

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 10 日現在

機関番号：12611

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2010～2012

課題番号：22500500

研究課題名（和文） ユビキタス実験住宅における無侵襲歩行活動収集システムとヘルスケアへの応用

研究課題名（英文） Non-invasive gait monitoring in a Ubiquitous Computing House and healthcare applications

研究代表者

太田 裕治 (OHTA YUJI)

お茶の水女子大学・大学院人間文化創成科学研究科・教授

研究者番号：50203807

研究成果の概要（和文）：

高齢社会に入り個人が自己管理するヘルスケアシステムが求められる。本研究では床振動計測技術を実験住宅にインストールし、Real Life 下の生活者の活動をモニタリングするシステムの開発を目指した。生活者の活動パラメータのうち歩行活動に着目し、居住空間内を移動する際の床振動から歩行情報を収集するシステムを構築するとともに、情報分野において近年発展の著しい「Cyber-Physical Systems」の考え方を参照しつつ、歩行データに基づくヘルスケア・アプリケーションの提案を行った。

研究成果の概要（英文）：

Computers become smaller and cheaper from day to day, and the utilization of computer, as daily life equipment, is now becoming ubiquitous. In order to investigate how ubiquitous computing can be used in the most efficient way, the experimental house, Ocha House, was constructed in 2008. In this study, a non-invasive gait monitoring technique in the house was developed for healthcare applications. 27 accelerometers were fixed on the outside floor of the house at an interval of 1.2 meter, and the position of the resident was estimated based on the floor vibration signal. Through experiments, position error was found to be about 20 cm, which was thought to be enough for life applications. The detected acceleration impulse was found to be caused mainly by heel contact, which was clarified through gait experiments by using a high speed motion camera. The vertical acceleration at subject's waist and the floor acceleration were also measured simultaneously at the moment of ground contact during walk. As a result, the peak acceleration intensity at waist and the one at floor were found to be related. By combining the simple acceleration sensor and the housing structure, human motion monitoring under the daily living environment would become less invasive.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2011年度	800,000	240,000	1,040,000
2012年度	800,000	240,000	1,040,000
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：総合系複合領域

科研費の分科・細目：人間医工学，リハビリテーション科学・福祉工学（健康・福祉工学）

キーワード：実験住宅，無侵襲計測，ヘルスケア，歩行，生活支援，携帯端末

1. 研究開始当初の背景

高齢社会に入り個人が自己管理するヘルスケアシステムが求められる。現在，さまざまな生体計測技術を利用することで，在宅で利用可能なモニタ・計測機器として，ウェアラブルデバイスや什器組み込み機器などが開発されている。さらに近年では，発展著しいユビキタスコンピューティング技術を居住環境に導入した在宅ヘルスケアシステムが盛んに研究されている。

家庭でのヘルスケアが有効となるためには，生体計測は侵襲拘束が低く，かつ，簡便である必要がある。簡便であれば，生体計測は日々実施されることとなり，データは長期間にわたり蓄積される。さらに，計測は被計測者が意識することなく実施されることが望ましい。なぜなら，一般に生体は計測に対して脆弱であり，被計測意識は日常とは異なる計測データをもたらす可能性があるためである。計測が無意識下で行われれば，普段の生活，すなわち，Real Life 下の生体データが収集できる。これらの条件がヘルスケアシステムに求められる。

以上を踏まえ研究代表者は，過去のさまざまな実験住宅を参照したうえで，Real Life 生体計測技術のインストールにふさわしい住宅設計を2007年度に開始し，2009年に実験住宅として完成させた（東京都文京区大塚，延床面積 82.7 m²，木造1階建て）。外観写真を以下に示す。ユビキタスコンピューティングは技術革新が著しいため，skeleton-infill 構造による大空間の創出，計算機スペースと居住スペースの完全分離，配線を考慮したフレーム構造などを考慮することで，デバイスやシステムのインストール，メンテナンス，機器更新を十分に考慮し

