



近赤外線広視野撮像分光カメラ SWIMS用面分光ユニット SWIMS-IFU すばる望遠鏡での経験とTAO望遠鏡に向けて

櫛引洸佑（東京大学 天文学教育研究センター）

尾崎忍夫⁽¹⁾、竹田真宏⁽²⁾、細畠拓也^(2,3)、山形豊⁽²⁾、森田晋也⁽⁴⁾、都築俊宏⁽¹⁾、
中川桂一⁽³⁾、大竹豊⁽³⁾、三ツ井健司⁽¹⁾、沖田博文⁽¹⁾、
本原顕太郎^(3,1)、高橋英則⁽³⁾、小西真広⁽³⁾、加藤夏子⁽³⁾、小山舜平⁽¹⁾、陳諾⁽³⁾

(1) 国立天文台、(2) 理化学研究所、(3) 東京大学、(4) 東京電機大学





SWIMS

Simultaneous-color Wide-field Infrared Multi-object Spectrograph

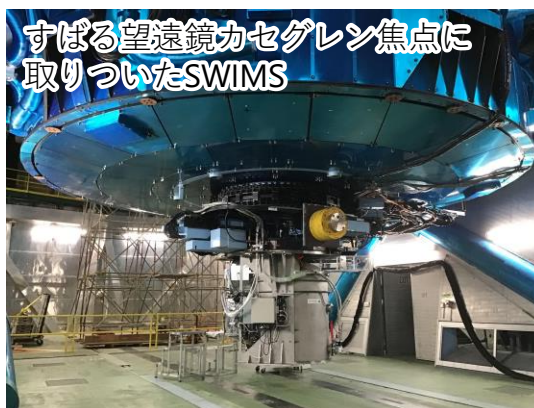
TAO 6.5m望遠鏡用の近赤外線撮像 & 分光装置 (2021-2022年 すばる望遠鏡PI装置)

広視野 2波長域同時 撮像

- 視野直径 9.6 arcmin
- 0.9 – 1.4 / 1.4 – 2.5 μm の2波長帯域を同時に観測
- 広帯域フィルタに加え、多彩な中帯域、狭帯域フィルタ

広波長帯域 多天体スリット分光

- 0.9 – 2.5 μm を $\lambda/\Delta\lambda \sim 1000$ で一度に取得



SWIMS-IFU

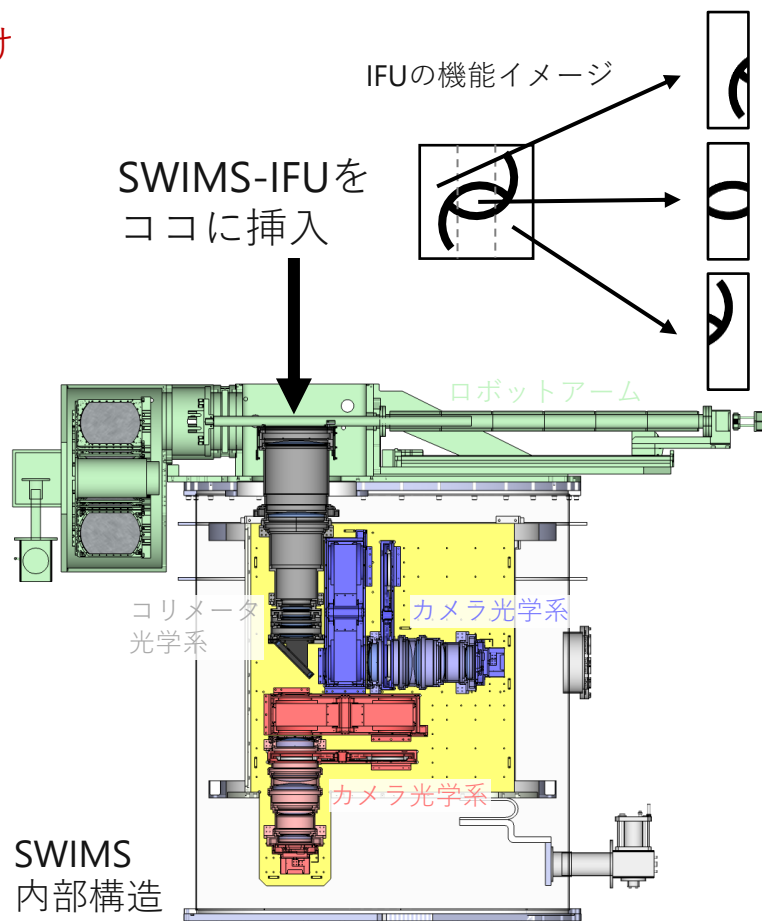
SWIMSに面分光機能を追加するイメージスライサー方式の面分光ユニット (IFU)

