

大阪大学 ○出島秀一, 大阪大学 高谷裕浩,
大阪大学 三好隆志, 富士重工(株) 前野嘉裕

要旨

自動車エンジンのカムシャフト表面に存在する欠陥を、確実かつ高速に検出することを目的として、光散乱を利用した検出システムの開発を行っている。カムに照射したラインレーザの反射光を CCD カメラで検出し、その画像を解析することで、欠陥の有無と大きさの定量的な評価が可能であることを示す。

1. 緒言

自動車は、我々の生活を豊かにしてくれるが、安全性や快適性も要求される。このため、高精度かつ高信頼性が重要な構成部品もある。特に、自動車の心臓部ともいえるエンジンにはそのような部品が多く、吸気・排気を制御するカムシャフトには形状精度はもとより、表面欠陥が無いことが要求される。カムシャフトにある欠陥は主に作業員が目視で検査されてきた。しかし、高度な熟練と長時間の視力集中を要するため、欠陥の見落としや誤検査、作業員の疲労などの問題点があった。

そこで、高速かつ確実な検査の実現を目指し、欠陥部での光散乱現象を利用した光学式検査システムの開発を行っている。本報では、カムシャフト表面の欠陥検出の基礎実験として、高速検出が可能なラインレーザを利用した光学系を設計し、欠陥の有無および、その大きさの評価ができることを確認した。

2. 原理

本研究で対象とする欠陥は、鑄巣が原因でカム表面にできる直径 0.1mm~1mm 程度のくぼみであり、光が反射しにくい性状となっている。一方で、カム表面は研削加工がなされており、表面粗さ R_a は 0.2 μ m 程度である。

欠陥検出原理を図 1 に示す。ラインレーザを試料(カム)表面に照射させ、その反射光がレンズを介してスクリーン上で観察される。レンズ焦点距離 f と試料位置 Z_1 、検出面位置 Z_2 の間には

$$z_1 \cdot z_2 = f^2 \quad (1)$$

の関係があり、スクリーン上では検出面を f/Z_1 倍して観察できる。

試料表面に欠陥がない場合は、ラインレーザがほぼ正反射しスクリーン上で一本のラインが観察される。一方、欠陥がある場合は、欠陥部で光が正反射せず散乱するため、観察されるラインに欠落が生じる。したがって、ラインの欠落部を検出することで、欠陥の有無を判別できることになる。

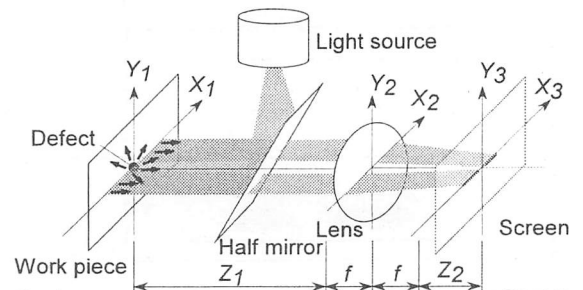


Fig.1 Principle of detection

3. 実験装置

実験装置の概略を図 2 に示す。本実験装置は、光源の半導体レーザ (LD, 波長 $\lambda=650$ nm, 10 mW), 試料台, ハーフミラー, レンズ ($f=60$ mm), CCD カメラが図の様に配置されている。カムシャフトは試料台に置かれ、Y 軸回りにのみ回転できるものとする。LD 光はカム表面でパターン長 40mm, パターン厚 0.2mm のラインレーザとなり、一度にカム 1 ラインを照射できる。カム表面で反射した光は、Z 方向へ進み、レンズを通り、CCD カメラに集光する。図に示すように本装置は結像系によってカム表面を検出していることになる。その倍率は 0.5 であり、CCD カメラ画素サイズを考慮すると、欠陥検出分解能は 22 μ m となる。

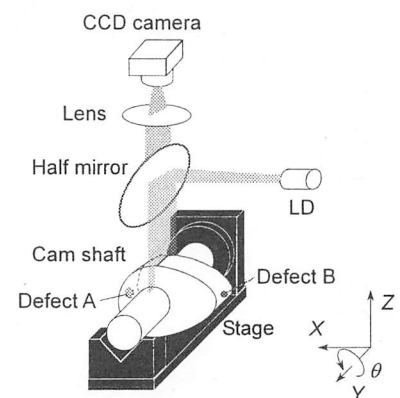


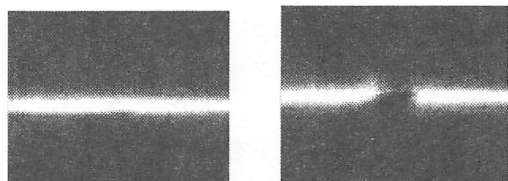
Fig.2 Schematic diagram of defects measurement system

