

2808 光ファイバを用いた3Dタッチプローブに関する研究 (第2報)

Three-Dimensional Touch Probe based on Fiber optic displacement sensors (2nd report)

○正 大岩 孝彰 (静大工) 西谷 裕志 (静大工)

Takaaki OIWA, Shizuoka University, Johoku3-5-1, Hamamatsu, Shizuoka 432-8561
Hiroshi NISHITANI, Shizuoka University

This paper presents an improved touch probe system for higher sensitivity. In this system, three fiber optic displacement sensors measure displacement and direction of a tip ball of the probe. Because the measuring resolution of the displacement was less than 12 nm in experiments, a probe pre-travel was determined to 50 nm. The variation of the pre-travel was less than 25 nm in whole directions. The measuring force was approximately 0.6 mN in horizontal directions, and was 9.4 mN in vertical direction.

Key Words : touch trigger probe, coordinate measurement, fiber optic displacement sensor

1. 結 言

近年、三次元座標測定機 (CMM) 用タッチプローブの小型化・高性能化の研究が各所で行われている^{(1)~(6)}。この検出器の性能を高めるためには、感度やプリトラベル量および固有振動数などの改善を行う必要がある。従来はボールとシャンクからなるスタイラスの変位や力・加速度をセンサ等で検知していた。しかし、シャンクが長くなるにつれて質量が増加し固有振動数が低下するため、外乱振動などの影響を受けやすくなる。本研究ではシャンクに内蔵した光ファイバ式変位計により、ボール自体の変位を測定する方式のプローブを提案してきた。既報⁽⁷⁾では、1本および3本の変位計を用いたプローブを試作し実現可能性を示した。本報では、より高感度の変位計を用いたプローブを試作し、方向性、測定力などについて測定を行った結果について報告する。

2. 原 理

原理を図1に示す。3組の光ファイバ変位計束の先端と球体 (ボール) を弾性体で接続した構造となっている。投光ファイバを通りボール表面で反射した光は、受光ファイバを戻ってディテクタで検出される。ボールが被測定物に接触するとギャップの大きさが変化し、ディテクタ出力電圧が線形的に変化する。このようにボールの変位を直接測定するため、アッペのオフセットを小さくできる。このプローブは以下の特長を有すると考えられる。

- (1) 光ファイバ変位計の分解能はナノメートル以下が可能であり、プリトラベルの減少や検出分解能の向上が見込める。
- (2) 変位計を3本束ねることにより、ボールの微小変位だけでなく接触の方向についても検知できる。また、校正を行うことにより、方向による感度の違いを均一化できる可能性がある。
- (3) バネ下質量はボールの質量のみであるため、固有振動数を高められ、測定速度の向上や高分解能化が可能となる。
- (4) シャンクの長さを増大しても、特性が変化しにくい。
- (5) センサー内部の摩擦による影響がない。また、小型化が容易である。

3. 実 験 装 置

市販の光ファイバ変位計 (Philtec社D20L, 感度10 nm/mV, 分解能3 nm, 周波数特性DC-100 Hz) を図2のように3本束ねて120°間隔にてシャンクの中に設置した。シャンクは熱膨張を少なくするため、スーパーインバーで製作

