

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 2 4 年 5 月 1 5 日現在

機関番号：3 2 6 8 9

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21760206

研究課題名（和文） メカニカルな可動部をもたない空間解像度可変広角中心窩センサに関する研究

研究課題名（英文） Development of Wide Angle Fovea Sensor with Variable Magnification w/o Mechanical Parts

研究代表者

清水 創太（SHIMIZU SOTA）

早稲田大学・理工学術院・准教授

研究者番号：20328107

研究成果の概要（和文）：内部レンズに2枚の液晶レンズセルを用い、入出力レンズを通常レンズ材料を用いた固定レンズとし、液晶広角中心窩レンズの原理を明確にし試作を実施した。入力レンズ部は、広角でありながらテレセン性の高いワイドコンバージョンレンズを改良した構造とした。本構成により以下の効果が得られる。（1）入力レンズのレンズパワーが小さいため大きな拡大率変化が可能となる。（2）出力側の液晶レンズで屈折光を補正することで、入力側の液晶レンズで作り出した拡大率の変化に対して撮像面上で良い結像が得られるだけでなくバックフォーカス調整が可能となる。すなわち、内部レンズを複数枚（最小で2枚）の液晶レンズセル構造とし、入出力レンズを通常レンズとすることで、各レンズ位置を固定したまま結像特性と光量が改善できる。

研究成果の概要（英文）：The researcher has designed and produced a prototype of a Liquid Crystal (LC) Wide Angle Fovea (WAF) lens as using 2 LC lens cells in its intermediate core lens part and using solid lenses made of conventional lens materials as its input lens part and output lens part, in order to achieve this study's purpose. The input lens part has a structure improved from a wide conversion lens which has a wide angle field of view and a high telecentric property. The designed structure gives us the following advantages: (1) The input lens part having small lens power makes it possible to change magnification of the entire lens system largely. (2) The output-sided LC lens cell corrects refraction of rays in order not only to focus on the image plane flexibly according to complicated distribution of magnification controlled by the input-sided LC lens cell but also to keep a length to the image plane constant. In other words, the designed structure achieves better optical performance although positions of each lens part are fixed, i.e. without mechanical parts.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	800,000	240,000	1,040,000
2010年度	1,900,000	570,000	2,470,000
2011年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：知能機械学・機械システム

キーワード：ロボティクス，広角中心窩センサ

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

1. 研究開始当初の背景

人間の眼は、左右 120 度の広い視野を有するとともに、中心窩と呼ばれる視野の中心近傍で最も高く視野周辺に行くに従って急激に低下する非一様な視力分布をもつ。すなわち、人間の眼は視野の中に明らかな注目点（詳細に見ることが出来る領域）をもつ有指向性の感覚器である。このような人間の視覚機能にヒントを得て考案された有指向性センサとして広角中心窩センサが知られている。広角中心窩センサは注目点の位置を変化させることで出来るだけ少ない情報量で出来るだけ詳細な情報を獲得することが出来、情報通信やデータストレージにおいてその威力を発揮する。広角中心窩センサには大きく分けて **3 種類の方式が存在する**。第 1 の方法は、視野の周辺に行くに従って結合素子サイズが大きくなる特殊な固体撮像素子を通常の広角レンズと組み合わせたものであり、Spiegel らによる CCD 中心窩センサ、Sandini あるいは Wodnicki らによる CMOS 中心窩センサが報告されている。第 2 の方法は、通常の一様な解像度をもつ固体撮像素子に特殊なレンズ（広角中心窩レンズ）を組み合わせたものである。この方法は、光学的に像を大きく歪めることで、広角視野と視野の中心部分での高空間解像度を同時に実現する。研究代表者らの広角中心窩レンズの他、國吉らによって研究代表者らの光学系と比較して設計製作されたものが報告されている。第 3 の方法は、広角レンズにより得た原画像をログポーラマッピングに基づいてコンピュータでダウンサンプリングして再構成するものであり、Levine らによって報告⁽⁹⁾されている。いずれの手法も視野中央の注目点で得られる画像の最大空間解像度は、使用する撮像素子とレンズの拡大率により決定されるが、必要に応じて変化させることができるものは存在しない。

