



川畑佑典, 勝川行雄, 都築俊宏, 浦口史寛, 三ツ井健司, 篠田一也, 田村友範, 納富良文, 原弘久, 久保雅仁 (国立天文台)

近赤外線偏光分光装置 SCIP

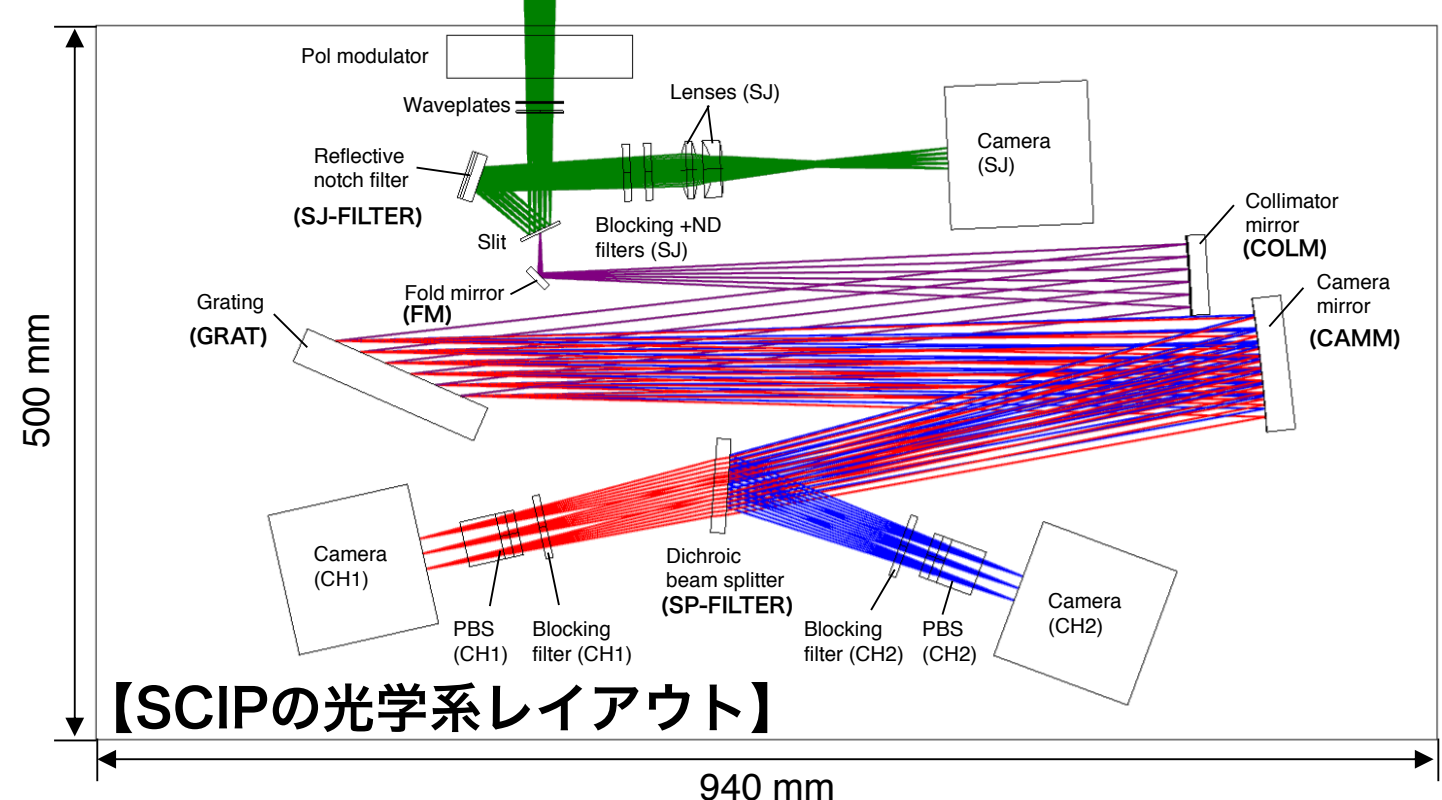
SCIPは国際大気球実験SUNRISE-3に搭載される偏光分光装置であり、光球・彩層の3次元磁場を高空間分解能で観測することにより恒星大気のパラマ加熱・加速メカニズムの理解を目指している。

その特徴として

- ・高空間分解能(0.2秒角@850nm)
- ・高精度の偏光分光観測(3×10^{-4} の偏光精度)
- ・2つの波長帯(850nm, 770nm)における直交二偏光の同時測定

が挙げられる。SCIPは以下の様に偏光分光器のSPとスリット撮像系のSJから構成される。

Spectro-Polarimeter(SP)	
スリット幅、長さ	11 μ m, 6.8mm
観測波長	CH1: 850nm帯 (846.6-854.7 nm in air) CH2: 770nm帯 (765.5-771.6 nm in air)
波長サンプリング	CH1: 42.3mÅ, CH2: 38.5mÅ
視野	58"(スリット)x58"(スキャン)
Slit-Jaw(SJ)	
視野	7.6mmx7.6mm (64"x64")
波長帯	770-771 nm (in air)



