

# 光の反射・吸収特性を利用した撮影画像からの 顔検出防止手法

山田 隆行<sup>1,a)</sup> 合志 清一<sup>2</sup> 越前 功<sup>1,3</sup>

受付日 2013年12月2日, 採録日 2014年6月17日

**概要:** 盗撮やカメラの写りこみによるプライバシー侵害を, 被撮影者側から防止する手法を提案する. 先に筆者らは, 人間の視覚とデジタルカメラの撮像デバイスの感度特性の違いに基づき, 顔面に近赤外光源を配置することで撮影時のみ被撮影者の顔検出を失敗させる手法を提案した. しかし, この手法は, 近赤外線照射のための電源が必要であり, 近赤外線に反応しないデジタルカメラに対しては効果がないという問題があった. これらの問題を克服するために, 本論文では, 入射光を反射・吸収する素材を顔面に配置することで, 電源を必要とせず, 近赤外線に反応しないデジタルカメラに対しても顔検出を失敗させる手法を提案する. 提案手法を実装したプライバシーバイザー (光の反射・吸収特性を用いたウェアラブルデバイス) を用いた評価実験により, 人対人の自然なコミュニケーションを確保しつつ, 撮影された画像からの人物の顔検出を失敗させることが可能であることを確認した.

**キーワード:** 写り込み, プライバシー侵害, 顔認識, ウェアラブルデバイス, 光反射・吸収素材

## Method for Preventing Unauthorized Face Image Detection Based on Light Absorbing and Reflecting Properties

TAKAYUKI YAMADA<sup>1,a)</sup> SEIICHI GOHSHI<sup>2</sup> ISAO ECHIZEN<sup>1,3</sup>

Received: December 2, 2013, Accepted: June 17, 2014

**Abstract:** A method is proposed for preventing unauthorized face image revelation through unintentional capture of facial images. We previously proposed using invisible noise signals based on differences in sensory perception between humans and devices to prevent privacy invasion by arranging the infrared LEDs as a light source to the face. However, this method uses a power supply for the LEDs, and some digital cameras are unaffected by the rays. The proposed method overcomes this problem through the use of a device worn on the face that corrupts the Haar-like features through the use of light absorbing and reflecting materials, which makes faces in captured images mostly undetectable. Testing of a prototype “PrivacyVisor” showed that captured facial images are sufficiently corrupted to prevent unauthorized face image revelation by face detection without hindering face-to-face communication.

**Keywords:** unintentional capture, privacy invasion, face recognition, wearable devices, light reflecting and absorbing materials

<sup>1</sup> 国立情報学研究所  
National Institute of Informatics, Chiyoda, Tokyo 101-8430, Japan  
<sup>2</sup> 工学院大学  
Kogakuin University, Shinjuku, Tokyo 163-8677, Japan  
<sup>3</sup> 総合研究大学院大学  
The Graduate University for Advanced Studies, Chiyoda, Tokyo 101-8430, Japan  
a) s5152331@yahoo.co.jp

### 1. はじめに

ユビキタス情報社会の進展により, コンピュータ, センサおよびそのネットワークがいたるところに存在し, 生活のあらゆる時間・空間で有益なサービスが受けられるようになった. その一方で, カメラや GPS などのセンサを内蔵した携帯端末の普及により, プライバシー情報が容易に

開示されるという問題が顕在化している [1], [2].

特にカメラ付き携帯端末により、当事者に無断で撮影された写真や、意図せず写りこんだ写真が、撮影者により、撮影情報とともに SNS などに開示されることで、被撮影者のプライバシーが侵害されることが社会問題となっている [3]. 撮影時に撮影場所・時間などの撮影情報（ジオタグ）をメタデータとして写真に付加する携帯端末の普及や、Google images や Facebook などの顔認識技術の進展により、公開されている当事者の写真から被撮影者がいつ・どこにいたかという情報が無断で撮影・開示された写真を通じて暴露されることになり、盗撮やカメラの写りこみによるプライバシー侵害を防止する本質的な対策が求められている。カメラへの写りこみがプライバシー侵害につながる可能性は、欧州などで指摘されており、カーネギメロン大学 (CMU) の Facebook の実験 [4] によると、実験のために写真撮影に同意した被験者のうち 3 割近くが、公開されている SNS 上の写真などの情報と比較することによって、氏名を特定され、さらに被験者の趣味や社会保障番号の一部も判明してしまうケースもあることが報告されている。こうしたことを背景に、2012 年 10 月には、米フェイスブックは、プライバシーを懸念する欧州連合 (EU) 当局の要請に従い、欧州ユーザ向けに顔認識機能を無効とした [5]. また、2013 年 6 月には、米 Google 社は開発を進めている Google Glass での顔認識技術利用を当面禁止すると発表した [6]. 盗撮やデジタルカメラの写り込みによるプライバシーの侵害の問題は、管理者によって映像が管理されている監視カメラによる撮影映像とは違い、被撮影者が自分の撮影映像や写真の無断開示を制御できない点にある。

先に筆者らは、人間の視覚とデジタルカメラの撮像デバイスの感度特性の違いに基づき、顔面に近赤外光源を配置することで撮影時のみ被撮影者の顔検出を失敗させる手法を提案した [7], [8]. しかし、この手法は、近赤外線照射のための電源が必要であり、近赤外線に反応しないデジタルカメラに対しては効果がないという問題があった。

本論文では、入射光を反射・吸収する素材を顔面に配置することによって対人の自然なコミュニケーションを確保しつつ、顔認識の前処理である顔検出を失敗させる手法を提案する。加工が容易な反射および吸収素材の特徴を生かし、光吸収素材と光反射素材にデザインを施すことにより、対人印象に与える影響をより小さくする工夫をしている。提案手法は、近赤外線ではなく入射光を反射・吸収する素材を使用するため電源を必要とせず、近赤外線に反応しないデジタルカメラに対しても有効である。変装や偽装といった古典的手法と提案手法との違いは、古典的手法は、フィジカル空間 (実世界) において、本人が識別されないことを目的としていると考えられる。一方、提案手法は、サイバー空間 (IT 空間) においては、本人が識別されないことを目的としているが、フィジカル空間においては、変

装や偽装とは異なり、本人の識別性を有しながら対人のコミュニケーションを確保することを目的としている。

## 2. 従来手法

従来手法に、顔面を物理的に隠すことで、人物のプライバシーを保護する手法 [9] や、顔面への着色や髪形の変更により、人物の顔検出を失敗させる手法 [10] がある。顔面を物理的に隠す手法は、VEASYBLE と呼ばれる伸縮可能な Shell 状の素材を用いてユーザのプライバシーを物理的に保護するもので、通常は畳まれた状態でファッションアクセサリとして機能するが、伸長すると顔面を覆う Shell として機能し、ユーザのプライバシーを保護するとともに、デジタルカメラへの写りこみを物理的に防止する。人物の顔検出を失敗させる手法は、顔面への特殊パターンの着色や髪形を特殊な形状にすることで、顔認識の前処理である顔検出を失敗させ、人物の同定を防止する。しかしながら、上述した従来手法はいずれも、顔面の大部分の隠ぺいや着色が必要なため、物理空間における対人のコミュニケーションに支障をきたすという問題があった。

先に筆者らは、撮影による人物のプライバシーを保護するために、既存のデジタルカメラに新たな機能を追加することなく、人間の視覚とデジタルカメラの撮像デバイスの感度特性の違いに基づき、顔面に近赤外光源を配置することで撮影時のみ被撮影者の顔検出を失敗させる手法 [7], [8] を提案した。この手法は、物理空間における対人のコミュニケーションに支障をきたすことなく、盗撮やデジタルカメラの写りこみによるプライバシー侵害を防止することが可能である。しかしながら、近赤外光源として近赤外線 LED を使用していることから、近赤外線 LED のための電源が必要である。また、近赤外線に対する感度は、デジタルカメラの撮像素子の特性によって異なり、高感度の撮像素子を用いた一部のデジタルカメラは近赤外線に反応しない。したがって、上述の手法では、近赤外線に反応しないデジタルカメラに対しては効果がないという問題があった。

本論文で提案する手法は、これらの問題を克服するために、入射光を反射・吸収する素材を顔面に配置することで、電源を必要とせずに顔検出を失敗させる。具体的には、光反射素材と光吸収素材により、顔の明暗差に着目した特徴量である Haar-like 特徴量を大きく変化させることで顔検出を失敗させる。次章では、Haar-like 特徴量を利用した顔検出の概要について述べる。

## 3. 顔検出

近年、計算機で顔画像を認識する研究が進み人物の追跡や計数などに広く利用されている [11], [12]. 画像中の位置や大きさが未知の顔を、計算機によって自動的に認識するためには、図 1 に示すように顔認識処理の前に入力画像か

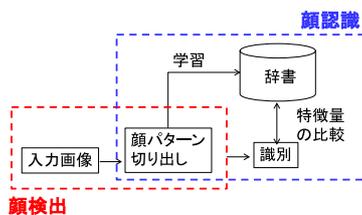


図 1 顔検出と顔認識

Fig. 1 Face detection and face recognition.

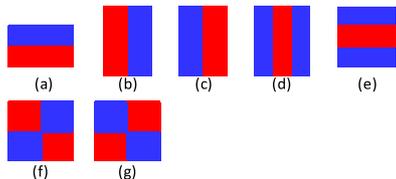


図 2 Haar-like 特徴の基本パターン

Fig. 2 Basic patterns of Haar-like features.



図 3 検出領域における Haar-like 特徴の例

Fig. 3 Example of Haar-like features in detection area.

