

ILOM計画における地上試験観測用 望遠鏡の水銀皿の開発

Developments of the Mercury pool for In-situ Lunar Orientation
Measurements(ILOM) for preliminary observations on the Earth

○鶴田誠逸¹・花田英夫¹・荒木博志¹・浅利一善¹
鹿島伸悟¹・宇都宮真²・神谷友裕²

1: RISE月惑星探査検討室/NAO

2: 宇宙科学研究所/JAXA

ILOM計画

ILOM: In-situ Lunar Orientation Measurement (月面天測望遠鏡計画)

○計画と目的

月面に光学望遠鏡を設置して星を観測し、月の回轉變動を直接計測することで月の物理秤動の観測精度をあげ、月の進化と内部構造の解明を目指す

○望遠鏡概要

- 極域を想定して写真天頂筒 (PZT (Photographic Zenith Tube)) 型
- 反射面: 水銀皿の水銀面
- 目標分解能: 1ミリ秒角

○PZTの特徴

- ・焦点距離をかせげる
- ・若干の傾斜は相殺でき、星像中心がずれない



PZT (@旧水沢緯度観測所)

実験と目的

○今回行った実験と目的

反射鏡としての水銀皿の試作を行い、
水銀面の面精度や振動の影響などを
計測し、最適な形状を探る



ILOM-BBMを使って地上観測を行い、
特性を検証する

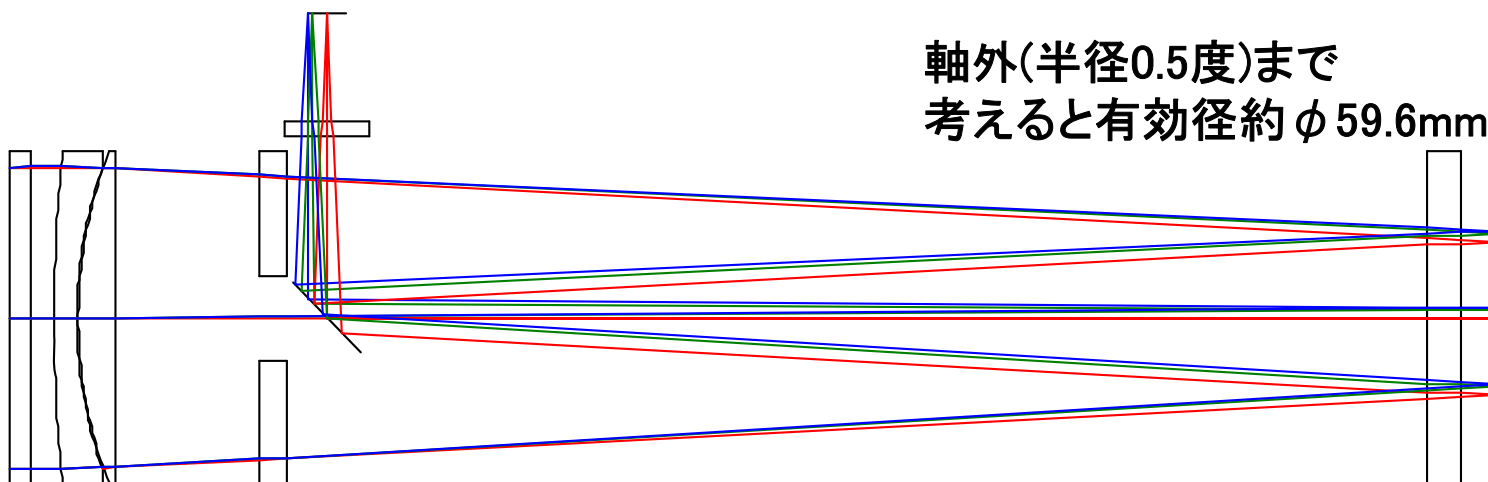
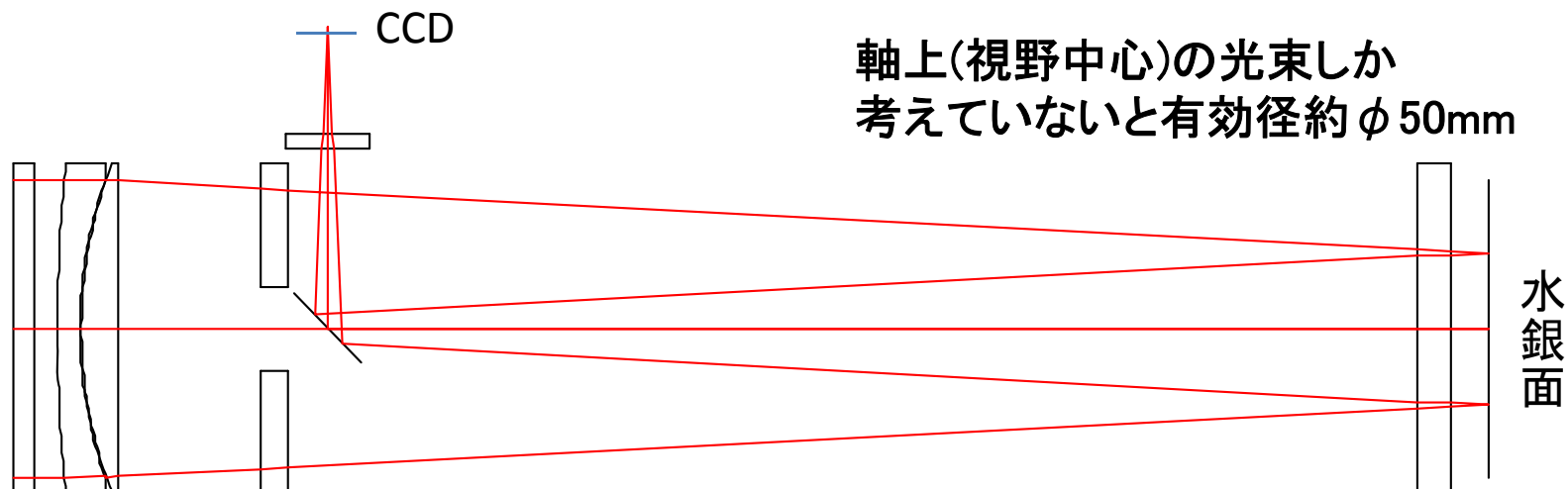


ILOM BBM@岩手大学

水銀面の必要光学的有効径

ILOM-BBM : 口径100mm、焦点距離1000mm

望遠鏡視野角: 半径 0.5° の円形を想定



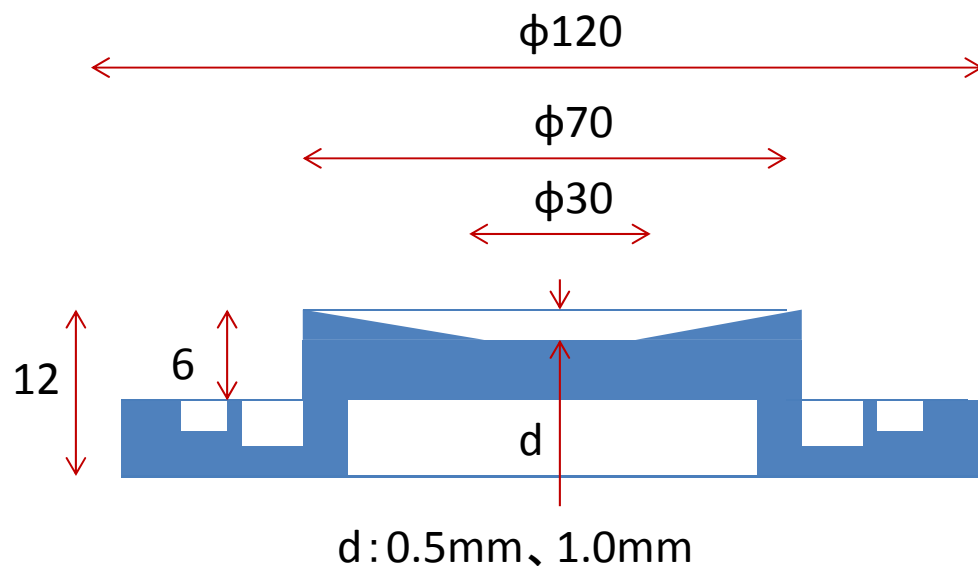
 有効径は $\phi 60\text{mm}$ 以上必要

試作水銀皿(1)

