

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 15 日現在

機関番号：11401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K05709

研究課題名(和文) 細管内表面粗さ測定システムのワイドレンジ化に関する研究

研究課題名(英文) Expansion of measurement range of surface roughness measurement system in small tube

研究代表者

奥山 栄樹 (OKUYAMA, Eiki)

秋田大学・理工学研究科・教授

研究者番号：80177188

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)： 生産現場では、細長い穴等の形状測定が必要とされているが、現在は穴の端部を軸方向に数mm程度測定するか、これの細穴を割り、破壊検査をするしかない。申請者らはこれまで細管内の粗さを光強度に変換し、管外で電気信号に変えるシステムの研究を行ってきたが、検出範囲が8ミクロンと狭かった。そこで検出範囲を広げるべく、微小なエンコーダ目盛状の反射鏡を用い粗さの検出を行う実験と、バイモルフタイプのPZTを用いフォトダイオードの出力が一定となるモードで粗さを検出する実験を行った。出力が一定となるモードの実験では検出範囲が約24ミクロンであった。

研究成果の概要(英文)： In various industrial fields, it is frequently necessary to measure surface roughness in confined spaces such as boreholes and grooves. We already proposed a novel surface roughness measurement sensor for small boreholes. To make the surface roughness sensor small, we used a stylus with a cylindrical mirror and a lensed fiber instead of a conventional inductive pick-up. However, experimental results showed that this system had only 8micron measurement range. Further, an encoder mirror was applied instead of the cylindrical mirror. Still, measurement range was not enough. In this research, the null method using a PZT is applied to expand the measurement range. Experimental results showed 24micron measurement range.

研究分野：精密工学

キーワード：Surface roughness

1. 研究開始当初の背景

生産現場では、アスペクト比の高い細穴や狭隘な谷間等の形状測定が必要とされている。例えば、医療用の細管などでは赤血球等を壊さないために内部の表面粗さが小さいことが必要であり、検査用の細管では検体の量を少なくするために細い方が有利である。このようにより細く、より粗さの小さいものが生産されているが、現在市販されている測定機では、細穴用のスタイラスを用い 1~2 程度の穴の端部を軸方向に数 mm 程度の長さで測定するのが限界である。したがって現場では細穴の内部を測定する際には、生産品の中からサンプルを抽出し、これの細穴を割り、破壊検査をしているのが現状である。このように細管内部の形状の非破壊検査が必要とされている。

2. 研究の目的

申請者らはこれまで細管内の粗さをスタイラスで検出し、これを円柱状反射鏡と先端加工ファイバを用いて光強度に変換し、管外でフォトダイオードにより電気信号に変えるシステムの研究を行ってきた。円柱状反射鏡と先端加工ファイバの組み合わせで粗さ検出器として機能することは明らかになったが、まだ、従来の粗さ計ほどの検出範囲を有しておらず、細管内での粗さ測定には至っていない。ここでは、提案する細管内粗さ検出部の検出範囲を 800 μm まで広くし、2、軸方向長さ 1000mm の細管内の任意位置の表面粗さを非破壊で測定可能なシステムを開発することを目的として行った。

3. 研究の方法

まず、微小なエンコーダ目盛状の反射鏡を用い粗さの検出を行う部分の試作、評価を行った。次に、バイモルフタイプの PZT に先端加工ファイバを取り付けフォトダイオードの出力が一定となるモードで粗さを検出する部分の試作、評価を行った。また、検出部を試作し、粗さと出力の校正などを中心に行った。

4. 研究成果

微小なエンコーダ目盛状の反射鏡を用い粗さの検出を行う部分の試作、評価について述べる。反射鏡は三種類を用いた。

ひとつ目のエンコーダ目盛状反射鏡の概略図を図 1 に示す。寸法は 1×1×0.5mm の大きさで、表面は 10 μm 間隔で溝がきられている。表面にはプラチナで蒸着を行った。エンコーダ目盛状反射鏡にファイバの光が照射されると、反射面とそうでないところでの光量の変化が生じ表面粗さを測定できると考えられる。このエンコーダ目盛状反射鏡であれば、10 μm ずつの幅であるためにどの位置でも出力を検出することが期待できる。図 2 は実際に用いたエンコーダ目盛状反射鏡の表面写真である。