ら顔領域を切り出す処理が必要となる。

この処理は、顔検出と呼ばれ Viola と Jones が提案した顔検出手法 [13], [14], [15] (Viola-Jones 法) が、その処理速度および性能の良さから広く利用されている [16]。2008 年のメーカー別デジタルカメラ国内総出荷台数シェア [17] によると、デジタルカメラの出荷台数の上位 7 社が全体のシェアの 93% を占めているが、上記 7 社のデジタルカメラの関連特許に Viola-Jones 法の論文 [13], [14], [15] が引用されている [18], [19], [20], [21], [22], [23], [24]。Viola-Jones 法は、次節で述べる Haar-like 特徴量に基づく弱判別器を複数組み合わせることにより強判別器を構成し、構成した強判別器を複数連結して顔検出を行う手法である。

### 3.1 Haar-like 特徴量

Haar-like 特徴量は、顔の明暗差に着目した特徴量で、2 つの異なる矩形領域で構成された Haar-like 特徴を用いて特徴量を算出する。図 2 に Haar-like 特徴の基本パターンを示す。図 3 に示すように入力画像から切り出した検出領域に対して、この基本パターンの位置と大きさを網羅的に変化させて生成した多数の Haar-like 特徴を用いて特徴量を算出する。具体的には、Haar-like 特徴における青と赤の矩形領域の平均輝度値の差を求める。検出領域内の赤い矩形領域  $r_1$  における平均輝度値を  $s(r_1)$ 、青い矩形領域  $r_2$  の平均輝度  $s(r_2)$  とすると、Haar-like 特徴量  $H(r_1, r_2)$  は

$$H(r_1, r_2) = s(r_1) - s(r_2) \tag{1}$$

と表すことができる。

### 3.2 弱判別器の構成

Haar-like 特徴量に基づく弱判別器  $h_j(x)$  は、検出領域における画素値集合を  $x$ 、Haar-like 特徴のインデックスを  $j$ 、 $x$  に対して  $j$  番目の Haar-like 特徴を用いて算出した Haar-like 特徴量を  $f_j(x)$  とすると、次式で与えられる。

$$h_j(x) = \begin{cases} 1: p_j f_j(x) < p_j \theta_j \\ 0: \text{上記以外の場合} \end{cases} \tag{2}$$

ただし、 $\theta_j$  はしきい値、 $p$  は不等号の向きを決定する変数 (1 または  $-1$ ) である。弱判別器  $h_j(x)$  は検出領域  $x$  内における  $j$  番目の Haar-like 特徴量に基づいて、当該領域に Haar-like 特徴に類似した特徴があるか判別する。

次に、多数の弱判別器から、顔検出に有効な  $T$  個の弱判別器を選定する。顔検出に有効な弱判別器とその組合せを構成する手法に AdaBoost がある [25]。AdaBoost は、教師付き学習を実行するための機械学習アルゴリズムで、“顔 ( $y = 1$ )” か “非顔 ( $y = 0$ )” を示すラベル ( $y = 0, 1$ ) が付けられた  $K$  枚の学習サンプル  $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_K, y_K)$  を用いて学習を行い、多数の弱判別器から顔検出に有効な  $T$  個の弱判別器を選択する。

### 3.3 強判別器と Cascade 構成

弱判別器を組み合わせたものは強判別器と呼ばれ、弱判別器の誤り値によって求める弱判別器の重みを  $\alpha$ 、学習により選定した  $T$  個の弱判別器を  $h_t(x)$ 、( $t = 1, \dots, T$ ) とすると、強判別器  $F(x)$  は次式により表される。

$$F(x) = \begin{cases} 1: \sum_{t=1}^T \alpha_t h_t(x) \geq \frac{1}{2} \sum_{t=1}^T \alpha_t \\ 0: \text{上記以外の場合} \end{cases} \tag{3}$$

この式では、まず、Haar-like 特徴に類似した特徴が存在するか否かの判別をすべての弱判別器で行い、多数決の原理により、当該特徴が存在すると判別した弱判別器が多い場合は 1 (真)、少ない場合には 0 (偽) の結果を返す。顔検出は、各検出領域に対して、複数の弱判別器から構成された強判別器を複数連結 (Cascade) し、連結された複数の強判別器による順次判定に基づいて、当該領域が “顔候補” であるか判定する。図 4 に強判別器を  $N$  個連結した構成 (Cascade 構成) を示す。図が示すように、入力画像における各検出領域に対して、1 番目の強判別器 ( $k = 1$ ) から順に “真” か “偽” の判別を行い、検出領域が 1 番目の強判別器 ( $k = 1$ ) で “偽” と判別された場合は、以降の判別処理は行われずに、この検出領域に対する処理を終了する。検出領域が 1 番目の強判別器 ( $k = 1$ ) で “真” と判別された場合には、2 番目の強判別器 ( $k = 2$ ) に処理が引

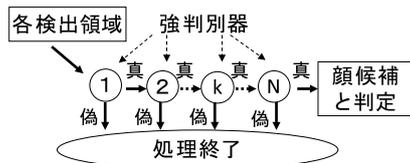


図 4 強判別器の連結構成 (Cascade 構成)

Fig. 4 Cascade architecture of strong classifiers.

き継がれる。すべての強判別器で“真”と判定された場合、この検出領域内に“顔候補”が含まれると判定し処理を終了する。顔検出は、入力画像における検出領域の位置をずらしながら、異なるサイズの検出領域についても実行される。すべての検出領域について顔検出が終了した後、“顔候補”が含まれると判定された検出領域内に、“顔候補”が含まれると判定された(内包関係にある異なるサイズの)検出領域の数が  $M$  個以上ある場合、当該領域に顔があると判定し、すべての処理を終了する。

次章では、この被撮影者のプライバシーを保護するウェアラブルデバイス(プライバシーバイザー)を提案する。

#### 4. 光の反射・吸収特性を利用した撮影画像からの顔検出防止手法

本論文の目的は、物理空間における人対人のコミュニケーションに支障をきたすことなく、盗撮やデジタルカメラの写りこみによるプライバシー侵害を防止する方法を提案することである。具体的には、筆者らが先に提案した人間の視覚とデジタルカメラの撮像デバイスの感度特性の違いに基づき、顔面に近赤外光源を配置することで撮影時のみ被撮影者の顔検出を失敗させる手法の2つの問題(電源と近赤外線に対する感度)を克服するために、入射光を反射・吸収する素材の使用によって撮影画像からの顔検出を防止する手法を提案する。提案手法は、入射光を利用するため電源を必要とせず、すべてのデジタルカメラに対して有効である。図5に提案手法を実装した光の反射・吸収特性を用いたプライバシーバイザーの概要を示す。図に示すように、ゴーグル形状の特定領域に取り付けられた光反射素材と光吸収素材によって、顔画像の Haar-like 特徴量が変化し、顔検出を失敗させる。提案手法を実装したプライバシーバイザーは、物理空間における人対人の自然なコミュニケーションを確保しつつ、撮影された画像からの人物の同定を不能にすることが可能である。

以降では、光の反射・吸収特性を用いたプライバシーバイザーの原理について述べた後、顔検出を失敗させる光反射素材と光吸収素材の配置について検討する。

##### 4.1 原理

太陽光や蛍光灯には、さまざまな波長成分が含まれている。無光沢の色のついた物体は、その色の波長成分を除く

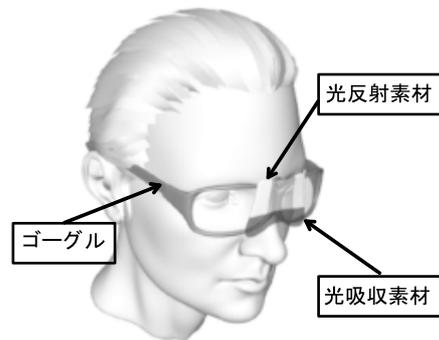


図 5 プライバシーバイザーの概要

Fig. 5 Outline of PrivacyVisor.

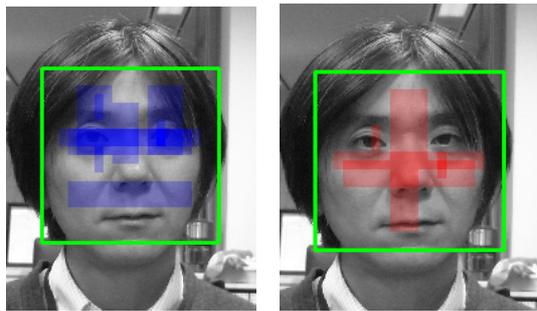
波長成分が吸収され、人間の目には反射した可視域の波長成分が色として見える。無光沢の白い物体は、可視域におけるすべての波長成分を一様に(拡散)反射するため、人間の目には白く見える。一方、無光沢の黒い物体は、可視域におけるすべての波長成分を一様に吸収するため、人間の目には黒く見える。Haar-like 特徴量は、顔の明暗差に着目した特徴量であることから、入射光の反射と吸収の特性を用いることで、顔認識の前処理である顔検出を失敗させることができる。本論文では、無光沢の白い物体に光反射素材を用い、無光沢の黒い物体に光吸収素材を用いることとした。顔検出を失敗させるためには、光反射素材と光吸収素材の配置が重要である。

そこで、顔検出を失敗させる光反射素材と光吸収素材の効果的な配置について次節で検討する。

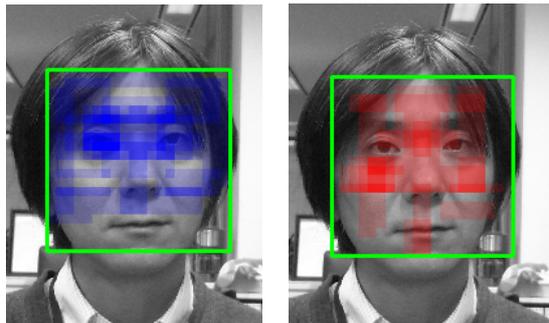
##### 4.2 光反射素材と光吸収素材の配置

顔検出を妨害するためには、3.3 節で述べた顔検出の Cascade 構成において、強判別器に“偽”と判別させる必要がある。すなわち、強判別器を構成する弱判別器において、顔面に配置した光反射素材と光吸収素材が Haar-like 特徴量を大きく変化させることで、弱判別器に誤判別を起こさせることが必要である。

そこで、AdaBoost により選択された顔検出に有効な Haar-like 特徴を解析することで、顔面のどの領域に光反射素材と光吸収素材を配置することが適切か検討した。具体的には、5,000 枚の顔画像と 3,000 枚の非顔画像を用いた学習サンプル [26] に基づき選択した Haar-like 特徴を用いて、顔の輝度値の大きい領域は、Haar-like 特徴の赤い矩形領域のみを検出領域上に足し合わせることにより特定し、顔の輝度値の小さい領域は、Haar-like 特徴の青い矩形領域のみを検出領域上に足し合わせることにより特定した。図6は、1 番目の強判別器 ( $k=1$ ) および 2 番目の強判別器 ( $k=2$ ) によって決定した Haar-like 特徴を重ね合わせて作成した図である。図中の赤い領域は、鼻筋や鼻筋の周囲、青い領域は目の周囲に集中しており、強判別器の番号が大きくなるとディテールが複雑になっていくことが分か



(a) 1 番目 ( $k=1$ ) の強判別器を用いた結果 (6 特徴)



(b) 2 番目 ( $k=2$ ) の強判別器を用いた結果 (9 特徴)

図 6 検出領域における Haar-like 特徴の重ね合わせ

Fig. 6 Superposition of Haar-like features in detection area.