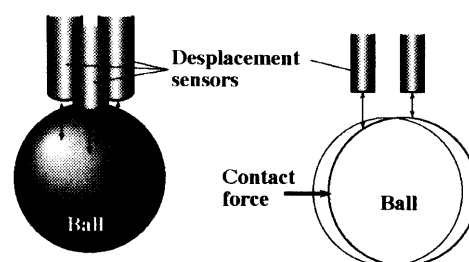


Fig. 1 Fundamentals of 3D probe consisting of 3 displacement sensors

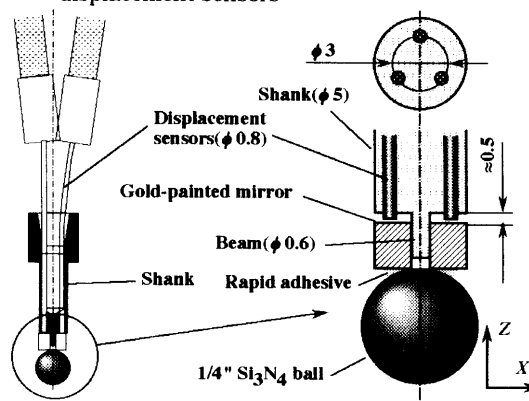


Fig. 2 Experimental touch probe with three displacement sensors

した。シャンク先端と平面ミラー間の弾性体として、シャンク先端部をφ0.6に加工し (センターロッド)、ミラーとセラミック球を瞬間接着剤にて固定した。

感度や方向性を調査するための微動台の概要を図3に示す。弾性案内で支持された1軸ステージは積層型圧電素子で駆動し、その変位は静電容量式変位計 (ADE社 Microsense) で測定した。ステージ上にはプローブに接触させるための変位プレート (ブロックゲージラップ面) と測定圧を測るためのロードセルを設置した。変位プレートをプローブ先端に接触させる方向は、図3右に示すように角度 θ と β で表すこととする。特に断らない場合変位プレートの速度は1 $\mu\text{m/s}$ とした。

4. 実 験 結 果

$\theta = 320^\circ$, $\beta = 0^\circ$ の方向から接触させた際の3本の変位計の出力を図4に示す。変位プレートが3.2 μm ほど移動したところで接触していることがわかる。接触後のグラフの傾きを感度 (mV/ μm) とし、 $\theta = 0 \sim 360^\circ$ の範囲で測定した結

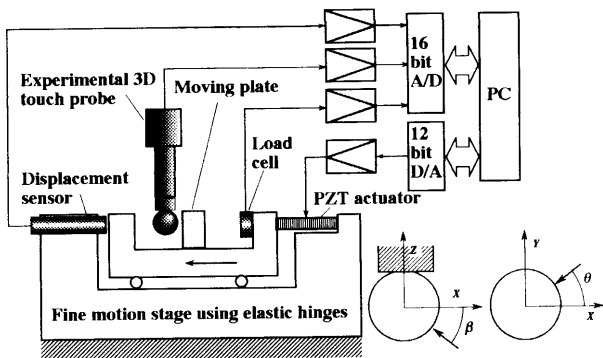


Fig. 3 Experimental setup for 3D touch probe and measuring directions

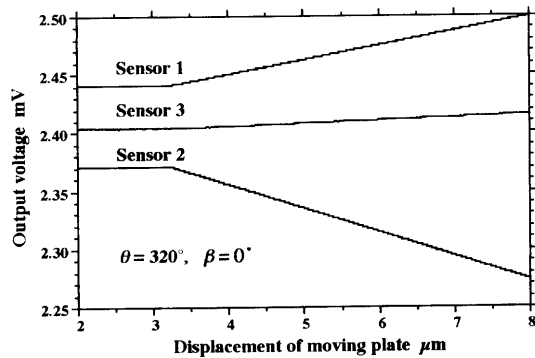


Fig. 4 Output voltages of three sensors during plate approaching

果をに図5に示す。位相差 120° の正弦波形となり、接触後の球の変位及び方向が検出可能であることがわかる。この3つの電圧より球の変位ベクトルを求め、その大きさと各方向成分とともにプロットしたものを図6に示す。右図は接触時付近を拡大したものであり、光ファイバ変位計のノイズ 3 nm と静電容量式変位計のノイズ 1.6 nm を含む球変位のノイズレベルは約 12 nm_{pp} （標準偏差： 3.2 nm ）程度であった。以上より、余裕を持たせて球が 50 nm 変位した位置を感知点とする。水平面内で接触させた場合（ $\beta = 0^\circ$ ）は、グラフの傾きがほぼ1となり、変位プレートと球の移動量がほぼ等しくなるため、接触から感知までに変位プレートが変位する距離（プリトラベル）は約 50 nm となる。単一方向におけるプリトラベルのばらつきは、 20 nm_{pp} （標準偏差 4.5 nm ）程度であった。

