

# CTA 報告 92 :

## CTA 大口径望遠鏡初号機用 ライトガイドの開発

---

小野祥弥 (茨城大理)

奥村暁<sup>B, C</sup>, 林田将明<sup>D</sup>, 片桐秀明<sup>A</sup>, 荻野桃子<sup>D</sup>, 加賀谷美佳<sup>A</sup>, 小島拓実<sup>D</sup>,  
斎藤浩二<sup>D</sup>, 齋藤隆之<sup>E</sup>, 千川道幸<sup>F</sup>, 長紀仁<sup>A</sup>, 手嶋政廣<sup>D, G</sup>, 中嶋大輔<sup>D</sup>,  
野田浩司<sup>G</sup>, 花畑義隆<sup>D</sup>, 深見哲志<sup>D</sup>, 柳田昭平<sup>A</sup>, 山本常夏<sup>H</sup>, 吉田龍生<sup>A</sup>,  
他 CTA-Japan Consortium

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

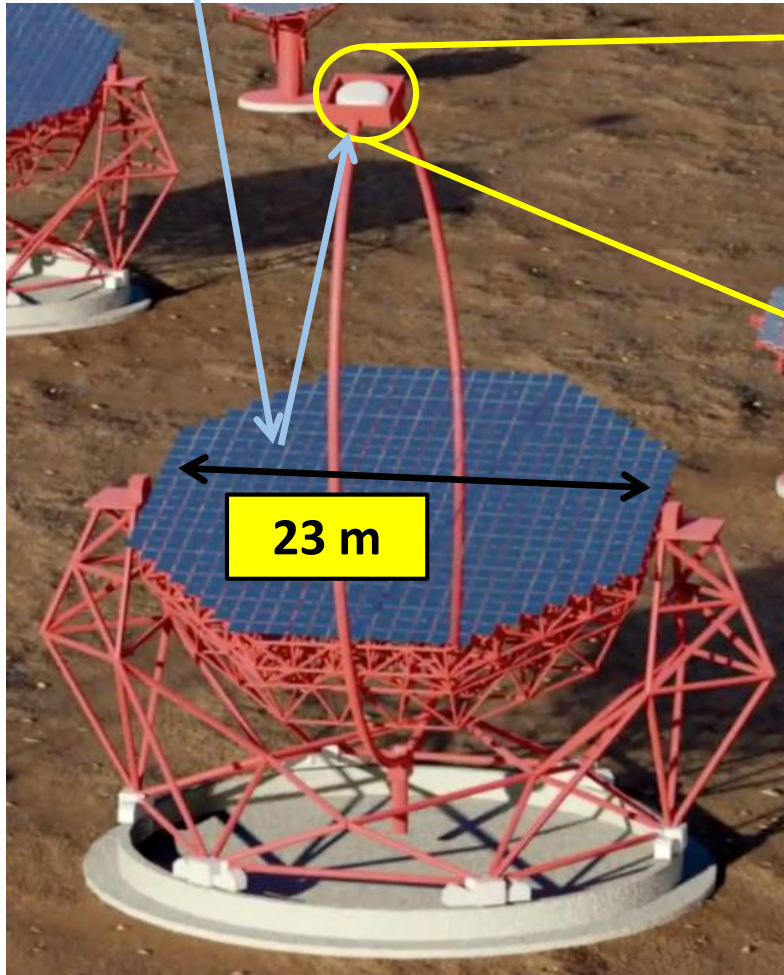
---

日本物理学会 第70年次大会 2015年3月21日

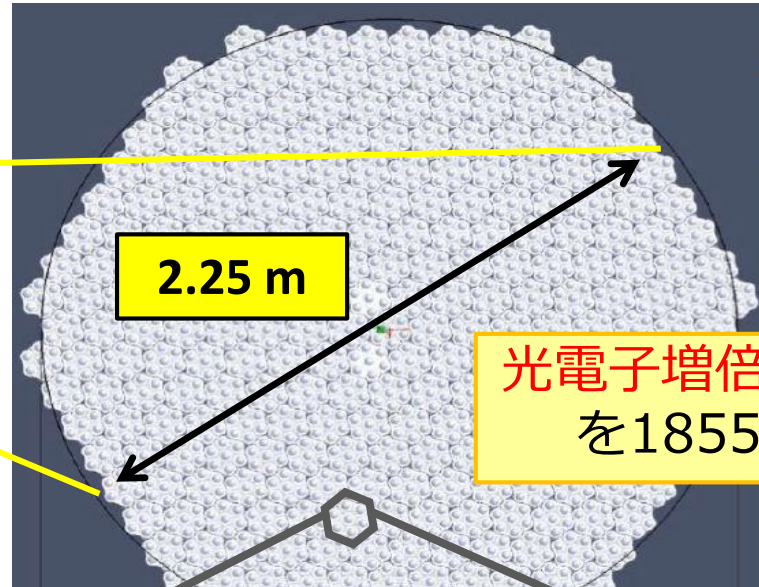
# 大口径望遠鏡 (LST) のカメラ



チェレンコフ光

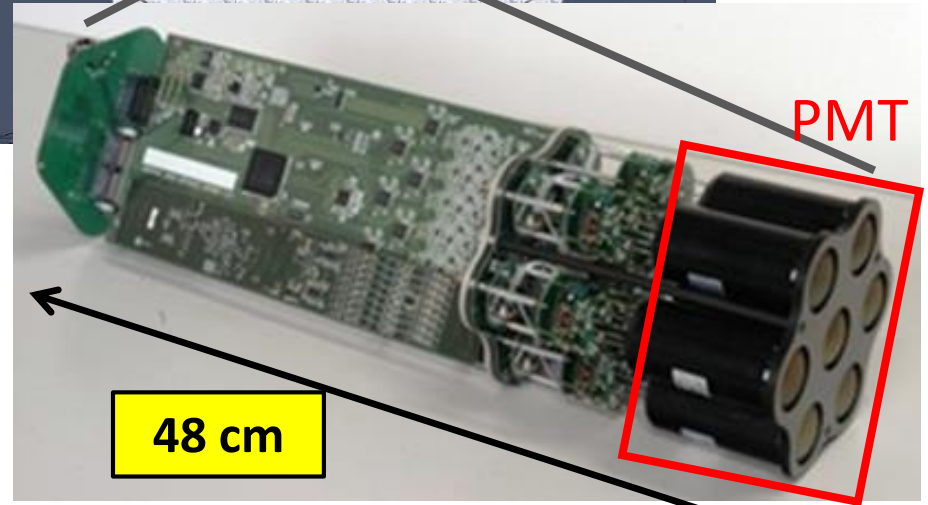


LST 完成イメージ図



焦点面

光電子増倍管 (PMT)  
を1855本配置



PMT

48 cm

光検出器モジュール

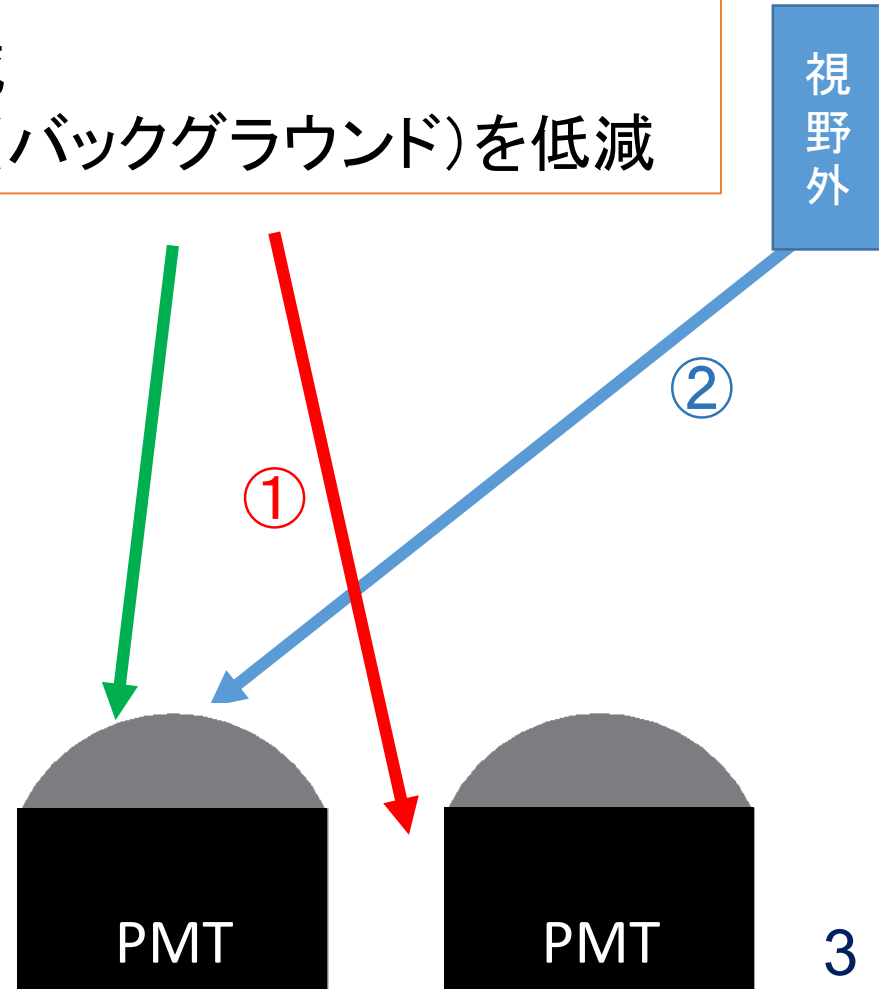
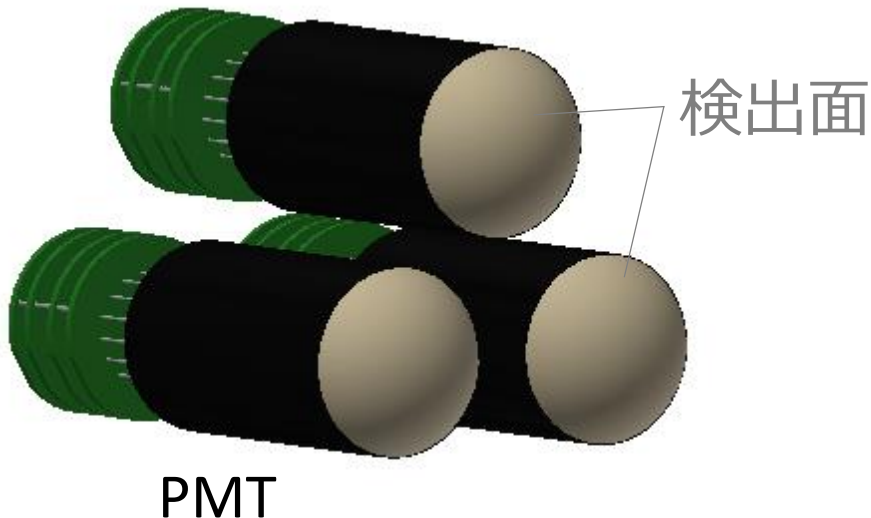
# 大口径望遠鏡用ライトガイド



