

SEICA極限補償光学の Woofersシステム制御

大阪電気通信大学
工学部 電子機械工学科
EH14A079
藤田 勝

発表内容

1.背景

2.補償光学装置概要

3.現在の状況

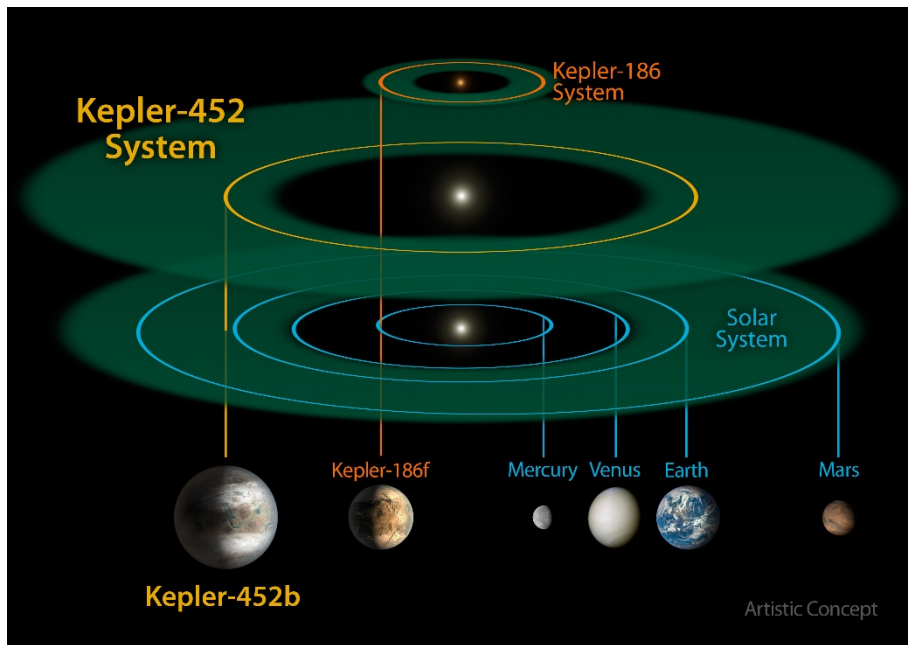
4.検証

4.1.風速を変えての実験

4.2.光軸ズレの検証

5.結言

1.背景



太陽系外惑星概要図(Kepler 452b)
出典:<https://www.nasa.gov/keplerbriefing0723>

太陽系外惑星

- ・ 太陽系外の恒星を中心に周回する惑星
- ・ 観測技術の発達・ケプラーの打ち上げ
→2000以上の太陽系外惑星が確認

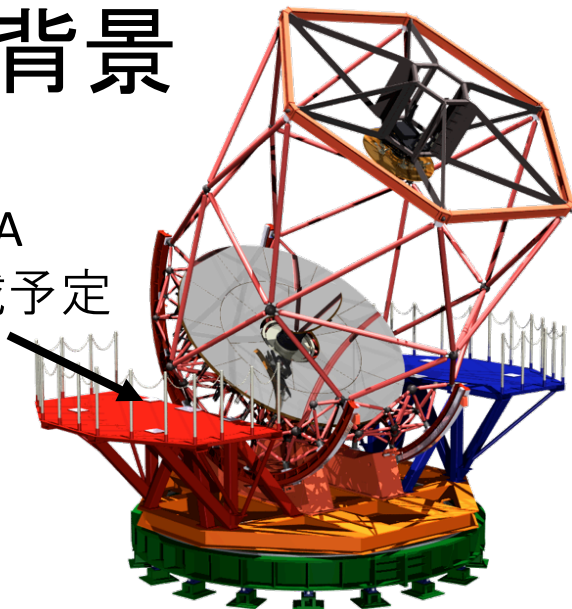
ハビタブルゾーン

- ・ 宇宙で生命が誕生する可能性がある
- ・ 惑星表面に液体の水が存在する空間
- ・ 2008年, 惑星候補の光子の直接観測

現在の直接観測の技術(直接撮像)では
より詳しい解析は困難

1. 背景

SEICA
搭載予定



京大岡山3.8m望遠鏡



30m望遠鏡

SEICA

(Second-generation Exoplanet Imager with
Coronagraphic Adaptive optics)