次に $\theta = 0 \sim 360^\circ$ の範囲でプリトラベルを求めた結果を図7左に示す。水平面内では方向による違いはほとんどない（ 2.5 nm_{pp} ）ことがわかる。右図は $\beta = 0 \sim 90^\circ$ の場合であるが、 β が大きくなるにつれて、プリトラベルが小さくなるのは、センターロッド部分の圧縮剛性が曲げ剛性より大であるため、接触面ですべりが発生し、変位プレートの接触方向と球の移動方向に差が生じているためである。 $\beta = 80^\circ$ 以上でプリトラベルが $0.05\text{ }\mu\text{m}$ に再び近づくのは接触面での摩擦力が大きくなりすべりが起きにくくなるためであると推察される。まとめるとプリトラベルの全方向でのばらつきは 25 nm 程度であった。

図8は感知点での測定力を表している。水平面内での接触での平均値は 0.57 mN であった。 xz 面内では $\beta = 90^\circ$ の時に最も測定力が大きく 9.4 mN に達した。

5. 結 言

プローブ先端の球の変位を3本の光ファイバ変位計で測定する原理による3Dタッチプローブを試作し、性能を評価した。実験の結果、 50 nm 以下のプリトラベルで使用可

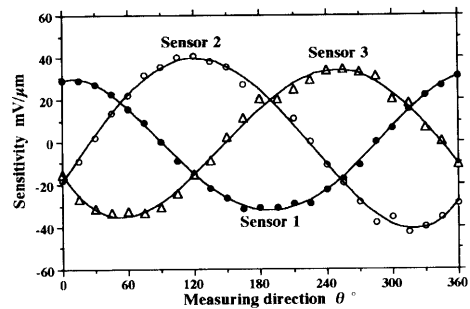


Fig. 5 Output voltages of sensors in various approaching directions

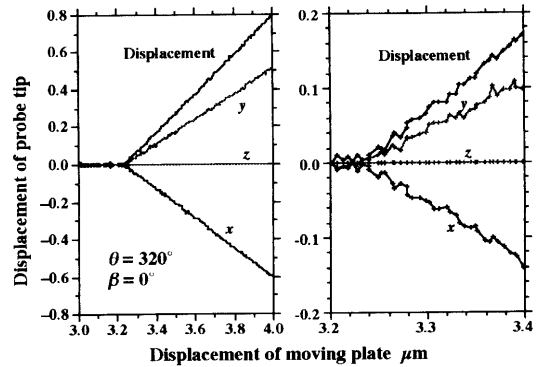


Fig. 6 Displacement of probe tip and its components

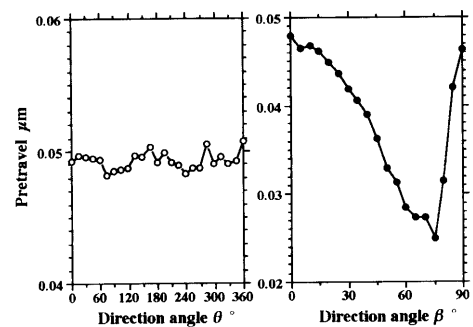


Fig. 7 Influence of approaching direction on probe lobing

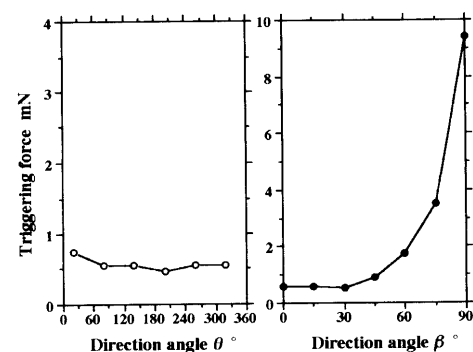


Fig. 8 Influence of approaching direction on measuring force

能であり、そのばらつきは 25 nm 程度であることがわかった。

参 考 文 献

- (1) 鈴木他3名, 精密工学会春季大会講演論文集, (1996) 665.
- (2) 花岡他3名, 精密工学会春季大会講演論文集, (1997) 787.
- (3) Wim P. van Vliet, et al., Prec. Eng., 22, 3 (1998) 141.
- (4) 石川他3名, 精密工学会誌, 66, 2 (2000) 304.
- (5) 松岡他2名, 精密工学会誌, 68, 2 (2002) 269.
- (6) T. Kanda, et al., Ultrasonics 40 (2002) 61.
- (7) 大岩他2名, 精密工学会秋季大会講演論文集, (2001) 456.