

# 系外惑星観測装置SEICAの 開発：進捗報告

○山本広大(京都大学)、  
長田哲也, 栗田光樹夫, 木野勝,  
○津久井遼, 渥美直也(京都大学),  
入部正継, 藤田勝, 高橋陸(大阪電気通信大),  
河原創(東京大学), 小谷隆行(ABC/NOAJ),  
村上尚史(北海道大学),  
田村元秀(東京大学/ABC/NOAJ)

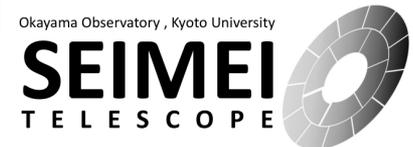
## 本日の内容

- ・SEICAの紹介/進捗 (山本)
- ・点回折干渉計型波面センサ (津久井)



Okayama Observatory, Kyoto University

青ナスミスを占有中



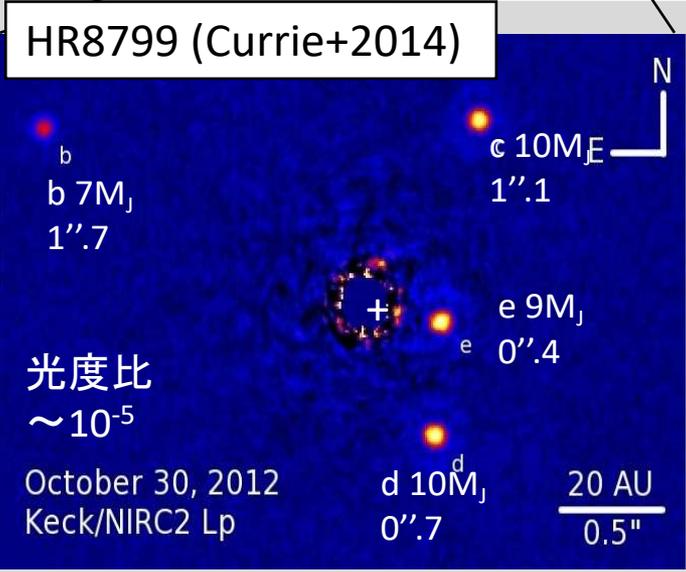
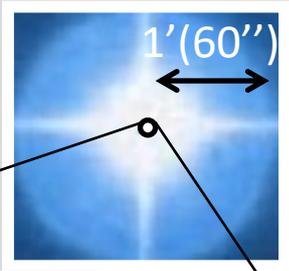
# SEICA (Second-generation Exoplanet Imager with Coronagraphic Adaptive Optics)

熱放射

## 目的: 系外惑星直接撮像 + 装置開発

1. 0".2秒角以遠(2AU@10pc)で木星質量の惑星の検出 / キャラクターリゼーション
2. 惑星撮像装置(for TMT)に搭載する先進技術開発・実証

### 1. 系外惑星撮像観測



### 2. 技術開発

- 補償光学 ◆ FPGA controller for ExAO  
◆ 直接位相計測型波面センサ
- コロナグラフ ◆ ナリング干渉計型
- ◆ スペックルナリング (SLM etc...)
- ◆ ポスト-コロナグラフ
- ◆ 瞳再配置撮像
- ◆ 高分散分光器 など
- ◆ 分割主鏡ならではの
- ◆ その他 高コントラスト技術
- ◆ 高精度温度制御

など開発中

# SEICA: 要求仕様

## ◆ 目標 $10^5-6$ のコントラスト

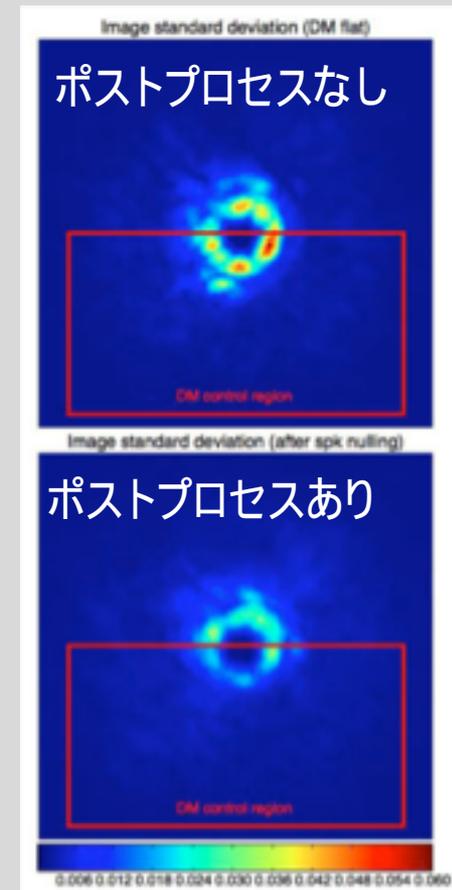
- ◆ コロナグラフ: SPLINE:: 瞳面干渉型コロナグラフ
- ◆ ポストコロナグラフ: スペックルナリング

## ◆ コロナグラフ + スペックルナリング

- **平面波** で性能を発揮 → 高精度波面補正
- **光軸上** の強度を抑圧 → 高精度星像安定

## ◆ コロナグラフからの要求

- ◆ 星像安定性:  $< 10\text{mas}$
- ◆ Strehl比:  $> 0.9$  (回折限界は  $> 0.8$ )
  - ◆ → 波面残差  $\lambda/20$
  - ◆  $\sim 60\text{nm}$  (rms; @Jバンド[ $1.2\mu\text{m}$ ])

