

K⁰TO実験(J-PARC K_L → π⁰νν探索実験) における検出器デザインに関する研究

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
前田陽祐 内藤大地

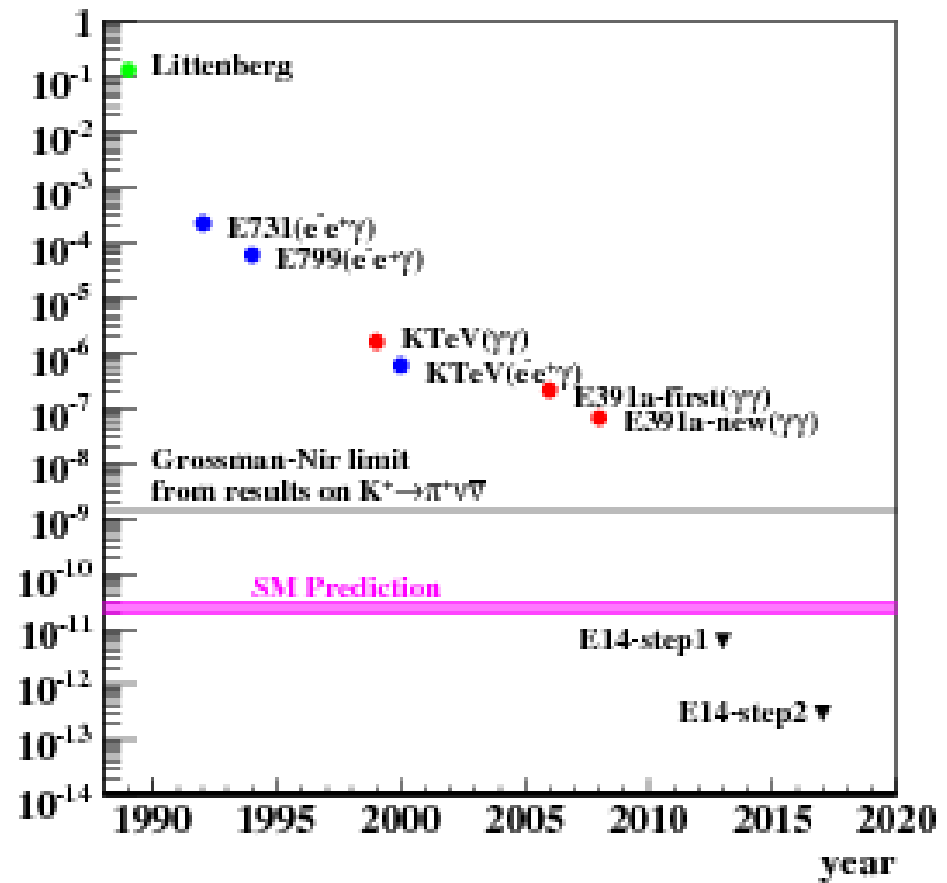
2008/09/21 物理学会@山形大学

Contents

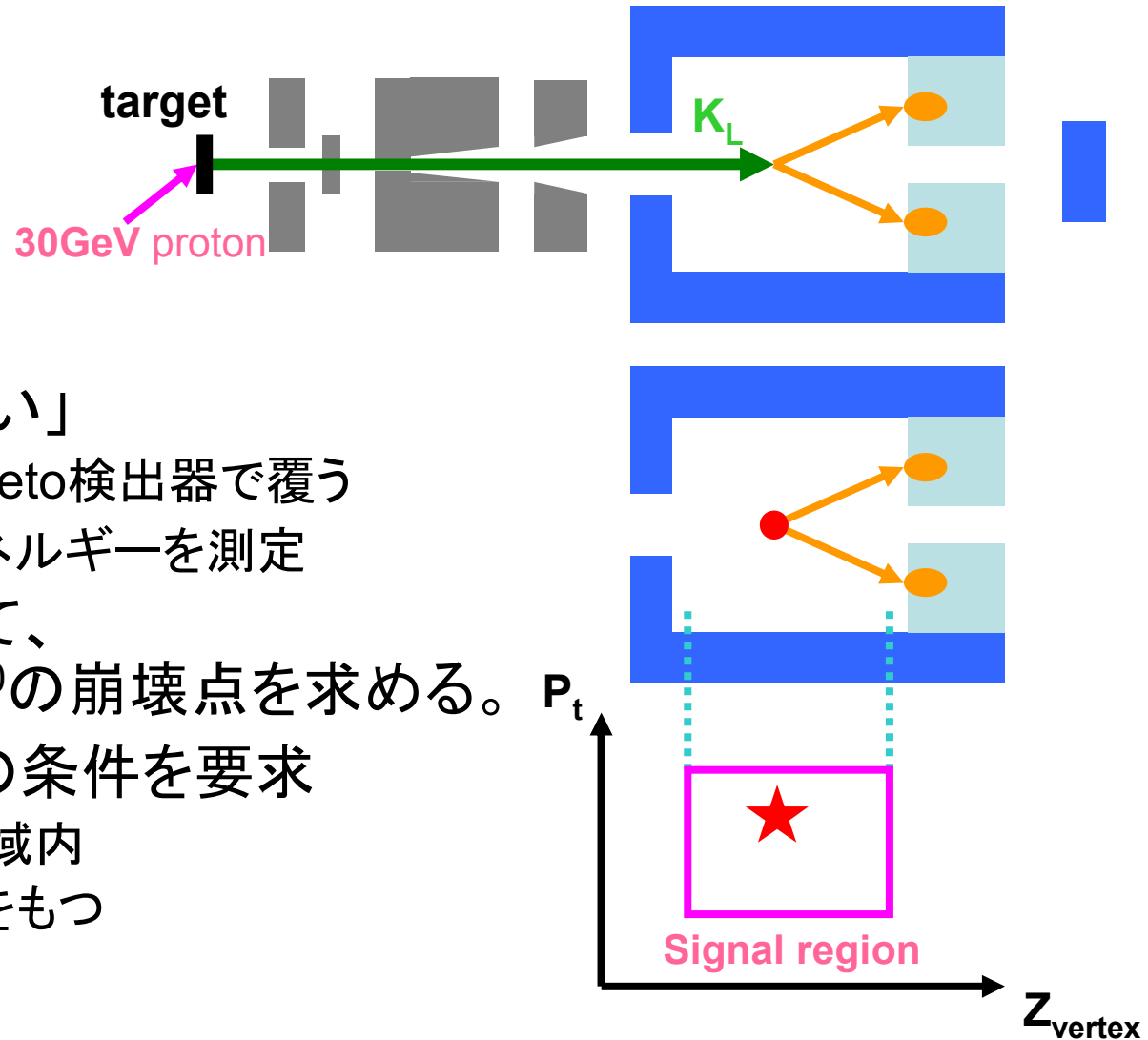
K⁰TO実験の紹介
K⁰TO実験検出器
K⁰TO実験の背景事象
E391a実験からの改良点
MBの増強
まとめ

