



国立天文台
岡山天体物理観測所



3.8 m 望遠鏡進捗状況

京都大学

栗田光樹夫

2013年3月12日



主な技術開発

鏡

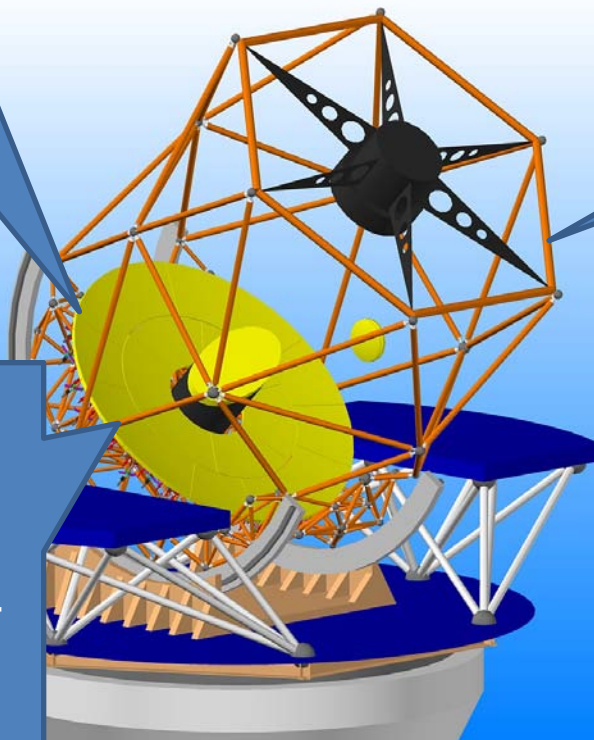
- ・干渉計
- ・走査型計測器
- ・制振装置
- ・研削加工
- ・支持冶具
- ・研磨加工

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



進捗状況

	ボーム																				
	方位軸																				
	高度軸																				
	鏡筒																				
	アルゴリズム																				
	制御																				
	アクチエータ																				
	支持機構																				
	エッジセンサ																				
	位相センサ																				
	波面センサ																				
	副鏡十第三鏡																				
	副鏡十第三鏡計測																				
	主鏡																				
	主鏡計測																				
		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

主鏡計測器開発 計測システム

- 机上計測
 - 迅速な補正加工
 - 加工の高速化

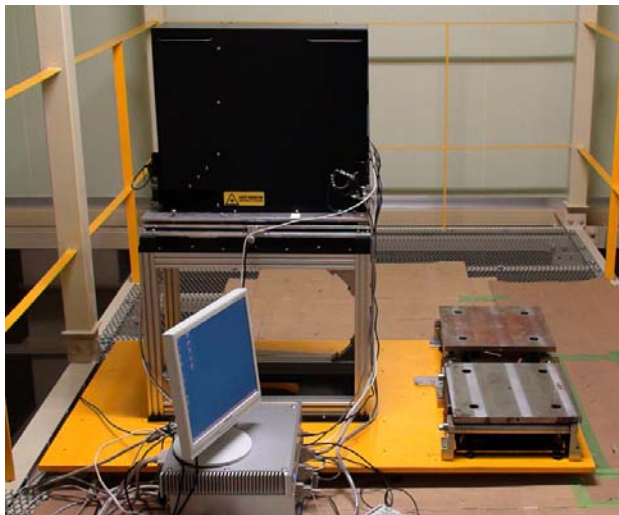
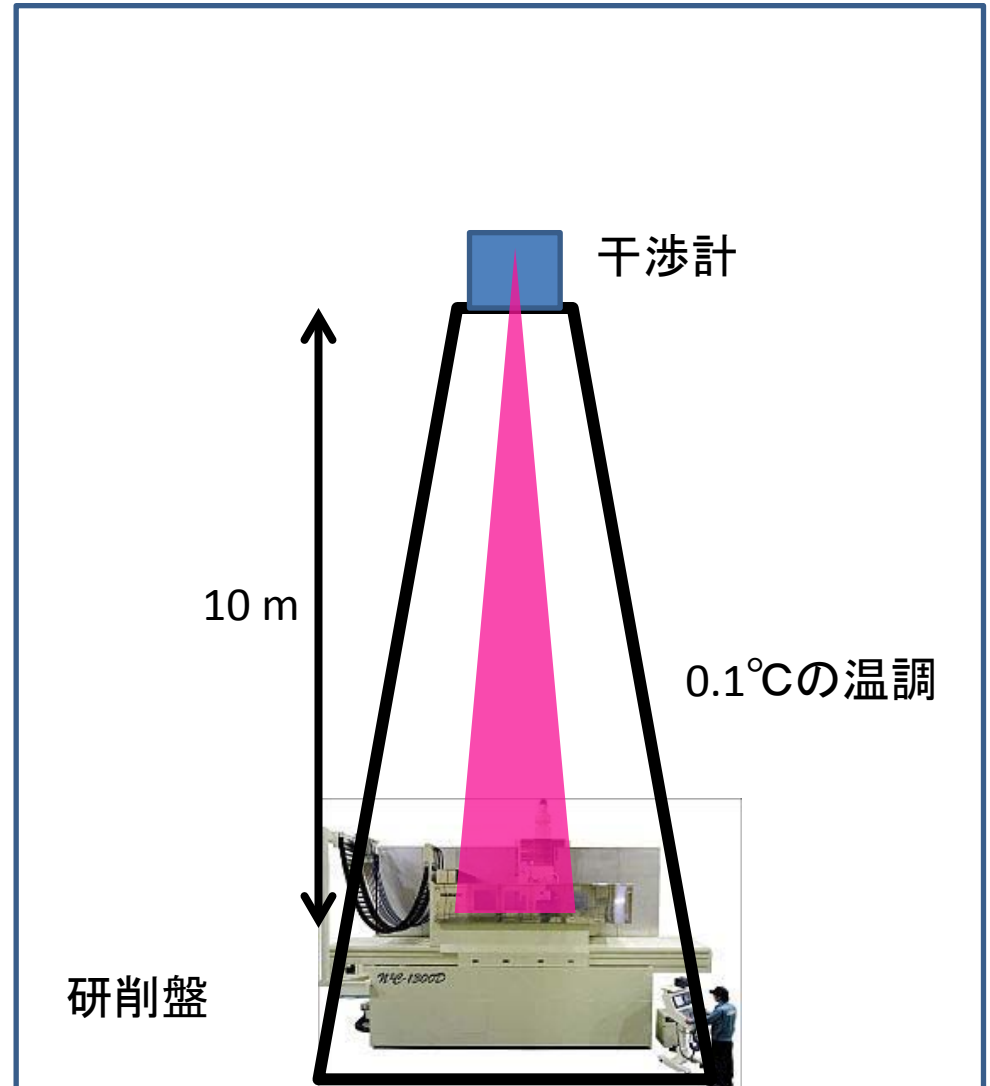
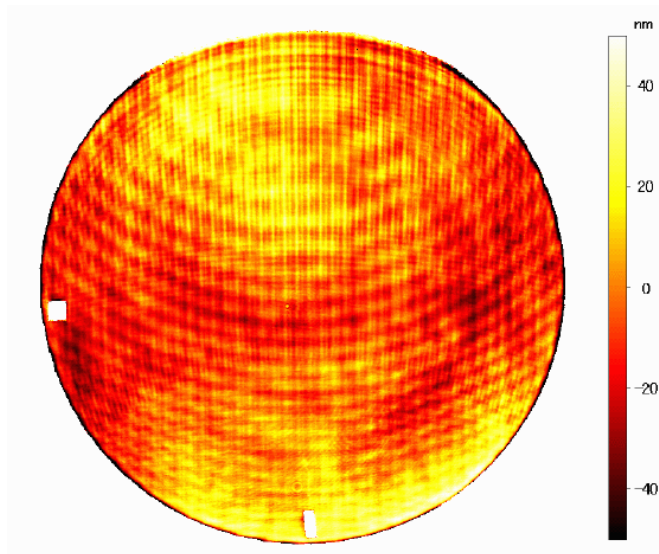


