

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 20 日現在

機関番号：13101

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2013

課題番号：24656110

研究課題名(和文)球状インプラント材の3次元デジタル画像化の基礎研究

研究課題名(英文)Fundamental study of three-dimensional digital imaging of a spherical implant

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

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円、(間接経費) 930,000円

研究成果の概要(和文)：広視野レーザー顕微鏡を用いて、球面のデジタル画像化を実現する装置を開発している。本研究では、直径20mmの鋼球の全面の表面観察を行った。さらに、球形のシリコンゴム製人工心臓弁を観察した。表面には多数のマイクロポアが観察された。人工心臓弁は長年人体で使用されているので、表面画像以外にもその摩耗状態を調べなければならない。そこで、レーザー変位形で人工心臓弁の形状を計測した。この計測データを球面形状に反映させて表示したところ、摩耗状態と表面画像を関連させて認識することができた。

研究成果の概要(英文)：We are developing a measuring device to realize digital imaging of a whole sphere using a wide-field laser microscope. In this study, an entire surface of a steel ball with a diameter of 20mm was observed. Then, a silicone rubber prosthetic heart valve which is spherical was observed. A large number of micro pores existed on the surface. Because the heart valve was being used for many years in the human body, it is necessary to examine the state of wear on the surface other than the surface image. Thus, the shape of the artificial heart valve was measured with a laser displacement sensor. Based on the measured shape of the heart valve, it was possible to understand the state of wear in connection with the surface image.

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 球表面 欠陥検査 インプラント 非接触

1. 研究開始当初の背景

円筒や球などの転がり抵抗は低く、その理屈を応用して摩擦を減少させる機械要素として、円筒ころ軸受や玉軸受およびボールねじなどがある。著者らはこれまでに、通常の顕微鏡に比べて視野が数百倍広いレーザ顕微鏡を開発し、円筒面の観察などに応用してきた。円筒面や球面の観察においては、通常の観察装置を用いると一度に焦点が合う領域が狭い。そこで、多数の合焦点画像を撮影した後、ステッチング作業を行い、全体画像を合成しなければならない。このため、短時間に円筒面を観察することは難しい。

広視野レーザ顕微鏡は視野幅が広いので、レーザ走査方向を円筒面の母線方向に合わせることで、短時間でその全面観察を行うことを可能とした。円筒面観察では、円筒を回転させる回転軸は1つでよいが、球面観察では2つの回転軸を必要とする。そのため、円筒面よりも観察時間はかかるが、球面の全面観察も行えることを示した。球表面に打痕などが存在した場合、転がり要素の寿命は著しく低減するので、球面観察は重要であるがその観察方法はあまり開発されていないようである。本研究ではこれまでに開発してきた広視野レーザ顕微鏡を用いた球面観察方法を、球形人工心臓弁の観察に適用した。実際に40年程度人体で使用された球形人工心臓弁の観察を行い、表面形状を計測した。

2. 研究の目的

球形の機械要素の代表は、転がり軸受の転動体であるが、その他にも人工心臓弁や人工股関節などが球形の機械要素(インプラント)として使用され、血液の漏洩防止や関節の摩擦低減に大きく貢献している。これらのインプラントは複雑な3次元形状をとるので、表面全体を歪みなく画像化するのは特に難しい。これが、インプラントの機能改善を阻む大きな要因の一つとなっている。トライボロジー

的な解析では、表面画像を得るだけでは不十分であり、摩耗量を評価するためにその形状も正確に把握する必要がある。これまでは、ズーム顕微鏡や真円度測定機など別々の測定機を使用する必要があり、球面の測定は解像度と時間の点で不十分であった。本研究では、非接触で球表面の画像と形状を同時に測定できる方法を開発することにした。

