

CTA 報告 62

CTA 大口径望遠鏡用ライトガイドの試作機 性能評価及び大量生産に向けた開発

茨城大学理工学研究科 田中 駿也

林田将明^A, 奥村暁^{B,C}, 片桐秀明, 手嶋政廣^{A,D}, 大岡秀行^A,

加賀谷美佳, 齋藤浩二^A, 千川道幸^E, 中嶋大輔^A,

野里明香^E, 野田浩司^D, 花畑義隆^A, 馬場浩則, 柳田昭平, 山本常夏^F,

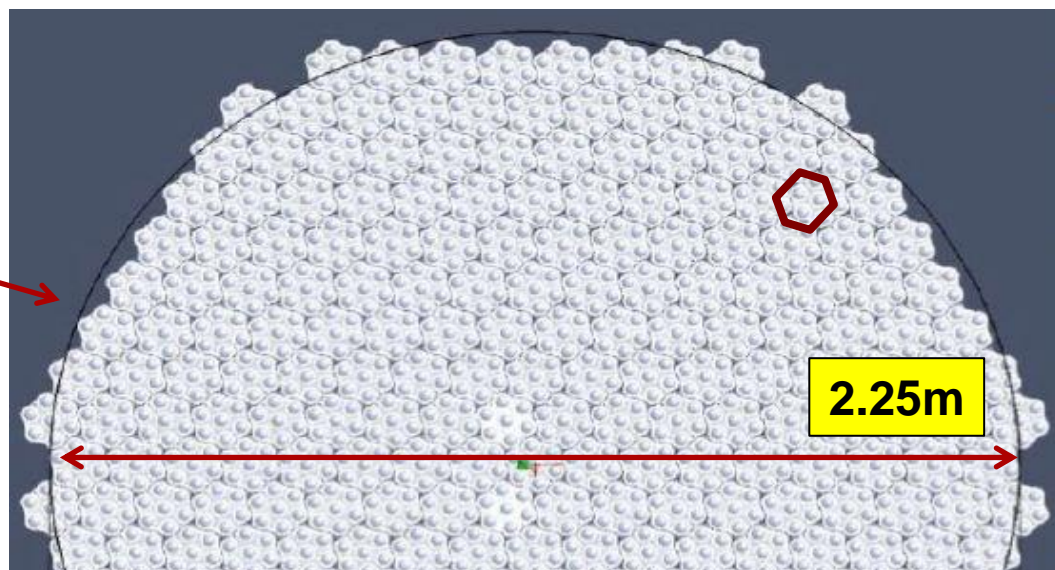
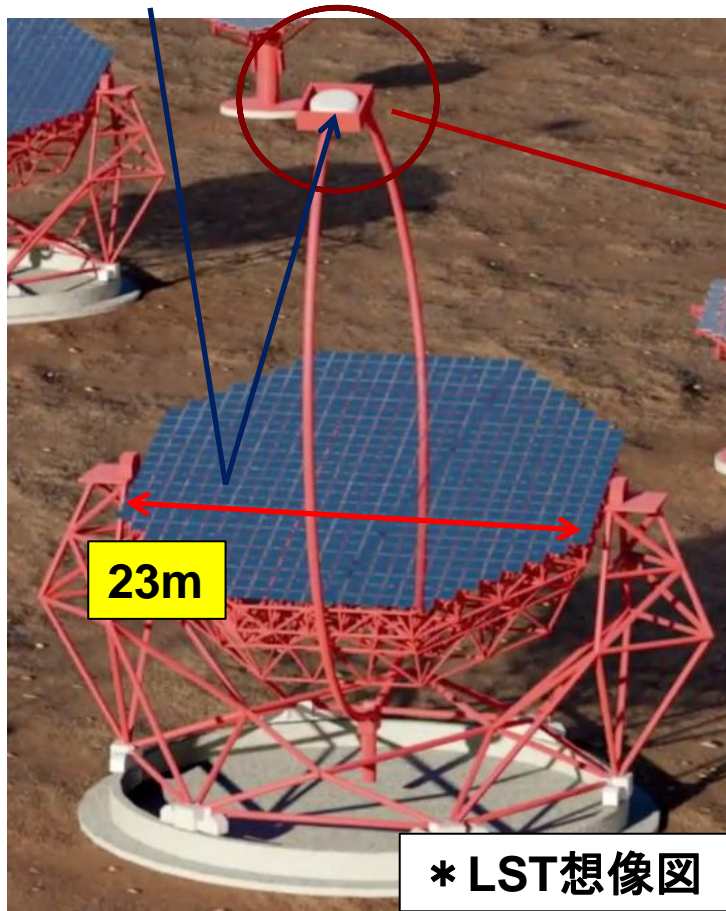
吉田龍生, 他CTA-Japan consortium

