

# K<sup>0</sup>TO実験

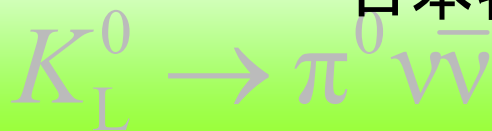
## 荷電粒子検出器製作の現状

京大理, 岡山大<sup>A</sup>, KEK<sup>B</sup>, 山形大<sup>C</sup>

前田陽祐, 笹尾登<sup>A</sup>, 野村正<sup>B</sup>, 田島靖久<sup>C</sup>, 南條 創,  
塩見公志, 河崎直樹, 増田孝彦, 内藤大地

2010年9月18日

日本物理学会2011年秋季大会 @弘前大学

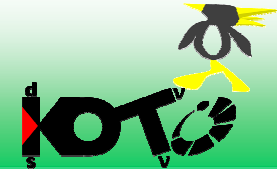


Maeda Yosuke, Kyoto University



- ◇ K<sup>0</sup>TO実験と荷電粒子検出器
- ◇ 検出器の形状が満たすべき条件
- ◇ シンチレータの厚み全数検査とその考察
- ◇ まとめ

# K<sup>0</sup>TO実験とcharged veto検出器



KOTO experiment

SM予言値:  $2.4 \times 10^{-11}$

## ◇ K<sup>0</sup>TO実験 : K<sub>0</sub> at Tokai

### ◇ J-PARC ハドロン実験施設に於けるK<sub>L</sub> → π<sup>0</sup>νν̄探索実験

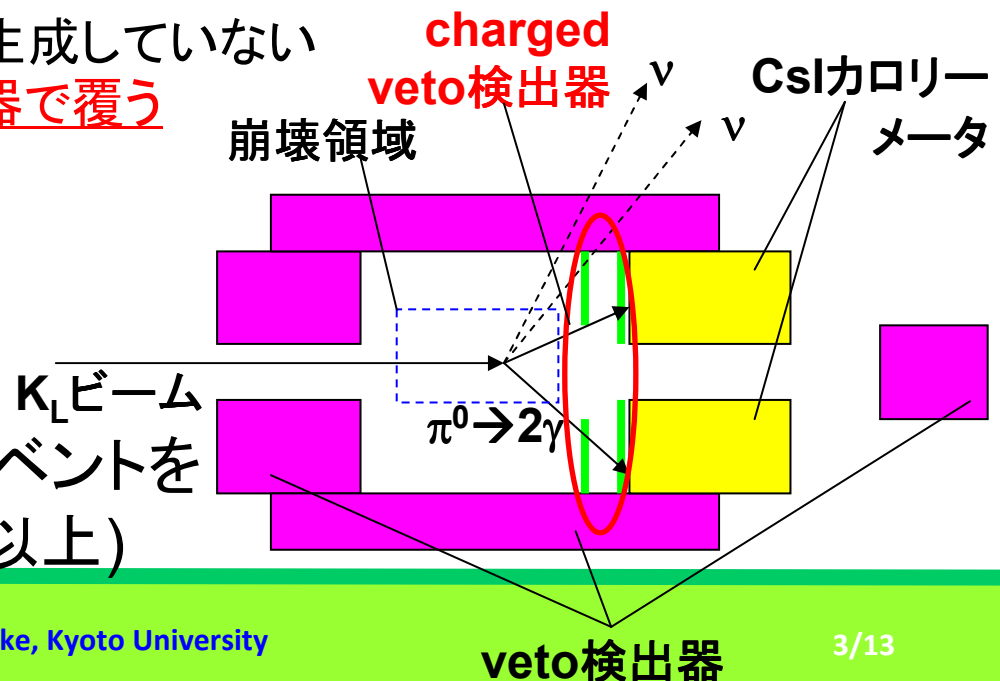
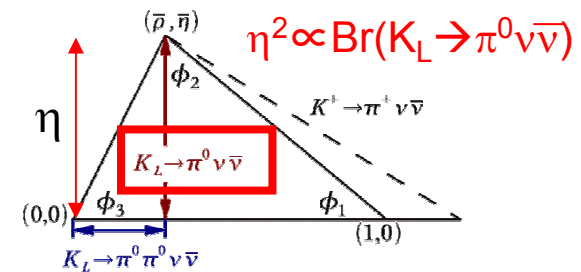
- ◇ CKM行列のパラメータηを測定  
→ 標準理論の精密検証と, 新物理の探索

### ◇ シグナル同定

- ◇ π<sup>0</sup> → 2γをCsIカロリメータで検出
- ◇ 同時に他に何も粒子が生成していない  
→ 崩壊領域をveto検出器で覆う

## ◇ charged veto検出器

- ◇ CsIに入射する粒子が中性か否かを判別  
→ K<sub>L</sub>の荷電を含む崩壊イベントを排除 (分岐比では80%以上)



