

# エンタテインメント体験の喜びを損なわず体験を拡張する提示システム

高瀬 裕\*<sup>1</sup>

Providing Systems to Augment our Entertainment Experiences without loss of the Delights

Yutaka TAKASE\*<sup>1</sup>

**ABSTRACT** : Daily entertainment experience is essential to our life. The individual entertainment experience is enhanced by various interactive systems. For example, entertainment robots with high interactivity or navigation systems with voice guidance enhance each stuffed toy play and stroll experience. However, there are some cases that these systems detract from the experience's delights. These delights mean essential factors for individual experience such as fun, healing, atmosphere and so on. And, those become an important motive for getting the experience. This thesis shows the usefulness of the system that enhances the experience without detracting from the experience's delights, and the guideline of the designing and developing of such systems. In addition, I propose two interactive systems that based on the guideline. One is a stuffed toy robot and the other is the directional information provision by controlling the environmental sound field.

**Keywords** : interactive system, soft-stuffed toy, soft-mechanism, walking navigation, environmental sound

(Received October 6, 2014)

## 1. はじめに

本稿では、エンタテインメント体験の喜びを損なわずに体験を拡張する提示システムと題して、我々の普段の生活における「体験」の価値の一つである「喜び」を保ちながら利便性の向上や新しい体験の付加といった体験の拡張が可能な提示システムの必要性とその設計・開発指針を示す。また、この指針に基づき、芯まで柔らかいぬいぐるみロボットと、環境音の音場操作による方向情報提示システムシステムという2つのインタラクティブシステムを提案する。なお、本稿は筆者の博士論文を概説したものである。

## 2. 体験のインタラクティブシステムによる拡張と喜びの損失

### 2.1 体験とインタラクティブシステムの関係

我々の日々の生活は図1に示すように、多くの場面で



図1 活動のサイクルと体験の関係

ある目的を持った行動を行い、その結果を得る。という活動を繰り返してであると捉えられる。活動することで我々が得るのは行動の結果と、それらに応じた「体験」である。

このような体験は、インタラクティブシステムを利用することで変化する。その変化は、利便性の向上に留まらず、従来では得られなかった結果を得られるような体験の拡張が付随する場合がある。例えば、表1に示した

表1 インタラクティブシステムによる体験の拡張

ドライブで道を調べるという体験			
目的	行動	結果	体験
道を知りたい	地図を調べる 人に聴く	道がわかる	従来の体験
	ナビゲーション を使う		現在地の自動案内 音声案内

\*<sup>1</sup>: 情報科学科助教 (yutaka-takase@st.seikei.ac.jp)

ように道を調べるといふ場合の体験であれば、地図を調べるような従来の方法ではなく、ナビゲーションシステムを使うことで視覚だけでなく聴覚からも道中の案内を受けることが可能になり、いつでも必要とする情報を得られるという利便性の向上や、今まで得られなかった音声による道中の案内という体験の拡張が得られる。

## 2. 2 体験の喜び

一方で、インタラクティブシステムを使用すると従来の行動で得られていた体験の価値の一部が損なわれてしまう場合がある。その価値とは例えば、従来の体験で取った行動により得られる楽しさ、対象から得られる癒やし、情緒や趣を意味し、ここではそれらを体験の「喜び」と表現する。

本研究の目的は、体験の喜びを損なわず体験の拡張が可能な提示システム的设计指針を提案し、それに基づいたインタラクティブシステムである、柔らかいぬいぐるみロボットと、環境音の音場操作による方向情報提示システムを提案することである。そのためには、各体験における喜びと、それを損なわないために必要な要素を分析し、システム的设计・開発を行わなければならない。

## 3. 体験の喜びを損なわずに体験の拡張が可能な提示手法

環境や体験の変化による喜びの損失を防ぐことが可能で、かつ体験の拡張を行える既存のインタラクティブシステムは大きく2種類に分類できる。1つ目はシステムの透明化を行う方法である。例えば、Digital Desk[1]やInfoBinder[2]に代表されるような実世界指向インタフェース[3]や、環境に存在するアンビエントメディアを情報提示に利用するアンビエントディスプレイシステム[4]がそれ当たる。前者は、従来と同様のインタフェースを備えることで体験の変化を抑え、後者は利用者の体験への影響を最小限に抑えるシステムである。

2つ目は体験における喜びを再現するような機能をシステムに組み込むという提案である。例えば、ニコニコ動画[5]のようなコメント共有型の動画視聴サイトでは、同じ動画を見た他の視聴者の感想を動画の時系列に沿って共有することができ、従来であれば映画館のような施設へ出かけなければ得られない他者との一体感や感想の共有といった体験の喜びを再現するシステムである。

ここで挙げた先行研究からも明らかのように、個々の体験によってその喜びは異なり、それを損なわない方法も様々である。本研究では、その目的である体験の喜び



図2 柔らかいぬいぐるみロボット

を損なわずに体験の拡張が可能な提示システムを実現するために次のようなシステム的设计・開発指針を提案する。

すなわち、個々の体験での喜びとその要因を設計者の内省により推定し、文献調査によってその重要性を確認する。開発するシステムはこの喜びの要因を保てる程度に透明化を行う。これは、システムによる喜びの再現ではなく、体験における本来の喜びを得ることを重視し、喜びを生み出す要因を損なったり妨げたりせず、体験を拡張する提示システムの開発を行うことを意味する。

次章からは、この指針に基づいて開発した、芯まで柔らかいぬいぐるみロボットと、環境音の音場操作による方向提示システムについて詳細を述べる。

## 4. 芯まで柔らかいぬいぐるみロボット

本章では、ぬいぐるみ遊びという体験における喜びを損なわずに体験の拡張が可能な提示システムである芯まで柔らかいぬいぐるみロボットを提案する。

### 4. 1 ぬいぐるみ遊びとその喜び

ぬいぐるみ遊びは、幼児から高齢者まで広く親しまれ、また楽しまれている。このことは、ぬいぐるみが幼児にとって移行対象（母親自身の代理）となり、幼児が毛布等と同様に肌身離さず持つようになる[6]ことや、高齢者へのセラピー用途としてぬいぐるみ型のロボットが広く使われている[7]ことから窺える。ぬいぐるみには、ままごとの様にぬいぐるみにキャラクターを持たせて遊び相手とする以外にも、ペットのように可愛がる、抱きかかえる、話しかけるといった多様な遊び方がある。

ぬいぐるみ遊びという体験における重要な喜びの一つとして手触りのよさ、柔らかさが挙げられる。幼児の移行対象として毛布やぬいぐるみが選ばれるのは、それらが母親の持つぬくもりや肌触りを象徴的に代理しているためと考えられている。柔らかさの重要性を示す実験と

してHarlowによる赤毛ザルの子どもを用いたもの[8]がある。著者は手触りが悪いが、針金でできた授乳機能のある母親モデルと、毛布を巻き手触りがよいが授乳機能を持たない母親モデルを用意して子ザルの行動を観察した。その結果、子ザルは空腹になるまで手触りのよい母親モデルにしがみつ、必要な場合だけ手触りの悪い母親モデルのミルクを飲んだ。また、活動の拠点を手触りのよい母親モデルとするなど、結果として手触りのよい母親モデルの方に長時間触れていた。このことから、手触りの良さは安心感や愛着、癒しを与える効果が高いことが窺える。また、森らは、人形とぬいぐるみを使った20代から60代の男女を対象とした調査[9]で、ぬいぐるみを抱く方が人形を抱くよりも「好意」、「癒やし」、「親近感」という印象を高く感じるという結果を得た。

