

$K_L \rightarrow \pi^0 \nu \nu$ 実験のための
バックグラウンド事象削減に関する
研究

京都大

塩見公志 笹尾登 野村正 南條創

隅田土詞 森井秀樹 臼杵亨

河崎直樹 増田孝彦

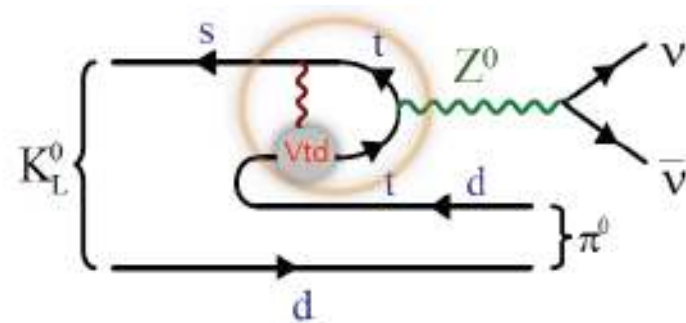
2007/09/21 物理学会@北海道大学

issue

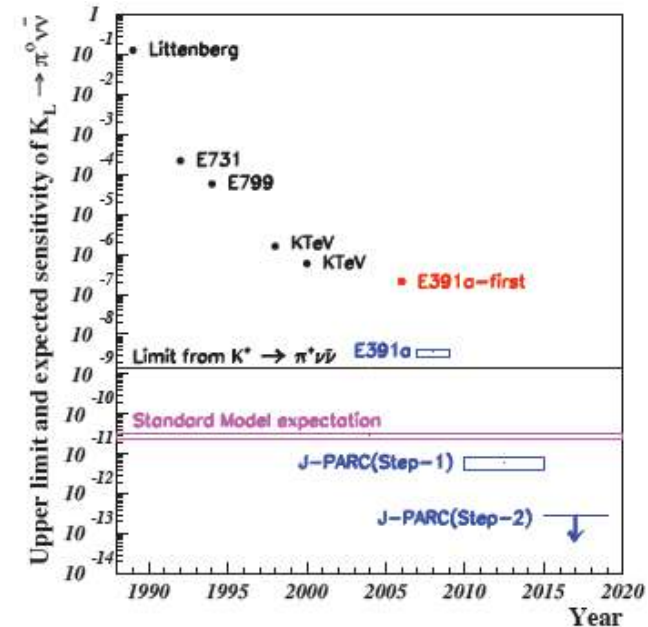
- 今回の研究の目的
 - 上流のCollar Counterの最適化
 - シミュレーションを構築し、Kaon BG、halo中性子BGの数の見積もりを行った
- Contents
 - $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \nu$ 実験の紹介
 - 上流のCollar Counter
 - CC01の必要性
 - CC02の改良
 - CC02の位置
 - まとめ

$K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ 実験

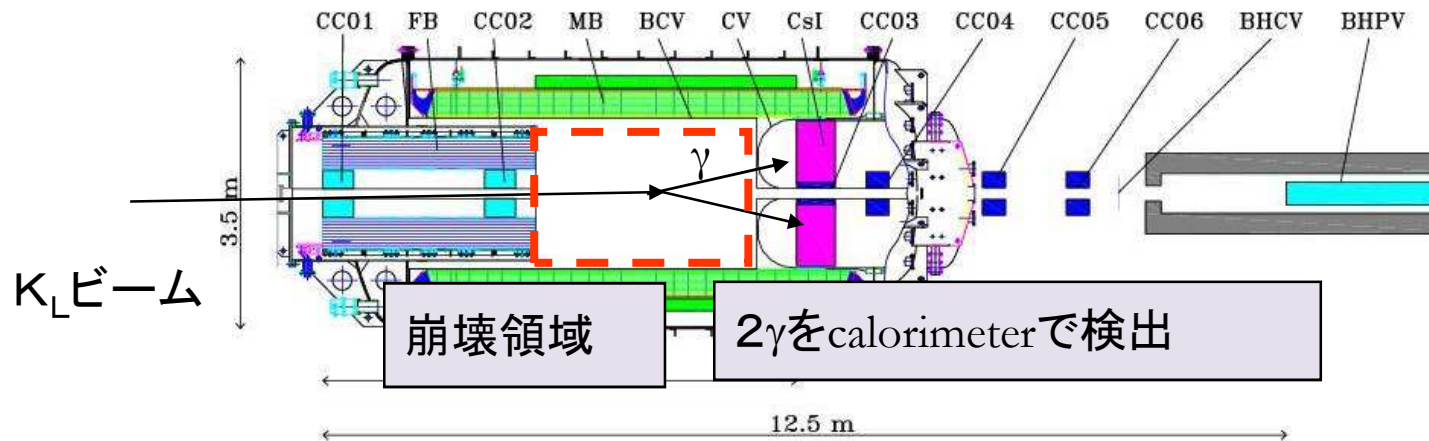
- 物理的動機
 - CPの直接的破れ
 - CKM行列の η の測定
 - $\text{Br}(K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}) \propto \eta^2$



