

# CTA 報告 107 :

## CTA 大口径望遠鏡用分割鏡の性能評価

長紀仁, 林田将明 <sup>A</sup>, 稲田知大 <sup>A</sup>, 岩村由樹 <sup>A</sup>, 奥村暁 <sup>B,C</sup>, 小野祥弥,  
加賀谷美佳, 片桐秀明, 加藤翔 <sup>A</sup>, 岸田柊 <sup>G</sup>, 齋藤隆之 <sup>D</sup>, 重中茜,  
千川道幸 <sup>E</sup>, 手嶋政廣 <sup>A,F</sup>, 中嶋大輔 <sup>A</sup>, 野田浩司 <sup>F</sup>, 花畑義隆 <sup>A</sup>,  
深見哲志 <sup>A</sup>, 本橋大輔, 山本常夏 <sup>G</sup>, 吉田龍生, 他 CTA-Japan consortium

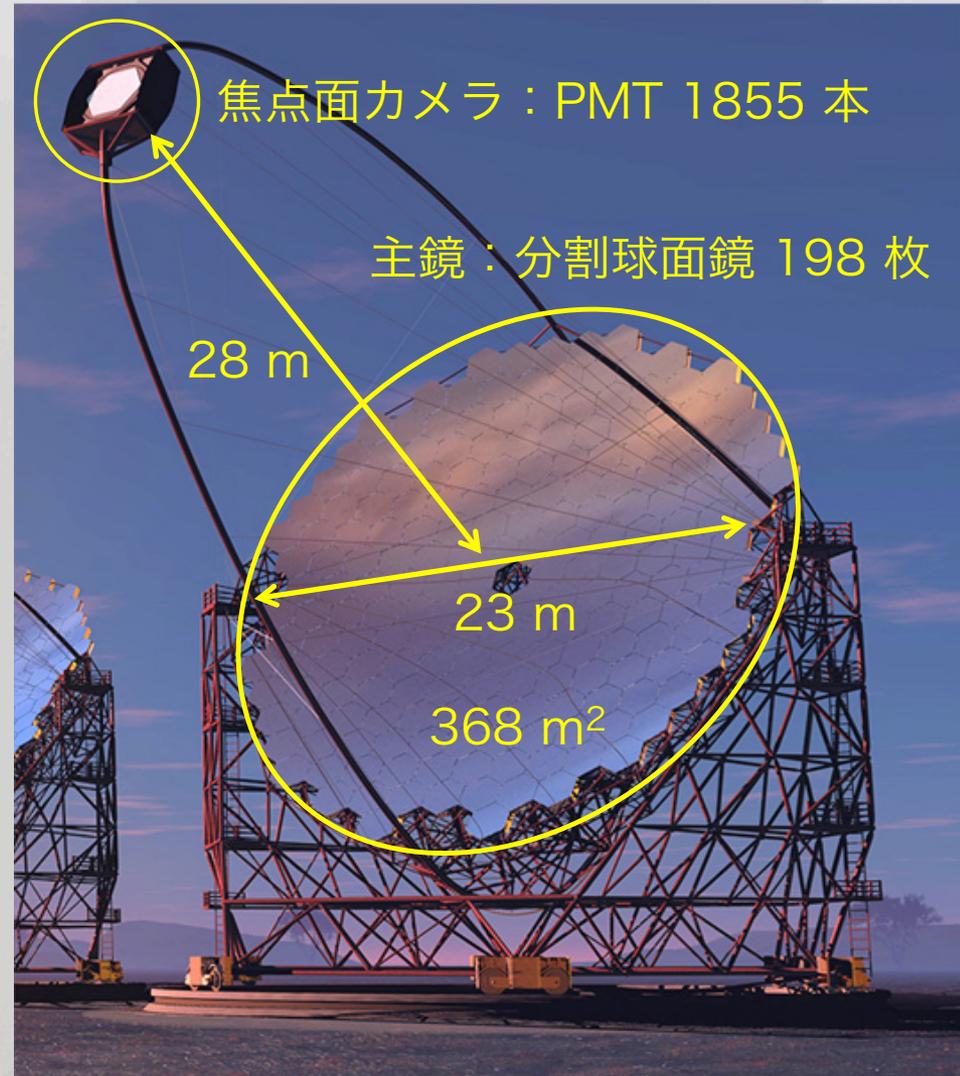
茨城大理, 東大宇宙線研 <sup>A</sup>, 名大 ISEE <sup>B</sup>, MPIK <sup>C</sup>, 京大理 <sup>D</sup>,  
近畿大理工 <sup>E</sup>, Max-Planck-Inst. fuer Phys. <sup>F</sup>, 甲南大理工 <sup>G</sup>

# 大口径望遠鏡 (Large-Sized Telescope : LST)

- 20 GeV から 1000 GeV の低エネルギー側を観測。
- 南北に 4 台ずつ配置 (計 8 台) → 約 1600 枚の分割鏡が必要。

## 大口径望遠鏡 (LST) 仕様

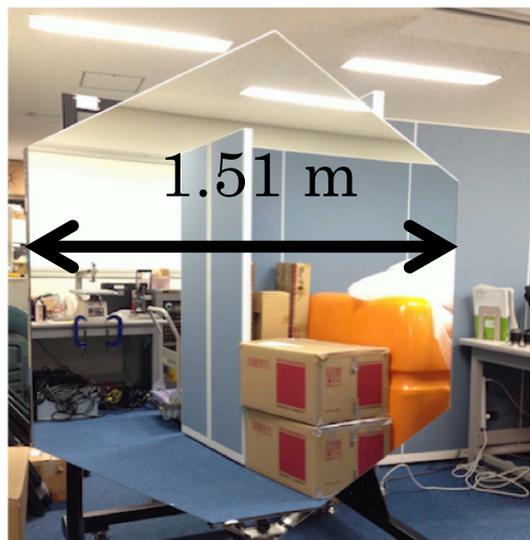
- 口径(D) : 23 m
- 面積 : 368 m<sup>2</sup>
- 焦点距離(F) : 28m (F/D = 1.2)
- 主鏡面 : 放物面
- カメラPixelサイズ : 0.1° (50 mm)
- Active Mirror Control system (光学アラインメント補正)
- 回転速度 : 180 deg/20 sec



# 分割鏡の性能評価

- 目的** 使用する一枚一枚の分割鏡の性能を評価。
1. 品質管理のための測定を実施し、性能の悪い鏡を取り除く。
  2. LST のパフォーマンスを最大限引き出すための配置を最適化する。

