

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 4 月 28 日現在

機関番号：11401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2014

課題番号：23760301

研究課題名(和文) 液晶複合レンズを用いた3次元顕微鏡システムの開発研究

研究課題名(英文) Study on a development of a three-dimensional microscope imaging system by using a liquid crystal lens

研究代表者

河村 希典 (Kawamura, Marenori)

秋田大学・工学(系)研究科(研究院)・講師

研究者番号：90312694

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、機械的駆動部を必要とせず、電圧のみにより焦点距離を制御することができる液晶レンズを用いて、3次元形状の測定対象物に対して連続的に全焦点画像を得るための3次元顕微鏡システムを開発することである。液晶レンズ及び点灯制御可能なLEDリング型照明を用いた顕微鏡システムを開発し、各焦点面における撮影した画像に対して局所統計量フィルタ処理を用いることで、立体構造の合焦位置分布画像と全焦点画像を求めることができた。さらに、低電圧駆動型液晶レンズを用いた局所統計量フィルタ処理による被写体表面の特徴抽出を行うことが可能となった。

研究成果の概要(英文)：We propose a three-dimensional microscope imaging system for tuning a focal plane in a depth direction by using a composite objective lens with a liquid crystal (LC) lens without any mechanical movements. The focal length of the microscope imaging system is controlled by applying the voltage to electrodes of the LC lens with circularly hole-patterned electrode and external flat transparent electrode. The captured image of each focal length in the depth direction can be taken by using CMOS camera and ring a light emitting diode (LED) illuminator. The sharp and clear distributions can be derived by automatically selecting the images without highly reflective brightness. The all-focused images and depth mapping properties of the microscopic objects are obtained by processing our proposed image digital filter from contentious focal images.

研究分野：光デバイス工学

キーワード：液晶レンズ 焦点距離 3次元顕微鏡 局所統計量フィルタ 合焦位置分布画像 合焦点画像

### 1. 研究開始当初の背景

(1) 材料・デバイス等を生産する上で微細部品の位置決めや検査等に光学顕微鏡等の拡大光学系が用いられているが、倍率が高くなるにしたがい、被写界深度が浅くなるため3次元形状の測定対象物に対して全ての位置で被写界を合わせる事が困難であり、焦点面を他の奥行きへ移動させる場合、被写体の位置ずれや大きさの拡大・縮小等が生じる。そのため、被写体を動かさない焦点距離可変システムが必要とされる。奥行き等を測定する方法は、干渉計測法【E.P.Goodwin and J.C.Wyant: “Interferometric Optical Testing”, SPIE Press (2006): (マイケルソン干渉式: 平行光をビームスプリッターにより2つの光路に分割し、分かれた光束をそれぞれ2枚の平面鏡で反射させ、元の光路を通りビームスプリッターで重ねる事により干渉縞が生じる。一方は高精度平面鏡で、他方は被検面で反射させることにより平面度測定や段差測定も可能。また、白色光を用いて白色干渉縞を解析することで、不連続な干渉縞も観測が可能となり、フィゾー式では困難な微小域の密度分布・平面度測定・段差膜厚測定等を非接触で高精度に測定可能)】やレーザ共焦点顕微鏡(機械的駆動部を持つ高速 x-y スキャナを組み込み、結像する位置にピンホールを置き対物レンズの合焦位置以外からの光を排除できる光学系)があるが、焦点位置を制御するために機械的駆動部を必要とせず、焦点可変制御機能を有する液晶レンズの新たなアプリケーションが必要である。

### 2. 研究の目的

本研究では、機械的駆動部を必要とせず、電圧のみにより焦点距離を可変することができる“液晶レンズ”を用いて、3次元形状の測定対象物に対して連続的に全焦点画像を得るための3次元顕微鏡システムを開発することを目的としている。本提案する液晶レンズを用いた3次元顕微鏡システムを構成する上で、液晶レンズにおける焦点距離制御の高速駆動化、リアルタイムでの立体構造の全焦点画像解析法の確立を目標としている。

