

2012/02/22-23 可視赤外線観測装置技術ワークショップ

スライサー型面分光素子の開発

国立天文台 先端技術センター

尾崎忍夫

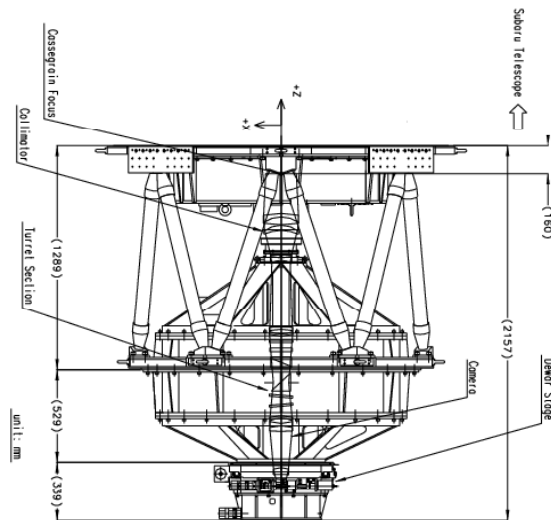
共同研究者

- FOCAS IFU

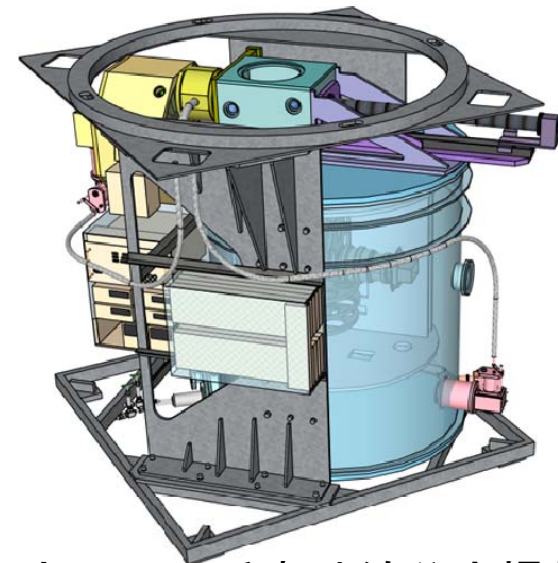
- 田中陽子、服部堯、宮崎聡、山下卓也、岡田則夫、三ツ井健司、福島 美津広(国立天文台)

- SWIMS IFU

- 本原顕太郎、小西真広、高橋秀則、舘内謙(東大)、吉川智裕(京産大)



