

1. 緒言

自動車、家電製品等には、意匠性の高い複雑な形状を持ったものが多い。従来の接触式形状測定法では困難な、このような複雑な形状の高精度な測定を可能にするために、非接触式形状測定法の研究が数多く進められている。しかしながら、非接触式形状測定においても、エッジ部の高精度な測定は困難であり、この点に関する研究は、あまり進んでいない。そこで、光リング式3次元形状測定法を改良したレーザービーム振動方式によるエッジ検出法によってエッジ部の測定実験を行ったので報告する。

2. 測定原理

図1にレーザービーム振動方式によるエッジ検出法の基本測定原理を、図2にその実験装置の概略を示す。本実験装置の光学系の中心軸に対して垂直方向から入射したHe-Neレーザー光は、中心軸上に置かれたガルバノ振動ミラーにより光路を直角に曲げられ、中心軸上をレンズL₀を通過し、レンズL₁の焦点距離f₁から距離z離れた位置にある被測定物に照射される。

ここで、ミラーを微小角度Δαだけ回転させると、レーザー光は中心軸となす角Δθ = 2・Δαの方向に進む。ミラーとレンズL₀は、レンズL₀の焦点距離f₀だけ離れているので、レーザー光は中心軸と平行に被測定面に照射され、このときの中心軸からの変位量dは、式(1)のように表される。

$$d = f_0 \cdot \tan(\Delta\theta) \quad (\Delta\theta [^\circ])$$

$$\approx f_0 \cdot \Delta\theta \cdot \pi / 180 \quad (1)$$

このとき、レンズL₁およびL₂による結像公式などから、被測定物のレンズL₁からの変位zとCCDセンサ上に結像する光リングの半径r、レーザー光の被測定面への照射位置の中心軸からの変位xと結像光リングの中心の中心軸からの変位dの間には、それぞれ、式(2)、(3)の線形関係が成り立つ。

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

$$d = (f_2 / f_1) x \quad (3)$$

つまり、上記2式の比例定数は、レンズL₁、L₂の焦点距離f₁、f₂、および、円形スリットの半径aのみによって決定される。

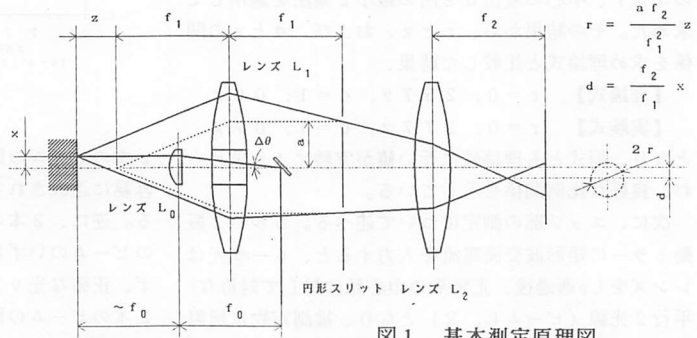


図1 基本測定原理図

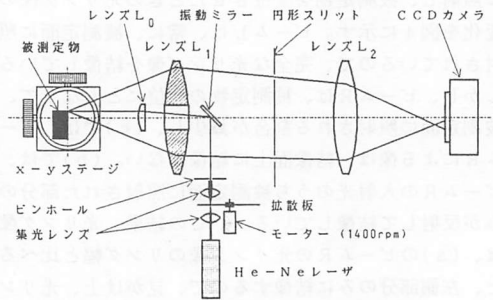


図2 実験装置概略図

3. 実験方法

本実験に使用したレンズL₁、L₂は、焦点距離がf₁ = f₂ = 70[mm]の非球面レンズ、レンズL₀は、焦点距離f₀ = 50[mm]の球面平凸レンズであり、円形スリットは、半径a = 18[mm]、幅0.2[mm]である。ガルバノ振動ミラーは、入力電流に比例して振動する(電流感度0.070°/mA、周波数範囲:DC~190Hz)。また、CCDエリアセンサは、画素数510(H)×492(V)、走査面積8.8[mm](H)×6.6[mm](V)であり、画像処理メモリFRM1-512と計算機PC-9801から成る信号処理系に接続されている。

このような装置において、分解能は、それぞれ、Δr|z/r| ≈ 52[μm/pixel]、Δd|x/d| ≈ 13[μm/pixel]となる。画像処理メモリボードに取り入れられた、各ピクセルの光強度から、光リング上の点を適当な数だけ(本実験では24点)サンプリングし、その座標値に対して円の最小2乗法を適用し、光リングの半径と中心座標を求める。