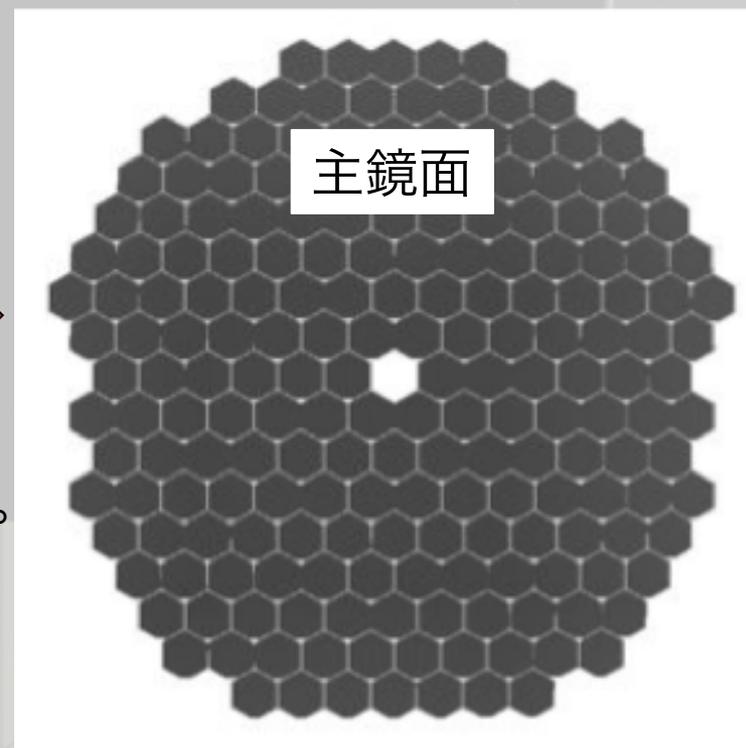
LST 用分割球面鏡



面積 : 1.958 m<sup>2</sup>  
重量 : ~47 kgf



性能評価結果を  
パラメータとして与える。

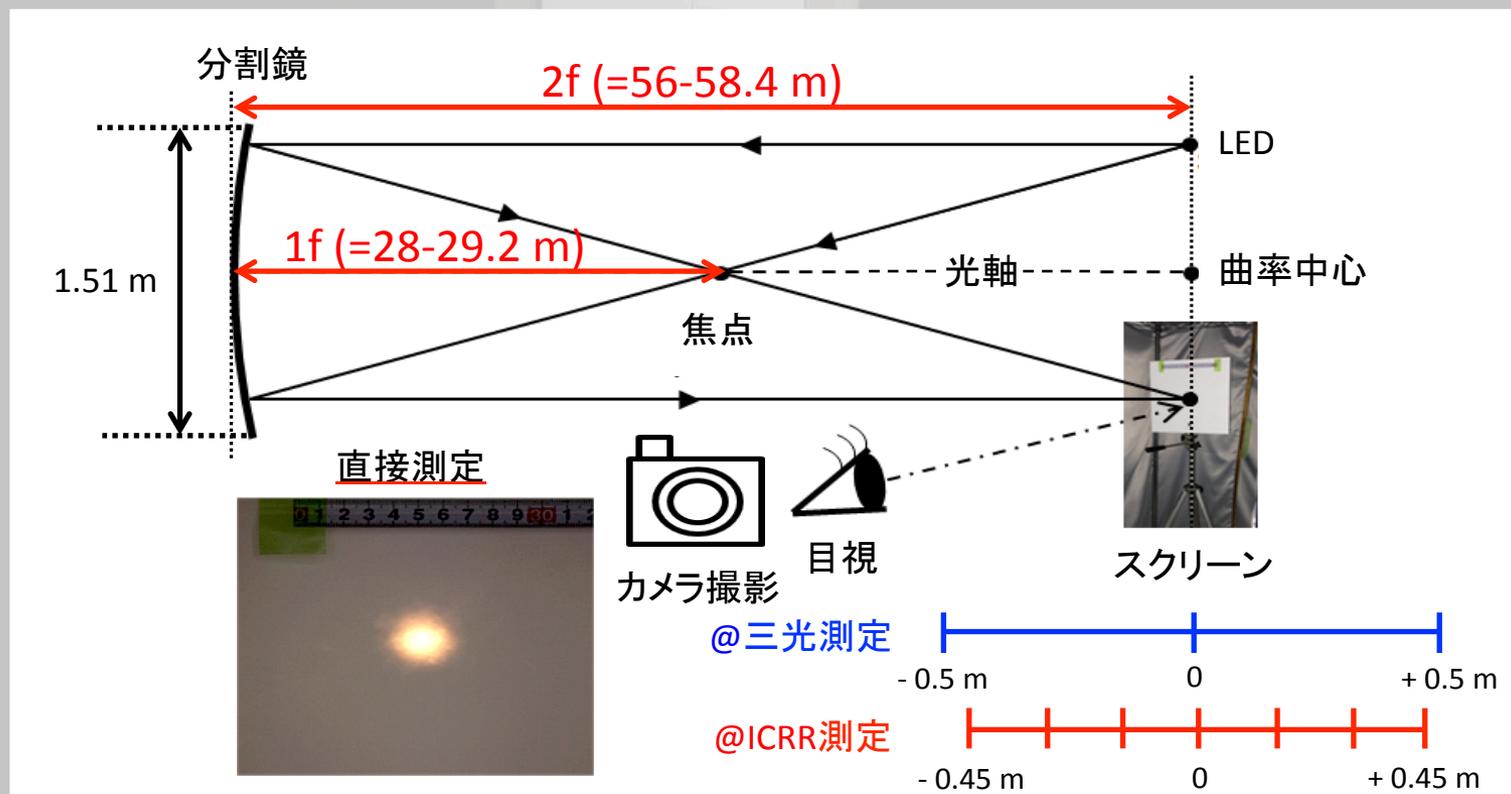


モンテカルロシミュレーション  
により分割鏡配置を最適化。

- 分割鏡仕様**
- 焦点距離 : 28 - 29.2 m
  - 結像性能 : < 16.6 mm (0.03°)
  - 反射率 : > 90 % at 400 nm,  
> 80 % at 300 - 600 nm

