

# CTA 大口径望遠鏡初号機の 光学系開発状況と性能評価

林田将明(東京大学宇宙線研)

2015年9月11日、天文学会@甲南大学

稲田知大、岩村由樹、加藤翔、手嶋政廣、中島大輔、花畑義隆、深見哲志(東大宇宙線研)、小野祥弥、加賀谷美佳、片桐秀明、重中茜、長紀仁、本橋大輔、吉田龍生(茨城大理)、齋藤隆之(京大理)、千川道幸(近畿大理工)、岸田柁、山本常夏(甲南大理工)、奥村曉(名大STE研, MPIK)、野田浩司(MPI for Physics) 他 CTA-Japan Consortium

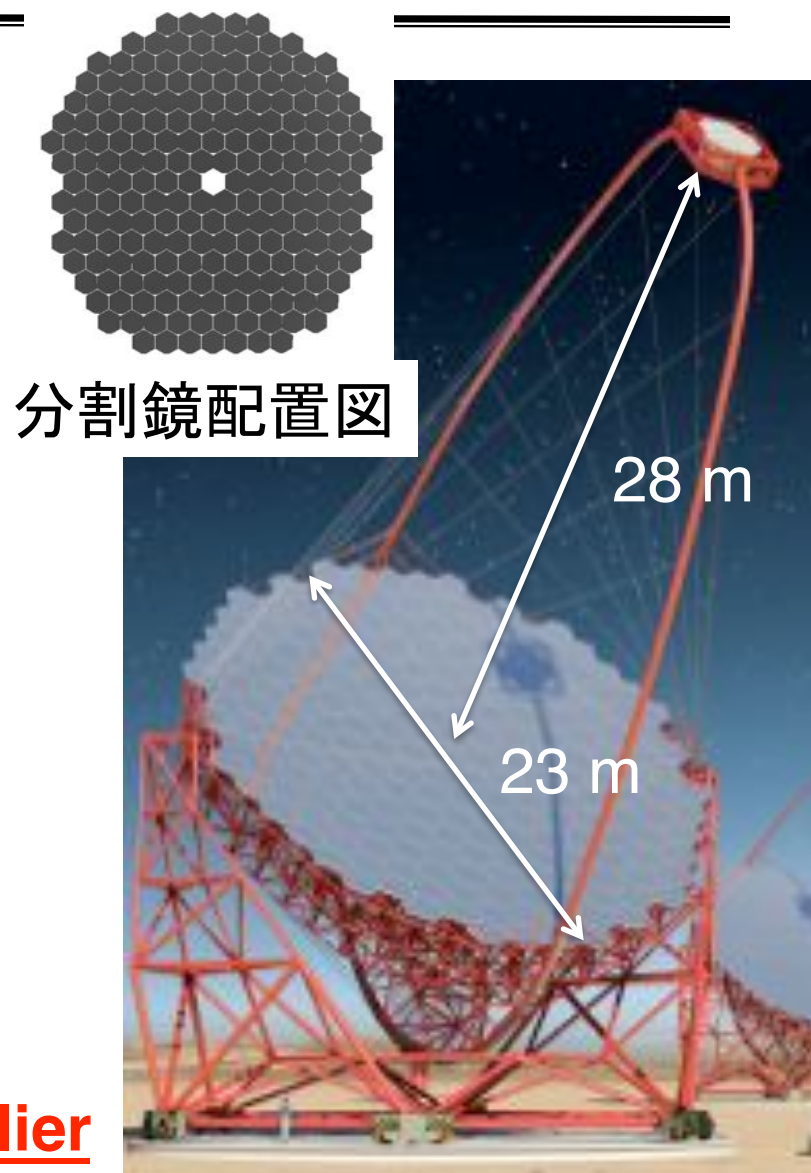
# 大口径望遠鏡、LST (Large Size Telescope)

## 大口径望遠鏡仕様

- 直径: 23 m、面積: 368 m<sup>2</sup>
- 焦点距離: 28 m (f/D ~ 1.2)
- 主鏡面: 放物面 (<0.6nsec)
- 分割鏡(球面鏡)198枚
- Active Mirror Control system (光学アライメント補正)
- 天球どこでも20 sec以内に向け直し
- 総重量: ~100トン

