

機関番号：32660

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：2008～2010

課題番号：20760420

研究課題名 (和文) ヒトとモノとの接触行動ネットワークモデルによる建築計画の評価

研究課題名 (英文) Study of Evaluation Method by using Contact-Behavior-Network Models

研究代表者 遠田 敦

(ENTA ATSUSHI)

東京理科大学・理工学部 建築学科・助教

研究者番号：90468851

研究成果の概要 (和文)：

本研究は、ヒトとモノとの接触場面を種々の情報通信技術を用いて捉えるというテーマを中心にして、大きく3つの内容に分けられる。

1つめは、RFID 技術を用いて生活財としてのモノとヒトとの接触を捉え、その行動をネットワーク図として分析を行うことで行動特性を分析し、これにより得られたモデルを用いて居室内でのヒトとモノとの接触動作シミュレーションを実施するという内容である。2つめは、人体通信技術という新しい技術を用いてヒトとイスとの接触 (着座行動) を捉え、これを用いて什器の動的配置システムを試作するという内容である。3つめは、オープンソースハードウェアのひとつである「Arduino」をセンサー端末として活用し、ヒトとマドとの接触 (窓開閉行動) を捉えることで、室内環境と窓開閉行動との関係を分析するという内容である。

このように、新たな技術を用いることで、ヒトを取り巻く様々なモノとの関係を詳細かつ断続的に記録することが可能であることが実証された。これは知的な建築環境が人間をサポートするというビジョン、すなわち「スマート空間」のための基盤技術がすでに整っていることを示すものであり、ハードウェアとしての技術と、ソフトウェアとしての住空間サービスの両方を試作し、実証したという点が本研究の成果である。

研究成果の概要 (英文)：

It derives from the theme of observing the contact scene of the human and the thing by using various information and communication technologies, and this research is divided into three content, roughly.

The first purpose is to observe the contact of the thing and the human by using the RFID technology. In addition, it aims to analyze the action as a network diagram, and to analyze the characteristic. At last, we executed the contact operation simulation in the room by using the obtained behavior model. The second purpose is to catch the contact of the human and the chair by using the human body communication technology. Moreover, we made the dynamic arrangement system of the fixture and furniture by using this. The third purpose is to use "Arduino" that is one of the open source hardware as a sensor terminal, to catch the contact of the human and the window, and to analyze the relation between the indoor condition and the window opening and shutting action.

Thus, it was proven to be able to record the relation between human and various things surround the human in detail and intermittently by using a new technology. It is shown to say that a basic technology for the vision that an intellectual building environment, it called "SMART SPACE", supports man will already have been completed. It is a result of this research to make, and to have proven both the technology as hardware and the living space service as software.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	2,800,000	840,000	3,640,000
2009年度	200,000	60,000	260,000
2010年度	200,000	60,000	260,000
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学／都市計画・建築計画

キーワード：行動モニタリング、RFID タグ、接触動作、窓開閉行動、着座行動、人体通信技術、接触行動シミュレーション、オープンソースハードウェア、Arduino

1. 研究開始当初の背景

▼ヒトとモノとの関係性を考慮した行動モデルの構築

行動履歴データベースを用いて生活者の行動を予測する手法について研究を行った際に、ヒトとモノとの接触履歴から、ヒトが次にどんなモノと接触するかを予測するための遷移確率モデルを作成した。これを用いた予測シミュレーションの結果では、モノとの接触連鎖パターンによる確率的な予測だけでは、ヒトの行為を予測したり状態を特定したりするには不十分であることがわかった。

遷移確率モデルによる予測の精度が悪いのは、ヒトとモノとの間にある関係の構造、すなわち、その「接触行動ネットワーク」のかたちを無視しているからに他ならないからであると考えられた。ヒトとモノとの関係性を構造的に記述し、これを取り込んだモデルが求められるものと考えられる。

▼複雑ネットワーク理論の応用

そこで検討されたのが、「グラフ理論」と「複雑ネットワーク理論」の考え方である。「グラフ理論」からは、ネットワークの構造からいくつかの定量的な指標値を算出するための手法が提案されている。例えば、ネットワークを構成するあるノードを一頂点とする「閉じた三角形」がどれだけあるかに着目すれば、周辺のノードとの関係の強さ（クラスター性）や密度がわかる。あるいは、任意の二頂点間の距離からネットワーク全体の平均的な距離を算出することで、そのネットワークの規模を評価することができる。すなわち、人間の行動軌跡をネットワークとして扱うことで、これを定量的に評価することが可能である。

一方、「複雑ネットワーク理論」からはネットワークの生成をシミュレートする手法が提案されている。代表的なモデルのひとつである「BA（バラバシールバート）モデル」と呼ばれるモデルでは、ノードの追加によるネットワークの「成長」と、リンクの先の「優先的選択」とを取り込んでおり、この単純な

モデルが生理学、脳神経科学、物理学、経済学など様々な分野の現象を再現する普遍性の高いモデルであることがわかっている。このように、人間に関する諸現象を再現する手法としてすでに評価の高い「複雑ネットワーク理論」を行動シミュレーションに応用することで、再現性の高いシミュレーションが可能になるのではないかと考えられる。

「複雑ネットワーク理論」は「グラフ理論」をベースに発展してきた学問領域であり、1998年頃から世界的に注目され始めた学問領域である。この分野の知見を建築計画に応用した例は国際的に見ても未だなく、本研究はその先鞭をつけるものである。

▼ヒトとモノとの接触を捉えるための技術①：RFID技術の利用

公共交通機関などでの活用を中心としてRFID（Radio Frequency Identification）技術と産業が普及・発達し、非常に安価な価格でこれが供給されるようになった。これにより、RFID タグをひとつひとつのモノに貼り、RFID リーダを持ったヒトがこれに触れることで接触履歴を取得することが可能となった。

特に、ビデオ録画による方法に比べて直接生活を記録するものではないため、プライバシー侵害のリスクが減り、長期間に亘る断続的な記録も可能になった。データはデジタルデータとして記録されるので、観測作業からシームレスに分析作業を行うことができる点でも有利である。

