

平成 30 年 6 月 5 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K00230

研究課題名(和文) オクルージョン知覚機構の解明とこれに基づいた高精細映像処理法

研究課題名(英文) Study on mechanism of occlusion perception and processing method of high-definition images

研究代表者

工藤 博章 (KUDO, Hiroaki)

名古屋大学・情報学研究科・准教授

研究者番号：70283421

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、オクルージョン領域の注視に着目し、眼球運動・水晶体の調節の計測を行い、これらの関係を考察し、視覚情報処理のモデルと映像処理の可能性を検討した。注視点に応じて焦点位置を変えた映像を提示する環境を構築し、眼球運動を計測した。光学透過型HMDを用い、実物体と映像の間で注視対象を変更する際の注視位置、屈折度の計測を行った。映像位置を変更することも試みた。実物体を用い、眼球運動と水晶体の屈折度の同時測定を行ない、輻輳角と屈折度についてモデルを検討した。等輝度に知覚される色の組みによるオクルージョン領域の知覚の実験を行い、輝度差があるものパターンによるものと同様と示唆する結果を得た。

研究成果の概要(英文)：We measured eye movements and accommodation of the crystalline lens during gazing at an occlusion region. We analyzed a relationship between these signals, and proposed a model of visual information processing. Feasibility of image controlling in displaying 3D image was examined. We developed a system which displayed the different focus image according to gaze points. Using an optical see-through HMD, we measured eye movements and refractive index of the lens changing a gaze target between a real object and an image on HMD. Changing displaying positions of an image was also examined. Using a real object, we measured eye movements and refractive index simultaneously, and designed a model of gaze positions, vergence, and accommodation. Under a condition of a set of colors which are perceived as equiluminance instead of non-equiluminance patterns, we experimented on the perception of an occlusion. We obtained results which suggested this condition is similar to non-equiluminance case.

研究分野：生体情報処理

キーワード：オクルージョン 知覚 奥行き知覚 眼球運動 調節 色彩 モデル化 立体映像

1. 研究開始当初の背景

現在実用化されている 3D 表示方式は、2 眼式ステレオと呼ばれ、人の瞳孔間隔に相当する位置に 2 台のカメラを設置し左右像を撮影したものである。左右像の間には、非対応となる領域、オクルージョンが生じる。また、2D 画像から 3D に変換されることが行われており、近方、遠方に位置する物体について、対応した視差を設けている。これにより、左右像に全く対応点の存在しない部分が生じる。通常、観察者がオクルージョンを感じることは少ないが、自然画像との違いを感じることは十分である。自然画像においてオクルージョンは左右網膜像に非対応点を生じさせることは、視線移動となってオクルージョンをさける視覚行動を生起させる一方、前後の重なり情報を与え、奥行き知覚に大きな効果をもたらしているとも言える。

研究代表者らは、1990 年代、このオクルージョンの問題に着目し、実物体を対象とし、オクルージョン領域に対してどのように注視が行われているかを計測することを試みてきた。黒い背景（遠距離）の前の円柱の観察を対象とした実験において、円柱の側面の端（リム）は、奥行が連続的に変化しており、左（右）の側面の場合には、左（右）目だけに見える領域が存在する。この円柱にテクスチャを付加すると、オクルージョンが知覚されるようになる。この時、注視位置の変化が見られた。テクスチャがないときに比べて、平均的な注視位置は遠距離の背景側に移動した。背景が一樣のためオクルージョンが生じない角柱では、テクスチャの有無で変化は見られなかったことを報告している[1]。

現在、計測技術の発展により、両眼の眼球運動に対する注視位置・輻輳角の計測だけでなく、実物体を観察できるような方式での目の調節機能（水晶体の屈折度の変化）の計測を行うことも可能となっている。眼球運動・調節の変化からオクルージョン領域で、近景・遠景のどの奥行を観測しているかを明らかにできるような環境が整ってきており、これを試みる。

[1] 工藤、魚森、山田、大西、杉江：“リムオクルージョンに誘発される両眼の注視位置の変化,” テレビジョン学会誌, 47, 8, 1115-1122, 1993.

