

K⁰TO実験のための 荷電粒子検出器の性能評価

京大理, 岡山大^A, KEK^B, 山形大^C

前田陽祐, 笹尾登^A, 野村正^B, 田島靖久^C, 南條 創,
塩見公志, 河崎直樹, 増田孝彦, 内藤大地, 高橋剛
他K⁰TO Collaboration

2010年9月14日

日本物理学会2010年秋季大会 @九州工業大学

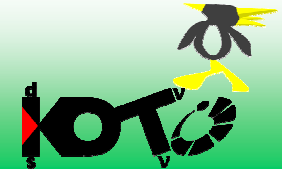
$K_L^0 \rightarrow \pi^+ \nu$

Maeda Yosuke, Kyoto University



- ◇ K⁰TO実験 荷電粒子検出器
- ◇ プロトタイプ検出器の e^+ に対する不感率の測定
 - ◇ setup
 - ◇ 測定結果
 - ◇ MCとの比較と考察
- ◇ まとめ

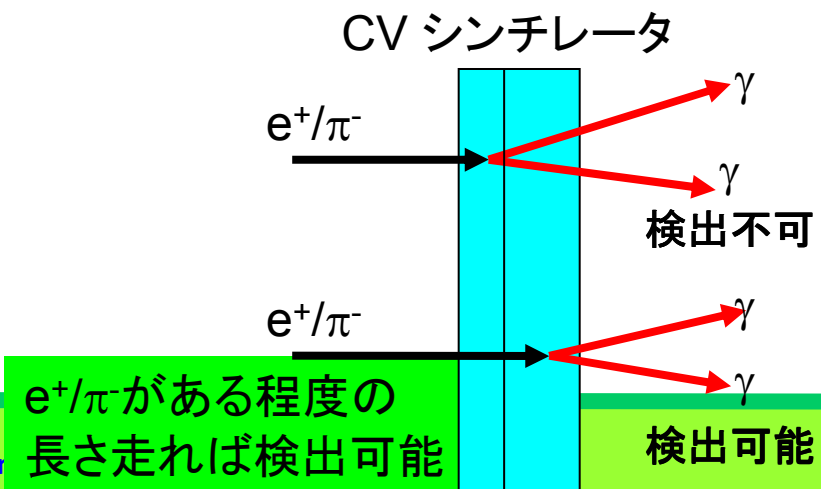
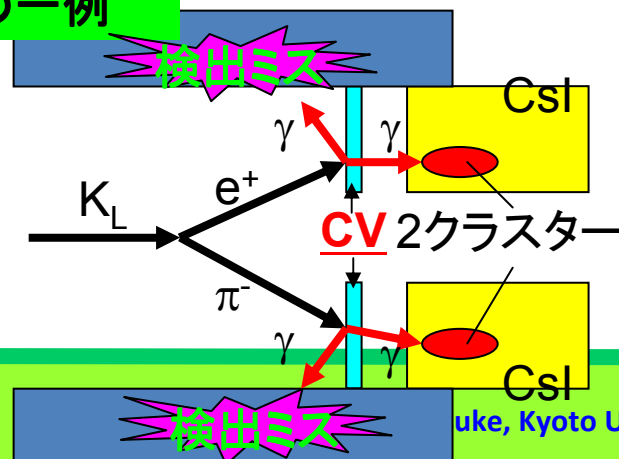
K⁰TO実験 荷電粒子検出器(CV)



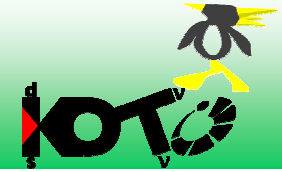
J-PARC K⁰TO experiment

- ◇ CVの役割：荷電を含むK_L崩壊イベントのveto
 - ◇ 2 charged 崩壊を2γと見誤るbackground(→先の講演)
 - ◇ $K_L \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0$ の $\pi^+ \pi^-$ を捕らえ損ねることによるbackground
 - ◇ $K_L \rightarrow \pi^- e^+ \nu_e$: π^- の荷電交換反応($\pi^- p \rightarrow \pi^0 n$)と e^+ の対消滅反応($e^+ e^- \rightarrow 2\gamma$)によるbackground
- これらの過程によるbackgroundを十分に小さくするため、CVは**100keVのエネルギー閾値**でvetoをする必要がある。

