

極限補償光学装置の進捗

山本広大(京都大学)

SEICA開発チーム

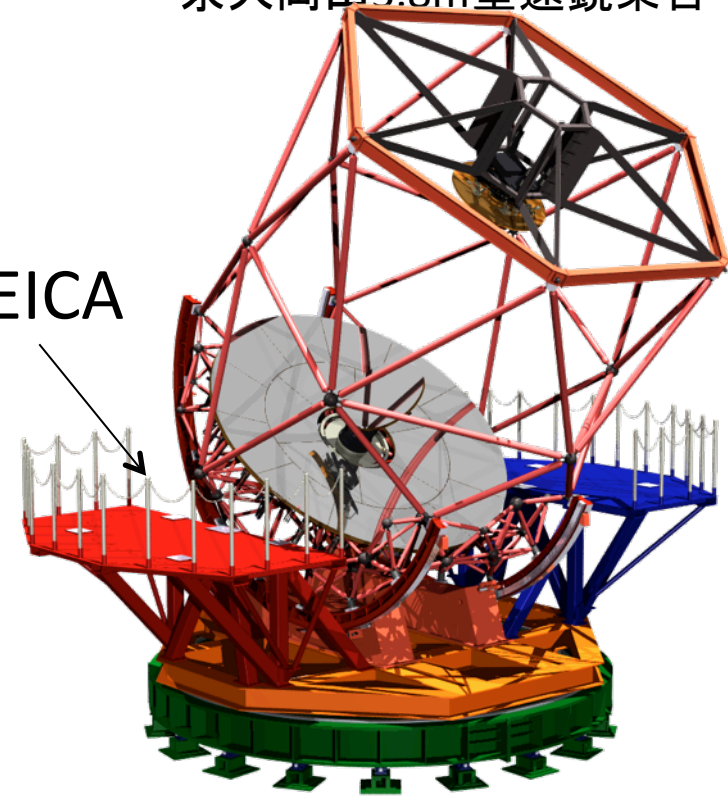
京大岡山3.8m望遠鏡架台

惑星撮像装置SEICA[Second-generation
Exoplanet Imager with Coronagraphic Ao]

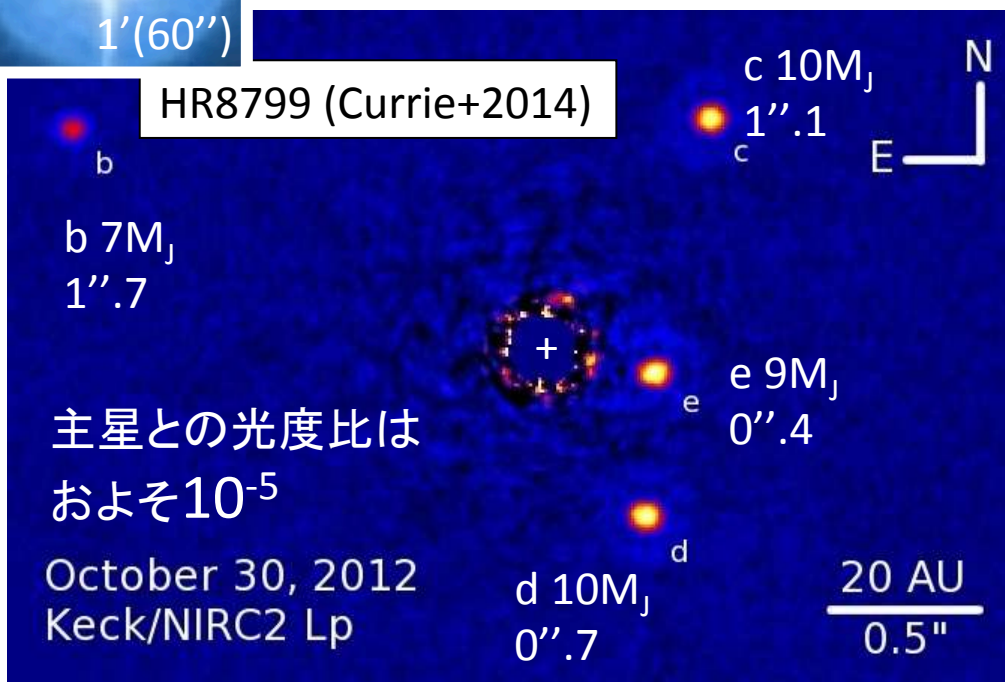
内容

- SEICAの意義・目的
- SEICA-ExAOの進捗

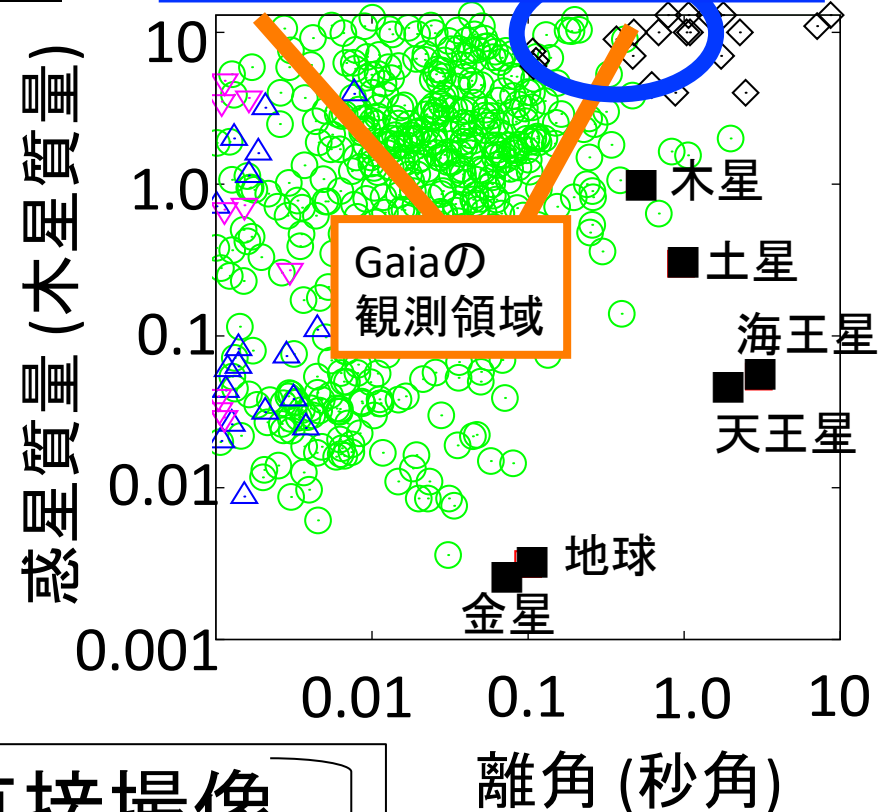
SEICA



SEICA: 意義・目標



他観測で発見済の惑星を観測
→キャラクターゼーション



- ◆木星型太陽系外惑星の直接撮像
→ $0''.2-0''.3$ で $10^{-5}\sim-6$
- ◆先進技術のテストベッド [FPGA制御, PDI WFS, SPLINE, ポストプロセス]

H31/2019
にFL

SEICA: 意義: Imaging観測の難点

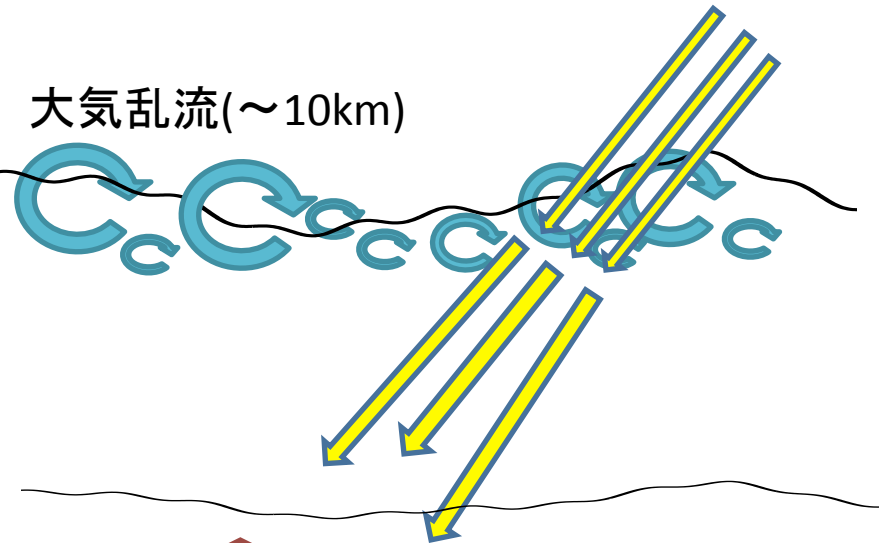
◆天体からの光は大気乱流で乱れる

温度ムラ→密度ムラ→屈折率ムラ

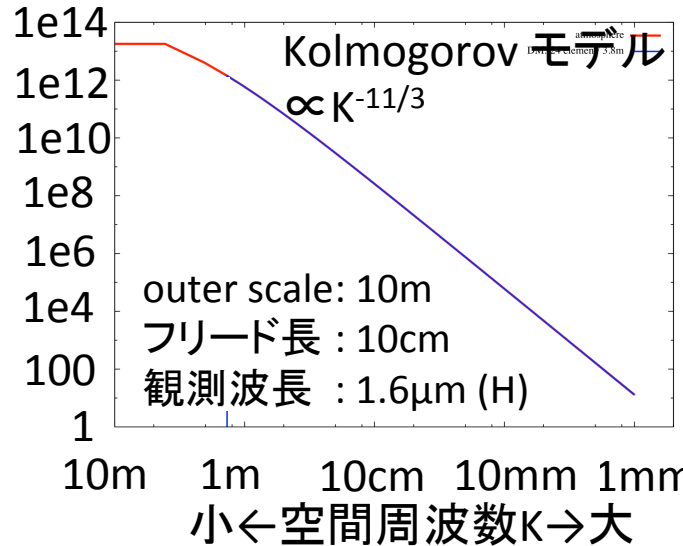
乱流渦の大きさ 数cm—数十m



大気乱流(~10km)



