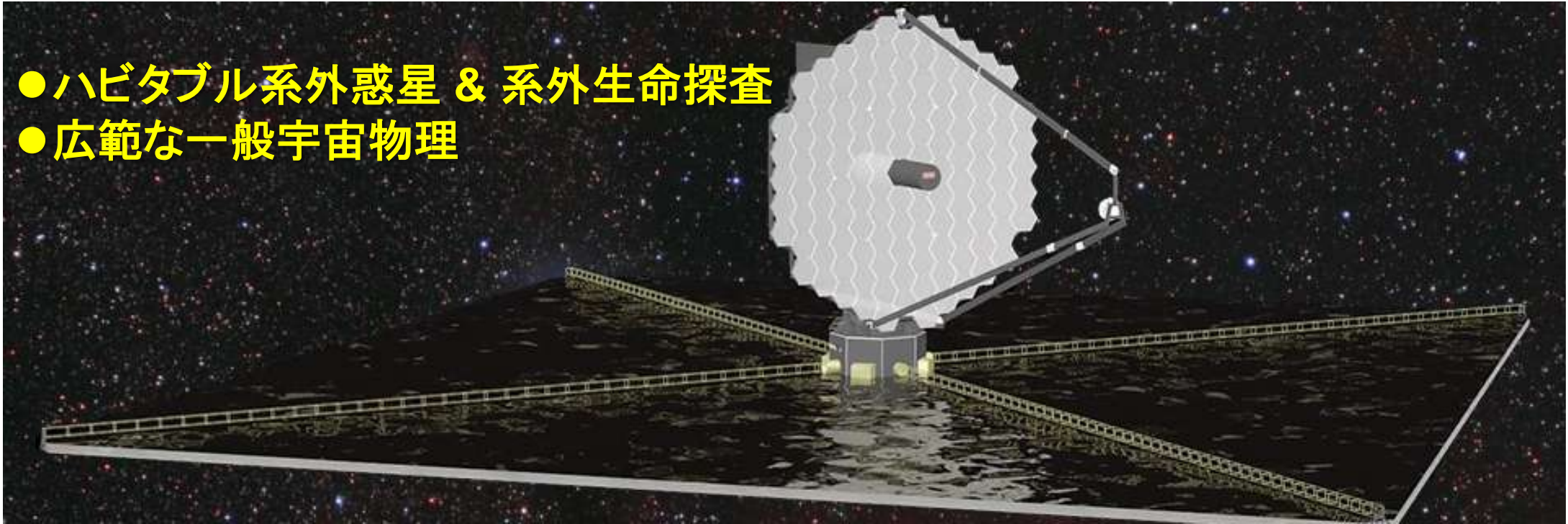




NASA大型紫外可視近赤外線宇宙望遠鏡LUVOIRへの参加 (Large UV/Optical/Infrared Surveyor)

US Astrophysics Decadal Survey 2020で検討中の超大型衛星計画 (2039年打ち上げ予定)

- ハビタブル系外惑星 & 系外生命探査
- 広範な一般宇宙物理



Takahiro Sumi (Osaka)
LUVOIR検討会

T. Sumi(Osaka), Akio Inoue (Waseda University), Ikuru Iwata (NAOJ), Shingo Kameda (Rikkyo University), Tadayuki Kodama (Tohoku University), Yuichi Matsuda (NAOJ), Taro Matsuo (Osaka University), Kentaro Motohara (Tokyo University), Naoshi Murakami (Hokkaido University), Go Murakami (JAXA/ISAS), Norio Narita (NAOJ), Jun Nishikawa (NAOJ), Masami Ouchi (Tokyo University/ICRR), Nao Suzuki (Tokyo University/IPMU), Motohide Tamura (Tokyo University/ABC), Masaomi Tanaka (Tohoku University), Kohji Tsumura (Tokyo City University), Toru Yamada (JAXA/ISAS):

2021/9/8 光赤天連シンポジウム @online

Telescope

- **Segmented, deployable** far FUV/optical/NIR telescope (**100 nm to 2500 nm**)
- **Ultra-stable** to enable high performance coronagraphy
- Serviceable & upgradable (25 year lifetime goal for non-serviceable comp.)

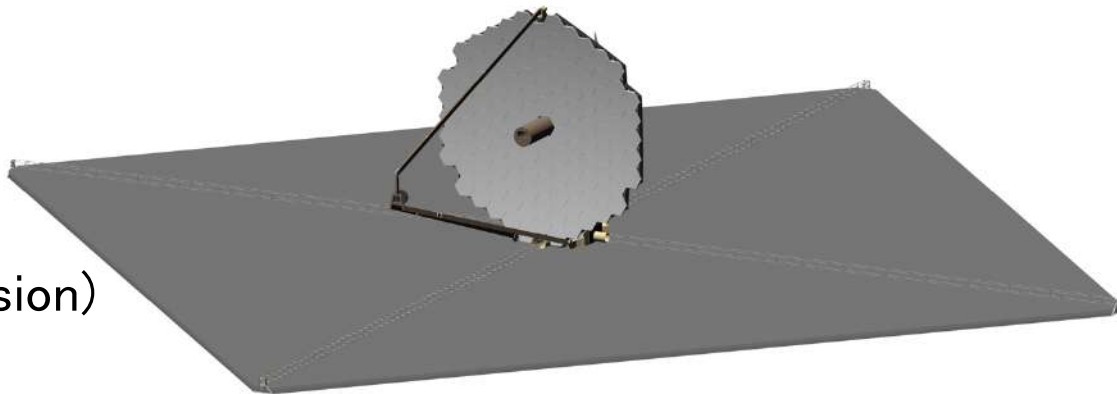
LUVOIR-A

15m (~0.008arcsec)

