

機関番号：32409

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2008～2010

課題番号：20500398

研究課題名(和文) 高機能3次元内視鏡システムの開発

研究課題名(英文) Development of a 3D endoscope system with higher function

研究代表者

吉澤 徹 (YOSHIZAWA TORU)

埼玉医科大学・保健医療学部・客員教授

研究者番号：80020387

研究成果の概要(和文)：

リングビーム素子と CCD カメラを組み込んだ三次元内視鏡を開発した。リングビーム素子に利用される超精密加工した円錐ミラーの先端形状を評価することによって、高品位な光セクション面を生成した。また、光セクション面の解析手法もサブピクセル処理を取り込むことで、画素間に埋もれた情報を取り出すことに成功した。この結果、 $10\mu\text{m}$ の分解能をもつ測定法を達成した。また、リングビームの幾何学的変化に注目し、三次元内視鏡の軸調整法を明らかにした。ソフトウェアに関しては、三次元表示のみならず、展開図表示や光強度分布表示を取り入れることで、キズ検査や欠陥検査をも達成した。半導体レーザから出力光が楕円形状になる問題点を解決するために、リングビーム素子に回転部を導入することで高精度計測を達成することもできた。

研究成果の概要(英文)：

A 3D endoscope incorporating a ring beam device and a CCD camera has been developed. By evaluating the top of the conical mirror utilized in the ring beam device, optical sectioned plane with high quality can be generated. It was successful to pick out the information hidden between pixels using a sub-pixel processing. As a result, the resolution of this measurement was attained to $10\mu\text{m}$. It has been made clear an axial-adjustment method of the 3D endoscope by making attention with geometric variation of the ring beam. Regarding the soft ware, it was realized to inspect the flaw detection using a 3D view, a developed figure and an intensity distribution. To achieve high accuracy measurement, the 3D endoscope has introduced the rotating mechanics in the ring beam device.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,800,000	540,000	2,340,000
2009年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2010年度	800,000	240,000	1,040,000
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：医用生体工学，知能機械工学

科研費の分科・細目：人間医工学・医用生体工学・生体材料学

キーワード：三次元内視鏡，内面形状計測，リングビーム素子，ディスクビーム

1. 研究開始当初の背景

光三次元計測法は、自動車産業を中心にして、航空宇宙、文化芸術、アミューズメントそして医療に至るまで幅広い分野で利用されている。しかしながら、その多くは光を使って外面の物体形状をとらえるものであり、パイプや配管等の内面形状をとらえる手法は外

面形状計測法に比べてほとんど提案されていなかった。しかしながら、内面形状を測定したいという要求は多くの現場で見受けられる。例えば、自動車や航空宇宙産業ではパイプや配管は必要不可欠なものである。近年の科学技術の発展に伴ってその形状は複雑化している。一方で、医療応用を考えてみる

と、多くの内視鏡システムは画像で内面の状態をとらえるにとどまり、内面の形状を計測するには至っていない。内視鏡診断を行う上では、医師の経験に頼るところが大きいことになる。このような背景から定量的な内面の三次元形状測定法が望まれている。実際に保健医療学分野では外耳道の内面形状測定の要求が生じている。聴覚に支障がある患者は補聴器をつけることになるが、外耳道の形状は患者一人ひとりで大きく異なっている。大量生産された補聴器よりも個人個人に対応したオーダーメイド補聴器が近年注目されているが、オーダーメイド補聴器で 사용되는外耳道の型はシリコンを外耳道に流し込んで作製されている。この際、耳に違和感を与えるだけでなく、型を作製する際にシリコンの凝縮が起こることから、得られた型は実際の外耳道の形状よりも少し小さくなっていることが問題となっている。このような問題点を解決するためにも、内面の非接触三次元測定は必要不可欠といえる。

2. 研究の目的

高度な光学原理に基づいて精密部品やデバイスによって作製された内視鏡や腹腔鏡は胃癌や大腸癌などの早期発見に使用される検査法であり、医学に必要不可欠な技術である。しかしながら、従来の手法では診察者の綿密で的確な観察力が必要とされ、癌の発見は診察者の手腕に頼るところが大きい。このような背景から、取り扱いが容易な3次元内視鏡の開発とともにそれらのソフトウェアの開発を行うことで内視鏡システムの構築を目指す。

