

早稲田大学大学院 先進理工学研究科

# 博士論文概要

## 論文題目

加速度センサを活用した状況認識技術と  
ヒューマンインタフェースへの応用

A Study on Context Awareness Using an  
Accelerometer and Its Applications to  
Human Interface

申請者

大内	一成
Kazushige	OUCHI

2017年1月

ユビキタスコンピューティングという言葉が聞かれるようになって久しいが、直訳すると「遍在するコンピューティング」となることから、コンピュータを実世界の至る所に存在させることであると理解されている場合が多い。しかしながら、Mark Weiser が 1991 年に発表した *The Computer for the 21st Century* という論文で最初にこの概念を提唱した際、その副題は「Specialized elements of hardware and software, connected by wires, radio waves and infrared, will be so ubiquitous that no one will notice their presence」であり、本文は「The most profound technologies are those that disappear. They weave themselves into the fabric of everyday life until they are indistinguishable from it.」という一文で書き始められている。すなわち、実世界の至る所にコンピュータを存在させるだけでは不十分で、それらのコンピュータの存在を意識することなく、その恩恵を享受できる仕組みを提供することがユビキタスコンピューティングの本質である。

コンピュータの存在を意識することなくその恩恵を享受するためには、コンピュータが我々人間と周囲の状況を理解し、その人のその時点の状況に応じて適切なサービスを適切なタイミングで提供することが肝要となる。本論文では、コンピュータが人間の状況を理解する技術をコンテキストセンシング (Context Sensing) 技術と呼び、その人の行動や健康状態、さらには機器を操作しようとする意図 (これらをコンテキストと総称する) をセンシングし、それに基づいた適切なアクションをタイムリーに提供するサービス、機器操作の支援を提供するヒューマンインタフェースを提案した。

以下に本論文の構成を述べる。

**第 1 章「序論」**では、まず、ユビキタスコンピューティングおよび IoT (Internet of Things) の本来の概念を整理し、「コンピュータの存在を意識することなく、先進的なサービスを実現する」ことが、今後のコンピューティング技術が目指すべき方向性であることであると位置づけた。その上で、Situation Awareness (状況認識) について説明した Endsley のモデルに基づき、コンピュータの存在を意識することのないサービス提供実現へのアプローチとして、誰にでも扱いやすいインタフェース、さらには操作しないインタフェースが必要であることを示した。その実現を目指し、コンピュータが人間の状況を理解するコンテキストセンシング技術と、それに基づいたヒューマンインタフェース応用に関する研究に取り組んだ本論文の貢献について説明した。

**第 2 章「ウェアラブル健康管理システム」**では、生活習慣病 / メタボリックシンドローム対策の現状分析を医療従事者へのアンケート調査等により実施し、生活習慣の自己管理 (行動変容) をサポートするシステムの必要性を示した。その上で、手軽で確実な生活習慣管理を実現するシステムコンセプトを検討し、腕時計型ウェアラブルセンサと外部情報端末を連携させたウェアラブル健康管理シス

テムを提案した。現在、ウェアラブルデバイスとスマートフォンを組み合わせた活動量計サービスが多く製品化されているが、それらの草分け的な取り組みである。具体的には、脈波、加速度、発汗（GSR：Galvanic Skin Response）、皮膚温などの多様な生体情報をセンシング可能なウェアラブルセンサを開発し、それを用いた生活習慣、健康状態に関わるコンテキストセンシング技術を開発した。歩行、走行などの行動と歩数、および脈拍数などの生体情報の見える化だけでなく、ウェアラブルセンサで健康管理上重要である食事イベントを精度良く検出可能にした点が特長である。食事イベントを検出することで、食事のタイミングに基づいたサービス（食事メニュー入力支援、服薬管理、血糖値計測管理など）を実現した。また、取得したユーザの状況に基づいて、生活習慣改善（行動変容）のためのアドバイスをタイムリーに提供するシステムの意義について論じた。

