

赤外線通信により物理的対面を計量する ウェアラブルデバイス

蜂須 拓^{*1} Yadong Pan^{*1} 利根 忠幸^{*1}
Baptiste Bourreau^{*1} 鈴木 健嗣^{*1}

Wearable Device for Measuring Face-to-Face Behavior via Infrared Communication

Taku Hachisu^{*1}, Yadong Pan^{*1}, Tadayuki Tone^{*1}, Baptiste Bourreau^{*1}, and Kenji Suzuki^{*1}

Abstract --- We present a novel head-mounted device for measuring face-to-face behavior. The device has unique capabilities: measuring timing and duration of face-to-face behavior as well as an identity of the partner, being used by multiparty, and automatically logging the behavior by connecting with Android device. We employ infrared communication technique for measuring the behavior. A pilot experiment with two dummy heads shows that the developed devices can detect the face-to-face behavior with a certain angle. We also conducted an experiment with human participants. The events recorded by the developed device show moderate agreement with those coded from video by human observers.

Keywords: infrared communication, face-to-face, social interaction.

1 はじめに

二者間で物理的に顔と顔を向かい合わせる対面(英: face-to-face)行動は最も基礎的なコミュニケーションの一つであり, 様々な場面でみられるとともに社会的行動を促進する役割を果たしている. 例えば, 対面相手と目を合わせること, 相手もしくは自身の表情をみる・みせること, あるいは発話のタイミングを合わせることが挙げられる. Ono らは対面行動の頻度と心的ストレスの間に負の相関があることを示している[1].

対面行動の頻度は言語, 非言語コミュニケーションがしばしば困難である自閉症スペクトラム障害児(以後, 自閉症児)の特徴を観察するための重要な尺度とされる. 自閉症児は他者と目を合わせる(英: eye contact)ことを避ける傾向にあることが報告されている[2][3]. また, その頻度の増減は自閉症児への介入手法の評価指標としても用いられている[4][5]. これらの研究では目を合わせることについて言及しているが, しばしば顔と顔が向き合っている状態, つまり対面行動がビデオ映像より観察者によって計測されている. 一方で, このビデオ観察による計測は非常に時間がかかることが知られており, 観察者の主観も含まれるという問題もある.

本研究では, 物理的な対面行動を計量できるデバイ

スの開発し, 複数人の間で行われる社会的行動を計量および促進することを目的とする. 先に述べた背景より, 我々は 4 つのデバイスの設計要件を以下のとおり定義する. 第一に, デバイスは簡易に付け外しができるようにする. 本要件は装着者の行動を制限しないこと, また自閉症研究に応用する際に自閉症児への取り付けを容易にすることを考慮したものである. 自閉症児はしばしば感覚過敏が観察されることがあり, 複雑な固定具や重量のある装具の装着が困難であることがある[6]. 第二に, デバイスは対面行動の計量(開始時刻, 継続時間の計測, また対面相手の同定)が可能とする. 本要件は自閉症児への介入手法の評価や装着者の社会的関係性を定量的に評価, 分析することを考慮したものである. 第三に, デバイスは複数人で同時に使用できるようにする. 本要件は, 3名以上の複数人間での社会的行動の計量を考慮したものである. したがって, デバイスにあらかじめマスタとスレーブを決めることは難しく, それぞれがアドホック通信できる必要がある. 第四に, 対面行動の計量を実時間でできるようにする. これにより, 我々は対面行動を促進するようなフィードバック(報酬)を装着者に提示することを試みる.

本稿では, まず以上の要件を満たす頭部装着型赤外線通信デバイスの開発について述べる(図 1). 本デバイスは Bluetooth 通信により Android 端末と連携することで, 第三者が装着者の対面行動を実時間で観察, また端末に記録し解析に用いることができる. 次に, ダミ

*1 筑波大学

*1 University of Tsukuba

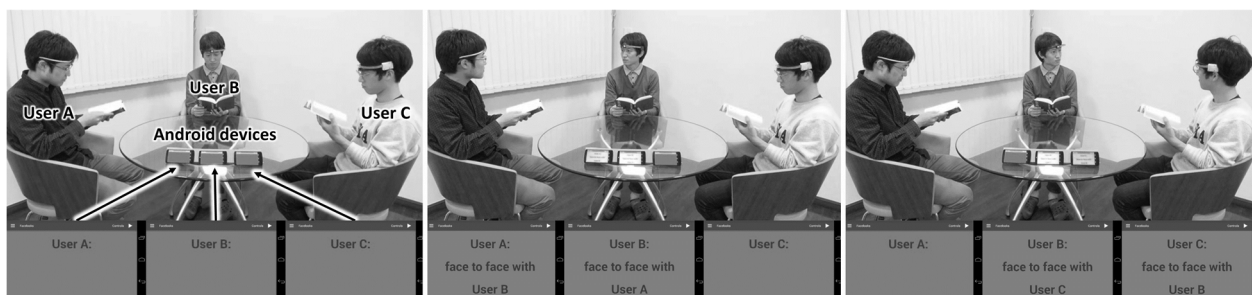


図1 頭部装着型物理的対面計量デバイス:本デバイスは物理的対面の開始時刻および継続時間の計測, 対面相手の同定, 複数人同時使用, また Android 端末と連携し自動的に計量結果を記録することができる。

Fig.1 A novel head-mounted device for measuring face-to-face behavior: it is capable of measuring timing and duration of face-to-face as well as identity of the partner, being used by multiparty, and automatically logging the events by connecting with Android device.