### 3. 研究の方法

機械的駆動部を必要とせず、電圧のみにより焦点距離を可変することができる“液晶レンズ”を用いて、3次元形状の測定対象物に対して連続的に全焦点画像を得るための3次元顕微鏡システムを開発するために、年度毎に焦点可変機能を有する液晶レンズの高速駆動化・低電圧駆動化・収差の問題を段階的に解決する。この液晶レンズを用いて、高倍率の対物レンズと組合せた複合レンズを試作し、各焦点位置での取得した画像をフィルタリング処理等の画像処理を行うことで、立体構造の測定対象物の全焦点画像の測定を行い、最終的には検査装置、材料評価、バイオ分野と医工融合分野での用途開発と実用化を視野に入れた研究を行う予定である。

### 4. 研究成果

#### (1) 液晶レンズにおける干渉縞観察システム

本研究で使用した電圧印加システムおよび干

渉縞測定システムを図1に示す。光源にはHe-Neレーザ(波長 $\lambda = 0.633\mu\text{m}$ )を用い、コリメータと偏光子を透過した平行光は液晶レンズに入射する。偏光子と検光子の偏光方向の組み合わせを直交となるよう設定し、それらの間に液晶レンズを挿入する。ここで、液晶レンズにおけるラビング方向が偏光方向に対して $45^\circ$ となるよう配置する液晶レンズの各電極にはマルチチャンネル出力を有する発振器を用いて同位相の交流電圧(周波数 $f = 20\text{kHz}$ 、正弦波)を印加した。発信器の振幅値は最大で $\pm 10\text{V}$  流電圧(周波数 $f = 20\text{kHz}$ 、正弦波)を印加した。発振器の振幅値は最大で $\pm 10\text{V}$  程度であるため、増幅器を用いて信号の増幅を行った。液晶レンズに電圧を印加することにより円形パターン内に屈折率分布が生じ、透過波面の位相差分布により同心円状の干渉縞が生じる、その干渉縞をCCDカメラにより撮影することで画像データとしてPCに取り込んだ[図1]。

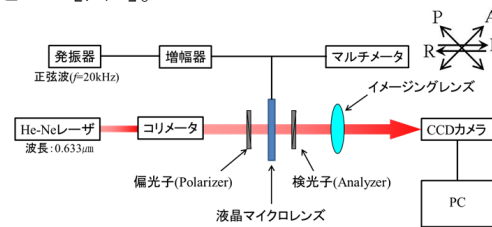


図1 干渉縞観察システム

#### (2) 液晶レンズを用いた顕微鏡システム

液晶レンズを用いた顕微鏡システムを図2に示す。顕微鏡の対物レンズは倍率が10倍( $\text{NA}=0.25$ )のレンズを使用し、液晶レンズの円形開口部と対物レンズが一致するように配置している。液晶レンズと接眼レンズ間に偏光板を取り付けた。なお、液晶分子の配向方向と偏光板の偏光方向を合わせた。LEDリング照明(中心波長:  $625\text{nm}$ 、照射角度約 $160^\circ$ )を用いて、被写体全体に光が均一に照射するようにした。鏡筒上部に高速カメラ(CASIO EX-F1, CMOS)を取り付けており、PCによって制御し被写体の撮影を行うことができる。撮影画像の明るさはカメラの露光時間とLEDリング照明の印加する電流値によって調節することができる。また、液晶レンズの電源装置はPCにUSBを介し接続されており印加電圧が制御可能である。また、使用した液晶レンズの構造を図3に示す。レンズ構造は従来型の液晶レンズ構造を採用し、円形パターン電極の径は $f4\text{mm}$ のものを用いた。液晶材料はMLC6080を使用し、配向剤はポリイミド(水平)を用いた。またフォトマスク( $\phi 2\text{mm}$ )を液晶レンズの円形パターンの中心と一致するように配置し収差の影響を低減した。

