

# せいめい望遠鏡の 光学性能

第8回 可視赤外線観測装置技術ワークショップ

栗田光樹夫 京都大学

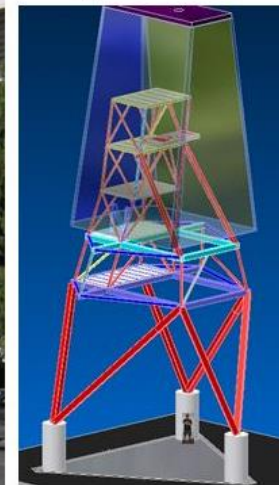
於 国立天文台

190225

# 鏡計測の実情



Original tower



## New tower

28 meters tall, 80 tons of steel  
floated on 400 ton concrete pad  
accommodates other UA projects (LBT, LSST)  
lowest resonance of 4.8 Hz with 9 ton 3.75-m fold sphere + cell



Sagemの計測施設

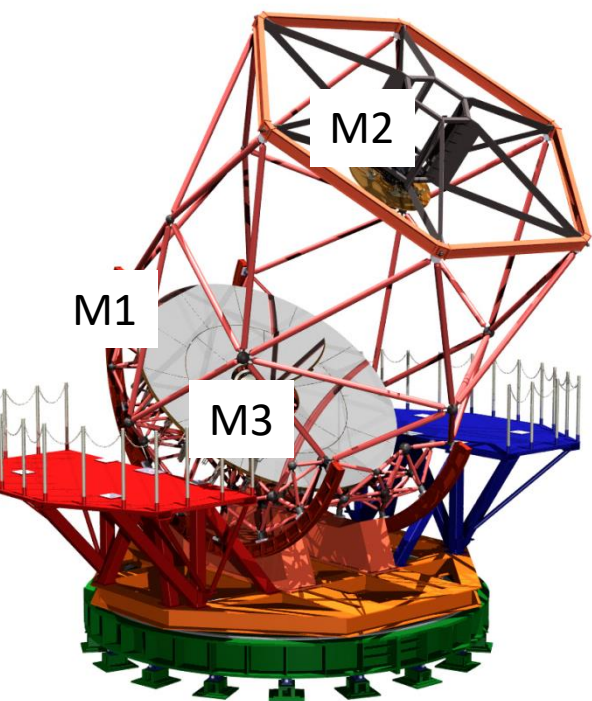
## アリゾナ大の計測施設

### 干渉計の課題

- ・ヌル光学系が必須→汎用性がない
- ・平面、凸面が計測不能→自由曲面ができない
- ・鏡の曲率半径以上規模の空間
- ・振動、空気揺らぎ、ほこりなどが無いこと



# せいめい望遠鏡の鏡



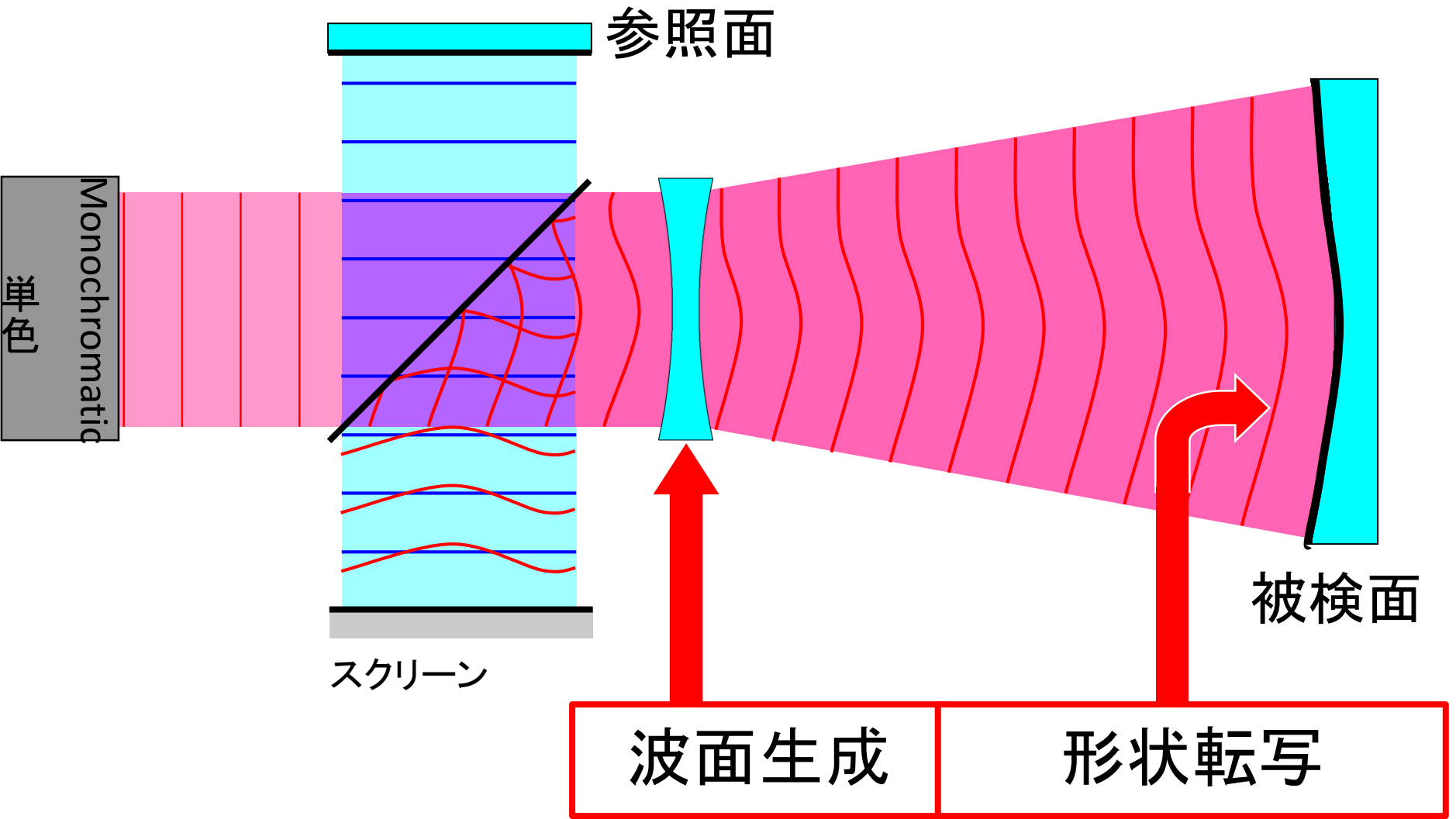
	形状	曲率半径	大きさ	枚数
主鏡	軸外し非球面	凹面 5000mm	~1m	6/12
副鏡	非球面	凸面 -1667mm	~1m	1
第三鏡	平面	平面	~1m	1