一ヘッドを用いたデバイス性能評価実験について述べる。そして、被験者実験より既存手法(観察者によるビデオコーディング)と本デバイスによる計量を比較し、両手法の一致度および本デバイスの対面行動計量における効率の良さを示す。

2 先行研究

Kendon は複数人が会話する際に形成される身体(足先, 胴体, 頭部)向きの空間的關係性とそこで行われる社会的行動を理解するための概念, F 陣形を提唱した[7]。本研究では特に頭部向きに着目し, 対面行動を二者の顔面が一定角度以内で向き合っている動作と定義する。したがって, 胴体や視線の向きについては考慮せず, 頭部の向きのみを考慮する。前報[8]より我々は, 人が対面をしていると感じる角度は相手の顔面正面より12度以内であると報告した。しかし, 個人の主観や実験条件によるところが大きく本角度に関しては議論の余地があるといえる。本稿では, この角度に対する詳細な議論は避けるが, 本デバイスと第三者によるビデオ観察によって計量した対面行動を比較することで, デバイス評価を行う(5章)。

既に述べたように, 自閉症研究では固定カメラにより自閉症児の行動を撮影し, ビデオ観察により人手で対面行動を計量する。この手法はビデオをフレームごとに確認する必要があり, 非常に時間がかかることが知られている。さらに, 先に述べたとおり対面と感じられる角度は観察者の主観によってしまうという問題がある。これに対する解決策として Microsoft 社の face API や CERT[9]等の画像処理技術の導入が挙げられるが, 我々が想定する状況では高精度かつ正確に視線や顔の向きを推定することは困難である。その理由として, 児童はしばしば活発に動きまわることやカメラの死角に入ってしまうこと, またカメラの焦点や解像度, 照明環境による影響で安定した計量が困難であることが挙げられる。

別の解決策としてウェアラブルカメラの導入が挙げら

れる。Fathi らはウェアラブルカメラから撮影された一人称視点の日常生活の映像から社会的行動を検知する手法を開発した[10]。Kumano らは会話中の複数人の視線を, ユーザに装着された2つのカメラとマイクロホンより自動的に推定するフレームワークを開発した[11]。ヘルメットに固定された2つのカメラは装着者の顔と一人称視点映像を撮影する。これらのウェアラブルカメラを用いた手法は対面行動を高精度かつ正確に計量可能である。また Speer らはウェアラブル視線計測デバイスを用いて, ビデオ鑑賞時の自閉症児と定型発達児の視線の差異を観察した[12]。一方で, これらはカメラやデバイスの堅牢な固定が必要になる場合もあり, 我々の第一の設計要件に反する。また, 高解像度な映像あるいは視線計測を行うためには一般的に高価なカメラやデバイスが必要であり, 複数人間における対面行動を計量することは困難である。さらに, プライバシー等の観点から, 自閉症児の保護者にとってビデオ撮影への同意はやや心的な敷居が高いと考えられる。

ビデオ撮影を伴わない装着型デバイスとして, これまでに電波[13], 赤外線[14]による無線通信技術を用いて胴体の向きを計測するものが開発されている。複数人間の相対的な胴体向きは社会的集団の形成や個人の社会集団への参加を客観的に観察する指標になりうる[7]。一方で, 我々は社会的行動を観察する上で, 頭部向きと胴体向きは独立の指標になると考えている。前章でも述べたとおり, 顔を他者に向ける行動は自身の目や口等を見せることになり, さらに他者と顔を合わせることはアイコンタクトや会話を促す。つまり, 胴体向きは個人の集団への参加の意思を, 頭部向きは特定他者との相互作用を行う意思を表すといえる。本稿は頭部向きに基づいた対面行動に着目するが, 他者との相対的な胴体向きも併せて計測することでより詳細に社会相互作用を分析することが可能になる。

頭部の向きに着目した研究として, Watanabe らの頭部装着型赤外線通信デバイス, Visual Resonator が挙

げられる[15]. Visual Resonator は装着者の音声を超赤外線、また他の装着者から受信した超赤外線を受声に変換する. 超赤外線は指向性があり、装着者の顔面の向いている方向のみに超赤外線が照射される. Watanabe らは頭部向きを利用した様々な言語コミュニケーション例を紹介した一方で、本研究の目的である対面行動の計量およびその記録については言及していない.