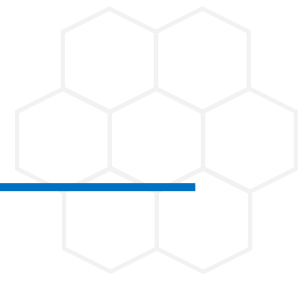
光検出器全てに ライトガイド を取り付ける。

## 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 夜光など主鏡以外から入る光(バックグラウンド)を低減



# 大口径望遠鏡用ライトガイド

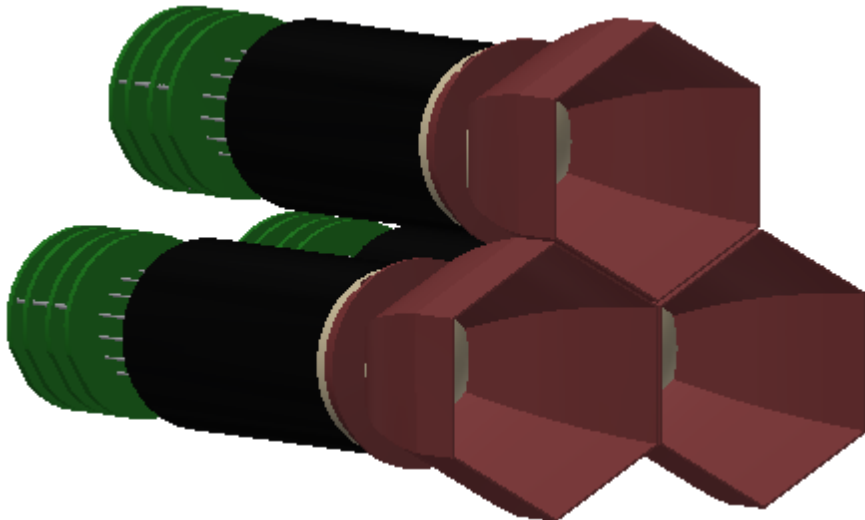


光検出器全てに ライトガイド を取り付ける。

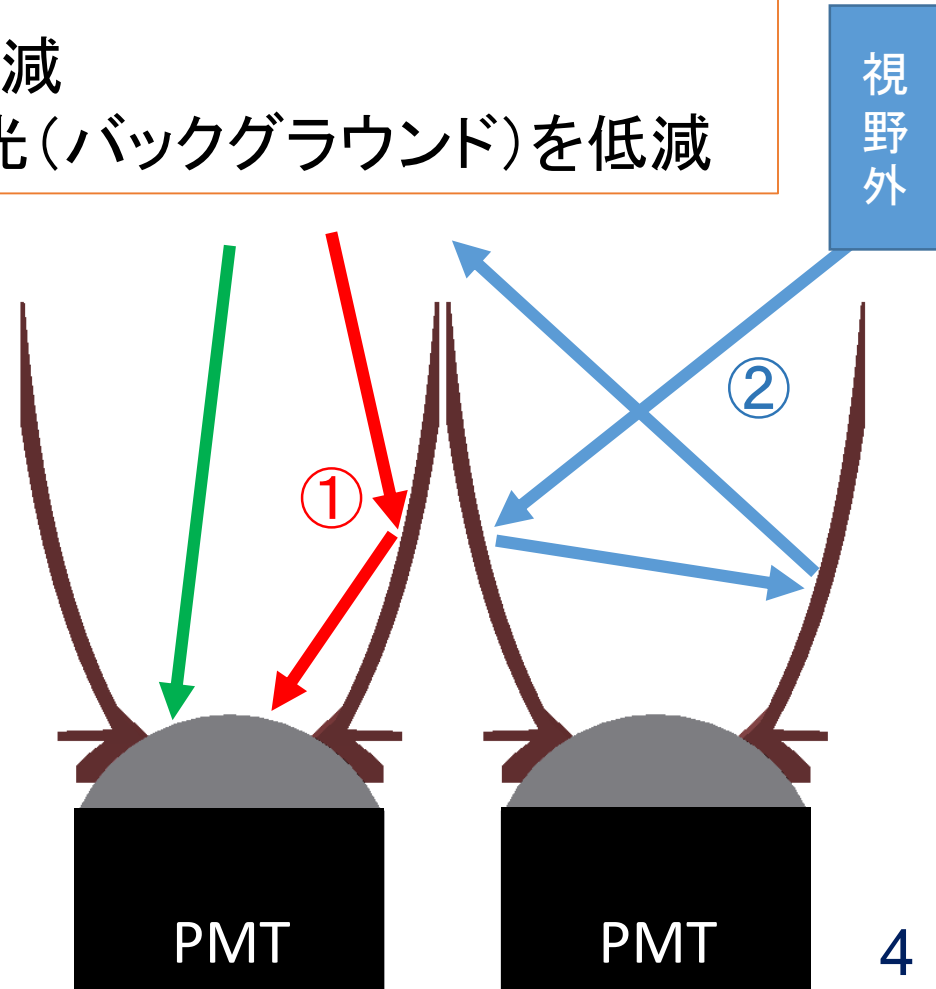
## ライトガイドの役割

- ① 焦点面のデッドスペースを低減
