

極限補償光学の進捗

山本広大,

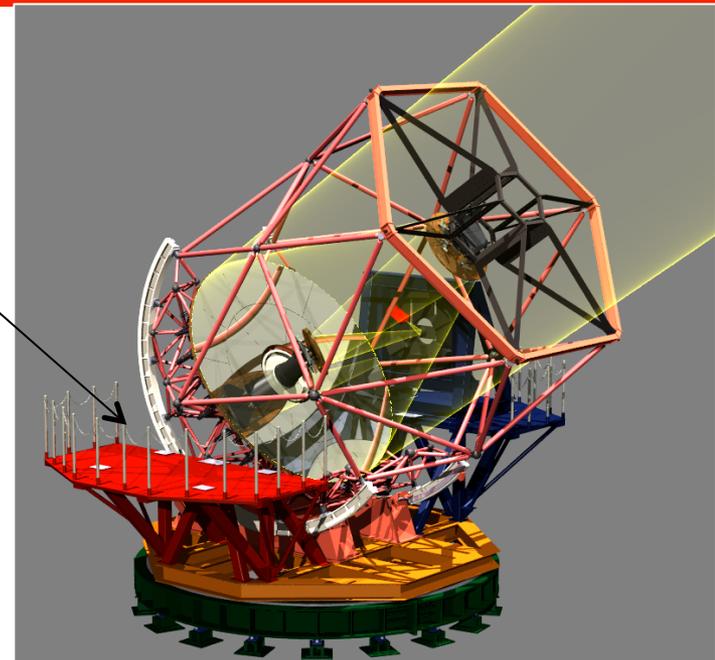
木野勝, 西岡秀樹, 津久井遼(京都大学)

入部正継, 藤田勝(大阪電気通信大学)

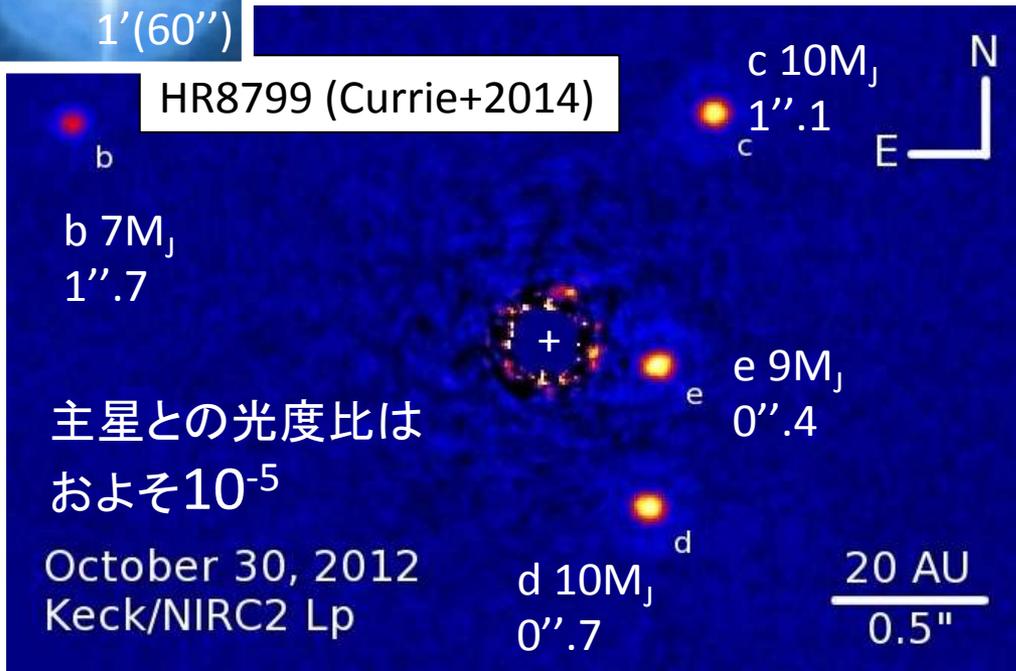
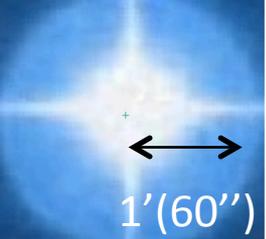
惑星撮像装置SEICA[Second-generation
Exoplanet Imager with Coronagraphic Ao]

SEICA

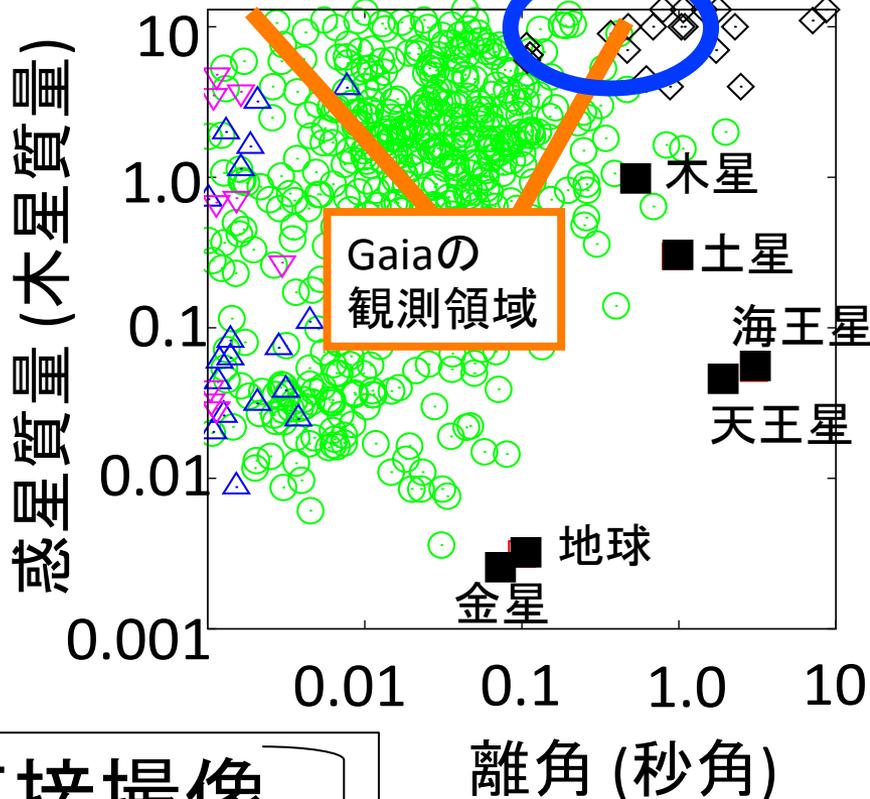
京大岡山3.8m
せいめい望遠鏡架台



SEICA: 意義・目標



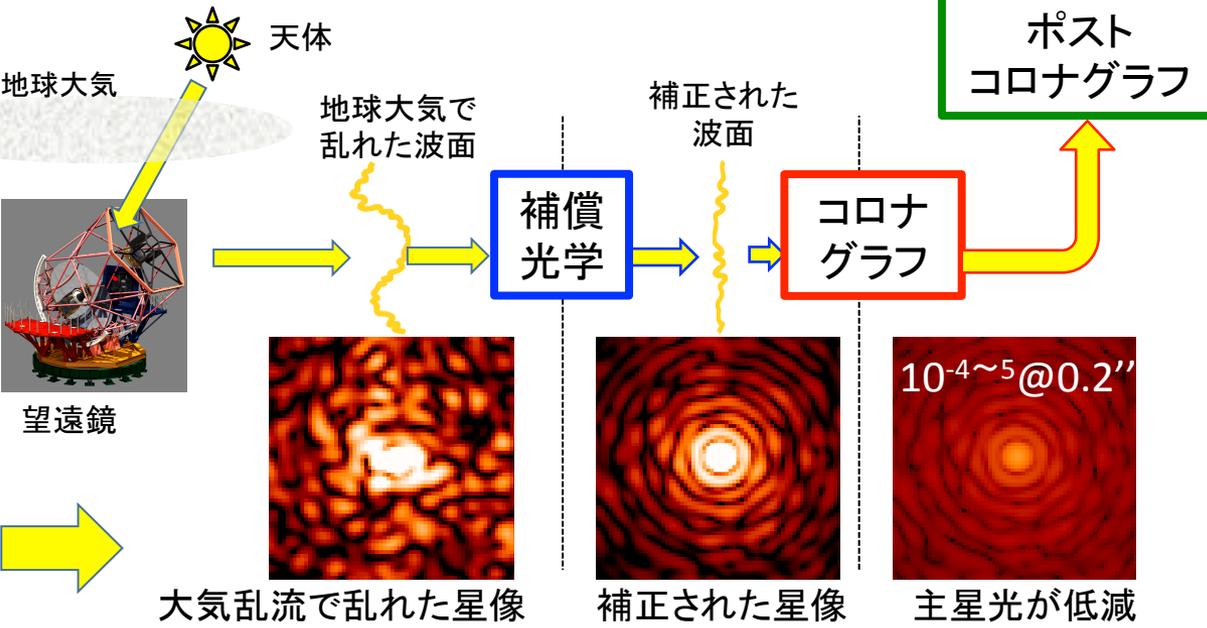
他観測で発見済の惑星を観測
→キャラクターゼーション



- ◆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

高コントラスト技術



~高コントラスト装置の状況~
[旧世代の技術の発展系]

- Gemini/GPI
- VLT/SPHERE
- Keck/NIRC2

[新世代の概念と技術]

- ◇ すばる/SCEXAO [競合]
- ◇ **本研究**

本研究で開発する技術

京都 極限補償光学 ◆ FPGA 制御装置 ◆ 点回折干渉型センサ

北海道 コロナグラフ ◆ ナリング干渉計型

東大/国立天文台 ポスト-コロナグラフ ◆ スペックルナリング ◆ 高分散分光器(目標) ◆ 瞳再配置撮像(将来)

~補償光学性能向上~
従来の10倍

- 高速 (→10kHz)
- 精細 (→2000素子)
- 精密 (→50nm)

の計測・制御が可能に

基盤(S)ヒアリングスライドより

SEICA: 全体進捗: 前回

◆ ExAO: Woofer AO

- 実験環境再整備: 岡山上空(フリード長10cm, 風速10m/s)
- AO実験: 制御実験(@633nm)=>シミュレーションへ
- 実機設計: 設計中 近赤外ではSR~0.1程度

◆ ExAO: Tweeter AO

- 波面センサ: 点回折干渉計WFS原理実証中 + SHWFS開発中
- FPGA制御装置: 原理実証試験(カメラ読込)(TMT戦略経費)

◆ コロナグラフ: SPLINE

- プリズム/サバール板: 確保・原理実証済, 環境試験中
- 実機製作開始: 設計中 (TMT戦略経費)

◆ 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, 実証試験中

予算状況 (18/09/08現在)

◆昨年度獲得

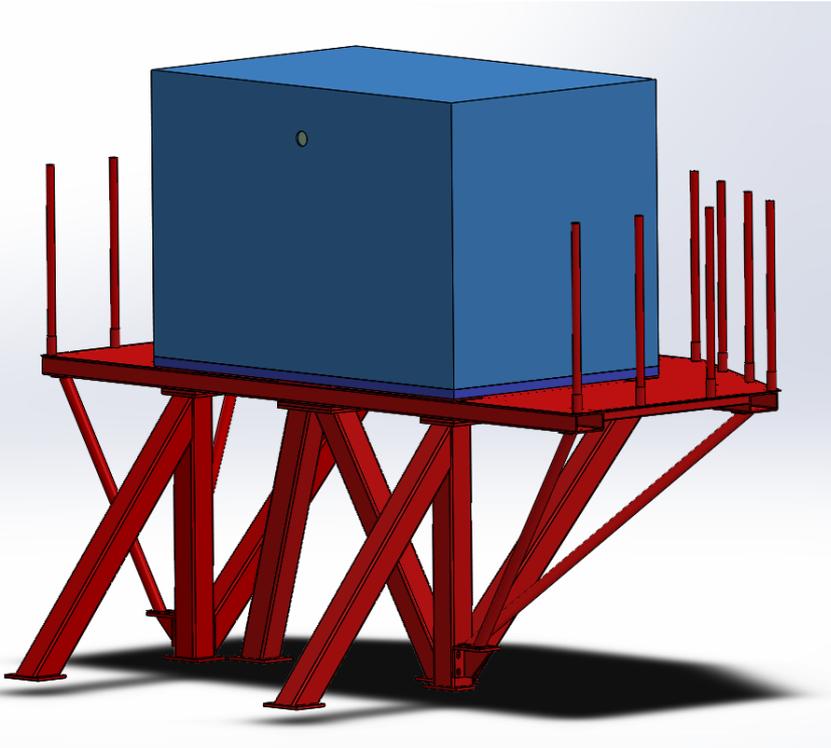
- ABCプロジェクト経費: Woofer WFS実機設計
- TMT戦略経費: SPLINE(コロナグラフ)実機設計
+Tweeter FPGA制御試験機開発

◆本年度獲得

- 基盤A(代表長田): 5年(開発4年観測1年)3300万
 - ◆光学系+カメラ: 1500万
 - ◆恒温定盤+除湿筐体: 1500万
- ~~基盤S(代表長田): 5年(開発3年観測2年)1.66億~~
- TMT戦略経費: SPLINE実機製作 240万 (北大/村上)
+FPGA制御開発 300万 (大電通大/入部)

SEICA全体図

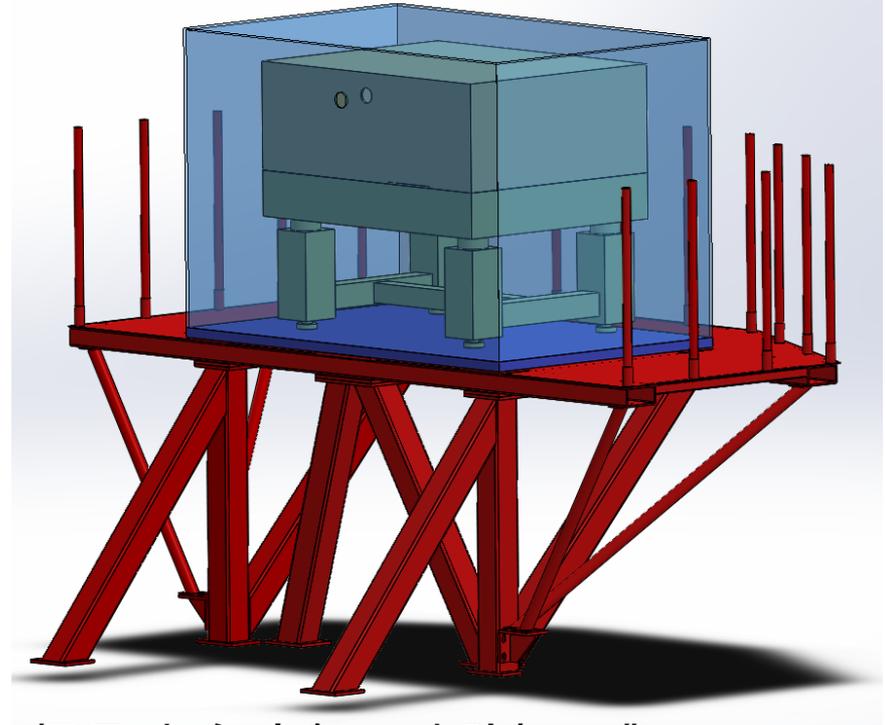
◆外観サイズイメージ



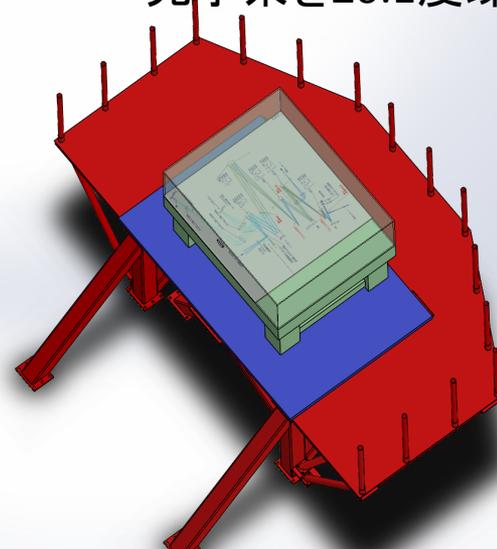
外観イメージ

2.2x1.4x1.5 (m)