茨城大理, 東大宇宙線研^A, 名大STE研^B, レスター大^C, Max-Planck-
Inst. fuer Phys.^D, 近畿大理工^E, 甲南大理工^F

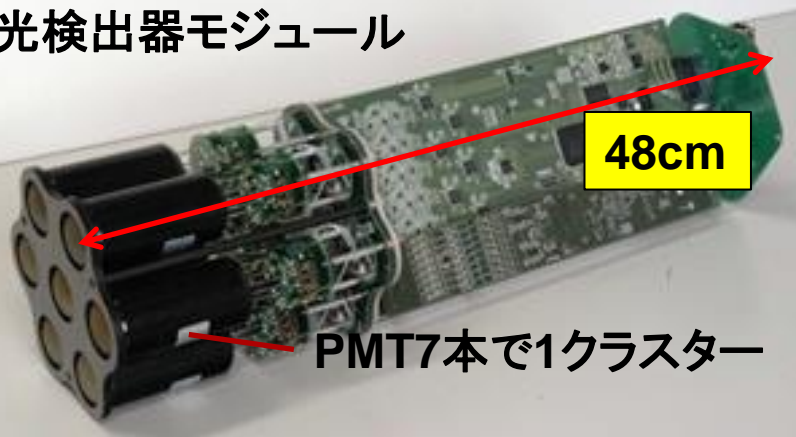
大口径望遠鏡(LST)焦点面

- チェレンコフ光を捕える光電子増倍管(PMT)を一面に配置

チェレンコフ光



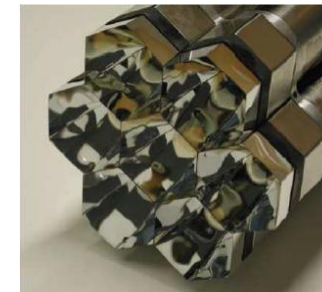
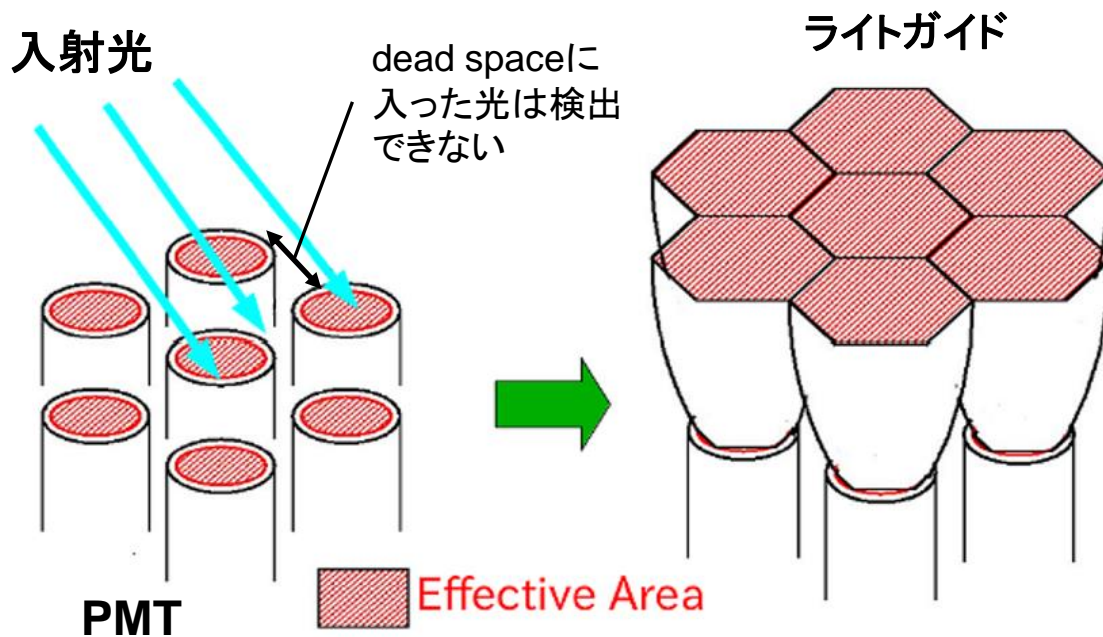
光検出器モジュール



