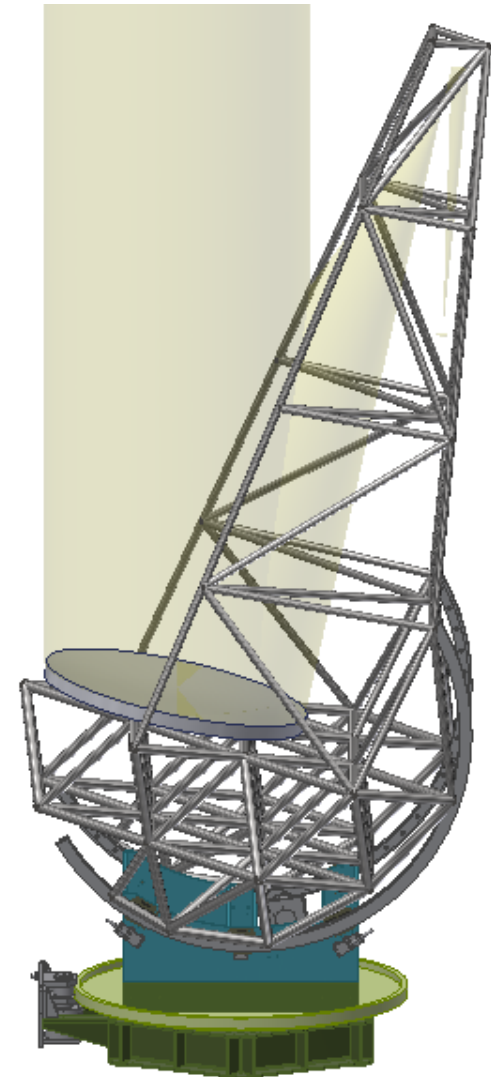


# 1.8m非軸望遠鏡「PLANETS」 計画の現況と今後の展望

\*坂野井健, 鍵谷将人, 中川広務  
秋山正幸, 笠羽康正, 岡野章一 (東北大学)  
平原靖大 (名古屋大学)  
栗田光樹夫 (京都大学)





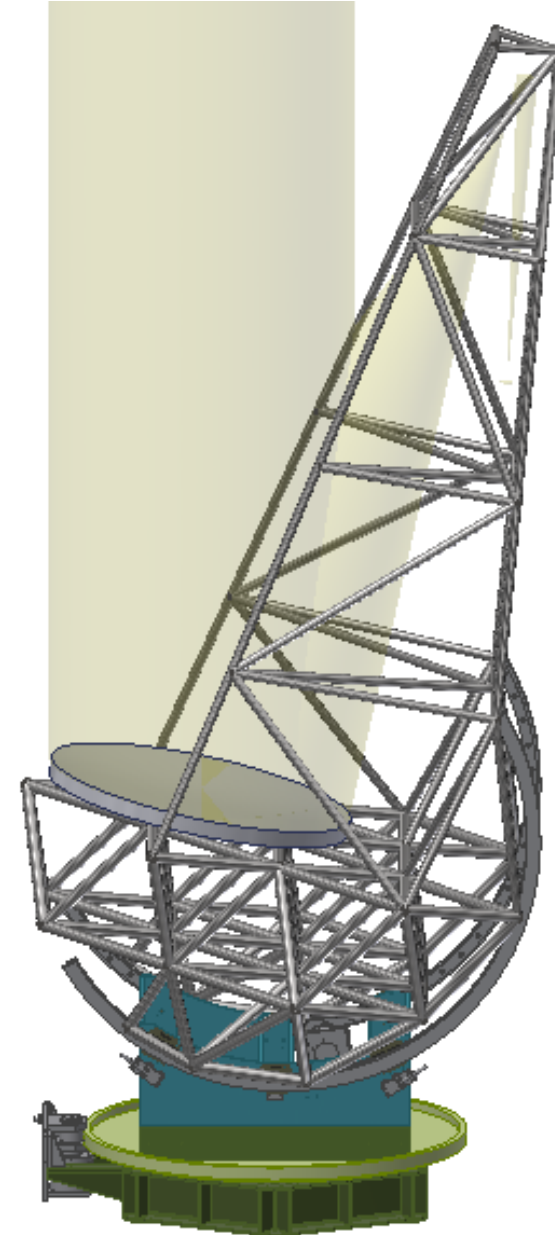
# PLANETS 1.8-m off-axis telescope

<https://www.planets.life/>

- ✓ 低散乱（良PSF）光学系
- ✓ 可視～中間赤外観測
- ✓ 専用望遠鏡によるターゲット最適化観測
- モニタリング観測
- TOO観測
- AO, 高分散分光, コロナグラフ,

国内: 東北大(秋山:AO)・名古屋大学(平原:研磨・赤外分光・ファイバ)・京都大学(栗田:研磨・架台・主鏡保持)

国外: ハワイ大(サイト)、ドイツ(ポラリ・サイト)、ドイツ(資金提供)、フランス(AO)



# 内容と主旨

## 1. 低散乱・高ダイナミックレンジ光学系

- ・ **サイト（大気乱流）**：（最終的に）ハワイ・ハレアカラ（カナリー・テネリフェ）
- ・ **主鏡誤差（micro-roughness含む）**：シミュレーション→国内研磨（アストロエアロスペース）
- ・ **主鏡保持機構**：ウィップルツリー
- ・ **AO**：Adaptive Secondary

## 2. 軽量架台の採用・国内でファーストライト

- ・ せいめい望遠鏡プロトタイプ架台の検討
- ・ 東北大学福島県飯舘観測所を改修・設置

## 3. モニタリング・異なる経度帯のネットワーク観測

- ・ サイエンス：変動現象、活動天体、突発天体（TOO）
- ・ 大学望遠鏡ネットワークと天文台の関係（例：OISTER）

技術・資金参加・装置・サイエンス・教育いずれに興味あるかた是非お声がけを！

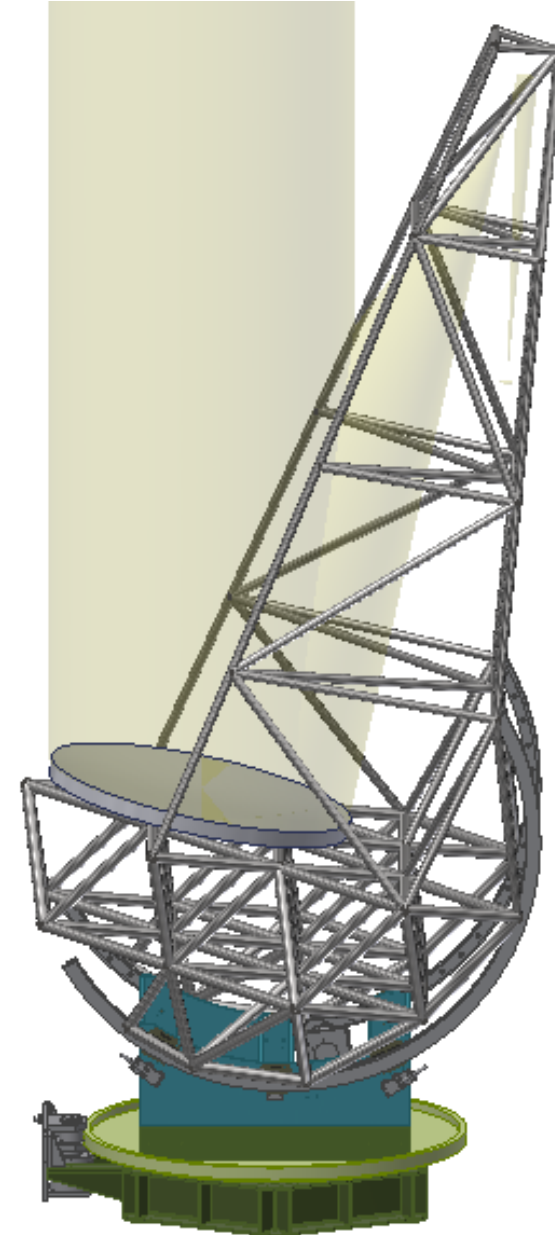
# PLANETS 1.8-m off-axis telescope

<https://www.planets.life/>

- グレゴリアン焦点 (50-100kg)
  - ファイバーバンドル (可視分光)
  - 中空ファイバー (中間赤外ヘテロ)
- 視野: 6分角 (グレゴリアン)  
1分角 (回折限界)
- ナスミス焦点
  - クライオ近赤外・中間赤外分光器
  - ゲスト装置

