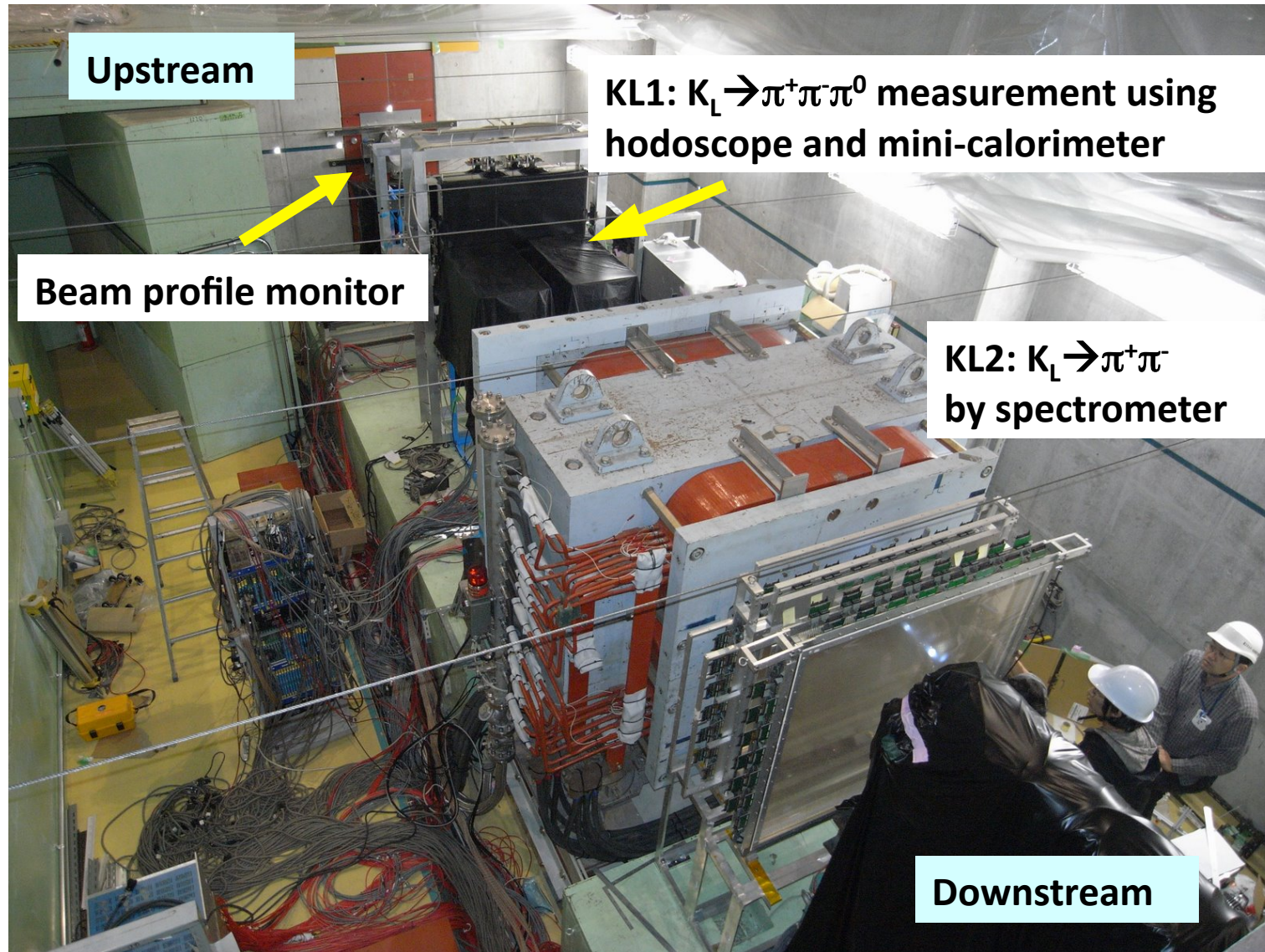


- 2009年秋完成

- 2009年11月～2010年2月にビームサベイ実験を行った

- ビームプロファイル測定
- ビームコア中性子、 γ 測定
- KL測定

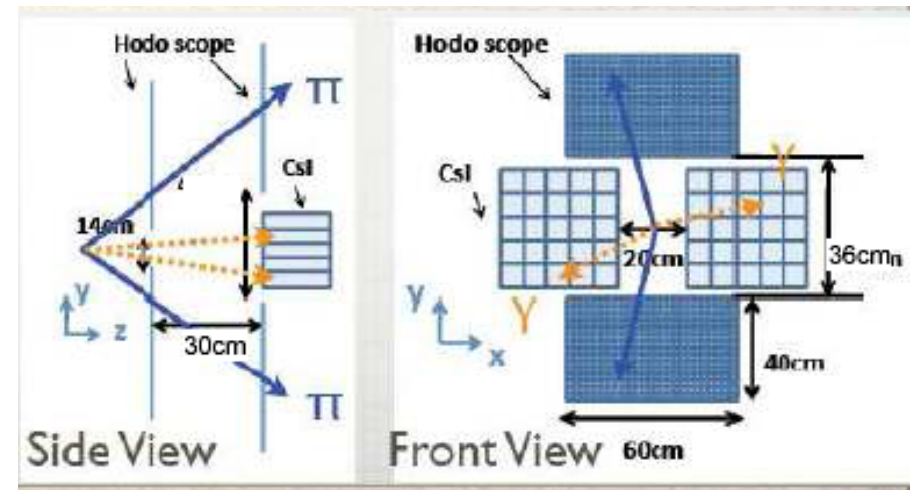
ビームサーベイ実験



KL生成数測定実験 —実験原理—

- $K_L \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0$ 崩壊
 - ホドスコープ
 - π^\pm の方向を測定
→崩壊位置(z_{vtx})を求める
 - カロリメーター
 - 2γ の位置とエネルギーを測定
→ z_{vtx} から4元運動量を求める
