

# CTA 大口径望遠鏡の分割鏡の開発 (5)

林田将明(東京大学宇宙線研)

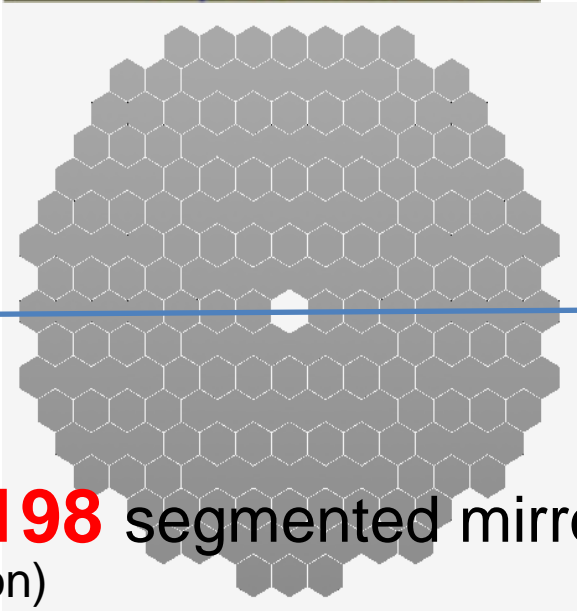
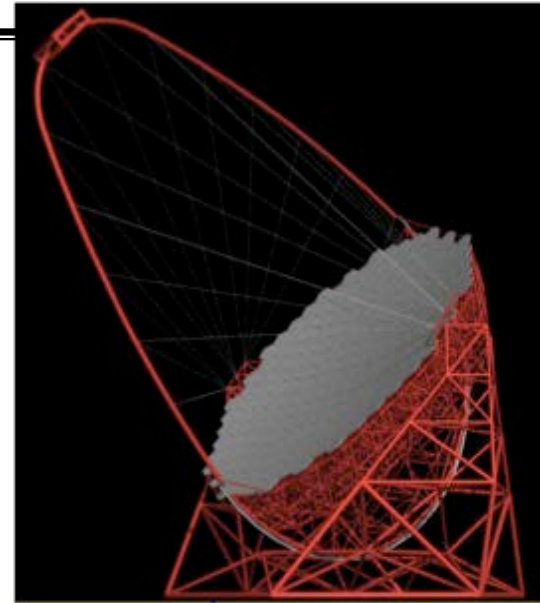
2013年9月12日、天文学会@東北大学

荻野桃子<sup>A</sup>、奥村暁<sup>E</sup> 加賀谷美佳<sup>B</sup> 片桐秀明<sup>B</sup> 小島拓実<sup>A</sup>  
齋藤浩二<sup>A</sup> 田中駿也<sup>B</sup>、千川道幸<sup>D</sup> 手嶋政廣<sup>A,F</sup> 中嶋大輔<sup>A</sup>  
野里明香<sup>D</sup> 野田浩司<sup>F</sup> 花畑義隆<sup>A</sup> 馬場浩則<sup>B</sup> 柳田昭平<sup>B</sup>  
山本常夏<sup>C</sup> 吉田龍生<sup>B</sup> 他 CTA-Japan Consortium

東大宇宙線研<sup>A</sup> 茨城大<sup>B</sup>、甲南大理工<sup>C</sup> 近畿大理工<sup>D</sup>  
名大STE研<sup>E</sup> Max-Planck-Institute for Phys<sup>F</sup>

# Optics of the Large Size Telescope

Telescope Parameters	Values
Layout	Parabolic
Diameter of dish	<u>23m</u>
Focal Length	<u>28.0 m</u>
Segmented mirror parameters	Values
Shape	1.51m flat to flat hex.
Area	1.98m <sup>2</sup>
Weight	<u>&lt; 40kg</u>
Surface shape	Spherical
Thickness	< 80mm
Focal length	<u>28.0 – 29.2m</u>
Reflectance	>85% btw. 300-600nm
PSF	<u>D80 = 1/3 pixel (16mm)</u>
Survival temp.	-25°C ~ +60°C
Operational temp.	-10°C ~ +30°C
Rear surface	Flat preferred
Flanges (interface to actuators)	Three flanges at 600mm from the center
Life time	<u>&gt; 10 years</u> (outside operation)



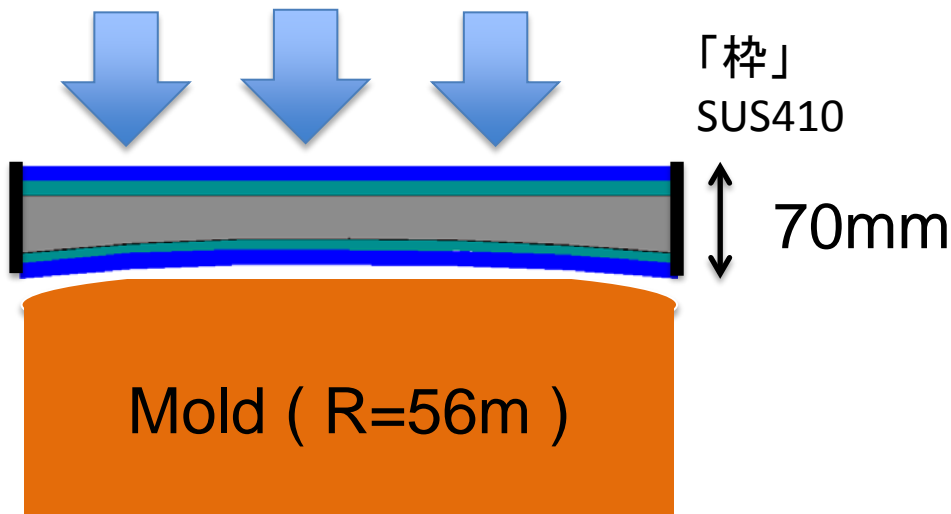
**198** segmented mirrors

# 大口径望遠鏡の分割鏡

(supervised by M. Teshima)