2. 研究の目的

オクルージョンは、片方の視線に対してもう一方の視線が、近方に位置している物体に遮蔽されることで、両眼で同じ視対象を注視できないときに生じる。このことは、人の認知処理の上では、前後関係を知る奥行き知覚の重要な要素とも言える。

オクルージョンを知覚した時に脳内で行われる処理過程を、近年の映像技術の発展で実現可能となった新たな実験パラダイムと生体信号の測定により解明し、3D および 2D 画

像における奥行き知覚の向上、脳内のオクルージョン処理を積極的に生かした 3 次元画像の再構成に活かすことを目的とする。

3. 研究の方法

高精細映像の普及に伴い、近距離での視聴に伴う画角の広がりによる臨場感の高まり、単位視角あたりの解像度の増加による実物感の高まりが感じられる映像となっており、立体感が向上している。

本研究では、奥行の違いのある映像を観察する際には、常に生じているオクルージョン領域に着目し、従来、同時測定することが行われていない眼球運動・水晶体の調節（屈折度）などの生体信号を計測することでオクルージョンに関わる知覚特性などの解明を行う。

各種の提示条件（実物体、立体映像、異なる焦点映像など）とオクルージョン要因の関係を明らかにするため、注視方向と連動した独自の装置の開発を行う。計測・分析結果に基づいて、視覚情報処理-眼球運動・調節系のモデル化を行う。

(1) 水晶体の調節に着目し、焦点位置を変化させた映像の観察時の眼球運動の計測

通常、オクルージョンは奥行きの違いによって生じる。そこで、焦点位置が物体にある時と背景にある時には異なることを要因とする可能性について、検討を行う。

円柱の 3D 映像に対して、リム部の注視を行う。左右の目の位置に応じた視点位置から、円柱をライトフィールドカメラで撮影する。撮影後、焦点位置を定めることで焦点位置の異なる画像の組みを生成する。リム周辺部について生成を行なう。これを眼球運動の計測と組み合わせ、注視位置に合わせ、その焦点位置に相当する映像を提示することを行なう。すなわち、物体の位置に注視点があれば、近い位置に焦点距離がある映像が提示され、背景の部分に注視位置があれば、焦点位置が遠い映像を提示するものである。

(2) 光学透過型の HMD を用い、視距離の異なる映像を観察した際の眼球運動と水晶体の屈折度の測定

オクルージョンが生じている状況では、奥行き異なる位置に物体があるということになり、この視距離の違いに着目して検討を試みる。光学透過型 HMD で表示した映像の注視時と透過して見られる実物体を注視時について、眼球運動と水晶体の屈折度の計測を行なう。これは二眼式 3D 映像観察時に計測される生体信号の検討としての側面をもつ。

(3) 円柱のリム部を注視した時の眼球運動と水晶体の屈折度の同時測定

眼球運動と水晶体の屈折度を同時に計測できる環境を構築し、円柱のリム部を注視した際の注視位置と水晶体の屈折度についての

同時測定を行う。先行研究での眼球運動に関する知見を検証し、屈折度への影響を評価する。

(4) 等輝度に知覚される色の組みによるテクスチャをもつ円柱のリム部を注視した時の眼球運動の測定

従来の測定条件では、円柱のテクスチャが白黒のパターンを用いて実験を行なっている。このような時、等輝度には知覚されない。等輝度に知覚される色の組みでパターンを構成し、オクルージョンが生じる状況での注視時の眼球運動を分析する。色に関する視覚系の処理の関わりを明らかにする。

