

# CTA 大口径望遠鏡の分割鏡の開発(3)

茨城大学大学院理工学研究科  
加賀谷 美佳

奥村曉<sup>F</sup> 片桐秀明<sup>A</sup> 北本兼続<sup>E</sup> 塚中良介<sup>E</sup> 周小溪<sup>E</sup> 田中駿也<sup>A</sup>  
千川道幸<sup>E</sup> 手嶋政廣<sup>B,C</sup> 中嶋大輔<sup>C</sup> 野里明香<sup>E</sup> 林田将明<sup>G</sup> 柳田昭平<sup>A</sup>  
山本常夏<sup>D</sup> 吉田龍生<sup>A</sup> R.Krobot<sup>I</sup>  
他 CTA-Japan consortium

茨城大理<sup>A</sup> 東大宇宙線研<sup>B</sup> Max-Planck-Inst. Fuer Phys<sup>C</sup>  
甲南大理工<sup>D</sup> 近畿大理<sup>E</sup> 名大STE研<sup>F</sup> 京都大理<sup>G</sup> University Erlangen<sup>H</sup>

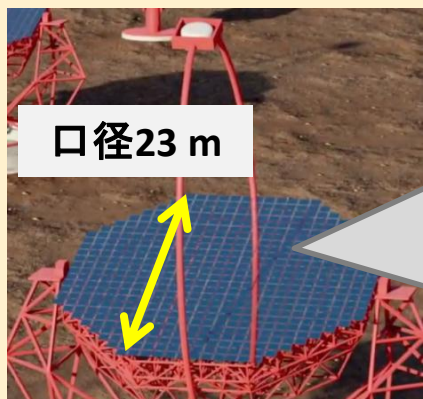
# Cherenkov Telescope Array (CTA)

## 大口径望遠鏡

大口径望遠鏡 (LST)  
20 GeV ~ 1 TeV

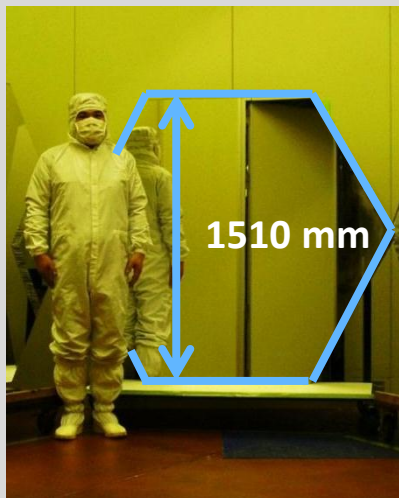
中口径望遠鏡 (MST)  
100 GeV ~ 10 TeV

小口径望遠鏡 (SST)  
1 TeV ~ 100 TeV以上



口径23 m

回転放物面型  
焦点距離: 28 m  
F値: 1.2 (28 m / 23 m)  
曲率半径: 56.2 m



1510 mm

反射率: > 90% (400 nm)  
> 85% (300 - 600 nm)  
スポットサイズ: 0.03°  
重量: 40 kg / 枚  
反射率経年変化 < 1% / yr  
(10年の耐久性)

# 分割鏡の製作と評価

- 分割鏡はCold Slump 法で成型、スパッタリングで多層膜コーティングを施している（2011年9月天文学会）
- 多層膜コーティングにより保護層が形成され、表面の強度が向上（2012年3月天文学会）

## \* 耐候性の評価 \*

チェレンコフ望遠鏡



- ・外の環境に常にさらされている
- ・鏡が雨風の影響を受けて劣化

CTAでは約20年間の観測を予定

1台あたり200枚もの分割鏡のメンテナンスが必要

**メンテナンスのコストや時間がかかる。**

\* 反射率の低下を<1%/年程度に抑える

**10年の耐久性をもつ鏡の開発**

⇒**耐候性評価**

\* より高精度かつ効率の良い分割鏡の形状評価方法が必要

⇒**形状測定装置の開発**

# 耐候性評価 腐食加速試験

## 目的

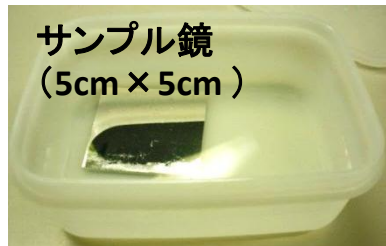
腐食加速試験における浸漬時間と望遠鏡設置候補地の年間降水時間を比較して、10年後の鏡の反射率を見積もる。(10年で10%以下の低下量を目指す)

