

エンジン バルブボディの計測

内面計測用小型三次元プローブの開発（第6報）

—性能向上に伴う精度と分解能の評価—

○若山俊隆¹⁾, 山本将之²⁾, 吉澤 徹²⁾

埼玉医科大学 保健医療学部¹⁾, NPO 法人三次元工学会²⁾

Development of compact 3D probe for inner profile measurement (6th report)

○Toshitaka Wakayama¹⁾, Masayuki Yamamoto²⁾ and Toru Yoshizawa²⁾

Faculty of Health and Medical care, Saitama Medical University¹⁾, NPO 3D Associates²⁾

Inner profile measuring technology has been required for the inspection of pipes and holes in the fields of industry such as automobiles, airplane and heavy industry. A ring beam device which consists of a conical mirror and a laser diodes promises to measure three-dimensional shapes of the inner profiles. High precision measurement of the inner profile has been strongly requested from automobile makers. To overcome this requirement, we improved not only projection optics but also detection unit of previous our inner profile measuring instrument with an optical fiber and a rigid scope. In this report, we demonstrate evaluation results of inner profile measurement.

1. はじめに

内面形状計測技術は、パイプや孔などの寸法測定や形状計測を達成できることから、自動車や航空機、重工業などを中心にその必要性が急速に高まっている。とくにこれらの産業分野ではわずかな部品の欠陥から重大な事故を引き起こす恐れがあるため、孔やパイプの全数検査や寸法評価などの要求は増々厳しくなっている。現在までに内面形状計測を達成する技術はいくつか提案されているが、実用できる状態とは言えなかった。我々のグループでは、コーンミラーと半導体レーザーからなるリングビームデバイスに CCD カメラが搭載された小型内面形状計測用の三次元プローブを提案している [1, 2]。現在までに、化学プラントに使用されるジョイントパイプや自動車部品であるピストン・ピン孔の寸法検査と内面形状評価を行ってきた。また、原子力発電所における核燃料集合体のブローチ孔の三次元形状計測などその用途に合わせた三次元プローブの開発が行われてきた。さらに、 $\phi 10\text{mm}$ 以下の自動車部品の孔を測定するために、光ファイバー・リングビームデバイスとリジッドスコープからなる細径内面形状計測用プローブカメラの開発も行ってきた [2]。このように幅広い分野で内面形状計測および内径測定の要求が生じている。近年では、産業分野を超えて内面形状計測用の三次元プローブは、医療分野における人工関節置換術用の三次元誘導にも応用展開がなされている。以上のように内面形状計測技術の研究開発を進めてきた中で、産業界からさらに高精度な内面形状計測の要求が高まっている。

本研究では、上述した細径内面形状計測用三次元プローブに使用してきた光学部品とデバイスを見直し、さらなる高精度内面形状計測用三次元プローブの開発を目的にしている。

2. 実験装置

図 1 に実験に用いたシステムを示す。図 1 は開発した内面

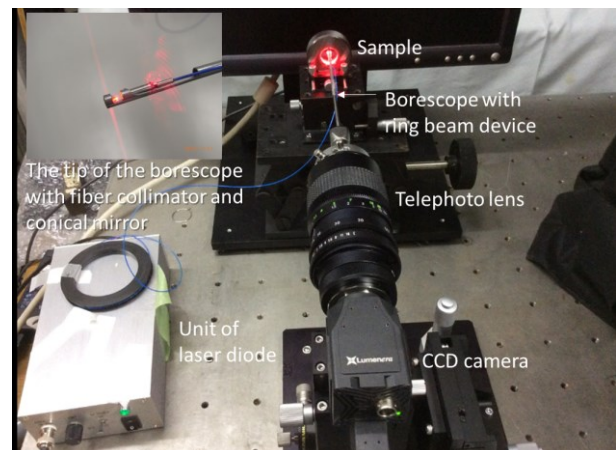


Fig.1 Optical setup for inner profile measuring instrument by use of an optical fiber ring beam unit, a borescope, and a CCD camera with a telephoto lens.

