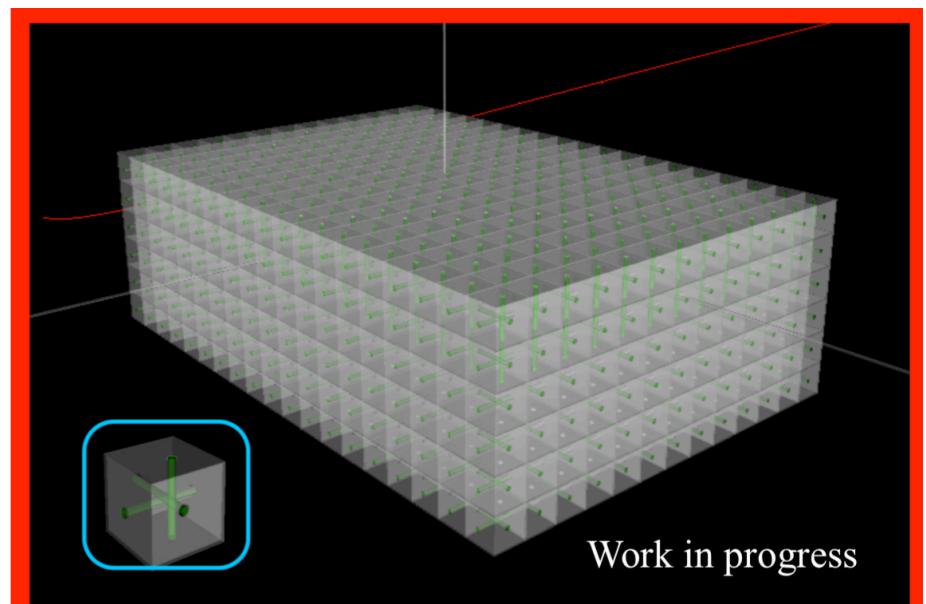
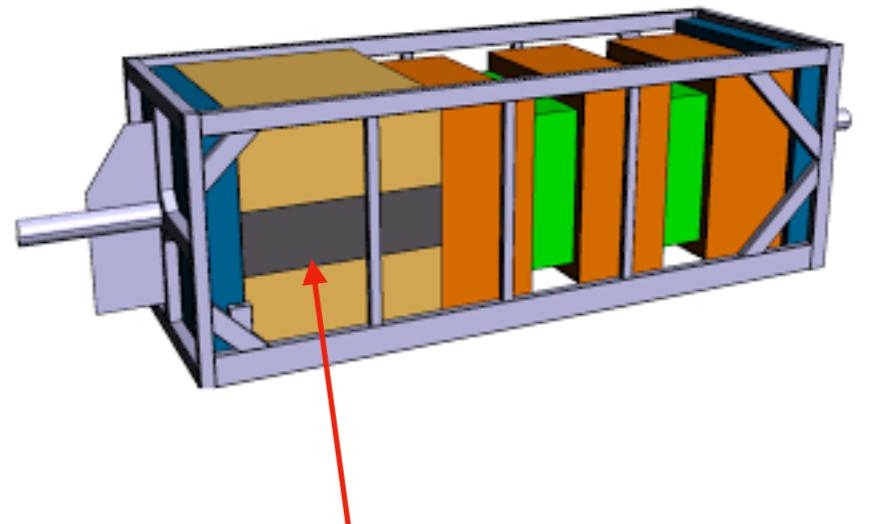


super-FGD に用いる シンチレータキューブの 品質チェック

2019.9.24 京都大学 谷 真央

Super-FGD

- 短い飛跡、大角度散乱粒子に対して良いアクセス
- 体積 $1.8 \times 0.6 \times 2.0 \text{ m}^3$
- $1 \times 1 \times 1 \text{ cm}^3$ のプラスチックシンチレータ・キューブを約200万個使用
- 各キューブに XYZ 方向に波長変換ファイバーを通し、MPPC で光量を測定
- 大量のキューブを 3 次元方向に並べる→事前の品質チェックが重要