K_L → π⁻ e⁺ ν_eによる
バックグラウンドの一例



小型プロトタイプによるビーム試験



J-PARC KOTO experiment

◇本研究ではCVの小型プロトタイプを製作し、 e^+ の対消滅によるinefficiencyの評価を行った。

◇プロトタイプの概要

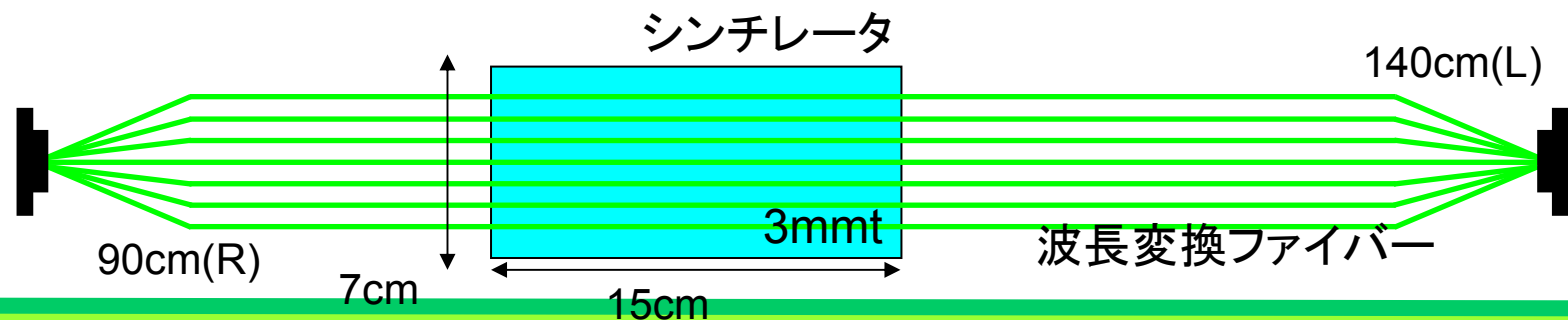
◇シンチレータ：Bicron BC404

◇波長変換ファイバー：KURARAY Y11-350

◇本実験で用いるのと同じファイバー長に設定。

◇MPPCによる読み出し (次項)

◇反射材：尾池工業 Tetolight ($12\mu\text{m}$ 厚)



readout

◇両端で7本のファイバーを束ね, それぞれ1つのHAMAMATSU MPPCで読み出し.

◇MPPC

◇3mm角 表面実装タイプ

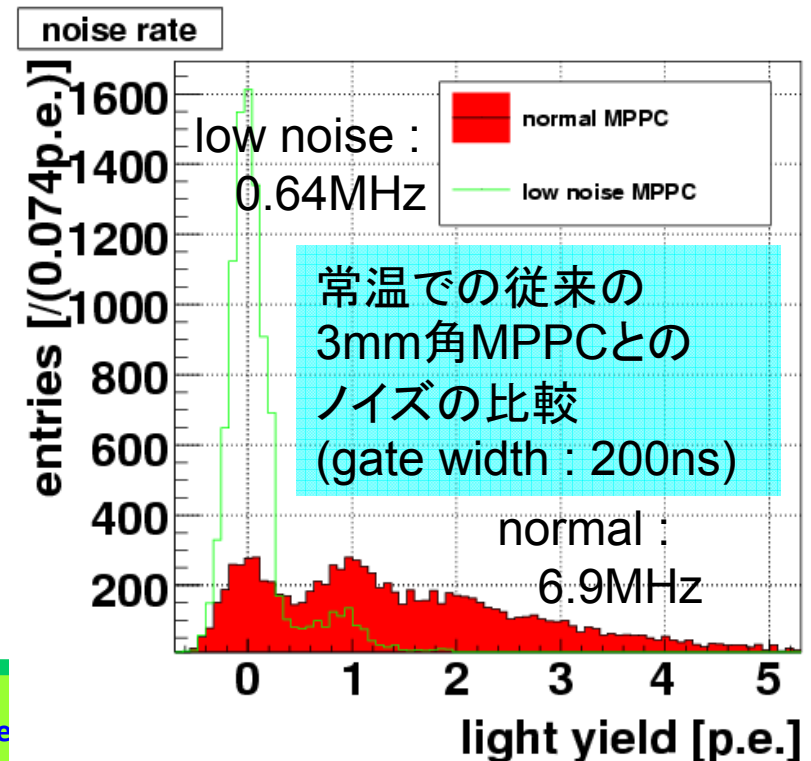
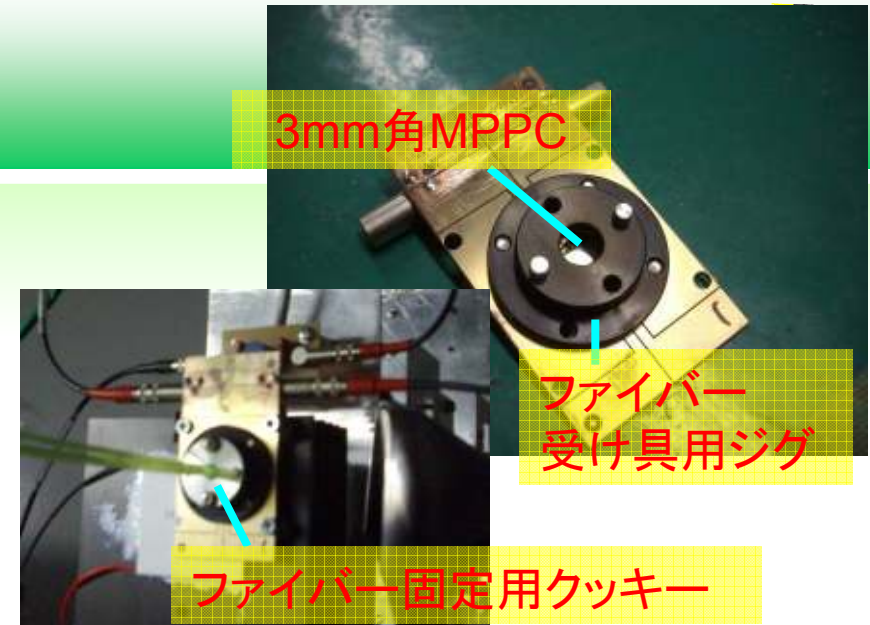
◇pixelサイズ : $50\mu\text{m} \times 50\mu\text{m}$

