

技術資料



Technical Paper

アームベーン内径測定装置の開発

森 大輔*¹, 渡邊裕之*¹, 佐藤 栄*²

Development of Automatic Inside Diameter Gauge for Arm Vane

Daisuke Mori, Hiroshi Watanabe, and Sakae Satoh

Synopsis

An automatic inside diameter gauge for arm vane has been developed. Arm vane is an important constituent part of a variable vane assembly that adjusts quantity of turbo-charger exhaust flowing. A hole is machined at the edge of the arm. It is necessary to manage the size of the hole strictly. In the gauge, two optical systems are used to measure the diameter of the hole from upper and lower sides. Diameter of a maximum inscribed and minimum circumscribed circle are calculated by an image processing to judge the quality of the hole. Part is inspected in 1.8 seconds with $\pm 5 \mu\text{m}$ of repetition accuracy. Result of a performance test was 100 % detection of defective parts with 5 % over detection of good parts. Details are described in this article.

1. 緒 言

自動車用として広く用いられているディーゼルエンジンは、1回の吸気から圧縮の過程においてより多くの酸素を取り込めば、より多くの燃料を吹き込んでトルクを増大させることができる。この特性を活用して排気量あたりのトルクを高める方向に進んでいる。ディーゼルエンジンの過給には排気のエネルギーで駆動するターボチャージャーや、エンジン出力を用いるスーパーチャージャーが用いられている。大同精密工業㈱では、可変ノズルターボチャージャーの可変翼を連結するための部品であるアームベーンを製造しているが、排気流量を調節する際に重要なパーツであるため、寸法公差は厳密に管理されている。

このアームベーンの穴はプレス機により加工されるが、稀に穴周りにゴミ・バリ・異物の付着や穴の変形によって、穴内径が狭くなる場合があり、加工穴に他の部品を組み付けることができない場合がある。寸法公差内であるかどうかの確認は、作業者がピンゲージを加工穴に通していた。しかし、数十万個生産されるアームベーンの内径を判定するにあたって、寸法公差外の製品の流出を防ぐ

ため、全数検査が必要であり、多大な検査時間を要していた。これらの理由から、今回アームベーン加工穴の内径を自動で高速・高精度に測定できる装置の開発を行った。

2. 開発目標

検査対象を、Fig.1に示す。測定する内径はFig.2のようにゴミ・バリ・異物の付着や穴の変形を含めた内径の値を測定するものとした。開発目標をTable 1に示す。1台の装置で1か月40万個の検査を達成するために、検査速度は1個あたり1.8秒を目標とした。また、検査精度



Fig.1. Dimension of Arm Vane.

2008年9月10日受付

* 1 大同特殊鋼㈱研究開発本部 (Daido Corporate Research & Development Center, Daido Steel Co., Ltd.)

* 2 大同精密工業㈱武蔵嵐山工場 (Musashiranzan Plant, Daido Precision Industries Co., Ltd.)

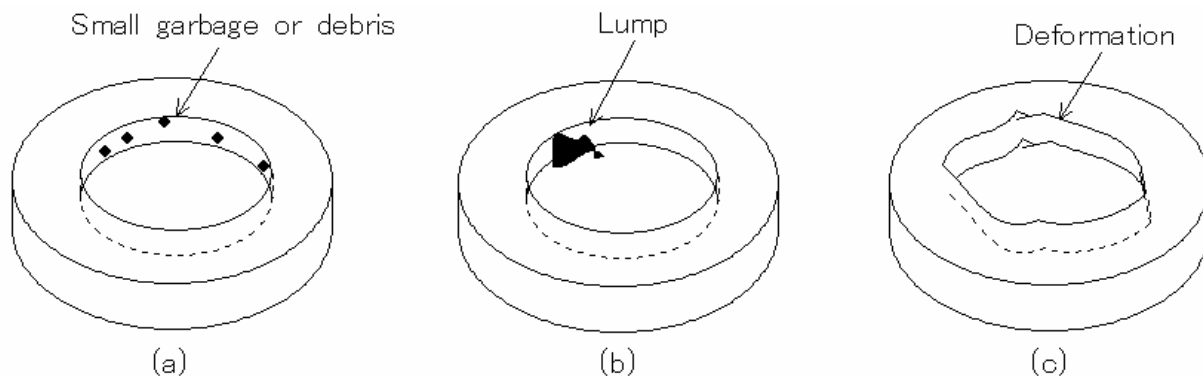


Fig.2. Sample of parts with imperfection; (a) Adhesion of small garbage or debris, (b) Adhesion of the lump, (c) Deformation of the circle.