使用する
PMT1855本
(LST1台)

ライトガイド

- PMTの入射窓は円形なため、PMTを隣接させて並べると隙間(dead space)ができる



MAGICのライトガイド
反射材が貼ってあり、内側は鏡面になっている

ライトガイドの役割

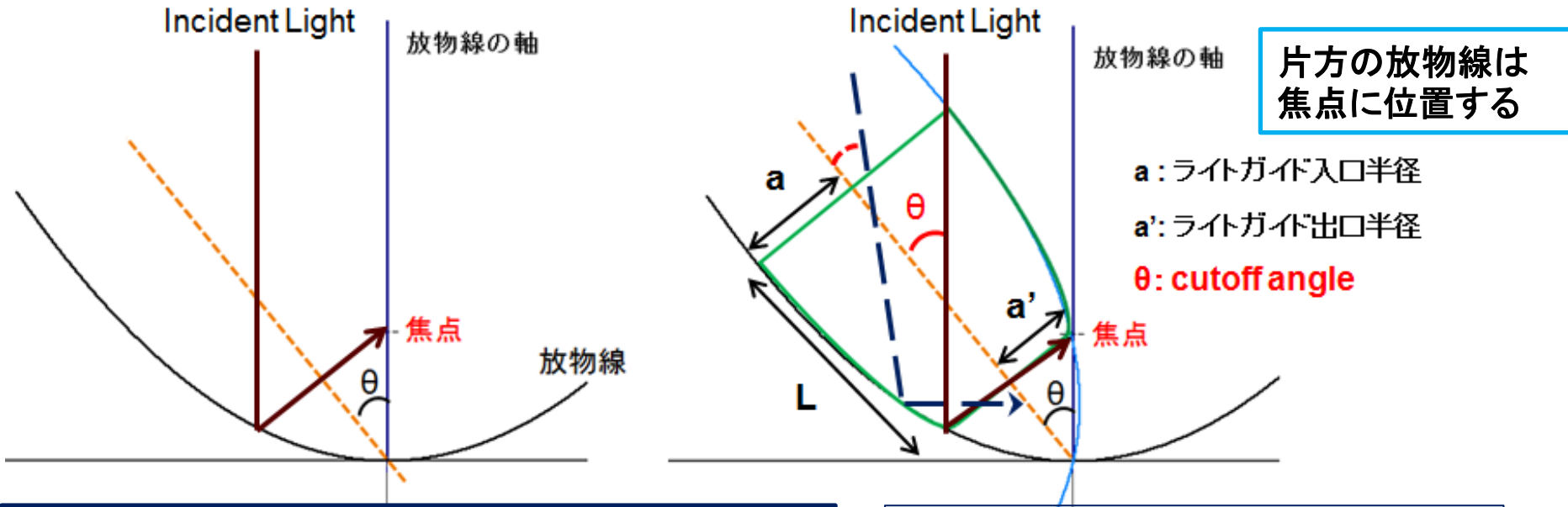
- ① 焦点面のデッドスペースを低減
- ② 夜光などの望遠鏡視野外の光(バックグラウンド)を低減

- ライトガイドはこの隙間を埋めるために全てのPMTに取り付けられる(LST1台あたり1855個必要)

ライトガイドの形状~Winston Cone~

- ライトガイドの形状はWinston Coneが代表的

放物線の軸に平行して入射した光は焦点に集まる性質を利用
放物線の片方を焦点の位置に持つことにより、二次元において、ある角度(cutoff angle)以内に入射した光は100%集光し、それよりも大きい角度で入射した光はカットするという特徴を持つ



