

## H24 年度 TMT 戦略基礎開発経費報告書

課題名：TMT 第 1 期装置 可視光分光撮像装置 WFOS 用面分光ユニット開発へ向けた  
基礎開発と技術立証試験

開発組織：尾崎忍夫（国立天文台）、可視光面分光ユニット開発グループ

### 1、予算執行内容

ハワイ観測所出張（FOCAS 組込み試験）	¥296, 573
国内出張（技術打ち合わせ）	¥43, 920
IFU 光学素子	¥3, 396, 982
実験器具	¥661, 659
ソフト契約更新費用	¥178, 500
その他（文具等）	¥83, 189
合計	¥4, 660, 823
配分額	¥4, 700, 000

### 2、計画全体の進捗状況と今後の予定

我々は WFOS/MOBIE 用面分光ユニット（Integral Field Unit; IFU）開発の前に、実証試験としてすばる望遠鏡可視光分光装置 FOCAS に組み込む IFU を開発している。光学系詳細設計・オプトメカ概念設計は既に終了し、今後オプトメカの詳細設計製作・組立調整手ののちに、今年中のファーストライトを目指している。

以下の章に記載したように、これまでいくつかの問題が判明したが、どれも致命的なものではない。今後これらの問題に対する検討を進めるが、開発進行中の他の可視スライサー型面分光装置（VLT の MUSE と Keck の KCWI）のファーストライトが今年から来年にかけて予定されていることを考慮して、完全に問題が解決されなくても、今年ファーストライトを目指す。未解決の問題については WFOS 用 IFU 開発時の技術課題とする。

#### 2.1 光学レイアウト

この IFU は FOCAS のマスク収納スペースに収められ、観測時にはマスク交換機構によって焦点面へ設置される。収納スペースや望遠鏡焦点部に許されたスペースは 200 mm×330 mm、高さ 100mm である。この制限を満たす光学レイアウトを図 2.1 に示す。細長いスリット状のミラーが並んだスライサーと呼ばれる光学素子で、イメージが分割され、瞳ミラーとスリットミラーによって一列に並び替えられたあと、分光器へと光が導かれる。端の瞳ミラーでの反射角は大きいので、収差を抑えるために軸外し楕円面を使用しなければいけない。FOCAS は 2k×4k CCD を 2 個搭載しており、そのギャップも考慮に入れられている。結像性能は FWHM 換算で 0.27"（最悪値）であり（図 2.2）、スライス幅の 0.4" と比較して問題ないこ

