

# F 7

## 大口径TFP を受信鏡に用いた宇宙からのレーザーレーダー観測の可能性 Possibility of the lidar measurement from the space by using a large size TFP as a lidar receiver

清水 浩                      松井 一郎                      杉本 伸夫  
Hiroshi Shimizu    Ichiro Matsui    and    Nobuo Sugimoto  
国立公害研究所  
National Institute for Environmental Studies

1. はじめに レーザーレーダーによる宇宙からの観測の可能性が議論されている。これを実現する際の問題点は、測定距離がこれまでの例に比べて著しく長いこと、装置の信頼性にとくに高度のものが要求されることの2点である。これらの問題点を解決する1つの手段として、受信望遠鏡の有効面積を軽量でしかも大口径化することが考えられる。それにより、受信感度が向上するとともに、レーザーの出力を小さくすることも可能である。一般的に、レーザーの出力を小さくすることは信頼性の向上につながる。また、低出力ではあるが、寿命の長い半導体レーザーを光源として使用することが可能になれば、信頼性はさらに良好になる。

受信望遠鏡の有効面積を大きくする方法については、これまで、主鏡のボディーをハニカムや、カーボンファイバーで構成する方法等が提案されている。一方、筆者らはTFP(thin film paraboloid)を提案し、その可能性について検討してきた。本文では、TFPの基礎実験の結果と、これを宇宙からのレーザーレーダー観測に用いる場合の計算結果について報告する。

2. TFPの基本的特性 TFPの構造は図1に示すように、ポリエステルフィルムにアルミニウムを蒸着した材料を円柱状の容器に貼り、容器の内外に気圧差を持たせた時のフィルム面の形状を利用するものである。

理論的には、一様なフィルムが円周を支持されて置かれた場合の表面のたわみは

$$\frac{1}{R} \frac{d}{dR} \left( R \frac{dw}{dR} \right) = -\frac{p}{T} \quad (1)$$

の式を満足する。ここで、Rは中心からの距離、wはたわみ、pは加重、Tは張力である。

(1)式を円周の位置でたわみが0であるという条件で解くことにより、たわみの量が次式で求められる。

$$w = \frac{P}{4T} (a^2 - R^2) \quad (2)$$

ここでaはTFPの半径である。(2)式は2次方程式であり、放物面鏡の形状と一致する。

この理論を実験的に確認するため、読取り顕微鏡を用いてTFPの表面の形状を測定した。測定に用いたTFPの直径は23cm、フィルムの膜厚は100μmとした。これに、外気との間に、約2torrの気圧差を持たせた時の実験値が図2である。図2の上図は測定された面の形状を示している。この測定値に最小自乗法を適用した時の2次曲面の方程式は

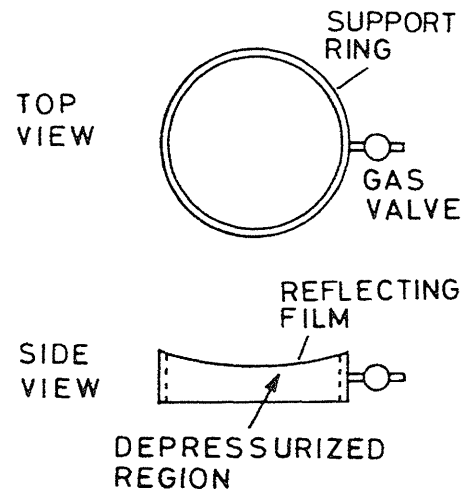


図1 TFPの基本的構造

$$w = 7.59 \times 10^{-3} R^2 \quad (3)$$

となった。図2の下図は(3)式からの各測定点のずれを示している。この図より、ずれの標準偏差は $12.5 \mu\text{m}$ となった。TFPの端における標準偏差から求められる最小錯乱円の半径は $0.78 \mu\text{m}$ となり、最小錯乱円で規定される視野の半径は $0.24 \text{ mrad}$ となる。