M1: parabola, 1.86m  
4.333m fl

M2: ellipse, 12cm  
0.26m fl



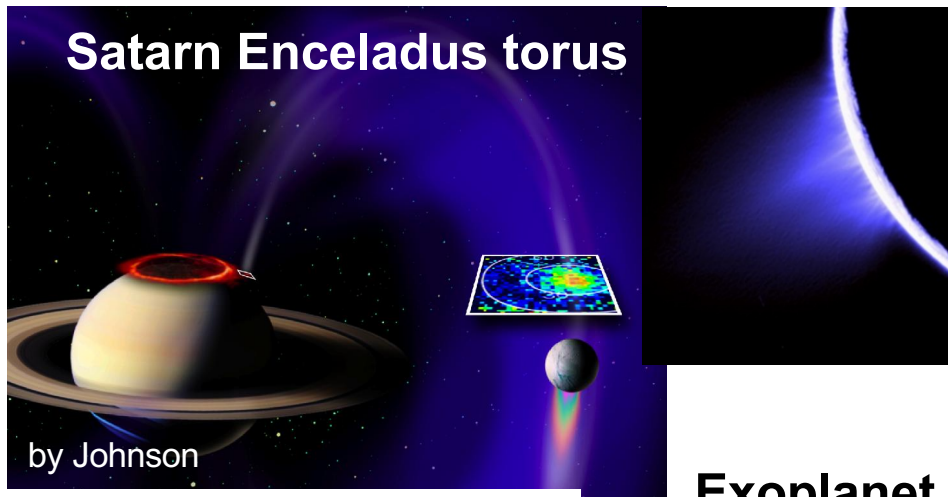
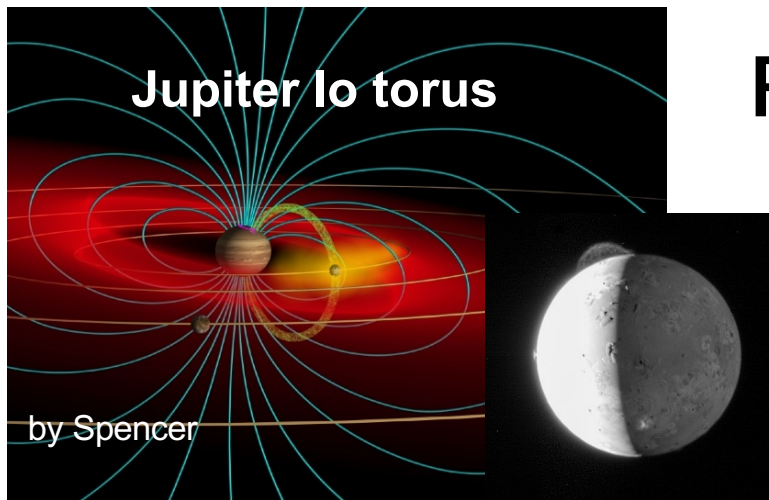


# PLANETS望遠鏡の科学とキー技術 連続モニタリング

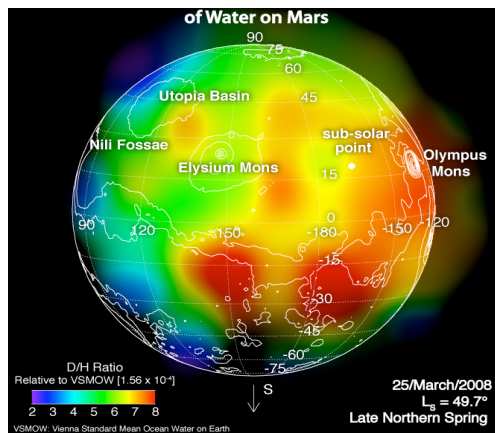
太陽系天体の変動現象  
希薄大気・衛星噴出物  
系外惑星大気

## キー技術

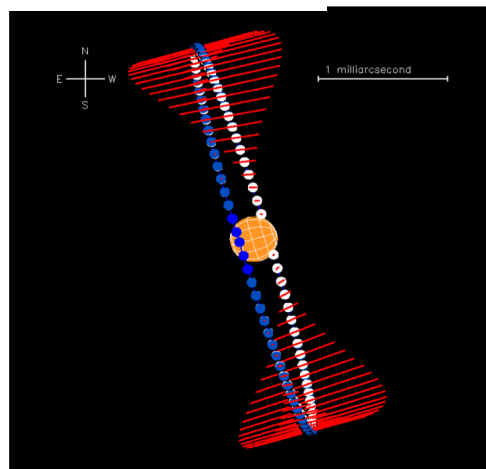
- ✓ 低散乱光学系
- ✓ 高ダイナミックレンジ光学系
- ✓ オカルティングマスク
- ✓ AO
- ✓ 高分散分光
- ✓ ファイバー分光(可視・中間赤外)



Mars HDO/H<sub>2</sub>O map



## Exoplanet

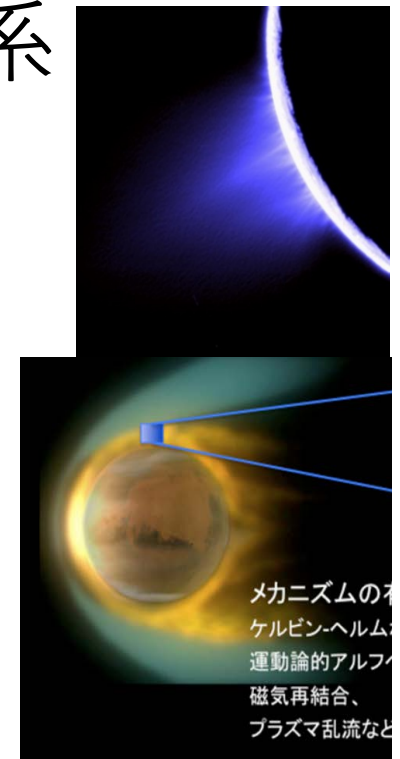


- Brightness of planetary disk is roughly  $10^{-5} \sim 10^{-7}$  times greater than that of targets.

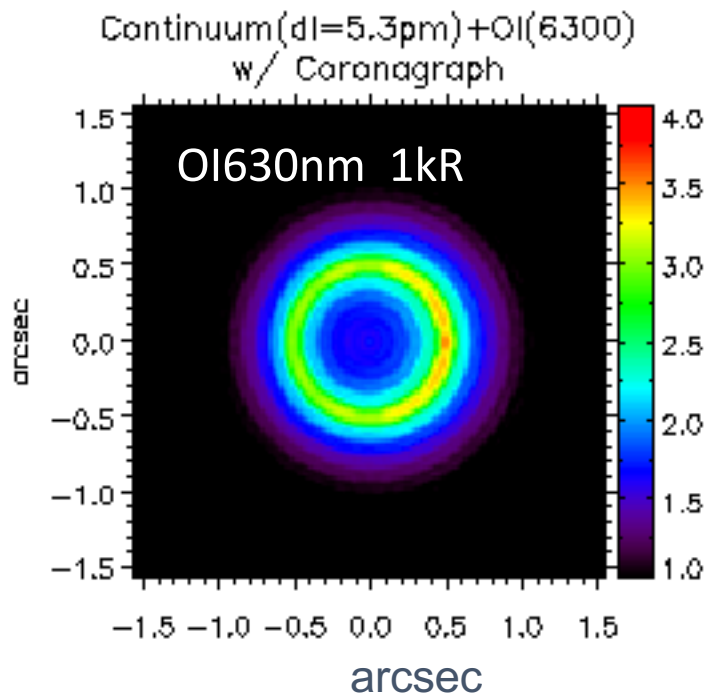
- coronagraphy
- high-resolution spectroscopy

