

アバタコミュニケーション支援のための音声駆動型 身体的引き込み絵画を用いた仮想観客システム*

瀬島 吉裕^{*1}, 石井 裕^{*2}, 渡辺 富夫^{*3,*4}

A Virtual Audience System by Using a Speech-Driven Embodied Entrainment Picture for Supporting Avatar-Mediated Communication

Yoshihiro SEJIMA^{*1}, Yutaka ISHII and Tomio WATANABE

^{*1} Graduate School of Science and Engineering, Yamaguchi University
2-16-1 Tokiwadai, Ube, Yamaguchi, 755-8611, Japan

We have already confirmed the importance of embodied sharing in avatar-mediated communication and have demonstrated the effectiveness of the entrained nodding responses for human interaction and communication support. In this paper, in order to support the avatar-mediated communication, a virtual audience system is developed by using a speech-driven embodied entrainment picture in which interactive CG objects behave as listeners such as nodding responses. This system provides a communication environment in which not only avatars but also the CG objects placed around the avatars are related to embodied communication. By using this system, the effectiveness of the present system in supporting embodied communication has been demonstrated by carrying out a sensory evaluation and a speech-overlap analysis for 20 pairs of 40 talkers.

Key Words : Human Interface, Man-Machine-Communication, Emotion, Kansei and Embodiment, Human Engineering, Virtual Reality

1. はじめに

情報機械の高性能化に伴い、メタバースやオンラインゲームなど、バーチャル空間上でアバタ（自己の分身となる CG キャラクタ）を介してコミュニケーションを行うサービスが普及している⁽¹⁾。また、アバタを用いたコミュニケーションシステムの研究開発が精力的に行われている。例えば、米元らは複数台のカメラを用いて画像認識により対話者の身体動作を獲得し、アバタの身体動作を生成するシステムを開発している⁽²⁾。藤田らは対話者の発話情報（大きさ、高さ、間隔等）に基づいて、アバタの身体動作を統合的に制御するシステムを開発している⁽³⁾。著者らもこれまでに、磁気センサにより対話者の上半身の身体動作を計測し、リアルタイムに対話者の身体動作を再現するアバタ (VirtualActor: VA) を開発している⁽⁴⁾。さらに、対話者の発話音声からうなずき反応を自動生成する身体的引き込み反応モデル⁽⁵⁾を VA の頭部動作に重畳したシステムを開発し、話し手・聞き手を設定しない対話では、一体感や場の盛り上がりが向上するなどインタラクションが促進されることを示してきた⁽⁶⁾。しかしながら、話し手・聞き手の役割を指定した対話では、身体的引き込み反応により話し手の官能評価は一体感や親近感が向上するものの、聞き手の官能評価はうなずき反応を重畳しない場合と同様であった⁽⁶⁾。これは、聞き手つまり自分自身がうなずいていない場合であっても自己 VA がうなずき反応を行うなど、身体的な対応関係に矛盾が生じたため、インタラクション支援に繋がらなかったものと考えられる。先行研究においても、対話者とアバタとの身体的な矛盾が生じた場合、インタラクション支援に繋がらないことが報告されている⁽⁷⁾。とくに、アバタの頭部動作を矛盾的に止めた実験においては、自己とアバタとの振舞いが一致しない場合はインタラクシ

* 原稿受付 2011 年 6 月 6 日

^{*1} 正員, 山口大学大学院理工学研究科情報・デザイン工学系専攻 (〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1)

^{*2} 岡山県立大学情報工学部情報システム工学科 (〒719-1197 岡山県総社市窪木 111)

^{*3} 正員, 岡山県立大学情報工学部情報システム工学科 (〒719-1197 岡山県総社市窪木 111)

^{*4} 科学技術振興機構 戦略的創造研究推進事業

E-mail: sejima@yamaguchi-u.ac.jp



ンが阻害され、円滑なコミュニケーションに影響を与えることを示している⁽⁸⁾。これらの知見から、対話者とアバタとの身体的な対応関係を損なうことなくインタラクション支援が可能な身体的コミュニケーションシステムの開発が求められる。

一方、オフィスや応接室などの人の集まる場所には絵画や観葉植物などが置かれている。また、バーチャル空間においても、実空間と同様にコミュニケーション場の周囲にCGオブジェクトが配置されている。これは、絵画や観葉植物などのオブジェクトが空間を華やかにするだけでなく、リラックスした雰囲気を醸し出すのに効果的であり^{(9)~(11)}、場の雰囲気作りに一役買っているからである。

これらの知見から、従来手法のようにアバタにうなずき反応などの引き込み動作を重疊的に行わせるのではなく、アバタの周囲に配置されているCGオブジェクトに引き込み動作を行わせることで、対話者とアバタとの身体的な整合性が損なわれることなく引き込み動作が提示され、一体感のあるコミュニケーション場が生成されると期待される。このようなアバタの周囲に配置されているCGオブジェクトをあたかも観客のようにコミュニケーション場にかかわらせるアプローチでの研究はなされていない。

そこで本研究では、周囲のCGオブジェクトが仮想観客として引き込み動作を行うことで、コミュニケーション場を盛り上げ、一体感を飛躍的に高める仮想観客システムを開発している。このシステムは、対話者の発話音声に対して絵画オブジェクトが聞き手のように身体反応する音声駆動型身体的引き込み絵画で、仮想観客として身体的バーチャルコミュニケーションシステム EVCOS⁽⁴⁾ に実装したものである。開発したシステムを用いてコミュニケーション実験を行い、官能評価及び行動分析により提案システムの有効性を示している。さらに、絵画のような個物ではなく、壁一面に絵画を投影した音声駆動型身体的引き込み壁画を用いて、空間全体に仮想観客を配置した場合のコミュニケーション支援効果を示している。

2. 仮想観客システム

2.1 身体的バーチャルコミュニケーションシステム EVCOS

身体的バーチャルコミュニケーションシステム EVCOS は、自己 VA と相手 VA を同一のバーチャル空間に配置し、バーチャル空間内で身体的コミュニケーションを実現することができるシステムである⁽⁴⁾。このシステムを用いた対話場面を図 1 に示す。この場面は、対話配置実験により最も好まれた対話場面であり、自己 VA と相手 VA が対面している様子を自己 VA の後方から確認できる⁽¹²⁾。