## 分割鏡要求仕様

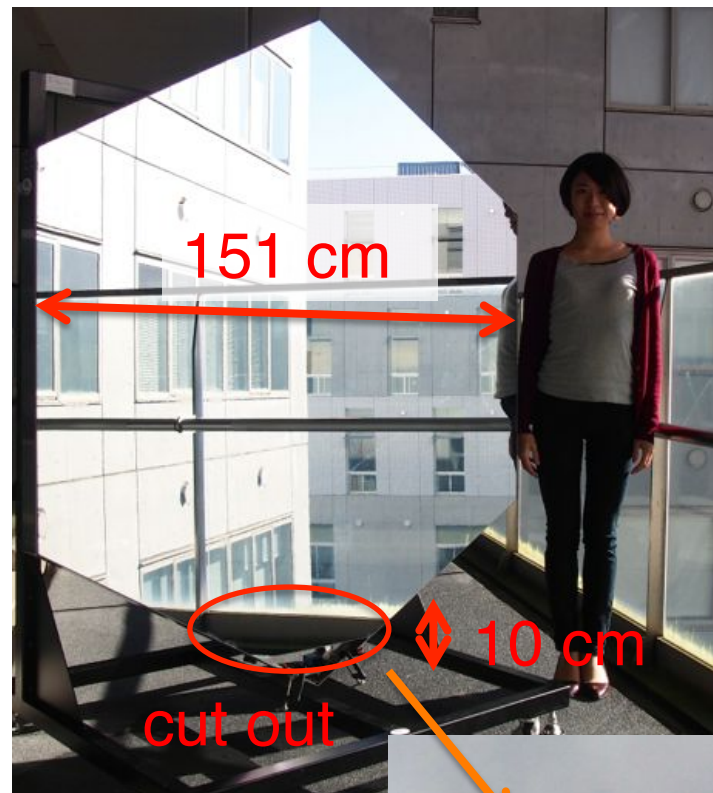
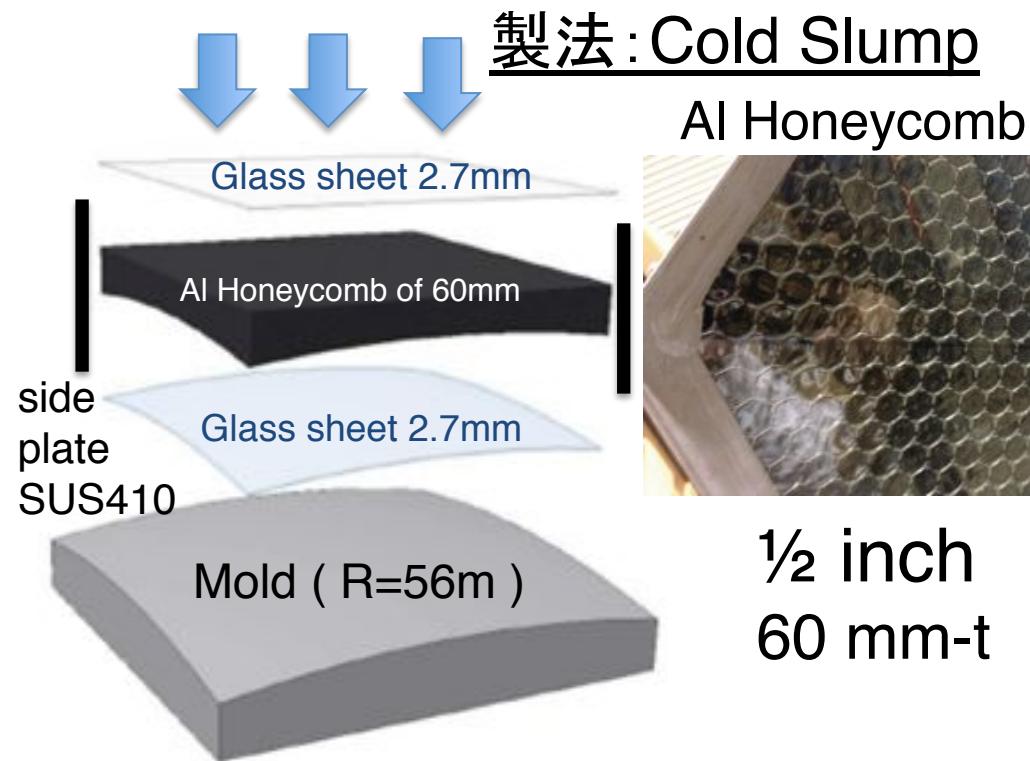
- 曲率半径: 56.0 – 58.4 m
- スポットサイズ: 16.6 mm (1/3 pixel)
- 反射率: 85%以上(300-550nm平均)
- 10年以上の屋外での運用



**現状日本がLST分割鏡の唯一のsupplier**

# 大口径望遠鏡の分割鏡

## 「三光精衡所」との共同開発



AMCカメラ用  
(後述)



- 有効面積: 1.958m<sup>2</sup>
- 総重量: ~47 kg

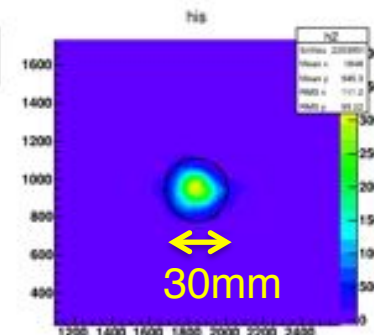
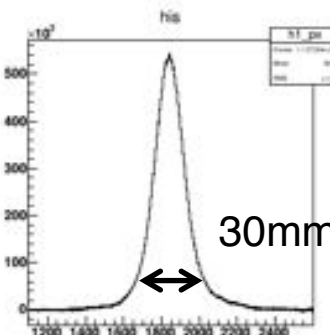
# 鏡面精度測定

2f法: 約56m先の点光源からの反射像の拡がりを測定 (宇宙線研の廊下に設置)

