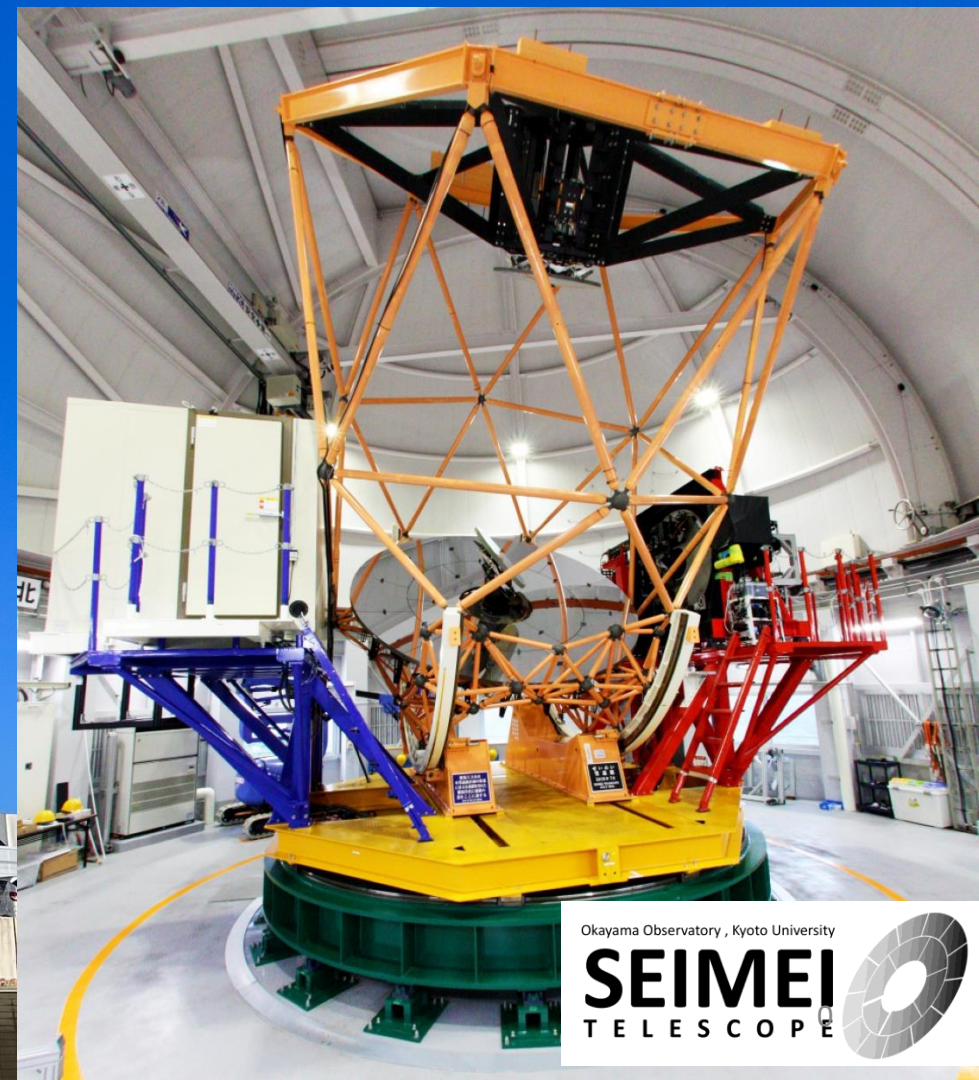


# 系外惑星撮像装置SEICA開発： 全体進捗

○山本広大(京都大学),  
長田哲也, 栗田光樹夫, 木野勝(京都大学),  
津久井遼 (ロジストラボ),  
入部正継 (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



Okayama Observatory, Kyoto University

**SEIMEI**  
TELESCOPE





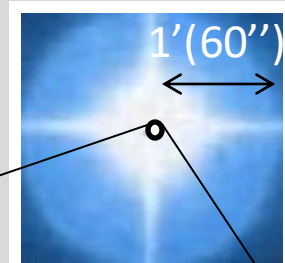
# SEICA (Second-generation Exoplanet Imager with Coronagraphic Adaptive Optics)

目的: 系外惑星直接撮像 + 装置開発

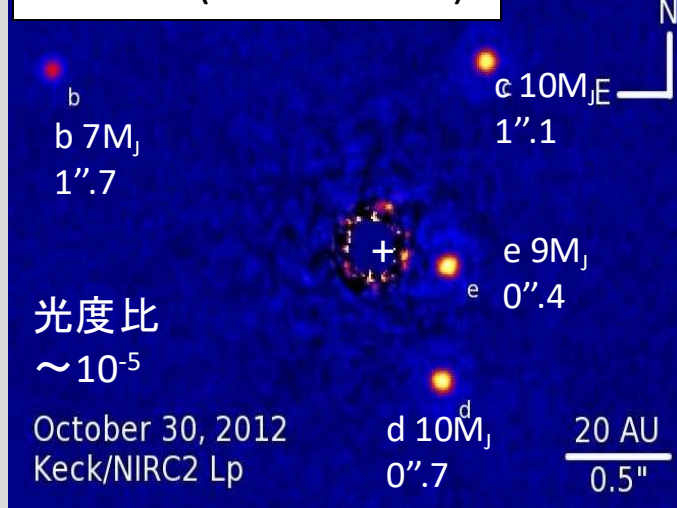
熱放射

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



HR8799 (Currie+2014)



## 2. 技術開発

ExAO

- ◆ FPGA controller for ExAO
- ◆ Directly phase sensor

Coronagraph ◆ Interferometric nulling coronagraph

post-

coronagraph

- ◆ speckle nulling (SLM etc...)
- ◆ pupil remapping
- ◆ high dispersion spectroscopy

その他

- ◆ high contrast tech. for segmented primary mirror
- ◆ high precision thermal control

# SEICA: ExAO: 仕様と構成

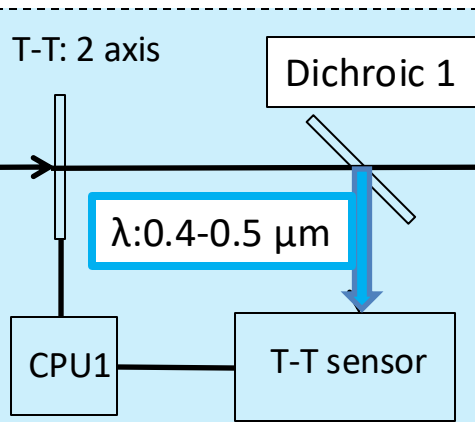
## 装置目標

High precision (SR 0.9  $\rightarrow$   $\lambda/20$ ; rms @H band)  
 $\rightarrow$  High speed control (5-10 kHz)  
 High resolution (24x24 / aperture)

## 1. Low-order AO

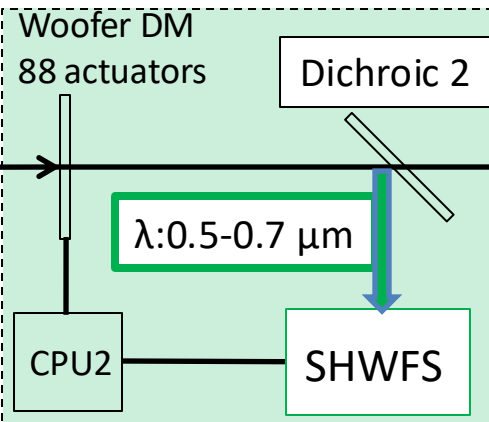
Tip-Tilt + Woofer: **slop sensor**  
**low speed, low resolution**

Tip-Tilt:



Frame rate: 100Hz  
 Limit mag: 10mag@B

Woofer:  $\lambda/4$  (rms)

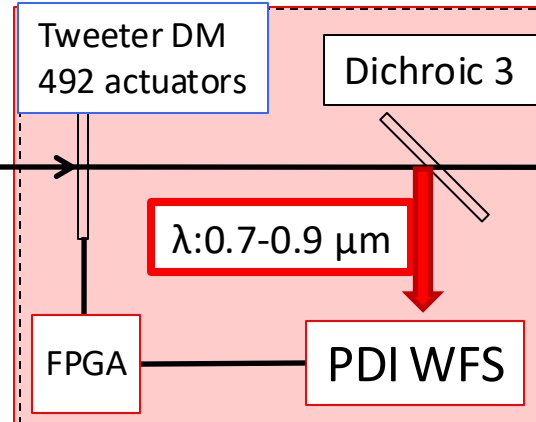


Frame rate: 1kHz  
 Limit mag: 8mag@R

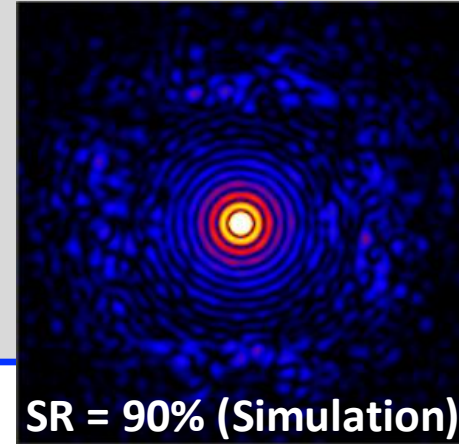
## 2. High-order AO

Tweeter: **phase sensor**  
**high speed, high precision**

Tweeter:  $\sim \lambda/20$  (rms; @H)

