

広視野偏光撮像装置HOWPolの開発：装置の組み上げと制御系の開発

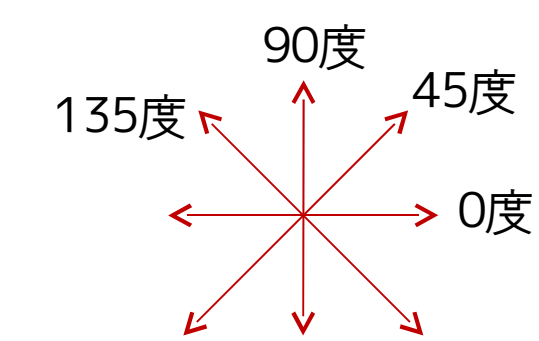
○田中祐行、川端弘治、千代延真吾、永江修、山下卓也、大杉節、植村誠、新井彰、保田知則、上原岳士、笹田真人、松井理紗子、宮本久嗣、磯貝瑞希、深沢泰司（広島大学）、上原麻里子、佐藤修二（名古屋大学）、中屋秀彦、鎌田有紀子、宮崎聡（国立天文台）

1. HOWPolとは？

HOWPolとはかなた望遠鏡（東広島天文台）のナスミス焦点に常設される予定の広視野偏光撮像装置である。HOWPolはガンマ線バーストなどの突発天体の偏光観測を目的に開発を進めている装置で、かなた望遠鏡の高機動性と合わせることで即座に観測を開始し、変動が激しい天体に対しても同時性が確保された直線偏光パラメータのセット（Stokes I, Q, U）を得ることが可能な構成となっている。これを可能としているのはウェッジ付きダブルウォラストンプリズムで、一度に4方位の偏光データが得られる。（通常は、一回の露出で1方位または2方位の偏光データが得られ、複数回の露出が必要）装置全体では、長さが約1m、重量が約200kgになる予定である。

☆HOWPolの基本性能☆

視野	15分角 (56%縮小光学系、0.3秒角pixel)
検出器	完全空乏型CCD 2k×4k×2
波長領域	4500- 11000Å
フィルタ	広帯域(B,V,Rc,lc,z'), 各種狭帯域
モード	偏光撮像、撮像、分光、偏光分光モード
限界等級	測光モード(10min exp.S/N=50) 19.8 mag 偏光モード(10min exp;δP=0.2%) 15.9 mag



