

## 手指動作入力を併用した 音声駆動型身体引き込みキャラクタのモバイル評価実験

大崎 浩司<sup>†</sup> 渡辺 富夫<sup>†† †††</sup> 山本 倫也<sup>††</sup>

<sup>†</sup> 岡山県立大学大学院 情報系工学研究科 <sup>††</sup> 岡山県立大学 情報工学部

<sup>†††</sup> 科学技術振興機構 戦略的創造研究推進事業

InterActor は、会話音声から話し手及び聞き手としての身体的引き込みのコミュニケーション動作を自動生成する音声駆動型身体引き込みキャラクタである。さらに、InterPuppet は InterActor と同じ音声からの自然なコミュニケーション動作に加え、手指動作による片手使い人形のような操作入力を併用したインタラクションキャラクタである。本論文では、モバイル環境で InterPuppet の使用を想定し、携帯電話型デバイスによるインタラクションシステムを新たに開発している。さらに、開発したシステムを実際のモバイル環境で使用したコミュニケーション実験を行うことで日常のコミュニケーションにおける InterPuppet の有効性を示している。

### Evaluation of the Speech-Driven Embodied Entrainment Character with Hand Motion Input in Mobile Environment

Kouzi OSAKI<sup>†</sup> Tomio WATANABE<sup>†† †††</sup> Michiya YAMAMOTO<sup>††</sup>

<sup>†</sup> Graduate School of Systems Engineering, Okayama Prefectural University

<sup>††</sup> Faculty of Computer Science and System Engineering, Okayama Prefectural University

<sup>†††</sup> CREST of Japan Science and Technology Agency

InterActor is a speech-input-driven CG-embodied interaction character that can generate communicative movements and actions for entrained interaction. InterPuppet, on the other hand, is an embodied interaction character that is driven by both speech input, similar to the InterActor, and hand motion input, like a puppet. Therefore, humans can use an InterPuppet to communicate effectively by using deliberate body movements as well as natural communicative movements and actions. In this paper, an advanced InterPuppet with a cellular-phone-type device is developed. It can be used in a mobile environment. The effectiveness of the system is demonstrated by a sensory evaluation experiment conducted in an actual remote communication scenario.

#### 1 はじめに

携帯電話をはじめとするモバイル機器が普及し、日常のコミュニケーションに欠かせない存在となりつつある。これらの機器自体の高性能化、高機能化<sup>1)</sup>に伴い、音声通話やメールだけでなくテレビ電話やキャラ電<sup>2)</sup>のような CG キャラクタを介したコミュニケーションも可能となっている。携帯電話のインタフェースに関する研究<sup>3, 4, 5)</sup>や携帯電話を使用した研究<sup>6, 7)</sup>も数多く報告されており、コミュニケーションツールとしての役割はさらに大きくなると考えられる。

人の対面コミュニケーションでは、単に言葉によるバーバル情報だけでなく、音声に対するうなずきや身振り・手振りなどのノンバーバル情報が相互に同調して、対話者同士が互いに引き込み合うことで円滑なコミュニケーションを行っている。この身体的リズムの引き込みが対話時の一体感を生み、対話相手とのかかわりを実感させている<sup>8, 9)</sup>。著者らはこの身体的リズムの引き込みに着目し、発話音声を入力として CG キャラクタの豊かなコミュニケーション動作を自動生成する音声駆動型身体引き込みキャラクタ InterActor を開発し、有

効性を示している<sup>8, 9)</sup>。さらに、この InterActor に手指動作による操作入力を併用した身体的インタラクションキャラクタ InterPuppet を開発し、コミュニケーション支援・映像コンテンツ制作での有効性を示している<sup>10, 11)</sup>。このような人のコミュニケーション特性に基づくインタラクションの仕組みを携帯電話などのモバイル機器に導入することで、日常生活でのインタラクションを支援し、楽しさや一体感あふれるモバイルコミュニケーションが実現できると期待される。

本研究では、InterPuppet のモバイル環境への応用展開を目指して、まずモバイル InterPuppet のコンセプトを提案し、モバイル評価のための条件をまとめている。次に、モバイル機器を想定した携帯電話型デバイスを開発し、InterPuppet をモバイル環境に応用したインタラクションシステムを開発している。さらに、モバイル環境でのコミュニケーションを想定した実験を行うことで、InterPuppet を携帯電話に応用した場合の有効性を官能評価している。最後に、コミュニケーション支援インタフェースとしての特徴を考察し、今後の展望を述べている。