これまでにRFIDを用いた研究を行ってきた経験を生かし、データ収集場面においてその知見を活用するとともに、RFID技術を応用した建築計画研究の領域を広げていくことも目指す。

RFID技術のみならず、近年ではより新しい技術・製品が登場してきており、本研究でもその利用可能性について検討を行う。特に「人体通信技術」と「オープンソースハードウェア」について着目した。

▼ヒトとモノとの接触を捉えるための技術 ②：人体通信技術の利用

「人体通信技術」とは、人体の周辺にごくわずかながら発生する微弱な電界に情報を載せて通信する技術のことである。RFID タグを内蔵した IC カードと異なり、リーダ部分とタグ（アンテナ）部分とが直接近距離で接しなくても通信が可能である点が RFID 技術と大きく異なる点である。

すでに述べたように、RFID 技術の利用は被験者の負担を減らすために採用される方法であるが、それでもなお、被験者はタグとリーダとを積極的に近接させる必要がある。しかしながら、人体通信技術を用いることでその手間を省くことが出来、より自然な生活動作の中でデータを収集することが可能になる。

▼ヒトとモノとの接触を捉えるための技術 ③：オープンソースハードウェアの利用

RFID 技術の活用は調査にかかる経済的・労働力的なコストを大幅に削減するための方策であるが、それでもなお、一部の機材については研究用途・産業用途を意図して作られており、高価な部類に入るものである。将来的に、センサーなどが各個人の家庭にごく一般的に設置されるようになり、日常の行動センシングの結果からさまざまな住空間サービスを実現しようとする場合、このコストの問題は避けて通れないものである。

近年では、ごく単純な入出力端子と、ごく単純な処理システムをもった小型のコンピュータ（マイクロコントローラ）が登場し、普及の兆しを見せている。これらはオープンソース運動のひとつとして位置づけられており、製品仕様や開発環境が無料で誰もが利用できる形で公開されている。利用者は部品ひとつから組み立てることも出来るが、数千円で構成済みの製品を購入することも可能である。

このマイクロコントローラと各種センサーを組み合わせて、安価なセンサーネットワークを構築すれば、現実の住宅建設コストの範囲の中でも採用可能なセンサーネットワークシステムを構築することが可能であると考えられる。これを利用し、特にモノとしての「窓」と居住者との関係を捉えることで、環境状態とヒトとの関係が窓との接触行動にどのような関係性を持つか考察を行う。

2. 研究の目的

建築空間に存在するあらゆるモノと、それに触れるヒトとの関係に着目し、RFID タグなど種々の技術を用いてヒトのモノとの接触履歴を記録し、これをネットワーク図として表現することで生活行動の可視化を行う。

それとともに、ここで得られたネットワークについて「グラフ理論」と「複雑ネットワ

ーク理論」の両見地から分析を行い、その特徴を説明する定量的な指標値を得ることで、ヒトを取り巻くモノとヒトとの構造的な関係が行動（生活習慣や役割分担）にどのような影響を及ぼしているのかを明らかにし、生活者の行動を評価する手法を得ることを目的とする。

また、この行動分析の結果からネットワークの生成モデルを作成し、これを用いたシミュレーションを行うことで、モノの配置計画や建築の平面プランニングといった空間要素を評価する手法を得ることも目的とする。

また、この目的に加え、ヒトがモノとの接触する場面の捉え方について、近年新たに登場してきた技術（「人体通信技術」と「オープンソースハードウェア」）を活用することで、人間行動をモニタリングするための技術的な広がりや、センサー機器の建築設備としての普及に向けた方策を検討する。

3. 研究の方法

①ヒトとモノとの接触場面に関するデータ収集

▼被験者

家族暮らしをする 20 代の男子学生 4 名と女子学生 1 名と 50～60 代の主婦 4 名、一人暮らしをする 20 代の男子学生 6 名と女子学生 1 名、二人暮らしをする 20 代社会人男女 2 名、合計 19 名を対象に行った。

▼実験空間

ワンフロア型の住宅に暮らす家庭を実験対象とした（ただし、ロフトがある場合も含む）。被験者の住宅内にある身の回りのモノに対して RFID タグを貼付した。いずれも被験者の目につきやすいところに貼付し、接触動作によって読み取りやすいように配慮しているが、記録精度を確保するため、被験者にはモノと接触する際には必ず RFID タグを読み取るように教示した。

▼実験期間

2007 年 10 月から 2008 年 12 月までの期間で随時実施した。いずれの被験者も 15 日間

表 1 被験者属性と実験期間

番号	被験者宅	年齢	性別	職業	実験開始日	実験終了日	住居形態	部屋数	居住者数	所在地
1	A	20代	男	学生	2007年10月7日	2007年10月14日	マンション	4	4	東京都
2		50代	女	主婦	2007年10月12日	2007年10月18日				
3	B	20代	男	学生	2007年10月28日	2007年11月1日	アパート	1	1	東京都
4	C	20代	男	学生	2007年10月22日	2007年10月27日	アパート	2	1	東京都
5	D	20代	男	社会人	2008年5月12日	2008年5月25日	マンション	3	2	神奈川県
6		20代	女	社会人	2008年5月26日	2008年6月22日				
7	E	20代	男	学生	2008年7月27日	2008年8月5日	アパート	2	1	東京都
8	F	20代	女	学生	2008年8月16日	2008年8月26日	マンション	4	3	東京都
9		60代	女	主婦	2008年8月28日	2008年9月11日				
10	G	20代	男	学生	2008年9月2日	2008年9月10日	マンション	4	3	東京都
11		50代	女	主婦	2008年9月12日	2008年9月23日				
12	H	20代	男	学生	2008年9月27日	2008年10月7日	アパート	2	1	東京都
13	I	20代	男	学生	2008年10月11日	2008年11月1日	アパート	2	1	東京都
14		20代	男	学生	2008年9月26日	2008年10月11日				
15	J	50代	女	主婦	2008年10月16日	2008年10月26日	平屋	4	4	東京都