測定した画像から像の拡がり(D80)を解析

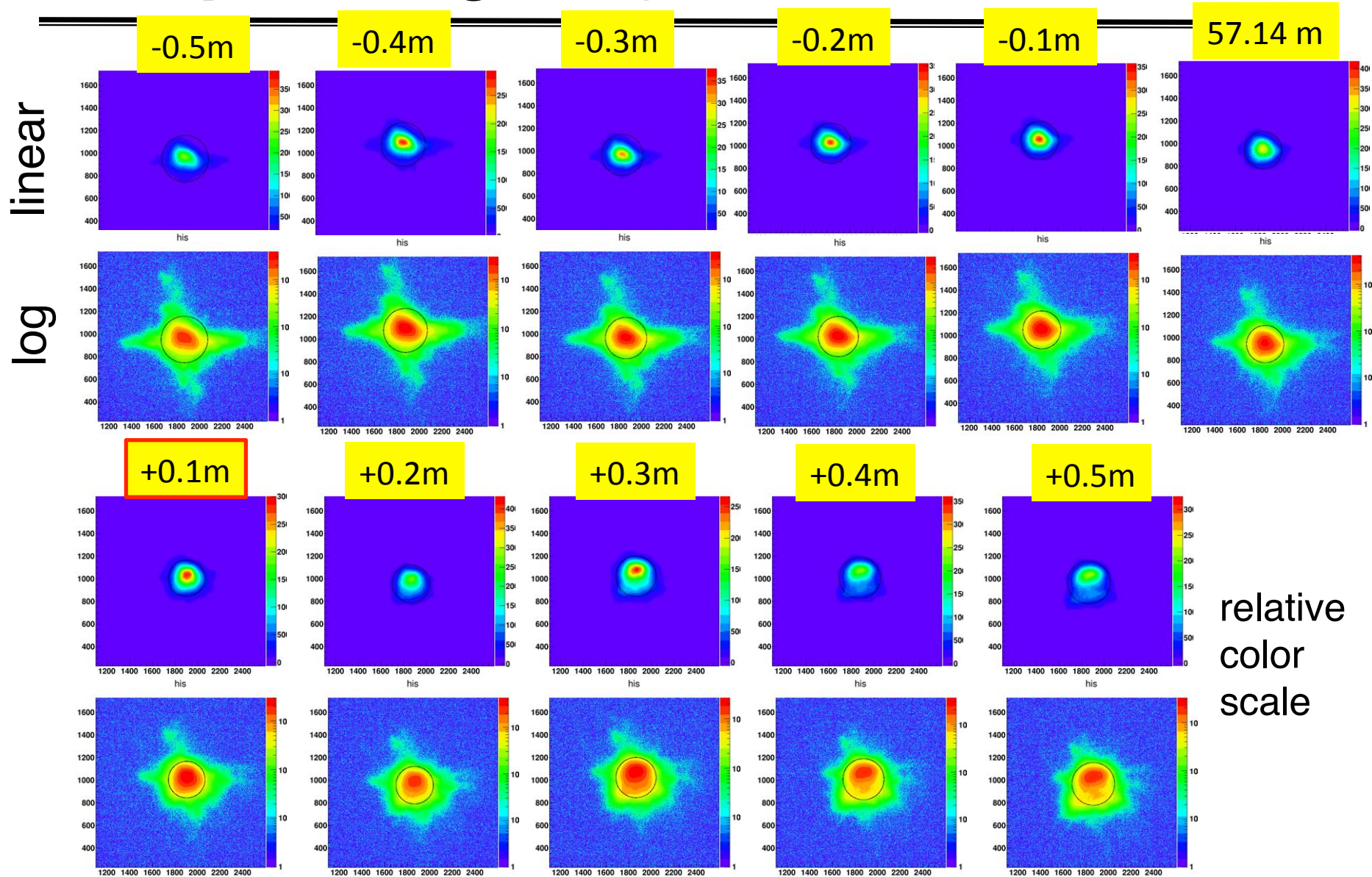
(D80: 反射光の80%の光量が含まれる直径)

反射スポット像の例  
(linear scale)