精度だけでなくスピードも重要

## 問題

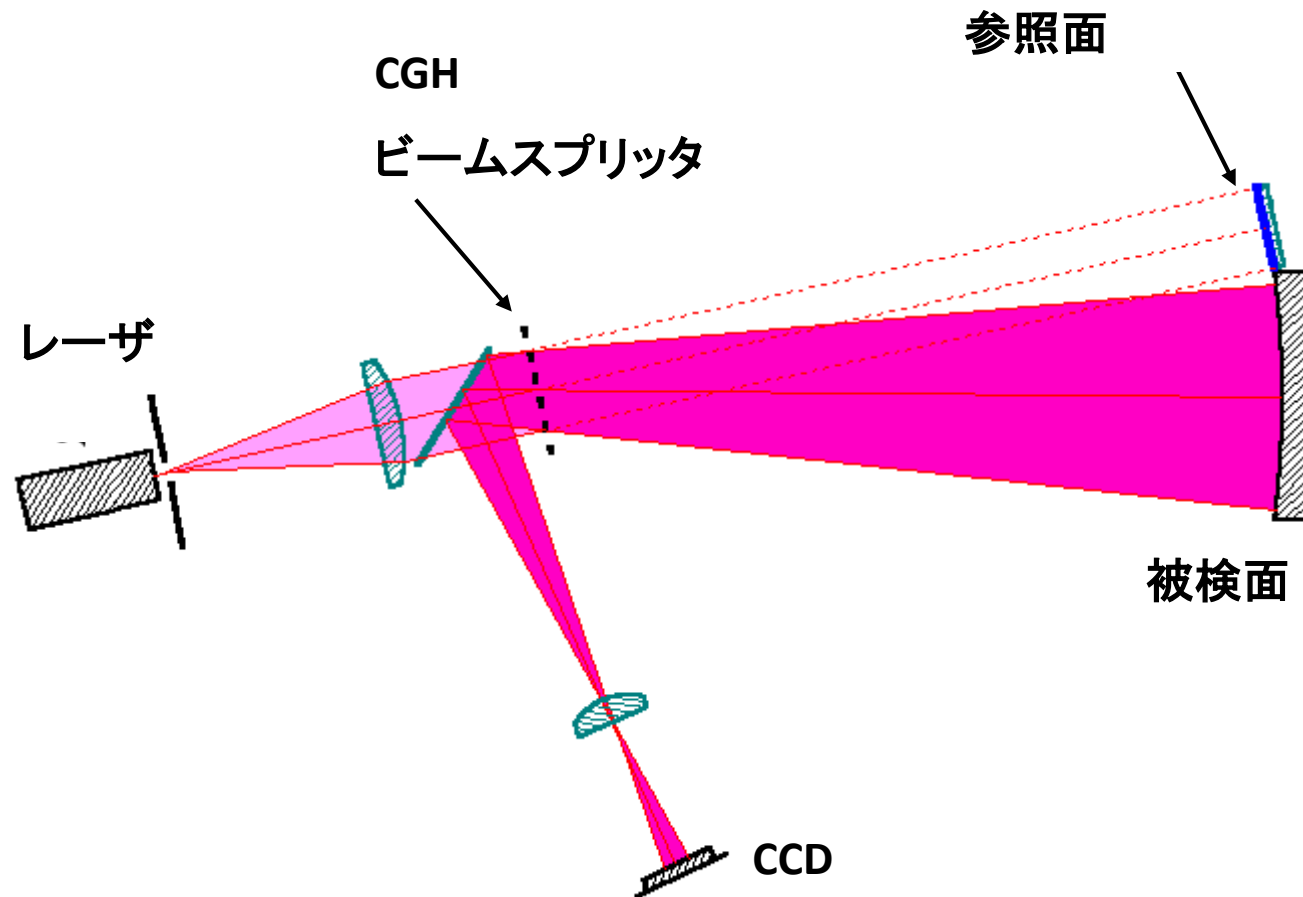
このような加工と計測  
技術は国内にない

# 干渉計の原理 マイケルソン型



# 計測 (CGH干渉計)

CGH-参照面  
CGH-被検面  
の相対位置が重要

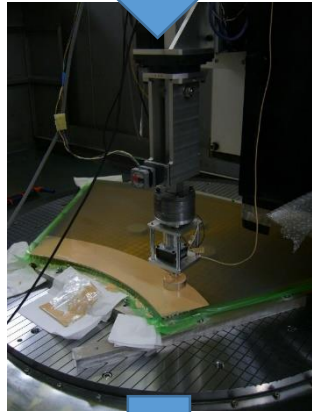


温度制御:  $23 \pm 0.1 \text{ } ^\circ\text{C}$

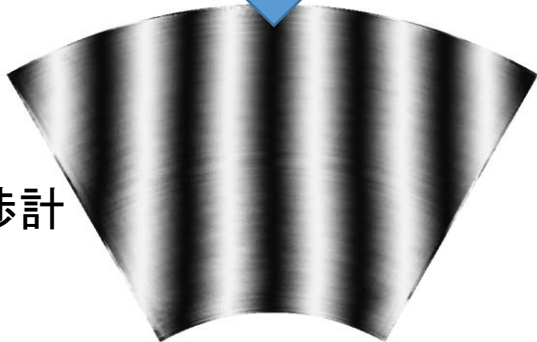
研削



研磨



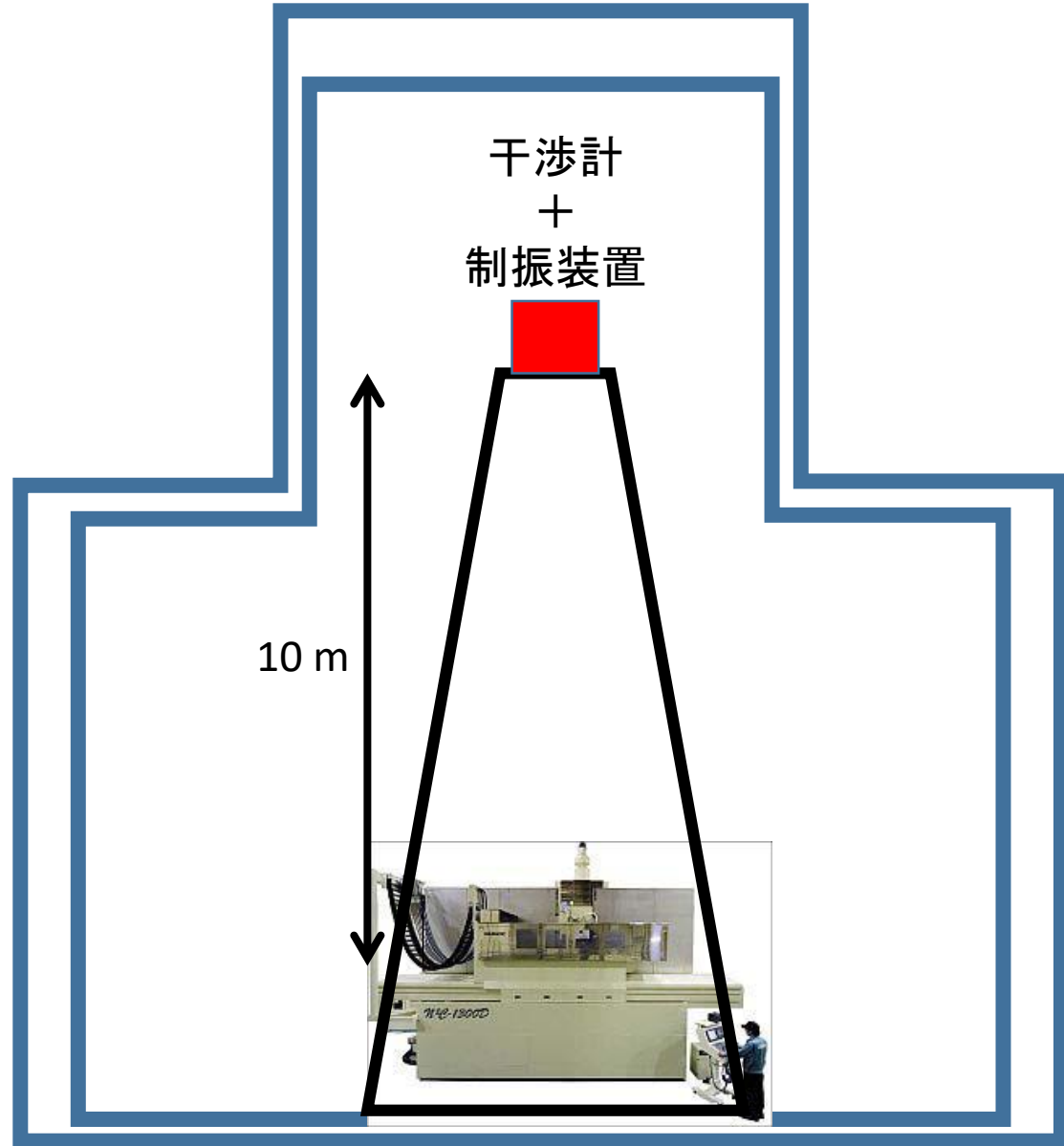
干渉計



干渉計  
+  
制振装置

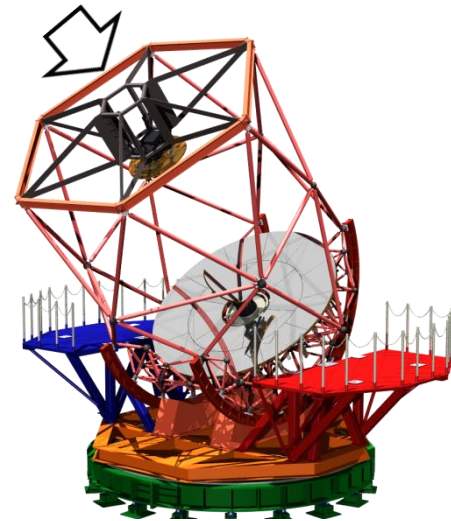
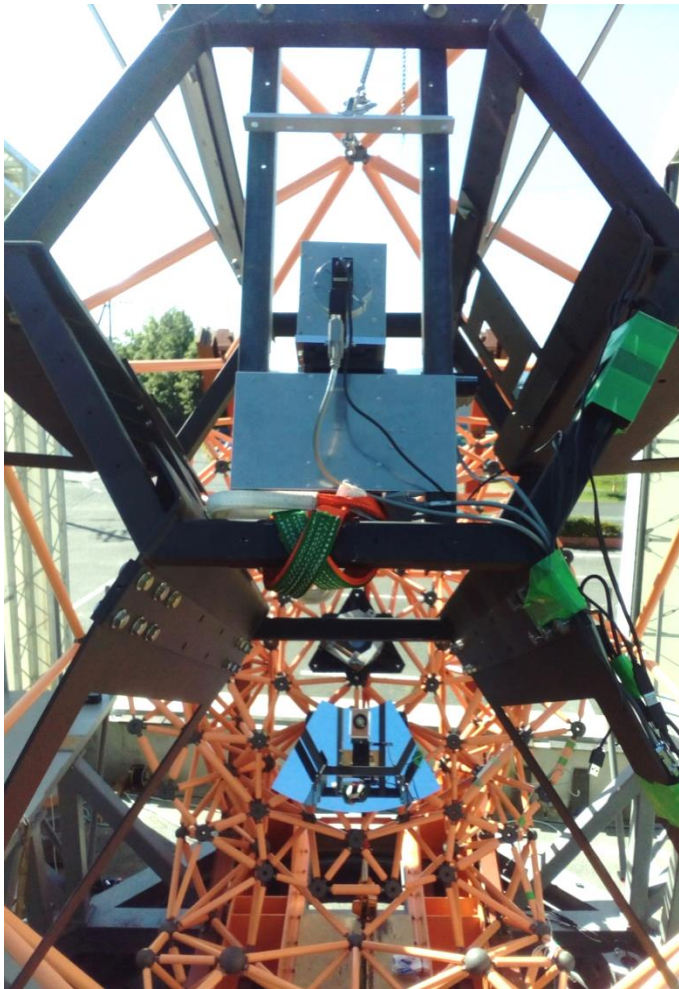