ほど実験を実施した(表1)が、取得データ数が極端に少ない日を除き、また、すべての曜日を網羅するようにデータを整理した。そのうち、7日分を分析用データとして使い、1日分を接触動作に関するシミュレーションの検証用データとして用いた。

▼教示

被験者は指輪型 RFID リーダを利き手の手首に装着し、指輪部分を中指に装着して日常生活を行うよう指示した。起床してから就寝するまでの間で、入浴中を除く間は常に装着するよう指示した。外出直前や就寝直前に触るドアや電灯スイッチに関しては、実際に触る前にあらかじめ触れて記録を取ってから、指輪型 RFID リーダを取りはずすように指示した。

帰宅直後や起床直後については、指輪型 RFID リーダを装着した後に、触ったものを順番通りにもう一度触れるよう指示した。また、ホスト PC の起動や指輪型 RFID リーダのバッテリー交換は、実験前に実験者が被験者に教示し、実験中は被験者によって全ての操作が行われた。システムによって蓄積された接触履歴データは、毎日就寝直前に保存するよう指示した。

▼実験器具の設定

本研究において採用した「指輪型 RFID リーダ」を用いた接触動作モニタリングシステム(図1)は、空間内にいる居住者が指輪型 RFID リーダを装着し、様々なモノに貼られたパッシブ型 RFID タグの固有 ID を「さわる」という動作の中から読み取ることで、これを無線通信(Bluetooth)によってホスト PC にデータを送信し、接触時刻と共に固有 ID を



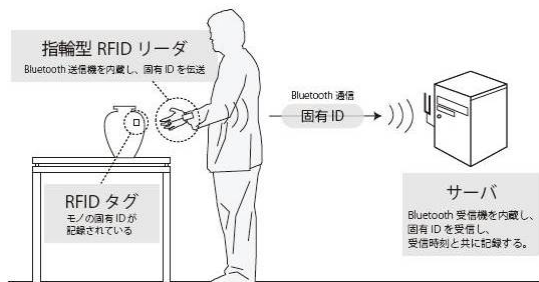
1(mm))を用いた。また金属製のモノには金属対応タグ(10×60×1(mm))を用いた。

▼モノのカテゴリ化

RFID タグに記録されている固有 ID とモノとの対応リストを作成したが、いずれの被験者も別々の空間で生活しているため被験者同士で居室空間に置かれたモノを共通化することが出来ない。したがって、いくつかのモノ同士をまとめ、17項目にカテゴリ化した表を作成した(表2)。これらにより、データ解析時に記録された固有 ID から接触したモノやカテゴリを特定できるようにした。

表2 モノのカテゴリ区分一覧

番号	カテゴリ名	所属するモノ				
1	家具	ソファ	オットマン	ダイニングチェア	バランスボール	ペット用椅子
2	日用品	カレンダーA	傘	傘立て	薬箱	ホワイトボード
3	設備・スイッチ	インターフォン	換気扇(キッチン)	換気扇(トイレ)	換気扇スイッチ(風呂)	延長ケーブル
4	掃除	ゴミ箱	ゴミ箱	シュレッダー	はたき	掃除機
5	洗濯	アイロン	アイロン台	掃除道具	掃除道具(ビーズ)	洗濯機
6	トイレ・掃除	トイレの収納	トイレ用クリナー	トイレ用掃除剤	トイレ用ペーパー	
7	洗物・片付け	キッチン(シンク)	食器	コーヒーカップ	コップ	スプーン
8	調理	炊飯	コーヒーメーカー	お茶壺	コーヒー豆	スポーツドリンク粉
9	食物	お菓子	サプリメント	飲み物	食べ物	
10	洗面	洗面台	クレンジング	コップ	コンタクトレンズ洗浄液	洗剤
11	化粧品	コンタクトレンズ	ヘアスプレー	ヘアワックスA	ヘアワックスB	マニキュア
12	身着み	アクセサリー・時計	衣料品(カゴなど)	衣料品(肌着類)	衣料品(コート類)	衣料品(ジャケット)
13	情報機器	携帯電話	電子辞書	電卓	パソコン	ノートパソコン
14	財布	財布	連絡			
15	収納	飲食品収納庫	茶巾置き場	レターケース	マガジンラック	キッチン収納棚
16	音楽・動画	植木	植木用の水	HDD/DVDデッキ	映像再生機(ビデオ)	ヘッドホン/イヤホン
17	神楽	仏壇				



…式1

$$C_d(v_i) = \frac{\deg(v_i)}{n-1} \quad \text{票値の計算 (媒介中心性)}$$

ノード同士の連結性を維持する上での重要な位置を示す、相対的な中心性のこと。ネットワーク中のノード数が n の時のネットワークの全測地路数(任意の2点を結ぶ最短経路数) ${}_{n-1}C_2$ に対する、ノード i を含む測地路数 $BC(v_i)$ の比率であり、媒介中心性 $C_b(v_i)$ は式2により得られる。

$$C_b(v_i) = \frac{2BC(v_i)}{n^2 - 3n + 2}$$

心性の値もグラフ解析ソ
引いて算出した。

▼シミュレーションプログラムの作成

分析により得られたネットワーク指標値を用い、ヒトとモノとの関係性を考慮した接触行動シミュレータを開発する。

開発に際して利用する環境は、「Artisoc」（構造計画研究所）を用いることとした。これを利用する利点は2つある。ひとつは、マルチエージェントシミュレータとして定評があり、簡易なプログラムによって複雑性のある現象を再現することに適している点である。

もう一つは、BAモデルをはじめとしたネットワークシミュレーションに関する既存の知見が充実していることから、これらを活用したシミュレータの開発に有利であるという点である。

分析結果のシミュレーションへの繰り込み方法は、ヒト（エージェント）が次に接触するモノを決定する際に、その選択における重み付けの変数として利用することとした。

②人体通信技術を用いた着座行動モニタリング実験

▼実験概要

ヒトとモノとの接触場面のひとつとして、イスとの接触である「着座」行動を「人体通信技術」を活用してモニタリングし、着座行動の特徴分析を通じて、机などの什器の動的な配置システムの構築を目指すものである。