図1 測定塔上に設置したCGH干渉計。右の2個の鉄板は測定塔の振動を抑えるための制振装置。



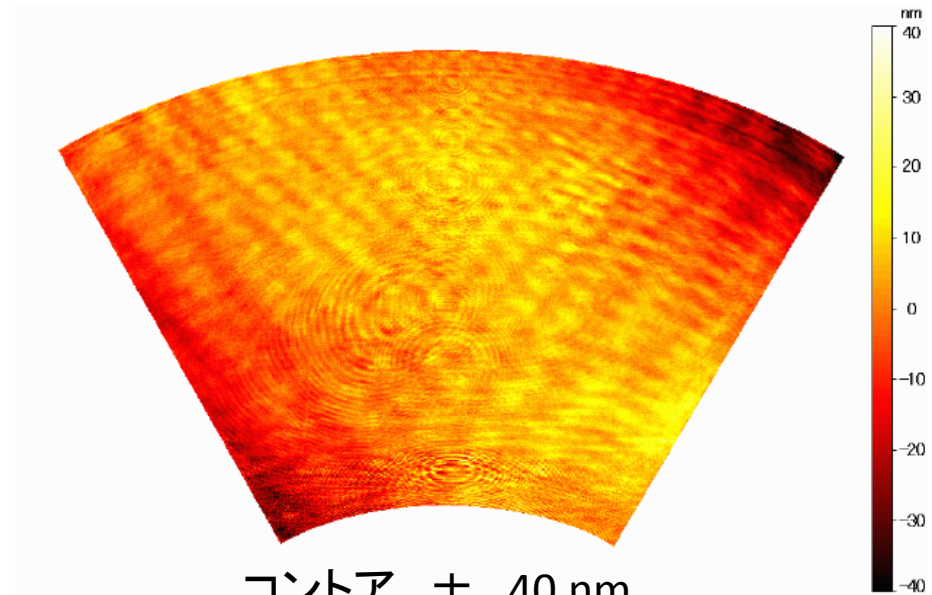
主鏡計測器開発 干渉計

精度評価



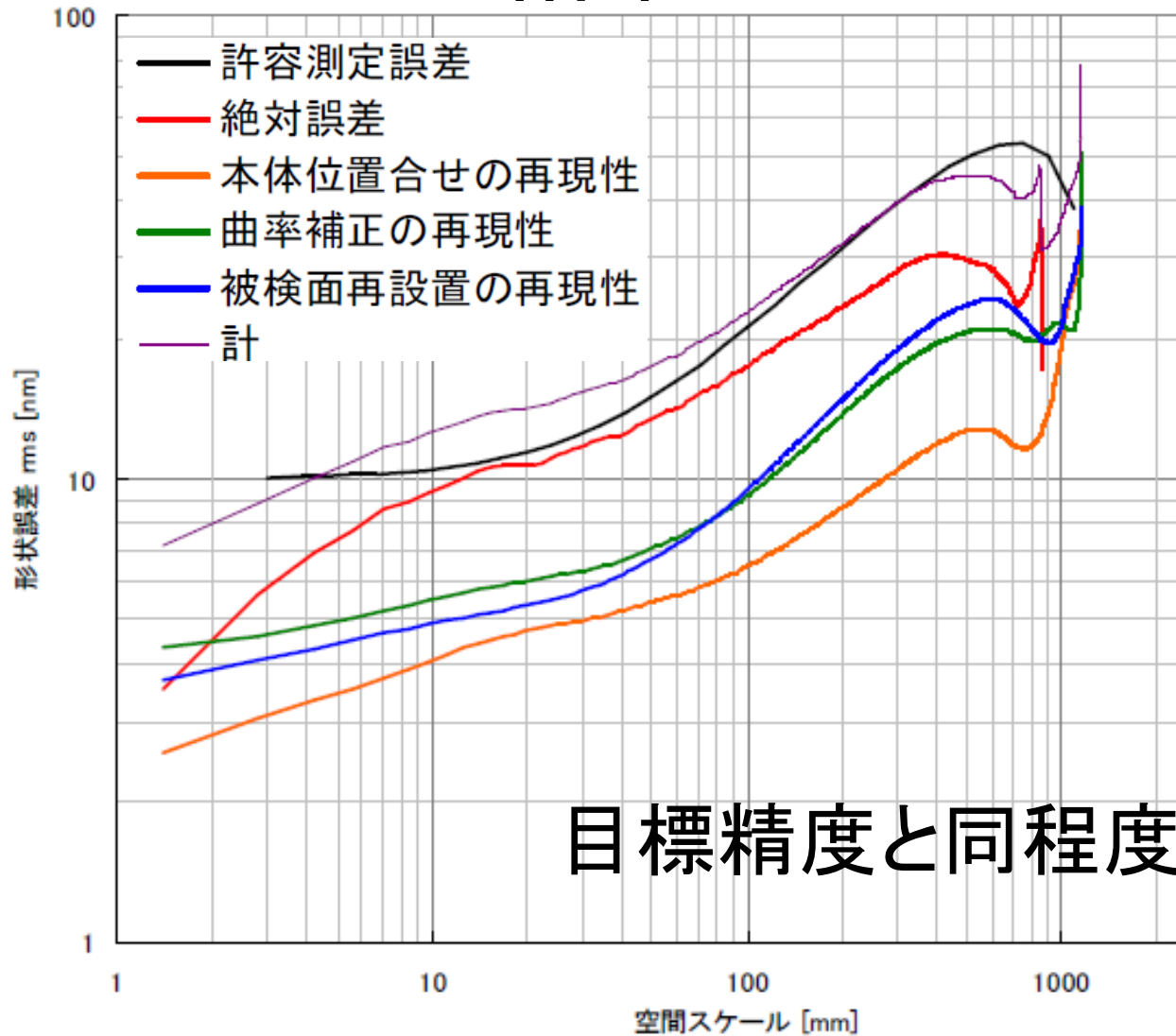
F601との比較
Φ150の球面鏡
コントア ± 50 nm
P-V = 80 nm
RMS = 15 nm