る。これは、顔検出の最初の段階で顔の大きな特徴を判別していることによるものである。顔検出を失敗させるためには、赤い領域の輝度値を小さく、青い領域の輝度値を大きくする必要がある。本論文では、次章で示す光吸収素材と光反射素材を用いて、ウェアラブルデバイス着用者の視野を妨げることのない目の周囲に光反射素材を配置し、鼻筋や鼻筋の周囲に光吸収素材を配置することにした。

次章では、プライバシーバイザーの実装について述べる。

## 5. プライバシーバイザーの実装

### 5.1 概要

図 7 にプライバシーバイザーの外観を示す。実装したプライバシーバイザーは市販のゴーグルに光反射素材と光吸収素材を取り付けている。入射光は光反射素材により反射され、光吸収素材により吸収される。物体表面での光の反射には、入射光を一方向に反射する鏡面反射と入射光をさまざまな方向に反射する拡散反射がある。光沢のある物体は鏡面反射の割合が高く、光沢のない物体は拡散反射の割合が低い。被撮影者の撮影方向に依存することなく安定して顔検出を失敗させるために、本論文では、表 1 に示すように無光沢の光反射素材と光吸収素材を用いた。上述の光反射素材を顔面に配置することで、顔面の Haar-like 特徴量が大きく変化するため、顔検出が失敗する。

図 8 にプライバシーバイザーを着用した例を示す。光反射素材と光吸収素材に施したデザインにより着用者を



図 7 プライバシーバイザーの外観

Fig. 7 Overview of prototype PrivacyVisor.

表 1 プライバシーバイザーの仕様

Table 1 Specifications of PrivacyVisor.

光吸収素材	植毛紙; 色:黒; 反射率:0.7%
光反射素材	高品質紙; 色: 白; 反射率:91%
ゴーグル	フレーム: プラスティック レンズ: ポリカーボネート

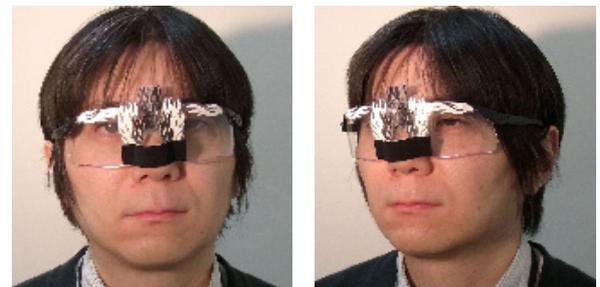


図 8 プライバシーバイザーの着用例

Fig. 8 Wearing of PrivacyVisor.

見る側からの違和感は軽減される。一方で、着用者側からの違和感を考えると光反射素材と光吸収素材の顔面への配置が着用者の視野にどのような影響を与えるか検討する必要がある。そこで、プライバシーバイザー着用時における着用者の視野角を計測したところ、視野角は、水平約  $70^\circ$ 、垂直約  $110^\circ$  (下  $75^\circ$ 、上  $35^\circ$ ) であった。人間の視野角は水平約  $200^\circ$ 、垂直約  $125^\circ$  (下  $75^\circ$ 、上  $50^\circ$ ) といわれる [27], [28] が、注視点が迅速に安定して見える安定注視野は水平に  $60^\circ \sim 90^\circ$ 、垂直に  $45^\circ \sim 70^\circ$  程度 [28] であり、プライバシーバイザーは安定注視野を確保していることが分かる。さらに、実装したプライバシーバイザーは、顔に占める領域が比較的大きいが、着用しても顔の表情や視線が分かることから、人対人の自然なコミュニケーションを阻害しないものと考えられる。

次節では、プライバシーバイザーを構成する光反射素材と光吸収素材、ゴーグルの詳細について詳述する。

### 5.2 構成

#### 5.2.1 光反射素材

可視域におけるすべての波長成分を一様に反射する色は

白色である。そこで、顔の輝度値の小さい目の周囲には、入射光を一様に反射する特性を有する白い素材を配置する。本論文では、撮影方向に依存することなく拡散反射の効果が得られる無光沢の白い素材として高品質紙を用いた。使用した高品質紙の反射率は91%であり、入射光の大部分を反射する。

### 5.2.2 光吸収素材

可視域におけるすべての波長成分を一様に吸収する色は黒色である。そこで、顔の輝度値の大きい鼻筋や鼻筋の周囲には、入射光を吸収する特性を有する黒い素材を配置する。本論文では、撮影方向に依存することがなく光の吸収特性が得られる無光沢の黒い素材として紙の上に静電植毛し、細かな黒い毛で光を吸収して不要な光の拡散を防ぐ植毛紙を用いた。使用した植毛紙の反射率は0.7%であり、入射光の大部分を吸収する。

### 5.2.3 ゴーグル

プラスチックフレームとポリカーボネートレンズを使用した市販のゴーグルを用いて光吸収素材と光反射素材を固定する。効果的に顔検出を失敗させるために、4.2節の分析結果に基づき、ゴーグルのフレームとレンズ面に沿って、光反射素材と光吸収素材を鼻筋や鼻筋の周囲および目の周囲に取り付けた。

## 6. 評価実験

本章では、プライバシーバイザーの着用が対人印象に与える影響、プライバシーバイザーが着用者に与える影響、およびプライバシーバイザーの着用による顔検出の妨害効果についての評価実験について述べる。1章後半で述べた近赤外線を用いた手法と提案手法との差異、および変装や偽装などの古典的手法と提案手法との差異については、付録Aおよび付録Bの評価実験を参照のこと。

### 6.1 対人印象に与える影響の評価

5章で実装したプライバシーバイザーの着用が対人印象にどのような影響を与えるか、SD法 (Semantic Differential scale method) [29] を用いて評価実験を行った。

#### 6.1.1 概要

人対人のコミュニケーションは通常、言語情報、聴覚情報、視覚情報の3つの要素から形成され、その中でも顔の表情、身振り、手ぶりなどの視覚情報が最も印象の形成に重要であると考えられている [30]。プライバシーバイザーは5.1節に示すように安定注視野を確保していることから、着用者の視線や表情を読み取ることは十分に可能と考えられる。そこで、プライバシーバイザーが視覚的にどのような影響を与えるのか、SD法を用いて定量的に評価を行った。

#### 6.1.2 評価方法

SD法の評価方法 [29] に従って、下記の条件にて評価を

表 2 被写体条件

Table 2 Conditions of subjects.

(I)	何も着用しない(非着用)
(II)	通常の眼鏡着用(フレーム: 金属, 色: 黒; レンズ素材: ガラス, 色: 透明)
(III)	奇抜な眼鏡着用(フレーム: プラスティック, 色: 赤, レンズはなく一体成型の星型フレームに格子あり, 上部に埋め込まれた3色LED付き)
(IV)	サングラス着用(ブランド製, フレーム: プラスティック, 色: 黒; レンズ: プラスティック, 色: 黒)
(V)	プライバシーバイザー着用
(VI)	防疫用マスク(ブリーツ型, 不織布, 色: 白)

実施した。

#### (1) 被験者

被験者は、評価実施者および被撮影者と面識がなく、プライバシーバイザーを知らない大学院生20名(男性: 12名, 女性: 8名, 平均年齢: 32.3歳)とした。実験前に、研究目的や評価方法については説明せずに、知能検査や心理検査ではないこと、正答はないので深刻に考えず、感じたままに回答することを被験者に説明した [29]。

#### (2) 評価映像

デジタルビデオカメラ (1/2.88-inch CMOS: 有効画素数約665万画素) を用いて、被撮影者 (30代男女各1名) を表2に示す6つの被写体条件下で撮影した。図9に6つの被写体条件下における被撮影者の撮影画像を示す。すべての条件下において男女の被撮影者を正面1mの距離から各10秒間撮影し、計12種類のサンプル映像と評価映像を撮影した。また、評価映像については、すべての条件下において、被撮影者にはあらかじめ用意した口述原稿 (日本語50文字) を視線、表情、口の動き、頷き、身振りを交えながら音読してもらい、撮影を行った。

#### (3) 形容詞対の選定

SD法に用いる形容詞対は、特定の形容詞とその反対の意味を持つ形容詞とを組み合わせたものである。形容詞対の選定については、心理学の領域で使用頻度の高い形容詞対を調査した文献 [31] に基づき選定した。文献 [31] は形容詞対の候補に対して、心理学を構成する9つの領域 (人格、社会、教育、芸術、言語、知覚、環境、生理、その他) において使用頻度を算出し、各領域において高い使用頻度を示す形容詞対を選定するとともに、心理学の全領域で使用頻度の高い形容詞対 (68組) を選定している。本評価では、知覚領域において高い使用頻度を示す形容詞対の中から表3に示す(1)~(8)の上位8組の形容詞対を選定した。さらに、対人印象に与える影響を評価するために、予備実験により対人印象を表す形容詞対として表3に示す(9)~(12)の4組を追加し、最終的に表3に示す12組の形容詞対を選定した。



図 9 被写体条件における被撮影者の撮影画像

Fig. 9 Image of the participant in the subject conditions.

表 3 本評価で使用する形容詞対

Table 3 Adjective pairs adopted in this evaluation.

