

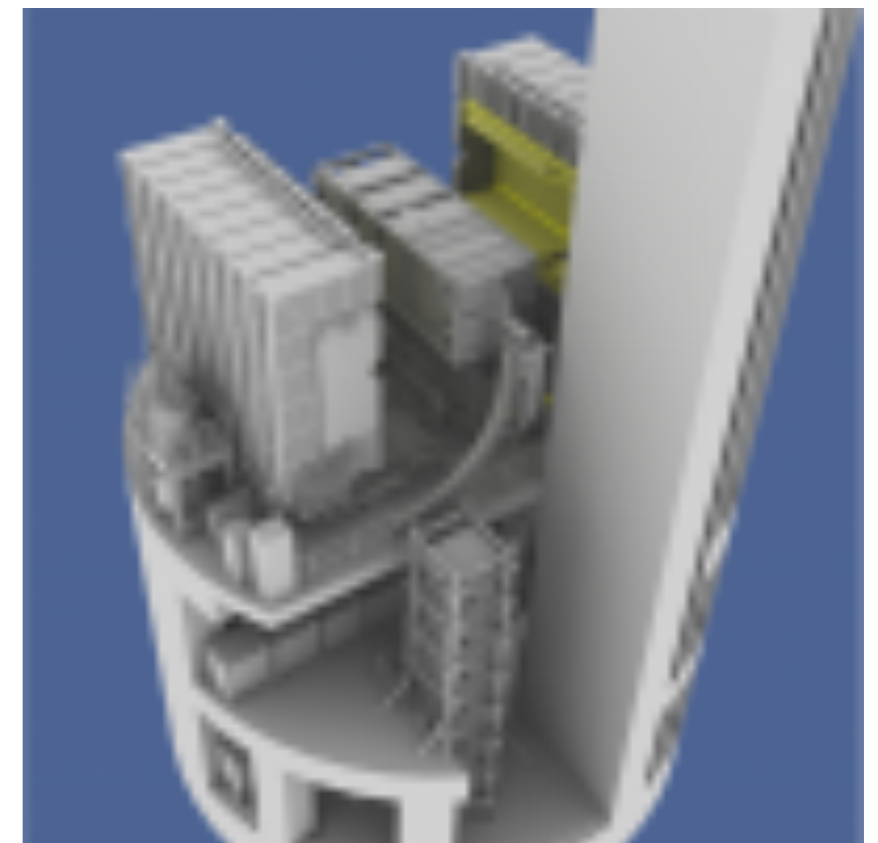
T2K実験におけるND 280upgradeのための cube型 plastic scintillator の性能評価

京都大学 M1 栗林 宗一郎

T2K実験について

T2K実験とは？

- J-PARCからの大強度の ν_μ ビームを、295km離れたスーパーカミオカンデで測定する実験
- T2K実験はニュートリノ振動現象を研究していて、CPの破れの位相の測定を目指している
- ニュートリノ反応断面積の不定性が系統誤差の大きな要因
->ニュートリノ反応点周りの理解が必要

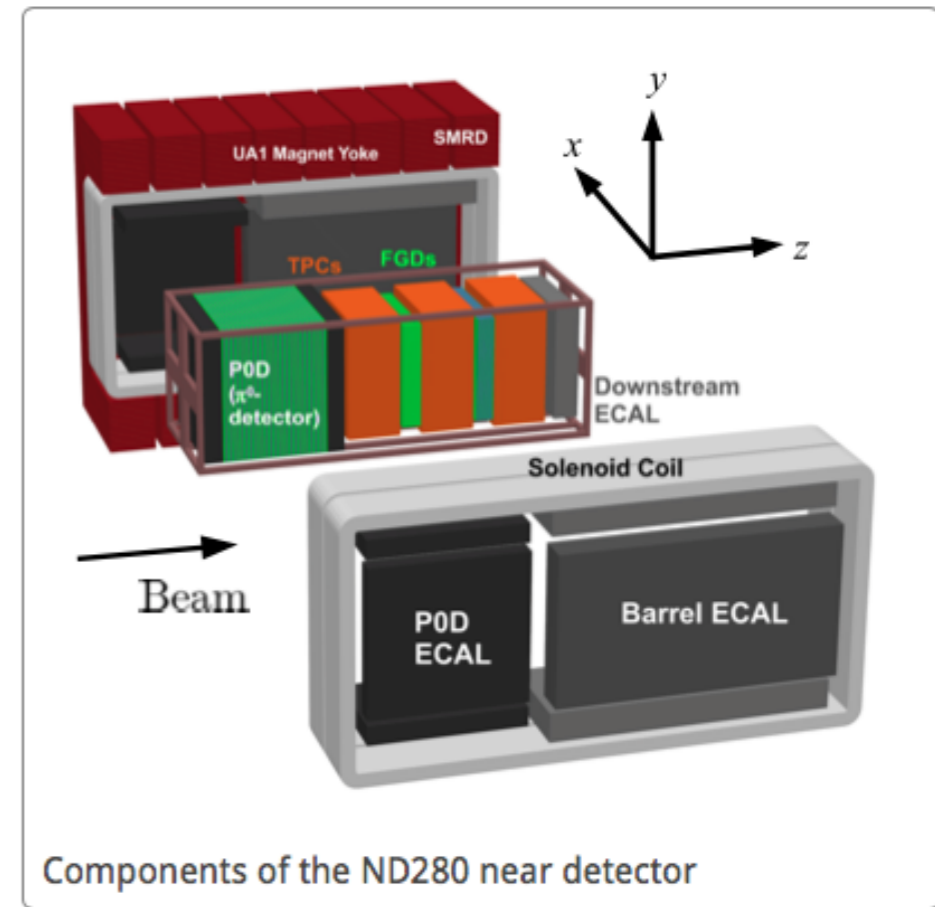


前置検出器群

ND 280とは？

ND280とは？

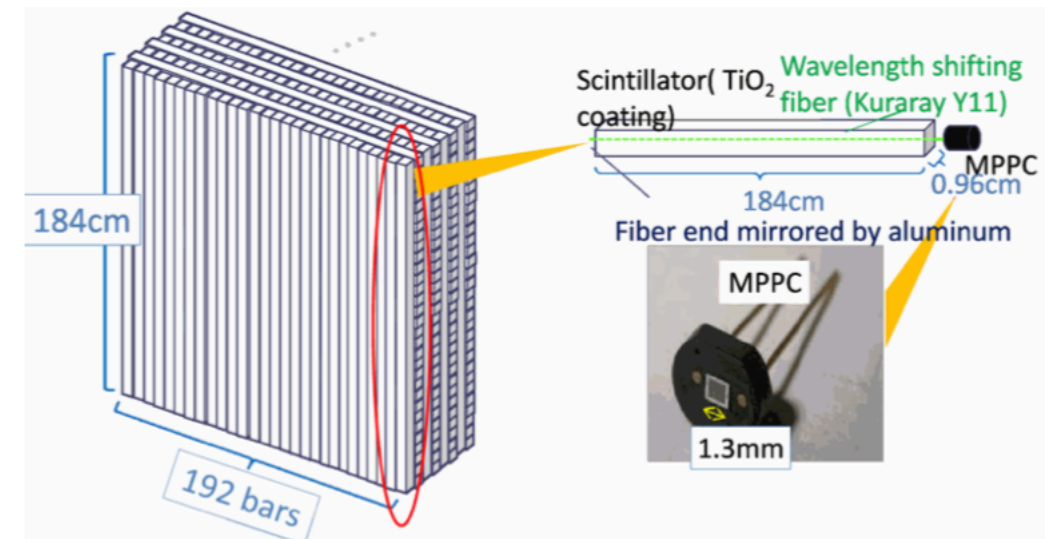
- 前置検出器群のうち的一部分
- 主にFGDとTPCからなる
- ニュートリノ生成標的から280m下流にあり、振動前のニュートリノの断面積とfluxを測るためのoff axis detector (スーパーカミオカンデと同じ方向にある検出器)
->スーパーカミオカンデでの測定の系統誤差を減らす



ND280

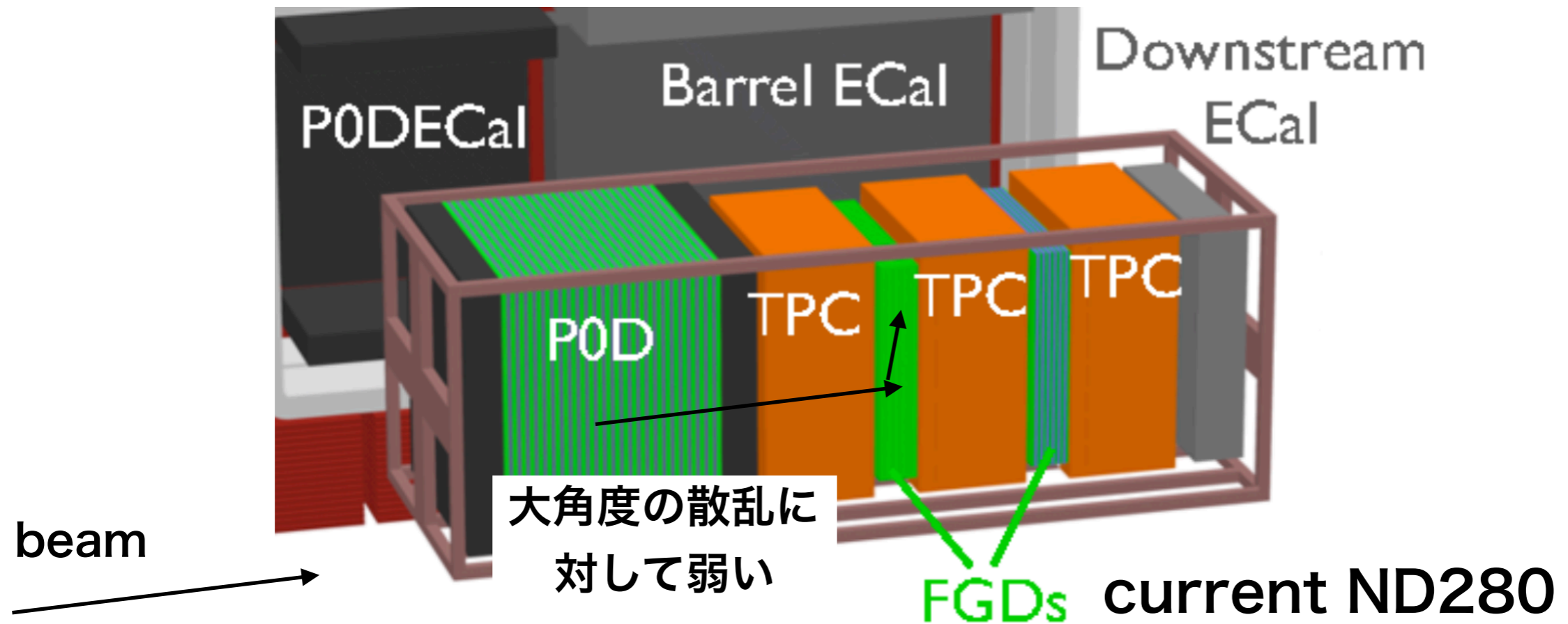
FGDとは？

- ニュートリノ反応点検出器でND280の一部
- 棒状のプラスチックシンチレーターを並べてxとy方向に交互に積層する



FGD

ND280 upgradeとは？



現状のND280には弱点が

- 大角度の散乱に対してlow efficiency (SKでは 4π acceptance)
- ν_e と γ の識別の困難
- 低エネルギーのハドロンに対してlow efficiency

↓
ND280 upgrade

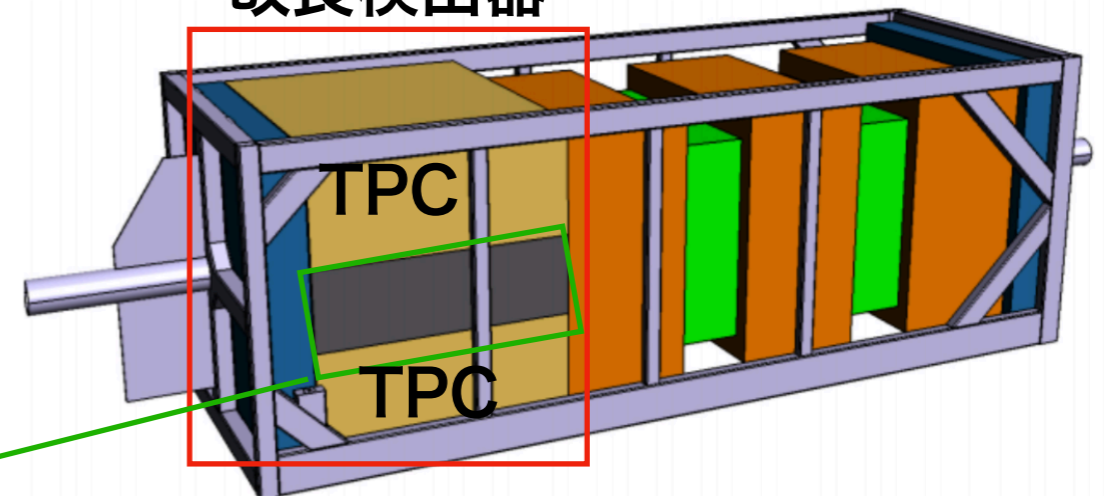
super-FGD

- ニュートリノ反応点検出器
- 2,064,384(192×192×52)個のplastic scintillator cube からなり、3方向から波長変換ファイバーで読み出し、MPPPCで光検出をする

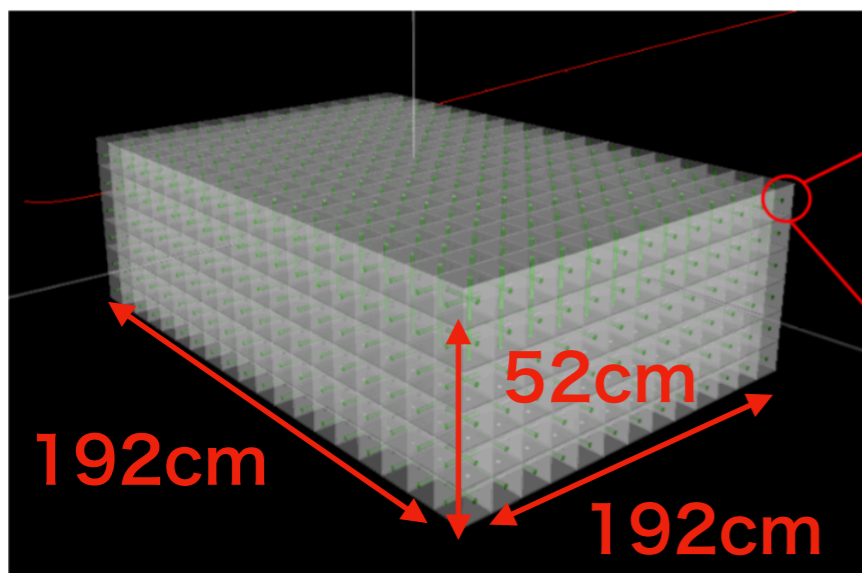
- 特徴

- 4π acceptance
- high granularity、高精度track
- large mass(現行のFGDに比べて)

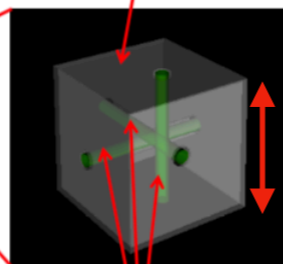
ND280 upgradeでの改良検出器



super-FGD



Scintillator cube



1 cm

WLS fibers

今回の発表内容は、1つのcube内での光量の一様性について

本実験の目的（特に今回の発表に関連するもの）

- super-FGDの性能を理解する上で、キューブ内での光量の一様性の理解は非常に重要
- cube内の光量の一様性、入射粒子の入射角度や入射位置によるcubeの応答を調べることは将来的に正確にPIDや飛跡再構成していく上で重要な情報



東北大学電子光物理学研究センター（ELPH）にてビームテストを行った
(2018/11/13~15)

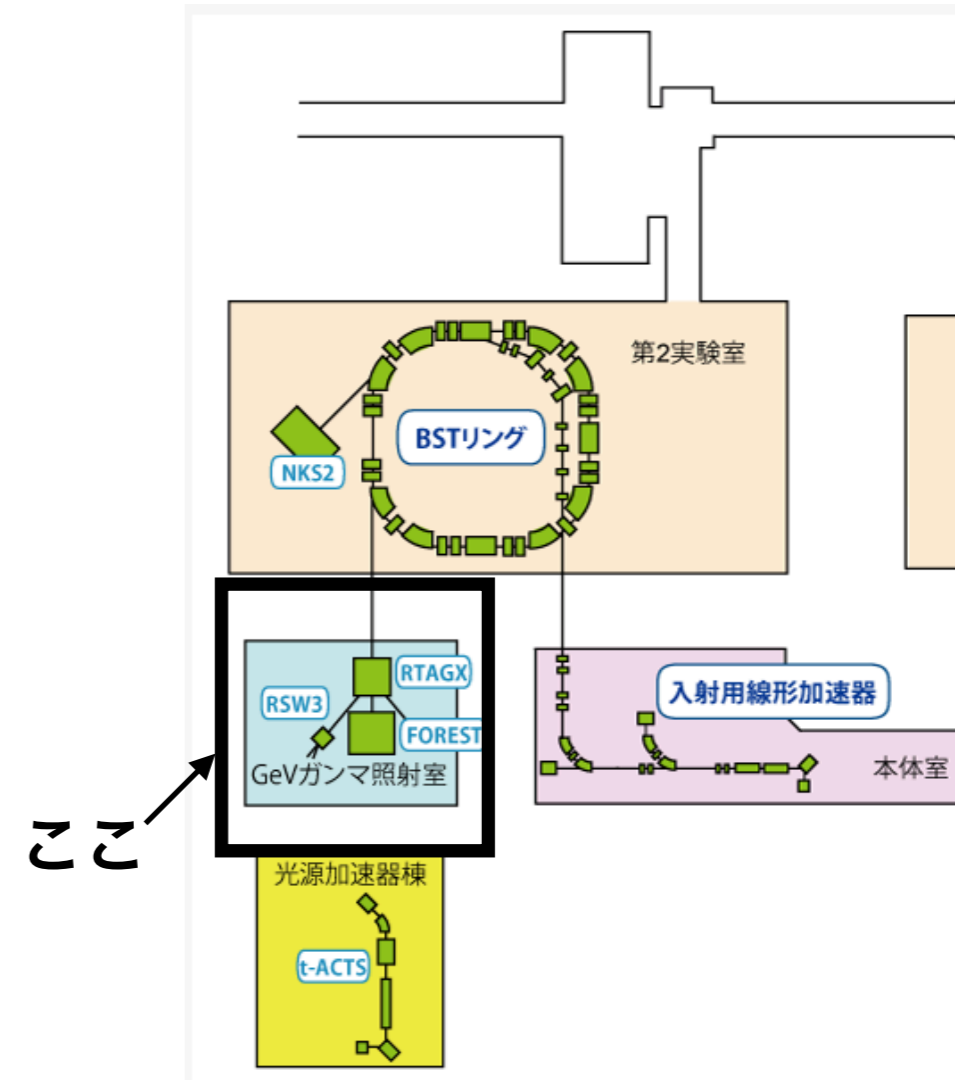
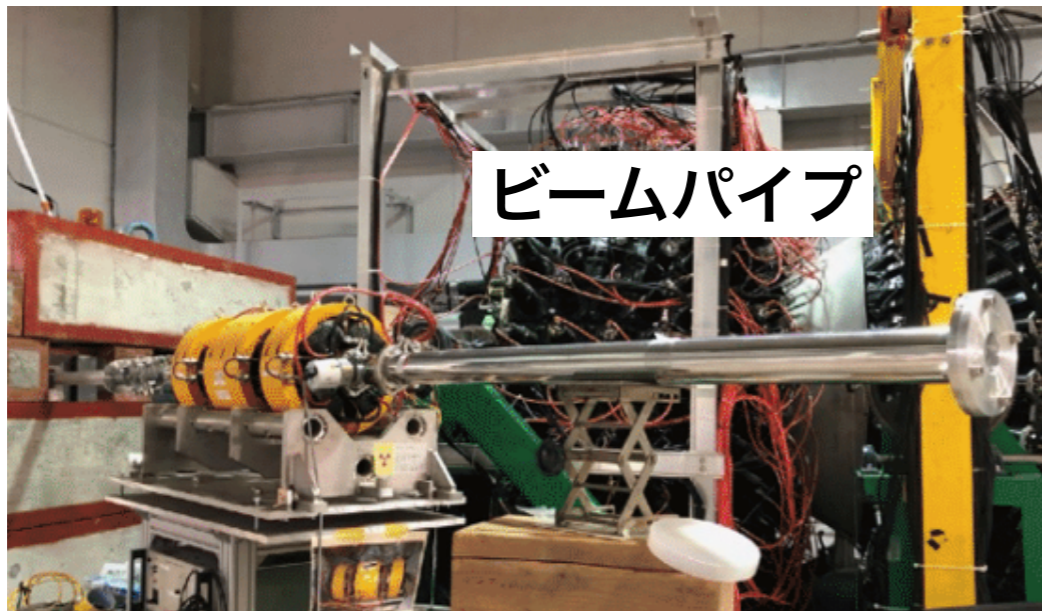
ビームテスト@ELPH

