

# CTA 報告53

## CTA 大口径望遠鏡ライトガイドの開発

---

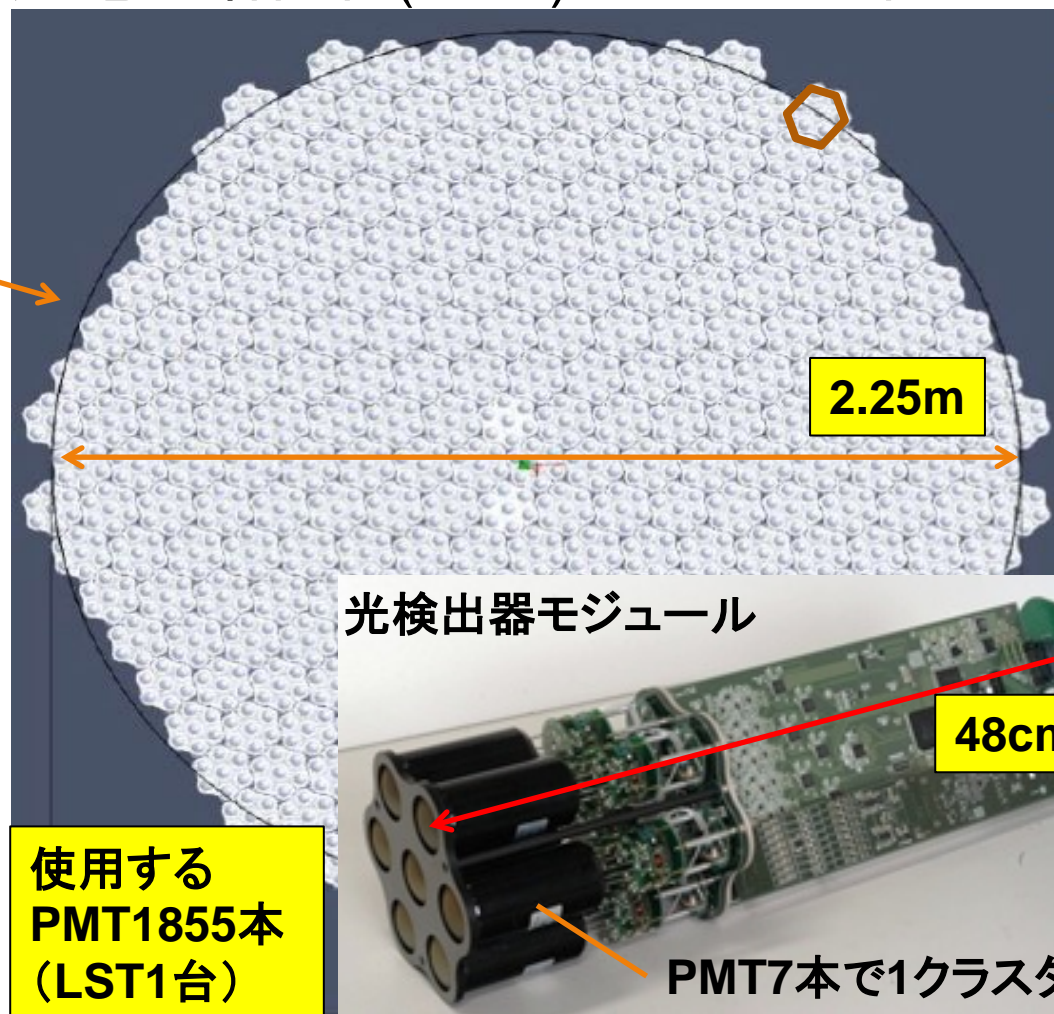
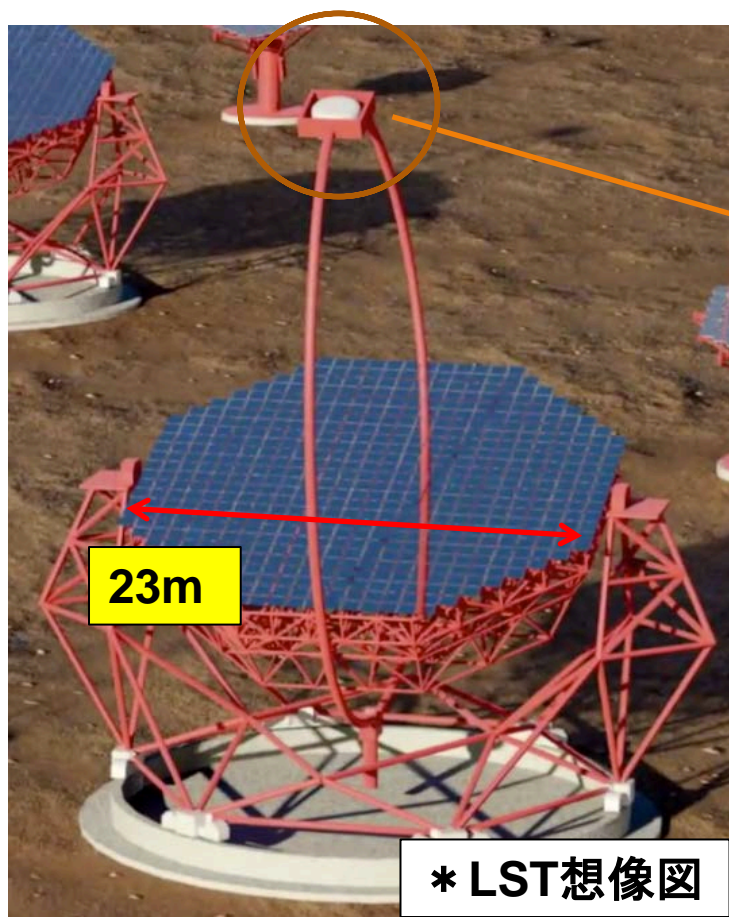
茨城大学理工学研究科 田中 駿也

