



国立天文台
岡山天体物理観測所



われわれができることと抱えている課題

京都大学

栗田光樹夫



主な技術開発

鏡

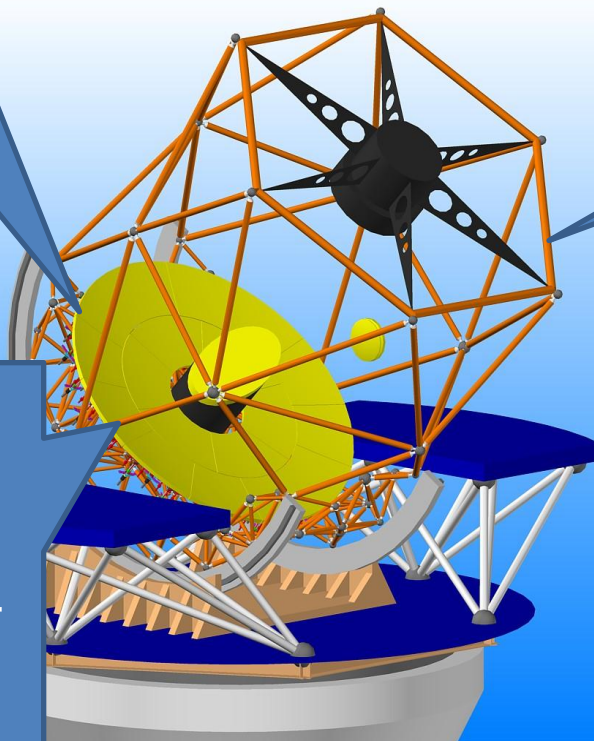
- ・干渉計
- ・走査型計測器
- ・制振装置
- ・研削加工
- ・支持冶具
- ・研磨加工