とがわかる。

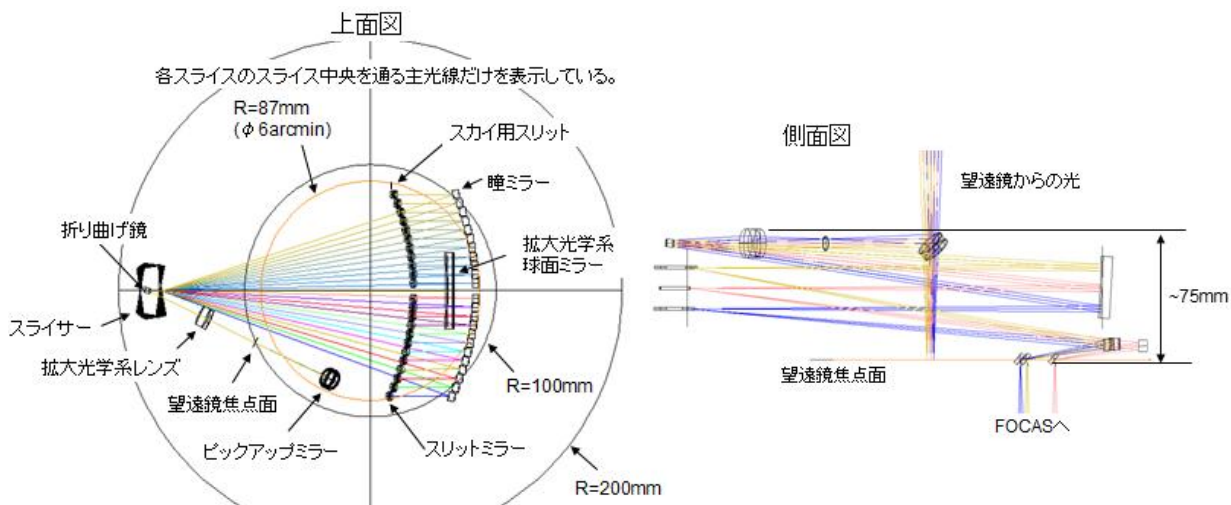


図 2.1 FOCAS IFU の光学系。

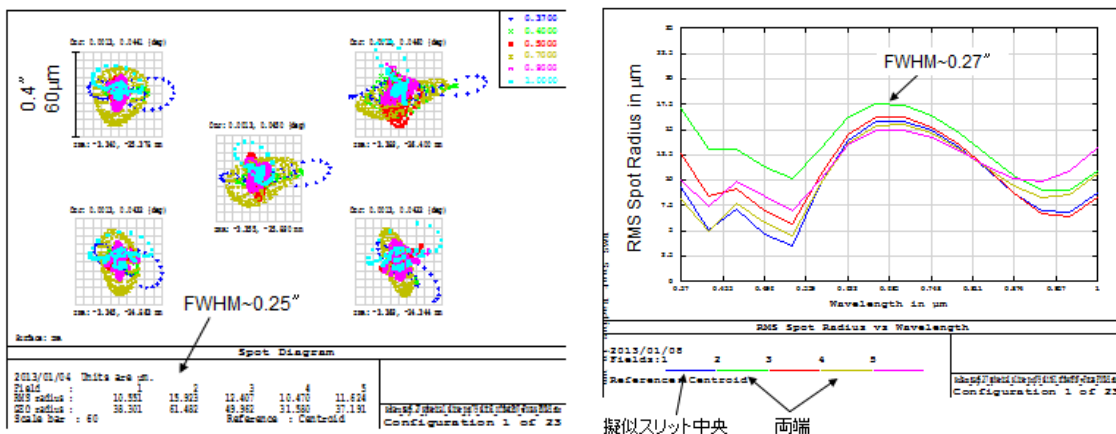


図 2.2 スポットが一番悪いチャンネルの光学性能。左：スポットダイアグラム、右：スポット RMS 半径の波長依存性。

## 2.2 スライサー製作手法

スライサーはガラス板を積み重ねて、鏡面となる側面を球面研磨したあと、しかるべき精度で並べなおして製作することにした。スライスミラー試作の結果、問題になるほど大きなエッジの欠けはなかった。図 2.3 左はスライスミラーを並べなおす際に使用する治具とホルダーである。特に精度が必要とされる部分については超精密加工機を用いて加工を行った。図 2.3 右は試作スライスミラーと試作治具を用いて組み立てたスライサーである。各スライスミラーの角度を測定したところ最大で 0.04 度の誤差がみられた (図 2.4)。この角度誤差は 10%程度のケラレを生じる。組立はクリーンルームで行ったが、各スライスミラー間にマイクロレベル

のパーティクルが混入していると考えられるので、組立工程を再検討する必要がある。

組立後、スライスマラーのエッジにコーティングの剥離と褶曲 (0.1mm 程度幅) が見られた (図 2.5)。スライスマラー製作時に、コーティングが少しはみ出しており、積み重ねたときに力が加わり破損もしくは褶曲したと考えられる。業者と対策を検討し、有効と考えられる改善策について検証するためにコーティングテストを行った。この測定・解析はまだ行っていない。この不具合が発覚したためにスライスマラー製作は H24 年度内には間に合わず、工程検討と材料取りを行うにとどまった。