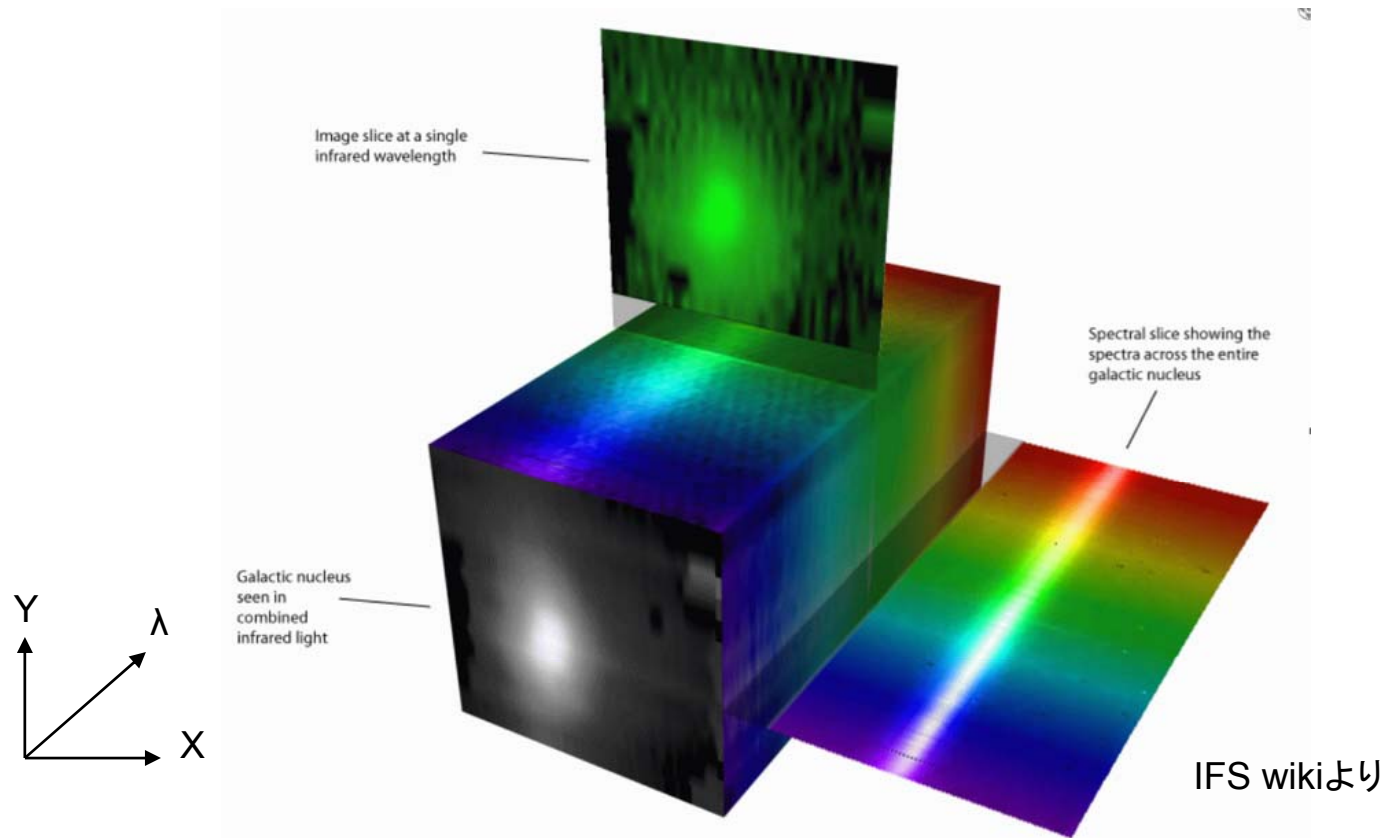
すばる望遠鏡 可視光分光撮像装置
FOCAS



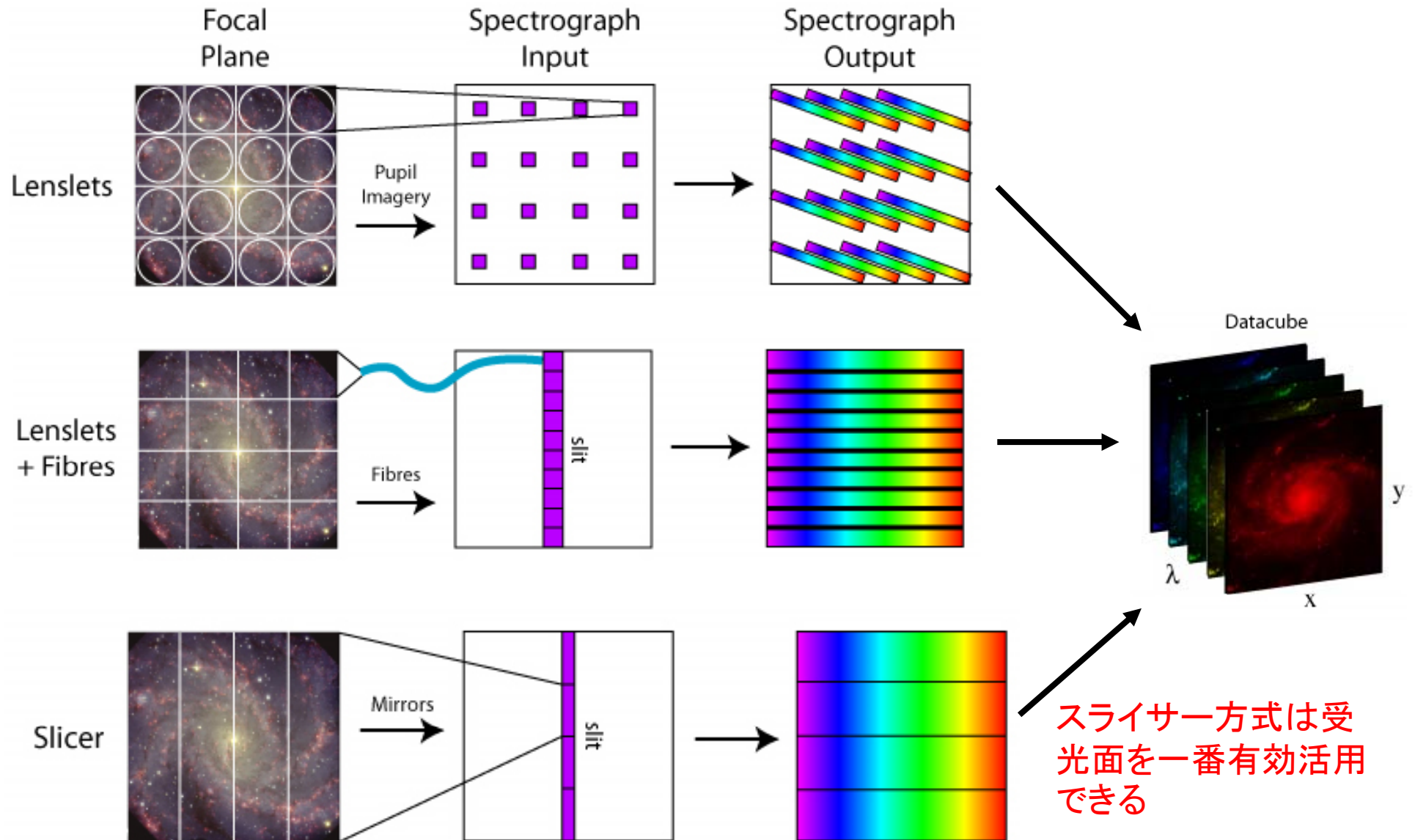
東大TAO用近赤外線分光撮像装置
SWIMS

面分光

- 空間方向2次元、波長方向1次元の三次元データを一度の露出で取得する観測手法
- 広がりを持った天体の詳細研究に最適
- 最近では光赤外の重要な観測手法の一つとなってきた