【光学アライメントの目的】

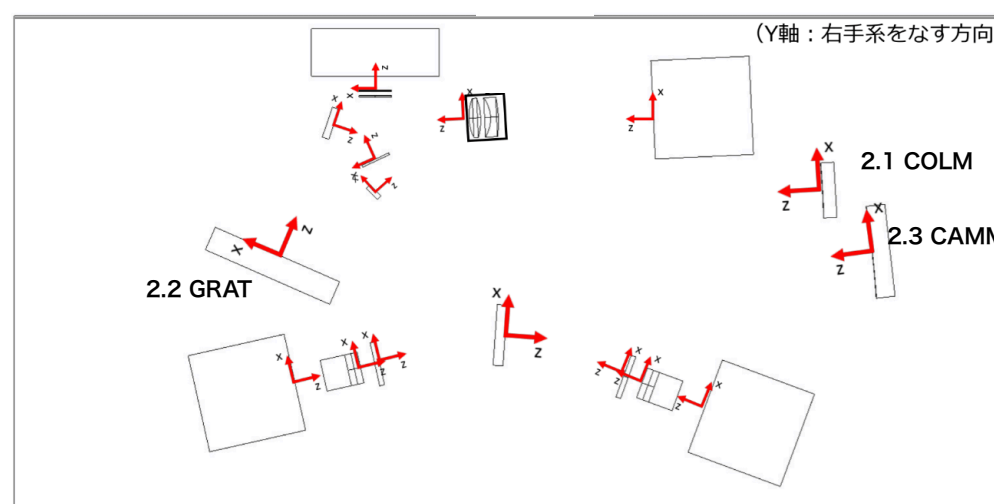
- ・光学素子の傾き、並進起源の収差(主に非点収差)の除去
 - ・SCIPが要求する波長範囲をカバーするようにカメラを調整
 - ・SCIP単体で要求される波面誤差(48nm RMS)の達成
- ### 【調整方法】
- ・シムによる調整
 - ・カメラのみマイクロメータによるフォーカス調整機構

【アライメント手順】

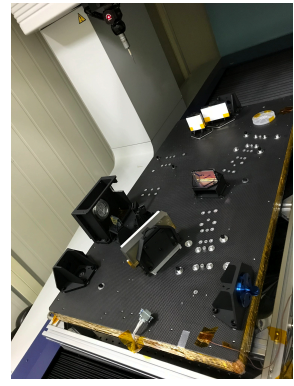
1. 三次元測定によるアライメント
2. 光学測定によるアライメント
 - 2.1 COLMのZ軸並進調整
 - 2.2 GRATの θ_z 調整
 - 2.3 CAMM θ_y の調整
 - 2.4 FMの調整(本ポスターでは省略)
 - 2.5 太陽光試験
 - 2.6 結像性能評価

Element	Shift/Tilt	Tolerance
Optical		
Mechanical		
SP-SLIT	X 0.1 mm	0.1 mm
	Shift Y 0.1 mm	0.1 mm
	Z 0.1 mm	0.1 mm
	X 1 arcmin	1 arcmin
	Tilt Y 1 arcmin	4 arcmin
	Z 1 arcmin	10 arcmin
SP-FM	X 0.1 mm	0.5 mm
	Shift Y 0.1 mm	0.5 mm
	Z 0.1 mm	0.1 mm
	X 1 arcmin	1 arcmin
	Tilt Y 1 arcmin	1 arcmin
	Z 2 arcmin	18 arcmin
SP-COLM	X 0.1 mm	0.1 mm
	Shift Y 0.1 mm	0.1 mm
	Z 0.1 mm	0.1 mm
	X 1 arcmin	1 arcmin
	Tilt Y 1 arcmin	1 arcmin
	Z 2 arcmin	6 arcmin

光学素子形状公差、設置公差



三次元測定に基づく光学素子アライメント



接触型三次元測定器

Mitsutoyo LEGEX910による位置測定

各素子の基準面3面(上面、側面、裏面 or 表面)を測定し剛体の6自由度を導出し7回の測定、シムによる素子の並進・傾き調整を行なった

	SLIT	FM	COLM	GRAT	CAMM	SJ-FILTER	SP-FILTER
傾き (arcmin)							
θ_x	0.516 (1)	0.756 (1)	-0.138(1)	0.309 (1)	0.000 (1)	0.378 (1)	-0.688 (1)
θ_y	0.355 (4)	-1.143 (1)	0.181(1)	0.419 (1)	0.48 (1)	-8.666 (4)	-1.329 (4)
θ_z	7.292 (10)	19.252 (18)	-4.905 (6)	1.14 (2.5)	-1.017 (3)	-0.958 (18)	-4.791 (6)
並進 (mm)							
Dx	0.139 (0.1)	0.264 (0.5)	-0.013 (0.1)	-0.141 (0.5)	0.043 (0.1)	0.126 (0.5)	0.08 (0.5)
Dy	0.021 (0.1)	-0.077 (0.5)	0.019 (0.1)	-0.004 (0.5)	-0.03 (0.1)	-0.069 (0.5)	0.129 (0.5)
Dz	-0.004 (0.1)	-0.029 (0.1)	0.034 (0.1)	0.145 (0.5)	0.04(0.1)	-0.103 (0.1)	0.005 (0.5)

