

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 15 日現在

機関番号：32689

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560307

研究課題名(和文)メカニカルな可動部をもたない注目点移動可能な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 Vision Sensor with Changeable Attention Point w/o Mechanical Parts

研究代表者

清水 創太(Sota, Shimizu)

早稲田大学・理工学術院・准教授

研究者番号：20328107

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,200,000円

研究成果の概要(和文)：メカニカルな可動部なしに注目点の移動を実現するための液晶広角中心窩レンズの多電極構造を考案し、この多電極構造により複数の注目点を同時に与えた際の結像を可能にする局所ズームユニットを設計した。1枚2面の非球面からなる仮想的なレンズを一对の液晶レンズセルの物理形状モデルとして考案・定義し、これに基づいて視野の一部で結像状態が劣化する現象を解決した。また、この物理形状モデルを用いて、目標とする拡大率を実現するためにどれだけの屈折率とそれに対応した物理形状変化が必要であることを示し、ここから、使用する液晶レンズセルの液晶材料と要求される電極サイズ及び液晶層厚さを決定できることを示した。

研究成果の概要(英文)：Multi-electrode structure of the Liquid Crystal Wide Angle Fovea Lens has been proposed in order to move the attention point inside its field of view without mechanical parts. By using this multi-electrode structure, the designed local zoom unit achieves focused imaging when multiple attention points are given simultaneously. The virtual lens composed of a single lens with two aspherical surfaces has been defined as the physical lens shape model corresponding to a pair of the liquid lens cell to solve a problem where lens focus is deteriorated in a part of the field of view. Using this model, it is calculated how much optical refraction and corresponding physical shape are required to the lens in order to achieve a target magnification. Based on this concrete physical lens shape, we can determine required liquid crystal material, electrode size and thickness of the liquid crystal layer of the liquid crystal lens cell.

研究分野：知能機械学・機械システム

キーワード：液晶広角中心窩センサ ロボティクス バイオメカニクス メカトロニクス 人間機械システム

### 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。眼球運動により注視を行うことで、広視野かつ詳細な情報を極力少ない情報量で獲得できる。このように、人間の眼の機能にヒントを得た広角中心窩センサからの画像はデータ通信及びデータストレージにおいて大きな利点をもつ。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、特殊撮像素子方式、第 2 の方法は特殊広角レンズ方式、第 3 の方法はソフトウェアダウンサンプリング方式である。

以下に有指向性広視野センサ(すなわち Uni-Directional Vision, UDV)としての広角中心窩レンズの特長を述べる。

1) 画像撮像機器の多目的利用を可能にするより広い視野情報を獲得できる

2) 有指向性の情報獲得特性により、視野内の注目領域でより詳細な情報を獲得できる

3) 獲得されるログボラ画像から回転・拡大縮小不変な幾何学的特徴量を容易に抽出できる

研究代表者は現在まで継続して特殊広角レンズに基づく第 2 の方法による広角中心窩センサの研究に従事してきた。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だ。また、研究代表者は新しい広角中心窩モデルとして改良広角中心窩モデルを考案した。そこで、これまでの広角中心窩レンズは、非一様なレンズ拡大率分布が固定であり、視野中心部分でさらに高い解像度を要求されても即時その対応が不可能であることから、液晶をレンズ材料に用いて、視野の広さを維持したまま、視野中心部分の拡大率を随意に制御できる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の開発に取り組んだ。その中で研究代表者は、従来の光学設計手法がシリンドリカルレンズのような特殊な用途を除いて、光軸を中心とした放射相称 (radial-symmetry) な像を結像させることに半ば盲目的に囚われていることに気付いた。そして、液晶に代表される光学機能材料をレンズ材料として用いることで、メカニカルな可動部なしに広い視野を維持したまま注目点 = 光軸周りに随意に拡大率分布を制御できるだけでなく、視野内の任意の場所に注目点を移動でき、かつその点周りに拡大率分布を制御でき、さらに人間の眼のように 1 つの注目点に必ずしもこだわる必要はなく、複数の注目点を与えて複数箇所を同時に詳細に見ることが出来る radial-asymmetry な液晶