は $\pm 20 \mu\text{m}$ の公差判定が可能であることとした。さらに、非接触で自動連続判定が可能であることとした。

3. 検査方式の選定

非接触で測定可能な方法の候補として画像処理とエアマイクロメーター²⁾を検討した。

まず、画像処理による内径測定の手法として、アームペーンの穴に下部から光を透過させて、上部 CCD(Charge Coupled Device) カメラ上に結像させる方式とした。そして、その取得した画像から二値化処理^{3), 4)}を施した後に内径エッジを検出した。この内径エッジはゴミ・バリ・

異物の付着や穴の変形を含んだエッジであり、Fig.3(a)に示すように、その内径エッジの近似円を演算処理によって求めた。これにより、開発目標であるゴミ・バリ・異物の付着や穴の変形を含めた内径値を測定することが可能である。

一方、エアマイクロメーター²⁾はヘッドと穴との隙間に空気を噴射して、その空気の流量から内径を測定する方法であり、噴射した空気は内径の一番広いところまで流れる。そのため、異物などが付着している場合、異物を含めた内径を測定することはできず、Fig.3(b)で示すアームペーンの内径で一番広い内径値しか測定すること

Table 1. Specification for the development.

Item	Specification	
Object	Product 1	Product 2
Length	18 mm	19 mm
Thickness	2 mm	5 mm
Materials	SUS310S	SUS310S
Inside diameter	$3.2 \pm 0.02 \text{ mm}$	$3.5 \pm 0.02 \text{ mm}$
Inspection time	$\leq 1.8 \text{ sec.}$	$\leq 1.8 \text{ sec.}$

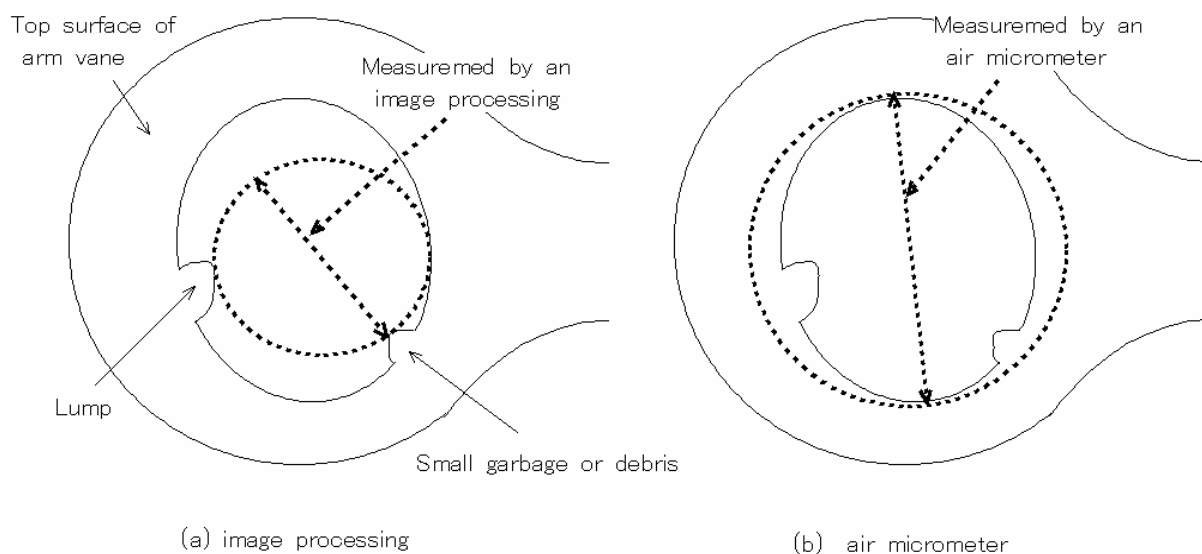


Fig.3. Comparison between image processing and air micrometer.

ができない。このことから、エアマイクロメーターは今回の仕様である、異物を含めた内径測定ができないため不適と判断した。

以上の検討により、画像処理による開発を進めることに決定した。

4. 画像処理方法

4. 1 光学系の構成

画像撮影方法の構成を Fig.4 に示す。撮像方法は、アームベーンの穴に下部から光を透過^{4),5)}させて、上部の CCD カメラ上に結像させる方式とした。CCD カメラにはアームベーンがわずかにずれたりしても像の形状が変わりにくく、被写界深度を深くすることができる物体側テレセントリックレンズ^{5),6)}を使用した。

しかし、Fig.5(a) に示すように異物がアームベーンの下面に近い位置に付着している場合、カメラの焦点をアームベーンの上面にすると、被写界深度を深くすることができるテレセントリックレンズであっても異物が映りにくく、異物を含めた内径測定ができない場合がある。こ

れは、アームベーンの厚みがテレセントリックレンズの被写界深度に比べて厚いことが原因である。その例として、Fig.5(a) のようにアームベーン上面からの撮影では異物が映らず、本当は異物があるにもかかわらず内径値は公差内となってしまう、見逃しが発生してしまう可能