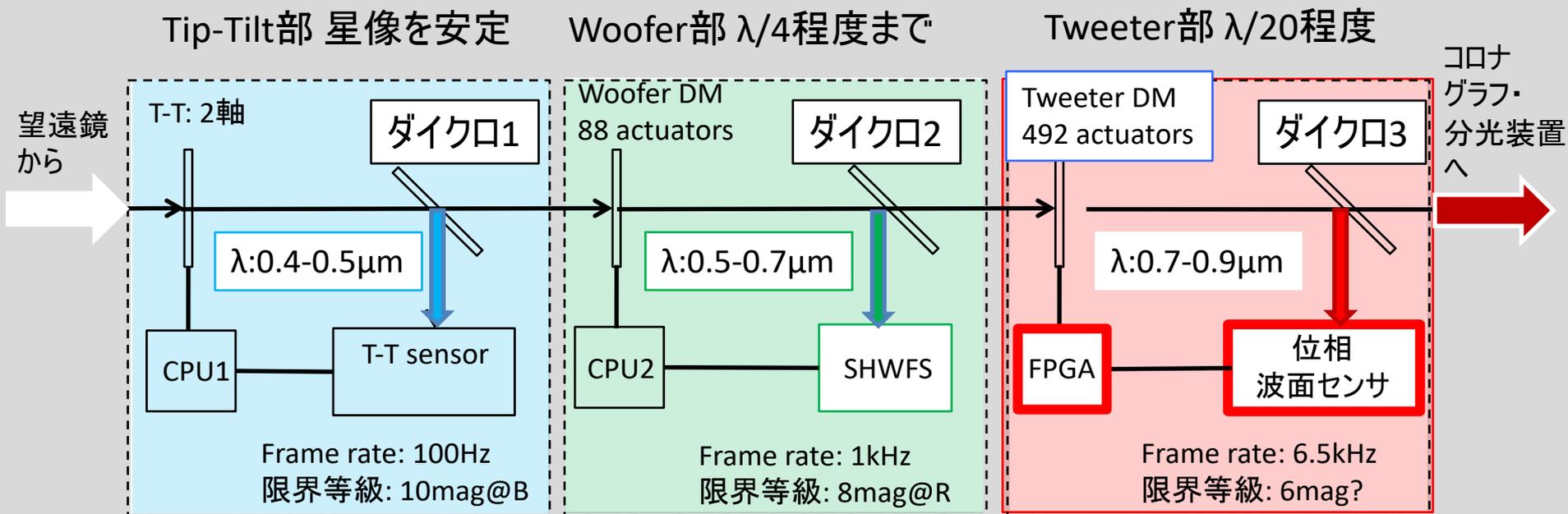


SCEXAO: Martinache<sup>3</sup>+2014

# SEICA: ExAOの仕様と構成

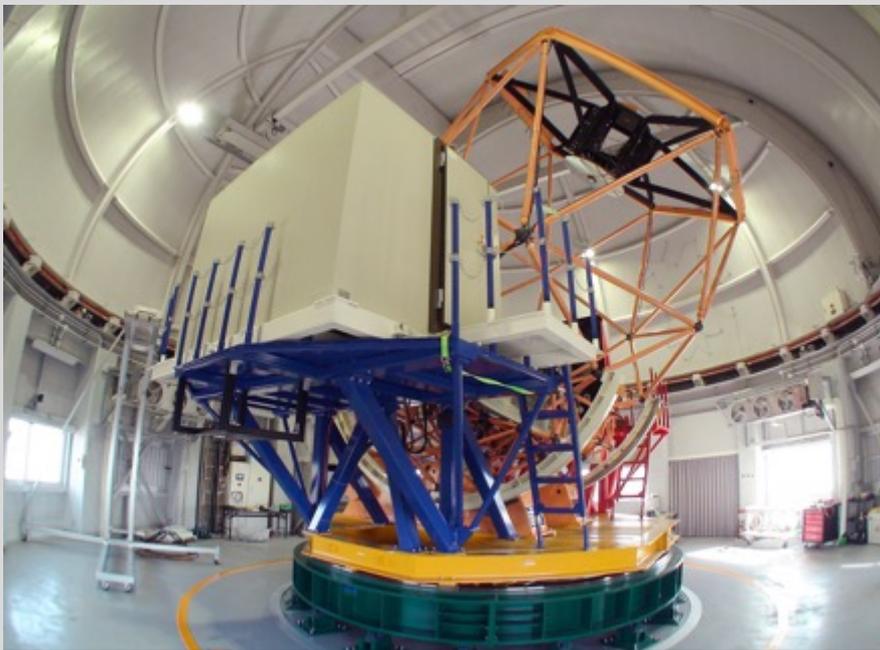
傾斜計測: Tip-Tilt + Woofer  
低速、粗い波面制御

位相計測: Tweeter  
高速、高精度波面制御

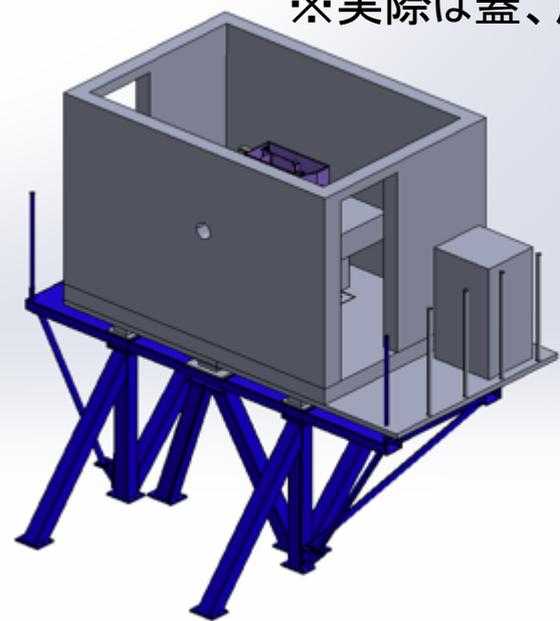


装置目標

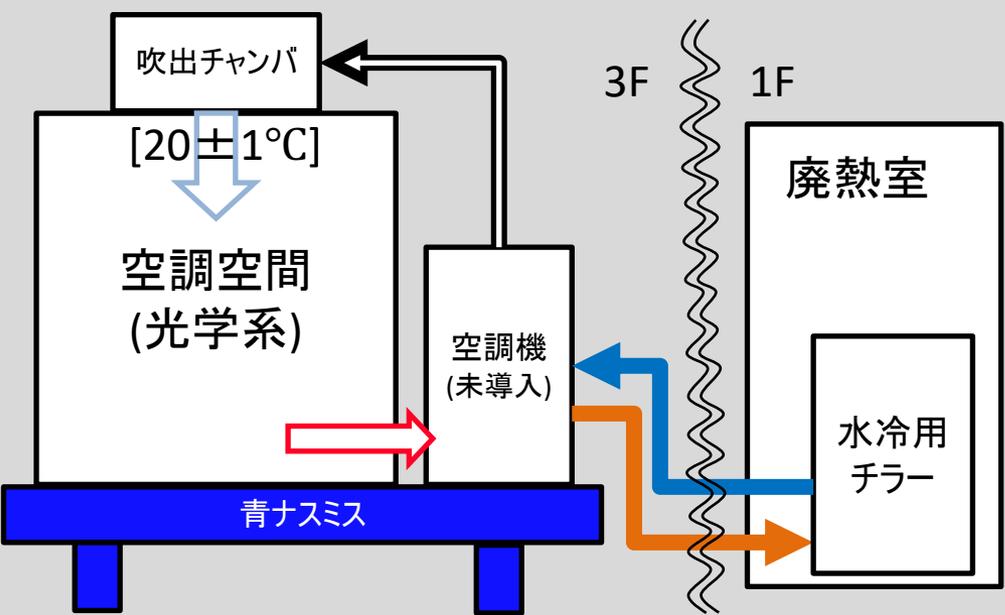
高精度 (ストレーラ比0.9 →  $\lambda/20$ ; rms)  
→ 高周波 (5-10 kHz)  
→ 高空間周波数 (1辺24素子)