- 「三光精衡所」(筑波支店)と共同開発

製法: Cold Slump



ガラス(2.7mm)  
アルミハニカム(60mm)  
ガラス(2.7mm)

総重量:  
~46 kg

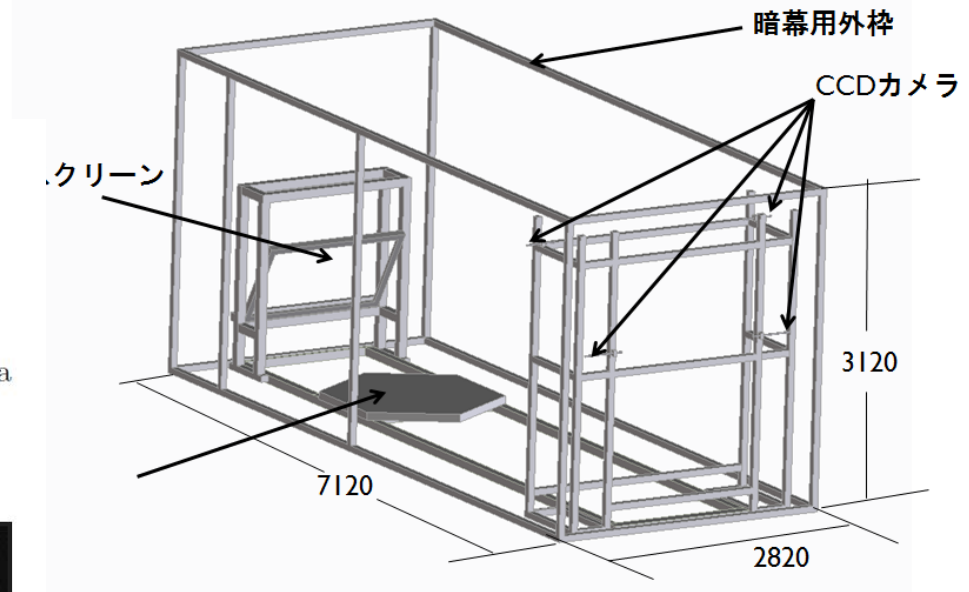
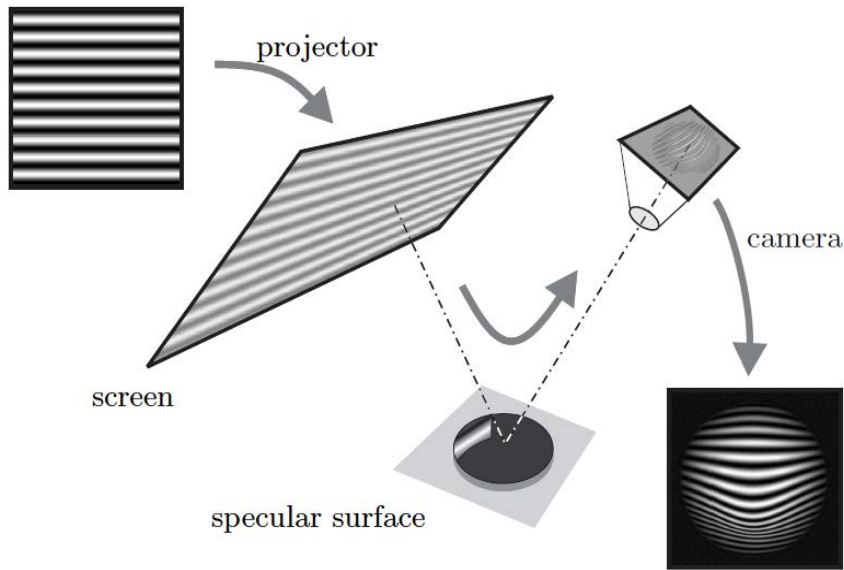


Mirror area: 1.96m<sup>2</sup>

# 鏡面精度測定

(茨城大:馬場、宇宙線研:荻野、中嶋)

## Phase Measuring Deflectometry法



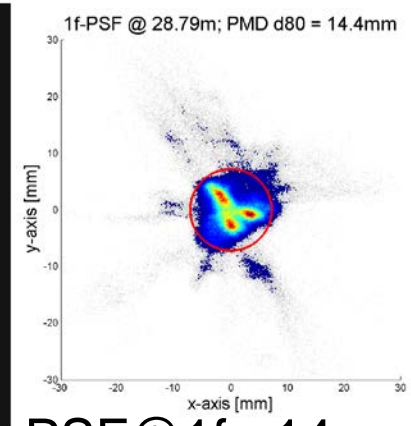
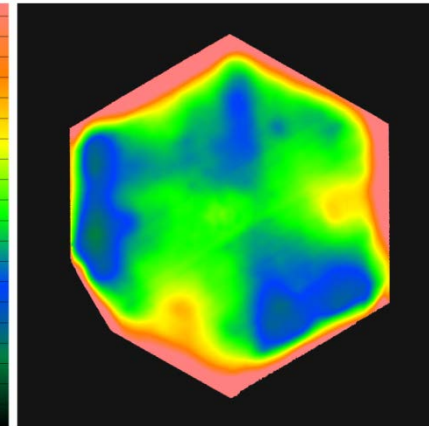
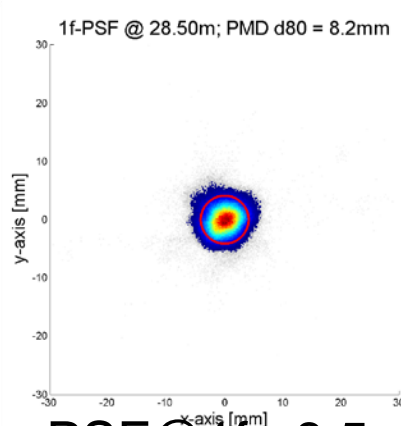
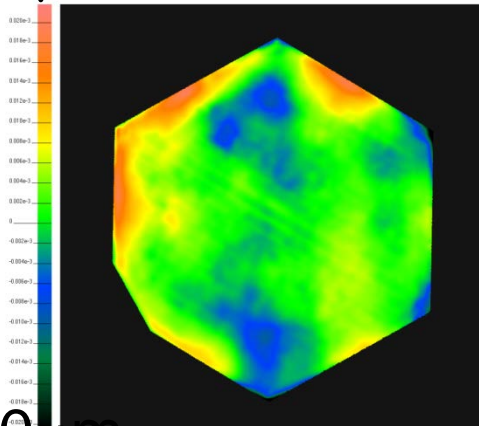
### 宇宙線研に装置を設置