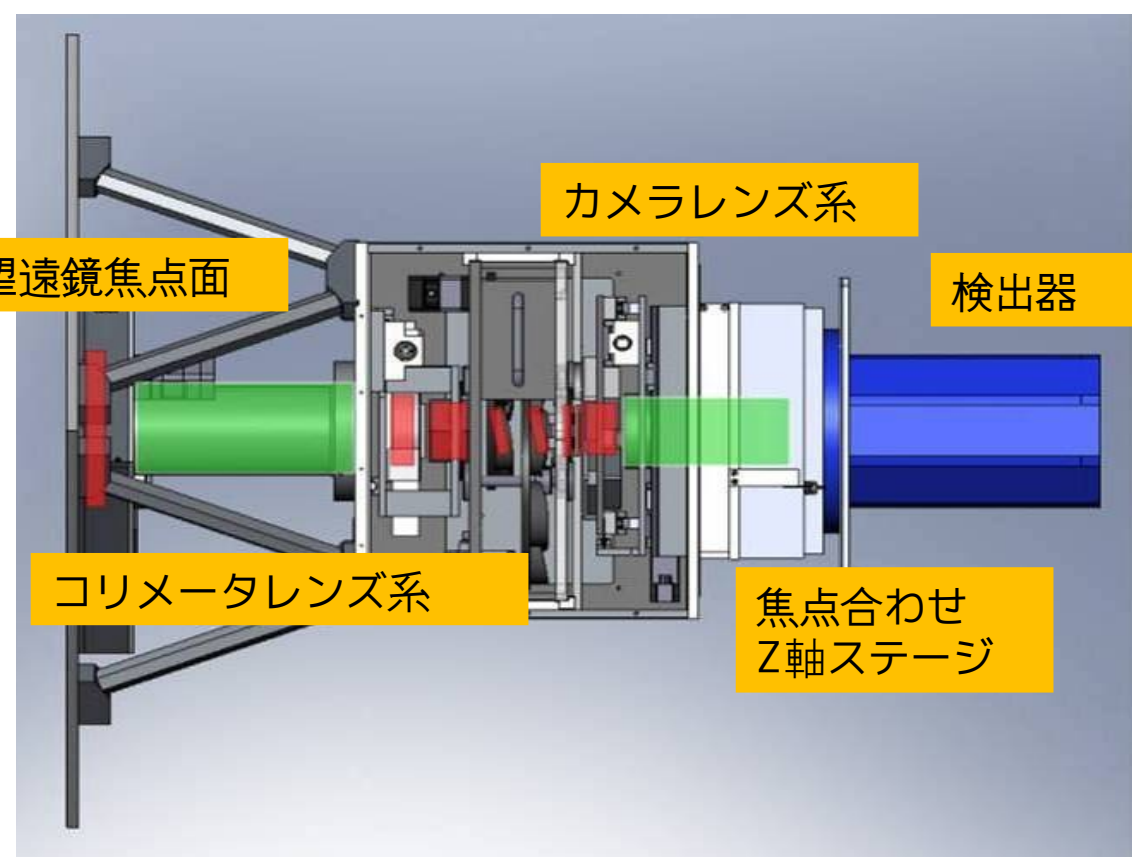
直線偏光パラメータ (I, Q, U)を求めるには4方位の偏光データ必要



かなた望遠鏡

2. HOWPolの構成と設計

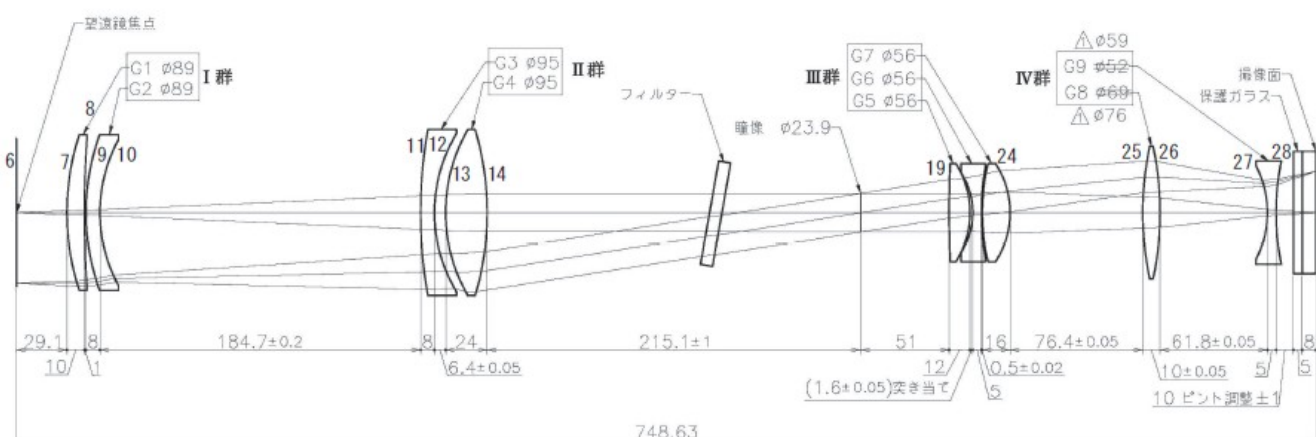
☆HOWPolの全体図☆



HOWPolの筐体部及び、光学素子を配置、制御する駆動機構の設計および組み立ては、ほぼ全て独自に行った。筐体部および駆動機構の設計は千代延が報告(2007年春年会)。

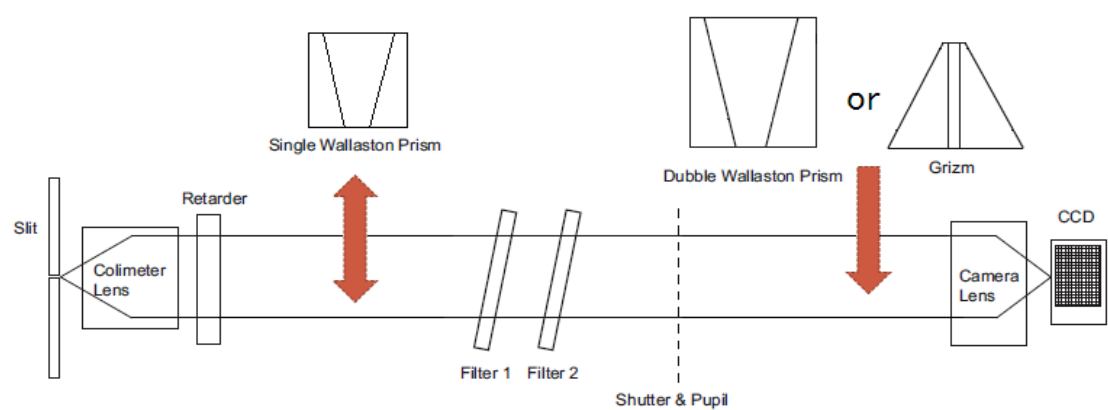
左の絵が装置全体の断面図であり、最も下部は望遠鏡（AG）に装着される天板である。天板には、焦点マスク切り替え機構が置かれている。光学系が収められる筐体本体は、天板からトラス構造で支えられている。緑色の部分はレンズの入るレンズセルである。赤色の部分には、各種光学素子が入る。青い部分は検出器デューワーである。デューワーは合焦用Zステージと絶縁板を介して固定されている。