 - “pencil beam”
 - K_L のPtは非常に小さい
 - $P_x = P_y = 0$
 - KLの同定

$$M_{2\gamma} = M_\pi, \quad M_{\pi\pi\pi} = M_{KL}$$



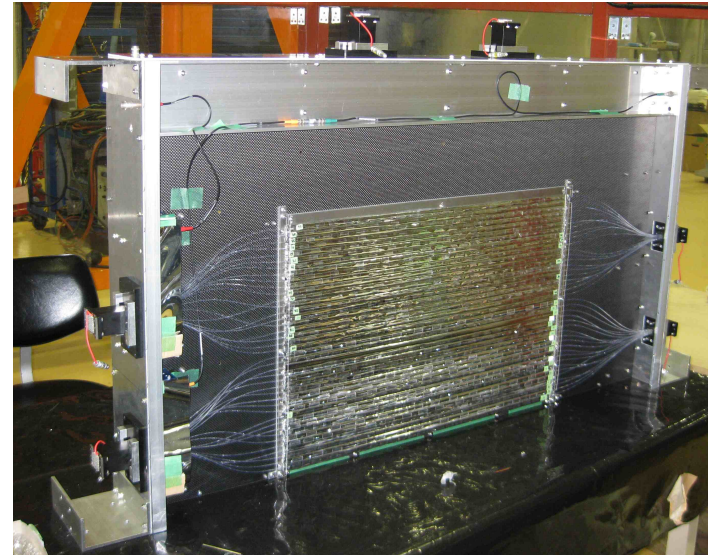
$$p_x^+ + p_x^- + k_{1x} + k_{2x} = 0$$

$$p_y^+ + p_y^- + k_{1y} + k_{2y} = 0$$

(k_1, k_2 γ 線の運動量, p^+, p^- π^\pm の運動量)

KL生成数測定実験 —検出器—

- ホドスコープ
 - シンチレーター + 波長変換ファイバー + MAPMT
 - 40cmx60cm (1cmピッチ, 0.5cm厚)