広角中心窩レンズを開発できるという着想に到った。

### 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て考案された広角中心窩センサを液晶をレンズ材料として使用して設計・試作することである。液晶は外部から印加する電圧により内部の屈折率の分布を制御することができ、以下の 3 点が実現可能となる。第 1 にセンサにより得られる像の空間解像度分布を制御し、広い視野を維持したままメカニカルな機構やアクチュエータを用いず注目点の位置を随意に変えることができる。第 2 に視野の広さを保持したまま注目点部分の拡大率を随意に可変制御できる。第 3 に視野内に複数の注目点を与えることができる。このようなメカニカルな機構を必要とせず広い視野内の空間解像度を自在に制御できる広角中心窩センサは、小型化・省電力化に適しており、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であり、さらなる応用分野も開拓できる。

### 3. 研究の方法

本研究は 3 年間の計画であり、各年度は設計・評価フェーズと試作フェーズによって 2 段階で構成された。初年度の取り組みは、光学系の設計・評価に必要なエミュレータを改良し、1 つの拡大率可変な注目点を移動させるための電極パターンの設計と駆動制御手法を確立させ、注目点移動可能な液晶広角中心窩センサの 1 次モデルを試作した。2 年目には広い視野を維持したままメカニカルな機構やアクチュエータを用いず注目点の位置を随意に変えることができる液晶広角中心窩レンズの中で中心的役割を果たす局所ズームユニットの設計とその駆動手法確立に取り組んだ。その中で特に注目したのは以下の 2 点である。

(1) メカニカルな機構なしに注目点移動だけでなくバックフォーカスを調節できること。

(2) 液晶分子の制御により変化させることが出来る屈折率が比較的小さいため、その可塑性を最大限に活かせる光学系構造とすること。

3 年目は局所ズームユニットの設計を完了させ、続いて試作を行った。設計においては、試作する局所ズームユニットの基本指針である上記の 2 点に加えて、結像状態が視野の一部で劣化するという前年度の課題の解決を図った。なお、本研究は早稲田大学及び秋田大学の研究室で実施された。

### 4. 研究成果

(1) コンピュータ、高解像度 CMOS カラーカメ

ラ，光学部品なら構成される光学系の設計・評価に必要となるシミュレーション用広視野センサ試作機(エミュレータ)を1つの拡大率可変な注目点を移動させられるよう改良し，光学系の目標仕様を設定した．

(2) 注目点移動を可能とする電極パターンを設計し，駆動手法を考案した．液晶レンズが生み出すレンズ効果を効率的に活用するための試作機入力レンズ部を完成させた．また，積層型の多電極パターンを有する1次試作機を設計かつ駆動手法を考案し，この構造により注目点移動が可能であることを示した．



図1. 超広角テレセントリックレンズ

(3) 液晶広角中心窩レンズを駆動させた際の画像映像を取得できるように光学ベンチを構築した．また，干渉光学系に基づき液晶をレンズ材料として用いた光学デバイスの特性の評価とシミュレーション解析を行った．

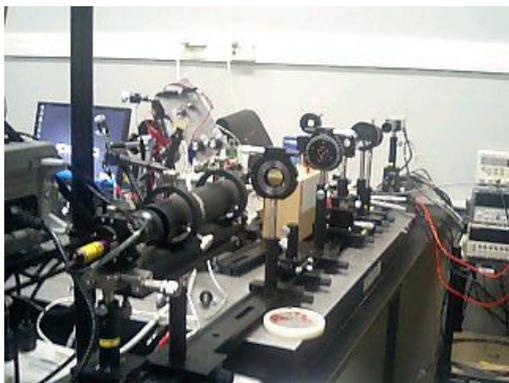


図2. レーザー干渉光学系

(4) テレセントリック光学系の構造に着目し，液晶の小さなレンズパワーの変化でより大きな像の拡大率変化を実現できる局所ズームユニットを考案し，設計を行った．すなわち，試作機は入力レンズ部に超広角テレセントリックレンズをもつ．この局所ズームユニットに用いた構造はバックフォーカスの調整を同時に実現できる．また，動作を実証するため試験光学部品を用いて実験を行った．

