

CTA 大口径望遠鏡の分割鏡の開発(4)

2013/03/23 日本天文学会 2013年春 年会

茨城大学大学院 理工学研究科

加賀谷 美佳

奥村曉^E 片桐秀明 北本兼続^D 齋藤浩二^A 塔中良介^D 周小溪^D 田中駿也
千川道幸^D 手嶋政廣^{A,B} 中嶋大輔^B 野里明香^D 野田浩司^B 馬場浩則 林田将明^F
柳田昭平 山本常夏^C 吉田龍生 R.Krobot^G 他 CTA-Japan consortium

東大宇宙線研^A Max-Planck-Institute for Phys^B 甲南大理工^C 近畿大理工^D
名大STE研^E 京都大理^F University Erlangen^G



CTA-Japan ミラーグループ

ミラーグループでの取り組み

- 腐食加速試験
- 鏡面形状測定(PMD法)
- 接着材強度試験
- アクチュエーター制御システムの開発

本講演

- 分割鏡の耐候性試験
 - 腐食加速試験(サイクル試験)
- 鏡表面の形状測定
 - Phase Measuring Deflectometry (PMD法)



CTA 大口径望遠鏡 分割鏡

口径: 23m

焦点距離: 28m

形状: 回轉放物面型

分割鏡のサイズ: 対辺1.5m(六角形球面鏡)

分割鏡枚数: 1台あたり約200枚 (> 400m²)

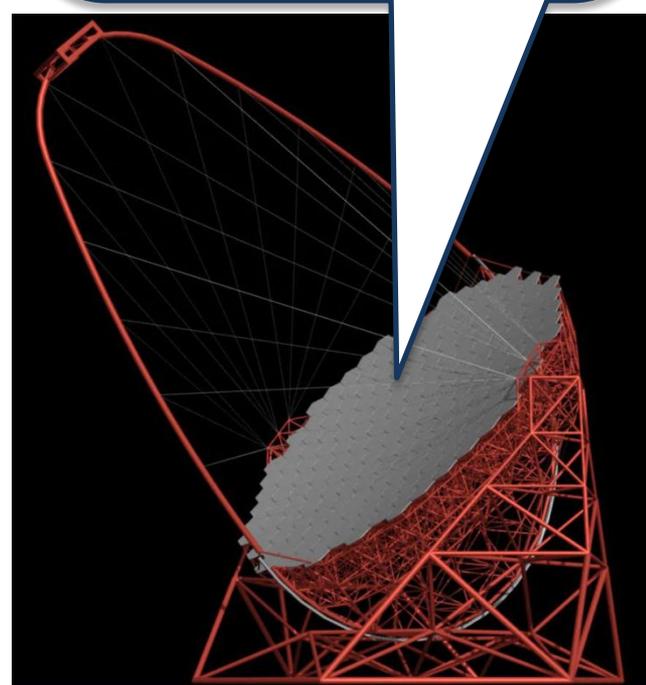
重量: < 50kg / 枚

(20秒で180度回轉: ガンマ線バーストをとらえる)

反射率: > 90% (400nm)

> 85% (300-600nm)

反射率経年変化: < 1% / yr (10年の耐久性)



プロトタイプ望遠鏡開発段階

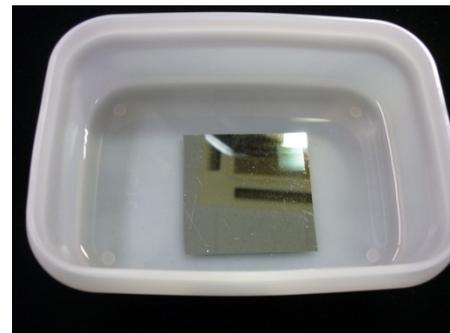
分割鏡の大量生産に向け評価試験を実施

腐食加速試験（茨城大 近畿大）

□ 背景

チェレンコフ望遠鏡の分割鏡⇒自然環境に常にさらされる。
劣化した鏡のメンテナンスは時間もコストもかかる。

10年の耐久性を持った鏡の開発が必要。



□ 試験の手法

- 望遠鏡設置候補地の雨の成分から疑似酸性雨を調製。
- 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。
- 反射率の低下量を適当な関数でフィッティングし、10年後の反射率を見積もる。