- 望遠鏡焦点面に**SWIMS-IFU**を挿入するだけ
 - 天体像が分割 & 1列に再配置される
 - 面分光の実現
- スリットマスク同様に扱える
コンパクトで軽量な光学ユニット

シーイングサイズのスライスで 広視野観測に特化

- 多くの近赤外線IFUは補償光学を用いた
高空間分解能観測に特化

→ **SWIMS**分光の広波長帯域と合わせて
空間的に広がった天体/領域の
近赤外線全波長にわたる分光情報を
時間効率よく取得





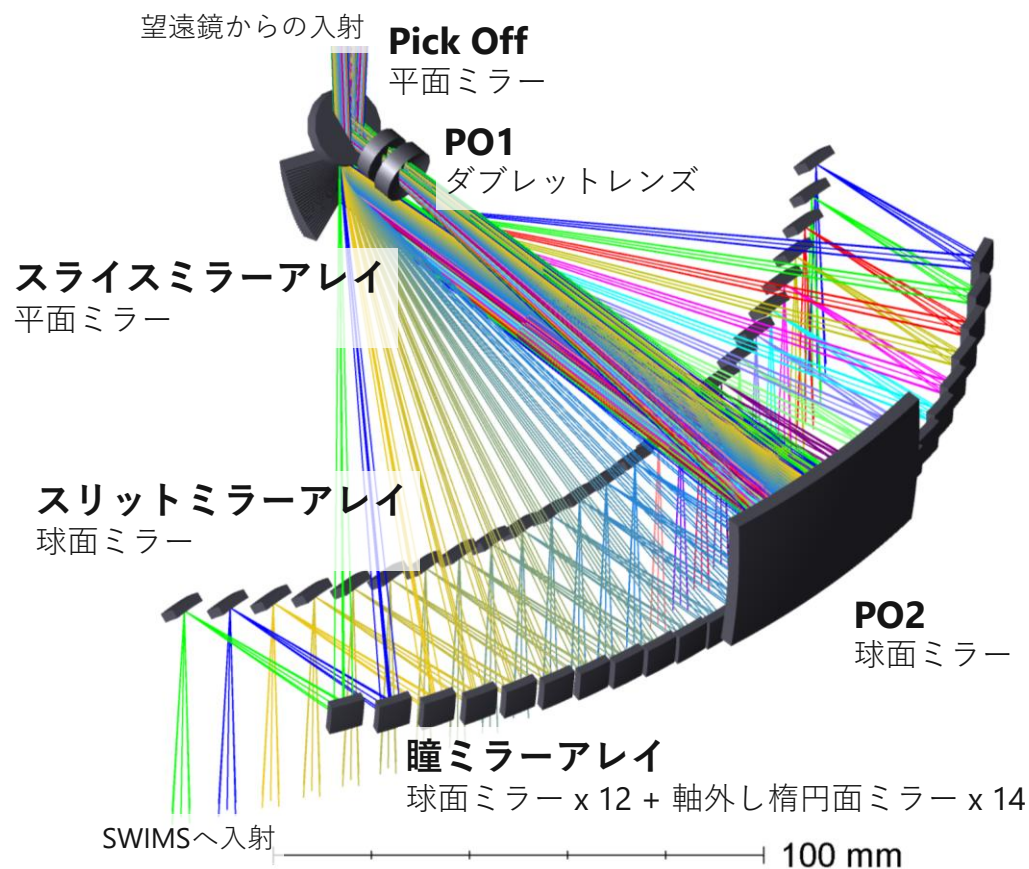
すばる望遠鏡用SWIMS-IFU

2021年末に完成 & 2022年3月にすばる望遠鏡でファーストライト

仕様

視野	13.5 × 10.4 arcsec ²
スライス幅	0.4 arcsec
スライス数	26
スライス長さ	13.5 arcsec
波長帯域	0.9 – 2.5 μm
