

## (2) 可動節点における非接触情報伝送技術の研究

電子部 佐藤 哲哉

### 1 目的

可動部を持つ機構内（回転する構造物の内部等）からの情報を正確に外界に伝送する手段としては、現在、機械的接触によるスリッピング法及び回転軸の振れ角が小さい場合には、発信、受信間を変調光信号で伝送する光信号法が一般的である。前者は、機械的接触によるため、耐久性、ノイズ、伝送周波数等に問題がある。

しかし、構造・機構的にはシンプルである。一方、後者は、前記問題点に関し前者より優れているが、発信、受信の関係が基本的に直接関係において成り立っているため、回転軸の振れ角が大きくなる場合には、受信部の視野から外れることとなり、手段として自ずと限界がある。

これら問題点を改善し、可動部での情報伝送を更に柔軟に実現する技術について理論的側面により、研究する。

### 2 原理

原理を、図1に示す。

半径Rの高精度に研磨、蒸着された球面反射ミラー、 $R/2$ の位置に平行に置かれたハーフミラー及び球面反射ミラーの曲率中心（回転中心軸）上のレーザー発光部、球面反射ミラーの切り欠き部に配置された受光部により構成される。可動部は、点Oを中心として $\theta$ の角度で回転、もしくは、振れる。

点Oから出た光線は、ハーフミラー（H）により反射・透過し、球面反射ミラー（S）に至る。幾何光学の関係より球面反射ミラーへの光線の入射角は、S点の接線に対し90度である。このため、そのまま同じ光路に反射する。途中、更にハーフミラー（H）により、反射・透過し、その内反射された光線が受光部の1点Pに至る。この関係は、ハーフミラー厚が十分に薄く、発光部、球面反射ミラー等が理想的な場合は、光路上 $|\theta| \leq 60^\circ$ の全範囲において成り立つ。

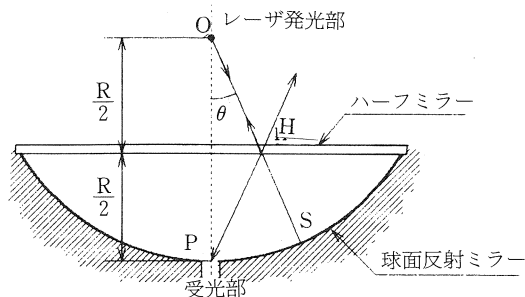


図1 原理図

### 3 検討課題

原理的には、各構成光学部品が理想的性能を持つならば、受光点Pにおいて、精度よく可動部からの信号を復元することができるが実際には、各光学部品の特性及び装置試作上の制約、製作精度等からくる光学的誤差について、検討する必要がある。光学的誤差要因として以下のことが考えられる。

### 4 検討

#### (1) 受光点Pの幾何光学的変位（共心系）

・レーザー発光部と球面反射ミラーの曲率中心が一致する場合

#### (2) 振れ角 $\theta$ による受光点Pでの光強度変位

上記(1)については、ハーフミラーがあることにより、受光点Pの位置が振れ角 $\theta$ により変位することを意味する。これに対しては、受光点Pでの受光面積を確保することで対処可能であるが、(2)については、光学部品の設計に留意し、光強度変動を最小に抑える必要がある。

以下、これらの課題に対する検討を行い、本原理の有効性、並びに、性能上の限界を明らかにする。

#### (1) 受光点Pの幾何光学的変位（共心系）

##### ①ハーフミラーによる光学的変位

振れ角 $\theta$ による光線の光路中に、厚さdの平行平板がある場合、光路は、その屈折率及びdの関数と

して、式(1)で表される  $\Delta s_1$ だけ球面反射ミラー側へずれる。(通常、 $n_1 < n_2$ )図2にこれらの関係図を示す。

$$\Delta s_1 = \left\{ 1 - \frac{\cos(\theta)}{\sqrt{n^2 - \sin^2(\theta)}} \right\} \cdot d \quad (1)$$

このことは、光軸上の点Pから振れ角  $\theta'$ で射出することと等価である。この時の  $\theta'$ は、平行平板の両側の媒質が同じ屈折率ならば、屈折の法則により  $\theta' = \theta$ となる。この値は点Oから平行平板までの距離には依存しない。

