

イメージスライサー型IFUの光学レイアウト の変遷とWFOS IFUの光学レイアウト

尾崎 忍夫（国立天文台）

内容

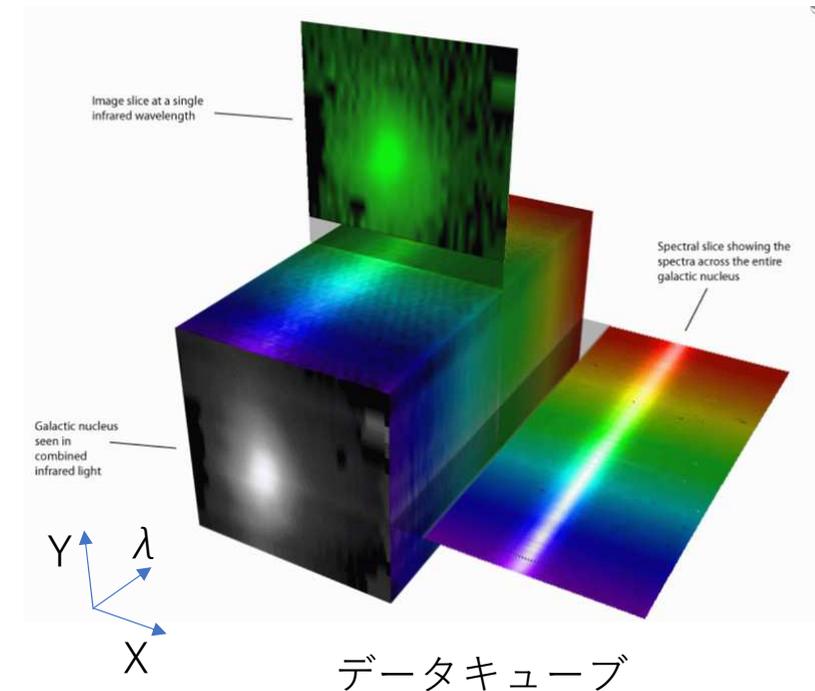
- 面分光とは
- イメージスライサー型面分光ユニット（IFU）の光学レイアウト
- WFOS IFUの進捗
 - WFOS: 30m望遠鏡TMTの第一期観測装置の一つ、可視光撮像分光装置

内容

- 三次元分光と面分光
- イメージスライサー型面分光ユニット (IFU) の光学レイアウト
- WFOS IFUの進捗

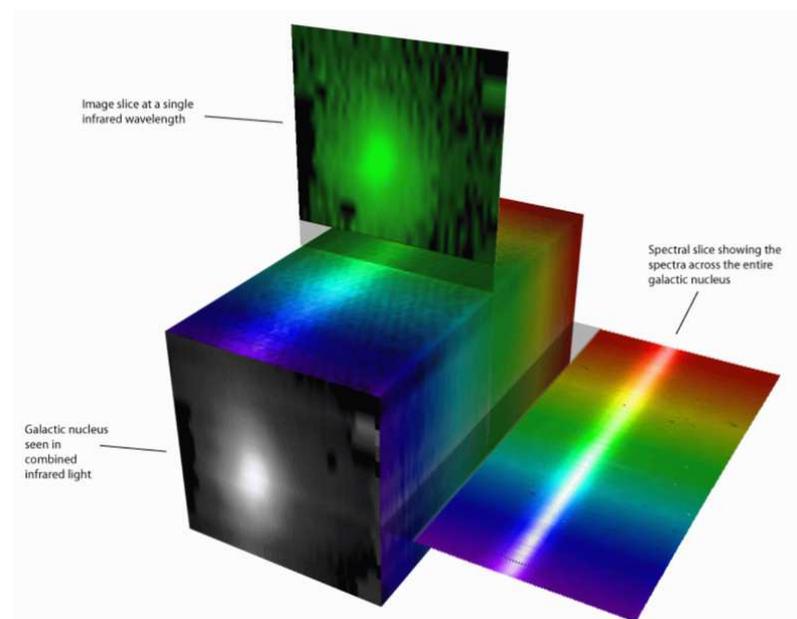
三次元分光 (tri-dimensional spectroscopy)

- データキューブを得る手法の総称
- 三次元分光の手法
 - 面分光
 - 複数のバンドパスフィルター
 - スリットスキャン
 - スペクトロネビュラグラフ
 - 中心波長可変ファブリペロー干渉計 (チューナブルフィルター)
 - 京都三次元分光器
- 面分光以外はデータキューブを得るために**複数の露出**が必要。



面分光

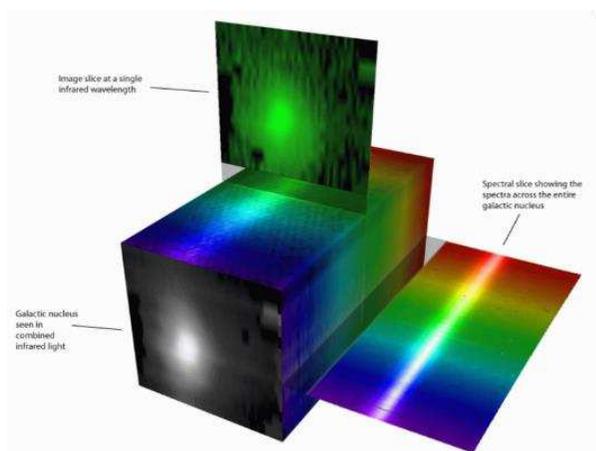
- 三次元分光の1種
- **1度の露出で**面を一気に分光する手法
 - 天候変動の影響を受けない均質なデータ
 - 貴重な望遠鏡時間を有効に活用できる時間効率性
- 世界では光赤外天文学の主要な観測手法になった。
- 日本ではまだまだ普及していない。



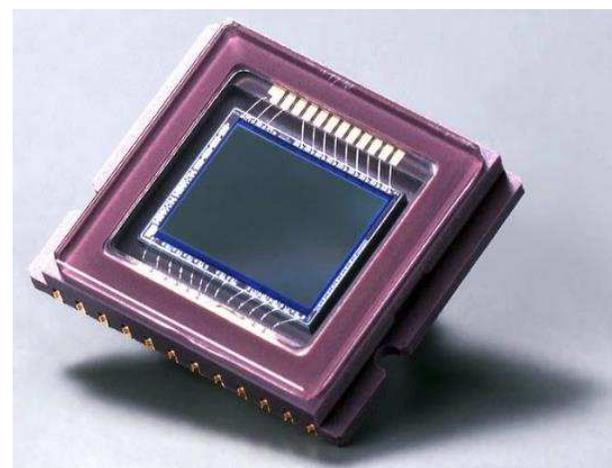
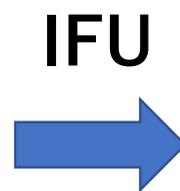
データキューブ

面分光ユニット (Integral Field Unit; IFU)

- 3次元情報を2次元平面の検出器に写し込む役割を担うのが面分光ユニット (IFU)

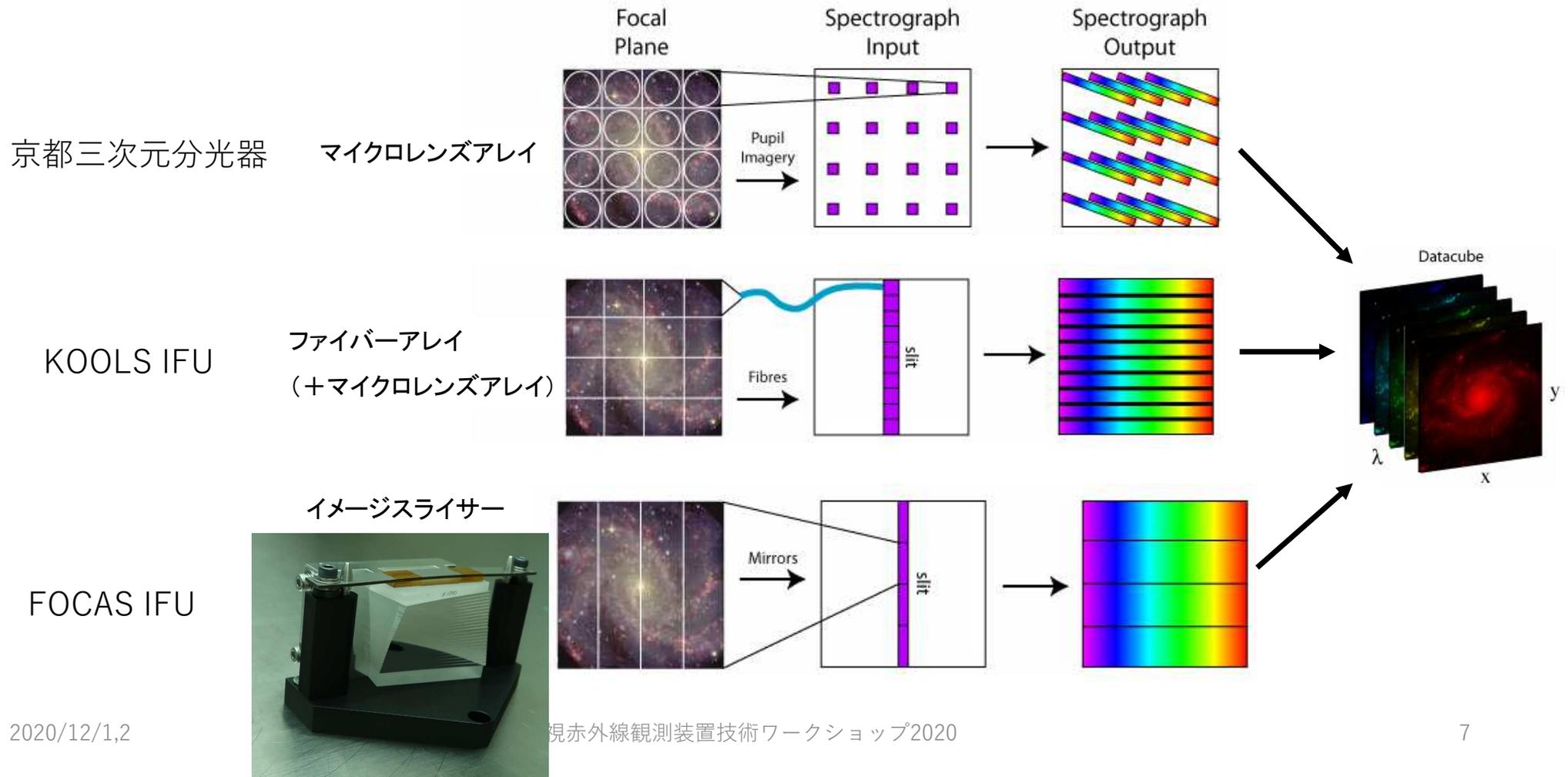


3次元
データキューブ



検出器は2次元

面分光ユニットのタイプ



2020/12/1,2

視赤外線観測装置技術ワークショップ2020

内容

- 三次元分光と面分光
- イメージスライサー型面分光ユニット（IFU）の光学レイアウト
- WFOS IFUの進捗

イメージスライサー型IFUの光学レイアウト

- 光学レイアウトはスライサーへの入射瞳位置とスライサー以降の光学系によってバリエーションがある。
- スライサーへの入射瞳位置
 - 無限遠（テレセントリック）
 - スライサー背後に瞳像虚像を作る
- スライサー以降の光学系
 - 反射面数：2面、3面
 - 反射面形状：フラット、曲率あり