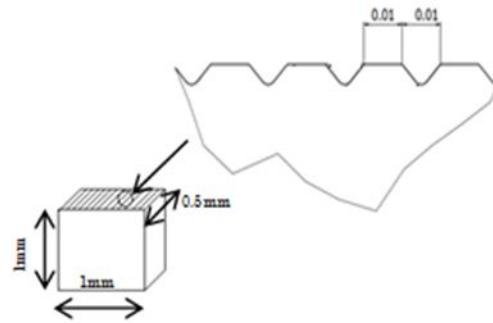
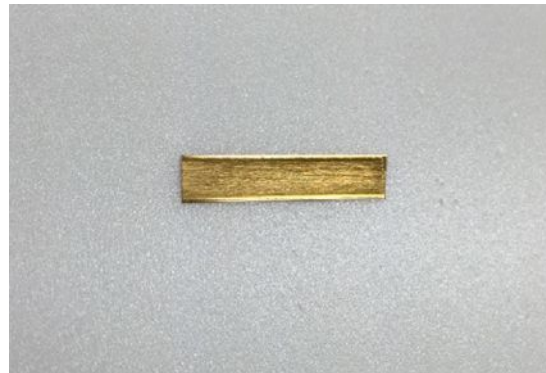


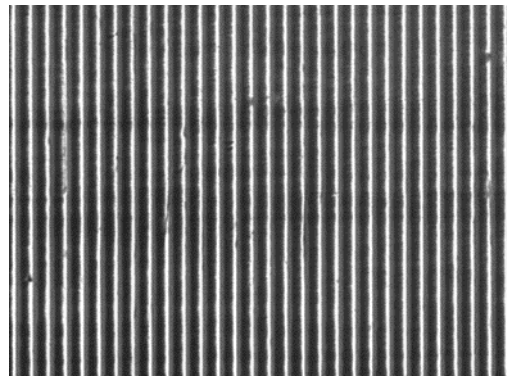
図 1 機械加工した反射鏡



図 2 機械加工した反射鏡の写真



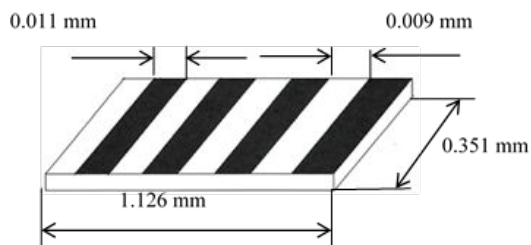
(a) 反射スケールの写真



(b) 反射スケールの拡大写真

図 3 RENISHAW 製の反射スケール
ふたつめは RENISHAW 製の反射スケールである。Fig. 3 (a)に全体写真を(b)に拡大写真を示す。RGS20-S スケールは、厚さ 0.2 mm の鋼片に 20 μm ピッチで目盛りが刻まれて

いる．また表面には反射率を高めるために金メッキ層が施されている．本来はリニアインクリメンタルエンコーダ用のスケールとして用いられているものである．そのため 20 μm の高性能なピッチが実現されているため，本研究の反射鏡としても有効なものであると考えられる．



(a) 反射鏡概要



(b) 反射鏡の拡大写真

図4 メルテック製反射鏡

三つ目に使用する反射スケールは，株式会社メルテック製の反射スケールである．Fig. 4 (a)に概要図を示し，(b)に拡大した写真を示す．PET フィルム材をベースに暗転加工が施されたエンコーダ用スケールとなっている．反射する面が 11 μm ，反射しない面が 9 μm により構成されている．暗転加工がされたシート状となっているため，反射する面と反射しない面との段差が少ないことが他の2つの反射鏡との違いである．

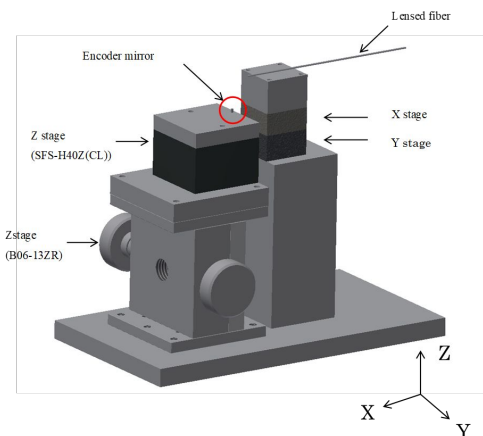


図5 実験装置概要

エンコーダ状反射鏡の有効性を調べるために基礎的な実験を行った．実験装置の概要を図5に示す．エンコーダ状反射鏡をZステージに取り付けた．また，先端加工ファイバをXステージに取り付けた．実験に使用した先端加工ファイバは，焦点距離 275 μm ，スポット径 6.76 μm のものを使用した．また，細管内をスタイラスが走査したことを想定し，今回の実験では 1×6×0.3mm のバイモルフ型の piezo を用いて先端加工ファイバを動かし実験を行った．