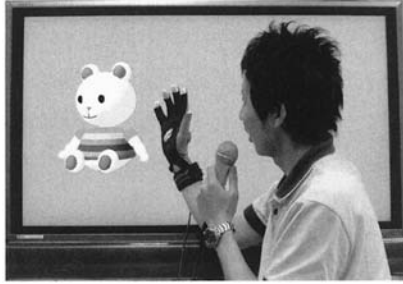


Fig. 1 InterPuppet



Fig. 2 InterPuppet の動作部位

## 2 モバイル InterPuppet

### 2.1 InterPuppet の概略

演劇からプライベートな楽しみまで、片手使い人形や指人形など、操作できる人形は、古くから身近な存在であった。これをメタファとするキャラクタ操作に関する研究<sup>12, 13, 14, 15)</sup>に加え、物理メディアとしての人形あるいはぬいぐるみを介したインタラクションに関する研究も多く行われている<sup>16, 17, 18, 19)</sup>。先行研究で開発・評価した InterPuppet (図 1) はこのような親しみやすく理解しやすいキャラクタ操作のインタフェースに加え、身体的リズムの引き込みに基づくコミュニケーション動作が音声から自動生成される身体的インタラクションキャラクタである。

音声からのコミュニケーション動作の生成は、InterActor と同様であり、図 2 の各部位を動かし、話し手及び聞き手として振舞うことができる。

聞き手の身体動作は、音声の ON-OFF パターンに基づくうなずき反応モデルと、腕部および上部部に対してうなずきの予測値に基づく身体動作モデルを導入している。うなずきの予測値は、音声の呼気段落区分での ON-OFF 区間からなるユニット区間に対して、うなずきの開始が存在するかを  $i-1$  ユニット以前のユニット時間率  $R(i)$  (ユニット区間での ON 区間の占める割合、(2) 式) の線形結合で表される (1) 式の MA (Moving-Average) モデルを用いて予測する。予測値  $M_u(i)$  がある閾値を越えて、うなずきが存在すると予測された場合には、音声の ON-OFF データ (30Hz, 60 個) を入力とし、(3) 式を用いて MA モデルでうなずきの開始時点を推定する。予測値  $M(i)$  が閾値を

越えた場合には InterActor をうなずきさせる。

$$M_u(i) = \sum_{j=1}^J a(j)R(i-j) + u(i) \quad (1)$$

$$R(i) = \frac{T(i)}{T(i) + S(i)} \quad (2)$$

$a(j)$ : 予測係数

$T(i)$ :  $i$  番目のユニットでの ON 区間

$S(i)$ :  $i$  番目のユニットでの OFF 区間

$u(i)$ : 雑音

$$M(i) = \sum_{j=1}^K b(j)V(i-j) + w(i) \quad (3)$$

$b(j)$ : 予測係数

$V(i)$ : 音声データ

$w(i)$ : 雑音

その他の身体動作の推定は、うなずきの予測値を用い、うなずきよりも低い閾値に基づいて、身体動作を実行することで発話音声と関係付けている。瞬きの予測については、対面コミュニケーションにおける瞬き特性に基づいて、うなずきと同時に瞬きをさせ、うなずきを基点として指数分布させている。

話し手の身体動作は、MA モデルを用い、頭部動作よりも低い閾値に基づいて、各部位 (腕や胴体など) を動作させることで発話音声と関係付けている。腕の動作は肩部と肘部に分かれており、各々を閾値に基づいて動かした。口の開閉は、音声の ON-OFF パターンに基づいて動作させている<sup>11)</sup>。

人と人が対面でコミュニケーションを行うときは、このような引き込み動作に加えて、会話にあわせて肯定や否定などの意思や感情を身体動作で表すといったように、意識的な身体動作を行っている<sup>20, 21)</sup>。InterPuppet では、この意識的な身体動作を手指から入力し、図 2 の動作部位を操作することで、引き込みや一体感を確保しつつ使用者の意識的な動作を加えることを可能とし、より多様なコミュニケーション表現をキャラクタに行わせることができる。既に手指動作の入力デバイスとして、片手使い人形のように操作<sup>22)</sup>を行うデータグローブとキーを押すことでキャラクタを操作する携帯型キーボードを使用したコミュニケーション支援システムを開発し、遠隔コミュニケーション実験を行った結果、両システムとも「楽しさ」や「キャラクタになった感覚」といった観点で高い評価を得ており、コミュニケーション支援において有効であることが示されている<sup>10)</sup>。