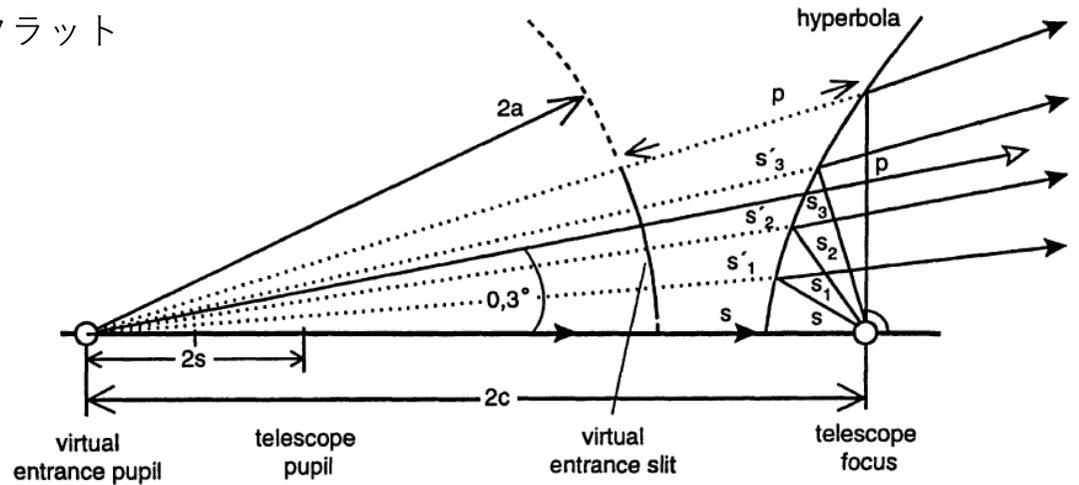
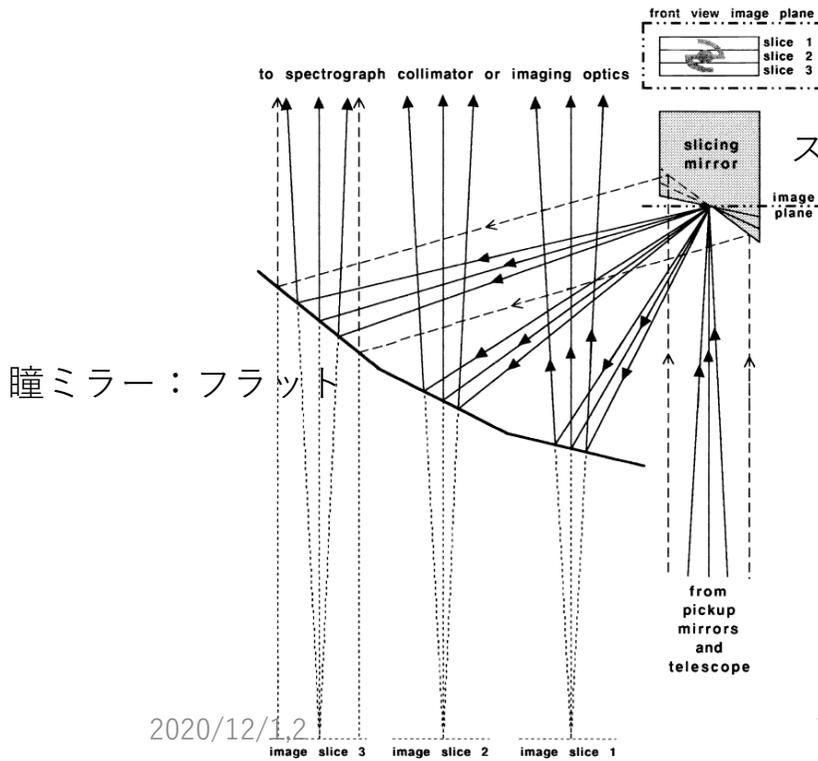
3D

Astron. Astrophys. Suppl. Ser. **119**, 531-546 (1996)

3D: The next generation near-infrared imaging spectrometer

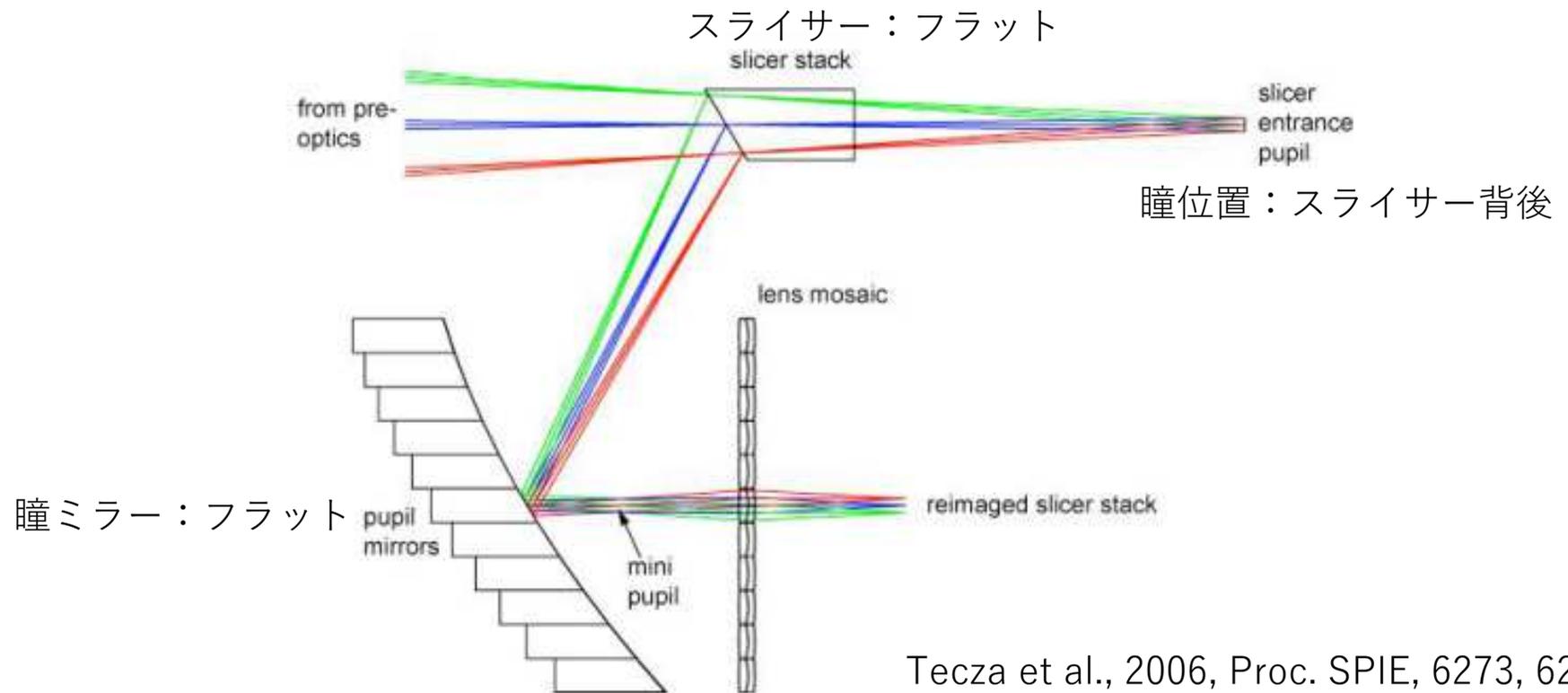
L. Weitzel, A. Krabbe, H. Kroker, N. Thatte, L.E. Tacconi-Garman, M. Cameron and R. Genzel
 Max-Planck Institut für Extraterrestrische Physik (MPE), Postbox 1603, D-85740 Garching, Germany

- 4.2m WHT, 3.5m Cala Alto and 2.2m ESO telescope in Chile
- SINFONI/VPL、KCWI/Keckが踏襲
- 瞳ミラーが大きくなる。



Oxford SWIFT

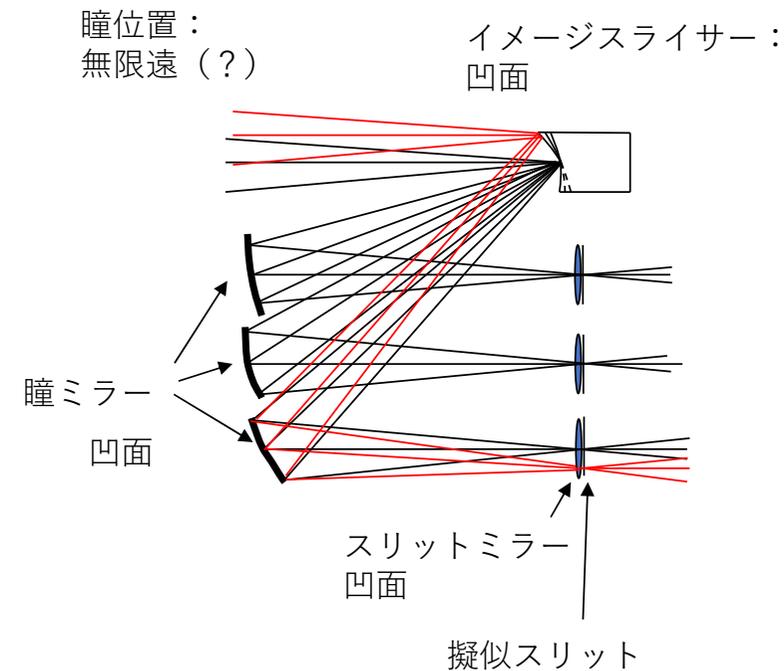
- 瞳ミラー上に瞳像を作ることで瞳ミラーアレイをコンパクト化



Tecza et al., 2006, Proc. SPIE, 6273, 62732L

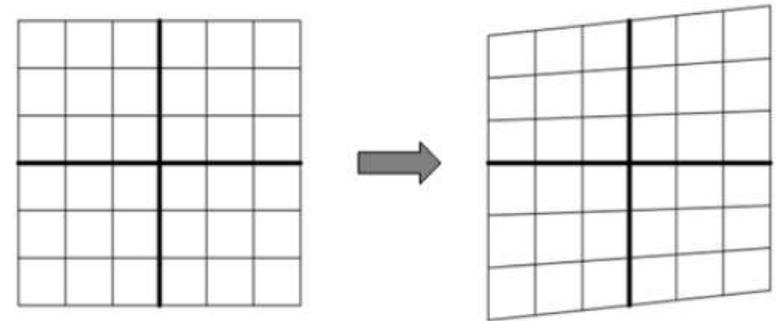
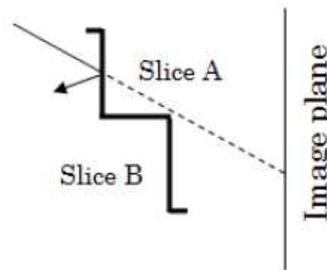
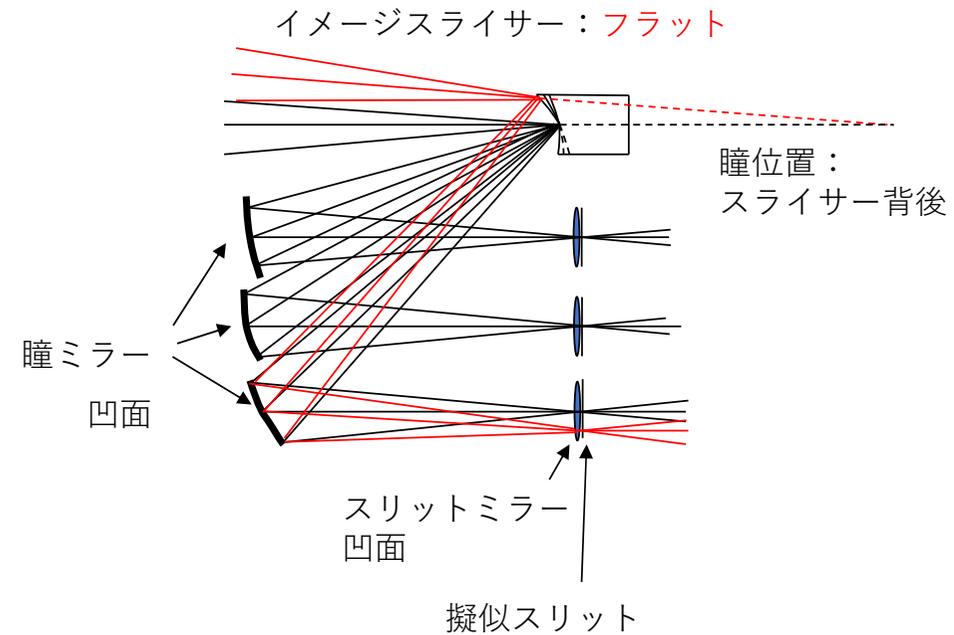
GNIRS IFU