◇pixel数 : 3600

◇熱電子ノイズを従来の約1/5に押さえた
low noise MPPC を使用

◇常温での測定

◇温度, 湿度を常にモニター



◇ビームライン：東北大学電子光物理学研究センター

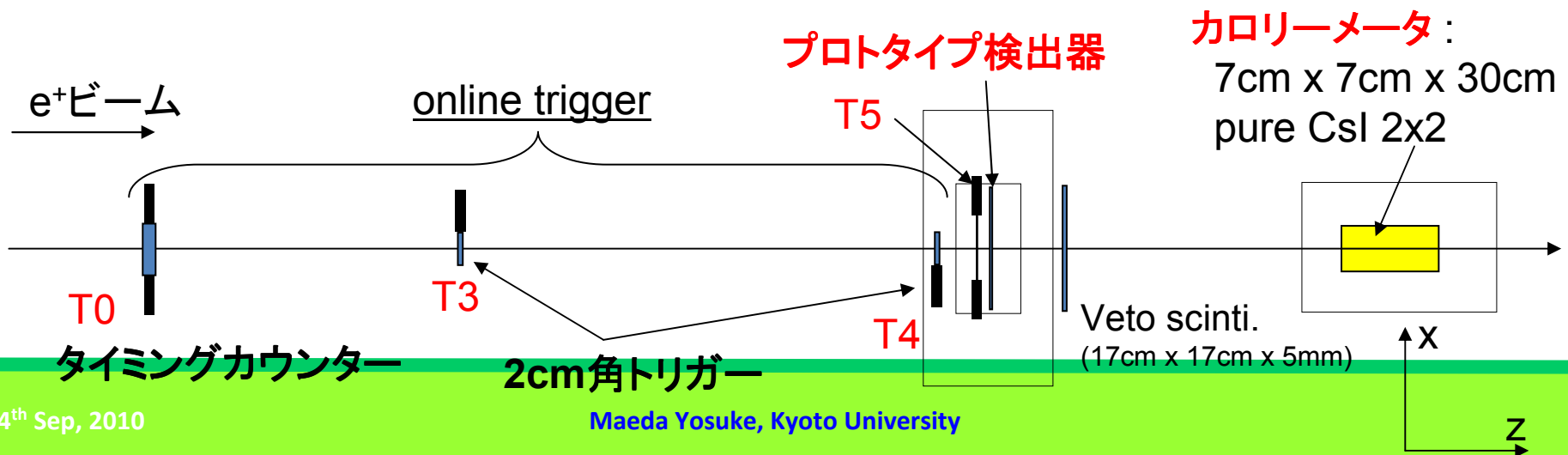
◇600MeV/cのe⁺ビーム

◇トリガーカウンター

◇T0, T3, T4, T5を設置.

◇T0(両読み), T3, T4のコインシデンスでトリガーを発行.

◇直前のトリガーカウンター(T5)を200μmと薄くすることで、トリガー起因の対消滅イベントを極力減らす($\sim 1 \times 10^{-5}$).



カロリメータ



◇対消滅 γ を検出するため、シンチレータ+カロリメータを下流に設置.

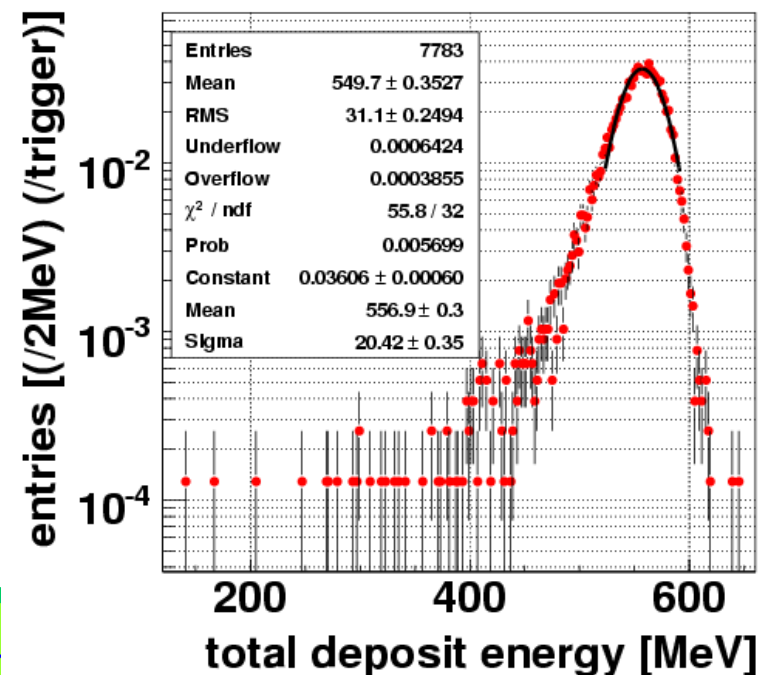
◇E391a実験で持ちられた pure CsIの7cm角ブロックを2x2の形に詰む

◇ビームデータを用い, MCの結果とピークが合うようキャリブレーション

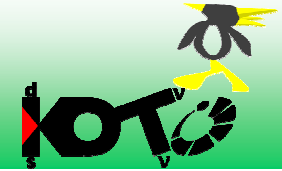
→550MeV depositに対して
~20MeV = 3.7%の分解能
(本測定に対して十分な性能)



