

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 31 日現在

機関番号：32704

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24700598

研究課題名(和文)視線と瞬目によるコミュニケーション支援システムの開発

研究課題名(英文)Communication-aid System Using Information of Eye-gaze and Blink

研究代表者

阿部 清彦 (ABE, Kiyohiko)

関東学院大学・理工学部・准教授

研究者番号：40408646

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：近年、重度肢体不自由者のコミュニケーションを支援するために、視線によりコンピュータを操作したり、文字などを入力する視線入力システムについての研究が行なわれている。視線入力システムを使用するには、画面に表示されたアイコンを視線で選択するだけでなく入力を決める必要がある。本研究課題では、ユーザの視線と意識的な瞬目(随意性瞬目)を自動検出することにより、視線と瞬目のみで一般的なパソコンを操作するシステムを開発した。このシステムは、市販のビデオカメラとパソコンから構成されており、汎用性が高く安価である。

研究成果の概要(英文)：Recently, eye-gaze input systems have been proposed as novel human-machine interfaces. Users can employ these systems to input characters or commands in personal computers (PCs) using only their eye movements. In other words, the operation of these systems involves the detection of the user's eye-gaze. Therefore, these systems are used to develop communication aid systems for people with severe physical disabilities.

To utilize an eye-gaze input system, users select icons shown in PC monitor by eye-gaze. In addition, users also decide input in some way such as blink. On our study, we developed a new input system using the information of eye-gaze and blink. Our proposed system detects the eye-gaze and voluntary blink of users. Therefore, user can operate a general PC by our proposed system. The proposed system involves the use of a PC and home video camera to detect the users' eye-gaze and blink. Thus, this system is cost effective and versatile.

研究分野：福祉工学

キーワード：視線入力 瞬目入力 随意性瞬目 コミュニケーション支援 入力インタフェース

1. 研究開始当初の背景

近年、人間の視線方向の変化を捉え、それによりコンピュータへ文字やコマンドを入力する視線入力の研究がさかに行なわれている。視線入力は、眼球やまぶた以外の運動を必要としないので、重度のALS（筋萎縮性側索硬化症）患者のように運動機能を著しく制限されている人たちも使用が可能であり、これを利用した支援システムにより他者とのコミュニケーションなどを、より効果的に行うことができる。

視線入力を実現するには、ユーザの視対象であるアイコン（指標）にマウスカーソルを移動させるだけでなく、何らかの方法で入力を決定する必要がある。この入力決定に瞬目の情報を使用することにより、操作のしやすいシステムを構築することが可能となる。しかしながら、意識的な瞬目（随意性瞬目）を自動識別することは難しく、無意識の瞬目（自発性瞬目）による誤入力への対応が課題となっていた。

2. 研究の目的

より使いやすい視線入力システムを開発するために、その入力決定法として随意性瞬目の生起情報を用いる。また、随意性瞬目の生起を確実にとらえ、自発性瞬目による誤入力が行なわれないよう、瞬目種類の自動識別法を開発する。

この目的のために、ビデオカメラにより瞬目の様子を撮影し、その動画像を解析することにより瞬目の特徴パラメータをとらえ、どのパラメータが瞬目種類の識別に有用であるかを確認する。開発した瞬目識別アルゴリズムをすでに完成している視線入力システムに組み込み、視線と瞬目による入力インタフェースを構築する。

3. 研究の方法

随意性瞬目により入力決定を行なうには、まず瞬目の生起を検出し、その瞬目が随意性瞬目であるかどうかを識別する手法が必要である。この手法を、研究代表者らが開発してきた視線入力システムに組み込む。以下、本研究の方法について述べる。

(1) 画像解析による瞬目波形計測

瞬目種類の識別に使用する特徴パラメータを抽出するには、瞬目の時間的変化を波形（以下、瞬目波形とよぶ）として計測する方法が考えられる。本研究課題では、ビデオカメラ（高速度ビデオカメラまたは一般的な家庭用ビデオカメラ）により撮影された瞬目の動画像の各フレームを解析することにより、瞬目波形を求める。

(2) 瞬目波形の自動抽出

瞬目動画から得られた波形には、瞬目時の波形のほかに開眼時の波形が含まれる。瞬目を用いた入力インタフェースの実現を考慮

すると、瞬目の特徴パラメータを得るために、瞬目時の波形のみを自動抽出する必要がある。

(3) 瞬目種類識別のための特徴パラメータの検討

得られた瞬目波形から、瞬目の持続時間、瞬目波形の最大振幅値、開眼および閉眼時の速さなどの特徴パラメータを計測する。複数の被験者による計測実験で、随意性瞬目および自発性瞬目におけるそれらの特徴パラメータを計測し、瞬目種類の識別に利用できるかを検討する。