※実際は蓋、扉あり



せいめい望遠鏡ナスミス台(青ナスミス)に遮光室(現状)を設置

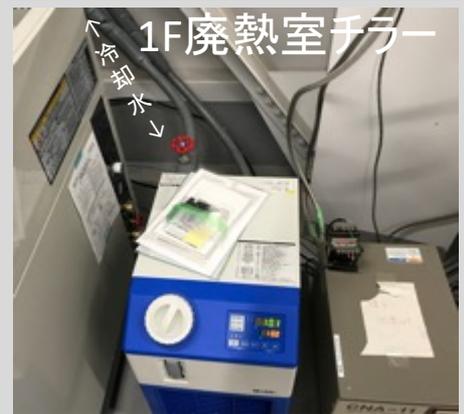
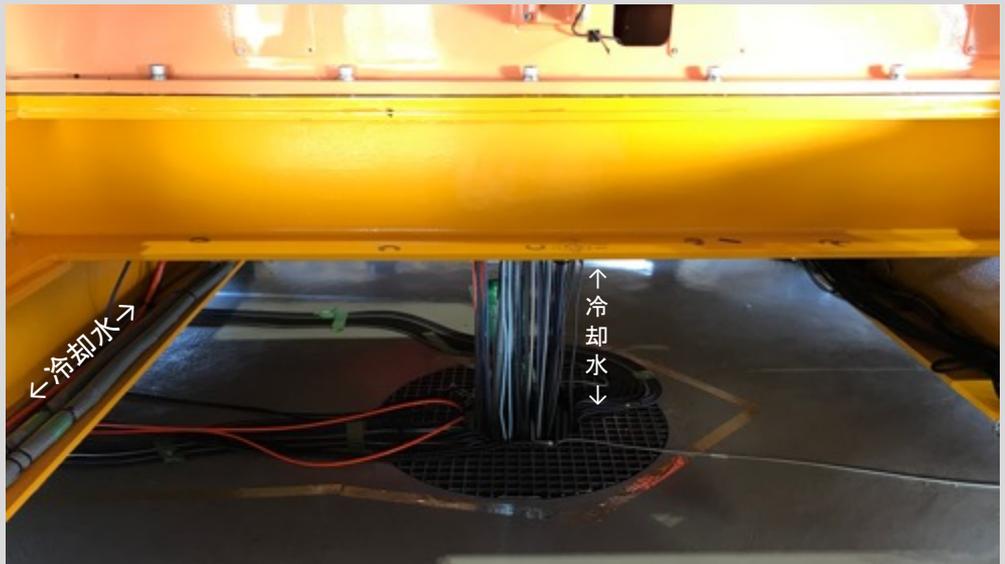
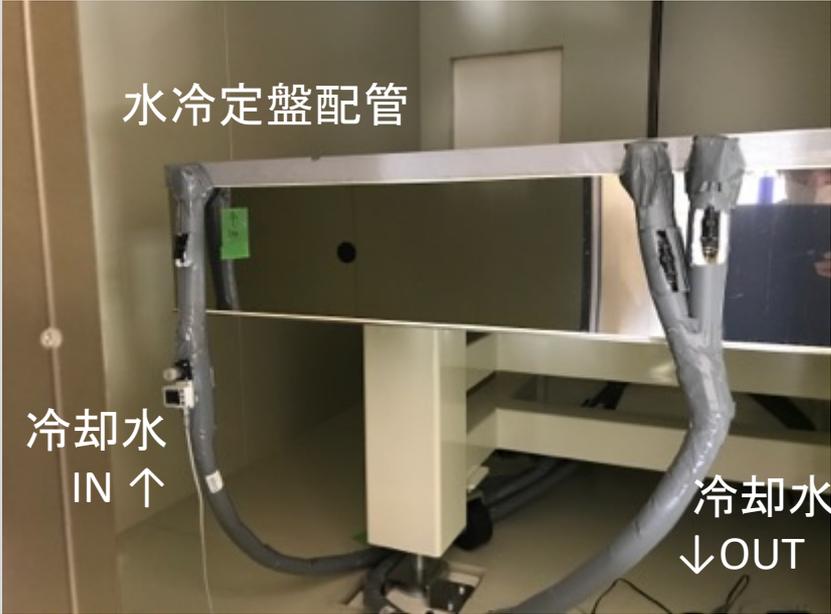


年間  $-5 \sim +30^{\circ}\text{C}$  のドーム環境で  
 通年  $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$  に温調(空調)

