

SOLAR-B可視光磁場望遠鏡 記者会見資料(その2)

末松芳法、SOLAR-Bチーム

国立天文台

SOLAR-B推進室

SOLAR-B可視光磁場望遠鏡は2つの光学系で構成

望遠鏡部 (日本JAXA/NAO)

(例えて: 超高性能望遠レンズ・衛星振れ防止機能付き)

光学性能を与える部分

フライトモデルが完成し、回折限界性能が確認された。

ここで概要を紹介する。以下可視光望遠鏡と呼ぶ。

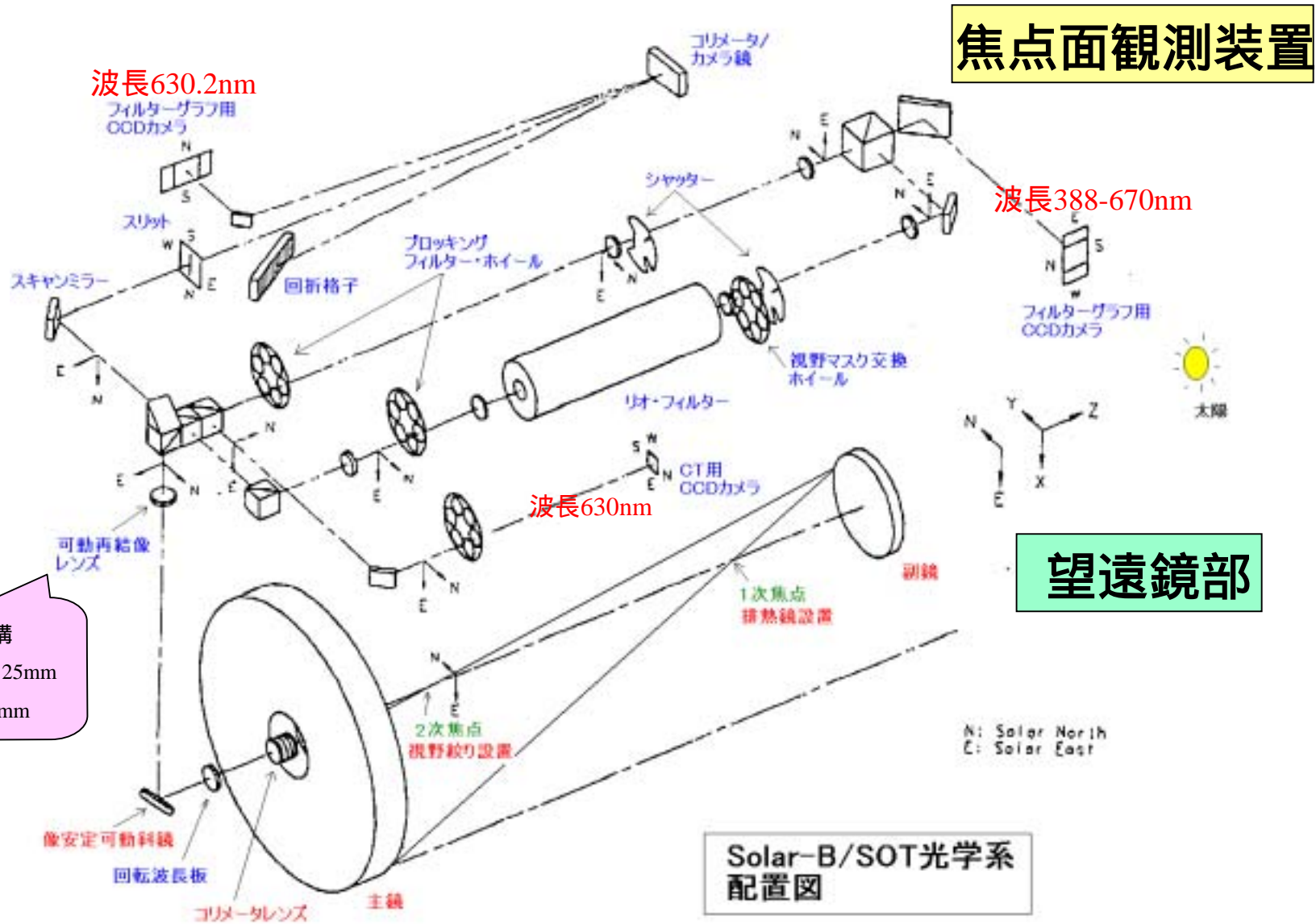
焦点面観測装置(米国NASA)

(例えて: 焦点調節機能付きカメラ部、

特殊フィルター・分光偏光解析装置付き)

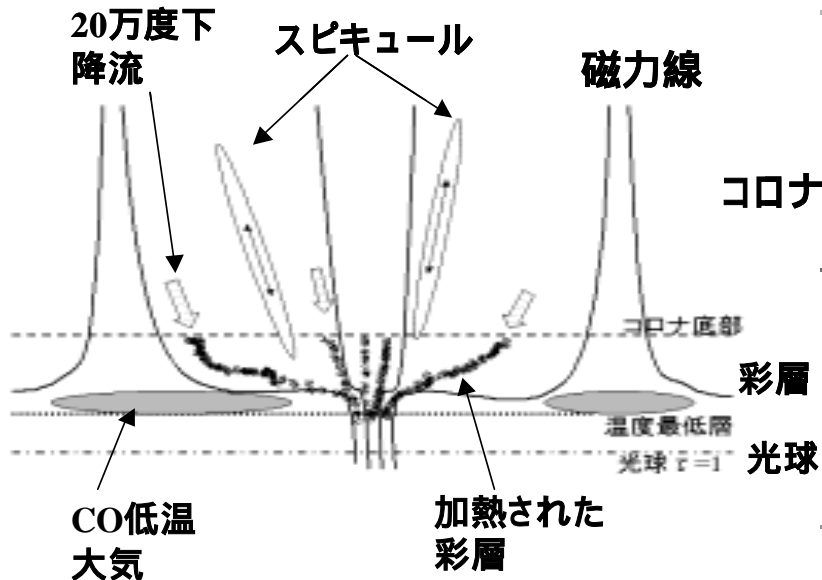
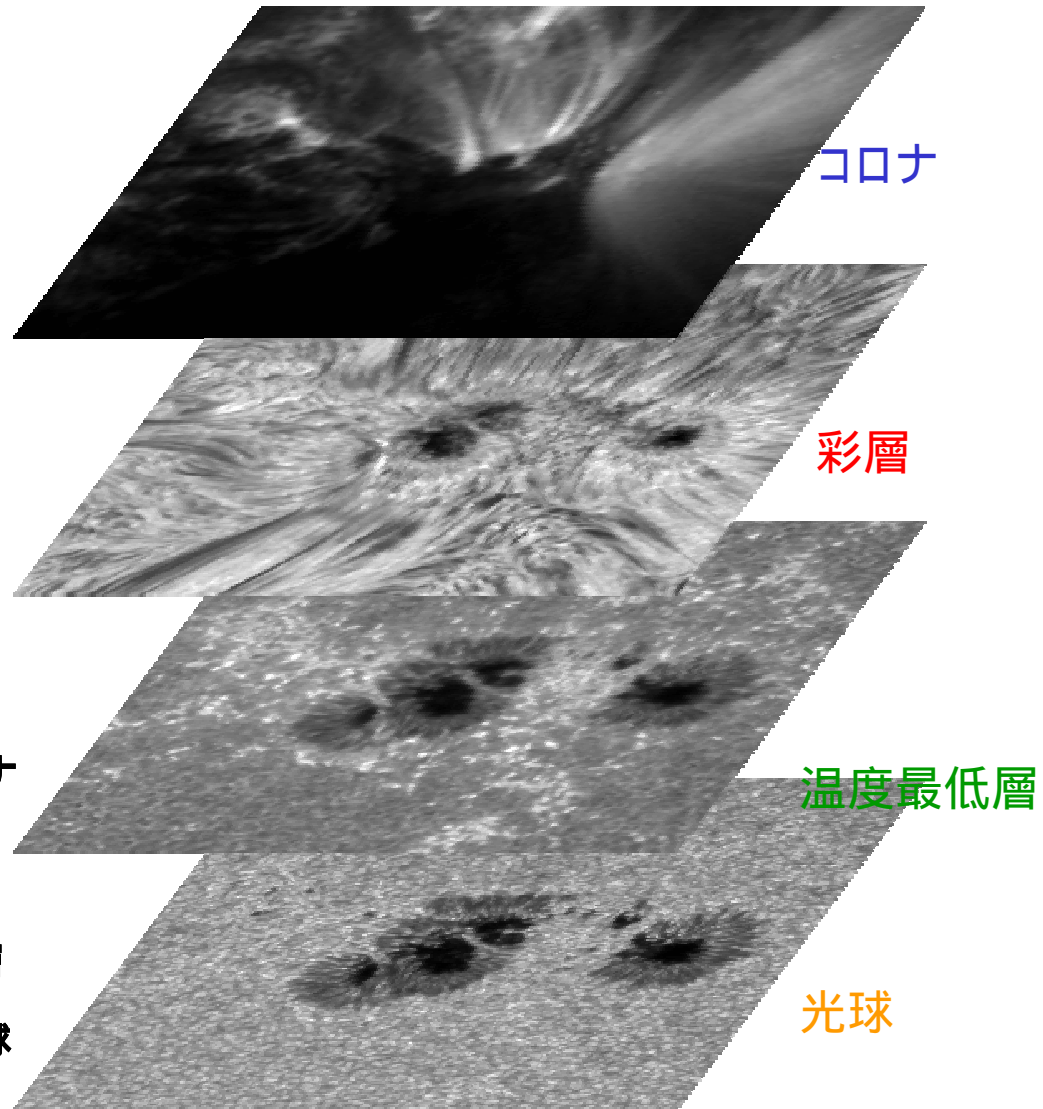
観測データの質を与える部分