水銀面有効径 $\phi 60\text{mm}$ 以上必要



水銀面直径を $\phi 70\text{mm}$ とした



材質: 無酸素銅

形状: PZTやダンジョンアストロラーブを
参考に円錐形

深さ: 浅いほど振動の影響小

→ 0.5mm、1mm



試作水銀皿(1)



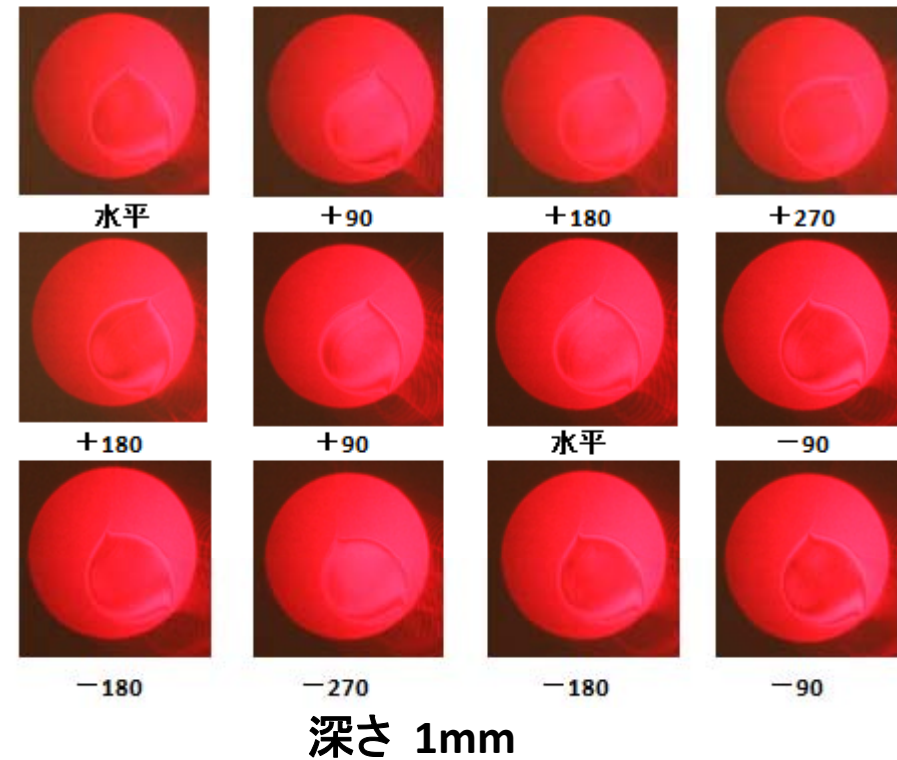
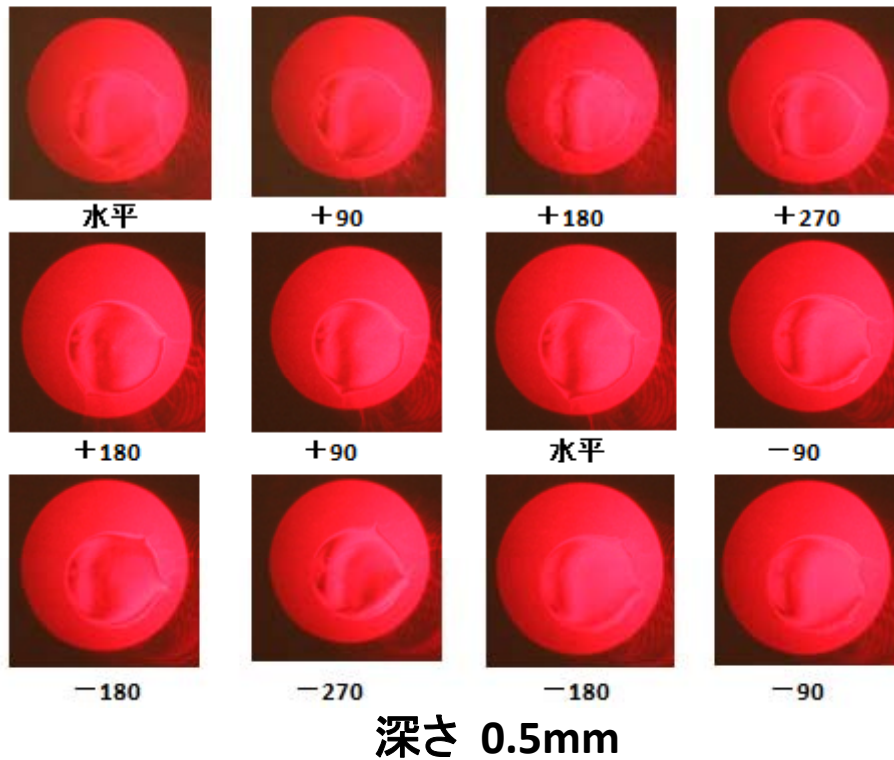
アマルガム生成後

水銀皿(1): 傾斜による干渉縞の変化

ILOM望遠鏡: 1ミリ秒角を達成するには傾斜を
±80秒角以内に保持することが必要



水銀皿に傾斜を与え、干渉縞の変化から水銀面の変化を観察



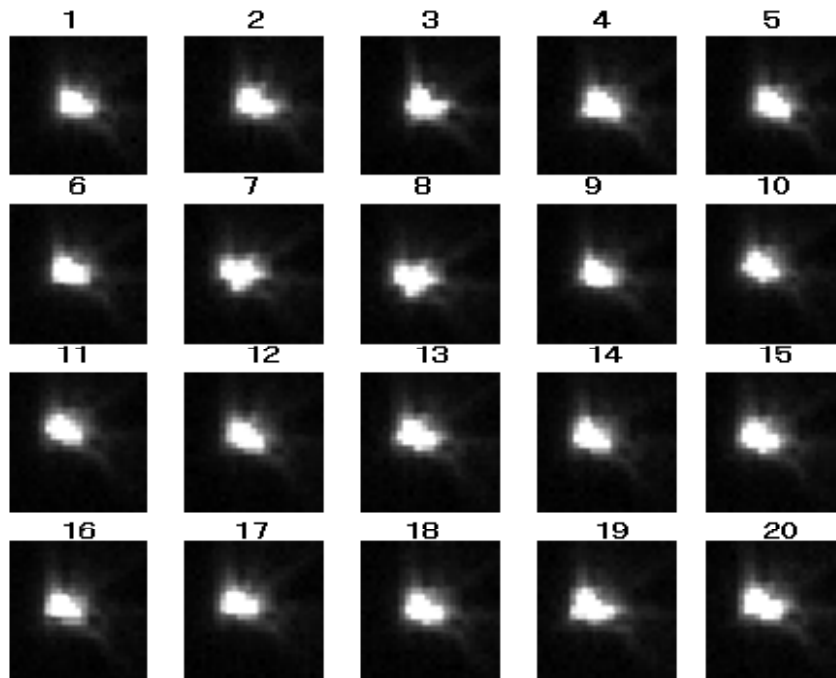
±270秒角の傾斜変化では大きな変動は見られない

水銀皿(1): 振動の影響による星像の位置変化(1)