大気乱流のパワースペクトル



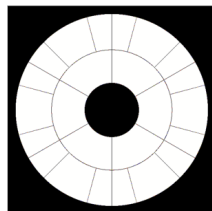
望遠鏡主鏡面での
位相ムラ(シミュレーション)

地上

望遠鏡

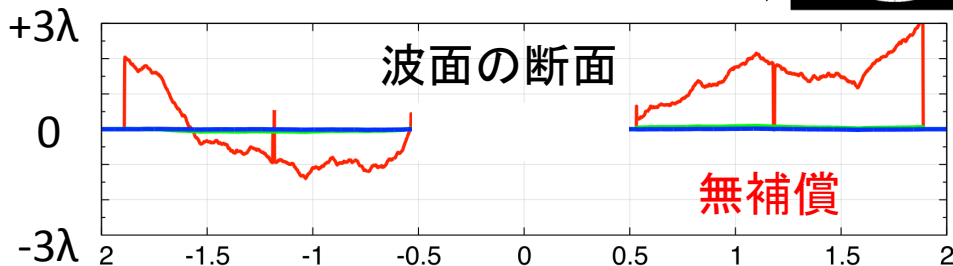
望遠鏡瞳パターン

3.8m

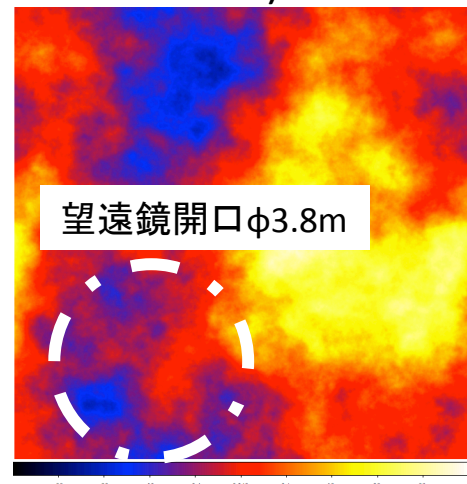


8.2m

望遠鏡開口 ϕ 3.8m



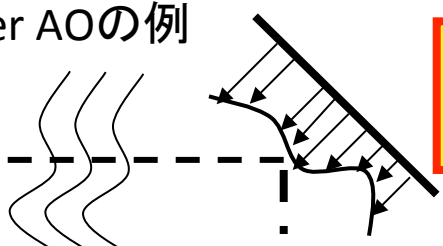
$\pm 7.5\lambda$



SEICA: 意義:: 補償光学

◆ 大気による波面乱れをリアルタイム補正

Woofer AOの例



大気乱流で乱れた波面

ビームスプリッタ

補償された波面 ($\lambda/4$: rms)

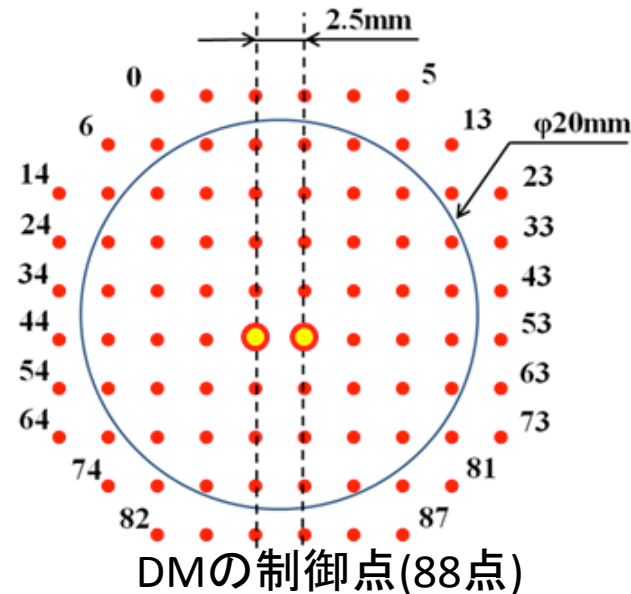
1. DM
可変形鏡

3. 計算
システム

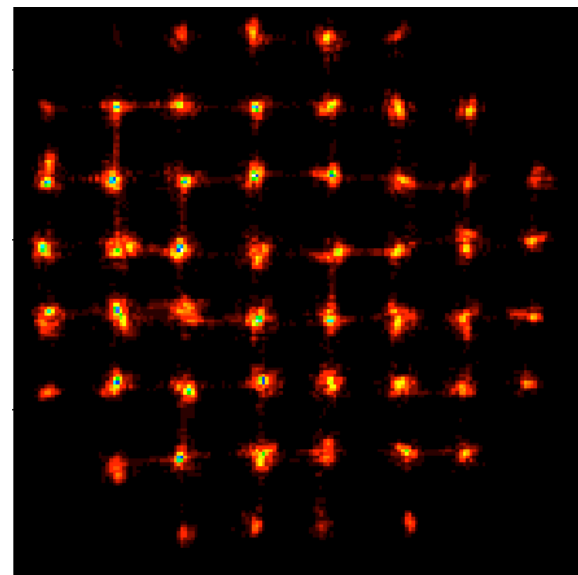
2. WFS
波面センサ



仕様を決定する



DMの制御点(88点)



WFSの測定点(52点)

SEICA: 光学系:: 概念図

天体から



地球大気



望遠鏡 (主-第三鏡)



SEICA

前置光学系



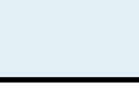
ExAO



コロナグラフ



赤外カメラ

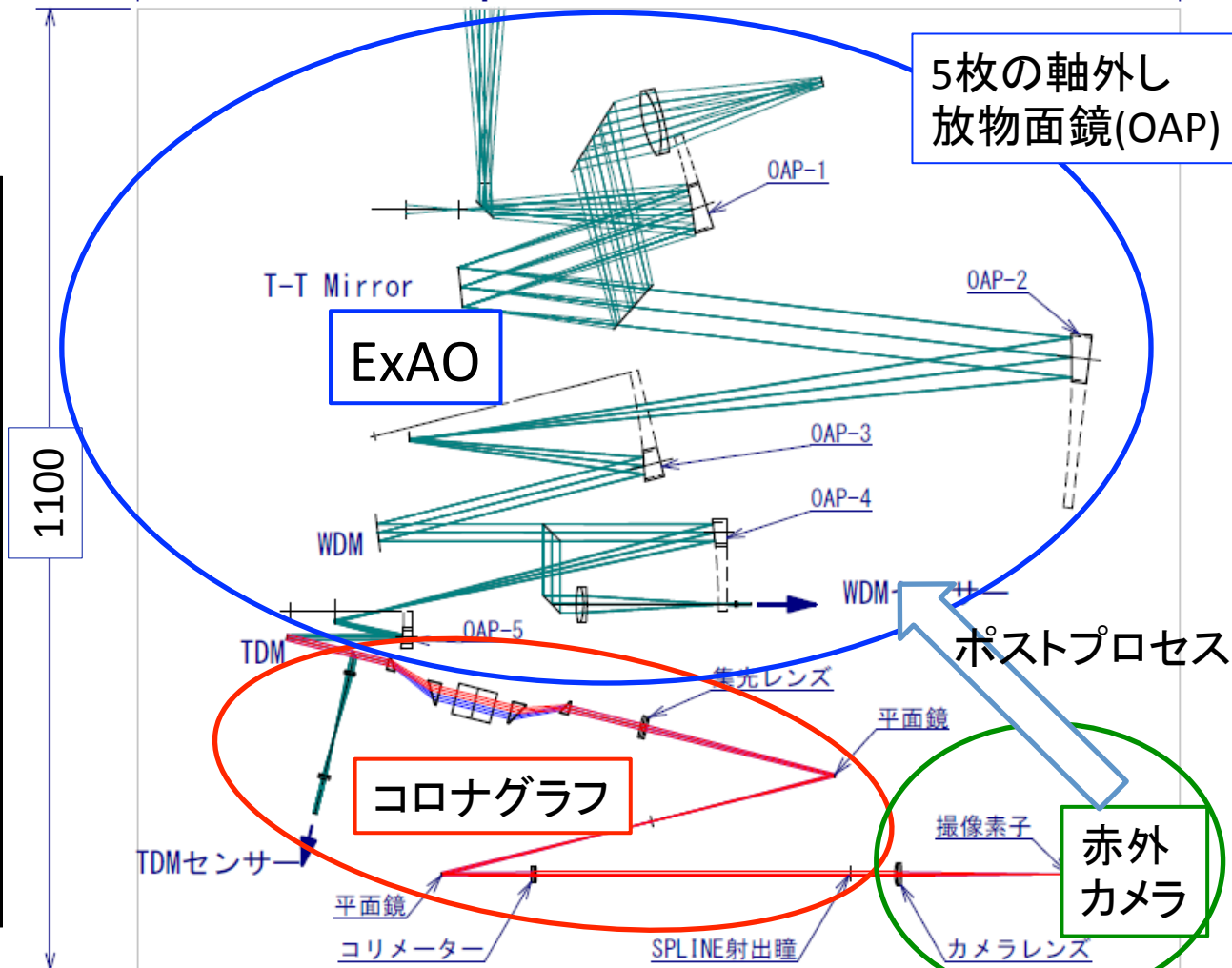


望遠鏡→前置光学系からの入射光線

400

800

1100



SEICA: ExAOパート(極限補償光学系)