☆光学系☆



HOWPolは、ウォラストンプリズムの要請から瞳像の収差が極めて少ない再結像光学系を採用している。この光学系の設計は自前では困難なため、(株)レンズ屋に設計を依頼した。図の左側が望遠鏡側、右側が検出器側になっている。I群、II群のレンズ群が平行光を作るコリメータレンズ群で、III群とIV群が平行光を再結像させるカメラレンズ群である。

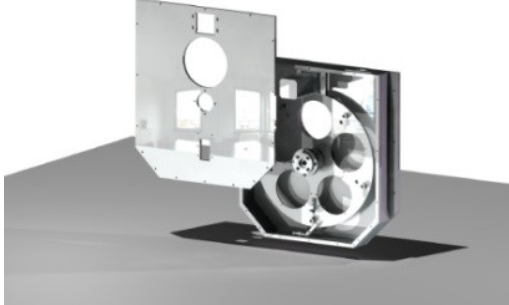
☆光学素子切り替え☆



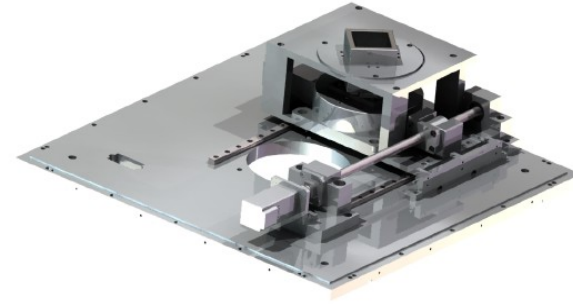
平行光の中には広帯域フィルター・狭帯域フィルター、シングルウォラストンプリズム、半波長板、シャッター、ダブルウォラストンプリズムなどの光学素子が入る。これらの光学素子を駆動機構を用いて交換することで、観測モードの切り替えを行う。