可視光磁場望遠鏡・光学系図



可視光磁場望遠鏡が観測する太陽

直接観測可能な一番深い大気層“**光球**”からコロナの下の“**彩層**”までの大気構造、温度、速度、磁場などの3次元的なデータが得られる。深くなるほど大気構造は小さくなる。



回折限界性能を目指して

回折限界性能とは、

望遠鏡の口径で決まる空間分解能を持つこと

空間分解能 \sim 波長 / 開口直径

波長が短いほど、口径が大きいほど、小さい構造まで分解できる。

太陽面の最小構造は

磁気要素 \sim 0.2秒角

口径50cmの可視光望遠鏡

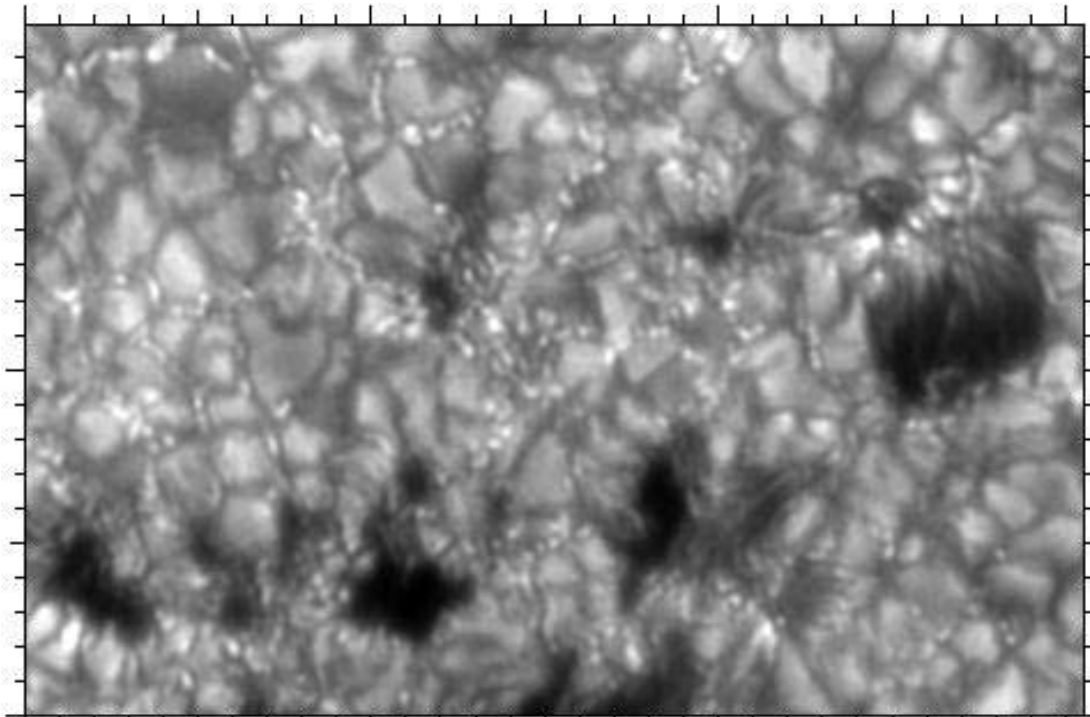
では波長500nm(緑色の光)

以下の波長で回折限界を

達成すれば分解可能。

観測波長388-668nmで

0.2 ~ 0.3秒角！！



明るい輝点が磁気要素。地上では最高に近い分解能での観測。1目盛りが1秒角(太陽面で720km)に相当。

回折限界達成を妨げる要因

回折限界の目安:

焦点に向かう波面の乱れの標準偏差が $1/14$ 波長 (0.07波長) 以下

回折限界達成を妨げる要因

1. 光学反射面・透過面の理想面からのずれ

研磨誤差、屈折率むら

光学系の温度勾配、支持との熱膨張差による熱変形(太陽望遠鏡では深刻)

2. 光学系の理想位置からのずれ

初期組立調整誤差 (副鏡で、位置ずれ数ミクロン、傾き5秒角の精度要求)

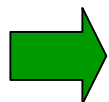
構造の温度変形、振動・衝撃による位置ずれ

3. 光路中の空気の温度むら(屈折率むら)

干渉測定で誤差 光学性能評価の誤り

地上の望遠鏡ではこれが最も影響する 望遠鏡を宇宙へ

4. 撮像中の指向振れ(像振れ) 空間分解能より小さい指向安定必要



可視光望遠鏡ではこれら全ての難関を解決できた!

0.2-0.3秒角で開くサイエンス

太陽は天然のプラズマ実験場： 地上の実験場では達成不可能な環境で、大小様々な爆発的な現象が頻繁に起きている。

現象の担い手は磁場： プラズマ中では磁場はバネの役割を果たす。エネルギー、プラズマの流れは磁力線に沿う性質がある。エネルギー源は、表面下の対流運動、自転運動、、、

太陽表面の磁場は“量子化”されている： 磁場分布は離散的。0.2-0.3秒角(150-200km)の大きさに約1000ガウスの磁場が集中。

- ・磁場の量子化の仕組みは？
- ・エネルギーの生成・輸送の仕組みは？
- ・プラズマ加熱・爆発現象の仕組みは？

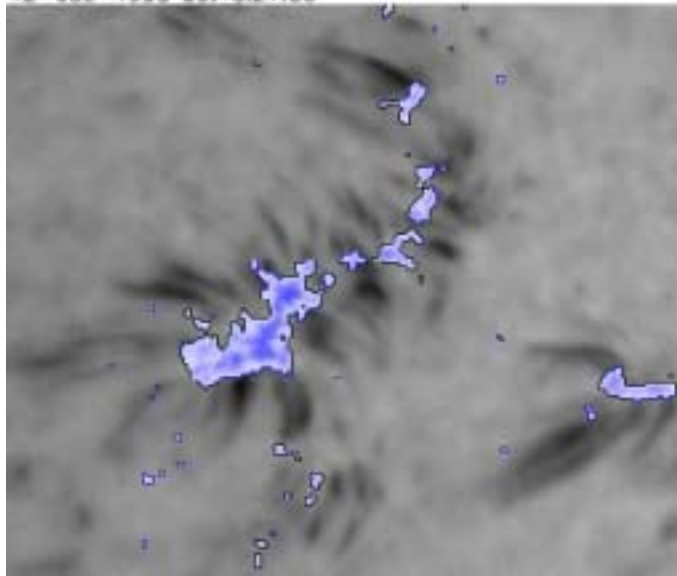
これらの疑問の根幹に答えるには、0.2-0.3秒角の空間分解能で、偏光観測(磁場観測)を連続的に行う(10秒程度の時間分解能)必要がある。