(4) 随意性瞬目の自動識別法

視線入力システムの入力決定に随意性瞬目の生起の情報を用いるには、計測された瞬目から随意性瞬目を自動識別する必要がある。実用的なシステムの開発を目標としているため、リアルタイム実行が可能なアルゴリズムを開発する。

(5) 視線と瞬目を用いる入力インタフェースの開発とその評価

研究代表者らがすでに開発をしている視線入力システムに、(4)で開発した随意性瞬目の自動識別アルゴリズムを組み込む。これにより、マウスカーソルの位置を視線で移動させ、随意性瞬目により入力決定を行うインタフェースが完成する。また、開発した入力インタフェースの評価を行なうため、複数の被験者による評価実験を行う。

4. 研究成果

3. で述べた方法により実施された研究および実験において得られた成果を、以下に述べる。

(1) 画像解析による瞬目波形計測

瞬目の計測には、照明条件の変化などにより瞬目計測に必要な画像処理の完全な自動化は困難であると報告されている。また、瞬目は数100ミリ秒オーダーで一連の動作を完了する比較的高速な運動であり、フレームレートが30フレーム/秒である一般的なNTSCビデオカメラは瞬目の有無を検出することはできるが、その時間的変化の詳細を計測するのは難しいと報告されている[1]。

画像解析によって動画像から瞬目を計測するには、一般に動画像から眼球開口部の面積や上下のまぶたの移動距離などを求める。これらの方法により、瞬目の有無や進行の過程を知ることができる。瞬目の時間的な進行過程を正確に計測できれば、瞬目波形として表すことができ、生起した瞬目の速度などの特徴パラメータを精度よく計測できる可能性がある。

研究代表者は、広範囲な実験条件での計測を目標とし、一般的な室内照明（蛍光灯やLED照明）下において自動的に瞬目波形を計

測する手法を採用した。この方法では眼球近傍を拡大して撮影した画像（以後、眼球画像とよぶ）から眼球開口部を抽出し、その面積（画素数）を計測することによって瞬目波形を求める。眼球開口部を抽出するには、眼球画像中の肌色でない画素を、カラー情報を用いた2値化により識別すればよい。具体的には、カメラで撮影されたRGBカラー画像をYCrCb画像へと変換し、各画素のCrおよびCbの色差情報を用いてしきい値を決定している[2]。

提案する眼球開口部面積計測法により、高速度ビデオカメラで撮影された動画から詳細な瞬目波形を計測することができる。得られた波形より瞬目の特徴パラメータを計測できるが、一般的なビデオカメラで撮影された動画から同様に特徴パラメータを求めることが可能であれば、実用的なシステムを開発する際に有用である。

一般的なNTSCビデオカメラおよび、1080i規格のハイビジョンカメラはインタレース画像を出力する。インタレース画像の偶数および奇数番目の走査線をそれぞれ独立に抽出すると、垂直方向の情報量は半分になるものの、2枚の画像に分割することができる。このように分割したフレーム画像を用いると、時間分解能が2倍になるため、比較的高速な運動である瞬目の詳細を捉えることができる[2]。この手法（フレーム分割法）を瞬目計測に用いることにより、その特徴パラメータを計測することができるようになった。図1に随意性瞬目および自発性瞬目の波形の例を示す。図1の横軸はサンプル点（60分の1秒）を、縦軸は眼球開口部面積を示す。また、最初のサンプルを基に縦軸を正規化している。

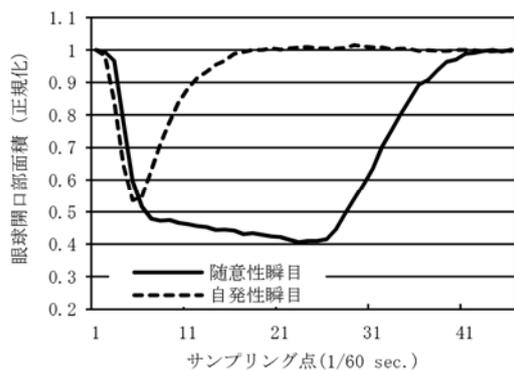


図1 瞬目波形（随意性と自発性）[6]