☆駆動機構☆

光学素子の切り替え機構として、以下のような駆動機構を製作し、組み上げた。



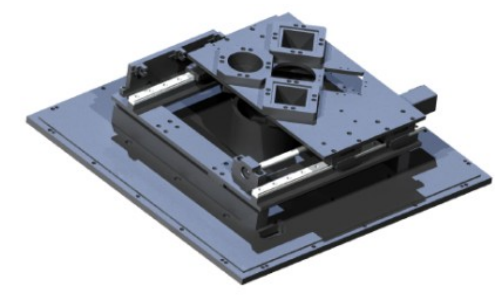
スリット・マスク



半波長板
ウォラストンプリズム

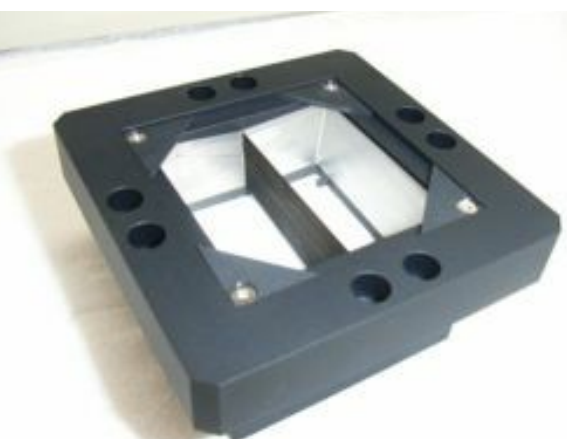


フィルター

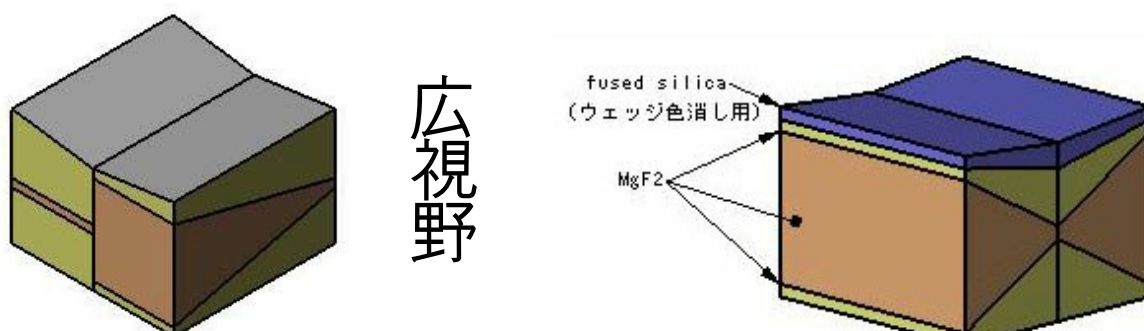


グリズム
ダブルウォラストンプリズム

☆ダブルウォラストンプリズム☆

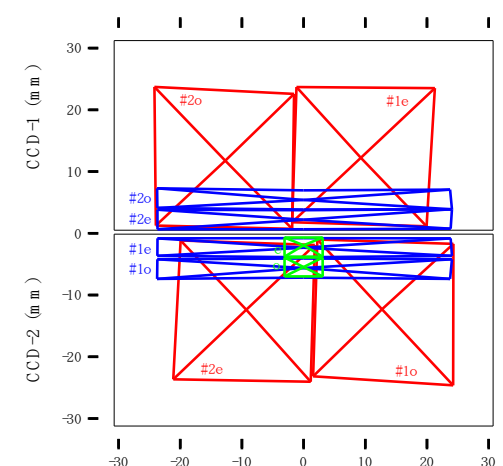


ダブルウォラストンプリズムは、二つのウォラストンプリズムを光学軸を45°回転させて結合させたもので、プリズムの上面に適当なウェッジ角を与え、入射光を0, 45, 90, 135°の4偏光成分に分割することができるものである。これを瞳像位置に置くことにより一度に4方位の偏光パラメータを得ることができる。HOWPolでは、色分散が大きい視野が広くGRBの初期観測に適した広視野タイプと、色分散や収差が小さく、ある程度広がった天体の偏光撮像にも適した狭視野タイプを作成した。



広視野

狭視野



狭視野(青)及び広視野(赤)のそれぞれの結像パターン

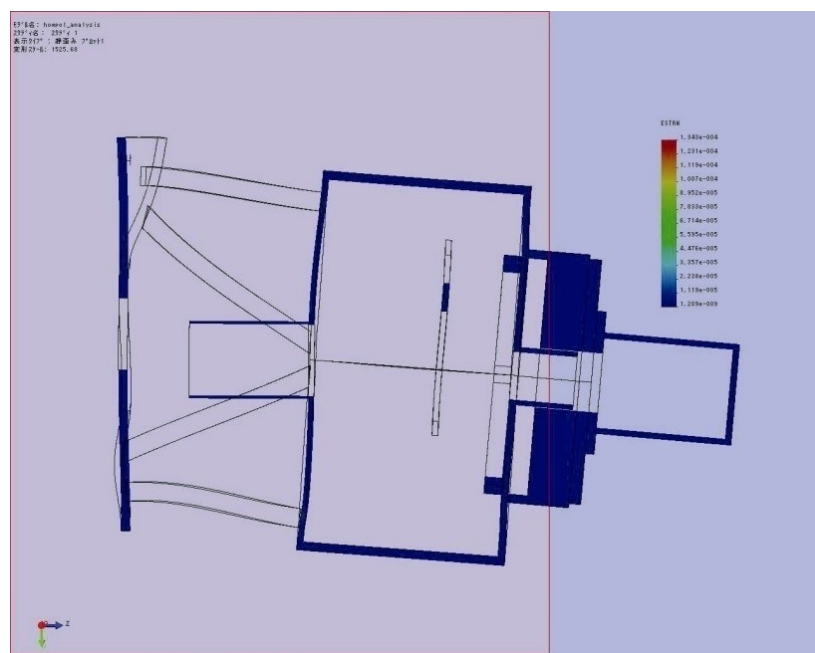
4. 今後の予定

- ・制御系立ち上げ
- ・試験用1k×2k 完全空乏型CCD評価（～10月まで）
- ・望遠鏡へ装着後、代替CCDでの試験観測（今秋）
- ・完全空乏型2k×4kCCD納入後、ファーストライト（年内）

3. 開発状況

☆たわみ解析の結果☆

装置の自重によっておこるたわみは結像性能に影響を及ぼす。そこで装置のたわみをシミュレートした。



最大変位は、コリメーターレンズホルダーで30μm、カメラレンズホルダーで50μmであった。この場合の結像性能は以下を参照。

☆レンズ系の固定と残差

オートコリメータ等を用い、各レンズを傾きが指定公差内に収まるよう調整しながら、ホルダーに固定した。最終的な傾き量を測定した結果、指定公差より大きいものもあったが、3倍以内には抑えられている。

