Solar-B可視光磁場望遠鏡 (SOT)
（基本性能と現状の報告）

OTA: Optical Telescope Assembly
(ISAS, NAO, MELCO, Genesia, Canon, REOSC)

＋

FPP: Focal Plane Package
(NASA, LMSAL)

2002.07.22　　国立天文台　一本　潔

SOT の目的:

1. 光球・彩層の高空間分解画像 (0.2-0.3arcsec) を*安定して*取得、
2. 磁場・速度場の*高精度*取得、
3. 昼夜の切れ目なく*連続した*データの取得

which is not possible from the ground telescopes.

上層大気における様々な現象をドライブする確固たる境界条件を提供する

XRT/EISと組み合わせることにより、磁場の生成、放出、散逸にわたる一連の過程を解明し、宇宙磁場に関わる基本物理を理解する。

SOTのねらうサイエンス

1. 微細磁束管に関する基本物理
   - 磁気要素の進化と構造
   - 対流との相互作用
   - 黒点の成長・消滅,,,

2. コロナ加熱 / コロナへのエネルギー伝播
   - 磁気要素における波動、磁気シアー
   - 彩層微細構造のダイナミクス

3. コロナにおけるエネルギーの蓄積・解放
   - 活動領域磁場構造の発達
   - 電流分布とその時間変化
   - 微細磁束管の集団的振る舞い

4. ダイナモメカニズムと内部磁場
   - 局所サイスモロジー

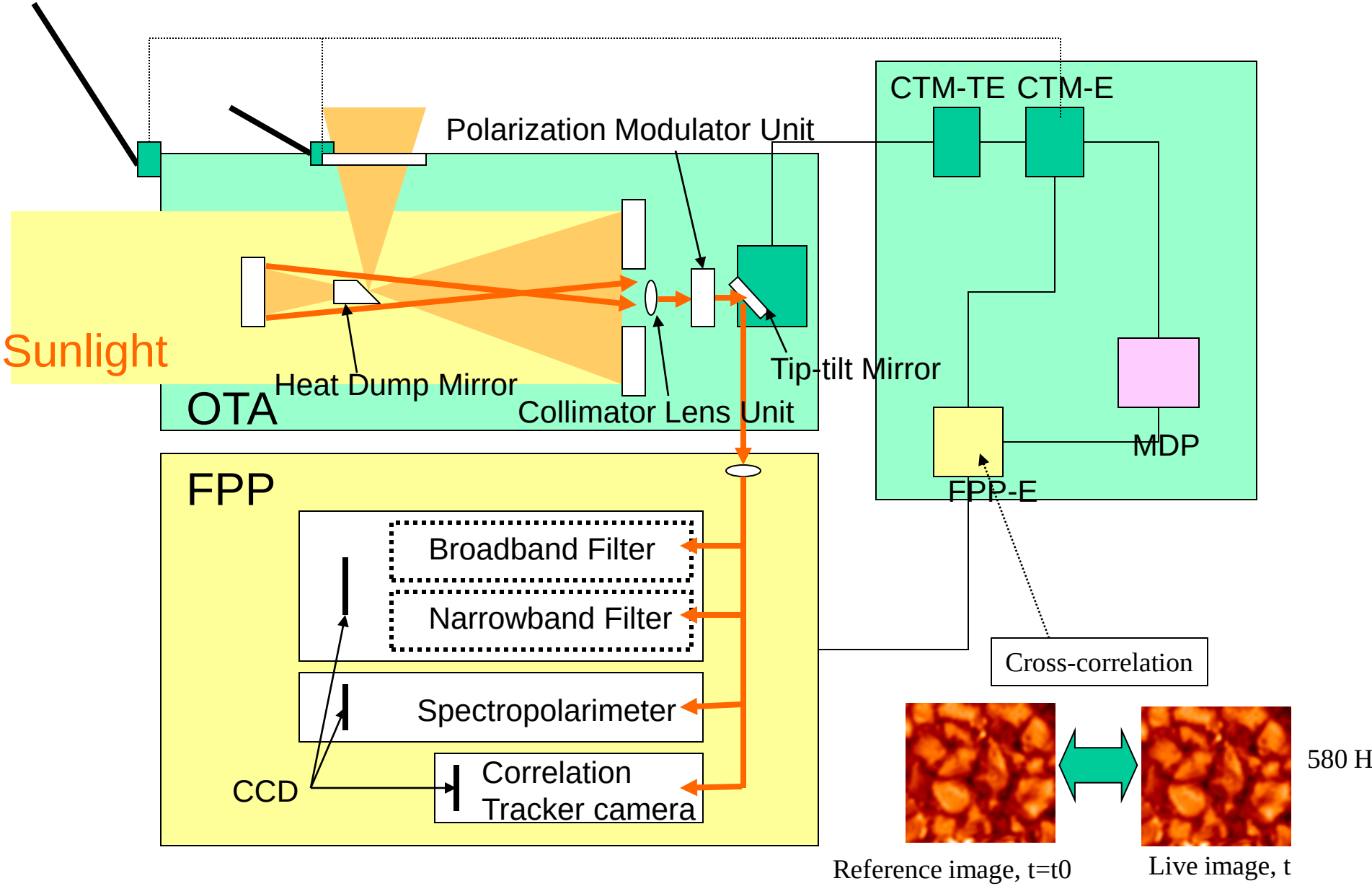
SOTの基本要求仕様:

- 空間分解能	0.2-0.3”	磁気要素を分解
- 視野	~300”	典型的な活動領域をカバー
- 波長分解能	~25mA	信頼できる磁場の導出
- 波長レンジ	380-670nm	豊富な大気診断情報
- 時間分解能	~10s	音波が磁気要素を横切る時間
- 連続観測時間	1hr ~ 2weeks	磁気要素の寿命 ~ 活動領域の成長タイムスケール
- 偏光測定精度	< 0.1%	高い磁場検出感度
- 取得偏光ステート	Stokes *I,Q,U,V*	ベクトル磁場の導出

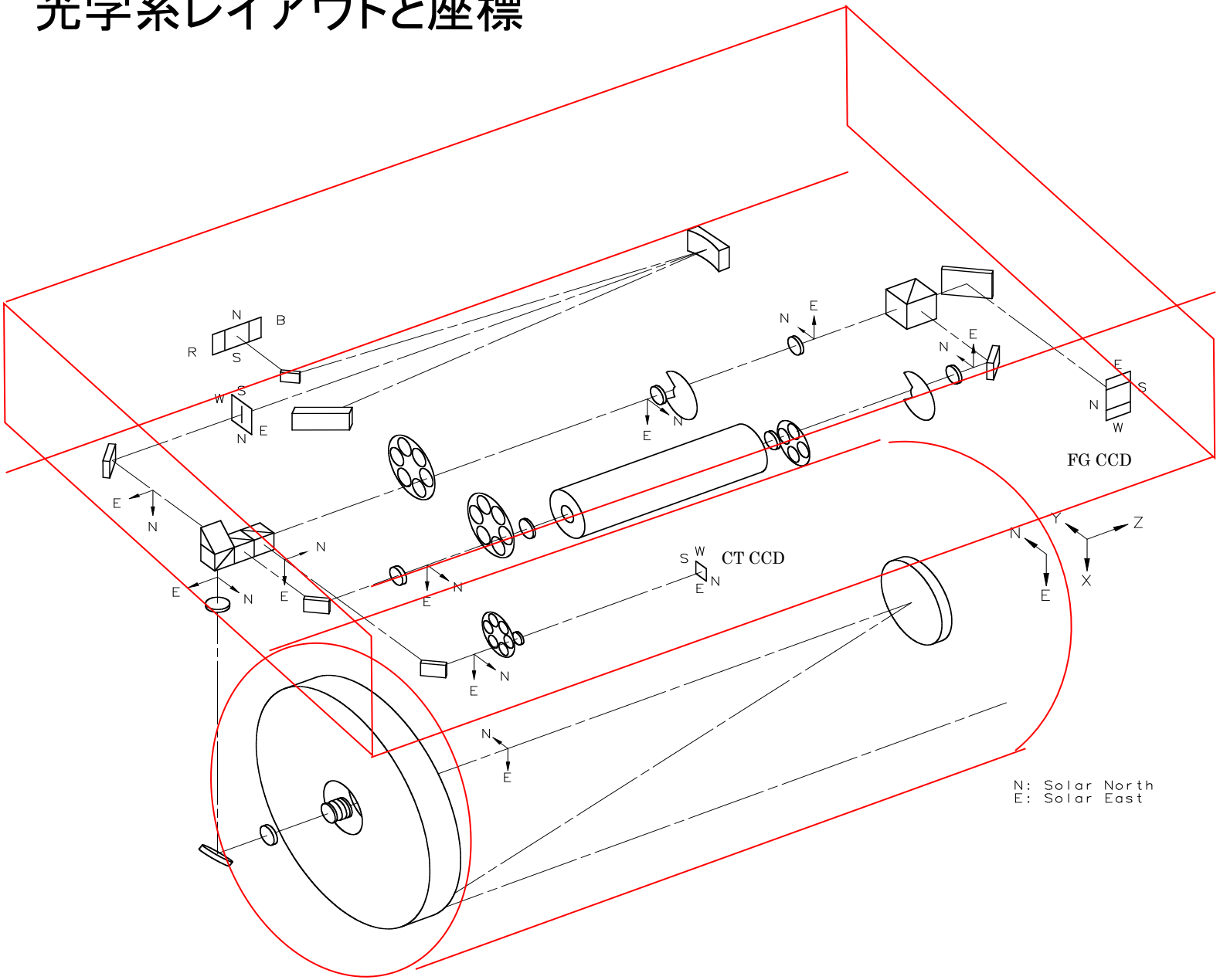
装置設計に対する要求 :