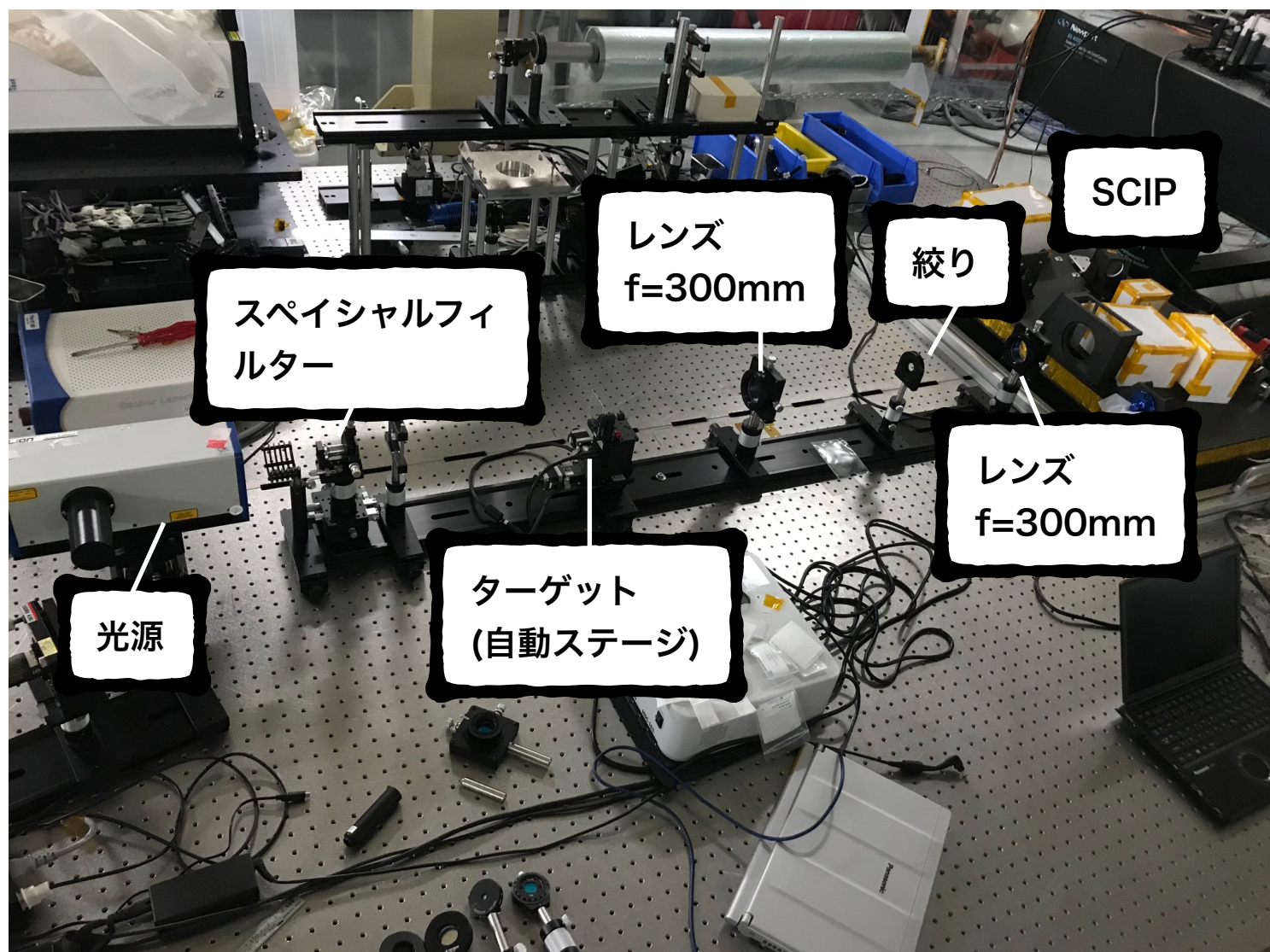
(1)内は機械精度の設置公差

光学測定:入射光学系の構築

主に以下の2種類の設定で光学測定を行なった

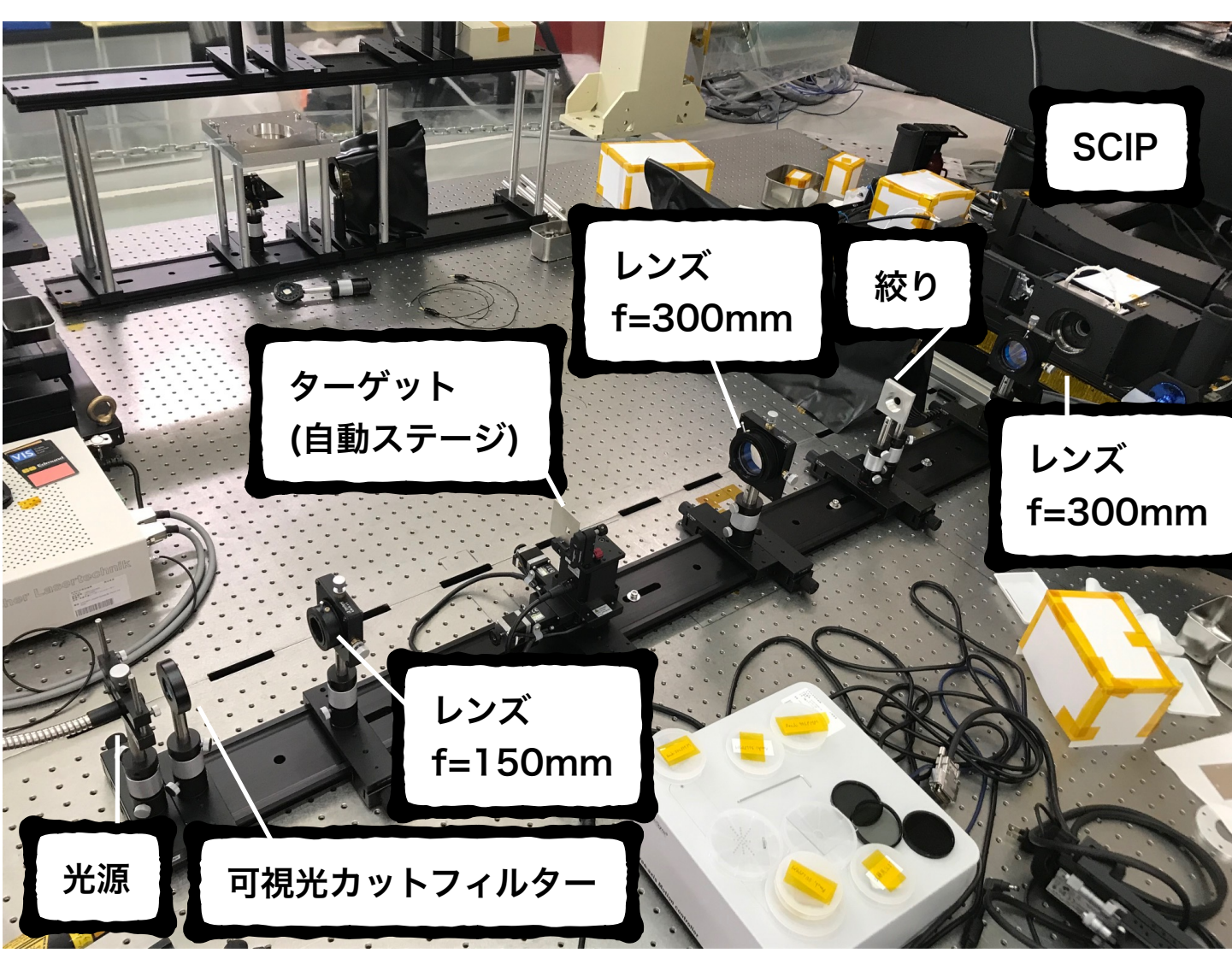
①波長可変レーザー光源

(Sacher Lasertechnik TEC520
840-865nm, 755-775nm)