K⁰TO実験(K_L->π⁰νν崩壊探索実験)

- K_L→π⁰νν search
 - BR < 6.7x10⁻⁸ (90%CL)
 - E391a実験
 - 2004~2005
 - つくば KEK-Ps
- K⁰TO実験
 - 2011年実験開始
 - 東海村J-PARC
 - 陽子強度 (KEK-Ps)x100
 - K_L生成 (KEK-Ps)x20
 - 世界初のイベントの観測
→世界記録の3桁上を目指す

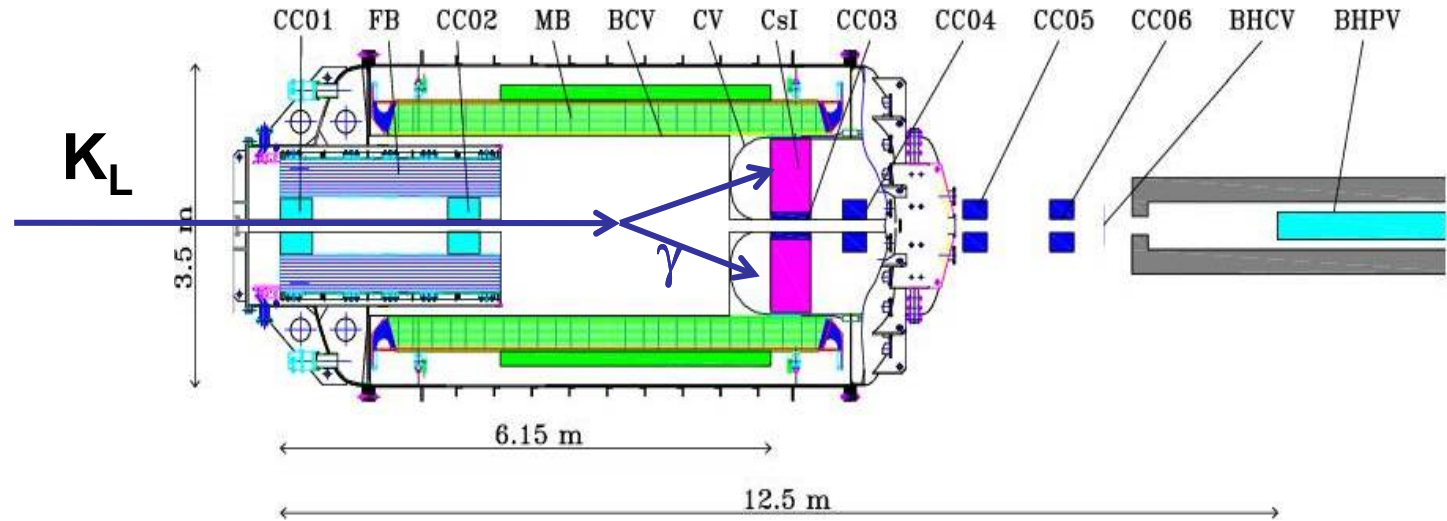


実験原理

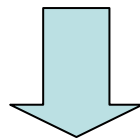


- 「 2γ 以外は何もない」
 - 崩壊領域全てをveto検出器で覆う
 - γ 線の位置とエネルギーを測定
- $M_{2\gamma} = M_{\pi^0}$ を仮定して、
ビーム軸上から π^0 の崩壊点を求める。
- π^0 に対し、以下の条件を要求
 - 崩壊点が崩壊領域内
 - 高い横運動量 P_t をもつ

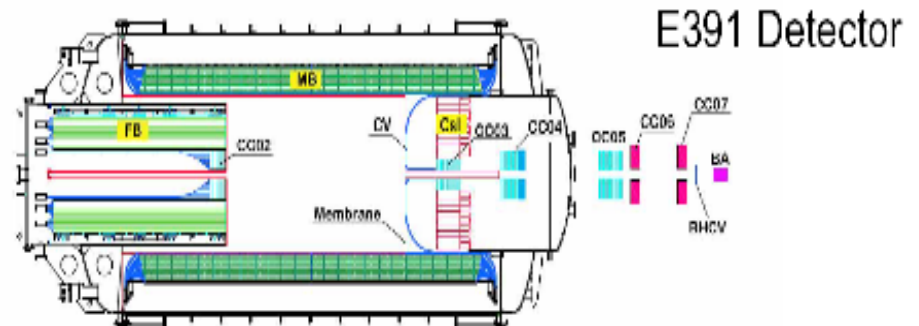
K⁰TO実験の検出器



- 基本的にはE391a実験の検出器を再利用



ただし、背景事象に弱い箇所を改良



K⁰TO実験の背景事象

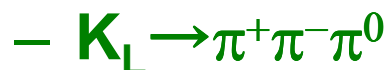
Kaon background(Kaon BG)