番号	形容詞対	
(1)	地味な	派手な
(2)	かたい	やわらかい
(3)	暗い	明るい
(4)	冷たい	暖かい
(5)	弱い	強い
(6)	鈍い	鋭い
(7)	重い	軽い
(8)	悪い	良い
(9)	親しみにくい	親しみやすい
(10)	無責任な	責任感のある
(11)	こわい	やさしい
(12)	下品な	上品な

(4) 評価手順

評価の際に判断の偏りを軽減するために、実験前に被験者に表 2 に示す被写体条件下で撮影したサンプル映像を見

せた後に、上述の 12 種類の評価映像を被験者 20 名にランダムに提示し、表 3 に示す 12 種類の形容詞対を用いて、被験者に各評価映像の印象を主観的に評価させた。具体的には形容詞対のそれぞれに対して、被験者は -3 から +3 までの 7 段階評価尺度により評点を与え、評価語と評点は“とても (-3)”, “かなり (-2)”, “やや (-1)”, “どちらでもない (0)”, “やや (+1)”, “かなり (+2)”, “とても (+3)”とした。評価語内の負値は表 3 の形容詞対の左側の形容詞に対応し、正値は右側の形容詞に対応しており、0 は上記 2 つの形容詞のどちらの印象も持たないことを示している。評価手順を以下に示す。

評価手順

- Step 1. 被験者に 12 種類の評価映像の 1 つをランダムに提示する。
- Step 2. 被験者は、12 種類の形容詞対を用いて、提示された評価映像の印象を 7 段階評価尺度により評価する。
- Step 3. Step 1 と Step 2 をすべての評価映像で繰り返す。
- Step 4. 上の Step 1 から Step 3 を 20 人の被験者に対して行い、20 人の被験者の評点の平均値を評価値とする。

6.1.3 評価結果

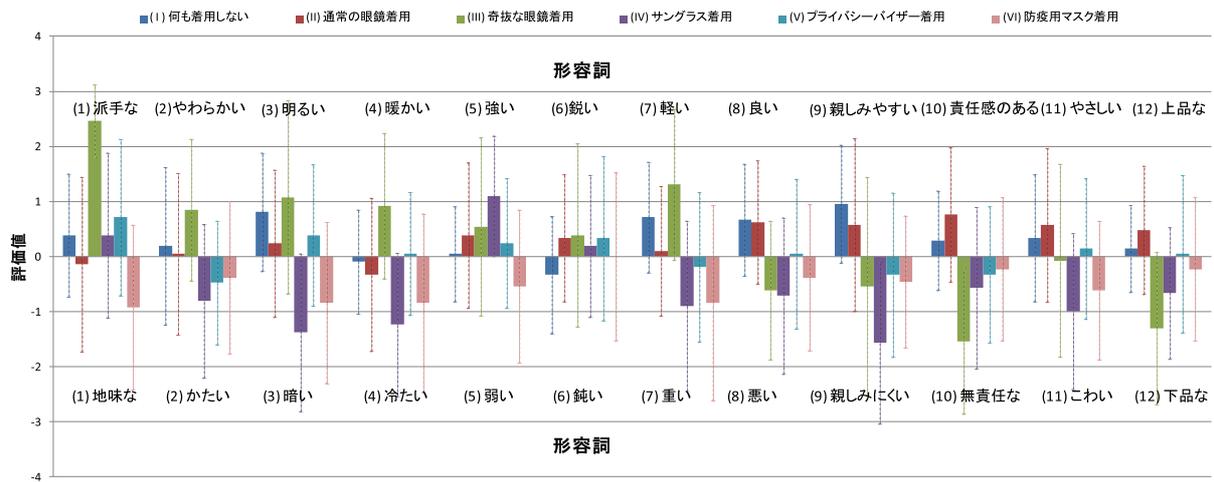
6 つの被写体条件における評価結果を図 10 に示す。図の横軸は 12 種類の形容詞対を表し、縦軸は評価値を表す。また、棒グラフに付した縦破線は、被写体条件における形容詞の評点の標準偏差を表している。

以下に、被撮影者の性別ごとの評価結果の詳細を述べる。

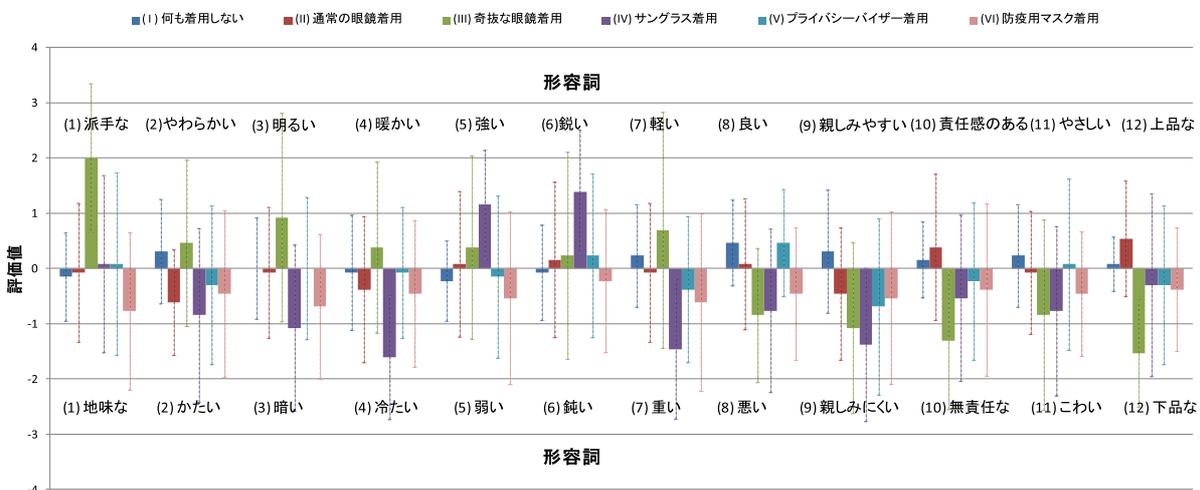
(1) 被撮影者が男性の場合

図 10 の (a) の中で評価値が -1 以下または +1 以上である形容詞に着目すると、(III) 奇抜な眼鏡着用時に、“(1) 地味な” が 2 (かなり) 以上であり、“(5) 暗い”, “(7) 重い” が 1 (やや) 以上、“(10) 無責任な”, “(12) 下品な” が -1 (やや) 以下であり、(IV) サングラス着用時に、“(3) 暗い”, “(4) 冷たい”, “(9) 親しみにくい”, “(11) こわい” が -1 (やや) 以下、“(5) 弱い” が 1 (やや) 以上であった。一方、(I) 非着用時、(II) 通常の眼鏡着用時、(V) プライバシーバイザー着用時、そして、(VI) 防疫用マスク着用時には、評価値が -1 以下または +1 以上となる形容詞は見つからなかった。これは、着用時の姿が社会的に認知されていない奇抜な眼鏡やサングラス着用時には、特定の形容詞に与える影響が大きく、着用時の姿が社会的に認知されている場合には、特定の形容詞に影響を与えにくいことを示している。

また、(I) 非着用時、および、(II) 通常の眼鏡着用時の評価値と (III) 奇抜な眼鏡着用時、(IV) サングラス着用時、(V) プライバシーバイザー着用時、そして、(VI) 防疫用マスク着用時の評価値の差分の絶対値を比較すると、(III) 奇抜な眼鏡着用時には、12 種類の形容詞対のうち 5 種類、(IV) サングラス着用時には、12 種類の形容詞対のうち 3 種類、一方、(V) プライバシーバイザー着用時には、12 種類の形容詞対のうち 10 種類、(VI) 防疫用マスク着用時には、



(a) 被撮影者が男性の場合



(b) 被撮影者が女性の場合

図 10 コミュニケーションに与える影響の評価結果

Fig. 10 Evaluation results of the impact on the communication.

12 種類の形容詞対のうち 11 種類の形容詞対において、評価値の差分の絶対値が 1 以下であった。

(2) 被撮影者が女性の場合

図 10 の (b) の中で評価値が  $-1$  以下または  $+1$  以上である形容詞に着目すると、(III) 奇抜な眼鏡着用時に、“(1) 地味な” が 2 (かなり) 以上であり、“(9) 親しみにくい”、“(10) 無責任な”、“(12) 下品な” が  $-1$  (やや) 以下であり、(IV) サングラス着用時に、“(3) 暗い”、“(4) 冷たい”、“(7) 重い”、“(9) 親しみにくい” が  $-1$  (やや) 以下、“(5) 弱い”、“(6) 鈍い” が 1 (やや) 以上であった。一方、(I) 非着用時、(II) 通常の眼鏡着用時、(V) プライバシーバイザー着用時、そして、(VI) 防疫用マスク着用時には、評価値が  $-1$  以下または  $+1$  以上となる形容詞は見つからなかった。これは、男性の場合と同様に、着用時の姿が社会的に認知されていない奇抜な眼鏡やサングラス着用時には、特定の形容詞に与

える影響が大きく、着用時の姿が社会的に認知されている場合には、特定の形容詞に影響を与えにくいことを示している。

また、(I) 非着用時、および、(II) 通常の眼鏡着用時の評価値と (III) 奇抜な眼鏡着用時、(IV) サングラス着用時、(V) プライバシーバイザー着用時、そして、(VI) 防疫用マスク着用時の評価値の差分の絶対値を比較すると、(III) 奇抜な眼鏡着用時には、12 種類の形容詞対のうち 5 種類、(IV) サングラス着用時には、12 種類の形容詞対のうち 4 種類、一方、(V) プライバシーバイザー着用時、および (VI) 防疫用マスク着用時には、12 種類の形容詞対のすべての形容詞対において、評価値の差分の絶対値が 1 以下であった。

評価結果は、プライバシーバイザーや防疫用マスクを着用した場合には、奇抜な眼鏡やサングラスを着用した場合と比較して、何も付けない場合や通常の眼鏡を着用した場

合に印象が近いことを示すものである。また、被撮影者の性別の違いについては、評価値が  $-1$  以下または  $+1$  以上となった形容詞の差異に着目すると、(III) 奇抜な眼鏡着用時には“(3) 暗い”，“(7) 重い”，“(9) 親しみやすい”，(IV) サングラス着用時には，“(6) 鈍い”，“(7) 重い”，“(11) 怖い”といった形容詞対に差異があった。これらの形容詞対については、被写体条件が対人印象に与える影響に、着用者の性別や風貌による影響を受けたことが要因ではないかと考えられる。また、各形容詞の評点の標準偏差の平均は、男女とも (III) 奇抜な眼鏡着用時に最大であり、性別に関係なく個人差の影響が大きいものと考えられる。

以上のことから、プライバシーバイザーや防疫用マスクを着用した場合は、特定の形容詞に影響を与えにくいものであり、奇抜な眼鏡やサングラスを着用した場合と比較して、何も付けない場合や眼鏡を着用した場合に印象が近いことから、人対人のコミュニケーションに支障を与えることはないものと考えられる。