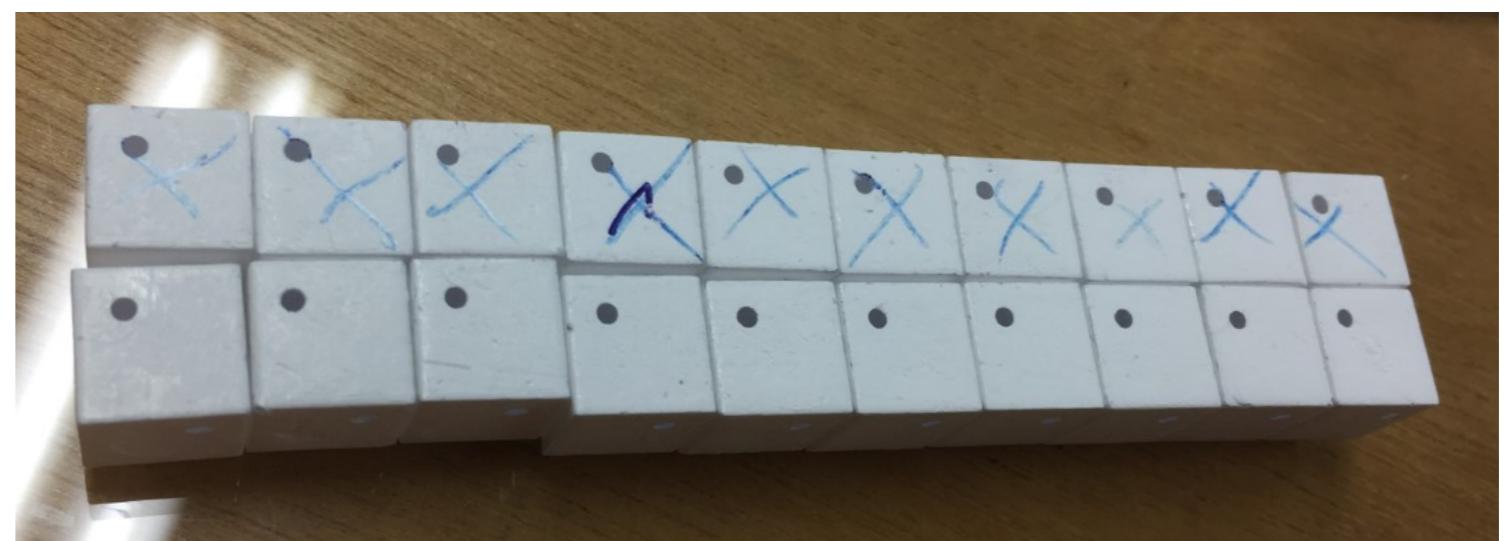


cube quality-check

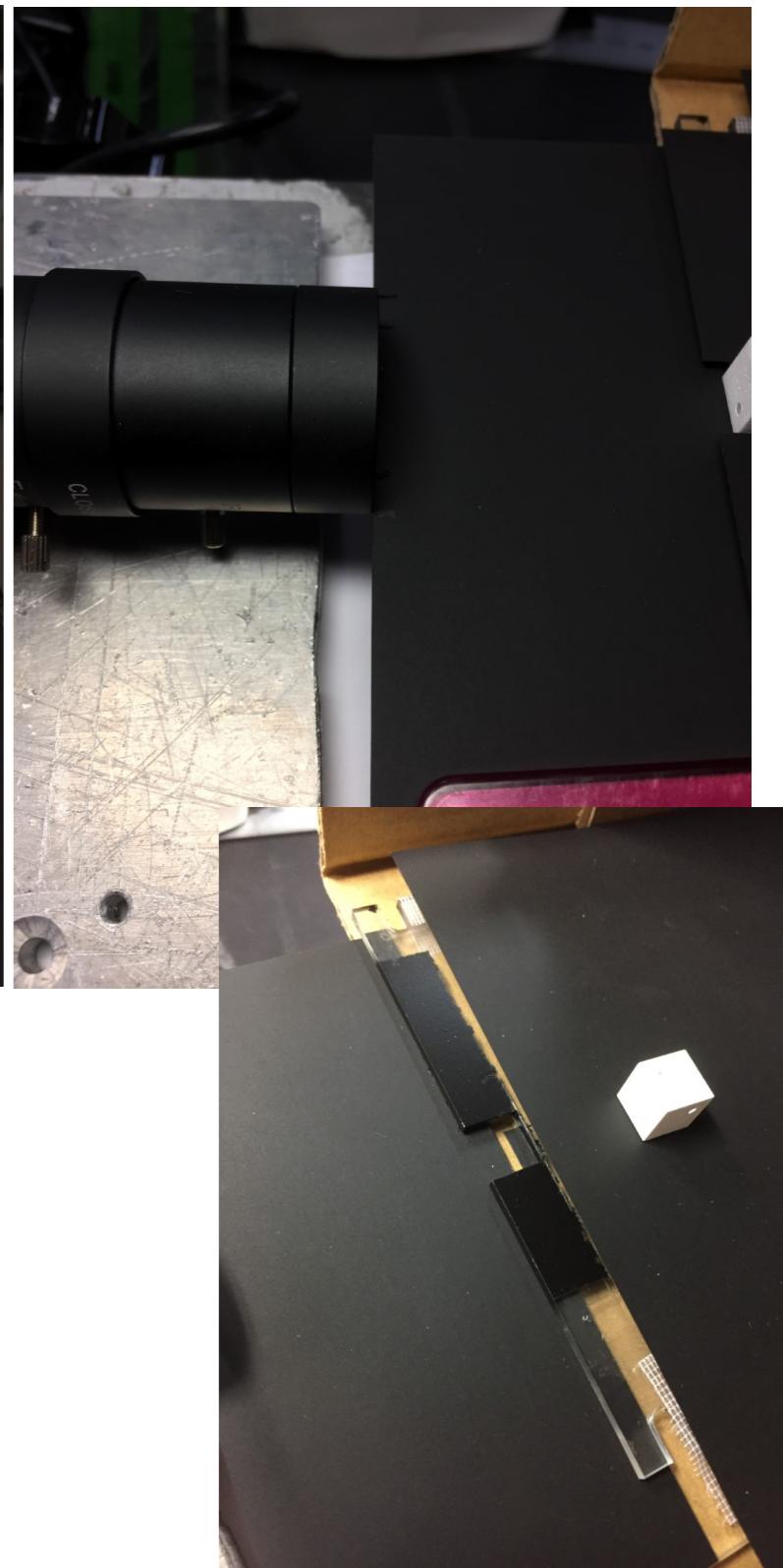
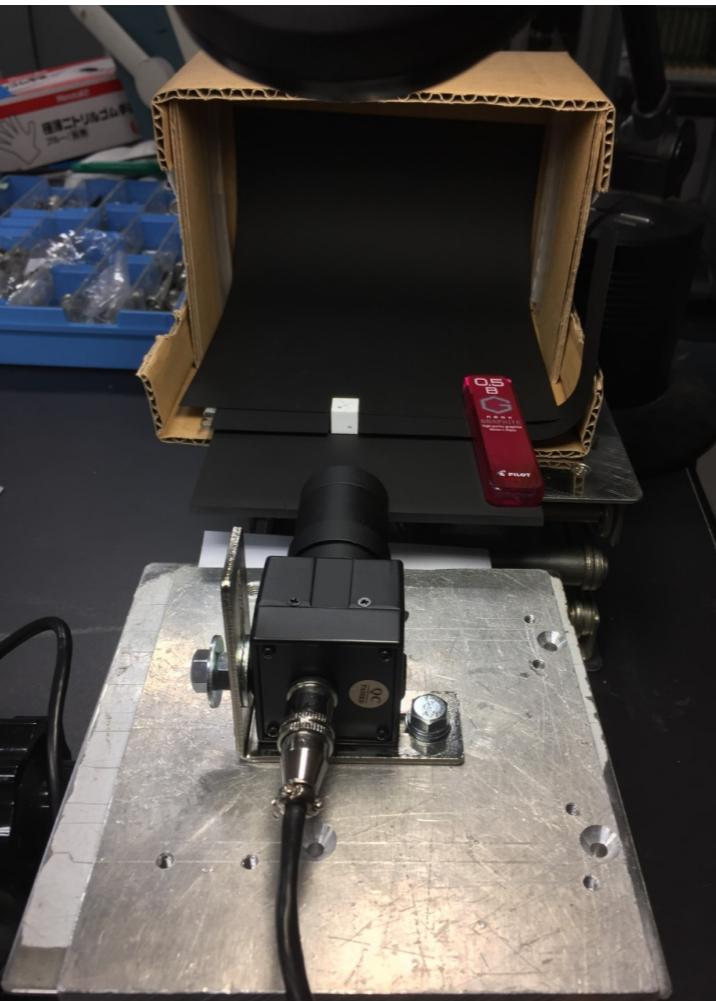
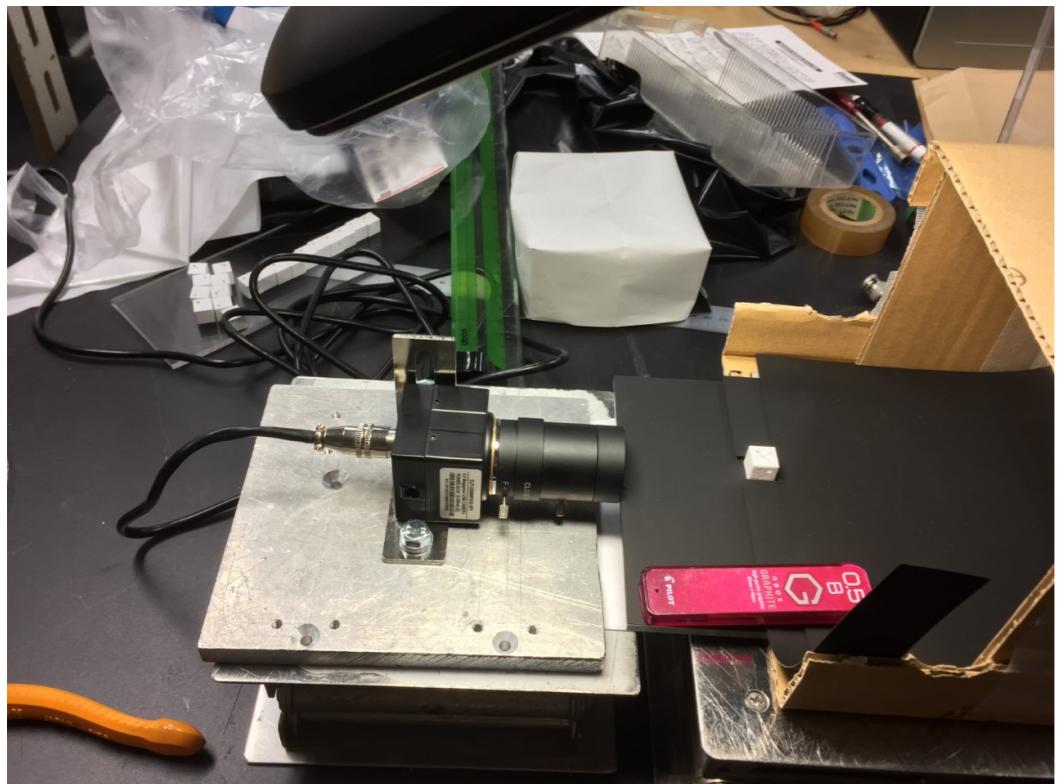
- ロシアの方法（現行）
- 14×14 個のキューブを正方形に並べ、金属の棒を通す
- 金属棒が上手く通らないところがあれば、そこに bad-cube があると判断
(例：キューブが大き過ぎて隣のキューブと干渉する、穴の位置・方向等が微妙にズれている等)
- 欠点：時間がかかる、定量的な bad-cube の判断が難しい、個人差が出る

cube quality-check

- ・我々の提案：画像解析を用いたキューブチェック
- ・カメラでキューブを撮影→解析→キューブの良し悪しの判断（これらをロボットを用いて行う）
- ・判定方法の詳細についてはまだ摸索段階 ← **僕の仕事**