- 画像安定度	0.02”(rms)/10s	← wavefront error~12.8nm / integration time
- 空間サンプリング	~0.05”/pix	consistent MTF with telescope
- 回折限界光学系		
- 低い人為偏光		
- 観測波長における高いスループット		

SOT System Diagram



光学系レイアウトと座標



OTA

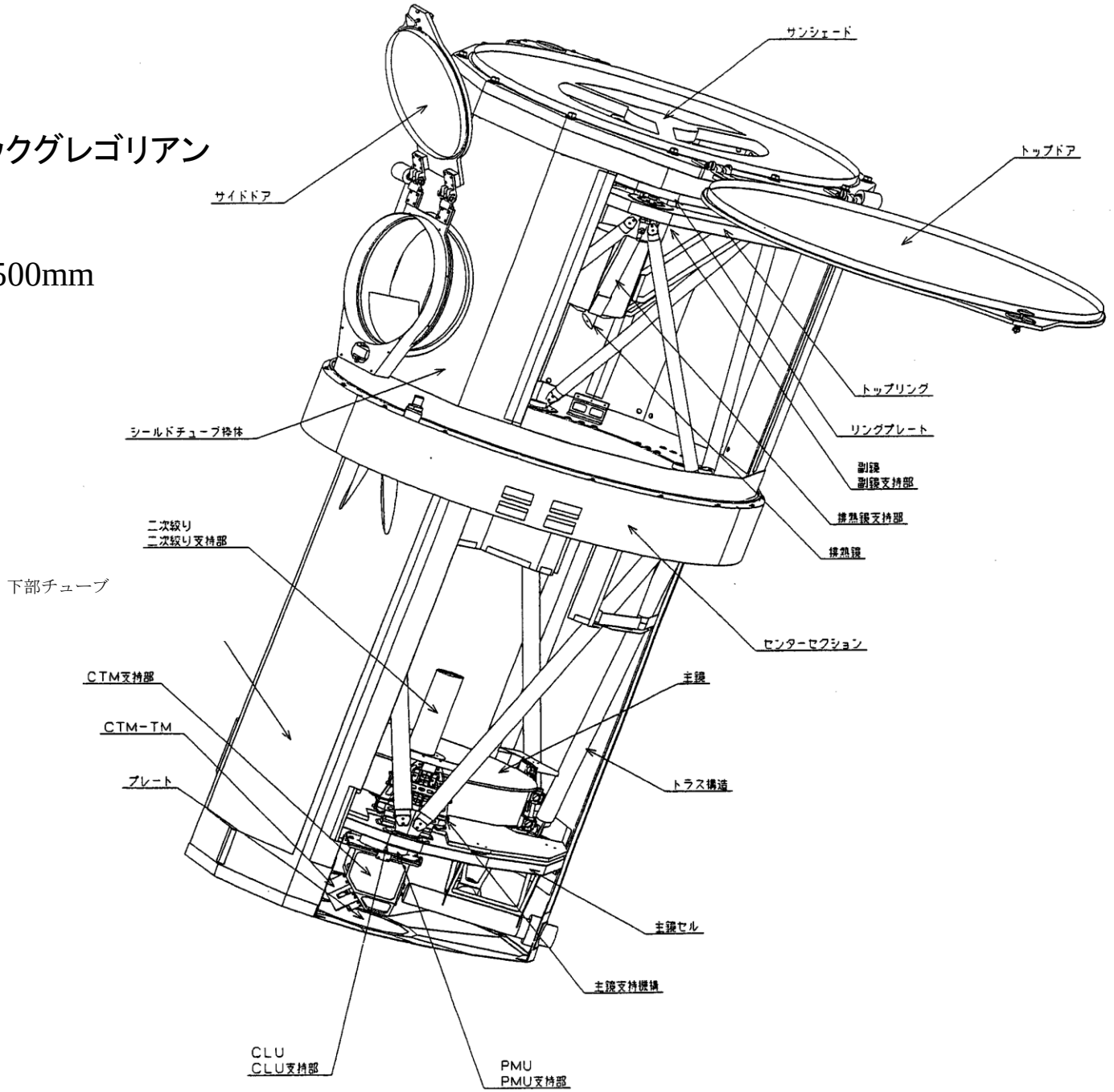
タイプ:　アプラナティックグレゴリアン

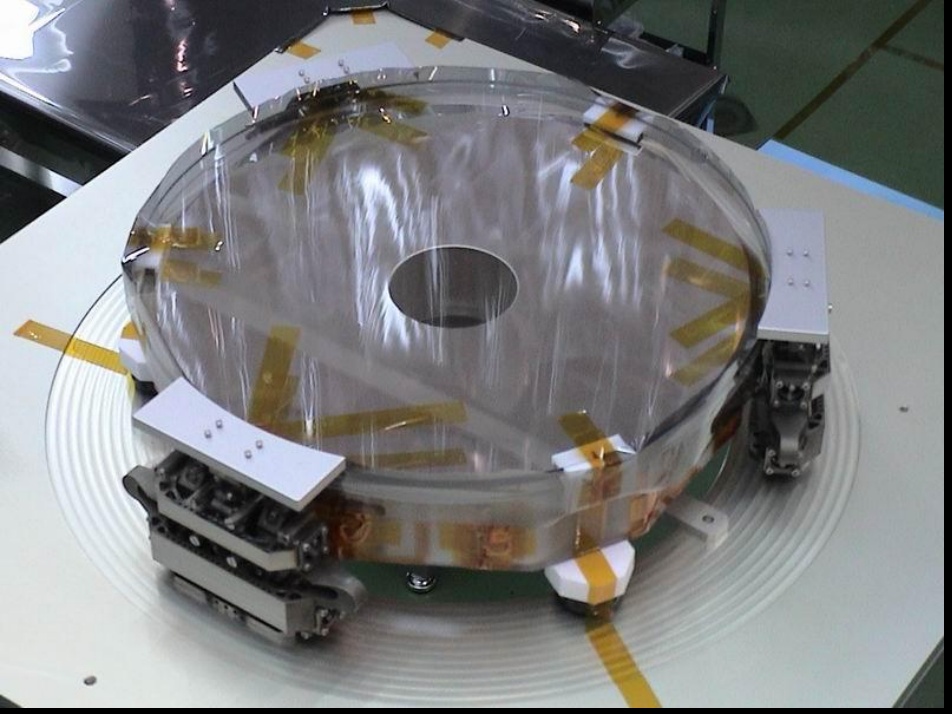
口径:　500mmϕ

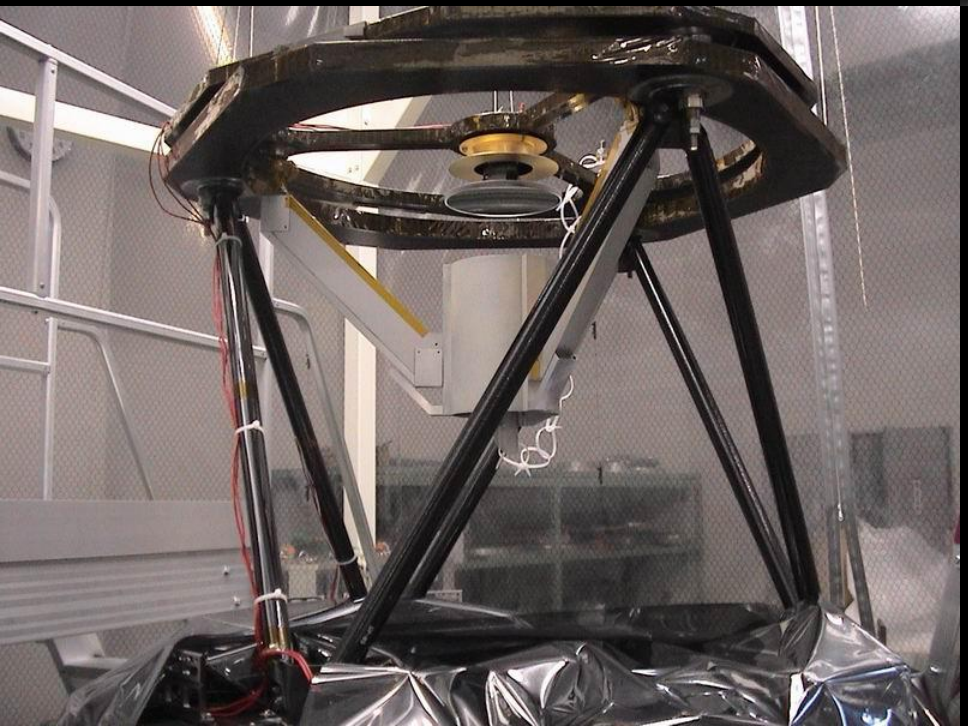