軽量架台

- ・高度軸軸受
- ・最適化

分割鏡制御

- ・ギャップセンサ
- ・位相カメラ
- ・シヤックハルトマン波面センサ
- ・支持機構
- ・制御アルゴリズム





国立天文台
岡山天体物理観測所

NANO
Optonics Energy

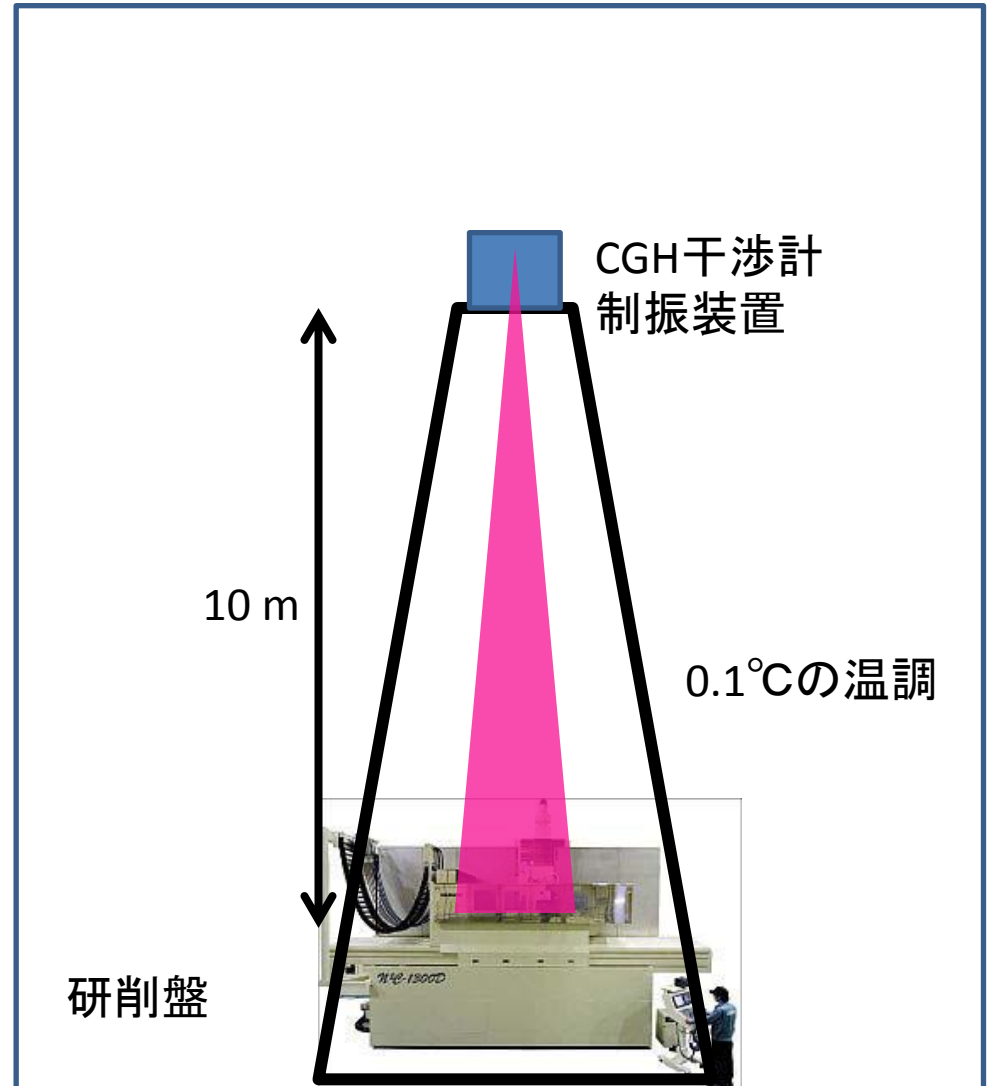
われわれができること



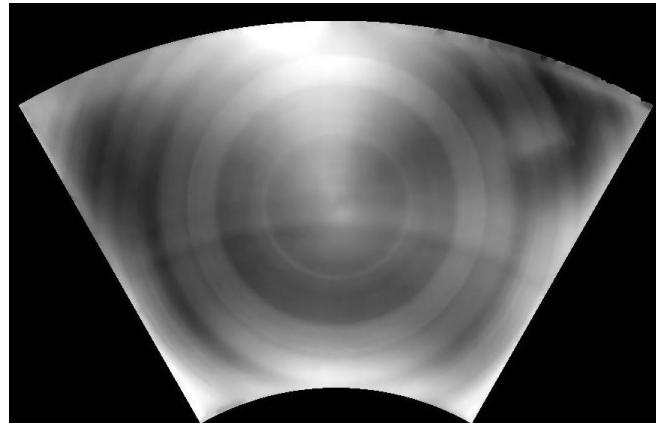
鏡 計測と加工

- 1mサイズ
 - 軸外し非球面鏡
 - 凹面
 - $R < 10m$
- を製作できる。

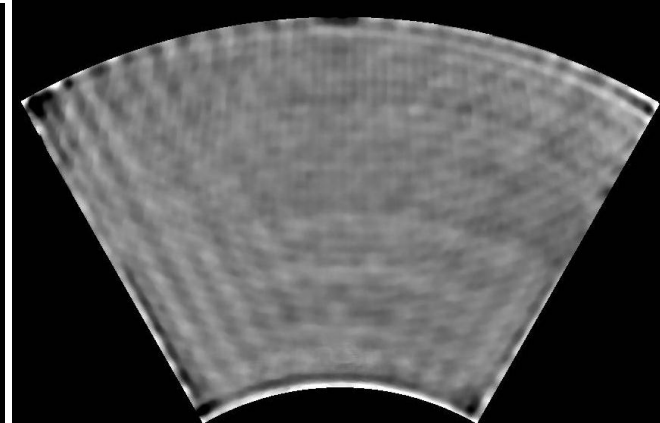
そのために以下を開発した
干渉計
制振装置
研削盤
支持ジグ
加工条件



結果

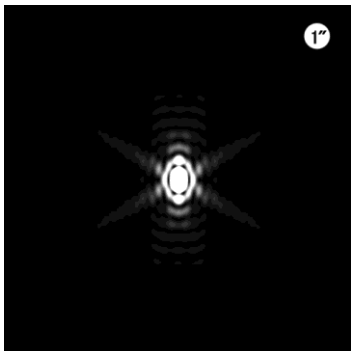


-1000 - +1000 nm
研削+フラッシュ研磨後

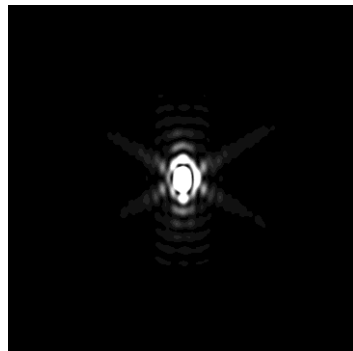


-100 - +100 nm
修正研磨後

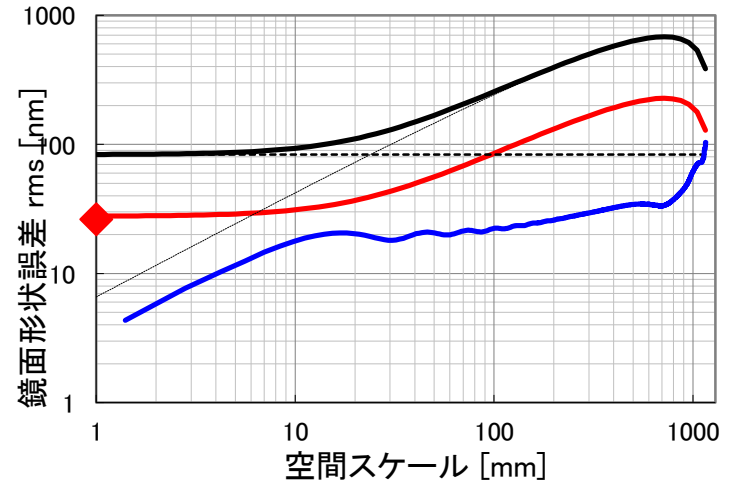
- 縁以外は仕様を達成



誤差ゼロのPSF



2011年12月のPSF

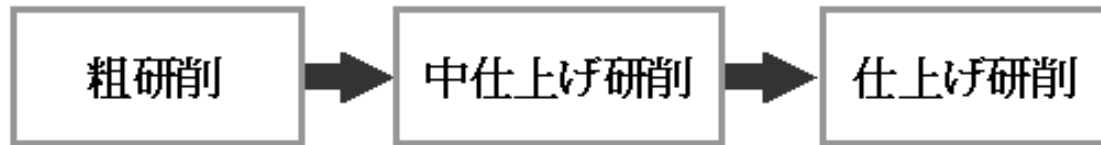


形状誤差の構造関数

赤線は許容誤差。青線は左図にあるセグメントの形状誤差
黒線は大気と回折限界から決まる構造関数。

高速化

従来



Q_w (mm ³ /sec.)	20	0.6	0.06
表面粗さ p-v (nm)	21,000	5,200	2,700
rms (nm)	1,000	190	110

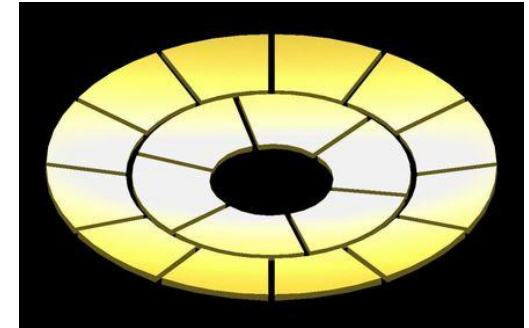
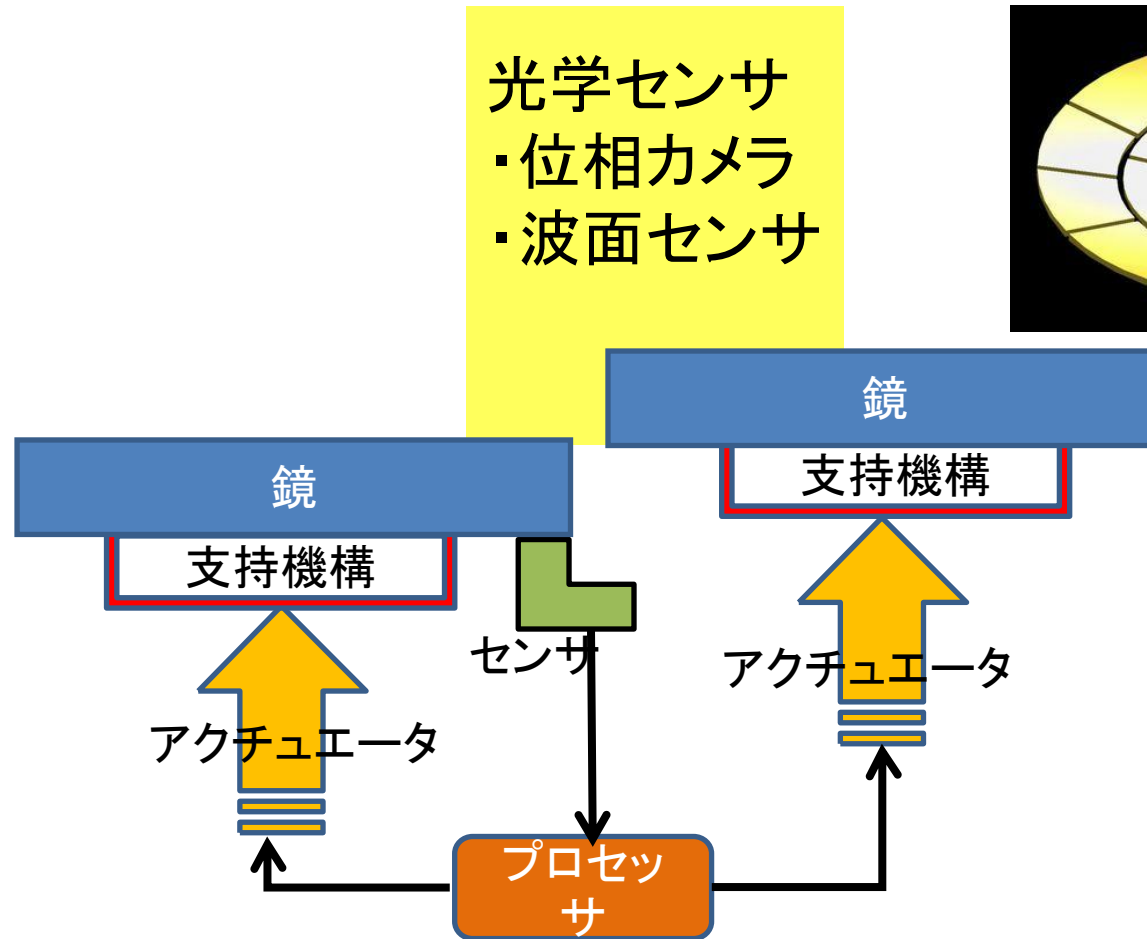
将来