# Spot images by 2f method



# PSF (D80) on R (-0.5 to +0.5m)

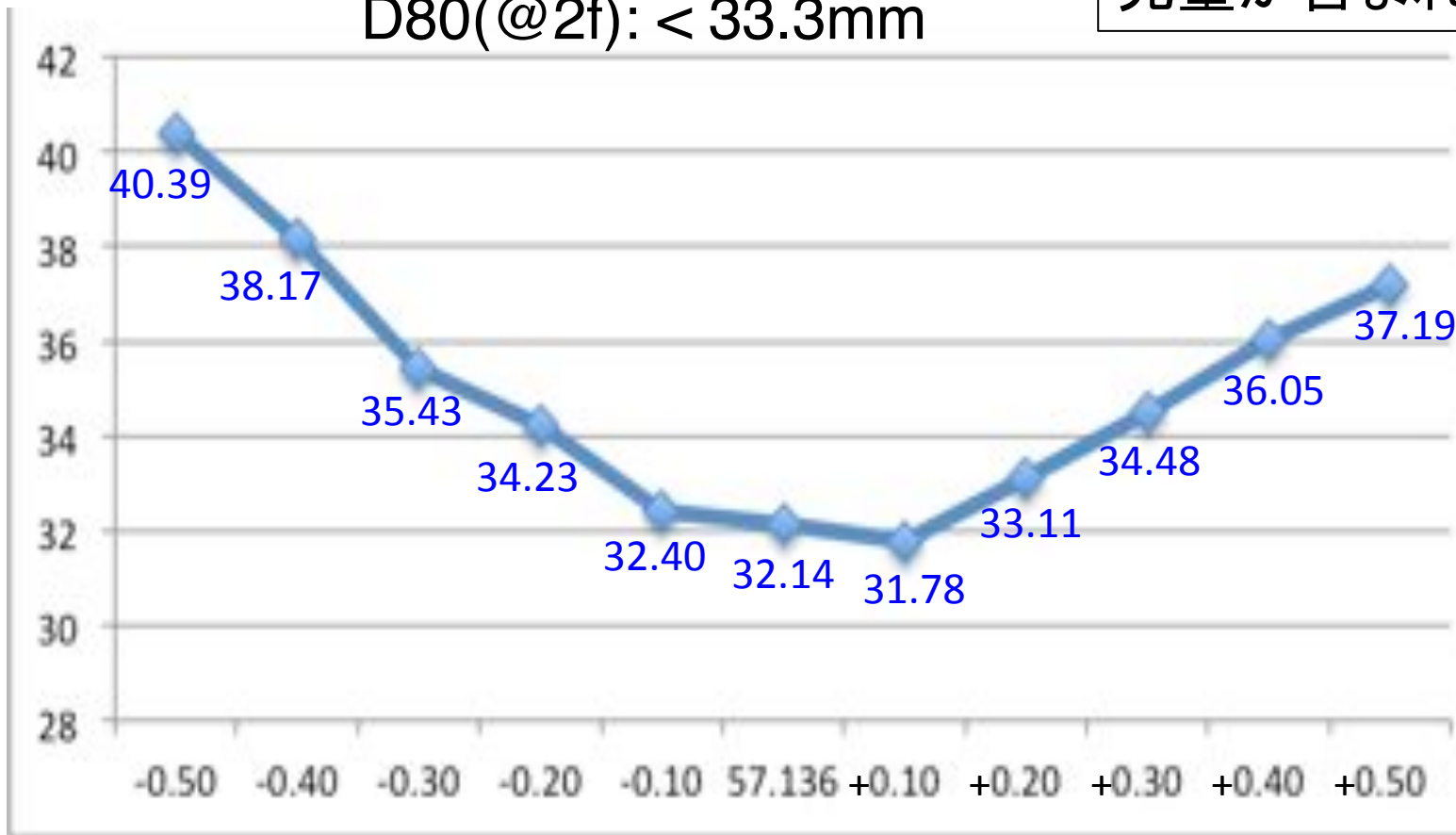
要求性能:

R: 56.0 – 58.4 m

D80(@2f): < 33.3mm

D80: 反射光の80%の  
光量が含まれる直径

D80[mm]



曲率半径 (R) [m]

# 環境試験 (鏡本体+鏡運搬ラック)

## 温度変化試験



温度範囲:  $-20^{\circ}\text{C} - 40^{\circ}\text{C}$

変化度:  $20^{\circ}\text{C/hr}$

計25日間、65 cycles

## 振動試験



加振加速度:  $0.59\text{G}\cdot\text{rms}$

(オーバーオール実効値)

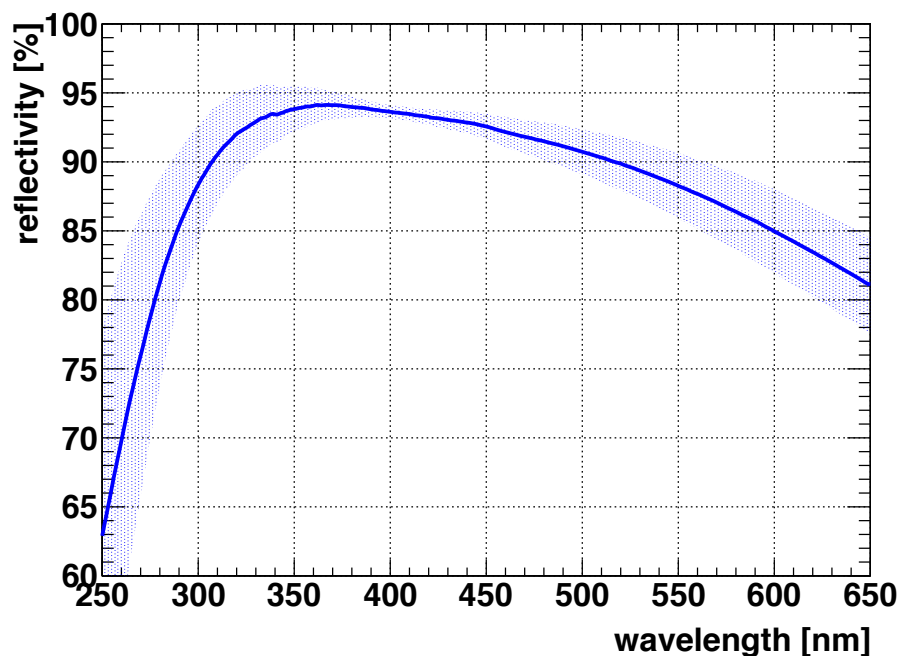
加振方向: 上下 計60分

鏡運搬、サイトの運用を想定した環境試験

→試験後、光学性能、機械的性能ともに正常

# 表面反射率

- 5層スパッタリング  
(Cr+Al+SiO<sub>2</sub>+HfO<sub>2</sub>+SiO<sub>2</sub>)