再現性評価



コントア ± 40 nm
RMS = 8 nm

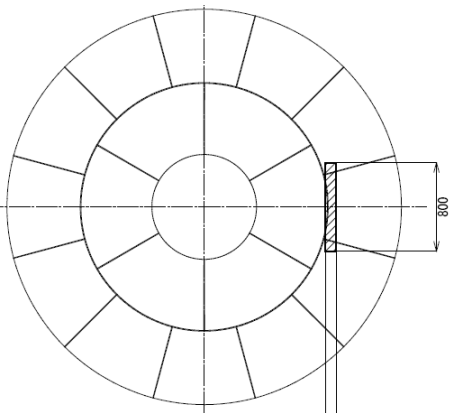
主鏡計測器開発 結果



目標精度と同程度を達成

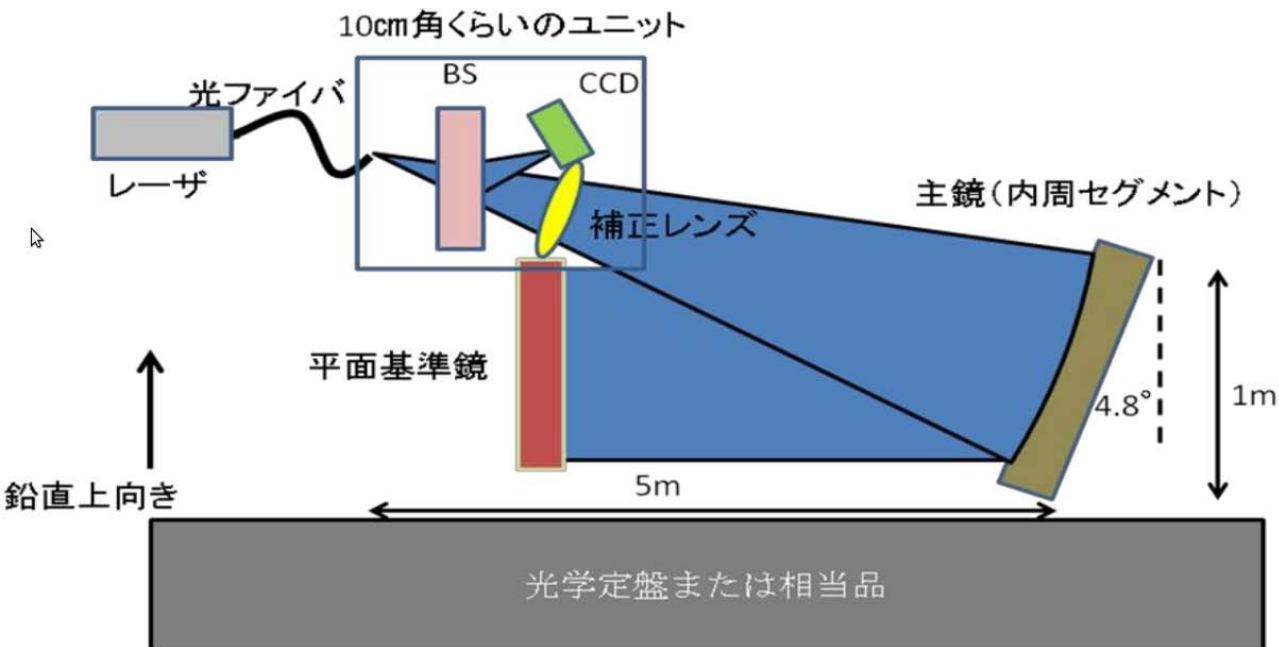
主鏡計測器開発 曲率基準

- 分割鏡は形状だけでなく曲率を揃える必要がある。
- 許容誤差 80 μm
- 達成精度 $P-V = 82.6 \mu\text{m}$



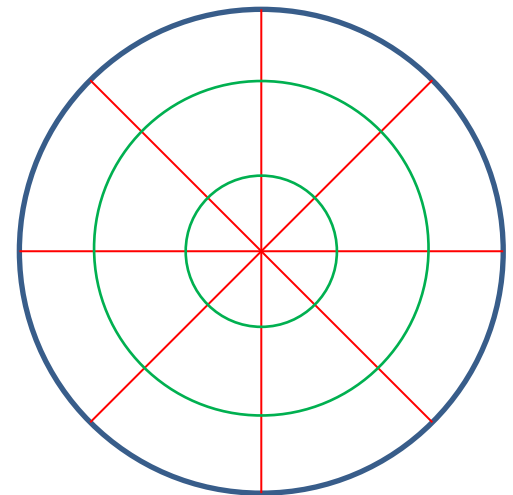
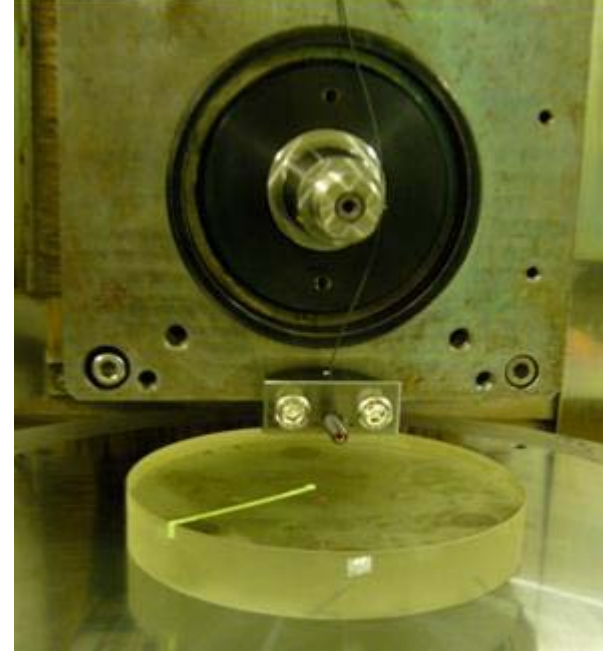
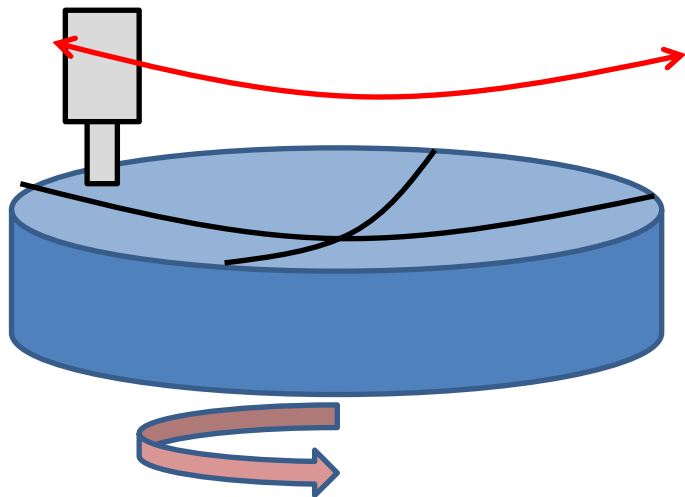
主鏡計測器開発 干渉計の確認

- CGH干渉計の独立検証
- 整合性のある結果が確認できた
(測定精度の範囲で)



副鏡計測 基礎実験

- $\Phi 150$ 、 $R1600$ の球面鏡
- プローブ数: 1
- X-Yの2軸同時制御運転
- 計測時間: 1 hour

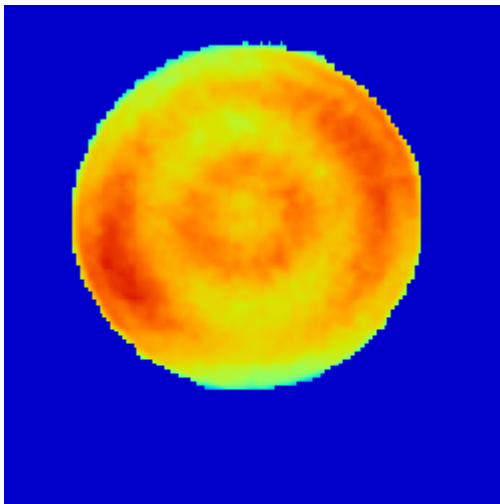


スキャンパス:
4 radial lines
25 circles

初期結果

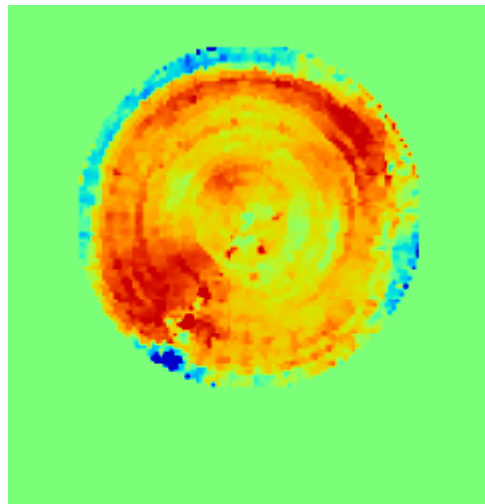
フィゾー

RMS = 15.3 nm



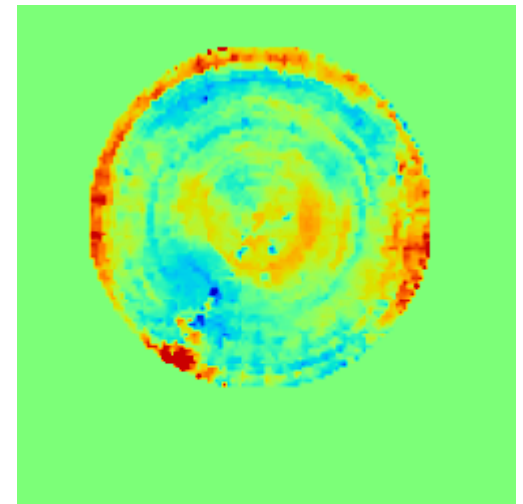
本研究

RMS = 27.6 nm



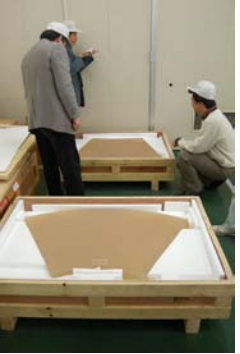
差

RMS = 26 nm

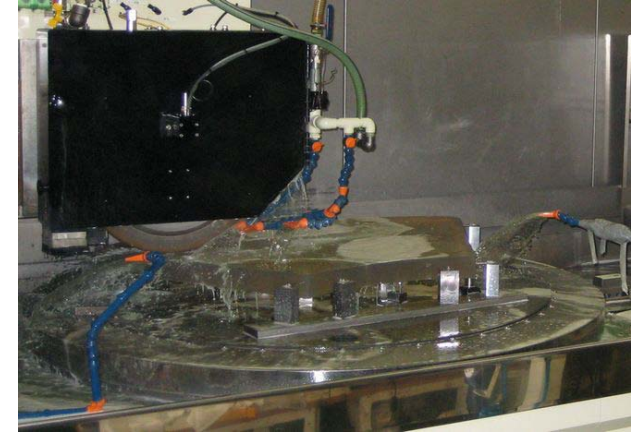


曲率半径と傾斜は除去

主鏡加工 研削



- 高速加工
- 研削加工で $1\mu\text{m}$ (P-V)を達成

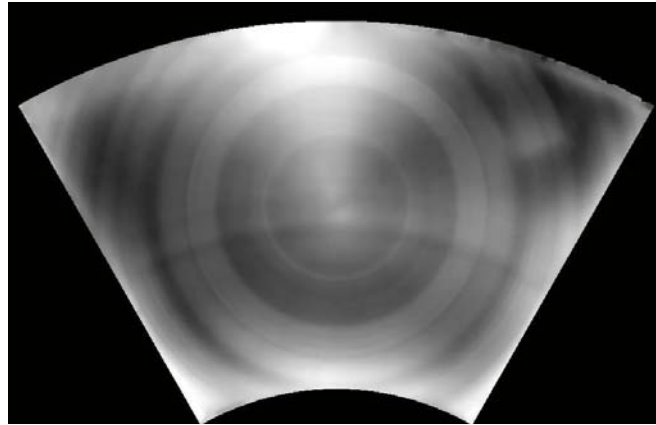


加工施設
(ナノオプトクスエナジー
ナガセインテグレックス内)