磁場観測には異なる偏光状態を組み合わせる必要があり、撮像時間も長くなるため、地上での連続的な高分解能観測は不可能。

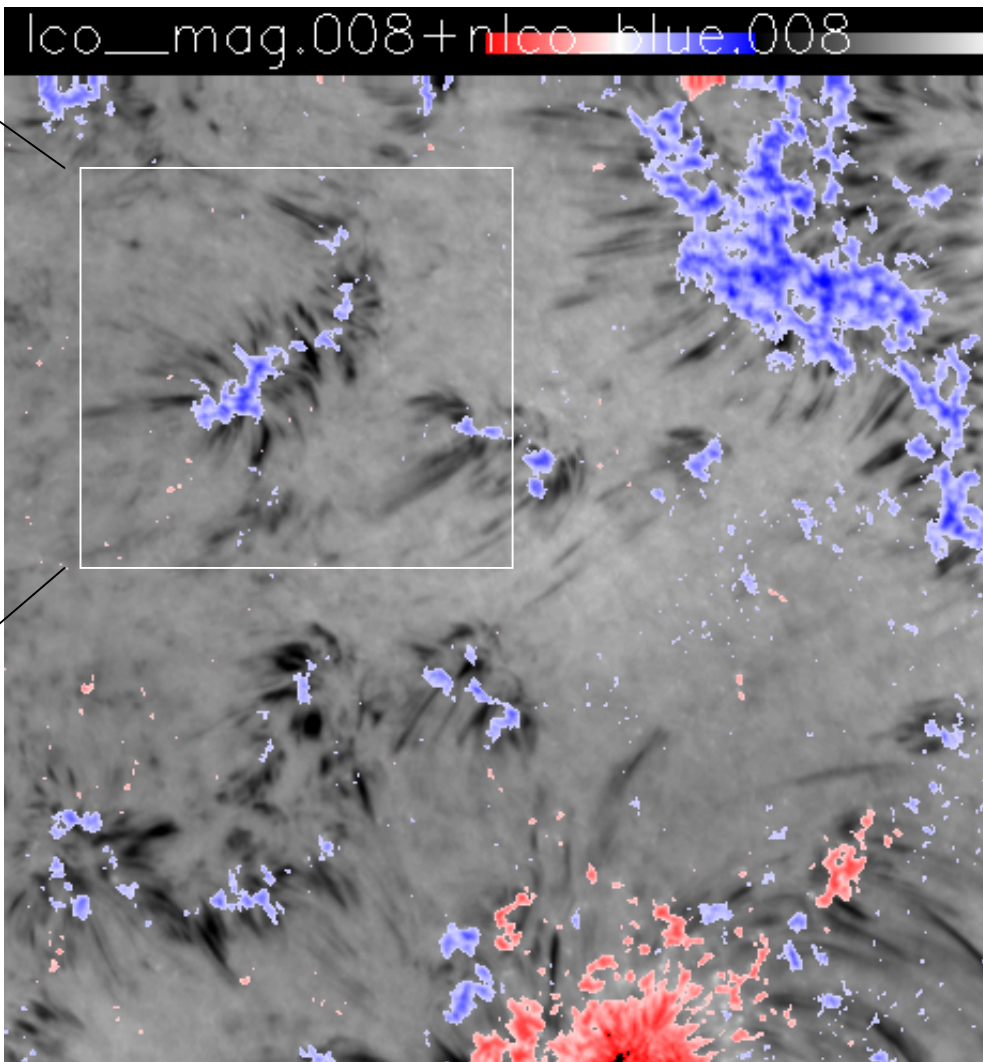
 **SOLAR-B可視光磁場望遠鏡で初めて達成される。**

磁気要素の変化とジェット

12-JUL-1990 09:46:27.83



35分間のムービー



H -0.75 (白黒)とFeI6302
による視線方向磁場(青赤)。分
解能は良い時で、H が0.5秒
角、磁場で2秒角程度。

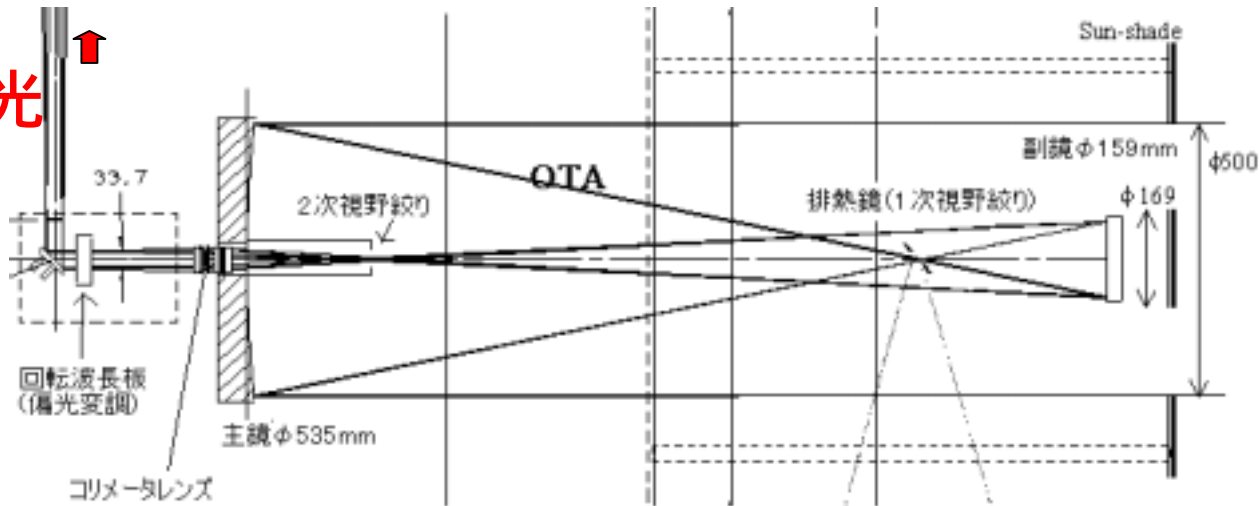
光球の磁場分布(青・赤)と彩層のジェット現象(上昇中)
を重ねて表示したもの。ジェットが磁気要素に根ざしてい
ることがわかる。ジェットの物理機構はまだ未解明。

可視光望遠鏡設計のポイント

- ・いらない太陽光は早めに捨てる(熱変形を抑える)。高反射率コーティングの開発
- ・斜め反射を波長板の前に作らない(高精度偏光観測)
- ・コリメート光で焦点面観測装置と結合(可動光学系の配置可能、焦点面装置の位置精度緩くできる)

望遠鏡の構成: 口径50cmグレゴリー式 + 排熱鏡 + コリメータレンズ + 回転波長板
+ 像安定化・可動斜鏡

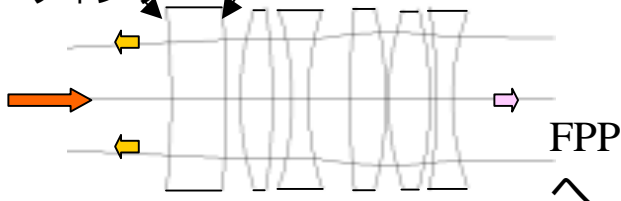
2.6W
射出光



230W
入力光

赤外/紫外
外反射コー
ティング

コリメータレンズ



太陽光入力の削減: 230W入射

主鏡反射 排熱鏡(505秒角透過)
視野絞り(361x197秒角透過): 5.6W
(IR/UV反射コーティング、ガラス吸収)
面観測装置へ

副鏡反射 2次
コリメータレンズ
2.6W: 焦点

軌道上での光学性能確認試験を地上で

組立初期光学性能試験 (無重力状態の光学性能確認)

個々の光学系に製造可能限界に近い仕上がりを要求、試験で確認
回折限界性能を達成する光学系組立・位置調整

振動・衝撃・音響試験 (ロケット打上時の過酷な条件に耐えること)