②白色光光源

(近赤外線ハロゲン光源PIS-UHX)



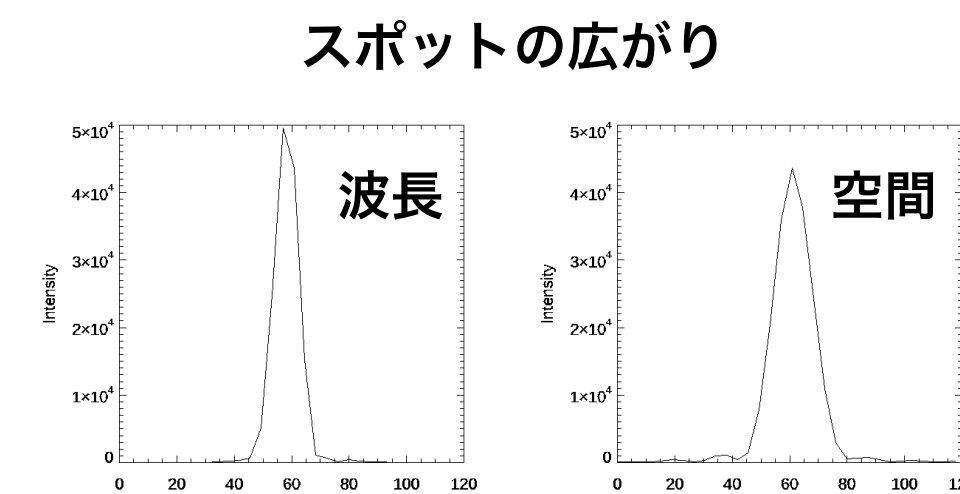
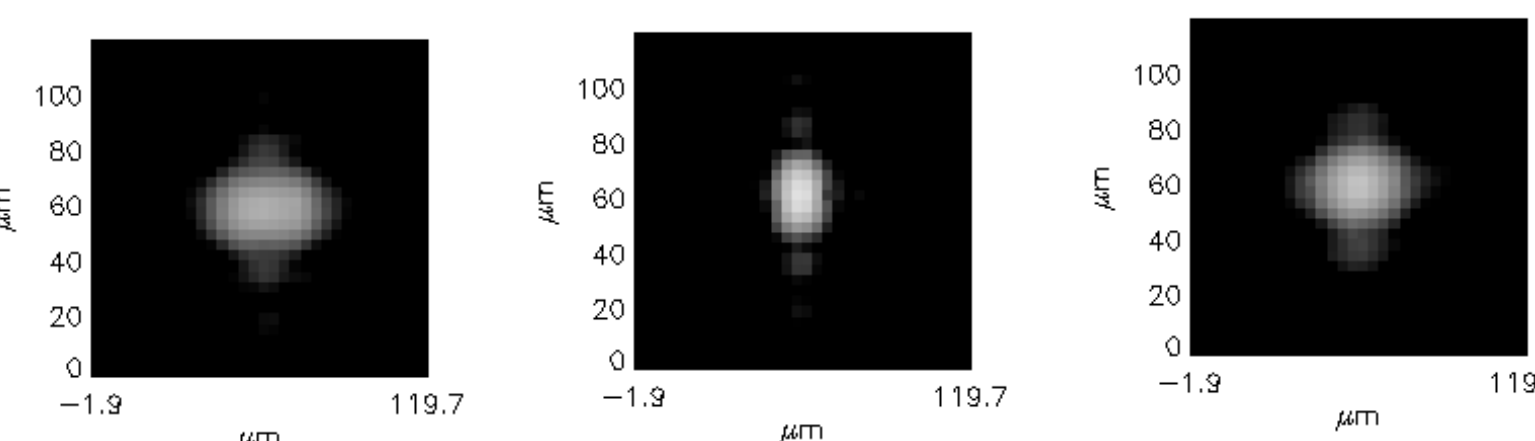
- ・テレセントリック光学系
- ・ターゲットパターンをスリットに等倍結像させる
- ・SJを用いて入射光学系の調整を行なった。
- ・COLM, CAMM調整の際にはカメラはフライト品ではなく、Pixサイズが3.8 μ mのものを使用
- ・(ASI1600MM Pro)

光学アライメント・性能評価

①COLMのZ軸並進, CAMMの θ_y 調整

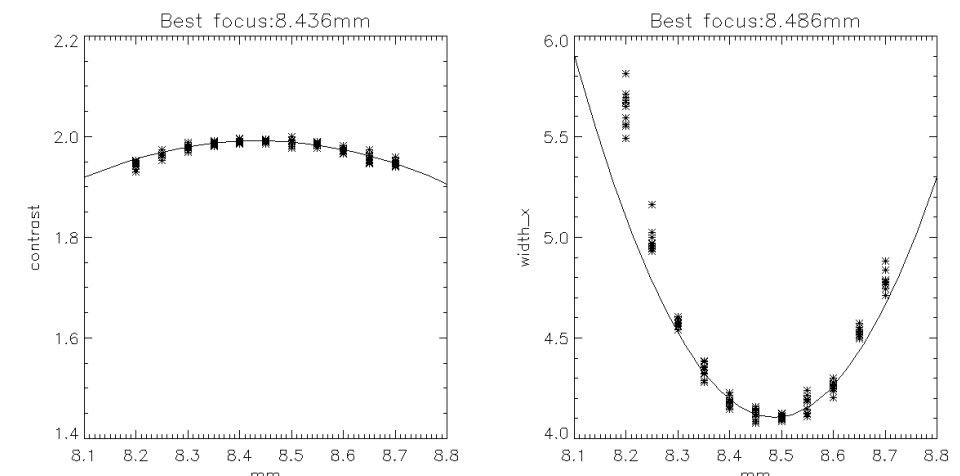
各カメラには焦点調節機能としてマイクロメータが設置されている。
入射光学系のターゲット位置にSCIPのSlitと直交するようにSlitを設置。
波長可変レーザーを入射し、スポットを測定。
カメラのフォーカス位置をスキャンしながら非点収差の大きさを確認。
=>素子の傾き調整