4. 研究成果

(1) 水晶体の調節に着目し、焦点位置を変化させた映像の観察時の眼球運動の計測

① 眼球運動による注視位置に従った焦点位置の変化の分析

オクルージョン領域は、一方の眼にのみ見える領域であり、奥行の不連続を伴うことが多い。実物体では、これにより焦点位置に違いが生じ、パターンがぼやけて見える可能性がある。一方、立体映像では、注視位置を変更しても、そのような効果は生じない。ここでは、撮像後に焦点位置を変更することができるライトフィールド映像を用いて、注視位置に従って、焦点位置の異なる立体映像を切替表示するを行なった。

焦点位置の切替を行わない場合と行なった場合について、眼球運動を計測した結果の例を図1に示す。

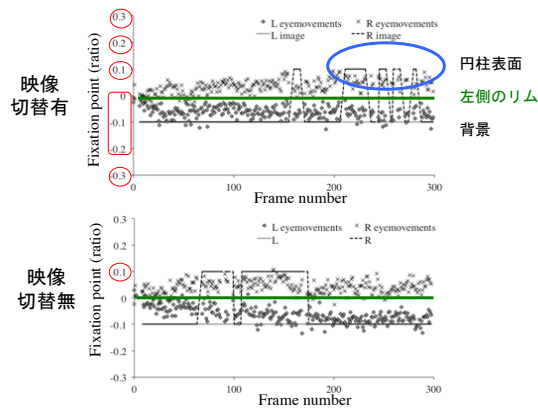


図1. オクルージョン部の注視時に焦点位置の切替表示した時としない時の眼球運動記録 (上: 切替表示有り, 下: 切替表示無し)

注視位置としては、切替の効果は特に差が見られない結果となった。時間変化について着目した際には、切替を行った際に眼球運動が促進されるような結果を示す参加者も見られた。物体表面のパターンに焦点位置がある時の方が、オクルージョンの知覚が促進される結果とも考えられ、さらなる検討が望まれる。

(2) 視距離の異なる映像を観察した際の眼球運動と屈折度の測定

オクルージョン領域では、視距離の違いが生じている。これに着目し、眼球運動計測と水晶体の屈折度計測を行った。

① 水平方向の眼球運動計測

光学透過型方式 HMD を用い、映像として、背景を黒色 (表示時には透過) として、左側 (中央から約 9.6 度) の位置に、指標を描画した。

実対象として、同様の指標をモニタの中央に描画したものについて注視する課題を行った。比較として、モニタ上に描画された二つの指標の間を注視する課題を行った。計測結果の例を図2に示す。

HMD と実物体の間の注視では、HMD の像から実物体、実物体から HMD の像に注視を変更した時に、オーバーシュートする様子が見られた。一方、二つの実物体の注視では、安定した移動が見られる結果となった。HMD の像は、対象の奥行きに依存した視線移動が難しい課題であることは妥当であるが実物体側でもオーバーシュートが見られることは興味深い。この点について、奥行き知覚に着目し、3D で算出した注視位置の測定、水晶体の屈折度の測定を行った。なお、テレビ視聴などの2眼式 3D 方式との比較の上では、HMD では、近距離で像の提示がなされていることは考慮すべきである。

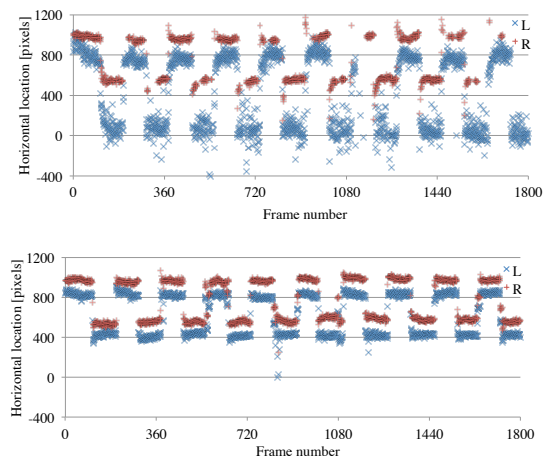


図2. HMD と実物体の指標の間を注視した時と、二つの実物体の指標の間を注視した時の眼球運動記録 (上: HMD と実物体, 下: 二つの実物体)