(2) 瞬目の自動抽出

開眼時であっても、眼球開口部の形状は時々刻々と変化する。そのため、眼球開口部面積を瞬目時の判定のパラメータとして、そのまま使用することが困難な場合がある。そこで、最初に瞬目波形から差分波形を求め瞬目時の波形を強調し、それにより瞬目時データの判定に必要なパラメータを決定することにした[2]。瞬目波形の一例を図2に、こ

の波形から得られた差分波形を図3に示す。

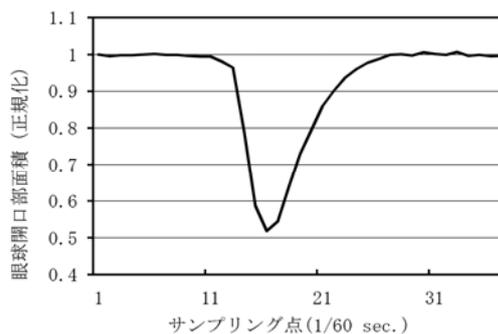


図2 瞬目波形[2]

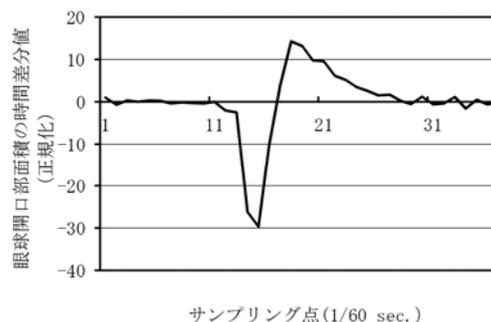


図3 瞬目差分波形[2]

図2および図3の横軸はサンプル点（60分の1秒）を、図2の縦軸は眼球開口部面積を、図3の縦軸は眼球開口部面積の1サンプル前のデータとの差分を示す。図1と同様にいずれのグラフにおいても、最初のサンプルを基に縦軸を正規化している。図2に示した瞬目差分波形から明らかなように、瞬目過程では差分値の変化が大きい。

研究代表者は開眼時の差分波形の変動が瞬目時のものよりも十分小さいことに着目し、統計処理により瞬目と開眼時の波形を識別することにした。具体的には、開眼時における眼球開口部面積の差分値の平均と標準偏差を求め、それらから自動的にしきい値を決定している。計測データから瞬目時の抽出に用いるしきい値 Th_1 および Th_2 は、次式により決定される[2]。

$$Th_1 = E_{avg} - 2\sigma \quad (1)$$

$$Th_2 = E_{avg} + 2\sigma \quad (2)$$

式(1)および(2)において、 E_{avg} は開眼時における眼球開口部面積の差分値の平均を、 σ はその標準偏差を示している。眼球開口部面積の変化により得られた差分値が式(1)の値以上のサンプルは瞬目の開眼過程として識別する。式(2)の値以下のサンプルは閉眼過程として識別する。瞬目には必ず閉眼と開眼の過程が存在する。そのため、これらの過程に囲まれたサンプル群を瞬目時データと識別することができる。

(3) 瞬目種類識別のための特徴パラメータの検討

今までに意識的な複数回の瞬目[3]、長時間の瞬目[4]による文字入力システムが開発されてきた。研究代表者はこの使用時の条件を緩和し、ユーザが意識的に「しっかり」と瞬目をした時に入力決定するインタフェースの開発を目指している[5][6]。瞬目波形からその特徴パラメータを求めることができる図4に瞬目波形の概形とその特徴パラメータを示す。

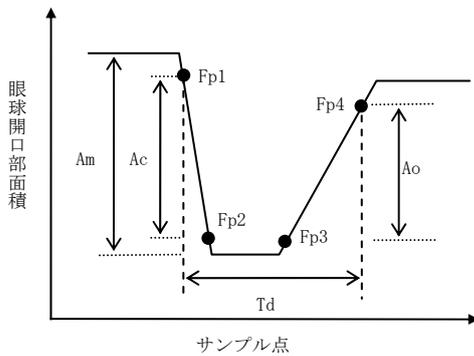


図4 瞬目特徴パラメータ 1

図4に示すように、瞬目前後の眼球開口部面積と波形のボトム値から瞬目波形の閉眼と開眼時振幅値を求め、各々の90%と10%値の点を閉眼および開眼過程の開始と終了点Fp1~Fp4とした。Fp1~Fp4でのデータ(開口部面積と計測時刻)から、瞬目の特徴パラメータの持続時間Td、閉眼および開眼時の振幅変化値AcとAo、その速さScとSoを求められる。ここで、ScとSoは単位時間当たりの眼球開口部面積の変化値(AcとAo)を示す。また、瞬目開始前の開眼時と波形のボトム値から最大振幅値Amが得られる。