- ② 夜光など主鏡以外から入る光(バックグラウンド)を低減

ライトガイド



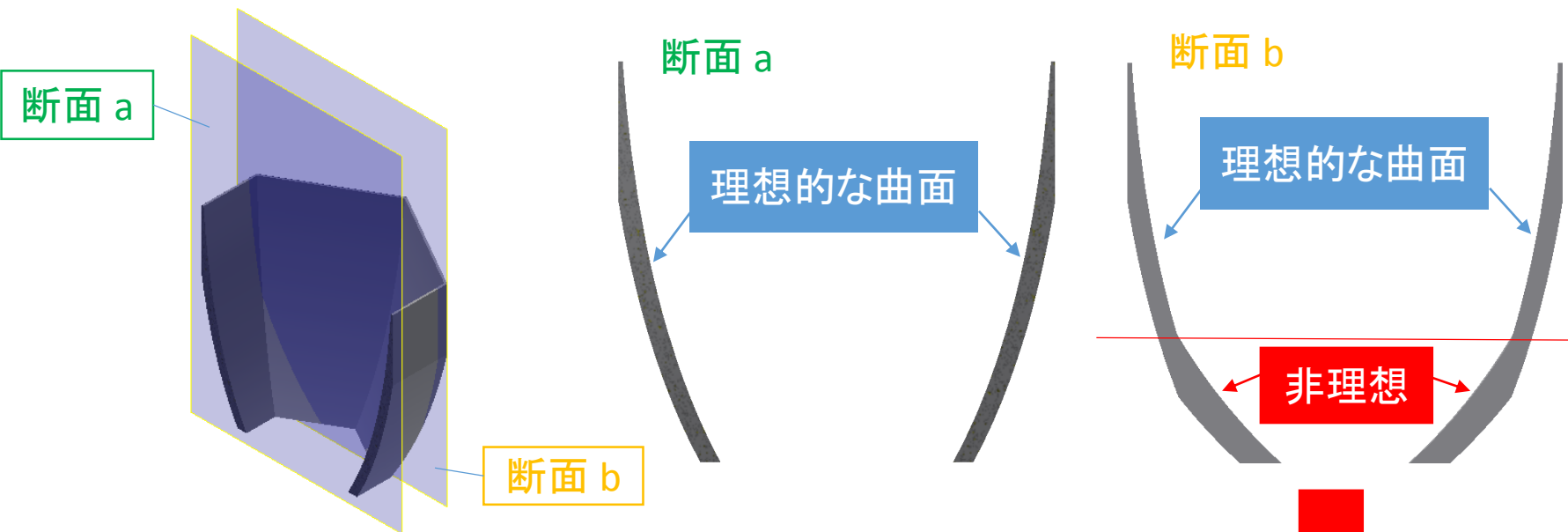
ライトガイド取り付けイメージ



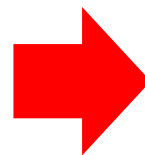
# Winston Cone と形状最適化の必要性

## Winston Cone

放物線の軸に対して平行に入射した光が焦点に集まるという特徴を応用し、任意の角度 (cutoff-angle) 以内に入射した光を全て収集する一方で、それより大きい角度で入射した光をカットするという特徴を実現する形状。



PMT の応答を加味していない



要最適化!!