望遠鏡(特に主鏡)が壊れない

位置ずれ(特に副鏡)により光学性能が劣化しない

熱光学試験 (軌道上太陽観測時の光学系熱変形が小さいこと)

軌道上の望遠鏡温度分布を模擬して光学性能劣化が設計内であること

画像安定機能試験 (衛星の低周期姿勢ぶれを補正)

以上の全ての試験を総合して、回折限界条件を満たしているか確認

最後に、**焦点面観測装置と組み合わせて**

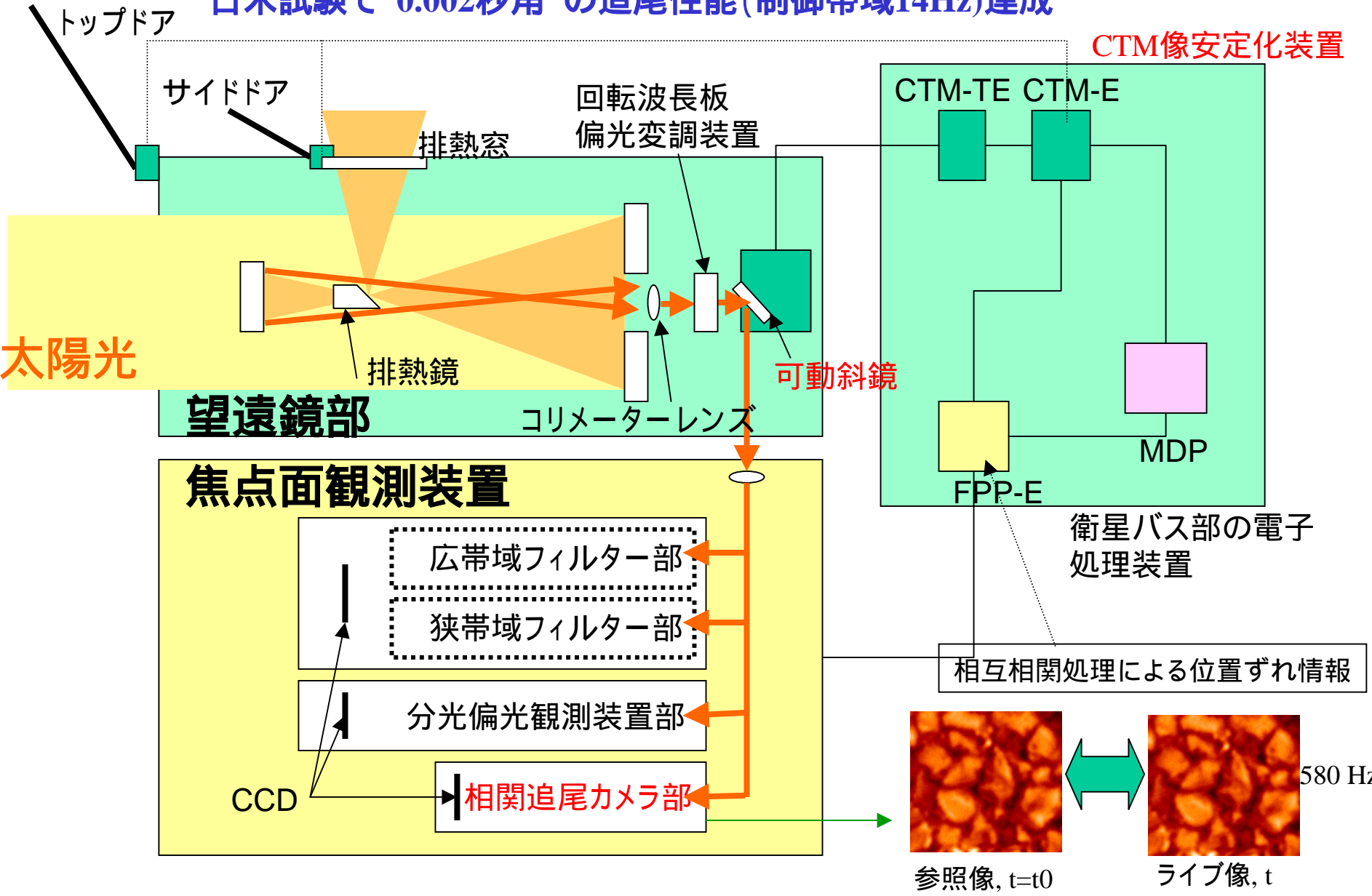
実太陽観測による最終確認試験 (望遠鏡開口からCCDカメラまで)

