

身体的コミュニケーション解析のための バーチャルコミュニケーションシステム

渡辺 富夫[†] 大久保 雅史[†]

身体的コミュニケーション解析のためのバーチャルコミュニケーションシステムのコンセプトを提案し、そのプロトタイプを開発してシステムの有効性を示している。本システムは、対話者のノンバーバル情報と生体情報に基づいて対話者の化身であるバーチャルアクター（VA）のノンバーバル行動を生成し、仮想の対話場面で自己を含めた対話者相互のVAのインタラクションを観察しながら、コミュニケーションできるシステムである。対話者に対応したVAの音声やノンバーバル行動を加工してコミュニケーションを解析することができる。12組24人の対話者を対象に、VAの身体動作として頭部の動きのみに限定したコミュニケーション実験の結果、対話での自己と他者のインタラクションが分かる場面が好まれるとともに、対話者の呼吸の引き込み現象の存在が確認され、本システムによる新たなコミュニケーション場の伝達の可能性が示されている。本システムを用いれば、対話者は対話の観察者であると同時に対話情報の操作者にもなり、自己中心的に場所をとらえ、また場所から自己を位置づける内的観点に立った実験系を組むことが可能である。

Virtual Communication System for Human Interaction Analysis

TOMIO WATANABE[†] and MASASHI OKUBO[†]

A new concept of a virtual communication system for human interaction analysis is proposed, and the prototype of the system is developed where two avatars corresponding to their talkers, referred to as "virtual actors (VAs)", act on the basis of the talkers' nonverbal behavior and physiological measurements. Two remote talkers can communicate by observing their VAs including his or her own VA in a virtual face-to-face environment from any view point. At the same time, the human interaction is analyzed and synthesized by the data of the nonverbal behavior of the VAs and the talkers' physiological measurements. As the results of the experiment in 12 pairs of 24 male talkers under condition that only the head movements of the VAs are communicated together with the talkers' voices, the effectiveness of the system is demonstrated. In particular, the existence of respiratory entrainment between talkers, which is biologically essential to human interaction, is confirmed in the virtual communication which includes both his own VA and the other. The possibility of a new transmission of interaction awareness in communication is also discussed.

1. はじめに

対面コミュニケーションにおいては、単に言葉によるバーバル情報だけでなく、身振り・手振りや表情あるいは周辺言語といった言葉によらないノンバーバル情報が相互に引き込み、対話者相互に関係を成立させ、コミュニケーションを円滑にしている¹⁾。また情動変動と密接に関連した心拍間隔変動の引き込みや呼吸の引き込み等、生理的側面での引き込みも、インタラクションに重要な役割を果たしている²⁾。これらノンバーバル情報と生体情報をも含めた身体全体を介してのコ

ミュニケーションは、いわば身体的コミュニケーションと呼ばれるもので、一度自己の身体を介することで相手との関係を築くコミュニケーションである。原初的コミュニケーションである母子間のインタラクションでは、この身体的コミュニケーションが主体であり、後に発達してくる言語によるコミュニケーションよりも本質的重要性を持っていると考えられる³⁾。したがって、このメカニズムが人間-機械系に導入されるならば、真に人間に立脚したヒューマンインタフェースが実現できるものと期待される。

著者らはすでに音声と表情といった視聴覚情報の計測手法だけでなく、呼吸・心拍間隔変動等の生体情報計測手法を用いて、対面・非対面でのインタラクションを引き込み現象を中心に分析評価し、呼吸の引き込

[†] 岡山県立大学情報工学部
Faculty of Computer Science and System Engineering,
Okayama Prefectural University

み等、生体リズムの引き込みがコミュニケーション場の創出に重要な役割を果たしていることを示した^{4),5)}。とくに通常の対面と視覚情報を除去した非対面とを対比することで、コミュニケーション特性をいっそう明確にすることができた。