Winston Coneの基本式

入口半径(a)の大きさとcutoff angle(θ)が決まると出口半径(a')の大きさと長さ(L)も決まる

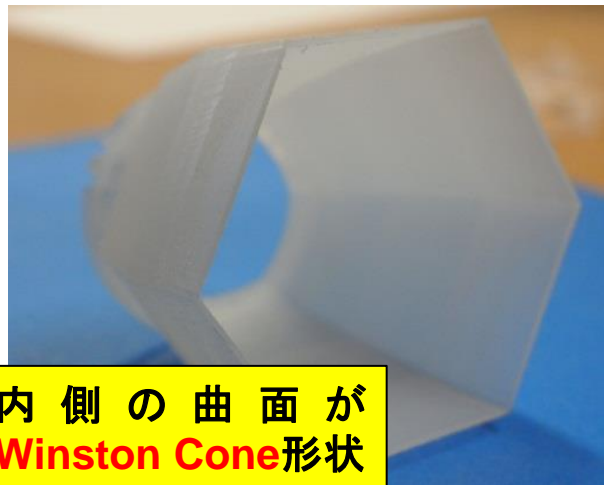
$$\tan\theta = \frac{a+a'}{L}$$
$$\frac{a'}{a} = \sin\theta$$

ライトガイドの役割

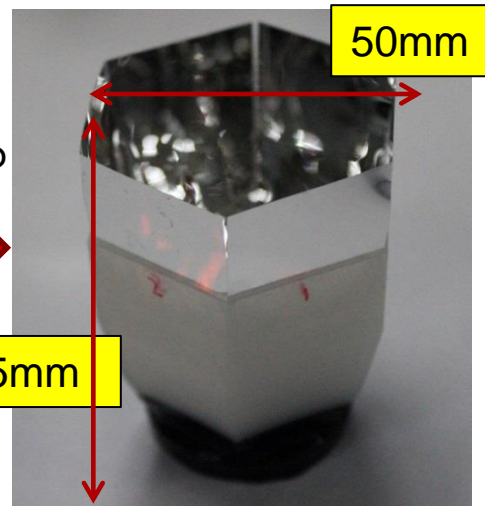
- ① 焦点面のデッドスペースを低減
- ② 夜光などの望遠鏡視野外の光(バックグラウンド)を低減

—前回報告— ライトガイドプロトタイプ試作(試作一号)