On-axis

270K(milli-Kelvin precision)

4 instruments

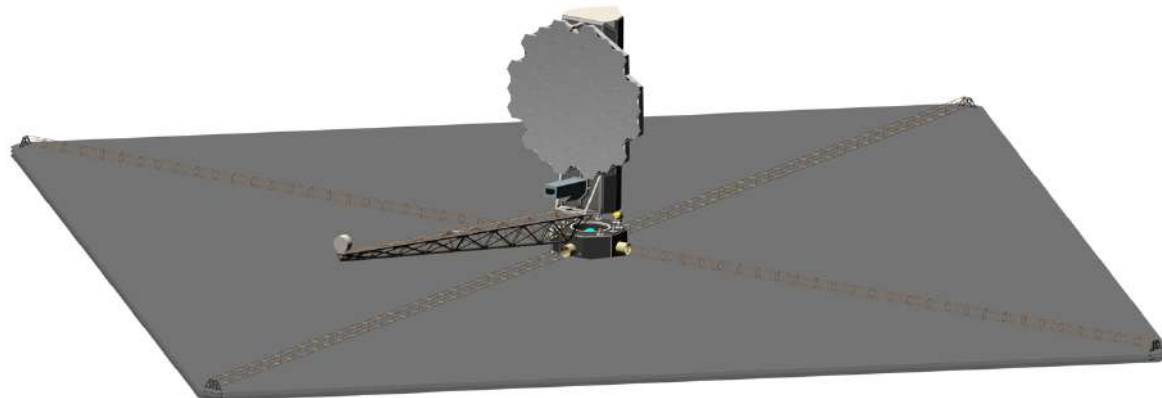


LUVOIR-B

8m (~0.016arcsec)

Off-axis

3 instruments



LUVOIR Instruments

CANDIDATE INSTRUMENTS STUDIED

コロナグラフ

ECLIPS	
Coronagraph with imaging and imaging spectroscopy	
Bandpass	200–2000 nm
Contrast	1×10^{-10}
IWA	3.5 λ/D
OWA	64 λ/D
$R (\lambda/\Delta\lambda)$	Vis: 140 NIR: 70, 200

広視野カメラ

HDI	
Wide field imager with simultaneous UV/Vis and NIR coverage	
Bandpass	200–2500 nm
FoV	3' \times 2'
67 science filters + grism	
Nyquist sampled	
High-precision astrometry	

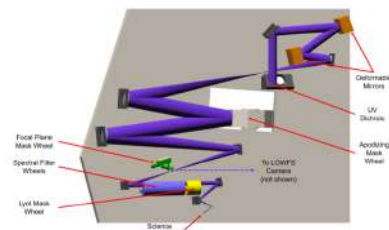
多天体分光器

LUMOS	
UV/Vis multi-object spectrograph and FUV imager	
Bandpass	100–1000 nm
MOS FoV	2' \times 2'
Apertures	840 \times 420
$R (\lambda/\Delta\lambda)$	500–50,000

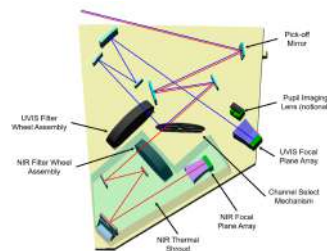
偏光分光器

POLLUX	
Point-source UV spectropolarimeter (European study for LUVOIR-A only)	
Bandpass	100–400 nm
$R (\lambda/\Delta\lambda)$	120,000
Circular + linear polarization	