研究目標

木星型惑星の直接観測と調査
次世代技術の開発

- ・各種先進技術のテストベッド
- ・**極限補償光学系**が搭載
- ・京大岡山3.8m望遠鏡に設置

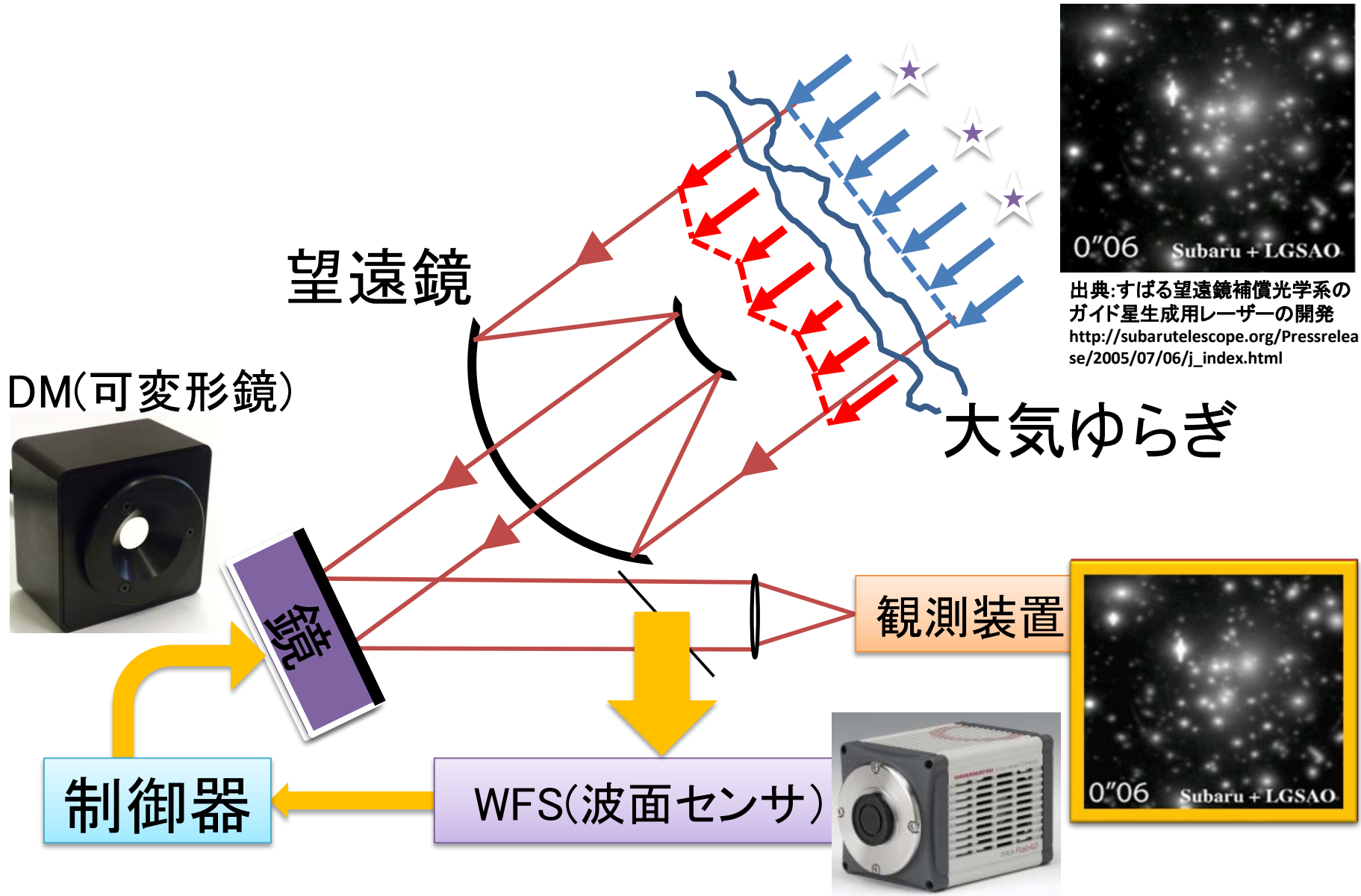


SEIT

(Second Earth Imager for Thirty meter telescope)

補償光学システムの開発を行う

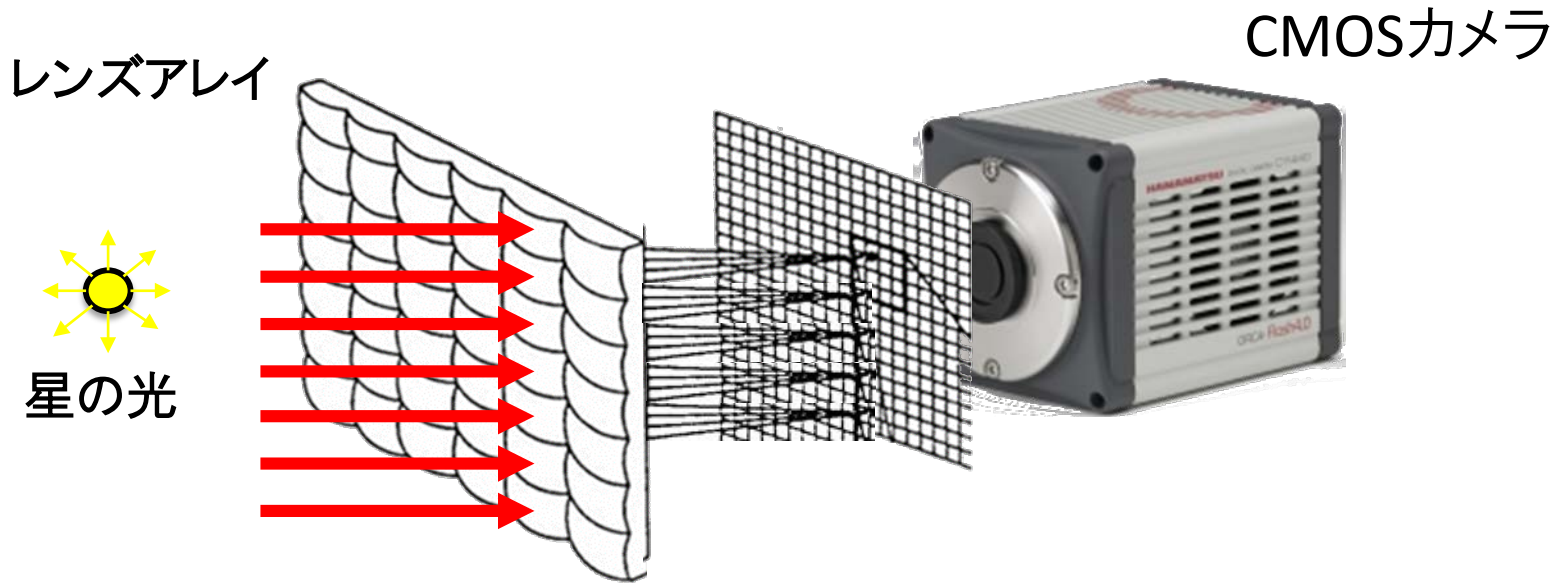
補償光学装置概要



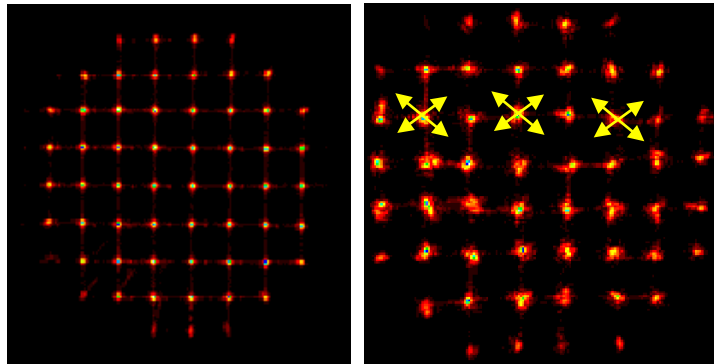
補償光学装置概要

波面センサ(WFS: Wave-Front Sensor)

