

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 20 日現在

機関番号：34419

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2010～2013

課題番号：22500418

研究課題名(和文) 固視微動解析による「見えざる運動」が認知機能に及ぼす影響の客観的評価

研究課題名(英文) An objective evaluation of the influence of ``undetectable motions`` on cognitive functions by the analyses of fixation eye movements

研究代表者

小濱 剛 (KOHAMA, Takeshi)

近畿大学・生物理工学部・准教授

研究者番号：90295577

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円、(間接経費) 990,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、注意機能と密接に関与する固視微動の統計的解析に基づき、知覚閾下の運動情報、すなわち「見えざる運動」が認知機能に及ぼす影響を客観的に評価することを目的とするものである。注視を維持した状態で、注視位置に提示された情報に対する認知課題を実施し、背景に知覚閾下で運動する視覚運動情報を提示した際の固視微動を解析することで、知覚閾下の視覚運動情報によるトップダウン注意機構への影響を評価した。その結果、マイクロサッカードの発生頻度が知覚閾下の運動情報によって変化することが示され、また、ドリフト眼球運動の揺らぎの性質が、周辺視野に提示された低コントラストの運動情報の影響を受けることが明らかとなった。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study is to evaluate the influence of ``undetectable motions``, the motion information under the perception threshold, on cognitive functions by statistical analyses of the property of fixation eye movements. Subjects performed rapid serial visual presentation (RSVP) tasks with undetectable or ambiguous motions in the background while maintaining their fixation. We evaluated the influence of these motions on top-down attention mechanism by analyzing fixation eye movements. The results suggest that microsaccade rates were correlated with subliminal motion information, and fluctuations of drift eye movements were modulated by low-contrast motions in the peripheral vision.

研究分野：総合領域

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：知覚閾下 視覚認知パフォーマンス トップダウン注意 ボトムアップ注意 固視微動 マイクロサッカード 定量的評価

1. 研究開始当初の背景

潜在的に進行する脳の情報処理は、潜在認知ともいわれる無意識下の知覚をもたらし、我々の日常生活における行動に大きな影響を及ぼすことから、近年、視覚運動情報を対象にした研究を中心に、注目を集める研究分野となっている。視覚神経系は動きのある対象に敏感に反応することから、潜在認知研究の恰好の題材となっており、知覚閾下の視覚運動刺激、すなわち「見えざる運動」を背景に提示した際の、固視点における認知パフォーマンスの計測や脳活動のイメージング研究に関する報告などがなされている。しかしながら、このような潜在的に進行する情報処理が認知機能にもたらす影響を生体信号から客観的に捉えた研究はほとんど存在しておらず、未だに十分な知見が得られていない。

視覚情報に知覚閾下の運動が含まれると、中心窩における文字認識パフォーマンスがチャンスレベルにまで引き下げられることが示されている (Tsushima ら, 2006)。fMRI による脳イメージング解析によって、このとき視覚運動情報を検出する頭頂後頭部の MT+ が強く活動する一方、トップダウンの注意の制御に関与する前頭前野の LPFC が十分に活動していないことが示されている。すなわち、視覚情報に含まれる「見えざる運動」が、注意による抑制の統制を乱して認知パフォーマンスを著しく低下させていることが示唆される。

しかしながら、Tsushima らの報告では、認知パフォーマンスが低下するメカニズムについて、神経生理学的な知見に基づいて詳細に分析されているものの、課題遂行中の眼球運動を分析した結果には一貫した変化が見られないとされる。Tsushima らの知見を補って、注意機能が十分に機能せずに認知パフォーマンスが低下している状態にあることが、眼球運動のような非接触計測が可能な客観的生理指標を用いて評価することができれば、無意識下で進行する「見えざる運動」の影響を捉えるための技術開発への応用が期待される。