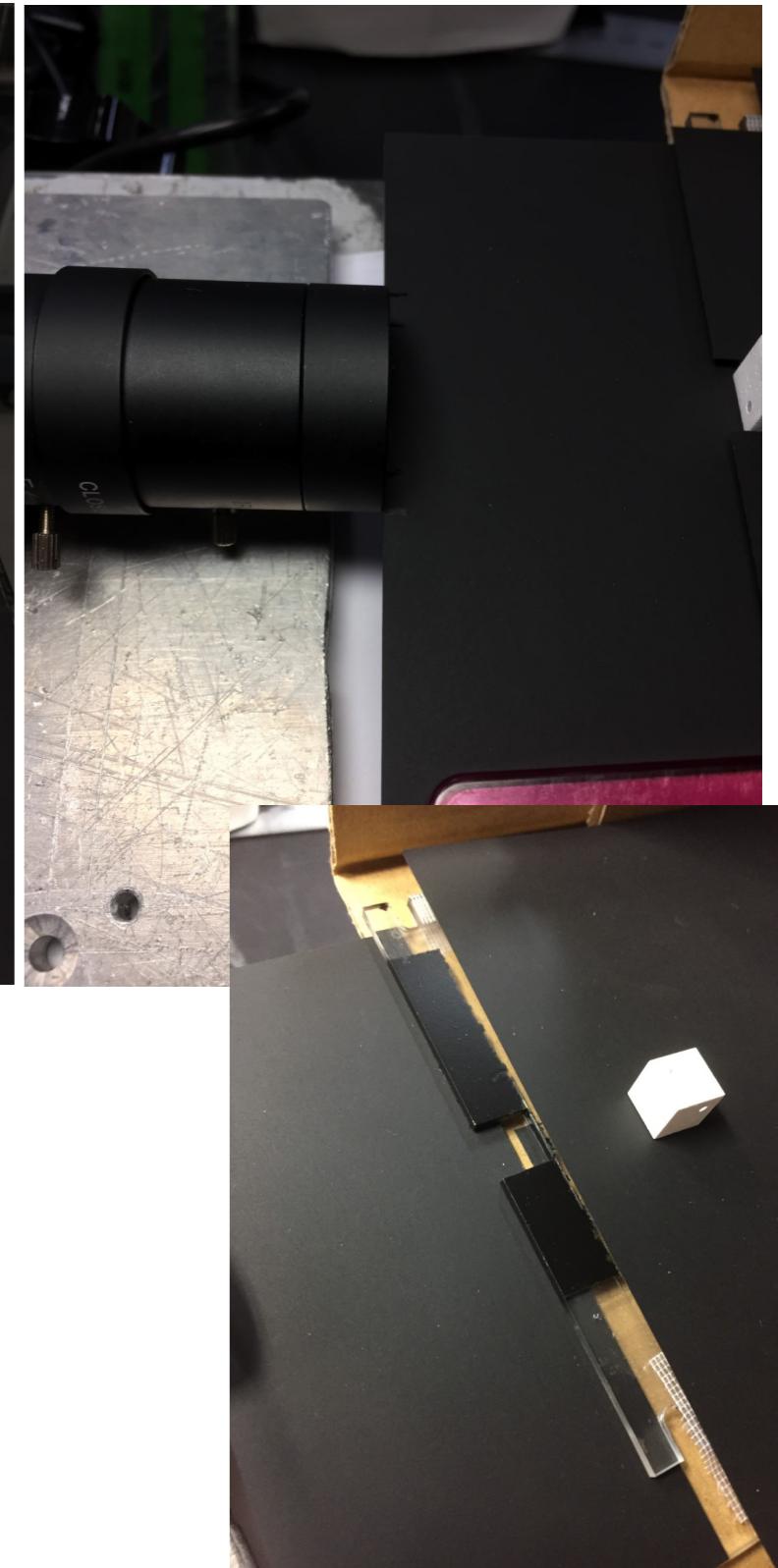
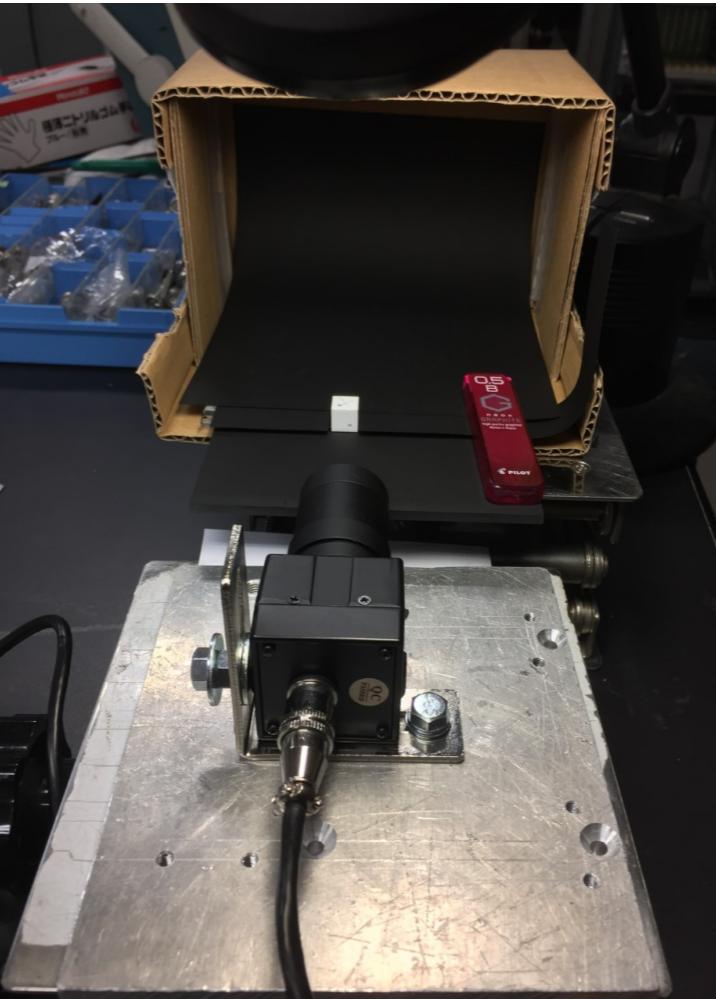
キューブの撮影テスト



要求：

- 再現性のある撮影台
- レンズ-キューブ間の精密な位置調整
- 黒背景：キューブの輪郭を検出

テスト用撮影台



カメラ：

ジャッキの上にアルミ板を置き、その上にL字金具で固定

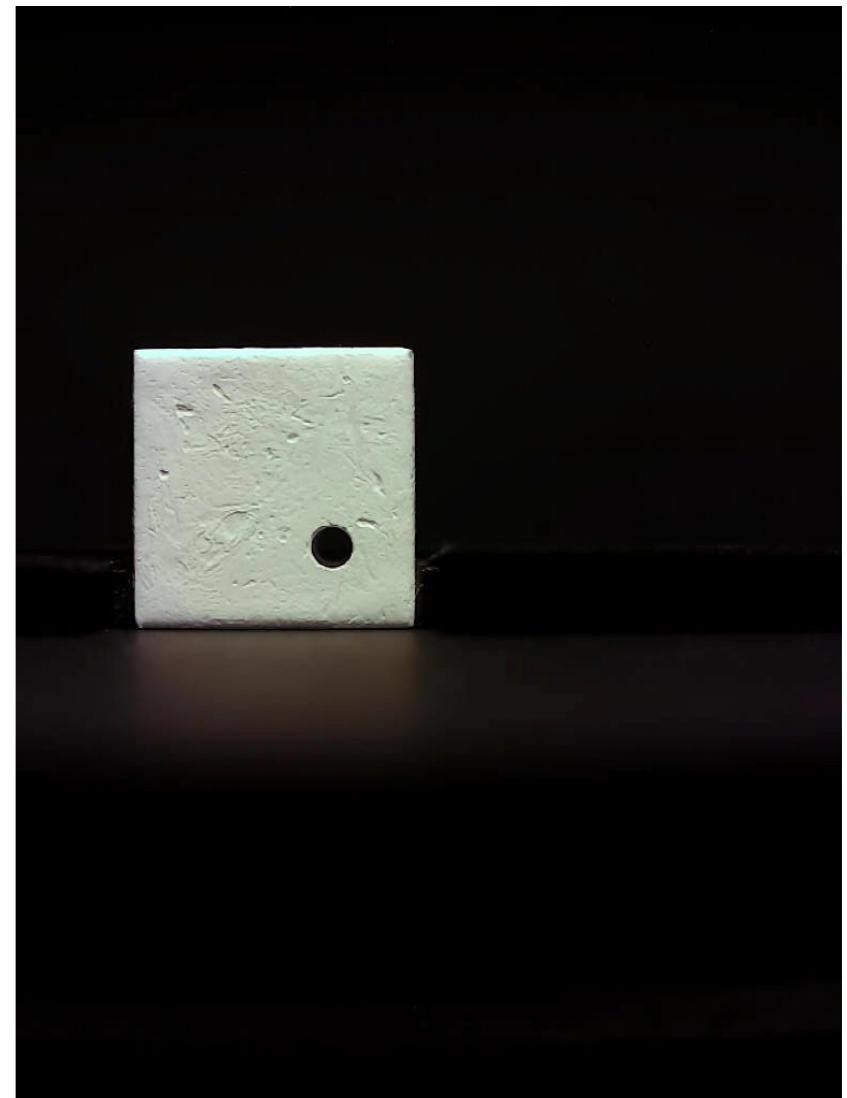
キューブ：

黒画用紙を貼ったアクリル板の上に置く。位置は右図のようなfixされたガイドで決定

撮影時は部屋の照明off、スタンドの光がキューブにうまく当たるようにセット。

再現性の確認

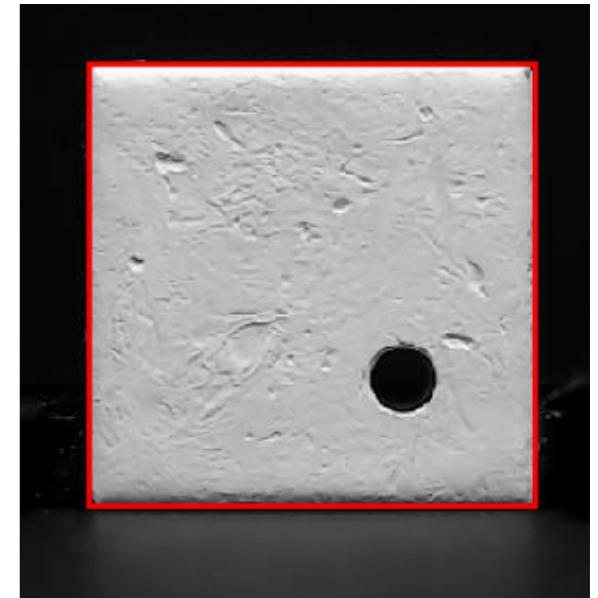
- 穴の位置がレンズの正面に来るよう
カメラの位置を調整
- レンズとキューブの正面の距離を
50mm とって、ズームとピントを調
整（固定）
- 撮影できる環境が整ったら、図の
キューブの図の面を100回撮影



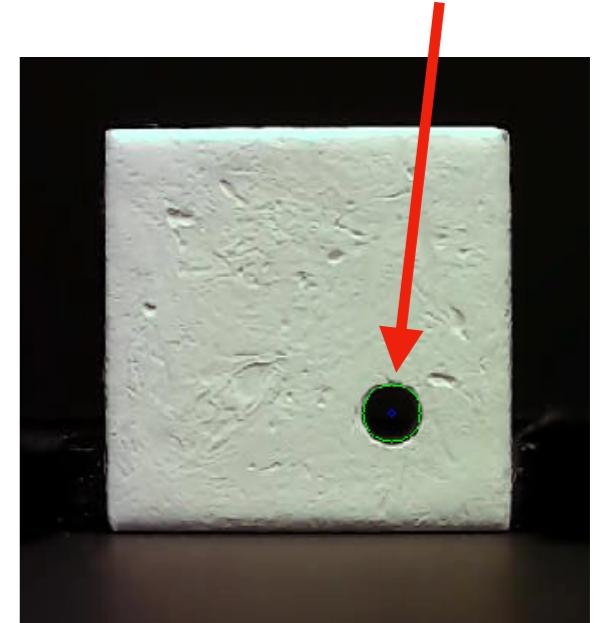
撮影

- mac 上、openCV + python3 で処理
- 小川さんのコードを改変、
 - 輪郭を検出、キューブの各辺のもっとも出っ張ったところを通るような長方形のサイズ
 - 長方形内部のピクセルの、明るさのヒストグラム
 - 穴の中心 (x,y) を検出、近い2辺からの距離
 - 穴の内部のピクセルの、明るさのヒストグラムを出力。