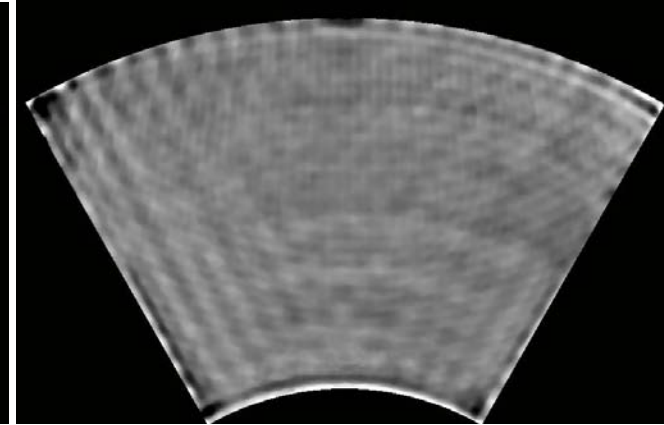


研削盤

主鏡加工 研磨

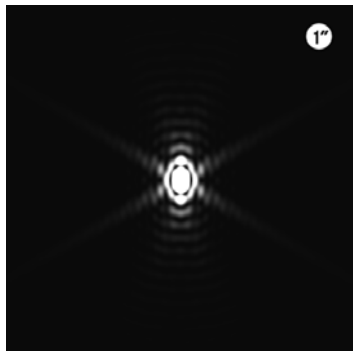


-1000 - +1000 nm
研削+フラッシュ研磨後

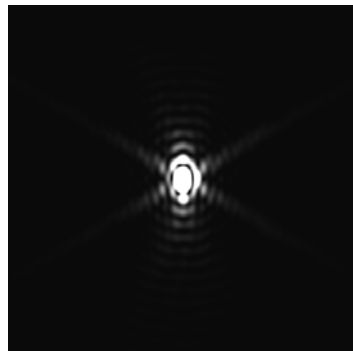


-100 - +100 nm
修正研磨後

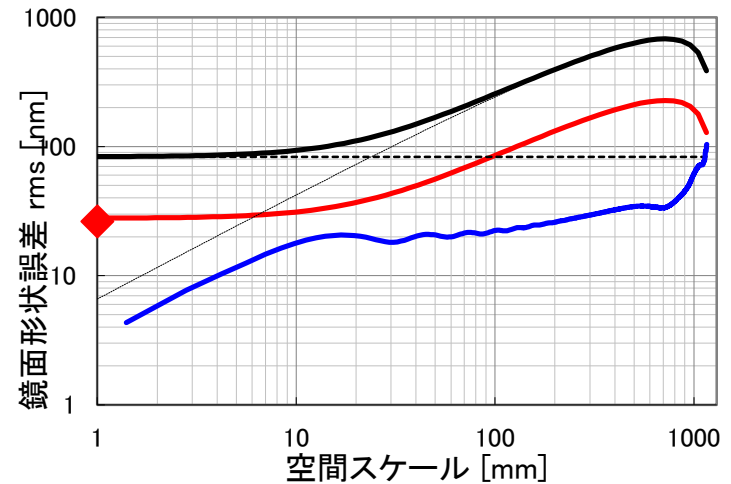
● 縁以外は仕様を達成



誤差ゼロのPSF



2011年12月のPSF

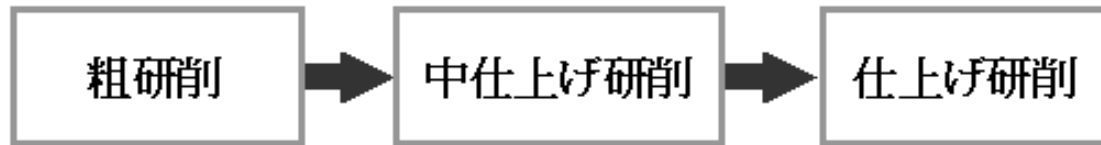


形状誤差の構造関数

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

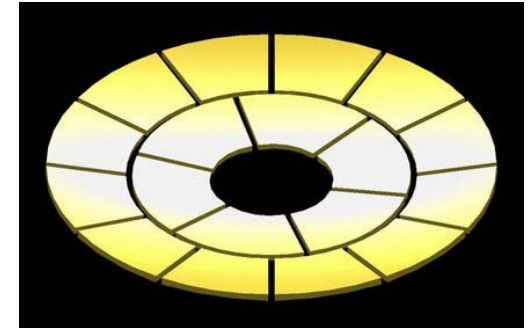
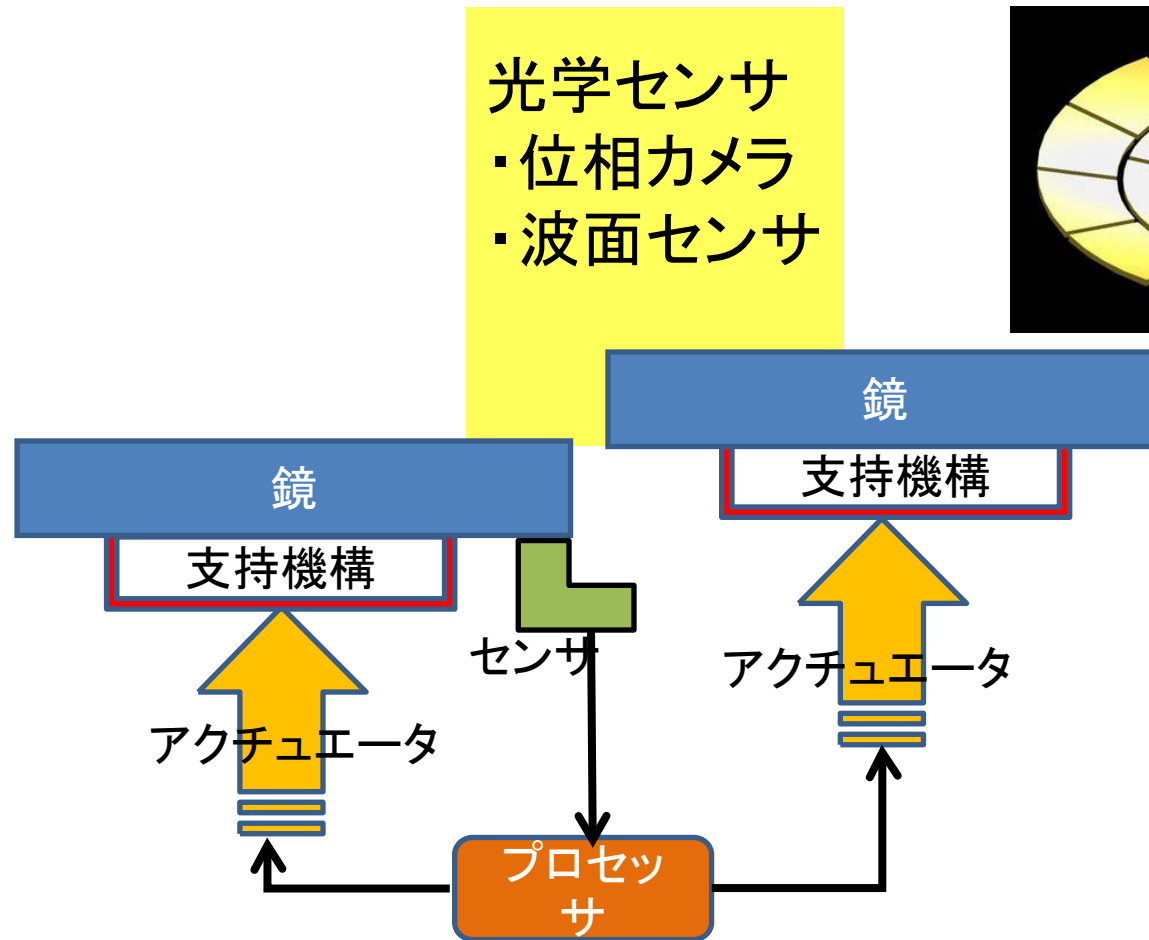
将来



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

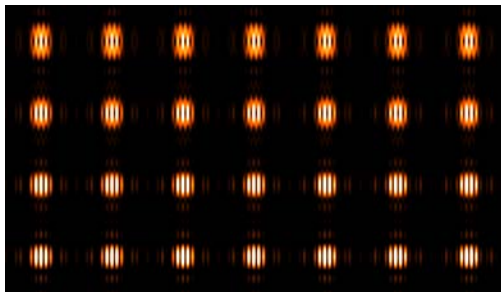


分割鏡制御の要素

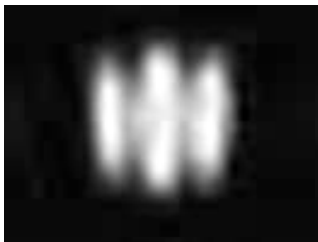
分割鏡制御開発 位相カメラ



チューナブルレーザー

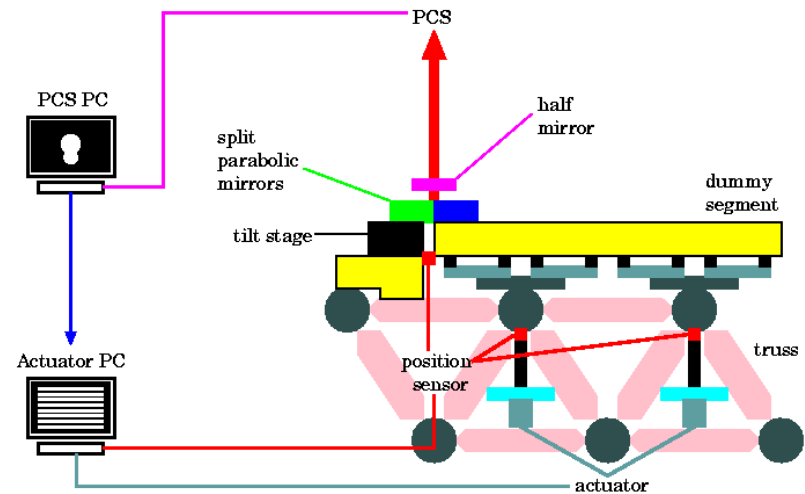


波長スキャン (理論)