10 m



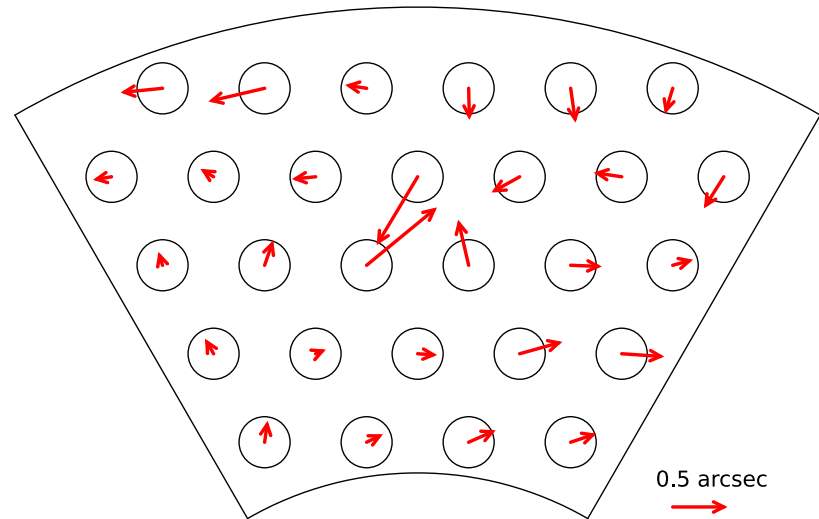
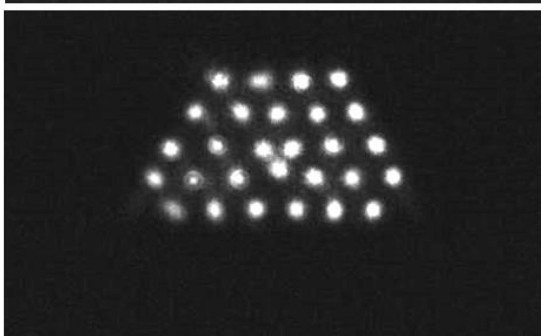
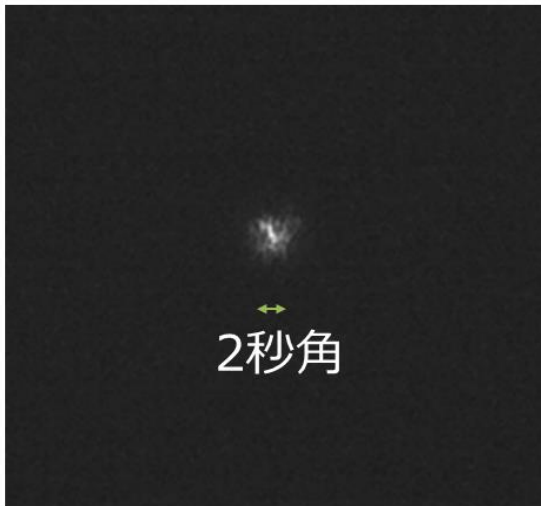
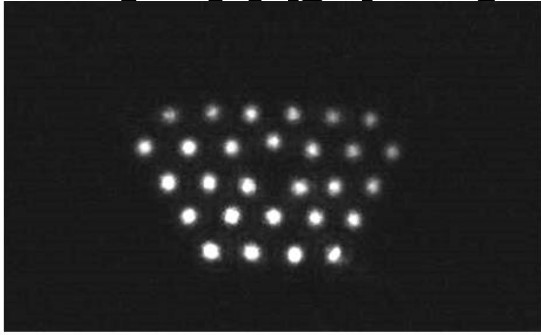
# 主鏡＋補正レンズで光学性能評価

- ・主焦点に補正レンズ＋カメラ、望遠鏡上部にハルトマン板を設置



# ハルトマン試験

- ・光源は北極星
- ・光軸調整後、焦点前後の位置においてハルトマン像を取得  
→ 各小開口での傾斜ベクトルを算出



**ハルトマン定数 = 0".28 (< 0".3)**

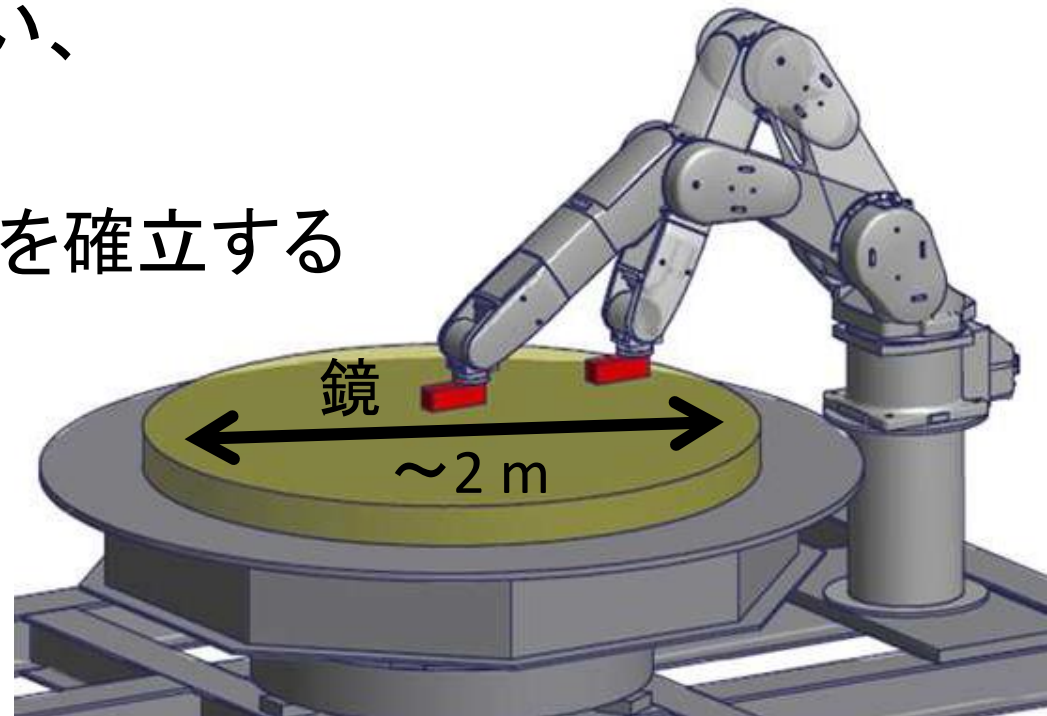
Warping Harness による補正を試みる。



# 自由曲面への挑戦

# 概要

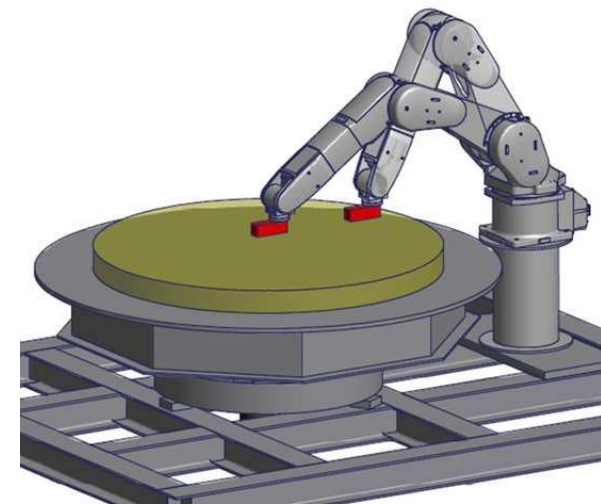
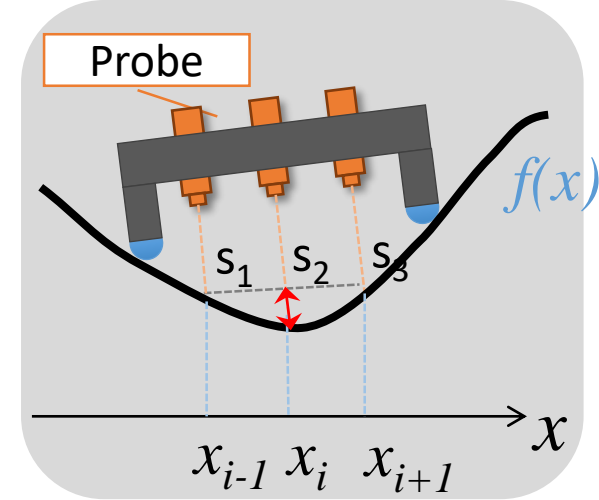
- ロボットアームのみで
- 研磨と
- 計測を
- On the Machine で行い、
- メートルクラスの
- 自由曲面の製作工程を確立する



