

CTA 大口径望遠鏡の分割鏡の開発

茨城大学大学院理工学研究科

加賀谷 美佳

宇宙線研:手嶋政廣 榎本良治

宇宙研:奥村暁

甲南大学:山本常夏 松本恵理

近畿大学:千川道幸 周小溪

茨城大学:片桐秀明 吉田龍生

他CTA-Japanチーム一同

1

CHERENKOV TELESCOPE ARRAY (CTA)

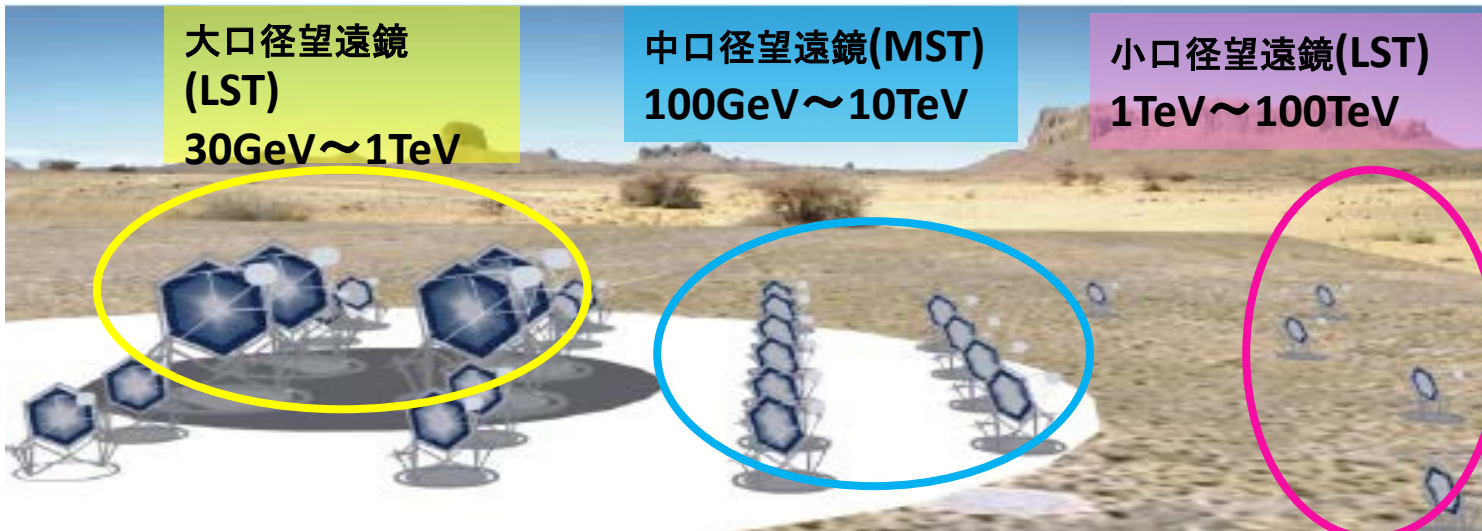


高エネルギーガンマ線
↓大気に突入
電磁シャワーカスケード発生
↓
チェレンコフ光を放射
↓
チェレンコフ光のイメージを
複数の望遠鏡で高精度ステ
レオ観測

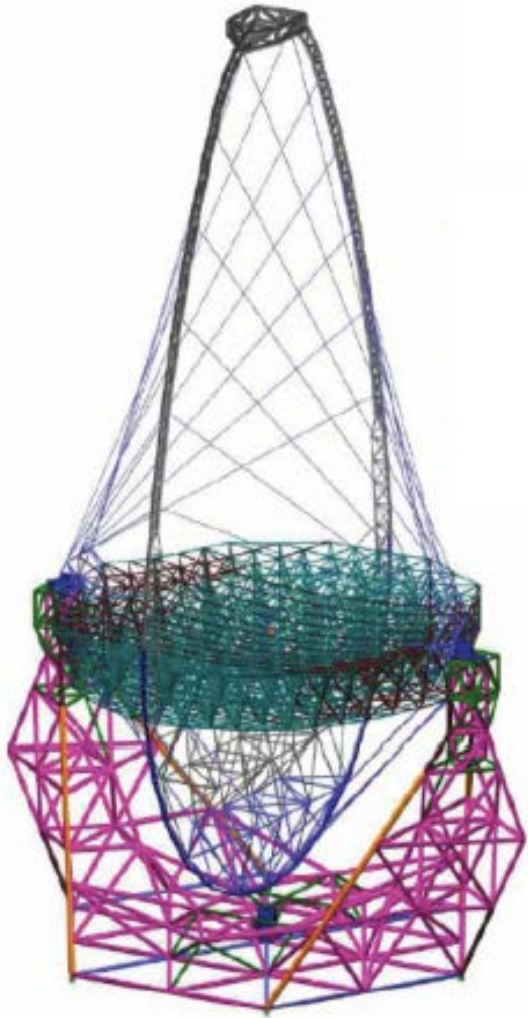
大口径望遠鏡
(LST)
30GeV~1TeV

中口径望遠鏡(MST)
100GeV~10TeV

小口径望遠鏡(LST)
1TeV~100TeV



大口径望遠鏡用分割鏡(LST)要求仕様



