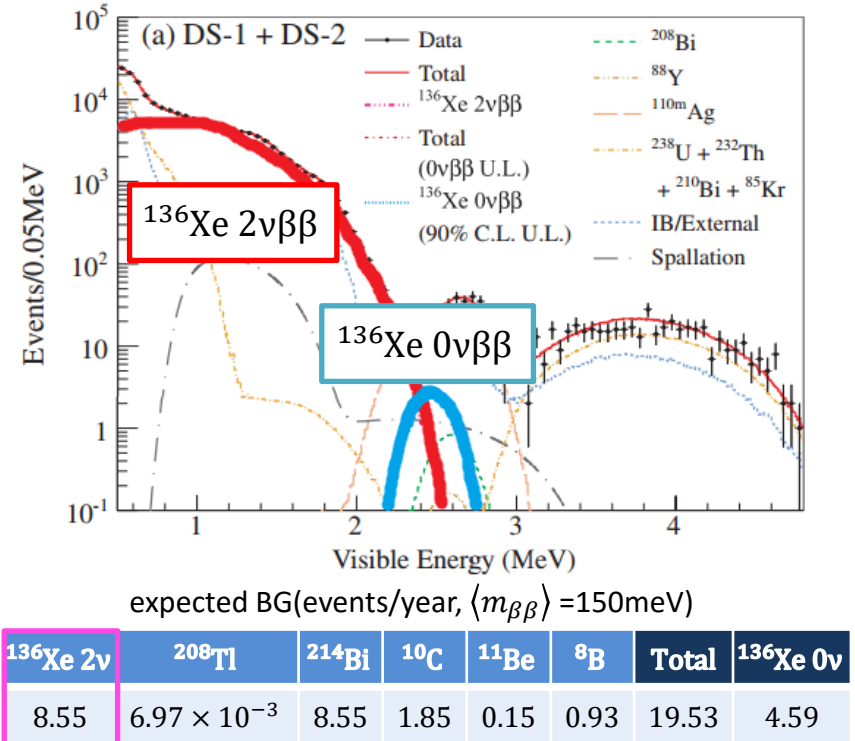
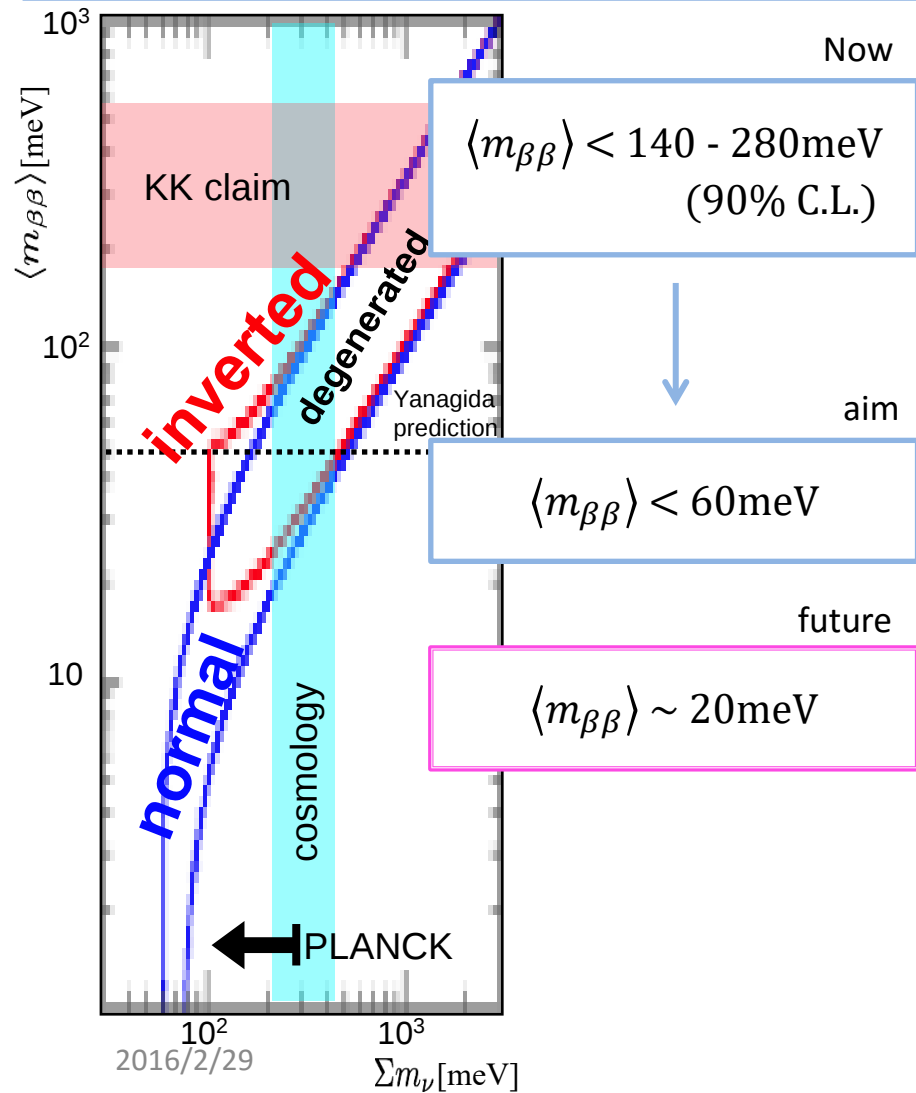


KamLAND2-Zenに向けた 集光ミラー開発の現状

2016年2月29日 第22回ICEPPシンポジウム
東北大学大学院修士1年 林 歩美

Motivation

KamLAND-Zen



$$N_{2\nu} \propto (\Delta E / E)^{5.8}$$

エネルギー分解能を高めることで、
2 $\nu\beta\beta$ 崩壊の信号と0 $\nu\beta\beta$ 崩壊の信号を
区別することができる。

Motivation

KamLAND2-Zen

Xe 増量

Xe 1000kg

集光ミラー

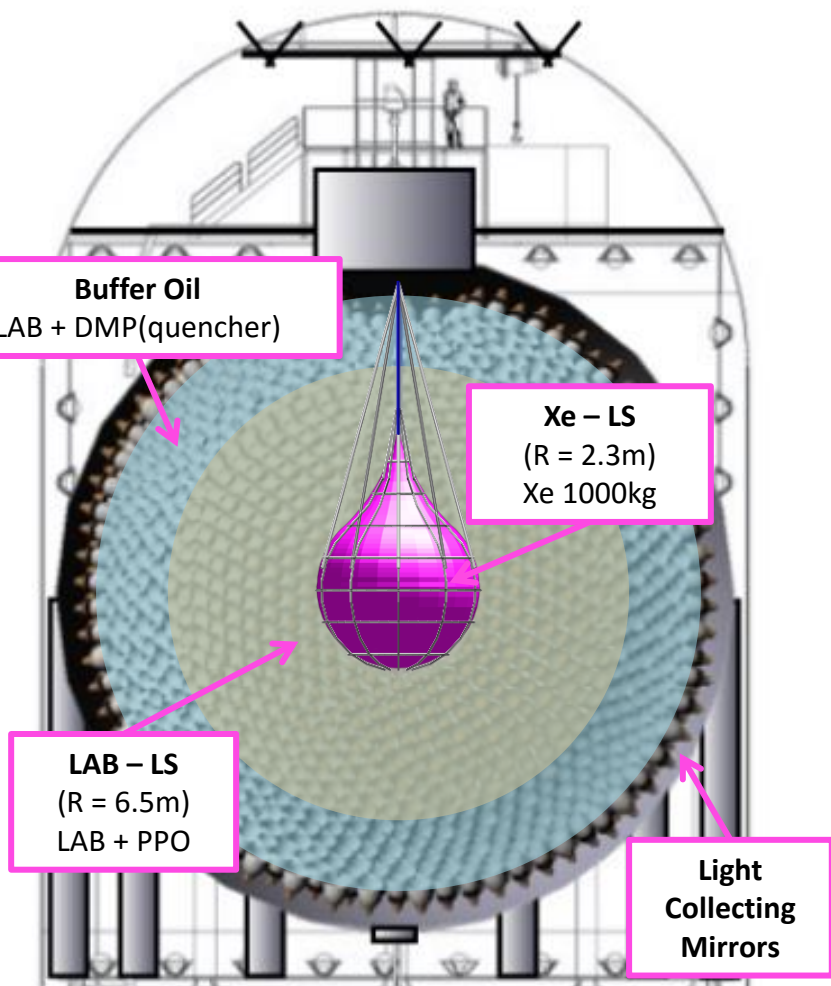
Light
Collecting Efficiency $\times 1.8$