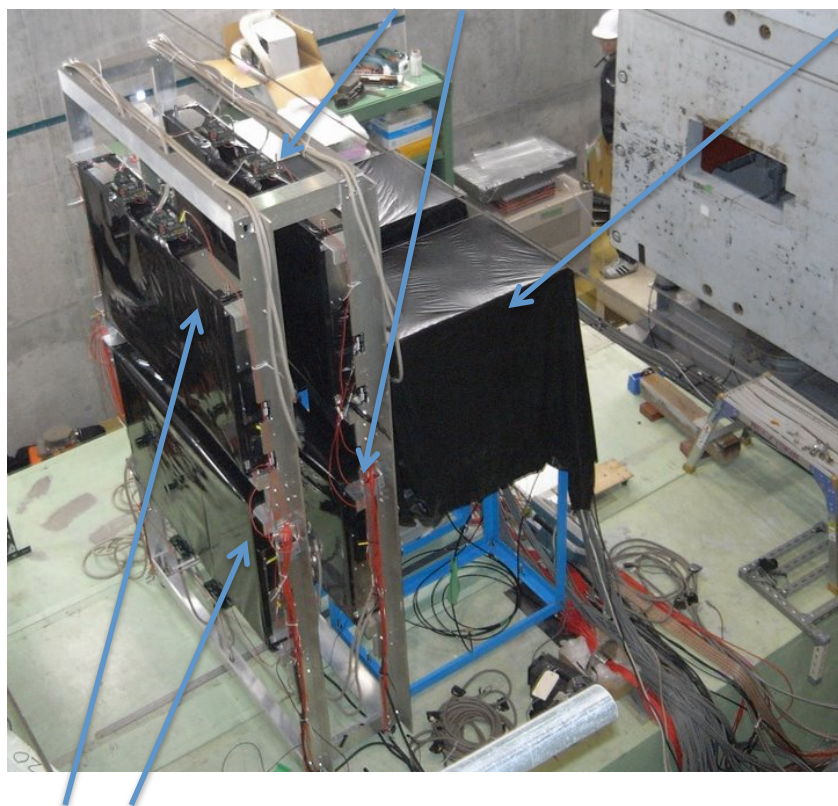


- カロリメーター
 - Pure CsI結晶
 - 7cm×7cm×30cmの結晶を左右に25個ずつ

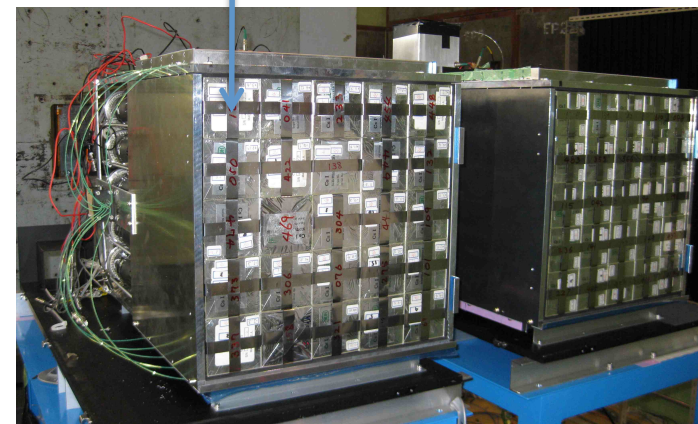


K_L 生成数測定実験

- Hodo scope (rear plane)



- CsI カロリメーター



- Hodo scope (front plane)

- 荷電粒子検出器 (シンチレーター)



データ取得

- 1月
 - Ni Target
 - 9.1×10^{15} p.o.t.(500W)
 - 7.3×10^{15} p.o.t.(1Kw)
 - Pt Target
 - 1.0×10^{15} p.o.t.(1Kw)
- 2月
 - ビーム中にヘリウムバックを挿入
 - Ni Target
 - 2.0×10^{16} p.o.t.(1Kw)
 - 6.5×10^{15} p.o.t.(1Kw)
 - 1.0×10^{16} p.o.t.(1.5Kw)
 - Pt Target
 - 2.0×10^{16} p.o.t.(1Kw)

ビーム condition	On spill time(s)	繰り返し周期(s)	標的	ビーム強度 (KW)
デザイン値	0.7	3.3	Ni	300
現在	2.6	6	Ni or Pt	0.5 ~ 2.0