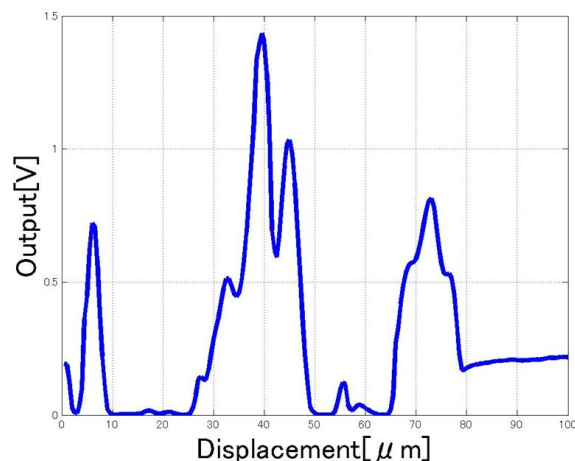


図6 機械加工された反射鏡の出力結果

機械加工されたエンコーダ状反射鏡の出力結果を Fig.6 に示す．出力の山は予想通り 3 個確認することができた．しかし，1 つ目の出力の最大値は 0.72 V で，2 つ目の最大値は 1.43 V と約 2 倍の出力の差が生じてしまっている．出力の最大値に 2 倍の差が生じているということは，その分測定範囲もその凹凸面では半分になってしまう．また，赤い枠で囲まれた範囲が実際の表面粗さ測定に使用する想定範囲であるが，その部分でも出力の変化が生じていることがわかる．これらの理由として，反射鏡表面の粗さや錆などの汚れ，機械加工の精度が影響していると考えられる．現状，このままでは反射鏡としての利用は困難であるといえる．

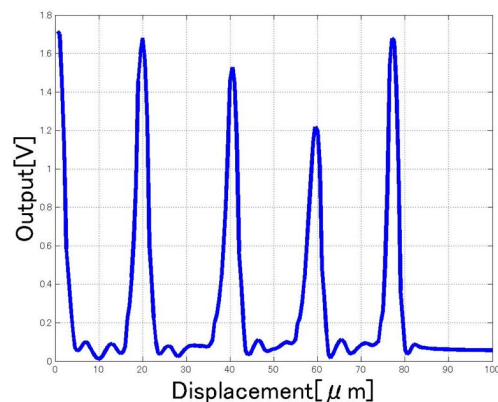


図7 RENISHAW 製反射鏡の出力結果

次に RENISHAW 製エンコーダ状反射鏡の出力結果を Fig.7 に示す．こちらの反射鏡は機械加工されたエンコーダ状反射鏡よりも安定した出力結果が得られていることがわかる．しかし RENISHAW の反射鏡は 20 μm ずつの目盛りが刻まれている構造のため、反射する面の面積が少なく、反射しない面の面積が大きくなっている．従って、測定に使用することができる範囲もグラフより約 5 μm と少ないことがわかる．しかし、円柱状反射鏡と比べると、測定できる 5 μm の範囲がグラフの中でも 9 箇所確認できるため、反射鏡として利用することは十分に考えられるといえる．しかし、反射しない面に光が照射された時に、赤枠で囲まれたような出力の変化が生じてしまうと測定が正確に行えないという問題が起こるため、反射しない面の出力の変化を抑える改善が必要である．