② 映像制御の可能性と 3D 注視位置の測定

光学透過型方式 HMD で、実物体から映像について視線を移動させた時に、オーバーシュートが生じるような例が見られたことから、視線移動時に映像の制御を行い、より視線移動が短くなる側、長くなる側に提示した場合の 3D 注視位置 (両眼の視線の交点) を計測することを行った。HMD の中央、奥にある実物体、左側の映像の注視を順に行なった計測の例を、図3に示す。3次元の注視位置の X 及び Z 座標を示している。0 は移動させないも

の、右 20 は短くなる側で、左 20 は長くなる側である。X 座標での安定という面では右 20 が良いような結果である。Z 軸では、0 で若干近点に、右 20 でさらに近点に、左 20 で変化しないような結果となった。さらに検討することが望まれる。

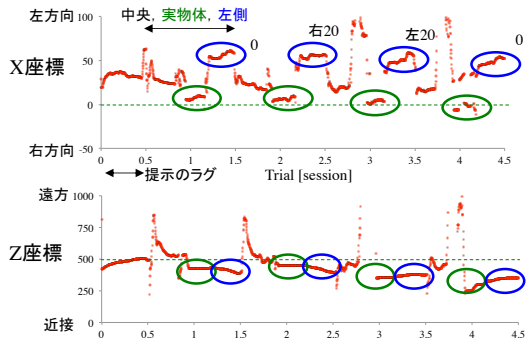


図 3. 奥行き異なる視対象に注視位置を変えた時に映像を制御した時の 3D 注視位置

③ 水晶体の屈折度の測定

光学透過型方式 HMD で、実物体から映像に視線移動させた時の水晶体の屈折度の変化の計測を行った。モニタ上の指標（実物体）から映像に注視対象を変更する課題を実施した。比較として、HMD の像二点の間の注視対象変更，モニタ上の二点の間の注視対象変更（HMD 装着あり／なし）を行い，計測を行った。データは，等価球面度数として得られる。これに対して個人差を補正して，視距離との関係にしたものの例が表 1 である。単位は m で，far は 3.5m である。モニタまでの距離は 0.4m であった。実対象では，中央から左への移動で距離が短くなる傾向が得られた。眼球運動計測結果との分析が望まれる。

表 1. 実物体と映像の間で注視位置を変更した際の水晶体の屈折度（距離換算）

	左目		右目	
	左指標	中央指標	左指標	中央指標
HMD 左			0.33	far
モニタ中央	0.20	far	0.33	0.50
	0.20	0.33		
HMD 左			far	far
HMD 中央	far	far	far	far
	far	0.40		
モニタ左			0.20	0.33
モニタ中央	0.20	0.50	0.20	0.33
HMD 装着	0.20	0.40		
モニタ左			0.50	0.50
モニタ中央	0.20	0.40	0.50	0.40
HMD 無し	0.25	0.25		

(3) 円柱のリム部を注視した時の眼球運動と水晶体の屈折度の同時測定

眼球運動と水晶体の屈折度を同時に計測できる環境を構築した。円柱のリム部を注視した際の注視位置と水晶体の屈折度についての同時測定を行った。円柱表面にテクスチャパターンがある場合とない場合について計測を行った結果の例を図 4 に示す。

眼球運動データから注視位置と輻輳角を示した。同時に計測した水晶体の屈折度を等価

球面度数で表示した。上図が左目の屈折度，下図が右目の屈折度計測時の結果である。円柱表面にある固視点とオクルージョンを生じるリムの注視を行ったものである。統計処理した結果，眼球運動では，左目は変化無し，右目はテクスチャがある時により背景側となり，輻輳角が大きくなる。あるいは，左目がテクスチャがある時に，より物体側，右目に変化無しとなり輻輳角が大きくなる傾向が得られた。この時の変化は，同時測定した屈折度と同じ傾向となった。これにより，輻輳角と屈折度の関係での分析の有用性が示唆された。