- Advanced Image Slicer layout (Content, 1997, Proc. SPIE, 2871, 1295)
- 瞳ミラー上に瞳像を結像させることにコンパクト化
- FOCAS IFUで採用
- 3つのミラーアレイともに曲率を持っているので製造・組立公差が厳しくなる。
 - ミラーアレイ一体加工で一部回避
- 外側の瞳ミラーで反射角が大きくなるので収差が大きくなる。
 - FOCAS IFUでは軸外し楕円面にして対応



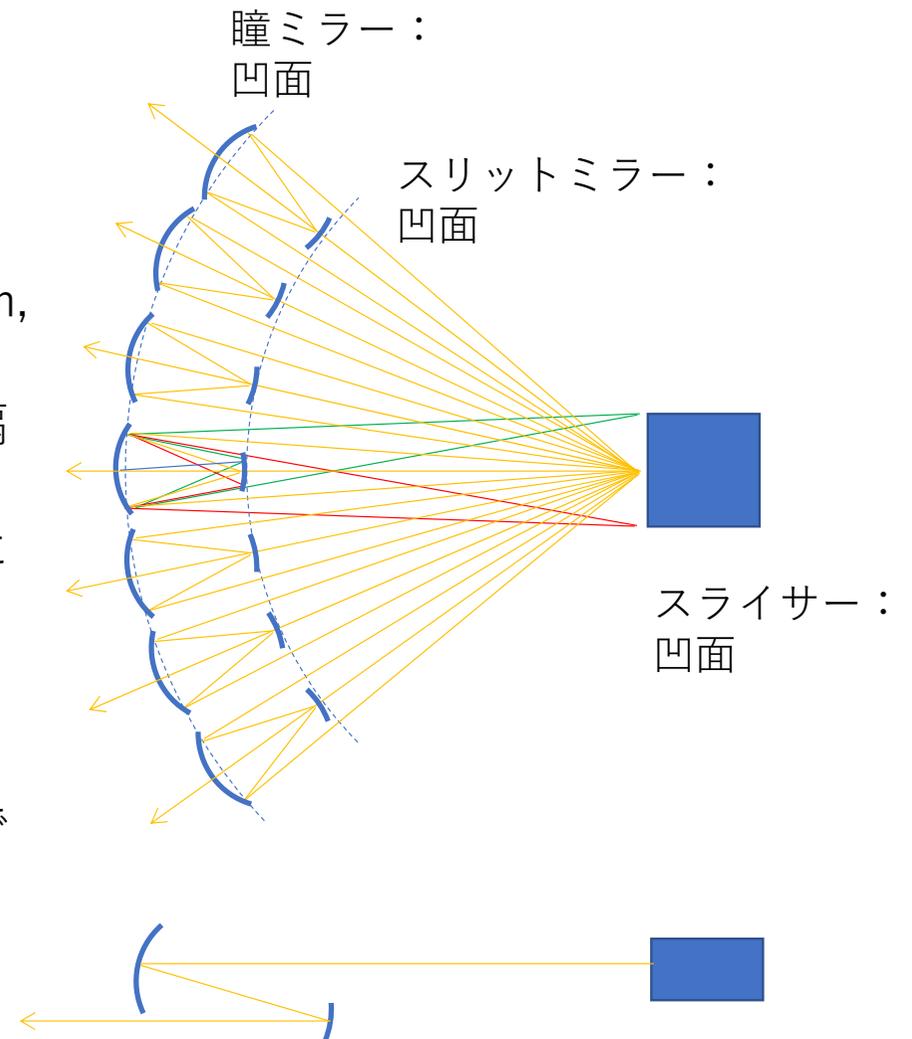
SWIMS IFU

- スライサーの背後に瞳像の虚像を作るようにすることで、スライサー反射面をフラットにする。
- 複雑なスライサーの加工が容易になる。
 - 特に一体加工する場合には大きな利点
- スライサーへの入射光がテレセントリックでないので、データキューブにしたときのイメージにディストーションが生じる
- 3つのミラーアレイともに曲率を持っているので製造・組立公差が厳しくなる。
 - ミラーアレイ一体加工で一部回避

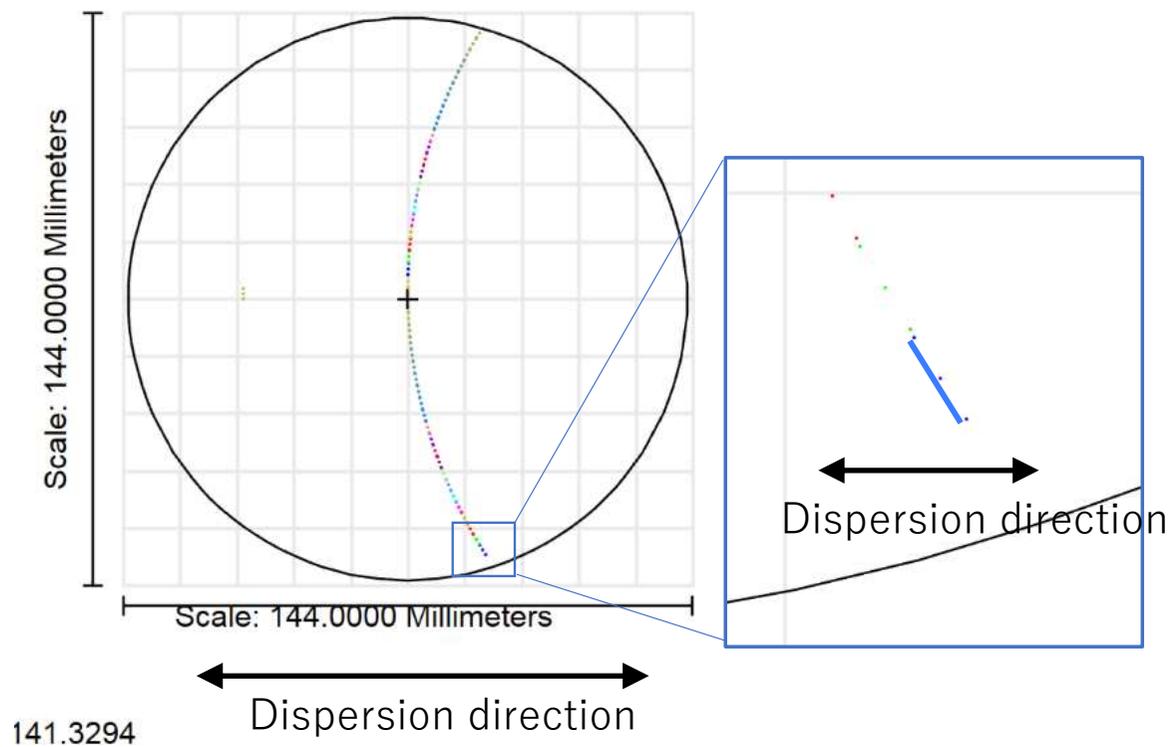


NIFS

- Concentric layout (Hart, McGregor and Bloxham, 2003, Proc. SPIE, 4841, 319)
- 瞳ミラーとスリットミラーをスライサー中心に扇形に配列させる。
- 右の投影図において、瞳ミラーでは元来た方向に反射するようにして、反射角を小さくしている。
- 大きなコリメーターが必要。
- 専用分光器でしか機能しない。
- 3つのミラーアレイともに曲率を持っているので製造・組立公差が厳しくなる。
 - ミラーアレイ一体加工で一部回避

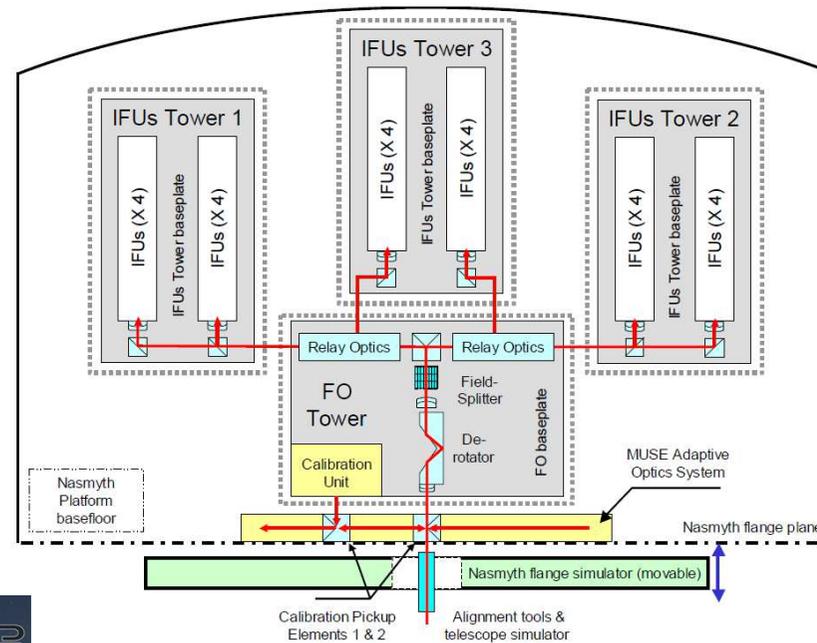


疑似スリットの傾き

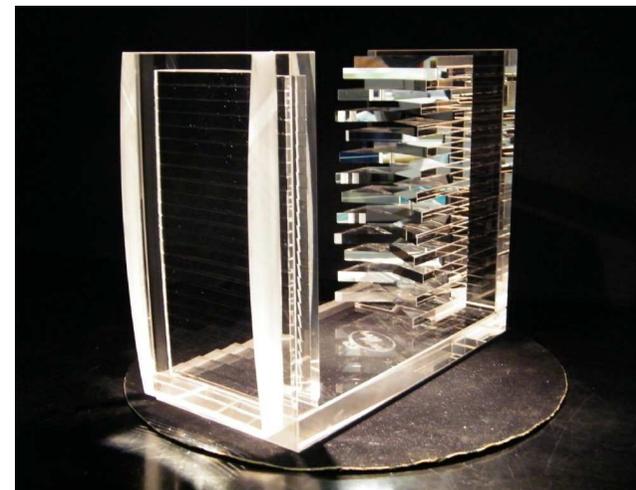
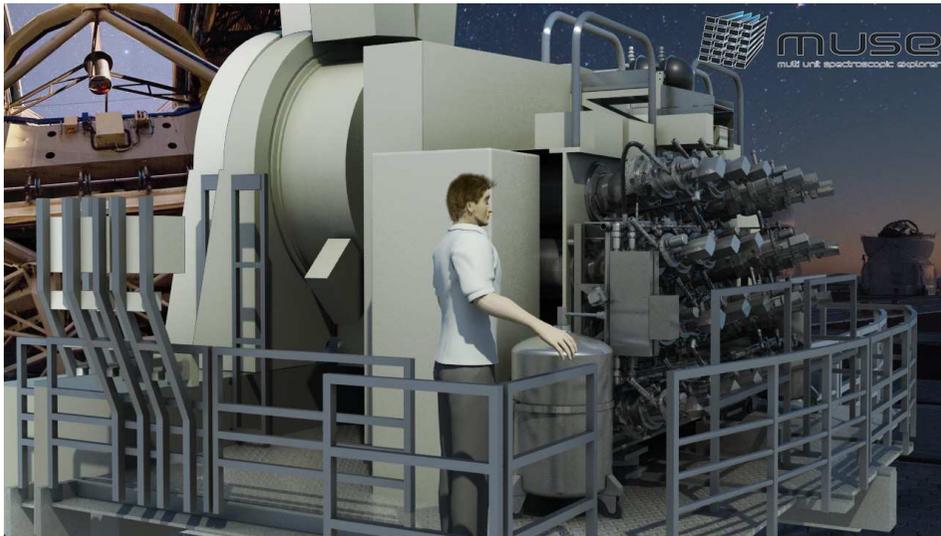