**第3章「ウェアラブル睡眠センサとその応用」**では、近年不眠に悩む人が増加し、社会問題化しているにも関わらず、睡眠状態を詳細に把握するためには、専門施設に宿泊し、脳波計など多数のセンサを身体中に装着する終夜睡眠ポリグラフ検査を行う必要がある現状から、自宅で手軽に睡眠状態をチェック可能なセンサの必要性を確認し、睡眠計測にフォーカスしたウェアラブル睡眠センサを開発した。内蔵した脈波センサと加速度センサの情報から詳細に睡眠状態を解析可能とするコンテキストセンシング技術の研究を行った。まず、加速度の情報から睡眠／覚醒を判定する。次に、脈波からロバストに取得した脈波間隔の周波数解析により自律神経の状態を推定し、自律神経と睡眠状態の相関関係からREM睡眠／NREM睡眠と、睡眠深度などの詳細な睡眠状態を判定するアルゴリズムを提案した。手首における脈波計測に適した波長が緑色であることを確認し、ノイズに強い独自の脈波間隔計測手法と合わせて手首における安定した脈波計測を実現した点、個人差や日内変動の影響にロバストなクラスタリング手法を提案した点などが技術的なポイントである。被験者45名による終夜睡眠ポリグラフと本センサの同時計測実験での一致度（ポリグラフの結果を専門医が目視で判定した結果と本センサによる自動判定の結果）は73.5%で、在宅で使える簡易モニタとしては十分な性能を達成し、自宅や外出先での手軽な睡眠状態把握を実現した。さらに、快適に目覚められるタイミング（睡眠状態）を調査した結果、REM睡眠の後半付近で起床させると快適に目覚められる傾向にあることがわかり、日々の生活で快適な目覚ましを実現できる可能性を確認した。

**第4章「スマートフォンを用いたリアルタイム生活行動認識システム」**では、普及が進んでいるスマートフォンに一般的に搭載されている加速度センサと、通話用のマイクを音センサとして積極的に活用し、特別なセンサ／デバイスを使用せずに、当該アプリケーションをインストールしたスマートフォンを持ち歩くだけで様々な日常生活行動を連続的に把握するコンテキストセンシング技術を提案した。スマートフォン／携帯電話搭載センサを用いた既存研究では、主に屋外の

移動状況にフォーカスした行動認識が行われていたが、屋内の様々な生活行動の高精度な認識を実現した点がポイントである。まず加速度をもとにユーザの状態を「歩行」「作業」「安静」の3状態に大まかに推定し、「作業」と推定された場合に、マイクからの音を分析することにより作業内容を細かく分類する。また、生の認識結果だけでなく、同一作業区間単位で行動の種別を再評価する事例ベース認識手法の導入により認識性能が向上し、「歯磨き」「トイレ」「掃除機がけ」「皿洗い」など、これまで加速度センサだけでは認識が難しかった様々な生活行動を精度良く認識することを可能にした。高齢者も含む21名による評価実験を行い、「皿洗い」「アイロンがけ」「掃除機がけ」「歯磨き」「ドライヤー」「トイレ水洗／手洗い」の6種類の生活行動を平均91.4%の精度で認識できることを確認した。また、ロボットインタフェースとの連携効果、離れて暮らす家族のさりげない見守りサービスなど、提案手法を応用したサービスの可能性についても述べた。

**第5章「センサ駆動ハンドヘルド型音声認識入力手法と番組検索への応用」**では、音声認識入力を日常的に使うために望ましいハンドヘルド型マイクにおける課題として、ヘッドセット型マイクに比べて認識精度が劣ること、音声認識の開始と終了をユーザがボタン操作で指示する必要があることを挙げ、その解決方法としてハンドヘルド型マイクに対するユーザの発話動作を検知するコンテキストセンシング技術を提案し、両課題に対する対策とその効果について論じた。また、現状非常に手間がかかるTVの番組検索操作に提案手法による音声認識入力を活用するとともに、人名と番組名の言い換えに対応する仕組みを新たに構築することで、従来のリモコン操作による番組検索よりも、操作完了までの所要時間を約40%短縮したヒューマンインタフェースを開発した。

**第6章「結論」**では、上述の各研究成果を総括した結論として、「コンピュータの存在を意識することなく、先進的なサービスを実現する」ためには、加速度センサ+ $\alpha$ によるコンテキストセンシング技術が重要であることを述べた。意図のある人物動作／行動には、その多くの場合に身体のダイナミックな動きが伴い、これを加速度センサで捉えることがコンテキストセンシングの基本となる。その上で、目的・ユースケースに応じて、認識対象の動作／行動の粒度を細かくする、精度を向上する、あるいは自律神経系など人間の内部状態を把握する必要がある場合に、それらの取得に適したセンサを加速度センサと組み合わせて使用するクロスモーダルコンテキストセンシングが望ましい。さらに、現在の動作／行動の認識から、将来の動作／行動を予測することで、ユーザの意図を先読みし操作不要で所望のサービスを提供することが可能になるであろう。このためには従来の決定論的モデルによる **Reactive Computing** から、確率論的モデルによる **Proactive Computing** をクロスモーダルコンテキストセンシングにより実現する今後のさらなる研究の進展が期待されることを述べた。