図3にハーフミラー厚比 ( $d/r$ ) による  $\Delta s_1$ 移動比を ( $r$ で正規化) 示す。

②受光部での変位

曲率中心Oにあるレーザ発光部より振れ角  $\theta$ で射出された光線は、厚さ  $d$ のハーフミラーにより等

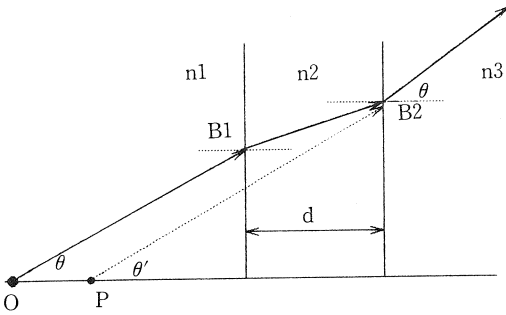


図2 ハーフミラーによる光学的変位

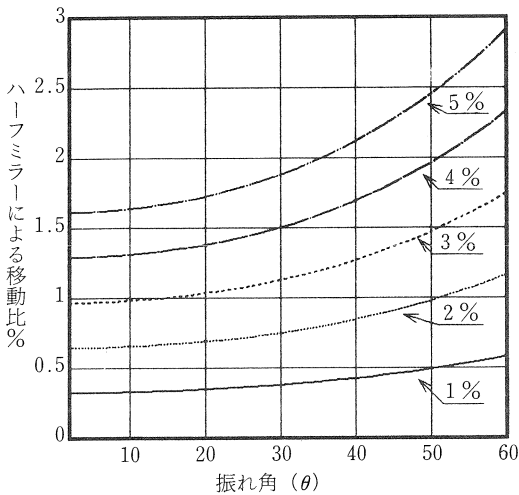


図3 ハーフミラー比による移動比

価的に  $\Delta s_1$ だけ球面反射ミラー側に射出位置を変位し(①で検討)その光線は、球面反射ミラー及びハーフミラーで反射される。これら光路により最終的に、受光部での理想点からの(幾何光学的)総合変位位置が算出される。

これら関係を図4に示す。Dは、ハーフミラーの厚さ  $d$ と球面反射ミラー半径  $r$ 及び振れ角  $\theta$ との関係において、光線を全て受光するに必要な受光部での有効径を示すものである。

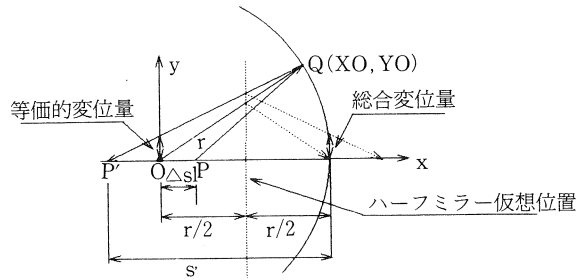


図4 総合変位量

座標軸を図4の  $x, y$ とすると、Dは次式で求められる。

$$D = \tan \left\{ \theta - 2 \cdot \sin^{-1} \left( \frac{\Delta s_1}{r} \cdot \sin(\theta) \right) \right\} \cdot (s_0 - r) \quad (2)$$

図5にハーフミラー比 ( $d/r$ ) に対する総合変位量比 ( $D/r$ ) を示す。

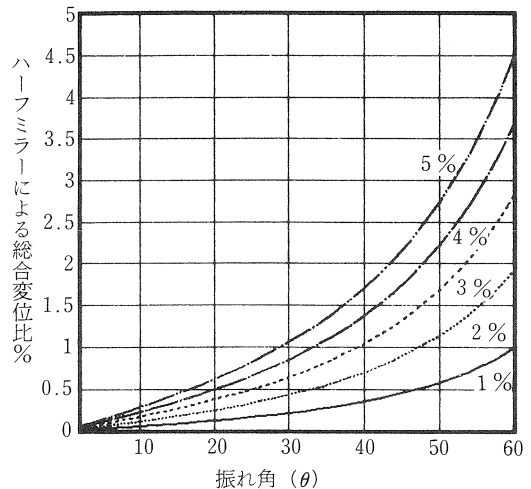


図5 ハーフミラー比による総合変位

同図より、当然のことながら、 $d$ は薄くなれば受光部面積は小さくてすむ。 $d$ の値は、構造的に強度保持のため、ある程度の厚さは必要である。受光部で使用される素子は、これら計算値を基準として選定される。