試験前

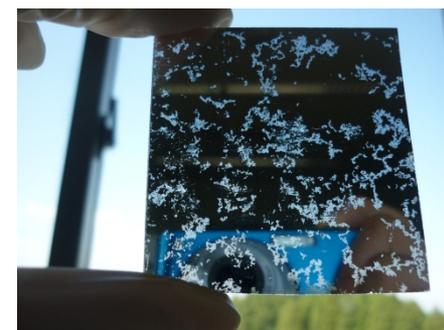


□ サンプル鏡

7層コーティング (Cr、Al、SiO₂、HfO₂、SiO₂、HfO₂、SiO₂)
厚みの異なる3種類を使用 (standard、Cr層を厚塗りにしたサンプル、外側のSiO₂層を厚塗りにしたサンプル)

□ 試薬

H₂SO₄ (雨の1万倍の濃度)



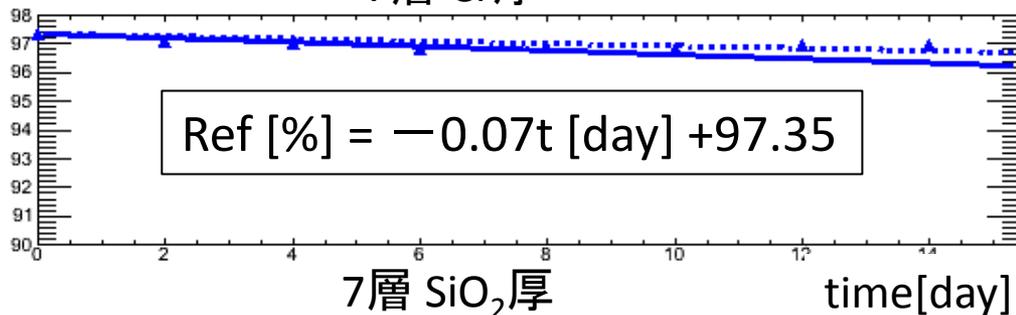
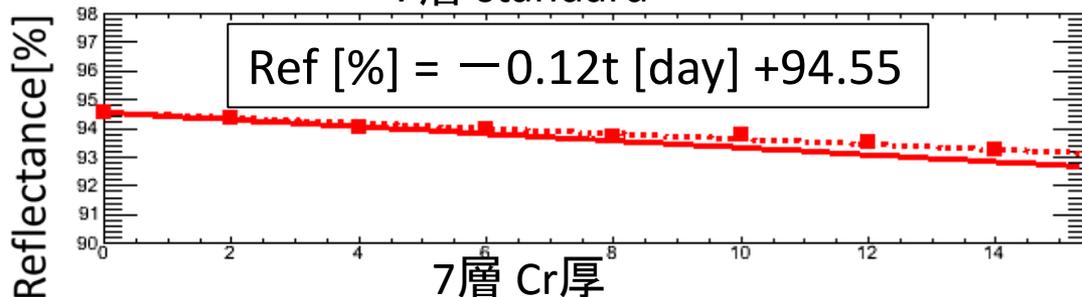
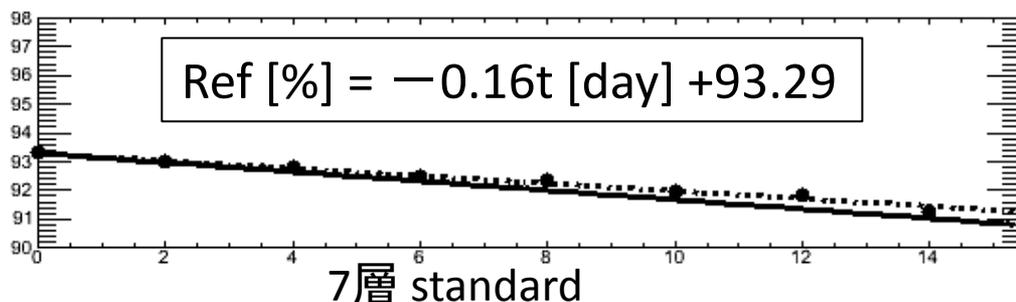
試験後