3 頭部装着型対面行動計量デバイス

我々は対面行動計量の手段として超赤外線通信を採用する. 超赤外線通信では、まず一方のデバイスが自身のデバイス ID を含むデータを変調し、超赤外線発光ダイオード(LED)より超赤外光の点滅により送信する. 次に、他方のデバイスはその点滅パターンよりデータを復号、受信する. 指向性のある超赤外線LEDを用いることで、両デバイスは向かい合っている時のみデータの送受信が成功する仕組みである. 本デバイスを頭部に装着し超赤外線の光軸を顔正面が向く方向と一致させることで、本デバイスはデータの送受信成功を基に対面状態を検知する. また同時に、相手のデバイスIDより対面相手を同定する. 本デバイスは Android 端末と Bluetooth 通信を行うことで、対面相手のデバイス ID と共に対面行動の開始時刻および継続時間を実時間で Android 端末に記録する. 本章では、本デバイスの実装の詳細およびダメージヘッドを用いた性能評価について述べる.

3.1 実装

図2に開発した試作デバイスを示すように、超赤外線通信モジュール(図3左)および制御モジュール(図3右)がヘッドバンドに固定されている. 超赤外線通信モジュールは超赤外線受信機(シャープ, GP1UXC41QS), 超赤外線 LED (Vishay, TSHA5202), およびインジケータ用のフルカラーLED から構成する. 制御モジュールは主にマイクロコントローラ(NXP Semiconductors, LPC11U24), Bluetooth モジュール(ADC technology, ZEAL-C02), リチウムポリマ電池(110 mAh), および1 kΩの半固定可変抵抗器から構成する.

マイクロコントローラは Universal Asynchronous Receiver Transmitter (UART) 信号を 38 kHz の搬送波によりオンオフ変調した信号を生成し、超赤外線 LED を点滅させる. 超赤外線光の強度は可変抵抗により調整可能である. 超赤外線通信モジュールは他デバイスからの超赤外線光を受け取ると、UART 信号に復調しマイクロコントローラに伝える. UART の通信速度は安定的に超赤外線通信が行うことのできる 2.4 kbps に設定する.

第三の設計要件を満たすために、単一周波数帯の超赤外線光による半二重通信を実装する必要がある. 本デバイスでは時分割方式を採用する. 図4に2つのデバイス(デバイス A およびデバイス B)間の通信手続き

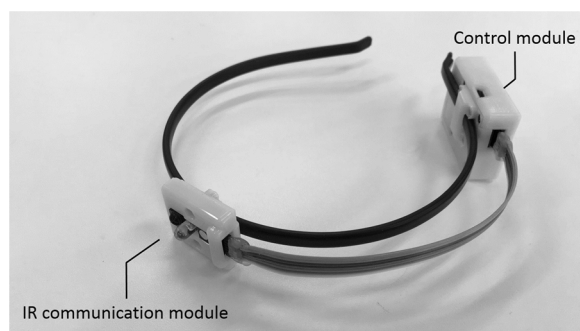


図2 試作デバイス

Fig.2 A prototype device

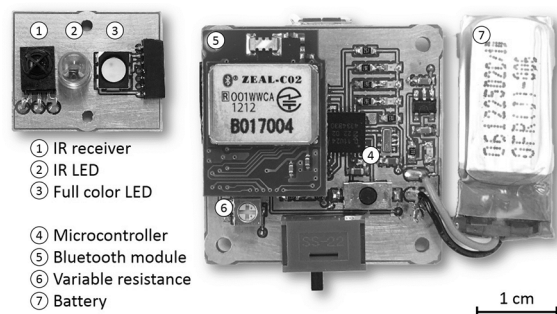


図3 超赤外線通信モジュール(左)および制御モジュール(右)

Fig.3 An IR communication module (left) and a control module (right)

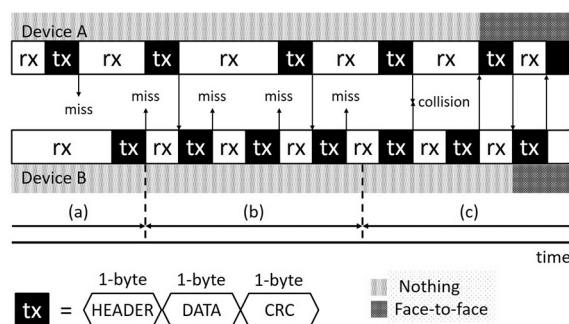


図4 デバイス A とデバイス B 間の通信手続き

Fig.4 Illustration of communication procedure between Device A and Device B

の例を示す. 通信パケットはヘッダバイト, データバイト(デバイス ID), 巡回冗長検査(cyclic redundancy check, CRC)バイトの計 3 バイトから構成する. 本デバイスは送受信の失敗, 成功によって「非対面状態」もしくは「対面状態」(以後, デバイスあるいは観察者によって検知された対面の状態はカギ括弧付きで示す)の 2 つの対面の状態に遷移する.