$\lambda/\Delta\lambda$	0.9-1.4 μm帯
	875 – 1500
	1.4-2.5 μm帯
	750 – 1250

- 結像性能や効率は
ほぼ設計通りの性能
- すばる望遠鏡での科学観測では
マウナロアの噴火の影響で
まともなデータが取れず...





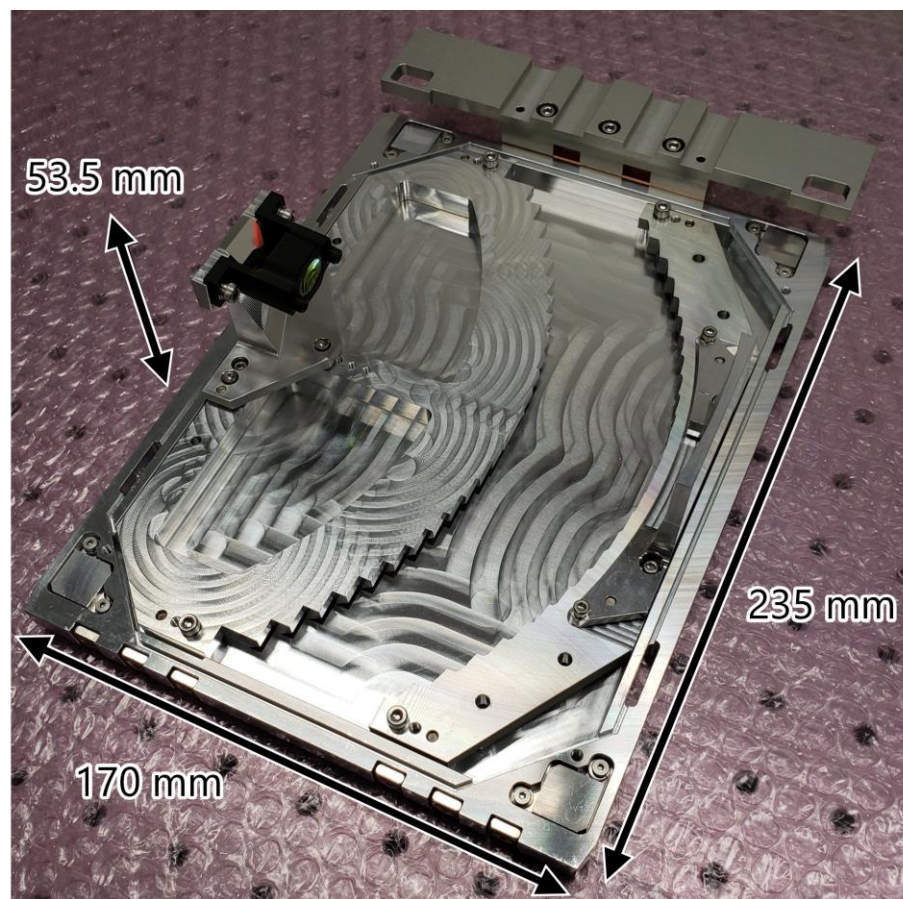
すばる望遠鏡用SWIMS-IFU

2021年末に完成 & 2022年3月にすばる望遠鏡でファーストライト

仕様

視野	13.5 × 10.4 arcsec ²
スライス幅	0.4 arcsec
スライス数	26
スライス長さ	13.5 arcsec
波長帯域	0.9 – 2.5 μm
$\lambda/\Delta\lambda$	0.9-1.4 μm帯
	875 – 1500
	1.4-2.5 μm帯 750 – 1250