段さ30umの時の波長スキャン

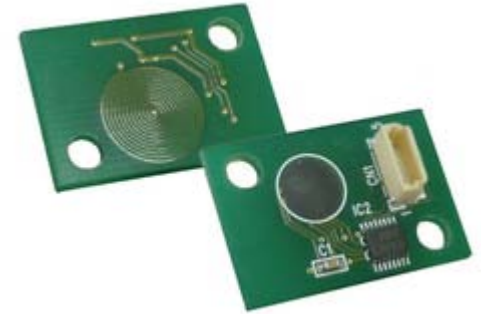
項目	位相カメラ仕様	到達値
測定点数	18	-
センサ分解能	12 nm	12 nm
センサ絶対精度	100 nm	-
測定レンジ	1 mm	10 μ m
センサ応答速度	< 60 sec	-



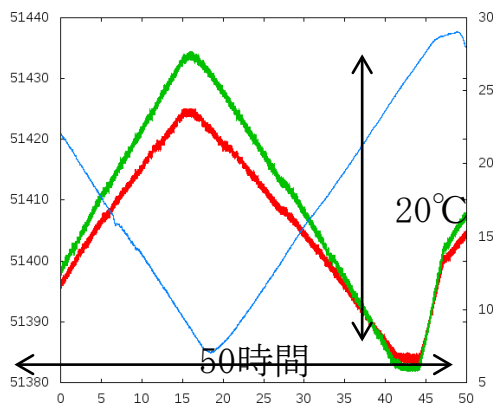
システムの模式図

分割鏡制御開発 ギャップセンサ

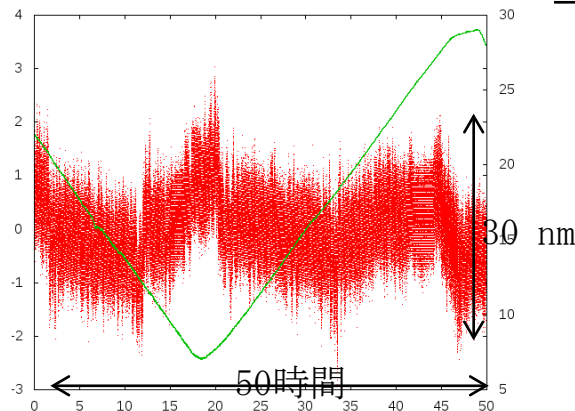
項目	仕様	達成値
分解能(RMS)	< 10 nm	10 nm
安定性(P-V)	50 nm/10h	30 nm/50h
リニアリティ	> 90%	> 90%
サンプルレート	> 10 Hz	6Hz
測長レンジ	TBD	0.5 mm
温度変化	< 0.1°C/min	(0.1°C/min)
湿度変化	< 1 %/min	



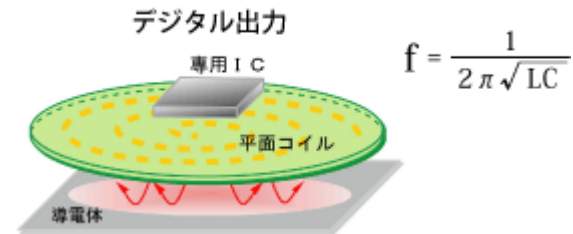
日本システム開発製DS2001



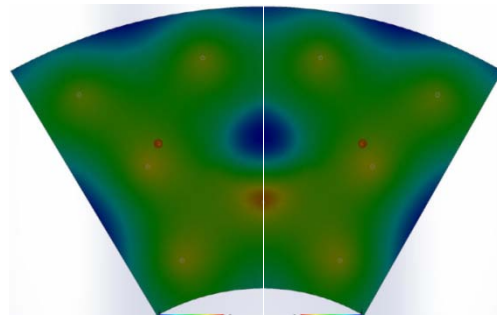
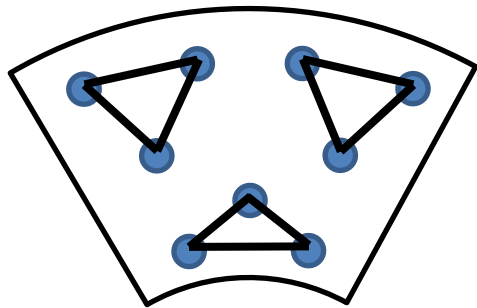
5度の温度変化時のセンサの値



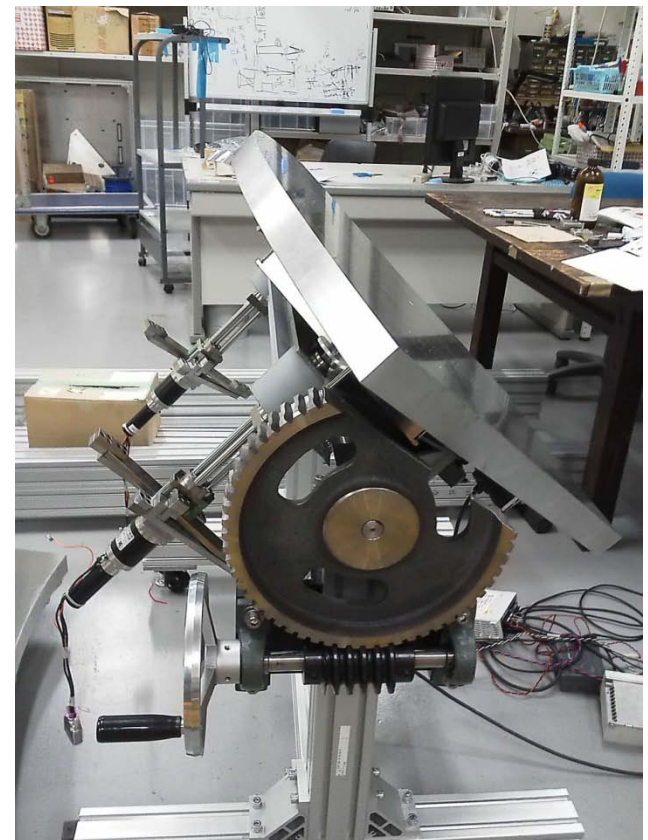
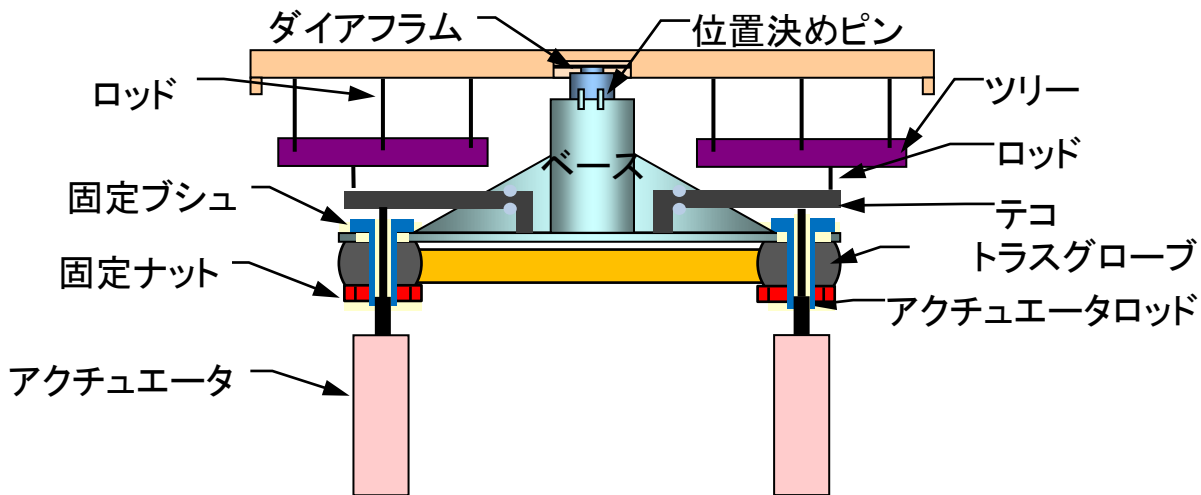
補償後のセンサの安定性