現状ただの箱だがフレームに
パネルを取り付ける方式にして
外形を小さくする予定



恒温(水冷)定盤(日本防振工業)で
光学系を ± 0.1 度環境で安定化

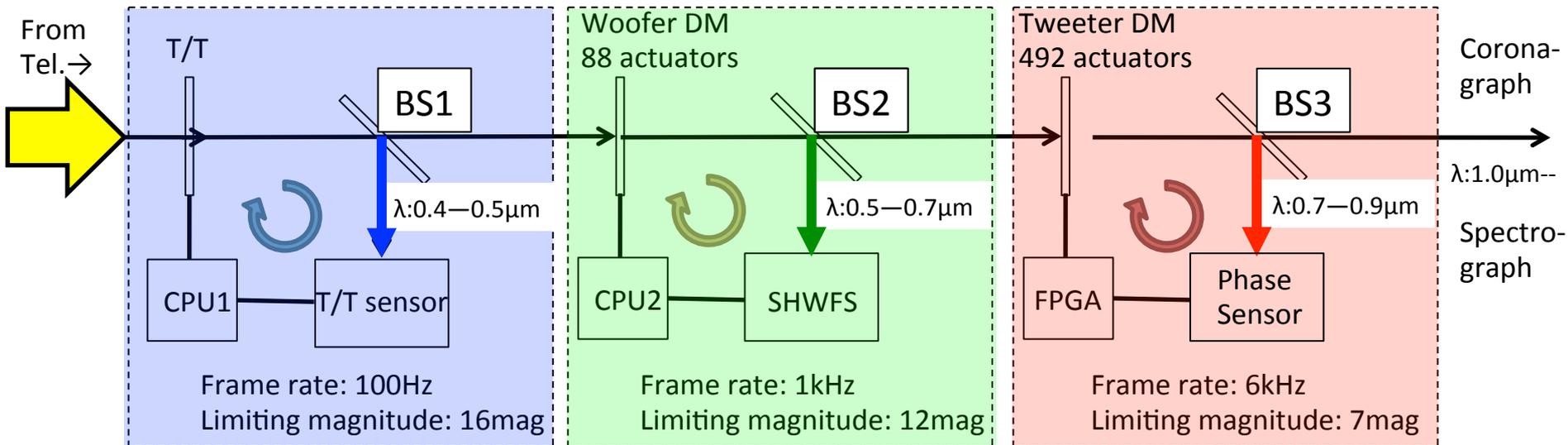


光学系はスペースに
余裕あり
制御PC・ドライバなど
は定盤下、周囲へ

検討:窓材、曇り止め

SEICA: 極限補償光学

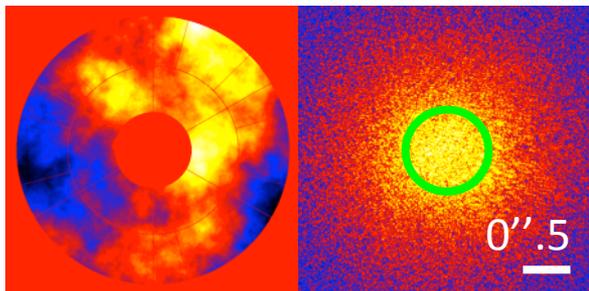
◆要求仕様: 精度: $\lambda/20$, 速度: 5—10kHz, 測定点: 492 elements



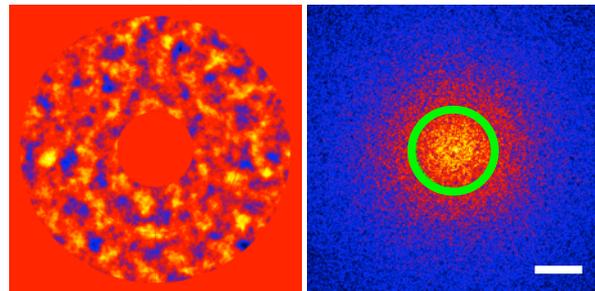
Tip/Tilt: 10mas pointing

Woofer: 低速 [1kHz]
大まか [$\lambda/4$]
大-ダイナミックレンジ

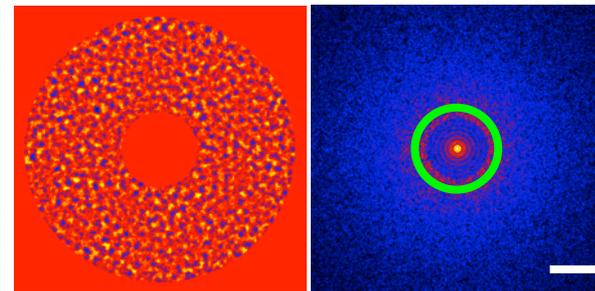
Tweeter: 高速 [6.5kHz]
高精度 [$\lambda/20$]
高空間周波数: 24^2



No AO



after Woofer AO



after Tweeter AO

Strehl ratio 0.02

0.3

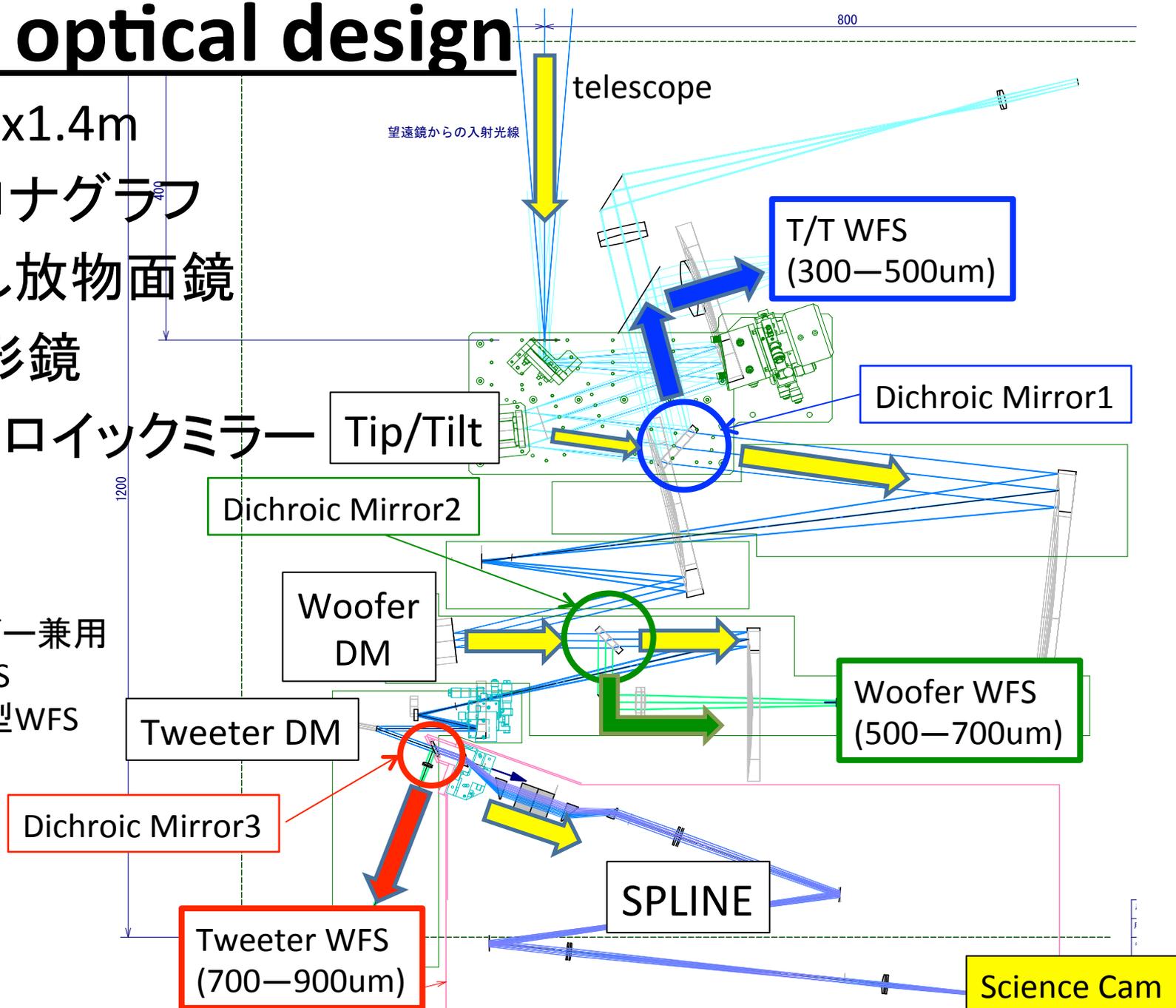
0.9

SEICA: optical design

800

- ◆ size: 1.2x1.4m
- ◆ AO+コロナグラフ
- ◆ 5 軸外し放物面鏡
- ◆ 3 可変形鏡
- ◆ 3 ダイクロイックミラー
- ◆ 3 WFS

T/T WFS: ガイダー兼用
W WFS: SHWFS
T WFS: 位相型WFS



本日の報告

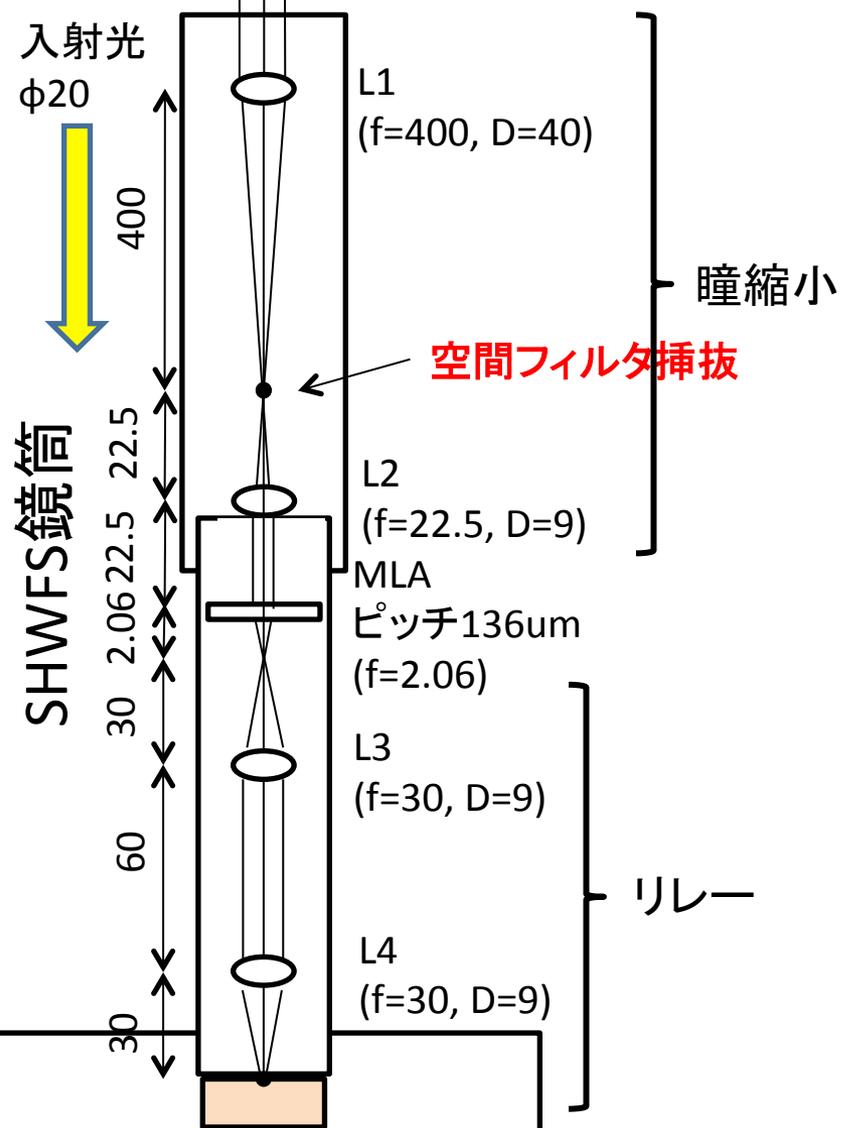
◆ Woofer AO

- センサー系: 実機設計
- 制御試験: 実験とシミュレーション (藤田)

◆ Tweeter AO

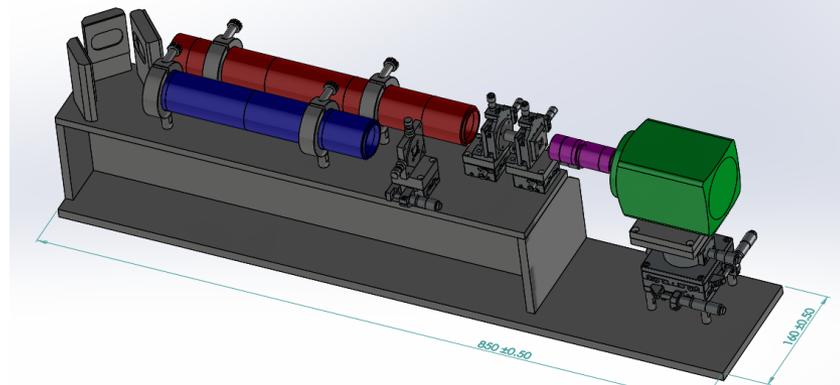
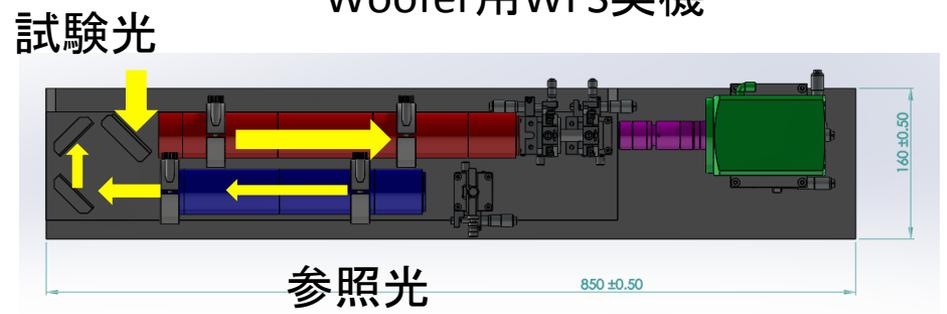
- センサー系: PDI波面センサ (西岡)
- センサー系: SHWFS波面センサ (津久井/山本)
- [制御装置: FPGA開発]

Woofler AO: センサー系:: 設計



sCMOS[浜ホトORCA flash4.0]
6.5um, 2048x2048

Woofler用WFS実機



- ◆ AO系への組み込みを容易に
- ◆ ハーフミラーで可動部なし
- ◆ 高次の波面エラーをカットする空間フィルタを導入可能

近日中に設計完了、製作へ
実験、シミュレーションの詳細は藤田くん

Tweeter AO: 波面センサ開発

◆ Tweeter AOの要求仕様:

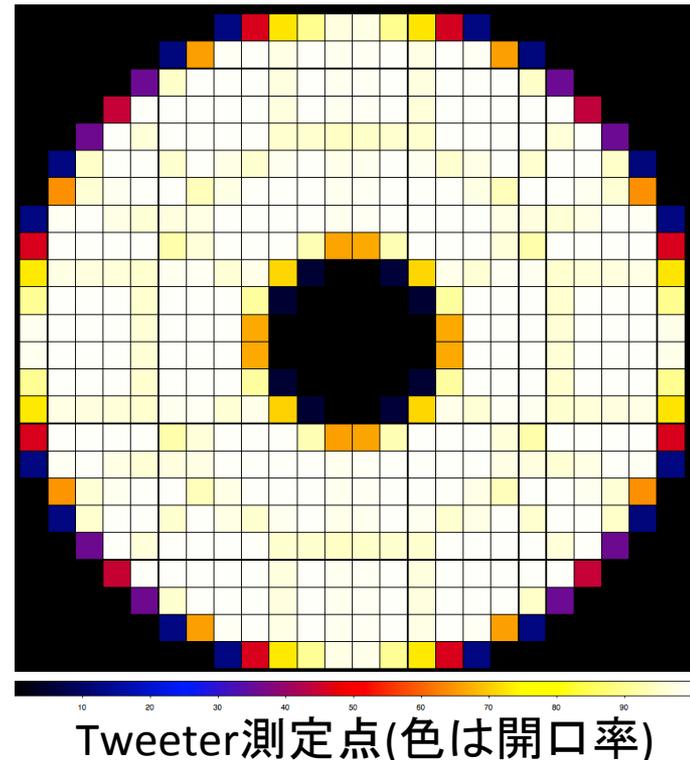
- 入射波面: $\lambda/4$ (rms: $\sim 300\text{nm}$) \rightarrow P-Vで $\sim 900\text{nm}$
- 目標精度: $\lambda/20$ (rms: $\sim 60\text{nm}$)
- 波面測定点数: 24(1次元) \rightarrow 492素子(有効460素子)
- 波面測定頻度: 6.5kHz



sCMOSカメラ
浜松ホトニクス
ORCA-flash4.0 v2

読み出し速度:

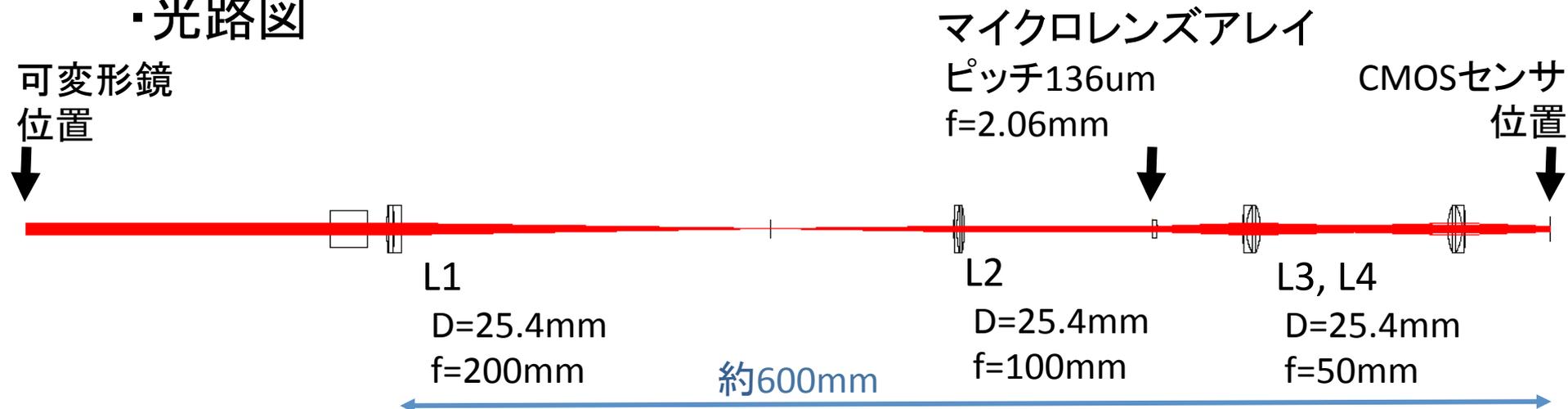
2048x8:	25kHz
2048x64:	3.2kHz
2048x192:	1.1kHz ← Woofer WFS現状
2048x256:	0.8kHz
2048x512:	0.4kHz ← Tweeter SHWFSの場合



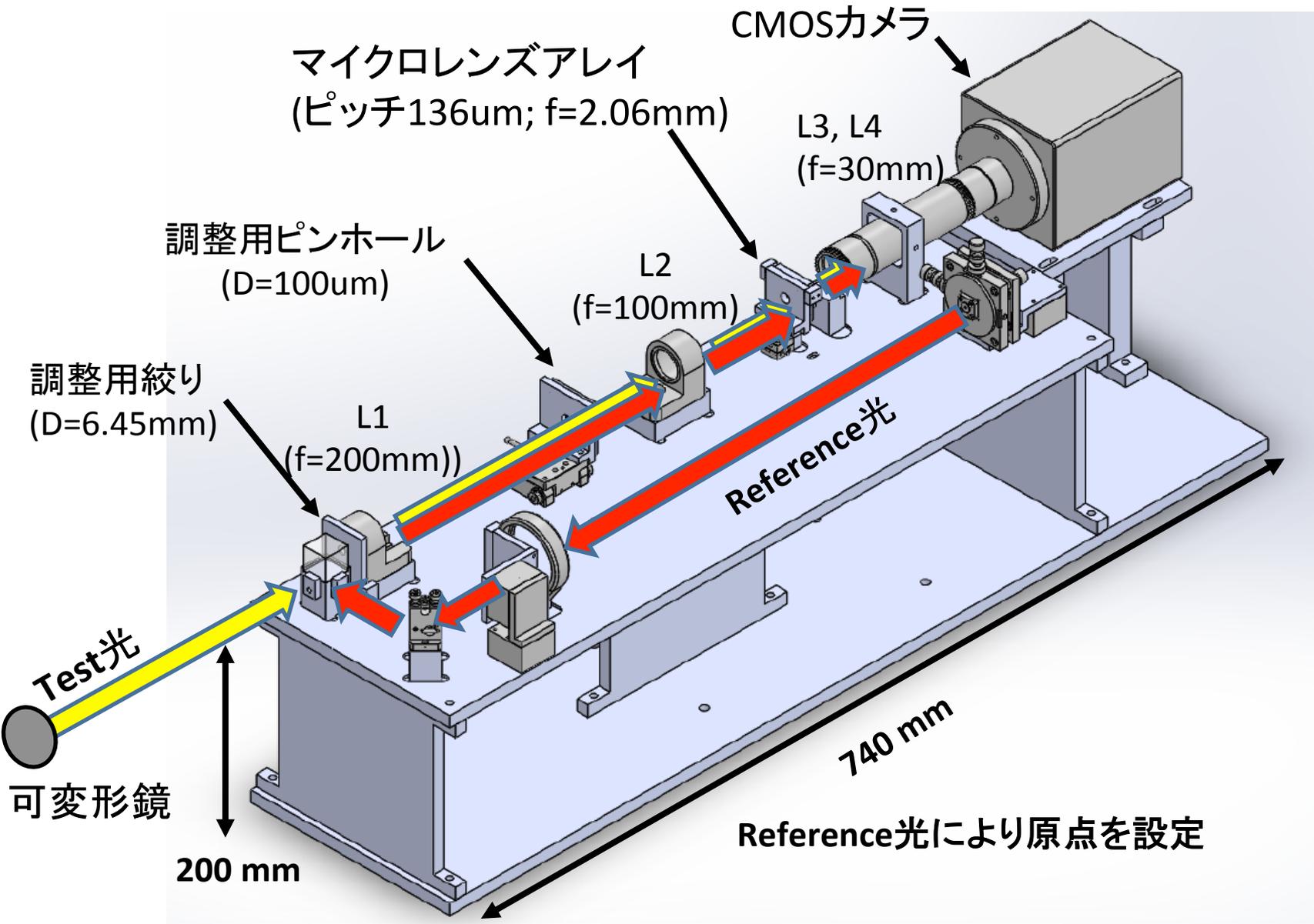
Tweeter AO: 実験用SHWFSの概要

- ・FPGAを用いたTweeter AOの制御実験に使用
- ・特徴
 - 測定点数: 差し渡し24点
 - 測定レンジ: $\pm 400\text{nm}$ (PDI WFSと同等)
 - 波面誤差 60nm (RMS) まで感度を持つ
 - 波長域: $700\text{-}900\text{nm}$ (中心波長 800nm)

・光路図



Tweeter AO: SHWFSの機械設計



Tweeter AO: SHWFSの実機作成



Tweeter AO: SHWFSの波面誤差(1/2)

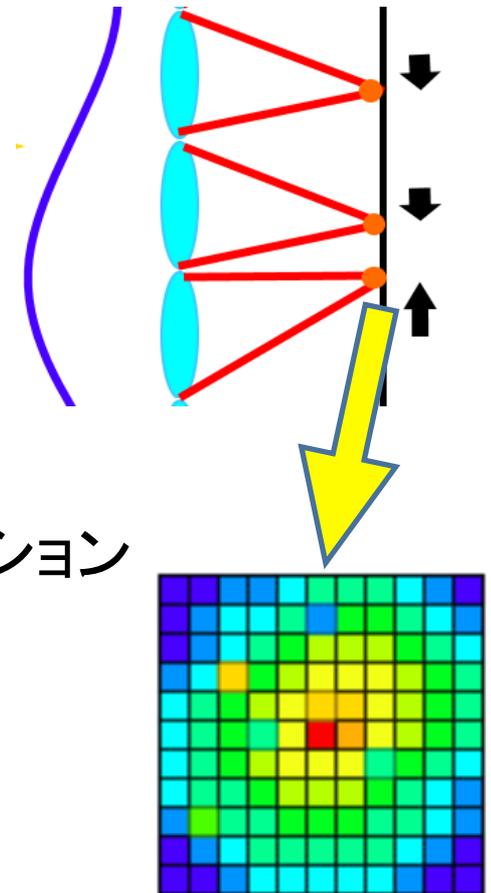
- 検出面でのノイズ

- spot位置の検出誤差 (SN比に依存)

- 波面形状の測定誤差

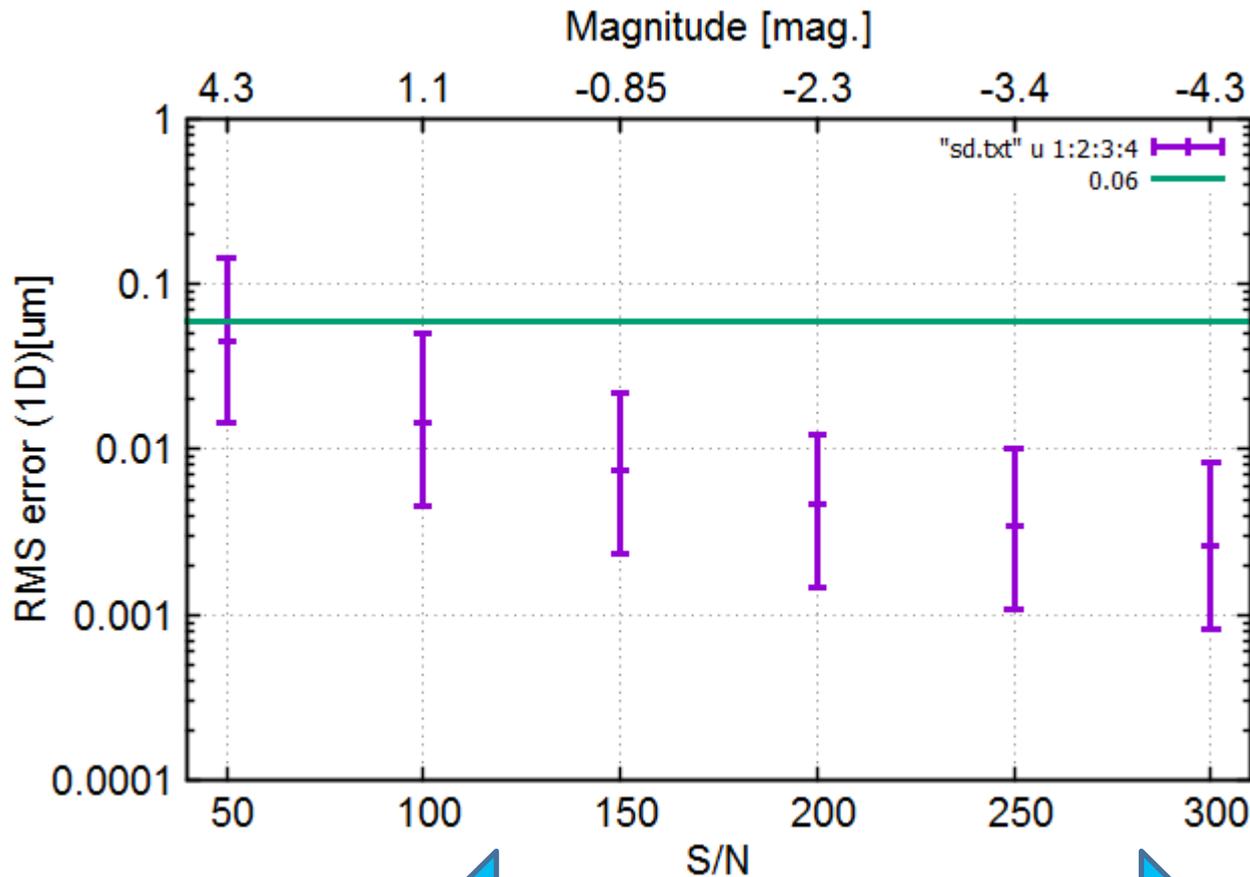
- SN比と測定誤差 (RMS) との関係をシミュレーション

- ポアソンノイズ, 読み出しノイズを考慮



Tweeter AO: SHWFSの波面誤差(2/2)

シミュレーションの結果

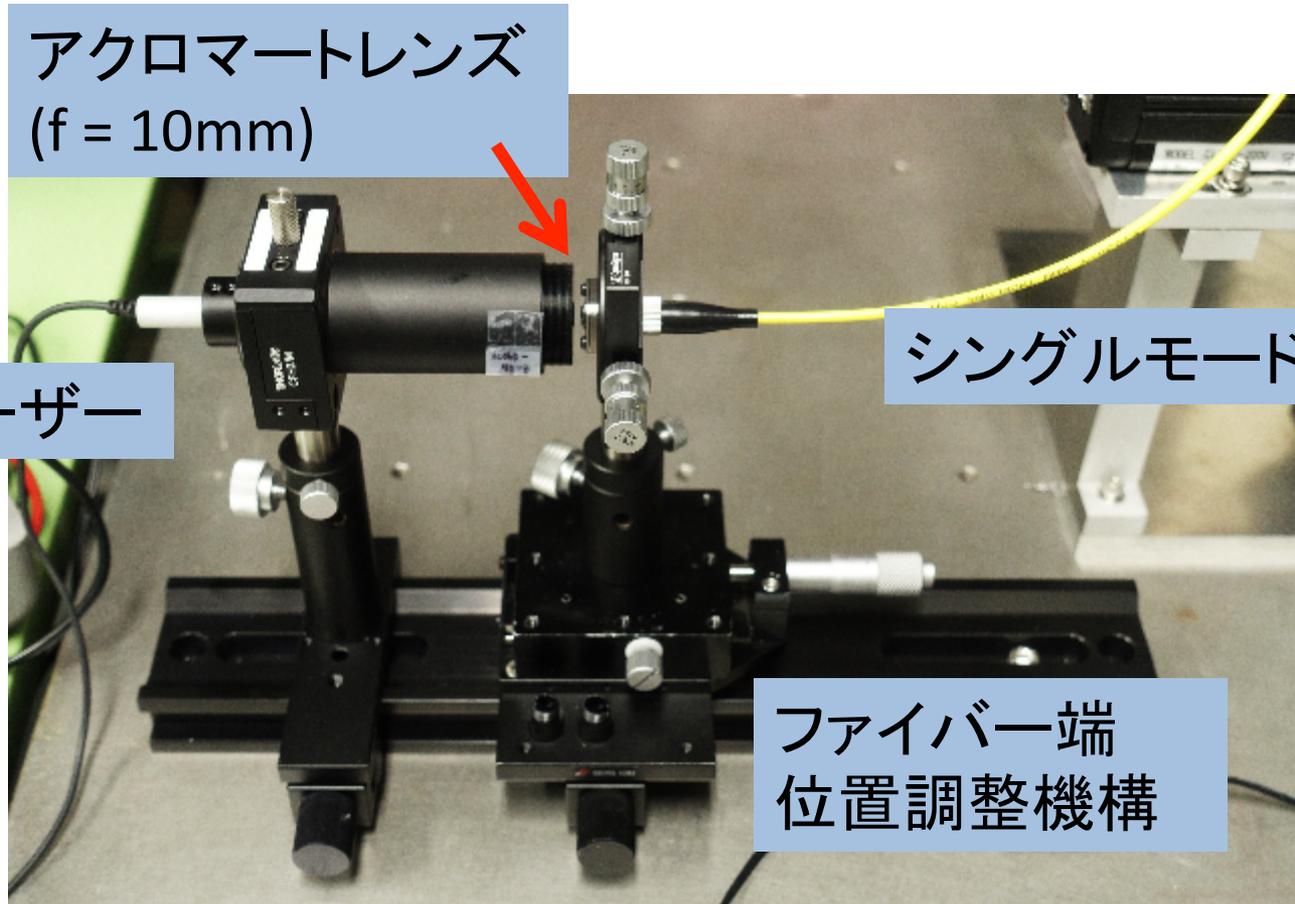


60nm
(= $\lambda / 20$
@1.2um)