## 方法

- 望遠鏡設置候補地の雨の成分から疑似酸性雨を調整。
- 各溶液にサンプル鏡を浸し、腐食を加速させる。
- 劣化の度合いを表面の反射率を測定することで評価。

## 試験条件

Cr,Al,SiO<sub>2</sub>,HfO<sub>2</sub>,SiO<sub>2</sub> 5層コーティング  
NaCl 0.1%,0.01%,0.001%  
HNO<sub>3</sub>(雨と同程度濃度,100倍濃い濃度)  
H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>(雨と同程度濃度,100倍濃い濃度)  
水戸の雨(浸漬、暴露)  
蒸留水



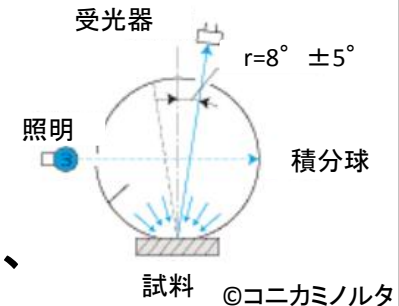
サンプル鏡  
(5cm × 5cm)

腐食試験の様子

## 反射率測定

サンプル鏡を数日ごとに溶液から取り出し、表面の水分を取り除いたあと、反射率測定器を使用して反射率を測定する。

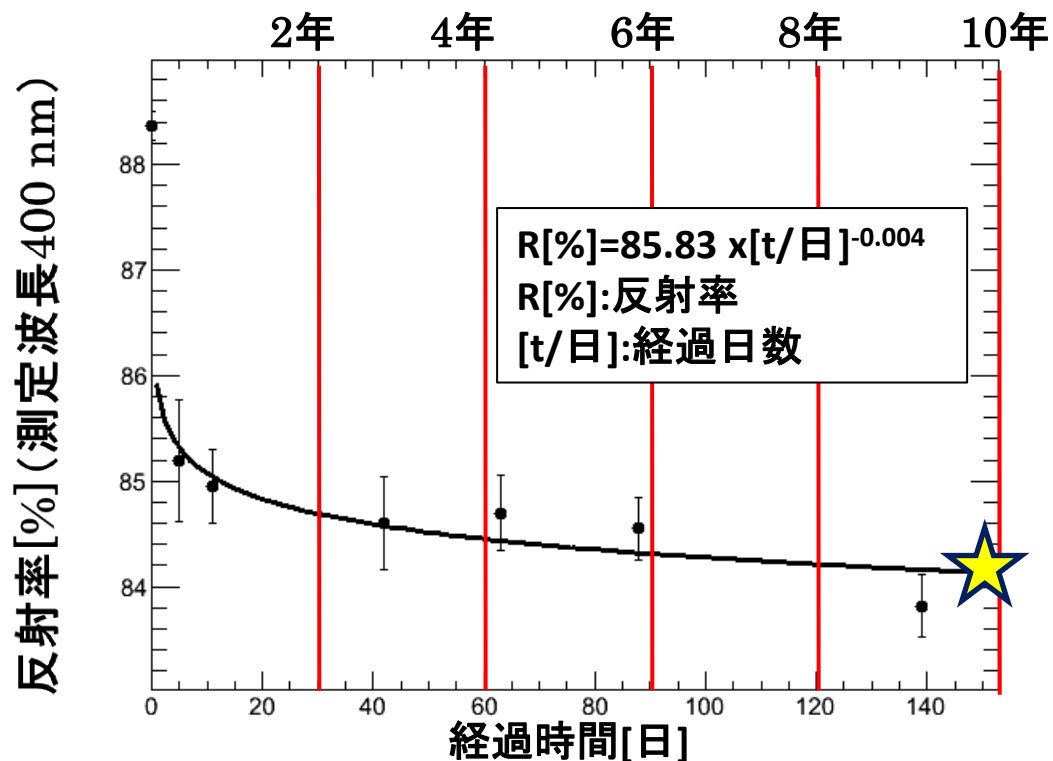
反射率測定器の上に試料を乗せ、積分球を使って試料をあらゆる方向から均等に照明し、受光した反射光を分光、各波長での反射率を測定する。