# 検出器概要



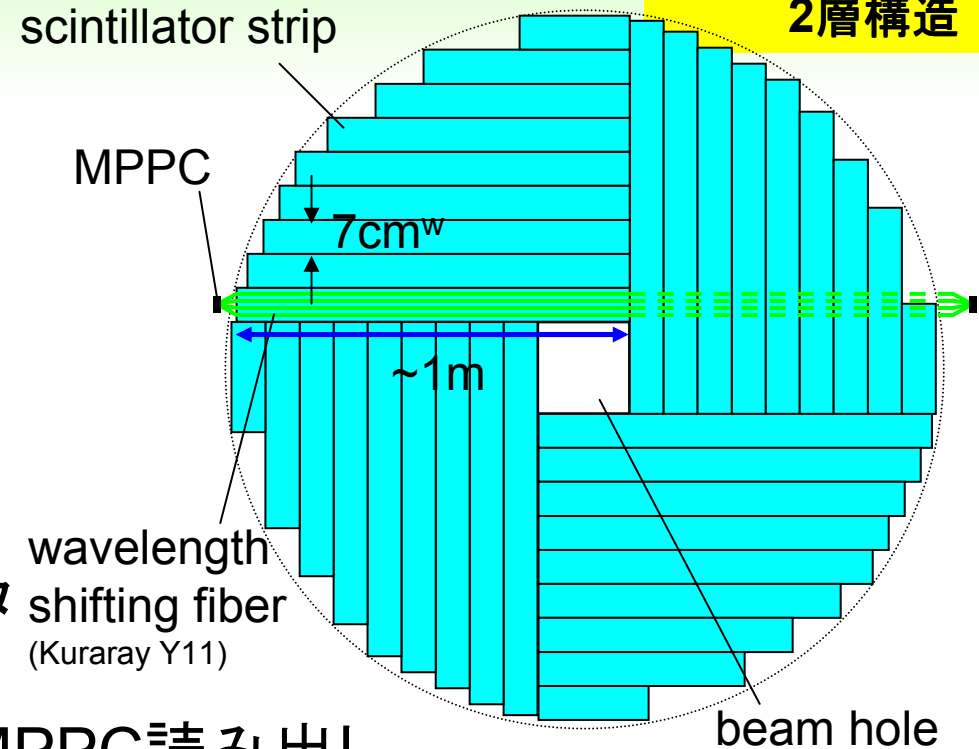
front/rearの  
2層構造

## ◇要求

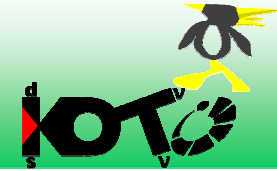
- ◇高い粒子検出能力
- ◇不感領域を作らず  
且つ広い面積をカバー
- ◇物質量を極力減らす

## ◇検出器デザイン

- ◇プラスチックシンチレータ  
(厚さ3mm)  
+波長変換ファイバー+MPPC読み出し  
→広い範囲で十分な光量
- ◇シンチレータstripを上図のように敷き詰める

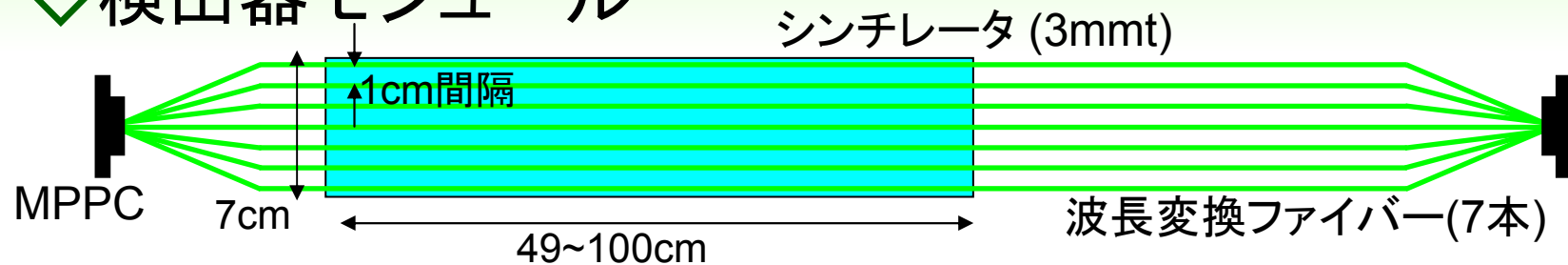


# モジュール詳細

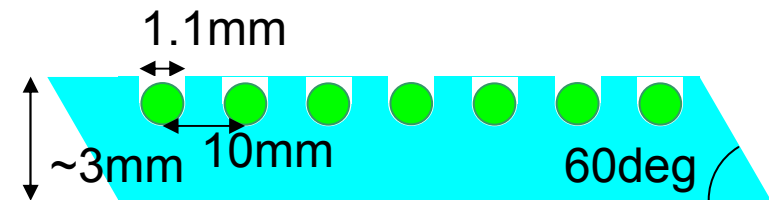


J-PARC KOTO experiment

## ◇検出器モジュール

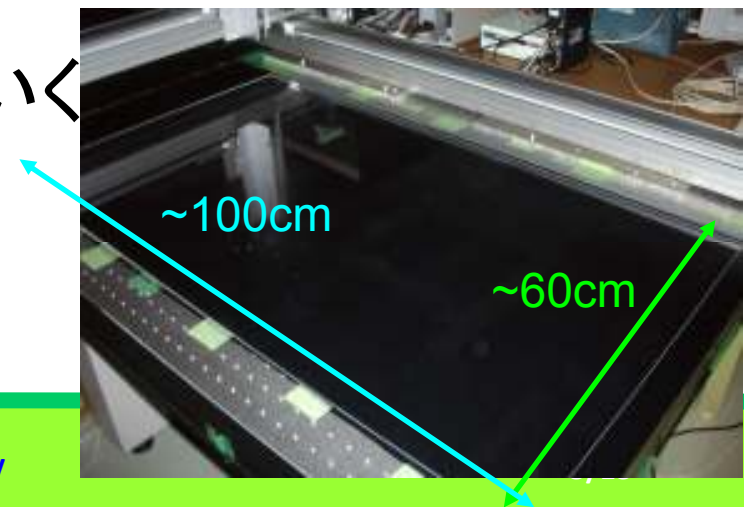


◇長方形(or場所によっては台形)のシンチレータに溝を掘って波長変換ファイバーを埋め込む



◇100cm x 60cm x 厚さ3mmの大きな板からstripを切り出していく

◇厚みの不均一が大きい  
(業者による公差: +/-380 $\mu$ m)



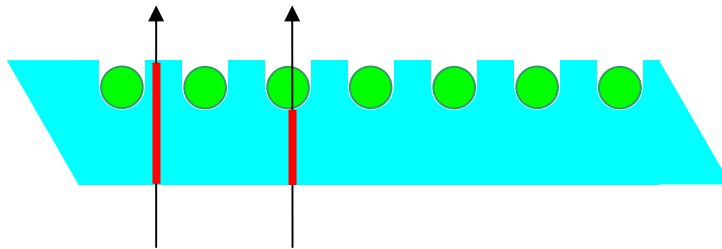
# 厚みに対する要求

◇ 突き抜け粒子に対する inefficiency 要求値 :  $1.0 \times 10^{-3}$  (シンチ全面で)