本論文では、対面・非対面といった実環境以上に各種の感覚情報を制御できる仮想環境で、対話者のノンバーバル情報と生体情報を加工することによって身体的コミュニケーションを解析するためのバーチャルコミュニケーションシステムを提案し、そのプロトタイプを開発してシステムの有効性を示している。従来よりテレビ会議システム等でノンバーバル情報に着目し、コミュニケーションの円滑化を図るシステム開発やコミュニケーション特性の解析がなされてきた^{6)~10)}。また、コミュニケーション場の形成や擬人化されたエージェントとの対話を目指した研究も精力的に進められている^{11)~15)}。しかし、身体的コミュニケーション特性を体系的に解析・理解するためには、対話者は対話の

観察者であると同時に対話情報の操作者にもなり、自己中心的に場所をとらえ、また場所から自己を位置づける内的観点に立った実験系を組むことが不可欠である。本システムでは、実験対話中の自己の振舞いを含む場の情報を得ることが可能であり、実験と同時に各種ノンバーバル情報や生体情報が計算機の記憶媒体に収集され、仮想環境でのコミュニケーションの各種パラメータを制御してシミュレーション実験する合成的解析により、体系的にコミュニケーション特性を解明することができる。ここではコミュニケーションにおける身体性の共有を考慮した新たなコミュニケーション場の伝達についても検討している。

2. 身体的コミュニケーションシステムのコンセプト

身体的コミュニケーション解析のためのバーチャルコミュニケーションシステムのコンセプトを図1に示す。ここでバーチャルアクター (VA) は、対話者のノンバーバル情報 (表情, 顔色, 頷き, 瞬き, 視線, 身振り等) と生体情報 (心拍変動, 呼吸, 皮膚温等) を仮想環境上で表現する代役 (Avatar) である¹⁶⁾。対話者はVAを介することで、仮想環境での対面コミュニケーションが実現される。バーチャルリアリティ開発用ソフトウェア (SENCE8 WorldToolKit) を用いて3次元グラフィックエンジン (Force 3DE-Tx) を搭載したパーソナルコンピュータ (Gateway2000 G6-300) 上での対話場面の一例を図2に示す。対話者は視点が自由に設定でき、対話中の自己の振舞いを含む場の情報を得ることができる。身体動作, 韻律情報, 表情・顔色による情動表現の有無, それらのタイミングのずれ (遅延) による影響等, VAのノンバーバル行動の各種情報を除去, 追加, 加工してコミュニケーションを解析することが可能である。とくにコミュニケーションの生体情報計測は, 表情・顔色による情動

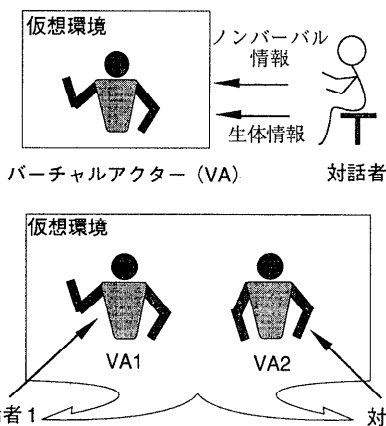
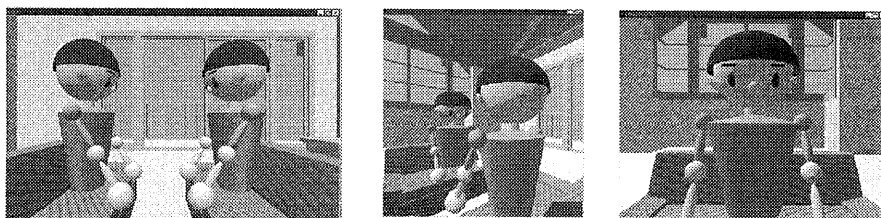


図1 身体的バーチャルコミュニケーションシステムのコンセプト

Fig. 1 Concept of a virtual communication system for human interaction analysis.



S: 真横からの自己のバーチャルアクター(VA)を含む2人

D: 斜め後方2人

F: 相手のVAのみの正面

図2 対話場面

Fig. 2 Examples of virtual face-to-face scenes. S: Side view with two virtual actors (VAs) including his or her own VA. D: Diagonal view with the two VAs. F: Frontal view with the other VA to talk to.