# PMT 応答の入射角度依存性

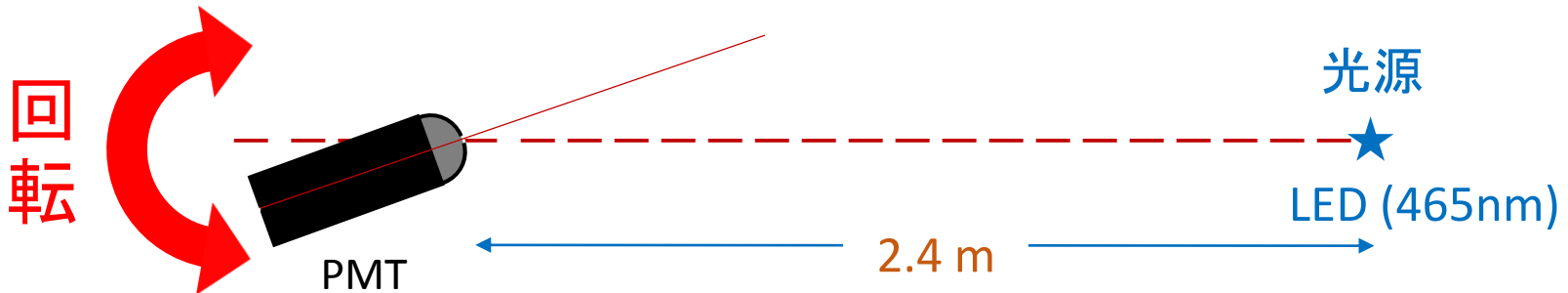
- 検出器である PMT に光子が入射する時の入射角度や位置によって出力の値が変わる。

この特性を形状最適化のシミュレーションに取り込むために、実際に望遠鏡に搭載する予定の PMT のうち 10 本について入射角度依存性を測定した。

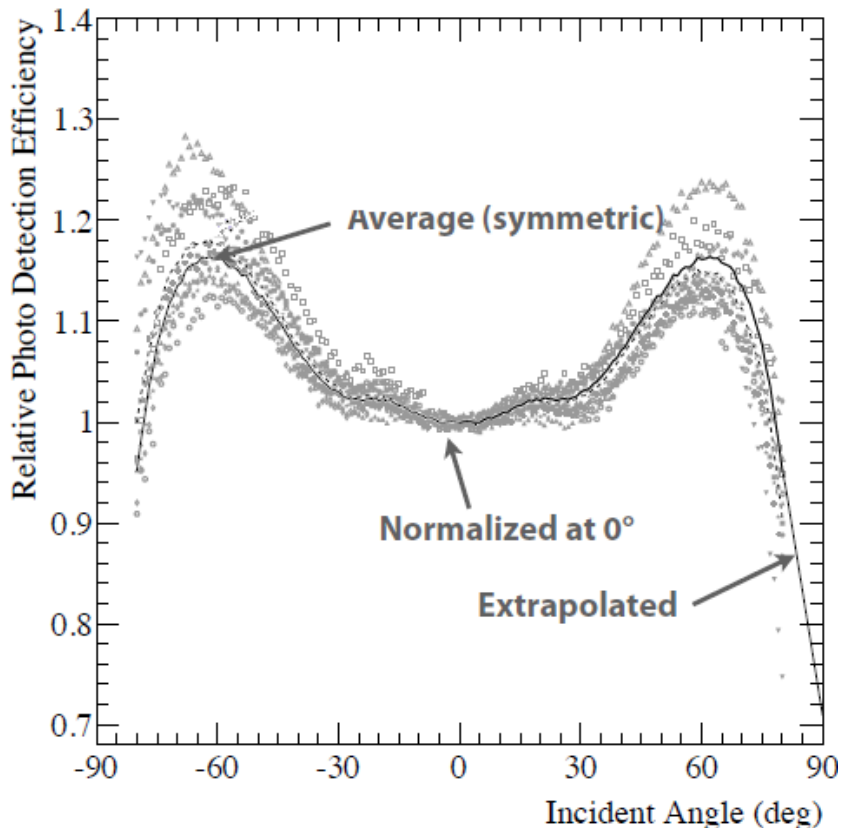


中央に穴

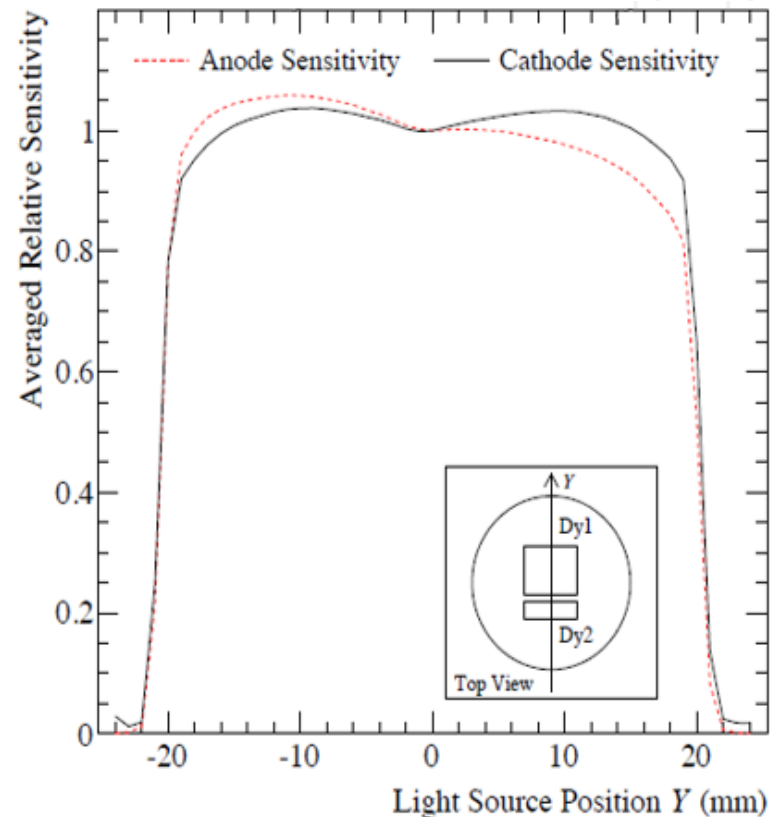
PMT の入射面に穴のあいたマスクを取り付け、これを回転ステージにセットして回転させながら測定した。