た住空間を実現した。また，居住空間には計算機やデバイスが露出されることがない設計と



図1 実験住宅 Ocha house

<http://ochahouse.com>

なっており，上述した「被計測意識」が局方生じない様，配慮した。本実験住宅（以下，Ocha house）の完成を受け，これを利用して Real Life モニタリングが検討可能な段階となった。モニタリングすべき生体情報は多岐にわたるが，まずは，研究代表者らが長年歩行関連の無侵襲生体計測を行ってきた経緯があることから，それを生かし，Ocha house に加速度センサを埋め込むことで，歩行活動情報の Real Life 計測を実施することとした。

住宅におけるヘルスケアアプリケーションの一つとして，生活者の動線計測・解析が考えられる。たとえば，日々の暮らしの中で生活空間中の移動軌跡を連続的に計測することで，そこからの異常な逸脱に対し警告を発する，もしくは，慣習的な移動パターンの中で適切な情報を適切なタイミングで提供する，などといった生活支援への応用が考えられる。具体例としては，

○生活者が立っている場所や動線情報から行動内容を理解・予測し，必要な情報をデータ端末などに送信する。記憶（記銘力）障害・認知障害者に対し，「家電品の使い方」などの情報を携帯端末に送信することで生

活支援に供する。

○室内での転倒、浴室での突然死など家庭内事故の際の緊急通報

などである。これらのアプリケーションを実現するためには、床振動の発生源（すなわち、居住者が歩行移動時に踵が床を打った場所）の推定が必要となる。ここでは、以下の実験を通じて、Ocha house の床に埋め込まれた加速度センサからの信号に基づいて振動源位置を推定する手法に関し検討を行った。以下には結果の一部を示す。

2. 研究の目的

ユビキタスコンピューティング技術を実験住宅にインストールし、Real Life 下で生体モニタリングを行うシステムを開発する。生体パラメータのうち、歩行活動に着目し、建築躯体に加速度計を埋め込んだ空間を創出し、住居内を移動する際の床振動情報から歩行情報を収集する。収集されたデータに基づき、ヘルスケアアプリケーション開発に関する提案を行う。

3. 研究の方法：Real Life モニタリング～歩行情報収集システム

生活者が屋内を日常歩行する時の床振動を Real Life 計測するため、Ocha house 床裏に、約 1.2 m 間隔で、計 27 個の加速度センサモジュール（KXM52-1050、カイオニクス社）を配置した。床裏へのセンサ設置状況を住宅平面図とともに図 2 に示す。加速度センサの固定に際しては、床板に直接、長めの木ネジを途中まで埋め込み、そのネジ頭部にセンサを固定した。この方法によりセンサと床板は剛体（木ネジ）で接続されるため、床振動が減衰することなく直接、センサに伝導すると考えた。加速度センサからの振動信号（アナログ信号）の収集には LabView システム（National Instruments）を利用した。データ収集のためのハードウェア（DAQ）には NI PXI-1033（National Instruments）を使用し、これをホストカード（ExpressCard）にてノート PC（NEC）と接続した。歩行時の床振動の基本特性として、本加速度センサから数 100 Hz 程度の減衰振動波形が得られている。



図 2 加速度センサの配置（27 個）

4. 研究成果

(1) 振動源位置の検出精度結果

振動発生源（人の場所）を推定するための方法に関し検討した。具体的には、床振動信号が振動源から伝搬する時間（時間おくれ）に基づき、距離（振動源位置）を推定する方法に関して検討した。すなわち、足底が床を打ったときの振動は、その振動源を中心に同心円的に広がり、時間遅れから信号源推定が可能と考えた。

計測結果の例を図 3 に示す。これは、センサ番号 13 番（図 2 参照）の直上で床面に一定の力積を与えた場合に、その振動が住宅床に埋め込んだ各センサに伝達するまでの時間（msec）を計測した結果である。図示したように、振動源である 13 番センサに近いほど伝達時間が短く、離れるほど時間が長いことがわかる。線形性（相関係数）に関しても高い結果が得られた。この結果を踏まえて、以後の Ocha House における振動源計測ではこの手法を利用することとした。さらに、振動源の位置推定精度の検証実験として、センサ間の任意中間点で床に力積を与えた場合に、どの程度、その位置の推定計測精度が得られるか調べた。その結果、総合的に 20 cm 程度の誤差であれば衝撃発生位置が推定可能であることが示された。この距離は人体幅半分程度であり、居住環境内における動線推定やアプリケーション開発には十分な値と考えられた。なお、上述した振動伝搬時間に基づく方法以外にも、振動ピーク強度の変化（減衰）に基づく位置推定方法や周波数解析法なども検討したが、フレーム構造を有する Ocha House では振動伝搬の方向異方性が顕著となることがわかり、あまり適当ではない