各フォーカス位置でのスポット (縦軸:空間方向、横軸:波長方向)

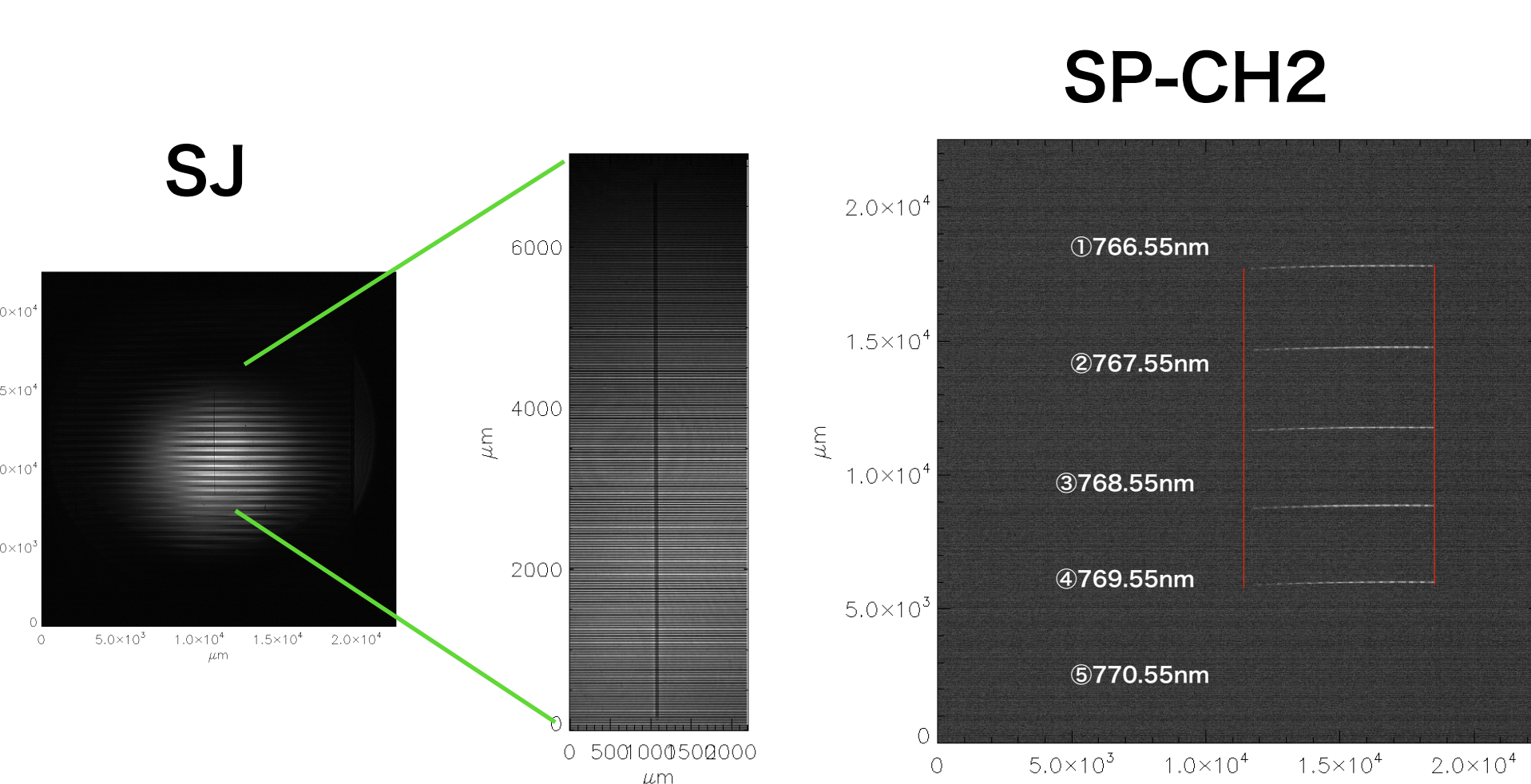


空間方向はコントラストで
波長方向はスポットの幅で評価。

調整後のベストフォーカス位置の差
は0.05mm。



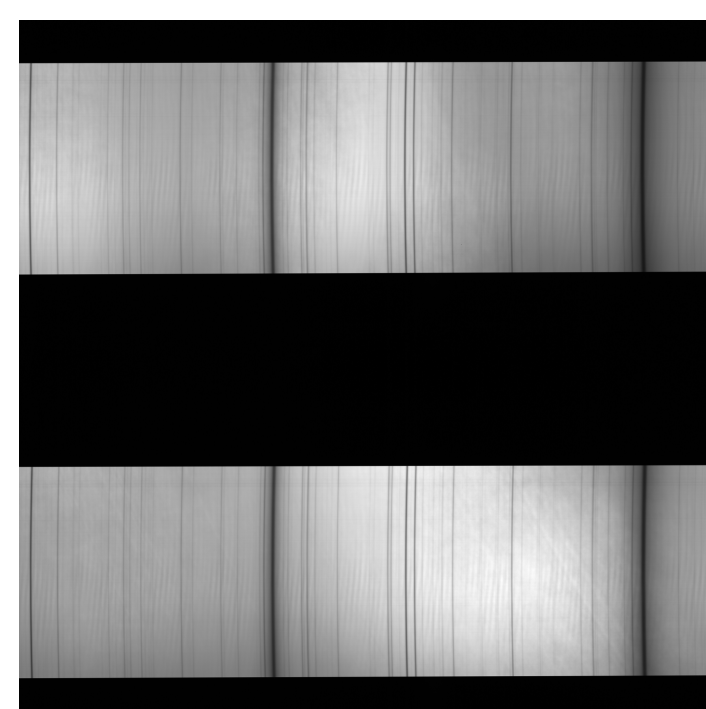
②GRATの θ_z 調整