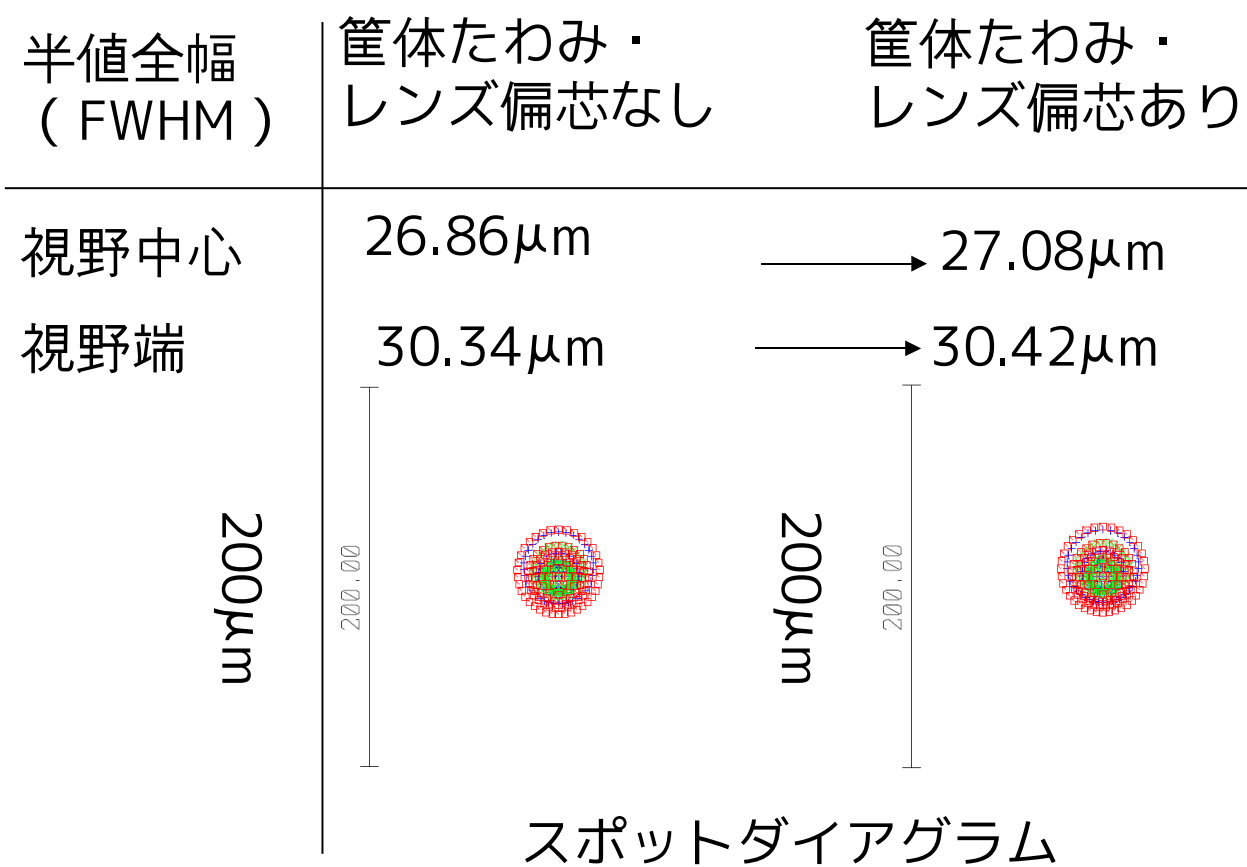
調整後のレンズ傾き測定結果



レンズ番号	曲率半径	指定公差 (arcsec/mm)	測定値
G1表	144.00	3"	0.9
G1裏	580.00	3"	2.3
G2表	131.00	1"	1.7
G2裏	87.20	1"	0.9
G3表	271.00	1"	0.2
G3裏	87.20	0.5"	0.8
G4表	94.50	0.5"	1.0
G4裏	165.00	1"	1.0
G5表	770.00	1"	1.5
G5裏	-52.00	1"	1.5
G6表	-41.00	0.5"	0.4
G6裏	157.00	0.5"	0.4
G7表	127.00	1"	1.0
G7裏	-51.30	1"	0.5
G8表	180.00	1"	1.4
G8裏	-180.00	1"	1.5
G9表	-58.00	1"	1.4
G9裏	149.00	1"	1.5