3. 研究の方法

高機能三次元内視鏡システムの研究開発に当たり、下記の(1)~(5)を中心にハードウェアならびにソフトウェアの開発を行った。

- (1) コーンミラーの選定とフィードバック
- (2) サブピクセル処理
- (3) リングビームの幾何学的考察
- (4) 展開図表示による欠陥検出検査
- (5) 回転型リングビーム素子によるノイズ成分の低減

4. 研究成果

Fig.1 に三次元内視鏡の概略図を示す。三次元内視鏡はリングビーム素子と小型 CCD カメラで構成されている。リングビーム素子は円錐状のミラーと半導体レーザーで構成されている。半導体レーザーから出力されるビームはポイント状のビームになっている。これが円錐ミラーの頂点にあるとディスク状のビームを形成する。ディスク状のビームが管内部の壁にあたり散乱する。この散乱光を CCD カメラで検出する。三角測量の原理に

基いて解析すると、内面形状を計測できる。この際、コーンミラーの先端形状によって出力されるディスクビームのシャープネスとコントラストが異なることを明らかにした。

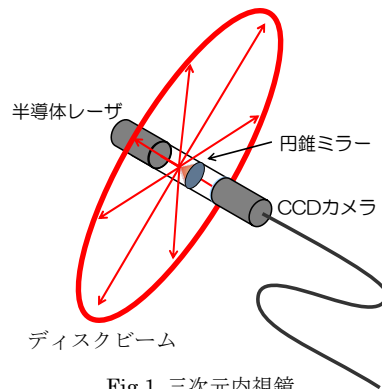
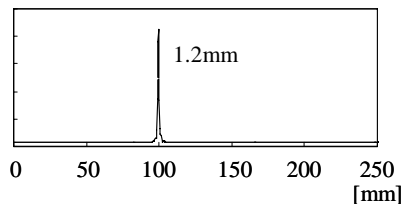
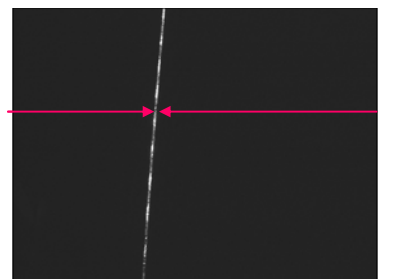
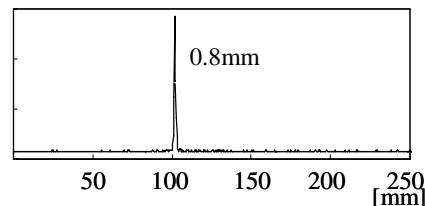
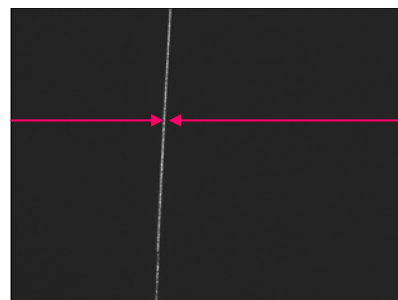


Fig.1 三次元内視鏡



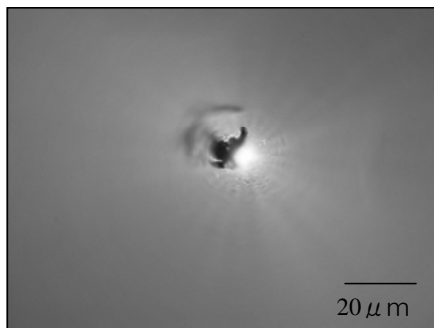
(a) ガラス (アルミ蒸着)



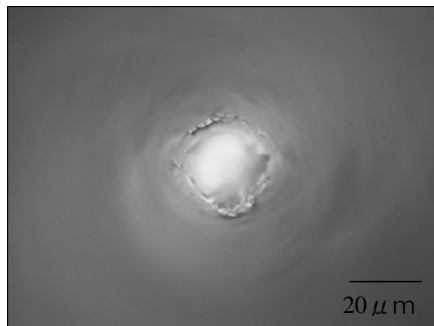
(b) アルミ (保護膜)