### 2.2 モバイル環境での使用条件

モバイル InterPuppet は、InterPuppet をモバイル環境での使用に適応させた CG メディアによるコミュニケーション支援のための新たなシステムである。モバイル環境での使用例を図 3 に示す。対面状態にない対話者同士が携帯電話のディスプレイ

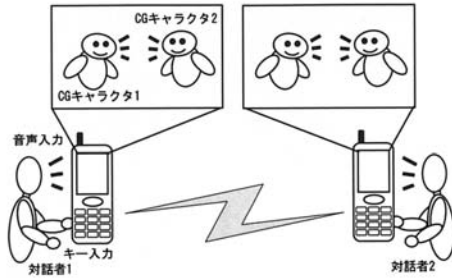


Fig. 3 モバイル環境での InterPuppet の使用

レイに映し出されたお互いの代役となる CG キャラクタを介して会話することによって、離れた場所においても、身体的リズムが共有され、かわりを観察しながら、円滑なコミュニケーションを行える。手軽にどこでも使用でき、物理的な場所に拘束されることがないモバイル環境でのコミュニケーションにおいてこそ、さまざまな場面で身体性を活かしたコミュニケーション支援が有効に行えると期待できる。本研究では、このモバイル環境下での評価実験のために、専用ハードウェア・ソフトウェアの開発とモバイル環境下での実験を行う。携帯電話や PHS（以降携帯電話）からのインターネット接続の増加<sup>1)</sup>により、モバイル環境で用いるデバイスは携帯電話が一般的になった。これらのデバイスは容易に携帯でき、簡単に操作できる特徴を持つ。また、使用する場所にとられないためどこでも使用できるが、使用マナーを守ったり、人目を気にしたりして、リラックスできる場所で使用することが多い。そこで、モバイル InterPuppet の評価のためには、先行実験と比較して以下の条件を満たすことが望まれる。

1. 携帯電話型のデバイスの使用
2. 携帯電話と同様の画面構成
3. 携帯電話のような簡単な操作
4. 日常の携帯電話使用環境で評価

### 3 評価システムの開発

#### 3.1 携帯電話型インタラクションシステム

携帯電話実機では音声や通信を扱うアプリケーションの開発が困難なため、まず 2 章の条件 1 を満たすように、普段携帯電話を使う感覚で InterPuppet を使用できる携帯電話型デバイスを開発した (図 4)。本デバイスは、一般的な携帯電話の感覚で使用できるように、表 1 に示す条件を満たすよう設計し、全長約 155mm、重量約 100g、2.5 インチの TFT 液晶と、携帯電話と同じ配列のテンキーを搭載した。携帯電話を操作する感覚で、片手に持って使用することが可能である。PC と接続することにより、使用者はこのデバイスのみで CG キャラクタの表示とキー入力によるキャラクタ操作を行うことができる。PC との接続は USB ケーブル



Fig. 4 携帯電話型デバイス

Table 1 設定条件

- 片手で持てる
- 片手で操作できる
- 100g前後の重量
- 小型のディスプレイとキーボードを有する

及び映像信号ケーブルを用いた。ケーブルはそれぞれ直径 2mm 及び 4mm のものを使用した。USB ケーブルによってテンキーと PC の接続とデバイスへ電力の供給を行い、映像信号ケーブルによって PC からデバイスへコンポジット信号の入力を行った。

携帯電話型デバイスを用いて構築したインタラクションシステムの構成図を図 5 に示す。対話者毎に PC と、携帯電話型デバイス、会話用のヘッドセットを用いた。PC 間は 100Mbps のイーサネット接続されており、音声及び手指部の動作を通信している。音声は 16bit 22.5kHz でサンプリングした。PC は Windows XP を搭載した AT 互換機を使用した。

画面構成としてディスプレイ上には図 6 のように自己と相手のキャラクタを表示した。キャラクタの背景には壁と床を配置し、部屋の中で 2 体のキャラクタがコミュニケーションを行う構成にしている。2 章の条件 2 を満たすように、画面上端部、下端部にそれぞれヘッダ部とフッタ部を設け、携帯電話と同様の画面を構成している。キャラクタ同士の向かい合う角度と視点は InterActor の対話

