

1. 緒言

自動車のボディや電化製品の外装にみられるように、世の中では様々な曲面形状をもつ製品が要求されるようになり、3次元測定機の果たす役割が重要な位置を占めてきている。しかしながら、その測定方法としてはほとんどが接触式測定法であり、測定子の影響により、いろいろな問題が生じる。そこで最近では、高速化が可能であり、また弾性体や軟体、高温の物体も測定可能であるということで光の反射を利用した多くの非接触式測定法が注目されてきている。しかしながら、従来の非接触式形状測定センサは、被測定物の表面の状態によってかなり影響を受ける。例えば、①急傾斜面での測定が困難である。②エッジ部の測定が困難である。③粗さの方向に影響を受ける。④金属面の測定が難しいなどがあげられる。そこで、本研究は上述したような光の反射特性に影響されないセンサの開発を目的としたものであり、全方向の反射光をとらえることができる光リング式 3-D 形状測定センサを新たに提案するとともに、その測定原理と基本特性について報告する。

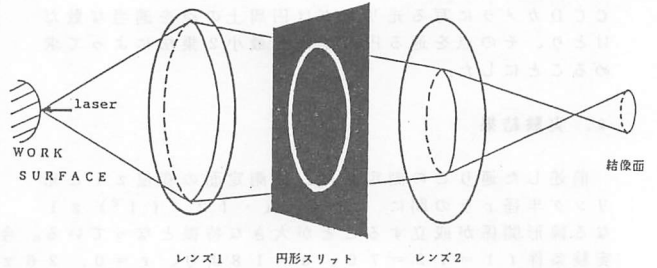


図1. 光リング式測定原理図

2. 測定原理

本測定センサは、NCスピンドルに取り付けられ、X軸方向にあるピッチで移動し、その度拡散反射光によって形成される光リングを観測することにより、Z軸方向の基準面からの距離を読み取る方式である。図1、図2に今回提案する光リング式 3-D 形状測定センサの測定原理を示す。対物レンズ L1 の焦点距離  $f_1$  から  $z_1$  離れた位置にある被測定物にレーザー光が照射され、そこでの拡散反射光がレンズ L1 およびその後方  $f_1$  の距離にある円形スリット、そしてレンズ L2 を通り、L2 の焦点距離  $f_2$  にある CCD カメラにより光リングとして検出され、その半径  $r$  が読みとられる。このとき、変位  $z_1$  と光リング半径  $r$  との関係式は次のような手順で導出される。

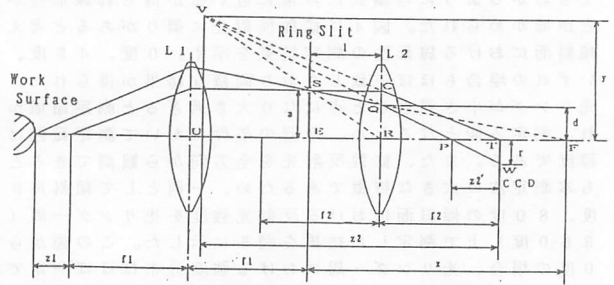


図2. 幾何学的原理図

レンズ L1 における結像公式及び  $\Delta S C Q$  と  $\Delta F E S$  の相似関係より

$$d = -(a \cdot 1 / f_1^2) z_1 + a \quad (1)$$

また、レンズ L2 における結像公式及び  $\Delta C R T$  と  $\Delta V U T$  などの相似関係より

$$a \cdot f_2 = r \cdot 1 + f_2 \cdot d \quad (2)$$

式(1)、(2)より

$$r = (a \cdot f_2 / f_1^2) z_1 \quad (3)$$

となり、被測定物の変位  $z_1$  と光リング半径  $r$  との間関係は、レンズ L1、L2 の焦点距離  $f_1$ 、 $f_2$  とリングスリット半径  $a$  のみによって決まる比例定数をもつ直線関係で表わすことができる。

3. 測定方法

今回の実験に使用したレンズは L1、L2 ともに焦点距離が 70 mm の非球面レンズであり、また、円形スリ

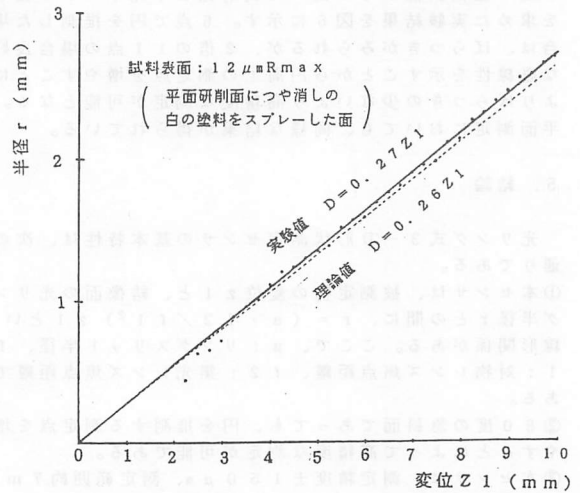


図3. 線形性 (12点測定)

ットは幅0.2mm、直径3.6mmとした。また、光リングを検出するCCDカメラは画素数510(H)×492(V)、走査面積6.6mm(V)×8.8mm(H)の面エリアセンサを用い画像処理装置(FRM1-512)とPC9801からなる信号処理系を介して各ピクセルの輝度情報を取り入れることにする。このような設計値において感度は $r/z1 = 0.273$ となり分解能は $\Delta r | z1 / r | \approx 50$  ( $\mu\text{m}/\text{ピクセル}$ )になる。CCDカメラに写る光リングは円周上の点を適当な数だけとり、その点を通る円の半径を最小2乗法によって求めることにした。