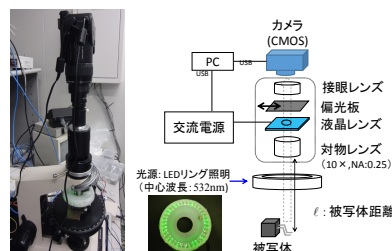


図2 液晶レンズを用いた顕微鏡システム

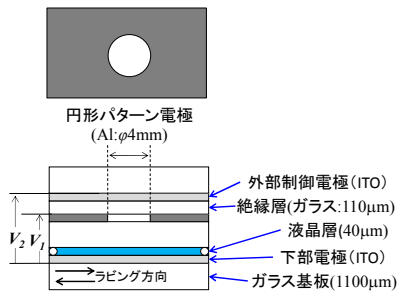


図3 使用した液晶レンズ

### (3) 局所統計量フィルタ処理による合焦位置情報の抽出

#### ① 局所統計量フィルタ

局所統計量フィルタを適用する注目領域を図4に示す。局所統計量フィルタは焦点距離を連続的に変化させて撮影を行った $k$ 枚の各焦点画像に適用することにより、画像の画素ごとにおいて合焦位置情報を抽出することができる。このフィルタは注目する画素を中心とし、周辺の特定期限内における統計量から合焦位置を算出する。このフィルタには局所差分平均フィルタと局所分散フィルタの2種類がある。局所差分平均フィルタを式(1)に示す。

$$A_j(x, y) = \frac{1}{W} \sum_{p=-W_x}^{W_x} \sum_{q=-W_y}^{W_y} \left\{ \begin{array}{l} |I_j(x+p+1, y+q+1) - I_j(x+p, y+q)| \\ + |I_j(x+p, y+q+1) - I_j(x+p, y+q)| \\ + |I_j(x+p+1, y+q) - I_j(x+p, y+q)| \\ + |I_j(x+p+1, y+q) - I_j(x+p, y+q+1)| \end{array} \right\} \quad (1)$$

ここで、ウィンドウサイズを  $W = (2W_x + 1)(2W_y + 1)$  としている。このフィルタは注目するウィンドウ内の空間的な輝度値の差分を平均した値を抽出し、画像において比較的高い周波数成分の部分抽出するフィルタとなっている。次に、局所分散フィルタを式(2)に示す。

$$V_j(x, y) = \frac{1}{W} \sum_{p=-W_x}^{W_x} \sum_{q=-W_y}^{W_y} \left\{ |I_j(x+p, y+q) - \bar{I}_j(x, y)| \right\}^2 \quad (2)$$

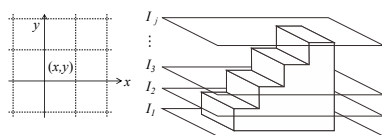


図4 注目領域

局所分散フィルタは注目画素の周辺における明るさの分散値を抽出しているため、高い周波数成分だけでなく比較的低い周波数成分も抽出している。そのため局所分散フィルタでは画像における高コントラスト部分を抽出できる。これらのフィルタにより得られた局所統計量  $A_j(x, y)$  および  $V_j(x, y)$  の値を各焦点画像間の同じ位置の画素で比較すると合焦位置において極大値を示す[図5]。したがって、各画素における合焦位置を判別できるため、抽出した合焦位置情報と撮影画像の情報(輝度値)よりすべての位置で焦点の合った全合焦点画像を得ることができる。また、合焦位置情報を視覚化し、マッピングすることで合焦位置の分布画像を得ることが可能となる。この局所統計量フィルタを用いて各焦点画像から合焦位置を抽出し、合焦位置分布画像及び全合焦点画像を抽出するプログラムを、Labview(National Instrument)を用いて作製した。

