

航空機搭載ライダ用望遠鏡の試作評価

三輪 佳史¹, 藤江 彰裕¹, 尾野 仁深¹, 鈴木 二郎¹, 安藤 俊行¹

¹三菱電機株式会社 (〒100-8310 東京都千代田区丸の内 2-7-3 東京ビル)

Designing and verification of telescope for airborne LIDARs

Yoshichika MIWA¹, Akihiro FUJIE¹, Hitomi ONO¹, Jiro SUZUKI¹, and Toshiyuki ANDO¹

¹Mitsubishi Electric Corporation, 2-7-3 Marunouchi, Chiyoda, Tokyo 110-8310

Abstract: In airborne LIDAR (Light Detection And Ranging) systems, large-diameter telescopes are required to receive weak scattered light from aerosol because aerosol quantity is smaller in higher altitude. These telescopes should be small, lightweight, and temperature-, and vibration-insensitive. In this paper, we designed an athermal light-weight telescope using CFRP (Carbon Fiber Reinforced Plastic) and verified its optical performance under temperature fluctuation, air-pressure fluctuation, and static load using a wavefront sensor.

Key Words: LIDAR, Airborne, Telescope

1. はじめに

風計測ライダは、レーザ光を空間に放出して、風と同速度で移動するエアロゾルからの散乱光のドップラ周波数シフトから風速を計測する装置であり、電波を用いるレーダ装置では計測できなかった晴天時の局所的な風向・風速計測を行うことができる¹⁾。我々は、乱気流発生時の航空機の安全性を向上するため、アイセーフ波長帯(1.5 μm 帯)の風計測ライダの航空機搭載に向けた検討を行っている²⁾。巡航高度ではエアロゾルが希薄なため、一定の計測距離を確保するため望遠鏡の大口径化が必要であり、これに加えて軽量化、離着陸時の振動への耐性、および飛行中の環境変化に対する光学性能の維持が課題である^{3,4)}。

以上の課題を解決するため、望遠鏡鏡筒に比剛性の高い CFRP (Carbon Fiber Reinforced Plastic)を用いたアサーマル望遠鏡の設計・試作を行ったので結果を報告する。

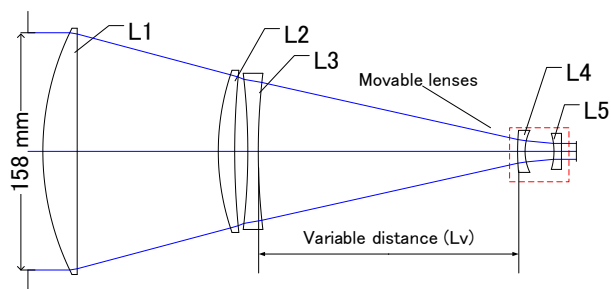
2. 設計結果

ライダ用望遠鏡の設計結果を図 1 に示す。対物側 3 枚、接眼側 2 枚で、対物側の開口 158mm である。以下では対物側から順に L1, L2, …, L5 と呼ぶ。飛行中の気圧変化は接眼レンズ 2 枚を駆動して補正する。対物レンズはテレフォトタイプのレンズとし、焦点距離を長くしてレンズ駆動精度の要求を抑えつつ、レンズ全長を短縮した。飛行中の温度変化に対しては CFRP の低線膨張係数に合わせて、比重の軽いガラス材料を組み合わせることで、アサーマル性と軽量化とを両立した。

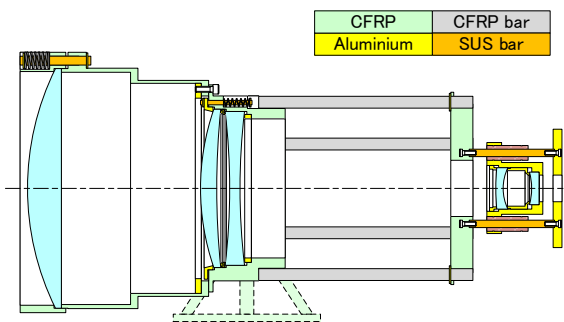
レンズの製造公差については、コマ収差と 3 次

の球面収差の発生量が大きく無調整での製作は困難である。対策として次の 2 箇所での光軸調整を組立時に行う。①L1-L2 間の偏心によりコマ収差を補正する。②L2-L3 間のレンズ間隔により球面収差を補正する。以上の収差補正により、製造ばらつきのうち 90%以上の確率で目標の波面収差 $\leq 0.71 \lambda$,RMS を達成できる見込みを得た。

以上によりレンズ重量を従来の 2.1 kg から 1.2 kg まで軽量化を達成した。



(a) Ray diagram



(b) Mechanical design result

Fig1. Designing result of the prototype

鏡筒設計においては、収差の感度が高い対物側は円筒鏡筒のモノコック構造とし、収差の感度が低い接眼側はフレーム構造とすることで断面積を減らして軽量化した。軽量化前（アルミ鏡筒）の重量 7.1 kg に対し、本件では重量 2.5 kg となり、65%の軽量化を達成した。