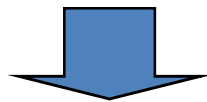
- Step by Step approach
 - E391
 - $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ に特化した初の実験
 - 実験方法の確立
 - $O(10^{-9})$ での測定
 - J-Parc E14
 - Step-1 SES 8×10^{-12}
世界初のeventの観測



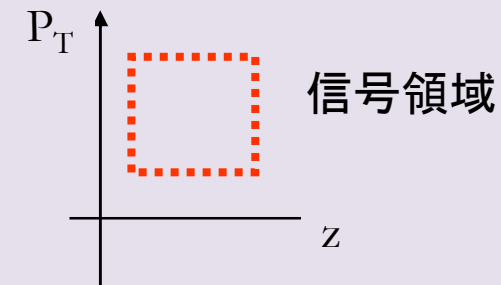
E14実験の検出原理



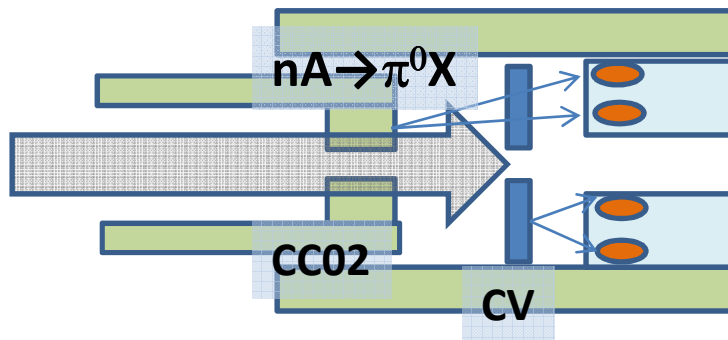
崩壊領域を 4π 囲むveto検出器で「他には何も無い」ことを確認



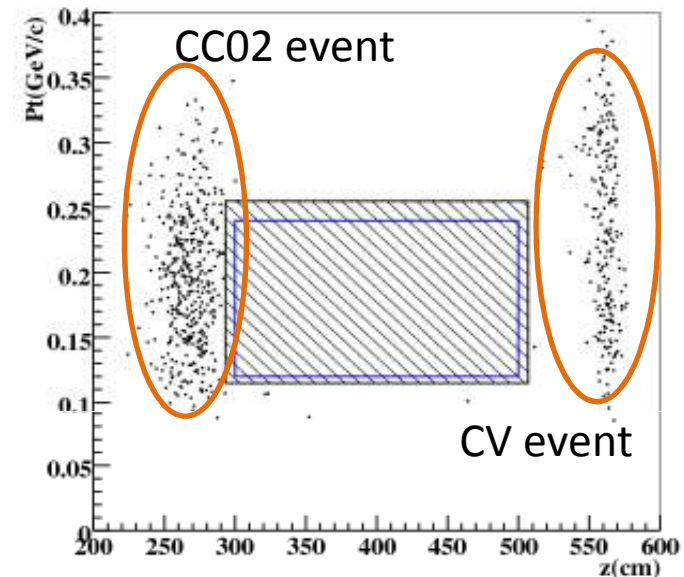
2γ の不変質量として π^0 のmassを仮定して崩壊位置を再構成し、運動力学的cutを施し信号領域を決めてやる