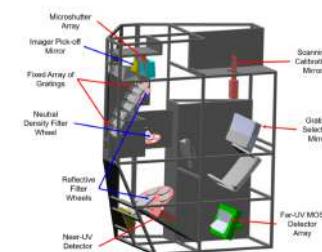
Imaging IFS



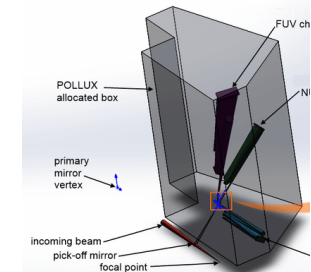
UVIS:3Gpix NIR:320Mpix



Multi-object spectrograph Micro-shutter, FUV imaging

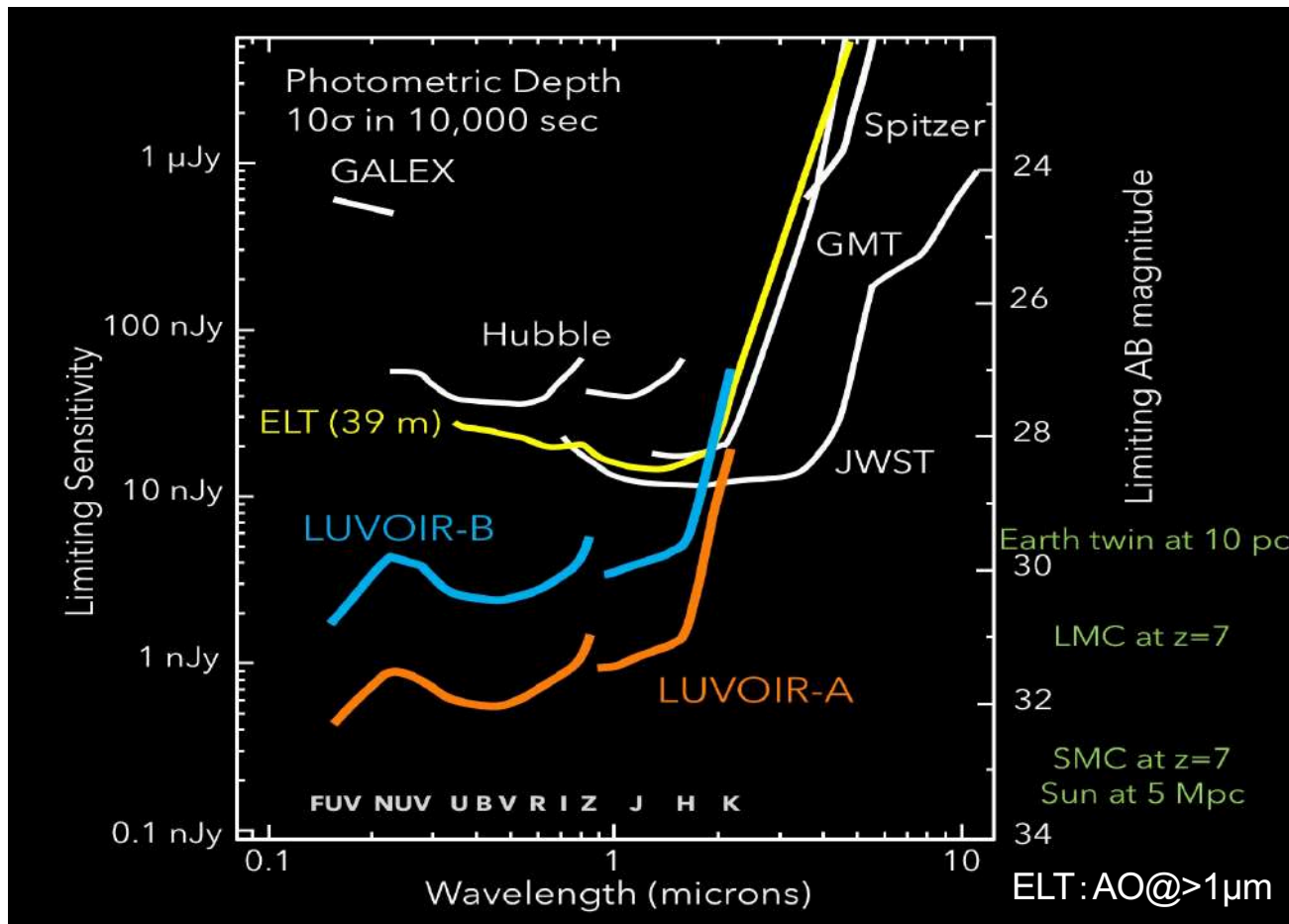


ESA contribution Only for LUVOIR-A



Sensitivity curves for LUVOIR and other telescopes

- 強力な紫外線、可視光望遠鏡として全分野で期待(HSTの後継)
- 大口径、超高解像度(0.01")でHST, Ultra-deep fieldを塗り替える。

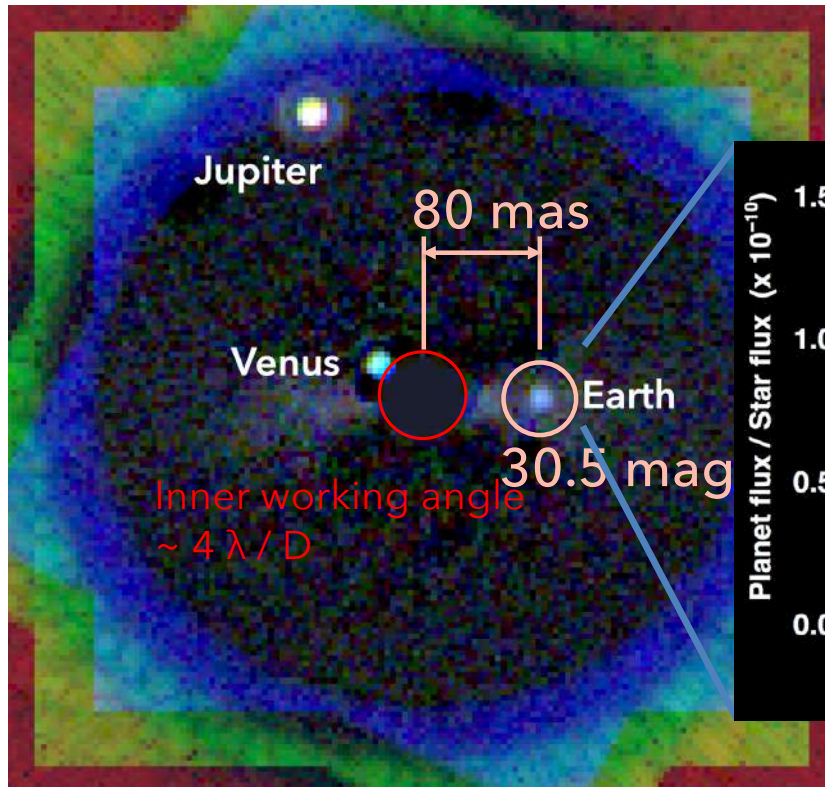


- 紫外線は地上からは不可能
- 他の大型スペースミッションとしてはHST、WSO-UV、LAPYUTAのみ
- 感度はHSTの約1000倍
- WSO-UVの約600倍