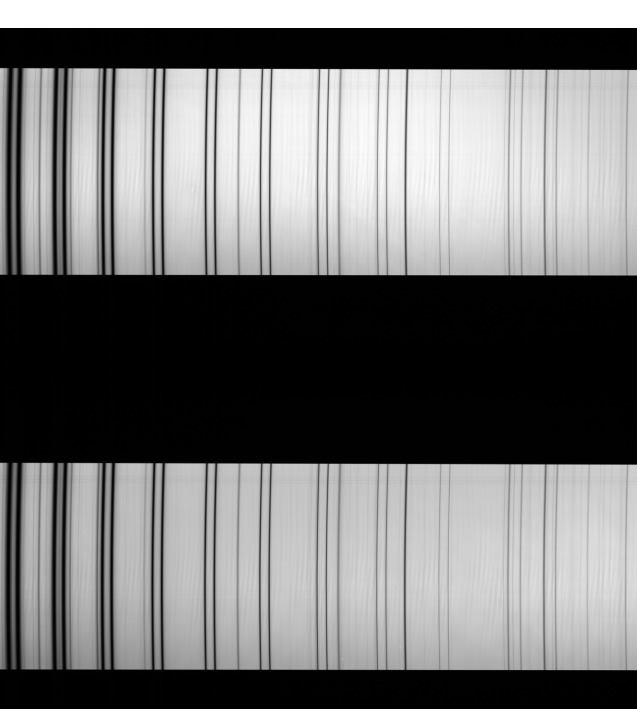
波長
空間

- ・波長可変レーザーで波長を5点変えて入射
- ・スペクトルの端点を検出し、波長方向の傾き(赤線の傾き)を導出=>GRATの θ_z 傾き調整

③太陽光試験



CH1 (850nm帯)

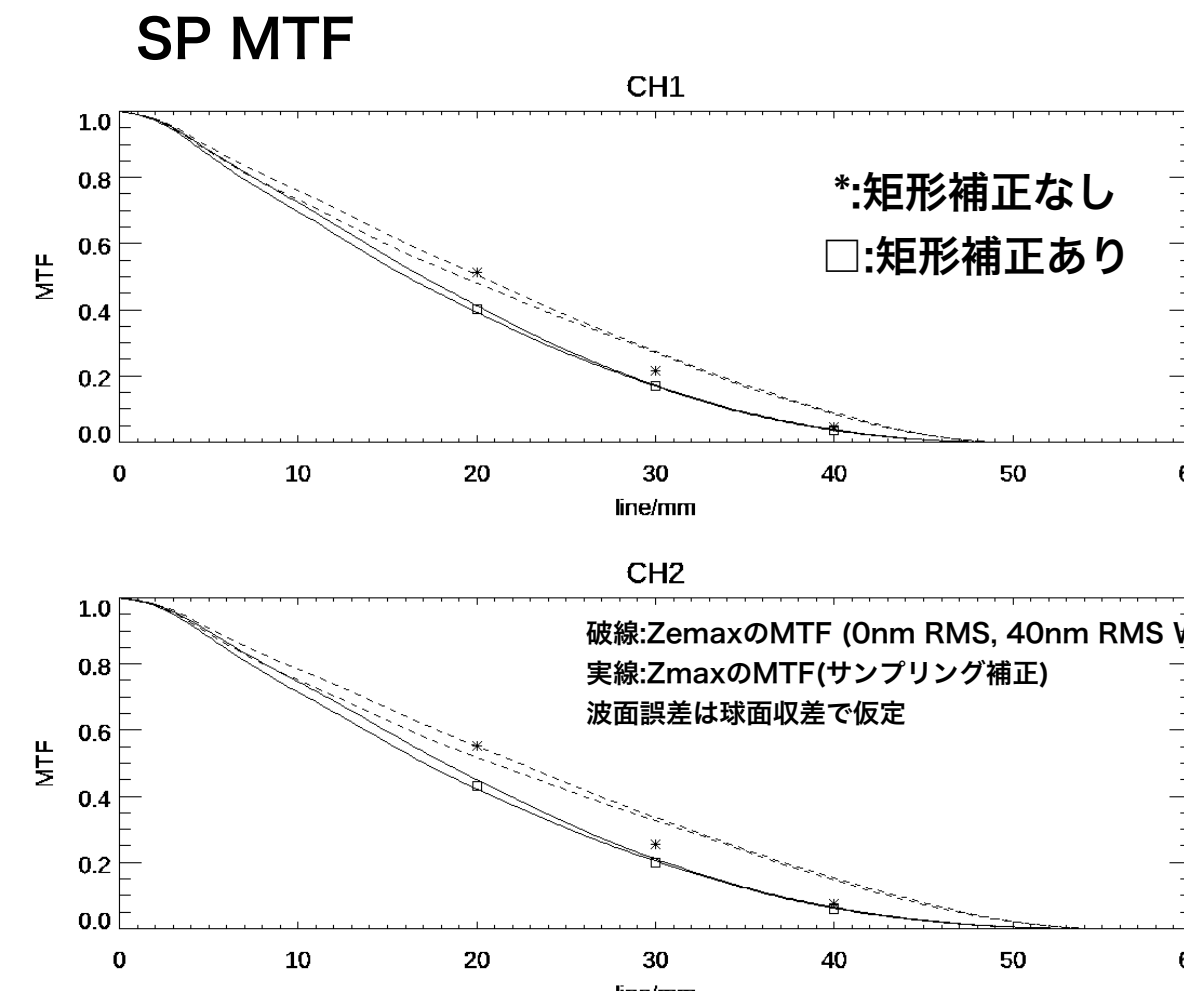
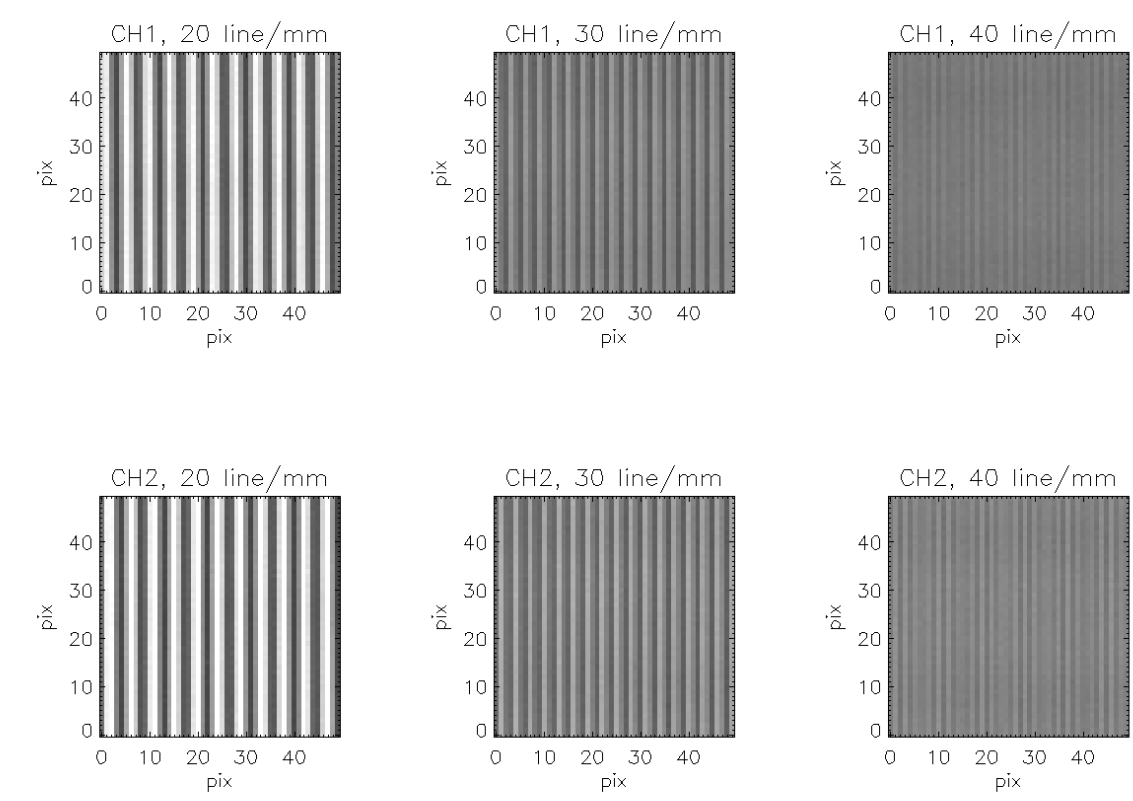


