

みんなをまもる見守りシステム

人の動きや感情を検知するセンシング技術や、屋外からの情報を集約する無線システム技術など、情報通信技術の発展・普及に伴い、人間の動きや表情などの識別情報の医療ビッグデータ解析への応用や、高齢者や子供などの社会的弱者を守るための見守りシステムの実用化が進んでおります。

また、日本社会は少子高齢化が急速に進展しており、内閣府による高齢社会白書によると、2025年には国内人口の3割が高齢者（65歳以上）となることが予測されております。高齢者の一人暮らしや高齢夫婦のみの世帯が増加しており、遠隔地に居住する子供世代は親に対する外出や屋内での日常行動への心配や、心身の健康への不安などを抱える機会が増えております。

高齢者の介護は、多くの場合では在宅の家族により行われており、屋外での徘徊や転倒などの事故を防ぐために高齢者の状態に常に気を配る必要があるなど、介護にストレスを感じている人も増加しております。

更に認知症患者の増大や社会保障費用の大幅な増加といった社会的課題も顕在化しており、労働者や高齢者に対する心臓発作等の突然死や健康障害リスク低減に向けた心電波形の日常モニタリングによる安全確保や健康寿命の延伸は喫緊の課題となっております。

見守られる側の方としても、見守る側がすぐ近くにいる、という安心感と、監視カメラで見られているのとは違うプライバシーの保護を両立させることができる、見守りシステムが求められています。

本小特集では、これらの課題を鑑み、第一線で御活躍されておられる技術者の皆様に、見守りシステムに関わる様々な技術を幅広く御紹介頂いております。特に、人理解画像センサ、生体情報モニタリング、電波によるセンシング技術、画像処理技術による行動認識などのセンシング技術についての記事と、Wi-SUNを用いた徘徊高齢者捜索支援システムや日常生活からの見守りシステムなどについての記事を御執筆頂きました。

現時点では“見守る”側である読者の皆様も、“見守られる”側に回るのは確実に時間の問題です。高齢者や社会的弱者などが安心して生活ができるよう、情報通信技術を用い、“もしも”の事態を検知できる、見守りシステムへの理解を深めるとともに、将来展望について考える一端となれば幸いです。

小特集編集チーム

山田 暁、後藤忠広、鈴木健治、登内敏夫、宮本伸一、吉村直子

掲載記事の誤りについて

宮崎 徹(NEC ソリューションイノベータ(株))

通信ソサイエティマガジン 2017 年夏号(41 号)における掲載記事「外出・帰宅センサを活用した高齢者生活支援サービス」(pp. 6-11)において、国立研究開発法人 情報通信研究機構への確認手続きに不手際があり、誤った内容の記事となっております。情報通信研究機構の関係者各位、電子情報通信学会 通信ソサイエティの関係者各位、並びに読者の皆様に御迷惑をお掛けしましたこと、謹んでお詫び申し上げますとともに、下記のとおり訂正致します。

[訂正内容]

・ p. 6 著者

訂正前 宮崎 徹(NEC ソリューションイノベータ(株))

訂正後 宮崎 徹(NEC ソリューションイノベータ(株)), 荘司 洋三(国立研究開発法人 情報通信研究機構)

・ p. 6 右段上から 2 行目

訂正前 NEC ソリューションイノベータでは ICT(Information and Communication Technology)による

訂正後 筆者らは ICT(Information and Communication Technology)による

・ p. 11 謝辞

訂正後 謝辞を追記

・ p. 11 著者紹介

訂正後 著者紹介を追記

外出・帰宅センサを活用した高齡者生活支援サービス

宮崎 徹 Tohru Miyazaki NEC ソリューションイノベータ株式会社
 荏司洋三 Yozo Shoji 国立研究開発法人情報通信研究機構

1 はじめに

近年、高齡化社会の進展に伴い、医療・介護や年金などの社会保障に係る公的な費用が大幅に増加している。2014年度の社会保障給付費は前年度比1.3%増の112.1兆円となり、過去最高を更新している⁽¹⁾。社会保障給付費を部門別に見ると、「福祉その他」のうち介護対策に関わる費用が前年度比4.6%増の9.2兆円となっており、2000年度の3.3兆円から約3倍に増加している。

持続可能な社会保障制度の実現のためには、健康寿命（健康上の問題で日常生活が制限されることなく生活できる期間）の延伸による、医療費・介護費の節減が必要である。厚生労働省により行われている健康日本21（第二次）の目標である「平均寿命の増加分を上回る健康寿命の増加」が達成されることで、2011～2020年の累計で2.5兆円から5.3兆円の医療費・介護費が節

減できると推定されている⁽²⁾。

筆者らはICT（Information and Communication Technology）による高齡者の健康寿命延伸を目指し、IoT（Internet of Things）技術を活用したライフマネジメントサービスの研究開発を進めている（図1）。ライフマネジメントサービスは、CPS（Cyber-Physical System）として構成され、センサから得られる実世界の情報を仮想空間で蓄積し、分析した結果を様々な企業や自治体で共有することで、高齡者の在宅生活全般にわたり支援するためのサービス提供を可能とする。

本稿では、センサにより計測する扉の開閉や家電機器のオンオフ情報を分析し生活行動リズムを学習する見守り支援サービスと、外出・帰宅センサから得られる在宅状況やカメラから得られる画像の分析結果を搜索支援などに活用する外出状況確認サービスとを併せ持つ高齡者生活支援サービスの研究開発事例を紹介する。

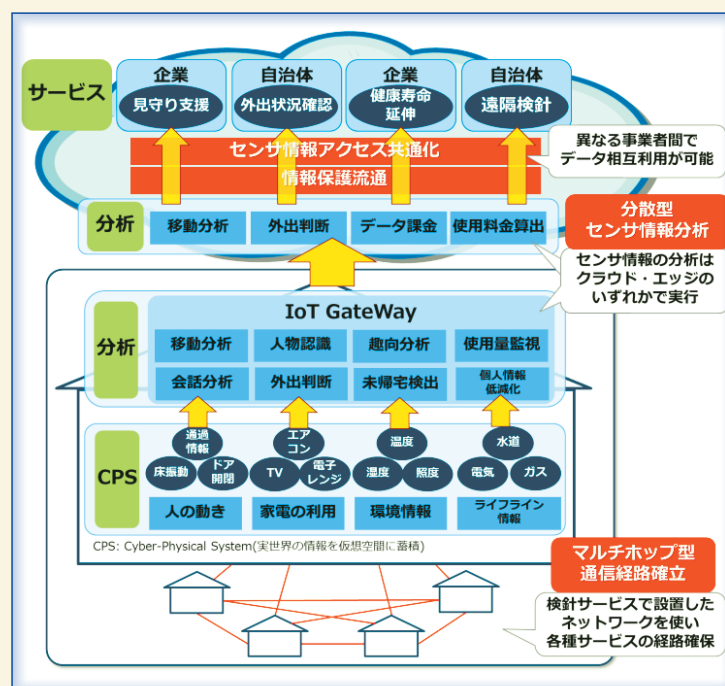


図1 ライフマネジメントサービス概念

2 生活行動リズムによる見守り

2.1 eみまもり

NECでは、2011年9月に独居高齢者の生活行動リズムに着目した高齢者見守り支援クラウドサービス「eみまもり」の販売を開始した⁽³⁾。

図2にeみまもりの概要を示す。eみまもりは、見守られる方（独居高齢者）の自宅にて日常的に使う扉や家電機器の操作の情報から、生活行動の異変を検知し、見守る方（家族など）にメールにて通知を行うサービスである。小形・小電力の無線センサを活用することで、宅内配線を行う必要がなく、扉や家電機器に設置するだけで見守ることができ、見守られる方は監視されているような精神的負担を感じることなく普段の生活を過ごせる、「ゆるやかな見守り」を実現している。

eみまもりの動作概要は次のとおりである。まず、見守られる方の宅内の扉に取り付けた開閉センサにより扉の開閉回数を計測する。開閉センサは加速度センサを内蔵しており、計測した加速度波形と、扉の開閉動作時の加速度波形の特徴とを比較して開閉動作か否かを判断している。

同時に、宅内の家電機器に設置された電力センサにより、家電機器のオンオフ回数を計測する。電力センサ下部にあるプラグ差込口に家電機器の電源プラグを刺し、電源センサ背面にあるプラグを宅内のコンセントに刺すことで、家電機器の消費電力を計測し、消費電力がしきい値を超えた場合はオン、しきい値を下回った場合はオフとして回数を計測する。

開閉センサと電力センサで計測したデータは、無線通信により宅内の受信機に送信され、インターネット回線を通じて見守りサーバに集められる。サーバでは、1日の時間帯ごとの開閉回数及び家電機器のオンオフ回数を生活行動リズムとして学習する。学習済みの生活行動リズムと現在の行動が違う（扉の開閉、家電機器の使用回数の多寡）、機器が連続して使用されている、扉が開けっ放しになっている、などの事前に設定したルールに条件が一致すると、サーバは見守る方にメールを送信する。また、見守る方は平常時においても携帯端末でサーバのWebページを表示し、見守られる方の生活行動の異変の有無や家電機器の使用状況を確認することができる。

2.2 ライフラインデータの活用

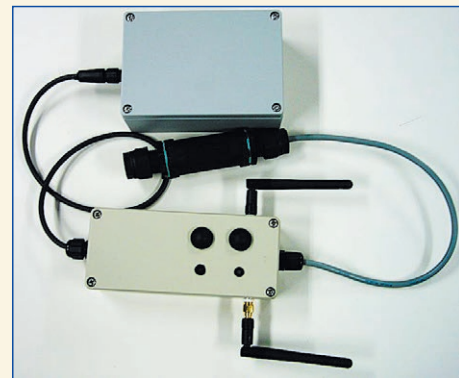
eみまもりでは、宅内に設置するセンサにて独居高齢者の見守りを実現した。一方で、より高齢者の負担を軽減するためには、センサを宅内に設置しなくても見守りサービスを実現できることが望ましい。そこで筆者らは、eみまもりの技術を応用し、水道やガスなどのメー



図2 eみまもり概要



(a) 水道メータ用無線隔測器



(b) ガスメータ用無線隔測器

図3 無線隔測器

タ設備にセンサを取り付けてライフラインの使用状況を取得することで、宅内の生活行動の推定に活用する研究を進めている。

図3にメータに取り付ける無線隔測器を示す。無線隔測器は、パルス出力式のメータに計測ラインをつなぎ、一定流量ごとに出力されるパルスをカウントすることでライフラインの使用状況を取得する。取得したデータは宅内の受信機を介してクラウド上のサーバに送信す

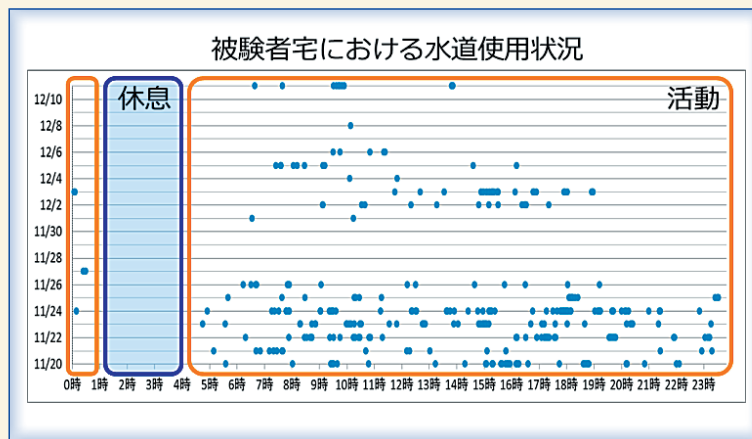


図4 水道使用状況の例

る。これら収集したデータをサーバで分析し、宅内の生活行動を推定する。

図4に実際に独居高齢者宅に無線隔測器を設置し取得した水道使用状況の例を示す。図4では水道使用があった日の時刻に点をプロットしているが、グラフを見ると、夜間の1~4時頃は水道が使われておらず休息を取っている時間帯であること、また15~18時頃に水道を多く使用していることが分かる。このように、メータ設備から得られるデータから、特定の時間帯のライフライン使用パターンを捉えることができる。

また、ライフラインデータから、例えば、3分程度の間に一般的なトイレの貯水タンク容量である10~16L程度の水道使用があった場合にはトイレに行った可能性が高い、ガスの使用と同時に100~200L程度の水道使用があった場合には風呂を沸かしている可能性がある、というように日常の生活行動を推定することができる。このように、分析・推定した日常的なパターンや、日常の生活行動を生活行動リズムとして学習し、その変化を検出することで高齢者の見守りに活用することができる。

3 外出・帰宅の検知による高齢者生活支援

高齢者の健康寿命延伸には認知症予防が重要であり、定期的な運動が予防に効果的であると多数報告されている。例えば、65歳以上の男女4,615人の5年間の追跡調査により、散歩やウォーキングなどの定期的な運動が認知症予防に有効であることが報告されている⁽⁴⁾。また、60代以上の高齢者1,740人の平均6年間の追跡調査により、週3回以上の運動で認知症発症リスクが3割減少したとの報告がある⁽⁵⁾。

一方、認知症患者が運動のために外出すると、外出先での事故や迷子の可能性がある。2015年の認知症患者

数は推定517万人となっており⁽⁶⁾、認知症またはその疑いが原因の行方不明者数は2015年には1万2,208人となっている⁽⁷⁾。外出時の対策として、家族が高齢者にGPS端末を持たせたり^{(8),(9)}、BLE (Bluetooth Low Energy) を使用したビーコン端末を持たせる⁽¹⁰⁾ ことで、高齢者の外出先の位置を把握する製品やサービスが研究開発されている。しかし、このような端末を持たせるシステムの場合、①高齢者が端末を持ち忘れる場合がある、②電池が長持ちせず頻繁に電池交換をする必要がある、③通信範囲に限界があり、サービス範囲に受信機を複数設置する必要がある、といった問題があった。

そこで筆者らは、家の中と外をつなぐ場所にある扉に着目し、扉にセンサを設置することで高齢者の外出を検知し、家族や地域住民に通知するサービスの研究開発を行っている。本章では、外出検知を用いた高齢者生活支援サービス、eみまもりのセンサ技術を活用した外出・帰宅センサ、外出・帰宅センサとカメラ画像を活用した試作システム、についてそれぞれ紹介する。

3.1 外出検知を用いた高齢者生活支援サービス

図5に外出検知を用いた高齢者生活支援サービスのイメージを示す。筆者らの目指す高齢者生活支援サービスでは、独居高齢者が宅内にいるか外出しているかを判別するために、外出と帰宅を検知するセンサを扉に取り付ける。

独居高齢者が宅内にいる場合には、見守り支援サービスとして、宅内に設置した人感センサから得られる各部屋の在室状況、家電機器の使用状況、ライフラインデータから得られる水道使用量やガス使用量から推定される宅内の生活行動を基に、日常の生活パターンを生活行動リズムとして学習し、学習済みの生活行動リズムと現在の行動が違う場合に家族に通知を行う。また、生活行動の見える化により、独居高齢者本人や家族に対して、健康状態の変化や運動量の変化に気付くきっかけを与え、

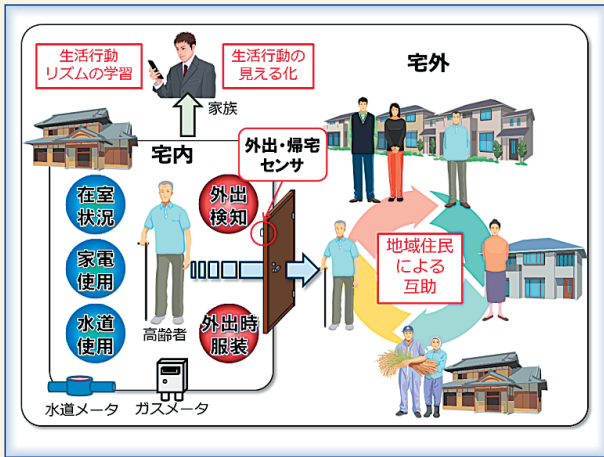


図5 高齢者生活支援サービスイメージ

健康寿命延伸のための積極的な支援を促す。

独居高齢者の外出を検知した場合には、外出状況確認サービスとして、外出した旨を地域住民に通知し、地域住民同士の声掛けのきっかけを作ることで、地域住民による互助の取組みに活用する。更に、外出時の服装を宅内に設置したカメラにて撮影しておき、不測の事態が生じた場合にその画像を使って捜索を行うことで独居高齢者の早期発見につなげる。

このように、家の中と外とをつなぐ扉をセンシングすることで、宅内から宅外、宅外から宅内への移動を捉えることができるようになり、宅内では主に家族が、宅外では主に地域住民が見守りを行うことで、自宅と地域でのシームレスな高齢者生活支援のためのサービスを実現できる。

3.2 外出・帰宅センサによる外出検知と未帰宅の判断

外出検知を行うために、加速度センサと人感センサを使った外出・帰宅センサを試作した(図6)。

外出・帰宅センサは、内部に温度・加速度・人感センサを搭載しており、ボタン型リチウム電池で動作する。扉の内側に磁石で貼り付けて設置し、人感センサにより扉の前に人がいることを検知し、加速度センサにより扉の開閉動作が行われたことを検知する。検知結果は内蔵されているWi-SUN(Wireless Smart Utility Network)モジュールにより宅内に設置するルータ経由でクラウドサーバに送信され、サーバで外出したかどうか、帰宅したかどうか、またはそれ以外かを判断する。

Wi-SUNによる無線通信を電池駆動で行うため、設置時の宅内配線が不要となり、誰でも簡単に設置できるだけでなく、宅内配線につまずいて転倒するリスクを減らすことができる。また、Wi-SUNは無線周波数帯としてサブギガヘルツ帯と呼ばれている920MHz帯を使用しているため、Wi-Fiとの電波干渉や電子レンジなどの影響を受けにくく、更に障害物があっても回り込んで

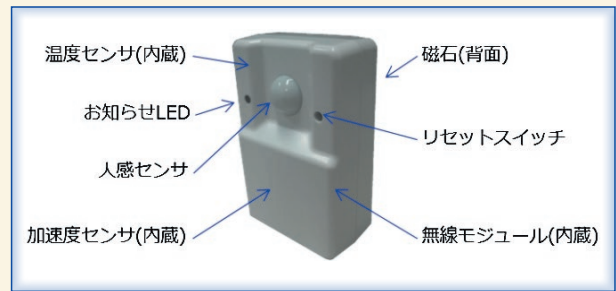


図6 外出・帰宅センサ

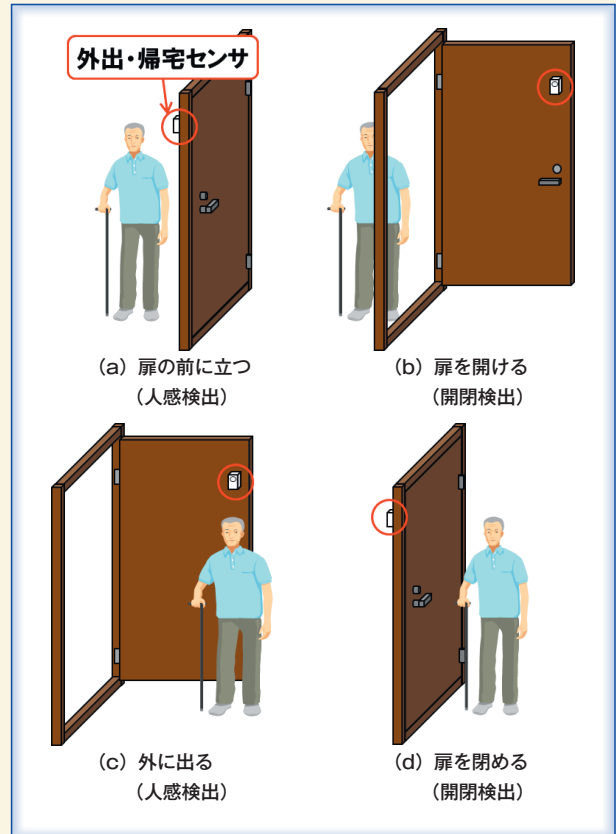


図7 外出・帰宅センサによる外出判断例

電波が届くため、設置場所を制限することなく確実にデータを収集することができる。

図7に外出・帰宅センサを使用した外出判断の例を示す。通常、外出をするときは、(a)扉の前に立ち、(b)扉を開け、(c)扉を通り屋外に出て、(d)扉を閉める、という動きをする。このとき、扉の内側に設置した外出・帰宅センサでは、(a)人感を検出し、(b)開く動作を検出し、(c)人感を検出し、(d)閉じる動作を検出し、以降の人感検出はなくなる。このように、人感と開閉の検出タイミングから、外出したかどうかを判断することができる。

帰宅時の場合には、外出時と検出するタイミングが逆になり、人感を検出していない状態で、扉を開く動作を検出し、扉を通ることにより人感を検出し、扉を閉じる動作を検出し、以降は扉の内側に人がいるため人感を検出することになる。

3.3 外出・帰宅センサと個人情報低減化画像の活用

外出・帰宅センサを取り付けることで、独居高齢者が外出したタイミングを捉えることができるようになる。これを活用し、独居高齢者の外出時の服装をカメラで撮影し、家族に通知する外出検知・画像活用システムを試作開発した(図8)。

外出検知・画像活用システムでは、独居高齢者宅の玄関内に設置したカメラにより、独居高齢者の外出時の画像を撮影しておく。同様に独居高齢者宅の玄関扉内側に設置した外出・帰宅センサにより人感と開閉の検知結果をサーバに送信し、サーバにて外出したか帰宅したかを判定する。外出後、一定の時間が経過しても帰宅と判定されなかった場合は、外出先で不測の事態が発生した恐れがあることから、サーバはカメラ内に保存されている外出時刻の画像を取得し、家族にメールにて通知する。家族はメール通知を受けて、独居高齢者本人に連絡をするなどの安否の確認や、必要に応じて地域住民に捜索協力を依頼したり、自治体等が運営するSOSネットワークなどの認知症高齢者の捜索情報を発信するシステムに画像を提供して捜索を依頼したりすることができる。

撮影した画像を捜索活動に提供する場合、個人情報の取扱いが問題となる。不測の事態が発生している可能性があるため、早急に画像を活用した捜索が必要だが、地域住民やボランティアなどの捜索協力者が善意からSNS(Social Networking Service)に画像を投稿し捜索を呼び掛けることで個人情報が拡散したり、悪意のある人物が捜索協力者になりすまして画像等の情報を犯罪

行為に悪用したりする可能性は否定できない。

このため、本システムではカメラ内にて個人情報低減化(PDR: Personal Data Reduction)の処理を行い、捜索協力者には個人情報をできる限り低減化した画像のみを提供する。カメラ側でPDR処理をすることで、サーバへ個人情報を含んだ画像を提供する必要がなくなり、個人情報の流出を防ぐことができる。更には、画像処理の負荷分散によってサーバの負荷増大を防ぐ効果が期待できる。

図9にカメラ画像からのPDR画像生成の手順を示す。まず、カメラにて撮影した画像(図9(a))に対して顔検出処理を行い、人物が写っているかどうかを判定を行う(図9(b))。人物が写っている場合には、その顔領域に対して塗りつぶし処理を行うことで個人情報を低減化したPDR画像を生成する(図9(c))。更に、捜索を行う際には上着から靴までの全身の服装情報があることが望ましいため、画像に全身が写っているかどうかを点数として算出する(図9(d))。点数化の方法としては、顔検出によって得られた顔領域のピクセル数と、事前に与えている独居高齢者の頭の大きさ、及び身長から、全身のピクセル数を算出し、全身のうち画像に収まっている割合に応じて点数を設定する。独居高齢者が外出して一定時間経過しても帰宅しなかった場合には、サーバがカメラ内に保存されている外出時刻の画像を取得するが、この際に外出時刻付近のPDR画像のうち点数の高い画像を選択することで、より高齢者の捜索に適した、全身像が写っている画像を取得することができる。