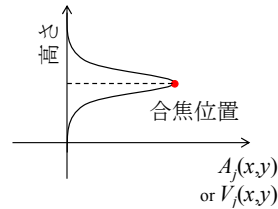


図5 局所統計量と合焦位置の関係

本プログラムでは画像を読み込み、画像から輝度値を抽出する際に RGB(R:赤色成分、G:緑色成分、B:青色成分)のいずれかの輝度値を抽出し 8bit のグレースケール画像に変換する。その後、各焦点画像において局所統計量フィルタを適用し画素ごとの局所統計量を算出する。ループにより各画像間で局所統計量を比較し極大値を示す画素を合焦画素とする。この時、注目画素において各焦点画像間の同じ位置の輝度値を比較したとき最大値(輝度値 255)で変化しない場合がある。局所統計量フィルタは輝度値の変化から合焦位置を抽出するため、その位置の合焦位置情報は抽出できないため情報欠落部分と定義した。このプログラムは得られた合焦位置情報から合焦位置分布として各焦点画像の合焦位置をマーキングした画像の他、マーキングした部分を合焦位置ごとに色分けし視覚的に合焦位置を確認できる分布画像を出力することができる。また、全合焦点画像は画素ごとの合焦位置情報を抽出した後、合焦位置の画像から輝度値を取得し 1 枚の画像に統合することで作製する。

#### ② 各焦点画像の撮影

本研究で用いた被写体を図6に示す。被写体は回路基板上的 IC のリードフレーム部分(高さ 1mm, 幅 0.2mm)を用いた。撮影した画像の撮影条件として、サイズは 1408×1056 で露光時間が 3.2 秒である。顕微鏡システムを用いて撮影した各焦点画像を図7に示す。撮影は液晶レンズの外部制御電極へ電圧  $V_2$  を印加し、円形パターン電極への印加電圧  $V_1$  は 0V 一定(円形パターン電極と下部透明電極を短絡)とし撮影を行った。撮影画像は  $V_2$  を 20V から 60V で印加電圧値を変えながら、リードフレームの上部から底部の高さ 1mm にかけて連続的に合焦位置を変えながら被写体を撮影したものである。一般的な光学顕微鏡のように被写体ステージの駆動が伴わないため被写体の拡大や縮小が発生していないことが分かる。この顕微鏡システム

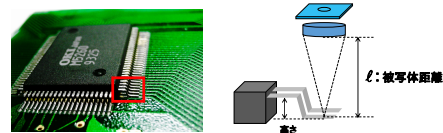


図6 被写体(ICのリードフレーム)

では各焦点画像の撮影の際、常に均一に光が照射できるようLEDリング型照明をすべて点灯しているため、被写体の反射が強い部分がすべての焦点画像に映り込む。そこで LED リング型照明を全点灯させるのではなく、点灯部分を変えながら撮影することで複数の照明条件の画像を

撮影し、それらを統合することで情報欠落部分を補間可能であるか検討を行った。

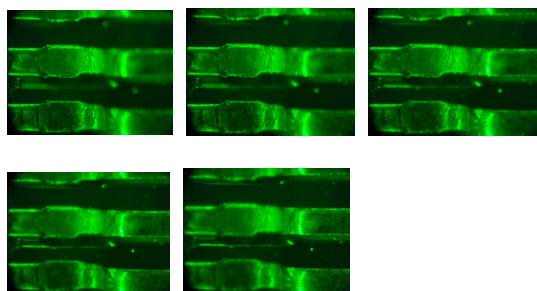


図7 液晶レンズを駆動させて撮影した画像

### ③点灯制御可能なLEDリング型照明を用いた顕微鏡システム

LEDリング照明の模式図、LEDリング照明を組み込んだシステムを図9に示す。LEDリング照明はLED36個のLEDをリング状に配置したものであり、LEDを30°毎(LED3個分)に点灯切替え可能である。また、被写体への照射角は160°とする。LEDの光源波長は中心波長が630.8nmのものを使用した。LEDリング照明は16bitA/Dボードに接続されており、またA/DボードはPCにUSBを介して接続されている。A/Dボードのポートへの出力を制御することによりLEDの点灯を制御することができる。

