

機関番号：13101

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2008～2010

課題番号：20360075

研究課題名（和文）トライボ要素の表面欠陥検出用広視野レーザ検査装置の基礎研究

研究課題名（英文）Study of wide-field laser inspection system for detecting surface defects of tribological elements

研究代表者

新田 勇 (NITTA ISAMI)

新潟大学・自然科学系・教授

研究者番号：30159082

研究成果の概要（和文）：広い視野を持つレーザ顕微鏡により円筒面の観察を行った。円筒面を回転させつつ、レーザを円筒面の母線方向に走査させることで、円筒面の全面を短時間で観察することができる。得られた観察画像は、円筒面の展開図になっているので、円筒面の任意の2点間の距離も簡単に測定することができる。円筒面の観察の例として、TiN被膜付きの直径10mmの4枚刃エンドミルを観察した。円筒面上の切れ刃はらせん形状に見えるが、展開図にしたところ切れ刃は直線であることが分かった。エンドミルの円筒面は、かなりの凹凸があるため、非常に観察しにくい表面である。しかし、本研究で開発したレーザ顕微鏡は深い焦点深度を持っているために、特に焦点位置を調整しなくてもエンドミルの全面を観察することができた。他にも多くの円筒面の観察を行った。

研究成果の概要（英文）：The cylindrical surfaces were observed with a laser microscope having a wide field of view. When the cylindrical specimens are rotated by a motor-driven rotary table, the focused laser light is scanned along a generatrix of the cylinder surface. Thus, the whole cylinder surface is easily observed even in the very short time. Since the obtained image is a developed view of the cylinder surface, it is easy to measure a distance between any two points on the cylindrical surface. As an example of the cylindrical surface, a TiN coated 4-edge end mill of 10 mm in diameter was observed. Each cutting edge appears to be a spiral on the cylindrical surface. However, we became aware of the cutting edge was a straight line when the cylindrical surface of the end mill was developed. The cylindrical surface of the end mill was very uneven. It is very difficult to focus on the cylindrical surface because of the very large distance between the high and low levels. However, this laser microscope has a deep depth-of-focus so the whole image of the end mill can be obtained at a time without additional adjustment of focus. Several types of cylindrical surfaces were observed.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	7,200,000	2,160,000	9,360,000
2009年度	4,300,000	1,290,000	5,590,000
2010年度	3,300,000	990,000	4,290,000
年度			
年度			
総計	14,800,000	4,440,000	19,240,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・設計工学，機械機能要素，トライボロジー

キーワード：トライボロジー，機械要素，表面欠陥検査

1. 研究開始当初の背景

一般に、円筒形状をした機械要素や工具は多数用いられている。円筒形状の例として、ブシュやベアリングのようなトライボ要素が挙げられる。トライボ要素とは種々の潤滑方法を適用することによって摩擦の低減を行う機械要素である。昨今の環境問題の背景を受け、厳しい接触・摩擦条件下に置かれることが多い。トライボ要素において、例えば摺動面の粗さや傷、摩耗痕などの存在は、要素間の油膜形成すなわち潤滑性能に大きな影響を及ぼす。そのため、その表面の状態を精度よく定量的に把握することは非常に重要である。また、機械部品の加工の観点からも、所望の円筒形状が正確に作製されているかを観察することは有用である。

一般的に、円筒形状のような曲面は、通常の光学顕微鏡での観察や測定が困難である。その理由は、曲面の一部のみにしか焦点を合わせることができず、円筒全体の観察を行おうとした場合、観察に時間がかかり過ぎるためである。また、顕微鏡の平面観察画像からでは、円筒表面上の距離を計測することはできない。故に、円筒形状の観察には、ライン走査によって観察を行う手法が用いられる。この手法では、円筒表面上の母線方向1ライン分の画像情報を取得する。回転ステージにより円筒を回転させながら、一定周期で1ラインの画像を取得し、それを積算することで円筒表面の観察画像を得る。画像の取得には、観察時間の短いエリアセンサや、観察分解能が比較的高いラインセンサが用いられる。しかし、これらの方法では画像の分解能がそれほど高くないのが問題となる。

2. 研究の目的

申請者はこれまでに、広視野レーザー顕微鏡について研究をしてきた。広視野レーザー顕微鏡の特徴は、前2者と比較して1ラインあたりの取得画素数が多いことである。このため、