一方、厳密には、球面反射ミラーの球面収差の影響も考えられるが、球面反射ミラーの曲率中心を基準として構成されているため、この影響は無視できる程度に小さい。

(2) 振れ角  $\theta$  による受光点 P での光強度変位

① ハーフミラー端面（レーザ発光部側）反射による光強度変位  
 屈折率  $n$  をもつ媒質は、光入射に対してフレネルの公式による反射、透過特性をもつ。図6にハーフミラー構造を示す。レーザ発光部側端面では、振れ角  $\theta$  に依存する。偏光形態による反射、透過特性があり光強度変位の原因となる。

一般には、この端面に反射をできる限り抑制する減反射コーティングが施される。ここでは、一層の減反射コーティング薄膜 ( $MgF_2$ ) を形成した場合のその膜厚についての影響を検討する。

P, S 偏光に対する各表面での反射係数は、フレネルの式により、与えられる。

また、コーティング面での反射光線に相当するコーティング層の両面で生じる反射率は、反射波間の干渉と位相差により、求められる。

レーザの偏光は、直線偏光であり、かつ、P 偏光である。一般に、半導体レーザの偏光消光比は400:1程度である。このP偏光以外の成分をS偏光とし一層の減反射コーティングの反射特性を計算する。

ここで  $n(\lambda) = 1.38$  ( $MgF_2$ )、 $\lambda = 0.83\mu m$ 、 $n =$ コーティング厚とする。

図7に振れ角  $\theta$  に対する各  $h$  の反射特性を示す。

② ハーフミラー端面（球面反射ミラー側）反射に

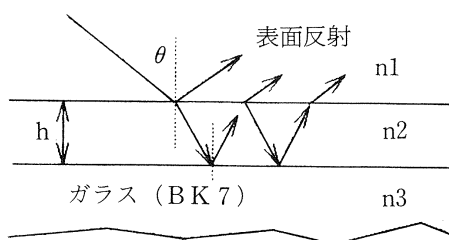


図6 ハーフミラー構造

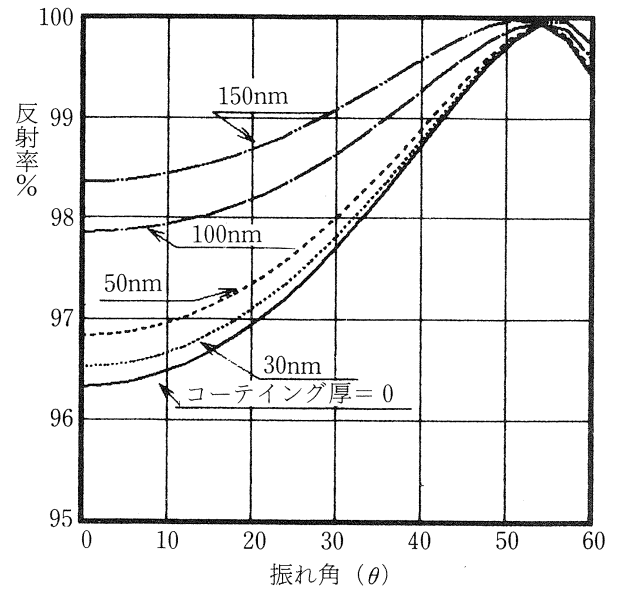


図7 コーティング厚による反射特性

による光強度変位

ハーフミラー端面（球面反射ミラー側）反射によるレーザ光線は、ハーフミラーの端面で屈折され、媒質  $n$  中を透過後、ハーフミラーコーティング層で反射、屈折され、屈折された光線は、球面反射ミラーで反射され、再び、ハーフミラーコーティング層で反射透過され、その内反射された光線が受光部へ至る光路をとる。光路図を図8に示す。受光部には相対的に振れ角  $\theta$  による透過率  $T_1$  及び反射率  $R_2$  の積で表される光強度が入射する、 $T_1$ 、 $R_2$  の角度依存性が本装置性能を左右する。レーザ光線ハーフミラーコーティング層への入射角は、振れ角  $\theta$  に対