図中(a)の段階において、デバイスは向かい合っていない状態である. 各デバイスは同期要請ヘッダを含むパケットの送信をランダムな時間間隔(15, 30, 45, 60, もしくは 75 ms)で行う. パケット送信後から次の送信時刻までの間、デバイスは他のデバイスからのパケット受

信をするために待機する。本段階では両デバイスの対面は「非対面状態」である。

図中(b)の段階において、デバイス A はデバイス B の方を向いている一方で、デバイス B はデバイス A の方を向いていない状態である。デバイス A から送信されたパケットをデバイス B が受信すると、直ちに応答確認ヘッダを含むパケットを送信する。しかし、デバイス A はそのパケットを受信することはできない。

図中(c)において、デバイス A とデバイス B は向かい合っている。初期段階では通信衝突(赤外線の影響)が生じ、通信同期に失敗する。しかし、ランダムな時間間隔での送信および受信待機により、デバイス A はデバイス B からの応答確認ヘッダを含むパケットの受信に成功する。デバイス A は「対面状態」に遷移し、直ちにマスタヘッダを含むパケットを送信する。同様に、マスタヘッダを含むパケットを受信したデバイス B は「対面状態」に遷移し、スレーブヘッダを含むパケットを送信する。

その後、マスタデバイス(デバイス A)が通信を主導して行く。再び両デバイスが向かい合わなくなると赤外線通信が断たれ、両デバイスともに一定時間後「非対面状態」に戻る。本通信手続きにより、本デバイスは対面の状態を検知するだけでなく、受信したパケットに含まれるデバイス ID より対面相手を同定する。また、「非対面状態」時のランダムな時間間隔によるパケット送信および受信待機により、デバイスが向き合った時に生じる定常的な通信衝突を避ける。本デバイスのサンプリング周波数は以上の通信手続きの特性上およそ 60 から 100 Hz の間で変動する。

本デバイスは最新の 50 サンプルのうち「対面状態」のサンプル数を数え、対面状態が 15 サンプル以上となった時に本デバイスは外部への出力を「対面状態」とし、それ以外を「非対面状態」とする。以上の数値は予備実験より決定した。

外部への出力はフルカラーLED および Android 端末にされる。フルカラーLED の色は「非対面状態」は赤、「対面状態」は緑で発光するように定める。本デバイスは Bluetooth シリアル通信により Android 端末(LG エレクトロニクス, Nexus 5)と連携することで、対面行動の計量および記録ができる。本デバイスは対面の状態およびデバイス ID を Android 端末に送信し、そこで受信時の時刻とともに受信データを記録する。このようにして対面行動の計量および記録を行う。Android 端末との Bluetooth 通信は状態が遷移した時と 100 ms 毎に行う。

4 デバイス評価

本章では前章で開発したデバイスの対面計量性能評価について述べる。

4.1 設備構成および手続き

図 5 に示すように、本計測では 180×84 cm の普通紙上に設置した本デバイスを装着した 2 つのダミーヘッドを用いた。紙面には 150 cm の直線およびその上に 50 cm 間隔で 3 つの分度器(3度間隔)を印刷した。一方のダミーヘッド(固定ヘッド)を図向かって右端の直線上に左端に向けて固定した。他方のダミーヘッド(試験ヘッド)はいずれかの分度器の中心に置いた。

まず、試験ヘッドを右端(固定ヘッドの方向)に向けた。次に、両デバイスは赤外線通信を開始した。試験ヘッド上のデバイスは Android 端末に 60 秒間計量した対面の状態を送信した(a)。そして、実験者は試験ヘッドを時計回り(正方向)に 3 度回転させた(b)。この手続き(a)、(b)を Android 端末が記録した対面の状態が 3 試行連続で 60 秒間「非対面状態」になるまで繰り返した。以降、試験ヘッドの回転角度が 180 度まで Android 端末が記録した対面の状態を 60 秒間「非対面状態」とみなした。反時計回り(負方向)に関しても同様の計測を行った。以上の計測を 3 つの固定した距離(50, 100, 150 cm)のもと行った。本距離は一般的な日常会話が行われる距離(45 から 120 cm)[16][17]を基に決定した。

本計測では赤外線 LED に流れる電流を 20 mA に固定した。これは 1 対の本デバイスを 200 cm 離して向かい合わせた際に 30 から 40%の確率でパケットを受信できる距離である。

4.2 結果・考察

試験ヘッドに装着したデバイスが検知した「対面状態」の頻度を図 6 に示す。横軸および縦軸はそれぞれ試験ヘッドの角度および「対面状態」の頻度を示す。0 度付近であっても断続的に 1 秒程度「非対面状態」と検知されることがあった。また、まれに Android 端末に未定義なデータ(エラー)が受信、記録された。この原因としてマイクロコントローラが 2 つの UART 通信(赤外線通信, Bluetooth 通信)を同時に行っており、割り込み処理等によって赤外線通信もしくは Bluetooth 通信の同期を失敗したためと考えられる。そのため 0 度付近であっても頻度が 100%にならなかったと考えられる。