- BG w/ Kaon decay

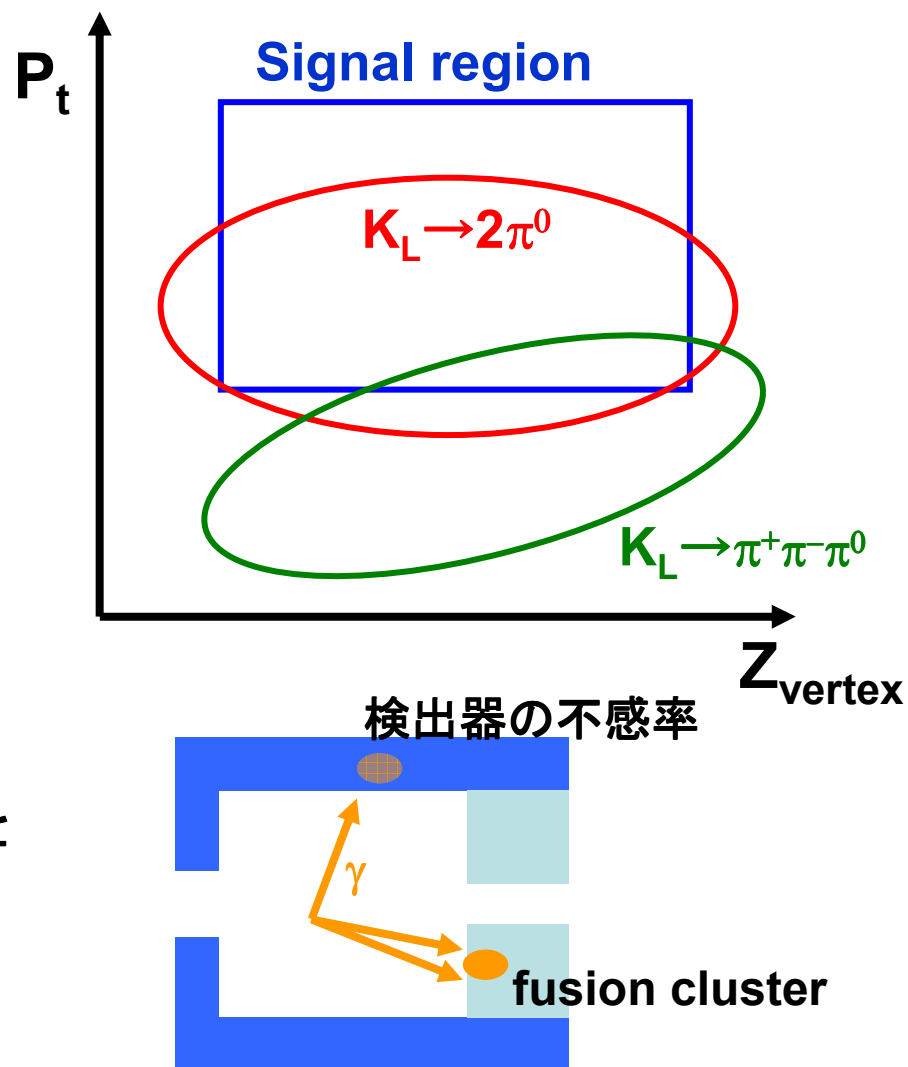


- 2γ を検出ミス
 - 光子検出器の不感率
 - fusion cluster

- K⁰TO実験で最も多い背景事象



- $\pi^+ \pi^-$ を検出ミス
 - 荷電検出器の不感率
 - 高い横運動量を要求することで排除可能
 - P_T resolutionが重要



K⁰TO実験のBG事象

ハロー中性子 background(Halo BG)