Q_w (mm ³ /sec.)	190	2
表面粗さ p-v (nm)	6,800	2,900
rms (nm)	560	220

加工時間を
14日 → 3日
に短縮可能

分割鏡制御開発 システム構成

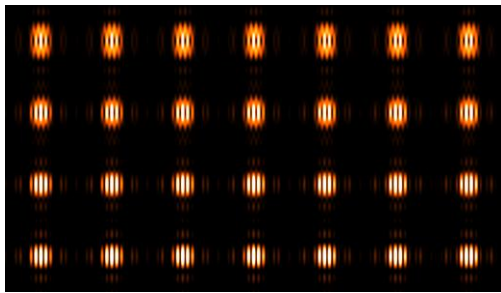


分割鏡制御の要素

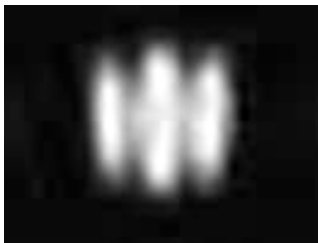
分割鏡制御開発 位相カメラ



チューナブルレーザー

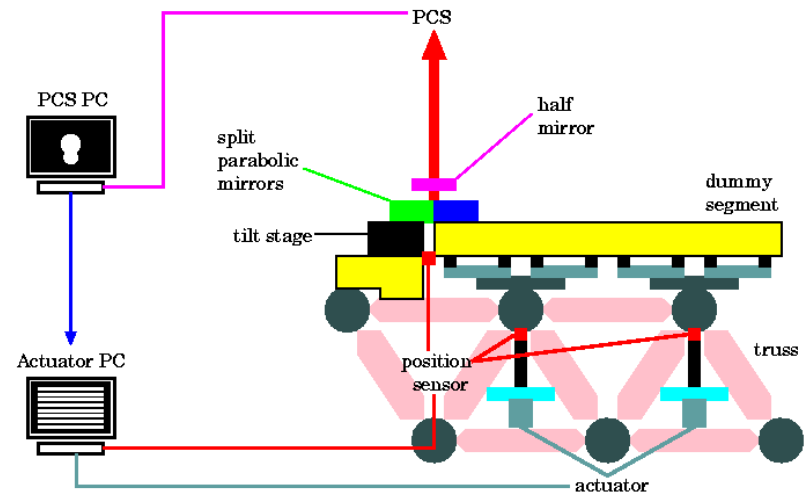


波長スキャン (理論)



段さ30umの時の波長スキャン

項目	位相カメラ仕様	到達値
測定点数	18	-
センサ分解能	12 nm	12 nm
センサ絶対精度	100 nm	-
測定レンジ	1 mm	10 μ m
センサ応答速度	< 60 sec	-



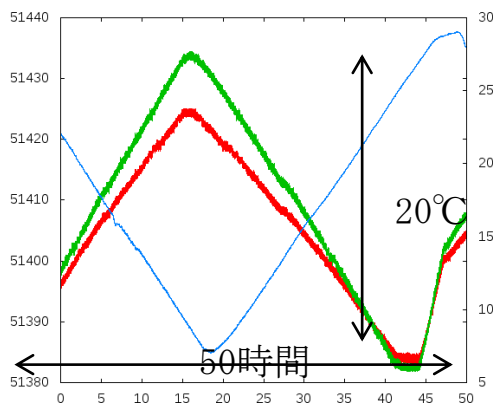
システムの模式図

分割鏡制御開発 ギャップセンサ

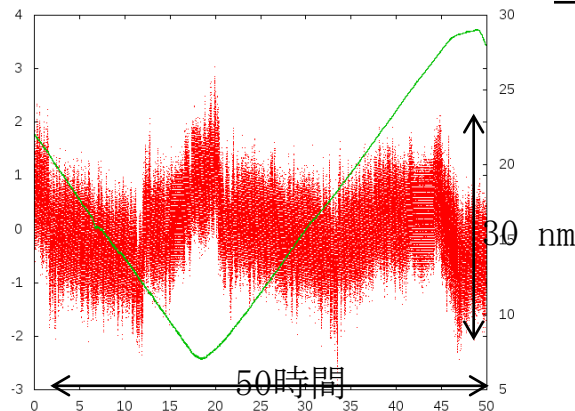
項目	仕様	達成値
分解能(RMS)	< 10 nm	10 nm
安定性(P-V)	50 nm/10h	30 nm/50h
リニアリティ	> 90%	> 90%
サンプルレート	> 10 Hz	6Hz
測長レンジ	TBD	0.5 mm
温度変化	< 0.1°C/min	(0.1°C/min)
湿度変化	< 1 %/min	