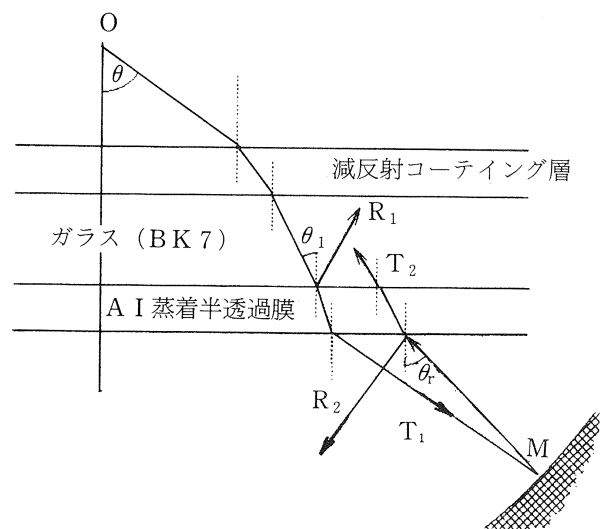


図8 光路図

し、式(3)で示される。また、球面反射ミラーで反射されたレーザー光線のハーフミラーコーティング層への入射角は、式(4)で示される。

$$\theta_1 = \sin^{-1}(\sin(\theta) / n_1) \quad (3)$$

$$\theta_r = \theta - 2 \cdot \sin^{-1}(\Delta s / r \cdot \sin(\theta)) \quad (4)$$

図9にハーフミラー比に対するAl蒸着半透過膜の透過、反射特性を示す。

以上の①及び②の関係から総合的な受光部での相対光強度比が求められる。図10～11にレーザー発光部

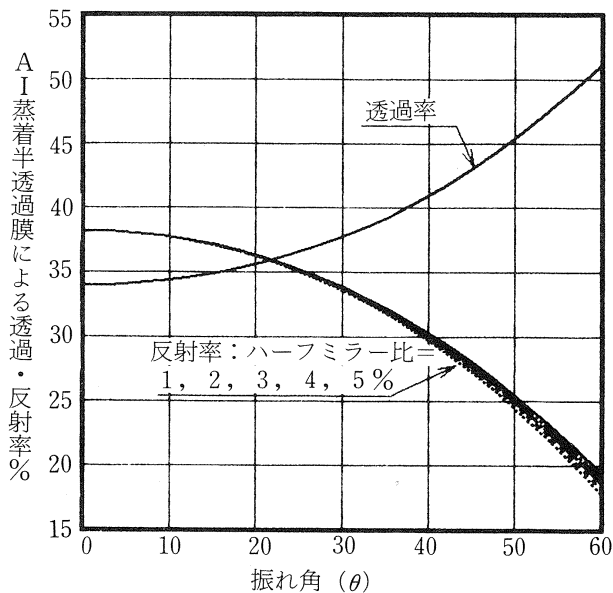


図9 半透過膜による透過、反射特性

側ハーフミラー表面反射特性及びハーフミラーコーティング層の透過、反射特性を考慮した受光部での総合光強度比関係図を示す。(ここでは、球面反射ミラーの反射損失等は考慮していない。)

## 5 結果

### (1) 幾何光学的変位

使用する球面反射ミラーの曲率半径  $r$  及びハーフミラー厚径  $d$  と幾何光学的変位  $D$  との関係は、図5に示す様な関係がある。ハーフミラー厚比は、小さい方が変位も小さい。

### (2) 振れ角 $\theta$ による受光部 P での光強度変位

振れ角  $\theta$  による受光点での光強度変位は、図10～11に示すように、大きな相違はみられないが、ハーフミラー厚比を大、減反射コーティング厚径を小のとき、光強度変位が小となる傾向を持つ。

