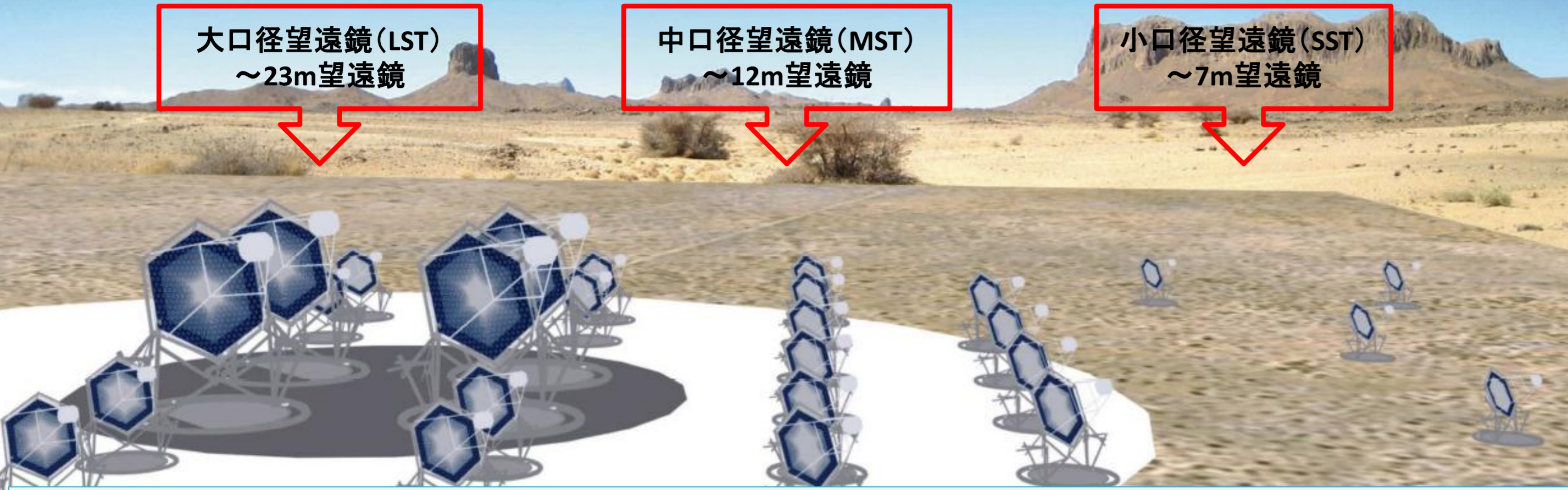


CTA大口徑望遠鏡用ライトガイドの開発

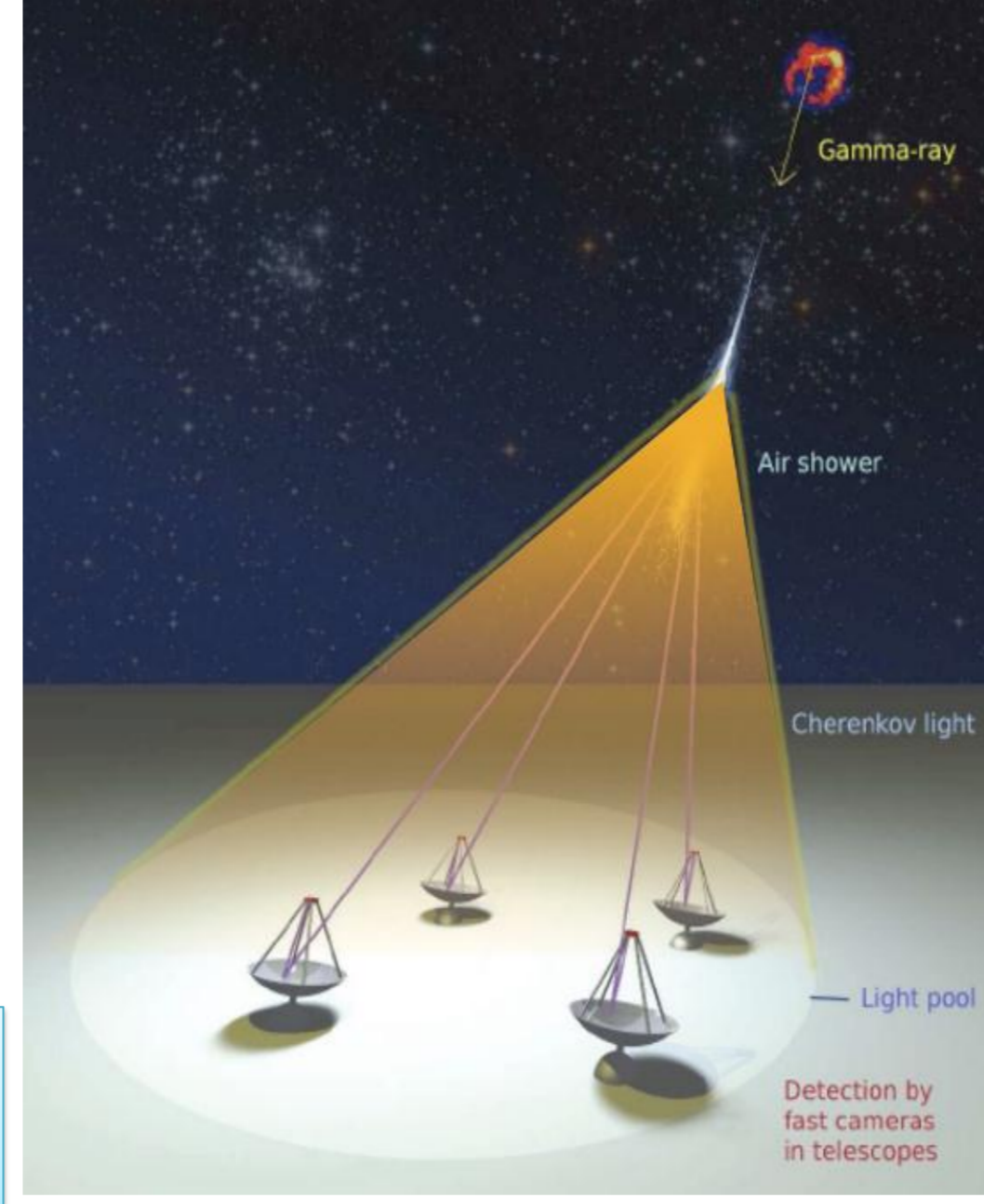
茨城大学高エネルギー宇宙物理グループ 修士2年 田中駿也
他CTA Japan consortium

CTA Project

(図引用元 M. Actis et al., 2011, Experimental Astronomy, 32, 193-316.)



Cherenkov Telescope Array(CTA)は、大・中・小の口径が異なる3タイプのチェレンコフ望遠鏡を数km²の範囲に100台程度配置して、20GeV~100TeV以上のエネルギー帯域のガンマ線観測を目指す国際プロジェクトである。日本グループは主に大口徑望遠鏡(LST)の開発に携わっている。



空気シャワー

宇宙から到来した高エネルギーガンマ線や宇宙線は、地球大気と相互作用をして、電子・陽電子対を生成し、それらがガンマ線を放出し、再び電子・陽電子対を生成する。この過程を繰り返す現象を空気シャワーという。シャワー中に発生した高エネルギーの電子・陽電子が大気中の光速を超すと、チェレンコフ光を放射する。このチェレンコフ光は粒子の進行方向に対して約1度の放射角で放射され、地上では数百mの広がりとなる。地上に到達したチェレンコフ光を望遠鏡で観測することで、地球に到来したガンマ線のエネルギーや方向を決定することができる。

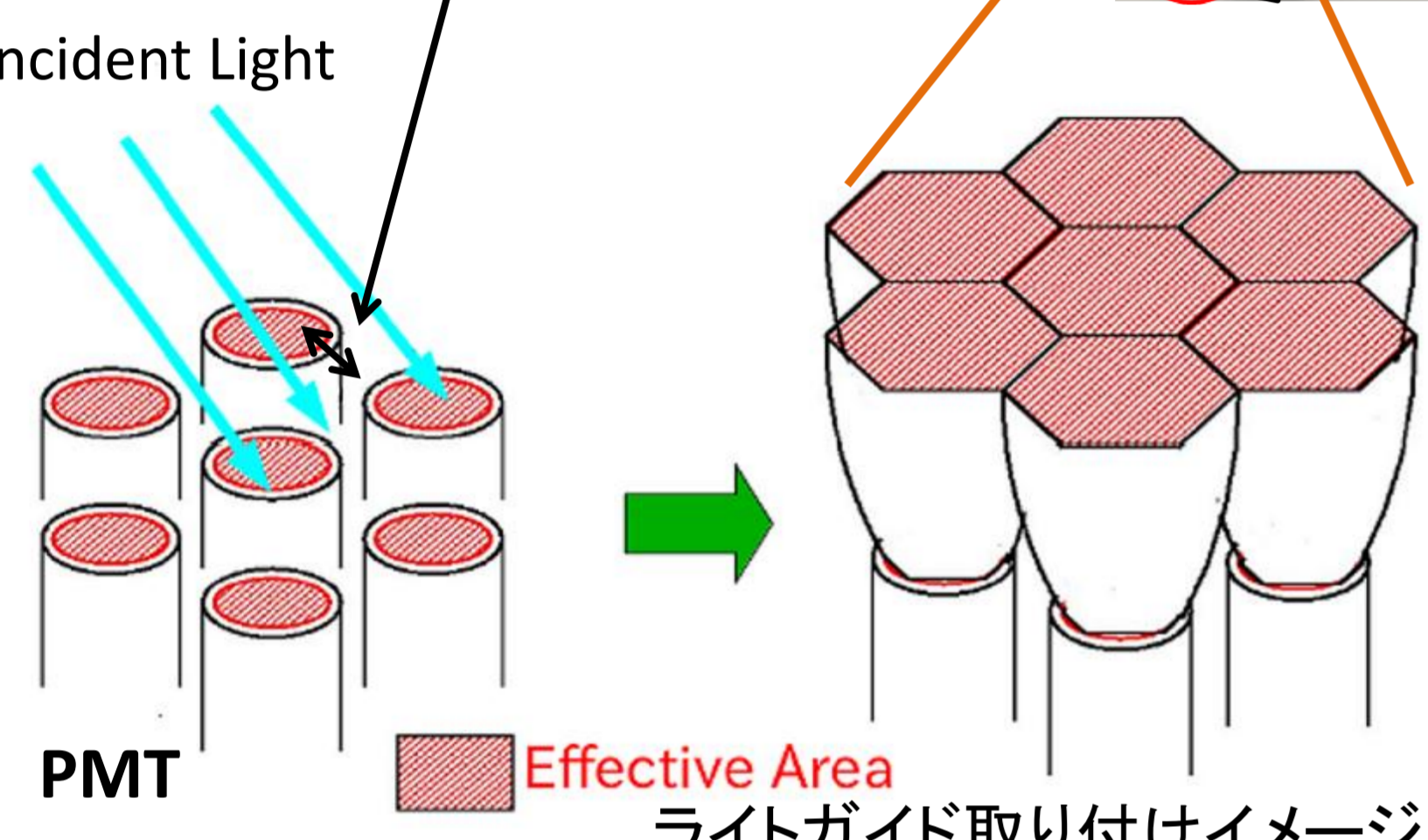
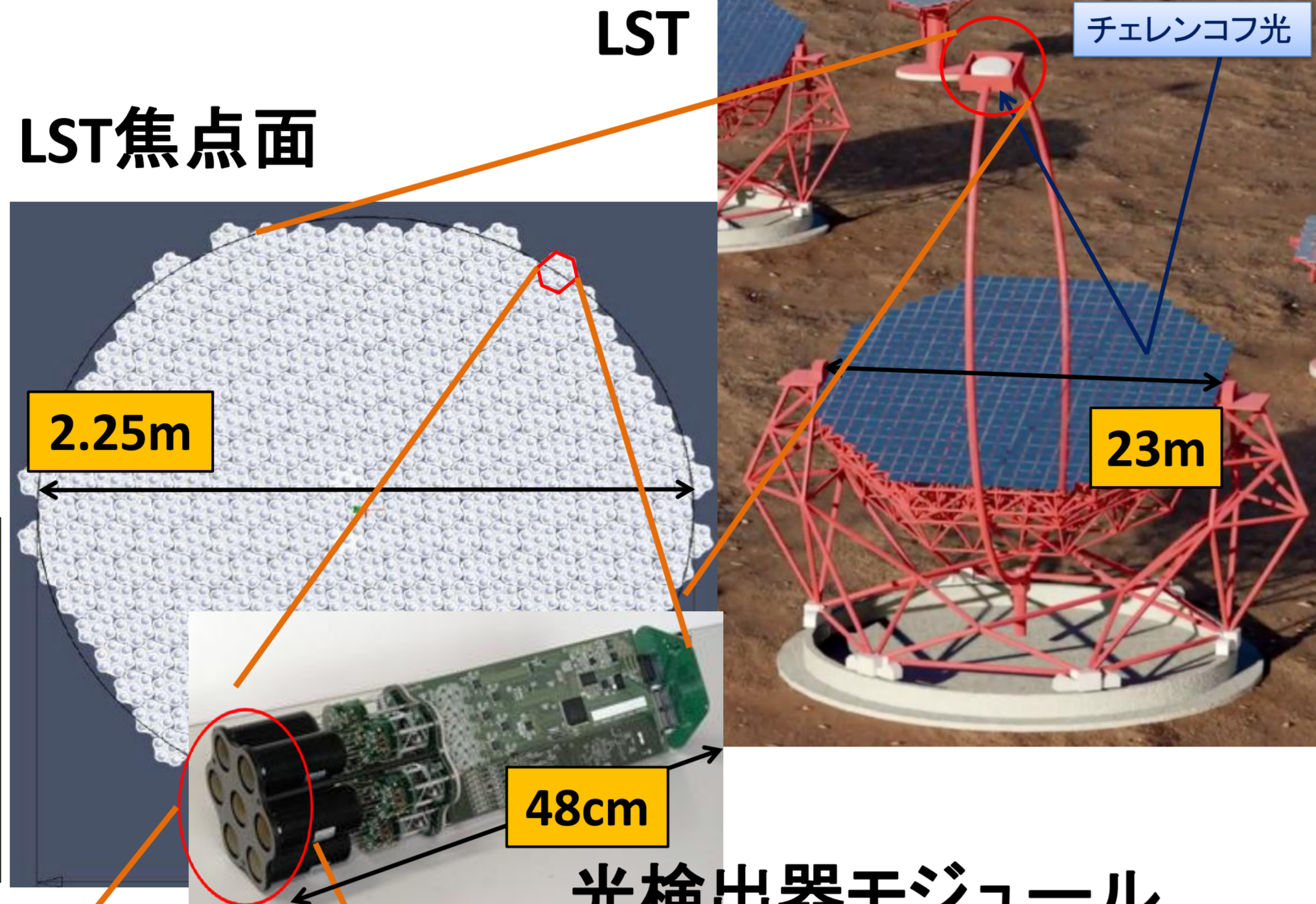
(図引用元 Heinrich J. Völk et al., 2009, Experimental Astronomy, 25, 173-191.)

ライトガイド

焦点面にはチェレンコフ光を捕える光電子増倍管(PMT)が一面に配置される。その数はLST一台あたり1855本にも及ぶ。

問題点

LSTに使用するPMTの入射窓が円形なため、PMTを隣接させて配置すると互いの間に隙間が生じる。この隙間に入射した光は検出することができない。



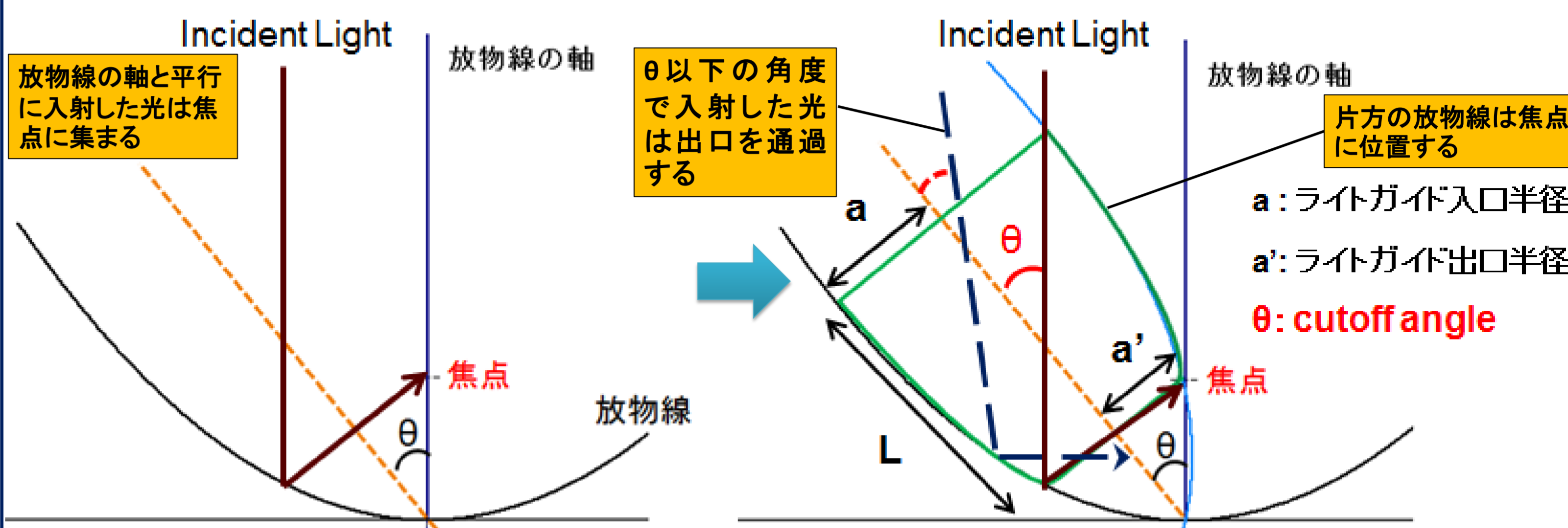
(図引用元 黒田和典, 2011年度, 茨城大学修士学位論文)

ライトガイドは、PMT間の隙間を低減するために、全てのPMTに取り付けられる光学部品である。ライトガイドの内面は鏡面になっており、効率よくチェレンコフ光をPMTに導くことができる。

また、PMTに入射するバックグラウンドとなる光を低減する役割も担う。

ライトガイドの形状: Winston Cone

ライトガイド内面の向かい合う曲面同士の間隔として、Winston Coneが代表的である。



Winston Cone...左図のように放物線の軸と平行に入射した光は必ず焦点に集まる性質を利用し、右図のような放物線の焦点の位置にもう一つの放物線の端が位置するような形状。

この形状により二次元において、cutoff angleと呼ばれる、ある角度以内で入射した光は100%集光し、それより大きい角度で入射した光はカットするという理想的な集光をする。

この特徴から...

夜光や地面からの照り返しなどの反射鏡以外からPMTに入射する、バックグラウンドとなる光を低減できる。

入射角 ≤ cutoff angle : 100%集光する
入射角 > cutoff angle : 集光しない(0%)

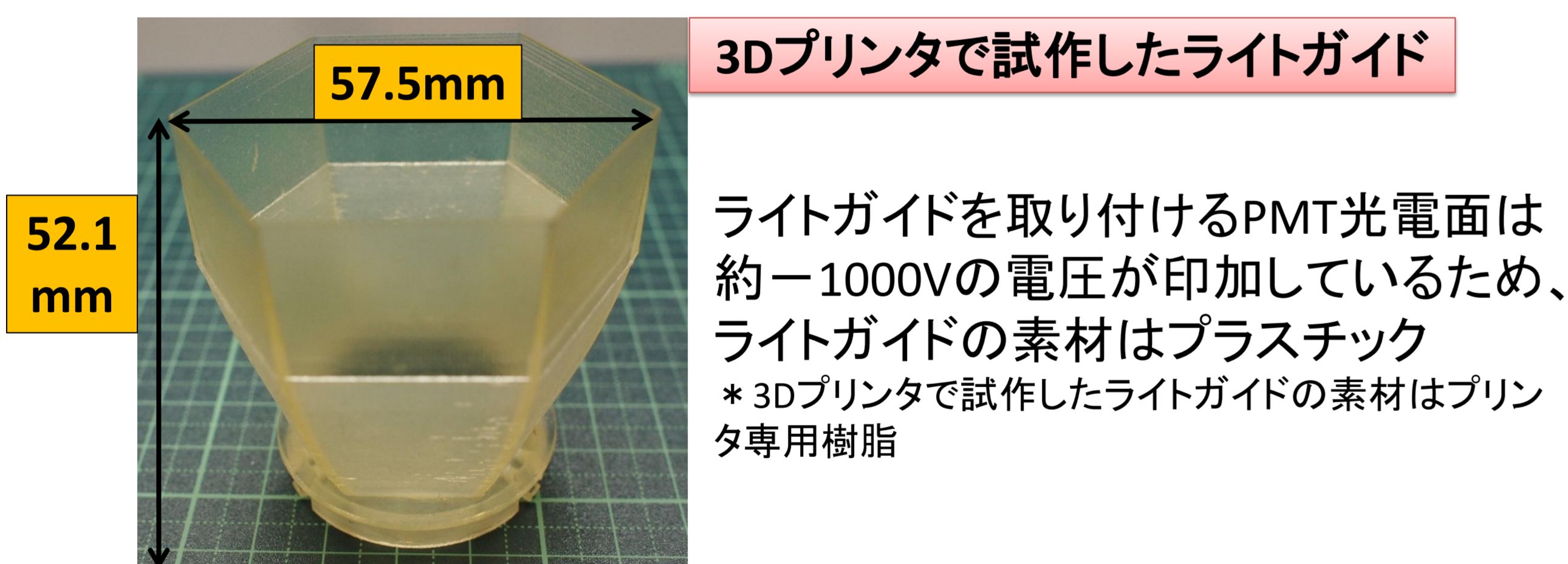
Winston Coneの基本式

$$(i) \tan \theta = \frac{a' + a}{L}$$

$$(ii) \sin \theta = \frac{a'}{a}$$

Winston Cone型ライトガイド試作

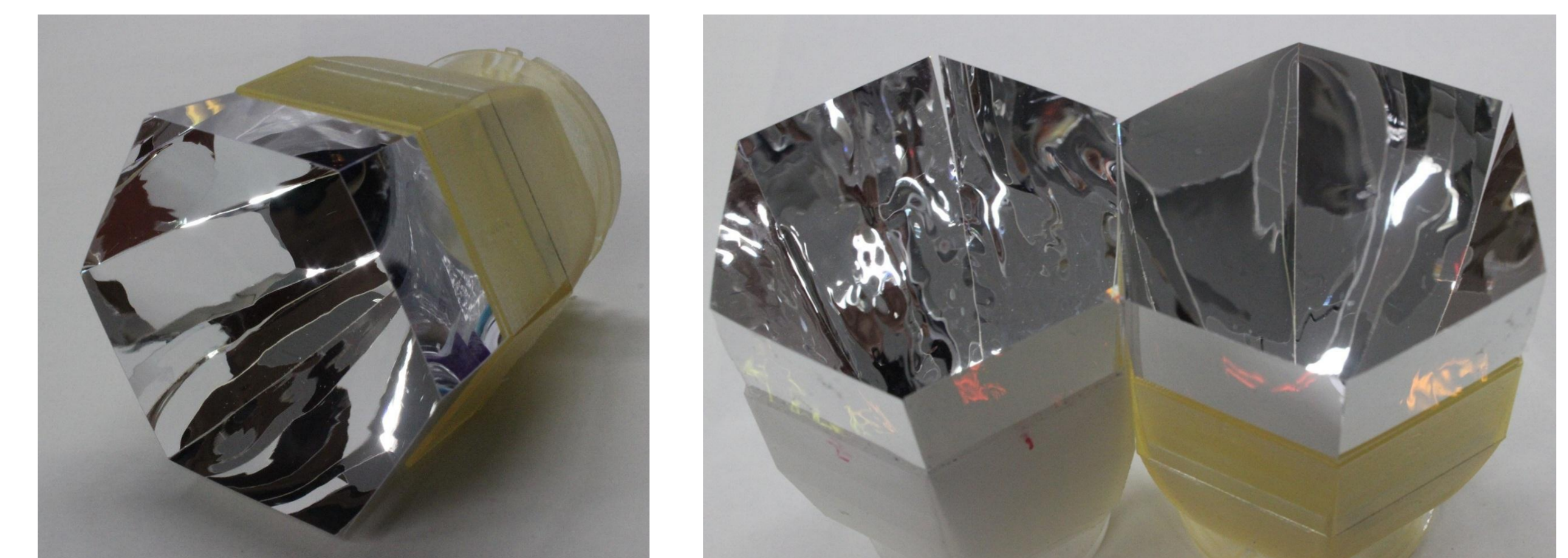
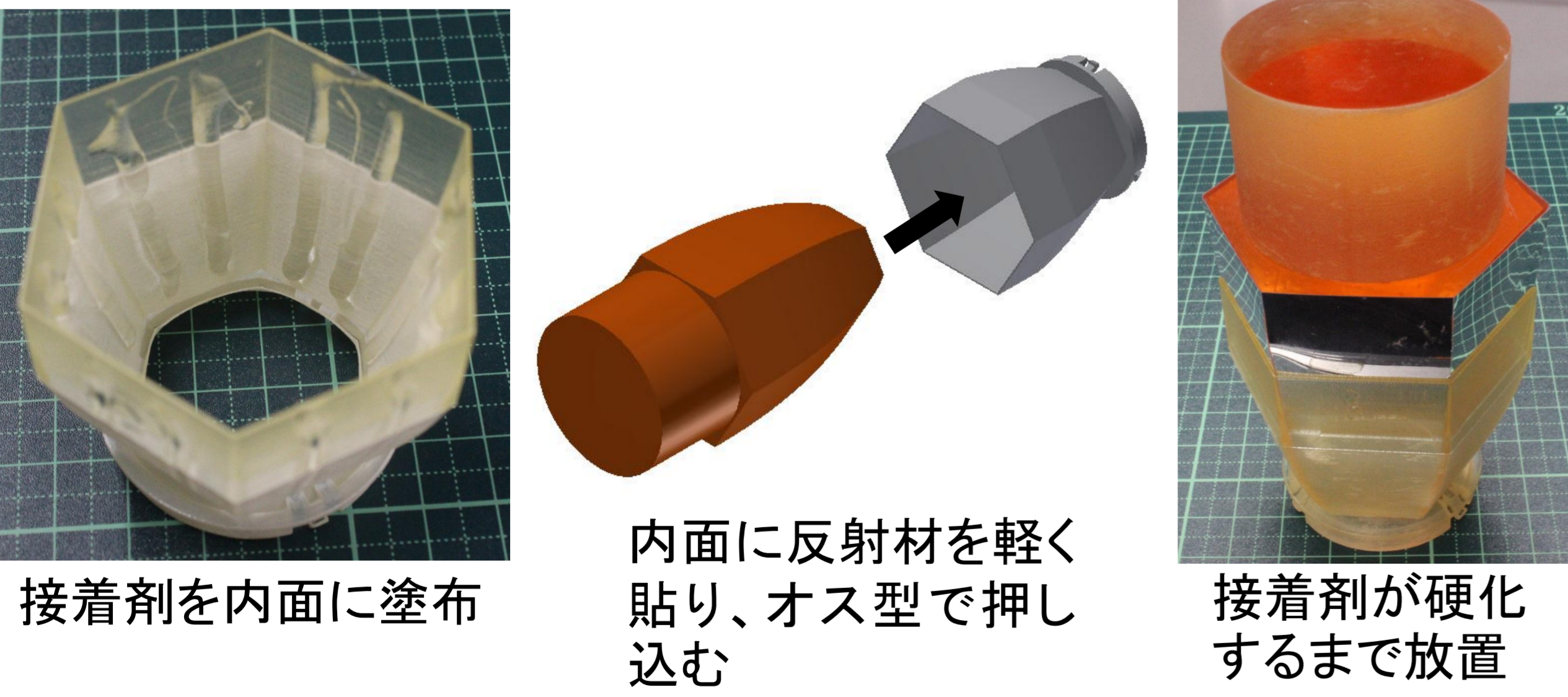
ライトガイド大量生産に向けた形状確認として、Winston Cone型を切削加工と3Dプリンタで試作