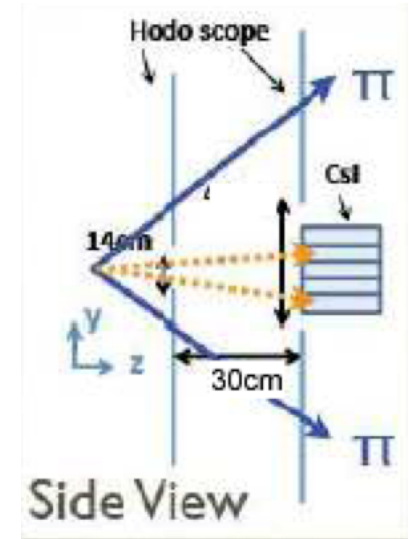


解析の流れ

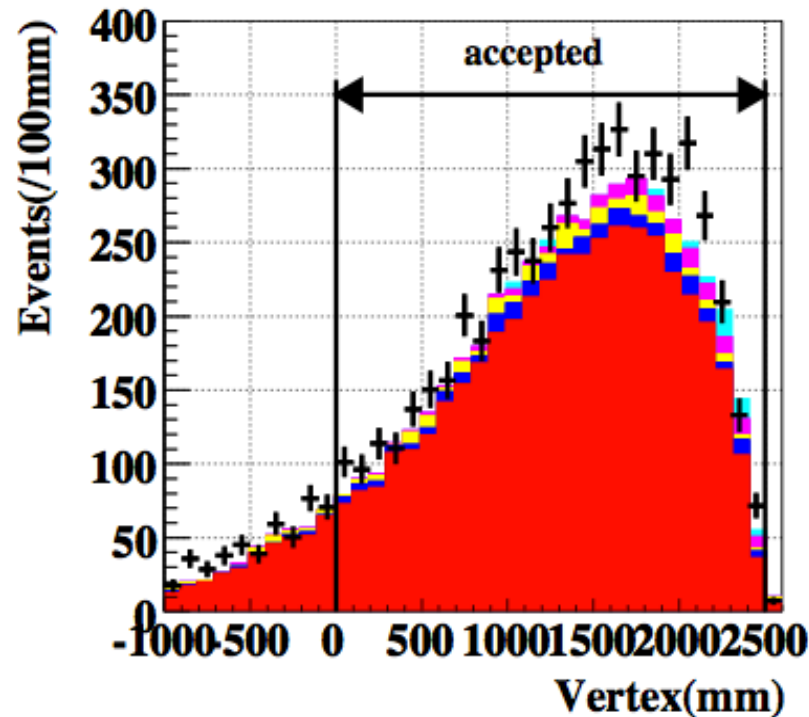
- K_L のID
 - ホドスコープに情報から崩壊点を再構成する。
 - カロリメーターの情報と求めた崩壊点から 2γ の不変質量を求め、 π^0 をIDする。
 - π^+/π^- の運動量の再構成を行う。
→以上で全ての運動力学変数が求まる。
 - $M_{\pi^+\pi^-\pi^0}$ を求め、 K_L の質量を要求する。
- K_L の運動量分布を求める
 - データを再現するよう、シミュレーションで使った K_L の運動量分布に重みづけを行う。
- K_L の生成数を求める
 - 得られた、 K_L の運動量分布からアクセプタンスを計算し、 K_L の生成数を求める。

崩壊点の再構成

- ホドスコープの全てのHit情報を使用し上側のホドスコープを通った粒子の飛跡と下側のホドスコープを通った粒子の飛跡を求める
- 全ての組み合わせで2つの飛跡間の距離を計算
→最も距離が短い組み合わせを粒子が通過した位置とする
- 2つの飛跡間の中点を崩壊点とする