E391実験でのNeutron BG事象



- Neutron BG
 - Halo中性子が検出器と相互作用することで発生 ... CC02, CV
 - Signal boxへの漏れ込み
 - CsIにおけるシャワーの漏れ
 - CsIの位置分解能
 - Halo中性子量の実験中のモニターがない



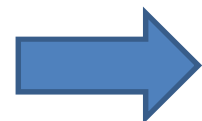
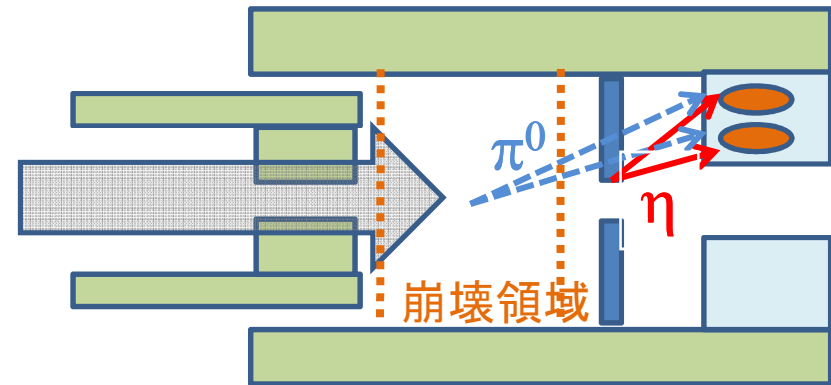
E391 Run2 analysis Final plot
from Kaon 2007



E391の最新の結果は24日の
隅田さんの講演で
24aYC-8

Eta event

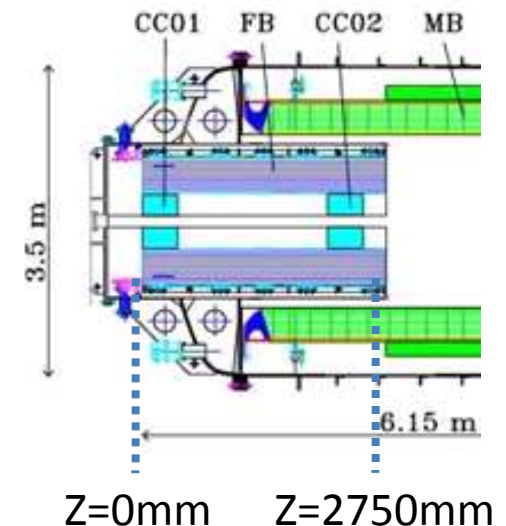
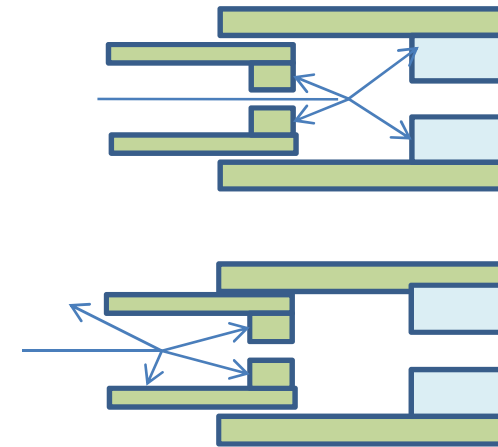
- E391の解析で最近存在が解ってきたBG
- Halo中性子が η を生成
 - 生成場所はCV
 - $\text{Br}(\eta \rightarrow 2\gamma) = 0.4$
 - $M_\eta \doteq 4 \times M_\pi$
 - 実際より上流で再構成される
→シグナルボックスに入ってしまう。