LAB-LS

Light Yield $\times 1.5$

HighQ.E.PMT

Sensitivity $\times 1.9$



$$\Delta E/E \sim \times 0.6$$

$$\langle m_{\beta\beta} \rangle \sim 20\text{meV} / 5\text{years}$$

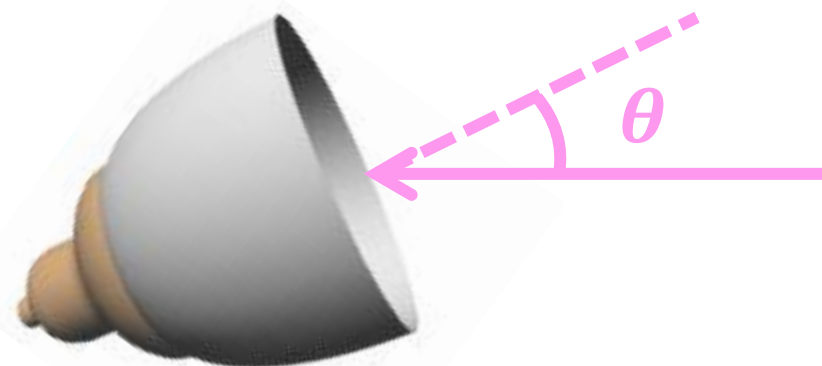
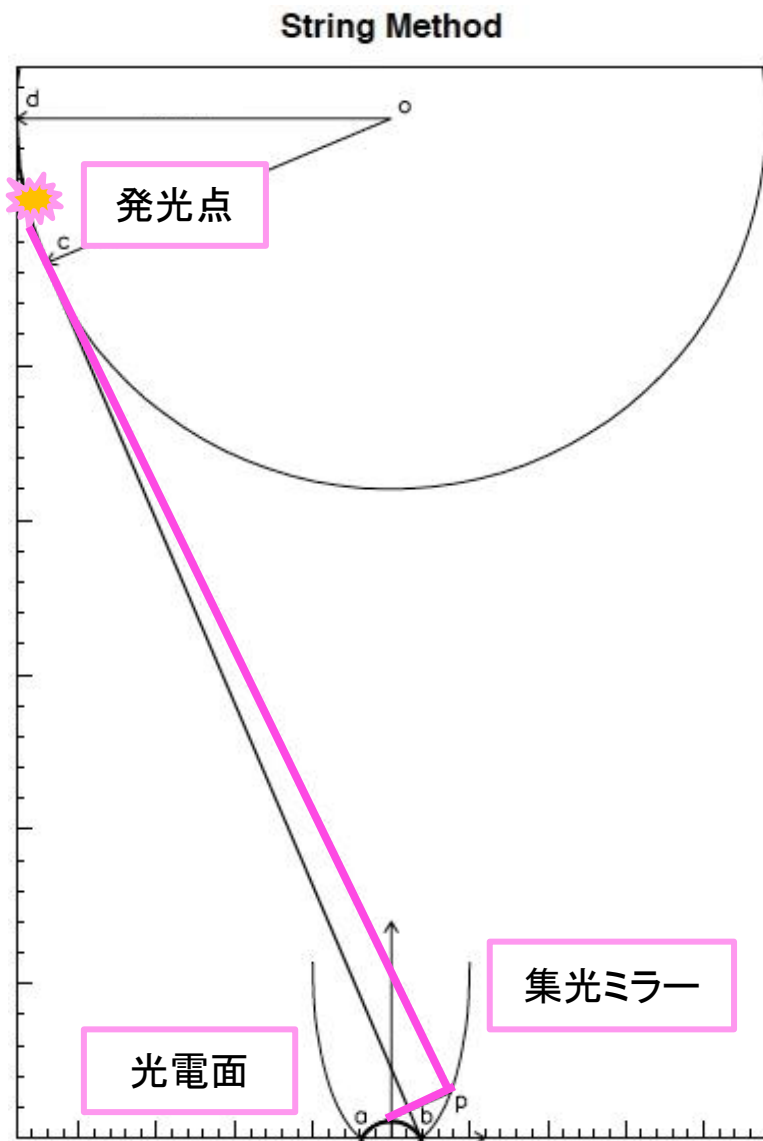
Outline

- Winstoncone
 - 形状・素材決定
 - 作製・評価
- Simulation
 - 量子効率の位置・角度依存性
 - LAB-LSの特性
 - 形状の最適化
- まとめと今後

Outline

- Winstoncone
 - 形状・素材決定
 - 作製・評価
- Simulation
 - 量子効率の位置・角度依存性
 - LAB-LSの特性
 - 形状の最適化
- まとめと今後

Winstoncone (Light Collecting Mirror)



20" PMT用

mini-balloon: $\theta < 15\text{deg}$

KamLAND balloon: $\theta < 38\text{deg}$

- 一般的なライトガイド形状
- スtringメソッドで形状決定
発光点から最高一回の反射で
PMTの光電面に到達する
- 素材は PET板 + Al蒸着
柔軟さ、低放射能、高反射率、化学的安定性

Winstoncone (Light Collecting Mirror)

作製手順

- 錐形の作製
PET板成型のための錐型を作る
- PET板の成型
真空成型でPET板を成型する
- アルミニウム蒸着
真空炉でアルミを蒸着する

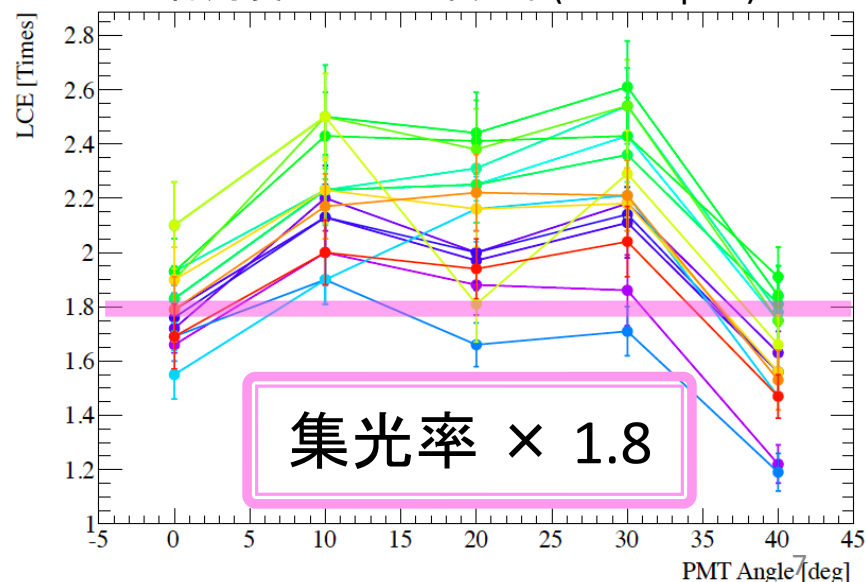
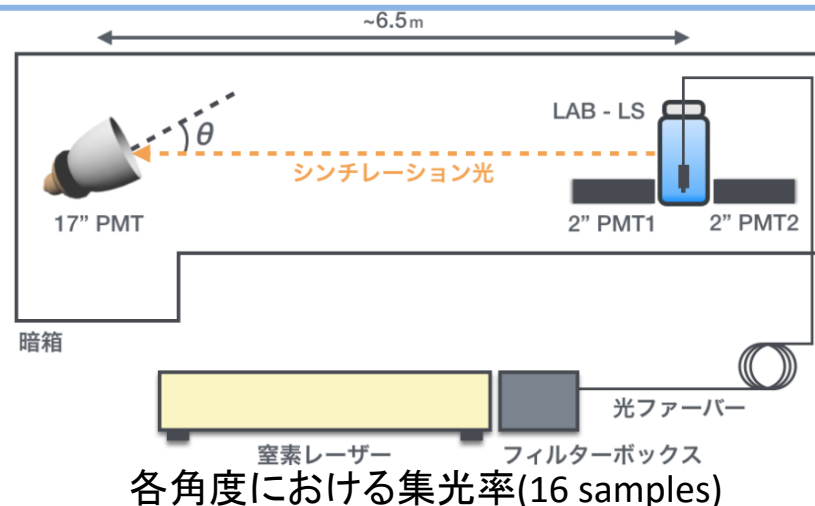