- ハロー中性子が検出器と相互作用を起こすことで発生

- CC02**

- π^0 からの γ のエネルギーを
カロリメーターで少なく見積もる
 - 電磁シャワーの漏れ
 - 光核反応

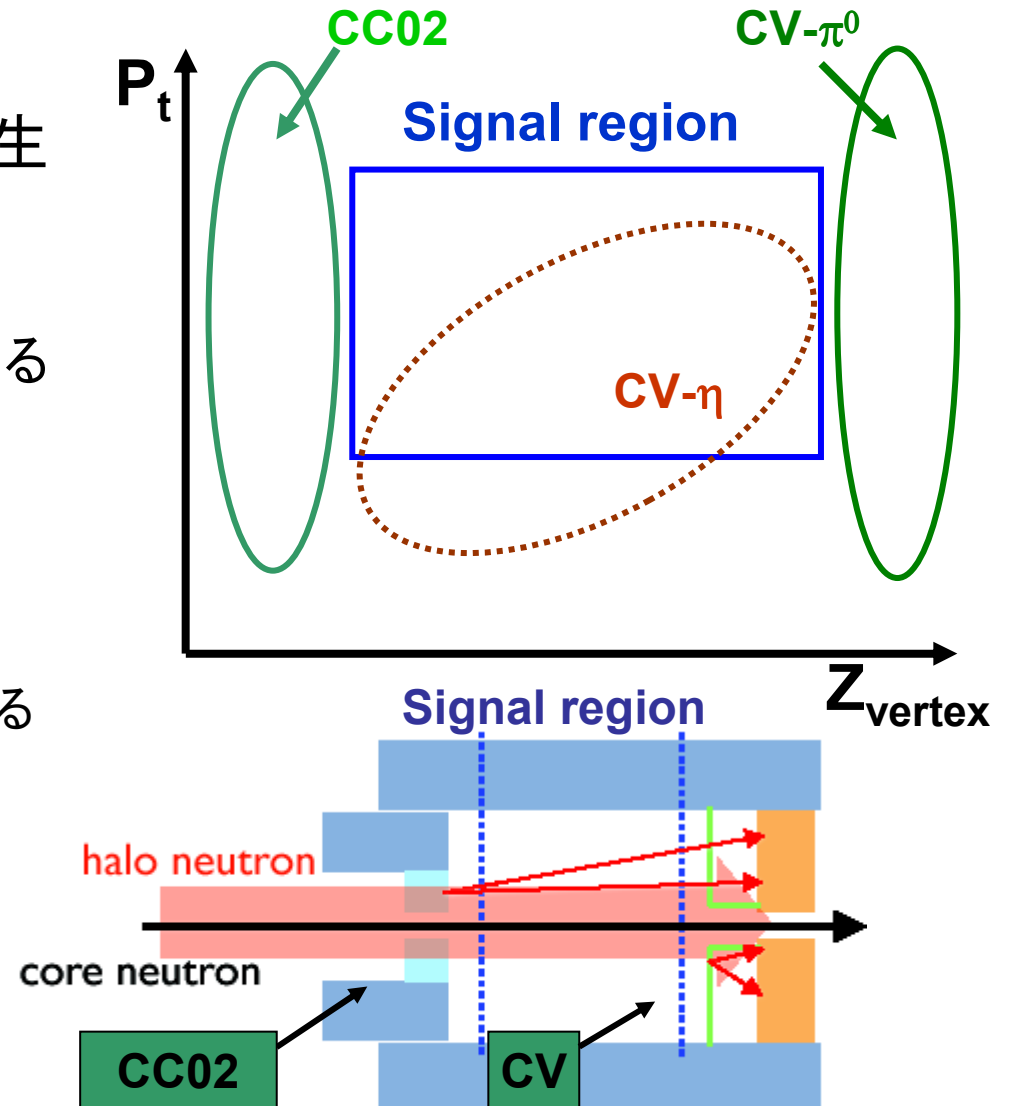
- CV**

- $\pi^0 + X$

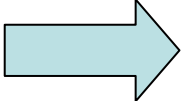
- 余分なエネルギーが足される

- η

- 崩壊点を求めるときに
 $M_{2\gamma} = M_{\pi}$ を仮定
($M_{\eta} \doteq 4 \times M_{\pi} \doteq 500\text{MeV}$)

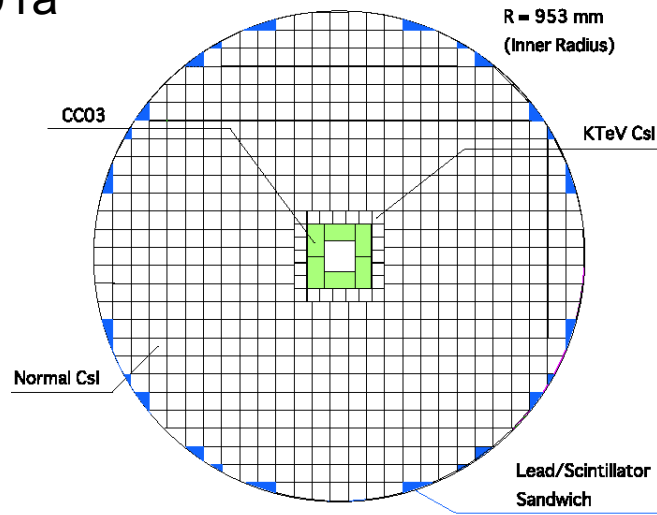


背景事象削減のKey Point

- CsIカロリメーターの強化
 - 放射長を長くする → シャワーの漏れを抑える (CC02 BG)
 - 細分化 → fusionクラスタの排除 ($K_L \rightarrow \pi^0 \pi^0$ BG)
- Veto検出器の強化
 - 検出器の不感率の向上
 - K_L 崩壊からの光子や荷電粒子 → Kaon BG
 - π^0, η 生成時に同時に出来る二次粒子(中性子、陽子など) → Halo BG
- 検出器の配置
 - Halo BG源となる検出器(CC02, CV)を崩壊領域(signal region)から遠ざける
- cluster shape cutの開発  21pSM-6 佐藤君
 - γ クラスタらしさの判定
 - fusion cluster ($\gamma + \gamma$ $\gamma + X$)の排除 → $K_L \rightarrow 2\pi^0$, CV- π^0
 - γ クラスタの入射角度の測定 → CV- η