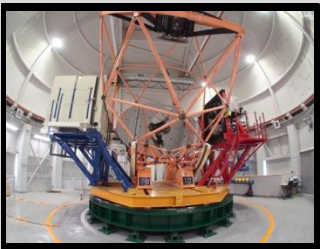


Frame rate: 6.5kHz  
 Limit mag: >6mag

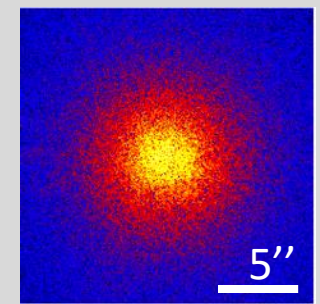


SR = 90% (Simulation)  
 with High-order AO

Coronagraph



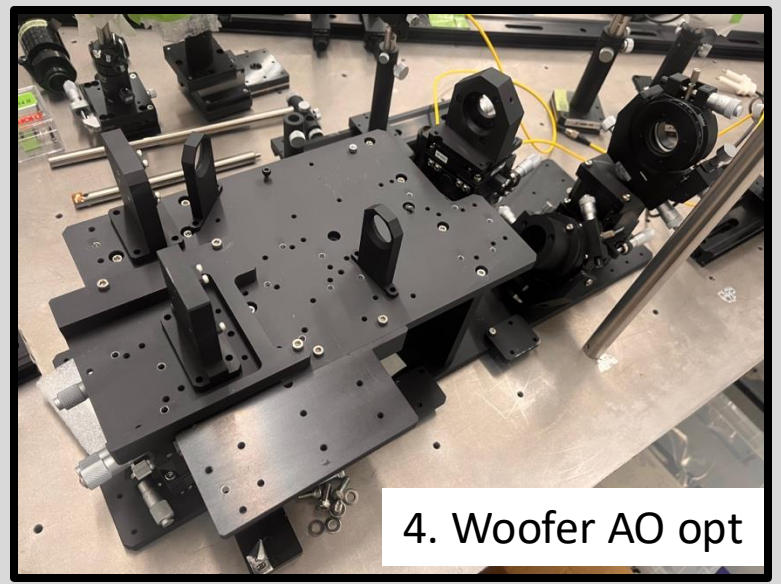
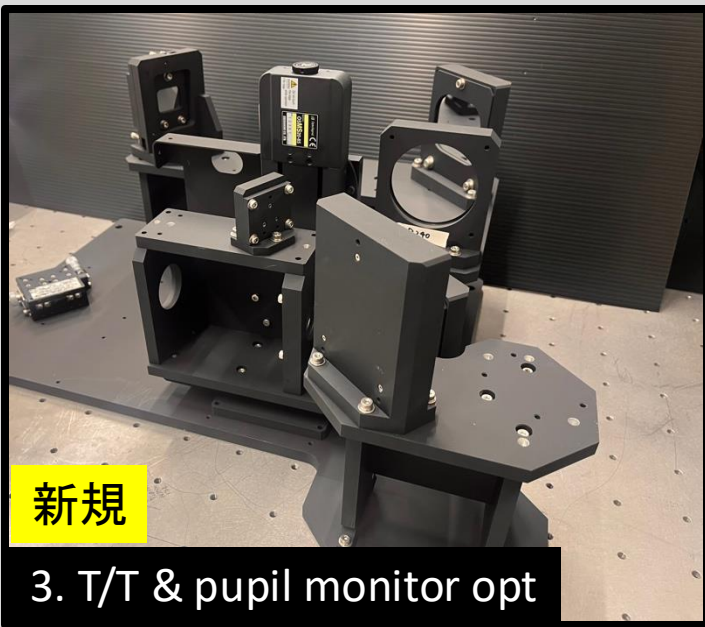
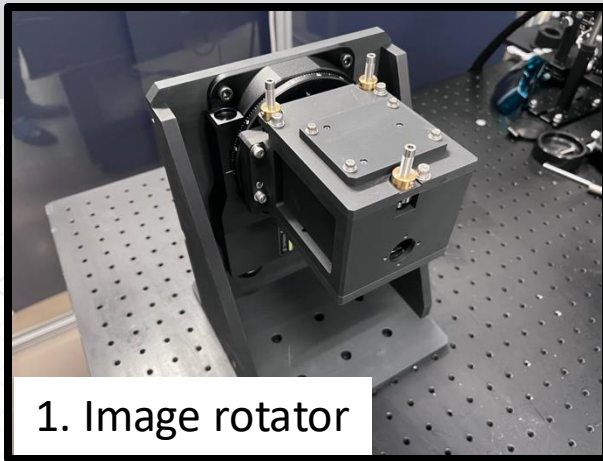
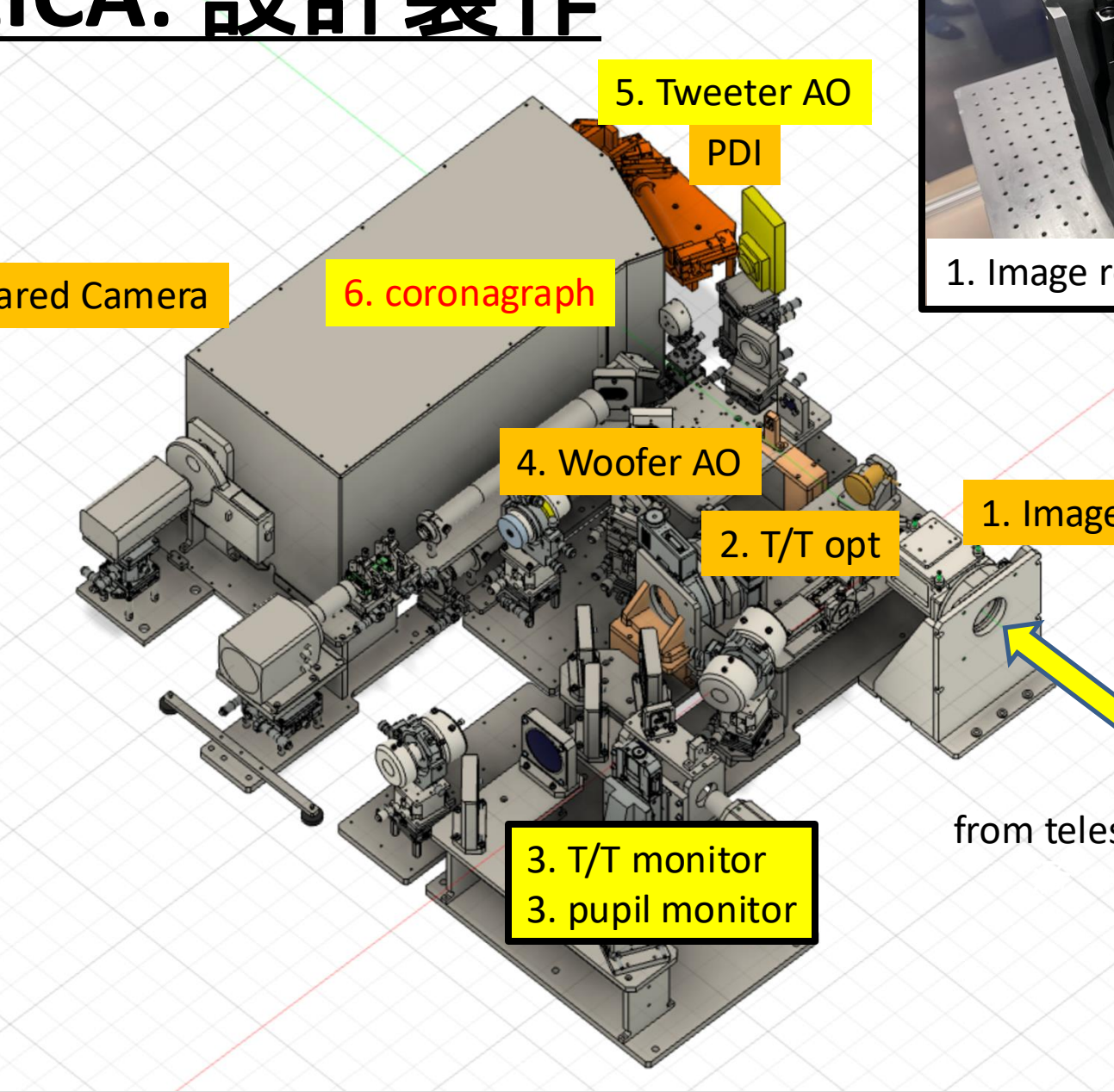
From Telescope



w/o AO

5"