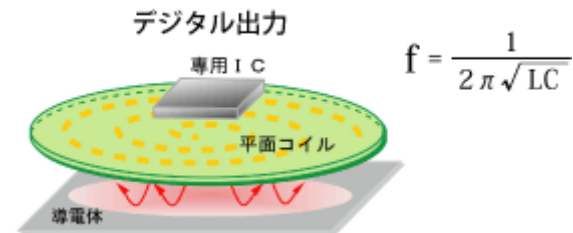
日本システム開発製DS2001



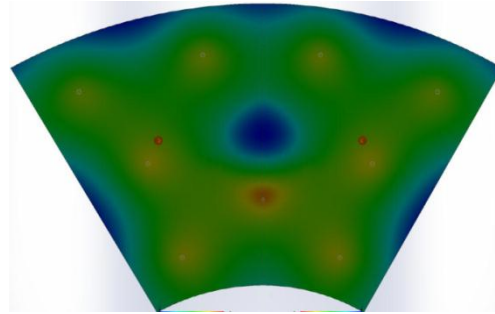
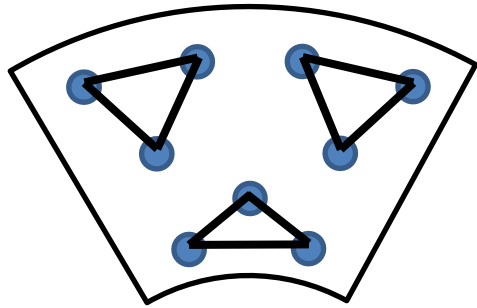
5度の温度変化時のセンサの値



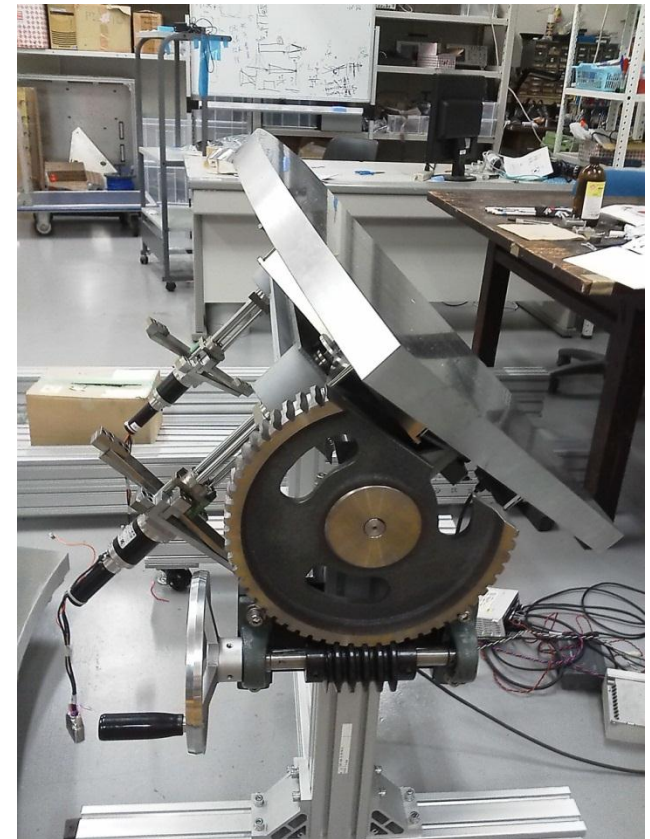
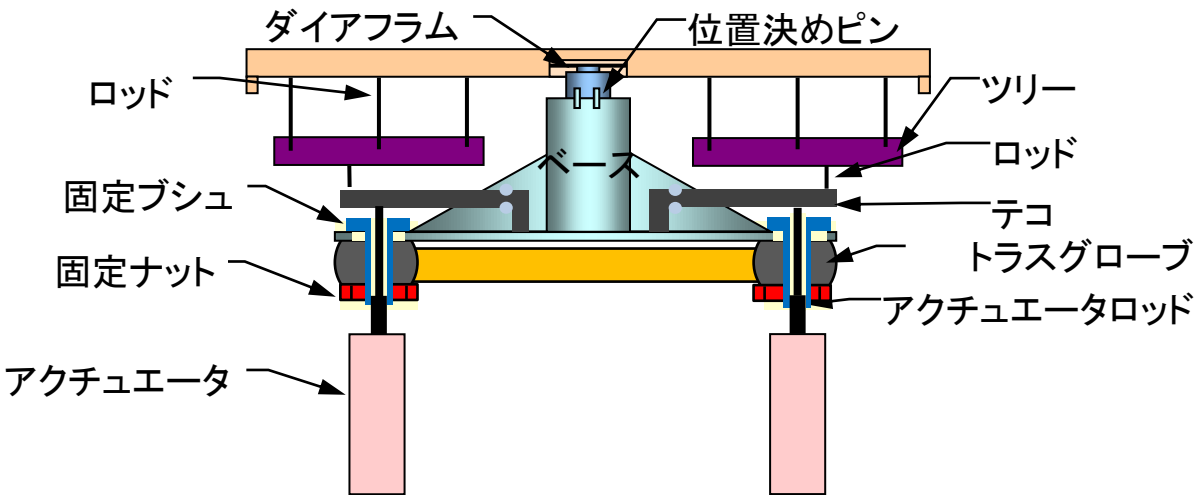
補償後のセンサの安定性