(3) 上記条件に沿うパラメータを適当に選定することで、計算上、振れ角30度以下で99%以上の伝送精度が得られる。

## 6 今後の課題

- 球面反射ミラーの曲率中心上のレーザー発光部の位置変位に対する影響及び振れ角0近傍での対応

- 減反射コーティング、半透過膜に対する光学性能評価

これら結果に基づき、システムの構成に適したパラメータの選定を行うことができる。

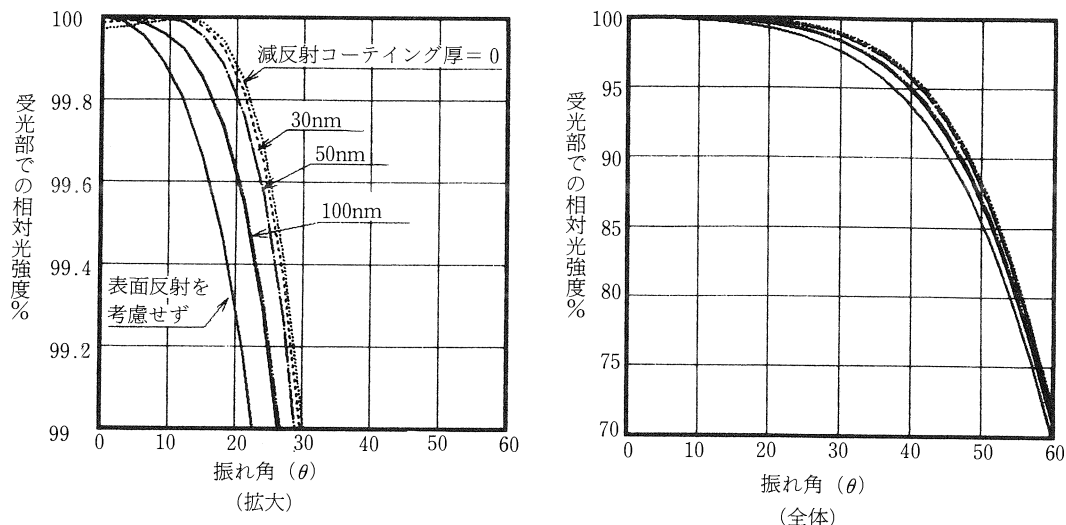


図10 受光部での総合光強度比 (ハーフミラー比=1%)

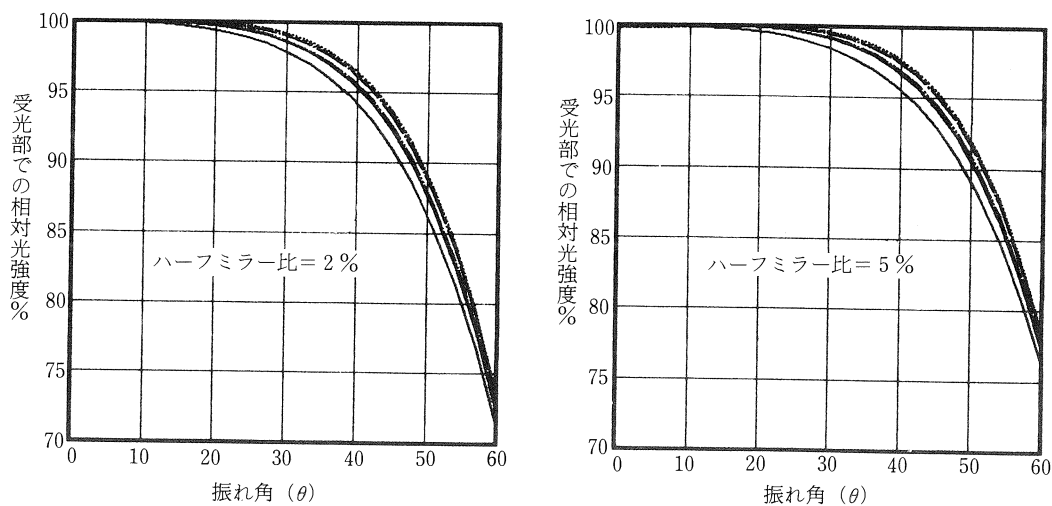


図11 受光部での総合光強度比