CCD カメラの画像は専用ドライバを介し、PC に取り込まれて処理される。カム表面に欠陥があると、ラインレーザ光が欠陥部で散乱するため、欠陥部分の CCD カメラ画像出力が低くなる^{2,3)}。この出力差により欠陥判定を行う。検出画像は 2 値化し、ラインに欠落があれば欠陥があると判定する。また、欠陥の大きさにより、欠陥部の幅が変化するので、欠陥大きさの評価も可能であると考えられる。

4. 実験結果

4.1 欠陥検出

カム表面に存在する欠陥の検出可能性を確認した。図 3(a)に無欠陥部を、図 3(b)に欠陥部を検出した時の CCD カメラ画像を示す。欠陥がある場合、ラインに欠落が存在するため、取得画像から欠陥の有無を判別できることが確認できる。

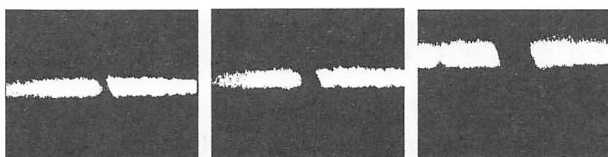


(a) Cam surface without defect (b) Cam surface with defect

Fig.3 CCD images

4.2 欠陥幅の定量評価

3つのカムにそれぞれ直径 $\phi 0.3, 0.5, 1.0$ mm の代表的な 3 種類の欠陥を作成し、取得画像から欠陥の幅を定量的に評価することを検討した。図 4 に各欠陥について取得画像を 2 値化した結果を示す。図 5 には、2 値化画像から計算された欠陥の幅を示す。実際の欠陥幅と計算で得られた欠陥の幅に良い一致が見られ、取得画像から欠陥の幅を求められる可能性があることが確認された。



(a) $\phi 0.3$ mm defect (b) $\phi 0.5$ mm defect (c) $\phi 1.0$ mm defect

Fig.4 Results of defect measurement

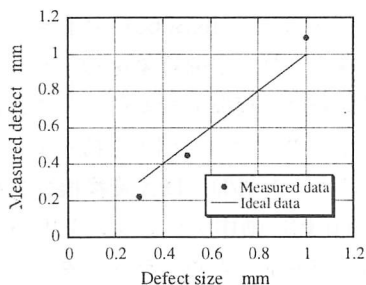


Fig.5 Measured defect size

4.3 欠陥大きさの定量評価

欠陥があるカムを Y 軸回りに θ 回転させていき、角度情報と検出された欠陥情報を組み合わせることで欠陥形状を求める。図 6 はカムを 1° 毎に回転させたときの CCD 画像である。カムの回転によりライン欠落の幅・位置が変化しており、角度情報 θ を併用することで欠陥形状を求められることが分かる。次に、カムを 20° 毎に回転させながら、欠陥幅を検出し、両者の情報を元に欠陥形状を求めた結果を図 7 に示す。このように、提案する手法で欠陥の大きさの定量評価が可能である。

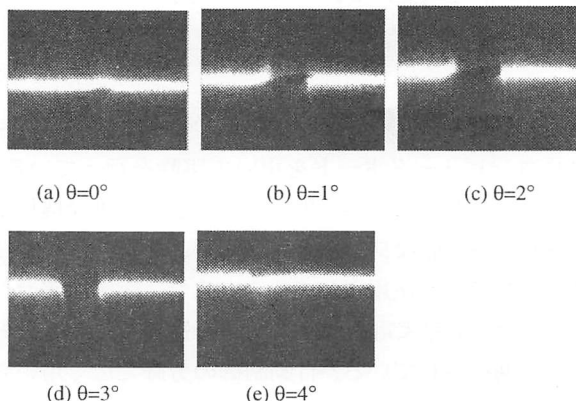


Fig.6 CCD images during cam rotation

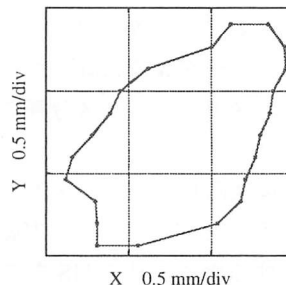


Fig.7 Profile of the defect

5. 結論

本報では、欠陥部の特性を考慮した検出方法を提案した。基礎特性を確認するための実験装置を構築し、検出の有効性を確認した。実験結果より、欠陥の有無だけでなく、その大きさの定量評価も可能であることを示した。

参考文献

- Francis A. Jenkins et al., Fundamentals of Optics, 4th edition, chapter 4, McGRAW-HILL, 2001.
- Takashi Miyoshi, et al., High Sensitivity Optical Detection of Oriented Microdefects on Silicon Wafer Surfaces Using Annular Illumination, *Annl. of CIRP*, 50, 1, (2001), 389-392.
- Mans Bjuggren, et al., Noncontact surface roughness measurement of engineering surfaces by total integrated infrared scattering, *Prec. Eng.*, 20, 1, (1997), 33-45.