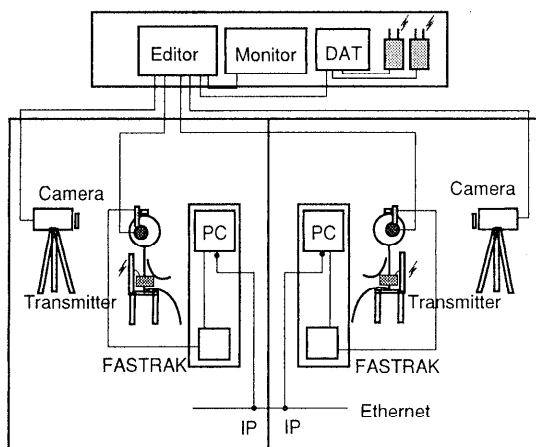


図3 実験概略図

Fig. 3 Experimental setup.

表現に利用されるだけでなく、コミュニケーションそのものを定量的に評価するのに有効である。表情の自動解析は工学的に困難な課題であるが¹⁷⁾、生体情報であれば比較的容易にリアルタイムで計測可能であり、生体情報に基づく情動変動（緊張度等）を表情・顔色で相手方に伝達することも可能になる。たとえば、心拍間隔変動や表面皮膚温は、自律神経活動と密接に関連しており、両生理指標ともにリラックス時には大きく、緊張時には小さくなることが知られている¹⁸⁾。また、表情・顔色と情動との関連に基づいて、これら生理指標から情動変動に応じた表情・顔色が合成できると考えられる^{19),20)}。

3. コミュニケーション実験

3.1 実験方法

本システムによるコミュニケーション実験の概略図を図3に示す。ここではVAの身体動作として、頷き反応等の首の動きのみに限定し、対話者の頭頂部に付けた1個の磁気センサ（Polhemus FASTRAK）計測により3次元の角度と位置の情報に基づいてVAの動きを表現している。VAの動きを頭部運動に限定したのは、頭部運動には円滑なインタラクションに重要な役割を果たす代表的なノンバーバル情報の調整子である頷き反応や否定・疑問を表す首の動き等の基本的なコミュニケーション動作が備わっているため、無意識な動きを含めてインタラクションを通しての時間的な関係から、自己と他者を認識するのに十分な動きの情報を備えていると考えられるからである。VAデータはイーサネット経由で送受信される。ただし、音声はそのままビデオカメラ経由でヘッドホンで聴けるよう

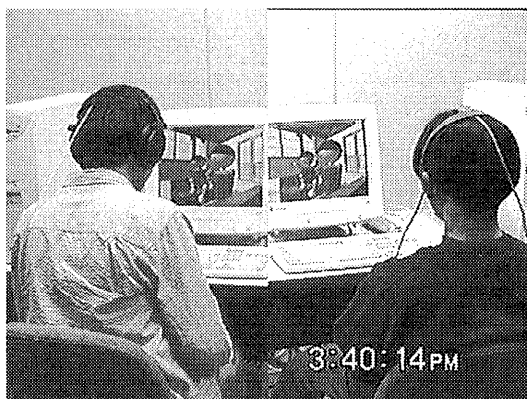


図4 実験時における対話者とそのVAとの対応関係の対話画像例
Fig. 4 A communicative image of correspondence between talkers and their VAs in the experiment.

にした。図2に示した3場面について、真横からの自己のVAを含む2人（S）、斜め後方2人（D）、相手のVAのみの正面（F）の順で各5分間、安静3分間、視点を自由に設定して10分間、最後に3場面の自由選択で5分間の計33分間のコミュニケーション実験を行った。生体情報は、マルチテレメータシステム（日本光電WEB-5000）を用いて対話者相互の心電図波形、胸郭呼吸ピックアップによる呼吸波形（歪計のついたベルトを肋骨の下方（第6～第7）の肋間付近に巻き、呼吸にともなう胸郭の伸縮を検出した波形）を音声波形とともにDATデータレコーダ（TEAC RD-130E）に同時記録した。また対話者とVAとの対応関係等の対話の様子は、各対話者の斜め後ろからのビデオカメラでビデオ編集システム（SONY FXE-100）を用いて画面を2分割して収録した（図4）。対話者は男子学生12組24人で、日常の談話を選定した。