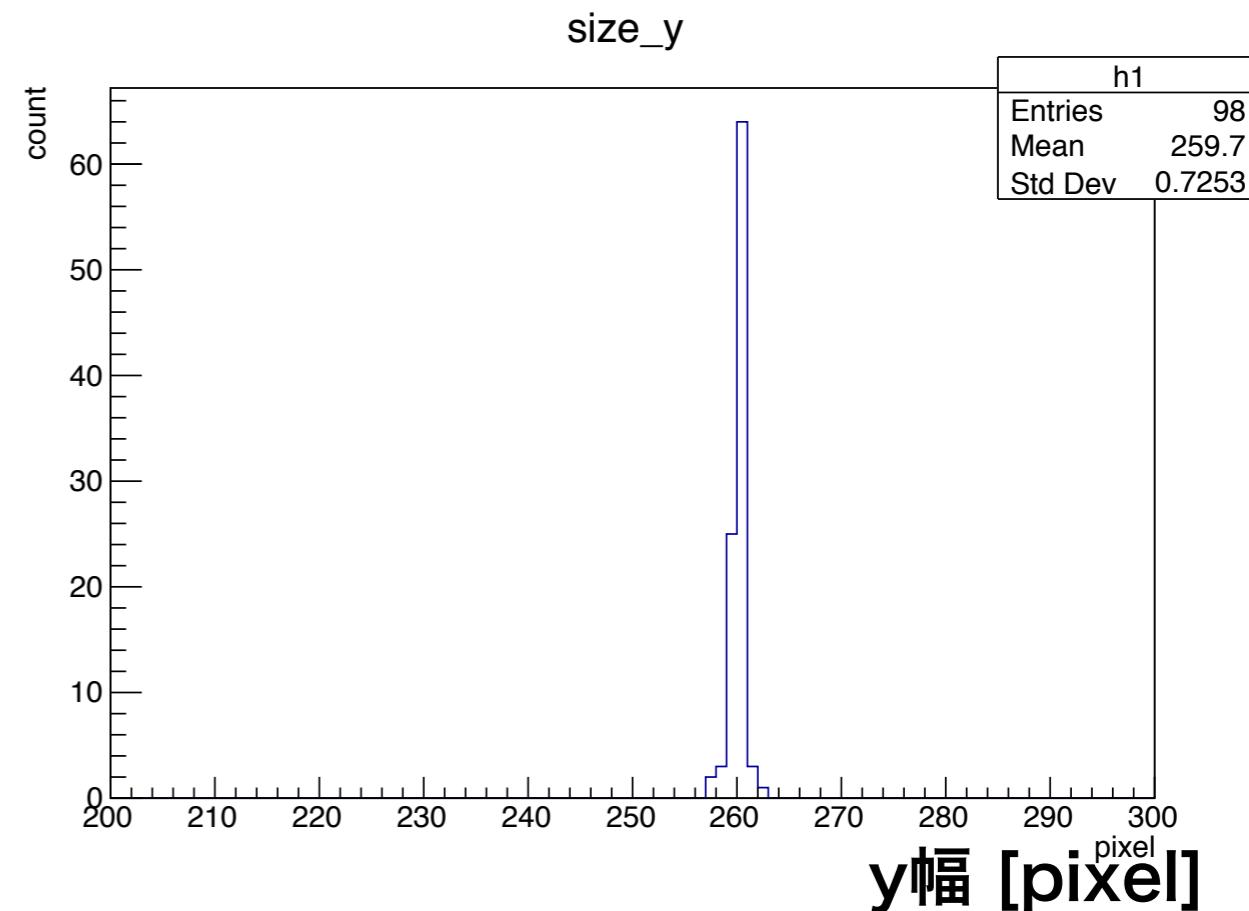
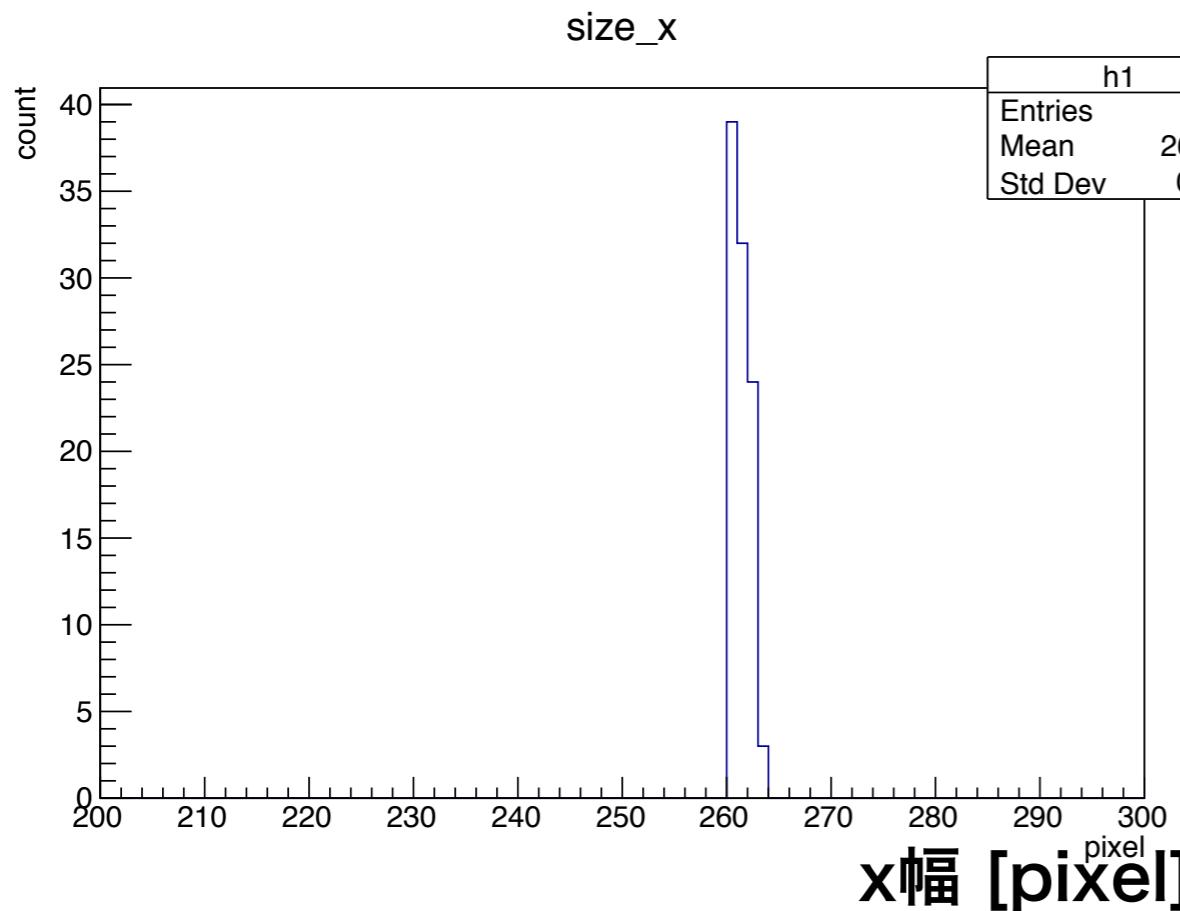
キューブサイズの出力



穴の位置を検出（緑色の円）



再現性の確認



ガウシアンフィットの結果 (単位はピクセル数)

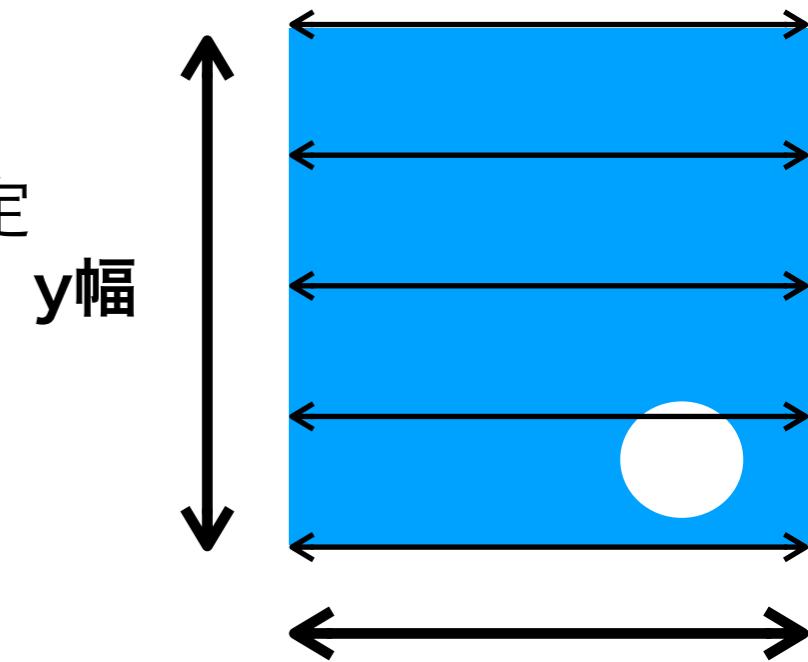
x幅 : mean 260.96 +/- 0.31
sigma 1.19 +/- 0.19

y幅 : mean 260.02 +/- 0.05
sigma 0.51 +/- 0.04

1ピクセル程度のばらつき → 十分再現性が取れないと判断

キャリブレーション

- マイクロメータを用いて、撮影した面の大きさを測定
- x幅、y幅それぞれ五ヶ所で5回ずつ測定
- 5回の平均をそこの幅とし、五ヶ所の中で最も大きい値をキューブの幅とする