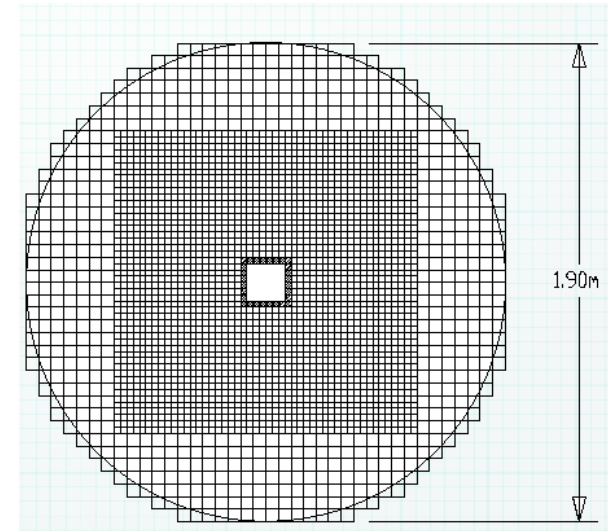
E391a実験からの改良点 CsIカロリメーターの強化

E391a



7cmx7cmx30cm 576ch

K⁰TO



2.5cmx2.5cmx50cm+
5cmx5cmx50cm 2816ch

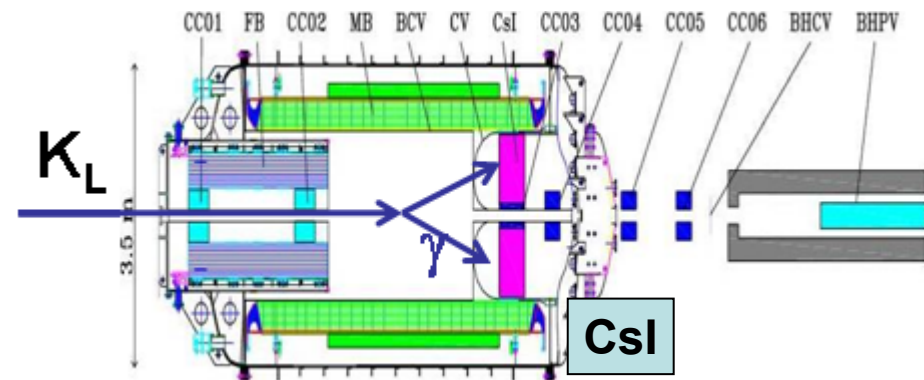
→
CsI結晶を全て
取り替える

- K⁰TO CsIカロリメーター

- 放射長の長い、細分化された結晶

CsI結晶に
関する研究

- 21pSM-4 増田君
- 21pSM-9 吉元君
- 21pSM-10 李君

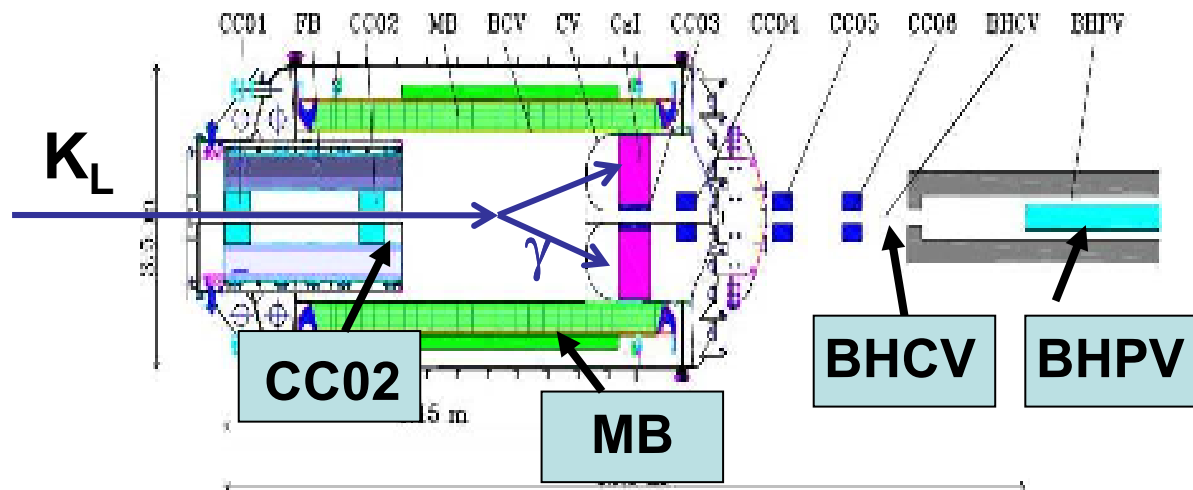


E391a実験からの改良

Veto検出器の強化

- MBのUp grade
 - 新たなLayerを足す → 後ほど説明します
- ビーム軸上に設置するveto検出器の強化
 - 荷電検出器(BHCV) : シンチレーター → ガスシンチレーション 比例計数管
 - 光子検出器(BHPV) : Quartz+PWO → 鉛+エアロジェルを使用した チェレンコフ検出器
- CC02の改良
 - 鉛+Scintiのsampling calorimeter → CsI結晶を使用したfull activeな検出器(NCC)

BHCV: 20aSJ-1 臼杵君
 BHPV: 21pSM-5 前田君
 NCC : 21pSM-6 河崎君



- 検出器の配置
 - CC02・・・30cm上流に動かす
 - CV・・・25cm下流に動かす
(Signal regionから離す。)

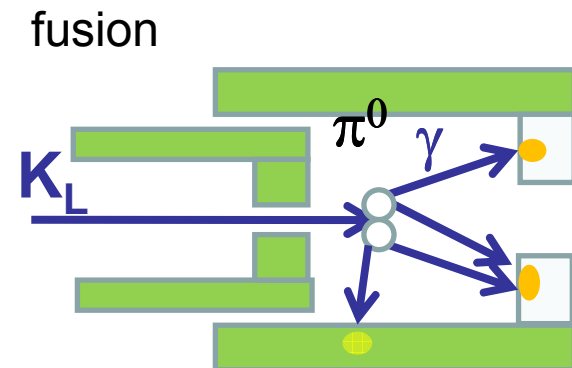
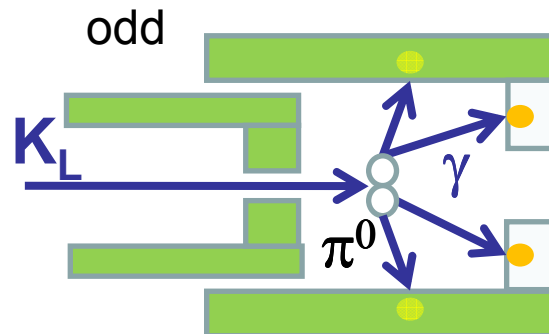
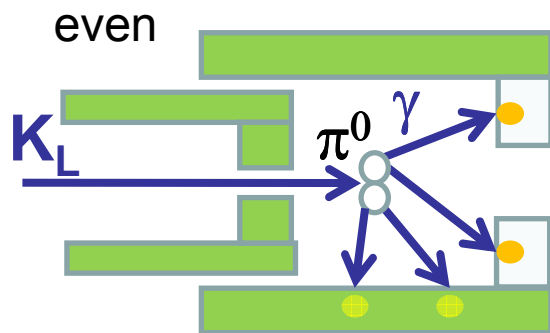
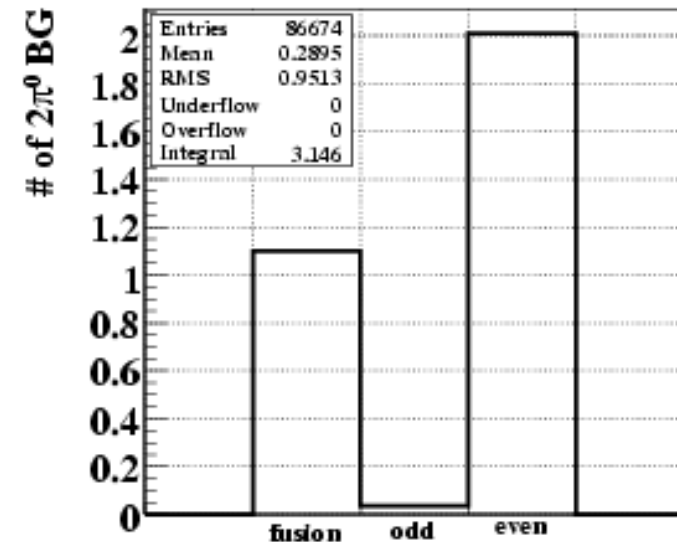
Signal/background summary