ピンホールを使用して疑似星像を作り、水銀面で反射した像をCCDカメラで観察

1秒間隔で連続撮影

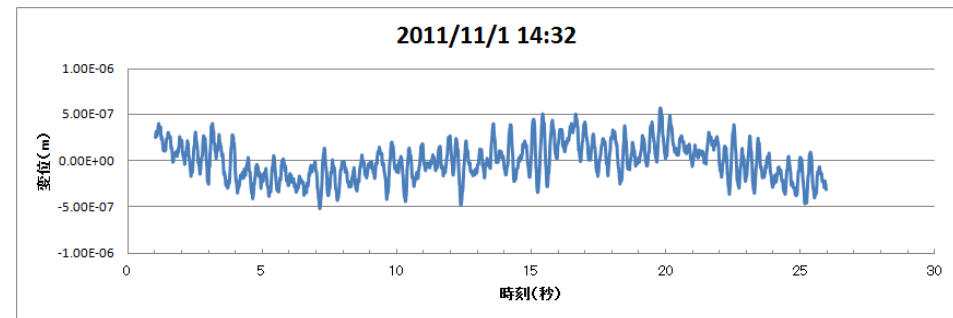
深さ 0.5mm



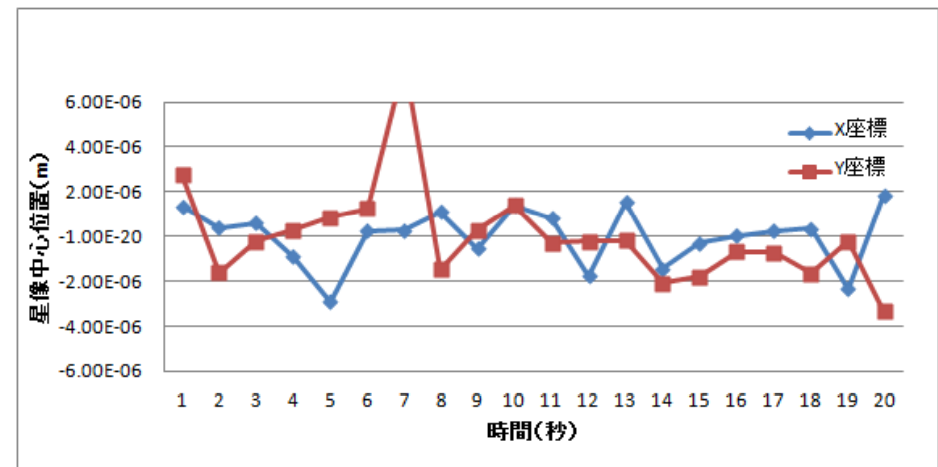
基台の振動: $\pm 0.5\mu\text{m}$ 程度の上下動

星像中心位置変位量: 約 $\pm 2\mu\text{m}$

基台の振動

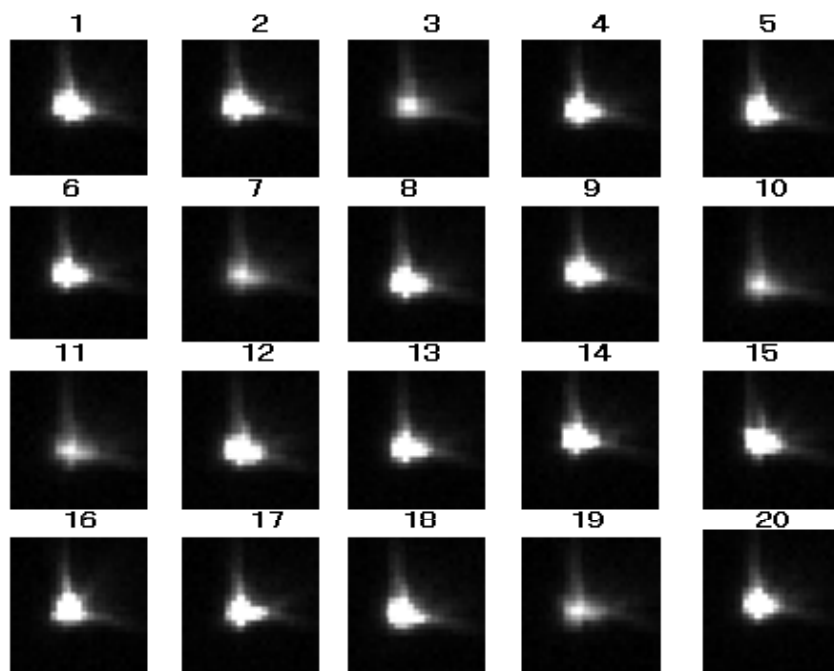


星像中心位置変化



水銀皿(1): 振動の影響による星像の位置変化(2)