- PMT光電面には-1000Vの高電圧がかかっているため、ライトガイドの材質は絶縁性のプラスチック
- 切削加工で製作



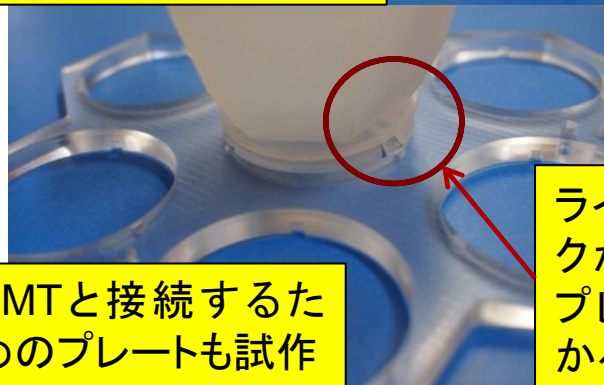
反射材を貼る



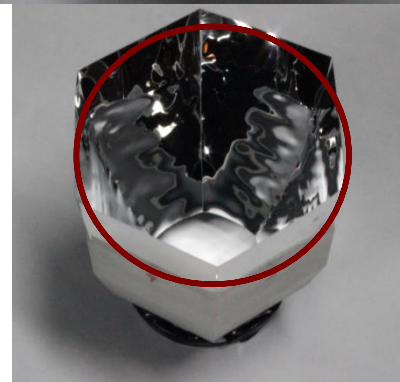
反射材:3M製ESR

～反射材の貼り方～

- ①接着剤をライトガイド側にヘラで塗布
- ②反射材を貼り、指で圧着



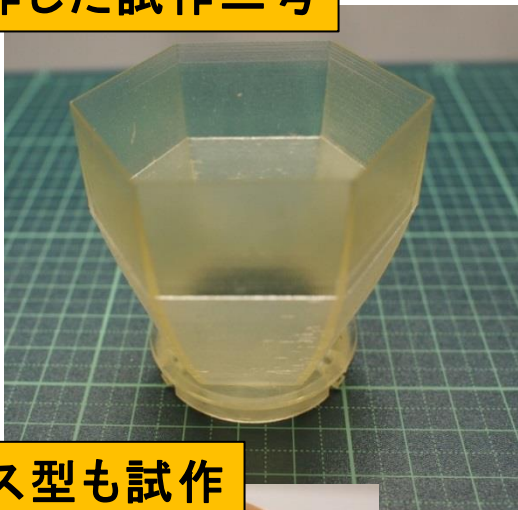
PMTと接続するためのプレートも試作



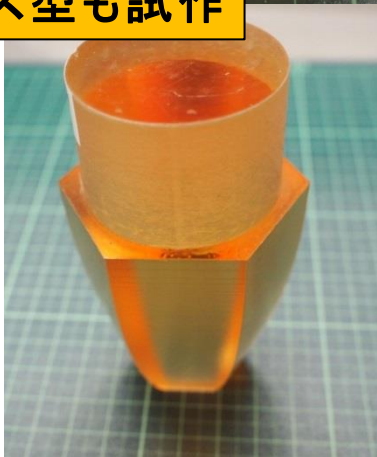
反射材を異なる方法で貼るため試作二号を製作

- 試作二号は3D printer(AGIRISTA-3000)で製作

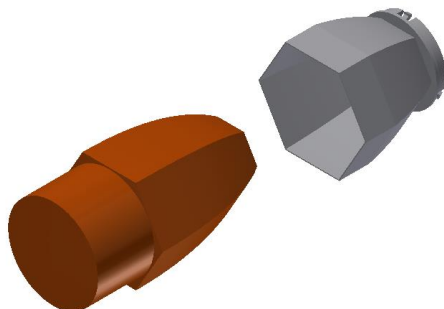
製作した試作二号



オス型も試作



オス型を使用して反射材 (ESR) を貼る



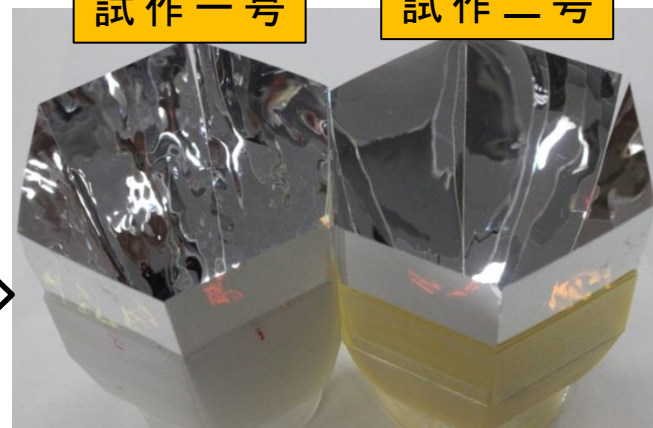
オス型を押し込み、圧着する

オス型で圧着することで、反射材のこぼれを少なくすることができた。また、この方法は全ての面を同時に貼ることができるため、効率が良い



試作一号

試作二号

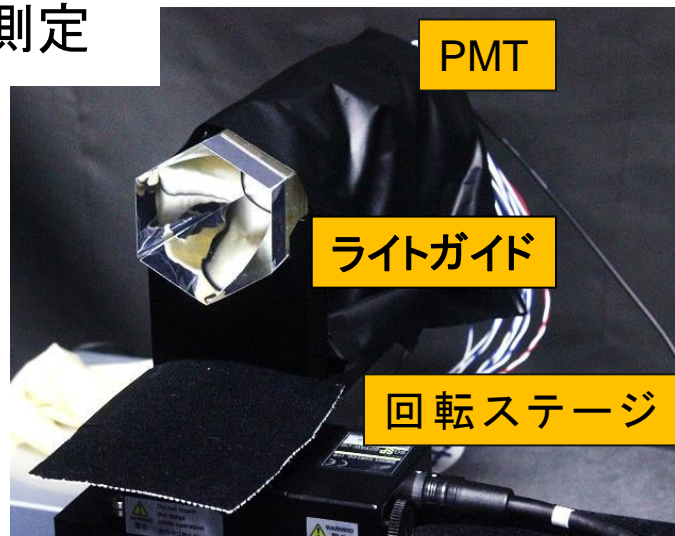


集光率角度依存性測定実験

- 試作したライトガイドの入射角度毎の集光率を測定

～測定方法～

ライトガイドに平行光を入射させるため、光源との距離を約2.4mとり、PMTとライトガイドを回転ステージ上に置いて回転させ、角度毎のPMT出力値を測定



(i) +Rotation

光源

$+\theta$

(ii) -Rotation

光源

$-\theta$

setup

dark room

回転ステージと接続した台

2.4m

PMT

Light Guide

diffuser

LED

Amplifier (LEE)

ADC (DRS4)