ELPH(東北大学電子光物理学研究センター)

The research center for **E**lectron **P**hoton science

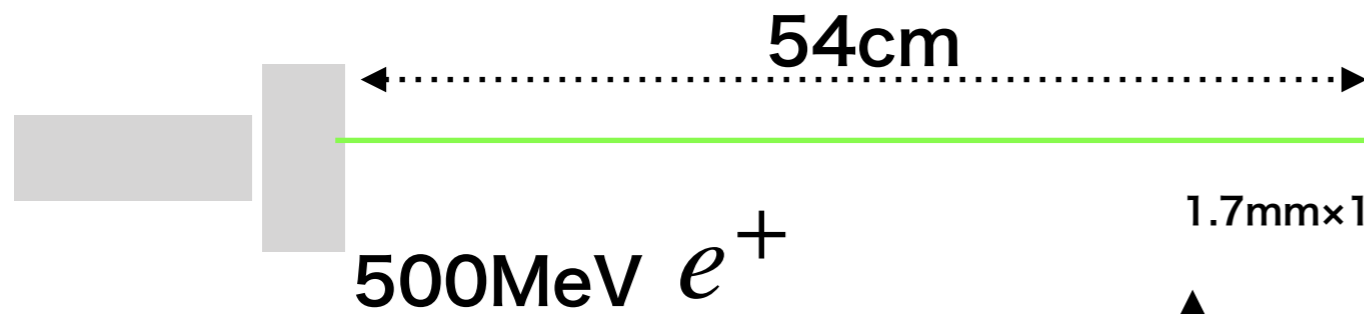
今回の実験ではGeV ガンマ照射室の e^+ ビームを用いた

- 運動量は $\sim 500\text{MeV}$
- Rateは $\sim 2.7\text{kHz}$
- 広がり $\sigma_x, \sigma_y \sim 7\text{mm}$ 程度



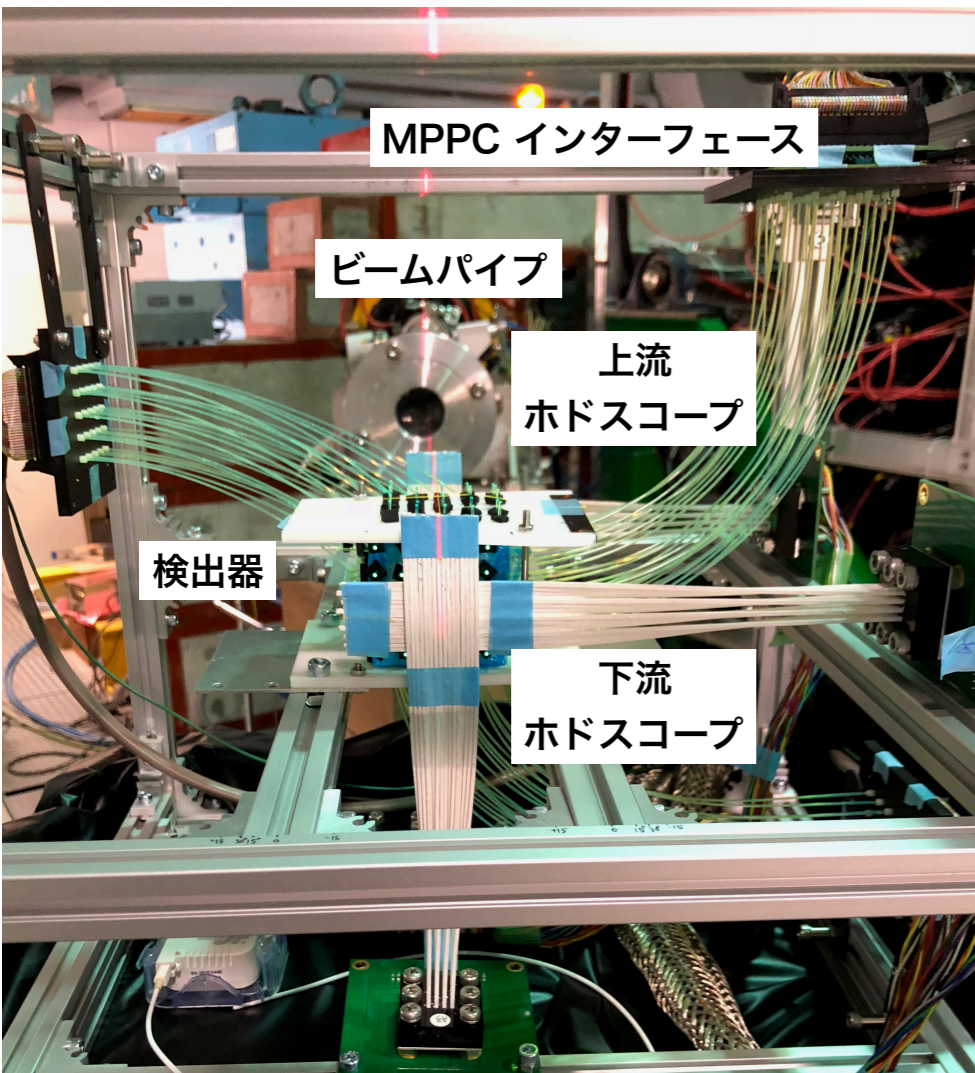
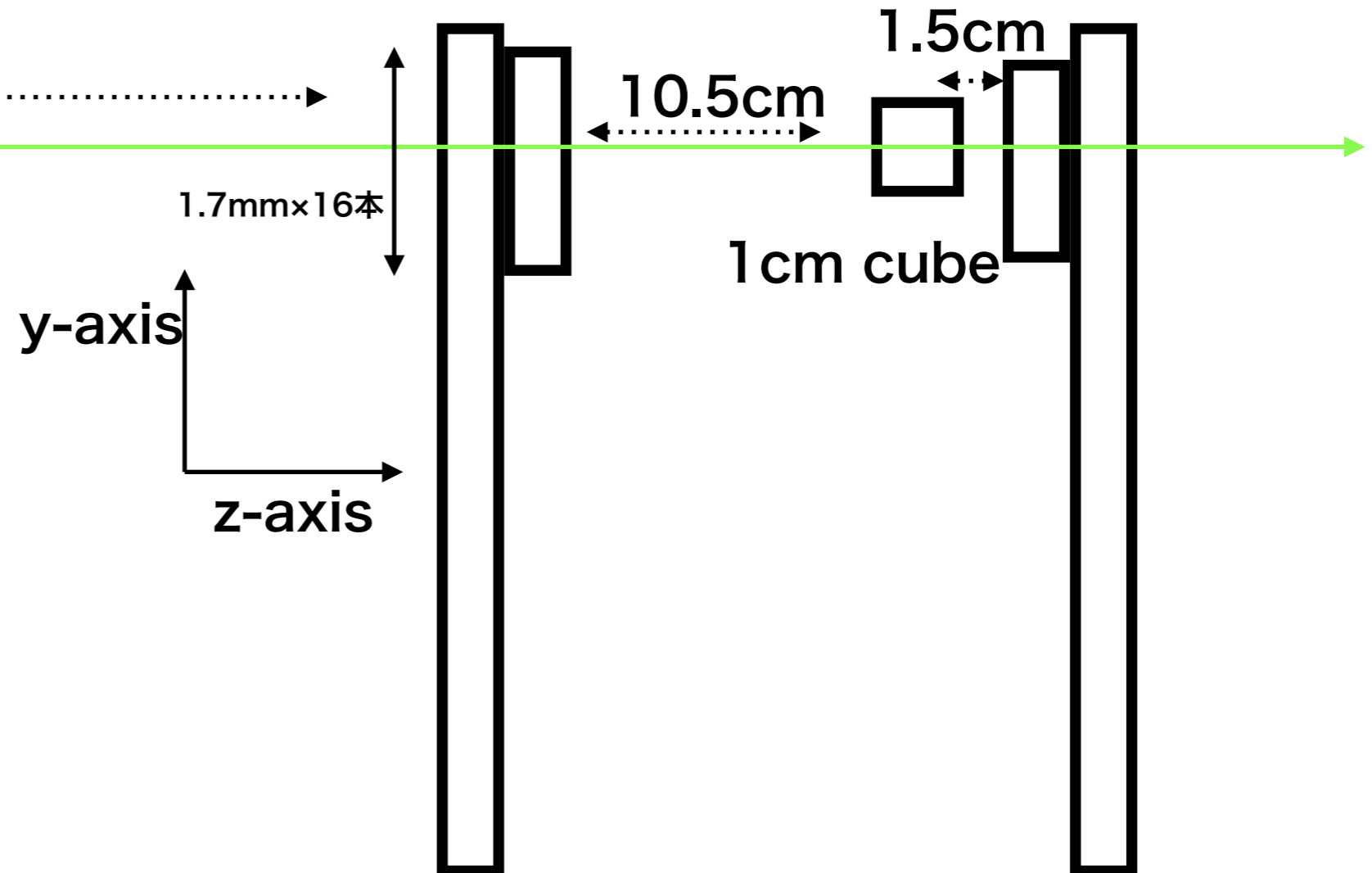
Set up