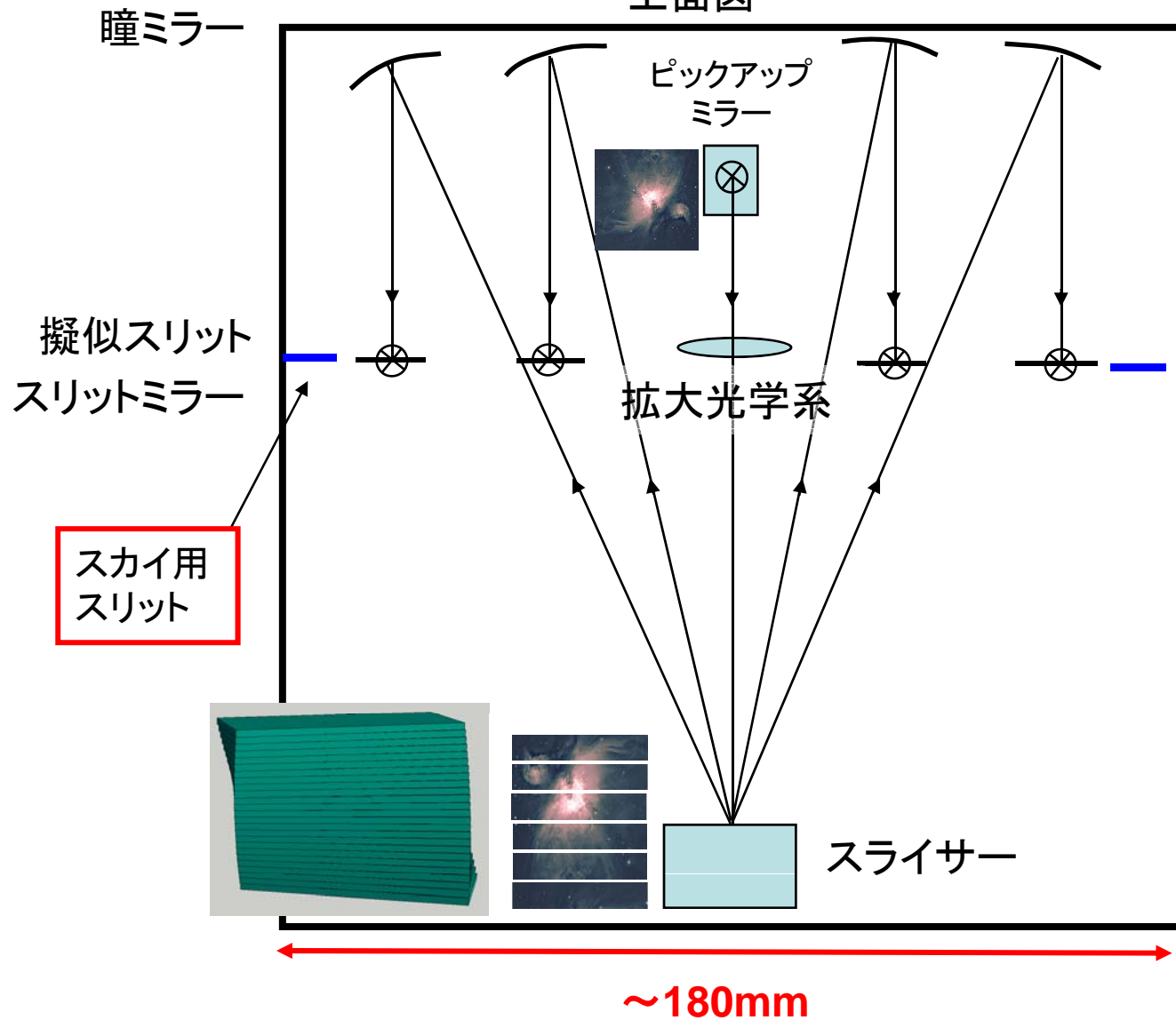


3つの面分光のタイプ

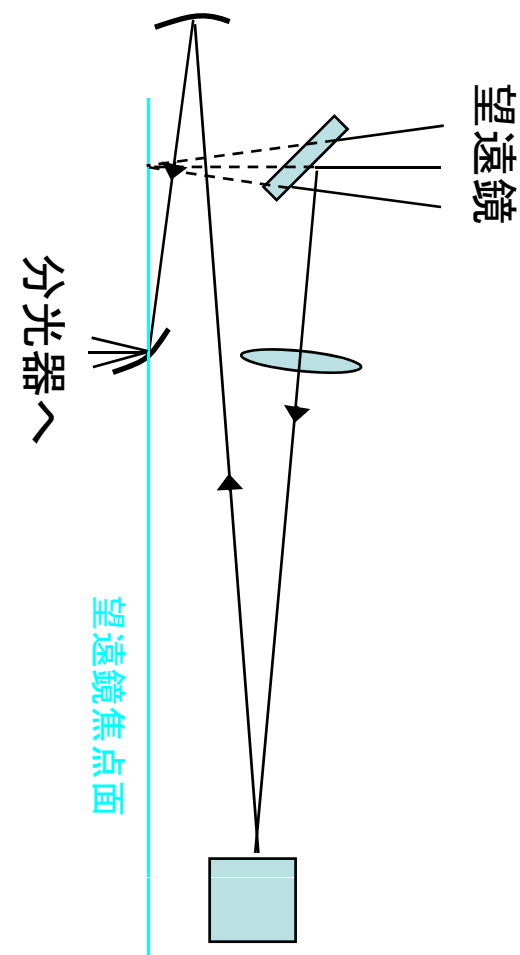


IFU光学レイアウト

上面図



側面図



パラメーター

	FOCAS IFU	SWIMS IFU	
		検出器 2個	検出器 4個
視野	13.5" x 9.6" スカイ用スリットあり	(10" x 6.8")	14" x 10.4"
スライス幅	0.4"	0.4"	0.4"
スライス長さ	13.5"	10"	14"
スライス数	24	17	26

既存の分光器を利用する メリット・デメリット

- メリット
 - 低コスト
 - 分光器開発の手間を省ける
- デメリット
 - スペース・重量の制限が厳しい
 - 光学系アライメント精度が厳しい

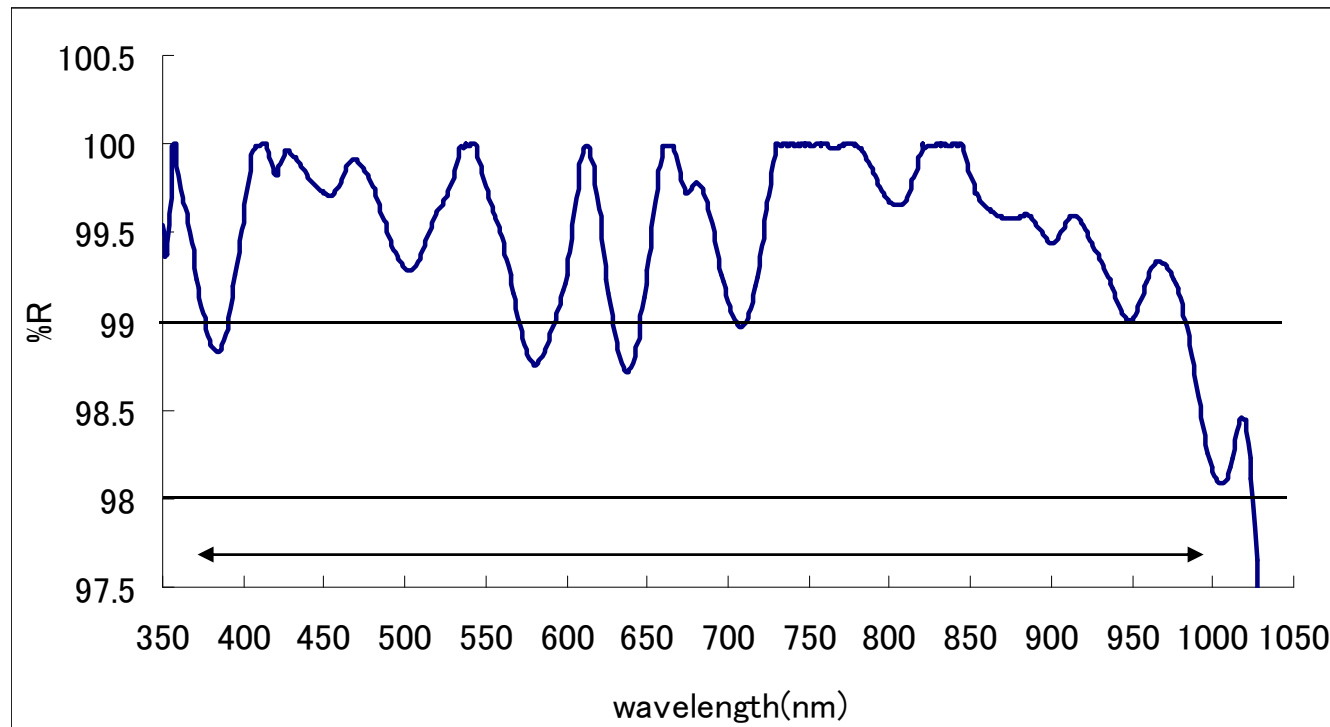
代表的な加工方法

- ガラスを研磨加工 ← FOCAS IFU
 - 長所
 - 表面粗さが小さい
 - こなれた手法
 - 短所
 - 一枚一枚製作しなければいけない
 - アライメントが難しい
 - 非球面加工が難しい
 - 金属を超精密加工 ← SWIMS IFU
 - 長所
 - 一体加工ができる
 - 非球面加工が比較的容易
 - 短所
 - 表面粗さ・形状誤差が大きい
- 切削金属表面に誘電体多層膜を施すのが難しいから