◇ 実際に得られる光量分布

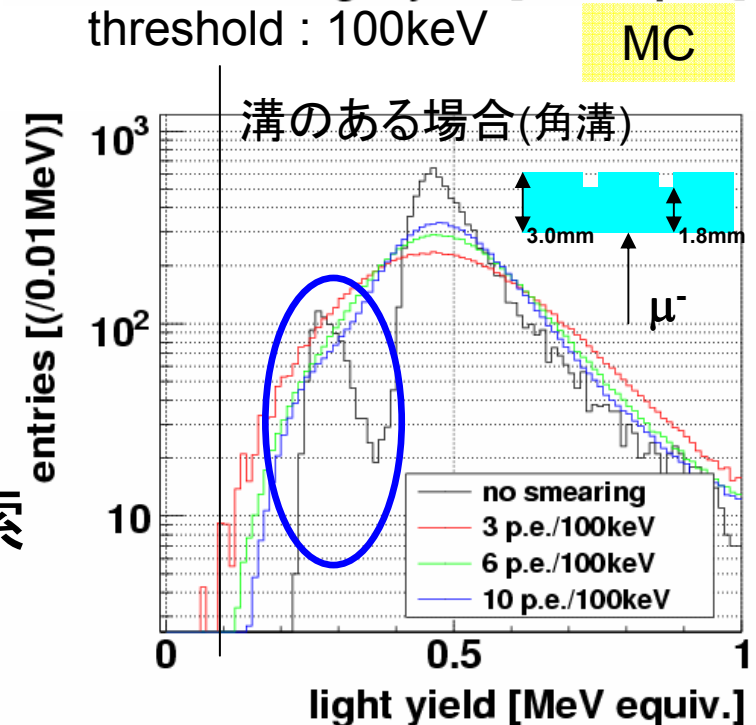
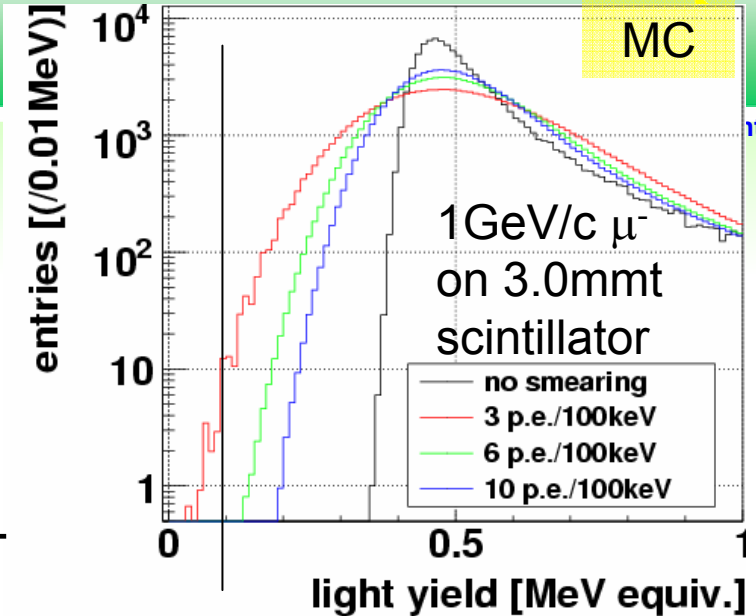
◇ photon統計により幅の広い分布  
→ 高い光量が必要

◇ 薄い部分は絶対光量も小さい  
→ 特に 溝部分の影響 が大きい

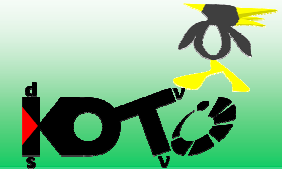


→ MCで要求を満たす条件を探索

photon統計による分布のなまり



# MCによる見積もり



J-PARC KOTO experiment

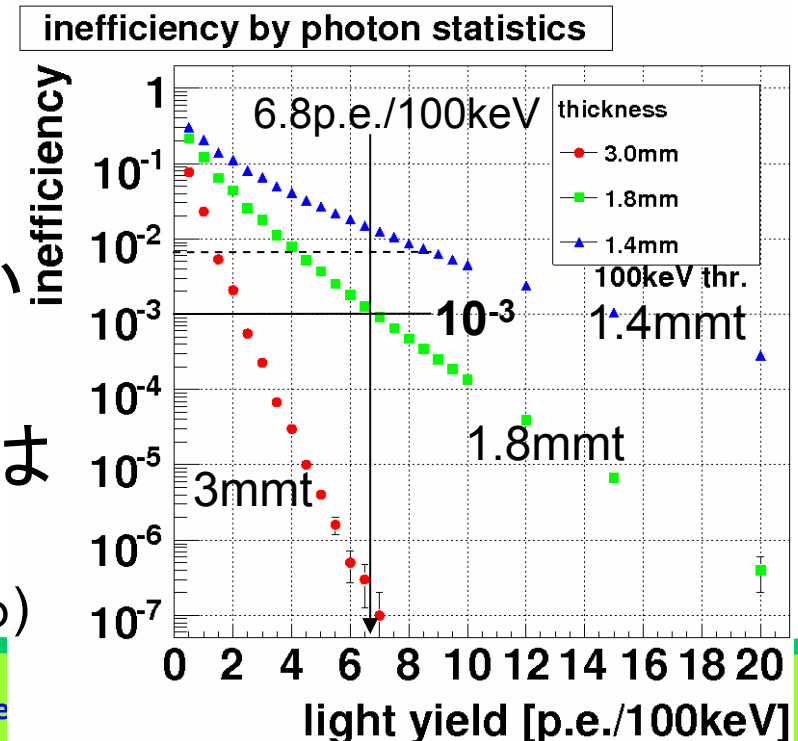
## ◇手法

- ◇いろいろな厚みのシンチレータに1GeV/cの $\mu^-$ を打ち込む.
- ◇得られたenergy depositの分布をPoisson統計を仮定してsmear
- ◇100keV閾値以下のイベント数を計数

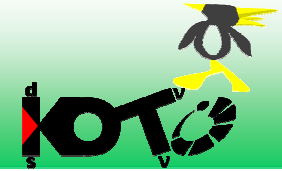
## ◇これまでのプロトタイプで得られたうち最も低い光量 6.8p.e./100keV を仮定

- ◇3mmでは無視できるほど小さい

→厚みが薄くなる溝部分でも  $10^{-3}$  inefficiency\*に抑えるには 1.8mmの厚みが必要  
(\*溝部分の面積比は安全ファクターとする)



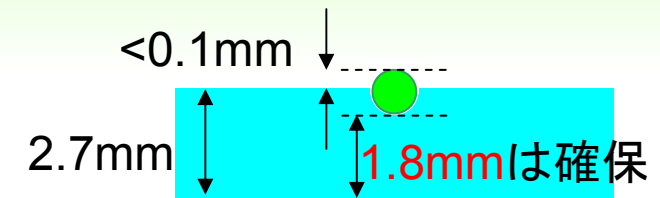
# シンチレータ厚み全数検査



J-PARC KOTO experiment

## ◇目的

- ◇使用するシンチレータについては最低厚み2.7mmを保障する。  
(測定精度を考慮し、**2.75mm**を基準に.)