ビームパイプ



上流
ホドスコープ

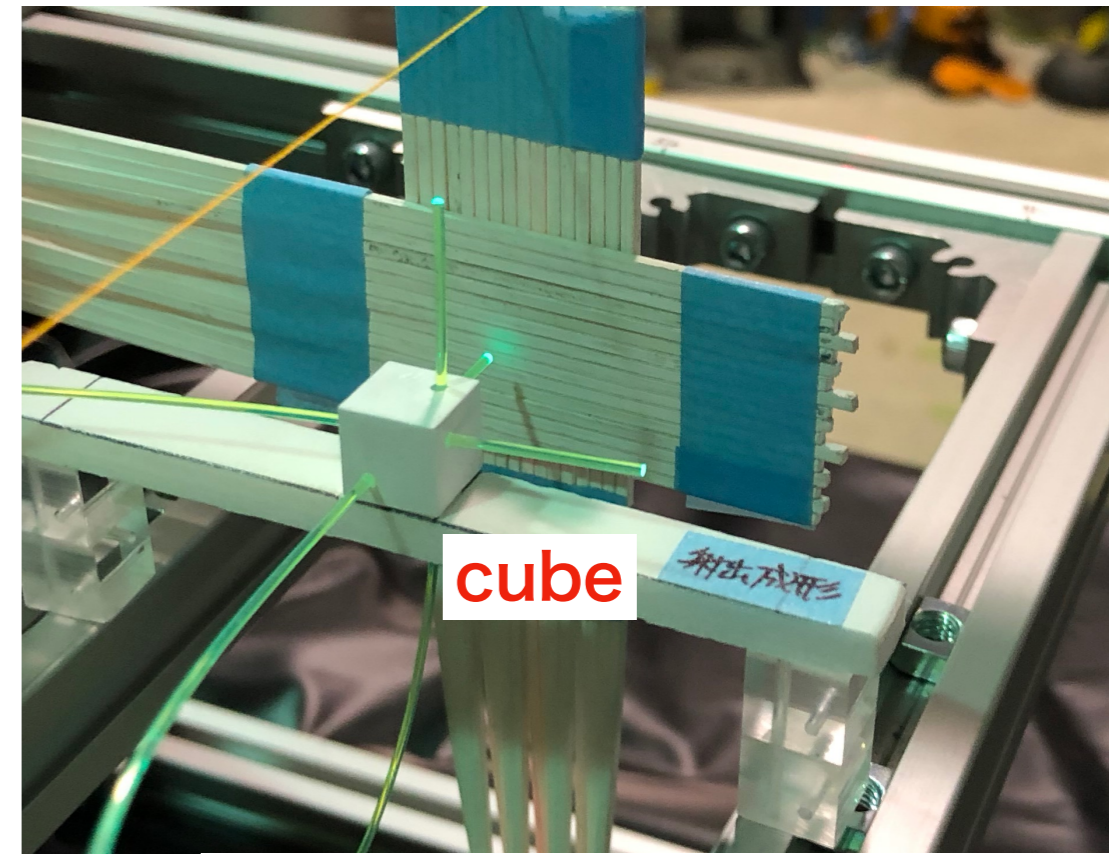
下流
ホドスコープ



検出器

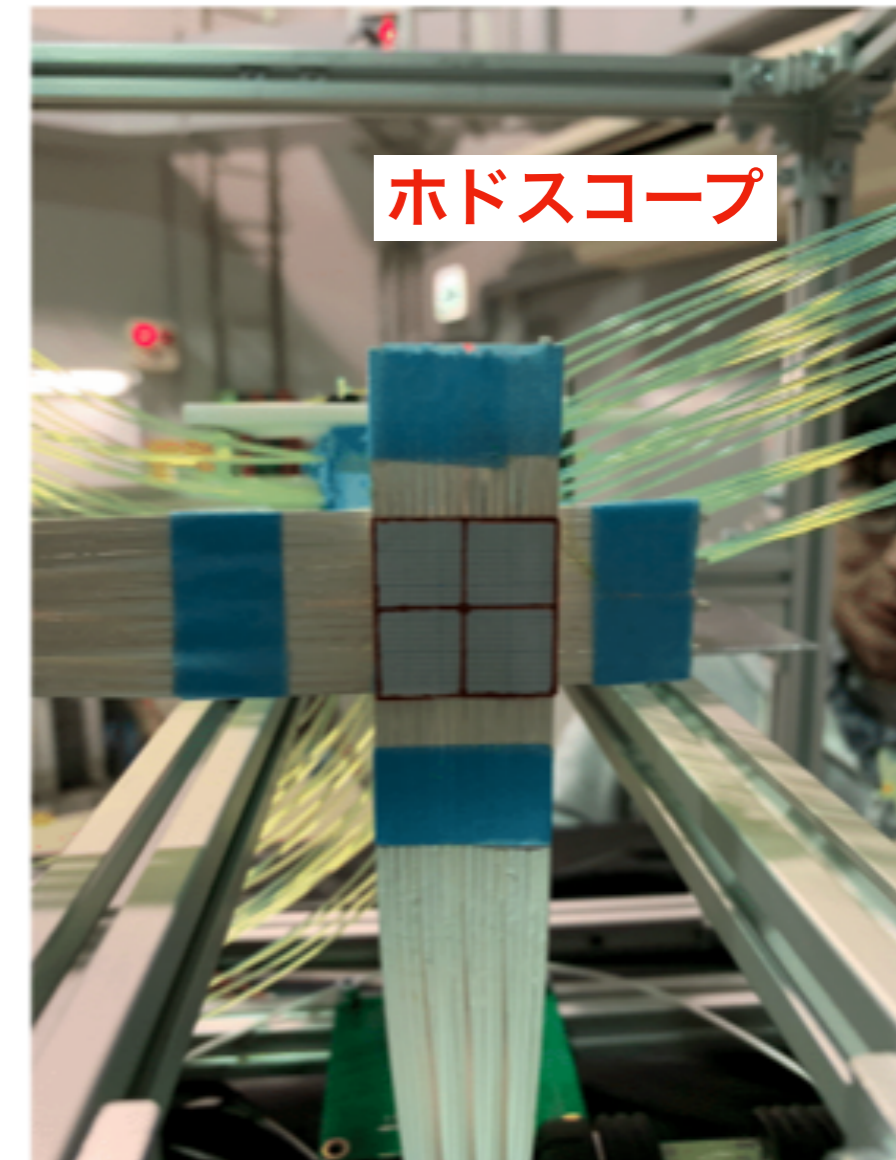
シンチレーターキューブ単体

- 1cm×1cm×1cmのプラスチックシンチレーターキューブ
- 3方向に穴が空いていて、波長変換ファイバーで3方向から読みだし、MPPCで光検出をする



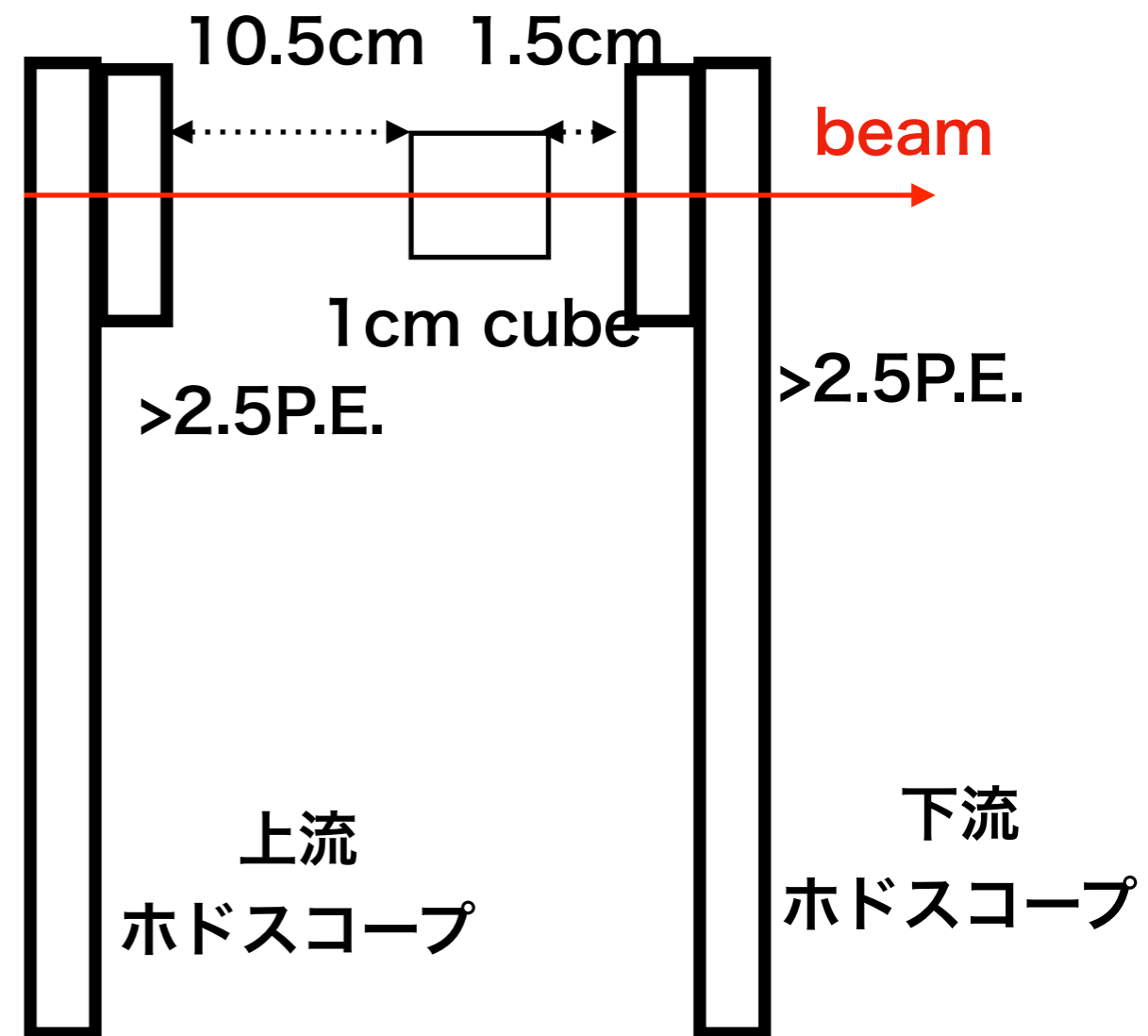
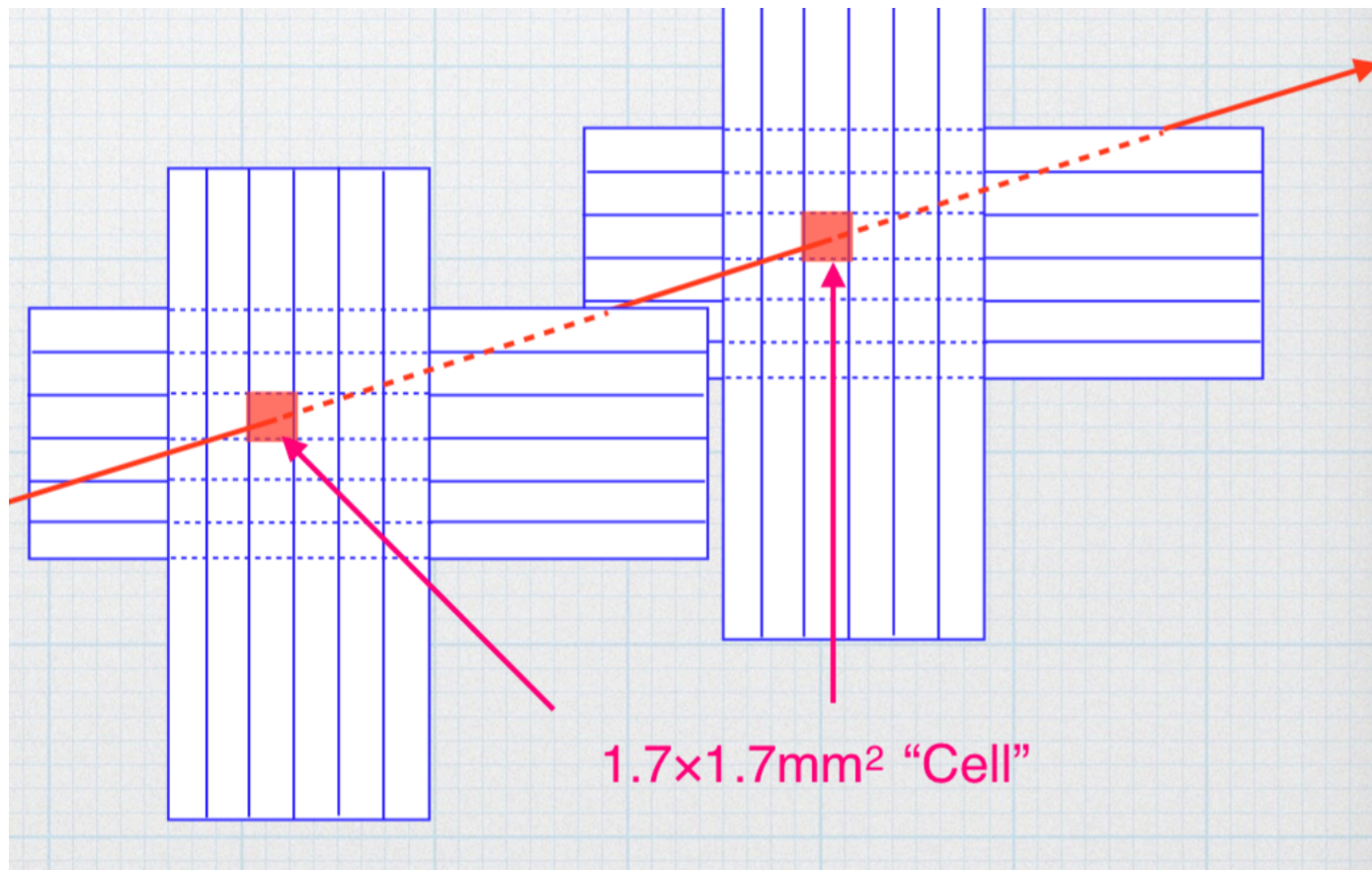
ホドスコープ

- ビーム軸な垂直な平面状に16×16 cell（垂直成分と水平部分のシンチレーターが重なってできる領域）を持っている
- 各cellの大きさ 1.7mm × 1.7mm
- 有効面 26mm × 26mm
- ビームの飛跡を検出するために使う



粒子の飛跡を検出する方法

- トリガー条件:各ホドスコープで同じcellでの光量 >2.5 PE
- その時のcubeでの光量を記録する

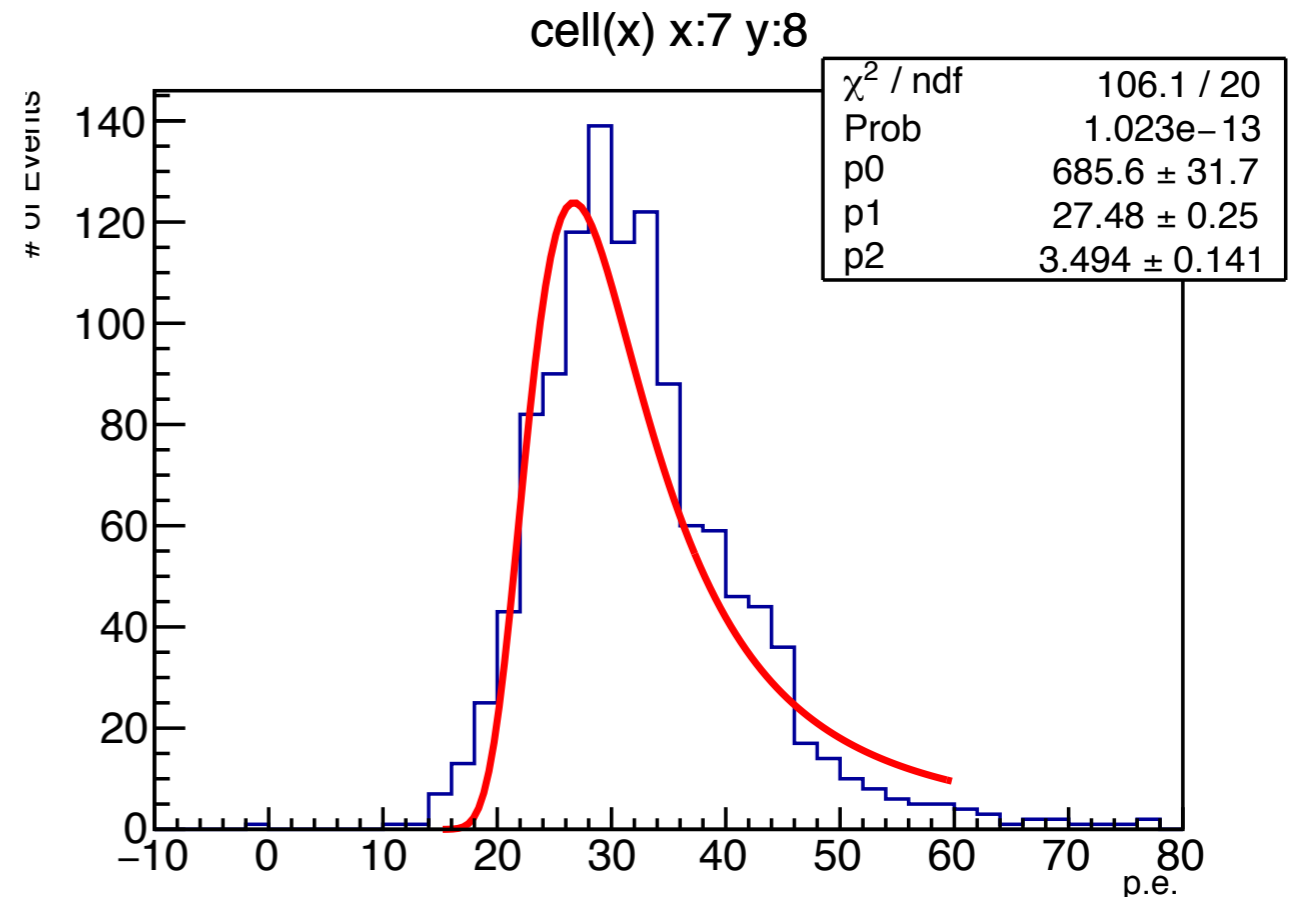
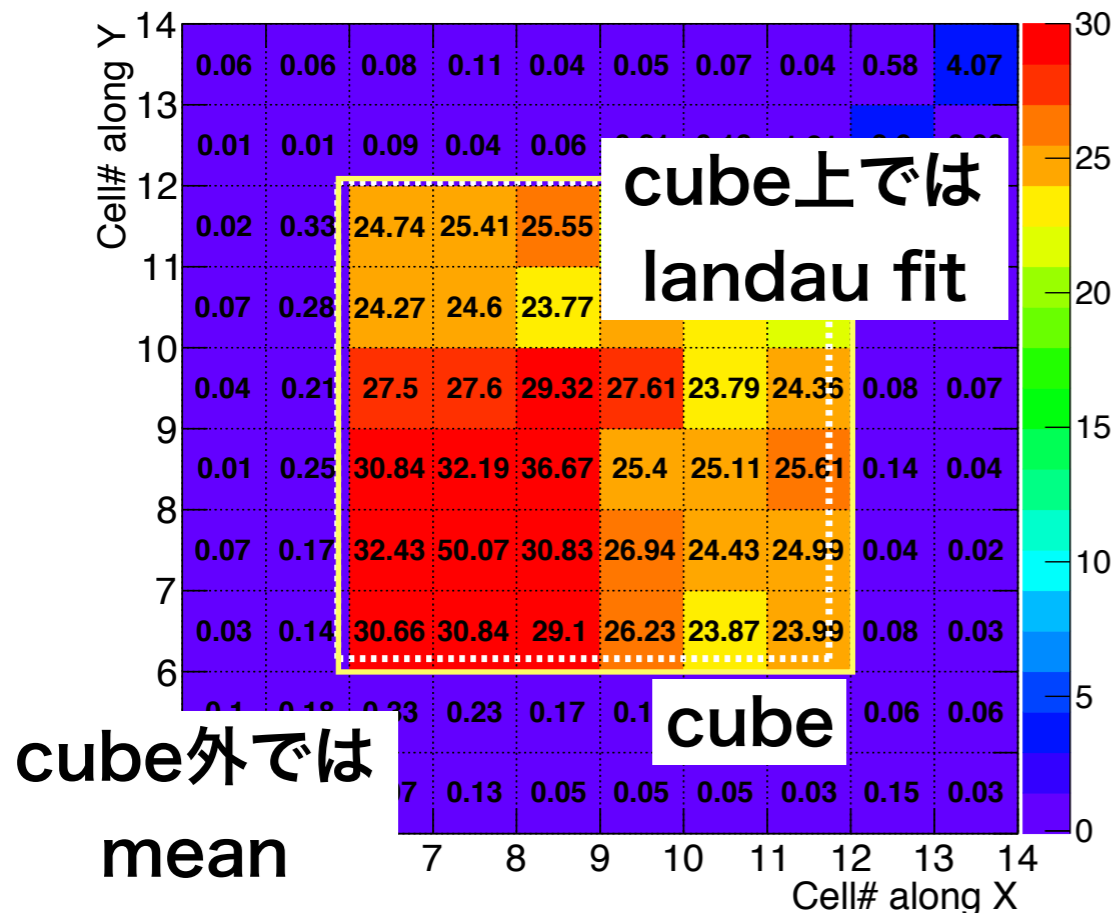


光量の一様性と検出効率

光量の算出

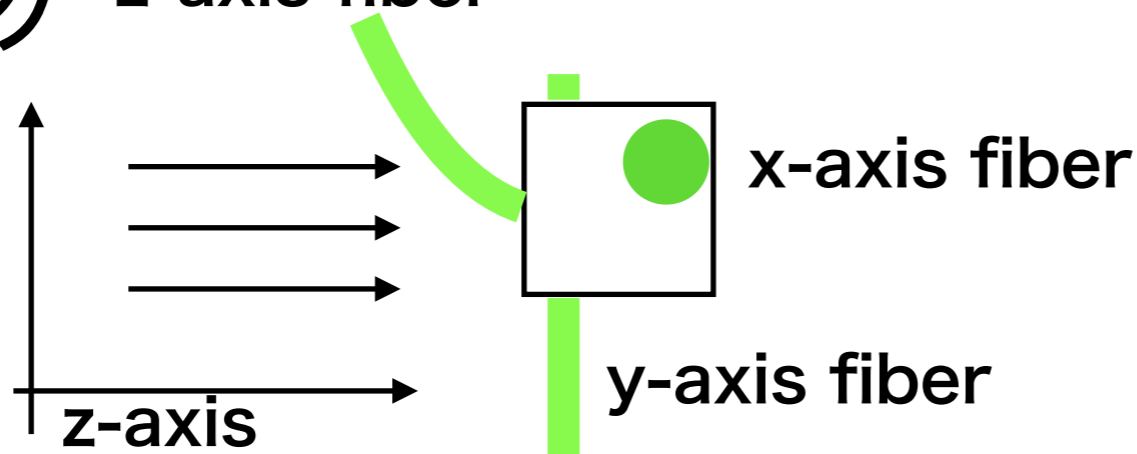
- cube上のホドスコープのcellの時は、landau fitし、そのMPVを観測光量とする
- それ以外のところではmean