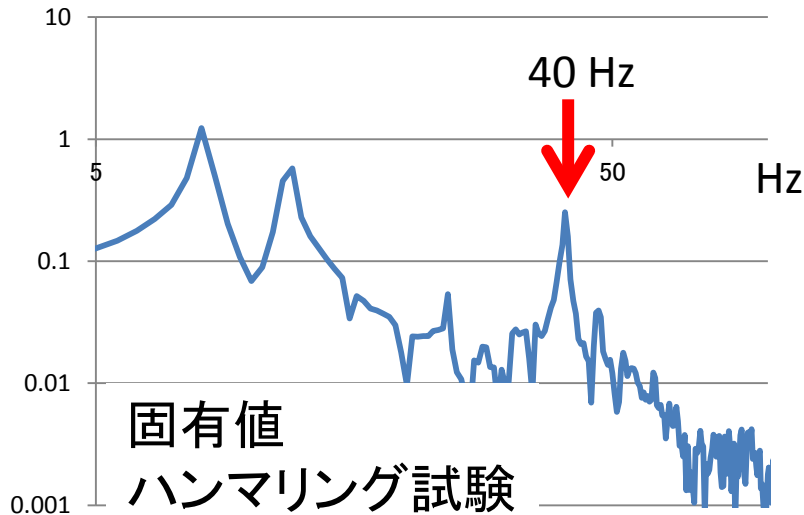
支持機構とアクチュエータ



RMS = 30 nm, P-V = 156 nm

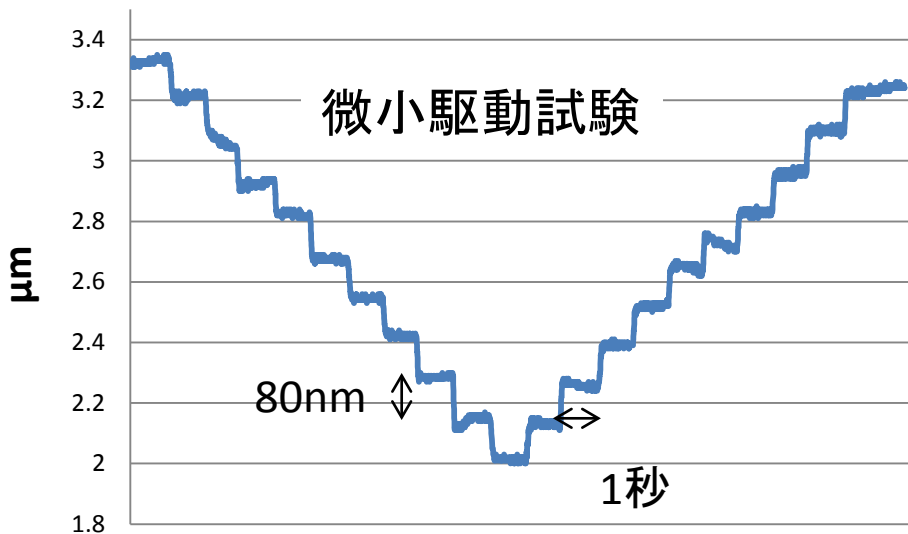


支持機構とアクチュエータ

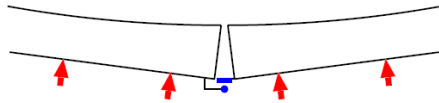


項目	仕様	達成値
分解能 (RMS nm)	< 15	15
リニアリティ (%)	> 90	90
帯域 (Hz)	> 2 Hz	20
ストローク	> 1 mm	1.3 mm

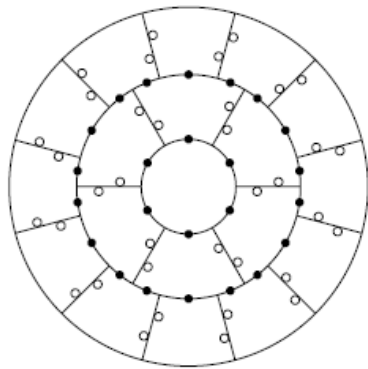
- ロストモーション 10 nm
- 機械再現性 100 nm



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)

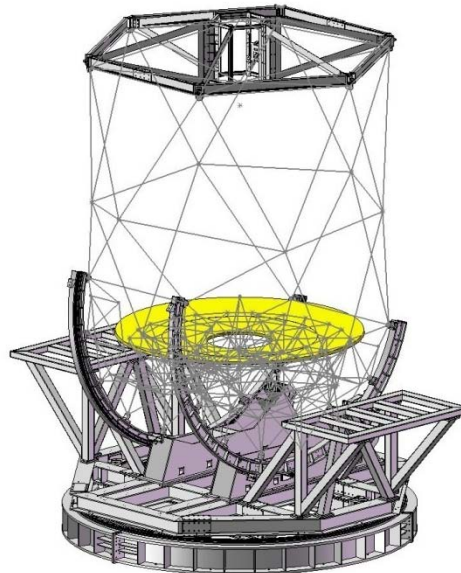
誤差 (mmまたは度)	FWHM(ミリ秒角)		
	X	Y	Z
0.01	6.4	12.3	20.2
0.05	6.4	15.4	63.4

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

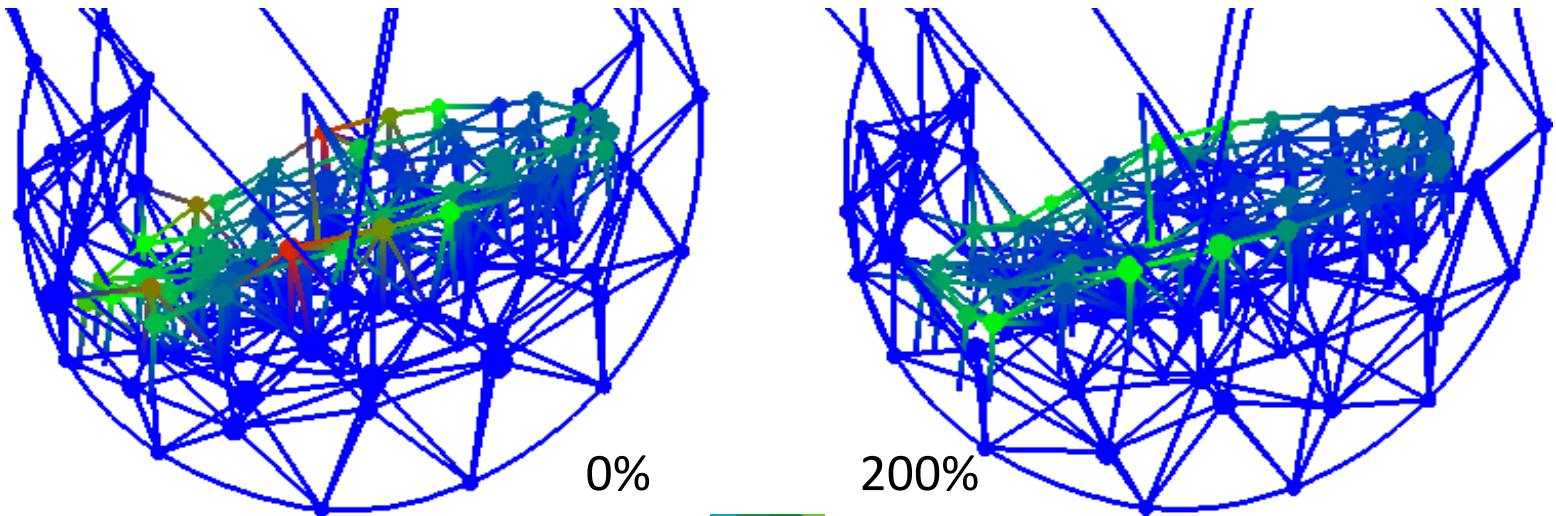
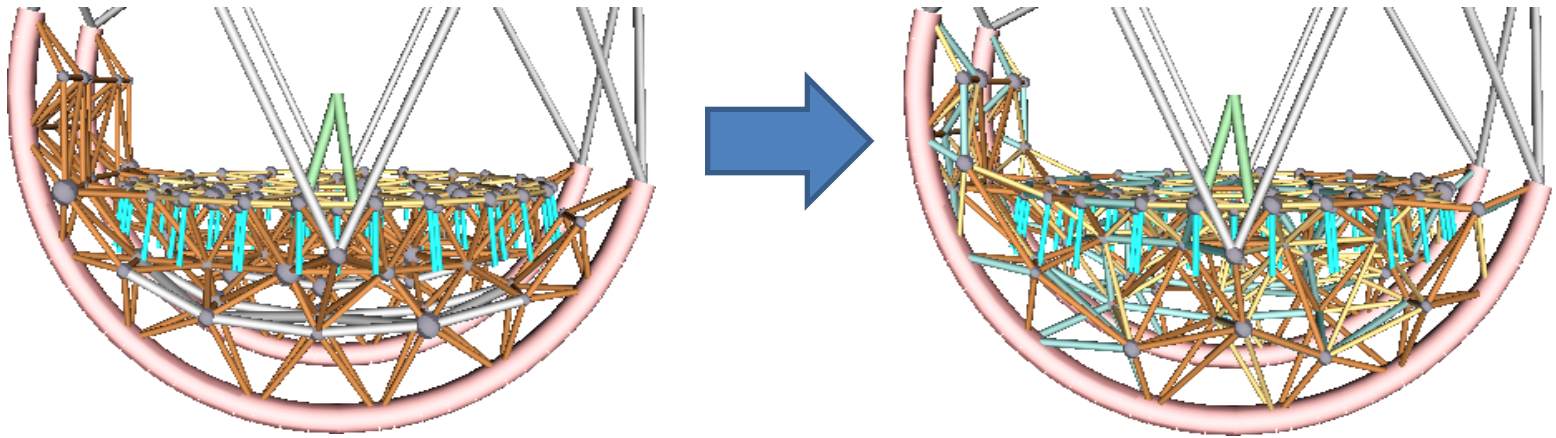
架台