2.2 コンセプト

仮想観客システムのコンセプトを図 2 に示す。人と人が行う対面コミュニケーションでは、言葉によるバーバル情報だけでなく、言葉によらないノンバーバル情報が互いに同調して引き込み合うことで、身体的リズムが共有され、円滑なコミュニケーションが行われている⁽¹³⁾。著者らはこれまでに、この身体的リズムの引き込みに着目し、発話音声からうなずきや身振りなどの豊かなコミュニケーション動作を自動生成する iRT (InterRobot Technology) を開発してきた⁽⁵⁾。さらに、その技術を人型、円柱型、あるいはひまわり型 CG オブジェクトに適用し、うなずきなどの引き込み動作はキャラクター性に依存しないことを示してきた⁽⁵⁾⁽¹⁴⁾。

このひまわり型 CG オブジェクトを額縁内に複数体配置した音声駆動型身体的引き込み絵画を仮想観客として

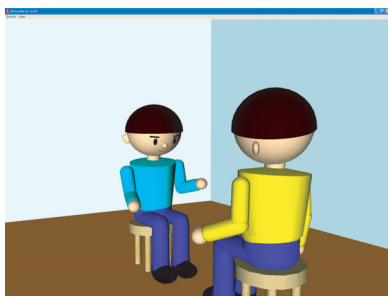


Fig. 1 Example of a virtual face-to-face scene.

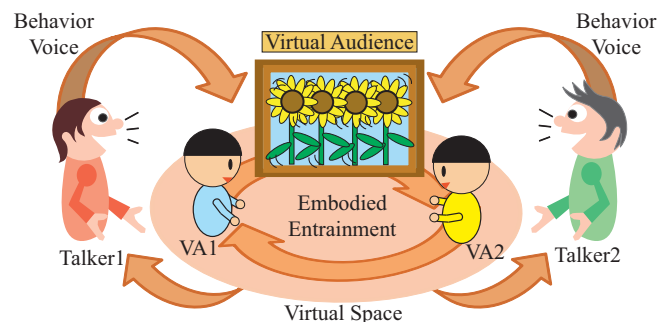


Fig. 2 Concept of a virtual audience system.

バーチャル空間に導入する．この仮想観客が対話者の発話音声に基づいてうなずきなどの引き込み動作を行うことで，バーチャル空間内に身体的引き込みが誘発され，一体感のあるコミュニケーション場が生成される⁽¹⁵⁾．対話者は一体感や場の盛り上がりを実感し，インタラクションが促進される．

2.3 音声駆動型身体的引き込み絵画 InterPicture

仮想観客として新たに音声駆動型身体的引き込み絵画 InterPicture を開発した．InterPicture の概略を図 3 に示す．InterPicture は対話者の音声に対して絵画内のひまわり型 CG オブジェクトが身体的引き込み反応する絵画である．ひまわり型 CG オブジェクトは音声入力がない場合であっても自然な揺らぎ動作を行うが，音声が入力されると聞き手としてうなずきや身体動作などの引き込み動作を行う⁽¹⁴⁾．ここで，ひまわり型 CG オブジェクトのうなずき動作は，先行研究の知見を基に，角速度 $0.03rad/frame$ で花の部位が前後方向の回転運動を行うものとした．また身体動作は，角速度 $0.0125rad/frame$ で葉先を上下に揺らすものとした（描画フレームレート 30fps）．

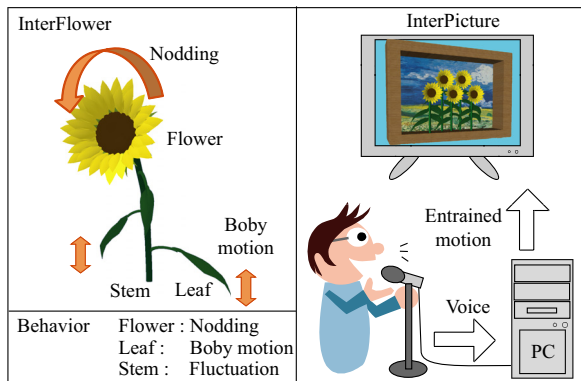


Fig. 3 Configuration of InterPicture.

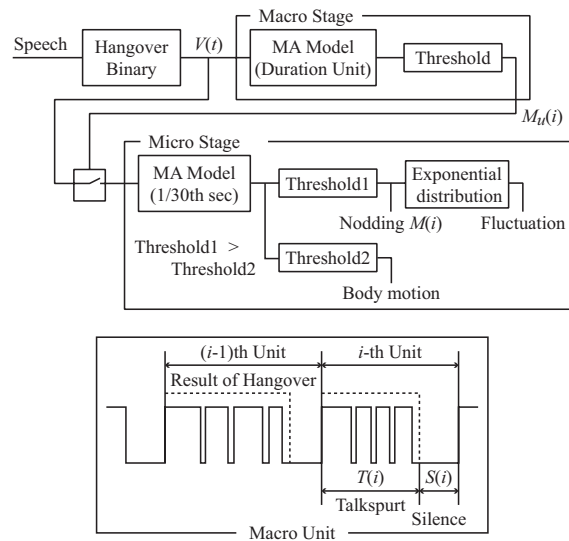


Fig. 4 Interaction model.