# 低散乱（良PSF）・高コントラスト光学系 が必要なわけ

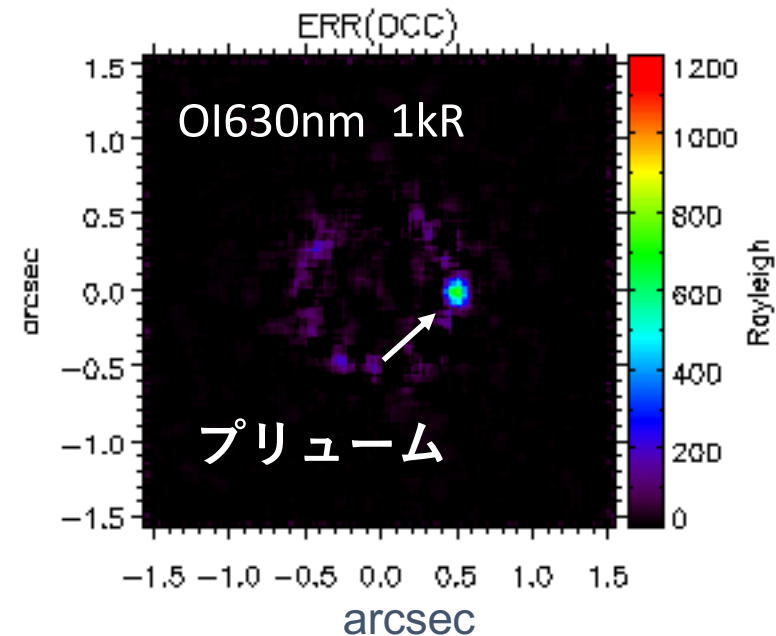
- 衛星噴出物リモートセンシング  
e.g., エウロパ、エンケラドス → 内部探査
- 非磁化惑星の大気散逸  
e.g., 火星大気、金星大気 → 惑星大気進化



コロナグラフを用いた  
エウロパ画像



背景光差し引き画像



# 低散乱光学系の実現と主鏡仕様要求

- データの散乱・コントラスト = PSFは**大気乱流** + **主鏡誤差** + **AO**で決まる。
- 下記光学系のフーリエ解析で4つのケースで像を見積もった。

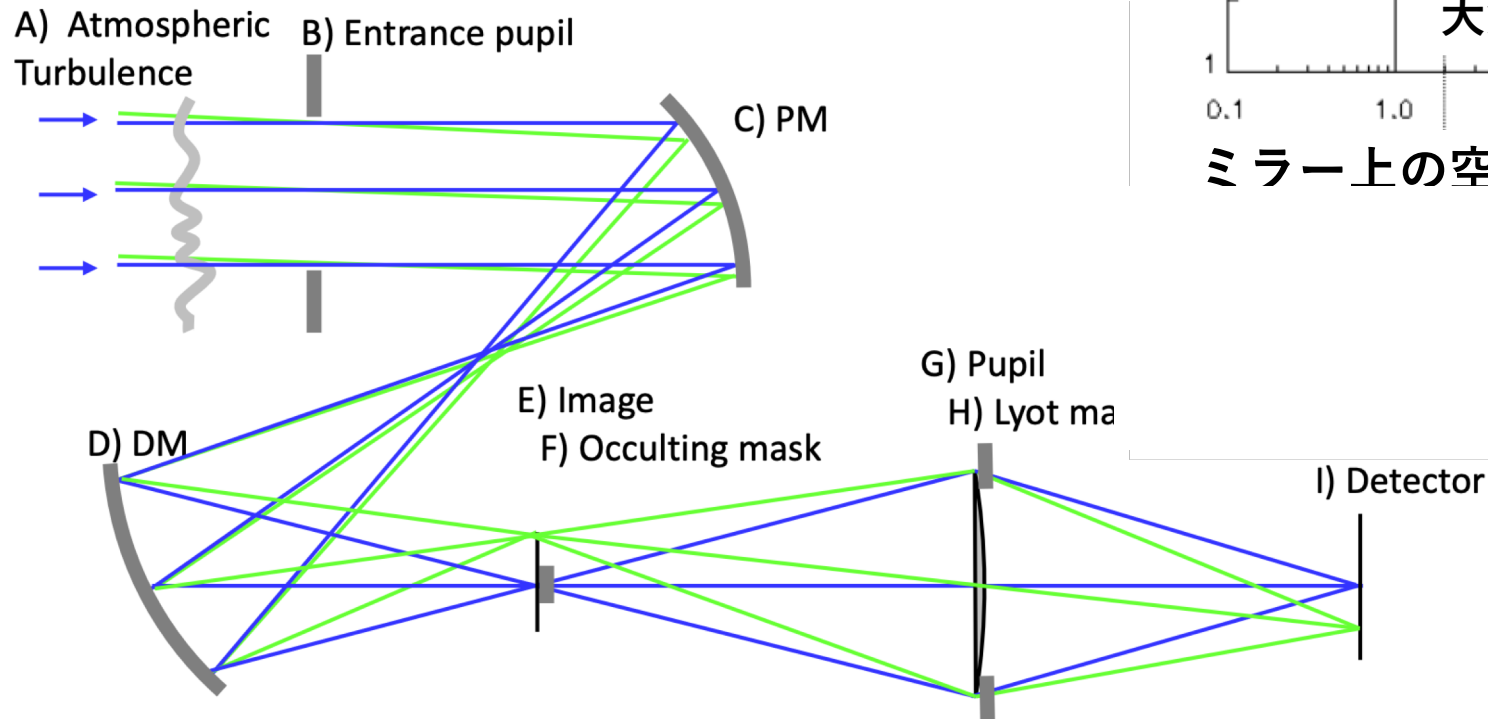
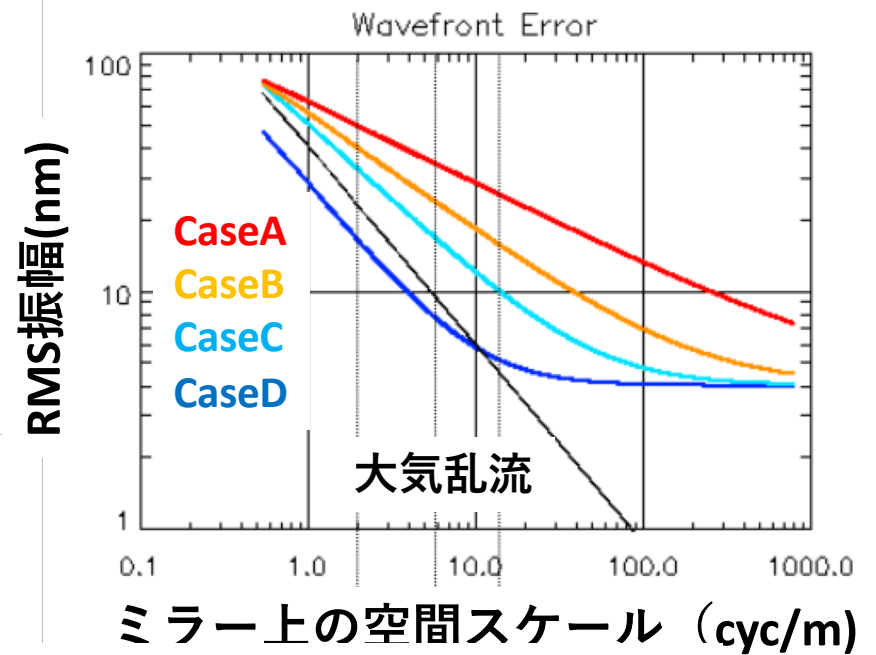
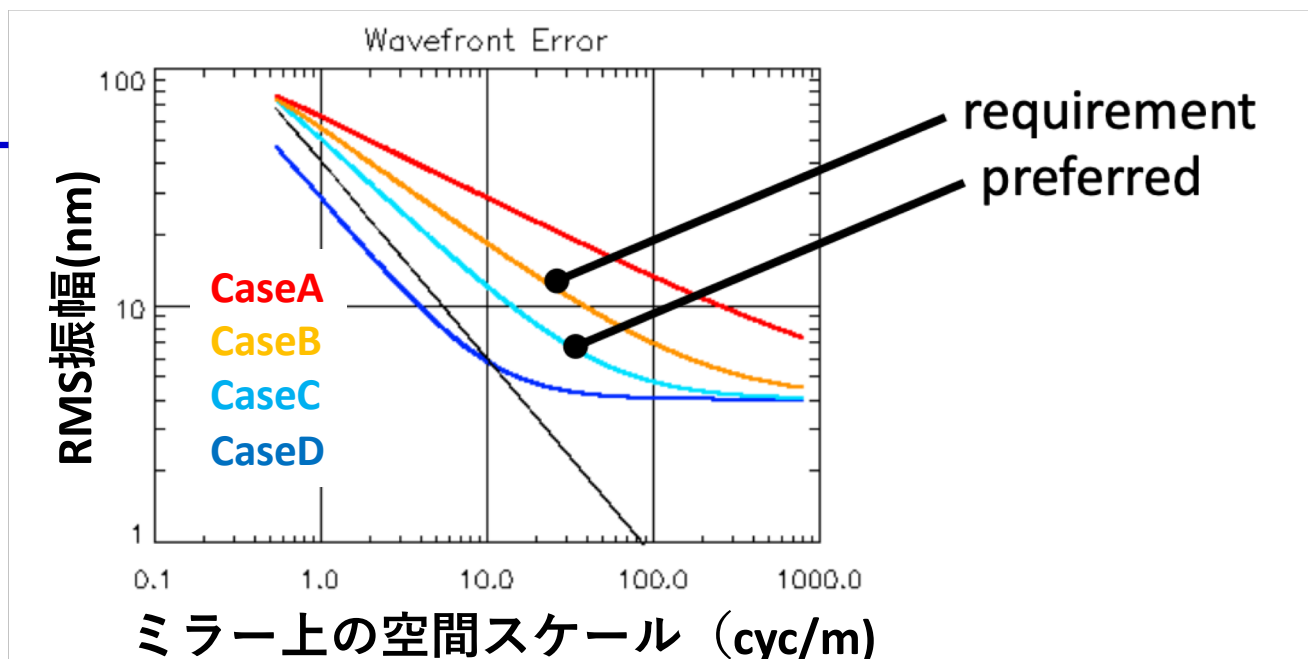