光量分布の例

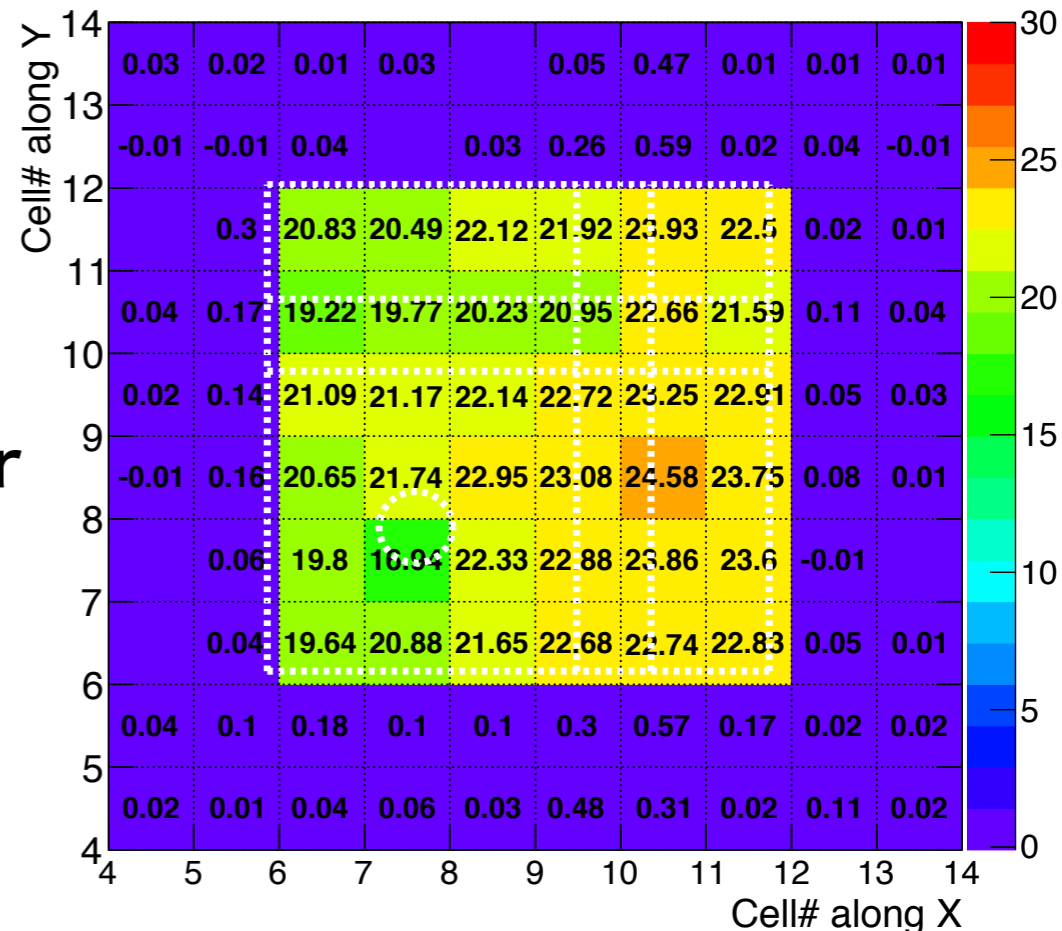


光量分布

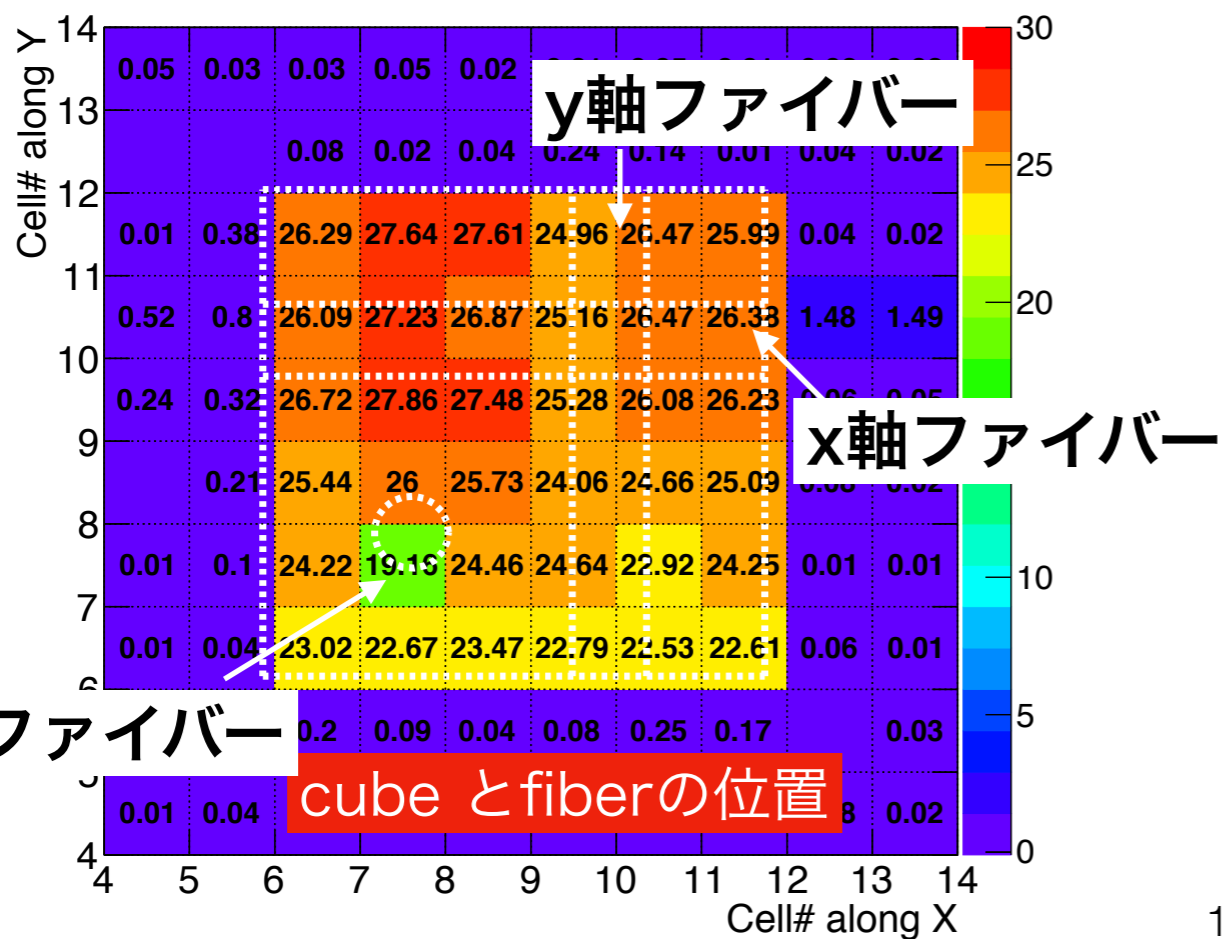
- 内側10×10cellのところ
マッピング z-axis fiber



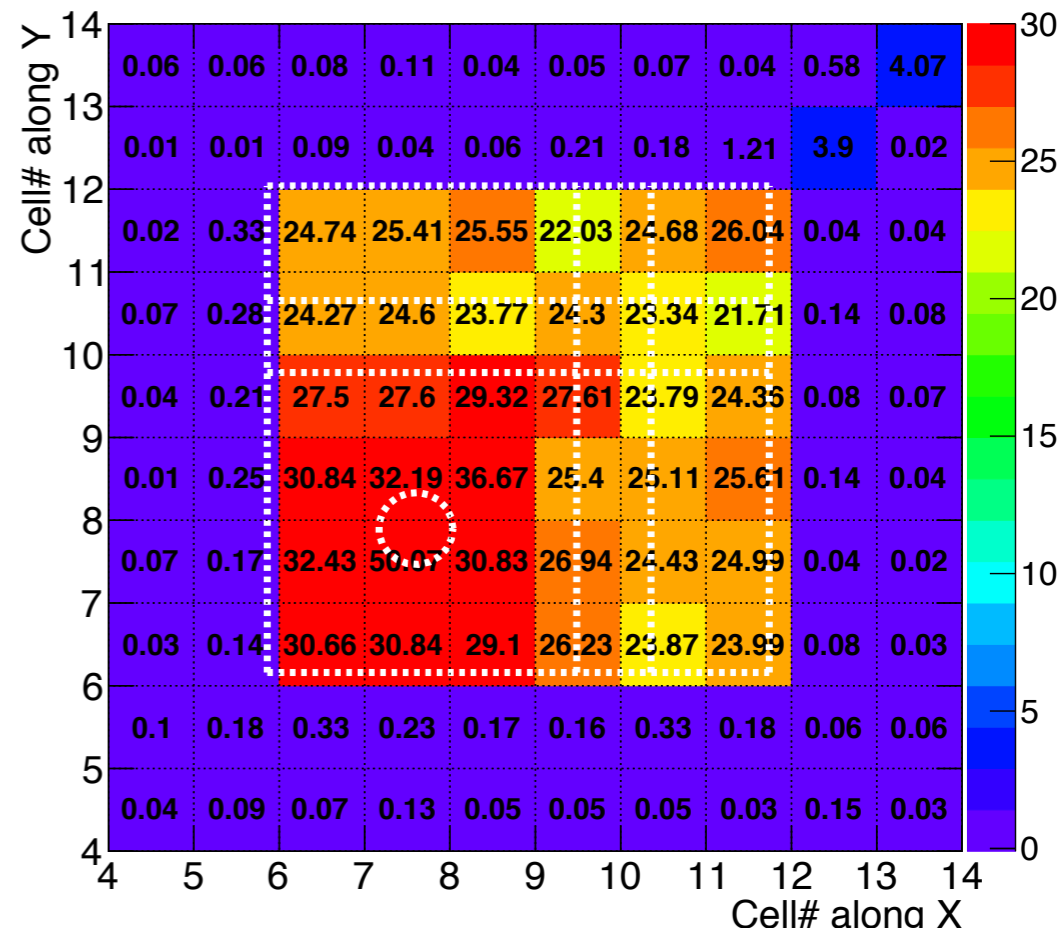
y軸ファイバー読み出し



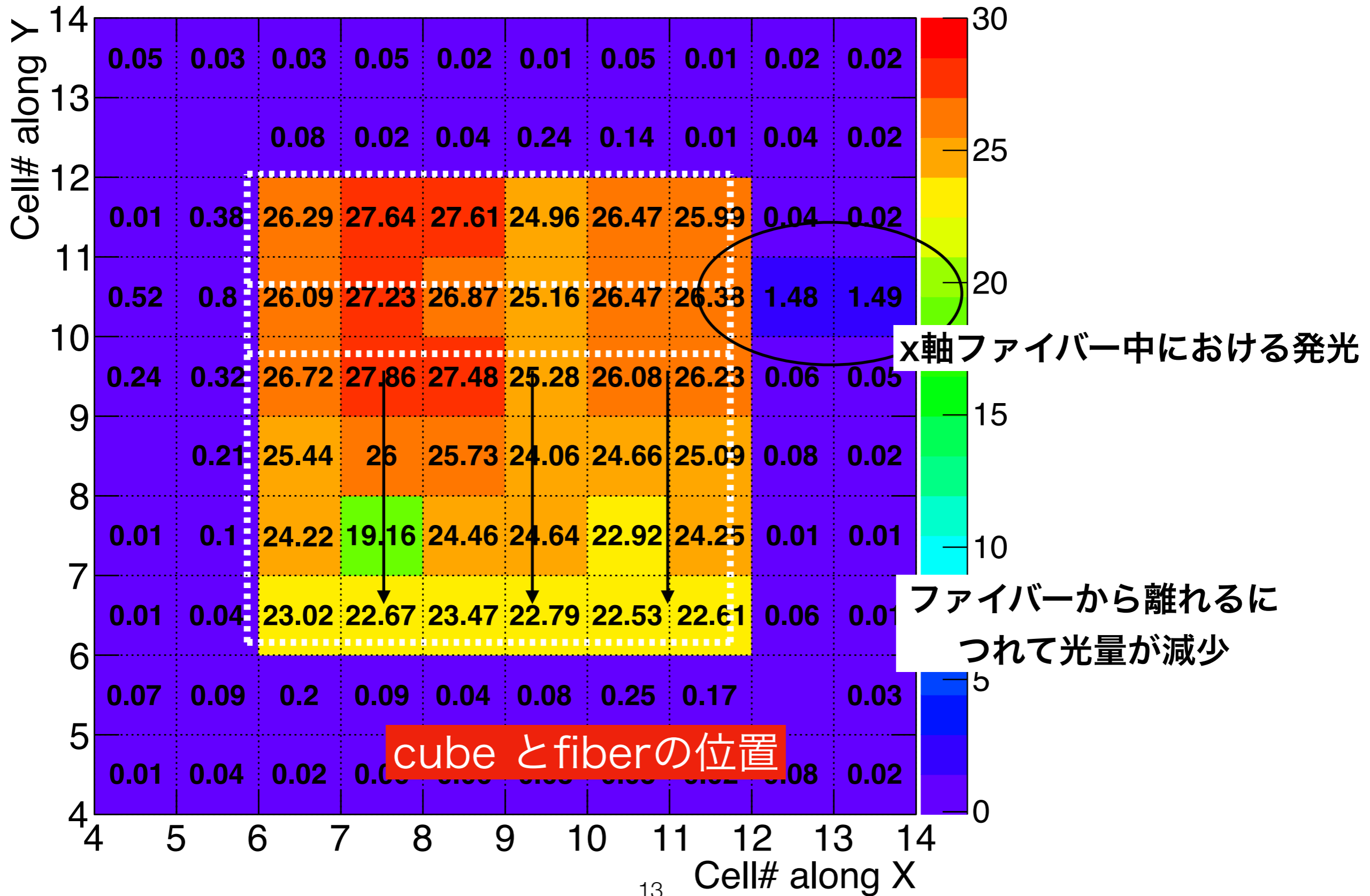
x軸ファイバー読み出し



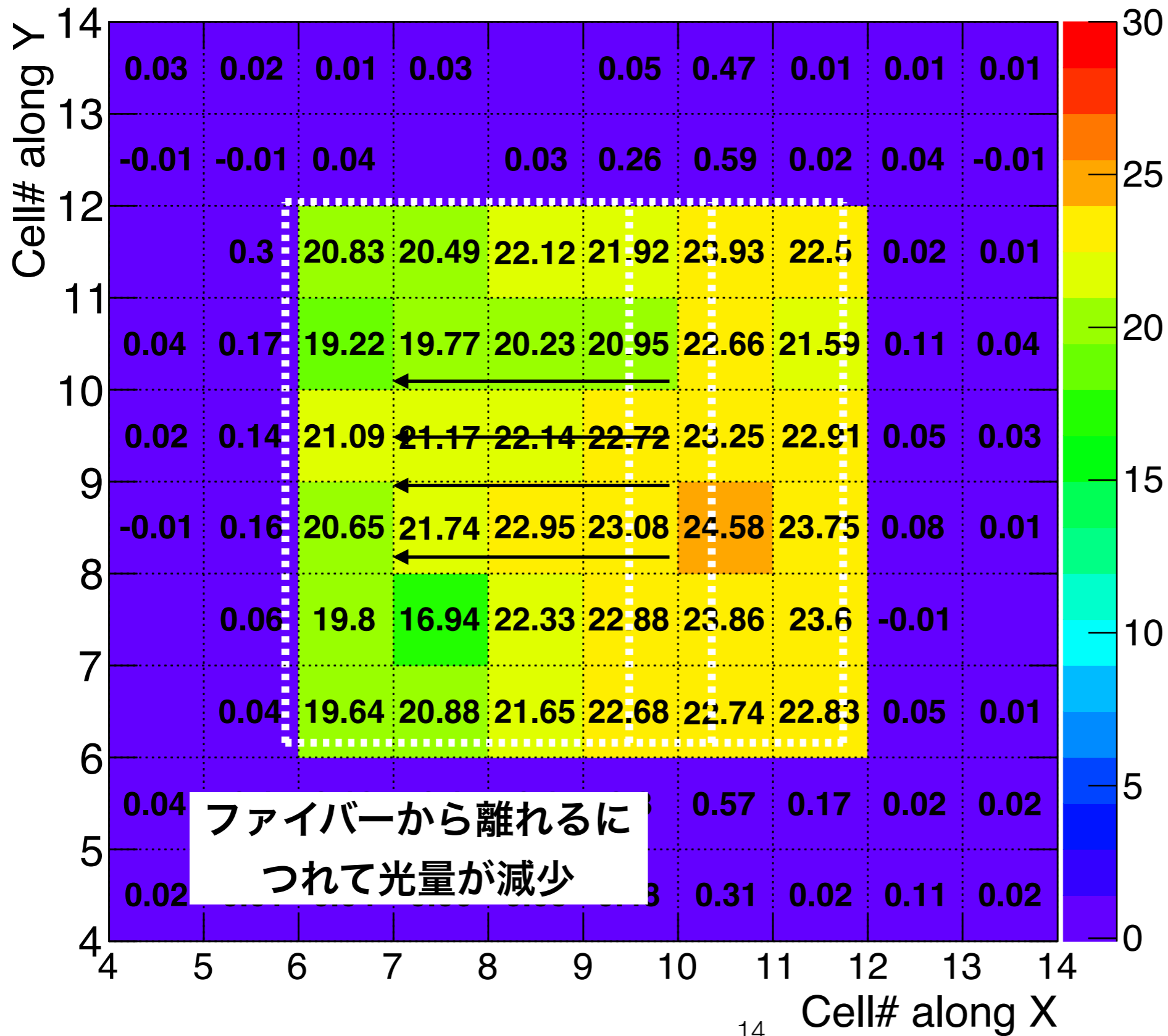
z軸ファイバー読み出し



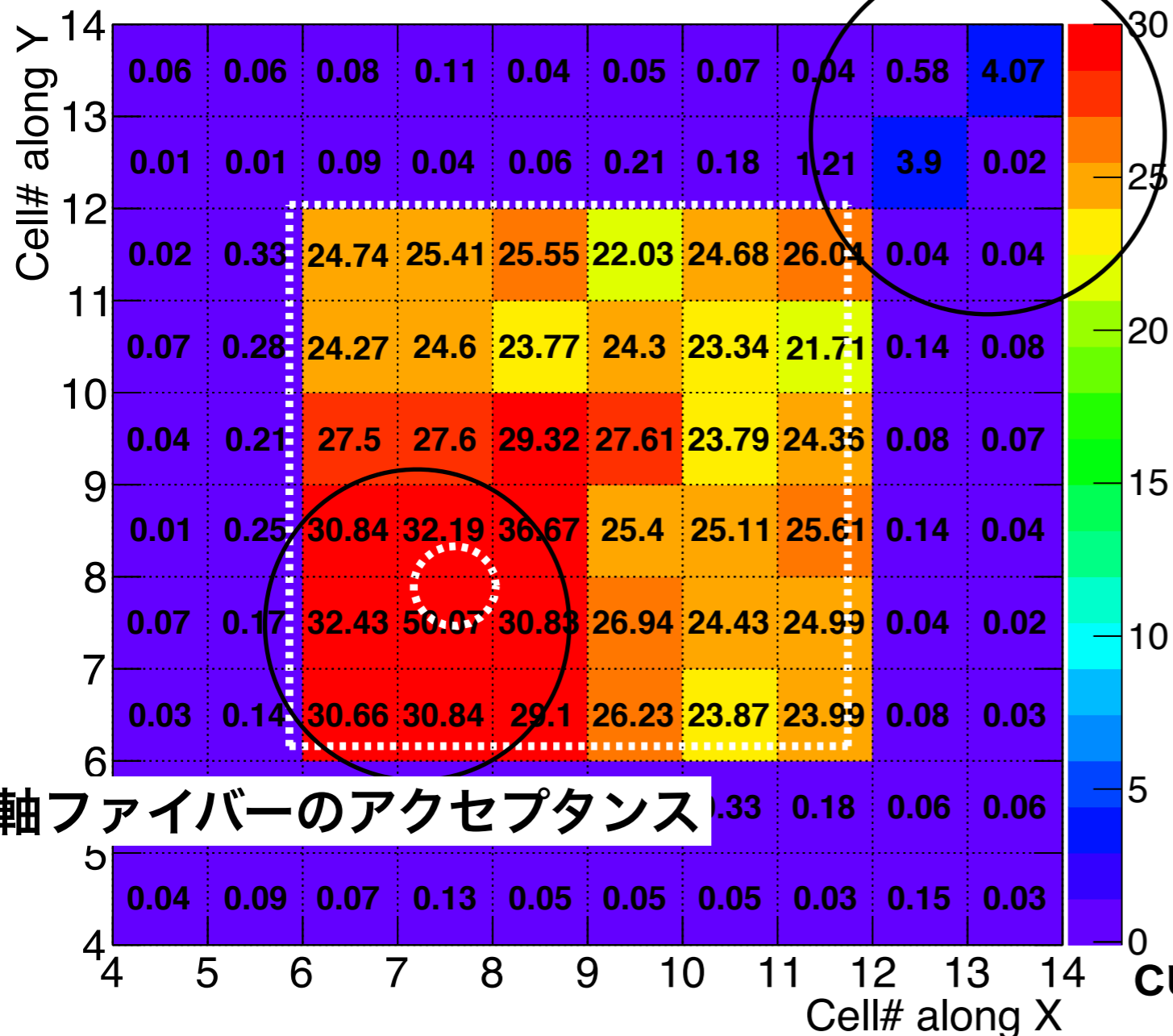
x軸ファイバー読み出し



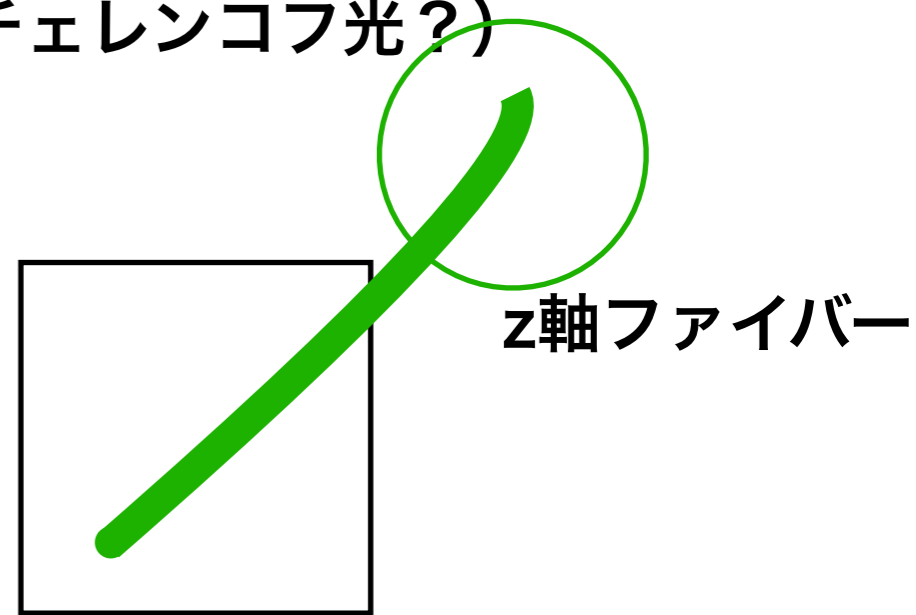
y軸ファイバー読み出し



z軸ファイバー読み出し



z軸ファイバー中における
発光 (チェレンコフ光?)