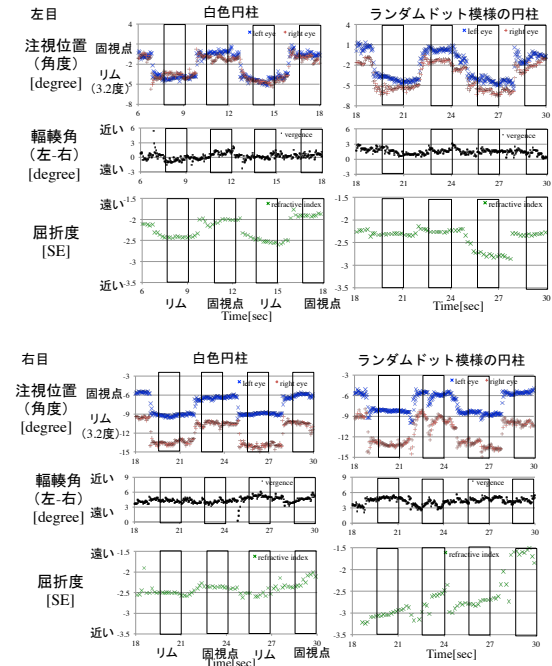


図 4. 円柱の固視点とリムを注視した時の眼球運動（注視位置，輻輳角）と屈折度（上：左目屈折度計測，下：右目屈折度計測）

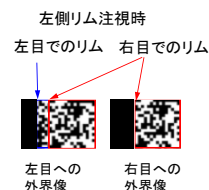


図 5. リム注視時の外界像

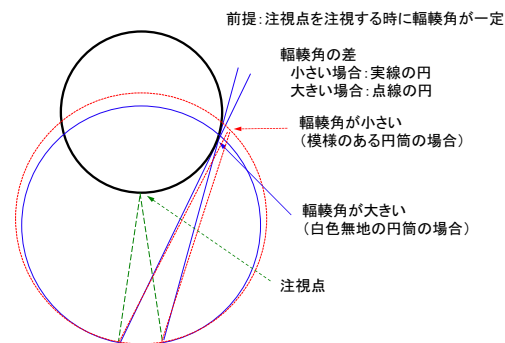


図 6. 輻輳角とその幾何（リムの位置から背景側への視線移動がある場合）

このような計測をもとにして、図 5 に示す外界像の入力と図 6 の輻輳角に関する幾何に基づいて、どちらか一方の目でのリムの位置を注視し、結果として輻輳角、屈折度の変化をさせているとする説明モデルを立てた。図 6 は外側への注視位置の移動を記載しているが、内側への移動も同様に考えられることも検討を行っている。

(4) 等輝度に知覚される色の組みによるテクスチャをもつ円柱のリム部を注視した時の眼球運動の測定

従来の測定条件では、円柱のテクスチャが白黒のパターンを用いて実験を行なっている。ここでは、等輝度に知覚される色の組みでパターンを構成し、オクルージョンが生じる状況での映像を用いて注視時の眼球運動を計測した。実物体と異なり、映像であるため、リム部注視を行なった状態でパターン変更することも容易である。色は緑色と赤色の組みを用いて行なった。参加者個人ごとに同じ輝度と知覚される条件のもとで実験を行なった。白色の円柱、白黒のパターンをもつ円柱を含め、計 3 種の映像を用いて実験を行なった。リム部を注視した状態で条件を変更し、輻輳角の変化について分析を行なった。白色から緑赤のパターン、白色から白黒のパターン、緑赤から白黒パターンについて計測した。