本システムでは、カメラはRaspberry PiとWebカメラで構成され、PDR処理はRaspberry Piにて行う。また、来客がない場合は玄関の照明をつけないことも多いと考えられることから、Webカメラには赤外線LED

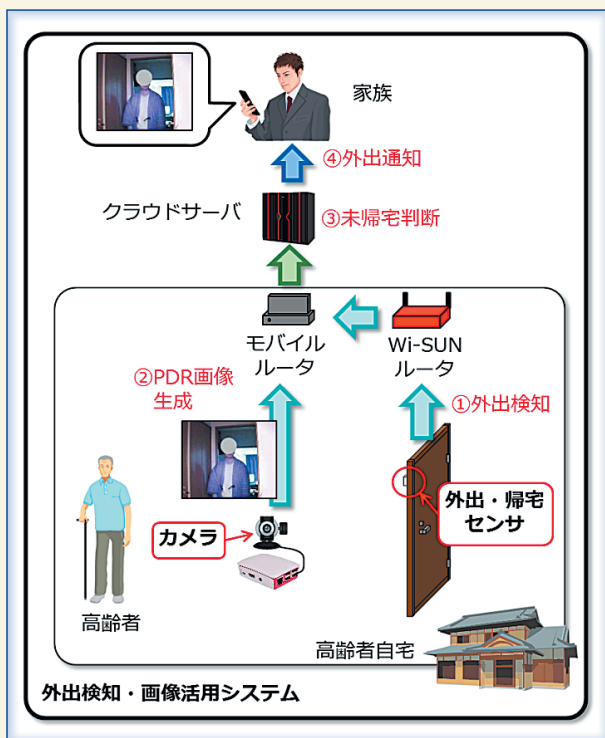


図8 外出検知・画像活用システム概要

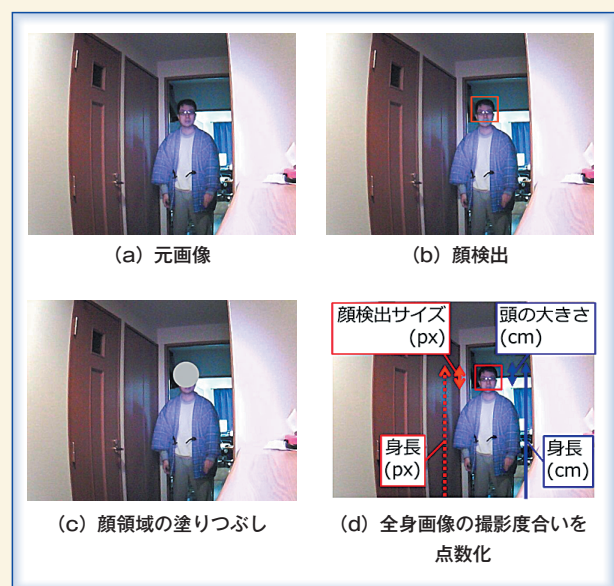


図9 個人情報低減化処理

を搭載し暗所で撮影可能なものを使用した。また、本システムでの対象は独居高齢者であり、宅内に複数の人物はいないこと、外出する際に扉の前を通過する時間は数秒〜数十秒であるため、処理時間の遅延は避けるべきと考え、PDR 処理を行う際は誰が外出したかを判別する顔認識処理は行わず、不特定の人物が外出したことを顔検出処理により検出している。

4 おわりに

本稿では、高齢者見守り支援クラウドサービス「eみまもり」と、外出・帰宅の検知による外出状況確認サービスを併せ持つ高齢者生活支援サービスの研究について紹介した。引き続き、実証実験を通じて、試作した外出検知・画像活用システムの有効性を検証し、高齢者の方々が生き生きと自立した生活を過ごせる社会の実現に向けて取り組んでいく。

謝辞 ライフラインデータの活用における無線隔測器並びに宅内計測実験は、国立研究開発法人情報通信研究機構から受託したプロジェクト「ソーシャル・ビッグデータ利活用・基盤技術の研究開発」の一環として実施したものである。

■文献

- (1) 国立社会保障・人口問題研究所, “平成 26 年度社会保障費用統計,” 2016.
- (2) 遠又靖丈, 辻 一郎, 杉山賢明, 橋本修二, 川戸美由紀, 山田宏哉, 世古留美, 村上義孝, 早川岳人, 林 正幸, 加藤昌弘, 野田龍也, 尾島俊之, “健康日本 21 (第二次) の健康寿命の目標を達成した場合における介護費・医療費の節減額に関する研究,” 日本公衆衛生雑誌, vol.61, no.11, pp.679-685, Dec. 2014.
- (3) 日本電気株式会社, “24 時間見守り支援サービス「eみまもり」,” <http://jpn.nec.com/healthcare/catalog/emimamori.html> (2017 年 4 月 21 日閲覧).
- (4) D. Laurin, R. Verreault, J. Lindsay, K. MacPherson, and K. Rockwood, “Physical

activity and risk of cognitive impairment and dementia in elderly persons,” Archives of Neurology, vol.58, no.3, pp.498-504, March 2001.

- (5) E.B. Larson, L. Wang, J.D. Bowen, W.C. McCormick, L. Teri, P. Crane, and W. Kukull, “Exercise is associated with reduced risk for incident dementia among persons 65 years of age and older,” Annals of Internal Medicine, vol.144, no.2, pp.73-81, Jan. 2006.
- (6) 内閣府, 平成 28 年版高齢社会白書, 2016.
- (7) 警察庁生活安全局生活安全企画課, “平成 27 年中における行方不明者の状況,” 2016.
- (8) 河村邦明, 清水孝一, 山本克之, “痴呆性徘徊対処システムの開発—移動体通信と GPS による徘徊者定位の試み—,” 信学技報, MBE, pp.93-98, Dec. 1995.
- (9) セコム株式会社, “ココセコム,” <http://www.855756.com/> (2016 年 12 月 1 日閲覧).
- (10) 杉野恭兵, 片山真也, 丹羽佑輔, 白松 俊, 大園忠親, 新谷虎松, “Bluetooth ビーコンを用いた居場所情報に基づく見守り支援システムの試作,” 信学技報, AI2014-23, pp.43-48, Nov. 2014.

宮崎 徹

2006 豊橋技科大大学院工学研究科情報工学専攻了, 同年 NEC システムテクノロジー株式会社 (現 NEC ソリューションイノベーション株式会社) 入社。現在, IoT デバイスを活用したシステム開発に従事。



荘司洋三 (正員: シニア会員)

国立研究開発法人情報通信研究機構ソーシャルイノベーション推進研究室室長。1999 郵政省通信総合研究所に入所。以降, ミリ波通信システム, 光通信システム, 有無線統合ネットワーク等の研究開発に従事。60 GHz 帯を用いる WPAN システムの IEEE 標準化活動においても新たなチャンネルモデル (TSV モデル: Shoji-Sawada-Salah-Valenzuela モデル) を提案し採択されるなどの貢献を残す。2007 本会エレクトロニクスソサイエティ賞, 2008 文部科学省若手科学者賞各受賞。



人理解画像センサによる オープンイノベーションの取組み と見守りシステムの事例紹介

羽山幸介 Kosuke Hayama オムロン株式会社

1 社会の多種多様なニーズに 貢献するために

企業主導で高性能な商品を作れば売れる、誰もが同じ「モノ」を求めた時代は終わった。ユーザーニーズは多種多様化し、今求められているのは、一人一人に適切に合わせてくれる機器や、介護・見守りや省エネなど様々な社会課題を解決するソリューション・サービスである。

その実現の鍵となるのが“人”のセンシングで、要となる技術は人の“眼”に相当する画像センシング技術だと考えている。しかし、いくら技術が優れていても具体的な社会課題を見つけ、事業化していくのは困難である。そこで、ユーザや市場のアイデアを柔軟に取り入れ、実現方法も自然増殖させるためにオープンイノベーションを積極的に取り入れることにした。

オープンイノベーションは多種多様な人が関わることで斬新な発想が生まれる。そのため、ソフトウェアやハードウェアの高度な知識がなくても誰でも使いやすい画像センサを目指した。

そうして、ユーザ・パートナーとWIN-WINのモデルを構築し、社会の多種多様なニーズに貢献できるという仮説の下、人理解画像センサ「HVC (Human Vision Components) シリーズ」を開発・進化させてきた。

2 ベースとなる画像センシング 技術「OKAO Vision」

筆者らは、「人」が「機械」に合わせるのではなく、「機械」が「人」に合わせる「人と機械のベストマッチング」を目指した画像センシング技術「OKAO[®]*1 Vision」を開発・商品化した。これまでに様々な環境下で高精度なセンシングが求められるデジタルカメラ、携帯電話市場を中心に、「OKAO Vision」をソフトウェアとして全世界で5億ライセンス以上提供してきた。

「OKAO Vision」は、独自の技術である3Dモデルフィッティング技術と統計別識別手法により、コンパクトなアルゴリズムを実現している⁽¹⁾。3Dモデルフィッティング技術とは、数万人の顔画像を基に作成した三次元顔形状モデルを、二次元の顔画像に高速に適合させる技術である。これにより、顔の形状を高速に測定し、目や口の形状をリアルタイムに捉えることができる⁽²⁾。

更に、目や口の周辺については、顔のしわなどの特徴的な変化を詳細に捉えている。これらの変化を最新の統計的識別手法により総合的に解析することで、小形・高速でありながら正確な顔器官検出や顔認証、表情推定を実現している^{(2), (3)} (図1)。



図1 3Dモデルフィッティング技術フロー

*1 OKAOはオムロン株式会社の登録商標

3 人理解画像センサ「HVCシリーズ」のコンセプト

この「OKAO Vision」のコンパクトなアルゴリズムをマイコンに組み込み、カメラモジュールと一体化したものが人理解画像センサ「HVCシリーズ」である。ホスト装置側から送られる制御用のコマンドを受信し、撮像～画像処理～実行結果出力までをHVCシリーズ上で完結させることができる。HVCシリーズの主な機能を図2と表1に示す。



図2 HVCシリーズの機能イメージ図

表1 HVCシリーズの画像センシング機能

機能	出力
人体検出 顔検出 手検出	・検出個数 (最大 35 個) ・検出位置 (中心座標) ・検出サイズ ・信頼度
顔向き推定	・左右角度 ・上下角度 ・傾き角度 (回転) ・信頼度
視線推定	・左右角度 ・上下角度
目つむり推定	・左右それぞれの目つむり度合いを出力 (1~1,000, 1 刻み) 値が大きいほど、目が閉じている
年齢推定	・0~74 歳 (1 歳刻み), 75 歳以上 ・推定結果の確からしさ (1~1,000, 1 刻み) 値が大きいほど、確からしい
性別推定	・男/女 ・推定結果の確からしさ (1~1,000, 1 刻み) 値が大きいほど、確からしい
表情推定	・表情判定結果及びスコア (「真顔」「喜び」「驚き」「怒り」「悲しみ」の五つの表情) ・ポジティブ/ネガティブ度合 (「喜び」の度合いが高いほど+100 に近く、「驚き」「怒り」「悲しみ」の度合いが高ければ-100 に近い値)
顔認証	・登録者のうち、該当者の ID または該当者なしのいずれかを出力 ・マッチング度合い (1~1,000, 1 刻み) 最も度合いが高かった人の結果を出力, 1,000 に近いほど本人に近い

HVCシリーズのポイントは、コンパクトに使える技術を追求していることである。従来の顔認識・年齢推定は、サーバ上で動くソフトウェア、ハイスペックな大形コンピュータで解析しているものがほとんどである。そのためサーバと通信するネットワーク環境が脆弱だと処理が完了するまで時間が掛かる。

また、エアコンや照明機器、自動販売機などの組み込み機器に顔認識等の高度なアルゴリズムを実装する際には、ソフトウェア及びハードウェアの知識が必要となる。さらに、組み込み機器側のCPU性能やメモリ容量が十分でないと、機器自体のパフォーマンスを悪化させる場合もある。

HVCシリーズは顔認識・顔認証などの処理を全て内部で行い、表1に示すセンシングデータのみを出力するため、サーバ側での負荷を軽減できるだけでなく、組み込み機器との接続も容易となる。

これにより、「モノ」同士がインターネットを介して情報をやり取りする“Internet of Things” (以下, IoT と略す) の世界の中で“眼”となって、人に寄り添う新たなセンサネットワーク環境の構築に貢献する。これは、オムロンが目指す「人と機械のベストマッチング」の実現を加速する取組みの一環である。

4 そしてオープンイノベーションに船出する

筆者らは、「取り付けるだけで人の状態を認識でき、誰でも使える」ことを人理解画像センサの商品コンセプトにしている。

人理解画像センサ「HVCシリーズ」は2014年の春に法人向けに第一弾「HVC-P」をリリース。同年末にBluetooth Low Energyでセンシングデータを通信可能なモデル「HVC-C1B⁽⁴⁾」をリリースし、同時に「SENSING EGG PROJECT⁽⁵⁾」を立ち上げ、オープンイノベーションに大きくかじを切った(図3)。

オープンイノベーションは多種多様な人が関わることで斬新な発想が生まれる。誰でも使える人理解画像センサは、専門知識のない一般ユーザでもアプリ開発がし



図3 HVC-P (左) と HVC-C1B (右)

やすくなり、多くの人のアイデアを実現することができ
る。そうすることで社会の多種多様なニーズに貢献でき
ると考えている。

「SENSING EGG PROJECT」のメインはWeb上で
の発信で、HVCシリーズを活用するためのアプリケー
ションソフト開発キット（SDK）を含めて無償で公開
している。また、アイデアソンやハッカソン（「アイデ
ア」「ハック」と「マラソン」を組み合わせた造語で、
プログラマーやデザイナーなどが技術とアイデアを競い合
う開発イベント）など、リアルにユーザと触れ合う機会
を積極的に活用、これまで生まれてきたアプリはプロト
タイプも含めると100種類近くになる。

アプリの例を挙げると、表情推定をトリガにして照明
やドライヤなどの電子機器を制御するエンターテイン
メント性の高いもの、目つむり推定を利用した居眠り検知、
笑顔トレーニング、赤ちゃんの「寝ている、起きた、動
き出した」を検知する見守り、徘徊検知、発話が困難な
人のための視線入力デバイスなど多種多様である。自社
だけでは思いつかないユーザ視点の切り口のものが多
く、その後の商品開発にも大いに参考になった。

5 見守りのニーズに対応するために

この「SENSING EGG PROJECT」の結果、一般家
庭では“見守り”に対するニーズが大変高いと分かっ
た。そこで、2015年9月、一般ユーザに向けた「家族
目線（HVC-C2W）」を発売した。同時に、赤ちゃんを
家族の目のように見守れるアプリを、フリーでダウン
ロードできるようにした（図4）。寝ていた赤ちゃんが
起きてぐずりだしたら音声認識、動体認識、表情認識を
組み合わせて自動で検知し、表情認識で笑顔の瞬間を逃

さず撮影、スマホに通知する機能などがある。赤ちゃん
見守りのニーズがあるならペットも、ということで同様
のペット用アプリや、家族皆を見守る「お留守番」とい
うアプリもリリースした。例えば、まだ小学生でスマホ
は持たせられないが、その子が帰ってきたときにセンサ
が検知して親のスマホに知らせる。また、帰宅時に録音
しておいた親の声で「おかえり」と言ってくれるなどの
家族の見守り機能を持たせた。

一般家庭に限らず、介護や福祉の分野では常時見守り
が大変なため、人理解画像センサで解決できることが多
いのではないかと考え、高齢者の見守りアプリもリリー
スした。

警察庁の発表によると、2015年に認知症が原因で行
方不明になった人は1万2,208人に上り、前年から
13.2%増え、2012年の統計開始以来、3年連続で最多
を更新している⁽⁶⁾。

福岡県久留米市に本社を置くY・S・Yエンタープ
ライズはこういった課題に着目し、認知症の徘徊者早期発
見補助システム「HITOMI」（ヒトミ）を開発した。
HITOMIでは、対象者が外出しようとした瞬間を感知
し、徘徊を検知する。検知したら、スピーカから音声で
呼び止め、動画でも録画する。事前登録した家族や協
力者にも、個人情報に配慮を行った上で、メールが送信
され、外出時の記録映像を即時確認できる仕組みであ
る。登録した人を検知する画像センサとして、HVC-
C2Wが内蔵されている。

6 更に使いやすい形を求めて

2016年8月には認識速度を従来機に比べて最大10
倍に向上した「HVC-P2」をリリースした（図5）。



図4 家族目線（HVC-C2W）と見守りアプリ

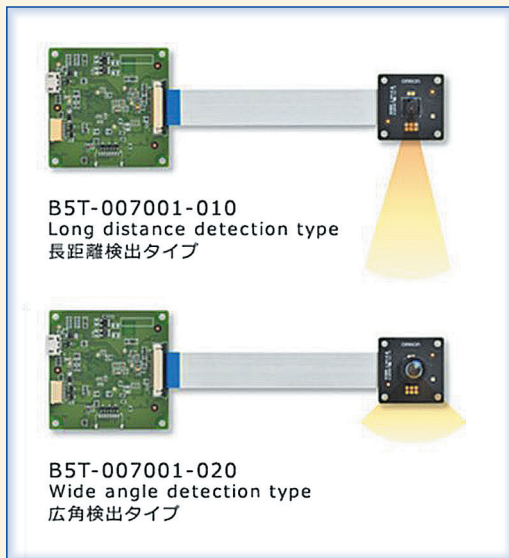


図5 HVC-P2

表2 HVC-P2の主な仕様

項目	仕様	
	長距離検出タイプ	広角検出タイプ
検出解像度	1,600 × 1,200 pixel	
水平検出範囲	54°	94°
垂直検出範囲	41°	76°
サイズ	カメラ基板：25 × 25 mm メイン基板：45 × 45 mm	

表3 HVC-P2の検出距離（参考値※）

機能	最大距離	
	長距離検出タイプ	広角検出タイプ
人体検出	17 m	8 m
顔検出	10 m	5 m
手検出	6 m	3 m
顔向き・視線・目つむり・年齢・性別・表情推定、顔認証	3 m	1.5 m

※記載の距離を超えると徐々に検出／推定精度が低下

HVC-P2は特に法人向けの顧客からの要望に応えるため、認識速度だけでなく、カメラ部を長距離検出タイプと、広角検出タイプの2ラインナップを提供。カメラ部とメイン基板部をフレキシブルフラットケーブル（FPC）で接続する構造で各種の機器や設備に組み込みやすい形状とした（表2、3）。

認識速度が向上したことで、1秒間に4回の人体検出が可能（長距離検出タイプのカメラ部と人体との距離が7.4 mの場合）となり、検出範囲内に入った人の追跡も



図6 表情識別センサ並びにIoTを活用したアロマデューザー

可能となる。

広角検出タイプは、50 cmの近距離でも100 cm × 75 cmの広いエリア（人の顔の約20倍）をカバーできる。利用者が自然に振る舞う中で性別や年齢を捉えることができ、自動販売機やセルフレジなどに組み込むことでデータを用いた最適な商品供給や新商品の開発、マーケティング活動を可能にする。

長距離検出タイプは、最大3 mの距離から、性別や年齢といった属性に加え視線や表情などの推定が可能のため、駅などに設置されたデジタルサイネージの前を通る人が、どれだけ広告に注目したかまで測定できる。

HVC-P2の採用事例として、福岡県北九州市に本社を置くYK STORESと北九州工業高等専門学校、小国町森林組合が「表情識別センサ並びにIoTを活用したアロマデューザー」（図6）を共同で開発、小国公立病院に試験導入されている。HVC-P2は表情識別センサとして使われている。簡単に人のストレス度を測り、ストレス度合いに応じたアロマ噴霧＋映像で、利用者に分かりやすい形でフィードバックし、ストレス環境の改善につなげるシステムとなる。HVCシリーズのコンセプトである「シンプルで使いやすい」「ネットワークにつながってなくても解析が可能」という点が、病院のようなネットワーク環境が制限される施設で使いやすいと評価を頂いている。

7 今後の展開

弊社の人理解画像センシングが目指しているのは、更に人の感覚に近づけていくことである。現在は“表情推定”まで技術が進んできたが、人の感覚の方がまだまだ機械よりも優れているため、更に精度を高め、より人を理解できるようにしていく必要がある。もう一つは、人理解画像センサ「HVCシリーズ」をほかのセンサと組

み合わせて、ハブ的なセンサにしていくことである。

社内の他部門でもIoTやオープンイノベーションに活用できるセンサやサービスが次々と展開されている。2016年1月には世界最小クラスの感震センサがリリースされ、様々な機器に組み込みやすくなり、地震発生時に設備を安全に停止し火災など二次災害防止に貢献できる。2016年7月にリリースされた環境センサは温度や湿度、光、音など7種類の環境情報を取得し、データをスマートフォン等に無線で通信することができる。オムロンヘルスケアが2016年11月より提供を開始した「OMRON connect」（オムロンコネクト）はSDK/APIを公開し、血圧や歩数、体重などの測定データを活用するアプリやクラウドサービスを、コンテンツプロバイダが効率的に開発できるようにサポートしている。このようなセンサやサービスと人理解画像センサ「HVCシリーズ」を組み合わせることで日常の心と体の見守りだけでなく災害時の人の動きや環境状況、避難が長期化した際の健康情報も含めた幅広い見守りソリューション、サービスの提供が可能となるだろう。

また社外に関しても、大企業からベンチャー企業、大学や自治体、各種メディアから多数のコラボレーションの引き合いを頂いている。例えば、近畿大学、吉本興業、NTT西日本との共同研究の事例がある⁽⁷⁾。「笑い」の習慣が身体や心理的健康に与える効果を解明し、将来的にストレスマネジメントに役立てるというもので、実際の「笑い」の測定にHVC-P2が使用されている。

今後は更に多くの他社サービスとの連携でアプリ

ケーションの幅を更に広げ、「見守り」、「人に合わせた最適サービス」という切り口で、人々の安心・安全で快適な社会の実現に貢献していく。

■ 文献

- (1) S. Lao, “顔と人体画像認識に生きる機械学習,” 情報論的学習理論テクニカルレポート, pp.46-52, Oct. 2009.
- (2) オムロン ニュースリリース, “リアルタイム笑顔度測定技術を開発,” Sept. 2007.
- (3) 桜木美春, “小型・高速化を実現した顔表情推定技術,” 画像ラボ, vol.24, no.7, pp.9-15, July 2013.
- (4) 浦部和哉, 田中清明, “人の状態を認識してスマホ・タブレットへ送信するセンシングコンポ,” 画像ラボ, vol.26, no.11, pp.75-78, Nov. 2015.
- (5) SENSING EGG PROJECT, <https://plus-sensing.omron.co.jp/egg-project/>
- (6) 警察庁, “平成27年中における行方不明者の状況,” 平成28年6月.
- (7) オムロン ニュースリリース, “「笑い」の医学的検証がスタート,” Feb. 2017.