2.4 インタラクションモデル

仮想観客のインタラクションモデルとして音声の ON-OFF パターンに基づくうなずき反応モデルを導入している（図 4）⁽⁵⁾．このモデルでは，マクロ層とマイクロ層からなる階層モデルを用いてうなずきの予測を行っている．マクロ層で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，処理はマイクロ層に移る．マイクロ層では音声の ON-OFF データ（30Hz，60 個）を入力とし，(3) 式を用いてうなずきの開始時点を推定する．身体動作は，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させることで発話音声と関係付けている．揺らぎ動作は，生命感を与える瞬き反応モデル⁽¹⁶⁾を用い，うなずきを基点として指数分布させた．また，両対話者の音声が入力された場合，うなずきの予測値が高い方を適用させている．

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

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

- $a(j)$: 予測係数
- $T(i)$: i 番目ユニットでの ON 区間
- $S(i)$: i 番目ユニットでの OFF 区間
- $u(i)$: 雑音

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

$b(j)$: 予測係数
 $V(i)$: 音声データ
 $w(i)$: 雑音

2.5 仮想観客システム

2.2 節のコンセプトを基に、実際に EVCOS に仮想観客を実装したシステムを開発した。システム概略を図 5 に示す。バーチャル空間の構築には、Microsoft DirectX 9.0 SDK Update (Summer 2003) を用い、Windows XP を搭載した PC (Hewlett-Packard hp workstation xw4200: Pentium4 2.8GHz, メモリ 1GB, グラフィックボード NVIDIA Quadro FX3400) を使用している。VA の身体動作は、対話者の頭部、背部、両手首に取り付けた 4 個の磁気センサ (POLHEMUS FASTRAK) から、位置及び角度情報を 30Hz でサンプリングし、合成している。音声は、マイク付きヘッドホン (SONY DR-260DP) を用いて 16bit 11kHz でサンプリングしている。取得した身体動作データ及び音声データは、ギガビットイーサネットを経由して PC 間で送受信すると同時にハードディスクに記録している。このときの描画フレームレートは 30fps である。

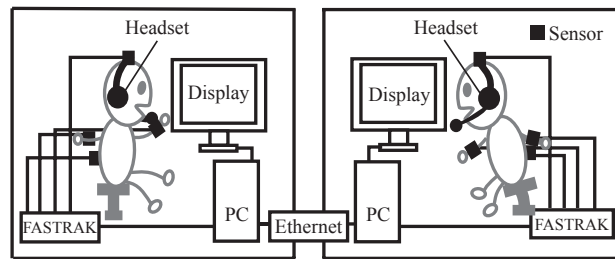


Fig. 5 Setup of the virtual audience system.

仮想観客の対話配置は以下の手順で決定した。まず、VA の観察視点は先行研究から自己 VA を含めて相手 VA をより観察しやすい視点に固定した上で、2 者間で自由に対話をしながら、全壁面及び床面の範囲内において InterPicture の位置と大きさを個別に調節し、個人の主観に基づいて好ましい位置及び大きさを決定させた。このとき、バーチャル空間における視点は固定し、さらに InterPicture には発話音声に基づいてうなずきなどの引き込み動作を行わせた。被験者は 5 組 10 人であったが、1 組分のデータに保存時のエラーによる情報欠落が生じており、正常に取得できなかったため、8 人のデータを対象とした。得られた結果を図 6 に示す。全ての被験者が相手 VA の後方に絵画を配置していることがわかる。これは、絵画として違和感のない配置であり、かつ相手 VA と統合的にインタラクションを観察し易い配置が好まれていると考えられる。この配置結果を基に、図 7 に示す 3 パターンの配置を選定した。図 7 (a) 及び図 7 (c) は特徴的な被験者のデータであり、図 7 (b) は 8 人分のデータの平均である。この 3 パターンから被験者 10 人に対して好ましい配置を選択させ、最も評価が高い図 7 (b) を最終的な配置とした。

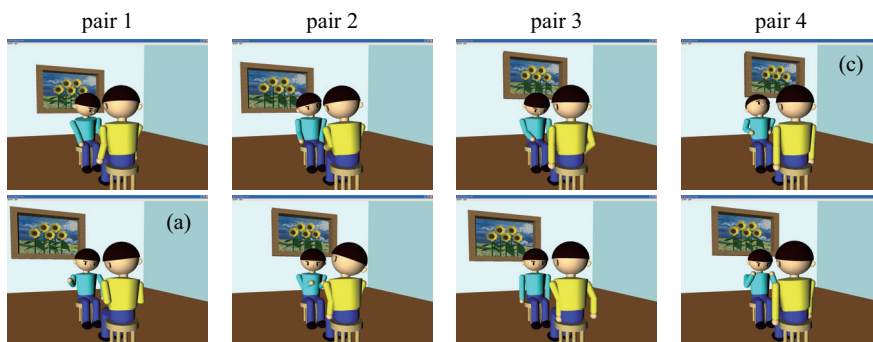


Fig. 6 Example of communication scenes in the arrangement experiment.

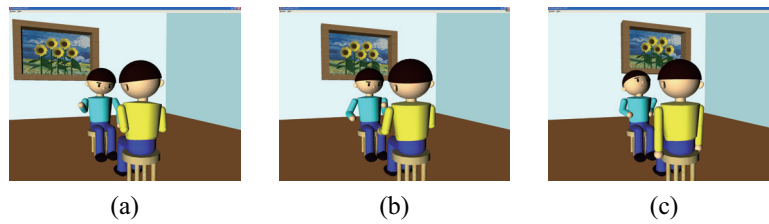


Fig. 7 Example of communication scenes in the selection experiment.

3. コミュニケーション実験

開発したシステムの有効性を検討するために、2 者間コミュニケーション実験を行った。

3.1 実験概略

実験は 2 人 1 組で行い、被験者には別室でシステムを用いて対話を行わせた。本実験では、一方から他方へのコミュニケーションと、双方向に行われるコミュニケーションを解析するために、役割対話実験と自由対話実験を同一の被験者に行った。役割対話実験では、話し手と聞き手を予め設定して、話し手が聞き手に語りかける対話を行わせた。対話内容は話し手が容易に伝達できるように童話を採用した。自由対話実験では、話し手・聞き手の役割や対話内容は指定せず、日常の談話を行わせた。本実験では、アバタの周囲に配置した絵画オブジェクトが仮想観客としてうなずきなどの引き込み動作を行うことで、人と人とのインタラクションの変化を検証するため、InterPicture が引き込み動作を行わない「引き込み動作なし」と、引き込み動作を行う「引き込み動作あり」の 2 モードを比較した。各室の対話の様子はビデオカメラとダウンスキャンコンバータにより録画した(図 8)。被験者は前章の仮想観客の対話配置実験とは異なる 19 歳～24 歳までの同性同士の男性 10 組、女性 10 組の計 40 人であった。