着席位置ごとの滞在時間や被験者同士の位置関係などのデータにより空間を評価し、動的配置システムを構築することを考えた。そこで、動的配置システムの導入実験を行う上で、以下の機能が必要となる。

- ・机の周辺範囲でデータの取得が可能であること
- ・実験中の作業・移動が拘束されないこと
- ・長時間データ取得を行えること

以上のことを可能にするために必要な機材・方法を実験①で調査し、必要となる機材・方法の作成、性能評価を実験②で行った。そして、それらの機材を使用し、実験③で本研究の目的である什器の動的配置システム導入実験を行った。

▼人体通信システムの概要

人体通信システムは、個体識別 ID を送信する「送信機（図 3）」と、それを受信するための「受信機（図 4）」により構成される。

また、受信機は PC に接続され受信した個体識別 ID を記録するが、このための受信用のプログラムは本研究でのデータ記録用に特化させたものを独自に開発した。

▼実験①：行動データ取得方法の検討実験
データ取得時の送信機の所持方法に着眼し、以下の A～D の 4 つの所持方法を想定して、実際に送信したデータ数と計測したデータ



など、受信機機材は受信機基板に付属する純正品の「受信プレート」を用いた。被験者はそれぞれの所持方法で送信機を所持し、受信プレート上で静止状態を 20 秒（この間に送信は 200 回行われる）ほど維持することとした。

▼実験②：受信プレートの性能評価実験

実験①の結果を受け、作成した機材を導入した行動モニタリング手法の性能評価実験を行った。本稿では純正の受信プレートではなく、実験用に自作した試作型受信プレートを用いている。

被験者に「スリッパ型送信機」を履いてもらった状態で「試作型受信プレート」が床面に複数配された机の上で VDT 作業をしてもらい、この状況において実際に送信したデータ

数と受信したデータ数とを比較した。

実験③で実施する動的配置システムの導入実験を想定し、本稿での被験者は3名とした。送信するデータは1秒間に10回、1時間継続して36000回の送信に対する比で精度を計算することとした。

▼実験③:什器の動的配置システムの試作実験

什器の動的配置システムの試作実験を行った。

この実験では、実験②と同様の方法により、複数の人間の行動データ(距離・視線方向・滞在時間)を取得し、得られたデータから空間評価を行う指標を作成することで、什器の動的な配置システムを導入する。以下にそのシステムの詳しいフローを示す。

1. 被験者同士の距離、視線方向、滞在時間というデータを取得することで、作業状態モニタリングを行う。

2. 取得した任意の被験者2人の距離、視線方向、滞在時間データから以下の式3と4とを用いて、 f_1 値、 f_2 値を求める。視点方向得点は図5の表に従うこととした。

$$\left\{ \begin{array}{l} f_1 = \left(1 - \frac{\text{座席の二点間距離}}{\text{座席の最長距離}} \right) \times (\text{視線方向の得点}) \\ f_2 = \frac{\text{共存時間: } T_c}{\text{全滞在時間: } T_a} \end{array} \right.$$



・・・式5・6

$$F = \frac{f_1 (\text{距離、視線方向}) + f_2 (\text{時間})}{2}$$

$F = \frac{\sum F}{nC_s}$ ケートと算出された総合空間評価指標により空間変化を行う。空間変化では、密度に対する心象評価結果と逆方向に取得データに応じた距離だけ什器を移動させる。なお、什器は自動的に移動するのではなく、分析結果をもとに人力で移動することとした。

これら条件に則り、実験を10日間続け、

什器の動的配置システムについて考察を行った。

③オープンソースハードウェアを利用した窓開閉行動モニタリング実験

▼実験概要

オープンソースハードウェアのひとつである「Arduino」を用い、窓開閉センサー及び環境計測センサーを作成する。Arduinoはひとつ3,000円程度で購入可能なマイクロコントローラであり、様々なセンサーを接続することで安価なセンサー端末を構成することが出来る。

本項では、ヒトとモノとの接触動作のうち、建材としての「窓」との接触場面を捉えるものである。ヒトが窓との関係は、環境調整という視点と、住空間の移動という二つの意味を持っており、ヒトと建築空間との関わりの中でも特に重要な関係であると考えられる。

作成したごく単純なセンサー端末を用いて、窓の開閉行動における動機(暑い・寒い・換気・気分転換)ごとの温熱環境情報を分析することで、窓開閉行動と空間環境の相関関係について検証する。

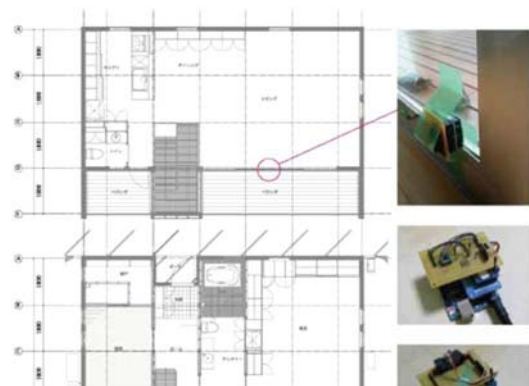
▼モニタリングシステムの開発

本研究では、モニタリングシステムとして窓開閉センサー端末及び環境計測センサー端末を作成した。

窓開閉センサー端末は、赤外線距離センサーを用いることで窓の開閉距離を3秒ごとに計測する。環境計測センサーは、各種センサーにより温度、湿度、照度の環境データを3秒ごとに計測するものである。それぞれのセンサーはArduino基板に接続されることで動作している。

▼実験空間設定

実験に用いた空間と設置した機材の外観を図6に記す。



窓開閉センサー端末は実験に用いた住宅の2階窓（図中赤丸の箇所）に設置されている。当該窓に設置した理由は、この住宅の居住者は2階のリビングを主居室としており、換気などの環境調整とバルコニーとの移動に当該窓を利用するからである。