FOCAS IFU

高反射率誘電体多層膜コーティング

- FOCAS IFU単体で80%以上のスループットを目指すなら、1面あたり98%以上必要



一面あたりの反射率

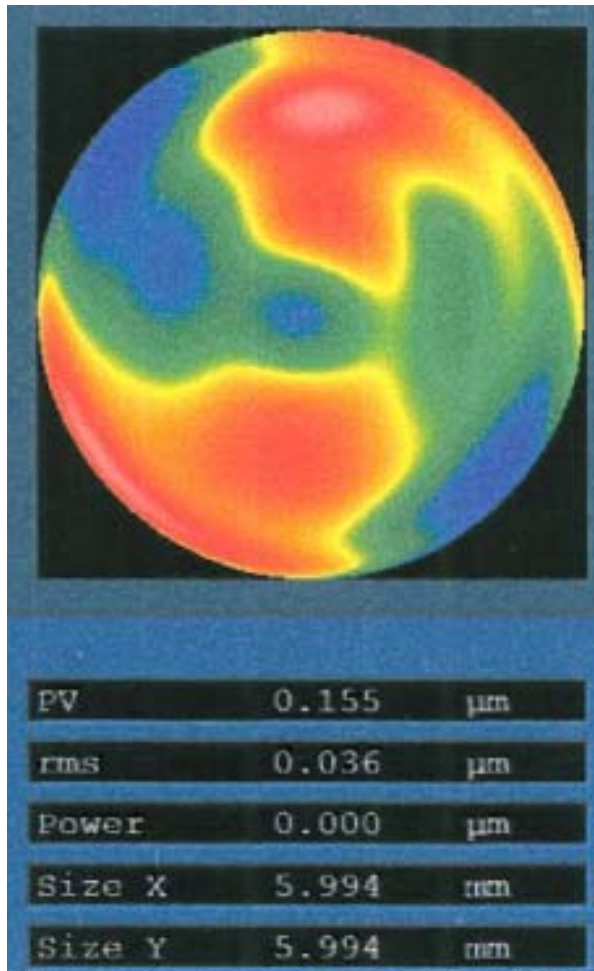
FOCAS IFU

軸外し楕円面の試作

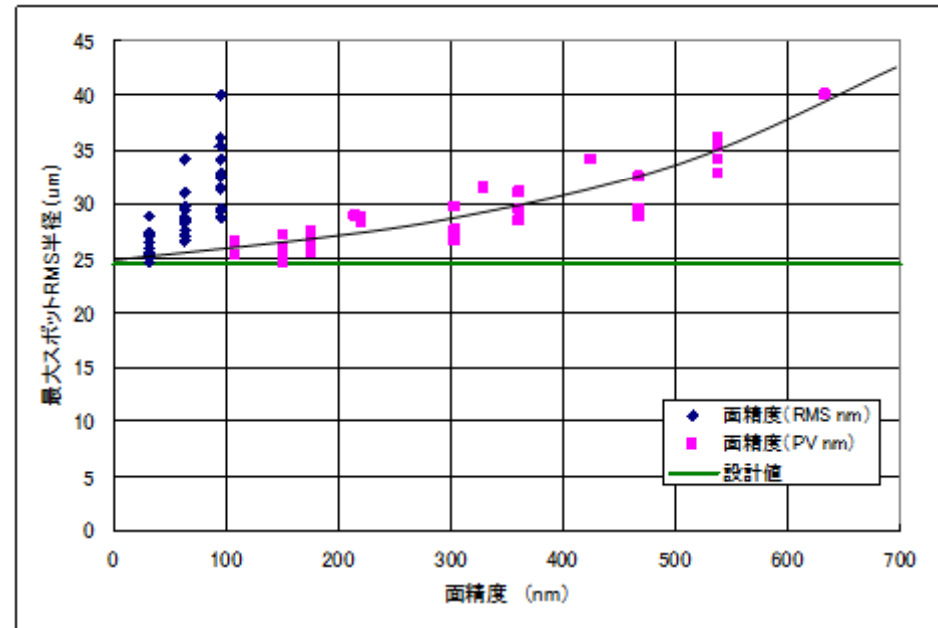
- QED technologyの磁気粘弾性流体研磨機
 - 外形サイズ:6.5mm×8.0mm (外形交差 ±0.05mm)
 - 有効径:φ6mm以上 (ビーム径は5mm程度)
 - 形状 軸外し楕円面
(サグデータは天文台より提供)
 - 曲率半径:77.0511mm (球面フィットの結果)
 - 表面粗さ:2nm rms 以下
 - 形状誤差:150nm PV以下
 - 面取り 0.1C
 - コーナー面取り 0.3C
1つは目印のために大きめに面取りする
 - 検証項目
 - 位置誤差(外形に対する楕円面の位置)
 - 形状誤差
 - 縁ダレ

FOCAS IFU

軸外し楕円面試作結果



理想形状からのずれ PV 155nm

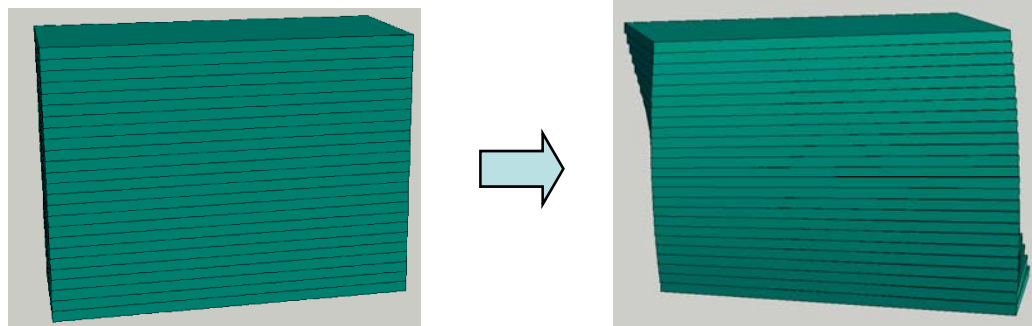
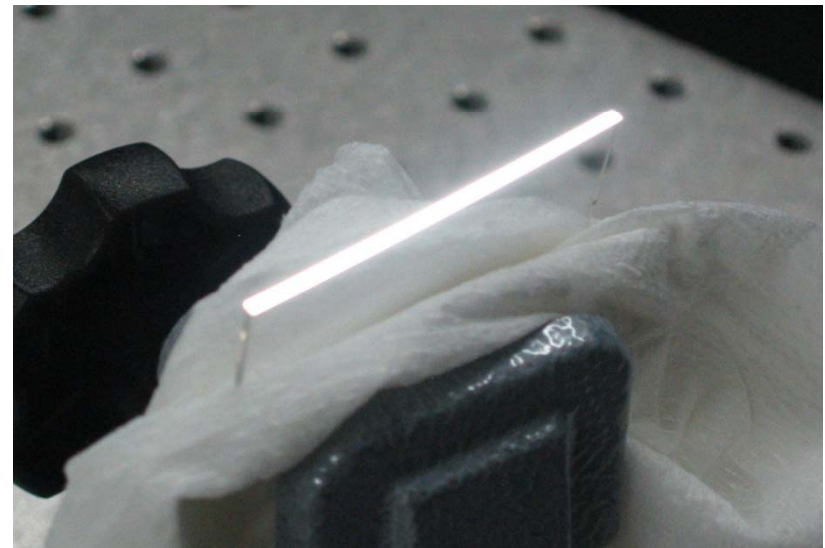