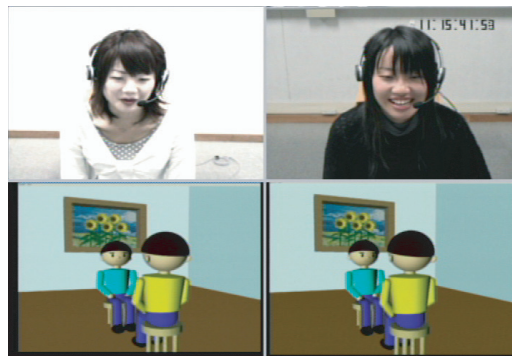


Fig. 8 Example of scenes of the communication experiment.

3.2 実験手順

まず、両被験者に「あかずきん」などの本人がよく知っている著名な童話絵本 10 冊以上から 2 冊ずつ選択させ、そのあらすじを確認させた。次に、システムを 3 分間試用させた。その後、話し手・聞き手にわかれて各モードで 3 分間ずつ計 6 分間の役割対話実験を行わせた。ここで、対話内容の発展による影響を考慮し、各モードにつき 1 冊の童話内容とした。次に話し手・聞き手を交代し、同様に各モード 3 分間ずつ計 6 分間の役割対話実験を行わせた。最後に各モードで 3 分間ずつ計 6 分間の自由対話実験を行わせた。各対話終了後、コミュニケーション支援の観点から「①楽しさ」「②対話しやすさ」「③場の盛り上がり」「④好み」アバタを介しての相手との「⑤一体感」「⑥安心感」の 6 項目による 7 段階(中立 0)の官能評価をさせた。モードの提示順は順序効果を考慮して組ごとにランダムとした。

3.3 官能評価結果

話し手の官能評価結果を図9(1)に示す。図には各項目の平均値とその標準偏差を示している。Wilcoxonの符号順位検定により、全ての項目において有意水準0.1%の有意差が認められ、「引き込み動作あり」が「引き込み動作なし」に対して高く評価された。

聞き手の官能評価結果を図9(2)に示す。「引き込み動作あり」と「引き込み動作なし」を比較した結果、「①楽しさ」、「③場の盛り上がり」、「④好み」、「⑤一体感」、「⑥安心感」で有意水準0.1%、「②対話しやすさ」で有意水準1%の有意差が認められた。

自由対話実験における官能評価結果を図9(3)に示す。「引き込み動作あり」と「引き込み動作なし」を比較した結果、「②対話しやすさ」、「④好み」、「⑤一体感」、「⑥安心感」で有意水準0.1%、「①楽しさ」、「③場の盛り上がり」で有意水準1%の有意差が認められた。

以上の結果から、役割対話・自由対話の違いに拘らず「引き込み動作あり」が高く評価され、提案システムの有効性が示された。

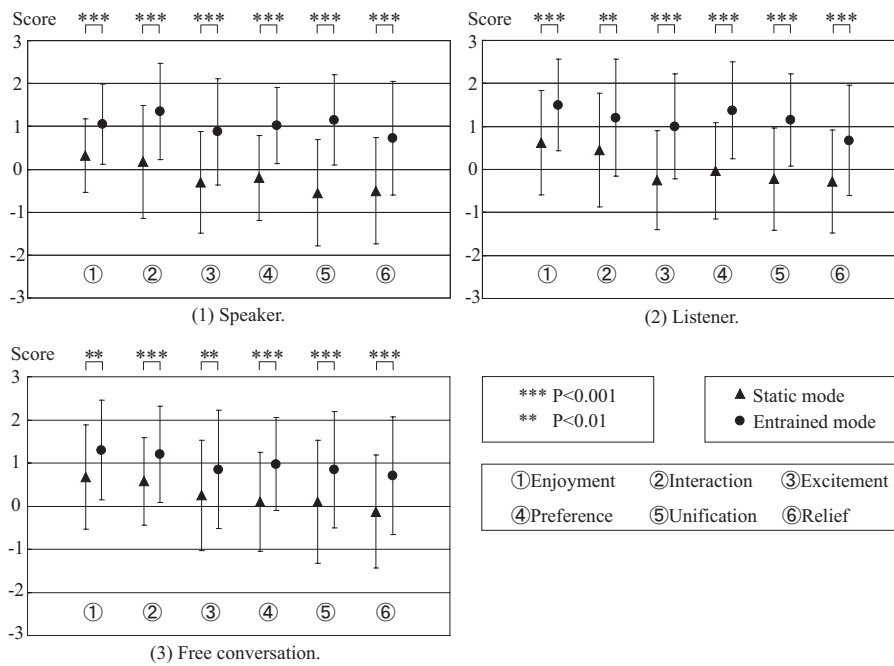


Fig. 9 Result of sensory evaluation by questionnaire.

3.4 行動解析結果

円滑な対面コミュニケーションでは、対話の盛り上がりと対話者相互の発話の重なり（オーバーラップ）との間に相関関係があることが報告されている⁽¹⁷⁾⁽¹⁸⁾。とくに、漫才のように盛り上がっている対話では、発話がオーバーラップすることで、対話に勢いなどを生み出すことが報告されている⁽¹⁹⁾。そこで、対話における盛り上がりや発話のオーバーラップに着目して解析した。音声データ $x(i)$ は、16bit で量子化した最大振幅値 (± 32767) が 1 となるように正規化・絶対値化し、サンプリング周波数 30 Hz で音圧が閾値を超えた場合を ON、そうでない場合を OFF として、ON 区間に対して 5/30 秒でフィルイン（短い OFF 区間を ON 区間に置換）処理を施して 2 値化した。ここで、盛り上がっている場面では音量が大きくなることから⁽²⁰⁾、音声の 2 値化の閾値を通常の閾値よりも高い閾値を用いて 2 値化を行った。音声を 2 値化した例を図 10 に示す。通常の閾値 a よりも高い閾値 A にすることで、音量の大きい部分が抽出されていることがわかる。対話者 1 の 2 値化した音声 $x_1(i)$ と対話者 2 の 2 値化した音声 $x_2(i)$ のオーバーラップの割合を以下の (4) 式を用いて評価した。

$$Overlap = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_1(i) \times x_2(i) \tag{4}$$