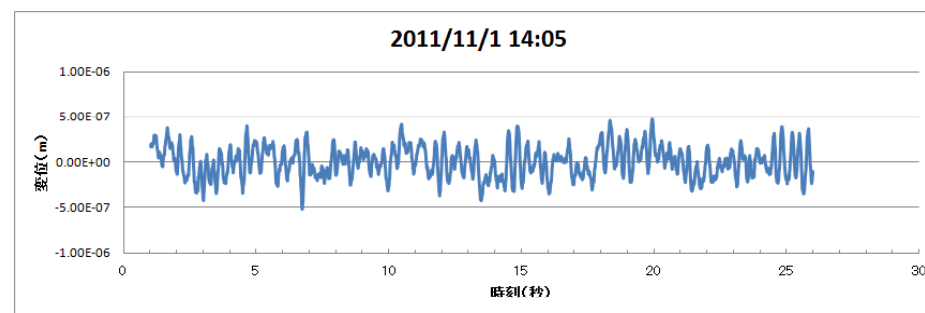
深さ 1mm



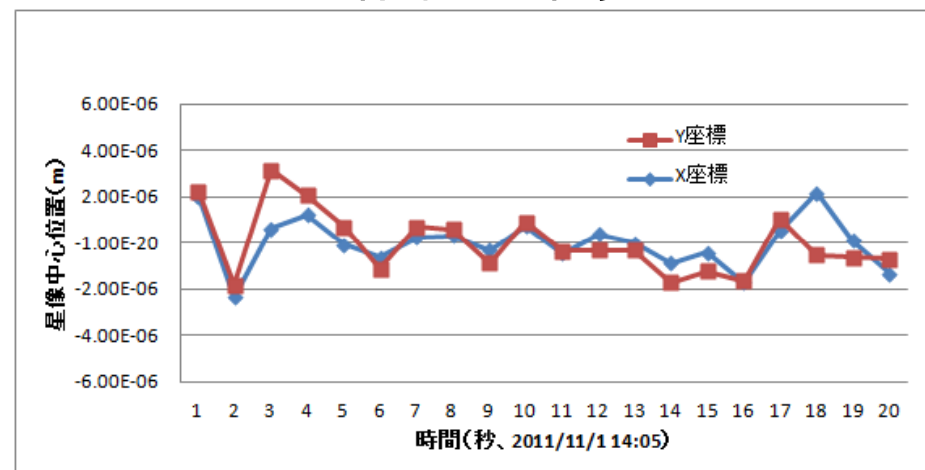
星像中心位置変位量: 約 $\pm 2\mu\text{m}$

星像ゆらぎが深さ0.5mmの皿より大きい

基台の振動

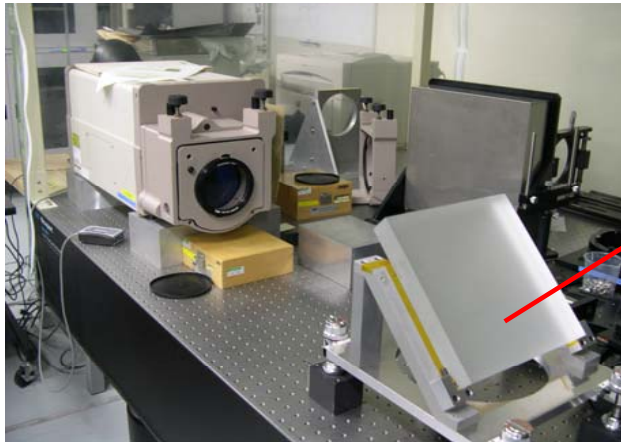


星像中心位置変化

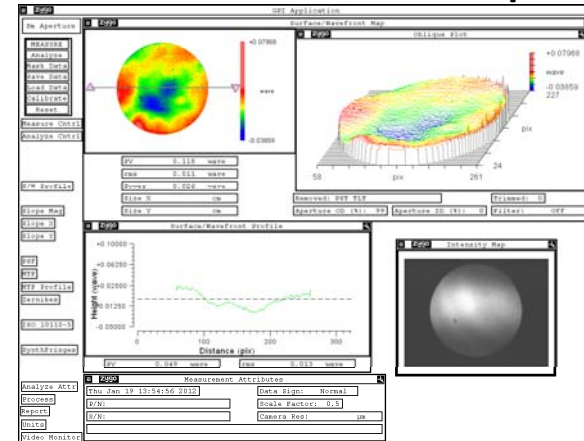


水銀皿(1): Zygoレーザ干渉計(GPI-XP)による面精度測定

詳細な面精度の測定を国立天文台三鷹先端技術センター(ATC)所有のZygo干渉計で測定

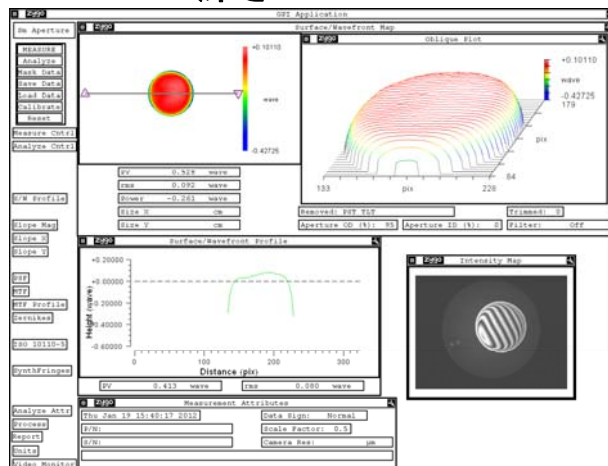


ミラーの面精度 中心部 $\phi 100$



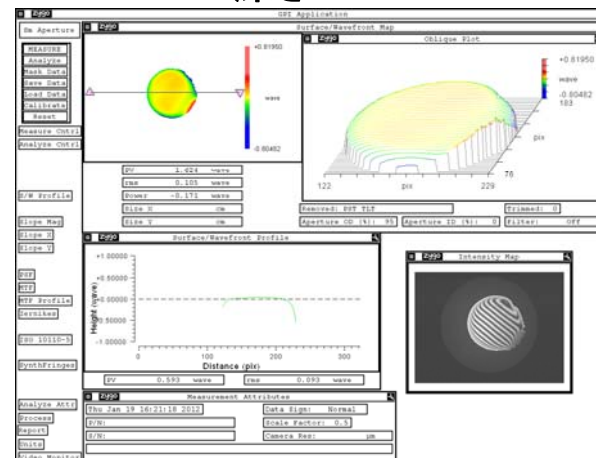
PV=0.118 λ rms=0.011 λ

深さ 0.5mm



PV=0.528 λ rms=0.092 λ

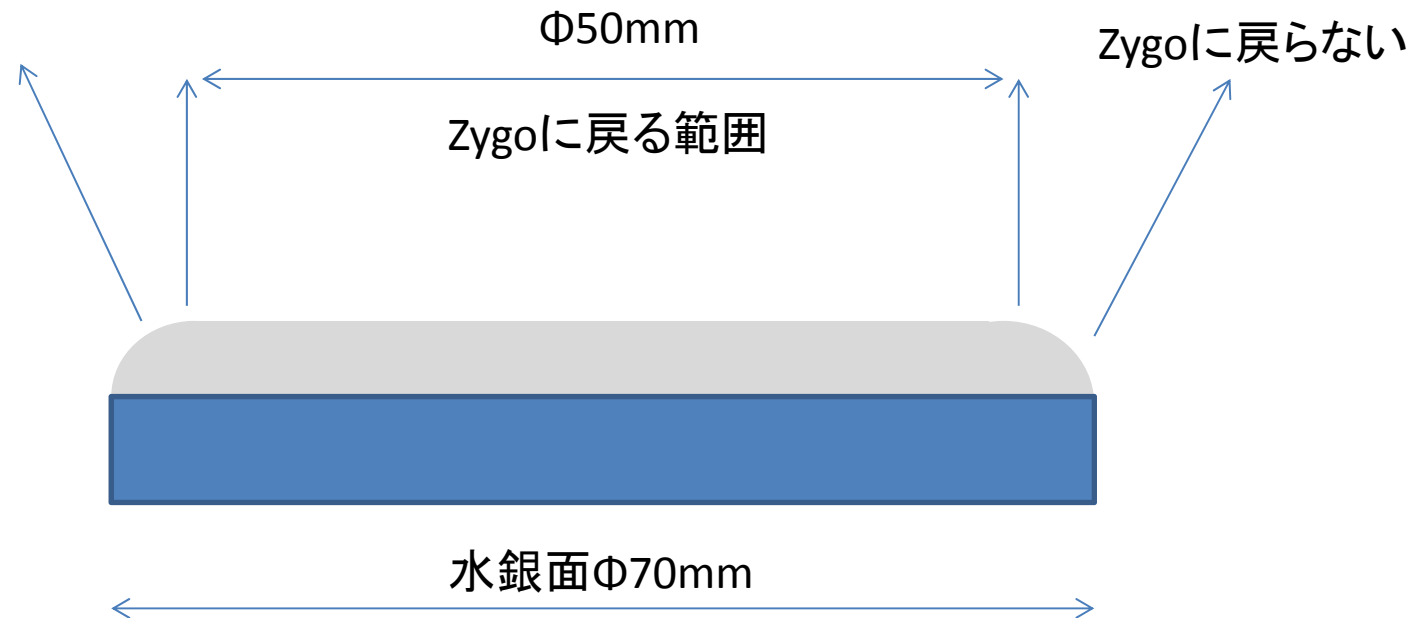
深さ 1mm



PV=1.628 λ rms=0.105 λ

揺れが深さ0.5mm
より大きい
振動条件では
PV=0.5程度も

水銀皿(1)の有効径



アマルガムによって水銀皿周辺の濡れ性が改善されても周辺の表面張力の影響で周辺部の反射光が戻らない

→有効径がどちらも $\phi 50\text{mm}$ 程度→ $\phi 70\text{mm}$ では不足

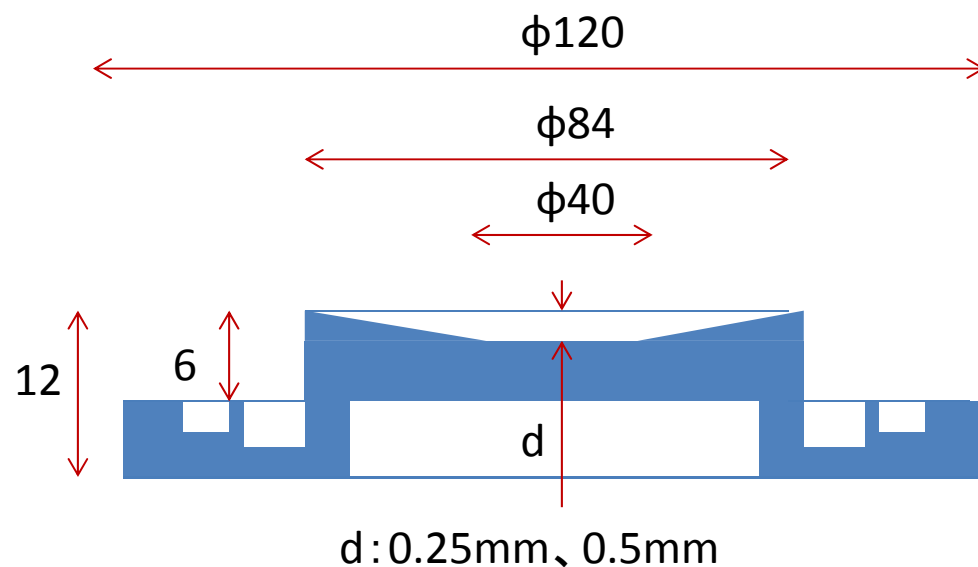
$70 \times 60 / 50 = 84 \dots \dots \phi 84\text{mm}$ 以上の水銀面が必要

試作水銀皿(2)

ILOM-BBM鏡筒径:120mm

組立を考慮すると水銀皿の水銀面の径は $\phi 84\text{mm}$ が限界 → 水銀面 $\phi 84\text{mm}$ とした

深さ: 浅いほど振動の影響が小さい → 0.5mm 、 0.25mm を試作

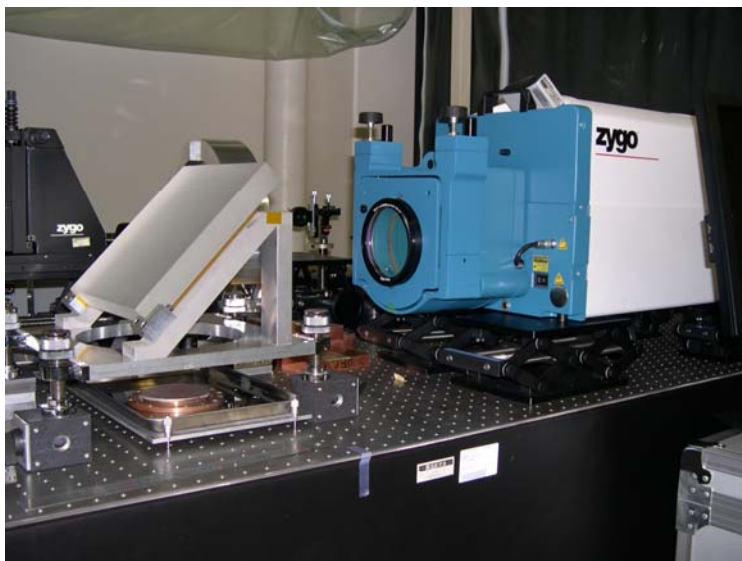


試作水銀皿(2)