CVに当たるHalo nの数も重要

E14実験における 上流部のCollar Counter

- 上流部のCollar Counter役割
 - ビーム軸付近を通過して逃げる光子を捕まえる
 - 上流の領域とSignal領域とを二分する
- CC01の設置
 - 光子vetoの強化 ○
 - CC02に当たる中性子の削減 ○
 - 上流部の読み出しの複雑化 ×
- CC02の改良
 - 光子vetoの強化 ○
 - CC02 eventの削減 ○
 - halo neutronの測定 ○
- CC02の位置(上流に動かす) →E391ではFBの端
 - CC02 eventの削減 ○
 - Kaon BGの数, CV, CC02に当たる中性子の数??

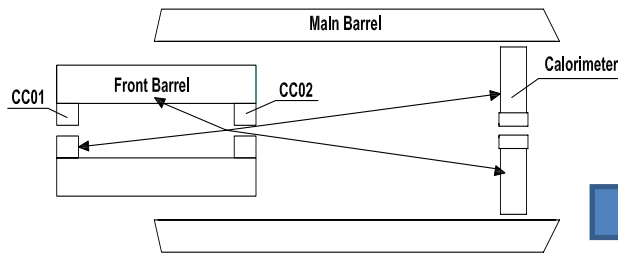


CC01の必要性

- 光子vetoの強化
 - 上流に逃げる光子を捕まえる
 - CC02を補う役割

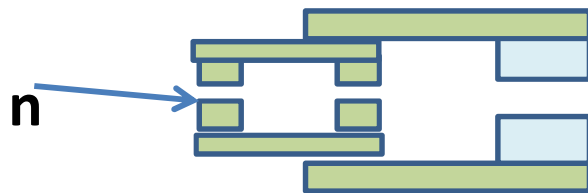
	w/ CC01	w/o CC01
# of $2\pi^0$ BG	3.1	3.1
# of halo n hitting CC02	4.1×10^5	4.8×10^5

cf. $N(\text{signal}) = 6.5$



CC01がなくても、十分な Veto efficiencyが得られている

- CC02にあたるHalo中性子の数を抑える
 - CC01でHalo中性子を止める



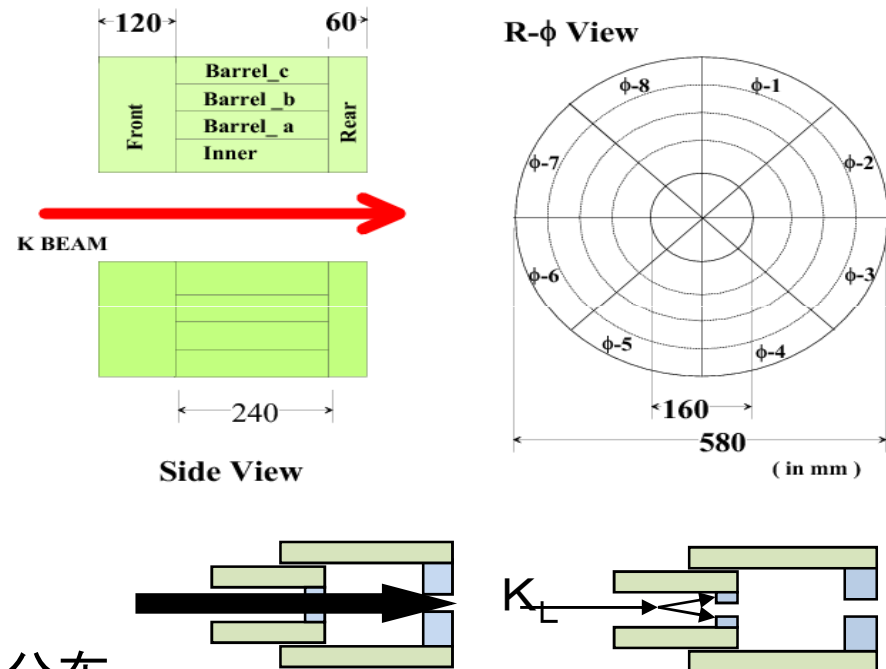
CC01を置いても、CC02に当たる Halo neutronの数はあまり変わらない