Fig. Schematic layout of the optical system

# 結果と評価

- オレンジ：仕様要求 (20 nm for 10- cm scale, 6 nm for 1-cm scale),
- 水色：目標
- Micro-roughness < 4 nm (目標 < 2 nm)



A) Enceladus torus O

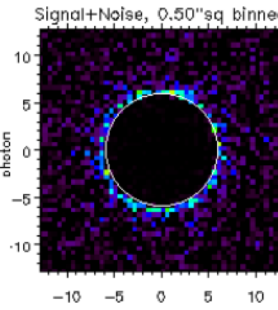
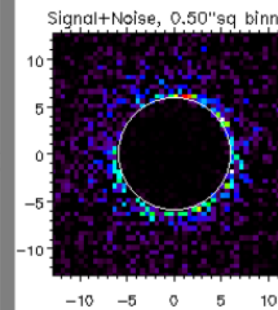
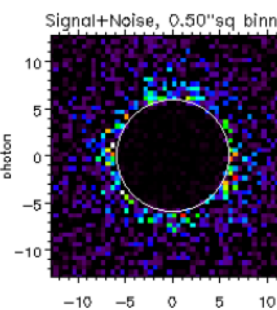
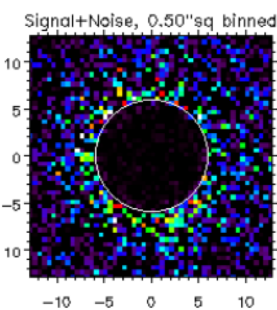
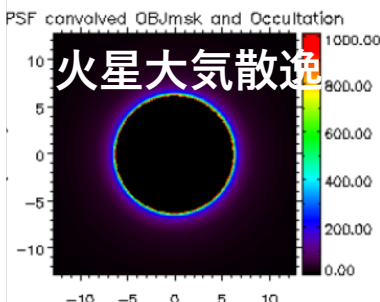
case-A

case-B

case-C

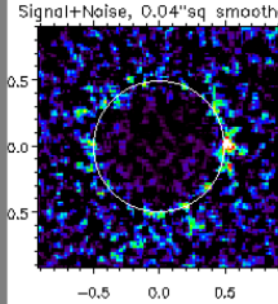
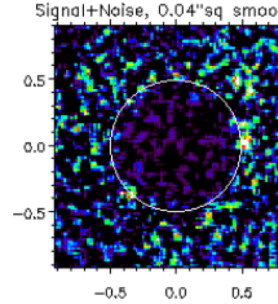
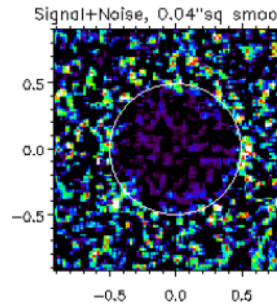
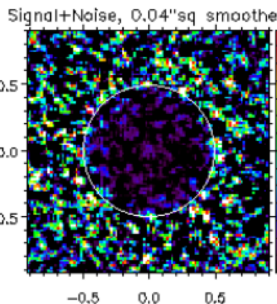
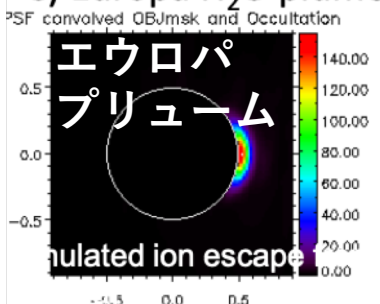
case-D

B) Mars O<sub>2</sub><sup>+</sup>



N/S

C) Europa H<sub>2</sub>O plume



N/S

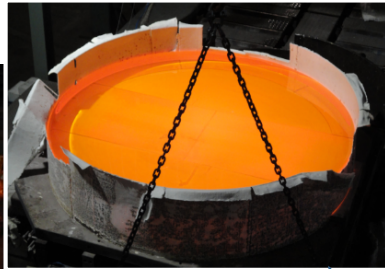


# 1.85-m主鏡の現況

## Ohara Clearceram Z-HS (same as TMT)



**Melting**  
**(Dec. 2010)**



$\Phi = 1850\text{mm}, t=100\text{mm}$



**Blank reached to L.A.**  
**(May 2011)**

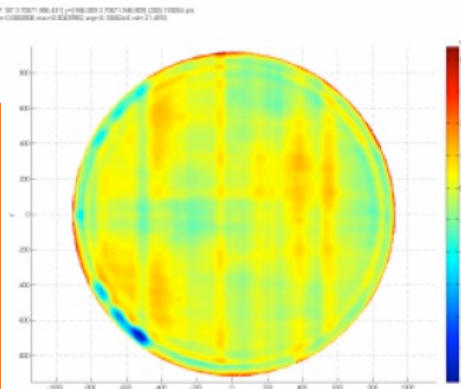


**Grinding at Harris/EXELIS**  
**(July 2012)**

**Arrived in Maui (June 2017)**

非球面/薄ミラー  
最終研磨検討  
Hydra研磨  
通常研磨  
干渉計試験

→ハワイ担当会社が倒産して頓挫



10.5 $\mu\text{m}$  PV  
0.7 $\mu\text{m}$  RMS

Down-sampled data solutions  
Average of 10 data collects  
Zernike terms 1-11 subtracted,

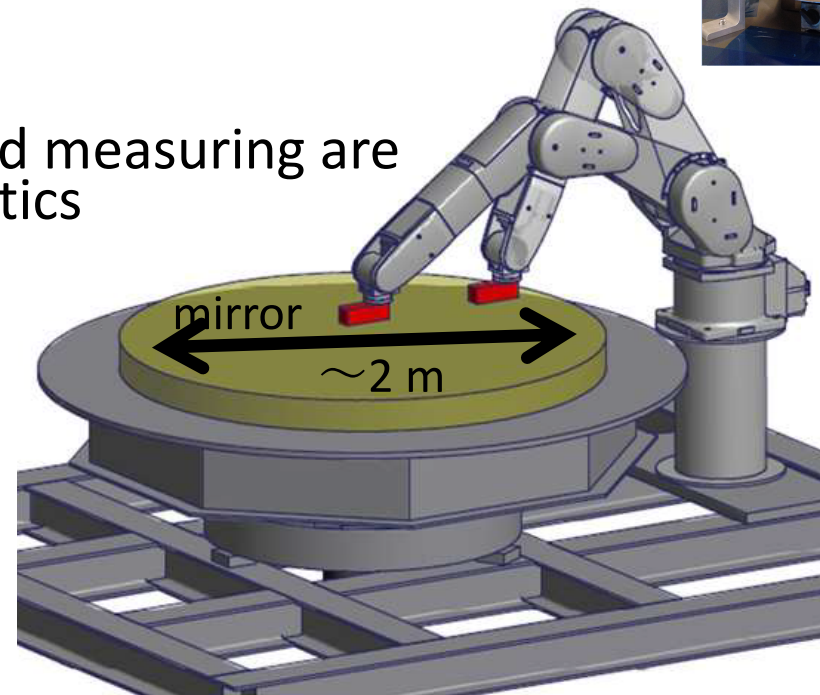
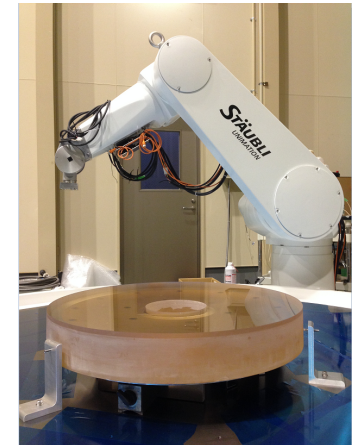




# 主鏡研磨計画

- 名大・京大・アストロエアロスペース (ナガセインテグレクス) と検討中
- ロボットアーム研磨
- 3点引きずり法検査

By the only robot-arm, polishing and measuring are executed on large and free form optics (including flat and convex shapes).