試験ヘッドを 0 度より正方向あるいは負方向に回転させ、頻度が 50%(チャンスレート)以下になる直前の角度の絶対値の平均を対面状態検知閾と定義する。本評価では対面状態検知閾 50, 100, 150 cm それぞれで 30.0, 12.0, 12.0 度であった。本結果より、本デバイスによって「対面状態」と検知される頻度分布はデバイス間距離によって異なることが分かった。また「対面状態」の頻度分布は角度 0 度を中心した時に左右に非対称であった。前者は赤外線 LED から発せられる赤外線光の減衰がと原因と考えられる。一方で、固定距離 100 cm 下と 150 cm 下では対面状態検知閾は等しかった。これは赤外

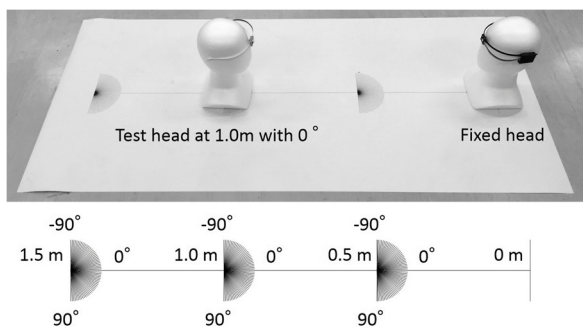


図5 赤外線通信範囲計測設備構成

Fig.5 Setup of measurement of IR communication range

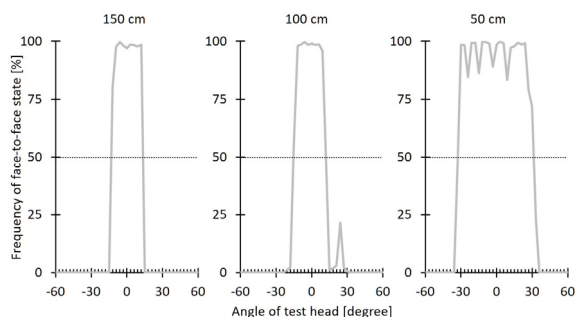


図6 試験ヘッドの回転角度と「対面状態」の頻度

Fig.6 Orientation angle of the test head versus frequency of "face-to-face state"

線 LED の左右方向への赤外線減衰率が距離と非線形であるためと考えられる。後者は赤外線 LED あるいは赤外線受信機の光軸がダミーヘッドの顔正面方向と一致していなかったためと考えられる。これは装着時のずれおよび本デバイス作成時の工作精度が主な原因として挙げられる。

5 被験者実験

本章では開発したデバイスを人に装着させた際の性能評価について述べる。本評価の目的は既存手法(観察者によるビデオコーディング)と本デバイスによる対面行動の計量を比較することで、デバイスの性能と効率を示すことである。

5.1 実験設備構成および手続き

本実験では、2名の被験者(被験者 A, 被験者 B)に本デバイス(デバイス A, デバイス B)を装着させ幅 120 cm の机に対向して着席させ、1 名の実験者がその間に着席した。本実験では、以上 3 名の実験参加者にカードゲーム(ババ抜き)をさせた。このゲームは他のプレイヤーの手持ちのカードを引く動作が含まれ、我々はこの際にカードを引くプレイヤーと引かれるプレイヤーが対面行動をとると予想した。

実験中、デバイス A およびデバイス B はフルカラー LED を消灯させ、それぞれ Android 端末 A と Android

端末 B と連携し対面の状態の計量結果を記録した。また、固定ビデオカメラを用いて実験参加者の顔を撮影した。図 7 は固定ビデオカメラから撮影されたビデオの 1 フレームである。

まず、実験者は被験者にゲームのルールを説明した。次に、実験者はデバイスによる計量の記録およびビデオカメラの撮影を開始した後、ババ抜きを開始した。ババ抜き終了後、実験者は記録と撮影を停止した。ゲームのプレイ時間は約 4 分であった。

Android 端末に記録された「対面状態」の開始時刻と継続時間を次節で述べる解析に用いた。撮影したビデオのフレームレートを 30 fps から 10 fps に落とし、本実験の目的を知らない 2 名の観察者(コード C, コード D)に対面行動の開始時刻および継続時間を計量させた。この際、頭部の向きを基に被験者 A と被験者 B の対面状態を判断するように指示した。2 章で述べたとおり、人が対面していると感じる明確な角度は不明であること、かつ観察者に不要なバイアスを与えないために本実験では詳細な判断基準に関しては指示せず観察者の主観に任せた。

5.2 結果・考察

図 8 にデバイス A, デバイス B, コード C, およびコード D より計量された対面行動を示す。横軸は時刻、縦軸は「非対面状態」(0)および「対面状態」(1)を示す。各結果の時刻の同期について、デバイス A とデバイス B 間では最初の「対面状態」の検知時刻を基に、デバイスとビデオ間においては実験者が映像および音声より手動で合わせた。これらの結果を比較するために、カップ係数を全ての組み合わせについて求めた。表 1 にデバイス A とコード C を比較した際のクロス集計表を例として示す。