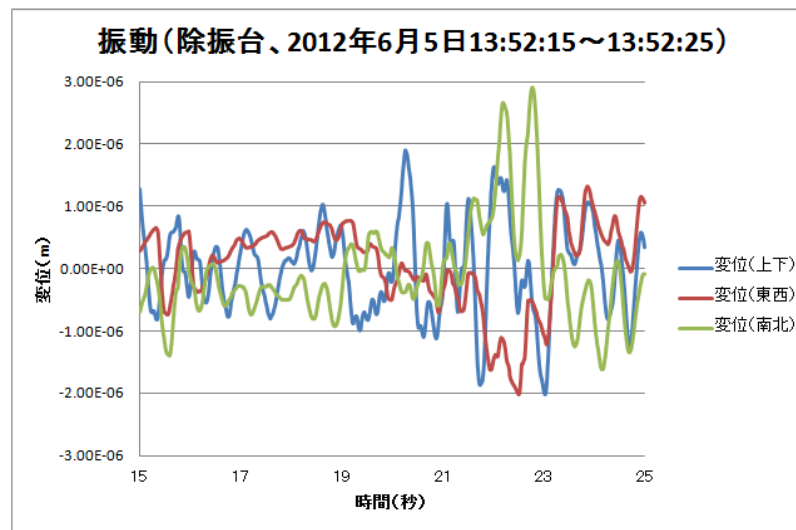
深さ 0.5mm

水銀皿(2): 面精度

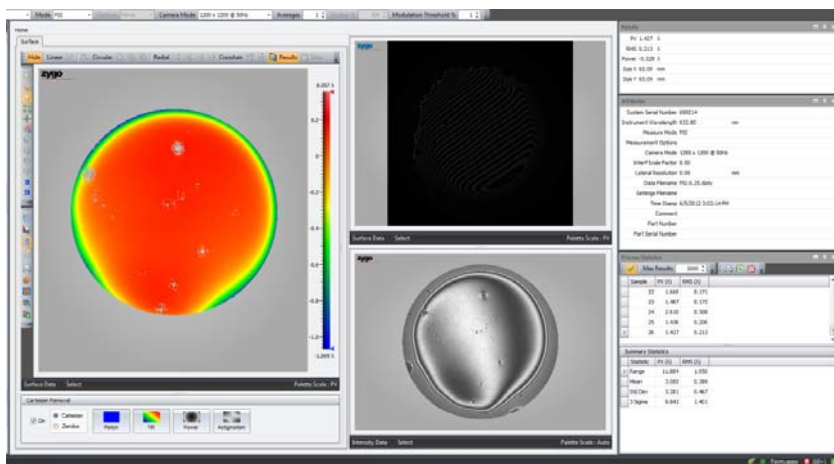


ダイナミック干渉計 (DynaFiz)
(キャノンマーケティングジャパン)