▼計測データ・実験期間

窓開閉センサー端末と環境計測センサー端末とを用い、(1)窓開閉距離、(2)温度（室温）、(3)相対湿度、(4)照度の4つの物理データを計測すると共に、アンケートにより窓開閉時の時間及び意図を調査することで、窓開閉行動における行動特性を抽出する。

なお、実験日時は2010年1月20日～3月19日までの期間とした。

4. 研究成果

①ヒトとモノとの接触場面に関するデータ分析結果

▼接触データ集計結果

実験により得られた接触データ数の内訳を表3に記す。被験者の居住空間に設置した設置タグ数は、それぞれの空間に置かれたモノに可能な限り貼付したので、被験者それぞれで数値は異なる。使用タグ数は、設置タグ数のうち、実験期間中に実際に接触が行われたタグの数である。接触回数については、システムの特性上、同じ固有IDを読み取り続ける場合があるが、これについては重複を計上せず、1回の接触と見なした。一日あたりの接触回数は、接触回数を実験日数で除した値である。

表3 接触データ数の内訳

番号	設置タグ数	使用タグ数			接触回数			1日あたりの接触回数		
		全日	外出前	帰宅後	全日	外出前	帰宅後	全日	外出前	帰宅後
1	193	103	79	79	833	323	513	208	81	128
2	193	96	89	96	1036	648	390	259	162	98
3	88	63	50	55	483	228	255	121	57	64
4	91	70	52	58	467	162	308	117	41	77
5	143	69	29	47	367	130	134	52	26	27
6	143	79	36	60	457	109	197	65	22	39
7	90	44	28	35	394	122	156	55	24	31
8	163	108	66	77	1591	553	429	227	111	86
9	163	93	83	80	3547	1202	1070	507	240	214
10	187	61	50	37	513	251	149	73	50	30
11	187	159	112	142	1933	459	831	276	92	166
12	95	43	21	33	145	39	89	21	8	18
13	66	33	30	19	207	101	58	30	20	12
14	152	69	55	58	497	214	184	71	43	37
15	152	75	61	67	760	289	281	109	58	56
16	152	43	31	37	308	67	160	44	13	32
17	107	68	52	35	405	156	117	58	31	23
18	87	63	52	44	559	269	181	80	54	36
19	135	103	69	72	778	272	308	111	54	62

▼取得データの分析前処理

得られた接触動作履歴に基づいて、被験者の接触動作の軌跡をネットワーク図として作図する。そのための準備として、得られたデータを編集し、ネットワーク図のデータに加工する。これらの手順を表4に記す。データの編集には、必要に応じて自作したデータ編集プログラムを使用した。また、ネットワーク図中に描かれるノードの大きさに各指標値を反映させることで、視覚的に行動特性を理解できるように工夫する。

なお、被験者の実験データは実験日数全日分を統合し、全日データ、外出前データ、帰宅後データに分け、それぞれのデータでネットワーク図を作成した。共通カテゴリー化したデータについても同様に処理を行った。

表4 データ編集手順と利用プログラム

手順	1	2	3	4	5
編集内容	指輪型モジュールにより取得したデータ	UciNetのデータ形式へ変換する	UciNetでネットワークファイルを書き出す	UciNetデータの座標データを実空間座標に変換する	UciNetによりそれぞれの指標値を算出する ノードの大きさに指標値を反映
ファイル形式	.csv	.net	.vnc		.ai
使用ソフト	自作プログラム		UciNet	自作プログラム	UciNet Illustratorなど

のデータを掲載した。行動特性の比較のため、両者の全日データにおける各中心性の値も併記した（表5下）。

表5上より、全日の数値と帰宅後の数値が似通っていることから、帰宅後の行動がその人の一日のライフスタイルを決定づけており、それは外出前の行動とは異なることがわか

表5下 被験者1（学生）と2（主婦）について

カテゴリ番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
カテゴリ名	家具	日用品	建築設備	掃除	洗濯	トイレ・掃除	洗物・片付け	調理	食物	洗面	化粧品	身嗜み	情報機器	財務	収納	娯楽・余暇	神事	
回数中心性	全日	0.953	0.953	0.996	0.879	0.677	0.183	0.788	0.917	0.411	0.874	0.768	0.949	0.928	0.112	0.828	0.752	0.030
	外出前	0.888	0.878	0.988	0.764	0.518	0.156	0.666	0.872	0.360	0.777	0.705	0.865	0.842	0.088	0.733	0.629	0.013
	帰宅後	0.943	0.951	0.993	0.879	0.678	0.182	0.782	0.911									
媒介中心性	全日	0.014	0.018	0.029	0.004	0.002	0.000	0.004	0.008									
	外出前	0.019	0.025	0.068	0.006	0.001	0.000	0.003	0.020									
	帰宅後	0.013	0.018	0.032	0.005	0.002	0.000	0.005	0.011									
回数中心性	被験者1	0.625	0.750	0.917	0.542	0.000	0.000	0.375	0.417									
	被験者2	0.875	0.917	1.000	0.708	0.417	0.000	0.542	0.792									
媒介中心性	被験者1	0.027	0.062	0.149	0.021	0.000	0.000	0.000	0.014									
	被験者2	0.033	0.055	0.078	0.007	0.002	0.000	0.000	0.014									

スイッチやインターホンなどの建築設備周辺は日常動作との関係が強く、これらの場所に情報インターフェースを設置したり、何らかのセンシング機能を設置したりするのに有利な場所であると考えられる。