MUSE

- 1分角の視野を24個の分光器で面分光

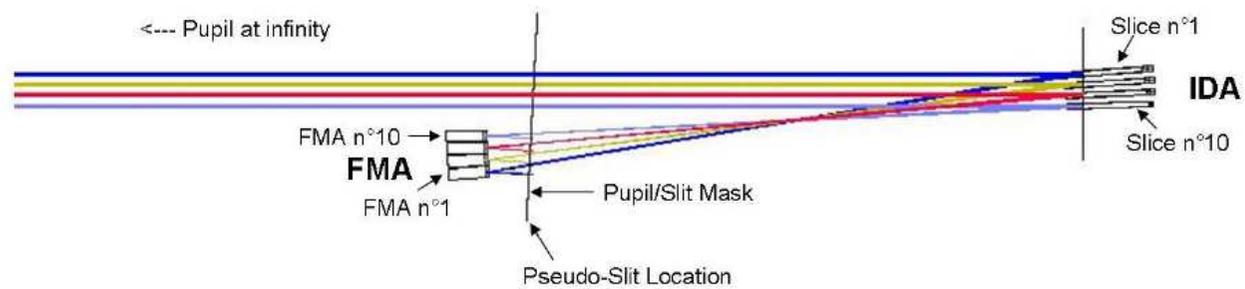
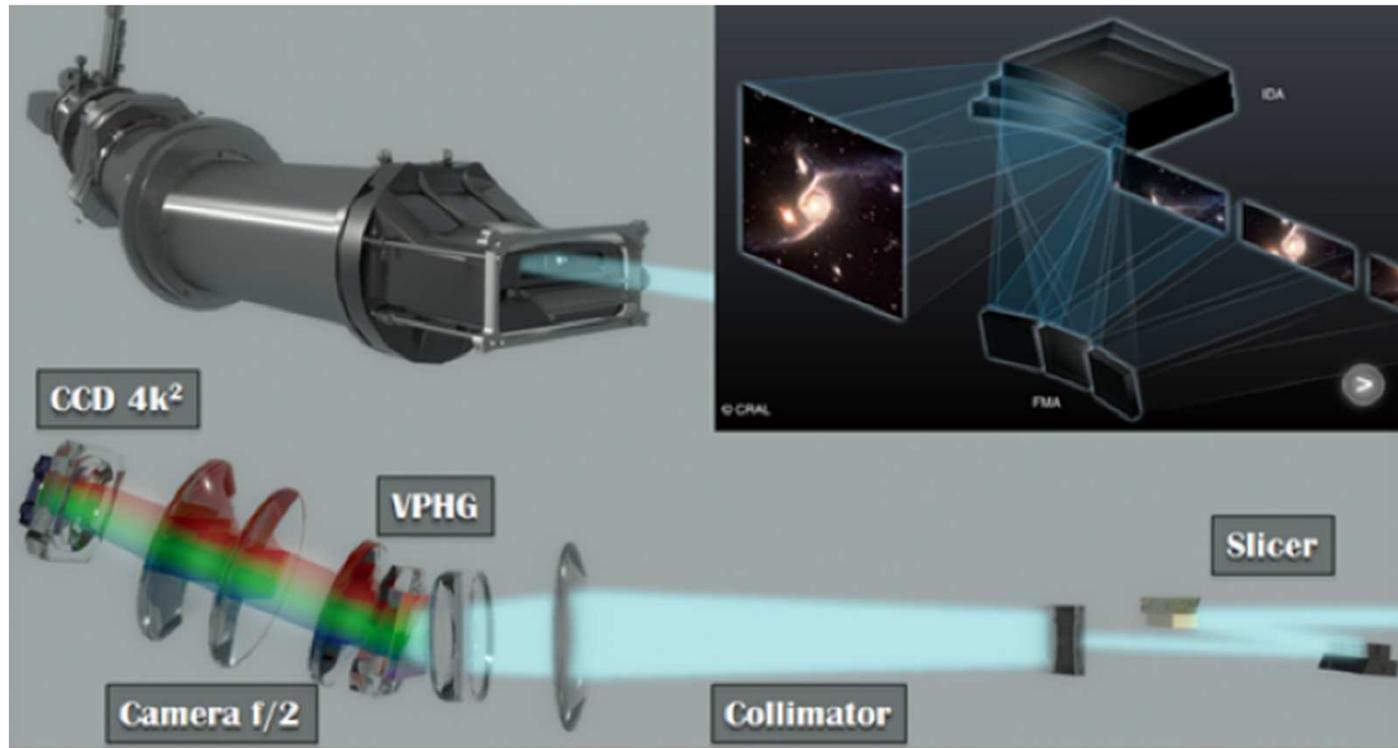


Henault et al., 2004, Proc. SPIE, 5492, 909



視野を24分割するユニット

Caillier et al., 2014, Proc. SPIE, 9147, 91475K

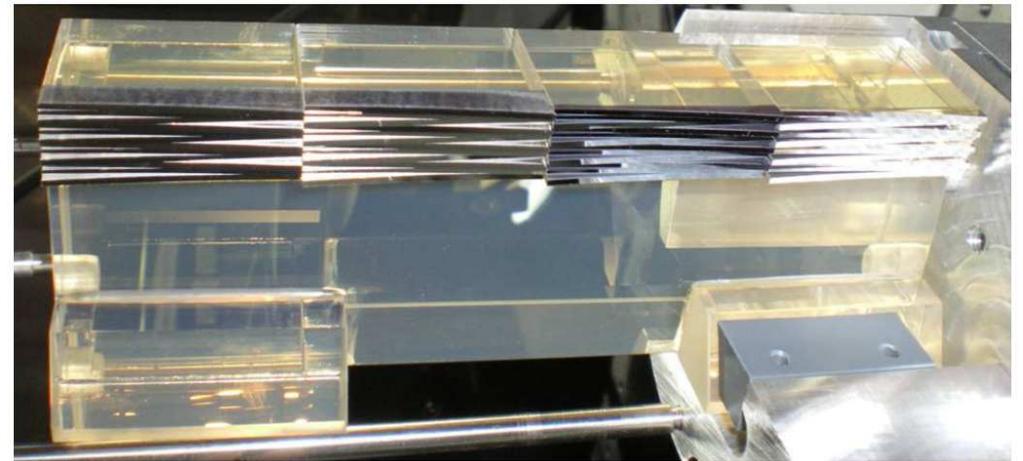
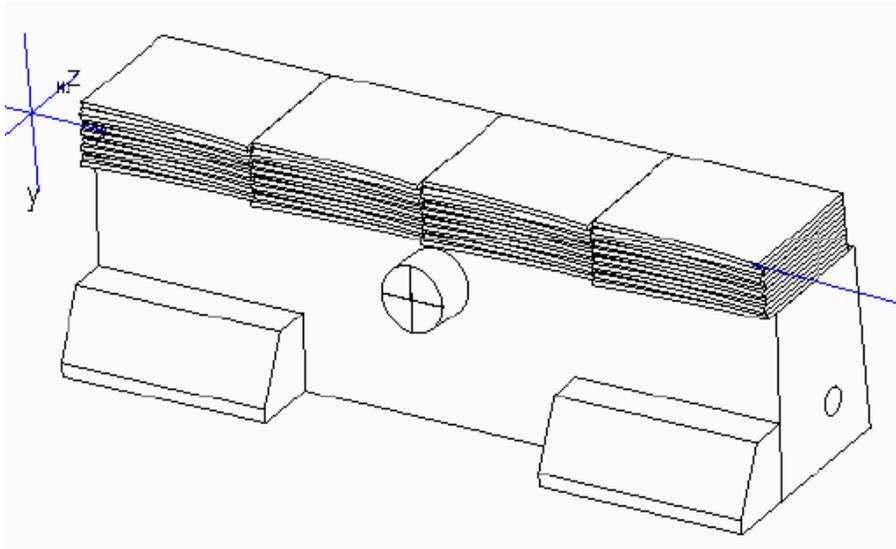


Laurent et al., 2008, Proc. SPIE, 7018, 70180J

可視赤外線観測装置技術ワークショップ2020

MUSE : イメージスライサー

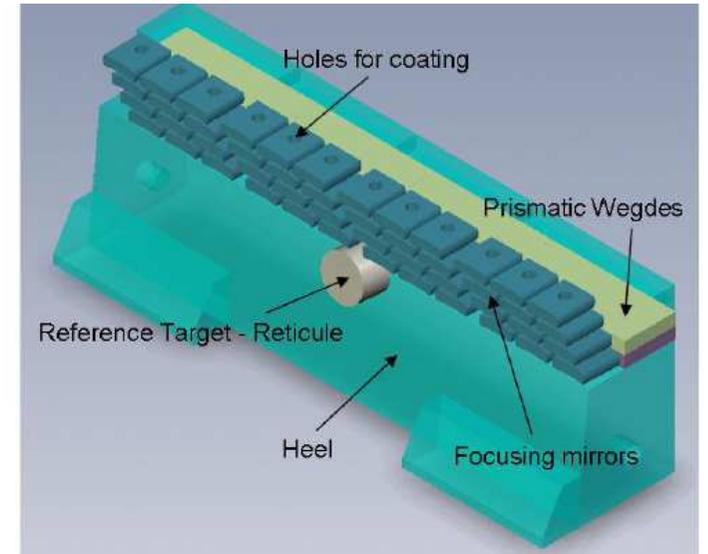
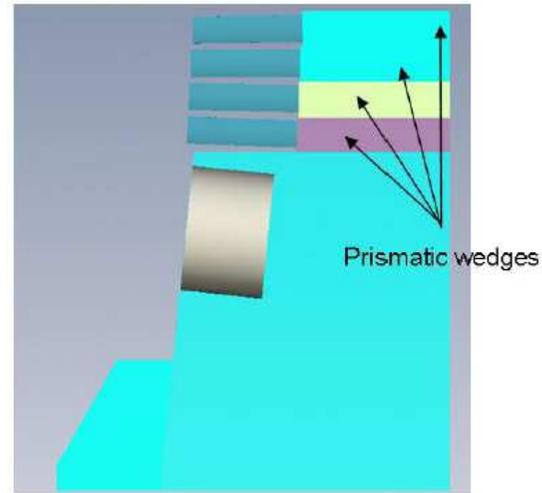
- 12スライス×4
- 凹面