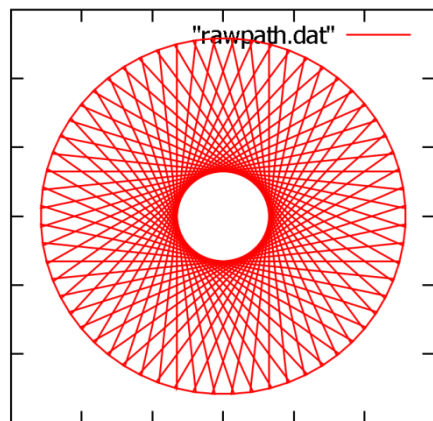
# ひきずり3点法の特徴

3個のセンサでローカルな曲率を計測し、断面形状を得る

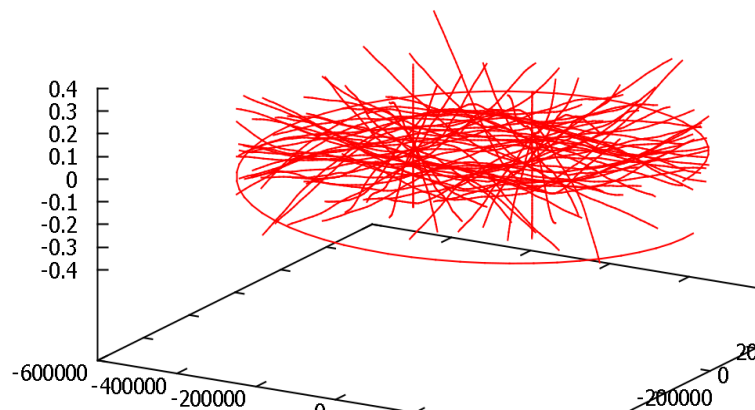
- 無基準で自由曲面を計測可能
  - ただし、曲率は不定
- オン・ザ・マシン計測
  - 効率的で安定なフィードバックシステム
- 耐環境性
  - 通常環境で可能
- 加工機を計測機に拡張可能
  - 計測範囲も無制限
- コンパクト
  - 干渉計のように曲率半径相当の空間は不要
- シンプル・廉価
  - 駆動部の誤差の影響を受けない
  - センサも廉価なもので対応可能