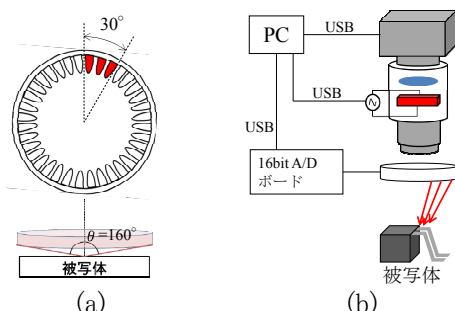


図9 点灯制御可能なLEDリング照明を用いたシステム

### ④ 画像撮影と統合処理

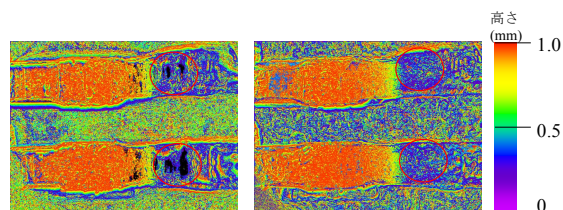
点灯制御可能なLEDリング照明を用いた撮影では、液晶レンズへの印加電圧を変えながら各焦点画像を撮影する他、1つの焦点面においてリング照明のLEDを30°毎に照射方向を変えながら撮影を行い、計12枚の画像を撮影した。画像では液晶レンズへ電圧を印加していない状態でLEDの照射方向のみを変えて撮影した画像である。照射方向が異なるため、それぞれの画像で表面形状により発生する強い反射光の位置が異なっていることが分かる。各焦点画像の撮影には液晶レンズの円形パターン電極への印加電圧を0V一定とし、外部制御電極への印加電圧 $V_2$ を変えながら撮影した。

本プログラムでは、最終的に1枚の全合焦点画像を統合する前に、照射方位ごとの計12枚の全合焦点画像を求める。ここで、求めた全合焦点画像の輝度値を各照射方向の画像同士で

比較することで最終的な合焦位置を求めるが、この時の条件として輝度値が255ではなく、その中で最大の輝度値を示す画素を合焦画素としている。これにより、被写体表面形状による強い反射光が発生している部分を取り除くことができる。また、輝度値の変化が読み取れる中で最大輝度値の画素を参照することで良好な照明条件の部分を抽出できると考えられる。つまりこのプログラムで得られる画像は、撮影した画像の中で最も明るい画像を基準にし、反射光による情報欠落部分を次に明るい画像で補間するプログラムである。

### ④合焦位置分布画像の抽出

点灯制御可能なLEDリング型照明を用い撮影した画像に対し局所統計量フィルタを適用し、合焦位置分布画像及び全合焦点画像を求めた結果を図10に示す。図10(a)はLEDを全点灯し被写体に均一に光を照射し得た画像で、図10(b)は照射方向を切替えながら撮影した画像である。全点灯での撮影画像は被写体形状による強い反射光による情報欠落が生じているが、部分点灯による撮影画像では情報欠落部分がなく、欠落を補間できていることが分かる。照明条件の画像を統合したため、リードフレームと基板底部両方で明るさが十分になるように統合された。



(a) 全点灯 (b) 部分点灯  
図10 合焦位置分布の比較

### (4) 液晶レンズを用いたカメラシステムの特徴抽出

#### ① 液晶レンズを用いたカメラシステムの構造

液晶レンズを用いた顕微鏡システムを図11に示す。カメラはCMOSのUSBカメラ(DFK72AUC02、The Imaging Source Co.)を使用した。カメラに接続したビデオレンズは焦点距離が50mmである固定焦点レンズ(Edmund Optics)を用いた。液晶レンズは被写体側に、レンズの円形開口部とビデオレンズが一致するように取り付けている。なお、液晶分子の配向方向と偏光板の偏光方向を合わせた。照明は蛍光灯(白色)を用い撮影を行った。カメラ及び電源装置はUSBによりPCと接続されており、カメラは撮影及び撮影条件を制御可能であり、電源装置は印加する電圧値及び周波数を制御可能である。使用した低電圧駆動型液晶レンズを図12に示す。この液晶レンズは従来型と異なり、電極基板にはフォトポリマー絶縁膜をスピコートし、さらにその上に高抵抗膜として酸化亜鉛をRFスパッタリング法により成膜した。液晶は