Laurent et al., 2008, Proc. SPIE, 7018, 70180J

MUSE : 瞳ミラー

- 凹面



Laurent et al., 2008, Proc. SPIE, 7018, 70180J

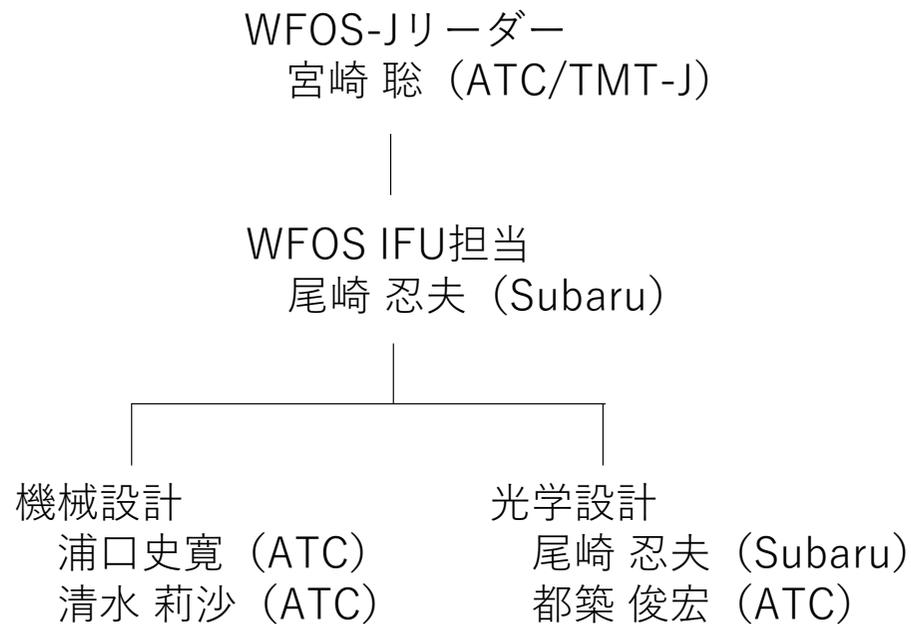
MUSEのIFU

- ミラアレイは2つだけ。
- 2つとも曲率を持っている。
- 製造・組立公差は3つの場合よりは緩くなるが、フラット2面構成よりは厳しい。
- 汎用分光器にも使えるかもしれない。未確認
 - スライサーはF比を変えないが、瞳位置を変える。
 - 瞳ミラーはF比も瞳位置も変える。

内容

- 三次元分光と面分光
- イメージスライサー型面分光ユニット (IFU) の光学レイアウト
- WFOS IFUの進捗

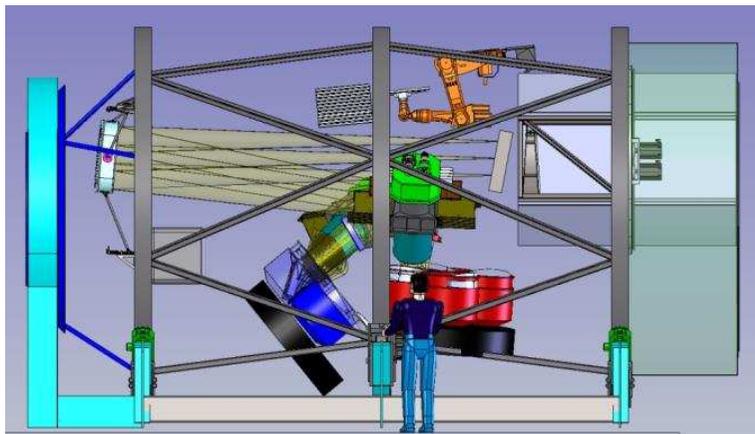
WFOS IFU開発体制



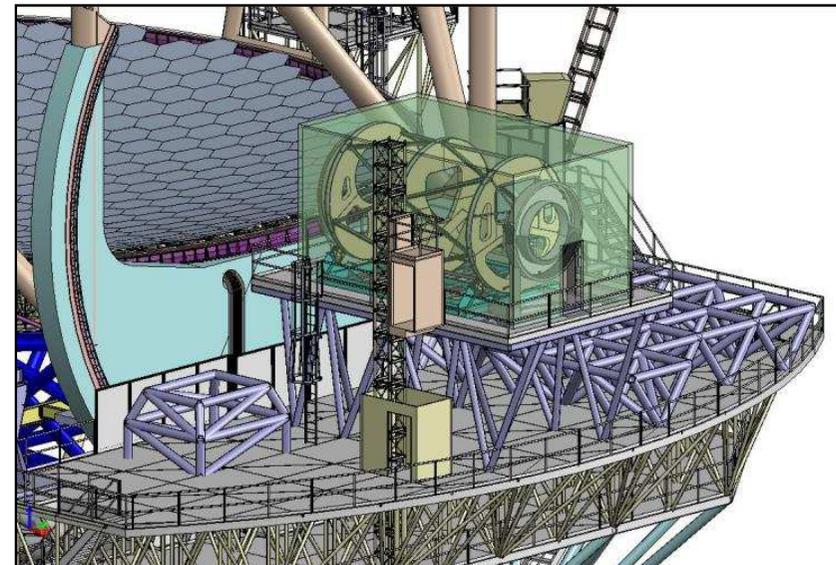
Wide Field Optical Spectrograph (WFOS)

- TMT第一期観測装置の一つ
- 国際共同開発
 - UCSC (US), Caltech(US), NIAOT (China), IIA (India), NAOJ (Japan)
 - NIAOT: Nanjing Institute of Astronomical Optics and Technology
 - IIA: Indian Institute of Astrophysics
- 今後、その他の機関も参加予定

Field of View	8.3 × 3 arcmin ²
Wavelength coverage	310 – 1,000 nm
Observation mode	Imaging Long slit spectroscopy Multi slit spectroscopy
Spectral resolution	R~1500, 3500, 5000 for 0.75" slit width

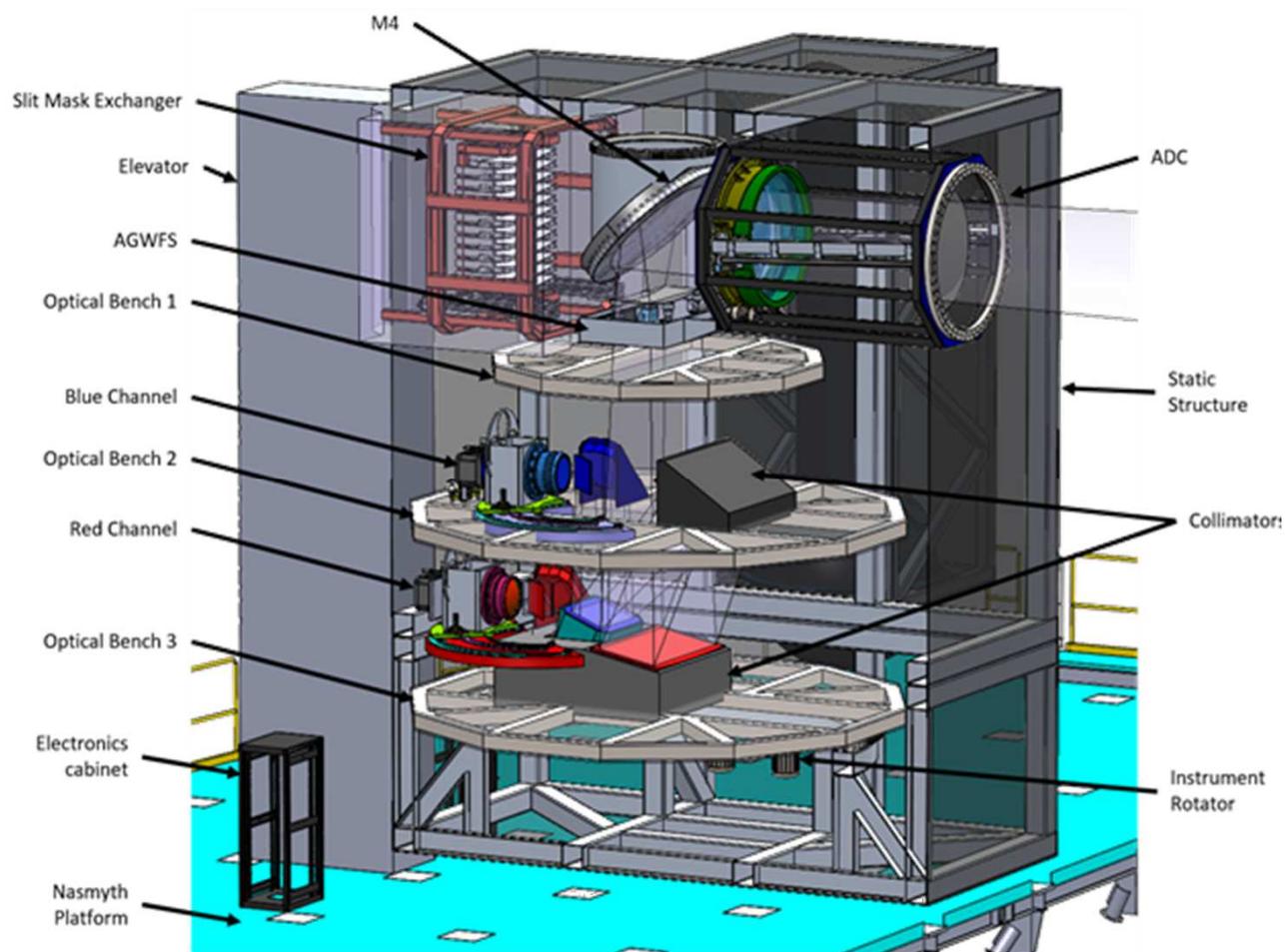


2018/04/04



23

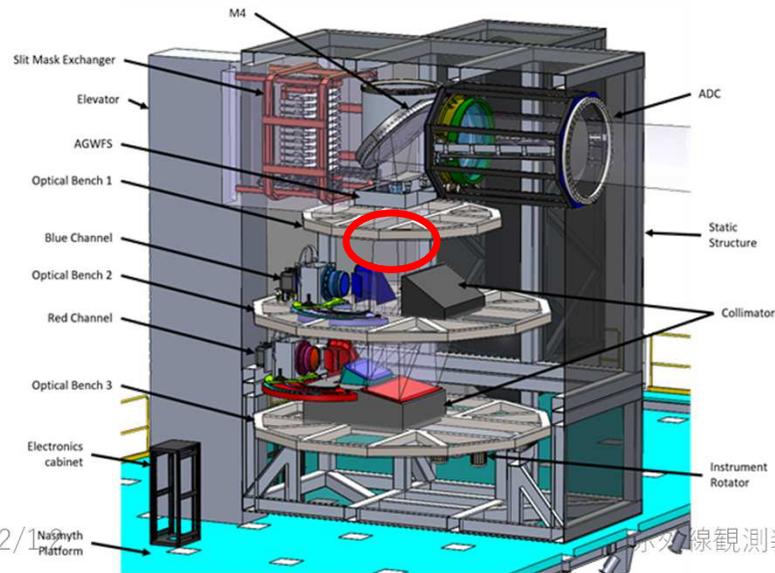
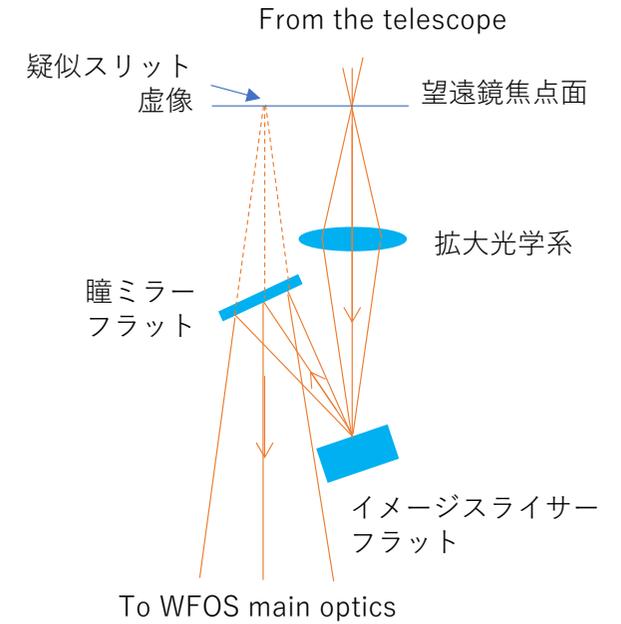
現在のコンセプト