- 浜松ホトニクス社製 ORCA-Flash4.0 V2



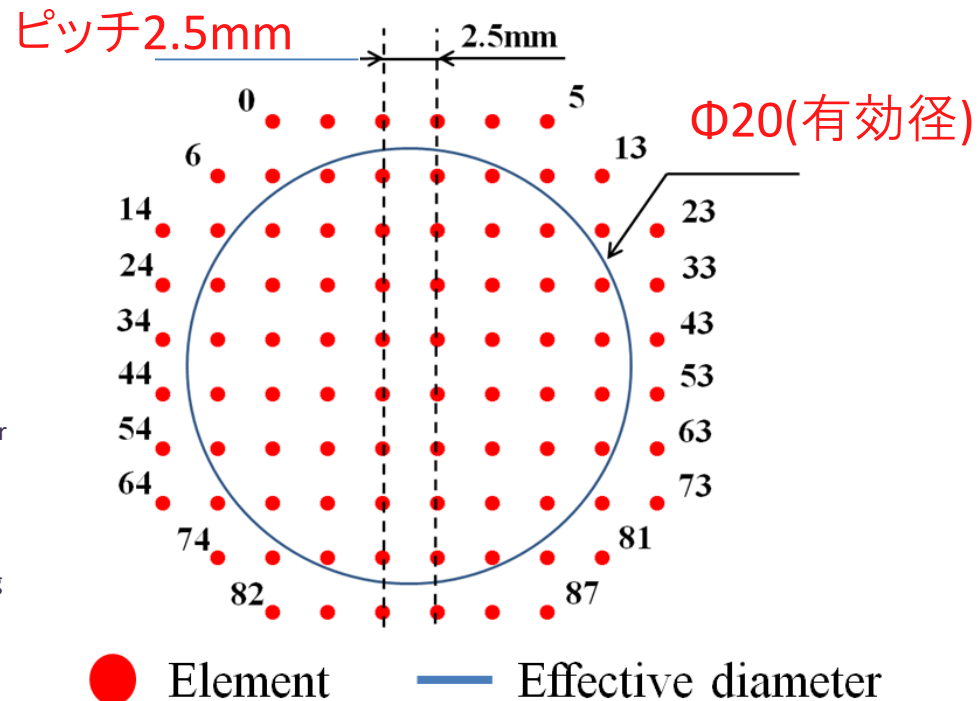
平行光が入射すると
各レンズ毎の焦点に結像



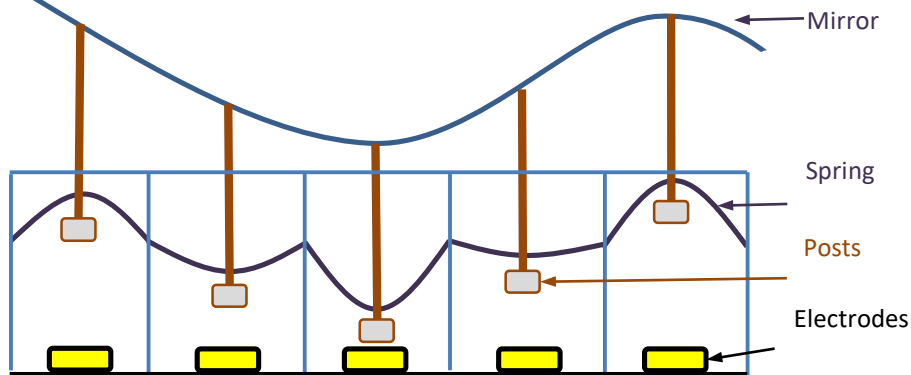
波面が乱れるときは結像点の
移動量より波面の傾きを測定

補償光学装置概要

可変形鏡(ALPAO社製 ALPAO DM 88-25)

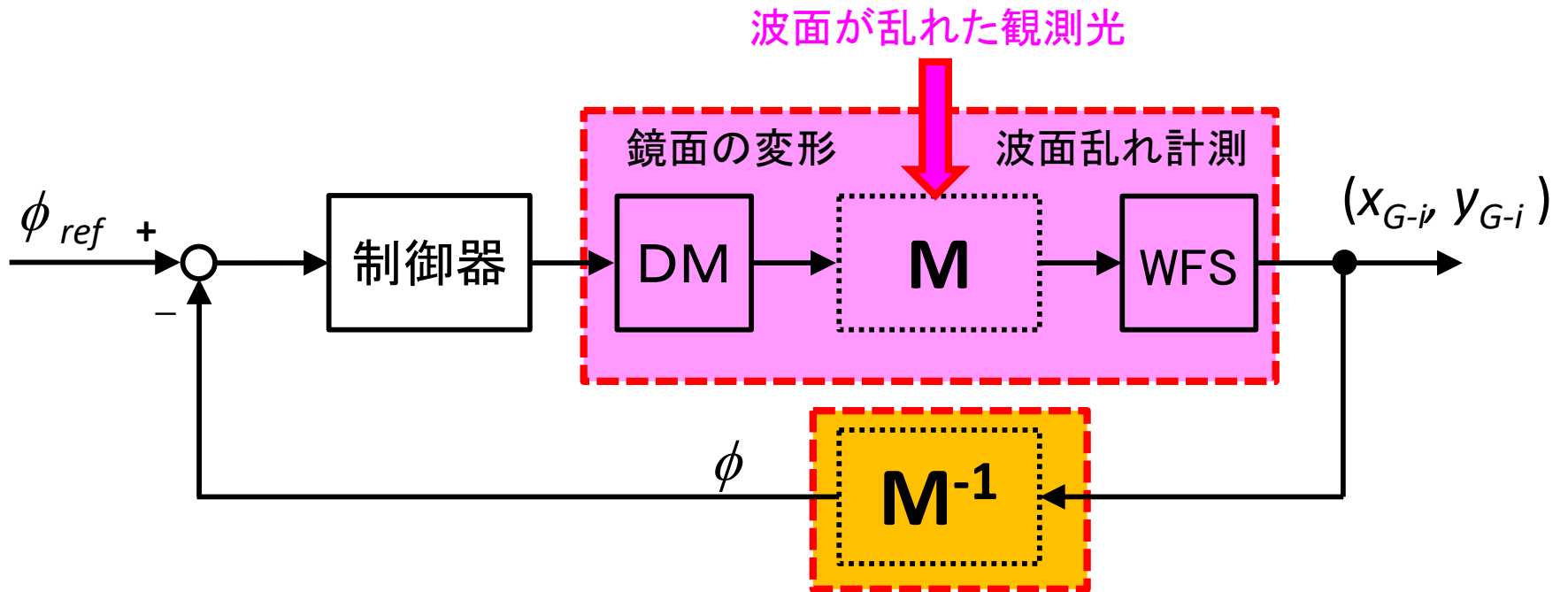


Elements	88(52)
Effective diameter	20mm
Distance of elements	2.5mm



Actuation principle of DM

補償光学装置概要 制御器周辺 作用行列



$$\begin{bmatrix} d_1 \\ \vdots \\ d_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M_{inv-11} & M_{inv-12} & \cdots & M_{inv-1,2m} \\ M_{inv-21} & M_{inv-22} & \cdots & M_{inv-2,2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ M_{inv-n,1} & M_{inv-n,2} & \cdots & M_{inv-n,2m} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_m \\ y_1 \\ \vdots \\ y_m \end{bmatrix}$$

疑似逆行列

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_m \\ y_1 \\ \vdots \\ y_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M_{11} & M_{12} & \cdots & M_{1n} \\ M_{21} & M_{22} & \cdots & M_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ M_{m1} & M_{m2} & \cdots & M_{mn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d_1 \\ \vdots \\ d_n \end{bmatrix}$$