Fig.2 リングビームの状態

Fig.2 にスクリーンに投影されたディスクビームの光セクション面を示す。Fig.2(a) はガラス製の円錐ミラー表面にアルミ蒸着が施されている。これに対して、Fig.2(b)はアルミ単体で形成されている。Fig.2(a)をみると、光セクション面に干渉縞が発生していることがわかる。これに対して、Fig.2(b)はシャープでコントラストの高い光セクション面が形成されていることがわかる。この他にセラミックス製でかつアルミ蒸着が施された円錐ミラーの評価も行ったが、光セクション面のコントラストとシャープネスはアルミ単体に比べると劣る結果となった。次にそれぞれの円錐ミラーの頂点付近を100倍の光学顕微鏡で観察した結果を Fig.3 に示す。



(a) ガラス (アルミ蒸着)

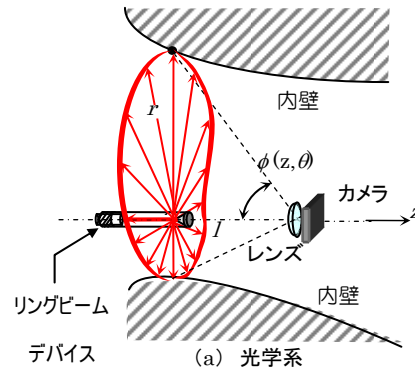


(b) アルミ (保護膜)

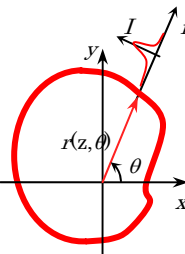
Fig.3 光学顕微鏡像 (100倍)

Fig.3(a)に示されたガラスにアルミ蒸着された円錐ミラーの先端部を見ると、先端部のアルミ蒸着面が剥がれている。この部分に光があたり、回折を起したため、干渉縞が光セクション面に生じたと考えられる。これに対して、Fig.3(b)に示したようにアルミ単体では先端までアルミがあるため、上記のような回折が起こらず、シャープでコントラストの高い光セクション面が得られた。同様にして観察したセラミックス製の円錐ミラー

も先端部分にはアルミ蒸着が施せなかったことから光セクション面のシャープネスとコントラストはアルミ単体のそれには届かなかったと結論付けられる。このような評価を十分に行うことで計測に適したディスクビームの生成に成功した。



デバイス



(b) 撮像される光セクション面

Fig.4 内面形状測定法の原理

Fig.4 に内面形状測定法の原理図を示す。半導体レーザーと円錐ミラーで構成されたリングビームデバイスによって照射されたビームはディスク状に広がり、測定対象の内壁を図のように照らす。これによって内面形状を示す光セクション面が形成される。カメラによって光セクション面が撮像される。図4(b)はカメラによって撮像される光セクション面である。リングビーム素子とカメラをz方向に動かしながらこのような画像を取得し、解析することによって物体内面の3次元形状を非接触で測定することができる。図4(b)で得られる光セクション面の光強度分布を考える。光セクションされた部分の光強度は図4(b)のr-Iのグラフで示されたように半径rに対して光強度Iはガウス分布を描く。このガウス関数を最小二乗法によってフィッティングすれば、画素間に失われた情報 r_0 を引き出すことができ、サブピクセルでの測定が可能になる。

Fig.5 に開発した三次元内視鏡を示す。φ10mm×80mmの小型三次元内視鏡である。波長650nmの赤色半導体レーザーの出力は1mWである。カメラの画素数は640×480であり、有効視野は58mm×43mmとなっている。Fig.6 に開発した三次元内視鏡を用いて分解

能評価をした結果を示す。測定試料にはミツトヨ社製のリングゲージφ25mmを用いた。このリングゲージをマイクロメータ付きのステージに取り付けて、分解能の調査を行った。結果を Fig.6 に示す。マイクロメータを10μm ずつ送りながらリングゲージの光セクション面での1点の変化を追跡すると、図のように直線的に変化した。この結果から30μm/50mm (50mmの領域を30μmで測定できる)程度の分解能があることがわかった。サブピクセル処理を施さないと、100μmの分解能であることを考えると、分解能が1/3程度になることを明らかにした。さらに分解能を向上させるためにはS/Nの高いCCDカメラを適用すればよい。実際に、S/Nの高いカメラで測定した結果、分解能は10μm/100mm (100mmの領域を10μmで測定できる)に向上した。以上の基礎実験の結果から、エンジンシリンダのような超精密加工されたエンジンシリンダの加工などにも対応することが可能となった。