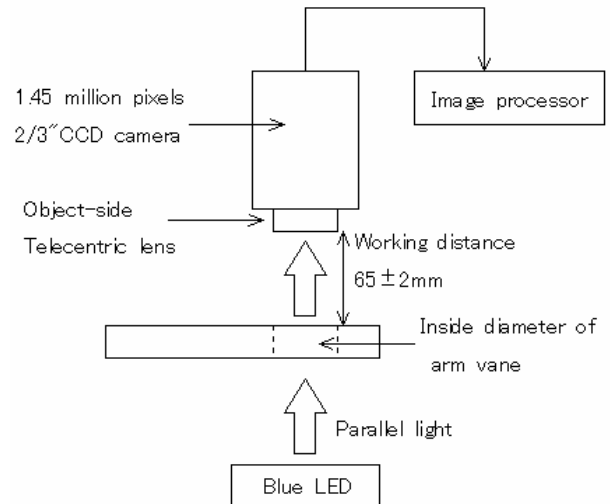


Fig.4. Schematic diagram of optical system.

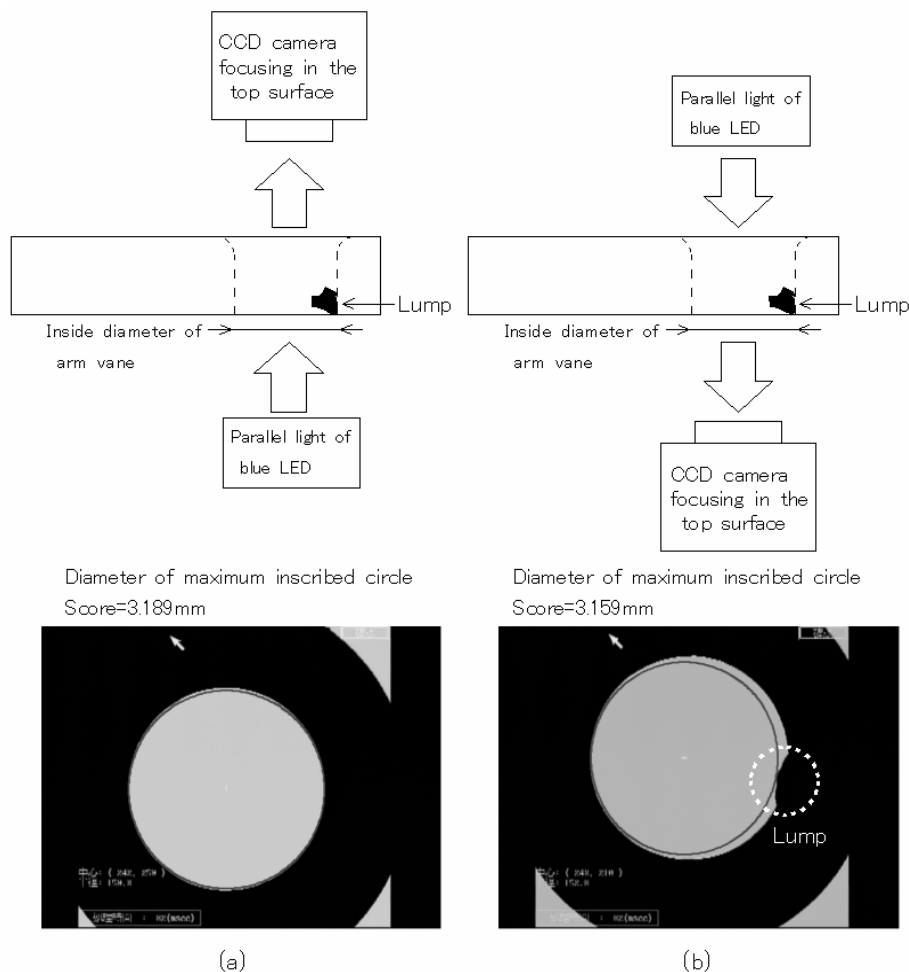


Fig.5. Lump adhere to bottom of arm vane; (a) measured from the top surface, (b) measured from the under surface.