# 耐候性評価 10年後の見積り

望遠鏡設置候補地の年間降水時間⇒355 時間／年

腐食加速試験における浸漬時間⇒3336 時間⇒約9年半の暴露に相当



水戸の雨を用いた腐食加速試験結果  
各測定日に16箇所を測定し、平均値をプロット

試験前の反射率⇒88.36 %  
10年後の見積りは約84.13 %  
反射率の低下量⇒-4.23 %

腐食加速試験(浸漬)では  
要求を満たしているといえる。



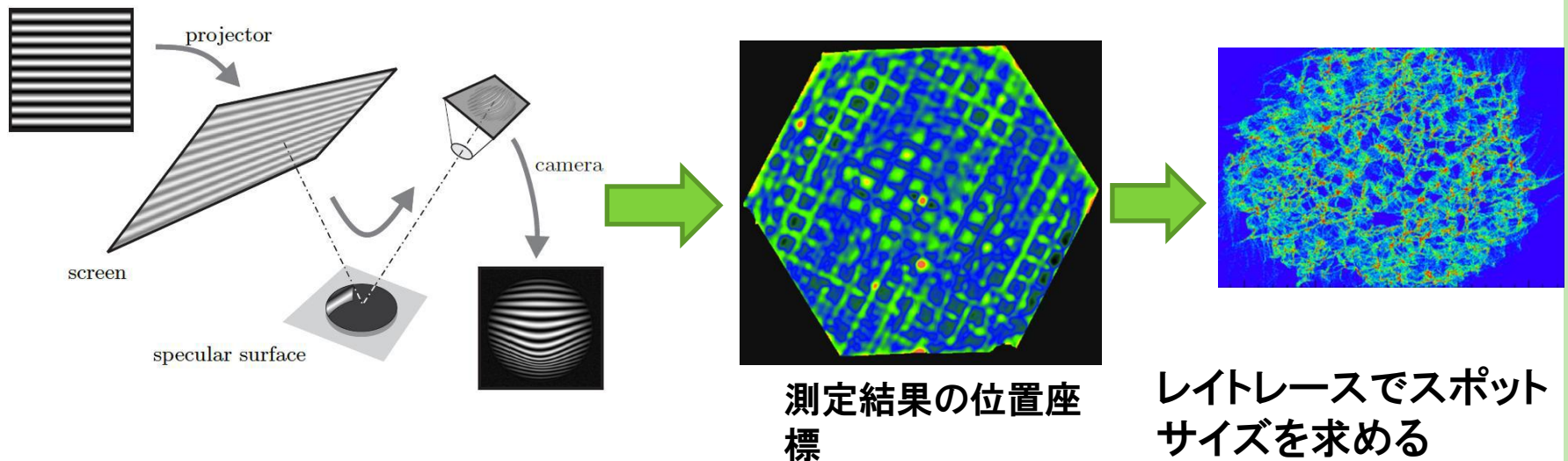
今後

7層コーティングを施したサンプル鏡を用いてサイクル試験を行い、より暴露環境に近い腐食加速試験を行う。

# CTA-Japan 形状測定システム

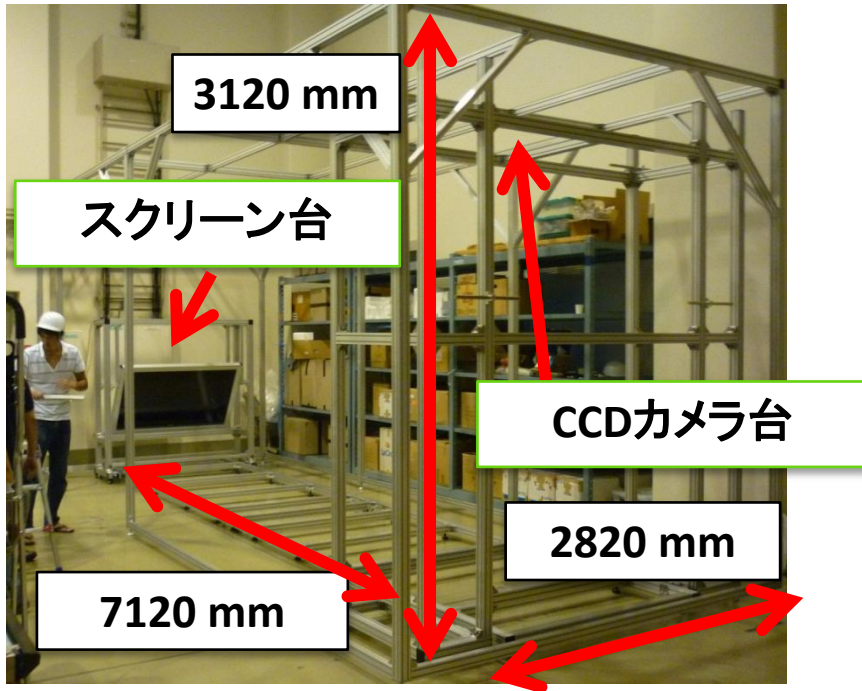
## Phase Measuring Deflectometry (PMD) 法

- PMD法は位相シフト法、ステレオカメラ測量を組み合わせた鏡面形状測定システム。鏡面各点の勾配、法線ベクトルを求め、対象物の形状を高い精度で測定する。



- 測定動作は2f法同様シンプルである。
- 直接鏡面の情報（勾配、座標、法線）が得られる。
- 装置をコンパクトにできる。

# 形状測定システム



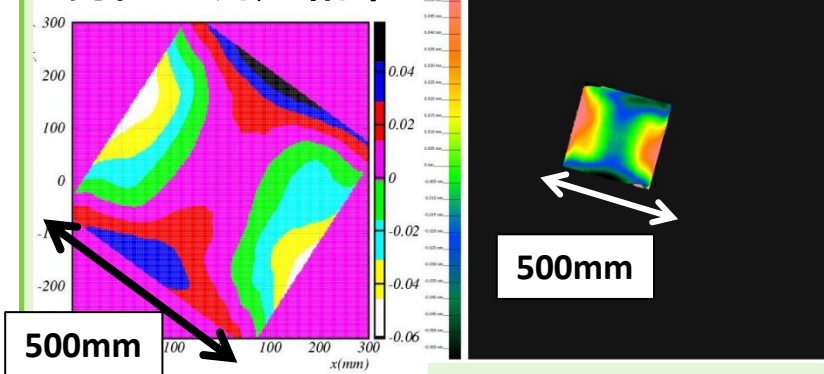