表 2 に全組み合わせのカップ係数を示す。デバイス A とデバイス B はかなりの一致を示した(0.78)。高い一致(0.80 以上)に達しなかった原因とし次の 3 点が考えられる。1 点目に、本赤外線通信の通信手続きの制約上、デバイス間で「非対面状態」あるいは「対面状態」に遷移する時刻が最大で百ミリ秒程度ずれることが挙げられる。2 点目に、本デバイスから「対面状態」を送信し、Android 端末によって受信する際の Bluetooth 通信のバッファ状況によって生じる遅延(数百ミリ秒程度)、データロスが生じる事が挙げられる。3 点目に時刻同期を手動で行ったことが挙げられる。

デバイスとコード間は低、中程度の一致を示した(0.35 から 0.48)一方で、コード間の中程度の一致(0.51)と比較すると低い水準となった。この理由として、上記の本デバイスで生じる誤差に加え、本デバイスと観察者の「対面状態」と検知する基準が異なるためと考えられる。一方で、コード同士の間はデバイス間同士よりも低い

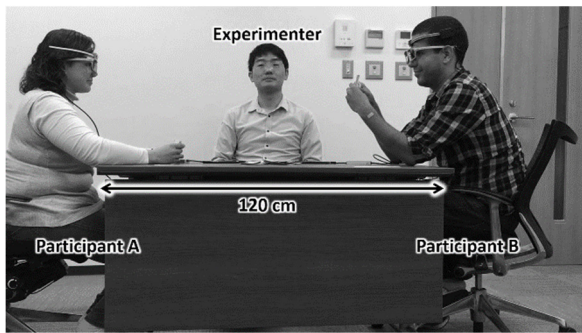


図7 被験者実験

Fig.7 Evaluation with human participants

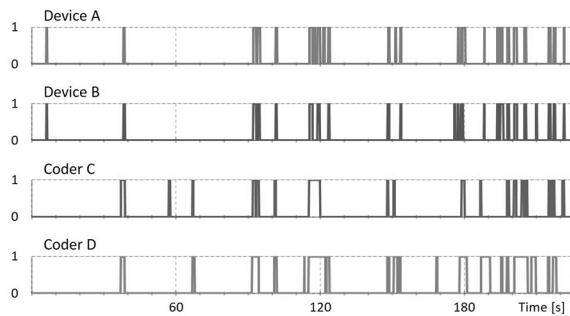


図8 被験者実験の結果

Fig.8 Results of evaluation with human participants

表1 デバイス A(A)とコーダ C(C)の計量結果の比較

Table 1 Comparison between Device A (A) and Coder C (C)

	C (0)	C (1)	Total
A (0)	198.9	9.4	208.3
A (1)	7.6	9.1	16.7
Total	206.5	18.5	225.0

Unit: second

表2 全組み合わせ(デバイス A(A), デバイス B(B), コーダ C(C), およびコーダ D(D))のカップ係数

Table 2 Kappa coefficients between all pairs (Device A (A), Device B (B), Coder C (C), and Coder D (D))

	B	C	D
A	0.78	0.48	0.43
B	-	0.42	0.35
C	-	-	0.51

水準であった。これは既に述べたとおり観察者によるコーディングには主観が含まれるためと考えられる。以上から、本デバイスによる対面行動計量は既存手法(観察者によるビデオコーディング)と低、中程度の一致度ではあるものの、再現性に関して既存手法よりも高いと結論付けられる。

コーダ C およびコーダ D がビデオコーディングに要

した時間はそれぞれおよそ 100 分および 40 分であった。2 名の間で大きな差があったが、コーディングするビデオが長くなったりコーディングする対象の人物が増えたりした場合、さらに長い時間が必要であると予想できる。一方で、本デバイスは実時間で対面の状態が Android 端末に記録されていくので、解析の時間を大幅に削減できる。

6 考察

以上より、開発したデバイスは対面行動の計量が可能であるといえる。我々は本デバイスを対面行動の促進にも応用することが可能であると考えている。前章での評価に加え、予備的な実証実験として本デバイスのフルカラーLED による対面の状態の視覚フィードバックを 20 名程度(10 から 40 歳代の定型発達男女)に体験させた。本視覚フィードバックによる有害事象は特に認められず、視覚フィードバックは単純な発光色の変化であるが体験者は笑顔を見せる等の肯定的な反応を示した。また、特筆すべきこととして装着者が児童と成人の組であっても身長差に関係なく正常に動作したことが挙げられる。本デバイスは、装着のずれや工作精度による誤差はあるものの、対面行動を一定の基準ではっきりとした形で提示する。これにより装着者に本社会的行動に注意を向けるようにすることで本行動の促進ができると考えられる。今後はこの効果を利用した対面行動促進方法を検討する。

一方で本デバイスの制約として、赤外線モジュールの光軸が顔正面の方向と一致していない場合、対面行動を高精度に計量することが困難であることが挙げられる。既に述べたとおり、自閉症児にしばしば観察される感覚過敏影響で身体に身につけられるものが制限される可能性がある。これに対し、我々は紅白帽に本デバイスを埋め込むことを検討している。紅白帽はゴムバンドで比較的しっかりと頭部に固定される。また、就学前後の訓練を経た結果、就学中の多数の自閉症児は紅白帽の装着に対して抵抗がないことも紅白帽の利用を検討している理由である。