# 結像性能評価方法：2f 法

曲率半径において分割鏡の作る像の拡がり測定、結像性能を評価。



これまで製造元（三光精衡所）の工場内で納品前の検定方法として活用。



✓ バックグラウンドの不定性が大きく、精度の高い測定ができなかった。

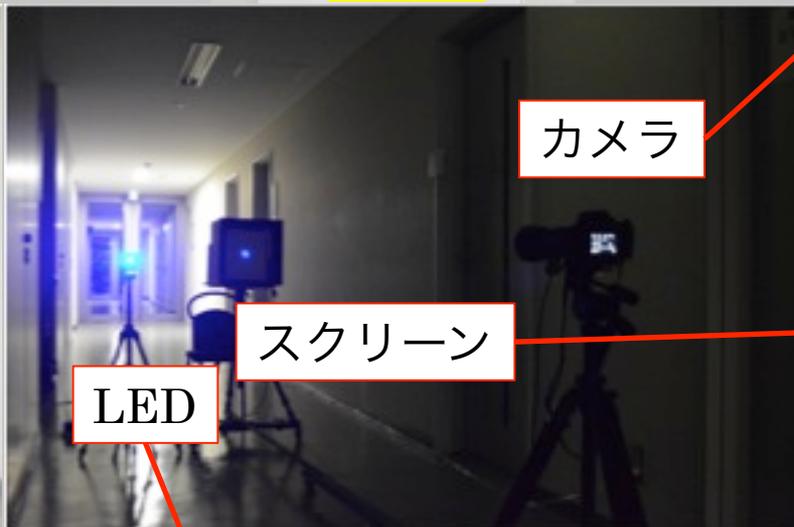
東京大学宇宙線研究所に新たに 2f 実験装置を製作、より詳細に評価。

# 東大宇宙線研 2f 実験装置

東京大学宇宙線研究所 6F の廊下に設置

ミラー側

2f 側



Canon EOS 8000D +  
Canon EF-S55-250mm F4-5.6 IS STM

カメラ

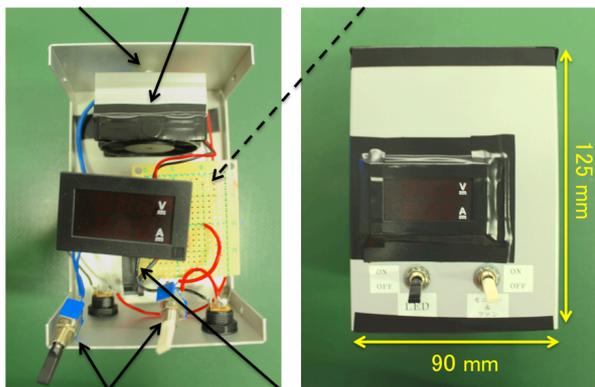
スクリーン

LED

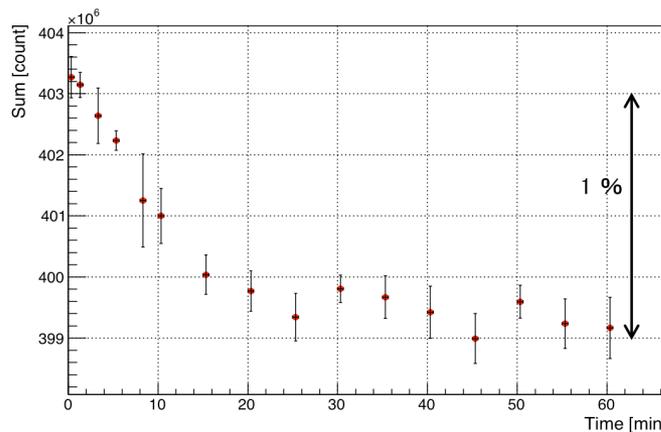


テフロン板(メジャー付) + 暗箱

LED DC ファン 定電流ドライバモジュール



スイッチ 電流・電圧デジタルパネルメータ



現状、一日あたり  
5枚から6枚  
の鏡を測定可能。

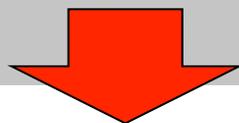
波長 470 nm 消費電力 3 W 光量安定性 1% 以内

# 測定・解析

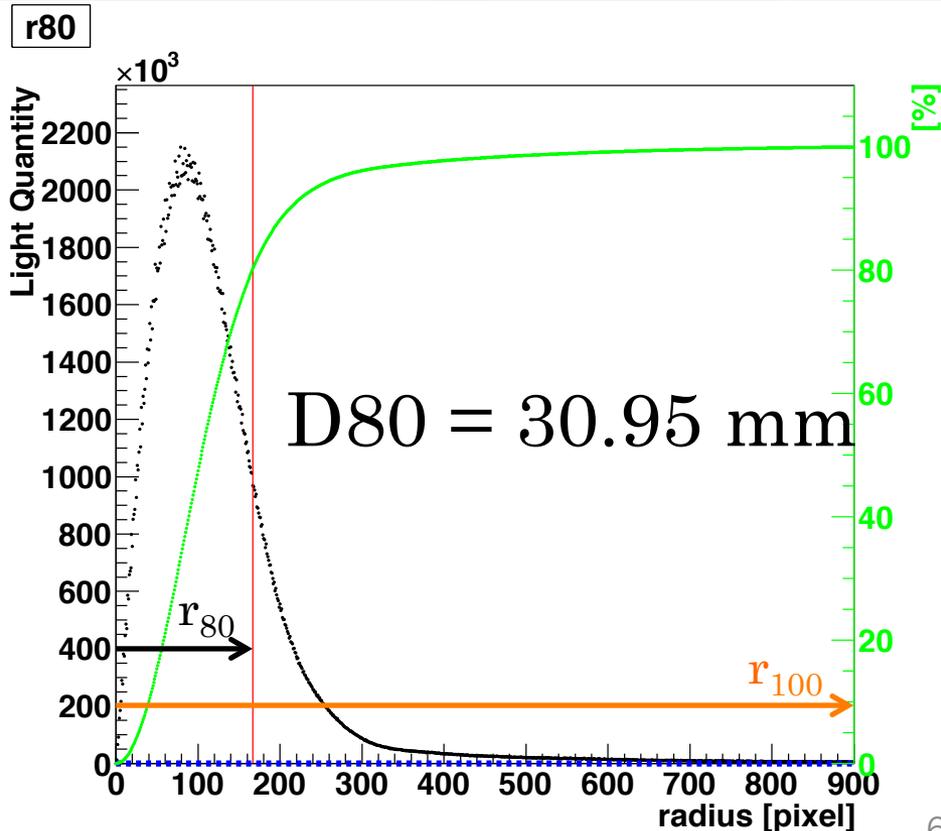
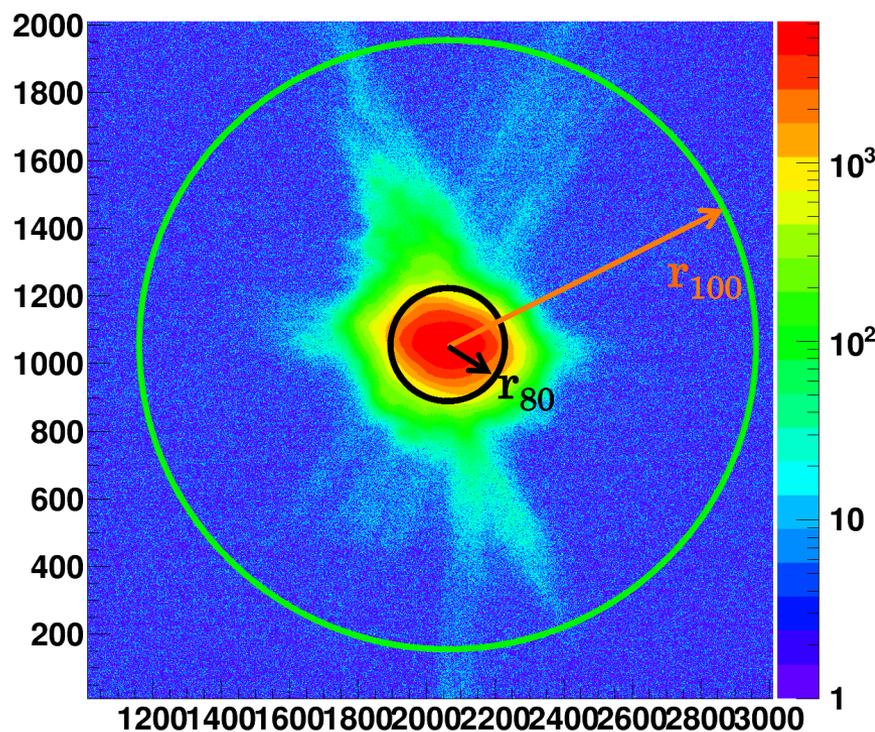