性がある。このとき、Fig.5(b)のようにアームベーン下面からの撮像では、異物を検出しており、内径の測定値も異物を含め、正しく判定している。よって、アームベーンの上下面から画像を撮り、各々に判定することに決定した。

4. 2 光源の選定

アームベーンの穴はプレスによる加工であり、そのプレス加工面の上下によって、加工エッジの形状が異なる。Fig.6(a)のようにプレス面上は面がなめらかであるのに対して、Fig.6(b)のようにプレス面下は面がシャープである。そこで、加工エッジでの光の回り込みが小さくなると考えられる平行光源⁷⁾によるテストを実施した。比較のために、ピンゲージによる検査で良品となった20個のサンプルを用いて拡散光源と平行光源の内径値の違いを評価した。その結果をFig.7に示すが、アームベーンの上表面と下表面から測定した内径値の差は、拡散光源の場合

0.0384 mm、平行光源の場合 0.0175 mm であった。

平行光源にすることでプレス加工によって発生した穴の曲率に対しても、光の回り込みが小さくなると推定されることから、測定値のバラつきは小さくなる。よって、光源は平行光源を採用した。また、短い波長である青色のLED(Light Emitting Diode)を使用することで、外乱光の影響を小さくした。

4. 3 内径の算出方法

最大内接円直径はFig.3(a)に示すように、検出した内径のエッジの内側に作られる内接円のうち、最も大きい直径を持つ値である。そこで、今回は2種類の算出方法の違いによる精度の確認を行った。

算出方法1は、Fig.8(a)のように検出したエッジラインから中心点を検出し、エッジラインまでの最短距離を半径として、2倍することで最大内接円直径とする手法とした⁸⁾。この算出方法ではエッジラインを平均化した近

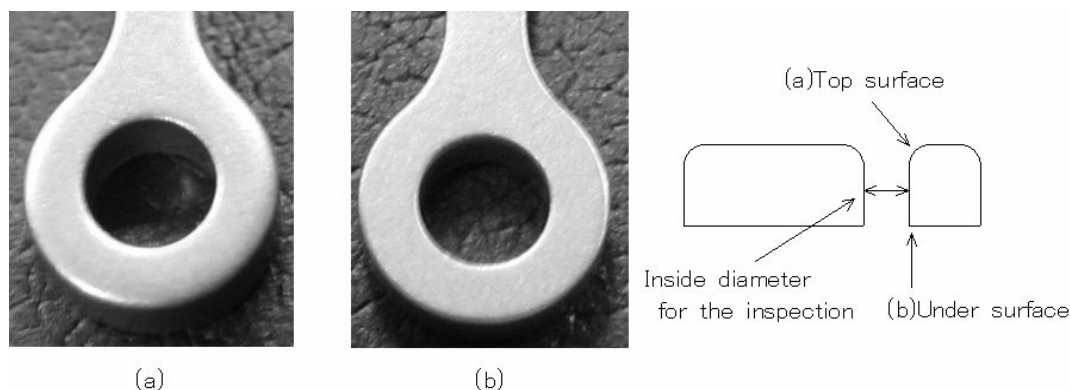


Fig.6. Difference of end face shape by press processing; (a) Top surface, (b) Under surface.

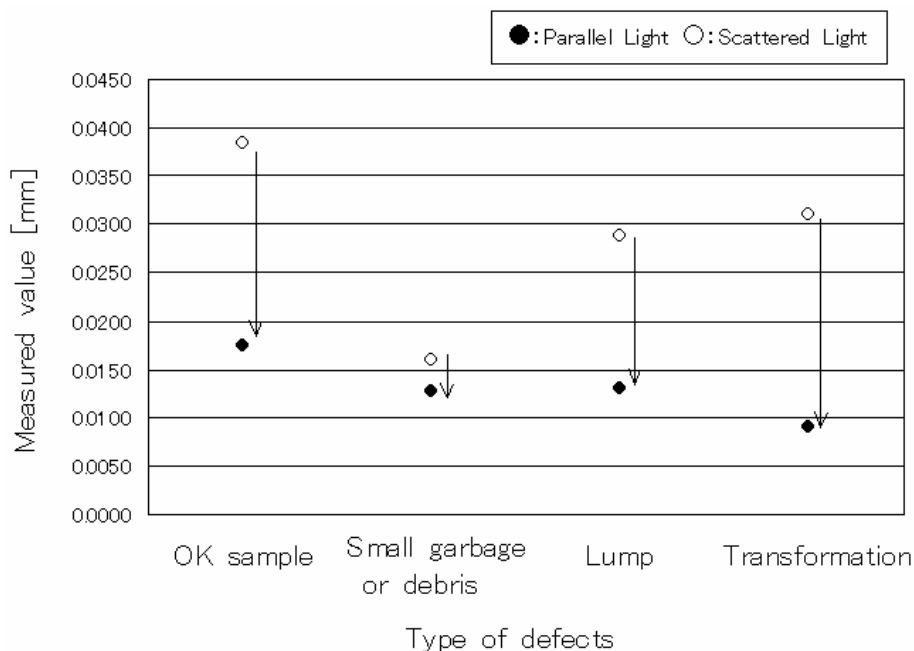


Fig.7. Difference of diameter value between measured from top surface and under surface.