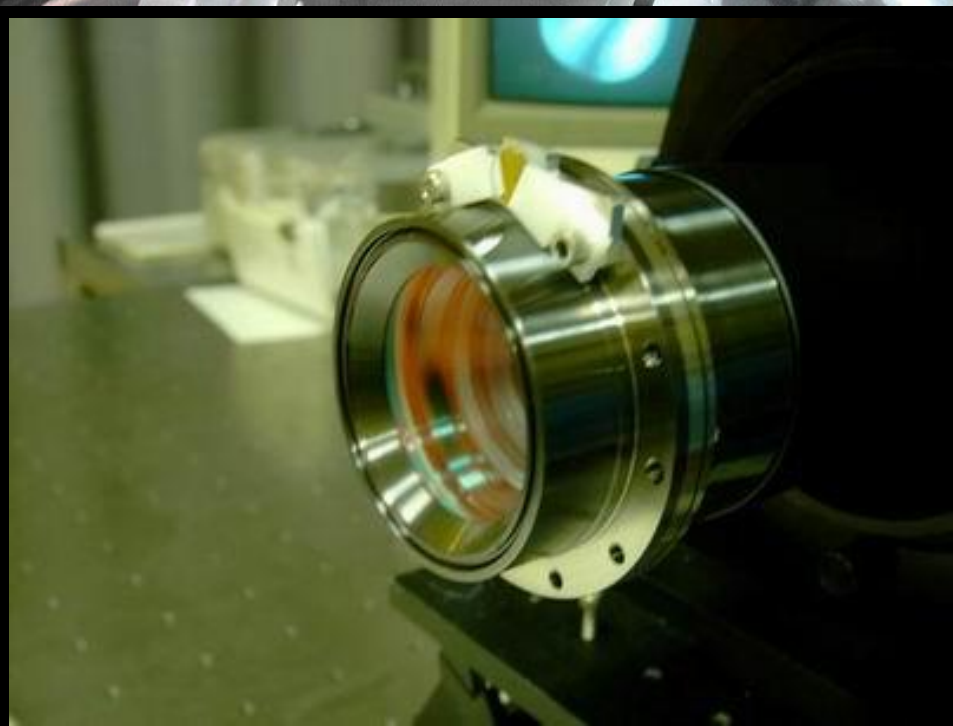
主鏡-副鏡間距離:　1500mm

ストレール比　＞ 0.8

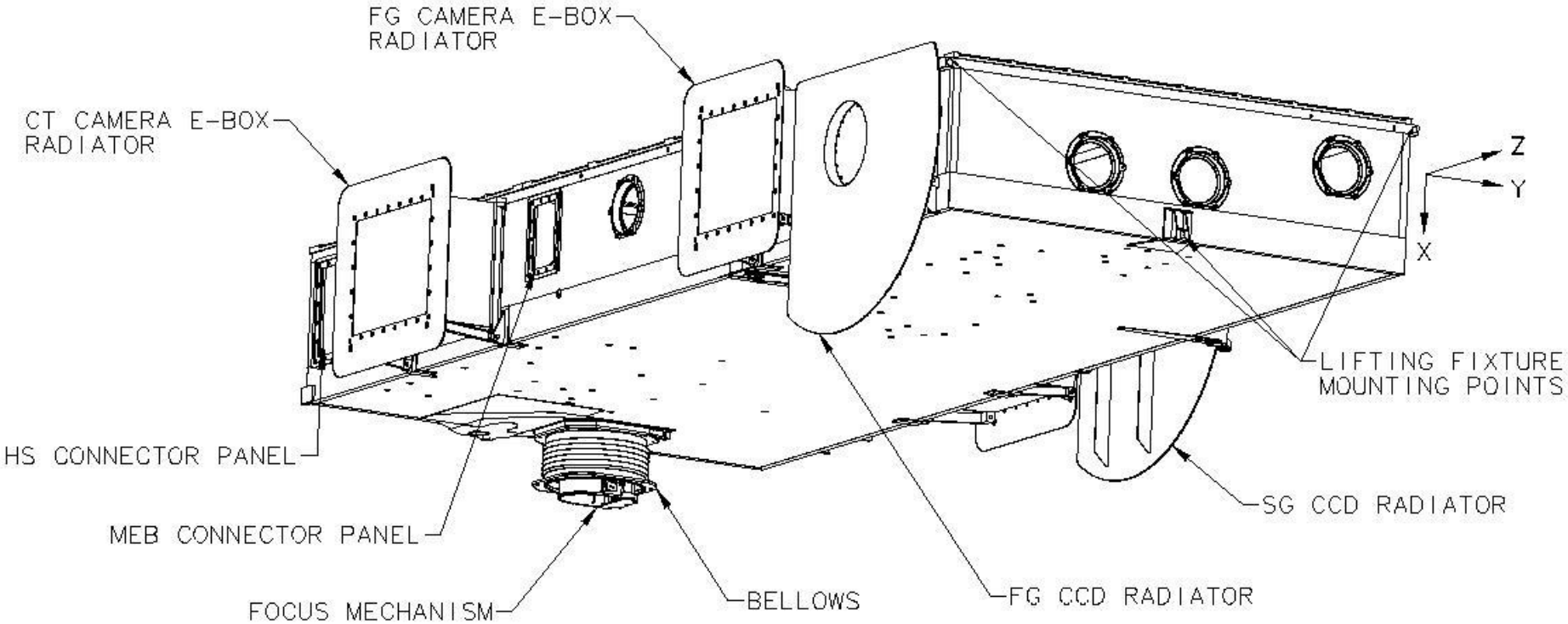
(WFE~40nm rms)



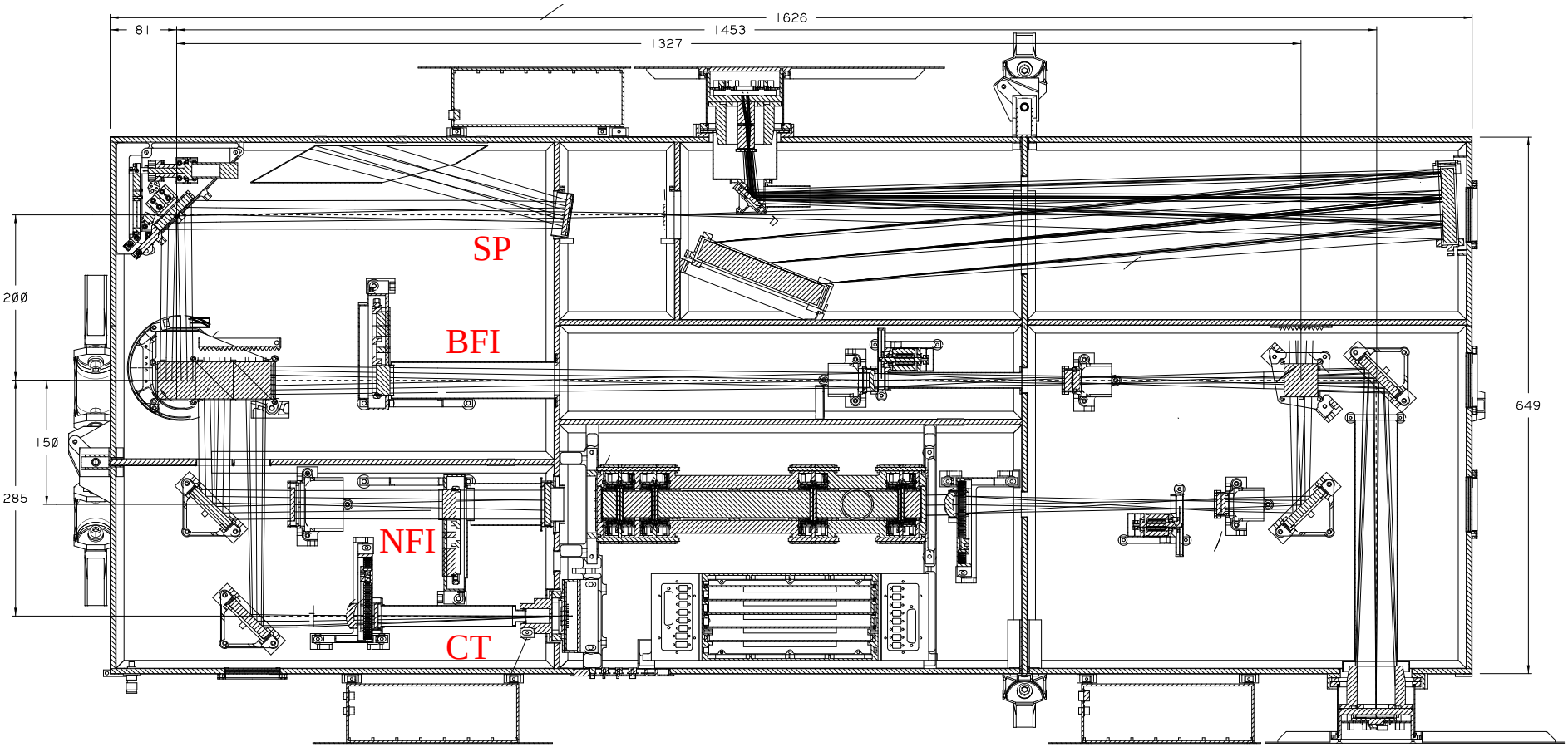


FPP外観


FG CAMERA E-BOX
RADIATOR
CT CAMERA E-BOX
RADIATOR
Z
Y
X
LIFTING FIXTURE
MOUNTING POINTS
HS CONNECTOR PANEL
MEB CONNECTOR PANEL
SG CCD RADIATOR
FOCUS MECHANISM
BELLOWS
FG CCD RADIATOR