ビーム正面から見た図

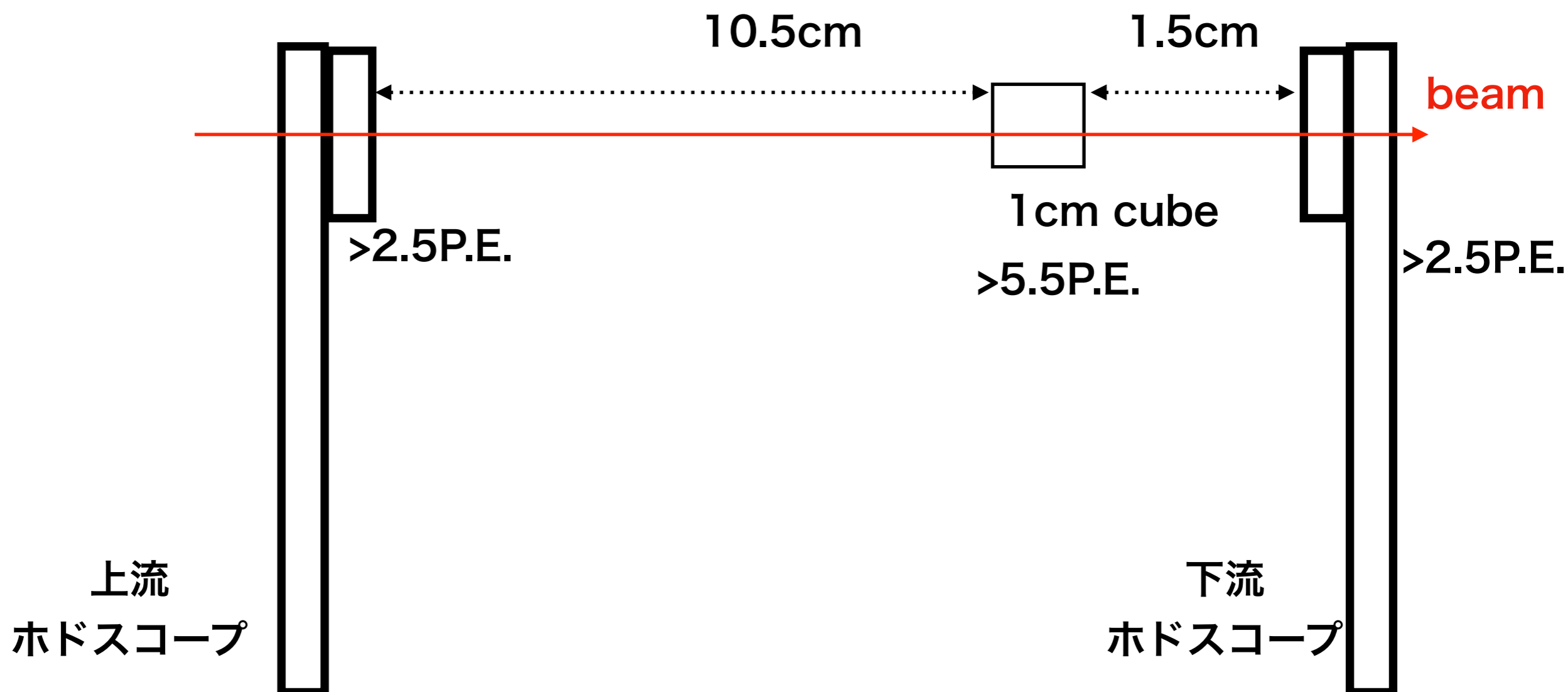
z軸ファイバーのアクセプタンス

- キューブ内での光量の一様性は、z-fiber読み出しの時 (beam軸に平行なファイバー) アクセプタンスの影響で~18%
そのほかでは~7%

	x-fiber	y-fiber	z-fiber
光量の平均 (P.E)	25.1	21.9	27.2
光量の RMS (P.E.)	1.5	1.3	5.0

検出効率の算出

detection efficiency(D.E.) = キューブでの光量が5.5P.E以上かつ、
上流と下流のほドスコープで2.5P.E.以上の
イベント数 / 上流と下流のほドスコープで
2.5P.E.以上のイベント数



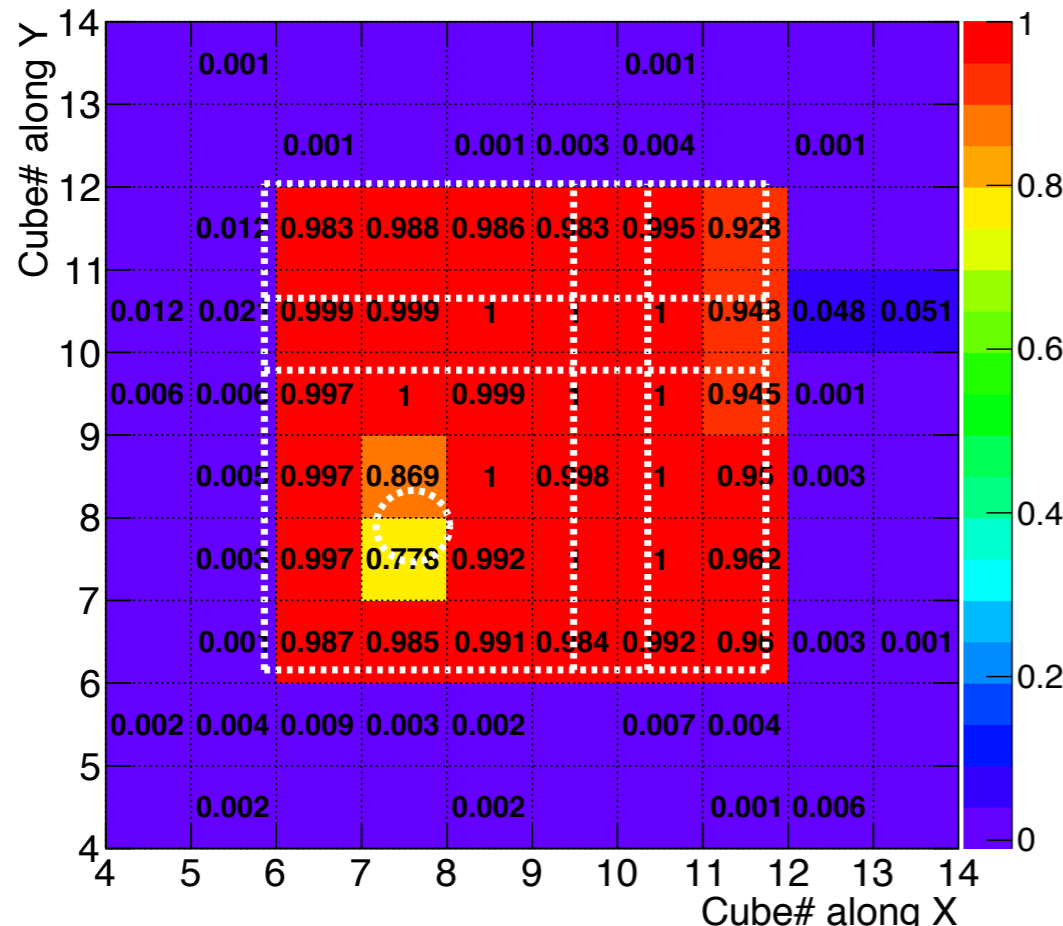
検出効率

z軸ファイバー付近

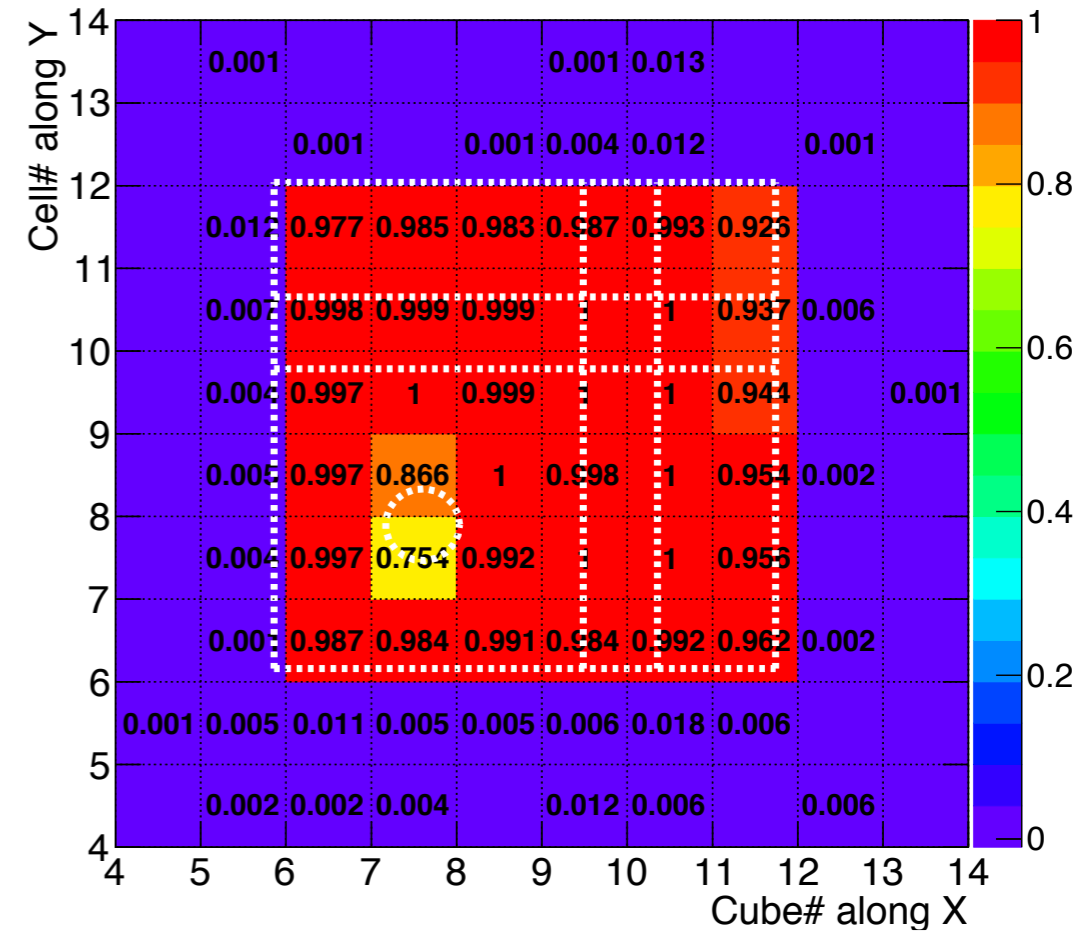
- x軸とy軸読み出しの時は、検出効率が20%ほど小さい
- z軸の読み出しの時は、検出効率が5%ほど小さい

それ以外の場所ではほぼ100%の検出効率を得られた

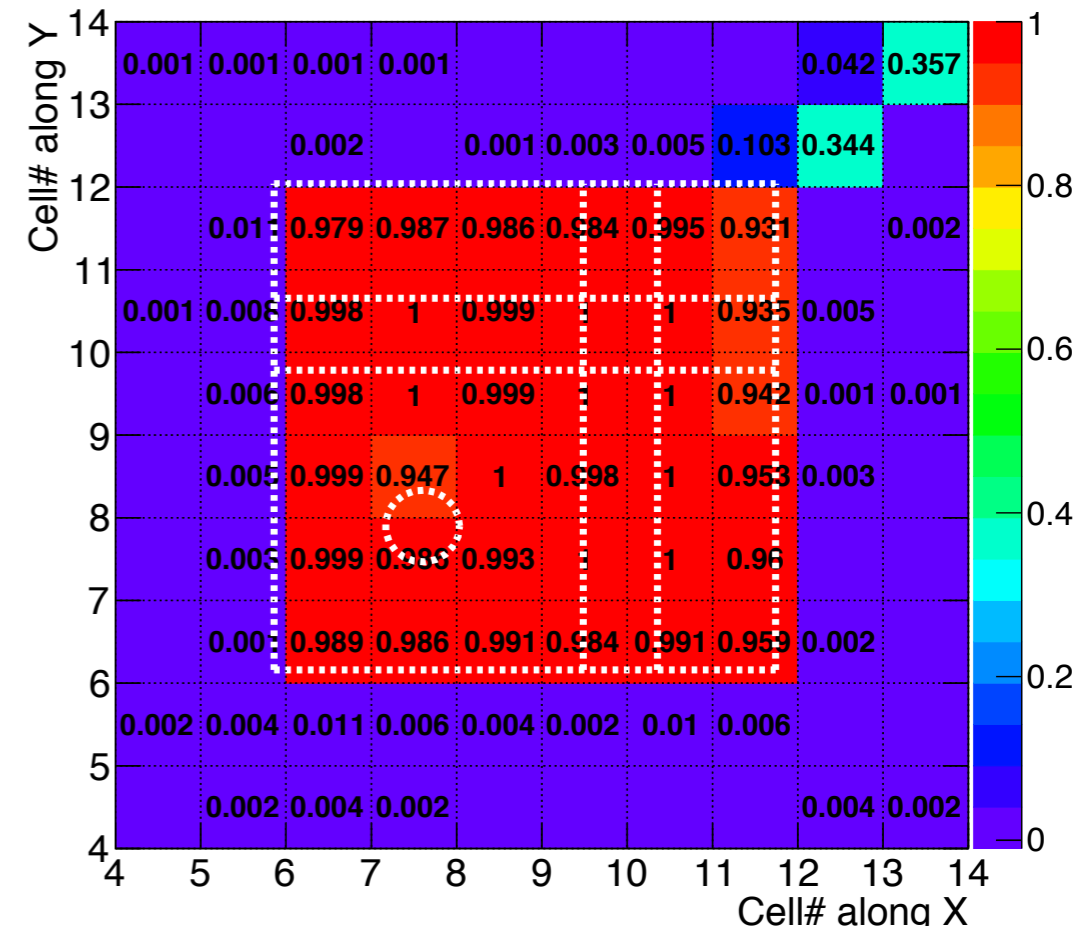
x軸ファイバー読み出し



y軸ファイバー読み出し



z軸ファイバー読み出し



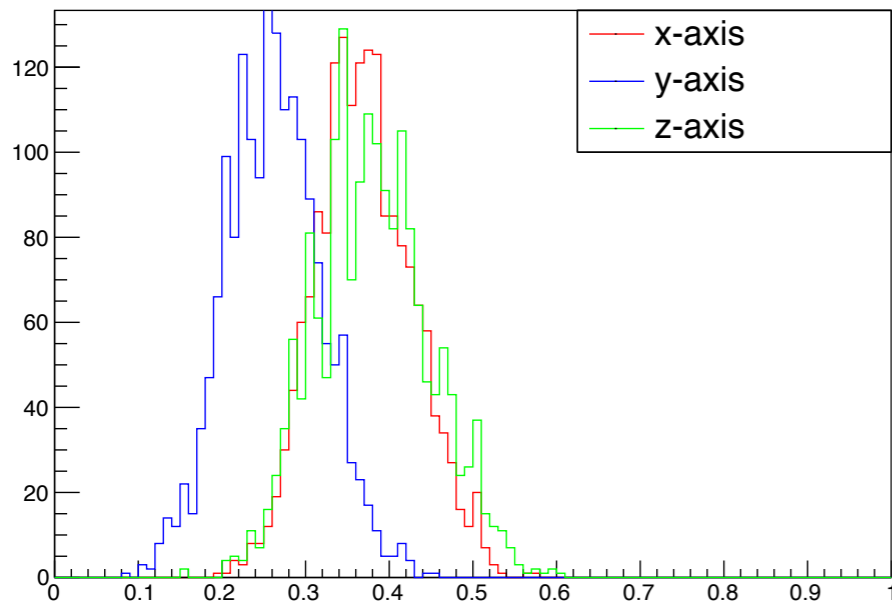
光量分布の偏り 1読み出し/全読み出し

ファイバー付近の光量がどの程度偏っているのか??

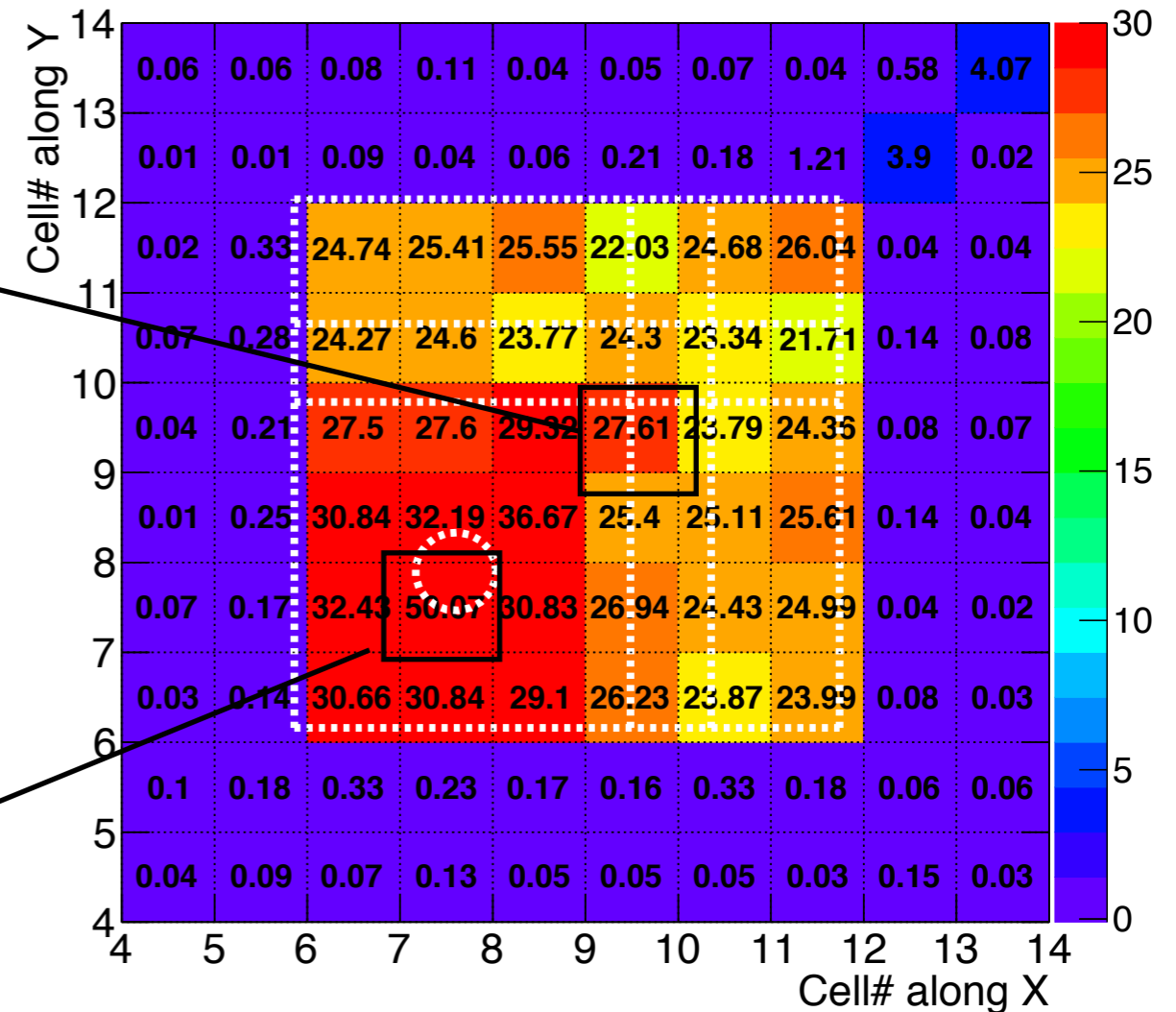
Ch9:9 (z軸ファイバーの穴から十分離れたところ)