他の制約として、一組の装着者が壁際に並び、壁側を向いている(対面していない)際に、本デバイスは「対面状態」と誤検知することが挙げられる。これは壁に反射した赤外線光が送受信されてしまうためである。一つの解決策として赤外線 LED の強度を低くすることが挙げられるが、その際は赤外線通信範囲が狭くなるというトレードオフが生じる。

また、対面行動とフルカラーLED の色の変化に遅延を感じると報告する体験者もいた。本遅延の主な要因に赤外線通信の UART の低い通信速度(2.4 kbps)およびソフトウェアフィルタが挙げられる。前者に関しては現在使用している赤外線受信機の制約が原因である。後者

に関する解決策として、フィルタにヒステリシスを設けることが挙げられる(「非対面状態」から「対面状態」への遷移に対する閾値を下げ、逆の遷移の閾値を上げる)。一般的に人は対面終了時に視線を対面相手から反らすので、装着者は対面終了時よりも対面開始時により注意を向けると考えられる。したがって、「対面状態」への遷移の遅延を減らすことで主観的な遅延を軽減できると考えられる。今後は検知精度と照らし合わせながらソフトウェアフィルタを再設計する予定である。

本稿では対面行動の計量として、赤外線通信の送受信の成功および失敗を基に「対面状態」および「非対面状態」の検知を行った。一方で、図 4(b)における状態(デバイス A はデバイス B の方を向いている一方で、デバイス B はデバイス A の方を向いていない状態)のデバイス B において「向かっている状態」が検知可能であると考えられる。これは他のデバイスからの同期申請パケットを受信しているが、自身からの応答確認ヘッダを含むパケットを受信されていない、つまりマスタヘッダを含むパケットを受信していない時の状態である。「向かっている状態」を装着者に報知することが可能となれば、より対面する機会を創出できると考えられる。

5 章において、異なるデバイス間および本デバイスと撮影したビデオ間の計量結果および映像との時刻同期を手動で行った。今後、我々はこの時刻同期に関して自動化できるシステムを開発する予定である。これにより、5 章のような評価が簡易にかつ実験者の主観を含まずに行えるようになる。さらに我々の今後の方針として、これまでに我々が開発した身体接触[18]や笑顔[19]といった行動を計量するウェアラブルデバイスを併用し、様々な社会的行動を Android 端末によって実時間で観察、記録、そして解析することを考えている。

本デバイスの装着者へのフィードバックは対面の状態をフルカラーLED の色によって提示するというものである。本研究の目的のひとつである対面行動の促進を考えた際、フィードバック手法は議論の余地があるといえる。例えば、先に述べた「向かっている状態」を装着者に報知する場合、装着者は自身の装着しているデバイスのフルカラーLED の色は見ることはできない。そこで聴覚や触覚フィードバックでの提示を検討する必要があるといえる。

7 おわりに

本稿では赤外線通信によって対面行動の計量が可能な頭部装着型デバイスの開発および性能評価について述べた。本デバイスは:1)簡易に付け外しが可能であり;2) 対面行動の開始時刻、継続時間の計測および対面相手の同定ができ、Android 端末と連携することで以上の計量結果を記録することが可能であり;3) 3 名以上の複数名での使用が可能であり;4) 実時間での計量

が可能である。ダミーヘッドを用いた実験および被験者実験より、本デバイスの対面行動計量性能を示した。

今後の展望として我々は 2 つの方針を考えている。一つ目はデバイスの改良である。具体的には「向かっている状態」の検知を含む計量の高精度化、計量の高速度化、対面行動を促進するためのフィードバック機能の検討が挙げられる。二つ目は本デバイスによる対面行動促進効果の検証である。具体的には複数名の自閉症児およびセラピストが参加する現場で実地試験を行い、フィードバックの有無による対面行動の頻度の変化を検証する。