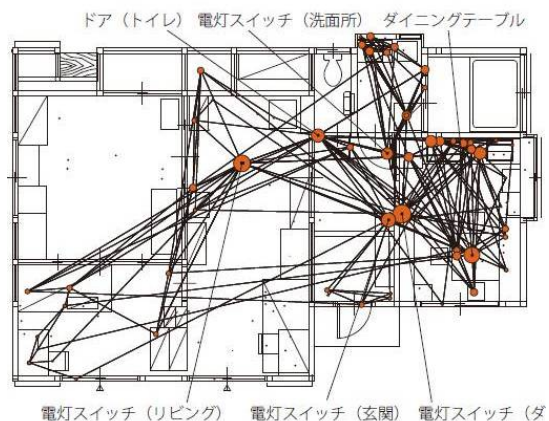
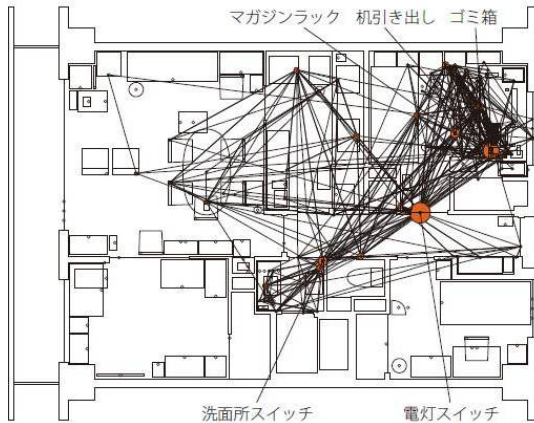
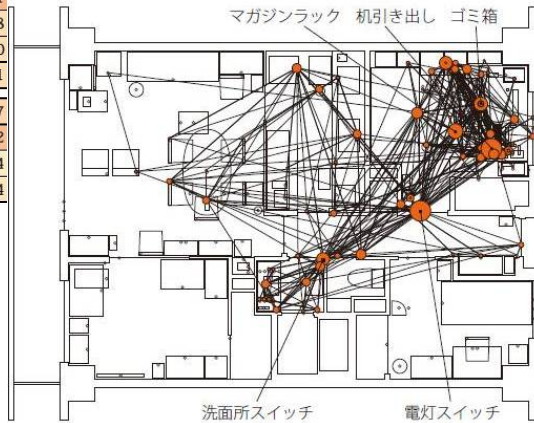
▼接触動作ネットワーク図の作成

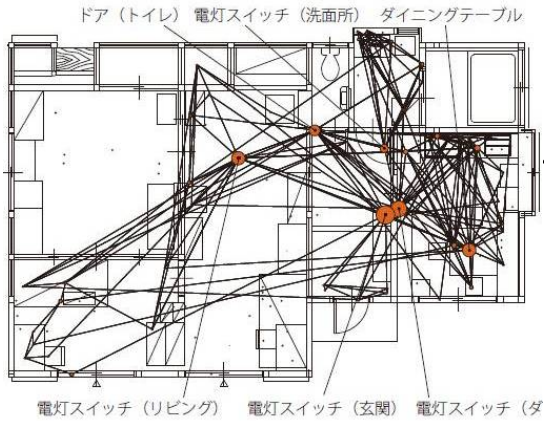
得られた接触履歴データから接触動作ネットワーク図を作成した。紙幅の都合上、一部の被験者のネットワーク図のみ掲載する。

図7~8は、被験者1の回数中心性と媒介中心性を考慮したネットワーク図であり、図9~10は、被験者14の回数中心性と媒介中心性を考慮したネットワーク図である。この2名の被験者を選択した理由は、被験者の属性と住居の規模がほぼ同じであるからである。

ネットワーク図として動作の軌跡を可視化することにより、住宅内における被験者の行動を理解しやすくなった。ほとんどの場合、接触動作には移動を伴うため、得られたネットワーク図は被験者の歩行動線であると考えてよい。ネットワークが密になっている箇所は、生活空間の中でも被験者が活発に行動する空間であり、ノードの円形が大きなモノほど、その人の生活行為と関係の深いモノであると考えられる。

特に、回数中心性を考慮した図については、式1より、あるモノがその近傍のモノに対してどの程度中心的であるかを判断することが出来る。





ネットワークとのハブとして機能していることがわかる。空間と空間との「間」を繋ぐモノが何かと言うことが、この図から理解できる。

被験者 14 も学生であるが、図 9 より、外出前と帰宅後を比較すると外出の前後で行動の中心にあるモノが異なっていることがわかる。外出前はキッチン周辺のモノと電灯スイッチ以外にはほとんどモノに触れることはないが、帰宅後は浴室周辺のモノの次数中心性が増加している。

図 10 より、外出前はリビングとダイニングのスイッチがハブとして機能しているが、帰宅後はトイレや浴室のスイッチの媒介中心性が大きくなっており、行動を分節しているモノの違いが空間の利用方法の変化を示している。

▼ネットワーク分析のまとめ

ヒトとモノとの接触行動ネットワークについて分析した以上の結果より、以下のことが明らかになった。

- ・指輪型 RFID リーダを用い、モノに対するヒトの接触動作をモニタリングし、その結果をネットワーク図として描くことで行動特性を直感的に理解するための手法を構築した。
- ・行動を分節するモノの違いが利用空間の違いを示すことが、可視化された接触行動ネットワーク図から読み取ることが出来た。
- ・さわるモノという観点から見ると、ヒトとモノとの関係において「建築設備」は行動ネットワークの中心的な存在であり、情報インターフェースや活動のモニタリング機能などのように、人間と機械との接点となる機能や設備を設置するのにふさわしい空間であ

ることが、定量的な分析の結果から明らかになった。

・被験者によってネットワークの形状や指標値は異なるが、数値を参照することなく、本論文中で述べたような判断を直感的かつ容易に下すことが出来るという点において、本研究において用いた手法が行動特性の分析に有用であると考えられる。