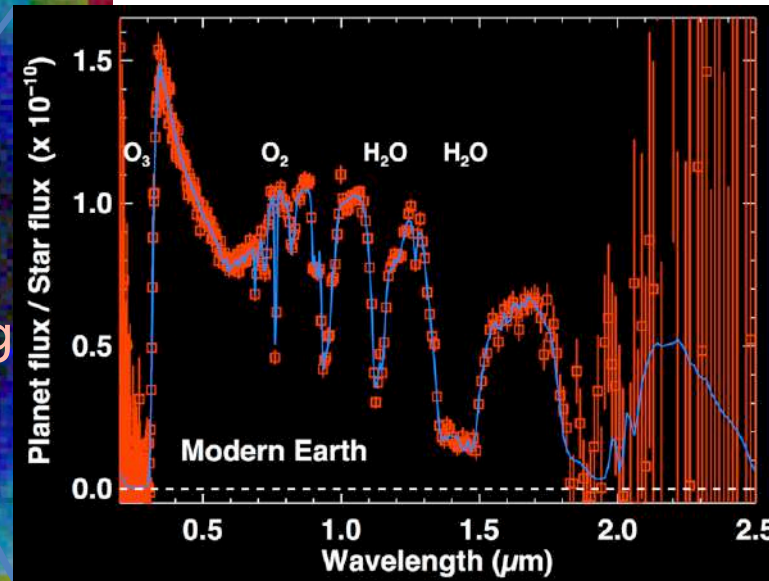
Habitable exoplanets & biosignatures

(自然科学における人類最大のテーマの一つ)

- 地球の様な環境の惑星の頻度 → 高空間分解能 → 大口径が必要
25pc以内の数百個の星
- 生命痕跡探査 (太陽型星回りの地球型): 反射光の直接分光で惑星表層大気測定



ECLIPS on LUVOIR-A:
コロナグラフ装置
直接撮像・分光



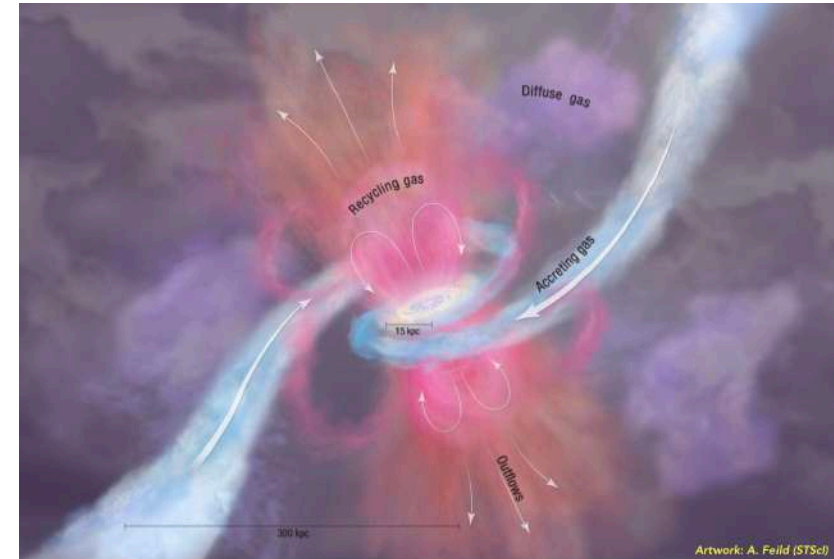
Solar System at
Distance = 12.5 pc
 $D_{\text{telescope}} = 15\text{-m}$
 $R = 150$
Time = 60 hrs per band

Credit: T. Robinson / G. Arney

Broad range of general astrophysics

● 銀河の形成と死

- UV分光で、銀河内の熱いガスの膠着、噴出を調べ、そのサイクルと形成過程を解明
- 過去に遡って、最小の構造体(sub-structure)を分解し、銀河のマージャー史、生成過程を解明



● 太陽系天体のモニター

氷衛星での生命探査。高空間分解能UV分光撮像により、探査衛星なみの観測ができ、ガイザーの活動強度や頻度を解明。 など

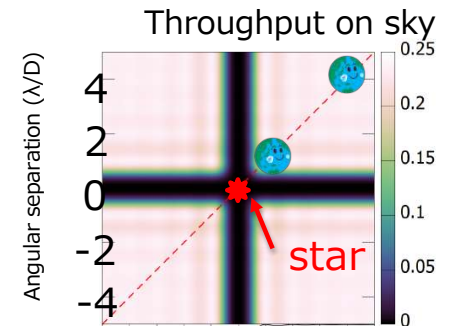


Europa jets observed with 15-m LUVUOIR

Credit: G. Ballester (LPL)

日本の貢献案(予算)