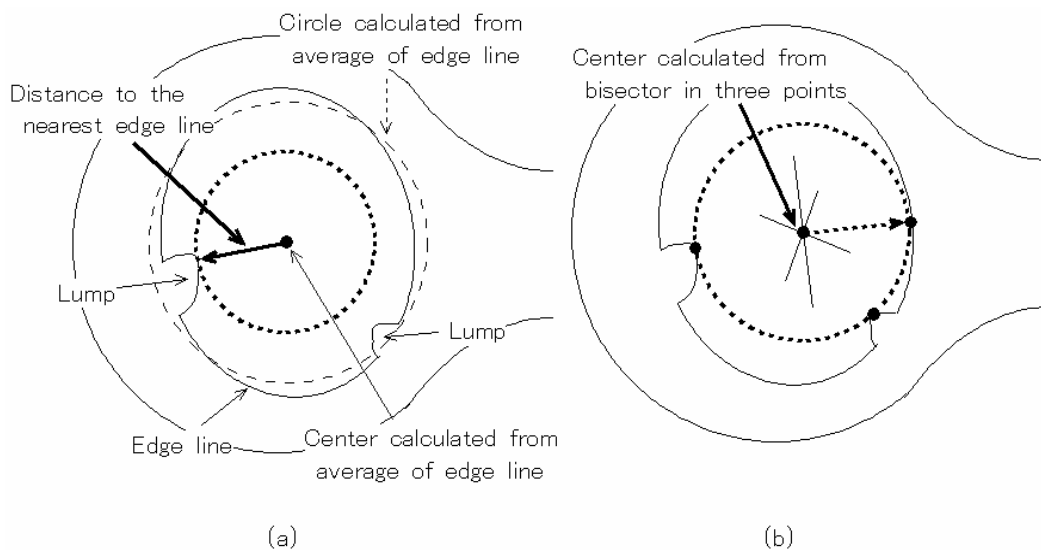


Fig.8. (a) Calculation of inside diameter 1, (b) Calculation of inside diameter 2.

似円中心からの最大内接円直径を求めており、ゴミ・バリ・異物の付着や穴の変形を含めた正確な最大内接円直径の算出はできない。

算出方法2は、Fig.8(b)のように、検出したエッジラインの中から3点を選び、その3点を結んだ辺の垂直二等分線の交点が3点を通る円の中心となる。その中心と3点までの距離が半径となる。エッジライン上の3点をさまざまなパターンで組み合わせて半径を算出し、かつ算出した円内にエッジラインを含まないものの中から最大となる半径を算出した。そして、その値を2倍することで最大内接円直径とした。この算出方法では、エッジライン内側の最大内接円とその直径を求めることが可能であり、ゴミ・バリ・異物の付着や穴の変形を含めた従来のピンゲージによる手動の検査方式の代替となる。

それぞれの最大内接円直径の算出方法で内径測定を行い、良品と各種不良品の測定値の差を比較した。その結果を Fig.9 に示す。算出方法2は、算出方法1に比べて、

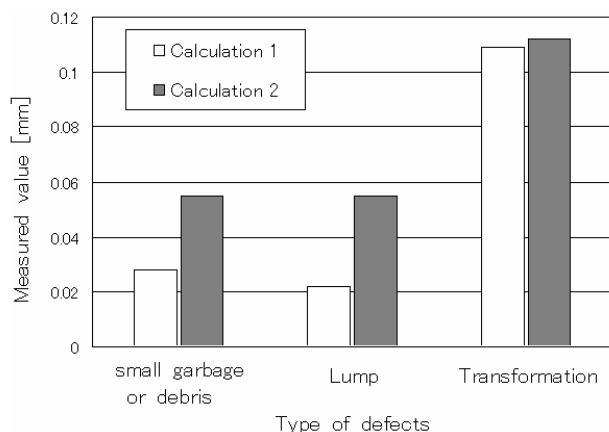


Fig.9. Calculation method dependence of measurement error.

穴ゴミ品で2倍、異物付着で2.5倍、変形品で1.03倍の良品と各種不良品の測定値の差あることがわかった。

よって、今回は算出方法2を用いて最大内接円直径を求めることとした。

4. 4 変形品の判定方法

最大内接円直径の判定のみでは、穴形状が変形していても値が公差内であれば良品と判定してしまう。この変形品を検出するために、最小外接円直径と最大内接円直径の差を求め内径の変形度も判定の基準とすることにした。ここでの最小外接円直径とは、Fig.10に示すように、検出したエッジラインの外側に接する円であり、かつ最小となる直径を示す。

