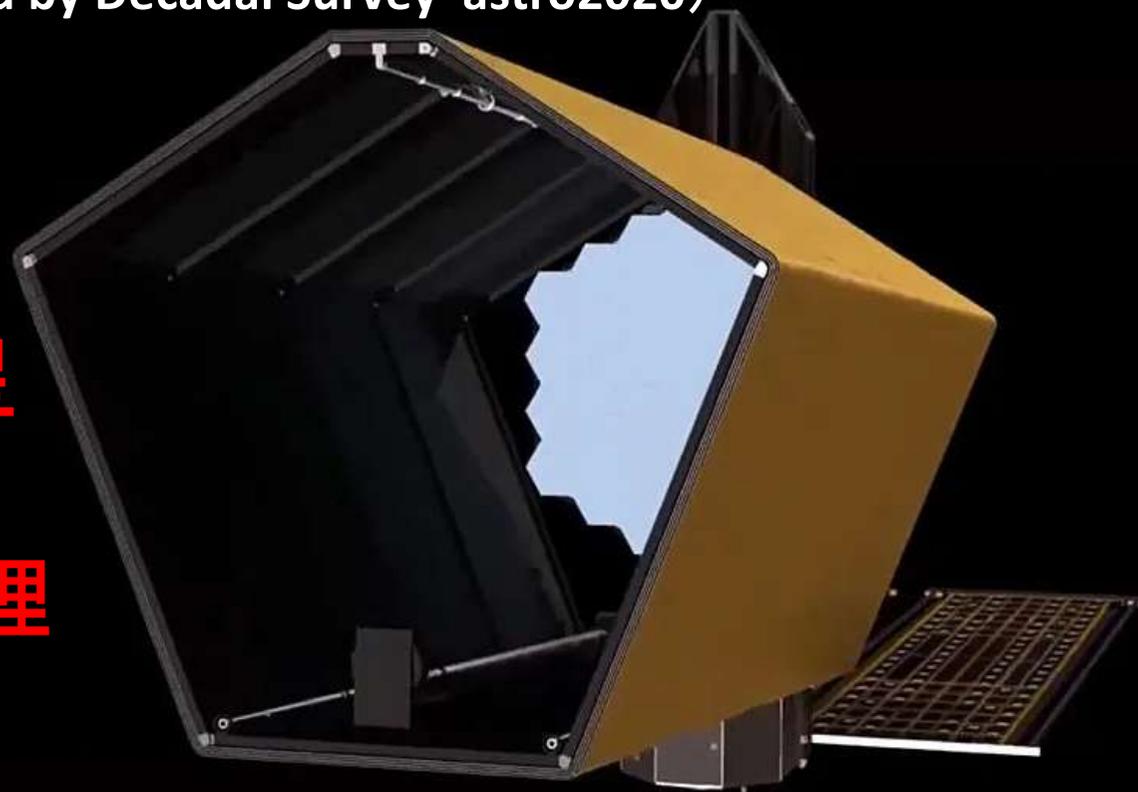


Habitable Worlds Observatory

(Recommended by Decadal Survey astro2020)

- **ハビタブル系外惑星
& 系外生命探査**
- **広範な一般宇宙物理**



住(阪大, START)宮崎聡(START), 生駒, 本原, 西川, 内海, 米田(NAOJ), 山田亨, 塩谷, 高橋葵(JAXA), 田村, 小谷, 葛原(ABC), 生駒(NAOJ), 成田(東大), 亀田(立教), 伊藤, 松尾(名大), 村上尚(北大), Olivier Guyon(NAOJ, Arizona)