Fig.5 開発した3次元内視鏡

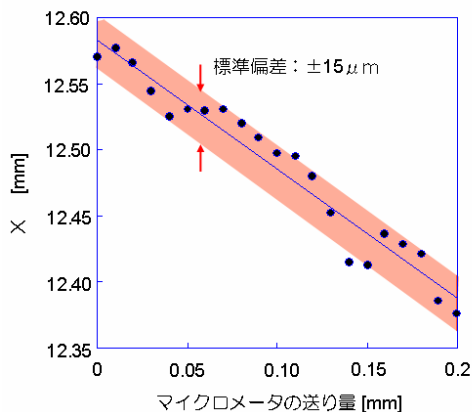


Fig.6 分解能評価の結果

リングゲージを用いて内面計測を行ったところ、Fig.7に示すような測定結果が得られた。φ25mmのリングゲージの半径は $r=12.51 \pm 0.06\text{mm}$ となった。ここで、半径の平均値が $r_0=12.51\text{mm}$ でそのバラつき(標準偏差)が $\Delta r=\pm 0.06$ となった。

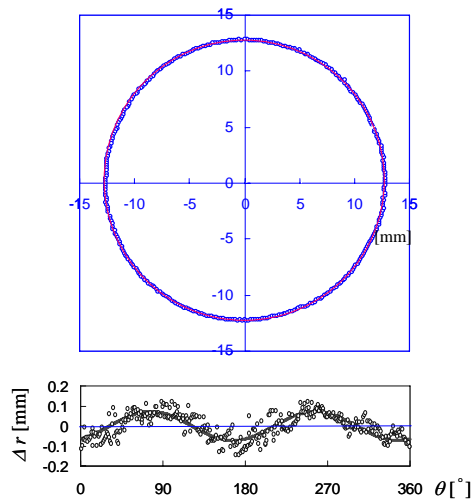
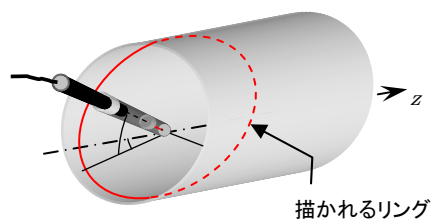
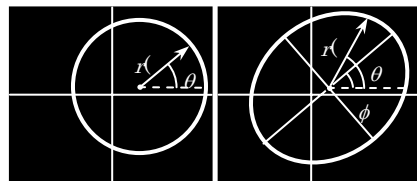


Fig.7 リングゲージの内面形状



(a) 円筒形の測定対象に内面形状測定機が斜めに挿入されたときの様子



(a) 円筒軸に対して平行に装置が挿入された (b) 円筒軸に対して斜めに装置が挿入された場合

Fig.8 リングビームの幾何学的な考察

このとき、Fig.7の $\theta-\Delta r$ の図を見ると周期的な変化を見出した。この周期的な変化は三次元内視鏡の軸とリングゲージの軸が平行でないことにより生じている。Fig.8(a)のように三次元内視鏡をリングゲージに挿入する場合を考える。

リングゲージの軸に平行に三次元内視鏡が挿入されていれば、リングビームはFig.8(a)のように真円になる。このとき、三次元内視鏡とリングゲージの軸を一致させる必要はない。一方、Fig.8(b)に示すように三次元内視鏡がわずかに傾いていた場合、測定結果は楕円になる。これを偏光解析で知られるエリプソメトリ(楕円解析)の概念に適用して解析する手法を見出した。Fig.9に楕円解析の結果を示す。リングゲージをわずかに傾けていくと楕円率は上昇した。設置角度が -4° のときに楕円率は最大値を取った。このとき、主軸方位は 90° を向いていることから、1つの軸

は一致していといえる。ここで、さらに回転させた軸に対して 90° の方向に回転させれば、楕円率が 1 になると考えられる。このように本計測法によって定量的に軸あわせを行うことができることを明らかにした。

また、我々の手法によって得られる方位角 ϕ から三次元内視鏡の軸を把握できる。また、得られる楕円率 ε を測定しながら $\varepsilon=1$ となるようにすれば、リングゲージの軸と平行になったということがわかる。このような情報を MEMS の姿勢センサから得られた情報にフィードバックをかければ、自由度を有したマシンアームなどにも測定装置が搭載できると期待している。