600MeV/c e^+ ビームに対する応答



測定結果



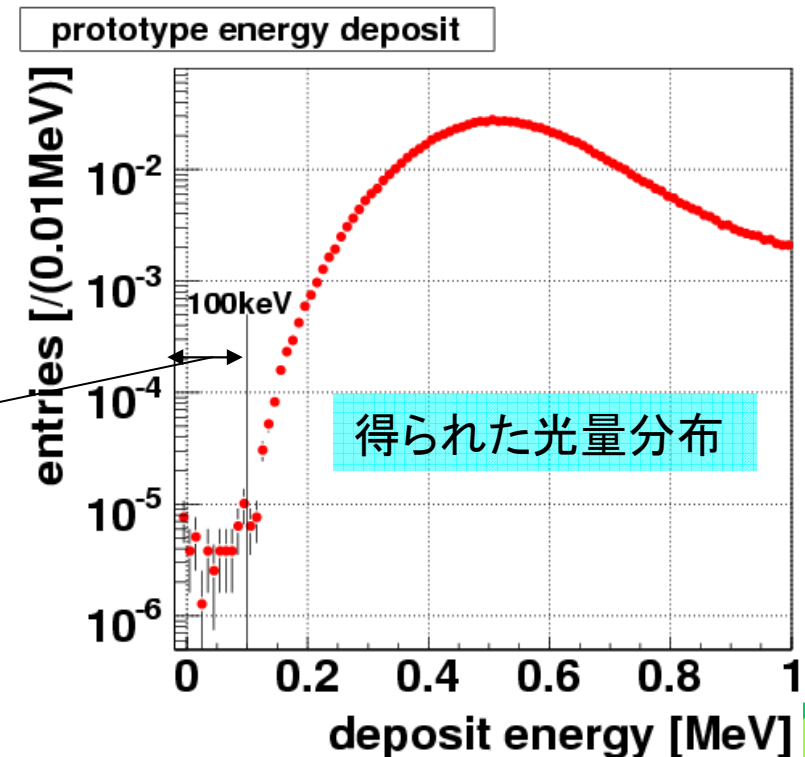
J-PARC KOTO experiment

◇analysis

- ◇各triggerでon timingにhitがあるイベントを選択
→~0.8M events
- ◇得られた光量分布のピークがMCで期待されるエネルギーになるように光量をスケール
- ◇左右合計の光量に対して評価

◇result

- ◇光量 : 6.8p.e./100keV
- ◇閾値100keV以下 : 41events
→ inefficiency =
 $(5.20 \pm 0.81_{\text{stat.}}) \times 10^{-5}$



inefficiency events



◇ 下流のCsIカロリメータの情報をしてみる

◇ CsIにはenergy depositはあるが、この上流のveto用シンチレータはhitがない。

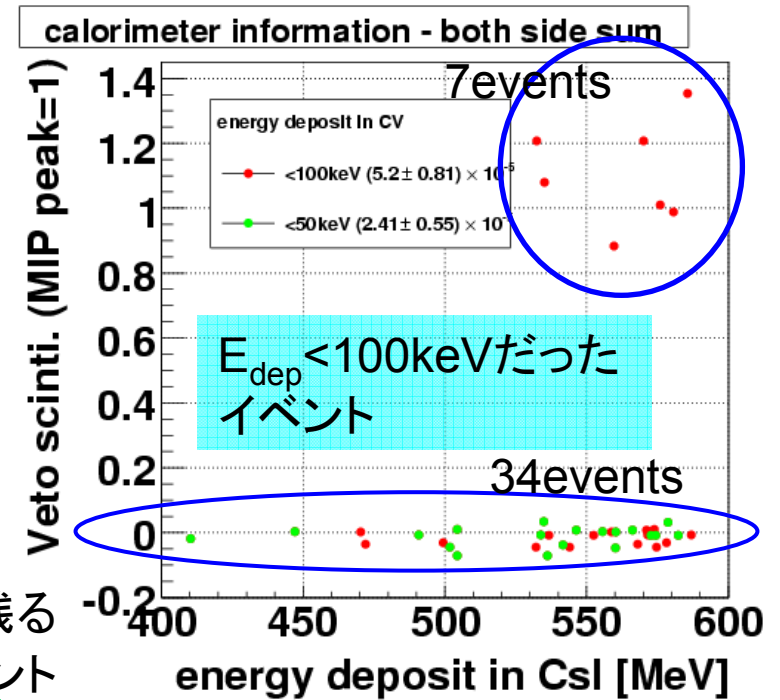
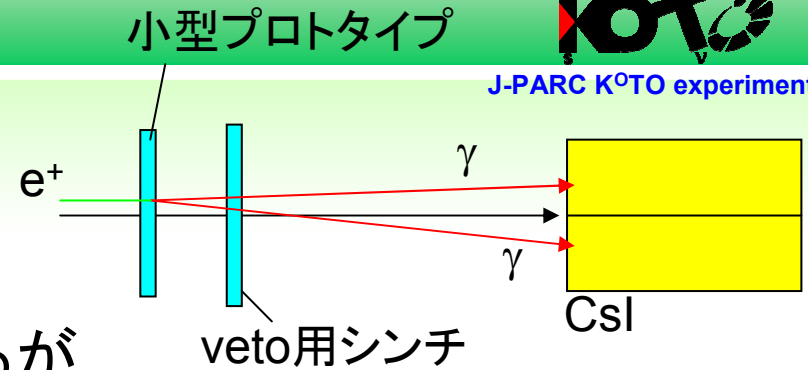
→ 対消滅による γ を捕らえている!!