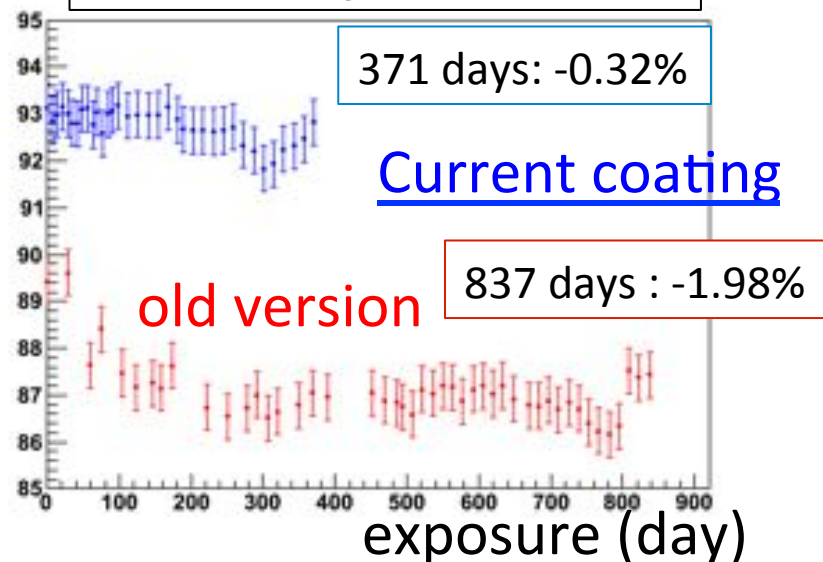


平均 (300-550 nm): ~91%  
peak (370 nm) : ~ 94 %

曝露試験 (@茨城大)

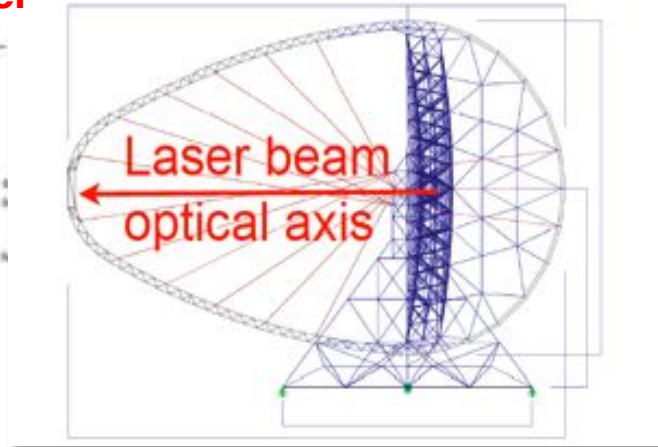
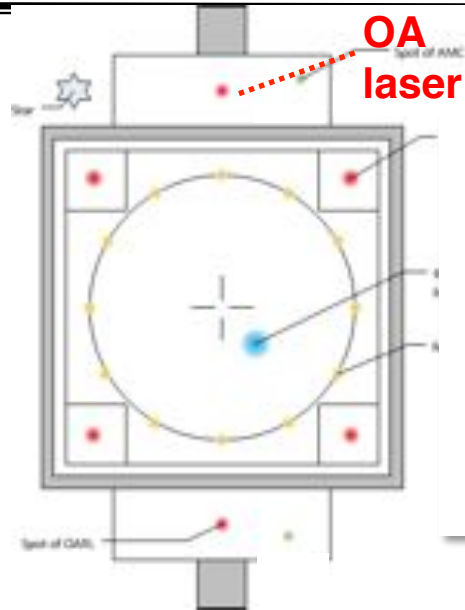


reflectivity at 370 nm



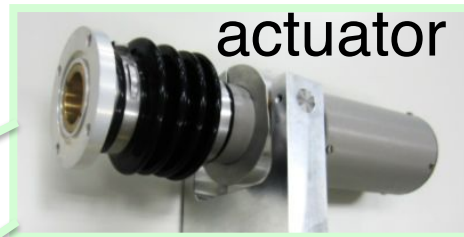
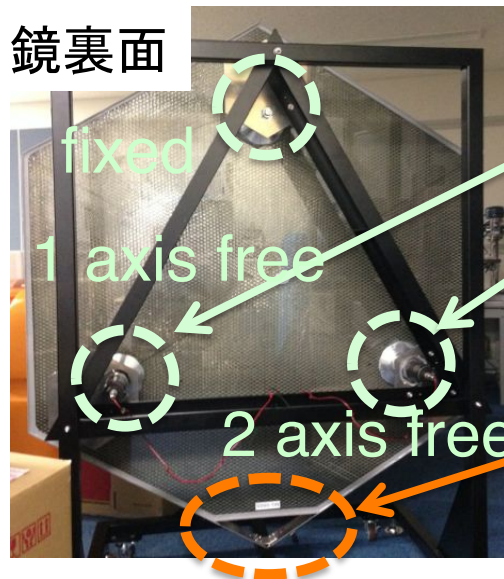


# Active Mirror Control (AMC) system



## Actuator:

- stepping motor
- 長さ: 36mm
- step: 5 $\mu$ m
- 最大速度: 0.5mm/s
- 運用最大負荷: >700N
- 電流(運用時): 850mA
- Wireless制御