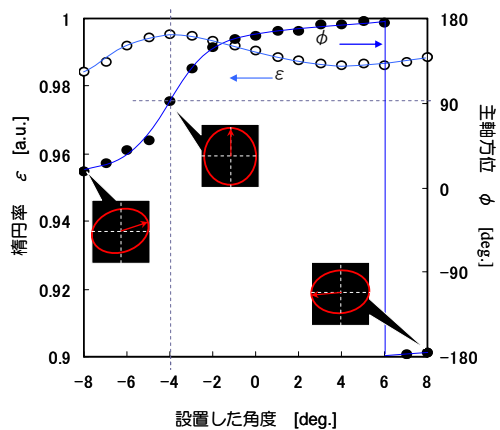
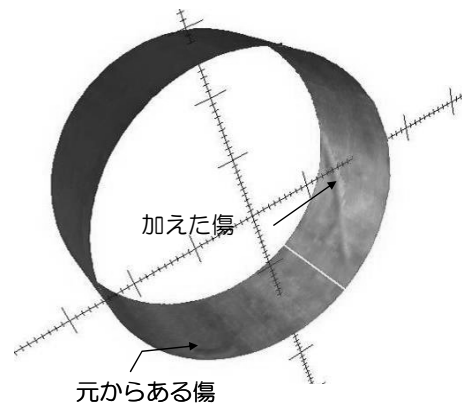


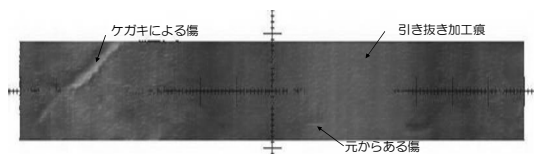
Fig.9 楕円解析の結果

Fig.10(a)に三次元内視鏡を用いて撮像した内面形状の三次元表示を示す。測定試料には引き抜き加工されたアルミ材を用いた。図のように三次元形状で内面を示すことができる。しかしながら、この図では内面の欠陥などを視覚化しにくいという問題があった。このような点を解決するために、展開図表示を行った。この結果を Fig.10(b)に示す。ここでのグレイスケールは CCD カメラでの光強度分布を示している。この結果から、三次元の点群情報だけでなく、光強度情報からキズ検査や欠陥検査などにも応用できることを明らかにした。

最後に、三次元内視鏡の精度をさらに向上させるために、回転機構を付加させたシステムを開発した。この結果、Fig. 11 に示す。Fig. 11(a)は測定試料の内面形状を表しているが、S/N が非常に悪いことがわかる。この原因の一つは半導体レーザのビームプロファイルが楕円状になっていることに起因している。これを解決するために、リングビーム素子だけを回転させた。(a)無回転、(b) 0° と 90° の平均、(c) 0° , 60° , 120° の平均、(d) 0° , 45° , 90° , 135° の平均を表している。サンプリング数が多くなるにつれて、S/N が改善され、測定試料の内面形状が復元



(a) 3D 表示



(b) 展開図表示

Fig.10 表示方法

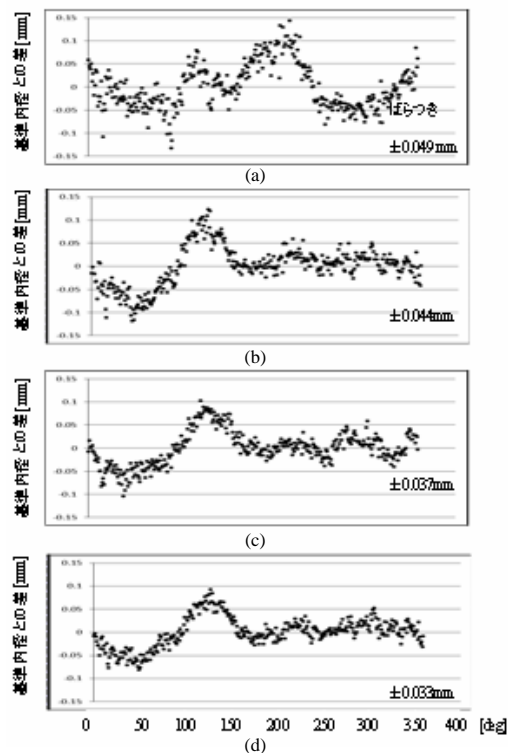


Fig.11 回転機構による内径測定の結果の変化

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)

〔雑誌論文〕(計 5 件)

① T.Yoshizawa, Y.Kamakura and T.Wakayama; “Optical inner profile measurement for pipes and tubes,” ICCES 2011. 【Invited paper】 (In press) 査読有