◇ veto用シンチレータにhitのあるイベントも存在

→ photon統計による染み出しと
考えられる

(10^{-5} レベルであり、つき抜けに対する要請 10^{-3} に比べ十分小さい)

緑 : 50keV thrでも残るイベント



光量分布のMCとの比較



◇この検出器では得られる光量が小さいので、光量分布はMC結果をphoton統計でなました形になる。

◇測定結果との比較

◇対生成によるイベント数は測定結果とMCでconsistent

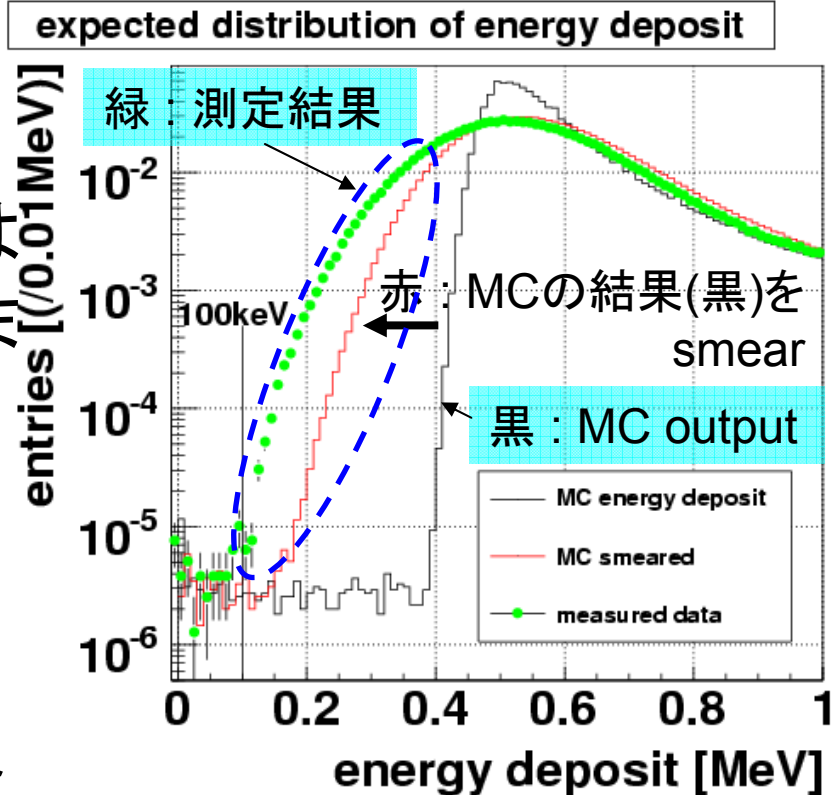
◇100keV以下で、 γ eventsの割合

測定値： $(4.31 \pm 0.74) \times 10^{-5}$ (vetoシンチにhitのないイベント)

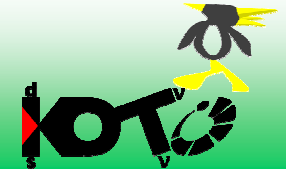
MC： $(3.83 \pm 0.23) \times 10^{-5}$

→ e^+ 対消滅について、検出器の動作をよく把握出来ている。

◇ピークより低い側で、分布の形が大きく異なる。



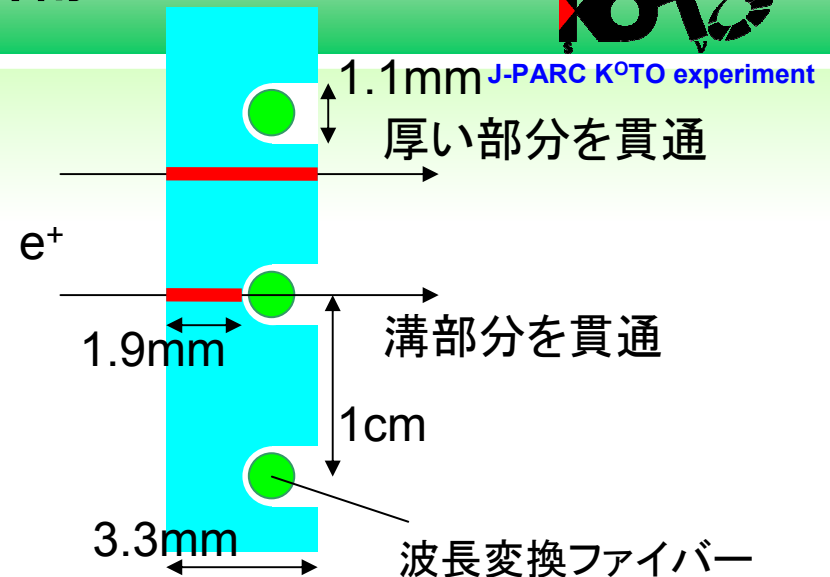
分布不一致の原因の候補



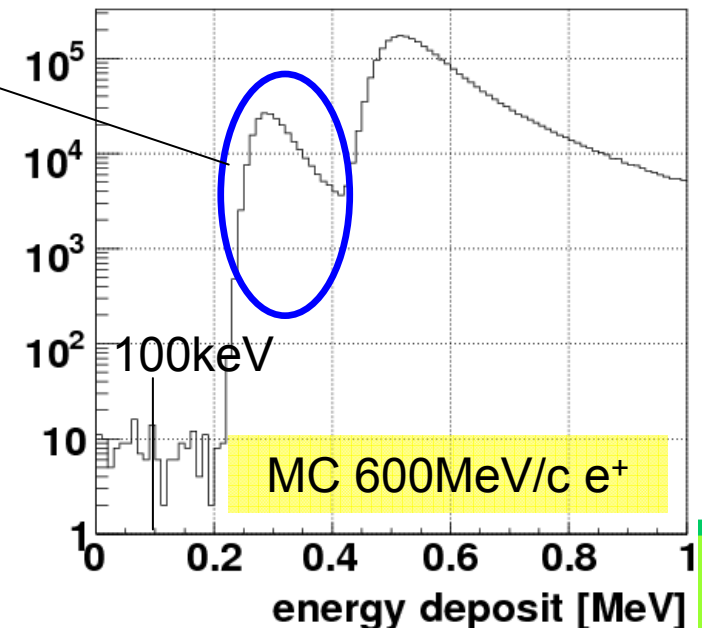
◇ファイバー溝部分の効果

◇ファイバー溝部分ではシンチレータが薄く見えるため、光量が小さくなる。
(ファイバーは光らないものとする.)