2. 研究の目的

申請代表者らは、視覚的注意機構が注視維持のための神経活動に及ぼす影響の解明を目的として、視覚的注意の配置場所をコントロールした際の注視中の微細な眼球運動 (固視微動) に生じる変動の解析に取り組んできた。これらの研究成果を鑑みると、Tsushima らの報告において眼球運動に系統的な変化が見いだされなかった理由は、眼球運動の計測方法と分析方法に問題があったものと考えざるを得ない。注意機構が十分に機能していなければ、注視位置に注意を集中することが困難になると予想され、固視微動にも明確な変化が生じることが推察される。

そこで本研究では、注視を維持した状態で、注視位置に提示された情報に対する認知課

題を実施し、これと同時に課題と無関係な知覚閾下で運動する視覚運動情報をバックグラウンドに提示する。このときの固視微動を計測し、今日までに本申請代表者や分担者らが蓄積したマイクロサッカードやドリフト眼球運動の解析手法や、非定常な生体信号に対する時間-周波数解析手法を適用することにより、無意識下で進行する知覚閾下の視覚運動情報によってトップダウンの注意機構が十分に機能していない状態に陥っていることを定量的かつ客観的に評価する。さらに、計測・解析の単純化や規格化を図り、その工学的応用の可能性について検討することを目的とした。

3. 研究の方法

本研究では、固視微動の解析に基づいて、知覚閾下の運動情報が認知パフォーマンスに影響を及ぼすことを確認するための課題として、注視位置にアルファベットや図形パターンを連続的に提示する高速連続刺激提示 (RSVP) 課題を用いた。このとき、周辺部にはランダムに変位するドットを多数提示し、一部のドットだけを一定方向に協調して移動させる。協調運動させるドットの密度 (コヒーレント率) が知覚閾下であるとき、この「見えざる運動」によって RSVP 課題のタスク・パフォーマンスと課題遂行中の固視微動の変動について検討した。また、周辺部に低コントラストのガボールパッチを提示し、RSVP 課題と同時にガボールパッチの回転方向の検出するダブルタスクを課し、このときの認知パフォーマンスや固視微動への影響を評価した。

4. 研究成果

(1) 2010 年度の成果

初年度は、まず固視微動解析に必要な計測時間を確保するための実験条件の確立と、このときの固視微動の計測および基本的な特徴量の分析を目指した。ターゲット刺激として用いた 2 重リングパターンの提示数や提示時間、妨害刺激や背景とのコントラスト比などの調整により、固視微動計測に適した実験条件を検討し、この時に得られた固視微動に対して、マイクロサッカードの発生頻度の解析を行った。実験方法の概要を図 1 に示す。

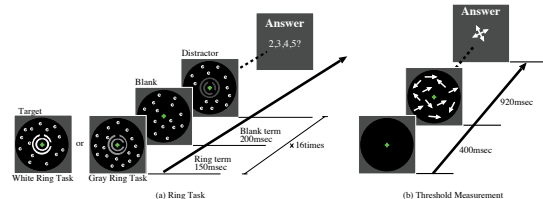


図 1 実験方法

従来手法では、ノイズの影響によるマイクロサッカードの誤検出が問題となっていた

ことから、窓幅の異なる2種類の低域微分フィルタを適用した2つの信号に対し、それぞれ異なる基準を設けて閾値処理を施し、これらの論理和を取ることで、検出精度の向上を実現した。

提案手法により検出されたマイクロサッカードの発生頻度を分析した結果、知覚閾下の運動情報が提示されている際には、マイクロサッカードの発生頻度が変化することが示された。マイクロサッカードは注意機構の活動を強く反映した生理指標であることから、知覚閾下の運動情報がトップダウン性の注意の制御にも影響を及ぼすことが示唆される。

