

なゆた望遠鏡用可視光撮像装置 I . 設計

尾崎忍夫

兵庫県立西はりま天文台

The optical imaging camera for the NAYUTA telescope I. Design

Shinobu OZAKI

Nishi-Harima Astronomical Observatory, Sayo, Hyogo 679-5313, Japan

E-mail: ozaki@nhao.go.jp

(Received 2006 January 7)

概要

可視光のイメージは一般市民にとって理解しやすく、アピーリングなものであるため、公開天文台である西はりま天文台にとって可視光撮像装置の重要性は非常に高いものとなる。また西はりま天文台は研究と教育普及を融合させた活動を目指しているため、本格的な研究観測にも堪える性能を有する必要がある。

この撮像装置では広い視野で迫力のある画像を得るために、縮小光学系で望遠鏡の F/12 を F/4.8 に縮小し、2 k × 2 k の大フォーマット CCD を用いた。これにより約 10 分角平方の視野を得ることができる。また西はりま天文台の優れたシーイングを損なうことの無いように、光学系の収差を抑えている。

Abstract

An optical imaging camera is very important for Nishi-Harima Astronomical Observatory(NHAO) as a public observatory because optical images are easily understandable and attractive for the people. NHAO aims the integrated activity of research and education. So this instrument must have the capability of scientific observations.

For the purpose of obtaining impressive images with wide field of view, this has the reducer converting the F-number from F/12 to F/4.8, and has the large format CCD (2k×2k). Field of view is about 10 arcminutes. Because the site placing NHAO has good seeing in Japan, we are careful not to degrade image quality in designing the optical devices.

Key words: Imaging camera – CCD

1. 設計性能緒元

CCD 素子	E2V 社製 CCD42-40 フォーマット 2 k × 2 k 裏面照射型 AR コート付き
視野	一辺 10
サンプリング	0.3 /pix (0.8 =2.7pix , 1.2 =4pix)
観測可能波長域	3,900 ~ 10,000
フィルター	サイズ 5 cm 角、厚さは 1 cm まで 広帯域 B、V、R _C 、I _C 狭帯域 H α + [NII]、 [OIII] λ 5005

2. 光学系

光学系の設計にあたっては以下の点に留意した。

- 1、できるだけ広い視野をカバーする。
- 2、視野全面にわたってスポット径を 0.5 程度に抑える。
- 3、フィルターは市販の 5 cm 角のものを用いられるようにする。
- 4、ケラレが無いようにする。
- 5、干渉フィルターを用いた場合、視野中央と端での透過中心波長の違いをできるだけ少なくする。

図 1 が可視光撮像装置のレイアウトである。フィールドレンズを用いて軸外光束を集めることにより、5 cm 角のフィルターを用いてもケラレがない光学系となっている。

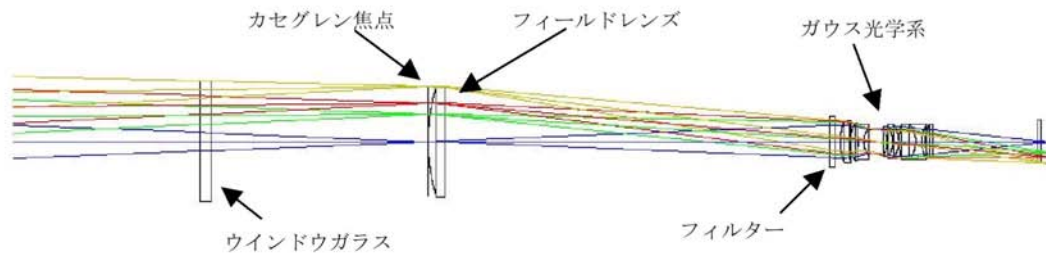


Fig. 1. 光学系レイアウト

干渉フィルターはフィルターへの入射角によって透過曲線がシフトする。フィールドレンズの焦点距離を大きくすることにより、フィルターへの斜入射角を小さく抑えることができるので、可能な限り長くした (347.3mm)。図 2 は波長 6563 の H α の場合における、CCD 上における中心からの距離と透過中心波長の関係を示したものである。CCD 受光面の内接円の半径は 13.8mm であり、受光面の角までの距離は 19.6mm である。それぞれの場所でのシフト量は約 11 と 23 となる。サイズの大きな天体を撮像するときには注意が必要である。