# SEICA: 設計製作

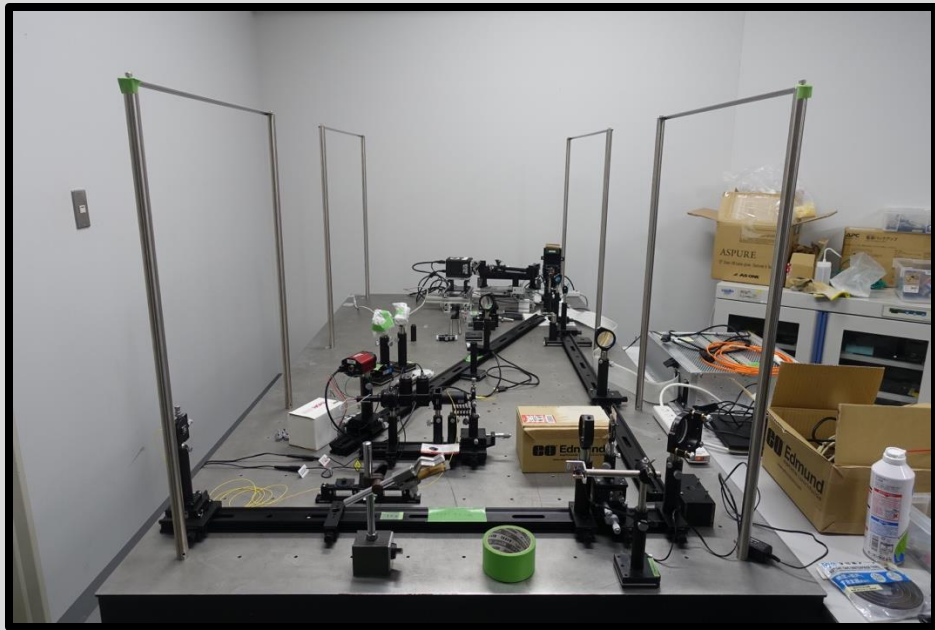




# SEICA: Tweeter AOの移設

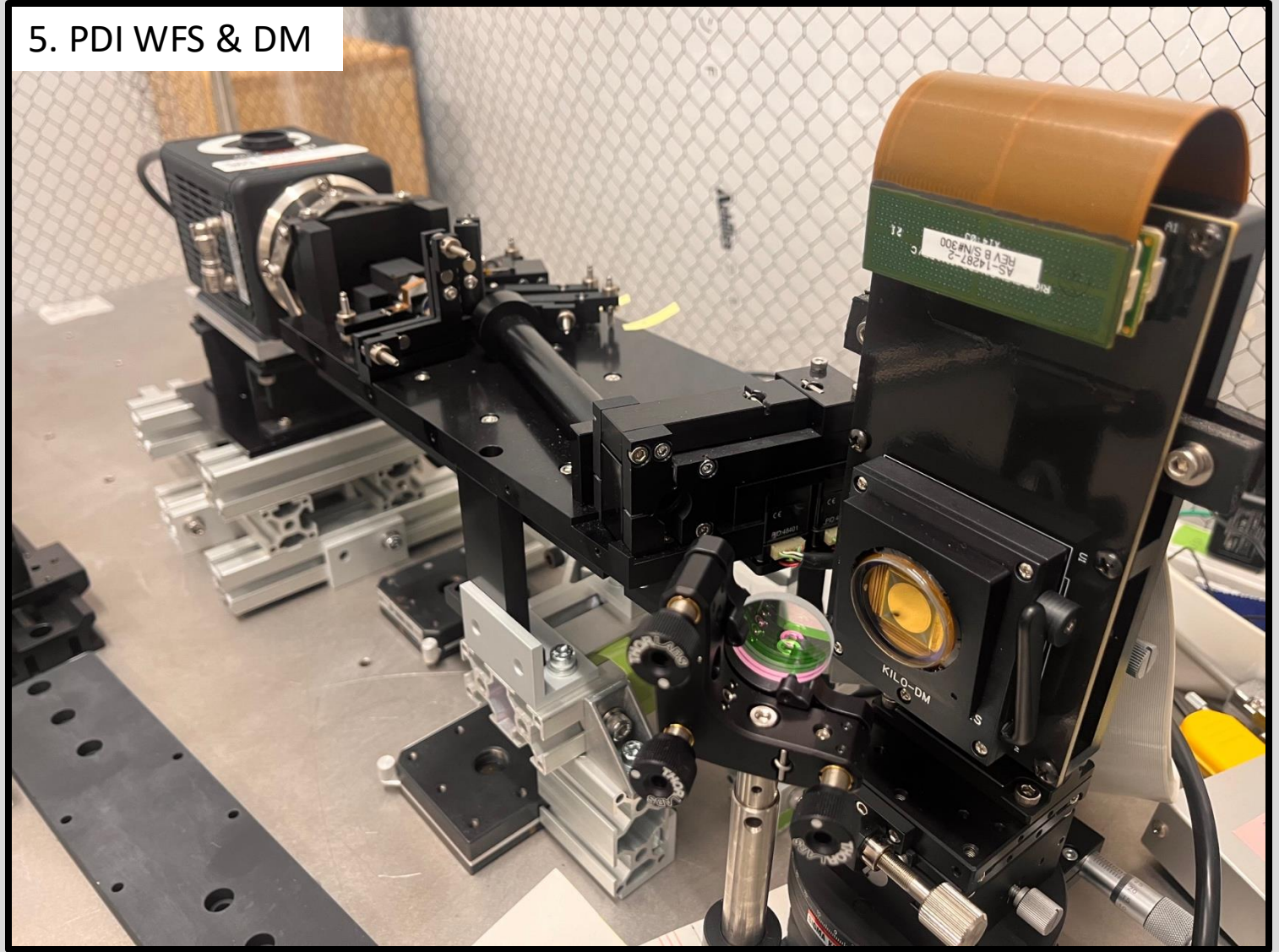
■ 2024/01/29—30

京大→岡山へPDI実験設備を移設



せいめい望遠鏡1階分光器室2

5. PDI WFS & DM



# SEICA: ExAO: 低次補償光学系

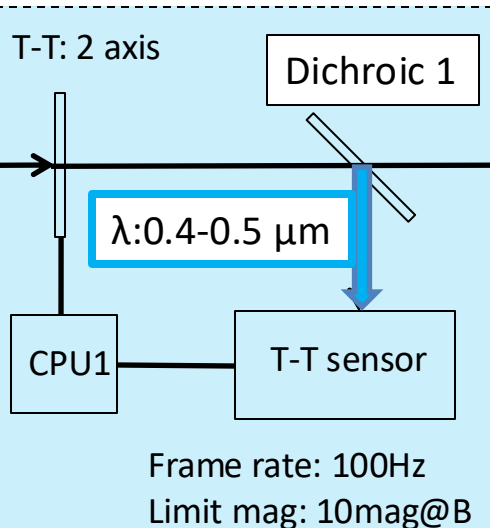
## 装置目標

High precision (SR 0.9  $\rightarrow$   $\lambda/20$ ; rms @H band)  
 $\rightarrow$  High speed control (5-10 kHz)  
High resolution (24x24 / aperture)

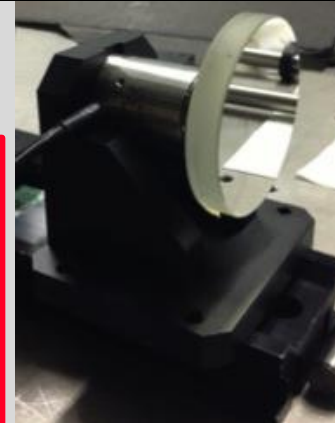
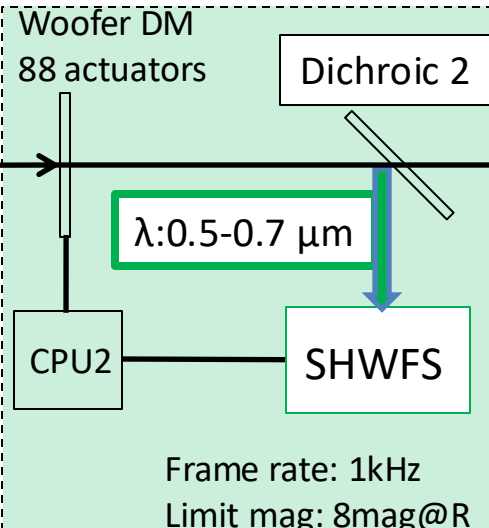
## 1. Low-order AO

Tip-Tilt + Woofer: **slop sensor**  
**low speed, low resolution**

Tip-Tilt:

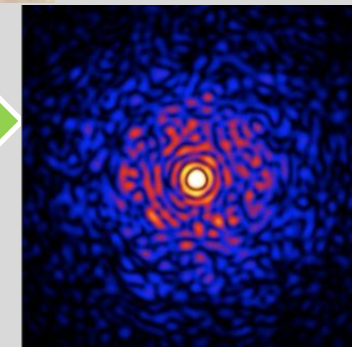


Woofer:  $\lambda/4$  (rms)



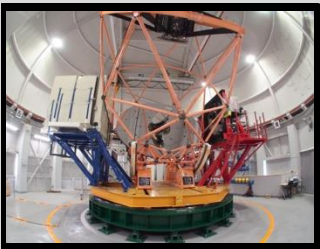
low order actuator  
 $\leftarrow$  PI S-330.2SL

Alpa DM-88  $\rightarrow$

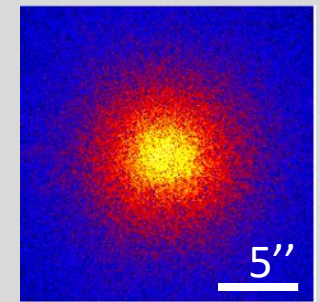


after Low-order AO

SR  $\sim$  30—50% (3''x3'';  $\lambda=1.6 \mu\text{m}$ )