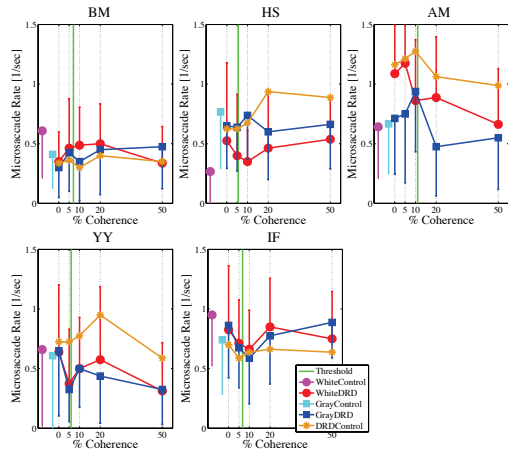


図2 マイクロサッカード発生頻度への動的ランダムドットの影響

(2) 2011年度の成果

2011年度度は、マイクロサッカードの自動検出アルゴリズムの構築に取り組んだ。上述のように、マイクロサッカードの検出には、メディアンフィルタ等で前処理した後、1次あるいは2次微分量の変化に基づいた閾値処理が適用されることが多いが、計測系ノイズの影響により精度よく抽出することは困難である。そこで、順序統計量と低域微分フィルタを組み合わせた新たな非線型フィルタを提案し、これを用いることでマイクロサッカードの検出精度の向上を実現した。

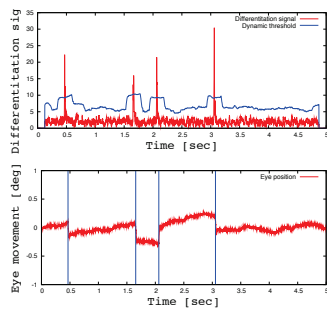


図3 順序統計低域微分フィルタによるマイクロサッカード検出

次に、マイクロサッカードの発生機序にお

いて、高次視覚系がどのように介在しているのかを確認するために、中心窩に提示された視覚パタンの検出に注意が集中されている場合とそうでない場合とでマイクロサッカードの発生頻度が影響を受けるのかを確認するための実験を行った。その結果、注意の集中度合いが高いほど、マイクロサッカードの発生が抑止されることが示された。

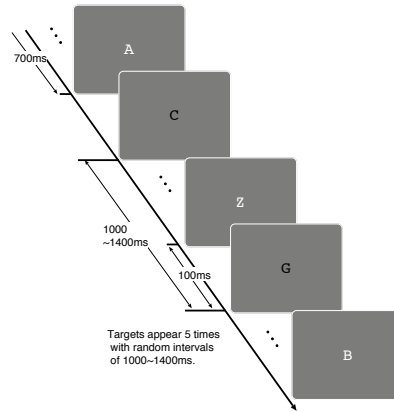


図5 実験方法

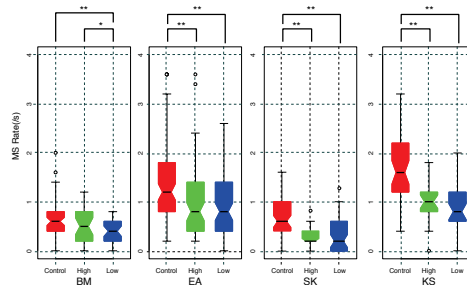


図6 マイクロサッカード発生頻度

(3) 2012年度の成果

2012年度度は、まず、マイクロサッカード検出精度の向上を目的に、離散パルス変換を利用した自動検出手法を提案した。固視微動データに対し、多重LULUフィルタを用いた信号の二値化処理を行い、マイクロサッカードの直前と直後に生じる急峻な変動をパルスとして出力する手法を開発した。

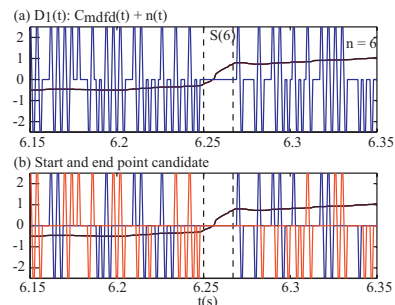


図7 多重LULUフィルタと離散パルス変換によるマイクロサッカード検出

さらに、注意の集中に伴って、マイクロサッカードが抑止されるか否かについて検証を行った。前年度に引き続き、RSVP課題を用いて、視野の中央部に連続的に提示されるアルファベットの読み取り課題を実施した。ターゲット文字のコントラストにより読み取りやすさを調整し、注意の集中度を統制した。また、中心窩近辺以外への注意の分散による影響を評価するために、上記のRSVP課題に加えて、周辺視野に低速で回転する低コントラストのガボルパッチを表示し、その回転の有無を問うダブルタスクを課した。実験の結果、注意の集中度合いが高いほど、マイクロサッカードの発生が抑止されることが示され、注意が集中しているときほど、周辺視野に生じたわずかな運動刺激の影響を受けにくいことが示された。このことから、「見えざる運動」の影響は、中心視野に限定される可能性が示唆された。