② T.Yoshizawa and T.Wakayama; “Development of A Probe Camera for Inner Profile Measurement and Flaw Detection,” Proc. ICOPEN 2011. (In press) 査読有

③ T.Yoshizawa and T.Wakayama; “Development of an inner profile measurement instrument using a ring beam device,” Proc. SPIE 7855, 78550B-1 ~ 78550B-8 (2010). 【Invited paper】 査読有

④ T. Wakayama and T.Yoshizawa; “Measurement of inner and/or outer profiles of pipes using ring beam devices,” Proc. SPIE 7513, 751306-1~ 751306-8 (2009). 査読有

⑤ T.Wakayama and T.Yoshizawa; “Simultaneous measurement of internal and external profiles using a ring beam device,” Proc. SPIE 7066, 70660D-1~ 70660D-6 (2008). 査読有

〔学会発表〕 (計 9 件)

① T.Yoshizawa, Y.Kamakura and T.Wakayama; “Optical inner profile measurement for pipes and tubes,” ICCES 2011, Nanjing, China. 【Invited】 (2011.4.19)

② T.Yoshizawa and T.Wakayama; “Development of A Probe Camera for Inner Profile Measurement and Flaw Detection,” International conference of Optics in Precision Engineering and Nanotechnology, Singapore Expo, Singapore (2011.3.24).

③ 菊池雄太, 若山俊隆, 鎌倉吉寿, 吉澤 徹: “リングビーム素子を用いた小型内面形状測定法の開発 (第4報) - 傷検査の試み -,” 2011年度精密工学会春季大会, O50 東洋大学白山キャンパス, 東京 (2011.3.15).

④ T.Yoshizawa and T.Wakayama; “Development of an inner profile measurement instrument using a ring beam device,” Optical Metrology and Inspection for Industrial Applications, Beijing, China (2010.10.18). 【Invited】

⑤ 若山俊隆, 吉澤 徹: “リングビーム素子を用いた小型内面形状測定法の開発 (第3報) - 位相シフトの導入 -,” 2010年度精密工学会春季大会, L38, 埼玉大学, 埼玉 (2010.3.15).

⑥ T.Yoshizawa and T.Wakayama; “Measurement of inner and/or outer profiles of pipes using ring beam devices,” 2009 International Conference on Optical Instruments and Technology: Optoelectronic Imaging and Process Technology, Shanghai, China (2009.10.19).

⑦ 若山俊隆, 吉澤 徹: “リングビーム素子を

用いた小型内面形状測定法の開発 (第2報) - 幾何学的考察の導入 -,” 2009年度精密工学会春季大会, K74, 中央大学, 東京 (2009.3.13).

⑧ 若山俊隆, 吉澤 徹: “内面および外面形状の同時計測,” 第18回三次元光学シンポジウム資料集, 43-50, パシフィコ横浜, 神奈川 (2008.12.3). 【招待講演】

⑨ T.Yoshizawa and T.Wakayama; “Simultaneous measurement of internal and external profiles using a ring beam device,” Two- and Three-Dimensional Methods for Inspection and Metrology VI, San Diego, CA, USA (2008.8.10).

〔図書〕 (計 4 件)

① Kevin Harding, Peisen S. Huang, Toru Yoshizawa (ed.) SPIE, “Optoelectronic Imaging and Multimedia Technology,” (2010), 1-602.

② Kevin Harding, Peisen S. Huang, Toru Yoshizawa (ed.), SPIE “Optical Metrology and Inspection for Industrial Applications,” (2010), 1-532.

③ Toru Yoshizawa, Ping Wei, Jesse Zheng (ed.), SPIE, “Optoelectronic Imaging and Process Technology,” (2009), 1- 894.

④ Peisen S. Huang, Toru Yoshizawa, Kevin G. Harding (ed.), SPIE, “Two- and Three-Dimensional Methods for Inspection and Metrology VI,” (2008), 1-178.

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.saitama-med.ac.jp/hoken/~>

5. 研究組織

(1) 研究代表者

吉澤 徹 (YOSHIZAWA TORU)

埼玉医科大学・保健医療学部・客員教授

研究者番号: 80020387

(2) 連携研究者

若山 俊隆 (WAKAYAMA TOSHITAKA)

埼玉医科大学・保健医療学部・講師

研究者番号: 90438862

(H20→H21: 研究分担者)