非正則な写像

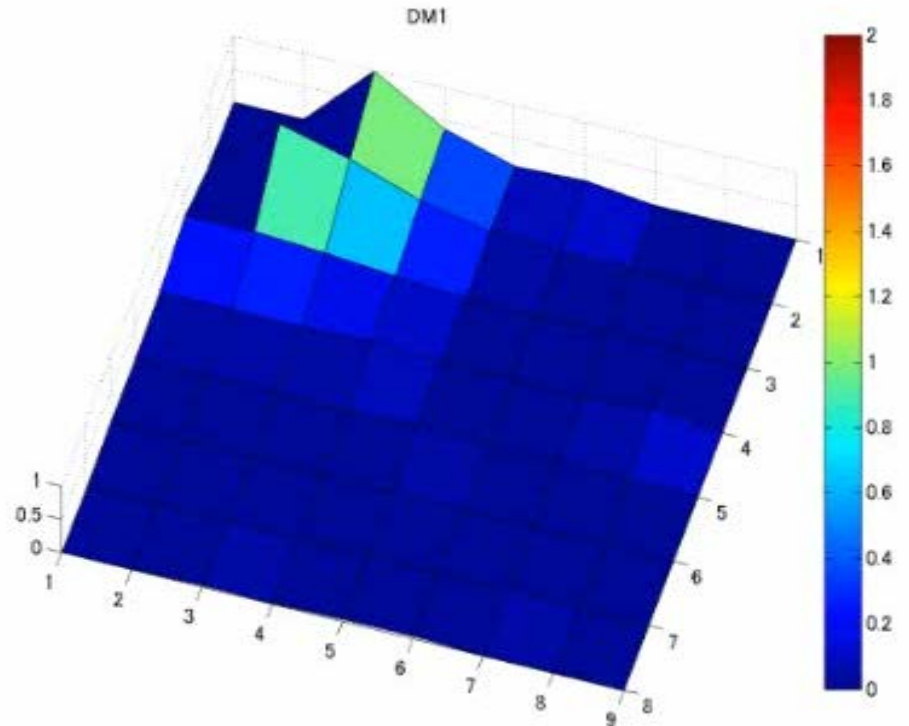
補償光学装置概要 制御器周辺 作用行列

DMとWFSの間の相関を測定し多項式近似する

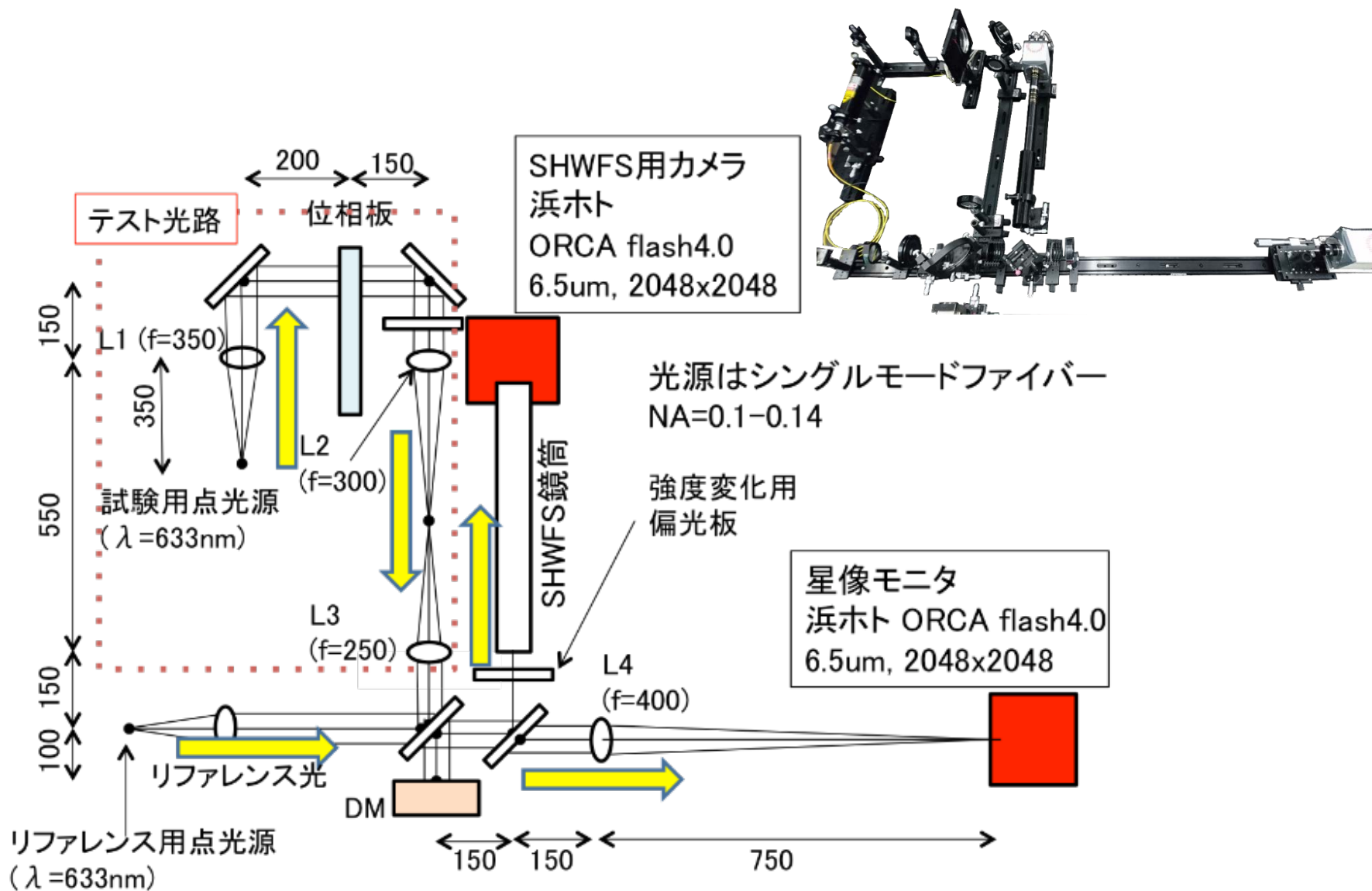
DMの変位にともなうWFSのセンシング



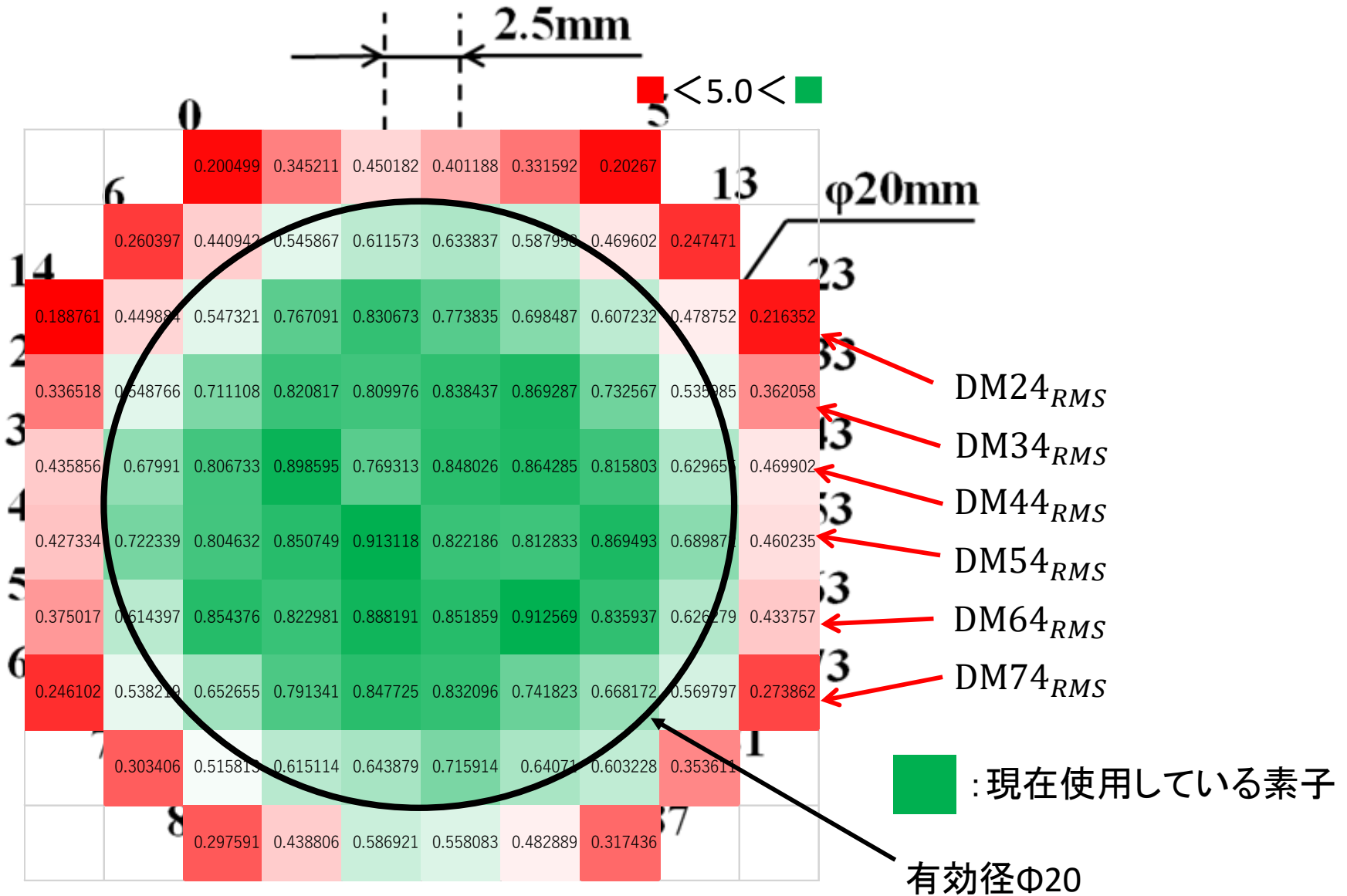
DMの変位(一つずつ一定時間変位)