羽山幸介

オムロン株式会社エレクトロニック&メカニカルコンポーネンツビジネスカンパニーアプリケーションオリエンテッド事業部事業企画部企画課。
1976生まれ。九大・工学。同大学院システム情報科学府博士課程了。博士(工学)。2004オムロン株式会社入社。同技術本部にてRFID等の無線技術開発に従事。現在はHVCシリーズを使ってオープンイノベーションを推進。



着るだけで生体情報計測を可能とする機能素材hitoeの開発及び実用化

Development of Functional Textile "hitoe": Wearable Electrodes for Monitoring Human Vital Signals

河西奈保子 Nahoko Kasai[†]

小笠原隆行 Takayuki Ogasawara^{†, ††}

中島 寛 Hiroshi Nakashima[†]

塚田信吾 Shingo Tsukada[†]

Summary

hitoe[®]*1 は導電性高分子 PEDOT:PSS とナノファイバとの複合材料であり、布帛型の生体電極として、心拍数・心電波形計測などのバイタルデータの取得を目的に開発された。hitoe を搭載したウェアを着用するだけで、長時間負担なく生体情報を取得できることから、疾病の診断や早期発見といった医療分野や、健康状態の見守り、ストレスや睡眠状態の可視化など、多くの分野でのバイタルモニタリングツールとしての活用が期待されている。社会的に問題視されている労働者の心身の健康状態や安全状態の確認などにも利用できる技術である。また、スポーツの分野においても選手の技能や練習強度・疲労の可視化、試合前の緊張レベルの可視化に有効であると考えている。本稿では、hitoe 開発の基となる導電性高分子-繊維複合材料について概説し、更に最近の試みとして展開しているスポーツシーンでの利用や生体情報の推定、そして、hitoe 作業済みサービスについて解説する。

Key Words

ウェアラブル電極, PEDOT:PSS, 心拍数計測, 心電波形計測, hitoe

1 はじめに

近年の高齢化社会では、健康で豊かな生活を送るため、そして、上昇する社会保障費を抑制するため、疾病の早期発見・早期治療の必要性が増加している。心臓発作等の突然死や重篤な健康障害へのリスクを避けるには、心拍数や心電波形の日常モニタリングは有効な手段である。厚生労働省の統計的報告では、日本の循環器系疾患の患者数（高血圧性疾患、心疾患、脳血管疾患）は、1,303 万人に至るとされている⁽¹⁾。米国では心疾患による死亡数は毎年 60 万人を数え、冠状動脈不全による心疾患数が多くを占める⁽²⁾。

30~40 歳代の働き盛り世代においても、生活習慣を原因とする疾患が進行し始める年代であり、心疾患（高血圧症を除く）による死亡者数は年間約 4,000 人に及ぶ⁽¹⁾。更に現代社会では職場や家庭で過大なストレスを受けるケースは少なくなく、心身

の健康管理の果たす役割は大きい。そのため、老若男女を問わず心拍数や心電波形の日常的なモニタリングを通じて、体や心の状態を把握することは、健康維持のためにも医療目的としても重要である。

従来の心電図計測の医療用電極では、電解質ペーストを用いて皮膚に電極を粘着させて使用する。そのため、装着感が悪く、かぶれやかゆみの原因にもなり、長時間の連続使用には不向きであった。また最近の健康への意識の高まりと 2020 年に開催される東京オリンピックの効果があいまって、例えばランニング時などに身体負荷を計測するため、心拍計等を装着する人も多くなってきている。従来の市販品では、銀めっきした合成繊維が電極として用いられており、金属めっき繊維特有の堅さのため皮膚との接触が不安定となり、測定雑音が大きく、ゴムベルトなどで皮膚に強く圧迫固定する必要がある。また電極部を水に濡らして使用する点や、発汗による電極部・ベルト部でのかぶれ、金属アレルギーへの懸念など、長時間の使用にはやや抵抗感がある。

日常生活での長時間の生体信号のモニタリングは、様々な効果を発揮する。例えば長く心電波形を計測することで発作性心房細動の検知率が高くなることが知られている⁽³⁾。更にストレスチェックなどの心身の健康維持のためのセルフ診断にも役立つ。しかし上述のように従来の電極では技術的な制約により、これまで長期モニタリングは困難であった。そのため装着感が快適で、長時間安定した生体

*1 hitoe は東レ株式会社と日本電信電話株式会社の登録商標

† 日本電信電話株式会社 NTT 物性科学基礎研究所, 厚木市
NTT Basic Research Laboratories, Atsugi-shi, 243-0198 Japan

†† NTT デバイスイノベーションセンタ, 厚木市
NTT Device Innovation Center, Atsugi-shi, 243-0198 Japan

信号を記録できるツールが求められていた。

筆者らは、導電性高分子をナノファイバテキスタイルにコーティングすることで、柔軟で伸縮性・通気性に優れた電極素材 (hitoe) を開発した。本素材は親水性にも優れ、汗や蒸気を吸うことで肌となじみやすく、電解質ペーストを使うことなく、医療用電極に匹敵する安定な心電波形を計測することができる。シャツに電極を搭載することで、着るだけで心拍数や心電波形を取得できるウェアラブル電極インナーとして利用し、患者・使用者に掛かる負担を大幅に軽減して、日常の生体信号のモニタリングを実現することができる。

2 生体計測用電極 “hitoe”

2.1 導電性高分子-繊維複合素材

hitoe は、生体適合性が高く導電性にも優れる高分子 PEDOT:PSS (poly (3,4-ethylenedioxythiophene) polystyrene sulfonate) と、ナノファイバテキスタイルとの複合材料であり、これまでにない新しい生体電極である。

PEDOT:PSS の一般的な市場用途は、主に有機エレクトロニクスの分野で、タッチパネルやフレキシブル液晶ディスプレイの透明電極として、酸化インジウム錫 (ITO) の代替材料に使用される場合が多い。一方で、PEDOT:PSS の親水性や生体適合性に優れる特徴から、生体電極への活用も期待されていた。しかし水溶性高分子であるため、生体系には必要不可欠な湿潤環境にもろく、また加工性にも課題があり、その用途は制限されていた。

筆者らは、これまで電界固定法により金属電極の表面に PEDOT:PSS を堆積させ、神経細胞の活動電位を計測する微小多点電極や、大脳皮質内への埋込み電極として使用してきた^{(4), (5)}。PEDOT:PSS の高い生体適合性により、細胞の中でもぜい弱な海馬や大脳皮質の神経細胞が電極上でもネットワークを形成して成長し、長期間安定した神経活動電位の計測に成功した。更には生体を計測する電極として、電気的特性が向上することも確認した。しかし PEDOT:PSS が高親水性のため、濡れるとゲル状に膨潤し、PEDOT:PSS 被覆膜の機械的強度が著しく低下する欠点があった。

そこで、水濡れによる機械的強度の低下を防ぎ、十分な耐水性を付与するため、PEDOT:PSS を基材となるシルク繊維表面にコーティング (化学固定化) した複合素材を作製した。図 1 の電子顕微鏡像から、シルク表面に導電性高分子が均一に、かつ

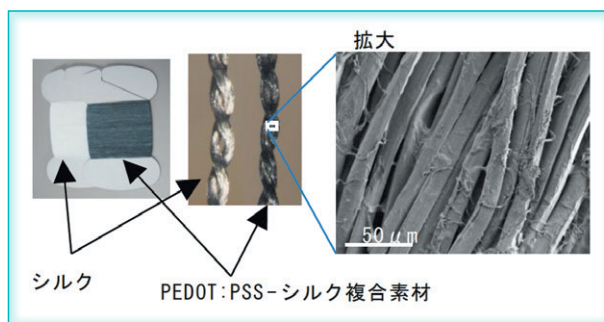


図 1 導電性高分子-シルク複合素材

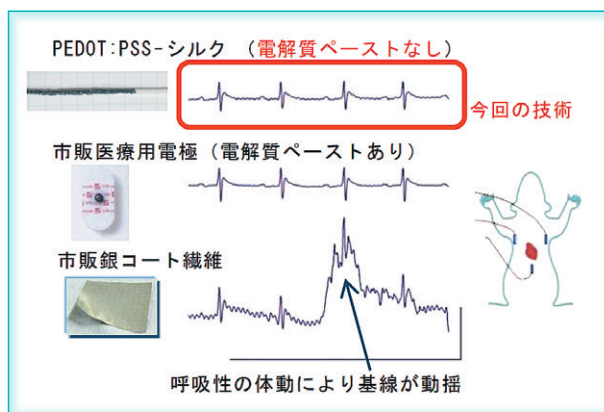


図 2 PEDOT:PSS-シルク複合素材によるラットの心電波形計測

広範囲に粘着している様子が分かる。本複合素材は、PEDOT:PSS が持つ導電性・親水性・生体適合性を維持したままで、基材となる繊維の強度や加工性が付与されている。PEDOT:PSS の固定化に工夫をすることで、溶出や摩擦による剥離を抑制した。更なる改良の結果、現在ではポリエステルやナイロンなどの合成繊維を含む、多様な糸状・布状の繊維にコーティングが可能となっている。

従来の医療用電極では、皮膚との間の接触抵抗を低減し、雑音の少ない高品質の心電図を計測するために導電性ペーストは不可欠である。一方、PEDOT:PSS-シルク複合素材の生体電極を用いて、実験動物の心電波形を取得したところ (図 2)、電解質ペーストを使用せず、医療用電極に匹敵する心電波形が計測できることが示された⁽⁵⁾。比較として、スポーツ用心拍計で一般的に使用されている銀めっきナイロン製の電極を用いた場合は、体表面と繊維電極との接触を保つことが難しく、呼吸性の体動により基線の動揺が発生し、安定した心電波形の取得はしばしば困難であった。導電性高分子を用いた今回の複合素材では、PEDOT:PSS が親水性のため、皮膚から出る汗や水蒸気を吸収して柔軟性が増し、皮膚表面に適度に密着することで、雑音の少ない安定な計測を可能にしている。

2.2 機能素材 hitoe とウェアラブル生体電極インナー (hitoe ウェア) の開発

筆者らは、繊維状の導電性素材という特徴を生かし、人が身に着けるだけで心拍数や心電波形が計測可能な、ウェアラブル生体電極インナー (hitoe ウェア) を開発した。この電極部の核となる素材が機能素材 hitoe である。hitoe の基材には、東レ株式会社が保有する約 700 nm の均一な繊維径を有する最先端繊維、ナノファイバを用いている (図 3 (a))。従来の一般衣料向けの繊維が 10~20 μm 程度の繊維径であるのに対して、ナノファイバの生地は超極細繊維から形成される無数の間隙を有する。その繊維間隙に特殊コーティング技術により PEDOT:PSS 溶液を高密度に含浸して樹脂の連続層を形成させ、生体信号の高感度な検出と優れた耐久性を実現した。またナノファイバの採用は、皮膚との接触電気抵抗を低減し、生体電極としての特性向上を実現している。更に人体センシングに適したインタフェースを設計するため、人体への密着性が良く、計測に適した電極の配置、締め付け感を抑えた着圧の制御、ウェアと一体化した配線材料、発汗や雨などによる短絡防止構造、雑音低減と装着違和感を抑えたコネクタ配置など、高度な必要技術要素を統合した。

図 3 (b) に、このインナーを着用して計測した心電波形の例を示す。心臓の活動に伴う心起電力により電位分布が生じるが、体表面の 2 点間の電位差の時間経過を波形として表したものが心電波形である。本ウェアラブル電極インナーでは、ウェアに内側に配置した hitoe 電極が肌に直接接触することで心

電波形の計測を行う。得られた生体信号は、ウェアに装着した小形の送信機から無線 (Bluetooth) でスマートフォンにデータを送信する。このシステム構成で雑音レベルの低い良好な心電波形の取得を実現でき、シャープな QRS 波とともに、その前後の P 波や T 波も明瞭に計測されている。心拍数は、QRS 波のピークと次に現れるピーク間の時間 (R-R 間隔) を計測して算出される。

開発した hitoe ウェアは電解質ペーストなどの粘着性の材料を用いていないが、柔軟な hitoe とウェアが身体にフィットし、ウェアを着用していることを気にすることなく長時間にわたり安定な計測を可能としている。

またウェアの洗濯耐久性については JIS L1096 G 法等に基づいて検討し、洗濯 100 回以上を行った後でも、hitoe 電極の導電特性に問題ないことを確認している。

2.3 安全性と医療機器登録

hitoe は、皮膚に直接接触して心拍数や心電波形を計測する生体電極であるため、その安全性は非常に重要である。特に、hitoe ウェアは、長時間の生体信号のモニタリングを目指すものであり、肌のかぶれや赤み、かゆみ等、ウェアを着る人の障害にならないことが必須である。そこで、hitoe を構成する導電性高分子-繊維複合素材について各安全性試験を実施し、被験者への安全性を検証した。

ヒト皮膚三次元モデル細胞 (EPI-200SIT) による皮膚刺激性試験 (OECD ガイドライン TG439) を実施した結果、PEDOT:PSS をコーティングする前後のマイクロファイバ布で、いずれも 95% を超える細胞生存率を示した。すなわち細胞レベルでの導電性高分子コーティングによる皮膚刺激性は見られないことが示された。更に、50 名の被験者に対して閉鎖法パッチテストを実施し、PEDOT:PSS-複合素材の貼付による皮膚に対する影響を調べた。皮膚科医師による評価及び総合所見では、皮膚への一次刺激性、累積刺激性及び感作性はないと判断された。

82 名の健康なボランティアによる hitoe ウェアの 24 時間、2 日間の連続着用テストも合わせて実施したが、電極部 (PEDOT:PSS-繊維複合素材) が影響するかゆみ・赤みは見られなかった。

PEDOT:PSS を用いた神経細胞計測からもその高い生体適合性は知られていたが、PEDOT:PSS-繊維複合素材及びそれを配置したウェアの長時間着用でも安全性に問題がないことが確認された。

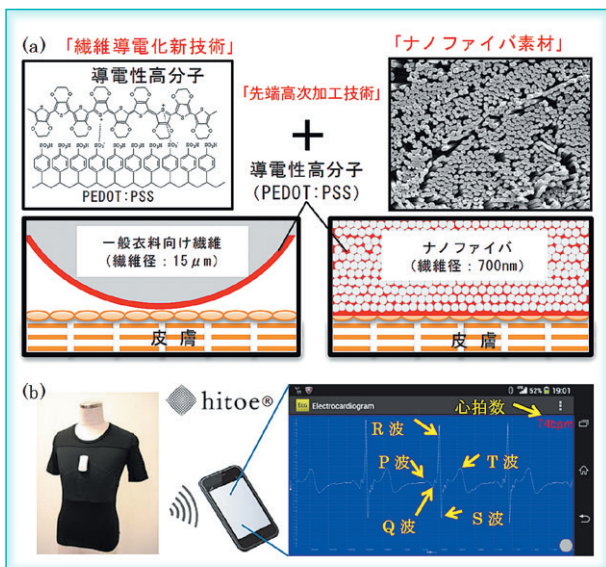


図 3 機能素材 hitoe の基盤技術 (a), hitoe を利用した生体情報計測ウェアとスマホ心電波形例 (b)

一方、心電計測用の電極として使用するにあたり、hitoe が従来の貼付け型医療電極と同等品質の心電波形を取得可能かについて検証を行った。市販の貼付け型医療電極と hitoe ウェアをそれぞれ着用した、約 70 名の健康な男女から得られた心電波形を比較し、複数の医師が判定したところ、hitoe 生体電極は医療臨床試験レベルでも十分な品質の心電波形信号を提供できることが確かめられた。

筆者らは、医療実用化を目指し、医療規格をクリアするため hitoe 電極に更に改良を加え、2016 年 8 月に hitoe を使った心電図測定用製品（単回使用の心電用電極と専用の心電計ケーブル）について、医薬品医療機器総合機構（PMDA）への一般医療機器としての届出・登録を完了した⁽⁶⁾。今後、hitoe が保険適用対象になれば、医療用の電極としてより多くの患者に使用されると期待できる。

3 スポーツへの展開

心拍数に基づいたトレーニングは、運動強度を簡易的な方法で可視化し、持久系スポーツにおいて効率的なトレーニング管理に活用できる、あるいは効率的なダイエット効果の把握にも有用であるとされている。hitoe は前述したように、長時間のトレーニング時でも違和感や不快感なく正確に心拍数が計測できるため、目的に合わせて効果的な心拍トレーニングが可能である。

2014 年 12 月にスポーツ用途としてサービス化が開始されたのは、(株)NTT ドコモが提供する“Runtastic for docomo”である⁽⁷⁾。これは、(株)ゴールドウインが販売するスポーツタイプの hitoe ウェア「C3fit IN-pulse（シースリーフィットインパルス）」シリーズを着用して、心拍数を計測する



図 4 Goldwin 社による hitoe ウェア, C3fit IN-pulse (Goldwin 社 HP から) (a), Runtastic for docomo によるサービスの例⁽⁷⁾ (b)

システムである (図 4 (a))。このウェアに一体形となる無線通信用の小形トランスミッター「hitoe トランスミッター 01」を装着することにより、ランニングやサイクリングといったトレーニング中の心拍数などの生体情報をスマートフォンで計測、記録し、トレーニングを支援するというサービスである。心拍数だけでなく、スマートフォンなどの GPS 位置情報なども活用し、運動時間や距離、ペース、消費カロリー、移動経路などのトレーニングデータもリアルタイムに記録できる。計測したこれらのデータはクラウド上に蓄積され、専用のアプリケーションや Web ページから手軽に確認できるほか、詳しい分析やコーチングを受けたり、友人と活動記録を共有することができる。

また、hitoe ウェアを用い、モータースポーツの極限状態における生体計測も行っている。その一つの例として、インディカー・シリーズにおけるドライバの生体情報取得の実証実験が挙げられる⁽⁸⁾。時速 300 km を超える過酷なレースの間、ドライバの身体能力や運動・疲労状態を可視化するため、hitoe の技術を活用し、耐火性の機能を持ちかつ生体情報が取得できるウェアにより、心拍数・心電波形・筋電などの生体情報を計測した。得られたデータを分析することで極限状態にあるドライバの身体状態を把握し、レースマネジメントに生かすことができる。更に分析を進めることでドライバのスキル向上や事故防止につなげることが期待される。

4 生体情報の推定

hitoe ウェアによって得られる生体情報は、心拍数や心電波形にとどまらない。hitoe ウェアに装着される hitoe トランスミッター 01 には、加速度センサが内蔵されており、加速度を基に姿勢や歩容といった利用者の動作情報を推定できる。また、心電波形から呼吸情報を推定することも可能である。ウェアによって直接計測される心電波形や加速度を一次情

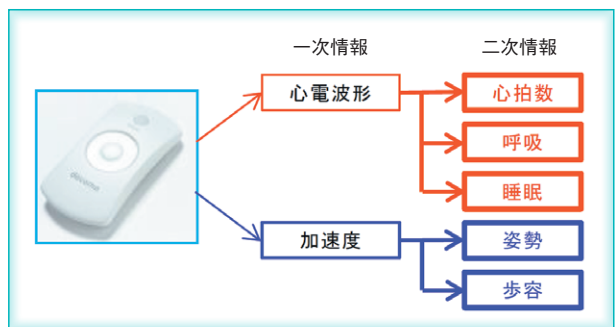


図 5 一次情報と二次情報

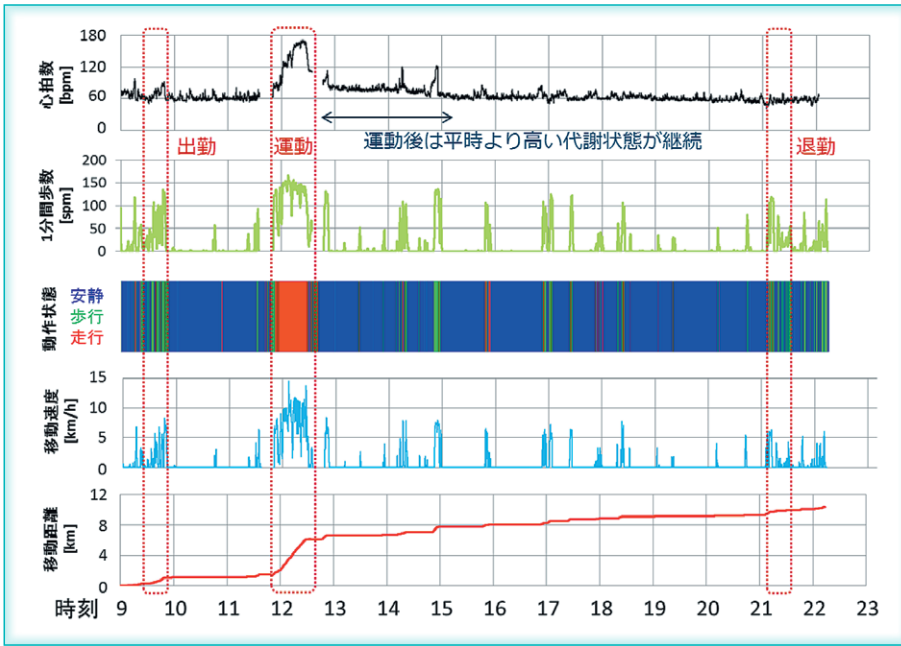


図6 1日における心拍数と歩容の解析例

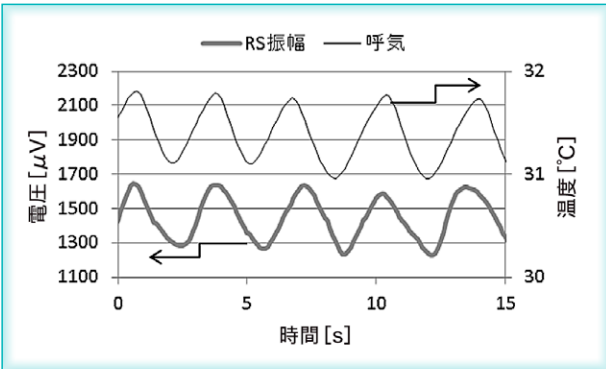


図7 振幅と呼吸流. RS振幅はhitoeウェアにより計測, 呼吸流は温度センサを実装したマスクによる温度変化から計測

報と呼ぶとすると、姿勢・歩容、呼吸は一次情報から推定によって導かれる二次情報である(図5)。これら二次情報の推定手法について紹介する。

4.1 加速度による様態情報の推定

二次情報の一つである姿勢は、加速度センサの重力加速度方向に対する傾きを基に算出され、上半身が起き上がっているのか、うつ伏せにあるのか、といった推定を行う。同じく、加速度から求められる歩容では、総歩数、歩行ピッチ、歩幅、移動速度・距離が算出され、安静・歩行・走行のいずれの状態にあるかが識別される⁽⁹⁾。こうした歩容情報が心拍数と同時に取得されることで心拍数変化の解釈が容易になる。例えば図6では、12時頃の運動の後の2時間程度はほぼ安静状態にあるにもかかわらず、運動前よりも高い心拍数を示している。これは

運動をきっかけにしばらく高い代謝状態が継続したためと考えられる。しかし心拍数のみが計測され、運動状態や安静状態などの様態が未知であれば、そのような解釈は困難である。すなわち加速度から推定される様態情報は、生体変化の意味付けに重要な役割を果たす。

このような推定の計算は、スマートフォンやクラウドサーバの端末側で実施される。ユーザが手軽に利用できるアプリケーション開発者向けのキット「hitoeトランスミッター SDK」が2015年から