と考えられた。当初、インパルス時間応答を利用したシステム同定手法により床振動現象をモデル化すること等も想定したが、実際の住宅構造は極めて複雑であり、現実的には適用は難しいと思われる。

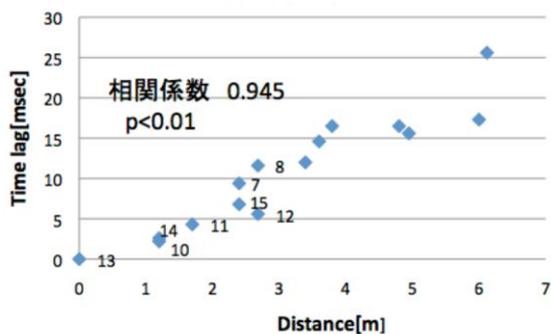


図 3 振動伝搬時間に基づく振動源推定結果例

このような計測手法に基づいて得られた床振動情報（生活者位置情報）を利用したアプリケーションとしては、例えば、Ocha House 空間内に設置した全振動センサの振幅値をリアルタイムでカラー表示する例などが考えられる。すなわち、全 27 個のセンサから得られる振動データを、対応する Lab View アイコン（カラーランプ）により強度表示するアプリケーションである。これにより、生活者の立っている（歩行している）場所の表示が可能となり、それにより動線表示も実現される。

(2) 足底部動作と床振動の関連性

床振動特性と足底部動作（歩行特徴）の関連性に関して実験を通じて検証した。歩行時の一連の足底動作としては、4 つの運動相、すなわち、踵接地、爪先接地、踵離床、爪先離床、が順次観察される。ここでは、これらの各相と床振動の関連性を、足部の高速度ビデオ画像と床加速度信号を同期記録することにより調査した。加えて、Transient な歩行特性として、歩行開始や停止などに関しても、床振動と歩行動作との関係を調べた。詳細な結果に関しては紙面の関係で割愛するが、足底部の歩行動作の特徴は床振動信号に良く反映されることがわかり、歩行動作と床振動データを対応させた解析を通じて、歩行バイオメカニクスの観点に立ったアプリケーション開発に途を拓くと考えられた。

(3) 身体エネルギー計測の可能性について

身体活動レベル、すなわち、歩行時の運動エネルギーを床振動データに基づいて推定することを試みた。具体的には、歩行時の体幹

部分の加速度と床振動は互いに相関すると仮定し、床振動ピーク値から身体活動エネルギーを推定することを狙いとした。この手法が確立すれば、歩行時の「活発さ」が可視化され、高齢者など様々な生活者に対する健康支援に有効と考えられる。具体的な実験としては、被験者腰部に加速度計を有線固定し、リビングルーム空間内を自由歩行した際の腰部動作（加速度）を記録するとともに、床振動を同期記録した。腰部に固定した加速度センサからは 3 軸加速度データを記録し、各加速度成分をベクトル絶対値として計算処理した。サンプリングレートは 1 kHz であった。実験の際の歩行条件としては、素足の状態で自然歩幅とした上で、①自然速度、②速めの歩行、③緩速歩行、と設定した。③<①<②の順で、歩行運動時のエネルギー量が床振動から評価されることを狙いとした。その結果、歩行速度の増加に連れて、両者の加速度信号の大きさは増加傾向にあることがわかり、床振動信号から歩行エネルギーを推定する可能性が示唆された。ただし、明瞭な相関は現段階では得られておらず、今後、データを蓄積するとともに解析手法を工夫する必要がある。