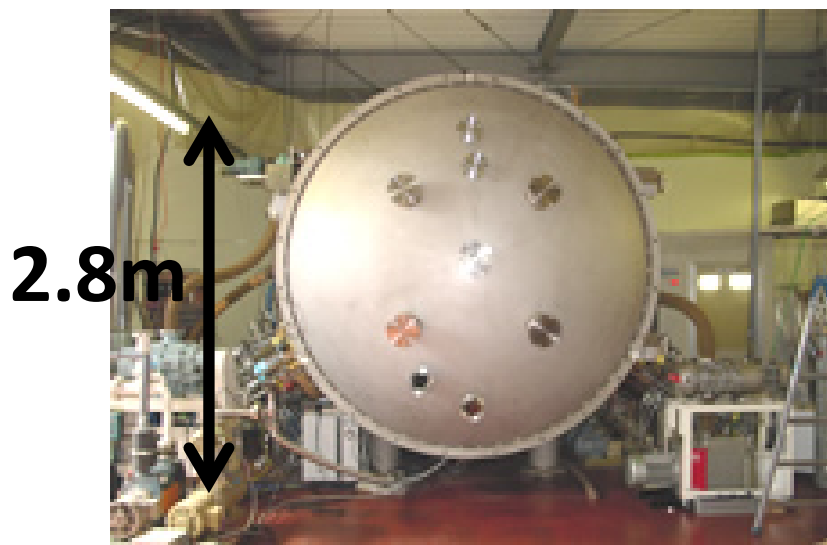
- 口径: 23m
- 焦点距離: 27.6m
- F値: 1.2(27.6m/23m)
- 曲率半径: 56m
- 形状: 回転放物面型
- スポットサイズ: <2分角
- 分割鏡枚数: 1台あたり約200枚(>400m²)
南北で8台: **合計1600枚**
- 分割鏡1枚あたりのサイズ: **1.5m(六角形)**
- 反射率: >90%(at 400nm)
>85%(at300-600nm)
- 反射率経年変化 <1%/yr(10年の耐久性)
- 重量: <50kg/枚(20秒で180度回転)

分割鏡の製造



三光精衡所 筑波支店

- 三光精衡所(筑波支店)と共同開発
- Cold Slump法とスパッタリングの技術を採用し、1.5mサイズのLSTの分割鏡を製造
- Telescope Array の分割鏡を制作した実績あり