(株) NTTドコモより無償で公開された⁽¹⁰⁾。開発キットには、睡眠段階を推定するロジックも用意されており、様々な生体情報の活用により、リハビリや見守りなどの分野においても、多様な観点でのモニタリングの実現が期待される。

4.2 心電波形による呼吸活動の推定

心電波形を良好に取得できる hitoe ウェアの特徴を生かすことで、呼吸活動の推定が可能となる。呼吸時にヒトの胸郭が運動するが、この胸郭運動によって心電波形における R 波と S 波の電圧差分 (RS 振幅、図3 (b) 参照) が変動することが知られている⁽¹¹⁾。この胸郭運動と心電波形の RS 振幅の関係性から呼吸活動を推定する。これまで大学医学部や医療機関以外では、日常で手軽に心電波形を計測できる手法はなく、この知見は余り活用されていない。hitoe ウェアを用いれば、心拍数・心電波形情報が日常生活で容易に得られるため、呼吸推定の利用シーンも格段に多くなる。

hitoe ウェアで計測された心電波形に対して、RS 振幅を正確に求められるよう雑音混入時の補償処理を施し、得られた RS 振幅の変動が実際の呼吸流のそれと対応するか検証を行った⁽¹²⁾。hitoe ウェアで計測した RS 振幅変動と、マスク内部の温度センサによる呼吸流を比較したところ、良好な対応関係が見て取れる(図7)。

このようにウェアで呼吸を推定できれば、マスクを用いた呼吸計測よりも拘束感や計測の負担感が少ない。そのため日常における様々な呼吸動態を可視

化でき、呼吸器系の疾病モニタリングをはじめ、様々な応用展開が期待される。

5 働く人々の健康・安全管理への応用

最近、作業者の体調管理や安全確認のために hitoe ウェアを活用するニーズが増えてきている。例えば夏の猛暑の中、建設現場などで屋外作業が続く作業者は身体的な負担がかなり大きくなるため、体調管理が簡易にできるシステムが求められている。また、機械化が進む製造現場では一人作業が多くなり、体調不良で倒れると発見が遅れるなど安全管理上のリスクが増加している。それらの作業者に対して、「着るだけ」という hitoe のウェア型の手軽さを生かし、働く人々の体調管理、安全確保に利用する「hitoe 作業者みまもりサービス」が開始されている⁽¹³⁾。東レ株式会社と NTT グループが協働で本サービスの検討を開始し、輸送業、製造業など複数の現場において実証実験を進めてきた。特に暑さ対策や夜間などの一人作業の安全管理に着目し、

快適性を高めた hitoe ウェアを開発するとともに、作業現場での心拍データの取得・解析を重ね、効率的に分かりやすく現場にフィードバックするシステムを構築した(図8)。

このサービスでは、hitoe ウェアを着用した作業者の心拍数や加速度等のデータを計測し、GPS 情報を合わせて NTT コミュニケーションズ株式会社が提供するクラウド上の安全管理システムへデータを送信する。それらの情報から、①心拍数、②熱への暴露度合い(高温環境下での身体への負荷)、③作業強度(心拍数上昇による身体への負荷)、④心理的安定度(リラックスしているか)、⑤転倒有無(姿勢、傾き)、⑥消費エネルギー、⑦位置情報の7項目を解析及び推定し、得られた情報を可視化してフィードバックする。作業者本人や作業現場の管理者、管理センタなどは、スマートフォンやタブレット端末、パソコン等の各種端末機器を介してリアルタイムに状況を確認することができる。また複数人の体調や安全の状況を同時にモニタリングし表示することが可能である。更に平常時と異なる状況が発生した際には、アラート通知機能によって注意喚起がなされるため、緊急時には早期に対策を講じることが可能となる。hitoe ウェアによるバイタルデータとクラウドシステムを組み合わせ、IoT を活用した安全管理システムが、働く人々の安心・安全を見守り続けるツールとして広く利用されることを期待している。

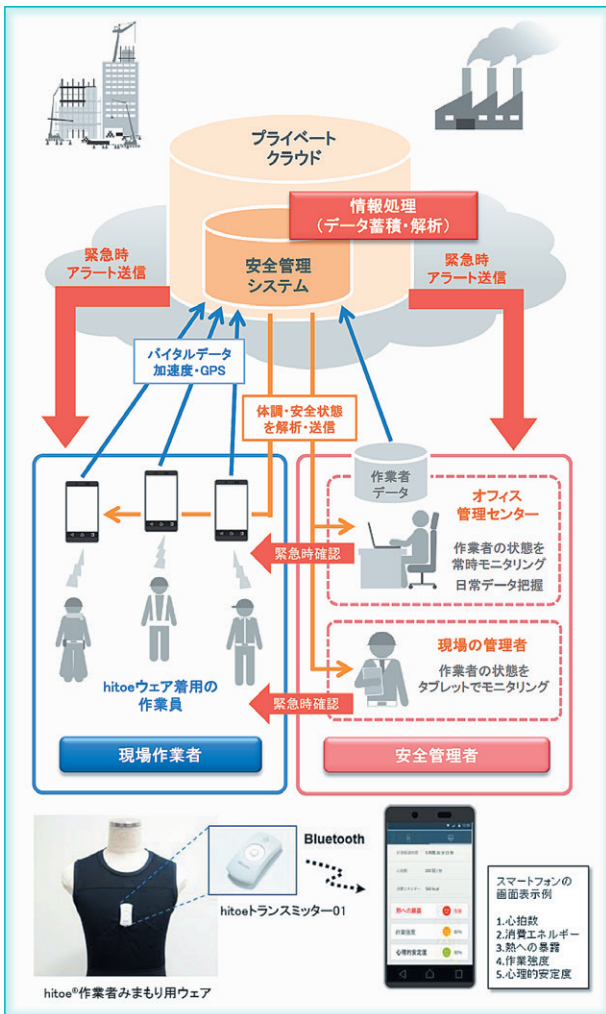


図8 作業者を見守る安全管理システム⁽¹³⁾

6 今後の展開

hitoe ウェアは、着るだけで心拍数・心電波形の高精度な計測ができる、正に“ウェアラブル”デバイスである。電解質ペーストを使用せず、柔軟で通気性のある電極素材であるため、着用者に負担を掛けることなく日常生活での生体情報を常時モニタリングすることができる。普段の健康診断の心電図検査では見付からないような異常も、長期間にわたる日常計測で発見できる可能性が高まる。つまり、疾病の早期発見・早期治療につながる医療サポート媒体として、hitoe ウェアは画期的なツールになるであろう。

筆者らは既に病院や大学医学部と連携し、将来の医療 ICT のキーデバイスとして、在宅医療や遠隔医療等への応用・検証とその適用範囲の拡大について検討を開始している。心疾患を発症し心臓手術を受けた患者らにとっても、術後の早期退院やリハビリにも役に立つと考えられる。一方、ビッグデータ

解析が進めば、不整脈の発生などの心臓機能異常の予知も可能になるかもしれない。

hitoe ウェアは、医療応用に限らず、ストレスや健康増進にも役立つと考えられる。連続した長時間の心拍数・心電波形のモニタリングは、自身の負荷を管理し、無理のない運動の指示などの健康危機管理にも有効な役割を果たす。ストレスに起因する睡眠異常の判定や眠りの質の評価にも利用可能である。

機能素材 hitoe を各種ウェアラブル機器やスマートフォンなどの携帯端末、更に ICT と組み合わせることにより、多様な生体情報の収集に活用し、付加価値の高いサービスを実現することで、幅広い分野で活用されることを期待している。

■ 文献

- (1) 厚生労働省統計情報, “Chap.5 主な傷病の総患者数,” 平成 26 年患者調査の概況, 厚生労働省, 2014.
- (2) CDC Centers for Disease Control and Prevention “Leading Causes of Death,” Health United States 2015, Table 19 (Data are for 2014).
- (3) D.J. Gladstone, M. Spring, P. Dorian, V. Panzov, K.E. Thorpe, J. Hall, H. Vaid, M. O'Donnell, A. Laupacis, R. Côté, M. Sharma, J.A. Blakely, A. Shuaib, V. Hachinski, S.B. Coutts, D.J. Sahlas, P. Teal, S. Yip, J.D. Spence, B. Buck, S. Verreault, L.K. Casaubon, A. Penn, D. Selchen, A. Jin, D. Howse, M. Mehdiratta, K. Boyle, R. Aviv, M.K. Kapral, and M. Mamdani, “Atrial fibrillation in patients with cryptogenic stroke,” The New England Journal of Medicine, vol.70, no.26, pp.2467–2477, June 2014.
- (4) T. Nyberg, A. Shimada, and K. Torimitsu, “Ion conducting polymer microelectrodes for interfacing with neural networks,” J. Neurosci. Meth., vol.160, no.1, pp.16–25, Jan. 2007.
- (5) S. Tsukada, H. Nakashima, and K. Torimitsu, “Conductive polymer combined silk fiber bundle for bioelectrical signal recording,” PLoS ONE, vol.7, e33689, April 2012.
- (6) 報道発表資料, “生体情報検知機能素材 hitoe の医療用途展開を開始,” 日本電信電話株式会社, 東レ株式会社, <http://www.ntt.co.jp/news2016/1609/160928a.html>, Sept. 2016.
- (7) 報道発表資料, “トレーニング支援サービス「Runtastic for docomo」の提供,” (株) NTT ドコモ, https://www.nttdocomo.co.jp/info/news_release/2014/09/30_02.html, Sept. 2014.
- (8) 報道発表資料, (株) NTT データ, “インディカーレースでドライバーの生体情報を取得する実証実験を実施,” <http://www.nttdata.com/jp/ja/news-release/2016/012800.html>, Jan. 2016.
- (9) T. Ogasawara, Y. Itoh, K. Kuwabara, and R. Kasahara, “Gait analysis using a wearable T-shirt type sensor,” NTT Technical Review, vol.14, no. 4, April 2016.
- (10) 報道発表資料, “(お知らせ) サービス提供者向けに「hitoe トランスミッター SDK」を提供開始,” (株) NTT ドコモ, https://www.nttdocomo.co.jp/info/news_release/notice/2015/12/08_01.html, Dec. 2015.
- (11) 藤澤宏幸, 魚住 超, 小野功一, “心電図 R 波振幅変動解析による呼吸数の推定,” 医用電子と生体工学, vol.36, no.4, pp.337–342, Dec. 1998.
- (12) 小笠原隆行, 松浦伸昭, 桑原 啓, 笠原亮一, “シャツ型心電位センサで推定した呼吸数評価,” 2016 信学ソ大, B-18–39, Sept. 2016.
- (13) 報道発表資料, “生体センサーを利用した「hitoe 作業者みまもりサービス」の提供開始について,” 東レ株式会社, <http://cs2.toray.co.jp/news/toray/newsrrs01.nsf/0/52BBA76659759566492580190025F3C4>, Aug. 2016.

河西奈保子

日本電信電話株式会社 NTT 物性科学基礎研究所機能物質科学研究部, 主任研究員。博士 (工学)。1996 東北大学院工学研究科博士後期課程了。神経細胞の情報伝達機構の理解を目指し, 人工シナプスやナノバイオ研究並びに hitoe を用いた様々な生体計測に従事。電気化学会, 応用物理学会, 日本神経科学会等各会員。



小笠原隆行 (正員)

日本電信電話株式会社 NTT 物性科学基礎研究所機能物質科学研究部, NTT デバイスイノベーションセンタ, 研究員。2009 北大大学院工学研究科修士課程了。人体通信, NFC (Near Field Communication), hitoe といったモバイル及びウェアラブルシステム, 生体情報推定技術の研究に従事。IEEE 会員。



中島 寛

日本電信電話株式会社 NTT 物性科学基礎研究所機能物質科学研究部, 主幹研究員・グループリーダー。博士 (工学)。1997 早大大学院理工学研究科修士課程了。高分子材料並びにナノバイオ複合材料の合成とその基礎物性評価の研究, hitoe を用いた深層生体情報の研究に従事。日本化学会, 応用物理学会等各会員。



塚田信吾

日本電信電話株式会社 NTT 物性科学基礎研究所機能物質科学研究部, 主幹研究員・上席特別研究員。医師・医博。1990 富山医科薬科大にて医学士号を取得。2010 NTT 物性科学基礎研究所リサーチスペシャリスト, 2013 から現職。神経系を中心としたブレイン・マシンインタフェース, hitoe ウェアラブル電極やそのシステムの研究開発に従事。日本神経科学会, 日本生理学会, 日本循環器学会, 北米神経科学会各会員。



電波による見守り技術

Monitoring Techniques with Radio Waves

大槻知明 Tomoaki Ohtsuki†

Summary

総人口の1/4以上が65歳以上の日本では、高齢者の一人暮らしも多い。高齢者も安心して暮らせる安全・安心な社会の実現は、日本の喫緊の課題である。65歳以上の高齢者の事故発生場所は、住宅が最も多いことが知られている。家庭内での見守りは、生活空間での見守りであり、特にプライバシーの保護が重要である。そのため、カメラなどの導入は好ましくない。プライバシーを保護しつつ家庭内での見守りを実現する技術として、近年、電波による見守り技術が注目されている。電波による見守り技術は、電波センサとも呼ばれている。電波センサは、人の存在や人の行動による電波伝搬の変動に基づき人の存在や人の行動を検出する。電波センサは、カメラのような映像によるプライバシー侵害の心配がないため、家庭への導入が期待されており、これまでに種々の電波センサが報告されている。本稿では、代表的な電波センサの幾つかを紹介する。

Key Words

電波センサ, アレーセンサ, MIMO センサ, MIMO レーダ, ドップラーセンサ, 無線トモグラフィ

1 はじめに

高齢化先進国と知られている日本は、2015年時点で高齢化率（65歳以上の人口が総人口に占める割合）が26.7%と、世界一の高齢化国となっている⁽¹⁾。また、EUなどの先進国をはじめとした多くの国でも高齢化が急速に進んでいる。高齢化に伴い、高齢者の一人暮らしも増えている。昭和55（1980）年には男性約19万人、女性約69万人、高齢者人口に占める割合は男性4.3%、女性11.2%であったが、平成22（2010）年には男性約139万人、女性約341万人、高齢者人口に占める割合は男性11.1%、女性20.3%となっている。高齢者は一般に筋肉や骨が弱くなっているため、転倒しやすく、また骨折しやすい。高齢社会白書によると、65歳以上の高齢者の事故発生場所は、住宅が77.1%と最も高い⁽¹⁾。同様に、厚生労働省「人口動態調査」によると、家庭内事故で毎年約2万人の高齢者が命を落としている。高齢者が犯罪の被害に遭う割合も増加している。2000年に全被害認知件数の約8.6%だったのが、2009年に約10.3%となっており、高齢化率が高まるにつれて高齢者が被害に遭う割合も増加している。このような状況か

ら、高齢者も安心して暮らせる安全・安心な社会の実現が強く求められており、その実現に向けて、様々な技術が検討されている。家庭内での見守りは、生活空間での見守りであり、特にプライバシーの保護が重要である。そのため、ネットワークカメラなどのカメラを用いた見守り技術は、特別な場合を除いて導入が難しい。センサを身に付けて転倒などの行動を検出する、ウェアラブルセンサを用いた技術も多く報告されている⁽²⁾。センサによっては、比較的高い検出精度を期待できるが、センサを身に付けることによる使用者の負担や不快感に加えて、入浴時などの見守りには適さないなどの問題がある。特に、高齢者にとっては、使用する際の不快感に加えて、付け忘れなどの問題がある。

プライバシーを保護しつつ、ウェアラブルセンサを用いないで家庭内での見守りを実現する技術として、近年、電波による見守り技術が注目されている^{(3), (4)}。電波による見守り技術は、電波センサとも呼ばれている。

電波伝搬は、人の存在や人の行動によって変動する。電波センサは、この電波伝搬の変動に基づき人の存在や人の行動を検出する。電波センサは、カメラのような映像によるプライバシー侵害の心配がないため、家庭への導入が期待されている。見守りの用途に応じて、これまでに種々の電波センサが報告されている。本稿では、代表的な電波センサの幾つかを紹介する。

† 慶應義塾大学理工学部情報工学科, 横浜市
Faculty of Science and Technology, Keio
University, Yokohama-shi, 223-8522 Japan

2 電波センサ

前記したように、電波センサは電波伝搬の変化に基づき人の存在や人の行動を検出する。簡易な電波センサの多くは、受信信号強度（RSS：Received Signal Strength）の変化に基づき人の存在や行動の有無などを検知する⁽⁵⁾。センサ（受信機、または送受信機）は簡易な構成で実現できるが、RSSは雑音やフェージング*¹の影響が比較的大きいため、用途によっては十分な検出精度が得られない。電波センサには、人の有無や行動による環境の変化をRSSの変化で捉えるもののほかに、伝搬チャネルの変化や、アレーアンテナで受信される信号の相関行列の固有値分解によって得られる信号部分空間を張る固有ベクトル、その大きさを表す固有値を用いるものなどがある。

以下では、各種電波センサを紹介する。

2.1 無線トモグラフィー

無線トモグラフィー（Radio Tomography）*²技術は、観測対象エリアを電波の送受信機で囲み、エリア内を伝搬する電波の受信信号強度（RSS）の変化に基づき、エリア内に人がいるかや、人がいる場合、その人の位置を特定する技術である⁽⁶⁾。図1に、無線トモグラフィーのイメージ図を示す。図に示されるように、観測対象エリアを囲むように設置された送受信機間で電波を送受信し、RSSを観測する。対角線上に多くの無線リンクが存在し、人が存在すると、吸収・反射・回折等により、各無線リンクのRSSが減衰する。この各無線リンクのRSSの減衰に基づき、エリア内の人の有無や人の位置を

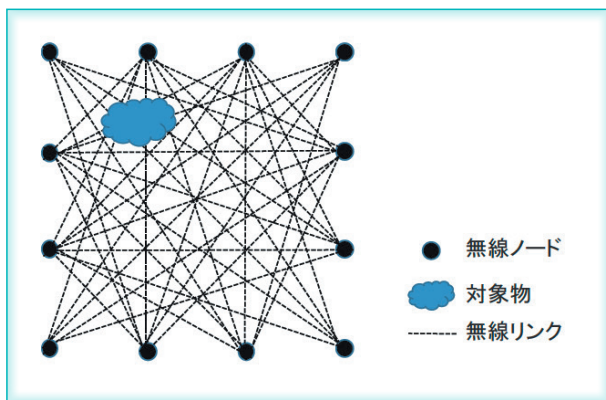


図1 無線トモグラフィー

*1 無線通信で届く電波の信号強度が変動する現象。
*2 対象物を取り囲む形で、信号源及び検出器を配置し、内部構造・特性を調べる技術。

特定する。建物外部から内部の人の位置を特定するため、例えば、災害時などの生存者の発見やセキュリティ、smart roomやsmart houseとして人の行動把握による見守りなどの応用が期待されている。無線トモグラフィーの位置推定精度は、観測対象エリアサイズや設置する送受信機数、使用する電波の周波数、建物の構造、などに依存する。そのため、実験による評価⁽⁷⁾や、雑音耐性を高めたアルゴリズムの開発⁽⁸⁾などが研究されている。

2.2 アレーセンサ

アレーセンサは、図2に示されるようなアレーアンテナ*³を受信機に用いるセンサである^{(9),(10)}。アレーセンサ（図3）では、アレーアンテナで受信される信号の相関行列の固有値分解により、受信信号を信号到来方向成分を表す固有ベクトルと、その信号強度成分を表す固有値の2種類の特徴量に分解する。送受信機が固定されていても、人の侵入や行動により電波伝搬環境は変化するため、これら電波特徴量も変化する。前記したように、簡易な電波センサの多くは、RSSの変化に基づき人の行動・状態を検出・識別するのに対し、アレーセンサは信号部分空間を張る固有ベクトル及び固有値の統計量に基づき、人の行動・状態を検出・識別する。また、電波特徴量に基づく機械学習を用いることで、転倒や着座などの複雑な行動や状態も識別できる。アレーセンサが用いる電波特徴量は、RSSと比べて雑音の影響が小さい。そのため、RSSに基づく電波センサで



図2 アレーアンテナ

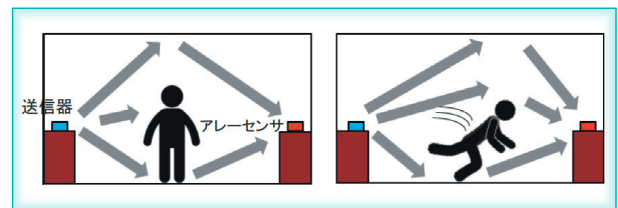


図3 アレーセンサ概念図

*3 複数の放射素子を直線状、平面状、あるいは曲面状などに配列し、その全部あるいは一部を励振し、励振電流（電圧）の振幅と位相を制御して所望の放射指向性（放射パターン）を得るアンテナ。

は実現が困難な状態・行動識別が可能である。また、アレーセンサは、使用する電波の周波数や帯域幅などを問わず、変調波・無変調波であることも問わない。そのため、無線 LAN の信号や地上デジタル放送信号、アナログ UHF 放送信号など、既存の信号を用いることもできる。更に、復調処理を必要とせず、到来波の正確な到来方向情報を用いる必要がないので、受信機も簡易な構成で実現できる。

アレーセンサで用いる特徴量の、転倒時の変化例を図 4 に示す。図の特徴量は、信号部分空間を張る第 1 固有ベクトル（ただし、大きさは 1 に正規化）の参照時刻と観測時の相関である。伝搬環境に変化がないとき、評価関数は 1 に近い値を取る。一方、転倒などの行動によって伝搬環境が変化すると、評価関数は 1 より小さい値を取り、伝搬環境が変化し続けると、評価関数の値も変化し続ける。そのため、評価関数の値そのものや値の統計量に基づき、侵入検知や単純な行動識別を容易に実現できる。一方、転倒や着座などの伝搬環境の変化の点で似通った複雑な行動の識別は、アレーセンサで得られる電波特徴量とその統計量に基づく機械学習により実現可能である⁽¹⁰⁾。また、電波特徴量に基づく位置指紋⁽¹¹⁾により、その行動が起こっている場所も分かる⁽¹²⁾。RSS に基づく位置指紋によっても位置推定は可能だが、アレーセンサでは、RSS よりも安定した電波特徴量を用いて位置推定を行うため、RSS に基づく位置推定に比べ、高い位置推定精度を達成できる。

アレーセンサを用いた見守り技術として、転倒検知を主とした行動検出が挙げられる。また、前記した位置推定技術と併用することで、より詳細な状態把握及び行動検出精度の改善が期待できる。アレーセンサに関する研究動向として、特徴量の増加やアルゴリズムの改善による行動検出精度改善⁽¹³⁾、日