Solar-B Focal Plane Package



SOT観測波長

Ion	λ , Å	Purpose	g_{eff}	BFI	NFI	SP	CT
CN I	3883.0	Magnetic Network Imaging	-	✓			
Ca II H	3968.5	Chromospheric Heating	1.33	✓			
CH I	4305.0	Magnetic Elements	-	✓			
	4504.5	Blue Continuum		✓			
Mg I b	5172.7	Chromospheric Dopplergrams and Magnetograms	1.75		✓		
Fe I	5247.1	Photospheric Magnetograms	2.00		✓		
Fe I	5250.2	Photospheric Magnetograms	3.00		✓		
Fe I	5250.6	Photospheric Magnetograms	1.50		✓		
	5550.5	Green Continuum		✓			
Fe I	5576.1	Photospheric Dopplergrams	0.00		✓		
Fe I	6301.5	Photospheric Magnetograms	1.67		✓	✓	
Fe I	6302.5	Photospheric Magnetograms	2.50		✓	✓	
Ti I	6303.8	Umbral Magnetograms	0.92		✓		
	6320.0	Broadband WL for CT	-				✓
HeNe	6328.1	Laser Line + Broadband WL	-		✓		
H I	6562.8	Chromospheric Structure	-		✓		
	6684.0	Red Continuum		✓			

FPP 観測系概要

	フィルター観測系		スペクトログラフ観測系	コリレーショントラッカー
	干渉フィルター系	リオフィルター系		
役割	高分解能単色像の取得	２次元磁場、速度場、彩層画像の取得	高精度ベクトル磁場の取得	指向ずれの検出
１回の観測量	空間２次元 x１波長輝度	空間２次元 x１波長 x 偏光	空間１次元 x 波長１次元 x 偏光	空間２次元 x１波長輝度
視野	218”x 109”	328” x 164”	328” x 164”	11” x 11”
空間分解能	0.05”/pix	0.08”/pix	0.16”/pix	0.22”/pix
観測波長	3883, 3968, 4305, 5550, 6684 A	5173, 5250, 5576, 6302, 6562 A	6302A	6300– 6350A
波長分解能	3－10A	～100mA	～25mA/pix	～50A
波長点数	1	2－4	～100	1
時間分解能(全視野)	2－10 sec	20－60 sec	～1 hr	1/580 sec
測光精度	0.3 %	0.1－0.3%	< 0.1%	< 1%

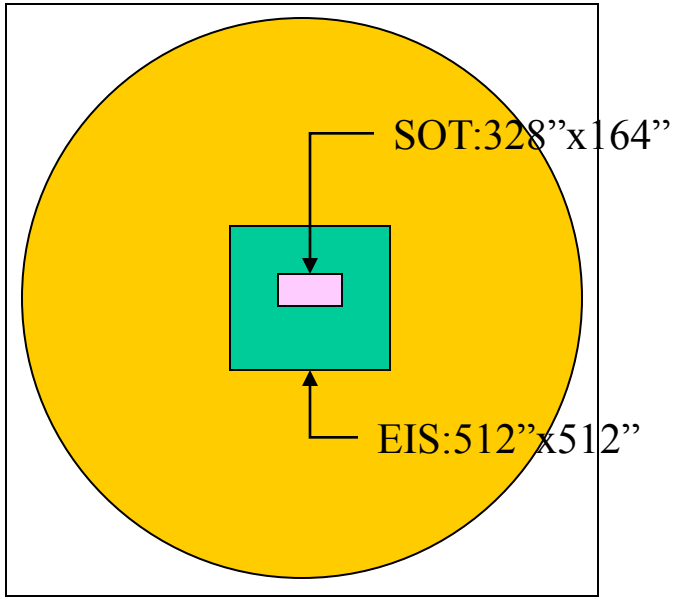
SOT 視野

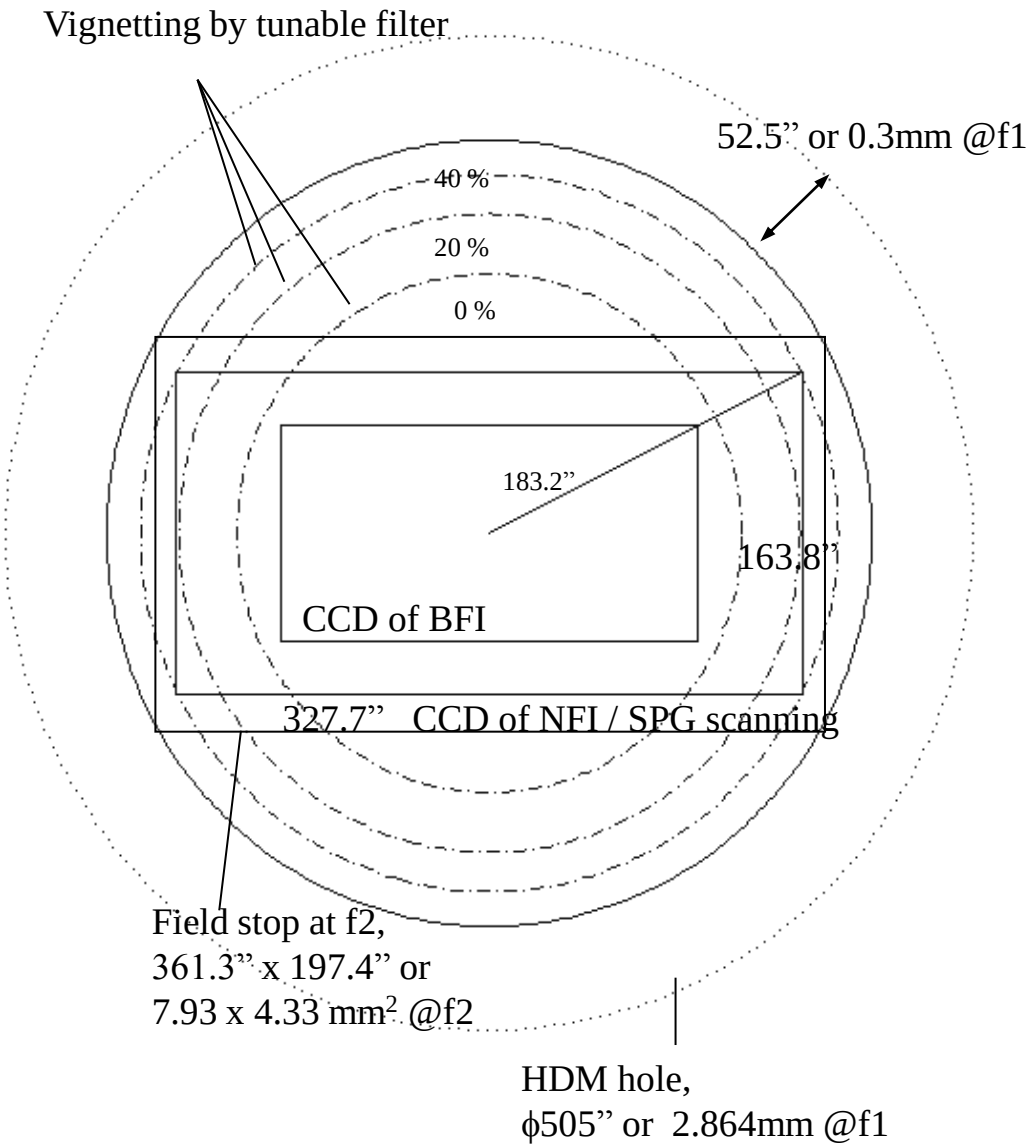
Field of view of the three telescopes of the Solar-B

X-Ray Telescope (XRT)