3. 研究の方法

(1) 広視野レーザ顕微鏡の概要

図1に球面観察に使用した装置構成を示す。広視野レーザ顕微鏡は、共焦点走査レーザ光学系を有している。半導体から射出されたレーザ光は、コリメータレンズを通して平行光束となり、ビームスプリッタ(BS)と1/4波長板を通り走査ミラーに入射する。その後、レーザ光はfθレンズへと導かれ、集光しながら観察物表面へと照射される。反射レーザ光はもと来た経路を戻り、BSで経路を変え、ピンホールを通り受光素子へと入射する。入射レーザ光強度は電圧へと変換され、プログラム処理により画像化される。

すまなく球面上をレーザ走査する必要があるので、2つの回転ステージを用いた。レーザ走査の模式図を図2に示す。図に示すようなセッティングを行った後、緯度90°の位置から計測を開始した。広視野レーザ顕微鏡は視野が広いことが特徴であるが、球面を観察する場合は焦点の合う位置のみの計測と

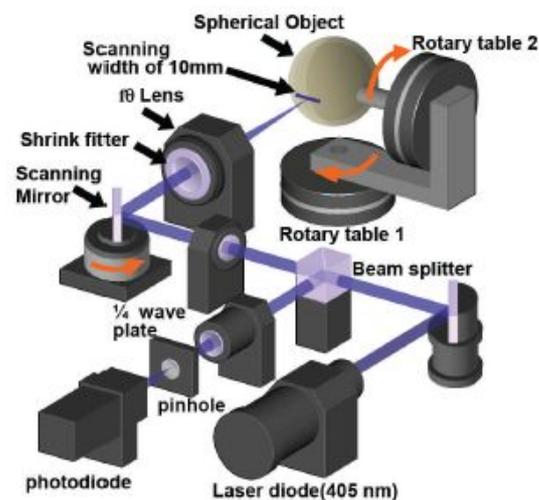


図1 広視野レーザ顕微鏡の概要

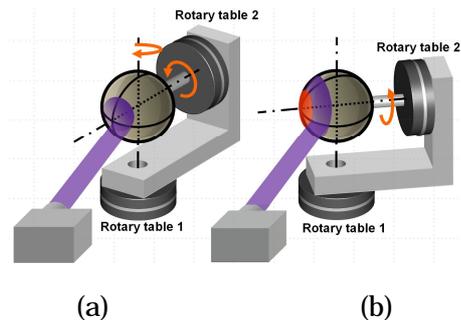


図2 計測手順, (a) 最初に球の北極点の観察を行う, (b) 次に回転テーブル1を規定量回転させた後計測を続ける。

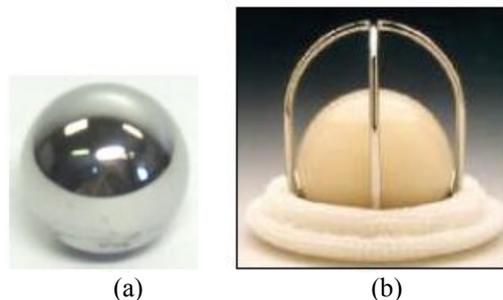


図3 観察用の球試験片, (a) 直径 20 mm の鋼球と(b) 球形の人工心臓弁

なるため、一度に観察できる範囲は狭くなる。緯度 90° の計測が終了したら、緯度をわずかに回転させ、次の低い緯度の位置を観察した。緯度 90° をカバーするために 22 回の上記観察を必要とした。このように半球の観察が終了したら、専用治具を用いて球を付け替えて残りの半球の測定を行った。

広視野レーザ顕微鏡での画像観察の後に、レーザ変位計で球面各点の寸法(半径)を測定した。これは、画像を 3 次元表示する際に球の寸法も考慮するためである。

## (2) 試験片

図 3 に観察用の球試験片を示す。図 3(a)は直径 20mm の鋼球である。球面の画像が正確に測定できるかを調べるために用いた。この図には示していないが、球の下側には回転ステージへ取り付けするためのジグが接着された球面全体を測定するために、球半分の測定が終わってから、球は別のジグに接着され直され、残りの球半分の測定された。図 3(b)は球型人工心臓弁である。