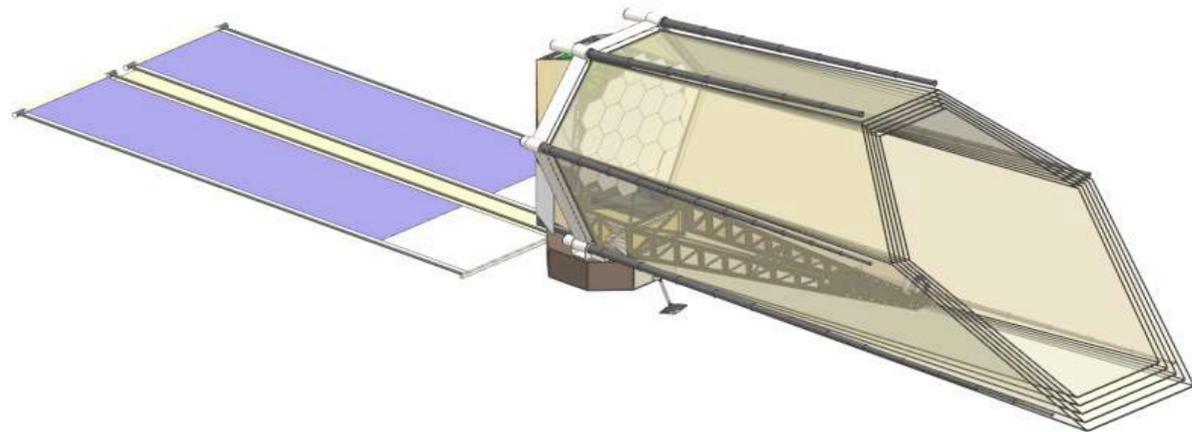
HWO-J team

2024/9/18, 光赤天連シンポジウム@NAOJ

Credit: NASA

Habitable Worlds Observatory

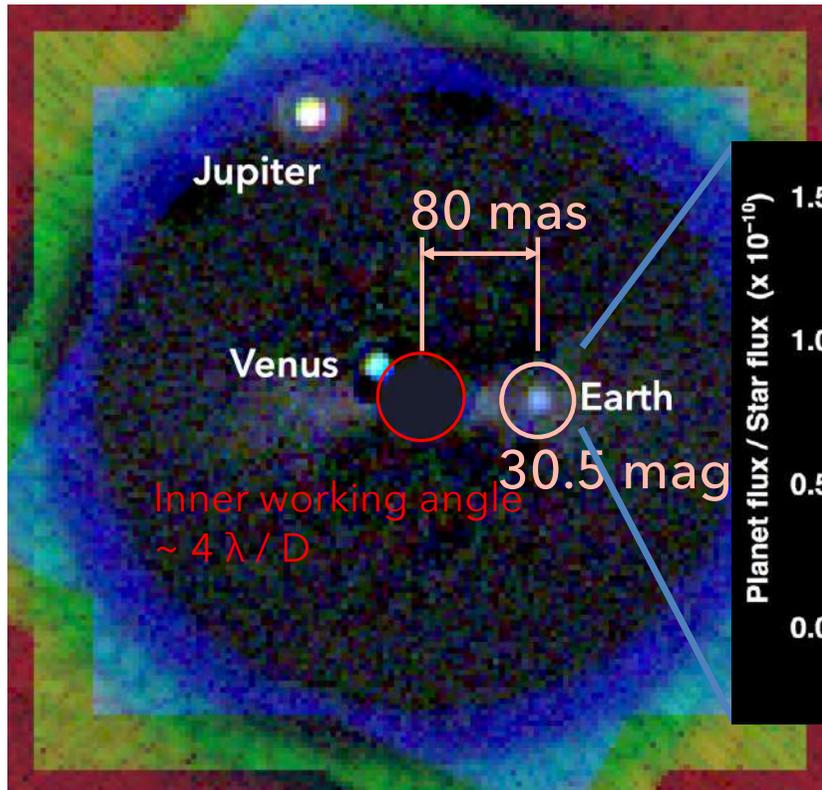
- **off-axis inscribed diameter 6-m, at first half of 2040's (11B\$) to search for biosignatures from ~25 habitable zone planets**
- **Segmented, deployable** far FUV/optical/NIR telescope (**100 nm to 2500 nm**)
- **Ultra-stable** to enable high performance coronagraphy
- **Serviceable & upgradable** (25 year lifetime goal for non-serviceable comp.)



Habitable exoplanets & biosignatures

(自然科学における人類最大のテーマの一つ)

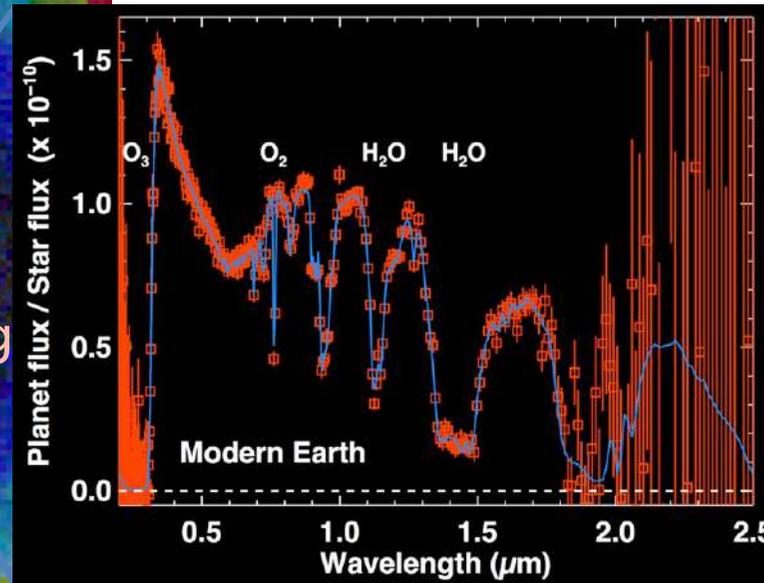
- 地球の様な環境の惑星の頻度 → 高空間分解能 → 大口径が必要
25pc以内の数百個の星
- 生命痕跡探査 (25個の太陽型星回りの地球型): 反射光の直接分光で惑星表層大気測定