## 6.2 着用者に与える影響の評価

本節では、5章で実装したプライバシーバイザーが着用者に与える影響を主観評価実験により評価した。

### 6.2.1 評価方法

被験者 20 人に外出先として (i) 公式な場 (式典など)、(ii) 日常 (スーパーなど)、(iii) 非公式な場 (パーティなど) を提示したうえで、表 2 に示す被写体条件の姿を鏡で確認してもらい、着用して外出したいかを評価尺度により評価させた被験者は、 $-3$  から  $+3$  までの 7 段階評価尺度により評点を与える。このとき、7 段階評価尺度の評価語と評点は“ためらいを感じて外出できない ( $-3$ )”，“かなりためらいを感じる ( $-2$ )”，“ややためらいを感じる ( $-1$ )”，“分からない (どちらともいえない) ( $0$ )”，“あまりためらいを感じない ( $+1$ )”，“ほとんどためらいを感じない ( $+2$ )”，“ためらいを感じることなく外出できる ( $+3$ )”とした。

評価手順を以下に示す。

#### 評価手順

- Step 1.** 被験者に被写体条件における着用姿を鏡で確認させる。
- Step 2.** 被験者に外出先のうち 1 つを想定してもらう。
- Step 3.** 7 段階評価尺度により着用姿を評価する。
- Step 4.** Step 1 から Step 3 をすべての外出先で繰り返す。
- Step 5.** Step 1 から Step 4 をすべての被写体条件で繰り返す。
- Step 6.** 上の Step 1 から Step 5 をすべての被験者に対して行い、すべての被験者の評点の平均値を評価値とする。

### 6.2.2 評価結果

評価結果を図 11 に示す。図の横軸は 3 種類の外出先、縦軸は評価値を表す。また、棒グラフに付した縦破線は、

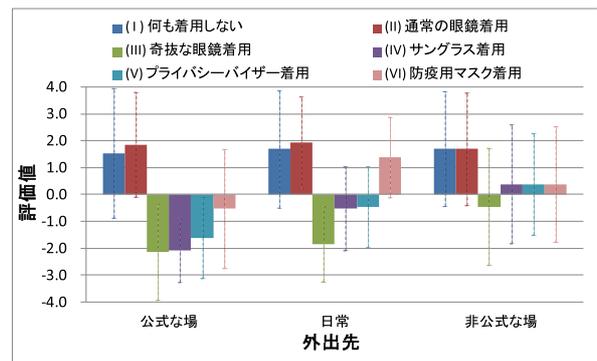


図 11 着用者に与える影響の評価結果

Fig. 11 Evaluation results of influence with wearer.

被写体条件における形容詞の評点の標準偏差を表している。何も着用しない場合、および通常的眼鏡着用時には、すべての外出先での評価値は 1 以上となった。通常的眼鏡については、日常場面において眼鏡を着用している人は見慣れている [32] ことから、高い評価が得られたと考えられる。何も着用しない場合より通常的眼鏡着用時の評価値が高いのは、日頃から眼鏡を着用している被験者が半数近くおり、眼鏡を外し外出することにためらいを感じたためと考えられる。また、防疫用マスクは、日常においては、高い評価が得られている。これは、着用時の姿が社会的に認知されているためと考えられるが、公式な場や非公式の場での着用のためらいを感じる被験者もいることを示している。

奇抜な眼鏡着用時の評価値は、公式な場では  $-2.2$ 、日常では  $-1.8$ 、非公式な場では  $-0.5$ 、サングラス着用時の評価値は、公式な場では  $-2.1$ 、日常では  $-0.5$ 、非公式な場では  $0.4$  であった。奇抜な眼鏡は、着用が恥ずかしいという気持ちを被験者に抱かせ、また、サングラスは、目線が見えないため表情が分かりにくいことが低い評価値となった要因ではないかと考えられる。一方、プライバシーバイザー着用時の評価値は、公式な場では  $-1.6$ 、日常では  $-0.5$ 、非公式な場では  $0.4$  であった。公式な場においては、サングラス着用時の評価値以上であったが、外出先が日常、および非公式な場においては、サングラス着用時の評価値と同じであった。

また、(V) プライバシーバイザー着用時における標準偏差は、公式な場は 1.50、日常は 1.51、非公式な場は 1.89 となり、公式の場や日常よりも非公式な場の方が個人差は大きいものと考えられる。評価値が負値となる公式の場や日常においても、ためらいを感じることもないようなデザイン性の高いプライバシーバイザーの開発が課題である。

## 6.3 妨害効果の評価

デジタルカメラによる撮影画像の写り込みを効果的に防止することを示すために、プライバシーバイザーを着用した 10 人の被験者をデジタルカメラ (1/2.3-inch CCD: 有効画素数約 1,000 万画素) を用いて異なる角度、距離で撮

表 4 被写体の条件

Table 4 Condition of the subjects.

(a)	プライバシーバイザー非着用
(b)	プライバシーバイザー着用

影した画像を使用し、プライバシーバイザーの妨害効果を評価した。

### 6.3.1 評価方法

10人の被験者を距離(1~22m)において正面と斜め(20°)から撮影を行い、写り込み画像を作成した。このとき表4に示すように写り込みとなる被写体の条件を設定した。本評価では、OpenCV[33]ライブラリの顔検出APIを使用し、3章で説明した(1) Haar-like 特徴量を用いた顔検出[13], [14], [15] (Viola-Jones法)と注目画素と近傍画素の輝度の大小関係により2値の符号列にする(2) LBP (Local Binary Pattern) 特徴量を用いた顔検出[34]の2つの顔検出手法、および(3) デジタルカメラの顔検出機能を用いた顔検出により撮影画像から顔検出を行い、10人の被験者による検出人数より妨害効果を評価した。

#### (1) Haar-like 特徴量を用いた顔検出

顔検出に有効な判別器とその組合せを構成するために、OpenCVライブラリに含まれているhaarcascade\_frontalface\_alt2.xmlを適用した。これは、正面から撮影した5,000枚の顔画像と3,000枚の非顔画像を学習サンプルとして作成されたCascade構成(弱判別器の総数1,047, 強判別器の連結数20)のデータである。入力画像のサイズを縦2,448 pixel, 横3,264 pixel, 検出領域のサイズを一辺が20 pixelから入力画像の短辺2,448 pixelまで増分を2 pixelとした正方領域とし、入力画像における検出領域の位置をずらしながら実行した。Haar-like特徴を用いたOpenCVによる顔検出では、すべての強判別器を通過した検出領域は“顔候補”となり、“顔候補”が含まれると判定された検出領域内に、その他の“顔候補”が含まれると判定された(異なるサイズの)検出領域が $M = 2$ 個以上ある場合、当該領域に顔があると判定され顔が検出される。

#### (2) LBP 特徴量を用いた顔検出

顔検出に有効な判別器を構成するために、(1)と同様にOpenCVライブラリに含まれているlbpcascade\_frontalface.xmlを適用した。これは、正面から撮影した3,000枚の顔画像と1,500枚の非顔画像を学習サンプルとして作成されたCascade構成(強判別器の連結数20)のデータである。LBP特徴量を用いた顔検出手法では、検出領域を $N$ 個のブロックに分割し、それぞれのヒストグラムを求めて結合する。結合したヒストグラムの各々が弱判別器となり、弱判別器を組み合わせて強判別器を構成する。Haar-like特徴を用いた検出と同様、OpenCVによる顔検出では、すべての強判別器を通過した場合に顔が検出される。

### (3) デジタルカメラの顔検出機能を用いた顔検出

実装したプライバシーバイザーが、実用化されている顔検出プログラムに対しても効果があることを検証するため、市販のデジタルカメラ(1/2.3-inch CCD, 有効画素数1,410万画素, 12.5倍光学ズーム, 4倍デジタルズーム)に付属している顔検出機能を用いて妨害効果の評価を行った。被写体にカメラを向けるとき、顔が検出された場合には、ディスプレイに白い枠が表示される。

### 6.3.2 評価結果

CCDデジタルカメラにより1mの距離において正面と斜め(20°)から被験者の1人を撮影した画像を用いて3つの顔検出手法で顔検出を行った画像を図12, 図13および図14に示す。この撮影画像の場合、いずれの顔検出手法でも1mの距離においては、プライバシーバイザー非着用の場合には顔が検出され、プライバシーバイザー着用の場合には顔が非検出という結果が得られた。

次に、3つの顔検出手法による検出人数を撮影角度ごとに図15, 図16および図17のグラフに示した。3つのグラフを比較すると、プライバシーバイザー非着用の場合、検出人数は、遠距離になるほどLBP特徴量を用いた顔検出の方がHaar-like特徴量を用いた顔検出に比べて急激に低下する。これは、Haar-like特徴量を用いた顔検出では、隣接する青と赤の矩形領域の輝度値の差を構造情報として使用しているが、LBP特徴量を用いた顔検出では、隣接するLBP間の構造情報を利用していないことに起因すると考えられる。また、顔検出機能を持つデジタルカメラにおいても高い妨害効果を確認することができた。

#### (1) Haar-like 特徴量を用いた顔検出

図中における正方形の異なる色は異なるサイズの顔候補を表している。図12(a)に示すように、プライバシーバイザーを着用しない場合には、顔候補が多数検出され、内包関係にある“顔候補”が含まれると判定された(異なるサイズの)検出領域が $M \geq 2$ であるため、顔として検出された。他方、図12(b)に示すように、プライバシーバイザーを着用した場合には、内包関係にある“顔候補”が含まれると判定された(異なるサイズの)検出領域が $M < 2$ であるため、顔として検出されることはなかった。

次に、検出人数については、図15に示すように、プライバシーバイザーを着用しない場合には、10人の被験者のうち7人以上が検出された。一方、プライバシーバイザーを着用した場合には、検出された人数は、1人以下であった。

以下に評価結果の詳細を述べる。

#### (i) 正面から撮影した場合

プライバシーバイザーを着用しない場合には、図15(i)-(a)に示すように、15, 18, 19, 21mで9人が検出され、それ以外の距離では、すべての被験者が検出された。一方、プライバシーバイザーを着用した場合には、図15(i)-(b)

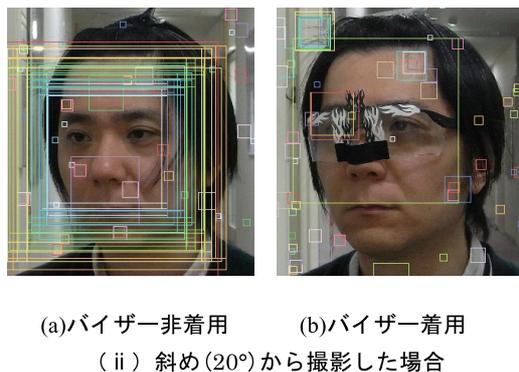
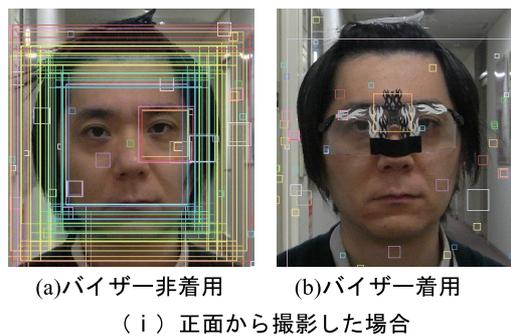


図 12 Haar-like 特徴量を用いた顔検出画像

Fig. 12 Face detection image using Haar-like features.