研究代表者は現在まで継続して有指向性広視野センサの研究に従事してきており、その中心的役割を果たす広角中心窩レンズの完成後、特に入力画像の解像度が非一様であることに着目し、中心視と周辺視という異なるレベルの画像処理の協調的利用に取り組んできた。

2001 年に科学研究費補助金奨励研究(A)、2003 年には、科学研究費補助金若手研究(B)に採択されている。また、研究代表者は 2006 年に新しい広角中心窩モデルと

して改良広角中心窩モデル⁽¹⁾⁽²⁾を発表し、現在、米国特許出願中⁽³⁾である。

これまでの広角中心窩レンズは、従来の固定焦点方式のレンズの設計概念に依存してきた。すなわち、非一様なレンズ拡大率分布が固定であり、視野の広さを維持したまま、視野中心部分でさらに高い解像度を要求されても、その実行が不可能であった。より高い注目点解像度をもつ広角中心窩センサのニーズが外科手術における内視鏡カメラや監視カメラ等に求められている。研究代表者は、米国で脳・視覚処理系の認知科学分野の研究に従事し、これまでと異なる視点で人間の眼の広角中心窩特性にアプローチする中で、中心視野が周辺視野に及ぼす影響について学び、ここから、広視野を維持したまま随意に拡大率分布を制御できる広角中心窩センサの着想に到った。

2. 研究の目的

本研究の目的は、人間の眼の機能にヒントを得た有指向性広視野画像センサ（広角中心窩センサ）を設計・試作することである。本研究の特長は以下の 2 点があげられる。第 1 に、米国特許出願中の新しい広角中心窩モデルを用いて近年の光学センサ技術（撮像素子の高画素化等）に対応する特殊レンズを設計すること。第 2 に、光学機能材料を用いて投影される像を調節し、広視野を維持したまま、随意に視野の空間解像度分布を制御することである。広角中心窩センサは、外科手術用内視鏡カメラや監視カメラのような、「広い視野」と「高解像度」という相反する情報を同時に必要とする用途において極めて有効な装置であり、空間解像度を随意に制御することで、その利便性の向上とともに、さらなる応用分野が開拓できる。

3. 研究の方法

本研究は3年間の計画をたて、各年度は試作フェーズと設計・評価フェーズによって2段階で構成した。初年度の取り組みは、光学系の設計・評価に必要なとなるエミュレート用広視野センサ試作機を用いて、すでにモデリングとその検証が済んでいる改良広角中心窩モデルをガイドラインとして、新しい有指向性広視野センサのレンズ部の設計を中心に行った。当初の計画では2年目にレンズ部の設計を完了させ、光学機器メーカーに製作を依頼する予定であったが、試作段階において、入出力レンズ部を液晶レンズ、内部レンズを通常レンズとする設計よりも、入出力レンズを通常レンズ、内部レンズを液晶レンズとした方が研究目的のために良いと判断し、繰越申請を行って、設計を見直した。3年目は設計の完了後に試作を完成させ性能テストを実施した。なお、本研究は、研究代表者が期間を通じ、適宜研究協力者に協力を求めながら、主に設計を早稲田大学の研究室で、試作を秋田県産業技術センターの協力を得て実施した。また、特に入力光学系の製作を光学機器メーカーに依頼して完成させた。

	平成 21 年度	平成 22 年度	平成 23 年度
有指向性広視野センサの試作フェーズ	コンピュータ、高解像度 CMOS カラーカメラ、光学部品を用いて、改良広角中心窩モデルに基づくエミュレート試作機を製作。	設計モデルにより広角中心窩レンズを試作した。	設計完了後に液晶による内部レンズ、通常レンズによる内部レンズの試作を行い、全体の試作を閉せさせた。
広角中心窩レンズの設計・評価フェーズ	光学系設計ソフトウェアを用いて、レンズの拡大率分布を固定にした1次モデルと拡大率を可変にした2次モデルの設計を行う。	入出力レンズ部を通常レンズで内部レンズを液晶レンズとして、働きを入れ替えて2次モデルを見直し、再設計を実施した。	レーザー干渉計を用いた干渉縞の計測を行うことで、データ取得し、内部レンズの働きを実験により評価して、改善すべき点を明らかにした。