現在、装置が完成し、キャリブレーション作業、試験運用を行っている。  
(茨城大学 M1 馬場)

## キャリブレーション

- ・ スクリーンキャリブレーション
- ・ カメラキャリブレーション
- ・ 装置全体のキャリブレーション

これら3つのキャリブレーションにより、コンポーネントによる画像の歪みを補正する。

## 現在の測定結果



左図：三鷹光器によるレーザー測量  
曲率半径のフィッティング 32.70 mm

右図：PMD法による測定  
曲率半径のフィッティング 32.73 mm

500 mm × 500 mmの球面鏡の  
サンプルを測定した。

# まとめ

## ＜耐候性の評価＞

- 雨の成分による鏡面劣化を評価するために腐食加速試験を行った。
- 試験結果から10年後の反射率を見積もることができ(10年で約4%)、現在の段階では要求を満たす結果が得られている。
- 今後、さらにコーティングの強度を高めた分割鏡をより厳しい条件の環境で試験を行うことを検討している。

## ＜形状測定システムの開発＞

- 大量生産するLST分割球面鏡を高精度かつ効率よく評価のためにPMD法の装置開発を行った。
- PMD法は位相シフト法及びステレオカメラ測量を用いた評価方法で、大量生産のされた鏡の評価に対して有効な評価方法である。
- 現在、装置自体は完成し、高精度の測定に向けて調整を行っている。