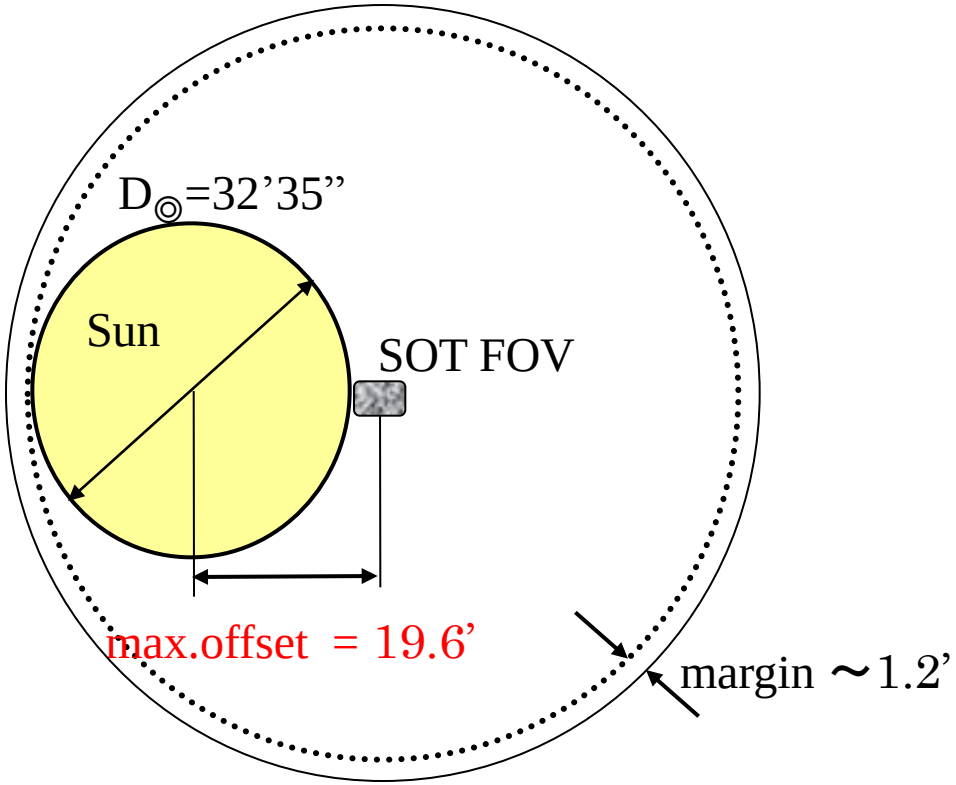
EUV Imaging Spectrometer (EIS)

Solar Optical Telescope (SOT)