手嶋政廣<sup>A,B</sup>, 林田将明<sup>C</sup>, 奥村暁<sup>D</sup>, 大岡秀行<sup>A</sup>,  
加賀谷美佳, 片桐秀明, 北本兼続<sup>E</sup>, 塔中良介<sup>E</sup>, 周小溪<sup>E</sup>, 千川道幸<sup>E</sup>,  
野里明香<sup>E</sup>, 野田浩司<sup>B</sup>, 馬場浩則, 柳田昭平, 山本常夏<sup>F</sup>, 吉田龍生,  
他CTA-Japan consortium

茨城大理, 東大宇宙線研<sup>A</sup>, Max-Planck-Inst. fuer Phys.<sup>B</sup>,  
京大理<sup>C</sup>, 名大STE研<sup>D</sup>, 近畿大理工<sup>E</sup>, 甲南大理工<sup>F</sup>

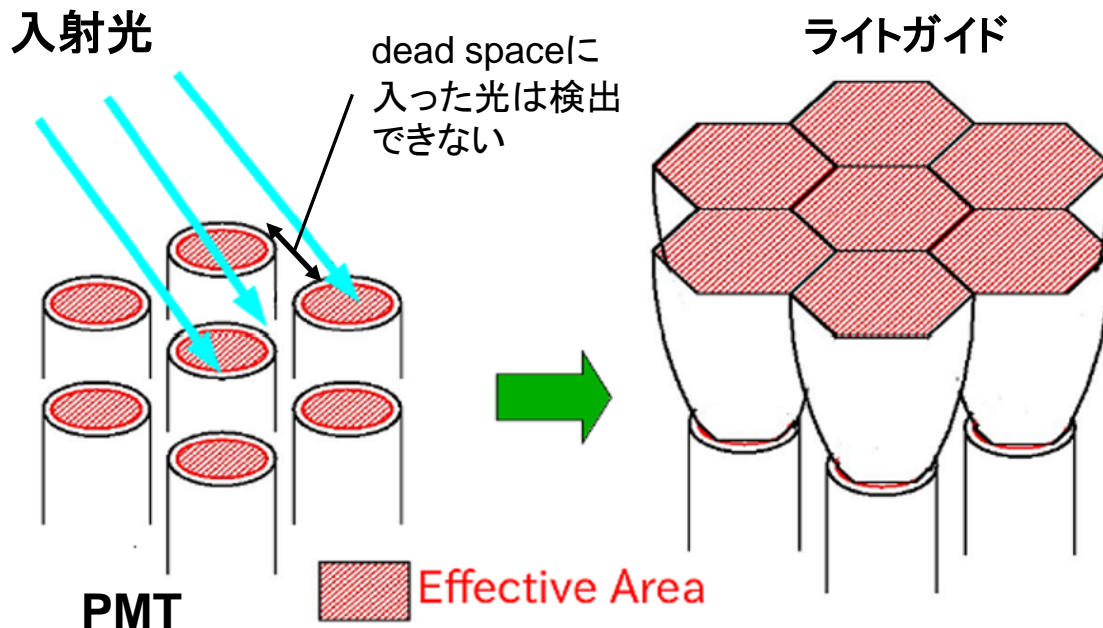
# 大口径望遠鏡(LST)焦点面

- チェレンコフ光を捕える光電子増倍管(PMT)を一面に配置



# 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

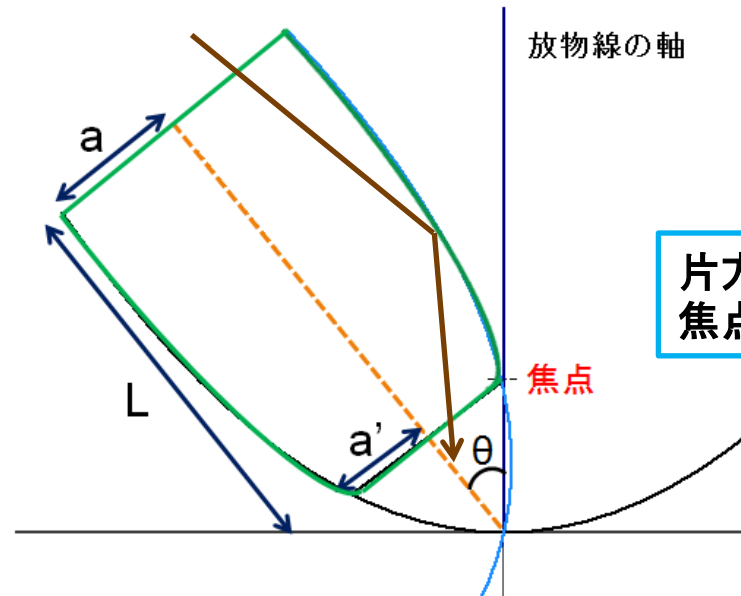
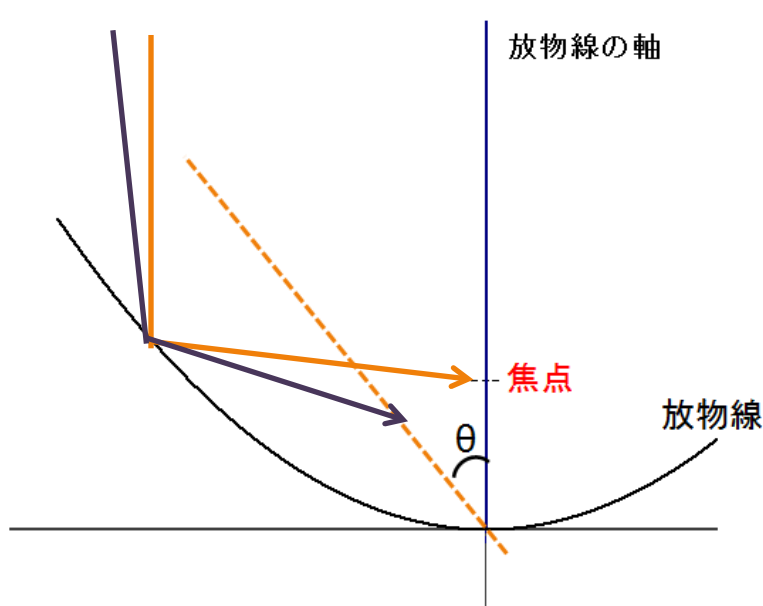
- ライトガイドはこの隙間を埋めるために全てのPMTに取り付けられる(LST1台あたり1855個必要)