MLC6080 (Merck)を用いた。円形パターン電極は $\phi 6\text{mm}$ である。

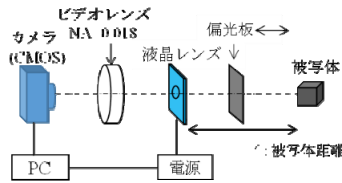


図 11 液晶レンズを用いたカメラシステムの構造

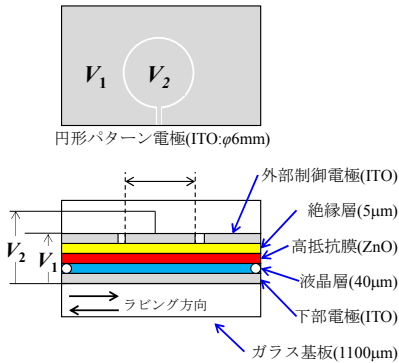


図 12 低電圧駆動型液晶レンズの構造

## ②カメラシステムによる特徴抽出

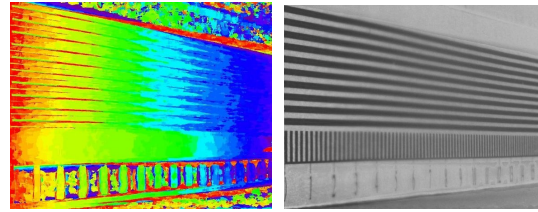
被写体としてロンキールーリングターゲットを用いた。使用したターゲットは縦方向に平行なパターンと横方向に平行なパターンが複合したものをを用いた。横方向に平行なパターンは  $0.5\text{ lp/mm}$  の解像度を示し、縦方向に平行なパターンはターゲットを光軸との法線に対し  $80^\circ$  傾けて配置した場合に  $0.5\text{ lp/mm}$  の解像度を示す。撮影はビデオレンズの倍率を調節し、液晶レンズから  $25\text{cm}$  の位置に焦点を合わせ、その位置とターゲットの  $0$  の目盛が一致するように配置した。ターゲットに印刷された数字は、ターゲットを光軸との法線に対し  $80^\circ$  傾けて配置した場合の距離を示している。つまり合焦位置を移動させた際、(目盛の値+ $25\text{cm}$ )が被写体距離 $\lambda$ となる。

被写体とするロンキールーリングターゲットの撮影条件は、画像サイズ  $1296 \times 972$  (ビニング使用)で露光時間が  $0.25$  秒である。液晶レンズの外部制御電極へ電圧  $V_2$  を印加し、円形パターン電極への印加電圧  $V_1$  は  $0\text{V}$  一定(円形パターン電極と下部透明電極を短絡)とし撮影を行った。撮影画像は  $V_2$  を  $0\text{V}$  から  $4.2\text{V}$  で印加電圧値を変えながら、ターゲットの  $0$  目盛の位置から奥方向にかけて連続的に合焦位置を変えながら被写体を撮影したものである。液晶レンズへの電圧印加のみで合焦位置を移動させているため被写体の拡大縮小が非常に小さい画像が撮影できた。

## ③合焦位置分布・全合焦点画像の抽出

撮影した画像に対し、局所分散フィルタを適用することで焦点位置情報の抽出を行った。局所分散フィルタのウィンドウサイズは  $10 \times 10$  であり、画像は  $35$  枚用いた。合焦位置情報から合焦位置の分布と全合焦点画像を求めた結果を図 13(a), (b)に示す。図 13(a)の合焦位置分布にお