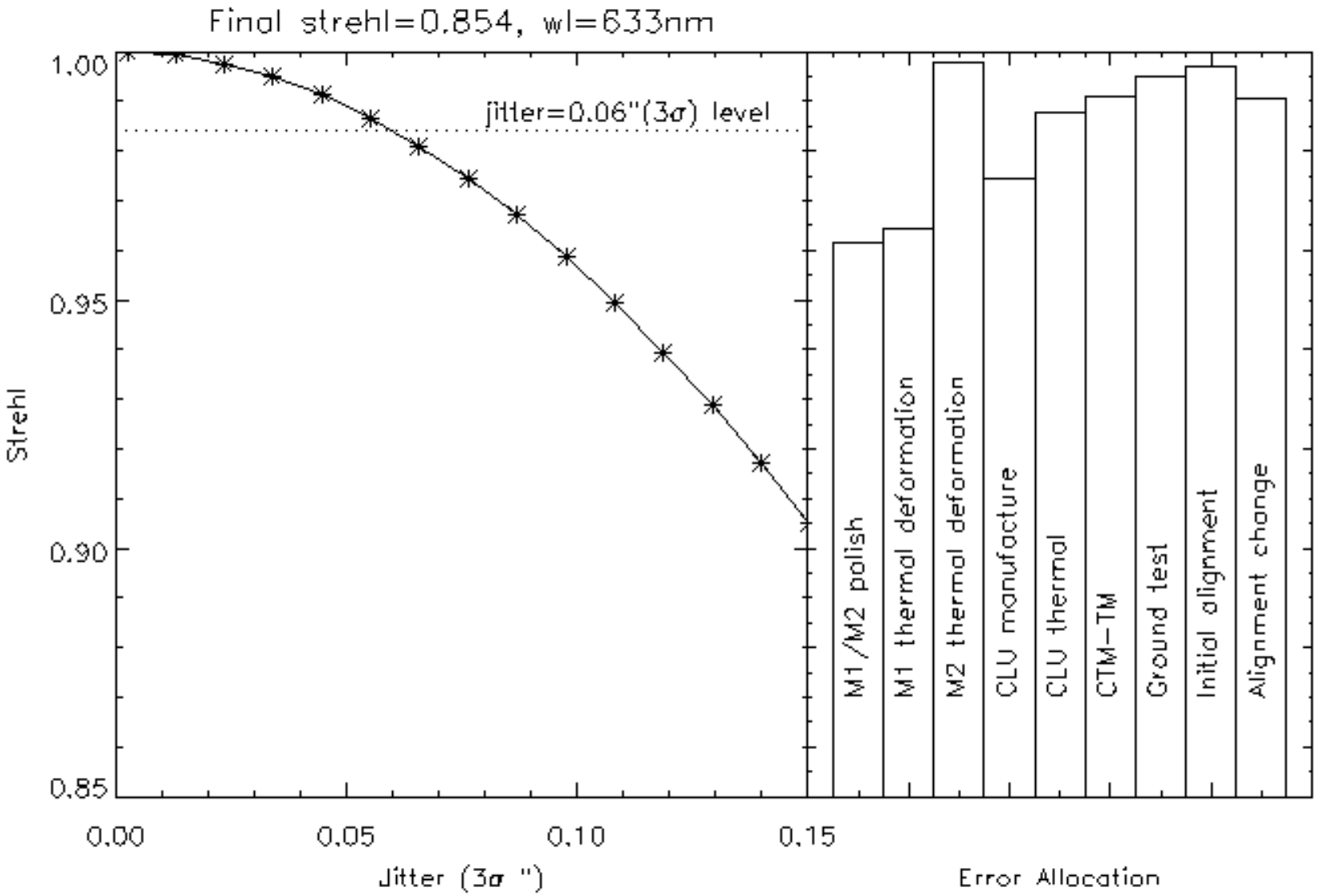




FOV of Heat Dump Mirror

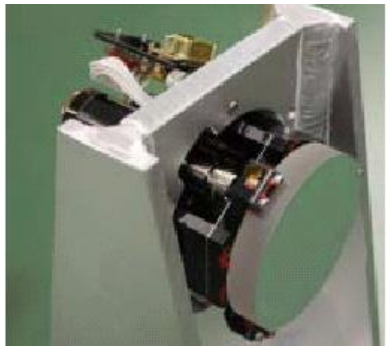


像安定度とストレール比



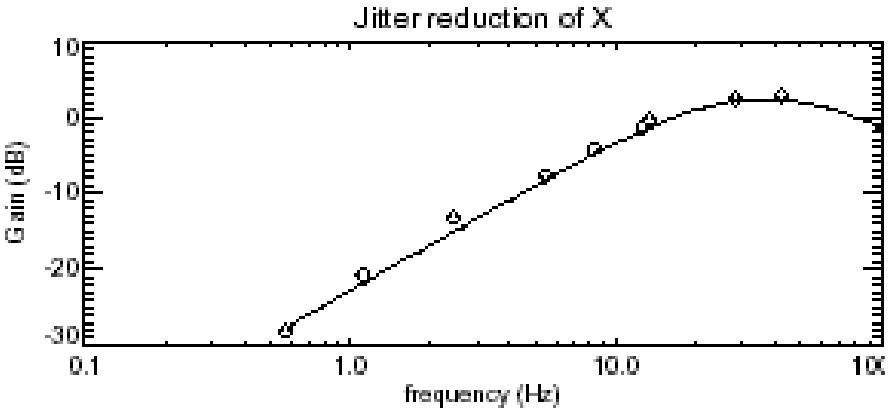
像安定化装置の結合（閉ループ）実験

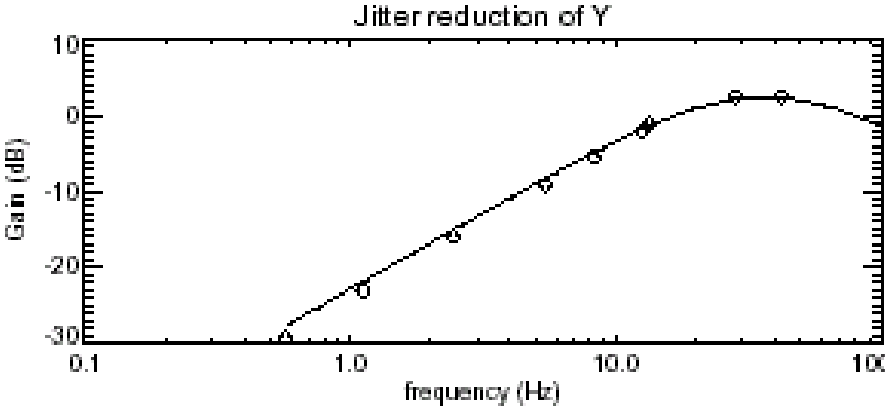
2002.4 @三鷹



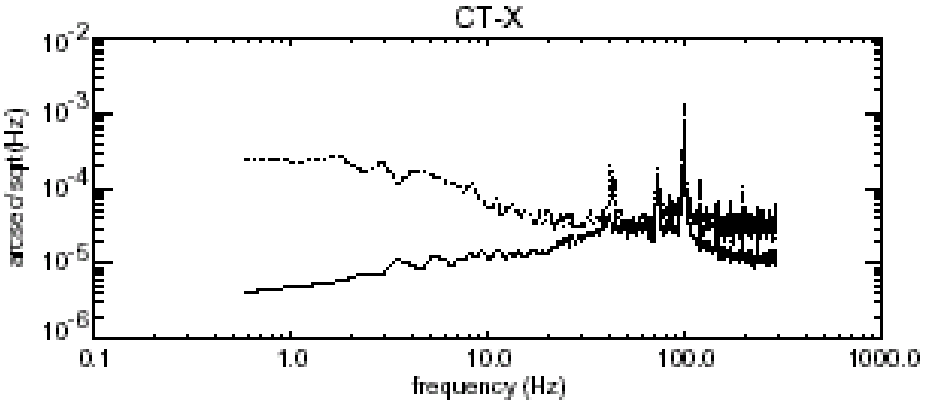
~0.002” に達する制御性能を確認

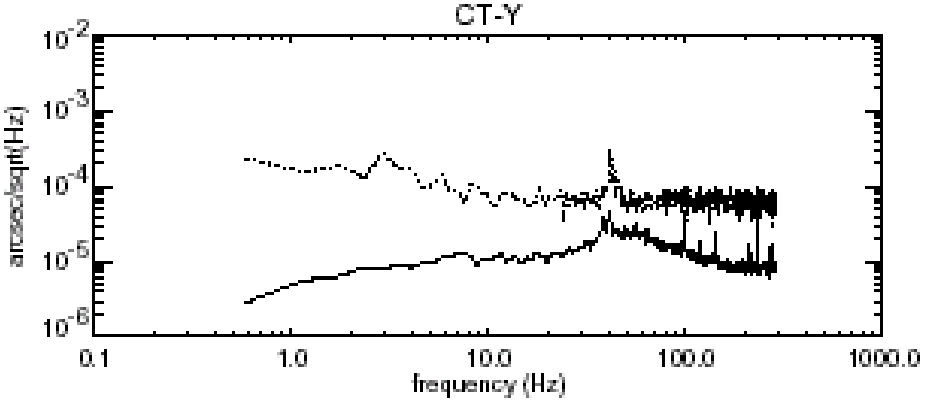
抑圧特性





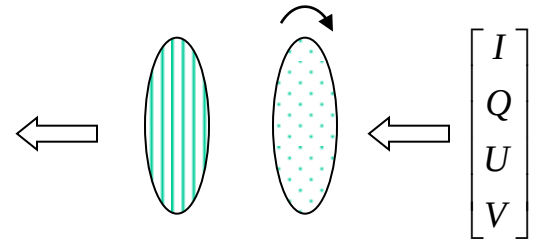
残差信号



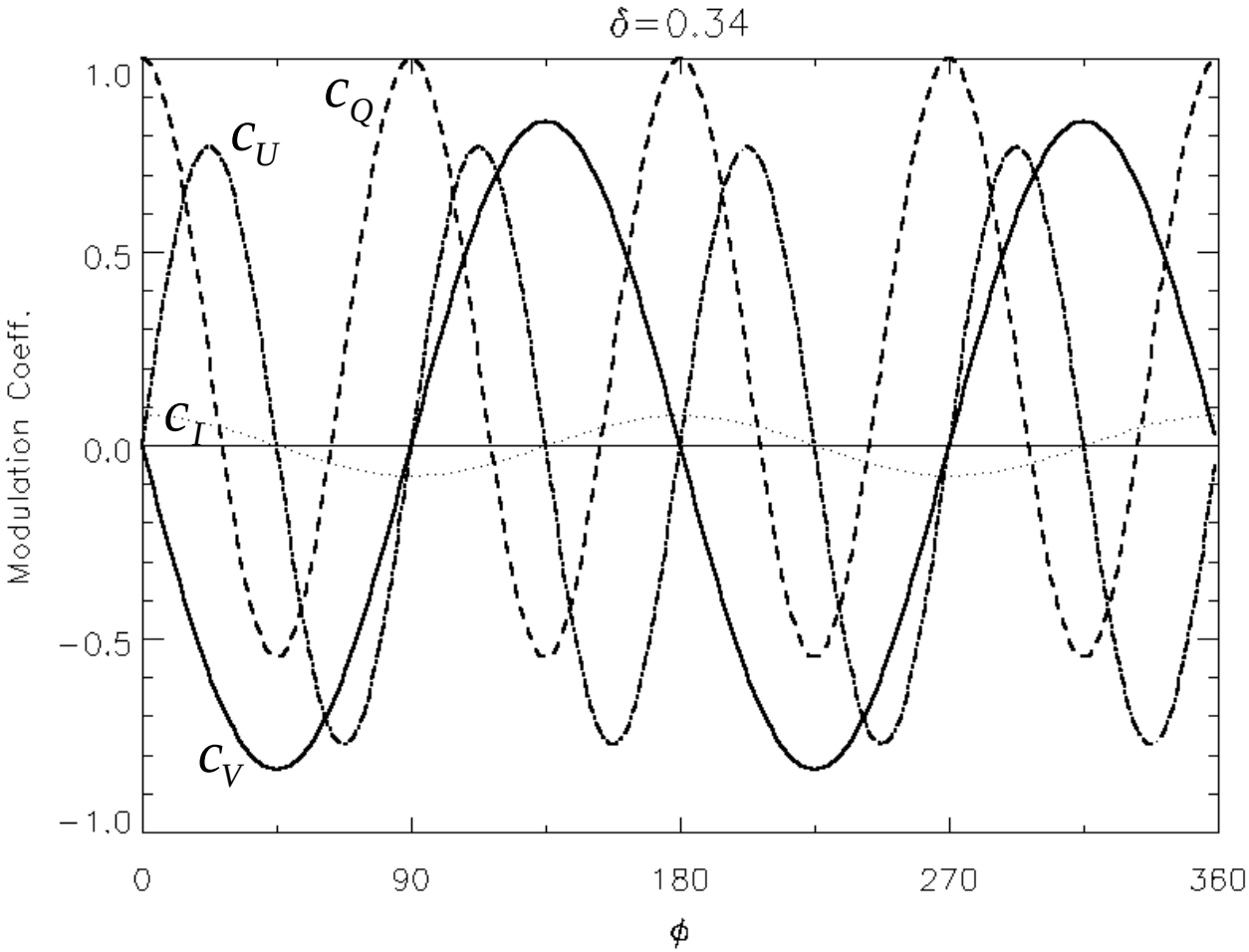


偏光モジュレーション

$$I' = c_I I + c_Q Q + c_U U + c_V V$$



PL　　WP:
δ= 852 nm at 630.2nm
1/1.6 Hz



$$c_I = 1 + R\sin\left(\frac{4\pi dn}{\lambda}\right)\sin\delta\cos 2\varphi$$

$$c_Q = \frac{1}{2}\{1 + \cos\delta + (1 - \cos\delta)\cos 4\varphi\}$$

$$c_U = \frac{1}{2}(1 - \cos\delta)\sin 4\varphi$$

$$c_V = \sin\delta\sin 2\varphi$$

偏光精度に関するコメント

SOTの特徴:

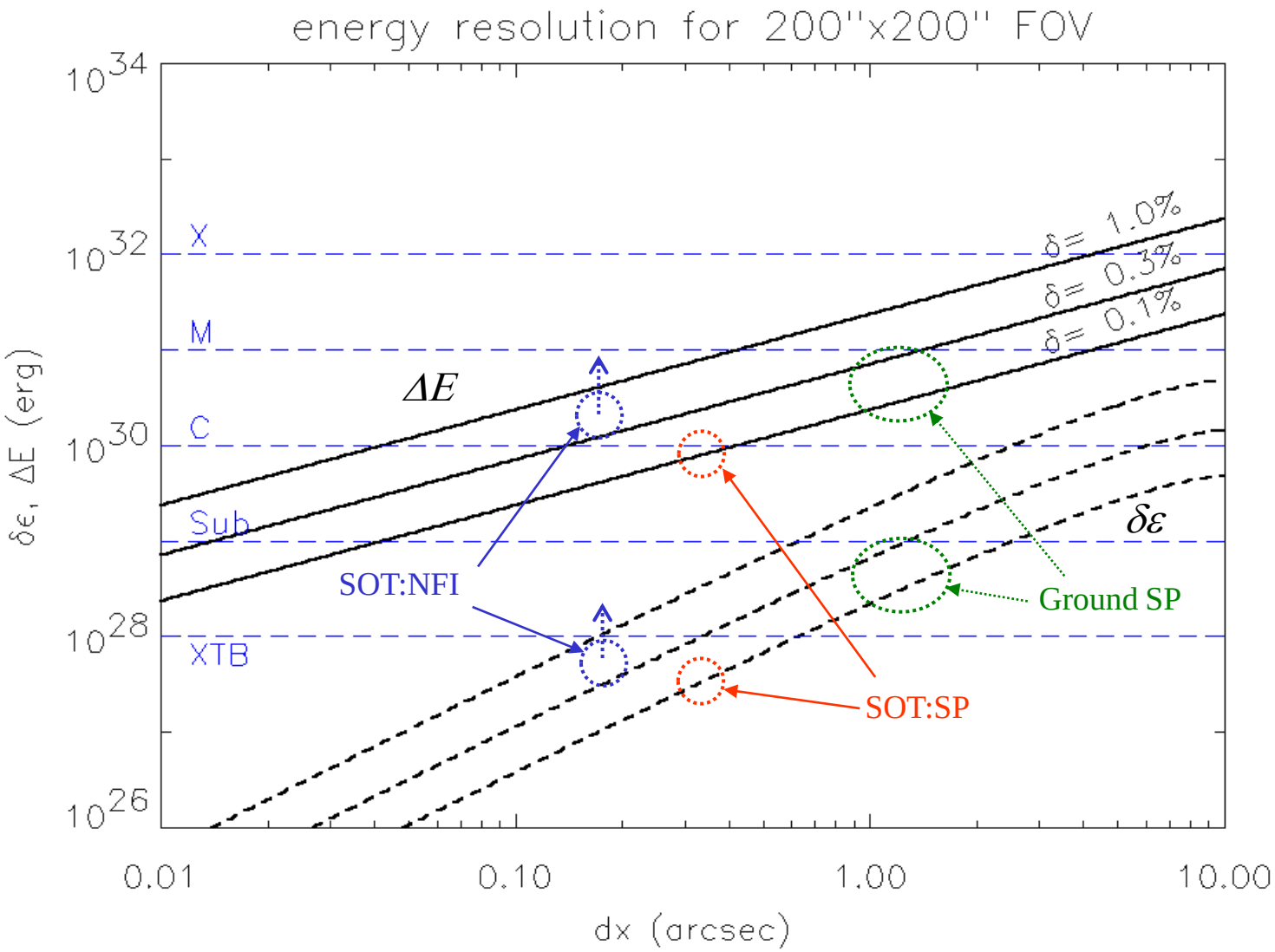
- 大気揺らぎによるノイズがない
- 安定したシンプルな偏光変調器（水晶回転波長板）
- 偏光変調器より上流は軸対称光学系 → 人為的クロストークの低減
- 直交する2偏光の同時取得（SP）
- フォトンを無駄にしない機上連続加算
- 各光学素子について偏光特性の徹底した管理

注意点:

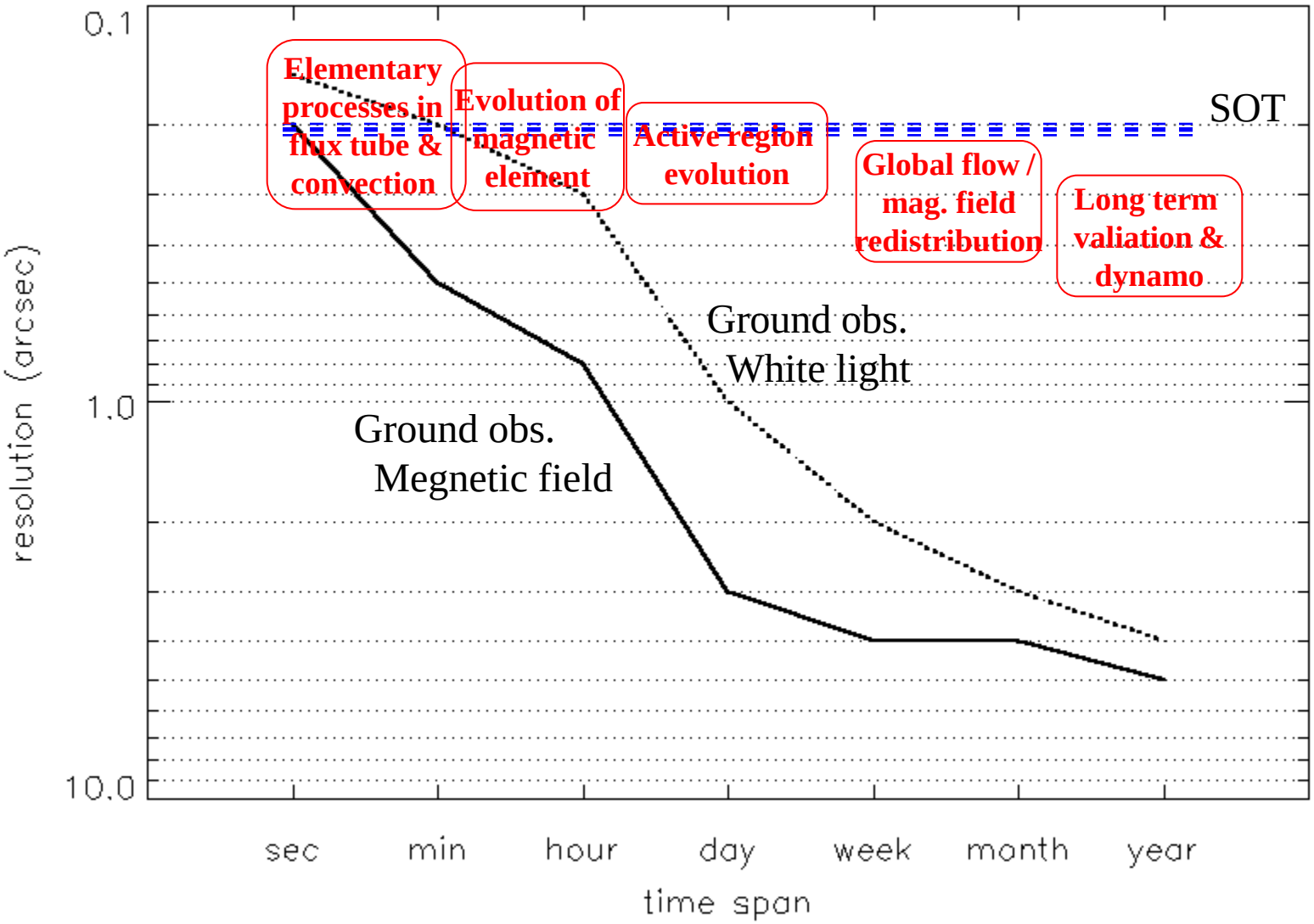
- 機上キャリブレーションの機能なし（打ち上げ後の確認は得られたデータで）
- I±Vのみの取得不可能（Q→I クロストーク）
- 単一偏光変調器を共有したSP-FG協調動作
- 打ち上げ前の総合キャリブレーションの時間的・コスト的制限