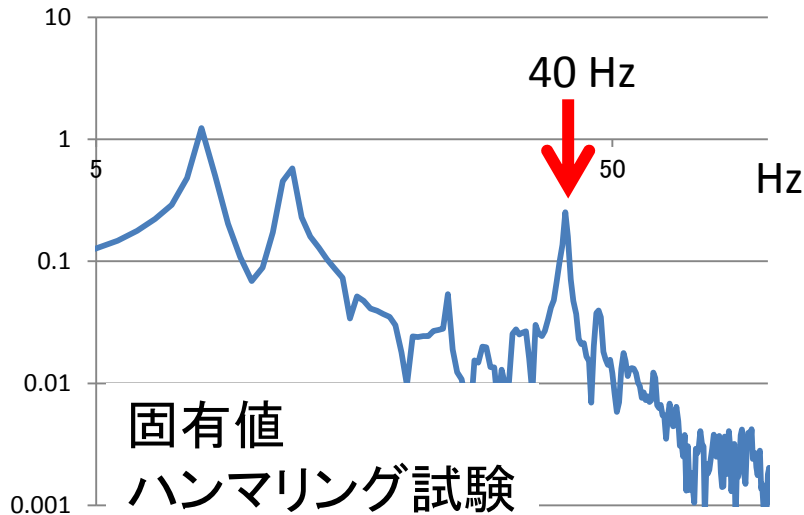
支持機構とアクチュエータ



RMS = 30 nm, P-V = 156 nm

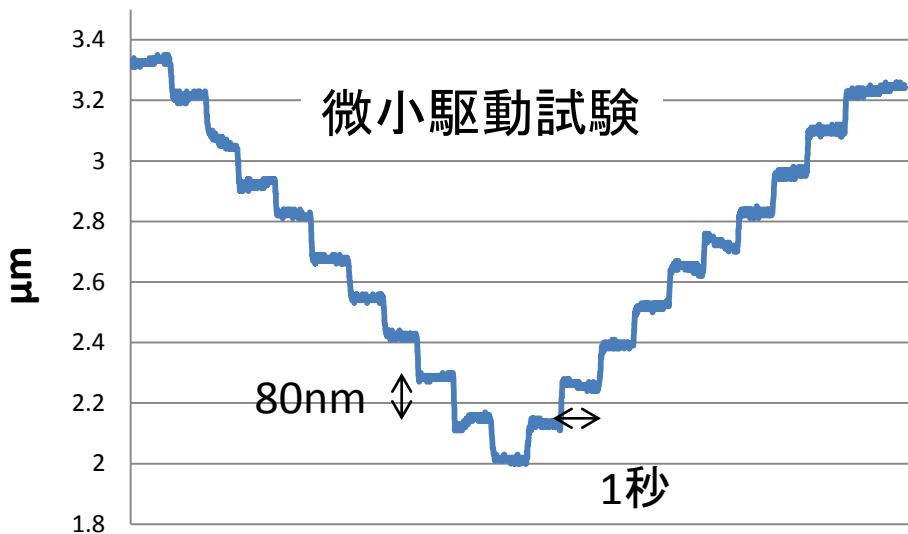


支持機構とアクチュエータ

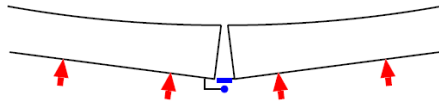


項目	仕様	達成値
分解能 (RMS nm)	< 15	15
リニアリティ (%)	> 90	90
帯域 (Hz)	> 2 Hz	20
ストローク	> 1 mm	1.3 mm

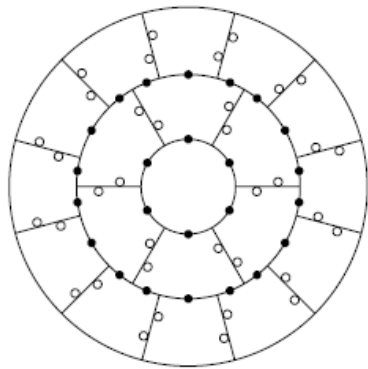
- ロストモーション 10 nm
- 機械再現性 100 nm



分割鏡制御開発 アルゴリズム



センサ（青）、鏡、アクチュエータ（赤矢印）
の模式図



最適なセンサの配置
丸印がセンサ

鏡の段差と曲率誤差の結像性能への影響
FWHM（ミリ秒角）

鏡の段差 (nm)	鏡の曲率誤差(um)	
	0	±50
0	41	59
±50	63	78

鏡の位置の結像性能への影響
FWHM(ミリ秒角)

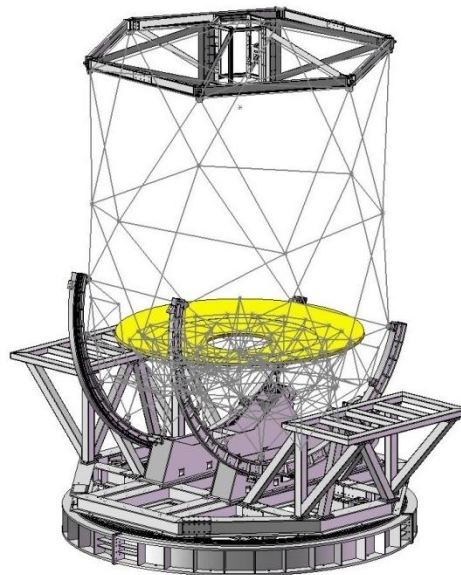
誤差 (mmまたは度)	FWHM		
	X	Y	Z
0.01	6.4	12.3	20.2
0.05	6.4	15.4	63.4

項目	許容誤差	到達値
曲率誤差	±50 um	±40 um
センサとアクチュエータ分解能	±50 nm	±30 nm
鏡位置誤差	0.05 mm	P-V = 0.037 mm
鏡の回転誤差	0.05 度	P-V < 0.01 度