## (3) 観察結果

### (3)- 鋼球表面の観察

鋼球半分の観察結果を展開図として図 4 に示す。縦方向は経度を、横方向は緯度を表す。緯度 90° はいわゆる北極に対応して、0° は赤道に対応する。北極に対応するところは、縦方向にかなり引き延ばされていることになる。

図 5 は図 4 の赤枠部分すなわち錆の生じている部分を拡大した画像である。錆の微細なパターンが球面の広い範囲に及んでいることが確認できる。このような観察でも、視野が狭い従来観察装置で用いられている画像を継ぎ接ぎするステッチング技術は用いる必要がない。

図 6 は、図 5 の赤枠部分をさらに拡大した画像である。トランプのスペード模様似たパターンが認められる。広視野レーザ顕微鏡の解像度が約 2 $\mu$ m と高いので、細かな表面画像まで取得可能なことが分かる。

図 7 は、図 4 に示す球の観察画像を幾何学的球面に貼り付けたものである。このように、3 次元画像表示手法の DirectX などを利用して観察画像を球面に貼り付けると、球面の画像が見やすくなる(図 7)。球面上の傷などの位置関係も直感的に分かり易くなっている。この図では、図 4 の画像を幾何学的に完全な球にテクスチャマッピングしているのので、急を拡大表示することにより、図 6 の様な画像を表示することができる。この画像は、単に球面を画像をキャプチャしたという以上に、すべての画素の 3 次元座標が分かっているという点が特長である。すべての画素の 3 次元座標が既知であるので、球表面のキズなどのサイズや面積が正確に計算できる利点をもっている。

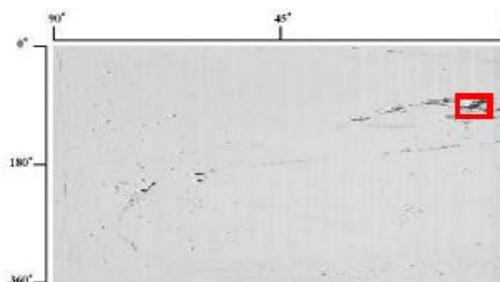


図 4 鋼球半分の観察画像，メルカルト図法により展開図としている。図の左側は北極点に対応し，右側は赤道に対応している。

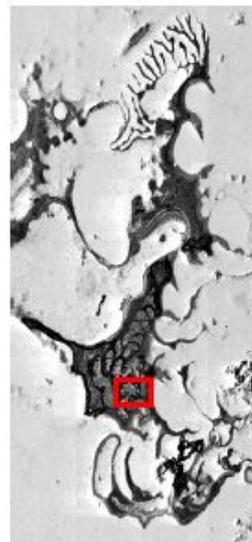


図 5 図 4 の赤枠の拡大図，さびパターン

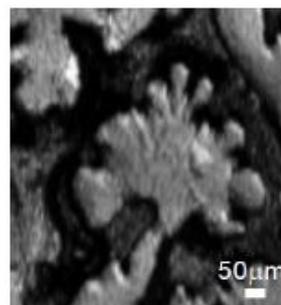


図 6 図 5 の赤枠の拡大図

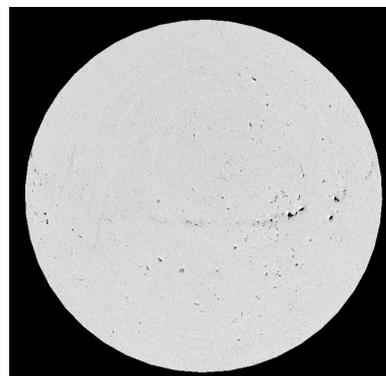


図 7 鋼球の全面観察像を球面に貼り付けて表示した例，キズの位置座標がピクセル単位で決まるために，欠陥の長さや面積など各種の計測が可能となる。

(3)- 球形人工安心臓弁

図 3(b)に示す人工心臓弁のシリコン球の表面を観察した。このシリコン球は、人体の中で 40 年間使用されたものである。

図 8 は既存のレーザ顕微鏡で球型人工心臓弁を観察した例である。横に 3 回、縦に 4 回の観察を行い、それらの画像を合成している。このような観察を行ったとしても表面積にして  $5\text{mm}^2$  で、全球表面の 2%しかカバーしていない。球面全体を計測するのが如何に大変か分かる。