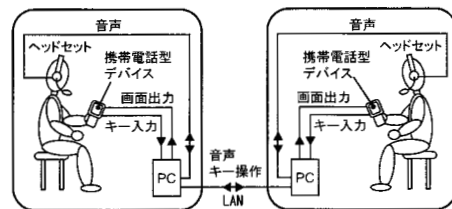


Fig. 5 システム構成図

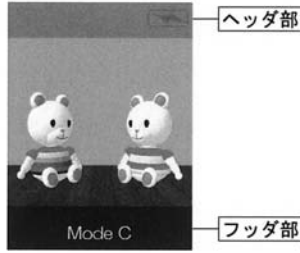


Fig. 6 画面構成

Table 2 動作角度と速度

動作部位	動作角度 (rad)	動作速度 (rad/s)
頭縦	0.35	1.2
頭左右	0.35	3.0
腕(肩)	0.80	3.4
腕(肘)	0.80	3.4
腰前	0.10	0.6
腰後	0.05	0.6

配置の見直しを基に、お互いのキャラクタを約 90 度で向かい合わせている<sup>23)</sup>。キャラクタの外観はぬいぐるみを意識した動物型とした。これらの映像は Microsoft DirectX9c を用い描画したものを PC のビデオカードから出力し、携帯電話型デバイスに入力した。

対話者同士が会話することにより各キャラクタが InterActor として動作し、自己のキャラクタの話し手動作と相手キャラクタの聞き手動作を生成している。携帯電話型デバイスによるキー操作からは自己のキャラクタを操作することができる。

### 3.2 キャラクタ操作モデル

先行研究の携帯型キーボードによる操作では、キーを押せば対応した部位が決まった角度まで動き、キーを離せば元に戻るようになっていた。これに対し、モバイル InterPuppet では 2 章の条件 3 を満たすように、キーを一度押せば対応した部位が動き、自動的に元に戻るようにして手軽な操作を実装した。携帯電話型デバイスでの操作法は、図 7 に示すように各キーにキャラクタの身体動作を割り当てている。操作入力とキャラクタ動作の対応は、左側のキーを押せば右手が動くというように、正面から見たキャラクタの身体に対応付けて直感的に操作ができるようにした。操作できるキャラクタの動作は 7 動作である。このときの動作角度と動作速度を表 2 に示す。キーを押せば対応した部位が表の角度まで動き、戻るようになっている。一般的な携帯電話と同様に、複数のキー操作を同時に認識することはできない。また、InterActor と操作入力が同時に同じ部位を操作しようとしたときは InterActor を優先するように設定した。



Fig. 8 実験風景

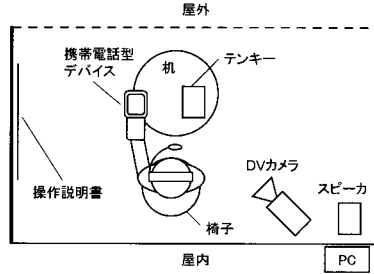


Fig. 9 機材の配置

## 4 モバイル評価実験

### 4.1 方法

開発したシステムを使用して普段の携帯電話を使っているような状況下で日常会話を行うモバイル評価実験を行った。2 章の条件 4 のように、通常の携帯電話での会話の環境を与えるため、本大学学生が普段よく携帯電話を使用する校舎内のベランダ 2 箇所システムを設置した (図 8)。2 つのベランダは同じ間取りになっている。実験の配置図を図 9 に示す。実験中は被験者のみをベランダに残し、PC や実験者を屋内に配置することで、リラックスしてコミュニケーションを行うことができるようにした。また、実験は説明も含め 45 分程度かかるので、被験者を屋外向きに椅子に座らせた。実験に必要な指示はスピーカから行い、実験の様子を DV カメラで撮影することで、異常が無いことを確認した。実験ではシステムに、表 3 に示す A~C の 3 つのモードを用意し、それぞれのモードで対話することで InterPuppet の評価を行った。

実験の手順を図 10 のタイムテーブルに示す。被験者には、最初に各モードの違いとキャラクタの操作法を実際にシステムを使用させながら説明し、自由に操作できていることを確認した。さらに、操作に慣れるように練習させ、各モードの違いを体

Table 3 比較モード

モード	内容
A	InterActor
B	手指動作のみによる操作 (口の開閉と瞬きは A と同様)
C	InterPuppet (A+B)



