

# 面型脈波センサ搭載マウスを用いた 作業状態推定の検討

千明 裕<sup>1,a)</sup> 前田 篤彦<sup>1</sup> 小林 稔<sup>1</sup>

**概要：**脈波は指先等の血流量変化を表す生体情報であり、疲労やストレス、眠気といった自律神経活動の状態を反映する。この脈波をマウスなどの機器から取得できれば作業者の状態推定を行える可能性がある。一方で従来の脈波センサは取得領域が小さく、指先を意識的に合わせる必要があるなど機器への搭載は不向きである。本論文ではこのような問題を解決するための、広い取得領域を持ち機器搭載に適した面型脈波センサのマウスへの実装と、それを用いた作業中の脈波取得に向けた初期検討について述べる。

**キーワード：**脈波、ライフログ、自律神経活動、ストレス、マウス

## A Study to Estimate User's State Using a Mouse with Photo-Plethysmographic Surface.

HIROSHI CHIGIRA<sup>1,a)</sup> ATSUSHIKO MAEDA<sup>1</sup> MINORU KOBAYASHI<sup>1</sup>

**Abstract:** In this paper, we propose a mouse with photo-plethysmographic surfaces to acquire user's photo-plethysmography waveform in order to estimate his/her state without loss of the usability. We also show the results of the first evaluation to confirm the feasibility of our prototype.

**Keywords:** Photo-Plethysmography, Lifelog, Autonomic Nervous System Activity, Mental Stress, Mouse

### 1. はじめに

ユーザの生体情報を取得し、活用するという試みは近年多く取り組まれつつあるが [1], [2], その中でも特に我々は指先等の末梢部位の血流量変化を表す脈波と、それを用いたストレス・疲労・眠気といったユーザの状態判定技術 [3], [4] に注目している。もしこの脈波を取得する機能がマウスやスマートフォン、ハンドルといった日常的に把持して使用するデバイスに搭載され、それらを使用するだけで脈波を取得できれば、今まで通り生活するだけで状態を活用した様々な可能性が広がるといえる。マウスから脈波を取得し、作業中のストレスを計測するストレスモニタリングシステムはその一例として挙げられる。このようなシ

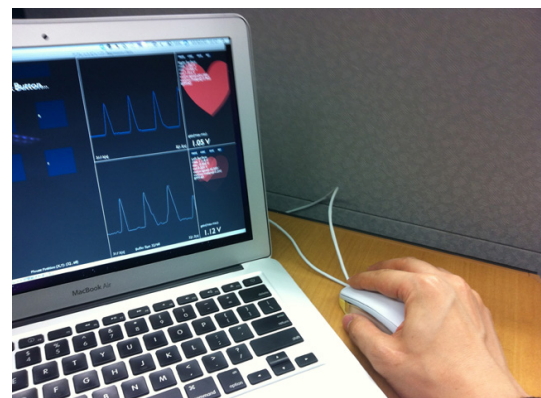


図 1 プロトタイプによる作業中の脈波取得  
Fig. 1 PPG sensing with the prototype.

ステムが実現されることにより、普段通り作業を行うだけで負担なく作業中のストレスを定量化するといったことが可能になると考えられる。

<sup>1</sup> 日本電信電話会社 NTT サイバーソリューション研究所  
NTT Cyber Solutions Laboratories, NTT Corporation

a) chigira.hiroshi@lab.ntt.co.jp

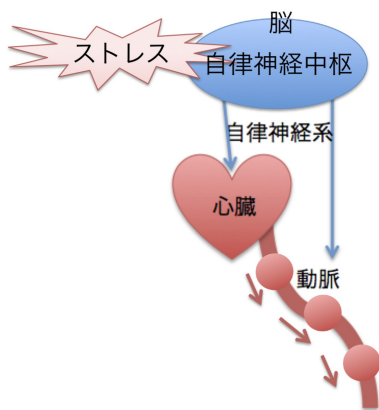


図 2 脈波発生原理

Fig. 2 Mechanism of pulse wave.