2016/2/錐型



成型

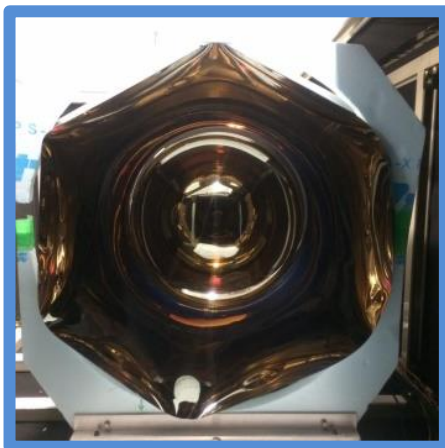
評価



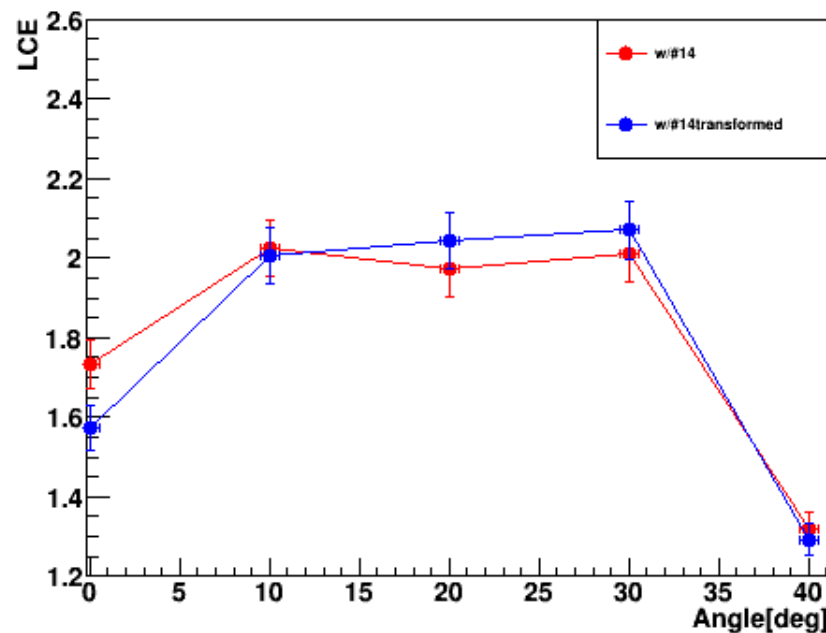
Winstoncone (Light Collecting Mirror)

変形時の影響

- PMTにミラーを装着すると、
隣のミラーと干渉してしまう
- 簡易的に変形させ、
コーンの変形前後の集光率の変化
を評価した



結果 (サンプル番号#14)



集光率の変化は誤差の範囲内におさまっている
->実際のスケールでの干渉を確認する必要あり(今後)

Outline

- Winstoncone
 - 形状・素材決定
 - 作製・評価
- Simulation
 - 量子効率の位置・角度依存性
 - LAB-LSの特性
 - 形状の最適化
- まとめと今後

Simulation

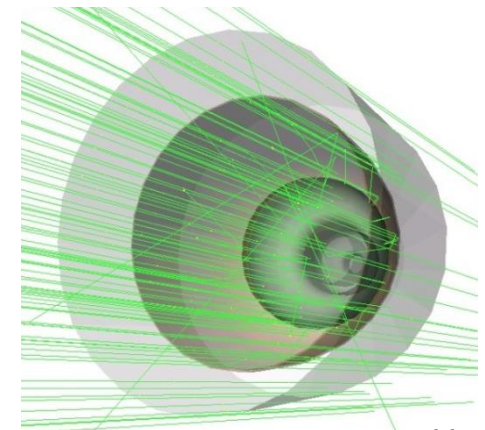
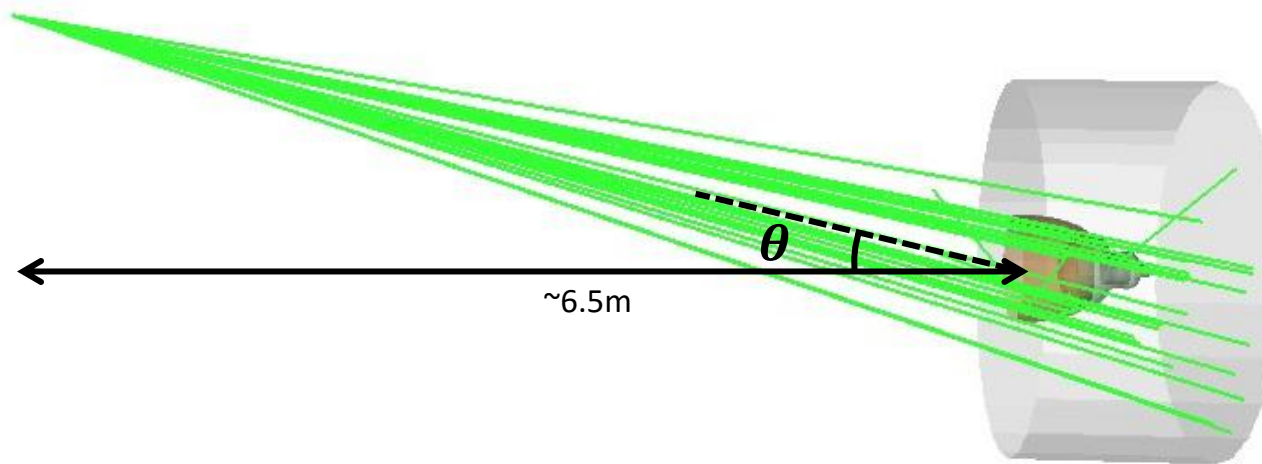
Geant4 Simulation

- 実験結果を再現するかを確認
-> PMTの量子効率の位置・角度依存性
- 実験が困難なLAB-LS中での集光率の評価が可能
-> LAB-LSの特性
- 作製しなくても、形状による集光率変化を確認し、最適化できる

Simulation

Geant4 Simulation

- Geant4のphoton simulationを用いた
- PMTの形状、QEのデータは、KamLANDのシミュレーション「KLG4」のもの
- Setting
 - optical surface: unified, polished, dielectric-metal
 - reflectivity: 85%

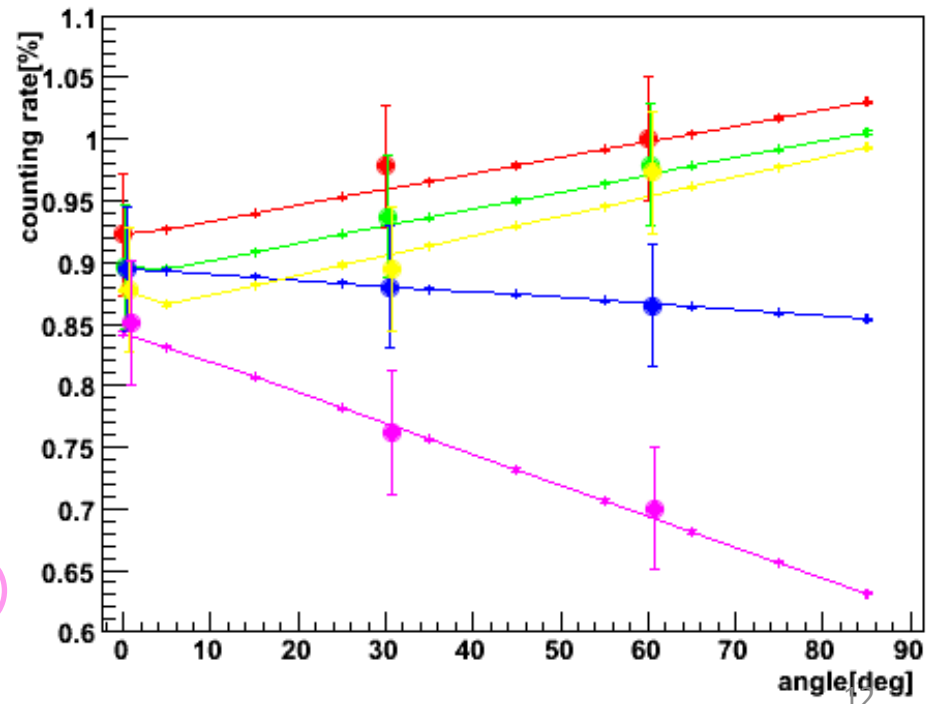
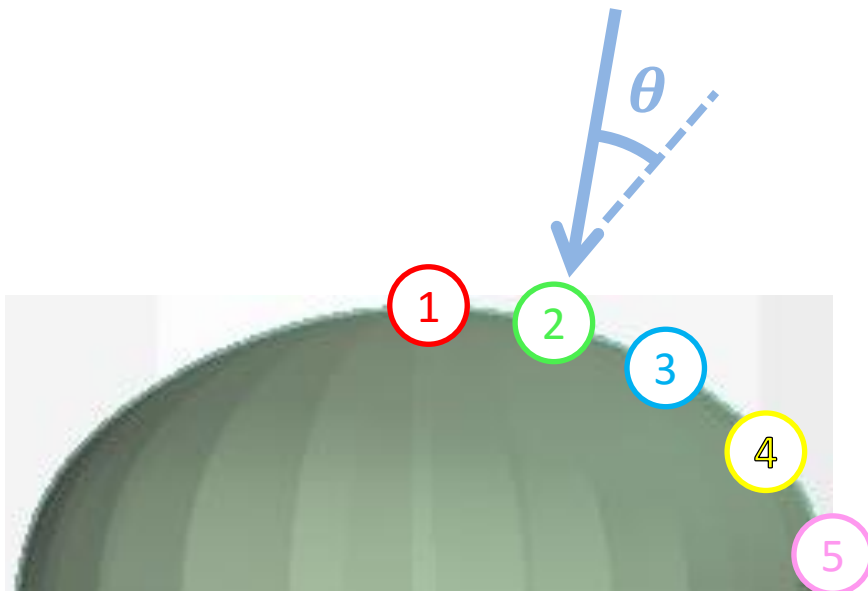


20inch mirror ¹¹

Simulation

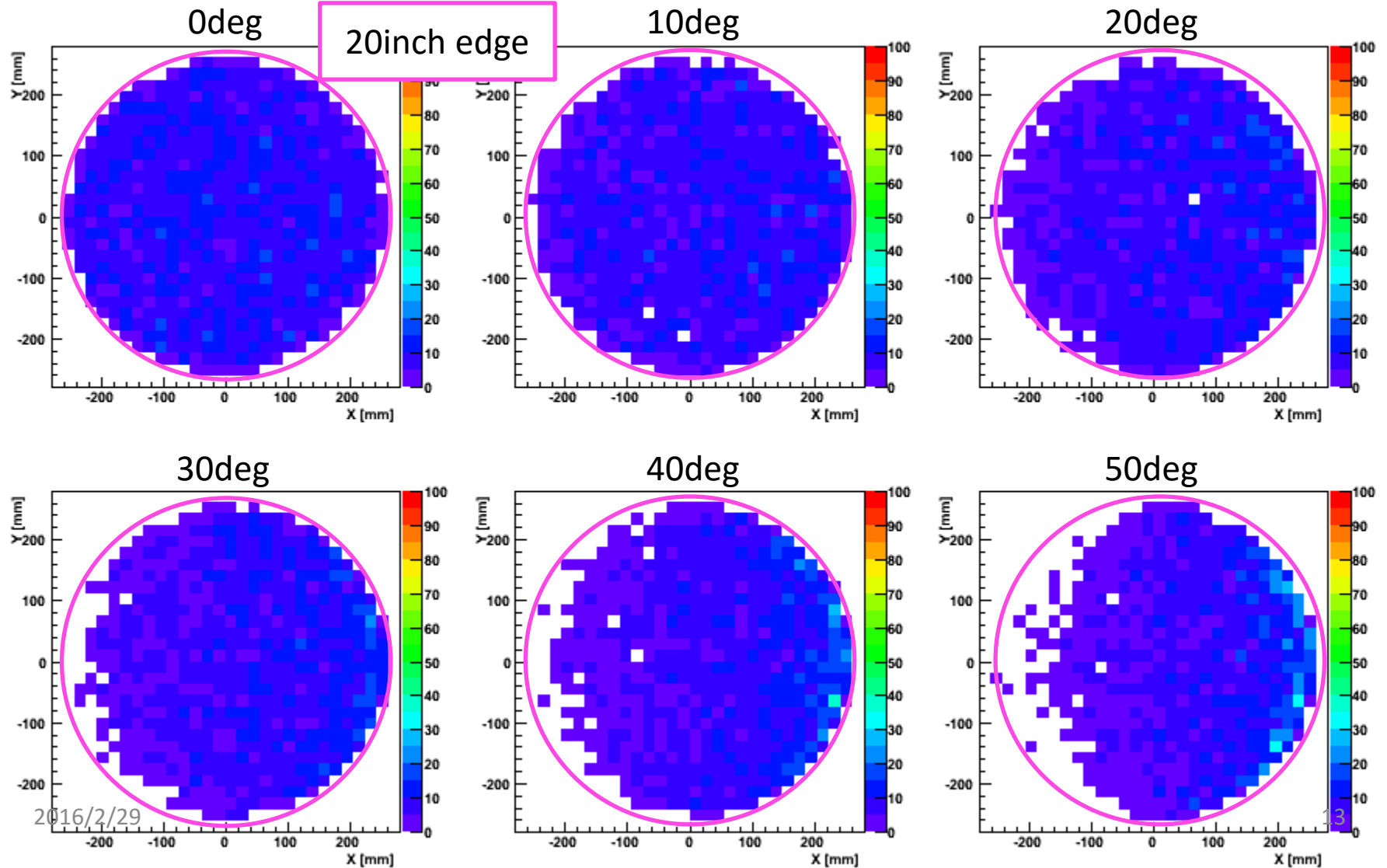
位置・角度依存性

- 位置・角度依存性を測定
 - 光電面上5点での計数率
- 線形でfitし、10分割することで、各部分での量子効率の位置・角度依存性をシミュレーションに組み込んだ



Simulation

w/o Mirror hit map



20inch Mirror hit map



Simulation

位置・角度依存性

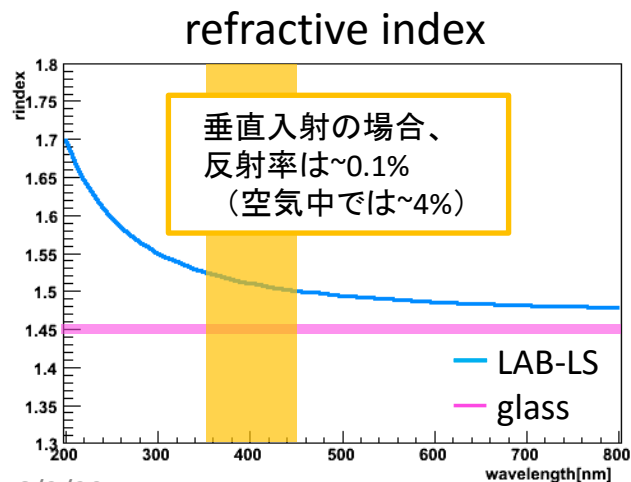
	w/o	w/ 20inch		experiment
0deg	412.5	865.6	2.10	1.82
10deg	348.5	701.6	2.01	2.21
20deg	354.6	695.8	1.96	2.12
30deg	323.1	675.2	2.09	2.24
40deg	307.7	536.9	1.75	1.61

- 位置・角度依存性を組み込んだことにより、より測定された集光率に近い値となった
- 20inch mirrorは集光率が高いが、多くの光子はTTSや計数率の悪い光電面のエッジ部分にヒットしている

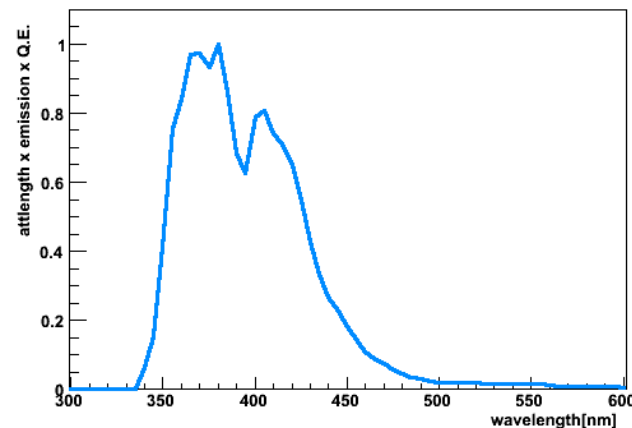
Simulation

LAB-LS and Buffer Oil (LAB w/o PPO)

- LAB-LSの特性
 - LAB w/ PPO 発光スペクトル
 - LAB w/ DMP 減衰長
 - LAB w/ DMP 屈折率
- 先行研究により測定されているデータをシミュレーションに組み込んだ



emission x attenuation length x PMT Q.E.



New Simulation

LAB-LS and Buffer Oil (LAB w/o PPO)

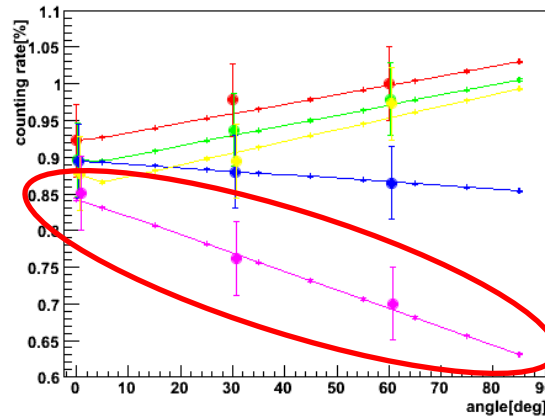
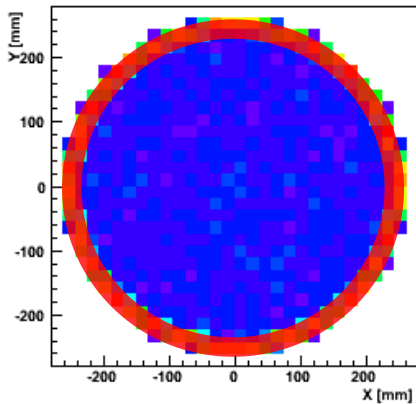
	in Buffer Oil		
	w/o	w/ 20inch	
0deg	394.0	835.7	2.12
10deg	288.1	660.9	2.29
20deg	296.7	595.5	2.01
30deg	295.5	564.1	1.91
40deg	251.1	473.0	1.88

in the air		
w/o	w/ 20inch	
412.5	865.6	2.10
348.5	701.6	2.01
354.6	695.8	1.96
323.1	675.2	2.09
307.7	536.9	1.75

- Buffer Oil中では、屈折率の違いにより空气中よりも集光率が高い
- Buffer Oilは集光率に大きく影響を与えなかった

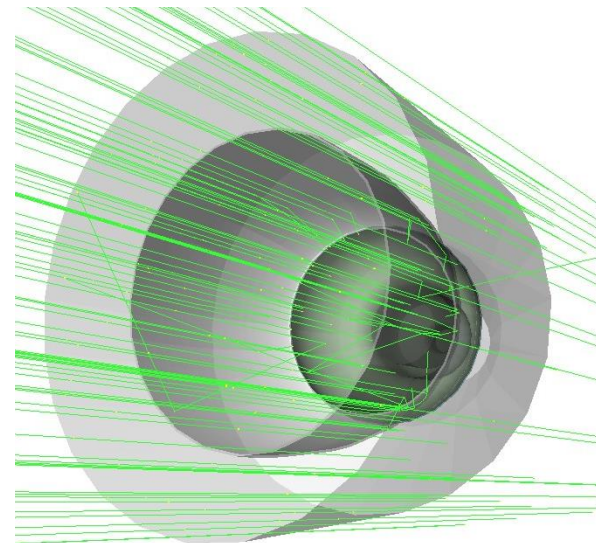
Simulation

形状の最適化



光子が多くヒットする
エッジの部分は、
計数率やTTSの値が悪く
時間分解能が悪くなってしまう
-> 形状の最適化が必要

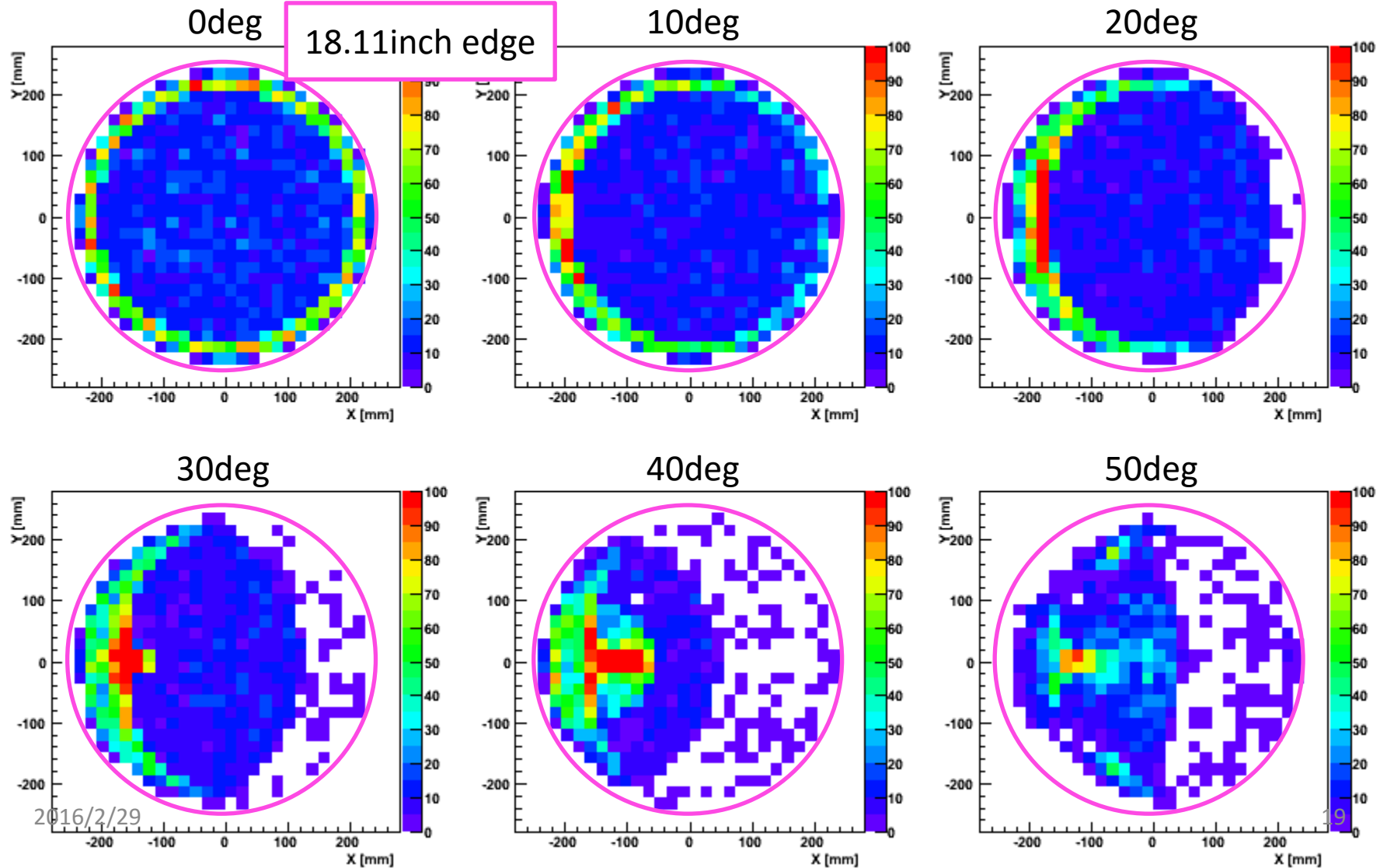
- 出口の半径に応じて、
集光ミラーのサイズを変更
- 有効光電面内に確実に
光子をヒットさせるために、
形状の最適化を行った
(浜松ホトニクスによると、
有効光電面は $\phi < 230\text{mm}$)



18.11inch mirror

Simulation

形状の最適化: hit map



Simulation

形状の最適化: 集光率

	w/o	w/ 18.11inch
0deg	416.4	685.6
10deg	341.7	541.3
20deg	344.3	549.2
30deg	312.0	501.0
40deg	272.6	401.3

確かに有効光電面内に
光子がヒットするが、
集光率が約1.6倍に落ちてしまう

17inch	18inch	19inch	20inch
1.37	1.67	1.86	2.10
1.49	1.56	1.97	2.01
1.46	1.56	1.77	1.96
1.70	1.62	1.76	2.09
1.49	1.53	1.58	1.75

光量小

大

集光ミラーのサイズを変更すると、
光量は少なくなることが分かる

光量をあまり落とさず、かつ時間分解能を悪くしない、
実際の有効光電面の範囲を細かく測定する必要あり(今後)

Outline

- Winstoncone
 - 形状・素材決定
 - 作製・評価
- Simulation
 - 量子効率の位置・角度依存性
 - LAB-LSの特性
 - 形状の最適化
- まとめと今後

まとめと今後

まとめ

- 将来計画であるKamLAND2-Zen実験では、集光率向上のための集光ミラーを導入予定
- PMTの量子効率の位置・角度依存性を組み込んだシミュレーションの結果は、実験結果に近くなった
- LAB-LSやBuffer Oilは集光率に影響しない
- PMTの有効光電面を考慮した、18.11inch($p=230\text{nm}$) mirrorでは、集光率は約1.6倍となった

今後

- KamLANDスケールでの、隣のミラーとの干渉の影響の確認
- 実際の有効光電面の範囲の測定 -> 最適な形状の再決定
- PMTに装着する際の固定具等のデザイン

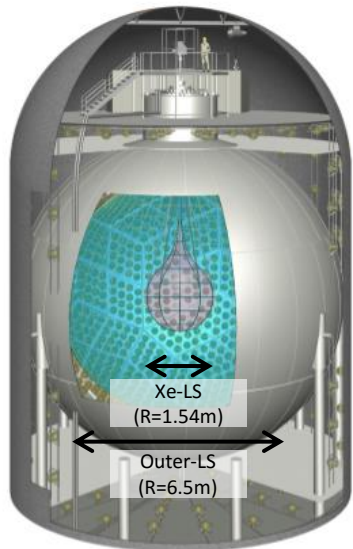
Backups

Motivation

KamLAND-Zen

Kamioka Liquid scintillator Anti-Neutrino Detector
- Zero Neutrino Double Beta Decay Search

Double-beta Decay Experiment with ^{136}Xe



1000m underground

Outer - LS 1000ton

Xe - LS (Xe 320kg)

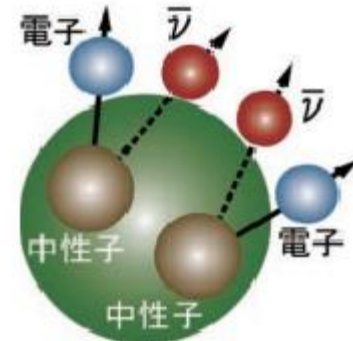
1879 PMTs

the best sensitivity
in the world

Double-beta Decay

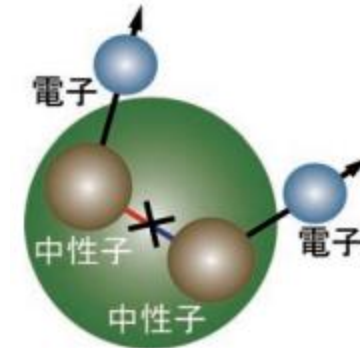
- $2\nu\beta\beta$ Decay
with 2 anti-neutrinos

Standard Model



- $0\nu\beta\beta$ Decay
without neutrino

searching the decay...

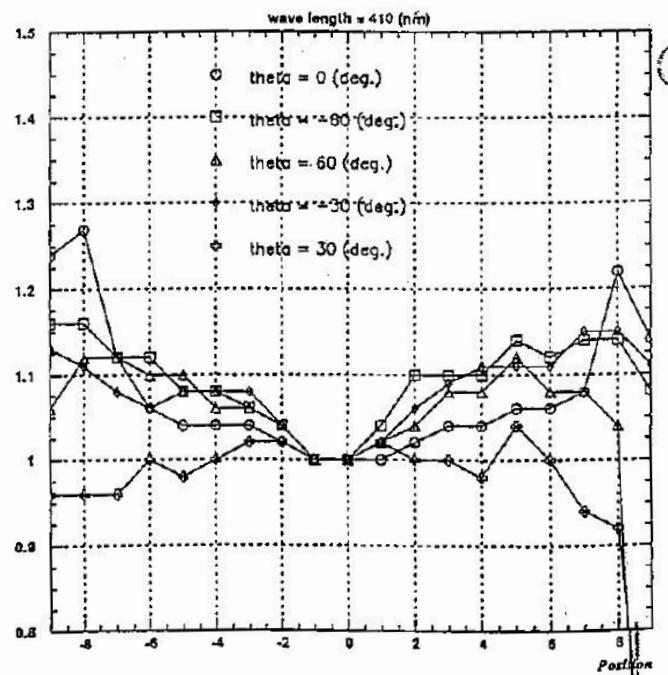
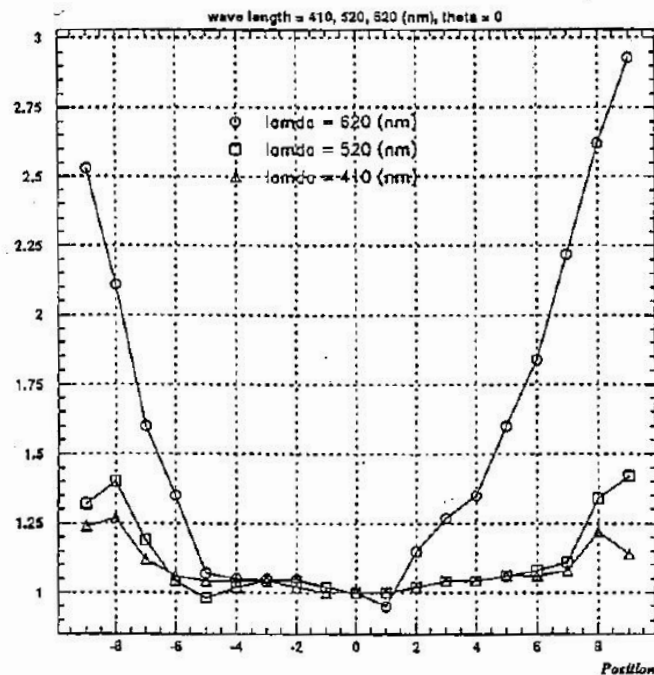


- majorana nature of the neutrino
- neutrino mass hierarchy
- matter dominated

Ray Trace Simulation

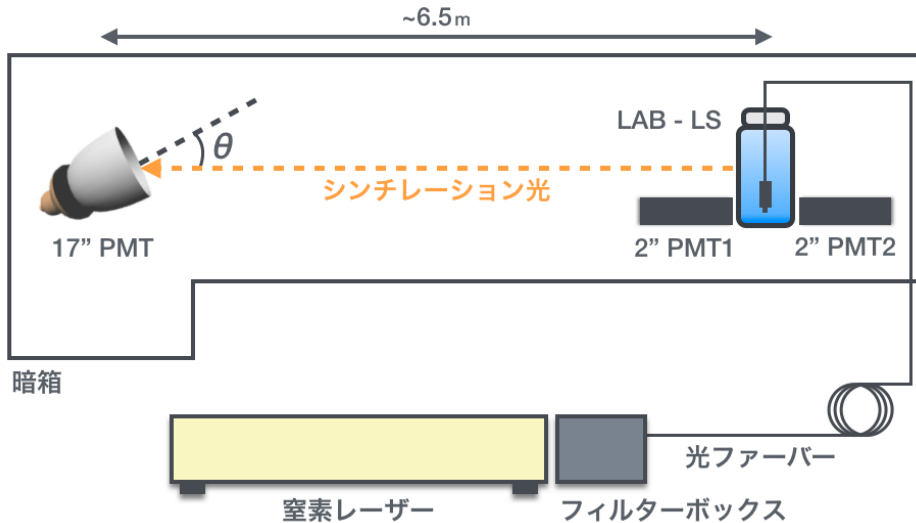
Position Compensation of Quantum Efficiency

- We assume that the output of incident angle changes quantum efficiency, and compensate it



Mirror Deformation

Set Up



(Diagram by Tachibana-san)

filter : ND2 × 2, ND4 × 2, ND8 × 2

laser : ~10Hz

angle: 0, 10, 20, 30, 40

How to evaluate LCE

- Calculate hit probability of 17" PMT :