# PMT 応答と形状最適化



入射角度依存性  
測定結果



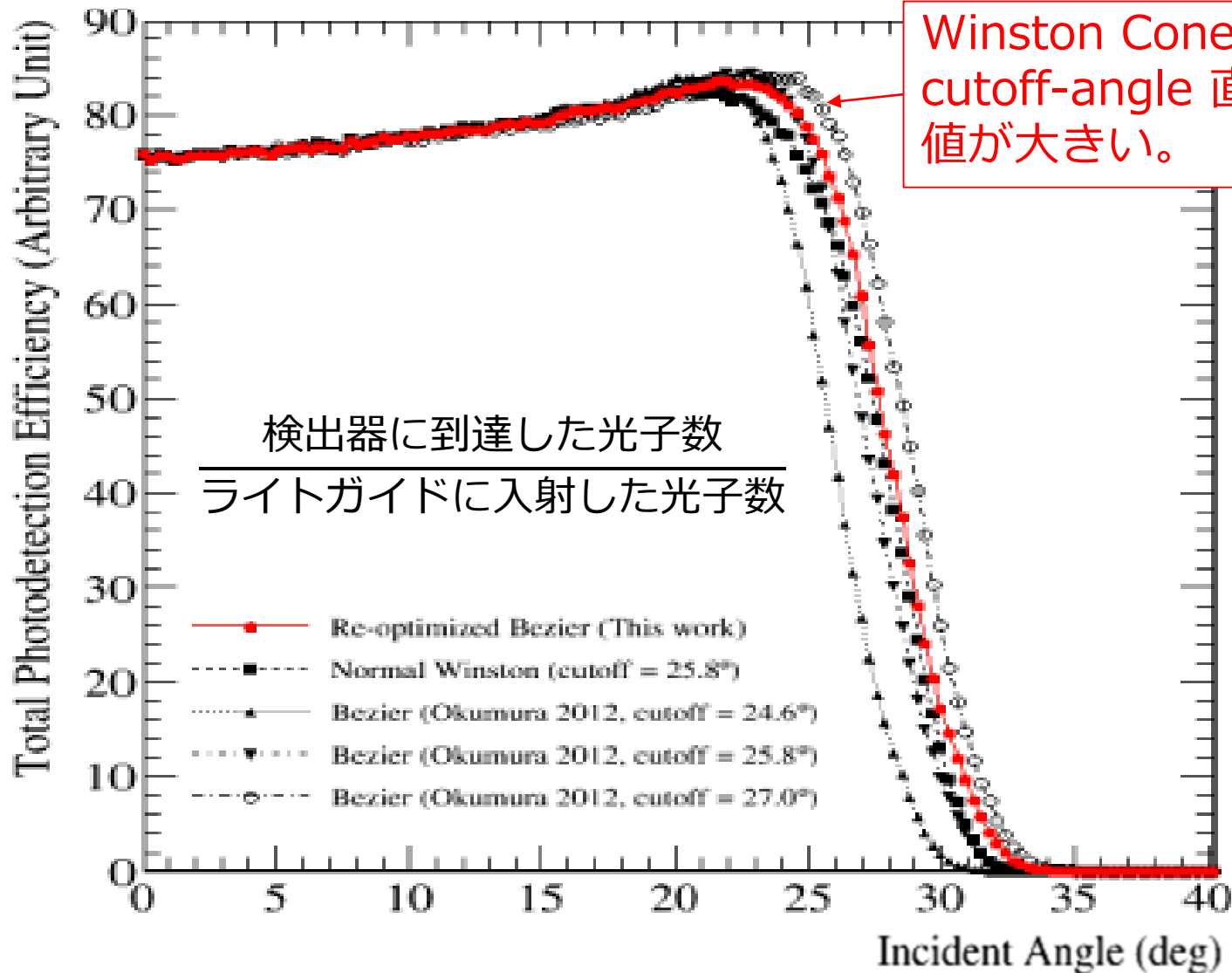
入射位置依存性  
データ提供：浜松ホトニクス

PMT 出力の特性をパラメータとして光線追跡シミュレーションに取り込み、ライトガイドの内側の曲面を最適化した。

# PMT 応答と形状最適化



最適化した曲面による光の収集効率 (シミュレーション)