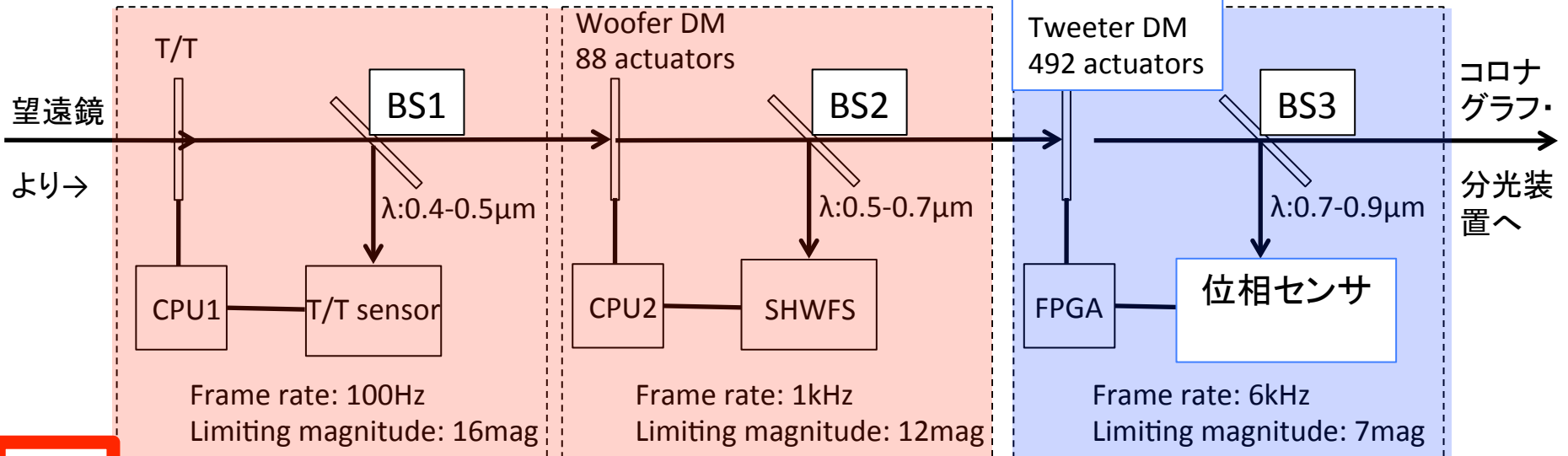
傾斜計測: T/T + Woofer
低速、粗い波面制御

位相計測: Tweeter
高速、高精度波面制御

Tip/Tilt部 視野内で星像を安定させる

Woofer部 $\lambda/4$ 程度まで波面補償する

Tweeter部 $\lambda/20$ 程度まで波面補償する



目標

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

←コロナグラフにおいて何処までの精度が必要か再検討中

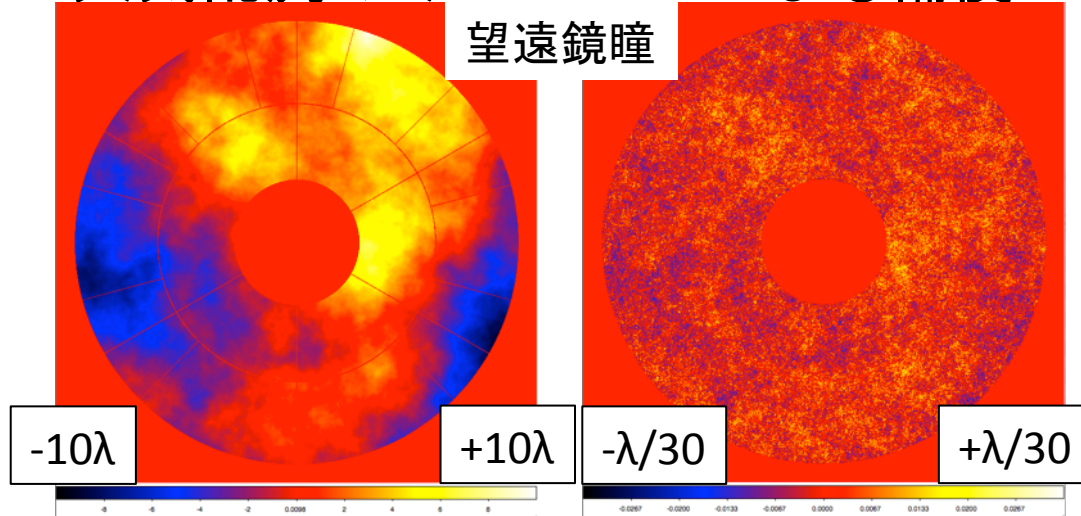
$0''.2 - 0''.3$ で $10^5 - 6$

SEICA: ExAO後のコントラスト

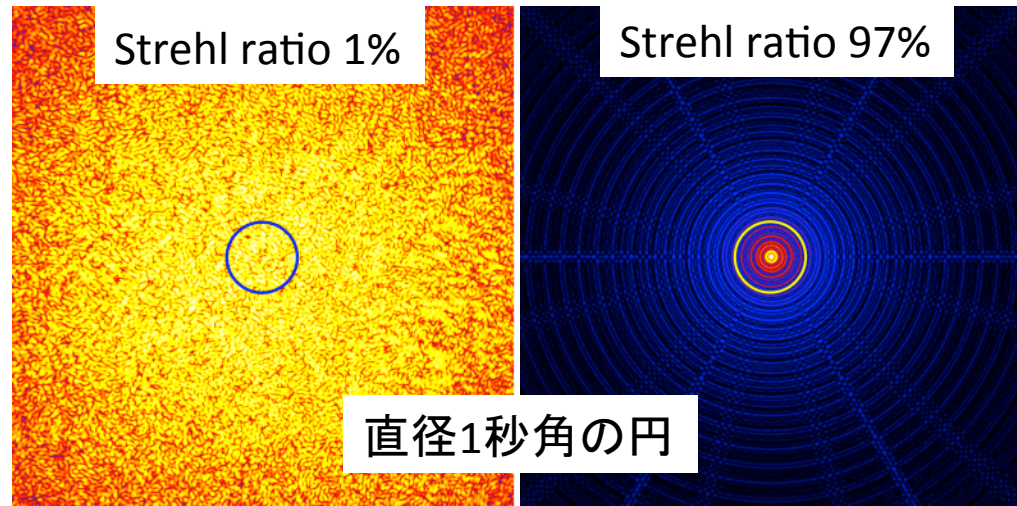
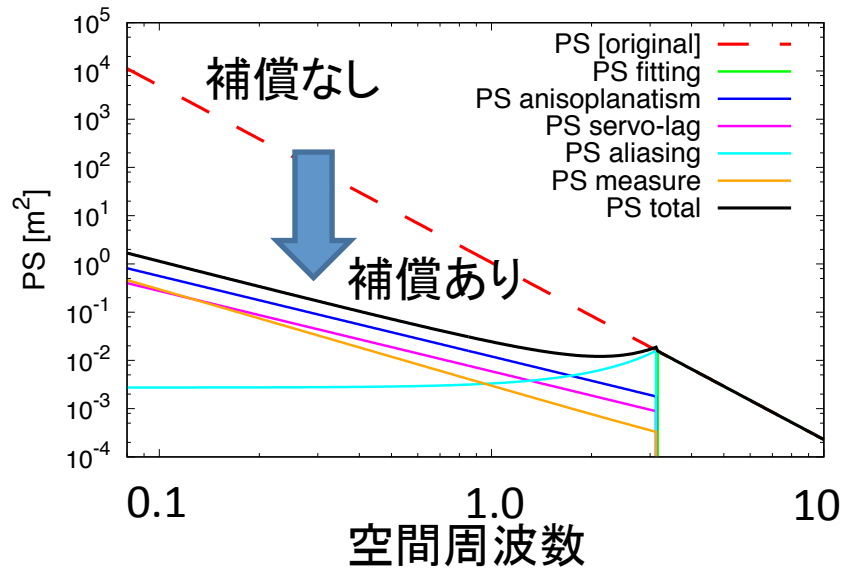
乱流層: 高度10km
 フリード長: 10cm
 風速: 10m/s
 天頂角: 60度 (仰角30度)
 センサー波長: 0.8 μ m
 観測波長: 1.65 μ m
 波面測定: 8.5kHz (制御850Hz)
 補償点数: 差し渡し24素子
 計495素子

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



補償前/後の位相形状と星像(時間平均なし: 10msec)

ExAO進捗:

1. AO制御実験[Woofer AO]

1. Woofer実験環境整備

1. 光学系調整

2. Woofer実験開始

1. 基準実験系での試験 [AO基本性能, 風速, 等級etc...]
2. WFSパラメータの最適化試験[マイクロレンズ, ROI etc...]
3. 近赤外対応