$x_1(i)$: 対話者 1 の音声, $x_2(i)$: 対話者 2 の音声, N : 対話区間

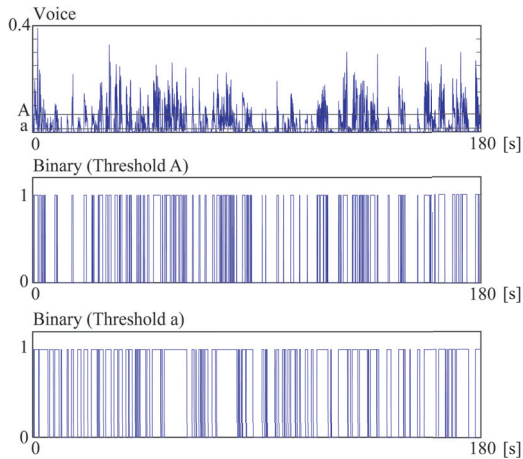


Fig. 10 Example of the binary voices.

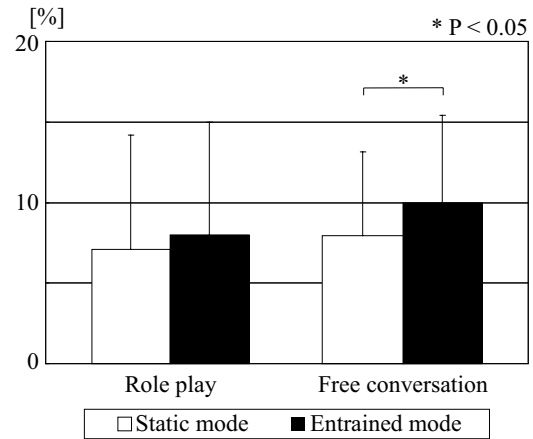


Fig. 11 Result of the overlap in the experiment.

各対話 3 分間における対話者相互のオーバーラップの割合を図 11 に示す．図には全 20 組の平均値と標準偏差を示している．役割対話実験では、「引き込み動作なし」と「引き込み動作あり」を比較した結果，統計的な有意な差は認められなかった．一方，自由対話実験では，t 検定により有意水準 5% の有意差が認められ，「引き込み動作あり」が「引き込み動作なし」に対してオーバーラップの割合が高かった．ここで，オーバーラップ検出を検証するために，コミュニケーション時の様子を撮影したビデオ映像を複数人で確認した結果，(4) 式によって抽出された発話オーバーラップと同様であることを確認している．これらの結果から，自由対話時にはとくに，InterPicture が会話のリズムに合わせて引き込み動作を行うことで，対話者相互のオーバーラップが増加することが示された．

3.5 考察

本実験では，仮想観客として配置した絵画オブジェクトが引き込み動作を行うことによるコミュニケーション場への影響を検証した．

先行研究において，話し手・聞き手の役割を指定した対話では，聞き手 VA の頭部動作にうなずき反応を重畳させることで，話し手の一体感や親近感は向上するものの，聞き手の官能評価はうなずき反応を重畳しない場合と同程度であった⁽⁶⁾．これに対して，本研究では話し手・聞き手ともに全ての項目で高く評価された．これは，対話者とアバタとの身体的な整合性が保たれていると同時に，InterPicture が発話に合わせてうなずくことで，対話のコミュニケーションリズムが明示化され，対話しやすさや一体感が向上したものと考えられる．

自由対話実験では官能評価だけでなく，対話者相互の発話のオーバーラップにおいても有意な差が認められた．これは，InterPicture が両対話者の音声に基づいてうなずくことで，聞き手として場を盛り上げ，一体感が高まったものと考えられる．

これらのことから，対話者とアバタとの身体的な整合性を保ちつつ，聞き手としてコミュニケーション場を盛り上げる仮想観客システムの有効性が示された．

4. 仮想観客の大きさがもたらすコミュニケーション支援効果

前章では，空間の雰囲気作りに有効な絵画オブジェクトが仮想観客として引き込み動作を行うことで，対話しやすさや安心感が向上するなど，コミュニケーション支援に有効であることを示した．本章では，前章での知見をさらに発展させ，壁画のように空間全体に仮想観客を配置することで，日常対話だけでなく合意形成対話におけるコミュニケーション支援効果を検証する．

4.1 音声駆動型身体的引き込み壁画 InterWall

空間全体に仮想観客を提示するために，音声駆動型身体的引き込み壁画 InterWall を開発した．InterWall の概略を図 12 に示す．InterWall は，壁一面に描画されたひまわり型 CG オブジェクトが対話者の音声に対して身体的引き込み反応する壁画である．InterWall は，バーチャル空間内の壁面と同じ大きさのテクスチャ（解像度 1600 ×

1200 pixel) にひまわり型 CG オブジェクトや背景を描画することで、壁面内であっても 3 次元の身体動作を実現している⁽²¹⁾。なお、InterWall のシステム構成は InterPicture と同様である。

この InterWall をそのまま壁面に投影した場合、コントラストが高く対話場に圧迫感を与える可能性がある。そこで、テクスチャの透明度を増加させ半透明化することで、コントラストを低減している。これにより、InterWall が対話場に圧迫感を与えることなく壁面に溶け込んでいるような表現を実現している。また、ひまわり型 CG オブジェクトの振舞いは、InterPicture と同様のものとした。

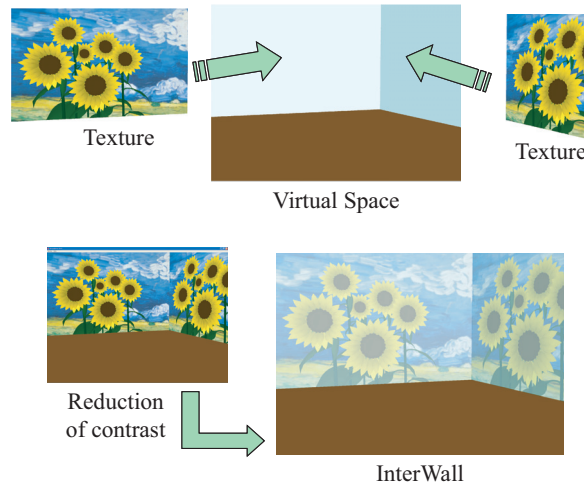


Fig. 12 Configuration of InterWall.