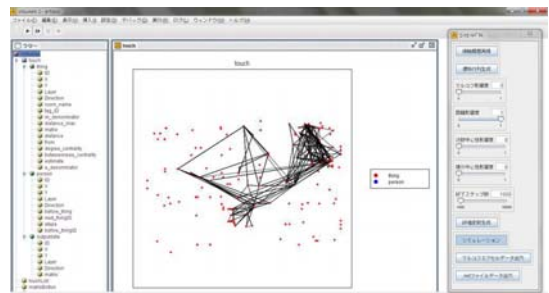
▼「Artisoc」を用いたシミュレーション

マルチエージェントシミュレータ「Artisoc」を利用し、これまでの分析結果から得られた接触行動モデルを組み込んだシミュレータを開発した。

エージェント（ヒト）が次に接触するモノを決定するための評価値を、式 7 で定める変数とした。

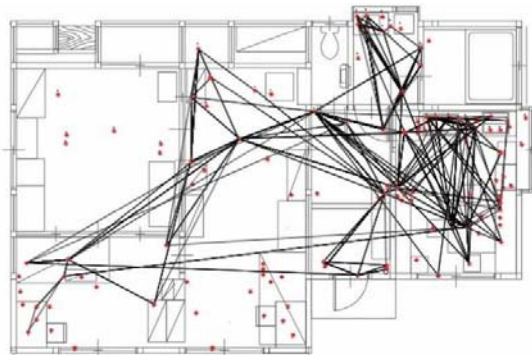
$$E = p_1 * E_{mar} + p_2 * E_{dis} + p_3 * E_{deg} + p_4 * E_{bet} \quad \text{式 7}$$

ここで変数 p は、ユーザーが任意に設定可能な重み付け変数である。 E_{mar} は接触動作履歴データから得られた遷移確率表からの変数である。 E_{dis} は、エージェントがとどまっている場所のモノとそれ以外のモノとの距離をパラメータとする変数であり、もっとも遠い場所に存在するモノの距離との比により求められる変数である。 E_{deg} は次数中心性の値であり、 E_{bet} は媒介中心性の値である。

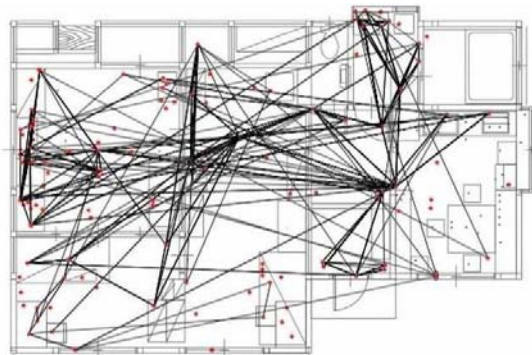


があり、直感的な操作により現象の違いを確認することが可能である。画面中央に接触動作ネットワークが描かれ、設定した任意の回数だけエージェントは移動を繰り返す。

以下にシミュレーションの一例を記す。



らの図からわかることは、変更前と変更後で、ネットワークの規模が大きく、また、その密度が疎になっているという点である。このことはつまり、接触動作にはヒト自体の移動が



で記録・可視化・分析し、その特徴について複雑ネットワークの知見を用いて定量的に評価し、また、これを組み込んだシミュレータを用いることで、建築計画のシミュレーションを実施することが可能となった。

②人体通信技術を用いた着座行動モニタリング実験

▼実験①：行動データ取得方法の検討実験

実験結果を表6に記す。これより、Bの「首からぶら下げた状態」を除く方法はどれもほとんど差がないくらいの受信精度を持っていることがわかる。

表6 データ取得方法の検討実験結果

	プレート上に立つ		着席時に足をのせる		理論値
	データ数	%評価	データ数	%評価	
A	195	0.975	195	0.975	200
B	87	0.435	157	0.785	200
C	195	0.975	196	0.98	200
D	197	0.985	199	0.995	200

よって、このように、プレートの移動により、精度に影響が出たものと考えられる。

ここではBを除いた他の3つの方法の間に明確な精度の差はなかったが、それらの中でも最も数値の大きいDの方法によるデータの取得で今後の実験を進めていくこととする。

▼実験②：受信プレートの性能評価実験

実験結果を表7に記す。

被験者Aの受信割合は1%未満と極めて低い値であり、被験者B、Cについても20%程度であった。しかしながら、受信時間の間隔が2秒程度であり、データ取得の解像度としては申し分ないものと考えられた。

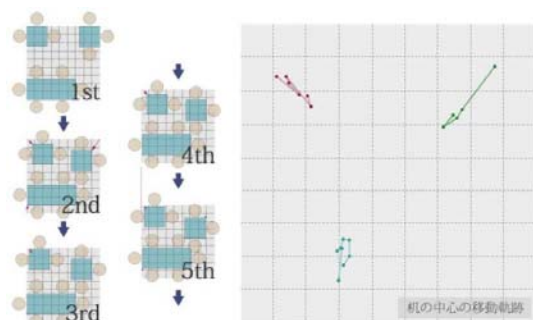
受信精度と試作型受信プレートとの関係については、純正品とは異なり、十分な誘導起電界が発生しなかったことと、受信基板から複数のプレートへツリー状に枝分かれをさせたことが、精度低下の原因となったのではないかと考えられる。データの解像度としては十分な結果が得られたので、以降に述べる実験③でも試作型受信プレートを用いることとした。

表7 受信プレートの性能評価実験結果

性能評価	被験者A	被験者B	被験者C
データ数	148	8498	5814
データ取得%評価	0.4111111111	23.60555556	16.15
データ取得間隔[s]	81.08108108	1.412096964	2.063983488
データ数理論値	36000	36000	36000

実験

実験により変更された什器の位置の軌跡を図14に記す。



机)の周囲に十分な余剰空間がなく、小刻みな動きをするのみとなった。今回は余剰空間の無駄を省き、また、居住者同士の関係性を近づける方向で移動させることとしたが、もう少し大きな変化を生むように動的な変更を実現することも今後検討されなければならない。

▼着座行動モニタリング実験のまとめ

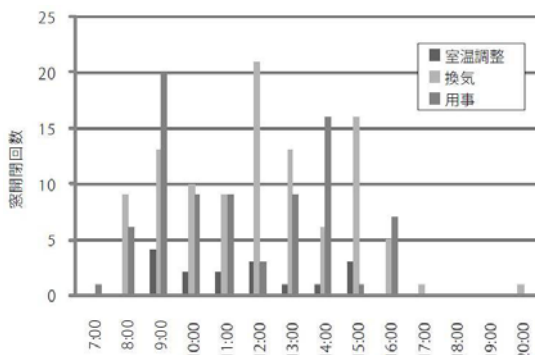
・人体通信機器を用いることで、滞在(接触)時間、同時に着座するヒトの個体識別、滞在场所に関するデータを取得することができた。データの取得精度については機器の改良など含め今後の課題とすべき点もあるが、人体通信技術は行動モニタリングという目的において有効な機器であることが実証された。