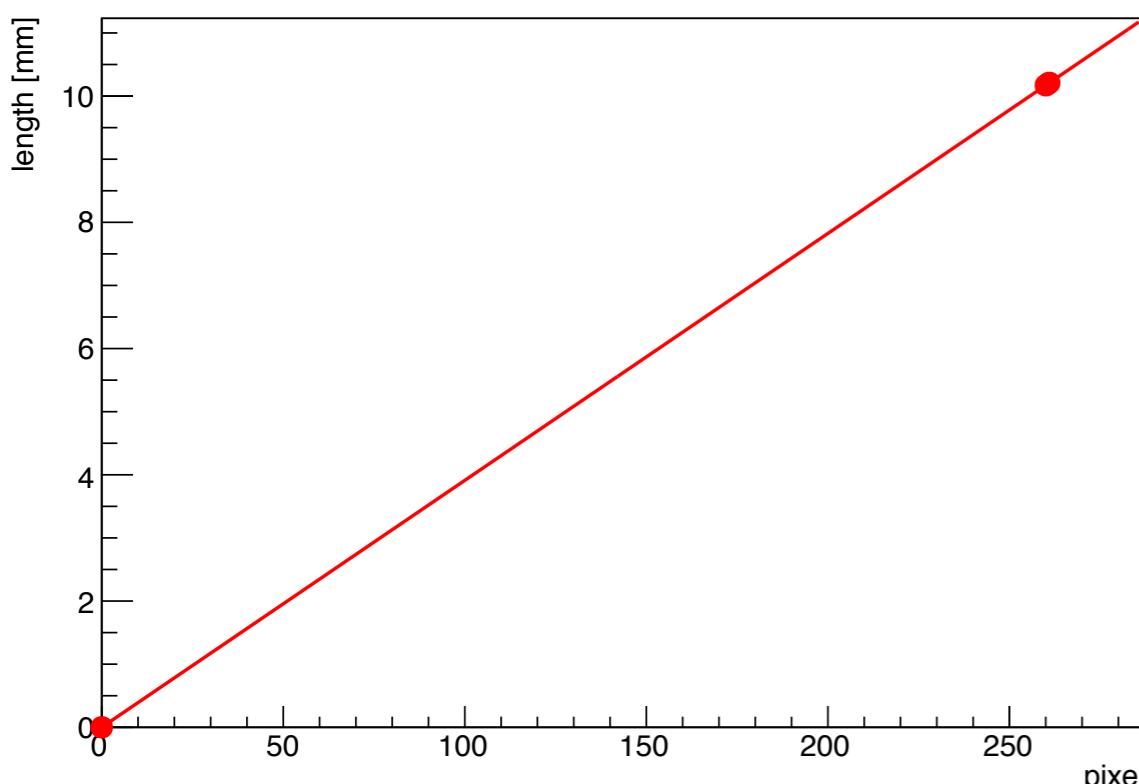
測定結果：

x幅 10.21 mm
y幅 10.17 mm

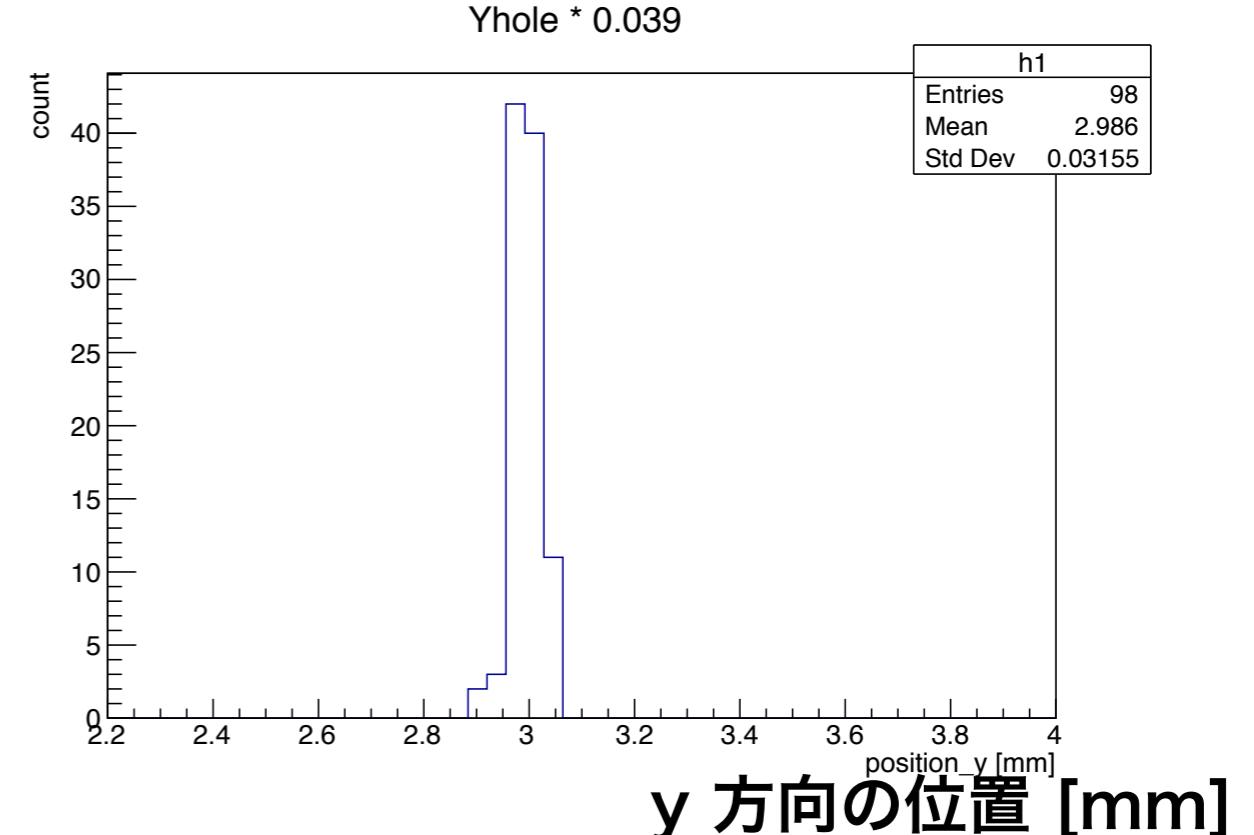
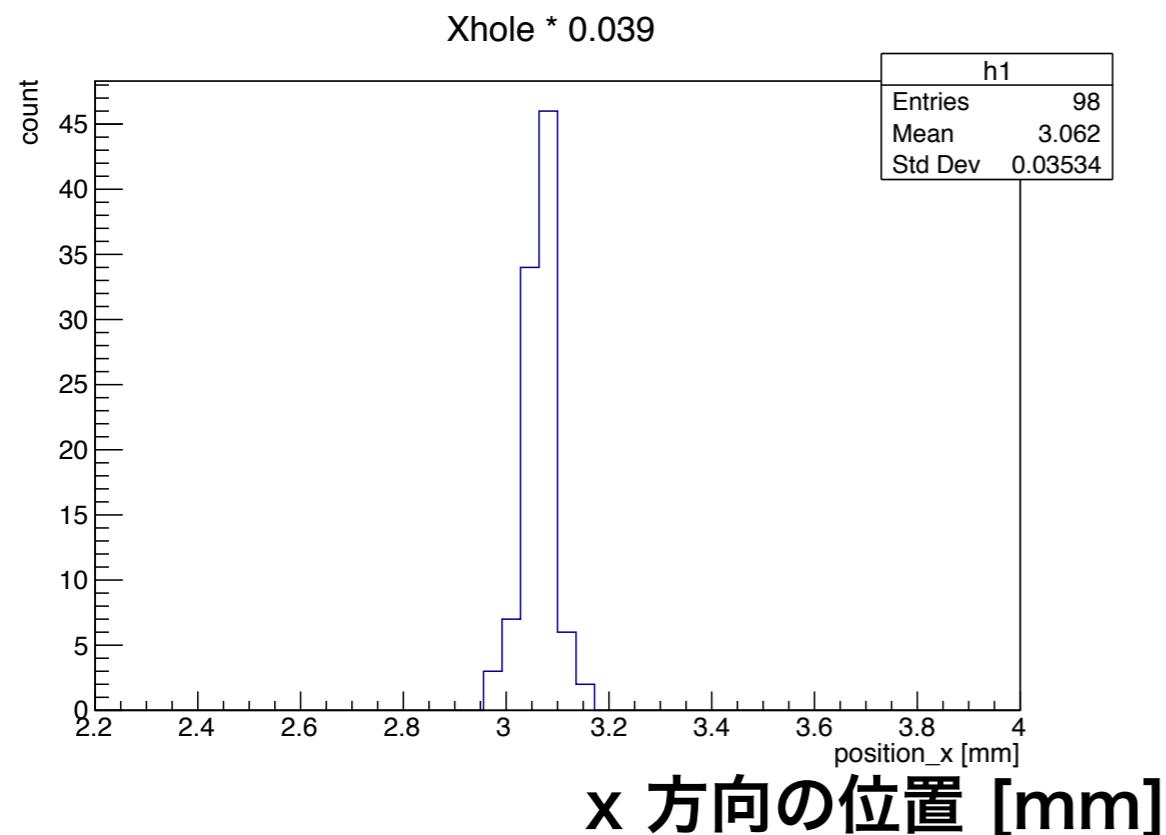
フィット結果：