# 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



片方の放物線は  
焦点に位置する

## Winston Coneの基本式

入口半径(a)の大きさとcutoff angle( $\theta$ )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

## 本発表

大量生産に向けての開発の第一段階として、Winston Cone形状のLST用ライトガイドプロトタイプを試作し、その性能評価を行った

# プロトタイプ試作

- 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

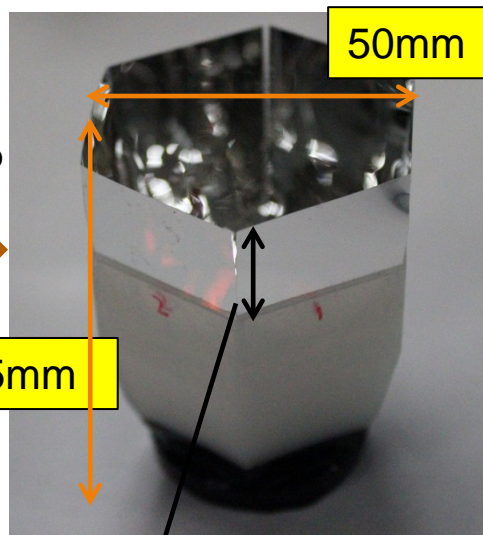


内側の曲面が  
Winston Cone形状

PMTと接続するためのプレートも試作

ライトガイドにフックが付いており、プレートに引っかかる

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

ライトガイド先端に厚みがあるとその分がデッドスペースになってしまう。厚み分をカットし、反射材をむき出しにすることでデッドスペースを極力減らす

# 集光率角度依存性測定実験

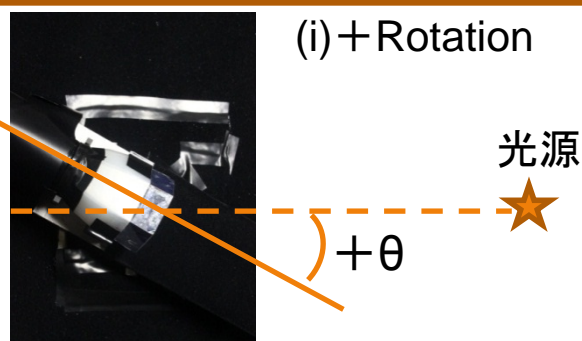
- 試作したライトガイドの角度毎の集光率を測定

～測定方法～

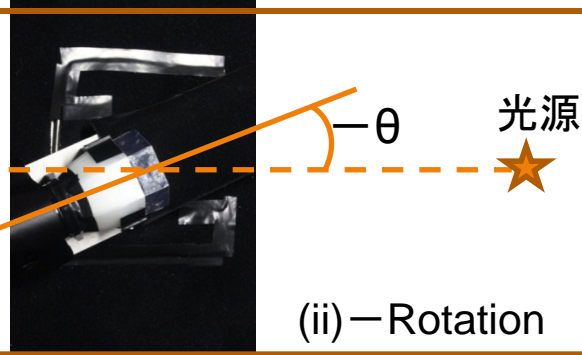
ライトガイドに平行光を入射させるため、光源との距離を約2mとり、PMTとライトガイドを回転ステージ上に置いて回転させ、角度毎のPMT出力値を測定