③オープンソースハードウェアを利用した窓開閉行動モニタリング実験

▼窓開閉行動と時間帯の関係

行動目的ごとの窓開閉行動の合計回数は、室温調整目的が16回、換気目的が104回、用事目的(洗濯、掃除など)が81回であった(図15)。

窓開閉目的は、各時間帯によってばらつきがあるものの、起床後の時間帯に窓開閉行動が多いことがわかる。これは、洗濯といった用事によるものと睡眠時にこもった空気を入れ換えるためであると考えられる。加えて、全体的な傾向として室温調整のための窓開閉行動が少ないことがわかった。



する判別分析を行った。

表8に示す計10分類の行動パターンごとに分析を行い、判断推定に関する要素を抽出した。加えて、それら要素が及ぼす影響に

ついても検討した。

表8 窓開閉行動パターンにおける予測に関する要素

窓開閉行動パターンの各分類		有意確率の順位(小さい順)		
		1	2	3
時間帯	A 午前(6:00~12:00)	湿度差 <1.360>	照度 <1.007>	温度 <2.201>
	B 午後(12:00~18:00)	湿度 <0.986>	-	-
目的	0 室温調整目的	-	-	-
	1 換気目的	照度 <1.002>	湿度差 <1.626>	-
	2 用事目的	湿度差 <1.155>	-	-
時間帯 × 目的	A-1 午前の換気目的	照度 <1.008>	湿度差 <1.237>	-
	A-2 午前の用事目的	湿度 <1.199>	温度 <3.060>	-
	B-1 午後の換気目的	湿度差 <1.535>	照度 <1.008>	-
	B-2 午後の用事目的	-	-	-
全データ		湿度差 <1.119>	照度 <1.002>	温度 <1.369>

あるという結果が得られ、午前の用事目的の窓開閉行動パターンにおいては、温度に3.06倍の影響度があるという結果が得られた。

このように的確な分類分けにより要素の関係性、影響度合いの向上が見られ、さらなるパターンの分類化を行っていく必要があるものと考えられる。

また、窓開閉行動の判断推定モデル式の結果としては、概ね70%を越え、判断を行うモデル式として有益であると考えられる。室温調整目的でのモデル式、午後の用事目的でのモデル式において結果がはずれ値となっているのは、データ数が少ないためと考えられる。

▼窓開閉行動モニタリング実験のまとめ

オープンソースハードウェアを活用したセンサー端末の作成と、これを用いたセンシングの実証的な研究は、建築分野においてはこれまでになく、本研究が先鞭をつけたものであり、その意義は大きいと考えている。

「Arduino」は全世界で数十万台もの出荷実績をもち、オープンソースハードウェアの領域においてはグローバルスタンダードと呼ばれる位置にある。ハードウェアのライセンスはCreative Commons Share-Alike licenseにより、また、開発環境などのソフトウェアはGPLにより管理されている。つまり、一定の要件を満たせば、既存のハードウェア情報や仕様を引用しつつ、独自のArduinoクローン

を作成、販売することも可能であり、商用化の道も開けている。この点において、Arduinoを建築分野におけるセンシングインフラとして活用する最も大きな意味がある。

本研究ではArduinoのセンシングインフラとしての実用性を確認するために、窓の開閉行動というヒトとモノ（窓）との関係を捉えることを目的とした実験を行った。センサー端末としての実用性は、データ取得が滞りなく、かつ必要十分な情報を取得できたことで確認された。環境調整行動に関してわかった知見を以下に挙げる。

- ・窓開閉行動の判断推定に温熱環境情報が役立つことがわかった。午前、午後ともに湿度情報が有益であるという傾向がみられた。
- ・また、照度は多くの分類で相関関係があるものの、その影響度合いが低いことがわかった。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計1件)

- ・遠田敦, 大塚佑治, 渡辺仁史: 指輪型RFIDリーダによる接触動作モニタリング, 日本建築学会, 計画系論文集, 74, 646, 2739-2744, 2009-12

[学会発表] (計5件)

- ・岡本達也, 遠田敦, 渡辺仁史: Arduinoを用いた窓開閉行動における行動特性に関する調査, 日本建築学会, 学術講演梗概集, A-2, 2010, 509-510, 2010-07-20
- ・遠田敦: 住宅内行動のモデル化とシミュレーション, 日本建築学会, 第1回 行動センサリングシンポジウム, 2010-6-30
- ・岡本達也, 遠田敦, 渡辺仁史: 人体通信機器を用いたアンビエント情報空間の提案と実証 什器の動的配置システムの導入, 日本建築学会, 学術講演梗概集, A-2, 2009, 2009-07-20
- ・大塚佑治, 遠田敦, 渡辺仁史: 指輪型RFIDリーダを用いた住宅内におけるヒトとモノとの接触行動モデル, 日本建築学会, 関東支部研究報告会, 研究報告集II, 79, 41-44, 2009-03-28
- ・大塚佑治, 遠田敦, 渡辺仁史: 指輪型RFIDリーダを用いたヒトとモノとの接触行動分析 ネットワーク形成とその変化, 日本建築学会, 学術講演梗概集, A-2, 2008, 499-500, 2008-07-20

・

[図書] (計2件)

- ・遠田敦ほか: 行動をデザインする, 彰国社, 2009
- ・遠田敦: 建築計画における行動モニタリング, 早稲田大学出版部, 2009

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)
特になし

○取得状況 (計0件)
特になし

[その他]
特になし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

遠田 敦 (ENTA ATSUSHI)

東京理科大学・理工学部建築学科・助教

研究者番号: 90468851