高速度ビデオカメラによる実験(サンプリングレート:500fps)の結果、被験者6名の平均で随意性瞬目および自発性瞬目の持続時間はそれぞれ653.0ミリ秒、24.04ミリ秒であり、瞬目開始のサンプルにより正規化された最大振幅値は0.270および0.197であった[5]。また、閉眼の速さは自発性瞬目で、開眼の速さは随意性瞬目で大きい傾向があることがわかった。これらの速さの比を求めると、随意性瞬目に比べ自発性瞬目での値が大きいことが確認された[5]。

これらの結果から、随意性瞬目と自発性瞬目では各特徴パラメータに差があることが確認できたが、これらの中でも持続時間と最大振幅値に大きな差があることがわかった。これらのパラメータは、(2)で述べた手法により自動抽出された瞬目時波形より容易に計測することができる。図5に自動抽出された瞬目時波形から得られる特徴パラメータを示す[6]。

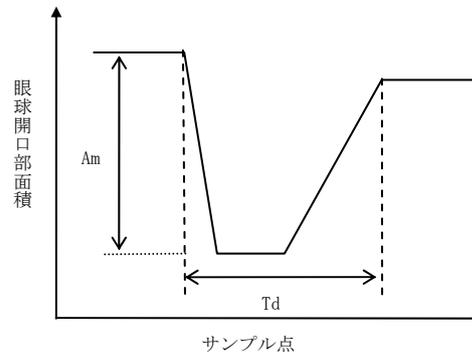


図5 瞬目特徴パラメータ 2

フレーム分割法により求められた計測データから図5に示した各特徴パラメータを求めたところ、被験者10名の計測では、随意性および自発性瞬目の持続時間は平均で各々770.3ミリ秒、279.1ミリ秒であり最大振幅値は0.434、0.308であった[6]。この結果からも、随意性瞬目および自発性瞬目の持続時間と最大振幅値には大きな差があることが確認できた。

(4) 随意性瞬目の自動識別法

(3)で述べた特徴のうち、持続時間に顕著な差が見られるので、これを瞬目種類識別のためのパラメータとして用いる簡易的な手法を採用した。今までにも瞬目の持続時間を特徴とし、入力インタフェースに利用する手法が報告されているが、瞬目種類識別のためのしきい値は固定であった。しかしながら、瞬目の持続時間は被験者により大きく異なることを確認している。そのため、より確実に瞬目種類の識別を行なうため、随意性瞬目および自発性瞬目の持続時間から、しきい値を自動的に求める手法を考案した[6]。具体的には、次式より瞬目種類識別のしきい値 Th_c を求める。

$$Th_c = (Tdv_{avg} - Tdiv_{avg})/2 + Tdiv_{avg} \quad (3)$$

式(3)において、 Tdv_{avg} と $Tdiv_{avg}$ は、それぞれ随意性瞬目および自発性瞬目の平均持続時間とする。このとき持続時間がしきい値 Th_c 以上の瞬目を随意性とし、しきい値未満の瞬目を自発性と識別する。被験者10名による評価実験で、式(3)による瞬目種類の識別率を求めたところ、随意性瞬目および自発性瞬目の識別率は平均でそれぞれ95.0%、99.3%であり、両者を併せた識別率も97.9%であった[6]。これは実用上、十分な識別率と言えよう。

(5) 視線と瞬目を用いる入力インタフェースの開発とその評価

(4)に示した手法より、入力決定に用いる随意性瞬目の生起情報を検出することができるようになった。しかしながら、実際の視線と瞬目の情報を用いる入力インタフェ

ースでは、視線入力の実算コストが高いことからサンプリングレートが10fps程度に低下する。サンプリングレートが低下するとその時間的変化量である差分値は大きく変化してしまい、そのままでは従来の手法により計測することはできない。また長期間の計測を行なうと、開眼時の眼球面積値に変動が生じ、開眼時の眼球開口部面積値の90%をしきい値とする手法では、その計測が良好に行なわれない場合がある。これらの点を解決するため、簡易的に計測することのできる特徴パラメータを採用することにした。具体的には、瞬目の開眼時と閉眼時の眼球開口部面積の中間値（半値）を求め、瞬目波形でその値以下である時間を瞬目の特徴パラメータとした[7]。この特徴パラメータは瞬目波形の半値幅に相当する。図6に新たに提案する特徴パラメータを示す。