母線方向に長い円筒の表面を効率よく観察することが可能である。また、広視野レーザー顕微鏡は、焦点深度が深いので（光軸方向に対して焦点の合う範囲が広い）、例えば歯車やエンドミルのように、凹凸の激しい円筒表面の観察にも使用することができる。さらに、広視野レーザー顕微鏡は極限まで絞られたレーザー光の反射強度しか使わないので、よりクリアな画像を取得することが可能となる。以上の理由から、広視野レーザー顕微鏡を用いることで、信頼性と汎用性の高い円筒面観察装置の開発が可能であると考えた。すなわち、本研究では広視野レーザー顕微鏡の特長を活かし、回転ステージを併用することで、円筒面全周を展開図のように観察できる装置を開発した。また、本装置を用いて実際に観察を行い、観察画像を用いた円筒表面の検査・評価法について検討した。

3. 研究の方法

本研究で使用した観察装置の概要を図1に示す。広視野レーザー顕微鏡は共焦点レーザー走査型顕微鏡の原理を利用している。半導体レーザー（波長 408 nm）から射出されたレーザーはコリメータレンズにより平行光束にされ、偏光ビームスプリッタと1/4波長板を通過する。その後レーザーは走査用平面ミラーによって偏向され、f0レンズによって観察物表面上に集光される。観察物表面で反射したレーザー

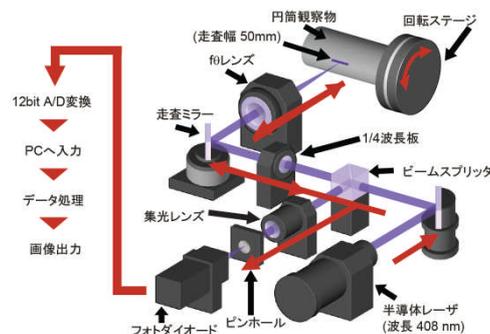


図1 広視野レーザー顕微鏡概略図

光は途中まで往路を戻り、ビームスプリッタによって受光素子方向へ進路を変えられ、集光レンズによってピンホールに集光される。ピンホールを抜けてきたレーザー光は、その光強度を受光素子によって電圧に変換され、ディスプレイ上に画像として出力される。観察にあたり、広視野レーザー顕微鏡のレーザー光を観察される円筒表面上に走査させる必要がある。ここでは、母線方向走査には空気動圧モータに固定した平面回転ミラーを、円周方向走査には自動回転ステージをそれぞれ用いた。円筒面上のレーザー光走査部の概要を図2に示す。これにより、取得画像における横方向は円筒母線方向、縦方向は円周方向となる。また、本研究では図3に示す構成により、円筒形状内面の観察を行った。広視野レーザー顕微鏡は視野が広く、焦点距離が長い。この特長を活かし、中空円筒の内側に光軸に対して45°の角度で平面ミラーを挿入することで、円筒形状の内面を観察する。ミラーはレーザー光の焦点位置手前に配置し、ミラーによって反射されたレーザー光が丁度円筒形状の内表面上に集光するように、ミラーの角度と