図 14 デジタルカメラの顔検出機能を用いた顔検出画像

Fig. 14 Face detection image using face detection function of digital camera.

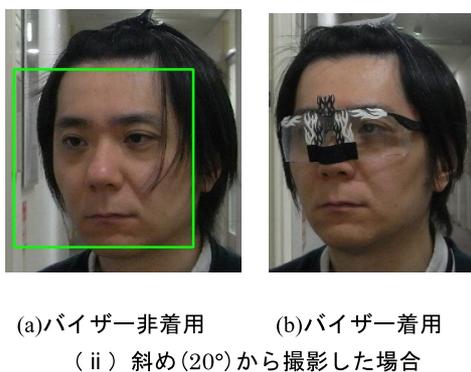
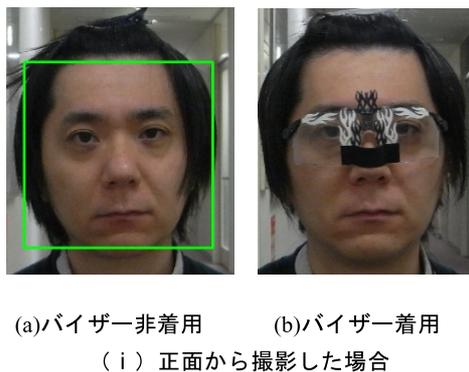


図 13 LBP 特徴量を用いた顔検出画像

Fig. 13 Face detection image using LBP features.

に示すように、距離が 2, 6, 8, 11 m で 1 人が検出され、それ以外の距離では、検出人数は 0 人であった。

(ii) 斜め 20° から撮影した場合

プライバシーバイザーを着用しない場合には、図 15(ii)-

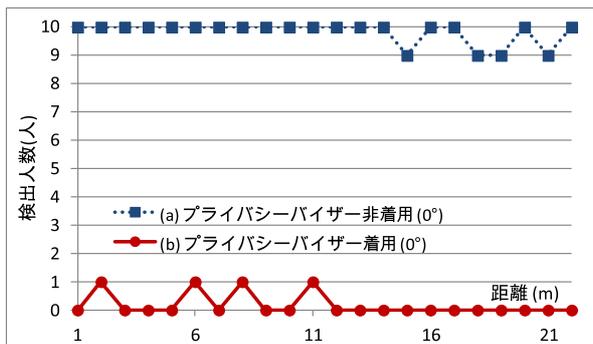
(a) に示すように、距離が 18 m で 7 人、14, 19, 21, 22 m で 9 人が検出され、それ以外の距離では、すべての被験者が検出された。一方、プライバシーバイザーを着用した場合には、図 15(ii)-(b) に示すように、8 m で 1 人が検出され、それ以外の距離では、検出人数は 0 人であった。

(2) LBP 特徴量を用いた顔検出

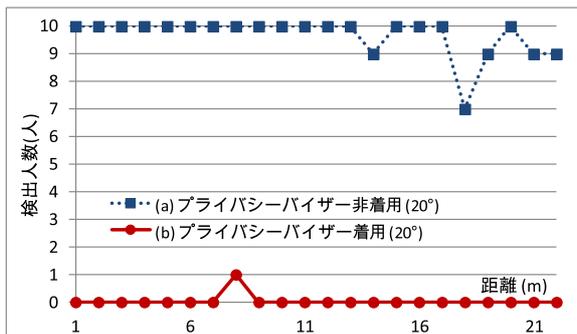
プライバシーバイザーを着用しない場合には、図 13(a) に示すように検出領域に顔が検出されたことを示す緑の枠が表示された。しかし、プライバシーバイザーを着用した場合には、図 13(b) に示すように検出領域に緑の枠が表示されず、顔が検出されなかった。

次に、検出人数については、図 16 に示すように、プライバシーバイザーを着用しない場合には、10 人の被験者のうち 3 人以上が検出された。一方、プライバシーバイザーを着用した場合には、検出された人数は、1 人以下であった。光反射素材と光吸収素材は、Haar-like 特徴の分析により配置したが、LBP 特徴を用いた顔検出では、局所的な輝度の分布を (2 値の符号列として) とらえており、顔画像と非顔画像を用いて教師付き学習を行うことで目の周囲は暗く、鼻筋や鼻筋の周囲は明るいという顔検出に有効なヒストグラムの結合 (弱判別器) が選定されるため、LBP 特徴量を用いた顔検出手法においても妨害効果が得られたものと考えられる。

以下に評価結果の詳細を述べる。



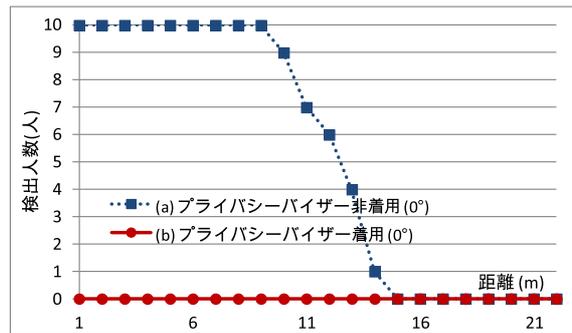
(i) 正面から撮影した場合の検出人数



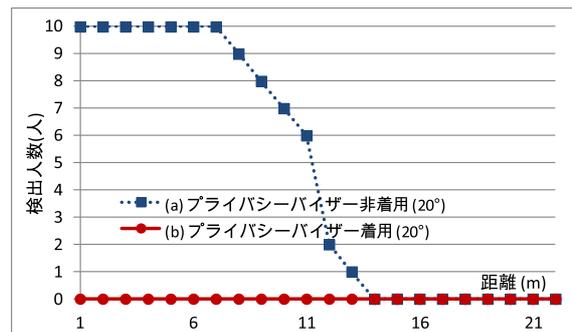
(ii) 斜め(20°)撮影した場合の検出人数

図 15 Haar-like 特徴量を用いた顔検出人数

Fig. 15 Number of faces detected using Haar-like features.



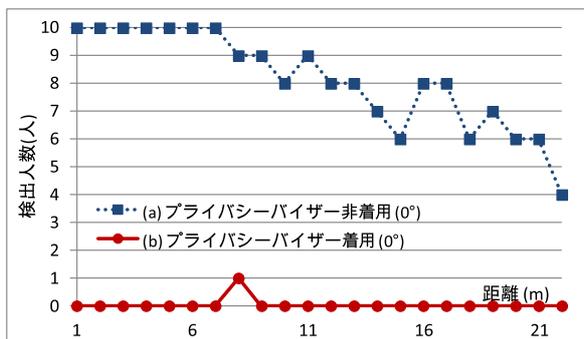
(i) 正面から撮影した場合の検出人数



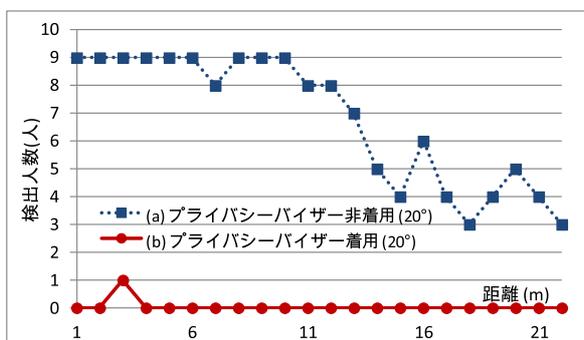
(ii) 斜め(20°)撮影した場合の検出人数

図 17 デジタルカメラの顔検出機能を用いた顔検出人数

Fig. 17 Number of faces detected using face detection function of digital camera.



(i) 正面から撮影した場合の検出人数



(ii) 斜め(20°)撮影した場合の検出人数

図 16 LBP 特徴量を用いた顔検出人数

Fig. 16 Number of faces detected using LBP features.

(i) 正面から撮影した場合

プライバシーバイザーを着用しない場合には、図 16(i)-

(a) に示すように、22m で 4 人、15、18、20、21m で 6 人、14、19m で 7 人、10、12、13、16、17m で 8 人、8、9、11m で 9 人が検出され、それ以外の距離では、すべての被験者が検出された。一方、プライバシーバイザーを着用した場合には、図 16(i)-(b) に示すように、距離が 8m で 1 人が検出され、それ以外の距離では、検出人数は 0 人であった。

(ii) 斜め 20° から撮影した場合

プライバシーバイザーを着用しない場合には、図 16(ii)-(a) に示すように、距離が 18、22m で 3 人、15、17、19、21m で 4 人、14、20m で 5 人、16m で 6 人、13m で 7 人、7、11、12m で 8 人、それ以外の距離では、9 人が検出された。一方、プライバシーバイザーを着用した場合には、図 16(ii)-(b) に示すように、3m で 1 人が検出され、それ以外の距離では、検出人数は 0 人であった。

(3) デジタルカメラの顔検出機能を用いた顔検出

プライバシーバイザーを着用しない場合には、図 14(a) に示すように検出領域に顔が検出されたことを示す白の枠が表示され、着用した場合には、図 14(b) に示すように検出枠が表示されなくなった。次に、検出人数については、図 17 に示すように、プライバシーバイザーを着用しない場合には、7m 以内の近距離においては、被験者の全員が検出されているが、15m 以上の遠距離においては、被験者の全員が検出されなくなった。これは、実験に使用したデジタルカメラはズームに光学ズームとデジタルズームを併用しており、デジタルズームは画素の一部を補完して拡

大するため、画素数が減り画質が劣化したためと考えられる。一方、プライバシーバイザーを着用した場合には、検出人数は0人であった。

以下に評価結果の詳細を述べる。

#### (i) 正面から撮影した場合

プライバシーバイザーを着用しない場合には、図 17(i)-(a) に示すように、10m で 9 人、11m で 7 人、12m で 6 人、13m で 4 人、14m で 1 人、9m 以下では、被験者の全員が検出され、15m 以上では、被験者の全員が検出されなくなった。一方、プライバシーバイザーを着用した場合には、図 17(i)-(b) に示すように、すべての距離で検出人数は 0 人であった。