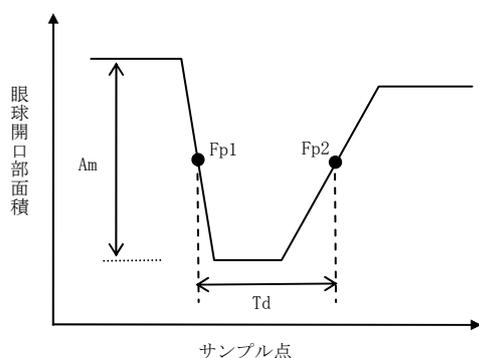


図6 瞬目特徴パラメータ3

図6においてFp1とFp2は、閉眼および開眼過程での瞬目波形振幅の半値を示す。特徴パラメータTd(以後、振幅半値持続時間とよぶ)は被験者によって差はあるものの、随意性瞬目と自発性瞬目では有意な差があることを確認している。この振幅半値持続時間を用いた随意性瞬目識別機能を、いままでに開発してきた視線入力システムに組み込み、視線と瞬目の情報を用いる入力インタフェースを構築した。

被験者8名による開発した入力インタフェースの評価実験を行なった。実験システムは眼球画像を撮影する家庭用ビデオカメラ(ソニーHDR-HC9)と撮影した画像を処理するパソコン(OS:Windows 7、CPU:core i7、クロック周波数:2.8GHz)から構成されている。実験開始時に図7に示す指標群が表示され、各指標を注視することにより視線計測のキャリブレーションを行なう。またキャリブレーション開始時に、ユーザは中央の指標を注視している。その際にパソコンからピープ音が発生し、それに従って一度随意性瞬目を行なうことにより、随意性瞬目検出のためのキャリブレーションを行なう。

キャリブレーション終了後、パソコン画面のランダムな位置に10回表示される円形指標(大きさ:4度)を視線により選択し、

随意性瞬目により入力を決定する。評価実験の結果、すべての被験者で使用できることが確認できた。また、指標選択決定時間は平均で4.77秒であることが確認できた。これは指標をある期間注視することにより入力を行なうシステムに比べ、2倍程度の値を示しているが、本手法は一般的なWindowsソフトウェアを操作することができるという特長がある。

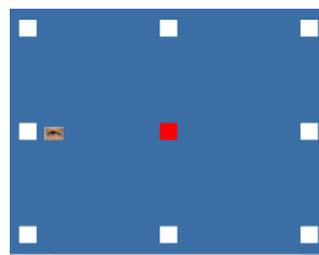


図7 キャリブレーション指標

(6) まとめ

今までに提案されてきた瞬目計測技術の多くは、研究者や技術者が扱うことを前提としており、計測に熟練や特殊な知識を必要とした。(1)～(4)で述べてきた、研究代表者が開発した瞬目計測に関する技術は、すべての手法において自動でしきい値の決定をするため、とくに画像処理の知識がなくとも扱うことができる。この利点から、これらの手法は本研究課題のみならず、多くの瞬目計測研究やその派生分野の研究に応用することができる。

また、(5)に述べた視線と瞬目による入力インタフェースは、これらの手法を採用しているため非常に操作が容易であり、今後の臨床現場での使用が十分に可能であると考えている。これらの点から、本研究課題の成果は、国民への利益の還元につながり有益であると考えている。

今後は、開発した入力インタフェースをもとに文字入力などを行なうアプリケーションシステムを開発し、複数の被験者による評価実験を通してさらに使いやすいシステムを構築したい。また、構築したシステムをWebサイトなどで公開し、臨床現場に近い研究者及び技術者と連携をし、開発したインタフェースを実際の重度肢体不自由者が利用できる環境を整えたい。

<引用文献>

- ① 田邊 喜一、安井 淳美、加算作業による瞬目波形の変化について—高速度ビデオカメラを用いた波形データの取得とその予備的分析—、人間工学、Vol. 46、No. 2、2010、pp. 180—183
- ② 阿部 清彦、大井 尚一、大山 実、フレーム分割法による瞬目の自動抽出”、電気学会論文誌C、Vol. 132、No. 9、2012、pp. 1437—1445