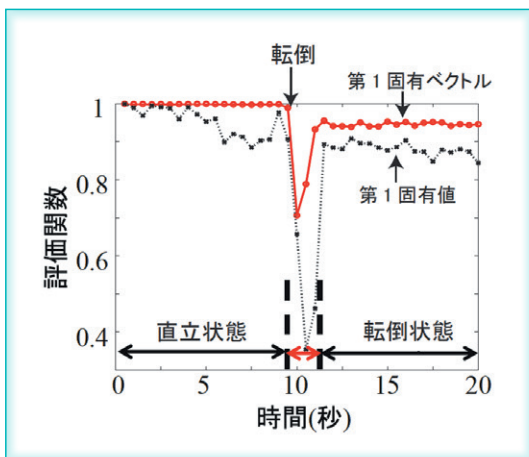


図 4 転倒時の評価関数の変化

常生活での評価などが挙げられる。

2.3 MIMO センサ

近年、送受信機で複数のアンテナを用いて高速・大容量な情報伝送を行う MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) が、無線 LAN や携帯電話では必須の技術となっている。MIMO のように、送受信機で複数のアンテナを用いたセンサは幾つか存在するが、MIMO 伝搬チャネルに基づき人を検出するセンサは、日本では MIMO センサと呼ばれている^{(14)~(16)}。図 5 に、MIMO センサの概念を示す。MIMO センサは、人の存在や行動による伝搬の変化を、伝搬チャネルの変化に基づき検出するセンサである。MIMO センサでは、観測対象の部屋が無人時に取得した伝搬チャネルと、観測時の伝搬チャネルの時間相関を取り、その変動から人の有無を検出する。幾つかの実験環境で、MIMO センサが比較的高い侵入検出率を達成することが報告されている。ただし、MIMO センサは、パイロット信号などを用いて複数送受信アンテナ間の複数伝搬路の状態を推定する必要がある。また、より詳細な行動の識別は実現されていない。MIMO センサを見守りに用いるには、転倒検出など、より詳細な行動の識別が必要であり、研究課題として挙げられる。

2.4 ドップラーセンサ

ドップラーセンサは、ドップラー効果を用いたセンサで、ドップラーレーダとも呼ばれている。ドップラーセンサは、電波（マイクロ波）を発射し、反射した電波の周波数と発射した電波の周波数を比較することで、人や物体の速度や動きを検出する。一

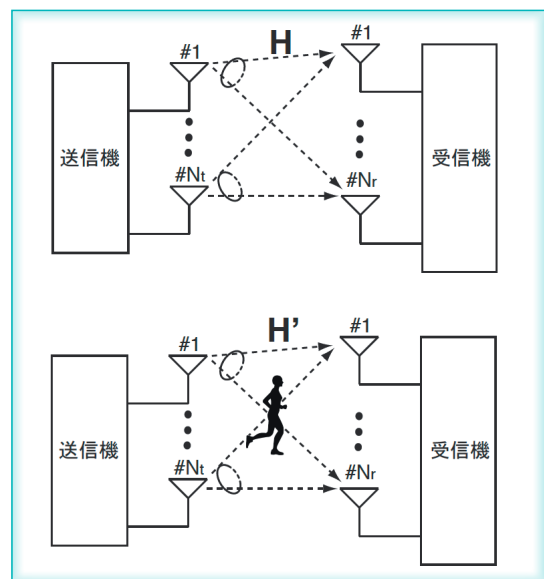


図 5 MIMO センサ概念図

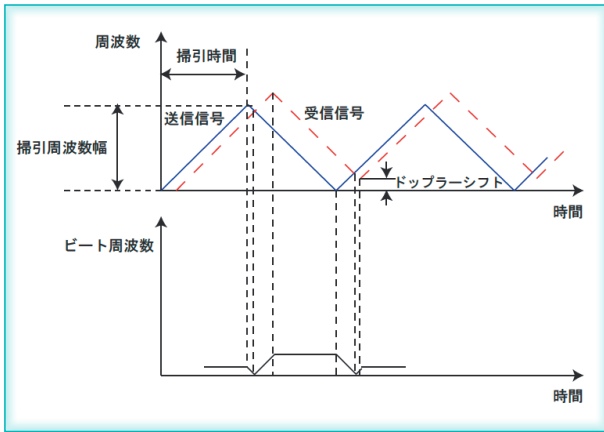


図6 FMCW方式の送信信号と移動物に対する受信信号及びビート周波数

般には、対象物の速度を計測するスピードガン、衝突防止などの距離計測、人感・省エネ・自動ドアセンサなどに用いられている。ドップラーセンサでは、「特定小電力無線局移動体検知センサ用無線設備」としてセンサに使うことが許可された10.5 GHz帯や24 GHz帯の周波数が一般に用いられる。ドップラーセンサには、無変調連続波(Continuous Wave)を送信して測定対象物の速度を測定するものや、FM (Frequency Modulation) 変調をかけた信号を送信して測定対象物までの距離も測定できるFMCW方式などがある。図6に、FMCW方式の送信信号と移動物に対する受信信号及びビート周波数を示す。FMCW方式は、送信周波数が掃引時間内で直線的に交互に増加・減少するようにFM変調をかけた信号を送信し、測定対象物からの反射波(受信波)を送信波と乗算して位相検波し、二つの波の周波数差であるビート周波数を持つビート信号として出力する。ビート周波数は、掃引周波数幅と掃引時間により、ターゲットまでの距離に応じた周波数の信号となるため、距離を求められる。人の見守りに関連するドップラーセンサを用いた行動識別として、転倒検知⁽¹⁷⁾や歩行等の複数の行動識別⁽¹⁸⁾、ジェスチャの識別⁽¹⁹⁾などの応用例が報告されている。ドップラーセンサを用いた行動等の識別では、ドップラーセンサで得られるドップラー情報に基づく機械学習による識別がよく用いられている。図7、8に、人の歩行時と、歩行から転倒したときのドップラースペクトル図を示す。また、図9に、ドップラーセンサを複数用いた転倒検出システムの概念図を示す⁽¹⁷⁾。

文献(17)では、95.5%の高い転倒検出率が報告されている。

図10に示すように、ドップラーセンサは、行動やジェスチャの識別に加えて、非接触で心拍や呼

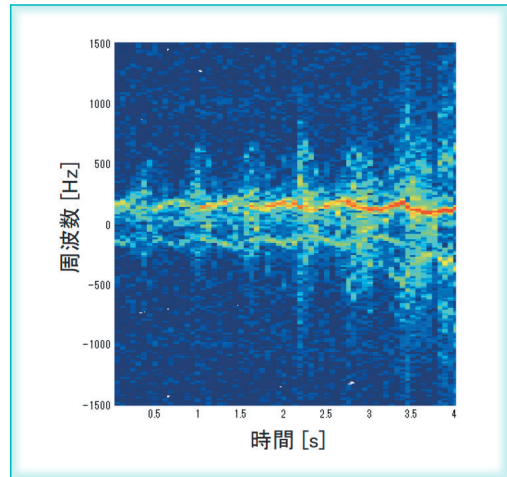


図7 歩行時のドップラースペクトル

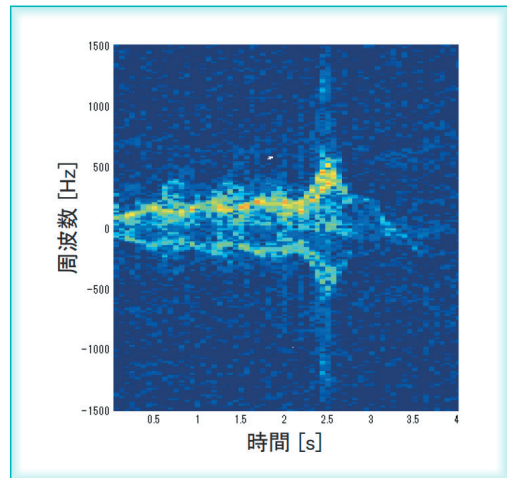


図8 歩行から転倒したときのドップラースペクトル

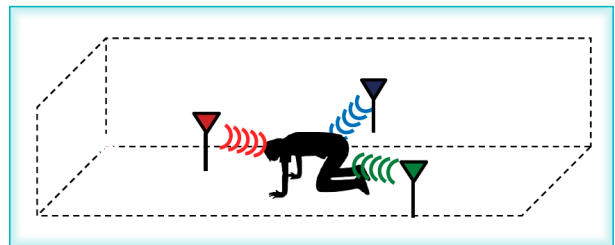


図9 ドップラーセンサを複数用いた転倒検出システム

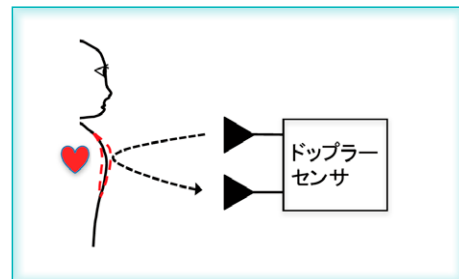


図10 ドップラーセンサによる非接触生体信号検出

吸(図11)、瞬き(図12)などの微小な生体信号も検出できる^{(20)~(22)}。アレーセンサやMIMOセンサは、送受信機が見通し外でも使用できるのに対し、ドップラーセンサは送受信機が見通しである必要

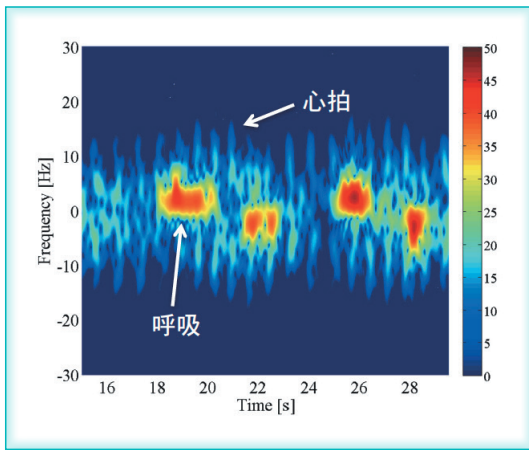


図 11 心拍・呼吸成分のドップラースペクトル

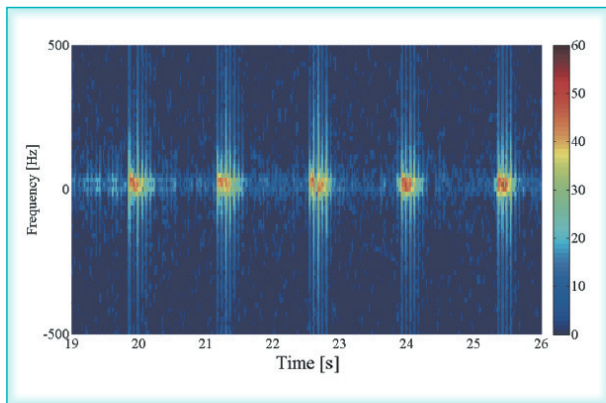


図 12 瞬きのドップラースペクトル

がある。

ドップラーセンサを用いた見守り技術に関する研究動向として、例えば、着座などのドップラースペクトルで見た場合、転倒と似通った行動との識別精度の改善が挙げられる。

3 MIMO レーダ

複数の送信アンテナと複数の受信アンテナを用いるレーダは、MIMO レーダと呼ばれている^{(23)~(25)}。MIMO レーダは、直交信号を各アンテナから送信し、信号の直交性を利用して受信信号を分離する。

これによって空間的に仮想アンテナを構成する、図 13 に MIMO レーダの空間仮想アレー構成例を示す。MIMO レーダは仮想開口径^{*4}を大きくできるため、空間解像度を改善できる^{(24), (25)}。また、ビーム形成自由度が増すため、不要到来波（クラッタ、妨害信号等）の除去が容易になる。

前記したように、MIMO センサは MIMO 伝搬チャネルに基づき人を検出するセンサであるのに対し、MIMO レーダは、その名が示すように、複数

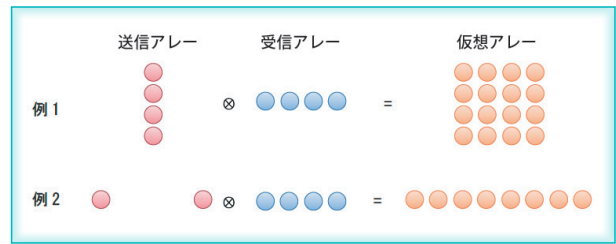


図 13 MIMO レーダ：空間仮想アレーの構成

アンテナ素子を用いたレーダであり、例えば複数物体の方向を推定できる。

MIMO レーダの特性を改善する手法として、目標物の運動情報を利用することで、時間方向の情報も活用して仮想アレーを拡張する時空間仮想アレーが提案されている^{(26), (27)}。時空間仮想アレーでは、初期推定によって得られる目標物の運動情報に応じて送信信号を繰返し送信し、受信信号を同じ時刻に受信したように位相シフトすることで仮想アレーを拡張する。文献 (26), (27) では、時空間仮想アレーが、空間仮想アレーに比べて高い到来方向推定精度を得られることが報告されている。

MIMO レーダを用いた見守り技術として、例えば、ドップラースペクトルに基づく行動識別や、位置推定などが挙げられる。また、MIMO レーダに関する研究動向として、複数人がいる環境で、行動識別や位置推定を高い精度で実現することなどが挙げられる。

4 おわりに

本稿では、種々の電波センサを紹介した。安全・安心な社会の実現には、街中の監視や屋内外での見守りが重要である。その際、プライバシーの保護も重要である。電波センサは、プライバシーを保護しながら、見守りを実現できるため、有望な技術の一つである。ただし、電波センサに限らず、一つの技術だけで、様々な環境における種々の要求を満たすのは困難である。安全・安心な社会の実現には、環境・要求条件を考慮しながら複数の技術を適切に合わせて用いることが必要であろう。

■ 文献

- (1) 内閣府, 平成 28 年版高齢社会白書, 2016.
- (2) T. Tamrat, M. Griffin, S. Rucpic, S. Kachnowski, T. Taylorand, and J. Barfield, "Operationalizing a wireless wearable fall detection sensor for older adults," Proc. 2012 6th Int. Conf. on Pervasive Comp. Technologies for Healthcare (PervasiveHealth), pp.2924-2928, May 2012.

* 4 仮想的なアンテナ開口径(サイズ)。

- (3) 大槻知明, “電波を用いた行動・状態識別—電波センサ,” システム/制御/情報, vol.57, no.9, pp.380–385, Sept. 2013.
- (4) 鹿島圭生, 中村僚兵, 梶原昭博, “特徴抽出手法を用いた浴室内見守り用 UWB センサ,” 2013 信学ソ大, p.82 (A), Sept. 2013.
- (5) 平澤徳仁, 鈴木康直, 馬杉正男, 小林隆一, “無線 LAN ビーコン信号を用いた人検知方法に関する検討,” 2009 信学総大, no.B-20–26, March 2009.
- (6) J. Wilson and N. Patwari, “Radio tomographic imaging with wireless networks,” IEEE Trans. Mobile Comput., vol.9, no.5, pp.621–632, May 2010.
- (7) 横田健悟, 原 晋介, 松田崇弘, 向本将規, 上村勇貴, 滝沢賢一, 小野文枝, 三浦 龍, “3次元空間におけるワイヤレストモグラフィの実験的評価,” 信学技報, RCC2015-7, pp.27–30, May 2015.
- (8) Y. Zhao and N. Patwari, “Robust estimators for variance-based device-free localization and tracking,” IEEE Trans. Mobile Comput., vol.14, no.10, pp.2116–2129, Oct. 2015.
- (9) S. Ikeda, H. Tsuji, and T. Ohtsuki, “Indoor event detection with signal subspace spanned by eigenvector for home or office security,” IEICE Trans. Commun., vol.E92-B, no.7, pp.2406–2412, July 2009.
- (10) J. Hong and T. Ohtsuki, “State classification with array sensor using support vector machine for wireless monitoring systems,” IEICE Trans. Commun., vol.E95-B, no.10, pp.3088–3095, Oct. 2012.
- (11) 大槻知明, “ワイヤレス位置検出技術,” 計測と制御, vol.48, no.7, pp.560–564, July 2009.
- (12) J. Hong and T. Ohtsuki, “Signal eigenvector-based device-free passive localization using array sensor,” IEEE Trans. Vehicular Technology, vol.64, no.4, pp.1354–1363, April 2015.
- (13) 縣 侑吾, 大槻知明, 豊田健太郎, “ドップラー解析に基づくアレイアンテナを用いた転倒検知,” 信学知的环境とセンサネットワーク研究会, 信学技報, ASN2016-72, pp.19–24, Jan. 2017.
- (14) K. Nishimori, Y. Koide, D. Kuwahara, N. Honma, H. Yamada, and H. Makino, “MIMO sensor—Evaluation on antenna arrangement—,” Proc. EuCAP2011, pp.2924–2928, April 2011.
- (15) N. Honma, K. Nishimori, H. Saito, and Y. Tsunekawa, “Compact antenna arrangement for MIMO sensor in indoor environment,” IEICE Trans. Commun., vol.E96-B, no.10, pp.2491–2498, Oct. 2013.
- (16) 小出悠太, 西森健太郎, 本間尚樹, 桑原大輝, 山田寛喜, “MIMO センサ～屋内実環境におけるアンテナ分散配置の効果～,” 信学技報, AP2010-77, pp.19–24, Oct. 2010.
- (17) S. Tomii and T. Ohtsuki, “Falling detection using multiple dopplersensors,” IEEE 14th International Conference on e-Health Networking, Applications and Services (Healthcom 2012), pp.196–201, Beijing, China, Oct. 2012.
- (18) Y. Kim and H. Ling, “Human activity classification based on micro doppler signatures using a support vector machine,” IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., vol.47, no.5, pp.1328–1337, May 2009.
- (19) Y. Kim and B. Toomajian, “Hand gesture recognition using micro-doppler signatures with convolutional neural network,” IEEE Access, vol.4, pp.7125–7130, Oct. 2016.
- (20) S. Tomii and T. Ohtsuki, “Heartbeat detection by using doppler radar with wavelet transform based on scale factor learning,” IEEE Int. Conf. Commun. (ICC’2015), pp.483–488, London, UK, June 2015.
- (21) E. Mogi and T. Ohtsuki, “Heartbeat detection with doppler radar based on estimation of average R-R interval using viterbi algorithm,” IEEE Int. Symp. Personal Indoor and Mobile Radio Commun. (PIMRC2016), Valencia, Spain, Sept. 2016.
- (22) C. Tamba, S. Tomii, and T. Ohtsuki, “Blink detection using doppler sensor,” IEEE Int. Symp. Personal Indoor and Mobile Radio Commun. (PIMRC2014), pp.2119–2124, Washington D.C., U.S.A., Sept. 2014.
- (23) W. Roberts, P. Stoica, J. Li, T. Yardibi, and F.A. Sadjadi, “Iterative adaptive approaches to MIMO radar imaging,” IEEE J. Selected Topics in Signal Process., vol.4, no.1, pp.5–20, Feb. 2010.
- (24) A.M. Haimovich, R.S. Blum, and L.J. Cimini, Jr., “MIMO radar with widely separated antennas,” IEEE Signal Process. Mag., vol.25, no.1, pp.116–129, Jan. 2008.
- (25) N.H. Lehmann, E. Fishler, A.M. Haimovich, R.S. Blum, D. Chizhik, L.J. Cimini, and R.A. Valenzuela, “Evaluation of transmit diversity in MIMO-radar direction finding,” IEEE Trans. Signal Process., vol.55, no.5, pp.2215–2225, May 2007.
- (26) Y. Okamoto and T. Ohtsuki, “Human activity classification and localization algorithm based on temporal-spatial virtual array,” IEEE Int. Conf. Commun. (ICC’2013), DOI:10.1109/ICC.2013.6654727, Budapest, Hungary, June 2013.
- (27) H. Hayashi and T. Ohtsuki, “DOA estimation using temporal spatial virtual array based on doppler shift with adaptive PRI control,” IEICE Trans. Commun., vol.E99-B, no.9, pp.2009–2018, Sept. 2016.

大槻知明 (正員:フェロー)

1990 慶大・理工卒。1994 慶大大学院理工学研究科博士課程了。博士(工学)。1995 東京理科大・理工・助手, 同大学講師, 助教授。慶大・理工・准教授を経て, 2009 から同大学・理工・教授。この間, 光通信, 無線通信, センサの研究開発に従事。井上研究奨励賞, 安藤博記念学術奨励賞, エリクソン・ヤングサイエンティスト・アワード, IEEE the 1st Asia-Pacific Young Researcher Award, 船井学術奨励賞, 第5回国際コミュニケーション基金優秀研究賞, 2011 IEEE SPCE Outstanding Services Award, 電気通信普及財団賞(テレコム技術賞), 2013 ETRI Journal’s 2012 Best Reviewer Award, 9th International Conference on Communications and Networking in China 2014 (CHINACOM’14) Best Paper Award 等各受賞。2015-2016 年度本会通信ソサイエティ副会長。



視覚センサによる見守り技術について

Behavior Monitoring System by using Vision Sensors

青木義満 Yoshimitsu Aoki†

Summary

本稿では、視覚センサによる見守りシステムに関連する画像処理技術として、見守りに必要とされる要素技術である人物検出、姿勢推定、行動認識に関する技術について述べる。画像処理による見守りには、ほかのセンサよりも広域かつ非接触で対象人物の状態を把握できるという大きな利点がある。その一方で、体形や姿勢変動といった人物に起因する見えの変化、背景や照明条件等に起因する見えの変化に対して、頑健な画像認識を実現しなければならない。これらの課題に対応するための手法として、人物の見えの変動を人体形状モデルを用いて統計的に表現するアプローチと深層学習を用いた機械学習による手法を中心に解説を行う。見守りシステムを想定した広角カメラ映像を対象に、人物検出、姿勢推定を行った事例及び時系列ニューラルネットワークを用いた行動認識事例を紹介しながら、見守りシステムにおける画像処理技術の現状と課題について述べる。

Key Words

見守りシステム, 画像処理, 人物検出, 姿勢推定, 人物行動認識, 深層学習

1 はじめに

我が国をはじめ、世界的に超高齢化社会へ向かっている中、高齢者の介護・福祉に関する社会的関心が高まっている。高齢者の増加に伴い⁽¹⁾、医療・介護・福祉、一般家庭の現場において、要介護者に対する施設や家族のサポートが必要となっている。そこで、近年では、要介護者の状況を様々なセンサを用いて見守るシステムや、様々な行動をサポートするロボットの研究開発が盛んに行われている。特に見守りシステムにおいては、見守り対象となる人物の存在位置、動線情報、姿勢情報などから、人物の行動や状況を把握し、転倒やベッドからの転落といった危険な状況など、サポートを要する事態を自動的に察知して、通知する技術が必要となる。

センサを用いた見守り技術には、電波⁽²⁾、生活音⁽³⁾、ウェアラブルセンサ⁽⁴⁾、視覚センサを用いたものなどが開発されているが、本稿では視覚センサによる見守り技術に焦点を当てる。視覚センサによる見守り技術として、必須の要素技術である人物検出、姿勢推定、行動認識に関する技術について紹介する。画像処理による見守りには、ほかのセンサよりも広域かつ非接触で対象人物の状態を把握できるという大きな利点がある。その一方で、体形や姿

勢変動といった人物に起因する見えの変化、背景や照明条件等に起因する見えの変化に対して、頑健な処理を実現しなければならない。更に、見守りシステムを想定した場合、見守り対象空間をできるだけ少ない台数のカメラによって撮影できることが望ましい。そのため、天井に設置した広角レンズカメラの活用が進められている。しかし、広角レンズカメラ映像は、画像中の位置により大きな形状ひずみを生じるため、それに対応した画像処理を行う必要がある。

本稿では、見守りシステムに必要な画像処理技術として、広角レンズカメラ映像中の人物検出、姿勢推定を行った研究事例を紹介する。ただし、行動認識技術に関しては、データセットの問題から通常のカメラ映像に対する時系列ニューラルネットワークを用いた行動認識の事例を紹介する。以上により、見守りシステムにおける画像処理技術の現状と課題について述べたい。

2 人物の自動検出技術

カメラ映像中から、見守り対象となる人物を検出する技術は、詳細な見守りを行う前段階の処理として必須の技術である。映像中の人物を検出することができれば、部屋の中の人物存在位置が分かるだけでなく、時系列の動線情報を取得することができるため、より詳細な行動認識や行動遷移パターンの分