#### (ii) 斜め 20° から撮影した場合

プライバシーバイザーを着用しない場合には、図 17(ii)-(a) に示すように、距離が 8m で 9 人、9m で 8 人、10m で 7 人、11m で 6 人、12m で 2 人、13m で 1 人、7m 以下では、被験者の全員が検出され、14m 以上では、被験者の全員が検出されなくなった。一方、プライバシーバイザーを着用した場合には、図 17(ii)-(b) に示すように、すべての距離で検出人数は 0 人であった。

3つの顔検出手法による評価結果は、プライバシーバイザーがデジタルカメラを用いた写り込みによるプライバシー侵害を効果的に防止していることを示すものである。なお、プライバシーバイザーを着用したにもかかわらず、各撮影角度において 1 人検出されている箇所は、環境光の影響などにより、強判別器が明確に偽と判別できなかった箇所である。顔検出では、一般に、正面から顔を撮影し、デジタルカメラと被写体との距離が近いほど顔検出がより容易となる。撮影角度が大きくなるにつれて、遠距離での検出人数が低下する傾向がある。これは、斜めから撮影した場合、顔の特徴を示す領域が撮影の影になるためと考えられる。実験では 20° までの角度を評価したが、これ以上の角度から撮影した場合には、顔検出自体が難しくなる。一般的には正面から撮影した画像による顔検出においては、撮影角度の上限を 30° とすることが多い [35]。

### 6.4 提案手法の悪用に関する考察

提案手法の悪用として、防犯カメラを用いた犯罪捜査、および、キャッシュカードによる不正引き出しについて考察する。

#### (1) 防犯カメラを用いた犯罪捜査

防犯カメラを用いた犯罪捜査では、通常、カメラに記録された人物の顔面だけでなく身体的特徴や服装などを目視で確認を行い、最終的に他の状況証拠とあわせながら人物が特定されることが多い [36], [37], [38], [39]。過去の判例には、防犯カメラの画像だけでは証拠とならない事例や誤認逮捕の事例がある [39], [40], [41]。コンビニ強盗は、本人特定されないように目出し帽などで顔を隠して行われるこ

とが多く [42], [43]、後日、店員が確認を行ったとしても素顔を見ていないため、犯人か否かの判断をするのは難しいと考えられる。

#### (2) キャッシュカードによる不正引き出し

キャッシュカードによる不正引き出しに際しても、犯人はマスク、サングラス、帽子などを着用することが多く、防犯カメラの映像による本人同定は不可能である。しかしながら、他のさまざまな状況証拠が決め手となり犯人が検挙されている [36], [37], [38]。また、プライバシーバイザーは、機械的な顔検出を失敗させるために、光反射・吸収素材を目の周辺と鼻周辺にのみ配置しているが、人間が目視で撮影画像を確認すれば、目の周辺と鼻周辺以外の顔面の特徴（顔の表情）は把握可能である。

以上のことから、プライバシーバイザーが悪用されたとしても、犯罪捜査などに支障をきたすことは少ないものと考えられる。

## 7. むすび

カメラ付き携帯端末により、当事者に無断で撮影された写真や、意図せず写りこんだ写真によりプライバシーが侵害されることが社会問題となっており、無断で撮影・開示された写真による被撮影者のプライバシー保護が求められている。物理的な顔面の隠ぺいや着色により顔面を変えろといった従来対策では人対人のコミュニケーションを阻害する。本論文では、盗撮やデジタルカメラの写りこみによるプライバシー侵害を、被撮影者側から防止する手法を提案した。提案手法は、光反射素材と光吸収素材を採用したことで電源を必要とせず、デジタルカメラの感度に依存することはなく、近赤外線に反応しないデジタルカメラにおいて顔検出を不能にするという特徴を持つ。実装したプライバシーバイザーを着用して行った評価実験により、プライバシーバイザーは、人対人の自然なコミュニケーションを阻害することなく、同時に、デジタルカメラの写り込みによるプライバシー侵害を効果的に防止することが可能であることを確認した。提案手法は Viola-Jones 法による顔検出を妨害することを目的としているが、Viola-Jones 法以外の顔検出手法であっても、本論文で評価した LBP 特徴量を用いた顔検出 [34] のほか顔面の輝度値変化に基づく特徴量を用いた顔検出手法 [44], [45], [46] であれば、提案手法により原理的に顔検出を失敗させることが可能である。一方で、顔の輪郭特徴を用いた顔検出手法 [47], [48] に対しては、提案手法による効果はないと考えられる。さらに、眼鏡などを装着した状態に適応して顔検出を行う試みとして、短時間に属性を学習できるフレームワークを提案した手法 [49] や、色情報とエッジ情報により目・鼻・口などの顔器官を抽出する手法 [50], [51] などがあり、今後こうした手法への対応が課題である。また、プライバシーバイザーを着用した顔画像を顔検出の学習サンプルとして意図

的に学習した場合の対策として、反射・吸収素材をアタッチメント方式とし、4.2節の分析結果に基づき数種類のデザインパターンを更新していくことを検討している。

### 参考文献

- [1] 今田美幸, 風間一洋: 社会ネットワーク上の個人情報伝特性に関する一考察, 電子情報通信学会技術研究報告 (SITE), Vol.108, No.289, pp.31-36 (2008).
- [2] 吉浦 裕, 越前 功: ユビキタス情報社会のプライバシーとその保護技術, 情報処理, Vol.51, No.9, pp.1136-1143 (2010).
- [3] 川口嘉奈子: ユビキタス時代のプライバシー: Google ストリートビュー・セカイカメラ等をもたらす問題の倫理的考察, 電子情報通信学会技術研究報告 (SITE), Vol.109, No.74, pp.71-75 (2009).
- [4] Face Recognition Study – FAQ, available from (<http://www.heinz.cmu.edu/~acquisti/face-recognition-study-FAQ/>).
- [5] ITpro: セキュリティ, フェイスブック, 欧州で顔認証機能を無効に (2012.10.5), 入手先 (<http://itpro.nikkeibp.co.jp/article/COLUMN/20121001/426547/>).
- [6] 日本経済新聞電子版: BP ニュースセレクト, Google Glass, 顔認識機能を当面非搭載に (2013.6.3), 入手先 (<http://www.nikkei.com/article/DGXNASFK0300S-T00C13A6000000/>).
- [7] 山田隆行, 合志清一, 越前 功: 人間とデバイスの感度の違いを利用した撮影画像からの顔検出防止手法, 情報処理学会論文誌, Vol.55, No.1, pp.531-541 (2014).
- [8] Yamada, T., Gohshi, S. and Echizen, I.: Use of invisible noise signals to prevent privacy invasion through face recognition from cameraimages, *Proc. 20th ACM International Conference on Multimedia (MM '12)*, pp.1315-1316 (2012).
- [9] GAIA: VEASYBLE (2009), available from (<http://www.veasyble.com/index.html>).
- [10] Harvey, A.: CV Dazzle (2010), available from (<http://ahprojects.com/projects/cv-dazzle>).
- [11] 満倉靖恵, 福見 稔, 赤松則男: 唇検出 NN と肌色識別 NN による顔画像検索, 映像情報メディア学会技術報告, Vol.24, No.39, pp.1-6 (2000).
- [12] 小林貴訓, 杉村大輔, 平澤宏祐, 鈴木直彦, 鹿毛裕史, 佐藤洋一, 杉本晃宏: パーティクルフィルタとカスケード型識別器の統合による人物三次元追跡, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J90-D, No.8, pp.2049-2059 (2007).
- [13] Viola, P. and Jones, M.: Rapid object detection using a boosted cascade of simple features, *Proc. Computer Vision and Pattern Recognition 2001 (CVPR 2001)*, pp.I-511-I-518 (2001).
- [14] Shakhnarovich, G., Viola, P. and Moghaddam, B.: A unified learning framework for real time face detection and classification, *Proc. Automatic Face and Gesture Recognition 2002 (FG2002)* (2002).
- [15] Viola, P. and Jones, M.: Robust Real-Time Face Detection, *International Journal of Computer Vision (IJCV)*, Vol.57, No.2, pp.134-157 (2004).
- [16] 稲吉宏明, 栗田多喜夫: Viola-Jones 顔検出器の学習時に 2 値化画像を利用した場合の効果, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.106, No.606, pp.149-154 (2007).
- [17] 平成 24 年度委託調査報告書: 我が国電機・電子企業が抱える経営課題及び今後の方向性に関する調査研究, 経済産業省, 入手先 ([http://www.meti.go.jp/meti\\_lib/report/2013fy/E003081.pdf](http://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2013fy/E003081.pdf)).
- [18] キヤノン株式会社 (出願人): 情報処理装置及び情報処理方, 特開 2010-165046 (2010 年公開).
- [19] ソニー株式会社 (出願人): 画像処理装置及び画像処理方法, 並びにコンピュータ・プログラム, 特開 2009-15614 (2009 年公開).
- [20] 株式会社ニコン (出願人): 撮像装置, 特開 2009-200900 (2009 年公開).
- [21] Samsung Electronics (出願人): Method and apparatus for detecting objects, 米国公開特許, US20100284622 A1 (2010 年公開).
- [22] 富士フイルム株式会社 (出願人): デジタル画像データの制約条件付きスペクトル・クラスタリングを実施するための方法および装置, 特開 2007-272890 (2007 年公開).
- [23] オリンパス株式会社 (出願人): 撮像装置及び撮像プログラム, 特開 2009-206628 (2009 年公開).
- [24] パナソニック株式会社 (出願人): 撮影装置, 受信装置, 及び, 画像配信システム, 特開 2011-9899 (2011 年公開).
- [25] Freund, Y. and Schapire, R.: A decision-theoretic generalization of online learning and an application to boosting, *Journal of Computer and System Sciences*, Vol.55, pp.119-139 (1997).
- [26] Lienhart, R. and Pisarevsky, A.: Empirical Analysis of Detection Cascades of Boosted Classifiers for Rapid Object Detection, *DAGM 25th Pattern Recognition Symposium*, pp.297-304 (2003).
- [27] 増田千尋: 3次元ディスプレイ, 産業図書 (1990).
- [28] 清川 清: 広画角高精細ディスプレイにおける最近 1 年の技術動向, 光産業技術振興協会技術動向調査報告書, pp.395-398 (2001).
- [29] 和田有史, 續木大介, 山口拓人, 木村 敦, 山田 寛, 野口 薫, 大山 正: SD 法を用いた視覚研究: 知覚属性と感情効果の研究を例として, 日本視覚学会誌「VISION」, Vol.15, No.3, pp.179-188 (2003).
- [30] Mehrabian, A.: Nonverbal Communication, Aldine Atherton/Chicago, New York (1972).
- [31] 井上正明, 小林利宣: 日本における SD 法による研究分野とその形容詞対評価尺度構成の概観, 教育心理学研究, Vol.33, No.3, pp.253-260 (1985).
- [32] 警察庁: 運転免許統計 (平成 24 年版), 入手先 (<https://www.npa.go.jp/toukei/menkyo/index.htm>).
- [33] Open CV documentation: Cascade Classification, available from ([http://docs.opencv.org/modules/objdetect/doc/cascade\\_classification.html](http://docs.opencv.org/modules/objdetect/doc/cascade_classification.html)).
- [34] Chang-yeon, J.: Face Detection using LBP features, CS 229 Final Project Report (2008).
- [35] 山下隆義, 井尻善久, 木下航一, 川出雅人: シャッターチャンス逃さない: 顔の検出・表情の認識技術, 映像情報メディア学会誌, Vol.62, No.5, pp.708-713 (2008).
- [36] コンビニ強盗: 逃走時に保険証落としアシ 容疑者逮捕, 毎日 jp (2013.5.12), 入手先 (<http://mainichi.jp/select/news/20130512mog00m040006000c.html>).
- [37] 大阪・東成の緊縛強盗: 起訴の男 3 人, 容疑で逮捕—希少バッグが決め手, 毎日 jp (2013.8.6), 入手先 (<http://mainichi.jp/area/news/20130806ddn041040042000c.html>).
- [38] 弁護士布施正樹: 防犯カメラは決定的証拠になるか [刑事弁護のポイント], 入手先 (<http://bengoshi-loj.blog.so-net.ne.jp/2011-01-07>).
- [39] フロリダ州タンパ警察が, 顔認識システムを廃止, CNET Networks (2003.8.22), 入手先 (<http://japan.cnet.com/news/media/20060559/>).
- [40] 大阪のコンビニ強盗, 男性に無罪: 「指紋・防犯カメラ, 盤石でない」, 産経新聞 (2011.1.7), 入手先 ([http://newschina.jchere.com/newsdetail-id-382109.htm#\\_Ugt6C-WCjL8](http://newschina.jchere.com/newsdetail-id-382109.htm#_Ugt6C-WCjL8)).
- [41] 塩尻の窃盗で無罪判決: 防犯カメラ画像証拠となり得ず, 信濃毎日新聞社 (2013.3.19), 入手先 (<http://negaune5>).