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

$D_{\text{telescope}} = 15\text{-m}$

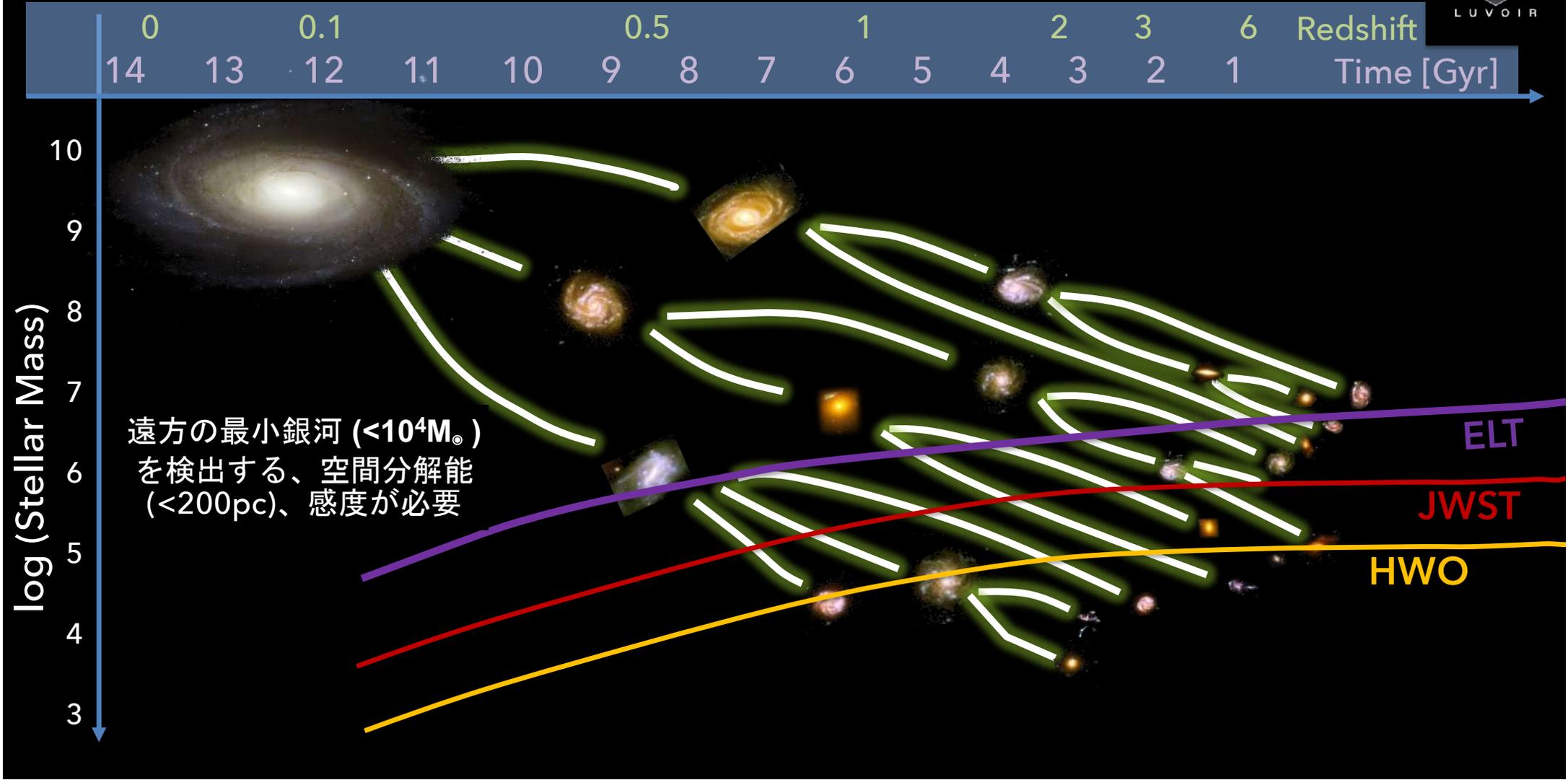
$R = 150$

Time = 60 hrs per band

Credit: T. Robinson / G. Arney

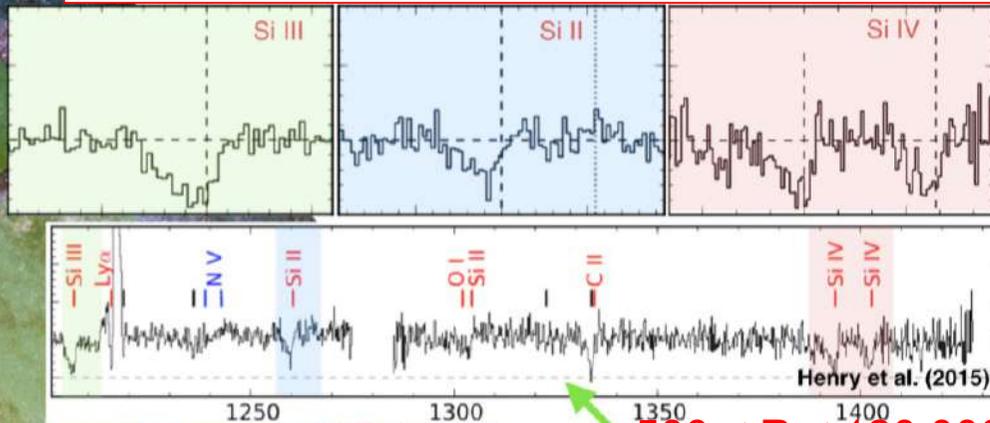
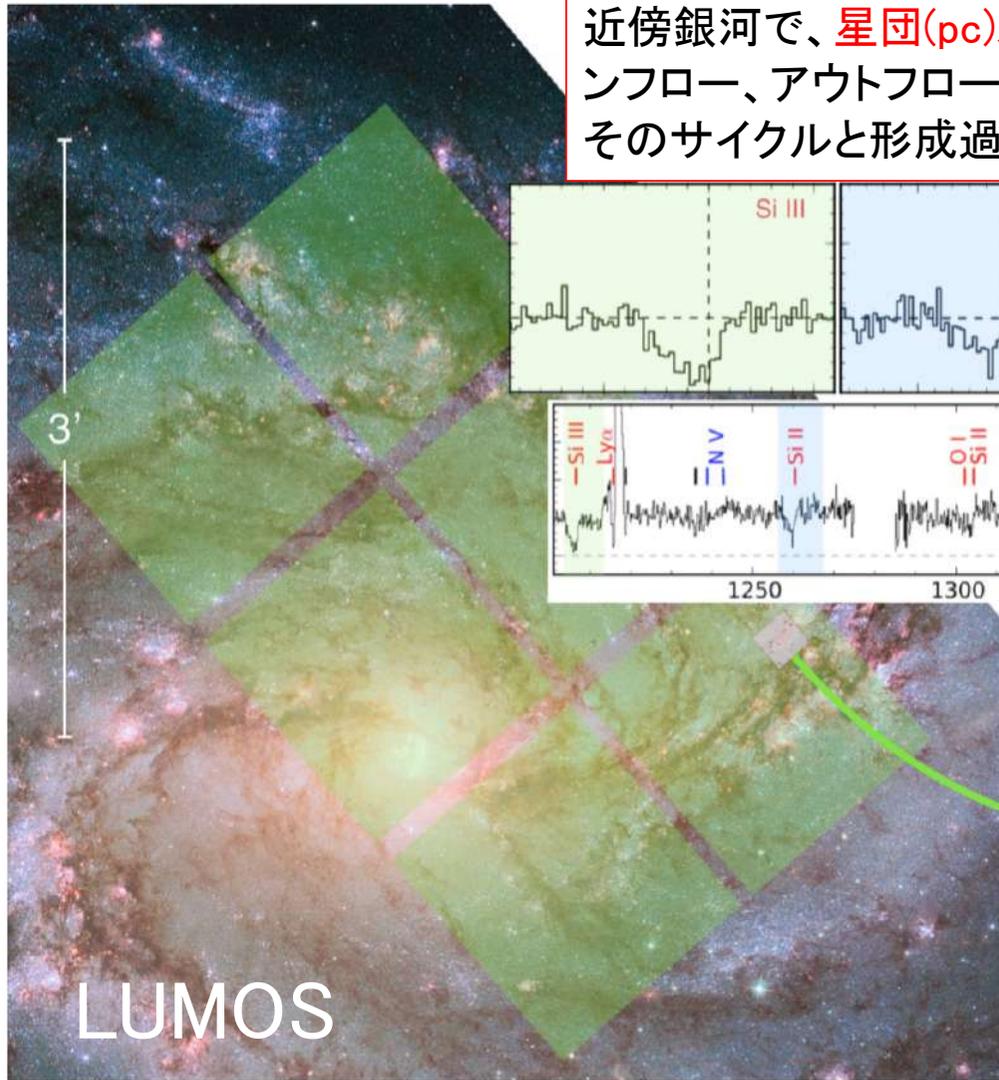


宇宙初期の、最小の構造体を分解し、銀河の形成過程を説明^{HDI}

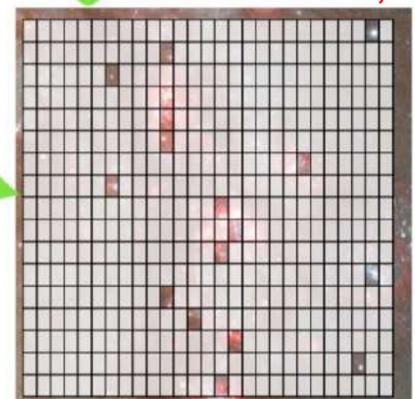


マイクロシャッターによる高空間分解能、多天体可視UV分光

近傍銀河で、**星団(pc)スケール**でホットガスのインフロー、アウトフロー、Radiative transferを観測
そのサイクルと形成過程を解明



$500 \leq R \leq 120,000$



$4 \times 420 \times 840 = 140$ 万個

- 空間分解能: 0.07×0.14 arcsec
 < 100 pc @ $z < 0.1$ (400 Mpc)
 < 1 kpc @ all redshifts.
- $z < 3$ 以下(宇宙誕生から80%の時間、11-12 Gyr)において、様々な階層で、物質(バリオン)の量/循環、宇宙再電離を解明
- 遠方quasarのUV吸収線でIGM, CGMのバリオン量を測定 (JWSTより近傍)
- 近傍銀河の星形成領域で、物質の温度、密度、速度、金属量をマップでき、構造形成史を解明