From Telescope



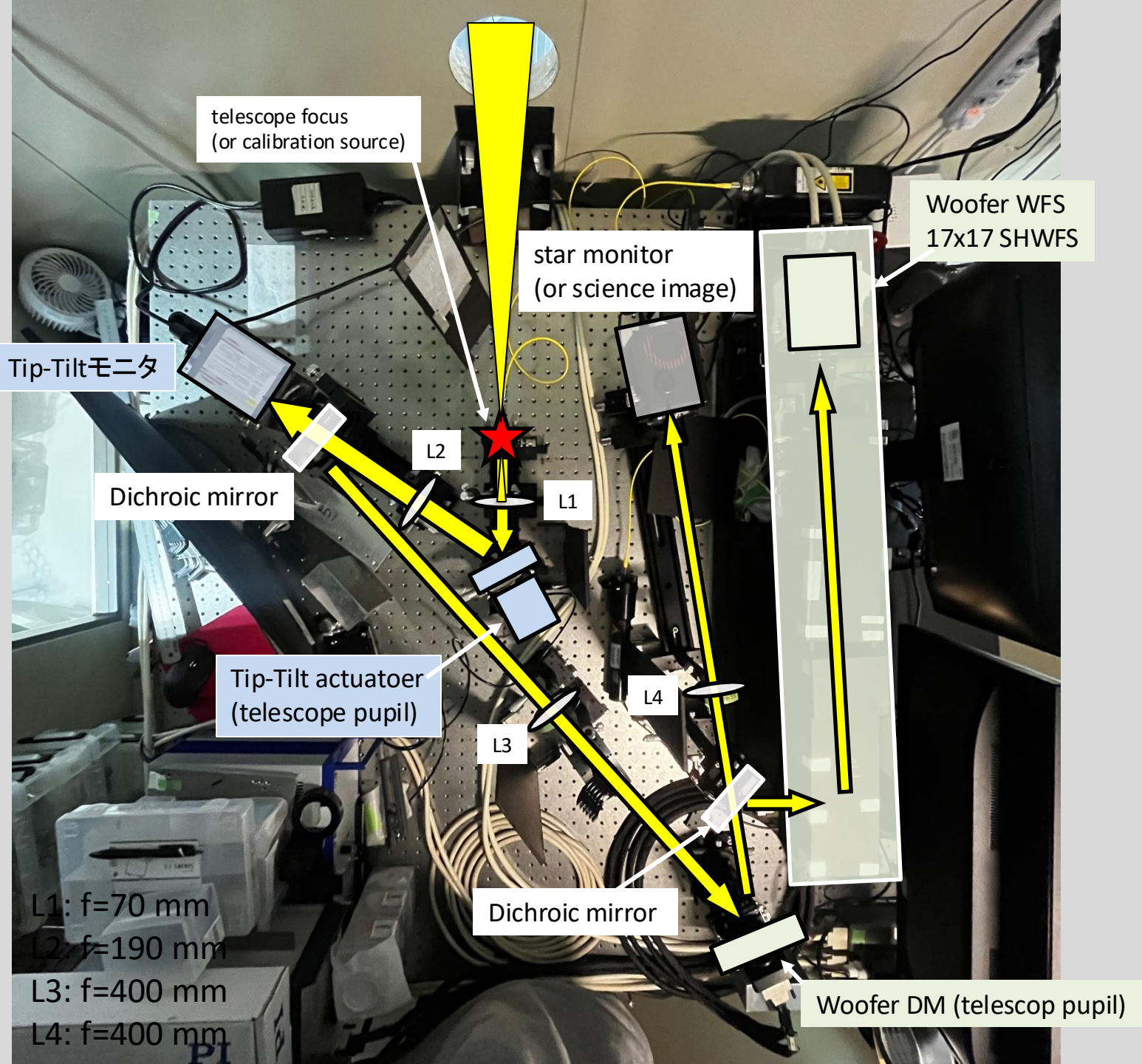
w/o AO



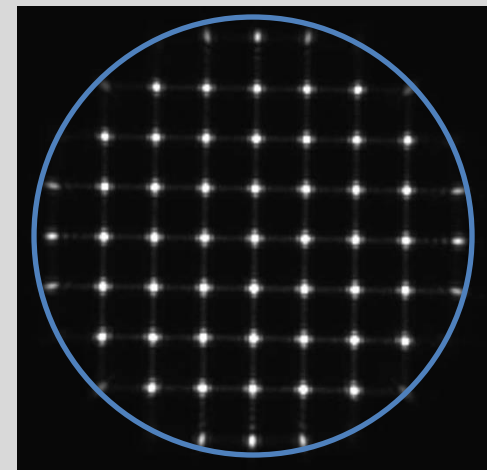
# せいめい望遠鏡での 試験観測



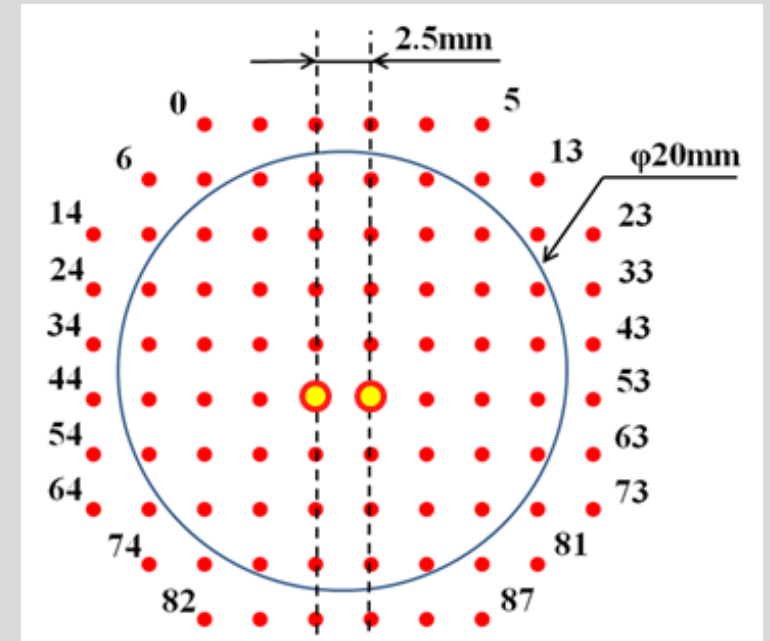




波面センサ計測点配置 (9x9)

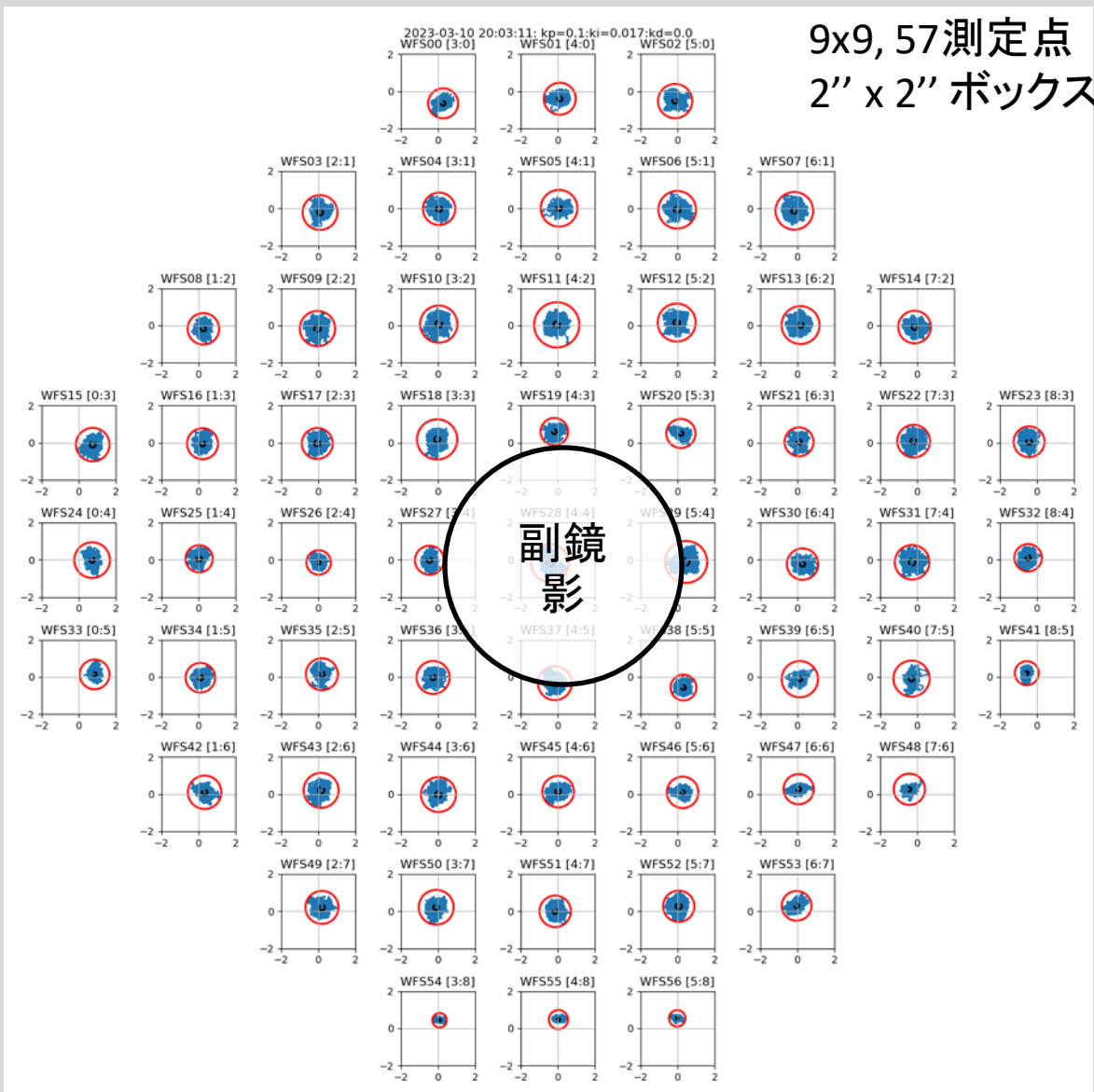


DM制御点 (8x8)