真空チャンバー

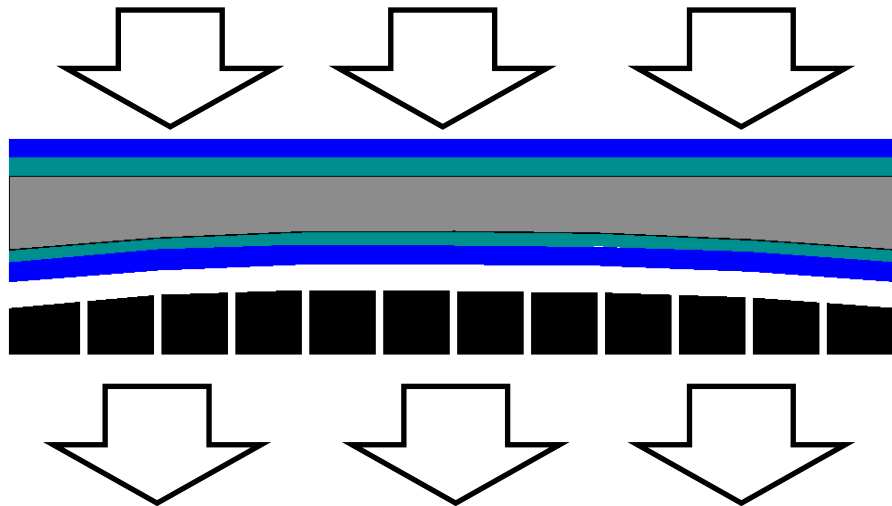






1.5mの六角形の試作鏡

分割鏡の製造-COLD SLUMP法

曲率のついた鋳型の鏡の土台となるガラス・アルミフォームを押し付けて曲率を映しとる製造方法

時間とコストがかかる「削る技術」を必要としないため、大型の鏡を比較的安価に作ることが可能

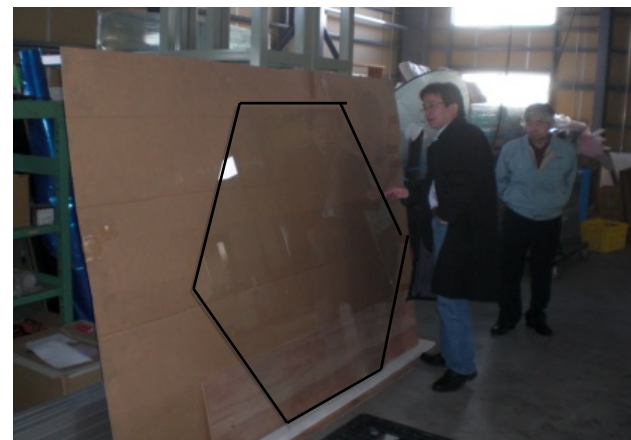


-  ガラス(3mm)
-  樹脂
-  アルミフォーム(30mm)
-  鋳型

Cold Slump法のモデル



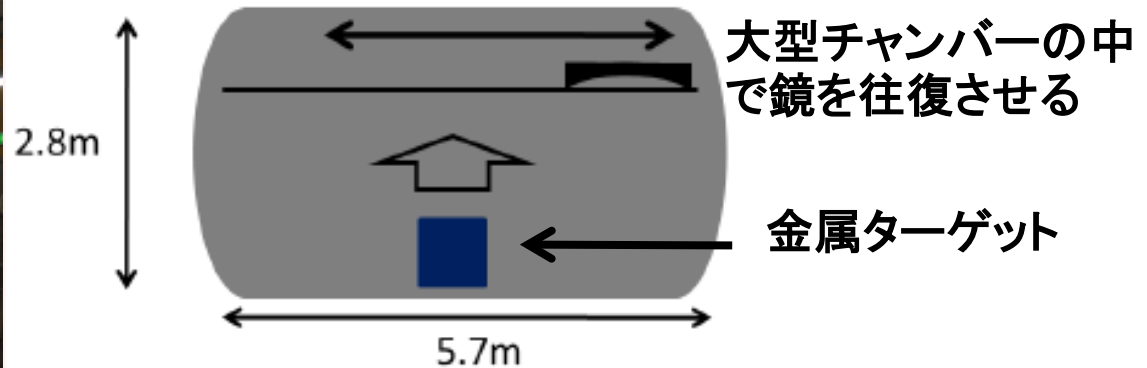
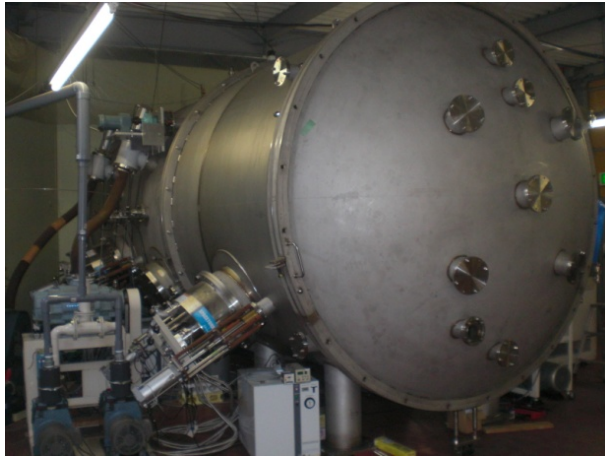
曲率を付けた鋳型