ピンボケでない。ケラレ、ゴーストがない。偏光測定性能の確認。

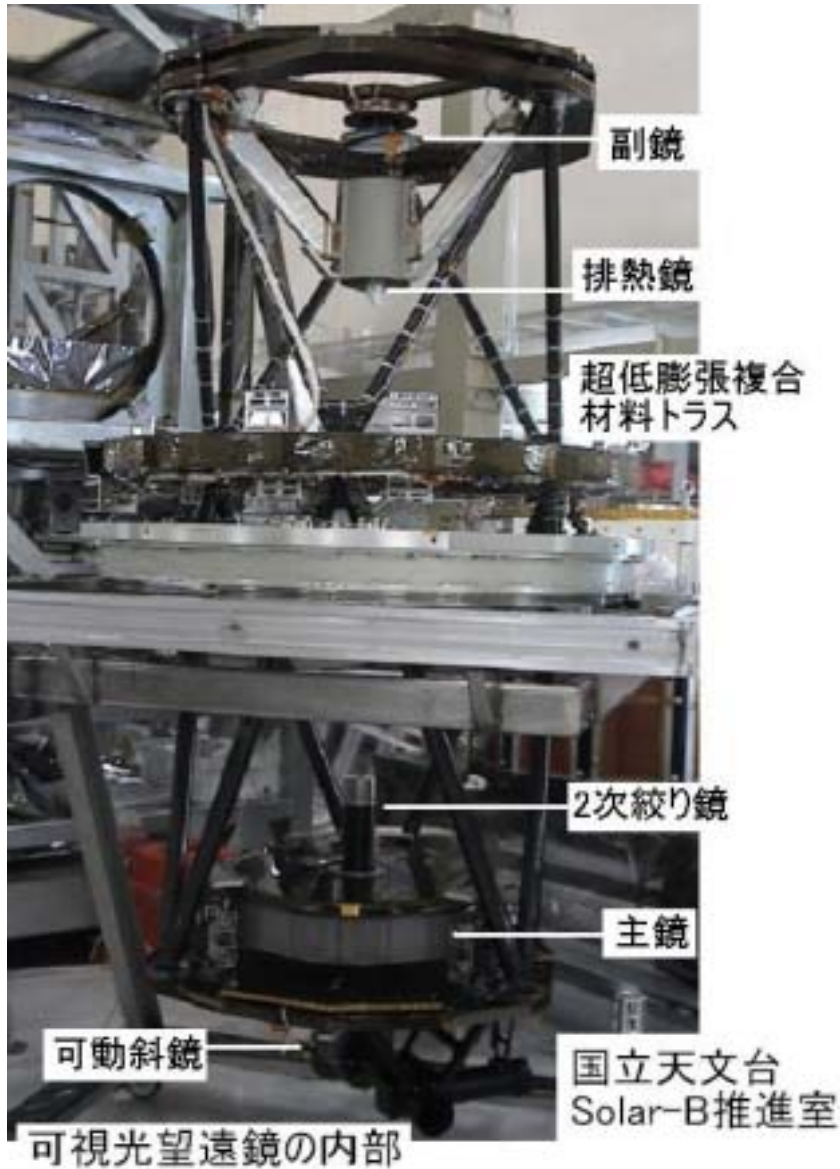
衛星姿勢ぶれ検出・補正の原理

日米試験で“0.002秒角”の追尾性能(制御帯域14Hz)達成

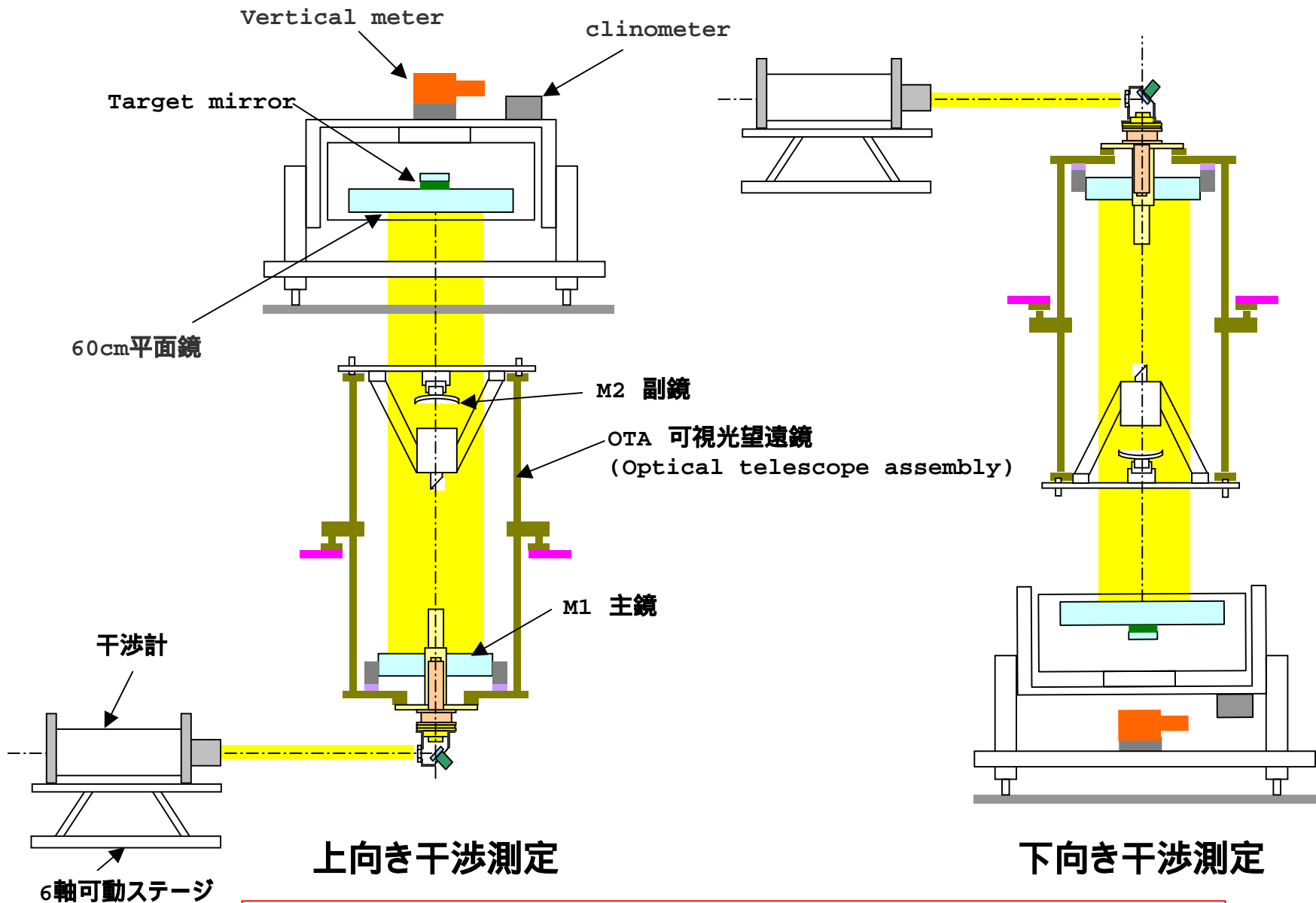
CTM像安定化装置



望遠鏡の組立・干渉測定



干渉測定の様子



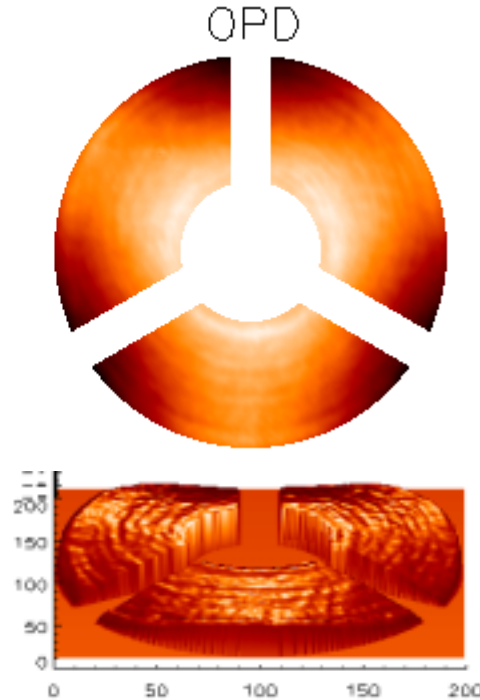
無重力での評価には望遠鏡を反転して測定

干渉測定による波面測定

重力で厚い鏡も変形



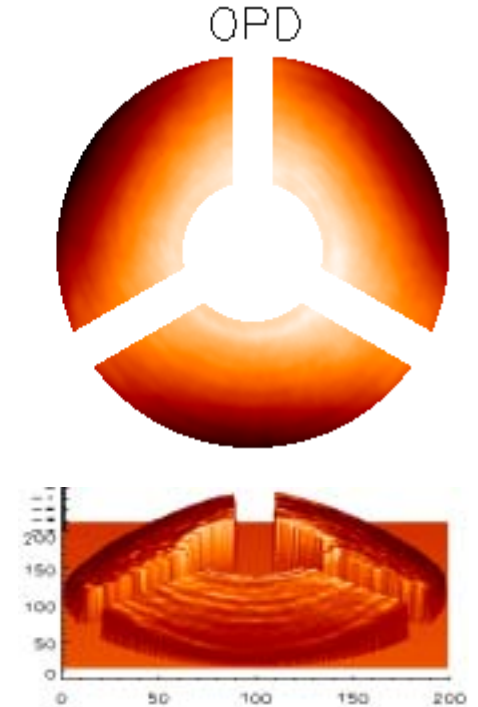
as-ref
06/07/04, 17:31:49
(unit: λ)
max = 0.8982
min = -2.0856
mean = -0.0000
PV = 2.9838
RMS = 0.5973



望遠鏡上向き状態で測定した波面誤差分布 (値は2倍されている)。白くぬけている部分は副鏡とその支持構造で陰ができていたため、分布の暗い部分が上向きに変形、明るい部分が下向きに変形している。標準偏差で0.3波長(最大で1.5波長)の変形。大きな変形の原因は、主鏡が側面3点で支持されており、支持と支持の間が重力で下がる重力変形である。



as_down-ref
07/07/04, 12:45:57
(unit: λ)
max = 1.4045
min = -2.9327
mean = -0.1139
PV = 4.3372
RMS = 0.9373



望遠鏡下向き状態で測定した波面誤差分布 (値は2倍されている)。上向き状態とは逆に主鏡が重力変形している。

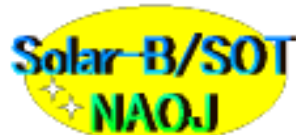
波面誤差、驚異の18.2nm達成

無重力状態の波面誤差分布。上向きと下向きの波面誤差分布を平均したものの。調整可能な焦点誤差は補正している。

波面誤差の標準偏差は0.0288波長。干渉計の波長は632.8nmなので、**波面誤差の実寸は18.2nm (0.0182ミクロン)**となる。

このことから、一番短い観測波長388nmでの波面誤差は0.0469波長となり、全ての観測波長で回折限界の条件(0.071波長以下)を満たしていることがわかる。

波面誤差のほとんど(同心円状にみえる)は、口径50cmの主鏡の研磨誤差である。



av_up_down.opd

2004/07/06

(unit: λ)

max = 0.2552

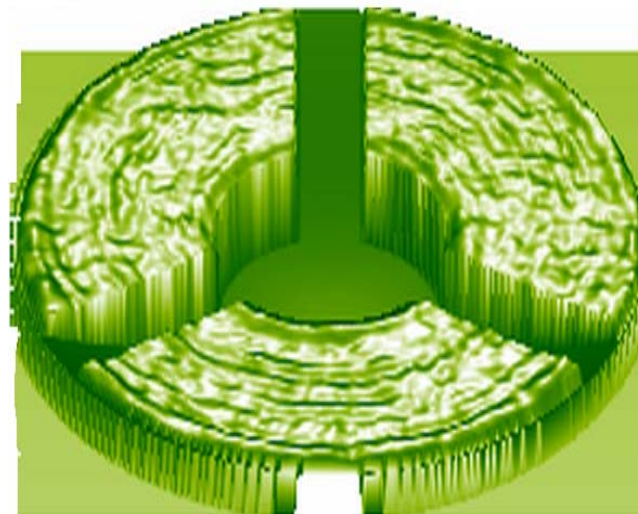
min = -0.2137

mean = 0.0000

PV = 0.4689

RMS = 0.0576

OPD: focus corrected



Zernike Fringe coefficient: (unit: λ)