ZEMAXによる面精度とスポットスポット RMS半径の関係

PV 155nmの面精度ならスポット劣化はほとんどない

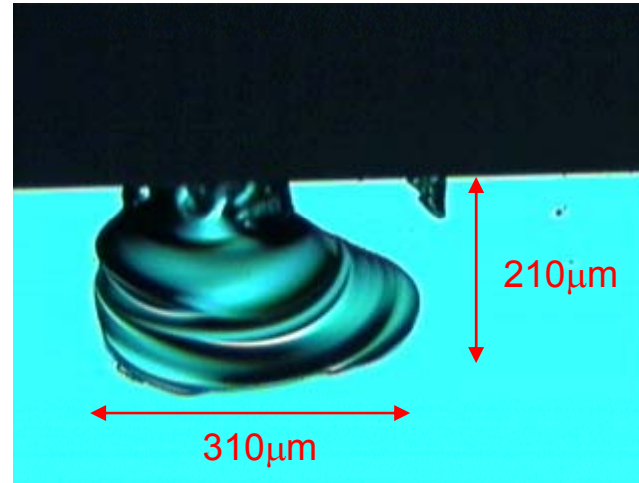
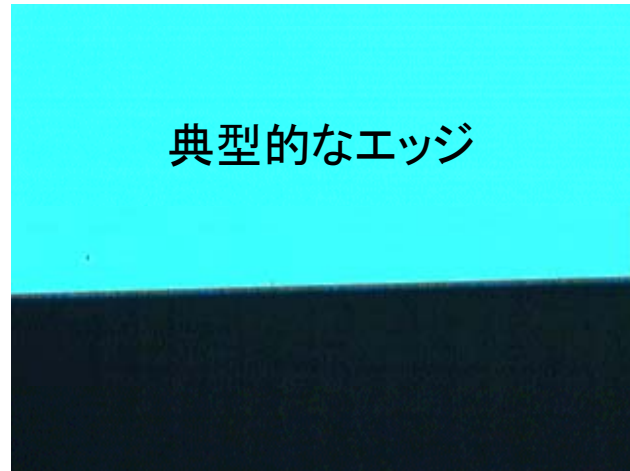
FOCAS IFU スライスミラー試作

- 仕様
 - 厚み 1.04mm
 - 長さ 41mm
 - スライス数 24
 - 曲率半径 500mm
 - 波長範囲 370-1,000nm
 - 反射率 >98%

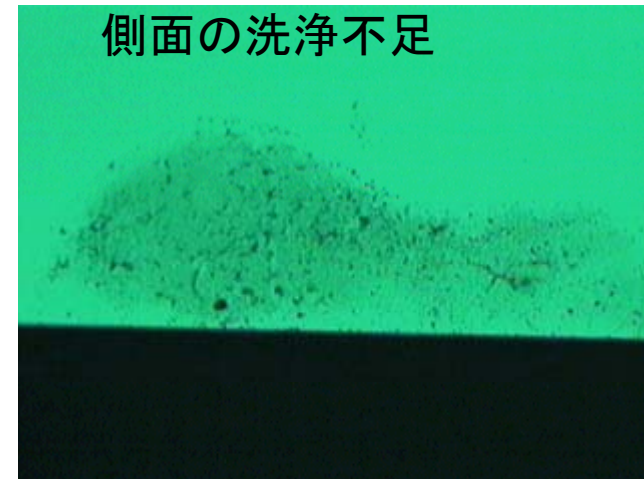
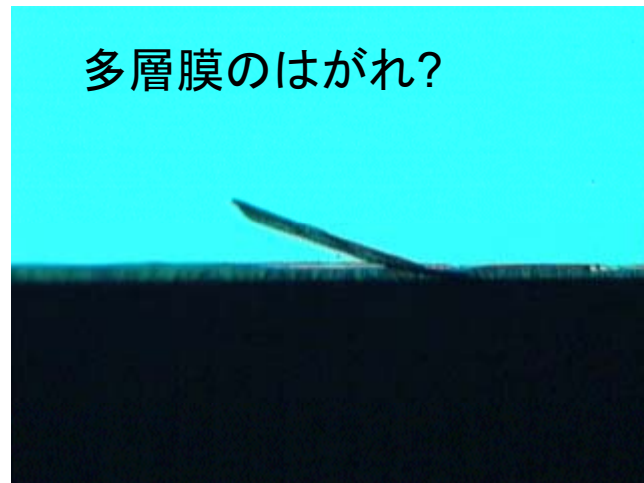


FOCAS IFU

スライスミラーの試作結果

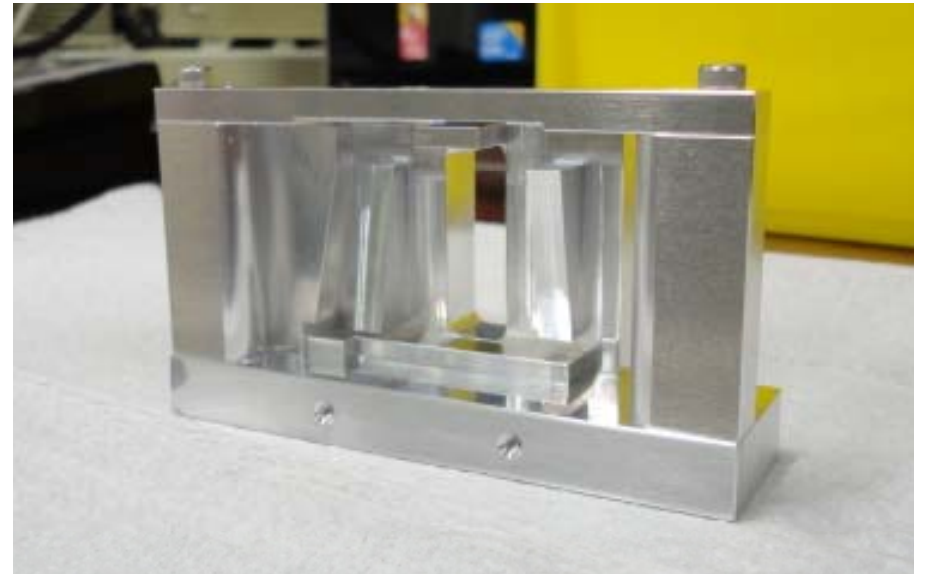
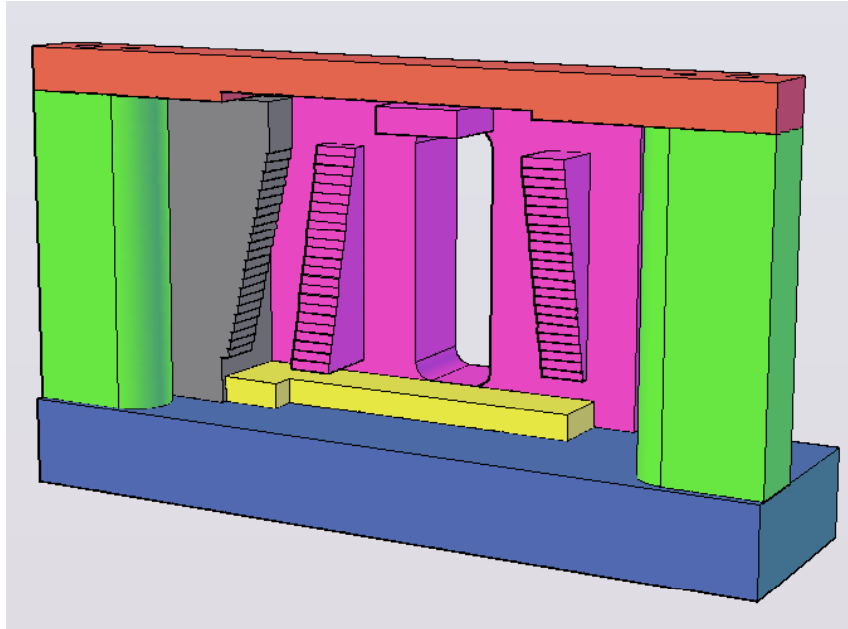