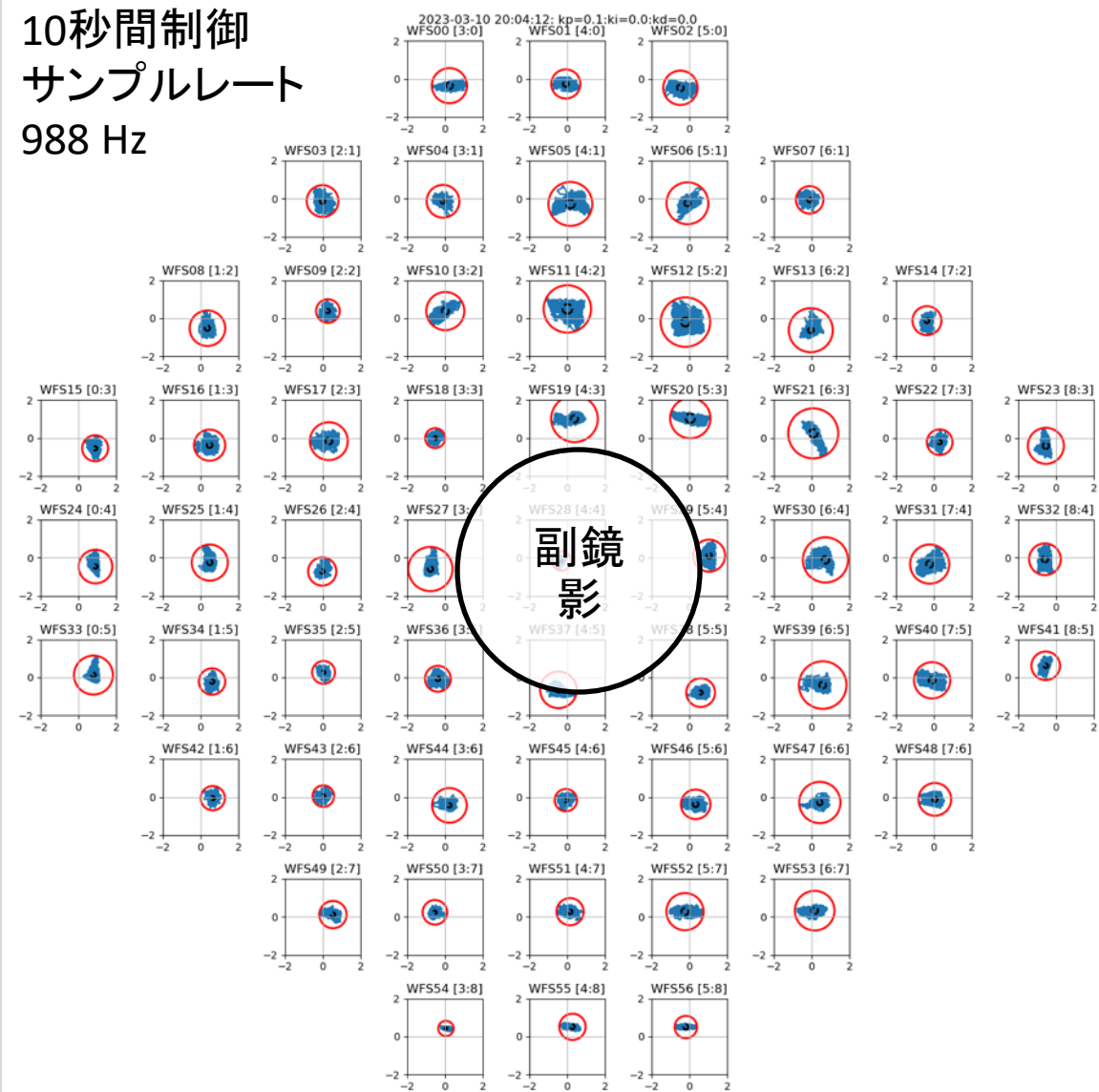


# SEICA: 低次補償光学系: SH-WFS



kp=0.1, ki=0.017, kd=0.0

10秒間制御  
サンプルレート  
988 Hz

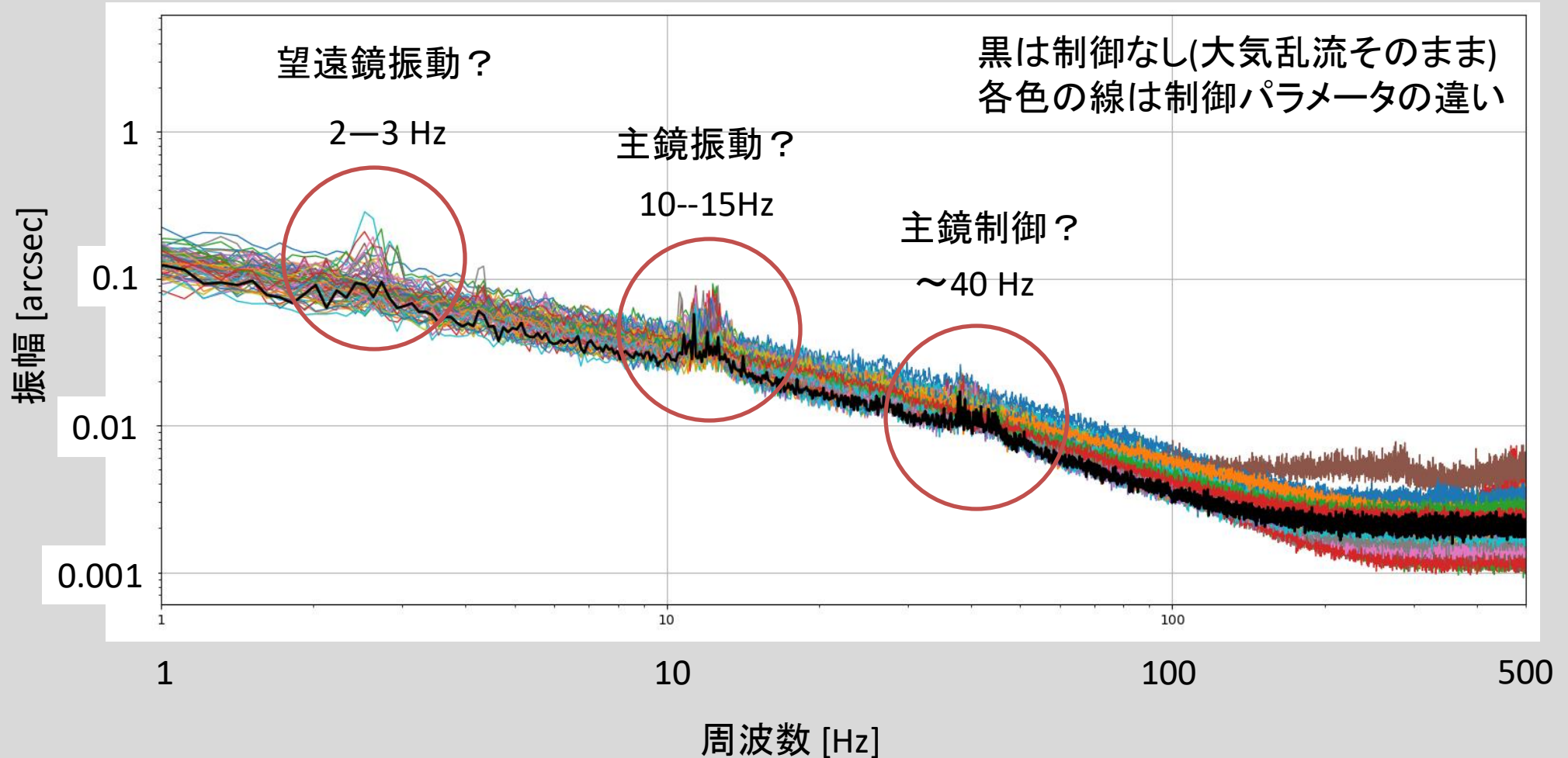


kp=0.1, ki=0.0, kd=0.0

# SEICA: 低次補償光学系:

## WFSの星像変動の周波数解析

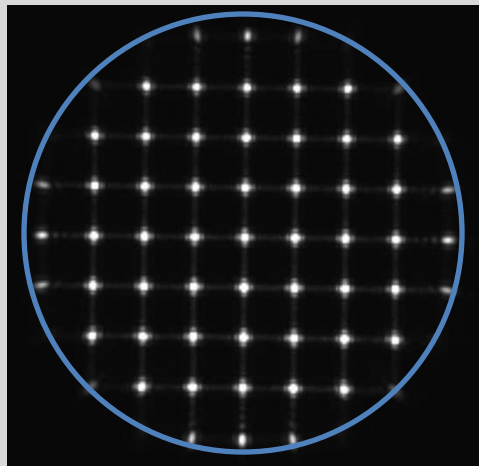
2024-02-26



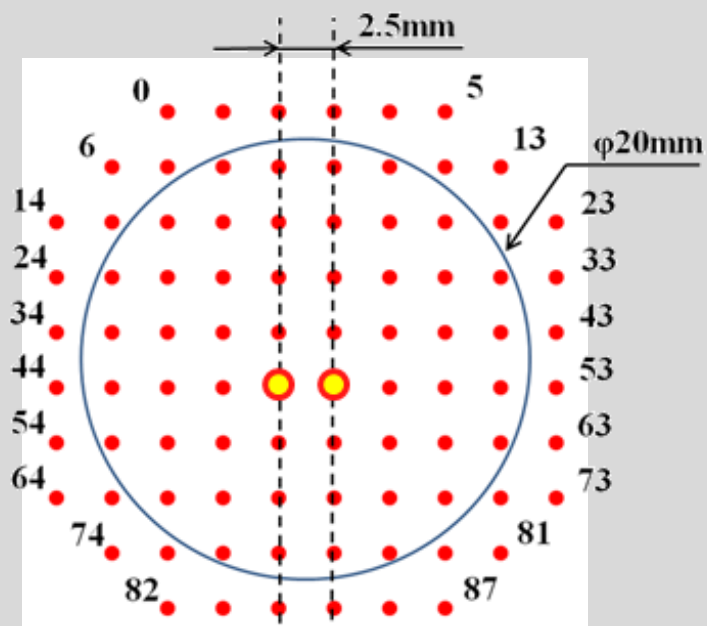