4つのCCDカメラで、鏡に反射されたスクリーン上の「位相」を測定

# PMD測定結果 (1)

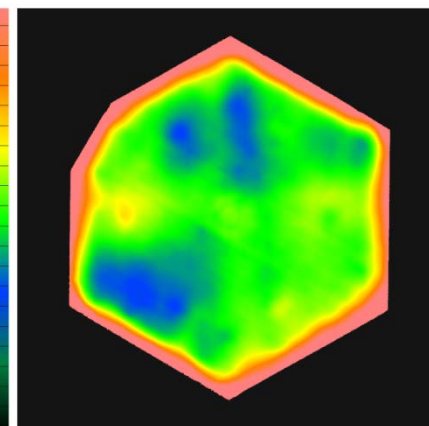
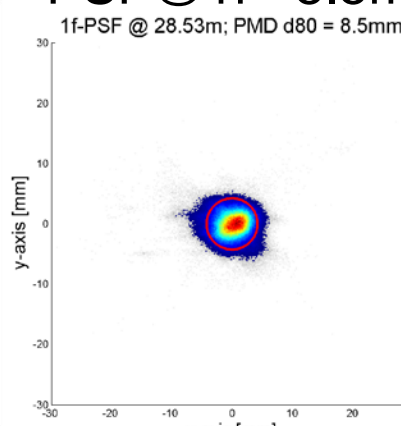
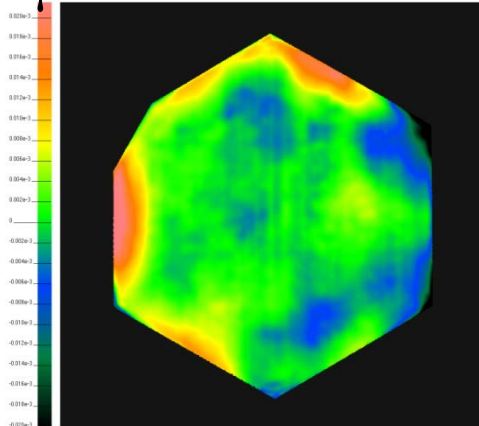
鏡面の理想球面からのずれとray tracingによる推定PSF

+20 $\mu\text{m}$

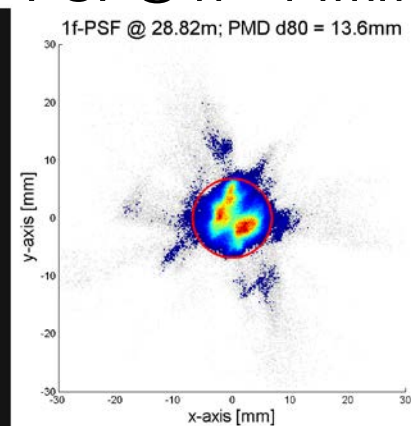


-20 $\mu\text{m}$

PSF @ 1f ~ 8.5mm



PSF @ 1f ~ 14mm



60  
度  
回  
転

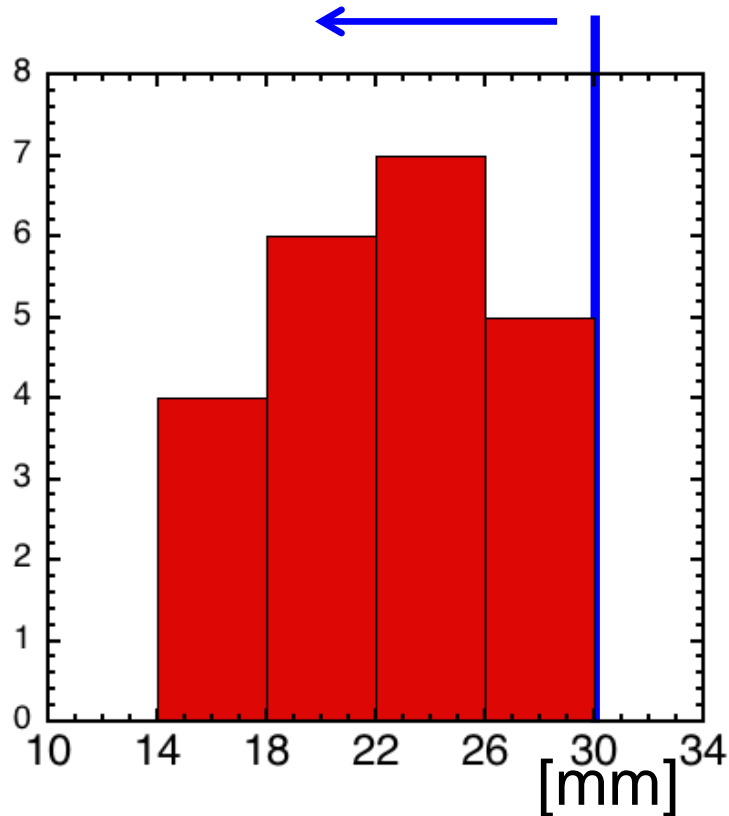
要求性能: PSF @ 1f < 15mm (30mm @ 2f) (PMD法により判定可能)