干渉フィルターへの入射 F 比が小さくなると、透過曲線のエッジがなまってしまふ。またフィールドレ

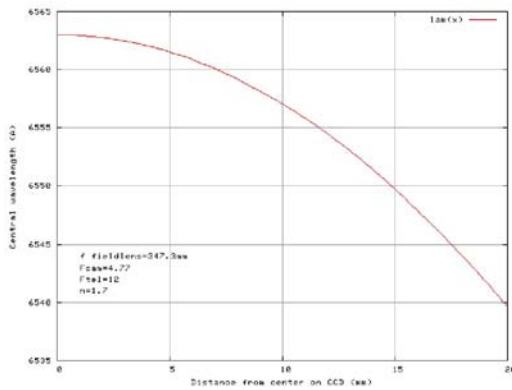


Fig. 2. CCD 上における中心からの距離と中心波長のシフト量。

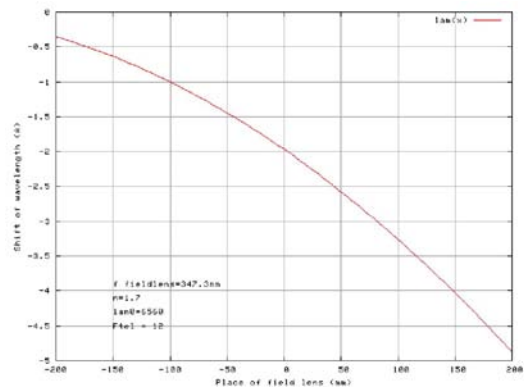


Fig. 3. フィールドレンズの位置と透過曲線のエッジのなまり具合の状況。横軸は望遠鏡焦点位置を原点にして、望遠鏡へ近づく方向を+方向にしている。

レンズを望遠鏡焦点位置に置くとフィルターへの入射 F 比は 12 のままであるが、望遠鏡側へ近づけると F 比は小さくなり、遠ざけると大きくなる。図 3 はフィールドレンズの位置と、入射光束のうち一番入射角が大きくなる光線の波長シフト量を示している。これからフィールドレンズの位置による透過曲線のエッジの変化はあまりないことがわかる。しかしガウス光学系から射出される光束は F 比 4.77 であるので、もしもここへフィルターを置いた場合は、シフト量は 12.3 にもなる。

フィールドレンズは焦点面に置くことにしたので、フィールドレンズ上に埃が落ちないように、埃よけのウインドウガラスをいれている。

光学系の設計においては、広帯域フィルターの透過幅で波長を区切って、それぞれのバンドでのスポットの FWHM が 0.5 程度に収まるようにした。図 4 は 4 つのバンドでのスポットの状況を表したものである。視野全面にわたってこの条件を満たすことは難しかったので、CCD 受光面の内接円内において、満たすようにしている。

相対周辺照度に関してもスポットの場合と同様の考え方で、CCD 受光面の内接円内においてはケラレなしで、角の部分では少しのケラレを許している（図 5 参照）。AR コートは観測波長域全体にわたって良好な効率が得られるように 5000 に最適化されたものを採用した。

3. フィルター

フィルターは広帯域フィルターが Jhonson-Kron-Cousins システムの B,V,R_C,I_C の 4 枚、狭帯域フィルターが H α + [NII] と [OIII] λ 5005 の 2 枚を用意した。フィルターターレットには 6 個同時に搭載可能であり、デフォルトでは上記の 6 つのフィルターが搭載されている。各フィルターの透過曲線については付録に記載した。

広帯域フィルターは Andover 社製のものを購入した。透過波面精度は $1/4\lambda$ で、それぞれの透過波長に応じた反射防止膜が施されている。

狭帯域フィルターに用いる干渉膜は湿気などの耐環境性にすぐれたハードコートを用いることにした。赤側のカットフィルターとして、透過率の点から色ガラスフィルターを用いずに干渉フィルターを用いることにした。青側のカットフィルターは特性のよい色ガラスフィルターが存在するので、それを用いた。ハードコートは膜の張力が強いので、ガラス基板の両面（片面にバンドパスフィルター、もう片面に赤側カットフィルター）に膜を生成することにより、基盤の反りを防ぐようにしている。