Tweeter AO: SHWFSのReference光源

- ・808nm半導体レーザー(Thorlabs CPS808S)をファイバーに集光
→ SHWFS実機のリファレンス光源用ファイバーホルダに接続



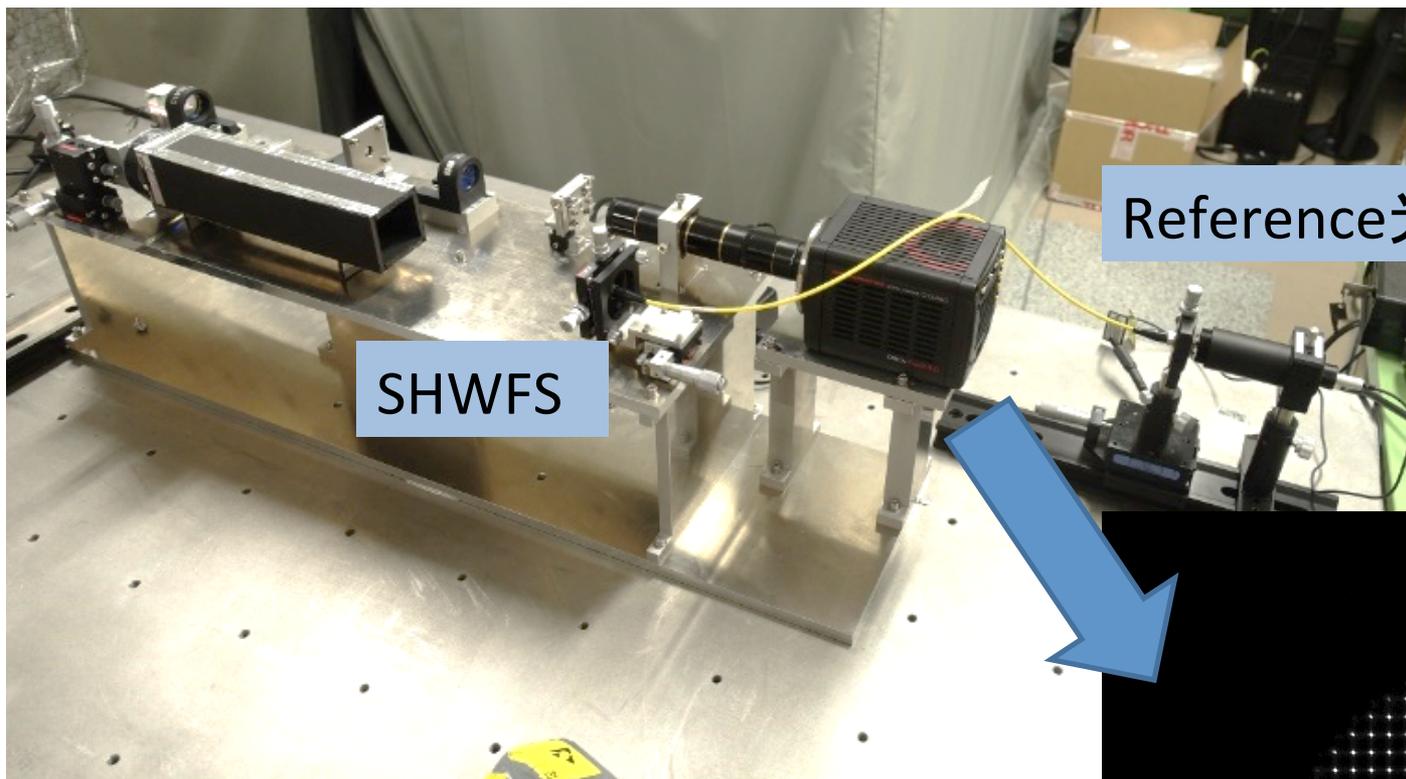
アクロマートレンズ
($f = 10\text{mm}$)

半導体レーザー

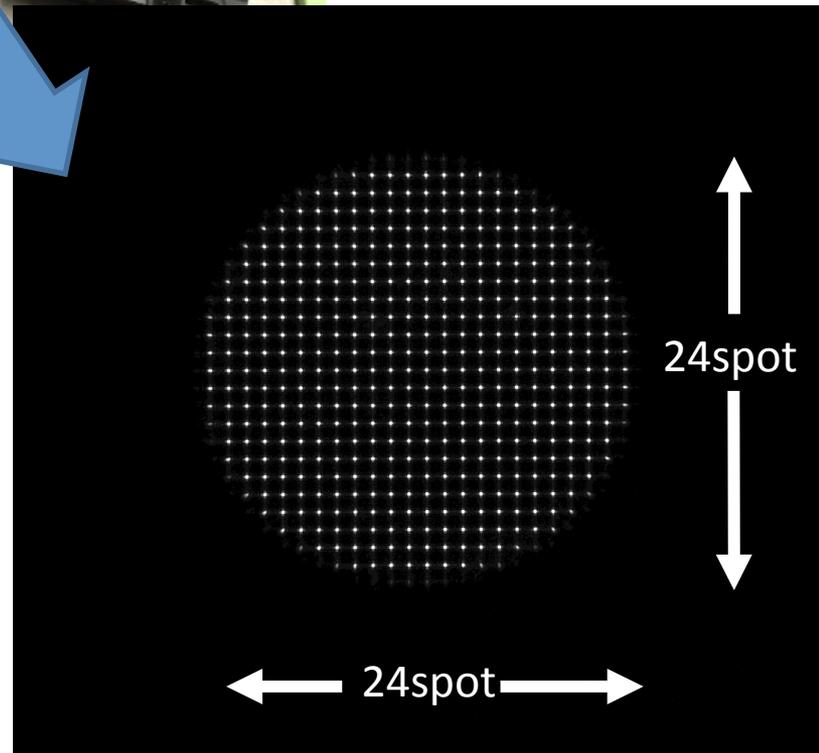
シングルモードファイバー

ファイバー端
位置調整機構

Tweeter AO: SHWFSのReference光源

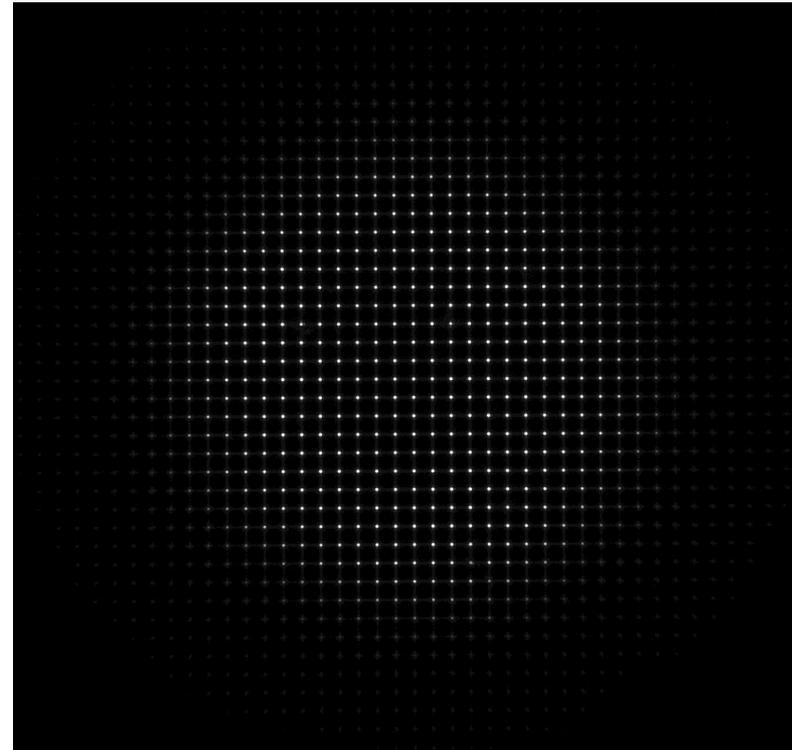
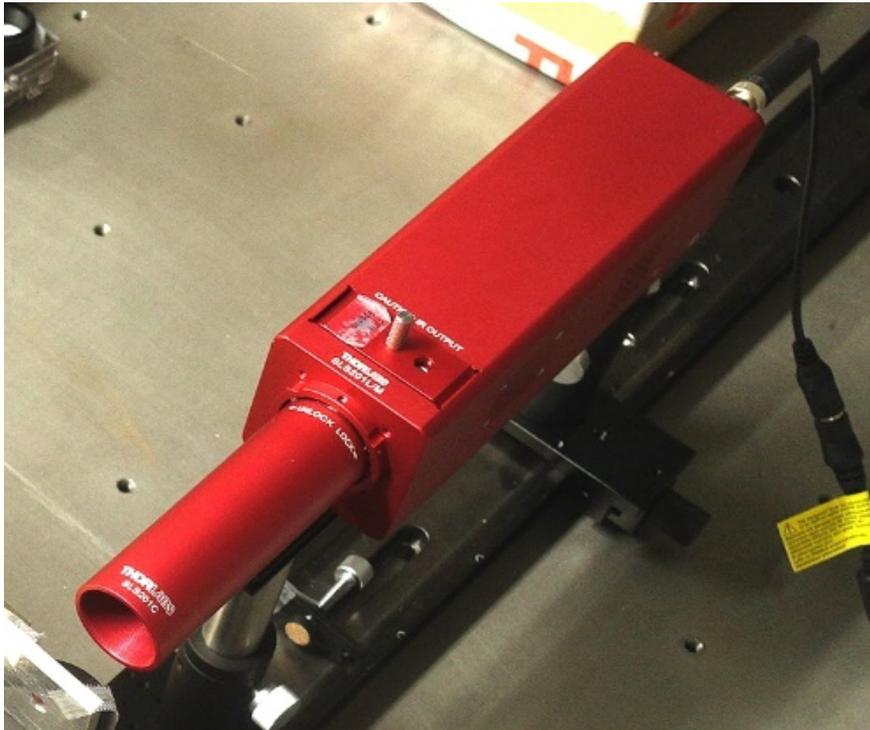


中央部のspotの強度 : $S/N > 200$
(露光 1/400 sec)
各spotのFWHM ~ 2 pix
(設計値) 1.7pix



Tweeter AO: SHWFSのTest光源

- ・タングステンハロゲン光源 (Thorlabs SLS201L, T=2796K)
+ バンドパスフィルタ (800±5nm)
- ・将来的にTest光を1.2umとすることを考慮して白色光源を選択
- ・当面は800nmで制御実験



Tweeter AO: SHWFSのTest光源

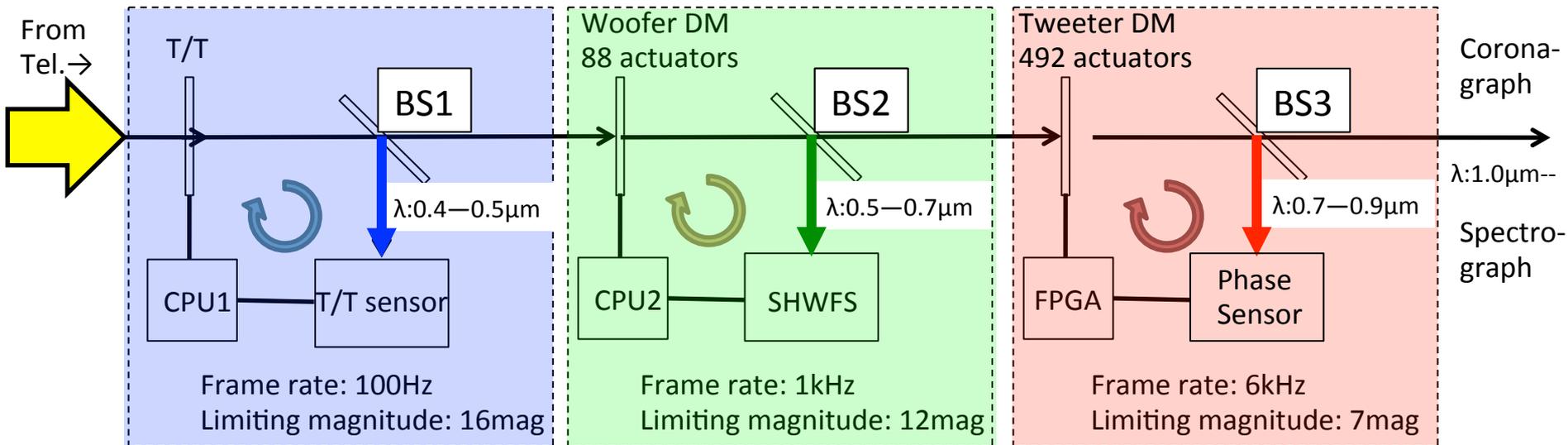
- ・想定: Reference光源と同様にファイバーに集光
 - 実際: 集光の効率が想定よりも非常に悪く強度不十分
- ・対応を検討
 - 露光時間の延長
 - Reference光源用レーザーの流用

Tweeter AO: SHWFS開発の今後

- 光源強度の実測、確認を進める
- spot形状、間隔、強度ムラなどの確認
- Tweeter AO制御実験の光学系へのSHWFS組み込み、調整
→制御実験へ

SEICA: 極限補償光学

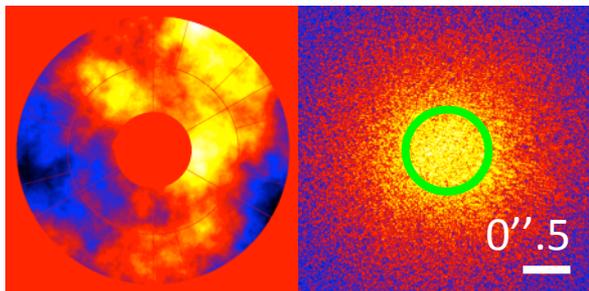
◆ 要求仕様: 精度: $\lambda/20$, 速度: 5—10kHz, 測定点: 492 elements



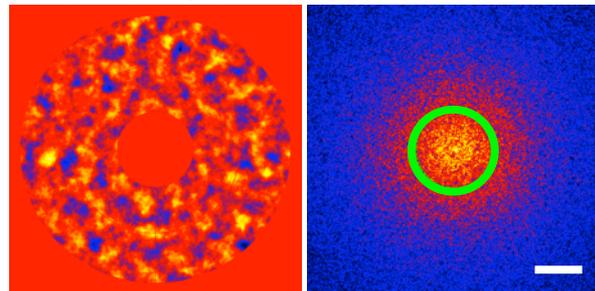
Tip/Tilt: 10mas pointing

Woofer: 低速 [1kHz]
大まか [$\lambda/4$]
大-ダイナミックレンジ

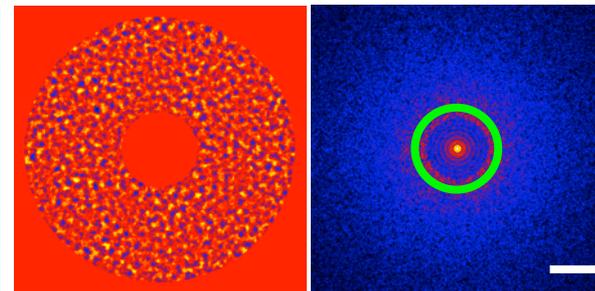
Tweeter: 高速 [6.5kHz]
高精度 [$\lambda/20$]
高空間周波数: 24^2