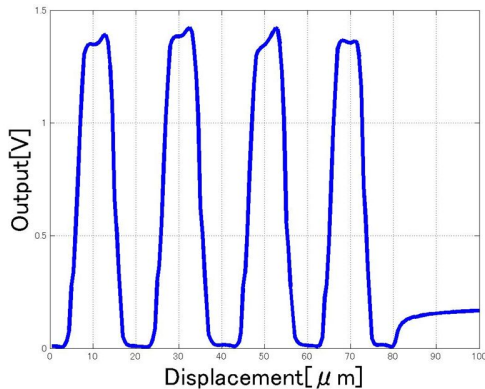


図 8 メルテック製反射鏡の出力結果

最後にメルテック製エンコーダ状反射鏡の出力結果を Fig.8 に示す．こちらの反射鏡は先ほどの 2 つと比べても非常に安定した出力結果が得られた．反射する面、反射しない面共に大きな出力の変化が生じていないため、反射鏡として利用するのに 1 番適しているといえる．メルテック製のエンコーダ状反射鏡の場合も測定範囲は約 5 - 8 μm といえることがわかる．しかし、RENISHAW のエンコーダ状反射鏡と同様に測定できる箇所が 8 箇所あるので、細管内での位置決めは省略することができるといえる．メルテック製のエンコーダ状反射鏡の出力が安定した理由として考えられることが、シート状に暗転加工を施している構造のため、反射する面と反射しない面の凹凸が少ないことが考えられる．次に、バイモルフタイプの PZT に先端加工ファイバを取り付けフォトダイオードの出力が一定となるモードで粗さを検出する部分の試作、評価を行った結果について示す．

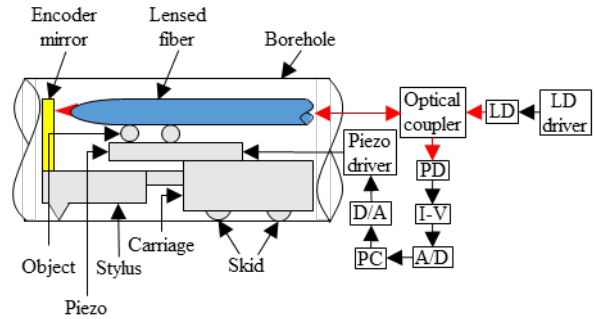


図 9 フォトダイオードの出力が一定となるモードの粗さ計の原理

今回提案する細管内粗さ計の概略図を図 9 に示す．キャリッジ、スタイラス等は先に提案したものと同じである．大きく異なるのは、先端加工ファイバをバイモルフ型 Piezo に取り付けこれをキャリッジに固定することである．Piezo の上部に電圧を印加するためのコードがあるため、Piezo と先端加工ファイバの間に部材を挟んでいる．本研究の測定装置は、エンコーダ状反射鏡を使用しているが、エンコーダ状反射鏡は反射する面と反射しない面が約 10 μm 毎に交互に並んでいる．提案する装置ではエンコーダ状反射鏡にレーザ光を照射し、反射光をフォトダイオードで検出し、反射光の光量が一定となるよう Piezo に電圧を印加し、先端加工ファイバの向きを調整するという零位法を行う．そして、Piezo に印加した電圧から細管内の粗さを測定する．

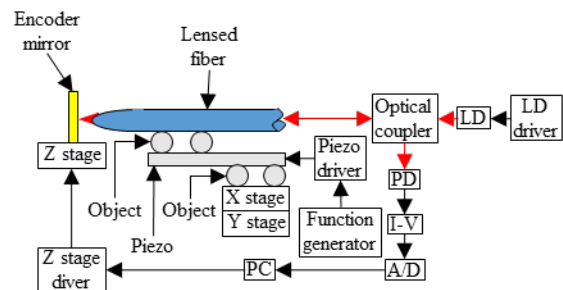


図 10 出力を一定とする実験装置概要

Piezo による零位法を用いたシステムの表面粗さの測定範囲を調べるために実験を行った．

実験装置の概略図を図 10 に示す．エンコーダ状反射鏡を上下に移動させるために Z ステージに固定した．先端加工ファイバはバイモルフ型の Piezo に固定し、Piezo は X-Y ステージに固定した．X ステージは先端加工ファイバの軸方向に変位し、Y ステージは先端加工ファイバの軸に垂直な水平方向に変位することができる．まず、ファンクション・ジェネレータで周期 100s, 電圧 10V の正弦波

を発生させ、 piezo・ドライバで電圧を 15 倍にし、piezo に印加した。レーザ・ダイオードからの光はオプティカル・カプラ、先端加工ファイバを通してエンコーダ状反射鏡に照射される。反射光はオプティカル・カプラを通り、フォトダイオードで電流信号に変換される。その後、I-V 変換回路で電圧信号に変換され、A/D コンバータでデジタル・信号に変換された後、PC で読み込まれる。ここで反射鏡の光量が一定となるように Z ステージの高さを制御した。実験の際には初めに X ステージと Z ステージを変位させ反射光量が最大になるところを探し、次に Z ステージを変位させ反射光量が半分程度になるところを探し、これを基準点とした。