架台

- 従来の1/5程度の質量
 - 鏡筒重量8トン(うち構造物:4トン)
- 54個の主鏡支持点での相対変形 $<100\ \mu\text{m}$

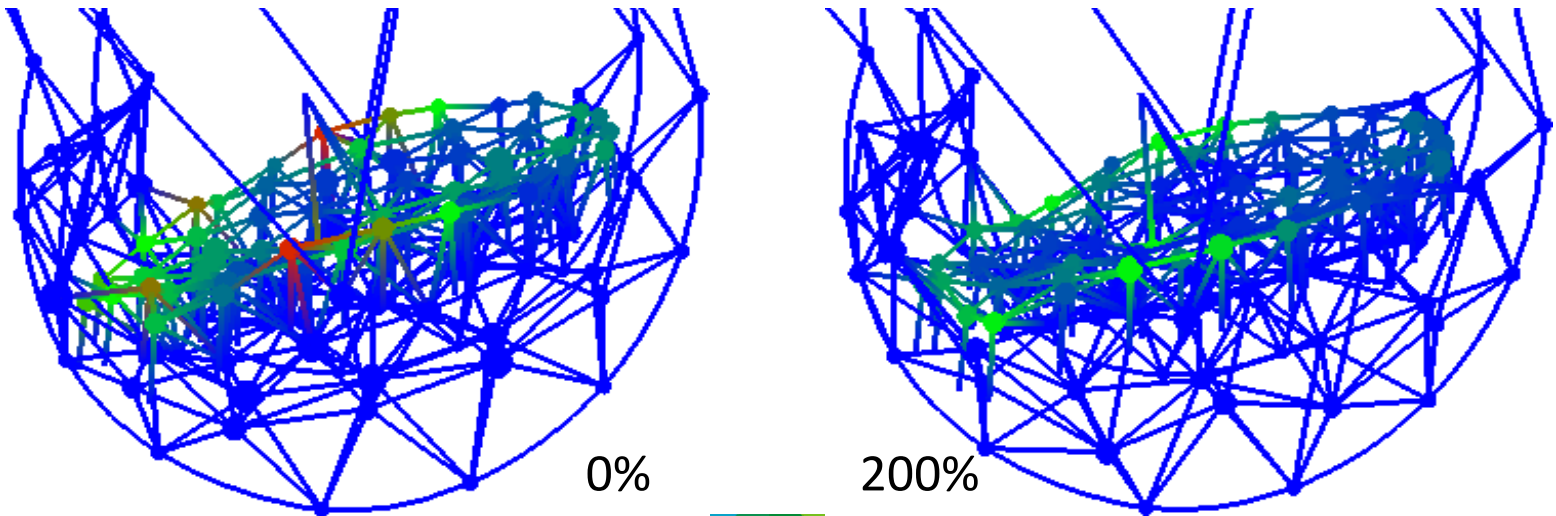
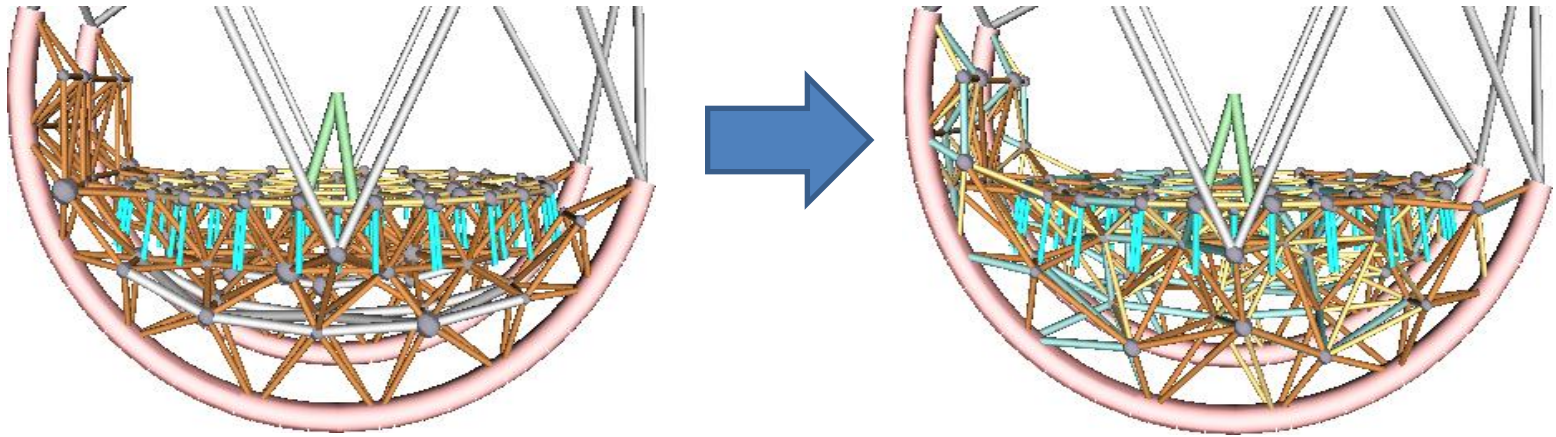
- 高速駆動
- 低熱容量
- 低熱慣性
- 低風抵抗



レーザートラッカ
名古屋大学所有



架台



許容變形量



国立天文台
岡山天体物理観測所



抱えている課題



進捗状況

開発の流れ	主鏡計測	主鏡	副鏡十第三鏡計測	副鏡十第三鏡	波面センサ	位相センサ	エッジセンサ	支持機構	アクトチュエータ	制御	アルゴリズム	鏡筒	高度軸	方位軸	ボーム	
調査・仕様																
概念設計																
要素検証			■	■						■						
初期設計					■	■	■							■		■
PDR	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
詳細設計																
実機製作	■											■	■			