A00 = 0.0929	A11 = 0.1303	B11 = 0.0445
A20 = -1.3304	A22 = 0.0074	B22 = -0.0337
A31 = -0.0046	B31 = -0.0667	A40 = 0.0456
A33 = -0.0114	B33 = -0.0134	

図の説明: 無重力状態での可視光望遠鏡・波面誤差分布(値は2倍されている)。

波面誤差のモード解析から、支持による変形が小さく、光学系の位置調整も完璧に近いことがわかる。

振動・衝撃試験

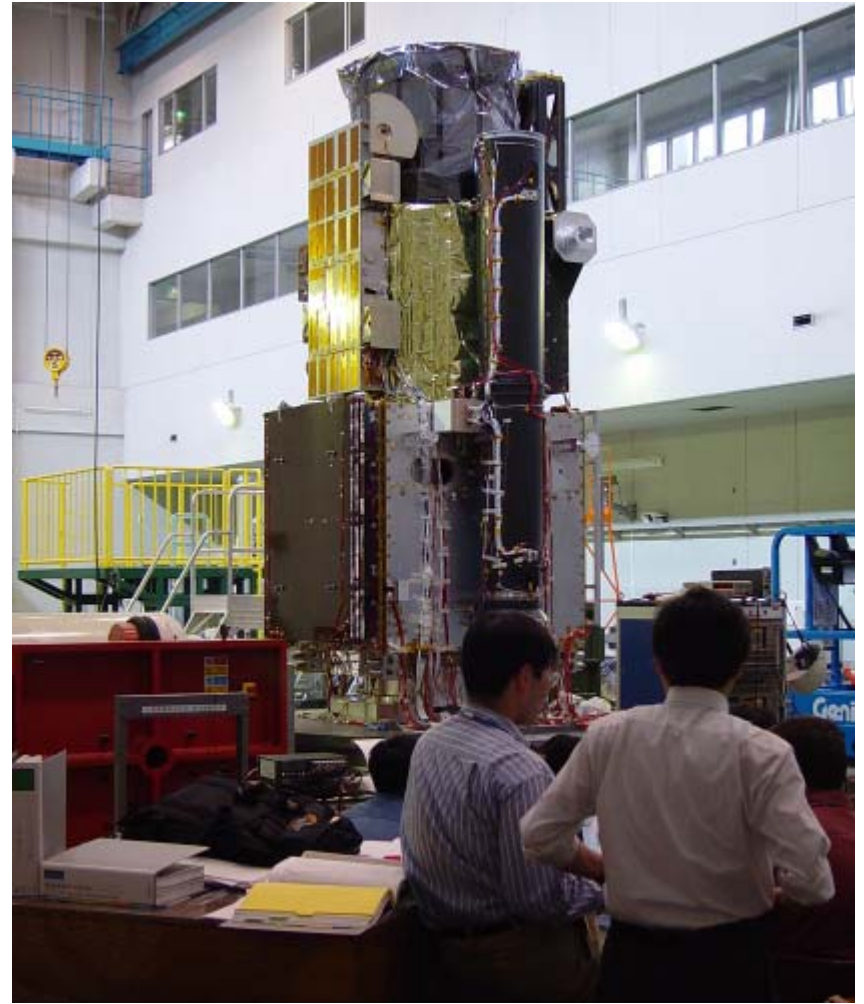
宇宙望遠鏡は軽量・堅牢設計

打上時の振動・衝撃・音響に耐るため、
主鏡・副鏡は50Gに耐える設計。

結果、望遠鏡光学系はビクともせず。干渉測定で光学性能に変化無いことを確認した(プロトモデル)。



望遠鏡単体振動・衝撃試験(宇宙研・30トン加振機)



衛星単体振動・衝撃試験(宇宙研・30トン加振機)

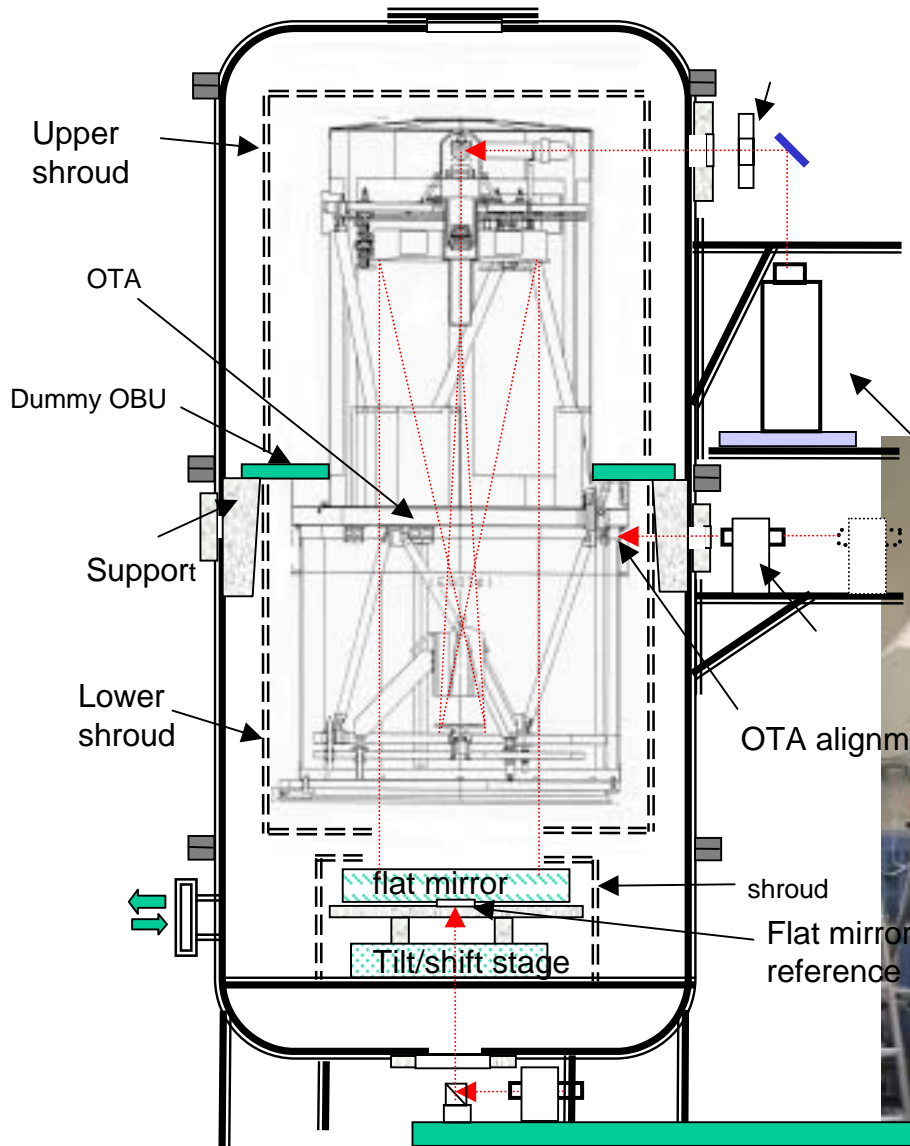
熱光学試験のために真空チャンバーへ



完成一步前の可視光望遠鏡は逆さにして真空チャンバーに設置(国立天文台・クリーンルーム)