従来脈波を取得するには、一点でのみ取得が可能なセンサ（以後、点型センサとする）に指先等の生体部位を明示的に合わせることによる取得方法が一般的であった。この点型センサは医療機関等で一般的に用いられているが、取得領域が狭く、デバイスに搭載してユーザの脈波を日常的に取得しようとする、ユーザはセンサの取り付け位置を意識して把持する必要がある、それによってユーザが本来行うべき行動を妨げてしまうことや、ユーザ本来の状態を取得出来ないといった問題が生じるなど、我々が目指す目的に対して適しているとはいえない。

このような問題に対し、ユーザが意識的にセンサに指先を合わせる必要がなく、普段通りデバイスを使用するだけで脈波を取得可能な、発光板と受光板という2枚の板から構成される面型脈波センサ [5] が提案されている。本論文ではこのセンシング手法を用いることにより、作業中の脈波を取得するためのマウス型プロトタイプを実装し、このプロトタイプを用いて作業者の状態推定に向けたいくつかの評価を行った。以下ではこれらについて報告する。

## 2. 脈波

### 2.1 脈波とは

脈波は指先や耳朶など末梢部位における動脈の血流量変化を表す生体情報である。心臓が拍動する度に血液は中枢の動脈に送出され、末梢まで到達する。その過程において、血液は自身の経路である動脈の状態に応じて影響を受ける。その結果、脈波には心拍動による情報と、動脈の状態が反映されるが、心拍動も動脈も図2の様に自律神経系の影響を受けているといわれ [6]、この性質を活かしてストレスや疲労、眠気といったユーザの様々な状態判定が脈波を用いて行われつつある [1], [2]。この様な有益な情報を持った脈波を取得する機能が様々な小型デバイスに搭載され、ユーザがそれらを日常的に何気なく使用するだけで脈

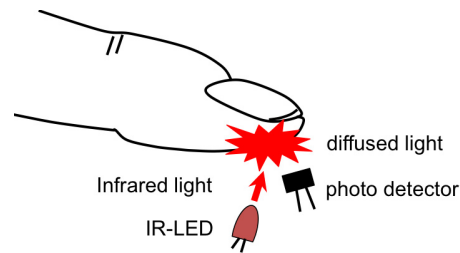


図 3 光電式の脈波取得方法

Fig. 3 PPG method using IR-Light.

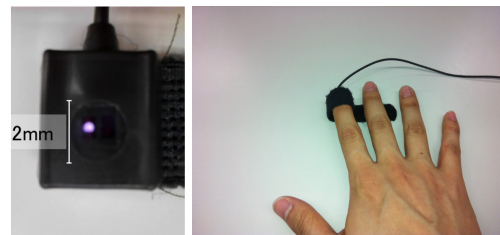


図 4 一般的な点型の脈波センサ (BIOPAC TSD200)

Fig. 4 Ordinal point type PPG sensor (BIOPAC TSD200).

波を取得出来れば、様々な可能性が広がると言える。その一例として、マウスを介したストレスモニタリングシステムが挙げられる。コールセンターのオペレータや VDT 作業者は精神的ストレスに晒されているといえ、彼らの状態を的確に把握することで、健全な労働環境を築けるといえる。もしいつも通りマウスを使用しているだけで脈波を取得し、ストレス状態をモニタリング出来れば、過度のストレスや疲労を検知して休憩を促すなど、ユーザの健康状態維持に繋がると考えられる。

### 2.2 関連研究

今日、脈波を取得するために多く用いられている方法は光電式 (Photo-Plethysmography : PPG) とよばれる、近赤外光の発光素子および受光素子を用いたセンシング手法である (図3)。これは近赤外光が生体を透過し血中へヘモグロビンに吸収される特性を利用し、生体部位の近傍に近赤外光を照射し、反射した散乱光の光量を電氣的に捉える方法である。脈波センサは今まで、主に医療機関等で図4の様な小さなセンサ (以後、点型センサと呼ぶ) を指先に装着して取得することが一般的であった。この点型センサをマウスと組み合わせ作業中のストレス計測を試みた例が存在するが [7]、図に示す通りセンサはマウスに比べて小さく (図5)、ユーザはセンサ部分に対して自身の指先を明示的に合わせる必要があり、本来の作業の妨害や、取得そのものがうまく行えないという問題が生じる。

## 3. 面型脈波センサ

従来技術の課題であるセンサ位置へ指先を合わせる負担を低減するため、一般的な点型の脈波センサにおけるセンシング領域を光学的に拡張した面型の脈波センサ [5] を用



図 5 点型センサの素子とマウスとの比較  
 Fig. 5 Ordinal point type PPG sensor and mouse.

いることとした。本節ではこの手法の概要について説明する。面型脈波センシング技術は図6に示す様に、点型センサを構成する発光素子（IR-LED）および受光素子（photo detector）に加えて、発光板（diffusion plate）、受光板（detection plate）という2枚の亚克力板を追加することで実現される。発光板は発光素子に、受光板は受光素子に隣接して配置され、ユーザの指先と受光板の上面とが接触することでセンシングが行われる。発光板と受光板の間には空気（または真空）が存在する。

次に図7を用いて原理をより詳細に説明する。発光素子が照射した近赤外光は発光板の内部に入射すると、発光板の底面に設けられた微細なパターン（dot pattern）により受光板方向に向きを変え面発光する。これは液晶バックライト等で既に普及している面発光技術を応用したものである。受光板方向に向きを変えた近赤外光は受光板に到達するが、亚克力は高い赤外透過率（0.9以上）を持つため少ない減衰で受光板を透過することができ、指先が受光板上のいずれの位置に接触していても、近赤外光を照射し散乱光を生じさせることが出来る。この散乱光のうち受光板内部に再度入射した成分に注目する。例えば図7の点Pには散乱光a（破線）、b（実線）という2パターンの成分が入射しているが、亚克力は空気（または真空、屈折率1）に比べ高い屈折率（1.49）を持ち、内部に入射した赤外光のうち、受光板内部における臨界角 $\theta$ より大きな角度を持つ成分を内部全反射させることが出来る。すなわち、散乱光aは $\theta$ より小さい入射角で点Pに入射するため、内

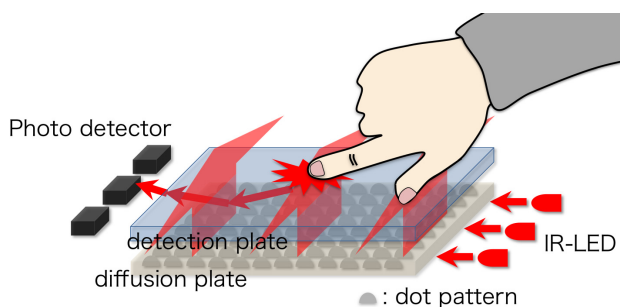


図 6 面型脈波センシング技術（概要）  
 Fig. 6 PPG surface.

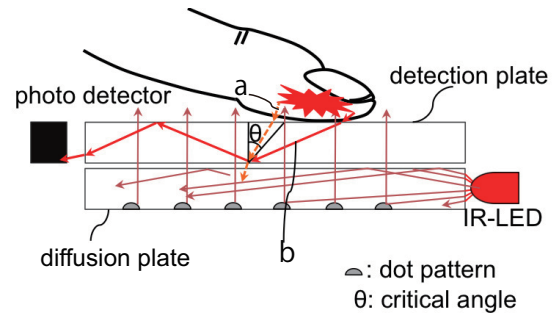


図 7 面型脈波センシング技術（側面）  
 Fig. 7 Sideview of PPG surface.

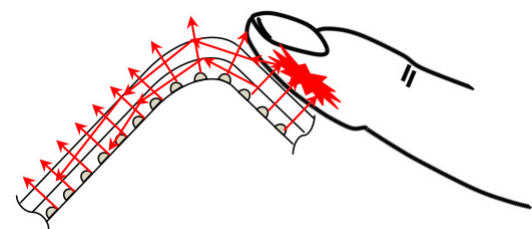


図 8 曲面の場合  
 Fig. 8 Curved surface.

部全反射せず受光板外へ出射するが、一方で散乱光bの入射角は $\theta$ より大きいため、点Pにおいて内部全反射し、その後も内部全反射を繰り返して受光板の側面より出射する。この様にして、受光板内に入射し内部全反射する成分を受光板側面に配置した受光素子で検出することにより、脈波を取得可能になる。なお $\theta$ は前述した亚克力および空気の屈折率から約 $42.2^\circ$ と求められる。

このようにして構成される面型脈波センサの利点について述べる。まずこのセンサは広いセンシング領域上の位置によらず脈波を取得可能であり、ユーザがセンサに意識的に指先を合わせる負担を大幅に緩和することが出来る。また、発光板と受光板の曲面形状（図8）や厚みは原理が成立する範囲内で自由に設計可能であり、現在普及しているデバイスの形状を損なうことなく搭載可能であるといえる。

#### 4. 実装

面型脈波センサをマウスに実装した、操作中に脈波を取得可能なプロトタイプを作成した（図9）。このプロトタイプを作成するにあたり、市販されている有線式マウスの筐体を改造し、センサを搭載するための窓を設けた。窓の位置は指先が接触する頻度が高いと考えられるマウスの左右側面とした。そしてこの窓部分に発光素子、発光板、受光板、そして受光素子からなるセンサ面を搭載した。発光板、受光板にはそれぞれ1.2mm厚の亚克力板を用い、マウスの側面形状にあわせて曲面を持たせて作成した。発光素子及び受光素子（ピーク波長は共に940nm）は1つの





図 9 プロトタイプ  
Fig. 9 Prototype.

センサ面に対してそれぞれ1つずつ配置し、発光素子は直流電流にて駆動したそれぞれのセンサ面（以下では右面、左面とする）から取得した2ch分の脈波信号はマウス外部に設置した増幅回路による増幅とマイコンによるAD変換を行い、PCへ取り込んだ後に2次バターワースフィルタ（カットオフ周波数10Hz）を用いて平滑化を行なった。

## 5. 評価実験

3節で述べた面型脈波センサを実装したマウスを用いて作業者の脈波を取得し、作業者の状態を推定することが本研究の目的である。この目的を実現するため、我々は脈波データが持つ特徴の中でも特に脈波の隣接ピークの間隔の変動具合を表す脈波間隔変動に注目している。脈波間隔変動は自律神経活動指標を算出する際に広く用いられている特徴量であり[3]、脈波間隔変動が高精度に取得されることにより、2.1節で述べた様なストレス等の作業状態を推定するアプリケーションが実現されるといえる。そこで、本論文ではまずプロトタイプを把持して静止した状態で取得される脈波から正しく脈波間隔変動が検出可能かどうか検証を行なった。

一方で脈波は体動などの外乱の影響を受けやすいことが知られている[8]。マウスにセンサを搭載して脈波の取得を試みた際には、ポインタの移動やクリックといったマウス操作に伴う作業者の体動が外乱となり脈波波形に影響を及ぼすことが考えられる。そのため、操作中に脈波を取得した際にどの程度外乱の影響が生じるか、という点についてもプロトタイプを用いて調べることにした。

これらの評価は前節で述べたプロトタイプと一般的な点型の脈波センサ（BIOPAC TSD200、図4に示した）とでそれぞれ取得した脈波波形同士を比較することで行った。

### 5.1 実験方法

実験は以下の内容で行なった。

- 被験者：5名（25～27歳、女性1名、男性4名）
- 比較対象：点型センサ（BIOPAC TSD200 脈波センサを脈波アンプ PPG100C に接続し、センサシステム

MP150にてPCへ取り込み）

- 実験条件：
  - プロトタイプを把持し静止した状態での取得（条件1）
  - プロトタイプで図10に示すUIを操作する際の取得（条件2）

被験者は安静座位状態で右手にプロトタイプを把持し、左手人差し指に点型センサを装着し、条件1、条件2で30秒間脈波を取得した。また条件2では被験者は図10に示した内容で以下の様な順序でプロトタイプを操作し、その際のマウスポインタの移動やクリックが行われた時間情報を同時に取得した。

- (1) 3秒間(Button)の位置で待機
- (2) 1秒間隔で提示される合図に合わせ左クリック（5秒間）
- (3) 7秒間(Button)の位置で待機
- (4) (a), (b), (c), (d), (a)の順に、2秒毎にポインタを移動
- (5) (a)で5秒間待機

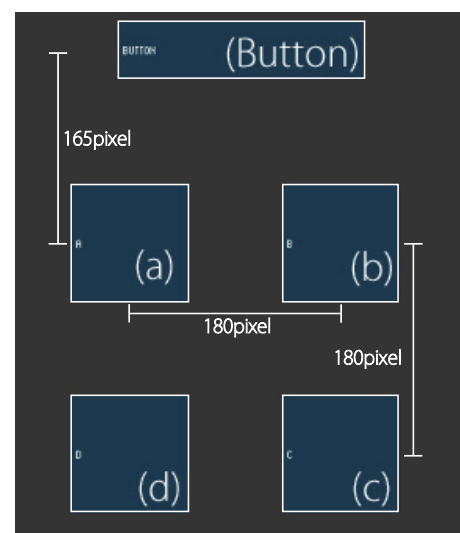


図 10 条件2における操作UI。  
Fig. 10 UI at condition 2.

なお、使用ディスプレイは13.3インチ（対角）、解像度は1440 × 900であった。このようにしてプロトタイプ及び点型センサから取得したデータに対してピーク検出を行うことで脈波間隔変動を算出した。なおその際の算出方法としては、波形を微分することで行なった。

## 6. 結果

### 6.1 条件1

作成したプロトタイプ及び点型センサから取得した被験者1の脈波波形（条件1の場合）を図11(a), (b), (c)に示した。この際振幅は[0, 1]の値に正規化を行なっている。また、実験で得られた右面、左面、点型センサの3つの脈波波形からそれぞれ算出した脈波間隔変動を図11(d)に示した。

図12には条件1で5人の被験者から取得したプロトタイプの右面および左面と、点型センサとで対応する脈波間隔の相関をプロットした結果を示した。この際の点型センサとの相関係数は右面、左面でそれぞれ $r^2 = 0.99, 0.97$ であった。

### 6.2 条件2

図13には条件2で得られた被験者5人のプロトタイプ操作中の取得波形を、クリック操作及びポインタ移動が生じた時間と合わせてそれぞれ示した。脈波波形は図11と同様正規化を行なっている。ポインタ移動に関しては変化が生じていた時間をx座標とy座標に分けて示した。

## 7. 考察

まず条件1の結果に関して述べる。プロトタイプの右面、左面それぞれの脈波波形から算出された脈波間隔は共に点型センサと高い相関を持つ結果が得られており、今回作成したプロトタイプは作業者がマウスを把持して静止した状態において、点型センサと同等の性能を持つことが明らかになったといえる。

次に条件2の結果について考察する。各被験者の脈波波形において、クリック操作やポインタ移動に伴う外乱が確認されたが、一方で操作中であっても波形のピーク位置が全く確認できないような結果は少ないという結果が得られたといえる。但し今回の実験ではクリック操作は左クリックのみであり、またポインタの移動範囲は狭い範囲であるため、今後はより実環境に近い条件での評価を行う必要があるといえる。

次に、今後行なっていくべきプロトタイプの改良点について述べる。まず、マウス及びセンサ面の形状の工夫が挙げられる。今回作成したプロトタイプは必ずしも握りやすい形状であるとはいえず、センサ面と指先との接触領域が十分に確保できなかった可能性がある。手にフィットしやすい形状設計を行うことは性能向上につながると考えられ

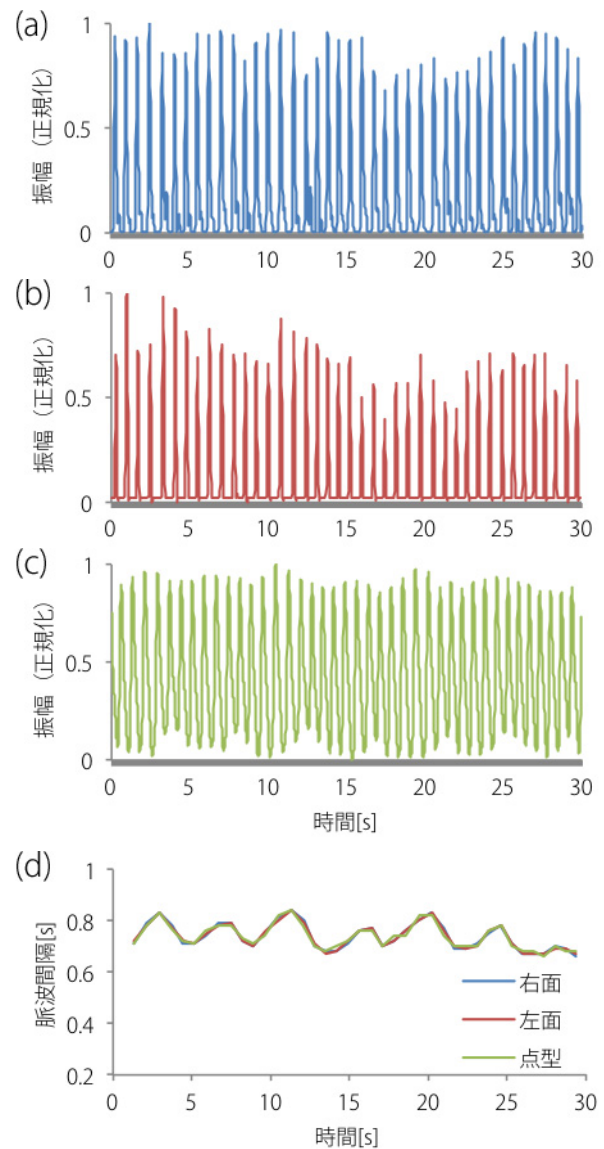


図11 条件1において被験者3から取得した脈波波形および脈波間隔変動プロット。(a):右面。(b):左面。(c):点型センサ。(d):脈波間隔変動

Fig. 11 PPG waveforms and peak-to-peak interval plot from participant 3, at condition 1.

る。また、最適なセンサ面の大きさについても考慮すべきである。今回作成したプロトタイプはセンサの位置を意識させないために左右の側面に広いセンサ面を搭載している。しかし一方で、センサ面をやみくもに大きくすることは環境光など外乱要素の影響を増やし、センサのS/N比を低下させる要因ともなる。そのため、ユーザビリティを担保できる最低限の大きさを決定することが必要であるといえる。

加えて、今後は、短時間の脈波間隔変動データによる作業者の状態推定技術を実現する必要があるといえる。自律神経活動の度合いを数値化する一般的な指標としてLF/HF[6]が挙げられるが、この指標は脈波間隔変動の波形を周波数解析し0.5Hz以下の低周波成分のパワーを見るため、3分

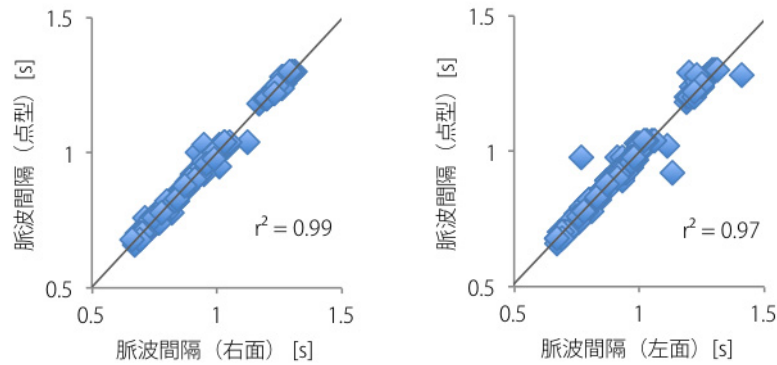


図 12 相関プロット

Fig. 12 Correlation plot.

程度の連続した脈波波形データが必要になる。一方でマウスにセンサを取り付け脈波取得を試みる際には、マウスに手が触れ続けているという状況は考えにくく、そのような長い時間の連続した脈波波形を得ることは困難であると考えられる。そのため、より短い時間の脈波波形から作業者の自律神経活動を推定できるような解析方法を確立する必要があるといえる。

## 8. まとめ

本論文では作業者の状態推定技術確立を目指し、取得領域が広く形状の自由設計が可能な面型脈波センサをマウスに実装し、静止状態及び作業中という2つの条件下で脈波を取得し評価することでその初期検討を行なった。この評価により、静止状態ではプロトタイプは点型センサと同等の脈波間隔検出性能を持つことが判明し、また作業中の脈波に対する外乱の度合いについても定性的な把握が行えた。今後はより実環境を意識した条件での実験、マウスやセンサの形状改良、ノイズキャンセル方法、短時間の脈波波形データに基づく状態推定方法等を並行して進め、技術の高度化を行なう。

## 参考文献

- [1] Wang, H., Prendinger, H. and Igarashi, T.: Communicating Emotions in Online Chat Using Physiological Sensors And Animated Text, *CHI '04*, pp. 1171–1174 (2004).
- [2] Hirshfield, L. M., Solovey, E. T., Girouard, A., Kebinger, J., Jacob, R. J. K., Sassaroli, A. and Fantini, S.: Brain Measurement for Usability Testing and Adaptive Interfaces: An Example of Uncovering Syntactic Workload with Functional Near Infrared Spectroscopy, *CHI '09*, ACM, pp. 2185–2194 (2009).
- [3] Takada, M., Ebara, T. and Kamijima, M.: Heart Rate Variability Assessment in Japanese Workers Recovered from Depressive Disorders Resulting from Job Stress: Measurements in the Workplace, *International Archives of Occupational and Environmental Health*, Vol. 83, pp. 521–529 (2010).
- [4] Park, H., Oh, S. and Hahn, M.: Drowsy Driving Detec-

tion Based on Human Pulse Wave by Photoplethysmography Signal Processing, *Proceedings of the 3rd International Universal Communication Symposium, IUCS '09*, pp. 89–92 (2009).

- [5] Chigira, H., Maeda, A. and Kobayashi, M.: Area-based photo-plethysmographic sensing method for the surfaces of handheld devices, *UIST '11*, ACM, pp. 499–508 (2011).
- [6] Allen, J.: Photoplethysmography and its application in clinical physiological measurement, *Physiological Measurement*, Vol. 28, No. 3 (2007).
- [7] Nakazono, Y., Ozeki, H. and Mizusawa, J.: Non-Invasive Measurement of Cardiovascular Stress Responses by a Photoplethysmography-Built-in PC mouse, *Journal of the Society of Biomechanisms*, Vol. 1, No. 33, pp. 80–84 (2009).
- [8] Poh, M.-Z., Swenson, N. and Picard, R.: Motion-Tolerant Magnetic Earring Sensor and Wireless Earpiece for Wearable Photoplethysmography, *Information Technology In Biomedicine, IEEE Trans.*, Vol. 14, No. 3, pp. 786–794 (2010).