4. 研究成果

(1) 光学系の設計・評価に必要なとなるエミュレート用広視野センサ試作機を高解像度 CMOS カラーカメラに画角 180 度の超広角レンズを装着し、光学系設計用コンピュータと組合せて製作した。このエミュレート試作機からの入力画像を下に、設計する広角中心窩レンズの像高分布の動的変化を考慮に入れ、レンズ仕様に求められる目標値とそれを一意に与えるレンズ手法を確立させた。

(2) 改良広角中心窩モデルに基づいて、光学設計シミュレーションソフトウェアを用いて、拡大率分布を固定にした1次モデルの設計を行った。とくに入力レンズ及び出力レンズの非球面形状を制御することによりエミュレータが算出した投影像高分を実現することを第1の目標とし、任意の像高分分布に対して、他の収差がどのようにあわれるのか評価を行った。

光学材料として液晶材料を用いる: Toward "Future Optics"

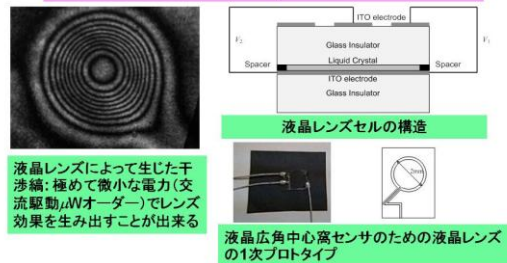


図1. 液晶レンズセルの試作
(秋田県産業技術センターの協力を得て実施)

(3) 平成 22 年度の取り組みは、前年度に完了した拡大率分布を固定にしたレンズ部の1次モデルと拡大率可変の2次モデルの1次設計に基づき、レンズの部位を入力レンズ、出力レンズ、内部レンズの3つに分け、入出力レンズを液晶レンズで試作して置き換えることでその評価に基づいて試作を行った。試作に当たっては秋田県産業技術センターの協力を得て主に当センターで実施した。しかし、試作した入出力レンズに基づいた2次モデルの評価を行い、2次設計を進めていく段階で以下の理由から全体の設計を見直し、計画

を修正することとなった。(1)液晶入力レンズで作り出した拡大率の変化に対して撮像面上で良い結像を得るためには、液晶出力レンズで屈折光を補正するだけでなく、通常レンズ材料で構成される内部レンズの移動あるいはバックフォーカス調整が必要である。(2)内部レンズを複数枚(最小で2枚)の液晶レンズセル構造とし、入出力レンズを通常レンズとすることで、各レンズ位置を固定したまま結像特性と光量が改善される。

そこで、内部レンズを2枚の液晶レンズセルを用いた構成とし、入出力レンズを通常レンズ材料を用いた固定レンズとし、本研究課題の鍵となる液晶レンズセルを含む内部レンズの2次設計を実施した(厳密には1次設計の3次モデル)。その後、集光・結像特性を高めるよう入出力レンズの2次設計に着手した。

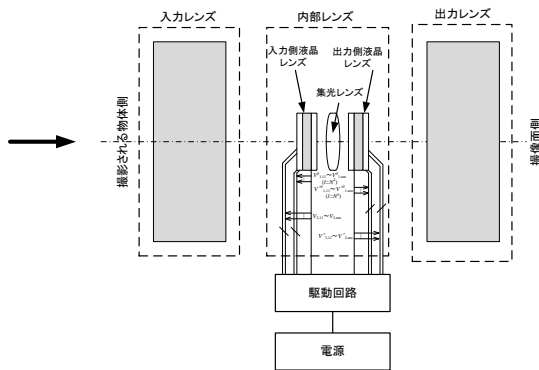


図2. 見直し後の液晶広角中心窩レンズの構成

(4)前年度に見直した内部レンズと入力レンズ及び出力レンズの2次設計を完了させることから始まり、当該光学センサのレンズ部の試作を行った。入力レンズならびに出力レンズは、前年度得られた知見に基づき、最適な収差の評価を行った後、市販の通常レンズ材料を用いて試作を行った。特に入力レンズ部は液晶レンズである内部レンズのレンズパワーの変化の大きさに限りがあることから、広角でありながらテレセン性の高いワイドコンバージョンレンズを改良した構造とした。レンズ加工は光学機器メーカーに外注した。

