

# 極限補償光学/波面センサ

○山本広大(京都大学)、  
入部正継, 藤田勝(大阪電気通信大),  
長田哲也, 栗田光樹夫, 木野勝,  
○津久井遼(京都大学), 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)
- 点回折干渉計方式のWFS (津久井)



Okayama Observatory, Kyoto University

**SEIMEI**  
TELESCOPE



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

熱放射

◆ 目的:系外惑星直接撮像

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**

技術

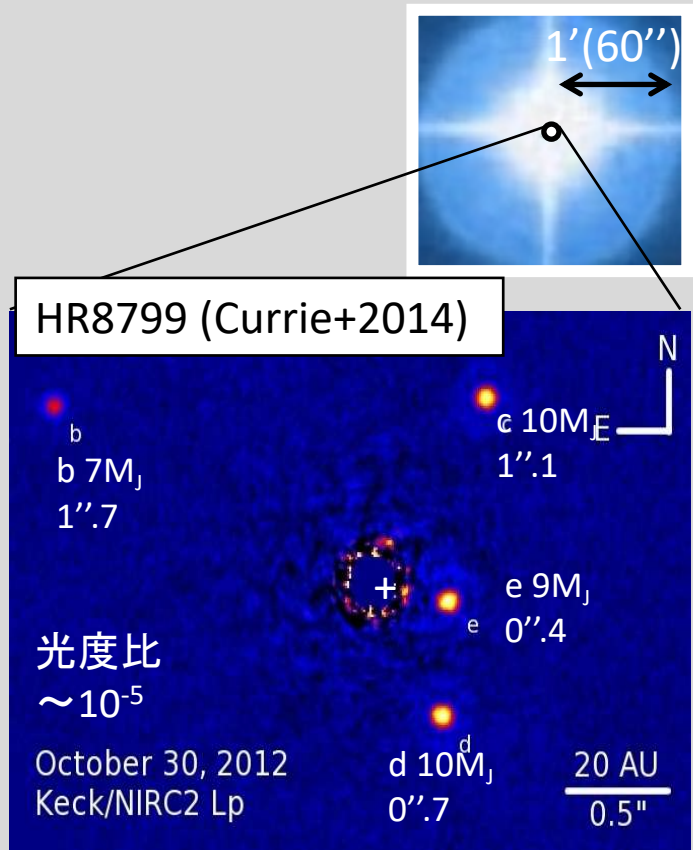
補償光学 ◆ FPGA controller for ExAO  
 ◆ 直接位相計測型波面センサ

コロナグラフ ◆ ナリング干渉計型

ポスト-コロナグラフ ◆ スペックルナリング (SLM etc...)  
 ◆ 瞳再配置撮像  
 ◆ 高分散分光器  
 など検証中

◆ 分割主鏡ならではの  
 高コントラスト技術 等....