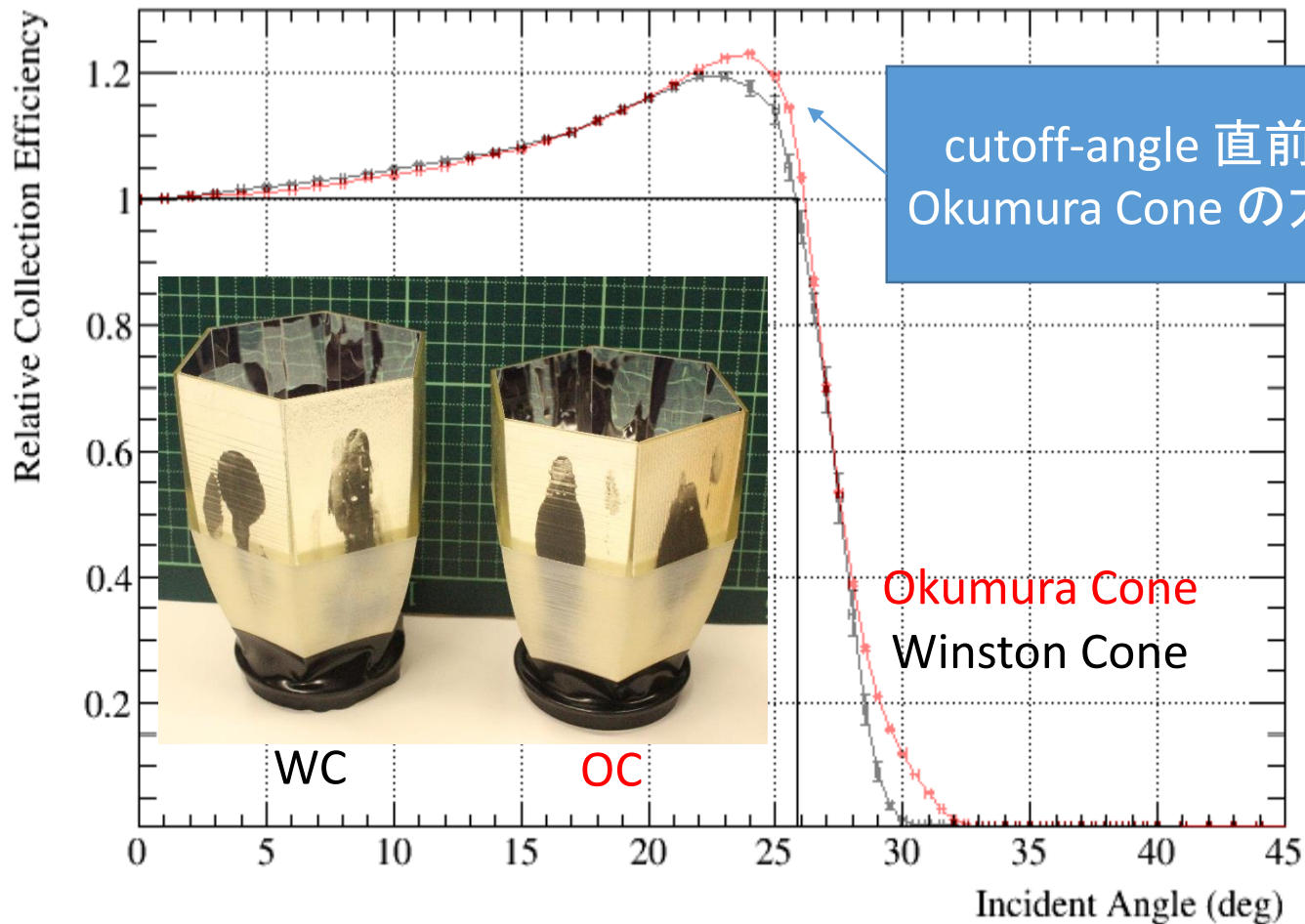
Winston Cone に比べ cutoff-angle 直前の値が大きい。





# 試作品の性能評価

曲面を最適化したライトガイド (Okumura Cone) とWinston Cone を 3D プリンタで試作し、性能を評価・比較した。



# ライトガイドの大量生産



## 型の生産

ライトガイドの“型”にあたる cone 部分は樹脂の **射出成形** により大量生産中で、後に型の内面に反射材を貼り付ける。

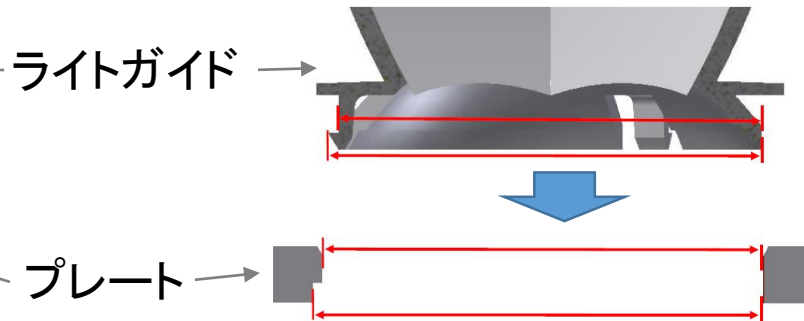
予め製作した“金型”に熱した樹脂を流し込んで成形する手法。  
パーツ 1 個あたりの値段が非常に安い!!