- 多天体高安定高分散分光器: (100億円)
- セグメント鏡回折限界コロナグラフ: (60億円)
- コロナグラフ光学系コンポーネント: Roman参加の実経験を活かす。
 - Baselineマスク (Roman用の基盤製作中)
 - 独自コロナグラフ(提案は20年前から)
 - 偏光器: 日本は40年間以上継続的に光赤外偏光器を製作してきた(Romanの偏光素子製作中)
 - 偏光補償光学系: Romanでの設計経験あり。(数億円)
- 紫外線検出器,コーティング: ひさき衛星。WSO-UVの実績 (45億円)
- 地上局: L2, Ka-band, (Romanで整備) (運営費5億円)



合計210億円程度

LUVOIR(1.0-1.8兆円)の中では1/50以下のパートナーでも、**キー技術**で**旗艦**ミッションに参加することが重要

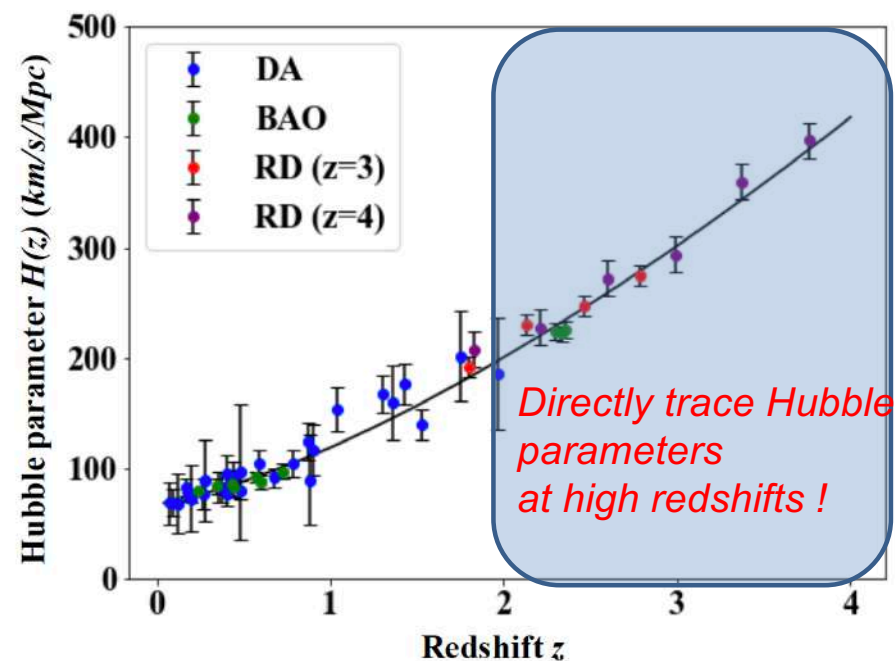
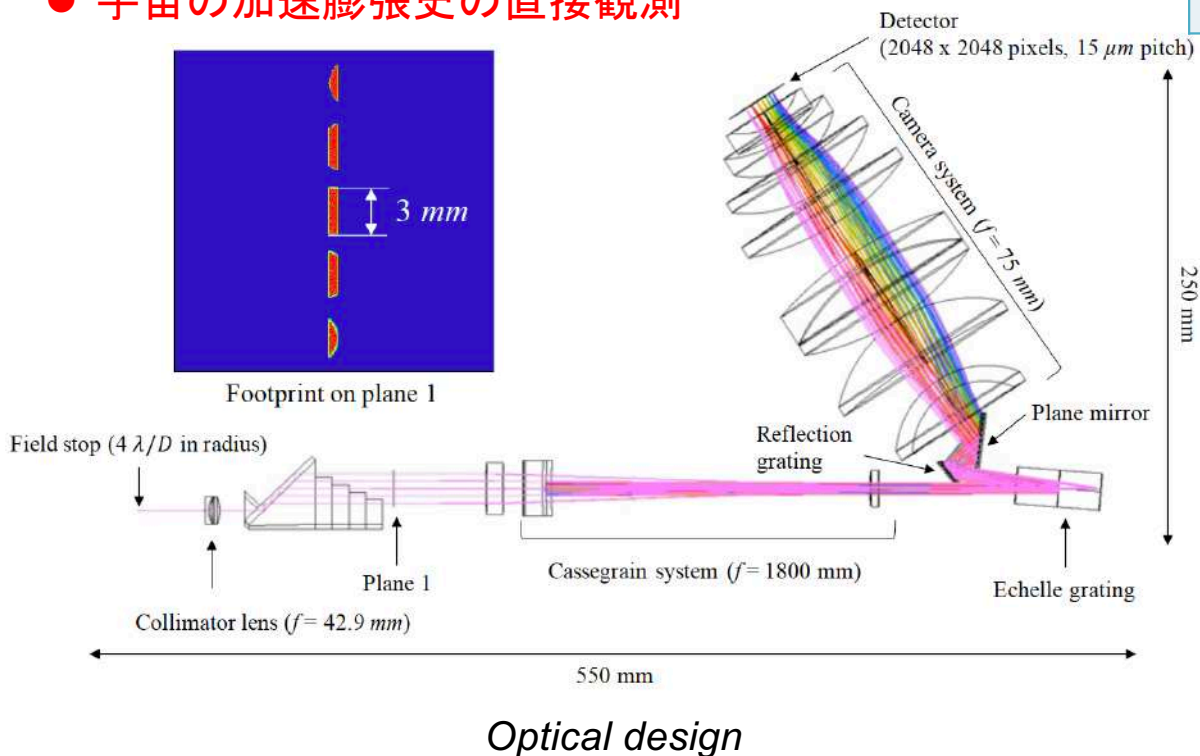
多天体高安定高分散分光器