## 早稲田大学 博士（工学） 学位申請 研究業績書

氏名 大内 一成 印

(2016年12月 現在)

種 類 別	題名、 発表・発行掲載誌名、 発表・発行年月、 連名者（申請者含む）
論文 (査読あり)	○携帯電話搭載センサによるリアルタイム生活行動認識システム、情報処理学会論文誌 Vol. 53 No. 7, pp. 1675-1689, 2012年7月、 <u>大内一成</u> , 土井美和子
論文 (査読あり)	○Living activity recognition using off-the-shelf sensors on mobile phones, annals of telecommunications, Vol.67, pp.387-395, June 2012, <u>K. Ouchi</u> , M. Doi
論文 (査読あり)	○人名と番組名の言い換えに対応する音声認識インタフェース、情報処理学会論文誌 Vol. 51 No. 3, pp. 846-855, 2010年3月、 <u>大内一成</u> , 若木裕美, 屋野武秀, 住田一男, 土井美和子
論文 (査読あり)	○センサ駆動ハンドヘルド型音声認識入力方法の提案 - センサを用いた発話動作検出手法、情報処理学会論文誌 Vol. 51 No. 2, pp. 324-333, 2010年2月、 <u>大内一成</u> , 土井美和子
論文 (査読あり)	○LifeMinder: A wearable healthcare support system with timely instruction based on the user's context, IEICE Transactions on Information and Systems, Vol. E87-D, No. 6, pp. 1361-1369, June 2004, <u>K. Ouchi</u> , T. Suzuki, and M. Doi
共著論文 (受賞4)	・脈波情報を用いた睡眠状態推定とその応用, ヒューマンインタフェース学会論文誌 Vol. 10, No. 2, pp. 207-214, 2008年5月、森屋彰久, 鈴木琢治, <u>大内一成</u> , 亀山研一
国際会議 (査読あり)	・Smartphone-based Monitoring System for Activities of Daily Living for Elderly People and Their Relatives Etc., Adjunct Proceedings of Ubicomp 2013, pp. 103-106, 2013, <u>K. Ouchi</u> , M. Doi
国際会議 (査読あり)	・T-SARCAS: Two-Step Activity Recognition Combined with Acceleration and Sound for Smartphones and its Practical Evaluation, Proceedings of the 2nd International Workshop on Mobile Computing Platforms and Technologies (MCPT-2013), 2013, <u>K. Ouchi</u> , M. Doi
国際会議 (査読あり)	・Indoor-Outdoor Activity Recognition by a Smartphone, Adjunct Proceedings of Ubicomp 2012, pp. 600-601, 2012, <u>K. Ouchi</u> , M. Doi
国際会議 (査読あり)	・A Real-Time Living Activity Recognition System Using Off-the-Shelf Sensors on a Mobile Phone, Proceedings of CONTEXT 2011, LNAI 6967, pp. 226-232, 2011, <u>K. Ouchi</u> , M. Doi
国際会議 (査読あり)	・A Feasibility Study on Indoor Location Awareness by Collaborating with a Microphone and an Accelerometer, Proceedings of the International Symposium on Ubiquitous Computing Systems (UCS2009), 2009, <u>K. Ouchi</u> , K. Imoto, and M. Doi
国際会議 (査読あり)	・Development of a wearable sleep sensor to monitor sleep states, Adjunct Proceedings of Ubicomp 2008, pp. 43-44, 2008, <u>K. Ouchi</u> , T. Suzuki, and K. Kameyama
国際会議 (査読あり)	・Development Of A Less Restrictive PPI Measuring System For Monitoring Of Autonomic Nervous Activity, Proceedings of BMES2007 Fall Meeting, 2007, <u>K. Ouchi</u> , T. Suzuki, and K. Kameyama
国際会議 (査読あり)	・A Wearable Healthcare Support System Combined with a Cell Phone for Use in Daily Life, The 3rd Annual International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems: Networks and Services (MOBIQUITOUS 2006), 2006, <u>K. Ouchi</u> , T. Suzuki, and K. Kameyama
国際会議 (査読あり)	・MagicWand: An Intuitive Gesture Remote Control for Home Appliances, Proceedings of the 2005 International Conference on Active Media Technology (AMT2005), pp. 274, 2005, <u>K. Ouchi</u> , N. Esaka, Y. Tamura, M. Hirahara, and M. Doi