- 平均光量としては影響は小さいが、光量分布に於いて低光量側のイベントが増える.
- photon統計の影響をより強く受ける.

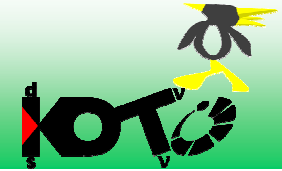


energy deposit w/ fiber groove



角型の溝を彫ったシンチレータでのエネルギー損失の分布

溝効果を入れた場合のsmearing



J-PARC K⁰TO experiment

◇ 溝部分の面積比で、溝の深さに応じて光量を減少させながらsmearing

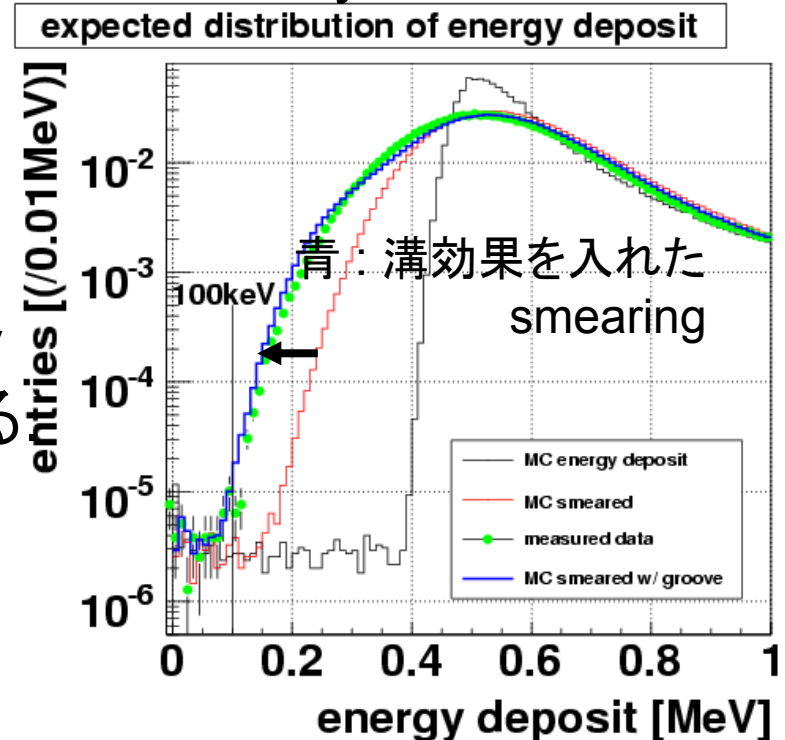
◇ 溝部分11%について、光量を約40%減少させた
(シンチレータ実物の厚みの比より)

◇ 現在の光量でも、突き抜け粒子がinefficiencyになりうる。

◇ つき抜け粒子に対して 1×10^{-5} 程度のinefficiencyが見込まれる

→ 測定結果 ($(8.9 \pm 3.4) \times 10^{-6}$) と consistent

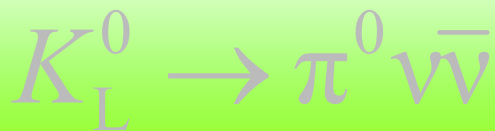
→ つき抜け粒子によるinefficiencyや分布の形の変化を説明出来る



- ◇ K⁰TO実験で用いる荷電粒子検出器(CV)の小型プロトタイプを用い, e⁺ビームによる性能評価試験を行った.
- ◇ e⁺対消滅反応によるinefficiencyについて, 測定結果は15%の統計誤差の範囲内でMCとよく一致しており, 検出器の動作をよく把握出来ている.
- ◇ ファイバー溝部分のシンチレータの厚みが薄い部分での光量減少によるinefficiency機構を明らかにした.
- ◇ 測定では, つき抜け粒子のinefficiencyは10⁻⁵程度で, 要求の10⁻³を満たし, 十分な光量を得ている.