† 慶應義塾大学, 横浜市
Keio University, Yokohama-shi, 223-8522 Japan

析が可能となる。

一般的な監視カメラや車載カメラ映像と異なり、見守りを想定した場合にはカメラと対象人物間の距離が近いこと、また、特に魚眼や広角レンズを用いている場合が多いことから、レンズひずみに起因する映像中の人物の見え方のバリエーションが非常に大きくなるという特徴があり、これに対応可能な人物検出技術が必要となる。本章では、人物の姿勢変化やカメラ視点変化に対して頑健な人物検出手法を紹介する。

2.1 人物形状モデリングによる人物検出手法

2.1.1 概要

見守りシステムにおける人物検出手法としては、服装、体形、姿勢など、対象となる人物の見えの変化、物体との遮蔽や人物間での遮蔽の発生、カメラの設置環境によるカメラ視点の変化、といった課題に柔軟に対応可能な手法が求められている。

ここでは、人物の形状、姿勢変化、カメラ視点変化に対応した人物検出手法について述べる^{(5), (6)}。様々な姿勢に対する身体的特徴変化の統計的な解析により低次元人体形状モデルを生成し、姿勢変動に対する各部位の見えの変化を少ない情報量で表現する。これにより、従来の方形ベースの追跡では捉え切れない様々な姿勢の人物に対しても柔軟に対応した人物検出を行う。服装・体形・姿勢といった追跡対象の多様性を大量の学習画像から抽出した高次元特徴量でパターン認識するのではなく、大まかな人物形状を表現する低次元モデルを用いることで、輪郭形状や輝度勾配といったシンプルな特徴量によって最適なモデルを高速にフィッティングすることが可能である。これにより、高速かつ高精度な人物検出を実現する。

2.1.2 人物検出手法

本稿では、頭部から肩にかけての外輪郭形状を Ω 形状と呼ぶ。この Ω 形状は人物に特有の特徴的な形をしており、人物らしさを測る上で有効である。そ

こに注目したのが、Active Ω Model である。このモデルは、頭部外輪郭形状の変動とその内部に含まれる肩の関節位置を低次元で表現したもので、以下の手順で生成している(図1)。まず、複数の異なる人物頭部画像に対して、顔位置を中心として頭部から肩にかけての頭部外輪郭形状と両肩の関節位置を合計22個の点群で表現する。22点の x, y 座標から得られる44次元のパラメータによって表現される頭部外輪郭形状が Ω 形状データ(図1左)である。事前に図1左に示すような人物画像を対象に、頭部外輪郭形状を手動により抽出する。様々な人物、姿勢状態の画像300枚に対して、 Ω 形状データを抽出し、主成分分析を適用した。その結果、四つの主成分(図1中のPC1~PC4)によって、様々な Ω 形状を生成できることが分かった。この四つの主成分値によって変形可能な頭部外輪郭形状をActive Ω Model として人物検出に用いる。

実際の検出段階においては、入力画像から背景差分により、前景領域を抽出する。領域面積から人物領域の候補を絞り込んだ上で、Active Ω Model を用いた処理により、人物検出を行う。前景領域付近で、Active Ω Model を自動生成しながら、前景領域のシルエット輪郭形状と、シルエット輪郭部分の輝度勾配方向との一致度から、Active Ω Model の Ω 形状との一致度合いを評価する(図2)。ここで、パラメータ探索にはParticle Filterを用いて探索の効率化を図っている。

2.1.3 Active Ω Model の自動生成

本手法を用いると、人物の頭部形状モデル(Active Ω Model)を手掛かりに少ない学習用データ(Ω 形状データ約300個程度)により、映像中の人物を検出することができる。しかし、人物の頭部輪郭は、同じ形状でもカメラの設置位置によって、その見え方は大きく変化する。特に、見守りシステムにおいては、視野の広いカメラでできるだけ広範囲に見守りたいというニーズが強いため、広角レンズに起因するひずみや人物の見えの変化に対応



図1 人物検出のための頭部形状モデルの生成

した人物検出手法が必要となる。そこで、生成型学習を適用し、学習用 Ω 形状モデルの自動生成を行うことでこの課題に対応する。

本研究で使用する三次元人体形状モデルは持丸らの相同モデル⁽⁷⁾を用いた。この三次元人体形状モデルは体形を変化させるためのパラメータと姿勢を変化させるための体の関節位置を表現するパラメータを持っており、三次元空間における点群によって人物の表面形状を表現している。体形を変化させるパラメータは、解剖学的に同一の意味を持つ相同モデルを主成分分析することで得られた上位四次元の主成分値(図3のPC1~PC4)である。また、図3の+、-はそれぞれ、主成分値を増加、減少させることを意味しており、その際に生じた人体モデルの体形変化の結果をそれぞれの主成分において示している。この主成分パラメータを変化させることで、人間らしい形状を保持したまま、図3右のような様々な体形に変化できる(頭部形状も含む)。また、姿勢を変化させるパラメータは点群内部に埋め込まれた90個の関節点の位置となっており、三次元モデルの各頂点と関節点の関連度を定義したスキニングパラメータによって、図3左のような様々な姿勢をとったときの人体形状を表現でき

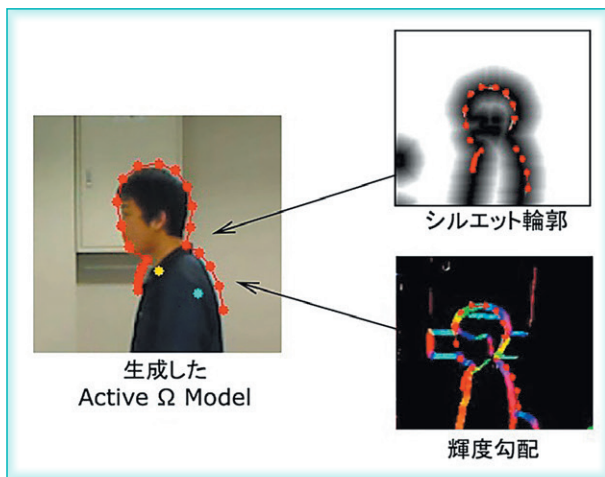


図2 頭部検出の概要

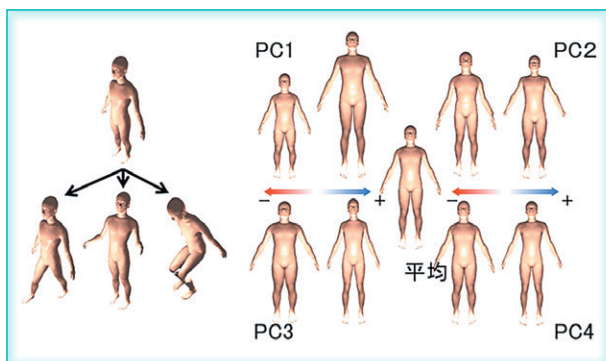


図3 人体形状モデル(Dhaiba)による体形・姿勢生成

る。これにより、姿勢変動や頭部形状の変化に伴う画像上の頭部輪郭形状の変動を表現する。

そして、仮想的な三次元空間に設置したカメラに対し、様々な体形や姿勢の三次元人体形状モデルを配置することで、モデル生成のための学習データを自動収集する。図4のように仮想空間内に4段階の高さにカメラを配置し、それぞれの視点において人体形状と姿勢を変化させながらActive Ω Modelを自動生成する。図4中の0~3は、カメラの俯角の違いを表しており、0から数字が大きくなるにつれて、カメラ位置が高くなり、3は直上視点を表現している。図5(a)は、仮想空間に配置された人体モデルである。仮想カメラ視点からこの人体モデルを撮影した際の頭部形状データを得るため、図5(b)のようなシルエット画像を生成し、頭部輪郭形状点群を得る(図5(c))。この際、レンズの内部パラメータを考慮することで、レンズひずみも踏まえたシルエット画像の生成が可能である。この処理を図4のような多数のカメラ視点から生成したシルエット画像に対して適用することで、視点変化に伴う様々な頭部輪郭形状の見えを生成することができる。得られた Ω 形状データ群に対して主成分分析を適用することで、視点変化に対応したActive Ω Modelを生成する。Active Ω Modelは図4のカメラ視点0~3それぞれにおいて個別のモデルを生成している。

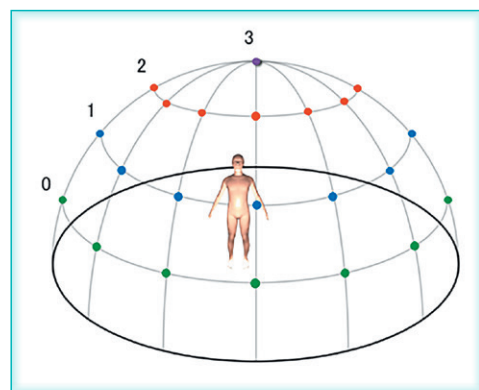


図4 仮想空間におけるカメラ視点生成

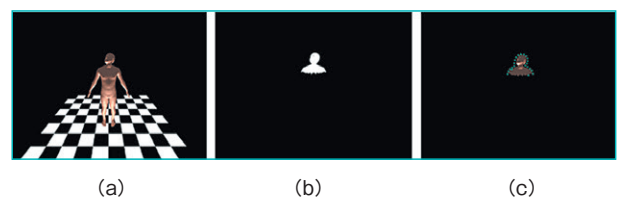


図5 頭部輪郭形状モデルの自動生成。(a)仮想空間中に配置された人体モデル、(b)頭部輪郭生成のためのシルエット画像生成、(c)自動生成された頭部輪郭形状点群

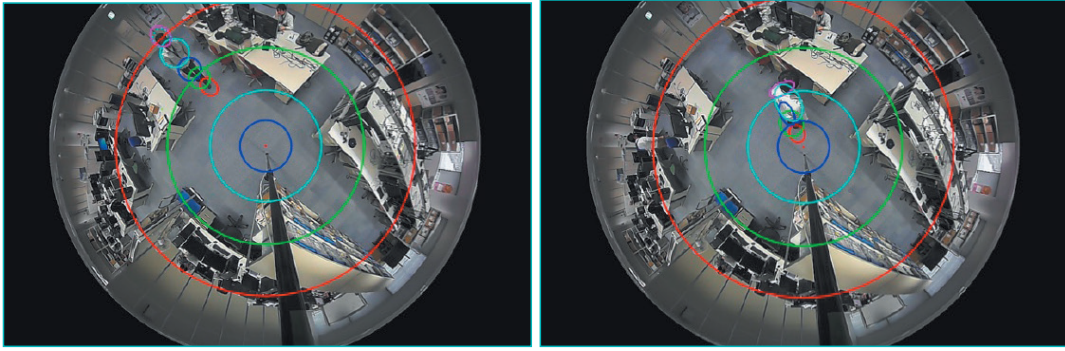


図6 広角レンズカメラ映像における人物検出例

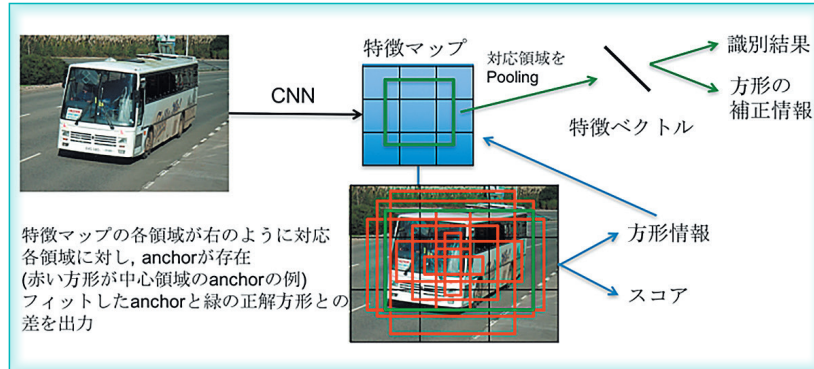


図7 Faster R-CNNの概要

2.1.4 人物検出結果の例

広角レンズカメラ映像に対し、前述の生成型学習によって得た Active Ω Model を視点ごとにモデルを切り換えながら、人物検出を行った例を図6に示す。図中の中心から描かれている四つの円は、内側から視点0~3(図4)に対応している。各円を通過する際、視点に対応した Active Ω Model を用いて、頭部検出を継続することができる。図6中の頭部を囲う円形が、Active Ω Model のフィッティングした頭部位置を示している。図6上では正確に頭部位置の検出が行われている。図6下では、直下視点の映像となり、Active Ω Model のフィッティング精度が低下しているが、頭部の検出自体は成功している。人体頭部以下の部分に描かれている円形は、頭部検出以降の体幹部検出処理によって得られたものであり、これらの円を包含する方形を描くことで、人物の検出方形を得ることができる。この処理の詳細については文献(5)、(6)を参照されたい。なお、この処理結果においては、頭部モデルと画像特徴(シルエット輪郭と輝度勾配)のフィッティング度合いが最も高い人物1名のみが検出されている。

2.2 深層学習を用いた人物検出手法

2.2.1 手法の概要

深層学習を使った高精度な物体検出手法が提案されている。特に、画像認識課題においては畳込み

ニューラルネットワーク(CNN: Convolutional Neural Networks)を用いた手法が多く提案されており、その代表的なものに Faster R-CNN⁽⁸⁾がある。Faster R-CNNの概要を図7に示す。Faster R-CNNは、画像1枚のみを入力することで物体の位置とその種類を判別することができるモデルである。Faster R-CNNは画像から特徴を抽出する一般的なCNNと、その特徴を用いて物体の領域を検出する Region Proposal Networks (RPN)、更にその物体の位置情報と画像特徴からその物体が何かを判別する識別器の三つから構成されている。RPNは物体の位置と物体らしさを表現するスコア(confidence score)を出力するネットワークで、物体位置は anchor と呼ばれるあらかじめ設計された九つのウィンドウ(3スケール×3アスペクト比)と画像上における物体位置との差分を出力する。RPNによって得られた物体位置と対応する特徴マップ上の位置で Pooling 処理を行い、得られた特徴ベクトルから物体の識別と方形座標の補正を行う。

2.2.2 人物検出結果

広角レンズカメラ映像を入力とした Faster R-CNNによる人物検出例を図8に示す。図8中の赤い方形は検出方形を、緑色の方形は正解方形を表している。また、検出枠上部の数値は、人らしさを表す confidence score である。図8の三つの結果



図8 Faster R-CNNによる人物検出結果例

は、様々な姿勢、スケールの人物に対して、人物検出に成功していることを示している。学習データに通常の監視カメラ映像に広角レンズカメラ映像を加えて学習したCNNによって、汎用性の高い人物検出器が実現できていることが分かる。カメラの設置位置やレンズパラメータに依存しない人物検出は、見守りシステムにおいて重要な要素技術であり、今後の実応用が期待される。

2.3 人物検出手法のまとめ

2.1のActive Ω Modelは四次元のパラメータで表現されており、これを画像中の前景シルエット輪郭形状及び輝度勾配と比較し、評価している。一方、深層学習における人物検出(Faster R-CNN)では、人物検出に有効な4096次元の特徴ベクトルを学習データ群から自動的に獲得している。低次元特徴の方が高速な処理が可能であるが、手動設計している特徴であり、特徴の性質を把握しやすい反面、汎化性能という点で課題がある。また、前処理の背景差分の精度が人物検出性能に依存するため、背景と人物の服装の状況によっては検出性能が低下する。一方、深層学習による手法では、特徴量が複雑で人が理解しやすいものではないが、学習データを多く収集可能であれば、背景や服装等に依存しない高い汎化性能に基づくより高精度な人物検出が可能となる。

3 見守りのための人物姿勢推定技術

前章における人物検出により、見守り対象人物の位置情報を逐次取得することができる。これにより、ベッド上にいる、ベッドから離れる(離床)、部屋を出る、等の大まかな行動の検出を、人物の位置情報とその時間変化によって捉えることができる。動線情報は、徘徊行動など、特定行動パターンの検出にも有効な情報となる。更に詳細な見守りを実現するためには、人物の姿勢状態及びその時系列変化を捉え、行動検知につなげる必要がある。コンピュータビジョンの研究分野においては、映像中の

人物の行動を自動認識する技術の研究が盛んに行われている。人物を検出した後、検出枠内において、密に抽出した特徴点の時系列対応付けによって得られた特徴点軌跡群の近傍で、様々な画像局所特徴量を抽出し、これを行動認識のための特徴量として用いる手法(Dense Trajectories)が提案されている^{(9), (10)}。また、近年では、特徴の獲得を機械学習に委ねる深層学習を行動認識に適用することで、高い識別性能を上げている事例も見られるようになってきた⁽¹¹⁾。見守りシステムにおいては、単純な行動の認識(例えば、起床、離床など)だけでなく、より詳細な人物状態の把握が必要となる場合が多いことから、人物の行動を認識する前段階として、人物の姿勢を推定する技術、人物姿勢推定技術へのニーズが高い。人物行動認識のための定量的な中間表現として、姿勢情報は有用である。ここでは、深層学習ベースの姿勢推定技術について述べる。

3.1 深層学習による姿勢推定技術

本節では、深層学習を用いた姿勢推定技術について述べる。人体の様々な姿勢の推定手法としては、DPM(Deformable Parts Model)を用いたものが提案されているが⁽¹²⁾、処理コストが高く、遮蔽に対する頑健性に課題があった。近年では、様々な人物の姿勢状態を含む姿勢推定用のデータセットが公開されており、それら大規模なデータセット群を用いた深層学習に基づく姿勢推定手法が提案され、様々な応用に用いられている。

DeepPose⁽¹³⁾では、図9に示すようなAlexNetと呼ばれる7層のCNN構造を用いて、画像中の人物の14個の関節点座標(図9中の赤い点)を回帰することができる。ネットワークの出力は、この14個の関節点の二次元座標から成る28次元の情報である。各層の値は、出力特徴マップのサイズと次元数を表している。入力画像を辺の長さ220ピクセルの正方形にリサイズし、畳込み層に入力する。畳込み層では畳込みとプーリングという処理を行っている。畳込みはフィルタを画像に畳込み、エッジや丸み、色などの特徴抽出を行う処理であり、各層で用

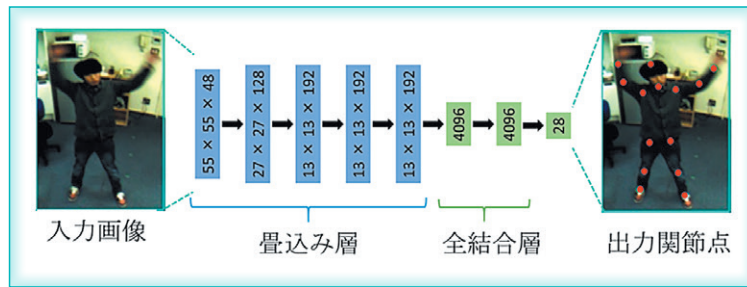


図9 姿勢推定に用いるCNNモデル (AlexNet)

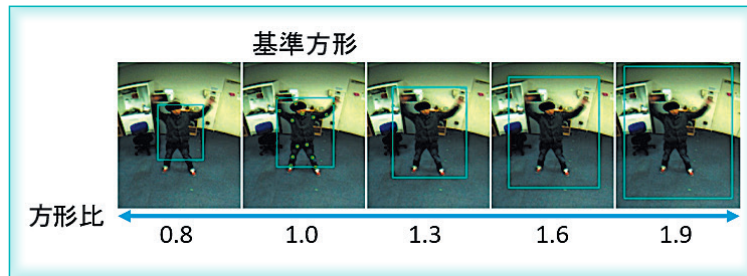


図10 方形比の変化による人物検出方形のシミュレーション例

意したフィルタの枚数だけ特徴マップと呼ばれる特徴抽出された画像群が得られる。プーリングは畳込みの出力を入力に用い、特徴の位置ずれを吸収する役割を持つ。プーリングは注目領域の中から選択した代表画素1ピクセルに集約するダウンサンプリングを行う。プーリングの代表画素の選択には最大値や平均値など様々な方法が取られるが、DeepPoseにおいては最大値を選択するプーリングが使用されている。この畳込みとプーリングを対として階層的に特徴抽出を続けることで、様々な姿勢や見えの変化に対して対応可能な姿勢推定が実現される。

3.2 人物検出方形の誤差を考慮した姿勢推定手法

一連の見守りシステムを実現するためには、人物検出時に生じる人物検出方形の誤差に対して頑健な姿勢推定が必要となる。人物検出方形とは、人物検出の位置とサイズを表すため、画像中の人物を適当な大きさで囲った方形である。ここで人物検出方形の誤差とは、人物検出時に生じるサイズの誤差、及び人物検出方形の位置ずれのことをいう。これらの誤差は主に人物周辺の背景や人物の姿勢状態が原因となって生じることが多い。既存の姿勢推定手法は、人物方形枠が正しく与えられていることを前提にしていることが多いが、実際には人物を自動検出した後、その検出結果に対して姿勢推定を行うことになる。そのため、人物検出時に生じる人物検出枠方形の誤差にも対応可能な姿勢推定を実現する必要がある。CNNを用いた姿勢推定手法において、学習時と推定時の2点で工夫を施すことで人物検出から姿勢推定までの処

理を自動化する。また、天井に広角レンズカメラを設置した屋内環境にて、様々な位置で多様な姿勢をとっている人物6名を対象に撮影して得た1万枚の画像に、関節位置情報を付与した姿勢推定用のデータセットを作成した。このデータセットによる学習により、広角レンズカメラを使用することによる人物形状のひずみに対応する。

学習時における工夫として、人物方形のサイズに関するカリキュラム学習を提案している⁽¹⁴⁾。この手法では図10のように、画像の切り取り幅を変えることで人物検出枠のサイズ誤差を考慮して作成した人物方形データを利用する。付与されている14個の関節点に外接するような方形を基準方形と設定し、基準方形の辺に方形サイズ比と呼ぶ値を掛けることでシミュレーションを行う。方形サイズ比は、基準方形に対する対象方形の大きさの比を示している。学習初期段階では、人物の全身が映っている学習データを入力するために方形比を1.7~2.0と設定し、学習が進むにつれて方形比の最小値を小さくしていくことで、人物の手足がはみ出るような学習データの割合を増やしていく。このとき、関節位置は切り取り画像の中心を原点とした相対座標として表し、画像外にはみ出る関節位置も相対座標で表す。このように学習過程で推定の簡単なサンプルから徐々に難易度の高いサンプルを増やしていくこと(カリキュラム学習)で、CNNの推定が様々な方形サイズ変化や位置ズレに対応できるようになっている。