- Dragging 3 probe method
- Data stitching algorithm
- Flow of data processing
- Sample result

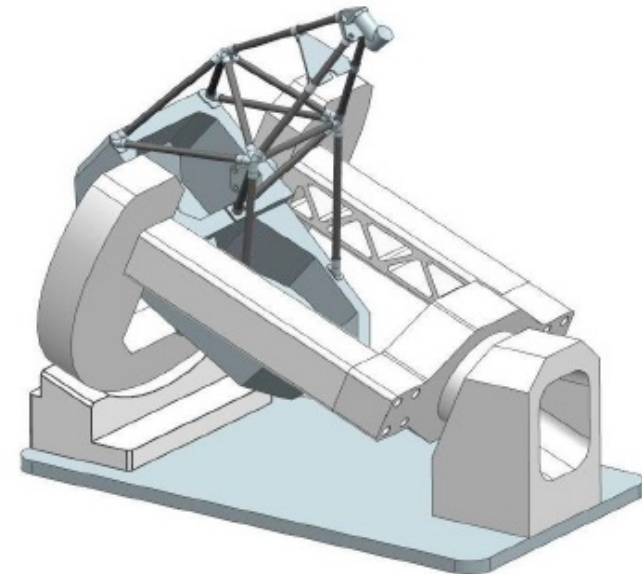
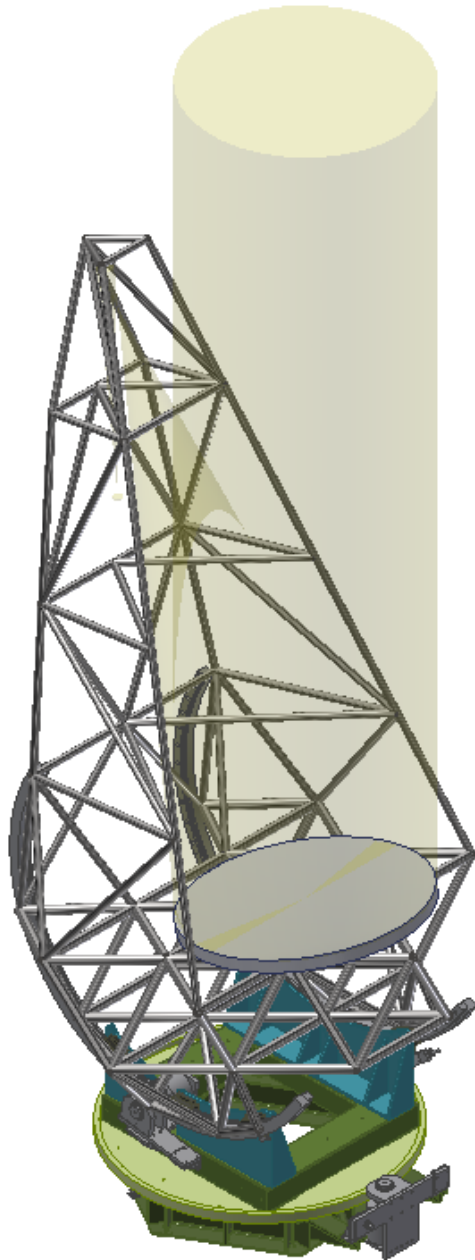
# 架台の検討

## Prototype for Kyoto 3.8m

- ✓京大3.8mの技術実証
- ✓経緯大
- ✓いくつかの部品（エンコーダ、サーボモータ等）は新規調達
- ✓2次鏡トラスは新規
- ✓構造解析
- ✓Rガイド変更

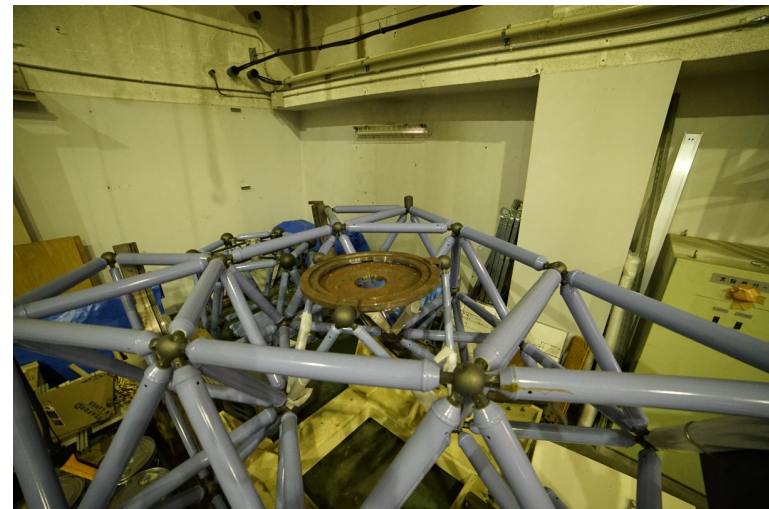
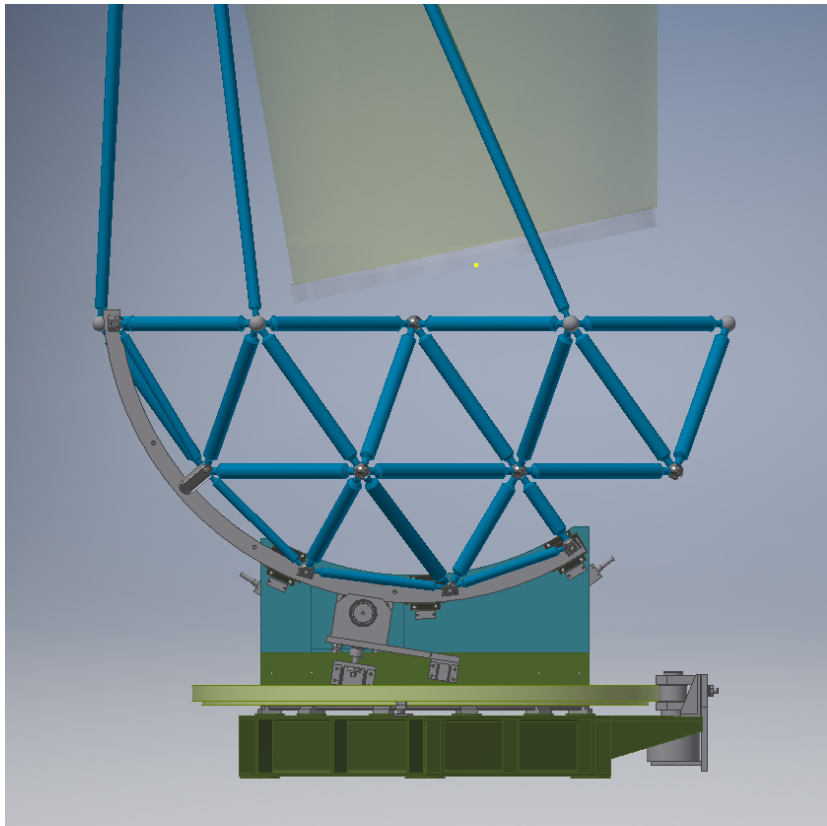
これまで、ボーイング技術者が設計した“ホースシュー”赤道儀で検討