## CMOS camera:

- Imaging Source社製 (DMK42AUC03)
- 1280x960 pixels
- Gigabit Ethernet
- 25 mm lens
- FOV: 10.8° x 8.1°  
→ 30.1arcsec/pix

(with a Hamburg group)

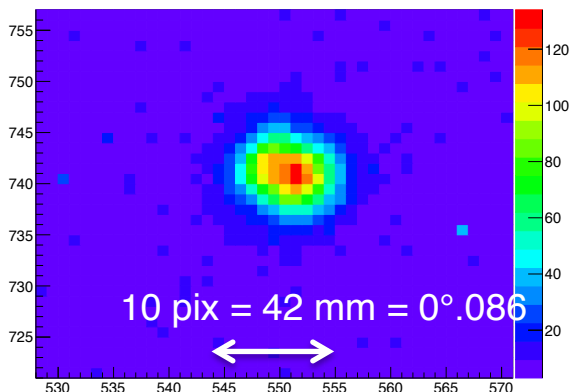
# AMC性能試験@宇宙線研

28m先からスクリーン上の照射されたレーザー一点を測定

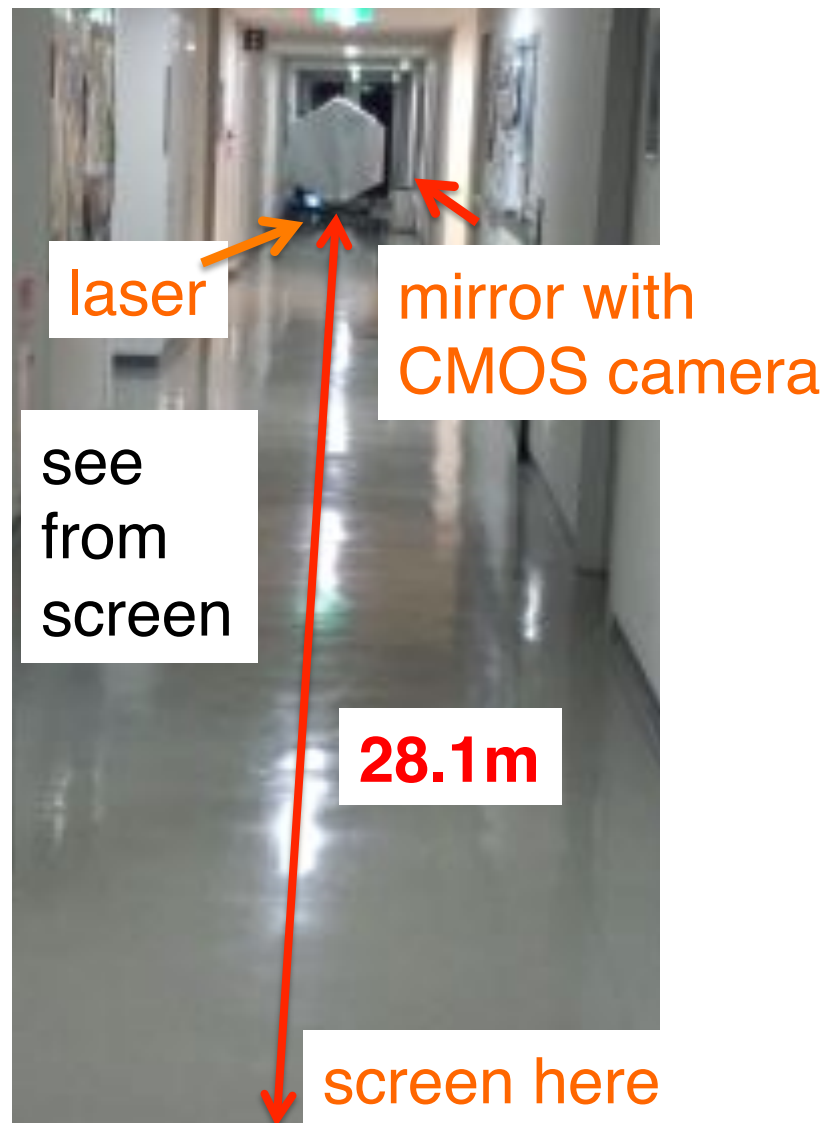


- **IR laser**
- 785nm, 3mW
- Beam Divergence : 0.6x0.3mrad (typ@1m)