謝辞

本研究は、科学技術振興機構(JST)戦略的創造研究推進事業(CREST)「ソーシャル・イメージング:創造的行動促進と社会性形成支援」課題の支援により実施した。

参考文献

- [1] E. Ono, T. Nozawa, T. Ogata, M. Motohashi, N. Higo, T. Kobayashi, K. Ishikawa, K. Ara, K. Yano, Y. Miyake: Fundamental Deliberation on Exploring Mental Health through Social Interaction Pattern; In Proceedings of International Conference on Complex Medical Engineering, 321-326 (2012)
- [2] S. E. Bryson, L. Zwaigenbaum, C. McDerimott, V. Rombough, J. Brian: The Autism Observation Scale for Infants: Scale Development and Reliability Data, Journal of Autism and Developmental Disorders, 38(4), 731-738 (2008)
- [3] R. J. Landa, A. L. Gross, E. A. Stuart, A. Faherty: Developmental Trajectories in Children with and without Autism Spectrum Disorders: the First 3 Years; Child development, 84(2), 429-442 (2013)
- [4] L. K. Koegel, A. K. Singh, R. L. Koegel, J. R. Hollingsworth, J. Bradshaw: Assessing and Improving Early Social Engagement in Infants; Journal of Positive Behavior Interventions, 16(2), 69-80 (2014)
- [5] T. W. Vernon, R. L. Koegel, H. Dauterman, K. Stolen: An Early Social Engagement Intervention for Young Children with Autism and their Parents; Journal of Autism and Developmental Disorders, 42(12), 2702-2717 (2012)
- [6] L. Wing: The Autistic Spectrum: A Guide for Parents and Professionals; Constable and Robinson (1996)
- [7] A. Kendon: Conducting Interaction: Patterns of Behavior in Focused Encounters; Cambridge University Press (1990)
- [8] Y. Pan, M. Hirokawa, K. Suzuki: Measuring K-Degree Facial Interaction between Robot and Children with Autism Spectrum Disorders; In Proceedings of IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication, 48-53 (2015)
- [9] G. Littlewort, J. Whitehill, T. Wu, I. Fasel, M. Frank, J. Movellan, M. Bartlett: The Computer Expression Recognition Toolbox; In Proceedings of IEEE International Conference and Workshops on Automatic

Face and Gesture Recognition and Workshops, 298-305 (2011)

- [10] A. Fathi, J. K. Hodgins, J. M. Rehg: Social Interactions: A First-Person Perspective; In Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 1226-1233 (2012)
- [11] S. Kumano, K. Otsuka, R. Ishii, J. Yamato: Automatic Gaze Analysis in Multiparty Conversations based on Collective First-Person Vision; In Proceedings of IEEE International Conference and Workshops on Automatic Face and Gesture Recognition and Workshops, 1-8 (2015)
- [12] L. Speer, A. E. Cook, W. M. McMahon, E. Clark: Face Processing in Children with Autism Effects of Stimulus Contents and Type; Autism, 11(3), 265-277 (2007)
- [13] C. Cattuto, W. Van den Broeck, A. Barrat, V. Colizza, J. F. Pinton, A. Vespignani: Dynamics of Person-to-Person Interactions from Distributed RFID Sensor Networks; PLoS ONE 5(7), e11596 (2010)
- [14] R. Otsuka, K. Yano, N. Sato: An Organization Topographic Map for Visualizing Business Hierarchical Relationships; In Proceedings of Visualization Symposium (2009)
- [15] J. Watanabe, H. Nii, Y. Hashimoto, M. Inami: Visual Resonator: Interface for Interactive Cocktail Party Phenomenon; In Proceedings CHI'06 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems, 1505-1510 (2006)
- [16] E. Hall: The Hidden Dimension; Anchor (1990)
- [17] D. Lambert: Body Language 101: The Ultimate Guide to Knowing When People Are Lying, How They Are Feeling, What They Are Thinking, and More; Skyhorse Publishing (2008)
- [18] K. Suzuki, T. Hachisu, K. Iida: EnhancedTouch: A Smart Bracelet for Enhancing Human-Human Physical Touch; In Proceedings of the Conference on Human Factors in Computing Systems 2016, 1282-1293 (2016)
- [19] A. Gruebler, K. Suzuki: Design of a Wearable Device for Reading Positive Expressions from Facial EMG Signals; IEEE Transactions on Affective Computing, 5(3), 227-237 (2014)

(2016年9月4日受付)

[著者紹介]

蜂須 拓 (正会員)



2010年電気通信大学電気通信学部人間コミュニケーション学科卒業。2012年電気通信大学大学院総合情報学専攻博士前期課程修了。同年より日本学術振興会特別研究員(DC1)。2015年同大学大学院情報理工学研究科総合情報学先行博士後期課程修了。同年より筑波大学システム情報系研究員、現在に至る。触覚VR/AR、マルチモーダルヒューマンインタフェース、ウェアラブルデバイスの研究に従事。博士(工学)。

Yadong Pan (非会員)



He received his B. E. at School of Computer Science and Technologies, Harbin Institute of Technology, China, and received his M. E. at Department of Intelligent Interaction Technologies, University of Tsukuba, Japan. He is currently a Ph.D. Candidate at Empowerment Informatics Program, School of Integrative and Global Majors, University of Tsukuba, Japan. His researches focus on theory of human robot interaction under social context, and technologies in computational behavior science for social imaging.

利根 忠幸 (非会員)



2014年筑波大学理工学群工学システム学類卒業。同年より同大学グローバル教育院エンパワーメント情報学プログラムに在学中。ソフトロボティクスに関する研究に従事。

Baptiste Bourreau (非会員)



He received his engineer diploma of information technology for healthcare from Polytech Grenoble, France in 2015. He is currently a research assistant in the Faculty of Engineering, Information and Systems at the University of Tsukuba.

鈴木 健嗣 (正会員)



2003年早稲田大学大学院理工学研究科物理学及応用物理学専攻修了。早稲田大学助手、筑波大学講師、准教授を経て、2016年筑波大学システム情報系教授、現在に至る。人工知能、ウェアラブルデバイス、人支援ロボティクスに関する研究に従事。博士(工学)。