

10.

レーザレーダの光学系

Optics for Laser Radar

伊東 克能

橋本 勉

Katsuyoshi ITO

Tsutomu HASHIMOTO

三菱電機株式会社

Mitsubishi Electric Corporation

1. ま え が き

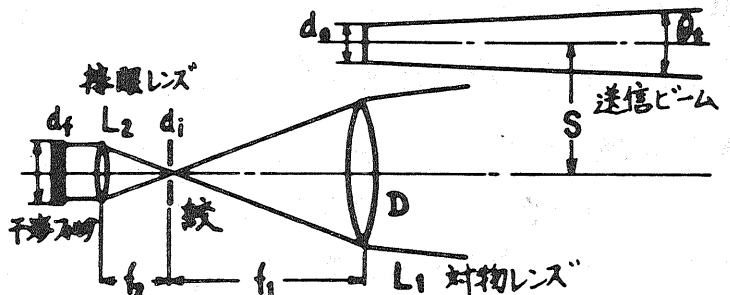
レーザレーダの光学系の特色はピント合わせなどの調節なしに広い距離範囲をかばい、かつ干渉フィルタという透過率が入射角度に依存する装置を備えていることである。このようなレーザレーダ光学系解析の一環として、先に光学系構成と最適な視野絞りとの関係について報告した⁽¹⁾。ここでは、光学の収差、干渉フィルタ透過率の角度依存性を考慮して受信光学系の効率について検討する。

2. レーザレーダ光学系の構成

レーザレーダ光学系は受信望遠鏡の対物部を1枚のレンズ L_1 で畧記すると図1の如くである。図は並列配置の場合であるが、 $S=0$ とすれば同軸配置となる。図1において、送信ビームの送出時の直径、ビーム広がりの角は d_0, θ_0 である。受信光学系は開口径 D 、焦点距離 f_1 の等価的対物レンズ(屈折型:最小収差レンズ,フレネルレンズ,反射型:カセグレン及びニュートン望遠鏡,開口数 $F=f/d$) L_1 ,直径 d_i の視野絞り,焦点距離 f_2 の最小収差レンズの接眼レンズ L_2 直径 d_f の干渉フィルタより構成される。ここで L_1 と L_2 とは焦点が一致する

うに配置され、光軸に平行な L_1 への入射光は全て干渉フィルタへ入射するよう f_1, f_2 の間には次の関係がある。

$$f_1/f_2 = D/d_f \quad (1)$$



3. 受信光学系の収差

図1 レーザレーダ光学系の構成

レーザレーダ光学系の効率の検討において問題となるのは一般的な結像ではなく、視野絞りの通過と干渉フィルタへの入射角である。このような観点で ray trace を行う。しかし、レーザレーダの受信光学系では狭い視野内の f_1 よりはるかに大きな距離にある光源について考えればよいので meridional ray で全体を近似することにする。

(1) カセグレン望遠鏡とニュートン望遠鏡

これらは反射光学系であるから、図2に従って解析幾何学的に ray trace を行なう。即ち、光軸上の光源までの距離 r 、入射角 α が与えられたときの、 x_1, β_1 (カセグレン望遠鏡)、 x_2, β_2 (ニュートン望遠鏡) の値を求める。

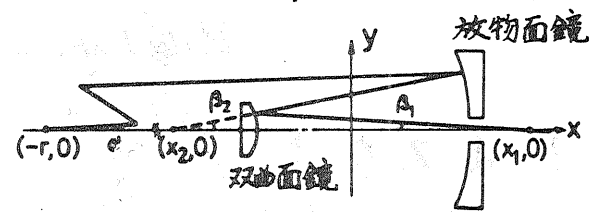


図2 反射望遠鏡受信光学系

(2) フレネル・レンズ

フレネル・レンズは出射面が平面で入射面が光軸上無限遠にある点光源に対して球面収差を補正してあるとする。レンズの焦点距離を f 、屈折率を n とすると、入射高 h の輪帯の傾斜 θ は次式で与えられる。

$$\theta = \tan^{-1} \{ a / (\sqrt{n^2 - a^2} - 1) \} \tag{2}$$

ただし、 $a = h / \sqrt{h^2 + f^2} \tag{3}$

式(2)より、光軸上距離 r の点光源より光軸と角度 α でレンズに入射光 h で入射する光線レンズにより屈折し光軸と交る点の位置 x と光軸となす角 β は次式で与えられる。

$$\delta\beta = \sin^{-1} [\sin\theta \sqrt{n^2 - \sin^2(\alpha + \theta)} - \cos\theta \sin(\alpha + \theta)] \tag{4}$$

$$x = h / \tan \delta\beta \tag{5}$$

ただし $h = r \tan \alpha \tag{6}$

(3) 最小収差レンズ

平行入射光に対する球面収差が最小のレンズの入、出射面の曲率半径 r_1, r_2 はレンズの焦点距離、屈折率を f, n とすると次式で与えられる。⁽²⁾

$$r_1 = 2(n-1)(n+2)f / (2n^2 + n), \quad r_2 = 2(n-1)(n+2)f / (2n^2 - n - 4) \tag{7}$$

