

日常空間における人間行動の観察技術と シミュレーション技術

西田佳史 ^{*a*b} 堀俊夫 ^{*a*b} 本村陽一 ^{*a*b} 金出武雄 ^{*a*b*c}

{y.nishida|t.hori|y.motomura|t.kanade}@aist.go.jp

<http://www.dh.aist.go.jp/>

1. はじめに

人はいかなる対象物も存在しない空間では、行動できない。人の行動は、目的を達成するために、環境に置かれた様々な対象物の機能、また、他の人の機能（能力）を利用する活動であるからである。情報処理能力を備えた環境が、人の行動を観察することができるようになれば、その時の人の状態に合わせて支援する新しい機能を提供することが可能となる。本研究グループでは、人ができないことをさせてくれたり、不得意なことを簡単にできるようにさせてくれたり、逆に、やってはいけない行動を起こしにくくしてくれる環境 (Enabling Environment) の構築法に関して研究を進めている。

このような環境を構築するためには、その基本要素として、行動観察システムが必要である。こうした行動観察システムを用いる場所は、実際に行動が生じる現場であるので、観察システムを現場で手早く構築する手法が重要となる。本稿では、対象物と人とのインタラクションの観察システムの構築法として、人間の行動が生じる現場で行動観察システムを「手早く」構築する手法とその応用例を述べる。

人が生活している空間に行動観察システムを持ち込んで長期に渡って人の行動を観察しようとした場合、プライバシー侵害の問題が顕著となる。本稿では、これまで本研究グループで開発してきた超音波を用いた人間行動観察システムを発展させたシステムとして、プライバシー侵害に対応した人間行動観察システムについて述べる。開発中のシステムは、天井埋め込み型の超音波レーダを用いて、人間の頭部の位置計測を行う低プライバシー侵害性のシステムである。詳細な画像情報を得ることは困難であるが、人の頭部の3次元位置を計測することが可能であるという特徴を持つ。

*a: 独立行政法人産業技術総合研究所 デジタルヒューマン研究センター

*b: CREST, 独立行政法人科学技術振興機構

*c: Carnegie Mellon University

本稿では、試作した検証システムについて報告する。

計算機上で構築された仮想的な日常空間内で行動することができる仮想人間（デジタルヒューマン）技術が求められている分野に、住宅内で生じる乳幼児の事故をシミュレーションする技術がある。このような技術があれば、乳幼児の事故を科学的に解明するための道具として用いることや、事故が起こりにくい安全な環境の設計を支援するなどが可能になると考えられる。こうした観点から、本研究グループでは、乳幼児の行動に焦点をあて、乳幼児の周辺に置かれた対象物データ、過去の事故事例データ、行動計測データ、発達行動学の知見といった情報を利用することで、住宅内で行われる乳幼児の行動を仮想空間内でシミュレーションするシステムの開発を行っている。本稿では、現在、研究を進めている乳幼児行動シミュレータについて報告する。

2. 行動観察システムの手早い構築法

人間行動観察システムを構築するには、観察すべき対象をセンサを用いて計測する行動計測システムと、計測データから必要な情報を収集するための行動解釈システムが必要となる。行動計測システムに求められる機能としては、実際に行動が生じる現場で手早く実現するためのキャリブレーション手法や、人の行動を阻害せず、人の行動や環境のノイズに頑健な計測手法があげられる。さらに、行動計測システムを現実的な価格で実現することも重要である。また、行動解釈システムに求められる機能としては、観察対象としたい行動から必要な情報を取り出す処理系を現場で手早く実現する手法、頑健に情報解釈するための手法、オンライン処理を可能とする効率的な情報解釈のための手法があげられる。本研究で扱う課題と解決法を表1に整理した。

本稿では、第3章で、行動計測システムについて述べる。これまでに開発してきた小型の行動計測センサ

(超音波3次元タグ)を述べ、超音波3次元タグを用いて対象物をセンサ化し、センサ化された対象物を用いて、頑健に行動計測を行う手法について述べる。さらに、様々な環境で超音波3次元タグシステムを手早くセットアップするためのキャリブレーション手法について述べる。行動解釈システムに関しては、第4章で述べる。ステレオビジョンと超音波3次元タグを統合したシステムを用いて、行動が生じる現場(実世界)をできるだけ単純に記述し、仮想化する手法を述べ、仮想化された対象物のモデルを用いて、解釈対象とした対象物操作行動を手早く登録する手法を述べる。

技術	解決すべき問題点	本研究による解決
行動計測	システム構築の手間	キャリブレーション法
	脆弱性	3次元タグの応用 ロバスト推定法の応用
	高価	安価な3次元タグの開発
行動解釈	システム構築の手間	対話的なシステム構築法
	脆弱性	操作対象物による解釈 単純化モデルの応用
	大きな計算コスト	実世界の単純化

表 1: 課題と解決法

3. 実世界のセンサ化：行動計測システムの手早い構築法

3.1. ポータブルな超音波3次元タグ

本研究グループでは、手早いセットアップが可能で、対象物の位置や人の位置の頑健な計測が可能なシステムとして超音波式3次元タグシステムを開発している。図1にポータブルな超音波3次元タグのプロトタイプを示す。

超音波式3次元タグシステムは、対象物や人に取り付けられた超音波タグ(超音波発信モジュール)によって発せられた超音波を、天井や壁に設置された超音波受信モジュールで受信し、到達時間から距離を算出し、3次元位置を計測するシステムである。市販されているモーションキャプチャと比較すると低コストであり、現実的なコストで、センサの数を増やすことが可能である。そのため、広範囲の空間の計測や、オクルージョンの影響を軽減するためのロバストな計測が可能となる[1, 2]。図2に、研究室に構築した検証システムと、それを用いた対象物の軌跡の計測例を示す。サンプリング周波数は、約50[Hz]であるが、追跡すべきタグを時分割で選択しているために、対象物の個数(n個)の増加に伴ってサンプリング周波数は、



図 1: ポータブルな超音波3次元タグ

50/n[Hz] 低下する。本研究では、この問題を軽減するアルゴリズムも開発している[3, 4]。対象物相互の距離が数メートルもの大きな場合には、50Hzを維持することが可能であり、それ以下の場合であっても、4個程度の対象物を同時に50Hzで計測することが可能である。表2に仕様を整理した。

精度	20 ~ 80mm
サンプリング周波数	50[Hz]
追跡可能なタグの数	128
増設可能なセンサの数	4096
計測可能な範囲	センサとタグの距離が7m以下
コスト(試作費用)	センサ ¥4,000, タグ ¥20,000

表 2: 超音波3次元タグの仕様・価格

3.2. 手早いキャリブレーションを可能とする手法

超音波3次元タグシステムの受信器を天井や壁に適切な位置に配置し、3次元位置計測をするためには、受信器の位置が既知である必要がある。本稿でのキャリブレーションとは、受信器の3次元位置を求めることを示している。受信器の位置から、超音波タグ(発信器)の位置を求める手法を用いれば、逆に位置が既知である複数のタグをもとにして、受信機の位置を求めることが可能である。そこで課題となるのは、広範

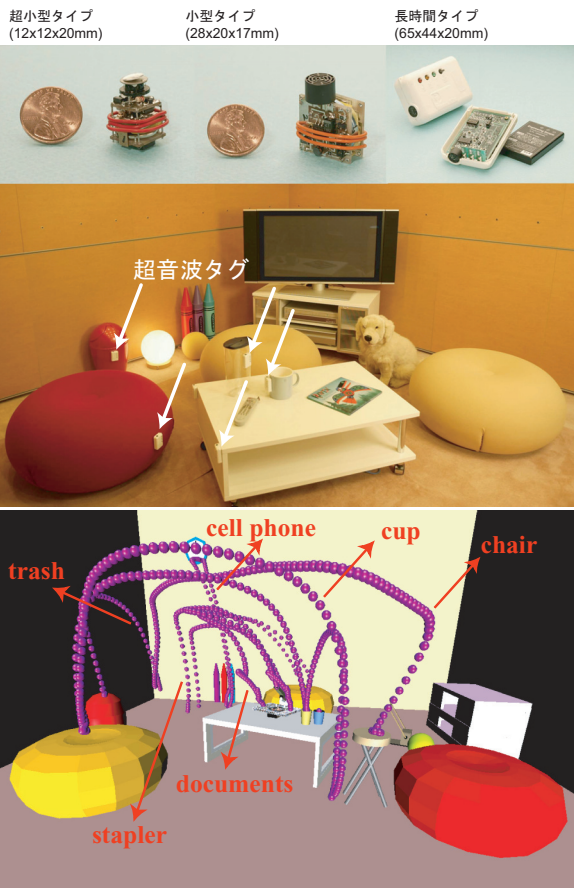


図 2: 超音波 3 次元タグシステムが設置された検証空間 (左) と人が操作した対象物の追跡例 (右)

囲に配置された受信器を、それよりも小さなサイズのキャリブレーション装置でキャリブレーションを行うことである。本研究では、図 3 に示すように、3 個以上の発信器が取り付けられたキャリブレーション装置を適当に動かしながらキャリブレーションを行う手法を開発した [5]。図 4 に、5x1[m] の板に取り付けられた受信器を、4 個の発信器が取り付けられたキャリブレーション装置 (500x500x500mm) を用いてキャリブレーションした結果の例を示す。

4. 実世界の仮想化：行動解釈システムの手早い構築法

4.1. 概要

行動計測システムによって得られる情報は、対象物の位置、実際には、対象物に取り付けられた 3 次元タグの位置のみであり、この位置情報を利用して、人が対象物のどんな機能を利用したのかを検出するための処理が必要となる。環境中に存在する様々な対象物の機能は、特に剛体やリンク構造を持った剛体に着目する

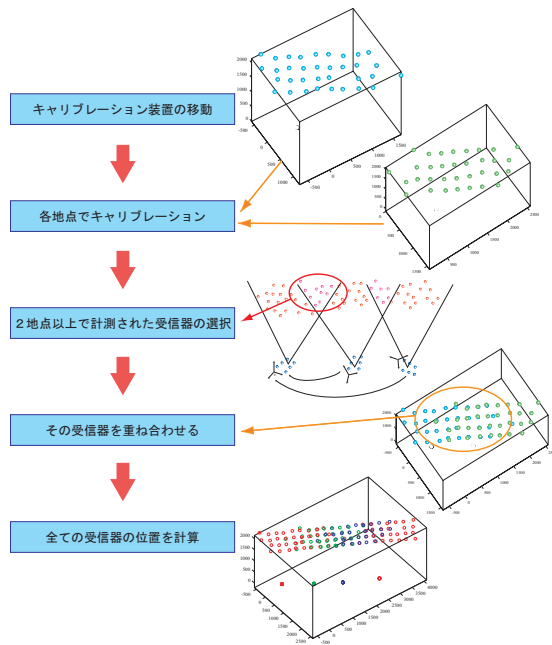


図 3: 局所キャリブレーションに基づく広範囲キャリブレーション

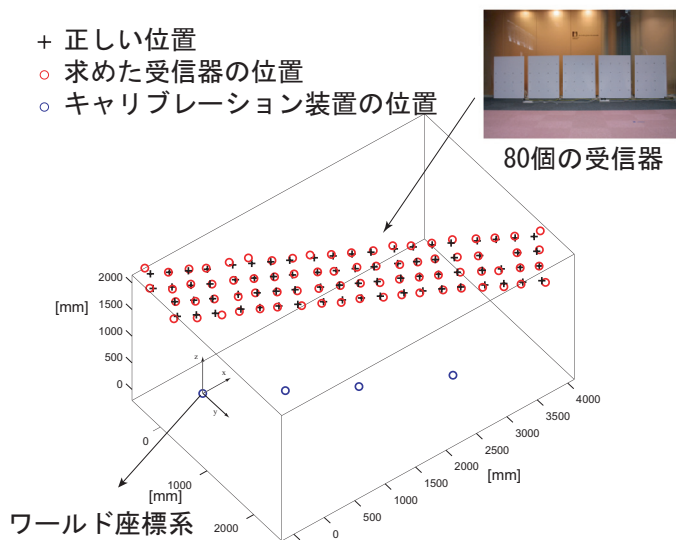


図 4: キャリブレーションの結果の例 (80 個の受信器)

と、対象物の物理的構造や、対象物内または対象物同士の接触などの物理現象にだけ注目することで、単純化させ記述することが可能である。対象物进行操作する行動を検出するのに、これらの単純仮想化された情報を用いて処理することで、不要な情報処理を省くことができ、効率的な行動検出が可能となる。

本稿では、対象としたい行動を、それが生じる現場で、対話的に手早く登録する手法 [6, 7] を述べる。本

稿で述べる手法は、物理構造のモデル化手法、物理現象のモデル化手法、物理現象モデルの出力と行動イベントの対応付け手法から構成される。は、幾何データは、あらかじめ用意されていないので、その場で、行動検出に必要な構造から構成される幾何モデルを手早く実現するためのものである。は、で作成された構造のモデルを用いて、行動に関連した物理現象を手早くモデル化するためのものであり、は、検出された物理現象と行動を対応づけるためのものである。

4.2. 物理構造のモデル化手法

ステレオビジョンを用いて、対象物の特徴点をマウスで対話的に指定することにより、フォトモデル機能を使って、線形・多角形・円形といった簡易な3次元形状にモデル化する。また、対象物に取り付けられた超音波式3次元タグの個数やID情報もモデルと結び付けて登録している。ステレオビジョン(ウルトラビジョン)にも超音波式3次元タグが取り付けられており、三脚に取り付けられたステレオビジョンを動かしながら、単純化された幾何形状モデルを作成することが可能である。図5に3次元タグが取り付けられたステレオビジョンと、実際に作成した形状モデルの例を示す。図6に対象物の特徴的な対応点をマウスで指示しフォトモデル機能によって対象物の物理構造を単純化させている様子を示す。

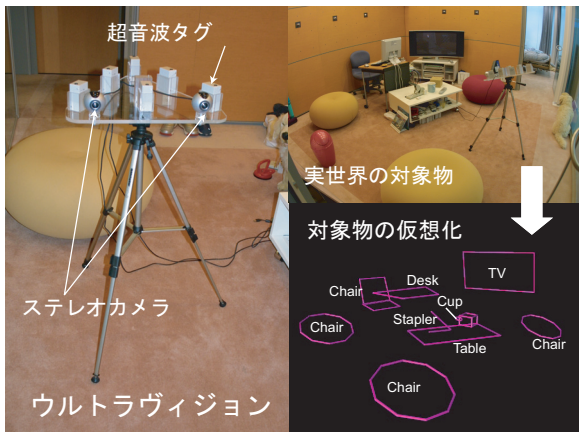


図 5: ウルトラビジョンと作成された物理構造モデルの例

4.3. 物理現象のモデル化手法

作成された物理構造モデルに、ソフトウェアを用いて対話的に仮想センサ・効果器を取り付けることで、対象物の物理的機能をモデル化する。仮想センサ・効果器

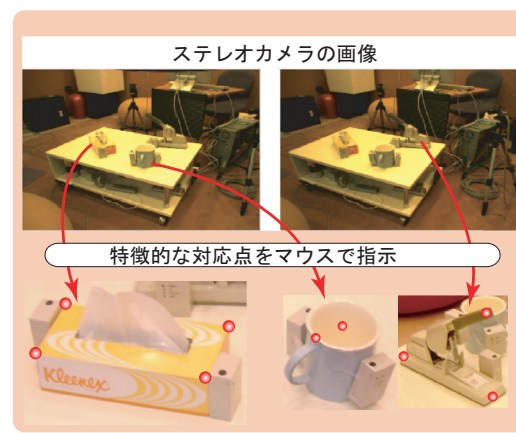


図 6: ウルトラビジョンを用いた物理構造モデリングの様子

とは、計算機上で、対象物をセンサとして振舞える属性を与えるためのものである。現在、用意している仮想センサの種類は、回転を検出する「Angle Sensor」、接触という事象を起こさせる「Bar Effector」、接触という事象を検出する「Touch Sensor」である。図7に、作成された対象物の構造モデルと、それらに仮想センサが取り付けられた様子を示す。この手続きによって、対象としたい行動に伴って生じる物理現象を接触、非接触、回転といった情報を取り出す機能を、複雑なプログラミングをせずに手早く対話的に実現することができる。

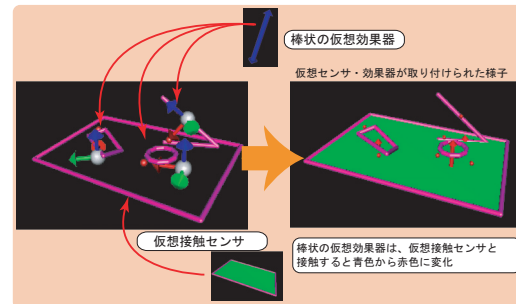


図 7: 仮想センサを用いた物理現象モデリング

4.4. 物理現象モデルの出力と行動イベントの対応付け

上述した仮想センサを用いた物理現象のモデル化によって、接触・非接触・回転といった情報を取り出すことが可能になったが、それらが意味する内容は、その対象物が何であるかや、現場でどんな行動を観察したいのか、によって大きく異なる。そこで、本研究では、検出された物理現象と、検出すべき行動の意味内容の対応づけを、ユーザがルックアップテーブルを作

成することで行えるようにした。

4.5. 行動計測・行動解釈システムの統合

図 8 に示すように、前章で述べた、行動が生じる現場で手早く構築可能な行動計測システムと、本章で述べた、行動が生じる現場で手早く構築が可能な行動解釈システムを統合することで、行動が生じる現場で、観察対象としたい行動を手早く登録することが可能となる。

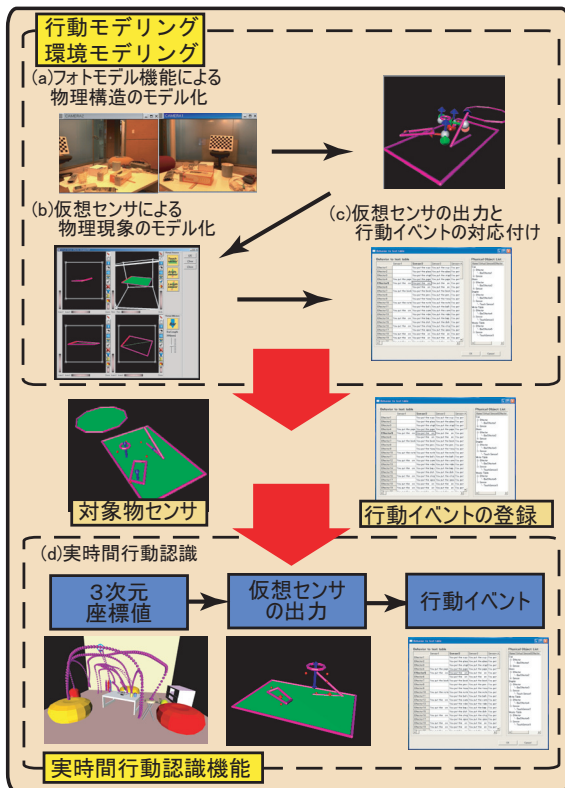


図 8: 行動計測・行動解釈システムの統合

5. 超音波 3 次元タグの応用

本研究グループでは、人が苦手なことをできるようにさせてくれる Enabling Environment の具体例として、本稿で述べた行動観察システムに基づいて、Behavior-to-speech エンジンの開発を行っている。これは、行動観察システムと Text-to-speech エンジンと統合することで、認識された日常行動内容を実時間で発話させる機能を実現するシステムであり、具体的には、環境中の様々な対象物をセンサ化しておき、それらを動かすと、それにともなって、関連する行動内容が英語で発話されるシステムである。行動による語学学習 (Learning by doing) 支援などの新しい応用を想定している。現

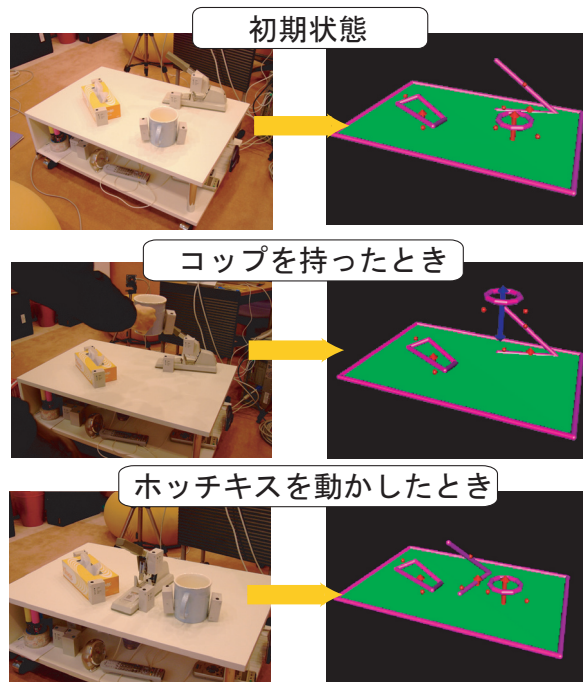


図 9: 行動検出の様子



図 10: Leaning by doing 検証用センサルームの構築

在、東京都品川にある英会話教室と共同研究を実施することにより、部屋型の行動観察システムを構築し、子供を対象とした語学学習支援の有効性の検証を進めている。

また、様々な環境で人の日常行動を頑健に計測するシステムが手早く構築できるようになれば、これを応用することで、人間の日常生活を科学的に考察したり、モデル化し製品開発や評価のためにシミュレーションを行うなどの応用が考えられる。現在、本研究グループでは、高齢者・乳幼児の事故原因の解明や、それを防止する環境—危険を予知させてくれたり、防止させてくれる Enabling Environment—の構築に関して、老人ホームや小児科医師と共同で研究を進めている。



図 11: 老人ホームにおける事故防止支援への応用

6. 低プライバシー侵害性の人の頭部位置計測システム

6.1. 概要

人が生活している空間にセンサを持ち込んで計測をしようとした場合、プライバシーの問題を扱う必要が出てくる。特に、長期に渡る計測では、この問題が顕著となる。例えば、人間行動観察のために風呂場やトイレなどにカメラを設置する場合「データは厳重に管理され、処理をするのはコンピュータなので他人に知られる心配はありません」と言われても、カメラの設置を快く思う人はいない。むしろ不快・不安を覚えるのが現代における一般人の感受性であると考えられる。

プライバシーを侵害する危険性がまったくない計測システムとは、いかなる情報も取得しない計測システムである。しかし、それでは全く役に立たない。実際に役立つ計測システムの一つは、なんらかの個人に関する情報を収集するからには、プライバシー侵害の危険性を皆無にはできないが、その危険性を極力抑え、不必要に詳細な情報は収集せず、必要な情報のみを収集する計測システムであると考えられる。

そこで、本研究では、非接触型の計測を行うことで、人の自由な動きを拘束しない無拘束計測が可能であり、

さらに、プライバシーを侵害する危険性が低い（低プライバシー侵害性の）、人の位置計測システムとして、天井埋め込み型超音波レーダを用いた頭部位置計測システムを開発している。開発システムでは、日常空間では、最も高い位置にある動きのある物体は人の頭部であることが多いという特徴を利用して、天井に埋め込まれた超音波レーダを用いて人の位置を検出する手法をとっている。

6.2. 天井埋め込み型超音波レーダを用いた頭部位置計測システム

超音波レーダと頭部の反射の現象を、音響学的理論を構築することで理論的に考察した。図 12 にシミュレーションの様子を示す。頭部の反射の現象をシミュレーションすることで、ある使用状況では、天井に埋め込まれた超音波レーダの超音波受信器をどのように配置することが適切かを考察することが可能である。

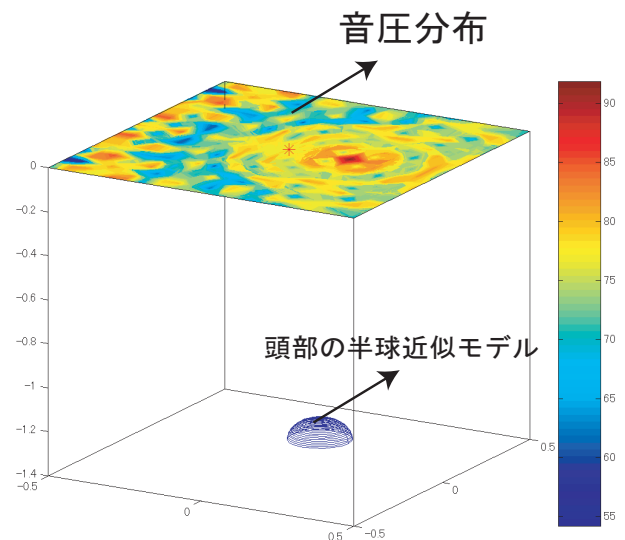


図 12: 天井埋め込み型超音波レーダの頭部による反射のシミュレーション

検証システムとして、7 個の超音波受信器と 1 個の超音波発信器からなる天井埋め込み型超音波レーダを試作し、提案手法の有効性を検証した。図 13 に試作システムを示す。検証実験により、人の頭部では、頭部の髪などの影響で、反射係数が 0.1 以下と低いため、超音波発信器のパワーと超音波受信器の感度を適切に選択する必要があることが判明した。図 14 に検証システムにより計測された頭部の位置の結果を示す。天井埋め込み型超音波レーダの下で、人の頭部位置を 9 箇所の地点で計測した結果であり、天井から床方向を

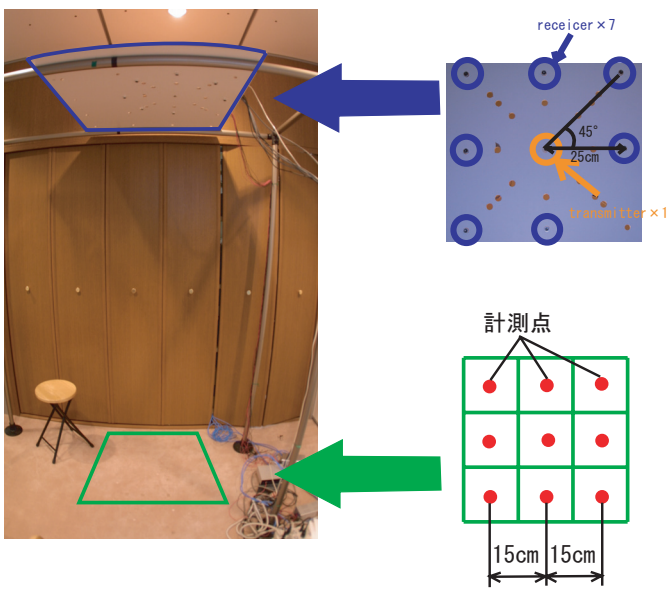


図 13: 天井埋め込み型超音波レーダの試作

見た場合の図である。実際の人を対象とした検証実験によれば、人の頭部の位置計測誤差は、3~4cm程度であった。今後、実際に老人ホーム等の施設において、例えば、ベッド周辺の人の動きが計測可能か、事故につながるような行動を検出したり、近い将来に起こりそうな行動を推定する手法に関して、研究を進めていく予定である。

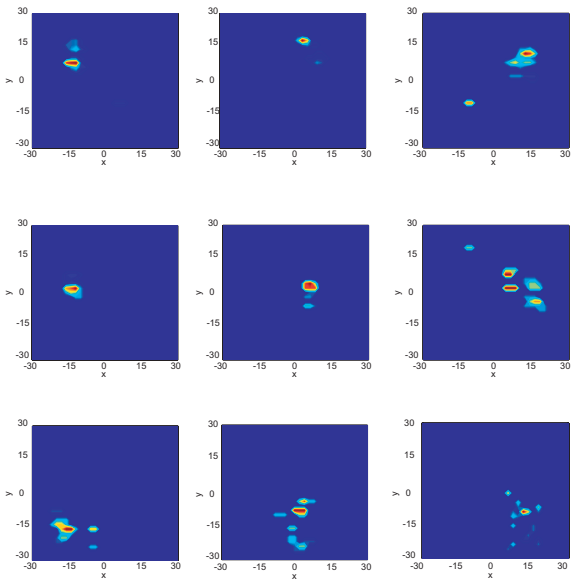


図 14: 天井埋め込み型超音波レーダによる頭部位置計測の結果

7. 発達行動モデルと環境行動誘発モデルに基づく乳幼児行動シミュレータ

7.1. 概要

計算機上で仮想的に構築した日常空間内で行動させることができるデジタルヒューマン技術が実際に求められている分野に、乳幼児事故防止がある。乳幼児の事故が生じる原因は、第一に、乳幼児の時代は大人と比べて急速に身体の大きさ、認知能力、運動能力が変化するという特異な時期であり、単純な行動の組み合わせとはいえ、大人にとって予測が困難であるからである。実際、赤ちゃんが歩き出す1歳を過ぎると、溺死¹、交通事故、転倒・転落といった「不慮」の事故が死亡原因の一位を占める。第二に、日常生活環境は家庭ごとに違い、またその家庭の中においてもその時々によって状況が変化するため、どの家庭にも適用できる一般的な予防策を作成することができないからである。予防策があったとしても、保護者が予防策を忘れてしまったり、うっかり予防策に反した行動をとってしまうからである。また、第三に、そもそも乳幼児を常に見守ることが困難であるからである。

乳幼児の事故を防止する対策として、過去の事故の事例などを基にした予防策に関する研究が行われたり、様々な書籍が出版されたりしているが、事故原因を科学的に解明するための道具や、事故が生じにくい環境を構築するための設計支援技術がないために乳幼児にとっては危機的な状態にあると言ってよい。実際、ここ40年間、乳幼児の事故の傾向には変化が起きていない。

有用な行動モデルの構築という観点からは、高度知的な判断を伴った複雑な行動や、非常に種類の多い行動を対象としなければならない大人の行動と異なり、乳幼児は限られた知的判断能力と、少ない種類の行動を対象とし、深く掘り下げていくことで、近い将来、応用上有用なモデルが構築できる可能性がある。

こうした観点から、そこで本研究グループでは、乳幼児の行動に焦点をあて、乳幼児の周辺に置かれた対象物データ、過去の事故事例データ、行動計測データ、発達行動学の知見といった情報を利用することで、住宅内で行われる乳幼児の行動を仮想空間内でシミュレーションするシステムの開発を行っている。

¹: おもいがけないこと・不意・意外（広辞苑）

7.2. 発達行動モデルと環境行動誘発モデルに基づく乳幼児行動シミュレータ

本研究では、乳幼児の行動シミュレータを構築するために、乳幼児行動の決定要因を内的要因と外的要因の大きく2つに分類した。この分類は、乳幼児の行動は、乳幼児の年齢・月齢と、乳幼児の周辺にある環境によって決定されるという仮説に基づく。内的要因は、ある年齢や月齢でとり得る行動であり、認知能力や身体能力に関する発達段階から導き出される要因である。外的要因は、乳幼児の周辺に存在する環境や環境中の対象物の視覚刺激から導き出される要因である。現在、以下で述べるように、内的要因のモデルとして、発達行動モデルを作成し、外的要因のモデルとして、環境モデルを作成している。

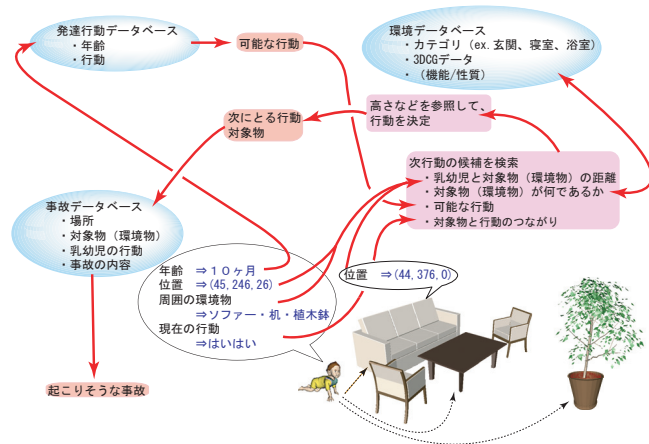


図 15: 乳幼児行動シミュレータの概念図

● 発達行動モデル

発達行動モデルとは、乳幼児が発達する過程で可能となる行動のデータベースである。含まれる情報は、年齢・月齢と行動である。現在、これまでに明らかにされている発達行動学の知見をもとに電子化を行っている。

● 環境行動誘発モデル

環境行動誘発モデルとは、環境に置かれた様々な対象物によって誘発される行動のデータベースである。作成中のデータベースは、対象物の幾何モデル、対象物の機能（開閉するなど）、物理的性質（熱くなるなど）、危険部位、対象物によって誘発される行動の種類の情報からなるデータベースである。現在、100 個程度の物体のデータベースを作成した。

本研究では、乳幼児行動シミュレータの応用の一つとして、乳幼児の行動に伴う事故のシミュレーションを想定している。そこで、上述したデータベースに加えて、乳幼児の事故データベースも作成している。事故データベースは、小児科の医師の協力を得て、事故事例データを入手し、それを電子化することで作成している。事故要因となった対象物、事故要因となった行動、事故内容からなるデータベースである。これまでに、約 150 件の事故事例を電子化した。

図 15 に、現在、構築中の乳幼児行動シミュレータの概念図を示す。現在、発達行動データベース、環境行動誘発データベース、事故データベースに基づいて乳幼児の行動をシミュレーションする 2 次元版シミュレータを作成した(図 16)。構築したシミュレータの動作を以下に述べる。まず、乳幼児の年齢・月齢を基に発達行動データベースを参照し、その年齢・月齢にあ

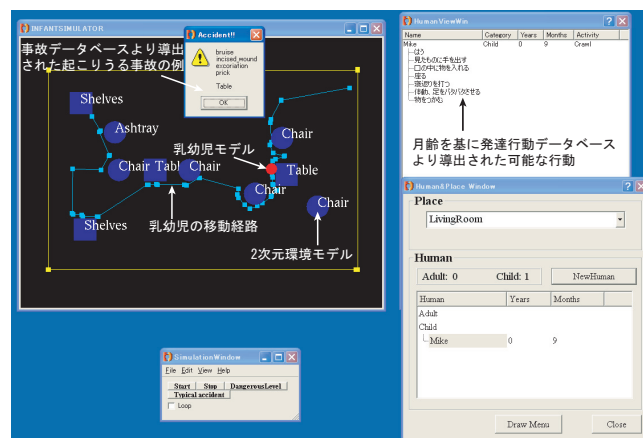


図 16: 2次元版乳幼児行動シミュレータ

る乳幼児がとり得る行動の集合を取得する。次に、環境に置かれた物体と乳幼児の距離が最小の対象物を選択し、その対象物によって誘発される行動の集合を取得する。次に、乳幼児の現在の行動状態を用いて、次に取りうる行動の集合を取得する。次に、以上の3つの行動情報の積集合をとることで、ある月齢・年齢にある乳幼児が、選択している対象物に対してとり得る乳幼児の行動の候補を導出する。最後に、事故データベースに、次の週間にとり得る行動の候補を入力することで、その結果として生じる事故の候補を取得することで、乳幼児事故のシミュレーションを行う。

例えば、月齢 10ヶ月の乳幼児についてシミュレーションの場合は、以下ようになる。発達行動データベースを参照すると、月齢 10ヶ月でとれる行動は、例を挙げると、“見たものに手を出す”，“口の中に物を入れる”，“座る”，“はう”，“物をつかむ”，“つかまり立ち”などである。乳幼児が机の近くにいた場合、環境行動誘発データベースを参照すると、誘発される

行動は, "触る", "つかまり立ち", "乗る" などである。そこで, 可能な行動と誘発される行動より, 乳児が "机を触る", "つかまり立ち" といった行動を次にとると考えられる。現在の状況とこの行動をもとに, 事故データベースを参照することで, "バランスを崩して転び, 頭部に外傷を負う" などといった, 起こり得る事故を得ることができる。

7.3. 乳幼児行動モデルの応用

本章で述べた乳幼児行動モデルやそれに基づくシミュレーション技術が発展していけば, 以下で述べるような様々な支援を行える可能性がある。

- 安全な環境の設計支援
乳幼児の主な生活環境である, 一般家庭や託児所などを設計する際に, シミュレーションを行い, 安全な環境であるかどうかの判断を支援する。
- 乳幼児事故防止のための教育支援
実際に住んでいる家の環境に基づいた予防に関する知識を得ることや, その環境で乳幼児に起こり得る事故の様子をコンピュータグラフィックスを用いてリアリスティックに表示することにより, 起こり得る事故の把握を支援する。
- 乳幼児実時間見守り支援
センサなどを用いて, 実際の乳幼児の位置を入力することで, 乳幼児の見守りを支援する。
- 乳幼児行動情報学の開拓
乳幼児の行動を情報学の観点からとらえて, 環境内の物体と乳幼児の行動に関する理論などを生み出し, 検証する学問領域の創造に貢献する。

8. おわりに

本稿では, 環境に埋め込まれたセンサを用いて, 人間が行っている行動を観察することで, 人間を中心としたサービスを提供する知的生活空間を構築しようとした際に必要となる基本技術の一つとして, これまでに本研究によって開発してきた人間行動観察技術を述べた。特に, 人間の行動が生じる現場で行動観察システムを「手早く」構築する技術として, 行動計測システムを手早く構築する技術と行動解釈システムを手早く構築する技術を述べ, 現在, 進めている応用研究を紹介した。また, 本稿では, これまで本研究グループで開発してきた超音波を用いた人間行動観察システムを発展させたシステムとして, 天井埋め込み型の超音波レーダを用いて人間の頭部の位置計測を行う低プライ

バシー侵害性の人間行動観察システムについて述べた。最後に, 計算機上で仮想的に構築した日常空間内で行動することができる仮想人間 (デジタルヒューマン) 技術の具体的な例題として, 現在, 研究を進めている乳幼児行動シミュレータについてその狙いと進捗を報告した。

参考文献

- [1] 西田, 相澤, 北村, 堀, 柿倉, 溝口, "センサルームを用いた人の日常活動の頑健な観察とその応用," 情報処理学会研究報告, 2003-HI-106, pp.37-44, 2003
- [2] Y. Nishida, H. Aizawa, T. Hori, N.H. Hoffman, T. Kanade, M. Kakikura, "3D Ultrasonic Tagging System for Observing Human Activity," Proceedings of IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp. 785-791, 2003
- [3] 西田, 秋山, 堀, 柿倉, "超音波 3 次元位置計測のための冗長なセンサデータを用いた高速位置推定アルゴリズム," 日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス講演会'03 講演論文集, IP1-3F-E6(1)-(2), 2003
- [4] T. Hori, Y. Nishida, T. Kanade, K. Akiyama, "Improving Sampling Rate with Multiplexed Ultrasonic Emitters," Proceedings of 2003 IEEE International Conference on Systems, Man, Cybernetics, pp. 4522-4527, 2003
- [5] 西田, 西谷, 相澤, 堀, 溝口, "ポータブルな超音波 3 次元タグ~手早いキャリブレーションを可能とする手法~, 電子情報通信学会技術報告 HIP2003, Vol. 103, No. 522, pp. 49-54, 2003
- [6] 西田, 北村, 木村, 相澤, 堀, 溝口, "超音波 3 次元タグとステレオカメラを用いた簡便な環境モデリング手法と人の行動イベント検出への応用", 電子情報通信学会技術報告 HIP2003, Vol. 103, No. 522, pp. 43-48, 2003
- [7] Y. Nishida, K. Kitamura, H. Aizawa, T. Hori, M. Kimura, T. Kanade, H. Mizoguchi, "Real World Sensorization for Observing Human Behavior and Its Application to Behavior-To-Speech," Proc. of 2004 ACM International Conference on Intelligent User Interfaces (IUI 04), pp. 289-291, 2004
- [8] Y. Nishida, K. Kitamura, T. Hori, A. Nishitani, T. Kanade, H. Mizoguchi, "Quick Realization of Function for Detecting Human Activity Events by Ultrasonic 3D Tag and Stereo Vision," Proc. of 2nd IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom2004), 2004 (in press)