- 振動の影響が少ない
- ・動画撮像ができる



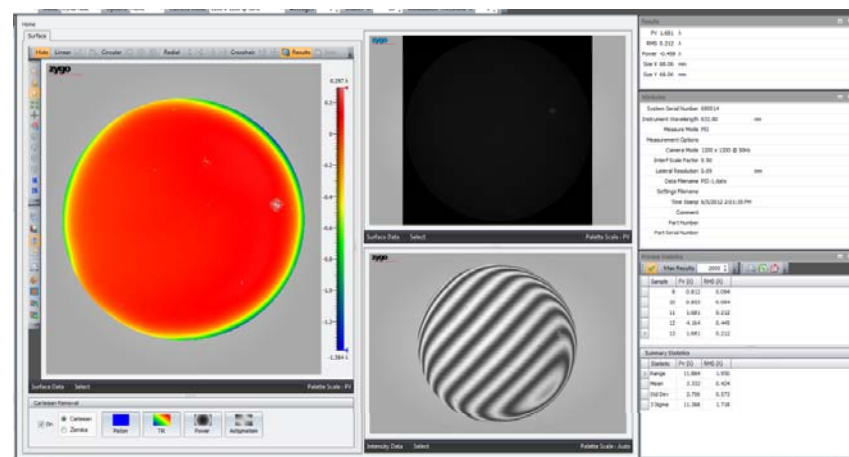
除振台: $\pm 1\mu\text{m}$ 程度の変位



深さ 0.25mm PV=1.427 λ rms=0.213 λ

有効径: $\phi 65\text{mm}$

有効径 $\phi 60\text{mm}$ を得ることができた

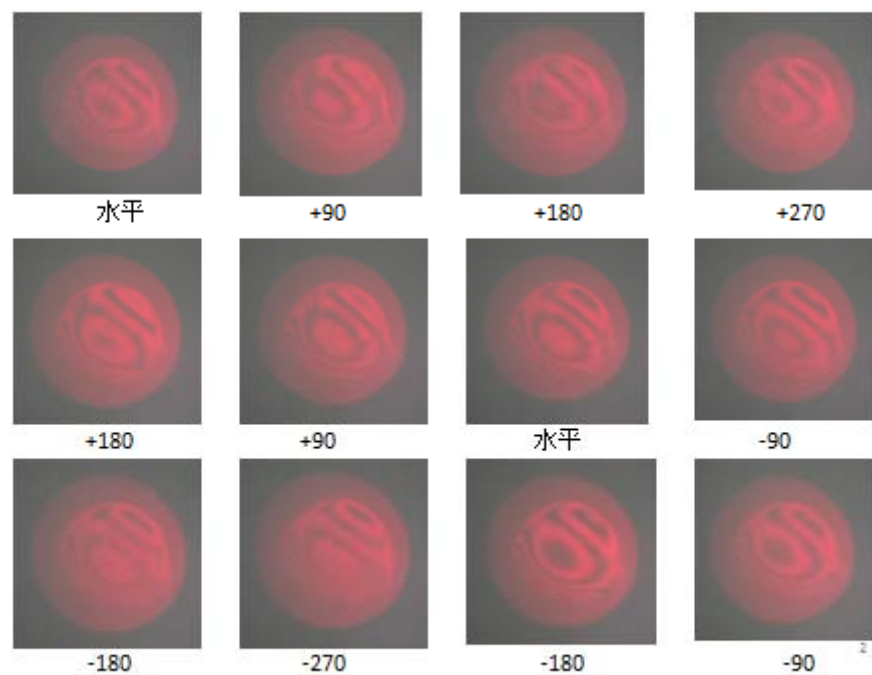


深さ 0.5mm

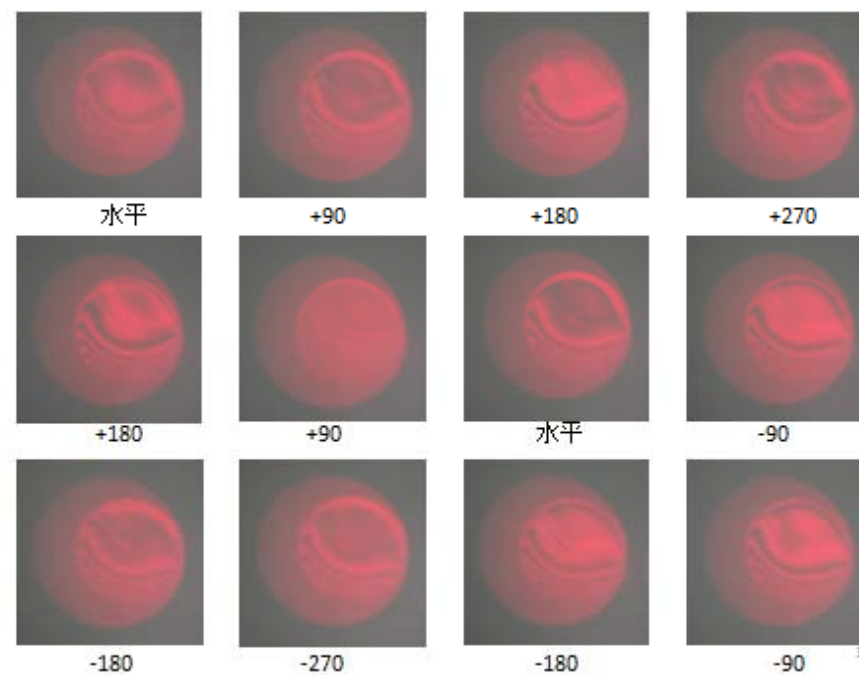
PV=1.681 λ rms=0.212 λ ₁₂

有効径: $\phi 68\text{mm}$

水銀皿(2): 傾斜による干渉縞の変化



深さ0.25mm



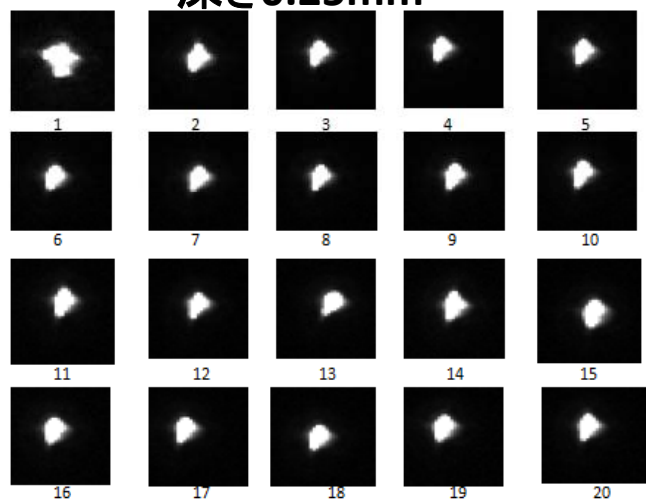
深さ0.5mm

±270秒角の傾斜変化では大きな変動は見られない

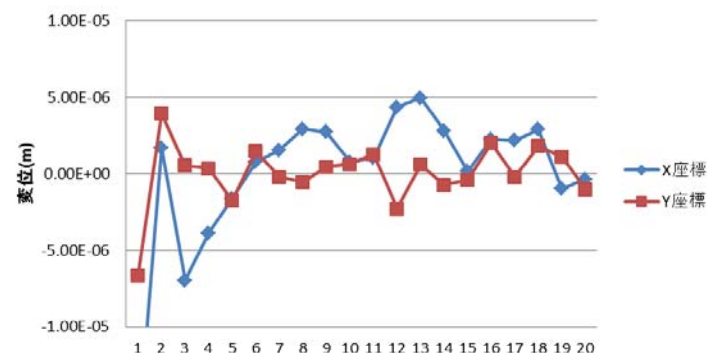
水銀皿(2): 振動の影響による星像の位置変化(1)

1秒間隔で連続撮影

深さ0.25mm



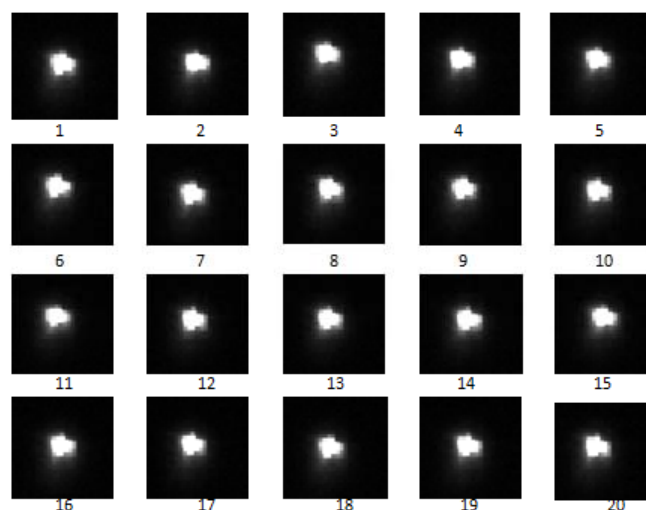
星像中心位置の変化(水銀皿0.25mm)



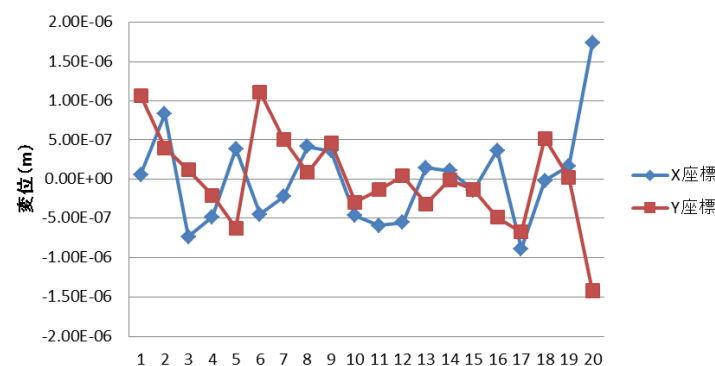
星像中心位置変位量: 約 $\pm 2\mu\text{m}$

* 測定開始時に衝撃があった?

深さ0.5mm



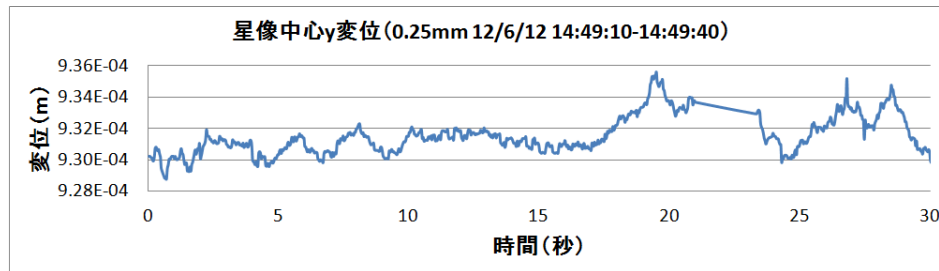
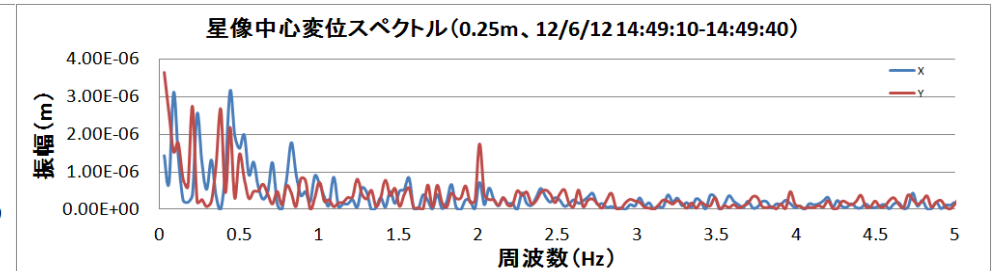
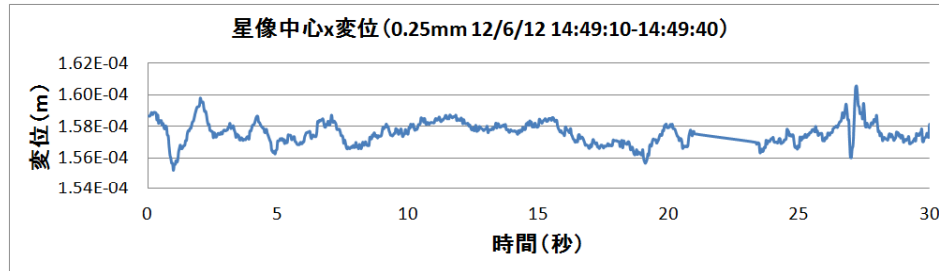
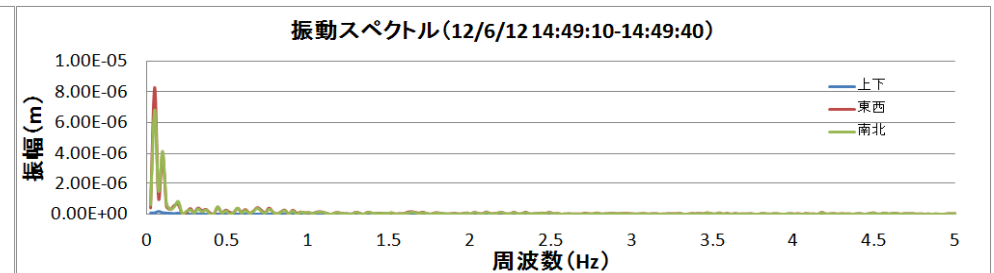
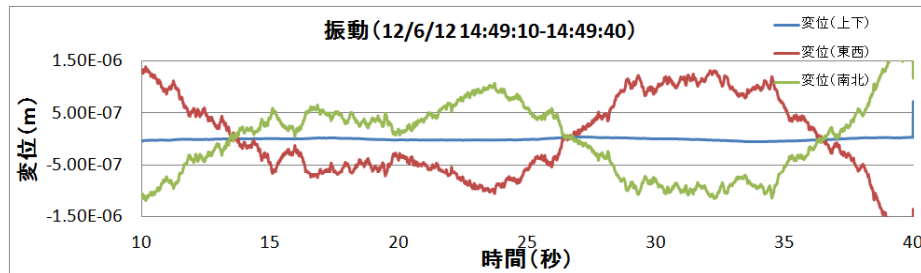
星像中心位置の変化(水銀皿0.5mm)