これに対して、入射光 h の2乗の項までの収差を考慮して、出射光の光軸との交点の位置 x 、光軸となす角 β を算出する。

(4) 接眼レンズ

接眼レンズには(3)と同じ最小収差レンズを用いる。(1)~(3)で求めた x, β を用い、(3)と同様な方法で出射光の光軸となす角、即ち干渉フィルタへの入射角を計算する。

4. 干渉フィルタの透過率の入射角特性

垂直入射光に対する中心波長、ビーム透過率、半値幅、実効屈折率、次数がそれぞれ、 $\lambda_0, T_0, \Delta\lambda, n_e, m$ の干渉フィルタを光軸に対して θ_0 傾けて設置する。これに波長 λ の光線が光軸と角度 θ で入射するとき、その透過率 T_1 は次式で与えられる。

$$T_1 = T_0 / [1 + (2\lambda_0 / m\pi\Delta\lambda)^2 \sin^2 \{m\pi(\lambda_0/\lambda) \cos(\theta/n_e) / \cos(\theta_0/n_e)\}] \quad (8)$$

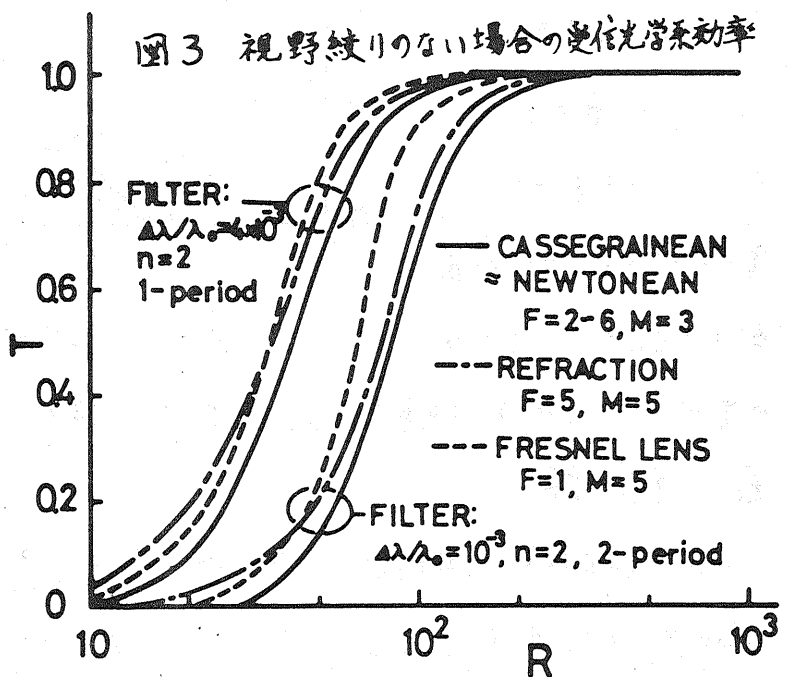
これは Single Period Filter で Two Period Filter の透過率 T_2 は次式で与えられる。

$$T_2 = T_0 / [1 + (\sqrt{2}-1)(2\lambda_0 / m\pi\Delta\lambda)^2 \sin^2 \{m\pi(\lambda_0/\lambda) \cos(\theta/n_e) / \cos(\theta_0/n_e)\}]^2 \quad (9)$$

5. 受信光学系の効率

(1) 光軸上の点光源に対する効率(視野絞りなしの場合)

視野絞りがない受信光学系において、光源が光軸上の点光源の場合の受信光学系効率の距離依存性を計算した。図3にその結果を示す。透過率 T は受信の有効開口面に入射する光線に対する値で、各望遠鏡、接眼レンズの透過率、干渉フィルタの T_0 は1としている。距離 R は望遠鏡の開口径 D で規格化してある。



(2) 視野絞りを設けた場合の効率

次に視野絞りと送信ビームの広がりを見ながら効率を計算する。ここで、簡単のため配置は同軸型とし、次のように meridional ray

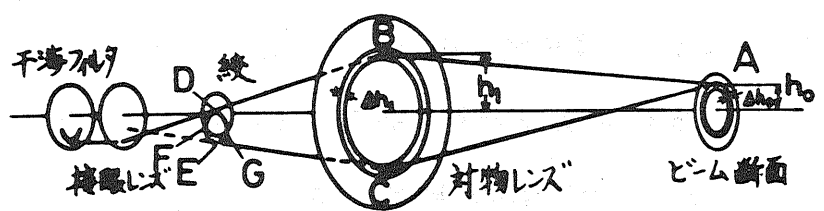


図4 受信光学系全効率の計算法

(Mは1次鏡と2次鏡の口径比)