4. 実験結果

まず、式(3)、(4)で表される線形性の確認を行った。被測定面の変位 z および x をある基準点から、それぞれ、0.5mm毎に変化させ、結像面上の光リングの半径 r 、中心の変位 d を円の最小2乗法を適用して求めた。その結果から、 r と z 、および、 d と x の関係を求め理論式と比較した結果、

【理論式】 $r = 0.257z$, $d = 1.00x$

【実験式】 $r = 0.277z$, $d = 1.07x$

となり、両式とも理論値に近い値が実験により求められ、良好な比例関係を示している。

次に、エッジ部の測定について述べる。ガルバノ振動ミラーに矩形波交流電流を入力すると、レーザー光はレンズを L_0 通過後、光学系の中心軸に対して対称な平行2光線(ビームL, R)となり、被測定物に照射される。この2本のビームを被測定物のエッジ部付近に照射し、被測定物を変位させたときの光リング像の変化を図4に示す。ビームLは、常に、被測定面に照射されているので、完全な光リング像を結像している。しかし、ビームRは、被測定物の変位にともなって、被測定面に照射される割合が減少し、(c)では、ビームRによる像は、結像面上に結像しない。(b)では、ビームRの入射光のうち被測定面に照射された部分のみが反射して結像している。この結果、光リング像は、(a)のビームRの光リング像のリング幅と比べると、左側部分のみに結像するので、見かけ上、光リング像が左側に寄って見える。このとき、リング幅は、(a)の光リング像と比べて細く、光強度のピークも低くなっている。このような状態では、光リング像の半径、中心を正確に求めることはできない。

しかし、(c)のような状態においては、2本のビーム間にエッジが存在するといえる。そこで、この状態において、2本のビームの中心をエッジの位置と定義し、2本の入射ビームの光リング像の状態を調べた。

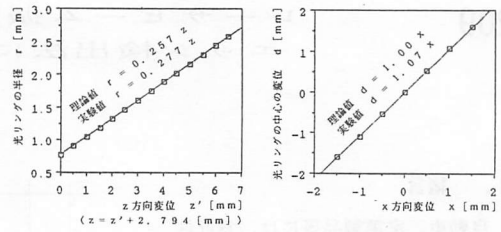


図3 線形性実験結果

2本のビームの間隔が大きければ、このような状態は容易に達成されるが、エッジ位置の検出精度は低下する。逆に、2本のビームの間隔が小さすぎると、2本のビームのいずれもが、一部しか被測定面に照射されず、正確な光リングの半径、中心が求められなくなる。2本のビームの間隔を変化させ、光リングの半径、中心が求められる最小のビーム間隔を調べた結果、その値は $300\mu\text{m}$ となった。

5. 結論

① レーザービーム振動方式によるエッジ検出センサにおいて、被測定面の変位 z 、 x 、および、結像面上の光リングの半径 r 、中心の変位 d の間には、次のような線形関係がある。

$$r = (a \cdot f_2 / f_1^2) z$$

$$d = (f_2 / f_1) x$$

ただし、 a : 円形スリットの半径、 f_1 : 対物レンズ焦点距離、 f_2 : 集光レンズ焦点距離である。

② 本センサにおいては、 $\pm 150\mu\text{m}$ の範囲内に被測定面のエッジが存在することを検出できる。

- ◎参考文献 1)青木、他：1990年度精密工学会春季大会講演論文集 p1149
2)青木、他：1990年度精密工学会秋季大会講演論文集 p267

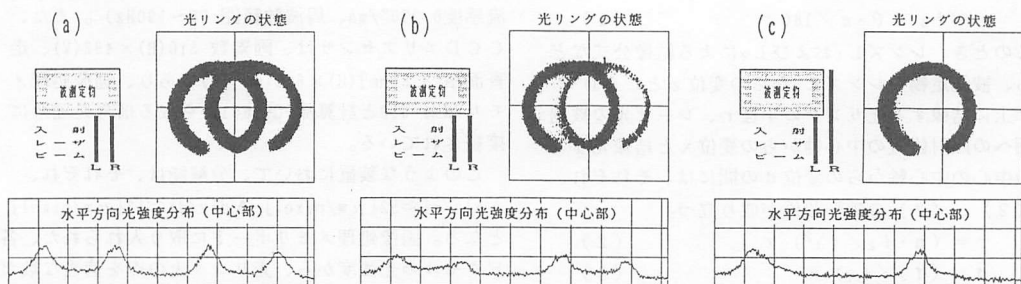


図4 エッジ付近における光リング像の変化