- カメラで ON/OFF 撮影
- 測定はスポット最小位置と前後 0.45 m (0.15 m 間隔)の 7 点

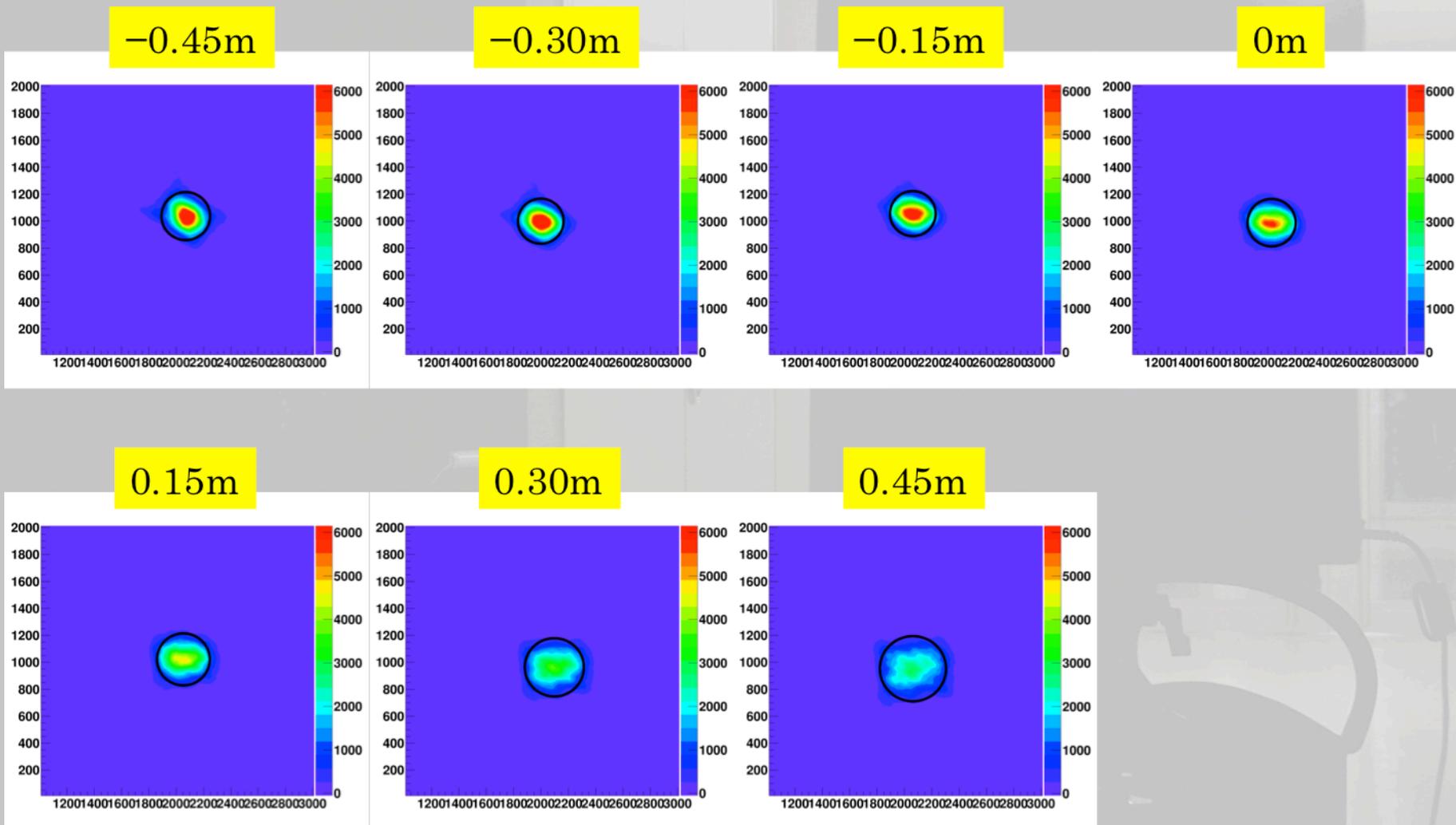
D80 : 反射光の 80 % が含まれる直径



撮影画像を差し引きし、解析により D80 を求める。

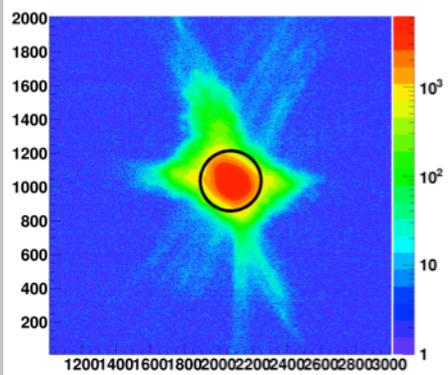


# スポットイメージ (Linear scale)

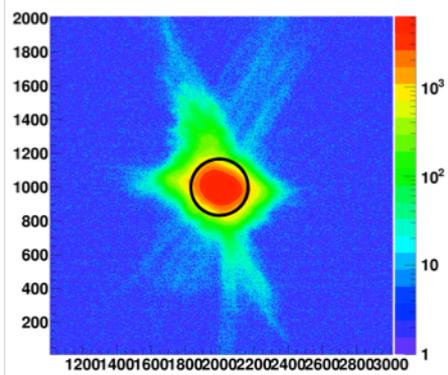