サイクル試験

<サイクル試験>

鏡表面が湿潤状態と乾燥状態を繰り返し、溶液の成分による腐食と空気と触れること(酸化)による腐食を繰り返す試験



10年後の反射率の見積り

10年 = 3650日、濃度1万倍

⇒ 反射率の低下量: 約1万倍と仮定。

例

$$\begin{aligned} \text{Ref} [\%] &= -0.16 \times 3650 \text{日} \div 10000 \\ &= -0.06 [\%] \end{aligned}$$

破線(ベストフィット)の標準偏差 σ の3倍分、傾きを劣化が進行する方向に傾け、反射率低下量の上限值を求めた。

7層 standard : 0.06%

7層 Cr厚 : 0.04%

7層 SiO₂厚 : 0.03%

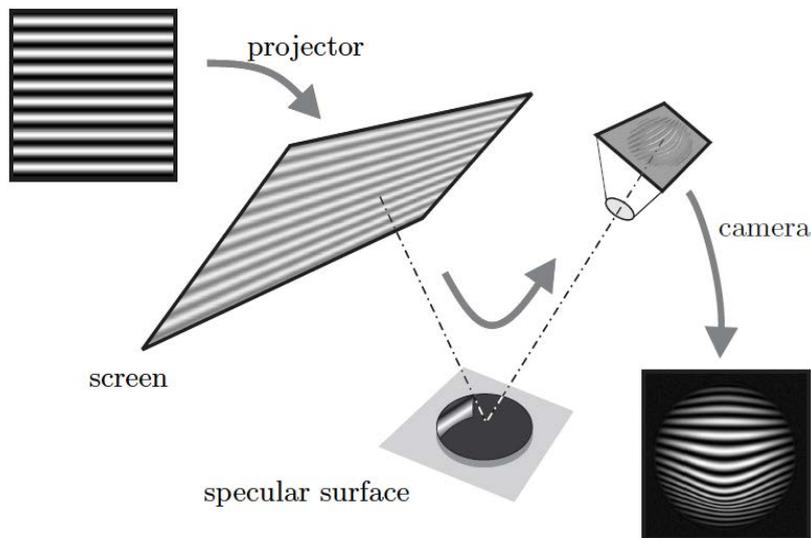
※低下量が濃度に対してさらに100倍と仮定しても、要求している10年で10%以下の低下量を達成!