→ （とても）高価



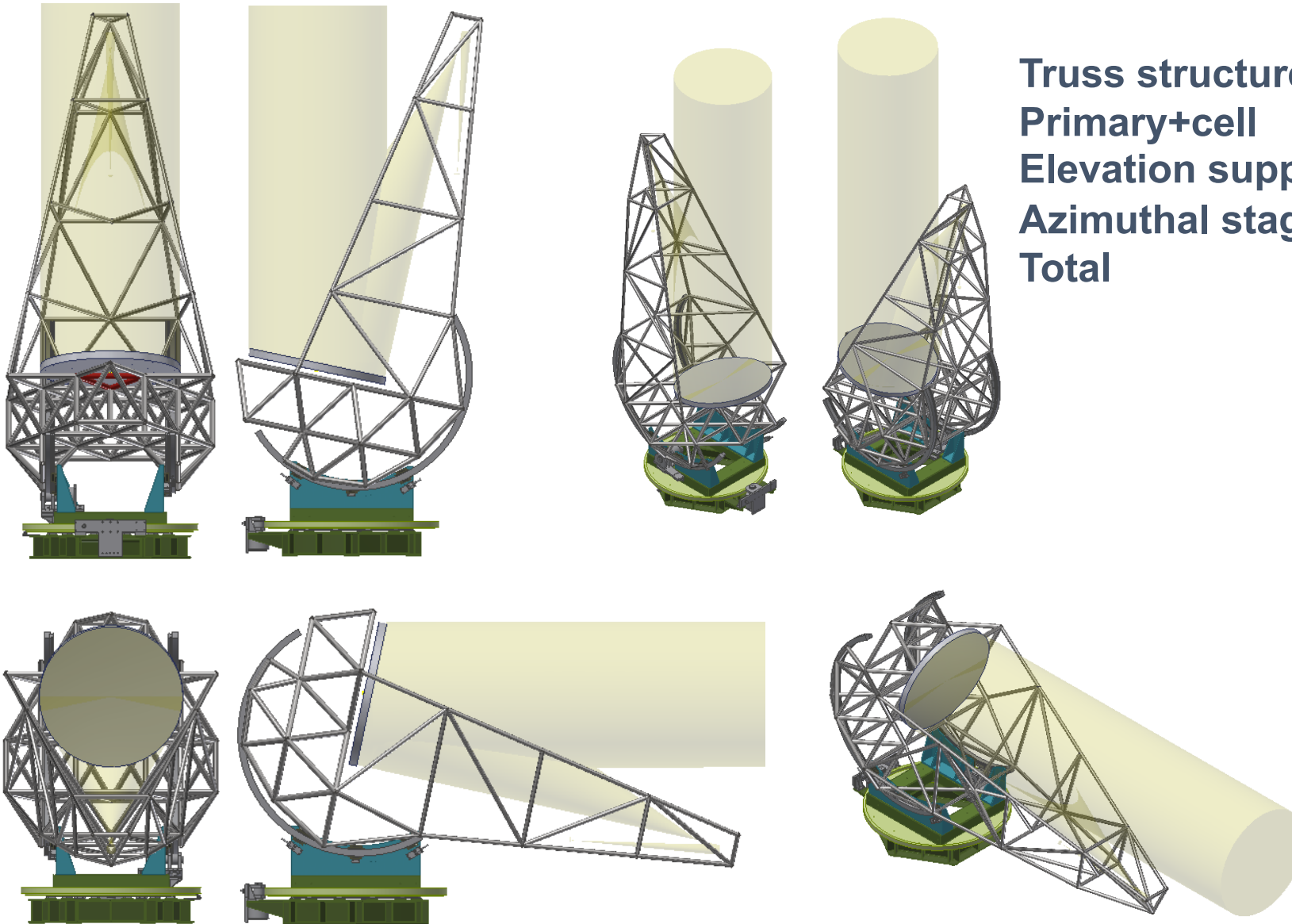
# 名古屋大学 せいめい望遠鏡プロトタイプ

- 軽量・堅牢
- 再利用可能
- 次年度東北大へ移動
- 2次鏡・Geregorian焦点のための
- 上部はトラス構造で新規製作
- 主鏡保持機構も製作(検討中)





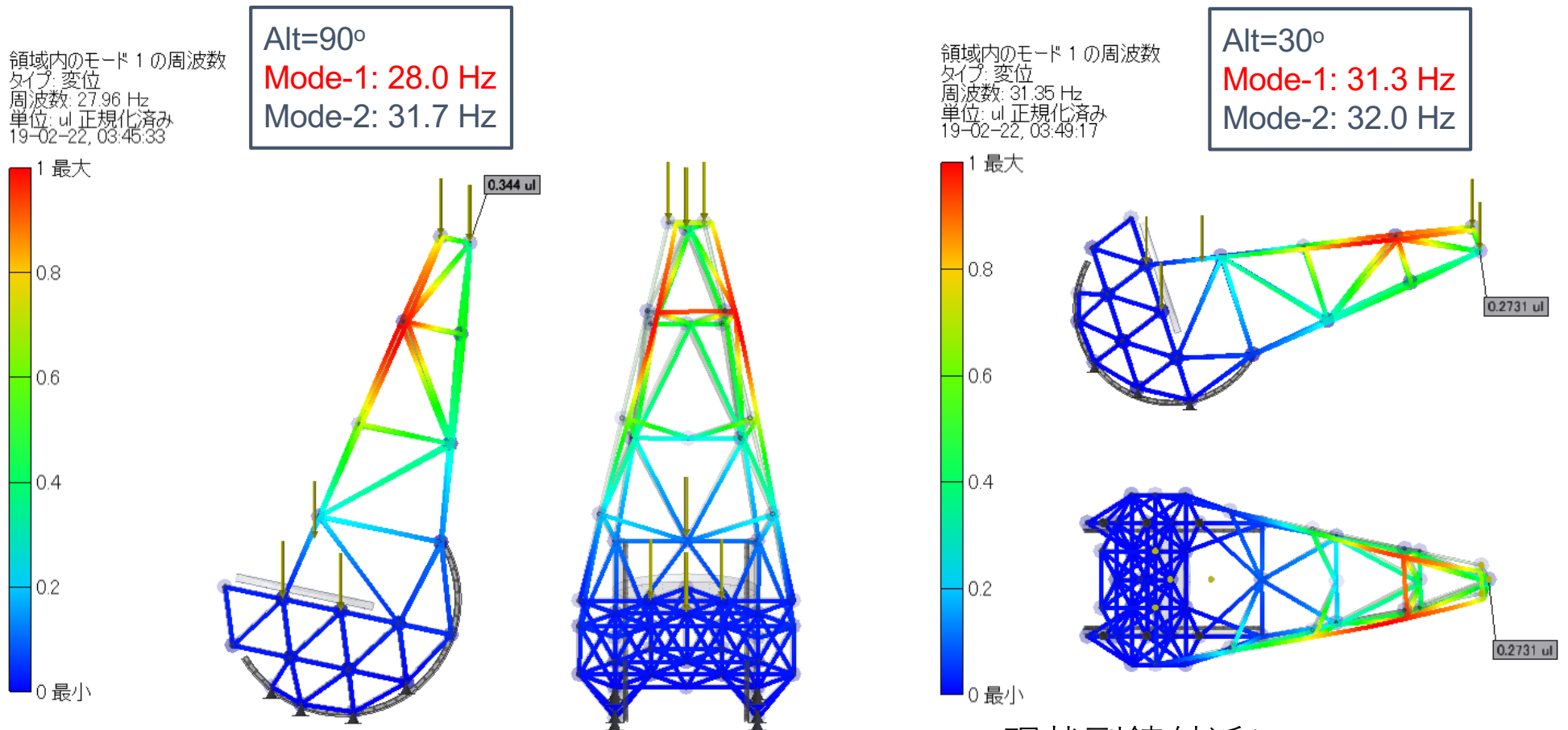
# Three views



Truss structure	820 kg
Primary+cell	600kg
Elevation support	1 ton
Azimuthal stage	1 ton
Total	3 - 4 ton