3.2 アンケートおよび行動分析結果

コミュニケーション実験終了後に対話者に表1のアンケートを行った結果を表2に示す。実際の対話に近いと感じられたのが相手のみの正面（F）、楽しかったのが対話者相互の斜め後方（D）であることが分かる。対話者には、エンタテインメント性において自己と相手を含む場の情報を持つ対話場面が好まれることがうかがえる。また、対話者のアンケート結果および対話者とそのVAの動きを同時記録したビデオ画像から、対話者のVAの動きの再現性は十分であること、および頭部運動で対話者が自己と他者とのVAの認識が容易にできることを確認している。

3場面の自由選択での各場面の累積利用時間を対話者ごとに計測した結果、最も長く使用した場面は表3に示すように、Sが10人、Dが9人、Fが5人であっ

表1 アンケートの内容
Table 1 Content of questionnaire.

1 より実際の対話に近いと感じられたのはどれでしたか？
2 どの場面で対話をしたいですか？
3 どの場面が話しやすかったですか？
4 どの場面が楽しかったですか？
それぞれに順位をつけてください。

表2 アンケート結果
Table 2 Results of questionnaire.

問 順位	1 実際性			2 好み		
	1	2	3	1	2	3
S 真横 (%)	8.3	16.7	75.0	8.3	33.3	58.3
D 斜め (%)	12.5	75.0	12.5	45.8	37.5	16.7
F 正面 (%)	79.2	8.3	12.5	45.8	29.2	25.0

問 順位	3 話しやすさ			4 楽しさ		
	1	2	3	1	2	3
S 真横 (%)	12.5	33.3	54.2	25.0	33.3	41.7
D 斜め (%)	37.5	41.7	20.8	50.0	33.3	16.7
F 正面 (%)	50.0	25.0	25.0	25.0	33.3	41.7

表3 使用時間が一番長かった場面の人数
Table 3 Number of talkers where one out of three scenes was utilized in the longest time in person.

対話場面	人数 (%)
S 真横からの自己のVAを含む2人	10 (41.7%)
D 斜め後方2人	9 (37.5%)
F 相手のみの正面	5 (20.8%)

た。行動面からは、自己の振舞いが分かる対話場面が選定されていることが分かる。とくに、図5に示すように、場面がDからFに切り換わったときには、頭部を動かして正面のVAが相手か自己かを確かめる行動が対話者12組24人中21人に顕著に確認された。これは、自己の振舞いがコミュニケーション場に反映されるか否かで、コミュニケーションモードを切り換えるための行動であると解釈される。また視点が自由に設定できる場合には、図6に示す対話場面のよう、対話者の視点をVAの視点に一致させる行動が対話者24人中20人に観察された。

3.3 生理的側面からの分析評価

身体的コミュニケーションに重要な役割を果たす代表的な生理指標として呼吸に着目した。DATデータレコーダに記録された呼吸による胸部の伸縮に対応した呼吸波形を8chA/Dコンバータ(SDSDasbox)で1,000Hz、12ビットでサンプリングし、平滑化して10msごとに呼吸データとした。対話者相互の呼吸の時系列データを図7に示す。対話時においては対話者の呼吸波形が同調し、安静時には各々のリズムで呼吸している傾向がみられる。これらの時系列

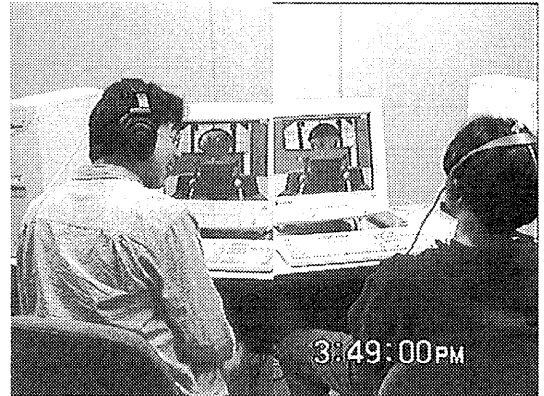


図5 対話場面がDからFに切り換わったときの対話者とVAの対話画像例

Fig. 5 A communicative image of talkers and their VAs where the scene has been changed from D to F.