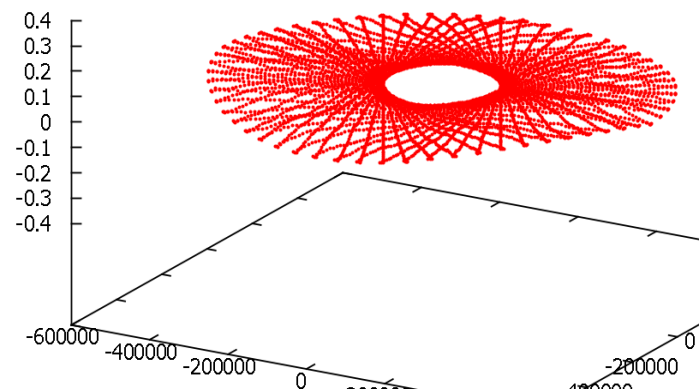
# データ処理の流れ



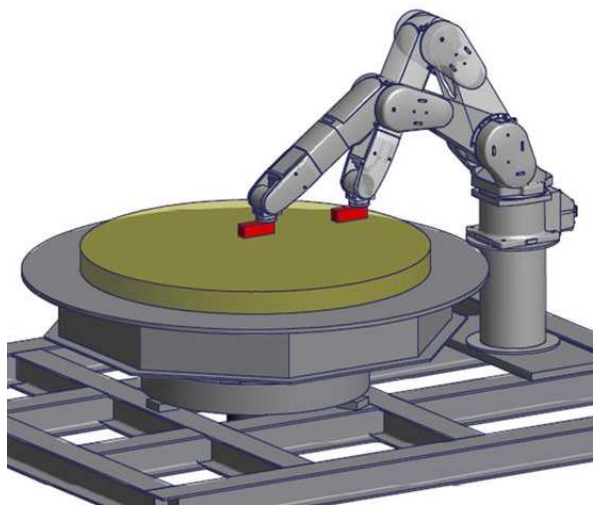
全面計測



↓ データステッチ



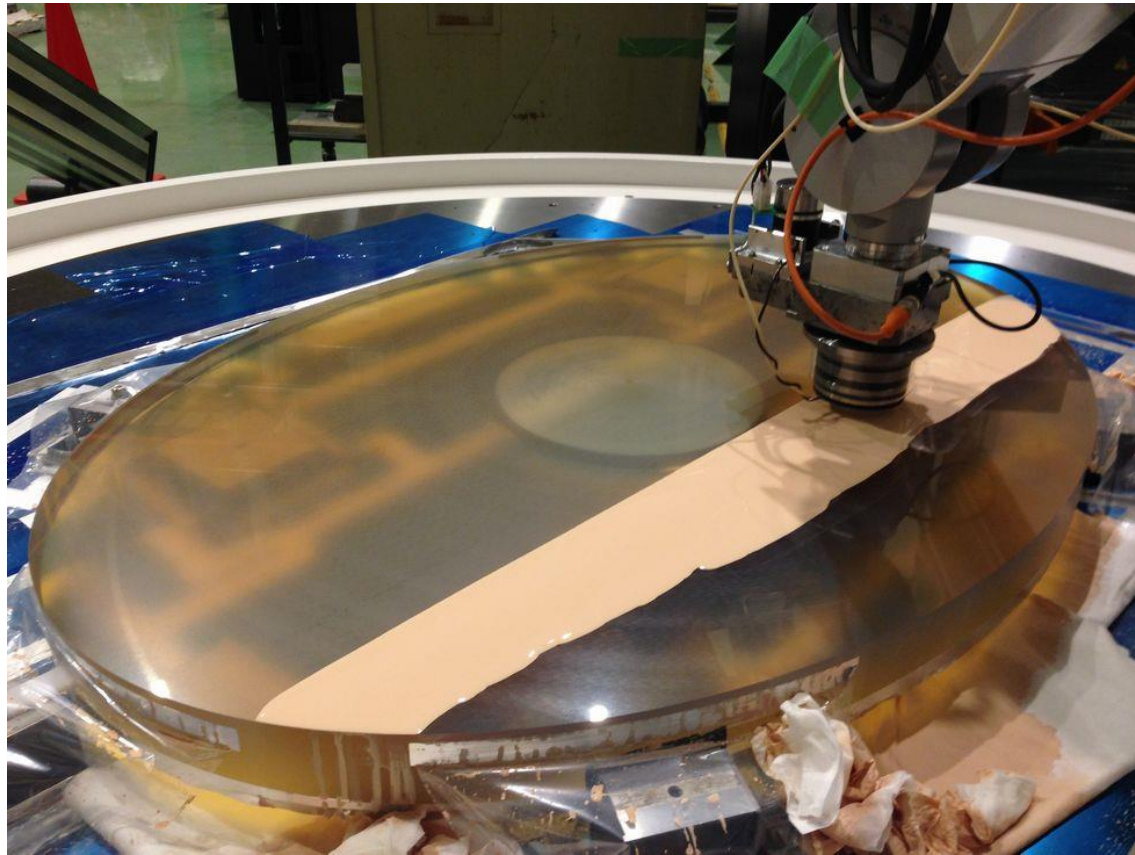
← 評価



修正加工

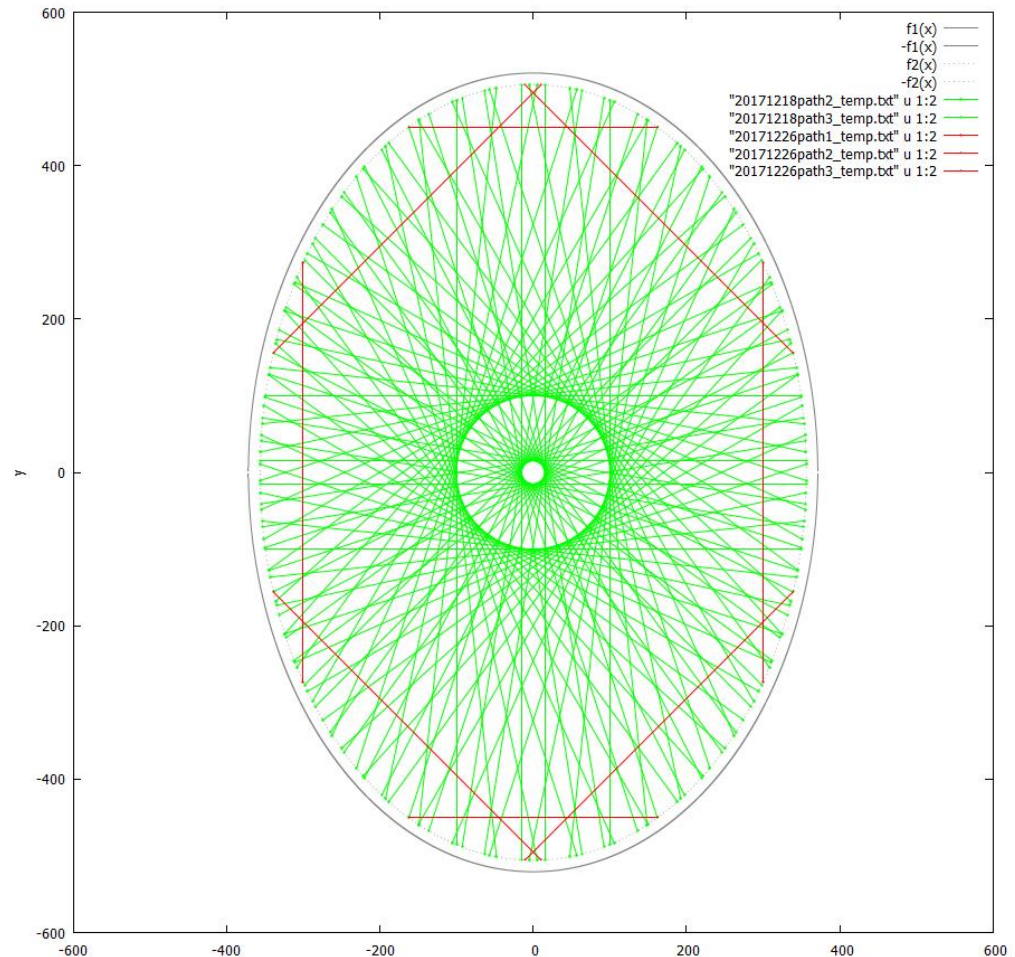
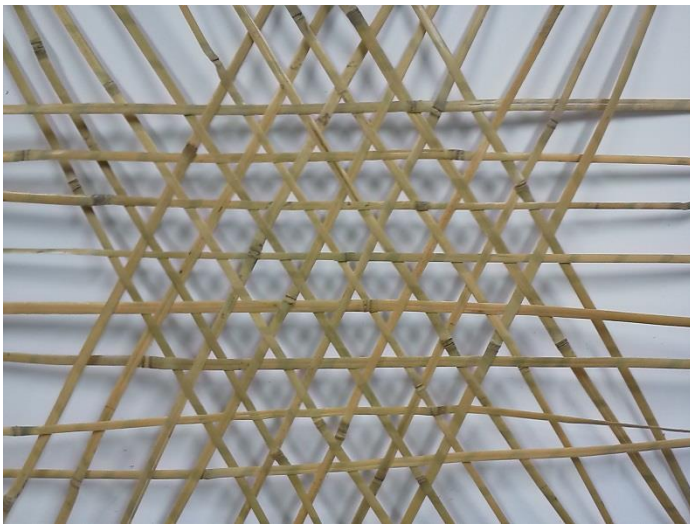


# せいめいのM3 外形 = 1 × 0.7mの楕円



# 計測パス

- 計測開始点・終了点での中央のセンサの位置は縁から15 mm内側
- $\phi 100$ に外接する60本、 $\phi 15$ に外接する40本の合計100本 + 8本



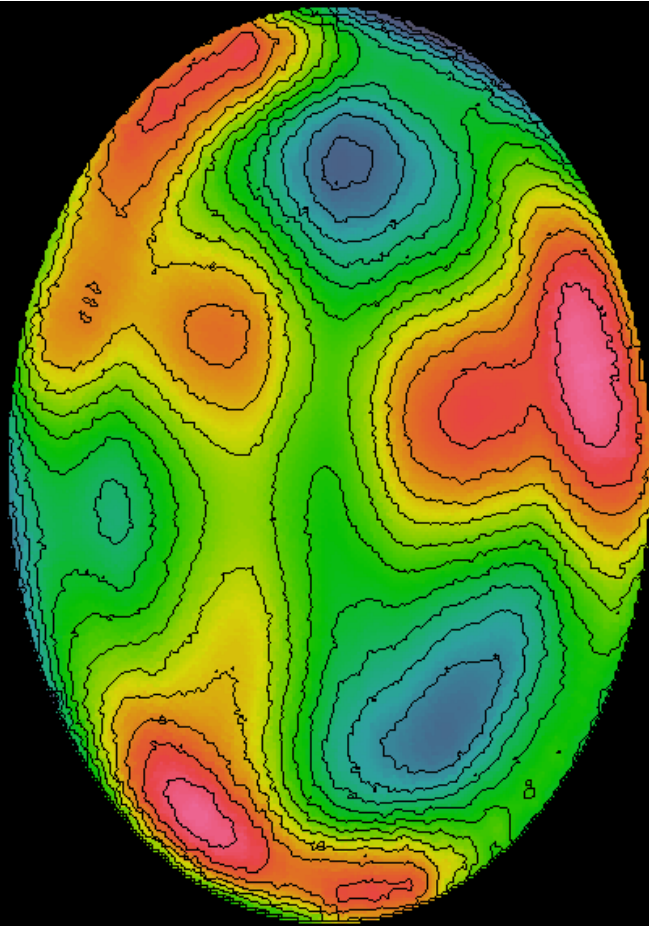
3点法での計測パス

赤線のパスはステッチングでの補正効果が高いので追加した。

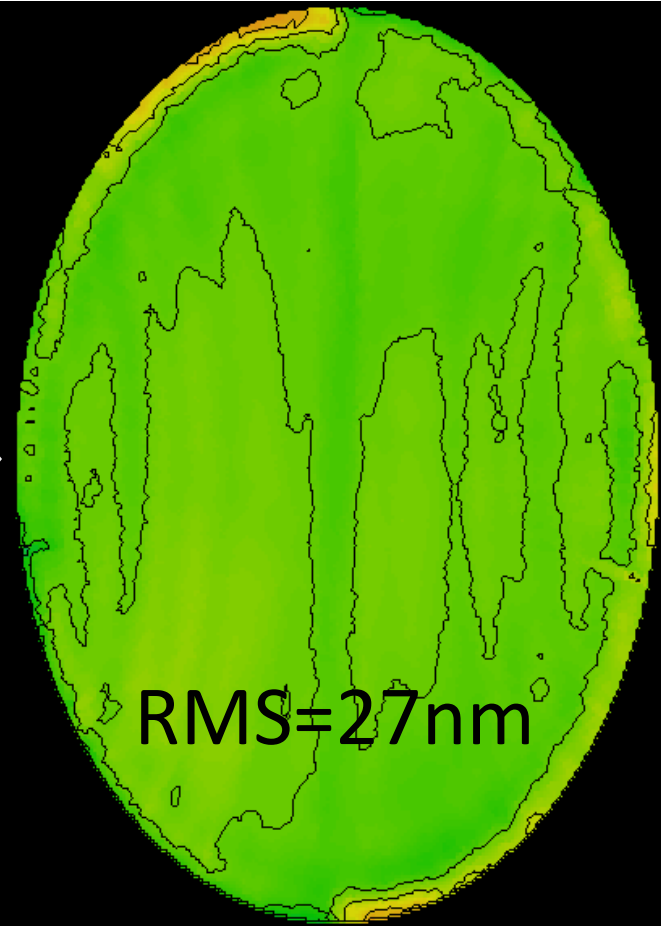
# 形状誤差履歴(2次成分除去後)

2017/12/19(フラッシュ研磨後)