# 従来のWFSアライメント

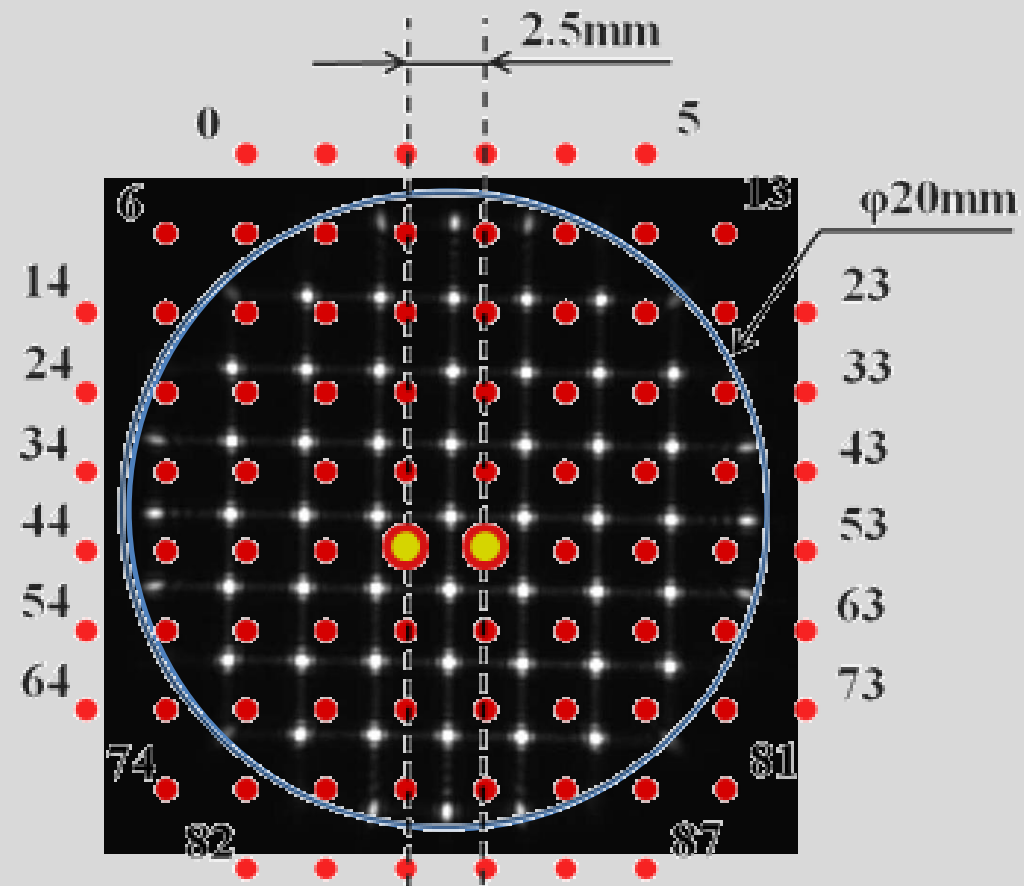
波面センサ計測点配置 (9x9)



DM制御点 (8x8)



重ね合わせ



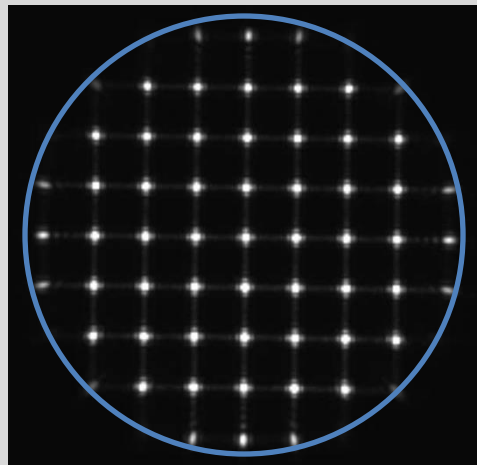
赤点 : DM制御点 (8x8)

白点 : WFS測定点(9x9)

一つの測定点が周囲4箇所のアクチュエータの影響を受けてしまっている  
→鏡面形状の情報が縮退する

# WFSアライメントの変更

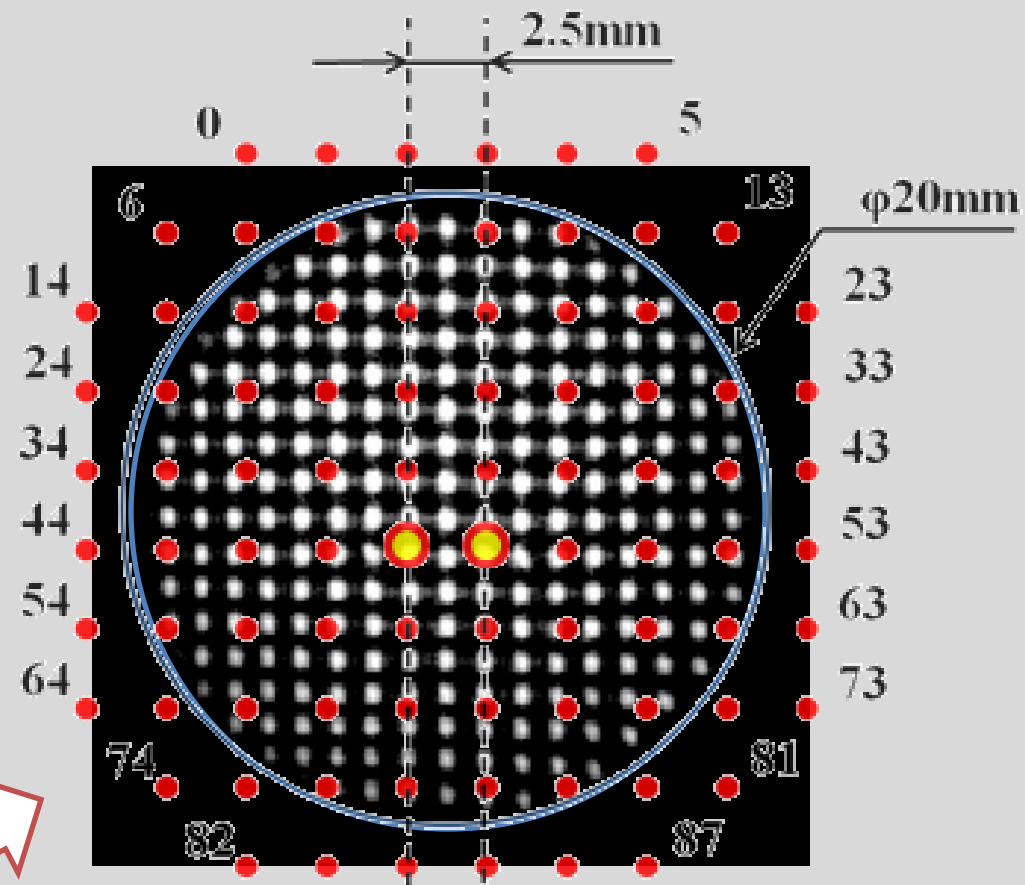
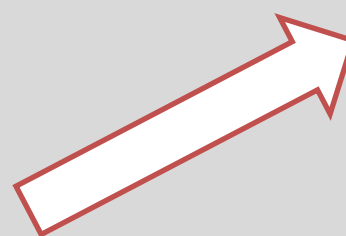
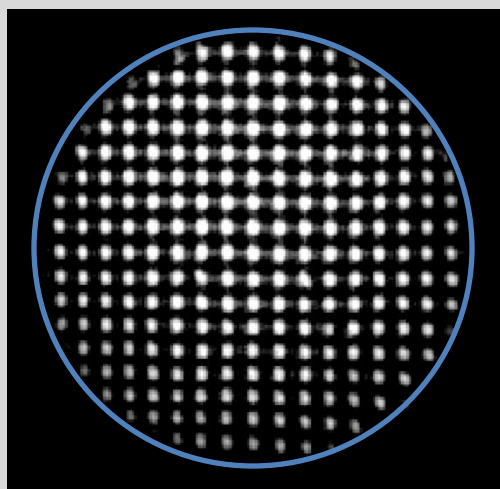
以前の計測点配置