100 μm 以上の欠けは24個のスライスミラー中で3箇所しかなかった。
この大きな欠けでも0.4”切り出しのときに4%の光量損失にしかない。

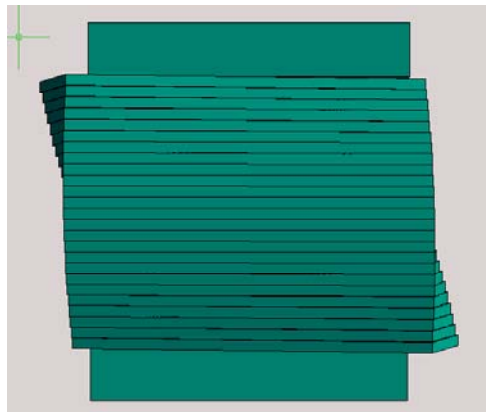


製作手法は確立した

FOCAS IFU スライスミラーアライメント治具



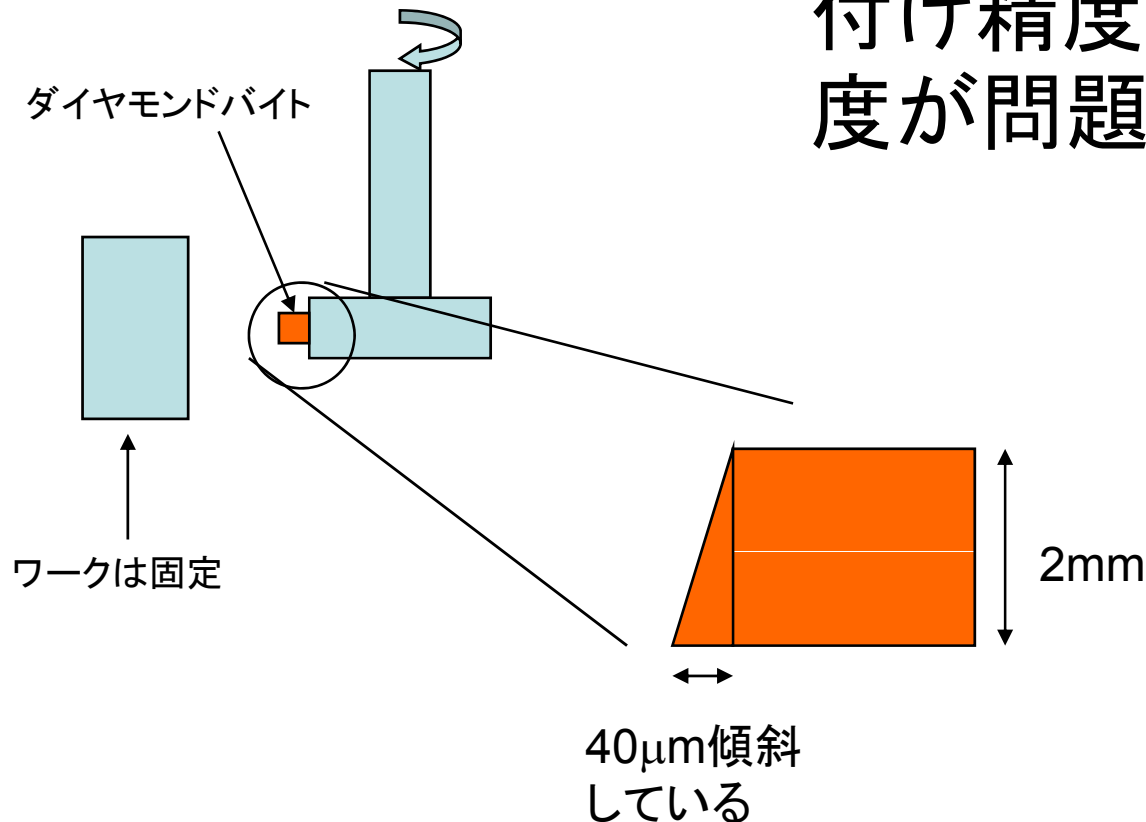
先端技術センターの超精密加工機で加工



FOCAS IFU

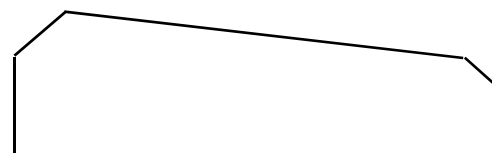
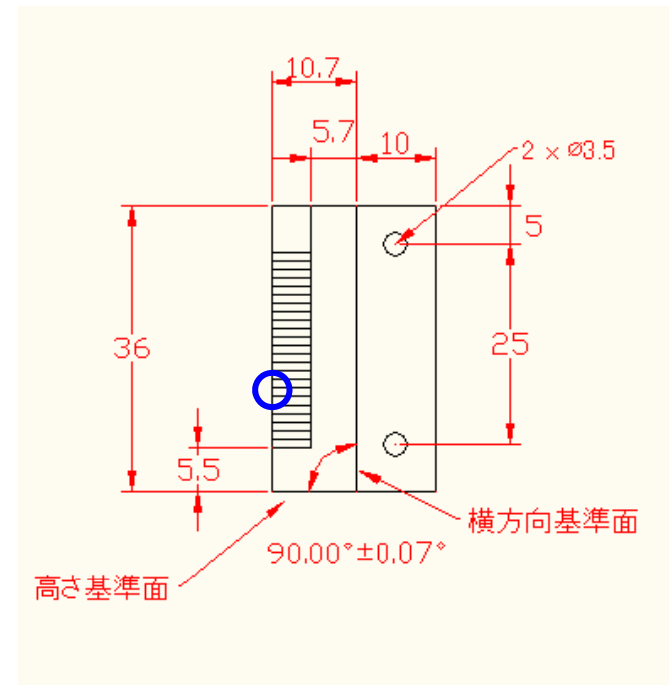
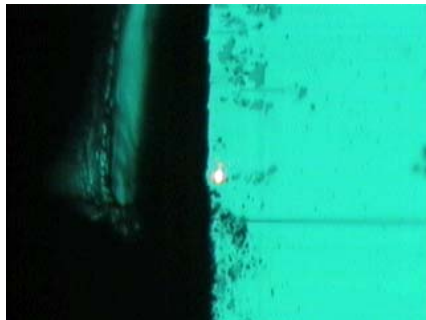
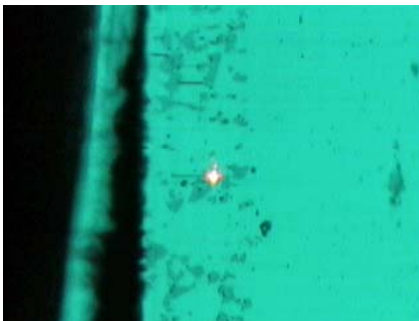
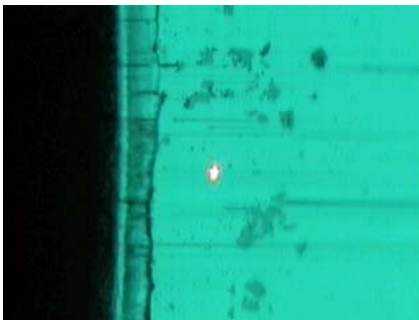
治具試作で判明した問題点