で全体を近似する。即ち、図4において距離 r における送信ビーム径を d_0 、 θ_t より算出し、その中に半径 h_0 、幅 Δh_0 の輪帯 I を仮定し、その上の点 A より発し対物レンズの半径 h_1 、幅 Δh_1 の輪帯 II 上の点 B, C を通る子午面内光線で代表させる。つまり、点 B, C を通る光線が視野絞り面と交わる点 D, E の位置を算出し、輪帯 II を通る点 A の視野絞り面上の像を \overline{DE} を直径とする円で近似する。この円の円周のうち視野絞り内にある部分 \overline{FDG} の全円周に対する比を絞りの透過率 T_i とする。点 D, E を通る光線の光学系透過率を先に述べた方法で求め、輪帯 II 上の光線に対する光学系透過率を点 D, E に対するその平均 T_{av} とする。即ち、送信ビーム全体に対する効率 T は次式で計算される。

$$T = \frac{\sum_{\Delta h_0} \sum_{\Delta h_1} T_{av} T_i h_0 h_1}{\sum_{\Delta h_0} \sum_{\Delta h_1} h_0 h_1} \quad (10)$$

図5にカセグレン望遠鏡とフレネルレンズに対して T を計算した結果を示す。図中で太線で示したカーブは視野絞りの位置と大きさを光学系に収差がないとして、 $R/F \geq 100$

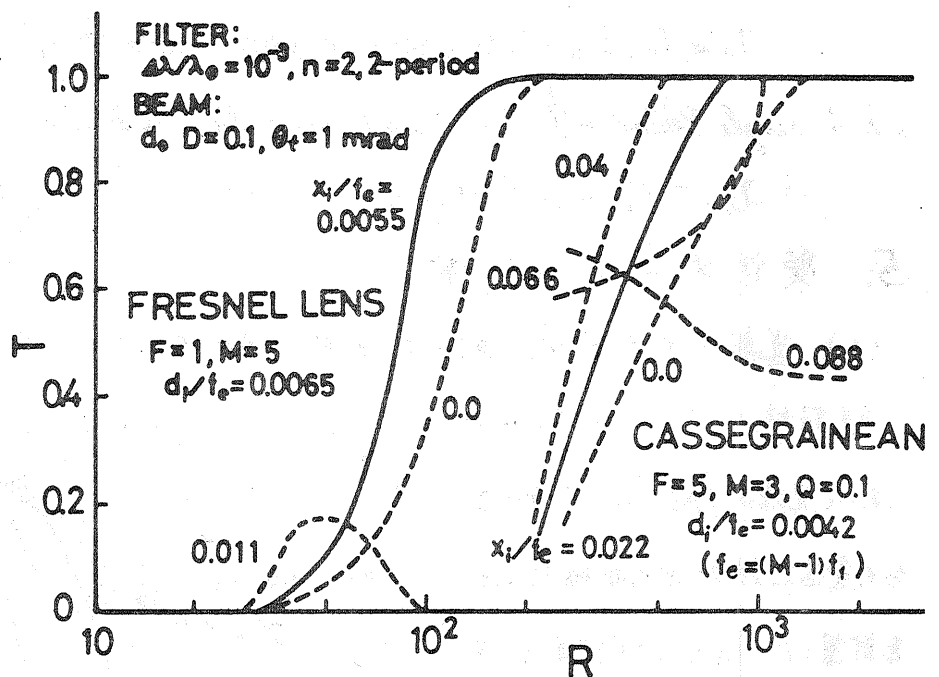


図5 受信光学系全効率の距離依存性

の光線が100%絞りを通過するように設計した場合の透過率である。

6. 結論

干渉フィルタ透過率の入射角依存性を考慮すると、レーザーダの受信光学系の効率がある距離以下より受信光に対して急激に下がることを示した。また、視野絞りの位置、大きさの設計に光学系の収差を考慮しないと近距離での光学系効率が落ちることを示した。急峻な角度特性を示す狭帯域の干渉フィルタと背景光除去用になるべく小さい視野絞りを使用し全距離範囲にわたって一般的な効率を示す高性能光学系の設計には干渉フィルタの角度特性と光学系収差の考慮が不可欠であることがこれらの結果より明らかである。

(文献) (1) 伊東, 50年信学全大, no. 865 (1975), (2) 久保田, "光学" p88 (岩波書店, 1964)