(4) 住宅制御システムについて

住環境センシング・機器制御を目的に、Ocha House に住宅制御システムを導入した。システム構築には、SMART - AI システム（スマート・アイ、株アイオイ・システム）をベースとして用いた。本システムは、ノート PC（Panasonic）により制御されるコントローラ（AI-NET コントローラ）が、各種センサ（電力、温度、湿度、照度、赤外線等）と接続されることで、照明 ON/OFF 制御、ドア・窓の開閉、空調等を、PC やスマートフォンで監視・制御するためのシステムである。電力とデータを送る 2 芯線により配線を行う「省配線ネットワーク」によりセンサを接続するため、容易なメンテナンスならびに低コストが特徴である。この 2 芯線上にすべてのセンサデバイスが接続されるため配線は一本で済むこと、加えて、2 芯線は無極性であるため、接続時に極性を誤ることがなく、安全・迅速にシステムの現場組み立てが可能である。これらの点は将来的に、一般ユーザであっても、家庭内で DIY 配線が可能であることを意味し、きわめて導入実現性が高いシステムと考えられる。

本システムを利用することで、現在、Ocha House では住宅内の以下の機器制御・計測を実現している。

LED ランプ制御（5 個）／空調機器制御／室内温度計測（4 カ所）／室内照度計測（2 カ

所) / 玄関に設置した人感センサ / LED ランプ消費電流量計測

なお、本通信制御アプリケーションは Android 対応であり、将来のシステム拡張に柔軟に対応可能である。

この住宅制御システムと、居住空間内位置情報 (床振動情報) を組み合わせることで、アプリケーションとしては、図 4 に示すように、

① 加速度センサからの信号を計測用 PC が収集し、それにより、生活者の現在位置を認識する。

② 上記情報は住宅制御用 PC に送られ、さらに、居住者に必要な情報がアクセスポイント経由で生活者が身につけたタブレット端末に送信される。

という発展が考えられる。本研究ではこのデータ転送の仕組みまでを実現した。具体アプリケーションとしては、例えば、生活者が洗濯機の前に立った時、タブレット端末上に洗濯機の使い方情報を送信・表示する、といった使用方法がある。このほか、浴室で振動信号が途絶えるなどした場合は、急病や事故の発生が容易に予想できるため、非常時の緊急連絡にも役立てられると考えられる。

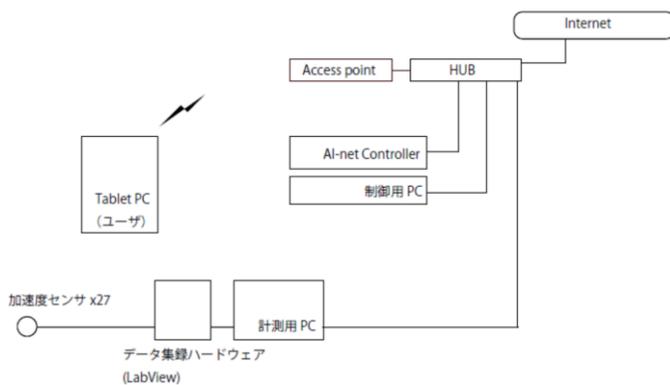


図 4 位置情報に基づくアプリケーション例

情報分野においては現在、「Cyber-Physical Systems (CPS)」の研究開発が活性化している。すなわち、多様なセンサから取り込まれる実世界 (物理空間) のデジタルデータと情報空間が緊密に結合されたシステムを CPS と呼び、IT 環境の今後の方向性として注目されている。本研究では、床振動情報を通じて収集された歩行情報はデータ収集用 PC に一旦集められた後、ネットワーク上のクラウドサーバシステムに上げられ、データベース化して蓄積されることを想定する。同システムにて必要な解析を行った後に、携帯端末などに必要な情報が送信される。このような CPS クラウド型ヘルスケアシステムが今後は求められる。