◆ 設置場所:3.8mせいめい望遠鏡へ搭載  
 - 望遠鏡へのアクセスが容易

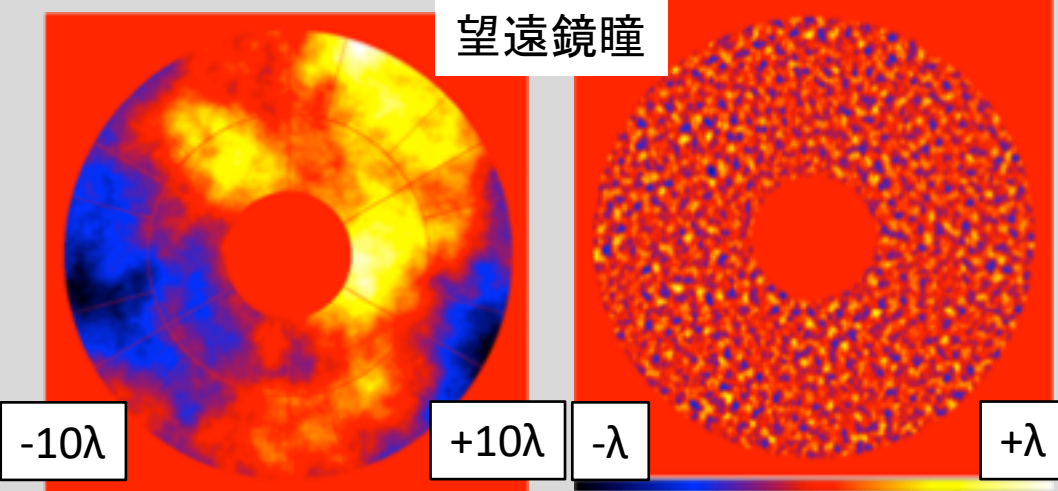


# SEICA: ExAO後性能

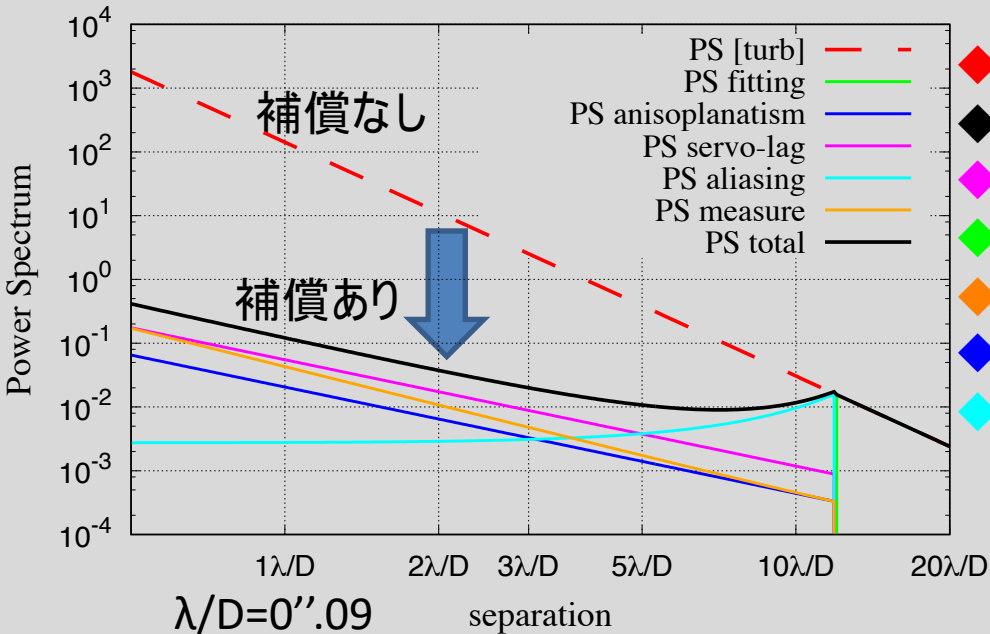
乱流層:	高度10km
フリード長:	10cm@0.8um
風速:	10m/s
天頂角:	30度 (仰角60度)
センサー波長:	0.8um
観測波長:	1.65um (Hバンド)
波面測定:	6.5kHz
補償点数:	差し渡し24素子 計495素子

大気乱流のみ

ExAOによる補償



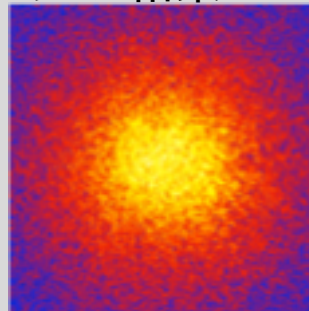
大気乱流と補償後のパワースペクトル



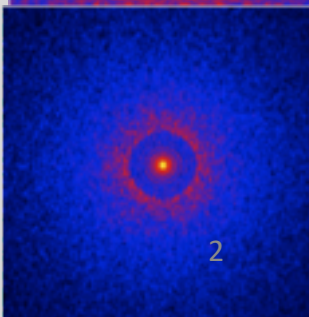
- ◆ : 補償なし
- ◆ : 補償後合計
- ◆ : 制御時間遅延誤差
- ◆ : フィッティング誤差
- ◆ : 測定誤差
- ◆ : 大気分散誤差
- ◆ : エイリアジング誤差

シミュレーション結果

補償前



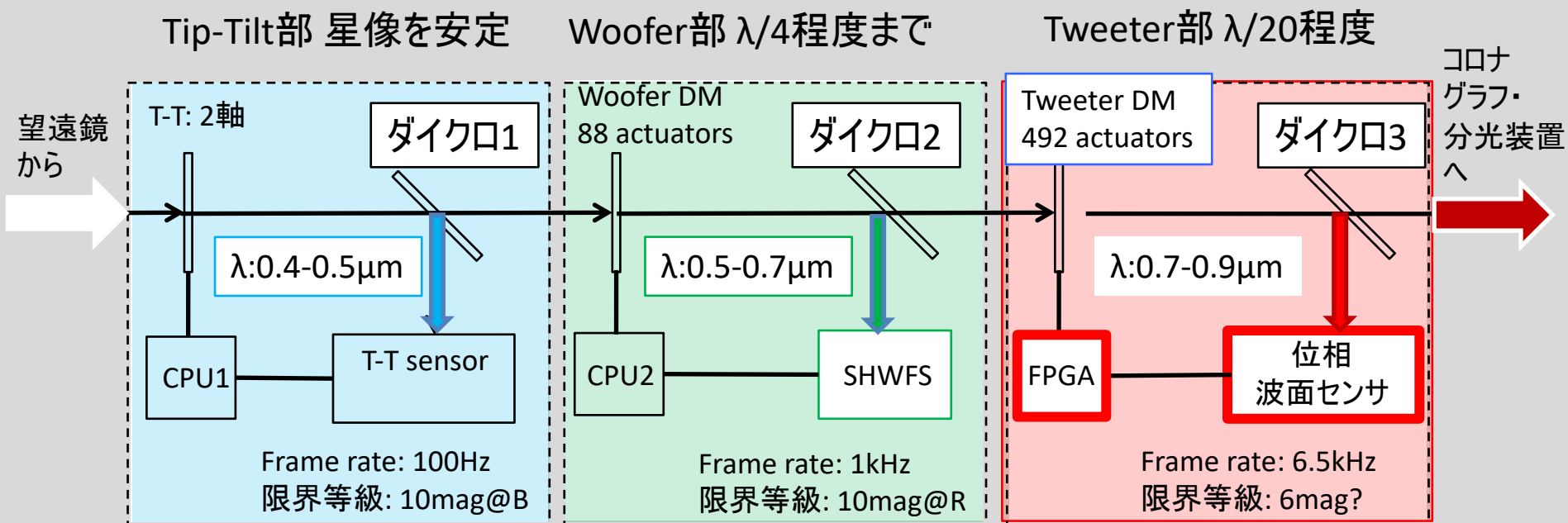
補償光学後の星像 (SR=0.84)