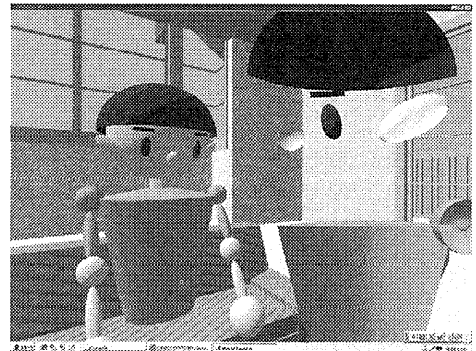


図6 対話者の視点をVAの視点に一致させた対話場面
Fig. 6 Scene in which the visual point of talker agreed with that of VA.

データ間の関係を以下に示す相互相関関数 $C(\tau)$ で評価した。

$$C(\tau) = \frac{\sum_{i=1}^{n-\tau} \{x(i) - \mu_x\} \{y(i + \tau) - \mu_y\}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n \{x(i) - \mu_x\}^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n \{y(i) - \mu_y\}^2}}$$

ここで、 $x(i)$: 対話者 x の呼吸
 $y(i)$: 対話者 y の呼吸
 μ_x, μ_y : x, y の平均値 n : データ数 τ : 時間遅れ

分析対象時間は各実験条件の中央180秒間(データ数 $n = 18,000$)、10msごとのずれ時間で最大5秒(自己相関関数では7秒)に設定した。

各々の呼吸の自己相関関数および相互相関関数の一

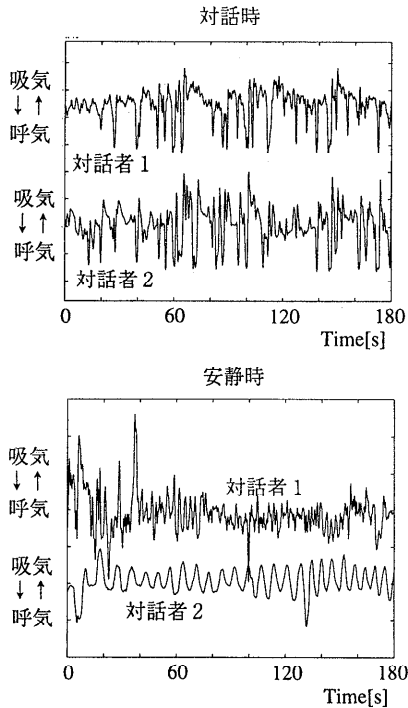


図7 対話者相互の呼吸の時系列データ

Fig. 7 Time series of talker's respiration in their talking and rest.

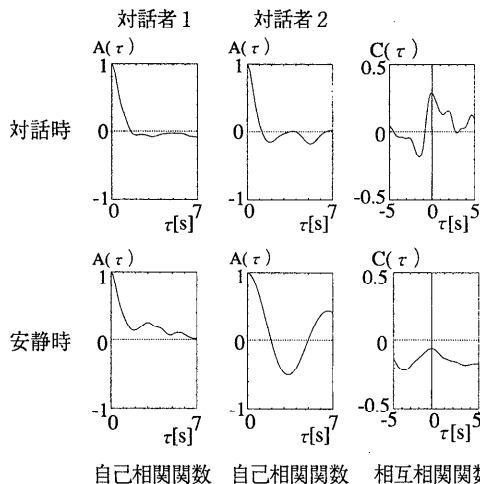


図8 図7の対話時と安静時での対話者の呼吸の相互相関関数 $C(\tau)$ と各々の自己相関関数 $A(\tau)$

Fig. 8 Autocorrelation $A(\tau)$ of each talker's respiration and cross-correlation $C(\tau)$ of respiration between talkers in talking and rest in Fig. 7.

例を図8に示す。対話者2の安静時には、呼吸の自己相関が高く、自己固有のリズムで呼吸しているのが分かる。一方対話中では、各々の呼吸の自己相関が低く、

両者の相互相関が高い結果を示している。これは自己固有のリズムを変化させて、相手との呼吸の引き込みを起こしていることを示している。本結果は、12組中7組に顕著に示された。さらに対話者の呼吸の相互相関関数と各々の自己相関関数の時系列変化を図9に示す。真横(S)と斜め後方(D)の場面の相互相関関数が、他の場面より数値が高い。これは対話での自己の振舞いが分かる場面の方が、より呼吸の引き込みが起きやすいことを示している。前報⁴⁾において、対面・非対面での身体的コミュニケーションにおける引き込み現象を呼吸・心拍間隔変動等の生理的側面から分析評価し、呼吸の引き込みが円滑なコミュニケーションに重要な役割を果たしていることを示し、呼吸の引き込みの評価が各種コミュニケーションシステムの設計・評価に応用できることを指摘した。本システムによる身体的コミュニケーションにおいても、実際の対面コミュニケーションと同様に顕著に呼吸の引き込み現象が生起していることが確認されたことは、本システムがコミュニケーションシステムとして有効であることを示すものである。とくに自己の振舞いが分かる場面の方が呼吸の引き込みが顕著であり、身体的コミュニケーションでは自己を含む場の情報が重要な役割を果たすことを示唆しており、コミュニケーションにおける身体性の共有という新たなコミュニケーション場の伝達の可能性を示している。

4. おわりに

本論文では、身体的コミュニケーション解析のためのバーチャルコミュニケーションシステムのコンセプトを提案し、そのプロトタイプを開発してシステムの有効性を示した。本システムは、対話者のノンバーバル情報と生体情報に基づいて対話者の化身であるバーチャルアクター(VA)のノンバーバル行動を生成し、仮想の対話場面で自己を含めた対話者相互のVAのインタラクションを観察しながら、コミュニケーションできるシステムである。対話者に対応したVAの音声やノンバーバル行動を加工してコミュニケーションを解析することができる。VAの身体動作として頭部の動きのみに限定したコミュニケーション実験の結果、対話者の呼吸の引き込み現象が顕著にみられるとともに、対話での自己の振舞いが分かる場面を利用する傾向がみられ、本システムによるコミュニケーションにおける身体性の共有を考慮した新たなコミュニケーション場の伝達の可能性が示された。とくに本システムを用いれば、対話者は対話の観察者であると同時に対話情報の操作者にもなり、自己中心的に場所をとらえ、

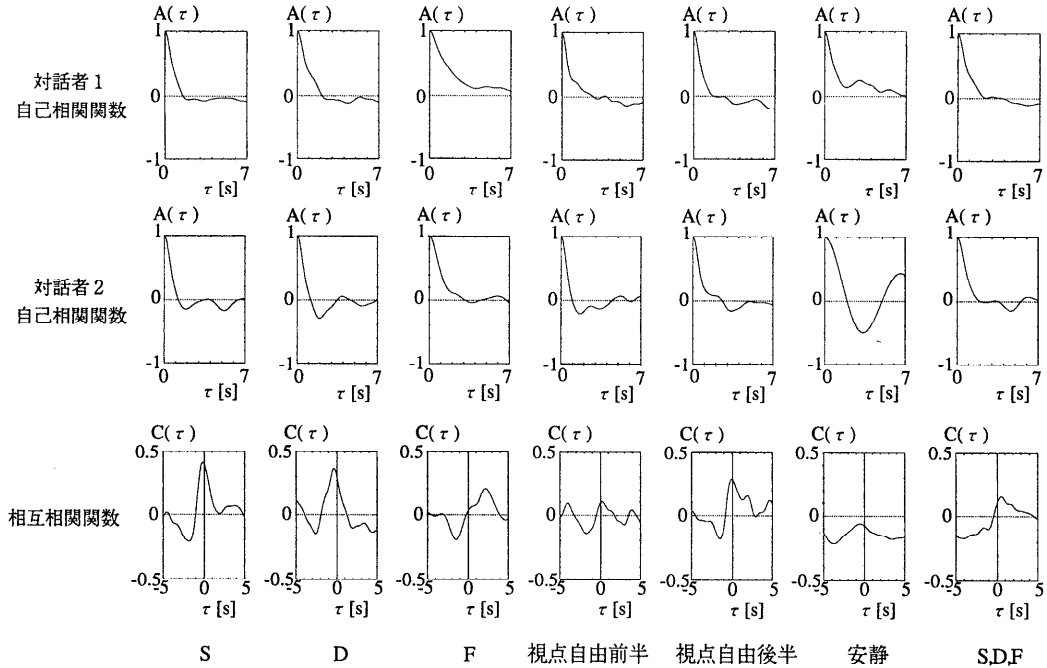


図9 対話者の呼吸の相互相関関数と各々の自己相関関数の時系列変化

Fig. 9 Autocorrelation $A(\tau)$ of each talker's respiration and cross-correlation $C(\tau)$ of respiration between talkers in virtual face-to-face scenes.