□ レーザ光を円周方向に走査

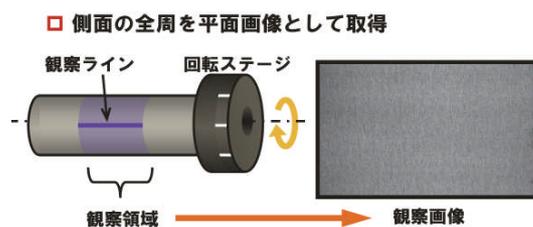


図2 広視野レーザー顕微鏡概略図

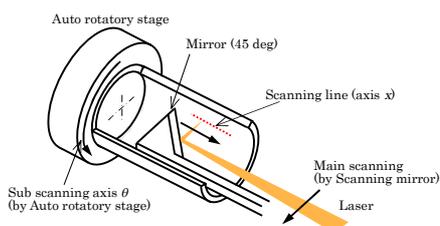


図3 円筒内面管観察時の構成

位置関係を調節する。この装置によって、これまで観察が困難であった円筒内面の観察を可能とした。

本装置を用いて、円筒形状のトライゴ要素や工具、機械部品を観察した。観察物を図4に示す。最も単純な円筒形状の観察例として、直径10 mmの高炭素クロム軸受鋼シャフト表面の観察画像を図5に示す。シャフト表面には無数の傷がついており、□で囲った領域を詳細に表示すると、小さな傷も確認することができた。詳細図においては、肉眼では観察できない微細な凹凸や傷も見られた。本観察装置により、このような円筒形状側面全体の細かな傷を一度の観察で検査することが可能である。広範囲を高速で詳細に観察できることから、例えば部品の全品検査に用いれば、効率の良い生産管理が可能となると推測される。

直径10 mmの使用済み4枚刃Gセンターカットエンドミル刃先の観察画像を図6に示す。エンドミルの刃先はねじと同じように、円筒の表面に直線を巻き付けた形状をしている。そのため、本装置による観察画像においても、4枚の刃はそれぞれ直線状に観察される。本装置では円筒の全周を観察するため、1回の観察で全ての刃先の状態を確認することが可能である。□で囲った領域を拡大すると、切削による刃先の摩耗の様子が確認できた。摩耗の状態や摩耗領域の大きさの定量評価が可能であることから、本装置は工具の消耗管理に適していると言える。また、本装置は走査レ

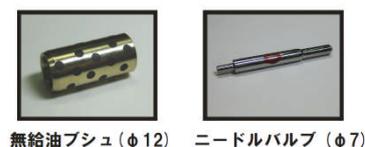


図4 各種円筒形状観察物

□ 高炭素クロム軸受鋼シャフト

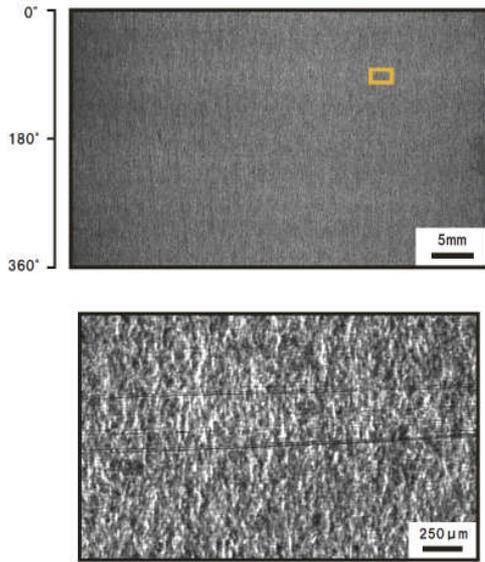


図5 SUJ シャフト観察例

一ザ光の焦点深度が深いため、刃先から溝の底面までを一度に観察することができる。このことから、本装置の使用例として歯車のかみ合い状態や消耗の具合の検査などが考えられる。

不等リード形状エンドミルとは、びびりの少ない安定した切削が可能なエンドミルである。隣り合う刃先同士のねじれ角を一定にしないことで、周期的なびびり振動を抑える作用を持つ。直径 10 mm の未使用の不等リード形状エンドミル

□ 4枚刃Gセンターカットエンドミル刃先

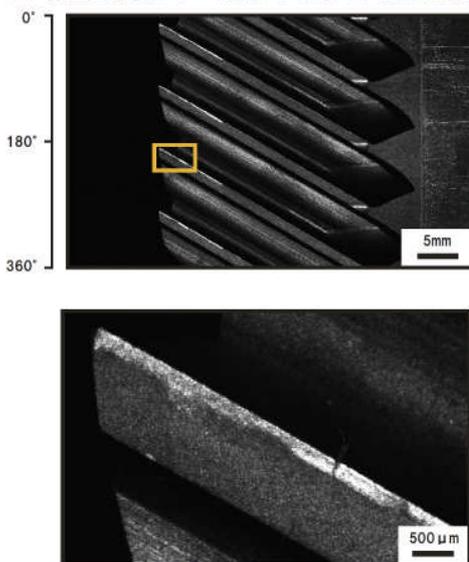


図6 エンドミル刃先

の観察画像を図7に示す。画像より、刃先に補助線を引いてみると、隣り合う刃先同士が平行でないことが確認された。画像から刃先を結ぶ直線を求め、2つのねじれ角を算出すると、それぞれ 35.23 deg, 38.21 deg であった。このエンドミルのねじれ角の製品仕様はそれぞれ 35 deg, 38 deg であり、測定値は設計値におおむね近い値をとった。このように、本手法による観察画像から、エンドミルのねじれ角、ねじのリード角のように、平面観察画像からでは算出しにくい設計値の確認を行うことができる。ただし、観察精度の誤差範囲を充分考慮して測定を行う必要がある。