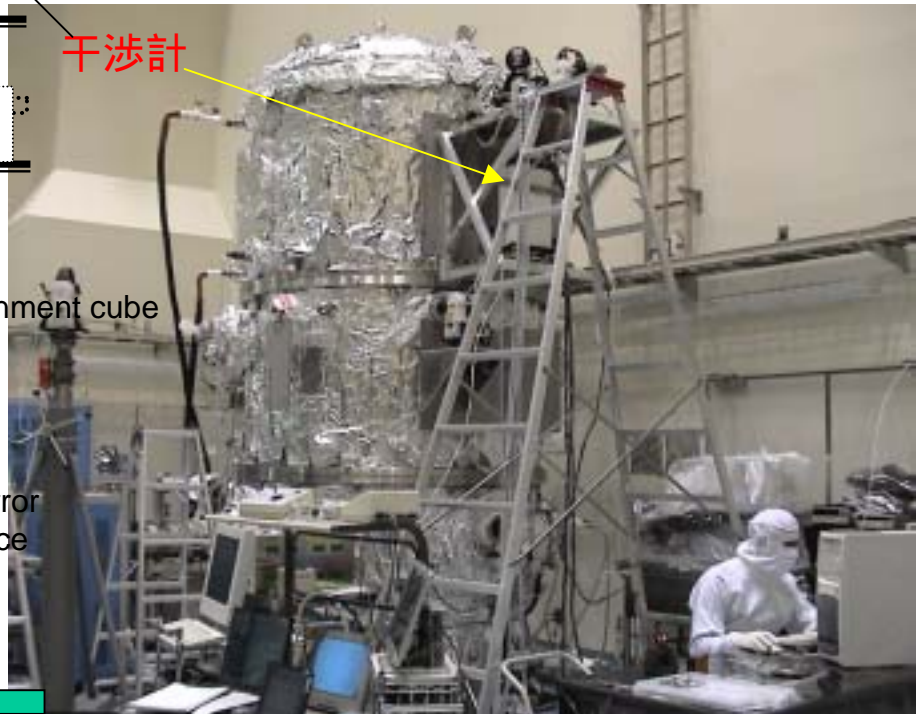


熱光学試験で温度変形の影響確認



- ・ - 30 から + 40 で望遠鏡温度分布を与える
- ・ 熱変形が設計で予測される範囲内であることを確認した。
- ・ 軌道周回中の焦点変化が許容内であることを確認した。

干渉計



完成した可視光望遠鏡



温度センサー、ヒーターケーブル
など、最後の外観確認

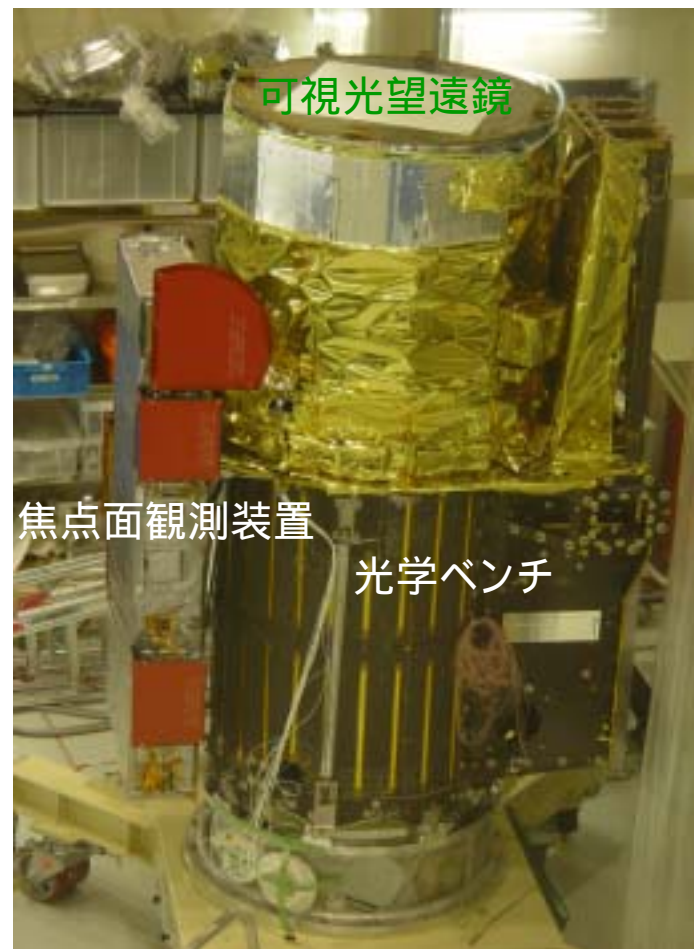


MLIで覆われて最終形状となっ
た可視光望遠鏡

太陽光試験へ

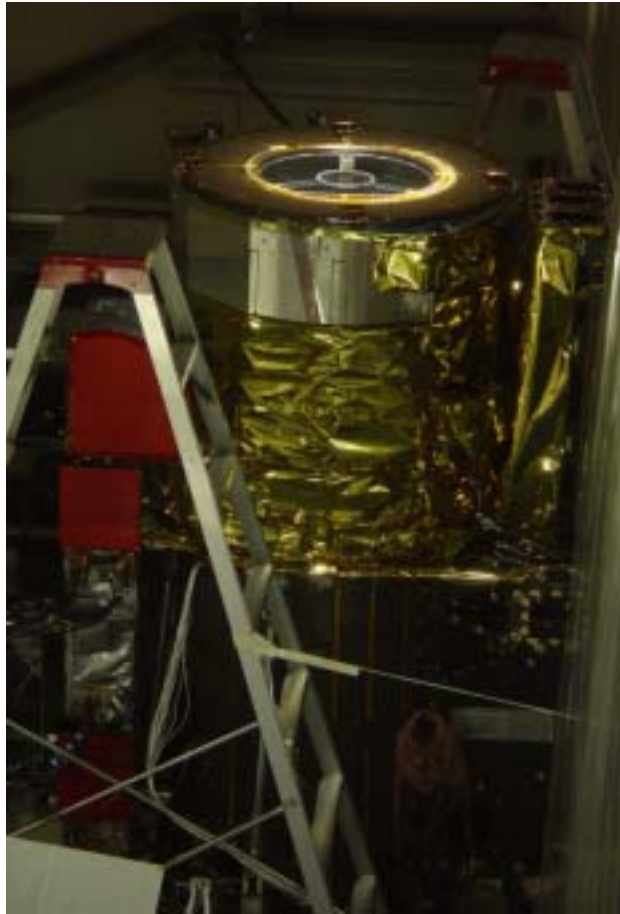


クリーンルームへ太陽光導入するため、クリーンルーム屋上に設置された太陽追尾装置ヘリオスタット。第一面鏡の直径90cm。可視光望遠鏡の開口50cmに必要な太陽光を導く。



太陽光試験のため光学ベンチに取り付けられた可視光望遠鏡と焦点面観測装置(米国より搬入)。

観測模擬：太陽光試験で性能最終確認



太陽光を受ける可視光望遠鏡。太陽光を受けても望遠鏡内の温度はほとんど上がらず、排熱機能がうまく働いていることを確認した。(国立天文台・クリーンルーム)