#### 4. 実験結果

前述した通りこの測定法は、被測定面の変位 $z1$ と光リング半径 $r$ との間に、 $r = (a \cdot f2 / f1^2) z1$ なる線形関係が成立することが大きな特徴となっている。今回の実験条件 $f1 = f2 = 70$ 、 $a = 1.8$ より、 $r = 0.26 z1$ という理論式を得る。図3に円周上の点を12点とった場合の線形性の実験結果を示す。実験式は各測定値より1次回帰直線を用い計算することによって $r = 0.27 z1$ が得られる。グラフを見てもわかるように理論式に非常に近い値が得られ線形性があることが確かめられた。図4に拡散反射光に偏りがあると考えられる傾斜面における線形性の測定結果を示す。0度、45度、75度いずれの場合もほぼ一致しており同様な結果が得られた。ただし、光リングが小さ過ぎると点になり大き過ぎると測定領域からはずれ、測定不能となるため、今回の条件において測定範囲は7mm程度である。また、拡散反射光を全方向から観測できるというのも本測定法の大きな特徴であるため、一例として傾斜角 $\theta = 30$ 度、80度の傾斜面における反射光強度を光リング一周(0度~360度)上で測定した結果を図5に示した。この図から $\theta = 30$ 度の場合、光リング一周における強度分布はほぼ一定であるが、 $\theta = 80$ 度の場合、90度~270度の範囲で低い強度を示し、一方、0度付近で最大強度となり分布に大きな違いがみられる。この結果をを逆に利用すれば、反射光分布から被測定面の形状を推測できる可能性もあり今後の研究課題である。次に80度の急傾斜面からの偏った反射光より光リング半径 $r$ を求めた実験結果を図6に示す。6点で円を推測した場合は、ばらつきがみられるが、2倍の11点の場合良好な直線性を示すことから円周上の測定点を増やすことによりばらつきの少ないより高精度な測定が可能となる。平面測定においても、同様な結果が得られている。

#### 5. 結論

光リング式3-D形状測定センサの基本特性は、次の通りである。

- ①本センサは、被測定物の変位 $z1$ と、結像面の光リング半径 $r$ との間に、 $r = (a \cdot f2 / f1^2) z1$ という線形関係がある。ここで、 $a$ :リングスリット半径、 $f1$ :対物レンズ焦点距離、 $f2$ :集光レンズ焦点距離である。
- ②80度の急斜面であっても、円を推測する測定点を増やすことによって高精度な測定が可能である。
- ③本センサは、測定精度 $\pm 150 \mu\text{m}$ 、測定範囲約7mmで、最大傾斜角 $\pm 80$ 度まで測定可能である。

◇参考文献 1)三好、他:昭和63年度春季精密工学会講演論文集P161

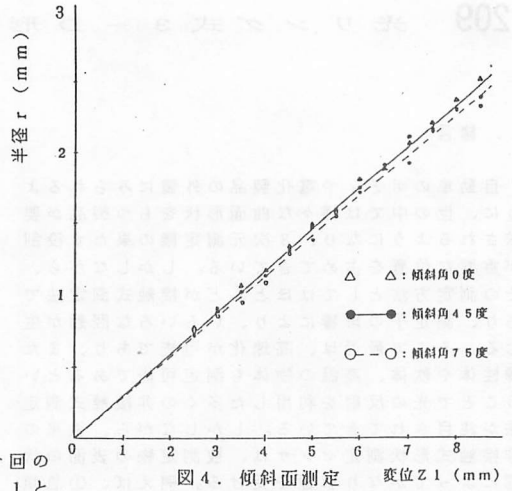


図4. 傾斜面測定 変位 $z1$  (mm)

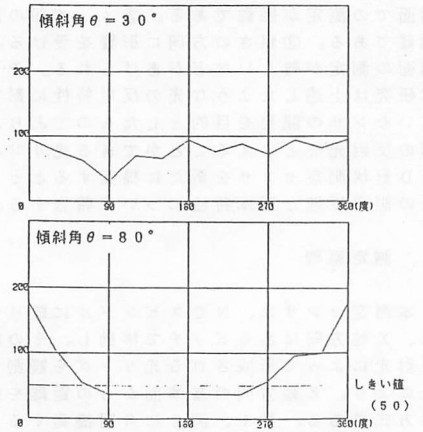


図5. 傾斜面における反射光の偏り

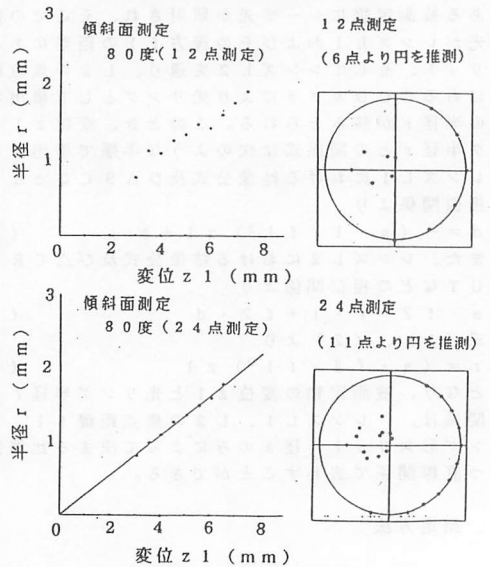


図6. 急傾斜面測定