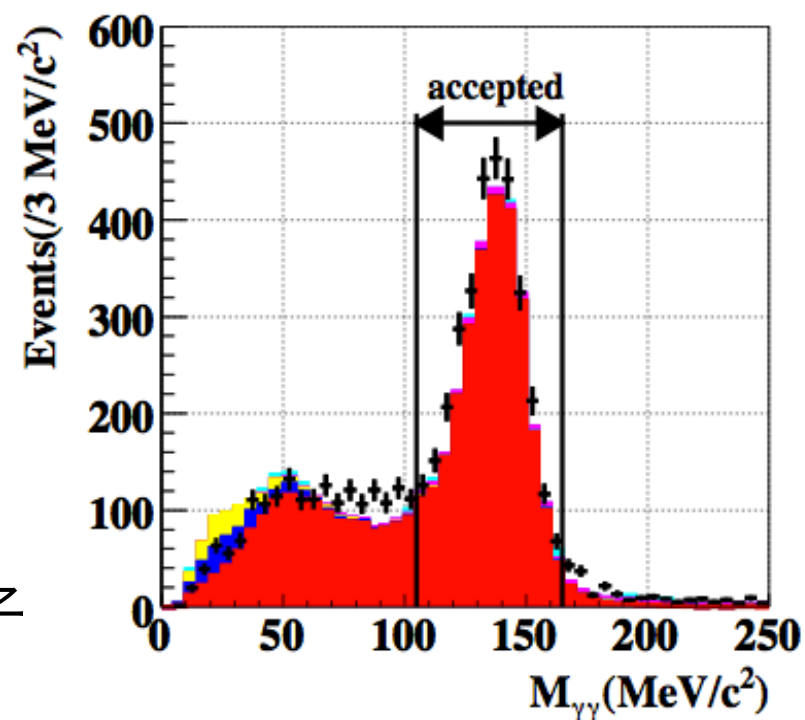
Z=2652 Z=3000



ドット: データ
 ヒストグラム: MC
 赤: $KL \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi$
 水色: core中性子
 青: $KL \rightarrow \pi e \nu$
 黄: $KL \rightarrow \pi \mu \nu$
 ピンク: $KL \rightarrow 3\pi^0$

2 γ の不変質量の計算

- 2 γ の普遍質量の計算
 - CsIでのエネルギー損失
 - CsIの入射位置
(エネルギー-重心)
 - 崩壊位置
- 中性粒子であることの確認
 - CsI直前に置かれている荷電粒子検出器 (CV) によるVeto
- π^0 の同定
 - $105\text{MeV}/c < M_{\pi} < 165\text{MeV}/c$



ドット: データ
ヒストグラム: MC
赤: $KL \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi$
水色: core中性子

π^+/π^- 運動量の再構成

- Pt balanceを要求

$$p_x^+ + p_x^- + k_{1x} + k_{2x} = 0$$
$$p_y^+ + p_y^- + k_{1y} + k_{2y} = 0$$

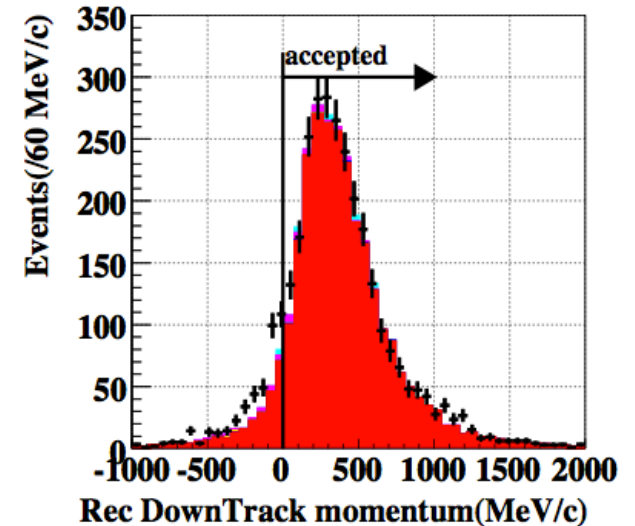
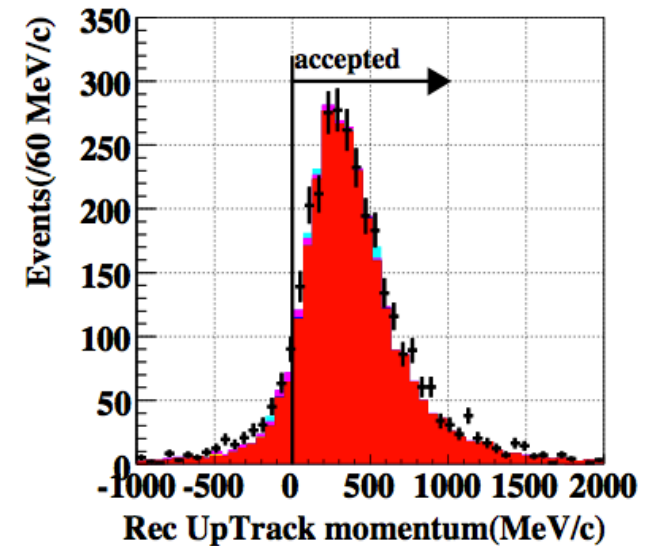
(k_1, k_2 momentum of γ ,
 p^+, p^- momentum of π^\pm)