無給油ブシュは黒鉛によって潤滑を行うトラ

□ 不等リードエンドミル刃先



図7 不等リード形状エンドミル

イが要素であり、ブシュ表面の穴には黒鉛が固着されている。外径 14 mm の無給油ブシュ表面の観察画像を図8に示す。画像上に補助線を引くと、黒く観察された黒鉛部の配置間隔が均等でないことが確認できる。この不均一さが意図されたものであれば、この観察画像を部品設計の最適化に役立てることができると考えられる。また加工誤差によるものであるとすれば、加工精度の測定や品質の管理に本手法を用いることができると考えられる。ただし、装置の性能による誤差を充分に考慮する必要がある。(A)部詳細図では、潤滑を行う黒鉛部分の表面が粗くなっている様子がわかる。また、全周にわたり金属部分には旋削痕が見られた。特に(B)部の表面においては、旋削痕に重なり弧のようなうねりも観察された。これは、旋盤で部品を加工する際に生じた工具のびび

りによるものであると推測される。このうねりのような面のわずかな傾きは、外部光源を用いる通常の観察装置では乱反射の影響で検出することが困難である。一方本装置では、外部光は検出せずにレーザ光の反射光の情報のみを取得する。そのため、少しでも面が傾いていれば反射光が受光されないため、画像上で明確な濃淡として捉えることが可能である。

円筒ころ軸受は、主に内輪、外輪、円筒ころの3種の部品から成るトライゴ要素である。円筒ころの転送面に傷や焼き付きなどの欠陥が存在すれば、その潤滑性能は損なわれる。そのため、転送面の観察が必要とされる。ここでは、本装置によって円筒ころ軸受の転送面の観察を行った。まず、円筒ころ軸受を分解し、内輪の転送面(外径 27.5 mm)を観察した。観察画像を図9に示す。転送面には、円周方向に研削痕が見られた。研削痕には母線方向へのうねりが生じており、これは研削加工時の工具の動きによるものであると推測される。先に述べた円筒内面観察によって取得した、円筒ころ軸受の外輪の転送面(内径 45.5 mm)の画像も同じく図9に示す。内輪転

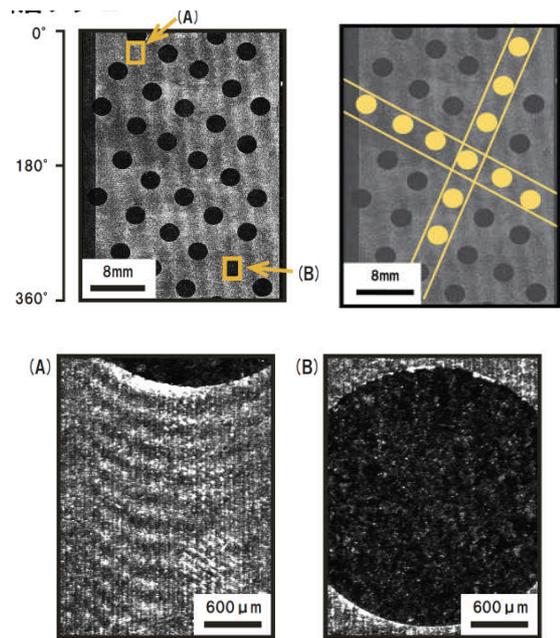


図8 無給油ブッシュ観察例

送面と同様に、円周方向への研削痕が確認された。内輪、外輪双方を観察することで、定量的な表面状態の比較や、傷の位置関係の把握が容易になると推測される。今回は未使用の軸受を観察したため、特徴的な傷はほとんど見られなかった。しかし本来軸受は、使用環境によって転送面への傷のつき方や摩耗