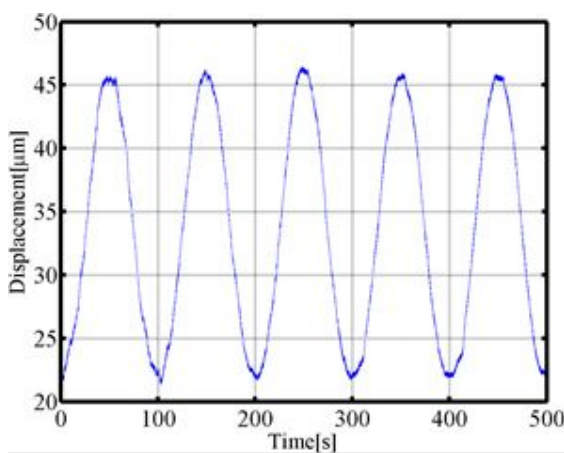


図 11 Z ステージの変位

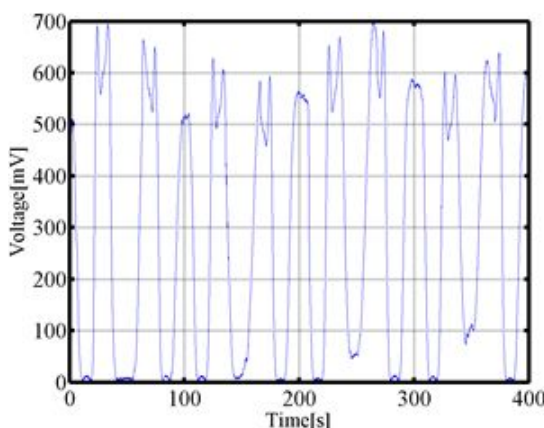


図 12 Z ステージを固定した場合の出力

実験結果を図 11 に示す。横軸は時間で単位は s、縦軸は Z ステージの変位で単位は μm である。図より、Z ステージが 100s の周期で約 $24\mu\text{m}$ 変位していることが分かる。

次に、エンコーダ状反射鏡を移動させず、先端加工ファイバを周期 100s で上下に変位させ、反射光の光量を測定した。初期位置は反射光量が最大となる位置であり、先端加工ファイバの変位が最低となる位置である。実験結果を図 12 に示す。横軸は時間で単位は s、縦軸は反射光量に相当する電圧で単位は mV である。図より、反射光の光量の波形は 50s 毎に線対称となり、周期は 100s であること

から、先端加工ファイバは指示通りに振動していることが確認できる。また、図からは、半周期である 50s の間にひとつを超える山があることが確認できる。設計上、エンコーダ状反射鏡は $20\mu\text{m}$ 毎に反射光量が最大となる位置が存在することから考え

piezo による零位法を用いて細管内粗さ測定器の検出範囲の拡大を試みた。実験結果より、表面粗さの検出範囲が約 $24\mu\text{m}$ であることが分かった。今後は実際の測定器に組み込み測定するために、piezo に印加する電圧と先端加工ファイバの位置との関係を調べる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 1 件)

Eiki OKUYAMA, Yuichi SUZUKI, Masahiro MORIKAWA, Yuma SUZUKI and Ichiro YOSHIDA
Development of a Surface Roughness Measurement System in a Narrow Borehole, International Journal of Automation Technology, 査読あり, Vol. 10, No. 5 (2016) (821-826)

〔学会発表〕(計 2 件)

1 鈴木湧真, 鈴木裕一, 奥山栄樹, 吉田一朗:
細管内粗さ測定に関する研究 (第 2 報): エンコーダ状反射鏡を用いた基礎実験, 精密工学会秋季学術講演会 (2015) 査読無し

2 奥山栄樹, 板東暢彦, 浜野康雄
細管内粗さ測定に関する研究 (第 3 報)
- 粗さ検出範囲の拡大 - 精密工学会春季学術講演会 (2018) 査読無し

6. 研究組織

(1) 研究代表者

奥山 栄樹 (OKUYAMA Eiki)

秋田大学・理工学研究科・教授

研究者番号: 80177188