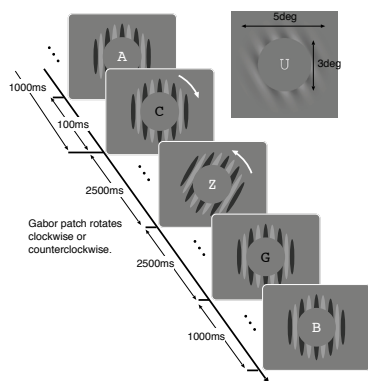


図7 実験方法

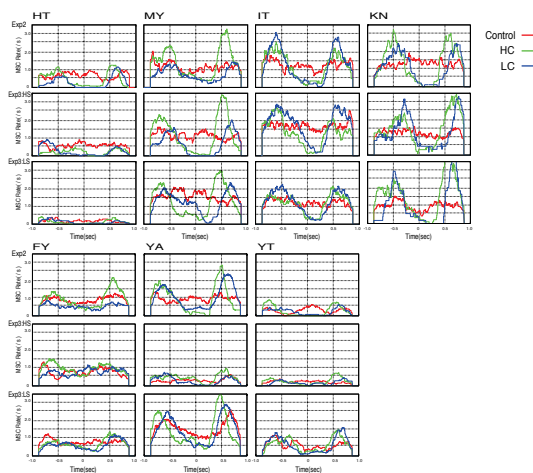


図8 ターゲット提示前後におけるマイクロサッカード発生頻度の推移

(4) 2013年度の成果

最終年度は、注視時に生じるドリフト眼球運動に現れる視覚的注意の影響を定量的に評価することを目的として、前年度に実施した注視を維持した状態で注意の集中度を制御する実験の結果に対して、新たな信号処理手法を提案してドリフト眼球運動の解析を

行った。計測データに対し、マイクロサッカードの検出に順序統計低域微分フィルタを用い、離散パルス変換解析を用いてその開始点と終了点を特定してマイクロサッカードを除去した後、線形自己回帰モデルによって補完することでドリフト眼球運動を抽出し、周波数成分および平均二乗変位量からドリフト眼球運動の揺らぎの検討を行った。解析の結果、ドリフト眼球運動は注視点近傍における局所的な注意の集中度合いの統制による影響を受けておらず、周辺視野に提示された低コントラストの運動刺激に注意が誘導された場合に揺らぎの性質に変動が現れることが明らかとなった。

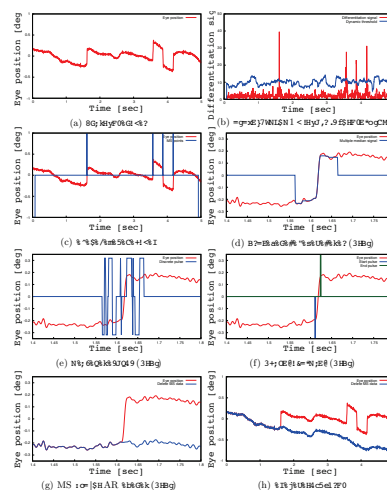


図9 ドリフト眼球運動の抽出

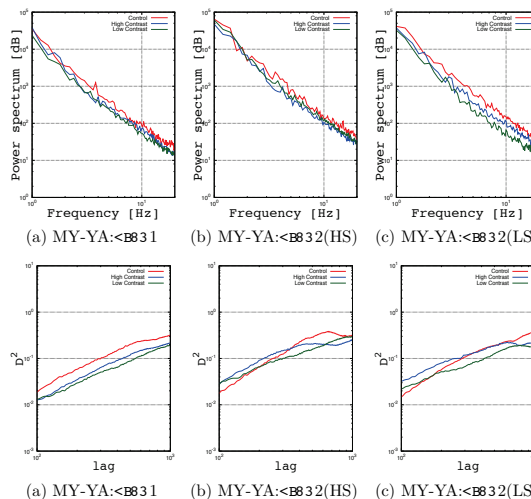


図10 ドリフト眼球運動の周波数特性（上）および平均二乗変位量特性（下）

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24件)