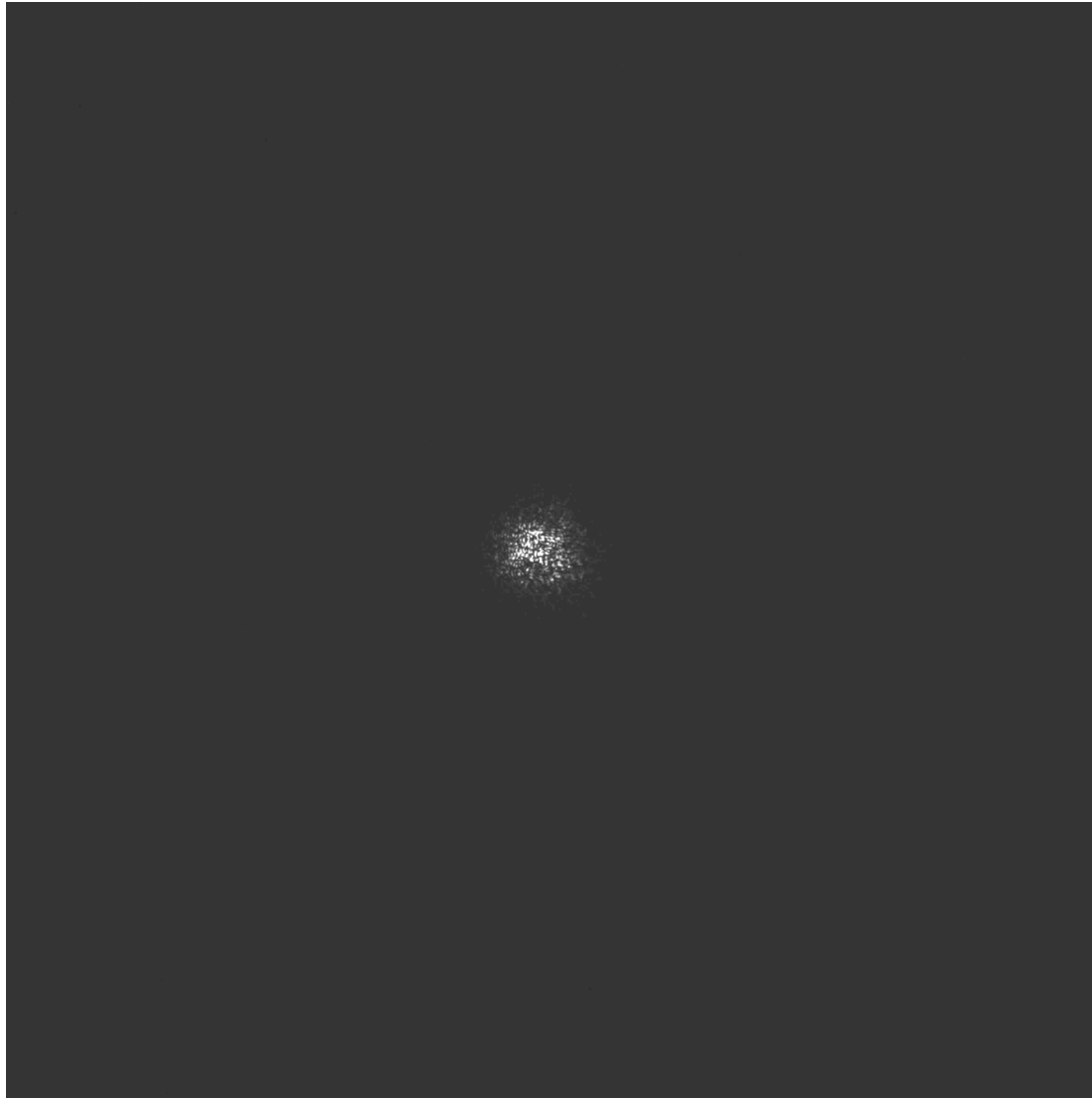
2. SEICA実機設計: Woofer AO

1. Woofer用SHWFS構造体最終設計

3. H29年度予算への応募

1. 自然科学機構(NINS)分野融合共同研究
2. 国立天文台共同開発経費

ExAOノパート:: WooferAO動作

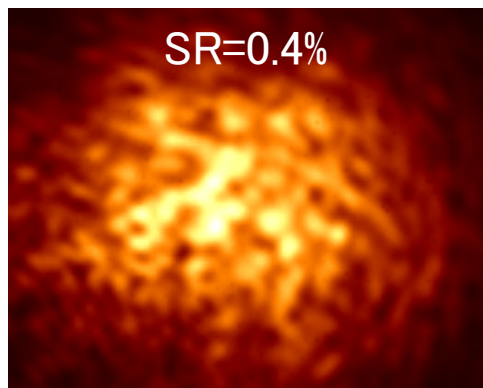
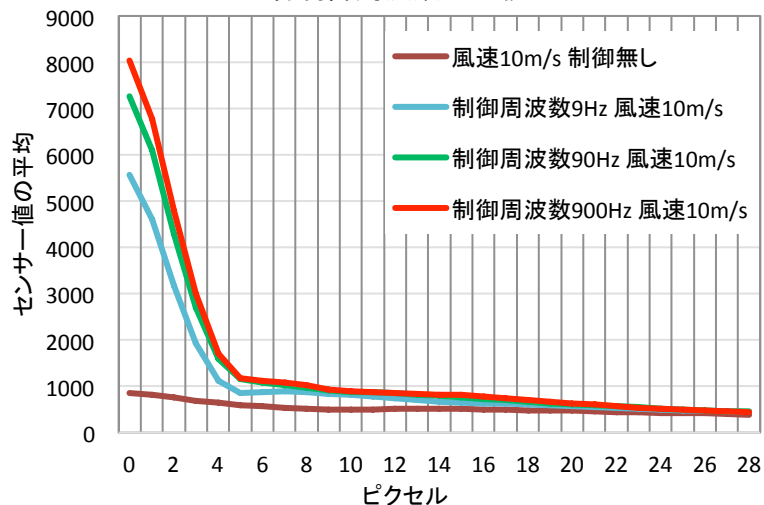


AO時
FWHM ~ 6 pix
回折限界
FWHM 4.5pix

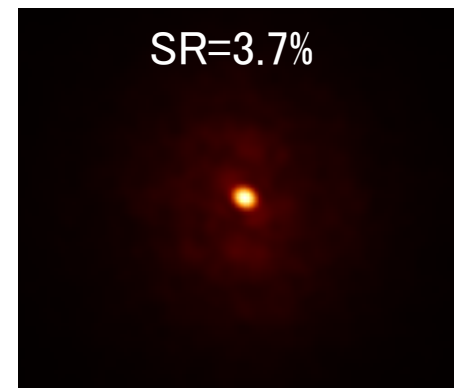
Woofer AO動作時の星像 (He-Neレーザー光源, 風速10m/s, 制御900Hz)

ExAOパート:: 評価試験 星像モニタ

各制御周波数の比較

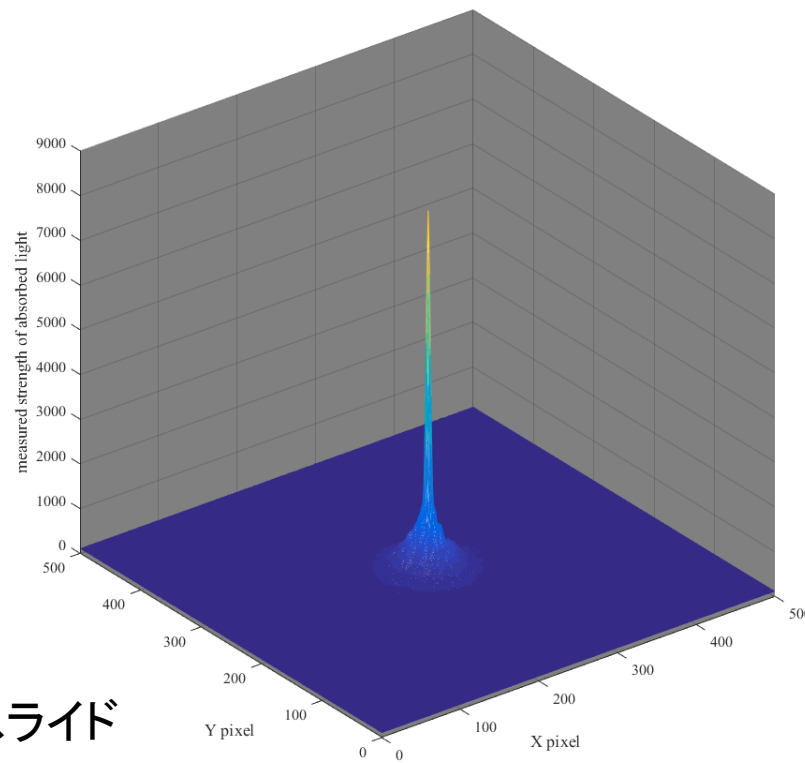
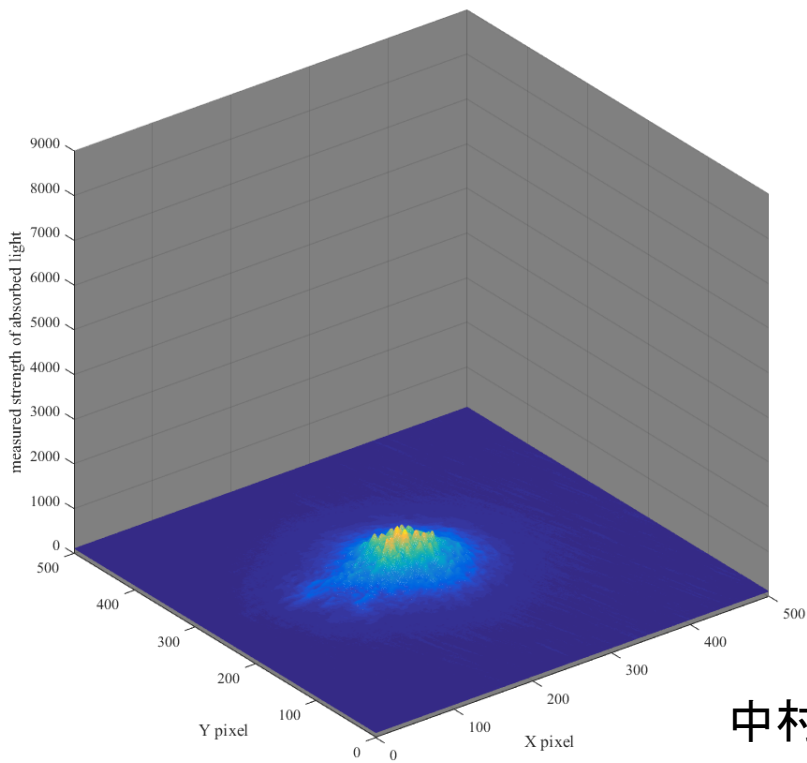