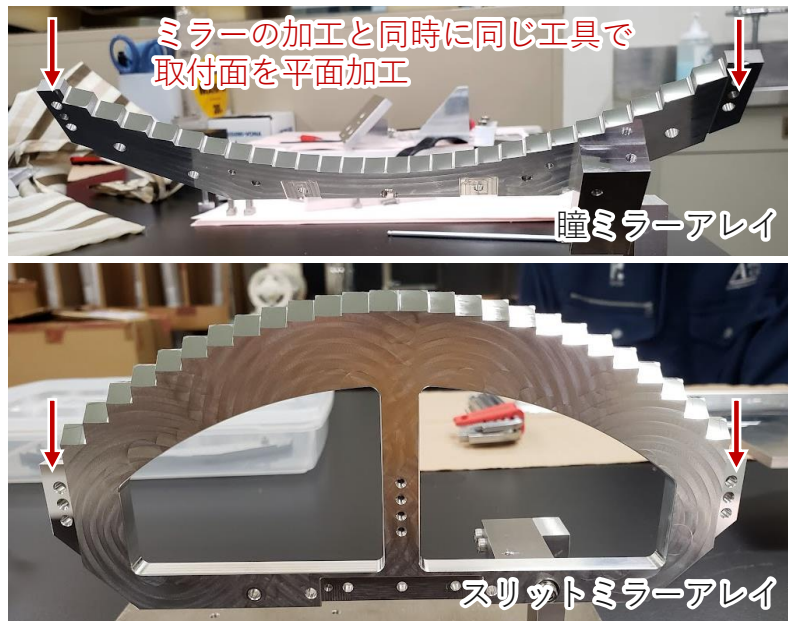
- 結像性能や効率は
ほぼ設計通りの性能
- すばる望遠鏡での科学観測では
マウナロアの噴火の影響で
まともなデータが取れず...



すばる望遠鏡用SWIMS-IFUで 実証した技術：超精密切削加工

nmオーダーの制御精度の高精度加工機と高精度ダイヤモンド工具で
切削のみでミラーを仕上げる技術 @理化学研究所 先端光学素子開発チーム

- 複数ミラーの一体加工 & 基準面や取付面の同時加工
→ **アライメント負担を大幅軽減**。すばる望遠鏡用SWIMS-IFUは組み立てただけ。
- 面粗さ < 10 nm rms、形状誤差 < 200 nm P-Vの高精度アルミミラーを加工可能。