測定されたレーザー一点

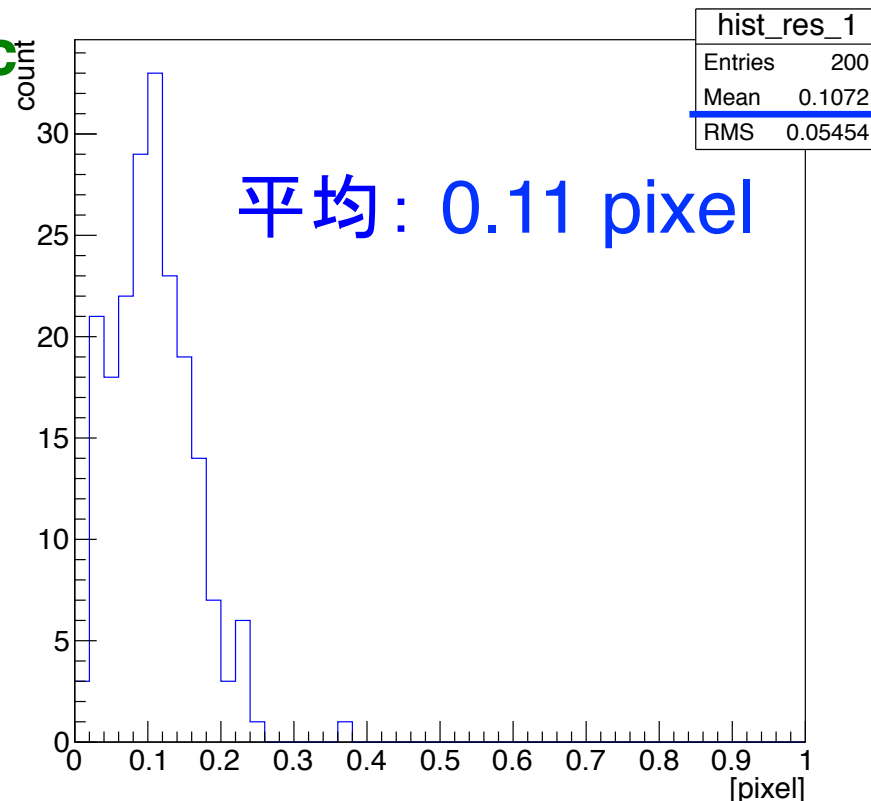
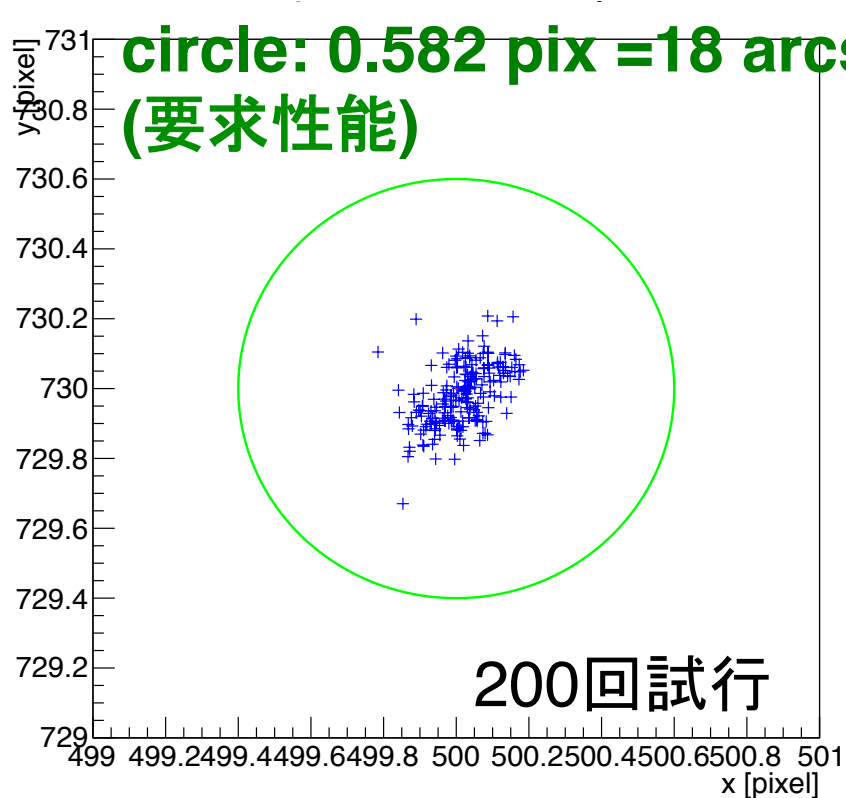


点源位置決定精度  
0.05pixel  
(~1.5 arcsec)



# AMC性能試験結果

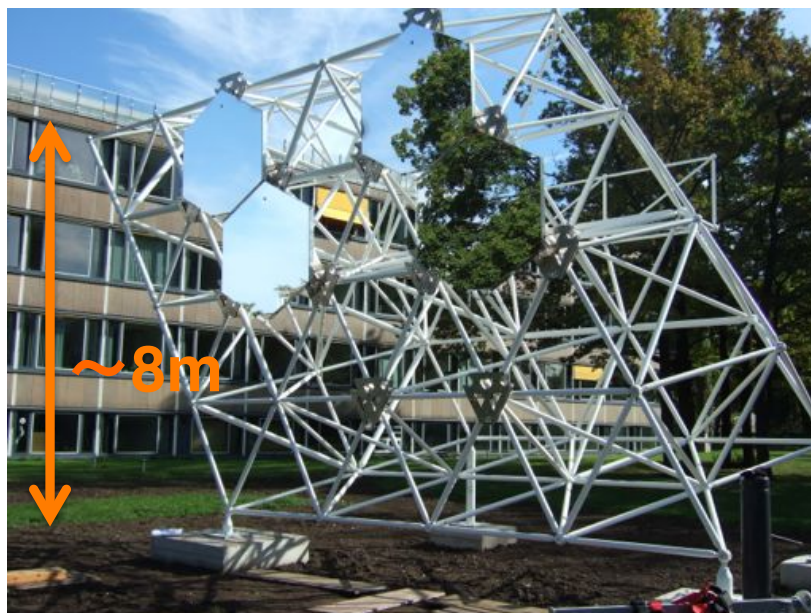
ランダムに鏡の方向をズラした後  
 AMC programで補正後の、鏡の向きの変位(残差)を測定