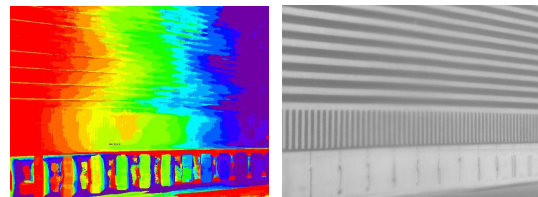
いて  $0\text{ cm}$  ( $\lambda = 25\text{ cm}$ )の位置から  $14\text{ cm}$  ( $\lambda = 25\text{ cm}$ ) 付近まで合焦位置を抽出できており、ターゲットの合焦位置を滑らかに抽出できていることが分かる。また、図 13(b)の全合焦点画像においても  $0\text{ cm}$  の位置から  $14\text{ cm}$  付近まで焦点の合った画像を得ることができた。



(a)合焦位置分布画像 (b)全合焦点画像  
図 13 カメラシステムによる特徴抽出

## ④近赤外線波長における撮影及び特徴抽出

局所分散フィルタ処理により抽出した合焦位置情報をもとに合焦位置分布及び全合焦点画像を求めた結果をそれぞれ図 14(a),(b)に示す。合焦範囲に若干の乱れが生じていることが確認できる。これは先述した S/N の劣化が原因であると考えられる。局所分散フィルタは注目領域のコントラストに着目し、高コントラスト部分を合焦位置とするため、このようなコントラストが低下した画像では検出精度が低下するものだと考えられる。近赤外光領域における感度が高いカメラを用いることにより改善するものと思われる。



(a)合焦位置分布画像 (b)全合焦点画像  
図 14 近赤外光波長における特徴抽出

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 7 件)

- ① 河村希典、ディスプレイ用途を超える液晶の利用の可能性、応用物理学会誌、査読有、第 84 巻、2015、131-136
- ② M. Kawamura、E. Yumoto、S. Ishikuro、3D Microscope System by Using a Liquid Crystal Lens、International Journal of Optomechatronics、査読有、Vol.7、2013、149-159
- ③ M. Kawamura and K. Toshima、Shape Measurements by Using a Liquid Crystal Lens、Molecular Crystals and Liquid Crystals、査読有、Vol.542、2011、190/[712]-195/[717]

[学会発表] (計 59: 国外 8 + 国内 51 件)

国際会議 (計 8 件)

- ① M. Kawamura and S. Ishikuro、Feature extraction from multiply focal images by using a liquid crystal lens、25th International Liquid Crystal Conference、2014.7.1、Dublin、Ireland

- ② M. Kawamura and S. Ishikuro、3D Microscope System by Using a Liquid Crystal Lens and an LED Ring Illumination、Proceedings of The international society for optics and photonics、Liquid crystals XVII、Vol. 8828、88280Q-1-88280Q-6、2013.8.26 San Diego、USA
- ③ M. Kawamura、E. Yumoto and S. Ishikuro、Three-dimensional imaging system by using a liquid crystal lens、ISOT 2012 International Symposium on Optomechatronic Technologies、2012.10.29-10.31、Paris
- ④ M. Kawamura、E. Yumoto and H.Goto、Microscope system by using a liquid crystal lens with a variable focal length function、ISOT 2011 International Symposium on Optomechatronic Technologies、2011.11.1-3、Hong Kong

国内学会 (計 51 件)