パターン変化時に大きさ 0.5 度以上の変化があったかないかを、3 種類の提示条件に対する結果を表 2 に示す。検定を行ったところ、全条件で、有意差が見られることとなった。このことと白から白黒、白から緑赤の分布に差異があるとは言えなかったことから、白黒パターンと同様に、等輝度に知覚される緑赤の色で構成されたパターンにおいてもリム時の注視時に輻輳角の変化を生じさせる機構が働いている可能性が示唆されると推察した。

表 2. パターン変化時に輻輳角の変化した試行数

	白から白黒	白から緑赤	緑赤から白黒
変化有り	61	72	62
変化無し	31	20	30
合計	92	92	92

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 2 件)

- ① Shinya Mochiduki, Reina Watanabe, Miyuki Suganuma, Hiroaki Kudo, Noboru Ohnishi, Mitsuho Yamada, Study on Incongruence between Binocular Images when Gazing at the Rim of a Column with Equiluminance Random Dots, IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and

Computer Sciences, E101-A, 6, 884-891, 2018, DOI:10.1587/transfun.E101.A.884 (査読有)

- ② 工藤 博章, 山田 光穂, 大西 昇, 立体映像における現実感向上のためのオクルージョン領域を対象とした眼球運動の分析, IEICE Fundamentals Review, Vol. 10, No. 3, 169-175, 2017, http://doi.org/10.1587/essfr.10.3_169 (査読無)

[学会発表] (計 9 件)

- ① Shinya Mochiduki, Reina Watanabe, Miyuki Suganuma, Hiroaki Kudo, Noboru Ohnishi, Mitsuho Yamada, Study on incongruence between binocular images when gazing at the rim of a column with equiluminance random dots, The 6th International Conference on Social Science and Business, 2017
- ② 工藤 博章, 山田 光穂, 大西 昇, 円柱のリムを注視した時の眼球運動と水晶体の屈折度数の同時計測, 電子情報通信学会 2017 年総合大会, 2017
- ③ 望月 信哉, 渡邊 怜奈, 菅沼 美由紀, 工藤 博章, 大西 昇, 山田 光穂, 等輝度ランダムドット円柱のリム注視時に生じる両眼不一致についての考察, 電子情報通信学会イメージ・メディア・クオリティ研究会, 2017
- ④ 工藤 博章, 山田 光穂, 大西 昇, テクスチャのある円柱のリムを注視した時の眼球運動と水晶体の屈折度の同時計測, 電子情報通信学会イメージ・メディア・クオリティ研究会, 2017
- ⑤ 工藤 博章, 大西 昇, 実世界と拡張現実感映像との視距離の違いに着目した 3D 注視位置の計測, 電子情報通信学会 2016 年総合大会, 2016
- ⑥ Hiroaki Kudo, Noboru Ohnishi, Accommodation Measurement for Differences Between Visual Distances of Real Visual Target and Augmented Reality Image, The Eighth International Workshop on Image Media Quality and its Applications, 2016
- ⑦ Hiroaki Kudo, Measurement of eye movements and depth perception for occlusion, The Eighth International Workshop on Image Media Quality and its Applications, 2016
- ⑧ 工藤 博章, 大西 昇, 実世界と拡張現実感映像との視距離の違いに着目した視線計測, 電子情報通信学会 2015 年ソサイエティ大会, 2015
- ⑨ 工藤 博章, 山田 光穂, 大西 昇, オクルージョン領域観察時における焦点位置の効果, 電子情報通信学会イメージ・メディア・クオリティ研究会, 2015

6. 研究組織

(1) 研究代表者

工藤 博章 (KUDO, Hiroaki)
名古屋大学・情報学研究科・准教授
研究者番号：70283421

(2) 研究分担者

大西 昇 (OHNISHI, Noboru)
名古屋大学・情報学研究科・研究員
研究者番号：70185338

山田 光穂 (YAMADA, Mitsuho)
東海大学・情報通信学部・教授
研究者番号：60366086