(5)内部レンズは、通常レンズ材料ではなく、液晶を使用して試作を行った。液晶を用いた内部レンズの試作は、前年度同様に秋田県の産業技術総合研究センターの協力に基づいて現地で実施した。試作した内部レンズの拡大率や光学性能の評価のためにレーザー干渉計とCMOSカメラを用いて干渉縞データやテストパターン撮像データを取得し、性能の評価を行った。

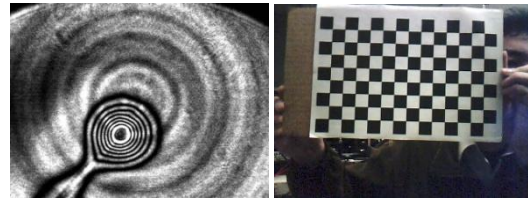


図3. 拡大率と光学性能評価のために取得した干渉縞画像とテストパターン画像

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6件)

- ① Sota Shimizu, Takumi Hashizume, Classification of Gaze Preference Decision for Human-Machine Interaction using Eye Tracking Device, International Journal of Mechatronics and Automation (accepted), 査読あり
- ② 清水創太, 石川貴一朗, 鈴木太郎, 橋詰匠, 利き眼をもつビジョンシステムー操縦者の注目を撮影画像に反映させるステレオカメラヘッド制御ー, 電気学会論文誌, Vol.130, No.3, Sec. D, pp.393-399 (2010.3), 査読あり
- ③ Sota Shimizu, Joel W. Burdick, Eccentricity Compensator for Wide-Angle Fovea Vision Sensor, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.21, No.1, pp.121-127 (2009), 査読あり
- ④ Sota Shimizu, Joel W. Burdick, Eccentricity Estimator for Wide-Angle Fovea Vision Sensor, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.21, No.1, pp.128-134 (2009), 査読あり
- ⑤ 清水創太, 広角中心窩センサの多機能的利用による移動ロボットの自律走行, 電気学会論文誌, Vol. 129, No. 12, Sec. D, pp. 1212-1217 (2009.12), 査読あり
- ⑥ 清水創太, 車載カメラ運動時におけるFoveationの効果-オプティカルフローー様化モデルの構築-, 電気学会論文誌, Vol. 129, No. 6, Sec. D, pp. 608-613 (2009.6), 査読あり

〔学会発表〕(計15件)

- ① Masaya Ogawa, Yuya Sato, Shunsuke Kudoh, Sota Shimizu, Tetsuo Tomizawa, Takashi Suehiro, Katsushi Ikeuchi, Towards Air Hockey Robot with Tactics -Statistical Analysis of Time-Series of Gaze Point Likelihood Distribution-, IEEE ICMA 2012 Conference, (2012)(accepted), 査読あり
- ② Sota Shimizu, Taro Suzuki, Yoshiyuki Fukazawa, Takumi Hashizume, Disaster

- Back-up Support using GIS Contents Composed of Images from Satellite and UAV, International conference on Field and Service Robotics, (2012.7)(accepted), 査読あり
- ③ 清水創太, 橋詰匠, 高橋慎吾, 佐藤進, メカニカルな可動部をもたない注目点・拡大率可変な広角中心窩センサの開発～液晶レンズセルの試作と実験環境の構築～, 電気学会研究会資料, 産業計測制御研究会, IIC-012-047, (2012.3)
- ④ 清水創太, 橋詰匠, 清原元輔, 清原耕輔, マイクロ広角中心窩レンズの開発, 電気学会研究会資料, 産業計測制御研究会, IIC-012-048, (2012.3)
- ⑤ 清水創太, 鈴木太郎, 瀧口純一, 橋詰匠, 衛星からの広視野画像と低高度 UAV からの高解像度画像を組み合わせた砂防 GIS コンテンツの作成, SICE SI2011 講演論文集, pp.64-67 (2011.12)
- ⑥ M. Ogawa, S. Shimizu, T. Kadogawa, T. Hashizume, S. Kudoh, T. Suehiro, Y. Sato, K. Ikeuchi, Development of Air Hockey Robot Improving with the Human Players-Arm Control for Effective quick Draw Taking An Opponent's Eye Movement into Account-, Proc. of IEEE IECON, pp.3245-3250 (2011.11), 査読あり
- ⑦ Y. TANZAWA, S. SHIMIZU, Y. INOUE, Y. SHIMIZU, Adjustment of Output Characteristic of Gyro-mill Type Vertical Axis Wind Turbine by Air Brake, Proc. of EWEA 2011 (2011.3), 査読あり
- ⑧ 清水創太, 菊地秀一, 橋詰匠, 不機嫌なモナリザ, 電気学会研究会資料, 産業計測制御研究会, IIC-072-094, pp. 103-106 (2011.3)
- ⑨ 門側拓巳, 清水創太, 橋詰匠, 脳内で補正される色情報についての研究ー視野内色伝播作用の計測と評価ー, 電気学会研究会資料, 産業計測制御研究会, IIC-119-083, pp. 59-62 (2011.3)
- ⑩ 小川雅也, 清水創太, 門側拓巳, 工藤俊亮, 佐藤啓宏, 池内克史, 橋詰匠, 人間と共に上達する Air Hockey Robot の開発～対戦者の視線運動を考慮に入れたアームの制御アルゴリズム～, 電気学会研究会資料, 産業計測制御研究会, IIC-119-130, pp. 65-70 (2011.3)
- ⑪ S.SHIMIZU, and T. HASHIZUME, Classification of Gaze Preference Decision for Human-Machine Interaction using Eye Tracking Device, IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, pp.431-436 (2010.12), 査読あり
- ⑫ 門側拓巳, 清水創太, 橋詰匠, テニス熟練者と非熟練者のアイムーブメントスキ