The optical imaging camera for the NAYUTA telescope I. Design

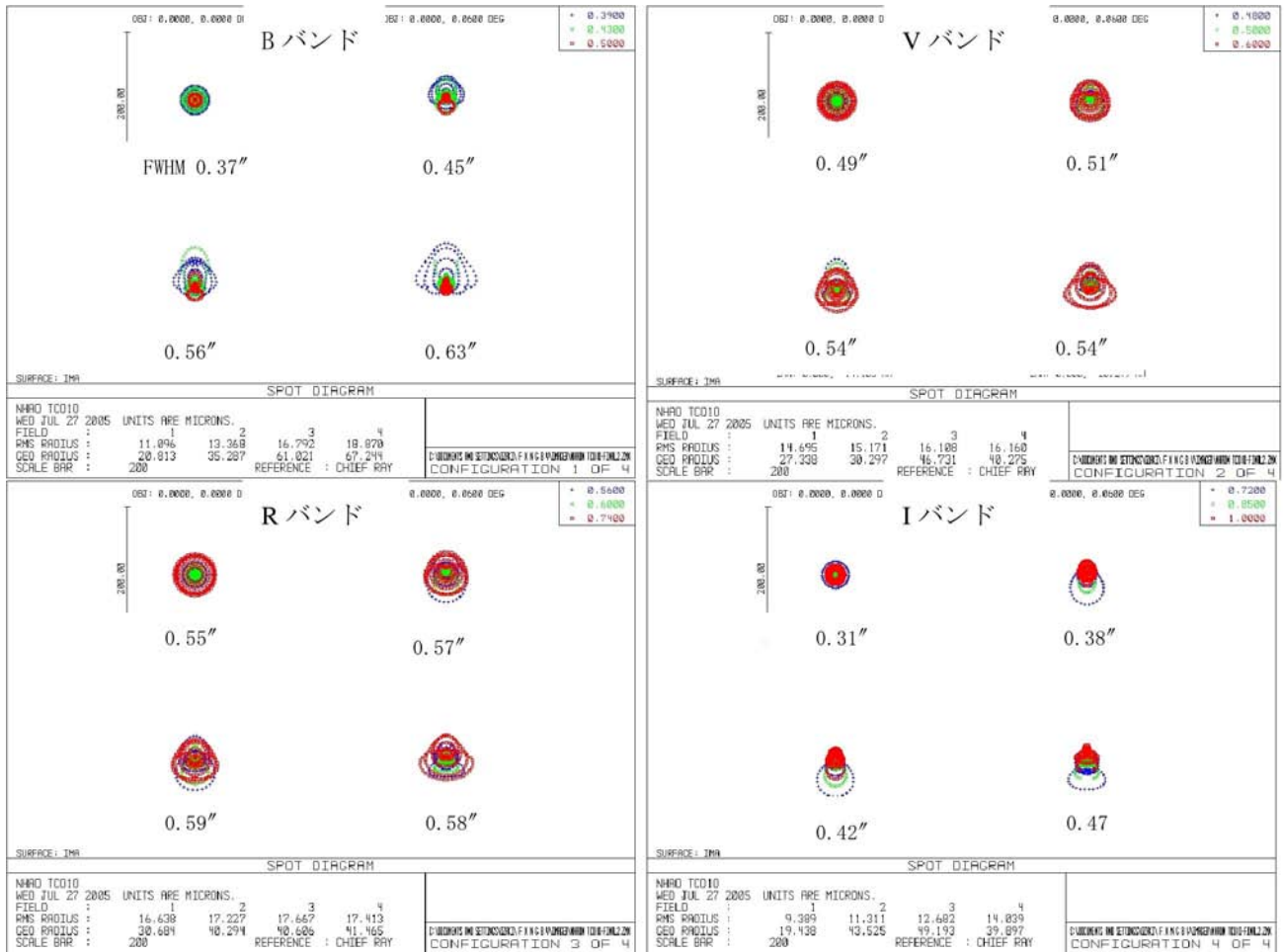


Fig. 4. 各バンドのスポットダイヤグラム。それぞれの図において、左上のスポットは光軸中心、右上は中心から 3.6 の位置、左下は中心から 5 の位置（CCDの内接円周）、右下は CCDの角である。