rssing.com/chan-3749061/all\_p72.html).

[42] コンビニ強盗事件の認知・検挙状況の推移：警視庁のH15年の分析結果，入手先 (<http://www.hanzai.net/institution/conv.htm>).

[43] 食品商業 96 年 11 月号別冊：コンビニ秋冬コンビニ強盗防犯対策，犯人像，入手先 (<http://www.sayko.co.jp/article/syogyo/syokuhin/96-aki11.html>).

[44] Baluja, S., Sahami, M. and Rowley, H.A.: Efficient face orientation discrimination, *Proc. International Conference on Image Processing 2004 (ICIP 2004)*, pp.589–592 (2004).

[45] Jin, H., Liu, Q., Lu, H. and Tong, X.: Face detection using improved LBP under bayesian framework, *Proc. IEEE Symposium on Multi-Agent Security and Survivability*, pp.306–309 (2004).

[46] Wang, X., Han, T.X. and Yan, S.: An HOG-LBP human detector with partial occlusion handling, *Proc. International Conference on Computer Vision 2009 (ICCV 2009)*, pp.32–39 (2009).

[47] Opelt, A., Pinz, A. and Zisserman, A.: A boundary-fragment-model for object detection, *Proc. ECCV 2006*, pp.575–588 (2006).

[48] Shotton, J., Blake, A. and Cipolla, R.: Contour-based learning for object detection, *Proc. International Conference on Computer Vision*, pp.503–510 (2005).

[49] 井尻善久，勞 世竝，村瀬 洋：多様な属性に柔軟に対応できる人物属性認識の準教師付き学習フレームワーク，電子情報通信学会技術研究報告 PRMU, Vol.109, No.249, pp.97–102 (2009).

[50] 華 春生，呉 海元，塩山忠義：眼鏡の有無と顔特徴点の自動検出，電子情報通信学会技術研究報告 PRMU, Vol.102, No.554, pp.91–96 (2003).

[51] 華 春生，呉 海元，塩山忠義：眼鏡・髭によらない顔特徴点の検出，電子情報通信学会技術研究報告 PRMU, Vol.103, No.296, pp.37–42 (2003).

[52] SONY CMOS イメージセンサー，入手先 (<http://www.sony.co.jp/Products/SC-HP/tech/isensor/cmos/>).

[53] オムロン技術用語集：顔認識技術，入手先 ([http://www.omron.co.jp/r\\_d/dictionary/dic\\_word\\_ka.html](http://www.omron.co.jp/r_d/dictionary/dic_word_ka.html)).

## 付 録

### A.1 近赤外線を用いた手法との差異について

近赤外線を用いた手法（既手法）との差異を示すために，近赤外線に対する感度の高いカメラ（1/2.3-inch CCD，有効画素数約 1,000 万画素）と低いカメラ（1/3-inch CMOS，有効画素数約 800 万画素）2 種類のデジタルカメラを用いて評価を行った。

#### (1) 評価方法

被験者 10 人を 2 種類のデジタルカメラを用いて正面から 1, 5, 10, 15, 20m の距離から撮影を行い，写り込み画像を作成した。そして，OpenCV [33] ライブラリの顔検出 API を使用し，3 章で説明した Haar-like 特徴量を用いた顔検出法により撮影画像から顔検出を行う。

#### (2) 評価結果

評価結果を表 A-1 に示す。既手法は，近赤外線に対する感度の高いデジタルカメラに対しては，被験者の全員の顔が非検出となり，顔検出妨害効果が認められるが，近赤

表 A-1 デジタルカメラの近赤外線に対する感度と顔検出人数

Table A-1 Sensitivity of digital camera and number of face detection.

手法	近赤外線に対する感度	距離 (m)				
		1	5	10	15	20
本手法	高い	0	0	0	0	0
	低い	0	0	0	0	0
既手法	高い	0	0	0	0	0
	低い	10	10	10	10	4

外線に対する感度が低いカメラに対しては，20m 以外は 1, 5, 10, 15m の距離で 10 人の被験者全員の顔が検出された。一方，提案手法（本手法）においては，2 種類のデジタルカメラにおいてすべての距離で被験者の全員の顔が非検出となった。この結果は，本手法が近赤外線に対する感度の高いデジタルカメラおよび低いデジタルカメラの両方において顔検出の妨害効果があることを示すものである。

近年，デジタルカメラの性能向上にともない，高感度の撮像素子の開発により感度が著しく向上している [52] ことを考慮すると，今後，高感度の撮像素子を用いた近赤外線に対する感度の低いデジタルカメラへの対策が重要となると考えられる。

### A.2 プライバシーバイザーの識別性について

フィジカル空間においてプライバシーバイザーが本人識別性を有することを検証するために，10 人の被撮影者を正面から 1m の距離で撮影して作成した 2 種類の画像を使用して，検証を行った。

#### (1) 検証方法

まず，被撮影者 10 人を何も着用していない（非着用）条件で撮影し，非着用画像の作成を行った。次に，同被撮影者にプライバシーバイザーを着用してもらい，プライバシーバイザーの着用画像を作成した後，背景，服装，体型，髪形など顔以外の識別要素を排除するために，プライバシーバイザーの着用画像から顔面を切り抜いた（切り抜き）画像を作成した。検証には，非着用画像と切り抜き画像を使用する。被験者に切り抜き画像の任意の 1 枚を見せた後，非着用画像の 1 枚を選択してもらい，同一人物であるかを検証した。

#### (2) 検証結果

10 人の被験者による検証の結果，被験者全員が正しく同一人物を選択していることを確認した。高い識別結果が得られたのは，プライバシーバイザーを着用しても，個人の特徴が顕著に現れる目元，口元の特徴 [53] を読み取ることができたためと考えられる。



山田 隆行 (正会員)

2012年総合研究大学院大学複合科学研究科情報学専攻博士後期課程修了。現在、国立情報学研究所共同研究員。情報セキュリティの研究に従事。博士(情報学)。2010年辻井重男セキュリティ学生論文賞(情報セキュリティ学生賞)、映像情報メディア学会藤尾フロンティア賞、画像電子学会画像電子技術賞、2011年本学会山下記念研究賞、本学会大会奨励賞、2014年本学会論文賞各受賞。



合志 清一

1981年早稲田大学大学院理工学研究科博士前期課程修了。同年NHK入局。1984年よりNHK放送技術研究所において、映像信号のデジタル信号処理、伝送、番組応用、電子透かしの研究に従事。2008年より(株)シャープにおいて、次世代テレビの研究開発に従事。現在、工学院大学情報学部情報デザイン学科教授。博士(工学)。1985年、1999年放送文化基金技術賞、1997年映像情報メディア学会進歩賞、2010年画像電子学会画像電子技術賞、2008年映像情報メディア学会船井賞、2010年映像情報メディア学会藤尾フロンティア賞、2014年本学会論文賞各受賞。電子情報通信学会、映像情報メディア学会、画像電子学会各会員。



越前 功 (正会員)

1997年東京工業大学大学院理工学研究科修士課程修了(応用物理学)。同年日立製作所入社、システム開発研究所を経て、現在、国立情報学研究所コンテンツ科学研究系教授。総合研究大学院大学複合科学研究科情報学専攻教授を兼務。2010年ドイツ・フライブルグ大学客員教授。2011年ドイツ・マルティン・ルター大学(ハレ大学)客員教授。コンテンツセキュリティの教育研究に従事。博士(工学)。2005年本学会論文賞、2006年IEEE IHH-MSP06, Best Paper Award, 2010年映像情報メディア学会藤尾フロンティア賞、画像電子学会画像電子技術賞、2011年本学会会長尾真記念特別賞、2014年本学会論文賞各受賞。IEEE, ACM, 電子情報通信学会、映像情報メディア学会、画像電子学会各会員。