六角形のガラス板

分割鏡の製造-スパッタリング

Cr・Al・SiO₂・HfO₂・SiO₂の多層膜コーティング



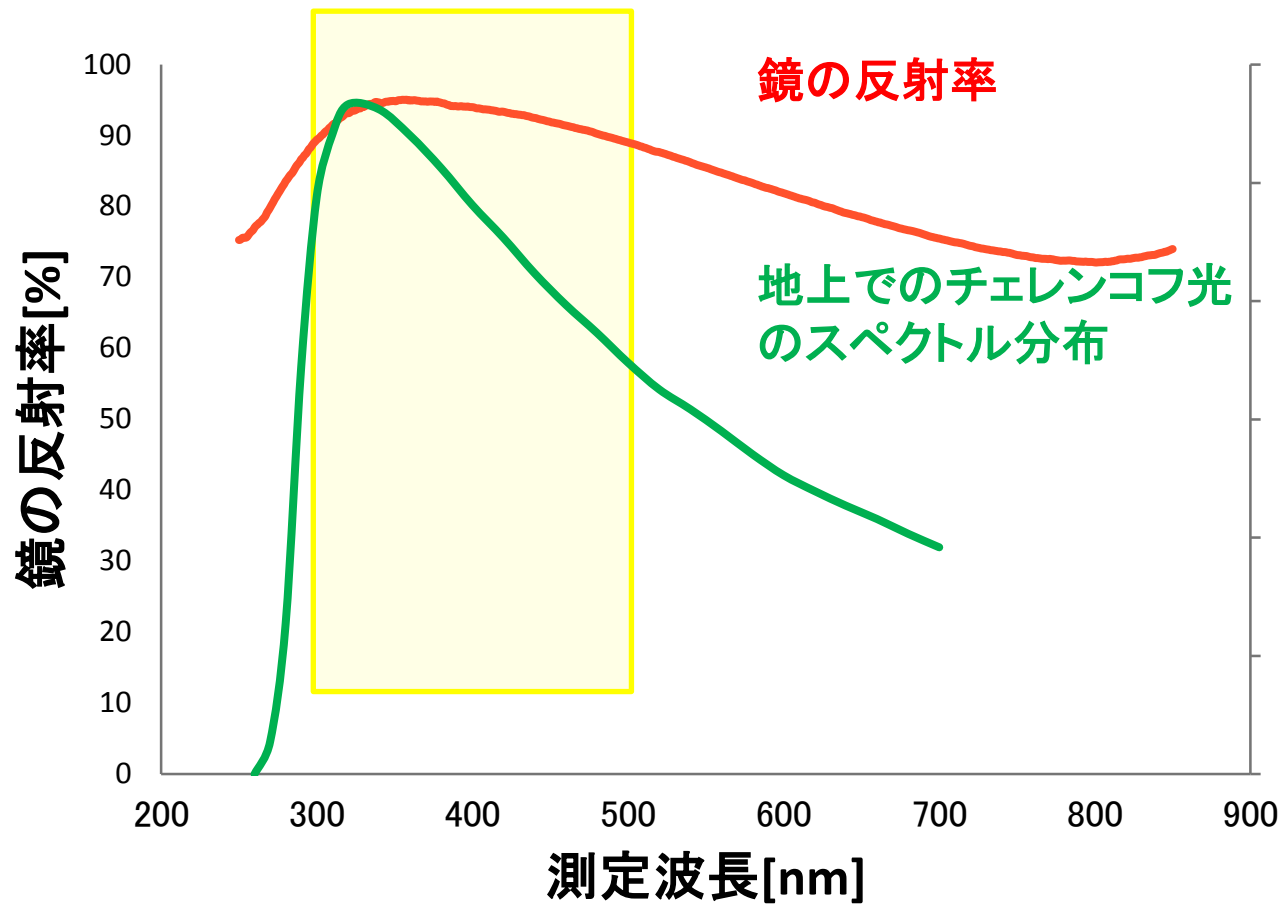
工程

- ・真空チャンバー内に金属ターゲットを設置
- ・高電圧をかけてアルゴンや窒素をターゲットに衝突させる
- ・ターゲット表面から原子はじき飛ばされ基板に到達し製膜される

特徴・利点

- ・光の干渉効果による紫外領域の反射率の向上 (>93% 目標は96%)
- ・強固な膜による高耐候性 (>10年)