- 野口大輔, 小濱 剛, 吉川 昭, 吉田 久: ドリフト眼球運動の解析に基づく注意集中度の定量的評価, 映像情報メディア学会技術報告, 査読無, 38, 10, 2014, 45-48



2. 小西輝季, 小濱 剛: 視差エネルギーを用いた3次元空間の顕著性マップ, 映像情報メディア学会技術報告, 査読無, 38, 10, 2014, 53-56
  3. 森本 謙, 小濱 剛, MST野の応答特性を考慮した動画像に対する顕著性推定モデル, 映像情報メディア学会技術報告, 査読無, 38, 10, 2014, 57-60
  4. Shogo Honda, Takeshi Kohama, Hisashi Yoshida, Tatsuro Tanaka: Quantitative evaluation of arousal level based on the analyses of microsaccade rates and pupil fluctuations, Proc. of the 35th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC2013), 査読有, 2013, 4 ページ
  5. 小濱 剛, 吉田 久, 山脇伸行, 濱野友紀, 清水達央: 前頭前野側部のヘモグロビン濃度解析による課題非依存性思考状態の客観的評価, 近畿大学生物理工学部 紀要, 査読有, 32, 2013, 7-16
  6. 西田直生, 小濱 剛: 高次視覚皮質における作業記憶に關与する神経機構モデル, 映像情報メディア学会技術報告, 査読無, 37, 12, 2013, 27-30
  7. 山崎磨与, 小濱 剛: 注視履歴を考慮した視線移動予測モデル, 映像情報メディア学会技術報告, 査読無, 37, 12, 2013, 31-34
  8. 矢野勝彦, 小濱 剛: 異なる視覚属性に対する注意の時空間応答特性を考慮した視覚探索モデル, 映像情報メディア学会技術報告, 査読無, 37, 12, 2013, 35-38
  9. 津田広大, 小濱 剛, MT野ニューロンの応答特性を考慮した動画像に対する顕著性マップモデル, 映像情報メディア学会技術報告, 査読無, 37, 12, 2013, 39-42
  10. 遠藤 翔, 小濱 剛, 野口大輔: 視覚的注意の集中時に生じるマイクロサッカーの持続的抑制, 映像情報メディア学会技術報告, 査読無, 37, 12, 2013, 51-54
  11. Hiroyuki Sakai, Duk Shin, Takeshi Kohama, Yuji Uchiyama: Attentional effects on gaze preference for salient loci in traffic scenes, Ergonomics, 査読有, 55, 7, 2012, 743-751
  12. 小濱 剛, 吉田 久, 北林勇弥, 兵頭宏紀: 固視微動と心拍変動の解析に基づく映像酔いをもたらす映像要素の定量的分析, 近畿大学生物理工学部紀要, 査読有, 30, 2012, 1-16
  13. 遠藤 翔, 小濱 剛: 視覚的注意の集中がもたらすマイクロサッカーの抑制効果, 近畿大学生物理工学部紀要, 査読有, 29, 2012, 7-15
  14. 中川 啓, 小濱 剛, 吉田 久, 吉川 昭: 固視微動解析に基づく映像酔いの定量的評価, 映像情報メディア学会技術報告, 査読無, 36, 13, 2012, 47-50
  15. 田中達朗, 小濱 剛, 吉田 久: マイクロサッカーと瞳孔径の解析に基づく覚醒水準変動の客観的評価, 映像情報メディア学会技術報告, 査読無, 36, 13, 2012, 51-54
  16. 福岡卓也, 小濱 剛: 網膜数理モデルを用いた固視微動による視知覚増強効果のシミュレーション解析, 映像情報メディア学会技術報告, 査読無, 36, 13, 2012, 55-58
  17. 小濱 剛, 平田喜寛: オートステレオグラムから奥行き情報を抽出する両眼立体視モデル, 画像電子学会誌, 査読有, 40, 5, 2011, 801-807
  18. 矢野勝也, 小濱 剛: 視覚属性に対する注意の影響と網膜像の皮質における写像を考慮した視覚探索モデル, 近畿大学生物理工学部紀要, 査読有, 28, 2011, 41-52
  19. 山下輝彦, 小濱 剛, 神山斉己: サッカーボール眼球運動系の神経応答を再現する数理モデル, 映像情報メディア学会技術報告, 査読無, 35, 16, 2011, 23-26
  20. 入江久仁子, 小濱 剛: 弁別閾下の運動情報が眼球運動および注意制御に及ぼす影響, 映像情報メディア学会技術報告, 査読無, 35, 16, 2011, 27-30
  21. 郷地大紀, 小濱 剛: 注意の3次元空間特性を考慮した顕著性マップモデル, 映像情報メディア学会技術報告, 査読無, 35, 16, 2011, 31-34
  22. 杉本圭佑, 小濱 剛: 後頭頂葉と前頭前野における視覚的注意機構の数理モデル, 映像情報メディア学会技術報告, 査読無, 35, 16, 2011, 35-38
  23. Takeshi Kohama, Hisashi Yoshida, Naohiro Toda: A Statistical Model Analysis of Attentional Effects on Fixational Drift Eye Movements, Proceedings of the Fourth International Workshop on Image Media Quality and Its Applications, 査読有, 2010, 96-99
  24. 小濱 剛, 竹中 悠, 吉田 久, 戸田尚宏: 視覚的注意がドリフト眼球運動に及ぼす影響の統計解析, 映像情報メディア学会誌, 査読有, 64, 12, 2010, 1892-1898
- 〔学会発表〕(計 30 件)
1. 吉野宏紀, 小濱 剛: 特徴ベクトルの類似度を考慮した注視履歴の評価指標, 映像情報メディア学会 2013 年冬季大会, 2013 年 12 月 18 日, 芝浦工業大学 (東京都)
  2. 西野 誠, 小濱 剛: 2次元空間周波数パターンに対する網膜応答への固視微動の効果, 映像情報メディア学会 2013 年冬季大会, 2013 年 12 月 18 日, 芝浦工業大学 (東京都)
  3. Takeshi Kohama, Sho Endo, Hisashi Yoshida: Persistent inhibition of microsaccades caused by attentional concentration, The 36th European Conference on Visual Perception (ECPV2013), 2013 年 8 月 26 日, Bremen Exhibition and Conference Centre (Bremen, Germany)
  4. Hisashi Yoshida, Takeshi Kohama: Evaluation of visual factors of visually induced motion sickness by analyzing fixation eye movements and heart rate