# スポットイメージ (Log scale)

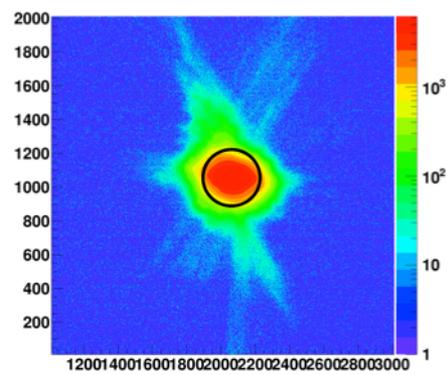
-0.45m



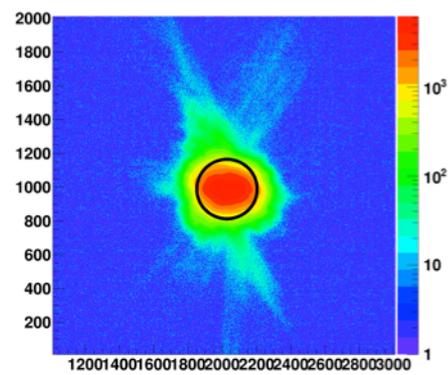
-0.30m



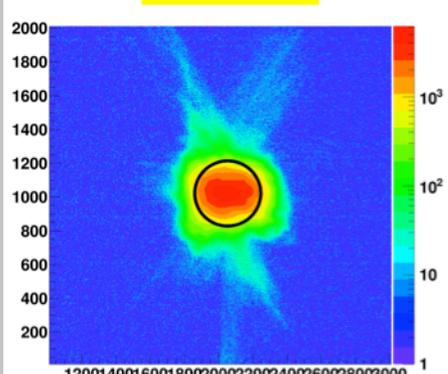
-0.15m



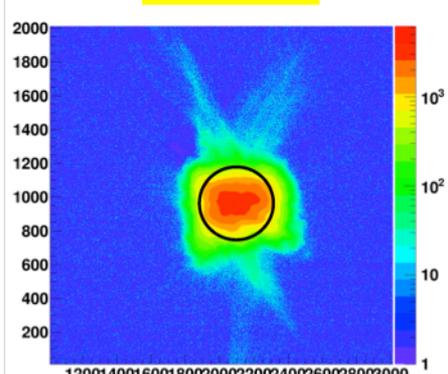
0m



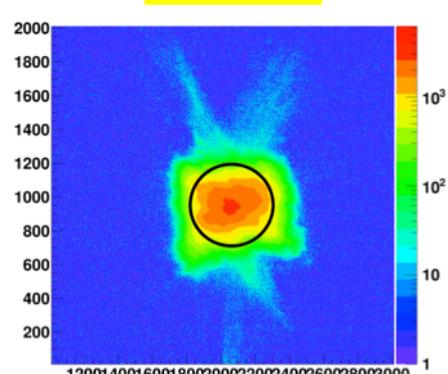
0.15m