CC01はあまり必要ではない

CC02の改良

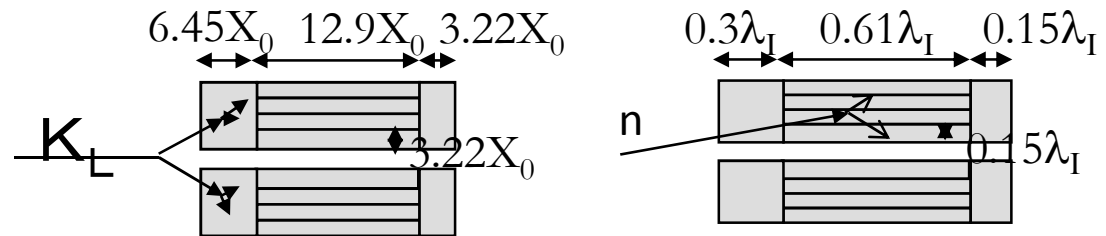
Neutron Collar Counter(NCC)

- CC02
 - 鉛とscintiのサンドウィッチ型の構造
 - ファイバーをshashlik型に配置
 - 光量 2.1 p.e./MeV
- NCC
 - CsIを使用
→大きな $\lambda_1: X_0$ を実現
 - 検出器を分割
→n/ γ 分離
 - Halo nの測定 Flux, エネルギー分布
 - WLSによる読み出し
 - クラレ社B1 紫外を吸収し青色発光する
 - 3.6 p.e./MeV(CC02の7割増し)



Halo neutronの測定(n/γ の分離)

- n/γ 分離のコンセプト
 - X_0 と λ_I の長さの違いを利用



- $K_L/\text{halo } n(/\text{spill}) = 200$
 - Halo中性子の数をできるだけ抑えたビームライン設計

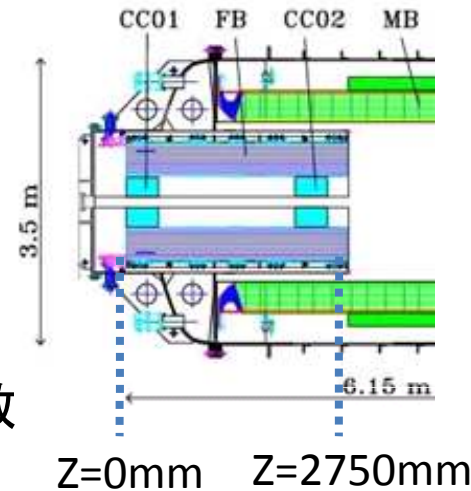
→詳しくは次の下川さんの講演で

- $K_L/\text{halo } n(/\text{spill}) = 2.5$
 - (@CC02 after cut)
 - K_L の数は実験で測定
 - Halo n の数は K_L の数の不定性の2.5倍程度の精度で測定可能

	K_L/spill	Halo n / spill	$K_L/\text{Halo } n$
Last collimator	4.6e6	2.3e4	200
CC02 (thres.>1MeV)	2.2e5	3.3e3	67
CC02 (after cut)	4.2e2	1.7e2	2.5

CC02の位置の決定

- 上流に動かす利点
 - CC02 eventの削減
- 考慮すべきこと
 - Kaon BGの数
 - あまり変わらない
 - CC02に当たるHalo中性子の数
 - あまり変わらない
 - CVに当たるHalo中性子の数
 - すこしずつ増える