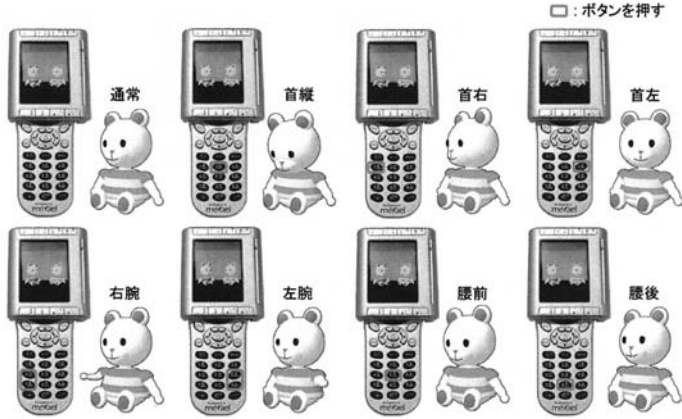


Fig. 7 携帯電話型デバイスでの操作の様子

感させるために、対話相手とコミュニケーションしながらシステムを試用させた。操作の説明と練習、システムの試用は合わせて10分程度であった。その後以下の評価法で比較させ、任意で感想を聞いた。被験者は学校生活に慣れ、ペラндаで携帯電話を使用する機会の多い22~24歳の男女学生を対象とし、普段良く会話をする20組40人を対象とした。

まず、身体的コミュニケーション支援の観点から「楽しさ」、「対話しやすさ」、「キャラクタになった感覚」、「キャラクタを操作している感覚」の4項目について7段階評価させた。最初に「楽しさ」についてA~Cのモードを1分ずつランダムな順で使用させた。モードの切り替えは、図9のテンキーから行わせた。その後、A~Cの順位付けをし、各モードがどの程度その項目に当てはまるかを7段階(中立0)でアンケート用紙に答えさせた。残る項目についても「対話しやすさ」、「キャラクタになった感覚」、「キャラクタを操作している感覚」の順に同様の評価を行った。モードの提示順序はランダムとし、対話者同士は同じモードを使用することとした。

次に、A~Cのモードからランダムに2つのモードを選び一対比較させた。比較するモードが3つなので、これを計3(=3C<sub>2</sub>)回繰り返した。比較方法は一つのモードで対話した後に別のモードで対話し、その後どちらが総合的によかったかアンケート用紙に答えさせた。対話者同士は同じモードを使用して対話し、対話時間は1つの比較につき4分(1つのモードにつき2分)とした。すべての組み合わせで比較することにより、それぞれのモードを計2回使用することになる。また、この時のモードBとCのボタン押下回数を記録した。

#### 4.2 結果

7段階評価の結果を図11に示す。図では、全体の平均と標準偏差、Friedmanの分散分析法<sup>24)</sup>による統計的有意差をあらわしている。楽しさでは

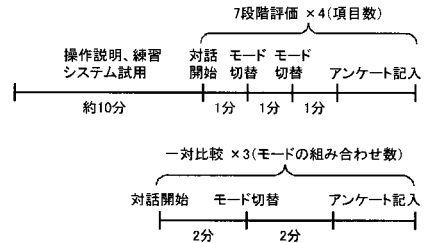


Fig. 10 タイムテーブル

有意水準1%でInterPuppetが最も高く評価され、対話しやすさではInterActorとInterPuppetが手指だけの操作より有意水準1%で高く評価されている。また、キャラクタになった感覚、キャラクタを操作している感覚ではInterPuppetがInterActorよりも有意水準1%で高い評価を受けていることがわかる。

一対比較の結果を表4に示す。表中の数字は各モードの勝数、つまり各行のモードを選択した人数を表している。この結果に対して被験者による評価を定量的に評価するために、以下に示すBradley-Terryモデルを想定した<sup>24)</sup>。

$$P_{ij} = \frac{\pi_i}{\pi_i + \pi_j} \quad (4)$$

$$\sum \pi_i = const.(= 100) \quad (5)$$

$P_{ij}$ :  $i$ が $j$ に勝つ確率  
 $\pi_i$ :  $i$ の強さの量

これにより、一対比較に基づく評価を一義的に定めることができる。強さ $\pi$ を最尤推定した結果を図12に示す。有意水準5%でまず適合度検定を行い、さらに尤度比検定を行ってモデルの整合性を検

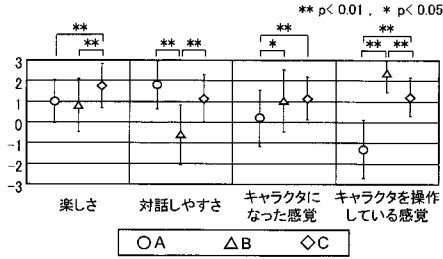


Fig. 11 7段階評価の結果

Table 4 一対比較の結果

	A	B	C	total
A		30	11	41
B	10		7	17
C	29	33		62

定した結果、モデルは棄却されず、強さ  $\pi$  の妥当性が保障された。InterPuppet, InterActor, 手指動作のみによる操作の順に評価されており、特にInterPuppet が高く評価されていることが分かる。

モード B と C のボタン押下回数を図 13 に示す。図は使用時間の長かった一対比較時のボタン押下回数を集計し、全体の平均値と標準偏差、t 検定による有意差を表している。一対比較では各モードで2分間の試行を2回ずつ行っているの、その合計の4分間の押下回数を表している。また、動作が終了する前に連続して同じ動作に割り振られたボタンを押下している場合は一回の押下として計測した。手指動作のみで操作する B よりも InterPuppet の C の方が優位水準 1% で押下回数が少なくなっている。

動作部位ごとにボタン押下回数を分けたものを図 14 に示す。首の縦振りが優位水準 1% で、首の横振りと腰の前後動作が優位水準 5% で InterPuppet の C の方が押下回数が少なく、頭を中心有意な差が出ている。

アンケートにおける被験者の感想で代表的なものを表 5 に示す。InterPuppet についての肯定的な意見が多かった。

Table 5 使用者の感想

楽しい 操作していないときにも自動で動くので使いやすい 自動で動くほうが楽 話しているとおぼろげに操作を忘れる 操作が難しい ボタンの同時押し機能がほしい
--

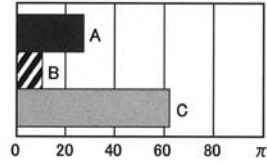


Fig. 12 各モードの強さ  $\pi$

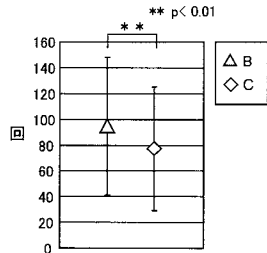


Fig. 13 ボタン押下回数

### 4.3 考察

モバイル評価実験の結果、7段階評価において、InterPuppet が他のモードよりも「楽しさ」「キャラクターになった感覚」で高く評価された。一対比較による総合評価においても InterPuppet が手指動作のみでの操作に比べ極めて高く評価されていることから InterPuppet の有効性が示された。

各モードの特徴として、手指動作のみによる操作の場合は「キャラクターを操作している感覚」は高く、「対話しやすさ」で低く評価されているが、逆に InterActor では、「キャラクターを操作している感覚」が低く、「対話しやすさ」で高く評価されていることから、これまでと同様に InterActor のコミュニケーション支援での有効性が確認された。InterPuppet においては、「対話しやすさ」と「キャラクターを操作している感覚」は他の2つのモードの間の評価となった。被験者の感想にも、操作していないときにも自動で動くので使いやすいという意見もあり、二つのモードの間でうまくバランスが取れた

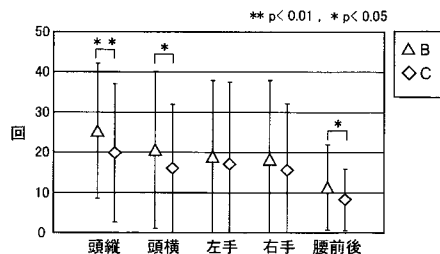


Fig. 14 動作部位別のボタン押下回数

といえる。しかし、一方で、「楽しさ」と「キャラクタになった感覚」は他のモードより高く評価されている。総合評価でもきわめて高い評価を得ていることから、音声から自動的に生成される動作と意識的な動作を統合することで、相乗効果が現れることが分かる。

InterPuppet では、ボタン押下回数が有意に少なくなっており、音声から自動生成される InterActor のコミュニケーション動作が有効に働いているといえる。また、頭部を中心に押下回数が減少していることから特にうなずき動作の効果が高かったと考えられる。この引き込み動作の中でキャラクタの操作を行うことにより、相手との一体感、キャラクタの生命感が確保され、同時に、InterActor によるコミュニケーション動作に自分が意識した動作を加えることにもなるので、リズム同調をさらに強める、あるいはあえて崩すことが可能となり、楽しさやキャラクタになった感覚の評価が高くなったと考えられる。これらの特徴に加え、総合評価で高く評価されていることから、InterPuppet は携帯電話などを使用したモバイル環境でのコミュニケーション支援に有効といえる。