試作後、ライトガイド内面には反射材として3M製のESRフィルムを貼った。(可視光領域の反射率98%以上)

反射材貼り付け方法

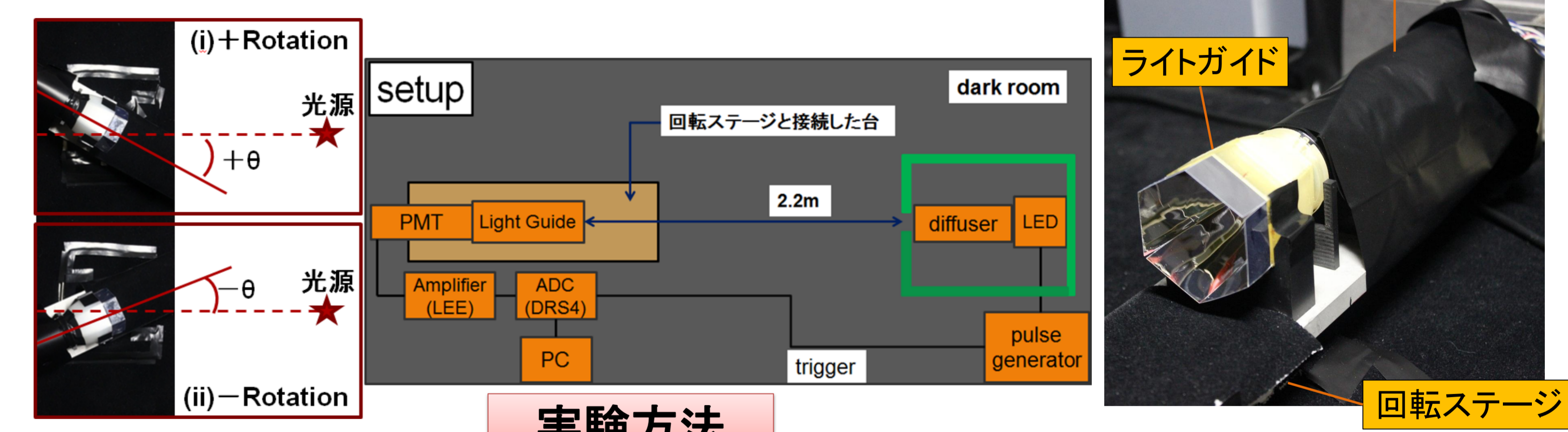
ライトガイド内面と同じ形状をしている「オス型」を差し込み、六面を同時に圧着する。



オス型を使用して反射材を貼ったライトガイド
左: 反射材を指で圧着して貼ったライトガイド
右: 反射材をオス型で圧着して貼ったライトガイド
オス型で圧着した方が表面のでこぼこが少ない。

ライトガイド集光率角度依存性の測定

試作したライトガイドの性能評価として、集光率の角度依存性を測定した。

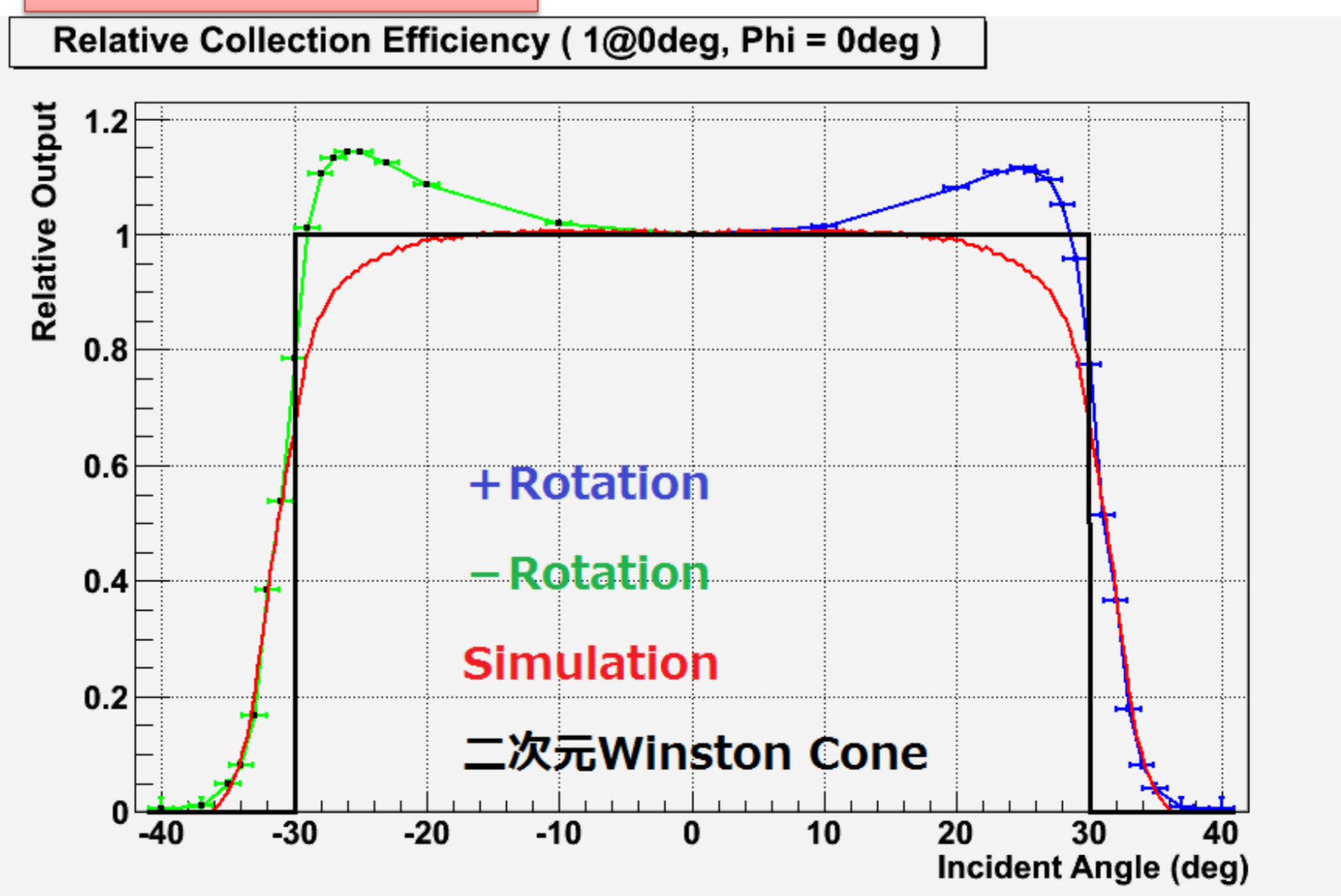


光源に対して、時計回りを+θ回転、反時計回りを-θ回転とした

実験方法

ライトガイドに±1度以下の平行光を入射させるため、光源を2m以上離す。ライトガイドをPMTに取り付けて回転ステージと接続し、入射光に対する角度ごとのPMT出力値を測定した。

測定結果



測定結果(緑・青線)はシミュレーション(赤線)に近い値となったが、入射角度15~25度付近の集光率が上昇している。

⇒PMT光電面感度の位置依存性や入射角度依存性の影響か
しかし、これらは詳しく測定されていないため、シミュレーションには考慮していない。

今後

PMT感度入射角度依存性などの測定

PMT感度の位置及び入射角度依存性や反射材の反射率角度依存性を測定し、より現実に近いシミュレーションを行っていく。

大量生産に向けた開発

将来的にライトガイドを約2000個製作するため、反射材を効率よく貼る必要がある。そのための手法を確立する。また、ライトガイドを複数個試作し、集光率の同時測定を行う。