2020/12/1,2

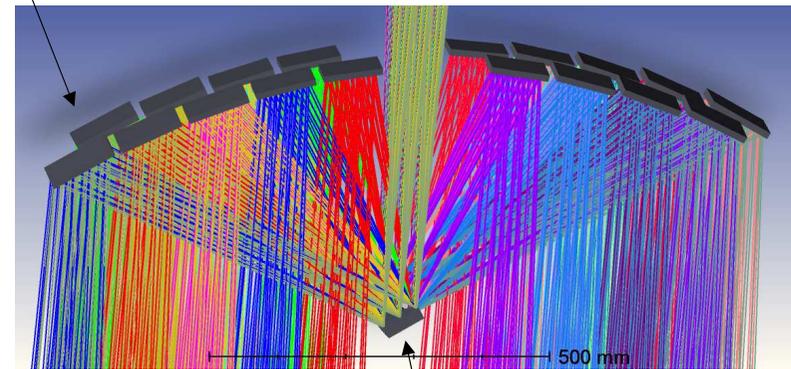
Current concept of WFOS IFU

WFOS IFUのメイン光学系は二つの平面ミラーから構成されている。
 FOCAS IFUでは3面の曲率を持った面から構成されていた。
 これにより誤差要素が少なくなり、各誤差要素に対する公差を低くした。



瞳ミラー

拡大光学系からの光



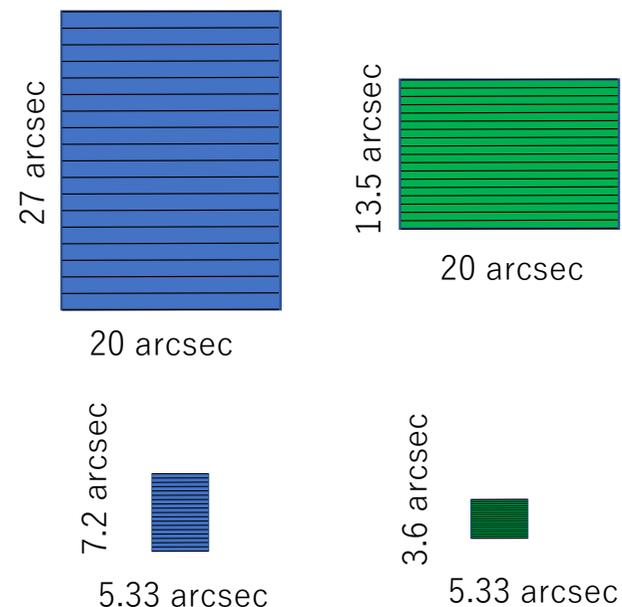
WFOS IFU parameters

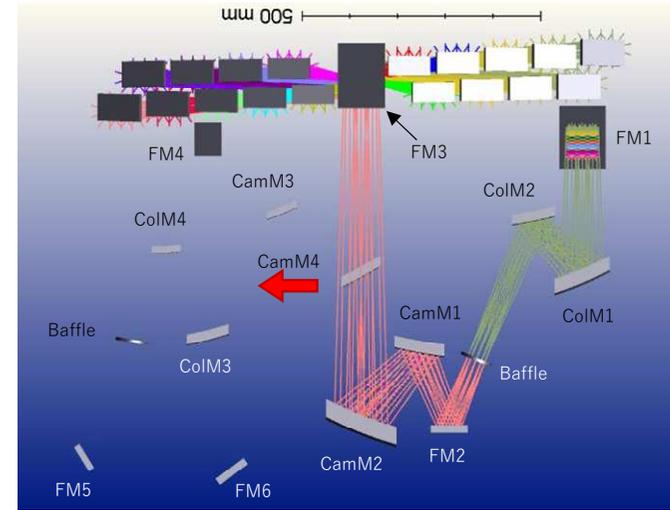
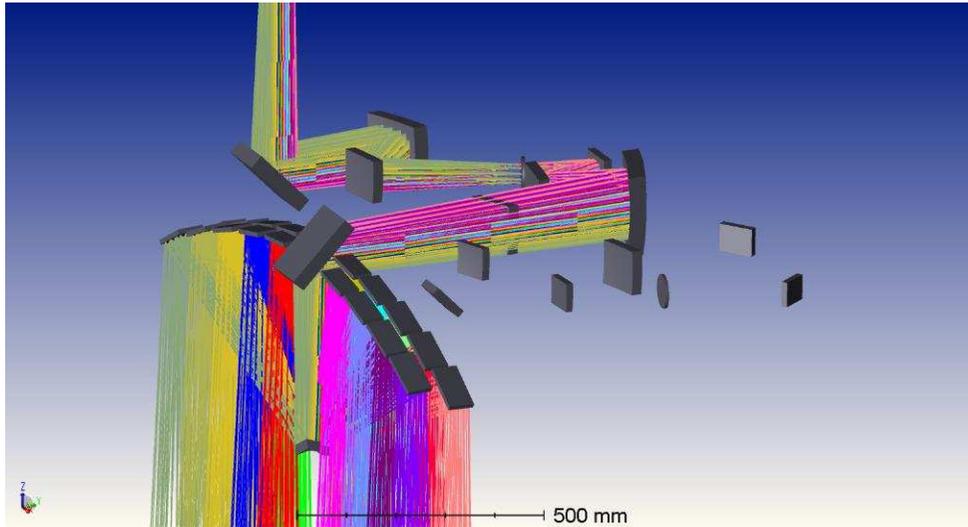
- 出来るだけ広い視野をとれるように最適化
- 2つのイメージスライサーと2つの拡大光学系を切り替えることで4つの視野・サンプリングを実現

Slice number	18			
Magnification factor of relay optics	1.1		4.125	
Slice width (mm)	3.60	1.80	3.60	1.80
Slice width (arcsec)	1.5	0.75	0.4	0.2
FoV (arcsec x arcsec)	20 x 27	20 x 13.5	5.87 x 7.2	5.87 x 3.6

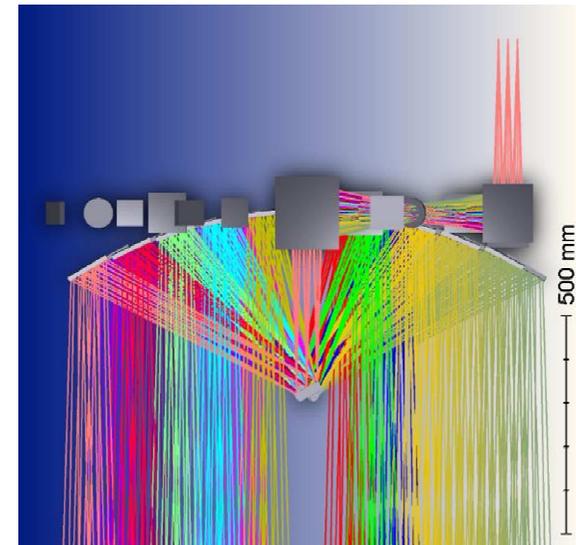
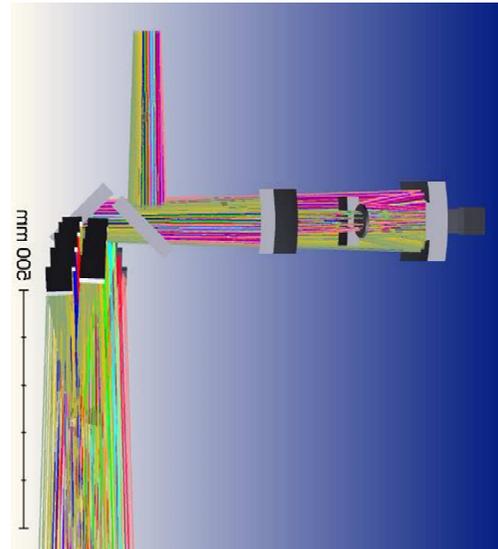
出来るだけ視野を
広くしたモード

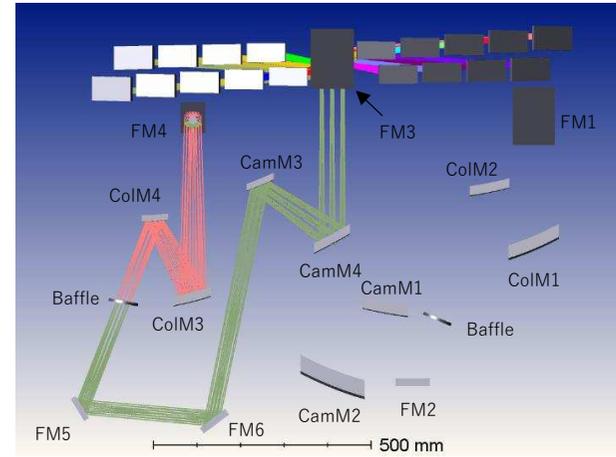
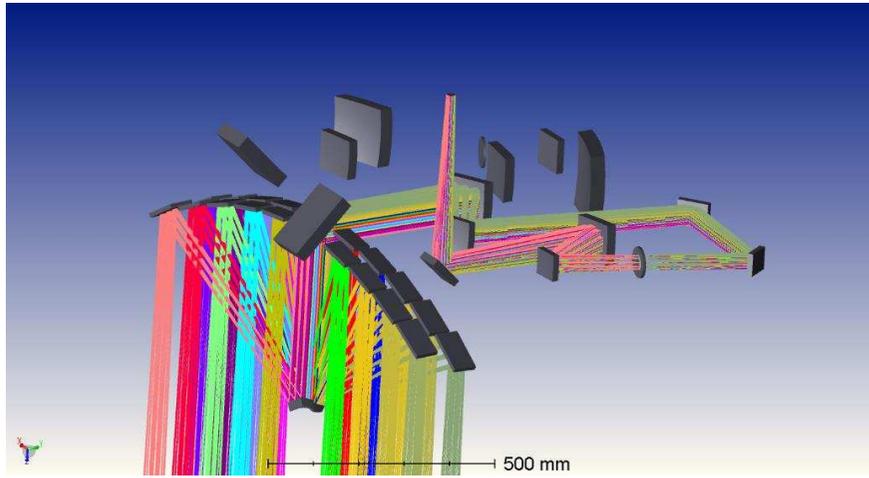
GLAOを想定



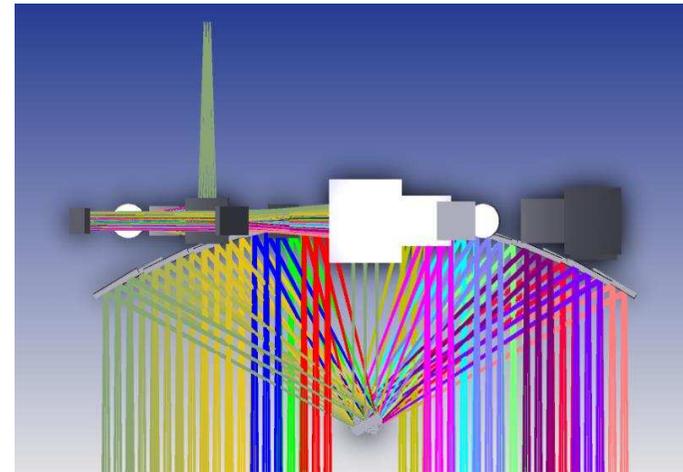
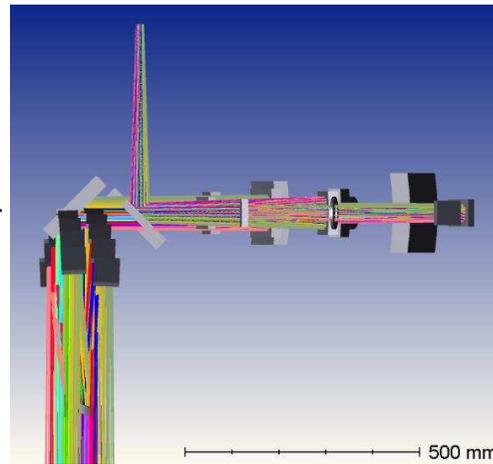