4.2 コミュニケーション実験

実験は 2 人 1 組で行い、被験者には別室でシステムを用いて対話を行わせた。本実験では、前節における知見を発展させ、日常対話を想定した自由対話実験と、会議などの話し合いを想定した合意形成対話実験を行った。自由対話実験での対話内容は日常の談話とした。合意形成対話実験における対話内容は表 1 に示す goo ランキング⁽²²⁾ 調べによる、「運動会で好きな競技ランキング」、「小学生の時、いつも最後に残っていた夏休みの宿題ランキング」における上位 4 項目の中から 1~3 位の順位を予想するものとした。比較モードは、InterPicture と同様に InterWall が引き込み動作を行わない「引き込み動作なし」と引き込み動作を行う「引き込み動作あり」とした。各室の対話の様子はビデオカメラとダウンスキャンコンバータにより録画した(図 13)。被験者は前章の InterPicture 実験被験者とは異なる 18~24 歳までの同性同士の男性 10 組、女性 10 組の計 40 人であった。

4.3 実験手順

まず、システムを 3 分間試用させた。その後、各モードで 3 分間ずつ計 6 分間の自由対話実験を行わせた。次に、各モードで時間制限を設けずに合意形成対話実験を行わせた。ここでは、2 人の間で予想順位が一致するまで

Table 1 Ranking of conversational topics in a consensus building.

The favorite competition ranking of an athletic meet	<ul style="list-style-type: none"> • Throwing-ball game • Mock cavalry battle • Relay • Tug-of-war
The last homework ranking of the summer vacation that always remained at elementary school	<ul style="list-style-type: none"> • Book report • Independent research • Diary • Manual training

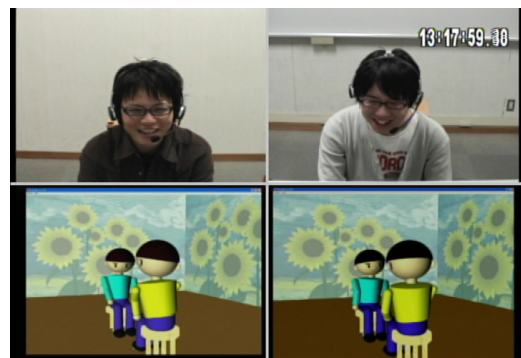


Fig. 13 Example scene of the communication experiment.

対話を続けさせた。最後に、InterPicture と InterWall の両表示を被験者自身に自由に切り替えながら 3 分間対話させ、「総合的に良い」観点から二者択一の一対比較実験を行わせた。一対比較実験におけるモードは両表示ともに「引き込み動作あり」とした。各対話終了後に 7 段階による官能評価（中立 0）を自由対話実験で「①楽しさ」「②対話しやすさ」「③場の盛り上がり」「④好み」アバタを介しての相手との「⑤一体感」「⑥安心感」の 6 項目、合意形成対話実験では「⑦満足感」を追加した 7 項目のアンケートを行わせた。各モードの提示順及び合意形成対話の話題は順序効果を考慮して組ごとにランダムとした。

4.4 官能評価結果

自由対話実験の官能評価結果を図 14 (1) に示す。全ての項目において有意水準 0.1% の有意差が認められ、「引き込み動作あり」が「引き込み動作なし」に対して高く評価された。

合意形成対話実験の官能評価結果を図 14 (2) に示す。「対話しやすさ」や「安心感」「満足感」などの全ての項目において有意水準 0.1% の有意差が認められ、「引き込み動作あり」が「引き込み動作なし」に対して高く評価された。以上の結果から、提案システムが自由対話だけでなく、合意形成対話においても有効であることが示された。

次に、一対比較実験の結果を図 15 に示す。InterWall が 40 人中 26 人 (65%) の被験者に支持された。また、「壁画の方がより一体感が強まる気がした」「ひまわりが場にとけこんでいるような感じ」などのコメントが得られ、仮想観客をバーチャル空間全体に提示した方が好まれていることがわかる。

4.5 行動解析結果

対話における盛り上がりを発話音声のオーバーラップに着目し、InterPicture と同様の手法で行動解析を行った。対話者音声のオーバーラップの割合を図 16 に示す。自由対話実験において、「引き込み動作あり」と「引き込み動作なし」

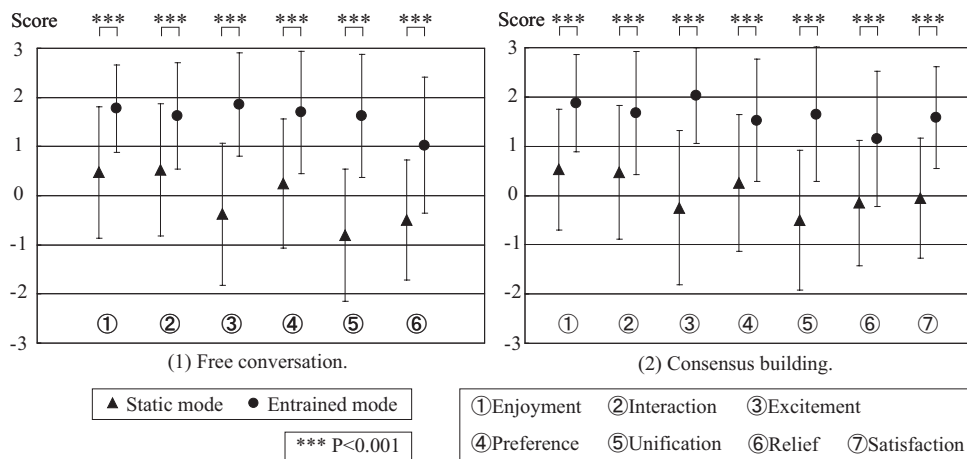


Fig. 14 Result of sensory evaluation by questionnaire.