## 5 総合考察

### 5.1 InterPuppet の特性

先行研究では、実験室内での官能評価により基本的な特性をおさえ、手指動作入力を併用することで飛躍的に効果が高まることを明らかにした。本モバイル評価実験との比較のために、先行研究における実験の7段階評価の結果を付録 A に示す。図は、全体の平均と標準偏差、Friedman の分散分析法による統計的有意差をあらわしたもので、図中の A~C はそれぞれ本実験と同じ表 3 のモードを表している。同様に先行研究における一対比較の結果を付録 B に示す。図は一対比較の結果を Bradley-Terry モデルを用いて表したものである。このように、データグループと携帯型キーボードのシステムがほぼ同じ評価を得ていることがわかる。先行研究の2つのシステムは InterPuppet の入力デバイスとして全く異なるインタフェースを有するが、音声から自動的に生成される動作と意識的な動作の両方を提示することで、リズム同調をさらに強める、あるいはあえて崩すという同じ仕組みの基に作成されたシステムである。この InterPuppet の特徴がシステムの差異を吸収することで、類似の評価につながっている。一方、本研究の実験結果では、これらに比べて InterActor の楽しさが高く、手指動作の対話しやすさが低くなっており、総合評価でも InterActor がより高く評価されている。実験結果の差は異なる実験環境を想定したことによる違いであり、普段のコミュニケーションに近い環境を設定できた結果である。つまり、先行実験で明らかにした InterPuppet の仕組みのモバイル環境での特性を示していると考えられる。

本モバイル実験では、ベランダから見える景色をコミュニケーションの話題に上げる被験者がいたことから、実験室内の環境とは異なり、モバイル

環境ではディスプレイに向き合うだけでなく、周りの環境を意識しながらコミュニケーションしていると想定される。このような環境でのコミュニケーションでは、手指動作だけでキャラクタを操作するのは困難であり、音声から自動生成される InterActor のコミュニケーション支援効果が高かったと考えられる。さらに、InterPuppet の楽しさやキャラクタになった感覚が高いのは InterActor によるリズム同調ができた上で、意識的な動作を扱うことで何気ないしぐさや行動をスムーズに共有することができたためと考えられる。手指から入力する意識的な動作の共有は、InterPuppet のように音声からの引き込み動作により、相手とのかわりが実感できた上で初めて効果が出る。モバイル環境では InterPuppet を使用することで、携帯電話のようなデバイスでもキャラクタを介したコミュニケーションをより楽しく容易に行えると考えられる。

## 6 おわりに

本論文では、身体的リズムの引き込みに着目して、携帯電話型のデバイスによるインタラクションシステムを開発し、InterPuppet のモバイル環境での評価を行った。

まず、先行研究を整理した上で、携帯電話型のデバイスと携帯電話の使用環境を想定した身体的インタラクションシステムを開発した。次に、開発したシステムに InterActor、手指入力のみでの操作、InterPuppet の3つのモードを用意し、官能評価を行った結果、「楽しさ」、「キャラクタになった感覚」などの観点から InterPuppet が高く評価された。また、一対比較による総合評価において InterPuppet、InterActor、手指入力のみでの操作の順で、とくに InterPuppet が高く評価されており、モバイル環境での提案手法の有効性が示された。さらに、ボタン押下回数を解析した結果、InterActor のコミュニケーション動作が加わることで InterPuppet ではボタン押下回数が有意に少なくなることを確認し、モバイル環境での応用の可能性を示した。最後にモバイル環境での特性を考察した。

より長期間にわたり使用した場合などの評価が今後の課題である。また、話し手から聞き手への意思の伝達がどのように変化するかなど、身体的コミュニケーション支援における InterPuppet の役割についてさらに検証を進める。

## 謝辞

本研究の一部は、科学技術振興機構 (JST) の戦略的創造研究推進事業 (CREST) 研究領域「デジタルメディア作品の制作を支援する基盤技術」における「人を引き込む身体性メディア場の生成・制御技術」プロジェクトの支援による。

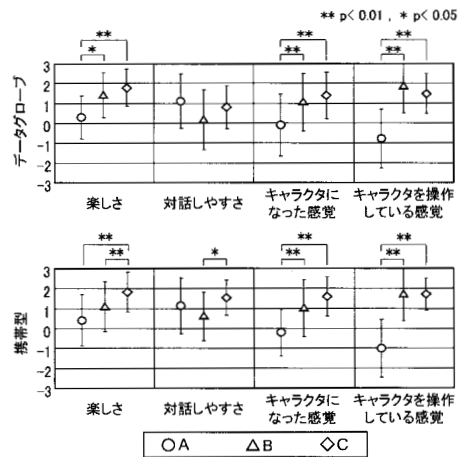
## 参考文献

- 1) 総務省：平成 18 年版 情報通信白書，pp. 17-28，ぎょうせい (2006)。
- 2) 神崎洋治，西井美鷹：体系的に学ぶ 携帯電話の仕組み，pp. 91-93，日経 BP ソフトプレス (2005)。