その後の推定時の処理として、図11のような再帰的姿勢推定を提案している⁽¹⁴⁾。カリキュラム学習済みのCNNに関して、人物検出方形に対する推定さ

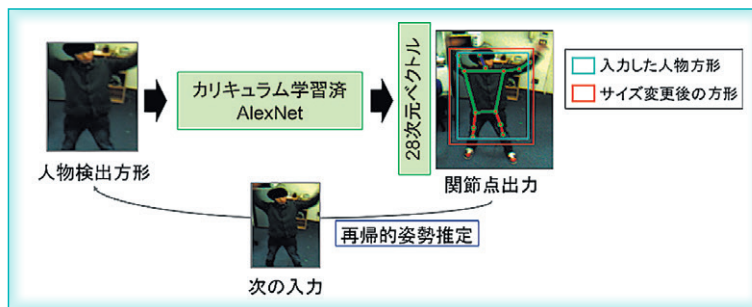


図 11 再帰的姿勢推定の処理

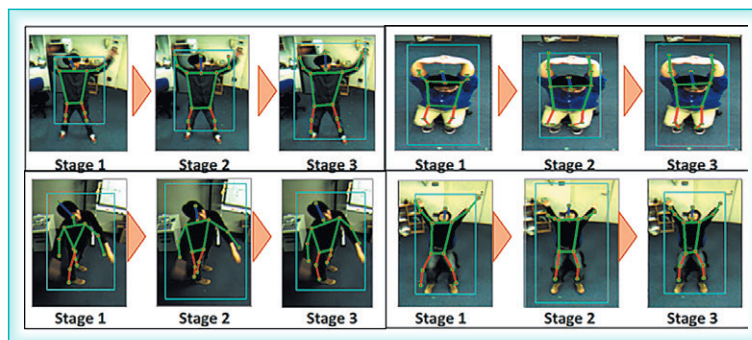


図 12 再帰的姿勢推定結果

れた姿勢のサイズ比と姿勢の推定精度に相関があることを利用して、CNN の出力から入力に用いた人物検出方形が適切か判定し、不適切であれば人物検出方形のサイズ変更を行って再度 CNN に入力し直す。この再帰的姿勢推定手法により、人物検出方形のサイズ誤差に対して頑健な姿勢推定が実現できる。

図 12 に、四つのケースに対する再帰的姿勢推定による人物方形の変化と姿勢推定精度向上の様子を示す。人物方形は水色の方形で示しており、CNN モデルはカリキュラム学習したものを繰り返し使用している。Stage 1 は初期の人物検出方形からの姿勢推定結果であり、Stage 2 以降はそれぞれ再帰的姿勢推定による再推定の結果である。人物検出方形のサイズ変更では、縦横の辺の長さを 1.2 倍する拡大と 0.8 倍する縮小の選択を行う。

以上の処理により、人物検出段階における人物方形の誤差の影響に頑健な姿勢推定を実現することができる。

4 見守りのための人物行動認識技術

4.1 概要

見守りシステムにおいては、「起床」、「離床」、「転倒」など、特定の行動の認識が求められることが多い。このように事前に認識対象の行動パターンが既知の場合には、教師あり学習による行動認識のアプローチが有効である。本章では、時系列ニューラルネットワークを用いた行動認識事例を紹介する。

CNN を用いて姿勢特徴の抽出を行い、時間方向に姿勢特徴を連結して時系列ニューラルネットワークの入力として用いることで、行動の認識を行う。また、行動の学習において行動の連続性を考慮した LSTM (Long short-time memory) を用いる。図 13 に手法の概要を示す。

4.2 CNN による姿勢特徴の抽出

本手法では、始めに姿勢情報の特徴化のための CNN による姿勢推定器を作成する (図 13)。姿勢推定器は既存の姿勢推定手法である DeepPose⁽¹³⁾ (図 9, 3.1) で提案されているネットワーク構造を利用した。作成した姿勢推定器の最終層以外の構造を用いて姿勢特徴抽出器を作成することで姿勢特徴の抽出を行った。ここで、最終的な関節座標を表現する関節座標ベクトルを行動認識の入力として用いるよりも、姿勢情報を抽出するための CNN において、最終出力層手前の全結合層の高次元特徴 (4096 次元) を用いた方が、行動認識の精度が有為に高くなることが実験的に示されたため、これを行動認識のための特徴として用いている。

4.3 時系列行動認識

次に、姿勢特徴を入力とした行動の認識を行った。一般に、人物行動は一つの動作が行われる間隔が行動ごとに異なるため様な時間間隔で認識することは困難である。そこで、時間的な変化を柔軟に扱うことができる LSTM を導入した。LSTM は

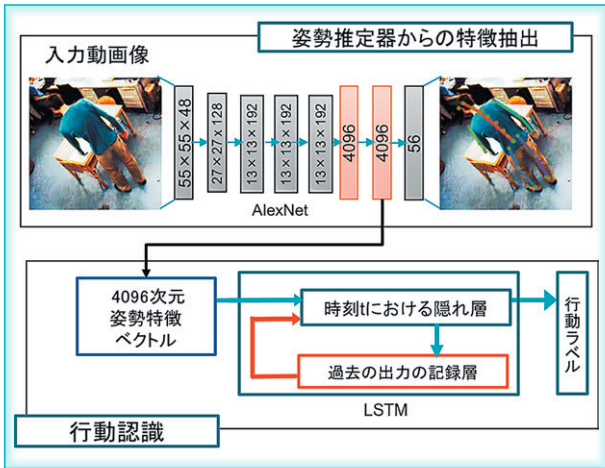


図 13 姿勢特徴抽出と時系列行動認識の概要

RNN の基本的な構造はそのままに中間層のユニットを LSTM ユニットに置き換える⁽¹⁵⁾。LSTM ユニットはメモリセルと三つのゲート構造から構成され、それぞれのゲートは現時刻の入力と前時刻の中間層の出力を入力に 0 から 1 までの値を出力する。それぞれのゲートの値をユニットへの入力、出力、メモリセルに保持されているデータに掛けることで制御を行う。このユニット構造により、長期間の系列データの反映を可能にしている。見守り用途における行動認識を考慮した場合、ベッド上で起床した後、次に次の動作が連続して発生する、ベッドに座っている状態から立ち上がり移動する、等のように行動遷移の時系列的な関係を捉えることが重要である。LSTM は、フレーム間の短期間における時系列的関係のみならず、長期間の系列データを反映できるため、有効な手段となる。LSTM は学習の際にある決められたフレーム数までを連続した系列情報として学習し、その後保持している系列情報を解放してから新たに系列情報を入力し学習を行う。すなわち、考慮する系列情報の長さを系列情報の解放を行うことによって制限することができる。この系列情報の長さはタスクによって様々だが、本手法では、遷移する行動ラベルの数を基に系列情報をメモリから削除をしており、行動間で意味があると考えられる時系列情報のみを考慮するように学習している。

LSTM は過去の処理結果を再帰的に入力することで入力を時間的に解析する手法で、内部に結果を蓄積する構造を持つことで長期間の記憶を参照できるが、参照するデータ量が増えると過学習が起きやすくなる欠点が存在する。そこで、行動間の遷移を考慮した学習手法を提案した。この手法は学習時に行動の切り替わりを基準に入力動画を分割し、学習することで行動の変化を捉えながら行動ごとに適した時系列関係を学習する。また、LSTM は 1 フレー



図 14 TUM-Kitchen データセットにおける行動認識の例 (緑字：正解行動ラベル、赤字：推定された行動ラベル)

ムずつ入力を受け付けるため認識できる行動の長さに制限がなく、入力を逐次処理できる。この特性は、見守りなどの長時間行動を認識し続けることが必要なシステムに適していると考えられる。

TUM Kitchen Data Set⁽¹⁶⁾ に対し、本手法による行動認識実験を行った。TUM Kitchen Data Set は 4 視点から 25 fps で同時撮影された RGB 画像とモーションキャプチャによって得られた正確な三次元関節位置情報を含むデータセットである。行動クラスは九つのクラスが付与されており、5 人の異なる被験者によって動画画像が作成されている。映像中には一人の人物がキッチンの中で連続的な行動を任意の順序で行っており、学習に用いるために手動で事前に行動ごとに分割を行った。今回の実験では 5 人のうち 4 人の動画画像で姿勢推定器や行動認識器の学習を行い、残り一人の動画画像に適用することで九つの行動クラスに対する認識精度検証を行った。データセット内の動画画像には、フレームごとに正解の行動ラベルが付与されており、これを行動認識の ground truth とした。各フレームにおいて認識した行動クラスが ground truth の行動クラスと一致した場合を認識成功、それ以外を認識失敗として精度を求めた。その結果、80% 程度の認識精度を実現した。

行動認識結果の例を図 14 に示す。図中の緑字が正解行動のラベル、赤字が推定された行動ラベルを表している。それぞれ、左の図が“Opening a door,” 右の図が“Carrying while locomoting”の行動となっており、両方とも正しく認識ができていることを示している。また、図中の赤い点はデータセット中に含まれる関節点の位置、それらを結んだ直線

は関節点から構成される人物骨格情報を表している。

4.4 行動認識のためのデータセットについて

行動認識のためのデータセットは幾つか公開され、利用可能となっているが、その多くは生活行動を長時間記録したようなものではなく、特定の動作を動画単位で撮影したものが多く、各動画像に含まれる一つの行動を認識する、という課題設定となっている。見守り用途では、ベッドやその周辺で想定される様々な行動（起床、離床、転倒、ベッドからの転落、徘徊）及びその時系列の関係までも記録されたようなデータセットが望ましいが、現状では各研究機関が独自にデータセットを作成して研究を進めているような状況であり、データの共有には至っていない。また、今回、見守り用途で活用が進んでいる広角レンズカメラの映像での画像処理技術の一部を紹介したが、広角レンズカメラ映像、更には夜間の見守りに必要な赤外線カメラの映像などを含んだデータセットも今のところ見られない。プライバシーの問題もあり、上記のような要件を満たしたリアルなデータの収集及び公開は難しいのが現状であるが、オープンイノベーションを加速するためにも、世界中の見守りシステムの研究開発者が自由に用いることのできるデータセットの登場が待たれる。

5 おわりに

本稿では、視覚による見守りシステムに関連する画像処理技術として、対象人物の検出、姿勢推定、行動認識に関する技術について述べた。個々の技術に関しては、近年、深層学習の活用により、目覚ましい進化を遂げているが、見守りシステムとして、個々の技術をシームレスにつなぐ点において、いまだ課題がある。今後、この分野における機械学習、特に深層学習の利活用はますます進むであろう。一方で、特定の個人の状況に応じて、認識システムが適応して精度を向上させるような仕組みについても合わせて検討する必要がある。プライバシーの課題はあるものの、ほかのセンサに比べて詳細な人の状態認識につながる有益な情報を含む画像による見守りシステムに対する期待は、今後より高まっていくであろう。

■ 文献

- (1) 内閣府, 平成 27 年版高齢社会白書, 2015.
- (2) 大槻知明, “安全・安心のための電波センシング,” 信学技報, WBS2011-76, pp.183-188, Feb. 2012.
- (3) 西 宏之, 金 金, 木村義政, 柿木稔男, “パターン認識による生活音識別アルゴリズム,” 信学技報, LOIS2014-17, pp.1-4, Sept. 2014.
- (4) 鈴木琢治, 田中宏和, 南 重信, “ウェアラブル生体センサ Silmee の開発,” 2013 信学ソ大, AP-1-4, Sept. 2013.
- (5) 橋本 潔, 片岡裕雄, 里 雄二, 田藤雅基, 青木義満, “統計的人体形状モデルを用いた人物追跡と Random Forest による姿勢状態分類,” 精密工学会誌, vol.81, no.12, pp.1162-1167, Dec. 2015.
- (6) 橋本 潔, 里 雄二, 田藤雅基, 青木義満, “統計的人体形状モデルの生成型学習とカメラ位置を考慮した人物追跡,” MIRU2015, SS5-19, July 2015.
- (7) 持丸正明, “ユーザビリティ評価のための人体構造・機能モデル Dhaiba,” 日本 AEM 学会誌, vol.13, no.3, pp.215-220, May 2005.
- (8) S. Ren, K. He, R. Girshick, and J. Sun, “Faster R-CNN: Towards real-time object detection with region proposal networks,” Advances in Neural Information Processing Systems 28, pp.91-99, May 2015.
- (9) M. Raptis, I. Kokkinos, and S. Soatto, “Discovering discriminative action parts from mid-level video representations,” Proc. Computer Vision and Pattern Recognition 2012, pp.1242-1249, Providence, USA, June 2012.
- (10) L. Wang and H. Sahbi, “Directed acyclic graph kernels for action recognition,” Proc. International Conference on Computer Vision 2013, pp. 3168-3175, Sydney, Australia, Dec. 2013.
- (11) S. Ji, W. Xu, M. Yang, and K. Yu, “3D convolutional neural networks for human action recognition,” Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol.35, no.1, pp.221-231, March 2013.
- (12) Y. Yang and D. Ramanan, “Articulated pose estimation using flexible mixtures of parts,” Proc. Computer Vision and Pattern Recognition 2011, pp.1385-1392, Colorado Springs, USA, June 2011.
- (13) A. Toshev and C. Szegedy, “DeepPose: Human pose estimation via deep neural networks,” Proc. Computer Vision and Pattern Recognition 2014, pp.3476-3483, Columbus, USA, June 2014.
- (14) R. Go and Y. Aoki, “Flexible top-view human pose estimation for detection system via CNN,” Proc. IEEE GCCE2016, Kyoto, Oct. 2016.
- (15) S. Hochreiter and J. Schmidhuber, “Long short-term memory,” Neural Computation, vol.9, no.8, pp.1735-1780, Nov. 1997.
- (16) M. Tenorth, J. Bandouch, and M. Beetz, “The TUM kitchen data set of everyday manipulation activities for motion tracking and action recognition,” IEEE 12th Int. Conf. on Computer Vision Workshops, pp.1089-1096, Kyoto, Sept. 2009.

青木義満 (正員)

慶大・理工・電子・准教授。2001 早大大学院理工学研究科にて博士(工学)取得。2002 芝浦工大・工・情報・講師。准教授を経て、2008 から現職。画像センシング技術、画像パターン認識技術に関する研究に従事。画像電子学会、映像情報メディア学会、IEEE 各会員、日本顔学会理事。画像センシング技術研究会組織委員。



地域におけるWi-SUNとスマートフォンの融合利活用による徘徊高齢者搜索支援システム

A Supporting System to Search for a Loitering Elderly with the Synergy of Community-based Wireless Smart Utility Network and Smart Phones

荘司洋三 Yoza Shoji†

Summary

筆者が提案する、地域における Wi-SUN (Wireless Smart Utility Network) デバイスとスマートフォンの融合利活用による徘徊高齢者搜索支援システムについて解説する。Wi-SUN はスマートメータや HEMS (ホームエネルギーマネジメントシステム) 等の応用を中心として、今後地域の無線インフラとして広く浸透する次世代 IoT (Internet of things) 用無線通信規格である。高齢者が携帯することを想定した、小形の無線タグの発信信号を Wi-SUN 準拠の無線ビーコン (Wi-SUN ビーコン) とすることで、地域に散在する Wi-SUN 準拠の機器群を活用して構築可能な徘徊高齢者搜索支援システムを提案している。同システムは Wi-SUN タグを携帯する高齢者の活動エリアをリアルタイムに特定できることに加え、行方不明高齢者等の搜索シナリオにおいて、地域住民が参画・協力しやすいシステム設計としている。より具体的には、Wi-SUN ビーコンを受信・処理可能な固定 Wi-SUN ルータと、USB 型の Wi-SUN モジュールをスマートフォンに接続するだけで実現可能なスマートフォン型モバイル Wi-SUN ルータを開発し、誰でも簡単に搜索対象となっている高齢者の活動エリア特定に貢献できる仕組みを実現した。また、「見かけたらタップ」ボタンを搭載したスマートフォン用アプリケーションを開発して、直接高齢者に対して「声掛け」することに躊躇する住民であっても、簡単に搜索に貢献できる仕組みを実現した。最後に開発システムを活用して、千葉県香取郡神崎町の住民参加の下実施された、徘徊高齢者搜索模擬訓練の様子についても述べる。

Key Words

Wi-SUN, コミュニティ, 徘徊高齢者, Wi-SUN ビーコン

1 はじめに

少子高齢社会の代表的な課題として、認知症等による徘徊高齢者の問題が顕在化している。平成 28 年 6 月に警察庁が公表した「平成 27 年中における行方不明者の状況⁽¹⁾」によると、認知症が原因で行方不明になった人は 3 年連続増加しており、昨年度は 1 万 2,000 人を超えている。認知症等による高齢者の行方不明を防止するためには、地域での見守り体制の整備が重要とされており、全国的にも見守りネットワークの構築等の取組みが急がれている。

徘徊高齢者の問題解決を試みる ICT 利活用システムとしては様々なものが提案されており既に実用化されているものも多く存在する。主には「(1) 3G/LTE アクセス機能付き GPS 端末を携帯してもらう方法」、「(2) BLE ビーコン端末を携帯してもらう方法」、「(3) その他の独自ビーコン端末を携帯してもらう方法」の三つに分類できる。

「(1) 3G/LTE アクセス機能付き GPS 端末を携帯

してもらう方法」は GPS 機能によって検出した端末の位置情報を 3G ないしは LTE 回線を介して逐次インターネット上のアプリケーションサーバにアップロードする仕組みであり、既に複数の商用システムが存在する^{(2), (3)}。

筆者が複数の自治体等を訪問してヒアリングした限りにおいては、漏れなく (1) の GPS 端末を携帯してもらう方法を導入しているか、若しくは導入した経験を有していたが、端末が大きくて重たい、バッテリーが長時間持たない、運用コスト (通信費) が高いといった声も多く、十分な利活用が進んでいないことが確認できた。また、GPS を活用することから、ビル内や地下街等の GPS の電波が届かない場所では十分な性能が期待できないことも課題として広く認識されている。

一方、「(2) BLE ビーコン端末を携帯してもらう方法」は BLE (Bluetooth Low Energy: 別称 Bluetooth 4.0, 若しくは Bluetooth Smart⁽⁴⁾) 仕様に準拠したビーコン端末を高齢者等に携帯してもらい、同端末が定期的に発信するビーコン情報を周辺の BLE ビーコン受信機器が受信・処理してインターネット上のアプリケーションサーバにアップロードする仕組みである。近年 BLE による通信機能がほとんどのスマートフォンに標準実装されていること

† 国立研究開発法人情報通信研究機構, 小金井市
National Institute of Information and
Communications Technology, Koganei-shi,
184-8795 Japan

から、結果として受信機器が遍在する環境とデバイスの低コスト化が同時に進み注目されている方法である。各地で盛んに実証実験が実施されると同時に一部には商用サービス開始の動きもある^{(5)~(9)}。

一方で、BLE 機器はその本来の仕様策定の経緯から、実質的な電波の到達範囲が半径 10 m 程度に限られる。したがって、特に郊外等で広範囲にわたってビーコン検知サービスエリアを構築することは非現実的であり、徘徊高齢者等が通り掛かりそうな場所にスポット的にビーコン受信機器を敷設する方法が採られる。

本稿にて述べる「地域における Wi-SUN とスマートフォンの融合利活用による徘徊高齢者捜索支援システム」は上述した (1) や (2) の諸課題を解決する「(3) その他の独自ビーコン端末を携帯してもらう方法」に該当する。(3) に該当する他の商用システムも既に存在するが⁽¹⁰⁾、筆者が提案する方法は、スマートメータや HEMS 用途を皮切りに地域に浸透することが約束された Wi-SUN デバイスと同じ無線方式に準拠したビーコンを活用する点が既存のシステムと大きく異なる。

Wi-SUN を用いる方法は、同無線方式を用いた無線デバイスがインフラとして広く普及することが見込めることから、将来的なサービスエリアの拡張性やサービスの安定性・継続性を考えた場合、極めて有効と考えられる。また本稿では詳細を解説しないが、見通し外の環境であっても電波の到達性能を実質的に容易に延伸できる、マルチホップやメッシュネットワークの国際標準化活動が Wi-SUN への適用を想定して進行中である⁽¹¹⁾。このような方式を搭載した Wi-SUN デバイスが普及すれば、マルチホップによる実質的な電波の到達距離延伸のみならず、メッシュネットワーク化による複数の通信経路の確保によって、一部の通信リンクが不通となった場合にでも柔軟に通信経路を再構成できて、災害等にも強い地域ネットワークを構築できる。

ところで、徘徊高齢者の捜索ネットワーク構築に ICT を利活用しようとする動きはまだ十分に浸透しておらず、実際には徘徊 SOS ネットワークを構成する方法が、地域に受け入れられている最も進んだ方法と考えられる。

徘徊 SOS ネットワークの構成にあたっては、基本は徘徊による行方不明者の家族等が最寄りの警察署へ捜索依頼をするとともに、SOS ネットワーク利用の申請をすることから始まる。警察署は地域包括ケア推進課等に SOS ネットワークによる発見の依頼をする。依頼を受けた地域包括ケア推進課等

は、関係機関（各区保健福祉センター等）への発見の協力を依頼して、関係機関が行方不明者を発見した場合は、警察へ連絡することで一連の捜索がなされる。捜索にあたっては、家族（警察経由）からの要請があれば、ツイッターやメールの利用、防災行政無線（屋外スピーカ）、ケーブルテレビの放送電話を活用する場合もある⁽¹²⁾。

このような状況下で、自治体や地域の社会福祉協議会が重要視する徘徊高齢者の被害を拡大しない街づくり施策としては、「声掛け」の勧めがある。街の住民皆で高齢者を見守ることを目標とし、様子がおかしい、道に迷っているように見える高齢者には積極的に声を掛けられる地域社会を実現しようとする動きである。

「声掛け」によって実現しようとする街づくりは、基本は ICT に頼らない街づくりだが、地域に浸透する ICT によって、より「声掛け」がしやすい環境や機会を提供する、若しくは若者らにとって比較的敷居の高い「声掛け」に相当する貢献を可能にする ICT の提供は重要と考えられる。

本稿が解説する、Wi-SUN とスマートフォンの融合利活用による徘徊高齢者捜索支援システムの開発は、今後スマートメータ等の用途で普及と低コスト化が一気に進む無線通信規格 Wi-SUN に準拠した無線デバイスと、既に全国平均普及率 62% を超えているスマートフォン⁽¹³⁾ を協調動作させて徘徊高齢者の捜索に生かすシステムである。

また本稿の最後には、千葉県香取郡神崎町社会福祉協議会の協力により実現した、同協議会主催「みまもり声かけ体験～徘徊高齢者捜索模擬訓練～」⁽¹⁴⁾ にて上記システムを試験的に利用した結果を紹介する。

2 Wi-SUN を活用した徘徊高齢者発見の基本的な仕組み

図 1 に Wi-SUN を活用した徘徊高齢者発見の仕組みを示す。徘徊等が危惧される高齢者には家族らの勧めにより Wi-SUN タグを携帯してもらうことを前提としている。

Wi-SUN タグからは、ネットワーク識別子である PAN-ID (Personal Area Network-Identifier) に、高齢者見守りシステム専用の識別子が割り当てられた Wi-SUN ビーコンが定期的に発信される。

高齢者の活動エリアや逆に高齢者が立ち寄ることが危険とされるエリアに設置された Wi-SUN ルータには、上記に該当する PAN-ID の Wi-SUN ビーコンを受信できる設定が施されており、Wi-