9行9列の61点で  
波面傾斜を計測



24年5月から  
17行17列の241点で  
波面傾斜を計測



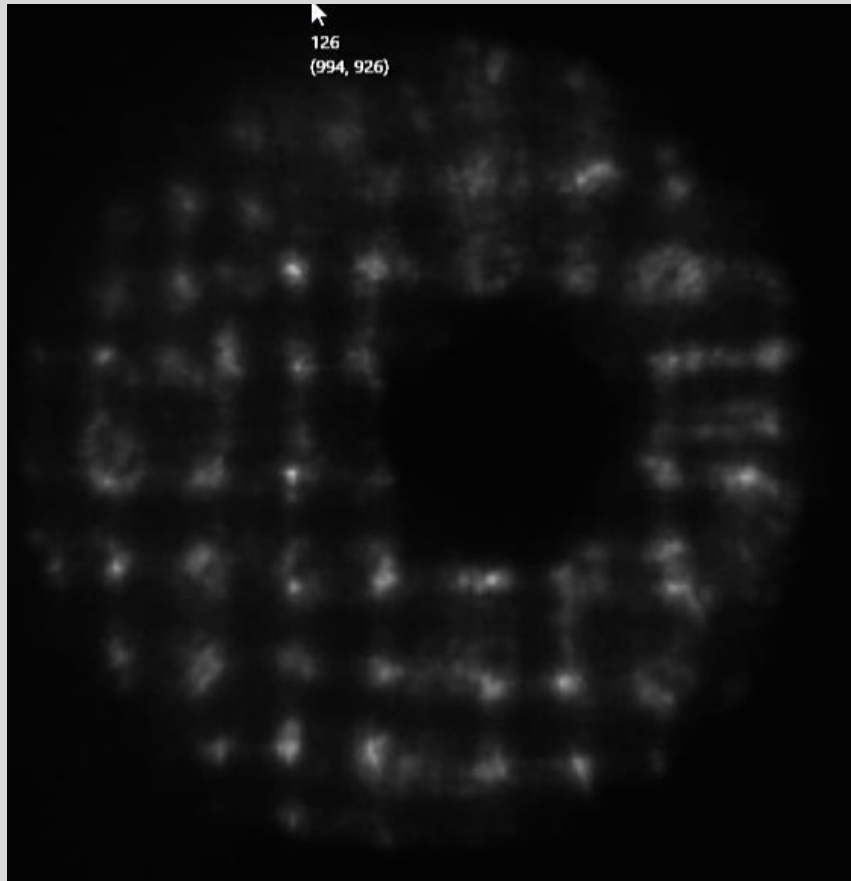
赤点 : DM制御点 (8x8)

白点 : WFS測定点 (17x17)

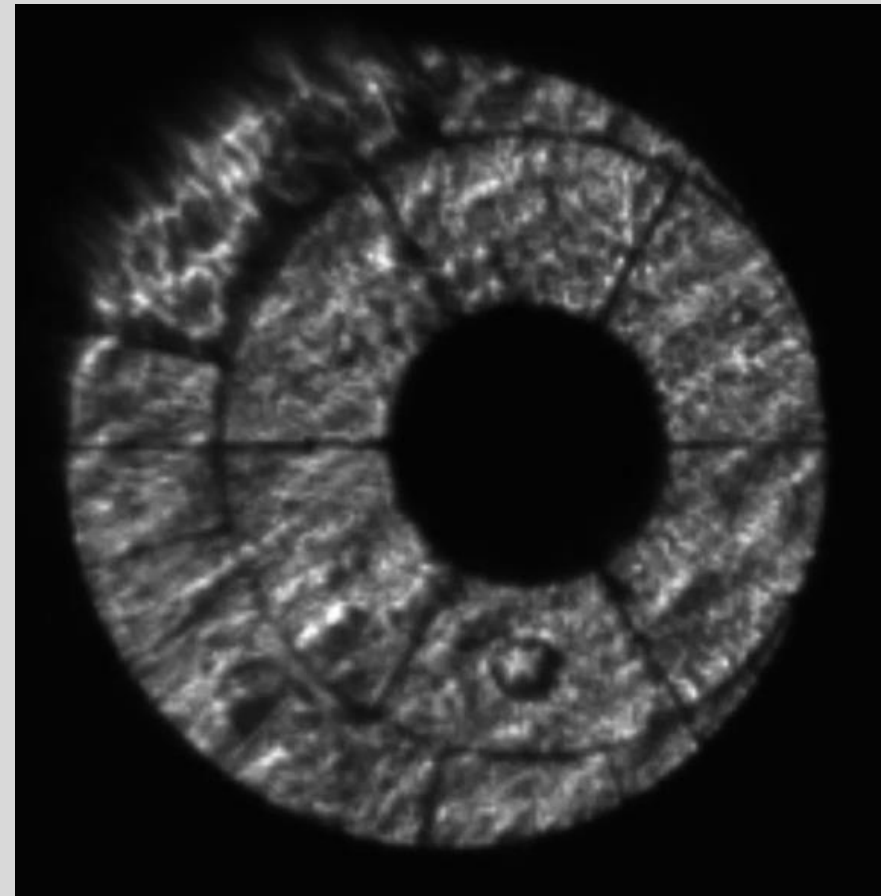
1つのアクチュエータの周囲にそれのみが  
最近傍となるような測定点が複数点存在する