風速 10m/s 制御無し



風速 10m/s 制御周波数900Hz

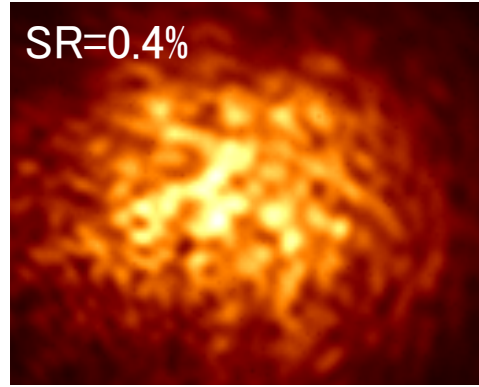
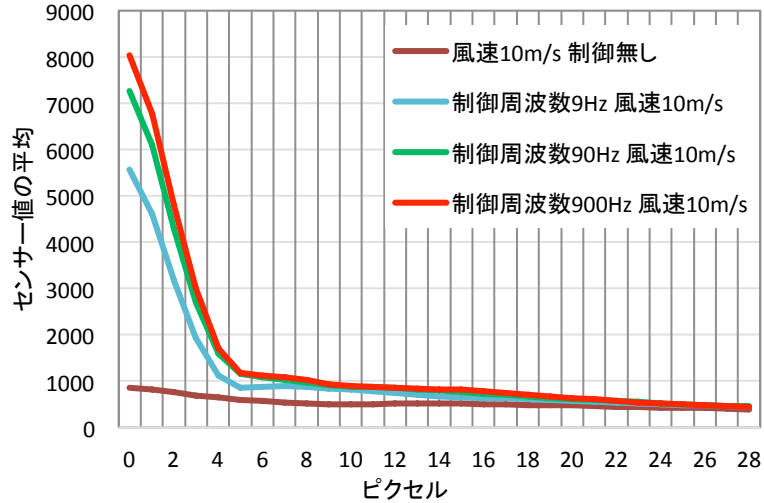
$\lambda = 633\text{nm}$ 風速10m/s 星像モニタ(16秒間平均 26fps)



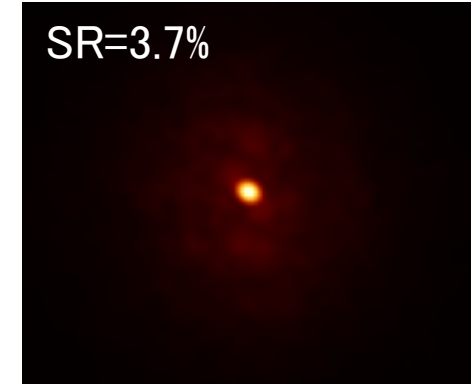
中村君スライド

ExAOパート:: 評価試験 SR測定

観測カメラの画像の比較



風速 10m/s 制御無し

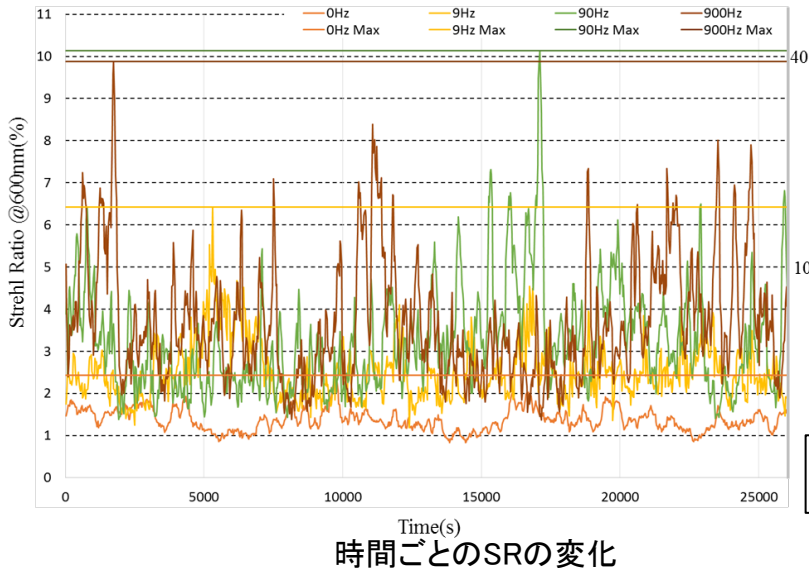


風速 10m/s 制御周波数900Hz

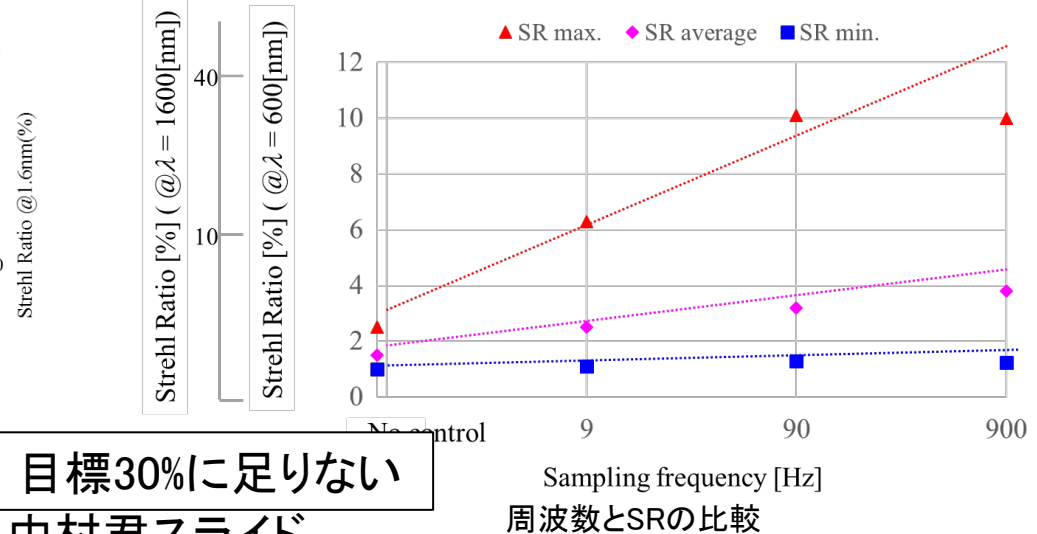
$\lambda = 633\text{nm}$ 風速10m/s 星像モニタ(16秒間平均 26fps)