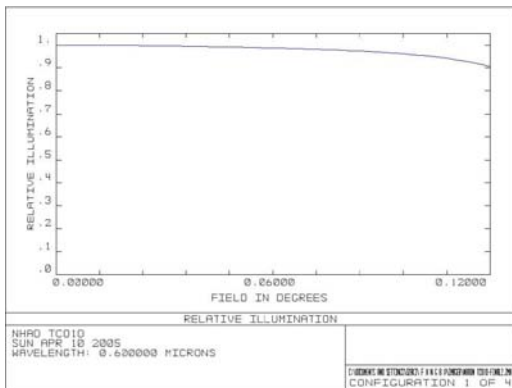


Fig. 5. 相対周辺照度
内接半径のところでは 97%、角では 88%。

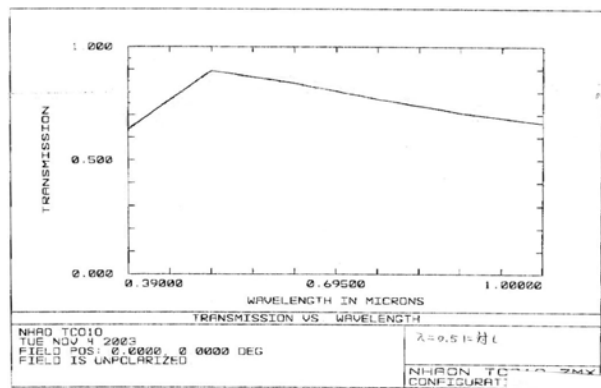


Fig. 6. 光学系だけの分光透過率
ARコートは 5000 に最適化。

4. CCDカメラ

真空容器内には必要最低限のものを入れ、読み出し回路などは全て大気側へ置くことで、アウトガスの発生を極力抑えた。またメタルシールを用いることにより、リークは低く抑えられている。この真空容器には真空計とゲッターポンプが取り付けられているので、内部の真空度をチェックすることができ、ちょっとした真空度の劣化ならばゲッターポンプを活性化することにより真空度を上げることができる。これらの工夫により真空引きは数年に一度のインターバルで良くなっている。冷却方式は液体窒素冷却である。液体窒素タンク容量は3リットルで、約24時間の保持能力を有する。

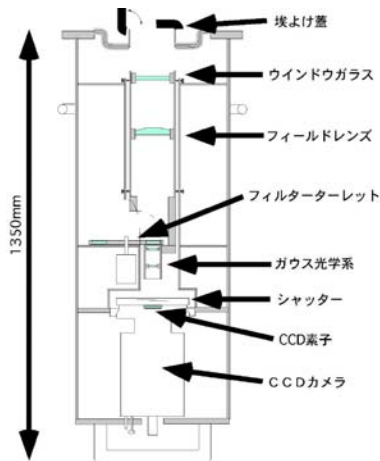


Fig. 7. 装置レイアウト

5. 装置レイアウト

埃よけのウインドウ、フィールドレンズ、ガウス光学系は一体のセルに収まるようになっており、それぞれの光学ユニット間のアライメントは機械精度で保証されている。このセルもボディー内部において機械精度で位置精度ができるようにしている。