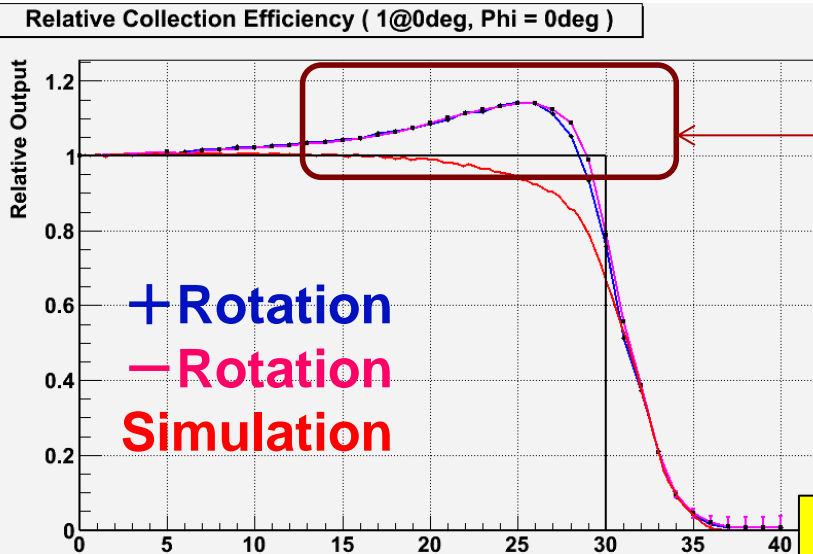
PC

trigger

pulse generator

試作二号のライトガイド集光率測定結果

PMT 相対出力値

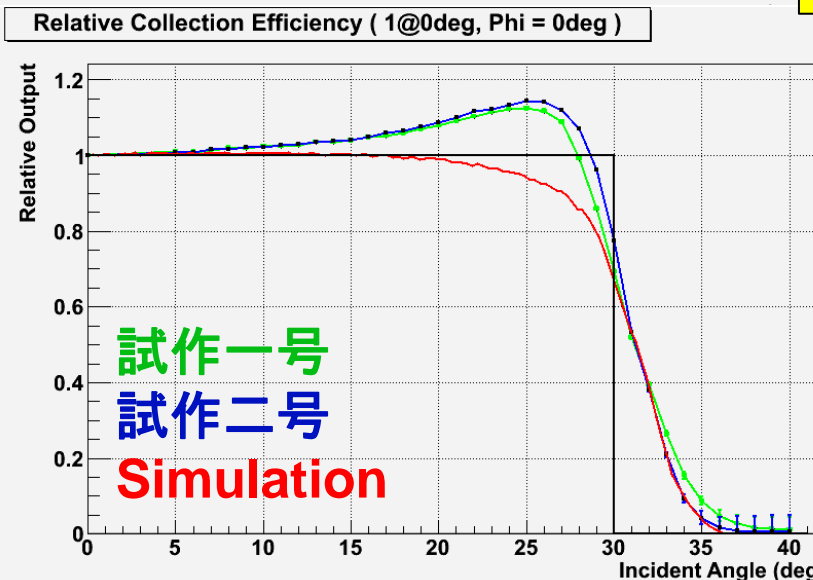


<試作二号の結果>

PMTの出力値が上昇している。
これは、PMT光電面感度の位置依存性や角度依存性の影響だと考えられる

*シミュレーションにはこの効果が考慮されていない

PMT 相対出力値



<試作一号と二号の比較>