3. 試作検証結果

3.1 組立調整結果

試作した望遠鏡を図 2 に示す。前述のとおり、レンズと鏡筒の製造誤差により生じる透過波面収差を補正するため、組立調整の際にレンズ偏心とレンズ間隔の調整を行う。本件では、組立調整および評価試験用に波長 1.5 μm 帯の Shack-Hartmann 波面センサ(SHS)を製作して、図 3 に示す調整・試験用光学系を構築した。SHS 側の光源から入射した光を参照平面鏡(RF)で折り返し、ダブルパスの透過波面収差を SHS で計測する。組立直後は 1 λ 程度のコマ収差があったが、光学調整の結果、透過波面収差は 0.029 λ , RMS ($\lambda = 1550 \text{ nm}$)となり、設計値 $\leq 0.071 \lambda$, RMS の性能を達成した³⁾。



Fig2. Prototype of Telescope

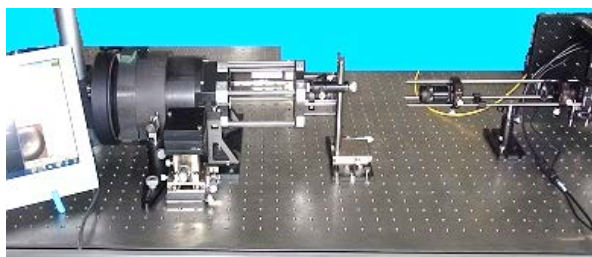


Fig3. Prototype evaluation setup (SHS: Shack-Hartmann wavefront sensor, RF: reference flat)

3.2 温度依存特性

図 3 の評価光学系を断熱箱で覆い、空調装置により環境温度の変化を模擬した。試験の結果、0.033 $\lambda/^\circ\text{C}$ の温度依存性があり、CFRP の線膨張係数の実測値を用いた解析結果 0.034 $\lambda/^\circ\text{C}$ と良好に一致した³⁾。線膨張係数を加味することによりアサーマル性を向上できる見込みが得られた。

3.3 気圧依存特性

図 3 の評価光学系を断熱箱で覆い、内部の空気をファンにより吸引して気圧変化を発生させた。図 4 のとおり、気圧変化に対する波面収差の変動を観測した。数回の試験結果から $-0.0021 \pm 0.0003 \lambda/\text{hPa}$ の気圧依存性があり、設計値 $0.0020 \lambda/\text{hPa}$ と良好に一致した。L4-L5 位置の調整でキャビン内の気圧 750~1030hPa において光学性能を維持できる見込みを得た。

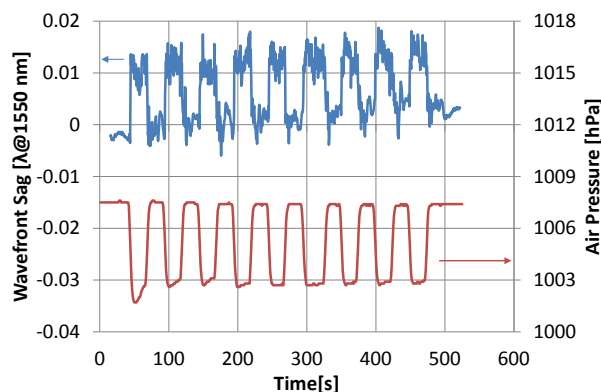


Fig4. Wavefront-sag and air-pressure fluctuation during environmental testing

3.4 剛性

搭載環境時の振動・衝撃に対する耐性を評価するため、0G から 6G 相当の静荷重を加えて透過波面を測定した。結果、荷重試験前 0.029 λ , RMS に対し、荷重印加中は最大 0.031 λ , RMS、荷重試験後の再測定結果は 0.029 λ , RMS と荷重試験前の結果が再現しており、十分な剛性を持つことを確認した⁴⁾。

4. おわりに

航空機搭載風計測ライダで必要とされる軽量アサーマル望遠鏡の設計試作を行った。CFRP を鏡筒材料として用い、それに合わせてレンズを軽量化することで軽量さとアサーマル性を両立できる見込みを得た。試作による検証の結果、設計値と一致した温度依存特性、気圧依存特性を確認し、また、十分な組立調整精度と剛性を持つことを確認した。

参考文献

- 1) S. Kameyama, et al., Applied Optics, Vol. 46, Issue 11, pp. 1953-1962 (2007).
- 2) H. Inokuchi, H. Tanaka, and T. Ando, Journal of Aircraft, Vol. 46, No. 4, pp. 1411-1415 (2009).
- 3) 三輪 佳史, 藤江 彰裕, 尾野 仁深, 鈴木 二郎, 安藤 俊行, Optics & Photonics Japan 2017.
- 4) A. Fujie, Y. Miwa, H. Ono, J. Suzuki, and T. Ando, Coherent Laser Radar Conference 2018.