		# of event
Signal	$K_L \rightarrow \pi^0 \nu \nu$	2.7 ± 0.05
KL BG	$K_L \rightarrow \pi^0 \pi^0$	1.7 ± 0.1
	$K_L \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0$	0.08 ± 0.04
	$K_L \rightarrow \pi^- e^+ \nu$	0.02 ± 0.001
Halon BG	$CV - \pi^0$	0.08
	$CV - \eta$	0.3

- 評価方法
 - Kaon BG
 - fast simulation 各検出器の応答はresponse functionで評価
 - Halon BG
 - full simulationによる評価

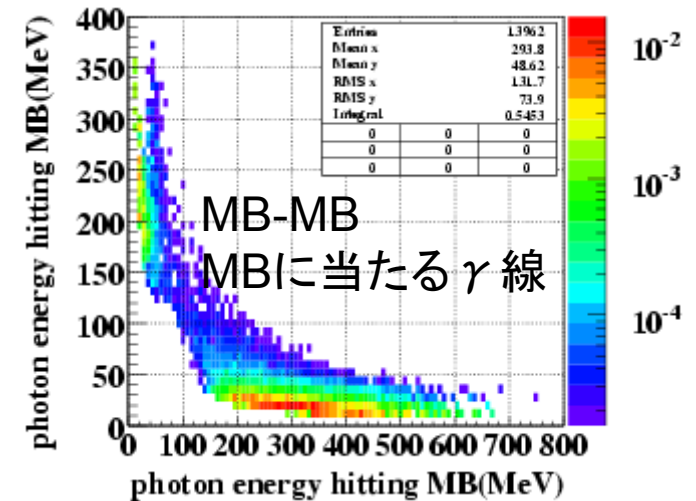
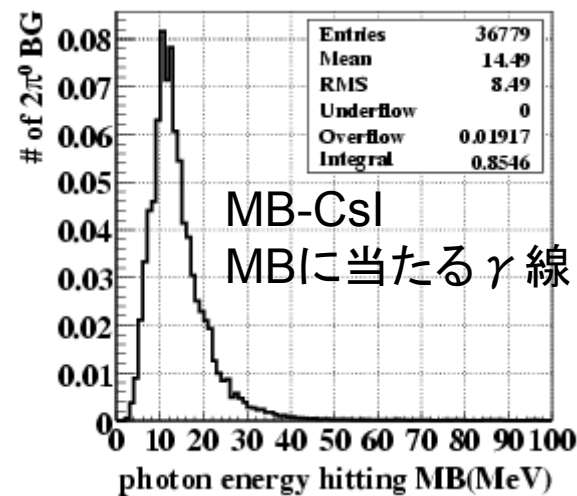
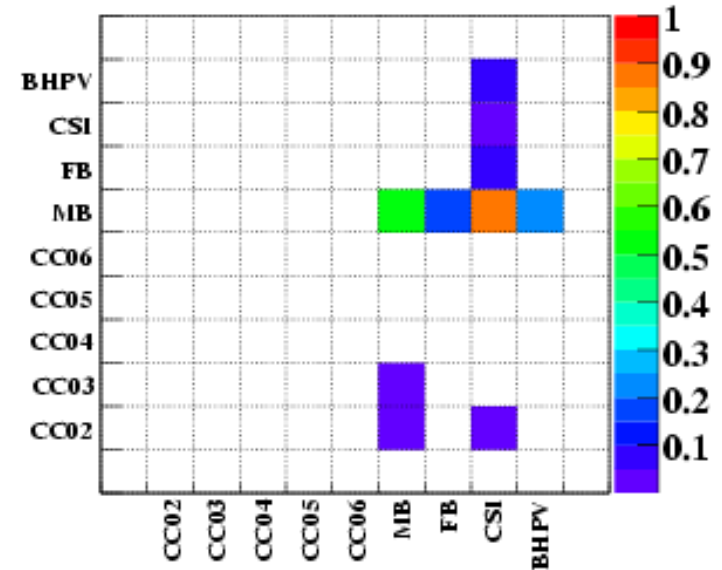
$K_L \rightarrow \pi^0 \pi^0$ バックグラウンドの分類

- 3種類に分類可能
- even event
 - 正しい組み合わせ
 - 1つの π^0 から2つの γ
- odd event
 - 間違った組み合わせ
 - 2つの π^0 から1つずつの γ
- fusion event
 - fusionクラスターと γ クラスターで2クラスター