- variability, The 36th European Conference on Visual Perception (ECPV2013), 2013年8月26日, Bremen Exhibition and Conference Centre (Bremen, Germany)
5. 小濱 剛: 注意集中度の客観的評価 一固視微動解析に基づく注意の統制状態の定量化一, 第3回和歌山医工学会, 2013年6月28日, 和歌山県立医科大学 (和歌山県)
  6. Shogo Honda, Takeshi Kohama, Hisashi Yoshida, Tatsuro Tanaka: An arousal level assessment by analyzing microsaccade rate and pupil fluctuation in preceding period of slow eye movements, The 36th Annual Meeting of the Japan Neuroscience Society (Neuro2013), 2013年6月22日, 京都国際会館 (京都府)
  7. Ken Tokudome, Takeshi Kohama, Sho Kikkawa, Hisashi Yoshida: A mathematical model for reproducing mean square displacement profile of fixation eye movements, The 36th Annual Meeting of the Japan Neuroscience Society (Neuro2013), 2013年6月22日, 京都国際会館 (京都府)
  8. 津田 広大, 小濱 剛: MT野の受容野特性を考慮した動画像に対する顕著性マップの算出, 映像情報メディア学会 2012年冬季大会, 2012年12月19日, 東京理科大学 (東京都)
  9. 小濱 剛, 視覚的注意機構の数理モデルによる視覚探索のシミュレーション, 第55回自動制御連合講演会 (招待講演), 2012年11月17日, 京都大学 (京都府)
  10. Yuzuru Morimoto, Takeshi Kohama: A saliency-based prediction of gaze shifts while driving vehicles, Neuroscience2012, 2012年9月18日, 名古屋国際会議場 (愛知県)
  11. Takeshi Kohama, Takuya Fukuoka: A simulation study of retinal enhancement effects caused by fixation eye movements, The 35th European Conference on Visual Perception (ECPV2012), 2012年9月4日, Carlos V Hotel (Alghero, Italy)
  12. 小濱 剛, 福岡 卓也: 網膜数理モデルに基づく固視微動の視覚増強効果, 第56回システム制御情報学会研究発表講演会, 2012年5月21日, 京都テルサ (京都府)
  13. 野口大輔, 吉川 昭, 小濱 剛, 吉田 久: 離散パルス変換解析 (DPT) によるマイクロサッカードの検出, 第51回日本生体医工学会大会, 2012年5月10日, 福岡国際会議場 (福岡県)
  14. 野口大輔, 小濱 剛, 吉川 昭, 吉田 久: 順序統計低域微分フィルタを用いたマイクロサッカードの検出, 映像情報メディア学会 2011年冬季大会, 2011年12月22日, 芝浦工業大学 (東京都)
  15. 福岡 卓也, 小濱 剛: 固視微動が網膜像に及ぼす影響のシミュレーション解析, 映像情報メディア学会 2011年冬季大会, 2011年12月22日, 芝浦工業大学 (東京都)
  16. Sho Endo, Takeshi Kohama: Inhibition of