No AO



after Woofer AO



after Tweeter AO

Strehl ratio 0.02

0.3

0.9

SEICA: 全体進捗: 今回

◆ ExAO: Woofer AO

- 実験環境再整備: 岡山上空(フリード長10cm, 風速10m/s)
- AO実験: 制御実験(@633nm)=>シミュレーションへ
- 実機設計: 設計中 近赤外ではSR~0.1程度

◆ ExAO: Tweeter AO

- 波面センサ: 点回折干渉計WFS原理実証中 + SHWFS開発中
- FPGA制御装置: 原理実証試験(カメラ読込)(TMT戦略経費)

◆ コロナグラフ: SPLINE

- プリズム/サバール板: 確保・原理実証済, 環境試験中
- 実機製作開始: 設計中 (TMT戦略経費)

◆ 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, 実証試験中

まとめ

- ◆ 極限補償光学の予算獲得に可能性が
- ◆ Woofer実機の製作進行中
- ◆ Woofer試験の最終評価=>論文へ
- ◆ Woofer試験の結果からシミュレーションへ
- ◆ Tweeterセンサー2種開発中
- ◆ Tweeter制御用FPGA開発中

極限補償光学装置の開発： 制御実験とシミュレーションによる評価



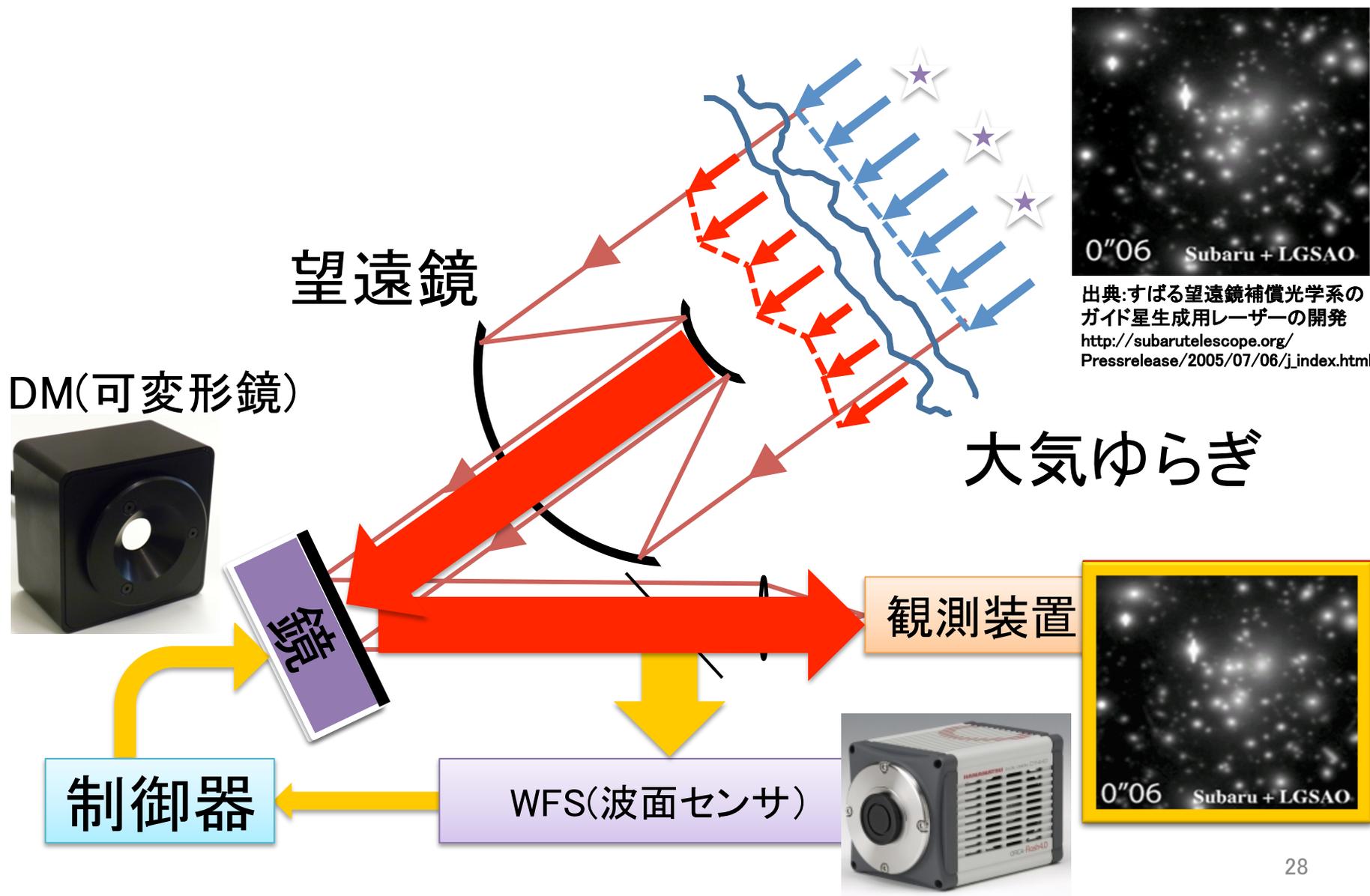
大阪電気通信大学大学院
工学研究科 制御機械工学専攻
MM18A012
藤田 勝

発表内容

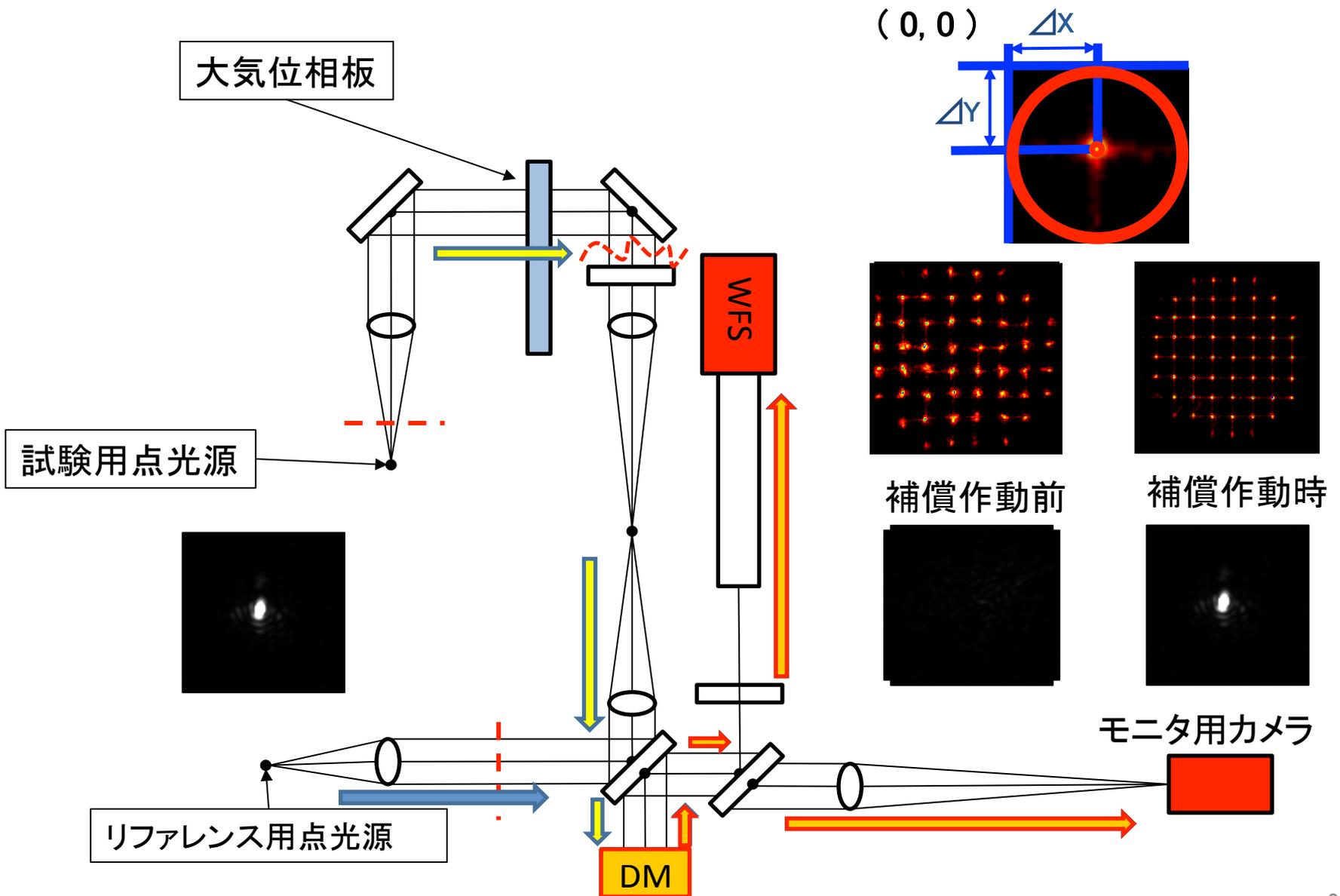
- 1.補償光学概要
- 2.可変形鏡の仮想平面状態構築
- 3.制御実験
- 4.シミュレータ進捗
- 5.結言

1. 補償光学概要

補償光学概要



1.補償光学概要

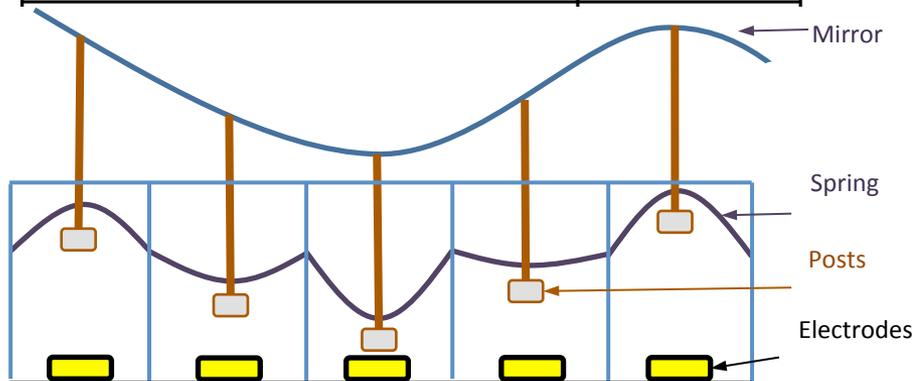


1.補償光学概要

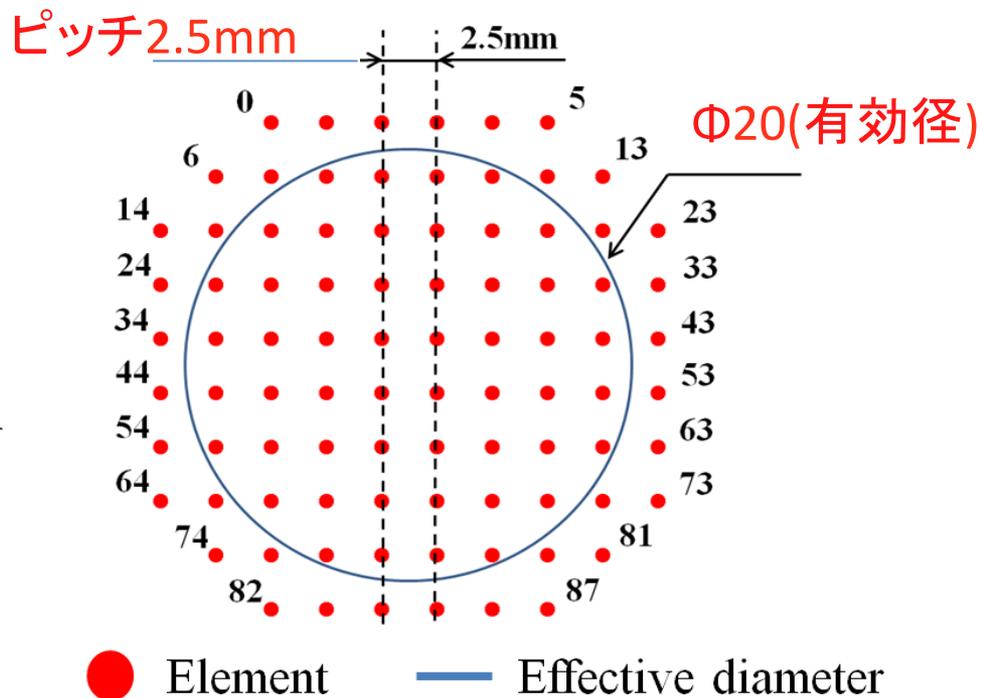
補償光学装置概要 可変形鏡(ALPAO社製 ALPAO DM 88-25)