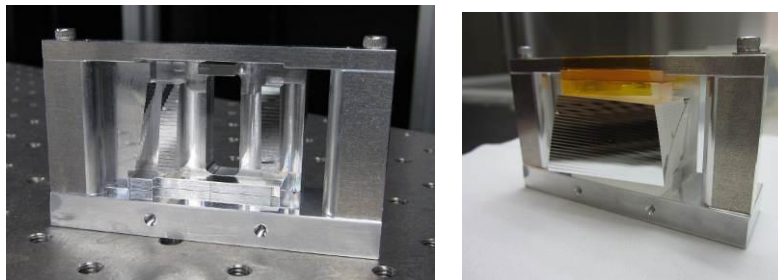


図 2.3 左:ATC で試作したスライサーホルダーに組み立て用治具を取り付けた様子。右: 試作したスライサー。

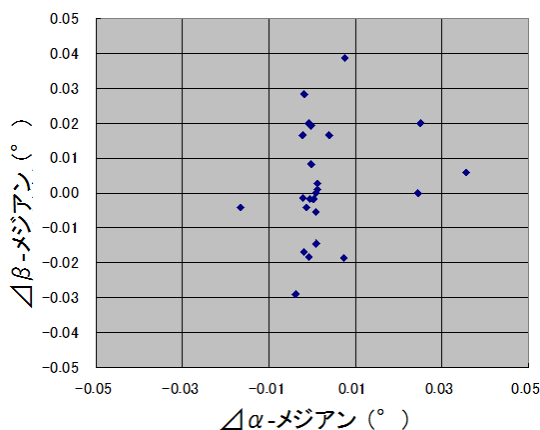


図 2.4 各スライスマラーの組立角度精度。 $\alpha$  と  $\beta$  は図 2.3 右の写真で、正面からみて上下軸と左右軸の周りの回転角である。

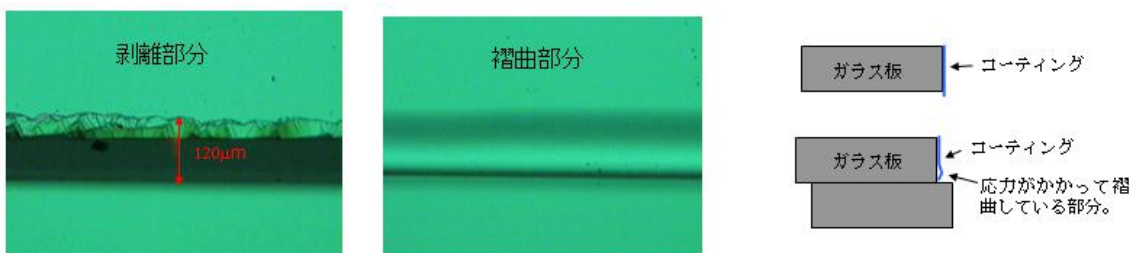


図 2.5 組立後に見られたスライスマラーのエッジにコーティングの剥離と褶曲の様子。

### 2.3 アライメント手法

この IFU では 23 枚のミラーからなる瞳ミラーアレイを製作する。個々のミラーの相対位置精度を確保するため、精度良く一体加工したホルダーを用いることにした。図 2.6 は ATC

のワイヤー放電加工機で製作した試作瞳ミラーホルダーである。加工精度測定の結果、角度精度は 0.03 度以下という仕様を達成できたが、二つ試作したうちの 하나가 50 $\mu\text{m}$  以下という目標位置精度を達成できなかった（最大で 70 $\mu\text{m}$  の誤差）。この原因を究明するための加工試験を行い、現在解析中である。

スリットミラーアレイも同じく 23 枚のミラーで構成される。スリットミラーアレイホルダーに必要な精度は瞳ミラーと同程度であるので、上記の問題さえ解決すれば、製作可能であると考えている。