補償光学装置概要

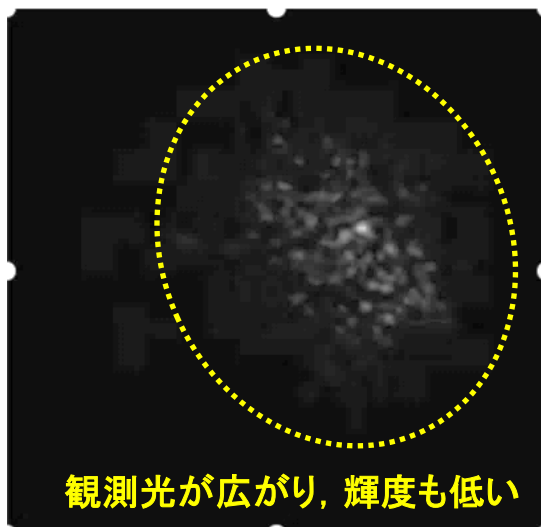


現在の状況 DM素子選定

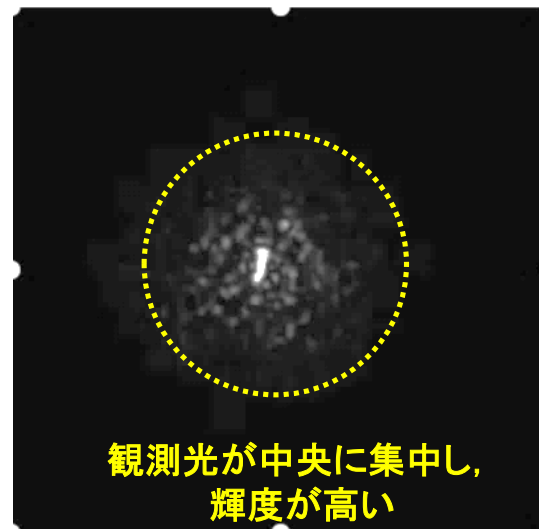


実験結果

サイエンスカメラの撮像データ

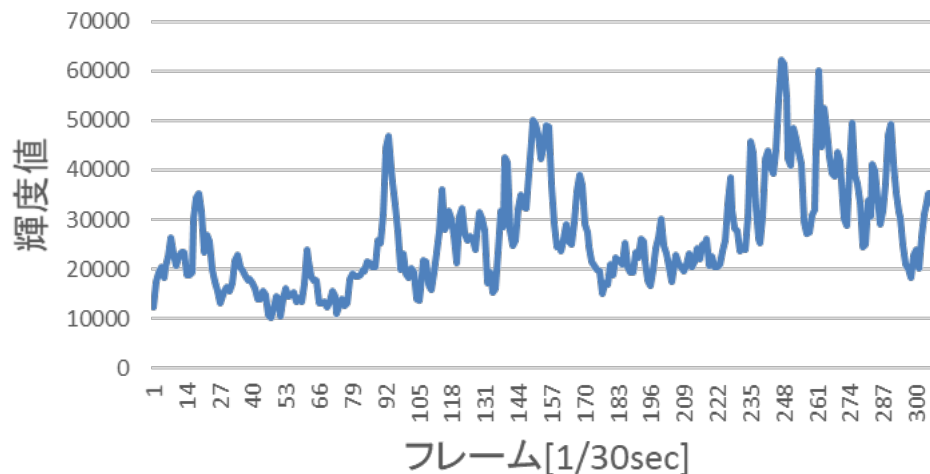


波面補償無し



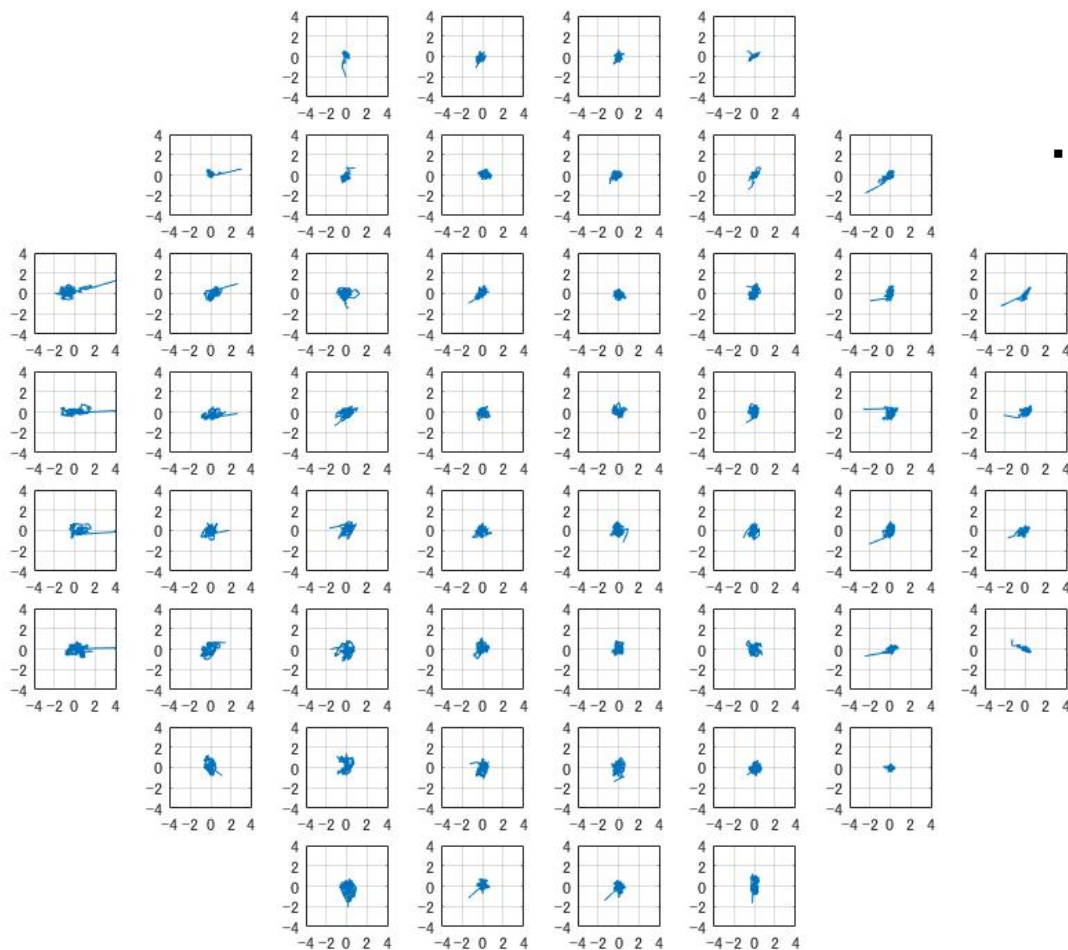
波面補償有り

最高輝度値の推移



輝度値(peek-peek)
NoAO 9500-10000
WithAO 10000-62000

現在の状況



・原点からの距離(全開口)