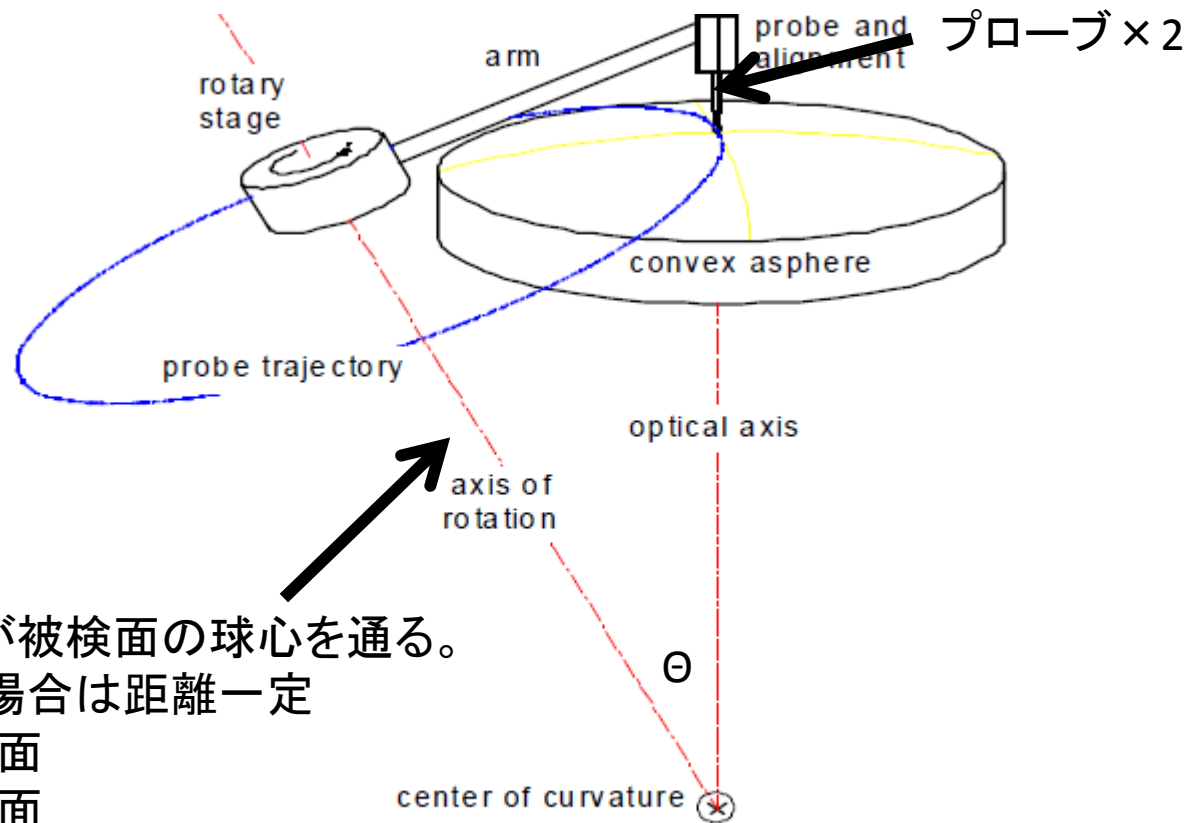
2013

副鏡計測

- 1mサイズ
- 凸面鏡
- 非球面
- 計測さえできれば製作できる
- 機上計測を狙う



Swing-arm profilometer



この軸が被検面の球心を通る。
球面の場合は距離一定

$\theta > 0$ 凸面

$\theta = 0$ 平面

$\theta < 0$ 凹面

Fig. 1. Geometry of the swing-arm profilometer system

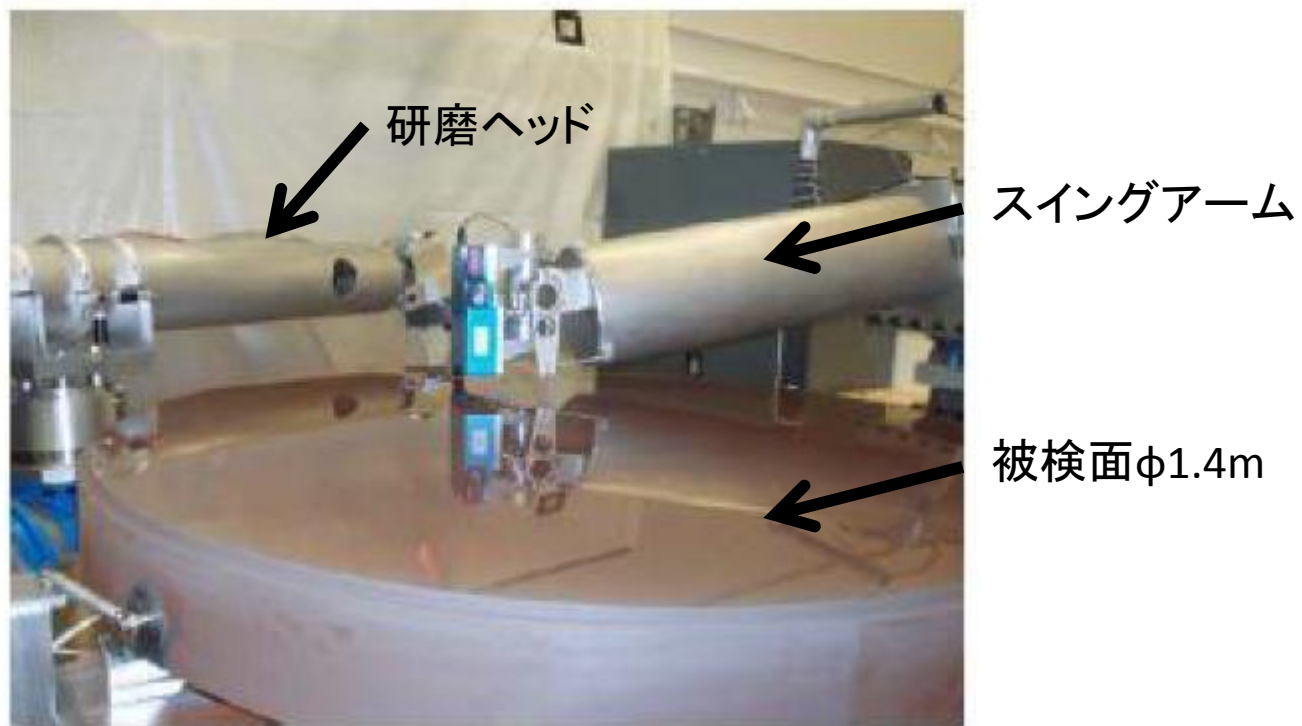


Fig. 2. SOC *in situ* measuring a 1.4-m convex off-axis parabolic mirror. Polishing head in back.

計測パス

- 交点を使った最尤法でステッチングし形状生成

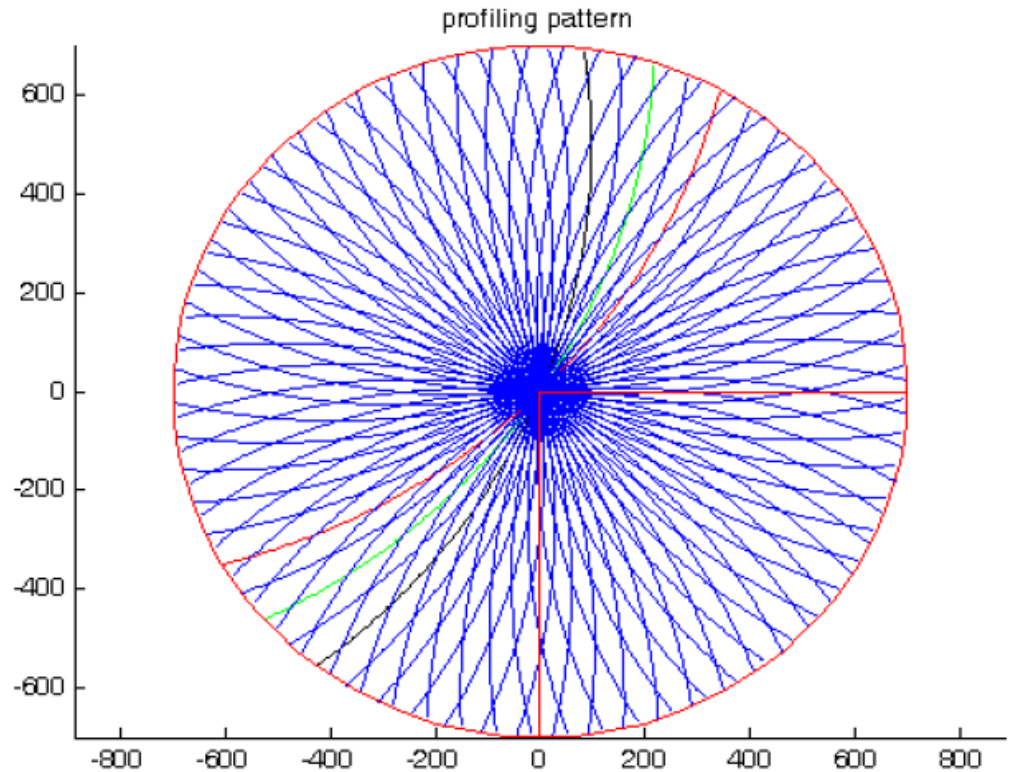
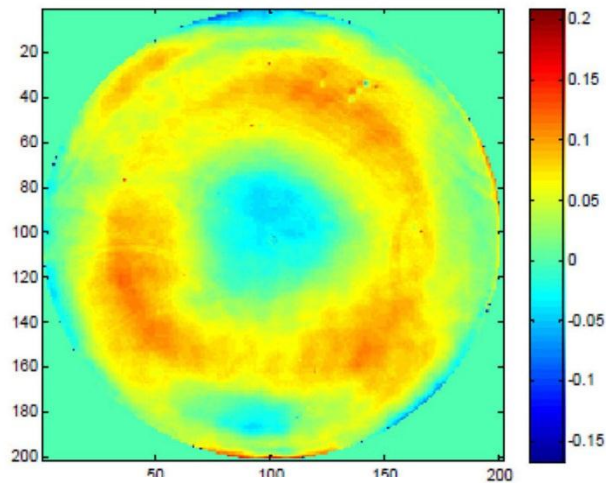