光学系はさらに水冷定盤で  
 通年  $25 \pm 0.1^{\circ}\text{C}$  に温調

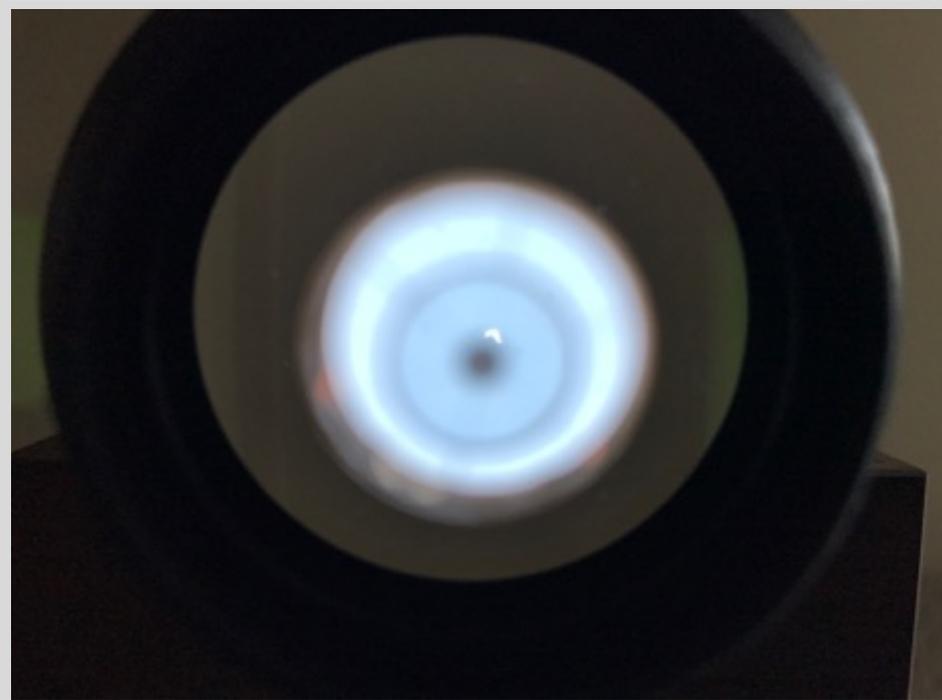
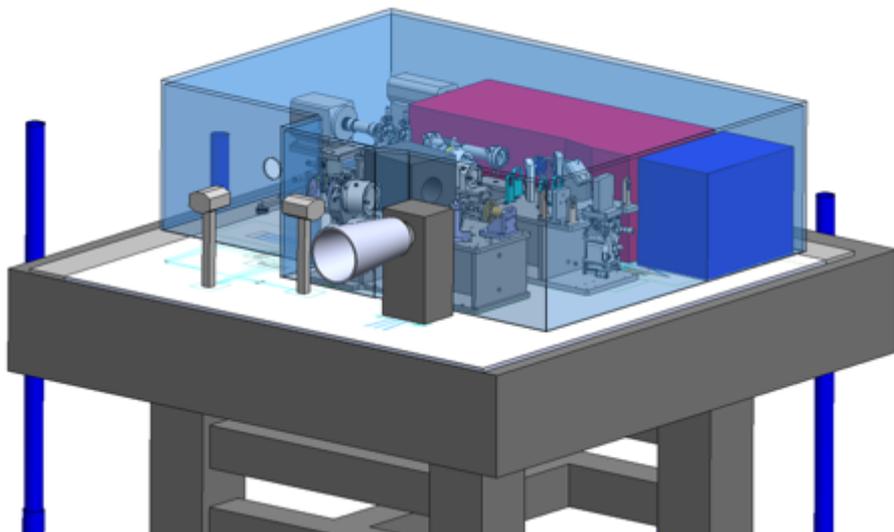
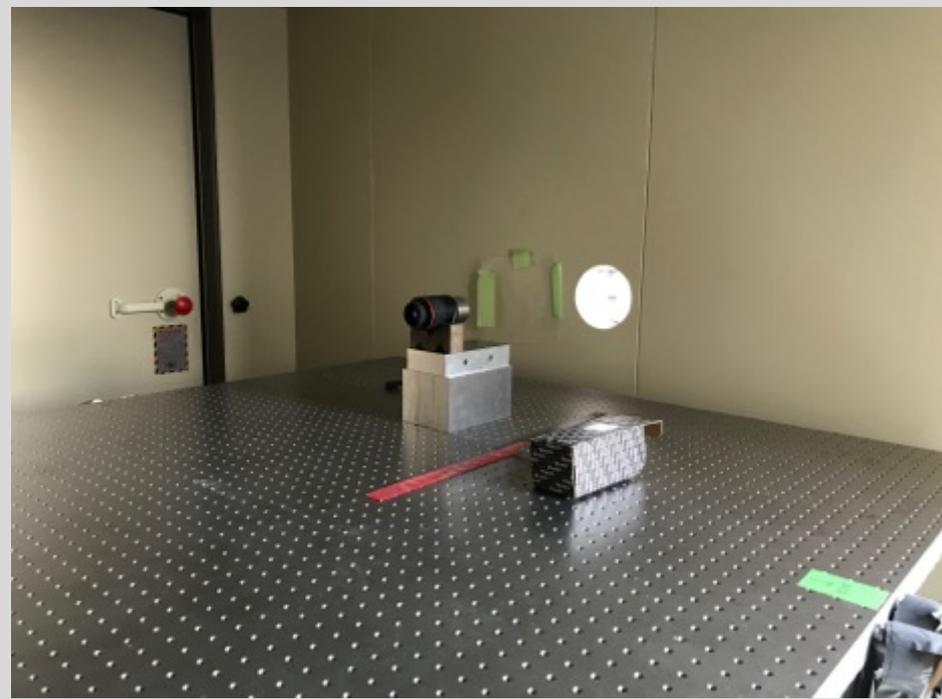
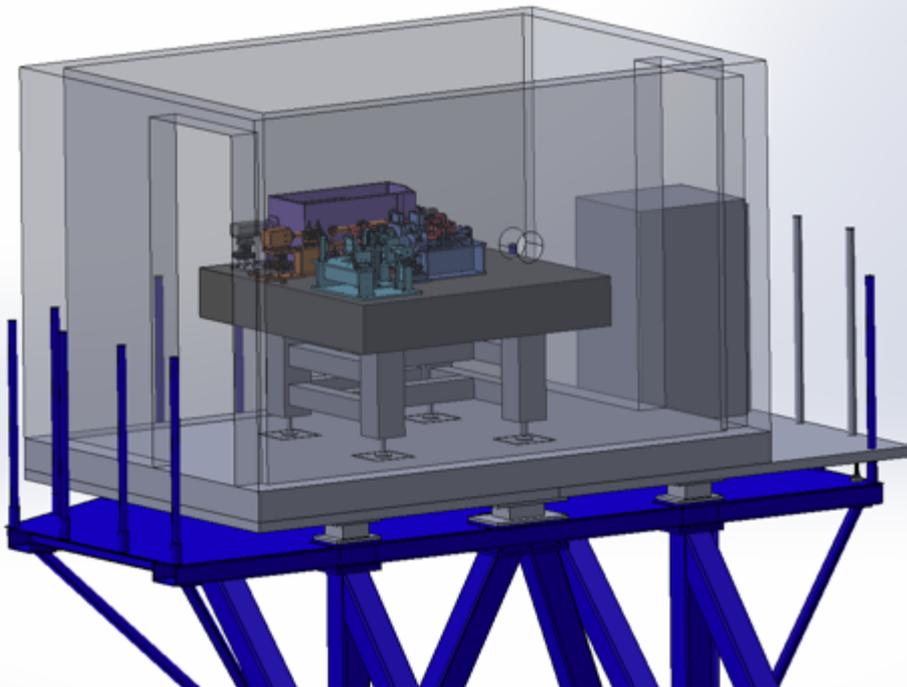
コロナグラフとAOの非共通光路  
 エラーを低減させるため