(5) 2層の液晶レンズセルの屈折率分布制御により実現される局所拡大(縮小)光学系に対して，一定の屈折率をもつ光学材料による同等の光学性能をもつ1枚2面の非球面からなる仮想的なレンズを物理形状モデルとして考案・定義し，これに基づいて前年度の課題であった視野の一部分で結像状態が劣化する現象を解決した．また，考案した物理形状モデルの屈折率をパラメータとすることで，目標とする拡大(縮小)率を実現するためにどれだけの物理形状変化(すなわちレンズパワーの幅)が必要であることを示せることに着目し，試作する局所ズームユニットに使用する液晶レンズセルの液晶材料と電極サイズ及び液晶層厚さを評価した．

(6) 局所ズームユニットの試作を行った．液晶レンズセルの試作は研究協力者の協力の下，研究協力者の研究室の設備を使用し実施した．

## 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4件)

Sota Shimizu, Yoshiaki Tanazawa, Takumi Hashizume, Development of Wide Angle Fovea Telescope, IEEJ Transaction on Industrial Applications, Vol.3, No.4, Sec. D, pp. 368-373 (2014.7), DOI: /10.1541/ieejia.3.368, 査読有り

Sota Shimizu, Taro Suzuki, Masaya Ogawa, Yuzo Shibayama, Yoshiyuki Fukazawa, Takumi Hashizume, Disaster Back-up Support using GIS Contents Composed of Images from Satellite and UAV, Field and Service Robotics, pp.81-96, Springer (2014.2), 査読有り

Sota Shimizu, Takumi Hashizume, Development of Micro Wide-Angle Fovea Lens -Lens Design and Production of Prototype-, IEEJ Transaction on Industrial Applications, Vol.2, No.1, Sec. D, pp.55-60 (2013.1), DOI: 10.1541/ieejia.2.55, 査読有り

Sota Shimizu, Yoshiaki Tanzawa, Takumi Hashizume, Classification of Gaze Preference Decision for Human-Machine Interaction using Eye Tracking Device, International Journal of Mechatronics and Automation, Vol.2, No.2, pp.75-82 (2012.7), DOI: 10.1504/IJMA.2012.048183, 査読有り

〔学会発表〕(計19件)

西山裕之，清水創太，長岡央，長谷部信行，遠隔操作時の時間遅れ問題を解決する SIFT を用いた過去から未来へのビジュアルトラッキング，日本地球惑星科学

連合 2015 年大会, 幕張メッセ, (2015.5.25)

Sota Shimizu, Yukihiro Nishiyama, Nobuyuki Hasebe, A Solution of Time-delay Problem in Remote Operation of Active Vision Sensing Device - Visual Tracking in Time-series of Images from Past to Future -, IEEJ International Workshop on Sensing, Actuation, and Motion Control, Nagoya Institute of Technology, (2015.3.10)

千田誠, 田村賢介, 河村希典, 佐藤進, 液晶レンズの応答特性( ), 第 61 回応用物理学会春季学術講演会, 東海大学 (2015.3.12)

Sota Shimizu, Takumi Hashizume, Shuu-ichi Kikuchi, Nobuyuki Hasebe, Hiroki Kusano, Mona Lisa might be displeased? -Emotion Propagation from Central Field of View to Periphery in the Brain-, The 10th anniversary of France-Japan and 8th Europe-Asia Congress on Mechatronics, Tokyo Metropolitan University, (2014.11.29)

Sota Shimizu, Nobuyuki Hasebe, Kazutaka Nakamura, Kyeong Ja Kim, Yi Re Choi, Eung Seok Yi, Hiroki Kusano, Hiroshi Nagaoka, Multi-purpose Wide-Angle Vision System for Remote Control of Planetary Exploring Rover, IECON, Dallas, USA, (2014.10.30)

Sota Shimizu, Takumi Kadogawa, Masayuki Naito, Takumi Hashizume, Hiroki Kusano, Hiroshi Nagaoka, Nobuyuki, Hasebe, Yoshiaki Tanzawa, A study on Color Information Corrected in Human Brain-Measurement and Evaluation of Color Propagation-, IECON, Dallas, USA, (2014.10.30)

田村賢介, 系田大輝, 河村希典, 佐藤進, 二重焦点可変型大口径液晶レンズの光学位相差特性, 第 75 回応用物理学会秋季学術講演会, 北海道大学, (2014.9.17)