Elements	88(52)
Effective diameter	20mm
Distance of elements	2.5mm



Actuation principle of DM



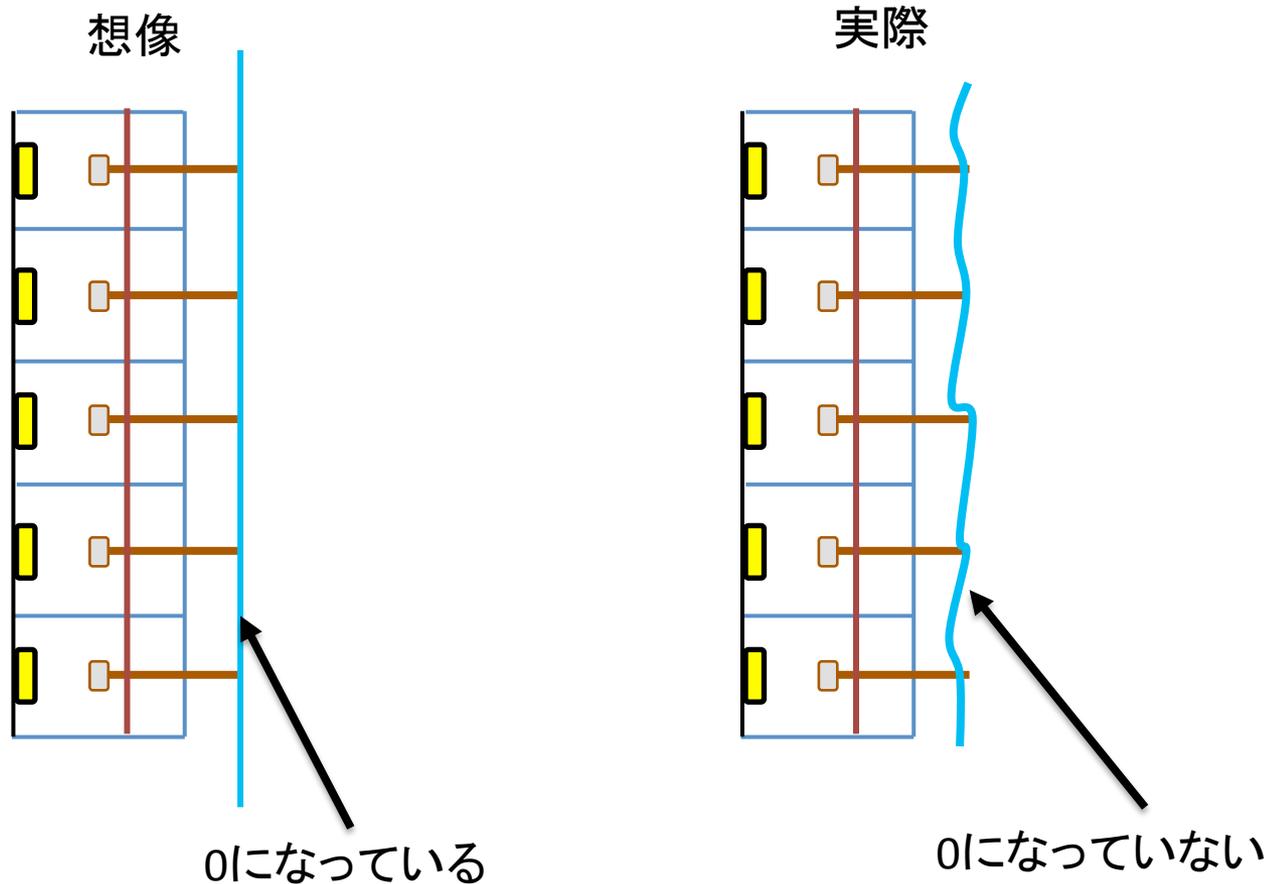
発表内容

- 1.補償光学概要
- 2.可変形鏡の仮想平面状態構築
- 3.制御実験
- 4.シミュレータ進捗
- 5.結言

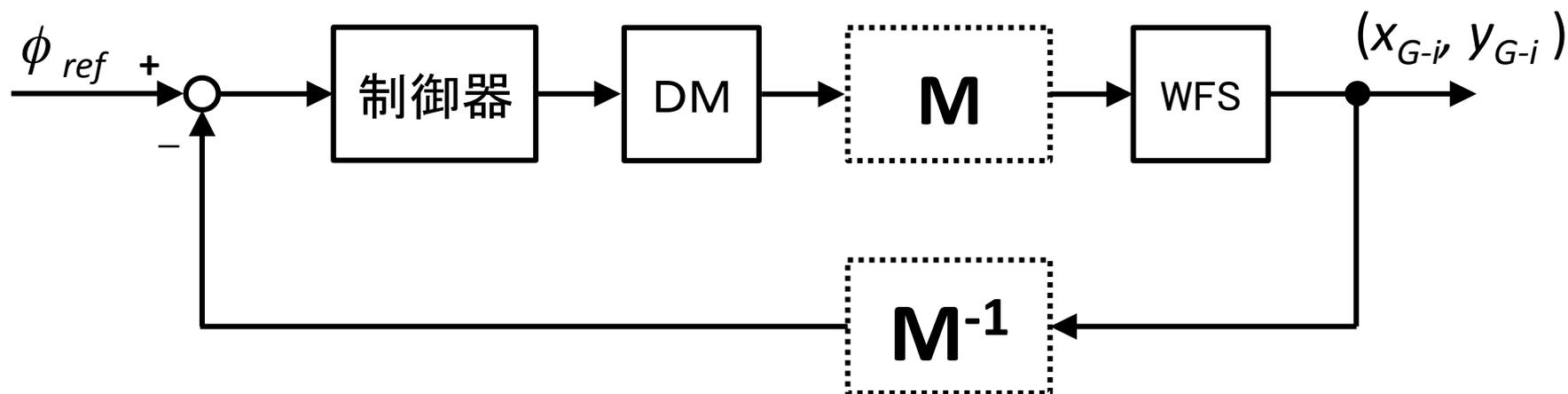
2.可変形鏡の仮想平面状態構築

DMに指令値0を入力

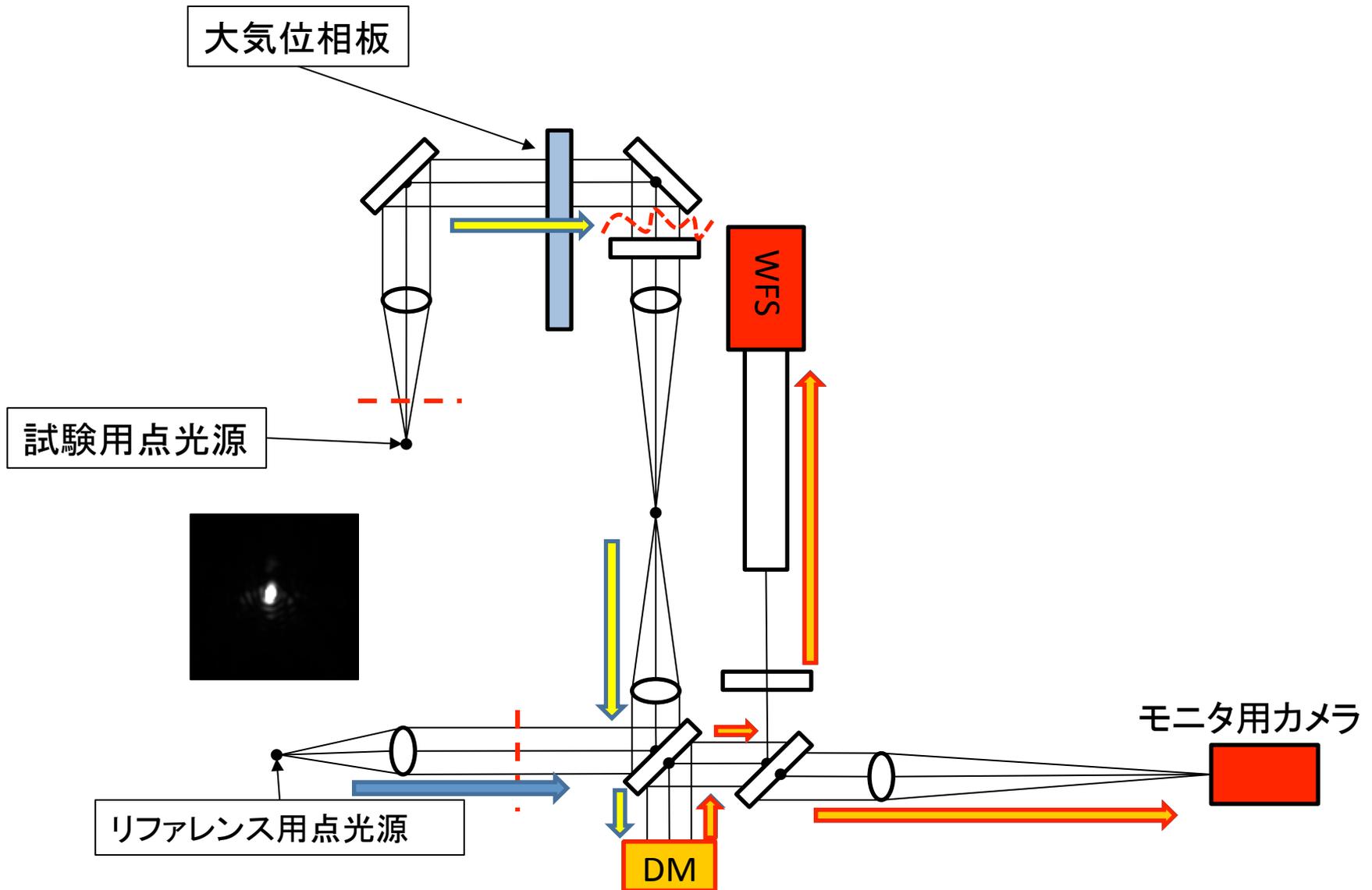
DM断面図



2. 可変形鏡の仮想平面状態構築

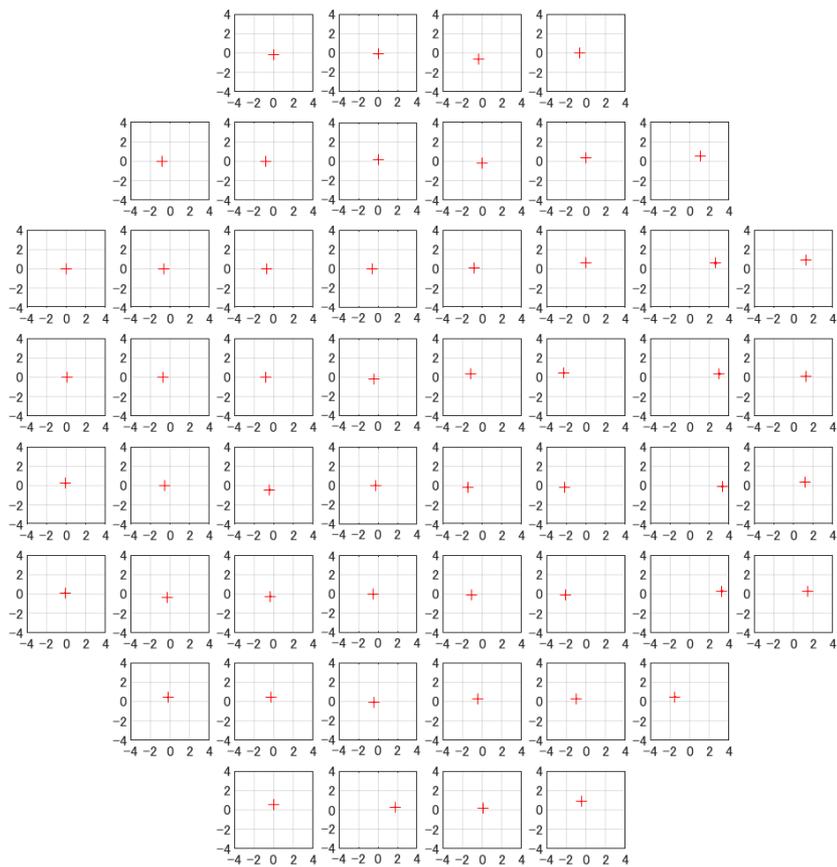


2. 可変形鏡の仮想平面状態構築

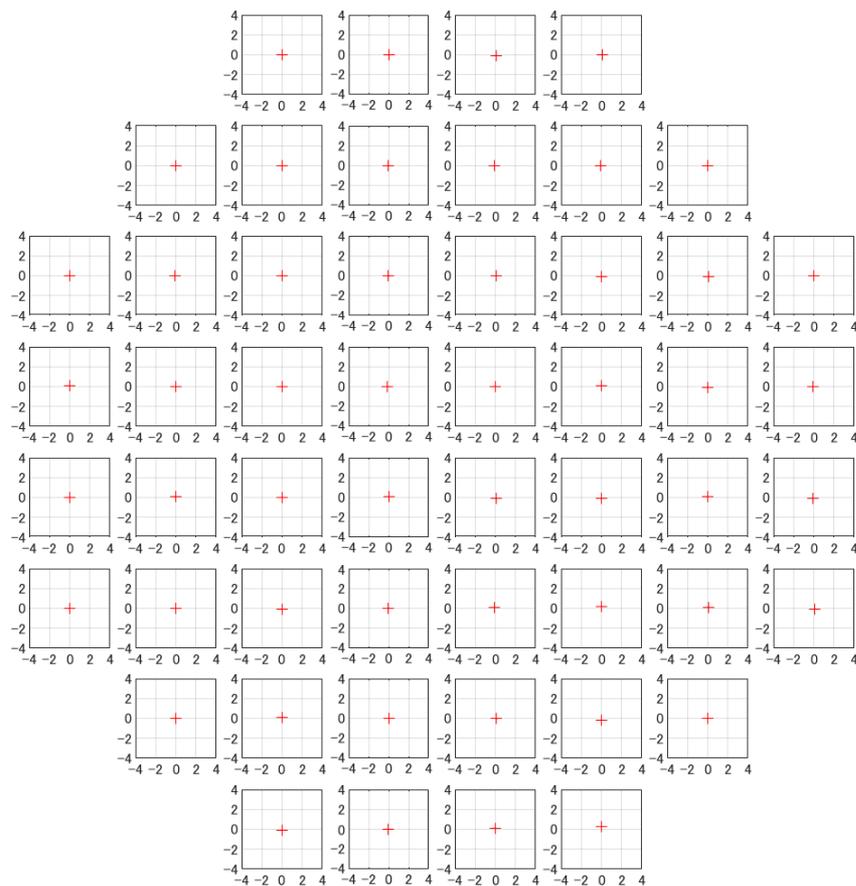