# Woofers AO: 位相合わせ前のSHWFS & 瞳像



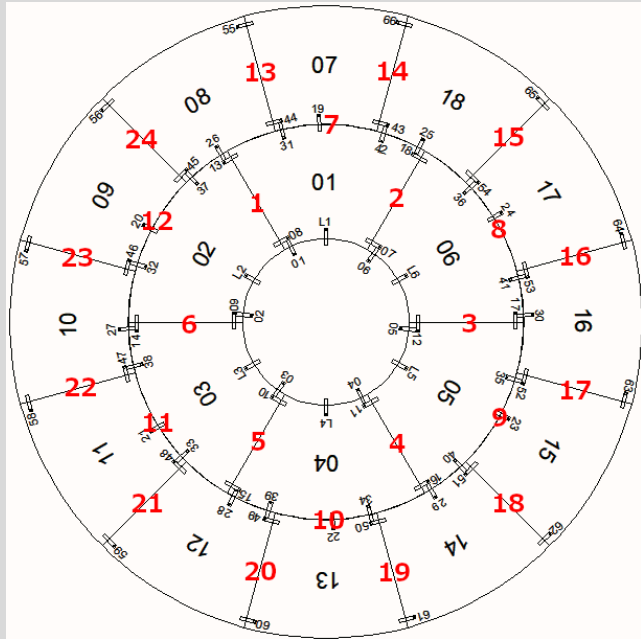
2024/02/26 Woofers AO用SHWFS



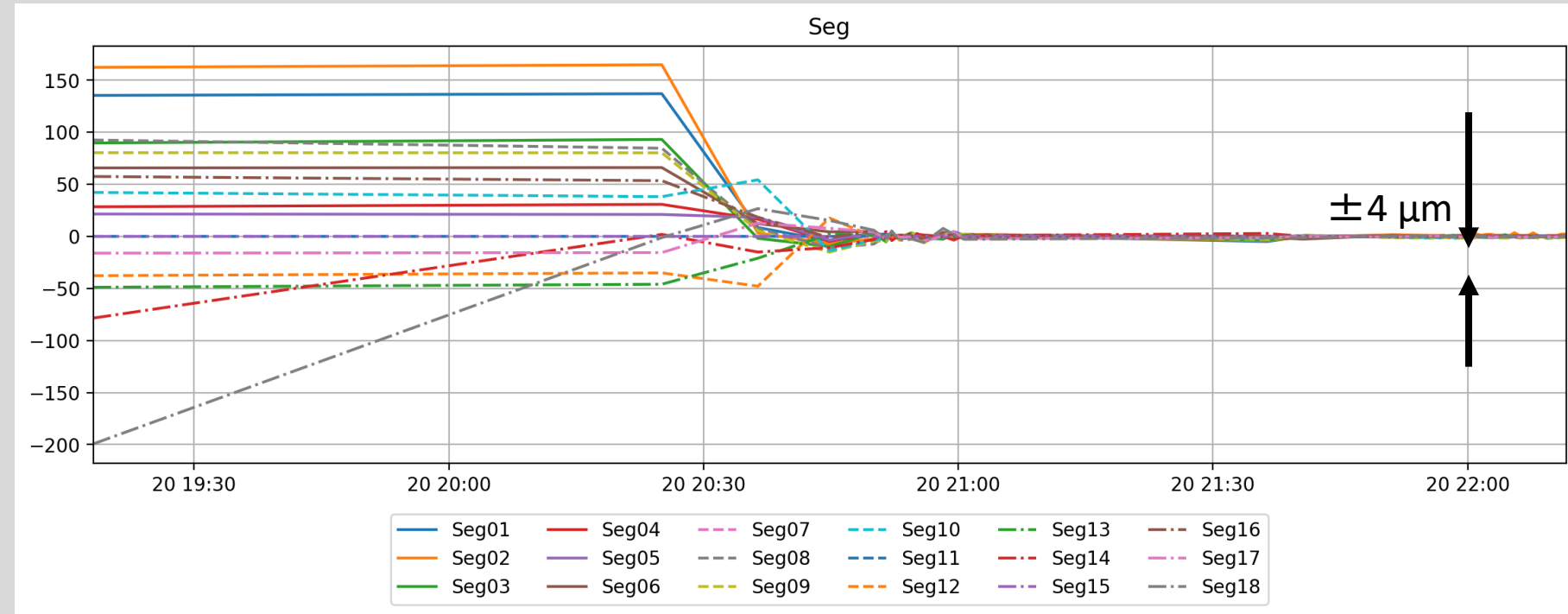
2024/02/26 マイクロレンズなし、瞳強度分布

# 分割鏡の位相合わせ

■ 2024/08/20



黒数字: 主鏡セグメント番号  
赤数字: キャップ番号



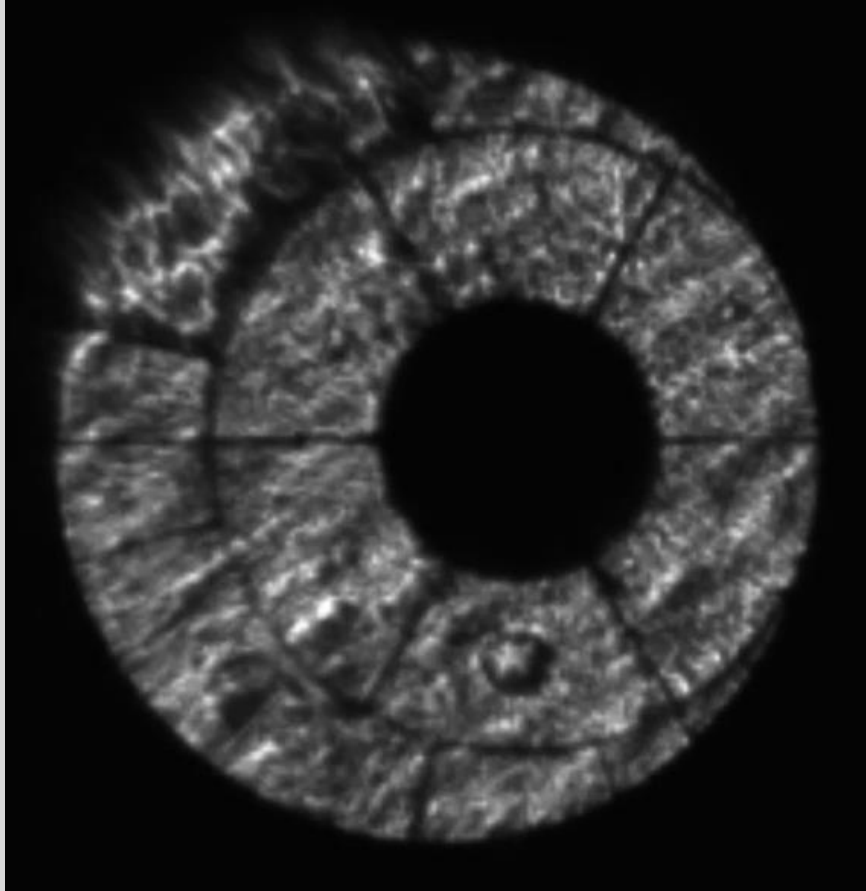
主鏡セグメントの回転調整後のセグメント高さ計測

主鏡調整直後は $\pm 200 \mu\text{m}$ 程だったセグメント高さが $\pm 4 \mu\text{m}$ ほどに  
→AOを行うにはまだ不十分  
→その後 $\pm 0.5 \mu\text{m}$ まで

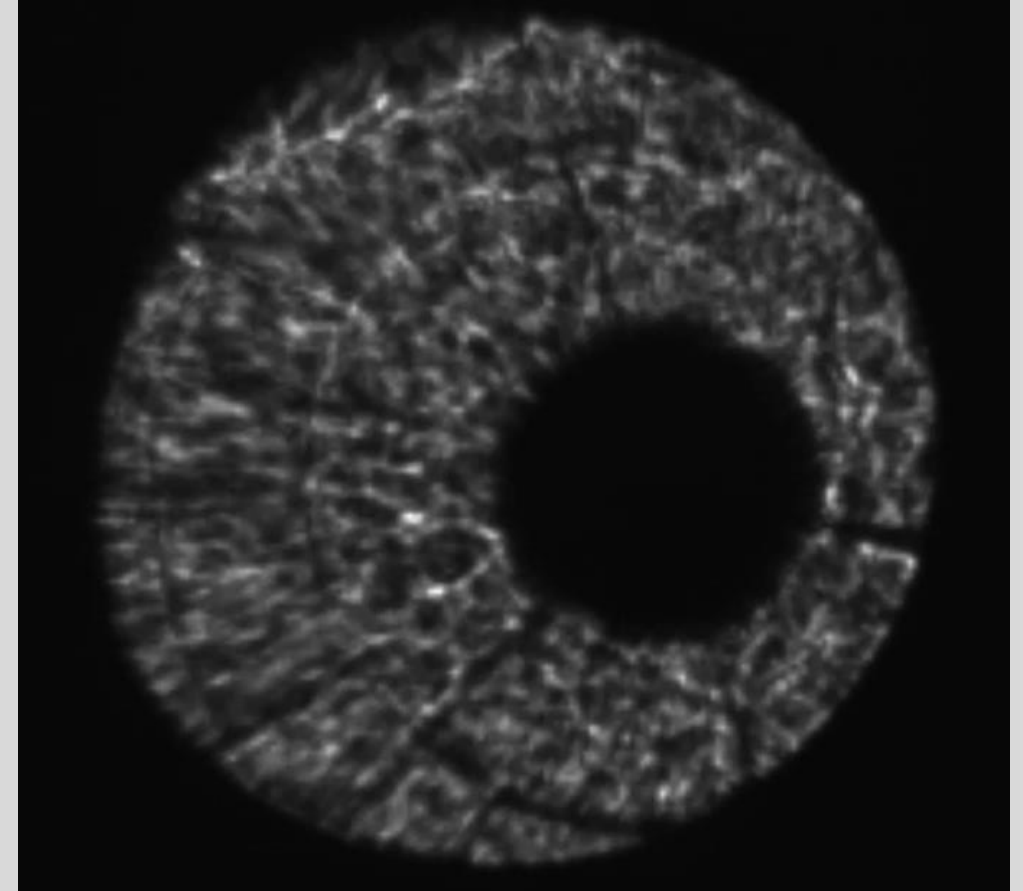


# 位相カメラを用いた主鏡位相合わせ前後の瞳像

- 位相合わせ後に瞳像を確認。 悪天候のため乱流が強い



位相合わせ



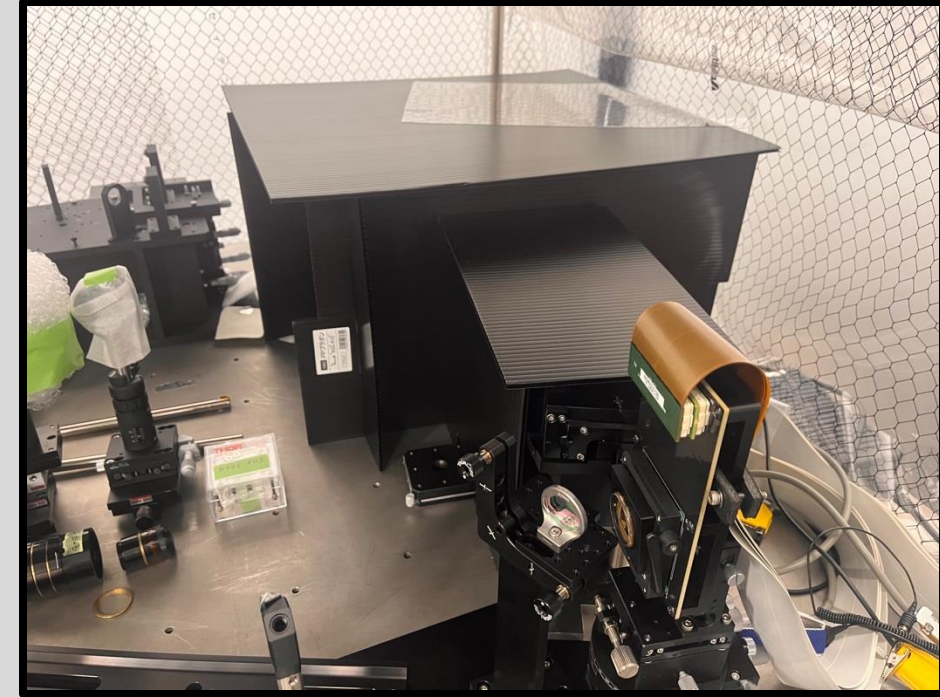
2024/02/26 マイクロレンズなし、瞳強度分布

2024/08/27 マイクロレンズなし、瞳強度分布  
 $\pm 0.5 \mu\text{m}$

位相をあわせた状態でSHWFSの解析をしたいが天候に恵まれず

# 前回のUMからの進捗

- 光学系の製作がほぼ完了
  - ◆ Woofer AOとTweeter AOを接続する部分が最後
- Woofer用SHWFSの改修: 進行中
  - ◆ 測定点を $9 \times 9 \rightarrow 17 \times 17$ に
  - ◆ プログラムの見直し。 $990 \text{ Hz} \rightarrow 1.2 \text{ kHz}$ へ
  - ◆ 位相合わせと悪天候でデータが取れていない
- Tweeter AOを岡山に移設、実験中
  - ◆ 大気乱流を模擬した波面乱れを用いた実験開始
  - ◆ 制御パラメータの最適化中
- コロナグラフSPLINEの岡山移設を計画
  - ◆ 25年度中にTweeterとの組み合わせ実験



実験用カバーを取り付けたTweeter AO