# 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  $\rightarrow$   $\lambda/20$ ; rms)  
 $\rightarrow$  高周波 (5-10 kHz)  
 $\rightarrow$  高空間周波数 (1辺24素子)

# SEICA補償光学部

高精度( $\lambda/20$ )のために

高頻度:  $>5\text{kHz}$

高空間周波数:

差し渡し24素子

望遠鏡から

無補償

光学系サイズ

1.2x1.2m

T-T部  
星像安定 $\sim 100\text{mas}$

T/T(ステアリング)鏡

低次可変形鏡  
1辺 8素子(rms: $\lambda/4$ まで)

高次可変形鏡  
1辺 24素子  
(rms: $\lambda/20$ まで)

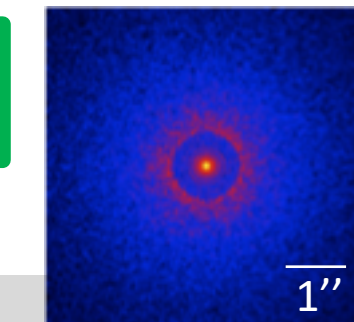
高次補償部  
6.5kHzサンプリング  
Strehl ratio 85-90%

位相計測型波面センサ  
+FPGA制御 (6.5kHz)

低次補償部  
Strehl ratio  $\sim 30\%$

SHWFS+PC制御

コロナグラフ・  
分光装置へ

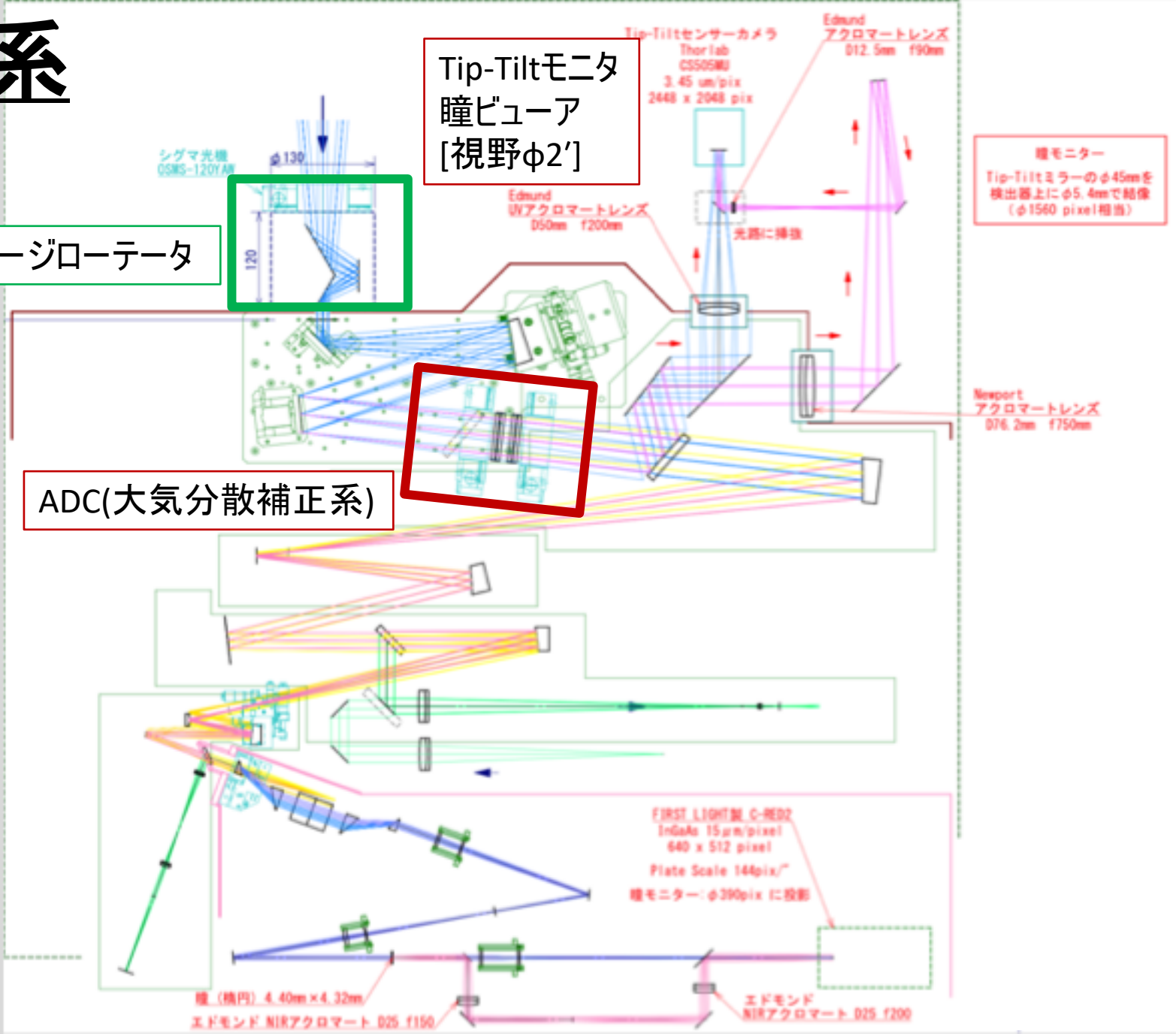


補償光学後の星像

室内実験ではSHWFSで動作確認



# 光学系



イメージローテータ

Tip-Tiltモニター  
瞳ビューア  
[視野 $\phi 2'$ ]