図 9 は、広視野レーザ顕微鏡を用いて人工心臓弁を観察し、さらにメルカトル展開した図である。人工心臓弁の半球分の観察画像となる。図 10 は、図 8 の白□の領域を拡大したものである。ここまで拡大すると、球表面には非常に小さなマイクロポアが存在していることが分かる。

図 11 は、人工心臓弁の半球部分の図(図 9)ともう片方の半球部分を合成して、全球表示したものである。様々な角度から見た図を載せている。図 11(a)で示した球中央に見えるキズが図 11(b)や図 11(c)では上方に移動していることが分かる。このように、球を任意の角度に回転させて観察することにより、球全体の摩耗の様子をより深く理解することができる。

(3)- 球表面の実形状の把握

これまで行ってきた計測では、球表面の画像を幾何学的に完全な球面に貼り付けていた。しかし、人工心臓弁では長い間使用されたことにより、その表面は偏摩耗により完全な球面から形状が崩れてきていると考えられる。そこで、球表面の形状を計測するために、球を挟んで広視野レーザ顕微鏡と反対側にレーザ変位計を設置して、球表面の形状を計測した。

図 12 は、これまでと同じように幾何学的に完全な球に、図 9 のデータを貼り付けたものである。この画像からは、人工心臓弁の偏摩耗は読み取れない。これに対して、図 13 ではレーザ変位計で計測した量だけ、幾何学的に完全な球から形状をゆがめた画像貼り付けベースを準備した。形状計測値は 30 倍に拡大して示している。このゆがんだ球に図 9 の観察画像データを貼り付けた場合には、どの部分が偏摩耗しているかがよく分かるようになった。

4. 研究成果

広視野レーザ顕微鏡を球表面の観察に応用し、鋼球と人工心臓弁のシリコン球の観察を行った。広視野レーザ顕微鏡を用いることで、特別なステッチング技術を用いることなく球表面をメルカトル展開図にすることができた。観察された球表面のすべての画素の 3