このように、ぬいぐるみ遊びにおいてはその柔らかさや肌触りの良さを感じ、その結果として我々は癒やしや安心感といった喜びを感じていることがわかる。以上から、ぬいぐるみ遊びにとって柔らかさは重要な喜びの一つであると言える。

#### 4.2 ぬいぐるみ遊びを拡張するシステム

ぬいぐるみ遊びの拡張は、ぬいぐるみに身体動作を可能にすることと、各種センサによって実世界の認識を可能にすることが主となる。タゲトアザラシを模したぬいぐるみロボットのPARO[10]は搭載した触覚センサによって撫でられたら喜ぶ、叩かれたら嫌がるといった行動を取ることができる。大きな動作はできないが、首、前足、後ろ足、まぶたが可動する。他にもマイクや温度センサ、光センサ等を搭載している。Stiehらの提案するHuggable[11]も、主に病院や介護施設で利用することを想定したロボットである。利用者がロボットを腕に抱いて遊ぶことを想定し、Huggableは可動できる部位は首部と眉毛、耳のみである一方で、体部には接触センサを搭載し利用者がどのようにロボットを抱いているのかを詳細に把握できる。SonyのAIBO[12]は犬の外観を模し、ペットロボットの先駆けとも言える存在である。動作の不自由さや機構の硬さが違和感となることを考慮し、外見にはロボットらしさを残したが、各種のセンサによる動作を検知や、飼い主の声や手の叩く音に反応を示す。といった行動を取ることができる。また、歩行動作を始めとした多様な身体動作を行うことができる。

このように、ぬいぐるみ遊びを拡張するインタラクティブシステムは用途に応じた機能が備わり、特にインタラクティブ性の向上が行われている。これにより利用者にさらなる癒しや楽しみ等の拡張された体験を与える。

しかしながら従来のインタラクティブシステムの機構は硬く、ぬいぐるみ遊びにおける喜びであるぬいぐるみを持つ柔らかさや手触りの良さが損なわれてしまう。

#### 4.3 システムへの要求

本研究ではぬいぐるみ遊びの拡張のために多様な身体動作と実世界の認識が可能であり、またそれに応じた動作が行えるシステムを目指す。このような体験の拡張をぬいぐるみを持つ柔らかさを損なわずに行うには次の2点の要求を満たしたシステムの開発が必要である。

1. ぬいぐるみを持つ柔らかさを損なわず、ぬいぐるみ遊びを阻害しないこと。
2. 多様な身体動作が可能で、利用者の入力に応じた動作が行えること。

要素1はぬいぐるみ遊びの喜びである手触りの良さ、柔らかさを保たなければならないという点による。ロボットの柔軟性を保つ提案として、ウレタンフォームでロボットを覆うもの[13]、液体によるクローラー[14]等があるが、材質の違いからぬいぐるみを持つ柔らかさを保つには適していない。

これらに対してPINOKY[15]はリング状のデバイスで、実際のぬいぐるみに装着して利用する。これによって既存のぬいぐるみとユーザとが簡単なインタラクションを行うことを可能にしている。しかしながら、腕部や脚部にリング状デバイスを装着すると、その存在が利用者に違和感を与えることがあると考えられる。

このように、柔らかさが保たれたとしてもぬいぐるみ遊びという体験をそのシステムの機構やその設置によって阻害することも避けなければならない。

要求2はぬいぐるみ遊びの拡張のために必要な要求である。ぬいぐるみに身体動作を行わせることができればぬいぐるみの感情や意図を表現し、利用者にさらなる癒やしや安らぎを与えられるだろう。また、実世界の認識を行うことができれば、利用者自身の感情、意図をぬいぐるみが認識し、それに応じた動作を行わせることも可能になる。これによってぬいぐるみ遊びは高いインタラクティブ性を備えた体験へと拡張することができる。

本研究では、これらの要求を満たすシステムとして、図2に示した、ぬいぐるみ本来の柔らかさを保ちながら多様な身体動作が可能なる芯まで柔らかいぬいぐるみロボットを提案する。加えて、本システムは柔らかさを阻害しないセンサシステムによる実世界認識を行い、利用者の行動に応じた動作を行うことが可能である。

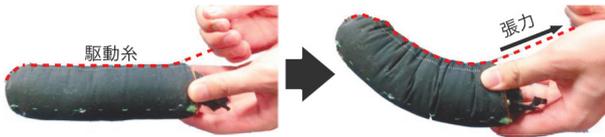


図4 柔軟機構の動作原理

4. 4 柔軟機構

提案する駆動機構は、ぬいぐるみ本来の素材である糸、布、綿のみで構成される可動部と、それを駆動するアクチュエータ部からなる。機構の原理を図3に示した。布を袋状にして綿を詰めた綿袋の外側に糸を通し、アクチュエータによってその糸（駆動糸）を引き、変形させることを駆動機構の基本原理とする。これにより駆動糸を引くためのアクチュエータ部を柔らかい可動部から離して設置できる。

4. 5 やわらかいぬいぐるみロボット

ぬいぐるみロボットの構造

開発したロボット（図2）は両腕、両脚、頭部の可動部を持ち、無線LANを通して制御用計算機から制御できる。外見には利用者が親しみやすく、積極的に触りたくなる姿としてクマのぬいぐるみを選択した。本ぬいぐるみロボットは基本姿勢として座った状態を取る。この時、高さ380mm、幅240mm、奥行き300mm、重量は1.4kg程度である。バッテリー駆動することで本体はワイヤレスで使用できる。動作電圧は8.3Vで、1600mAhのリチウムポリマー充電電池で30分程度動作する。

ぬいぐるみロボットの内部構造を図4に示した。図4(a)に示したように、可動部を駆動するための18個のモータと、それを制御する回路基板は体幹部に収め、ぬいぐるみロボットの硬い部分を最小限に抑えた。また、同(b)に見られるようにぬいぐるみの臀部に多翼ファンを設置し、排熱を行う。加えて、同(c)に示したようにぬいぐるみの外装を装着する前に硬い機構が集約された本体全体を布と綿で作成したクッションで覆い、利用者がぬいぐるみの体部に触れた時にできるだけ硬さを感じないように注意した。

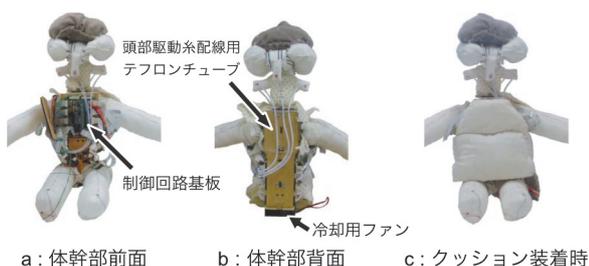


図3 ぬいぐるみロボットの内部構造

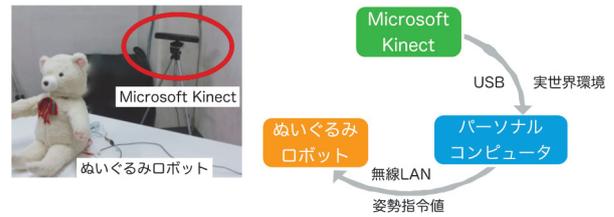


図5 実世界認識のためのシステム構成

姿勢制御

ぬいぐるみロボットの姿勢制御は、現在の各駆動糸長をモータに取り付けたエンコーダからのパルス信号をカウントし把握することによる。姿勢を変更や、特定の動作を行う場合には制御用計算機から各駆動糸の目標糸長値が制御回路へ送られる。制御回路は現在の糸長が目標値へと近づくよう各モータにPWM信号を生成し、モータの制御を行う。これによって、ぬいぐるみロボットに様々な動作を行わせることができる。

実世界認識

開発したぬいぐるみロボットには世界認識のために、外部に設置したMicrosoft Kinect[16]と連携することで周囲の環境や付近の人を検出し、それに応じた動作を可能にした。図5はその構成図である。ぬいぐるみロボットの柔らかさを保つため、実世界を認識するためのカメラはロボット内部ではなく、環境に設置できるものを選択した。これにより、ぬいぐるみの柔らかさを保ち、かつ体験のさらなる拡張が期待できる。

4. 6 ぬいぐるみロボットの動作性能

実現したぬいぐるみロボットの身体動作能力（動作範囲、動作再現性）は以下の通りである。

動作範囲

腕部は腕の付け根から手先を±100mm程度、脚部は同様に足先を上方に100mm、下方に60mm程度上げ下げ可能である。また、左右にはどちらも±100mm程度動かせる。これにより、腕を振り上げる、足をばたつかせるといった動作をするのに十分な動作範囲を有している。また、頭部の動作範囲は左右に70deg程度の回転動作が可能であるものの、上下方向の見上げ、見下ろし動作では、首を左右に回す毎に可動域が狭くなる。最大では、ロボットが正面を向いた状態から上向きに20deg、下向きに15deg程度首を動かすことができる。

動作再現性

動作再現性は、それぞれの可動部に繰り返し同じ動作

を行わせ、その到達位置を測定、標準偏差を求めることとした。結果、腕部は1.5mm程度、脚部は0.8mm程度という高い再現性を持つ。また、頭部も1.0mm程度という結果から、全ての可動部において繰り返し動作を行うのに十分な再現性を有していると言える。

#### 4.7 むいぐるみロボットの柔軟性の評価

実現したむいぐるみロボットの柔軟性を評価するため、硬い機構を持つむいぐるみロボットである、IPロボットフォン(ロボットフォン)[17]と通常のむいぐるみとを比較対象として評価実験を行った。

#### 実験方法

実験は、評価対象それぞれの腕部の上側を板で押さえ、円柱形の棒を使って下側から外力を加えた。力センサを用いて円柱棒に加わった力を計測し、その際の変形量(つぶれた量)を測定した。むいぐるみロボットは、駆動糸を引かない状態と駆動糸を引き、ある方向に腕が変形している場合で柔軟性に差があるため、それぞれを静止時、動作時として測定を行った。動作時は腕の駆動糸のうち1本を最大まで引いた状態とした。

#### 実験結果

計4種類の計測結果を図6に示す。ロボットフォンは内部が硬い機構であるため、10mm程度で変形量が限界となる。むいぐるみロボットは、静止時、動作時共にむいぐるみよりは変形に大きな力が必要だが、むいぐるみ同様に人間が加えられる程度の力で大きく変形させられる事が分かった。

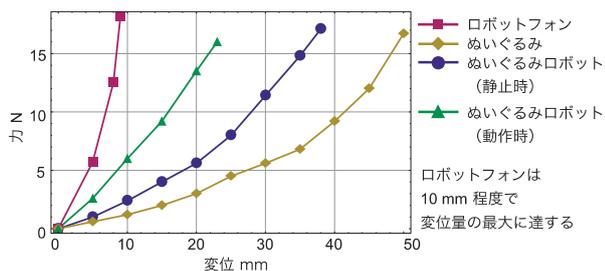


図6 柔軟性の評価

#### 4.8 実演展示

以上のような動作生成システムを実装し、SIGGRSPH 2012 (ロス・アンゼルス, アメリカ合衆国) とエンタテインメントコンピューティング 2012 (兵庫, 日本) で実演展示を行った。開発の初期であったSIGGRAPH 2012では来場者からは「気持ち悪い」という感想も聞かれたものの、改良を行いエンタテインメントコンピューティング 2012で展示した際には「かわいい」という感想が多く

表2 形容詞対

設問番号	形容詞対
1	親しみやすい 親しみにくい
2	安心な 不安な
3	感情を持つ 感情を持たない
4	あたたかい つめたい
5	役に立つ 役に立たない
6	単純な 複雑な
7	なめらかな ごつごつした
8	好ましい 好ましくない
9	生命がある 生命がない
10	心が通じる 心が通じない
11	動きがある 動きがない
12	非機械的 機械的
13	柔軟な 硬直した

聞かれた。また、子どもたちはむいぐるみロボットを抱きかかえて遊ぶような様子を見せた。多くの人はむいぐるみロボットの柔らかさや動きの大きさに興味を惹かれた様子だった。しかしながら、現在の実装では到達運動を行うまでに遅延があったり、振る舞いが不安定であったりすることを気にする声も聞かれた。

#### 4.9 印象評価実験

最後に、実現した柔らかいむいぐるみロボットと、IPロボットフォンに対して印象評価実験を行った。比較対象であるロボットフォンは、腕部と頭部が可動し、むいぐるみロボットと同様の動作を行わせられることから選定した。

#### 実験目的

本実験の目的は、多様な身体動作が可能な機構の柔らかいむいぐるみロボットと、硬いロボットフォンに感じる印象の違いを調査することにある。

#### 実験方法

実験は、被験者にロボットを膝の上で抱かせ、その状態で各ロボットに手を上下に振る単純な動作をさせる。被験者にはロボットの動作中にロボットを自由に触らせ、その後アンケートに答えさせる。という手順で行った。これを被験者毎に2つのロボットそれぞれに対して行った。ロボットの印象を問うアンケートには相反する形容詞句対を用い、その間を6段階で回答させた。形容詞句対は表2の13個である。また、両アンケート終了後に各ロボットの印象を自由に回答してもらった。被験者は11名で、男性7名、女性4名である。

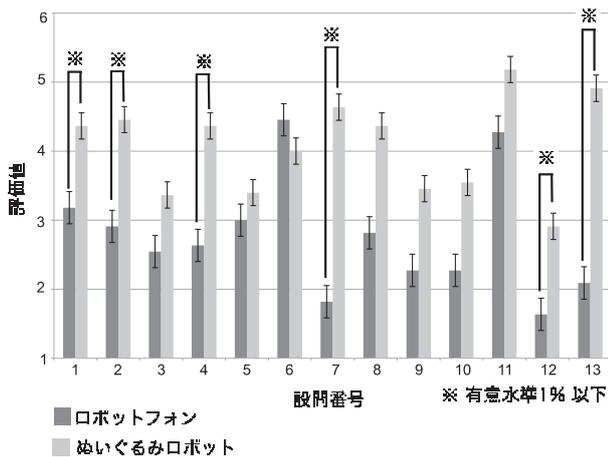


図7 印象評価実験結果

## 実験結果

表2の設問への回答を6段階に数値化(表2左側を6, 右側を1とした.)し, ウィルコクソンの符号付き順位和検定(片側検定)を行った. 図7に各設問における平均値と標準誤差を示した. 横軸に設問番号, 縦軸に評価値を取った. 結果, 設問1 (N=9, T=2.5), 2 (N=10, T=0), 4 (N=10, T=2), 7 (N=11, T=0), 12 (N=7, T=0), 13 (N=10, T=0) で $p < .01$ の有意差が見られた. このことから, ロボットフォンに比べぬいぐるみロボットは親しみやすさや安心感といった印象を強く与え, 機械的, 冷たいといった印象が低いことがわかった. また, なめらかさや柔軟さにおいても有意な差が見られた. また, 被験者からの感想として, ぬいぐるみロボットには「やわらかい」, 「かわいい」, 「感情移入しやすい」といった意見が得られた. 対してロボットフォンには「硬い感じがする」, 「内部構造を手にかけてマッショな感じがする」, 「ギアの音が気になる」といった機構や駆動音を気にする意見が多かった.

## 4. 10 本章のまとめ

本研究では, ぬいぐるみ遊びという体験における喜びである手触りのよさ, 柔らかさを損なわずにその体験を拡張可能なシステムとして柔らかいぬいぐるみロボットの開発を行った. ぬいぐるみロボットは, ぬいぐるみに近い柔軟性を持ちながら, 広い動作範囲, 高い動作再現性に加えて, 外部のセンサにより実世界環境を認識し, それに応じた動作を行えるインタラクティブシステムとすることができた.

## 5. 環境音の音場操作による方向情報提示システム

本章では散歩というエンタテインメント体験における

喜びを損なわず体験を拡張可能な提示システムとして環境音の音場操作による方向情報提示システムを提案する.

### 5. 1 散歩とその喜び

広辞苑(第四版)によれば, 散歩とは気晴らしや健康のためにぶらぶら歩くこと, とされている. 散歩は年齢や性別によらず楽しむことができる運動の1つである事に加えて, 特別な器具を必要とせず, 趣味として始めやすく健康増進にも繋がる.

散歩における喜びは, 目的なく歩きながら思索に耽ったり, 周囲の環境を感じたり, 新たな発見や探検を楽しむことにあると考えられる. 普段の散歩では, 見知らぬ風景や町の様子を楽しみ, 聞こえてくる動物の声や生活音を耳にしながらかの向くままに歩き, 偶然の発見や出会いを楽しむことが多い. この場合, 知らない道に行くことや, 知らない店に入ることも楽しみの1つとなる. 自然の中をこのような楽しみを得るために行う散歩のことをワンダリング[18]と呼ぶ. 林が行った, 身近な自然(寺の境内や田畑)の中を散歩する幼稚園児の行動変化を調査した研究[19]では, 繰り返し散歩を行うことで, 当初は教師の後をついてまわっているだけだった子どもたちが自ら興味ある草木を発見したり詳しく観察したりするような探索行動(ワンダリング)を積極的に取るようになったと報告している. このことから, このような何かを発見したり, 知らない場所を探検したりする楽しさが重要な喜びの一つであると言える.

### 5. 2 インタラクティブシステムによる散歩の拡張

散歩体験はスマートフォンに代表される小型ネットワーク端末によって拡張される. これらは散歩中の利用者に目的地や店舗, 観光スポットの紹介やそこへの利用者の誘導を行う. 地図情報サービス[20]を使えば目的地を始め自分の周囲にある観光スポットや店舗の位置を把握できるし, その場所を訪れた他者の感想, メニューの詳細等を簡単に調べることができる. また, 現在地からそれらのスポットへの歩行経路を地図情報や音声案内で確認しながら移動することが可能となる.

方向情報を提示し目的地を始め, 特定のスポットへの誘導を目的としたシステムは多く研究されている. Kojimaの開発したPull-Navi[21]は, 装着したデバイスにより利用者の耳を引っ張り, 方向情報提示と歩行誘導を行う. また, Imamuraらの開発したHAPMAP[22]は, 手に持ったデバイスの傾きによって手すりを伝う感覚を提示し, 利用者に自由曲線をたどらせることが可能である. また利用者の聞いている音楽の音量の強弱と定位を制御

することで目標地点との距離と方向情報の提示を行うgpsTune[23]や、利用者前方を指示する場合にチェンバロ、後方を指示する場合はトランペットの音を提示し、音の間隔と定位で距離と方向提示を行うAudioGPS[24]、ビーコン音の間隔と定位によって距離と方向提示を行うSWAN[25]等が挙げられる。このようにインタラクティブシステムによって散歩は目的地や店舗、観光スポットの情報提示や、それらへの誘導によって体験の拡張が行われることが多い。

### 5.3 ワンダリングの楽しさの損失

先に述べたような散歩体験を拡張するインタラクティブシステムを利用すると、散歩体験の喜びであるワンダリングの楽しさが損なわれる。その要因は利用者への情報の提示手法にあると考えられる。例えば、目的地までの順路や店舗の評判のような具体的な情報を利用者へ与えることは、見知らぬ道を歩いたり、初めての店舗へ訪れたりするような楽しみを失わせることとなる。このように、散歩中に注意を引き、意識に登りやすい感覚刺激を利用者に提示すると、利用者が環境から自然な感覚受容を行うことを妨害してしまう。散歩のワンダリングの楽しさを損なわずに体験の拡張を行うためには、こういった要因を考慮し、インタラクティブシステムを開発することが必要である。

### 5.4 研究目的とシステムへの要求

本研究の目的は、散歩における喜びである発見や探検の楽しさを損なわずに体験を拡張するシステムを開発することである。本研究では散歩体験の拡張として目的地や店舗、観光スポット等への誘導のための方向情報提示が行えるシステムの開発を目指す。このためには、次の3点の要求を満たしたシステムの開発が必要である。

1. 方向情報の提示が可能であること。
2. 利用者の自然な感覚受容を妨げないこと。
3. 利用者が意識を向けない限り提示が意識に上ることがなく、利用者の自由な思考を阻害しないこと。

要求1は、散歩体験の拡張として利用者を目的地や特定の観光スポットへさりげない誘導を行うために欠かせない。しかし、その情報提示方法として次の要求2, 3を満たさなければならない。要求2は、散歩中の利用者の、視覚、聴覚、触覚といった感覚をシステムによる情報提示で阻害し、周囲の環境を感じ、楽しむことを妨げないために必要な事項である。例えば、散歩中に地図を確認するためにスマートフォンの画面に注視しなければなら

なかつたり、歩行方向の指示として、「次の角を右に曲がって下さい。」というような音声で指示を受けることは、周囲の環境を見ることや聴くことを妨げてしまう。また、要求3は具体的な情報を提示したり、利用者が意識せざるを得ないような提示で利用者の誘導を行うことを避けなければならないことを意味する。なぜなら、こうした提示を受けると利用者の行動の選択肢を狭め、自らの意思で自由なワンダリング行動を取ることを妨げてしまう。

これら3つの要求を満たし、利用者の誘導を行うシステムとしてFreyの開発したCabBoots[26]や渡邊らによる靴型歩行周期誘導インタフェース[27]がある。これらのシステムの特徴として、利用者が特殊なデバイスに身をつけて歩行を行わなければならないという点がある。また、利用者が歩行中でなければ誘導を受けられないという課題もある。

本研究では環境音の音場操作による方向情報提示システムを提案する。環境音の音場操作であれば環境に溶け込んだ提示でありながら高度な環境の認識や加工を必要とせず、要求2を満たすことができる。加えて、適切な音場操作を行い利用者が意識を向けてはじめて情報の提示を認識できるような提示を行うことで、要求3を満たすことが可能であると考えられる。

### 5.5 環境音の音場操作による情報提示システム

提案手法は人の音による障害物知覚能力に着目した手法である。障害物知覚能力とは、空間中に存在する障害物による遮断や反射により生じる音の変化を知覚することで障害物の存在を認識する能力である[52]。

本研究では、利用者が聴く環境音のみを提示に利用する。音による障害物知覚の要因のうち遮断による効果に着目し、環境音の一部の低減によって利用者の感覚刺激を減少させることによる方向情報提示手法を提案する。これによって、発見・探検の楽しさを保ちながら散歩体験の拡張を行うことができる。開発した提示システムを図8に示した。システムは、環境音取得部、音場操作部、情報提示部からなる。

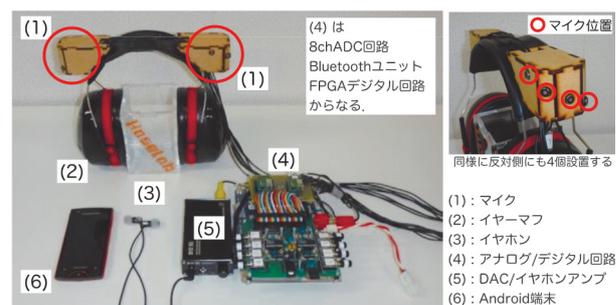


図8 方向情報提示システム

### 環境音取得部

利用者周囲へ到来する環境音の取得には、モノラルマイクを8個使用した。(図8(1))

### 音場操作部

8チャンネルの取得環境音をA/Dコンバータを用いて44.1kHz, 16bitのデジタル信号に変換し、FPGAにより後述する音場操作を行う(図8(4)).

### 情報提示部

音場操作後のデジタルデータをD/Aコンバータ(図8(5))でアナログ信号に変換し、カナル型イヤフォン(同(3))で提示した。実環境音の聴取を防ぐため、その上からマイクを固定した環境音遮断用イヤーマフを装着する。

## 5.6 処理の流れ

提案システムの具体的な実装について詳述する。

### 実環境音取得

本デバイスは到来する環境音を利用者の頭部に固定された8個のマイクで取得する。以下、利用者正面を0degとして上から見て左回りを正とした利用者座標系で45mdegを向いたマイクを*m*番のマイクと呼ぶ。*m*番のマイクが、ある時刻*t*に取得した環境音を $S_i(m, t)$ と表す。

### 利用者の向きの取得

音場操作を行うために利用者の向きを取得する。本システムでは、Android端末(図8(6))に搭載された方位センサを使用し、北を0degとして西方向を正とする世界座標系での角度 $\theta$ を取得する。角度 $\theta$ はBluetooth無線通信を經由し、FPGAへ送られる。

### 取得環境音の音場操作

各マイクによって取得された環境音はFPGAへ送られ、音場操作が施される。FPGAで施される音場操作はHRTFの畳み込み計算による実環境音再現、方向情報のための感覚刺激の減算、提示環境音の生成の三点である。まず、HRTFの畳み込み計算による実環境音の再現を行う。利用者の頭部に固定された各マイクによって取得された環境音 $S_i$ は頭部等による反射や遮断を受ける前の音であるため、マイクの向き45mdegに応じたHRTFの畳み込み計算を行う。HRTFには、ダミーヘッドによって測定されたデータ[28]を使用した。HRTFはマイク番号(環境音取得方向)*m*と、畳み込みを行うタップ数*k*、左右の出力チ

ャンネル*ch*に依るので、 $h(m, k, ch)$ と表す。HRTFが畳み込まれた環境音を $S_{\text{hrtf}}$ は

$$S_{\text{hrtf}}(m, k, ch) = \sum_k S_i(m, t-k) * h(m, k, ch)$$

となる。使用したHRTFデータは鼓膜位置で測定されたもので、仰角0deg, サンプリング周波数44.1kHz, 音源から1.5m離れた位置のデータを用いた。各方位角のデータのうち、残響が十分小さくなる6msまで、256点を使用したため、畳み込み計算のタップ数*k*は256点である。

第二に、方向情報として、提示方向以外の環境音の音圧を低減させる。各 $S_{\text{hrtf}}$ に対して音圧を操作し、一部を遮断する。世界座標系で表した方向情報提示方向を $\varphi$ として、方位センサによって求めた利用者の向き $\theta$ を用いて表せば、利用者座標系で表した提示方向 $\psi$ は

$$\psi = (\varphi - \theta)$$

となる。ただし、角度 $\psi$ は $0 \leq \psi < 360\text{deg}$ を満たすように選ぶ。音圧操作は、方向情報提示方向 $\psi$ と各マイク*m*に依存する係数 $V(\psi, m)$ を各環境音 $S_{\text{hrtf}}$ に掛けることで行う。音圧操作を行った各環境音を $S_v(\psi, m, t, ch)$ とすると、

$$S_v(\psi, m, t, ch) = V(\psi, m) S_{\text{hrtf}}(m, t, ch)$$

と表せる。ただし、 $V(\psi, m)$ は、 $0 \leq V \leq 1$ を満たし、 $\psi$ に応じて滑らかに変動するように、

$$V(\psi, m) = 1 - \left(\frac{|\psi - 45m|}{90}\right)^3$$

ただし、 $V(\psi, m) < 0$ ならば、 $V(\psi, m) = 0$ と設定した。これは、 $\psi = 45m\text{deg}$ でピークを持ち、その左右に2個離れたマイクの向は0になる値を意味する。こうすることで、提示方向が限定されることがなくなり、また、マイクのオンとオフのみの不連続な方向情報提示にならないようにした。

以降、提示方向 $\psi$ に対して、遮断を行わない範囲を開放範囲、遮断を行う範囲を遮断範囲、開放範囲内のマイクを開放マイク、残りを遮断マイクと呼ぶ。開放範囲の広さ(開放マイク数)は提示する方向に依存する。提示方向 $\psi$ がマイク方向45mdegと一致する場合、開放範囲は90deg, 開放マイクは3個となる。

最後に、提示環境音 $S_{\text{pre}}$ の生成を行う。 $S_{\text{pre}}$ は $S_v$ を左右それぞれの和を取ったもので、

$$S_{\text{pre}}(\psi, t, ch) = \sum_m S_v(\psi, m, t, ch)$$

と表せる。以上のように生成された提示環境音 $S_{\text{pre}}$ をヘッドフォンアンプを通じてアナログ信号に変換し、左右

のチャンネルそれぞれを利用者へと出力する。提示環境音のサンプリング周波数は 44.1kHzである。

**利用者への提示**

利用者には、装着させたカナル型イヤフォンを通して提示環境音  $S_{pre}$  を提示する。試作デバイス装着時には、小型のバックを用いデバイスを収納し、マイクマウントに風防を取り付け、風切り音を防いだ。方位センサは利用者の体正面に取り付けた。

**5. 7 方向情報提示実験**

本項では試作システムが目指すシステムが目指すべき 1 つめの要求である方向情報提示が可能かどうかを検証するため行った被験者実験について述べる。

**実験目的**

被験者に頭部の向きを固定して方向提示を行い直ちにその提示方向を回答させた場合と、頭部を動かして提示方向の探索を許可した場合の認識精度を調べた。

**実験環境**

実験は、屋外で付近に障害物が少なく、音響的な影響を受けにくいと思われる広場で行った。実験時の音響環境の大きさは様々な環境音源により一定ではないが騒音レベルは概ね 45 から 50dB程度に収まり、実験中に被験者の付近 1m程度を人が通行するなどした場合に瞬間的に最大 55dB程度まで上昇した。ただし、全被験者に渡って、特別に騒音レベルが大きい場合が続くようなことは無かった。

**体方向固定による提示方向知覚実験**

デバイスを装着した被験者(20代男性4名)に対して、世界座標系における、0, 45, 90, 135, 180, 225, 270, 315degの 8 方向を順不同で 2 回ずつ方向情報提示を行った。被験者は体の向きを 0degに固定し、認識した提示方向を体の向きを変化させることなく回答させた。回答方向は 8 方向に限ることなく、自分を中心にとどの方向を開放方向と認識したかを図に描かせ、実際の提示方向との誤差を調べた。

**実験結果**

表 3 に実験結果を示す。表は、横軸に提示方向 (0deg から 315deg) を取り、各被験者に 2 回の試行回数における角度差を-179 から 180degで示した。ここでは試作デバイスによる方向提示の認識精度が 8 分

表 3 体方向固定状態での提示方向と回答方向の差

被験者	n 回目	提示方向 deg							
		0	45	90	135	180	225	270	315
A	1	178	160	146	135	-20	-82	-166	-120
	2	-176	175	180	93	68	-106	-174	-166
B	1	180	20	2	-45	18	42	30	-107
	2	175	107	-6	-79	0	11	-2	-85
C	1	68	78	16	0	0	7	0	-29
	2	110	53	0	-62	4	-4	11	-23
D	1	0	0	54	45	-8	-4	0	-135
	2	180	90	0	-45	-45	45	-34	0

提示方向と回答方向との誤差角度(-179°~180°)

提示方向に対して左回りが正方向

誤差絶対値23°以下      誤差絶対値45°以下      それ以外

割可能な精度 (誤差の絶対値が 23deg以下)、4 分割可能な精度 (同 45deg以下) となる部分をそれぞれ網掛けなし、薄い網掛けで示し、それ以外の部分を濃い網掛けで示した。

**考察**

結果の特徴として被験者BとCでは、提示方向 90degから 270degで認識精度が高くそれ以外では低くなっている。これは実験環境の音響条件として、180deg側に音源が偏っていたことが影響だと考えられる。この実験から、体の向きを動かすことなく提示方向を精度よく認識するには提示方向に音源が存在する場合でないとし、そうでないと 4 方向の提示も難しいことが分かった。

**体方向を動かす場合の提示方向知覚実験**

次に、同様の条件下で、被験者に体の向きを自由に動かすことを許可し、方向提示された方向の探索を行なわせた。被験者には提示方向と認識した方向を向いてもらい、方位センサの値を記録し、実際の提示方向との誤差を調べた。

**実験結果**

実験結果を表 4 に示す。先と同様に色分けを行なっている。N/Aは方位センサの測定失敗を示す。

**考察**

本実験においては全体的に認識精度が高く、8 方向の提示が認識可能な様子が見える。これは、体の向きを動かすことで環境音の音源との位置関係が変化し、認識しやすくなるためだと考えられる。これらの実験から、本提案手法による方向情報提示は被験者が頭部の方向を変

表 4 探索可能状態の提示方向と回答方向の差

被験者	n 回目	提示方向 deg							
		0	45	90	135	180	225	270	315
A	1	8	19	5	4	19	8	-7	-1
	2	-4	8	1	-3	14	9	4	23
B	1	28	36	3	11	-11	33	-4	21
	2	54	-20	-14	14	-5	25	3	N/A
C	1	5	16	-4	-7	2	N/A	28	-4
	2	22	-3	19	23	-26	18	-14	-4
D	1	22	-3	20	0	2	-4	-13	-18
	2	37	4	4	-31	3	14	8	68
E	1	15	-9	11	9	22	25	12	36
	2	26	29	12	21	26	14	23	12
F	1	6	7	10	-17	8	-2	-18	3
	2	N/A	-3	25	3	3	-18	-8	17

提示方向と回答方向との誤差角度(-179°~180°)  
提示方向に対して左回りが正方向

誤差絶対値23°以下	誤差絶対値45°以下	それ以外
------------	------------	------

化させた場合には、8 方向の方向提示ができることがわかった。このことは、システムの利用者が積極的に提示方向を探索してはじめて提示された方向を認識できることを意味し、先に挙げたシステムが達成すべき3つの要求のうち方向情報の提示が可能であることが示されると共に利用者の自由な行動を阻害せず、提示を気にしないことが容易であること、という要求3を達成できる可能性が示唆された。

5. 8 歩行誘導実験

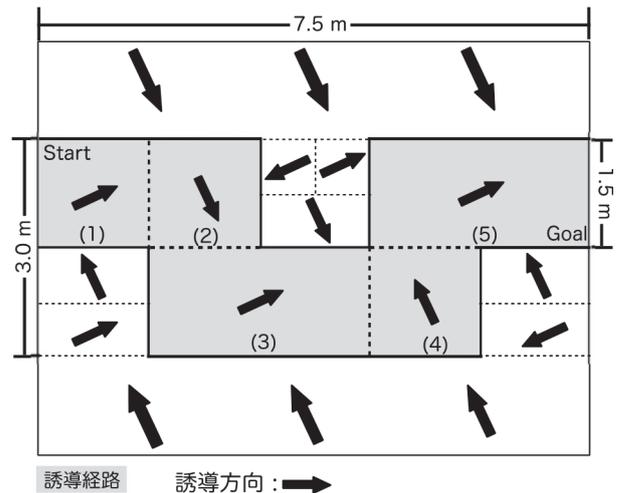
次に、本提案手法による方向情報提示を用いて歩行誘導実験を行った。前章の実験において、本デバイスは利用者が積極的に探索を行えば8方向の方向提示システムとして利用可能なことが分かった。そこで、本実験では、本システムを散歩中に使用することを想定し、利用者の位置に応じて提示方向を変化させることで歩行誘導が可能かどうかを検証した。

実験環境

実験は、周囲が開けた経路上で行った。実験場には人や車両の往来があり、騒音レベルは概ね47から52dB程度だった。自転車の通行や、荷物の運搬等による一時的な騒音レベルの上昇は見られた。

実験経路と指示方向の設定

まず、歩道のように比較的狭い範囲を歩行中の利用者に対して、左折、右折等の方向を指示することを想定し、実験場に仮想的な経路を設定した。被験者には、その位



(1)~(5) : 領域名  
(1),(2),(4)は1.5 m x 1.5 m, (3),(5)は1.5 m x 3 mの領域を持つ

図 9 誘導方向

置に応じた方向情報提示を行った。図9に提示方向を示す。網掛けの領域(1)から(5)に沿って被験者が歩行するよう、被験者が各領域に入ると矢印の向きの方向を提示する。経路と誘導方向に角度を持たせ、被験者が指示方向を推測して歩くことを難しく、経路外へと被験者が侵入した場合に経路へ復帰が可能かどうかを観察できるようにした。

実験方法

被験者(20代男性4名)の位置は、被験者頭部にマーカーを付け、上方からビデオカメラで撮影することで計測した。カメラと接続したコンピュータからBluetooth経由でデバイスへ提示方向を送信することで、位置に応じて情報提示方向の変更を行った。ただし、位置の計測から方向の提示までには0.5 sec程度の遅延が生じた。被験者には情報提示方法の説明を行い、開放方向中心に歩くよう指示した。また、スタート位置とゴール方向を予め伝え、自由な移動と提示方向の探索を許可した。試行回数は各2回である。実験中に人の通行が途切れることはほとんどなかったため、主な環境音源は被験者付近を通過する人の通行音や話し声、稀に通過する車の走行音だった。また、ゴール方向先に人の通行の激しい箇所があり、環境音源となった。

実験結果

計8回の試行の結果を図10に示す。各被験者に、2回の試行の結果を横に並べた。実際の計測データは、頭部の揺れから蛇行した軌跡になる。図には実際の計測データを重ねて、記録映像から目視して求めた被験者の進行ルートを直線の矢印で、被験者が経路の探索のために立

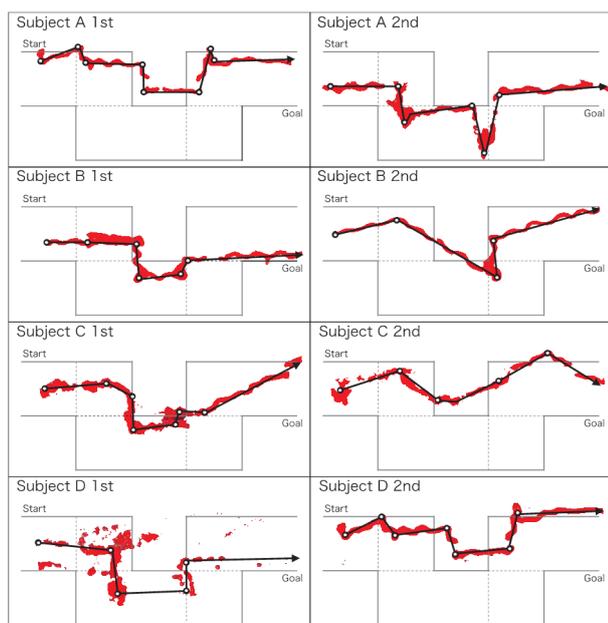


図 10 歩行誘導実験結果

ち止まったり、向きを変更したりした地点を丸くマークして節として表した。被験者が新しい領域に入っすぐの位置に探索を示す節が多く見られることから、被験者が提示方向の切り替わりに気が付き、提示方向を探索していることが分かる。そのため、被験者は領域の境界付近を移動することが多く、その様子が移動経路を示す矢印から見て取れる。

### 考察

被験者B, Cの2回目の結果(B 2nd)や(C 2nd)では領域(2)と領域(5)の間の経路範囲外を横断してしまっている。これは、この経路範囲外領域の誘導方向を3つに区切ってしまったため、先に述べた方向提示の切替えにかかる遅延も相まって、距離が短いにも関わらず短時間で頻繁に提示方向の切替えが発生し、提示方向の認識が難しくなってしまったためだと考えられる。

また、被験者Dの1回目の結果(D 1st)は計測データの乱れが大きい。これは、被験者が領域(3)を移動中に車が近くを通り、マーカの認識が失敗したためである。しかし、車両の通過は一時的なもので、その後方向提示は正常に動作した。この実験によって、方向提示を行う際に遅延や乱れが生じることがなければ、本システムを用いて利用者の歩行方向を誘導できることを不確実ながら確認した。

### 5. 9 環境の自然な受容を阻害しない情報提示

ここまでで、試作デバイスで方向情報提示が可能であること、また、歩行誘導が可能であることを示した。し

かしながら、前述の試作デバイスが満たすべき要求2「利用者の自然な感覚受容を妨げないこと」と要求3「利用者の自由な行動を妨げないこと」を満たすためには本試作デバイスによる情報提示が利用者にとって気にならないことが求められる。屋内でシステムによる情報提示を行い、被験者に対してその使用感を聞くと、ノイズの多さや方向情報提示時の音場操作の不連続さといった試作デバイスの精度不足を指摘する声が多かった。一方で、誘導されている感じがしないという意見もあり、試作デバイスの精度を挙げることで、2つの要求を満たすことが可能であるという見通しが得られた。

### 5. 10 本章のまとめ

本章では、散歩における喜びであるワンダリングの楽しさを損なわずに体験の拡張として方向情報提示が可能な提示システムの開発を目的として、環境音の音場を操作することによる方向情報提示システムを提案した。提案に基づき試作したデバイスを用いれば、方向情報の提示が可能であることが示唆されたものの、システムへの要求の達成のためには更なる改良が必要であることが明らかになった。

### 6. 結論と展望

本論文では、体験の価値の一つともいえる「喜び」の存在に着目し、エンタテインメント体験における喜びを損なわずに体験の拡張が行える提示システムの開発・設計指針を示した。また、それに基づいた2つのインタラクティブシステムの開発を行った。

芯まで柔らかいぬいぐるみロボットは、ぬいぐるみ遊びという体験について喜びを損なわずに体験の拡張が可能なシステムである。また環境音の音場操作による方向情報提示システムは散歩という体験について喜びを損なわずに拡張が可能な環境音の音場操作による方向情報提示システムである。

将来、生活のあらゆる所にコンピュータが存在し、それが互いにネットワークを介して繋がっているユビキタスコンピューティングの世界が実現すると考えられている。その場合、システムは高度に透明化され、我々が意識せずとも様々なシステムが実世界を認識する術を持ち、時には互いに連携を取りながら我々の暮らしを便利にしてくれるようになるだろう。それは、我々が意識せずにインタラクティブシステムを使うという選択肢を取ることを意味し、我々が気付かないうちに従来とは異なった体験をシステムによって与えられ、知らないうちに