カセグレン装置取り付けフランジと可視光撮像装置は、はめ合いで位置精度を確保するようにしている。

デュワー内部における CCD 素子の取り付け精度には少し不定性がある。このためテーパ構造を用いた調整機構を組み込み、容易に調整ができるようになっている。

筐体の設計においては、密閉性を良くして、埃が筐体内に入り込むことを防ぐようにした。

6. 制御系

観測者はなゆた望遠鏡統合制御システムの統合制御計算機とクイックルック計算機の前に座り、操作を行うことになる。観測装置制御計算機に制御ファイル、ステータスファイル、望遠鏡情報ファイルが置かれている。観測者が統合制御計算機から装置の制御を行うと、制御ファイルに装置制御コマンドが書き込まれる。撮像装置制御計算機は制御ファイルを定期的に読み、制御項目が書き込まれた場合はそれを実行する。また撮像装置制御計算機は定期的に装置のステータスをステータスファイルに書き込み、その情報は統合制御計算機上の GUI に反映される。

得られた画像データは撮像装置制御計算機上で FITS 化され、データ LAN を介して一次ストレージへ送られる。画像が送られてくると自動的にクイックルック計算機に画像が表示され、得られたデータの確認が行えるようになっている。

7. 予想される効率と限界等級

図9はフィルター以外の望遠鏡、縮小光学系、CCD素子を考慮に入れて計算したシステム効率である。図10は、Rバンドフィルター、シーイングサイズ1.2、スカイ20等級/arcsec²、読み出しノイズ8e⁻、暗電流0e⁻/sec、大気その他の減光50%という値を用いて計算した限界等級である。