# 温調ブース配管

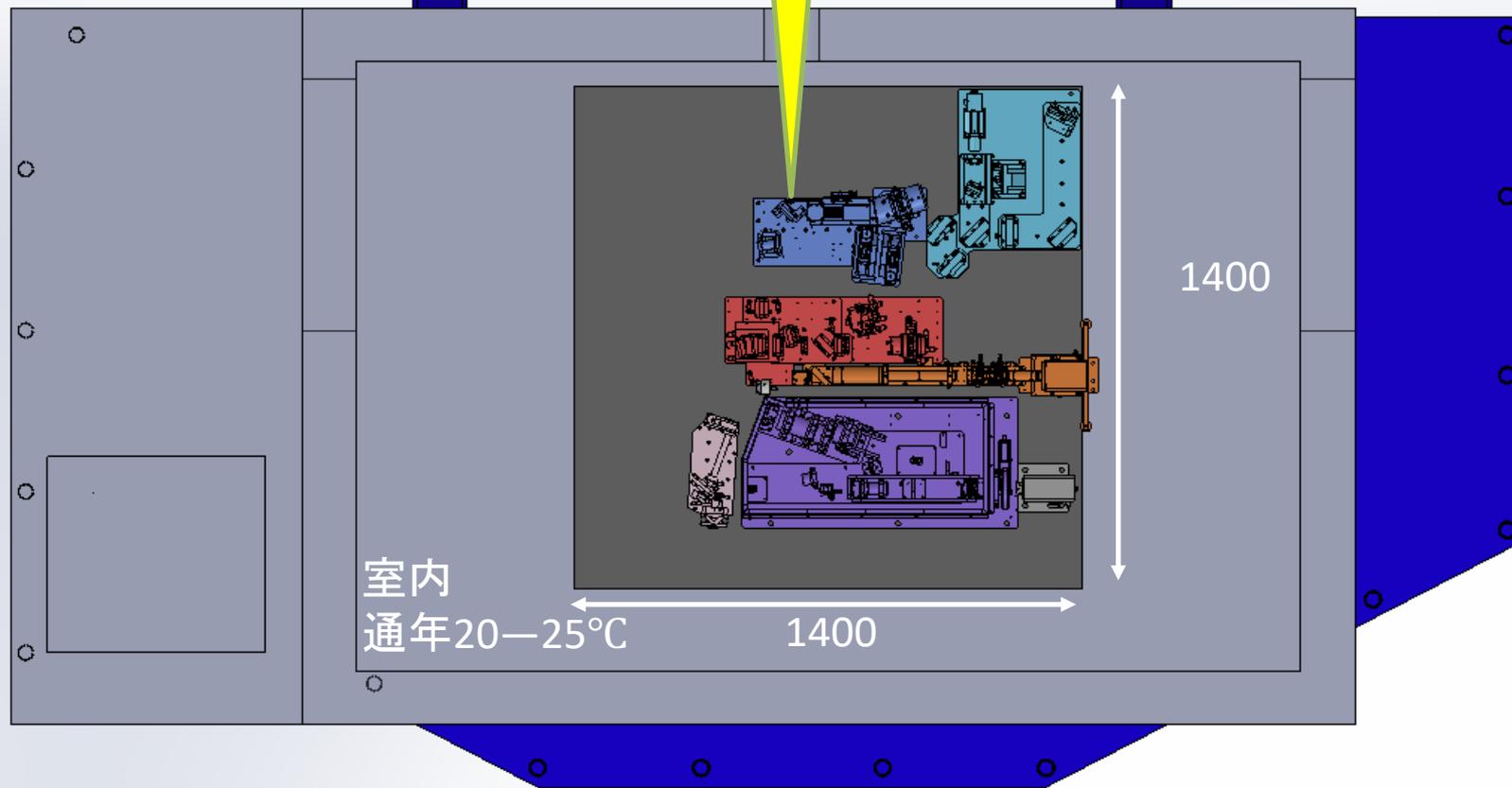


2021年3月から連続稼働中(2L/min)だが主鏡制御などへ影響は無し

# SEICA:



望遠鏡光線



1400

室内  
通年20—25°C

1400

望遠鏡光線

水冷定盤  
(1400x1400  
通年20°C)

ImR

Tip/Tilt &  
pupil  
monitor

Tip/Tilt mirror

ADC

リレー放物面鏡

WoofersAO

1400

TweeterDM  
(可変形鏡+  
ダイクロ)

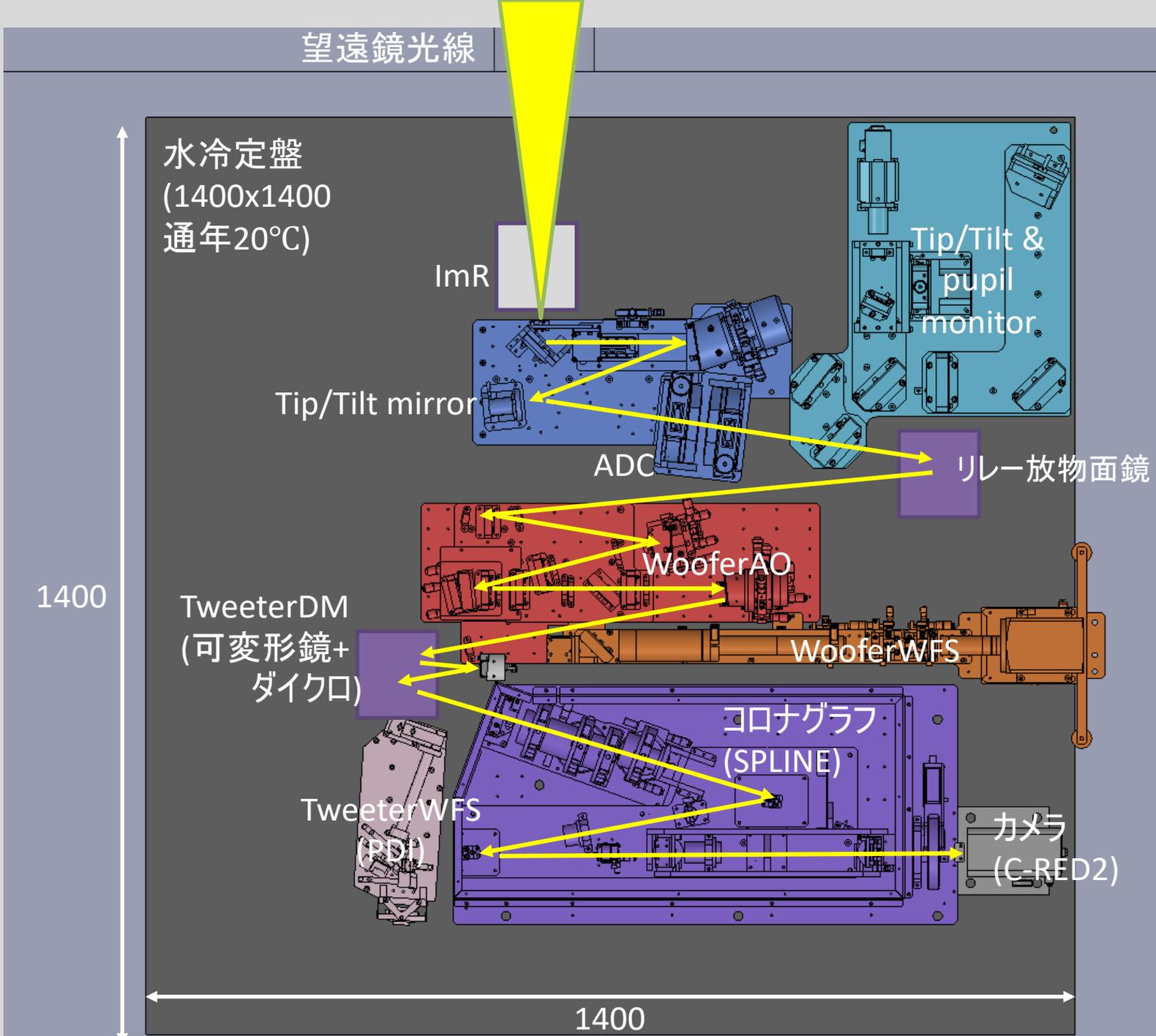
WoofersWFS

コロナグラフ  
(SPLINE)

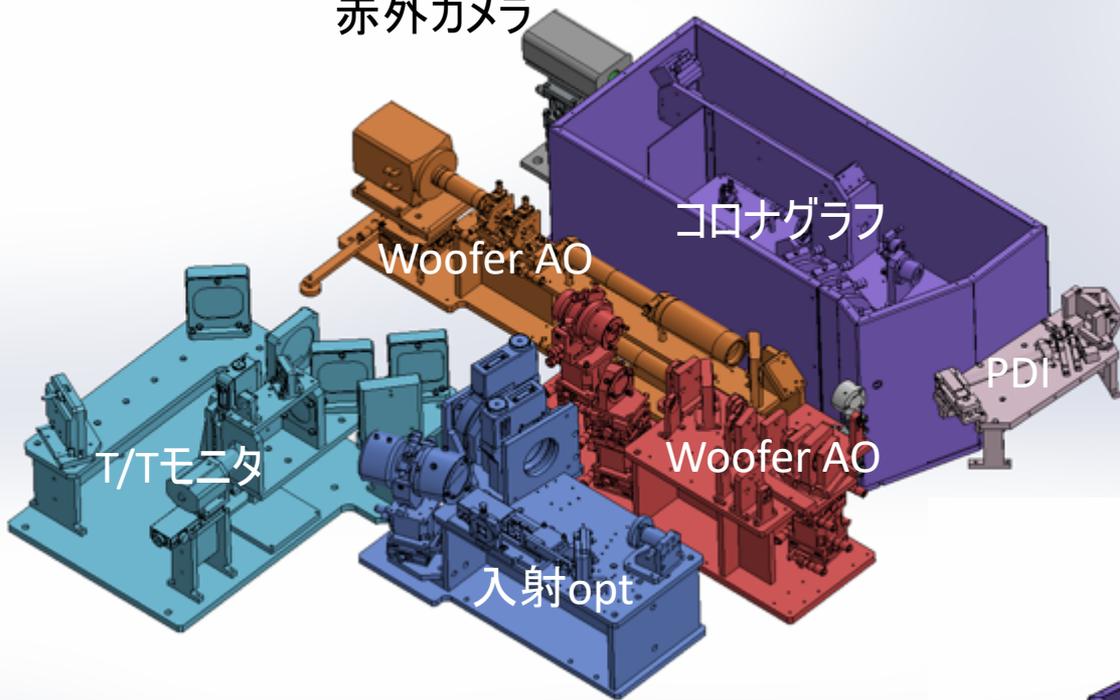
TweeterWFS  
(PD)