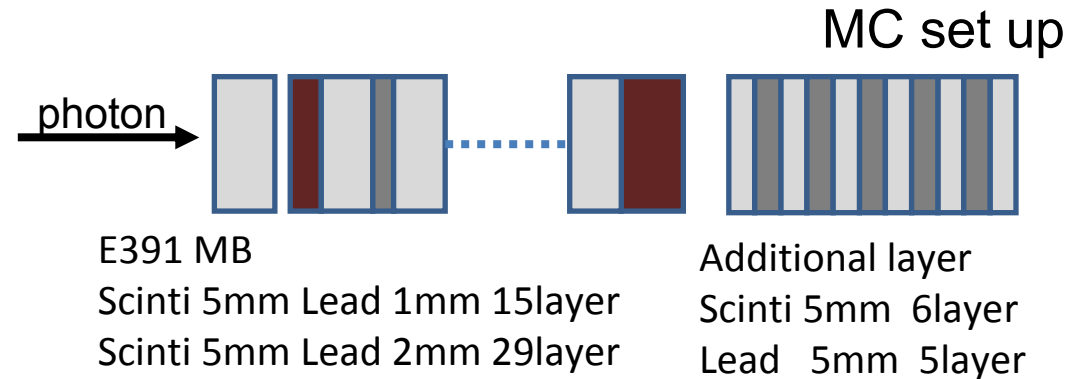
$K_L \rightarrow 2\pi^0$ even BG

- $2\pi^0$ even BG
 - MB-CsI, MB-MB
- MBに当たる γ 線
 - low energyが背景事象に寄与

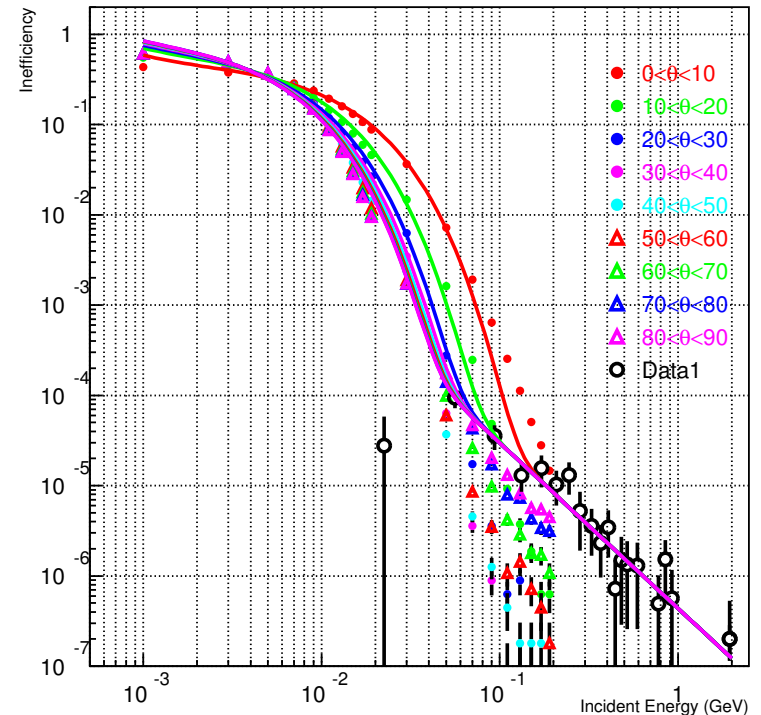


現在の K^0 TO MBのデザイン

- K^0 TO MB
 - E391a MBの外側に
5 X^0 ほど追加する



- Inefficiencyの評価
 - 低エネルギー
 - Sampling効果、
punch through
 - シミュレーションで評価
 - 10MeV付近で1~10%
 - 高エネルギー
 - 光核反応
 - 実験データ(ES171実験)
 - E391a MBからefficiencyを
大幅に改善

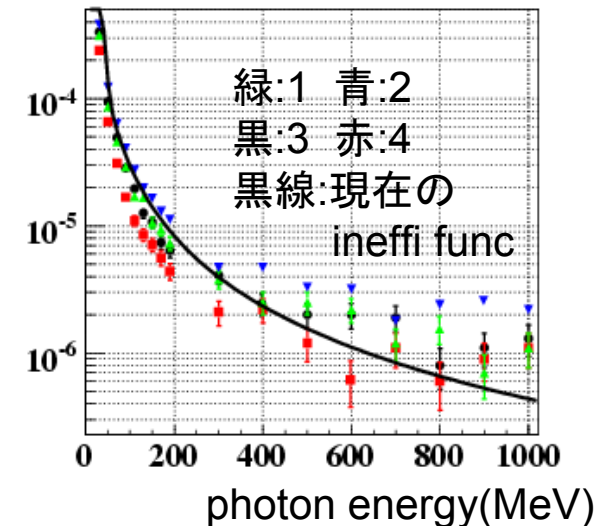
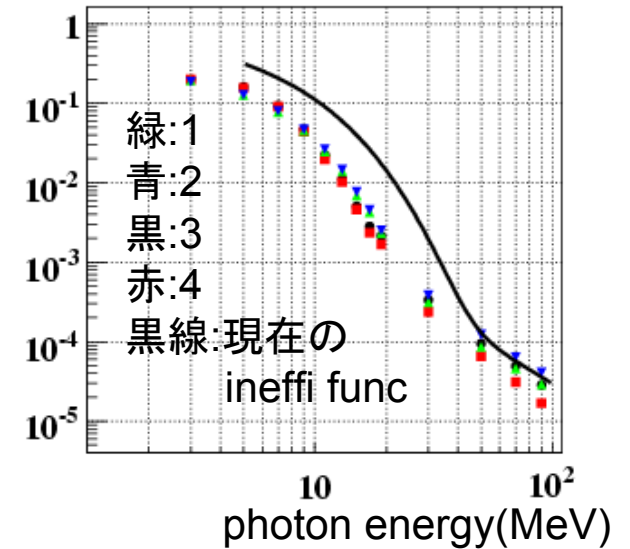
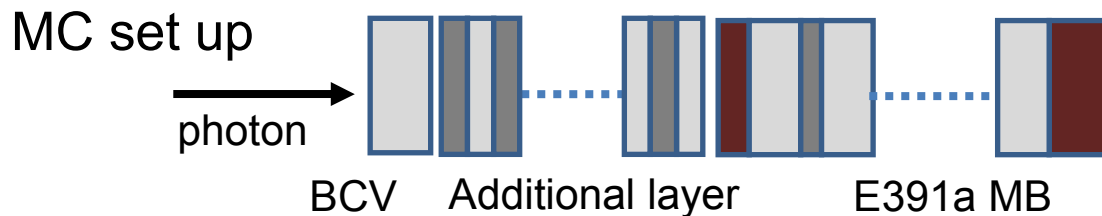