2.可変形鏡の仮想平面状態構築

仮想平面化前



仮想平面化後

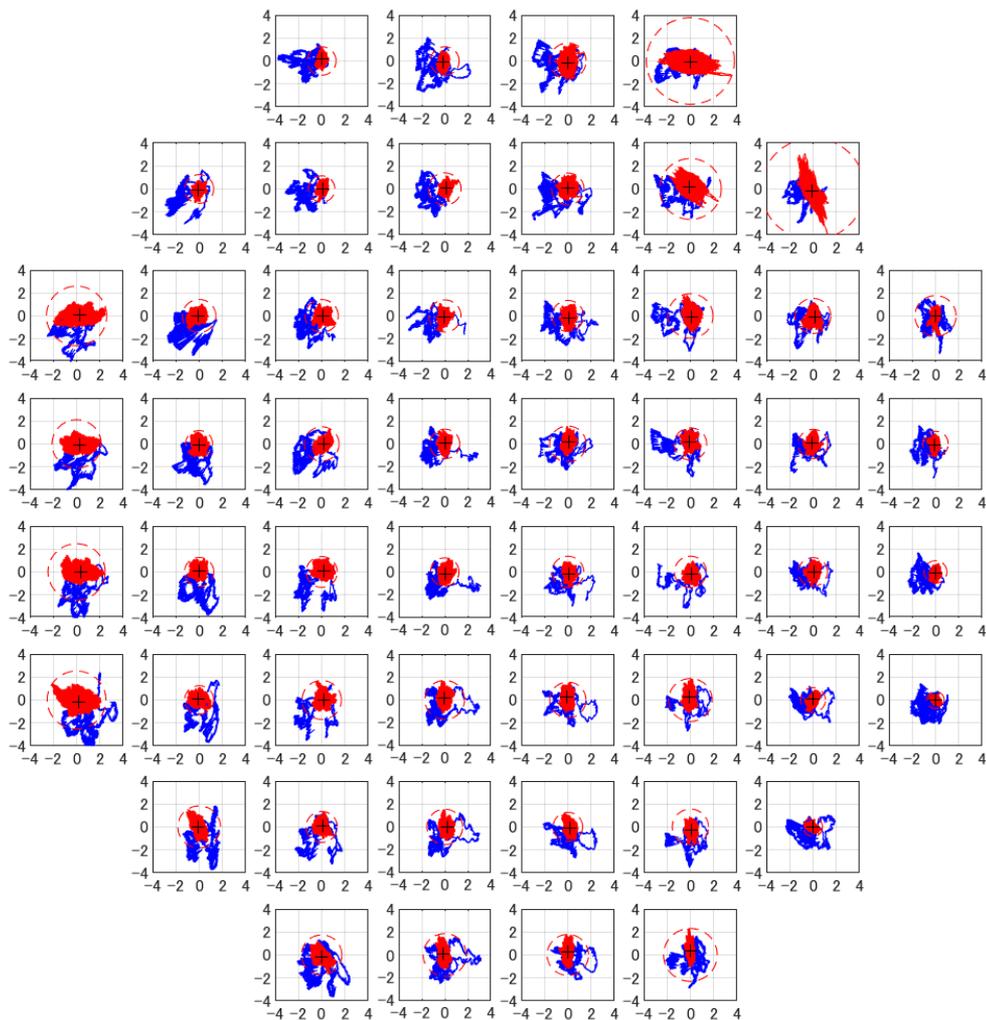


発表内容

- 1.補償光学概要
- 2.可変形鏡の仮想平面状態構築
- 3.制御実験
- 4.シミュレータ進捗
- 5.結言

3. 制御実験

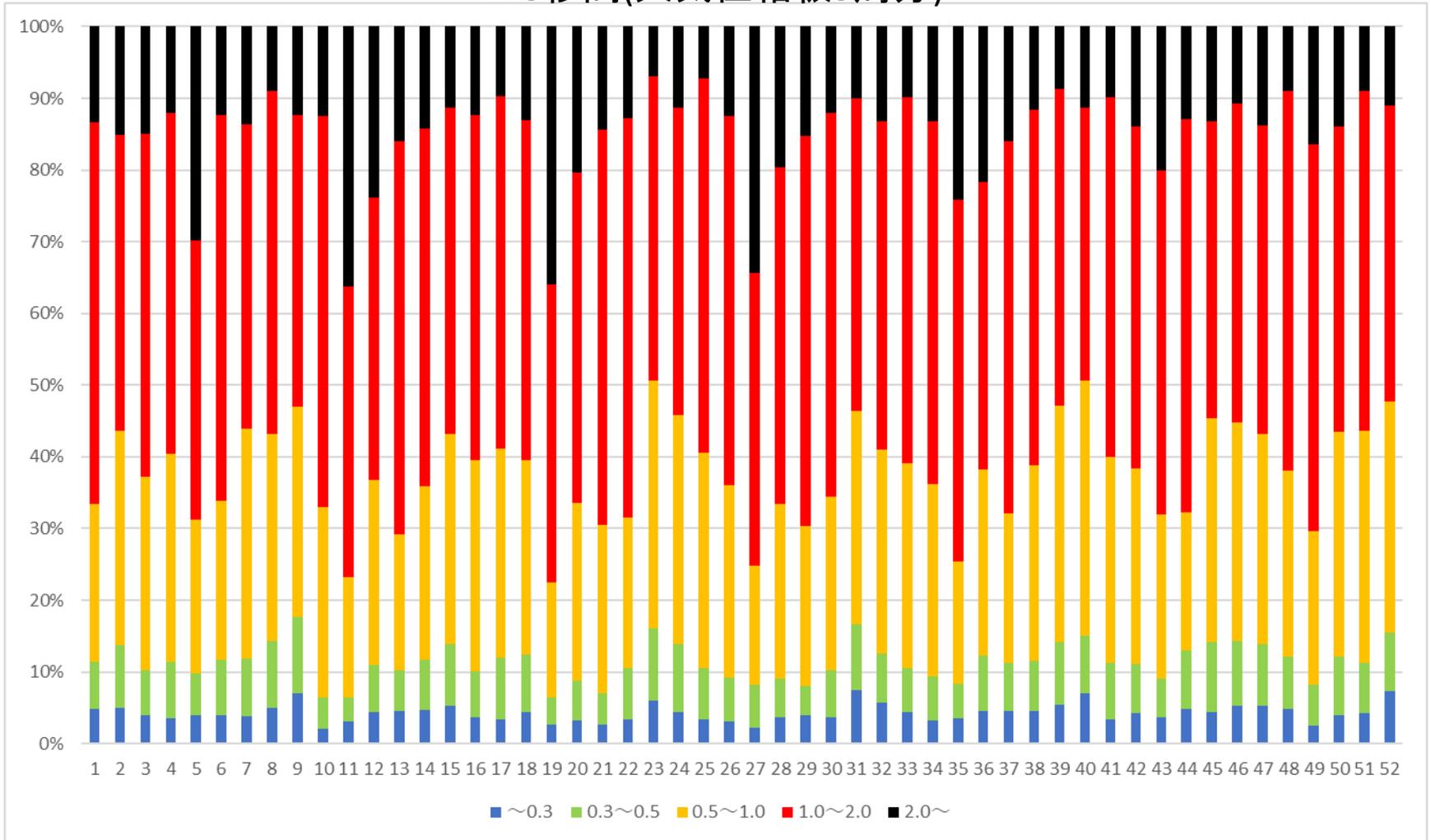
213秒間(大気位相板5周分)の制御結果



- 補償無しの際の重心の軌跡
- 補償有りの際の重心の軌跡
- - - 補償有りの際の重心の最大値
- + 補償有りの際の重心の平均位置

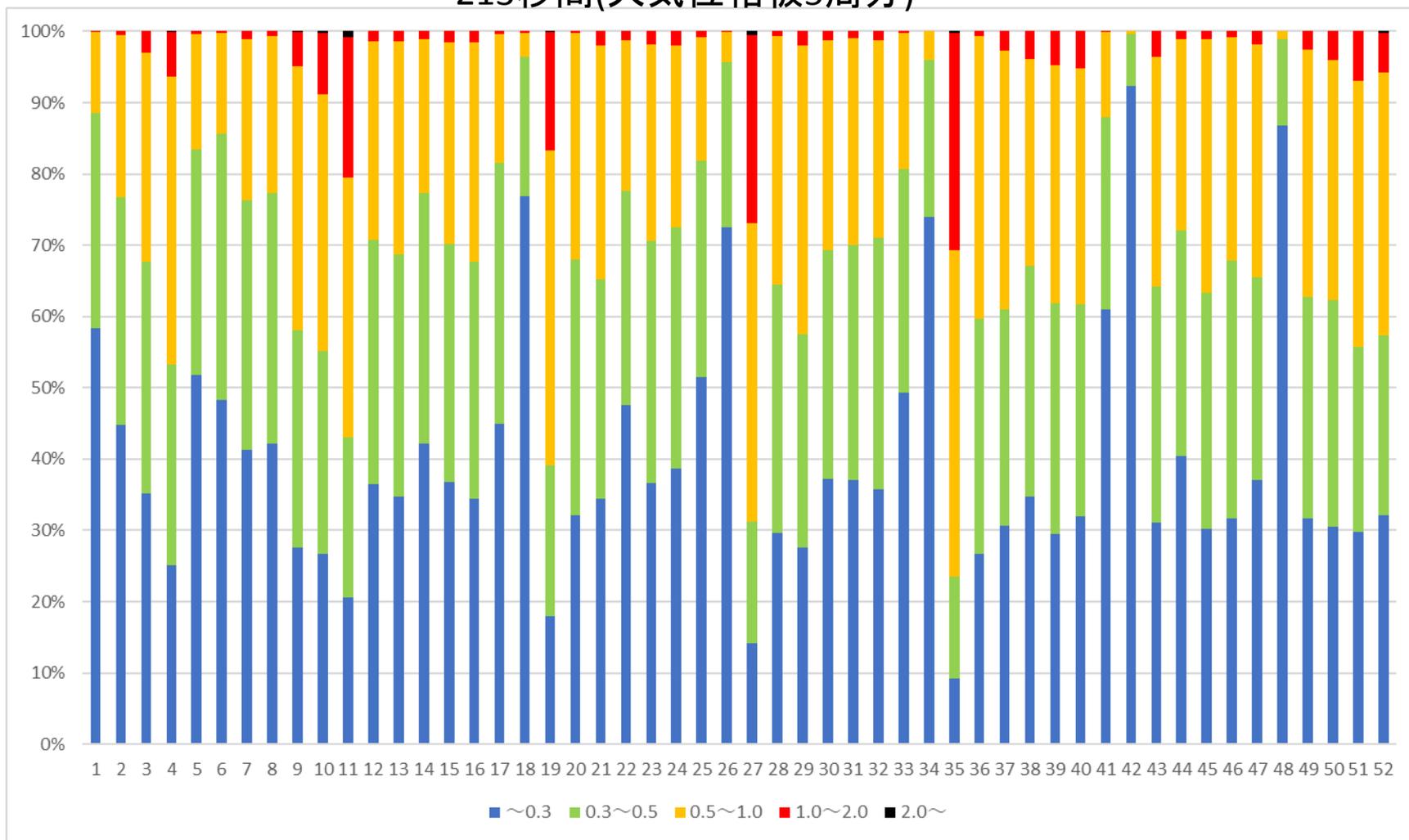
3. 制御実験

補償をかけていない時の重心位置の分布
213秒間(大気位相板5周分)



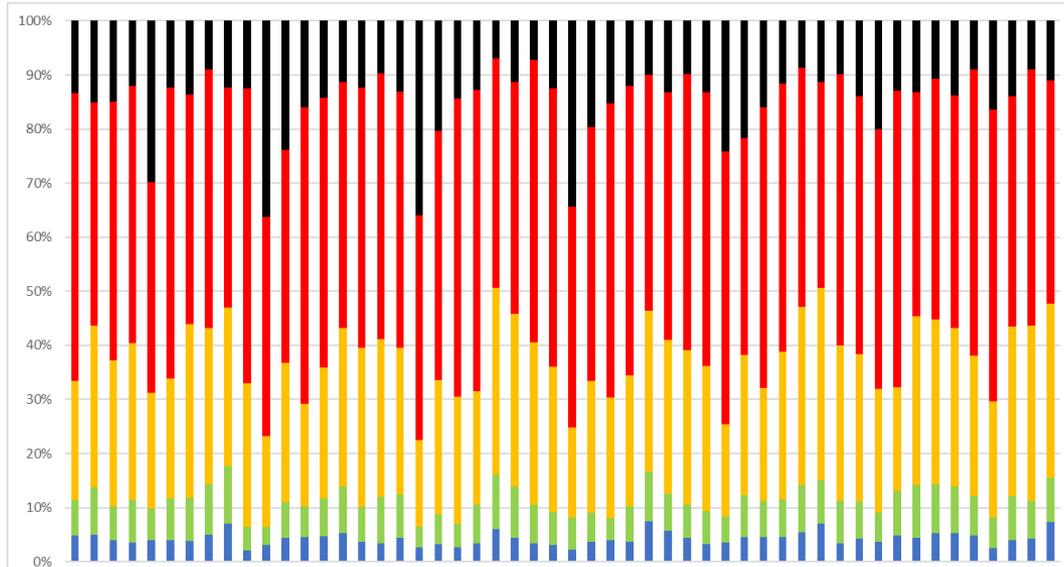
3.制御実験

補償をかけている時の重心位置の分布
213秒間(大気位相板5周分)