- 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



架台



許容變形量

進捗状況

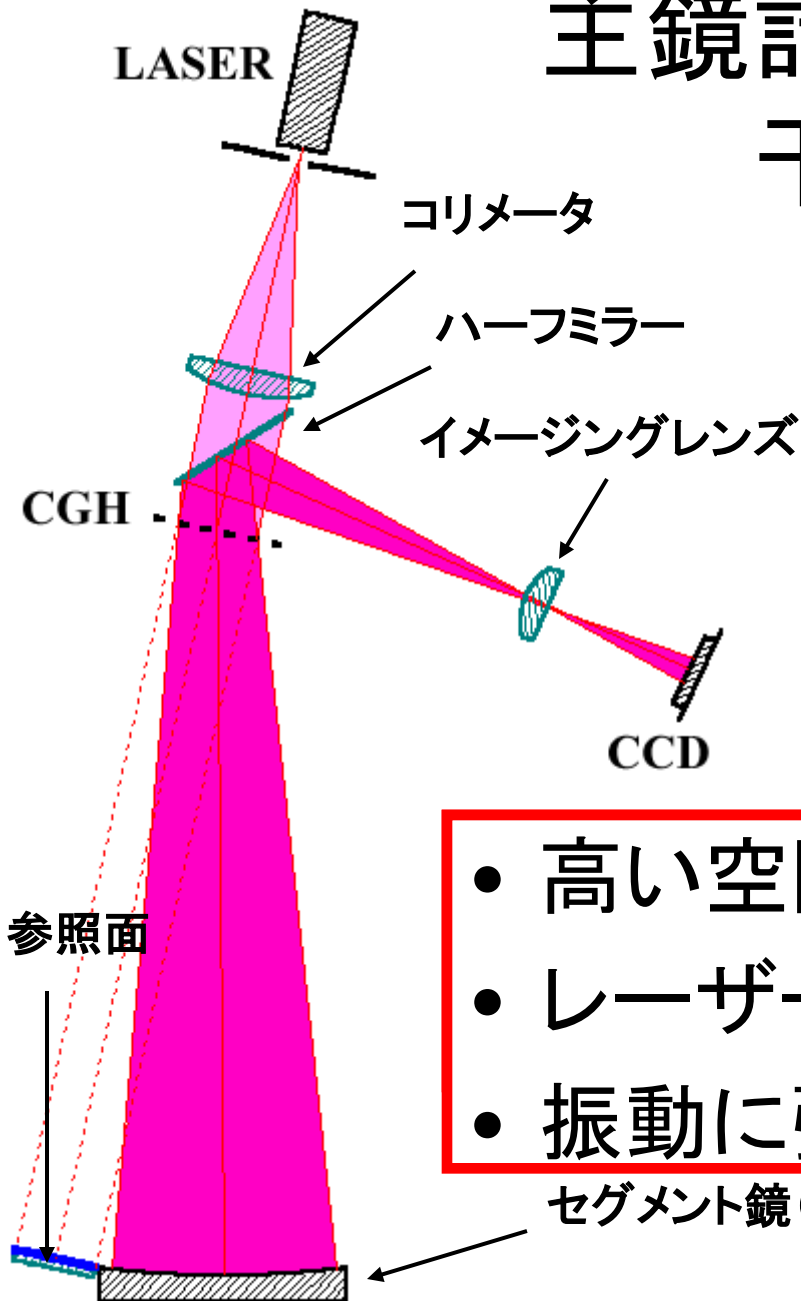
	ボーム	方位軸	高度軸	鏡筒	アルゴリズム	制御	アクチュエータ	支持機構	エッジセンサ	位相センサ	波面センサ		副鏡十第三鏡	副鏡十第三鏡計測	主鏡	主鏡計測
調査・仕様																
概念設計																
要素検証						■							■	■		
初期設計									■	■	■					
PDR						■	■	■	■	■	■		■	■	■	■
詳細設計																
実機製作				■	■											■



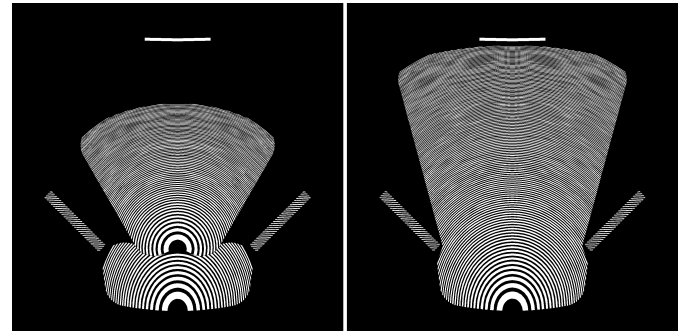
2013

Backup Slides

主鏡計測器開発 干渉計



非球面波面の生成に
CGHを使用

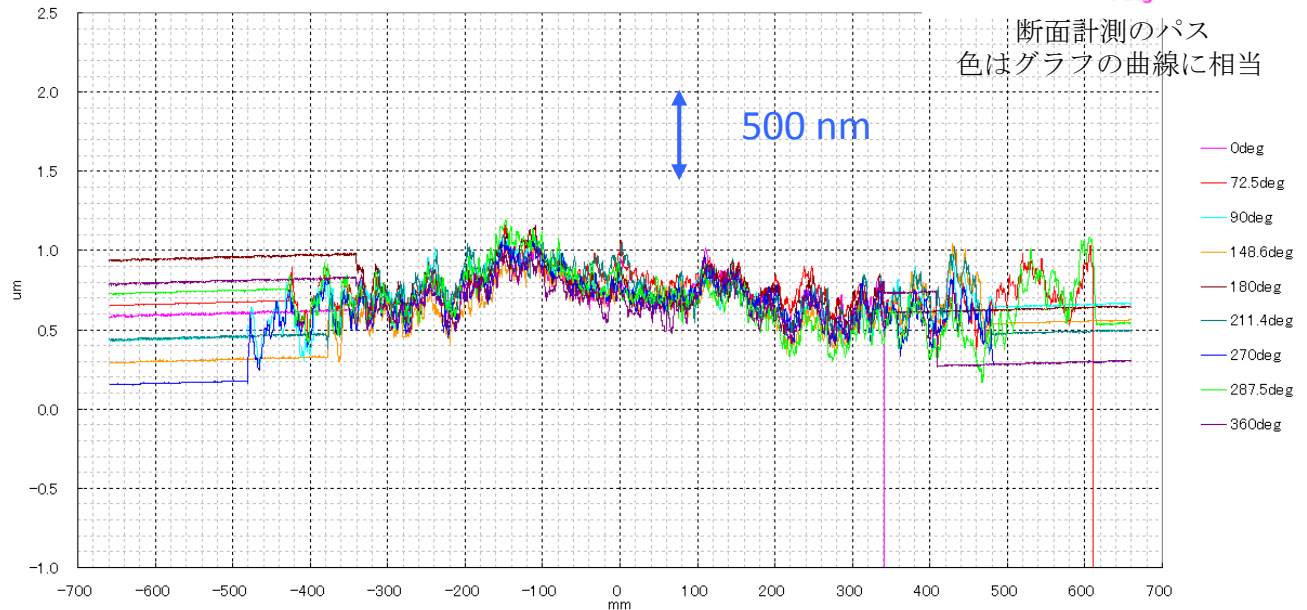
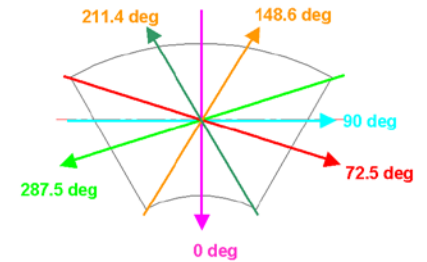


- 高い空間分解能
- レーザーの波長変化が影響しない
- 振動に強い

セグメント鏡(曲率半径~10m)