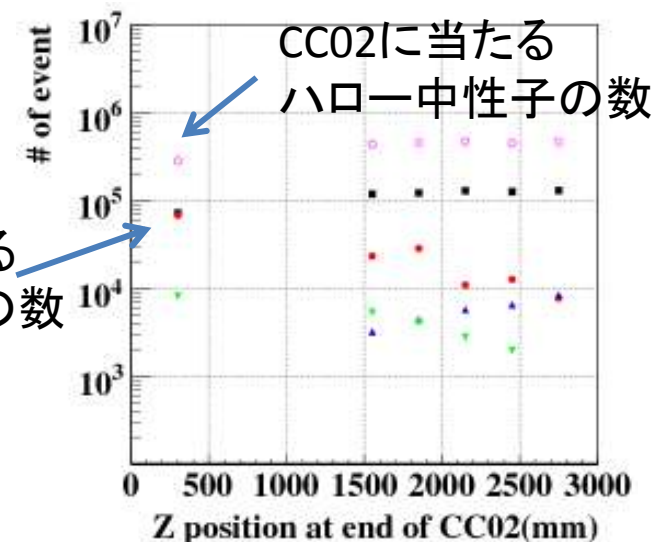


	# of BG
CC02 358mm	3.1
CC02 1733mm	3.0
CC02 2750mm	3.2

cf. $N(\text{signal}) = 6.5$



CVに直接当たる
ハロー中性子の数



CC02 eventを抑えるためにも, E391aより30cmほど
上流側に動かした位置にCC02を置くのが良い

まとめ

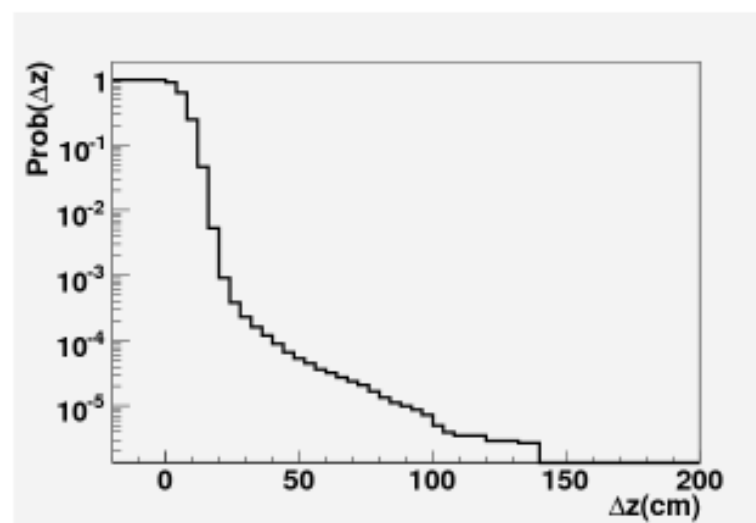
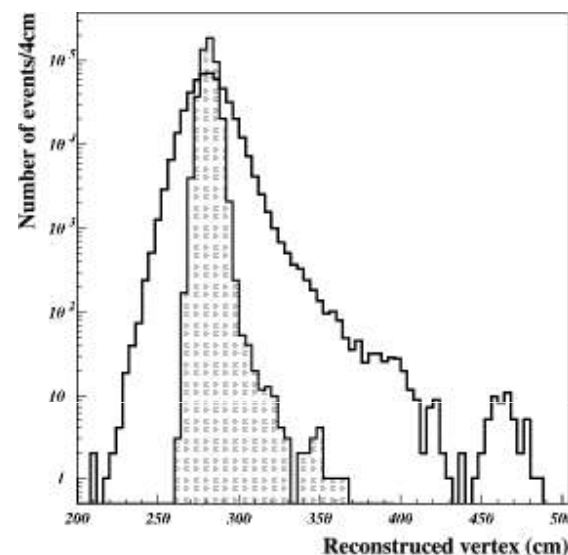
- バックグラウンド削減に関する研究を行った
 - シミュレーションを用いて上流部のCollar Counterの最適化
- CC01
 - Kaon BGにあまり寄与しない → CC02の読み出しの簡略化のためにもないほうが良い
- CC02の改良
 - CsIを使用 → 光子vetoの強化、CC02 eventの削減
 - 検出器を分割 → Halo中性子のFlux, エネルギー分布の測定
- CC02の位置
 - Kaon BGの数、CC02に当たるhalo中性子の数 → あまり依存しない
 - CVに当たるhalo中性子の数 → 上流に動かすにつれ増加
 - CC02 eventを抑えるためにも、E391aより30cmほど上流側に動かした位置にCC02を置くのが良い