各ミラーアレイ・拡大光学系のアライメントは ATC にある接触式三次元測定器を用いて行うことを考えているが具体的手法は今年度に検討予定である。



図 2.6 瞳ミラーホルダー試作品。四角い穴には軸外し楕円面ミラーが、丸い穴には球面ミラーが収納される。

#### 2.4 軸外し楕円面製作手法の確立

外側に位置する一部の瞳ミラーは反射角が大きいので、収差を抑えるために軸外し楕円面を使用しなければいけない。図 2.7 は磁気粘弾性流体研磨機で試作した軸外し楕円面とその測定結果である。理想形状からのずれは仕様（150nm PV 以下）を満たしていることが確認できたが、組立時の基準面となる裏面に対する表面形状の傾きは 300 秒角程度と、仕様（100 秒角）を満たせなかった。加工業者との議論の結果、これを改善することは難しいと判断したので、各ミラーの形状を測定し、その結果をミラーホルダーの設計に反映させることで対応することにした。

上記の製造手法・検査手法を検証するために、光学的な結像性能を Zemax の計算結果を比較した（図 2.8）。視野中央で Zemax での計算結果よりも測定値が悪いが、これは測定装置側光学系の収差の影響である。それ以外の点ではほぼ同じ値が得られ、上記手法が妥当であることが裏付けられた。