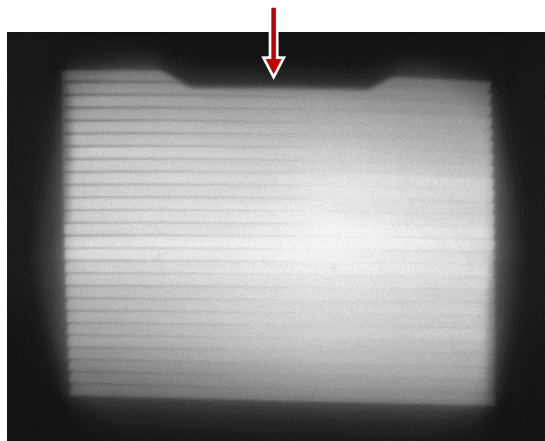




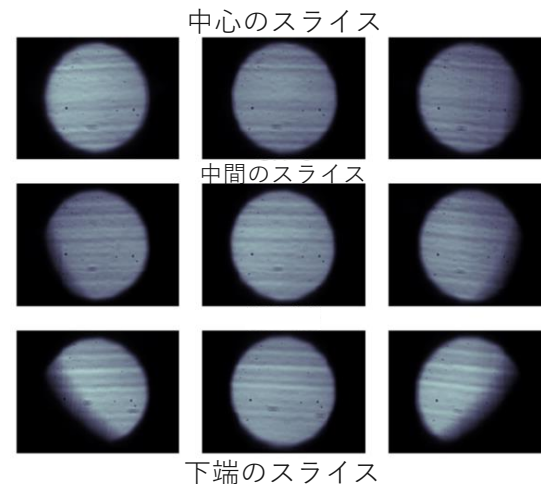
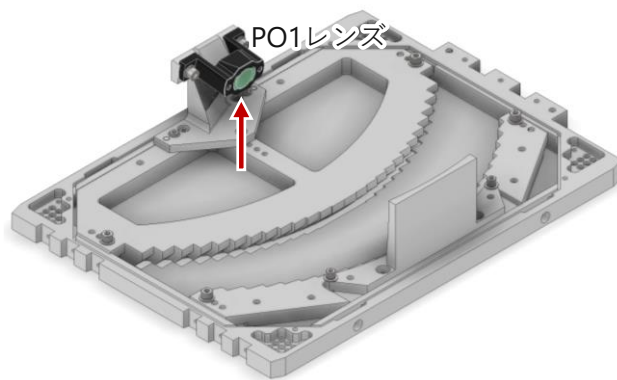
すばる望遠鏡用SWIMS-IFUの 反省点と改善策

ケラレ

- 視野のケラレ → PO1レンズの構造下部によるもの
 - 瞳像のケラレ → PO1レンズの有効径が不足していたため
- 光学素子の配置を見直し、空いているスペースを有効活用
- } スペース不足



スライスミラー像



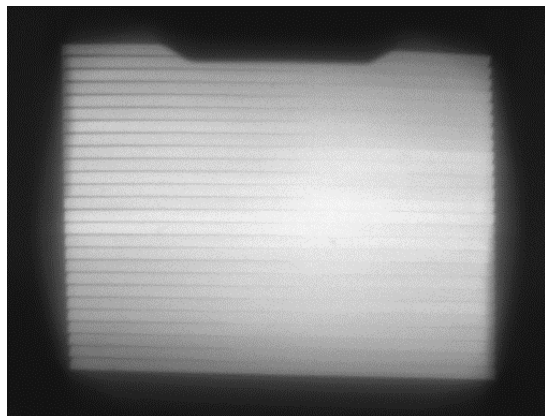


すばる望遠鏡用SWIMS-IFUの 反省点と改善策

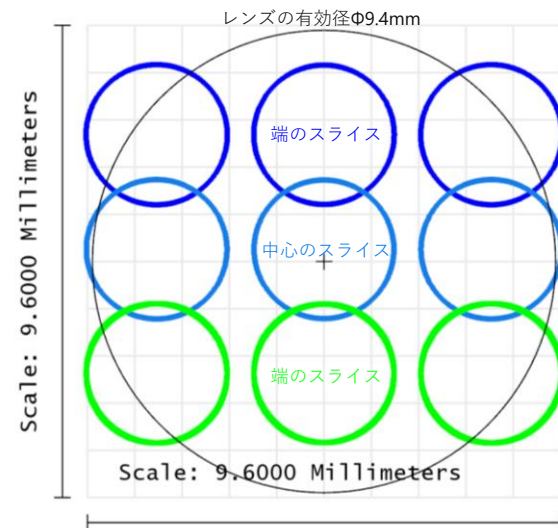
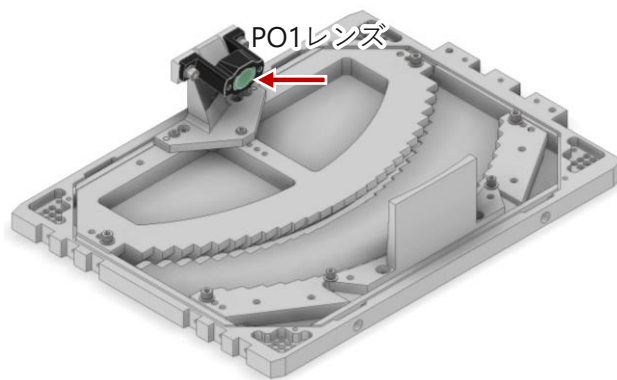
ケラレ