$p_0 = -5.83e-06 +/- 0.002$
 $p_1 = 0.0391 +/- 1.07e-05$

$\rightarrow 1 \text{ pixel} = 0.039 \text{ mm}$ と対応



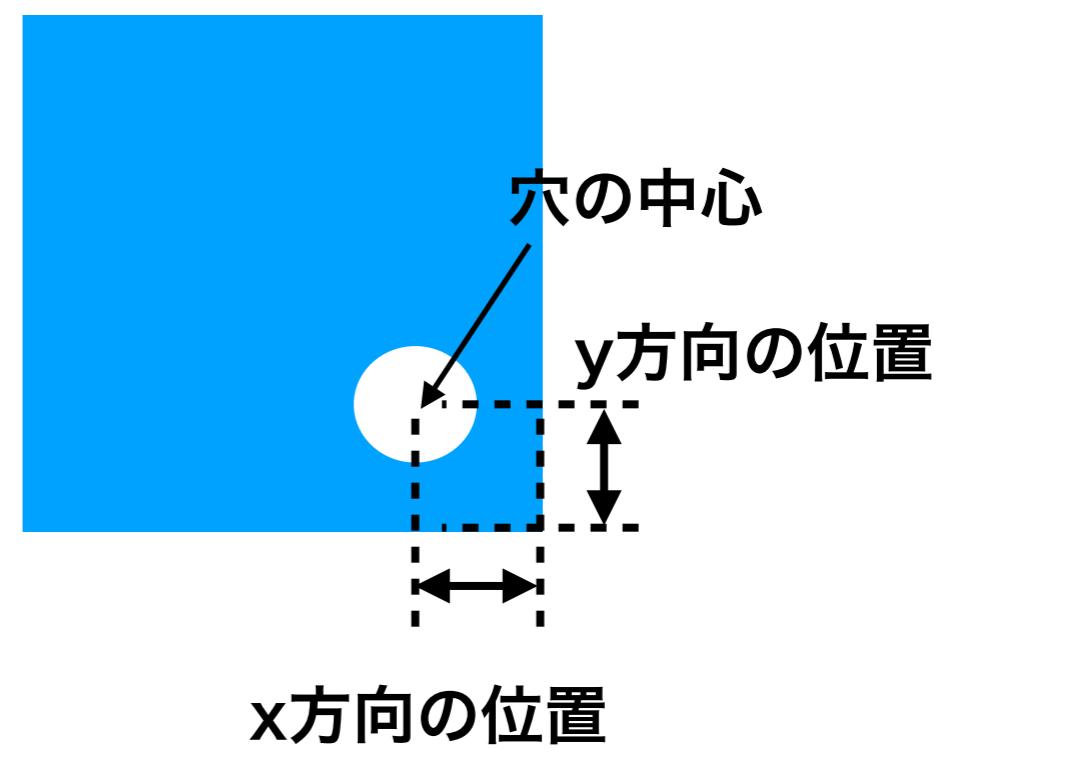
穴の位置の確認



ガウシアンフィットの結果 (単位は mm)

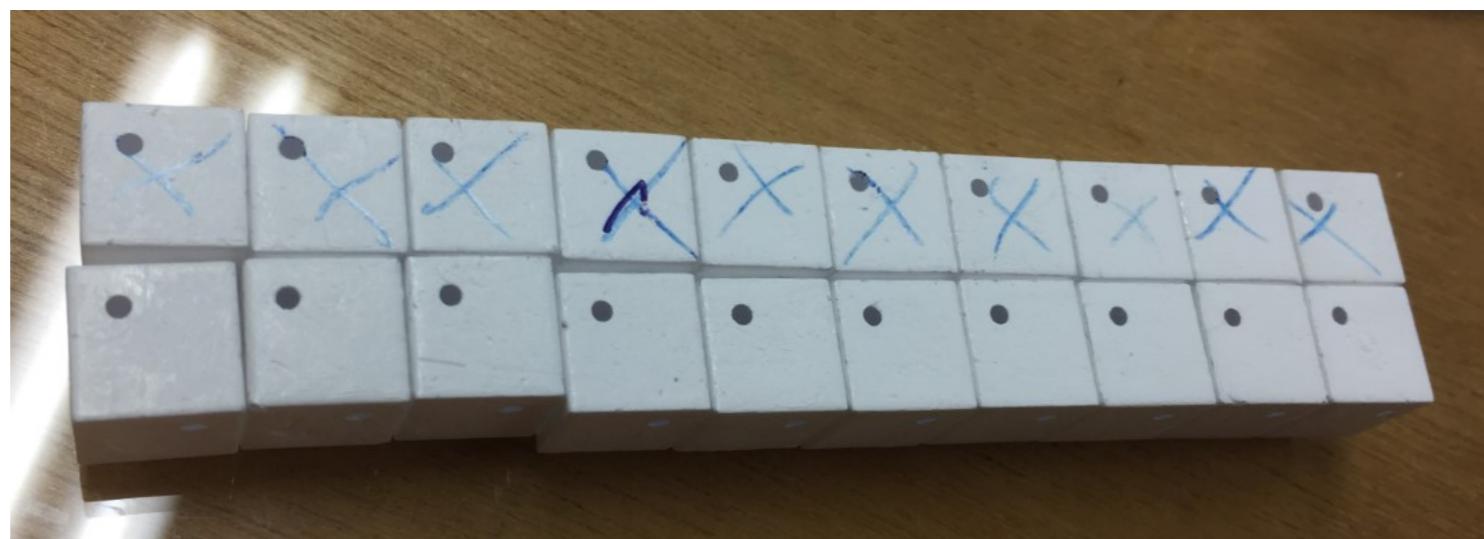
x位置 : mean 3.06 +/- 0.003
sigma 0.027 +/- 0.003