2018/01/26



修正 × 5



RMS=27nm



-900 nm

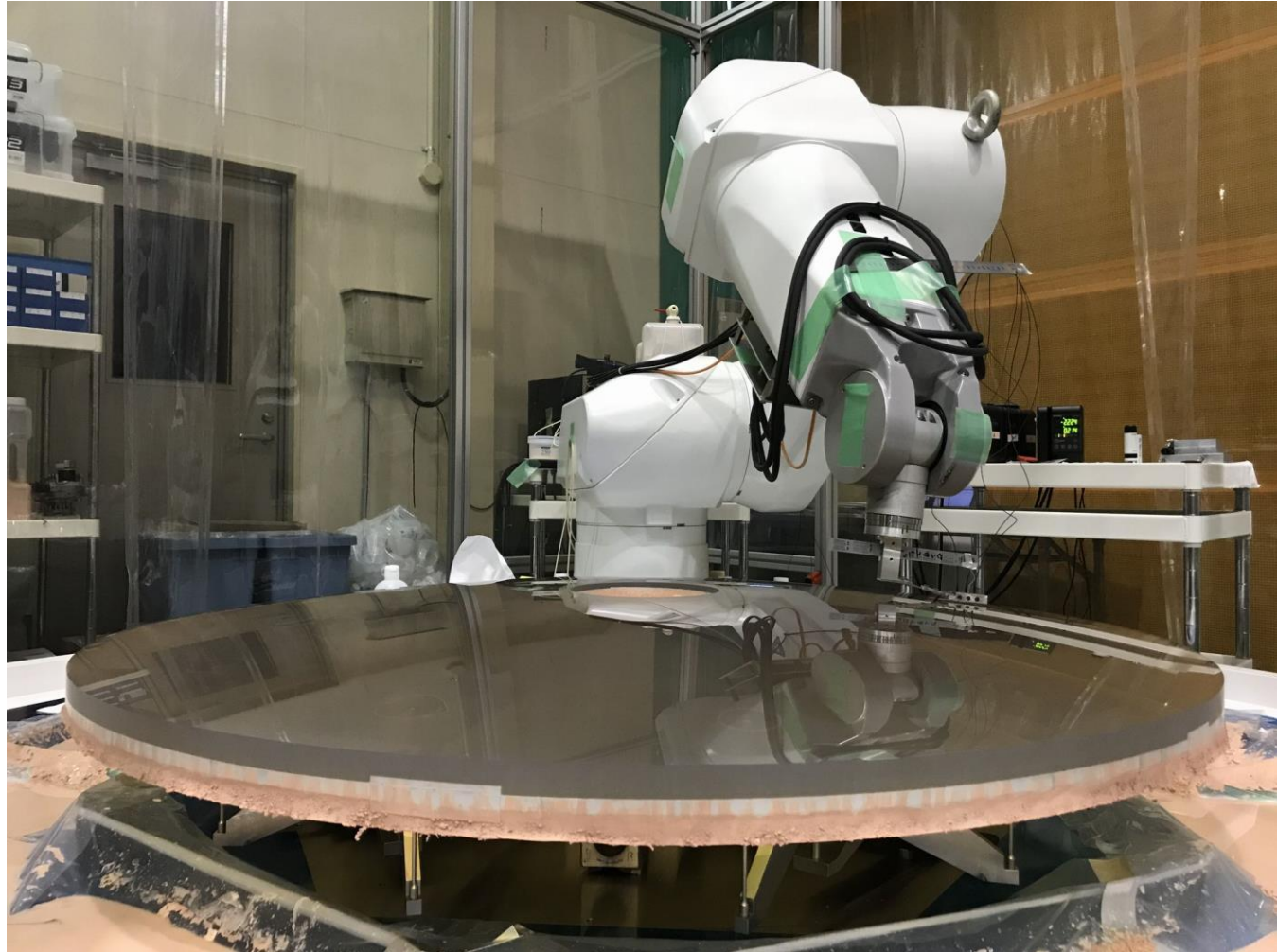
900 nm

等高線の間隔: 100 nm



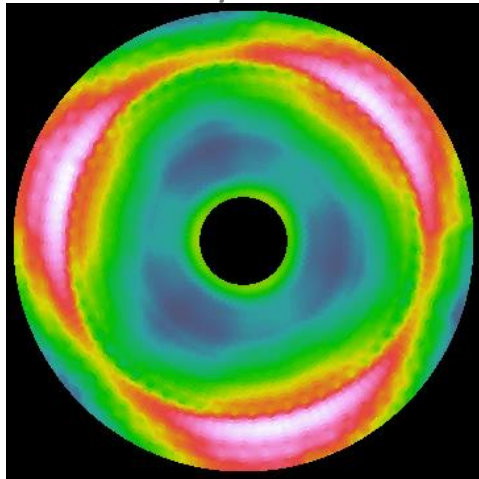
# せいめいのM2

外形=1m 縁厚30mm



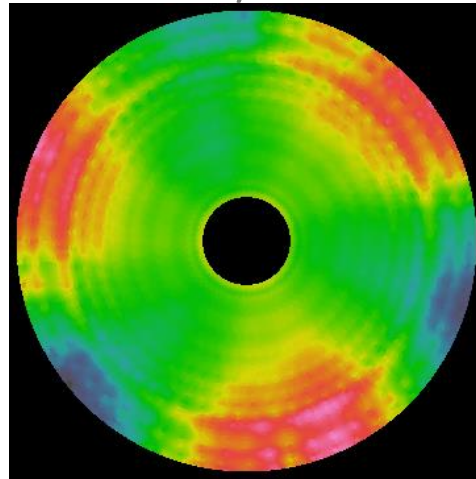


5/26



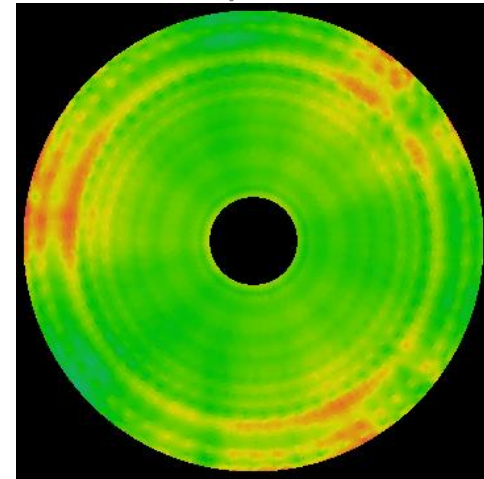
P-V = 2,400 nm  
RMS = 550 nm

6/1



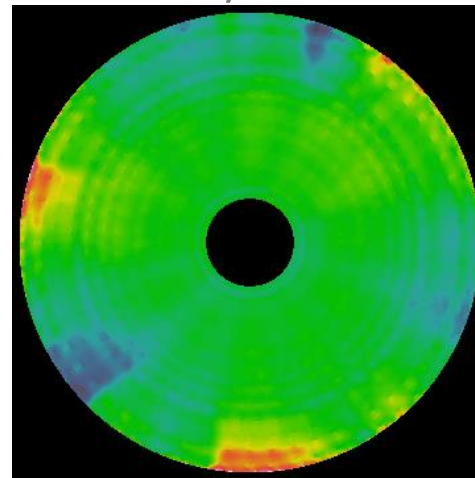
RMS = 350 nm

6/11



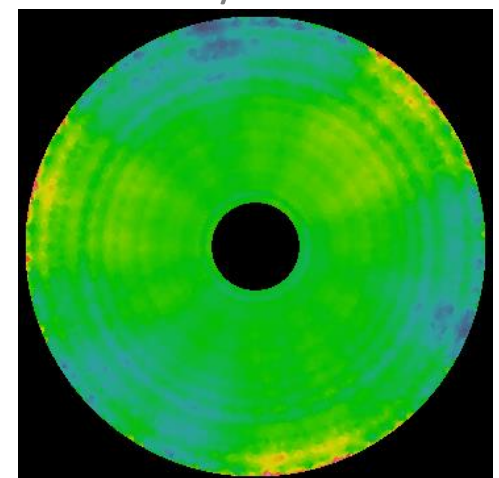