- 視野のケラレ → PO1レンズの構造下部によるもの
 - 瞳像のケラレ → PO1レンズの有効径が不足していたため
- 光学素子の配置を見直し、空いているスペースを有効活用

} スペース不足



スライスミラー像





すばる望遠鏡用SWIMS-IFUの 反省点と改善策

ケラレ

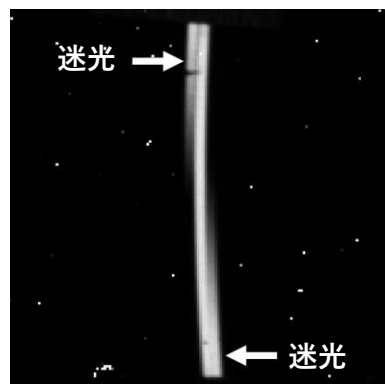
- 視野のケラレ → PO1レンズの構造下部によるもの
 - 瞳像のケラレ → PO1レンズの有効径が不足していたため
- 光学素子の配置を見直し、空いているスペースを有効活用

} スペース不足

K-bandのみで見られる熱迷光

- 瞳ミラーアレイで隣のスライスミラーから熱迷光が混入する
 - すばる望遠鏡用SWIMS-IFUの入射開口を狭めることで一部改善したが、不完全
- SWIMS-IFU内に全チャンネル共通の瞳像を作り、簡易的でもストップを設置