分割鏡の製造-スパッタリング

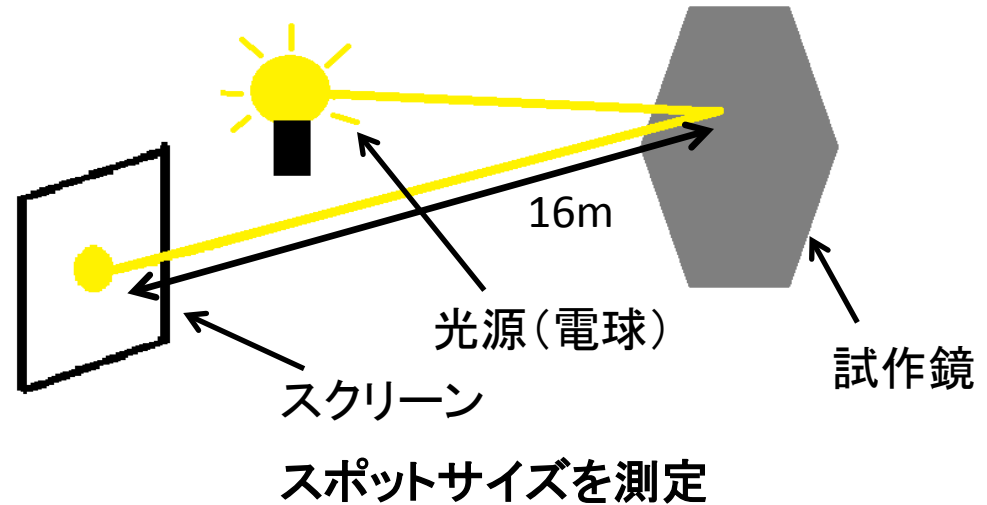


鏡の反射率は、大気散乱を考慮したチェレンコフ光のピークとほぼ一致している。

試作鏡製作状況

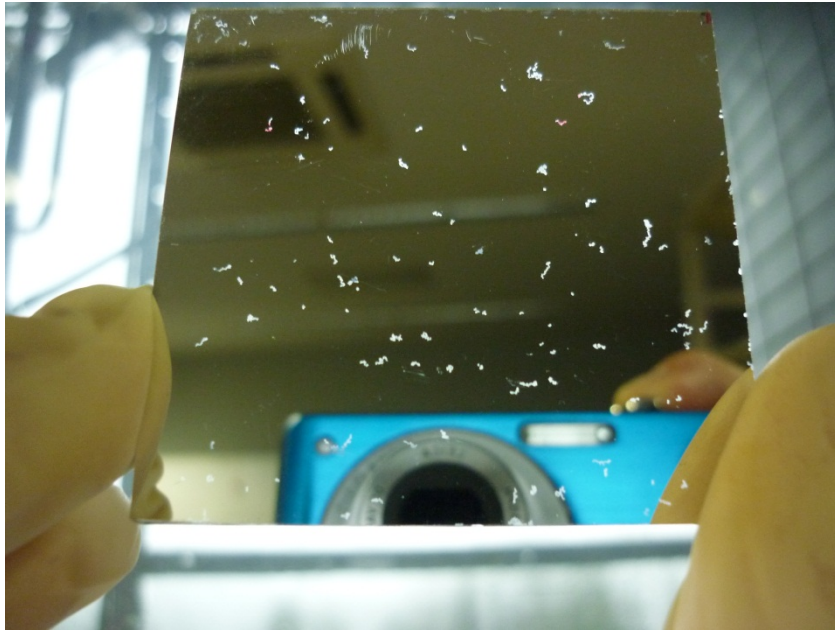


30mm 厚 Aluminum foam (中国Beihai社製)
3mm 厚ガラス
焦点距離: 16125mm
PSF: ~20mm (目標値: 10mm)
反射率 at 350nm: 94%
重量: 29kg



試作した1.2m幅の試作鏡でスポットサイズを測定
半径約20mmのスポットを確認(目標値は半径10mm)
平行光を当てた場合にはそれに近い値となることが期待される