→この測定では荷電の区別はしていない

- 物理領域を選択

- $P^+ > 0$ and $P^- > 0$

ドット: データ
ヒストグラム: MC
赤: $KL \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi$
水色: core中性子

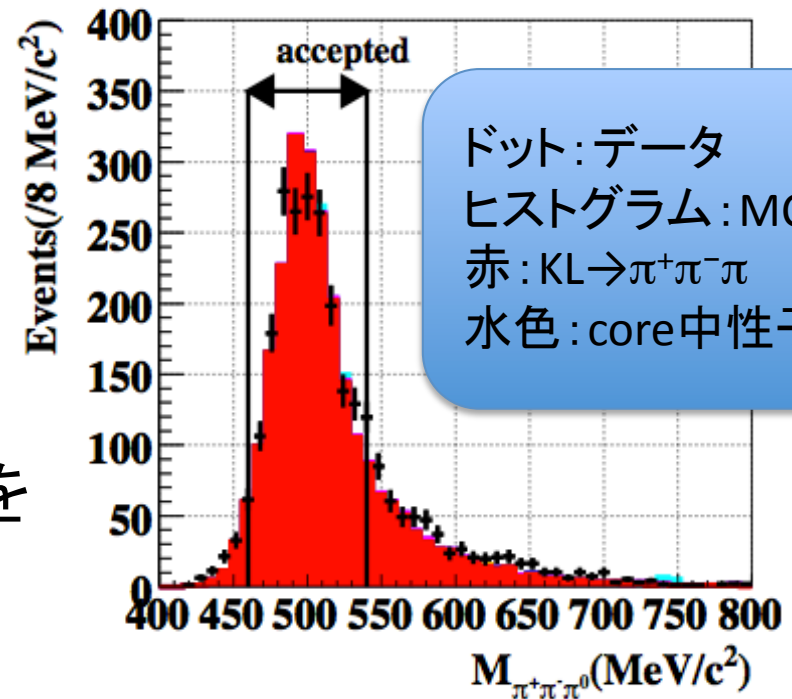


K_Lの同定

- K_Lの同定

– $460\text{MeV} < M_{K_L} < 540\text{MeV}$

→ KLの質量の領域にきれいなピークを確認する事ができた

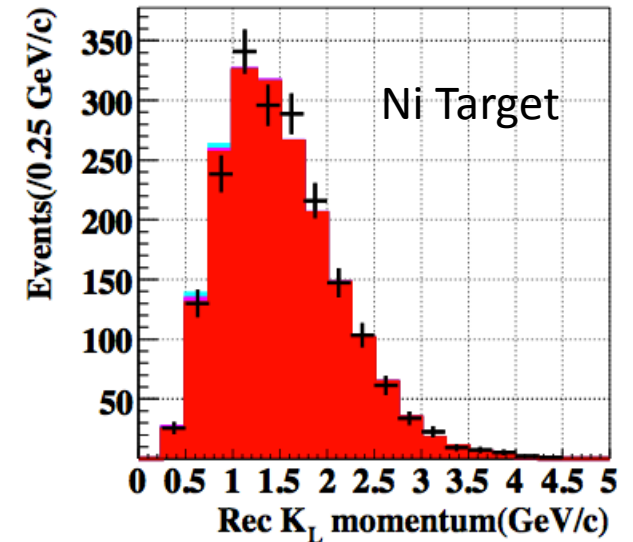


MCによる Background
事象の見積もり

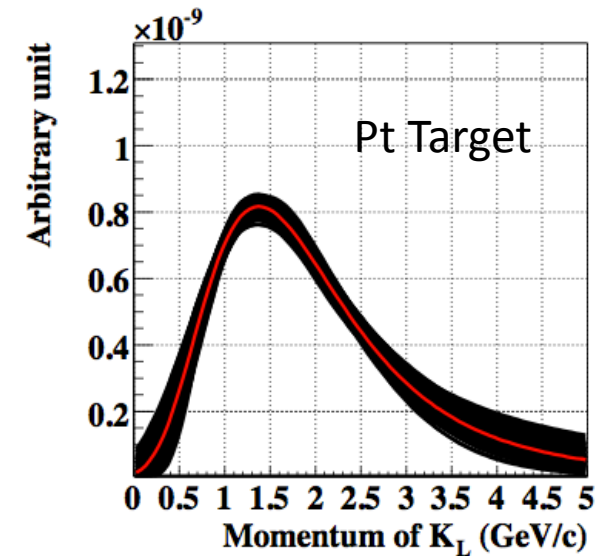
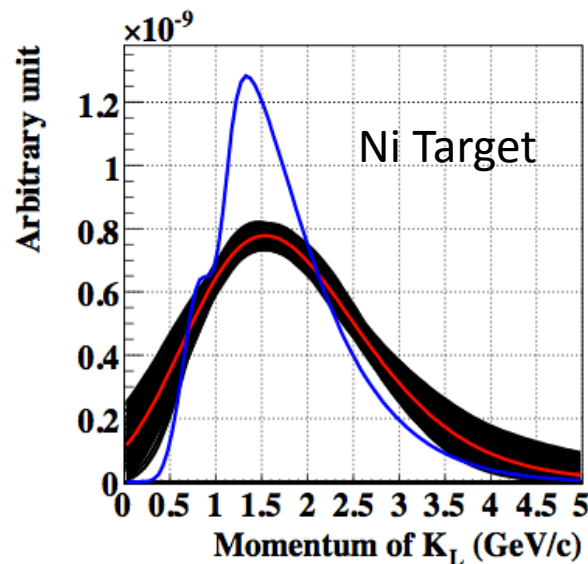
	Ni Target	Pt Target
$3\pi^0$	$0.6\% \pm 0.08\%$	$0.6\% \pm 0.09\%$
Core Neutron	$0.5\% \pm 0.3\%$	$0.4\% \pm 0.03\%$

KLの運動量分布

- 再構成された運動量分布
 - DataとMCが合うように、MCのパラメーターを調整。
- ビームライン出口での運動量分布



赤:best fit (data)
黒の帯:70% C.L
青:Geant4



KLの生成数

Preliminary

- Measured:
 - Ni Target: $(1.83 \pm 0.038 \pm 0.13) \times 10^7 / 2 \times 10^{14}$ p.o.t
 - Pt Target: $(3.73 \pm 0.080 \pm 0.25) \times 10^7 / 2 \times 10^{14}$ p.o.t
- Our proposal
 - Ni Target: $8.1 \times 10^6 / 2 \times 10^{14}$ p.o.t

系統誤差の内訳

	Ni Target	Pt Target
Cut effect	6.0%	5.7%
K_L momentum distribution	3.0%	2.8%
Others	2%	1.9%
sum	7%	6.6%

まとめ

- KOTO実験
 - J-PARCに建設された新しいビームラインを使用して行われる
 $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \nu$ 崩壊探索実験
 - シグナル事象の発見がゴール
 - ビームライン中のKLの数が重要
- K_L 生成数測定実験
 - 2009年11月から2010年2月にかけてJ-PARCで行われた。
 - ホドスコープとカロリメーターを使用したシンプルな方法で運動量と生成数を測定
- KL生成数
 - Ni Target: $(1.83 \pm 0.038 \pm 0.13) \times 10^7 / 2 \times 10^{14} \text{p.o.t}$
 - Pt Target: $(3.73 \pm 0.080 \pm 0.25) \times 10^7 / 2 \times 10^{14} \text{p.o.t}$

→プロポーザルの値より2倍以上の数