スライス像の一つ@K-band



開口のサイズを狭める

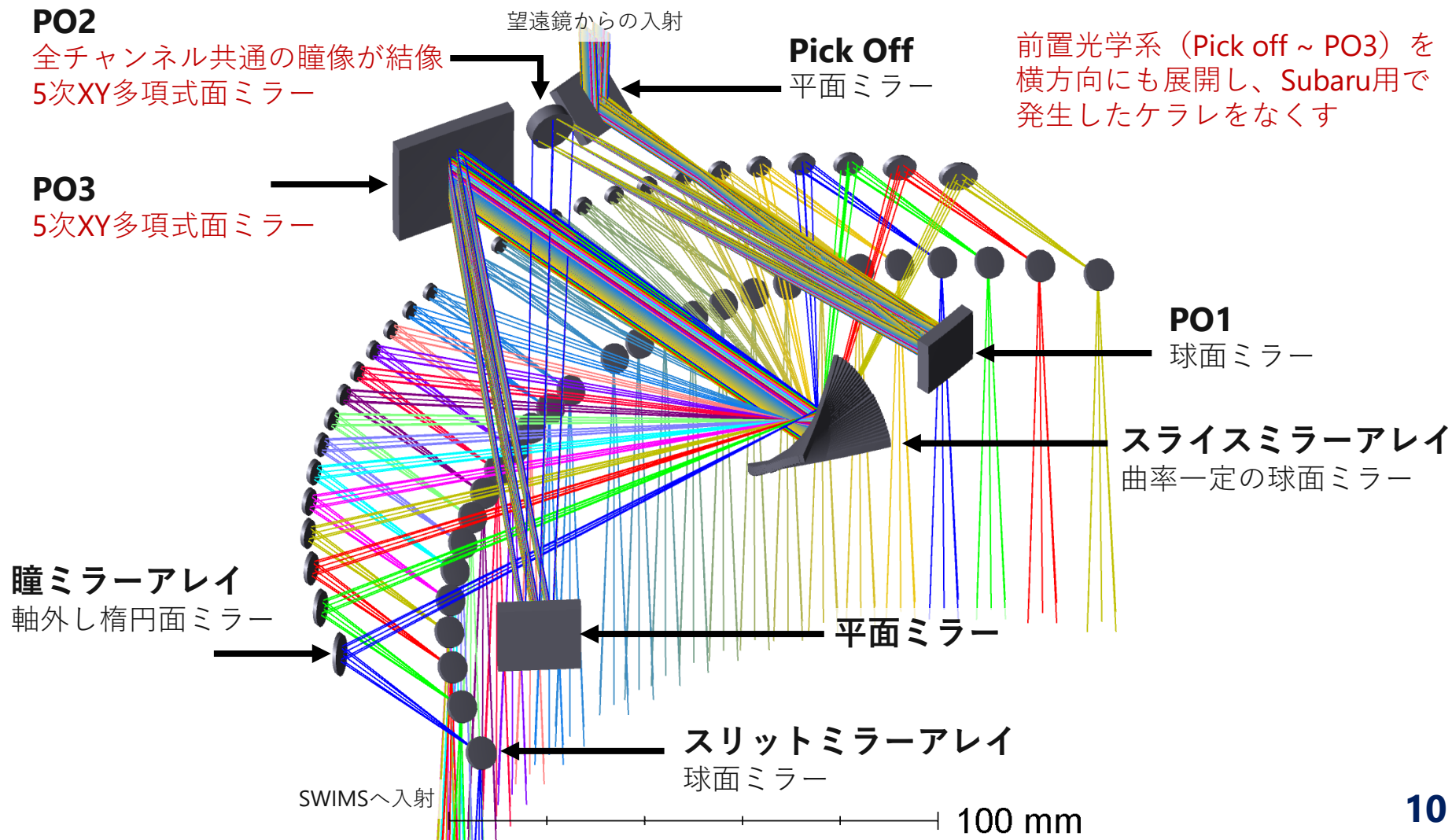


対処後のスライス像の一つ





TAO望遠鏡用SWIMS-IFU 光学設計（暫定）



自由曲面ミラーの採用

スライスミラーアレイ位置でのスポットダイアグラム




採用にあたっての技術的課題

- 自由曲面ミラーはアライメントが難しい
 - 超精密切削加工であればアライメントも従来より容易になることが期待
- 自由曲面ミラーは形状測定が難しい
 - CGH干渉計の活用など検討中



今後の計画

2024年度	2025年度	2026年度	2027年度
光学設計 <ul style="list-style-type: none">・ 詳細見直し・ 公差解析	機械設計 <ul style="list-style-type: none">・ 各光学素子構造・ 位置決め・ 加工・ 測定・ 全体構造・ ケラレ & 迷光確認 光学素子試作 <ul style="list-style-type: none">・ 自由曲面一体加工・ 球面スライスミラー	光学素子本番製作	組み上げ調整 <ul style="list-style-type: none">・ 超精密加工によって容易に完了・ 実験室での性能評価 <p>First Light! </p>



まとめ

- **SWIMS-IFU**はTAO望遠鏡用近赤外線広視野撮像分光カメラSWIMSに
広視野&広波長帯域の面分光機能を追加する
イメージスライサー方式の面分光ユニットである。
- 我々は既に**すばる望遠鏡用のSWIMS-IFUの開発に成功し、**
超精密切削加工で複数ミラーと基準面、取付面を同時加工することで
複雑な光学系の組立調整が容易に完了できることを実証した。
- 現在、すばる望遠鏡用SWIMS-IFUで確認された
ケラレと迷光を解決したうえで、**自由曲面ミラーにより収差も抑えた**
TAO望遠鏡用SWIMS-IFUの光学設計を進めている。
- **2027年度中のTAO望遠鏡でのファーストライト**を目指し開発を進める