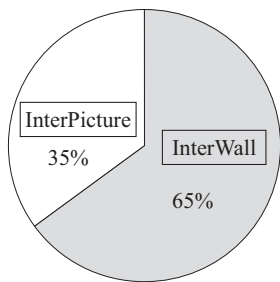


Fig. 15 Result of paired comparison.

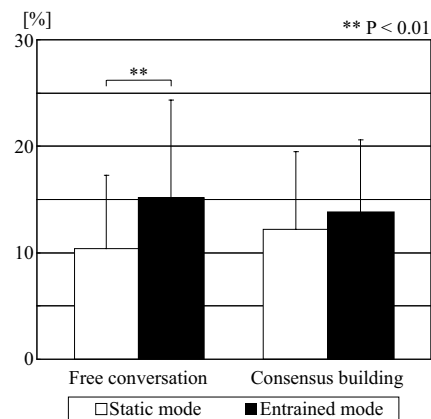


Fig. 16 Result of the overlap in the experiment.

し」を比較した結果、t検定により有意水準 1%の有意差が認められ、「引き込み動作あり」が「引き込み動作なし」に対してオーバーラップの割合が高かった。一方、合意形成対話実験では、統計的な有意差は認められなかった。

また、3分間の自由対話実験における InterPicture と InterWall のオーバーラップの割合を比較した(図 17)。「引き込み動作あり」において、InterPicture と InterWall を比較した結果、有意水準 5%の有意差が認められ、InterWall を用いることでオーバーラップの割合が増加することが示された。

次に、合意形成対話実験における平均対話時間を図 4.5 に示す。「引き込み動作なし」で 4 分 54 秒(標準偏差 2 分 13 秒)、「引き込み動作あり」では 4 分 22 秒(標準偏差 1 分 41 秒)であり、統計的な有意な差は認められなかった。ただし、男性 10 組に対しては、「引き込み動作なし」で 5 分 21 秒(標準偏差 2 分 20 秒)、「引き込み動作あり」では 4 分 1 秒(標準偏差 1 分 33 秒)であり、有意水準 5%の有意差が認められ、合意に至る時間が短縮されることが示された。

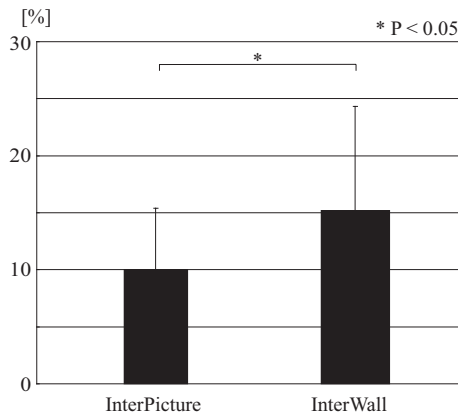


Fig. 17 Comparison of the result of overlap between InterPicture and InterWall in the free conversation.

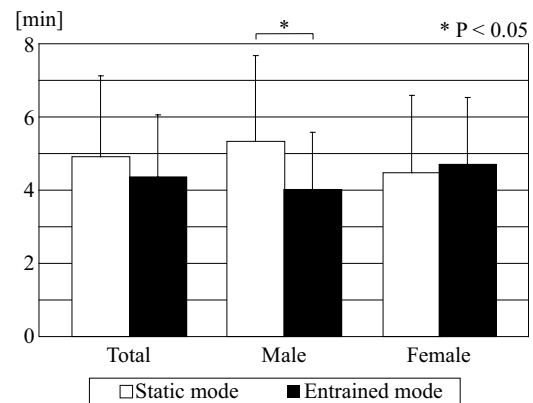


Fig. 18 Result of the average of the elapsed time in the consensus building.

4.6 考察

自由対話実験の官能評価において InterWall がうなずきなどの引き込み動作を行うことで、「場の盛り上がり」や「一体感」などの項目が極めて高く評価された。さらに、反応の動作タイミングは同様であるにも拘らず、InterWall を用いることで発話音声のオーバーラップが増加し、対話の活性化を高める結果となった。これらの結果は、一対比較実験において InterWall が高く評価されたことを裏付けている。これは、絵画のような個物が身体反応するのではなく、壁一面に広がる仮想観客が身体反応することで、仮想観客を含めたコミュニケーション場が統合的に捉えられ、一体感が向上したものと考えられる。

合意形成対話実験では、「対話しやすさ」や「安心感」「満足感」などの項目で「引き込み動作あり」が高く評価された。さらに、男性同士における平均対話時間に有意差が認められ、対話時間が約 25%短縮される結果となった。合意形成対話では率直な意見交換が重視されるため、自由対話とはコミュニケーション様式が異なり、相手の意見を傾聴するとともに自己の意見を述べる場面が自由対話に比べて多くなると指摘されている⁽²³⁾。本実験での合意形成対話では、InterWall がうなずくことで発話者の意見に対して意味付け・解釈を行い、そのかわりを利用して対話者は発話の継続を促され、安心感や満足感などが向上したものと考えられる。とくに男性同士の対話では、情報交換を主体として対話を行うため、合意に至る時間が早まったものと考えられる。

以上のことから、空間全体に仮想観客を提示することで、場の盛り上がりや一体感が飛躍的に向上するなど、コミュニケーション支援に効果的であることが示された。

5. お わ り に

本研究では、アバタコミュニケーションを支援するために、アバタの周囲に配置されている CG オブジェクトを仮想観客としてコミュニケーション場にかかわらせることで、一体感を飛躍的に高める仮想観客システムを開発した。具体的には、絵画内のひまわり型 CG オブジェクトが聞き手のように振舞う音声駆動型身体的引き込み絵画 InterPicture を開発し、それを身体的バーチャルコミュニケーションシステムに実装した。次に、日常対話を対