天井に2次絞り鏡からの反射光

ヘリオstatt窓

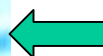
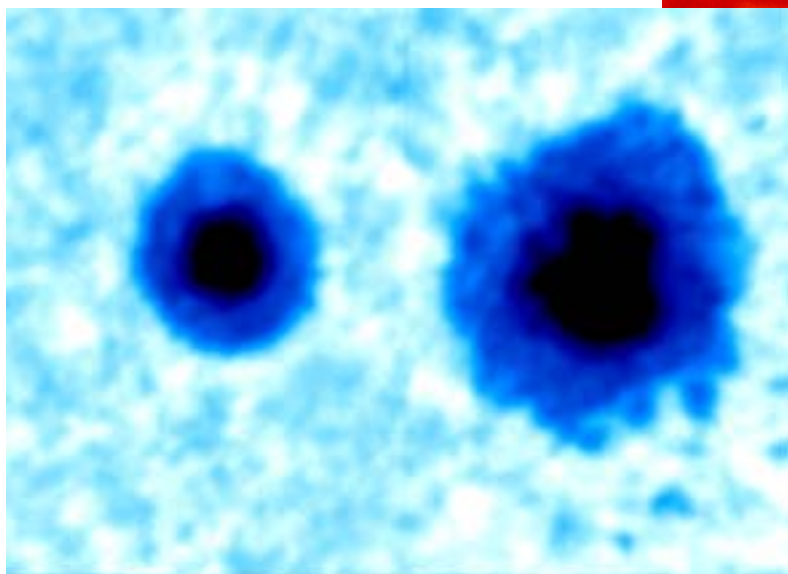
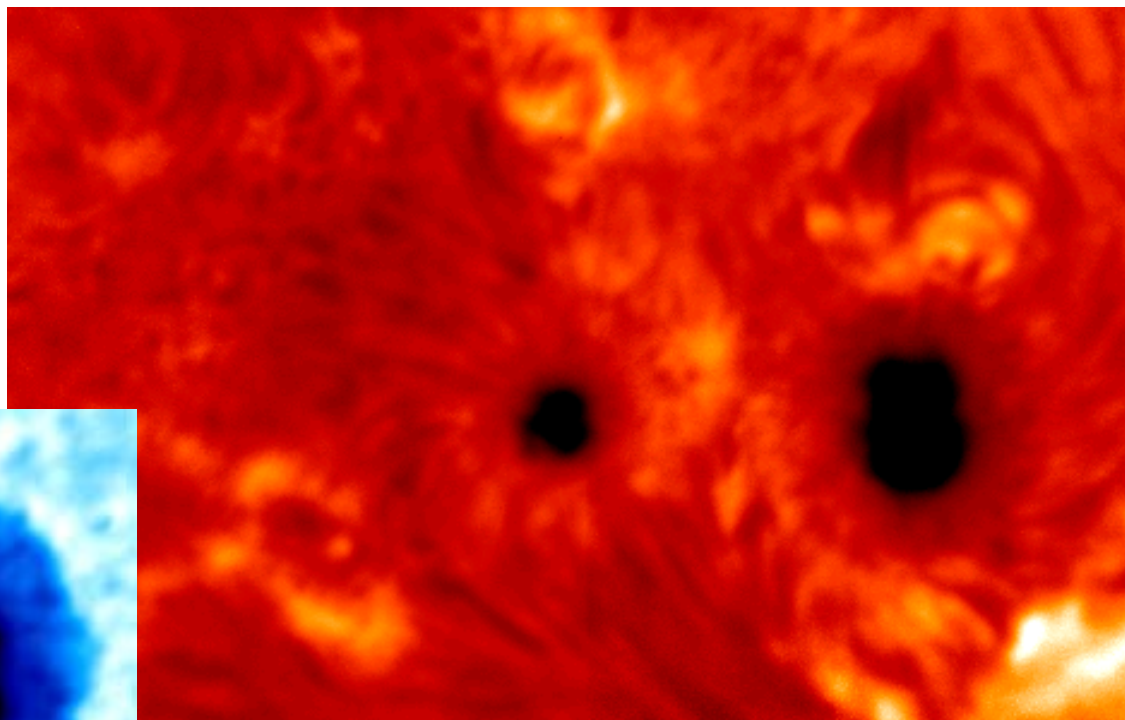
排熱鏡からの排出光

国立天文台・クリーンルームでの太陽光試験全景

太陽光試験での観測例(1)

可視光磁場望遠鏡 地上での太陽観測に成功！

水素原子が出す赤い光
(波長656.3nm)で見た
太陽彩層の一部

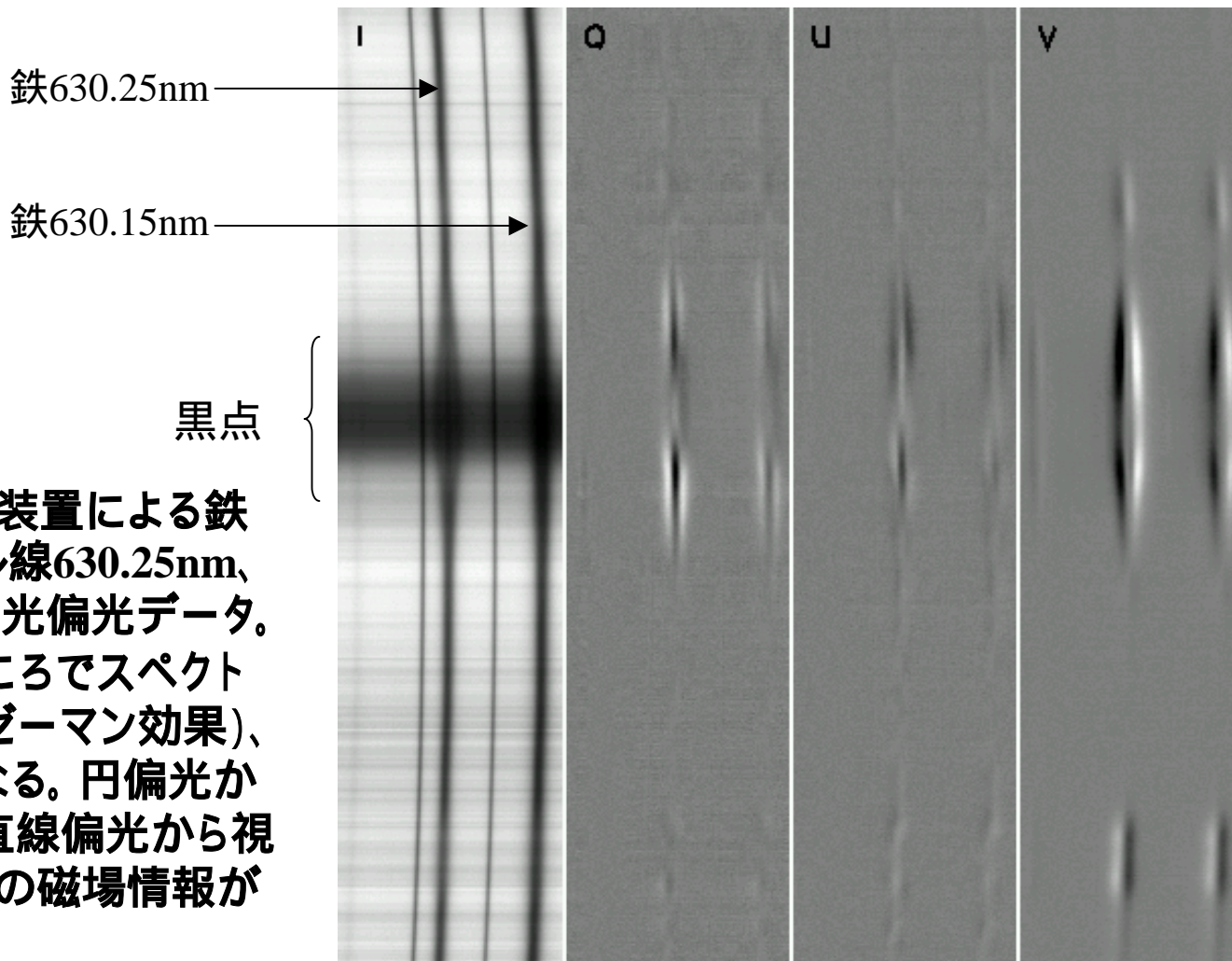


波長430.5nm (Gバンド)で見た黒点領域。
粒状斑(明暗のまだら模様)まで見え、
光学性能の良さを立証した。

主鏡の重力変形と大気の揺らぎのために像は劣化しているが、焦点調節、観測機能の確認を行えた。

太陽光試験での観測例(2)

可視光磁場望遠鏡 地上での太陽偏光観測に成功！



分光偏光観測装置による鉄原子スペクトル線630.25nm、630.15nmの分光偏光データ。磁場の強いところでスペクトル線が分離(ゼーマン効果)、偏光が大きくなる。円偏光から視線方向、直線偏光から視線に垂直方向の磁場情報が得られる。

明るさ 直線偏光(0度) 直線偏光(45度) 円偏光

最後に：

望遠鏡単体での試験が無事終了し、

可視光望遠鏡は軌道上で口径50cmの回折限界性能をもつことを確認できた。また、太陽観測模擬により観測性能も問題ないことを確認した。

今後は衛星総合レベルでの試験に移り、

2006年夏の打上まで性能確認が続く。