z軸ファイバー読み出し

event number

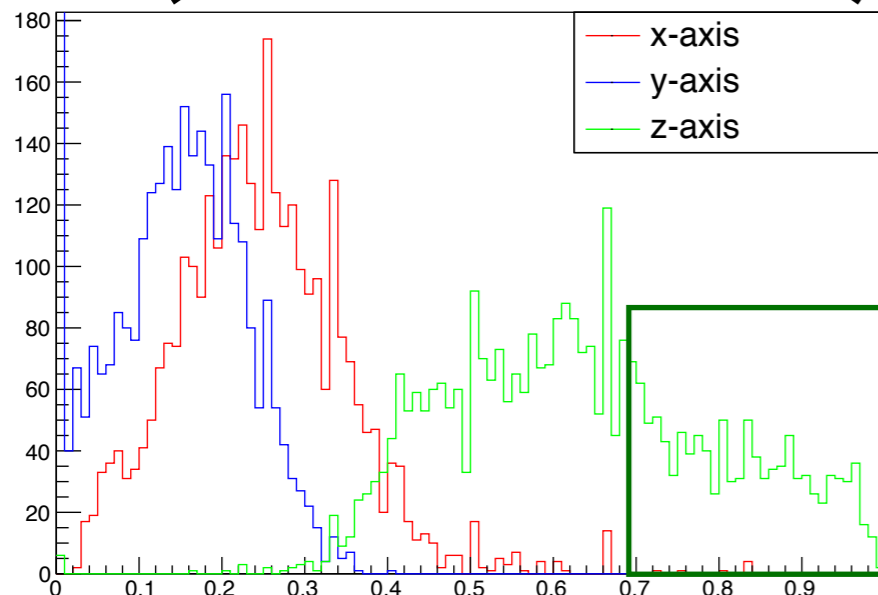


each axis p.e. / sum p.e. of all axis



Ch7:7 (z軸ファイバーの穴付近)

event number



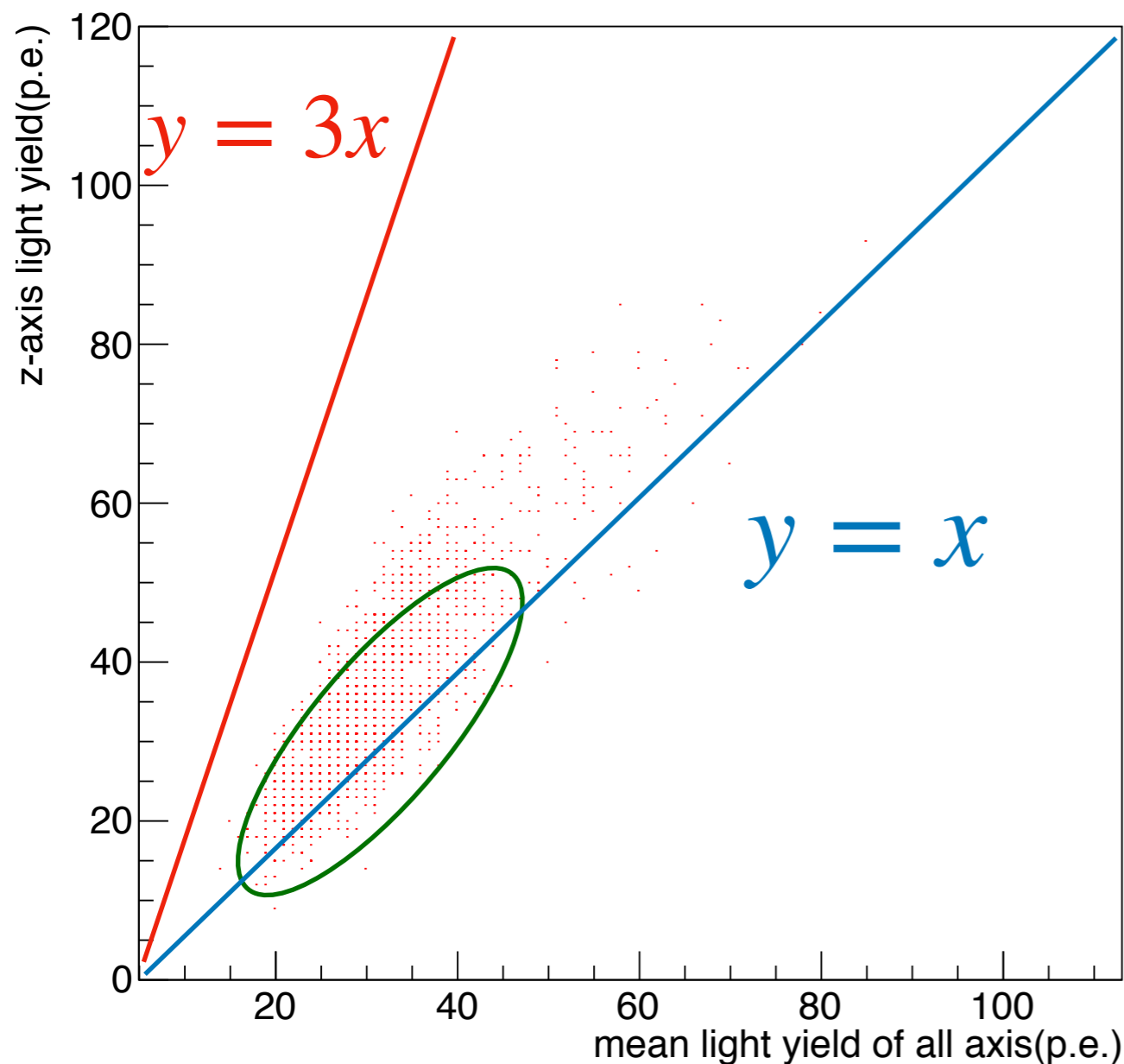
each axis p.e. / sum p.e. of all axis

z軸ファイバーに大半の光量が吸収される
イベントが見られた

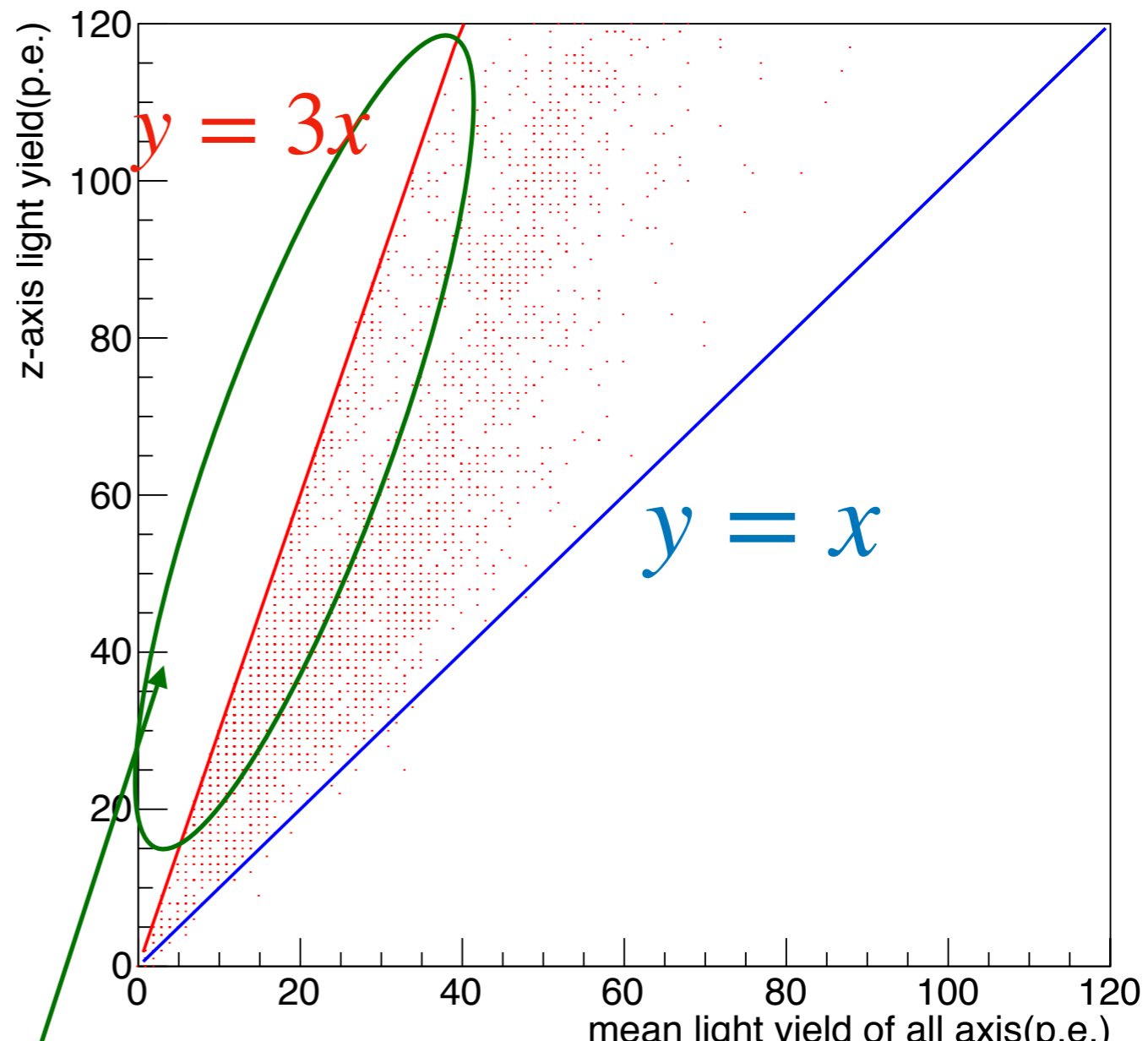
その時のファイバーの光量の相関はどうなっているのか?

ファイバーの光量の相関

Ch9:9(z軸ファイバーの穴から十分離れたところ)



Ch7:7(z軸ファイバーの穴付近)



- z軸ファイバーの穴付近では、z軸ファイバーに大半の光量が吸収され、x軸ファイバーとy軸ファイバーで光量が少なくなることがある。
- Ch7:7で全体の光量の内90%以上がz軸ファイバーに吸収されたイベントが、~8%ほどあった。

Path lengthと光量は比例しているのか？

目的

- 45度回転のデータを利用して、光量と粒子のpath lengthが比例しているのかを確認すること

しかし、中心位置がわからない (ホドスコープのずれ)

$$y = -2a|x - b| + \sqrt{2}a$$

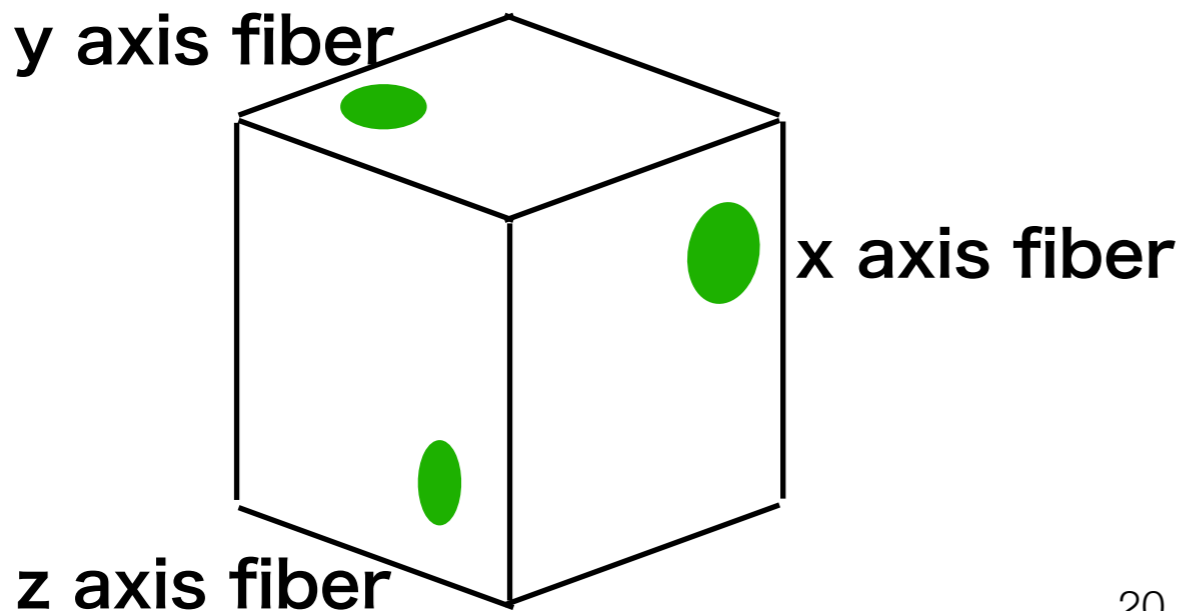
a : 1 cmを通った時の光量(P.E.)

でフィット

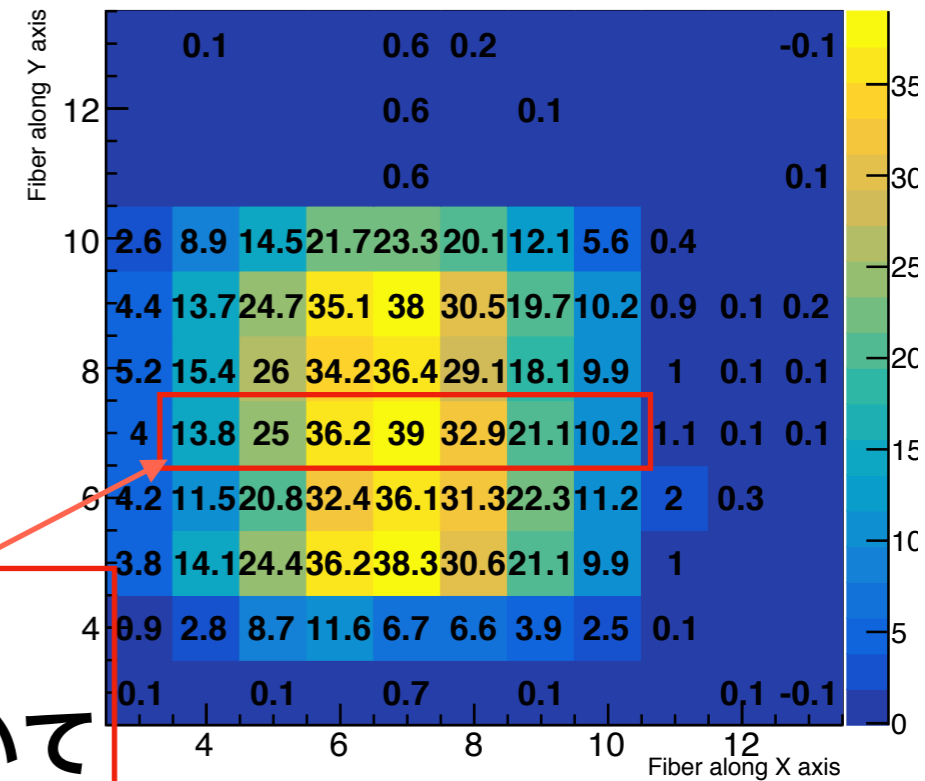
b : 中心位置のずれ (cm)

|x-b| : 中心位置からの距離 (cm)