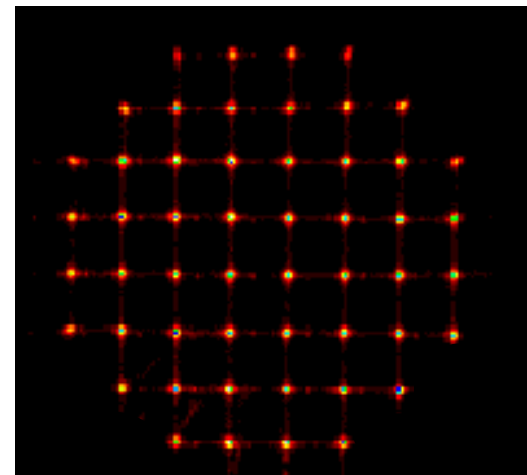
平均0.3623[pix]

標準偏差0.1968[pix]

・原点からの距離(peek-peek)

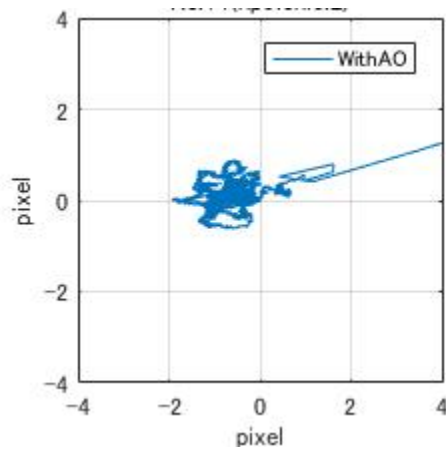
平均0.7250-0.1777 [pix]

標準偏差0.4098-0.1032 [pix]

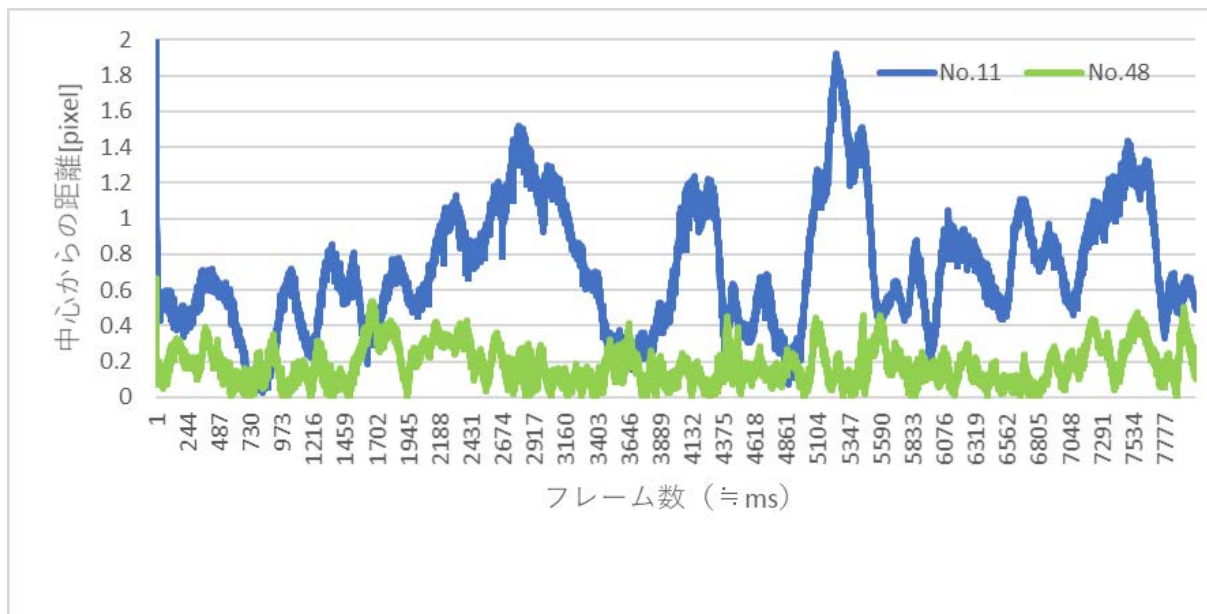
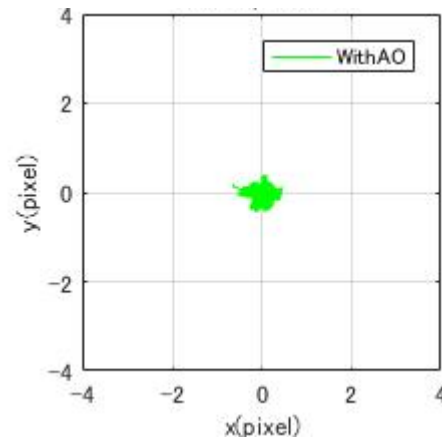


実験結果

開口No.11(最悪)



開口No.48(最良)