制御無しに比べてSRが上昇しているが
不安定なSR変動

制御帯域が高速化すると補償精度も向上

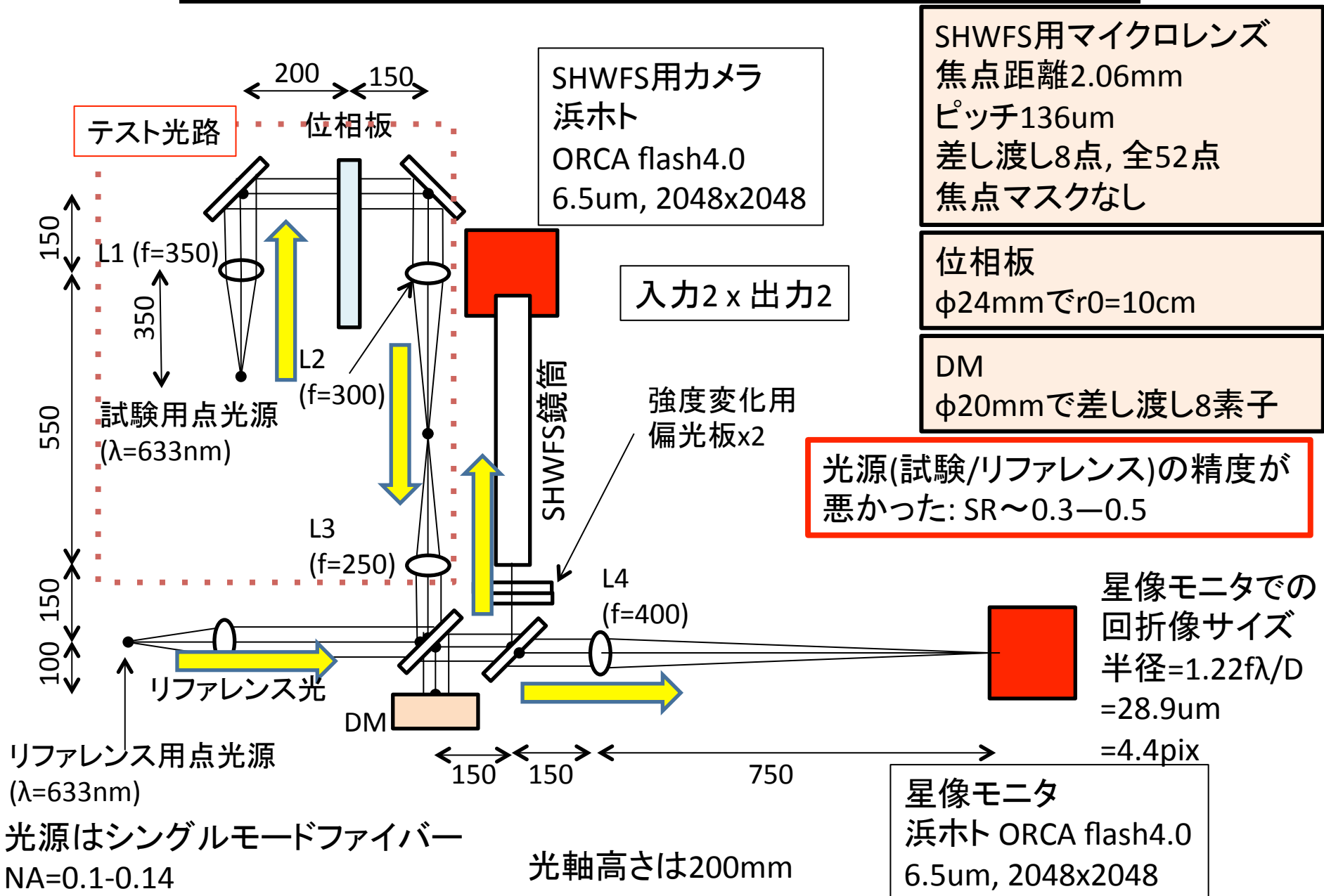


目標30%に足りない
中村君スライド

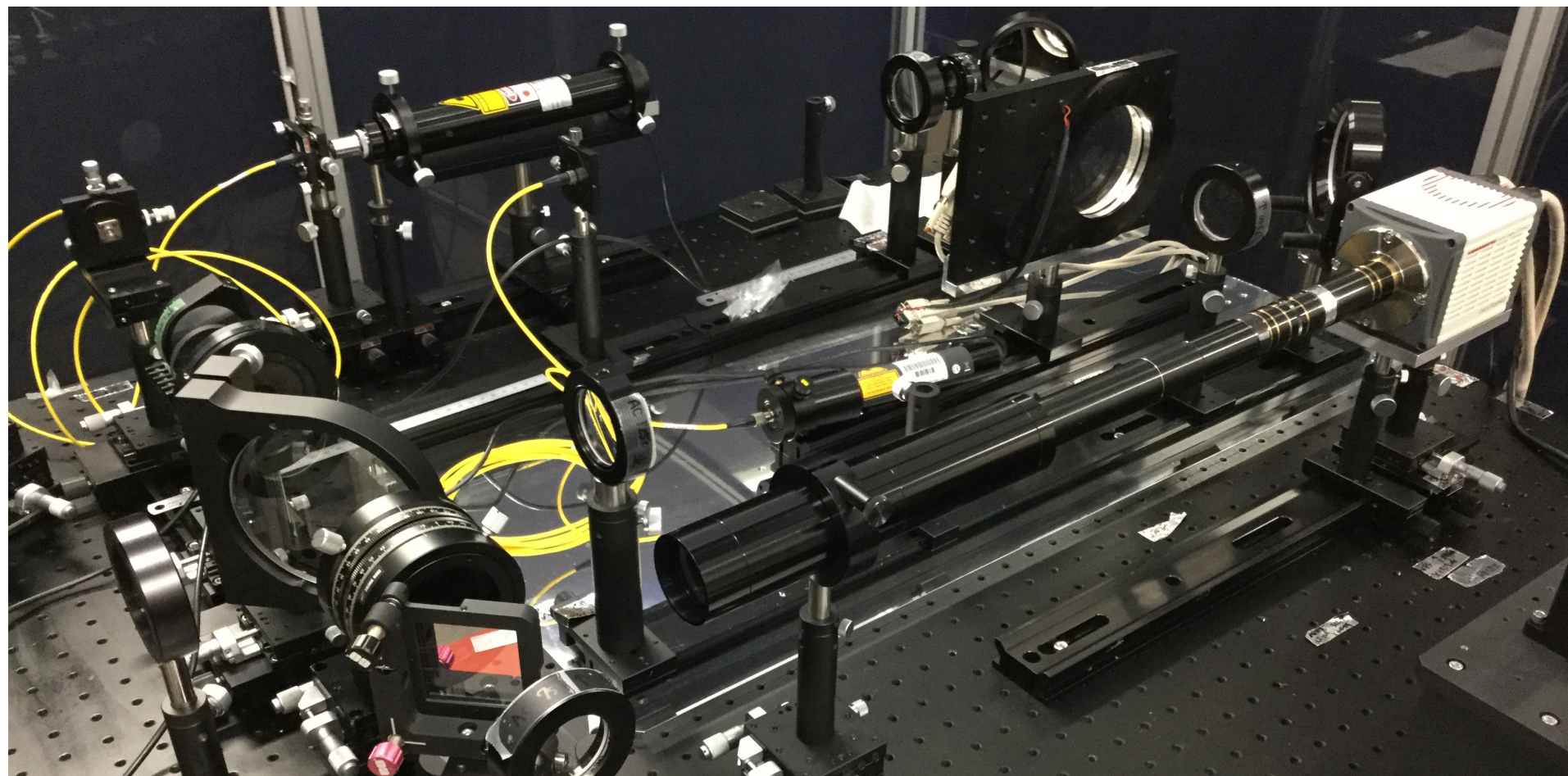


周波数とSRの比較

ExAOパート:: 性能評価試験



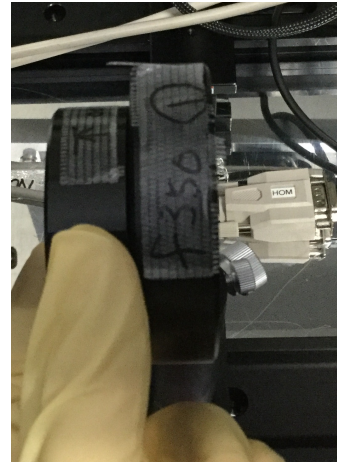
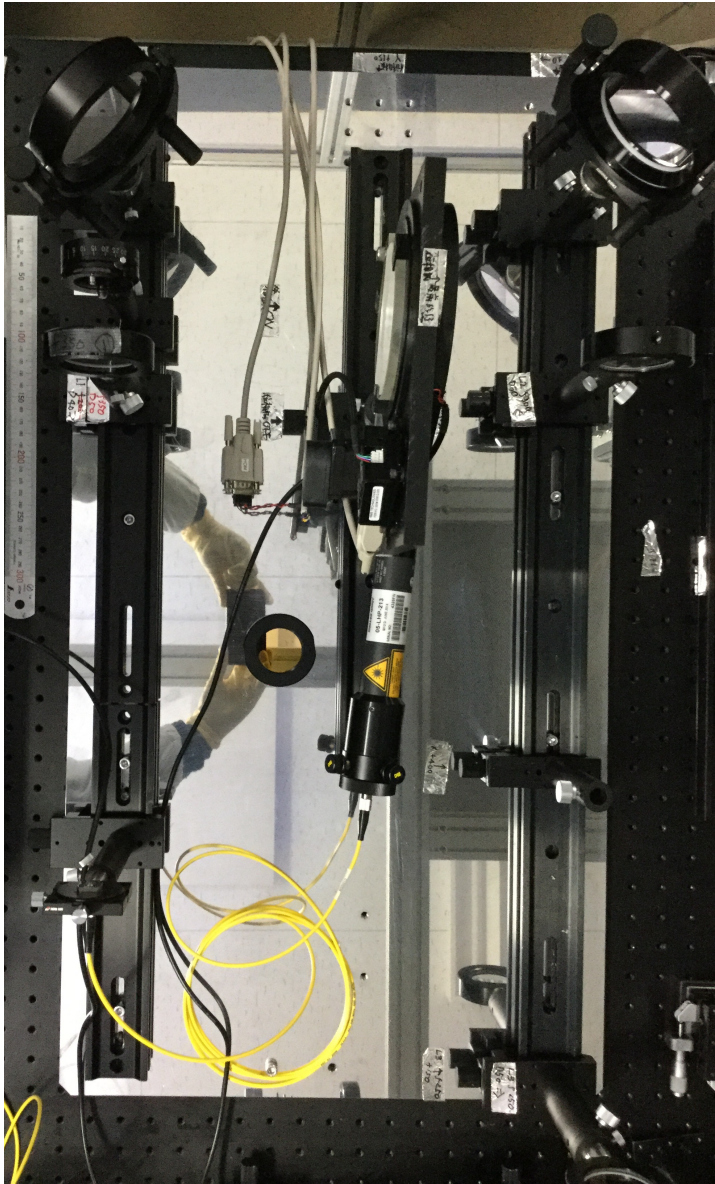
ExAOパート: 光源精度の向上