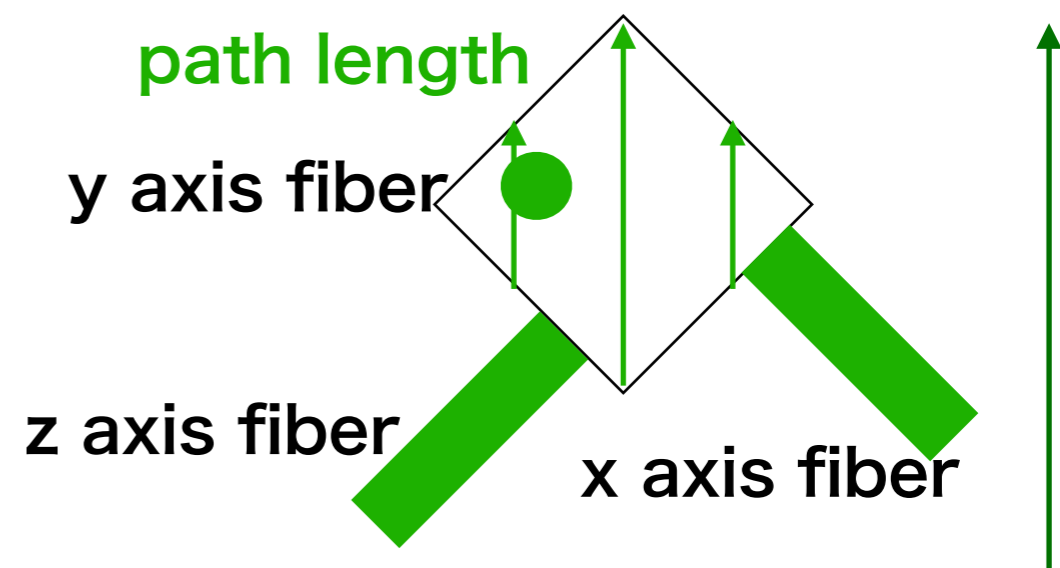
ビームパイプから見た図



真ん中
7cellについて

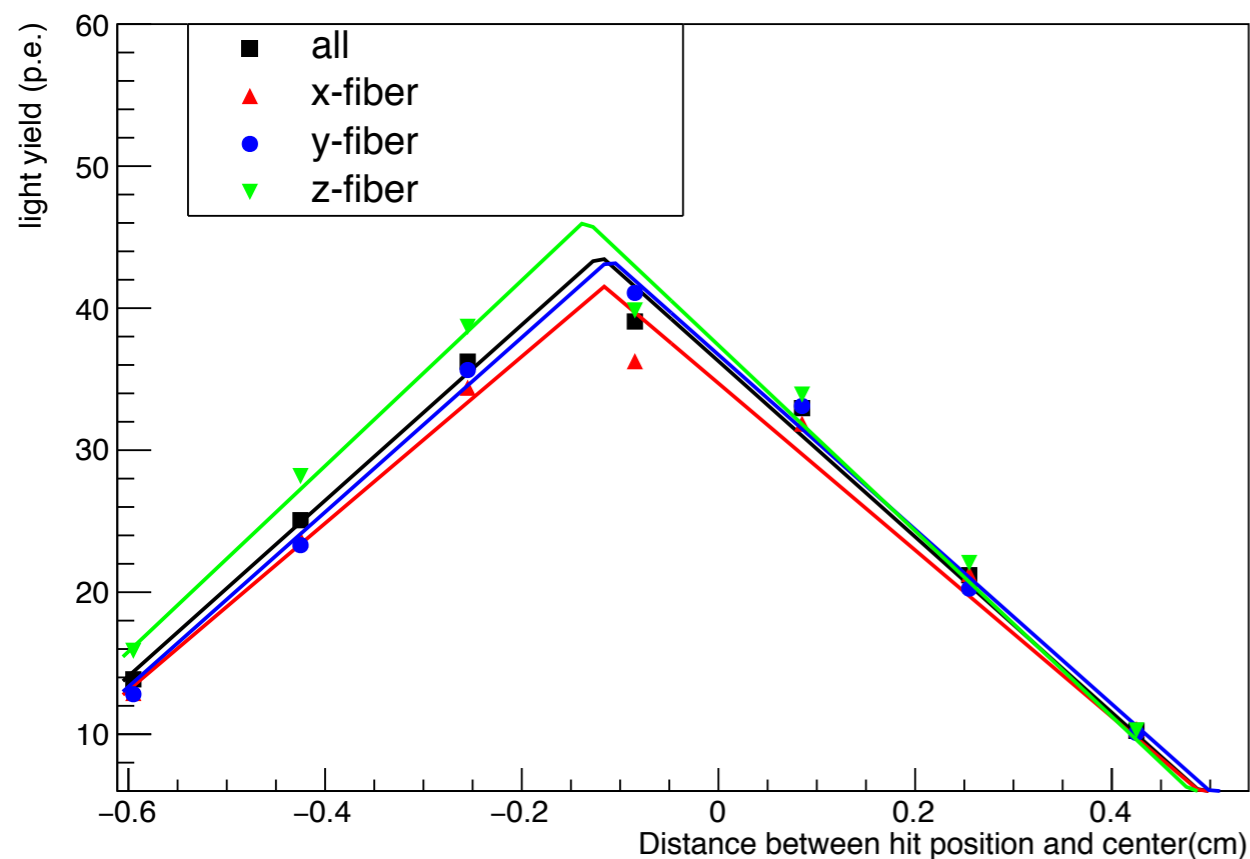


真上から見た図 beamの方向



フィットの結果

$$y = -2a|x - b| + \sqrt{2}a$$

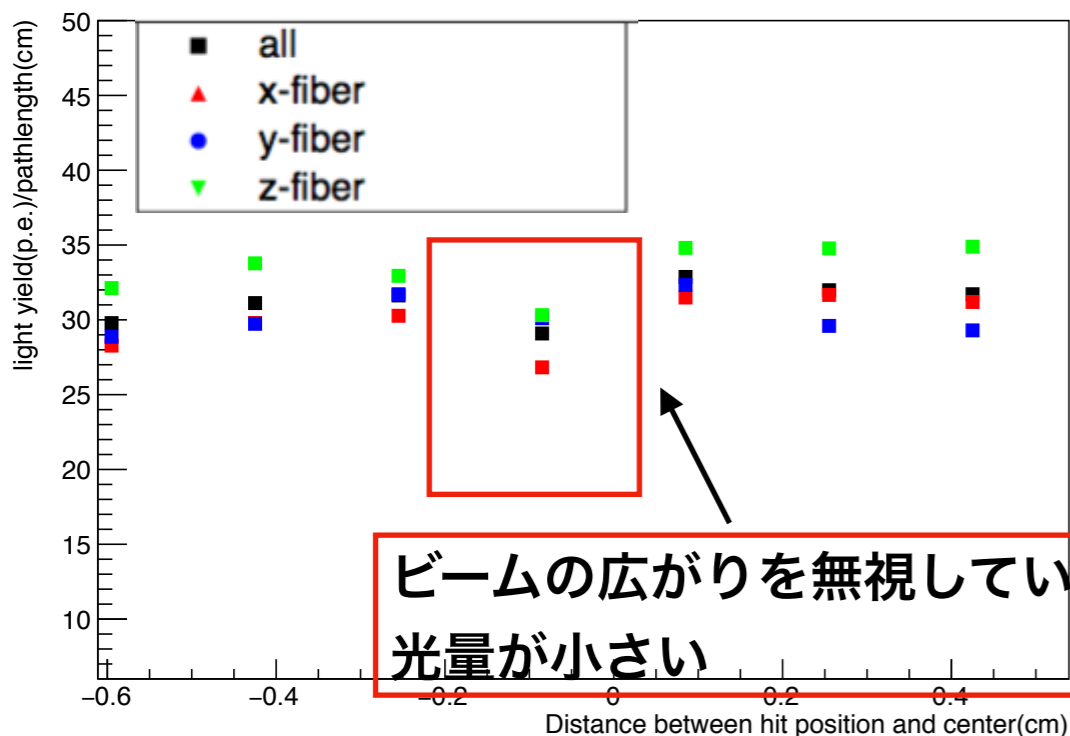


	all	x-fiber	y-fiber	z-fiber
中心位置 (cm)	-0.121	-0.116	-0.101	-0.135
光量(P.E./cm)	30.9	29.4	30.7	32.7

光量/path length(p.l.)

- 先ほど求めた表の中心位置から path length を求めた

$$\text{path length(cm)} = 2 \times |x - b|$$



	all	x-fiber	y-fiber	z-fiber
光量/p.l. の平均(P.E./cm)	31.2	29.9	30.2	33.4
光量/p.l. のRMS(P.E./cm)	1.21	1.67	1.19	1.59

光量/path lengthは
5%程度の一様性がえられた

まとめ

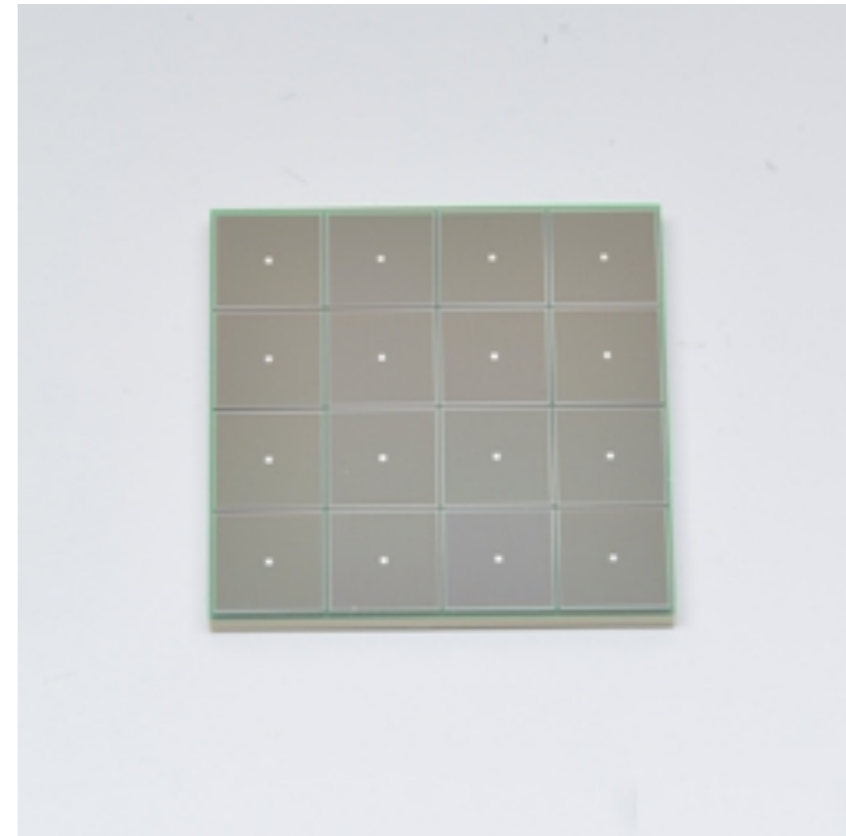
- ND280 upgrade計画においてsuper-FGDのcube型プラスチックシンチレーター の性能理解が課題
- ↓
- 観測光量の一様性を評価し、光量がキューブ中の入射位置によってどのように変わるのか確認できた
ファイバーの穴付近ではそのファイバーが極端に光量を吸収するイベントを確認できた
 - ホドスコープのずれによる効果が大きくあるが、光量はpath length に比例している傾向を見ることができた

今後解析を詳細に進めていき、斜めに入射した場合などの光量分布の偏りを調べ、その結果を将来的に飛跡再構成等に役立てていきたい

Back up

ホドスコープ用MPPC

- 16ch MPPC array : S13361-3050AE-04
- 有効受光面 : $3.0 \times 3.0 \text{ mm}^2$

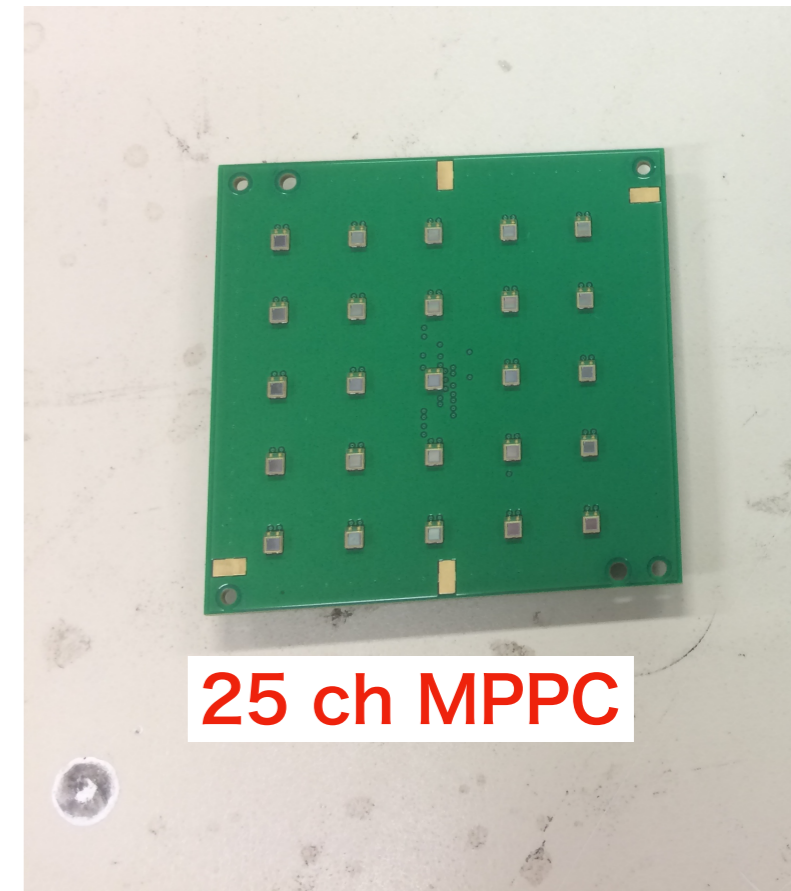


波長変換ファイバー

- Kuraray Y11
- 直径 $\phi = 1.0 \text{ mm}$
- 減衰長 $\lambda > 3.5 \text{ m}$
- 使用した長さ $\sim 40 \text{ cm}$

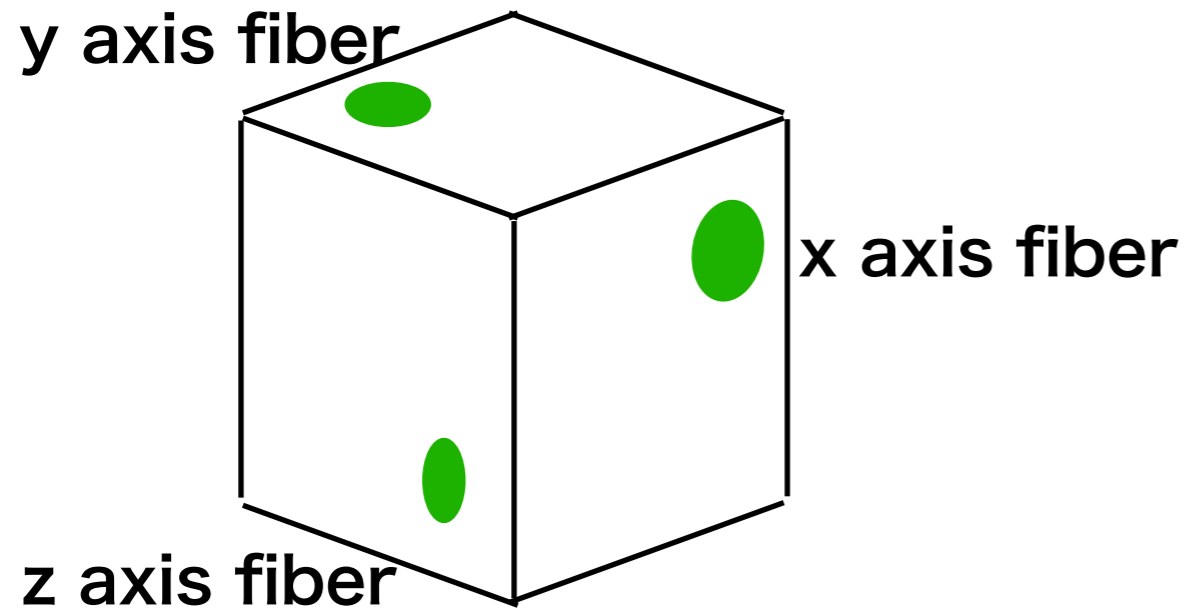
検出器読み出し用MPPC

- 波長変換ファイバー端からの光量をMPPCで読み出す
- 25ch MPPC array : S13360-1325PE
有効受光面 : $1.5 \times 1.5 \text{ mm}^2$

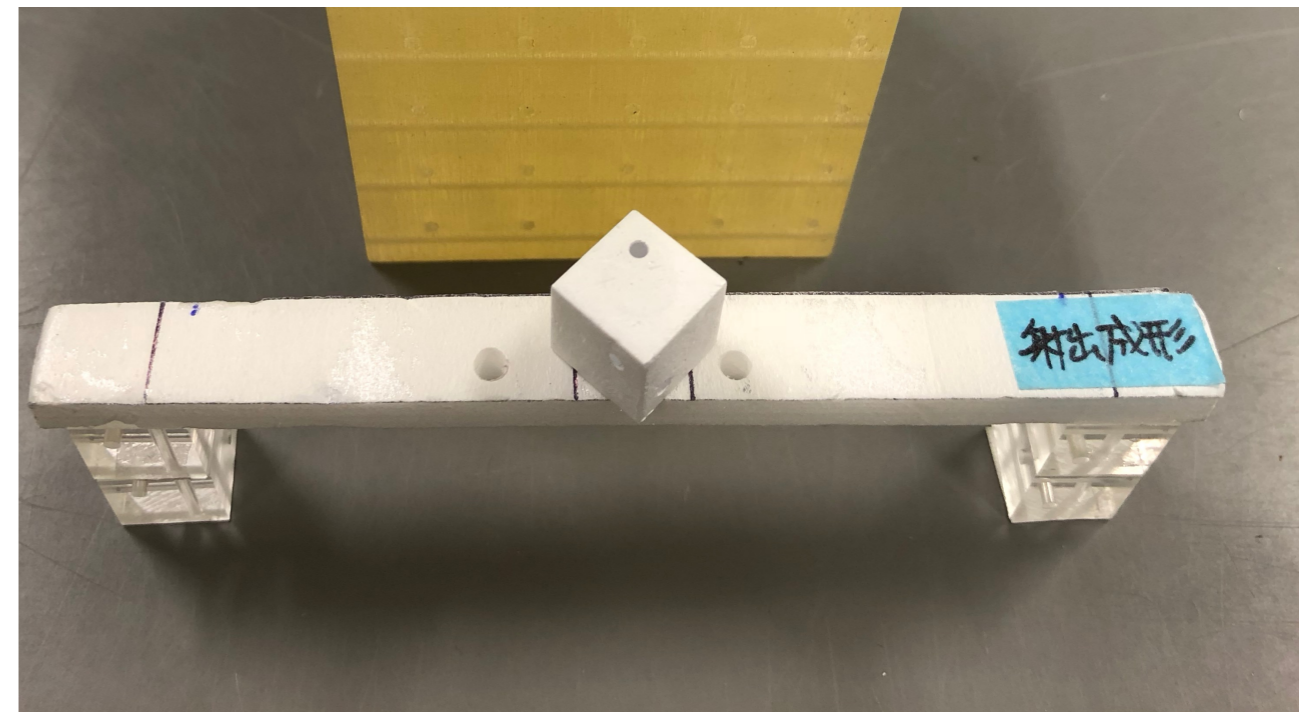
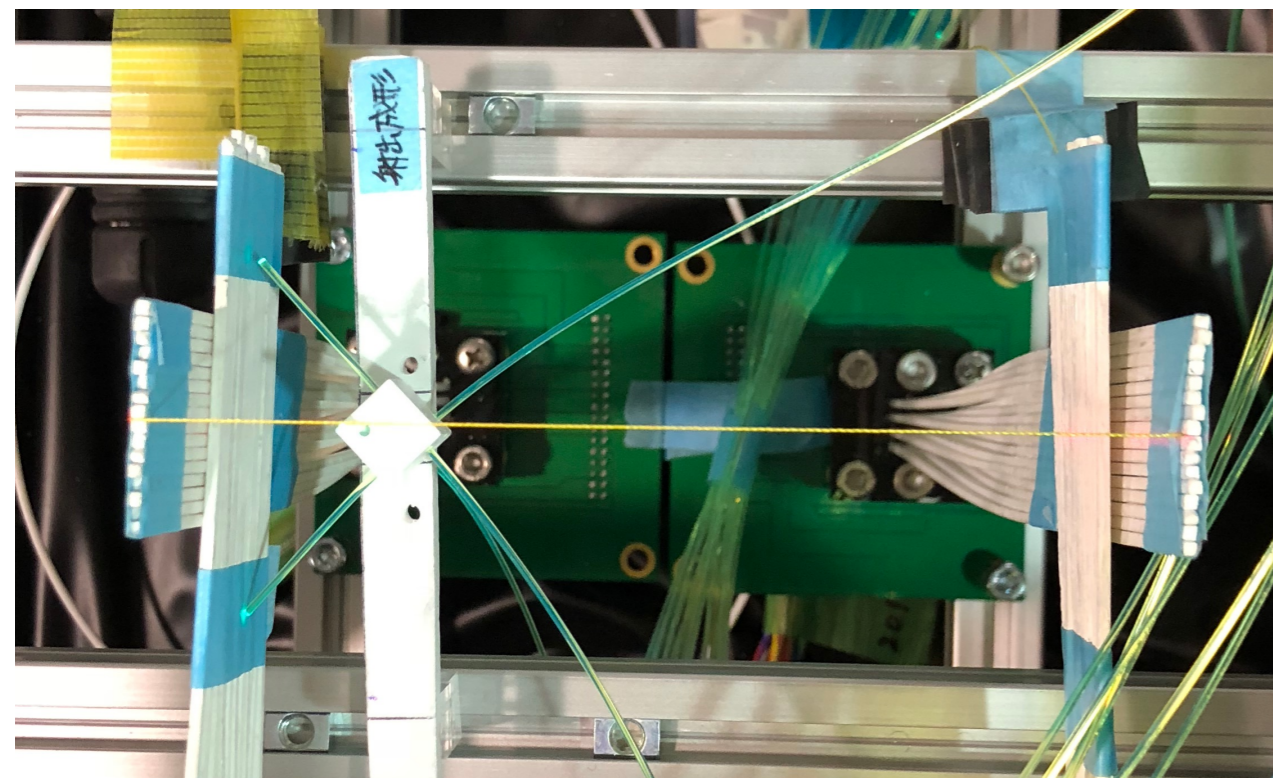
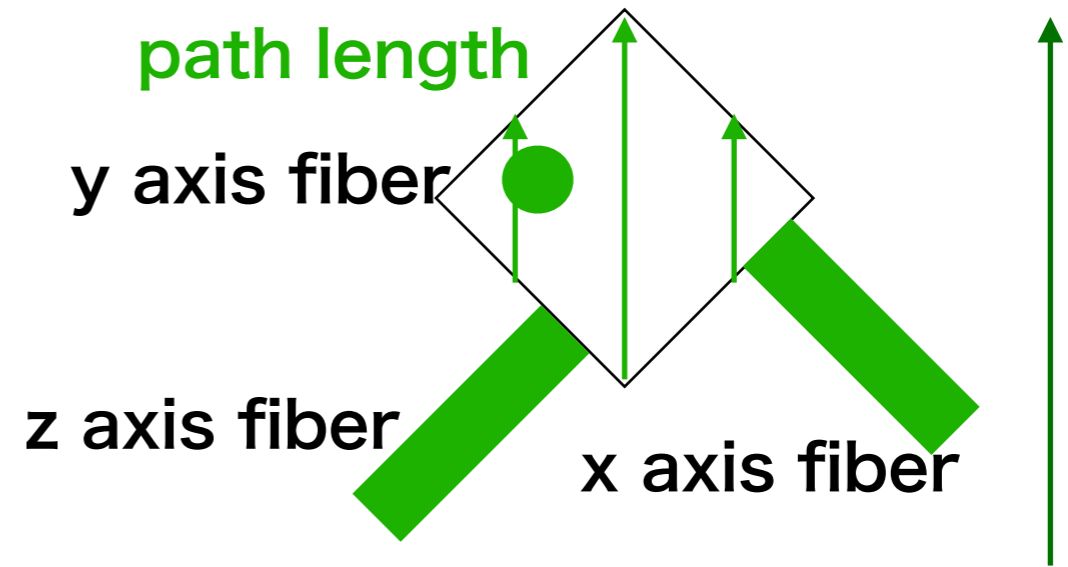