☆結像性能評価☆

たわみ量とレンズの傾き誤差を考慮した結像性能を評価をした



たわみやレンズ傾きによる悪影響は無視できる

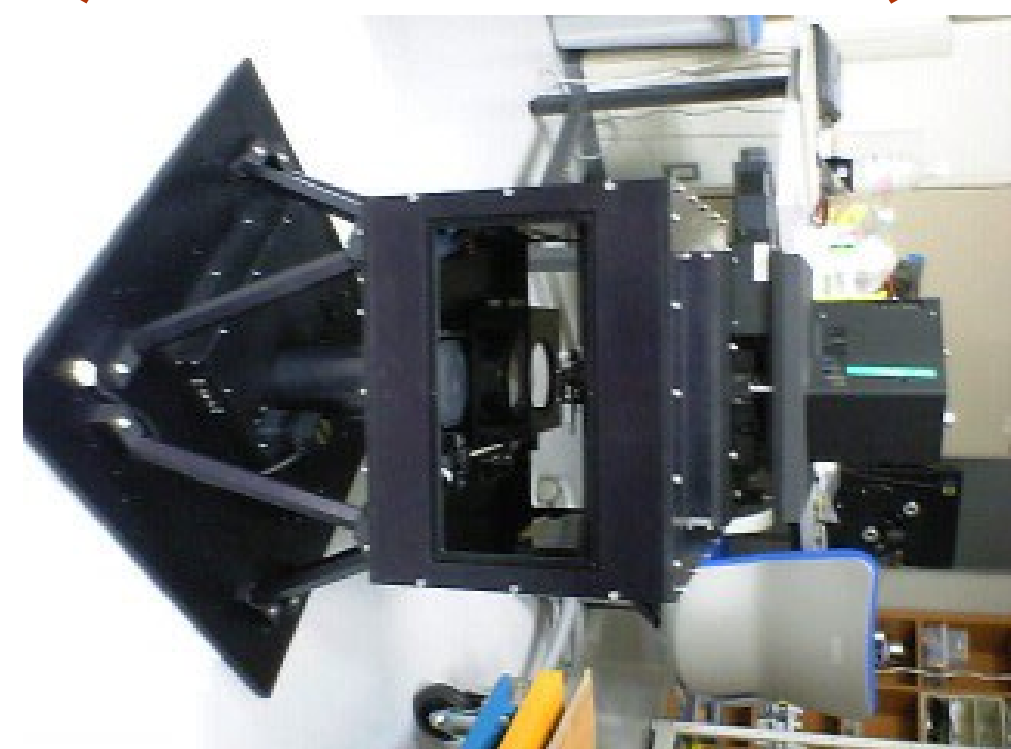
望遠鏡+HOWPolでの最終的な結像性能（FWHM値）は、単純な撮像モードの場合で、

- ・シーイング 約1.0秒角
- ・望遠鏡自身の結像性能 約0.6秒角

これに左記の装置内部での結像性能を考慮して、視野中心で1.28秒角、視野端で1.31秒角となる。

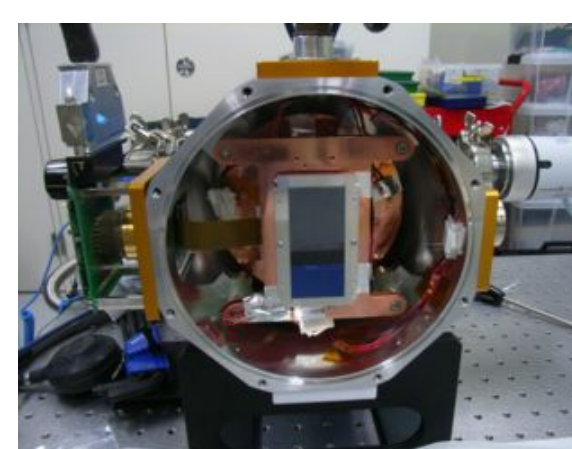
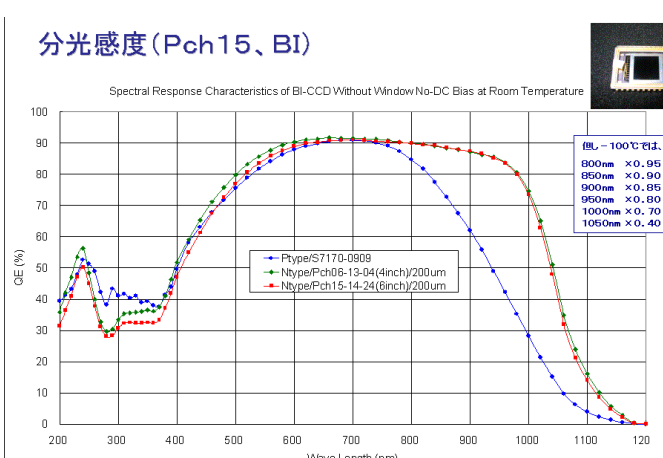
☆装置の組み上げ☆