実験結果



風速を変えての実験

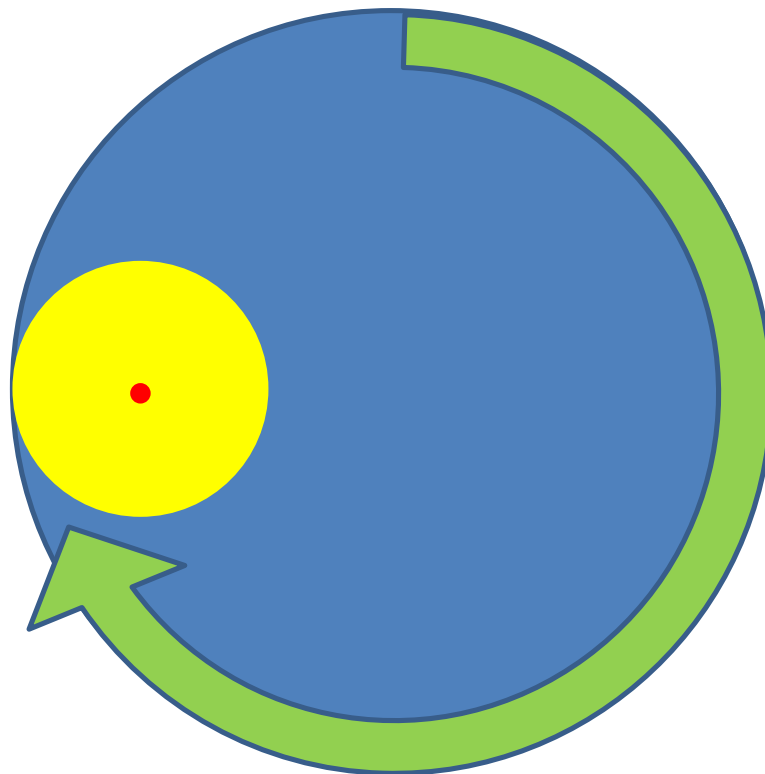


大気位相板

設定した速度に対して、
通過点の端では約 ± 4.0 [m/s]の差が出る

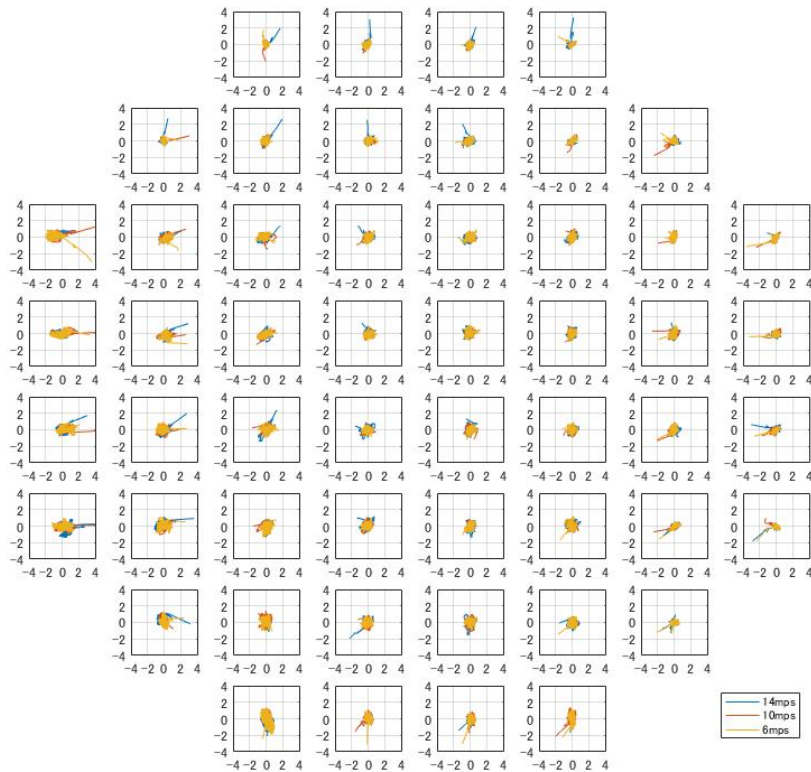


現在、左側は約1.4倍の位相変化を補償している
(右側は約0.6倍)



風速を変えての実験

それぞれの風速での軌跡を重ねて比較

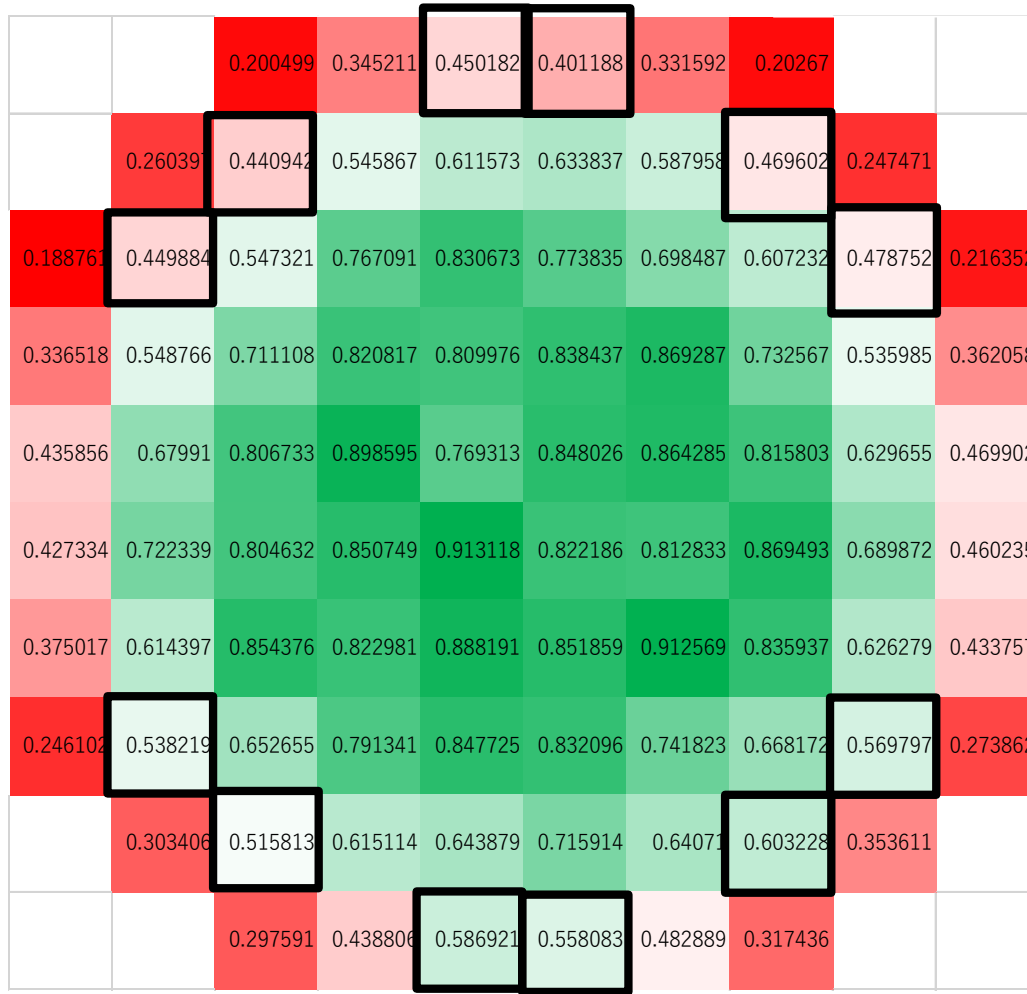


		6m/s	10m/s	14m/s
平均位置	MAX.	0.8575	0.8458	0.8100
	MIN.	0.1798	0.1899	0.2003
	AVE.	0.3769	0.3916	0.3852
移動平均	MAX.	0.4621	0.5164	0.3634
	MIN.	0.0974	0.1208	0.1247
	AVE.	0.2076	0.2153	0.2056

ほぼ一致してるように見えるが...