ルの比較と検証, JSME Symposium: Sports and Human Dynamics 講演論文集, (2010.11)

- ⑬ 清水創太, 鈴木太郎, 丹澤祥晃, 瀧口純一, 橋詰匠, 清水幸丸, 鳥の眼をもつ小型 UAV によるウィンドファーム建設予定地の鳥瞰地図の作成, 第 28 回日本ロボット学会学術講演会講演論文集, RSJ2010AC3I1-8, (2010.9)
- ⑭ 門側拓巳, 清水創太, 橋詰匠, 眼球運動が動作のスキルとして果たす役割ー人間の注視点の時系列尤度分布の構築ー, 第 28 回日本ロボット学会学術講演会講演論文集, RSJ2010AC3C3-4, (2010.9)
- ⑮ S.SHIMIZU and T.HASHIZUME, Uniform Optical Flow Model by Foveation Effect for Virtual Cylindrical Screen Algorithm, ICCAS-SICE International Joint Conference (2009.8), 査読あり

〔図書〕 (計 1 件)

- ① 清水創太・スーパーセンス ～広角中心窩センサを超えて～・画像ラボ・2012 (published soon)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 3 件)

名称: パノラマ撮像装置

発明者: 清水創太, 橋詰匠, 佐藤進, 葉茂, J.W.Burdick

権利者: 早稲田大学

種類: 特許

番号: 特願 2012-047339

出願年月日: 2012 年 3 月 2 日

国内外の別: 国内

名称: 幾何学変換レンズ

発明者: 清水創太

権利者: 清水創太

種類: 特許

番号: 特願 2011-107107

出願年月日: 2011 年 5 月 12 日

国内外の別: 国内

名称: 注目度検出システム, 注目度判定装置, 注目度判定装置用のプログラム及び画像配信システム

発明者: 清水創太, 橋詰匠

権利者: 早稲田大学

種類: 特許

番号: 特願 2011-61522

出願年月日: 2011 年 3 月 18 日

国内外の別: 国内

○取得状況 (計 2 件)

名称：Imaging Model and Apparatus, Inventors
発明者：Sota Shimizu
権利者：California Institute of Technology
種類：特許
番号：US8,094,965B2
取得年月日：1/10/2012
国内外の別：U.S. Patent

名称：Image Processor
発明者：Sota Shimizu, J.W. Burdick
権利者：California Institute of Technology
種類：特許
番号：US8,094,169B2
取得年月日：1/10/2012
国内外の別：U.S. Patent

〔その他〕
ホームページ等
www.waseda.jp/tlo/jpn/seeds/data/s-shimizu02.html

6. 研究組織

(1) 研究代表者
清水 創太 (SHIMIZU SOTA)
早稲田大学・理工学術院・准教授
研究者番号：20328107

(2) 研究分担者
()

研究者番号：

(3) 連携研究者
()

研究者番号：