約 1 m

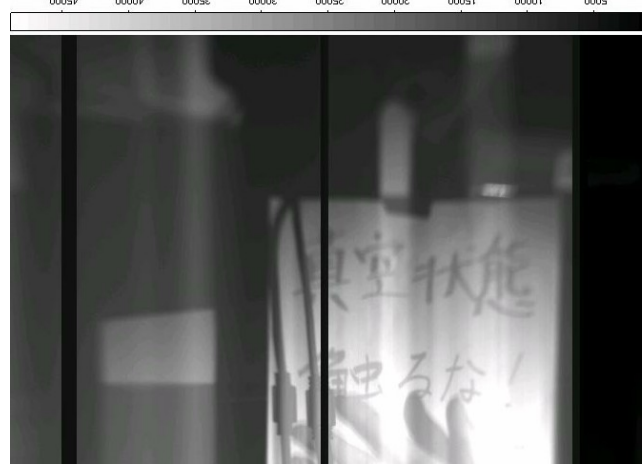


筐体部の組み上げ及び駆動機構の組み上げを行い、ほぼ完了した。光学素子は分光用素子以外は揃っている。

☆検出器☆



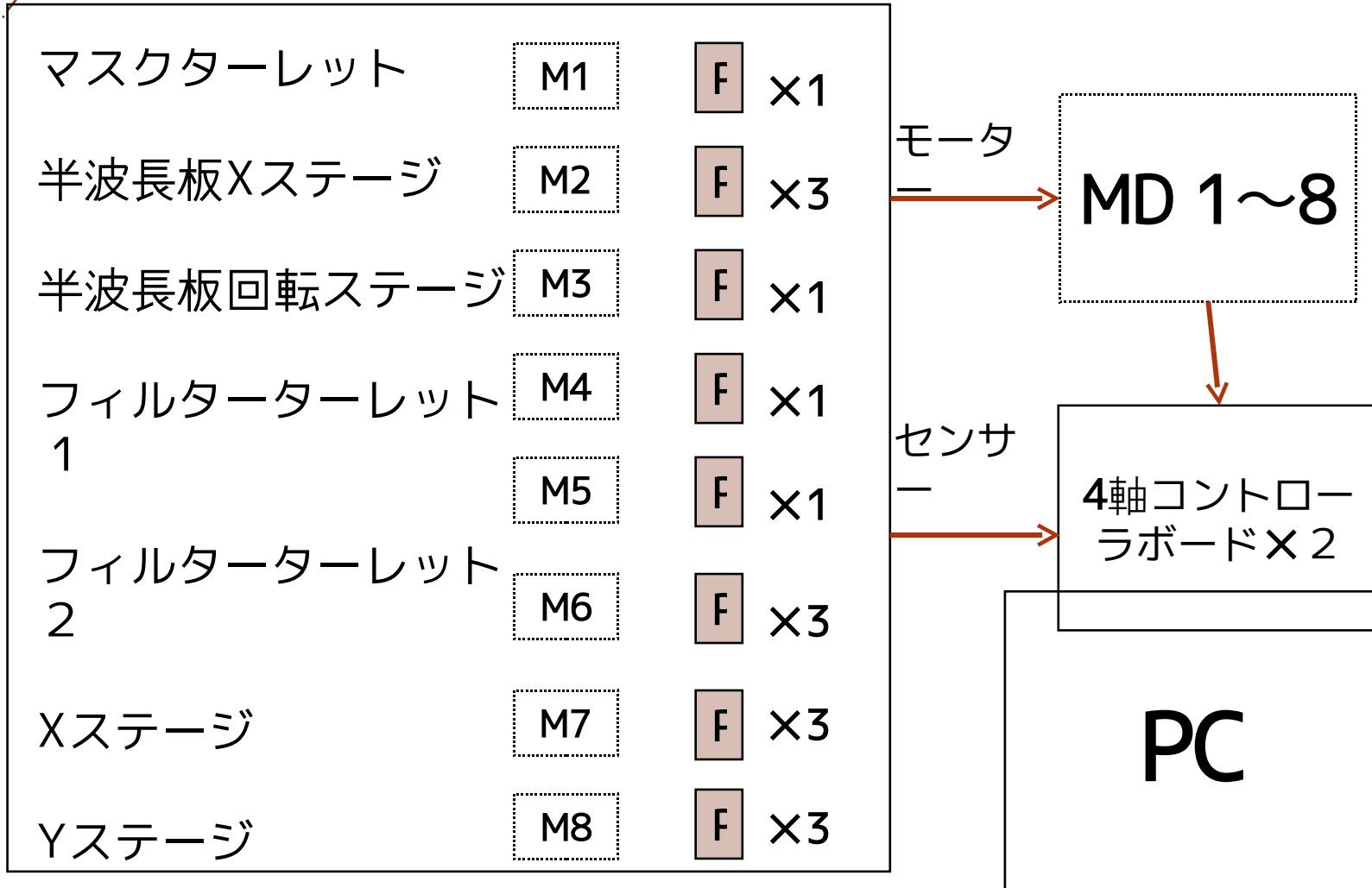
1μm付近まで量子効率が伸びている完全空乏型CCD（国立天文台、浜松ホトニクス）2k×4k 2枚を用い、Messia-5, M-Front2（中屋ほか）で制御される。デューワーはNAOJ標準デューワーである。