今後の展望

- 総合的なBGの見積もり
 - CC02 event
 - Eta event
- NCCの製作
 - CsI結晶を使った具体的な検出器デザイン
 - 形状、分割数
 - 読み出し方法の確立 (CsI + WLSF 読み出し)
 - プロトタイプ
 - E14 ビームラインサーベイでの使用を検討

CC02 event reduction

- CsIの長さ
 - 30cm → 50cm
- CsIのサイズ
 - 7×7cm → 2.5×2.5 or 5×5cm
- Halo nの運動量
 - ソフトになった
- CC02の位置
 - 上流に移動
- CC02にCsIを使用
 - 大きな $\lambda_I \cdot X_0$

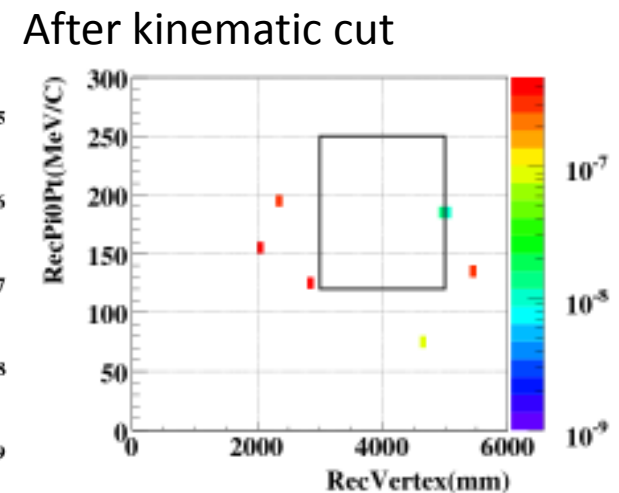
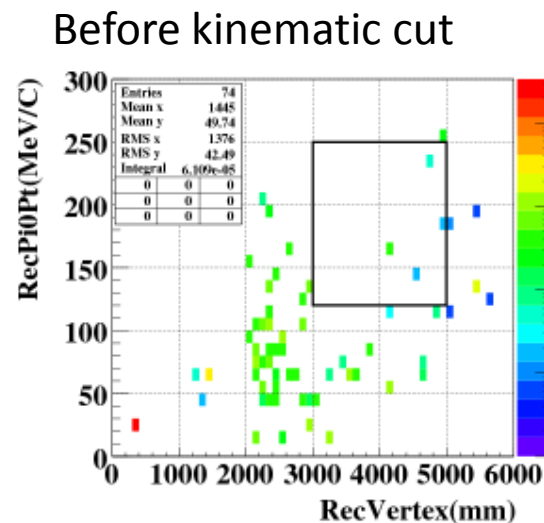
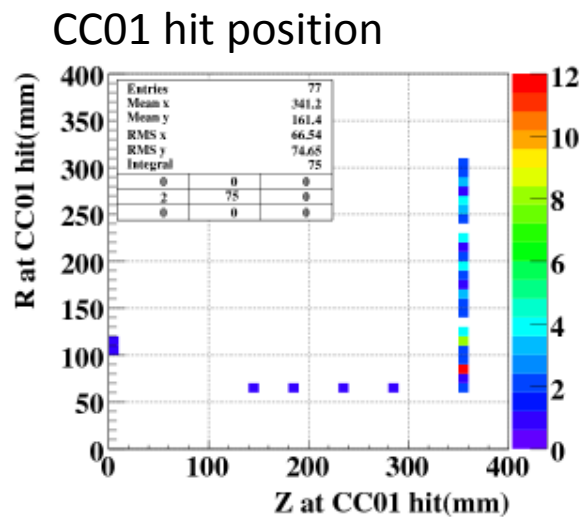