→ Rガイドを180度までのものに変更  
Elevation=0度まで観測可能

# 固有振動解析 Eigenfrequency



- ✓ 6000 N load for primary mirror
- ✓ 300 N load for secondary mirror

現状副鏡付近に30kg  
90kgにしても固有振動変化なし

→ 十分硬い



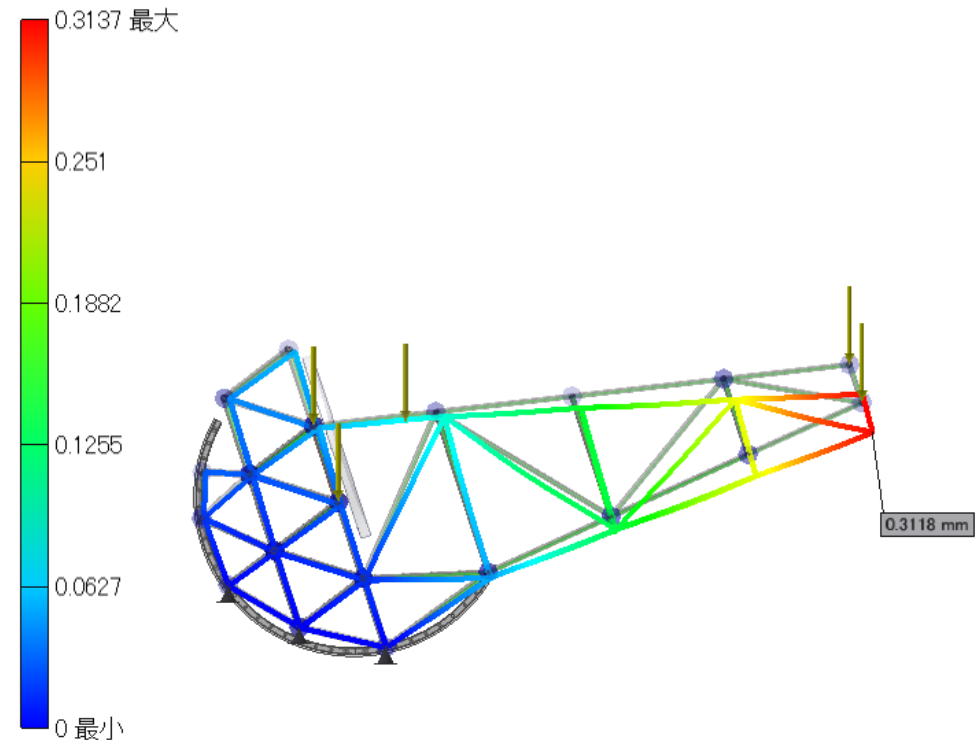
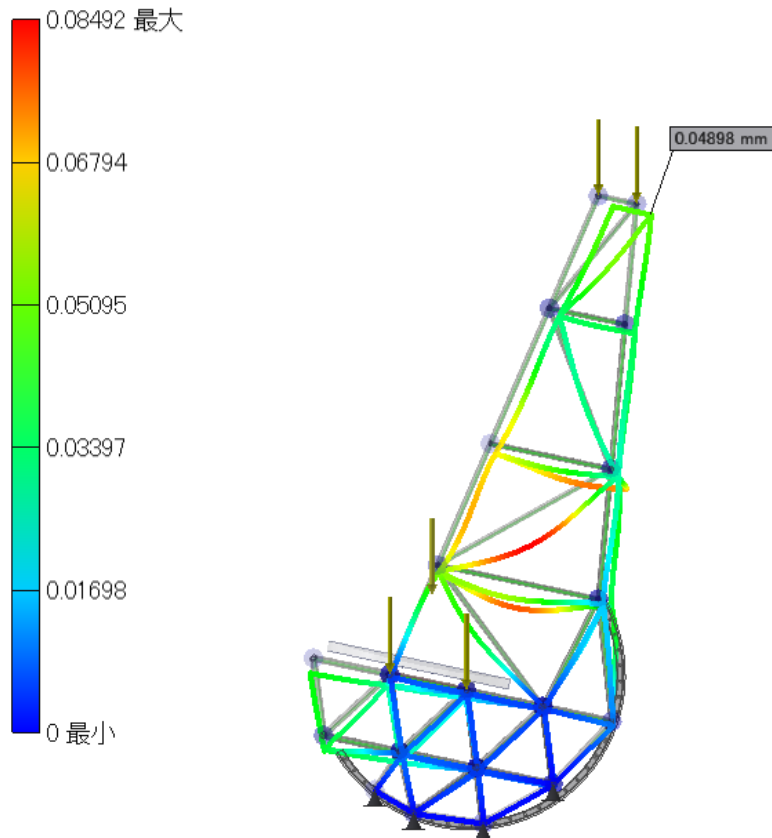
# 変位 Displacement at secondary mirror

Displacement at secondary is  
**0.05 mm** when altitude =  $90^\circ$

Displacement at secondary is  
**0.31 mm** when altitude =  $30^\circ$

Alt= $90^\circ$   
Max displacement = 0.085mm  
タイプ: 変位  
単位: mm  
19-02-21, 17:05:05

Alt= $30^\circ$   
Max displacement = 0.31mm  
タイプ: 変位  
単位: mm  
19-02-21, 17:06:19