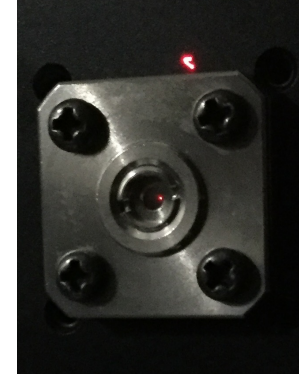
実験用光源の調整

試験光源系

- ◆ 光源全体をひとつのユニットに
- ◆ 非点収差が大→レンズの設置角度を ± 0.5 度以内
 - 波面精度 PV: 0.16λ , rms: $0.04\lambda \rightarrow SR=0.92$
レンズの角度確認



レンズの背後に
平面鏡設置



光源(ファイバー)
高さ, 角度ズレ



高さ, 角度
100um, 1分角
で調整完了

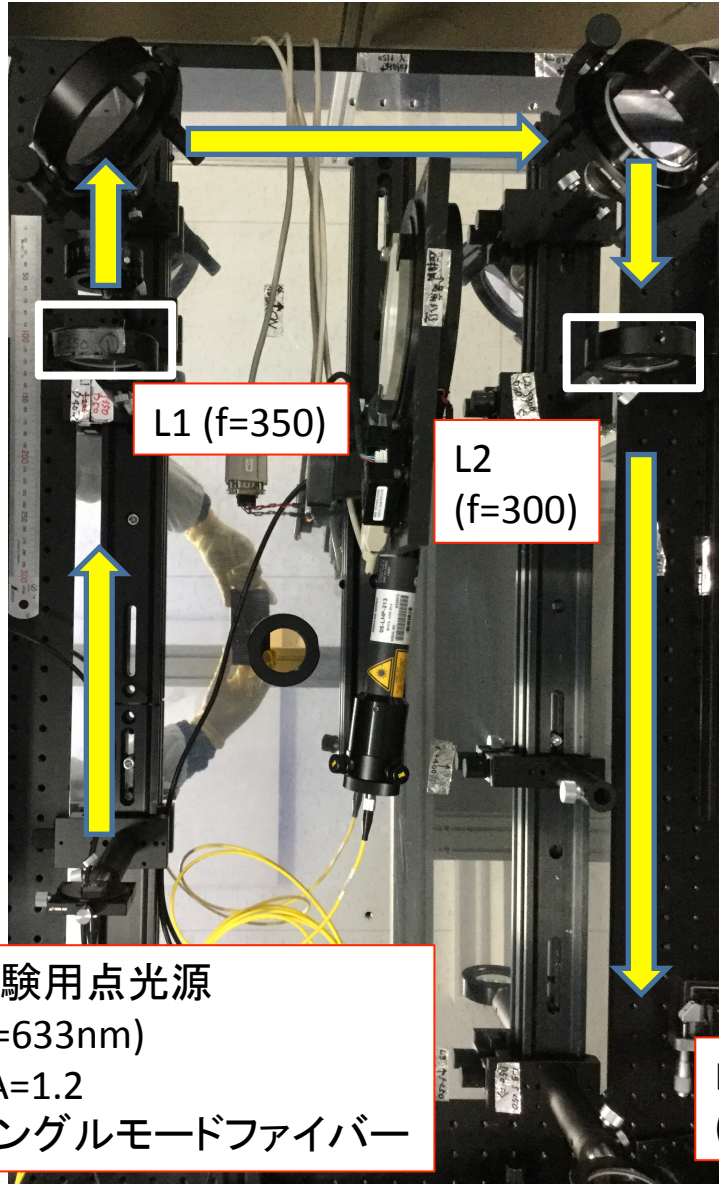
SR	位相板	前回	今回
リファレンス	—	0.5	0.8
試験光源	なし	0.3	0.8
	あり	0.004	0.003

実験用光源の調整

試験光源系

- ◆ 光源全体をひとつのユニットに
- ◆ 非点収差が大→レンズの設置角度を ± 0.5 度以内

– 波面精度 PV: 0.16λ , rms: 0.04λ → SR=0.92
 レンズの角度確認

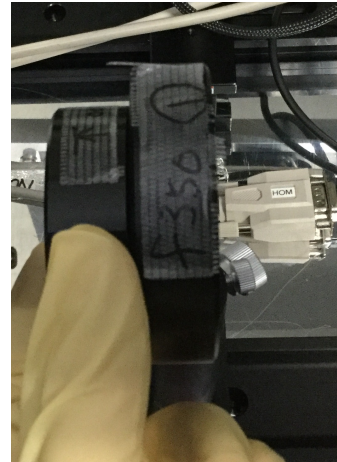


L1 (f=350)

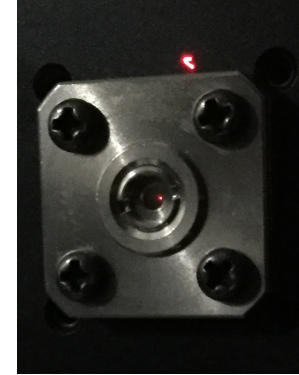
L2 (f=300)

L3 (f=250)

試験用点光源
 ($\lambda=633\text{nm}$)
 NA=1.2
 シングルモードファイバー



レンズの背後に平面鏡設置



光源(ファイバー)高さ, 角度ズレ



高さ, 角度 100um, 1分角で調整完了

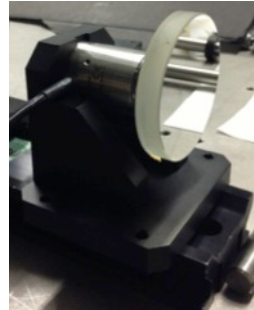
SR	位相板	前回	今回
リファレンス	—	0.5	0.8
試験光源	なし	0.3	0.8
	あり	0.004	0.003

ExAOノード

T/Tパート

T-T Viewer

望遠鏡焦点



T/T鏡

Unit 1: OAP1 (完了)

Unit 2: OAP2

Unit 3: OAP3

低次DM

Unit 4: OAP4

Woofersパート

高次DM

Unit 5: OAP5

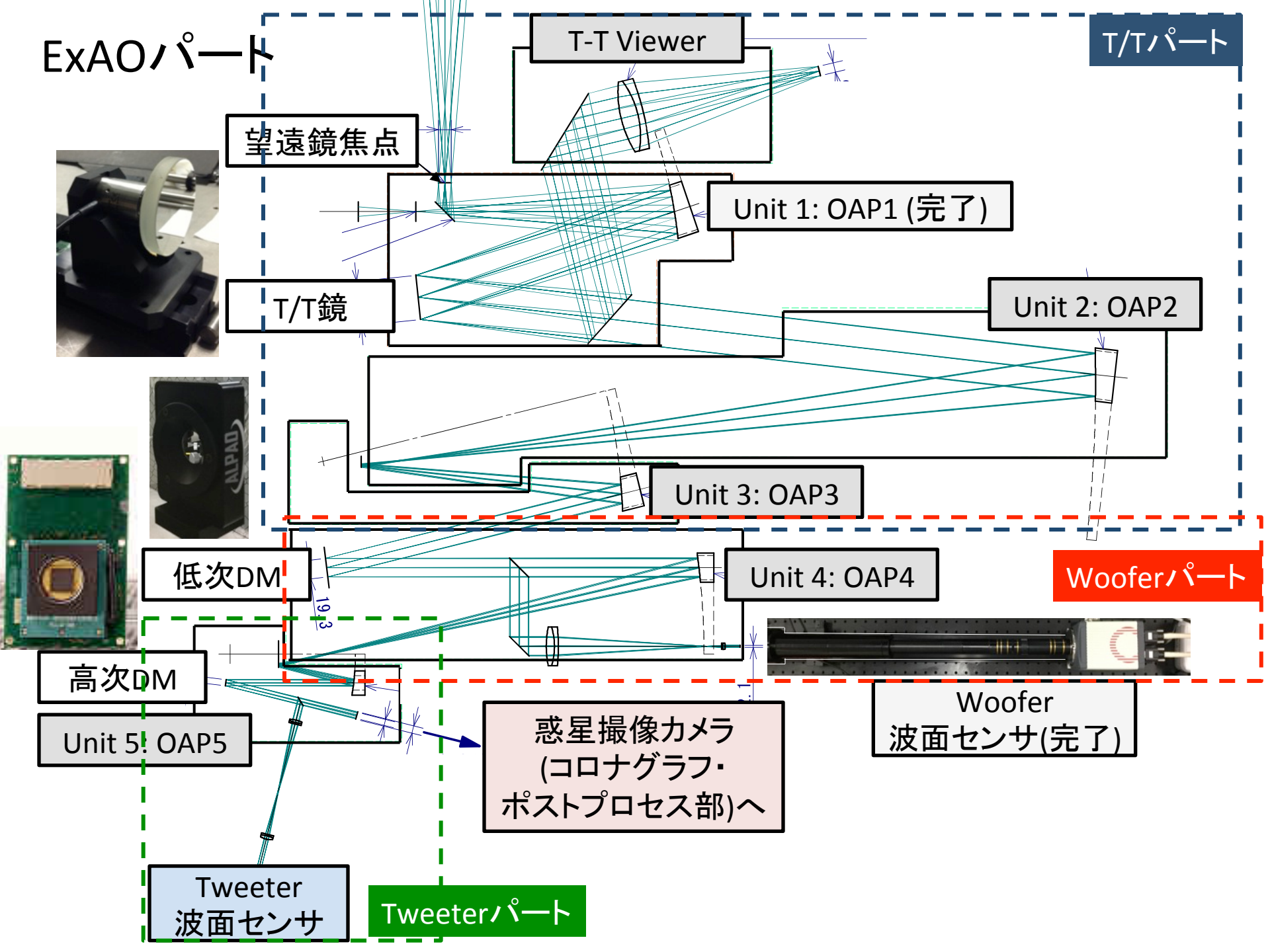
惑星撮像カメラ
(コロナグラフ・
ポストプロセス部)へ



Woofers
波面センサ(完了)