- ① 千田誠、田村賢介、河村希典、佐藤進、液晶レンズの応答特性 (I)、2015 年第 61 回応用物理学会春季学術講演会、12p-A13-3、2015.3.12、東海大学湘南キャンパス
- ② 河村希典、液晶レンズの最近の研究動向、京都光技術研究会、招待講演、2015.2.20、京都府中小企業技術センター
- ③ 河村希典、石黒駿介、近赤外線波長領域における液晶レンズを用いた特徴抽出、第 75 回応用物理学会秋季学術講演会、18p-PA1-5、2014.9.19、北海道大学
- ④ 河村希典、石黒駿介、液晶レンズを用いた奥行情報の特徴抽出、2014 年日本液晶学会討論会、2014.9.9、島根くにびきメッセ
- ⑤ 河村希典、液晶レンズの研究開発、医工連携研究開発セミナー、2014.6.18、秋田大学
- ⑥ 河村希典、石黒駿介、液晶レンズを用いた多焦点画像からの特徴抽出、2014 年第 61 回応用物理学会春季学術講演会、18p-PA10-3、2014.3.18、青山学院大学
- ⑦ 石黒駿介、西島寿明、河村希典、低電圧駆動液晶レンズを用いた撮影画像の特徴抽出、平成26年東北地区若手研究者研究発表会「音・光・電波・エネルギー・システムとその応用」、YS-12-B1、2014.2.28、東北工業大学
- ⑧ 河村希典、液晶レンズを用いた光学システムへの応用、第 2 回高度センサ応用による環境・機械・生体の計測制御技術創生に関する協同研究委員会 (ISAM)、招待講演、2013.10.25 早稲田大学西早稲田キャンパス
- ⑨ 石黒駿介、河村希典、低電圧駆動型液晶レンズ及び LED リング型照明を用いた3次元顕微鏡システム、2013 年日本液晶学会討論会、2013.9.9、大阪大学豊中キャンパス
- ⑩ 河村希典、液晶レンズを用いた光測定装置への応用、招待講演、京都光技術研究会、2013.7.4、京都府中小企業技術センター
- ⑪ 河村希典、新規液晶レンズとその応用、第51回光波センシング技術研究会講演会「光波センシングのための偏光技術」、招待講演、2013.6.5、東京理科大学

- ⑫ 石黒駿介、佐藤翔吾、河村希典、液晶レンズ及び LED リング型方位照明を用いた顕微鏡システムによる 3 次元形状測定、2013 年第 60 回応用物理学会春季学術講演会、29p-PB10-4、2013.3.29、神奈川工科大学
- ⑬ 石黒駿介、湯本英治、及川郷志、河村希典、液晶レンズを用いた 3 次元顕微鏡、固体光源分科会-発光型/非発光型ディスプレイ合同研究会、2013.1.25、静岡大学
- ⑭ 石黒駿介、河村希典、液晶レンズを用いた顕微鏡システムによる形状測定、第 67 回応用物理学会東北支部学術講演会、6pB05 2012.12.6、東北大学
- ⑮ 河村希典、湯本英治、石黒駿介、液晶素子を用いた顕微鏡合焦画像、2012 年秋季第 73 回応用物理学関係連合講演会、13p-PA8-5、2012.9.13、愛媛大学
- ⑯ 河村希典、湯本英治、石黒駿介、液晶レンズを用いた顕微鏡システムの全焦点画像の抽出、2012 年液晶学会討論会、PB36、2012.9.5、大阪大学
- ⑰ 糸田大輝、河村希典、佐藤進、BaTiO<sub>3</sub> ナノ微粒子分散膜を用いた液晶素子の電気光学特性、2012 年春季第 59 回応用物理学関係連合講演会、15p-GP5-5、2012.3.15、早稲田大学
- ⑱ 湯本英治、及川郷志、後藤久志、河村希典、焦点可変機能を有する液晶素子を用いた 3 次元画像システム、照明学会固体光源分科会発光型/非発光型ディスプレイ合同研究会、2012.1.28、秋田大学
- ⑲ 及川郷志、湯本英治、河村希典、液晶レンズを用いた顕微鏡システムの収差特性、第 66 回応用物理学会東北支部学術講演会、2aB04、2011.12.2、東北大学
- ⑳ 湯本英治、及川郷志、河村希典、液晶光学デバイスを用いた実体顕微鏡システム、2011 年液晶学会討論会、1a11、2011.9.11、東京都市大学 世田谷キャンパス

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

- 出願状況 (計 0 件)
- 取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ等

<http://www.ee.akita-u.ac.jp/~liquid-crystal/kawamura/>

6. 研究組織

- (1) 研究代表者  
河村 希典 (KAWAMURA, Marenori)  
秋田大学・大学院工学資源学研究所・講師  
研究者番号：90312694
- (2) 研究協力者  
大友 和夫 (OTOMO, Kazuo)
- (3) 研究協力者  
佐山 一郎 (SAYAMA, Ichiro)