P_{hit}

$$P_{hit} = \frac{17" \text{ PMT hit counts}}{2" \text{ PMT hit counts}}$$

- Calculate no hit probability of 17" PMT : P_{nohit}

$$P_{nohit} = 1 - P_{hit}$$

- Calculate expected p.e. counts from Poisson distribution

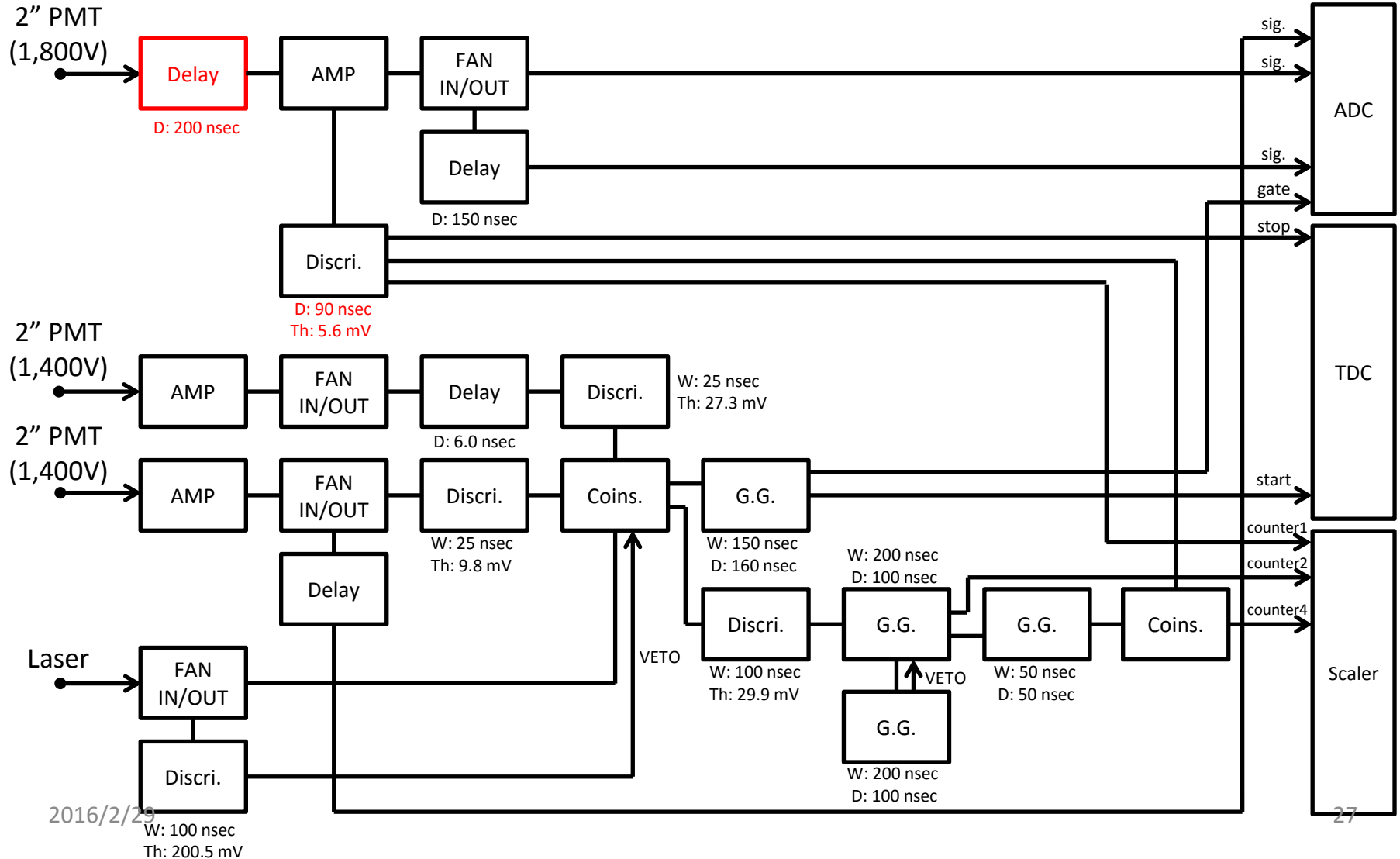
$$\lambda = -\ln(P_{nohit})$$

- Calculate the ratio of w/ cone and w/o cone : R

$$R = \frac{\lambda_{w/cone}}{\lambda_{w/ocone}}$$

Mirror Deformation

Circuit Diagram



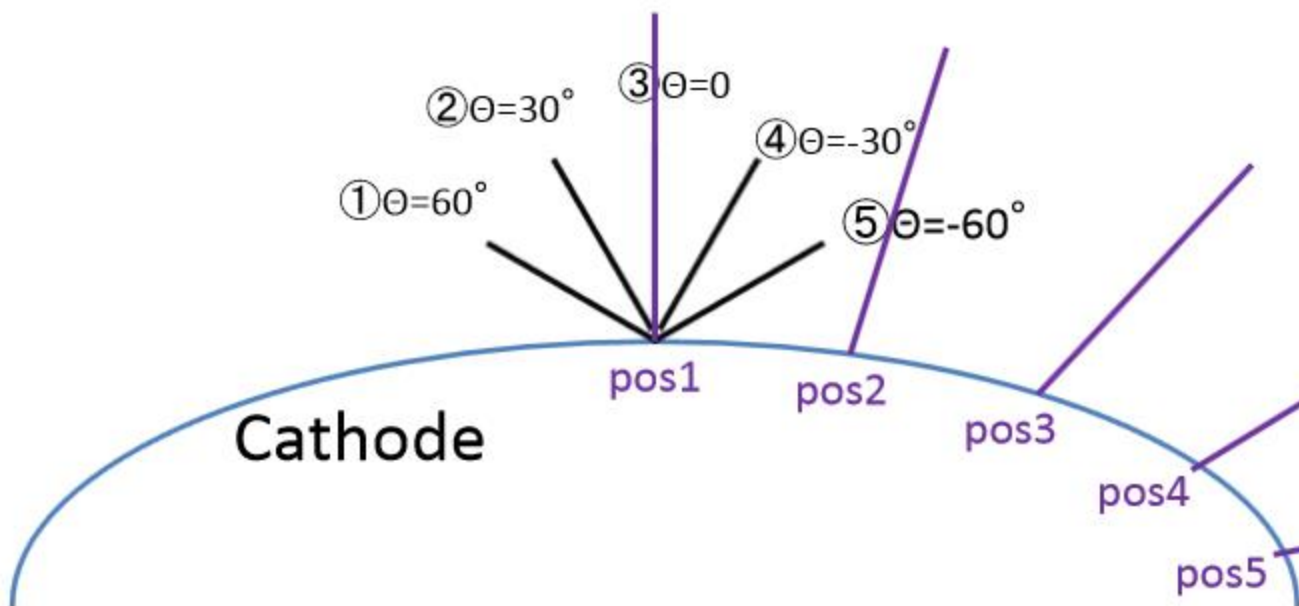
計数率の入射角度と位置依存

ファイバーケーブルを取り付けたアクリル板



位置固定具へ
挿入