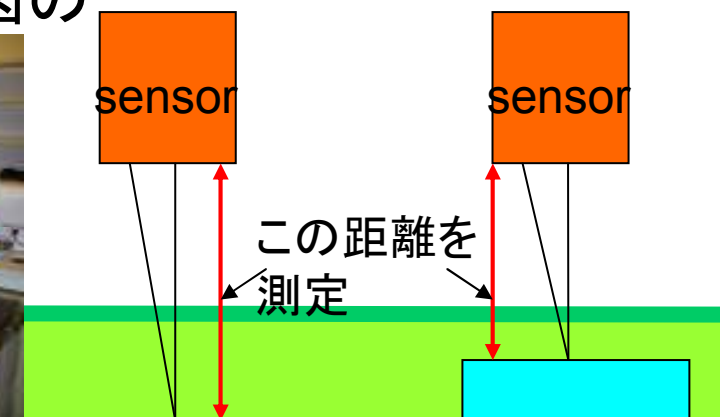
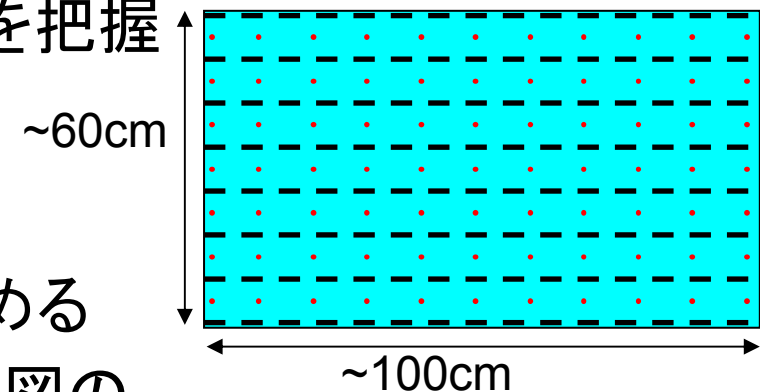


赤丸：厚み測定点

- ◇strip毎の平均厚み, 凹凸度合いを把握

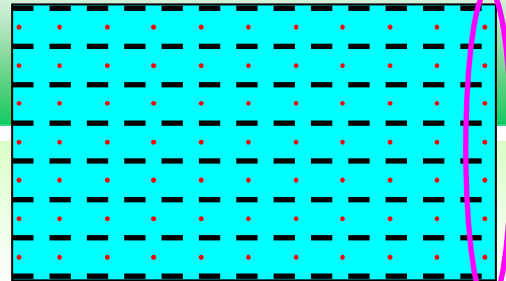
## ◇測定手法

- ◇レーザー変位計を用い, 試料の有無で差を取り厚みを求める
- ◇各シンチ板(全16枚)について, 右図の  $7 \times 11 = 77$  点を測定





# 測定結果



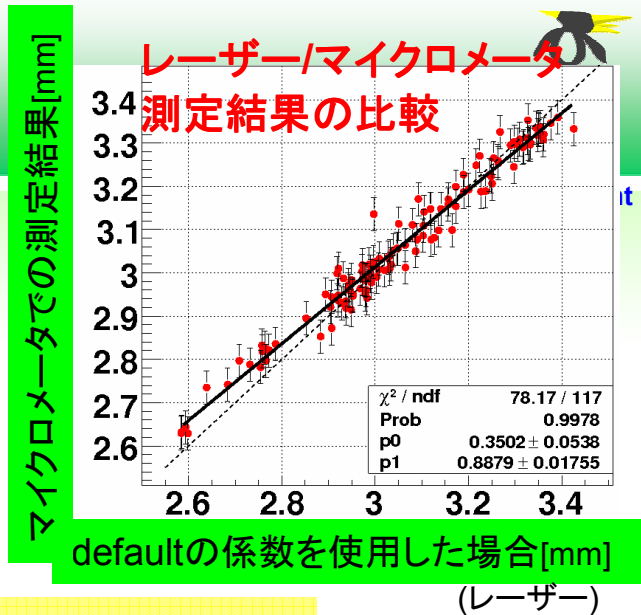
## ◇測定値の補正

◇端の点ではマイクロメータでも測定し, この結果にあうようにレーザーによる測定結果を補正.

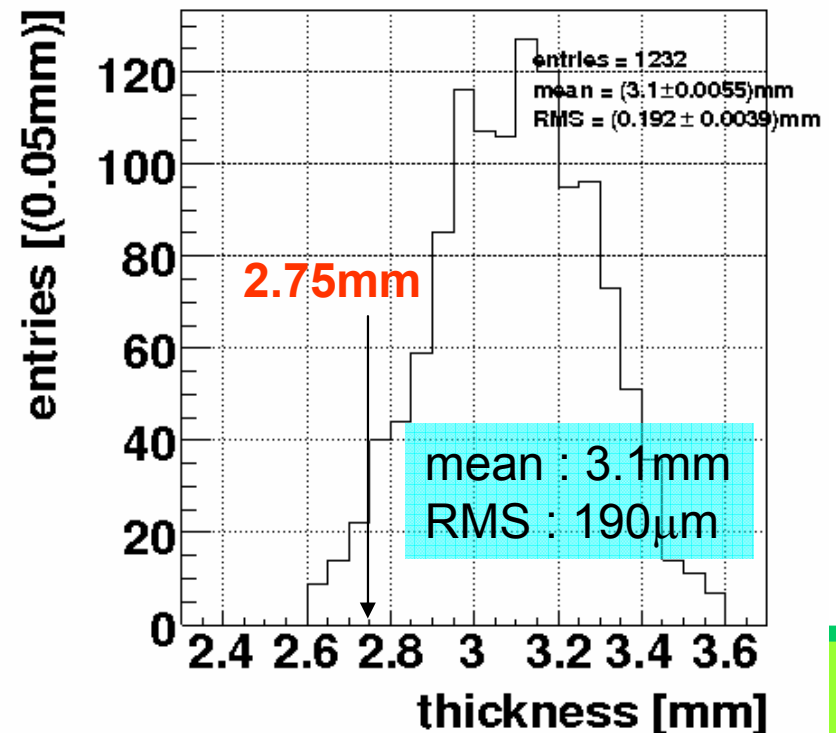
→残差: 標準偏差で $\sim 30\mu\text{m}$

## ◇全測定点での厚み分布

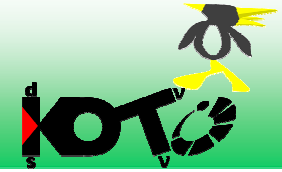
- ◇平均 $3.1\text{mm}$ で, 全体的に厚め
- ◇基準以下の点はわずか.