Matsuo et al. *submitted to AAS*

Multi-object high-dispersion densified pupil spectrograph + *a new line-of-sight monitor*

- M型星周りのノンランジットハビタブル惑星の大気測定、生命探査
- 宇宙の加速膨張史の直接観測

Wavelength range	320 – 670 nm
Resolving power	> 10,000 (depending on science case)
Stability	~ a few ppm (optics only)
# of field-of-views	~ 10
RV uncertainty	~ a few cm/s (depending on science case)



セグメント鏡回折限界コロナグラフ

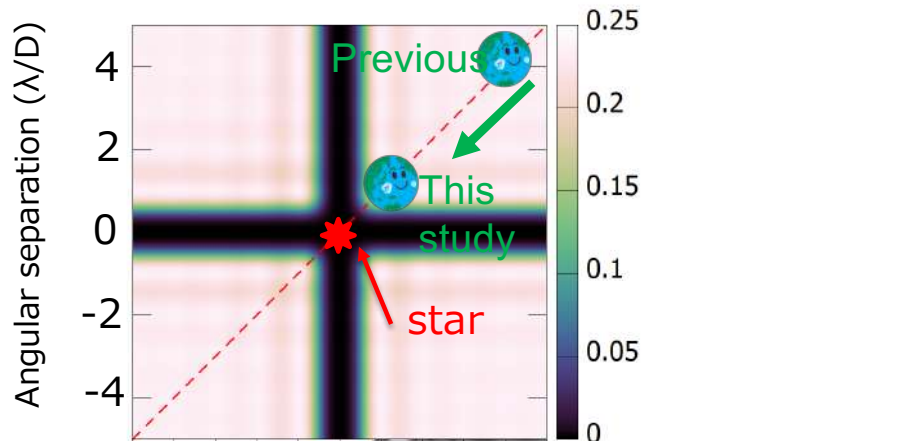
Itoh & Matsuo, AJ 2020; Matsuo et al. AJ 2021

Contrast: 10^{-10}

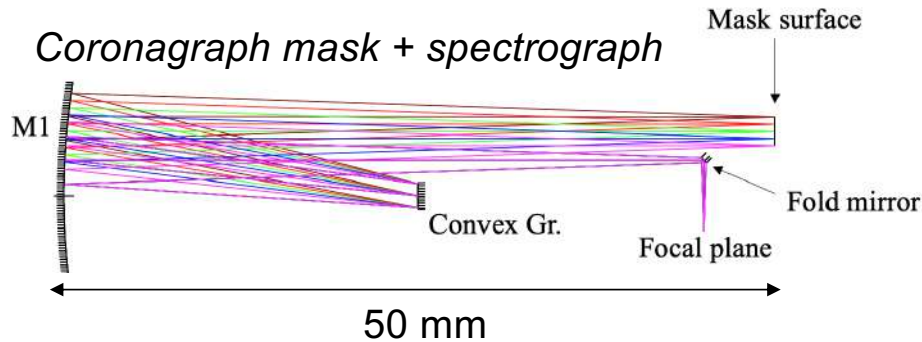
IWA: $\sim 1 \lambda/D$ (ideal limitation) $\leftrightarrow 3.5 \lambda/D$