RMS = 150 nm

6/14



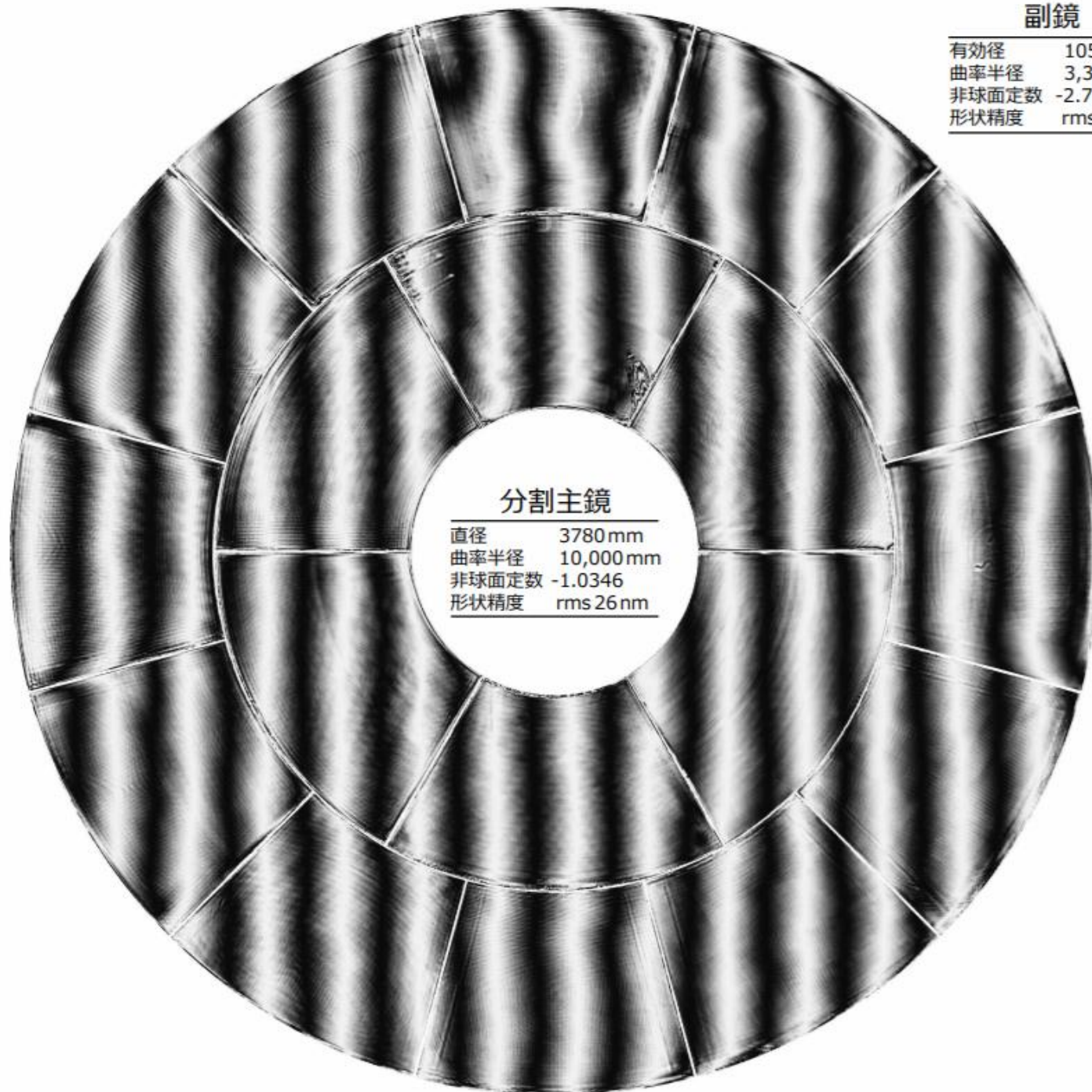
RMS = 130 nm

6/15



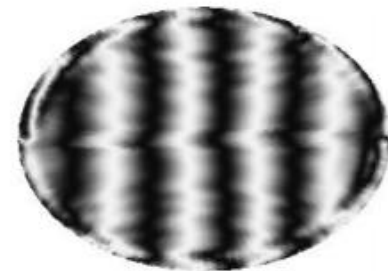
RMS = 35 nm

およそ3週間で大型凸面鏡の修正加工を終えた。



### 副鏡

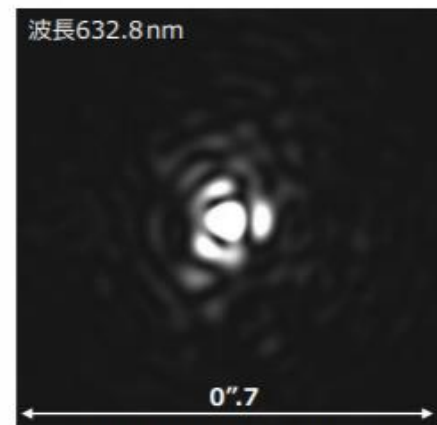
有効径	1059mm
曲率半径	3,335mm
非球面定数	-2.7311
形状精度	rms 35nm



### 第三鏡

有効サイズ	1020×721mm
表面形状	平面
形状精度	rms 27nm

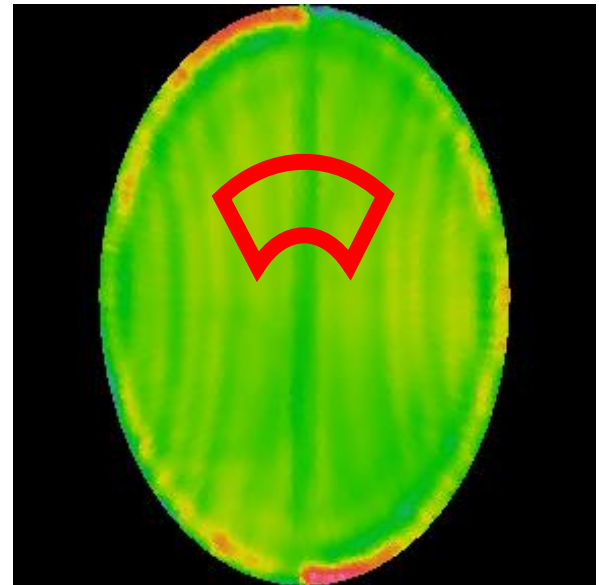
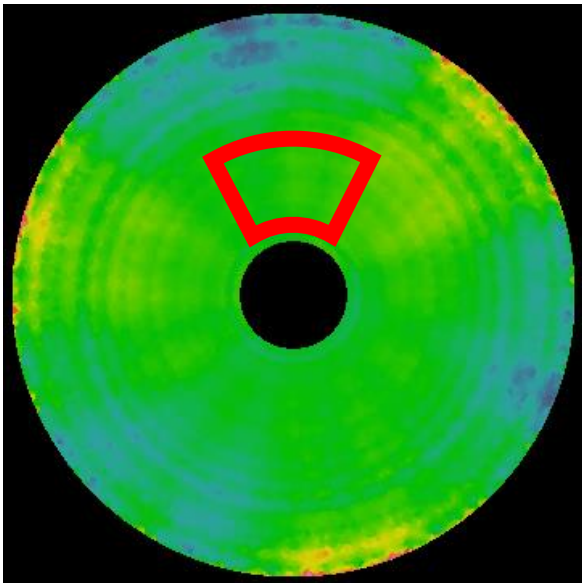
波長632.8nm