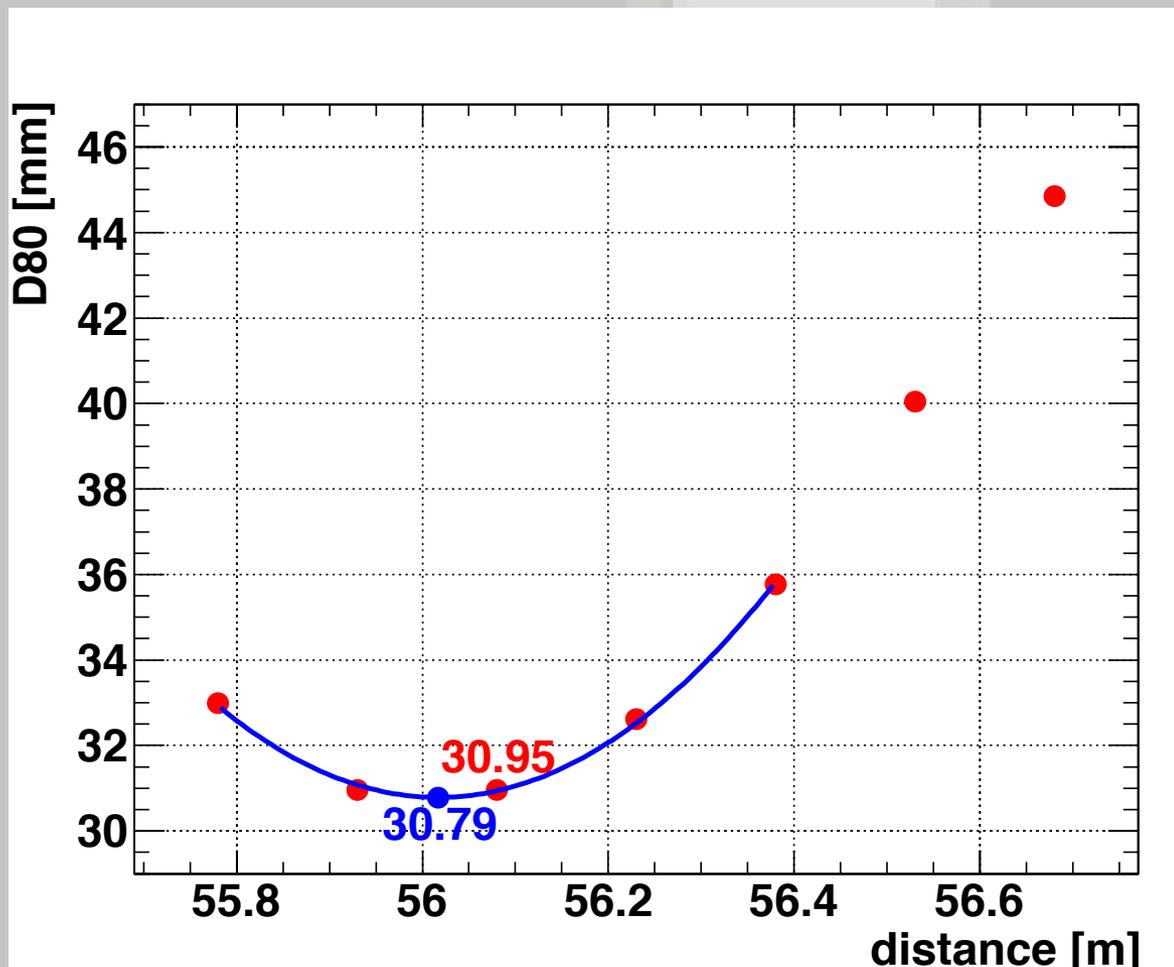
0.30m



0.45m



# 測定結果 (No.70)



仕様

<曲率半径>

R : 56.0 - 58.2 m

<結像性能>

D80(@2f) < 33.3 mm

Minimum

<曲率半径>

56.08 m (実測)

56.01 m (Fit by Parabola)

<D80>

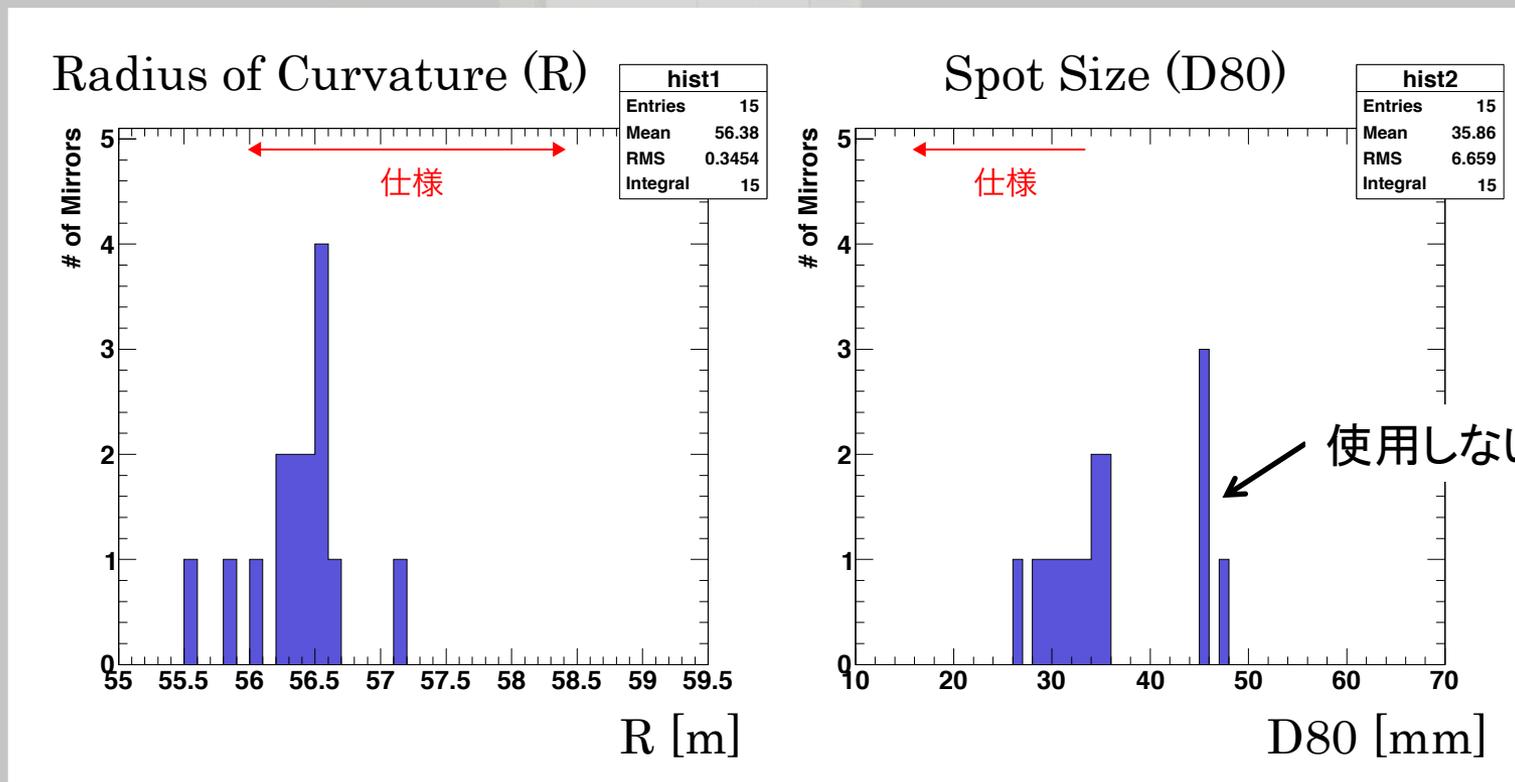
30.95 mm (実測)

30.79 mm (Fit by Parabola)