$2\pi^0$ BGの現状

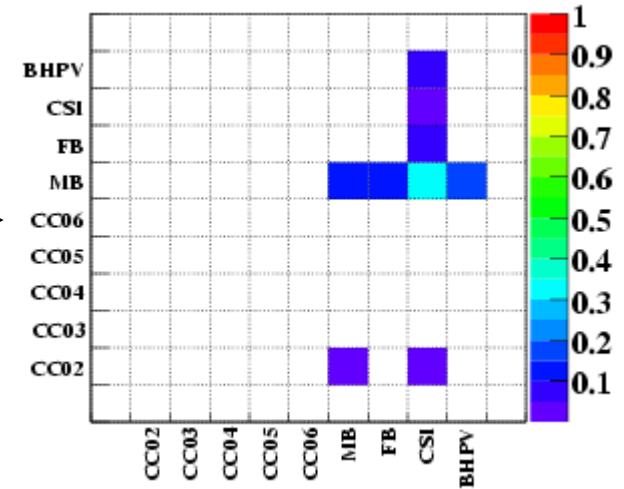
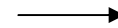
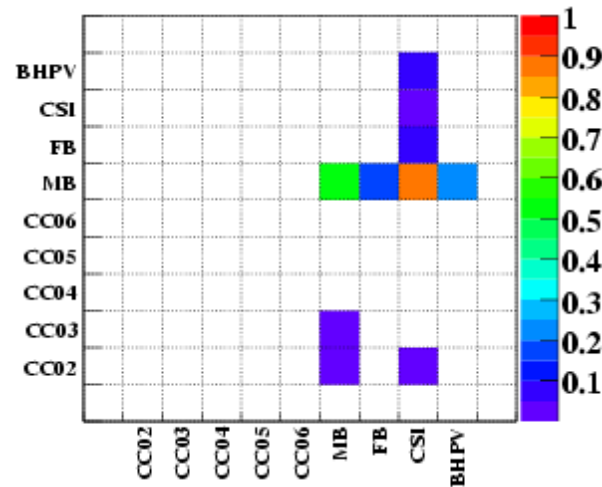
- $2\pi^0$ BG
 - K^0 TO実験で最も多いBG事象
 - 3種類(even, odd, fusion)に分類可能で even BGの寄与が最も多い
- $2\pi^0$ even BG
 - MBに入射する低エネルギーの γ 線がBGに大きく寄与
- 現在の K^0 TO MBのデザイン
 - E391a MBの外側に $5X^0$ ほど新しいlayerを追加
 - 高エネルギー側のefficiencyの大幅な改善($<10^{-5}$)
→efficiencyは光核反応によってlimit
 - 低エネルギー側のefficiencyはあまりかわらず
→10MeV付近で1~10%程度

K⁰TO MBの新たな改良案

- 新たな改良案のコンセプト
 - 低エネルギーでのefficiencyの改善
 - 内側にsampling ratioの良いlayerを追加
 - 高エネルギーでのefficiencyの保持
 - 足す鉛の厚みを同じにする(5X⁰ 25mm)
- 改良案
 1. 20layer(Pb 0.5mm Scinti 3mm)
+10layer(Pb 1.5mm Scinti 5mm)
 2. 10layer(Pb 0.5mm Scinti 3mm)
+20layer(Pb 1mm Scinti 5mm)
 3. 25layer(Pb 1mm Scinti 5mm)
 4. 30layer(Pb 1mm Scinti 5mm)

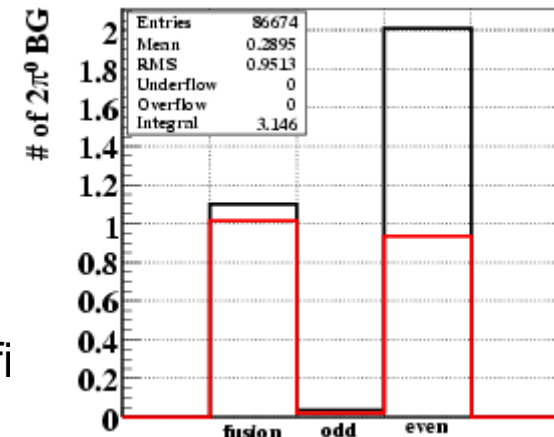


K⁰TO MBの新たな改良案における 2 π^0 BGの減少



- 2 π^0 BGの評価に新しい inefficiency functionを使用
 - 2 π^0 even BG
 - 約半分に減少
 - 2 π^0 BG
 - 2/3に減少

黒 Default ineffi
赤 New ineffi



まとめ

- K^0 TO実験
 - J-PARCでの $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \nu$ 探索実験
 - 世界初のsignal事象の発見を目標
 - 2011年実験開始に向け研究を進めている
- K^0 TO実験の検出器
 - E391aの検出器を改良して再利用
 - CsIカロリメーターの強化
 - Veto検出器の強化
 - BG源となる検出器(CC02,CV)の位置の最適化
- K^0 TO実験の背景事象
 - $K_L \rightarrow 2\pi^0$ BGが最も多い
 - MBの改良により $2\pi^0$ BGを2/3に減らせることが可能である