象としてコミュニケーション実験を行い、官能評価及び行動解析により分析した結果、場の盛り上がりや一体感が向上するなど、アバタコミュニケーション支援に有効であることを示した。さらに、バーチャル空間の壁一面に広がる仮想観客として音声駆動型身体的引き込み壁画 InterWall を開発し、コミュニケーション支援効果を検証した結果、日常対話だけでなく合意形成対話においても高いコミュニケーション効果をもたらすことを示した。

今後は、身体的引き込みだけでなく、音量の大きさやオーバーラップの割合など、場の盛り上がりに関連付けて仮想観客の振舞いを変化させることで、場の盛り上がりを支援するコミュニケーションシステムを構築し、その効果を各種条件下で分析評価する予定である。また、対話者の注視度・没入度を視線計測により定量的に評価するとともに、場の盛り上がりに関連したコンテキストの分析を各種条件下で評価する予定である。

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。

文 献

- (1) CyberAgent, Inc., “アメーバピグ”, アメーバピグ, <http://pig.ameba.jp/> (参照日 2011 年 9 月 30 日)。
- (2) Yonemoto, S., and Taniguchi, R., “Human Figure Control Software for Real-Virtual Application”, *Processing of 8th International Conference on Information Visualisation*, (2004), pp. 858-862.
- (3) 佐伯悠子, 田中貴紘, 藤田欣也, “会話活性化に基づくアバタ動作の統一の制御方法の検討”, 電子情報通信学会技術研究報告. HIP, ヒューマン情報処理, Vol. 109, No. 28 (2009), pp. 71-74.
- (4) Watanabe, T., Ogikubo, M., and Ishii, Y., “Visualization of respiration in the embodied virtual communication system and its evaluation”, *International Journal of Human-Computer Interaction*, Vol. 17, No. 1 (2004), pp. 89-102.
- (5) 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 (2004), pp. 43-60.
- (6) 瀬島吉裕, 渡辺富夫, 山本倫也, “うなずき反応モデルを重畳した VirtualActor を介する身体的コミュニケーションの合成的解析”, 日本機械学会論文集 C 編, Vol. 75, No. 758 (2009), pp. 169-178.
- (7) 羽田拓朗, 竹内勇剛, “人の共感反応を誘発する合成顔表情によるエージェントの感情表出”, ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol. 8, No. 3 (2006), pp. 33-42.
- (8) 石井裕, 渡辺富夫, “聞き手の VirtualActor の頭部動作を矛盾的に止めた身体的コミュニケーションの合成的解析”, ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol. 4, No. 3 (2002), pp. 9-16.
- (9) 佐藤仁人, “室内の窓や植栽・絵画が脳波等に及ぼす影響: 執務空間における視環境の生理心理的影響に関する研究”, 日本建築学会計画系論文集, No. 461 (1994), pp. 87-95.
- (10) 岩崎寛, 山本聡, 権ヒョジョン, 渡邊幹夫, “屋内空間における植物ストレス緩和効果に関する実験”, 日本緑化工学会誌, Vol. 32, No. 1 (2006), pp. 247-249.
- (11) Shibata, S., and Suzuki, N., “Effects of Indoor Foliage Plants on Subject’s Recovery from Mental Fatigue”, *North American Journal of Psychology*, Vol. 3, No. 3 (2001), pp. 385-396.
- (12) 石井裕, 渡辺富夫, “身体的バーチャルコミュニケーションシステムを用いた VirtualActor の対話配置の評価”, ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol. 4, No. 2 (2002), pp. 43-50.
- (13) Condon, W. S., and Sander, L. W., “Neonate Movement is Synchronized with Adult Speech: Interactional Participation and Language Acquisition”, *Science*, Vol. 183, (1974), pp. 99-101.
- (14) 吉田真章, 渡辺富夫, 山本倫也, “3DCG オブジェクトを用いた音声駆動型身体的引き込みシステム”, ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol. 9, No. 3 (2007), pp. 87-96.

- (15) Sejima, Y., and Watanabe, T., “An Embodied Virtual Communication System with a Speech-Driven Embodied Entrainment Picture”, *Processing of the 18th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN2009)*, (2008), pp. 979-984.
 - (16) Watanabe, T., and Yuuki, N., “A Voice Reaction System with a Visualized Response Equivalent to Nodding”, *Advance in Human Factors/Ergonomics*, Vol. 12A, (1989), pp. 396-403.
 - (17) 伊藤秀樹, 重野真也, 西本卓也, 荒木雅弘, 新美康永, “対話における雰囲気分析”, 情報処理学会研究報告. SLP, 音声言語情報処理, Vol. 2002, No. 10 (2002), pp. 103-108.
 - (18) 西村良太, 北岡教英, 中川聖一, “対話における韻律変化・タイミングのモデル化と音声対話システムへの適用”, 人工知能学会言語・音声理解と対話処理研究会, No. 48, (2006), pp. 37-42.
 - (19) 川嶋宏彰, スコギンズリーバイ, 松山隆司, “漫才の動的構造の分析-間の合った発話タイミング制御を目指して-”, ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol. 9, No. 3 (2007), pp. 97-108.
 - (20) 関口一樹, 小杉信, 向井信彦, “映像と音情報を用いた野球中継の自動インデクシング”, 電子情報通信学会技術研究報告. IE, 画像工学, Vol. 106, No. 398 (2006), pp. 41-46.
 - (21) Sejima, Y., and Watanabe, T., “A Speech-Driven Embodied Entrainment Wall Picture System for Supporting Virtual Communication”, *Processing of 3rd International Universal Communication Symposium (IUCS2009)*, (2009), pp. 309-314.
 - (22) NTT Resonant Inc., “goo ランキング”, goo ランキング, <http://ranking.goo.ne.jp/> (参照日 2008 年 11 月 3 日).
 - (23) Garvin, D. A., Roberto, M. A., 意思決定の技術, (2006), pp. 3-33, ダイヤモンド社.
-