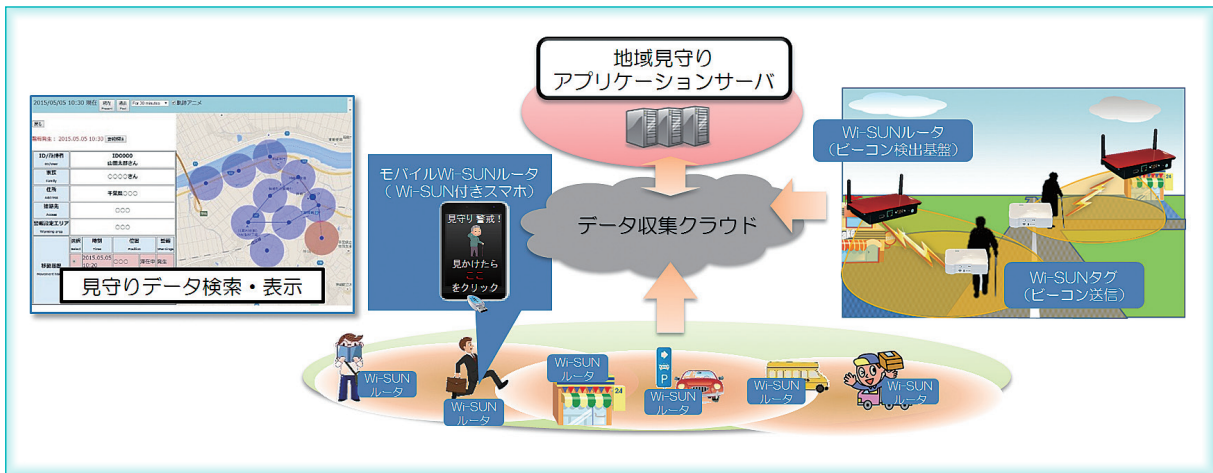


図1 Wi-SUNを活用した徘徊高齢者発見の仕組み

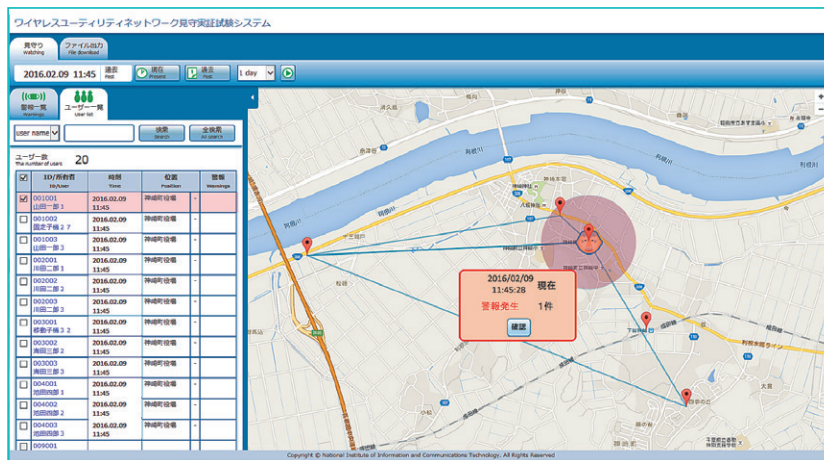


図2 Wi-SUN ビーコンタグの現在位置と過去の移動履歴表示画面



図3 Wi-SUN タグ (左) と固定 Wi-SUN ルータ (右)

SUN ビーコンを受信した場合には、これに含まれるデバイス識別子 (MAC アドレス) に加えて、Wi-SUN ルータが Wi-SUN ビーコンを検出した際の受信時刻と受信強度 (RSSI: Received Signal Strength Indicator) の情報、ルータ自身のロケーション情報 (GPS による緯度経度情報) を含んだ IP パケットを生成して 3G/LTE 回線を使いデータ収集クラウドに転送する仕組みとなっている。

インターネット上に構築された地域見守りアプリケーションサーバはデータ収集クラウドにアクセスして、複数の Wi-SUN ルータから収集された Wi-SUN ビーコンの受信情報を集計処理して、Wi-SUN タグの現在位置や過去の移動履歴を推定して

表示する機能、及び事前に登録された危険エリアへの侵入を検知して知らせる機能を提供する (図2)。

3 Wi-SUN を活用した徘徊高齢者捜索支援システムの開発と基本的性能

Wi-SUN を活用した徘徊高齢者捜索支援システムの実用性を検証するために実証システムの開発を行った。図3に開発した Wi-SUN タグ (左) と固定 Wi-SUN ルータ (右) の外観を示す。

Wi-SUN タグは図4に示した Wi-SUN 準拠のビーコンフレームを定期的に発信する機能のみを有しており、デバイス識別情報 (発信元 MAC アドレス) と、所属システム若しくはサービスの識別に用いる PAN-ID を含んだ、必要最小限の MAC ヘッダ情報のみで構成されたフレーム構造となっている。

なお、このような極めて短いフレーム構造 (34 Byte 長) を用いることは Wi-SUN タグのバッテリー長寿命化にも貢献するが、実際にはフレーム長以上に、ビーコンの発信頻度が大きく影響することが分かっている。開発した Wi-SUN タグは、1 秒

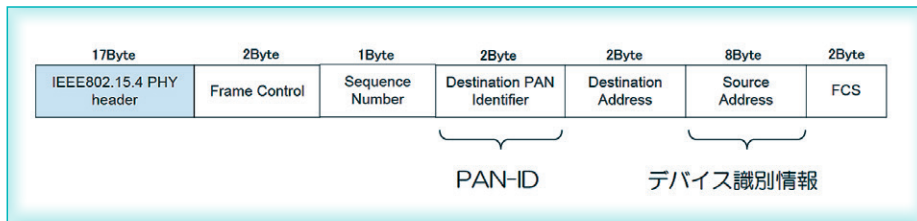


図4 Wi-SUN ビーコンフレームフォーマット



図5 Wi-SUN ビーコン RSSI 特性測定環境（見通し）

単位での発信周期の任意設定が可能だが、毎秒発信の場合で13日間、10秒間隔発信の場合には100日間程度の継続動作を実運用にて確認している。

Wi-SUN を活用した徘徊高齢者支援システムの性能として特筆すべき点は、まずはスマートメータ用途を皮切りに地域に浸透する Wi-SUN デバイスと同じ無線方式に準拠したビーコンを活用することで、将来的に更なるデバイスの低コスト化が期待できる点、サービスエリアの拡張性や安定したサービスの継続性が期待できる点などが挙げられるが、近年注目されている「(2) BLE ビーコン端末を携帯してもらう方法」と比較した場合には、ビーコンの到達性能が大きく異なる。

国内における Wi-SUN 準拠の無線システムは、ARIB 標準 T-108⁽¹⁵⁾ に準拠した 920 MHz 帯での運用が義務付けられており、最大空中線利得 3 dBi の制約下で空中線電力としては最大 20 mW での運用が求められる。このような法的制約の下、実際的なアンテナ設置場所や設置形態も想定した上で、期待できる実用的な通信距離がどの程度かを把握しておく必要がある。

徘徊高齢者捜索支援システムとして開発した Wi-SUN タグと固定 Wi-SUN ルータ（図3）の組合せを用いて、筆者が勤める情報通信研究機構内における見通し環境にて Wi-SUN ビーコンの距離対 RSSI

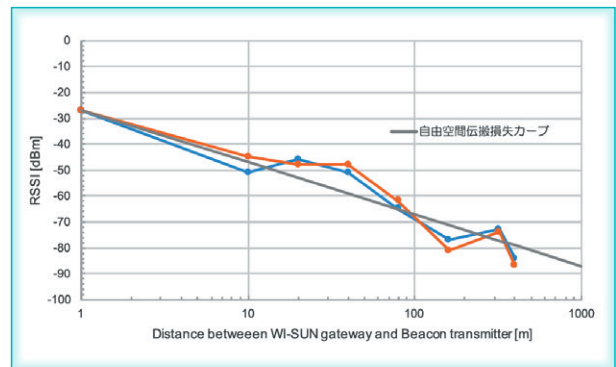


図6 Wi-SUN ビーコン距離対 RSSI 特性（見通し）

特性を測定した。測定環境を図5に示す。送受信機をより高い位置に設置することで、高い受信強度が得られることが自明であるが、Wi-SUN タグを携帯する実際の運用状態を想定して、Wi-SUN タグ（送信機）の設置高を1m、Wi-SUN ルータ（受信機）の設置高を1.8mとして計測した。

図6に2回計測を行った結果を示す。同測定環境では最大400mまでの計測となったが、およそ自由空間伝搬損失カーブに従う（距離の二乗に反比例する）RSSI特性が確認された。なお同図から、距離400m地点において-90 dBm以上のRSSI値が得られていることと、Wi-SUN ルータの受信感度が-100 dBm以下であることが確認されていることから、本機器構成における見通し環境での Wi-SUN



図7 Wi-SUN ビーコン RSSI 特性測定環境（見通し外）

ビーコン到達性能は 1,000 m 程度と推定できる。

次に同様の機器構成及び設置高の条件を用いて、Wi-SUN タグと固定 Wi-SUN ルータを見通し外環境に設置した場合の RSSI 特性を確認した。図 7 に測定環境を示す。計測場所としては当機構の敷地内を用いた。○マークで示した 5 箇所（A～E 点）に固定 Wi-SUN ルータを設置し、▽マークで示した①～⑨の位置に Wi-SUN タグを移動・停止させた場合の各固定 Wi-SUN ルータにおける RSSI を計測した。なお RSSI 測定では、Wi-SUN タグを所定の位置に移動させた後、5 分間静止状態にて受信ビーコンの受信強度を観測し、受信された最大の RSSI 値を採用した。

図 8 には各 A～E 点における固定 Wi-SUN ルータでのビーコン受信強度の変動の様子を示す。各プロット上部に括弧書きにて記した距離は Wi-SUN タグと Wi-SUN ルータ間の道路に沿った最短距離である。計測不能であった場合にはプロットの代わりに NG と記述した。Wi-SUN ビーコンの移動（設置場所①～⑨点への移動）に伴いコンクリート製の建造物（4 階建て高さ約 19 m）によって見通し通信路が遮蔽されることから、当初見通し外では受信強度の極端な減少が発生することを予想したが、見通し外であっても多くの場合、道路や通路に沿った反射伝搬によるものと見られる良好な受信特性が得られることが確認された。

4 モバイル Wi-SUN ルータと徘徊高齢者 検索支援用アプリケーションの開発

USB 型の Wi-SUN モジュールをスマートフォンに接続するだけで実現可能なモバイル Wi-SUN ルータ、及びスマートフォン専用アプリケーションを開発し、一般の地域住民等が携帯するだけで、簡単に検索対象となっている高齢者の活動エリア特定に貢献できる仕組みを開発した。モバイル Wi-SUN ルータの外観を図 9 に、スマートフォン専用アプリケーション起動画面の一例を図 10 に示す。

モバイル Wi-SUN ルータは Wi-SUN ビーコンを受信した場合は、固定 Wi-SUN ルータと同等の処理を実行して受信 Wi-SUN ビーコンの情報をクラウドにアップロードするが、検索対象として登録された高齢者の Wi-SUN ビーコンを受信した場合には、スマートフォンの携帯者にリアルタイムに注意喚起する機能を有している（図 11）。

注意喚起を行うにあたっては、まずは「80 歳代の男性が近くにいます。見かけたら声掛けをお願いします（例）」の内容で「声掛け」を促す音声案内と画面表示を行い、検索対象となっている高齢者の特徴を示す詳細画面が表示される仕組みを実装した。

特筆すべき特徴としては、画面表示には「見かけたらタップ」ボタンを備えることで、特に若者や声掛けを躊躇しがちな人であっても、同ボタンさえタップすれば実際に「声掛け」をすることなく、検索の重要な参考情報となる「見かけた」情報をシス

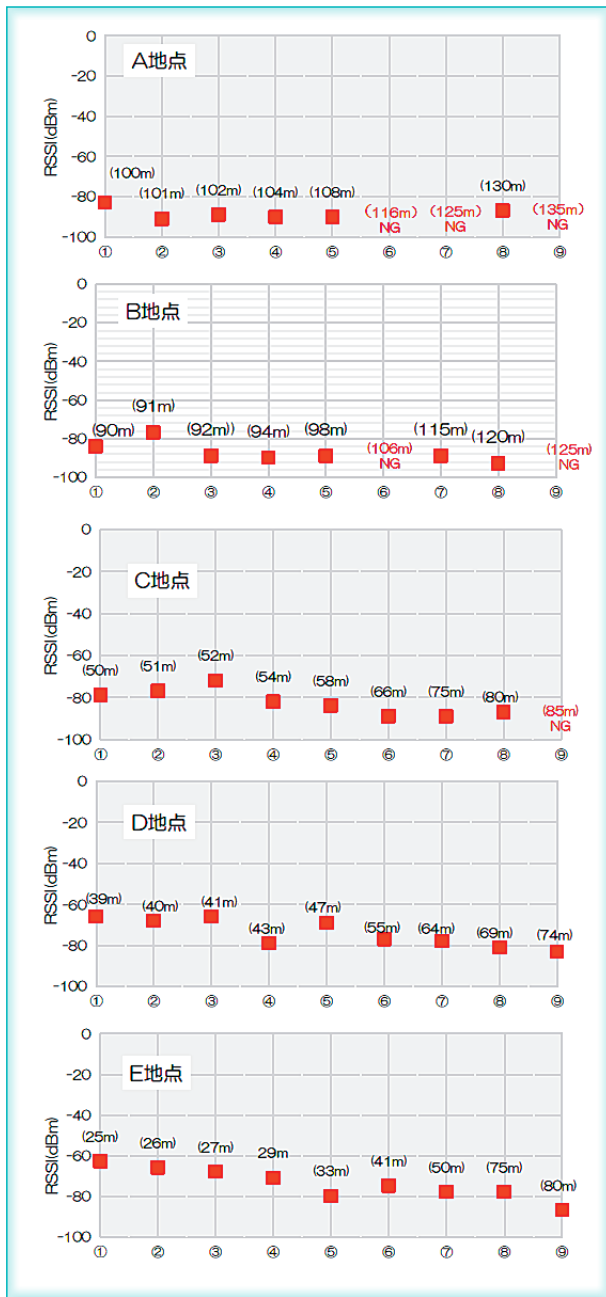


図8 Wi-SUN ビーコン受信強度特性（見通し外環境）

テム管理者に通知できる仕組みを実現した。

また、専用アプリケーションをインストールしたスマートフォンは、定期的に自身の位置情報を地域見守りアプリケーションサーバに知らせており、Wi-SUNの電波が届かない範囲までを含み、位置関係から検索対象として登録されている高齢者と出会う可能性が高いと思われるスマートフォンの携帯者を抽出して注意喚起と検索協力依頼を行う仕組みを実現した（図12）。

上記仕組みにより抽出されたスマートフォンには、音声と画面双方での検索協力依頼がなされると同時に、検索対象として登録された高齢者の当初の行方不明場所（最終確認場所）と現在の自分の位置関係を確認できる仕組みを実装した。



図9 モバイル Wi-SUN ルータの外観



図10 スマートフォン専用アプリケーション起動画面



図11 検索協力依頼の画面例（Wi-SUN ビーコン受信時）



図12 検索協力依頼の画面例（Wi-SUN ビーコン受信時）



図 13 千葉県香取郡神崎町における「みまもり声かけ体験」～徘徊高齢者搜索模擬訓練～⁽¹⁴⁾

5 千葉県香取郡神崎町における 搜索模擬訓練での活用

平成 28 年 3 月 27 日千葉県香取郡神崎町にて“「みまもり声かけ体験」～徘徊高齢者搜索模擬訓練～”が、同町社会福祉協議会主催の下実施された(図 13)⁽¹⁴⁾。

同訓練では 2 名の徘徊高齢者役と約 30 名を超える搜索役を買って出た町民参加の下実施された。徘徊高齢者役の 2 名には Wi-SUN タグ (10 秒ごと発信に設定) をポケットに入れてもらい、あらかじめ決められた徘徊を模擬したルートを行ってもらった。なお、搜索役については 1～6 班に分かれてもらい、そのうちの半分に該当する第 3～6 班の人にモバイル Wi-SUN ルータを所持してもらい搜索してもらった。

図 14 及び図 15 に搜索模擬訓練途中における状態を可視化した画面 (管理者画面) の一例を示す。道路に沿って描かれた赤線は、同時間帯に徘徊役が移動したと推定される、既定の徘徊ルート (一部) を示している。これらの画面には今回の搜索模擬訓練を実施するにあたって町内 8 箇所に設置された固定 Wi-SUN ルータの位置が赤いピンマークで示されている。同ルータが Wi-SUN ビーコンを受信した場合にはその受信強度 (RSSI) が表示されると同時に、ビーコン端末 (徘徊高齢者) の推定位置と推定精度を考慮した半径 100 m の円が併せて表示

される。

なお、固定 Wi-SUN ルータの設置場所となった人が常駐する一部の店舗等にはモバイル Wi-SUN ルータも固定設置した。これにより、搜索対象として登録された高齢者が近くを通り掛かった場合には、音声案内で店舗内のスタッフらに注意喚起を行い、仕事の手を休めて店舗の外に出て「声掛け」に参加できる仕組みを実現した。

図 14 (10:55 時点) の画面では、店舗 (小川米菓) に設置された固定 Wi-SUN ルータのみが Wi-SUN ビーコンを検出している状況を示しており、同ルータ設置場所を中心として Wi-SUN ビーコンが届く範囲に搜索対象として登録された高齢者が存在していることを示している。また図 15 (11:00 時点) では、同高齢者がふれあいプラザ付近まで移動して、同施設内に設置された固定 Wi-SUN ルータ (赤いピンマーク) と、同時刻にこの近辺に偶然居合わせた搜索役が携帯するモバイル Wi-SUN ルータ (青いピンマーク) も同時に Wi-SUN ビーコンを検出している状況を示している。

開発したシステムでは、固定・モバイルに関わらず全ての Wi-SUN ルータが受信した Wi-SUN ビーコンの受信強度を総合的に考慮して、Wi-SUN タグの位置を推定する手段を採用しており、図 15 に示した状況のように、搜索対象として登録された高齢者の位置を表すマークが、適切に既定の徘徊ルート上を指し示していることが分かる。

図 16 には「見かけたらタップ」ボタンの操作によって実際に集まった情報の可視化画面 (管理者画面) の一例を示す。先述したように、同ボタンは「声掛け」に躊躇する住民であっても搜索に貢献しやすくするための機能であるが、今回の模擬訓練においては搜索役の参加者に「声掛け」と同時に同ボタンの押下もお願いした。同図から分かるように、特定の搜索対象として登録された高齢者の目撃情報がタイムスタンプ付きでリアルタイムに画面表示されることが確認できた。このような結果を把握することで、搜索対象として登録された高齢者が、今後の辺りに移動する可能性が高いかを予測して、効率的に搜索専用のスタッフを派遣することも可能と考えられる。

なお高齢者の現在位置や見かけた情報の集約画面は、モバイル Wi-SUN ルータを携帯していれば、搜索役の参加者もリアルタイムに参照可能であったが、今回の模擬搜索訓練においては、ほとんどの搜索役としての参加者自身も高齢者であり、スマートフォンの操作自体に戸惑いを見せる姿も多く、活用



図 14 検索模擬訓練中における状態可視化画面（管理者画面）の一例（モバイル Wi-SUN ルータによるビーコン受信情報なし）



図 15 検索模擬訓練中における状態可視化画面（管理者画面）の一例（モバイル Wi-SUN ルータによるビーコン受信情報あり）



図 16 「見かけた」情報の集約画面（管理者画面）一例

することは困難な状況であった。

6 まとめ

筆者が提案・開発した Wi-SUN デバイスとスマートフォンの融合利活用による徘徊高齢者捜索支援システムについて解説した。開発した Wi-SUN タグと Wi-SUN ルータを用いて行った、見通し環境及び見通し外環境における Wi-SUN ビーコンの到達性能について計測を行った結果、見通し環境では実測にて 400 m、推定にて 1 km 近いビーコンの到達性能が得られることを確認した。また、ビルに遮蔽された見通し外環境であっても、周辺に反射体となる建物がある場合には、通路や道路に沿った到達性能が得られることを示した。

徘徊高齢者捜索への地域住民の参加を促す仕組みとして、高齢者への直接の「声掛け」に躊躇する若者や手を離せない業務中の人であっても捜索活動に貢献できる仕組みとして、捜索対象として登録された高齢者らしき人を見掛けた場合に「見かけたらタップ」ボタンを押す程度の、協力参画の敷居が低い方法をスマートフォン専用アプリケーションとして実現した。

開発実証システムを千葉県香取郡神崎町にて実施された徘徊高齢者捜索模擬訓練で使用することにより、徘徊役高齢者のおおむねの行動をほぼリアルタイムに捉えることが可能である点を確認できたが、より大きな効果としては、モバイル Wi-SUN ルータを携帯している捜索協力者に対して、自らの近傍に捜索対象となる高齢者が存在することの注意喚起を音声や画面表示で行うことが、「声掛け」を勧める上でも有効である点を確認できた。また「見かけたらタップ」ボタンの押下により収集された管理者画面についても、これを基に捜索に直接関わる自治体職員等がエリアを絞って効率的に捜索専用のスタッフを派遣できる点で有効であることが確認された。

■ 文献

- (1) 平成 28 年 6 月平成 27 年中における行方不明者の状況, <https://www.npa.go.jp/safetylife/seianki/fumei/H27yukuehumeisha.pdf>
- (2) ココセコム, <http://www.855756.com/>
- (3) ソフトバンクみまもり GPS, <http://www.softbank.jp/mobile/service/mimamorigps/>
- (4) Bluetooth Low Energy, <https://www.bluetooth.com/what-is-bluetooth-technology/bluetooth-technology-basics/low-energy>
- (5) 神戸市ドコモ見守りサービス (実証事業), <http://www.city.kobe.lg.jp/information/opendata/ble-mimamori.html>
- (6) ニュースリリース～ALSOK が「地域の見守りネットワーク構築」を支援～, https://www.alsok.co.jp/company/news/news_details.htm?cat=2&id2=782
- (7) (株) リクルート住まいカンパニー Beacon を活用した子どもや高齢者の見守りサービス「COCOMO」, <http://www.recruit-sumai.co.jp/press/2016/08/cocomo-kawaguchi.html>
- (8) (報道資料) 全国初！市全域ですべての小中学生を見守る「見守りサービス実証実験」を実施します～箕面市と株式会社 otta が協定を締結しました～, <https://www.city.minoh.lg.jp/edushien/houdou/20160204houdou.html>
- (9) ベイシスイノベーション, 東電とソフトバンクと共同で地域課題解決型インフラサービス検討プロジェクトを実施, <https://iotnews.jp/archives/15002>
- (10) SAN フラワー見守りサービス, <http://www.anshin-anzen.com/san-flower/>
- (11) IEEE 802.15 WPAN Interest Group L2R (IG L2R) Layer2Routing, <http://grouper.ieee.org/groups/802/15/pub/IGL2R.html>
- (12) 千葉県徘徊高齢者 SOS ネットワーク, <https://www.city.chiba.jp/hokenfukushi/hokatsucare/sosnet.html>
- (13) (総務省発表) 平成 27 年通信利用動向調査の結果, http://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01tsushin02_02000099.html
- (14) 神崎町「みまもり声かけ体験」～徘徊高齢者捜索模擬訓練～のお知らせ, http://www.kozaki-shakyo.jp/news_detail.php?no=3613
- (15) ARIB STD-T108, “920 MHz 帯テレメータ用, テレコントロール用およびデータ伝送用無線設備,” 2012.

莊司洋三 (正員：シニア会員)

国立研究開発法人情報通信研究機構ソーシャルイノベーション推進研究室室長。1999 郵政省通信総合研究所に入所。以降、ミリ波通信システム、光通信システム、有無線統合ネットワーク等の研究開発に従事。60 GHz 帯を用いる WPAN システムの IEEE 標準化活動においても新たなチャンネルモデル (TSV モデル: Shoji-Sawada-Salah-Valenzuela モデル) を提案し採択されるなどの貢献を残す。2007 本会エレクトロニクスソサイエティ賞, 2008 文部科学省若手科学者賞各受賞。