清水創太, 総論: 高度センサ応用による計測制御技術創生, 平成 26 年電気学会産業応用部門大会, 東京電機大学, (2014.8.28)

Sota Shimizu, Nobuyuki Hasebe, Kazutaka Nakamura, Kyeong Ja Kim, Yi Re Choi, Eung Seok Yi, Hiroki Kusano, Hiroshi Nagaoka, Multi-purpose Use of Wide-Angle Fovea Vision System for Planetary Exploring Rover, ISRS, Busan, Korea, (2014.4.17)

Sota Shimizu, Yoshiaki Tanzawa, Takumi Hashizume, Development of Wide Angle Fovea Telescope -Lens Design and Production of Prototype-, IEEE AMC, Keio University, (2014.3.15)

Sota Shimizu, Takumi Kadogawa, Shuu-ichi Kikuchi, Takumi Hashizume, Quantitative

Analysis of Tennis Experts' Eye Movement Skill, IEEE AMC, Keio University, (2014.3.14)

清水創太, 長谷部信行, ドライブレコーダ用広視野センサの開発, 電気学会産業計測制御研究会, 芝浦工業大学, (2014.3.10)

中村和貴, 清水創太, 長谷部信行, 草野広樹, 長岡央, 惑星探査ローバー遠隔操縦のための広視野視覚システムの開発, 電気学会 産業計測制御研究会, 芝浦工業大学, (2014.3.10)

系田 大輝, 河村 希典, 佐藤進, 二重焦点制御機能を有する液晶レンズの光学位相差特性, 第 61 回応用物理学会春季学術講演会, 青山学院大学, (2014.3.18)

清水創太, 門側拓巳, 橋詰匠, テニス熟練者のアイムーブメントスキルの定性的・定量的検証, 平成 25 年度電気学会東京支部連合大会, 東京電機大学, (2013.9.3)

系田 大輝, 河村 希典, 佐藤進, 可変二重焦点型液晶レンズのレンズ特性, 第 74 回応用物理学会秋季学術講演会, 同志社大学, (2013.9.19)

清水創太, 清原元輔, 橋詰匠, 広角中心窩望遠鏡の開発, 電気学会産業計測制御研究会, 千葉大学 (2013.3.7)

Sota Shimizu, Motosuke Kiyohara, Takumi Hashizume, Development of Micro Wide Angle Fovea Lens, Proc. of IEEE IECON, Montreal, Canada, (2012.10.26)

清水創太, Future Optics: Omni, Uni, and Towards Multi, 平成 24 年電気学会産業応用部門大会, 千葉工業大学, (2012.8.30)

Sota Shimizu, Taro Suzuki, Yuzo Shibayama, 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, Matsushima, Japan, (2012.7.17)

〔産業財産権〕  
出願状況(計3件)

名称: 視聴者注目情報提供システム、時空間マーカ設定装置及びそのプログラム、並びに、情報提供装置及びそのプログラム

発明者: 清水創太, 長谷部信行, 石黒 聡, 橋詰匠, 芝山 有三

権利者: 早稲田大学

種類: 特許

番号: 特願 2014-170850

出願年月日: 2014 年 8 月 25 日

国内外の別: 国内

名称: マトリクス駆動液晶光学素子及び装置  
発明者: 佐藤進, 清水創太

権利者：秋田県  
種類：特許  
番号：特願 2012-143369, 特開 2014-006440  
出願年月日：2012 年 6 月 26 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：PCT/JP2012/062134  
出願年月日：2012 年 5 月 11 日  
国内外の別： 国外

取得状況（計 1 件）

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：5733658 号  
出願年月日：2011 年 3 月 18 日  
取得年月日：2015 年 4 月 24 日  
国内外の別： 国内

〔その他〕

ホームページ等  
[www.waseda.jp/tlo/jpn/seeds/data/s-shimizu02.html](http://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

佐藤 進 (SATO SUSUMU)  
秋田大学・工学資源学研究科・名誉教授  
研究者番号：50005401

(3) 研究分担者

橋詰 匠 (HASHIZUME TAKUMI)  
早稲田大学・理工学術院・教授  
研究者番号：90103621