## 全測定点の厚み分



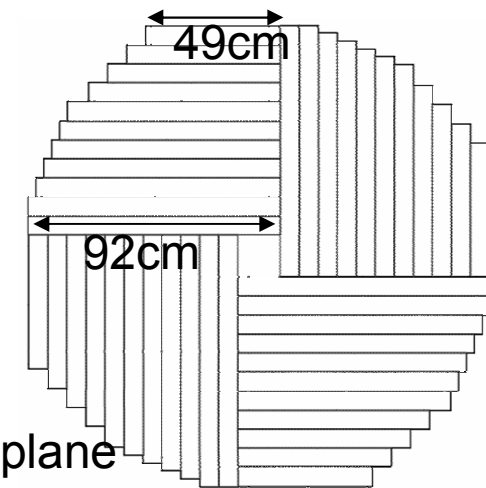
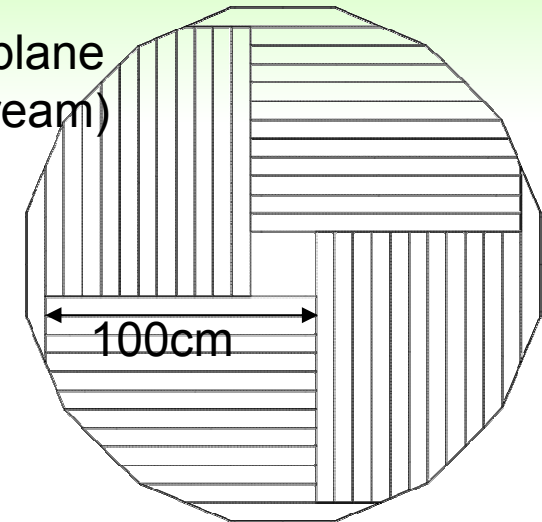
# 実機各stripへの割り当て



J-PARC KOTO experiment

- ◇ 実機で用いるさまざまな長さ (49cm~100cm) のstrip 計92枚を全て切り出せるか?
- ◇ 以下の条件を考慮:
  - ◇ 基準(2.75mm)より薄い点や 表面に傷等があった場所を含まない
  - ◇ 両隣のstripの測定点についても 厚みが基準を超えている
- ◇ 上記の条件を満たすものから、 測定点のうち最も薄い部分の 厚い順に、内側から割り当てていく

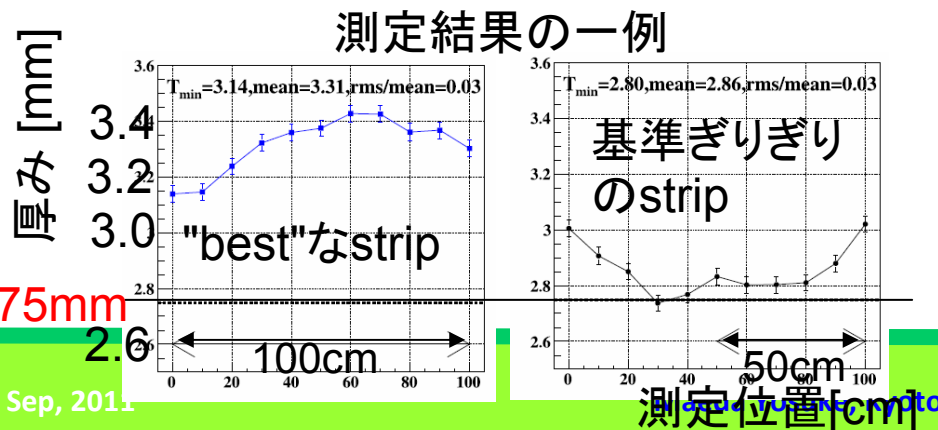
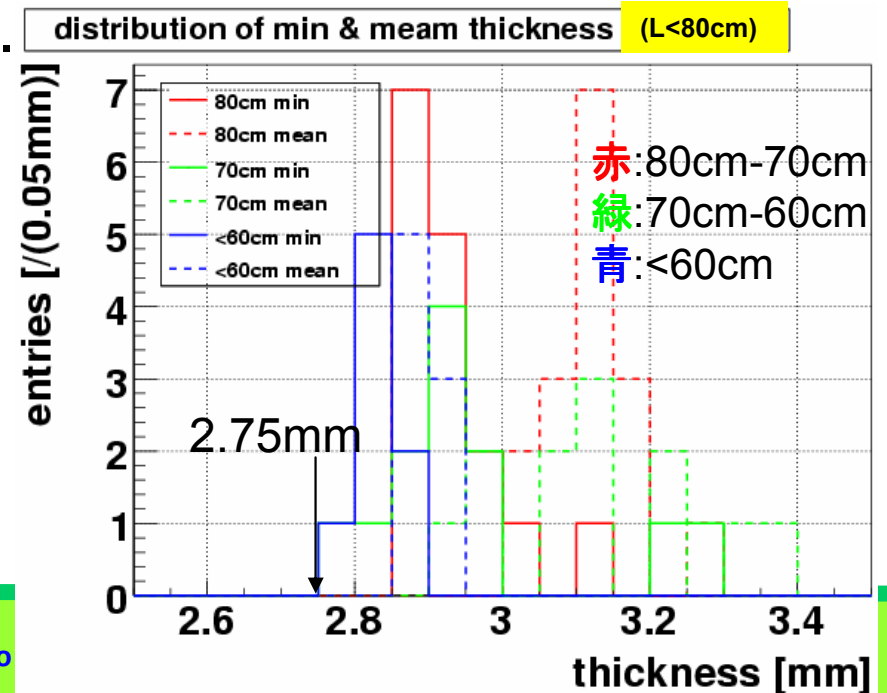
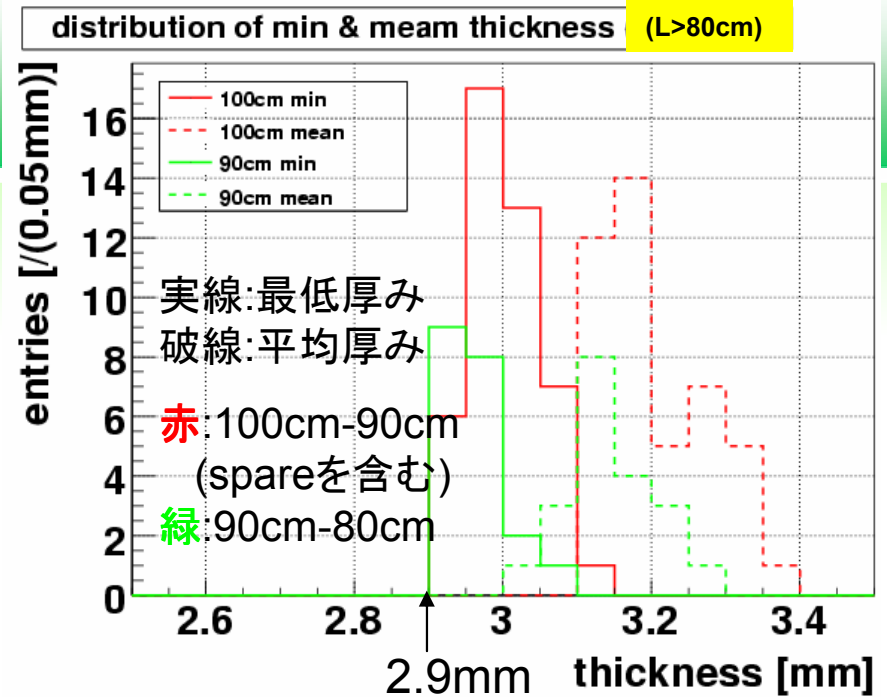
front plane  
(upstream)