45度回転のセットアップの写真と図

ビームパイプから見た図

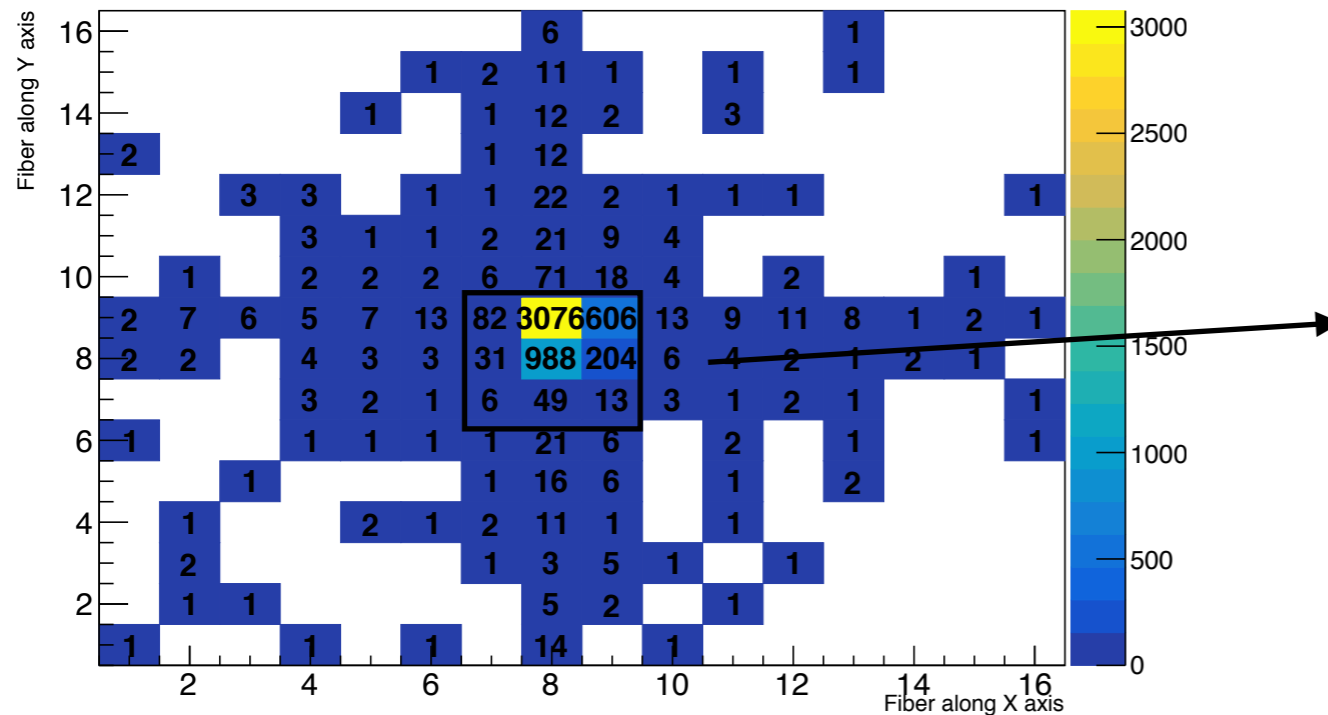


真上から見た図 beamの方向



hodoscope による beam profile と上流側と下流側のずれ の計算方法

ex. downstream hodoscopes when
cell 8:8 hits in upstream



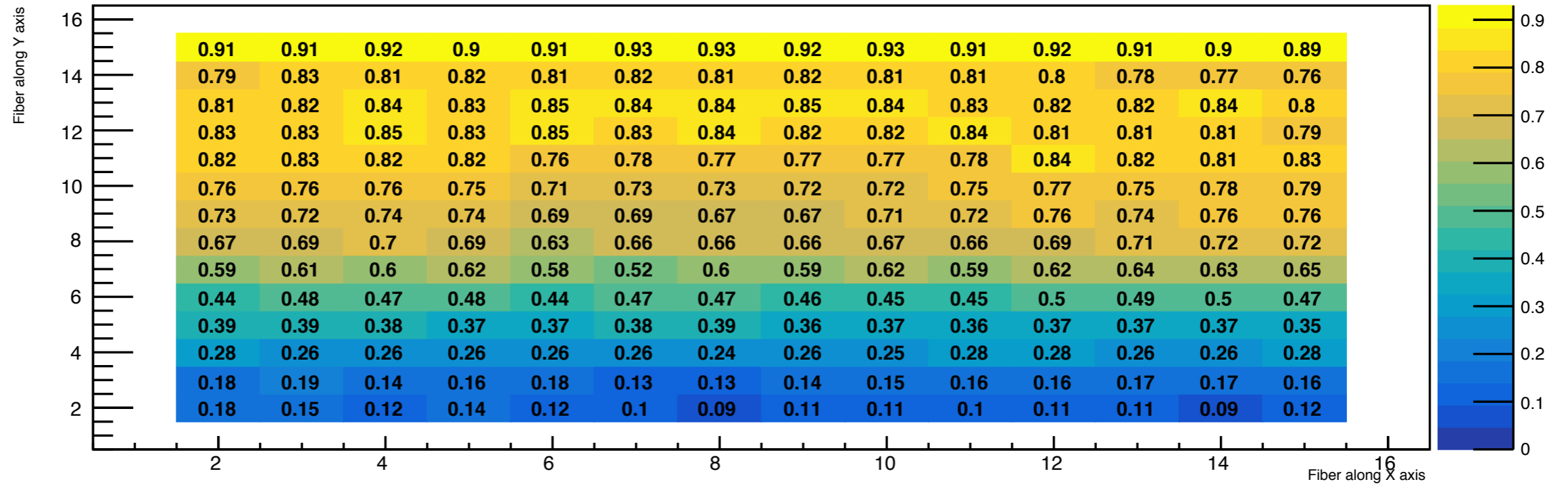
a1	a2	a3
b1	b2	b3
c1	c2	c3

$$\text{horizontal gap} = \frac{(a_3 + b_3 + c_3 - a_1 - b_1 - c_1)}{\sum_{u=a,b,c,i=1}^3 u_i}$$

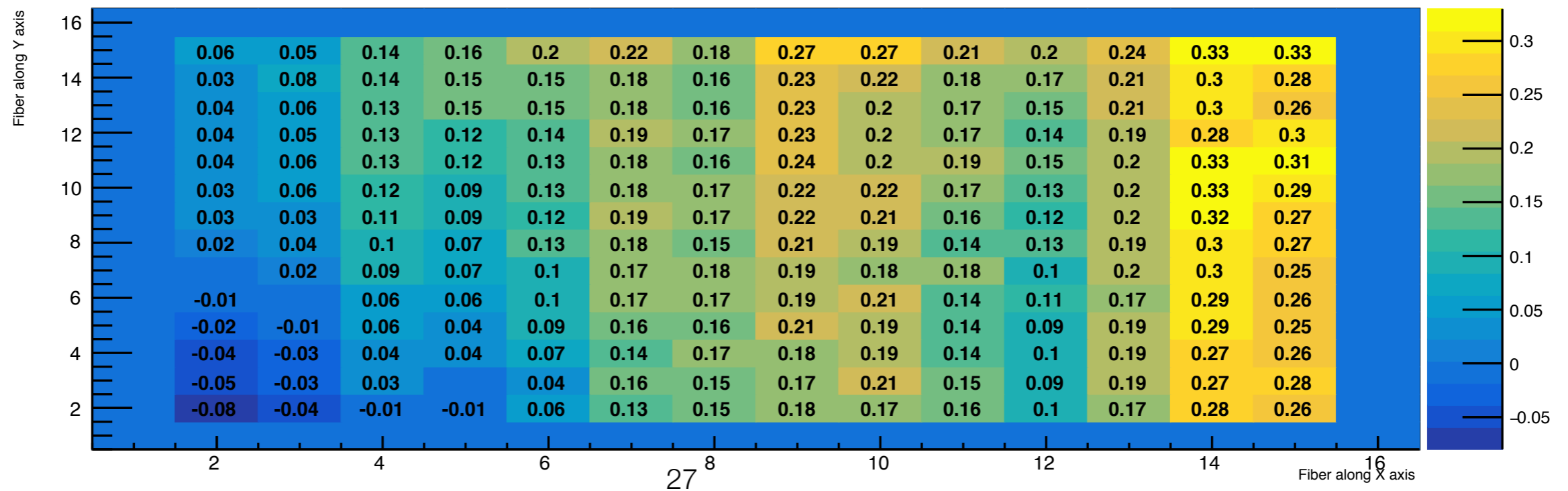
$$\text{vertical gap} = \frac{(a_1 + a_2 + a_3 - c_1 - c_2 - c_3)}{\sum_{u=a,b,c,i=1}^3 u_i}$$

上流側と下流側でのホドスコープのずれ

垂直方向のずれ



水平方向のずれ



単位長さあたりの光量と中心位置をフリーパラメーターとして以下の関数でフィットしてみることを考えた
(ビームの広がりは無視した)

$$y = -\underline{2a}|x - b| + \underline{\sqrt{2}a}$$

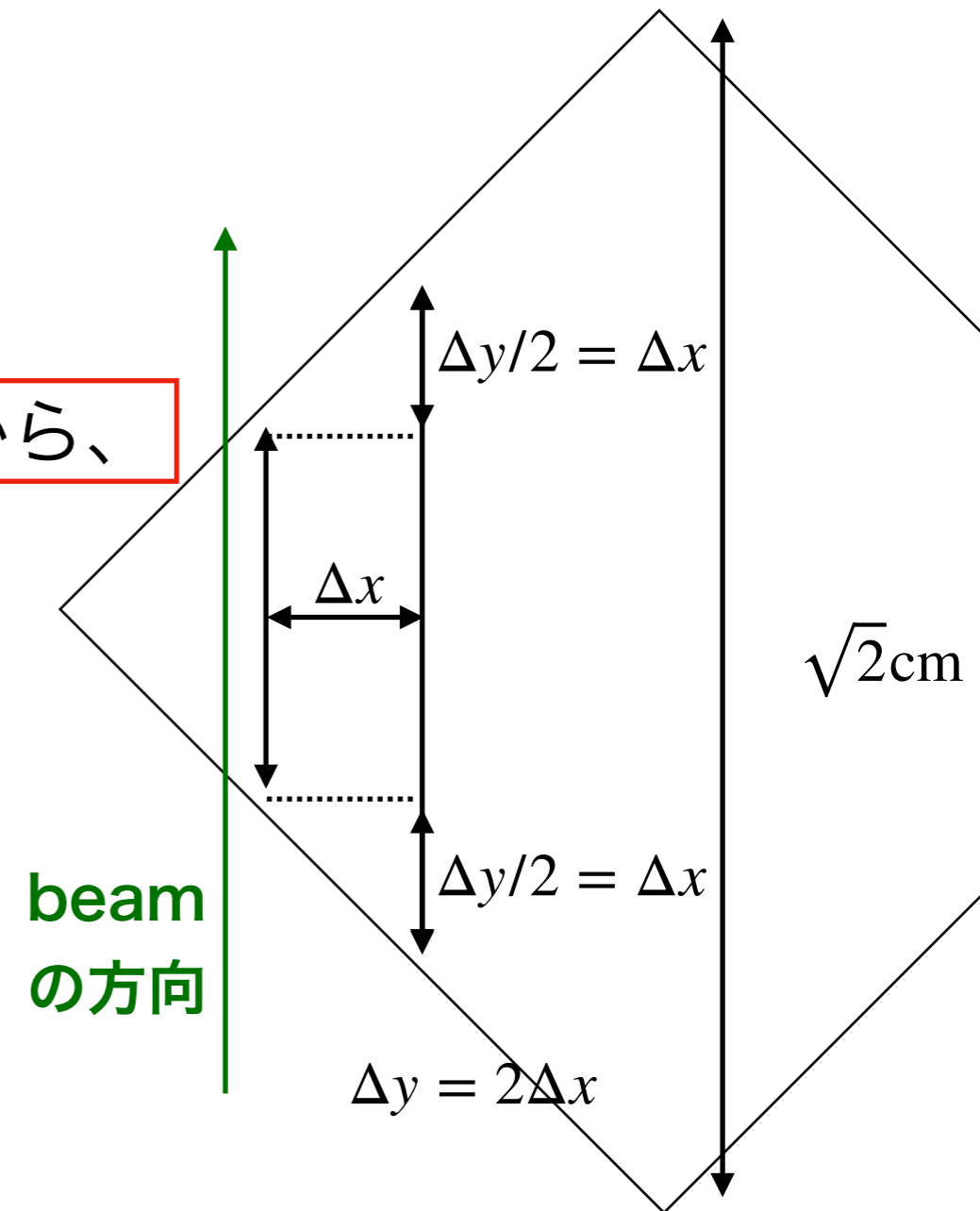
中心位置での path length が $\sqrt{2}\text{cm}$ であることから、

1 cell (0.17cm) ずれると
path length が 2 cell (0.34cm) ずれる
(右の図)

a : 1 cm を通った時の光量 (P.E.)

b : 中心位置のずれ (cm)

|x-b| : 中心位置からの距離 (cm)



ファイバーを通すことによる光量の変化

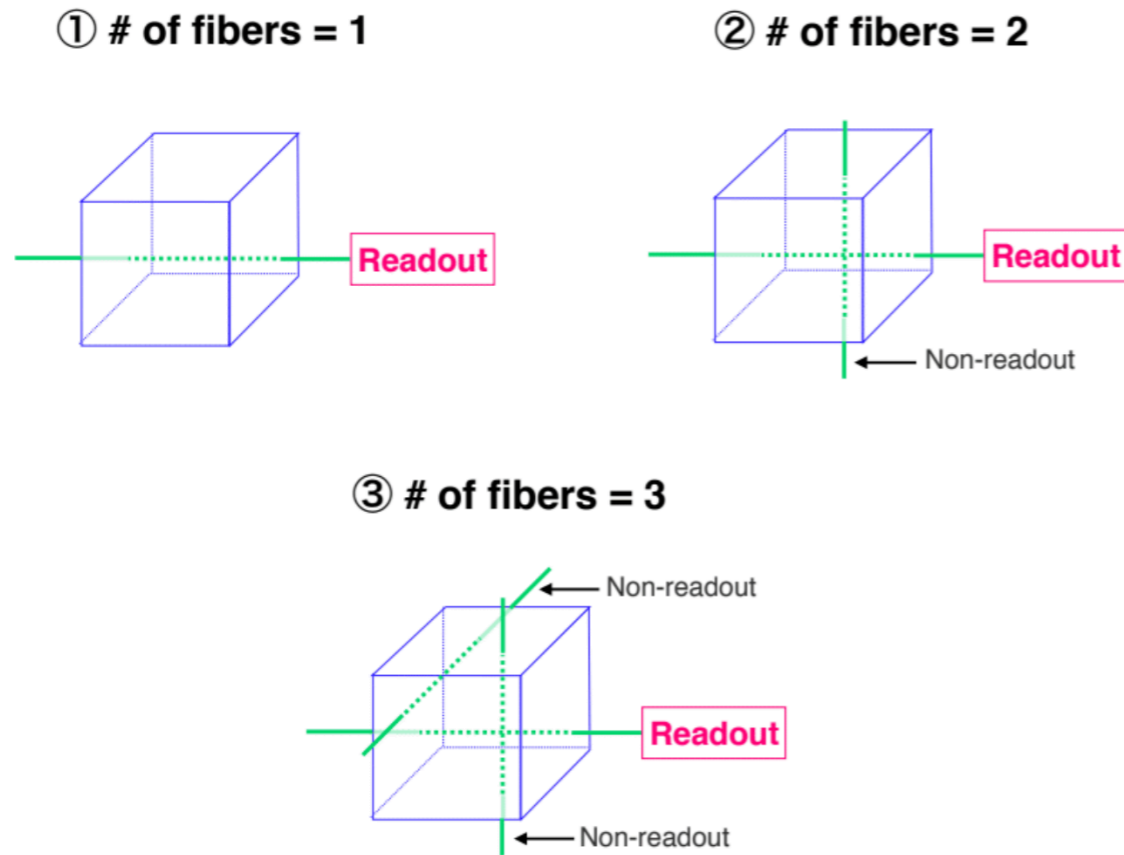


Figure A.4: Difference between the setups for each number of fiber

ファイバーを1本通すごとに20%光量が減少する

東大の藤田さんの修論参照

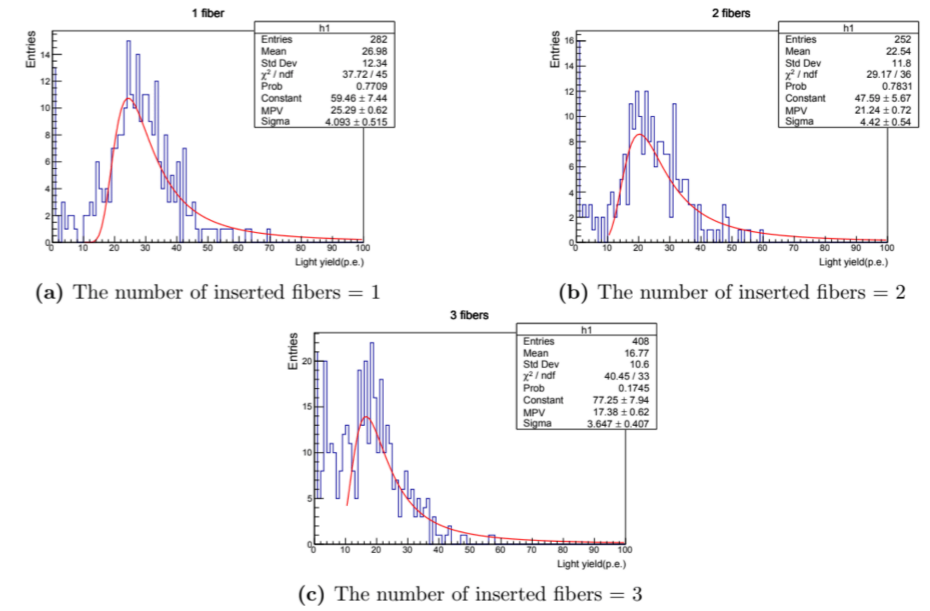


Figure A.6: Light yield distributions in each n each number of inserted fibers