また場所から自己を位置づける内的観点に立った実験系を組むことが可能である。本システムは、コミュニケーション場の全体通信の具体的方法論の解明にも有効である。

本実験ではVAの動きとして頭部運動に限定したにもかかわらず、頭部運動だけで対話者が自己と他者とのVAの認識が容易に行え、対話者とVAおよびVA同士の時間的な関係を成立させることに成功した。これは、頭部運動の傾き反応等が会話の調整子の役割を果たす等、インタラクションに重要な役割を果たすと推定されるが¹⁾、逆に傾き反応に限らず、VAを缶や花で置き換えて、時間的な関係が成立する動作系を構築することで、円滑なインタラクションが図れる可能性があると考えられる。現在、対話者の振舞いを忠実に再現するVAを構築し、各種ノンバーバル情報を加工することでコミュニケーション解析する一方で、できるだけコミュニケーション機能を簡略化した缶や花にデフォルメすることで、コミュニケーション特性の解明を進めている。また、呼吸の引き込みが身体的コミュニケーションに重要な役割を果たすことから、対話者の呼吸情報をVAの肩の動きで強調して表現する等、呼吸情報の伝達を考慮した場合についても研究を進めている。

謝辞 本研究の一部は、科学技術庁振興調整費総合研究「人間の社会的諸活動の解明・支援に関する基盤的研究」および文部省科学研究費による。

参考文献

- 1) 渡辺富夫：音声対話システムにおけるヒューマン・インタフェース—引き込みを中心として、情報処理学会研究報告，96-HI-65，pp.27-32 (1996)。
- 2) Watanabe, T., Okubo M. and Kuroda, T.: Analysis of Entrainment in Face-to-Face Interaction Using Heart Rate Variability, *Proc. 5th IEEE International Workshop on Robot and Human Communication*, pp.141-145 (1996)。
- 3) Kobayashi, N., Ishii, T. and Watanabe, T.: Quantitative Evaluation of Infant Behavior and Mother-Infant Interaction; an Overview of a Japanese Interdisciplinary Programme of Research, *Early Development and Parenting*, Vol.1, No.1, pp.23-31 (1992)。
- 4) 渡辺富夫，大久保雅史：コミュニケーションにおける引き込み現象の生理的側面からの分析評価，情報処理学会論文誌，Vol.39, No.5, pp.1225-1231 (1998)。
- 5) Watanabe, T. and Okubo, M.: Physiological Analysis of Entrainment in Face-to-Face Communication, *Advances in Human Fac-*