- microsaccade rate caused by increase in visual attention, Neuroscience2011, 2011年9月17日, パシフィコ横浜 (神奈川県)
17. Katsuya Yano, Takeshi Kohama: Visual search model considering spatial modification of visual attributes, Neuroscience2011, 2011年9月16日, パシフィコ横浜 (神奈川県)
  18. Takeshi Kohama, Keisuke Sugimoto: Mathematical model of the visual attention system in the posterior parietal and prefrontal lobes, The 34th European Conference on Visual Perception (ECPV2011), 2011年8月30日, Centre des Congrefffds Pierre Baudis (Toulouse, France)
  19. 遠藤 翔, 小濱 剛: 注意の集中に伴うマイクロサッカード発生頻度の抑止, 日本視覚学会 2011年夏期大会, 2011年8月3日, 九州大学 (福岡県)
  20. 小濱 剛, 山下輝彦, 神山 齊己: サッカード眼球運動神経系の数理モデル, 第55回システム制御情報学会研究発表講演会, 2011年5月19日, 大阪大学 (大阪府)
  21. Keisuke Sugimoto, Takeshi Kohama: A visual search simulation by using a top-down feature feedback model, Neuro2010, 2010年9月4日, Kobe Convention Center (Kobe, Japan)
  22. Takeshi Kohama, Yoshihiro Hirata: A binocular vision model considering vergence eye movements for solving autostereograms, The 33rd European Conference on Visual Perception (ECPV2010), 2010年8月24日, EPFL (Lausanne, Switzerland)
  23. 小濱 剛, 郷地大紀: 抑制性フィードバックを考慮した顕著性マップ理論に基づく視線予測, システム制御情報学会第54回システム制御情報学会研究発表講演会, 2010年5月21日, 京都リサーチパーク (京都)
- (他7件)

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計0件)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

小濱 剛 (KOHAMA, Takeshi)

近畿大学・生物理工学部・准教授

研究者番号: 90295577

### (2) 研究分担者

吉田 久 (YOSHIDA, Hisashi)

近畿大学・生物理工学部・教授

研究者番号: 50278735

### (3) 連携研究者 なし