型の試作品

## 設計

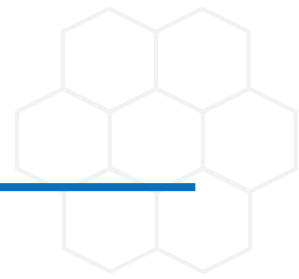
ライトガイドの入射口にあたる部分や、“プレート”との嵌合部の寸法を決定した。



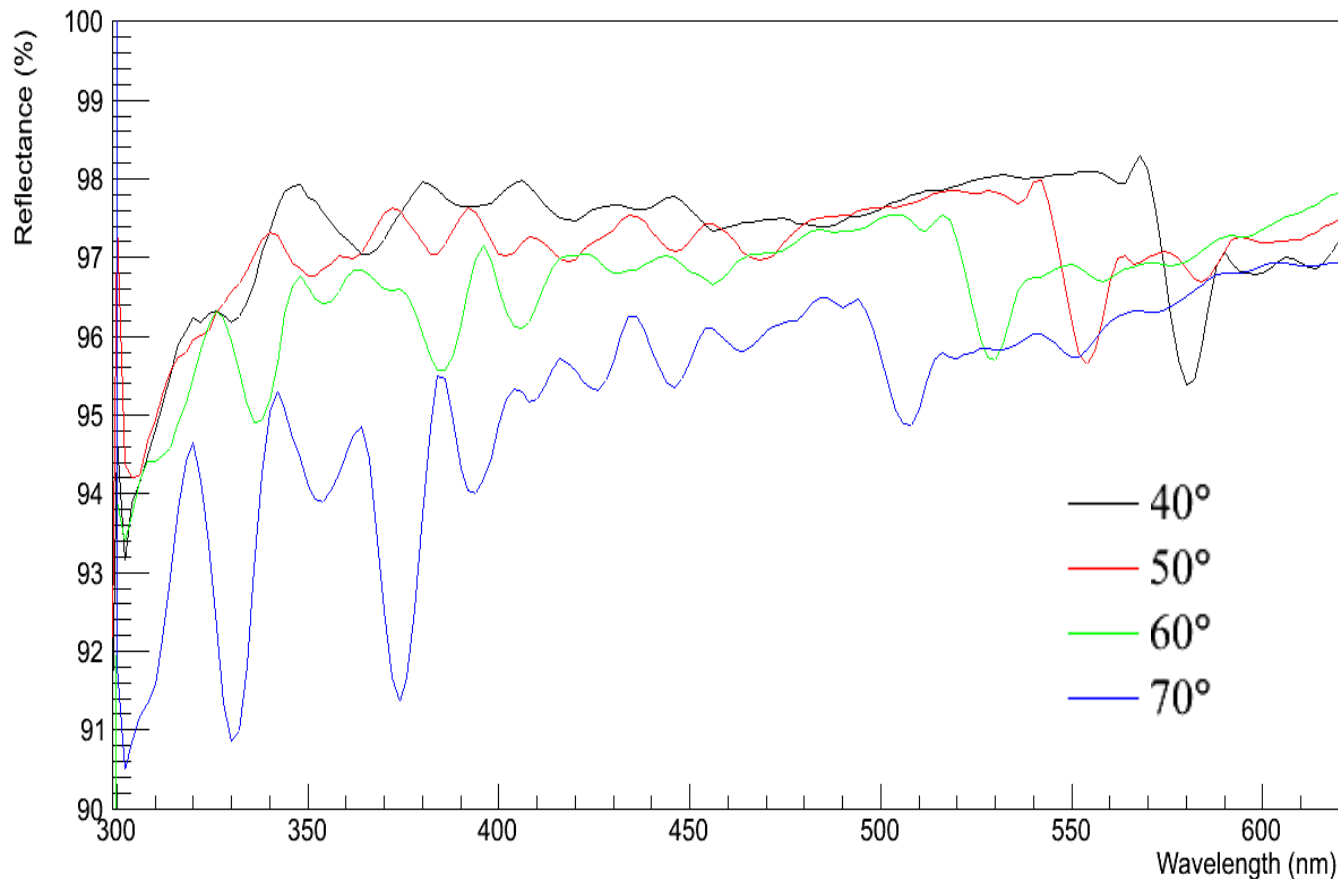
射出成形の際に生じる成形誤差によらず、嵌合が可能な寸法にした。

嵌合部断面図

# 反射材の候補 ESR + coating



ESR (3M社) + coating (Bte 社, 独) の反射率



従来の望遠鏡のライトガイドに使用されてきた  
アルミナイズドマイラーの反射率 90% を上回っている。

# まとめ

---



- 光子の入射角度に対する PMT 出力の依存性を測定した。
- PMT 特性を取り入れた光線追跡シミュレーションからライトガイドの形状を最適化した結果、Winston Cone よりも cutoff-angle 直前の効率を高める形状を求めることができた。
- ライトガイドに使用する反射材の性能を向上させるコーティングを施したところ、これまで広く使用されていたものに比べて反射率が 5% ほど高い反射材が完成した。
- 型の設計を終え、現在は大量生産中であり順次仕上げとして反射材を貼り付ける予定。