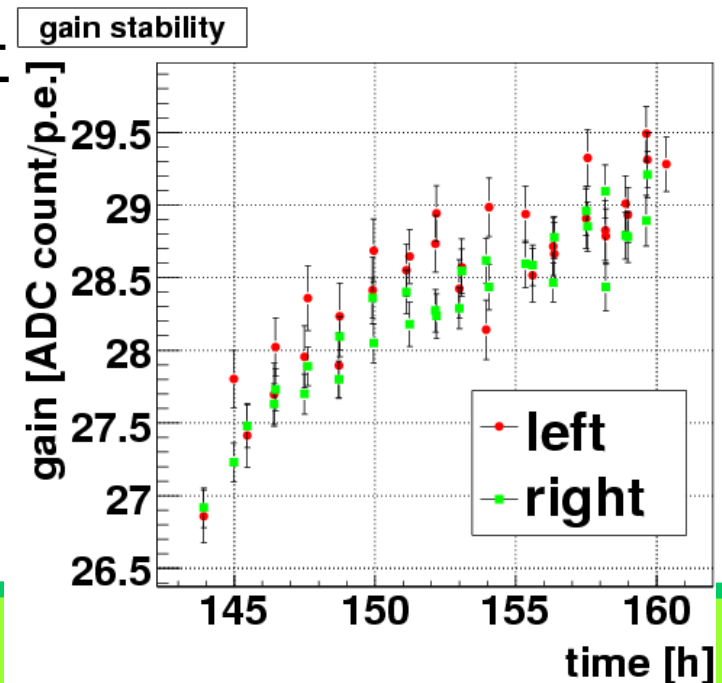
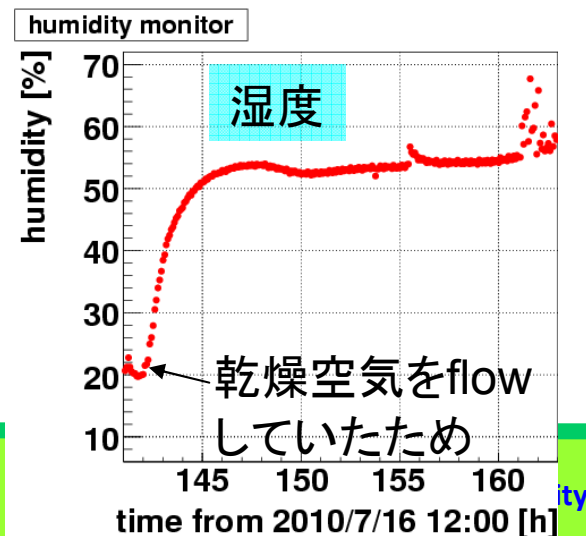
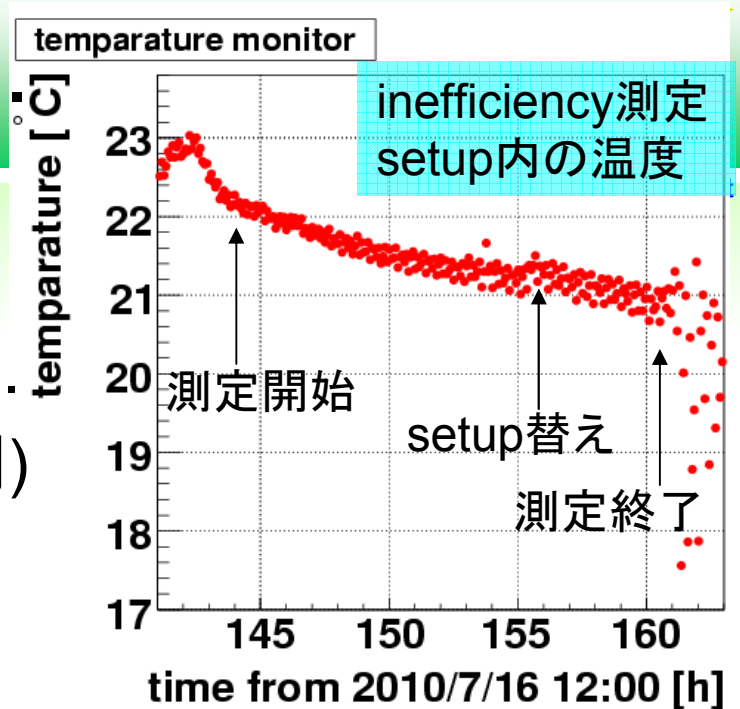
backup slides

- *temperature & humidity monitor
- *dead material run
- *requirement for light yield & thickness



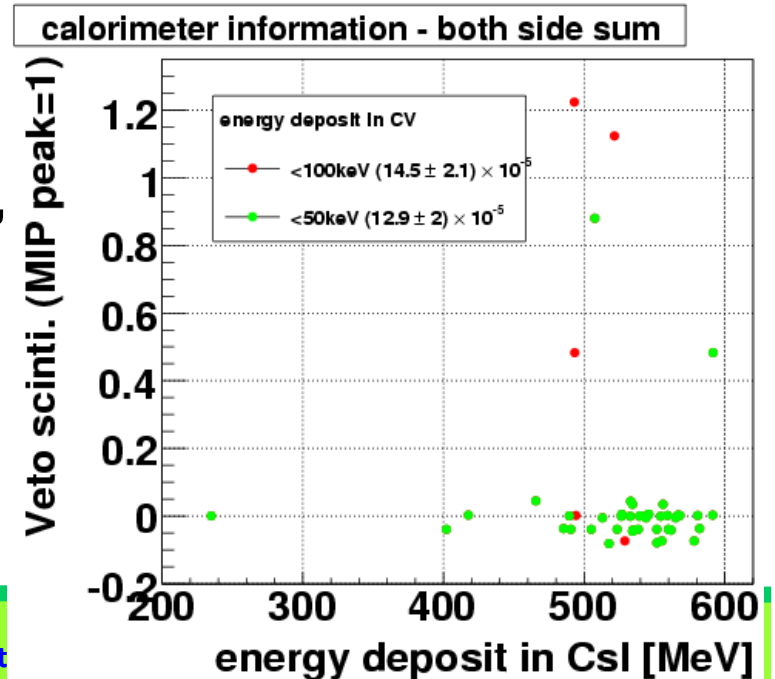
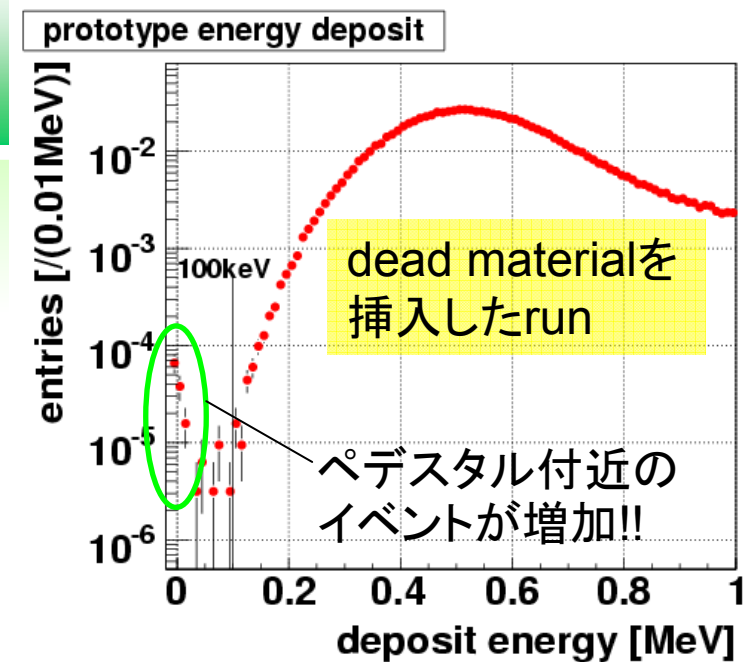
monitor for temp. & humi