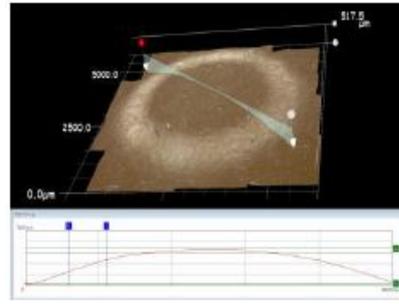


図 8 市販のレーザ顕微鏡による人工心臓弁の観察、およそ 12 回の観察画像のつなぎ合わせ

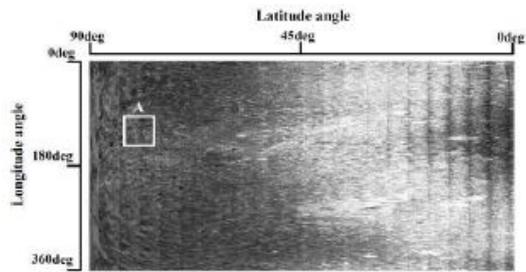


図 9 人工心臓球形弁のメルカトル展開図

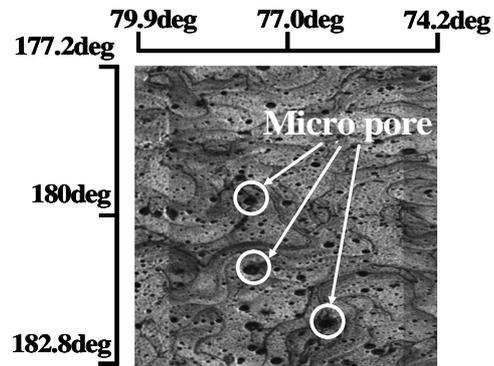


図 10 図 9 の白 □ の拡大図

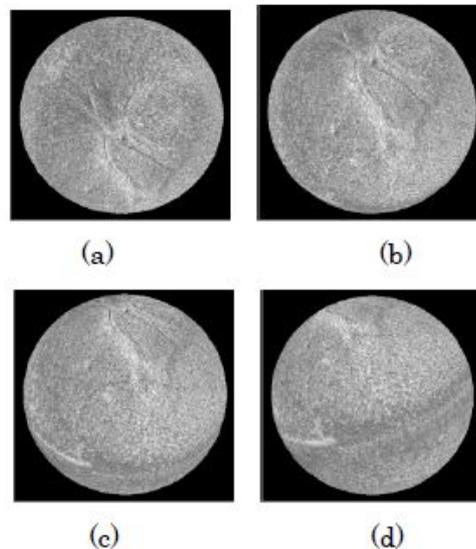


図 11 人工心臓弁を様々な角度から見た図

次元座標は分かっているので球表面のキズの大きさや面積が正確に計算できる点が特長である。

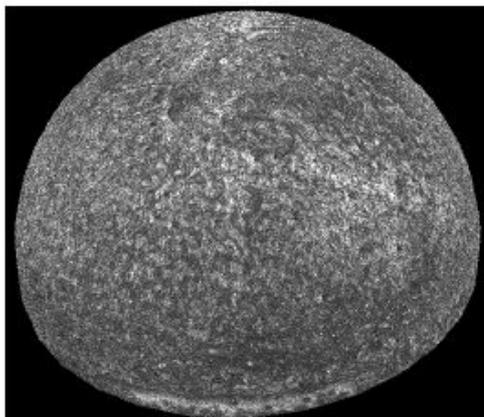


図 12 人工心臓弁の半球画像，幾何学的に完全な球に観察画像を貼り付けている。

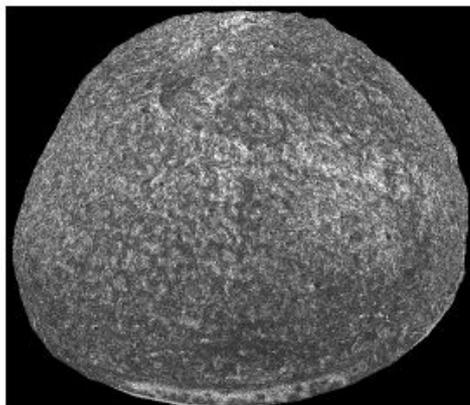


図 13 人工心臓弁の半球画像，レーザー変位形で形状までも計測した後観察画像を貼り付けている。計測形状は 30 倍に拡大している。

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)

〔学会発表〕(計 3 件)

1．Isami Nitta, Yosuke Tsukiyama, Takuya Watanabe, Naoyuki Fukushima, Observation of Spherical Surfaces using a Laser Microscope with Wide Field of View, 第 5 回世界トライボロジ学会 World Tribology Congress 2013(トリノ, イタリア) 講演番号 64, 2013 年 9 月 12 日発表.

2．Isami Nitta, Yosuke Tsukiyama, Naoyuki Fukushima, Takuya Watanabe, Observation of Spherical Heart-Valve Prosthesis using a Laser Microscope with Wide Field of View ICMdT2013 (The 5th International Conference on Manufacturing, Machine Design and Tribology (釜山, 韓国) p.64, 2013 年 5 月 23 日発表.

3．渡辺拓也, 新田勇, 月山陽介, 広視野レーザー顕微鏡を用いた球型人工心臓弁の観察, 日本トライボロジ学会 トライボロジ学会議予稿集(東京) p.231-232, 2012 年 5 月 14 日発表.

〔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