# PMD測定結果 (2)

## 22枚の鏡の性能分布

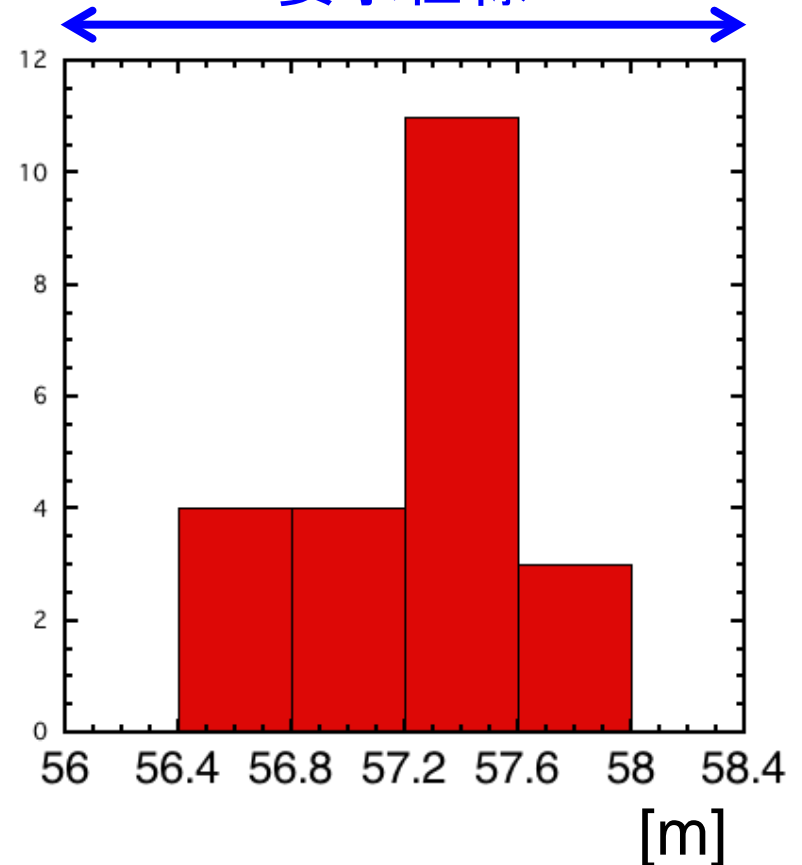
PSF @2f (from ray tracing)

要求仕様



曲率半径 (PSFの計算より)

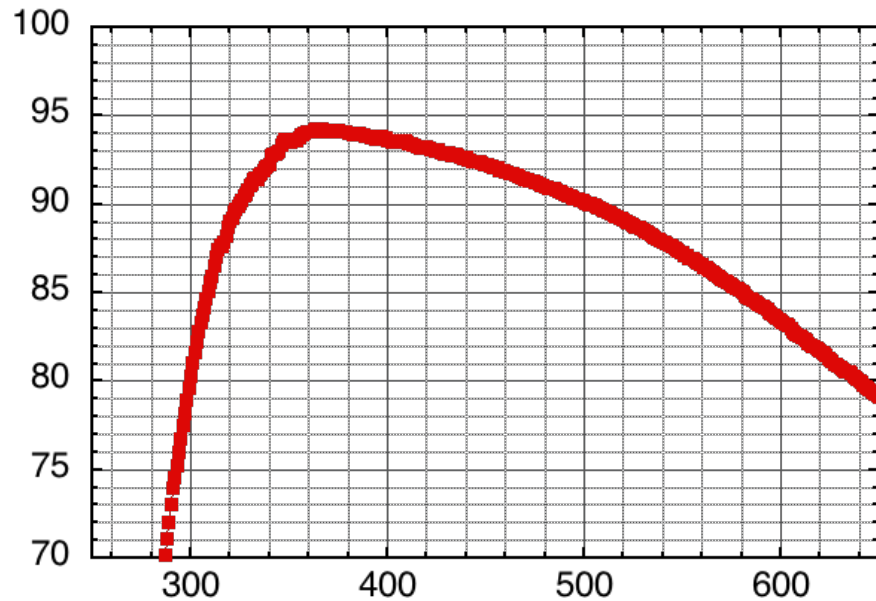
要求仕様



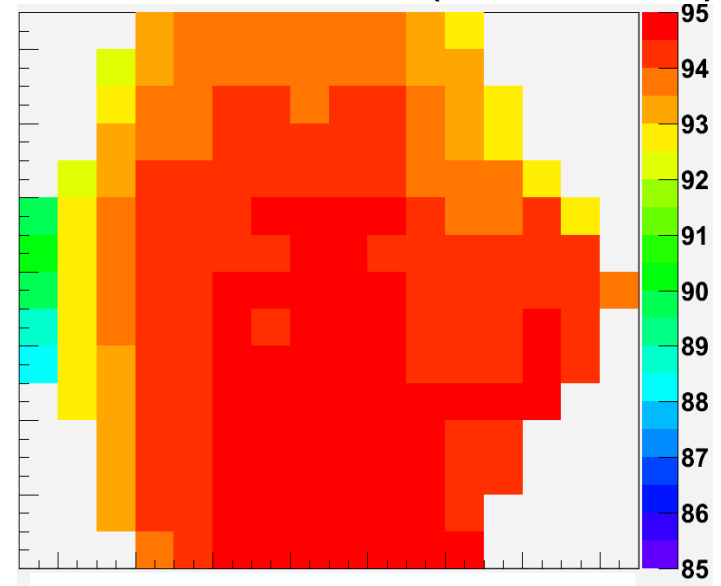
# 表面反射率

- 5層sputtering coating: (Cr+Al+SiO<sub>2</sub>+HfO<sub>2</sub>+SiO<sub>2</sub>)

反射率スペクトル(94% peak@365nm)



反射率一様性 (@370nm)



$\sigma_{ref} \sim 1\%$

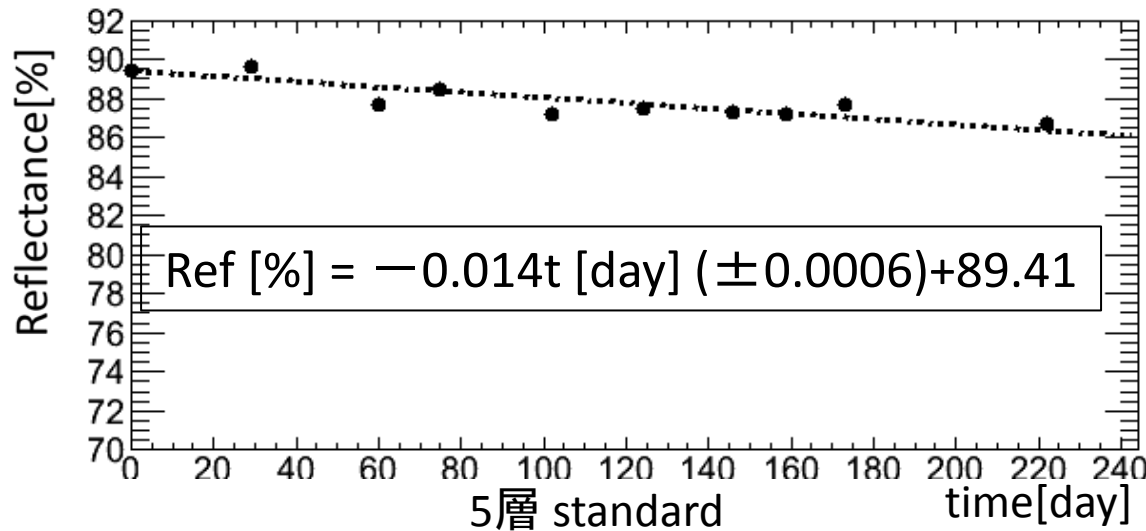
散乱光(>0.03°)の測定  
@325 nm (at Olomouc, Czech)

直接反射[%]	散乱光[%]	Lost Light[%]
92.7	0.4	6.9

# 耐候性試験

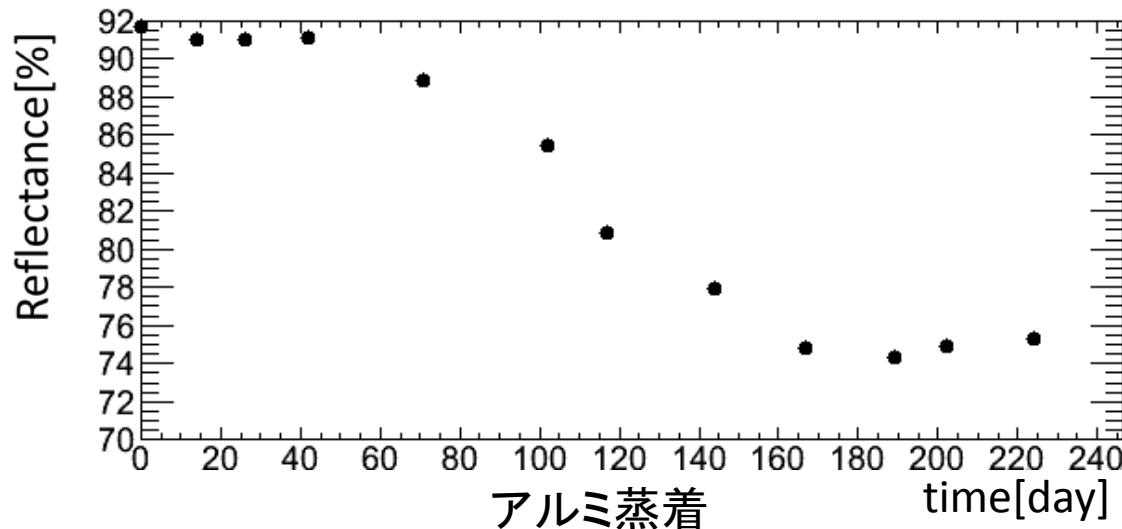
(茨城大:加賀谷)

実際の環境にサンプル鏡をさらし、自然に生じる反射率低下の時間変化をモニター



スパッタリング5層コーティング  
220日で約**3%**低下  
アルミ蒸着  
220日で約**16%**低下

これまでの蒸着の鏡に比べて  
耐候性の鏡の製作に成功。



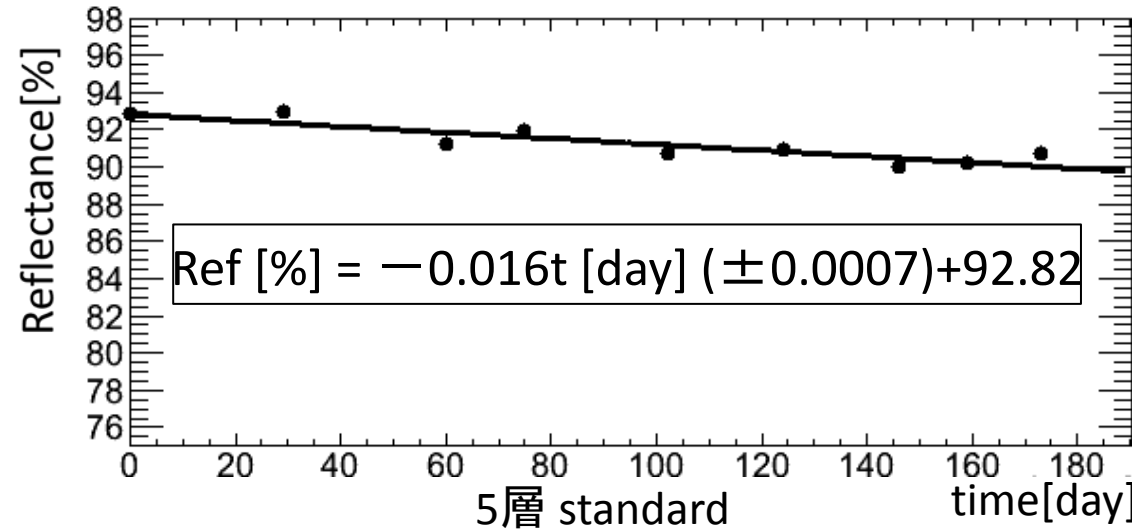
暴露試験は長期間の試験が必要となるため、今後も試験を継続し、10年で10%の低下量に抑えられるような鏡であるかどうかを評価する。  
今後、1.5mサイズの分割鏡での暴露試験も検討中。



# 耐候性試験

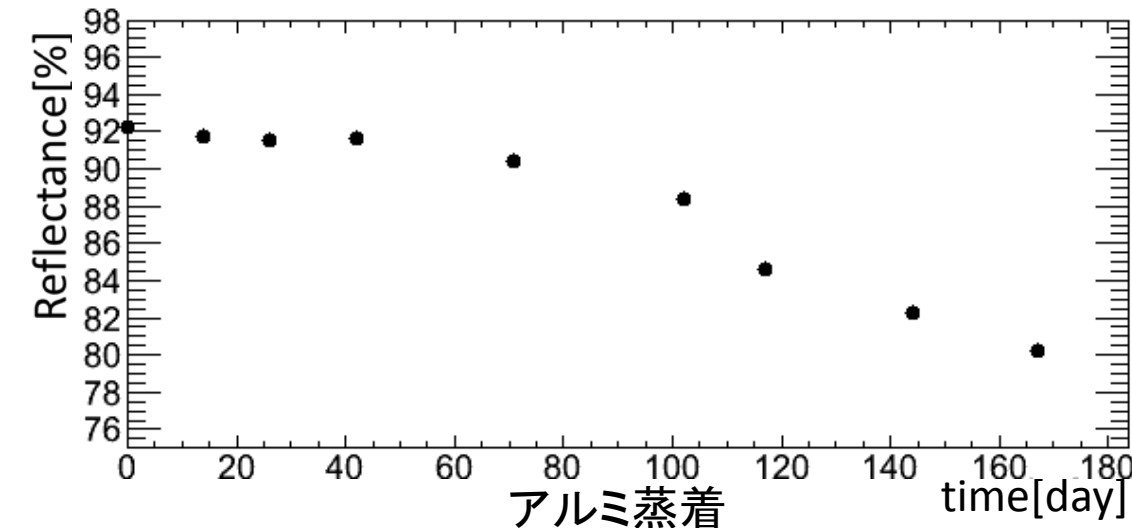
(茨城大:加賀谷)

実際の環境にサンプル鏡をさらし、自然に生じる反射率低下の時間変化をモニター



スパッタリング5層コーティング  
180日で**5%**低下  
アルミ蒸着  
180日で**12%**低下

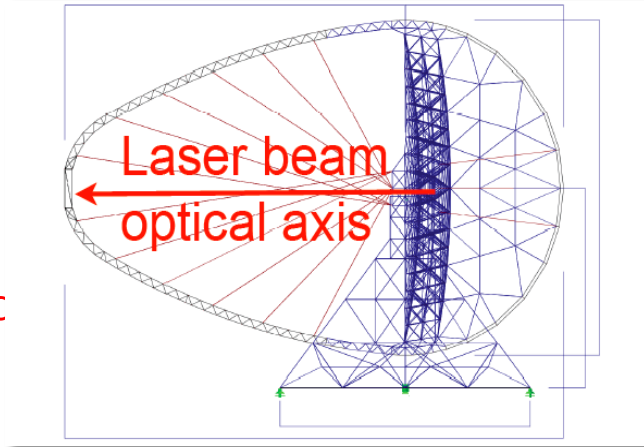
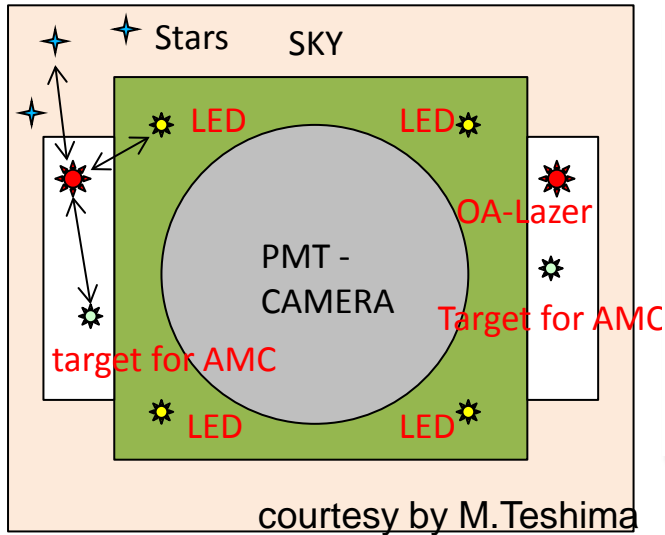
これまでの蒸着の鏡に比べて  
耐候性の鏡の製作に成功。