LUMOS

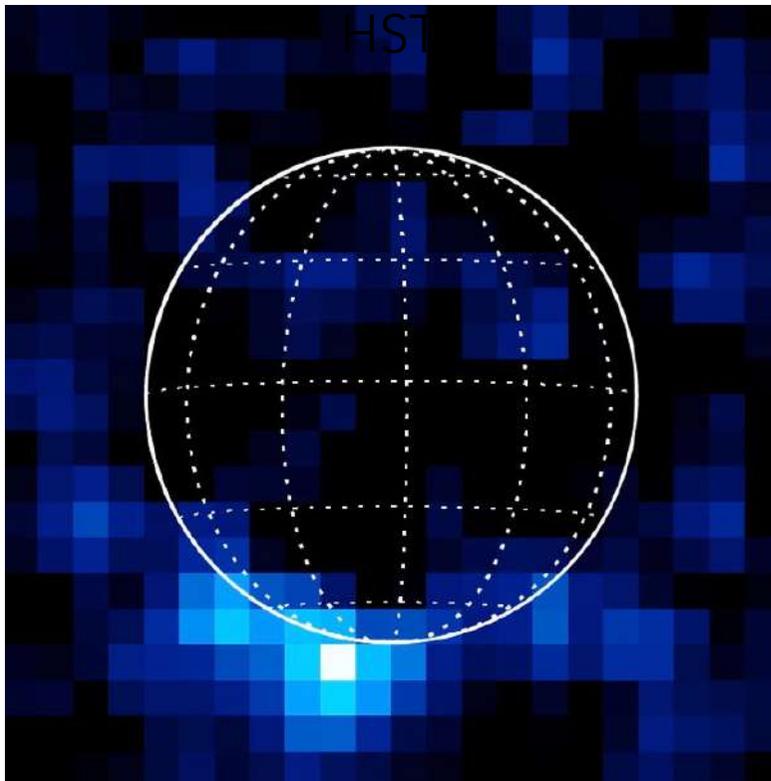
太陽系内氷衛星の生命居住可能性

探査機なみの高空間分解能で氷衛星内部海から噴き出るプルーム(水柱)をモニター
強度、頻度を求め、生命居住可能性を検討

Europa in far-UV Lyman- α emission



LUMOS



Roth et al. (2014)
HSTによる木星の衛星エウロパのプルーム



Input model: G. Ballester

GOMAP HQ Leadership Team

Independent
Consultants

Science, Technology, Architecture Review Team (START)

- Explore Astro2020 science objectives; break down one or more levels
- Analyze mission architecture options
- Members selected from US science and technology communities
- International ex-officio representatives included
- Support available for START members in recognition of community service
- Engineering / science analysis support provided by NASA & Science Centers

Technical Assessment Group (TAG)

- Identify and assess mission architecture options and assess the risks associated with each option and approach. **Cost estimate**
- **NASA members**
- Science Case Simulations Working Group
- Science Data Simulation Working Group
- Sci / Eng Interface Working Group
- Systems Working Group
- Technology Working Group
- Integrated Modeling Working Group