試作鏡 性能評価



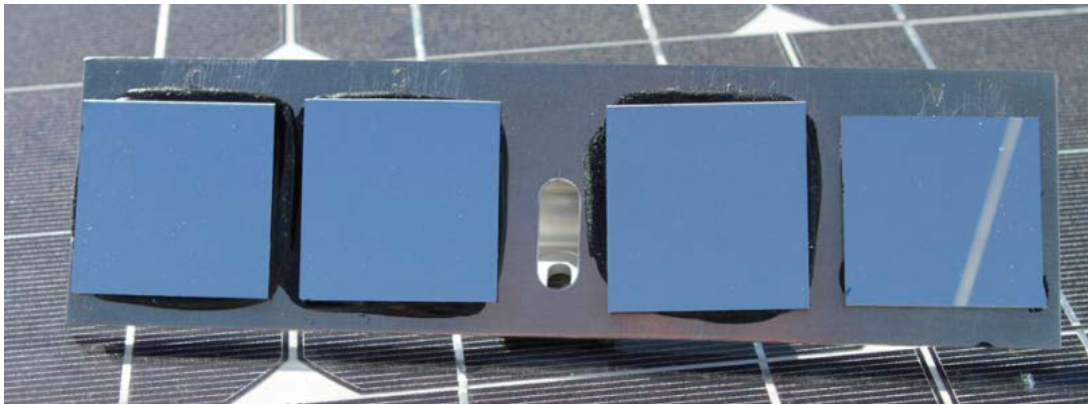
コーティングが部分的に剥げた鏡

鏡の劣化をみるための加速試験

- ・塩水や弱酸性水溶液に鏡を浸し劣化の様子を観察
- ・反射率の測定
- ・コーティングが剥げた部分の面積測定



- ・劣化の原因の追究
- ・経年変化の定量化

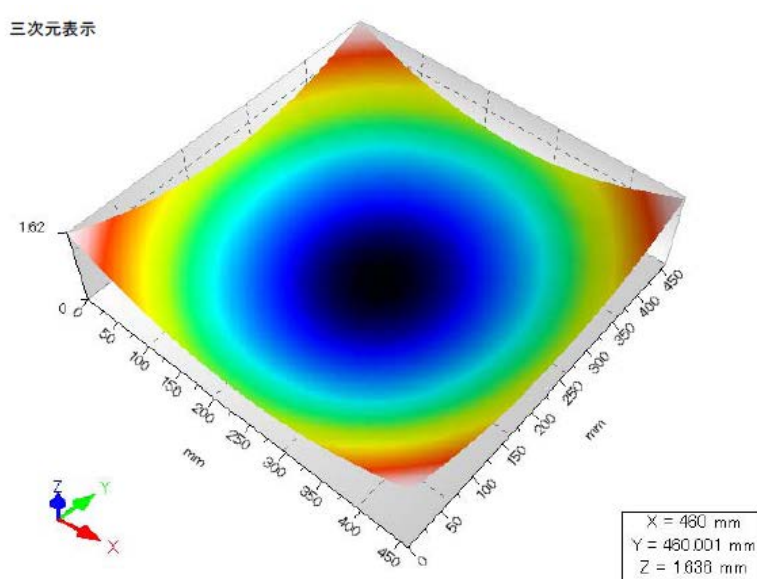


4種類の鏡を候補地に設置

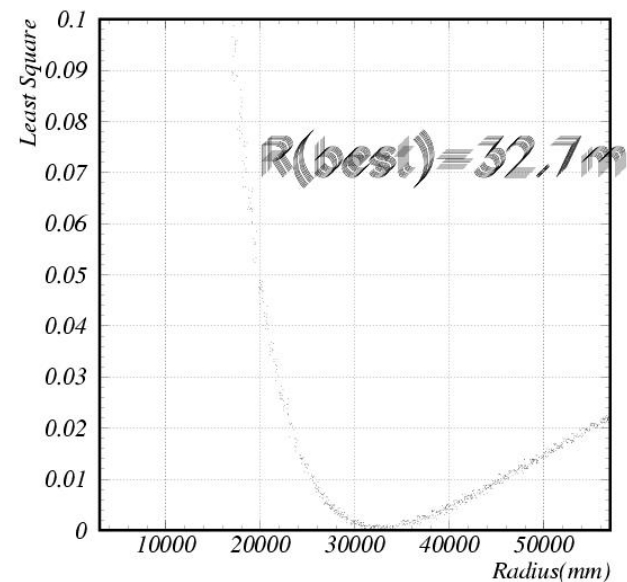
試作鏡を現在稼働中のH.E.S.S(ナミビア)とMAGIC(カナリー諸島)に設置し経年変化を調査中