for LUVOIR-AB

Throughput on sky



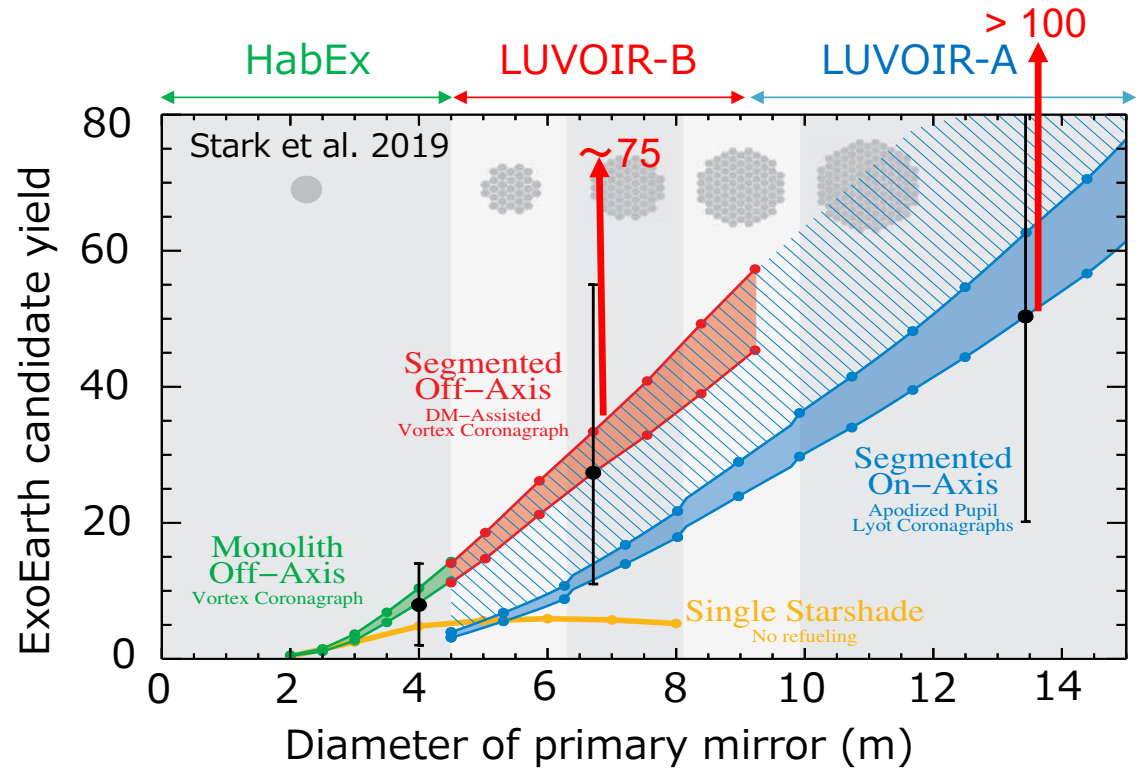
Coronagraph mask + spectrograph



Number of Earth Searching for Biosignature

Yield for LUVOIR-B: 28 (Current) $\rightarrow > 70$ (Ideal)

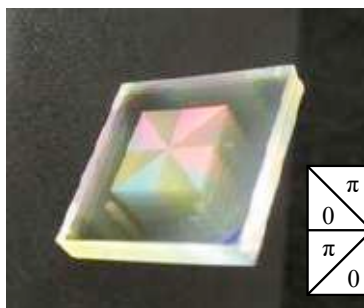
Yield for LUVOIR-A: 54 (Current) $\rightarrow > 100$ (Ideal)



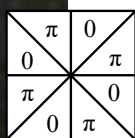
ECLIPS用コロナグラフ光学系コンポーネント提供

• フォトニック結晶マスク

- 惑星分光観測のための多層広帯域マスク開発中
- 射入射に強い6次マスク開発中



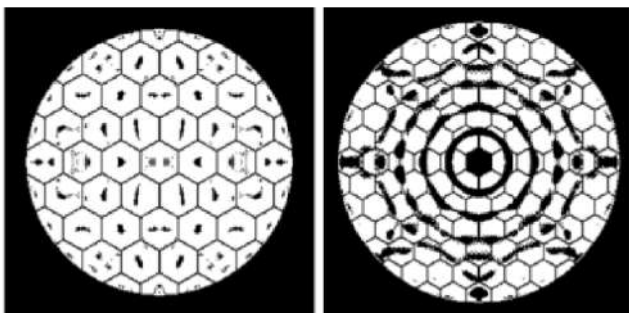
試作した3層広帯域8分割位相マスク
(近赤外用)



Nishikawa et al., Proc. SPIE, 11447, 114474T (2020)

• 複雑なLUVOIR瞳に最適化した瞳アポダイザ

- 焦点面マスクコロナグラフの性能を向上させる
- 今後→ 射入射に強い設計を目指す



LUVOIR-B

LUVOIR-A

LUVOIR-A & -B 用に設計した瞳アポダイザ

Nishikawa et al., Proc. SPIE, 11447-254 (2020)

テストベッドFACET外観と、ダークホール制御試験結果の例

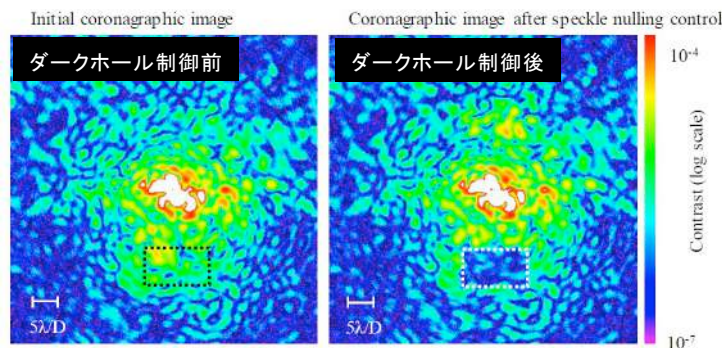
Murakami, et al., Proc. SPIE, 11443, 114432M (2020)

• 高コントラスト観測シミュレータ (技術開発施設の整備)

- e.g., FACET, EXIST構築中 (@北海道大)
- コロナグラフ(焦点面マスク型, ナル干渉型など)・ダークホール制御試験 → 10^{-9} オーダのraw contrast達成 (Yoneta, Murakami et al., in prep.)