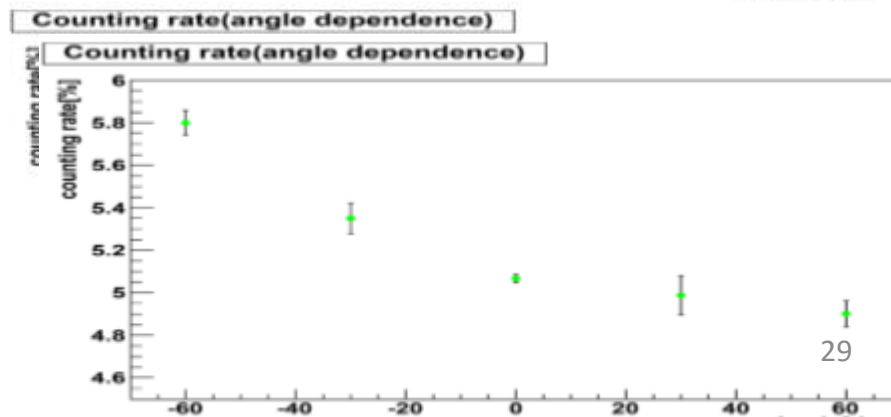
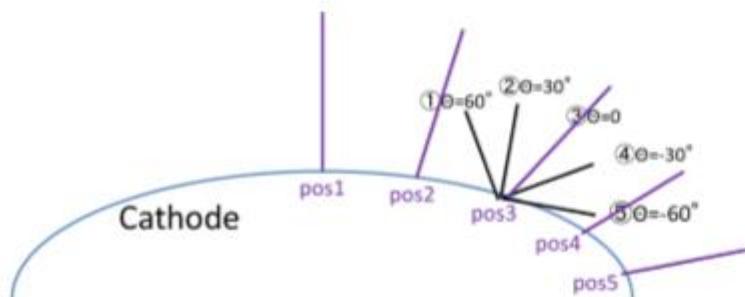
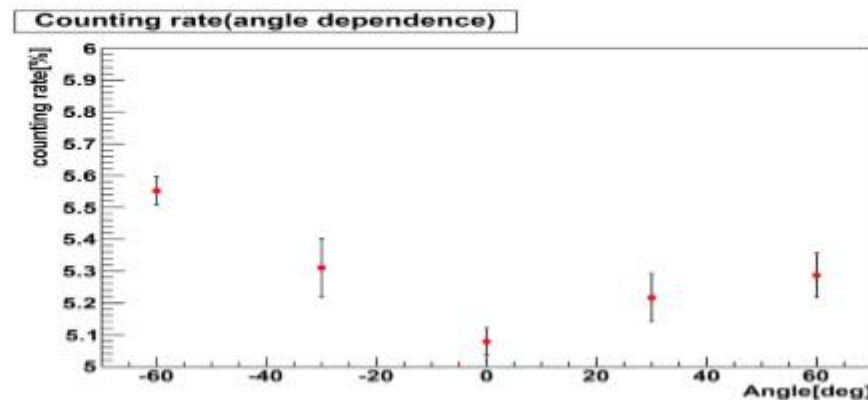
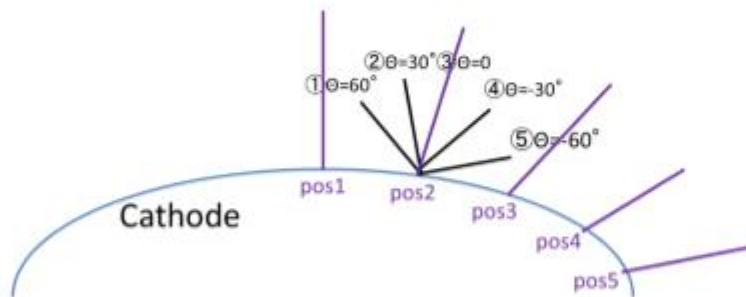
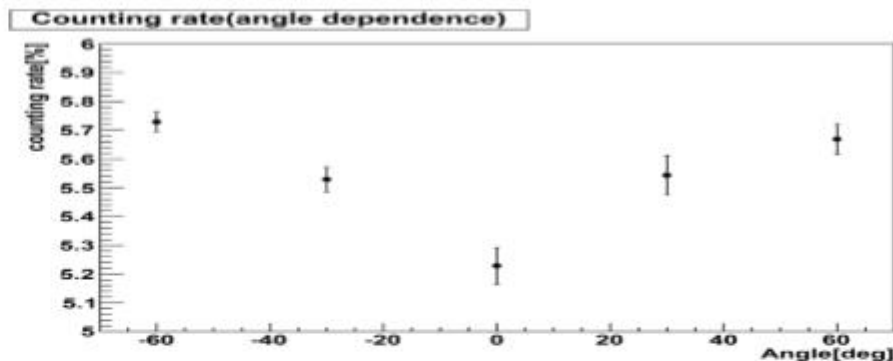
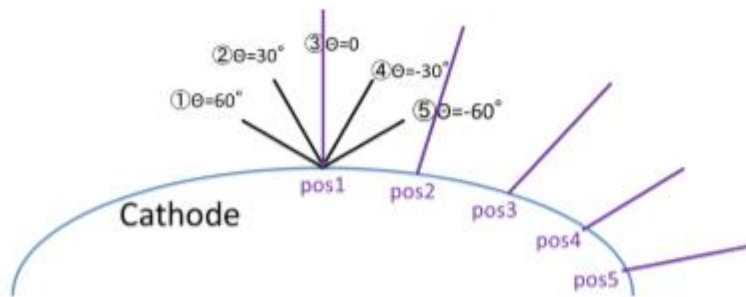
ファイバーケーブル設置図



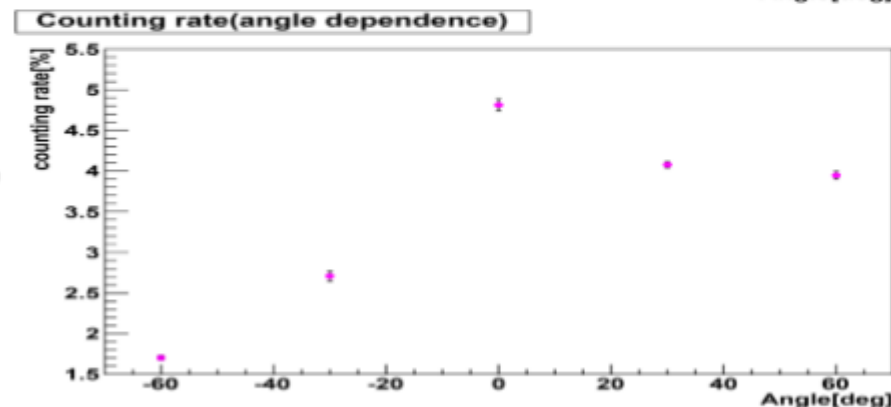
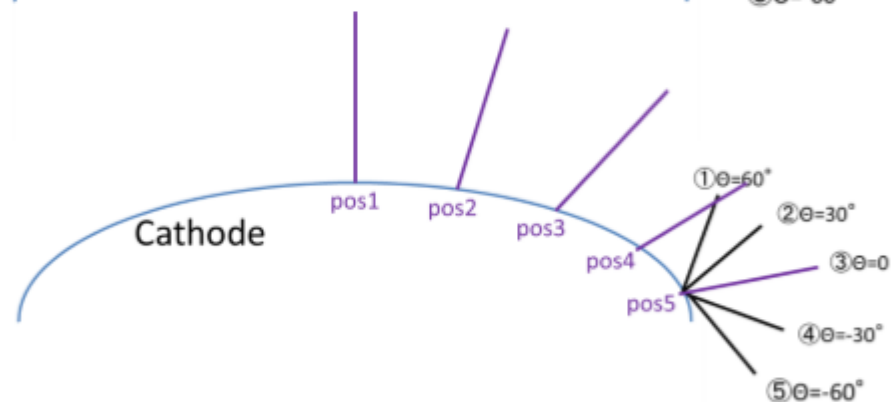
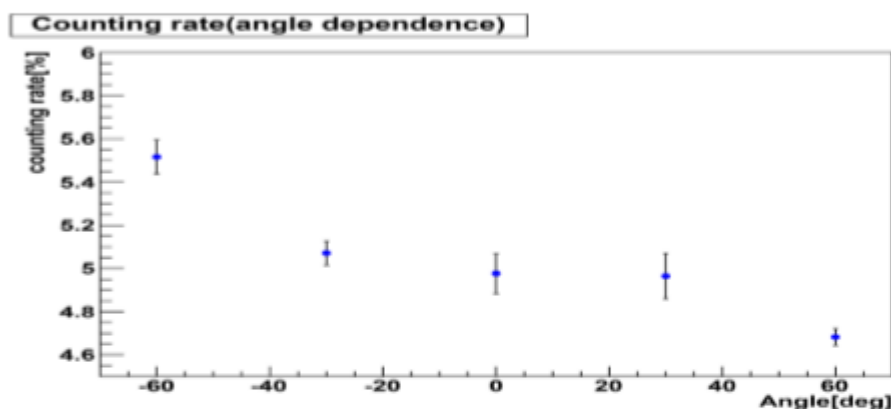
入射角度と位置の概念図

1つのポジションに対して5方向の角度から入射させて計数率を比較する(全部で25点)

Counting rate($\phi=\pi/2$)



Counting rate($\phi=\pi/2$)



光電面の中心部では角度をつけるほど出力が上がる
 光電面の端に行くにつれて低角度側の計数率の落ち込みが見られる
 ※ガラス表面の反射率は補正済