No.70 は曲率半径、D80 とともに仕様を満たす。

# 結像性能評価結果

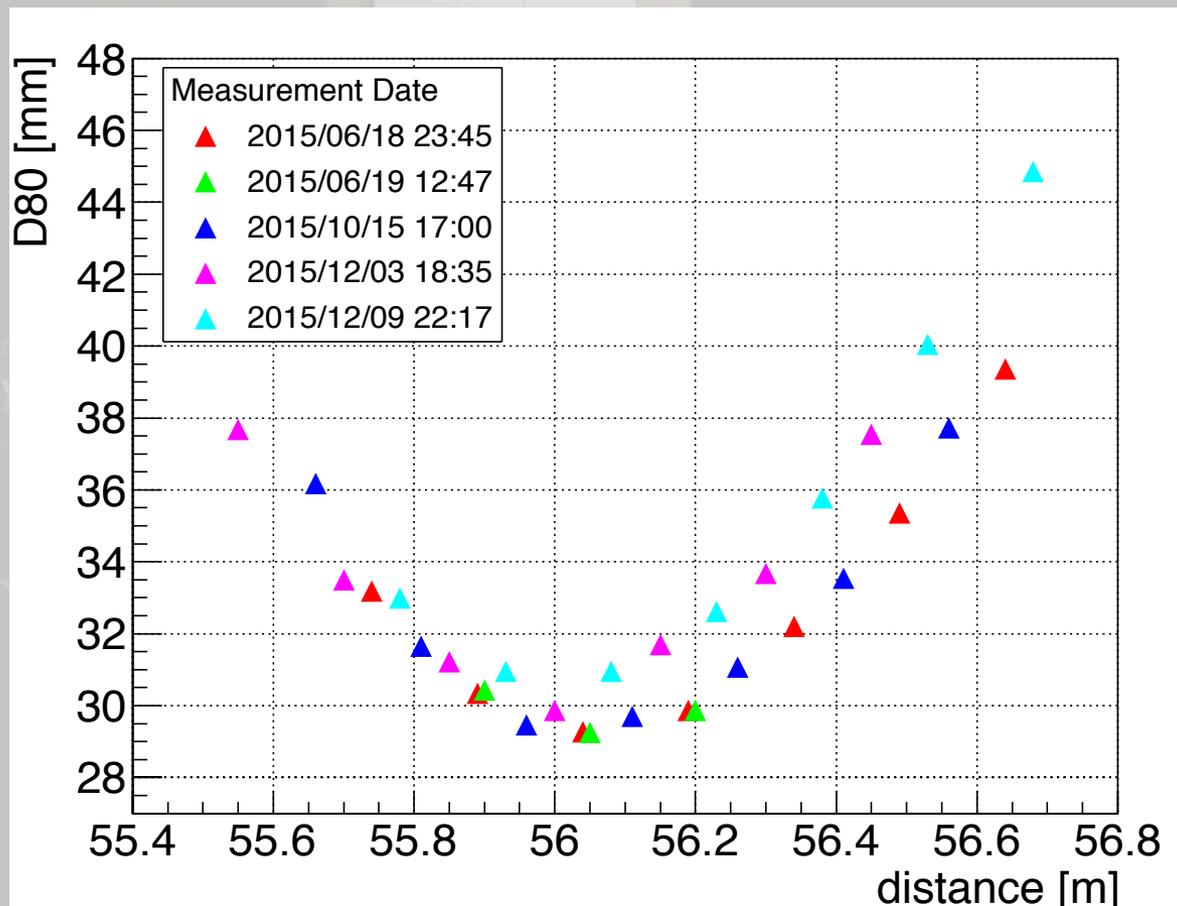
- 分割鏡 15 枚 (最終デザイン : 2014 - 2015)



- 曲率半径はほぼ仕様を満たしている。
- D80 は仕様である 33.2 mm 付近に集中。

# 測定の再現性

No.70 について、実験装置の立ち上げから完成までの計 5 回の測定結果。



D80 の最小値はおよそ 1 mm の精度で一致 (1f だと 0.5 mm)。曲率半径も精度目標である 0.20 m (@2f) を達成。

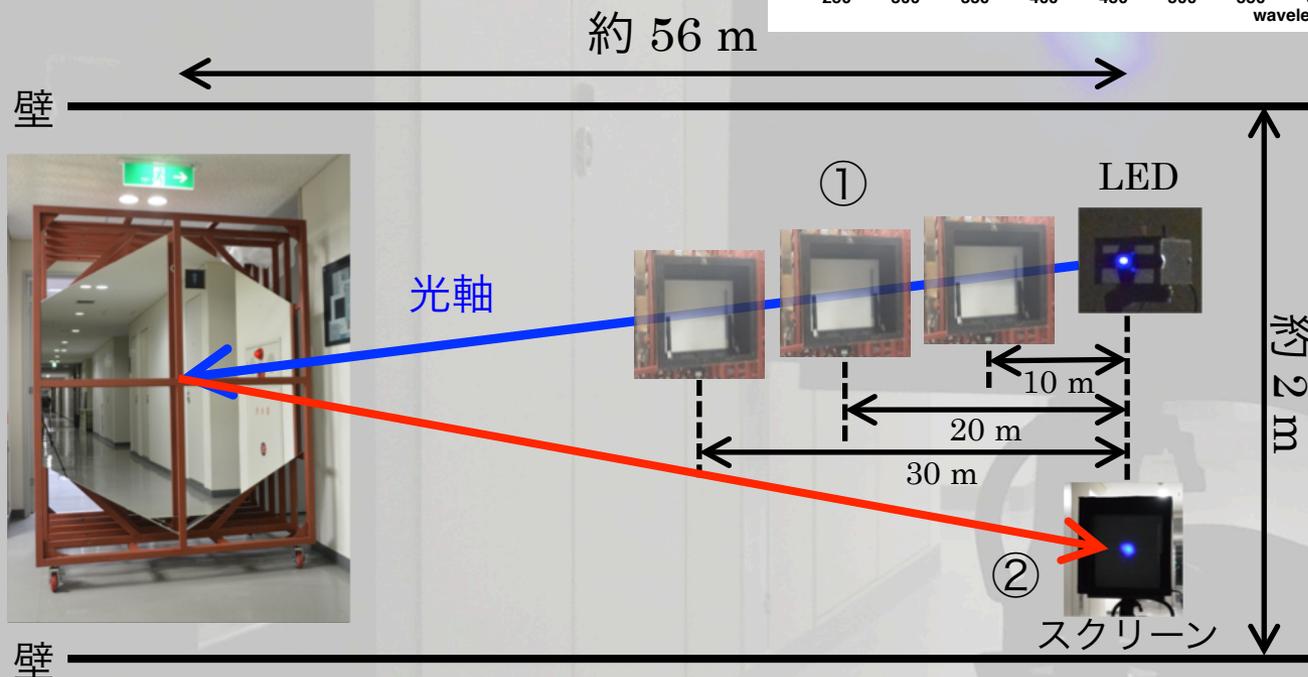
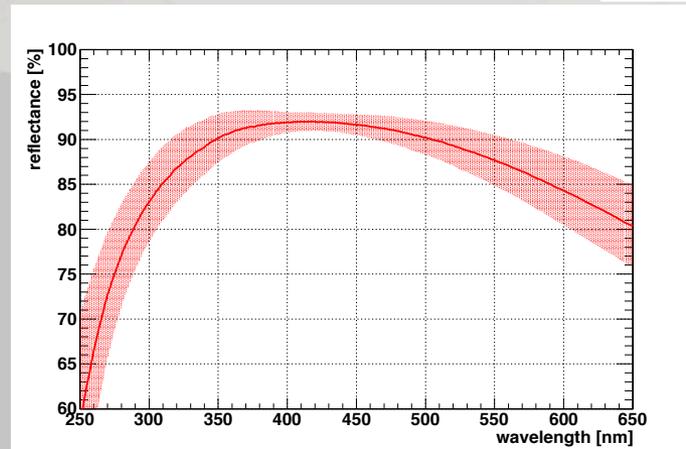
# 反射率評価