rear plane  
(downstream)

# 割り当て結果

- ◇ 必要なstripを全て切り出せている
  - ◇ 且つ8枚の予備も確保
- ◇ 最低厚みの分布
  - ◇ 長いstripについては、最低厚みでも2.9mmを確保.
  - ◇ 短いstrip(60cm以下)では、基準ぎりぎりのものが多い



# strip内での厚みのばらつきの考察



◇ calibrationを間違えることによる inefficiencyの増加

◇ 検出閾値が変わって見える  
→ 閾値を変化させて inefficiencyを見積もる

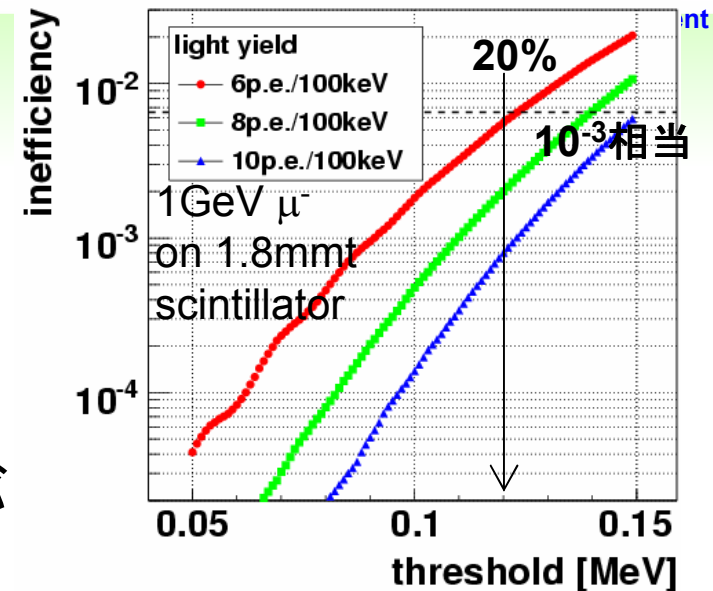
→ 光量が低い場合, 約20%閾値がずれるとバックグラウンドに影響しうる

◇ 測定結果

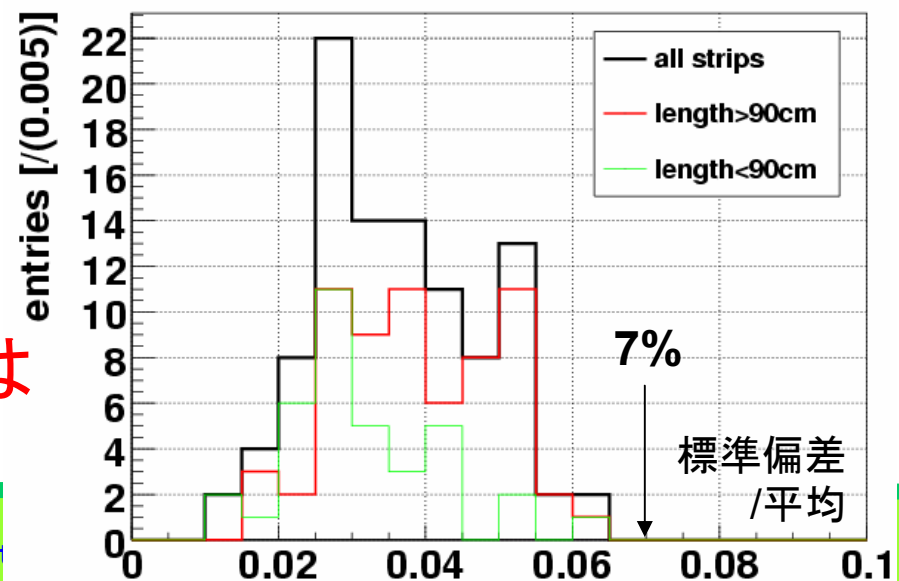
◇ (標準偏差)/(平均)はどの stripについても7%以下

→ 厚みのばらつきについては問題なし

ineff. deviation by threshold uncertainty



distribution of flatness



- ◇ K<sup>0</sup>TO実験で用いる荷電粒子検出器について、その形状が満たすべき条件についてstudyを行った。
- ◇ 厚みについて、溝部分でのinefficiencyが問題となるため、1.8mm以上を確保する必要がある。
- ◇ 実際に使用するシンチレータは厚みの不均一なため、全数について検査を行った。結果、使用する全stripについて、厚みの要求を満たすよう切り出しが可能であるという結果を得た。
- ◇ 現在、自動ステージとディスペンサーによる自動塗付システムを開発中。これを用いて、モジュールの量産を進めていく。