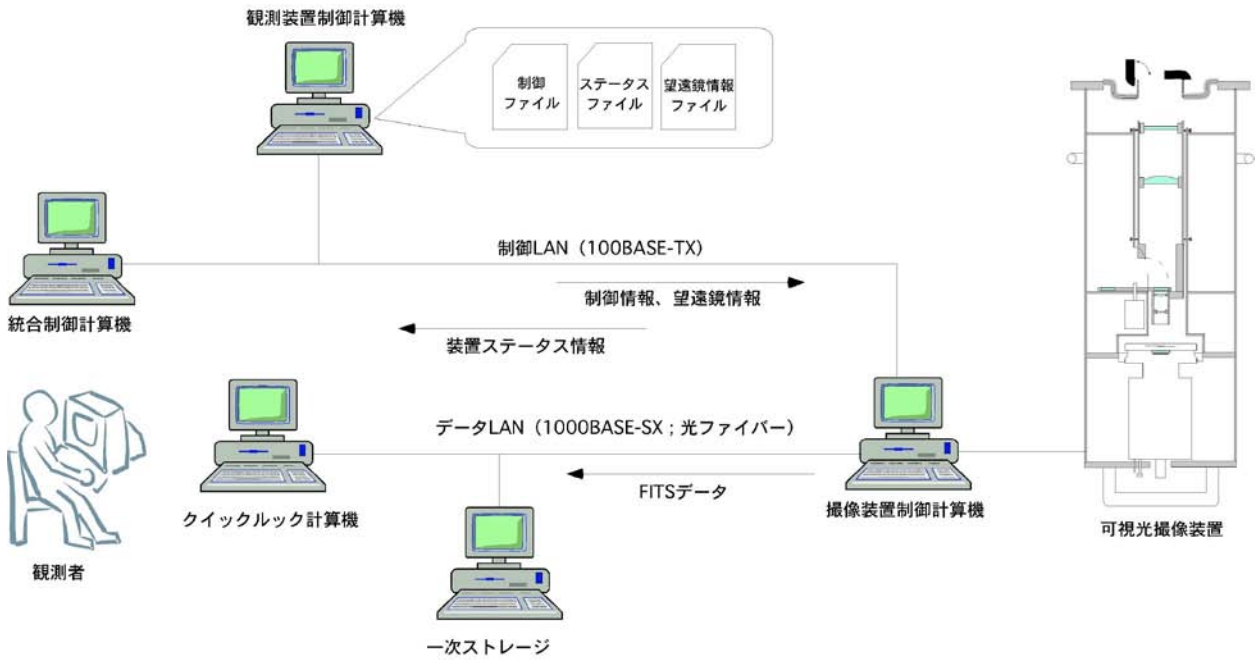


Fig. 8. 撮像装置の制御系

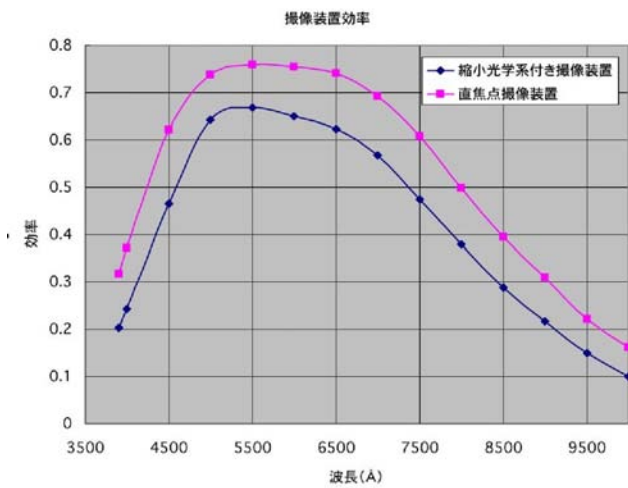


Fig. 9. システム効率

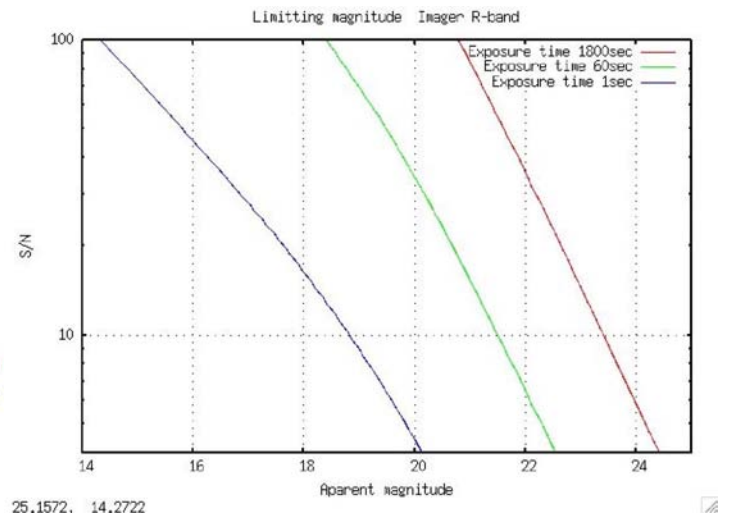