喜びの得られない体験へとすり替わってしまうことになりかねない。本研究では、体験における喜びを失うことのないような提示手法の提案を通して、体験における喜びを保つためには個々の体験における喜びを分析し、それを保つ手法を考えねばならないと述べてきた。同一の目的が与えられたとしても、特定の行動を選択するには、喜びを得るためという理由が存在することを考えれば、各々の体験についての喜びを十分に分析し、それを保ち、拡張可能なシステムが世の中に普及してはじめて、ユビキタスコンピューティングがもたらす新しい体験を享受し、より豊かな生活が送れるようになるに違いない。

## 参考文献

- [1] P. Wellner, "The DigitalDesk calculator," in *Proceedings of the 4th annual ACM symposium on User interface software and technology - UIST '91*, 1991, pp. 27–33.
- [2] 椎尾一郎, "InfoBinder: 仮想デスクトップの小道具," 全国大会講演論文集, vol. 51, no. 6, pp. 251–252, Sep. 1995.
- [3] 暦本純一, "実世界指向インタフェースの研究動向," コンピュータソフトウェア, vol. 13, no. 3, pp. 196–210, May 1996.
- [4] H. Ishii, B. Ullmer, "Tangible bits: towards seamless interfaces between people, bits and atoms," in *Proceedings of the ACM SIGCHI Conference on Human factors in computing systems*, 1997, pp. 234–241.
- [5] 株式会社ニワンゴ, "ニコニコ動画." [Online]. Available: <http://www.nicovideo.jp/>. [Accessed: 20-Sep-2014].
- [6] 井原成男, ウィニコットと移行対象の発達心理学. 福村出版, 2009.
- [7] 柴田崇徳, 和田一義, "動物型ロボットを用いた心のケア「ロボットセラピー」," 電子情報通信学会誌, vol. 95, no. 5, pp. 442–445, May 2012.
- [8] H. F. Harlow, "The Nature of Love," *Am. Psychol.*, vol. 13, pp. 673–685, 1958.
- [9] 森善一, 斎藤祐基, 寛子上出, "抱きつき人形の印象評価," 日本感性工学会論文誌, vol. 11, no. 1, pp. 9–15, 2012.
- [10] T. Shibata, "An overview of human interactive robots for psychological enrichment," *Proc. IEEE*, vol. 92, no. 11, pp. 1749–1758, Nov. 2004.
- [11] W. D. Stiehl, C. H. Tong, A. Kishore, M. Berlin, J. Gray, C. Breazeal, K.-H. Han, J. Lieberman, L. Lalla, A. Maymin, J. Salinas, D. Fuentes, R. Toscano, "The huggable," in *ACM SIGGRAPH 2006 Emerging technologies on - SIGGRAPH '06*, 2006, p. 15.
- [12] 藤田雅博, "Robot Entertainment System AIBO の開発," 情報処理, vol. 41, no. 2, pp. 146–150, Feb. 2000.
- [13] 吉海智晃, 林摩梨花, 門脇明日香, 植田亮平, 稲葉雅幸, "柔軟センサ肉質外装と自動復帰可能な関節過負荷保護機構を備えたヒューマノイドの設計と開発," ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集, vol. 2009, pp. 2A1–E04(1)–2A1–E04(4), May 2009.
- [14] H. Kimura, D. Maruyama, F. Kajimura, M. Koseki, N. Inou, "Hermetically Sealed Flexible Mobile Robot with Hydrostatic Skeleton-Development of a New Crawler and Driving Experiment of the Robot in a Narrow Space-," *J. Robot. Soc. Japan*, vol. 25, no. 7, pp. 1092–1099, Oct. 2007.
- [15] Y. Sugiura, C. Lee, M. Ogata, A. Withana, Y. Makino, D. Sakamoto, M. Inami, T. Igarashi, "PINOKY: a ring-like device that gives movement to any plush toy," in *Proceedings of the 2012 ACM annual conference on Human Factors in Computing Systems - CHI '12*, 2012, p. 725.
- [16] Microsoft, "Microsoft Kinect." [Online]. Available: <http://www.xbox.com/ja-JP/kinect/>. [Accessed: 12-Sep-2014].
- [17] 関口大陸, 稲見昌彦, 中野八千穂, 中野殖夫, 舘暉, "「IP ロボットフォン」の製品化," 日本ロボット学会誌 *J. Robot. Soc. Japan*, vol. 23, no. 2, pp. 159–164, Mar. 2005.
- [18] T. FUJITA, "The Comparison of Japanese walking in Nature with European Wandering," *J. Japanese Inst. Landsc. Archit.*, vol. 61, no. 2, pp. 150–156, Nov. 1997.
- [19] 林幸治, "子供の身近な自然とのかかわりに関する実践的研究: 散歩のすすめ," 日本保育学会大会発表論文集, no. 56, pp. 574–575, May 2003.
- [20] Google, "Google Maps Navigation." [Online]. Available: [http://www.google.com/intl/en\\_us/mobile/navigation/](http://www.google.com/intl/en_us/mobile/navigation/). [Accessed: 01-Oct-2014].
- [21] Y. Kojima, Y. Hashimoto, S. Fukushima, H. Kajimoto, "Pull-navi: a novel tactile navigation interface by pulling the ears," in *ACM SIGGRAPH 2009 Emerging Technologies*, 2009, pp. 19:1–19:1.
- [22] Y. Imamura, H. Arakawa, S. Kamuro, K. Minamizawa, S. Tachi, "HAPMAP: haptic walking navigation system with support by the sense of handrail," in *SIGGRAPH*

*Emerging Technologies*, 2011, p. 6.

- [23] S. Strachan, P. Eslambolchilar, R. Murray-Smith, S. Hughes, S. O'Modhrain, "GpsTunes: controlling navigation via audio feedback," in *7th International Conference on Human Computer Interaction with Mobile Devices and Services*, 2005, vol. 111, pp. 275–278.
- [24] S. Holland, D. R. Morse, H. Gedenryd, "AudioGPS: Spatial Audio Navigation with a Minimal Attention Interface," *Pers. Ubiquitous Comput.*, vol. 6, no. 4, pp. 253–259, Sep. 2002.
- [25] J. Wilson, B. N. Walker, J. Lindsay, C. Cambias, F. Dellaert, "SWAN: System for Wearable Audio Navigation," in *Wearable Computers, 2007 11th IEEE International Symposium on*, 2007, pp. 91–98.
- [26] M. Frey, "CabBoots," in *Proceedings of the 1st international conference on Tangible and embedded interaction - TEI '07*, 2007, p. 245.
- [27] 渡邊淳司, 安藤英由樹, 朝原佳昭, 杉本麻樹, 前田太郎, "靴型インタフェースによる歩行ナビゲーションシステムの研究," *情報処理学会論文誌*, vol. 46, no. 5, pp. 1354–1362, May 2005.
- [28] 長岡工業高等専門学校 矢野研究室, "頭部伝達関数 (HRTF) データベース." [Online]. Available: [http://www.nagaoka-ct.ac.jp/ee/lab\\_syano/index.html](http://www.nagaoka-ct.ac.jp/ee/lab_syano/index.html). [Accessed: 01-Jan-2012].