Tweeter
波面センサ

Tweeterパート



AO設計: Woofer AO

◆ダイクロイックミラーでのゴースト+色収差

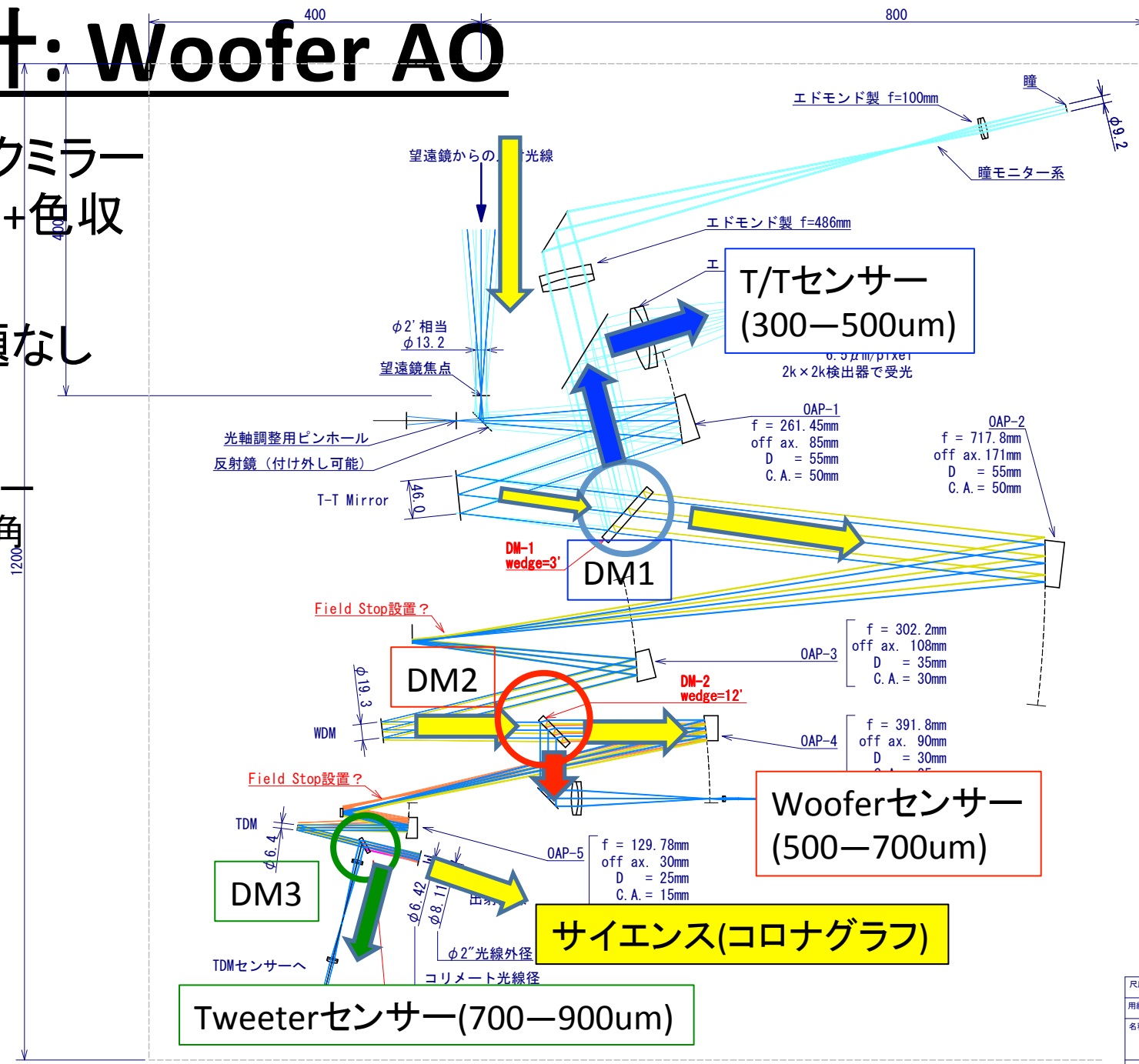
→WFSでは問題なし

ダイクロイックミラーのウェッジ角

DM1: 3分角

DM2: 12分角

DM3: 18.9分角



Tweeterセンサー(700—900um)

Wooferセンサー (500—700um)

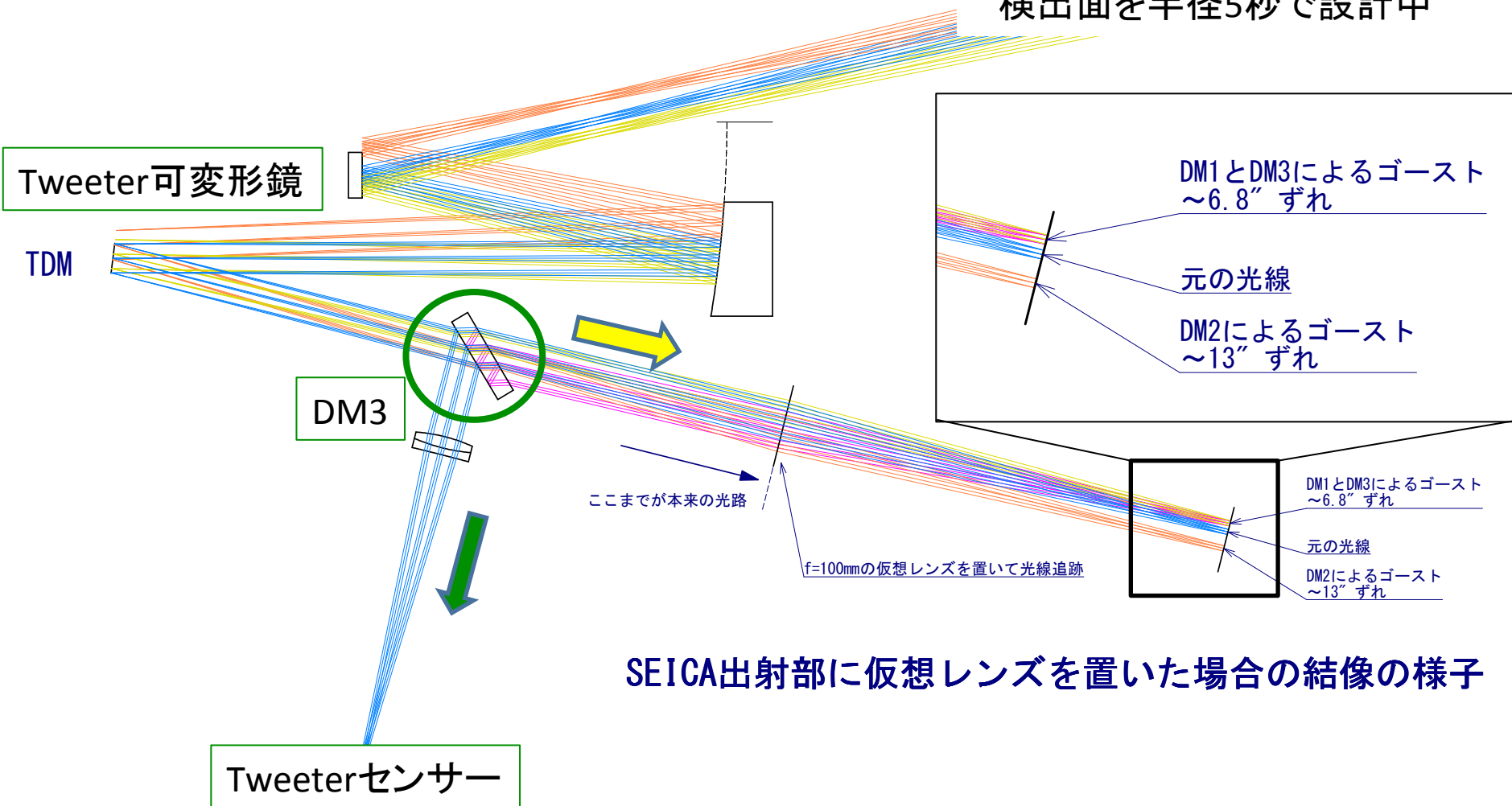
サイエンス(コロナグラフ)

AO設計:ゴースト像

・ゴースト像

SEICA出射部付近の拡大図

ゴースト像は結像面で
6".8, 13"ずれる位置へ
→AOの視野は半径2秒、
検出面を半径5秒で設計中



SEICA出射部に仮想レンズを置いた場合の結像の様子

SEICA: 全体進捗: 今回

- ExAO: Woofer AOの開発進行
 - 実験環境再整備: 岡山上空(フリード長10cm, 風速10m/s)
 - AO実験 $SR=0.03-0.05$ 程度が何処まで改善するか(@633nm)
 - 実機設計開始: ABCとの協同で。 近赤外では $SR\sim 0.1$ 程度
 - NINS, 天文台へTweeter用予算
- コロナグラフ: SPLINE
 - プリズム/サバール板
確保・原理実証済
 - 実機製作開始: 設計中
- ポストプロセス: スペックルナリング方式
 - 原理実証試験準備開始: 物品確保完了
- 温度管理範囲
 - コロナグラフで温度測定、管理の試験