現在は、試験用1k×2kの完全空乏型CCDチップを用いて、性能評価を行おうとしているところである。（永江、中屋、鎌田）左図は1k×2kでの試験取得画像である。

☆制御系開発☆

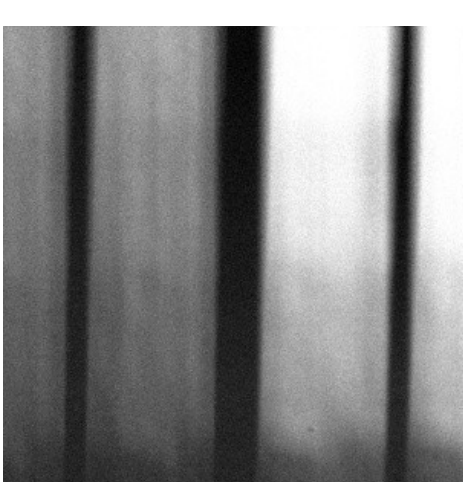
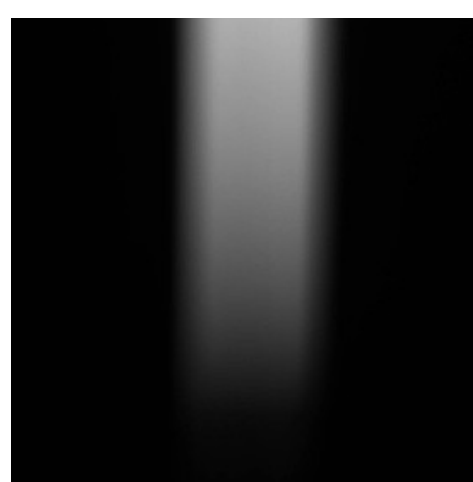
HOWPol



左図は制御系のブロック図である。HOWPolでは、下記の表のように計8個のモーターと16個フォトセンサーを使用している。これらをオリエンタルモーター製のモータドライバ、コンテック製の4軸ボードを介してPCで制御する。またこの他にも、オートガイダー、シャッター、CCDなどがありPCで制御する。

これまでに装置筐体内に配線は完了し、現在はドライバ・ボード周辺の配線作業を行っている。一部のモータに関しては配線を終え、制御ができる状態である。今後はCCDや望遠鏡等を1台のPCで制御するシステムを作り上げていく予定である。

装置名前	光学素子	駆動機構	モータ数	備考
マスターレット	スリット、マスク	θ回転機構	1	スリット幅0.2mm
半波長板Xステージ	半波長板	Xステージ	1	
半波長板回転ステージ	半波長板	θ回転機構	1	回転精度0.02°
フィルターターレット	フィルター	θ回転機構	2	
シャッター		TTL信号同期		23.9φ
しぼり（瞳）		手動XYステージ		
X,Yステージ	グリズム	高精度XYステージ	2	位置決め精度±0.02mm
合焦用Zステージ	ダブルウォラストンプリズム	高精度Zステージ	1	位置決め精度±0.01mm



1部モーターが制御できるようになったので、狭視野型のダブルウォラストンプリズムをHOWPolに取り付け、試験用CCDを用いて得た画像である。光学素子の位置決め精度はまだ正確ではない。左側がスリットのみ、右側がスリットとダブルウォラストンプリズムを装着した時の画像である。ダブルウォラストンプリズムによって光が4つに分けられているのがわかる。ピントもだいたいあっており、筐体部組立や光学系に大きな問題がないことがわかる。正確な評価については望遠鏡に取り付けてからになる。