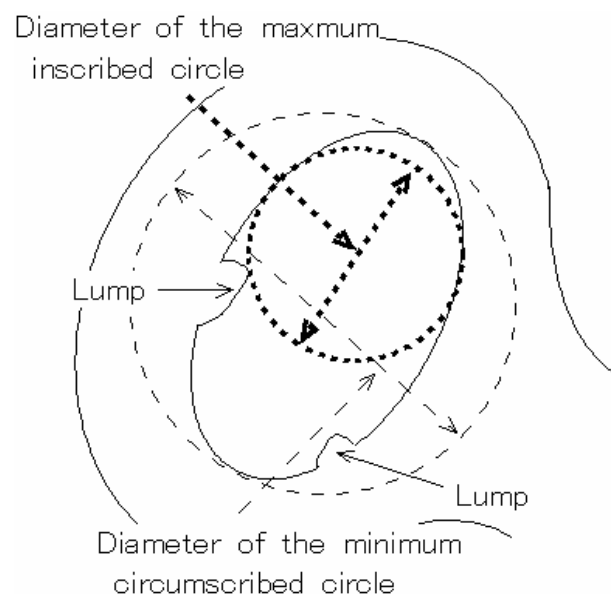


Fig.10. Explanation of deformation hole.

4. 5 選別性能

良品サンプル 20 個と不良品サンプル 27 個の判定テストを行った。不良品サンプルは、ゴミ・バリ・異物の付着や穴の変形したサンプルを使用した。Fig.11 はアームベーンの最大内接円直径による判定、Fig.12 は最小外接円と最大内接円の直径差による判定結果である。このいずれかがしきい値からはずれたものを不良品とする。サンプル上面からの測定値、下面からの測定値のいずれかが、最大内接円直径では 3.17 mm 以下、最小外接円と最大内接円の直径差では、0.07 mm 以上のものを不良品と

することで、良品と不良品のサンプルを 100 % 選別可能であることがわかった。

4. 6 繰返し再現性

繰返し再現性の確認結果を Fig.13 に示す。上面からの測定、下面からの測定のいずれにおいても、測定値は $\pm 5 \mu\text{m}$ 以内であることを確認した。また良品サンプル、不良品サンプルいずれも $\pm 5 \mu\text{m}$ 以内であった。

これらの結果から、今回の開発目標である寸法公差の判定を行うことが可能であることがわかった。

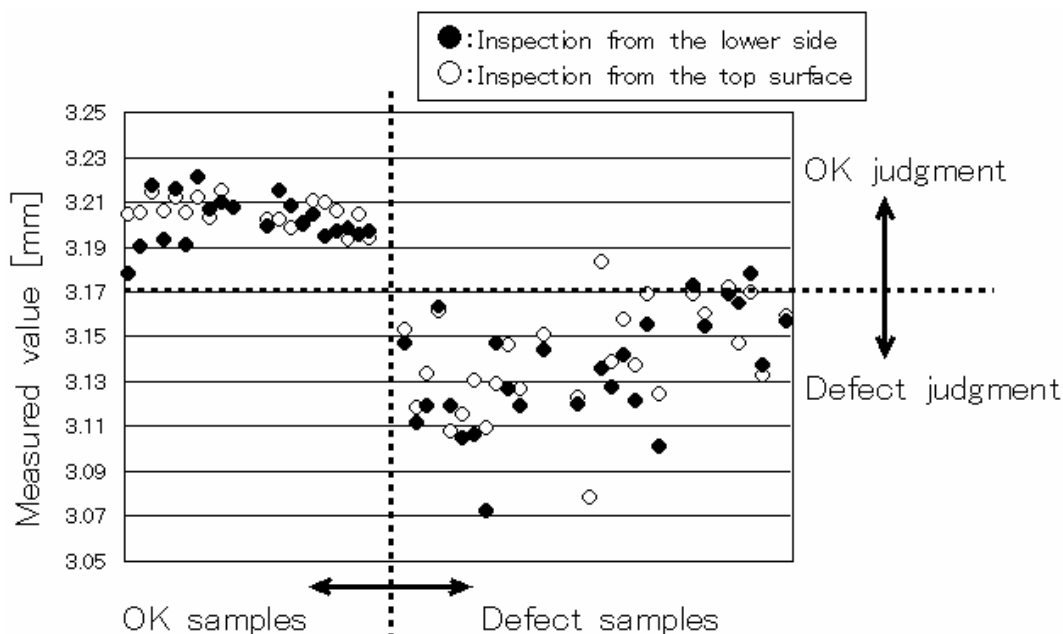


Fig.11. Judgment of maximum inscribed circle diameter.