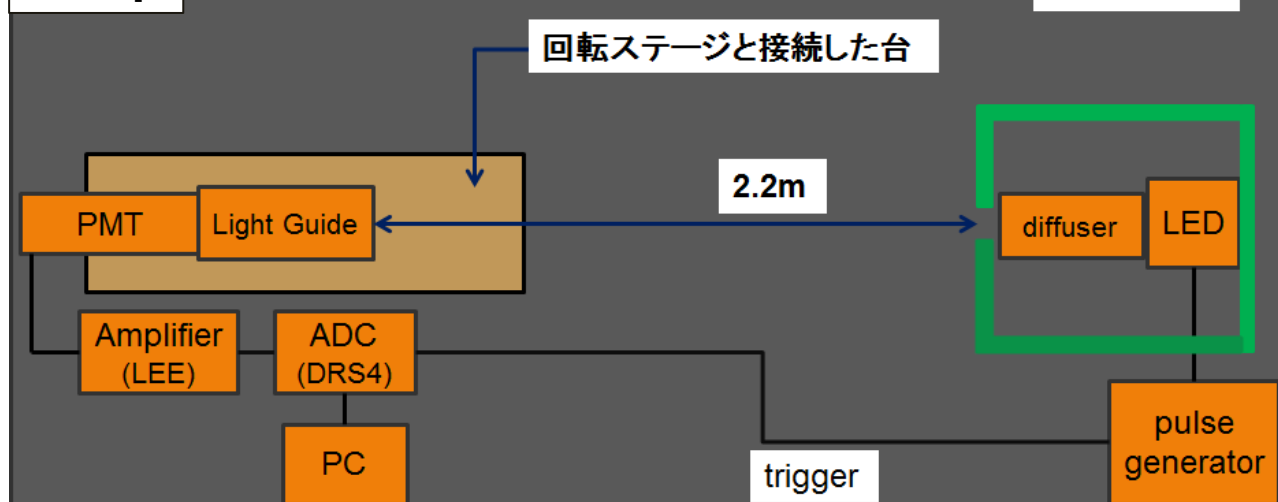
(i) +Rotation



(ii) -Rotation

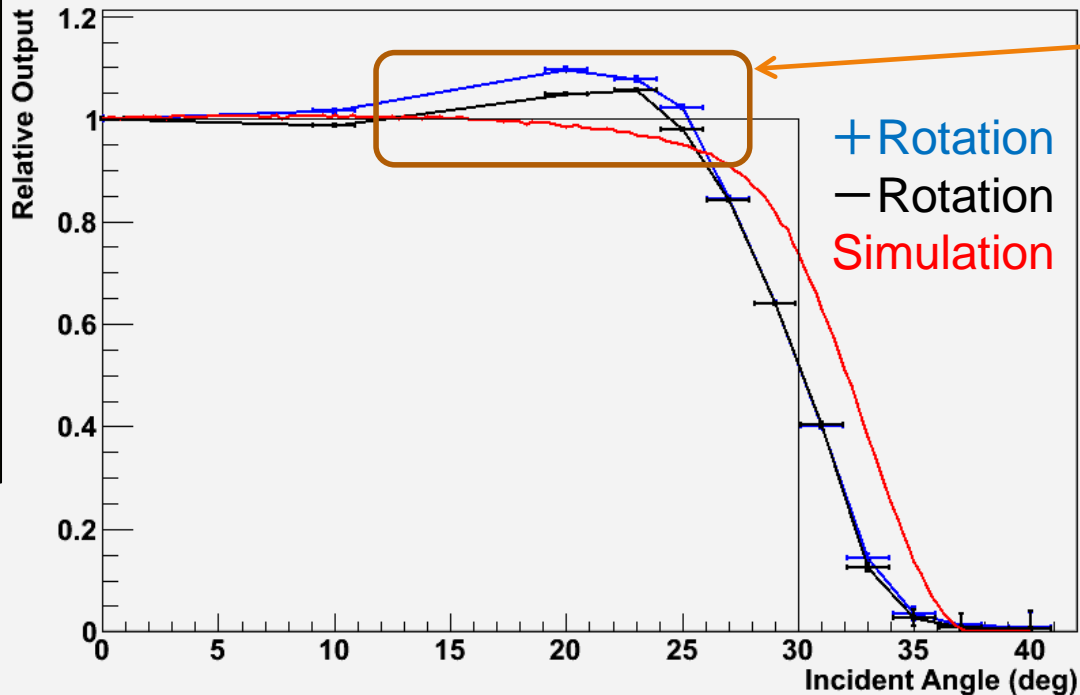


Setup



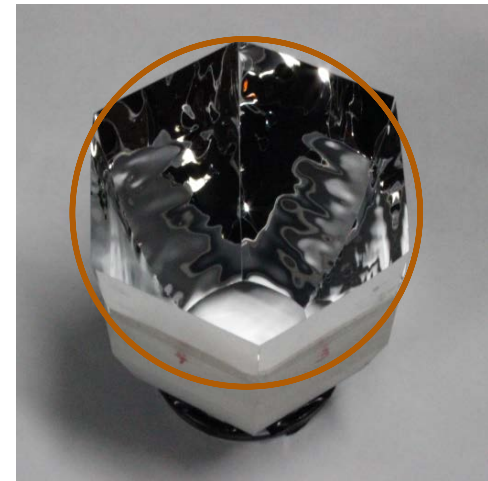
# 集光率測定結果

Relative Collection Efficiency (1@0deg)