暴露試験は長期間の試験が必要となるため、今後も試験を継続し、10年で10%の低下量に抑えられるような鏡であるかどうかを評価する。  
今後、1.5mサイズの分割鏡での暴露試験も検討中。

# Adjustments of mirror alignments

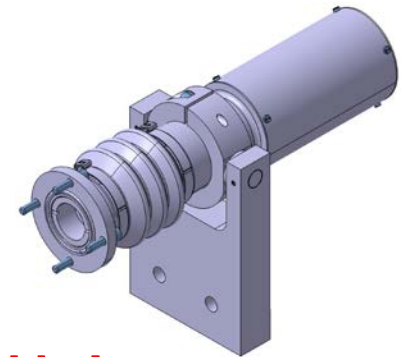
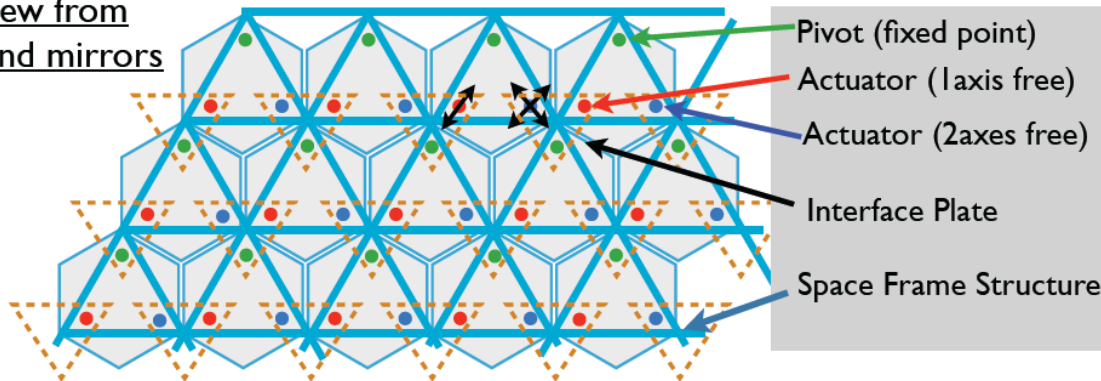
- Active mirror Control (AMC) will be installed



(近畿大:野里、千川、  
宇宙線研:小島)

アクチュエーター(2個/鏡)  
による鏡の方向制御

View from  
behind mirrors



要求精度:  $\pm 0.005^\circ$

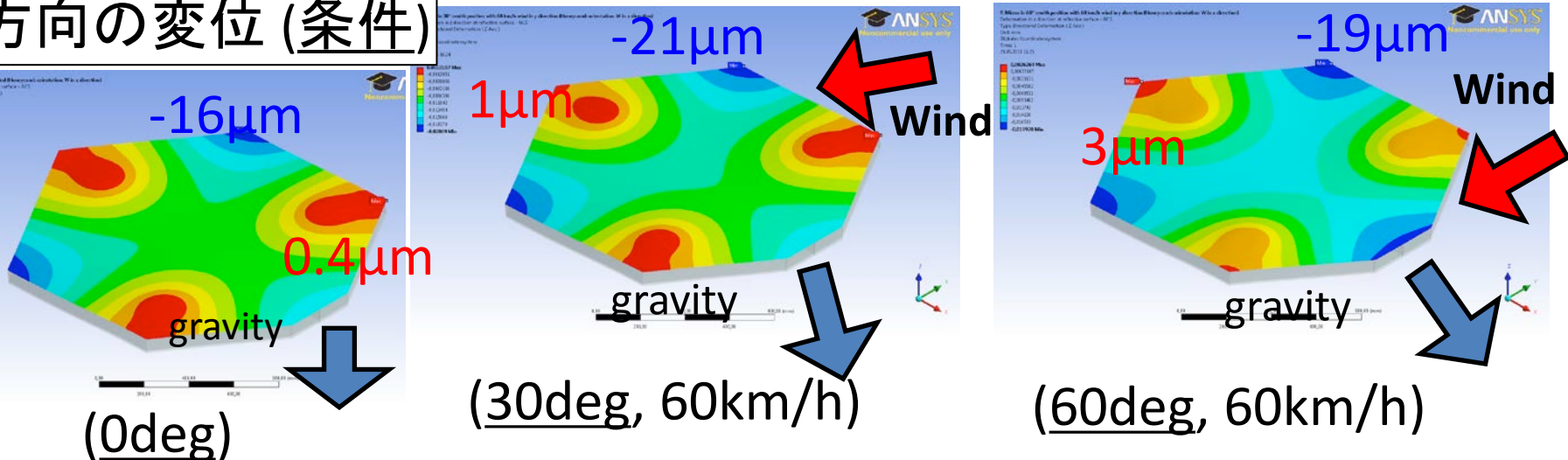
# 有限要素解析 (FEA)