- ③ D. O. Gorodnichy, Second Order Change Detection and Its Application to Blink-Controlled Perceptual Interfaces, Proc. of the International Association of Science and Technology for Development (IASTED) Conf. on Visualization, Imaging and Image Processing (VIIP2003), 2003, pp.140-145
- ④ A. Krolak, P. Strumillo, Vision-Based Eye Blink Monitoring System for Human-Computer Interfacing, Proc. of Human System Interactions (HSI2008), 2008, pp.994-998
- ⑤ 阿部 清彦、佐藤 寛修、松野 省吾、大井 尚一、大山 実、高速度カメラによる瞬目種類識別のための特徴パラメータの計測、電気学会論文誌C、Vol. 134、No. 10、2014、pp.1584-1585
- ⑥ 阿部 清彦、佐藤 寛修、松野 省吾、大井 尚一、大山 実、ハイビジョン画像を用いたフレーム分割法による瞬目種類の識別、電気学会論文誌C、Vol. 133、No. 7、2013、pp.1293-1300
- ⑦ 阿部 清彦、佐藤 寛修、大井 尚一、大山 実、サンプリングレートの変化に頑健な随意性瞬目識別法についての検討、平成 26 年電気学会電子・情報・システム部門大会講演論文集、2014、pp.921-924

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 3 件)

- ① 阿部 清彦、佐藤 寛修、松野 省吾、大井 尚一、大山 実、高速度カメラによる瞬目種類識別のための特徴パラメータの計測、電気学会論文誌C、査読有、Vol. 134、No. 10、2014、pp.1584-1585、DOI: 10.1541/ieejieiss.133.1293
- ② 佐藤 寛修、阿部 清彦、大井 尚一、大山 実、瞬目種類識別のためのキャリブレーション法、電気学会論文誌C、査読有、Vol.134、No. 7、2014、pp.897-903、DOI:10.1541/ieejieiss.134.897
- ③ 阿部 清彦、佐藤 寛修、松野 省吾、大井 尚一、大山 実、ハイビジョン画像を用いたフレーム分割法による瞬目種類の識別、電気学会論文誌C、査読有、Vol. 133、No. 7、2013、pp.1293-1300、DOI: 10.1541/ieejieiss.133.1293

〔学会発表〕(計 8 件)

- ① Kiyohiko Abe, Hironobu Sato, Shoichi Ohi and Minoru Ohyama, Feature Parameters of Eye Blinks when the Sampling Rate is Changed, IEEE TENCON2014, 2014 年 10 月 22 日~2014 年 10 月 25 日, タイ王国バンコク

- ② 阿部 清彦、佐藤 寛修、大井 尚一、大山 実、サンプリングレートの変化に頑健な随意性瞬目識別法についての検討、平成 26 年電気学会電子・情報・システム部門大会、2014 年 9 月 3 日~2014 年 9 月 6 日、島根大学 (島根県松江市)
- ③ 佐藤 寛修、阿部 清彦、大井 尚一、大山 実、画像解析による自然光下でのリアルタイム瞬目種類識別、平成 26 年電気学会電子・情報・システム部門大会、2014 年 9 月 3 日~2014 年 9 月 6 日、島根大学 (島根県松江市)
- ④ 阿部 清彦、佐藤 寛修、松野 省吾、大井 尚一、大山 実、閉眼および開眼の速さを用いた瞬目種類の識別についての検討、平成 25 年電気学会電子・情報・システム部門大会、2013 年 9 月 5 日、北見工業大学 (北海道北見市)
- ⑤ 佐藤 寛修、阿部 清彦、大井 尚一、大山 実、瞬目計測のためのキャリブレーションについての検討、平成 25 年電気学会電子・情報・システム部門大会、2013 年 9 月 5 日、北見工業大学 (北海道北見市)
- ⑥ 松野 省吾、大山 実、阿部 清彦、佐藤 寛修、大井 尚一、フレーム分割法を用いた瞬目計測の有効性に関する一検討、FIT(情報科学技術フォーラム)2013、2013 年 9 月 4 日、鳥取大学 (鳥取県鳥取市)
- ⑦ Kiyohiko Abe, Hironobu Sato, Shogo Matsuno, Shoichi Ohi and Minoru Ohyama, Automatic Classification of Eye Blink Types Using a Frame-Splitting Method, HCI International 2013, 2013 年 7 月 24 日、アメリカ合衆国ネバダ州ラスベガス
- ⑧ 阿部 清彦、佐藤 寛修、松野 省吾、大井 尚一、大山 実、ハイスピードカメラによる瞬目特徴パラメータの計測、電子情報通信学会総合大会、2013 年 3 月 21 日、岐阜大学 (岐阜県岐阜市)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

阿部 清彦 (ABE, Kiyohiko)
 関東学院大学・理工学部・准教授
 研究者番号: 40408646