PMT出力値が上昇している

今回の接着方法では、  
接着剤が均一な厚さ  
で塗布できておらず表面が  
でこぼこしている



PMT 相対出力値

入射角度

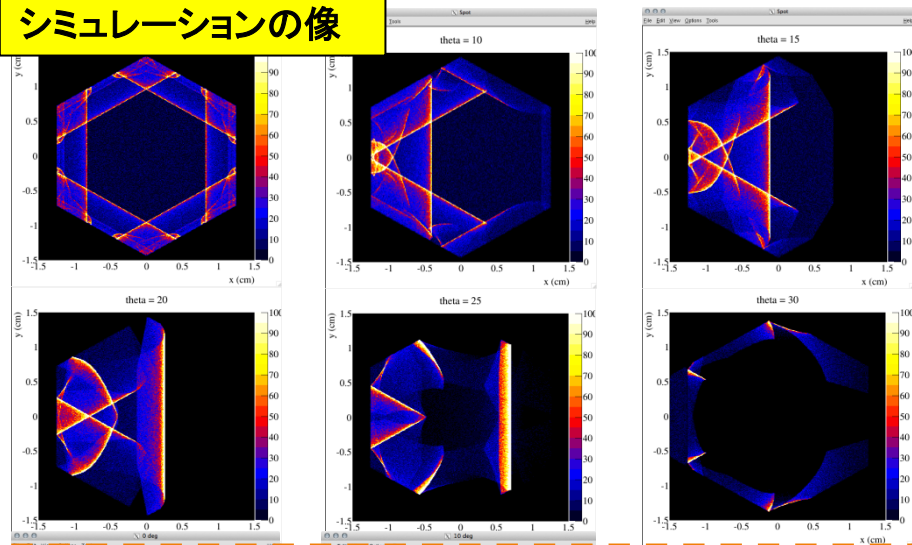
- ・cutoff angle(30度)の数度手前から出力値が落ちてしまっている
  - ・15~25度の出力値が上昇している
- ⇒PMT入射窓の表面がざらざらしていることが影響？反射材の  
でこぼこが影響？