(5) まとめ

住宅内の床振動を対象とした研究は建築分野にも先行事例がある。すなわち、床振動防止の観点から建築構造体における振動伝搬性状を調査した研究、居住者自身が生み出す振動を計測し、快適性の観点から歩行時の床振動感覚を心理評価した研究などである。本研究はそれらとは観点が異なり、居住者自身の生み出す歩行振動が住宅構造内を振動伝搬する際の特性を計測し、そのデータから歩行関連情報を得ようとする試みであった。ヘルスケアのためには計測時の拘束性・侵襲性の低減が重要であり、本研究では、住宅側に設置したデバイスにより生体情報を計測する可能性に関して検討した。床裏に加速度計を設置した環境下で一連の歩行実験を試みた結果、歩行者の概略位置や歩容などに関する基本情報を取得することが可能であった。

世界的な社会の高齢化を反映し、スマートハウスの研究例は増加している。住宅プロジェクトとしては、国内では TRON 電腦住宅、ゆかりプロジェクト、JEITA ハウス、PAPI (トヨタ)、EUHouse (松下電器) など、海外では Aware Home (Georgia Institute of Technology)、Gator-Tech Smart House (University of Florida) など多数あげられる (終了分も含む)。住環境内におけるアプリケーション研究の一例をあげるならば、Li らは、生活空間内にマイクロフォンアレーを設置し、転倒予防に向けたシステム開発を進めている (IEEE Trans Biomed Eng. 59(5):1291-301, 2012.)。また、Yamamoto らは、高齢社会では知的住環境に対する必要性が高まるとした上で、高齢者 (とくに記憶障害) に対し生活を簡便なものとするための新しいユーザインタフェースを提案している (Med Biol Eng Comput. 50(11):1119-26, 2012)。ライフログに関する研究開発もスマートハウス研究における重要な一分野である。ライフログとは人間の生活を長期間に渡りデジタルデータとして記録することである。記録されたデータは極めて膨大であるため、それを有効に活用するためには何らかの特徴抽出が必要となる。たとえば本研究では床振動データの計測を行ったが、計測された膨大なデータをそのままのかたちでユーザに提示しても意味がないため、例えば、「加速度データから生活動作を言語化する」などにより、必要な情報に加工して提示しなければならない。そのための情報分野からの研究も今後は求められる。

5. 主な発表論文等

本研究は実験住宅に基づき、極めて具体的な開発を指向した。その成果発表に関しては、ビジネスモデルや産業財産権出願を鑑みたくて本学知財部門とも連携の上で慎重に進めている。本研究に関わる報道発表としては、共同通信・東海、リフォーム産業新聞、めざましテレビ（フジ）、ANN ニュース（テレビ朝日）がある（いずれも2012年）。また、文部科学省情報ひろばにて住宅ミニスケールモデルを製作展示し研究成果を示した（2012年10月～12月）。実験住宅・研究内容の公開に関しては、毎年数回程度、積極的に行った。また、大学・企業研究者に対し、見学も多数受け付けた。基本的に今後もリクエストに応じて受け入れる考えである。

○文部科学省情報ひろばにおける企画展（ユビキタス実験住宅 Ocha House における複合的研究実験）

<http://www.ocha.ac.jp/news/h241001.html>

上記のプレスリリース

http://www.ocha.ac.jp/news/h241001/press_release.pdf

○文部科学省における大学・研究機関等との共同企画広報の実施 【お茶の水女子大学】

http://www.mext.go.jp/b_menu/houdou/24/10/1326348.htm

〔学会発表〕（計1件）

①第1回看護理工学会学術集会（2013年10月5日（土）、東京大学本郷キャンパス）にて発表予定（発表者太田裕治ほか）。

〔その他〕

ホームページ等：人間工学研究室

<http://www.eng.ocha.ac.jp/biomedeng/index.html>

住宅における床振動を利用した生活者の位置特定方法の検証。お茶の水女子大学卒業論文（渡辺，2012年度）

7. 研究組織

(1) 研究代表者

太田 裕治 (OHTA YUJI)

お茶の水女子大学・大学院人間文化創成科学研究科・教授

研究者番号：50203807

(2) 研究分担者

元岡 展久 (MOTOOKA NOBUHISA)

お茶の水女子大学・大学院人間文化創成科学研究科・准教授

研究者番号：60329646

塚田 浩二 (TSUKADA KOJI)

お茶の水女子大学・お茶大アカデミック・プロダクション・特任助教

研究者番号：20415714