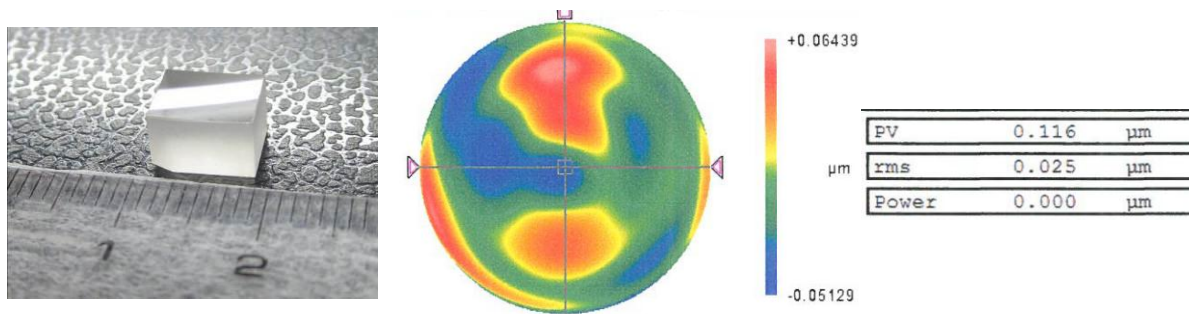


図 2.7 。左は試作軸外し楕円面の写真、右は干渉計の測定値から求められた理想形状からのずれ。

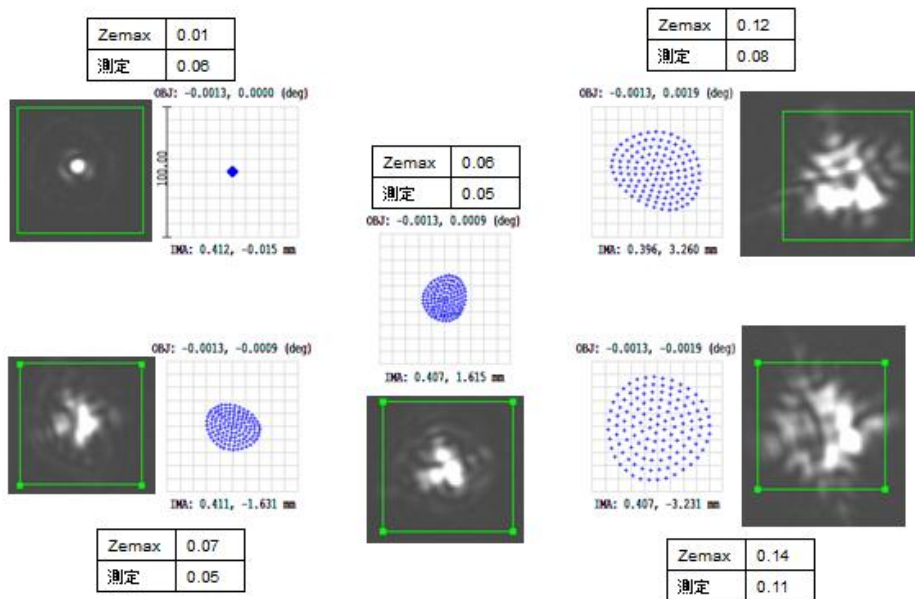


図 2.8 実際のスポット画像と Zemax のスポットの比較。緑の四角は Zemax のボックスサイズと同じで 100 $\mu$ m である。各スポットに対して FWHM の値を arcsec 単位に換算した値を記載している。

### 2.5 誘電体多層膜の張力による鏡面形状変化

この IFU は反射面が多いので各反射面に反射率 98%以上の誘電体多層膜ミラーを用いることにした。この多層膜は膜圧が厚いので膜と基板の熱膨張率の違いのために鏡面形状が変形してしまう可能性がある。ミラーを試作して形状測定した結果、グローバルな形状変化は見られなかった（曲率半径にして 0.1mm 以下。これは許容範囲内）が、エッジから 0.5mm 程度の範囲で縁ダレが観測された（図 2.9）。縁ダレは厚さに依存していなかったため、局所的な現象であると解釈できる。瞳ミラーの外形サイズは 6.5mm であり、瞳ミラー位置での照射エリアは 5mm 以下であるので、この縁ダレの影響はほとんどない。エッジ付近まで使用するスリットミラーは像面に置かれるので、その形状変化は結像性能にほとんど影響を与えないが、FOCAS 内部でのケラレの増加を生じる。しかし、それも 1%程度のケラレの増加にしかならない。

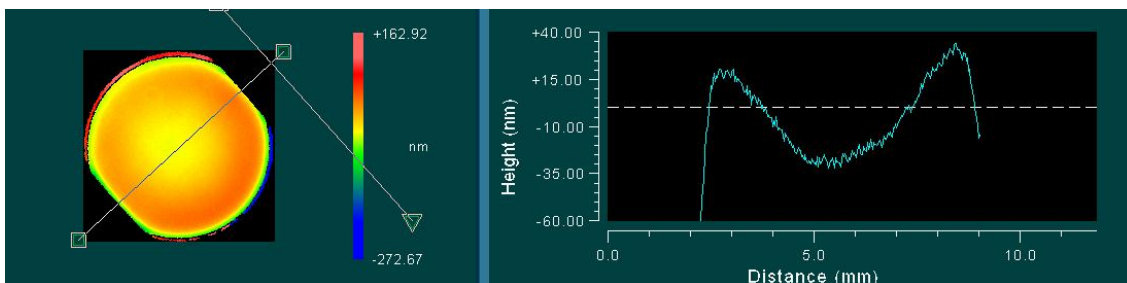


図 2.9 多層膜と基板の熱膨張率の違いによる鏡面形状変化

## 4、24 年度経費による成果

H24 年度経費による主な成果は以下のとおりである。

- 光学素子の購入
  - スライサー、瞳ミラー（楕円面）、ピックアップミラー以外のものは購入した。
- ダミーモデルによる組込み試験
  - サイズと重量配分を再現したダミーモデルを製作し、FOCAS への組込み試験を行った。
    - ◇ マスク交換機構によるマスク収納庫（マスクスタッカー）への出し入れは問題なく行えることを確認した。
    - ◇ FOCAS 焦点面のマスク固定器具の一部がダミーモデルと干渉することが判明した。
      - 面分光ユニットベースプレートの形状修正をすることで対応可能である。
- スライスミラー コーティングテスト
  - コーティングの不具合に対する改善策を検証するためのコーティングテストを行った。