以上の実験結果より、TFPは放物面鏡に十分な精度で近似でき、レーザーレーダー用の受信鏡として使用できることが明らかとなった。

**3. TFPを受信鏡に用いたレーザーレーダーの感度の計算** 現在、TFP用のフィルムとして実現可能な最大幅は2mまでである。ここでは、この最大幅を利用して、直径2mのTFPを作る場合と、接着等の方法で、直径10mのTFPを作った場合について計算する。測定対象は地上付近のエアロゾルおよび、雲頂高度とする。それらの体積消散係数はそれぞれ、 $10^{-4}$ および $10^{-3} \text{ m}^{-1}$ とし、散乱パラメータの値は50、体積消散係数の波長依存性は

$$\sigma_{\lambda} = \sigma_{0.55} (\lambda / 0.55)^{-1.3} \quad (4)$$

とする。ここで、 $\lambda$ はレーザー波長、 $\sigma_{0.55}$ および $\sigma_{\lambda}$ はそれぞれ波長 $0.55 \mu\text{m}$ と、 $\lambda$ での消散係数である。測定高度はスペースシャトルからの測定を想定し $250 \text{ km}$ 、距離分解能は $150 \text{ m}$ 、光学系の総合効率 $0.2$ とする。使用するレーザーはYAGレーザーとその第2高調波および、波長 $0.8 \mu\text{m}$ の半導体レーザーとする。それぞれの波長での光検出器の量子効率 $0.001$ 、 $0.2$ および $0.2$ とする。測定条件は背景光のない状態を仮定し、 $S/N = 10$ を得るものとする。

以上の条件の下での感度の計算結果を表1に示す。表1では1発のレーザーパルスで十分な $S/N$ を得る場合の1パルス当たりのエネルギーを示している。同表より、直径10mのTFPを使用して雲頂高度を測定する場合、 $0.4 \text{ mJ}$ の出力の半導体レーザーで測定が可能である。パルス幅を $1 \mu\text{m}$ とすると、このレーザー

のピーク出力はわずか $400 \text{ W}$ となる。また、YAGレーザーの第2高調波を用いて、直径2mのTFPでエアロゾル濃度を測定する場合、 $88 \text{ mJ}$ の出力で十分である。

**4. まとめ** TFPを受信鏡に使用する際の宇宙からのレーザーレーダー観測の可能性について述べてきた。その結果、TFPでは大口径の受信鏡が作れるという特徴を生かせば、比較的小出力のレーザーで宇宙からのレーザーレーダー観測が可能となることが示された。

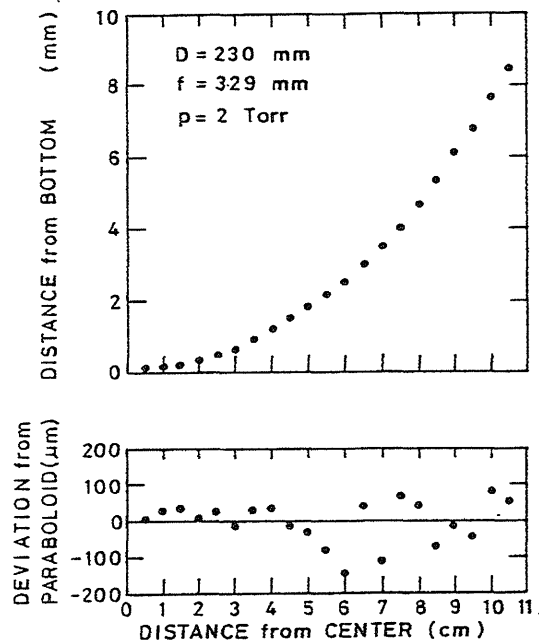


図2 TFPの形状の測定値

表1 TFPを利用したレーザーレーダーによる宇宙からの測定に必要なレーザーのエネルギー

| 対象        | エアロゾル |      | 雲頂高度 |      |
|-----------|-------|------|------|------|
|           | 2mφ   | 10mφ | 2mφ  | 10mφ |
| TFP<br>直径 |       |      |      |      |
| 波長        |       |      |      |      |
| 1.064     | 21000 | 850  | 2100 | 85   |
| 0.8       | 100   | 4    | 10   | 0.4  |
| 0.532     | 88    | 3.5  | 8.8  | 0.35 |

(単位；レーザー波長： $\mu\text{m}$ 、  
レーザーエネルギー： $\text{mJ}$ )