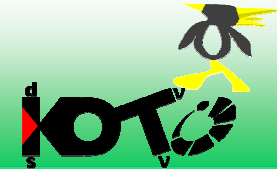
backup slides

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

Maeda Yosuke, Kyoto University



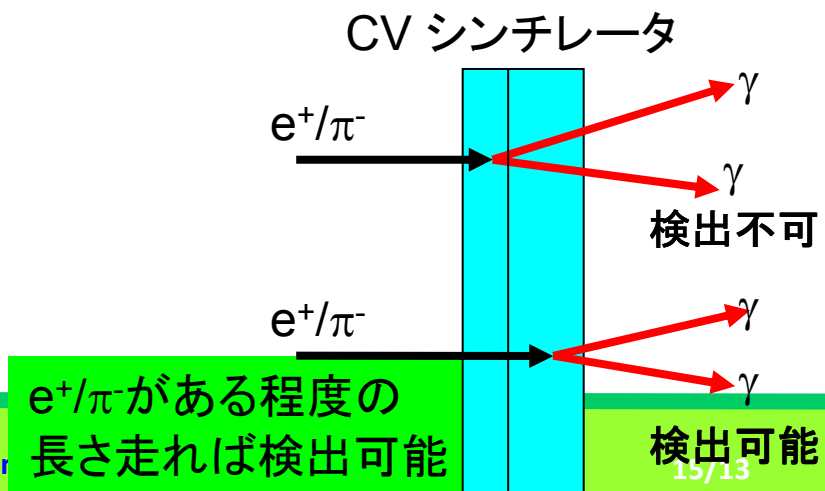
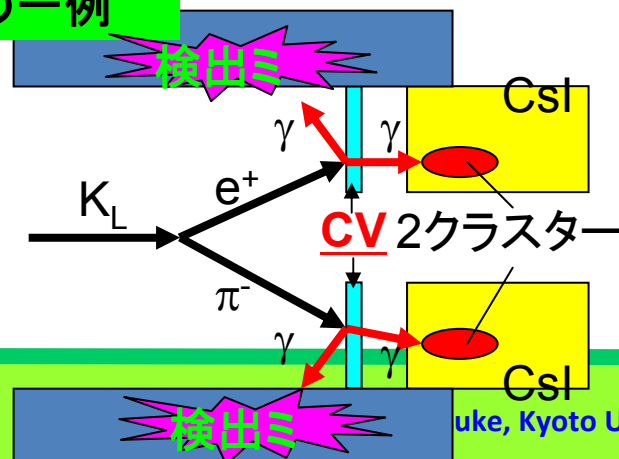
# K<sup>0</sup>TO実験 荷電粒子検出器(CV)



J-PARC K<sup>0</sup>TO experiment

- ◇ CVの役割：荷電を含むK<sub>L</sub>崩壊イベントのveto
    - ◇ 2 charged 崩壊(K<sub>e3</sub>, K<sub>μ3</sub>)を2γと見誤るbackground
    - ◇ K<sub>L</sub> → π<sup>+</sup>π<sup>-</sup>π<sup>0</sup> のπ<sup>+</sup>π<sup>-</sup>を捕らえ損ねることによるbackground
    - ◇ K<sub>L</sub> → π<sup>-</sup>e<sup>+</sup>ν<sub>e</sub> : π<sup>-</sup>の荷電交換反応(π<sup>-</sup>p → π<sup>0</sup>n) と e<sup>+</sup>の対消滅反応(e<sup>+</sup>e<sup>-</sup> → 2γ)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<sub>L</sub> → π<sup>-</sup>e<sup>+</sup>ν<sub>e</sub>による  
バックグラウンドの一例

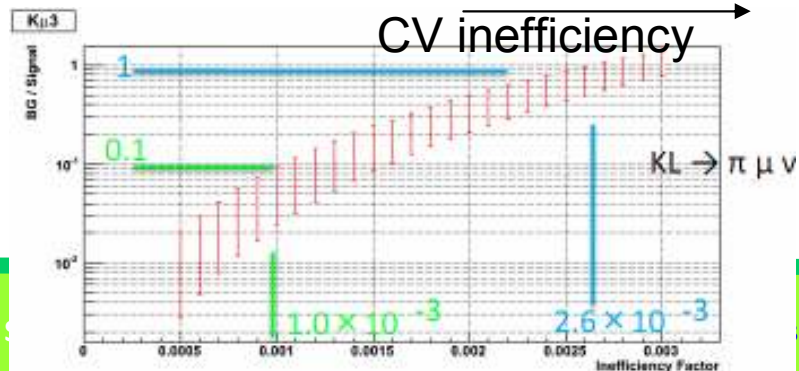
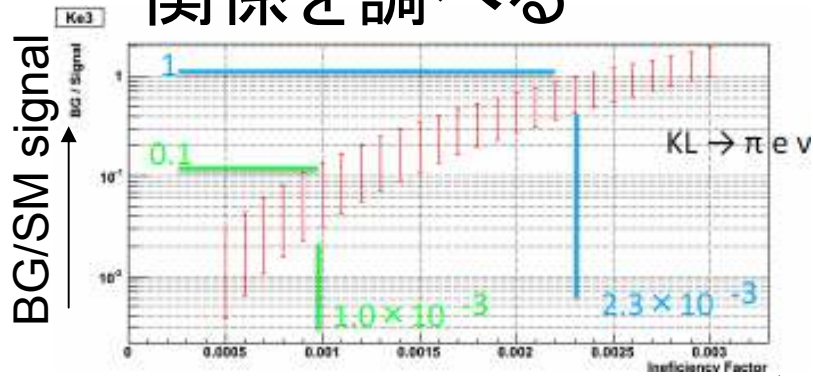
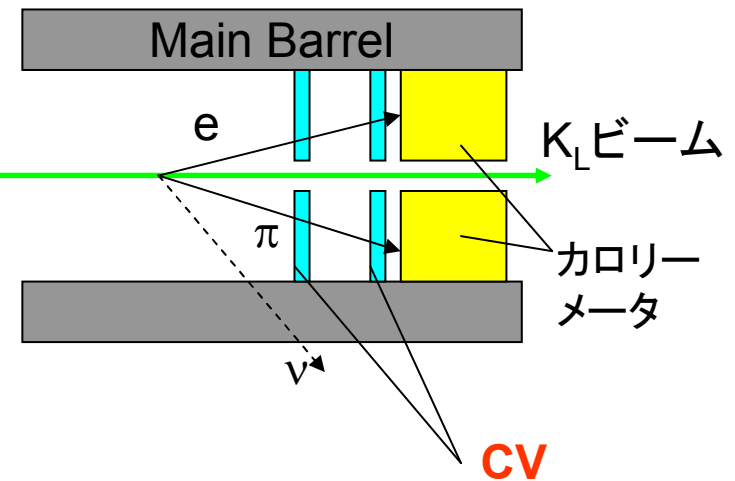