形状測定用の三次元プローブである。光源には赤色半導体レーザー ($\lambda = 650 \text{ nm}$) を用いた。この半導体レーザーは光ファイバーに導光されていて、光ファイバーからの出射後の光強度は最大 30mW になるようなアナログ変調機能が搭載されている。精密加工されたガラス基板に銀と酸化防止膜が蒸着されている円錐ミラー（直径 3 mm 、円錐頂角： 90° ）を独自に設計した。上記に示した光学系によって半導体レーザーから出力されたビームは光ファイバーを通る。光ファイバーコリメータから出力される点状のビームは円錐ミラーによってディスク状のビームへと変換される。リングビームデバイスは加工された金属パイプによって円錐ミラーと光ファイバーコリメータをそれぞれ連結し、リジッドスコープに接続している。リジッドスコープと CCD カメラを接続するために、今回新たに望遠レンズを導入し、CCD カメラにパイプや孔に投影

されたリングビームを結像できるように調整されている。今回、CCDカメラは(3376×2704画素, 8 bits or 10 bits)によって光切断面を撮像している。今までに提案してきた細径内面形状計測用三次元プローブは光ファイバーと円錐ミラーおよびリジッドスコープを接続するときに石英製ガラスパイプを用いてきたが、今回は、ガラスパイプによる大きな収差を回避するために図1の左上に示した金属パイプを導入している。さらに、今回導入したリジッドスコープも収差が小さいものを選択しているため、リジッドスコープ内のレンズと望遠レンズによって生じる収差はソフトウェア上で事前にキャリブレーションすることが可能となっている。

3. 実験結果

図1に示した三次元プローブを使って、ここではリングゲージ(直径7mm)を評価した。図1(a)は、光セクションされた画像である。今回得られた画像では0°から90°の範囲で光セクション面の形成が行われていない。これは円錐ミラーと光ファイバーコリメータを接続するために使用した金属パイプによる死角の影響である。この画像を解析すると光セクションされた中心点から1°毎に点群データを取得することができる。取得された点群データを図1(b)に示す。得られた点群データを評価するために、図1(a)の左上に示したような平均半径 r_0 と半径のばらつき Δr を定義した。リングゲージをそのままに、 r_0 と Δr の繰り返し測定を行った結果を図1(c)と1(d)に示す。100回の撮像実験から半径 r_0 は約1 μm の繰り返しを得た。一方で、 Δr は約10 μm となっており、今までに開発してきたガラスパイプを使用した方法よりも1ケタ以上測定精度が向上した。しかしながら、図1(b)を詳しくみると、点群データに欠損部が生じている。これは、今回用いた半導体レーザーによるスペックルの影響であることがわかっている。スペックルの影響を回転拡散板などで打ち消すことができれば、さらなる高精度化が望めると期待している。

4. まとめ

本研究では、現在までに提案してきた光ファイバー・リングビーム光原を用いた細径内面形状計測用三次元プローブを各部品から再度設計しなおして、内面形状計測実験を行った。サンプルにはリングゲージを用いて性能を評価したところ、中心半径は $r = 1 \mu\text{m}$ の安定を示し、中心半径の周方向のばらつき $\Delta r = 10 \mu\text{m}$ が得られた。その一方で、光源に用いた半導体レーザーのスペックルの影響から点群データの欠損が確認された。この部分はスペックルフリー光源を用いるか、回転拡散板を用いてスペックルを抑制することができれば、さらに高精度な内面形状計測装置になると考えられる。

謝辞 本研究は、トヨタ自動車株式会社の支援を受けて研究開発が行われました。本研究を遂行するにあたり、トヨタ自動車株式会社の安藤 泰志 様、醍醐 速信 様、豊田通商株式会社の中川 寛尚 様には様々な協力をいただきましたので、ここに深く感謝申し上げます。

参考文献

- [1] T. Yoshizawa, M. Yamamoto, T. Wakayama, "Inner profile measurement of pipes and holes using a ring beam device," Proc. SPIE 6382, 63820D (2006).
- [2] T. Wakayama, K. Machi, T. Yoshizawa, "Small size probe for inner profile measurement of pipes using optical fiber ring beam device," Proc. SPIE 8563, 85630L (2013).