CH2 (770nm帯)

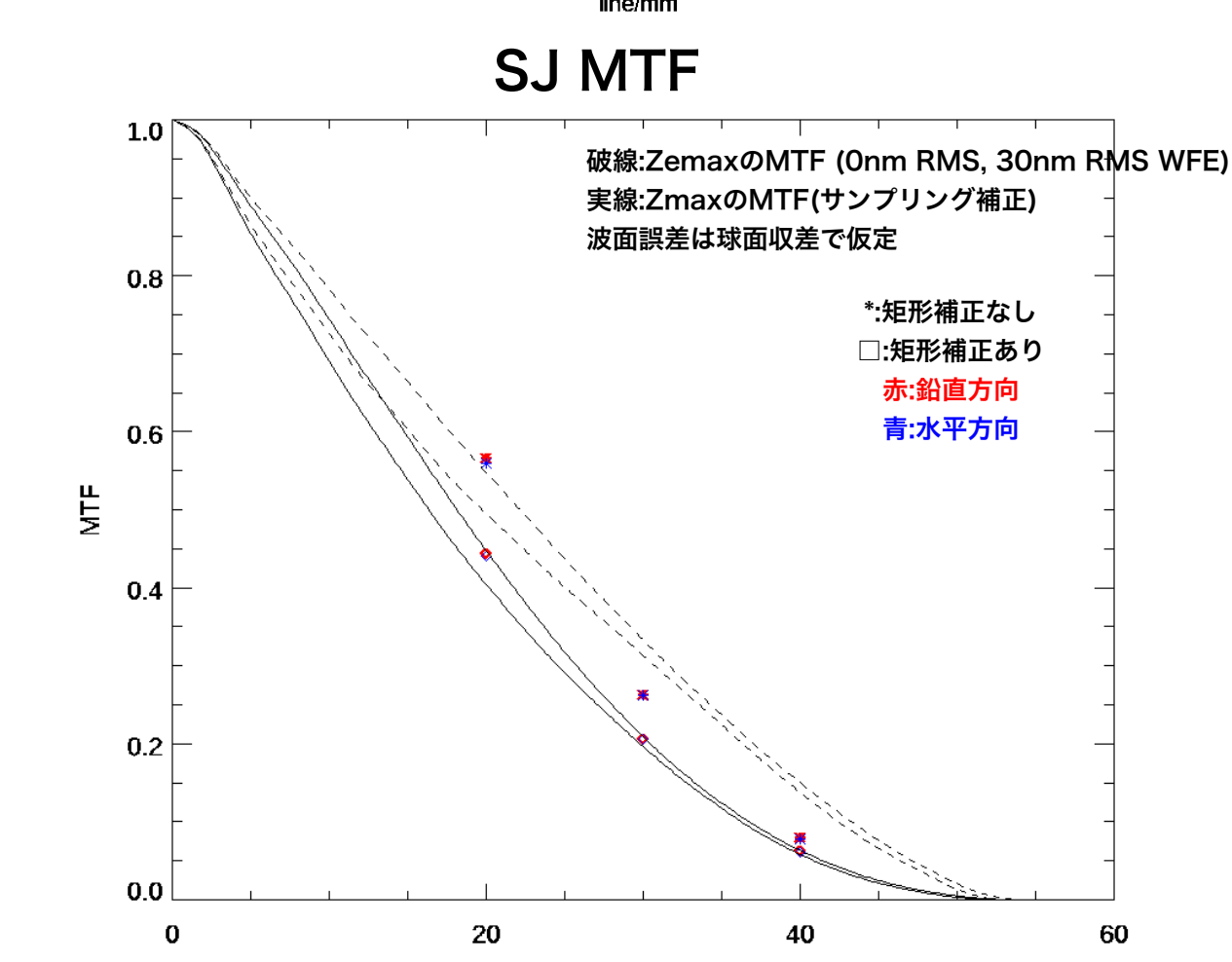
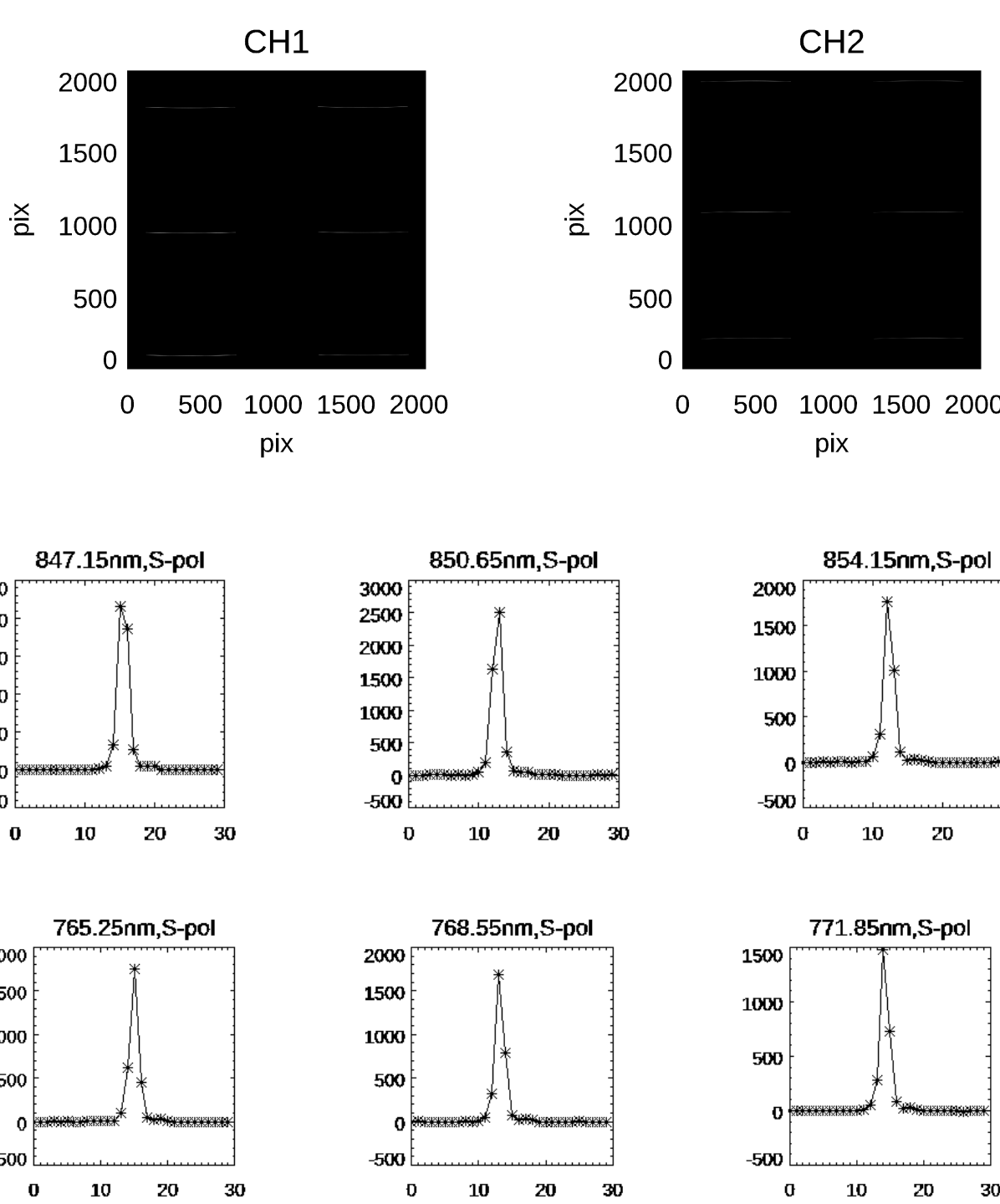
- ・各CHで直交二偏光を取得
- ・太陽のスペクトル線(K I 769.8nm, Si 768.0nm, Mg I 765.7nm, Ca II 854.2nm, Ca II 849.8nm, Fe I 846.8nm)の位置を同定し、カメラの波長方向の調整量を決定
- ・空間方向の調整量はスペクトルの端を検出して決定
- ・最終的なスペクトルの理想的な位置との差は0.02-0.06mmに抑えた
- ・NISTのデータベースで真空での理想波長位置も確認し、カメラ視野内に必要なスペクトル線が入ることを確認

④結像性能の評価

ロンキールーリングによる
明るさ分布 (SP) 空間方向評価



波長可変レーザーによる波長方向評価



- ・ロンキールーリングターゲット(20, 30, 40lpm)をターゲット位置に設置し白色光を入射。SJは水平、鉛直両方を評価
- ・空間方向のコントラストを評価し、Zemaxで計算した理想的なMTF(サンプリング補正)と比較。
- ・波長方向は波長可変レーザーで幅を評価

まとめ

- ・三次元測定を元に、光学素子の並進、傾きをシム調整
- ・光学測定を元に、素子の傾き位置調整は終了。非点収差は0.1mm以下まで除去した。
- ・結像性能はCH1に関しては球面収差を仮定した場合、すべての周波数で40nm RMS以下になっている。CH2は30lpmと40lpmで40nmRMSのMTFより小さい値を示している。今後球面収差以外の誤差やカメラ起源のMTFを考慮する必要がある
- ・SJの結像性能は要求値を満たしている
- ・今後は偏光キャリブレーションを行う