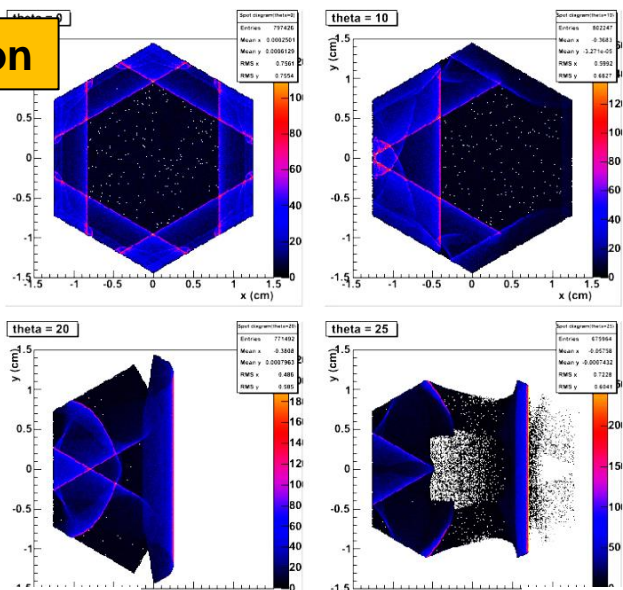
比較すると、試作二号は、

- ・cutoff angle付近の集光率が向上している
- ・cutoff angle以降の光(ノイズとなる光)の集光が抑えられている

⇒オス型を使って反射材を貼ることで、より性能の良いライトガイドを製作することができた

ライトガイド結像面撮影

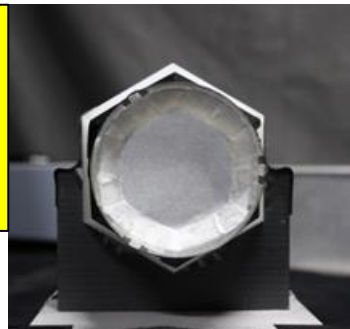
Simulation



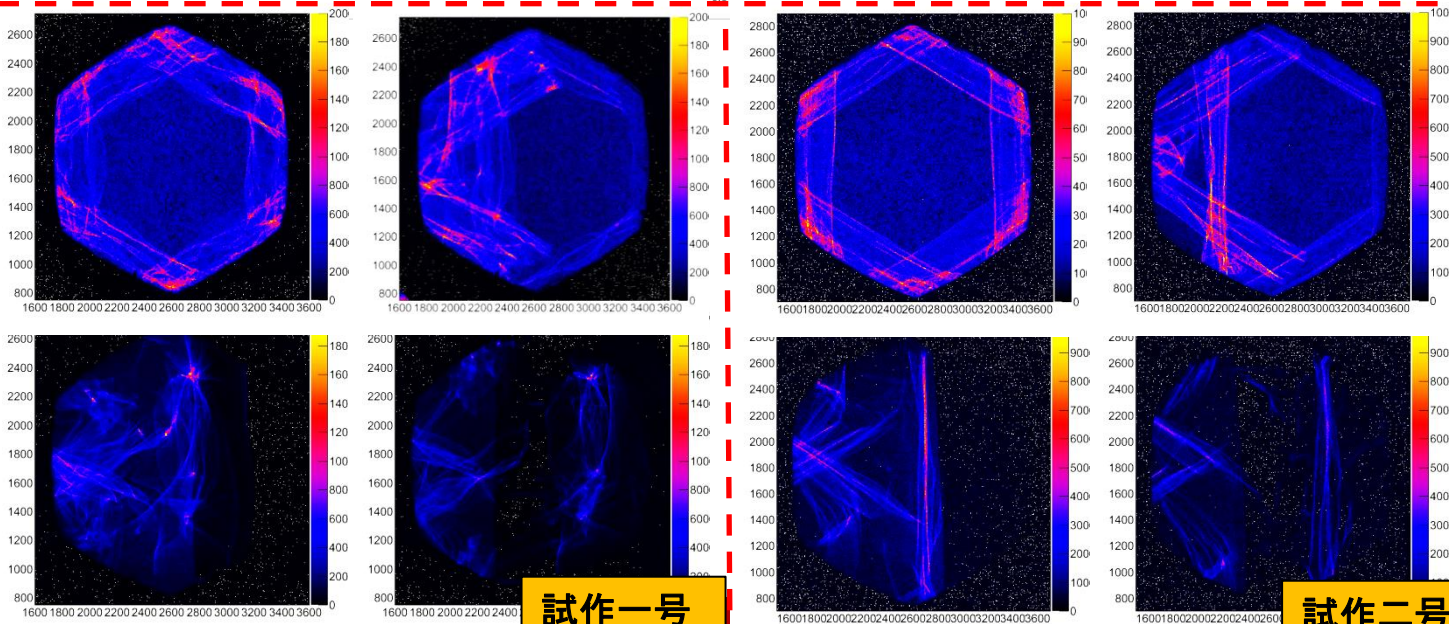
並び順(入射角度)