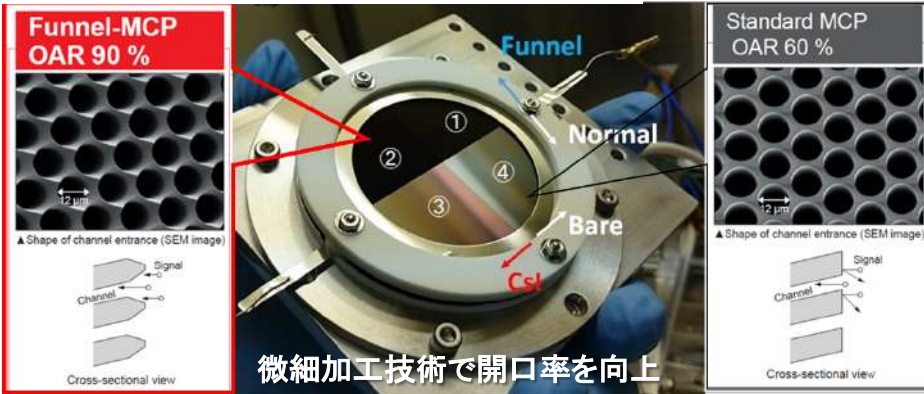
高コントラスト技術開発施設 "FACET"



紫外検出器 (micro-channel plate、MCP) の開発

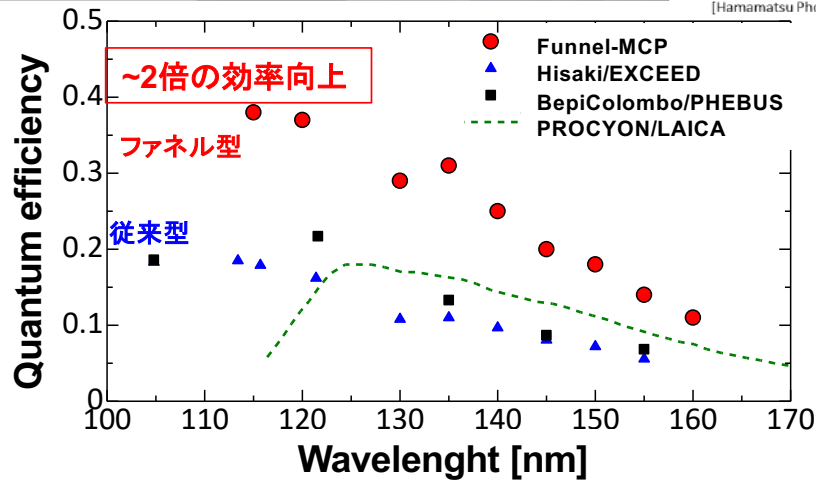
ひさき衛星のヘリテージ

1. 高感度化: ファネル型MCP



微細加工技術で開口率を向上

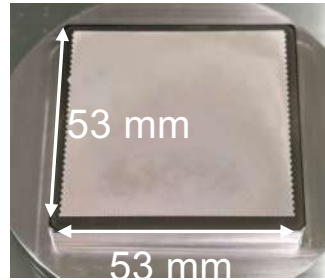
[Hamamatsu Photonics K.K.]



- 試作機 (φ40) で2倍程度の効率向上に成功
- WSO-UV/UVSPEXで小型機 (φ18) の宇宙実証 (2025-)

2. 大型化: MCPアレイ

大型ファネルMCP



狭縁3×3 MCPアレイ (間隔6.5mm)



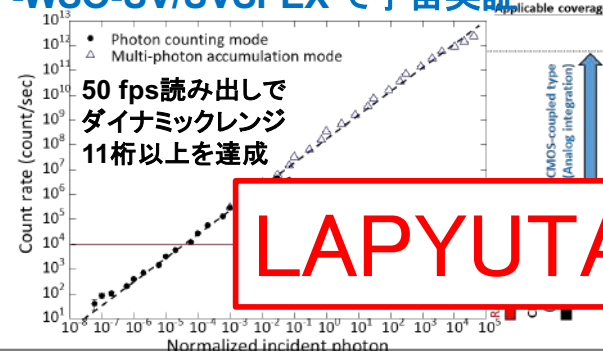
<LUVOIR要求: 200 x 200 mm>

□70 x 70ファネルMCPを用いた狭縁3×3MCPアレイ検出器でLUVOIR要求の達成を目指す

試作済み、性能を評価中

3. 広ダイナミックレンジ化・高解像度化: CMOS読み出し

- 高速撮像を利用したフォトンカウンティング
- 試作機で 10^{11} 以上のダイナミックレンジ、6 μmの空間分解能を達成
- WSO-UV/UVSPEXで宇宙実証



LAPYUTAと共同開発

学術的価値、緊急性, 各分野での連携, 実現性

● 学術的価値

- 地球外生命の探査は、現在の天文宇宙物理、地球惑星科学の最重要分野の一つで、**国民の関心、知的価値は高い**。

● 緊急性

- まもなくUS Decadal Survey 2020発表。大型計画の1位に選ばれれば、直ちに参加を表明し、**概念検討段階で日本の貢献案を提案する必要がある**。

● 各分野での連携

- 宇宙論、銀河、突発天体、太陽系、系外惑星、惑星科学など様々な分野の理論、実験研究者18名が検討チームに参加。さらに拡大が期待される。

● 実現性

- **US Decadal Survey 2020に選ばれれば実現可能性大**
- NASA およびLUVOIR STDTは、日本の参加を歓迎
- コロナグラフ装置開発は、Romanの実績を生かせる
- 紫外線検出器、コーティングは、ひさき衛星、WSO-UVでの実績を生かせる

Summary

- LUVVOIRは**超大型の紫外可視近赤外宇宙望遠鏡**
- **生命居住可能惑星、地球外生命探査、**
- 宇宙物理、地球物理全般を網羅する究極のミッション
- 日本の参加によりミッションを強化し、**科学成果を拡大する**
- キーコンポーネントを担当することで、日本の**技術レベルを高める。**

ファイナルレポート : <https://www.greatobservatories.org/>