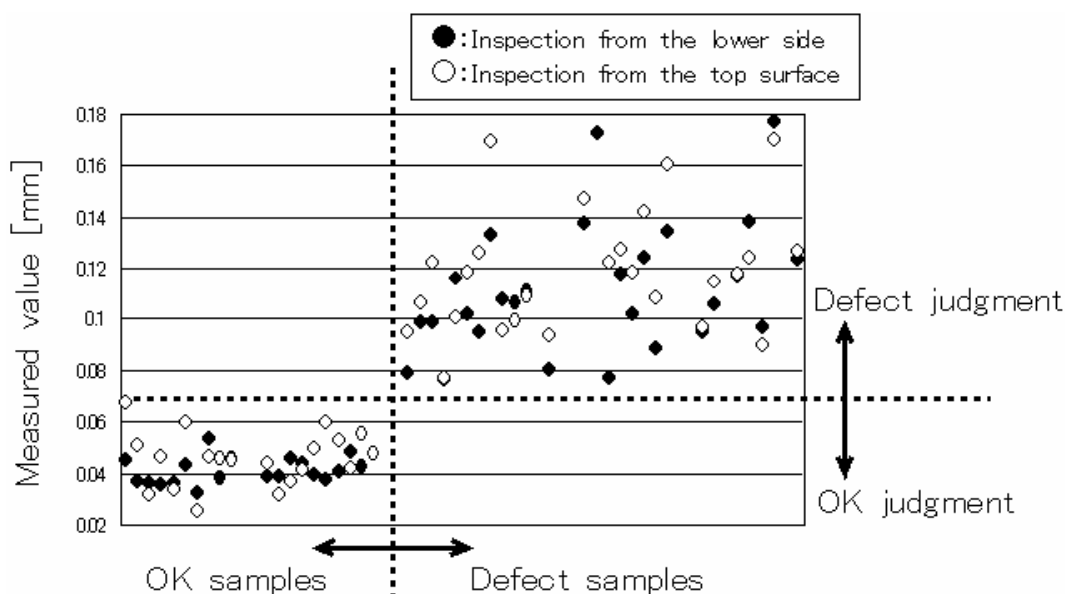


Fig.12. Judgment of minimum diameter and maximum diameter is subtracted.

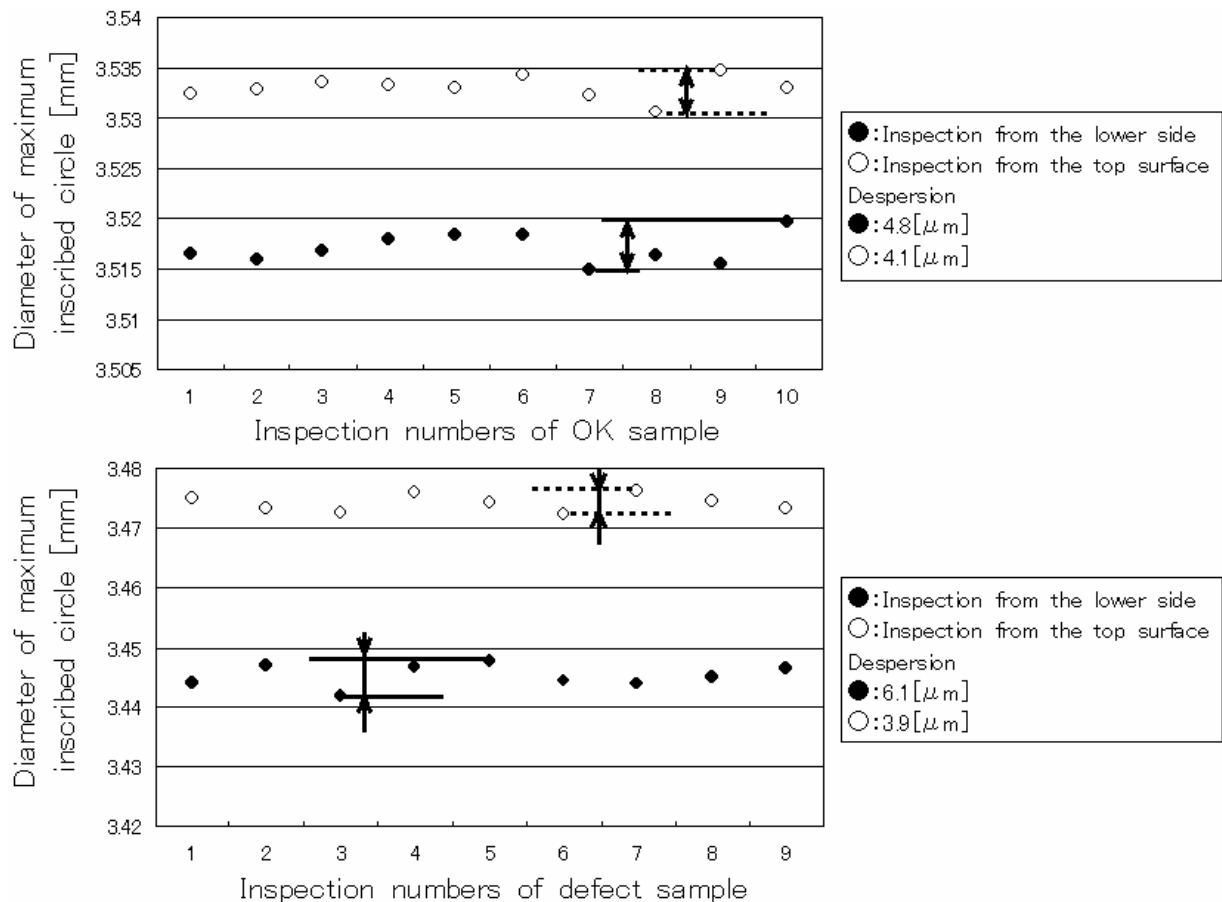


Fig.13. Repeatability of measurements.