星像中心位置変位量: 約 $\pm 0.5\mu\text{m}$

水銀皿(2): 動画から求めた基台の振動と 星像の変動の関係(1)

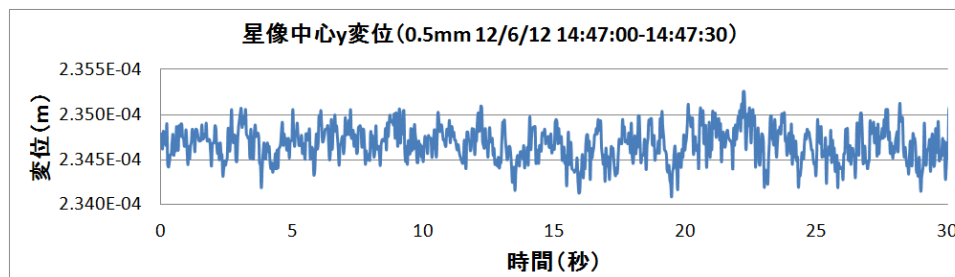
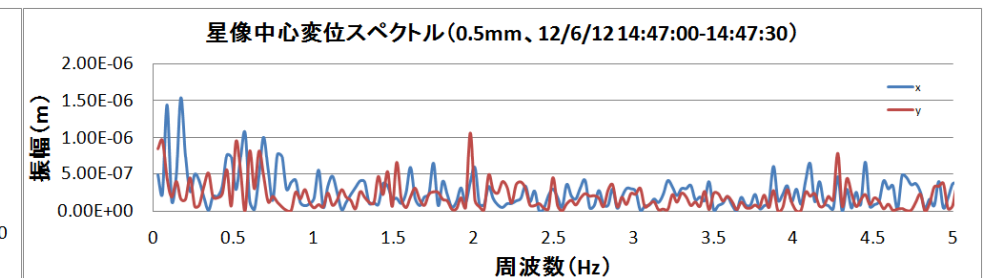
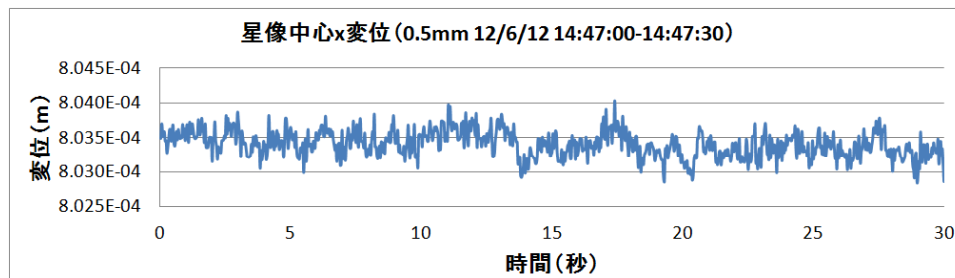
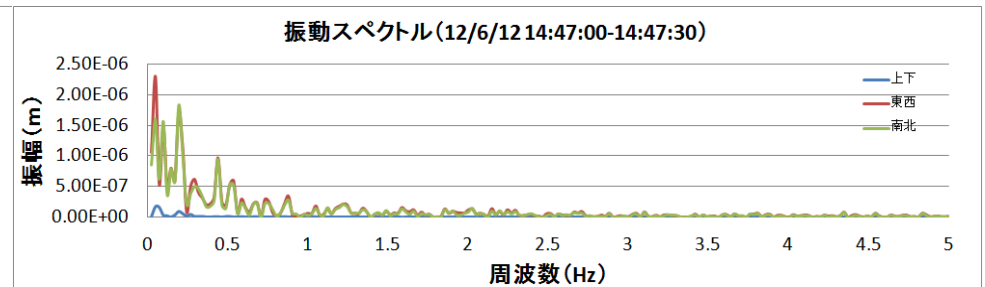
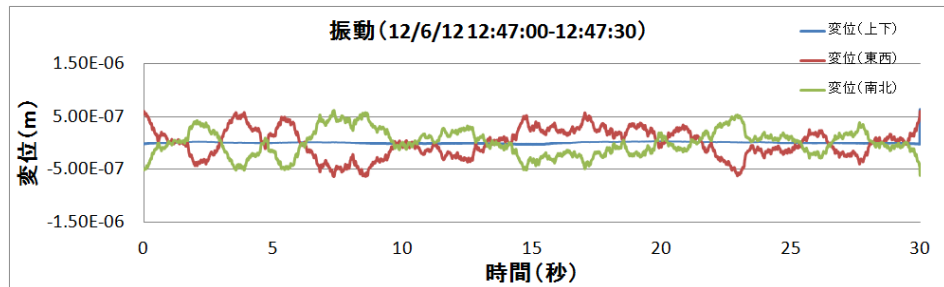
深さ0.25mm: 動画像から1/30Hzで像を抽出して星像中心を導出



- ・基台の振動と星像の変動の間には
相関関係はない
- ・1秒間隔での撮像から求めた星像
中心位置変位と動画から求めた変位
の振幅は合っている

水銀皿(2): 動画から求めた基台の振動と 星像の変動の関係(2)

深さ0.5mm: 深さ0.25mmと同様に星像中心を導出



- ・深さ0.25mmと同様な結果
- ・深さ0.5mmの方が振動の周波数が高い

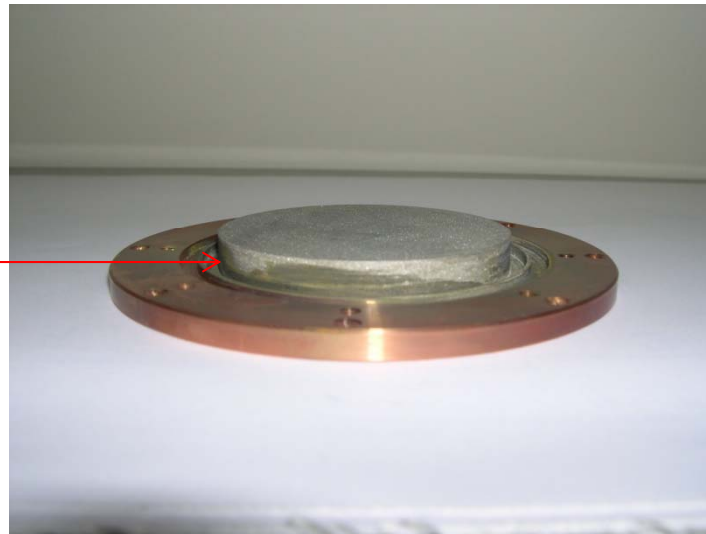
試作水銀皿の問題点

- 水銀面 $\phi 84\text{mm}$ の試作水銀皿では深さ 0.5mm の皿が安定していた

しかし、

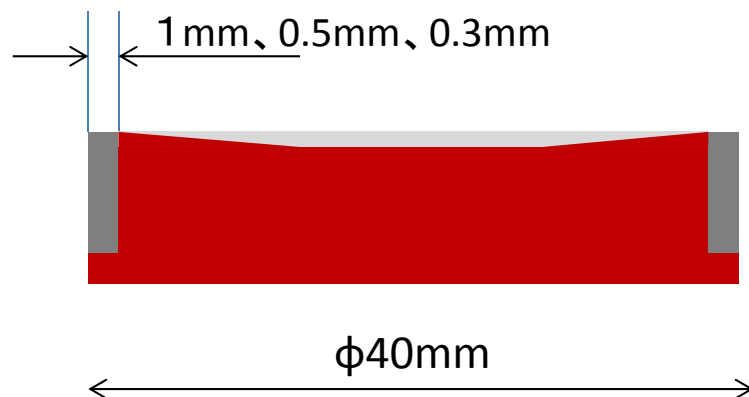
- 水銀注入後、表面の汚れを取り除くためにガラス棒で表面を掃いて溝に落とす
- 汚れと一緒に水銀も溝に流れる
- それが繰り返されるうちに側面にアマルガムが生成される
- そのアマルガムに浸みこむように水銀が徐々に流れ、時間の経過とともに水銀面の有効径が減少する

側面に生成したアマルガム
(水銀面 $\phi 70\text{mm}$ の例)



試験用水銀皿

そこで、対策として...