- 3) 杉村利明, 福本雅朗: 携帯電話向けシングルタップ新キーパッドの提案と評価, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2006 論文集, pp. 839-842 (2006).
- 4) 岡田英彦, 赤坂真紀: 携帯電話におけるペン入力 UI のユーザビリティ評価～画面サイズに基づく PC/PDA との比較～, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2006 論文集, pp. 461-464 (2006).
- 5) 渋谷雄, 王震, 倉本到, 辻野嘉宏: 携帯電話の傾きにより声調を指定する中国語漢字入力手法, 情報処理学会論文誌, Vol. 47, No. 5, pp. 1566-1569 (2006).
- 6) 小木哲朗, 大貫智士: 没入仮想空間と屋外空間との間の携帯電話を用いた情報共有, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2006 論文集, pp. 575-578 (2006).
- 7) 山本雅之, 赤堀侃司: 携帯電話を用いたグループ意見交換ツールの開発と評価, 日本教育工学会第 21 回全国大会講演論文集, pp. 339-340 (2005).
- 8) 渡辺富夫: 身体的コミュニケーション技術とその応用, システム/制御/情報, Vol. 49, No. 11, pp. 431-436 (2005).
- 9) Watanabe, T., Okubo, M., Nakashige, M. and Danbara, R.: InterActor: Speech-Driven Embodied Interactive Actor, *International Journal of Human-Computer Interaction*, Vol. 17, No. 1, pp. 43-60 (2004).
- 10) 大崎浩司, 渡辺富夫, 山本倫也: InterActor に手指動作入力を併用した身体的インタラクションシステムの開発, ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol. 7, No. 3, pp. 399-408 (2005).
- 11) 大崎浩司, 渡辺富夫, 山本倫也: 音声駆動型身体引き込みキャラクタに手指動作入力を併用した映像コンテンツ制作支援システムの開発, ヒューマンインタフェース学会研究報告集, Vol. 8, No. 2, pp. 91-96 (2006).
- 12) Mazalek, A. and Nitsche, M.: Tangible interfaces for real-time 3D virtual environments, *Proceedings of the International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology (ACE'07)*, pp. 155-162 (2007).
- 13) Kim, S., Zhang, X. and Kim, Y. J.: Haptic Puppetry for Interactive Games, *Edutainment 2006*, pp. 1292-1302 (2006).
- 14) 與田厚志, 天野直紀: マリオネットの操作性に基づいた入力デバイス, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2004 論文集, pp. 1171-1174 (2004).
- 15) Johnson, M., Wilson, A., Kline, C., Blumberg, B. and Bobick, A.: Sympathetic Interfaces: Using Plush Toys to Direct Synthetic Characters, *Proceedings of CHI99*, pp. 152-158 (1999).
- 16) 小泉直也, 清水紀芳, 杉本麻樹, 新居英明, 稲見昌彦: ハンドパペット型ロボティックユーザインタフェースの開発, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 11, No. 2, pp. 265-274 (2006).
- 17) Sato, K. and Lim, Y.: Physical Interaction and Multi-Aspect Representation for Information Intensive Environments, *Proceedings of 9th IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN2000)*, pp. 436-443 (2000).
- 18) 棚瀬篤史, 神原誠之, 竹村治雄, 横矢直和: 人形型インタフェースを用いた共有仮想環境におけるコミュニケーションの実現, 日本バーチャルリアリティ学会第 5 回大会論文集, pp. 331-332 (2000).

- 19) 米澤朋子, プライアンクラークソン, 間瀬健二: 文脈適応型音楽生成をとまなうめいぐるみインタラクション, 情報処理学会論文誌, Vol. 43, No. 8, pp. 2810-2820 (2002).
- 20) 黒川隆夫: ノンバーバルインターフェース, pp. 41-68, オーム社 (1994).
- 21) 島山誠, 西田豊明: 同調動作に基づくロボットと人間のコミュニケーション, 第 17 回人工知能学会全国大会論文集, pp. 1D1-05 (2003).
- 22) 川尻泰司: 人形劇で遊ぼう, pp. 48-51, 玉川大学出版部 (1988).
- 23) 檀原龍正, 渡辺富夫, 大久保雅史, 佐藤章: 音声駆動型身体引き込みキャラクタ InterActor の対話配置の合成的解析, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2003 論文集, pp. 349-352 (2003).
- 24) 広津千尋: 実験データの解析一分散分析を超えて一, pp. 203-217, 共立出版 (1992).

### 付録 A 先行実験の 7 段階評価の結果



### 付録 B 先行実験の一対比較結果