CC01 hit event ($K_L \rightarrow 2\pi^0$)

- $10^7 K_L$ を生成
 - CC01 hit event
 - 74事象 π^0 の崩壊位置を再構成できた
 - After kinematic cut
 - Signal領域に1事象だけ残った ($1.4e-8$ veto weight)
 - CC01がなければこの事象の重みは $1.2e-7$ となる
- final BG level $7.6e-4$

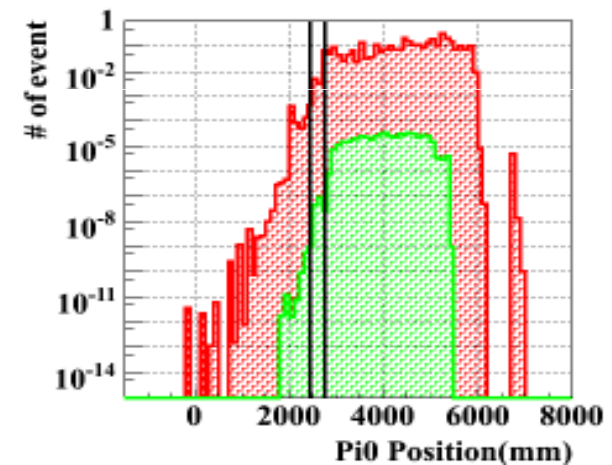
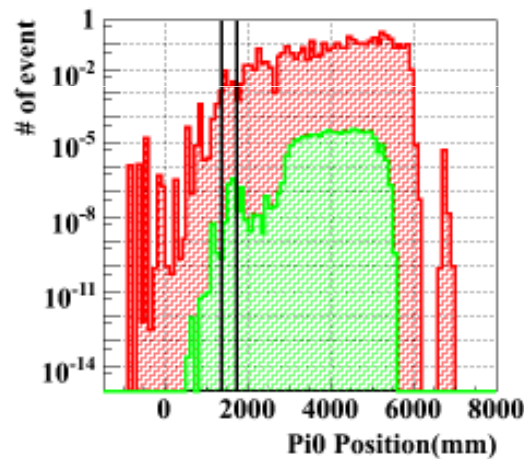
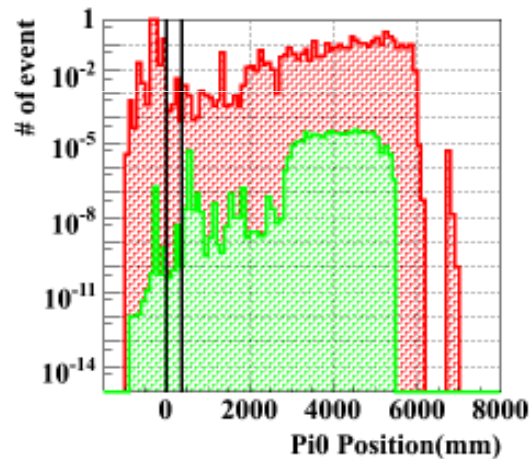
CC01 position

z : 0 – 358mm
inner R : 65mm



CC02の位置による $2\pi^0$ BGの変化

- 10Kを生成
 - CC02の位置をZ方向に動かした (w/o CC01)
 - Red hatched : before kinematic cut
 - Green hatched : after kinematic cut and inside the box



CC02		# Of BG
length	:358mm	3.1
inner R	: 65mm	
Z position at		
End of CC02	→	
CC02	358mm	3.1
CC02	1733mm	3.0
CC02	2750mm	3.2

BGの数はCC02のz位置に依らない

2g missing event

- $10^9 K_L$
 - K decay $-1m \sim 3m$
 - w/o CC02
 - 2γ が検出器に当たっていない
 - Fusion 61, Odd 619, even 225
→全ての事象がCutされる
 - Odd Eratio cut
 - Even, Fusion Vertex cut, Pt cut
(signal boxの中に入っていない)
 - 上流で生成された π^0 による
 - CC02をおくことでほぼ全てのeventを初めから取り除くことができる