□ 円筒ころ軸受転送面 等倍

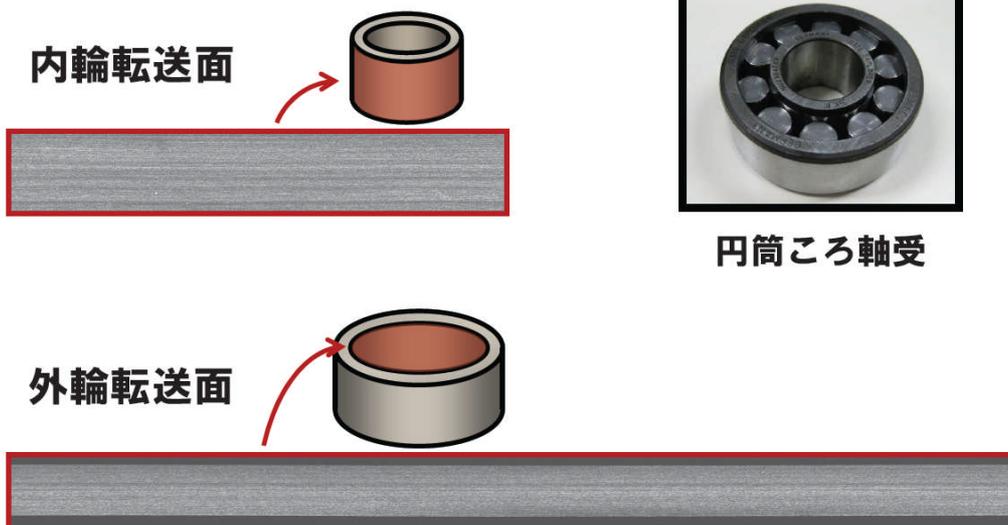


図9 円筒ころ軸受の内輪外輪転送面観察例

の形態が異なる。それらを比較することで、軸受使用環境の最適化への検討が可能である。

4. 研究成果

広視野レーザー顕微鏡を基礎とした円筒表面観察装置を開発した。また、装置を用いて実際に円筒形状観察物表面を観察した。その結果、以下の結言が得られた。

- (1) 広視野レーザー顕微鏡を用いることで、広範囲の円筒表面、円筒内面観察を可能とした。
- (2) 本装置を用いた多様な円筒形状表面の観察例を示し、本装置の特長を明確にした。

本装置は、円筒表面を高精細にしかも短時間で計測できる新しい装置として、今後の革新的な生産ラインである、ロール・ツー・ロール方式のロールの検査に適用されることが期待されている。

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)

- ① 新田勇, 江渕倫太郎, 宦海, Observation of Cylindrical Surfaces by Laser Microscopy with a Wide Field of View, Journal of JSEM, 査読有, Vol.10, Special Issue, 2010, pp.119-124

[学会発表] (計6件)

- ① 塚田剛士, 新田勇, 寺尾博年, 安田由季子, 広視野レーザー顕微鏡によるプリンタ用ローラのすべり測定, 精密工学会北陸信越支部学術講演会, 2010.11.06, 長岡
- ② 塚田剛士, 新田勇, 広視野レーザー顕微鏡を用いたピックアップローラのすべり観察, 日本トライボロジー学会トライボロジー会議 2010 春東京, 2010.05.19, 東京
- ③ 塚田剛士, 江渕倫太郎, 新田勇, 広視野レーザー顕微鏡によるゴムとガラスの接触面観察, 日本機械学会 第10回機素潤滑設計部門講演会, 2010.04.20, 新発田
- ④ 江渕倫太郎, 新田勇, 広視野レーザー顕微鏡による円筒表面評価, 日本機械学会

北陸信越支部第47期講演会, 2010.03.10, 新潟

- ⑤ 江渕倫太郎, 新田勇, 広視野レーザー顕微鏡を用いた円筒形状トライボ要素の表面観察, 日本機械学会第17回機械材料・材料加工技術講演会, 2009.11.07, 富山
- ⑥ 江渕倫太郎, 新田勇, 広視野レーザー顕微鏡による円筒表面の観察, トライボロジー学会トライボロジー会議 2009 春東京, 2009.05.18, 東京

[その他]

ホームページ等

<http://tribo.eng.niigata-u.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

新田 勇 (NITTA ISAMI)
新潟大学・自然科学系・教授
研究者番号: 30159082

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし