

# 指尖容積脈波を同時に取得する 指紋認証システムの試作と評価

橋爪 崇弘<sup>1,a)</sup> 矢谷 浩司<sup>1,b)</sup>

**概要:** スマートデバイスの普及により生体認証は日常的に使用できる技術となっている。生体認証においては認証に必要な情報だけではなく、ユーザの健康に関する情報も同時に取得できる可能性がある。これを実現することにより、例えばユーザは携帯電話をアンロックする際に自身の健康情報を同時に記録することが可能となり、ライフログなどのアプリケーションに活用できる。我々は、このようなシステムを Dual-purpose security と呼んでいる。本論文では、Dual-purpose security の一例として、指紋認証と同時に指尖容積脈波を取得するシステムを提案し、その試作と評価を行った。予備実験の結果、指の中心部だけでなく周辺部において、脈拍と呼吸数を指紋認証時に取得できることがわかった。この実験結果から、指尖容積脈波を同時に取得する指紋認証システム実現可能性と有用性の高いアプリケーションを議論する。

## Investigating a Photoplethysmography-enabled Fingerprint Authentication System

TAKAHIRO HASHIZUME<sup>1,a)</sup> KOJI YATANI<sup>1,b)</sup>

### 1. はじめに

我々は自らの財産や情報資産を守るために、生活の中で多くのセキュリティシステムを使用している。その中で最も多く使用しているのが、システムを利用できる正当なユーザであるかを確認する認証システムである。ユーザ認証は Web サイトなどで用いるパスワード認証、ID カードによって入退出を管理する所持認証、指紋や虹彩など不変の身体的特徴を用いる生体認証など様々な形態があり、我々の生活に無くてはならないものとなっている。

このユーザ認証技術に関してはセキュリティの分野から安全性の向上について数多くの研究がなされてきた。しかしながら、実際には未だ多くの情報流出事件が起きており、その主要な原因はシステム側ではなく、システムを正しく使わないあるいは使えないユーザ側にあるとされてい

る [1]。このようなシステムを使う人間的な側面を考慮して、ユーザにとって使い勝手がよく、同時にセキュリティの高いシステムを研究する分野が Usable Security である。

Usable Security の近年の動向として、生体認証が注目されている。近年のコンピュータの性能向上により、ユーザにはアカウントごとに異なる複雑なパスワードの使用が求められるようになり、安全性を確保するためのユーザの負担が増加した。これに対し、なにも覚える必要がないという生体認証の Usability の高さが、ユーザに好意的に受け入れられたことがこの流れを後押ししている。現在では iPhone ユーザの 89 % が指紋認証を使用していると言われており [2]、今後も生体認証を用いる機会がこれまで以上に増えていくと予想される。

このような生体認証においては、認証に必要な情報以外にも様々な生体情報を取得できる可能性がある。我々はこのようなセキュリティシステムを Dual-purpose Security と呼んでいる。このコンセプトの実現によって、セキュリティの観点と日常的な健康管理の観点の両方に対して以下の貢献が得られると考えている。

<sup>1</sup> 東京大学大学院 工学系研究科  
Interactive Intelligent Systems Laboratory,  
Graduate School of Engineering, The University of Tokyo  
7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo, Japan

a) hashizume@iis-lab.org

b) koji@iis-lab.org

- 目的の達成には直接必要のない認証という行為に、健康管理という目的性を持たせることで、セキュリティシステムを社会に更に浸透させることにつながる。
- 断続的に取得できる個人の健康状態の推移を更なるセキュリティの向上に使用できる。
- 日常生活の中でユーザに追加のタスクを生じさせずに、健康を管理するための情報を取得することができる。
- ウェアラブル端末のように常に身につけなくとも、ユーザの生理学的健康情報を1日の中で断続的に取得し管理できる。

このコンセプトの一例として、本稿では生体認証の中でも指紋認証を対象を絞り、システムの検討を行う。まずは Usable Security と日常における健康管理に関わる関連研究を精査し、提案する Dual-purpose Security がこれらの文脈の中でどのように位置づけられるかを整理する。次に指紋認証センサの原理やアルゴリズム、そして健康状態の取得を行うための光電式容積脈波記録法に関して説明する。その後、Dual-purpose Security のシステムとして、光電式容積脈波記録法を用いて指紋認証と同時に脈波に関する健康情報を取得するシステムを提案する。また、そのシステム設計に必要な予備実験を行い、得られた知見から今後解決すべき課題を明確にする。

## 2. 関連研究

ライフログとして取得した健康情報から得られる個人の特徴を認証システムに活かすという研究は存在するが、既存の生体情報システムに健康管理を組み込むという研究は知る限りこれまで行われてきていない。よって本章ではセキュリティの側面に関連がある Usable Security の分野と、健康管理の側面に関連があるヘルスマonitoring の分野について既存の研究を述べる。それぞれの分野における本研究の位置づけと相違点を明らかにし、どの点において貢献が得られるかを明確化する。

### 2.1 Usable Security

Usable Security の目標は、社会にセキュリティシステムを受容させるために全ての人にとって扱いやすいシステムを探求することである。

近年、スマートフォンやタブレットには指紋を用いた Touch ID [3] や、顔・眼球の虹彩を用いる Windows Hello [4] など、生体情報を用いるものが多く実装されてきている。これらのデバイスは1日の中で何度も認証が行われるため、Usability が高く素早い認証手法が望まれたからである。

指紋認証は Usability が高い反面、指紋認証センサが高価であるため、最新の端末にしか実装されていない。そこで BodyPrint [5] では古いスマートフォンにも実装されている静電容量式のタッチパネルを用いて、個人ごとの耳

や手の特徴量をとることで認証を行う手法を提案している。タッチパネルの解像度の低さという欠点を補うために、耳のような比較的大きな身体部位を使うことや、認証システムとして精度を高めるために本人拒否率 (False Rejection Rate) がある程度高くなることは許容するなどの工夫をしている。

最近では、Web サービスのパスワード認証を、スマートフォンに搭載された生体認証機能を用いた認証に置き換えようとする動きさえある。FIDO Alliance [6] はパスワードを廃止して生体認証などを利用した新しい認証方法への移行を推進する非営利の標準化機構であり、年々数多くの企業がこの組織に参加を表明している。これは、生体情報を認証に用いることはユーザだけでなく企業にとっても、ユーザ間のアカウント共有による経済損失を防ぐことができるというメリットがあるからである。

このようにユーザと企業の両者にとって有益となるため、今後生体認証を利用するデバイスや機会が一層増えていくと予想される。それでは、生体認証を利用したシステムを社会に更に受容させるにはどうすればよいだろうか。例えば、会社での入退室や小中学校の登下校管理などに生体認証が用いられたとき、それらをユーザにより使ってもらにはどのようにすればよいだろうか。

Sasse は Usable Security Systems を設計するにあたっての重要なプロセスとして、ヒューマンファクター分析による知見を適用することを述べている [1]。これによると人間の行動は以下の2つのタスクに分類される。

- **生産タスク:** 目標を達成したり、求めるべき結果を生み出すために必要とされるタスク
- **補助タスク:** 長期的な視点や効率性の観点からみて、生産タスクの実行を助けるためのタスク

セキュリティとはユーザにとって補助タスクであり、本来の目的はセキュリティを解除したあとに行う様々な生産タスクである。すなわち、補助タスクであるセキュリティがユーザにとって取るに足らない邪魔なものに思えてしまうがゆえに、セキュリティシステムを正しく使わないという選択がなされてしまう。

本研究はこの補助タスクである認証行為に、新たに健康管理という生産タスク性を付与することでセキュリティシステムの正しい使用をユーザに促し、生体認証システムを社会に更に受容させることを目的とするものである。Usable Security の研究が Usability の改善によってセキュリティシステムの受容を促していたのに対し、本研究は認証行為に目的性を付加することでセキュリティシステムの受容を促す点で異なっている。

### 2.2 日常的な健康情報モニタリングシステム

ユーザの日常的な生理学的・精神的情報を取得し健康管理を行うことは、慢性的な疾患や健康に問題がある人だけ

でなく、健康な人にとっても病気を予防する上で大変重要である。この日常的な健康情報の取得手法はユーザの行動に焦点を当てた場合、主に2つに分けられる。

- (1) ウェアラブルデバイスを装着するなど、ユーザの行動に変化を生じさせるもの
- (2) 環境に埋め込んだセンサを用いるなど、ユーザの行動に変化を生じさせないもの

本研究では指紋認証を行う動作中に健康状態を取得する。そのため、ユーザの行動に変化を生じさせずに日常的な健康管理を行う既存研究との比較を行い、この文脈における相違点と課題を明確化する。

Kang ら [7] はユーザのスマートフォンの使用を妨げずに心電図をモニタリングするシステムとして Sinabro を提案している。これは、スマートフォンの表と裏に電極を複数配置し、心臓を挟む二点の身体部位が異なる電極に触れた際に心電図を取得するシステムである。取得した心電図の信号はスマートフォン裏面に配置されたチップにて事前処理をした後にスマートフォンへと送られ、健康に関わる特徴を取得する。しかしながら、心臓を挟む二点間で電極に触れるという動作が1日の中でそこまで多く発生せず、情報を取得できる回数が少なく限られている点や、心電図を取得しているにもかかわらず得られる健康情報が心拍程度に限られている点が課題として残る。デスクワークの作業中における作業を妨げずに健康状態を取得するものとして、顔色の僅かな変化を Web カメラを用いて取得し心拍を推定する Mauka-Mauka [8] や、キーボードやマウスの使い方の変化からストレスを推定する Under Pressure [9] などがある。これらは主としてコンピュータの使用時のみ行うことができる手法である。本研究で提案する認証時における情報取得とはセンシングの機会を考えると時間的に競合せず、互いに取得した情報を用いることでユーザの健康状態を更に密にモニタリングすることができると考えられる。

また、生活空間や職場の環境に設置されたセンサを用いてユーザの健康を管理する場合には以下の3つの点が課題とされている [10]。

- (1) センシング対象のユーザを判別する必要がある
- (2) ユーザを連続的にモニタリングするのが難しい
- (3) 生理学的な健康情報へのアクセスが限られる

本研究で提案するシステムの場合、本来認証を行うシステムに健康管理機能を追加していることからユーザを判別することは容易い。また、指紋認証であれば必ずセンサに人体が触れることとなるため、その際に生理学的な情報を取得することが可能である。しかし、Sinabro や環境センサと同様に大きな問題となってくるのがデータの連続性である。例えばスマートフォンの指紋認証であれば、1日に80回程度認証を行うこととなる [2] が Usability の観点からデータの取得は数秒程度であるのが望ましい。したがって、1日の中で断続的に取得された各々数秒程度のデータ

から、健康管理を行うに十分な情報を取得することができるのかという点が技術的な課題となる。

### 3. 指紋認証技術と光電式容積脈波記録法

本章では、本研究にて主として扱う指紋認証と光電式容積脈波記録法についてまとめる。

#### 3.1 指紋認証の原理

指紋は個々人において異なる特徴をもっており、皮膚表面を傷つけるなどしなければ生涯変わらないとされている。センサを用いて取得した指紋から特徴点を抽出し、正当なユーザの特徴点と比較して類似度をスコアとして計算する。そのスコアが閾値を超えていれば認証され、下回ってれば認証を拒否されるというのが指紋認証におけるプロセスの概略である。

指紋認証の特徴点として現在主に用いられているのが、minutiae とよばれる点である。minutiae とは指紋の山線の端点 (ridge ending) と分岐点 (ridge bifurcation) である。指紋の類似度を計算する際は、この各点の座標 ( $x, y$ )、山線の方向 ( $\theta$ )、そして終点か分岐点かという情報を特徴ベクトルとして用いている [11]。

本研究の提案する健康状態取得手法によって、指紋認証のセキュリティレベルを低下させてはならないため、センサが取得できる特徴点が減るようなシステム設計は避けねばならない。

#### 3.2 光電式容積脈波記録法の原理

容積脈波 (PPG, photoplethysmogram) とは心臓の拍動に基づいた血流の流れを、毛細血管の血液量の変化として読み取った波形である。この容積脈波を、光学的な手法で安価に読み取る方法が光電式容積脈波記録法 (Photoplethysmography) である。指先や耳たぶなどの人体皮膚表面に対して、LED を用いて可視光や赤外光を照射し、その反射または透過光を受光デバイスを用いて検出する。脈動によって変化する血液の容積を、光の吸収量の変化として読み取るものである [12]。

発光源として赤色光と赤外光の両方を用いて、それぞれの光に対する反射光を検出し、それらの比をとることで酸素飽和度も推定できる [13]。これは、酸化ヘモグロビンと還元ヘモグロビンの波長ごとの透過率が異なることと、透過率に差のある赤色光と透過率に差があまりない赤外光の性質を利用したものである。パルスオキシメータにはこの原理が利用されている。

#### 3.3 容積脈波の波形

光電式容積脈波記録法で得られる容積脈波の波形とその特徴及び名称を 図 1 に示す。上に最も凸となる部分が、脈動を表しており LED の光がより吸収されたことを表す。

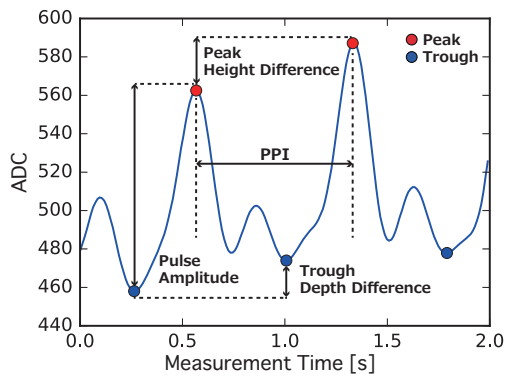


図 1: 容積脈波の波形例及び容積脈波内の特徴と名称。

**Fig. 1** An example of a photoplethysmography signal. Peak Height, Trough Depth, and Pulse Amplitude are affected by some noise (ambient light, motion artifacts) [14].

この波形の頂点部分を Peak といい、Peak 直前の波形が下に凸となる部分を Trough と言う。また、Peak と Peak の間の時間間隔を PPI (Peak-to-Peak Interval) と言う。

また、容積脈波に乗ずるノイズとして代表的なものとして環境光とユーザの体動がある。これらのノイズが波形に現れる場所として、波形を時間軸で見た際の Peak の高さの差・Trough の深さの差・振幅の変化が挙げられる [14].

### 3.4 容積脈波から得られる健康情報

容積脈波からは心拍数だけでなく、様々な身体パラメータと健康情報を得ることができる。容積脈波から得られ、各種健康状態の診断に使われる指標として代表的なものに以下のものがある。

- 心拍数: 1 分間における Peak の数
- 心拍変動: PPI の変動
- 速度脈波: 容積脈波の 1 回時間微分
- 加速度脈波: 容積脈波の 2 回時間微分
- 呼吸数: 1 分間における呼吸の数

この中でもとりわけ心拍変動 (Heart Rate Variability, HRV) からは多くの情報が得られる。HRV の解析方法の 1 つに  $N$  番目の脈波の PPI を横軸に、 $N+1$  番目の脈波の PPI を縦軸にとったポアンカレプロットがある。これを図 2 に示す。ポアンカレプロットに表現された散布図の形状を解析することで、病気の状態や年齢など様々な健康状態を割り出すことができる [15].

## 4. 指紋認証と同時に指先容積脈波を取得するシステム

本来の認証を行う間に、認証に必要な情報の他に健康情報を取得し管理する Dual-purpose Security システムとして、指紋と同時に容積脈波を取得するシステムを検討する。心電図や皮膚電位などの他の生体情報を取得する手法と比較して、指先容積脈波を同時に取得することは以下の点で

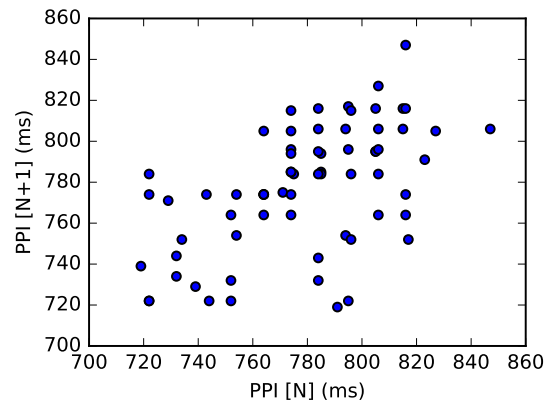


図 2: 心拍変動のポアンカレプロット。

**Fig. 2** A Poincaré plot of heart rate variability. The shape of the plot can be indicative of our heart functionality.

優れていると考えている。

- センシングする身体部位が指 1 本でよいため、ユーザの指紋認証行動に変化を及ぼさない。
- 指紋認証センサと統合・共存できる可能性がある。
- 容積脈波からは様々な生理学的情報や、精神的なストレスに関わる情報も推定できうる。

### 4.1 指先容積脈波センサの選定

指紋認証と同時に指先容積脈波を読み取ることを考えると、以下の 2 通りの方式が考えられる。

- 透過型: 光学式指紋認証センサが認証時に用いる可視光の、指に対する透過光を受光素子で検出する方法
- 反射型: 指紋認証センサの認証を妨げない位置に LED と受光素子を配置し、反射光を検出する方法

透過型を選択した場合、光学式指紋認証センサのみでしか有用性を示すことができない。また、一般にパッケージ化された指紋センサ内部の LED を制御する API が公開されていないことも鑑みて、反射型を選択した。

LED、フォトダイオード、フィルタなどを含めた回路構成は、得られる研究成果の貢献を最大化するため、オープンソースのプロジェクトである PulseSensorAmped [16] を用いる。PulseSensorAmped は皮膚に対して照射した LED の反射光をフォトダイオードで検出し、ローパスフィルタを兼ねた増幅回路で信号を増幅する。以下で行う実験では PulseSensorAmped で得られる信号を Arduino Uno を用いて 100 Hz でサンプリングし、容積脈波を取得する。

### 4.2 指に対するセンサの配置

指先容積脈波の測定は一般的には指の腹部分に受光素子がくるようにして行う。しかし、指紋認証と容積脈波取得を同時に行う場合にはその部位は指紋として認証に使わなければならない。したがって、指紋認証を妨げない指のどの位置から容積脈波が取得できるのか、またその中でもどの点が安定した信号源となりうるかを調べる必要がある。

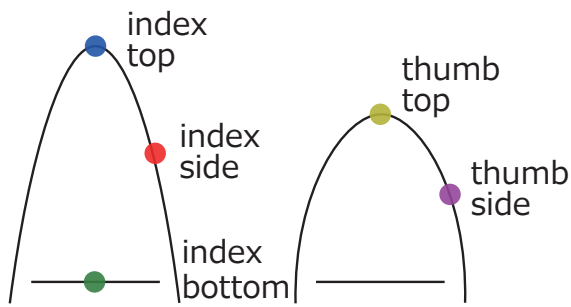


図 3: 実験で対象とした指の位置。(左: 人差し指, 右: 親指)

Fig. 3 Photoplethysmography sensor positions tested in our experiment. (left: index, right: thumb)

### 4.3 実験に用いた容積脈波の特徴

前章で述べた通り、容積脈波の波形に乗ずるノイズは Peak の高さの差・Trough の深さの差・振幅の変化によって現れる。以降の実験ではこれらの特徴が一定であればあるほど安定して容積脈波が取得できる指の位置であるとする。したがって、「Peak の高さ」・「Trough の深さ」・「振幅」の一定時間における変動係数を比較することで波形の安定性の議論を行う。

## 5. センサ位置に関する実験

### 5.1 実験手順

本実験で対象とする指と位置を 図 3 に示す。指紋認証に多く使われる親指と人差し指で、指紋取得を妨げない点として 5 点を選択した。親指の第一関節部分で取得した容積脈波はノイズが多く、特徴量を計算するに至らなかった。これは、指紋を指紋認証センサに当てる格好で第一関節をさらに容積脈波センサに近づけることが親指の構造的に難しかったからだと考える。よって、本実験では親指第一関節部分を実験対象位置から除外している。

また、各点について前節で述べた特徴を以下の手順にしたがって取得する。なお、実験中の対象者は静止して座った状態にて指尖容積脈波を取得する。

- (1) 指定した点に指を置き、60 秒間容積脈波を取得
- (2) 7 次のバターワースフィルタを用いて 4 Hz 以下の信号のみ抽出
- (3) 60 秒の内、特徴量が計算できる波形の安定した 30 秒間を選択
- (4) Peak と Trough を検出し、各種特徴量を計算

これを各点に対して 5 回ずつ行った。また、実験は所属する大学の学生 (男性 5 人, 平均年齢 23.4 歳) を集め行った。手順 3 において特徴量が計算出来る程度の安定した波形が得られなかった場合は、再度手順 1 に戻り取得を試みた。なお、4 Hz 以下の信号のみを抽出しているのは、通常の場合において静止時の脈拍は 1 分あたり 240 以下に収まるからである [17]。

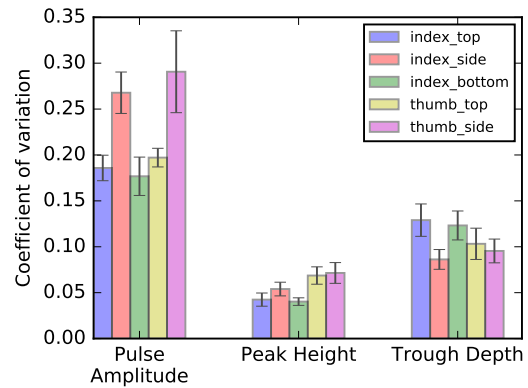


図 4: 実験参加者 P1 の各指位置における特徴の変動係数。

Fig. 4 Coefficient variations obtained from P1 across the PPG signal source positions. The error bars represent standard errors. A lower number represents better performance.

### 5.2 単一実験参加者での結果

実験結果の解析方法を述べるため、実験参加者 P1 (男性・25 歳) の結果を詳細に述べる。P1 の指の各点におけるそれぞれの特徴の変動係数を 図 4 に示す。なお、値は 5 回の平均値でありエラーバーは標準誤差を表す。値が小さいほど変動が小さくよりよい位置であることを示す。それぞれの特徴の変動係数について、位置による有意差が見られるか判断するために一元配置分散分析 (one-way ANOVA) を行った。

まず、ANOVA を行うための条件を満たすか確認するため、それぞれの特徴についてバートレット検定によって分散の均一性を確かめた。

- 振幅 ( $\chi^2(4) = 9.27, p = .055$ )
- Peak の高さ ( $\chi^2(4) = 3.56, p = .47$ )
- Trough の深さ ( $\chi^2(4) = 1.15, p = .89$ )

この結果により、直接 ANOVA を適用してよいことが確認された。次に、それぞれの特徴について ANOVA を行った結果、「振幅」と「Peak の高さ」について位置による統計的有意差が見られた。

- 振幅 ( $F(4, 20) = 4.12, p < .05, \text{partial } \eta^2 = .46$ )
- Peak の高さ ( $F(4, 20) = 3.05, p < .05, \text{partial } \eta^2 = .38$ )

その後、「振幅」と「Peak の高さ」についてそれぞれテューキーの範囲検定によって多重比較を行った結果、両者とも index.bottom と thumb.side の間に統計的有意差 ( $p < .05$ ) が見られることがわかった。つまり、実験参加者 P1 の場合は index.bottom で容積脈波を取得したほうが thumb.side で取得するより波形が安定することを表している。

### 5.3 実験参加者 5 名での結果

前節の手法を用いて、実験参加者全員の取得データについて解析を行った。各実験参加者の指において、安定して

表 1: 安定して容積脈波を取得できる指の位置と取得できない位置.  
Table 1 Experiment results of the best and worst sensor position for each participant.

	best sensor position	worst sensor position
P1	index_bottom	-
P2	index_top	thumb_top
P3	index_top, index_bottom	thumb_top
P4	index_side	-
P5	index_side, index_bottom	-

容積脈波を取得できる位置を表 1 に示す. なおここではテューキーの範囲検定による多重比較により, 他の位置に安定性が劣らない位置を安定とみなしている. また, 特徴量が計算可能な安定した容積脈波が取得できない指の位置が存在した場合には, その位置についても記載している.

#### 5.4 考察

まず第一に実験によって, 指紋のある指の腹部分でなく周辺部においても容積脈波が取得できることがわかった. しかしながら, その周辺部の中で容積脈波を安定して取得できる指の位置は, 人によって異なるということが実験結果から判明した. また, 親指は実験参加者に共通して安定位置として表れず, P2 と P3 の thumb\_top からは容積脈波が取得できなかった. これは, 親指の第一関節部分と同様に, 指紋を指紋認証センサに当てるようにしながら, 親指の周辺部を容積脈波センサに近づけることが親指の構造的に難しかったからだと考えられる.

また, 実験において, 人差し指の側面部ではある典型的な波形が観測される場合があった. その波形を図 5 に示す. この波形の概形を見ると, Peak の高さが一定の周期で変化しているような包絡線が見て取れる. 文献によるとこれはユーザの呼吸 (respiratory rate) を表している. 呼吸に従って静脈の血圧がわずかに変化し, それにともなって毛細血管の半径が拡大縮小する. よって容積脈波を取得する部位に流れる血液量に呼吸に応じた変化が加わるということである [17].

このような波形は他の指位置でもまれに観測されたが, とりわけ顕著な波形が得られたのは index\_side からであった. これはこの位置がセンサにほぼ接触せず, 指に対して外部から圧力が加わらなかったことによって静脈の血圧変動により感度高く反応できたからであると考えられる [17].

健康状態になんらかの異常がある場合, 呼吸数は心拍やその他のバイタルサインよりも先立って反応し異常があらわれるとされている [17]. したがって, 呼吸数は容積脈波から取得すべき有益な情報である. 実験結果とこの考察から, 容積脈波を取得するセンサはユーザごとの差異を考慮して人差し指側面周辺に複数点を配置するべきであると結論付けられる.

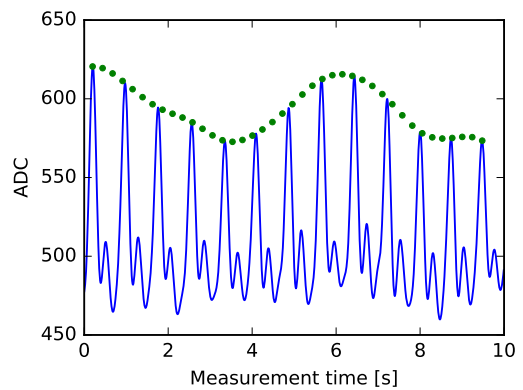


図 5: 人差し指側面の容積脈波. 包絡線は呼吸数を表す.

Fig. 5 A PPG signal observed at the side of the index finger. The envelope represents the users' respiratory rate.

表 2: 実験参加者ごとの容積脈波の最小取得時間.

Table 2 The observed minimum PPG signal acquisition time for each participant.

	best [s]	worst [s]	average (SD) [s]
A	1.7	3.6	2.4 (0.60)
B	2.7	5.0	3.9 (0.77)
C	2.7	6.0	3.8 (1.03)
D	2.0	2.8	2.6 (0.26)
E	2.5	3.1	2.8 (0.23)
Avg.	2.3	4.1	3.1

## 6. 脈波取得にかかる最短時間に関する実験

指紋認証の Usability を損なわないためにも, 容積脈波の取得はできるだけ短時間に行う必要がある. 人差し指側面において, 指を置いた瞬間から最短で何秒で容積脈波を検出できるようになるのか実験を行った.

### 6.1 実験手順

本実験で対象とする容積脈波のセンサ位置は前節で定めた index\_side である. 実験は所属する大学の学生 (男性 5 人, 平均年齢 23 歳) を集め行った. 実験は以下の手順で各実験参加者につき計 10 回行った.

- (1) 実験参加者に実験に関する指導を行う.
- (2) 実験参加者が指をおいた瞬間に時間計測を開始する.
- (3) 脈波が安定し 2 拍分取得できたと判別できた時点で計測を終了する.
- (4) 10 秒たっても脈波が確認できない場合は再度計測する.

### 6.2 結果と考察

5 人の計測結果を表 2 に示す. それぞれ 10 回計測した内の最良値, 最悪値, 平均値 (標準偏差) を示している.

人によってばらつきはあるが, 平均して 3 秒程度で容積脈波を取得できるようになることがわかった. 指紋認証の Usability を損なわないためにはこの時間を更に短縮する

必要がある。

また本実験を通して、容積脈波をうまく取得できる指の側面部位の位置や波形の形も人によって異なることがわかった。そのため、前の実験考察でも述べた用に、センサ位置はそのような個人差を吸収できるように柔軟に設計するか、センサに指の適切な位置がうまく当たるように誘導器具を装着するかといった工夫が必要となる。

## 7. アプリケーションシナリオ

提案するシステムによって実現が想定されるアプリケーション例を述べる。

### 7.1 スマートフォンロック解除時の健康管理

スマートフォンのロックを解除する際の指紋認証と同時に容積脈波を取得することで、時間的に密にユーザの健康情報を取得することができる。スマートフォンから得られる様々なセンサやユーザの行動履歴と、取得する容積脈波から得られる健康情報を合わせて用いることでさらに多くの情報が得られる可能性もある。

実験結果から、長い時間容積脈波を取得すればするほどより多くの健康情報が得られることがわかっている。しかし、アンロック時に毎回数秒～十秒程度認証に時間を掛けることはユーザにとって煩わしい可能性もある。そこで以下のようなインタフェースの設計を行うべきであると考えている。

- ソフトタッチ: ユーザがある程度時間に余裕があると推定される場合には、指紋センサの上に軽く指をおく。この場合、通知を出して長い時間の容積脈波取得を行い、呼吸数や HRV などを取得した後、アンロックを行う。
- ハードタッチ: ユーザが忙しい場合や通常時には、指紋センサの上に指を当てたとき、強く押し込む。この場合には、最低限の容積脈波取得にとどめるか、センシングを行わず、指紋認証のみを行い、アンロックを実行する。

### 7.2 オンライン決済時の認証の多層化

指紋認証は Usability が高く便利である反面、ときには便利すぎることが災いする場合がある。例えば、スマートフォンを用いてオンライン決済を行う場合、従来はユーザの決済の意思を確認するためにパスワードの入力を求めている。しかし、現在では指紋認証センサが搭載されたスマートフォンで、指紋1つでそのような金銭のやりとりを行うことができる。これはユーザの意識が正常ではない場合でも簡単に経済的なやりとりができるということである。

本システムの導入により、指紋認証と同時にユーザの意識や精神状態が正常であるかどうかを見極めることができる可能性がある。もしも普段とは異なると判定された場合

には指紋認証以外の方法での認証をもう一層挟むことによって、ユーザを不要な出費から保護することができる。

### 7.3 職場におけるストレス測定

日々の慢性的なストレスが、身体に数多くの悪影響を及ぼすことが知られている。そのため職場などでは定期的にストレスチェックが行われ、人々がどのような作業によってどの程度ストレスを感じているのか測定し職場環境の改善が行われている。実際に、平成 27 年 12 月 1 日からは労働安全衛生法の改正により労働者数 50 人以上の職場においてストレスチェックが義務化されているほどである [18]。

ストレスを測定する方法は 3 つに分けられる [9]。

- (1) 唾液や血液中のコルチゾール、アドレナリンなどの精神的ストレスに関係する物質を分析する方法
- (2) 測定対象者の主観的なアンケートに基づく方法
- (3) ストレスに関連する身体反応（心拍・容積脈波・皮膚温・瞳孔拡張・皮膚電位）を非侵襲に取得する方法

アンケートの方法が一般的であるが、本来ストレス測定によって測定対象者に追加のストレスを与えてはいけない。また、ストレス測定手法は日中を通して行うことができ、かつ測定対象者の日々の活動の邪魔にならないことが望ましい。これらの条件を考慮すると、職場の入退室管理などに本システムを導入し、心拍や容積脈波から得られる情報から従業員のストレスをモニタリングすることは有用であると考えられる。

## 8. おわりに

本稿では、セキュリティシステムの社会への更なる受容とシステム利用者の健康管理を目的として、指紋認証と同時に指先容積脈波を取得するシステムの提案を行った。システム設計のための予備実験として、容積脈波センサの指に対する位置決めや現状の最短波形安定時間を調べ、得られた結果から今後の方針や考えられるアプリケーションの考察を行った。

また、本システムの貢献を強固にするために今後取り組む必要のある課題は以下の通りである。

- 安定した波形を取得できる容積脈波センサの位置を考慮したシステムを設計する。
- 容積脈波取得時間を減少させるための信号処理を行う。
- 断続的に取得した容積脈波から導出できる HRV のポアンカレプロットからの身体異常検出
- 健康管理が同時に行えることで、どれほどセキュリティシステムが受容されるかの調査

## 謝辞

多忙な時期にも関わらず、研究に協力してくださった実験参加者の皆さまに厚く感謝申し上げます。

参考文献

- [1] Sasse, M. A. and Flechais, I.: Usable security: Why do we need it? How do we get it?, *Security and Usability: Designing Secure Systems that People Can Use*, pp. 13–30 (2005).
- [2] Apple Insider: Average iPhone user unlocks device 80 times per day, 89% use Touch ID, Apple says, <http://appleinsider.com/articles/16/04/19/average-iphone-user-unlocks-device-80-times-per-day-89-use-touch-id-apple-says> (accessed 2016-11-10).
- [3] Apple: About Touch ID security on iPhone and iPad - Apple Support, <https://support.apple.com/HT204587> (accessed 2016-6-7).
- [4] Microsoft: What is Windows Hello? - Windows Help, <http://windows.microsoft.com/en-us/windows-10/getstarted-what-is-hello> (accessed 2016-6-7).
- [5] Holz, C., Buthpitiya, S. and Knaust, M.: Bodyprint: Biometric User Identification on Mobile Devices Using the Capacitive Touchscreen to Scan Body Parts, *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '15*, New York, NY, USA, ACM, pp. 3011–3014 (2015).
- [6] FIDO Alliance Inc.: FIDO Alliance, <https://fidoalliance.org/> (accessed 2016-6-16).
- [7] Kang, S., Kwon, S., Yoo, C., Seo, S., Park, K., Song, J. and Lee, Y.: Sinabro: Opportunistic and Unobtrusive Mobile Electrocardiogram Monitoring System, *Proceedings of the 15th Workshop on Mobile Computing Systems and Applications, HotMobile '14*, New York, NY, USA, ACM, pp. 11:1–11:6 (2014).
- [8] Singh, M., Kumar, A., Yadav, K., Madhu, H. and Mukherjee, T.: Mauka-mauka: Measuring and Predicting Opportunities for Webcam-based Heart Rate Sensing in Workplace Environment, *Proceedings of the 10th EAI International Conference on Body Area Networks, BodyNets '15*, ICST, Brussels, Belgium, Belgium, ICST (Institute for Computer Sciences, Social-Informatics and Telecommunications Engineering), pp. 96–102 (2015).
- [9] Hernandez, J., Paredes, P., Roseway, A. and Czerwinski, M.: Under Pressure: Sensing Stress of Computer Users, *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '14*, New York, NY, USA, ACM, pp. 51–60 (2014).
- [10] Korhonen, I., Parkka, J. and Gils, M. V.: Health monitoring in the home of the future, *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine*, Vol. 22, No. 3, pp. 66–73 (2003).
- [11] Ratha, N. K., Connell, J. H. and Bolle, R. M.: Enhancing security and privacy in biometrics-based authentication systems, *IBM Systems Journal*, Vol. 40, No. 3, pp. 614–634 (2001).
- [12] Allen, J.: Photoplethysmography and its application in clinical physiological measurement, *Physiological Measurement*, Vol. 28, No. 3, pp. R1–R39 (2007).
- [13] Chan, E. D., Chan, M. M. and Chan, M. M.: Pulse oximetry: Understanding its basic principles facilitates appreciation of its limitations, *Respiratory Medicine*, Vol. 107, No. 6, pp. 789–799 (2013).
- [14] Couceiro, R., Carvalho, P., Paiva, R. P., Henriques, J. and Muehlsteff, J.: Detection of motion artifacts in photoplethysmographic signals based on time and period domain analysis, *Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, pp. 2603–2606 (2012).
- [15] Yang, A. C.: Poincaré Plots: A Mini Review, <https://www.physionet.org/events/hrv-2006/yang.pdf> (accessed 2016-11-29).
- [16] Murphy, J. and Gitman, Y.: Open Hardware - World Famous Electronics llc., <http://pulsesensor.com/pages/open-hardware> (accessed 2016-11-28).
- [17] Meredith, D. J., Clifton, D., Charlton, P., Brooks, J., Pugh, C. W. and Tarassenko, L.: Photoplethysmographic derivation of respiratory rate: a review of relevant physiology, *Journal of Medical Engineering & Technology*, Vol. 36, No. 1, pp. 1–7 (2012).
- [18] 厚生労働省労働基準局: 改正労働安全衛生法に基づくストレスチェック制度について, <http://www.mhlw.go.jp/bunya/roudoukijun/anzenisei12/pdf/150422-1.pdf> (accessed 2016-11-28).