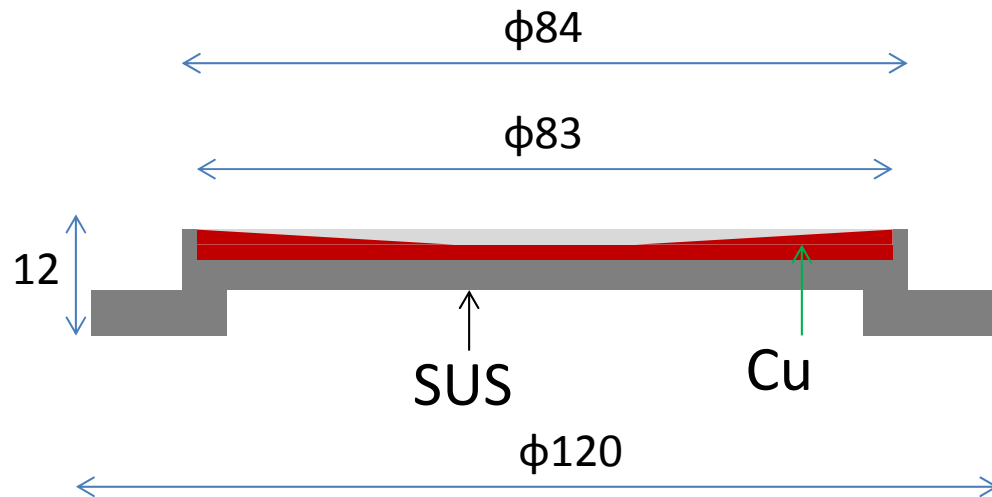
アマルガムのできにくいステンレス材に
銅材を埋め込んで試験



数週間経っても流れ出しなし

試作水銀皿(3)

ステンレス(304)を台座として、その台座に水銀を満たす銅材を埋め込んだ形状の皿を試作



深さ: 0.25mm、0.5mm

試作水銀皿(3)

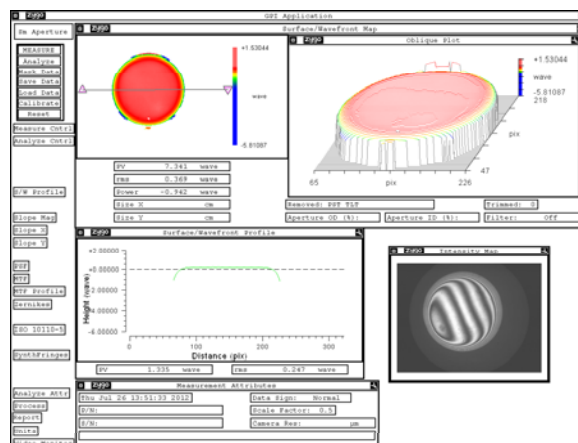


1度程度の傾きでは流れ出ないことを確認

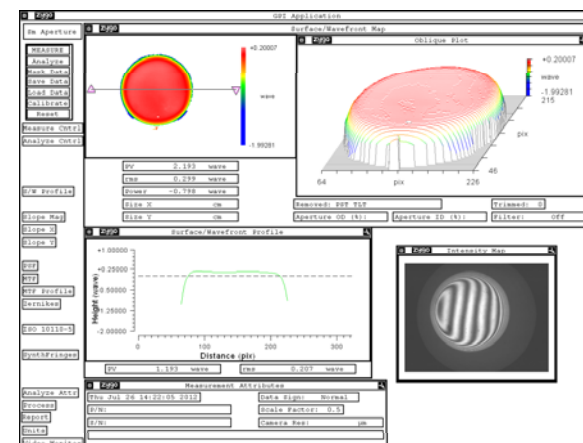
水銀皿(3): 有効径と面精度測定

測定結果の例 : 深さ0.5mm

天文台三鷹のZygo干渉計で光学的有効径と、傾斜による面精度の変化を測定した



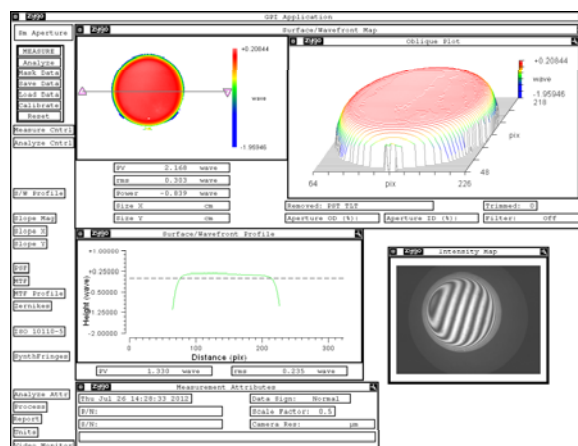
SUS-Cu 0.5_00 rms=0.369λ



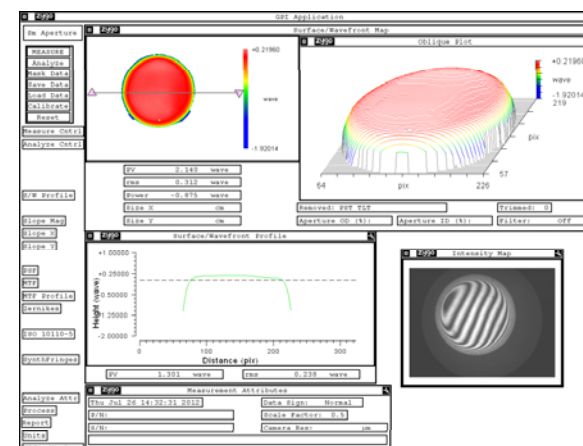
SUS-Cu 0.5_270 rms=0.299λ

光学的有効径: φ62mm

必要有効径φ60mm以上を得ることができた



SUS-Cu 0.5_-90 rms=0.303λ



SUS-Cu 0.5_-270 rms=0.312λ

↑ ↑
深さ 傾斜角(秒角)

水銀皿(3):面精度

深さ	0.5mm		0.25mm	
秒角	PV(λ)	rms(λ)	PV(λ)	rms(λ)
0	7.341	0.369	4.117	0.329
90	2.227	0.302	3.428	0.318
180	2.762	0.31	3.397	0.322
270	2.193	0.299	4.41	0.321
180	2.071	0.299	4.068	0.316
90	3.258	0.311	4.329	0.312
0	2.34	0.308	4.514	0.317
-90	2.168	0.303	5.035	0.302
-180	2.168	0.303	4.924	0.307
-270	2.14	0.312	4.525	0.303
-180	2.145	0.302	5.943	0.303
-90	2.068	0.303	1.255	0.23
0	2.02	0.305	7.299	0.312

有効径内面精度: $\text{rms} = 0.3\lambda$

まとめ

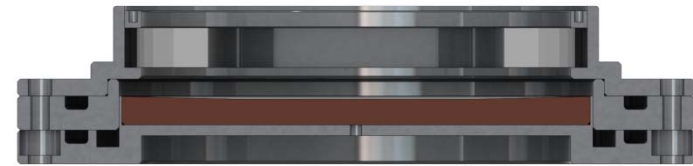
一連の試作・実験の結果、
ILOM地上試験観測用水銀皿
として

- 水銀面直径: $\phi 83\text{mm}$
- 深さ: 0.5mm (または 0.25mm)
- SUSを台座とした水銀皿
を採用することとした

その特性として

- 光学的有効径: $\phi 62\text{mm}$
 - 面精度: $\text{rms} = 0.3\lambda$
- が得られた

今後、室内実験で光学系の特性を確認し、
地上観測で性能確認を行う予定



@岩手大学