START/TAG meetings

2023/10/31-11/2, HWO START + TAG (F2F), 3-day meeting: DC

2024/3/11-13, 2nd HWO START + TAG (F2F), Pasadena, CA

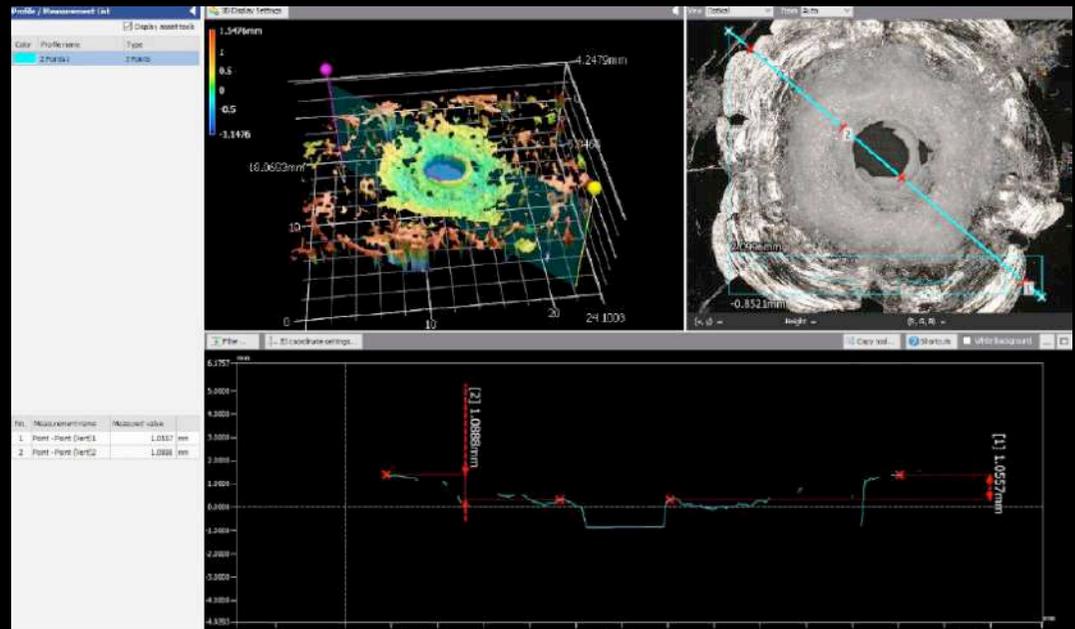
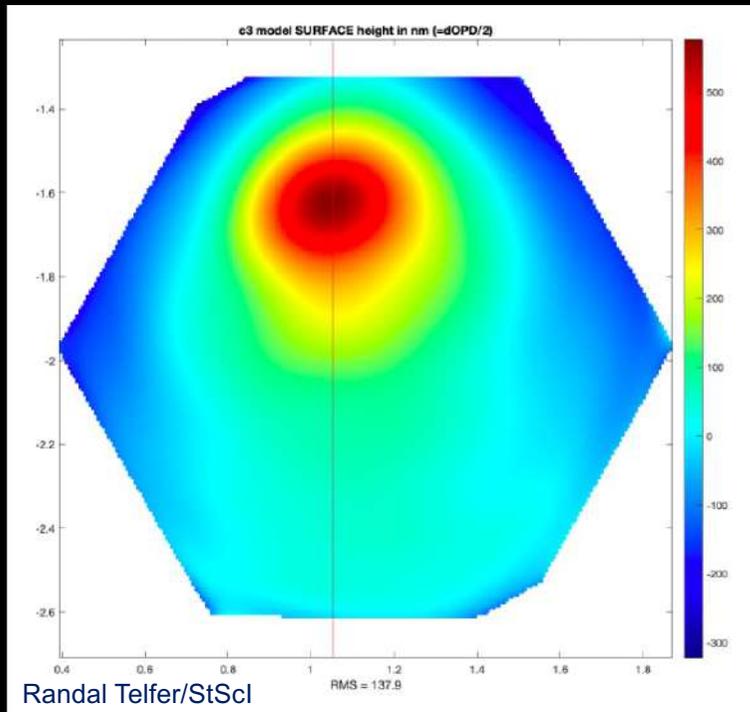
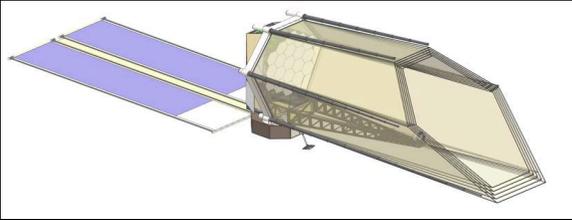
2024/6, 3rd HWO START + TAG (F2F) Baltimore 住(阪大)、宮崎聡 (NAOJ) が参加

2024/10, 4th HWO START + TAG (F2F),
Rochester, NY

NASA HWO計画は、米国議会
よりUSD10Mの予算を得て、
プロジェクトオフィスをGSFC
に立ち上げる (8/1)。
STARTは解散。



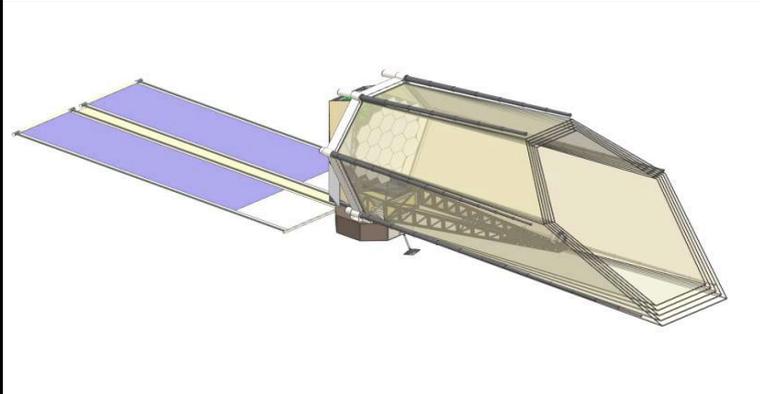
Lesson Learned from JWST: Barrel Needed for Micrometeoroid Protection



- Likely 7J hit on JWST Mirror C3 in 5/22

Recent GSFC ULE MIRROR Test at White Sands
7J hit on ULE Disk

NOTIONAL EXPLORATORY ANALYTIC CASES



EAC1:

6m/7.2m (ID/OD) off-axis

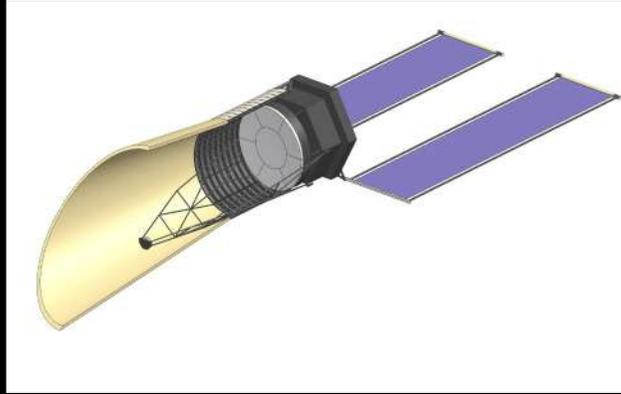
19 hex segments

PM faces horizontal in
rocket

JWST like wing deployment

Fits in New Glenn, Starship
Standard

Low Areal Density Mirrors



EAC2:

6m (ID) off-axis

Non-deployed Primary mirror

Central 3 m, + 6 keystone
Primary mirror faces up in
rocket

Lower barrel is fixed, upper
barrel and SM deploy

Fits in Starship Standard

Higher Areal Density Mirrors



EAC3:

8m ID (round) on-axis

34 keystone segments

PM Faces horizontal in
rocket

JWST like wing deployment

Fits in Starship Standard
Low Areal Density

Large FOV guider/active
wavefront sensing and
control

HWO preliminary specs & candidate instruments

Telescope	
Diameter	6+ meters
Bandpass	100 nm (TBR)-2500nm
Diffr. Lim. Wavelength, Line of Sight	.5um, .4mas LOS



Coronagraph*	
High-contrast imaging and imaging spectroscopy	
Bandpass	~350–1800 nm
Contrast	$\lesssim 1 \times 10^{-10}$
R ($\lambda/\Delta\lambda$)	Vis: ~140 NIR: ~70, 200



High-Resolution Imager	
UV/Vis and NIR imaging	
Bandpass	~200–2500 nm
Field-of-View	~3' × 2'
~67 science filters + grism	
High-precision astrometry?	



UV Multi-Object Spectrograph	
UV/Vis multi-object spectroscopy and FUV imaging	
Bandpass	~100–1000 nm
Field-of-View	~2' × 2'
Apertures	~840 × 420
R ($\lambda/\Delta\lambda$)	500–50,000



* High contrast NUV could be fourth instrument (XI)

Fourth Instrument
To be defined

これまでの活動

- 2016-2020: Science and Technology Definition Teams (STDT)参加: LUVOIR(住), HabEx(田村)
- 2017 LUVOIR/HabEx検討会 発足
- 2019 光赤天連 2030年代光赤外線天文プロジェクトコンセプトLOI提出
- 2021 学術会議マスタープラン応募
- 2021 US Decadal survey Astro2020
- 2022 LUVOIR/HabEx検討会統合
- 2022 未来の学術振興構想へ応募/掲載
- 2023/9 天文台サイエンスロードマップへLOI提出
- 2023/10 STARTへ参加(1st START meeting) : 住(阪大)、宮崎聡 (NAOJ)
- 2023/12/7 HWO-J 検討会 (online)
- 2024/1/22 HWO-J 検討会 (F2F@ISAS)
- 2024/2/29 光赤天連 ロードマップ2025提案書提出
- 2024/3/11 2nd START meeting
- 2024/6/3 3rd START meeting
- 2024/6/18 meeting with NASA @SPIE, Yokohama

NASAとの日本のHWOへの貢献案検討会

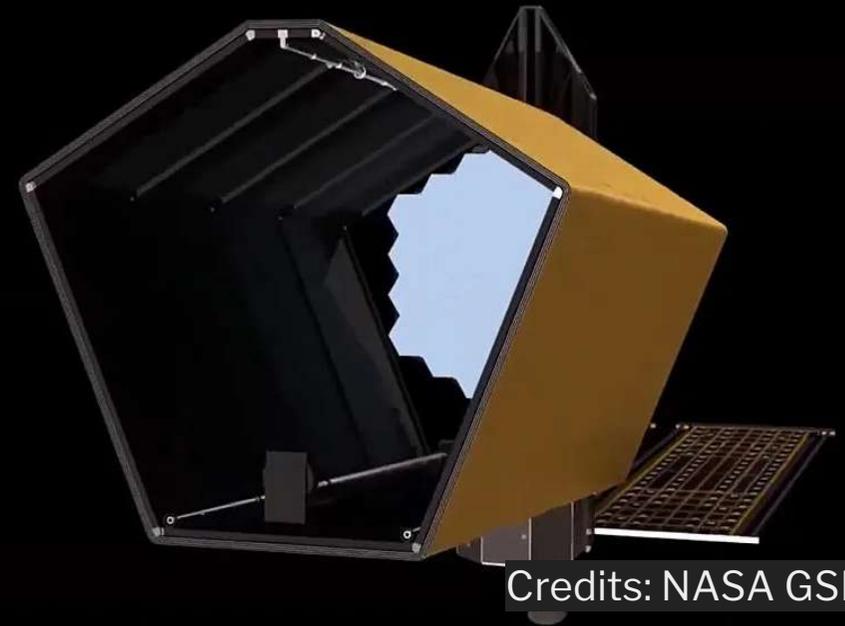
日本:

宮崎聡(START), 生駒, 本原, 西川, 内海, 米田(NAOJ), 山崎(JAXA研究主幹), 山田亨, 塩谷, 高橋葵(JAXA), 田村, 小谷, 葛原(ABC), 生駒(NAOJ), 住(阪大, START), 成田(東大), 亀田(立教), 伊藤, 松尾(名大), 村上尚(北大), Olivier Guyon(NAOJ, Arizona)