主鏡加工 研削

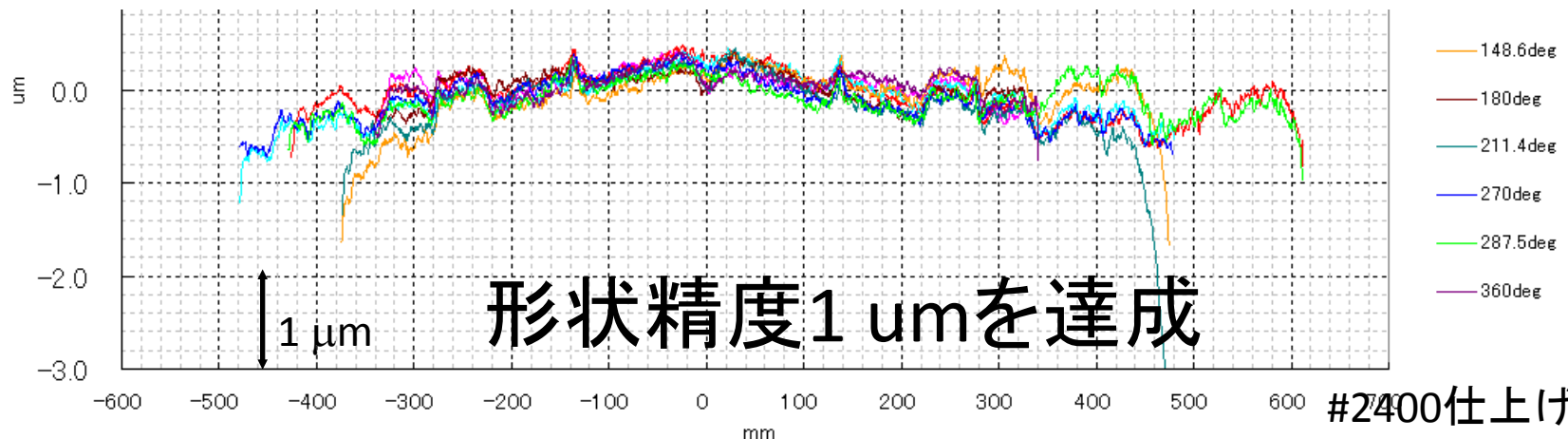
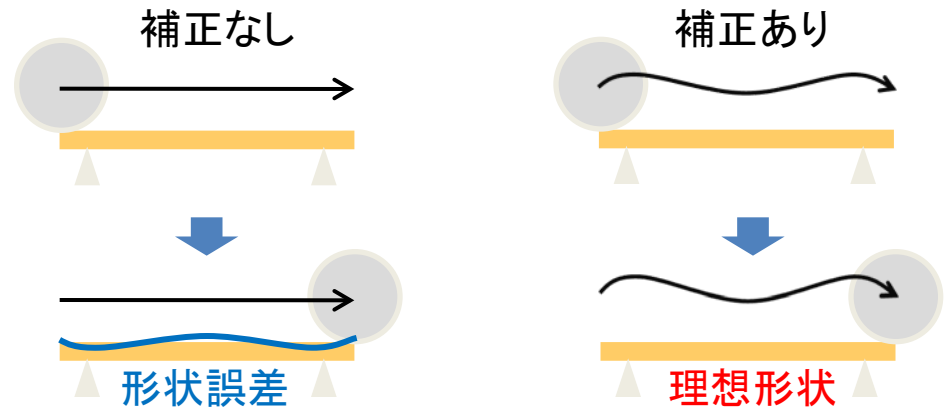
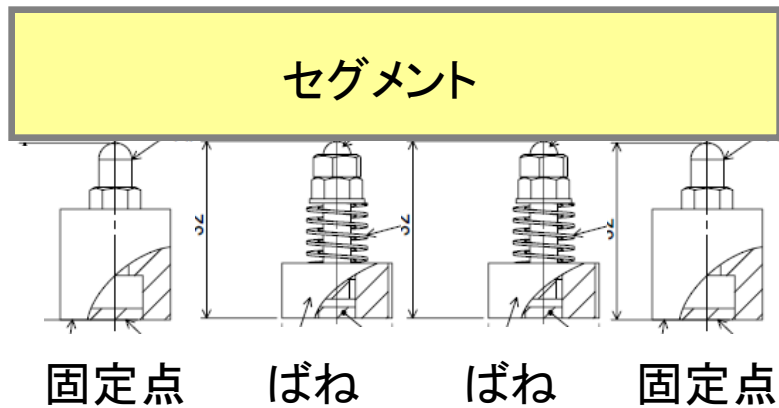
- RMS ~150 nmを達成
ただし、直置きのため鏡が歪む



非球面非軸対称加工をした後の理想形状から誤差
各線は鏡の様々な方向の断面形状を示す。

主鏡加工 支持機構

- 固定点3点と24点のバネで等圧支持
- 研削圧による変形はFEM解析で推定し、補正研削

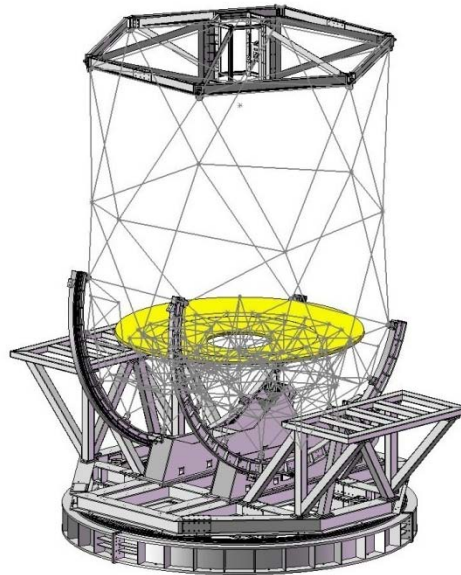


2.3. 架台とドーム開発

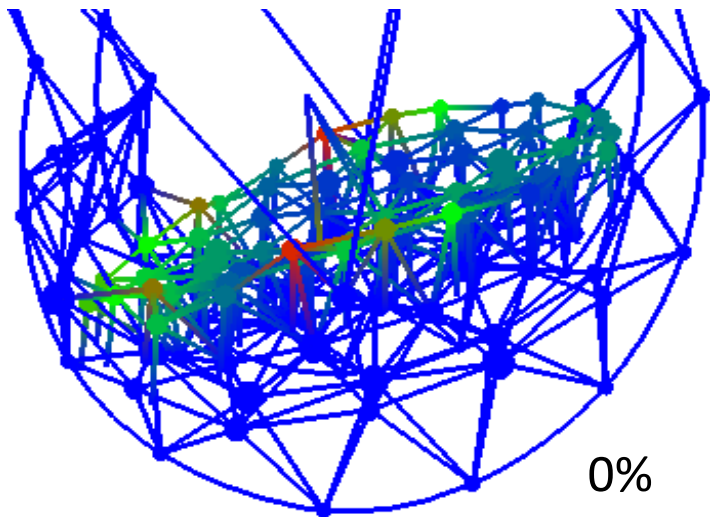
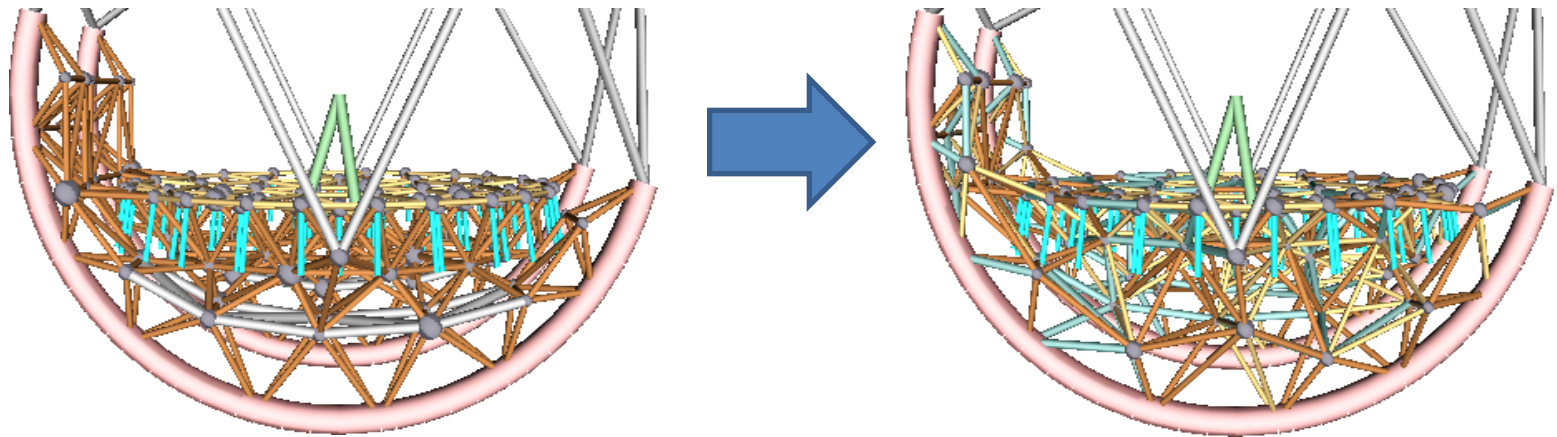
架台

- 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 $<100\ \mu\text{m}$

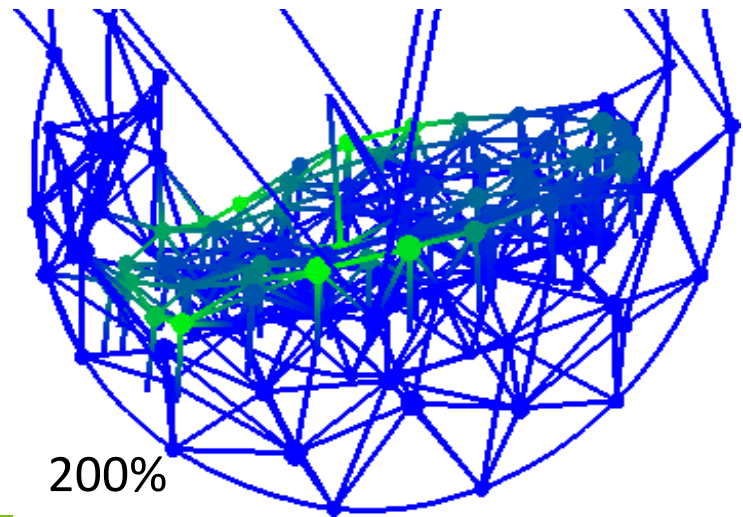
- 高速駆動
- 低熱容量
- 低熱慣性
- 低風抵抗



架台 最適化



0%



200%



許容變形量