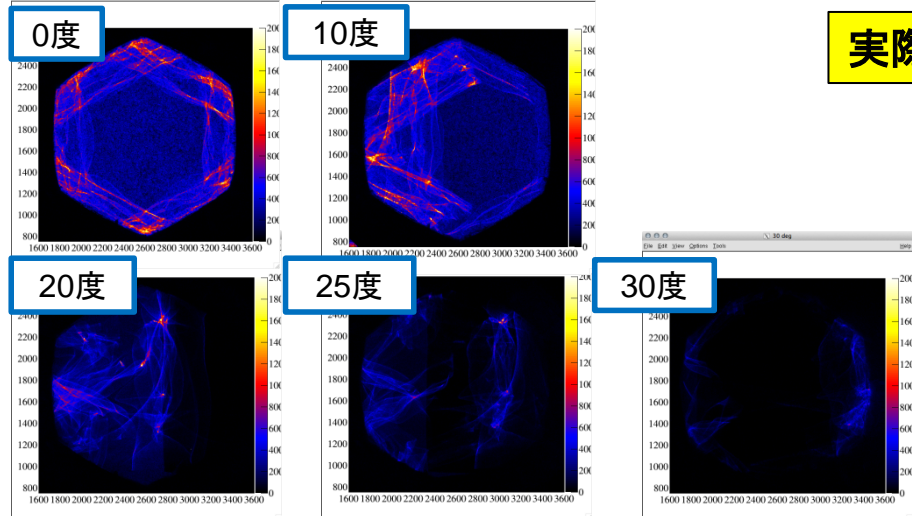
# ライトガイド結像面撮影

- PMT光電面の影響を除いてライトガイドを評価する方法

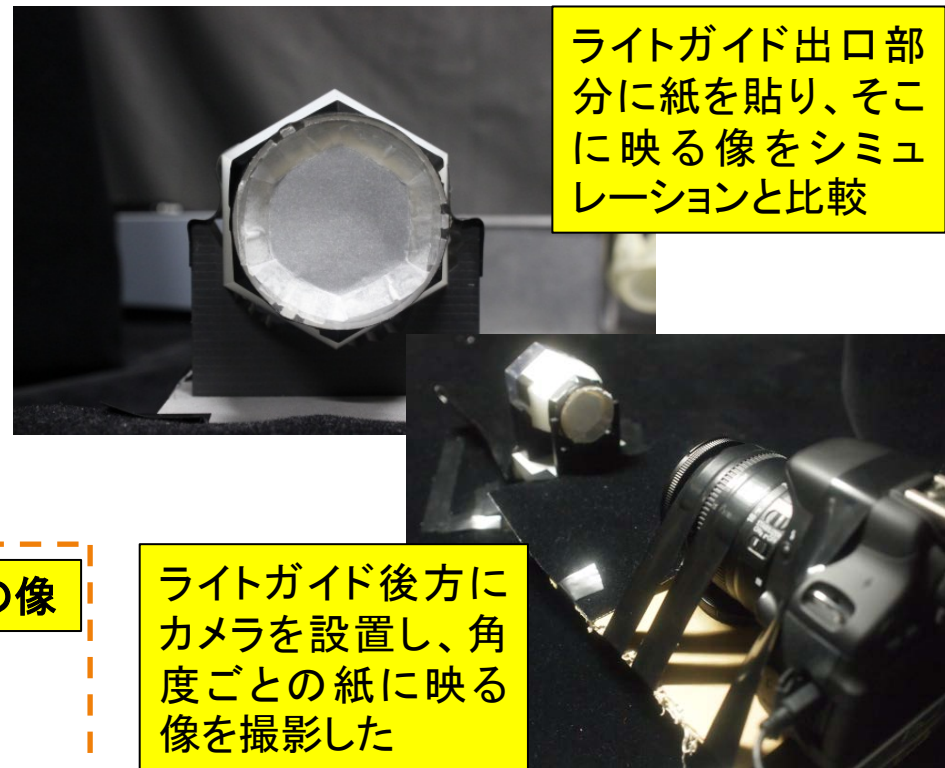
## シミュレーションの像



## 実際の像