ADC(大気分散補正系)

瞳モニター  
Tip-Tiltミラーの $\phi 45mm$ を  
検出器上に $\phi 5.4mm$ で結像  
( $\phi 1560 pixel$ 相当)

IRST LIGHT 製 C-RED2  
InGaAs  $15 \mu m/pixel$   
 $640 \times 512 pixel$   
Plate Scale  $144pix/''$   
瞳モニター:  $\phi 290pix$  に投影

瞳 (横円)  $4.40mm \times 4.32mm$   
Edmund NIRアクロマート  $D25$   $f150$

Edmund  
NIRアクロマート  $D25$   $f200$

# 光学系

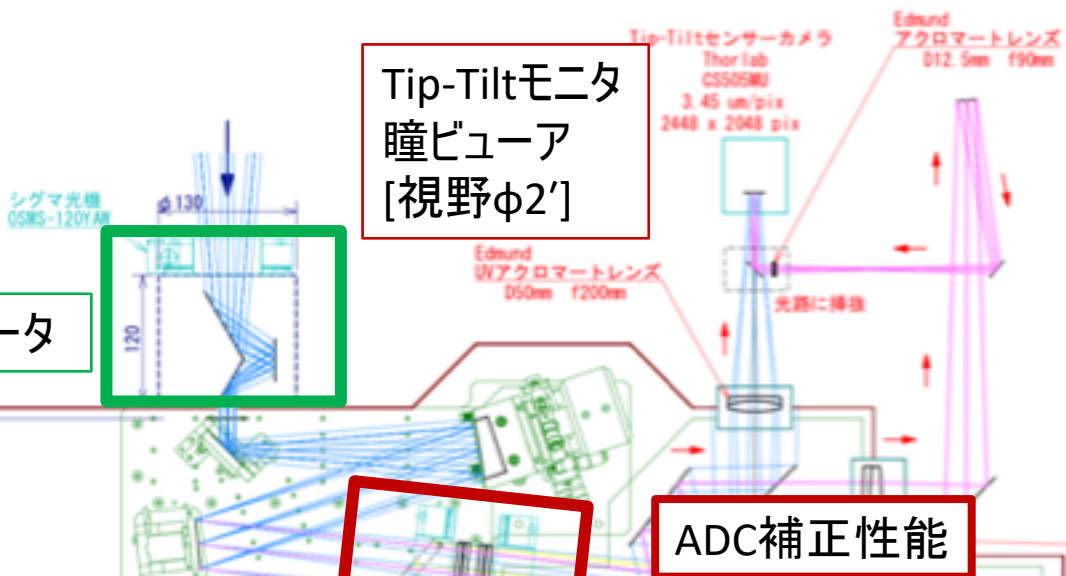
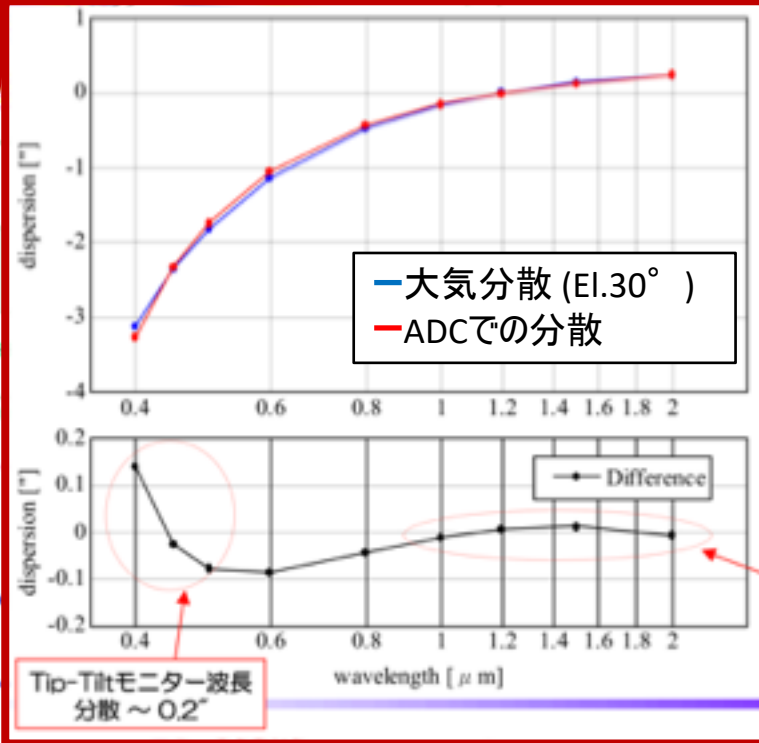
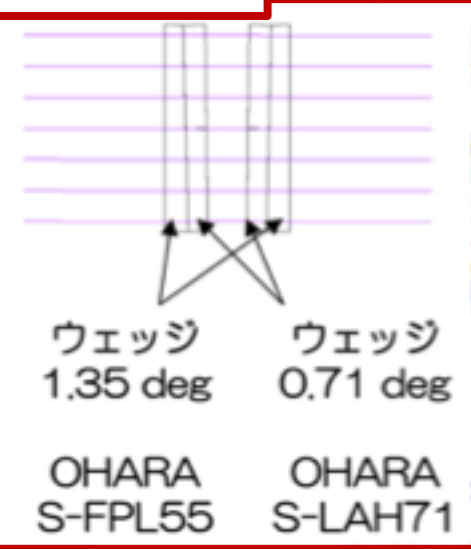
Tip-Tiltモニタ  
瞳ビューア  
[視野φ2']