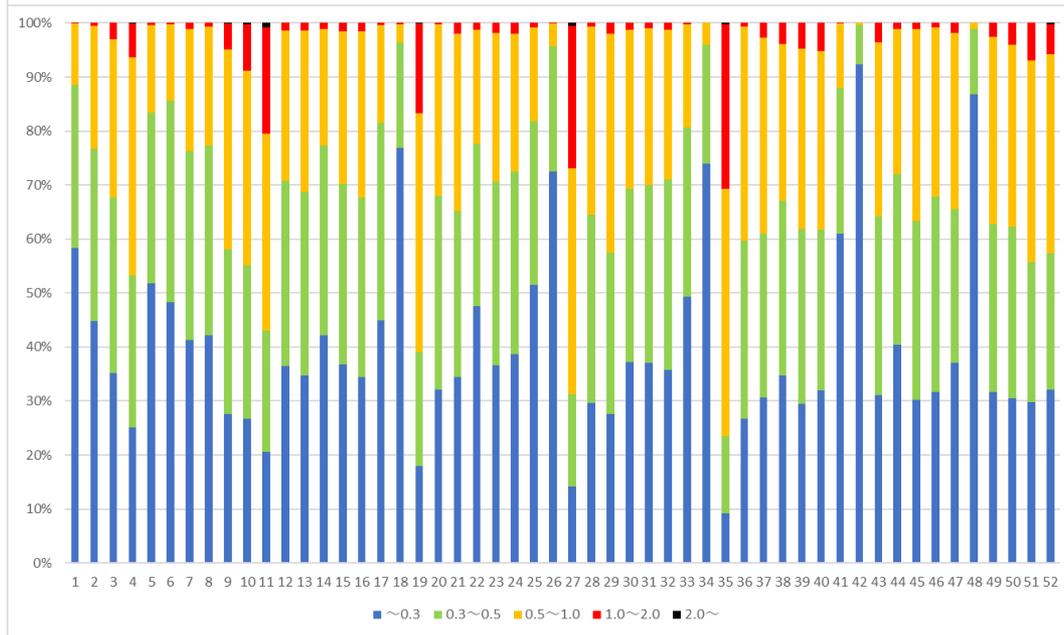


3. 制御実験

補償無し



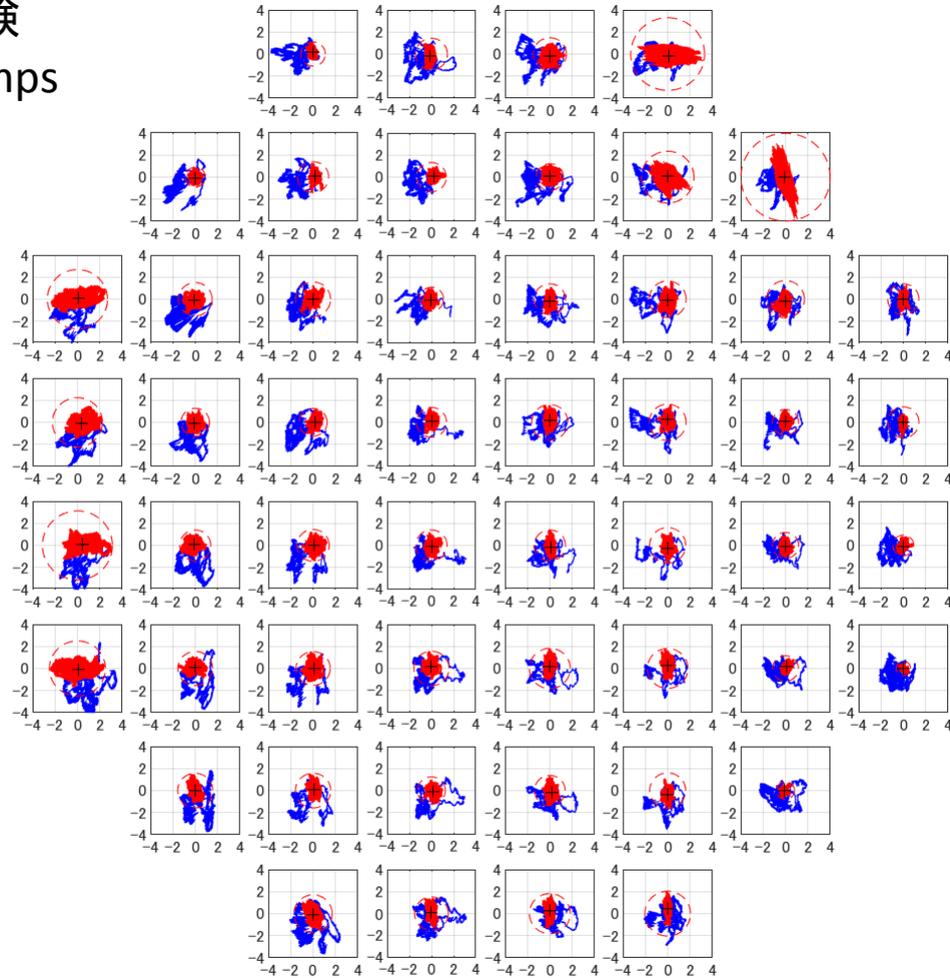
補償有り



3. 制御実験

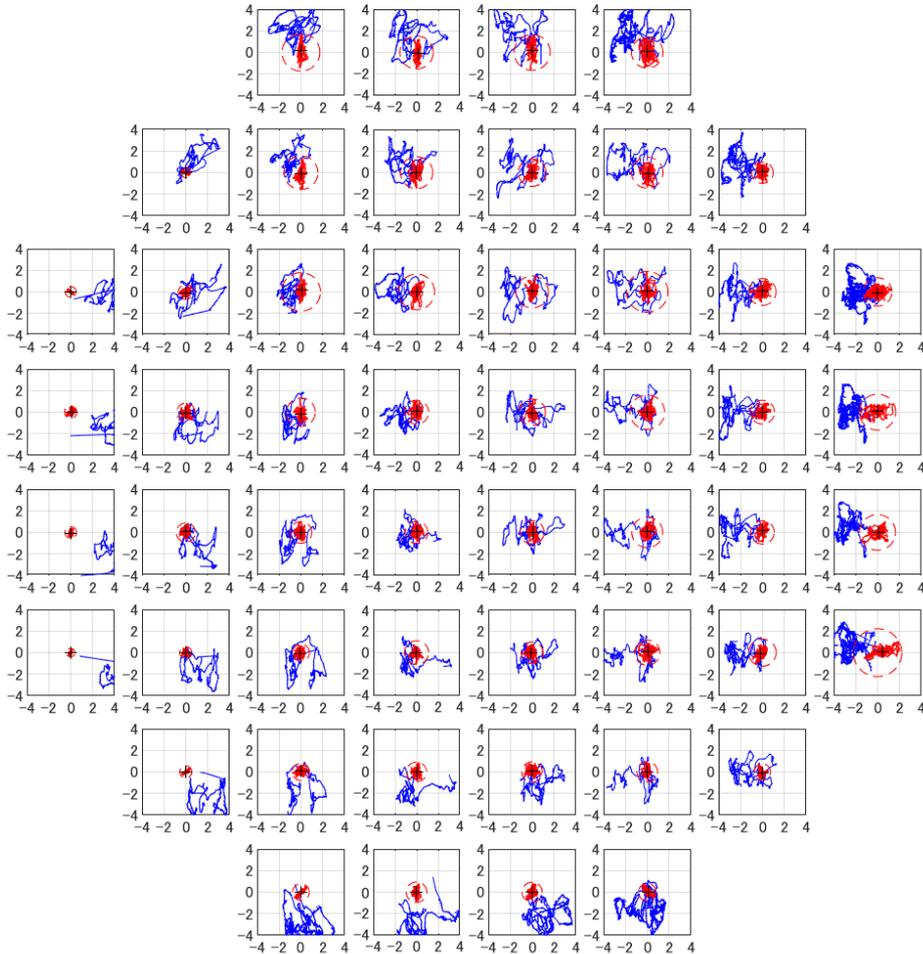
風速を変えての実験

14mps→10mps→6mps

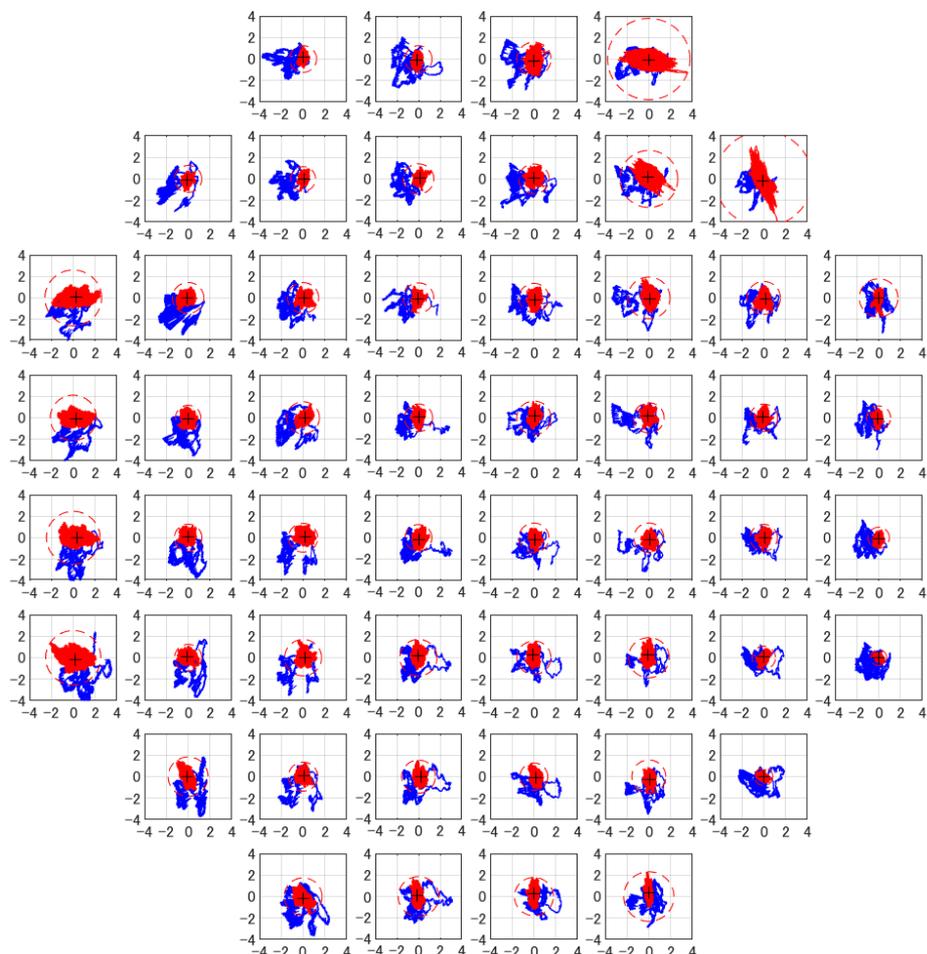


3.制御実験

6月に行った実験の結果(10sec)

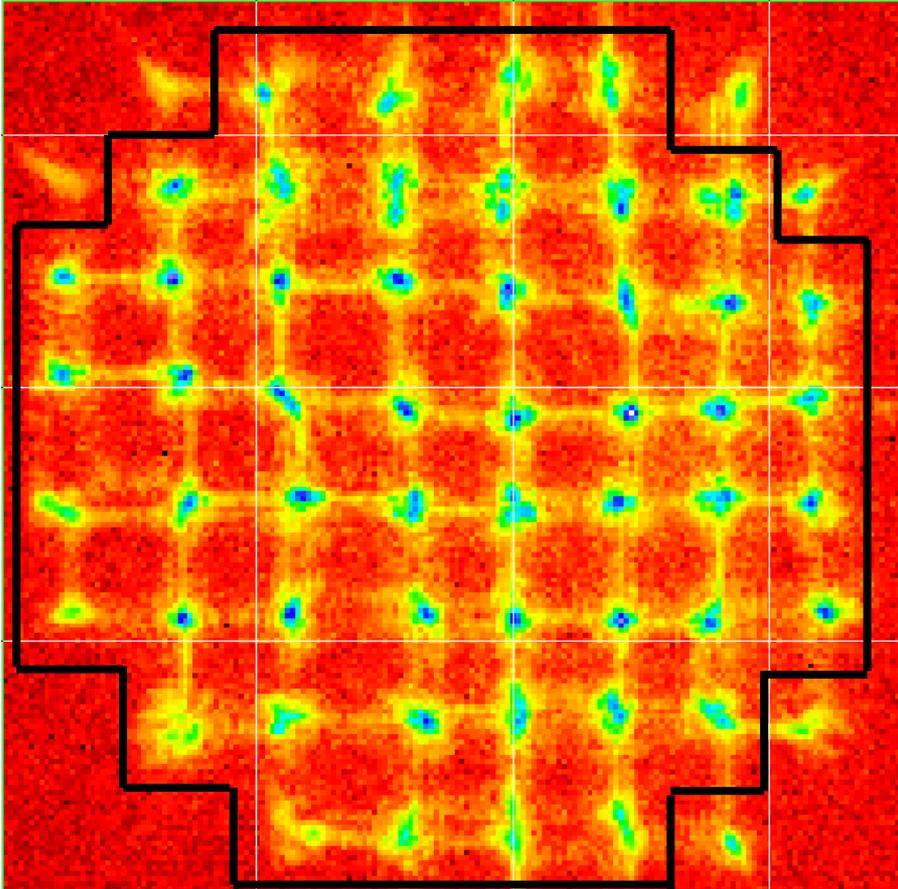


テスト光源等調整後



3.制御実験

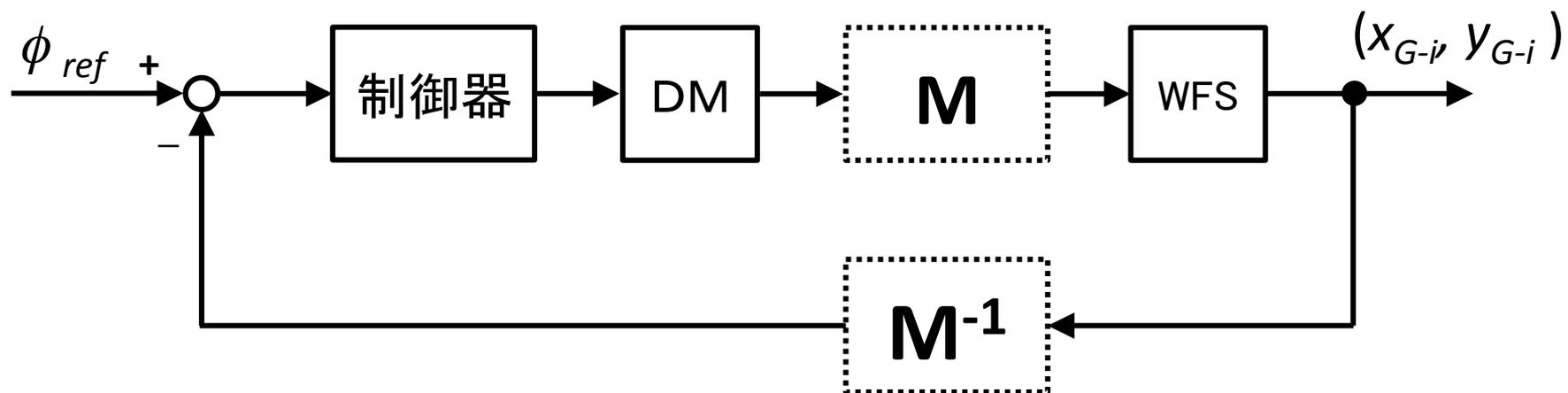
位相板を止めた状態でのSHWFSが取得している画像



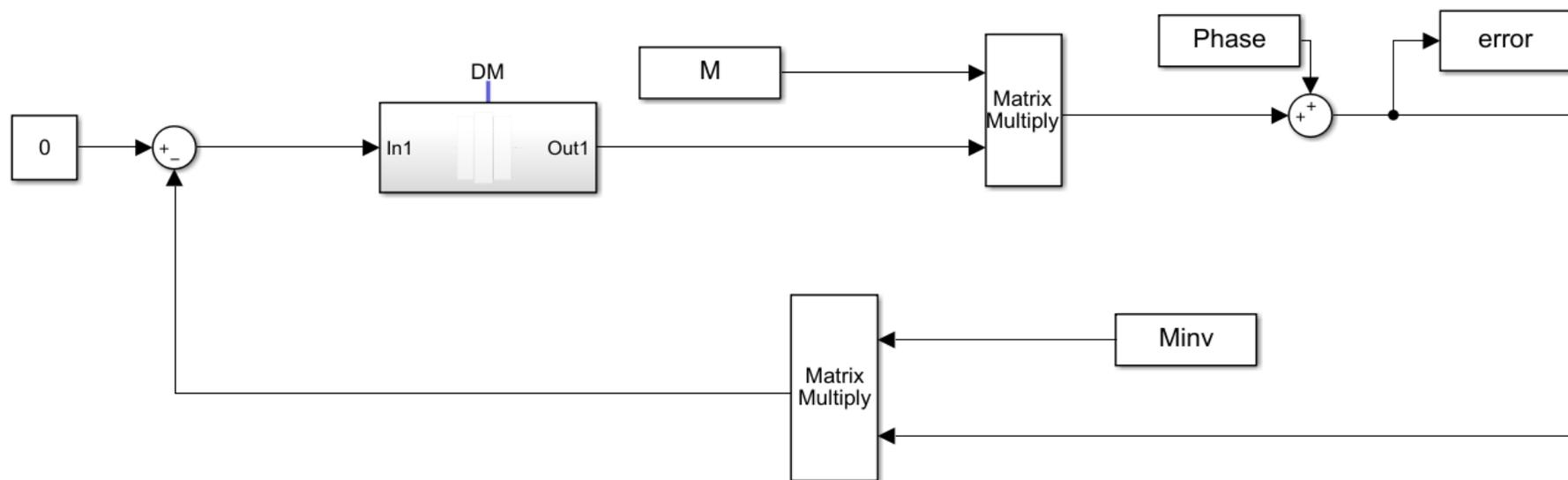
発表内容

- 1.補償光学概要
- 2.可変形鏡の仮想平面状態構築
- 3.制御実験
- 4.シミュレータ進捗
- 5.結言

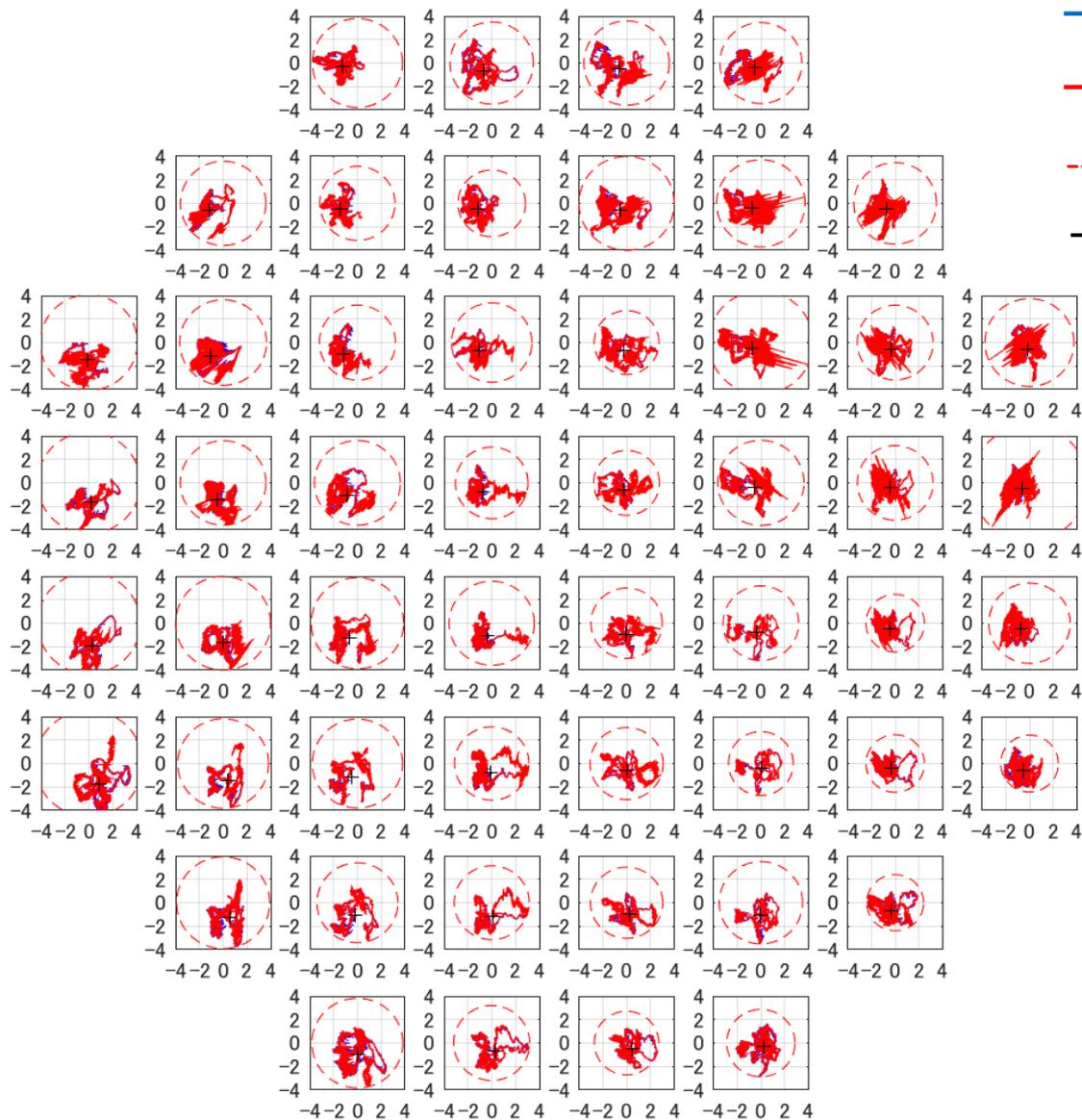
4. シミュレータ進捗



4. シミュレータ進捗



4. シミュレータ進捗



- 補償無しの際の重心の軌跡
- 補償有りの際の重心の軌跡
- - - 補償有りの際の重心の最大値
- + 補償有りの際の重心の平均位置

— と — はほぼ一致している。

発表内容

- 1.補償光学概要
- 2.可変形鏡の仮想平面状態構築
- 3.制御実験
- 4.シミュレータ進捗
- 5.結言

5. 結言

実験: 補償精度が上がらないのは
Tip/Tiltの影響が大きいと推測する.
今後, 確認のため更に実験を行う.

シミュレータ: 一先ず完成.
今後, 実験系で行いづらいテストを行い
実験系へのフィードバックを行う

極限補償光学装置の開発： 制御実験とシミュレーションによる評価



大阪電気通信大学大学院
工学研究科 制御機械工学専攻
MM18A012
藤田 勝

◆おわり