カメラ  
(C-RED2)

1400



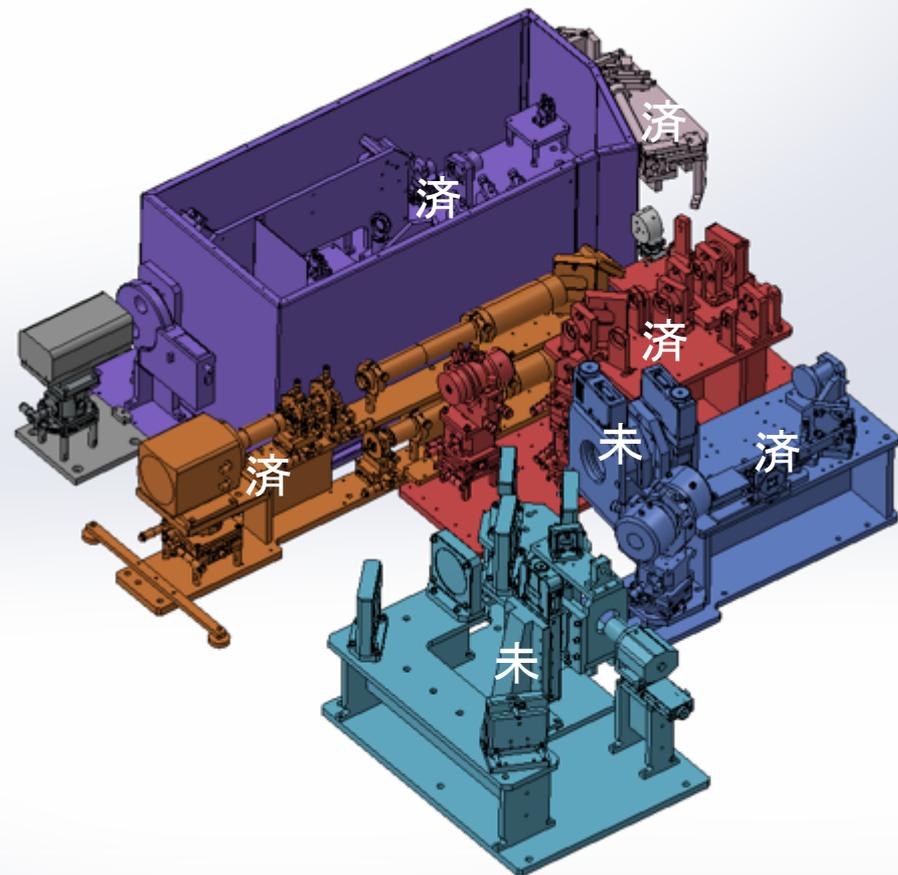
赤外カメラ



光学系設計製作状況

製作済: リレー光学系(OAP1, 3-4)、  
Woofers AO(DM/WFS),  
Tweeter WFS (PDI)

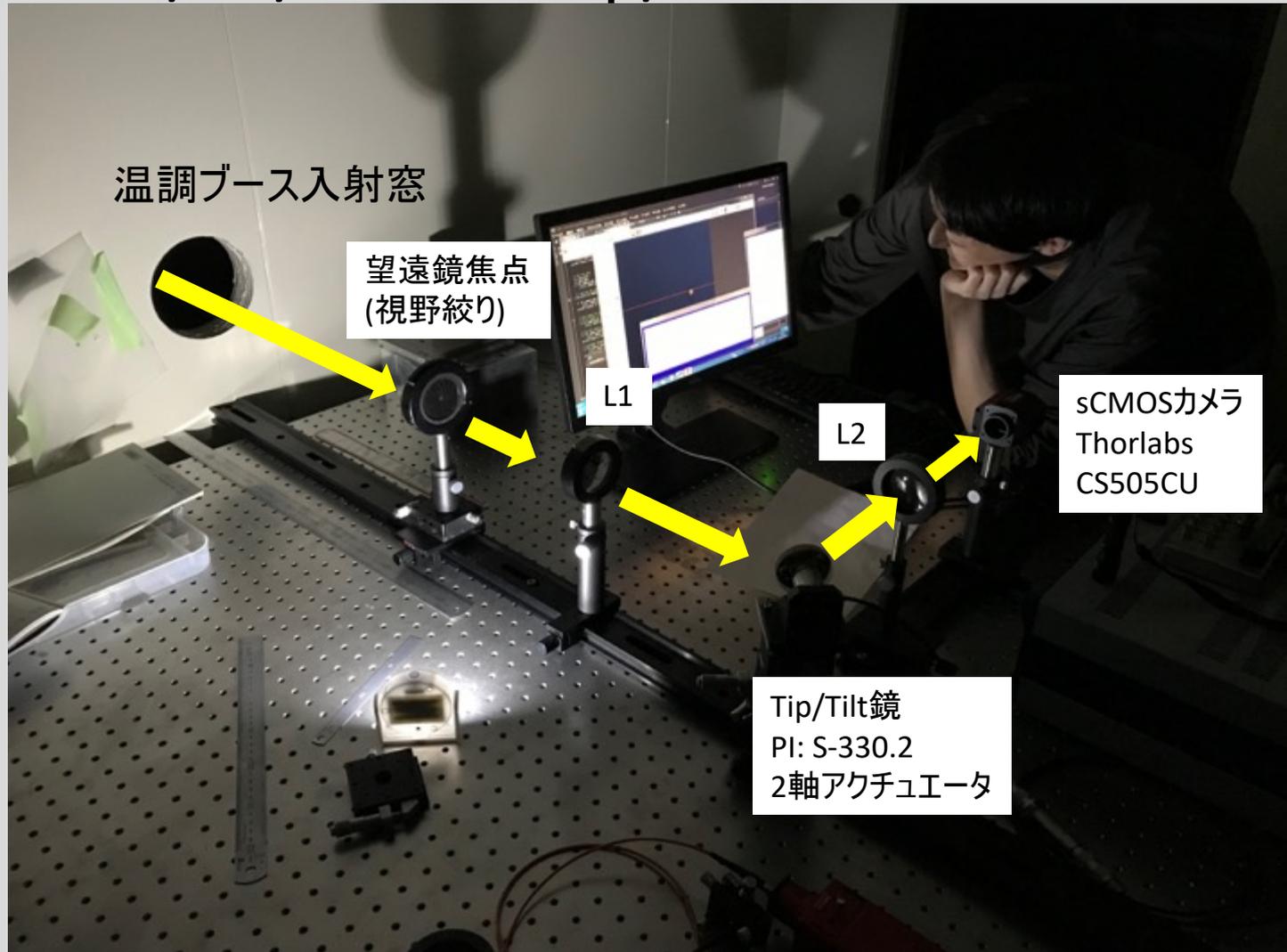
未製作: ADC, T/Tモニター, コロナグラフ  
未設計: リレー光学系(OAP2, 5)、  
Tweeter DM