光学レイアウト
x1.1

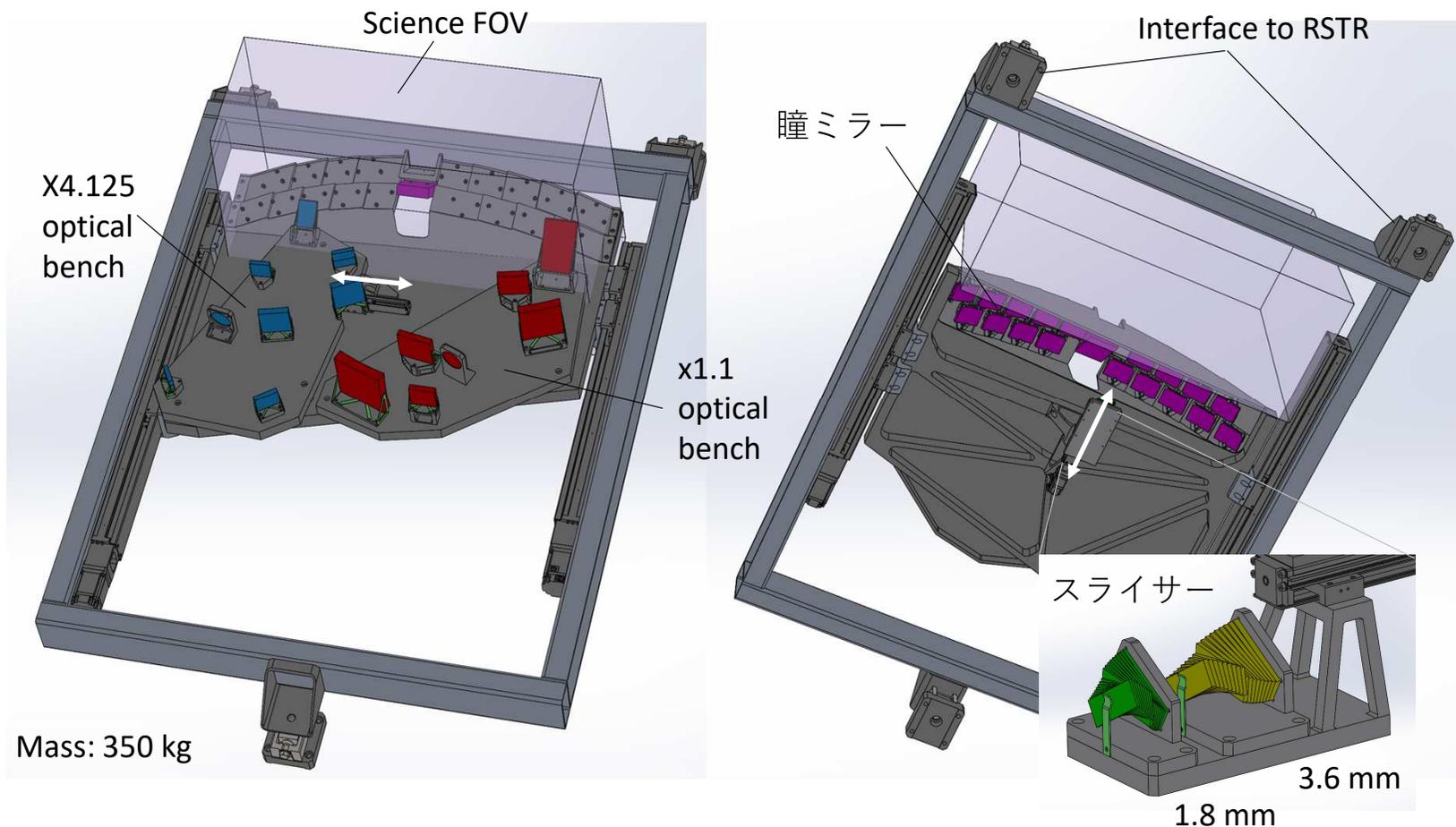




光学レイアウト
X4.125



メカ概念構造



各瞳ミラーに調整機構をつけることで、瞳ミラーホルダーの製造公差を低減させる。

Optical IFUs on other ELTs

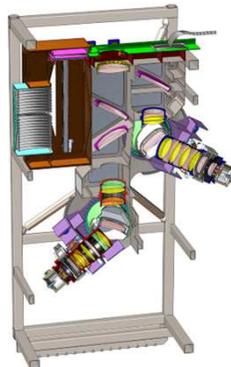
GMT



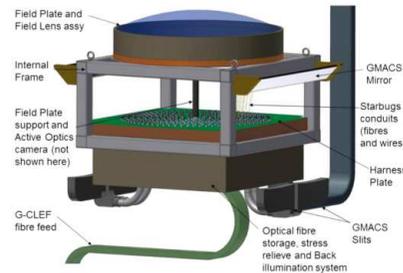
ELT



GMACS

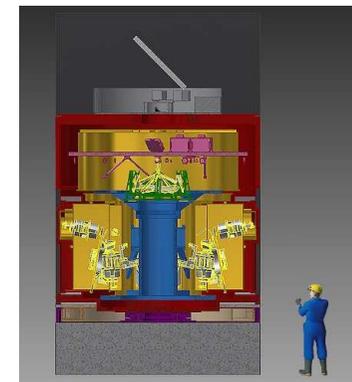


MANIFEST



MANIFEST is a fiber feeding module and provides an IFU capability for GMACS.

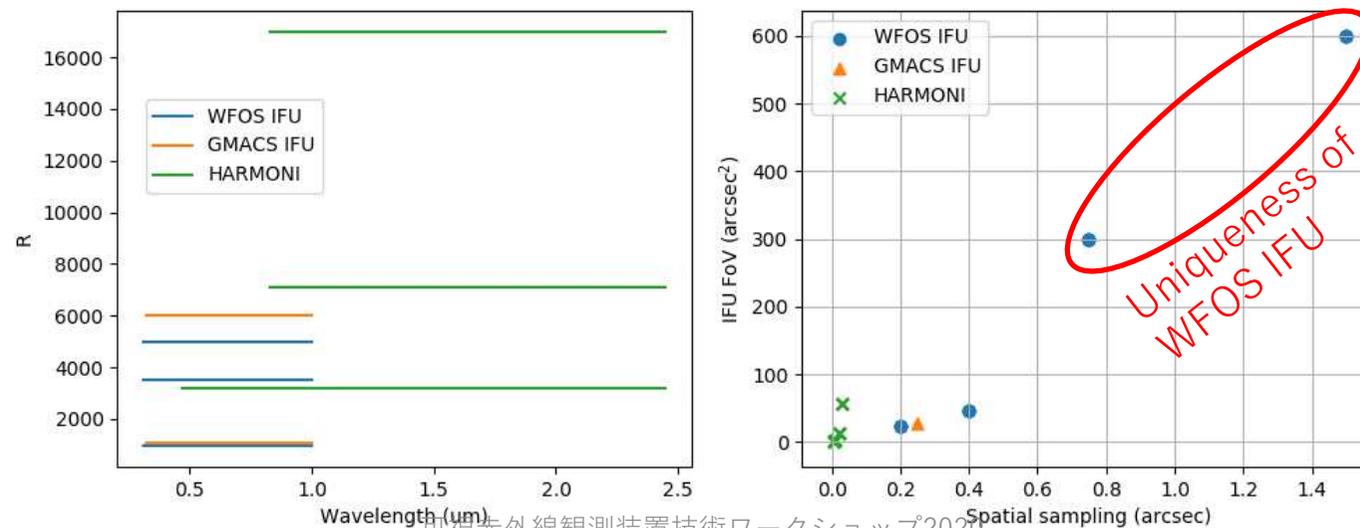
HARMONI



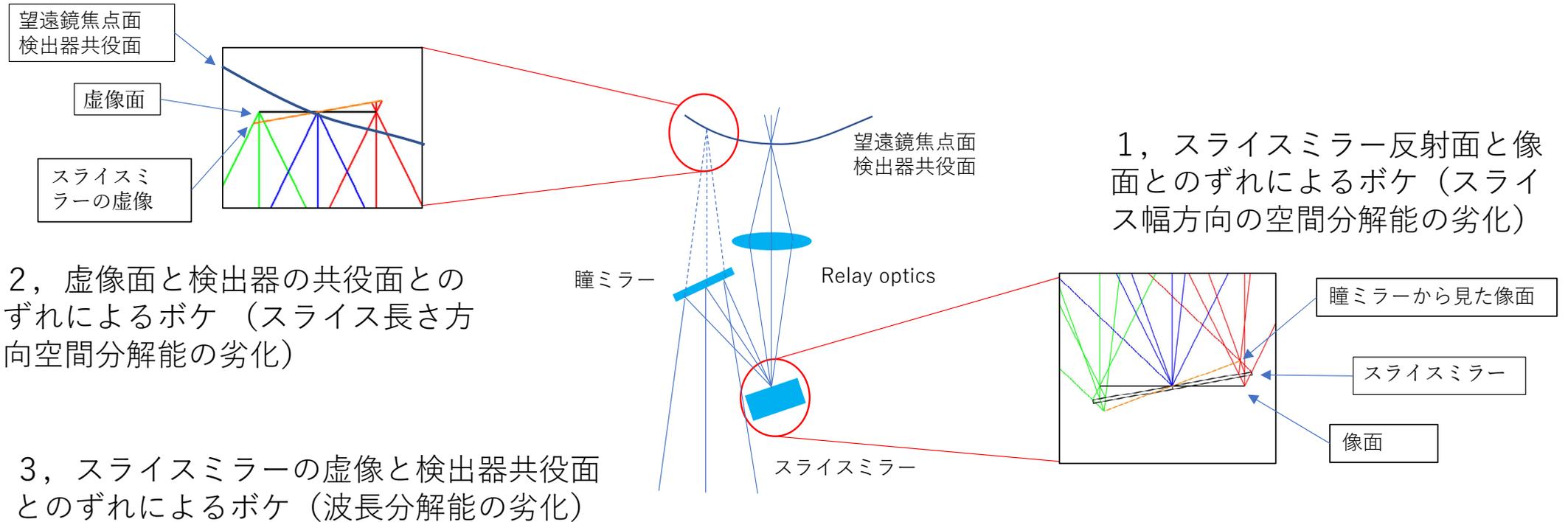
HARMONI for ELT is mainly for near IR, but its sensitivity extends to optical range.

Comparison with GMACS/MANIFEST and HRMONI

- HRMONI focuses on a fine spatial sampling for a narrow field.
- GMACS/MANIFEST provides a single IFU mode with $\phi 6''$ FoV (Lawrence et al., 2016, Proc. SPIE, 9908, 990890). There is no other detail information.
 - The spatial sampling of $0.25''$ is taken from an old proceeding (Goodwin et al., 2012, Proc. SPIE, 8446, 84467I).