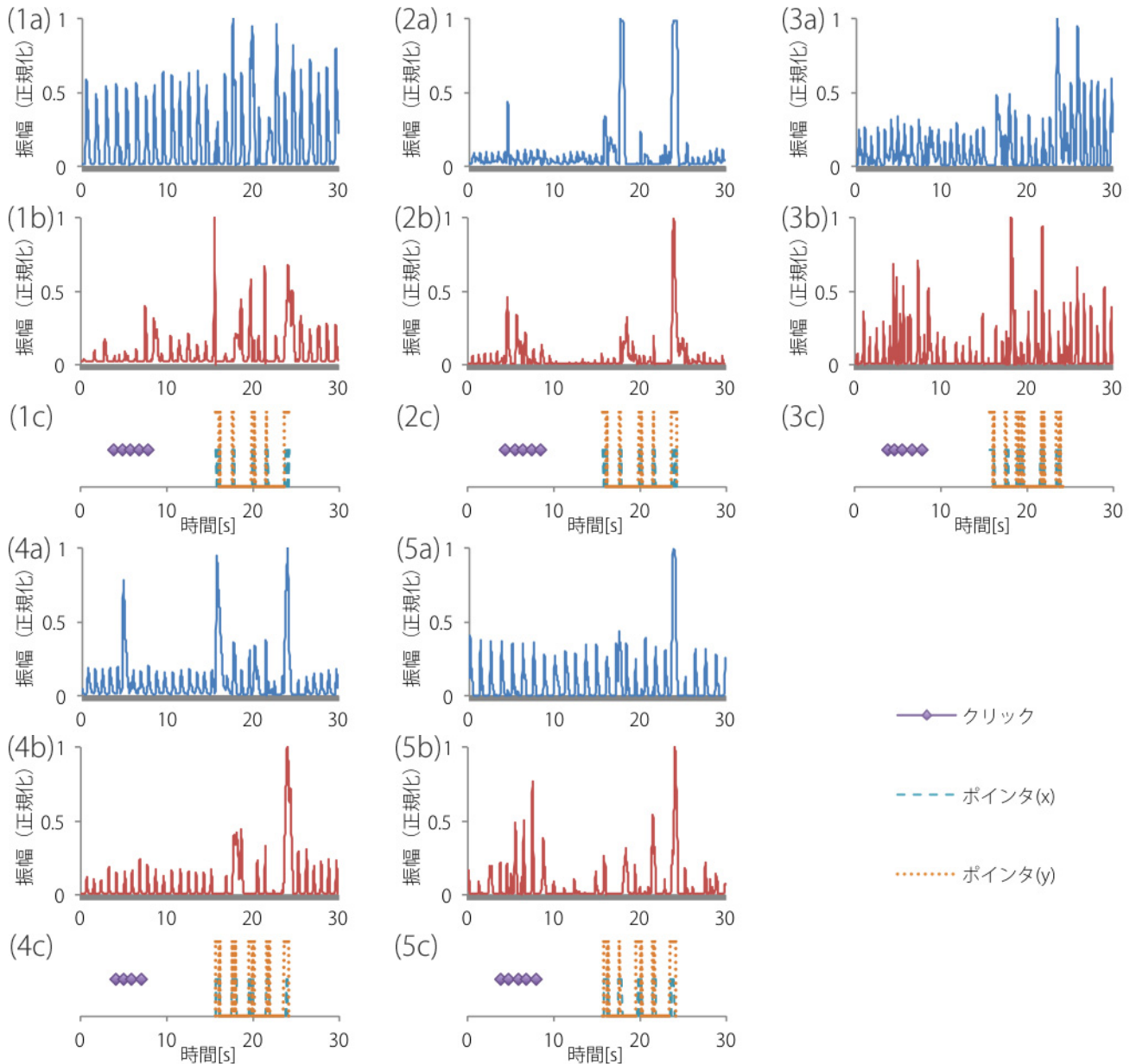


図 13 条件 2 におけるマウスからの取得波形及びマウスの操作。数字は被験者の番号を表す。  
 (a) は右面, (b) は左面, (c) は取得された操作情報

Fig. 13 Results at condition 2. The number means the indice of Participants. (a) :  
 waveform from the right surface. (b): waveform from the left surface. (c):  
 operation log of the mouse.