- ダイヤモンドバイトの取り付け精度、もしくは製作精度が問題



FOCAS IFU バリ

- 端でバリが出ている箇所が何箇所も見られた。



面取りすることでバリを防げる

FOCAS IFU

高いアライメント精度が必要

- 結像性能
- 瞳ミラー・スリットミラーが全ての光を拾う
- 隣り合う擬似スリットが重ならない ← この二つが厳しい
- 分光器内光学系でのケラレ量を最小にする ←

スライスミラーアレイ	角度	0.005° 以下
	横ずれ	0.05mm以下
瞳ミラーアレイ	角度	0.03° 以下
	横ずれ	0.06mm以下
スリットミラーアレイ	角度	0.03° 以下
	横ずれ	0.04mm以下

各ミラーアレイに対する個別の誤差要素の許容誤差(暫定値)

FOCAS IFU

今後の方針

- スライサー組立試験
 - クリーンルームで実行中
- 瞳ミラーアレイ・スリットミラーアレイの設計
 - 各アレイ内部での個々のミラーのアライメント精度が確保できるように
- アライメント手法検討
- 来年度中にテスト観測まで行きたい

SWIMS IFU 金属ミラー試作

- 東芝機械製 超精密加工機

仕様

サイズ 20mm x 20mm

厚みは加工しやすい厚さでよい

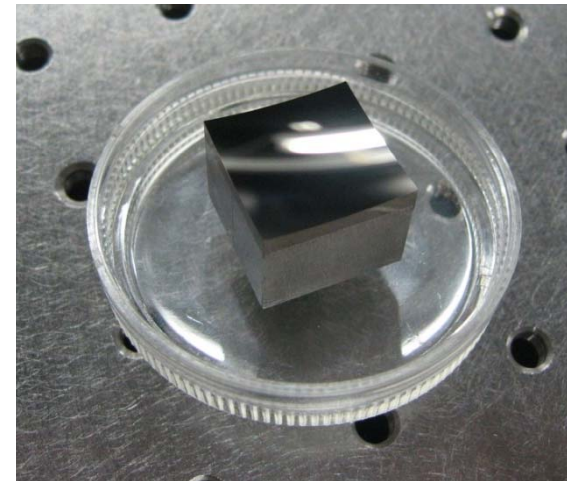
エッジまで加工

材料 アルミ+ニッケルリンメッキ

面形状 球面

曲率半径 80mm 凹面

加工手法 自由曲面加工



SWIMS IFU

試作金属ミラーの表面粗さ

- 表面粗さ $Rq=3 - 4\text{nm}$

Surface Statistics:

Ra: 3.07 nm

Rq: 3.84 nm

Rz: 26.25 nm

Rt: 28.72 nm

Set-up Parameters:

Size: 736 X 480

Sampling: 840.00 nm

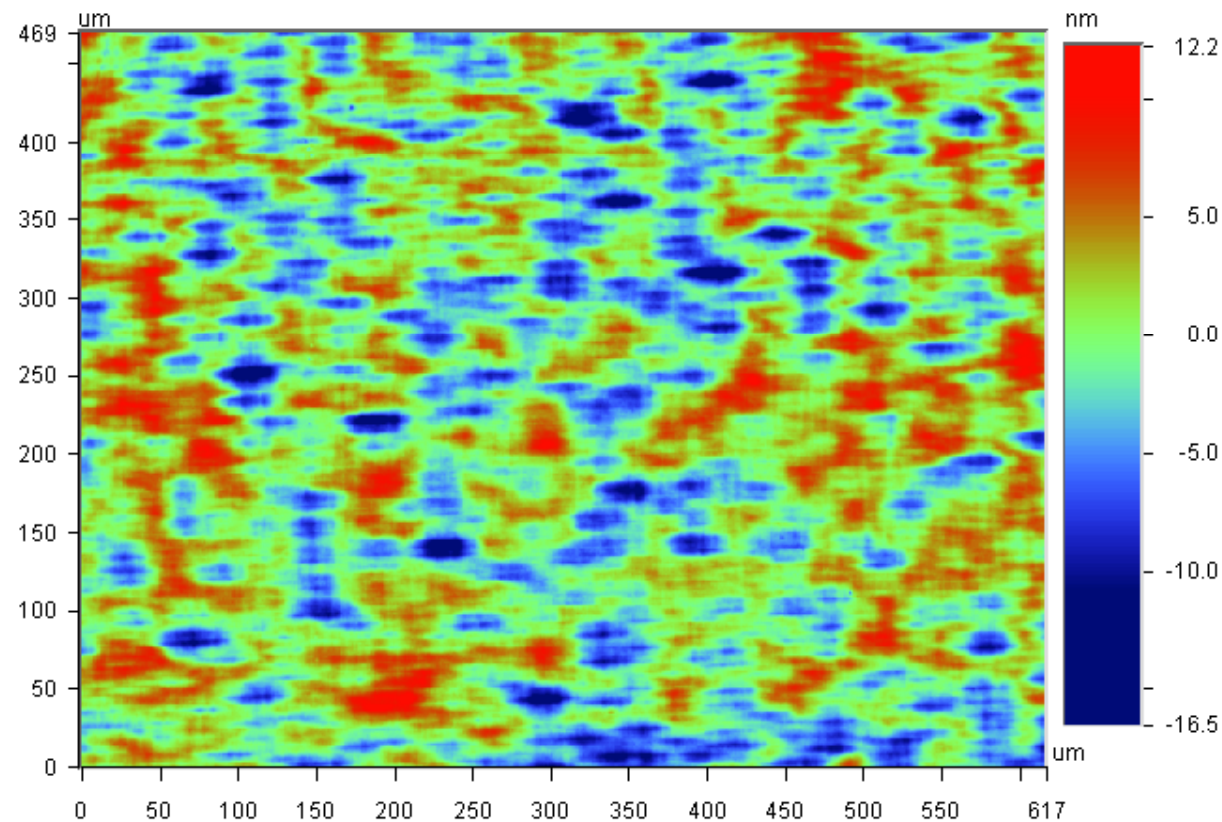
Processed Options:

Terms Removed:

Tilt

Filtering:

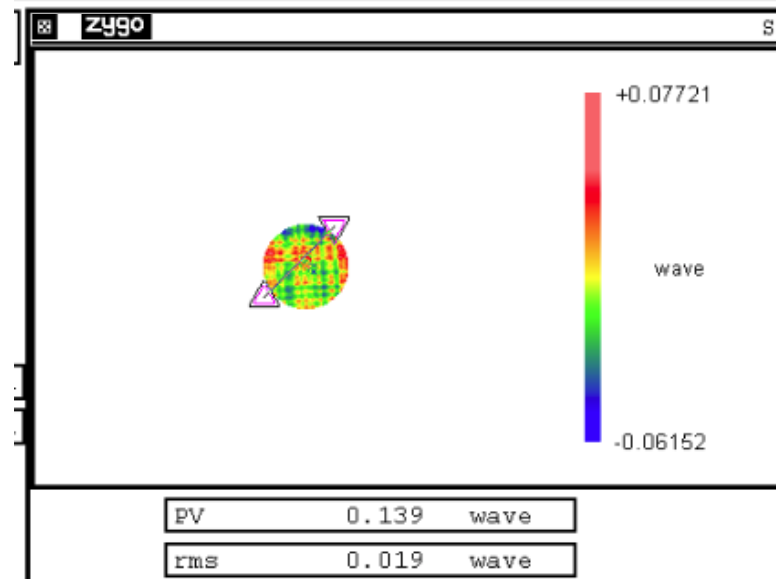
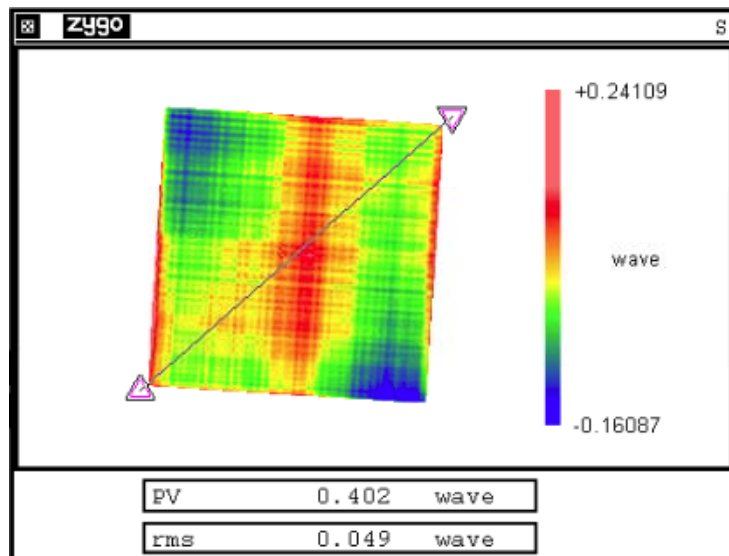
None



SWIMS IFU

試作金属ミラーの形状誤差

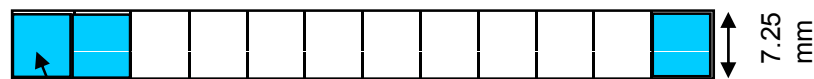
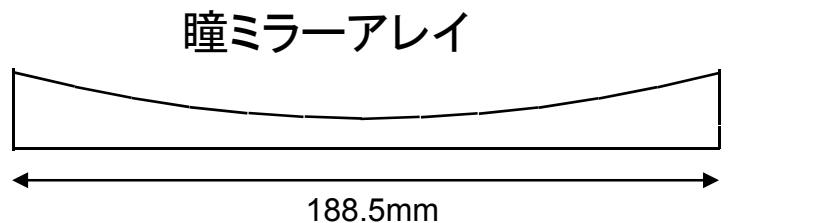
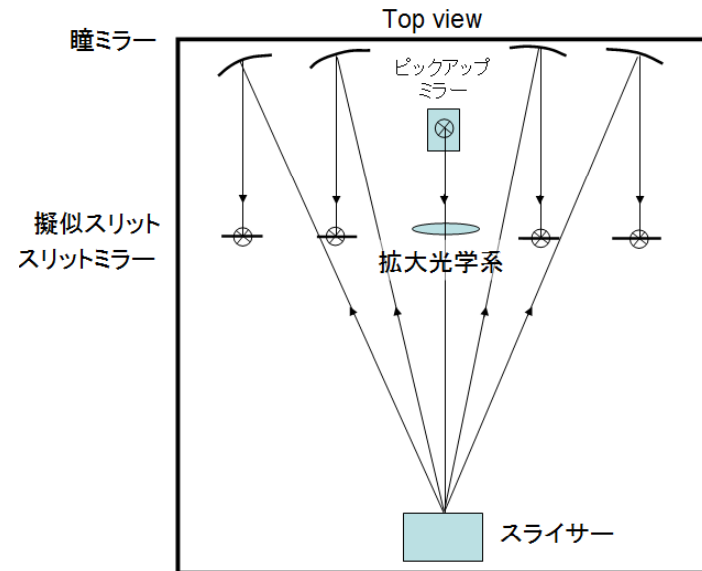
- 曲率半径
 - 仕様 $80 \pm 0.1\text{mm}$
 - 測定値 $79.90 \sim 80.00\text{mm}$
 - 測定手法(レーザー干渉計、三次元測定器)によって異なる。
- 球面からのずれ
 - 仕様 PV 150nm 以内
 - 測定値 PV $\sim 260\text{nm}$ (20mm x 20mm全面)
PV $\sim 90\text{nm}$ ($\phi 6\text{mm}$; 実際に使うのはこの程度)



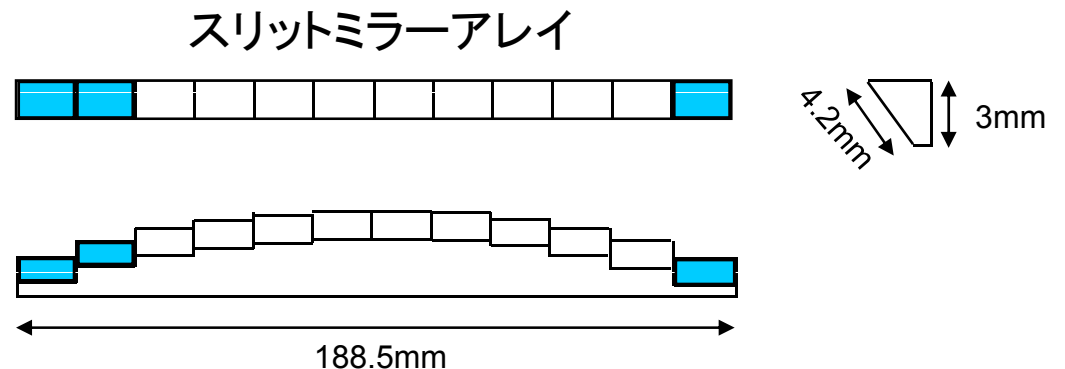
実際に使用する $\phi 6\text{mm}$ 程度を見れば全く問題ない形状誤差を達成できている。

SWIMS IFU 今後の方針

- 瞳ミラーアレイ・スリットミラーアレイの試作
- ミラーアレイへのコーティング試験
- まずはすばる望遠鏡用IFUで実証試験を行う



それぞれの四角が各ミラー面



まとめ

- FOCASとSWIMSに組み込むIFUを開発中
- 一つ一つ技術確立を行っている段階
- 技術の進歩は目覚ましい
 - 磁気粘弾性流体研磨機
 - 超精密加工機
- 高精度アライメント手法の確立がカギ