y位置 : mean 2.99 +/- 0.003
sigma 0.026 +/- 0.002

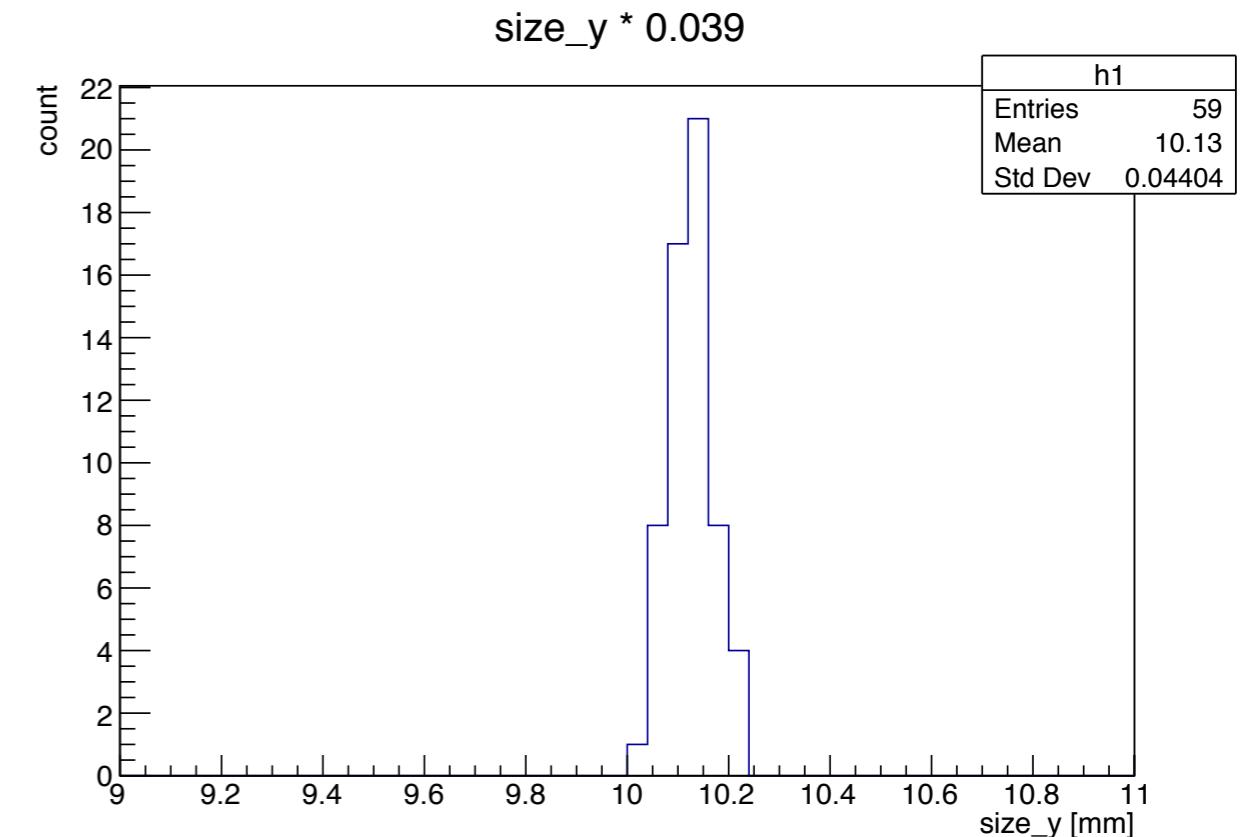
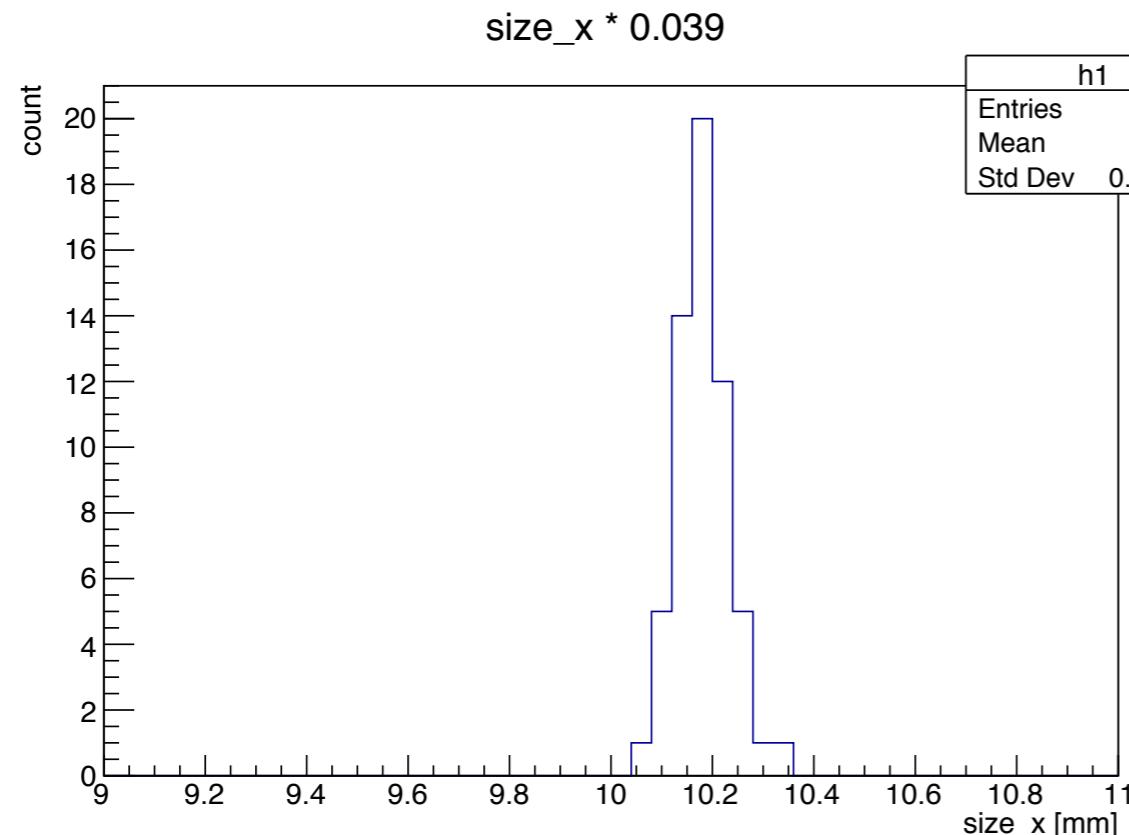


よいキューブの撮影

- ・ 各よいキューブ10個の6面を同じ条件で撮影
- ・ 穴の位置は右下で固定、計60サンプルを解析
- ・ キューブのサイズ（x幅、y幅）、穴の位置、半径についてヒストグラムを作成



よいキューブのサイズ分布

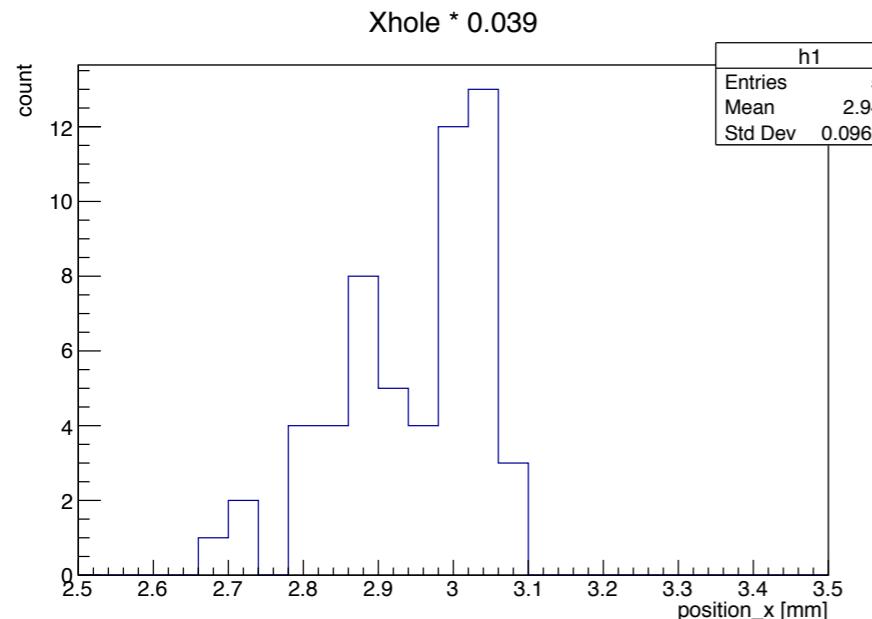


ガウシアンフィットの結果 (単位は mm)

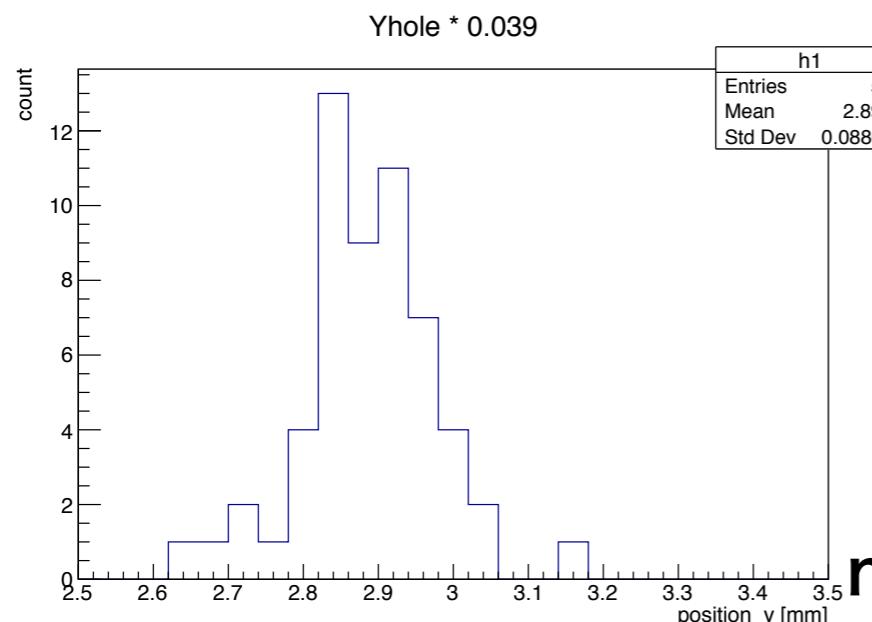
x幅 : mean 10.18 +/- 0.007
sigma 0.049 +/- 0.005