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

今後画像解析をして両者を定量的に比較し、反射材の表面精度を評価する

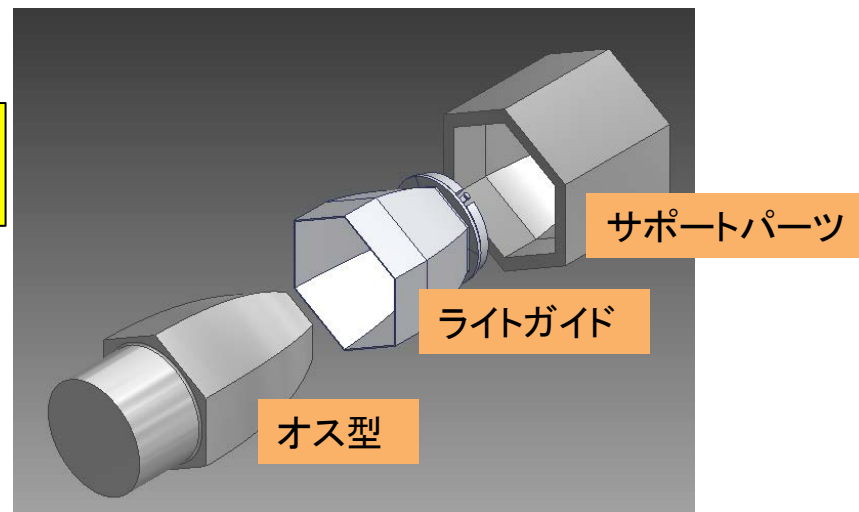
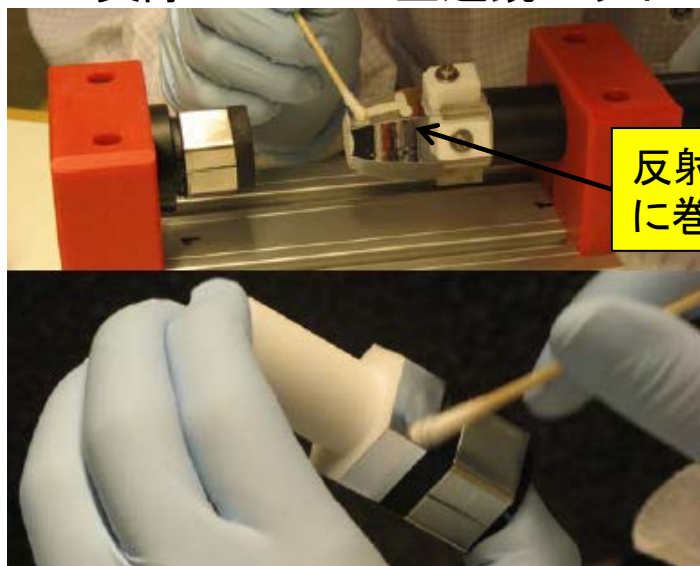
# 現在の状況では・・・