## 早稲田大学 博士（工学） 学位申請 研究業績書

種 類 別	題名、 発表・発行掲載誌名、 発表・発行年月、 連名者（申請者含む）
国際会議 (査読あり)	・LifeMinder: A Wearable Healthcare Support System with Timely Instruction Based on the User's Context, Proceedings of the 8th IEEE International Workshop on Advanced Motion Control (AMC2004), pp.445-450, 2004, <u>K. Ouchi</u> , T. Suzuki, and M. Doi
国際会議 (査読あり)	・LifeMinder: A wearable healthcare support system using user's context, Proceedings of ICDCS2002 Workshops (International Workshop on Smart Appliances and Wearable Computing, IWSAWC2002), pp.791-792, 2002, <u>K. Ouchi</u> , T. Suzuki, and M. Doi
国際会議 (査読あり)	・A Wearable Authoring System Using Organized Multimedia Data, Extended Abstracts of CHI 2000, pp.109-110, April 2000, <u>K. Ouchi</u> , Y. Ohmori, S. Matsushita, and M. Doi
国内発表	・ウェアラブルセンサ開発と産業応用に向けた実証実験, 情報処理学会高齢社会デザイン研究会, Vol.2016-ASD-4 No.8, pp.1-4, 2016、 <u>大内一成</u>
国内発表 (受賞7)	・スマートフォンによる屋内外生活行動センシング, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル(DICOM02012)シンポジウム 論文集, pp.173-179, 2012、 <u>大内一成</u> , 土井美和子
国内発表 (受賞8,9)	・携帯電話搭載センサによるリアルタイム生活行動認識システム, 情報処理学会研究報告, Vol.2011-UBI-30 No.3, pp.1-8, 2011、 <u>大内一成</u> , 土井美和子
国内発表 (受賞6)	・加速度と音で日々の生活行動を認識する ActivityAnalyzer, インタラクシオン 2011 論文集, 1CR3-7, 2011、 <u>大内一成</u> , 土井美和子
国内発表	・加速度と音による家庭内ユーザ状況認識の可能性検討, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル(DICOM02010)シンポジウム 論文集, pp.508-515, 2010、 <u>大内一成</u> , 土井美和子
国内発表 (受賞5)	・複数のセンサと自然言語処理技術による使いやすい音声入力インタフェース, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル(DICOM02009)シンポジウム 論文集, pp.1804-1814, 2009、 <u>大内一成</u> , 若木裕美, 屋野武秀, 住田一男, 土井美和子
国内発表 (受賞3)	・ウェアラブル機器を用いたヘルスケアサービス, 情報処理学会研究報告 2007-UBI-13, pp.29-36, 2007、 <u>大内一成</u> , 鈴木琢治, 森屋彰久, 亀山研一
国内発表	・生体情報を利用したウェアラブル家電リモコン, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2003, 2003、 <u>大内一成</u> , 鈴木琢治, 亀山研一
国内発表	・LifeMinder: ウェアラブル健康管理システムにおける腕時計型生体センサの高機能化/低消費電力化, インタラクシオン 2003 論文集, pp.241-242, 2003、 <u>大内一成</u> , 鈴木琢治, 土井美和子
国内発表 (受賞2)	・LifeMinder: 状況認識を用いたウェアラブル健康管理システム, 第3回システムインテグレーション部門講演会 (SI2002), 1P91-02, 2002、 <u>大内一成</u> , 鈴木琢治, 土井美和子
国内発表 (受賞1)	・ウェアラブルオーサリングシステム, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル(DICOM02001)シンポジウム 論文集, 2001、 <u>大内一成</u> , 大盛善啓, 松下宗一郎, 土井美和子
国内発表	・ウェアラブルオーサリングシステム, 第11回ヒューマンインタフェース研究会「ウェアラブル/アウトドアコンピューティング」研究報告集, pp.41-46, February 2001、 <u>大内一成</u> , 大盛善啓, 松下宗一郎, 土井美和子
国内発表	・情報獲得機能を持つウェアラブルオーサリングシステム, インタラクシオン 2000 論文集, pp.45-46, February 2000、 <u>大内一成</u> , 大盛善啓, 松下宗一郎, 土井美和子
解説記事	・介護予防のためのウェアラブルセンシング技術, IT VISION No.32 ウェアラブルで変わるヘルスケアの現場, 2015年7月、 <u>大内一成</u>
解説記事	・実世界に広がる装着型センサを用いた行動センシングとその応用: 4. スマートフォンを用いた生活行動認識 -家の中も外もスマホで行動認識-, 情報処理 Vol.54 No.6, pp.578-581, 2013年6月、 <u>大内一成</u>