y幅 : mean 10.12 +/- 0.007
sigma 0.048 +/- 0.008

よいキューブの穴について



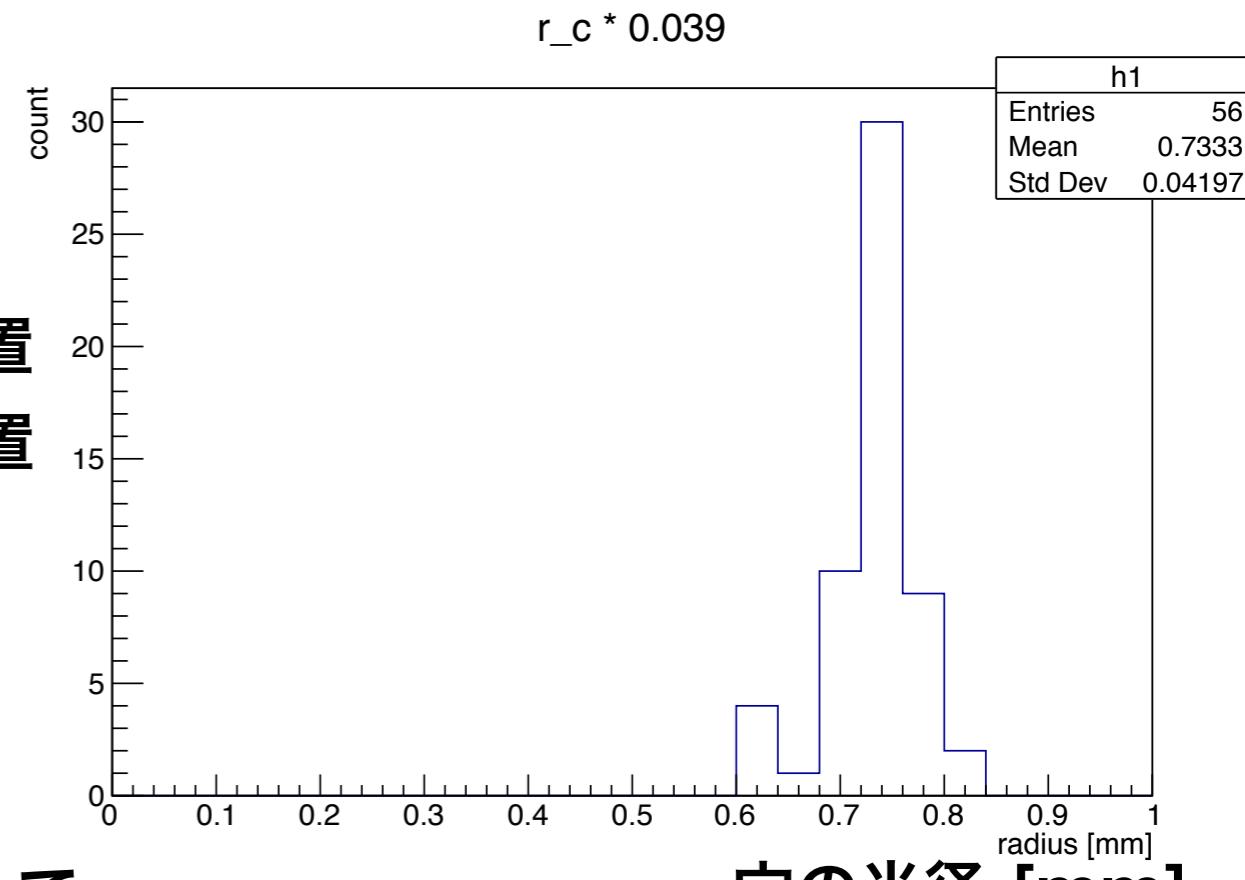
左上：穴のx位置
左下：穴のy位置



y位置に関して、
フィット結果 (単位 mm)
mean : 2.898 +/- 0.011
sigma : 0.072 +/- 0.010

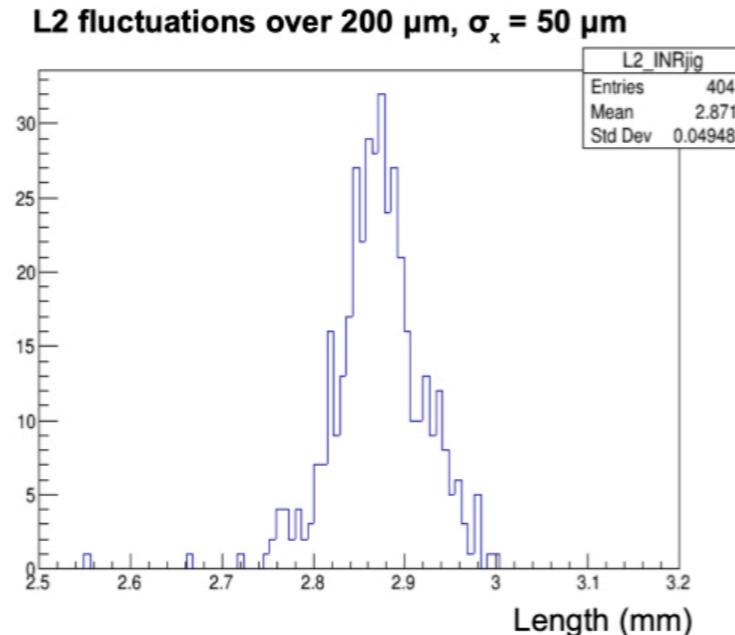
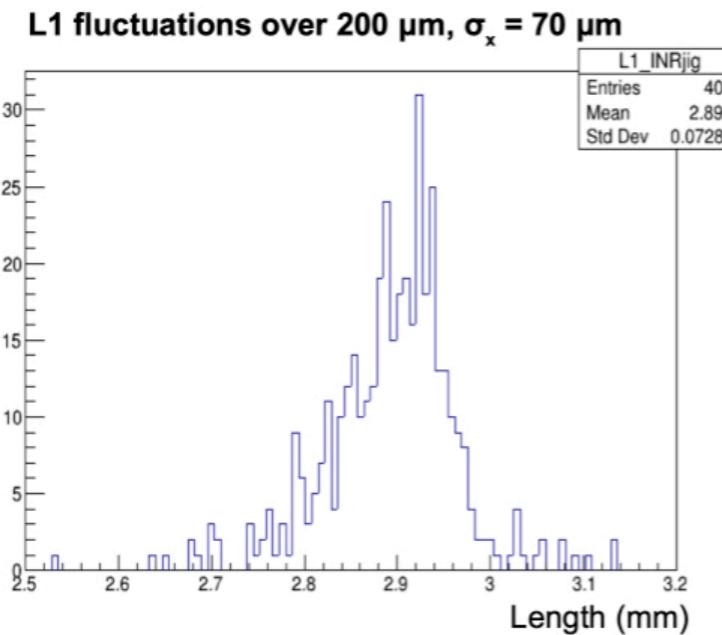
穴の中心位置は 3 mm より小さく出てしまう

穴の半径についてのヒストグラム



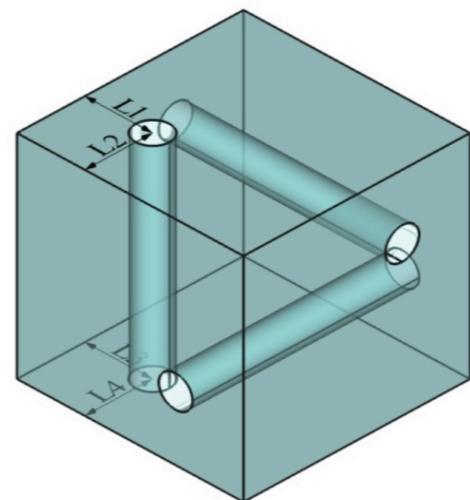
穴の半径 [mm]
フィット結果 (単位 mm)
mean : 7.386 +/- 0.004
sigma : 0.027 +/- 0.004
設計値 : 半径7.5 mm (直径15 mm)

キューブの穴の位置について



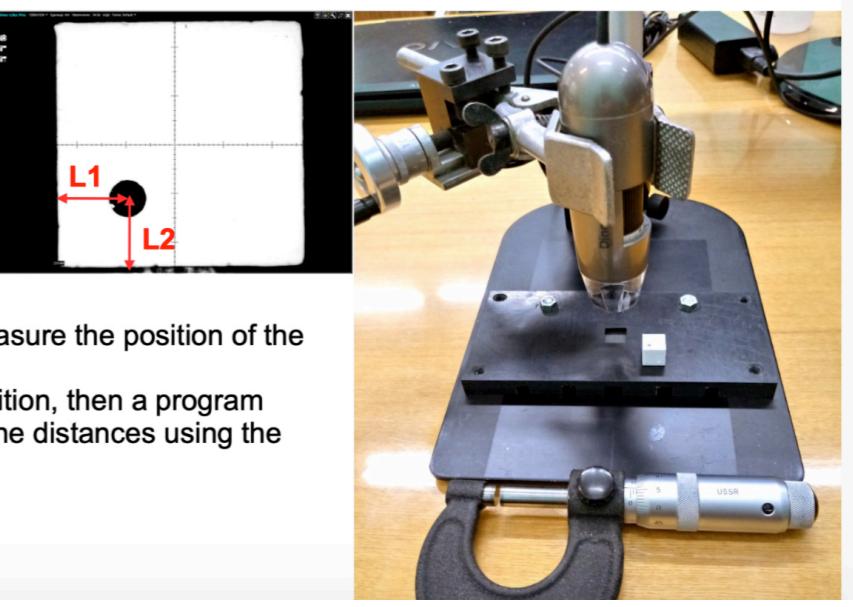
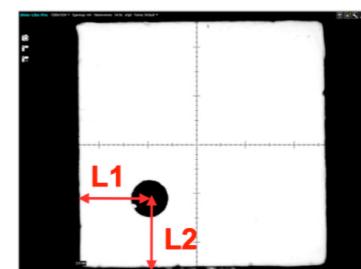
3 mm より小さい値に分布が広がっている

左：穴のx位置、右：穴のy位置



L1 and L2 - distances at drill entrance side
L3 and L4 – distances at drill exit side.

We have measured all 4 parameters for a set of cubes.



Digital microscope was used to measure the position of the holes relative to two cube sides.
Cubes are installed into a fixed position, then a program finds a hole center and calculates the distances using the image of the cube.

Production of the cubes for SuperFGD and assembling the detector

Oleg Mineev

(INR RAS, Moscow), Feb.

(ロシアのキューブに関するスライドより)

まとめ・今後の方針

- super-FGD に用いるシンチレータキューブの品質チェック
- 画像解析のための再現性のある撮影台の製作を行った
- 撮影台を用いて、よいキューブの撮影・解析を行った
- 今後、悪いキューブの撮影・解析を行う
- それと並行して、レンズ-キューブ間距離の最適化・口ボットに実装した際に生じる問題点の検証等を行う

スカラロボット

- ・ 実際の運転ではロボットを用いてキューブの撮影・解析を行う。
- ・ 現在、（株）東京技研と相談中。
- ・ vstone 社のアカデミック・スカラロボットを購入・試運転してみた:
[https://www.dropbox.com/s/45la0jx72sbfnpo/
iOS%20%E3%81%AE%E3%83%95%E3%82%A1%E3%82%A4%E3%83%AB.MOV?dl=0](https://www.dropbox.com/s/45la0jx72sbfnpo/iOS%20%E3%81%AE%E3%83%95%E3%82%A1%E3%82%A4%E3%83%AB.MOV?dl=0)