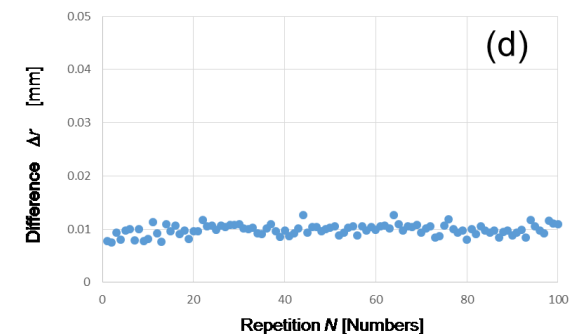
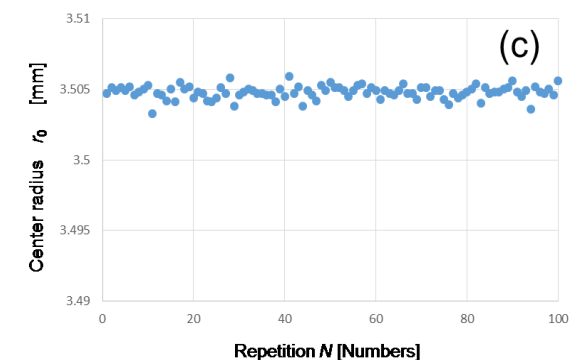
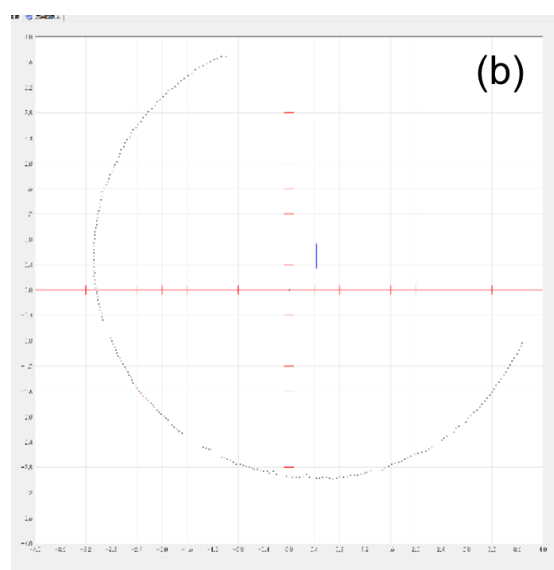
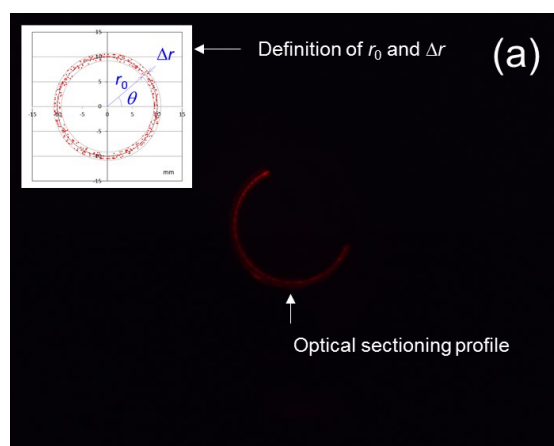


Fig.1 Evaluation results of inner profile measurement are shown such as (a) an optical sectioning profile, (b) measured data, (c) center radius r_0 , and (d) difference Δr , respectively.