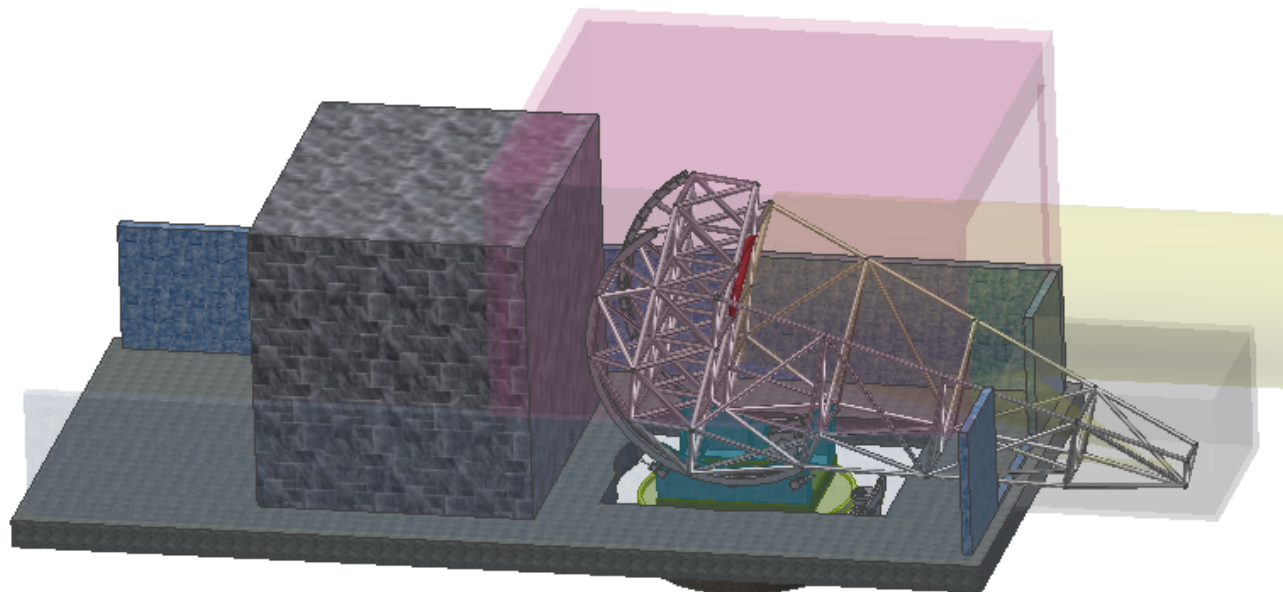
→ 2次鏡アクティブ支持機構で補正

# 国内設置計画・ファーストライト



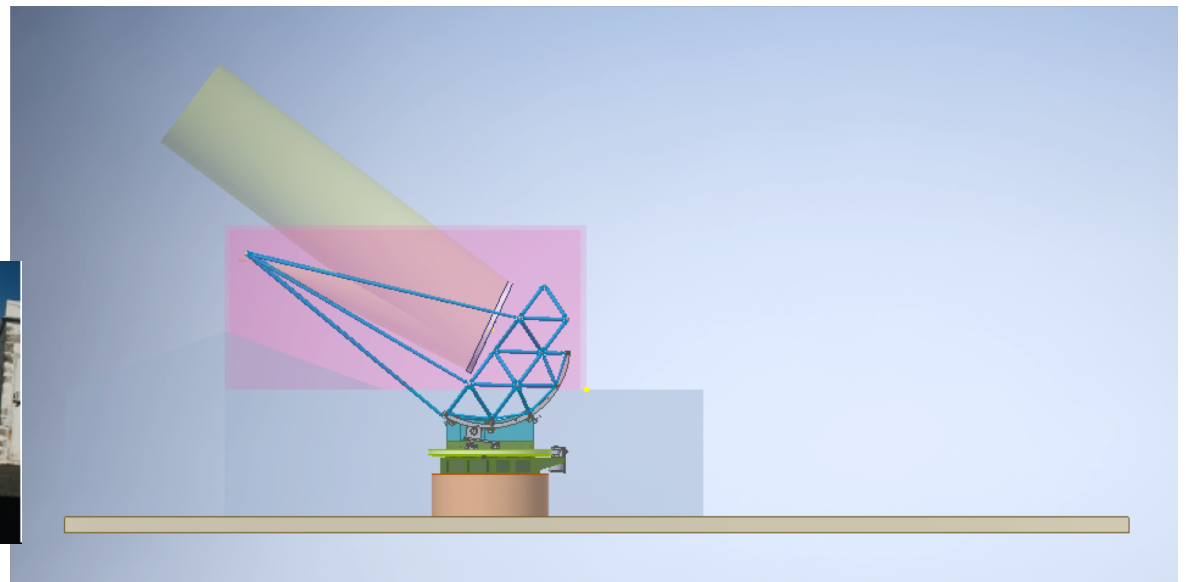
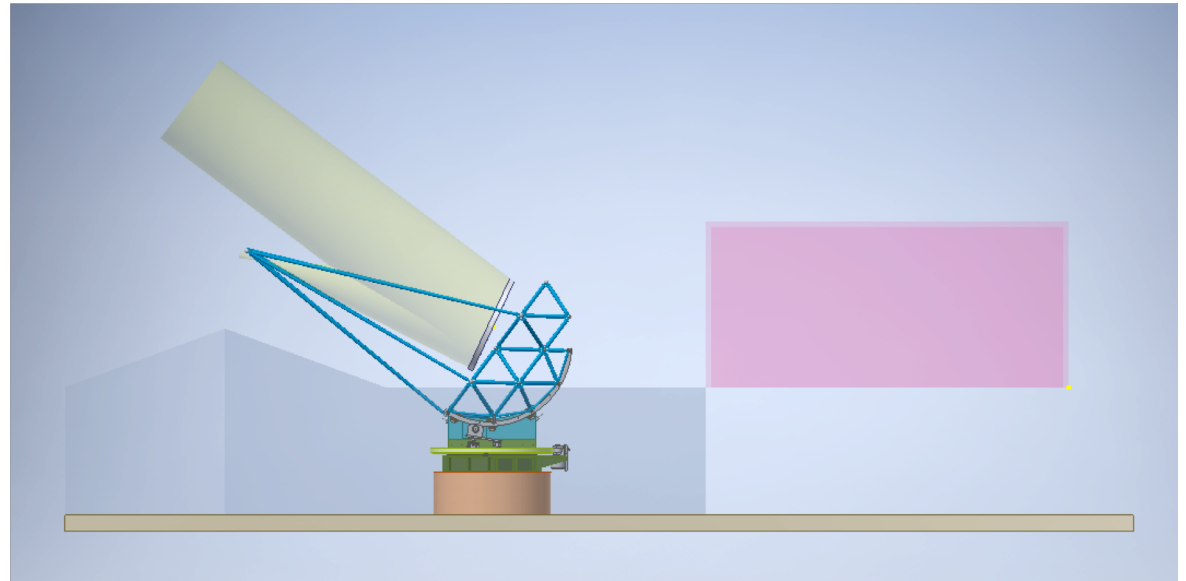
Roll-off roof building in litate observatory

We could not find any place in our university campus. Fortunately, our litate observatory (37.6°N, 2-hour drive from Sendai) can enclose the structure with minor renovation.



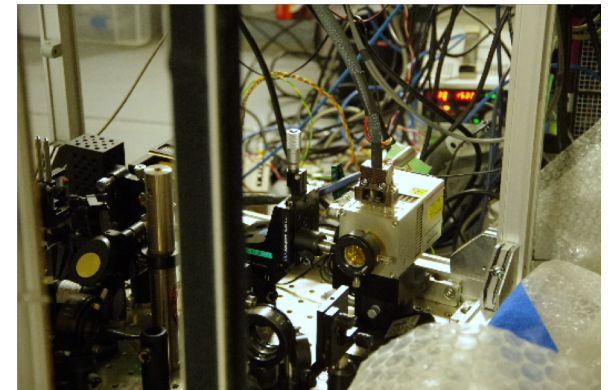
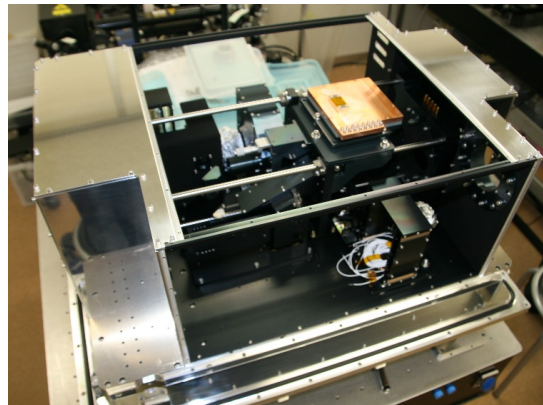
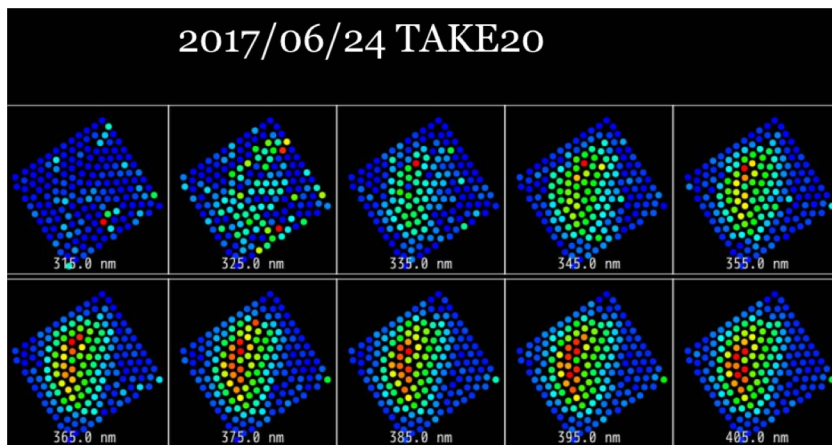
# 将来的にハレアカラへ 異なる経度のネットワークモニタリング, TOO観測

- ハワイ・マウイ島  
ハレアカラ観測所(3050m)
- UHシカゴビルディング
- 建築許可取得済み



# 搭載装置計画 (現ハレアカラT60望遠鏡搭載に基づく)

Instrument	Spec.
Fiber : Vispec(Visible Imager and Spectrograph with Coronagraphy)	0.4-0.9 $\mu$ m, FOV $\sim$ 1' / R $\sim$ 70,000
Fiber : MILAHI (Mid-infrared laser heterodyne spectrometer)	7-11 $\mu$ m, R $\sim$ 10 <sup>6-7</sup>
Gregorian: DiPOL-2 (Polarization imager) (KIS)	B, V, R polarimetry (DoLP $\sim$ 10 <sup>-5~6</sup> )
Nas: NIREchelle spectrograph (ESPRIT)	1-4 $\mu$ m, R $\sim$ 20,000
Nas: MID-IRGIGMICS (Nagoya U.)	7-12 $\mu$ m, R $\sim$ 40,000





# まとめ

---

- 1.8m口径PLANETS望遠鏡は、低散乱光学系である特長をもつ。
- せいめい望遠鏡プロトタイプ架台を再利用する。グレゴリアン焦点でのFOVは6arcminで、回折限界達成領域は1arcmin程度予定。
- 大型装置（ゲスト装置含む）はナスミス焦点。
- 主鏡研磨、検査は国内メーカーで実施する計画を進行中。
- 主鏡保持はウィッフルツリーをベースに検討中。
- 福島・飯舘観測所を改造し、国内でファーストライトを達成する。
- 今後、海外観測好適地（ハレアカラ）の建物建築の予算化を目指す。

**技術・資金参加・装置・サイエンス・教育いずれに興味あるか  
た是非お声がけを！**



# おわりに

貫くサイエンス  
例) 太陽系の起源・歴史と現在  
宇宙における生命の理解

大型プロジェクト

宇宙ミッション・探査機

HST, Kepler, TESS, JWST...

Akatsuki, Juno, Haya-2, ExoMars, MMX, JUICE...

大型光学望遠鏡

Subaru, VLT, LSST, TMT, GMT, E-ELT...

大型電波望遠鏡

ALMA, SKA...

大学望遠鏡群

北大、東北大、東大、名大、京産大、京大、鹿児島大、ほか...

天文  
コミュニティ

惑星科学・固体  
小天体コミュニティ

惑星大気コミュニティ

- ✓ 大学望遠鏡群を連携し、モニタリング・統計観測により変動現象を解明  
    全球の異なる経度帯観測網による連続観測  
    突発事象にフレキシブルに対応できるToO的フォローアップ観測
- ✓ ALMA, TMT等大型計画との相乗効果・成果最大化
- ✓ 観測装置・技術の交流と協力
- ✓ 学生・若手教育と人材交流の活性化