- ◇ 温度が緩やかに下降している。
- ◇ これに伴いgain, 光量が少し増大。
- ◇ gainについてはrun毎(各約1時間)にcalibrationを行い, MC上での光量は, 各runで求めたものをその統計数の割合でランダムに発生させて平均化するというようにした。

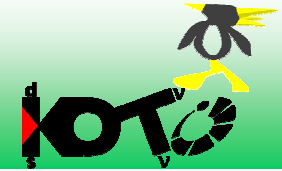


dead material run

- ◇ プロトタイプ上流にdead materialとして反射を100枚重ねたもの(~1.2mm厚)を挿入した場合
 - ◇ ~0.3M eventsを取得
 - ◇ 100keV inefficiency = $(14.5 \pm 2.1_{\text{stat.}}) \times 10^{-5}$
 - ◇ dead materialでの対消滅により、プロトタイプenergy depositのないイベントが増加しているのを確認.



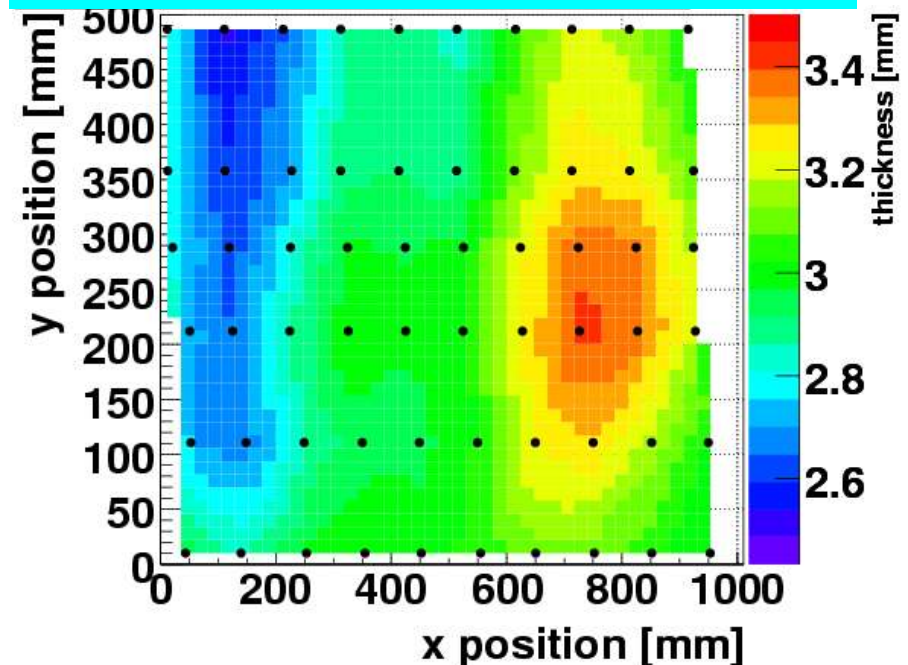
溝部分の厚みに対する要求



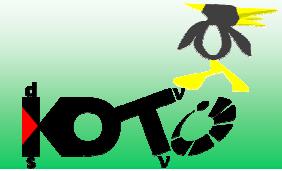
J-PARC KOTO experiment

- ◇ 必要な光量を見積もる際には、ファイバー溝部分の厚みを考慮しなければならない。
 - ◇ 実機で使用するシンチレータには、厚みに~15%程度ばらつきがある。
 - ◇ 最も薄い場所で2.5mm, 最も厚い場所で3.4mm
- 溝加工の際、溝部分で最低確保すべき厚みを把握しておく必要がある。

レーザー変位計で測定した、1m x 50cmサイズのシンチレータの厚み分布



見積もり結果



J-PARC KOTO experiment

◇シンチレータの厚み毎に100keV閾値に対して、つき抜け粒子に対するphoton統計によるinefficiencyを 10^{-3} 以下にするのに必要な光量を見積もった。

→本測定で得られた光量 ~ 6.8 p.e./100keVより、右図から、薄い部分でも

1.8mmの厚みが必要。

→3mm厚のシンチレータで、加工可能な範囲

◇測定では、溝部分1.9mmの厚みに対して 10^{-5} 程度なので、十分conservativeな見積もり。