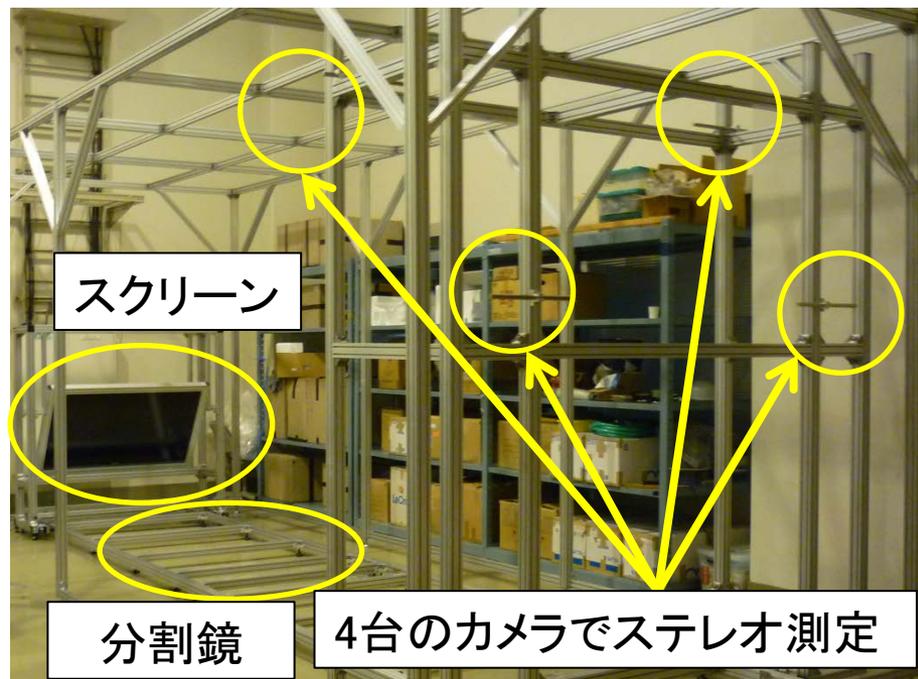
鏡表面の形状測定（茨城大）

Phase Measuring Deflectometry (PMD法)

PMD法：**位相シフト法**、**ステレオカメラ写真測量**を利用して鏡面各点の勾配、法線ベクトルを求め、対象物の形状を測定する方法



スクリーンに縞模様を映し、画面上で位相を動かす。鏡に反射した像をカメラで撮影する。



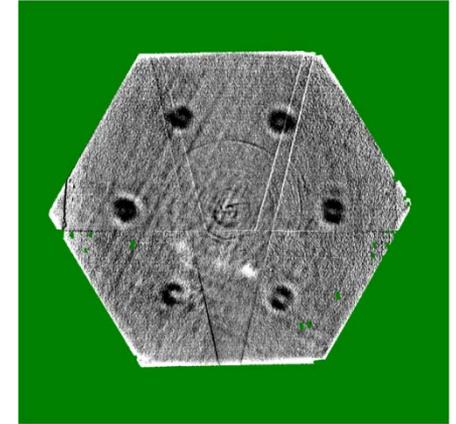
量産した大型の分割鏡を**高精度**かつ**短時間**で測定することが可能



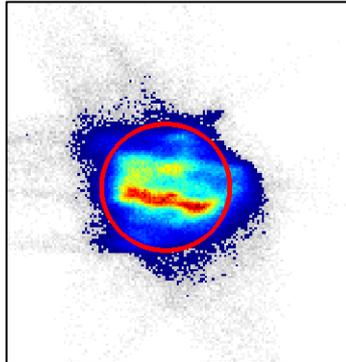
PMD法による測定

測定手順

1. 測定装置のキャリブレーション。
2. 4台のカメラを使って分割鏡を測定。
3. 4枚の画像を合成して重ねあわせる。
4. 鏡面の座標を求める。
5. 鏡面形状の情報から光線追跡によりスポットサイズの形状と曲率半径を求める。



4枚の合成写真



2f法(実際に光を当てて測定)(左図)
PMD法で求めたスポットサイズ(右図)

2f法

曲率半径: 57.7m

PMD法

曲率半径: 57.9856m

2f法での測定値を真の曲率半径とすると、PMD法での測定と測定差は 280 mm となった。
今後、測定方法、測定差についての理解が必要。

現段階では曲率半径を比較することで評価している。精度は上がってきたが、大量生産する分割鏡の測定に向けて装置の改良を行っている。

まとめ

鏡の大量生産に向け評価試験を実施

- 腐食加速試験・暴露試験による耐候性の評価
 - 10年後の反射率の見積り ⇒ 要求を満たす鏡の製作に成功
 - 今後、腐食加速試験と暴露試験の比較
- PMD法による鏡面形状測定
 - キャリブレーション、測定、画像合成の試験段階

試作鏡を製造

- 40枚の試作鏡を製造
今後測定予定。