- NASA HWOの検討状況を共有
- JAXA, NAOJの現状を共有
- 貢献規模を議論
 - 一> 装置レベルの貢献を互いに期待
 - コンポーネントレベル、あるいは両方もあり
- 日本の貢献案を紹介
 - ・ UV検出機、UVコーティングに期待
 - ・ コロナグラフIRチャンネル、UVチャンネルに興味
- 今後の進め方
 - ・ NASAのHWOアーキテクチャ検討を通して具体化
 - ・ NASA/GSFC, JPLと連携して開発

NASA:

Mark Clampin (HQ, Astrophysics Division Director),
Lee Feinberg (GSFC, TAG Co-chair)
Michael McElwain (GSFC, TAG, JWST project scientist)
Breann Sitarski (GSFC, TAG)
Tyler Groff (GSFC)
John M O'Meara (Keck, START co-chair)



Credits: NASA GSFC

June 18 from 13:30-16:00@SPIE, G215 PACIFICO Yokohama

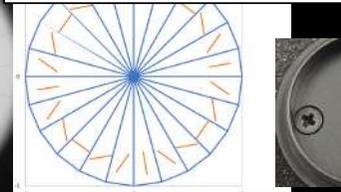
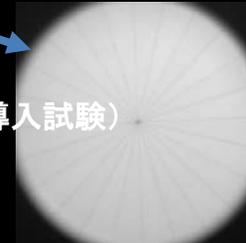
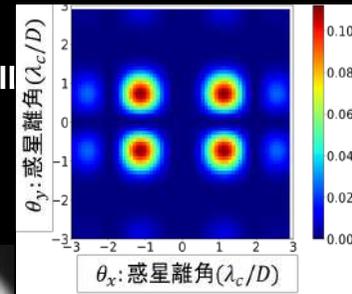
日本の貢献、キー技術開発案

●近赤外コロナグラフ、3年8億、10年32億 (FM含む総額: 200-300億, Roman CGI: \$400M < \$350M w/o COVID)

- 真空テストベッド開発 (JAXA他): 3年 3億、10年 7億
- 一次元回折限界コロナグラフ (名大) 3年 0.5億 (JPL) 10年 6.5億 (すばる、testbed)
- 広帯域マスク (北大, NAOJ他): 3年 0.5億 (試作・試験)、10年 2億 (EM製作・真空試験)
- 新規波面補償モジュール (北大, JAXA, NAOJ他): 制御帯域限界 (~20%) 打破 (連星も視野)
3年 0.5億 (非真空試験)、10年 6億 (真空プロトタイプ, SLM開発)
- 偏光補償技術 (北大, JAXA他): Romanでの設計経験有、3年 0.5億 (設計・試作)、10年 2億 (コロナグラフ導入試験)
- 近赤外コロナグラフ分光器システム (NAOJ, ABC, JAXA): 3年 3億 (すばる)、10年 8億 (EM, 真空試験)

スタッフ: 約10人、ポスドク・院生: 4人(マスク)+4人(装置全体)

惑星光透過率

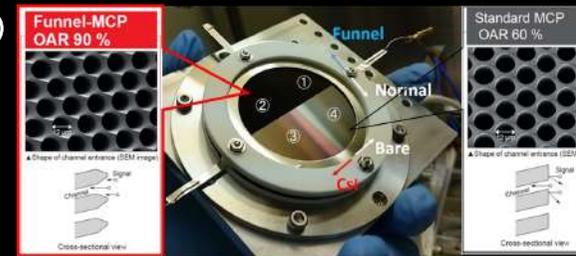


フォトニック結晶24分割位相マスク

●UV面分光器(高分散分光を含む)、3年3億、6年20億(EM) (FM込総額: 50億<100億)

- *UV検出器 (funnel型MCP, 立教大, JAXA) 大型MCP 80mm → 100mm 5億
- *UVイメージスライサー (60分割 → 回折格子60個) 6億
- UV回折格子 (WSO-UVの実績 + LOPYUTA向けに開発, 立教大, JAXA)
- UVコーティング (LOPYUTA向けに開発, JAXA)
- * UV面分光器を担当しない場合も、要素として提供する可能性あり

スタッフ: 約10人、ポスドク・院生: 2人(光学系)+2人(検出機)+2人(装置全体) UVイメージスライサー



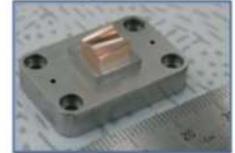
funnel型MCP

- UVコロナグラフ (検討中)
- 天体高安定高分散分光器 (名大) (コロナグラフ、UV装置に適用可) 3年開発要素なし
- 地上局: L2, Ka-band (Romanで整備中, JAXA)
- サイエンス検討 (NASA START WG, 宮崎、住、松尾 etc.)

UV Grating



Image Slicer



The INFUSE slicer consists of 26x 0.25 x 6.5 mm mirrors

目標: 技術成熟度をTRL6 +/- に上げ、ミッションコンセプトに組み込む

まとめ

- HWOは**6m超大型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**
- **装置レベル**+コンポーネントレベルで貢献を目指す
- **興味のある方は是非、ご参加ください。**