# つきぬけ粒子に対するinefficiencyの要求

◇  $K_{e3}(K_L \rightarrow \pi e \nu)$ ,  $K_{\mu 3}(K_L \rightarrow \pi \mu \nu)$  に於ける2つの荷電粒子がCVで検出されず, そのまま $2\gamma$ に見えてしまうような事象を考慮

◇ CVのinefficiencyとBG数の関係を調べる



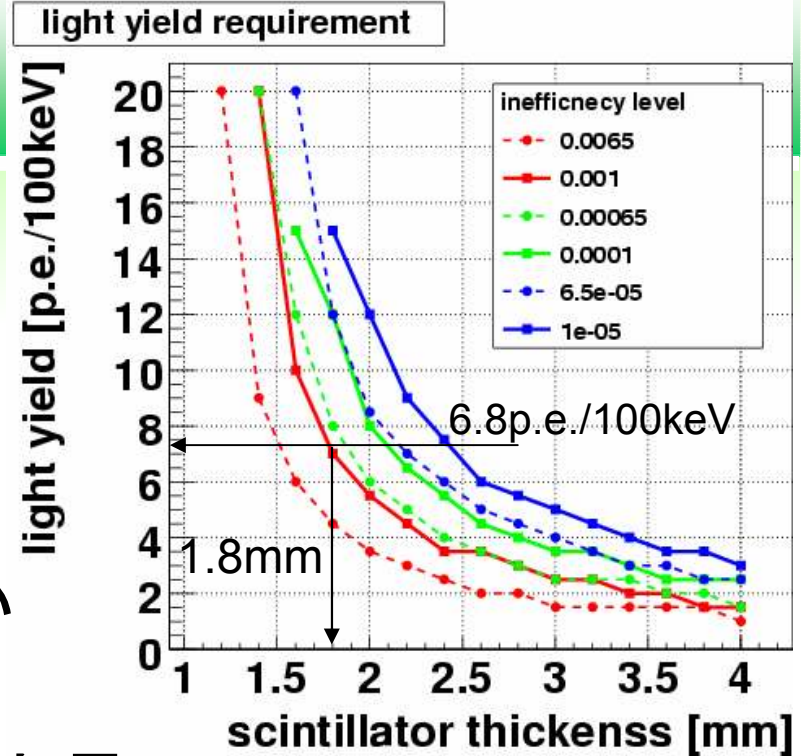
→ inefficiencyを $1.0 \times 10^{-3}$ 以下にしなければならない.



# 必要な厚み・光量の相関

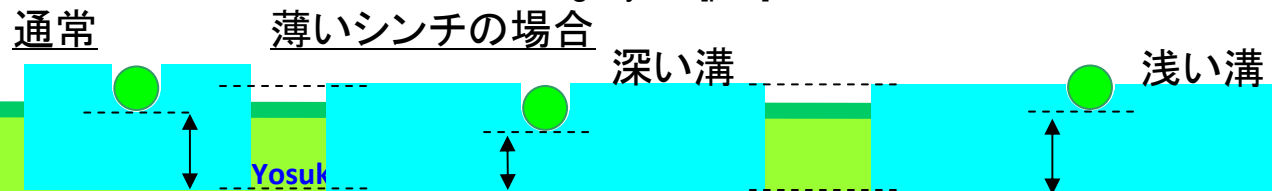
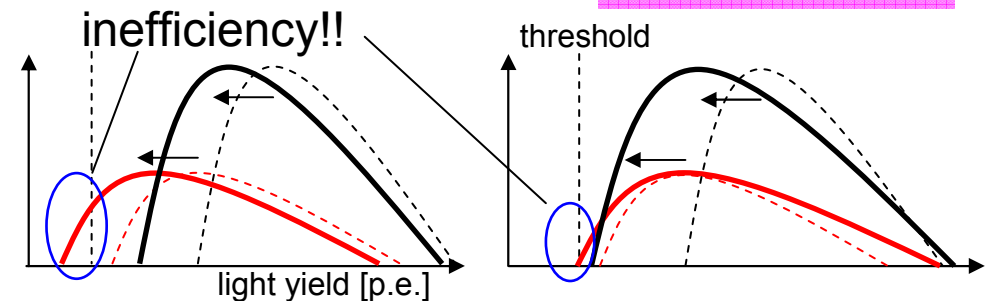
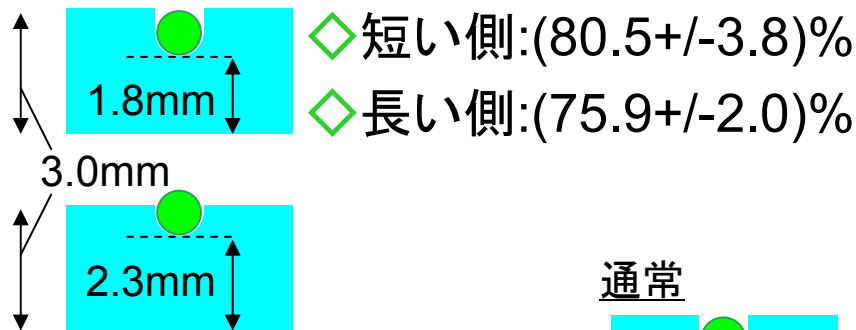
## ◇各色:inefficiency level

- ◇  $10^{-3}$ が要求なので赤実線を見る
- ◇ 溝でない部分のinefficiencyは無視できるほど小さいので、実際は面積比の分、要求は緩い(赤破線でいい)



## ◇ファイバーが飛び出した場合の光量

### ◇光量比の実測値(下/上)



# 厚み測定手順



- ◇ 変位計の出力はオシロを通じて読み出し、DC波形の平均値を採用。
- ◇ 最初はシンチを置かない状態でステージを動かしながら測定。
- ◇ シンチを置いて、 $X=1.5\text{cm}$  地点をステージでスキャン。
- ◇ 各点では名前シールを貼り付け、レーザーが反射しやすいようにする。(右上写真、シンチ無しでも同様)
- ◇  $X=10\text{cm}$ で測定。その後 $20\text{cm}$ ,  $30\text{cm}$ ...とシンチを動かしながら測定。(X方向11点, Y方向7点で計77点/1枚, 約3時間)
- ◇ 2人のうち, 1人がデータ取得を担当(PC, ステージを操作), もう一人がシールを張って試料を押さえつける。