- tors/*Ergonomics*, Vol.21B, pp.411-414 (1997).
- 6) 呉 俊, 田村 博, 渋谷 雄: 通常映像および ISDN 映像の話者映像効果の比較研究, 電子情報通信学会論文誌 DII, Vol.J79-D-II, No.4, pp.518-526 (1996).
 - 7) 河合智明, 坂内祐一, 田村秀行: 遠隔操作可能なカメラを用いた能動的な状況把握システム, 情報処理学会論文誌, Vol.38, No.4, pp.883-890 (1997).
 - 8) 加藤博一, 村井稔弥, 井口征士: 仮想空間内でのグループ討論における注意の伝達の効果, 計測自動制御学会ヒューマン・インタフェース部会 News&Report, Vol.12, No.4, pp.455-460 (1997).
 - 9) Watanabe, T. and Higuchi, A.: Facial Expression Graphics Feedback for Improving the Smoothness of Human Speech Input to Computers, *Advances in Human Factors/Ergonomics*, Vol.18A, pp.491-497 (1991).
 - 10) Watanabe, T.: Voice-Responsive Eye-Blinking Feedback for Improved Human-to-Machine Speech Input, *Advances in Human Factors/Ergonomics*, Vol.19B, pp.1091-1096 (1993).
 - 11) 猪口聖司, 鈴木紀子, 岡田美智男: 対話のありうる姿—対話現象に対する構成論的アプローチ, 情報処理学会研究報告, 96-HI-65, pp.27-32 (1996).
 - 12) 長谷川修, 清水 悟, 坂上勝彦: 実空間中の人物や物体を認識して対話するマルチモーダル擬人化エージェント, 第 56 回情報処理学会全国大会論文集 (4), pp.4-26-4-27 (1998).
 - 13) 長尾 確: マルチモーダル・ヒューマンコンピュータインタラクション—エージェント指向と実世界指向, 計測と制御, Vol.35, No.1, pp.65-70 (1996).
 - 14) 城塚音也, 桑田喜隆, 安地亮一, 小泉宣夫: 遠隔会議を対象とした音声対話モニタリングによる対話支援システム, 情報処理学会論文誌, Vol.39, No.5, pp.1240-1247 (1998).
 - 15) 中西英之, 吉田 力, 西村俊和, 西田 亨: Free Walk: 3次元仮想空間を用いた非形式的なコミュニケーションの支援, 情報処理学会論文誌, Vol.39, No.5, pp.1356-1364 (1998).
 - 16) 渡辺富夫, 大久保雅史, 稲留将生: ノンバーバルバーバルコミュニケーション解析のためのバーチャルコミュニケーションシステムの開発, 日本機械学会第 75 期通常総会講演会講演論文集 (1), pp.467-468 (1998).
 - 17) 大久保雅史, 渡辺富夫: オプティカルフローとスネークの協調処理による口唇運動の解析, 情報処理, Vol.37, No.11, pp.1054-1055 (1996).
 - 18) 渡辺富夫, 大久保雅史, 黒田 勉: 末梢部皮膚温計測による情動の評価, 計測自動制御学会ヒューマン・インタフェース部会 News&Report, Vol.12, No.3, pp.373-476 (1997).
 - 19) Morishima, S.: Expression Recognition and Synthesis for Face-to-Face Communication, *Advances in Human Factors/Ergonomics*, Vol.21B, pp.415-418 (1997).
 - 20) Kuroda, T. and Watanabe, T.: Analysis and Synthesis of Facial Color Using Color Image Processing, *JSME International Journal*, Vol.41, No.2 (C), pp.307-312 (1998).

(平成 10 年 6 月 2 日受付)

(平成 10 年 12 月 7 日採録)



渡辺 富夫 (正会員)

1955 年生。1978 年岡山大学工学部生産機械工学科卒業。1983 年東京大学大学院工学系研究科産業機械工学専攻博士課程修了 (工学博士)。同年山形大学工学部情報工学科助手, 1984 年同専任講師, 1989 年同助教授。1993 年岡山県立大学情報工学部情報システム工学科教授。1992~1993 年米国ブラウン大学客員研究員。身体的コミュニケーション, ヒューマンインタラクションの研究に従事。ヒューマンインタフェース学会理事, 日本機械学会設計工学・システム部門運営委員, 同技術委員会 (ヒューマンインタフェース) 主査。1994 年岡山工学振興会科学技術賞, 1997 年日本機械学会設計工学・システム部門アイデア賞, 1998 年 IEEE Ro-Man 最優秀論文賞受賞。IEEE 等会員。



大久保雅史 (正会員)

1961 年生。1985 年大阪大学工学部溶接工学科卒業。1990 年同大学院工学研究科溶接工学専攻後期課程単位取得退学。博士 (工学)。1991 年同溶接工学研究所助手。1995 年岡山県立大学情報工学部専任講師, 1997 年同助教授。1993 年~1994 年米国カリフォルニア州立大学バークレー校客員研究員。機械システムの知能化, ヒューマンインタフェースの研究に従事。日本機械学会設計工学・システム部門技術委員会 (「ヒューマンインタフェース」, 「コンカレントエンジニアリング, CSCW」) 幹事。1993 年高温学会技術奨励賞, 1996 年情報処理学会全国大会大会優秀賞, 1997 年日本機械学会設計工学・システム部門アイデア賞, 1998 年 IEEE Ro-Man 最優秀論文賞受賞。電子情報通信学会等会員。