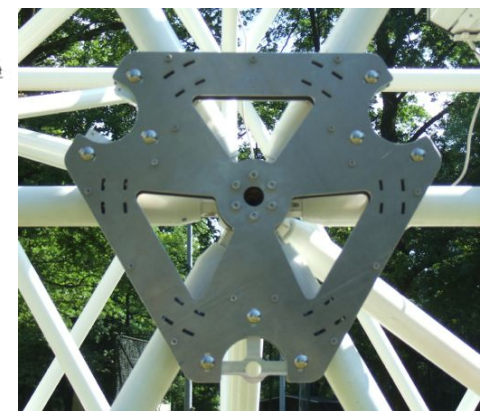
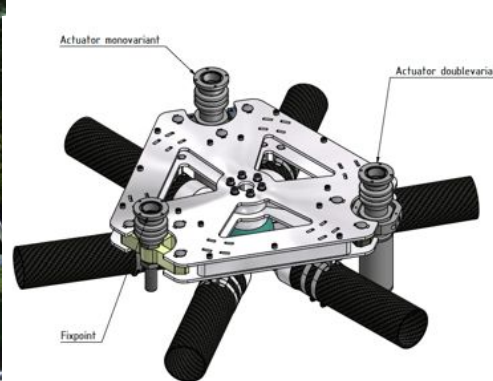
**要求性能を満たす精度で鏡の方向の補正可能**

# LST試験構造体

MPI、MunichにLSTの1/8相当部の構造体を建設。分割鏡4枚を設置。



(with MPP and a Brazilian group)  
**Interface plate:** 分割鏡を構造体をアクチュエーターを介して繋ぐためのplate



AMC systemの屋外試験  
interface plateの性能評価、  
鏡の耐候性試験、等に活用

仕様: 10 kg以下、15  $\mu\text{m}$ 以下の歪み  
ベースデザインは完了し  
現在、細部の詳細形状決定中



# カメラ窓の光学性能試験

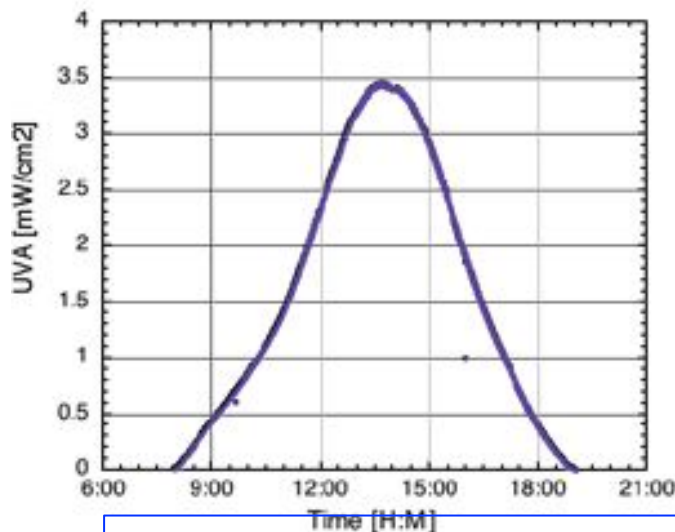
焦点面カメラの前面をカバーする2.5m径が  
取れるUV透過型アクリル板が必要

→ アクリライト®(三菱レイヨン)を採用

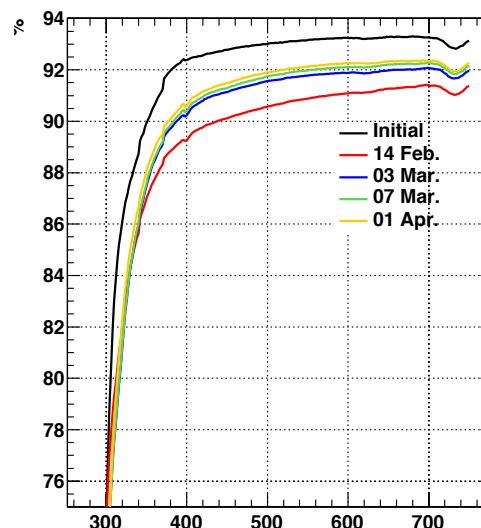


日光照射試験@La Palma (MAGICサイト, 2200mm a.s.l.)

サイトの紫外線強度変化(UVA)



透過率



初期値:

>90% (>350 nm)

計512 J/cm<sup>2</sup>(UVA)

照射後2-3%劣化

その後 (暗室保管)

1%程度回復

500 J/cm<sup>2</sup> ~ 3-4年運用相当 → -10%/10年の要求は満たす。

# まとめ

---

- 大口径望遠鏡光学系開発の大部分を日本が担当
- 分割鏡: 2f法による鏡面精度試験を実施。
  - 鏡面精度、反射率、環境試験の性能評価を実施し、現在LST初号期に設置される分割鏡(約200枚)生産中。
- Active mirror control system (鏡方向制御)
  - アクチュエーターとCMOS cameraを用いて、18秒角以内の精度で補正 → 実験室にて要求精度の達成を確認
  - MPI(ミュンヘン)設置の試験構造体を用いた屋外試験を実施予定
- interface plateの最終形状デザイン中
- カメラ窓に使用されるアクリル板の耐光性を確認