光軸ズレの検証

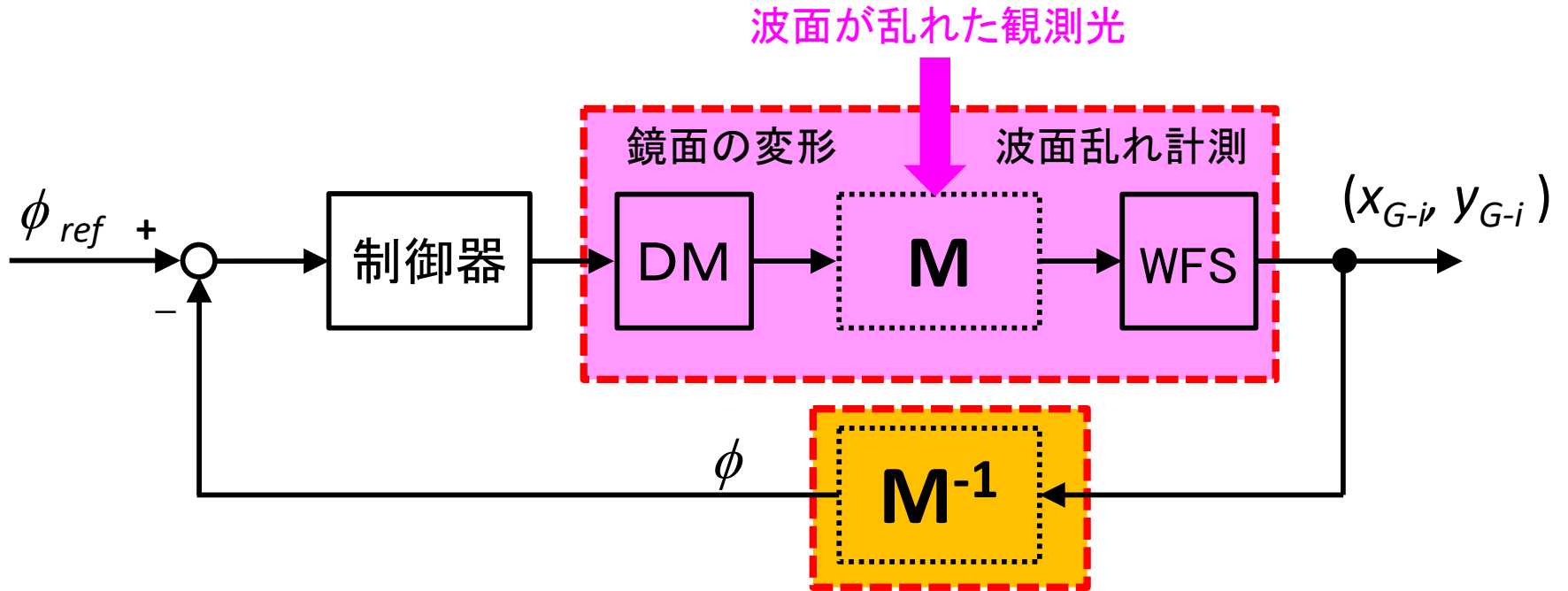
■ <0.5< ■



上方に比べ下方のスコアが
良く、光軸ズレが懸念される

作用行列Mの要素の値
(DM→WFSの相関の強さを示す)

作用行列



$$\begin{bmatrix} d_1 \\ \vdots \\ d_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M_{inv-11} & M_{inv-12} & \cdots & M_{inv-1,2m} \\ M_{inv-21} & M_{inv-22} & \cdots & M_{inv-2,2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ M_{inv-n,1} & M_{inv-n,2} & \cdots & M_{inv-n,2m} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_m \\ y_1 \\ \vdots \\ y_m \end{bmatrix}$$

疑似逆行列

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_m \\ y_1 \\ \vdots \\ y_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M_{11} & M_{12} & \cdots & M_{1n} \\ M_{21} & M_{22} & \cdots & M_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ M_{m1} & M_{m2} & \cdots & M_{mn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d_1 \\ \vdots \\ d_n \end{bmatrix}$$

非正則な写像

光軸ズレの検証

■ <1.0< ■

		2.659622	2.310105	1.809231	1.730337	2.500892	2.990748		
	2.365566	1.135161	0.961389	0.573071	0.374954	0.621599	1.038698	0.931205	
2.581235	1.239365	0.546591	0.343625	0.201868	0.137751	0.243405	0.247856	0.519827	1.325141
1.056752	0.787565	0.261042	0.151115	0.108977	0.078275	0.117082	0.142498	0.220091	0.731652
0.569177	0.404042	0.202391	0.102608	0.083684	0.068774	0.067891	0.098487	0.153101	0.352437
0.677662	0.284925	0.176662	0.116474	0.068745	0.00926	0.06963	0.077118	0.108502	0.338475
1.039105	0.400592	0.211155	0.119093	0.070709	0.059987	0.056249	0.063558	0.145795	0.490442
1.361163	0.549109	0.307283	0.149445	0.094492	0.078123	0.078235	0.121523	0.375767	0.768749
	0.852274	0.378992	0.213154	0.185059	0.128183	0.165607	0.371054	0.389497	
		1.571525	1.00548	0.399876	0.263899	0.463876	0.638005		

ズレによりレンズアレイで作られる結像点の輝度が低い(?)

● : 実際を中心点

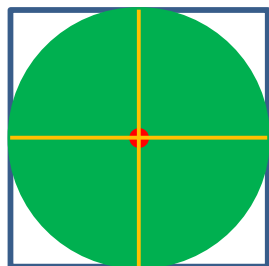
擬似逆行列 M^{-1} の要素の値
(WFS→DMの相関の強さを示す)

光軸ズレの検証

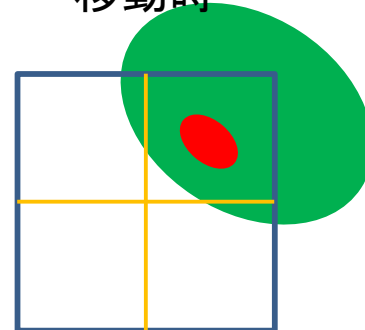
通常時

移動時

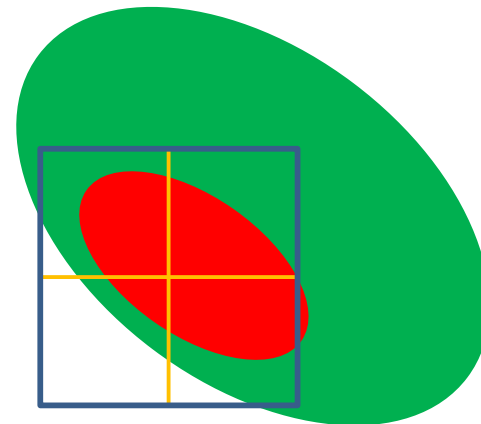
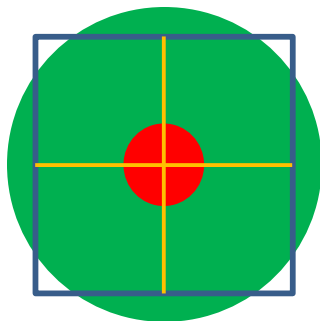
反応の良い開口



どこかの素子が動く



反応の悪い開口



- : 開口
- : 光が入っている全体位置
- : ピークが立ちうる位置

結言

◆まとめ

DMの素子を決定し補償をかけた結果、開口それぞれの抑圧度合いに差が出ており、その原因を調査した。

その結果、光軸ズレに依る開口のピークの立ち方に依って、取得される作用行列要素が変わる為、補償に差異が現れていると推定した。

◆今後の予定

- ・素子選定時の作用行列取得回数を複数回の平均にすることにより対応。(済)
- ・また、その取得回数を幾度取得すれば安定した抑圧ができるかの調査。(現在は10回取得しているが...)
- ・他の要因がないかのさらなる調査。