## 早稲田大学 博士（工学） 学位申請 研究業績書

種 類 別	題名、 発表・発行掲載誌名、 発表・発行年月、 連名者（申請者含む）
解説記事	・ 日常的使用を目指した音声入力インタフェース, 情報処理 Vol.51 No.1, pp.22-25, 2010年1月、 <u>大内一成</u> , 若木裕美 (解説記事 他1件)
講演	・ ヘルスケアの30年, 電子情報通信学会 2016年総合大会, 特別企画「2046年からの招待講演者」, 九州大学, 2016年3月16日
講演	・ 東芝のヘルスケア向けウェアラブルデバイス開発, ウェアラブル EXPO2016 専門セッション「医療現場 ヘルスケアで活用されるウェアラブル」東京ビッグサイト, 2016年1月15日、 <u>大内一成</u>
講演	・ ヘルスケア向けウェアラブルデバイス開発, 北陸経済連合会講演会「次世代ヘルスケア産業の創出」, 金沢都ホテル, 2015年12月21日、 <u>大内一成</u>
講演	・ 東芝の健康センシングに関する取り組み, ビジョン技術の実利用ワークショップ 2014(VIEW2014), 介護だけじゃない!健康センシング (特別企画セッション), パシフィコ横浜, 2014年12月5日、 <u>大内一成</u>
講演	・ ウェアラブルにおけるデータ分析の必要性と今後の課題, WebDB Forum 2014 特別セッション, 芝浦工業大学 豊洲キャンパス, 2014年11月20日、 <u>大内一成</u>
講演	・ 日常人間ドックを実現するウェアラブルセンサとライフログモニタリング, 第3回生命医薬情報学連合大会 (IIBMP2014), COI TOHOKU「センター・オブ・イノベーション東北拠点の目指す社会」, 仙台国際センター, 2014年10月3日、 <u>大内一成</u>
講演	・ ウェアラブルセンシング技術のヘルスケア応用, 情報処理学会連続セミナー2014, 第2回: ウェアラブルが切り開く IT 新潮流, 化学会館, 2014年7月15日、 <u>大内一成</u>
講演	・ 人間行動センシングとそれを活用した UI, 精密工学会 画像応用技術専門委員会 2012年第4回定例講演会「人の計測」, 東京電機大学, 2012年11月16日、 <u>大内一成</u>
講演	・ マルチセンサを活用した日常生活見守り技術, 第38回センサ&アクチュエータ技術シンポジウム「センサ技術最前線 2012」, 化学会館, 2012年9月21日、 <u>大内一成</u>
講演	・ 日常生活見守り技術, みんなのエネルギーフェスタ 2012「エネルギーを着る、そしてコンピュータを着る」, 秋葉原 UDX, 2012年8月12日、 <u>大内一成</u>
講演	・ 行動センシングと健康支援, 電気四学会 関西支部 専門講習会「行動センシングとその応用」, 中央電気倶楽部, 2011年11月11日、 <u>大内一成</u>
講演	・ 人間情報計測による日常生活見守り技術, 東京大学山上会館, 人間情報学会講演会, 2010年6月16日、 <u>大内一成</u>
講演	・ 人間行動センシングに関する東芝のこれまでの取り組みについて, 第1回人間行動センシングシンポジウム (HASC01), 名古屋大学ベンチャービジネスラボラトリ, 2009年10月7日、 <u>大内一成</u> (講演 他5件)
特許	特許第5646146号など国内出願88件. 米国出願48件.
受賞1	・ ベストプレゼンテーション賞、DICOM2001、2001年6月29日
受賞2	・ ベストセッション賞、SI2002、2002年12月19日
受賞3	・ 研究会優秀論文賞、情報処理学会 UBI 研究会、2007年11月30日
受賞4	・ 論文賞、ヒューマンインタフェース学会、2009年3月2日
受賞5	・ 優秀論文賞、DICOM2009 シンポジウム、2009年8月27日
受賞6	・ インタラクティブ発表賞 (PC 推薦)、インタラクシオン 2011、2011年3月10日
受賞7	・ 最優秀プレゼンテーション賞、DICOM2012 シンポジウム、2012年7月6日
受賞8	・ 研究会優秀論文賞、情報処理学会 UBI 研究会、2012年11月1日
受賞9	・ 山下記念研究賞、情報処理学会、2013年3月6日
受賞10	・ 長尾真記念特別賞、情報処理学会、2013年6月5日