(MPI: Holger, 野田、宇宙線研: 花畑)

重力と風による、単一分割鏡の変形量を見積もる。

- 風速: 36 km/h (平均) and **60 km/h** (突風)
- 風は水平方向に吹いているとし、鏡の傾き(天頂角)を変える。

z方向の変位 (条件)

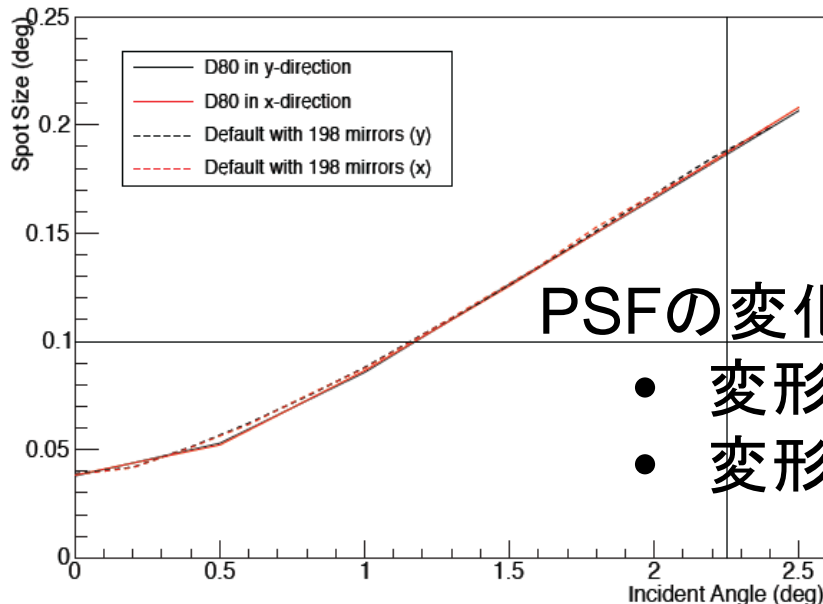
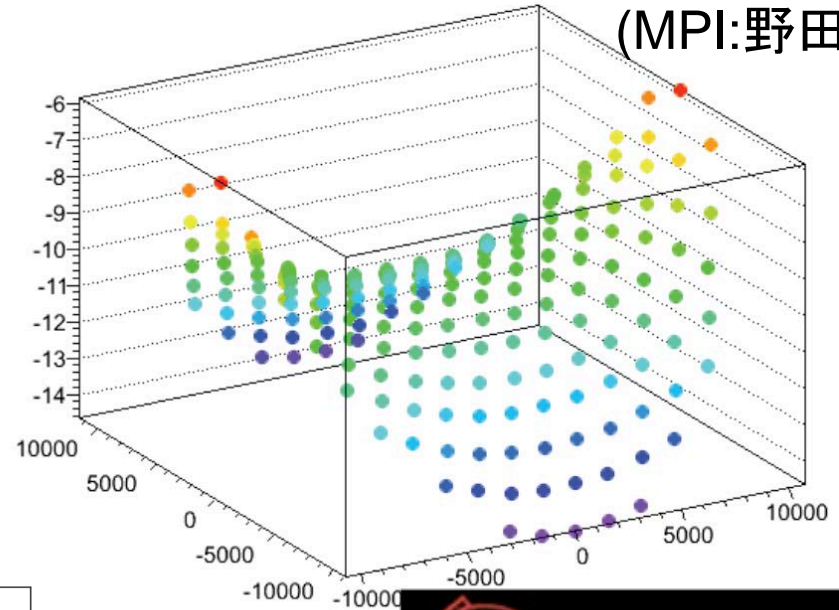


❖ 運用時の最大変形量:  $22\mu\text{m}$  in 85cm  
 =  $0.002\text{deg} \ll \text{single PSF spec. } (<0.033\text{deg})$

# 光学性能の評価

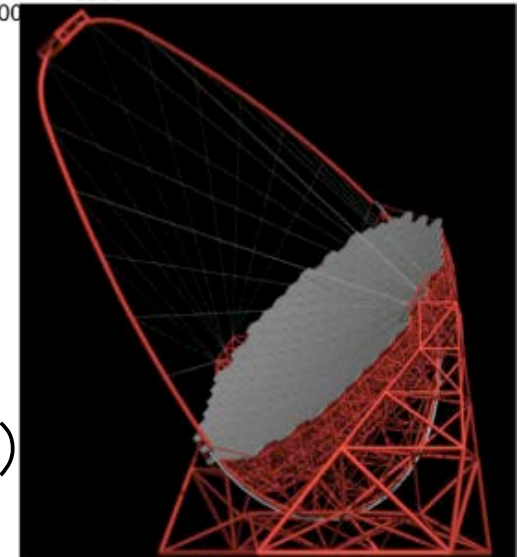
- ray-tracing simulationを用いて、構造変形に対するAMCの光学補償性能を、PSFの変化量から評価
- dish構造の変形 (FEA): ~10 mm (~0.05deg)

(MPI:野田)



## PSFの変化

- 変形なし(点線)
- 変形+AMC(実線)



# まとめ

---

- LSTの主鏡は、 $2\text{m}^2$ の分割鏡200枚で構成。
- 「三光精衡所」との共同開発により、日本がLSTの鏡の製造を担当。
- PMD法による鏡面精度評価を実施
- 5層スパッタリングコーティング
  - 90%以上の反射率。耐候性測定継続中
- Active mirror Controlにより観測中も光学系を調整
  - アクチュエーターを用いた鏡の向き制御
  - FEAによる構造変形の見積り
  - ray-tracing simulationにより光学補償性能の評価