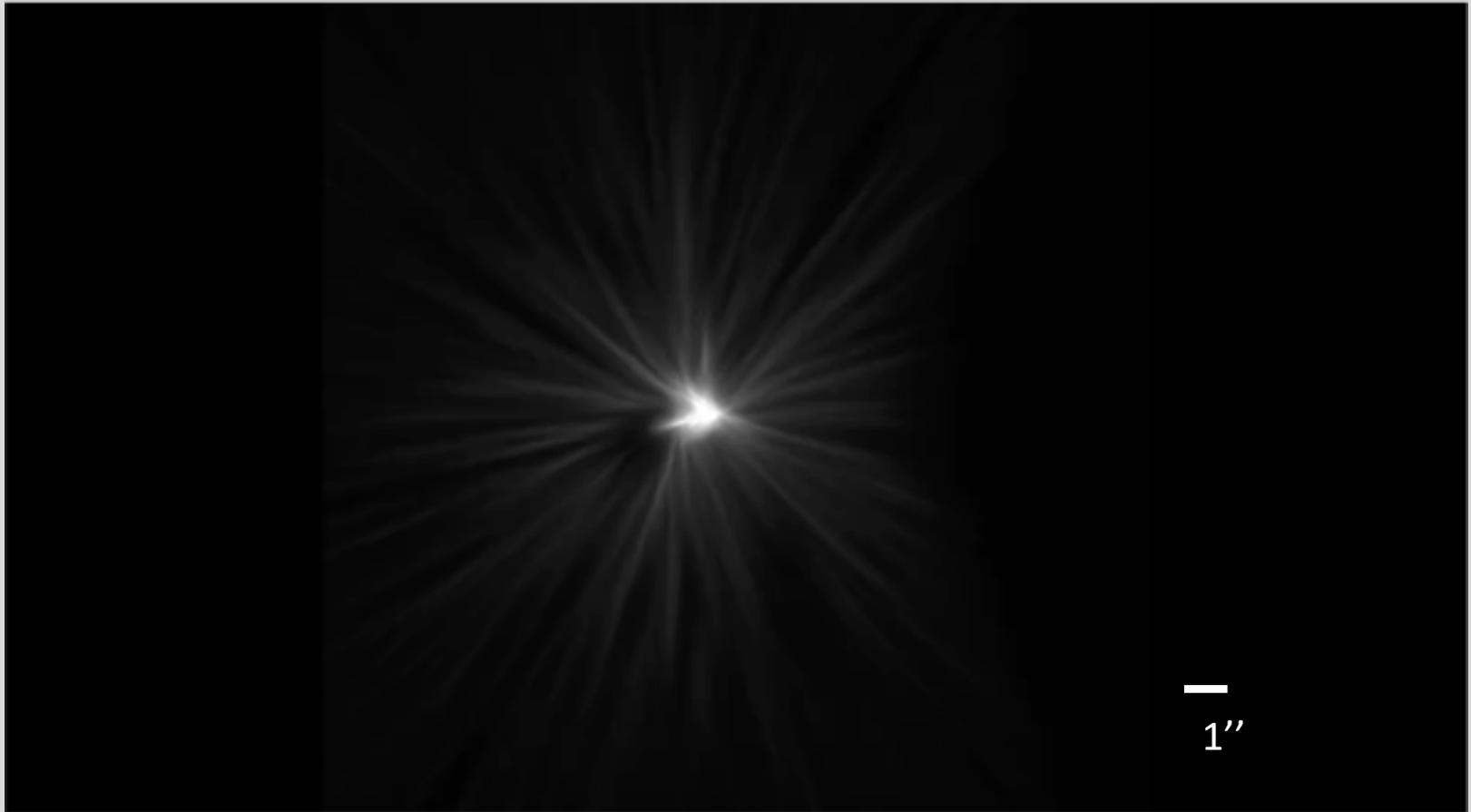
光軸高さは光学定盤上面から200mm

# SEICA: AO実験

## ■ 2021/06/08—10 Tip/Tilt系試験



# SEICA: AO実験



モニタカメラ(TipTilt制御用カメラではない)にて撮影 (実時間録画: 制御時間1分15秒間)

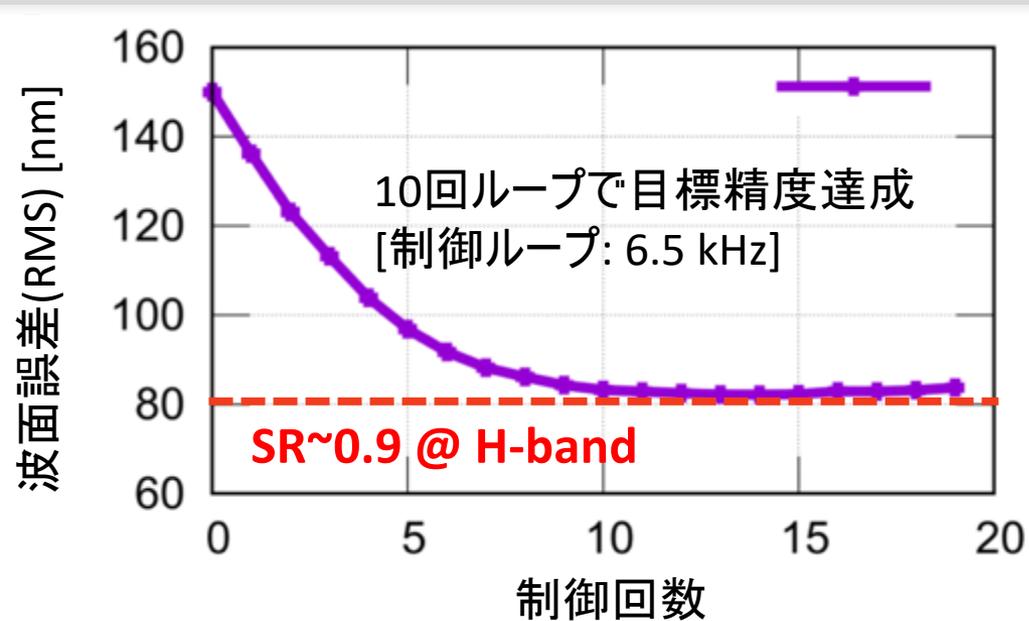
- ・2021年6月10日23:30:  $\alpha$  Boo
- ・放射状の光条はレンズによる色収差
- ・非制御時:  $> 0''.5$  (rms)
- ・制御時:  $\sim 0''.2$  (rms; 最善: 動画とは別の条件時)