**現状** 部分測定では仕様を満たす。

**目的** 1.51 m 分割鏡 1 枚全体としてもつ反射率を求める。

**測定方法** 2f 法を応用して測定。

部分測定による反射率



①距離による光量低下量から反射面に届く光量を推定。②結像位置での光量を測定。

② / ① で反射率を求める。

# ①の測定の様子

<光量推測測定>



1. 光源 - 鏡の光軸上にスクリーンを配置・撮影し、カメラの 1 pixel あたりの光量を測定。
2. 光量 - スクリーンの距離を遠ざけていき、光量の低下量を求める。

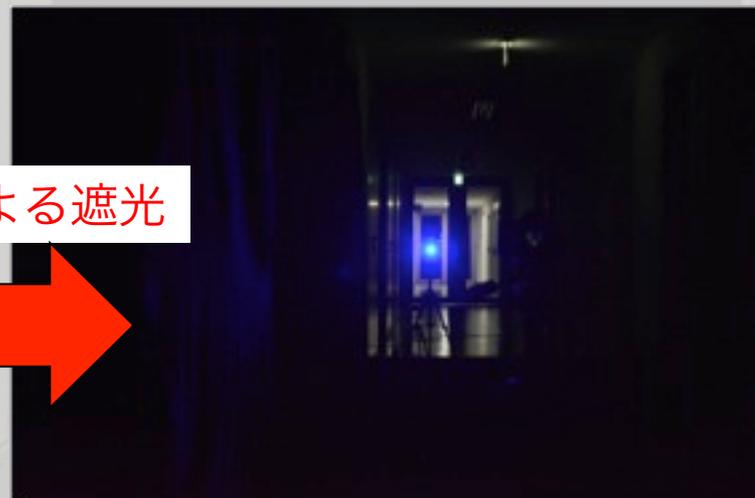
⇒ 距離の二乗に反比例して光量が低下することを確認。

<スクリーン側から光源を見た場合>



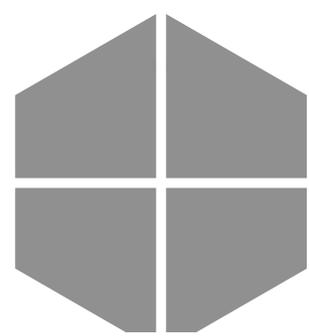
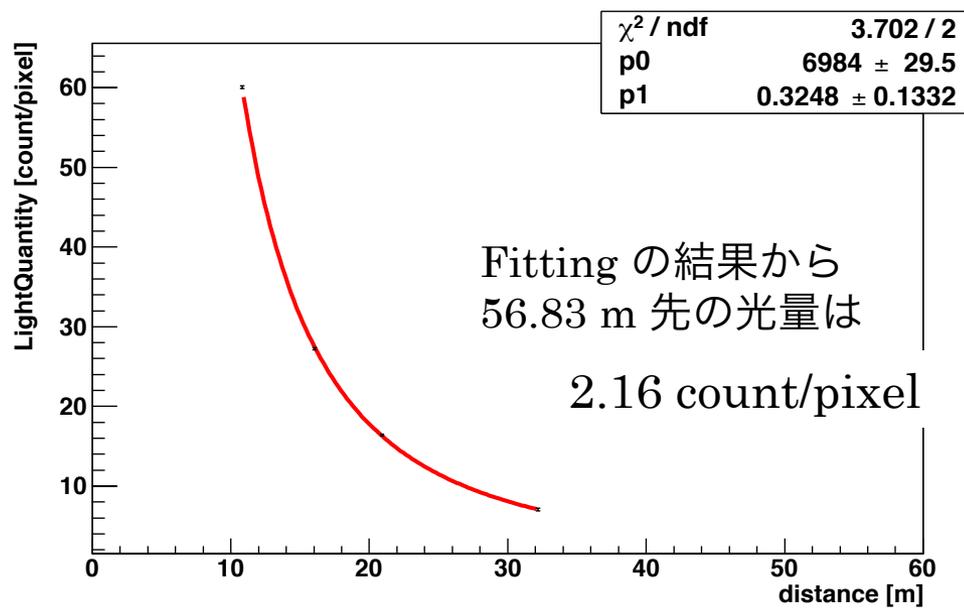
床と壁に反射光が見られる。

暗幕等による遮光



反射光を抑えられている。

# 反射率測定結果



反射面積  
 $1.81 \times 10^6 \text{ mm}^2$   
 ↓ 1 mm = 10.7 pixel  
 $2.07 \times 10^8 \text{ pixel}$

①による推定値

$4.47 \times 10^8 \text{ count}$

	No.70	No.75	No.77	No.81	No.85
② [count]	$3.92 \times 10^8$	$4.02 \times 10^8$	$4.03 \times 10^8$	$3.93 \times 10^8$	$3.98 \times 10^8$
今回の測定 [%]	87.7	89.9	90.2	87.9	89.0
部分測定 [%]	92.1	93.2	93.3	91.8	89.4
差 [%]	-4.4	-3.3	-3.1	-3.9	-0.4

- 全ての鏡で 90 % 程度 (@470 nm) ← 部分測定との差は 5 % 以内。
- 測定誤差の評価を行い、BG の見積りなど測定精度を高める必要がある。

## まとめと今後

- 2f 法による LST 用分割球面鏡の評価を行うため装置の開発を行い評価方法を確立した。
- 結像性能、曲率半径ともに仕様を満たすかの判断が可能となりその測定精度は、結像性能では 2f において 1 mm 程度、曲率半径では 0.20 m 以下を達成した。
- 2f 法を応用し鏡全体としてもつ反射率を求め、測定した鏡全てで 90 % 程度で部分測定の結果との差は 5 % 以内。現在、測定誤差を評価中。

今後は、反射率測定での測定誤差の評価を行い、精度を高めるとともに、新たに生産される分割鏡の性能評価を行い、LST 1 号基の分割鏡の配置の最適化を行いたい。