0deg 10deg
20deg 25deg

ライトガイド出口部分に紙を貼り、そこに映る像をシミュレーションと比較



ライトガイド後方にカメラを設置し、角度ごとの紙に映る像を撮影した



入射角度0度の図だと、試作二号の方が六角形の形がきれいにでている。

⇒オス型を使用したことにより、内面の形状が理想形状に近づいたと考えられる。

今後は画像解析をして両者を定量的に比較する。

ライトガイド集光率の絶対値測定①

- これまでの集光率は入射角度0deg時の出力に対する相対値
- PMT出力の絶対値を測定し、ライトガイドを付けることでどれほど光の収集が増加するのかを調べる

• ~測定方法~

ライトガイド有の出力値と、ライトガイド無の出力値を測定

集光率

$= (\text{ライトガイド有の出力値} / \text{ライトガイド無の出力値}) / (S1/S2)$

ライトガイド入口面積S1

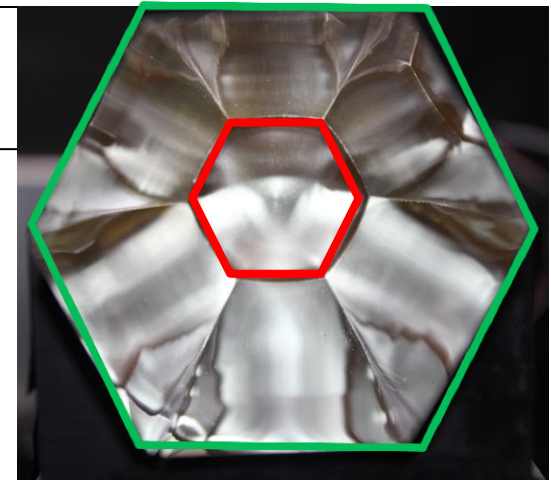
ライトガイド出口面積S2

入口半径25mm

出口半径12.5mm



$$S1/S2 = 4$$



(ライトガイド有の出力値がライトガイド無の出力値に比べて4倍だったら集光率100%)

ライトガイド集光率の絶対値測定②

(i) ライトガイド有



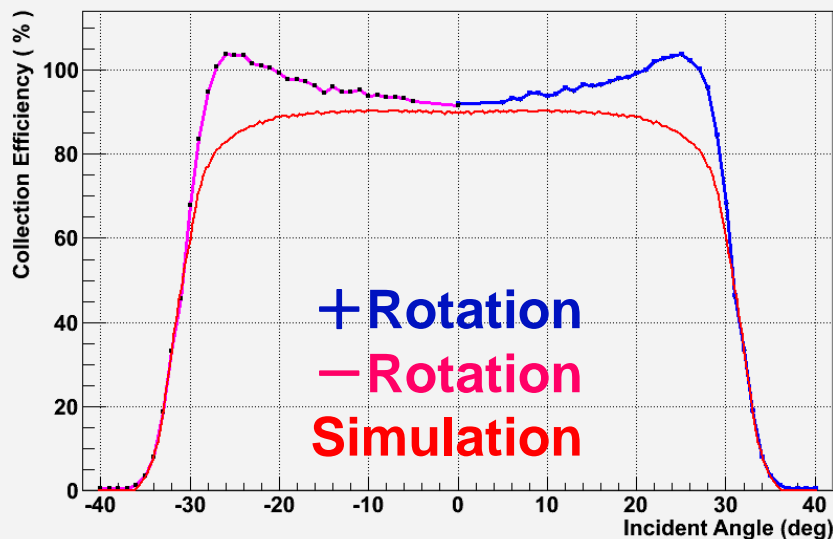
(ii) ライトガイド無



ライトガイド無は、PMT入射窓がライトガイド出口と同じ大きさになるように**マスク**を被せる

<試作二号測定結果>

Collection Efficiency ($\Phi = 0\text{deg}$)



集光率は約90%(at 0deg)ある。
cutoff angle(30deg)付近の集光率が100%を超えるのは、PMT光電面感度の位置依存性と角度依存性が影響していると考えられる。

* シミュレーションにはPMT感度の依存性が考慮されていないため、実測と比較することができていない。これらの依存性を測定するのが今後の課題

まとめ

- 3Dプリンタでライトガイドを試作し、前回とは異なる方法(オス型で圧着)で反射材を貼った
 - ライトガイドの内面と同様の形状を持つオス型で圧着することにより、曲面のでこぼこを少なくして反射材を貼ることができた
 - 集光率測定結果から、cutoff angle付近の集光率が向上し、ノイズ光を抑えることができている
 - 現状の試作機では集光率が約90%(at 0deg)ある
-
- **今後**
 - PMT感度の入射角度依存性を測定して、より現実に近いシミュレーションを行っていく
 - それらの依存性を考慮し、ライトガイドの形状最適化を行う