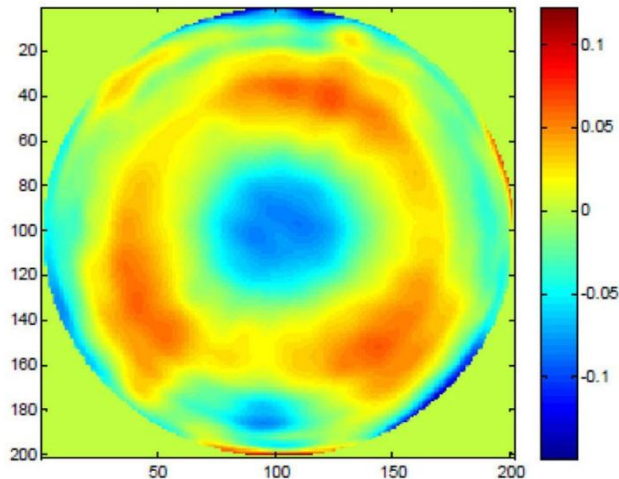
Fig. 3. SOC profiling pattern used for measuring the 1.4m convex asphere, coordinates units are mm

結果

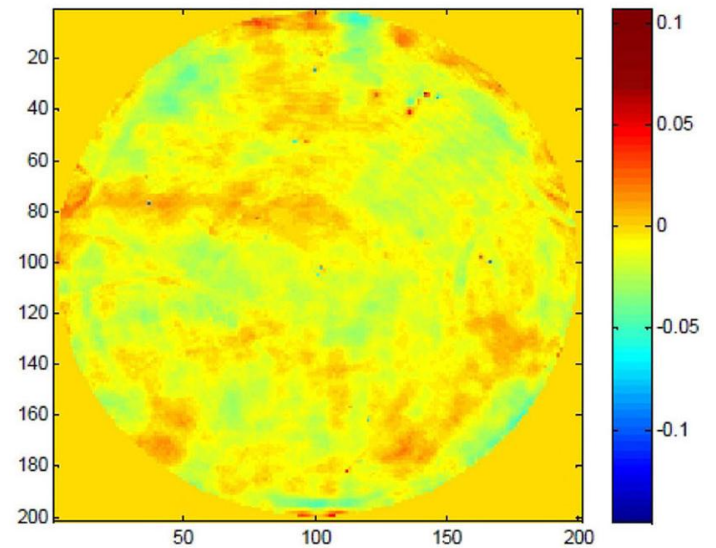
フィゾー RMS=35.7 nm



SOC RMS=35.6 nm



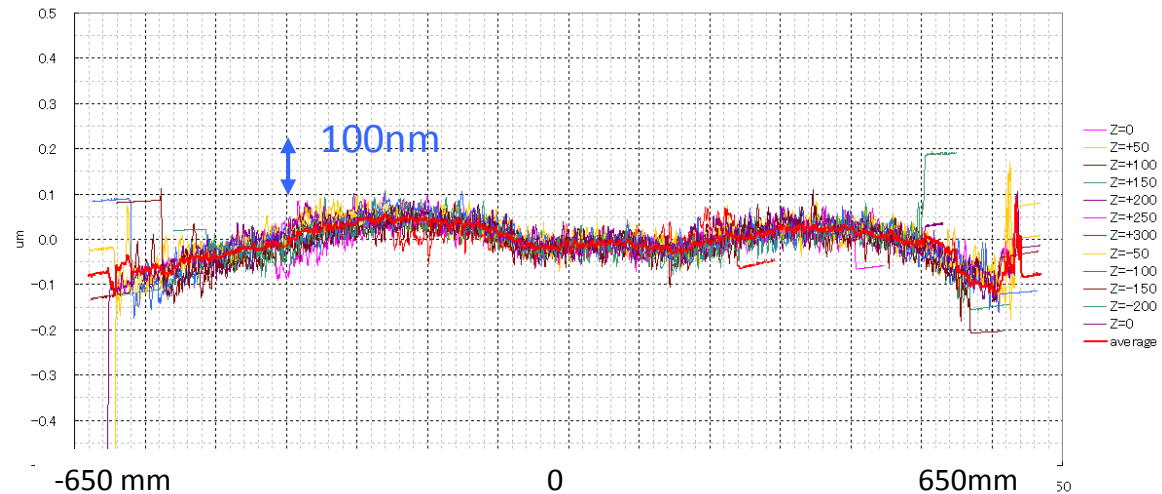
差 RMS=9.4 nm



最大の非球面 300 μm
傾き、曲率、コマ、非点収差、Trefoilは除去

現状

- 再現性 : RMS = 10 nm
- サンプルレート : 50 Hz
- 計測サイズ : ~1 m



光学平面の12回の計測結果

観測装置

名称	可視高速測光分光器	高コントラスト惑星カメラ	可視面分光器	近赤外面分光器	可視高分散分光器	可視近赤外広視野撮像
サイエンス	突発天体現象	系外惑星	突発天体現象	突発天体現象 QSOの形成・進化	スーパーフレア星 系外惑星	系外惑星トランジット
視野	2'□	10"□	10"□	7"Φ	1".5Φ	12'□
観測波長	0.4-1.0μm	0.95-1.80μm	0.57-0.85μmほか	0.8-2.4μm	0.39-0.87μm	0.5-2.4
波長分解能	200		600-800ほか	3000-5000	30000-50000	
空間分解能	0".24	0".066(@1.26μm)	1"	1"	0".5	
備考	32フレーム/秒の高速露出	AO+ヌル干渉計による高精度コロナグラフ+波面測定装置	分光器は既存のものを使用(ここではKOOLSを想定)	2天体同時面分光検討中	スペクトル参照星との同時分光検討中	高精度測光
状況	現有	開発中	開発中	申請中	申請中	申請中