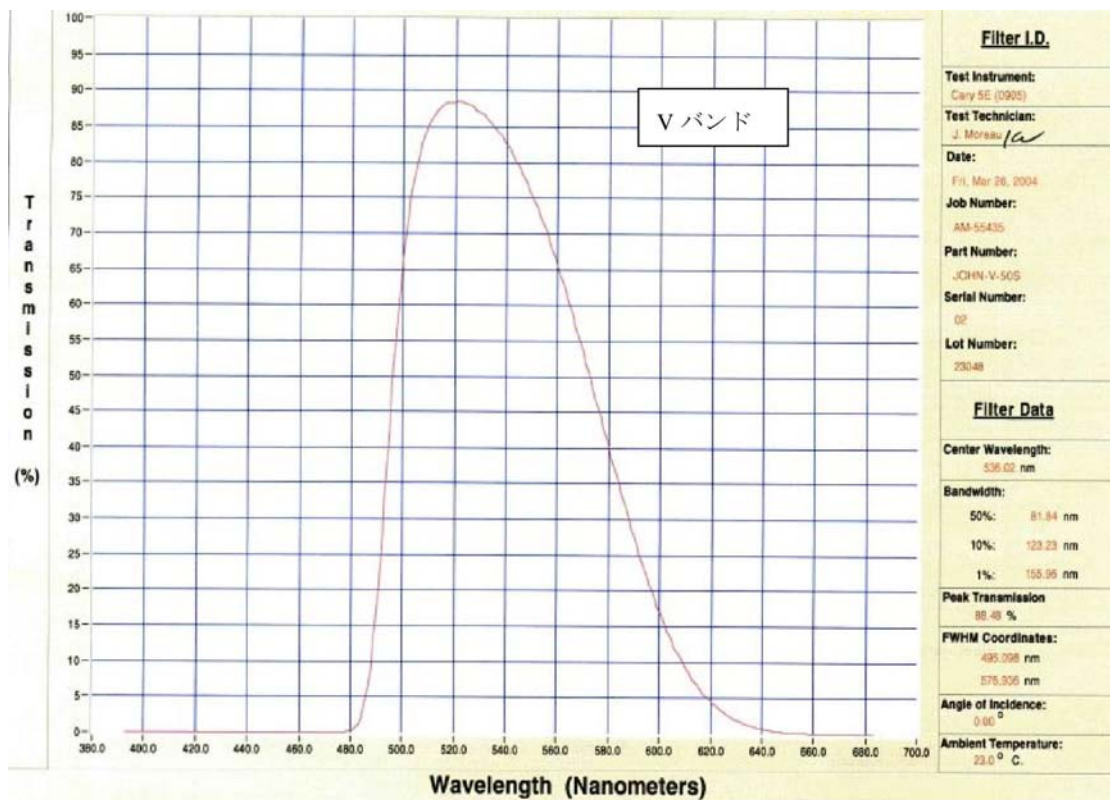
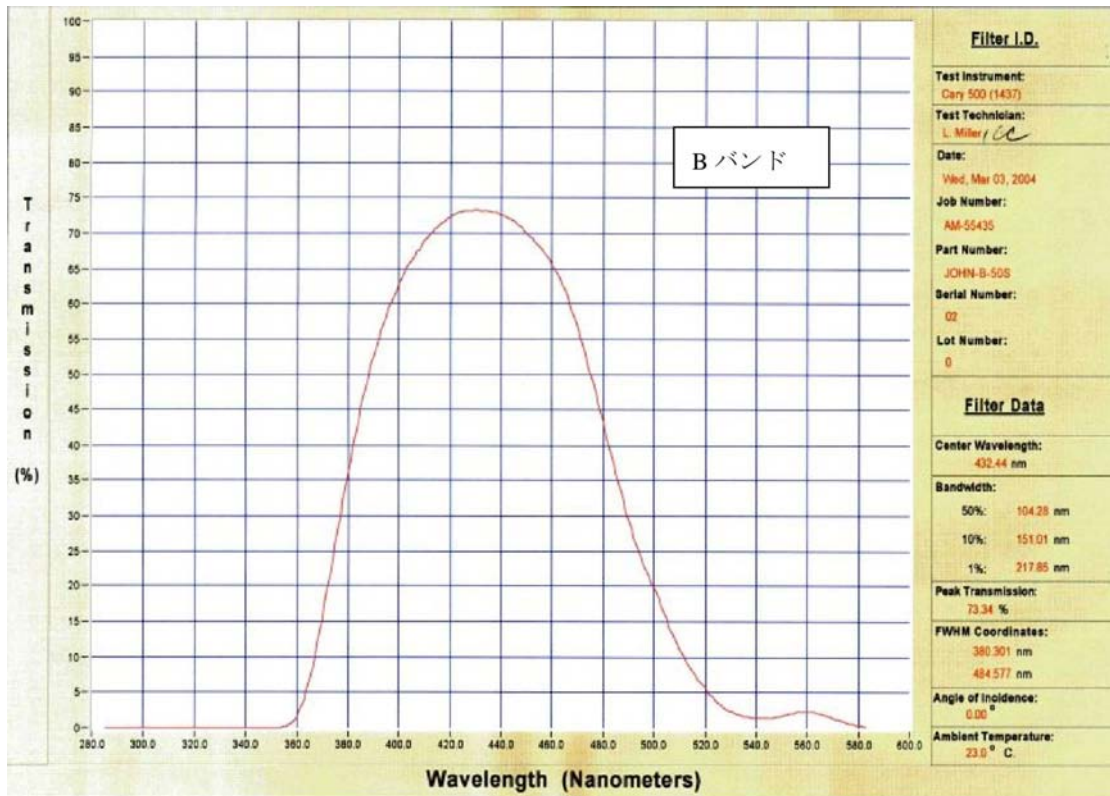


Fig. 10. 限界等級

Appendix A. フィルターの透過曲線



The optical imaging camera for the NAYUTA telescope I. Design