イメージローテータ

ADC(大気分散補正系)

ADCプリズム

ADC補正性能



エドモンド NIRアクロマート D25 f150

NIRアクロマート D25 f200

# 光学系

## ◆ 現在進行中

購入/試験: Scienceカメラ

FirstLight C-RED2

設計: ImR, ADC, T-T/瞳カメラ

製作: Woofer光学系

開発: (高次)PDI WFS



サイエンス用赤外カメラ

FIRST LIGHT社

C-RED2 (InGaAs)

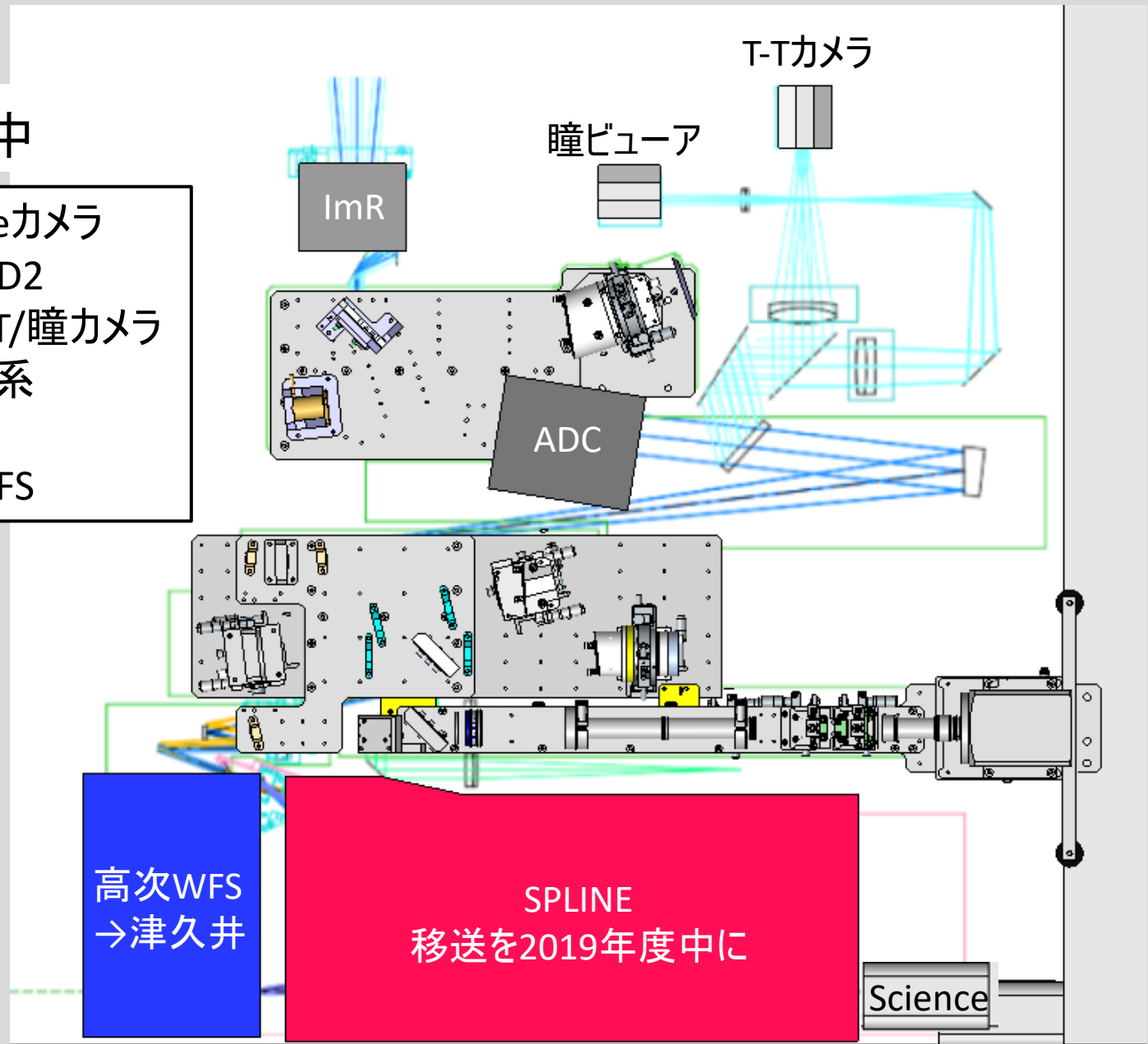
640x512 pix

15um pitch

400FPS

RON < 30e-

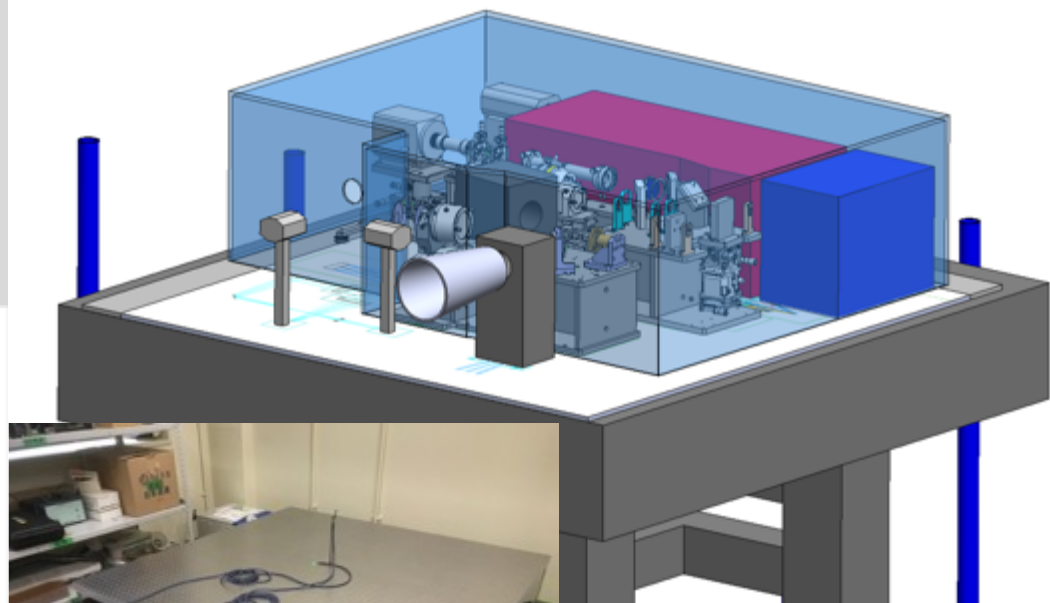
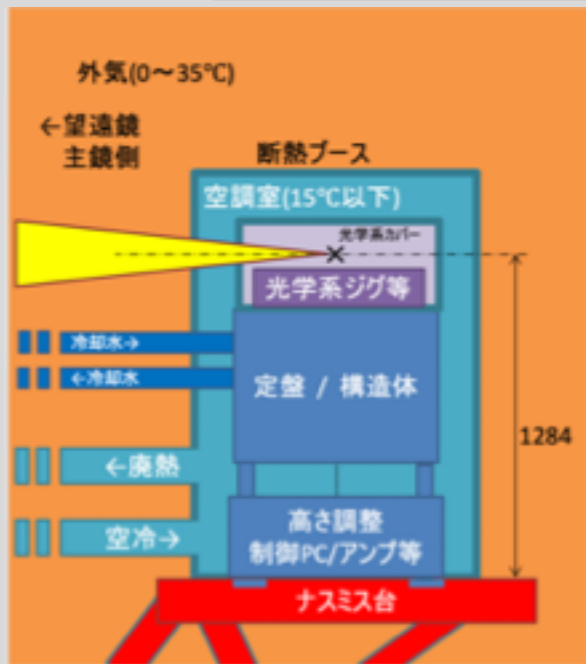
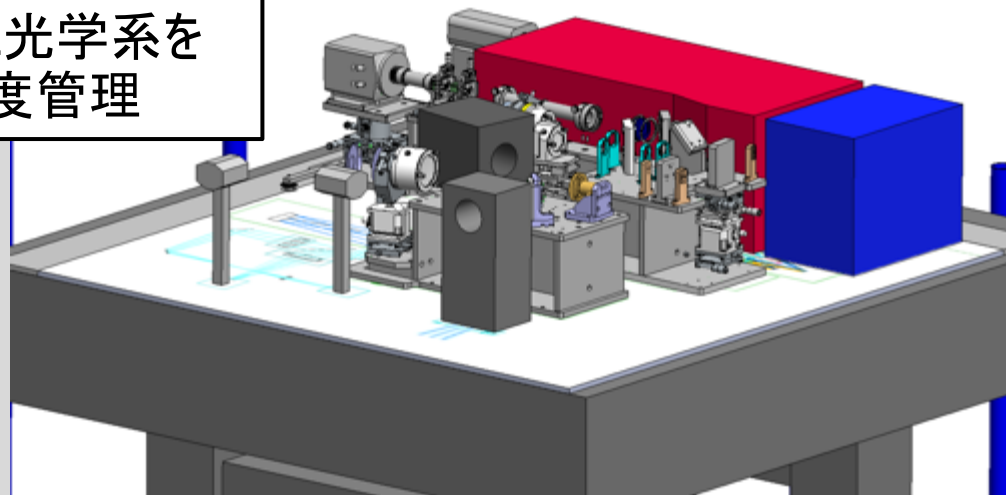
水冷+ペルチエ: -40°C