5. 自動検査装置の製作と評価

5. 1 内径測定装置概要

これまで検討した、光学系、画像処理を用いて自動検査装置を製作した。装置全体の構成を Fig.14 に示す。アームベーンの送り機構は、ホッパー¹⁰⁾と呼ばれる自動供給装置により、アームベーンを供給して、自動で同一方向に倣わせるパーツフィーダ¹⁰⁾（米国のシントロン社で開発された電磁振動式部品自動整列供給装置）を採用した。検査部分は、下面からの測定と上面からの測定をそれぞれ行った。検査部分にはインデックステーブルを採用し、撮像時の停止時間や移動時間の最適化を図ることで、1.8秒ごとの検査時間を達成した。また、2種類の形状に対応するものとした。

その他に、エアパージを取り付けることで過検出の原因となる小さなゴミや埃を除去した。これにより過検出を低減した。

5. 2 動的テスト結果

流動テストとして、2時間で約4000個の検査が可能であることを確認し、目標値である1個1.8秒の検査速度を達成した。

また、判定テストとして、良品サンプル数百個の中に混ぜた不良品サンプル品50個を100%選別可能であることを確認した。さらに、過検出が目標値である5%以内であることを確認した。

6. 結 言

アームベーンの内径を自動で高速・高精度に測定できる装置を開発した。

本装置は、大同精密工業(株)にて適用され、数十万個の確性試験では、不良品の見逃しは0%、過検出は2.6%、検査速度1個あたり1.8秒を達成した。また、本装置は不良品流出のリスクを回避するとともに自動化による製造コスト低減にも貢献している。

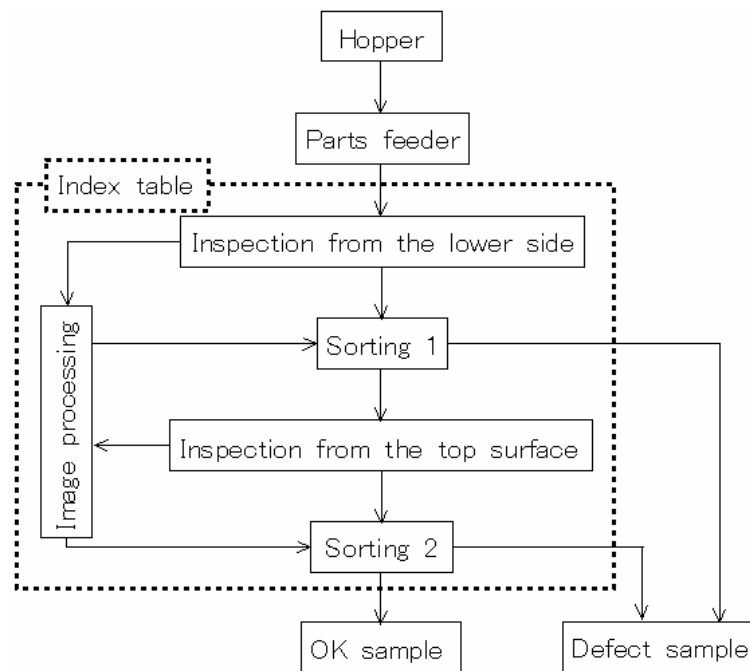


Fig.14. Block diagram of equipment.

(文 献)

- 1) 三栄書房：Motor Fan illustrated, 1 (2005), 52.
- 2) ㈱第一測範製作所：総合カタログ.
- 3) 内村圭一, 上瀧 剛：実践 画像処理入門, 2006.
- 4) 社団法人 日本電気制御機器工業会：画像処理システム用語 ハンドブック, 1998, 9.
- 5) ㈱ファースト：画像処理における光学系のお話, 1997, 5.
- 6) 竹内敬亮, 苗村健, 原島博：“テレセントリックレンズを用いた光線情報の取得”, 1999 信学総大, D-11-146 (1998).
- 7) FA ビジョン(㈱)：マシンビジョンの基礎知識 第10回 照明と撮像システムについて, 2003, 94.
- 8) ㈱キーエンス：高精度二次元寸法測定器 VM カタログ.
- 9) ㈱ファースト：Vision Library 基本ソフトウェア for WindowsNT/2000 ビジョン・ツール編 第8版, 2001, 122.
- 10) ㈱産機：カタログ.