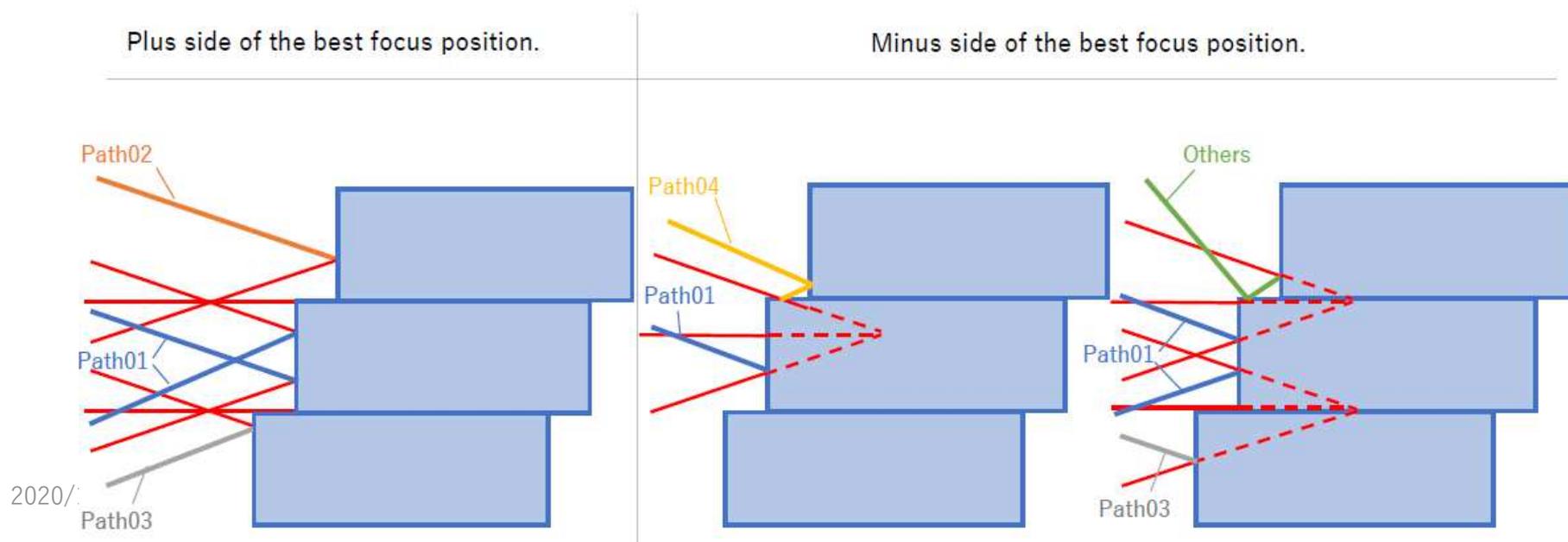


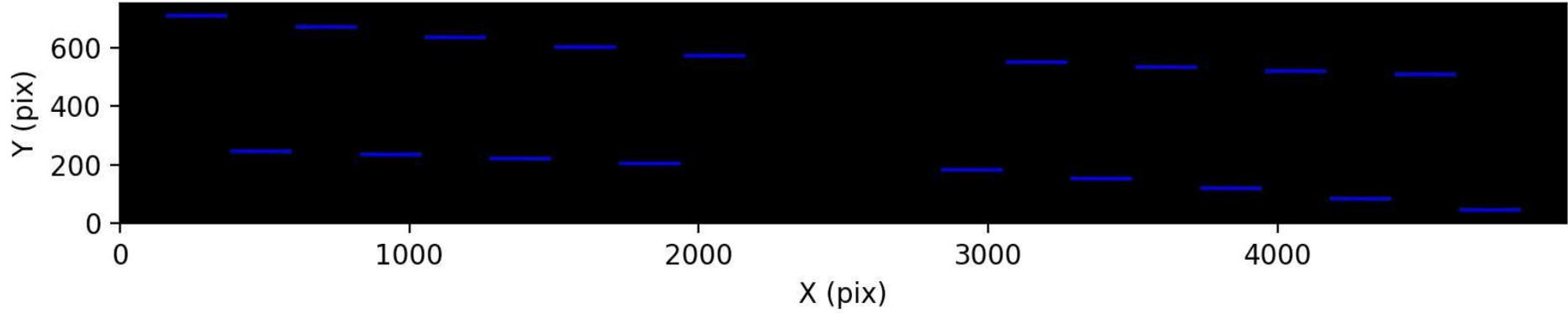
考慮すべき3種類のボケ



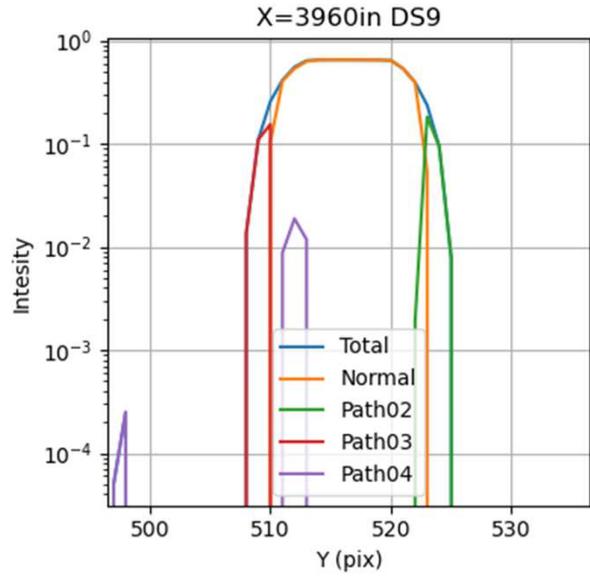
スライサー段差での迷光

- WFOS検出器に至ったパスは以下の4つである。
 - (Path01) : 正常パス
 - (Path02) : 本来当たるべきSliceの上側のSlice鏡面で反射し上側のCHの経路を通るパス
 - (Path03) : 本来当たるべきSliceの下側のSlice鏡面で反射し下側のCHの経路を通るパス
 - (Path04) : Slice間の段差に当たり、隣のCHのSlice鏡面を通り検出器に至るパス
- WFOS検出器に至らないパスについては以下の2つに分類する。
 - (Path05) : Slicerに当たらない、あるいは上面、下面に当たるパス
 - (Others) : その他のパス (例: Slice鏡面に当たった後、段差に当たるパスなど)

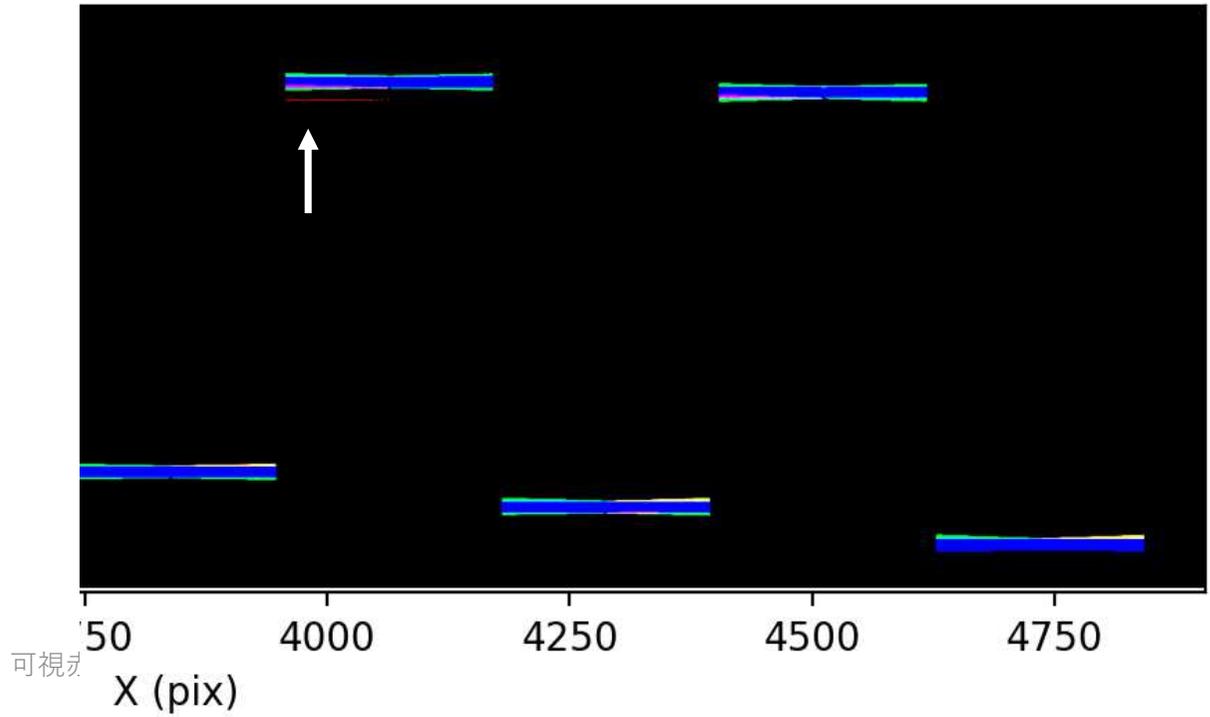




迷光解析で得られた疑似スリットイメージ
 ログスケール。Path01が青、Path02,03が緑、Path04が赤。

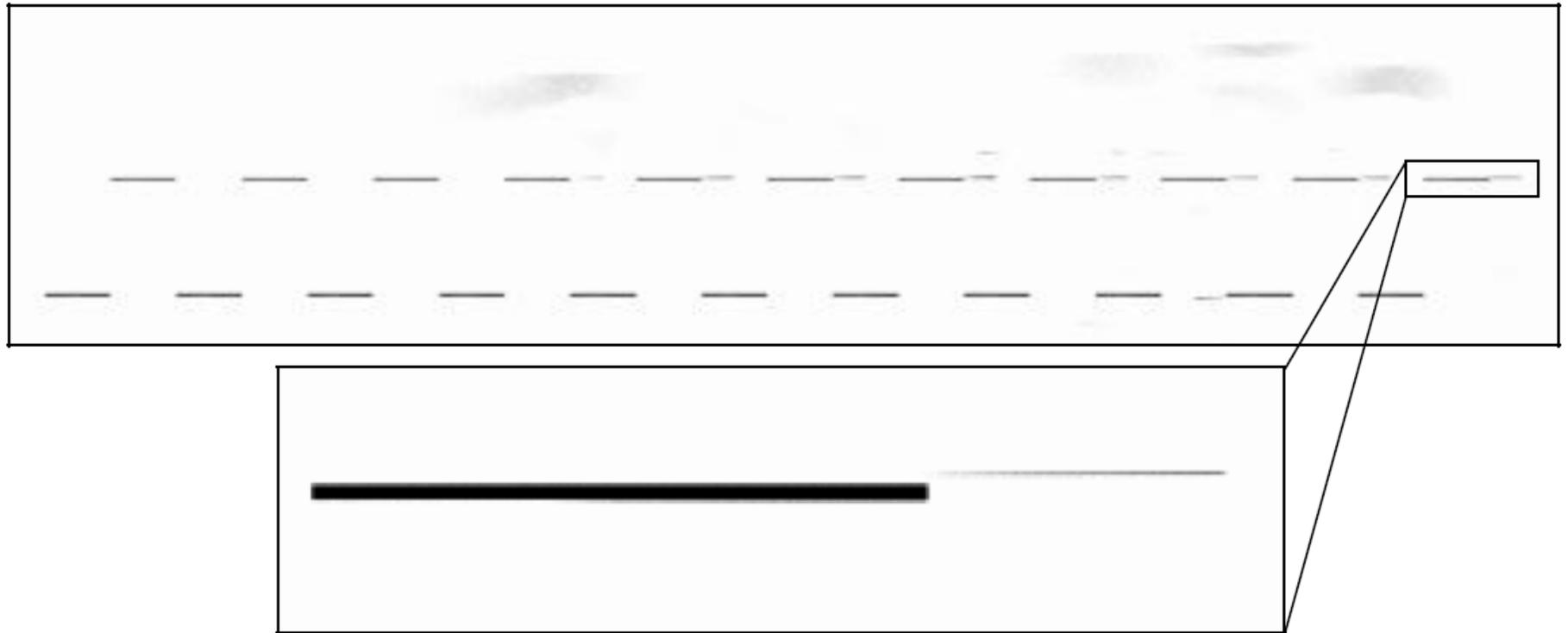


2020/12/1,2



可視赤

Oxford SWISTの例



Tecza et al., 2006, Proc. SPIE, 6273, 62732L

まとめ

- 面分光とは **1度の露出**で面を一気に分光する手法
- 面分光ユニット (IFU)とはスペクトルが重ならないように、視野を分割し再配列する光学系のこと
- イメージスライサー型IFUは検出器受光面を最も有効活用できる。
- イメージスライサー型IFUの光学レイアウトはスライサーへの入射瞳位置と、スライサー以降の光学素子の面数・曲率の有り無しで様々なバリエーションがある。
- WFOS IFUは公差を緩くするためと、WFOS内のスペースから、フラット2面構成をベースラインとしている。