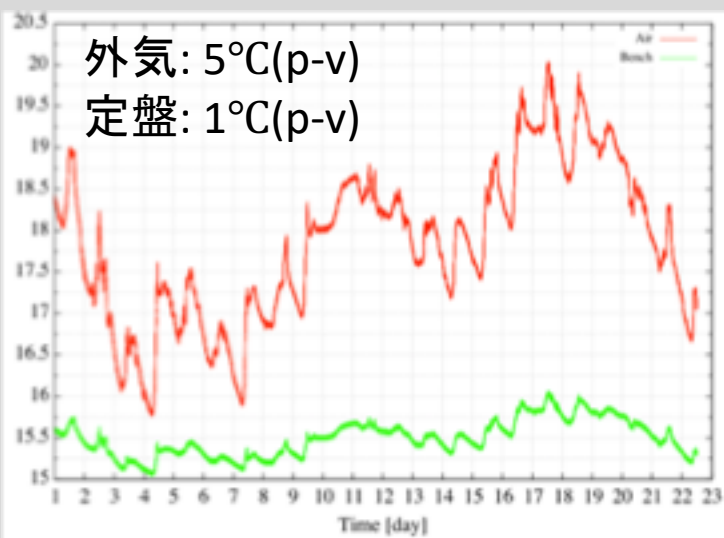


# 構造系

温度安定のために光学系を  
水冷定盤上で温度管理

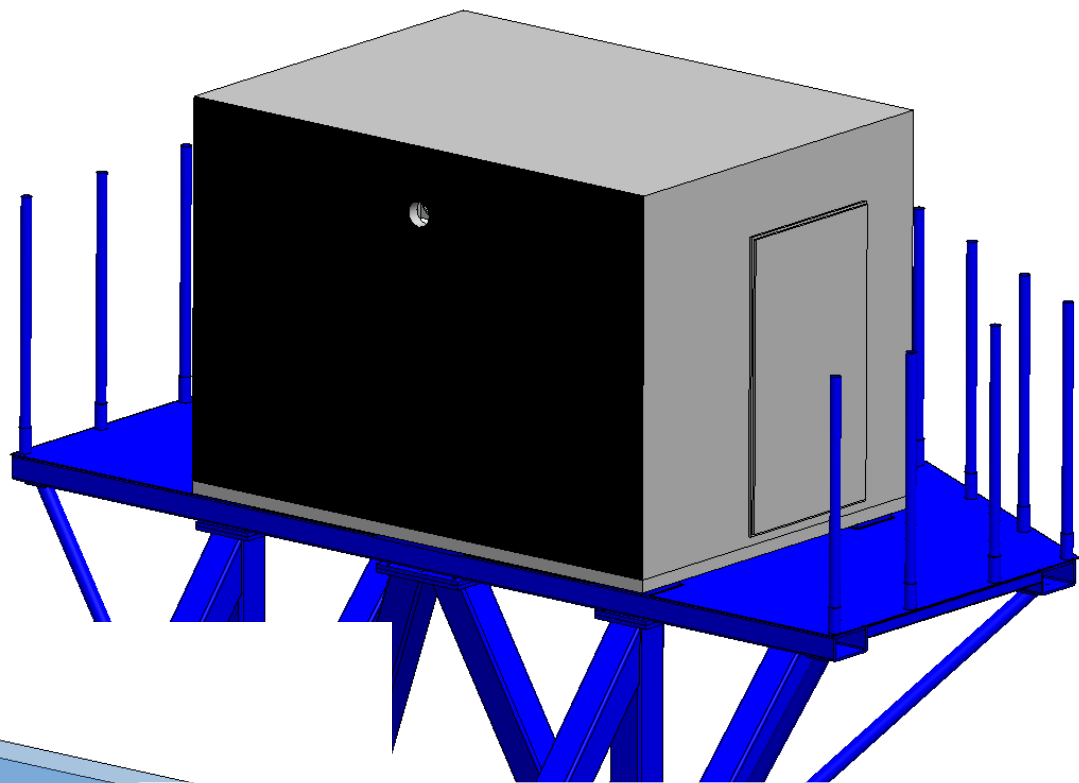


廃熱は  
ドーム1Fへ

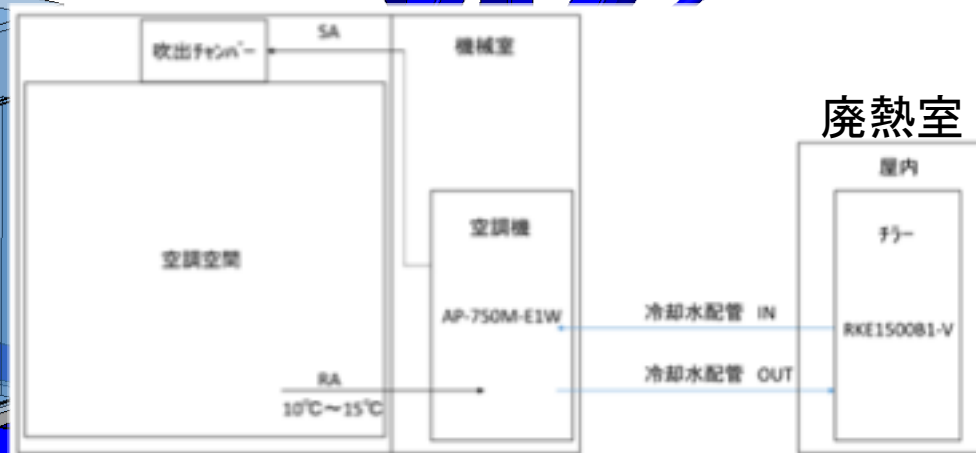
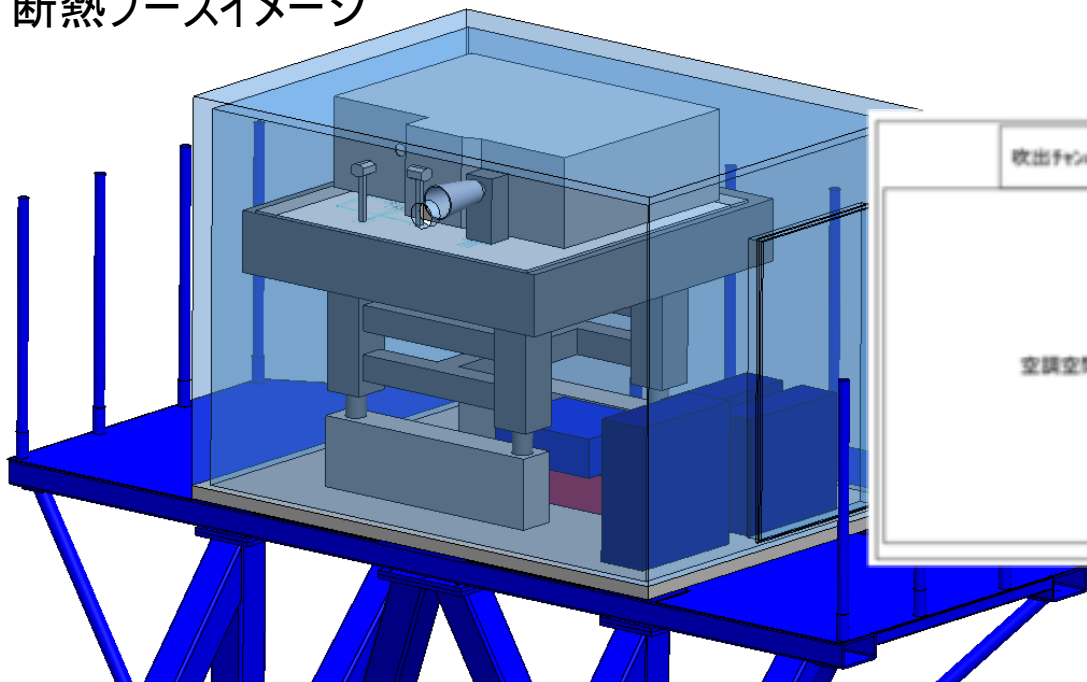


# 全景イメージ

ナスミス台の振動特性は問題なさそう  
振幅は0.5um以下(rms)



## 断熱ブースイメージ



# SEICA: 体制

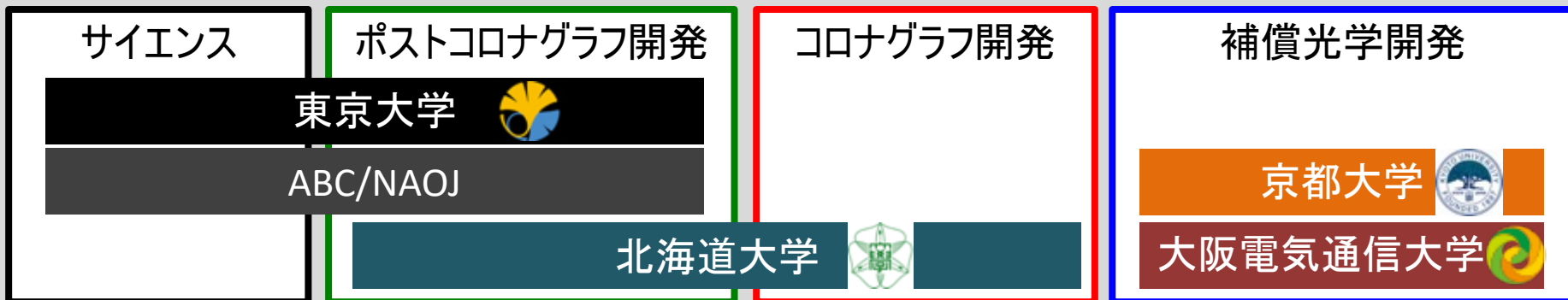
◆ 5機関/10名でそれぞれ開発進行中

- ◆ 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

2020年度末

2020年度末

◆ 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/予算

## ◆目標: 2021年度中のFLを目指す

- '19. ExAO光学系低次補償部まで製作、前置光学系設計  
コロナグラフ、筐体製作、赤外カメラ調達、波面センサ原理  
実証
- '20. Tweeter製作、波面センサ評価試験、全体試験、  
ポストコロナグラフ検討、岡山搬出
- '21. 全体試験、望遠鏡搭載

## ◆予算:

- a) H31年度 基盤A(長田)2年目1800万
  - ◆カメラ: ~500万(済)
  - ◆光学系: ~500万
  - ◆構造系: ~400万
  - ◆冷却系: ~400万
- b) H31年度 TMT戦略経費
  - ◆FPGA開発: 240万
  - ◆コロナグラフ: 260万

# まとめ

- ◆地球近傍のM型星のハビタブルゾーンに存在する地球型惑星の直接撮像/分光観測を目指したPSI-blueが提案されている
- ◆PSI-blue/SEIT実現に必要な各要素技術の開発を複数機関の協力により推進中
  - ◆FPGA、PDI、コロナグラフ、ポストプロセス...
- ◆PSI-blue/SEITのプロトタイプに、せいめい望遠鏡用の太陽系外惑星撮像装置SEICAを、2021年度のF.L.目標に開発中