- 反射材が一様に貼れていないことがどの程度性能に影響しているのかわからない
- そのため、同じ形状のライトガイドを複数個試作し、反射材の貼り方によって集光率と結像面の画像は変化するか？をチェックする

# 反射材を貼る方法として

- 今回貼った反射材よりも曲面のでこぼこを少なくしたい
- 将来的にライトガイドを数千個以上製作するため、効率よく反射材を貼る必要がある
- **<検討中の方法:MAGIC望遠鏡方式>**

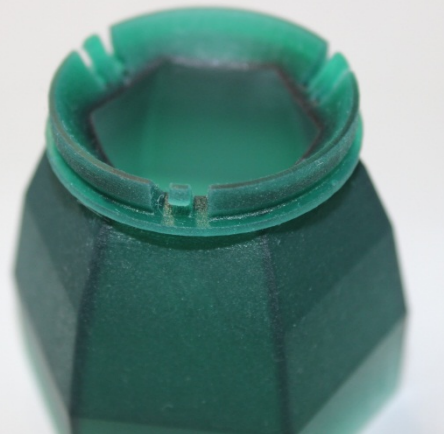
実際にMAGIC望遠鏡のライトガイド製作時に行われている方法



ライトガイドと同じ曲面を持つオス型で圧着するので、接着剤を均一な厚さに圧着し、反射材のでこぼこを少なくできるのではないかと期待できる

# 大量生産の手段

- 射出成形を第一に考えているが、3Dプリンターで大量生産は可能か？



試作依頼 : 豊通マシナリー  
使用マシン: ProjetDP3000



名古屋大に導入された  
AGILISTA-3000(キーエンス)

オス型も試作



どちらも材料費がライトガイド一個あたり¥10000

⇒大量生産には向かない

(射出成形の場合: 金型費が百数十万 一個あたり数百円)

# まとめ

- 大量生産に向けての第一段階としてWinston Cone形状のライトガイドを切削加工で試作した
- 集光率測定実験及びライトガイド結像面の画像撮影を行ったが、反射材を貼った際にできた曲面のでこぼこがどの程度性能に影響しているのかがわかっていない
- 今後、ライトガイドをいくつか試作し反射材の貼り方を変えて評価を行う
- 大量生産に対応できる効率の良い反射材の貼り方を実践

# 今後~ライトガイドの形状最適化~

- Winston Coneは二次元において理想的な集光をするが、三次元においてはライトガイドに最も適した形状ではない  
⇒Ray tracing(光線追跡シミュレーション)を行い、より集光率の高い形状を探し、その形状を有するライトガイドを試作し、同様に性能を評価する
- PMT量子効率の入射角度依存性や、反射材の反射率角度依存性などを考慮し、より現実に近いシミュレーションを行う