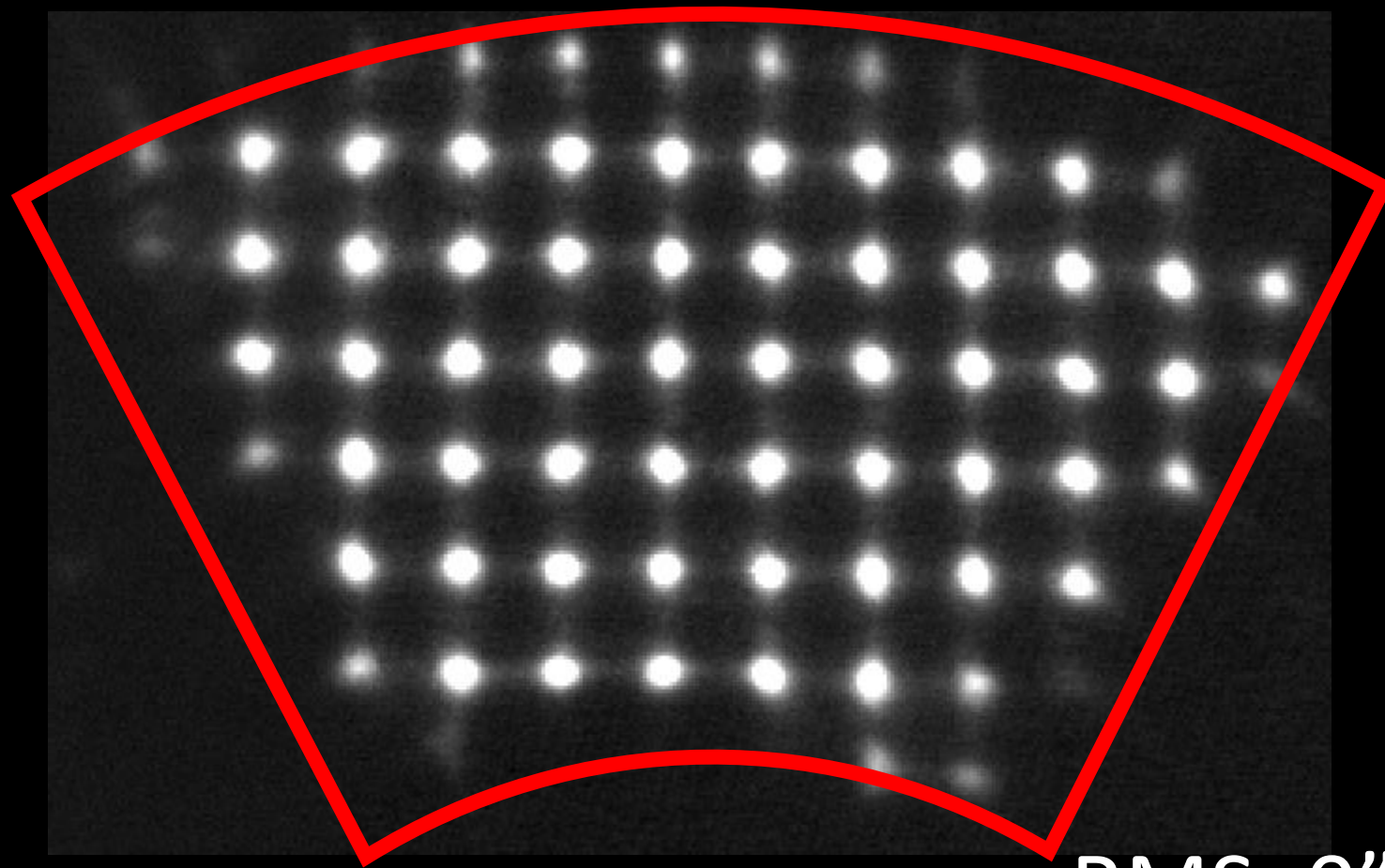
望遠鏡光学系でのPSF

# 光学系の評価

- これまで計測とデータ処理方法に関して星を使った評価ができていなかった
- セグメント1枚のみにM2とM3を合わせてSHWFSで計測



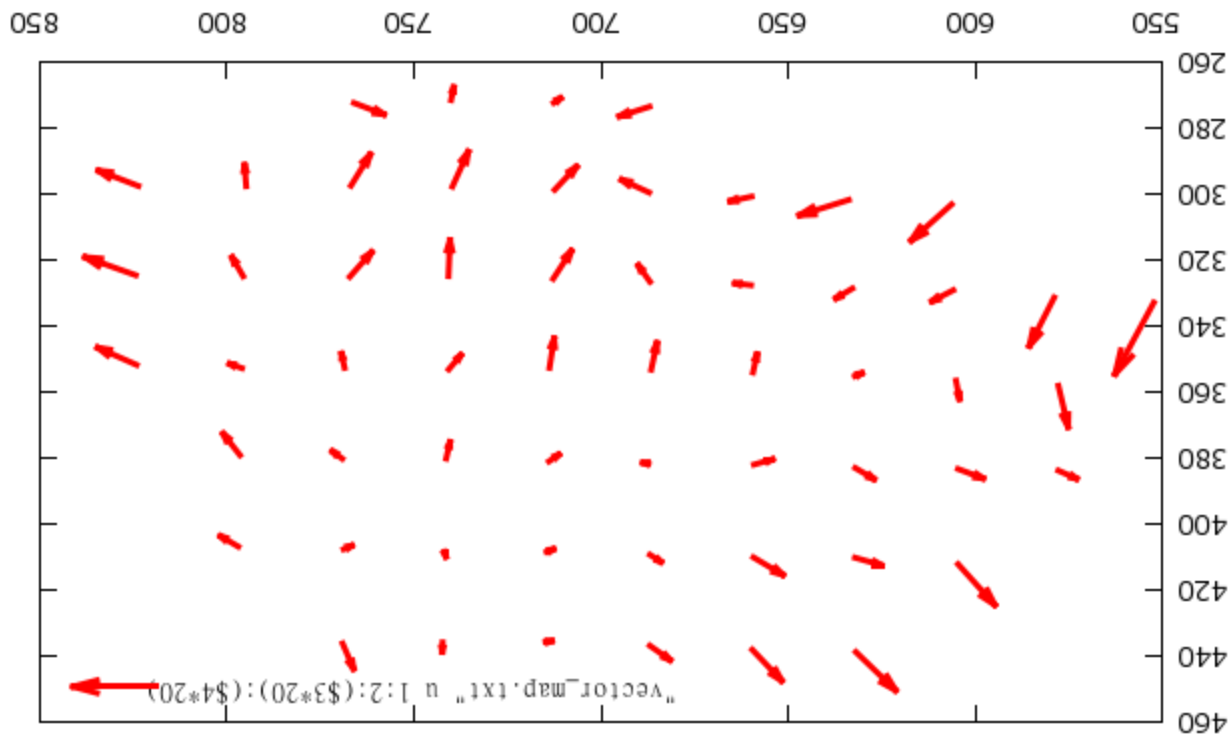
SHWFS



RMS=0".3

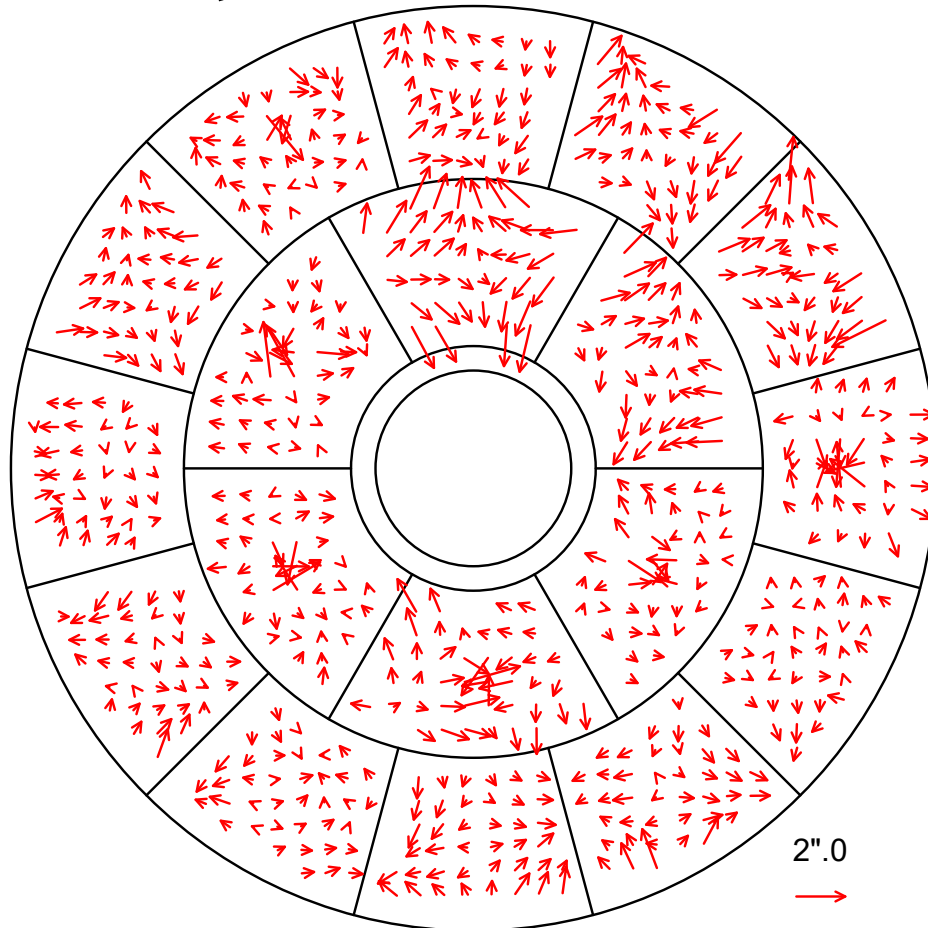


# ベクトルマップ



光軸周りの回転成分による形状誤差  
ウォーピングハーネスで修正可能

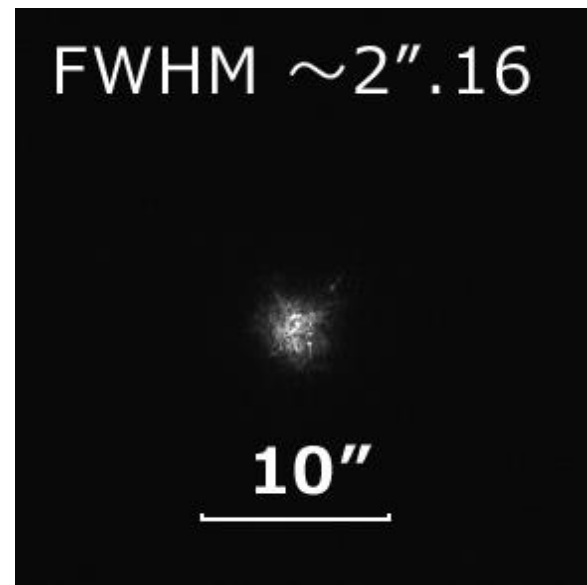
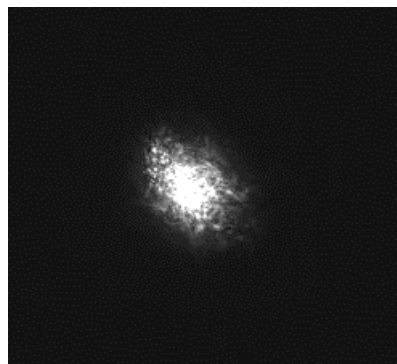
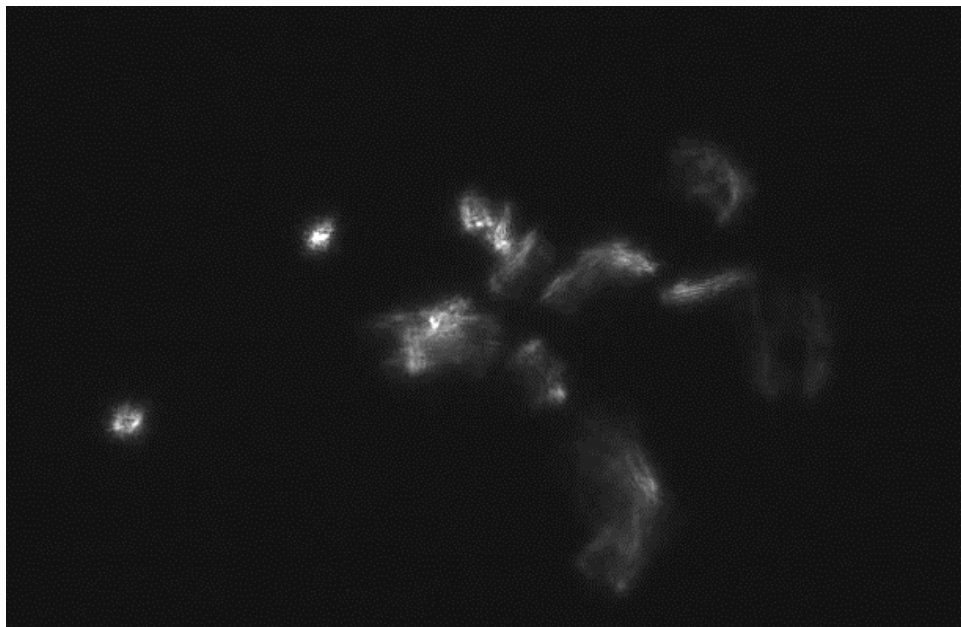
# 18枚の主鏡のベクトルマップ



今後WHでの修正を試みる

現状ではエッジセンサがないので、安定した調整の追い込みができない

# SHと姿勢制御



# まとめ

- 国内初の分割鏡
- 国内で鏡を製作
- 機械計測のみによるM2とM3の製作
  
- 主鏡1枚 + M2 + M3 = 0".3
- エッジセンサが無い状態の全光学系 = 2"
  
- 今後は安定状態でさらにアライメントを整え、ウォーピングハーネスで修正を行う