試作鏡 性能評価

三鷹光器の非接触面性状測定装置で表面形状測定



3D表示した解析結果



解析結果⇒曲率半径32.7m

50cm × 50cmの試作鏡を測定

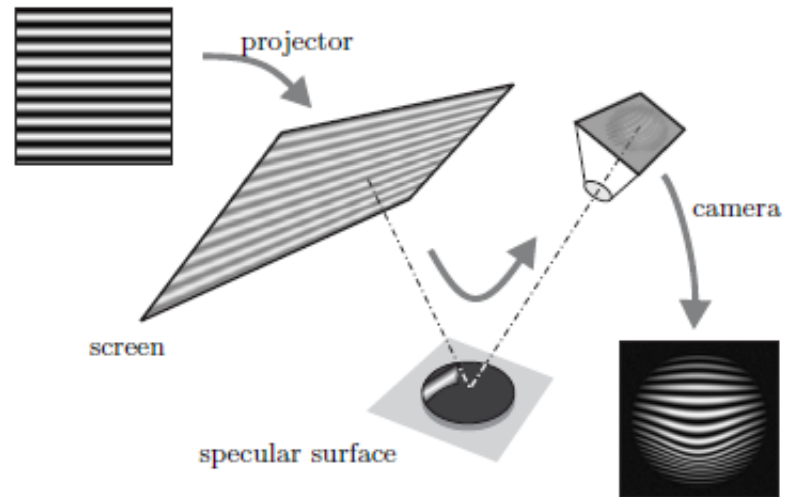
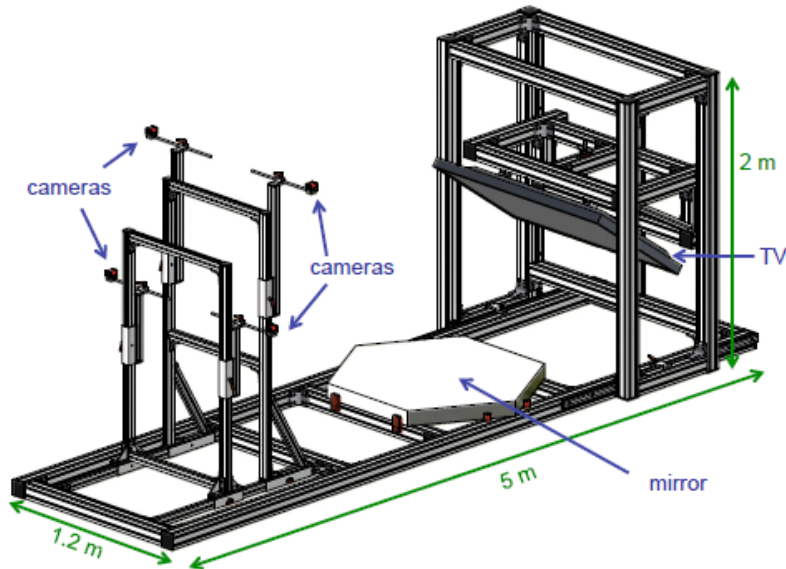
0.4 μm と非常に小さい先端のレーザーを使用した測定装置で表面形状(幅、高さ等の寸法測定)を高精度に全自動で測定。

スポットサイズを測定⇒15mm(目標値は10mm)

改良の余地はあるが、ある程度の製造工程は確立できた

試作鏡 性能評価

PMD法(Phase Measuring Deflectometry)



- 大型の鏡の表面の形状・歪みを測定
- LSTのような大きなものを短時間で精度よく(数百nm程度)測定することが可能
- より精度の高い鏡を採用することができ、製造方法に問題がないかどうかを調査

現在検討中

まとめ

- 高反射率放物面鏡を三光精衡所と共同開発
- 分割鏡サイズ:1.5m 曲率:30m
- アルミフォームを採用し軽量化を実現
- 95%という高反射率
- 加速試験により耐久性能を調査

- 現在 分割鏡の生産にめどがついた
- 今秋 製造方法の最適化・耐久性試験
- 年末 実際の仕様を満たす試作鏡の製作(20枚の試作を予定)
- 来年 量産体制の確立