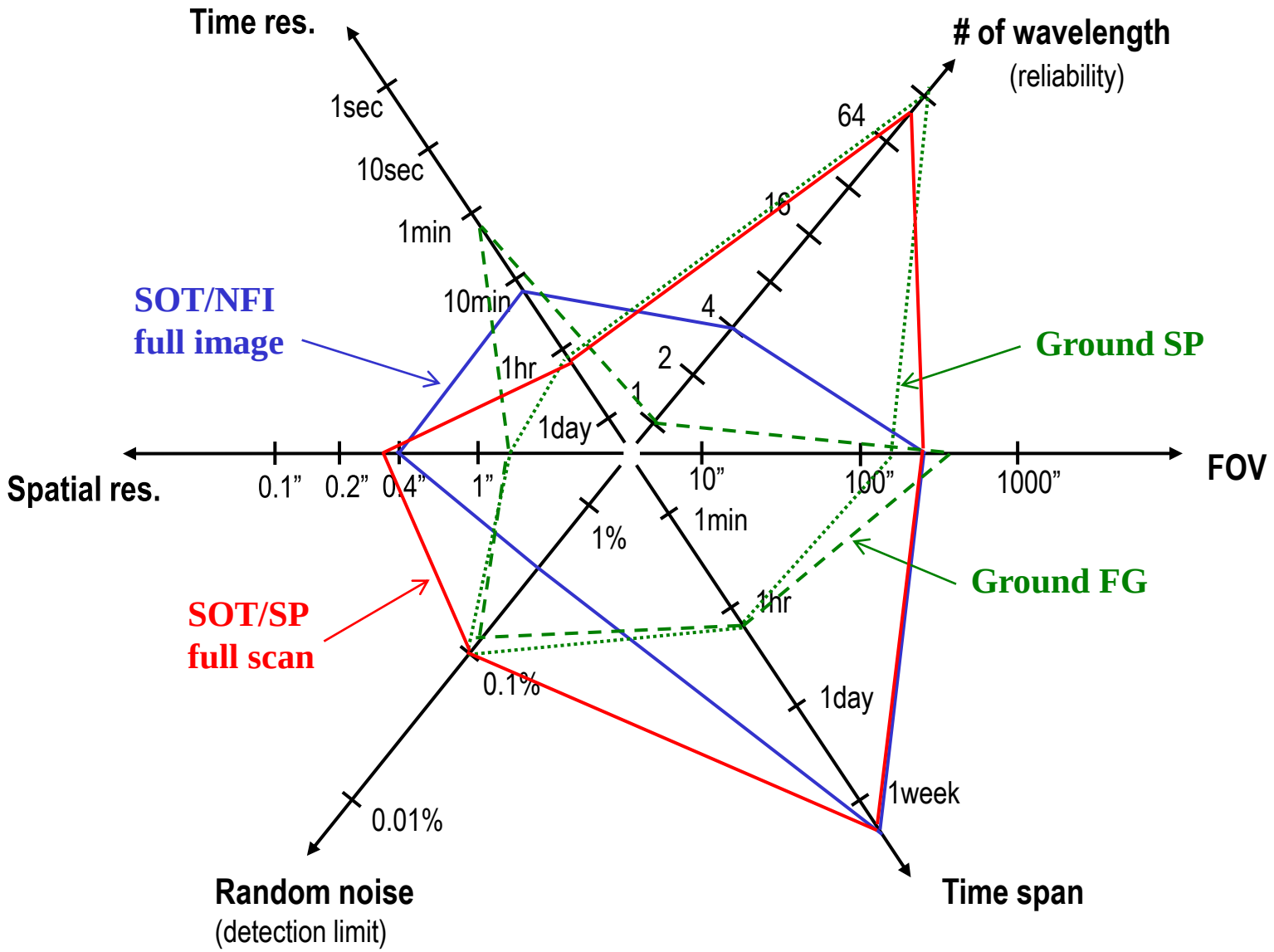
SOTの検出限界

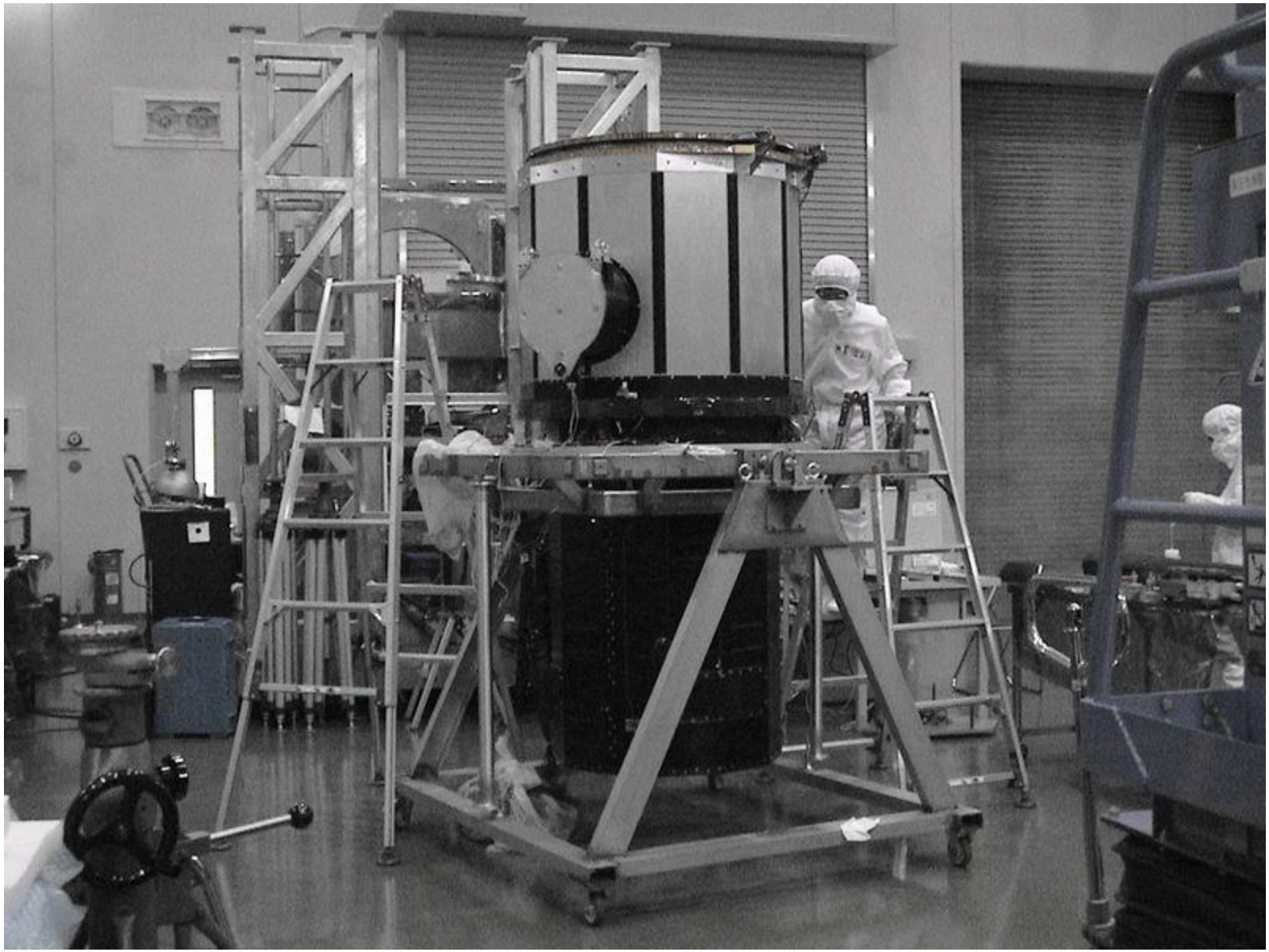
	SOT (Typ.) (dx=0.2”, N=1000)		Ground (Typ.) (dx=1”, N=500)
	ε = 0.5%	ε = 0.1%	ε = 0.1%
weak fields			
δB_l (G)	8.5	1.7	”
δB_t (G)	141	63	”
δj (A)	1.2×10^9	5.2×10^8	2.6×10^9
$\delta\varepsilon$ (erg, l=10^4km)	1.3×10^{28}	6.6×10^{27}	1.3×10^{29}
time variability			
ΔB_t (G, B_t=500G)	20	4	”
$\Delta\phi$ (deg., ”)	2.3	0.45	”
Δj (A, ”)	1.6×10^8	3.3×10^7	3.3×10^8
ΔE (erg)	2.4×10^{30}	4.8×10^{29}	1.5×10^{31}

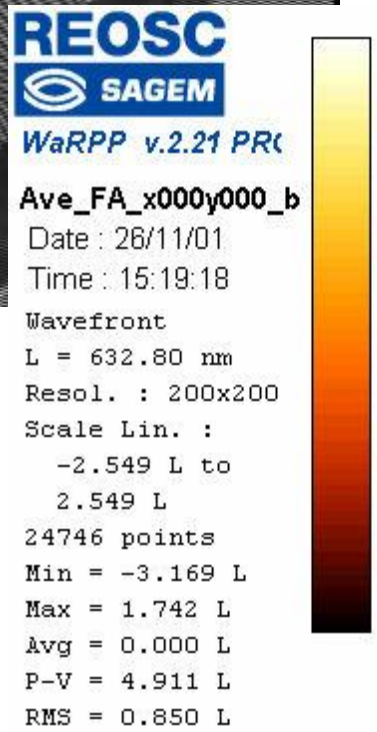

energy resolution for 200''x200'' FOV
10^{34}
10^{32}
10^{30}
10^{28}
10^{26}
X
M
C
Sub
XTB
δε, ΔE (erg)
ΔE
δε
δ= 1.0%
δ= 0.3%
δ= 0.1%
SOT:NFI
SOT:SP
Ground SP
0.01
0.10
1.00
10.00
dx (arcsec)

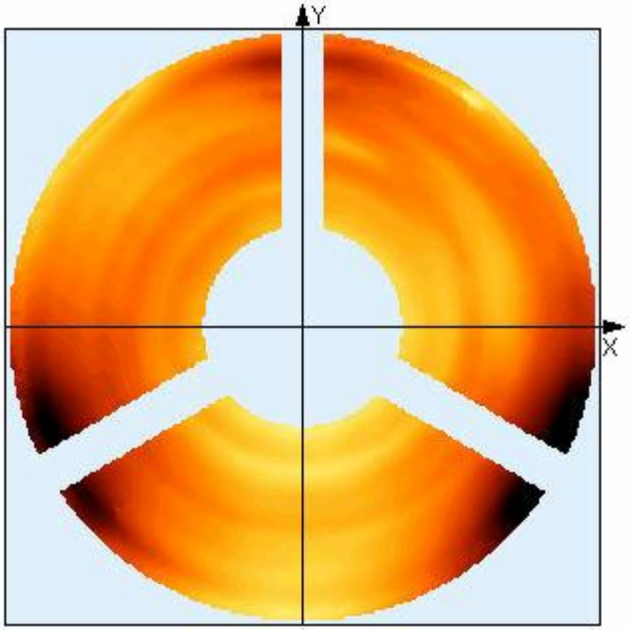
Spatial resolution and time span




Time res.
1sec
10sec
1min
10min
1hr
1day
# of wavelength
(reliability)
64
16
4
2
1
SOT/NFI
full image
Ground SP
Spatial res.
0.1”
0.2”
0.4”
1”
10”
100”
1000”
FOV
1%
1min
1hr
1day
1week
Ground FG
SOT/SP
full scan
0.1%
0.01%
Random noise
(detection limit)
Time span







MTM鏡による光学アライメントの目的

- 調整手順の確立
- 構造的実現性の確認