制御パラメータの調整実験  
→強風+悪天候で決定出来ず

# SEICA: ExAOの開発 (1/2)

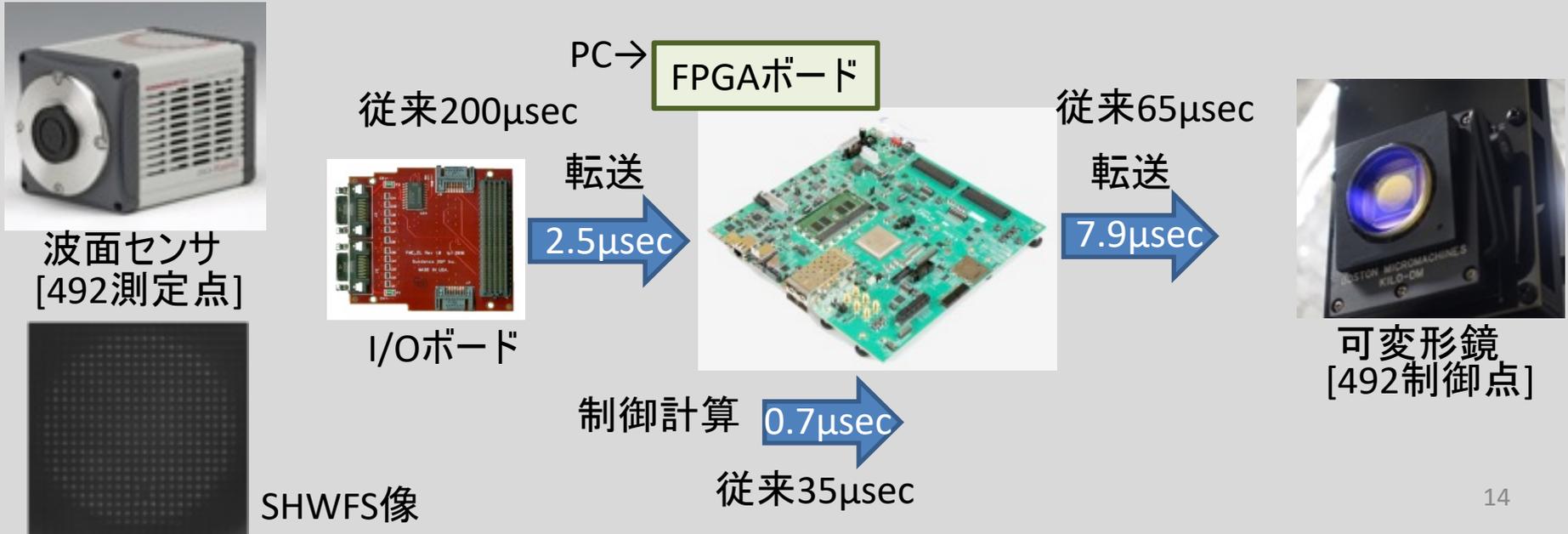
- 新方式波面センサの開発: 点回折干渉計(PDI) → 津久井
  - ◆ 位相計測のためSHWFSよりも多点で高速に高精度計測可能
  - ◆ 他位相計測より測定可能レンジが広い
  - ◆ 複屈折を用いた点回折ピンホール試作中(画像略)
  - ◆ 2021年度上記光学素子の性能評価, 22年度AO系へ

PDI波面センサによるAO制御シミュレーション



# SEICA: ExAOの開発 (2/2)

- FPGAを用いた多点高速制御システムの開発
  - ◆ 従来の汎用PCでの制御と比べ、時間遅れ300→11 $\mu$ secに短縮
  - ◆ 6.5kHzでの制御ループが可能(最大90kHz)
  - ◆ 現在、WFS→FPGA→DMへの制御ループは動作確認済
  - ◆ 21年度は大気乱流模擬位相板を用いたAO制御実験(本来はPDIだがSHWFSで試験)
  - ◆ 22年度は上流AOと組み合わせて総合性能試験へ

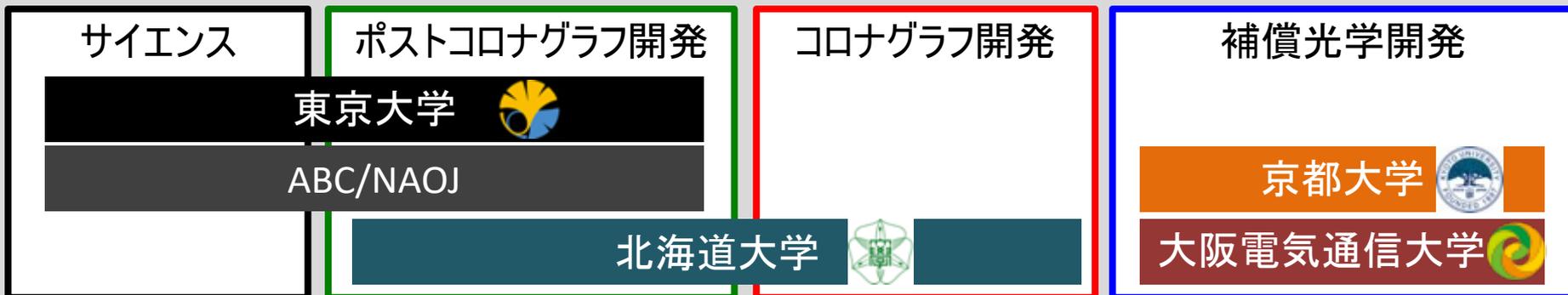


# SEICA: 体制

## ◆ 5機関/10名でそれぞれ開発進行中

- ◆ 補償光学
  - 全体光学系: 京都大学
  - 波面センサ: 京都大学
  - FPGA制御装置: 大阪電気通信大学
- ◆ コロナグラフ
  - コロナグラフ系: 北海道大学
- ◆ ポストコロナグラフ
  - スペックルナリング: 北海道大学
  - 惑星RV分光器?: 東京大学/ABC

## ◆ 開発場所: 京都大学 → せいめい望遠鏡ドーム



# SEICAスケジュール & 観測

- FY2021: 低次AOまでの試験観測(HiCIAO相当)
- FY2022: 高次AO(SHWFS)+コロナグラフ試験 & F.L.
- FY2023: 高次AO(位相式)+コロナグラフ試験
- FY2025～?: 共用開始?
  
- 見込まれる使い勝手 (京大/共同利用時)
  - ◆ AO制御PCの立ち上げで自動キャリブレーションまで(10分程度?)
  - ◆ 天体と露光時間、枚数指定(AOパラメータなどは自動)
  - ◆ データ解析手法が提供できるかは不透明
  - ◆ 観測可能条件はやや厳しいと思われる(Seeing < 1".2程度)
  
- 系外惑星(点源)特化: 円盤観測(偏光観測)を希望する人は装置開発を共同でさせて頂きたい

